



T.C.
İNÖNÜ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

GIDA İŞLEME ATIĞI BİYOAKTİF BİLEŞİKLERİN ENKAPSÜLASYONU: KUŞBURNU ÇEKİRDEĞİ MODELİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Meryem CEYLAN

Malatya-2026

T.C.
İNÖNÜ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

GIDA İŞLEME ATIĞI BİYOAKTİF BİLEŞİKLERİN ENKAPSÜLASYONU: KUŞBURNU ÇEKİRDEĞİ MODELİ

Meryem CEYLAN

Gıda Mühendisliği Bilim Dalı

Yüksek Lisans

Tez Danışmanı

Prof. Dr. Ali Adnan HAYALOĞLU

Tez Jüri Üyeleri

Prof. Dr. Ali Adnan HAYALOĞLU
Prof. Dr. Servet Gülüm ŞÜMNÜ
Doç. Dr. Didem ŞAHİNGİL

Bu Araştırma İnönü Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi
Tarafından 2024-3643 ve 2025-4104 Proje numaraları ile desteklenmiştir.

MALATYA
2026

T.C.
İNÖNÜ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜNE

ETİK ve YAPAY ZEKÂ KULLANIM BEYANI

04 /06 / 2026

İnönü Üniversitesi Lisansüstü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak, “Prof. Dr. Ali Adnan HAYALOĞLU” danışmanlığında hazırlayıp sunduğum “Gıda İşleme Atığı Biyoaktif Bileşiklerin Enkapsülasyonu: Kuşburnu Çekirdeği Modeli” başlıklı Yüksek Lisans tezimde:

1. ETİK ve BİLİMSEL SORUMLULUKLARIM:

- Tezimde yer alan verileri, bilgileri ve belgeleri akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Çalışmada yararlandığım tüm kaynaklara bilimsel kurallara uygun şekilde atıfta bulunduğumu ve kaynakça gösteriminde APA 7. baskı kurallarına uyduğumu,
- Tezimin özgün olduğunu, çalışma ve yazım sürecinde patent ve telif haklarını ihlal edici hiçbir davranışta bulunmadığımı,
- Aksi bir durumda doğabilecek tüm hukuki ve akademik sonuçları kabul ettiğimi,

2. YAPAY ZEKÂ KULLANIMINA İLİŞKİN BEYANIM:

() Tez yazım sürecinde yapay zekâ tabanlı araçlardan **faydalanmadım**.

(x) Tez yazım sürecinde yapay zekâ tabanlı araçlardan **faydalandım**.

Bu durumda:

- Yapay zekâ araçlarını yalnızca bilimsel üretim sürecini desteklemek amacıyla kullandığımı,
- Kullanımın hipotez geliştirme, teorik tartışma ve yorumlama gibi üst düzey akademik becerileri içermediğini,
- Kullanımın tezin özgünlüğüne, bilimsel etik kurallarına ve ilgili mevzuata aykırı olmadığını,
- Usulsüz kullanımlara (kaynak göstermeksizin metin üretimi, yanıltıcı kaynak gösterimi, otomatik içeriklerin özgün eser gibi sunulması vb.) kesinlikle başvurmadığımı,
- Kullanılan yapay zekâ araçlarının ve işlevlerinin, danışmanımın bilgisi dâhilinde, ekte verilen tabloda şeffaf biçimde belirtildiğini,
- Yükseköğretim Kurumları Bilimsel Araştırma ve Yayın Faaliyetlerinde Üretken Yapay Zekâ Kullanımına Dair Etik Rehber’de belirtilen ilkelere riayet ettiğimi,

kabul ve taahhüt ederim.

Meryem CEYLAN

EK: Yapay Zekâ Kullanım Tablosu

EK: Yapay Zekâ Kullanım Tablosu

No	Üretken Yapay Zekâ Aracı	Kullanım Amacı	Kullanıldığı Bölüm	Kullanım Şekli
1	ChatGPT	Dil ve yazım kontrolü, akademik ifade geliştirme	Özet, Tartışma, Sonuç	Metnin dil ve anlatım yönünden gözden geçirilmesi amacıyla kullanılmıştır. Otomatik üretilen metin doğrudan kullanılmamış olup tarafımda değerlendirilip düzenlenmiştir.

TEŐEKKÖR VE ÖNSÖZ

Bu tez çalışması boyunca bilgi ve deneyimlerini benimle paylaşan, her aşamada yol gösterici olan değerli danışman hocam Prof. Dr. Ali Adnan HAYALOĞLU'na, çalışma sürecine katkı ve desteklerini hiç esirgemeyen sayın hocam Doç. Dr. Didem ŞAHİNGİL'e, deneysel çalışmaların yürütölmesinde desteklerinden yararlandığım İnönü Üniversitesi Gıda Mühendisliğı Bölümü F3 Lab ekibine, FDP-2024-3643 ve FYL- 2025-4104 No'lu projeler ile çalışmama vermiş oldukları maddi destekten dolayı İnönü Üniversitesi BAP birimine, hayatım boyunca her zaman yanımda olan beni bu günlere getiren canım annem ve babam, Fatma KILIÇAL ve Ahmet KILIÇAL başta olmak üzere tüm aileme, her koşulda beni destekleyen sevgili eşim Mehmet Ali CEYLAN'a teşekkür ederim.



İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
SEMBOLLER VE KISALTMALAR	iii
ŞEKİLLER DİZİNİ	iv
ÇİZELGELER DİZİNİ	v
1 GİRİŞ	1
2 GENEL BİLGİLER	4
2.1 Kuşburnu ve Bileşimi	4
2.2 Kuşburnu Çekirdeği ve Endüstriyel Önemi	5
2.3 Biyoaktif Bileşikler	5
2.4 Biyoaktif Bileşiklerin Antioksidan Etki Mekanizmaları	6
2.4.1 Serbest radikal süpürme mekanizması	6
2.4.2 Metal iyon şelasyonu	7
2.4.3 Endojen antioksidan sistemlerin modülasyonu	7
2.4.4 Lipit peroksidasyonunun önlenmesi	7
2.4.5 DNA oksidasyonunun baskılanması	8
2.4.6 Pro-oksidan aktivitenin dengelenmesi	8
2.5 Biyoaktif Bileşikler ve Fonksiyonel Gıdalardaki Roller	8
2.6 Ultrasonik Destekli Ekstraksiyon	9
2.7 Enkapsülasyon Teknolojileri	10
2.8 Elektroegirme	10
2.9 Nanoliflerin Gıda Uygulamaları	13
3 MATERYAL VE YÖNTEM	15
3.1 Materyal	15
3.2 Yöntem	15
3.2.1 Ekstraksiyon aşamalarının belirlenmesi	15
3.2.2 Kuşburnu pres keki bileşim analizleri	17
3.2.3 Ekstraksiyon ön denemeleri ve optimize edilmiş ekstrakt için uygulanan analizler	18

3.2.4 Elektroegirme islemi deney tasarımı.....	20
3.2.5 Besleme çözeltisi pH ve elektriksel iletkenlik ölçümleri.....	21
3.2.6 Besleme çözeltisinin viskozite ölçümü	21
3.2.7 Besleme çözeltisinde renk ölçümü.....	21
3.2.8 Besleme çözeltisinde toplam fenolik madde tayini	22
3.2.9 Elektroegirme nanofiberlerin karakterizasyonu	22
3.2.10 İstatistiksel analiz	25
4 BULGULAR VE TARTIŞMA.....	26
4.1 Bileşim Analizleri	26
4.2 Ekstraksiyon Aşamaları.....	27
4.3 Ekstraktın Antioksidan Aktivitesi.....	30
4.4 RSM Analiz Sonuçları ve Optimizasyon	31
4.4.1 Toplam Fenolik Madde.....	32
4.4.2 Enkapsülasyon Etkinliği	37
4.4.3 Enkapsülasyon Verimi	43
4.4.4 Optimizasyon Sonuçları.....	48
4.5 Besleme Çözeltisi Fizikokimyasal Analiz Sonuçları	50
4.6 Besleme Çözeltisi Renk Analizi Sonuçları	51
4.7 Nanofiber Tekstür Analiz Sonuçları	51
4.8 FT-IR Analiz Sonuçları	52
4.9 Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Analiz Sonuçları	54
4.10 DSC Analiz Sonuçları.....	56
4.11 TGA Analiz Sonuçları.....	59
4.12 Nanoliflerin Antioksidan Aktivitesi	62
4.13 Nanoliflerin Fenolik Madde Profili	63
5 SONUÇ VE ÖNERİLER	66
KAYNAKLAR	68
ÖZGEÇMİŞ	83

ÖZET

Gıda İşleme Atığı Biyoaktif Bileşiklerin Enkapsülasyonu: Kuşburnu Çekirdeği Modeli

Bu tez çalışmasında, kuşburnu (*Rosa canina* L.) yağsız çekirdeği endüstriyel atıklarından biyolojik olarak aktif bileşenin geri kazanılması ve bu bileşenlerin elektroegirme yöntemiyle nanolif formunda enkapsülasyonu amaçlanmıştır. Yağsız kuşburnu çekirdeği tozundan ultrasonik destekli ekstraksiyon yöntemi ile ekstrakt elde edilmiş ve bu bileşenler polivinil alkol esaslı besleme çözeltilerine ilave edilerek nanolif üretimi gerçekleştirilmiştir. Besleme çözeltisinin antioksidan aktivitesi ABTS ve DPPH yöntemleriyle, toplam fenolik madde içeriği ise Folin-Ciocalteu yöntemi ile belirlenmiştir. Elde edilen ekstraktın antioksidan aktiviteleri (ABTS ve DPPH) sırasıyla $553,28 \pm 32,8$ ve $1027,30 \pm 30,1$ mg Trolox/L, toplam fenolik madde içeriği ise $46,28 \pm 0,46$ mg GAE/L olarak bulunmuştur. Elektroegirme parametrelerinin optimizasyonu için Yüzey Yanıt Metodolojisi kullanılmıştır. Optimum elektroegirme koşulları; 10 cm mesafe, 24,36 kV voltaj ve 1,0 mL/h besleme hızı olarak belirlenmiştir. Üretilen nanoliflerin yapısal özellikleri FT-IR analizleriyle incelenmiş ve ekstrakt içeren nanoliflerde karakteristik kaymalar, aktif bileşenlerin polimer matrisine başarılı şekilde entegre edildiğini göstermiştir. Nanoliflerin morfolojik özellikleri SEM analizleriyle incelenmiş, kontrol gruplarının (CNF-1, CNF-2) ortalama lif çapları sırasıyla 270 ± 56 nm ve 338 ± 76 nm; ekstrakt içeren numunelerde (RNF-1, RNF-2) ise bu değerler 306 ± 76 nm, 348 ± 86 nm olarak belirlenmiştir. Termal özellikler termogravimetrik analiz (TGA) ve diferansiyel taramalı kalorimetri (DSC) analizleri ile değerlendirilmiş ve nanoliflerin azot atmosferinde 600°C'ye kadar çok aşamalı bozunma sergilediği tespit edilmiştir. Sonuçlar kuşburnu çekirdeği ekstraktının elektroegirme yöntemiyle elde edilen nanolif yapıya başarılı şekilde enkapsüle edilebildiğini göstermiştir. Bu çalışma gıda endüstrisi atıklarının katma değeri yüksek fonksiyonel bileşenlere dönüştürülmesi açısından önemli bir potansiyel sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Antioksidan aktivite, Elektroegirme, Enkapsülasyon, Kuşburnu çekirdeği, Nanolif, Ultrasonik destekli ekstraksiyon, Yüzey yanıt metodolojisi

ABSTRACT

Encapsulation of Bioactive Compounds from Food Processing Waste: Rosehip Seed Model

In this thesis, the recovery of bioactive compounds from industrial waste defatted rosehip (*Rosa canina* L.) seeds and their encapsulation into nanofibers by the electrospinning were investigated. Extracts were obtained from defatted rosehip seed powder using ultrasound-assisted extraction, and these compounds were incorporated into polyvinyl alcohol-based spinning solutions to produce nanofibers. The antioxidant activity of the spinning solution was determined by ABTS and DPPH assays, while the total phenolic content was measured using the Folin-Ciocalteu method. The extract exhibited an ABTS value of 553.28 ± 32.8 mg Trolox/L, a DPPH value of 1027.30 ± 30.1 mg Trolox/L, and a total phenolic content of 46.28 ± 0.46 mg GAE/L. Response Surface Methodology was employed to optimize the electrospinning parameters. The optimum conditions were determined as a collector distance of 10 cm, an applied voltage of 24.36 kV, and a feed rate of 1.0 mL/h. FT-IR analysis revealed characteristic band shifts in extract-loaded nanofibers, indicating successful incorporation of bioactive compounds into the polymer matrix. SEM analysis showed that the average fiber diameters of the control samples (CNF-1 and CNF-2) were 270 ± 56 nm and 338 ± 76 nm, respectively, while the extract-loaded samples (RNF-1 and RNF-2) exhibited average fiber diameters of 306 ± 76 nm and 348 ± 86 nm. TGA and DSC analyses demonstrated multi-step degradation behavior under a nitrogen atmosphere up to 600°C. The results indicate that rosehip seed extract was successfully encapsulated into electrospun nanofibers, highlighting the potential of food industry waste as a source of value-added functional components.

Keywords: Antioxidant activity, Electrospinning, Encapsulation, Nanofiber, Response surface methodology, Rosehip seed, Ultrasonic assisted extraction,

SEMBOLLER VE KISALTMALAR

ABTS	: 2,2'-Azino-bis(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid)
AOAC	: Association of Official Analytical Chemists
BAP	: Bilimsel Araştırma Projeleri
DPPH	: 2,2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl
EE	: Enkapsülasyon etkinliği (%)
EY	: Enkapsülasyon verimi (%)
FTIR	: Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi
GAE	: Gallik Asit Eşdeğeri
HPLC	: High Performance Liquid Chromatography
RSM	: Response Surface Methodology
SEM	: Taramalı Elektron Mikroskobu
TPC	: Toplam Fenolik Madde
TGA	: Termogravimetrik Analiz
UAE	: Ultrasonik Destekli Ekstraksiyon
YYM	: Yüzey Yanıt Metodu

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil No	Sayfa No
Şekil 2.1: Kuşburnu meyvesi	4
Şekil 3.1: Ekstraksiyon ön denemeleri	15
Şekil 3.2: Ekstraktların konsantre edilmesi	16
Şekil 3.3: Toplam fenolik kalibrasyon eğrisi	19
Şekil 3.4: Elektroegirme sistemi ve temel bileşenleri	20
Şekil 4.1: Farklı ekstraktların ABTS antioksidan aktivitesi.....	28
Şekil 4.2: Farklı ekstraktların DPPH antioksidan aktivitesi	28
Şekil 4.3: Farklı ekstraktların toplam fenolik içeriği	29
Şekil 4.4: Farklı ekstraktların askorbik asit içeriği	29
Şekil 4.5: Box-Behnken deney tasarımı nanolif örnekleri	32
Şekil 4.6: TPC'nin mesafe ve voltaj ile değişimi	33
Şekil 4.7: TPC'nin mesafe ve hacim ile değişimi	34
Şekil 4.8: TPC'nin voltaj ve hacim ile değişimi	35
Şekil 4.9: EE'nin mesafe ve voltaj ile değişimi.....	38
Şekil 4.10: EE'nin mesafe ve hacim ile değişimi.....	39
Şekil 4.11: EE'nin voltaj ve hacim ile değişimi.....	40
Şekil 4.12: EV'nin mesafe ve voltaj ile değişimi	44
Şekil 4.13: EV'nin mesafe ve hacim ile değişimi	45
Şekil 4.14: EV'nin voltaj ve hacim ile değişimi	46
Şekil 4.15: Çoklu optimizasyon için istenebilirlik fonksiyonu grafiği	49
Şekil 4.16: Kontrol nanolif örneklerinin FT-IR Spektrumu	53
Şekil 4.17: Fenolik bileşen yüklü nanolif örneklerinin FT-IR spektrumu.....	54
Şekil 4.18: Kör (CNF-1, CNF-2) ve yüklü (RNF-1, RNF-2) lif numunelerinin SEM görüntüleri ..	56
Şekil 4.19: Kör örneklerin DSC eğrileri	58
Şekil 4.20: Yüklü örneklerin DSC eğrileri	58
Şekil 4.21: Kör örneklerin TGA ve DTG grafikleri	60
Şekil 4.22: Yüklü örneklerin TGA ve DTG grafikleri	61

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge No	Sayfa No
Çizelge 4.1: Kuşburnu yağsız çekirdeği bileşim analizi (%) sonuçları	27
Çizelge 4.2: Çözeltinin (Et-OH 40°C) antioksidan aktivite	30
Çizelge 4.3: Box-Behnken tasarımında kullanılan deney koşulları ve yanıt değerleri	31
Çizelge 4.4: TPC için ANOVA sonuçları	36
Çizelge 4.5: TPC için uygunluk değerleri	37
Çizelge 4.6: EE için ANOVA sonuçları	42
Çizelge 4.7: EE için uygunluk değerleri.....	42
Çizelge 4.8: EV için ANOVA sonuçları	47
Çizelge 4.9: EV için uygunluk değerleri	48
Çizelge 4.10 : Elektroegirme besleme çözeltisi fizikokimyasal değerleri.....	50
Çizelge 4.11: Besleme çözeltisi renk değerleri.....	51
Çizelge 4.12: Nanolif tekstür sonuçları	52
Çizelge 4.13: Nanolif DSC Analiz Sonuçları.....	57
Çizelge 4.14: Yüklü ve kör numunelerin antioksidan aktiviteleri.....	63
Çizelge 4.15: Örneklerin HPLC fenolik madde sonuçları (ppm)	64
Çizelge 4.16 (devam) : Örneklerin HPLC fenolik madde sonuçları (ppm).....	65

1 GİRİŞ

Gıda endüstrisinde üretim süreçleri boyunca ortaya çıkan yan ürünler ve işleme atıkları hem ekonomik hem de çevresel açıdan önemli sorun arz etmektedir. Günümüzde sürdürülebilir üretim anlayışı, bu atıkların yalnızca bertaraf edilmesini hedeflemekle kalmaz aynı zamanda biyoaktif bileşikler açısından değerlendirilmesini de teşvik eder (Galanakis, 2020). Gıda işleme atıkları; polifenoller, karotenoidler, flavonoidler, yağ asitleri ve diyet lifleri gibi katma değerli bileşenler içermeleri sebebiyle fonksiyonel hammadde olarak kabul edilme potansiyeline sahiptirler (Panche vd., 2016). Bundan dolayı gıda proseslerinde atık miktarının azaltılması ve atık bileşiklerin yeniden işlenmesi, döngüsel ekonomi ve yeşil gıda teknolojilerinin esas hedefleri arasında yer almaktadır (Chemat & Strube, 2015).

Küresel düzeyde Birleşmiş Milletler Çevre Programı (UNEP) tarafından 2024 yılında yayımlanan Food Waste Index Report'a göre 2022 yılında yaklaşık 1,05 milyar ton gıda atığı oluşmuştur ve bu miktar tüketiciye sunulan gıdanın %19'una tekabül etmektedir (United Nations Environment Programme, 2024). Avrupa Birliği ülkelerinde ise Eurostat verileri, 2022 yılında kişi başına ortalama 132 kg gıda atığı oluştuğunu ve toplamda yaklaşık 59,2 milyon ton gıda atığının üretildiğini göstermektedir (Eurostat, 2024). Tarım ve Orman Bakanlığı verilerine göre yılda yaklaşık 18 milyon ton gıda çeşitli aşamalarda israf edilmekte olup, kuşburnunun yaklaşık 8,019 tonluk faydalanılabilir üretim potansiyeli sahip olduğu bildirilmektedir (Tarım ve Orman Bakanlığı, 2022; Tarım ve Orman Bakanlığı, 2023). Bu durum yalnızca ekonomik kayıplara değil, aynı zamanda çevresel kirliliğe ve sera gazı emisyonlarının artışına yol açmaktadır. Bu bulgular, gıda sistemlerinde hem çevresel hem de ekonomik boyutlarıyla önemli bir sorun olarak değerlendirilen gıda israfının azaltılması, yan ürünlerin değerlendirilmesi ve döngüsel ekonomi uygulamaları açısından kritik olduğunu ortaya koymaktadır (United Nations Environment Programme, 2024; Eurostat, 2024).

Biyoaktif bileşikler; antioksidan, antimikrobiyal ve antienflamatuar etkilerinin yanında sinir sistemi üzerinde koruyucu etkileriyle de insan sağlığına olumlu katkı sağlayan doğal moleküllerdir. Fenolik bileşikler bu gruptaki en önemli bileşikler olup, gıda oksidasyonunu yavaşlatma, serbest radikalleri nötralize etme ve hücre hasarı önleme mekanizmalarıyla öne çıkmaktadır (Tsao, 2010). Bununla birlikte fenolik bileşiklerin sıcaklık, oksijen, pH, ışık gibi çevresel faktörler karşısında kararlılığı oldukça düşük olduğundan fonksiyonel gıdaların içerisinde etkin biçimde kullanılabilmesi, stabilitelerinin artırılmasına bağlıdır (Shahidi & Yeo, 2018).

Yapılan çalışmalara göre, biyoaktif bileşiklerin korunması ve kontrollü salınımının sağlanması amacıyla enkapsülasyon teknolojileri giderek daha fazla önem kazanmıştır. Bu amaçla uygulanan enkapsülasyon işlemi ile aktif bileşenlerin uygun bir taşıyıcı matris içerisinde fiziksel veya kimyasal yöntemlerle hapsedilmesi sağlanmaktadır (Gharsallaoui vd., 2007). Enkapsülasyon biyoaktif

bileşenlerin çevresel koşullara karşı dayanıklılığını artırarak raf ömrünü uzatmakta ve ürünlerin besinsel değerini de korumaktadır. Gıda endüstrisinde mikroenkapsülasyon, koaservasyon, püskürterek kurutma ve elektroğirme gibi enkapsülasyon yöntemleri sıklıkla kullanılmaktadır (Xu, Y. vd., 2024; Petkova D., vd., 2022). Polimerik çözeltilerde nanolif üretimi sağlayarak aktif bileşenlerin yüksek yüzey alanlı ve koruyucu yapılar içerisinde tutulması için elektroğirme yöntemi tercih edilmektedir (Huang vd., 2022). Bu sayede fenolik bileşikler oksidatif bozulmalara karşı dayanıklı hale gelirken kontrollü salınımları da sağlanmış olur.

Rosa canina L. türü kuşburnunun doğal yayılım alanlarından biri Türkiye'dir ve bu anlamda ülkemiz dünya kuşburnu üretiminde önde gelen ülkeler arasındadır. Kuşburnu çekirdekleri meyvenin toplam kütlesinin yaklaşık %30-35'ini oluşturmakta, bu da kuşburnu işleme süreçlerinde çekirdeğin önemli bir yan ürün potansiyeli taşıdığı anlamına gelmektedir (Çürük vd., 2023; Karakavuk, 2020). Bu miktar, fenolik bileşiklerin ve doymamış yağ asitlerinin geri kazanımı açısından dikkate değer bir potansiyel sunmaktadır. Dolayısıyla bu hammaddenin enkapsülasyon teknolojileriyle değerlendirilmesi hem ekonomik hem de çevresel sürdürülebilirlik bakımından stratejik önem taşımaktadır.

Kuşburnu meyvesi; askorbik asit, karotenoidler, tokoferoller ve fenolik bileşikler bakımından oldukça zengindir (Borşa vd., 2023). Kuşburnu işleme endüstrisinde, reçel, marmelat ve meyve suyu üretimi sırasında oluşan çekirdekli posalar genellikle atık olarak değerlendirilse de bu atıklar, yüksek oranda fenolik bileşikler ve doymamış yağ asitleri içermektedir (Karakavuk, 2020). Gıda işleme atıklarının değerlendirilmesinde öne çıkan hammaddelerden biri de kuşburnu çekirdeğidir. Yağı alındıktan sonra geriye kalan kuşburnu çekirdeği posası, özellikle proantosiyanidinler, gallik asit, kafeik asit, *p*-kumarik asit ve rutin gibi bileşenler açısından zengin bir kaynaktır (Gavaric vd., 2023). Bu yönüyle, kuşburnu çekirdeği gıda işleme atıklarının yeniden değerlendirilmesi için uygun bir model materyal oluşturmaktadır.

Kuşburnu çekirdeğinden elde edilen fenolik ekstraktların yüksek antioksidan kapasite göstermesine karşın, bu bileşiklerin ısı, ışık ve oksijen gibi faktörlere karşı kararsız olmaları fonksiyonel gıdalarda kullanımını sınırlamaktadır (Çürük vd., 2023). Bu nedenle, fenolik bileşiklerin enkapsülasyon yoluyla kararlılıklarının artırılması hem biyoyararlanımlarını yükseltmekte hem de raf ömrünü uzatmaktadır (Özkaya, 2021). Ayrıca, elektroğirme yöntemi ile nanolif formunda yapılan enkapsülasyon, bileşiklerin oksidatif bozunmaya karşı daha etkili bir şekilde korunmasına ve gıda sistemlerinde etkin bir taşıyıcı sistem olarak kullanılmasına imkan tanımaktadır (Zeren vd., 2022).

Bu bağlamda, çalışmada yağsız kuşburnu çekirdeği posasından elde edilen fenolik ekstraktların elektroegirme yöntemiyle enkapsülasyonu amaçlanmıştır. Bu kapsamda; enkapsülasyon verimi, fenolik bileşik stabilitesi, antioksidan aktivite, termal ve morfolojik özelliklerin incelenmesi hedeflenmiştir. Ayrıca, kuşburnu çekirdeği gibi işleme atıklarının fonksiyonel gıda üretiminde değerlendirilmesi hem sıfır atık yaklaşımına hem de fonksiyonel ürün geliştirme çalışmalarına katkı sağlaması açısından önem taşımaktadır.



2 GENEL BİLGİLER

2.1 Kuşburnu ve Bileşimi

Kuşburnu (*Rosa canina* L.), Gülgiller (Rosaceae) familyasından bir bitki türü olmakla beraber Rosoideae alt familyasında yer almaktadır. Çok yıllık bir bitki olan kuşburnu ve çalı formunda büyür ve mitolojide “Tanrıların Gıdası” şeklinde adlandırılmıştır. Kuşburnu genellikle yaban gülü, it gülü, deli gül, itburnu, gül burnu, gül elması, yiriç, şillan gibi farklı adlarıyla da bilinen kırmızı-turuncu renge ve yumurtamsı bir şekle sahip olan meyvedir (Karasakal, 2007) (Şekil 2.1).



Şekil 2.1: Kuşburnu meyvesi

Kuşburnunun binlerce yıldan beri birçok farklı kültür tarafından insan sağlığı üzerinde olumlu etkilerinden dolayı kullanılmakta olduğu bilinmektedir (Mármol vd., 2017). Kuşburnu üzerinde yapılan yoğun ve kapsamlı bilimsel araştırmalar sonucunda, kuşburnunun önemli bir besin kaynağı ve ayrıca vitamin, mineral, fitokimyasal maddelerce zengin olduğu ortaya çıkmıştır (Uggla vd., 2005). Kuşburnu meyvesinin, diğer meyvelerle karşılaştırıldığında C vitamini ve fenolik bileşik içeriğince daha zengin olduğu görülmüştür (Kayahan vd., 2023). Yapısında bulunan askorbat, beta-karoten, tokoferol, antosiyanin ve diğer fenolik bileşikler sayesinde yüksek antioksidan aktiviteye sahiptir (Demir vd., 2014).

Kuşburnu meyvesi, içerdiği yüksek miktarda C vitamini sayesinde bağışıklık sistemini destekleyici özelliğiyle ön plana çıkarken, aynı zamanda polifenoller, flavonoidler, karotenoidler, organik asitler ve uçucu yağlar gibi birçok biyoaktif bileşiği de bünyesinde barındırır (Demir vd., 2014). Yapılan çalışmalar, kuşburnu meyvesinin antioksidan, anti-inflamatuvar, antidiyabetik ve antimikrobiyal özellikler taşıdığını göstermektedir (Chrubasik vd., 2008).

Kuşburnunun işlenmesi sırasında meyvenin yalnızca etli kısmı kullanılmakta, geri kalan çekirdekli kısım genellikle atık olarak değerlendirilmektedir. Oysaki yapılan araştırmalar kuşburnu çekirdeklerinin de önemli miktarda biyoaktif bileşik içerdiğini ortaya koymaktadır (Saygı, 2021). Bu çekirdekler; özellikle trigliseridler, fenolik bileşikler, tokoferoller (E vitamini), fitosteroller ve linoleik asit açısından oldukça zengin bir profille dikkat çekmektedir (Özcan, 2002). Kuşburnu çekirdeğinden elde edilen sabit yağların %40-50 oranında linoleik asit içerdiği, bu yönüyle cilt sağlığı ve kardiyovasküler sistem açısından önemli etkiler sunduğu belirtilmektedir (Mannozi C. vd., 2020).

2.2 Kuşburnu Çekirdeği ve Endüstriyel Önemi

Kuşburnu çekirdeği, fonksiyonel gıdaların, kozmetik ürünlerin ve farmasötik preparatların geliştirilmesinde doğal bir biyoaktif kaynak olarak değerlendirilebilir. Elde edilen ekstraktların antioksidan, antienflamatuar ve antimikrobiyal etkileri üzerine yapılan *in vitro* çalışmalar, bu çekirdeklerin biyofonksiyonel potansiyelini desteklemektedir (Nardini, 2022; Rudrapal vd., 2022).

Çekirdeğin atık kısmının değerlendirilmemesi hem ekonomik açıdan hem de çevresel açıdan kayıplara neden olmaktadır (Nirmal vd., 2023). Bu değerli yan ürünün günümüz sürdürülebilir gıda anlayışı çerçevesinde yeniden işlenerek katma değeri yüksek bir ürüne dönüştürülebilmesi önem taşımaktadır (Michalska-Ciechanowska vd., 2025). Sonuç olarak kuşburnu çekirdeği atığı sadece bir endüstriyel atık değil, aynı zamanda fonksiyonel bileşenlerin geri kazanımı açısından stratejik bir kaynaktır (Hasan vd., 2024). Bu bağlamda yapılacak ileri teknolojik ekstraksiyon çalışmaları ve enkapsülasyon stratejileri ile kuşburnu çekirdeğinin ekonomik değeri artırılabilir (Khan vd., 2023).

2.3 Biyoaktif Bileşikler

Biyoaktif bileşikler; temel besin öğelerinin ötesinde, vücutta fizyolojik ya da hücresele seviyede belirli biyolojik etkiler oluşturarak sağlık üzerinde olumlu etkiler gösterebilen doğal ya da sentetik kimyasal maddelerdir (Erdman Jr. vd., 2023; Martirosyan vd., 2022). Genellikle bitkisel kaynaklı olan bu bileşikler; primer metabolitlerden farklı olarak doğrudan enerji sağlamazlar ancak antioksidan, antikanser, antiinflamatuar, antimikrobiyal gibi çok sayıda biyolojik aktivite göstererek hastalıkların önlenmesinde ve tedavisinde yardımcı olurlar (Cuevas-Cianca vd., 2023; Mitropoulou vd., 2023).

Bitki kaynaklı gıdalarda (meyve, sebze, tahıllar gibi) yaklaşık olarak 8000 farklı biyoaktif bileşiklerin (fitokimyasal olarak adlandırılan) bulunduğu belirtilmektedir (Özkaya, 2021). Biyoaktif bileşikler; bitkiyi bakteri, virüs, mantar ve çeşitli haşerelere karşı korumakla birlikte bitkiye özgü renk, tat ve koku özelliklerini de kazandırır. Kronik hastalıkların en önemli etken maddelerinden biri olarak bilinen serbest radikallerin yol açtığı oksidatif strese karşı koruyucu özellik gösterirler. Biyoaktif bileşiklerin *in vitro* ve *in vivo* koşullarda geniş aralıkta antioksidan aktivite gösterdikleri çeşitli çalışmalarda desteklenmektedir (Uyar & Sürücüoğlu, 2010).

Fonksiyonel besinler biyoaktif bileşenler içermelerinin yanı sıra belirli fizyolojik fayda sağlamaları ve bazı hastalık risklerinin azaltılmasına katkıda bulunmaları yönüyle bilimsel olarak belirtilmiştir (Awuchi, 2022). Bu gıdalarda yer alan polifenoller, probiyotikler, prebiyotikler, omega-3 yağ asitleri gibi biyoaktif bileşenlerin; immün sistemi düzenlemede, inflamatuvar süreçleri baskılamada, bazı enfeksiyon ve alerjik astım gibi kronik risklerin azaltılmasında potansiyel bir rol oynayabileceği yapılan çalışmalarda gösterilmiştir (Awuchi, 2022; Song vd., 2024; Zhang vd., 2025).

Biyoaktif bileşikler kimyasal yapılarına ve biyolojik işlevlerine göre çeşitli gruplara ayrılır. En yaygın gruplar arasında polifenoller (fenolik asitler, flavonoidler, stilbenler), karotenoidler, glukozinolatlar, fitoöstrojenler, alkaloidler, organosülfür bileşenler ve peptitler yer almaktadır. Örneğin flavonoidler; antioksidan aktiviteleri, enzim inhibisyonları ve antiinflamatuvar etkileri ile dikkat çekerler. Flavonoidlerin gıdalardaki varlığı meyveler, sebzeler, çay, kahve ve kırmızı şarap gibi birçok farklı kaynaktan bulunabilirler (Panche vd., 2016).

Bu bileşiklerin sağlık üzerindeki etkileri büyük ölçüde antioksidan mekanizmalarıyla ilişkilidir. Antioksidan bileşikler, vücutta oluşan serbest radikalleri nötralize ederek hücre hasarını engellerler. Serbest radikallerin birikimi, kanser, kardiyovasküler hastalıklar, nörodejeneratif bozukluklar ve diyabet gibi kronik hastalıklarla ilişkilendirilmektedir (Pisoschi vd., 2015). Bu nedenle, biyoaktif bileşenlerin düzenli tüketimi bu hastalıkların önlenmesinde destekleyici rol oynayabilmektedir.

2.4 Biyoaktif Bileşiklerin Antioksidan Etki Mekanizmaları

Antioksidanlar, hücresel metabolizma sırasında oluşan ve oksidatif stresin temel nedeni olan reaktif oksijen türleri (ROS) ve reaktif azot türleri (RNS) gibi serbest radikalleri nötralize edebilen bileşiklerdir (Lobo vd., 2010). Bu tür reaktif moleküller DNA, protein ve lipid gibi biyomoleküllere zarar vererek çeşitli kronik hastalıkların (kanser, kardiyovasküler hastalıklar, nörodejeneratif bozukluklar, diyabet vb.) gelişiminde rol oynamaktadırlar (Pham-Huy vd., 2008).

Biyoaktif bileşiklerin antioksidan etki mekanizmaları çeşitli şekillerde oluşmaktadır (Rudrapal vd., 2024). Bu biyolojik aktiviteler; doğrudan serbest radikalin süpürülmesi, metal iyonu ile şelat oluşturulması, endojen antioksidan sistemlerin modülasyonu, lipid peroksidasyonunun önlenmesi, DNA oksidasyonunun baskılanması gibi mekanizmalar ile oksidatif strese karşı bir savunma sisteminin gerçekleştirilmesidir (Andrés vd., 2024; Ngo & Duennwald, 2022).

2.4.1 Serbest radikal süpürme mekanizması

Birçok biyoaktif bileşik, özellikle polifenoller, serbest radikallerle doğrudan etkileşime girerek onları reaktiflerini etkisiz hale getirebilir (Andrés vd., 2023). Bu durum çoğunlukla iki temel kimyasal mekanizma üzerinden açıklanır; hidrojen atomu transferi ve tek elektron transferi. Antioksidan

molekül, fenolik hidroksil gruplarına bir hidrojen atomu vererek radikali nötralize edebilir ve ortaya çıkan fenol radikali bu sayede daha kararlı bir hale gelir (Andrés vd., 2023; Mohammadi vd., 2024; Zahra vd., 2024). Serbest radikal zincirinin kesilmesine sebep olan bu sistemde hücrel bileşenlerde (membran, proteinler, DNA vb) oksidatif hasarın ilerlemesi sınırlandırılmış olur (Tumilaar vd., 2024; Gülçin, 2025)

2.4.2 Metal iyon şelasyonu

Geçiş metallerinin (özellikle Fe^{2+} ve Cu^{2+}) varlığında Fenton ve Haber-Weiss reaksiyonları ile ROS üretimi tetiklenebilir. Polifenoller gibi bazı biyoaktif bileşikler bu metal iyonlarını şelatlayarak, serbest radikal oluşumunu engelleyebilirler (Perron & Brumaghim, 2009). Özellikle gallik asit, kuarsetin gibi yapılar sahip oldukları birden fazla hidroksil grubu sayesinde bu iyonlara bağlanarak pro-oksidan aktiviteyi baskılayabilir.

Güncel çalışmalar, orto-dihidroksil (katekolik) yapı ve çoklu hidroksil grupları içeren polifenollerin (gallik asit türevleri ve kuarsetin vb) Fe^{2+} ve Cu^{2+} iyonlarını bağlayarak metalin serbestliğini sınırladığı ve buna bağlı olarak Fenton ve Haber-Weiss reaksiyonlarını yavaşlattığını göstermektedir. Ayrıca kuarsetin metal şelatlamasının yanı sıra hücre içindeki oksidatif stres yanıt yollarını modüle ederek antiinflamatuvar etki gösterir. Bu mekanizma demir yüklenmesi, inflamasyon ve yaşlanmaya bağlı oksidatif stres için terapötik potansiyel olarak değerlendirilmektedir (Qi vd., 2022; Andrés vd., 2024).

2.4.3 Endojen antioksidan sistemlerin modülasyonu

Bazı biyoaktif bileşenler vücutta bulunan doğal antioksidan savunma sistemlerini aktive edebilir. Bu savunma sistemleri arasında süperoksit dismutaz (SOD), glutatyon peroksidaz (GPx) ve katalaz (CAT) gibi enzimler yer almaktadır. Örneğin kurkumin, resveratrol ve epigallocateşin gallat (EGCG), Nrf2 (nuclear factor erythroid 2-related factor 2) yollarını aktive ederek bu antioksidan enzimlerin ekspresyonunu artırabilir (Rojo de la Vega vd., 2018). Böylece, hücrel düzeyde uzun vadeli koruyucu etkiler ortaya çıkabilmektedir.

2.4.4 Lipit peroksidasyonunun önlenmesi

Lipit peroksidasyonu, özellikle hücre zarındaki çoklu doymamış yağ asitlerinin serbest radikallerle reaksiyona girerek zar yapısını bozduğu bir süreçtir (Valgimigli vd., 2023). Bu süreçte oluşan malondialdehit (MDA) ve 4-hidroksi-2-nonenal (4-HNE) gibi ara ürünler hücre toksisitesini artırır (Ayala vd., 2014). Polifenoller ve flavonoidler gibi bazı biyoaktif bileşikler bu zincir reaksiyonlarını keserek lipidlerin oksidatif bozulmasını sınırlayabilir (Tumilaar vd., 2024). Flavonoidlerin lipid açısından zengin

membran bölgelerinde antioksidan etki ve lipid peroksidasyonunu baskılayarak hücre yapısını koruyucu etki gösterdiği çalışmalarca desteklenmektedir (Jomova vd., 2025; Altanam vd., 2025)

2.4.5 DNA oksidasyonunun baskılanması

Reaktif oksijen türleri (ROS), özellikle hidroksil radikali gibi yüksek reaktiviteye sahip türler, DNA bazlarına saldırarak oksidatif modifikasyonlara yol açabilir. Bu hasarın en iyi bilinen ürünlerinden biri guaninin oksidasyonu sonucu oluşan 8-oksoguanozin/8-oksodeoksiguanozin (8-oxoG, 8-oxodG)'dir. Bu tür lezyonlar yanlış baz eşleşmelerine neden olarak mutasyon riskini yükseltir ve genom stabilitesini tehdit eder. Güncel çalışmalar, bitki kökenli polifenollerin (antosiyantinler ve kateşinler gibi flavonoid sınıfı bileşiklerin) bu sürece karşı koruyucu işlev gördüğünü göstermektedir. Bu bileşikler bir yandan ROS'u doğrudan süpürerek DNA'ya ulaşmadan nötralize ederken, diğer yandan demir ve bakır gibi geçiş metalleriyle şelat kompleksi oluşturarak Fenton tipi reaksiyonlarla yeni radikal oluşumunu sınırlar. Sonuç olarak, guanin açısından hassas bölgelerde 8-oxoG oluşumu azalır, DNA zincir kırıkları ve oksidatif genotoksisite baskılanır (Hahm vd., 2022).

Yeşil çay kateşinlerinin (örneğin epigallokateşin gallat) ve pigmentli bitkilerden elde edilen antosiyantinlerin hücre modellerinde ROS kaynaklı DNA hasarını ve oksidatif mutajeniteyi azalttığı bu nedenle bu bileşiklerin antigenotoksik yani DNA'yı oksidatif bozulmaya karşı koruyucu doğal savunucular olarak değerlendirildiği bildirilmektedir. Bu koruma doğrudan DNA üzerindeki oksidatif lezyon yükünün düşmesi ve dolayısıyla mutasyon baskılanmasıyla ilişkilendirilmektedir (García-Rodríguez & Kacew, 2025)

2.4.6 Pro-oksidan aktivitenin dengelenmesi

Bazı polifenoller yüksek derişimlerde klasik anlamda antioksidan gibi davranmak yerine pro-oksidan etki gösterebilir. Bu durumda hücre içi reaktif oksijen türleri kontrollü biçimde yükselir, mitokondriyal bütünlük bozulur ve sonuçta kanser hücrelerinde hücre döngüsü durdurularak apoptozis (programlanmış hücre ölümü) tetiklenir (Li vd., 2022; Farhan vd., 2022).

Güncel bulgular, bu pro-oksidan/apoptotik etkinin özellikle tümör hücrelerinde belirgin olduğunu ve normal hücrelerde çok daha zayıf ortaya çıktığını, dolayısıyla polifenollerin bazı koşullarda tümör baskılayıcı potansiyel taşıyabildiğini göstermektedir. Bu da biyoaktif bileşenlerin etkisinin tek yönlü olmadığını, konsantrasyon, hücrenin redoks durumu ve hücre tipi gibi faktörlere güçlü biçimde bağlı olduğunu ortaya koymaktadır (Li vd., 2022; Farhan vd., 2022).

2.5 Biyoaktif Bileşikler ve Fonksiyonel Gıdalardaki Roller

Biyoaktif bileşenlerin biyoyararlılığı, sağlık üzerindeki etkilerinin şiddetini belirleyen en önemli faktörlerden biridir. Gıdalardaki bu bileşenler mide-bağırsak sisteminde sindirilip emildikten sonra

metabolize edilir. Bu nedenle, bir bileşimin *in vitro* ortamda yüksek antioksidan kapasite göstermesi, mutlaka insan vücudunda aynı etkiyi göstereceği anlamına gelmez (Shahidi & Ambigaipalan, 2015). Gıda işleme teknikleri, depolama koşulları ve bireysel metabolik farklılıklar, bu bileşenlerin etkinliğini etkileyen başlıca unsurlardır.

Fonksiyonel gıdaların geliştirilmesi proseslerinde biyoaktif bileşenler temel rol oynamaktadır. Temel beslenmenin ötesinde sağlık için faydalı olan ve fizyolojik işlevleri destekleyen ürünler olarak tanımlanan fonksiyonel gıdalar, biyoaktif bileşenlerin de eklenmesi ile bağışıklık sistemini destekleyen, kolesterolü düşüren, yaşlanma karşıtı etkiler sağlayan yeni ürünlere dönüşebilmektedir (McClements, 2020).

Günümüzde mikroenkapsülasyon ve nanoenkapsülasyon gibi teknolojiler; biyoaktif bileşenlerin stabilitesini artırmak, biyoyararlılığını geliştirmek ve hedefe kontrollü salınım sağlamak amacıyla yaygın şekilde kullanılmaktadır. Bu teknolojiler, gıda sistemleri içinde bileşenlerin fiziksel ve kimyasal korunmasını sağlayarak hem ürün kalitesini hem de fonksiyonel etkinliği artırmaktadır (Zabot vd., 2020; Lazar vd., 2024).

Biyoaktif bileşiklerin doğrudan kullanılabilirlikleri, bitki hücrelerinin içinde kompleks yapılarla bağlı veya düşük miktarlarda bulunmaları sebebiyle kısıtlamaktadır. Bu nedenle, bu bileşenlerin verimli bir şekilde elde edilmesi ve formülasyonlara entegre edilebilmesi için etkili ekstraksiyon ve enkapsülasyon teknolojilerinin uygulanması büyük önem taşır (Abedelmaksoud vd., 2025; Rezagholizade-Shirvan vd., 2024.)

Ekstraksiyon, uygun çözücüler ve teknikler kullanılarak biyoaktif bileşiklerin bitki dokularından ayrılması işlemidir. Bu işlemde amaç hedef bileşimin en az bozulmayla ve maksimum verimle elde edilmesidir. Aynı zamanda proses sırasında olası çevresel etkilerin göz önüne alınması gerekmektedir. Özellikle fenolik bileşikler gibi oksidatif strese karşı duyarlı bileşenler, yüksek sıcaklık uygulamaları içeren geleneksel ekstraksiyon yöntemlerinden olumsuz etkilenebilir. Bu nedenle son yıllarda yeşil teknolojiler olarak adlandırılan ultrasonik ekstraksiyon, mikrodalga destekli ekstraksiyon ve süperkritik akışkan ekstraksiyonu gibi yeni yöntemler ön plana çıkmaktadır (Chemat & Strube, 2015).

Bitki materyallerinden biyoaktif bileşiklerin kalitatif ve kantitatif olarak tespit edilmeleri çoğunlukla uygun ekstraksiyon yönteminin seçimine dayanmaktadır (Verep vd., 2023). İyi bir ekstraksiyon yöntemi verimi yüksek, ucuz, çevreci, hızlı olmalıdır (Martins vd., 2023). Farklı prensiplere sahip olmalarına rağmen hem geleneksel hem yeni ekstraksiyon yöntemleri ön işlem, ekstraksiyon ve separasyon olmak üzere üç ana adımdan oluşmaktadır (Nayak vd., 2024).

2.6 Ultrasonik Destekli Ekstraksiyon

Ultrasonik destekli ekstraksiyon (UAE), son yıllarda yeşil ekstraksiyon teknolojileri arasında öne çıkan, çevre dostu ve ekonomik bir yöntem olarak kabul edilmektedir. Sıvı ortamlarda yayılan

ultrasonik dalgalar kavitasyon adı verilen bir fiziksel oluşuma sebebiyet verirler. Kavitasyon sürecinde mikro kabarcıkların ani çökmesiyle yüksek sıcaklık ve basınç farklılıkları meydana gelir. Oluşan bu mikro şok dalgaları, bitki hücre duvarlarının yapısını bozar ve hücre içeriğinde bulunan fenolik bileşikler, flavonoidler, karotenoidler ve diğer biyoaktif maddelerin çözücüye geçişini kolaylaştırır (Chemat & Strube, 2015).

Ultrasonik ekstraksiyonun en büyük avantajı, işlem süresini ve enerji tüketimini azaltarak daha kısa sürede daha yüksek verim elde edilmesine olanak tanımasıdır. Ayrıca düşük sıcaklıkta çalışılması sonucu ısıya duyarlı bileşiklerin (örneğin askorbik asit, antosiyaninler) stabilitesi korunmuş olur. Bu durum, özellikle antioksidan kapasitesi yüksek fenolik bileşiklerin geri kazanımında kritik önem taşımaktadır (Razola-Díaz vd., 2020; Demirkol vd., 2018).

UAE yönteminde ekstraksiyon verimini etkileyen parametreler: ultrasonik güç, frekans, süre, sıcaklık, çözücü tipi ve bitki matriksinin partikül boyutudur (Demirkol vd., 2018). Maksimum verim alabilmek için bu parametrelerin optimize edilmesi çok önemlidir. (Akpabli-Tsigbe vd., 2022). Literatürde, etanol-su gibi çevre dostu çözücü sistemlerinin UAE ile birlikte kullanılması, toksik solvent ihtiyacını ortadan kaldırarak gıda ve farmasötik uygulamalar için güvenli ekstraktlar elde edilmesine olanak sağlamaktadır (Roobab vd., 2023).

2.7 Enkapsülasyon Teknolojileri

Biyoaktif bileşenlerin özellikle fenolik bileşiklerin gıda formülasyonlarında doğrudan kullanımı düşük stabilite, düşük çözünürlük, istenmeyen tat/aroma, çevresel koşullara duyarlılık, düşük biyoyararlılık gibi olası sebeplerden ötürü genellikle uygun değildir. Bu nedenle, bu bileşenlerin kontrollü salınım ve stabilite sağlamaları için uygun taşıyıcılar içerisinde konumlandırılarak enkapsülasyon uygulaması yapılması son derece önemli hale gelmiştir (Rezagholizade-Shirvan vd., 2024; Munteanu & Vasile, 2021).

Enkapsülasyon (mikroenkapsülasyon ve nanoenkapsülasyon) teknikleri sayesinde biyoaktif bileşenler dış etkenlere karşı korunur, mide-bağırsak ortamında hedefe yönelik salımı sağlanır ve ürünlerin raf ömrü uzatılabilir. Ayrıca tat ve kokusu sebebiyle istenmeyen bileşiklerin maskelenmesi, fonksiyonel gıdaların duyu kalitesini iyileştirmede önemli rol oynar. Bu teknikler aynı zamanda farklı kontrollü salım profilleri sunarak bileşiklerin vücutta emilimini düzenlemeye yardımcı olur (Fathi vd., 2014).

2.8 Elektroëğirme

Elektroëğirme (electrospinning, elektrospun), polimer çözeltilerinden nanoliflerin üretimi için kullanılan ve son yıllarda gıda, biyomedikal, farmasötik ve çevresel uygulamalarda yaygınlaşan bir teknolojidir (Bhardwaj & Kundu, 2010). Bir elektroëğirme düzeneği 4 ana elemandan oluşmaktadır: güç

kaynağı (yüksek voltajda), besleme birimi (şırınga, metal iğne vb.), toplayıcı ünite (topraklanmış plaka, silindir vb.) ve polimer çözeltisidir (Ramakrishna vd., 2005). Bu yöntemde yüksek voltaj uygulanarak polimer çözeltisinin bir iğne ucundan kollektöre yönlendirilmesi sağlanır (Greiner & Wendorff, 2007). Elektrostatik kuvvet çözeltinin yüzey gerilimini aşarak bir Taylor konisi oluşturur ve bu koniden ayrılan ince bir sıvı jet, uçuş süresince solventin buharlaşmasıyla katı bir lif formuna dönüşür (Tam vd., 2017). Oluşan nanoliflerin çapları 3 nm'den 1 mikron ve üzeri olacak şekilde değişen kalınlıklarda elde edilebilmektedir (Huang vd., 2003).

Son yıllarda sıkça kullanılan bu yeni enkapsülasyon teknolojisi elektroegirme ile nanolif elde edilebilmektedir. Biyoaktif bileşenlerin yüksek yüzey alanına imkan sağlayan bu nanolif yapılar, hedef bileşenlerin daha etkin taşınmasını sağlamaktadır. Fonksiyonel gıda üretimleri haricinde aktif ambalaj sistemleri ve ilaç taşıma uygulamaları gibi farklı alanlarda da yaygın olarak kullanılabilen yapılar elde edilebilmektedir (Aydogdu Emir vd., 2021; Nadaf vd., 2022; Demir vd., 2023). Elektroegirme yöntemi, özellikle fenolik bileşikler gibi oksidasyona duyarlı maddelerin korunması ve stabilizasyonu için önemli bir taşıyıcı sistem sunmaktadır (Ghorani & Tucker, 2015). Fenolik bileşikler, antioksidanlar, esansiyel yağlar, vitaminler veya renk verici antosiyaninler gibi oksidasyona ve ışığa duyarlı aktif maddeler polimerik bir lif matrisine fiziksel olarak hapsolür. Bu sayede bileşenlerin kimyasal stabilitesi artar, oksidatif bozunma gecikir ve acı/buruk tat gibi duyusal olumsuz etkiler doğrudan ürüne geçmesi engellenebilir (Bhushani & Anandharamakrishnan, 2014; Ghorani & Tucker, 2015). Yüksek yüzey alanı/hacim oranına sahip bu nanolif yapılar aynı zamanda hedef bileşenin salım hızını ayarlamayı kolaylaştırmaktadır. Örneğin antimikrobiyal veya antioksidan bir bileşenin gıdanın raf ömrü boyunca kademeli olarak serbest bırakılması sağlanabilir (Bhushani & Anandharamakrishnan, 2014). Bu durum klasik toz formülasyonlara kıyasla daha kontrollü, işlevsel ve formülasyon içi homojen dağılım sunar (Bhardwaj & Kundu, 2010).

Elektroegirme tekniği gıda bileşenlerini sadece taşımak için değil, aynı zamanda aktif ve akıllı ambalaj sistemleri geliştirmek için de kullanılmaktadır. Elektroegirme ile üretilen aktif ambalaj filmleri antimikrobiyal ajanlar, doğal fenolikler veya uçucu bileşikler gibi koruyucu maddeleri lif yapısında tutarak, gıdanın yüzeyine kontrollü salım yoluyla mikrobiyal büyümeyi baskılayabilir ve oksidatif bozulmayı yavaşlatabilir (Min vd., 2022; Zhang vd., 2023). Bu durum özellikle et, balık ve taze sebze meyve gibi bozulmaya hassas ürünlerde raf ömrünü uzatmak amacıyla kullanılmakta olup literatürdeki uygulamalarda polifenol yüklü elektroegirme liflerin oksidasyonu yavaşlattığı, mikrobiyal yükü azalttığı ve ürünün renk ve aroma stabilitesini daha uzun süre koruduğu bildirilmiştir (Yildiz vd., 2022; Günal-Köroğlu vd., 2025; Sun vd., 2025). Bu tip aktif kompozit filmler sadece koruma sağlamaz aynı zamanda gıdanın tazelik durumunu izleyen pH duyarlı veya uçucu bileşen duyarlı renk değişimleri gibi akıllı (indikatörlü) ambalaj çözümlerine de uyarlanabilmektedir. Bu bağlamda akıllı ambalajlarda

elektroegirme lifler, hem sensör fazını (ör. antosiyanin bazlı renk indikatörü) hem de koruyucu fazı tek bir yapı içinde taşıyabilmektedir (Zhang vd., 2023; Sun vd., 2025).

Gıda ambalajında önemli bir güncel eğilim de sürdürülebilirliktir. Geleneksel aktif ambalaj filmleri çoğunlukla petrol türevi polimerlere dayanmaktadır. Bu malzemelerin biyobozunurlukları sınırlıdır ayrıca bu malzemeler gıda ile temas güvenliği açısından tüketicinin tercih etmekte mesafeli durduğu ürünler arasında yer almaktadır. Bu nedenle son yıllarda biyobozunur ve yenilenebilir kaynaklı polimerlerin (örneğin kitosan, jelatin, nişasta, selüloz türevleri, polilaktik asit, polihidroksialkanoatlar) elektroegirme ile nanolif formuna dönüştürülmesi ön plana çıkmıştır (Aydogdu vd., 2018; Yang vd., 2025; Topuz, 2024). Kitosan ve jelatin gibi biyopolimerler doğal olarak antimikrobiyal veya oksijen bariyeri sağlayıcı özellik gösterebildiğinden bu polimerlerden elektroegirme ile hazırlanan nanolif tabakalar tek başlarına dahi gıdanın yüzey oksidasyonunu ve mikrobiyal bozulmayı yavaşlatma kapasitesine sahip olabilmektedir (Yang vd., 2025). Buna ek olarak sürdürülebilir biyopolimerlerin elektroegirme işleminde kullanılması, klasik çözücü sistemlerine göre daha temiz etiketli (clean-label) ambalaj tasarımlarına doğru bir geçişi desteklemekte ve endüstrinin tek kullanımlık sentetik ambalajlara olan bağımlılığını azaltma potansiyeli taşımaktadır (Topuz, 2024; Yang vd., 2025). Bu yaklaşım, gıda endüstrisinde hem fonksiyonel hem de çevresel açıdan kabul gören biyobozunur aktif ambalaj kavramını güçlendirmektedir.

Bütün bu avantajlara rağmen elektroegirme tabanlı sistemlerin doğrudan endüstriyel gıda hatlarına entegrasyonu ile ilgili hala bazı teknik sınırlamalar mevcuttur. Laboratuvar ölçeğinde elektroegirme genellikle tek bir iğne/nozul üzerinden düşük debide yürütülür ve bu durum üretim hızını kısıtlar. Gıda ve ambalaj sektörünün talep ettiği sürekli ve geniş yüzeyli üretim için çoklu iğne sistemleri, iğnesiz (needleless) elektroegirme başlıkları veya döner davlumbaz benzeri kolektör tasarımları gibi ölçek büyütme stratejileri geliştirilmektedir (Bhardwaj & Kundu, 2010; Min vd., 2022). Ayrıca gıdaya uygulanacak her polimer ve her çözücü, gıda ile temas mevzuatına, migrasyon sınırlarına ve duysal açıdan (koku/tat geçişi) güvenlik koşullarına uygun olmak zorundadır. Dolayısıyla bu durum, özellikle çözücü bazlı elektroegirme sistemlerinde regülasyon açısından hala tartışmalı bir noktadır (Bhushani & Anandharamakrishnan, 2014; Min vd., 2022).

Son dönemde yayımlanan kapsamlı değerlendirmeler, elektroegirme nanoliflerin sadece fonksiyonel gıda bileşeni taşıyıcıları değil, aynı zamanda antimikrobiyal yüzeyler, akıllı tazelik kontrol sensörleri ve raf ömrünü uzatan aktif bariyer filmlerinin yapı taşı olarak pratik olarak uygulanabilir bir platform haline geldiğini; dolayısıyla bu teknolojinin artık yalnızca laboratuvar ölçekli bir yeni teknik olarak değil, gıda zincirinin raf ömrü yönetimi stratejisinin bir bileşeni olarak görülmeye başladığını vurgulamaktadır (Sun vd., 2025; Günal vd., 2025).

Elektroegirme yönteminin başarısı; çözeltinin viskozitesi, iletkenliği, yüzey gerilimi gibi özelliklere ve işlem parametrelerin (voltaj, akış hızı, iğne-kolektör mesafesi) optimizasyonuna bağlıdır.

Ayrıca çevresel faktörler (örneğin ortam sıcaklığı ve nem) de lif morfolojisini doğrudan etkiler. Çözücü özelliklerinin polimer liflerinin homojenliği üzerinde belirleyici olduğu yapılan çalışmalarda gösterilmiştir (Tam vd., 2017; Uyar & Besenbacher 2008).

2.9 Nanoliflerin Gıda Uygulamaları

Lin vd. (2023), polisakkaritlerden üretilen elektroğirme nanoliflere farklı biyoaktif bileşenlerin enkapsülasyonu kapsamlı biçimde incelenmiştir. Liflerin üretim parametreleri polimer miktarı, çözücü, voltaj ve akış hızı optimize edilmiştir. Lif morfolojisi taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile yüklenen bileşenlerin salınım davranışları UV-spektrofotometreyle değerlendirilmiştir. Sonuçlar liflerin yüksek yükleme verimi sağladığı ve biyoaktiflerin kontrollü şekilde 10-15 güne kadar salındığını göstermiştir. Ayrıca doğal polisakkaritlerin ısı, ışık ve oksidasyondan korunduğu saptanmıştır (Lin vd., 2023).

Yapılan bir çalışmada polifenol yüklü elektroğirme nanoliflerin gıda sistemleri üzerine kullanımı araştırılmıştır. Bitkisel kaynaklı fenol ekstraktlar PVA ve jelatin matrislerine yüklenmiş ve nanolif üretimi yapılmıştır. Bu nanolifler fizikokimyasal özellikleri, toplam fenolik içeriği, antioksidan kapasitesi ve salım profilleri incelenmiştir. Bulgulara göre, nanolif içerisinde antioksidan etkinin uzun süre devam ettiği ve fonksiyonel gıdalara doğal antioksidan kazandırmada etkili bir taşıyıcı sistem olduğu ortaya konmuştur (Günel vd., 2025).

Bir başka çalışmada biyokütle kaynaklı polimerlerden (PLA, jelatin, lignin, zein ve kitosan) elektroğirme ile üretilen aktif nanoliflerin antioksidan ve antimikrobiyal özellikleri incelenmiştir. Nanoliflere fenolik bileşikler ve esansiyel yağlar yüklenmiş, karakterizasyon için SEM, FTIR, DPPH ve ABTS analizleri yapılmıştır. Bu nanolifler çeşitli gıdaların yüzeyinde aktif ambalaj tabakası olacak şekilde test edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre elektroğirme lifleri oksidasyonu geciktirerek tekstür ve renk özelliklerinin korunmasını sağlamıştır. Aynı zamanda mikrobiyal gelişimi yavaşlatarak raf ömrünü uzattığını göstermiştir (Topuz & Uyar, 2024).

Bir çalışmada polisakkarit bazlı elektroğirme nanoliflerin aktif ve akıllı ambalaj uygulamalarındaki potansiyeli incelenmiştir. Nişasta, kitosan ve alginat gibi biyobozunur polisakkaritler doğal renklendiriciler ile elektroğirme tekniği kullanılarak nanoliflere dönüştürülmüş ve üretilen liflerin mekanik dayanımı, bariyer özellikleri, morfolojik özellikleri değerlendirilmiştir. Renk stabiliteleri ve pH duyarlı renk değişimi gibi akıllı ambalaj işlevleri incelenmiştir. Araştırma sonucu liflerin antioksidan ve antimikrobiyal aktiviteyi sağlamakla kalmadığını aynı zamanda gıdanın bozulması ile ilişkili pH değişiminin görsel yanıt gösterebildiğini ortaya koymuştur. Bu durum elektroğirme ile

Üretilen liflerin doğal etiketli ve tüketiciye indikatör görevi gören akıllı ambalaj olarak kullanılabileceğini vurgulamaktadır (Amorim vd., 2024).

Yörüksoy vd. (2024) tarafından oleuropein ile zenginleştirilmiş kitosan nanoliflerin aktif ambalaj malzemesi olarak kullanılabilirliğini deneysel açıdan incelenmiştir. Bu çalışmada zeytin yapağı ve yan ürününde bulunan fenolik bileşen oleuropein, kitosan çözeltisi ile formüle edilmiş ve nanolif yapılarına dnştrlmştir. Liflerin yapısal zellikleri SEM ve FTIR ile karakterize edilmiş, antimikrobiyal aktivite ve antioksidan kapasite analizleri gerçekleştirilmiştir. Bulgular göstermiştir ki oleuropein yüklenmiş nanoliflerin biyofonksiyonel özellikleri belirgin şekilde artmış, lif yüzeyi ile temas eden gıdalarda mikrobiyal büyümenin baskılanması ile raf ömrünün uzatılabileceği belirtilmiştir (Yörüksoy vd., 2024).

Literatürde kuşburnu yan ürünlerinin biyoaktif bileşen kaynağı olarak değerlendirilmesine ilişkin çalışmalar oldukça sınırlıdır. Bu tez çalışması ile fenolik açıdan zengin yağsız kuşburnu çekirdeği posasının düşük konsantrasyonda PVA içeren nanolif sistemlerine elektroeğirme ile entegre edilmesi amaçlanmıştır. Üretim parametreleri Yüzey Yanıt Metodolojisi (YYM) ile optimize edilmiş, elde edilen nanolifler morfolojik ve yapısal özellikleri açısından bütüncül olarak değerlendirilmiştir. Bu çalışmayla hem sürdürülebilir hammadde kullanımı hem de aktif gıda ambalajlama materyali olarak kullanım potansiyeli açısından, gıda endüstrisi atıklarının katma değeri yüksek fonksiyonel ürünlere dönüştürülmesine yönelik özgün bir yaklaşım sunulmaktadır.

3 MATERYAL VE YÖNTEM

3.1 Materyal

Çalışmada kullanılan yağsız kuşburnu press keki Tokat'ın Niksar ilçesinde bulunan Kaynarlar Besicilik Tarım Ürünleri firmasından temin edilmiştir. Kuşburnu yağsız press keki analiz edilene kadar -20°C'de muhafaza edilmiştir.

3.2 Yöntem

3.2.1 Ekstraksiyon aşamalarının belirlenmesi

Kuşburnu posasından biyoaktif maddeler elde edilirken araştırmacılar tarafından kullanılan temel çözücüler etanol, dietil eter, kaynar su, butanol, etil asetat, heksan ve metanoldür. Yapılan birçok çalışmada metanol, çeşitli materyaller dahil olmak üzere bitki ekstraksiyonunda iyi bir çözücü olarak bildirilmiştir. Bu çalışmada ekstraksiyon ön denemeleri için metanol, etanol ve su kullanılmıştır.



Şekil 3.1: Ekstraksiyon ön denemeleri

Öncelikle kuşburnu yağsız pres keki öğütücüde toz haline getirilmiş ve 2.00 mm elekten geçirilmiştir. Ekstraksiyon için:

- Metanol:su (50:50) karışımı hazırlanmıştır. 20 g toz halindeki kuşburnu pres keki tartılmış üzerine 60 mL bu karışımdan ilave edilmiştir.

- Etanol:su (75:25) çözeltisi hazırlanmıştır. 20 g toz halindeki kuşburnu pres keki tartılmış üzerine 60 mL bu karışımdan ilave edilmiştir.

- 20 g öğütülmüş kuşburnu pres keki örneğinden tartılmış üzerine 60 mL saf su ilave edilmiştir.

Toz haline getirilen yağsız kuşburnu atık posası Hielscher marka, UP400St model ultrasonikasyon cihazı 40°C, 45°C ve 50°C 'de sırasıyla 30, 20, 15 dakika farklı çözücüler kullanılarak (metanol, etanol ve su) sonike edilmiştir (Şekil 3.1). Ultrasonik dalgalarla tozun hücre duvarında bozunmayı artırarak klasik tekniklere kıyasla daha kısa sürede daha yüksek verimle ekstraksiyonun yapılması amaçlanmıştır. Daha sonra 4500 rpm de 25°C'de 15 dakika santrifüjlenmiş (Hettich, model 320 R, Tuttlingen, Germany), filtrat kaba filtre kağıdı ile süzölmüştür. Süzöntü rotary evaporatörde buharlaştırılarak konsantre hale getirilmiştir (Şekil 3.2). Konsantre ekstrakt dondurularak kurutma (Teknosem) işlemine tabi tutulmuş ve elde edilen toz ekstraktlar kullanılabilecek kadar +4°C'de muhafaza edilmiştir.



Şekil 3.2: Ekstraktların konsantre edilmesi

Ön deneme çalışması için 3 farklı çözücü 3 farklı sıcaklıkta ultrasonikasyon cihazında sonike edilmiş ve yukarıda belirtilen aşamalar uygulanmıştır. Elde edilen 9 adet örnek (toz ekstraktlar) için ABTS, DPPH, Toplam Fenolik Madde Tayini, C Vitamini analizleri yapılmıştır. Bu sonuçlar doğrultusunda en yüksek verim alınabilecek çözgen türü ve ekstraksiyon sıcaklığı belirlenmiştir.

3.2.2 Kuşburnu pres keki bileşim analizleri

3.2.2.1 Yağ tayini

Öğütülmüş kuşburnu tozu örneklerinin % yağ miktarları Soxhlet metodu ile belirlenmiştir (Luque de Castro & García-Ayuso, 1998). Ekstraksiyon için kullanılmak üzere balon jojeler öncelikle etüvlenmiş ve desikatörde sabit tartıma getirilmiştir. Örneklerden 5 g tartılıp Soxhlet ekstraksiyon kartuşuna alınmış ve kartuş Soxhlet cihazına (Daihan Scientific, WHM 12295) yerleştirilmiştir. Üzerine 300 mL hekzan eklenerek 4-5 saat yağ ekstraksiyonu gerçekleştirilmiştir. Çözücü rotary evaporatörde (BUCHI rotavapor R-300) 40°C 200-250 mbar vakumda uzaklaştırılmıştır. 103°C 1 saat de etüvde bekletilen yağ balonları desikatöre alınıp oda sıcaklığına ulaştığında tartım gerçekleştirilmiştir. Örneklerin % yağ miktarı aşağıdaki denklem ile hesaplanmıştır.

$$\% \text{Yağ miktarı} = \frac{m_2 - m_1}{m_o} \times 100 \quad (3.1)$$

m_o = Alınan Örnek Miktarı(g)

m_1 = Yağ balonu darası(g)

m_2 = Yağ + Yağ balonu (g)

3.2.2.2 Kül tayini

Öğütülmüş kuşburnu tozu örneğinden 3 g kullanılmıştır. Analiz için krozeleri öncesinde etüvlenmiş ve desikatörde sabit tartıma getirilmiştir. Örnek krozelere alınıp kül fırınına (Carbolite, Elf 11, UK) yerleştirilmiş ve 550°C de 6 saat yakılmıştır. % Kül oranları aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanmıştır (AOAC 923.03).

$$\% \text{Kül miktarı} = \frac{m_2 - m_1}{m_o} \times 100 \quad (3.2)$$

m_o = Alınan Örnek Miktarı(g)

m_1 = Sabit tartımdaki kroze ağırlığı (g)

m_2 = Kül miktarı + Sabit tartımdaki kroze ağırlığı (g)

3.2.2.3 Nem tayini

Darası alınmış kaplara öğütülmüş kuşburnu tozu örneğinden 3 g tartılmıştır. Etüvde 105±2°C tutulmuştur. % Nem oranı eşitliğe göre hesaplanmıştır (AOAC 925.10).

$$\% \text{Nem miktarı} = \frac{m_2 - m_1}{m_o} \times 100 \quad (3.3)$$

m_o = Alınan Örnek Miktarı(g)

m_1 = Örnek miktarı + Sabit tartımdaki kabın ağırlığı (g)

m_2 = Kurumuş örnek miktarı + Sabit tartımdaki kabın ağırlığı (g)

3.2.2.4 Protein tayini

Örneklerin protein miktarların saptanması amacıyla Kjeldahl yöntemi uygulanmıştır (AOAC, 2005). Bu yöntem ile örnek içerisindeki toplam azot miktarı belirlenmektedir. 0,1 g örnek tartılmış üzerine katalizör (CuSO₄:K₂SO₄; 1:30 oranda karışımı) ilave edilmiş 10 mL H₂SO₄ eklenerek yakma ünitesinde alınmıştır. Yakma işleminde açık yeşil veya sarı renk oluşumu görüldüğünde işlem sonlandırılmıştır. Soğuma sonrası 0,1 N HCl ile yeşil renkli destilata mor rengi alana dek titrasyon yapılmıştır. % Azot miktarı denkleme göre hesaplanmıştır.

$$\% \text{Azot} = \frac{(V_1 - V_o) \times N \times 0,014}{m} \times 100 \quad (3.4)$$

V_1 =Titrasyonda harcanan çözelti (mL)

V_o =Kör titrasyonda harcanan çözelti (mL)

N =Titrasyon için kullanılan çözelti normalitesi

m =Alınan örnek miktarı (g)

3.2.3 Ekstraksiyon ön denemeleri ve optimize edilmiş ekstrakt için uygulanan analizler

3.2.3.1 DPPH

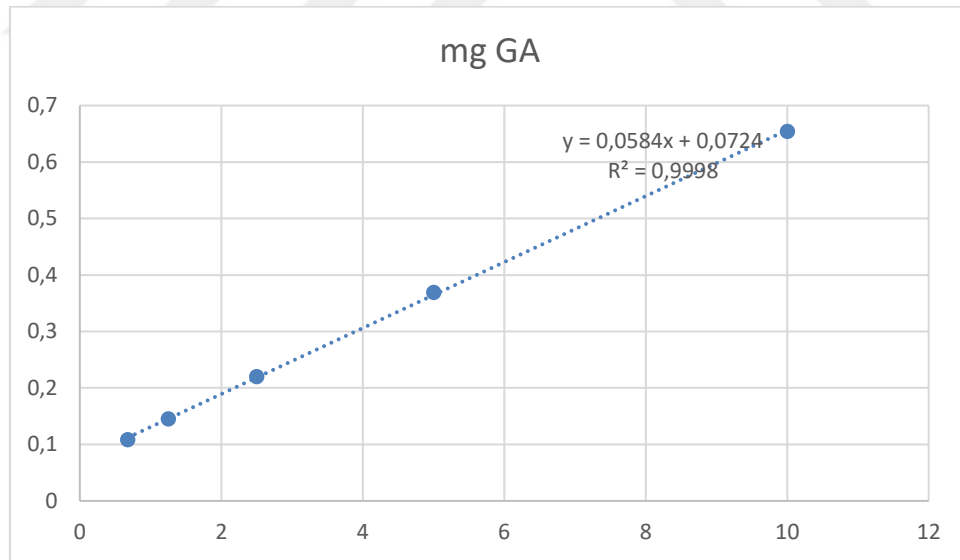
Örneklerin (ekstraktların) serbest radikal süpürme etkinliği belirlenmesinde DPPH (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl) radikali yöntemi için İncili vd. (2023)'de belirtilen metotta bazı modifikasyonlar yapılarak uygulanmıştır. DPPH solüsyonu 2,5 mg DPPH'nin 100 mL metanol içinde çözülmesiyle elde edilmiştir. 5 mg örnek 2 mL metanolla karıştırılarak 13500 rpm ve 4°C'de 10 dakika santrifüj edilmiş ve buradan alınan 100 µL sıvı ile 3900 µL DPPH solüsyonu karıştırılmıştır. 45 dakika oda sıcaklığında bekletildikten sonra UV-Spektrofotometre (Shimadzu UV-1800)'de 515 nm'de absorbans ölçümü yapılmıştır. Sonuçlar mg Trolox eşdeğer antioksidan kapasitesi (TEAK) olarak ifade edilmiştir.

3.2.3.2 ABTS

Re vd. (1999) tarafından kullanılmış olan ABTS inhibisyon etkisi tayini yöntemine göre belirlenmiştir. ABTS radikali oluşturmak için 7 mM ABTS (2,2-azinobis (3-etilbenztiazolin-6-sülfonik asit diamonyum tuzu) ile 2,45 mM potasyum persülfat karıştırılarak 12-16 saat karanlıkta bekletilmiştir. Bu karışımdan elde edilen radikal çözeltisi etanol ile seyreltilerek 0,700±0,020 absorbansa (734 nm) ayarlanmıştır. Örnek çözeltiden 100 µL alınıp 2,4 mL ABTS çözeltisi ile karıştırılmıştır. 10 dakika karanlıkta bekletildikten sonra absorbans 734 nm'de UV-Spektrofotometrede (Shimadzu UV-1800) ölçüm yapılmıştır. Sonuçlar mg Trolox eşdeğer antioksidan kapasitesi (TEAK) olarak ifade edilmiştir.

3.2.3.3 Toplam fenolik madde tayini

Analizde kullanılan çözeltiler suda hazırlanan %2 (w/v) Na₂CO₃ (Sodyum karbonat) ve Folin-Ciocalteu kimyasallarıdır. Seyreltilmiş örneklerden 400 µL alınmış üzerine 400 µL Folin/Su(1:1) çözeltisi ilave edilmiştir. Vortekste 1 dk karıştırıldıktan sonra 5 dk karanlıkta bekletilmiştir. Daha sonra üzerine 400 µL %2'lik Na₂CO₃ ilave edilmiştir ve oda sıcaklığında 2 saat karanlıkta bekletilmiştir. Spektrofotometrede 765 nm'de (Shimadzu UV-1800, Kyoto, Japan) ölçümler alınmıştır. Farklı konsantrasyonlarda Gallik asit hazırlanarak kalibrasyon eğrisi çizilmiş ve sonuçlar mg GAE/L olarak verilmiştir (Şekil 3.3) (İncili vd., 2022).



Şekil 3.3: Toplam fenolik kalibrasyon eğrisi

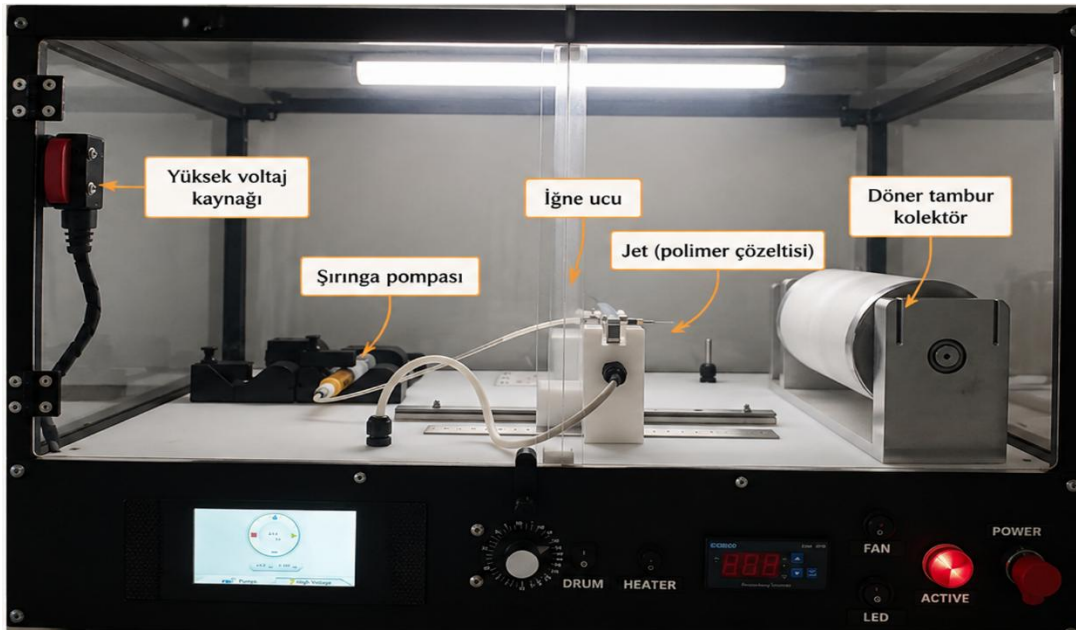
3.2.3.4 C vitamini içeriği

C vitamini analizinde kullanılan HPLC sistemi olarak Shimadzu Corporation, Kyoto, Japonya kullanılmıştır. Örnekler 0,45 mikron PTFE membran filtreden geçirilerek ve analiz edilmiştir. Kromatografik şartlar için izokrotik sistem kullanılmış, mobil faz %0,1 formik asit, kolon akış hızı 1 mL/dakika, enjeksiyon hacmi 10 µL, kolon sıcaklığı 25°C ve dedeksiyon dalga boyu 245 nm olarak ayarlanmıştır. 1, 5, 20, 50 ve 100 ppm (milyonda bir konsantrasyon) lik standart grafiğe karşı okuma yapılmıştır.

3.2.4 Elektroegirme işlemi deney tasarımı

Çalışmanın bu aşamasında nanolif eldesi için öncelikle toz formda olan %87-90 oranında hidrolize edilmiş (Merck, Darmstadt, Germany) polivinil alkol polimeri (PVA) kullanılmıştır. Homojen bir besleme çözeltisi elde etmek amacıyla %7 (a/h) PVA 5 saat boyunca 120°C'de 750 rpm'de manyetik karıştırıcıda çözünmesi sağlanmıştır.

Elektroegirme işleminde kullanılan besleme çözeltileri, PVA esaslı olarak hazırlanmıştır. Fenolik ekstraktın polimer matris içerisinde daha homojen dağılmasını sağlamak ve çözeltinin asidik karakterini düzenlemek amacıyla besleme çözeltisine düşük molekül ağırlıklı bir organik asit olan tartarik asit ilave edilmiştir. Tartarik asit, çoklu karboksil grupları sayesinde polimer zincirleri ve fenolik bileşikler arasında hidrojen bağları oluşturabilmekte ve bu sayede çözeltinin fizikokimyasal özelliklerini dolaylı olarak etkileyebilmektedir (Şekil 3.4).



Şekil 3.4: Elektroegirme sistemi ve temel bileşenleri

Ekstrakt içeren besleme çözeltileri için Yüzey Yanıt Metodolojisi (YYM) kullanılarak optimizasyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Yapılan çalışmalar sonucunda elde edilen nanoliflerin yapısı (çapı, boncuksuz ve homojen yapıda olması vb), elektroegirmede uygulanan voltaj, şırınga ile toplayıcı plaka arasındaki mesafe, hazırlanan çözeltinin akış hızı ve konsantrasyonu gibi parametrelerdeki değişkenlere bağlıdır. Bu parametrelerin optimizasyonu için YYM ve Box-Behnken tasarımı kullanılmıştır.

Deney tasarımı YYM'e göre gerçekleştirilmiş ve kullanılan bağımsız değişkenler; mesafe (cm), uygulanan voltaj (kV), akış hızı (mL/h) olarak belirlenmiştir. Bu parametrelerin farklı kombinasyonları kullanılarak 17 deney koşulu oluşturulmuştur. Elde edilen nanolif örneklerinde toplam fenolik madde(TPC), % enkapsülasyon etkinliği (EE), % enkapsülasyon verimi (EV) verileri belirlenmiş ve elde edilen bulgular Design-Expert programına girilerek model oluşturulmuştur. YYM analizi sonucunda TPC, EE ve EV yanıtlarının birlikte maksimize edildiği çoklu yanıt optimizasyonu (desirability) ile optimum parametre koşulları belirlenmiştir. Bu kapsamda optimum koşullar için seçilen iki nanofiber Rosehip Nanofiber (RNF) olarak adlandırılmıştır. RNF-1 mesafe 10 cm, voltaj 24 kV ve akış hızı 1,0 mL/h koşullarında, RNF-2 ise mesafe 13 cm, voltaj 24 kV ve akış hızı 0,7 mL/h koşullarında üretilmiştir. Bu koşullarda üretilen ekstrakt içeren nanolifler RNF-1 ve RNF-2; ekstrakt içermeyen kontrol nanofiberleri ise CNF-1 ve CNF-2 olarak kodlanmış ve karakterizasyon analizlerinde kullanılmıştır.

3.2.5 Besleme çözeltisi pH ve elektriksel iletkenlik ölçümleri

Hazırlanan çözeltilerin pH ölçümü Mettler Toledo (Mettler Toledo, SevenCompact, S220, İsviçre) masaüstü tip cihazla yapılmıştır. Çözeltinin elektrik iletkenlikleri ise AGB-1001 İletkenlik Ölçüm Cihazıyla $\mu\text{S}/\text{cm}$ cinsinden ölçülmüştür. Ölçümler 3 tekrarlı olacak şekilde $25\pm 2^\circ\text{C}$ de gerçekleştirilmiştir.

3.2.6 Besleme çözeltisinin viskozite ölçümü

Solüsyonların reolojik özellikleri, koni ve plaka geometrisi (4° koni, 40 mm çap ve 1 μm boşluk) ile donatılmış kontrollü bir gerinim reometresi (AntoPaar Physica MCR 301) ile ölçülmüştür. Kayma gerilimi verileri, 25°C 'de 0,1 ila 100 s^{-1} arasında kontrollü bir kayma hızında elde edilmiştir. Kayma gerilimi verileri kayma hızına göre kaydedilmiş ve ölçümler 3'er paralel halinde yapılmıştır.

3.2.7 Besleme çözeltisinde renk ölçümü

Besleme çözeltilerinin renk ölçümleri Konica minolta CR-5 masa tipi kolorimetre (Konica Minolta, Japonya) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Cihaz sıvı veya yarı akışkan numunelerde yansıtma-transmisyon modunda çalışabilen ve ölçüm sonucunu doğrudan L^* (parlaklık/açıklık), a^* (kırmızı(+), yeşil(-)), b^* (sarı(+), mavi(-)) değerlerini veren bir renk analiz sistemidir. Ölçümlerden önce cihaz

talimatlarına göre kalibre edilmiş, her bir örnek homojen hale getirildikten sonra numune haznesine yerleştirip birden fazla okuma yapılmış ve değerler kaydedilmiştir (Walkins vd., 2024).

3.2.8 Besleme çözeltisinde toplam fenolik madde tayini

3.2.3.3 Toplam Fenolik Madde Tayini metodu uygulanarak toplam fenolik madde tayini analizi gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar mg GAE/L olarak verilmiştir (İncili vd., 2022).

3.2.9 Elektroğırme nanofiberlerin karakterizasyonu

3.2.9.1 Nanolif tekstür analizleri

Nanolif numuneleri çekme özellikleri, Texture Anayzer cihazı (TA, XT' plus C, Stable Micro Systems) ve cihaza entegre Textur Exponent yazılımı (v.8.0.6.0) kullanılmıştır. Ölçüm için her bir örnek sırasıyla iki kelepçe arasına sabit uzunlukta yerleştirilmiş ve liflerin çekme direnci ile uzama miktarı değerleri kaydedilmiştir. Her bir örnek grubu için 3'er tekrarlı ölçüm yapılmış ortalama sonuçlar hesaplanmıştır (Boonpratum vd., 2022).

3.2.9.2 Nanoliflerin FT-IR analizi

Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi katı, sıvı veya gaz bir maddenin soğurma ve emisyon kızılötesi spektrumunun elde edildiği bir spektroskopi tekniğidir. Bu yöntemin temeli, molekül içi bağlar üzerine düşürülen kızılötesi ışınların, bağların titreşim ve dönme hareketleri ile soğurulmasına dayanmaktadır. Nanolifler FTIR spektrometresi (Spectrum 100, Perkin-Elmer, ABD) kullanılarak analiz edilmiştir. Numuneler 4000 cm^{-1} ile 600 cm^{-1} arasındaki spektrumlarda taranmıştır. Molekül içi bağların ve molekül yapısının belirlenmesi ile molekül içi fonksiyonel grupların incelenmesi gerçekleştirilmiştir. Molekül yapısı ve fonksiyonel gruplar belirlenmiş, elde edilen spektrumlar literatürde bildirilen benzer elektroğırme nanolif çalışmaları dikkate alınarak yorumlanmıştır (Zeren vd., 2022).

3.2.9.3 Nanoliflerin morfolojik analizleri

Morfolojilerinin incelenmesi için SEM cihazı kullanılmıştır. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) ile analiz edilerek, ortalama lif çapları hesaplanmıştır. Critical Point Drier (model K850, Quorum Technologies Ltd., Sussex, UK) cihazında kurutulduktan sonra ve SEM için hazır hale getirilmiştir. Örnekler, SEM tablasına yerleştirilmeden önce çok ince (20-30 nm) altın-palladyum ile kaplanmıştır (BAL-TEC, Model SCD 050; Baltec Inc., Liechtenstein) ve SEM tablasına yerleştirilmiştir. SEM'deki (LEO, EVO 40 Model, Carl Zeiss SMT, Oberkochen, Germany) ölçümler 20 kV'da gerçekleştirilmiştir ve mikro fotoğraflar 1000, 2500, 5000, 7000, 10000 kez büyültülerek kaydedilmiştir (Hayaloğlu vd., 2010).

3.2.9.4 Nanoliflerin diferansiyel taramalı kalorimetri analiz (DSC)

Nanolif numunelerin termal geçiş davranışları diferansiyel taramalı kalorimetri (DSC) yöntemi kullanılarak belirlenmiştir. DSC analizleri, polimer esaslı malzemelerde cam geçişi ve diğier termal olayların değierlendirilmesinde yaygın olarak kullanılan bir tekniktir. Analizler için belirli miktarda nanolif numunesi alüminyum DSC kaplarına yerleştirilmiş ve kaplar hermetik olarak kapatılmıştır. Ölçümler, oksidatif etkileri önlemek amacıyla inert azot atmosferi altında gerçekleştirilmiştir. Numuneler, 25°C'den başlayarak 350°C'ye kadar dakikada 10°C sabit ısıtma hızıyla taranmıştır. Ölçümler sırasında elde edilen termogramlar, nanoliflerin cam geçiş sıcaklığı (T_g), düşük ve yüksek sıcaklıklarda gözlenen endotermik olaylar ile genel termal davranışlarının değierlendirilmesinde kullanılmıştır. Sonuçlar literatürde bildirilen benzer nanolif sistemleri ile karşılaştırılarak yorumlanmıştır (Zeren vd., 2022).

3.2.9.5 Nanoliflerin termogravimetrik analiz (TGA)

Termogravimetrik analiz, malzemelerde sıcaklığın veya zamanın malzemelerde sıcaklığın veya zamanın bir fonksiyonu olarak meydana gelen kütle kaybı ve/veya kazanımlarının belirlenmesinde kullanılan bir yöntemdir. Numunelerin termogravimetrik analizi eş zamanlı termal analiz cihazı (Mettler Toledo Model: TGA 3+) kullanılarak yapılmıştır. Analizde numuneler; azot atmosferinde (50mL/dk), oda sıcaklığından 600°C'ye kadar dakikada 10°C artış ile ısıtılmıştır. Ölçümler sırasında kütle değışimi (%w/w) eğrileri kaydedilmiştir (Mettler Toledo, 2021).

3.2.9.6 Nanoliflerin antioksidan aktivitesi

Nanoliflerin antioksidan aktiviteleri için 3.2.3.1 DPPH, 3.2.3.2 ABTS ve 3.2.3.3 Toplam Fenolik Madde ve FRAP metotları uygulanmıştır. Nanoliflerin fenolik madde içerikleri HPLC analizi ile belirlenmiştir.

FRAP

Analiz için 300 mM asetat tamponu (pH 3,6), 40 mM HCl'de çözülerek hazırlanan 10 mmol/L 2,4,6-tripiryidyl-s-triazine (TPTZ), 20 mmol/L FeCl₃.6H₂O çözeltileri hazırlandıktan sonra sırası ile 10:1:1 oranında karıştırılıp FRAP ayırıcı hazırlanmıştır. Karanlık ortamda oda sıcaklığında 30 dk bekletilmiştir. Seyreltilmiş 100 µL örnek için 2900 µL FRAP ayırıcı vorteks ile karıştırılmıştır. 37 °C'de 10 dk su banyosunda bekletildikten sonra elde edilen ferrus tripiridiltiazin kompleksi UV-Spektrofotometre (Shimadzu UV-1800)'de 593 nm'de ölçülmüştür. Sonuçlar mg Trolox/g olarak belirtilmiştir (İncili vd., 2023).

Fenolik madde içerikleri

Örneklerinin HPLC (Shimadzu Corporation, Kyoto, Japonya) ile fenolik madde analizi Kanmaz vd. (2023)'e göre yapılmıştır. Her örnek 0,45 µm PTFE filtreden geçirilmiştir. Daha sonra bir ODS-3 kolonu kullanılarak 20 µL'lik bir numune enjekte edilmiş ve kolon sıcaklığı 25°C'ye ayarlanmıştır. Mobil faz, ultra saf su (Mobil faz A) ve HPLC dereceli asetonitril (Mobil faz B) içindeki %0,1 fosforik asitten oluşacak şekilde hazırlanmıştır. Akış hızı 1 mL/dak, tanımlanan bileşenlerin 280, 320 ve 360 dalga boylarında elüsyon süreleri ve pik alanları belirlendikten sonra dış standartlara göre ppm değerleri rapor edilmiştir (Kanzmaz vd., 2023).

3.2.9.7 Nanoliflerin enkapsülasyon etkinliğinin belirlenmesi

Nanoliflerin biyoaktif bileşenleri kapsülleme etkinliği literatürde çalışılmış yöntemler esas alınarak belirlenmiştir (Ranveer vd., 2015; Shu vd., 2006). Elektroeğirme yöntemiyle üretilen nanolif örnekleri uygun çözücüde çözülmüş ve içerdiği toplam fenolik madde miktarları spektrofotometrik olarak ölçülmüştür (3.2.3.3 Toplam Fenolik Madde Tayini). Aynı yöntem kullanılan besleme çözeltisi için de uygulanmıştır. Nanoliflerdeki kapsüllenmiş ekstraktın kapsüllenme verimliliği yüzdesi, kapsüllenmiş ekstraktların toplam fenolik miktarı değerlerinin, kapsüllenmemiş lifler veya ekstrakt içeren çözelti değerlerine oranıyla belirlenmiştir.

Enkapsülasyon etkinliği (%EE)

$$\%EE = \frac{C}{D} \times 100 \quad (3.5)$$

C: Nanolifin fenolik madde miktarı (mg GAE/L)

D: Besleme çözeltisi fenolik madde miktarı (mg GAE/L)

Enkapsülasyon verimi (%EV)

$$\%EE = \frac{N_A}{N_B} \times 100 \quad (3.6)$$

N_A: Nanolif toplam kütlesi(g)

N_B: Besleme çözelti miktarı(g)

3.2.10 İstatistiksel analiz

Elektroğirme parametrelerinin optimizasyonu Yanıt Yüzey Metodu (YYM) kullanılarak gerçekleştirilmiş ve deney tasarımı Box-Behnken modeli ile oluşturulmuştur. Modelleme ve optimizasyon işlemleri Design-Expert yazılımı (Version 9.0) kullanılarak yapılmıştır. Deneysel verilerin istatistiksel değeriendirilmesi SPSS paket programı (Version 6.12) ile gerçekleştirilmiştir. Uygulamalar arasındaki farklılıkların belirlenmesinde varyans analizi (ANOVA) kullanılmış ve anlamlı farklılık bulunan gruplar Tukey çoklu karşılaştırma testi ile değeriendirilmiştir ($P<0,05$).



4 BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1 Bileşim Analizleri

Yağsız kuşburnu çekirdeği tozunun bileşim analizlerinin sonuçları Çizelge 4.1’de yer almaktadır. Protein oranı $7,98 \pm 0,23$; nem oranı $4,11 \pm 0,19$; kül oranı $2,44 \pm 0,19$ ve yağ oranı $7,57 \pm 1,60$ olarak bulunmuştur. Bu sonuçlara göre örneğin dikkate değer düzeyde aminoasit kaynağı olabileceği düşünülmektedir. Düşük düzeyde nem içeriği mikrobiyal gelişmeye ve bozulma riskine karşı dirençli olduğunu göstermektedir. Kül miktarı çekirdeğin mineralce zengin olduğunu gösteren bir değerdir. Kuşburnu çekirdeği üzerine yapılan çalışmalar; çekirdeğin K, Ca, Mg ve P gibi mineralleri ihtiva ettiğini göstermektedir (Stryjecka vd., 2024).

Rosa rugosa yağsız tohum fraksiyonlarında protein oranı $14,7 \pm 0,5$; kuru madde miktarı $94,8$ oranında olduğu rapor edilmiştir (Milala vd., 2023). *Rosa canina* çekirdeği ile yapılan bir çalışmada tohumların protein oranı $7,67 \pm 0,03$ kül oranı ise $1,96 \pm 0,02$ olarak belirlenmiştir (Stryjecka vd., 2024). İlyasoğlu (2014), kuşburnu çekirdeğinde $8,5-10,3$ arasında protein bulunduğunu bildirmiştir. Benzer şekilde Cingöz & Şahin (2023), Tokat yöresi kuşburnu çekirdeklerinde ortalama $12,93$ protein oranı saptamıştır. Bir başka çalışmada kuşburnu çekirdeğinde nemin $6,3$ ve proteinin $7,4$ olduğunu belirtmişlerdir. Aynı çalışmada kül oranı $2,3$ olarak saptanmıştır (Gül & Şen, 2017). Literatürde kuşburnu çekirdeği için nem oranı genellikle $3-6$ arasında raporlanmıştır (İlyasoğlu, 2014; Gül & Şen, 2017). Yapılan çalışmada belirlenen $4,11$ nem değeri literatürde bildirilen aralık içerisinde yer almakta olup, benzer çalışmalarla paralellik göstermektedir (Çizelge 4.1)

Yağsız kuşburnu çekirdeği tozunun analiz sonucunda içerdiği yağ oranı $7,57 \pm 1,60$ olarak belirlenmiştir. *Rosa canina* L. çekirdeğinin doğal olarak yağca zengin bir yapıya sahip olduğu literatürde rapor edilmiştir. Stryjecka vd. (2024), kuşburnu çekirdeğinin yağ içeriğini yaklaşık $6-8$ aralığında bildirmiştir (Stryjecka vd., 2024). Soğuk presleme yöntemiyle elde edilen kuşburnu çekirdeği yağının karakterizasyonunu inceleyen Grajzer vd. (2015), çekirdeğin yüksek yağ içeriği nedeniyle yağ eldesine uygun bir matris olduğunu ve presleme işlemi sonrasında belirli miktarda yağın kalabildiğini belirtmiştir (Grajzer vd., 2015). Yapılan bir başka çalışmada çekirdekte bulunan yağın önemli bir kısmının süperkritik CO_2 gibi ileri ekstraksiyon teknikleri ile elde edilmiş ve yağ oranı $14,5 \pm 0,7$ olarak belirlenmiştir (Salgın vd., 2016). Bu çalışmada elde edilen yağ değeri, presleme sonrası elde edilen kuşburnu çekirdeği press kekleri için literatürde bildirilen sonuçlarla uyumlu olduğunu göstermektedir.

Bu sonuçlar yağsız kuşburnu çekirdeğinin kayda değer düzeyde protein ve kül içeriğine sahip olduğundan fonksiyonel gıda bileşeni olarak değerlendirilebilecek potansiyelde olduğunu göstermektedir. Düşük nem içeriği uzun raf ömrüne sahip bir bileşen olduğunu ortaya koymaktadır.

Çizelge 4.1: Kuşburnu yağsız çekirdeği bileşim analizi (%) sonuçları

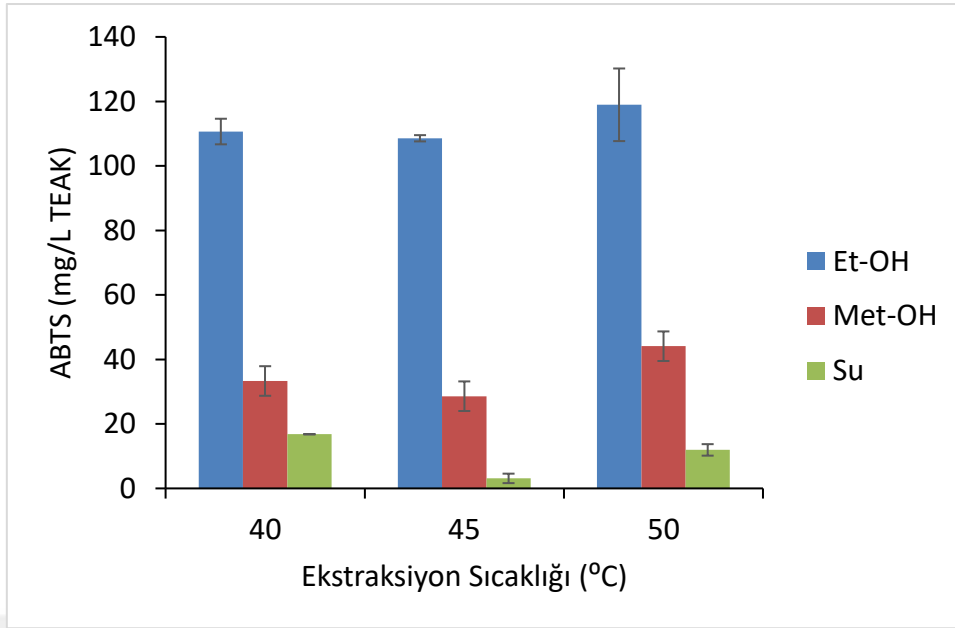
Parametre	Ortalama± SD
Protein	7,98±0,23
Nem	4,11±0,19
Kül	2,44±0,19
Yağ	7,57±1,60
Karbonhidrat	77,90±1,64

4.2 Ekstraksiyon Aşamaları

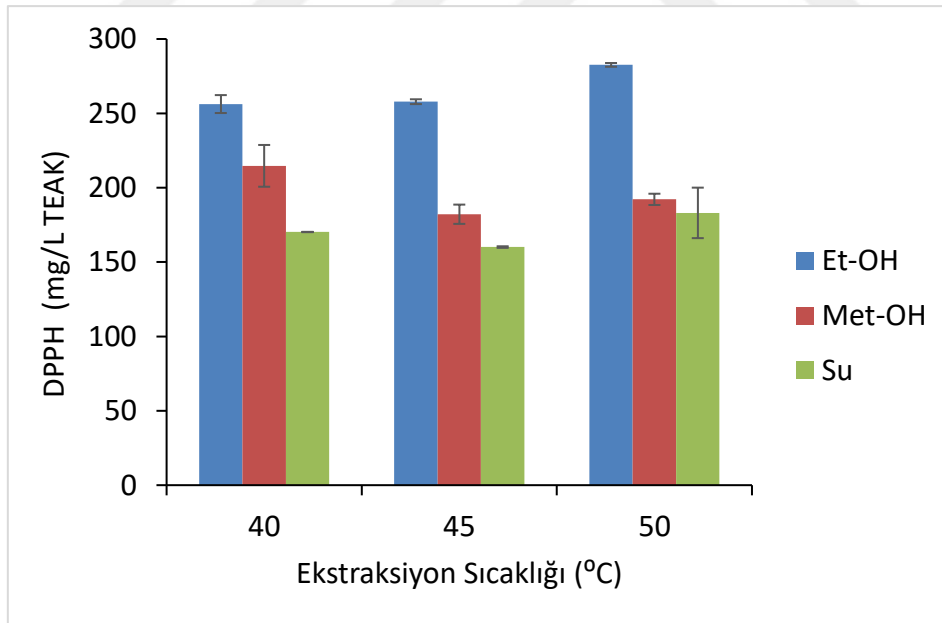
Kuşburnu press keklerinin ekstraksiyonunda uygun çözücünün belirlenmesi ve biyoaktif bileşenlerin verimli şekilde elde edilebilmesi için Metanol (MetOH), Etanol (EtOH) ve Su ile ön çalışmalar yapılmıştır. Her bir çözen ile elde edilen ekstraktların ABTS, DPPH, Toplam Fenolik Madde ve C vitamini içeriği hesaplanmıştır (Şekil 4.1, Şekil 4.2, Şekil 4.3, Şekil 4.4). Şekil 4.1, Şekil 4.2, Şekil 4.3, Şekil 4.4’de görüldüğü üzere Etanol kullanılan ekstraktlarda; ABTS, DPPH ve Askorbik asit içeriği sonuçlarının tüm sıcaklıklar için anlamlı derecede yüksek olduğu saptanmıştır ($P<0,05$). Toplam fenolik madde sonuçları incelendiğinde (Şekil 4.3), 40 °C’de Met-OH ve su ile benzer düzeyde fenolik madde elde edilirken sıcaklık artışıyla her iki çözücüde de belirgin azalma gözlenmiştir. Buna karşın EtOH ekstraktlarında sıcaklığa bağlı düşüş daha sınırlı olmuştur.

Etanol ve sulu karışımlar; bitkisel matriste yüksek geri kazanım sağlaması, fenolik bileşenlerde daha yüksek sonuçlar elde edilmesi sebebiyle tercih edildiği birçok çalışmada gösterilmiştir (Chemat vd., 2019; Dai & Mumper, 2010; Tanor vd., 2020). Do vd. (2014) yapılan çalışmada su, metanol, etanol ve aseton gibi farklı çözenler karşılaştırılmış ve %100 etanol ile elde edilen ekstraktın en yüksek toplam fenolik madde içeriği verdiği bildirilmiştir. Metanol, fenolik maddelerin elde edilmesinde etkili olsa da toksisite ve gıda mevzuatı gerekçeleriyle az tercih edilirken, etanol GRAS bir çözücü olarak etkinlik ve güvenlik dengesini sağlar. Ayrıca, proste geri kazanımı kolaydır (Do vd., 2014).

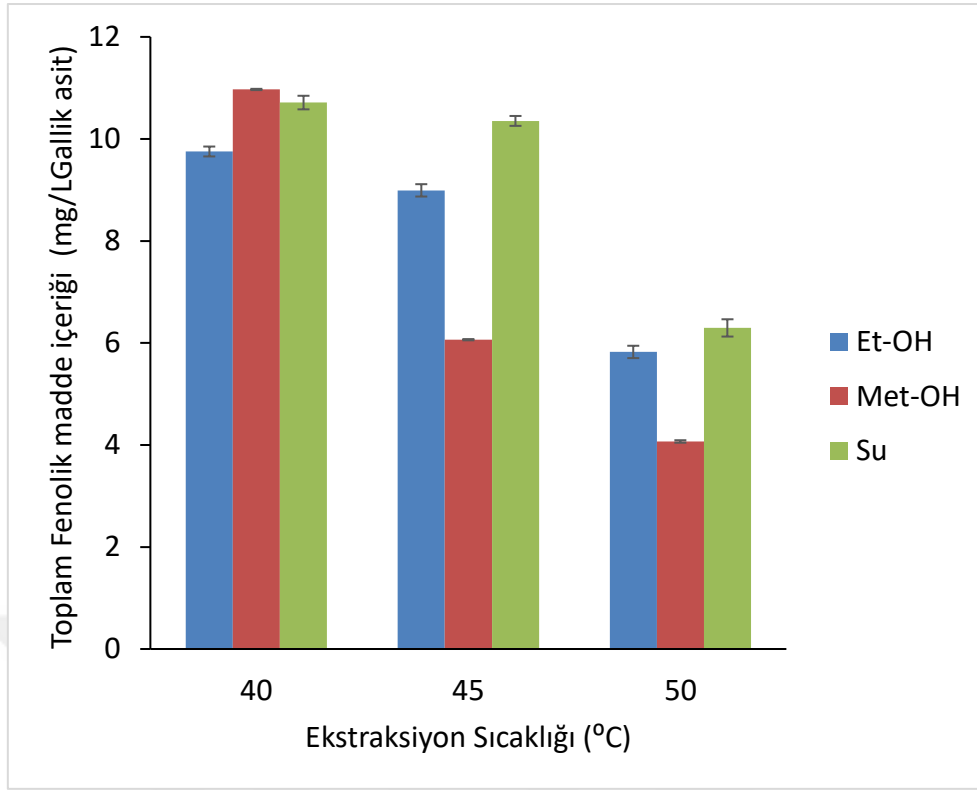
Elde edilen bulgular ve literatür verileri sonucunda yağsız kuşburnu press keki için Etanol-su (75:25) çözeltisi kullanılmış ve 40°C de 30 dk ultrasound uygulaması ile ekstraksiyon gerçekleştirilmiştir.



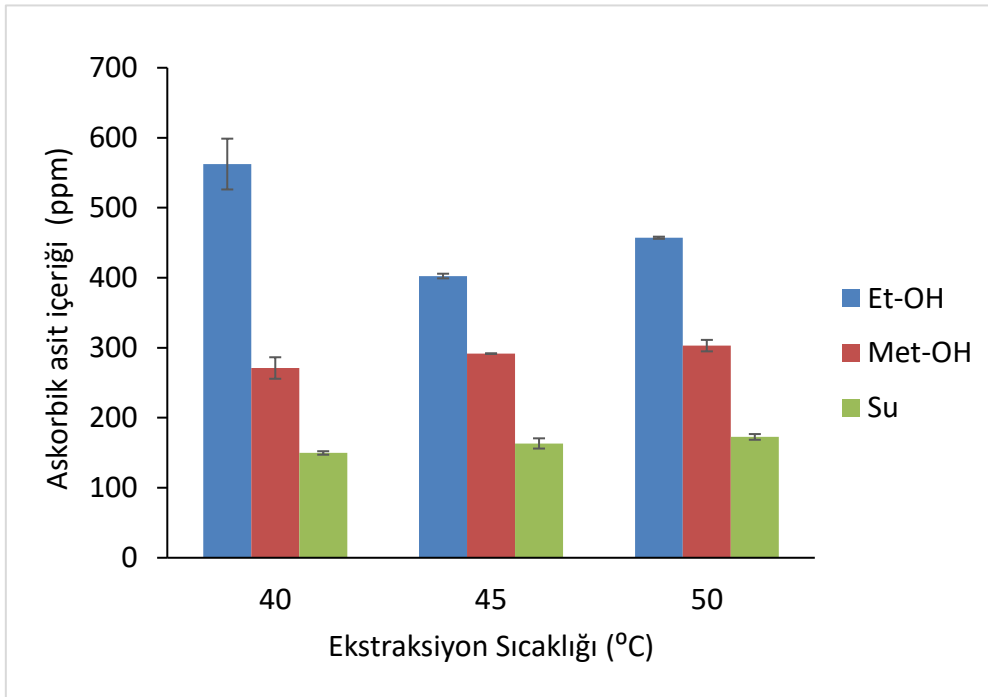
Şekil 4.1: Farklı ekstraktların ABTS antioksidan aktivitesi



Şekil 4.2: Farklı ekstraktların DPPH antioksidan aktivitesi



Şekil 4.3: Farklı ekstraktların toplam fenolik içeriği



Şekil 4.4: Farklı ekstraktların askorbik asit içeriği

4.3 Ekstraktın Antioksidan Aktivitesi

Kuşburnu yağsız çekirdeğinden elde edilen ekstraktların antioksidan aktivitesi ve toplam fenolik madde içeriği Çizelge 4.2’de verilmiştir. Sonuçlar ekstraktın fenolik bileşik açısından zengin olduğunu ve serbest radikalleri etkili şekilde nötralize edebileceğini göstermektedir.

Literatürde yapılan çalışmalara bakıldığında yağsız kuşburnu çekirdeği için etanol ile hazırlanmış ekstraktın fitokimyasal açıdan yoğun bir seviyede olduğu ve radikal süpürme kapasitesinin yüksek olduğu bildirilmiştir. Aynı çalışmada ABTS değeri 7,29 $\mu\text{mol TE/g}$ olarak bulunmuştur. Çözeltilinin DPPH aktivitesi oldukça yüksek bulunmuş ve fenolik esaslı bileşenler için yoğun bir taşıyıcı olabileceği vurgulanmıştır (Tanor vd., 2020).

Türkiye’de yetişen kuşburnu çekirdeklerinde antioksidan aktivite araştırılmış ve 100 g yağlı çekirdek için DPPH değeri 130,64 mg TE olduğu belirlenmiştir. Çekirdeklerin yağ asidi profili açısından zengin olmasının yanında yüksek antioksidan aktivitesi sayesinde fonksiyonel gıdalara katkı sağlayabilecek bir yan ürün potansiyeli olduğu bildirilmiştir (Güney, 2020)

Bir başka çalışmada *Rosa canina* L. çekirdek tozu biyoaktif madde miktarı yönünden incelenmiş ve toplam fenolik madde miktarı 214,4 mg GAE/kg olarak bulunmuştur. Aynı çalışmada DPPH değerinin 64,8 $\mu\text{mol TEAC/kg}$ olduğu bildirilmiştir. (Çürük vd., 2023)

Kuşburnu çekirdeklerinin %80 etanol ile elde edilen ekstraktı için toplam fenolik madde miktarına 16,3 mg GAE/g kuru ağırlık olarak bulunmuştur (Agourram vd., 2013)

Literatürde yapılan benzer çalışmalar incelendiğinde, burada elde edilen sonuçların uyumlu olduğu ve DPPH, ABTS süpürme aktiviteleri ve toplam fenolik madde miktarı açısından örneklerin güçlü antioksidan kaynağı olabileceği değerlendirilmiştir.

Çizelge 4.2: Çözeltilinin (Et-OH 40°C) antioksidan aktivite

Antioksidan Aktivite	Ortalama $\pm$ SD
ABTS (mg Trolox/L)	553,28 $\pm$ 32,8
DPPH (mg Trolox/L)	1027,30 $\pm$ 30,1
Toplam Fenolik Madde (mg GAE/L)	46,28 $\pm$ 0,46

4.4 RSM Analiz Sonuçları ve Optimizasyon

Bu çalışmada elektroegirme parametreleri; mesafe, voltaj, hacim şeklinde belirlenmiştir. Bu parametrelerin Toplam Fenolik Madde, Enkapsülasyon Etkinliği ve Enkapsülasyon Verimi üzerine etkileri Yanıt Yüzey Metodolojisi Box-Behnken tasarımı ile değerlendirilmiştir. Box-Behnken tasarımına ait bağımsız değişkenler ve elde edilen yanıt değerleri Çizelge 4.3'te verilmiştir. Farklı elektroegirme koşulları altında 17 nanolif örneği elde edilmiştir (Şekil 4.5).

Çizelge 4.3: Box-Behnken tasarımında kullanılan deney koşulları ve yanıt değerleri

Bağımsız Değişkenler				Yanıtlar		
Run	Mesafe (cm)	Voltaj (kV)	Hacim (mL/h)	EE (%)	EV (%)	TPC (mg GAE/g)
1	10	24	0.4	63.05	35.0	19.82
2	10	28	0.7	71.32	31.21	22.42
3	13	20	0.4	59.48	3.08	18.7
4	13	24	0.7	60.02	55.2	18.87
5	13	28	0.4	69.36	36.72	21.8
6	10	20	0.7	66.1	26.04	20.78
7	13	24	0.7	67.38	59.47	21.18
8	10	24	1.0	65.93	73.69	20.72
9	16	24	1.0	62.61	52.51	19.68
10	16	20	0.7	62.42	45.61	19.62
11	16	24	0.4	7.05	13.64	2.21
12	16	28	0.7	56.43	34.61	17.74
13	13	24	0.7	63.07	55.2	19.83
14	13	24	0.7	61.49	44.87	19.33
15	13	28	1.0	57.52	29.37	18.08
16	13	24	0.7	59.61	41.55	18.74
17	13	20	1.0	66.01	37.83	20.75



Şekil 4.5: Box-Behnken deney tasarımı nanolif örnekleri

4.4.1 Toplam Fenolik Madde

Deney koşullarına bağlı olarak elde edilen Toplam fenolik madde (TPC) değerleri Çizelge 4.3'te verilmiştir. TPC değerleri üzerine uygulanan Yanıt Yüzey Metodu (YYM) analizi sonucunda elde edilen modelin istatistiksel olarak anlamlı ($P<0,05$) olduğu ve modelin yüksek bir uyum düzeyi gösterdiği belirlenmiştir. 3D ve kontur grafikleri (Şekil 4.6, Şekil 4.7, Şekil 4.8), faktörlerin TPC üzerindeki etkileşimlerini göstermektedir.

Mesafe ve voltaj faktörleri arasında zayıf bir etkileşim gözlenmiş, optimum fenolik içerik orta düzey voltaj ve düşük mesafe koşullarında elde edilmiştir (Şekil 4.6). Mesafe ve hacim faktörleri arasında pozitif yönlü bir etkileşim gözlenmiştir. Orta mesafe (yaklaşık 13-14 cm) ve yüksek hacim yaklaşık 1 mL seviyelerinde TPC değerleri maksimuma ulaşmıştır (Şekil 4.7). Voltajın etkisi nispeten düşük kalırken, hacim artışıyla birlikte TPC değerlerinde belirgin bir yükselme olmuştur (Şekil 4.8).

Design-Expert® Software

Factor Coding: Actual

TPC

● Design points above predicted value

○ Design points below predicted value

22.42

2.21

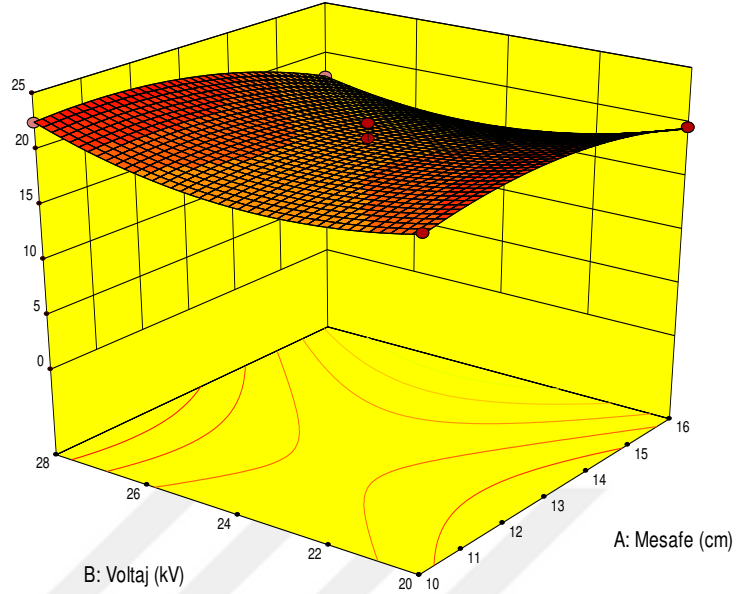
X1 = A: Mesafe

X2 = B: Voltaj

Actual Factor

C: Hacim = 0.7

Toplam Fenolik konsantrasyonu (mg/L)



Design-Expert® Software

Factor Coding: Actual

TPC

● Design Points

22.42

2.21

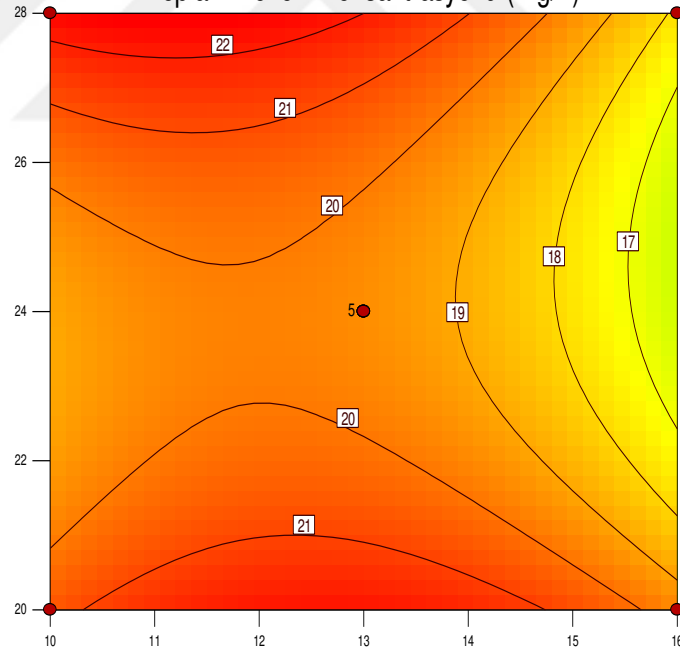
X1 = A: Mesafe

X2 = B: Voltaj

Actual Factor

C: Hacim = 0.7

Toplam Fenolik konsantrasyonu (mg/L)



A: Mesafe (cm)

B: Voltaj (kV)

Şekil 4.6: TPC'nin mesafe ve voltaj ile değişimi

Design-Expert® Software
Factor Coding: Actual
TPC

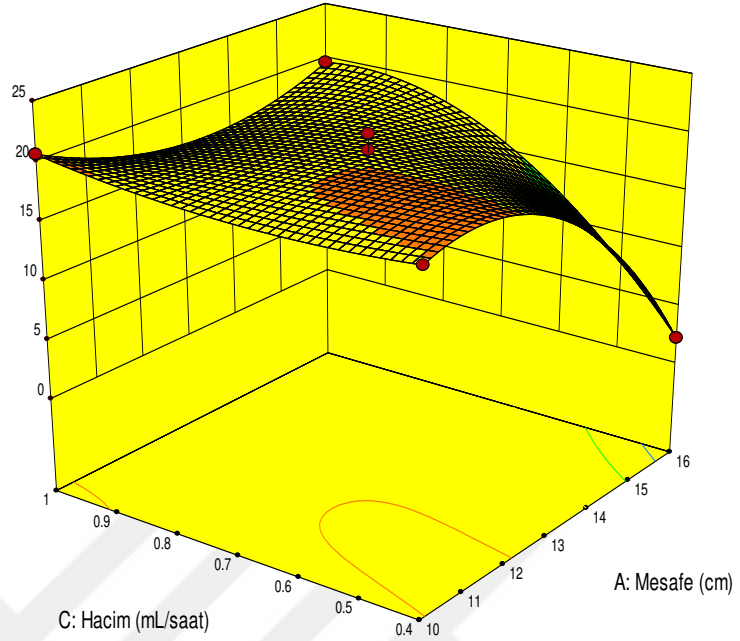
● Design points above predicted value
○ Design points below predicted value
22.42

2.21

X1 = A: Mesafe
X2 = C: Hacim

Actual Factor
B: Voltaj = 24

Toplam Fenolik konsantrasyonu (mg/L)



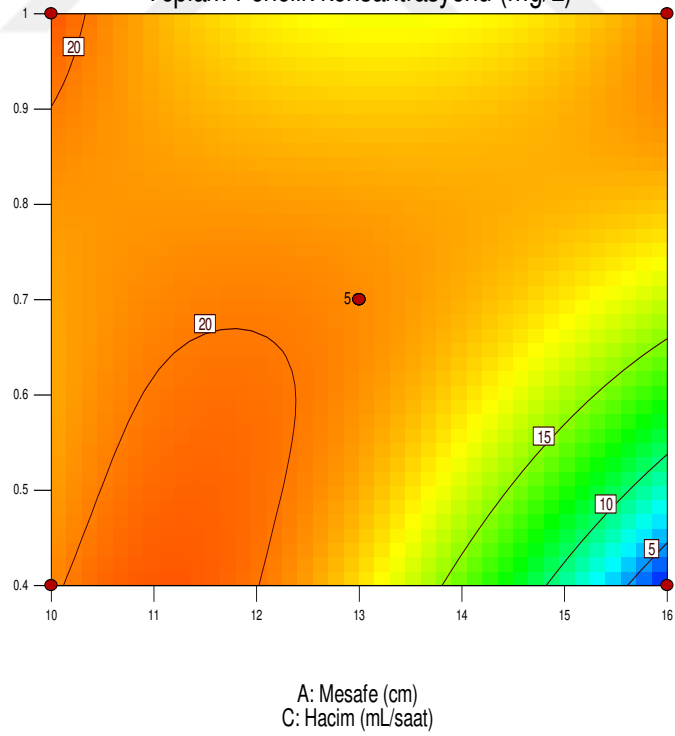
Design-Expert® Software
Factor Coding: Actual
TPC

● Design Points
22.42
2.21

X1 = A: Mesafe
X2 = C: Hacim

Actual Factor
B: Voltaj = 24

Toplam Fenolik konsantrasyonu (mg/L)



Şekil 4.7: TPC'nin mesafe ve hacim ile değişimi

Design-Expert® Software

Factor Coding: Actual

TPC

● Design points above predicted value

○ Design points below predicted value

22.42

2.21

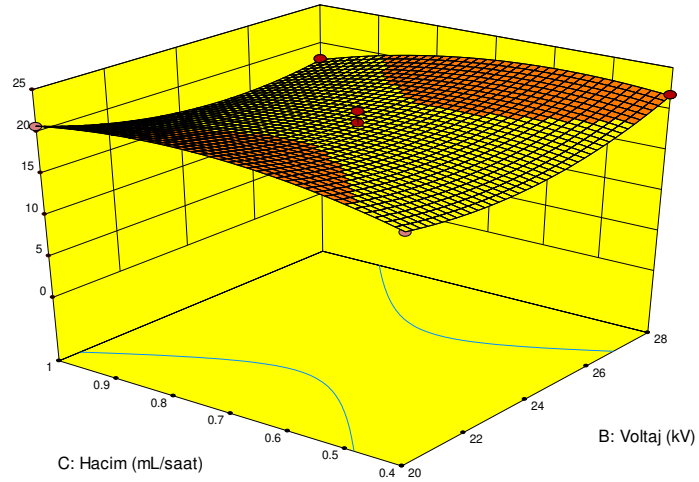
X1 = B: Voltaj

X2 = C: Hacim

Actual Factor

A: Mesafe = 13

Toplam Fenolik konsantrasyonu (mg/L)



Design-Expert® Software

Factor Coding: Actual

TPC

● Design Points

22.42

2.21

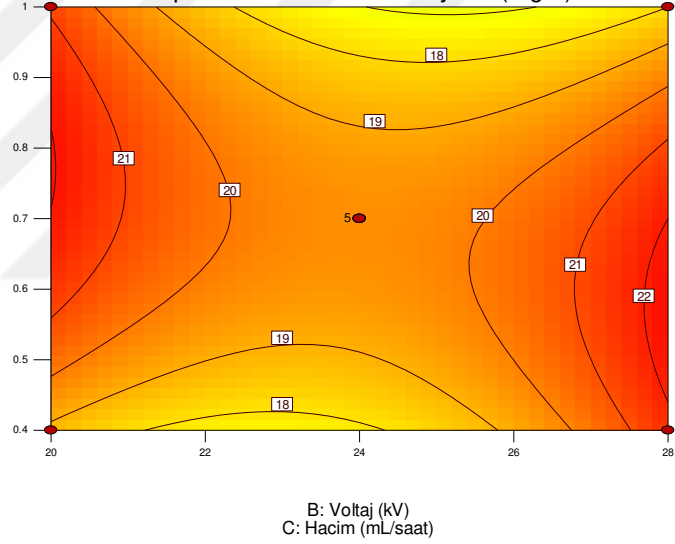
X1 = B: Voltaj

X2 = C: Hacim

Actual Factor

A: Mesafe = 13

Toplam Fenolik konsantrasyonu (mg/L)



Şekil 4.8: TPC'nin voltaj ve hacim ile değişimi

Modelin determinasyon katsayısı ($R^2=0,9877$) ve düzeltilmiş determinasyon katsayısı ($Adj-R^2=0,9605$) yüksek bulunmuş, bu da modelin deneysel verilerle güçlü bir ilişki gösterdiğini ortaya koymuştur. Varyasyon katsayısının (V.K. %= 4,72) düşük olması, deneysel sonuçların model tarafından iyi temsil edildiğini desteklemektedir. Modelin uyum eksikliğinin (Lack of fit) anlamsız çıkması ($P=0,8221>0,05$), YYM modelinin TPC verilerini başarıyla tahmin ettiğini göstermektedir (Çizelge 4.4). Çizelge 4.5'te verilen model istatistiklerine göre standart hata 0,89 ve ortalama değer 18,84 olarak hesaplanmıştır. Bu sonuçlar modelin güvenilir olduğunu ve deneysel hatanın düşük düzeyde kaldığını göstermektedir.

ANOVA sonuçları incelendiğinde modelin genel olarak anlamlı olduğu ($P=0,0005$) görülmüştür. Faktörler arasından A (Mesafe), AC etkileşimi, BC etkileşimi, A^2 , B^2 , C^2 , A^2C ve AC^2 terimleri model üzerinde anlamlı etkiye sahip bulunmuştur ($P<0.05$). Bu durum, özellikle mesafe ve hacim etkileşiminin (AC) TPC değerlerinde önemli bir rol oynadığını göstermektedir. Benzer şekilde B^2 ve C^2 terimlerinin anlamlı bulunması, hem voltaj hem de hacim faktörlerinde doğrusal olmayan etkilerin bulunduğunu ve TPC değerlerinin bu faktörlerde optimum bir aralıkta maksimize olduğunu göstermektedir (Çizelge 4.4).

Denkleme göre mesafe (A) artışı TPC'yi azaltıcı etki göstermiştir. Bu durum, jet uçuş mesafesinin artmasıyla birlikte lif yüzeyine taşınan aktif bileşiklerin azaldığını göstermektedir. AC etkileşiminin pozitif katsayısı (+4,14), belirli bir mesafe ve hacim kombinasyonunda fenolik bileşiklerin maksimum düzeyde tutulduğunu göstermektedir. B^2 'nin pozitif katsayısı eğrisel etkisinin yukarı yönlü olduğunu, C^2 'nin negatif katsayısı ise hacim faktörlerinin orta seviyelerde optimum etki gösterdiğini desteklemektedir (Eşitlik (4.1)).

Çizelge 4.4: TPC için ANOVA sonuçları

Kaynak	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Ortalama Kare	F-Değeri	P-Değeri
Model	315.92	11	28.72	36.35	0.0005
A-Mesafe	8.53	1	8.53	10.79	0.0218
B-Voltaj	0.0045	1	0.0045	0.0057	0.9427
C-Hacim	0.70	1	0.70	0.88	0.3906
AB	3.10	1	3.10	3.92	0.1046
AC	68.64	1	68.64	86.88	0.0002
BC	8.32	1	8.32	10.53	0.0228
A^2	14.22	1	14.22	17.99	0.0082
B^2	24.00	1	24.00	30.38	0.0027
C^2	19.37	1	19.37	24.52	0.0043
A^2C	50.20	1	50.20	63.54	0.0005
AC^2	20.51	1	20.51	25.96	0.0038
Artık (Residual)	3.95	5	0.79	-	-
Uyum Eksikliği	0.056	1	0.056	0.058	0.8221
Saf Hata	3.89	4	0.97	-	-
Toplam (Cor Total)	319.87	16	-	-	-

$$\text{TPC} = +19.59 - 1.46A + 0.024B - 0.42C - 0.88AB + 4.14AC - 1.44BC - 1.84A^2 + 2.39B^2 - 2.14C^2 + 5.01A^2C - 3.20AC^2 \quad (4.1)$$

Çizelge 4.5: TPC için uygunluk değerleri

Kaynak	Değer
Standart Sapma	0.89
Ortalama	18.84
V.K %	4.72
R ²	0.9877
Düzeltilmiş R ²	0.9605

4.4.2 Enkapsülasyon Etkinliği

Deney koşullarına bağlı olarak elde edilen Enkapsülasyon Etkinliği (EE) değerleri Çizelge 4.3'te verilmiştir. Yanıt yüzey metoduna (YYM) göre yapılan varyans analizine (ANOVA) ait sonuçlar, enkapsülasyon etkinliği (EE) değerleri için oluşturulan modelin istatistiksel olarak anlamlı ($P=0.0005$) olduğunu göstermiştir. Faktörlerin enkapsülasyon etkinliği üzerindeki etkileşimlerini gösteren 3D ve kontur grafikleri Şekil 4.9, Şekil 4.10, Şekil 4.11'da verilmiştir.

Şekil 4.9 (A-B etkileşimi): Mesafe-voltaj etkileşimi zayıf olup, EE üzerindeki etkisi istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur ($P>0.05$). Şekil 4.10 (A-C etkileşimi): Mesafe ve hacim faktörleri arasındaki etkileşim en belirgin sonucu göstermiştir. Orta mesafe (yaklaşık 13 cm) ve yüksek hacim (yaklaşık 1.0 mL) koşullarında maksimum EE değerleri elde edilmiştir. Şekil 4.11 (B-C etkileşimi): Voltajın artışı, hacmin düşük seviyelerinde EE üzerinde sınırlı etki göstermiş ancak orta voltaj (20-22 kV) değerlerinde etkinlik artmıştır. Bu grafikler, elektroegirme parametrelerinin dengeli ayarının enkapsülasyon verimini önemli ölçüde iyileştirebileceğini göstermektedir.

Design-Expert® Software

Factor Coding: Actual

% EE

● Design points above predicted value

○ Design points below predicted value

71.32

7.05

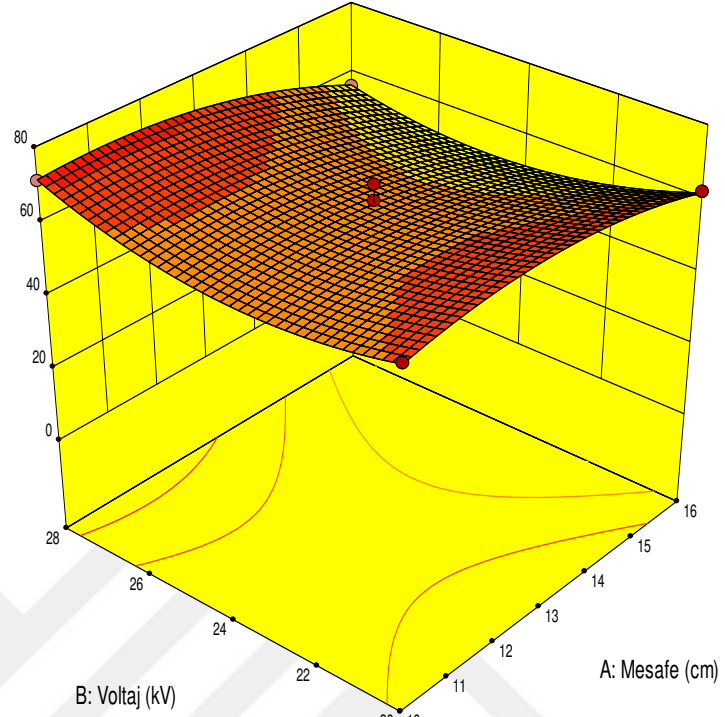
X1 = A: Mesafe

X2 = B: Voltaj

Actual Factor

C: Hacim = 0.7

Enkapsülasyon Etkinliği (%)



Design-Expert® Software

Factor Coding: Actual

% EE

● Design Points

71.32

7.05

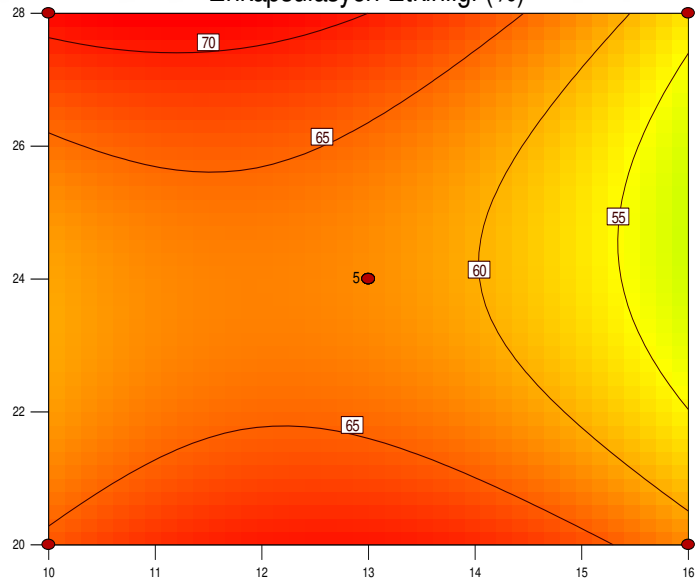
X1 = A: Mesafe

X2 = B: Voltaj

Actual Factor

C: Hacim = 0.7

Enkapsülasyon Etkinliği (%)



X1: A: Mesafe
X2: B: Voltaj

Şekil 4.9: EE'nin mesafe ve voltaj ile değişimi

Design-Expert® Software

Factor Coding: Actual

% EE

● Design points above predicted value

● Design points below predicted value

71.32

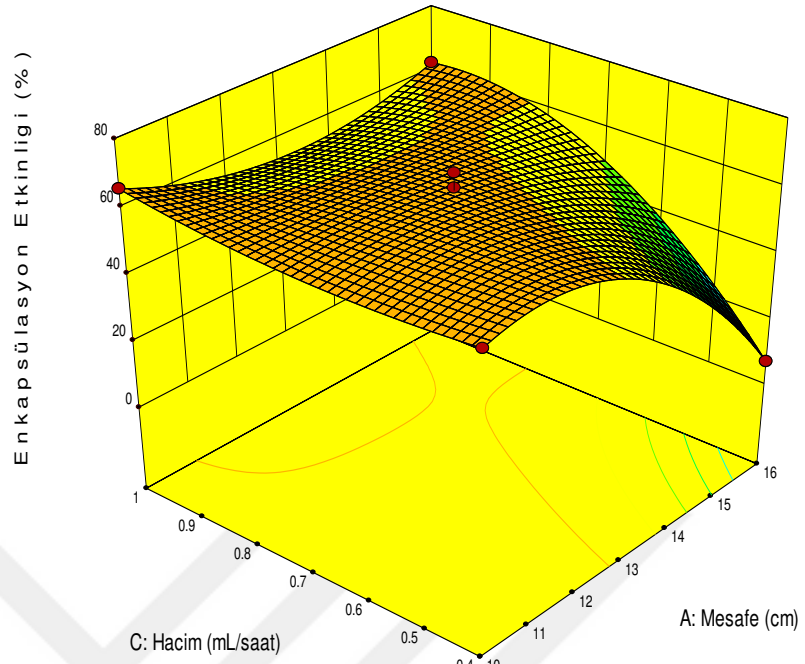
7.05

X1 = A: Mesafe

X2 = C: Hacim

Actual Factor

B: Voltaj = 24



Design-Expert® Software

Factor Coding: Actual

% EE

● Design Points

71.32

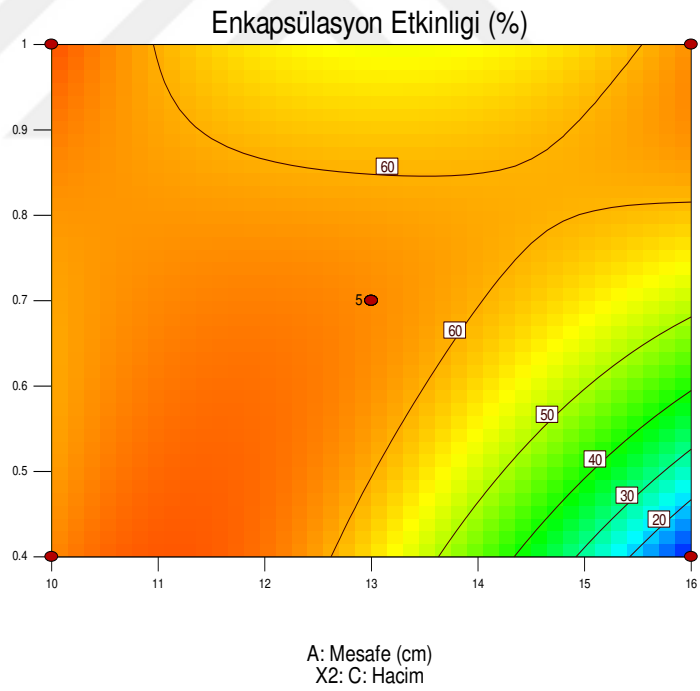
7.05

X1 = A: Mesafe

X2 = C: Hacim

Actual Factor

B: Voltaj = 24



Şekil 4.10: EE'nin mesafe ve hacim ile değişimi

Design-Expert® Software

Factor Coding: Actual

% EE

● Design points above predicted value

○ Design points below predicted value

71.32

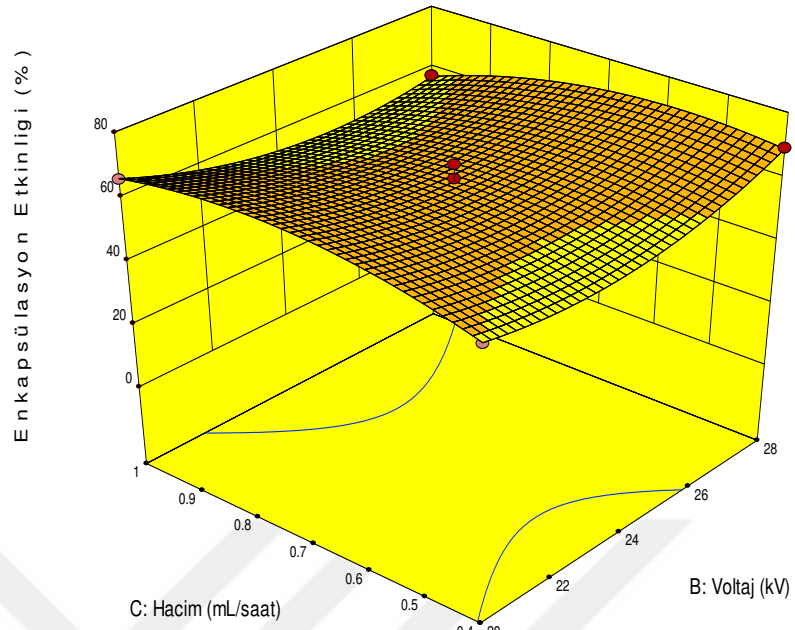
7.05

X1 = B: Voltaj

X2 = C: Hacim

Actual Factor

A: Mesafe = 13



Design-Expert® Software

Factor Coding: Actual

% EE

● Design Points

71.32

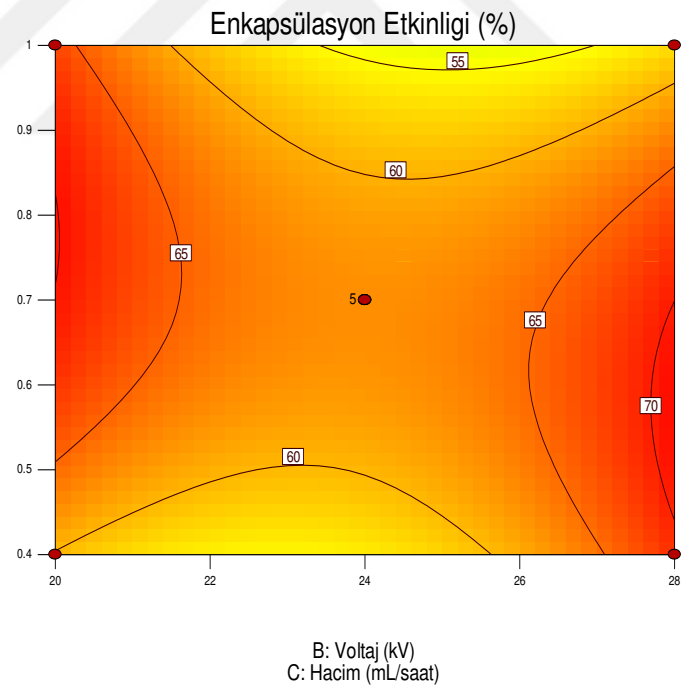
7.05

X1 = B: Voltaj

X2 = C: Hacim

Actual Factor

A: Mesafe = 13



Şekil 4.11: EE'nin voltaj ve hacim ile değişimi

Modelin determinasyon katsayısı ($R^2=0.9876$) ve düzeltilmiş R^2 değeri ($Adj-R^2=0.9604$) oldukça yüksek olup, modelin deneysel verilerle yüksek düzeyde uyum sağladığını göstermektedir. Düşük standart sapma (2.83) ve V.K.%=4.72 değeri, ölçüm sonuçlarının model tarafından güvenilir ve tekrarlanabilir olduğunu ortaya koymaktadır (Çizelge 4.7). Modelin güvenilirliğini gösteren istatistiksel değerler incelendiğinde, yüksek R^2 ve düşük hata oranı ile birlikte modelin deneysel sonuçları başarıyla temsil ettiği görülmektedir. Bu durum, elektroegirme parametrelerinin optimizasyonunun EE üzerinde belirgin etkili olduğunu doğrulamaktadır.

ANOVA sonuçlarına göre, modelin genel olarak anlamlı olduğu ($P<0,001$) belirlenmiştir. Faktörlerden A (Mesafe) ve AC etkileşimi, BC etkileşimi, A^2 , B^2 , C^2 , A^2C ve AC^2 terimleri model üzerinde anlamlı etkiler göstermiştir ($P<0,05$). Özellikle AC (mesafe $\times$ hacim) etkileşimi ($P=0,0002$), modeldeki en belirgin etkiyi oluşturarak enkapsülasyon etkinliğinin mesafe ve hacim arasındaki sinerjik ilişkiyle arttığını göstermiştir. Ayrıca A^2C teriminin anlamlı çıkması ($P=0.0005$), sistemde üçüncü dereceden eğrisel bir etkileşimin varlığına işaret etmektedir. Modelin uyum eksikliğinin (lack-of-fit) anlamsız olması ($P>0.05$), modelin deneysel verileri yeterli doğrulukla olduğunu ortaya koymakta ve önemli bir hata kaynağı bulunmadığını göstermektedir.

Denklem incelendiğinde mesafenin (A) artışı enkapsülasyon etkinliğini azaltıcı yönde etkide bulunmuştur. Bu durum, elektroegirme sırasında mesafenin artmasıyla oluşan elektrik alanın zayıflaması ve polimer jetinin kolektöre ulaşmadan önce parçalanma riskinin artmasıyla ilişkilendirilebilir. AC etkileşiminin (mesafe $\times$ hacim) pozitif katsayısı (+13.17), uygun mesafe-hacim kombinasyonunda EE'nin maksimum düzeye ulaştığını göstermektedir. B^2 (voltaj²) teriminin anlamlı ve pozitif olması, orta voltaj değerlerinde daha yüksek etkinlik elde edildiğini göstermektedir (Eşitlik(4.2)). Benzer şekilde, AC^2 teriminin negatif katsayısı (-10.19) yüksek hacimlerde etkinliğin azaldığını; A^2C 'nin pozitif katsayısı (+15.94) ise belirli mesafe aralığında yüksek hacimle birlikte verimin tekrar arttığını göstermektedir (Eşitlik(4.2)).

Çizelge 4.6: EE için ANOVA sonuçları

Kaynak	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Ortalama Kare	F-Değeri	P-Değeri
Model	3195.20	11	290.47	36.24	0.0005
A – Mesafe	86.21	1	86.21	10.76	0.022
B – Voltaj	0.048	1	0.048	0.006	0.9413
C – Hacim	7.05	1	7.05	0.88	0.3914
AB	31.42	1	31.42	3.92	0.1046
AC	693.80	1	693.80	86.57	0.0002
BC	84.36	1	84.36	10.53	0.0228
A ²	143.58	1	143.58	17.91	0.0082
B ²	242.75	1	242.75	30.29	0.0027
C ²	195.53	1	195.53	24.40	0.0043
A ² C	508.01	1	508.01	63.39	0.0005
AC ²	207.57	1	207.57	25.90	0.0038
Artık (Residual)	40.07	5	8.01	-	-
Uyum Eksikliği	0.58	1	0.58	0.059	0.8199
Saf Hata	39.49	4	9.87	-	-
Toplam (Cor Total)	3235.27	16	-	-	-

$$\% EE = +62.31 - 4.64A + 0.077B - 1.33C - 2.80AB + 13.17AC - 4.59BC - 5.84A^2 + 7.59B^2 - 6.81C^2 + 15.94A^2C - 10.19AC^2 \quad (4.2)$$

Çizelge 4.7: EE için uygunluk değerleri

Kaynak	Değer
Standart Sapma	2.83
Ortalama	59.93
V.K %	4.72
R ²	0.9876
Düzeltilmiş R ²	0.9604

4.4.3 Enkapsülasyon Verimi

Deney koşullarına bağlı olarak elde edilen Enkapsülasyon verimi (EV) değerleri Çizelge 4.3'te verilmiştir. Enkapsülasyon verimi (EV) için oluşturulan Yanıt Yüzey Modeli'nin (YYM) istatistiksel olarak anlamlı ($P=0.0188$) olduğu belirlenmiştir. Faktörlerin enkapsülasyon verimi üzerindeki etkileşimlerini gösteren 3D ve kontur grafikleri Şekil 4.12, Şekil 4.13, Şekil 4.14'te verilmiştir.

Şekil 4.12 (A-B etkileşimi): Mesafe ve voltaj artışı EV üzerinde pozitif etki göstermiştir. Orta düzeyde voltaj (yaklaşık 22-23 kV) ve 13 cm mesafe koşullarında maksimum EV elde edilmiştir.

Şekil 4.13 (A-C etkileşimi): Mesafe ve hacim artışıyla EV önce yükselmiş, ancak 1 mL üzerindeki hacimlerde ve uzun mesafelerde verim düşmüştür. Şekil 4.14 (B-C etkileşimi): Voltaj-hacim etkileşimi en belirgin etkilerden biridir. Voltajın artışı düşük hacimlerde verimi artırırken, yüksek hacimlerde kapsül yüzeyinde düzensizliklere neden olarak EV'yi düşürmüştür. Bu grafikler, elektroegirme sürecinde faktörlerin optimum kombinasyonunun belirlenmesinin kapsül stabilitesi ve verimi açısından kritik olduğunu göstermektedir.

Design-Expert® Software

Factor Coding: Actual

%EV

● Design points above predicted value

○ Design points below predicted value

73.69

3.08

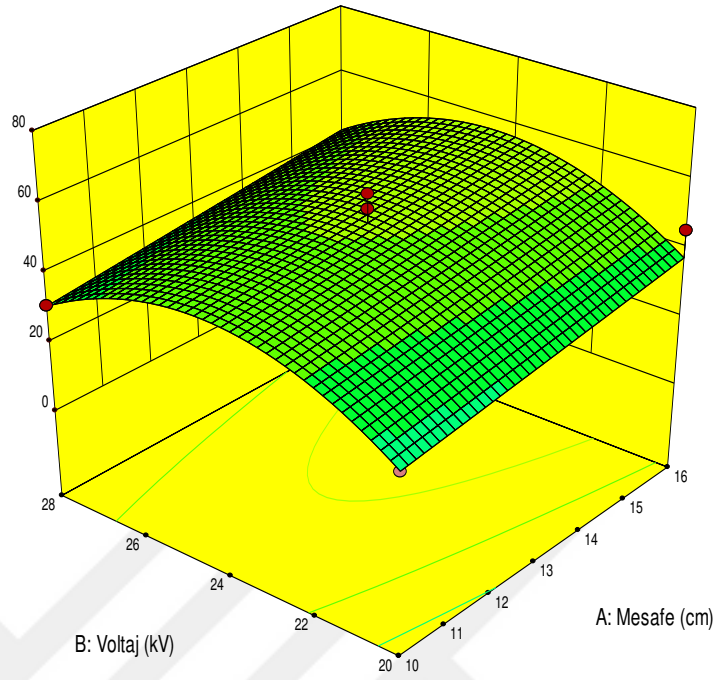
X1 = A: Mesafe

X2 = B: Voltaj

Actual Factor

C: Hacim = 0.7

Enkapsülasyon Verimi (%)



Design-Expert® Software

Factor Coding: Actual

%EV

● Design Points

73.69

3.08

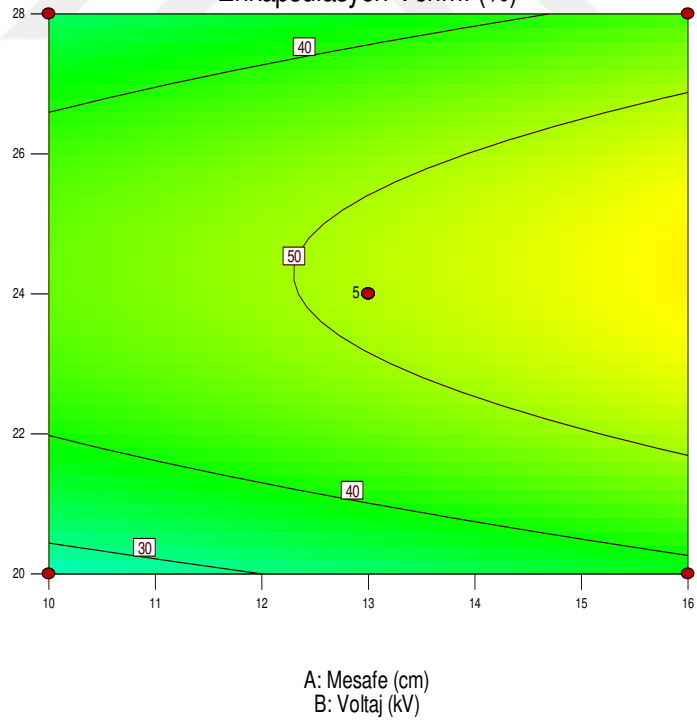
X1 = A: Mesafe

X2 = B: Voltaj

Actual Factor

C: Hacim = 0.7

Enkapsülasyon Verimi (%)



Şekil 4.12: EV'nin mesafe ve voltaj ile değişimi

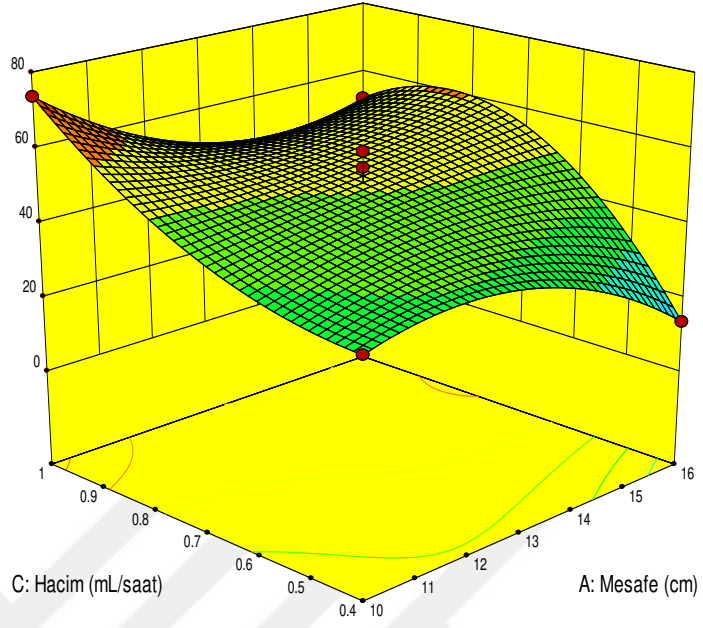
Design-Expert® Software
Factor Coding: Actual
%EV

● Design points above predicted value
○ Design points below predicted value
73.69
3.08

X1 = A: Mesafe
X2 = C: Hacim

Actual Factor
B: Voltaj = 24

Enkapsülasyon Verimi (%)



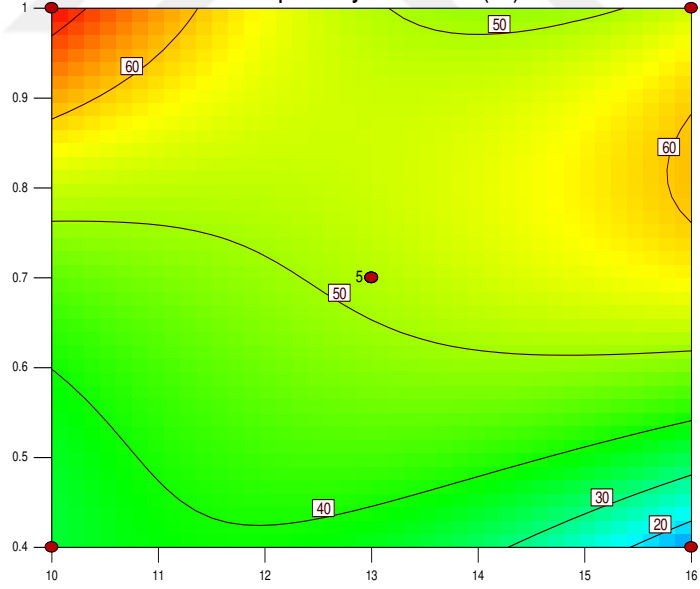
Design-Expert® Software
Factor Coding: Actual
%EV

● Design Points
73.69
3.08

X1 = A: Mesafe
X2 = C: Hacim

Actual Factor
B: Voltaj = 24

Enkapsülasyon Verimi (%)



A: Mesafe (cm)
C: Hacim (mL/saat)

Şekil 4.13: EV'nin mesafe ve hacim ile değişimi

Design-Expert® Software
Factor Coding: Actual
%EV

● Design points above predicted value

○ Design points below predicted value

73.69

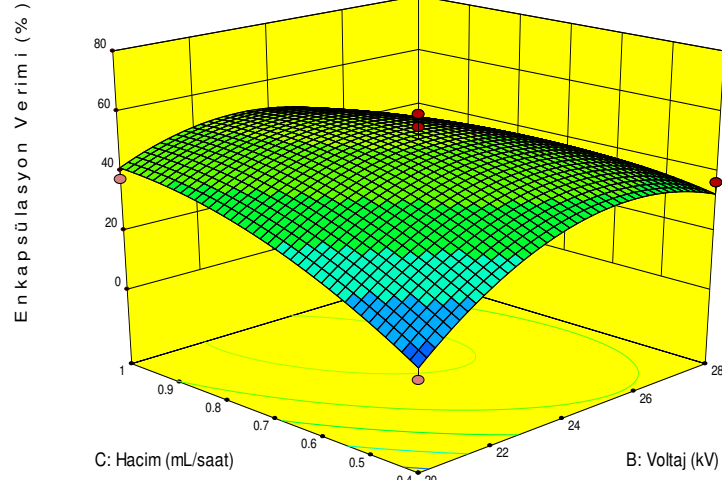
3.08

X1 = B: Voltaj

X2 = C: Hacim

Actual Factor

A: Mesafe = 13



Design-Expert® Software
Factor Coding: Actual
%EV

● Design Points

73.69

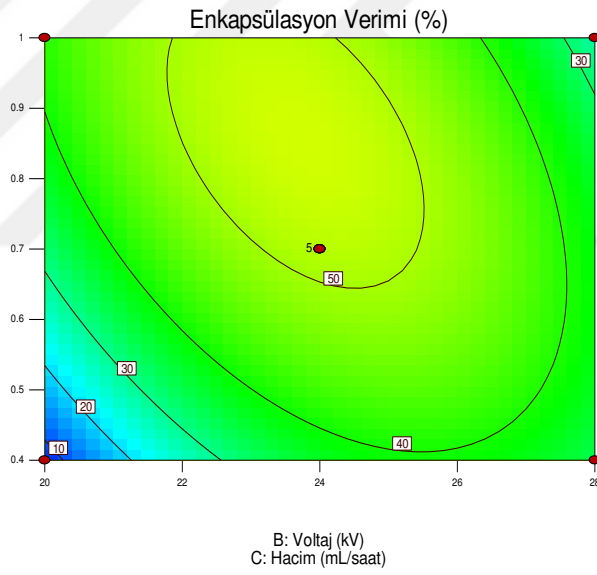
3.08

X1 = B: Voltaj

X2 = C: Hacim

Actual Factor

A: Mesafe = 13



Şekil 4.14: EV'nin voltaj ve hacim ile değişimi

EV için varyans analizi sonuçları (Çizelge 4.8) incelendiğinde, model genel olarak anlamlı bulunmuştur ($P < 0,05$). Faktörlerden BC etkileşimi, B^2 ve AC^2 terimlerinin anlamlı olduğu görülmektedir ($P < 0,05$). Bu bulgular, özellikle voltaj–hacim etkileşiminin (BC) ve voltajın eğrisel etkisinin (B^2) enkapsülasyon verimi üzerinde belirleyici olduğunu göstermektedir. Ayrıca AC^2 teriminin anlamlı bulunması, mesafe ve hacim etkileşiminin yüksek hacimlerde EV üzerinde negatif etki oluşturduğunu ortaya koymaktadır. Buna karşın A, B ve C ana faktörleri tek başına istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır ($P > 0,05$). Uyum eksikliğinin (lack of fit) anlamsız olması ($P = 0,3105 > 0,05$), modelin deneysel verilerle yeterli uyum içinde olduğunu göstermektedir.

Modelin determinasyon katsayısı ($R^2=0.9109$) ve düzeltilmiş R^2 değeri ($Adj-R^2=0.7623$) makul düzeyde olup, modelin deneysel verileri büyük oranda açıklayabildiğini göstermektedir. Standart sapma değerinin (8.36) ve varyasyon katsayısının (V.K.%=21.04) diğer yanıt değişkenlerine kıyasla yüksek olması, EV değerlerindeki değişkenliğin daha fazla olduğunu göstermektedir. Bu durum, elektroğırme işleminin hassas parametrelerinin (örneğin jet stabilitesi, nem, çözücü buharlaşma hızı) EV üzerinde yüksek etkiye sahip olduğunu göstermektedir (Çizelge 4.9).

A (mesafe), B (voltaj) ve C (hacim) artışları EV üzerinde pozitif etki gösterse de bu artış lineer olmamış, özellikle B^2 ve C^2 'nin negatif katsayıları EV'nin yüksek voltaj ve hacim değerlerinde azaldığını göstermiştir. BC etkileşiminin negatif katsayısı (-10.53), voltaj ve hacmin aynı anda artmasının kapsül oluşumunu olumsuz etkileyebileceğini; AC^2 'nin negatif katsayısı (-16.38) ise yüksek hacimlerde artan mesafenin verimi düşürdüğünü göstermektedir. Buna karşın A^2C teriminin pozitif katsayısı (+12.54), belirli mesafe ve hacim kombinasyonlarında kapsül oluşumunun optimize olduğunu göstermektedir (Eşitlik (4.3)).

Çizelge 4.8: EV için ANOVA sonuçları

Kaynak	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Ortalama Kare	F-Değeri	P-Değeri
Model	4282.59	10	428.26	6.13	0.0188
A – Mesafe	131.91	1	131.91	1.89	0.2185
B – Voltaj	46.80	1	46.80	0.67	0.4443
C – Hacim	187.69	1	187.69	2.69	0.1523
AC	0.0081	1	0.0081	0.0001	0.9918
BC	443.10	1	443.10	6.34	0.0454
A^2	0.0051	1	0.0051	0.00007	0.9935
B^2	1206.16	1	1206.16	17.27	0.0060
C^2	242.10	1	242.10	3.47	0.1120
A^2C	314.50	1	314.50	4.50	0.0781
AC^2	536.45	1	536.45	7.68	0.0324
Artık (Residual)	419.14	6	69.86	-	-
Uyum Eksikliği	185.57	2	92.78	1.59	0.3105
Saf Hata	233.57	4	58.39	-	-
Toplam (Cor Total)	4701.73	16	-	-	-
Model	4282.59	10	428.26	6.13	0.0188

$$\% \text{ EV} = +51.26+5.74A+2.42B+6.85C+0.045AC-10.53BC+0.035A^2-16.93B^2-7.58C^2+12.54A^2C-16.38AC^2 \quad (4.3)$$

Çizelge 4.9: EV için uygunluk değerleri

Kaynak	Değer
Standart Sapma	8.36
Ortalama	39.74
V.K %	21.04
R ²	0.9109
Düzeltilmiş R ²	0.7623

4.4.4 Optimizasyon Sonuçları

Toplam fenolik madde (TPC), enkapsülasyon etkinliği (EE) ve enkapsülasyon verimi (EV) değişkenleri üzerinde uygulanan Yanıt Yüzey Metodu (YYM) analizleri sonucunda her üç modelin de anlamlı olduğu ve elde edilen sonuçların yüksek uyum katsayılarıyla ($R^2 > 0.90$) doğrulandığı belirlenmiştir.

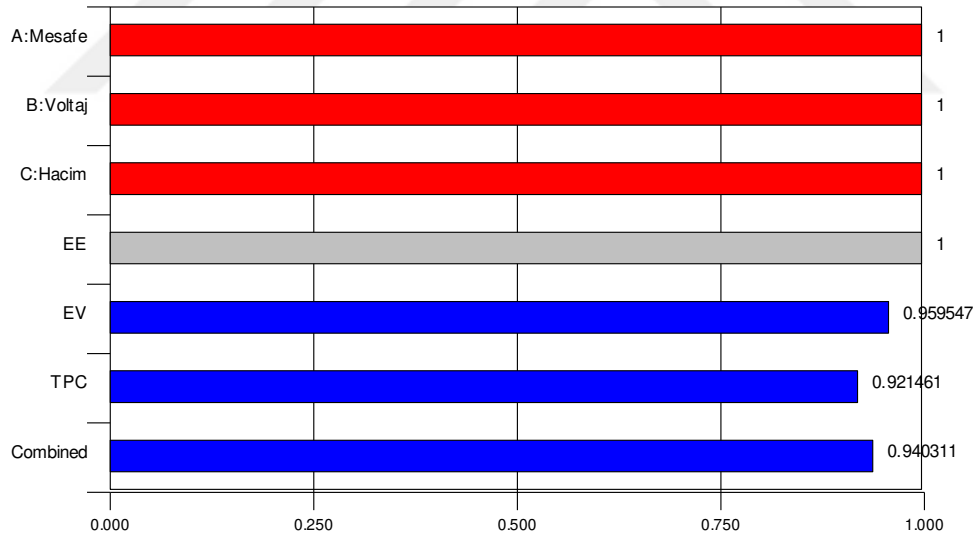
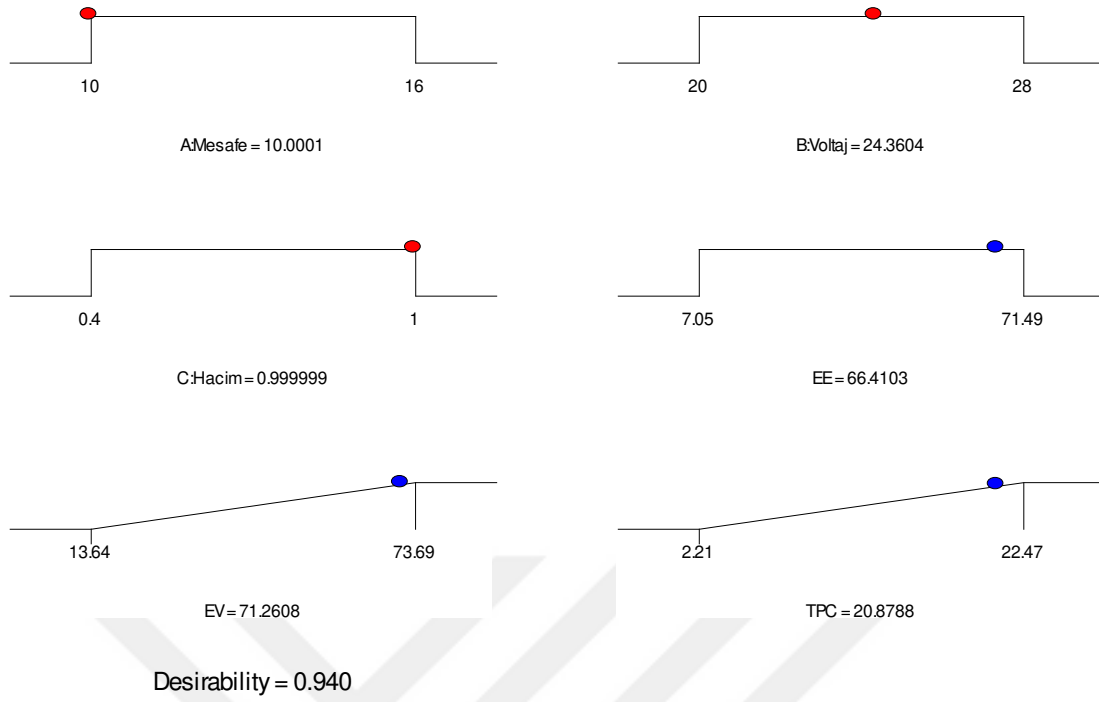
Model çıktılarında TPC için $R^2=0.9877$, EE için $R^2=0.9876$ ve EV için $R^2=0.9109$ olarak hesaplanmıştır. Bu değerler, tüm yanıt değişkenlerinin seçilen faktör kombinasyonlarıyla güçlü şekilde açıklanabildiğini göstermektedir. Özellikle TPC ve EE modellerinin yüksek R^2 ve düşük hata değerleri, fenolik bileşiklerin korunumu ve kapsülleme veriminin elektroegirme parametreleriyle doğrudan ilişkilendiğini göstermektedir.

Model tahminlerinin optimizasyon analizi, mesafe (A), voltaj (B) ve hacim (C) faktörlerinin tüm yanıtlar üzerinde belirgin bir etkiye sahip olduğunu göstermiştir. Faktörlerin optimum kombinasyonu mesafe: 10 cm, voltaj: 24.36 kV ve hacim: 1.0 mL olarak belirlenmiştir. Bu koşullar altında desirability değeri 0.9872 olup, çok yüksek bir model uygunluğunu ifade etmektedir (Şekil 4.15).

Bu optimum koşullar altında tahmin edilen yanıt değerleri sırasıyla:

- TPC = 20.879 mg GAE/L
- EE = %66.41
- EV = %71.26 olarak bulunmuştur.

Bu sonuçlar, modelin hedeflenen üç yanıt arasında yüksek düzeyde bir denge (multi-response desirability) sağladığını göstermektedir. Grafikselsel analizlerde istenebilirlik (desirability) eğrisinin 1'e yakın olması sayesinde tüm yanıt değişkenleri için optimum koşulların aynı bölgede (10-12 cm mesafe, 24-25 kV voltaj, 0.9-1.0 mL hacim) kümelendiğini doğrulamaktadır (Şekil 4.15).



Şekil 4.15: Çoklu optimizasyon için istenebilirlik fonksiyonu grafiği

4.5 Besleme Çözeltisi Fizikokimyasal Analiz Sonuçları

Elektroegirme sürecinde besleme çözeltisinin pH, elektriksel iletkenlik ve viskozite gibi fizikokimyasal özellikleri Çizelge 4.10'da verilmiştir. Elektroegirme besleme çözeltisinin pH değeri $2,35 \pm 0,03$; elektriksel iletkenliği $1,65 \pm 0,05$ mS/cm (1650 ± 50 μ S/cm) ve viskozitesi $148,9 \pm 0,2$ mPa.s olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.10).

Besleme çözeltisinin asidik pH değerine sahip olması, formülasyonda bulunan tartarik asit varlığı ile ilişkilendirilebilir. Tartarik asidin çözelti ortamında iyonik dengeyi etkilemesi, elektroegirme sırasında jet oluşumu ve lif oluşum davranışı üzerinde dolaylı bir rol oynamış olabileceği düşünülmektedir. Ramakrishna vd. (2005), pH'nın elektroegirme sürecinde doğrudan bir kontrol parametresi olmaktan ziyade, çözeltinin elektriksel özellikleri ve polimer zincir etkileşimleri üzerinden etkili olduğunu belirtmiştir. Benzer şekilde Huang vd. (2003), pH değişimlerinin çoğunlukla iletkenlik ve reolojik davranıştaki değişimler yoluyla lif oluşumuna yansıdığını raporlamıştır.

Besleme çözeltisinin elektriksel iletkenliği 1650 ± 50 μ S/cm olarak belirlenmiştir. Elektroegirmede iletkenlik, jet üzerinde taşınan yük miktarını belirleyen temel parametrelerden biridir. İletkenliğin artmasıyla elektrostatik itme kuvvetlerinin güçlendiği, bunun da jetin daha fazla uzamasına ve lif çapının incelmeye katkısı sağladığı literatürde açıkça ifade edilmektedir (Bhardwaj & Kundu, 2010). Greiner ve Wendorff (2007) da yeterli iletkenliğin kararlı jet oluşumu için kritik olduğunu, düşük iletkenlik değerlerinde ise jet kopmaları ve boncuklanma eğiliminin arttığını bildirmiştir. Bu çalışmada elde edilen iletkenlik değeri, %7 PVA bazlı ve organik asit içeren elektroegirme çözeltileri için literatürde raporlanan değerlerle uyumludur.

Besleme çözeltisinin viskozitesi $148,9 \pm 0,2$ mPa.s olarak belirlenmiştir. Viskozite, polimer zincir dolaşıklığının bir göstergesi olup elektroegirme sırasında sürekli lif oluşumu için kritik öneme sahiptir. Ramakrishna vd. (2005), düşük viskozitelerde jetin damlacık rejimine geçtiğini ve boncuklanmanın baskın hale geldiğini; buna karşılık aşırı yüksek viskozitelerde jet akışının zorlaştığını rapor etmiştir. Benzer şekilde Bhardwaj ve Kundu (2010), uygun viskozite aralığının lif sürekliliği ve homojenliği açısından belirleyici olduğunu vurgulamıştır. Bu çalışmada elde edilen viskozite değeri, PVA bazlı sistemlerde sürekli ve homojen lif oluşumunu destekleyen orta düzey viskozite aralıkları ile uyumludur. Ayrıca düşük standart sapma değeri, çözeltinin homojenliğini ve ölçümlerin tekrarlanabilirliğini göstermektedir.

Çizelge 4.10 : Elektroegirme besleme çözeltisi fizikokimyasal değerleri

	pH	İletkenlik (μ S/cm)	Viskozite (mPa.s)
Besleme Çözeltisi	$2,35 \pm 0,03$	1650 ± 50	$148,9 \pm 0,2$

4.6 Besleme Çözeltisi Renk Analizi Sonuçları

Besleme çözeltisi için elde edilen renk analizinden L^* , a^* , b^* değerleri Çizelge 4.11’da verilmiştir. Çözeltinin orta parlaklıkta kırmızı sarı tonların birlikte bulunduğu bir renge sahip olduğunu gösteren bu sonuçlar CIELAB renk uzayına göre yarı parlak olarak nitelendirilebilir. Bu sonuç çözeltinin çok koyu veya çok açık bir tona sahip olmadığını ve elektroğirmede renk aktarımının dengeli olabileceğini göstermektedir (Konica Minolta Sensing Americans, 2022).

Pozitif a^* değeri kırmızılık bileşeninin varlığı, bu değerden daha yüksek b^* değeri ise sarı bileşeninin daha baskın olduğunu ifade etmektedir. Bu sonuçlara göre bitkisel ekstratların etanol ortamında çözündüğünde benzer renk davranışları göstermesiyle uyumlu olduğu söylenebilir (Vega vd., 2025). Çözeltinin C değeri rengin doygunluğunun belirgin fakat parlaklığının az olduğunu bir göstergesidir (Çizelge 4.11). Hue açısı ($H=70.1$) rengin kırmızıdan sarıya geçiş bölgesinde yer aldığını göstermekte olup karotenoid içerikli doğal pigmentlerin tipik özellikleri ile uyumludur (Vega vd., 2025).

Literatürde başlangıç elektroğirme işlemi için kullanılan başlangıç çözeltisinin CIE Lab* parametrelerinin son ürünün renk stabilitesi ile arasında güçlü bir korelasyon gösterdiği bildirilmiştir (Boruckowska vd., 2025; Topuz vd., 2024).

Çizelge 4.11: Besleme çözeltisi renk değerleri

	L^*	a^*	b^*	C	H
Besleme Çözeltisi	64,25±0,85	9,06±0,01	25,03±0,25	26,62±0,23	70,1±0,1

4.7 Nanofiber Tekstür Analiz Sonuçları

Nanoliflerin tekstür analizinde değerlendirilen parametreler ve sonuçlar Çizelge 4.12’de verilmiştir. Bu sonuçlar lif matrisinin yapısal büyüklüğü ve elastik davranışı açısından önemlidir. Mekanik dayanım (resistance to extension) değerleri 5,61 ile 11,25 N aralığında değişmiştir. Sonuçlar polimer ağ yapısının kuşburnu çekirdeği bileşenleriyle etkileşim düzeyine bağlı şekilde farklı mekanik davranışlar gösterdiği yönündedir. PVA sistemlerinde fenolik bileşiklerin hidroksil gruplarıyla kurdukları hidrojen bağlarının arasında etkileşimi kuvvetlendirdiği fakat bu bağların ortam koşullarına duyarlı olduğu önceki çalışmalarda gösterilmiştir (Ni vd., 2022). Bu sebeple kuşburnu içeren örneklerin (RNF-1 ve RNF-2) nispeten düşük dayanıma sahip olması, matris içerisindeki bağ yoğunluğunun homojen olmamasından kaynaklanabilmektedir.

Uzayabilirlik (extensibility) değerleri incelendiğinde nanoliflerin kırılğan yapısı nedeniyle yük uygulamasının erken aşamalarında kopma meydana geldiği ve bu durumun uzayabilirlik değerlerinin nicel olarak belirlenmesini sınırlandırdığı gözlemlenmiştir. Liflerin elastik davranışı nitel olarak değerlendirildiğinde; polifenol veya doğal ekstrakt katkılı liflerde liflerin sertliği artarken, uzayabilirlikleri üzerinde belirgin bir değişim olmadığı literatürde de belirtilmektedir (Jiamboonsri vd.,

2024). Bu durum PVA'nın yüksek kristalitesine bağlı kısıtlı hareketliliği ile açıklanabilir. Bir çalışmada PVA bazlı oluşturulan elektroğirme lifleri konsantrasyon, voltaj, toplayıcı uzaklığı ve ortam neminin lifin yapısında belirleyici olduğu, bu durumun da doğrudan mekanik özelliklere yansıdığını ortaya koymuştur (Türkoğlu vd., 2024).

Çizelge 4.12: Nanolif tekstür sonuçları

	Mekanik Dayanım (N)	Uzayabilirlik (mm)
RNF-1	5,61±1,80	33,08±10,39
RNF-2	9,41±3,12	33,19±9,88
CNF-1	11,25±1,49	28,34±0,50
CNF-2	6,78±1,06	28,44±0,93

RNF-1 ve RNF-2: Fenolik bileşen yüklü nanolifler, CNF-1 ve CNF-2: Kör nanolifler (Kontrol)

4.8 FT-IR Analiz Sonuçları

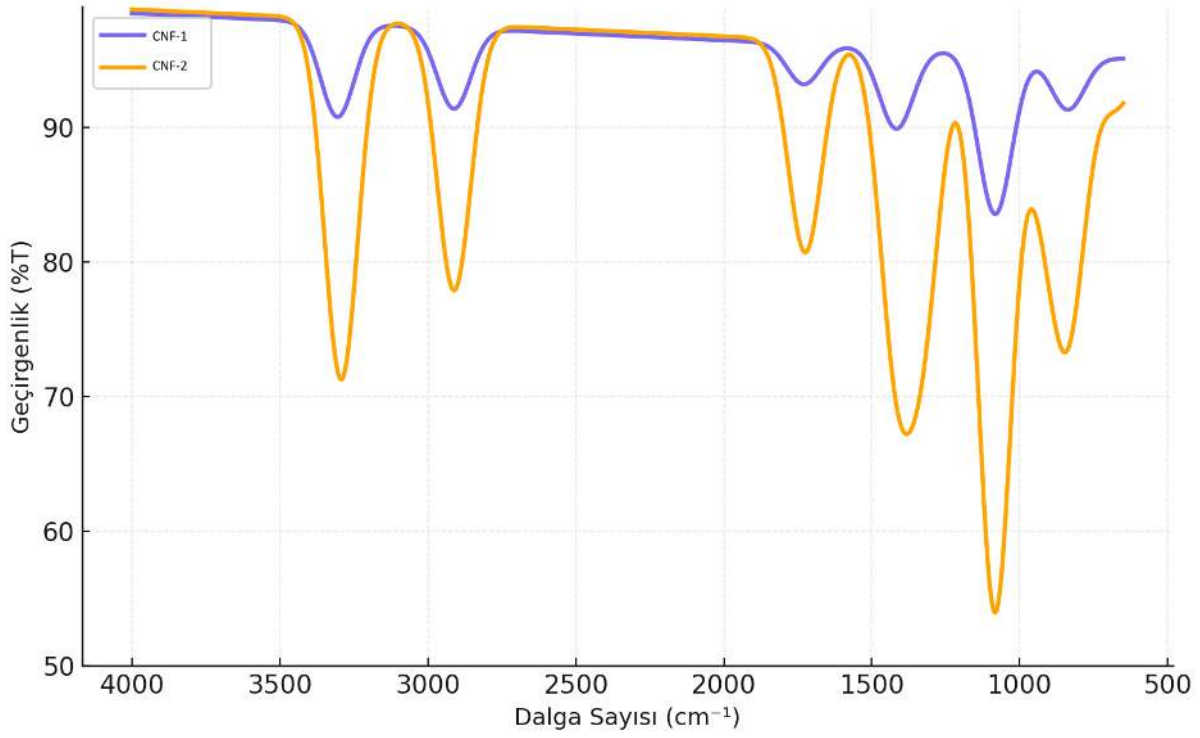
Nanoliflerin kimyasal yapısında ekstrakt ilavesi sonucunda oluşan etkileşimler ve matriste meydana gelen yapısal değişimleri belirlemek amacıyla FTIR spektrumları alınmıştır. Nanolif örnekleri için yapılan FT-IR spektrum sonuçları incelendiğinde, PVA matrisinin karakteristik bantlarının korunduğu ancak kuşburnu çekirdeği ekstraktı içeren liflerde yeni sinyaller olduğu görülmektedir (Şekil 4.16, Şekil 4.17). Tüm örneklerde bulunan 3300 cm^{-1} çevresindeki geniş bant, PVA ve fenolik bileşiklerde yer alan hidroksil (-OH) gruplarının titreşimlerinden kaynaklanmaktadır. RNF-1 ve RNF-2 liflerinde bu bandın daha geniş olması içerdikleri fenolik hidroksil grupların PVA ile hidrojen bağı etkileşimi olduğuna işaret etmektedir (Türkoğlu vd., 2024; Rezaei vd., 2024)

2900 cm^{-1} civarında orta şiddetli pikler PVA yapısındaki C-H gerilmelerine karşılık gelmektedir. 1730 cm^{-1} civarında kontrol numuneleri düşük şiddetli bir bant gözlemlenirken yüklü liflerde bu bant daha belirgin seyretmiştir. Bunun sebebi kuşburnu çekirdeği ekstraktında bulunan ester ve karboksilik bileşiklerin C=O gerilme titreşimlerinden kaynaklanabilmektedir. Literatürde polimer matrisindeki bitkisel film sistemlerinde benzer şekilde davranış bildirilmiştir (Shiri vd., 2025).

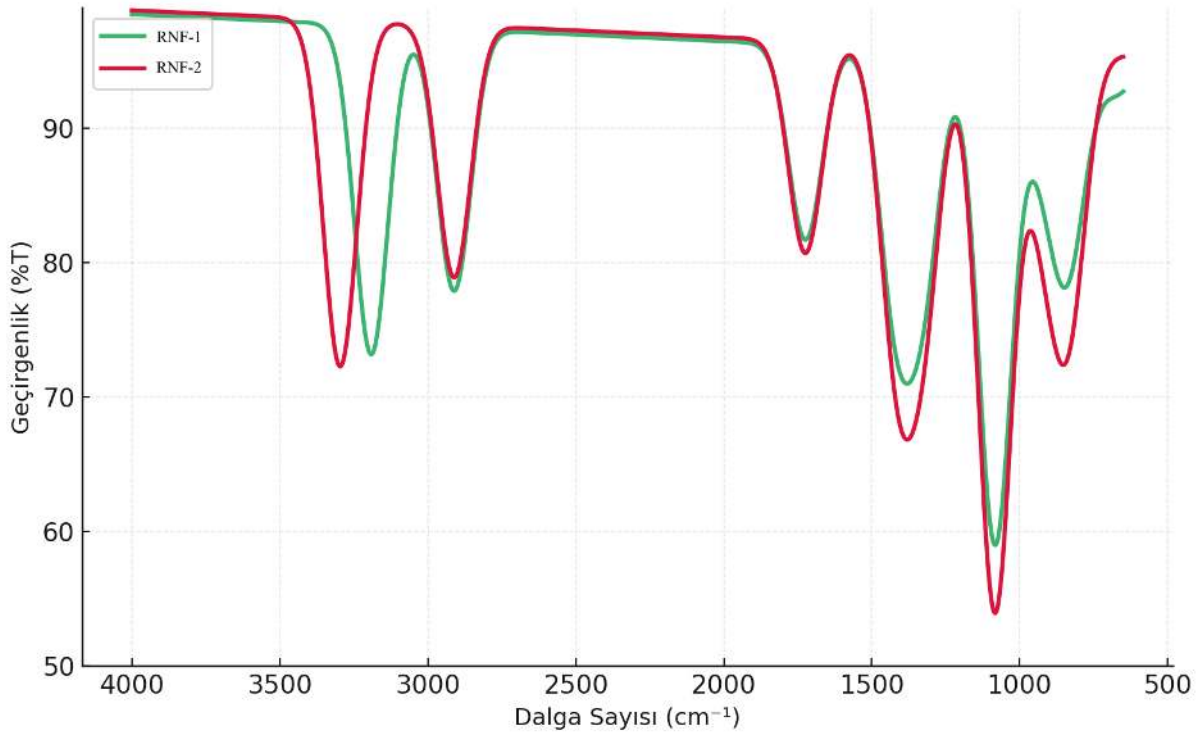
$1400\text{-}1325\text{ cm}^{-1}$ aralığındaki bantlar CH_2 bükülmesi ve C-O gerilmesine karşılık gelirken $1085\text{-}1080\text{ cm}^{-1}$ bölgesinde yüksek şiddetli pikler PVA'nın C-O-C gerilmesini göstermektedir. Yüklü örneklerde 1080 cm^{-1} bandının geçirgenlik şiddetinin azalması, kuşburnu fenolik bileşiklerinin PVA zincirleri ile arasındaki hidrojen bağlarına katılması ve polimer kristallliğini azaltması sonucu olduğunu düşündürmektedir (Kaplan, 2025; Güler, 2024).

$830\text{-}670\text{ cm}^{-1}$ aralığında görülen zayıf pikler C-H titreşimlerine aittir. Yüklü lif örneklerinde (RNF-1, RNF-2) bu bantların yerinde küçük kaymaların olduğu gözlemlenmektedir. Bunun sebebinin polimer zincir düzeninin ekstrakt tarafından kısmen değiştirildiği ve matriste fiziksel etkileşim oluşturduğu düşünülmektedir. Benzer şekilde Güler 2024 çalışmasında kafeik asit jelatin nanoliflerinde aktif-

polimer etkileşimiyle kayma gerçekleştiği belirtilmiştir (Güler, 2024). Başka bir çalışmada gallik asit yüklü bezelye unu içeren nanoliflerin FTIR spektrumlarında bazı bantlarda kaymalar ve bant şiddetlerinde değişimler olduğu rapor edilmiştir (Aydogdu Emir vd., 2021).



Şekil 4.16: Kontrol nanolif örneklerinin FT-IR Spektrumu



Şekil 4.17: Fenolik bileşen yüklü nanolif örneklerinin FT-IR spektrumu

4.9 Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Analiz Sonuçları

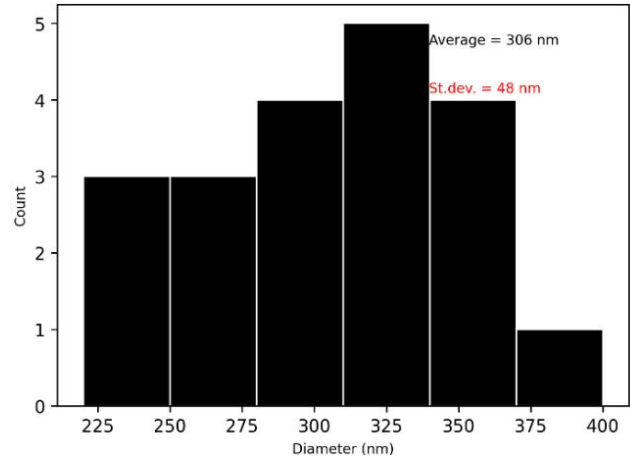
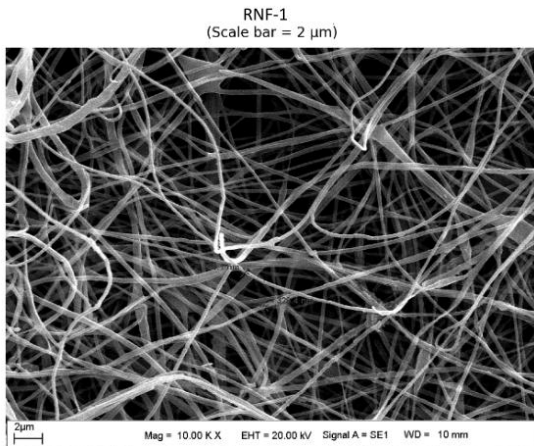
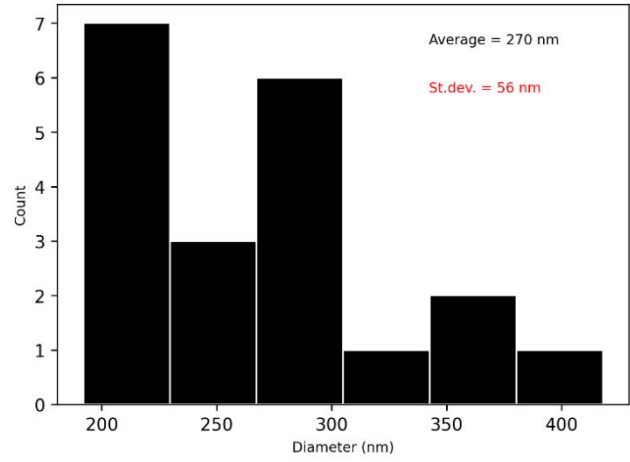
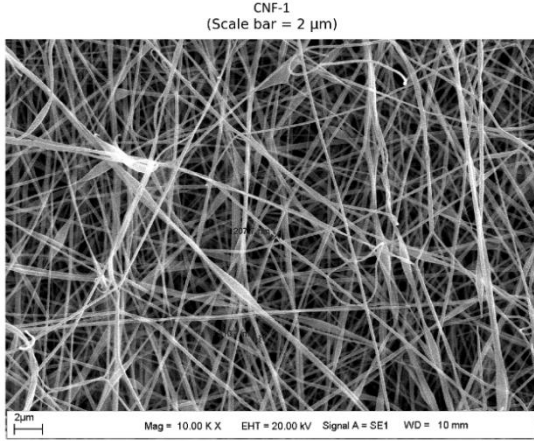
Elektroegirme işlemi sonucunda elde edilen nanoliflerin SEM görüntülerinde tipik PVA nanolif morfolojisi gözlemlenmektedir. Sonuçlar incelendiğinde liflerin düzgün, sürekli ve çoğunlukla boncuksuz bir yapı sergilediği görülmektedir (Şekil 4.18). CNF-1 numunesi ortalama lif çapı 270 ± 56 nm, CNF-2 numunesi ise 338 ± 76 nm olarak belirlenmiştir. Kuşburnu içeren numuneler olan RNF-1, RNF-2’de ortalama lif çapları sırasıyla 306 ± 76 nm ve 348 ± 86 nm olarak ölçülmüştür.

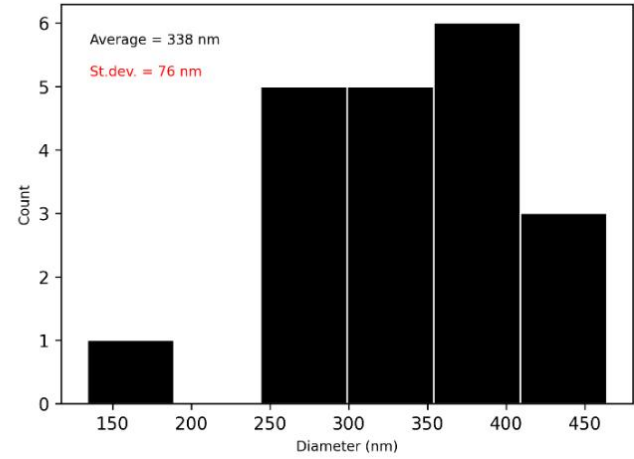
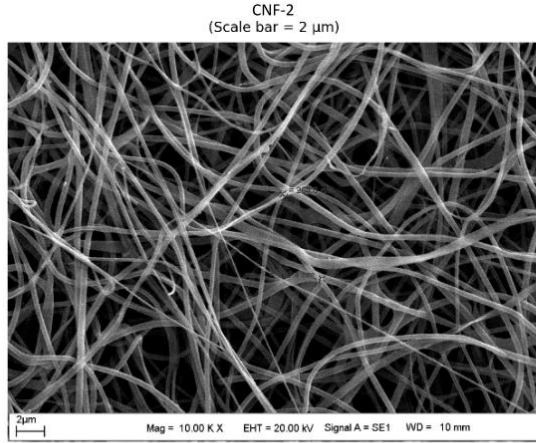
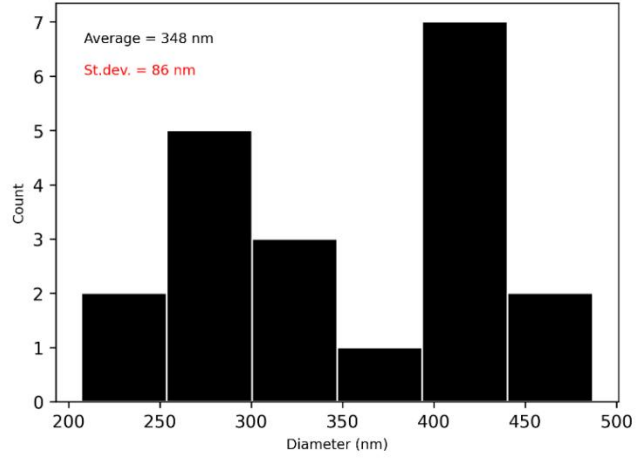
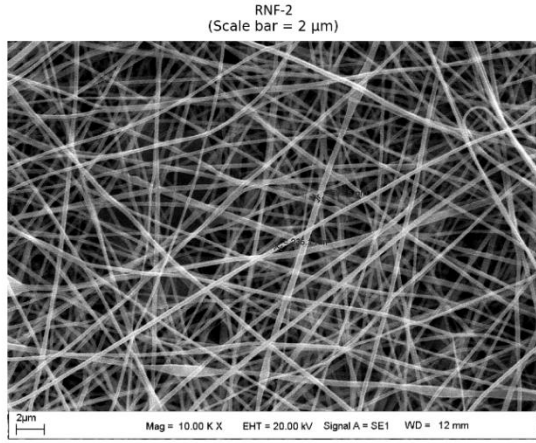
Kontrol gruplarındaki bu farklılığın elektroegirme koşullarındaki değişikliklerden kaynakladığı düşünülmektedir. Voltaj ve çözelti akış hızının lif çaplarında belirleyici rol oynadığı, yüksek voltajda oluşturulan liflerin çözeltide daha fazla yük taşımaya neden olduğu ve ince lifler oluşturduğu bildirilmiştir (Mohammadi vd., 2024).

Mercimek unu/ Hidroksipropil Metilselüloz (HPMC) karışımından elde edilen elektroegirme nanoliflerin lif morfoloji sonuçları incelenmiş ve lif çaplarının mercimek unu konsantrasyonuna göre değişiklik gösterdiği rapor edilmiştir (Tam vd., 2017). SEM görüntülerinde ekstrakt yüklü nanolif yapısında sürekliliğin bozulmadığı homojen bir morfoloji sağladığı belirlenmiştir. Oleuropein katkılı kitosan nanoliflerin benzer şekilde morfolojiye olumsuz bir etki göstermediği bildirilmiştir (Yörüksoy vd., 2024). Bir başka çalışmada doğal renk maddeleri ve antioksidan içeren polisakkarit bazlı

nanoliflerin uygun çözücü kombinasyonları ile kararlı yapılarının korunduğu vurgulanmıştır (Amorim vd., 2024).

Elde edilen sonuçlarda lif çaplarının aralarındaki farkların düşük olması elektroğirme sürecinin kararlı olduğunu göstermektedir. Literatür çalışmalarında rapor edilen aktif bileşen yüklü nanoliflerle uyumlu bulunmuştur (Huang vd., 2024; Mohammadi vd., 2024).





Şekil 4.18: Kör (CNF-1, CNF-2) ve yüklü (RNF-1, RNF-2) lif numunelerinin SEM görüntüleri

4.10 DSC Analiz Sonuçları

Nanolif numunelerin termal özellikleri Diferansiyel Taramalı Kalorimetri (DSC) analizi ile incelenmiş ve elde edilen DSC eğrileri, amorf faz geçişleri ile yüksek sıcaklıkta gerçekleşen termal olayların belirlenmesinde kullanılmıştır (Şekil 4.19, Şekil 4.20). Tüm nanolif numunelerinde DSC eğrilerinde cam geçiş sıcaklığına (T_g) karşılık gelen baz çizgileri kaymaları gözlemlenmiş olup, T_g değerleri 48-53°C aralığında değişmiştir (Çizelge 4.13). Bu sıcaklık aralığı, PVA esaslı sistemlerde daha kısıtlı amorf fazın hareketlenmesine karşılık gelmekte ve literatürde rapor edilen PVA bazlı elektroegirme nanolif T_g değerleriyle uyum göstermektedir (Yang vd., 2022; Huang vd., 2024). Ekstrakt yüklü (RNF-1, RNF-2) ve kör (CNF-1, CNF-2) numunelerde T_g 'nin benzer bir bantta gözlenmesi, ekstrakt ilavesinin polimer matrisinin ana amorf faz hareketliliğini tamamen değiştirmediğini, ancak lokal etkileşimler yoluyla zincir dinamiğini sınırlı düzeyde etkilediğini göstermektedir.

Bazı numunelerde Tg'ye ek olarak daha düşük sıcaklıklarda ikincil geçiş davranışları da gözlenmiştir. Bu tür düşük sıcaklık geçişleri, elektroegirme nanoliflerde matriste bulunan nem, düşük molekül ağırlıklı bileşenler veya polimer zincirlerinin daha serbest segmentlerine ait ikincil relaksasyonlar ile ilişkilendirilmektedir. Benzer şekilde, polifenol veya düşük molekül ağırlıklı fenolik bileşen içeren PVA sistemlerinde birden fazla termal geçişin rapor edildiği çalışmalar mevcuttur (Yang vd., 2022; Zeren vd., 2022).

DSC eğrilerinde tüm numunelerde yaklaşık 200-210°C aralığında düşük entalpili bir termal olay tespit edilmiştir. Bu olay, PVA esaslı sistemlerde düşük dereceli kristal bölgelerin yeniden düzenlenmesi veya matristeki etkileşimli yapıların termal olarak ayrışması ile ilişkili bir öncü termal olay olarak değerlendirilebilir. Ekstrakt yüklü numunelerde bu olayın entalpisinin kör numunelere kıyasla daha düşük olması, polifenolik bileşenlerin polimer zincirleri arasındaki düzenlenebilir kristal yapıların gelişimini sınırladığına işaret etmektedir. Benzer eğilimler, polifenol ilavesinin PVA matrisinin termal davranışı üzerindeki etkisini inceleyen çalışmalarda da rapor edilmiştir (Yang vd., 2022; Huang vd., 2024).

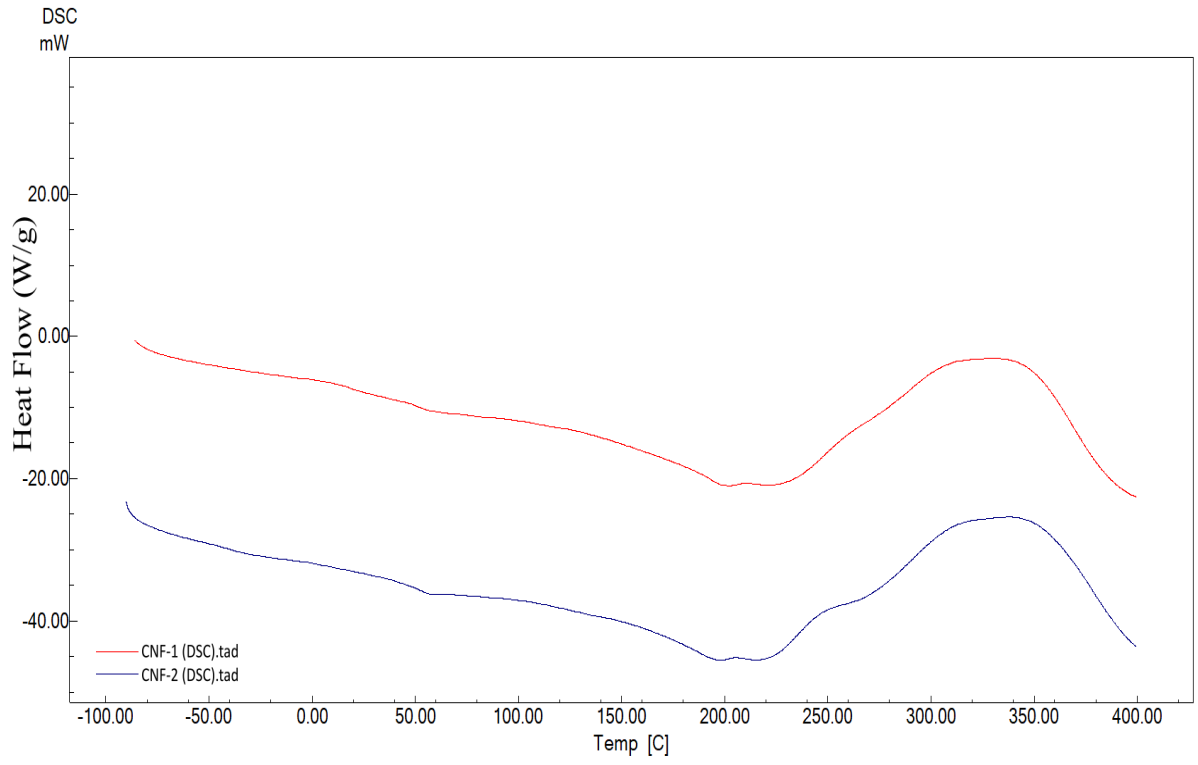
DSC eğrilerinde ayrıca 330-340°C civarında geniş ve yüksek entalpili bir termal bölge gözlenmiştir. Bu sıcaklık aralığının, TGA ve DTG analizlerinde belirlenen ana kütle kaybı bölgesi ile örtüştüğü görülmektedir. Bu nedenle söz konusu endotermik olay, saf bir erime davranışından ziyade termal bozunma ile örtüşen geniş bir endotermik bölge olarak değerlendirilmiştir. PVA ve PVA bazlı nanolif sistemlerde yüksek sıcaklıkta gözlenen bu tür endotermik olayların, polimer zincirlerinin bozunması ile ilişkili olduğu literatürde de belirtilmektedir (Tsiptsias vd., 2023; Yang vd., 2022).

DSC sonuçları, ekstrakt ilavesinin nanoliflerin düşük sıcaklık geçiş davranışları ve düşük entalpili termal olaylar üzerinde etkili olduğunu, buna karşın yüksek sıcaklıkta gerçekleşen ana termal bozunma bölgesinin sıcaklık aralığını belirgin şekilde değiştirmedeğini göstermektedir. Bu bulgular, elektroegirme ile üretilen PVA bazlı nanoliflerin termal davranışlarının, matrise dahil edilen polifenolik bileşenlerle birlikte çok fazlı ve heterojen bir yapı sergilediğini ortaya koymaktadır (Zeren vd., 2022; Huang vd., 2024).

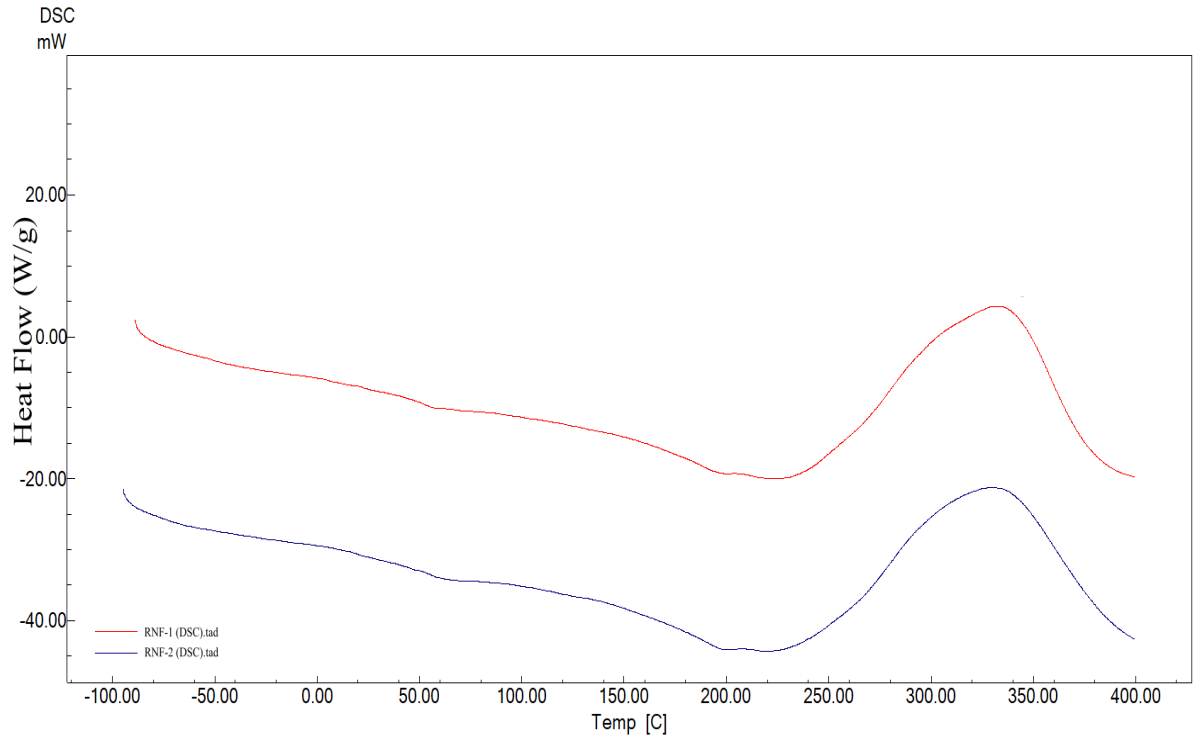
Çizelge 4.13: Nanolif DSC Analiz Sonuçları

	Tg (Midpoint, °C)	Endotermik Pik Sıcaklığı (°C)	ΔH (J/g)
RNF-1	49,55	332,18	6,30
RNF-2	52,26	330,33	5,54
CNF-1	51,56	330,38	5,81
CNF-2	48,35	338,07	5,33

RNF-1 ve RNF-2: Fenolik bileşen yüklü nanolifler, CNF-1 ve CNF-2: Kör nanolifler (Kontrol)



Şekil 4.19: Kör örneklerin DSC eğrileri



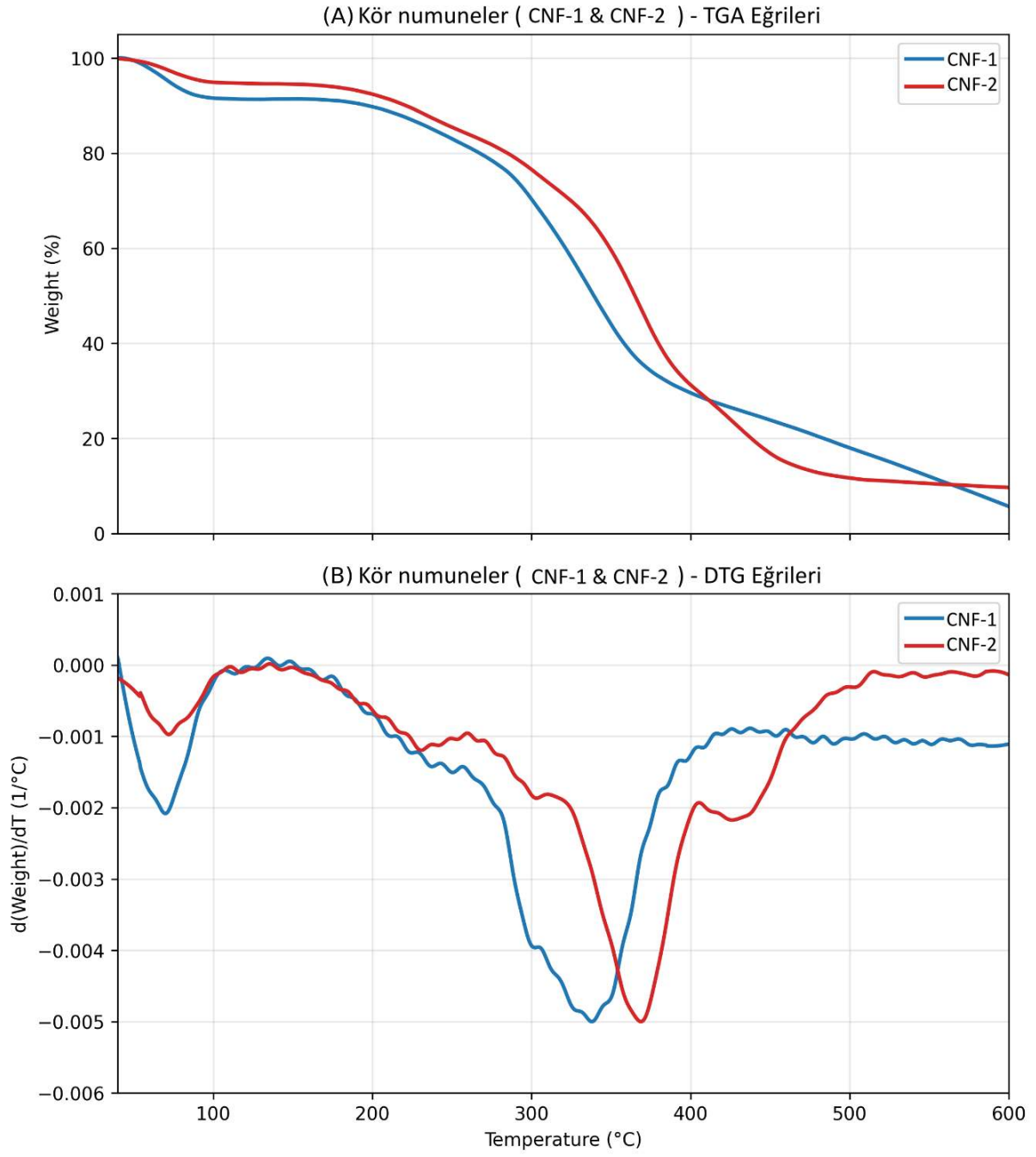
Şekil 4.20: Yüklü örneklerin DSC eğrileri

4.11 TGA Analiz Sonuçları

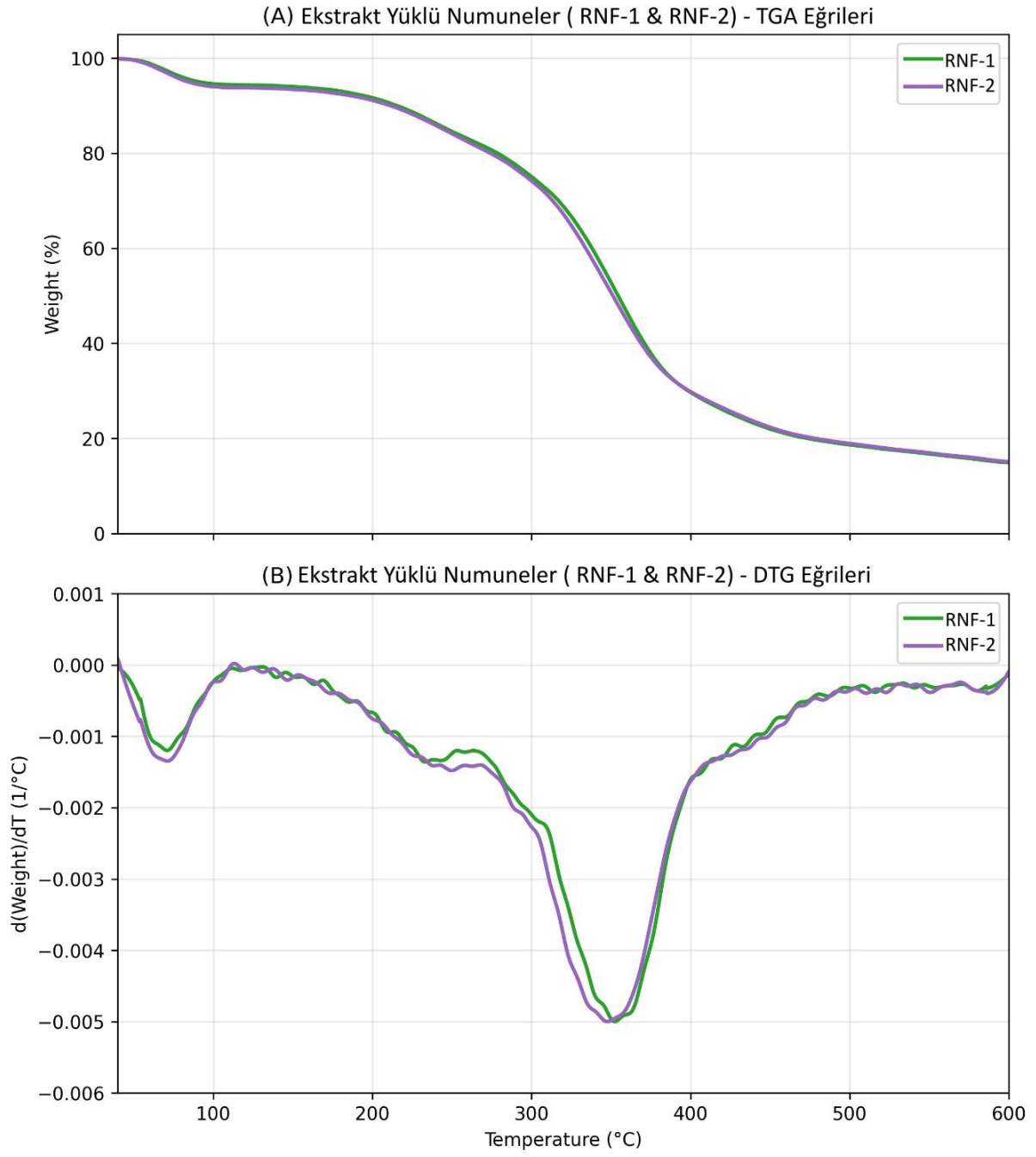
Elde edilen nanoliflere ait Termogravimetik (TGA) ve Türetilmiş Termogravimetrik analiz sonuçları Şekil 4.21 ve Şekil 4.22’de verilmiştir. Örneklerin 40-600°C aralığında kütle kaybı davranışları PVA için tanımlanan üç kademeli model ile uyumludur. İlk kademede 40-120°C düşük oranda kütle kaybı bağlı suyun uzaklaştırılmasına karşılık gelmektedir (Holland & Hay, 2001; Yang vd., 2012). Bu bölgedeki eğrilerin birbirine yakın ilerlemesi elektroegirme parametresi veya su tutma kapasitesinin belirgin bir değişikliğe sebep olmadığını göstermektedir.

200-400°C aralığında asıl termal bozunmanın gerçekleştiği görülmektedir. Kör numunelerde DTG CNF-1’de düşük sıcaklıkta maksimum oluşmasına karşın CNF-2’de yüksek sıcaklıkta olmuştur (Şekil 4.21). Bu durum termal kararlı bir yapı sergilediğini ve kristalinlik derecesindeki farklılıkların PVA zincilerinin ayrışma sıcaklığını değiştirebilmesi ile açıklanabilir. 400°C sonrasındaki eğrinin eğimi belirgin şekilde azalmış daha yavaş kütle kaybı profili ortaya çıkmıştır. PVA’nın bozunması ile oluşan karbon kalıntılarının ve daha yüksek sıcaklıklarda parçalanan diğer kısımların uzaklaşmasına karşılık gelmektedir (Tsiptsias vd., 2023).

Ekstrakt yüklenmiş örneklerde TGA ve DTG eğrilerinin neredeyse çakıştığı ve kör numunelere göre ana bozunma basamağında belirgin bir kayma gerçekleşmediği görülmektedir (Şekil 4.22). Bu sonuç, kuşburnu ekstraktının belirgin oranda PVA matrisine karışmasıyla polimerin termal bozunma mekanizmasını bozmadığını göstermektedir (Yang vd., 2022). 600°C’de ekstraktlı örneklerde kalan artık kütlenin kör örneklerle göre daha yüksek olması, ekstraktın içerdiği fenolik bileşikler ve aromatik yapıların ısı ortamda karbonlaşmayı teşvik ettiği daha önceki çalışmalarda rapor edilmiştir (Huang vd., 2024; Yang vd., 2022). Benzer bir eğilim doğal bileşik veya renk içeren maddelerin elektroegirme liflerinde de bildirilmiştir (Amorim vd., 2024).



Şekil 4.21: Kör örneklerin TGA ve DTG grafikleri



Şekil 4.22: Yüklü örneklerin TGA ve DTG grafikleri

4.12 Nanoliflerin Antioksidan Aktivitesi

Üretilen nanoliflere ait DPPH, ABTS, FRAP indirgeme aktiviteleri ve toplam fenolik madde sonuçları Çizelge 4.14’de verilmiştir. Yüklü nanolifler ile yalnızca polimer içeren kontrol numuneleri arasında tüm parametrelerde anlamlı farklar oluşmuştur ($P<0,05$).

Ekstrakt yüklenmiş nanolifler olan RNF-1, RNF-2’nin antioksidan aktivite değerlerinin yüksek çıkması, lif yapısına fenolik bileşenlerin aktarılabilirdiğini göstermektedir. Liflerde erişilebilir fenolik bileşen miktarı arttıkça DPPH, ABTS gibi radikallerin indirgeme kapasitesi de artmaktadır (Vilchez vd., 2020). Sonuçlar incelendiğinde RNF-1 numunesinin ABTS değeri haricinde tüm çalışmalarda daha yüksek değer verdiği görülmektedir. RNF-1, RNF-2 numunelerinde ABTS değerleri sırasıyla 13,16 ve 4,75 mg Trolox/g bulunmuştur. Bu durum yüklenen bileşiklerin ölçüm sistemlerine göre farklı tepkiler verebileceğini düşündürmektedir. Naringenin içeren PLA nanoliflerinde yapılan benzer bir çalışmaya göre aynı nanolif içerisinde bile farklı antioksidan testlerinde farklılıklar görülmüştür. Bunun sebebi ölçümlerin radikal türü, pH, reaksiyon ortamı gibi parametrelere duyarlı olması olduğu bildirilmiştir (Seyhan vd., 2024).

Gıda sistemlerinde uygulanabilecek polifenol yüklü eletrospun liflerinin değerlendirildiği bir çalışmada, polifenollerin liflerde kalması kadar ölçümde polifenole erişilebilmesi ve polifenol etkileşiminin güçlü olup olmamasının önemli olduğu saptanmıştır (Günel-Köroğlu vd., 2025). Yüklü nanolifler arasındaki değer farkları da benzer şekilde açıklanabilir.

Yapılan bir çalışmada santrifüj ile eğrilmiş jelatin içeren aktif liflerinde yüklenen fenolik bileşenlerin varlığı DPPH ve FRAP ile doğrulanmış ancak fenolik türüne ve lif yapısına bağlı olarak sonuçları arasında büyük farklar görülebileceği belirtilmiştir (Güler, 2024).

Kör numuneler yalnızca PVA ve tartarik asit (%1) varlığından üretilmiş kontrol lifleri olup fenolik kaynaklı antioksidan bileşen içermediği bilinmektedir. Benzer çalışmalarda da biyoaktif yükleme yapılmamış elektroegirme örneklerinde antioksidan test sonuçlarının ya çok düşük ya da ihmal edilebilir düzeyde saptandığı sonucuna varılmıştır (Vilchez vd., 2020). Literatürde organik asitlerin (tartarik asit, sitrik asit, malik asit) DPPH radikale karşı zayıf etki gösterebildiği fakat özellikle FRAP gibi elektron transferi temelli testlerde fenolik bileşenler kadar reaksiyon göstermediği rapor edilmiştir (Zhang vd.,2019; Mikaelyan vd., 2024). Sonuçların yapılan çalışmalarla uyumlu olduğu düşünülmektedir.

Çizelge 4.14: Yüklü ve kör numunelerin antioksidan aktiviteleri

	DPPH (mg Trolox/g)	ABTS (mg Trolox/g)	TP (mg GAE/g)	FRAP ($\mu\text{mol Fe}^{2+}/\text{g}$)
RNF-1	33,69 $\pm$ 0,86 ^A	4,75 $\pm$ 0,42 ^B	1,31 $\pm$ 0,11 ^A	12,55 $\pm$ 0,07 ^A
RNF-2	29,68 $\pm$ 3,21 ^A	13,16 $\pm$ 0,42 ^A	0,87 $\pm$ 0,00 ^B	11,25 $\pm$ 0,44 ^B
CNF-1	7,60 $\pm$ 0,28 ^B	TE	TE	TE
CNF-2	9,11 $\pm$ 0,06 ^B	TE	TE	TE

TE: Tespit edilemedi.

RNF-1 ve RNF-2: Fenolik bileşen yüklü nanolifler, CNF-1 ve CNF-2: Kör nanolifler (Kontrol)

4.13 Nanoliflerin Fenolik Madde Profili

Kuşburnu çekirdeği ekstraktı ile zenginleştirilmiş nanoliflerin (RNF-1, RNF-2) ve kör numunelerin (CNF-1, CNF-2) fenolik bileşen konsantrasyonları 280, 320 ve 360 nm’de belirlenmiştir. Yapılan analiz sonuçlarına göre yüklü nanoliflerde 25 fenolik bileşen tespit edilmiştir (Çizelge 4.15). Yüklü nanoliflerde birçok bileşik saptanmış bu da elektroegirme işlemi ile polimer matrisi içerisinde fenolik bileşenlerin etkili biçimde aktarıldığını ortaya koymaktadır.

Gallik asit, kafeik asit, p-kumarik asit, ferulik asit ve klorojenik asit değerlerinde ekstrakt yüklemenin anlamlı düzeyde içerik artışı sağladığı görülmektedir. Bu bulgular kuşburnu posası ve çekirdeği üzerine yapılmış literatür çalışmaları ile uyumludur (Tanor vd., 2020; Güney, 2020). Çalışmalarda özellikle hidroksibenzoik ve hidroksisünamik asit türevlerinin kuşburnu çekirdeğinde önemli fenolik bileşenler arasında yer aldığı bildirilmektedir.

Literatürde yapılan bir çalışmaya göre elektroegirme koşullarındaki değişikliklerin lif yapısı içindeki dağılımı ve tutunma oranını belirgin biçimde etkileyebileceği bildirilmiştir (Aman Mohammadi vd., 2024). Benzer şekilde Topuz ve arkadaşları biyopolimer bazlı elektroegirme sistemlerinde işlem koşullarının enkapsülasyon verimini doğrudan etkilediğini belirtmiştir (Topuz vd., 2024). Bu durumda yüklü numuneler arasındaki farkları açıklar niteliktedir.

Lif örneklerinde rutin, kuersetin, kuersetin-3-glukozit, luteolin, kaempferol ve myrisetin gibi flavonoidler anlamlı düzeyde saptanmıştır (Çizelge 4.15). Farklı kuşburnu türlerinde yapılan bir çalışmada flavonoid çeşitliliği tüm türler içinde varlığı bildirilmiş (Kunc vd., 2023). Ultrases destekli *Berberis vulgaris* ekstraktlarında rutin ve kuersetin türevlerini 1-7 mg/L aralığında bulunmuştur (Vega vd., 2025). Huang ve arkadaşları PVA kullandıkları liflerde çay polifenollerinin çözeltinin iletkenlik ve viskozitesine bağlı olarak değiştiğini raporlanmıştır. Bu parametrelerin optimize edilmesiyle fenolik tutulmanın artırılabilceği eklenmiştir (Huang vd., 2024).

Kuşburnu çekirdeği üzerine son yıllarda yapılan çalışmalar çekirdekte gallik, klorojenik, kafeik, p-kumarik ve ferulik asitlerin beraber bulunduğu ve toplam fenolik içeriğin 1-2 mg/g kuru madde aralığında değiştiği belirlenmiştir (Gavaric vd., 2023). Bir başka çalışmada meyve bazında kuşburnunun toplam fenolik içeriği 214,4 mg GAE/ kg olarak bildirilmiştir (Çürük vd., 2024). Bakır ve arkadaşlarının kuşburnu çekirdeğinde yapıtları çalışmada baskın fenolik bileşen olarak kateşin bulunmuştur. Aynı bileşiğin yalnızca ekstrakt yüklü nanoliflerde saptanması fenolik taşınımın doğru gerçekleştiğini göstermiştir (Bakır vd., 2024).

Elde edilen bulgular; elektroğirme yönetimiyle üretilen nanoliflerin fenolik bileşikleri koruduğunu, fenolik asit ve flavonoid gruplarını stabil biçimde taşıdığını ve yüklü lifler ile kör gruplar arasında anlamlı farklılıklar olduğunu göstermektedir. Benzer sonuçlar literatürde elektroğirme ile hazırlanan aktif ambalaj nanoliflerinde de rapor edilmiş, ekstrakt eklenmesi ile fenolik içeriğin antioksidan etkinliğin arttığı belirtilmiştir (Amorik vd., 2024; Yörüksoy vd., 2024).

Çizelge 4.15: Örneklerin HPLC fenolik madde sonuçları (ppm)

	RNF-1	RNF-2	CNF-1	CNF-2
Gallik asit	0.394±0.011 ^A	0.408±0.020 ^B	TE	TE
Protokteşik asit	0.240±0.021 ^A	0.256±0.013 ^B	TE	TE
Prosiyanidin B2	2.202±0.029 ^A	2.207±0.023 ^B	TE	TE
Kateşin	1.245±0.064 ^A	1.169±0.047 ^B	TE	TE
4-Hidroksibenzoik asit	0.138±0.028 ^A	0.085±0.013 ^B	TE	TE
Siringik asit	0.216±0.029 ^A	0.172±0.011 ^B	TE	TE
Epikateşin	0.113±0.024 ^A	0.089±0.001 ^B	TE	TE
Hesperidin	0.514±0.086 ^A	0.389±0.069 ^B	TE	TE
t-Cinnamik asit	0.094±0.000 ^A	0.043±0.006 ^B	TE	TE
Kaftarik asit	1.776±0.017 ^A	1.797±0.006 ^B	TE	TE
Klorojenik asit	1.735±0.002 ^A	1.739±0.000 ^B	TE	TE
2,5-Hidroksibenzoik asit	1.676±0.001 ^A	1.682±0.001 ^B	TE	TE
t-Kafeik asit	2.615±0.689 ^A	6.343±1.188 ^B	TE	TE
p-Kumarik asit	2.044±0.016 ^A	2.014±0.016 ^B	TE	TE
Sinapik asit	1.423±0.002 ^A	1.423±0.003 ^B	TE	TE
Ferulik asit	1.540±0.000 ^A	1.541±0.000 ^B	TE	TE
Resveratrol	0.210±0.001 ^A	0.208±0.001 ^B	TE	TE
Kuersetin-3-glukozit	7.322±0.554 ^A	5.947±0.754 ^B	TE	TE

Çizelge 4.16 (devam) : Örneklerin HPLC fenolik madde sonuçları (ppm)

	RNF-1	RNF-2	CNF-1	CNF-2
Kaempferol-3-glukozit	3.418±0.028 ^A	2.795±0.228 ^B	TE	TE
Mirisetin	1.625±0.038 ^A	1.534±0.025 ^B	TE	TE
Kuersetin	1.131±0.004 ^A	1.144±0.016 ^B	TE	TE
Luteolin	6.503±0.573 ^A	5.530±0.865 ^B	TE	TE
Kaempferol	1.378±0.008 ^A	1.241±0.031 ^B	TE	TE

TE: Tespit edilemedi.

RNF-1 ve RNF-2: Fenolik bileşen yüklü nanolifler, CNF-1 ve CNF-2: Kör nanolifler (Kontrol)

5 SONUÇ VE ÖNERİLER

Gıda endüstrisinde çoğunlukla atık olarak nitelendirilen ve değerlendirilmeyen kuşburnu (*Rosa canina* L.) çekirdeğinin bu tez çalışması kapsamında fenolik bileşikler açısından bir yan ürün kaynağı olabileceği hipotezi üzerine yoğunlaşmıştır. Bu atıklardan elde edilecek biyoaktif bileşiklerin geri kazanılması, PVA esaslı bir matris içerisine enkapsüle edilmesi değerlendirilmiştir. Elektroegirme yöntemi kullanılarak nanolif formu verilen matrisler yapısal, termal, morfolojik ve fonksiyonel özellikleri yönünden araştırılmıştır.

Çalışmanın ilk aşamasında yağı alınmış kuşburnu çekirdeğinin kimyasal bileşimi ve materyal özellikleri belirlenmiştir. Ekstraksiyon sonrasında elde edilen örneklerin antioksidan kapasiteleri araştırılmış ve fonksiyonel gıda bileşeni olarak kullanılabileceğine dair değerlendirmeler yapılmıştır. Çekirdeğin polifenol içeriği ve fonksiyonel zenginliği bakımından elektroegirme tabanlı taşıyıcı sisteme işlenmesi uygun bulunmuştur. Bu bağlamda Responce Surface Methodology (RSM) kullanılarak elektroegirme için deney tasarımı değerlendirilmiştir. RSM ile belirlenen optimum koşullar hem üretim sürecini standartlaştırmak hem de sonraki karakterizasyon aşamalarında tutarlı numuneler elde etmek için etkili bir temel oluşturmuştur.

Elektroegirme yöntemi ile elde edilen nanolifler antioksidan düzeyleri ve toplam fenolik içerikleri incelenmiştir. Elde edilen sonuçlarda yüklü nanolifler (RNF-1 ve RNF-2) ve kontrol numuneleri (CNF-1 ve CNF-2) antioksidan aktivite açısından anlamlı farklılıklar belirlenmiştir. RNF-1 lifi DPPH serbest radikal giderme kapasitesi hem de FRAP indirgeme gücü bakımında en yüksek değerde bulunmuş genel olarak yükleme oranı biyoaktif bileşen stabilitesi arasında optimum dengeyi yansıtmıştır. RNF-2 lifi ABTS serbest radikali üzerinde etkili bulunmuş (13,16 mg Trolox/g) ve kör lifler ile arasında istatistiksel düzeyde anlamlı farklar tespit edilmiştir. Toplam fenolik madde sonuçları da antioksidan aktiviteler ile paralel bir durum sergilemiştir. RNF-1 numunesi gram başına 1,31 mg GAE toplam fenolik içerirken RNF-2 lifinde bu değer gram başına 0,87 olarak bulunmuştur. Kör örneklerde toplam fenolik bileşene rastlanmamıştır.

Yapısal karakterizasyon amacıyla gerçekleştirilen FT-IR analizleri sonuçlarına göre PVA'nın karakteristik pikleri ortak olarak gözlenmiş; 3300-3400 cm^{-1} civarındaki geniş bant -OH gerilme titreşimlerine, 2900 cm^{-1} bölgesindeki C-H gerilme titreşimlerine ve 1085 cm^{-1} civarındaki C-O gerilme titreşimlerine karşılık gelmiştir. Ekstrakt yüklü numunelerde (RNF-1 ve RNF-2) bu bantların şiddetinde artışlar ve 1600-1650 cm^{-1} bölgesinde fenolik bileşiklere özgü C=O titreşimlerine ait yeni pikler belirlenmiştir. Kör numunelerde ekstraktların kimyasal varlığına yönelik pikler gözlenmemiştir. Buna göre nanolif matrisine kuşburnu çekirdeği ekstraktlarının entegre edilebildiği sonucuna varılabilmektedir. Morfolojik inceleme için taramalı elektron mikroskobu (SEM) kullanılmış ve lif morfolojisi incelenmiştir. Elde edilen görüntülerde düzgün ve boncuksuz nanolif üretildiği ayrıca

ekstrakt ilavesinin lif çapına belirgin bir etki gösterdiği saptanmıştır. Ortalama lif çapları k r örneklerde ortalama 180-220 nm aralığında değişirken yüklü liflerde bu değer ortalama 280-350 nm olarak ölçülmüştür. Aynı zamanda lif çap dağılımı homojen bulunmuş ve seçilen parametrelerin uygun seçildiğini göstermiştir.

Nanoliflerin termal kararlılığı TGA ve türevsel termogravimetrik analiz (DTG) sonuçları ile değerlendirilmiştir. Tüm numunelerde 40-600 C aralığında üç aşamalı tipik PVA bozunma profili gözlenmiştir. İlk aşama (40-120 C) adsorbe ve bağlı suyun uzaklaşmasına, ikinci aşama (220-380 C) PVA zincirinin dehidrasyon ve dekarboksilasyonuna, üçüncü aşama (400-550 C) ise karbonlu kalıntının parçalanmasına karşılık gelmiştir. K r ve ekstrakt yüklü numunelerin bozunma sıcaklıkları benzer eğilim göstermiş; ancak ekstrakt ilavesiyle ikinci aşamada meydana gelen kütle kaybı oranı azalmıştır. Bu durum, polifenolik bileşiklerin PVA zinciri üzerinde kısmi çapraz bağlanma veya etkileşim sağlayarak ısı dayanımı artırdığı şeklinde yorumlanmıştır. DSC analizleri de TGA bulgularını destekler nitelikte, ekstrakt içeren nanoliflerin termal geçiş davranışları kontrol numunelerine göre daha kararlı bir yapı sergilediğini ortaya koymuştur.

Bu tez kapsamında elde edilen bulgular, kuşburnu çekirdeği endüstriyel atığının fenolik bileşiklerce zengin bir kaynak olduğu ve bu bileşenlerin elektroeğirme yöntemiyle PVA esaslı nanolif sistemlerine başarıyla enkapsüle edilebildiği belirlenmiştir. Üretilen lifler yapısal olarak kararlı, morfolojik açıdan düzgün ve fonksiyonel olarak aktif bulunmuştur. FTIR, SEM, TGA, DSC ve antioksidan analizleri birlikte değerlendirildiğinde; kuşburnu ekstraktının nanolif yapısında kimyasal olarak etkileştiği, termal dayanımı olumsuz etkilemediği ve antioksidan etkinliğini koruduğu görülmüştür. Elde edilen sonuçlar, kuşburnu çekirdeği atığının yalnızca bir yan ürün değil, aynı zamanda fonksiyonel gıda bileşeni geliştirmeye elverişli sürdürülebilir bir hammadde olduğunu göstermektedir. Bu bulgulara bakılarak elektroeğirme nanoliflerin biyoaktif bileşik taşıyıcı sistem olarak gıda, kozmetik ve biyomedikal alanlarda kullanım potansiyeli taşıdığı düşünülmektedir.  zellikler doğal antioksidan kararlılığının arttırılması, kontrollü salınım uygulamaları ve aktif ambalaj sistemi geliştirilmesi açısından değerli bir alternatif sunmaktadır.

Çalışma sonucunda; nanoliflerin biyoaktif bileşenleri salınım kinetiği, depolama stabiliteleri, farklı biyopolimer karışım (PVA/PEA, PVA/Kitin, PVA/Pektin) denemeleri ve optimizasyonları, diğer tohum atıklarının (nar, kayısı çekirdeği,  z m) aynı yöntem ile değerlendirilmesi ve karşılaştırmalı analizlerinin yapılması, geliştirilen nanosistemlerin mikrobiyolojik yönden dayanıklılık ve raf ömrü testleri ile gıda ambalajlarına doğrudan adaptasyonu gibi başka birçok çalışmaya adaptasyonu sağlanması önerilmektedir.

KAYNAKLAR

- Abdelmaksoud, T. G., Younis, M. I., Altemimi, A. B., Tlay, R. H., & Ali Hassan, N.** (2025). Bioactive Compounds of Plant-Based Food: Extraction, Isolation, Identification, Characteristics, and Emerging Applications. *Food Science & Nutrition*, 13(6), e70351.
- Agourram, A., Ghirardello, D., Rantsiou, K., Zeppa, G., Belviso, S., Romane, A., Giordano, M.** (2013). Phenolic content, antioxidant potential, and antimicrobial activities of fruit and vegetable byproduct extracts. *International Journal of Food Properties*, 16(5), 1092-1104
- Akpabli-Tsigbe, N. D. K., Ma, Y., Ekumah, J. N., Osabutey, J., Hu, J., Xu, M., ... & Mintah, B. K.** (2022). Ultrasonic-assisted extraction of bioactive chlorogenic acid from heilong48 soybean variety: Parametric optimization and evaluation of physicochemical and bioactive properties. *Food Science & Nutrition*, 10(4), 985-1002.
- Altanam, S. Y., Darwish, N., & Bakillah, A.** (2025). Exploring the Interplay of Antioxidants, Inflammation, and Oxidative Stress: Mechanisms, Therapeutic Potential, and Clinical Implications. *Diseases*, 13(9), 309.
- Aman Mohammadi, M., Dakhili, S., Mirza Alizadeh, A., Kooki, S., Hassanzadazar, H., Alizadeh-Sani, M., & McClements, D. J.** (2024). New perspectives on electrospun nanofiber applications in smart and active food packaging materials. *Critical reviews in food science and nutrition*, 64(9), 2601-2617.
- Amorim, L. F., Mouro, C., & Gouveia, I. C.** (2024). Electrospun fiber materials based on polysaccharides and natural colorants for food packaging applications. *Cellulose*, 31(10), 6043-6069.
- Andrés, C. M. C., Pérez de la Lastra, J. M., Juan, C. A., Plou, F. J., & Pérez-Lebeña, E.** (2024). Antioxidant metabolism pathways in vitamins, polyphenols, and selenium: parallels and divergences. *International Journal of Molecular Sciences*, 25(5), 2600.
- Andrés, C. M. C., Pérez de la Lastra, J. M., Juan, C. A., Plou, F. J., & Pérez-Lebeña, E.** (2023). Polyphenols as antioxidant/pro-oxidant compounds and donors of reducing species: Relationship with human antioxidant metabolism. *Processes*, 11(9), 2771.
- AOAC International.** (2005). Official methods of analysis of AOAC International (18th ed., Method 984.13). Gaithersburg, MD: AOAC International.

- Awuchi, C. G., & Okpala, C. O. R.** (2022). Natural nutraceuticals, especially functional foods, their major bioactive components, formulation, and health benefits for disease prevention-An overview. *Journal of Food Bioactives*, 19.
- Ayala, A., Muñoz, M. F., & Argüelles, S.** (2014). Lipid peroxidation: production, metabolism, and signaling mechanisms of malondialdehyde and 4-hydroxy-2-nonenal. *Oxidative medicine and cellular longevity*, 2014(1), 360438.
- Aydogdu Emir, A., Yildiz, E., Aydogdu, Y., Sumnu, G., & Sahin, S.** (2021). Gallic acid encapsulated pea flour-based nanofibers produced by electrospinning as a potential active food packaging material. *Legume Science*, 3(2), e90.
- Aydogdu, A., Sumnu, G., & Sahin, S.** (2018). A novel electrospun hydroxypropyl methylcellulose/polyethylene oxide blend nanofibers: Morphology and physicochemical properties. *Carbohydrate polymers*, 181, 234-246.
- Bakır, S.** (2024). The phenolic content and antioxidant capacity of pumpkin, rosehip and pomegranate seeds. *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, 12(s2), 2347-2354.
- Bhardwaj, N., & Kundu, S. C.** (2010). Electrospinning: A fascinating fiber fabrication technique. *Biotechnology advances*, 28(3), 325-347.
- Bhushani, J. A., & Anandharamakrishnan, C.** (2014). Electrospinning and electrospraying techniques: Potential food based applications. *Trends in Food Science & Technology*, 38(1), 21-33.
- Boonpratum, C., Naemchanthara, P., Limsuwan, P., & Naemchanthara, K.** (2022). Effects of chitosan and Tween 80 addition on the properties of nanofiber mat through the electrospinning. *e-Polymers*, 22(1), 234-248.
- Borşa, A. R., Păucean, A., Fogarasi, M., Ranga, F., Borşa, A., Tanislav, A. E., ... & Semeniuc, C. A.** (2025). Utilisation of rosehip waste powder as a functional ingredient to enrich waffle cones with fibres, polyphenols, and carotenoids. *Foods*, 14(1), 90.
- Boruckowska, H., Boruckowski, T., Bronkowska, M., Prajzner, M., & Rytel, E.** (2025). Comparison of Colour Measurement Methods in the Food Industry. *Processes*, 13(5), 1268.
- Brand-Williams, W., Cuvelier, M. E., & Berset, C. L. W. T.** (1995). Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT-Food science and Technology*, 28(1), 25-30.
- Bulut, H., Kaya, C., Yücel, E. E., Bayram, M., & Topuz, S.** (2019). Farklı Isıtma Sürelerinin Kuşburnu Pulpu ve Konsantresinin Özelliklerine Etkisi. *Gaziosmanpaşa Bilimsel Araştırma Dergisi*, 9(3), 45-59.

- Chemat, F., & Strube, J.** (Eds.). (2015). Green extraction of natural products: theory and practice. John Wiley & Sons.
- Chemat, F., Abert-Vian, M., Fabiano-Tixier, A. S., Strube, J., Uhlenbrock, L., Gunjevic, V., & Cravotto, G.** (2019). Green extraction of natural products. Origins, current status, and future challenges. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 118, 248-263.
- Chrubasik, C., Roufogalis, B. D., Müller-Ladner, U., & Chrubasik, S.** (2008). A systematic review on the *Rosa canina* effect and efficacy profiles. *Phytotherapy Research: An International Journal Devoted to Pharmacological and Toxicological Evaluation of Natural Product Derivatives*, 22(6), 725-733.
- Cingöz, A., & Şahin, N.** (2023). Determination of Rheological and Chemical Properties of Hemp, Rosehip Seed and Safflower Flours. *Journal of Agricultural Sciences*, 29(4), 914-923.
- Cuevas-Cianca, S. I., Romero-Castillo, C., Gálvez-Romero, J. L., Juárez, Z. N., & Hernández, L. R.** (2023). Antioxidant and anti-inflammatory compounds from edible plants with anti-cancer activity and their potential use as drugs. *Molecules*, 28(3), 1488.
- Çürük, S. G.** (2023). Kuşburnu (*ROSA CANİNA L.*) tohumu tozunun mineral ve biyoaktif bileşen içeriklerinin araştırılması (Master's thesis).
- Çürük, S. G., Njjar, M., Köseoğlu, D., & Akdoğan, A.** (2023). Mineral and bioactive component contents of rosehip (*Rosa canina L.*) seed powder. *Akademik Gıda*, 21(4), 323-332.
- Dai, J., & Mumper, R. J.** (2010). Plant phenolics: extraction, analysis and their antioxidant and anticancer properties. *Molecules*, 15(10), 7313-7352.
- De Castro, M. L., & Garcia-Ayuso, L. E.** (1998). Soxhlet extraction of solid materials: an outdated technique with a promising innovative future. *Analytica chimica acta*, 369(1-2), 1-10.
- Demir, D., Bolgen, N., & Vaseashta, A.** (2023). Electrospun nanofibers for biomedical, sensing, and energy harvesting functions. *Polymers*, 15(21), 4253.
- Demir, N., Yildiz, O. K. T. A. Y., Alpaslan, M., & Hayaloglu, A. A.** (2014). Evaluation of volatiles, phenolic compounds and antioxidant activities of rose hip (*Rosa L.*) fruits in Turkey. *Lwt-food science and technology*, 57(1), 126-133.
- Demirkol, Ö. Ş., Yakan, A. İ., & Alifakı, Y. Ö.** (2018). Gilaburu (*Viburnum opulus L.*) meyvesinden fenolik bileşiklerin ultrason destekli ekstraksiyonu. *Gıda*, 43(5), 846-855.
- Do, Q. D., Angkawijaya, A. E., Tran-Nguyen, P. L., Huynh, L. H., Soetaredjo, F. E., Ismadji, S., & Ju, Y. H.** (2014). Effect of extraction solvent on total phenol content, total flavonoid content,

and antioxidant activity of *Limnophila aromatica*. *Journal of food and drug analysis*, 22(3), 296-302.

Erdem, F., Gündoğan, E. N., Yılmaz, M. S., Sezgin, İ., Summakoğlu, Y., & Demirkol, Ö. Ş. (2021). Kuşburnu (*Rosa canina*) Fenolik Bileşiklerinin Mikroenkapsülasyonu. *Gıda*, 46(4), 1026-1039.

Erdman Jr, J. W. (2023). Health and nutrition beyond essential nutrients: The evolution of the bioactives concept for human health. *Molecular Aspects of Medicine*, 89, 101116.

Eurostat. (2024, September 27). Food waste: 132 kg per inhabitant in the EU in 2022. European Commission. <https://ec.europa.eu/eurostat/web/products-eurostat-news/w/ddn-20240927-2>

Falsafi, S. R., Topuz, F., Esfandiari, Z., Karaca, A. C., Jafari, S. M., & Rostamabadi, H. (2023). Recent trends in the application of protein electrospun fibers for loading food bioactive compounds. *Food chemistry: X*, 20, 100922.

FAO. (2023). The State of Food and Agriculture 2023: Food loss and waste reduction. Food and Agriculture Organization of the United Nations.

Farhan, M., & Rizvi, A. (2022). Understanding the prooxidant action of plant polyphenols in the cellular microenvironment of malignant cells: Role of copper and therapeutic implications. *Frontiers in Pharmacology*, 13, 929853.

Fathi, M., Martín, Á., & McClements, D. J. (2014). Nanoencapsulation of food ingredients using carbohydrate based delivery systems. *Trends in food science & technology*, 39(1), 18-39.

Galanakis, C. M. (Ed.). (2020). Food waste recovery: processing technologies, industrial techniques, and applications. *Academic Press*.

García-Rodríguez, M., & Kacew, S. (2025). Green tea catechins: protectors or threats to DNA? A review of their antigenotoxic and genotoxic effects. *Archives of Toxicology*, 1-20.

Gavarić, A., Pastor, K., Nastić, N., Vidović, S., Živanović, N., Simin, N., ... & Vladić, J. (2023). Recovery of polyphenols from rosehip seed waste using natural deep eutectic solvents and ultrasonic waves simultaneously. *Foods*, 12(19), 3655.

Gharsallaoui, A., Roudaut, G., Chambin, O., Voille, A., & Saurel, R. (2007). Applications of spray-drying in microencapsulation of food ingredients: An overview. *Food research international*, 40(9), 1107-1121.

- Ghorani, B., & Tucker, N.** (2015). Fundamentals of electrospinning as a novel delivery vehicle for bioactive compounds in food nanotechnology. *Food hydrocolloids*, 51, 227-240.
- Grajzer, M., Prescha, A., Korzonek, K., Wojakowska, A., Dziadas, M., Kulma, A., & Grajeta, H.** (2015). Characteristics of rose hip (*Rosa canina* L.) cold-pressed oil and its oxidative stability studied by the differential scanning calorimetry method. *Food chemistry*, 188, 459-466.
- Greiner, A., & Wendorff, J. H.** (2007). Electrospinning: a fascinating method for the preparation of ultrathin fibers. *Angewandte Chemie International Edition*, 46(30), 5670-5703.
- Gulcin, İ.** (2025). Antioxidants: a comprehensive review. *Archives of Toxicology*, 1-105.
- Gül, H., & Şen, H.** (2017). Effects of rosehip seed flour on the rheological properties of bread dough. *Scientific Bulletin Series F. Biotechnologies*, 21.
- Güler, G. S.** (2024). *Fabrication and Characterization of Gelatin Based Active Nanofibers by Centrifugal Spinning* (Master's thesis, Middle East Technical University (Turkey)).
- Günal-Köroğlu, D., Karabulut, G., Catalkaya, G., & Capanoglu, E.** (2025). The Effect of Polyphenol-Loaded Electrospun Fibers in Food Systems. *Food and Bioprocess Technology*, 1-23.
- Güney, M.** (2020). Determination of fatty acid profile and antioxidant activity of Rosehip seeds from Turkey. *International Journal of Agriculture Environment and Food Sciences*, 4(1), 114-118.
- Hahm, J. Y., Park, J., Jang, E. S., & Chi, S. W.** (2022). 8-Oxoguanine: from oxidative damage to epigenetic and epitranscriptional modification. *Experimental & molecular medicine*, 54(10), 1626-1642.
- Hasan, M. M., Islam, M. R., Haque, A. R., Kabir, M. R., Khushe, K. J., & Hasan, S. K.** (2024). Trends and challenges of fruit by-products utilization: Insights into safety, sensory, and benefits of the use for the development of innovative healthy food: A review. *Bioresources and Bioprocessing*, 11(1), 10.
- Hayaloglu, A. A., Deegan, K. C., & McSweeney, P. L.** (2010). Effect of milk pasteurization and curd scalding temperature on proteolysis in Malatya, a Halloumi-type cheese. *Dairy Science & Technology*, 90(1), 99-109.
- Holland, B. J., & Hay, J. N.** (2001). The thermal degradation of poly (vinyl alcohol). *Polymer*, 42(16), 6775-6783.

- Huang, H., Song, Y., Zhang, Y., Li, Y., Li, J., Lu, X., & Wang, C.** (2022). Electrospun nanofibers: Current progress and applications in food systems. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 70(5), 1391-1409.
- Huang, L., Liao, R., Bu, N., Zhang, D., Pang, J., & Mu, R.** (2024). Electrospun konjac glucomannan/polyvinyl alcohol long polymeric filaments incorporated with tea polyphenols for food preservations. *Foods*, 13(2), 284.
- Huang, Z. M., Zhang, Y. Z., Kotaki, M., & Ramakrishna, S.** (2003). A review on polymer nanofibers by electrospinning and their applications in nanocomposites. *Composites science and technology*, 63(15), 2223-2253.
- Ilyasoğlu, H.** (2014). Characterization of rosehip (*Rosa canina* L.) seed and seed oil. *International Journal of Food Properties*, 17(7), 1591-1598.
- İncili, G. K., Akgöl, M., Karatepe, P., Kanmaz, H., Kaya, B., Tekin, A., & Hayaloğlu, A. A.** (2023). Inhibitory effect of bioactive compounds derived from freeze-dried paraprobiotic of *Pediococcus acidilactici* against food-borne pathogens: In-vitro and food model studies. *Food Research International*, 170, 113045.
- İncili, G. K., Karatepe, P., Akgöl, M., Güngören, A., Koluman, A., İlhak, O. İ., ... & Hayaloğlu, A. A.** (2022). Characterization of lactic acid bacteria postbiotics, evaluation in-vitro antibacterial effect, microbial and chemical quality on chicken drumsticks. *Food microbiology*, 104, 104001.
- Jiamboonsri, P., Sangkhun, W., & Wanwong, S.** (2024). Electrospun cellulose acetate/poly (vinyl alcohol) nanofibers loaded with methyl gallate and gallic acid for anti-*Staphylococcus aureus* applications. *Polymers*, 16(21), 2971.
- Jomova, K., Alomar, S. Y., Valko, R., Liska, J., Nepovimova, E., Kuca, K., & Valko, M.** (2025). Flavonoids and their role in oxidative stress, inflammation, and human diseases. *Chemico-Biological Interactions*, 111489.
- Kanmaz, H., Gokce, Y., & Hayaloglu, A. A.** (2023). Volatiles, phenolic compounds and bioactive properties of essential oil and aqueous extract of purple basil (*Ocimum basilicum* L.) and antidiabetic activity in streptozotocin-induced diabetic Wistar rats. *Food Chemistry Advances*, 3, 100429.
- Kaplan, E. B.** (2025). Farklı Desen ve Formülasyonlarda Spirulina İçeren Antimikrobiyal ve Yenilebilir Filmlerin Hazırlanması ve Gıda Ambalaj Uygulamaları. İnönü Üniversitesi.

- Karakavuk, E.** (2020). Optimization by response surface method the extraction and microencapsulation of bioactive compounds from rosehip fruit, seed and waste with natural deep eutectic solvents (Master's thesis, Munzur University).
- Karasakal, A.** (2007). Kuşburnu bitkisinde spektrofotometrik yöntemle askorbik asit tayini. *Fen Bilimleri Enstitüsü*.
- Kayahan, S., Ozdemir, Y., & Gulbag, F.** (2023). Functional compounds and antioxidant activity of Rosa species grown in Turkey. *Erwerbs-Obstbau*, 65(4), 1079-1086.
- Khan, Z. S., Amir, S., Sokač Cvetnić, T., Jurinjak Tušek, A., Benković, M., Jurina, T., ... & Gajdoš Kljusurić, J.** (2023). Sustainable isolation of bioactive compounds and proteins from plant-based food (and byproducts). *Plants*, 12(16), 2904.
- Konica Minolta Sensing Americas.** (2022, 2 Mart). L*a*b* veya L*C*H* Koordinatlarını Kullanarak Renk Farklarını Belirleme . Konica Minolta Sensing. <https://sensing.konicaminolta.us/us/blog/identifying-color-differences-using-lab-or-lch-coordinates/>
- Kunc, N., Hudina, M., Osterc, G., Bavcon, J., Ravnjak, B., & Mikulič-Petkovšek, M.** (2023). Phenolic compounds of rose hips of some rosa species and their hybrids native grown in the South-West of Slovenia during a two-year period (2020–2021). *Foods*, 12(10), 1952.
- Lazăr, A. R., Pușcaș, A., Tanislav, A. E., & Mureșan, V.** (2024). Bioactive compounds delivery and bioavailability in structured edible oils systems. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 23(6), e70020.
- Li, L., Jin, P., Guan, Y., Luo, M., Wang, Y., He, B., ... & Shen, Z.** (2022). Exploiting polyphenol-mediated redox reorientation in cancer therapy. *Pharmaceuticals*, 15(12), 1540.
- Lin, Z., Chen, H., Li, S., Li, X., Wang, J., & Xu, S.** (2023). Electrospun food polysaccharides loaded with bioactive compounds: Fabrication, release, and applications. *Polymers*, 15(10), 2318.
- Lobo, V., Patil, A., Phatak, A., & Chandra, N.** (2010). Free radicals, antioxidants and functional foods: Impact on human health. *Pharmacognosy reviews*, 4(8), 118.
- Mannozi, C., Foligni, R., Scalise, A., & Mozzon, M.** (2020). Characterization of lipid substances of rose hip seeds as a potential source of functional components: A review. *Italian Journal of Food Science*, 32(4), 721-733.

- Mármol, I., Sánchez-de-Diego, C., Jiménez-Moreno, N., Ancín-Azpilicueta, C., & Rodríguez-Yoldi, M. J.** (2017). Therapeutic applications of rose hips from different *Rosa* species. *International journal of molecular sciences*, 18(6), 1137.
- Martins, R., Barbosa, A., Advinha, B., Sales, H., Pontes, R., & Nunes, J.** (2023). Green extraction techniques of bioactive compounds: a state-of-the-art review. *Processes*, 11(8), 2255.
- Martirosyan, D., Lampert, T., & Lee, M.** (2022). A comprehensive review on the role of food bioactive compounds in functional food science. *Functional Food Science-Online ISSN: 2767-3146*, 2(3), 64-78.
- McClements, D. J.** (2020). Future foods: Is it possible to design a healthier and more sustainable food supply?. *Nutrition bulletin*, 45(3), 341-354.
- Mettler Toledo.** (2021). *TGA/DSC 3+ User Manual and Application Guide*. Greifensee, Switzerland: Mettler-Toledo AG.
- Michalska-Ciechanowska, A., Brzezowska, J., Nicolet, N., Haładyn, K., Brück, W. M., Hendrysiak, A., & Andlauer, W.** (2025). Valorization of Rosehip (*Rosa canina* L.) Pomace Using Unconventional Carbohydrate Carriers for Beverage Obtainment. *Molecules*, 30(1), 141.
- Mikaelyan, A., Soghomonyan, T., Babayan, B., Bagdasaryan, S., Asatryan, N., Grigoryan, A., & Melkumyan, M.** (2024). Colamine and tartaric acid based innovative antioxidant and anti-spoilage food additive for fish product industry. *Bioactive Compounds in Health and Disease-Online ISSN: 2574-0334; Print ISSN: 2769-2426*, 7(10), 489-499.
- Milala, J., Kosmala, M., Sójka, M., Kołodziejczyk, K., Klewicki, R., Król, M., ... & Rój, E.** (2023). *Rosa rugosa* Low Caloric Fiber Protein Preparations Rich in Antioxidant Flavanols and Ellagitannins. *Molecules*, 28(24), 8021.
- Min, T., Zhou, L., Sun, X., Du, H., Zhu, Z., & Wen, Y.** (2022). Electrospun functional polymeric nanofibers for active food packaging: A review. *Food Chemistry*, 391, 133239.
- Mitropoulou, G., Stavropoulou, E., Vaou, N., Tsakris, Z., Voidarou, C., Tsiotsias, A., ... & Bezirtzoglou, E.** (2023). Insights into antimicrobial and anti-inflammatory applications of plant bioactive compounds. *Microorganisms*, 11(5), 1156.
- Mohammadi, N., dos Santos Lima, A., Azevedo, L., & Granato, D.** (2024). Bridging the gap in antioxidant activity of flavonoids: Correlating the oxidation of human plasma with chemical and cellular assays. *Current Research in Food Science*, 8, 100714.

- Munteanu, B. S., & Vasile, C.** (2021). Encapsulation of natural bioactive compounds by electrospinning—Applications in food storage and safety. *Polymers*, 13(21), 3771.
- Nadaf, A., Gupta, A., Hasan, N., Ahmad, S., Kesharwani, P., & Ahmad, F. J.** (2022). Recent update on electrospinning and electrospun nanofibers: current trends and their applications. *RSC advances*, 12(37), 23808-23828.
- Nardini, M.** (2022). Phenolic compounds in food: Characterization and health benefits. *Molecules*, 27(3), 783.
- Nayak, N., Bhujle, R. R., Nanje-Gowda, N. A., Chakraborty, S., Siliveru, K., Subbiah, J., & Brennan, C.** (2024). Advances in the novel and green-assisted techniques for extraction of bioactive compounds from millets: A comprehensive review. *Heliyon*, 10(10).
- Nedovic, V., Kalusevic, A., Manojlovic, V., Levic, S., & Bugarski, B.** (2011). An overview of encapsulation technologies for food applications. *Procedia food science*, 1, 1806-1815.
- Negrean, O. R., Farcas, A. C., Nemes, S. A., Cic, D. E., & Socaci, S. A.** (2024). Recent advances and insights into the bioactive properties and applications of *Rosa canina* L. and its by-products. *Heliyon*, 10(9).
- Ngo, V., & Duennwald, M. L.** (2022). Nrf2 and oxidative stress: a general overview of mechanisms and implications in human disease. *Antioxidants*, 11(12), 2345.
- Ni, Q., Ye, W., Du, M., Shan, G., Song, Y., & Zheng, Q.** (2022). Effect of hydrogen bonding on dynamic rheological behavior of PVA aqueous solution. *Gels*, 8(8), 518.
- Nirmal, N. P., Khanashyam, A. C., Mundanat, A. S., Shah, K., Babu, K. S., Thorakkattu, P., ... & Pandiselvam, R.** (2023). Valorization of fruit waste for bioactive compounds and their applications in the food industry. *Foods*, 12(3), 556.
- Özcan, M.** (2002). Nutrient composition of rose (*Rosa canina* L.) seed and oils. *Journal of Medicinal Food*, 5(3), 137-140.
- Özkaya, Ş. Ö.** (2021). Yaşam kalitesi ve fonksiyonel besinler. *Fenerbahçe Üniversitesi Sağlık Bilimleri Dergisi*, 1(1), 62-68.
- Panche, A. N., Diwan, A. D., & Chandra, S. R.** (2016). Flavonoids: an overview. *Journal of nutritional science*, 5, e47.
- Perron, N. R., & Brumaghim, J. L.** (2009). A review of the antioxidant mechanisms of polyphenol compounds related to iron binding. *Cell biochemistry and biophysics*, 53(2), 75-100.

- Petkova, D., Mihaylova, D., & Desseva, I.** (2022). Microencapsulation in food industry—an overview. *In BIO Web of Conferences* (Vol. 45, p. 02005). EDP Sciences.
- Pham-Huy, L. A., He, H., & Pham-Huy, C.** (2008). Free radicals, antioxidants in disease and health. *International journal of biomedical science: IJBS*, 4(2), 89.
- Pisoschi, A. M., & Pop, A.** (2015). The role of antioxidants in the chemistry of oxidative stress: A review. *European journal of medicinal chemistry*, 97, 55-74.
- Platzer, M., Kiese, S., Herfellner, T., Schweiggert-Weisz, U., Miesbauer, O., & Eisner, P.** (2021). Common trends and differences in antioxidant activity analysis of phenolic substances using single electron transfer based assays. *Molecules*, 26(5), 1244.
- Qi, W., Qi, W., Xiong, D., & Long, M.** (2022). Quercetin: its antioxidant mechanism, antibacterial properties and potential application in prevention and control of toxipathy. *Molecules*, 27(19), 6545.
- Rahman, M. T. A., Yagi, S., Zengin, G., Eyupoglu, O. E., Spina, R., Grosjean, J., ... & Laurain-Mattar, D.** (2025). Nutraceutical Potential of Oilseeds and By-Products (Cakes) of Three Underutilized Malvaceae Trees Grown in Sudan. *Food Science & Nutrition*, 13(3), e70080.
- Ramakrishna, S.** (2005). An introduction to electrospinning and nanofibers. World scientific.
- Ranveer, R. C., Gatade, A. A., Kamble, H. A., & Sahoo, A. K.** (2015). Microencapsulation and storage stability of lycopene extracted from tomato processing waste. *Brazilian archives of biology and technology*, 58(6), 953-960.
- Razola-Díaz, M. D. C., Guerra-Hernández, E. J., Rodríguez-Pérez, C., Gómez-Caravaca, A. M., García-Villanova, B., & Verardo, V.** (2020, November). Optimization of Ultrasound Assisted Extraction of Phenolic Compounds from Orange By-Product. *In Proceedings* (Vol. 70, No. 1, p. 49). MDPI.
- Re, R., Pellegrini, N., Proteggente, A., Pannala, A., Yang, M., & Rice-Evans, C.** (1999). Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free radical biology and medicine*, 26(9-10), 1231-1237.
- Rezaei, M., Sedaghat, N., Hedayati, S., & Golmakani, M. T.** (2024). Fabrication and characterization of novel electrospun nanofibers based on grass pea (*Lathyrus sativus* L.) protein isolate loaded with sumac (*Rhus coriaria* L.) extract. *Current Research in Food Science*, 9, 100891.

- Rezagholizade-Shirvan, A., Soltani, M., Shokri, S., Radfar, R., Arab, M., & Shamloo, E. (2024).** Bioactive compound encapsulation: Characteristics, applications in food systems, and implications for human health. *Food chemistry*: X, 24, 101953.
- Rojo de la Vega, M., Chapman, E., & Zhang, D. D. (2018).** NRF2 and the hallmarks of cancer. *Cancer Cell*, 34(1), 21–43.
- Roobab, U., Abida, A., Madni, G. M., Ranjha, M. M. A. N., Zeng, X. A., Khaneghah, A. M., & Aadil, R. M. (2023).** An updated overview of ultrasound-based interventions on bioactive compounds and quality of fruit juices. *Journal of Agriculture and Food Research*, 14, 100864.
- Rudrapal, M., Khairnar, S. J., Khan, J., Dukhyil, A. B., Ansari, M. A., Alomary, M. N., ... & Devi, R. (2022).** Dietary polyphenols and their role in oxidative stress-induced human diseases: Insights into protective effects, antioxidant potentials and mechanism (s) of action. *Frontiers in pharmacology*, 13, 806470.
- Rudrapal, M., Rakshit, G., Singh, R. P., Garse, S., Khan, J., & Chakraborty, S. (2024).** Dietary polyphenols: review on chemistry/sources, bioavailability/metabolism, antioxidant effects, and their role in disease management. *Antioxidants*, 13(4), 429.
- Salgın, U., Salgın, S., Ekici, D. D., & Uludağ, G. (2016).** Oil recovery in rosehip seeds from food plant waste products using supercritical CO₂ extraction. *The Journal of Supercritical Fluids*, 118, 194-202.
- Saygi, K. Ö. (2021).** Fatty acids from waste rosehip seed: chemical characterization by GC-MS. *Journal of New Results in Science*, 10(2), 77-82.
- Seyhan, S. A., Erdag, Z., Cesur, S., & Alkaya, D. B. (2024).** PRODUCTION AND ANTIOXIDANT ACTIVITY OF ELECTROSPUN POLYLACTIC ACID (PLA) NANOFIBROUS MATS CONTAINING NARINGENIN (NAR) FOR POTENTIAL WOUND HEALING APPLICATIONS. *Revue Roumaine De Chimie*, 69(3-4).
- Shahidi, F., & Ambigaipalan, P. (2015).** Phenolics and polyphenolics in foods, beverages and spices: Antioxidant activity and health effects—A review. *Journal of functional foods*, 18, 820-897.
- Shahidi, F., & Yeo, J. (2018).** Bioactivities of phenolics by focusing on suppression of chronic diseases: A review. *International journal of molecular sciences*, 19(6), 1573.
- Shiri, A., Sadeghi, E., Abdolmaleki, K., Dabirian, F., Shirvani, H., & Soltani, M. (2025).** Eco-Friendly and Smart Electrospun Food Packaging Films Based on Polyvinyl Alcohol and Sumac Extract:

Physicochemical, Mechanical, Antibacterial, and Antioxidant Properties. *Food Science & Nutrition*, 13(4), e70190.

Shu, B., Yu, W., Zhao, Y., & Liu, X. (2006). Study on microencapsulation of lycopene by spray-drying. *Journal of food engineering*, 76(4), 664-669.

Song, X. L., Liang, J., Lin, S. Z., Xie, Y. W., Ke, C. H., Ao, D., ... & Li, W. (2024). Gut-lung axis and asthma: A historical review on mechanism and future perspective. *Clinical and Translational Allergy*, 14(5), e12356.

Stryjecka, M., Kiełtyka-Dadasiewicz, A., & Michalak, M. (2024). Physico-Chemical Characteristics of Rosa canina L. Seeds and Determining Their Potential Use. *Applied Sciences*, 15(1), 168.

Sun, F. L., Zhao, M. Y., Li, Y., Li, Z. Y., Li, X. J., Wang, N., ... & Tian, J. L. (2025). Research progress of electrospinning in food field: A review. *Food Hydrocolloids*, 158, 110474.

Tam, N., Oguz, S., Aydogdu, A., Sumnu, G., & Sahin, S. (2017). Influence of solution properties and pH on the fabrication of electrospun lentil flour/HPMC blend nanofibers. *Food Research International*, 102, 616-624.

Tanor, E. B., Matamane, R. P., Hapazari, I., & Magama, S. (2020). Phytochemical screening and antioxidant analysis of the ethanolic extract of rosehip seed press cake. *Current Journal of Applied Science and Technology*, 39(35), 57-67.

Tarım ve Orman Bakanlığı. (2022). *Kuşburnu fizibilite raporu ve yatırımcı rehberi*. Bitkisel Üretim Genel Müdürlüğü

Tarım ve Orman Bakanlığı. (2023, 28 Eylül). Bakan Yumaklı'nın 29 Eylül Uluslararası Gıda Kaybı ve İsraflı Farkındalık Günü mesajı. T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı

Topuz, F., & Uyar, T. (2024). Electrospinning of sustainable polymers from biomass for active food packaging. *Sustainable Food Technology*, 2(5), 1266-1296.

Tsao, R. (2010). Chemistry and biochemistry of dietary polyphenols. *Nutrients*, 2(12), 1231-1246.

Tsioptsias, C., Fardis, D., Ntampou, X., Tsivintzelis, I., & Panayiotou, C. (2023). Thermal behavior of poly (vinyl alcohol) in the form of physically crosslinked film. *Polymers*, 15(8), 1843.

Tumilaar, S. G., Hardianto, A., Dohi, H., & Kurnia, D. (2024). A comprehensive review of free radicals, oxidative stress, and antioxidants: Overview, clinical applications, global perspectives, future directions, and mechanisms of antioxidant activity of flavonoid compounds. *Journal of Chemistry*, 2024(1), 5594386.

- Türk Standardları Enstitüsü.** (2010). TS 1744 ISO 712: Tahıllar ve unlar — Nem tayini — Referans yöntem. Ankara: Türk Standardları Enstitüsü.
- Türk Standardları Enstitüsü.** (2013). TS EN ISO 2171: Tahıllar, baklagiller ve yan ürünleri — Yakılarak kül veriminin tayini. Ankara: Türk Standardları Enstitüsü.
- Türkoğlu, G. C., Khomarloo, N., Mohsenzadeh, E., Gospodinova, D. N., Neznakomova, M., & Salaün, F.** (2024). PVA-based electrospun materials—A promising route to designing nanofiber mats with desired morphological shape—A review. *International Journal of Molecular Sciences*, 25(3), 1668.
- Uggla, M., Gustavsson, K. E., Olsson, M. E., & Nybom, H.** (2005). Changes in colour and sugar content in rose hips (*Rosa dumalis* L. and *R. rubiginosa* L.) during ripening. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 80(2), 204-208.
- United Nations Environment Programme.** (2024). Food Waste Index Report 2024: Tracking progress to halve global food waste by 2030. Nairobi: UNEP. <https://www.unep.org/resources/publication/food-waste-index-report-2024>
- Uyar, B. B., & Sürücüoğlu, M. S.** (2010). Besinlerdeki biyolojik aktif bileşenler. *Beslenme ve Diyet Dergisi*, 38(1-2), 69-76.
- Uyar, T., & Besenbacher, F.** (2008). Electrospinning of uniform polystyrene fibers: The effect of solvent conductivity. *Polymer*, 49(24), 5336-5343.
- Valgimigli, L.** (2023). Lipid peroxidation and antioxidant protection. *Biomolecules*, 13(9), 1291.
- Vega, E. N., González-Zamorano, L., Cebadera, E., Barros, L., Pires, T. C., Molina, A. K., ... & Morales, P.** (2025). Natural food colorant obtained from wild *Berberis vulgaris* L. by ultrasound-assisted extraction: Optimization and characterization. *Foods*, 14(2), 183.
- Verep, D., Ateş, S., & Karaoğlu, E.** (2023). A review of extraction methods for obtaining bioactive compounds in plant-based raw materials. *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, 25(3), 492-513.
- Vilchez, A., Acevedo, F., Cea, M., Seeger, M., & Navia, R.** (2020). Applications of electrospun nanofibers with antioxidant properties: a review. *Nanomaterials*, 10(1), 175.
- Watkins, K., Hastie, M., Ha, M., Hepworth, G., & Warner, R.** (2024). Machine Vision Requires Fewer Repeat Measurements than Colorimeters for Precise Seafood Colour Measurement. *Foods*, 13(7), 1110.

- Wołosiak, R., Drużyńska, B., Derewiaka, D., Piecyk, M., Majewska, E., Ciecierska, M., ... & Pakosz, P.** (2021). Verification of the conditions for determination of antioxidant activity by ABTS and DPPH assays—A practical approach. *Molecules*, 27(1), 50.
- Xu, Y., Yan, X., Zheng, H., Li, J., Wu, X., Xu, J., ... & Du, C.** (2024). The application of encapsulation technology in the food Industry: Classifications, recent Advances, and perspectives. *Food Chemistry: X*, 21, 101240.
- Yang, C. M., Chathuranga, K., Lee, J. S., & Park, W. H.** (2022). Effects of polyphenols on the thermal decomposition, antioxidative, and antimicrobial properties of poly (vinyl alcohol) and poly (vinyl pyrrolidone). *Polymer Testing*, 116, 107786.
- Yang, H., Xu, S., Jiang, L., & Dan, Y.** (2012). Thermal decomposition behavior of poly (vinyl alcohol) with different hydroxyl content. *Journal of Macromolecular Science, Part B*, 51(3), 464-480.
- Yang, J., Wang, H., Lou, L., & Meng, Z.** (2025). A Review of Chitosan-Based Electrospun Nanofibers for Food Packaging: From Fabrication to Function and Modeling Insights. *Nanomaterials*, 15(16), 1274.
- Yildiz, E., Sumnu, G., & Kahyaoglu, L. N.** (2022). Assessment of curcumin incorporated chickpea flour/PEO (polyethylene oxide) based electrospun nanofiber as an antioxidant and antimicrobial food package. *Food and Bioproducts Processing*, 135, 205-216.
- Yörüksoy, İ., Yılmaz, K., Emir, A. A., & Gürdal, S.** (2024). Chitosan Nanofibers Enriched with Oleuropein via Electrospinning: Potential as Active Packaging Materials.
- Zabot, G. L., Schaefer Rodrigues, F., Polano Ody, L., Vinícius Tres, M., Herrera, E., Palacin, H., ... & Olivera-Montenegro, L.** (2022). Encapsulation of bioactive compounds for food and agricultural applications. *Polymers*, 14(19), 4194.
- Zeren, S., Sahin, S., & Sumnu, G.** (2022). Encapsulation of caffeic acid in carob bean flour and whey protein-based nanofibers via electrospinning. *Foods*, 11(13), 1860.
- Zhang, B., Xia, T., Duan, W., Zhang, Z., Li, Y., Fang, B., ... & Wang, M.** (2019). Effects of organic acids, amino acids and phenolic compounds on antioxidant characteristic of Zhenjiang aromatic vinegar. *Molecules*, 24(20), 3799.
- Zhang, M., Ahmed, A., & Xu, L.** (2023). Electrospun nanofibers for functional food packaging application. *Materials*, 16(17), 5937.

Zhang, M., Qin, Z., Huang, C., Liang, B., Zhang, X., & Sun, W. (2025). The gut microbiota modulates airway inflammation in allergic asthma through the gut–lung axis-related immune modulation: A review. *Biomolecules and Biomedicine*, 25(4), 727.



ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Meryem CEYLAN

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2015, Hacettepe Üniversitesi, Gıda Mühendisliği

MESLEKİ DENEYİM:

- 2016-2017 Balsu Gıda – Kalite Mühendisi
- 2017-2018 Akşeker Et Entegre A.Ş – Üretim Mühendisi
- 2022-Halen Elazığ Gıda Kontrol Laboratuvar Müdürlüğü – Gıda Mühendisi

