

T.C.
İNÖNÜ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KAYISI ÇEKİRDEĞİ PRES KEKİNDEN SONİKASYON DESTEKLİ PROTEİN
İZOLASYONU VE *CYCLOTRICHUM NIVEUM* ESANSİYEL YAĞI İLE
KOMBİNE EDİLEREK, YENİLEBİLİR BİYOAKTİF FİLM ELDE EDİLMESİ
VE KARAKTERİZASYONU

DOKTORA TEZİ

Hilal KANMAZ

Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Ali Adnan HAYALOĞLU

HAZİRAN 2026

T.C
İNÖNÜ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KAYISI ÇEKİRDEĞİ PRES KEKİNDEN SONİKASYON DESTEKLİ PROTEİN
İZOLASYONU VE *CYCLOTRICHUM NIVEUM* ESANSİYEL YAĞI İLE
KOMBİNE EDİLEREK, YENİLEBİLİR BİYOAKTİF FİLM ELDE EDİLMESİ
VE KARAKTERİZASYONU

DOKTORA TEZİ

Hilal KANMAZ
36193620007

Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Ali Adnan HAYALOĞLU

HAZİRAN 2026

**İNÖNÜ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜ**

**Kayısı Çekirdeği Pres Kekinden Sonikasyon Destekli Protein İzolasyonu,
Cyclotrichium niveum Esansiyel Yağı ile Kombine Edilerek, Yenilebilir
Biyoaktif Film Elde Edilmesi ve Karakterizasyonu**

**Tezi Hazırlayan: Hilal KANMAZ
Doktora Tezi**

TEŞEKKÜR VE ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasının her aşamasında olduğu gibi, akademik gelişimim süresince de engin bilgi birikimi, bilimsel yaklaşımı ve yol gösterici önerileriyle bana rehberlik eden; sabrı, desteği ve teşvikleriyle gelişimime önemli katkılar sağlayan kıymetli danışman hocam Sayın Prof. Dr. Ali Adnan HAYALOĞLU'na,

Tez izleme komitesi ve jüri üyeliğini üstlenerek çalışmamın değerlendirilmesinde emeği geçen Sayın Doç. Dr. Didem ŞAHİNGİL, Prof. Dr. Gökhan Kürşad İNCİLİ, Prof. Dr. Kezban CANDOĞAN ve Prof. Dr. Osman GÜL'e,

3B yazıcı uygulamaları sürecinde sağladığı teknik destek ve değerli katkıları için Sayın Doç. Dr. Erkan BAHÇE'ye,

Antimikrobiyal analizlerin gerçekleştirilmesinde sağladığı değerli katkı ve destek için Dr. Müzeyyen AKGÖL'e,

Bu çalışma süresince olduğu gibi hayatımın her aşamasında sevgi, sabır ve desteklerini benden esirgemeyen aileme,

Bu süreçte birlikte çalışma ortamını paylaştığım F3 Lab üyelerine,

Tezin uygulama aşamasında vermiş oldukları maddi destekten dolayı, TÜBİTAK (Proje no: 124 O 230) ve İnönü Üniversitesi BAP (Proje no: FDK-2024-3654) birimlerine

teşekkür ederim.

ONUR SÖZÜ

Doktora tezi olarak sunduğum “Kayısı Çekirdeği Pres Kekinden Sonikasyon Destekli Protein İzolasyonu, *Cyclotrichium niveum* Esansiyel Yağı ile Kombine Edilerek, Yenilebilir Biyoaktif Film Elde Edilmesi ve Karakterizasyonu” başlıklı bu çalışmanın bilimsel ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yardıma başvurmaksızın tarafımdan yazıldığına ve yararlandığım bütün kaynakların hem metin içinde hem de kaynakçada yöntemine uygun biçimde gösterilenlerden oluştuğunu belirtir, bunu onurumla doğrularım.

Hilal KANMAZ



İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR VE ÖNSÖZ	i
ONUR SÖZÜ	ii
İÇİNDEKİLER.....	iii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vii
SEMBOLLER VE KISALTMALAR	ix
ÖZET	x
ABSTRACT	xi
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI VE KAYNAK ÖZETLERİ.....	5
2.1. Proteinler ve Alternatif Protein Kaynakları	5
2.1.1. Bitkisel protein kaynakları ve protein ekstraksiyonu.....	7
2.1.2. Proteinlerin özellikleri	11
2.2. Kayısı (<i>Prunus armeniaca L.</i>).....	14
2.2.1. Kayısı çekirdeği	15
2.3. <i>Cyclotrichium niveum</i> (Dağ nanesi)	16
2.4. Yenilebilir Filmler	18
2.4.1. Doğal polimerler	19
2.4.2. Doğal katkı maddeleri	21
2.4.3. Yenilebilir film hazırlama teknikleri	22
2.4.4. Yenilebilir filmlerin peynire uygulanması	25
2.5. Yapılan Çalışmalar	26
3. MATERYAL VE YÖNTEM	31
3.1. Materyal.....	31
3.2. Yöntem.....	31
3.2.1. Kayısı çekirdeği pres keki üretimi	31
3.2.2. Pres keklerinde kimyasal bileşim analizleri	31
3.2.3. Protein miktarı.....	31
3.2.4. Yağ miktarı.....	32
3.2.5. Kül miktarı	32
3.2.6. Karbonhidrat ve enerji değeri hesabı	33
3.3. Kayısı Çekirdeği Pres Kekinden Protein İzolatının US ile Eldesi ve Optimizasyonu	33
3.3.1. Box-Behnken deney tasarımı	34
3.3.2. Kayısı çekirdeği pres keki izolatlarının karakterizasyonu	37
3.3.2.1. Emülsiyon aktivitesi ve stabilitesi	37
3.3.2.2. Köpük kapasitesi ve stabilitesi.....	38
3.3.2.3. Su tutma ve yağ tutma özellikleri	39
3.3.2.4. Antioksidan aktivite analizleri	39
3.3.2.5. Amino asit analizi	40
3.3.2.6. Sodyum dodesil sülfat-poliakrilamid jel (SDS-PAGE) analizi.....	41
3.3.2.7. Serbest sülfidril grup miktarı	42
3.3.2.8. Taramalı elektron mikroskobu (SEM)	43
3.3.2.9. Diferansiyel taramalı kalorimetri (DSC)	43
3.3.2.10. Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi (FTIR).....	43
3.3.2.11. X-ışınımı kırınımı analizi (XRD)	43
3.3.2.1.2. Nükleer manyetik rezonans spektroskopisi (NMR)	44
3.4. <i>Cyclotrichium Niveum</i> İçin Yapılan Analizler.....	44
3.4.1. <i>Cyclotrichium niveum</i> esansiyel yağı eldesi	44
3.4.2. <i>Cyclotrichium niveum</i> esansiyel yağı ve bitkisinin GC-MS ile analizi	45

3.4.3. Esansiyel yağda antimikrobiyal aktivite analizi	45
3.5. 3B Gıda Yazdırma Sistemi ve Deneysel Çalışmalar	46
3.5.1. Filmde ABTS radikal tarama analizi	47
3.5.2. 3B film baskısı	51
3.6. Filmlerde Yapılan Karakterizasyon Analizleri	51
3.6.1. Kalınlık ölçümü ve şişme kapasitesi	52
3.6.2. Nem içeriği	52
3.6.3. Renk analizleri	52
3.6.4. Optik özellikler	52
3.6.5. Antimikrobiyal aktivite	52
3.6.6. Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi (FTIR) analizi	53
3.6.7. Taramalı elektron mikroskobu (SEM) analizi	53
3.6.8. X-ışınımı kırınımı analizi (XRD)	53
3.7. Yenilebilir Filmlerin Peynire Uygulanması ve Raf Ömrü Modellemesi	53
3.7.1. Raf ömrü hesaplaması	53
3.7.2. Peynirde depolama süresince yapılan analizler	54
3.7.2.1. Peynirde kuru madde analizi	54
3.7.2.2. Renk analizi	55
3.7.2.3. Uçucu bileşen analizi	55
3.7.2.4. Mikrobiyolojik analizler	55
3.7.2.5. Duyusal analiz	55
3.8. İstatistiksel Analizler	56
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	57
4.1. Kayısı Çekirdeği Pres Keki Bileşim Analizi Sonuçları	57
4.2. US Destekli Ekstraksiyon Parametrelerinin Optimizasyonu ve Yanıt Yüzey Metodunun Uyumu	58
4.3. Fonksiyonel Özellikler	67
4.3.1. Köpük oluşturma aktivitesi ve stabilitesi	67
4.3.2. Su tutma kapasitesi ve yağ tutma kapasitesi	69
4.3.3. Emülsiyon aktivitesi ve stabilitesi	70
4.3.4. Çözünürlük	70
4.3.5. Antioksidan aktivite analizleri	71
4.3.6. Serbest sülfidril grup miktarı	72
4.3.7. Taramalı Elektron Mikroskopu (SEM) görüntüleri	72
4.3.8. Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi (FTIR)	75
4.3.9. X-ışın kırınımı analizi (XRD)	77
4.3.10. Proton Nükleer Manyetik Rezonans (¹ H NMR)	79
4.3.11. Moleküler ağırlık dağılımı (SDS-PAGE)	80
4.3.12. Aminoasit Analizi	81
4.3.13. Diferansiyel Taramalı Kalorimetri (DSC)	83
4.4. <i>Cyclotrichium niveum</i> Bitkisinde ve Esansiyel Yağında Uçucu Bileşen Sonuçları	85
4.5. Esansiyel Yağın Antimikrobiyal Aktivitesi	86
4.6. 3B Yazıcı ile Yazdırılan Filmlerin Optimizasyonu	88
4.7. Filmlerin Karakterizasyonu	98
4.7.1. Kalınlık ölçümü	98
4.7.2. Nem içeriği	99
4.7.3. Renk analizi	99
4.7.4. Opaklık	100
4.7.5. Antimikrobiyal aktivite	100
4.7.6. Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi (FTIR)	101

4.7.7. Taramalı elektron mikroskobu görüntüleme (SEM).....	104
4.7.8. Filmlerin X-ışınımı kırınımı analizi.....	106
4.8. Depolama Süresince Peynirlerde Yapılan Analizler.....	107
4.8.1. Peynirde kuru madde miktarı	107
4.8.2. Depolama süresince peynirlerde renk değişimi	108
4.8.3. Peynirlerde duysal analiz	111
4.8.4. Peynirde mikrobiyolojik analizler	113
4.8.5. Peynirde uçucu bileşenler	118
4.9. Raf Ömrü Testi.....	125
4. SONUÇ VE ÖNERİLER	129
KAYNAKLAR.....	132
EKLER	147
EK-1. Çizelge A. 6°C’de depolanan K, PI-F ve PI/EO-F örneklerinin uçucu bileşenleri (%). 147	
EK-2. Çizelge B. 15°C’de depolanan K, PI-F ve PI/EO-F örneklerinin uçucu bileşenleri (%) 150	
EK-3. Çizelge C. 25°C’de depolanan K, PI-F ve PI/EO-F örneklerinin uçucu bileşenleri (%) 153	
ÖZGEÇMİŞ	156

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Yaygın protein kaynakları ve ilgi odakları (Ravindran vd., 2024).	8
Çizelge 2.2. Bazı kayısı çeşitlerinin bileşim özellikleri ve mineral madde içeriği (Haciseferoğulları vd., 2007).	15
Çizelge 2.3. Amino asitlerin yan zincir özelliklerine göre sınıflandırılması.....	20
Çizelge 3.1. US destekli protein izolatu ekstraksiyon deney tasarımı.	35
Çizelge 3.2. US destekli ekstraksiyon deney tasarımında kullanılan gerçek ve kodlanmış değişkenler.	36
Çizelge 3.3. SDS-PAGE jel bileşimleri.	42
Çizelge 3.4. Film solüsyonu deney tasarımında kullanılan değişkenler.	47
Çizelge 3.5. 3B yazıcıda kullanılan film solüsyonuna ait deney tasarımı.....	48
Çizelge 3.6. Yazdırılan filmlerin yazdırma sonrası ve kuruduktan sonraki alanı, şekil düzgünlüğü/doluluk oranı ve genel değerlendirmesi.....	50
Çizelge 3.7. Peynir örneklerinin duysal değerlendirilmesinde kullanılan puanlama skalası	56
Çizelge 4.1. Yağlı ve yağsız pres kekinin kimyasal bileşimi.	58
Çizelge 4.2. Box-Behnken deneysel tasarımında tahmini ve gerçek değerler.	60
Çizelge 4.3. Ekstraksiyon verimi ve çözünürlük yüzdesine ait model uygunluğu varyans analizi.....	61
Çizelge 4.4. Kayısı çekirdeği pres keki protein izolatlarının fonksiyonel ve biyoaktif özellikleri.	68
Çizelge 4.5. <i>Cyclotrichium niveum</i> esansiyel yağ ve bitkisindeki uçucu bileşikler (%).....	87
Çizelge 4.6. <i>Cyclotrichium niveum</i> esansiyel yağının farklı mikroorganizmalara karşı inhibisyonu.	88
Çizelge 4.7. Box-Behnken deneysel tasarımında tahmini ve gerçek değerler.	90
Çizelge 4.8. Antioksidan aktivite ve yazdırılabilirlik derecesine ait model uygunluğu varyans analizi.	91
Çizelge 4.9. Filmlerin kalınlık, opaklık, nem ve L*, a*, ve b* renk parametreleri	98
Çizelge 4.10. PI/EO-F filminin farklı mikroorganizmalara karşı inhibisyonu.....	101
Çizelge 4.11. Farklı depolama sıcaklıklarında (25°C, 15°C ve 6°C) K, PI-F ve PI/EO-F filmleri ile kaplanmış kaşar peynirlerinin depolama süresince kuru madde miktarları (%).....	107
Çizelge 4.12. Farklı depolama sıcaklıklarında (25°C, 15°C ve 6°C) K, PI-F ve PI/EO-F filmleri ile kaplanan kaşar peynirlerinin renk değerleri	110
Çizelge 4.13. Depolama süresince K, PI-F ve PI/EO-F filmleri ile kaplanan kaşar peynirlerinin duysal analiz sonuçları	112
Çizelge 4.14. 25°C, 15°C ve 6°C’de K, PI-F ve PI/EO-F filmleri ile kaplanmış kaşar peynirlerinde depolama süresince maya-küf sayılarındaki değişim (log kob/g)	117
Çizelge 4.15. Kontrol, PI-F ve PI/EO-F ile kaplanan peynirlerin tahmini raf ömrü modellemesi.....	127

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Ulaşılabilir alternatif protein kaynakları	6
Şekil 2.2. Bitki proteinlerinin ekstraksiyon yöntemleri.	10
Şekil 2.3. Proteinlerin fonksiyonel özellikleri.....	11
Şekil 2.3. Kayısı meyvesinin morfolojik özelliği ve yapısı (Mühlbauer & Müller, 2020). 14	
Şekil 2.5. İnönü Üniversitesi herbaryumuna INU 16430-2022 ve INU 16431-2022 numaralarıyla eklenen <i>Cyclotrichium niveum</i> bitkisine ait görseller.....	17
Şekil 2.6. <i>Cyclotrichium</i> cinsine ait önemli kimyasal bileşenler (Yazdanshenas & Tafrihi, 2022).	18
Şekil 2.7. Yenilebilir film hazırlama yöntemleri: (A) Solvent dökme yöntemi, (B) Ekstrüzyon yöntemi, (C) 3 boyutlu yazdırma yöntemi, (D) Elektro eğirme yöntemi (Fan vd., 2025; Lopez-Polo vd., 2024).	23
Şekil 3.1. Kayısı çekirdeği pres kekinden protein izolatu ekstraksiyonunun optimizasyonuna yönelik deneysel iş akışı.	33
Şekil 3.2. Kayısı çekirdeği pres keki protein izolatu karakterizasyon analizleri.	37
Şekil 3.3. Öğütülmüş ve öğütülmemiş <i>Cyclotrichium niveum</i> yaprakları.....	45
Şekil 3.4. 3B yazıcı Tasarımı	46
Şekil 3.5. Ultimaker Cura programında G kodu oluşturulan film görseli.	51
Şekil 4.1. Ekstraksiyon verimi (a) ve çözünürlük (b) üzerinde gerçek ve tahmini rakamlar üzerine etkili regresyon katsayıları.	62
Şekil 4.2. Kayısı çekirdeği pres keki protein izolatu eldesinde ekstraksiyon verimi üzerine genlik, pres keki miktarı ve ultrases süresi faktörlerinin ikili etkileşimlerini gösteren 2B kontur ve 3B yüzey grafikleri: (A) genlik-süre, (B) genlik-pres keki miktarı ve (C) pres keki miktarı-süre.	63
Şekil 4.3. Kayısı çekirdeği pres keki protein izolatu eldesinde çözünürlük üzerine genlik, pres keki miktarı ve süre faktörlerinin ikili etkileşimlerini gösteren 2B kontur ve 3B yüzey grafikleri: (A) genlik-süre, (B)pres keki miktarı-süre ve (C) genlik-pres keki miktarı	66
Şekil 4.4. A-Geleneksel yöntemle (KPKI) ve B-US destekli ekstraksiyon ile elde edilen kayısı çekirdeği pres keki protein izolatlarının (US-KPKI) SEM görüntüleri (soldan sağa 5000×, 2500× ve 1000× büyütme).....	74
Şekil 4.5. a) Geleneksel ve US destekli ekstraksiyon ile elde edilen protein izolatlarına ait FTIR spektrumu, b) ikincil yapıların yüzdesi	76
Şekil 4.6. Geleneksel ve US destekli ekstraksiyon ile elde edilen protein izolatlarına ait XRD spektrumu.	78
Şekil 4.7. Geleneksel yöntemle (KPKI) ve US destekli ekstraksiyon (US-KPKI) ile elde edilen protein izolatlarına ait NMR spektrumu.....	80
Şekil 4.8. Geleneksel yöntemle ve US destekli ekstraksiyon ile elde edilen protein izolatlarına ait SDS-PAGE bandları.	81
Şekil 4.9. Geleneksel ve US destekli ekstraksiyon yöntemleriyle elde edilen kayısı çekirdeği protein izolatlarının amino asit profiline ait ısı haritası (Heatmap) grafiği.	83
Şekil 4.10. Geleneksel ve US destekli ekstraksiyon yöntemleriyle elde edilen kayısı çekirdeği protein izolatlarının Diferansiyel Taramalı Kalorimetri (DSC) termogramları.....	84
Şekil 4.11. Antioksidan (a) ve yazdırılabilirlik derecesi (b) için gerçek ve öngörülen rakamları etkileyen regresyon katsayıları.	93
Şekil 4.12. Film solüsyonunda protein izolatu, esansiyel yağ ve gliserol oranlarının filmlerin ABTS radikal süpürme aktivitesi (% inhibisyon) üzerine etkisini	

gösteren 2B kontur ve 3B yüzey grafikleri: (A) protein izolatı–esansiyel yağ, (B) protein izolatı–gliserol ve (C) esansiyel yağ–gliserol.....	94
Şekil 4.13. Film solüsyonunda protein izolatı, esansiyel yağ ve gliserol oranlarının filmlerin yazdırılabilirlik derecesi üzerine etkisini gösteren 2B kontur ve 3B yüzey grafikleri: (A) protein izolatı–esansiyel yağ, (B) esansiyel yağ–gliserol ve (C) protein izolatı–gliserol.....	97
Şekil 4.14. Filmlerin FT-IR spektrumu	103
Şekil 4.15. Filmlere ait SEM görüntüleri (×5000)	105
Şekil 4.16. Filmlere ait XRD spektrumu	106
Şekil 4.17. 25°C’de depolanan K, PI-F ve PI/EO-F ile kaplanmış kaşar peynirlerinin depolama süresince toplam mezofilik aerobik bakteri (TMAB) sayılarındaki değişimler (log kob/g).....	114
Şekil 4.18. 15°C’de depolanan K, PI-F ve PI/EO-F ile kaplanmış kaşar peynirlerinin depolama süresince toplam mezofilik aerobik bakteri (TMAB) sayılarındaki değişimler (log kob/g).....	115
Şekil 4.19. 6°C’de depolanan K, PI-F ve PI/EO-F ile kaplanmış kaşar peynirlerinin depolama süresince toplam mezofilik aerobik bakteri (TMAB) sayılarındaki değişimler (log kob/g).....	116
Şekil 4.20. 25°C’de depolanan K, PI-F ve PI/EO-F örneklerinin uçucu bileşen profillerine ait heatmap gösterimi	119
Şekil 4.21. 25°C’de depolanan K, PI-F ve PI/EO-F örneklerinin uçucu bileşen profillerine ait temel bileşen analizi (PCA)	120
Şekil 4.22. 15°C’de depolanan K, PI-F ve PI/EO-F örneklerinin uçucu bileşen profillerine ait heatmap gösterimi	121
Şekil 4.23. 15°C’de depolanan K, PI-F ve PI/EO-F örneklerinin uçucu bileşen profillerine ait temel bileşen analizi (PCA)	122
Şekil 4.24. 6°C’de depolanan K, PI-F ve PI/EO-F örneklerinin uçucu bileşen profillerine ait heatmap gösterimi	124
Şekil 4.25. 6°C’de depolanan K, PI-F ve PI/EO-F örneklerinin uçucu bileşen profillerine ait temel bileşen analizi (PCA)	125
Şekil 4.26. Farklı sıcaklıklarda depolama boyunca TMAB sayısındaki değişimin 1.dereceden kinetik modelinin belirlendiği ln-grafikleri	126

SEMBOLLER VE KISALTMALAR

3B	: Üç Boyutlu
2B	: İki Boyutlu
BHA	: Bütillenmiş Hidroksianisol
BHT	: Bütillenmiş Hidroksitoluen
US	: Sonikasyon
UDE	: US Destekli Ekstraksiyon
GAE	: Gallik Asit Eşdeğeri
YYM	: Yanıt Yüzey Metodu
PK	: Pres Keki
KPKI	: Geleneksel Yöntemle Elde Edilen Kayısı Çekirdeği Protein İzolatı
US-KPKI	: US Destekli Ekstraksiyon İle Edilen Kayısı Çekirdeği Protein İzolatı
BSA	: Sığır Serum Albumini
EAI	: Emülsiyon Aktivite İndeksi
ESI	: Emülsiyon Stabilite İndeksi
KK	: Köpük Kapasitesi
KS	: Köpük Stabilitesi
CN	: <i>Cyclotrichium niveum</i>
CNEO	: <i>Cyclotrichium niveum</i> Esansiyel Yağı
PI/EO-F	: Protein İzolatı ve Esansiyel Yağ İçeren Film
PI-F	: Protein İzolatı İçeren FİLM
DPPH	: 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl
ABTS	: 2,2'-Azino-bis(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid) diammonium salt
NMR	: Nükleer Manyetik Rezonans Spektroskopisi
XRD	: X-Işını Kırınımı
FT-IR	: Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi
SEM	: Taramalı Elektron Mikroskopisi
DSC	: Diferansiyel Taramalı Kalorimetre

ÖZET

Doktora Tezi

KAYISI ÇEKİRDEĞİ PRES KEKİNDEN SONİKASYON DESTEKLİ PROTEİN İZOLASYONU, *CYCLOTRICHİUM NİVEUM* ESANSİYEL YAĞI İLE KOMBİNE EDİLEREK YENİLEBİLİR BİYOAKTİF FİLM ELDE EDİLMESİ VE KARAKTERİZASYONU

HİLAL KANMAZ

İnönü Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı

158+XI sayfa

2026

Danışman: Prof. Dr. Ali Adnan HAYALOĞLU

Bu tez çalışmasında, Malatya kayısı (*Prunus armeniaca* L.) çekirdeği pres kekinden ultrases destekli ekstraksiyon (US) yöntemi ile protein izolatu elde edilmiş ve elde edilen protein izolatının yenilebilir aktif film üretiminde kullanılabilirliği araştırılmıştır. Box–Behnken yanıt yüzey yöntemi ile optimize edilen ekstraksiyon koşulları sonucunda protein verimi $38,26 \pm 0,28$, çözünürlük ise $90,25 \pm 0,63$ olarak belirlenmiştir. US uygulamasının, protein izolatının esansiyel amino asit içeriğini ve fonksiyonel özelliklerini geliştirdiği tespit edilmiştir. US ile elde edilen protein izolatında 17-20 kDa bandında protein alt birimlerinin bulunduğunu ortaya koymuştur. DSC sonuçları, US uygulamasının protein izolatlarının termal stabilitesini koruduğunu göstermiştir. *Cyclotrichium niveum* esansiyel yağının çeşitli patojenlere karşı antimikrobiyal etki gösterdiği belirlenmiştir. Protein izolatu ve *C. niveum* esansiyel yağı kullanılarak hazırlanan kompozit film çözeltisi optimize edilmiş ve optimum formülasyonda antioksidan aktivite $37,16 \pm 0,69$, yazdırılabilirlik skoru ise $9,75 \pm 0,07$ olarak bulunmuştur. Optimum koşullarda dökme yöntemi ve 3B gıda yazıcısı ile üretilen filmlerin karakterizasyonunda, 3B yazdırılan filmlerin daha düşük kalınlık ve opaklık değerlerine sahip olduğu belirlenmiştir. SEM ve FTIR analiz sonuçlarına göre, esansiyel yağın protein matrisi içerisinde homojen olarak dağıldığını göstermiştir. Optimize edilen film solüsyonları ile hazırlanan filmlerle kaplanan Kaşar peynirlerinde gerçekleştirilen depolama çalışmalarında, protein izolatu ve esansiyel yağ içeren film ile kaplanan örneklerde küf-maya gelişiminin baskılandığı ve özellikle düşük sıcaklıklarda genel kalite özelliklerinin daha iyi korunduğu belirlenmiştir. Raf ömrü modeli sonuçlarına göre, PI/EO-F ile kaplanan peynir örneklerinde özellikle 15°C 'de TMAB gelişiminin geciktiği ve buna bağlı olarak raf ömrünün uzadığı tespit edilmiştir. Kayısı çekirdeği protein izolatu ve *C. niveum* esansiyel yağı içeren yenilebilir aktif filmlerin, peynirlerin raf ömrünü uzatma potansiyeline sahip olduğu belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Protein izolatu, *Cyclotrichium niveum*, Esansiyel yağ, Yenilebilir Film, 3B yazıcı, raf ömrü

ABSTRACT

PhD. Thesis

SONICATION-ASSISTED PROTEIN ISOLATION FROM APRICOT KERNEL PRESS
CAKE, COMBINED WITH *CYCLOTRICHIMUM NIVEUM* ESSENTIAL OIL TO
PRODUCE AND CHARACTERIZE AN EDIBLE BIOACTIVE FILM

HİLAL KANMAZ

Inonu University
Institute of Science and Tecnology
Department of Food Engineering

158+XI pages

2026

Supervisor: Prof. Dr. Ali Adnan HAYALOĞLU

In this thesis study, protein isolate was obtained from Malatya apricot (*Prunus armeniaca* L.) kernel press cake by ultrasound-assisted extraction (US), and the usability of the obtained protein isolate in edible active film production was investigated. As a result of optimization using the Box–Behnken response surface methodology, protein yield and solubility were determined as $38,26 \pm 0,28\%$ and $90,25 \pm 0,63\%$, respectively. US treatment improved the essential amino acid content and functional properties of the protein isolate. Protein subunits in the 17–20 kDa range were identified in the protein isolate obtained by US treatment. DSC results showed that US treatment preserved the thermal stability of the protein isolates. *Cyclotrichium niveum* essential oil exhibited antimicrobial activity against various pathogens. A composite film solution prepared using protein isolate and *C. niveum* essential oil was optimized, and the antioxidant activity and printability score of the optimum formulation were determined as $37,16 \pm 0,69\%$ and $9,75 \pm 0,07$, respectively. Characterization of the films produced by casting and 3D food printing methods under optimum conditions revealed that 3D-printed films had lower thickness and opacity values. Additionally, SEM and FTIR analyses demonstrated the homogeneous distribution of the essential oil within the protein matrix. During storage studies conducted on Kashar cheese coated with the optimized film formulations, mold and yeast growth was suppressed in PI/EO-F-coated samples, and overall quality properties were better preserved, especially at low storage temperatures. According to shelf-life model results, PI/EO-F-coated cheese samples delayed TMAB growth and consequently extended shelf life, particularly at 15°C. It was concluded that edible active films containing apricot kernel protein isolate and *C. niveum* essential oil have the potential to extend the shelf life of cheese.

Keywords: Protein Isolate, *Cylotrichium niveum*, Essential oil, Edible film, 3D printing, shelf-life

1. GİRİŞ

Petrol kaynaklı plastiklerin yaygın kullanımı, biyolojik olarak parçalanmamaları ve geri dönüşümün zorluğu nedeniyle ciddi çevresel sorunlara yol açmaktadır. Bu durum çevre dostu alternatif malzemelerin araştırılmasını ve geliştirilmesini zorunlu kılmaktadır (J. Jiang vd., 2022; Liminana vd., 2018; Witthayaprapakorn vd., 2013). Gıda ambalajları, ürünlerin fiziksel, kimyasal ve biyolojik yönden korunmasını sağlayarak gıda kalitesini ve güvenliğini sağlamaktadır. Plastik ambalajlar, gıda ambalajı olarak yaygın kullanılmalarına rağmen çevre sorunlarına neden olmalarıyla bilinmektedir. Son yıllarda, plastik ambalajlardan kaynaklanan çevre problemlerinin önüne geçmek için çevre dostu ve düşük maliyetli, biyolojik olarak parçalanabilen yenilebilir film ve kaplamalar gibi inovatif ve alternatif ambalajlama stratejileri geliştirilmektedir (Kandasamy vd., 2021; S. Zhang vd., 2016). Yenilebilir film ve kaplamalar, gıda ürünlerinin muhafazası için kullanılan polisakkaritler, proteinler ve/veya lipidlerden oluşan ince ve sürekli polimerlerdir. Bu biyopolimer bazlı filmler, plastik ambalaj malzemelerine kıyasla çevre dostu bir seçenek oluşturmaktadır. Ancak hala geliştirilmeleri gereken fiziksel, kimyasal ve mekanik özellikler bulunmaktadır. Protein filmleri, güçlü mekanik direnç sahip olmalarına rağmen, higroskopik yapılarından dolayı çevresel koşullara özellikle bağıl nemle karşı hassastırlar. Bu nedenle, protein filmlerinin mekanik ve bariyer özelliklerini iyileştirmek için farklı lipidlerin eklenmesi ve kompozit protein-lipit filmlerinin hazırlanması gibi yöntemlere odaklanılmıştır (Galus & Kadzińska, 2015; M. Rahman & Brazel, 2004; Vieira vd., 2011). Sentetik antioksidanların [bütillenmiş hidroksianisol (BHA) ve bütillenmiş hidroksitoluen (BHT) gibi] potansiyel toksik ve alerjen etkileri nedeniyle endişe yaratmasıyla birlikte, biyopolimerlerden türetilen yeni gıda kaplama malzemeleri, koruyucu özelliklerini artırmak için genellikle bitki bazlı antioksidan ve antimikrobiyal bileşenlerle zenginleştirilmektedir (Liu & Mabury, 2020). Bu amaçla yenilebilir filmlere entegre edilen diğer bir madde ise esansiyel yağlardır. Bu trend, gıdaların uzun süreli oksidatif ve mikrobiyal bozulmasını önlemek için daha doğal ve güvenli bir alternatif sunmaktadır.

Üç boyutlu (3B) baskı, hızlı prototip üretim teknolojisi olup inşaat, havacılık ve tıp gibi alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Son yıllarda gıda teknolojisinde de kullanılan bu teknoloji, kişiselleştirilmiş kompleks ürünlerin hızlı ve doğru bir şekilde üretilmesine imkân tanırken, ürünlerin şekli, boyutu ve gözenek yapısının tasarlanabilmesi gibi avantajlar sunmaktadır. 3B yazıcılar, düşük iş yükü sağlamanın yanında ürünlerin reolojik, tekstürel ve duyuşal özellikleri üzerine etki etmesi ve ürün formülasyonlarının isteğe bağlı olarak

değiştirilebilmesi bu teknolojiye olan ilgiyi artırmaktadır (Wang vd., 2022). Bu nedenle, bisküvi, çikolata, peynir gibi çeşitli gıda ürünlerinde kullanılarak tüketicilere özgü tasarımlar sunmak için popüler bir teknoloji haline gelmiştir. Bu teknoloji, geniş bir tüketici kitlesinin taleplerini karşılamak için kullanılmaktadır (Pérez vd., 2019).

Laboratuvar koşullarında yenilebilir filmler, dökme yöntemi ile üretilmektedir. Bu yöntemle filmlerin elde edilmesinde, yüksek miktarda hammadde ihtiyacı, büyük ebatlarda filmlerin üretilmemesi, kalınlığın kontrol edilememesi, atık oluşumu ve uzun kuruma süreleri gibi dezavantajlar bulunmaktadır. Bu nedenle, filmlerin fiziksel ve mekanik özelliklerinin geliştirilmesi, standart kimyasal ve fiziksel/mechanik özelliklerde film üretilmesi ve sürdürülebilirlik için alternatif yöntemlere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu nedenle mevcut araştırma kapsamında, film üretimi ve film özelliklerinin geliştirilmesi amacıyla üç boyutlu bir gıda yazıcısı tasarlanmış ve elde edilen filmler dökme yöntemi ile üretilen filmlerle karşılaştırılmıştır. Katmanlı üretim olarak da bilinen 3B baskı, bilgisayar, doğrudan yazım sistemleri, hassas iletim, sayısal kontrol teknolojileri ve malzeme biliminin entegrasyonunu içeren bir tür hızlı prototipleme teknolojisidir. Bu kapsamda, 3B baskı işleminde, malzeme genellikle bir şekil tasarım modeline uygun olarak konumu bilgisayar kontrollü bir nozül aracılığıyla ekstrüde edilmektedir. Belirli bir şekle sahip bir ürünün üretimi için geleneksel süreç genellikle bir modelin üretilmesini gerektirirken, 3B baskı bu süreci ortadan kaldırmaktadır. Bu nedenle, geleneksel teknolojiyle karşılaştırıldığında, 3B baskı, tüm üretim sürecinde zaman tasarrufu ve basit kullanım gibi avantajlara sahiptir ve dökme yöntemi ile elde edilen filmlere göre daha avantajlı ve otomasyona uygun olabilmektedir.

Kaşar gibi salamura edilmeyen peynirlerle diğer hassas (su aktivitesi ve nem oranı küf gelişimine elverişli) gıdaların filmlerle kaplanmasında, düz bir zemin üzerine (örneğin petri kutuları, pleksiglas levhalar gibi) dökülen ve belli bir süre kontrollü nem ve ısı ortamında kurutulan özel karışımların yapılan denemeler sonucunda film haline geldiği anlaşıldıktan sonra, zeminden elle çıkarılarak gıdanın yüzeyine sarılma yoluna gidilmektedir. Geleneksel yöntem olarak adlandırılabilen bu yöntemde filmin her zaman aynı kalınlıkta olmaması, çıkarırken yırtılma riskleri, gıda yüzeyine sarma sırasında homojenliğin sağlanmasındaki zorluklar, ideal ambalajlama kriteri olan gıdayı bir tür deri gibi saramaması, gıda yüzeyi ile film arasında boşluk kalması gibi bir dizi riskleri barındırmaktadır. Geleneksel bant döküm yöntemiyle karşılaştırıldığında, 3B baskı teknolojisi, belirtilen şekillere sahip kompozit filmleri hızlı bir şekilde basabilmekte ve her

bir numunenin şekil ve boyut hatalarını önleyebilmekte ve yukarıda sayılan riskleri ortadan kaldıracıdır. Buna ek olarak, her bir film örneği mümkün olduğunca mürekkep bileşenlerini aynı miktarda içerebilmekte ve homojen, tekrar edilebilirliği yüksek, kuruma süresi kısa, kontaminasyon riski az ve manuel sarma işleminden çıkarılıp mekanik bir sisteme eriştirilmiş bir film elde edilebileceği öngörülmektedir.

Peynirin muhafazası, mikrobiyal bozulma ve kimyasal koruyucuların insan sağlığı üzerindeki etkileri nedeniyle küresel peynir endüstrisi için önemli bir sorun haline gelmiştir. Peynir muhafaza yöntemlerinden biri de paketleme teknolojisidir. Bu paketleme teknolojileri; biyoaktif filmler, kaplama ve modifiye atmosferik paketlemeyi içermektedir (Moula Ali vd., 2022). Bu çalışmada model gıda olarak Kaşar peyniri kullanılmasının nedeni, depolanma sürecinde karşılaşılan başlıca sorunun peynirin yüzey küflenmesidir. Bunu önlemek amacıyla, tüketim öncesinde peynirin yüzeyinden ince bir tabaka kesilerek yaklaşık %8 peynir kaybı yaşanmaktadır. Bu durum ekonomik kayıplara neden olmakta (Yılmaz & Dagdemir, 2012) ve netice itibarıyla peynir yüzeyinde küfler tarafından oluşturulan mikotoksinler de ayrıca sağlık açısından riskler oluşturabilmektedir.

Peynir üreticileri veya süt sektörü bu ve benzeri sorunların önüne geçmek için en pratik yol olarak sentetik (petrol esaslı plastik materyaller) ürünler kullanmakta ve vakum paketleme yapmaktadırlar. Yaygın olmasa da bir başka alternatif de yine plastik esaslı ve daldırma yöntemi ile kaplanan mumlar ve viskoz sentetik materyallerdir. Ayrıca, antifungal etken madde içeren çeşitli ticari kimyasal koruyucular da bu amaçla kullanıldığı kaydedilmiştir. Ancak, bunların hiçbirisi yenilebilir materyaller olmayıp, tüketim sırasında kalıntı bırakılmaksızın uzaklaştırılması gerekmektedir. Son yıllarda tüketicilerin bilinçlenmesi ve sağlık üzerine sentetik koruyucuların/materyallerin endişe yaratmasından dolayı, bu materyallerin kullanımının azaltılması ve doğal/yenilebilir koruyucuların tüketiciler tarafından gündeme getirilmesi ve/veya talep edilmesi nedeniyle, bu yönde bilimsel çalışmalara ihtiyaç olduğunu göstermektedir.

Literatür incelendiğinde, Kaşar vb peynirlerin yüzeyini kaplamada gerek daldırma yöntemi (kaplama) gerekse hazırlanan solüsyonunun levha haline getirildikten sonra peynir kitlesinin sarılması (film), en azında bilimsel çalışmalar kapsamında, hep manuel olarak yapılmaktadır. Şimdiye kadar 3B yazıcı kullanılarak film oluşturma işlemi peynir vb süt ürünlerinde yapılmamıştır.

Bu tez çalışmasında, yukarıdaki bilgiler ışığında, çoklu UV-LED demeti içeren 3B gıda yazıcısı tasarlanarak antioksidan ve antimikrobiyal aktivitelere sahip bitki bazlı ajanlar kullanılarak düşük maliyetli, gıda kalitesini gerçek zamanlı ve yerinde izleme avantajına sahip aktif gıda ambalajları yapılarak AB Yeşil mutabakatına uygun, çevre dostu ve güvenli ambalaj stratejisine katkı sağlanması amaçlanmıştır. Film oluşturma çözeltisinde protein kaynağı olarak, kayısı çekirdeği yağının soğuk sıkım prosesinden arta kalan, yüksek protein içerikli pres kekinin sonikasyon destekli ekstraksiyonu ile elde edilen protein izolatu, antimikrobiyal aktiviteye sahip bitkisel ajan olarak ise dağ nanesi (*Cyclotrichium niveum*) esansiyel yağı kullanılmıştır.

Yukarıdaki bilgiler ışığında mevcut tezin amaçları aşağıda sunulmuştur:

- Kayısı işleme yan ürünü olan kayısı çekirdeği pres kekinden sonikasyon destekli ekstraksiyon ile protein izolatı elde etmek, bu izolatın karakteristik özelliklerini incelemek,
- Atık ürünü değerlendirerek çevresel atık miktarının azaltılmasına katkı sağlamak ve dağ nanesi (*Cyclotrichium niveum*) esansiyel yağı kullanarak yenilebilir ve biyo-fonksiyonel özellikli film solüsyonu oluşturmak,
- Esansiyel yağ ilavesiyle hazırlanan kayısı çekirdeği pres keki protein izolatu ve bitki kaynaklı esansiyel yağ içeren kompozit mürekkep formüle ederek 3B yazıcı teknolojisini yenilebilir film üretimine entegre edebilmek,
- Oluşturulacak yenilebilir filmlerin Kaşar peynirine uygulanmasıyla bozulmaları önlemek, model gıda olan Kaşar peynirinde kayıp ve israfı azaltarak kalite kayıplarını engellemektir.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI VE KAYNAK ÖZETLERİ

2.1. Proteinler ve Alternatif Protein Kaynakları

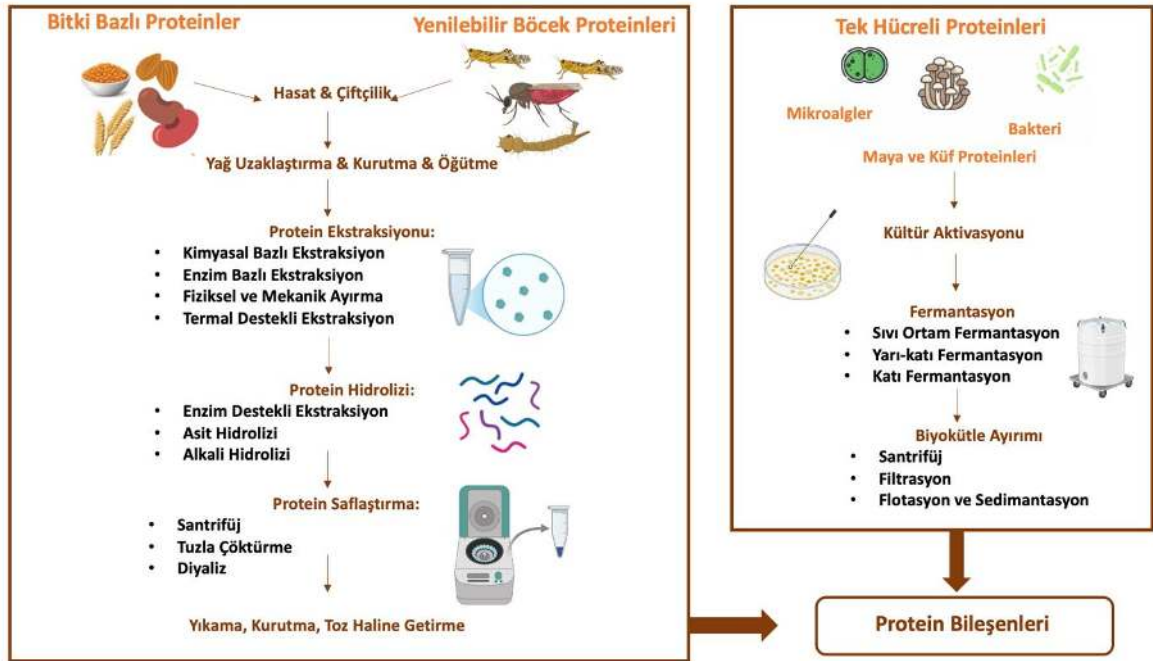
Dünya nüfusu son zamanlarda hızla artmaktadır ve 21. yüzyılın sonuna kadar nüfusun 11 milyara ulaşacağı öngörülmektedir. Bu durum, gıda kaynaklarının tüketimini ve özellikle insan beslenmesinde enerji ile temel aminoasitlerin önemli bir kaynağı olan yüksek proteinli gıdalara yönelik talebi artırmaktadır (Hadidi vd., 2021; Hadidi vd.,2024). İnsan beslenmesinde temel bileşen maddelerden biri olan proteinlere, özellikle hayvansal proteinlere artan talebin karşılanması için aynı oranda üretimin artması gerekmektedir. Üretimdeki bu artış sadece sera gazı emülsiyonunu değil ayrıca su tüketimi ve yem yetiştiriciliği için gerekli olan arazi kullanımını da etkileyebileceği ön görülmektedir. Gıda ve hayvan yemi ihtiyacının artması doğal alanların tarım için dönüştürülmesine yol açmakta ve bu durum da çevresel ve iklimsel tehditleri beraberinde getirmektedir. Diğer yandan, doğal çevrenin tarımsal alanlara dönüştürülmesi biyolojik çeşitliliğin azalmasına yol açmaktadır (Malila vd., 2024; Wanasundara vd., 2024). Küresel ölçekte artan protein ihtiyacı ve bunun mevcut gıda sistemlerinin sürdürülebilirliği üzerindeki kaygılar, alternatif protein kaynaklarına yönelik araştırmaların yoğunlaşmasına yol açmıştır. Bu durum, yalnızca hayvansal protein alımını sınırlandırmakla kalmayıp, aynı zamanda gıda israfını azaltmayı da hedefleyen esnek vejetaryen (fleksitaryen) bir beslenme modelinin benimsenmesini teşvik etmektedir. Aynı zamanda, güncel teknolojik gelişmelerden faydalanarak gıda sisteminin genel verimliliğini artırmaya ve mevcut beslenme düzenini bitkisel protein tüketimine doğru kaydırmaya yönelik stratejilerin geliştirilmesi de kritik önem taşımaktadır (Wanasundara vd., 2024).

Son araştırmalarla, protein kaynakları geleneksel olarak hayvancılık merkezli yapıdan, artık bitkisel, entomolojik (böcek), hücre kültürü (et ve deniz ürünleri) ve mikrobiyal bazlı olmak üzere üç ilave kategoriye içerecek şekilde çeşitlendirilmiştir (Şekil 2.1) (Malila vd., 2024; Zhang vd., 2024; Zhao vd., 2026).

Besin olarak tarih öncesi çağlara kadar uzayan böceklerin kullanımı, günümüzde de Afrika, Asya ve Amerika'nın bazı bölgelerinde devam etmektedir. Yenilebilir böcekler %35-65 aralığındaki yüksek protein yoğunluğu, düşük çevresel ayak izi (sera gazı emisyonu ve su tüketimi) ve etkili yem dönüşüm oranı sayesinde, geleneksel yenilebilir proteinlere karşı en sürdürülebilir alternatiflerden birini oluşturmaktadır (Xu vd., 2023; Zhang vd.,

2024). Böcek proteinleri, esansiyel aminoasit (EAA) profili, yüksek sindirilebilirlik (*Ruspolia differens*'te %90,5), ve ayrıca Gıda ve Tarım Örgütü (FAO) tarafından önerilen günlük alım miktarını aşan düzeylerde olmasıyla beslenme açısından öne çıkmaktadır. Bu besinsel avantajlarına rağmen mikrobiyal güvenlik, alerjen etki gösterme, tüketici algısı ve etik konular açısından endişe yaratmaktadır (Bisht vd., 2025; Zhang vd., 2024).

Tek hücre proteinleri; bakteri, mikroalg, filamentli mantar veya mayalardan üretilmektedir ve kültürlenmiş, laboratuvarında üretilmiş veya *in-vitro* et olarak da adlandırılmaktadır (Alves vd., 2025; Goksen vd., 2025). Sürdürülebilir, verimli ve yüksek üretim kapasitesine sahip olmaları nedeniyle gıda ve yem için yeni bir protein alternatifi sunmaktadır (Alves vd., 2025).



Şekil 2.1. Ulaşılabilir alternatif protein kaynakları

Yaklaşık 200.000 ile 800.000 arasında değişen mikroalg türü bulunduğu tahmin edilmekte olup, bu çeşitlilik protein içeriklerinde de geniş bir aralığa yol açmaktadır. Mikroalglerin protein içeriğinin geleneksel protein kaynaklarına kıyasla daha yüksek olduğu bilinmektedir. Bunlardan *Spirulina* sp., *Chlorella* sp., *Dunaliella terticola*, *Dunaliella salina* ve *Aphanizomenon flos-aquae* gibi algler yüksek besin değerleri nedeniyle gıda uygulamalarına veya besin takviyelerine yaygın olarak dahil edilmektedir (Zhang vd., 2024). Bir diğer alternatif protein kaynağı ise, birçok küf türünden daha yüksek protein içeriğine sahip olan *Fusarium venenatum* gibi filamentli küflerin fermantasyonu ile üretilen mikoproteinlerdir. Özellikle protein açısından zengin et analogları geliştirmek için

1960'lardan beri araştırılan yenilikçi bir alternatif protein kaynağıdır (Goksen vd., 2025). *Saccharomyces cerevisiae* ve *Candida utilis* gibi mayalar da uygun lezzet profilleri nedeniyle gıda uygulamalarında yaygın olarak kullanılan kaynaklar arasında yer almaktadır (X. Wu vd., 2025). Maya hücrelerinin protein içeriği %40-60 arasında değişmekte ve geniş bir amino asit profili göstermektedir. Ayrıca in vitro sindirilebilirliğinin yüksek olması, maya proteinlerinin sindirim sisteminde büyük ölçüde katabolize edilmesini ve organizma tarafından kolayca emilip kullanılmasını sağlamaktadır. Bu durum, maya proteinlerinin yüksek besin değerine sahip olduğunu göstermekte ve onları insan ve hayvan beslenmesi için umut verici alternatif protein kaynakları haline getirmektedir (Ma vd., 2023). Bakteriler, %50–83 arasında değişen yüksek protein içerikleri ve diğer türlere kıyasla son derece hızlı büyüme özellikleri sayesinde tek hücreli protein üretiminde önemli avantajlar sunmaktadır. Ayrıca şekerli ürünler, nişastalar, metanol, etanol gibi organik bileşikler ve hatta petrokimyasal kalıntılar dâhil çok çeşitli substratları kullanarak farklı ortamlarda gelişebilme yetenekleri, onları endüstriyel ölçekte tek hücreli protein üretiminde kullanılan önemli bir alternatif protein kaynağı hâline getirmektedir (Alves vd., 2025; Zhang vd., 2024).

Alternatif proteinler arasında bitki bazlı proteinler, en yaygın kabul gören seçenek olarak öne çıkmaktadır. Çeşitli botanik kaynaklardan elde edilen bu proteinler, özellikle vejetaryen ve vegan beslenme düzenlerinde önemli bir rol oynamaktadır. Bitki bazlı proteinlerin geleneksel ürünlerle fiyat eşitliğine ulaşan ilk alternatif protein kategorisi olacağı; bunu sırasıyla mikroorganizma kökenli proteinler ve kültür eti ürünlerinin izleyeceği öngörülmektedir. Böcekler ve kültür eti gibi bazı alternatif proteinlerin kabulü geleneksel ete kıyasla oldukça düşük seyretse de, baklagiller ve diğer bitki bazlı proteinler tüketiciler arasında yüksek kabul düzeyleri göstermektedir. Bununla birlikte alternatif protein pazarının 2023 yılında 15,3 milyar ABD doları seviyesindeyken 2030 yılına kadar 26,5 milyar ABD dolarına ulaşarak önemli ölçüde büyüme kaydedeceği tahmin edilmektedir (Goksen vd., 2025; Malila vd., 2024).

2.1.1. Bitkisel protein kaynakları ve protein ekstraksiyonu

Bitki bazlı proteinler, düşük yağ seviyelerinden dolayı düşük kalorili bir diyet sağlamaktadırlar. Bu proteinler, hayvansal protein kaynaklarına alerjisi olan tüketiciler için potansiyel bir esansiyel amino asit, vitamin ve mineral kaynağı sağlamaktadırlar. Besin içeriklerinin yanı sıra proteinlerin işlendikten sonraki fizikokimyasal, yapısal ve davranışsal

özellikleri de nihai ürün kalitesinin belirlenmesinde önemli bir rol oynamaktadır (Ravindran vd., 2024).

Bitkisel protein kaynakları arasında; soya fasulyesi, nohut, bezelye, bakla, börülce ve mercimek gibi baklagiller ile kinoa, kenevir tohumu, chia, keten tohumu, kabak çekirdeği, badem ve fındık gibi tohumlar ve kuruyemişler; ayrıca pirinç, darı, buğday, mısır, arpa ve sorgum gibi tahıllar protein açısından zengin seçenekler olarak yer almaktadır. Yağlı tohumlar da baklagillerden sonra iyi bir protein kaynağıdır. Soya gibi ağırlıklı olarak tüketilen bitki proteinleri, yağ üreten bitkiler ailesine aittir. Yağlı tohumlardan ve mahsullerden elde edilen diğer proteinlerin bazıları arasında ayçiçeği, kolza tohumu, kanola ve aspir bulunmaktadır (Bisht vd., 2025; Ravindran vd., 2024; Sarathy vd., 2025). Çizelge 2.1’de bazı yaygın protein kaynakları ve odaklandıkları noktalar verilmiştir.

Çizelge 2.1. Yaygın protein kaynakları ve ilgi odakları (Ravindran vd., 2024).

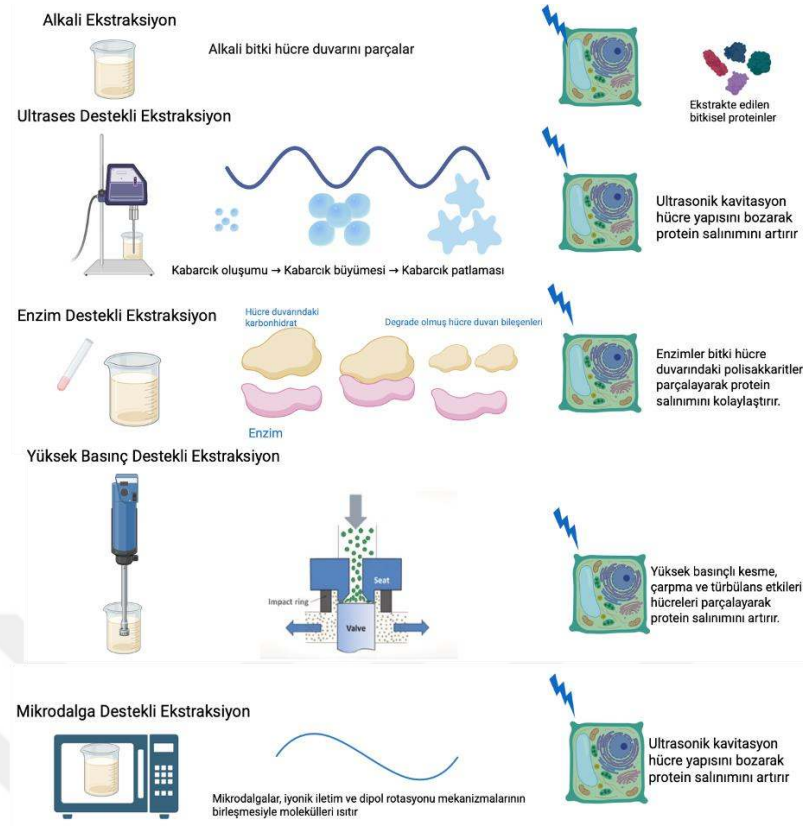
Protein	İlgi odağı
Soya	Tüm esansiyel amino asitleri içermesi nedeniyle üstün besinsel değer, iyi fonksiyonel özellikler
Bezelye	Yüksek bulunabilirlik, çok yönlülük, besleyicilik ve hipoalerjenik özellik, bezelye nişastası ekstraksiyonunun yan ürününden elde edilebilme
Pirinç	Kazein ve soya proteinine eşdeğer yüksek besleyicilik, hipoalerjenik, kolay sindirilebilir, tahıllar arasında yüksek net protein kullanım değeri
Karabuğday	Yüksek lizin içeriği, yüksek biyolojik değer
Tohumlar	Antioksidan, antihipertansif, antimikrobiyal ve antiviral özellikler; yüksek amino asit içeriği, beslenmeyi destekleyici özellik
Yapraklar	Kükürt içeren amino asitlerce zengin üstün amino asit profiline sahip RuBisCO proteini; iyi fonksiyonel özellikler, sürdürülebilirliği destekler

Bitkisel kaynaklardan elde edilen proteince zengin bileşenler, içerdikleri protein konsantrasyonuna göre sınıflandırılmaktadır. Bunlar; unlar (%20-45 protein), konsantreler (en az %65 protein) ve izolatlar (>%90 protein) olarak tanımlanmaktadır. Protein açısından zengin bileşenler kuru ve ıslak işleme yöntemleri kullanılarak hazırlanabilmektedir. En uygun ekstraksiyon ve konsantrasyon işleminin seçimi, substratın bileşimi, bileşenlerde hedeflenen protein zenginleştirme seviyesi ve gıda formülasyonlarındaki ikamesi, protein türü ve belirli çözücülerdeki çözünürlük davranışı gibi faktörlere bağlı olarak değişiklik gösterebilmektedir (Lamsal & Wanasundara, 2024).

Bitkisel proteinlerin ekstraksiyonu için çeşitli yöntemler bulunmaktadır. Bazı bitkilerin yapısında bulunan polifenoller, lipitler ve polisakkaritler, protein ekstraksiyonunu engelleyebilmektedir. Bu nedenle bitki materyallerinin özelliklerine göre uygun ekstraksiyon yöntemini seçmek oldukça önemlidir. Proteinlerin ekstraksiyon yöntemleri geleneksel ve yenilikçi yöntemler olarak 2 kategoride incelenmektedir (Brishti vd., 2025; Aghababaei, vd., 2023; Khalid vd., 2025). Geleneksel ekstraksiyon yöntemi, çözeltinin bir alkali kullanılarak pH değerinin yükseltilmesi suretiyle bitki hücre duvarının parçalanması, proteinin çözünürlüğünün arttırılması ve daha sonra pH'nın izoelektrik noktaya uygun bir asit yardımıyla düşürülmesi ile proteinlerin çöktürülmesi esasına dayanmaktadır (Meganaharshini vd., 2023).

US, enzim, yüksek basınç ve mikrodalga destekli ekstraksiyon yöntemleri, bitki proteinlerinin elde edilmesinde kullanılan yenilikçi teknolojiler arasında yer almaktadır ve Şekil 2.2'de bitki proteinlerinin ekstraksiyon yöntemleri gösterilmiştir (Brishti vd., 2025; Fatima vd., 2024; Hadidi vd., 2023).

Enzim destekli ekstraksiyon, bitkisel kaynaklardan proteinlerin ekstraksiyonunu kolaylaştırmak için spesifik enzimleri kullanan yenilikçi bir yöntemdir. Bu yöntemin temel prensibi, bitki hücre duvarını enzimlerle parçalayarak hücre duvarında yer alan polisakkaritleri ve proteinleri hidrolize etmesine dayanmaktadır. Yaygın kullanılan enzimler proteazlar, selülozlar, hemiselülozlar, α -amilazlar, ksilanazlar ve pektinazlardır. Hücre duvarlarının yapısal bileşenlerini parçalayarak, enzimler bu duvarların geçirgenliğini arttırmakta ve içerdikleri proteinlere daha iyi erişim sağlanmasına katkıda bulunmaktadır. Proteazlar, proteinleri daha küçük peptitlere veya serbest amino asitlere parçalamaya yardımcı olarak protein ekstraksiyon verimini ve çözünürlüğünü artırmaktadır (Khalid vd., 2025; Shawky vd., 2025).



Şekil 2.2. Bitki proteinlerinin ekstraksiyon yöntemleri.

Yüksek basınç destekli homojenizatörle ekstraksiyon, proteinler de dahil olmak üzere biyomoleküllerin ekstraksiyonu ve korunması için gıda matrislerine 100-1000 MPa arasında son derece yüksek basınç uygulayarak bitki dokularının hücre duvarlarını ve zarlarını bozan düzgün bir basınç uygulamasını içeren yenilikçi, termal olmayan bir yöntemdir. Bu mekanik bozulma, hücre içi proteinlerin ve diğer değerli bileşenlerin ekstraksiyon ortamına salınmasını kolaylaştırmaktadır. Ayrıca emülsifikasyon, köpürme ve jelasyon gibi çözünürlüğü ve fonksiyonel özellikleri artırmaktadır (Navina vd., 2025; Shawky vd., 2025).

Mikrodalga, gıda işleme fırınlarında alternatif bir elektrik alanının uygulanmasıyla üretilir. Bu dalgaların tipik dalga boyu <1 cm, frekansı 2,45 GHz ve iyonlaştırıcı olmayan bir radyasyon türüdür. Mikrodalgaların etkisi altında, su dipolleri kendilerini mikrodalgaların dipolleriyle yeniden düzenlemeye çalışmaktadır ve bu da moleküller arasında sürtünmeye neden olmaktadır (Munir vd., 2019). Sürtünmeden dolayı açığa çıkan ısı, hücre matrisinin içindeki neme yaklaştığında, hücre duvarında buharlaşma ve yoğun bir basınç oluşturur. Basınçla beraber hücre duvarı parçalanır ve hidrojen bağlarının kırılması yoluyla aktif bileşenlerin salınmasına neden olmaktadır. Bu durumda da çözünmüş iyonların

göçünü, biyolojik matrisin gözenekliliğinin artmasını ve ilgi duyulan bileşiklerin ekstraksiyonunu sağlamaktadır (Hewage vd., 2022).

Sonikasyon destekli ekstraksiyon (UDE), bitki proteinlerinin izolasyonu ve fonksiyonel özelliklerin iyileştirilmesi gibi avantajlara sahip olan verimli ve çevre dostu bir fiziksel ekstraksiyon yöntemidir. Yöntemin prensibi, ekstraksiyon için çözücülerle birlikte ultrason enerjisinin kullanımını içermektedir. Sonikasyon, insan kulağının duyma eşiğini aşan (>20 kHz) frekanslarla karakterize edilen mekanik dalgaları ifade eder ve 20 Hz ile 20 kHz aralığındadır. 20-100 kHz aralığındaki frekanslar, ağırlıklı olarak gıda işlemede kullanılmaktadır. UDE, hücresel yapıları bozmak için kavitasyon, mekanik ve termal etkilerden yararlanarak hedef proteinlerin salınımını kolaylaştırırken aynı zamanda protein fonksiyonelliğini de iyileştirmektedir (Cai vd., 2026; Negi vd., 2024). Yenilikçi bir teknoloji olan UDE, çevre dostu, tekrarlanabilir ve sürdürülebilir enerjiyi desteklemektedir ve geleneksel yöntemlerle karşılaştırıldığında, çözücü tüketimini ve ekstraksiyon süresini önemli ölçüde azaltabilen verimli bir ekstraksiyon tekniğidir (Zakki vd., 2024).

2.1.2. Proteinlerin özellikleri

Proteinler, özgün kimyasal bileşimleri ve fizikokimyasal özellikleri sayesinde gıdalara çeşitli teknofonksiyonel ve biyolojik özellikler kazandıran önemli bileşenlerdir (Schmitt & Wanasundara, 2024). Gıda sistemlerinde, proteinlerin fonksiyonel özellikleri, gıdaların kalitesine ve duyu özellikleri üzerine belirleyici rol oynamakta ve hazırlama, işleme, depolama ve tüketim sırasında gıdanın davranışını etkilemektedir. Proteinlerin başlıca fonksiyonel özellikleri çözünürlük, jelasyon, köpük oluşturma, emülsifiye etme ve su ile yağ tutma kapasitesi olarak sıralanabilmektedir ve Şekil 2.3’de verilmiştir (Navaf vd., 2023).



Şekil 2.3. Proteinlerin fonksiyonel özellikleri.

Çözünürlük

Bitki proteinlerinin sulu çözücünde çözünme yeteneği olarak tanımlanan çözünürlük, emülsifikasyon, jelasyon ve köpürme dahil olmak üzere çeşitli fizikokimyasal özellikleri doğrudan etkileyen belirleyici bir özelliktir. Bir çözeltide proteinlerin çözünürlüğü, protein molekülündeki hidrofilik grupların çözücü ile kurduğu etkileşimler tarafından belirlenmektedir. Proteinlerin doğal katlanmış yapısında, hidrofobik ve apolar gruplar çekirdek bölgede yer alırken, hidrofilik gruplar yüzeyde bulunarak çözücü ile etkileşime girmektedir (Hadidi vd., 2023; Tan vd., 2023). Proteinlerin çözeltide çözünür kalabilmesi, çözücü ile olan iyonik etkileşimlerin, protein agregasyonu ve çökelmeye neden olabilecek moleküllerarası diğer çekim kuvvetlerine baskın olması durumunda mümkün olmaktadır. Protein ve çözücü arasındaki iyonik etkileşimlerin artması protein çözünürlüğünü artırmaktadır. Buna karşılık, protein molekülleri arasındaki elektrostatik itmenin zayıflaması, moleküllerin birbirine yaklaşarak agregasyon ve çökme eğilimi göstermesine neden olarak çözünmeyi engellemektedir (Cai vd., 2026; Hadidi, vd., 2023; Navaf vd., 2023; Tan vd., 2023). İyonik etkileşimlerin yanı sıra çözücünün pH'ı da proteinlerin çözünürlüğünü etkilemektedir. Genel olarak, çözücünün pH'ı ve iyonik kuvveti proteinlerin çözünürlüğünü önemli ölçüde etkilemektedir. Proteinler, asidik ve alkali çözeltelerde iyi çözünürken, izoelektrik noktaya yakın pH'larda daha düşük çözünürlük göstermektedir (Navaf vd., 2023). Yüksek yoğunlukta US uygulaması, uygun koşullarda büyük parçacıkları küçültmekte ve yüzey alanını artırmaktadır bu durum da çözünürlüğü artırmaktadır. Ancak aşırı yoğunluk veya uzun süreli US uygulaması, proteinlerin yapısını bozup agregasyonuna yol açarak çözünürlüğü azaltabilmektedir (Pi vd., 2025).

Jel oluşumu

Jel yapı, genellikle sıvı olan bir faz ve katı olan bir ortamı birleştiren bir matrise sahip yarı katılardır. Proteinlerde jel oluşumu, proteinin dokusunu belirleyen fonksiyonel özelliklerden biridir. Jel yapı, gıdalarda koyulaştırma ve jelleşme, su tutma ve stabilizasyon etkileri gibi ayırt edici yetenekler sağlamaktadır (Navaf vd., 2023). Proteinlerin yapısındaki kovalent ve kovalent olmayan bağların varlığına bağlı olarak, jel yapısı ve viskoelastik özellikleri değişmektedir. Yapıda bulunan disülfid bağları, jel matrisinin sert olmasını sağlamaktadır. Hidrojen ve hidrofobik etkileşim gibi diğer bağlar da daha iyi bir ağ yapısı sağlamaktadır (Das vd., 2025). Proteinlerin jelleşmesi, dört aşamada gerçekleşir. İlk olarak, protein yapısı açılır; ardından ayrışma meydana gelir. Protein yapısı ayrıştıktan sonra birleşir ve kümelenir. Bu süreç sonucunda üç boyutlu çapraz bağlı bir protein ağı oluşur. Gıda

proteinlerinde jelleşme ise ısı, basınç, iyon, asit ve enzim gibi farklı yöntemlerle gerçekleşmektedir (Tan vd., 2023).

Köpük oluşumu

Hava hücreleri ve sıvı tabakadan olmak üzere iki fazdan oluşan köpük, proteinlerin fonksiyonel özelliklerindendir. Proteinlerin köpürme özelliklerinden, kek ve pasta gibi çeşitli gıda ürünlerde yararlanılmaktadır. Proteinlerin köpük oluşturma kapasitesi, asidik pH'da çözünürlüklerinin düşük olması nedeniyle daha düşüktür. Ancak, izoelektrik noktadan uzaklaştıkça bu kapasite artmaktadır. Ayrıca, köpük oluşturma kapasitesi çözünür proteinlerin konsantrasyonuna da bağlıdır (Das vd., 2025; Pi vd., 2025).

Emülsifiye etme

Proteinlerin fonksiyonel özelliklerinin incelenmesi ve değerlendirilmesi, soslar, çorbalar, kremalar ve mayonez gibi çeşitli gıda ürünlerinde önemli bir özellik olması nedeniyle gıda teknolojisi açısından önemlidir. Emülsiyon, iki veya daha fazla karışmayan sıvının karıştırılarak koloidal bir faz oluşturulmasını ifade etmektedir. Emülsiyon sisteminde dağılmış ve sürekli faz olmak üzere 2 faz bulunmaktadır. Mayonez, krema gibi yağ-su emülsiyonlarında, tipik olarak yağ dağılmış faz, su ise sulu fazdır. Margarinde ise suyun dağılmış faz, yağın ise sulu faz olduğu su-yağ emülsiyonlarına örnektir (Das vd., 2025; Tan vd., 2023). Proteinlerin emülsifikasyon özellikleri ise yağ-su iki fazlı sistemlerde emülsiyon oluşturma ve stabilize etme yeteneğini ifade etmektedir. Temel mekanizması ise proteinlerin yağ-su arayüzünde adsorpsiyonunu içermektedir ve damlacık agregasyon olasılığını azaltan koruyucu bir film oluşumuna yol açmaktadır (Cai vd., 2026). Proteinlerin emülsiyon özellikleri, pH, sıcaklık ve iyonik kuvvet gibi parametrelerden etkilenmektedir. Karışımın pH'sı izoelektrik noktadan uzaklaştıkça yani çözünürlüğü arttıkça emülsiyon kapasitesi artmaktadır. Bir diğer anlamda karışımda bulunan çözünür protein miktarı, emülsiyon kapasitesini büyük ölçüde etkilemektedir (Das vd., 2025; Hadidi vd., 2024).

Su ve yağ tutma kapasitesi

Su tutma kapasitesi, bir malzemenin suyla temas ettiğinde veya suya daldırıldığında yapısında tutabildiği su miktarını ifade ederken, yağ tutma kapasitesi ise malzemenin yağ emme kapasitesi olarak tanımlanmaktadır. Her iki özelliğin belirlenmesinde, kullanılan toplam su veya yağ kütlesi esas alınarak emilen su veya yağ kütlesinin hesaplanmasına dayanan yöntemler yaygın olarak kullanılmaktadır (Chen & Luo, 2024). Proteinlerin su ve yağ tutma kapasiteleri, çorba, hamur ve muhallebi gibi gıdaların dokusal özelliklerini

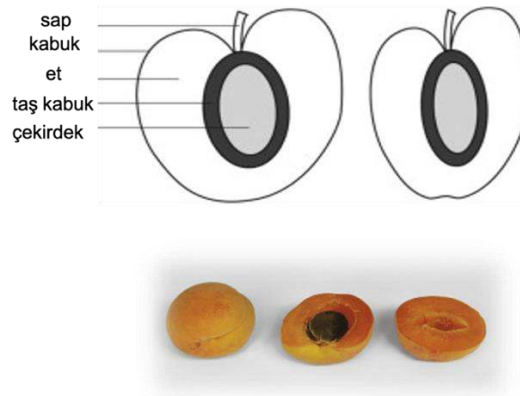
etkilediği için önemli bir özelliktir. Su tutma kapasitesini, protein-su etkileşim bölgelerindeki polar amino asitlerin konumu etkilerken, yağ tutma kapasitesini, protein-yağ etkileşim bölgelerindeki polar olmayan amino asitler etkilemektedir (Avelar vd., 2021).

2.2. Kayısı (*Prunus armeniaca* L.)

Kayısı (*Prunus armeniaca* L.), *Rosaceae* familyasının *Prunoideae* alt familyasının *Prunus* cinsine ait çekirdekli bir meyvedir. Günümüzde kayısı dünya çapında, özellikle ılıman bölgelerde yaygın olarak yetiştirilmektedir. Kayısı, taze, kurutulmuş, nektar, meyve suyu ve reçel yapımında kullanılırken, kayısı çekirdeği yağı ise parfümeri, kozmetik ve ilaç sektöründe kullanılmaktadır.(González-García vd., 2020; Xi & Lei, 2020).

Dünya kayısı hasat alanlarının yarısı Akdeniz'e kıyısı olan ülkelerde yer almakta olup, kayısı; Türkiye başta olmak üzere Özbekistan, İran, Cezayir, İtalya, Afganistan ve İspanya aralarında bulunduğu toplam 68 ülkede üretilmektedir. Türkiye ise özellikle kuru kayısı üretiminde dünyanın en büyük üreticisi konumundadır (González-García vd., 2020; Salazar vd., 2026; Xi & Lei, 2020). Türkiye, 2020 yılında 833.000 ton kayısı, 2023 yılında ise 750.000 ton kayısı üretmiş ve her iki yılda da dünya genelinde ilk sıradaki konumunu korumuştur (FAOSTAT, 2025).

Malatya, Türkiye’de kayısı üretiminde ilk sırada yer almakta olup 2023 yılında 329 bin ton taze kayısı üretimi gerçekleştirmiştir. Bu miktar, toplam kayısı üretiminin %43,8’ini karşılamaktadır (T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı (TOB), 2025y). Malatya kayısı, 2017 yılında Avrupa Birliği nezdinde Koruma Altındaki Menşe Adı (PDO) olarak kayıt altına alınmıştır (Dikilitaş Saçkesen vd., 2025). Şekil 2.4’de kayısı meyvesinin morfolojik özelliği ve yapısı verilmiştir (Mühlbauer & Müller, 2020).



Şekil 2.3. Kayısı meyvesinin morfolojik özelliği ve yapısı (Mühlbauer & Müller, 2020).

Kayısı, su, enerji, protein, yağ, karbonhidrat ve diyet lifi dahil olmak üzere birçok makro besin ve vitaminler, mineraller, amino asitler ve yağ asitleri gibi mikro besin öğelerini içermektedir (Xi & Lei, 2020). Türkiye'de Hacihaliloğlu, Çataloğlu, Kabaası, Soğanoğlu, Hasanbey ve Zerdali en yaygın olarak üretilen kayısı çeşitleridir. Çizelge 2.2'de bazı kayısı çeşitlerinin ham protein, yağ, lif, kül, suda çözünen özüt, alkolde çözünen özüt, kuru madde, pH, asitlik değerleri ve mineral madde içerikleri verilmiştir (Haciseferoğulları vd., 2007).

Çizelge 2.2. Bazı kayısı çeşitlerinin bileşim özellikleri ve mineral madde içeriği (Haciseferoğulları vd., 2007).

Özellikler	Zerdali	Çataloğlu	Hacihaliloğlu	Hasanbey	Soğancı	Kabaası
Kuru madde (%)	17,73	23,21	17,90	20,21	17,69	23,63
Ham protein (%)	2,84	3,54	3,59	4,08	4,29	4,26
Ham yağ (%)	1,04	1,44	0,55	0,78	3,12	2,09
Ham lif (%)	2,41	1,08	1,55	0,77	1,48	1,55
Kül (%)	5,34	3,35	3,15	3,07	3,50	2,72
Suda çözünebilir ekstrakt (%)	48,3	74,7	70,0	65,4	67,8	73,7
Alkolde çözünebilir ekstrakt (%)	21,4	25,9	23,6	23,2	24,6	19,9
pH	4,16	5,23	5,05	4,63	4,82	4,71
Asitlik (% malik asit)	0,79	0,17	0,21	0,34	0,19	0,24
Al (ppm)	223	76,81	82,94	229,46	65,58	67,28
B (mg/kg)	19,87	14,69	10,82	10,85	11,74	5,99
Ca (mg/kg)	1896	700,05	737,29	843,28	921,95	798,73
Cr (mg/kg)	2,24	2,63	1,84	3,22	3,14	3,34
Fe (mg/kg)	398,88	402,24	418,31	416,39	396,12	433,16
K (mg/kg)	33364,6	21671,1	21600,3	20792	21382,9	22029
Mg (mg/kg)	765,62	429,69	402,82	478,16	449,76	481,37
Na (mg/kg)	1070,06	861,34	783,12	1129,74	773,95	864,04
P (mg/kg)	2157,4	2023,2	1436,5	2643,4	1893	1914,5
V (mg/kg)	4,75	2,32	2,16	0,22	2,96	3,12

2.2.1. Kayısı çekirdeği

Kayısı çekirdeği Şekil 2.4'de görüldüğü gibi kayısı meyvesinin en iç kısmıdır. Yağ, protein, vitaminler, lif, temel mineraller ve biyoaktif bileşenler açısından zengindir (Gezer vd., 2011). Tatlı, yarı tatlı ve acı olmak üzere 3 çeşit kayısı çekirdeği bulunmaktadır. İnsan tüketimi ve sağlığın korunması açısından birçok faydası olan yararlı bir yan üründür. Kayısı çekirdekleri protein açısından zengin bir kaynak olup, yaklaşık %18-34 arasında protein içermektedir. Bununla birlikte, kayısı çekirdeğinin gıda endüstrisi tarafından yağ ekstraksiyonu yapıldıktan sonra geriye kalan pres keki genellikle hayvan yemi veya gübre olarak kullanılmaktayken katma değeri daha yüksek olan ürünlere çevrilmemektedir (Siddiqui vd., 2023; Zhu vd., 2025). Bu durum gereksiz atığa yol açarak çevre kirliliğine de

sebeptir. Protein açısından zengin bir kaynağın bu şekilde düşük katma değerli alanlarda kullanılması hem ekonomik potansiyelin değerlendirilmemesine hem de sürdürülebilir gıda sistemleri açısından önemli bir kayıba yol açmaktadır.

Kayısı çekirdeği besinsel ve fonksiyonel özelliklerinden dolayı gıda ve nutrasötik gibi alanlarda kullanılmaktadır. Çekirdekler, yağ, pres keki unu ve çeşitli fonksiyonel bileşenlere işlenebilmektedir. Kayısı çekirdeği ekstraktı ile bitki bazlı probiyotik yoğurt üretimi (Şahingil vd., 2025), kayısı çekirdeği pres kekinden ezme üretimi (Kaya Turan vd., 2025), bitki bazlı süt ve süt tozu analogu üretimi (Dikme & Hayaloğlu, 2025), kayısı çekirdeği pres keki ve yağından bitki bazlı peynir üretimi (Fidan vd., 2025), kayısı çekirdeği kullanılarak dondurma üretimi (Masoud vd., 2008), kayısı çekirdeği ile zenginleştirilmiş erişte üretimi (Eyidemiir & Hayta, 2009) gibi farklı kullanım alanları bulunmaktadır.

2.3. *Cyclotrichium niveum* (Dağ nanesi)

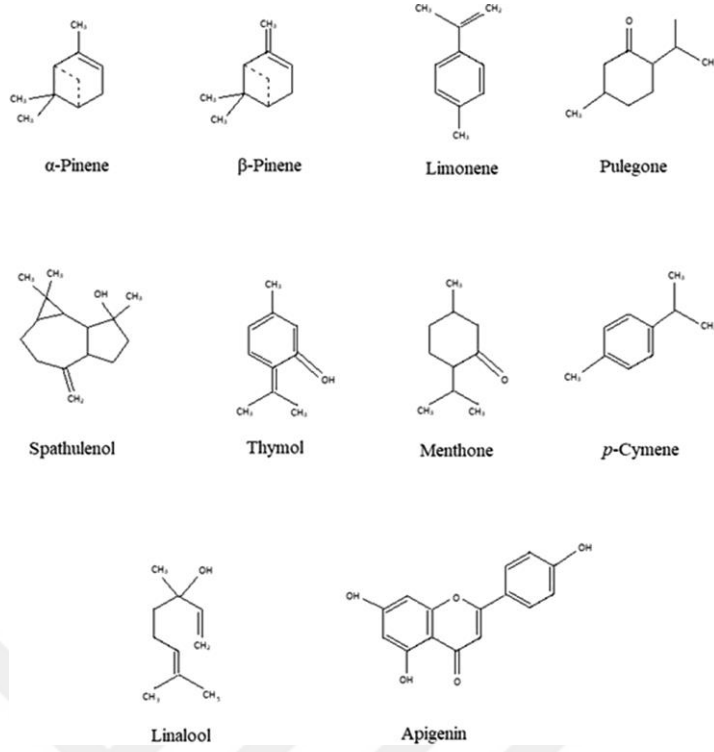
Ülkemiz, önemli bir coğrafi konuma sahip olması nedeniyle ekonomik, aromatik ve tıbbi bitkilerin başlıca gen merkezlerinden biridir. Lamiaceae türleri de antioksidan, antibakteriyel, antikarsinogenik gibi çeşitli biyolojik aktivitelere bağlı ikincil metabolitler açısından zengin olan türlerden biridir. Lamiaceae türlerinin antibakteriyel, antioksidan, antimikrobiyal, antifungal, analjezik, antiseptik, antispazmodik, karminatif gibi tıbbi özellikleri bulunmaktadır (Kaska & Seçme, 2025).

Ülkemizde *Lamiaceae* familyasına ait 45 cins, 546 tür ve toplam 731 takson bulunmaktadır. Bu familyanın bir üyesi olan *Cyclotrichium*, ‘dağ nanesi’ olarak bilinmektedir. Türkiye’ye özgü çok yıllık bir bitkidir ve *Cyclotrichium niveum*, *Cyclotrichium origanifolium*, *Cyclotrichium stamineum*, *Cyclotrichium leucotrichum* ve *Cyclotrichium glabrescens* olmak üzere 5 türü bulunmaktadır. Bunlar arasında *Cyclotrichium niveum* ve *Cyclotrichium origanifolium* Türkiye’ye endemiktir (Gulcin vd., 2008). *Cyclotrichium niveum* Doğu Anadolu bölgesinde yetişmekte olup, Şekil 2.5’de İnönü Üniversitesi herbaryumuna INU 16430-2022 ve INU 16431-2022 numaralarıyla eklenen, Malatya’nın Arapgir ilçesi, Kozluk mevkinden toplanan bu endemik bitkiye ait görseller verilmiştir.



Şekil 2.5. İnönü Üniversitesi herbaryumuna INU 16430-2022 ve INU 16431-2022 numaralarıyla eklenen *Cyclotrichium niveum* bitkisine ait görseller.

Adıyaman ilinin Kiran-Subası bölgesindeki Nemrut Dağı'ndan toplanan *Cyclotrichium niveum*'un sulu ve etanollü ekstraktlarının gıda, ilaç ve farmasötik ürünler için iyi bir antioksidan kaynağı olduğu, iki ekstraktın da gıda ürünlerinde lipid oksidasyonunu en aza indirmek veya önlemek, toksik oksidasyon ürünlerinin oluşumunu geciktirmek, besin kalitesini korumak ve gıda ve ilaçların raf ömrünü uzatmak için kullanılabileceği bildirilmiştir (Gulcin vd., 2008). *Cyclotrichium niveum*'un etanol ve diklorometan ekstraktlarının HeLa ve MCF-7 hücrelerinin canlılığını önemli ölçüde azalttığı, özellikle etanol ekstraktının kanser hücrelerine karşı seçici sitotoksik etki göstermesi nedeniyle antikanser ilaç geliştirme çalışmalarında değerlendirilebileceği bildirilmiştir. (Özdemir vd., 2017). *C. organifolium*'un metanol ekstraktlarının önemli antioksidan aktivite ve antidiyabetik potansiyele sahip olduğu, uçucu yağların ise bazı patojenlere karşı önemli antimikrobiyal etkiler gösterdiği bilinmektedir. Bu sonuçlar, *C. organifolium*'un oksidatif stres, diyabet ve mikrobiyal enfeksiyonlarla mücadelede terapötik potansiyelini vurgulamaktadır (Aydın vd., 2025). *Cyclotrichium niveum*'un yapraklarından elde edilen uçucu yağ veriminin %3,4 olduğu ve uçucu yağları fenolik ve alkolik bileşikler ile monoterpenler açısından zengin olduğu yapılan bir çalışmada tespit edilmiştir (Kilic vd., 2007). Şekil 2.6'da *Cyclotrichium* türlerine ait bazı kimyasal bileşenler gösterilmiştir. Apinene ve β -pinene, limonene ve pulegone *Cyclotrichium* türlerinde bulunan monoterpen bileşenlerdir (Yazdanshenas & Tafrihi, 2022).



Şekil 2.6. *Cyclotrichium* cinsine ait önemli kimyasal bileşenler (Yazdanshenas & Tafrihi, 2022).

2.4. Yenilebilir Filmler

Besinler, canlıların hayatta kalması için gereklidir ve bu besinlerin ürün özelliklerinin korunması ve taleplerin karşılanması için paketlenmesi ve depolanması gereklidir. Besinler büyüme, hasat ve işleme gibi çeşitli adımları içeren bir süreçten sonra tüketilebilir duruma gelmektedir (Gupta vd., 2024). Gıda ambalajı, taşıma ve muhafaza gibi basamaklarda kontaminasyonu önleyerek ve ürünün raf ömrünü uzatılmasına katkı sağlayarak gıda güvenliğine katkı sunmaktadır. Gıda ambalaj malzemeleri olarak, metal, cam, plastik, kağıt ve biyomalzemeler sıklıkla kullanılmaktadır (Nerlekar vd., 2026).

Dünya üzerinde üretilen plastiğin yaklaşık %40'ı ambalajlama amacıyla kullanılmakta olup, geleneksel plastiklerin biyolojik olarak zor parçalanması ve yakılarak bertaraf edilmeleri sırasında zararlı gaz emisyonlarına neden olmaları önemli çevresel sorunlar oluşturmaktadır (Kumar vd., 2022). Gıda ambalajlama, tüketicilerin plastik kirliliği ve tarımsal gıda israfı konusundaki endişeleri nedeniyle son yıllarda değişmektedir. Bu nedenle, yenilebilir filmlerin ve kaplamaların geliştirilmesiyle ilgili çalışmalar yapılmaktadır. Bu sistemler, antioksidan, antimikrobiyal ve besleyici özellikler gibi ek işlevlerle birlikte ambalajlamaya yeni özellikler katmaktadır (Gaspar & Braga, 2023).

Yenilebilir filmleri oluşturmak için üç temel bileşen bulunmaktadır. Bunlar film oluşturuca maddeler (polimerler), plastikleştiriciler ve ek katkı maddeleridir (Pawase vd., 2025).

Yenilebilir ambalaj malzemeleri farklı polimerler kullanılarak elde edilmektedir. Bunlar; polisakkaritler, proteinler, lipitler veya bu bileşenlerin kombinasyonlarından elde edilen doğal polimerlerdir (Kumar vd., 2022). Doğal polimerler, bitkiler, deniz ürünleri ve algler gibi farklı kaynaklardan elde edilebilmektedir. Sentetik olarak kullanılan en yaygın kullanılan ambalaj malzemeleri arasında ise polietilen, polietilen tereftalat, polipropilen, polivinil klorür, poliüretan, poliamidler vb. yer almaktadır (Gupta vd., 2022). Bu polimerler film oluşturma yetenekleri, biyolojik olarak parçalanabilirliği ve farklı matrislerle uyumluluğuna göre seçilmektedir. Ayrıca filmlerin elastikiyetini ve esnekliğini artırmak için gliserol, sorbitol veya polietilen glikol gibi plastikleştiriciler de film çözeltisine eklenmektedir (Pawase vd., 2025).

2.4.1. Doğal polimerler

Doğal polimerler, genellikle biyolojik kaynaklı bileşikler olarak bilinmektedir ve fiziksel veya kimyasal yöntemlerle elde edilebilmektedir. Kimyasal özelliklerine göre doğal polimerler polisakkaritler, proteinler ve lipitler olmak üzere 3 gruba ayrılmaktadır (Gupta vd., 2022; Tasnim & Islam, 2026).

Polisakkaritler

Doğal karmaşık biyomakromoleküller olan polisakkaritler, tüm canlı organizmalar için gereklidir. Glikozid bağlarla birbirine bağlanmış, doğrusal veya dallı zincirler halinde homo veya hetero monosakkarit birimlerinden oluşmakta olup, hayvanlarda, deniz yosunlarında ve bakteri, mantar, alg gibi çeşitli kaynaklarda bulunmaktadır (Zong vd., 2012). Polisakkaritler de kendi içerisinde doğal ve sentetik polisakkaritler olarak sınıflandırılabilir. Doğal polisakkaritler selüloz, nişasta ve pektin bitki polisakkaritlerden, kitosan, kitin, hyaluronik asit, heparin hayvan polisakkaritlerinden, aljinat, karagenan, agaroz alg polisakkaritlerden ve pullulan, dekstran, gellan zımkı olarak mikrobiyal polisakkaritlerden elde edilmektedir (Purkait vd., 2026b). Polisakkaritler doğada kolay ve bol miktarda bulunabilmesi, düşük maliyetli olması, biyo-uyumlu olması, toksik etkilerinin olmaması, biyolojik olarak parçalanabilmesinden dolayı çevre dostu olması gibi özelliklerinden dolayı gıda ambalajlamada yaygın olarak kullanılmaktadır (Yao vd., 2024).

Proteinler

Proteinler, 100'den fazla amino asit kalıntısı içeren amid bağlarıyla birbirine bağlanmış polipeptitlerden oluşan polimerlerdir. Proteinler, içerdikleri amino asit bileşimlerine bağlı olarak biçim ve işlev bakımından farklılık göstermektedir. Amino asitlerin yan zincir özelliklerine göre sınıflandırılması Çizelge 2.3'de verilmiştir (Nur Hanani vd., 2014).

Çizelge 2.3. Amino asitlerin yan zincir özelliklerine göre sınıflandırılması.

Amino Asit Adı	Yan Zincir Özelliği
Alanin	Apolar, hidrofobik
Arjinin	Bazik, pozitif yüklü
Asparajin	Polar, yüksüz
Aspartik Asit	Asidik, negatif yüklü
Sistein	Polar, yüksüz
Glutamik Asit	Asidik, negatif yüklü
Glutamin	Polar, yüksüz
Glisin	Apolar, hidrofobik
Histidin	Bazik, pozitif yüklü
İzolösin	Apolar, hidrofobik
Lösin	Apolar, hidrofobik
Lizin	Bazik, pozitif yüklü
Metiyonin	Apolar, hidrofobik
Fenilalanin	Apolar, hidrofobik
Prolin	Apolar, hidrofobik
Serin	Polar, yüksüz
Treonin	Polar, yüksüz
Triptofan	Apolar, hidrofobik
Tirozin	Polar, yüksüz (aromatik)
Valin	Apolar, hidrofobik

Proteinler primer, sekonder, tersiyer ve quarterner olmak üzere 4 yapıdan oluşmaktadır. Primer yapı, amino asit dizisinin doğrusal olarak düzenlendiği yapıyken, sekonder yapı protein moleküllerinin şeklinin α -heliks veya β -tabaka (katlanma ve kıvrılma) şeklinde olduğu ve zincir içindeki $-C-O$ ve $-N-H$ grupları ile birincil amino asit yapı taşları arasındaki hidrojen bağları sayesinde oluşturduğu yapıdır. Tersiyer protein yapısı, protein moleküllerinin bireysel amino asitler üzerindeki R gruplarıyla etkileşimleri sonucu katlanma ve bükülme sonucu oluşmaktadır. Bu etkileşim, R gruplarının polaritesine bağlı olarak hidrojen bağları, dipol-dipol etkileşimleri, kovalent veya iyonik bağlar sonucu oluşabilmektedir. Kuarterner yapı ise birden fazla polipeptidi büyük bir makromoleküler komplekse bağlayan kovalent olmayan bağların sonucunda oluşmaktadır (Nur Hanani vd., 2014). Proteinler, amino asit yapıları sayesinde köpürme, emülsiyonlaştırma ve jel oluşturma gibi işlevsel özellikler kazanmaktadır. Protein bazlı filmler ise mikrobiyal proteazlarla kolayca bozunarak yüksek biyolojik parçalanabilirlik gösterir ve sürdürülebilir gıda ambalajları için uygun malzemeler sunmaktadır (Y. Chen vd., 2025; Hadidi vd., 2022).

Film oluşturmak için proteinlerin ısı, asit, alkali veya çözücü le denatüre edilerek daha geniş yapıları oluşturması sağlanmaktadır. Elde edilen filmler, film solüsyonlarında yer alan bileşenler arasındaki hidrojen, iyonik, hidrofobik ve kovalent bağlar gibi zincirler arası etkileşimler sonucunda oluşmakta ve bu etkileşimlerin niteliği zincir uzama derecesi le amino asit kalıntılarının doğası ve diziliminden etkilenmektedir. Sentetik filmlerle karşılaştırıldığında, protein bazlı filmler zayıf su direnci ve daha düşük mekanik mukavemet sergilemektedir. Ancak protein bazlı filmler yüksek mekanik ve bariyer özelliklerine sahip filmler oluşturma yetenekleri açısından genel olarak polisakkaritlerden üstündür. Protein bazlı filmler, polisakkarit filmlerine göre daha iyi oksijen ve karbondioksit bariyer özelliklerine ve mekanik özelliklere sahiptir (Nur Hanani vd., 2014). Soya proteini, mısır zeini, sodyum kazeinat, buğday glteni, bezelye proteinleri, ayçiçeği proteini, keratin, kolajen ve jelatinler gibi çeşitli protein türleri yenilebilir/biyolojik olarak parçalanabilir filmler olarak kullanılmıştır (Y. Chen vd., 2025; Nur Hanani vd., 2014; Purkait vd., 2026c).

Lipitler

Gıda ambalaj malzemeleri arasında lipit bazlı yenilebilir filmler, üstün nem bariyeri özelliklerine sahiptir. Bu filmler, geleneksel olarak meyve kaplamalarında kullanılmıştır. Mekanik dayanıklılığının zayıf olması ve şeffaflıklarının düşük olmasından dolayı tek bileşenli film kullanımları sınırlıdır. zelliklerinin iyileştirilmesi için, genellikle hidrofilik katmanlarla birlikte veya biyopolimerlerle emülsifiye edilerek kompozit film bileşeni olarak kullanılmaktadırlar. Bu formülasyonlar, nem direncini korurken filmlerin esnekliğini ve dayanıklılığını artırmakta, ayrıca hidrofobik bileşen kullanım miktarını azaltarak üretim maliyetlerinin düşürülmesine katkı sağlayabilmektedir (Purkait vd., 2026c). Bununla birlikte, lipit içeren kaplamaların veya filmlerin kaplanmış gıda ürünlerinin görünümüne ve parlaklığı üzerinde olumsuz etkilerinin olabileceği bildirilmiştir. Bitkisel balmumu, asetillenmiş monogliseritler ve yüzey aktif maddeler koruyucu film/kaplama olarak uygulanan lipit bazlı bileşiklerdir (Hassan vd., 2018).

2.4.2. Doğal katkı maddeleri

Çevresel etkileri en aza indirmeyi amaçlayan sürdürülebilir biyopolimer bazlı ambalaj malzemeleri geliştirilirken, gıdaların raf ömrünü uzatmak amacıyla doğal katkı maddelerinden yararlanılmaktadır. Bu katkı maddeleri; bitki lifleri, bitki zleri, uçucu yağlar ile plastikleştiriciler ve emlgatrleri kapsamaktadır. Katkı maddelerinin ambalaj sistemine ilavesiyle, biyopolimer bazlı ambalaj malzemelerinin mekanik, bariyer, antibakteriyel,

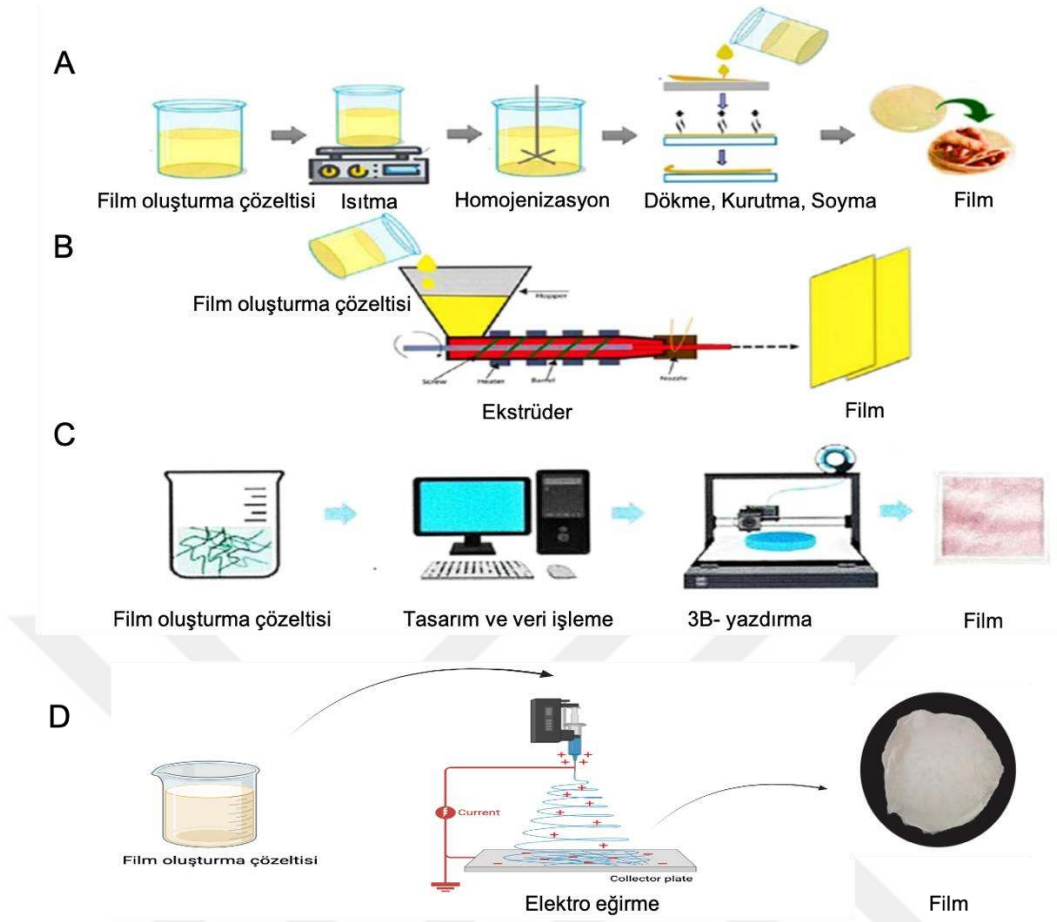
antioksidan ve optik özelliklerinin geliştirilmesi hedeflenmektedir (Purkait vd., 2026a; Saxena vd., 2020).

Uçucu yağlar, damıtma veya mekanik yöntemler kullanılarak bitkilerin kabuk, tohum, çiçek, kabuk, kök, yaprak ve odun gibi bitkilerin farklı kısımlarından elde edilen uçucu ve kokulu sıvılardır. Güçlü antimikrobiyal ve antioksidan aktiviteleri nedeniyle, uçucu yağlar meyve, sebze, süt ürünleri, balık, et ve unlu mamullerin korunmasında yaygın olarak kullanılmaktadır (Purkait vd., 2026a). Yapılan çalışmalarda, Meksika kekiği yağı ve tarçın esansiyel yağı ile zenginleştirilmiş kitosan filmlerde *Aspergillus niger* ve *Penicillium digitatum*'un büyümesinin engellendiği (Avila-Sosa vd., 2012), kitosan filmlerinde ve keçiboynuzu gamı filmlerinde tek başına ve kombinasyon halinde bergamot yağı ve acı portakal esansiyel yağının, hurmalarda küf gelişimini (*Aspergillus flavus*) (Aloui vd., 2014) azalttığı bilinmektedir.

Biyopolimer bazlı ambalaj malzemelerinde, uzayama kabiliyeti, esnekliği, elastikiyeti ve mekanik dayanımı artırmak, kırılabilirliği azaltarak fonksiyonel özellikleri değiştirmek için eklenen önemli katkı maddelerinden biri de plastikleştiricilerdir. Bunu, polimer matrisindeki moleküller arası kuvvetleri azaltarak ve böylece zincir hareketliliğini artırarak başarırlar. En etkili ve yaygın kullanılan plastikleştiriciler; gliserol, sorbitol, mannitol ve ksilitol gibi poliollerdir (Purkait vd., 2026a). Emülgatörler ise, karışmayan fazlar arasındaki arayüzey gerilimini azaltarak emülsiyonları geliştiren ve stabilize eden arayüzey aktif maddelerdir. Tween 20 veya Tween 80 kararlı bir emülsiyon oluşturmak için en yaygın kullanılan emülsiyon oluşturmuculardır (Purkait vd., 2026a; Saxena vd., 2020).

2.4.3. Yenilebilir film hazırlama teknikleri

Yenilebilir filmlerin hazırlanması için solvent dökme yöntemi, ekstrüzyon yöntemi ve yeni üretim teknolojileri arasında olan 3 boyutlu yazıcı (3B) ile yazdırma yöntemi ve elektrospining yöntemi kullanılmaktadır. Film hazırlama yöntemleri Şekil 2.7'de gösterilmiştir (Fan vd., 2025; Lopez-Polo vd., 2024).



Şekil 2.7. Yenilebilir film hazırlama yöntemleri: (A) Solvent dökme yöntemi, (B) Ekstrüzyon yöntemi, (C) 3 boyutlu yazdırma yöntemi, (D) Elektro eğirme yöntemi (Fan vd., 2025; Lopez-Polo vd., 2024).

Solvent dökme yöntemi

Laboratuvar ortamında film hazırlama yöntemleri arasında en yaygın uygulanan yöntem, solvent dökme yöntemi olarak adlandırılan ancak genel olarak dökme yöntemi olarak bilinen işlemdir. Şekil 2.7A’da solvent dökme yöntemi gösterilmiştir. Öncelikle kullanılacak biyopolimer uygun bir çözücü ile çözündürülür, ısıtılır, homojenize edilir ve daha sonra düz bir kalıp ya da plakaya dökülür. Çözücünün uzaklaşması için kurutma işlemi uygulanır. Kurutma, sıcak hava fırınları, mikrodalgalar, tepsi kurutucular, akışkan yataklı kurutucular ve vakum kurutucular gibi geleneksel yöntemlerle yapılmaktadır. Ancak, aktif bileşenler içeren film uygulamalarında, aktif bileşenlerin tepsi kurutucular, vakum kurutucular ve akışkan yataklı kurutucular gibi mekanik kurutma yöntemleri sırasında aktivitesini kaybedebileceği için, ortam havası koşullarında kurutulmaktadırlar. Daha sonra kurutulan filmler kalıp veya plakadan soyulmaktadır (Gupta vd., 2024; Pawase vd., 2025; Raj KV vd., 2025).

Ekstrüzyon yöntemi

Ekstrüzyon yöntemi, film oluşturma çözeltisinin özel şekillendirilmiş bir kalıplama deliğinden geçirilmesi yoluyla film elde edilmesini esas alan bir üretim tekniğidir ve Şekil 2.7B’de gösterilmiştir. Ekstrüzyon yöntemiyle film üretimi, üç aşamadan oluşmaktadır. İlk aşama, besleme haznesinin jel, toz veya konsantre çözelti formundaki film oluşturu bir bileşimle doldurulmasıdır. Diğer aşama gerekli bileşenlerin eklenmesi ve karıştırılması aşamasıdır. Son aşamada, beslemeden gelen çözeltinin, ısıtma işlemiyle bir konveyör bandına veya tambura uygulanması ve ardından metal bir şaft üzerinde soğutma işlemidir (Lisitsyn vd., 2021). Bu yöntemin temel ilkesi, düşük su içeriği koşullarında polimerlerin plastikleştirilmesi ve cam geçiş sıcaklığının üzerinde ısıtılmaları sırasında sergiledikleri termoplastik özelliklere dayandığı için, yöntemde film üretimi için film oluşturu malzemelerin termoplastik özellikleri iyi incelenmelidir (Skurtys vd., 2014). Ekstrüzyon işlemiyle biyopolimer filmlerin yapısı daha homojen hale gelmektedir. Dolayısıyla fizikokimyasal, mekanik ve bariyer özellikleri önemli ölçüde artmaktadır. Ekstrüzyon yöntemiyle film üretiminde, esas olarak polimer seçimi, hammaddenin nem içeriği, kalıp yapısı, vida sayısı, vida hızı, bölge sıcaklığı vb. gibi temel işlem parametrelerinin kontrolü önemlidir ve bu parametrelerin ayarlanması filmlerin özelliklerini etkilemektedir (Xue vd., 2025).

3B yazıcı yöntemi

Yenilebilir filmlerin ve karmaşık gıda yapılarının üretimi için güçlü bir teknik olarak ortaya çıkan 3B yazıcı yöntemi, gıda malzemelerini ve bilgisayar kontrollü baskı kafalarını kullanarak, kaplama malzemelerini gıda yüzeylerine hassas bir şekilde yerleştirmeyi veya bağımsız ambalaj yapıları oluşturmayı sağlamaktadır (Fan vd., 2025; Pawase vd., 2025). Şekil 2.7C’de yönteme ait görsel sunulmuştur.

3B yazıcılar, sıfırdan veya tarama yoluyla 3 boyutlu bir tasarım modeli oluşturulmasını ve ardından baskı için G-kodları ve M-kodları üretmek üzere yazılım aracılığıyla katmanlara ayrılmasını içermektedir. G-kodları baskı için motorları yönlendirmekte, M-kodları ise makine işlevine yardımcı olmaktadır (Brown vd., 2014).

Yenilebilir film üretiminde başlıca iki temel 3B baskı yöntemi kullanılmaktadır. Bunlardan ilki, malzemelerin ısı ile yumuşatılarak nozullardan ekstrüde edilmesi ve katmanlar hâlinde film oluşturulmasına dayanan ekstrüzyon tabanlı baskı yöntemidir.

İkincisi ise, ultra ince ve homojen filmler elde etmek amacıyla çözelti püskürtmenin yüksek hassasiyetle kontrol edildiği inkjet baskı yöntemidir (Fan vd., 2025).

3B baskı ile karmaşık şekiller ve desenler tasarlama, film kalınlığını ve yapısını hassas bir şekilde kontrol etme ve özel olarak tasarlanmış fonksiyonel filmler geliştirme yeteneği de dahil olmak üzere çeşitli avantajları bulunmaktadır (Fan vd., 2025) Bu avantajlar, 3B baskıyı özellikle yenilikçi ve özel ambalaj uygulamaları için uygun hale getirmektedir. Bununla birlikte, yenilebilir film üretiminde, 3B baskı teknolojisi henüz geliştirme aşamasının başlarındadır, baskı parametrelerinde sınırlı standardizasyon ve malzeme performansında değişkenlik bulunmaktadır. Bir diğer konu ise 3B baskının düşük hızıdır; bu da yenilebilir filmlerin üretim hızını sınırlamaktadır. 3B yazıcıların ve ilgili yazılımların maliyeti de küçük ölçekli üreticiler için sınırlayıcı olabilmektedir. Genel olarak, 3B baskı benzersiz özelliklere ve tasarımlara sahip yenilebilir filmler üretme potansiyeli taşımaktadır, ancak 3B baskıya uygun yenilebilir malzemelerin mekanik ve bariyer özelliklerini geliştirmek, aynı zamanda üretim verimliliğini ve maliyet etkinliğini artırmak için daha fazla araştırma ve geliştirme gerekmektedir (Fan vd., 2025; Xie vd., 2024).

Elektro eğirme yöntemi

Elektro eğirme yöntemi, polimerik çözeltilerin yüksek elektrik potansiyeline maruz bırakılmasıyla mikro ve nano boyutta liflerin elde edilmesini sağlayan, uygun maliyetli, çok yönlü ve uygulanabilir bir elektrodinamik işleme teknolojisidir. Şekil 2.7 D’de elektro eğirme işleminin görseli sunulmuştur. Elektro eğirme, elektriksel olarak yüklenmiş polimer çözeltisinin yüzey gerilimini aşması sonucu, eğirme ucunda Taylor konisi oluşumu ve buradan bir polimer jetinin püskürtülmesi esasına dayanmaktadır. Jetin kolektöre ilerlemesi sırasında çözücünün buharlaşmasıyla, katılaşmış nano parçalardaki liflerden oluşan sürekli bir ağ yapısı ortaya çıkmaktadır. Uygulanan değişkenlik, akış hızı, iğne-kolektör genişlemesi, iğne tasarımı ve kolektör tipi gibi işlemler, konsantrasyon, viskozite, yüzey gerilimi, elektriksel iletkenlik ve çözücü türü gibi polimer çözeltilerin özellikleri ve çevresel koşullar elde edilen liflerin boyutu ve morfolojisini etkilemektedir (Lopez-Polo vd., 2024).

2.4.4. Yenilebilir filmlerin peynire uygulanması

Peynir endüstrisi, yenilebilir kaplama ve filmlerin uygulanması için önemli bir potansiyel sunmaktadır. Bu materyaller, gaz geçirgenliğini kontrol ederek ağırlık kaybını ve mikrobiyal bozulmayı azaltmanın yanı sıra antimikrobiyal bileşiklerin taşıyıcısı olarak da kullanılabilir. Peynir, üretimden depolamaya kadar meydana gelen birçok biyolojik

ve biyokimyasal reaksiyon nedeniyle karmaşık bir bileşime sahiptir. İşleme ve depolama sırasında dış çevresel koşullar nedeniyle peynir yüzeyinde maya, küf ve bakterilerin yoğun bir şekilde büyümesi meydana gelebilir; bu da peynir kalitesini önemli ölçüde düşürür. Bu nedenle bozulmayı önlemek için özel ambalaj malzemelerinin geliştirilmesini gerekmektedir (Costa vd., 2018)

Peynir ambalajında kullanılan polietilen, poliamid ve polipropilen gibi sentetik malzemeler; biyolojik olarak parçalanamaması, yenilebilir olmaması ve peynire geçiş riskleri nedeniyle ekolojik ve mevzuata bağlı sınırlamalar taşımaktadır. Kaplama materyallerinin peynire migrasyonu da önemli bir sorun oluşturmaktadır. Bu endişeler, sektörü alternatif ambalaj çözümlerine yönlendirmiş ve yenilebilir ambalaj materyallerine yönelik araştırmaların artmasına neden olmuştur (Fajardo vd., 2010). Bu kapsamda, peynir yüzeyinde istenmeyen mikrobiyal gelişimi önlemek amacıyla, doğal polimerler ve ilave katkı maddeleri kullanılarak yeni ambalaj materyallerinin geliştirilmesine yönelik çalışmalar yürütülmektedir.

2.5. Yapılan Çalışmalar

Bakla protein izolatları üretmek için yeşil ekstraksiyon yöntemi olarak UDE kullanıldığı bir çalışmada, ekstraksiyon verimini ve protein içeriğini artırmak için üç seviyeli beş faktörlü Box-Behnken Tasarımı uygulanmıştır. Yanıt yüzey metodolojisi (YYM) sonucu ekstraksiyon verimi ve protein miktarı için ikinci dereceden bir eğri göstermiştir. Güç 123 W, 1:15 g/mL çözücü/çözünen oranı, sonikasyon süresi 41 dk ve 0,82 arzu edilebilirlik değeri en uygun ekstraksiyon şartları olarak belirlenmiştir. Bu çalışmada, bakla protein ekstraksiyonunun optimize edilmesinde optimum ekstraksiyon koşullarının etkili bir şekilde kullanılabileceği gösterilmiştir (Badjona vd., 2024a). Aynı çalışmanın devamında (Badjona vd., 2024b) elektroforez analizi sonucunda, kontrol yöntemine kıyasla UDE sonucu elde edilen izolata, birincil yapısında önemli bir değişiklik olmadığını doğrulanmıştır. FTIR analizi ise ultrason işlemine bağlı olarak ikincil yapıda değişiklikler olduğunu ortaya koymuştur. UDE sonucu elde edilen protein izolata, kontrol protein izolatına kıyasla üstün su ve yağ tutma kapasitesi göstermiştir.

Fasülye protein izolatlarının fizikokimyasal, yapısal ve termal özellikleri üzerindeki etkisi üzerine sabit güçte (100 W) ve farklı sürelerde (5-60 dk) UDE (24 kHz) incelendiği çalışmada, kontrol (geleneksel ekstraksiyon) grubuna göre protein miktarı ve verim yüksek bulunmuştur. Geleneksel ekstraksiyon ve UDE uygulanmış izolatlarının birincil yapısında

önemli bir değişiklik olmadığı, SDS-PAGE sonucuna göre her iki izolata da benzer profillere sahip olduğu bildirilmiştir (Badjona vd., 2024b).

Alkali ekstraksiyon- asit çöktürme yöntemiyle kenevir protein izolatlarına 10, 20 ve 30 dakika süreyle, %40 ve %50 genliğinde yüksek yoğunluklu US uygulandığı bir çalışmada US'in (%50 genlik ve 20 dakika), antioksidan aktiviteyi artırdığı, lizin içeriğini azalttığı, SDS-PAGE profilinde herhangi bir değişikliğe neden olmadığı ve esansiyel amino asit indeksini iyileştirdiği bildirilmiştir (Rawat & Saini, 2023).

Xu vd. (2023) tarafından, sinek larva proteini ekstraksiyonu için ultrason destekli alkali bir yöntem geliştirilen çalışmada, UDE'nin besin değeri, yapısal özellikleri ve teknofonksiyonel özellikleri üzerindeki etkileri, geleneksel sıcak alkali yöntemle karşılaştırılmıştır. Sonuçlar, UDE'nin ekstraksiyon verimini artırdığı, Gıda ve Tarım Örgütü tarafından önerilen insan için gerekli amino asit gereksinimlerini karşıladığı, *in vitro* protein sindirilebilirliğini %82,97'den %99,79'a yükselttiği bildirilmiştir.

Kayısı çekirdeği pres kekinin, kayısı çekirdeği ekstraktı ve daha sonra sprey kurutma yöntemiyle protein açısından zenginleştirilmiş kayısı çekirdeği sütü tozuna işlendiği bir çalışmada, pres kekinin protein açısından zengin bir substrat olduğu, pres keki sütünün %8,33 protein ve pres keki süt tozunun %38,45'lik yüksek protein konsantrasyonuna sahip olduğu bildirilmiştir. Bu araştırma ile kayısı çekirdeği pres keklerinin fonksiyonel gıda bileşenlerine dönüştürerek atık değerlendirmesine ve bitki bazlı, protein açısından zengin alternatiflere yönelik artan talebe katkıda bulunduğu ortaya konmuştur (Dikme & Hayaloğlu, 2025).

Yapılan başka bir çalışmada ise kayısı çekirdeği pres keki kullanılarak ezme üretimi, optimizasyonu ve raf ömrü testi gerçekleştirilmiştir. Kabuklu pres keki ile yapılan ezmenin protein içeriği %30,79 iken, kabuksuz pres kekinden yapılan ezmede protein içeriği %27,10 olarak belirlenmiştir. Çalışmanın sonucu, kayısı çekirdeği pres kekinden yapılan yüksek proteinli ezmenin tüketiciler tarafından alternatif bir ürün olarak kabul edildiği ve atıkların ekonomik katma değer yaratmak için kullanılabileceğini göstermiştir (Kaya Turan vd., 2025).

Kayısı çekirdeği ekstraktı, probiyotik kültür ve ilave transglutaminaz (TGase) içeren bitki bazlı yoğurt üretiminin gerçekleştirildiği bir çalışmada, üç bağımsız değişkenli merkezi deneysel tasarıma dayalı YYM kullanılmıştır. Optimizasyon sonucunda, %20 kayısı çekirdeği ekstraktı ve %0,9 TGase içeriğine sahip bitki bazlı yoğurtlar %70 arzu edilebilirlik

düzeyinde elde edildiği bildirilmiştir. Üretilen yoğurtların anjiyotensin dönüştürücü enzim (ACE) inhibitör aktivitesinin, inek sütü yoğurtlarına kıyasla daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Sonuç olarak, KÇE kullanımı ve TGase ilavesinin, probiyotik yoğurtların fonksiyonel özelliklerini geliştirmek için uygulanabilir bir alternatif olduğu ortaya konmuştur (Şahingil vd., 2025).

Dağ nanesinin (*Cyclotrichium leu-cotrichum* (Stapf ex Rech. Fil.) Leblebici) antioksidan ve antidiyabetik potansiyelleri değerlendirildiği çalışmada, metanol ve su ekstraktlarının antioksidan yetenekleri incelenmiştir. Her iki ekstraktın da güçlü antioksidan aktiviteye sahip olduğu, α -glukozidaz (IC50: 36,47 ve 62,94 $\mu\text{g/mL}$) ve α -amilaz (IC50: 1,01 ve 3,43 $\mu\text{g/mL}$) üzerinde etkili inhibisyon gösterdiği tespit edilmiştir (Gülçin vd., 2022).

Lamiaceae familyasından *Pentapleura subulifera* ve *Cyclotrichium glabrescens*, kimyasal bileşimleri, antioksidan kapasiteleri ve enzim inhibe edici etkileri açısından incelendiği başka bir çalışmada, hekzan, metanolik ve sulu ekstraktların antioksidan potansiyeli, 6 farklı enzime (asetilkolinesteraz (AChE), butirilkolinesteraz (BChE), tirozinaz, amilaz ve glukozidaz) karşı inhibitör aktivite incelenmiştir. *P. subulifera*'nın sulu ekstraktı ve *C. glabrescens*'in metanolik ekstraktı sırasıyla 129,47 mg gallik asit eşdeğeri (GAE)/g ve 55,97 mg GAE/g değerlerinde yüksek fenolik içeriğe sahip olduğu tespit edilmiştir. Tüm antioksidan testleri arasında, *P. subulifera*'nın sulu ekstraktlarının, yüksek antioksidan aktivite gösterdiği bildirilmiştir (Nilofar vd., 2024).

Mahdy vd., 2025 tarafından yapılan çalışmada, dış patojenlerine karşı antimikrobiyal ajanlar olarak karanfil ve kafur esansiyel yağları ile zenginleştirilmiş süt proteini bazlı yenilebilir filmler araştırılmıştır. Gaz kromatografisi-kütle spektrofotometresi (GC-MS) ile, karanfil yağının %72,2 öjenol, kafur yağının ise %69,51 sitronellal içerdiği tespit edilmiştir. Deneysel tasarımda, %2,5 kafur yağı ve %3,0 karanfil yağı kombinasyonunun 24 saatlik temas süresi sonunda *Streptococcus mutans*, *Aggregatibacter actinomycetemcomitans* ve *Porphyromonas gingivalis*'e karşı mikrobiyal büyümeyi tamamen engellediği ve bu koşullar optimum şartlar olarak tanımlanmıştır. Elde edilen bulguların, uçucu yağlar içeren süt proteini bazlı yenilebilir filmlerin, dış patojenlerini kontrol etmek için umut vadeden bir yaklaşım olduğunu göstermiştir.

Bir çalışmada, *Satureja khuzestanica* uçucu yağı içeren amarant proteini bazlı yenilebilir filmlerin fizikokimyasal ve antimikrobiyal özelliklerini incelenmiştir. Amarant bazlı filmlere %0 (kontrol), %1, %2 ve %3 olmak üzere farklı konsantrasyonlarda *S.*

khuzestanica uçucu yağı eklenerek farklı yenilebilir filmler geliştirilmiştir. Uçucu yağ konsantrasyonundaki artışın antioksidan aktiviteyi ve kalınlığı artırdığını, ancak suda çözünürlüğünü, nem içeriğini, su buharı geçirgenliğini, çekme dayanımını ve kopma uzamasını azalttığı tespit edilmiştir. Gram-pozitif bakterilerin *S. khuzestanica* uçucu yağına karşı duyarlılığı, Gram-negatif bakterilere göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Bulgular, *S. khuzestanica* uçucu yağı içeren amarant protein filmlerinin gıda uygulamaları için antioksidan ve antimikrobiyal ambalaj malzemesi sağlayabileceği ortaya konmuştur (Khalili vd., 2025).

Diasetilin *Listeria monocytogenes* üzerindeki antibakteriyel etkileri ve etki mekanizmaları incelenerek, jelatin bazlı yenilebilir filmlere entegre edilerek Moğol peynirinin korunmasındaki potansiyeli değerlendirildiği bir çalışmada, diasetilin güçlü antibakteriyel ve antioksidan özellikler gösterdiği, MIC değerinin 1 mg/mL olduğu belirlenmiştir. Diasetilin uçuculuk ve kararsızlık dezavantajlarını gidermek amacıyla geliştirilen jelatin bazlı yenilebilir filmlerin, iyi mekanik, bariyer, antibakteriyel ve antioksidan özellikler sergilediği bildirilmiştir. Ayrıca bu filmlerin, peynirin nem ve pH stabilitesini koruyarak, renk ve doku değişimlerini sınırladığı, mikrobiyal gelişimi ve lipid oksidasyonunu yavaşlatarak raf ömrünü uzattığı tespit edilmiştir (Cui vd., 2025).

Moğol peyniri üzerinde yapılan başka bir çalışmada, peynirin korunması için portakal esansiyel yağı nanoemülsiyonu ile güçlendirilmiş guar zımkı (GZ) / kitosan (KT) yenilebilir filmleri üretilmiştir. Sonuçlar, %4 esansiyel yağ emülsiyonu ile hazırlanan filmlerin oksijen ve su buharı bariyer özelliklerinde iyileşme olduğu, nem içeriğini azalttığı tespit edilmiştir. Bu filmlere %4 esansiyel yağ ilavesinin, çekme dayanımında hafif bir düşüşe neden olurken, kopma uzaması %135,12'ye önemli ölçüde artarak mekanik özelliklerin iyileştiği görülmüştür. Ayrıca bu filmlerin, biyolojik bozunabilirlik, termal kararlılık ve antimikrobiyal özellikler sergilediği, özellikle, GZ/KT-EY 3:1 yenilebilir film ambalajının, peynir örneklerinin ağırlık kaybı, pH, renk ve dokusal değişikliklerinin stabilitesini koruduğu, bakteri üremesini geciktirdiği ve lipid oksidasyonunu önleyerek peynir kalitesini ve güvenliğini sağladığı tespit edilmiştir (Cai vd., 2025).

3B teknolojisi kullanılarak yapılan bir çalışmada, üzüm çekirdeği ve yeşil çay ekstraktlarıyla zenginleştirilmiş soya proteini izolatu bazlı yenilebilir aktif filmler geliştirilmiştir. Ekstrakt türü ve konsantrasyonunun baskı performansı ve film özellikleri üzerinde etkili olduğu, %1–3 oranlarında özüt içeren filmlerin 0,25 mm nozul çapı ve 0,062 MPa basınçta yüksek baskı doğruluğu gösterdiği belirlenmiştir. Ekstrakt ilavesinin, filmlerin

mekanik dayanımını artırdığı ve su buharı geçirgenliğini önemli ölçüde azalttığı bildirilmiştir. Çalışmanın sonucunda, 3B baskı yöntemiyle çevrimiçi ambalaj uygulamalarına uygun, farklı özelliklerde yenilebilir filmlerin üretilbileceği ortaya konmuştur (Ahmadzadeh vd., 2023).

Sürdürülebilir ve çevre dostu yenilebilir film üretimi amacıyla, 3B baskı teknolojisi kullanılarak üç farklı soya fasulyesi türünden soya proteini izolatu bazlı fonksiyonel filmler geliştirildiği bir çalışmada, yanıt yüzey yöntemi ile protein, plastikleştirici miktarı ve kuruma süresi optimize edilmiştir. Optimum koşulların %8,91 protein, %3,00 gliserol ve 3,98 saat olduğu belirlenmiştir. Optimize edilen koşullarda üretilen filmlerin yüksek mekanik dayanım ve uygun fiziksel özellikler sergilediği tespit edilmiştir. Sonuç olarak, 3B baskı yöntemi yenilebilir soya proteini filmlerinin etkin üretimi için umut vadeden bir yaklaşım olduğu bildirilmiştir (Dey vd., 2022).

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

Çalışmada kullanılan kayısı çekirdeği Malatya'da faaliyet gösteren Toska Ltd. Şti'den, *Cyclotrichium niveum* (CN) bitkisi ise Malatya'nın Arapgir ilçesinden Eylül-Kasım döneminde temin edilmiştir. Bitki yarı gölgede kurutulmuş, önce yaprak kısımları saplarından ayrılmış ve daha sonra öğütülmüştür.

3.2. Yöntem

3.2.1. Kayısı çekirdeği pres keki üretimi

Kayısı çekirdekleri, 8.2-8.6 hız ve 11 mm'lik nozül kullanılarak soğuk pres makinasından (Karaerler, NF-80, Ankara) geçirilmiştir. Elde edilen pres kekleri Thermomixin 9 hızında 40 sn öğütülmüş ve 25 no'lu elekten (710 µm) geçirildikten sonra eleğin üstünde kalan pres kekleri tekrar Thermomixte (Vorwerk, model TM6, Wuppertal, Germany) aynı hız ve sürede öğütülerek elekten geçirilmiş ve standart hale getirilmiştir. Daha sonra çalışmada kullanılmak üzere +4°C'de depolanmıştır. Pres kekinde kalan yağ uzaklaştırmada Soxhlet yağ ekstraksiyon cihazı (Daihan Scientific, WHM 12295, Korea) kullanılmıştır. Soxhlet kartuşlarına pres kekleri koyularak yaklaşık 300 mL hekzan kullanılarak 12 saatte (2 gün 6'şar saat) yağ ekstraksiyonu gerçekleştirilmiştir. Elde edilen yağsız pres kekleri oda koşullarında çeker ocakta bekletilerek kalan hekzanın uçurulması sağlanmıştır. Kartuşun içindeki yağsız pres kekleri hekzan uzaklaştırıldıktan sonra +4°C'de depolanmıştır.

3.2.2. Pres keklerinde kimyasal bileşim analizleri

Soğuk pres makinasından ve Soxhlet yağ ekstraksiyonundan elde edilen pres keklerinde protein (Beljkaš vd., 2010), yağ (AOAC, 1990), nem ve kül miktarları (AOAC, 1990; Harris, 2017) belirlenerek karbonhidrat ve enerji değerleri hesaplanmıştır (Sánchez-Peña vd., 2017). Analizler en az 3 kez tekrarlanmış olup, sonuçlar ortalama ± standart sapma olarak verilmiştir.

3.2.3. Protein miktarı

Pres keklerinin protein oranı Kjeldahl yöntemi ile belirlenmiştir (Beljkaš vd., 2010). 0,1 g örnek üzerine 1 g katalizör ilave edilmiştir. 10 mL H₂SO₄ eklenerek 420 °C'de 3-4 saat

(açık yeşil renk oluşana kadar) yakma işlemi gerçekleştirilmiştir. Tüpler soğuduktan sonra distilasyon işlemi yapılmış ve distilant 0,1 N HCl ile titre edilmiştir. Sonuç aşağıdaki formüllere göre hesaplanmıştır (3.1-3.2).

$$\% Azot = \frac{(V1-V0) \times N \times 0,014}{m} \times 100 \quad (3.1)$$

$V1$ = Titrasyonda harcanan çözelti miktarı (mL)

$V0$ = Kör deneme titrasyonunda harcanan çözelti miktarı (mL)

N = Titrasyonda kullanılan çözeltinin normalitesi

0,014 = Azotun mili ekivalen ağırlığı

m = Alınan örnek miktarı (g)

$$\% Protein = \% Azot \times Faktör (5,30) \quad (3.2)$$

3.2.4. Yağ miktarı

Pres keklerinin yağ oranı Soxhlet yöntemi ile belirlenmiştir. Kartuşlara, homojen haldeki toz pres kekinden 3'er g tartılarak pamukla kapatılmıştır. Kartuş Soxhlet cihazına (Daihan Scientific, WHM 12295, Korea) yerleştirilmiştir. Balonlara kaynatma camlarından koyularak sabit tartıma getirilerek daraları alınmıştır ve üzerine 300 mL hekzan eklenerek ceket ısıtıcılara yerleştirilmiştir. 6 saat süreyle ekstraksiyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Çözücü rotary evaporatörde (BUCHI rotavapor R-300) uzaklaştırıldıktan sonra balonlar 103°C etüvde 1 saat bekletilmiştir. Desikatörde oda sıcaklığına getirilerek tartım alınmıştır. % yağ miktarı (3.3) aşağıdaki formüle göre hesaplanmıştır (AOAC, 1990).

$$\% Yağ miktarı = \frac{m2-m1}{m0} \times 100 \quad (3.3)$$

3.2.5. Kül miktarı

Sabit tartıma gelmiş krozelere yaklaşık 3 gr pres keklerinden tartılarak etüvde ön yakma işlemi yapıldıktan sonra kül fırınında (Carbolite, Elf 11, UK) 6 saat boyunca yakılmıştır. % Kül miktarı formülüne göre hesap yapılmıştır (3.4) (Harris, 2017).

$$\% Kül miktarı = \frac{m2-m1}{m} \times 100 \quad (3.4)$$

$m1$ = sabit tartıma getirilen krozenin ağırlığı (g)

$m2$ = yakma işlemi sonrası sabit tartıma getirilen kroze kabının ağırlığı (g)

m = pres kekinin ağırlığı (g)

3.2.6. Karbonhidrat ve enerji değeri hesabı

Karbonhidrat hesaplanması (3.5) nem, kül, protein ve yağ miktarlarından elde edilen verilere göre ve besin öğelerinin sağladığı enerji değerleri (3.6) ise aşağıdaki formüle göre hesaplanmıştır.

$$\% \text{Karbonhidrat (CHO)} = 100 - (\% \text{nem} + \% \text{kül} + \% \text{protein} + \% \text{yağ}) \quad (3.5)$$

$$\text{Enerji (kcal + 100 g)} = 4 (\% \text{CHO} + \% \text{protein}) + 9 (\% \text{yağ}) \quad (3.6)$$

3.3. Kayısı Çekirdeği Pres Kekinden Protein İzolatının US ile Eldesi ve Optimizasyonu

Kayısı çekirdeği protein izolatlarının elde edilmesi, pres keki numunelerine uygulanan alkali ekstraksiyon ve izoelektrik çöktürme yönteminin US destekli ekstraksiyon ile kombinasyonu yoluyla gerçekleştirilmiştir. Ayrıca karşılaştırma amacıyla, ultrasonik işlem uygulanmaksızın yalnızca alkali ekstraksiyon ve izoelektrik çöktürme basamaklarının yer aldığı geleneksel bir yöntemle de protein izolatı hazırlanmıştır (Nazari vd., 2018). Deneysel iş akışı Şekil 3.1’de gösterilmektedir. Kayısı çekirdeği pres kekinden protein izolatı elde edildikten sonra yapılan karakterizasyon analizleri ise Şekil 3.2’de gösterilmektedir.

Bu tez çalışmasında optimizasyon süreci, kayısı çekirdeği pres kekinden en yüksek düzeyde ekstraksiyon verimi ve çözünürlük elde etmeye yönelik ideal işlem parametrelerinin belirlenmesini amaçlamıştır. Bu doğrultuda, ön çalışmalara dayanarak genlik, ultrason süresi ve pres keki oranı gibi bağımsız değişkenler için uygun minimum ve maksimum düzeyler belirlenmiştir.



Şekil 3.1. Kayısı çekirdeği pres kekinden protein izolatı ekstraksiyonunun optimizasyonuna yönelik deneysel iş akışı.

Ekstraksiyon öncesinde, %1 - %5 oranlarında kayısı çekirdeği pres keki içeren dispersiyonlar hazırlanmış ve bu dispersiyonlar oda sıcaklığında bir saat süreyle manyetik karıştırıcıda homojen hale getirilmiştir. Hazırlanan karışımların pH'sı, 1 N NaOH kullanılarak 9,0'a (Mettler Toledo® Seven Compact™ S220 pH/iyon metre) ayarlanmış ve ardından farklı genlik (%20–60) ve sürelerde (5–20 dakika) US uygulanmıştır. US uygulamaları, 14 mm çapında ve 2,2 cm² ışınlam alanına sahip sonotrod içeren S24d114D model ultrasonik cihaz ile gerçekleştirilmiştir. İşlem süresince sıcaklık, buz banyosu yardımıyla 20–25 °C aralığında sabit tutulmuştur.

US işlemi tamamlandıktan sonra, dispersiyonlar 3600 × g'de 30 dakika süreyle santrifüjlenmiş ve üst sıvı (süpernatant) dikkatlice toplanmıştır. Süpernatantın pH'sı, 1 N HCl çözeltisi yardımıyla 4,0'e ayarlanmış ve bu ortamda 15 dakika karıştırma işlemi gerçekleştirilmiştir. Karıştırma sonrasında pH değeri yeniden ölçülmüş ve gerekiyorsa tekrar ayarlama yapılmıştır. İkinci bir santrifüjleme işlemi aynı koşullarda uygulanarak protein çökeleği (pellet) elde edilmiştir. Elde edilen protein pelleti, 30 mL saf su ile çözündürülerek pH 7,0'ye ayarlanmış ve -20 °C'de dondurulmuştur. Daha sonra liyofilize edilerek kurutulmuş ve sonraki analizler için muhafaza edilmiştir.

3.3.1. Box-Behnken deney tasarımı

UDE sürecinde etkili olabilecek üç temel bağımsız değişken belirlenmiştir: genlik (A= 20-60, %), sonikasyon süresi (5-20, dakika) ve kayısı çekirdeği pres keki oranı (1-5, %). Söz konusu değişkenlerin ekstraksiyon verimi ve çözünürlük üzerindeki etkilerini değerlendirmek amacıyla yanıt yüzey metoduna (YYM/Response Surface Methodology-RSM) dayalı bir deneysel tasarım uygulanmıştır. Çizelge 3.1'de bağımsız değişkenler verilmiştir. Optimum koşulların belirlenmesinde değerlendirilecek faktörler olan genlik, sonikasyon süresi ve pres keki miktarı, kapsamlı literatür taraması ve ön deneme çalışmaları doğrultusunda seçilmiş ve uygun çalışma aralıkları bu veriler ışığında belirlenmiştir (Chirinos vd., 2024; M. M. Rahman & Lamsal, 2021). Deney tasarımı ve optimizasyon çalışmaları Design Expert yazılımı (Version 9) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Her bir bağımsız değişken üç düzeyde incelenmiş ve bu düzeyler düşük (-1), orta (0) ve yüksek (+1) olacak şekilde kodlanmıştır. Çalışmada elde edilmek istenen yanıt değişkenler ekstraksiyon verimi ve çözünürlük olarak belirlenmiş; bu yanıtlar üzerinden modelleme ve optimizasyon analizleri yapılmıştır. Deneysel tasarımda kullanılan kodlanmış değişken düzeyleri Çizelge 3.2'de sunulmaktadır.

Çizelge 3.1. US destekli protein izolatu ekstraksiyon deney tasarımı.

Bağımsız Değişkenler	Birim	Faktör Düzeyleri		
		Düşük (-1)	Orta (0)	Yüksek (1)
Genlik	%	20	40	60
US Süresi	dakika	5	12,5	20
Pres Keki Miktarı	%	1	3	5

Ekstraksiyon verimi, elde edilen protein izolatu miktarının başlangıçta kullanılan pres keki miktarına oranlanmasıyla belirlenmiştir ve denklem 3.7’de gösterilmiştir:

$$Ekstraksiyon\ verimi\ (\%) = \frac{KPKI}{PK} \times 100 \quad (3.7)$$

Burada, KPKI elde edilen kayısı çekirdeği pres keki protein izolatu miktarını (g), PK ise başlangıçta kullanılan pres keki miktarını (g) ifade etmektedir.

Çizelge 3.2. US destekli ekstraksiyon deney tasarımındaki kullanılan gerçek ve kodlanmış değişkenler.

Faktörler (Bağımsız Değişkenler)				Cevaplar (Bağımlı Değişkenler)
Deneme	Genlik (%)	US Süresi (Dk)	Pres Keki Miktarı (%)	Ekstraksiyon Verimi Çözünürlük
1	20	5	3	
2	40	12,5	3	
3	40	12,5	3	
4	40	5	1	
5	40	12,5	3	
6	20	12,5	5	
7	20	12,5	1	
8	40	12,5	3	
9	40	20	1	
10	60	12,5	5	
11	60	5	3	
12	40	5	5	
13	60	12,5	1	
14	40	12,5	3	
15	60	20	3	
16	20	20	3	
17	40	20	5	

Protein çözünürlüğünü hesaplamak için Lowry Yöntemi kullanılmıştır (Liu vd., 2025). Lowry çözeltisini hazırlamak için; A reaktifi %2 Na₂CO₃ 0,1 N NaOH çözeltisinde çözülerek hazırlanmıştır. B reaktifi %1 CuSO₄ ve %2'lik sodyum-potasyum tartarat çözeltisinden oluşmaktadır. C reaktifi taze olarak hazırlanıp ve 98 mL A ayırıcı ile 2 mL B ayırıcı karıştırılarak elde edilmiştir. D reaktifi (Folin–Ciocalteu reaktifi): %50 (v/v) oranında seyreltilerek hazırlanmıştır. Hazır Folin–Ciocalteu Lowry reaktifi, 1:1 oranında saf su ile seyreltilmiş ve koyu renkli şişelerde, buzdolabında kullanıma kadar saklanmıştır.

Analiz için 2,5 mg protein izolatu tartılarak 10 mL saf su ile çözülmüş ve protein çözeltisi hazırlanmıştır. Hazırlanan çözelti 4500 rpm'de, 4 °C'de, 30 dk santrifüjlenmiştir. Üst fazdan alınan 250 µL örneğe, 1,25 mL C reaktifi eklenmiş ve oda sıcaklığında 10 dk bekletilmiştir. Ardından 125 µL D reaktifi ilave edilerek karışım oda sıcaklığında 30 dk inkübe edilmiştir. İnkübasyon sonrası, örneklerin absorbansı 750 nm dalga boyunda spektrofotometrede ölçülmüştür. Kör (blank) örnekler için, numune yerine saf su kullanılmış; diğer reaktifler aynı şekilde eklenmiştir. Standart eğri, farklı konsantrasyonlarda hazırlanan sığır serum albümini (BSA) çözeltilerinin absorbanslarının ölçülmesi ve bu değerlerin konsantrasyona karşı grafiğe aktarılmasıyla oluşturulmuştur.

Deneysel verilerin analizinde, her bir yanıt değişkeni için en uygun model türü belirlenmiştir. Bu kapsamda, bağımlı değişkenler ile genlik (A), ultrason süresi (B) ve pres keki miktarı (C) gibi bağımsız değişkenler arasındaki ilişkiler; sırasıyla İkili Etkileşimli (2FI) ve İkinci Dereceden (Quadratic) polinomial modeller aracılığıyla değerlendirilmiştir. Uygulanan model türlerine ait genel matematiksel ifadeler aşağıda verilen denklemlerde sırasıyla verilmiştir:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 A + \beta_2 B + \beta_3 C + \beta_{12} AB + \beta_{13} AC + \beta_{23} BC \quad (3.8)$$

$$Y = \beta_0 + \beta_1 A + \beta_2 B + \beta_3 C + \beta_{12} AB + \beta_{13} AC + \beta_{23} BC + \beta_{11} A^2 + \beta_{22} B^2 + \beta_{33} C^2 \quad (3.9)$$

Bu denklemlerde Y; ekstraksiyon verimi ve çözünürlük gibi bağımlı değişkenleri, β katsayıları ilgili terimlerin etkisini temsil etmektedir. Modellerin her biri, ilgili yanıt değişkeninin varyasyonunu açıklamak ve optimizasyon sürecinde kullanılmak üzere değerlendirilmiştir.

3.3.2. Kayısı çekirdeği pres keki izolatlarının karakterizasyonu

Karakterizasyon analizleri, geleneksel yöntemle elde edilen izolat (KPKI) ve US destekli ekstraksiyon ile elde edilen izolatlarda (US-KPKI) yapılmıştır ve analizler Şekil 3.2’de verilmiştir.



Şekil 3.2. Kayısı çekirdeği pres keki protein izolatı karakterizasyon analizleri.

3.3.2.1. Emülsiyon aktivitesi ve stabilitesi

Protein izolatlarında emülsiyon aktivite ve stabilitesi Pearce & Kinsella, (1978) metoduna göre yapılmıştır. Protein izolatlarının emülsiyon aktivitesini belirlemek amacıyla, 10 mg/mL konsantrasyonunda hazırlanan protein izolatı süspansiyonundan 8 mL alınarak

üzerine 2 mL ayçiçek yağı eklenmiştir. Karışım, 10.000 rpm’de 2 dakika süreyle homojenizatörde (UltraTurraks, T25, IKA, Staufen, Germany) homojenize edilmiştir. Elde edilen emülsiyonun alt kısmından 25 µL örnek alınarak, 25 mL %1’lik sodyum dodesil sülfat (SDS) çözeltisi ile karıştırılmıştır. Emülsiyonun absorbansı 500 nm dalga boyunda spektrofotometre ile ölçülmüştür. Emülsiyon stabilitesini belirlemek amacıyla, emülsiyonun hazırlanmasından 10 dakika sonra aynı işlemler tekrar edilerek ikinci absorbans ölçümü yapılmıştır.

Emülsiyon aktivite indeksi (EAI) ve emülsiyon stabilite indeksi (ESI) aşağıdaki denklemler kullanılarak hesaplanmıştır:

$$EAI\left(\frac{m^2}{g}\right) = \frac{2 \times 2.303 \times A_0 \times D_f}{C \times \theta \times \phi \times 10000} \quad (3.10)$$

A₀: Emülsiyonun hazırlanmasından hemen sonraki (0. dakika) absorbans değeri

D_f: Seyreltme faktörü,

C: Konsantrasyon

θ: Emülsiyon oluşumunda kullanılan yağ fraksiyonu

φ: Küvet optik yolu

$$ESI(dk) = \frac{A_0 \times \Delta t}{A_0 - A_{10}} \quad (3.11)$$

A₁₀: Emülsiyonun 10. dakikadaki absorbans değeri

Δt: Geçen süre (dakika cinsinden, 10 dk)

3.3.2.2. Köpük kapasitesi ve stabilitesi

Protein izolatlarında, köpük kapasitesi (KK) ve köpük stabilitesi (KS) belirlemek amacıyla Cano-Medina vd., (2011) tarafından tanımlanan yöntemde bazı değişiklikler yapılarak uygulanmıştır. Bu amaçla, 10 mg/mL konsantrasyonunda protein çözeltisi hazırlanmış ve çözeltinin pH’sı 7,0’ye ayarlanmıştır. Hazırlanan çözelti, tüplere alınarak 10.000 rpm’de 3 dakika süreyle homojenizatörde (UltraTurraks, T25, IKA, Staufen, Germany) karıştırılmıştır. Homojenizasyon işlemi sonrasında elde edilen karışım, köpük hacminin belirlenebilmesi amacıyla dereceli silindire aktarılmıştır. Karıştırmadan önceki ve sonraki hacim 0. ve 30. dk’da ölçülmüş aşağıdaki formüller kullanılarak hesaplanmıştır.

$$KK(\%) = \frac{V_f}{30} \times 100 \quad (3.12)$$

$$KS(\%) = \frac{V_{10}}{V_0} * 100 \quad (3.13)$$

V_f : Köpük hacmi (mL),

V_0 : Başlangıç(0) dakikasında köpük hacmi (mL)

V_{30} : 30. dakikada ölçülen köpük hacmi (mL)

3.3.2.3. Su tutma ve yağ tutma özellikleri

Protein izolatlarında su tutma ve yağ tutma özellikleri Yang vd., (2023) tarafından verilen yöntemde bazı modifikasyonlar yapılarak uygulanmıştır. 50 mg protein izolatı sırasıyla 1,5 mL distile su veya ayçiçek yağı ile 20 sn vortekslenmiştir. Tüplerin kapakları kapatılarak 30°C'de 30 dk inkübe edilmiştir. Daha sonra 7000g 4°C'de 20 dk santrifüj edilmiştir. Serbest halde kalan su ve Ayçiçek yağı uzaklaştırıldıktan sonra ağırlık kaybından su tutma ve yağ tutma miktarları aşağıda yer alan denkleme göre hesaplanmıştır.

$$Su/Yağ bağlama kapasitesi(\frac{g}{g}) = \frac{Son\ pelet\ ağırlığı - Başlangıç\ protein\ ağırlığı}{Başlangıç\ protein\ ağırlığı} \quad (3.14)$$

3.3.2.4. Antioksidan aktivite analizleri

Protein izolatlarında, DPPH ve ABTS ((2,2'-Azino-bis(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid) diammonium salt) radikal temizleme aktiviteleri ve FRAP değerleri, Kanmaz vd., (2023)'e göre belirlenmiştir. DPPH analizi için, 10 mg/mL konsantrasyonundaki 100 µL protein izolatı, 3,9 mL DPPH çözeltisi (2,5 mg/100 mL MetOH) ile karıştırılmış ve 30 dakika inkübasyondan sonra 517 nm'de absorbans ölçülmüştür. Kontrol olarak saf su (MiliQ, Molsheim, Fransa) kullanılmıştır. DPPH serbest radikal yakalama aktivitesinin yüzdesi aşağıdaki formüle göre hesaplanmıştır:

$$\% DPPH\ inhibisyon = [(A_{kontrol} - A_{kör} / A_{kontrol}) \times 100 \quad (3.15)$$

ABTS analizi için, aynı konsantrasyondaki numunelerden 100 µL alınmıştır. Absorbansı 0,70±0,02'ye ayarlanmış daha sonra 2,4 mL ABTS çözeltisi eklenmiştir. Karanlıkta 10 dakika inkübe edildikten sonra absorbans 734 nm'de ölçülmüştür. Kontrol

olarak MiliQ su kullanılmıştır. % ABTS serbest radikal yakalama aktivitesi aşağıdaki formüle göre hesaplanmıştır:

$$\% ABTS \text{ inhibisyon} = [(A_{\text{kontrol}} - A_{\text{kör}} / A_{\text{kontrol}}] \times 100 \quad (3.16)$$

FRAP analizi için, aynı konsantrasyondaki numuneden 100 µL, yöntemine göre hazırlanan 1,8 mL FRAP reaktifi ile karıştırılmıştır. Karışım 37 °C'de 10 dk inkübe edilmiş ve absorbans ölçülmüştür. Spektrofotometre kullanılarak 593 nm'de ölçümler yapılmıştır. Sonuçlar, FeSO₄·7H₂O standardına göre mg/mL cinsinden ifade edilmiştir.

3.3.2.5. Amino asit analizi

Protein izolatlarında amino asit analizi, İncili vd., (2025 tarafından bildirilen yöntem bazı modifikasyonlarla uygulanarak gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla, 100 mg/mL konsantrasyonunda protein izolatu çözeltisi hazırlanarak 6 N HCl ile bir gece boyunca 100 °C'de asit hidrolizine bırakılmıştır. Hidroliz işlemi sonrasında, karışımdan 1 mL alınarak eşit hacimde %40 (a/h) trikloroasetik asit (TCA) ile karıştırılmış, vortexlenmiş (Heidolph, Almanya) ve 4 °C'de 10 dk inkübe edilmiştir. Ardından, bu karışım 20000 × g'de 10 dk süreyle santrifüjlenmiştir. Santrifüjleme sonrası elde edilen üst fazdan 25 µL alınarak vakum altında kurutulmuştur. Kurutulan numuneye, metanol, trietilamin ve 1 M sodyum asetat (2:1:2; h/h/h) içeren 20 µL'lik bir çözelti ilave edilmiş ve tekrar vakumla kurutulmuştur. Sonrasında, metanol, deiyonize su, trietilamin ve fenilizotiyosiyanat (PITC) (7:1:1:1; h/h/h/h) içeren bir çözelti eklenerek oda sıcaklığında 20 dk bekletilmiş ve ardından yeniden vakumla kurutulmuştur. Kurutma işlemi tamamlandıktan sonra, numuneye 1 mL seyreltme tamponu eklenmiş ve 0,20 µm gözenekli şırınga filtresi (CROMAFIL Xtra PVDF-20/25, MN GmbH, Almanya) kullanılarak filtrelenmiştir. Hazırlanan numunenin 20 µL'lik kısmı C18 kolona (Kromasil 100–5, 150 × 4,6 mm × 3 µm) enjekte edilmiştir. Amino asitler, metiyonin sülfon içeren 0,1 N HCl çözeltisi ile hazırlanmış harici standartlar kullanılarak belirlenmiştir. Mobil faz A, 70 mM sodyum asetat çözeltisine asetik asit ve %2,5 asetonitril ilave edilerek pH 6,55'e ayarlanmak suretiyle hazırlanmıştır. Mobil faz B ise asetonitril, su ve metanolün 9:8:3 (h/h/h) oranlarında karıştırılmasıyla elde edilmiştir. Elde edilen amino asit içerikleri ısı grafiği ile sunulmuştur.

3.3.2.6. Sodyum dodesil sülfat-poliakrilamid jel (SDS-PAGE) analizi

PKI'ların moleküler ağırlık dağılımını belirlemek amacıyla sodyum dodesil sülfat-poliakrilamid jel elektroforezi (SDS-PAGE) analizi, Mutlu & Hayaloglu (2022) tarafından tanımlanan yöntem bazı modifikasyonlarla uygulanarak gerçekleştirilmiştir. Akrilamid-bisakrilamid çözeltileri sırasıyla %49,5 ve %3 oranlarında hazırlanmış, Whatman No:113 filtre kağıdından süzülerek karanlık ortamda 4 °C'de saklanmıştır.

Sıralama jeli tamponu

Sıralama jeli tamponu için, 6 g Tris (Trizma base – Tris(hidroksimetil)aminometan), 70–80 mL saf suda çözülmüş, pH değeri 6 N HCl kullanılarak 6,8'e ayarlanmış ve hacim 100 mL'ye tamamlanmıştır. Hazırlanan tampon kullanılabildiği kadar 4 °C'de muhafaza edilmiştir.

Ayırma jeli tamponu

Ayırma jeli tamponu, 18,15 g Tris'in 70–80 mL saf suda çözülmesi ve pH'ın 6 N HCl ile 8,8'e ayarlanmasının ardından 100 mL'ye tamamlanmasıyla hazırlanmıştır. Örnek hazırlama tamponu; 50 mL saf su, 12,5 mL sıralama jeli tamponu, 10 mL gliserol, 20 mL %10 SDS, 5 mL 2-merkaptotanol ve 2,5 mL %0,5 Coomassie Brilliant Blue çözeltisinin karıştırılmasıyla elde edilmiştir.

Elektrot tamponu

Elektrot tamponu, 16 g Tris, 72 g glisin ve 5 g SDS'in 800 mL saf suda çözülmesiyle hazırlanmış ve hacim 1 L'ye tamamlanmıştır (stok çözelti, $\times 5$; pH 8,3). Kullanım öncesinde bu stok çözeltiden 400 mL alınarak 1600 mL saf su ile seyreltilmiş ve elektrot tamponu hazırlanmıştır. Tespit çözeltisi; 200 mL %100 TCA, 660 mL metanol ve 1130 mL saf suyun karıştırılmasıyla hazırlanmıştır. Boyama çözeltisi (%0,2 a/h); 2 g Coomassie Brilliant Blue'nun 1 L saf suda çözülmesi, ardından 1 L 2 N H₂SO₄ ilavesiyle karıştırılması ve bir gece bekletilmesiyle hazırlanmış, sonrasında Whatman No:113 filtre kağıdından süzülerek stok çözelti elde edilmiştir. Bu stoktan 300 mL alınarak 35 mL 10 N KOH ve 50 mL %100 TCA ilave edilerek tekrar karıştırılmış, ardından tekrar süzülerek kullanıma hazır hale getirilmiştir.

Jel bileşimleri Çizelge 3.3’de verilmiştir. Jel hazırlığı tamamlandıktan sonra elektroforez sistemi (Bio-Rad, ABD) kullanılarak analiz gerçekleştirilmiştir. Örnek hazırlığı kapsamında protein izolatları, örnek tamponu ile 4 mg/mL konsantrasyonunda hazırlanmıştır. Hazırlanan örnekler, jellere yüklenmeden önce 95–100 °C’de 3–4 dakika ısıtılmış, ardından oda sıcaklığına getirilerek yükleme yapılmıştır. Her bir örnek kuyucuğuna 2 µL numune, protein standart çözeltisine ise 4 µL yüklenmiştir. Elektroforez işlemi sonrasında jeller, 1 saat boyunca tespit çözeltisinde bekletilmiş, ardından 1 gece boyunca boyama çözeltisinde inkübe edilmiştir.

Çizelge 3.3. SDS-PAGE jel bileşimleri.

Ayırma Jeli	Kullanılan Hacim	Sıralama Jeli	Kullanılan Hacim
Akrilamid	33,4 mL	Akrilamid	4 mL
Ayırma jeli tamponu	20 mL	Sıralama jeli tamponu	7,5 mL
pH 8.8		pH 6.8	
%10 SDS	0,8 mL	%10 SDS	300 µL
Saf su	25,4 mL	Saf su	18 mL
%10 Amonyum	400 µL	%10 Amonyum	150 µL
persülfat (APS)		persülfat (APS)	
TEMED	35 µL	TEMED	20 µL
Toplam Hacim	80 mL	Toplam Hacim	30 mL

3.3.2.7. Serbest sülfidril grup miktarı

Protein izolatlarının serbest sülfhidril (–SH) grup içeriği, L. Chen & Zhang, (2023) tarafından bildirilen yöntemle göre 5,5'-ditiyobis(2-nitrobenzoik asit) (DTNB, Ellman reaktifi) kullanılarak belirlenmiştir. Analizde kullanılacak olan tampon çözeltisi 0,086 mol/L Tris, 0,09 mol/L glisin ve 4 mmol/L EDTA içerecek şekilde hazırlanmış ve pH 8’e ayarlanmıştır. 40 mg DTNB’nin 10 mL tamponda çözülmesiyle Ellman reaktifi hazırlanmıştır. Deneyde kullanılacak protein örnekleri (2 mg/mL) tris-glisin tamponu içerisinde çözündürülmüş ve 2656 × g’de 15 dk santrifüjlenmiştir. Elde edilen süpernatanttan 3 mL alınarak üzerine 50 µL Ellman reaktifi ilave edilmiştir. Karışım, 25 °C’de 1 saat boyunca inkübasyona bırakılmıştır. Tampon çözeltisi kontrol olarak kullanılmış ve absorbans değerleri 412 nm’de spektrofotometrik olarak ölçülmüştür.

$$-SH \text{ (mol/10}^5 \text{ g protein)} = (A_{412} \times 73,53) / C \quad (3.17)$$

Burada, A₄₁₂ absorbans değerini, C ise protein cözeltisinin konsantrasyonunu (mg/mL) ifade etmektedir.

3.3.2.8. Taramalı elektron mikroskobu (SEM)

Protein izolatlarının mikroyapı analizi, taramalı elektron mikroskobu (SEM) kullanılarak Dikme & Hayaloğlu, (2025) tarafından belirtilen yönteme göre gerçekleştirilmiştir. Toz örnekler doğrudan analiz öncesinde altın-palladyum ile ince bir tabaka halinde kaplanmış (Sputter Coater, model SCD 005; BalTec Inc., Balzers, Liechtenstein) ve ardından taramalı elektron mikroskobuna (SEM; LEO EVO 40, Oberkochen, Almanya) yerleştirilmiştir. Örneklerin mikrogörüntüleri $\times 1000$, $\times 2500$ ve $\times 5000$ büyötmelerde alınmıştır.

3.3.2.9. Diferansiyel taramalı kalorimetri (DSC)

Protein izolatlarının termal özellikleri diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC) cihazı kullanılarak belirlenmiştir (Badjona vd., 2024a). Analiz için alüminyum kapsüllere protein izolatu örnekleri yerleştirilmiş ve hermetik olarak kapatılmıştır. Ölçümler, inert azot atmosferi altında gerçekleştirilmiştir. Örnekler, $-100\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'den başlayarak $400\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'ye kadar, dakikada $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'lik sabit ısıtma hızıyla taranmıştır. Elde edilen termogramlar, protein izolatlarının denatürasyon sıcaklığı (Td) ve entalpisi (ΔH) gibi termal geçiş özelliklerinin değerlendirilmesinde kullanılmıştır.

3.3.2.10. Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi (FTIR)

Protein izolatlarının kimyasal yapısı, FTIR spektrometresi (Perkin Elmer Spectrum One, ABD) kullanılarak belirlenmiştir (Nazari vd., 2018). Toz halindeki örnekler doğrudan buzdolabından alınarak FTIR cihazına yerleştirilmiştir. Spektrumlar 4000 cm^{-1} ile 650 cm^{-1} dalga boyu aralığında taranmış, elde edilen sonuçlar kaydedilmiş ve karakteristik pikler yorumlanmıştır.

3.3.2.11. X-ışınımı kırınımı analizi (XRD)

Protein izolatlarının kristal yapısını belirlemek amacıyla X-ışını kırınımı (XRD) analizi gerçekleştirilmiştir (Badjona, vd., 2024b). Ölçümler, toz kırınım yöntemiyle Rigaku marka, D/Max 2200 model (Tokyo, Japonya) cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Ölçümler, toz numune yöntemi ile gerçekleştirilmiş ve bakır(Cu) hedef kullanılarak $\lambda=1,5405 \text{ Å}$ dalga boyuna sahip Cu-K α_1 radyasyonu ile çalışılmıştır. Cihazda 0,04 mm anti-saçılma yarığı, 1 mm saçıcı (diverging) ve 1 mm alıcı (receiving) yarıklar kullanılmıştır. Taramalar, 5° ile 70° (2 θ) aralığında, 0,05° adım büyüklüğü ile gerçekleştirilmiştir. Ölçümler oda sıcaklığında, inert atmosfer şartlarına gerek duyulmadan yapılmıştır. Elde edilen kırınım desenleri, kristal yapı analizi ve faz tayini amacıyla Jade 6+ kristal çözümleme yazılımı ve ilgili veri tabanı kullanılarak değerlendirilmiştir.

3.3.2.1.2. Nükleer manyetik rezonans spektroskopisi (NMR)

Protein izolatlarının protonlara ilişkin kimyasal yapısal özelliklerini belirlemek amacıyla ¹H NMR (Nükleer Manyetik Rezonans) analizi gerçekleştirilmiştir. Ölçümler, Bruker Avance 300 MHz NMR spektrometresi kullanılarak yapılmıştır. Cihazda 5 mm BBO (broadband observe) probu, ¹H/¹³C/³¹P/¹⁵N çekirdeklerine duyarlıdır.

Analiz için numune hazırlığında en az 10–20 mg protein izolatu kullanılmıştır. Numune uygun bir deuterated çözücüde çözündürüldükten sonra 5 mm NMR tüpüne alınarak ölçüme hazır hale getirilmiştir. Spektrumlar 300 MHz frekansında, oda sıcaklığında elde edilmiştir. Elde edilen veriler, protein izolatının yapısal özelliklerinin değerlendirilmesinde kullanılmıştır.

3.4. *Cyclotrichium Niveum* İçin Yapılan Analizler

3.4.1. *Cyclotrichium niveum* esansiyel yağı eldesi

Malatya'nın Arapgir ilçesinde arazide yetişen ve Haziran-Ağustos ayları arasında hasat edilen *Cyclotrichium niveum*'dan, esansiyel yağ elde etmek için hidrodistilasyon yöntemi kullanılmıştır. Buna göre kurutulmuş bitkiden, 200 g tartılarak saf su eklenmiş ve ardından Clevenger tipi bir aparatla 4 saat damıtılmıştır. Süre sonunda alınan yağ, susuz sodyum sülfat üzerinde kurutulmuş ve analiz edilene kadar kahverengi şişede karanlıkta -20 °C'de muhafaza edilmiştir (Kanmaz vd., 2023).



Şekil 3.3. Öğütülmüş ve öğütülmemiş *Cyclotrichium niveum* yaprakları.

3.4.2. *Cyclotrichium niveum* esansiyel yağı ve bitkisinin GC-MS ile analizi

Clevenger aparatı kullanılarak hidrodistilasyon yöntemiyle elde edilen *Cyclotrichium niveum* esansiyel yağının (CNEO) bileşimleri, bir GC-MS (Shimadzu Model QP-2010 plus, Kyoto, Japonya) kullanılarak belirlenmiştir. Enjektör ve dedektör sıcaklıkları sırasıyla 220 °C ve 250 °C ayarlanmıştır. Kolon sıcaklığı başlangıçta 3 dk 60°C'de tutulmuş, daha sonra kademeli olarak 2°C / dk hızında 220°C'ye yükseltilecektir. Bu sıcaklıkta 20 dk tutulmuş ve son olarak 3°C / dk 245°C'ye yükseltilecektir. Esansiyel yağ 220°C'de split modunda 1 µL enjekte edilmiştir. Bitkiden ise 3 gr tartılarak, 40°C'de 30 dk dengelendikten sonra DVB/CAR/PDMS fiber kullanılarak 30 dk aralıklarla adsorpsiyon gerçekleştirilmiştir. Helyum taşıyıcı gaz olarak kullanılmış ve akış 1,3 mL/dk olarak ayarlanmıştır. GC/MS tespiti için 70 eV iyonizasyon enerjisine sahip bir elektron iyonizasyon sistemi kullanılmıştır. İyon kaynağı sıcaklığı 250°C'ye ayarlanmıştır. Uçucu maddeler, göreceli tutunma süreleri ve standartların kütle spektrumları, NIST ve Wiley kütüphane yazılımı yüklü GC-MS sistemi (Shimadzu, model QP2010, Kyoto, Japonya) ve literatür verileriyle değerlendirilerek belirlenmiştir (Kanmaz vd., 2023).

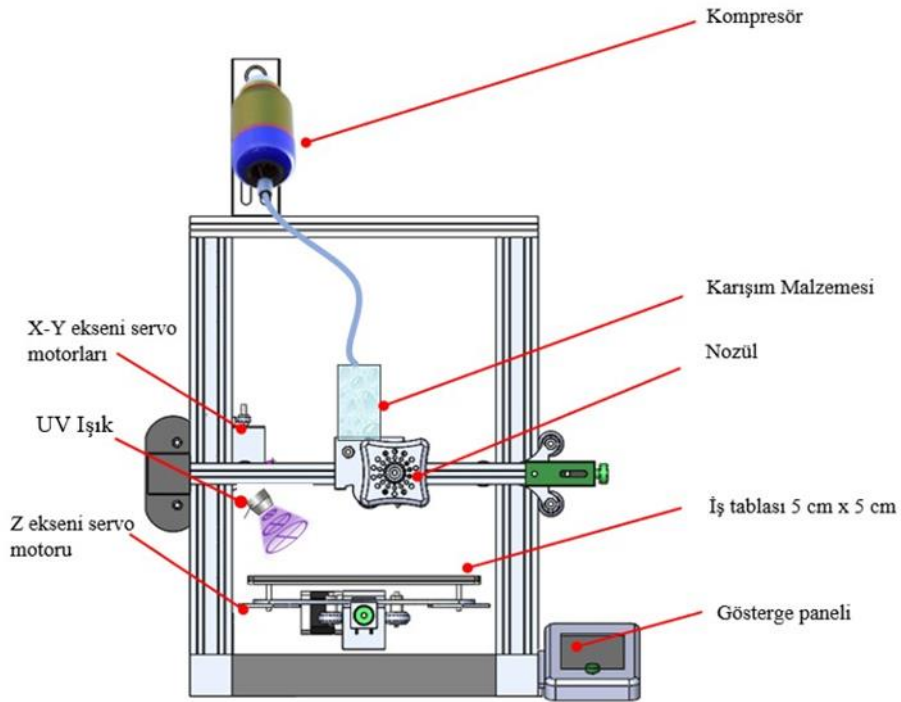
3.4.3. Esansiyel yağda antimikrobiyal aktivite analizi

Patojenik bakteriler olarak, *E. coli* O157:H7 (ATCC 43985), *Salmonella Typhimurium* (ATCC 14028), *Listeria monocytogenes* (ATCC 7644) ve *Staphylococcus aureus* (ATCC 33591), küf olarak ise *Aspergillus parasiticus* (NRLL 2999), *Penicillium chrysogenum* (10106) kullanılmıştır. Tüm bakteriler Tryptic Soy Broth'ta 37 °C'de 24 s süreyle aktive edilmiştir. İnkübasyon periyodundan sonra peletlerin eldesi için 4200 × g'de

10 dk santrifüj işlemi uygulanmıştır. Daha sonra süpernatantlar uzaklaştırılıp peletler %0,1 peptonlu su içerisinde çözündürülecek ve bakteri yoğunluğu 10^8 kob/mL'e ayarlanmıştır (600 nm dalga boyunda 0,1 absorbans). Bu işlemin ardından tüplerden 1 mL alınmış ve 9 mL peptonlu su ile sulandırılarak bakteri yoğunluğunun 10^7 kob/mL'e düşmesi sağlanmıştır. Daha sonra bu tüpten 100 µL alınarak hazırlanmış steril Mueller-Hinton agar üzerine inoküle edilmiş ve drigalski spatülü yardımıyla yayılmıştır. Böylece petrideki bakteri yoğunluğu 10^6 kob/mL olarak ayarlanmıştır. İnokülasyondan sonra 5 dk bakteri yapışması için beklenmiş, Mueller-Hinton agar yüzeyine 20 µL bitki esansiyel yağı emdirilmiş steril diskler (6 mm) yerleştirilmiştir. Daha sonra petri kutuları patojenler için 37 °C'de 24 saat inkübasyona bırakılmış ve inkübasyon süresi sonunda inhibisyon zonlarının çapları ölçülmüştür (İncili vd., 2025).

3.5. 3B Gıda Yazdırma Sistemi ve Deneysel Çalışmalar

Çalışma kapsamında tasarlanan 3B yazıcının görüntüsü Şekil 3.4'de verilmiştir.



Şekil 3.4. 3B yazıcı Tasarımı

Optimizasyon sürecinde, film solüsyonunun 3B gıda yazıcısı için hazırlanmasında antioksidan miktarı ve yazdırılabilirlik düzeylerinin iyi olması için ideal işlem parametrelerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu doğrultuda, kullanılacak temel bileşenler

PKI, gliserol, CNEO bağımsız değişkenleri için minimum ve maksimum parametreler belirlenmiştir. Ön denemeler yapılarak, YYM'ye dayalı deneysel tasarım için aralıklar belirlenmiştir. Yapılan ön denemeler sonucu, 3 temel bağımsız değişkenler PKI; %1-10, CNEO %0,5-2, gliserol %10-30 aralığında girilmiştir. Çizelge 3.4'de film solüsyonunun deney dizaynında kullanılan değişkenleri Çizelge 3.5'de ise deney tasarımı verilmiştir. Deney tasarımı ve optimizasyon çalışmaları Design Expert yazılımı (Version 9) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Her bir bağımsız değişken üç düzeyde incelenmiş ve bu düzeyler düşük (-1), orta (0) ve yüksek (+1) olacak şekilde kodlanmıştır. Çalışmada elde edilmek istenen yanıt değişkenler, yazdırılabilme ve antioksidan aktivite olarak belirlenmiştir. Yazdırılabilme parametresi, ön denemelerde filmlerin yazdırılması sırasında gözlemlenen ve daha sonra peynir üzerine yazdırılabilme koşulları dikkate alınarak belirlenmiştir.

Çizelge 3.4. Film solüsyonu deney tasarımıda kullanılan değişkenler.

Bağımsız Değişkenler	Birim	Faktör Seviyesi		
		Düşük (-1)	Orta (0)	Yüksek (1)
Protein İzolatı	%	1	5,5	10
Esansiyel Yağ	%	0,5	1,25	2
Gliserol	%	10	20	30

Deney tasarımıda belirlenen 15 tane yazdırma işlemini yapmak için, Çizelge 3.5'deki oranlara göre protein izolatları hazırlanmıştır. Oda sıcaklığında karıştırılan örnekler 1 gece buzdolabında bekletilmiştir. Daha sonra pH 9'a ayarlanarak 2 saat oda sıcaklığında karıştırılmıştır. Su banyosunda 90°C'de 30 dk proteinlerin denatürasyonu gerçekleştirilmiştir. Deney tasarımıda yer alan oranlarda gliserol eklenerek karıştırılmıştır. 15 dk gliserolle karıştıktan sonra %0,1 Tween 80 eklenerek, deney tasarımıda belirlenen oranda CNEO'lar eklenerek 5 dk 10000 rpm'de karıştırılmıştır. Karışım yazıcını şırıngasına hava kabarcığı oluşmaması için dikkatlice boşaltılmıştır. '3.5.2' başlığındaki yöntemle göre yazdırma işlemi yapılmıştır.

3.5.1. Filmde ABTS radikal tarama analizi

Çizelge 3.5'de verilen 15 tane film örneğinde ABTS radikal tarama aktivitesi (Cui vd., 2023) yöntemle değişiklikler yapılarak tespit edilmiştir. 0,1 gr örnek tartılarak 1 mL su eklenmiş ve 2 saat karıştırılmıştır. Daha sonra 30 dk ultrasonik banyoda tutulduktan sonra

4000 × g'de 30 dk santrifüj edilmiştir. Üst fazdan 100 µL alınarak 2,4 mL ABTS radikali (Absorbansı 0,70'ye ayarlanmış) eklenmiştir. Oda sıcaklığında ve karanlık bir ortamda 10 dk bekledikten sonra 734 nm'de absorbansı ölçülmüş ve % ABTS inhibisyonu hesaplanmıştır.

Çizelge 3.5. 3B yazıcıda kullanılan film solüsyonuna ait deney tasarımı

Faktörler (Bağımsız Değişkenler)			
	Protein İzolatı (%)	Esansiyel Yağ (%)	Gliserol (%)
1	5,5	1,25	20
2	5,5	1,25	20
3	1	1,25	30
4	10	2	20
5	1	0,5	20
6	1	2	20
7	1	1,25	10
8	5,5	2	10
9	5,5	0,5	30
10	10	1,25	10
11	5,5	0,5	10
12	5,5	1,25	20
13	10	0,5	20
14	10	1,25	30
15	5,5	2	30

Filmlerin yazdırılabilirliğinin değerlendirilme kriterleri

Yazdırılabilir film çözeltilerinin performansını değerlendirmek amacıyla her bir örnek için 2,5–10 aralığında puanlama sistemi uygulanmıştır. Film yapılarına ait görüntüler, yazdırma ve kuruma sonrasında ImageJ programı kullanılarak analiz edilmiş; yazdırma alanı, kuruma sonrası alan, şekil düzgünlüğü (circularity) ve doluluk oranı (solidity) parametreleri değerlendirilmiştir ve Çizelge 3.6'da verilmiştir. Elde edilen sayısal veriler, gözlemsel değerlendirmeler ile birlikte ele alınarak genel performans puanlaması oluşturulmuştur. Yüksek puanlar yazdırma ve kuruma süreçlerinde daha başarılı performansı ifade ederken, düşük puanlar yazdırma hataları, şekil bozulmaları ve yapısal deformasyonları temsil etmektedir.

Yazdırma performansına ek olarak, elde edilen film yapılarının peynir yüzeyine uygulanabilirliği de değerlendirilmiştir. Bu kapsamda filmlerin peynir yüzeyine tutunabilme durumu, yüzeyle uyumu, yapısal bütünlüğünü koruyabilmesi ve uygulama sonrası şekil

stabilitesi dikkate alınmıştır. Peynir uygulaması sırasında meydana gelen deformasyon, kayma veya yüzeyden ayrılma gibi olumsuzluklar düşük puanla değerlendirilmiştir.

Yazdırılabilirlik, film çözeltisinin şırınga veya yazıcı nozulu aracılığıyla kesintisiz, kontrollü ve düzgün şekilde akabilme yeteneği olarak tanımlanmıştır. Bu kriter değerlendirilirken nozul çıkışındaki akışın sürekliliği ve kararlılığı esas alınmıştır.

Şekli tamamlayabilme, yazdırma işlemi sırasında hedeflenen geometrik yapının eksiksiz oluşturulabilme başarısını ifade etmektedir. Şekil bütünlüğünde bozulma, dağılma veya eksiklik gözlemlenen örneklerde daha düşük puan verilmiştir.

Sırayı tamamlayabilme kriteri, çok katmanlı veya çizgisel yazdırmalarda yazdırma sırasının kesintisiz sürdürülebilme düzeyini ifade etmektedir. Katmanlar arası uyumsuzluk veya yazdırmanın yarıda kesilmesi puanlamanın düşmesine neden olmuştur.

Tekrarlanabilirlik, aynı formülasyona ait çözeltilerin farklı yazdırma denemelerinde benzer yapı kalitesi oluşturabilme yeteneği olarak değerlendirilmiştir. Denemeler arasında belirgin farklılık bulunmaması yüksek performans göstergesi olarak kabul edilmiştir.

Boşluk oluşumu, yazdırma sırasında katmanlar veya çizgiler arasında boşluk ya da süreksizlik oluşup oluşmadığını ifade etmektedir. Homojen, sürekli ve boşluksuz yapılar daha yüksek puan almıştır.

Kalınlık kriteri, yazdırılan film yapısının yüzey boyunca homojen dağılım gösterip göstermediğine göre değerlendirilmiştir. Eşit ve düzenli kalınlığa sahip yapılar daha başarılı kabul edilmiştir.

Katman oluşturabilme, yazdırılan katmanların üst üste düzgün şekilde yerleşebilmesi ve katmanlar arasında yeterli yapışmanın sağlanabilmesi olarak tanımlanmıştır.

Kuruma sonrası şekil koruma, filmin kuruma sonrasında başlangıçtaki geometrik formunu muhafaza edebilme yeteneğini ifade etmektedir. Kuruma sonrası büzülme, çatlama veya deformasyon gözlenen örneklerde puan düşürülmüştür.

Yapışkanlığa bağlı tabaka kayması kriteri, aşırı yapışkanlık nedeniyle katmanlar arasında kayma veya şekil bozulması oluşup oluşmadığını değerlendirmek amacıyla kullanılmıştır. Bu tür olumsuzlukların gözlenmediği örnekler daha yüksek puan almıştır.

Çözeltinin akış kararlılığı ise yazdırma süresi boyunca çözeltinin viskozite ve akış davranışını koruyabilme derecesi olarak değerlendirilmiştir. Yazdırma sırasında akış davranışında ani değişim göstermeyen çözeltiler daha başarılı kabul edilmiştir.

Deneyisel verilerin analizinde, her bir yanıt değişkeni (antioksidan ve yazdırılabilirlik) için en uygun model türü belirlenmiştir. Bu kapsamda, bağımlı değişkenler ile protein izolatu (A), esansiyel yağ (B) ve gliserol (C) gibi bağımsız değişkenler arasındaki ilişkiler; sırasıyla Lineer ve İkinci Dereceden (Quadratic) polinomial modeller aracılığıyla değerlendirilmiştir. Uygulanan model türlerine ait genel matematiksel ifadeler aşağıda verilen denklemlerde sırasıyla verilmiştir:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 A + \beta_2 B + \beta_3 C \quad (3.18)$$

$$Y = \beta_0 + \beta_1 A + \beta_2 B + \beta_3 C + \beta_{12} AB + \beta_{13} AC + \beta_{23} BC + \beta_{11} A^2 + \beta_{22} B^2 + \beta_{33} C^2 \quad (3.19)$$

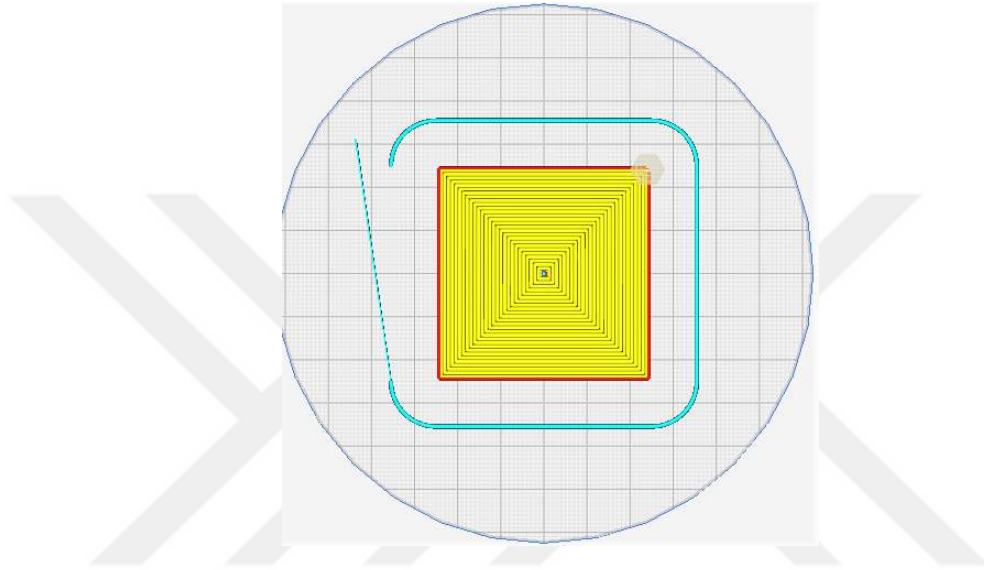
Bu denklemlerde Y; antioksidan ve yazdırılabilirlik gibi bağımlı değişkenleri, β katsayıları ilgili terimlerin etkisini temsil etmektedir. Modellerin her biri, ilgili yanıt değişkeninin varyasyonunu açıklamak ve optimizasyon sürecinde kullanılmak üzere değerlendirilmiştir.

Çizelge 3.6. Yazdırılan filmlerin yazdırma sonrası ve kuruduktan sonraki alanı, şekil düzgünlüğü/doluluk oranı ve genel değerlendirmesi

Sıralama	Örnek	Yazdırma Alanı	Kuruma Sonrası Alan	Şekil Düzgünlüğü/Doluluk Oranı	Genel Değerlendirme
1	Run 1	26,29	23,79	0,97/0,96	Çok iyi şekil korunumu, düşük büzülme, yüksek stabilite
2	Run 2	25,19	22,39	0,98/0,972	Homojen yapı, iyi alan korunumu, başarılı yazdırma
3	Run 12	25,32	24,36	0,98/0,98	Kuruma sonrası en stabil yapılardan biri
4	Run 5	26,10	21,59	0,87/0,944	Kabul edilebilir alan korunumu
5	Run 9	28,08	23,514	0,70/0,937	Yüksek alan korunumu ve stabil yapı, düşük şekil düzgünlüğü
6	Run 11	25,95	21,9	0,70/0,97	Kompakt yapı ancak orta düzey küçülme
7	Run 3	18,70	20,2	0,80/0,89	Düzensiz yapı, yüksek deformasyon ve şekil kaybı
8	Run 6	26,00	21,96	0,70/0,942	Orta-yüksek performans, bazı düzensizlikler mevcut
9	Run 7	25,12	21,39	0,80/0,92	Şekil korunumu iyi, hafif kuruma deformasyonu mevcut
10	Run 8	26,08	21,44	0,79/0,85	Dengeli yapı, iyi katman bütünlüğü, orta düzey şekil düzgünlüğü
11	Run 13	26,03	19,94	0,85/0,91	Geometrik yapı iyi fakat kuruma sonrası alan kaybı mevcut
12	Run 14	26,45	17,53	0,81/0,90	Orta düzey stabilite, belirgin küçülme mevcut
13	Run 15	21,34	16,49	0,95/0,90	Şekil düzensiz, alan korunumu zayıf
14	Run 10	23,47	14,72	0,85/0,91	Şekil düzgün fakat ciddi kuruma büzülmesi
15	Run 4	25,34	17,73	0,94/0,91	Kuruma sonrası belirgin deformasyon, alan kaybı

3.5.2. 3B film baskısı

Film hazırlama çözeltileri, tasarlanan 3B yazıcı kullanılarak 20 × 20 cm'lik cam fiber plaka üzerine basılmıştır. Basılan filmlerin görselleri Solidworks programında 5×5 cm, 1 mm olacak STL dosyaları oluşturulmuştur. Z-offset değeri hesaplanmış ve Ultimaker Cura programında G kodlarına dönüştürülmüştür. Şekil 3.5’de G kodu dönüştürülmüş film görseli verilmiştir. 3B yazıcıda baskı parametreleri ve nozzle çapı (1.55 mm) ön deneme sonucunda ayarlanmıştır ve şu şekildedir: besleme hızı; 650 mm/dk, akış; %450



Şekil 3.5. Ultimaker Cura programında G kodu oluşturulan film görseli.

3.6. Filmlerde Yapılan Karakterizasyon Analizleri

YYM ile optimize edilen film solüsyonları hem dökme yöntemiyle hazırlanmış hem de 3B yazıcı kullanılarak yazdırılmıştır. Film solüsyonu hazırlanırken öncelikle protein izolatu optimize edilen formülasyonda belirlenen oranda saf su içerisinde çözündürülmüş ve proteinlerin denatürasyonunu sağlamak amacıyla 90°C su banyosunda 30 dakika bekletilmiştir. Ardından gliserol ilave edilerek homojen bir karışım elde edilinceye kadar karıştırılmış ve solüsyon oda sıcaklığına kadar soğutulmuştur. Esansiyel yağ içeren formülasyonlarda ise, soğutma işleminin ardından emülgatör olarak Tween 80 ilave edilmiş, daha sonra optimize edilen formülasyonda belirlenen oranda esansiyel yağ eklenerek 5 dk homojen bir emülsiyon elde edilinceye kadar karıştırılmıştır. Hazırlanan film oluşturucu solüsyonlar dökme yöntemiyle film üretiminde kullanılmış, ayrıca 3B yazıcı kartuşlarına aktarılmış ve belirlenen baskı parametrelerinde yazdırılmıştır. Hazırlanan filmler 48 saat 25 °C’de kurutulmuştur. Yalnızca kayısı çekirdeği pres kekinden elde edilen protein izolatu ile hazırlanan filmler PI-F olarak, protein izolatu ve *C. niveum* esansiyel yağı içeren filmler ise

PI/EO-F olarak adlandırılmıştır. PI/EO içeren solüsyonun 3B yazıcı ile yazdırılması sonucunda elde edilen film ise 3B-F olarak isimlendirilmiştir. Hazırlanan bu üç film örneğinde karakterizasyon analizleri gerçekleştirilmiştir.

3.6.1. Kalınlık ölçümü ve şişme kapasitesi

Film örneklerinin kalınlığı, her film için en az 5 tekrar olacak şekilde bir kumpasla ölçülmüştür.

3.6.2. Nem içeriği

Tüm filmlerin nem içeriği, Rawat & Saini, 2024 tarafından açıklanan metoda göre şu şekilde belirlenmiştir. Üç farklı film örneği 20×20 mm boyutunda kesilmiştir ve tartılmıştır (M1). Daha sonra 105 ± 2 °C'de 24 saat fırında kurutulmuş ve kuru ağırlığı (M2) ölçüldükten sonra aşağıda verilen formüle (3.19) göre nem içeriği belirlenmiştir

$$\% \text{ Nem içeriği: } \frac{M1-M2}{M1} * 100 \quad (3.20)$$

3.6.3. Renk analizleri

Filmlerin renk özellikleri, CM-5 Konica Minolta (Kyoto, Japonya) dijital renk ölçüm cihazı kullanılarak belirlenmiştir. Film örneklerinin farklı bölgelerinden alınan ölçümler sonucunda L^* (açıklık/parlaklık), a^* (kırmızılık/yeşillik) ve b^* (sarılık/mavilik) renk parametreleri belirlenmiştir. Tüm ölçümler beş farklı noktadan gerçekleştirilmiştir.

3.6.4. Optik özellikler

Filmlerin ışık geçirgenliği ve film şeffaflığını belirlemek için 10×45 mm boyutlarında kesilen filmler bir küvet içerisine yerleştirilmiştir. Dalga boyu 600 nm'ye ayarlanan bir Shimadzu UV-3600 spektrofotometresinde (Shimadzu, Japonya) ölçüm alınmıştır (Rawat & Saini, 2024).

$$\text{Opaklık (A600/mm)} = \frac{\text{Absorbans (600)}}{\text{Film kalınlığı (mm)}} \quad (3.21)$$

3.6.5. Antimikrobiyal aktivite

Filmlerde antimikrobiyal aktivite başlık 3.4.3'de verilen yönteme göre yapılmıştır.

3.6.6. Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi (FTIR) analizi

Filmlerde FTIR analizi başlık 3.3.2.10’de bahsedilen yönteme göre yapılmıştır.

3.6.7. Taramalı elektron mikroskobu (SEM) analizi

Filmlerde FTIR analizi başlık 3.3.2.8’de bahsedilen yönteme göre yapılmıştır.

3.6.8. X-ışınımı kırınımı analizi (XRD)

Filmlerde XRD analizi başlık 3.3.2.11’de bahsedilen yönteme göre yapılmıştır.

3.7. Yenilebilir Filmlerin Peynire Uygulanması ve Raf Ömrü Modellemesi

Peynir uygulamalarında, koruyucu içermeyen ticari bir peynir tercih edilmiş ve bu amaçla Kaşar peyniri (Sütaş, Bursa) kullanılmıştır. Peynirler yaklaşık 70 g ağırlığında olacak şekilde kesilmiş ve yüzey dezenfeksiyonu amacıyla UV ışığı altında bekletilmiştir. YYM ile belirlenen optimum formülasyonlar hem dökme yöntemi hem de 3B yazdırma yöntemi ile filme dönüştürülmüş ve elde edilen filmlerin fiziksel, mekanik, bariyer, antioksidan ve antimikrobiyal özellikleri karakterize edilmiştir. Karakterizasyon ve antimikrobiyal aktivite sonuçları doğrultusunda peynir uygulamalarında kullanılmak üzere uygun bulunan film formülasyonu dökme yöntemiyle hazırlanmış ve steril ekipman ile eldiven kullanılarak peynir yüzeyine uygulanmıştır. Peynir örnekleri kaplama işlemi için üç gruba ayrılmıştır:

Kontrol grubu (K): Yenilebilir film uygulanmamıştır.

PI grubu: Yalnızca protein izolatu içeren filmler ile kaplama yapılmıştır.

EO grubu: Protein izolatu ve esansiyel yağ içeren filmler ile kaplama yapılmıştır.

Kaplama işleminin ardından tüm örnekler vakum paketlenmiş ve raf ömrü tahmini yapılabilmesi amacıyla 6, 15 ve 25 °C’de depolanmıştır. 6 °C’de depolanan örnekler 15., 25. ve 35. günlerde; 15 °C’de depolanan örnekler 10., 20. ve 25. günlerde; 25 °C’de depolanan örnekler ise 2., 7., 10. ve 15. günlerde analiz edilmiştir.

3.7.1. Raf ömrü hesaplaması

Kontrol grubu ve filmlerle kaplanan kaşar peynirlerin raf ömrünü hesaplamak için 6, 15 ve 25 °C’de depolama yapılarak hızlandırılmış raf ömrü testi yapılmıştır. Filmlerin raf ömrü üzerindeki etkilerini belirlemek için genel kalite parametresi olduğu için toplam

mezofilik aerobik bakteri (TMAB) sayımı yapılmıştır. Raf ömrü tahmini için TMAB kinetik parametre olarak seçilmiştir (Dıblan & Kaya, 2023). Farklı yenilebilir filmlerle kaplanan kaşar peynirlerinde raf ömrünü tahmin etmek için reaksiyon kinetik denklemi ve Arrhenius denklemi kullanılarak kinetik parametrelerin kinetik dereceleri, hız sabitleri, aktivasyon enerjileri hesaplanmıştır. Sıfırıncı ve birinci dereceden reaksiyon denklemleri 3.22 ve 3.23 de gösterilmiştir.

$$\text{Sıfırıncı dereceden denklem: } A = A_0 \pm kt \quad (3.22)$$

$$\text{Birinci dereceden denklem: } \ln\left(\frac{A}{A_0}\right) = \pm kt \quad (3.23)$$

A : seçilen parametrenin t süre sonra konsantrasyonu, A_0 : seçilen parametrenin başlangıç konsantrasyonu, k : Reaksiyon hız sabiti, t : Süre

Mikrobiyal büyüme için sıcaklığa bağlı hız sabiti (k -spesifik büyüme hızı), Arrhenius tipi ampirik denklem kullanılarak 3.24'de ifade edilmiştir.

$$k_T = k_0 \exp\left(-\frac{E_a}{RT}\right) \quad (3.24)$$

Burada k_T hız sabitini, k_0 frekans faktörünü, R molar gaz sabitini (8,31 J/K/mol) ve E_a ise aktivasyon enerjisini (J/mol) ifade etmiştir (Calligaris vd., 2022).

Arrhenius modeli kullanılarak raf ömrü hesaplamasında 1. Derece denklemlerde ise aşağıdaki formül (3.25) kullanılmıştır.

$$I = I_0 \cdot \exp[t \cdot k_{ref} \cdot \exp\left[-\left(\frac{E_a}{R}\right)\left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_{ref}}\right)\right]] \quad (3.25)$$

Burada; I : belirli zamandaki kalite parametresi veya mikrobiyal değer I_0 : başlangıç değeri: depolama süresi k_{ref} : referans sıcaklıktaki hız sabiti E_a : aktivasyon enerjisi (J/mol); R : gaz sabiti (8.314 J/mol·K); T : depolama sıcaklığı (K); T_{ref} : referans sıcaklık (K) olarak ifade edilmiştir (Calligaris vd., 2022).

3.7.2. Peynirde depolama süresince yapılan analizler

3.7.2.1. Peynirde kuru madde analizi

Peynirlerde kuru madde miktarı 102°C'de etüvde kurutma yöntemiyle IDF (1982)'ye göre yapılmıştır.

3.7.2.2. Renk analizi

Depolama süresince peynirde renk analizi 3.3.1.19 başlığına göre yapılmıştır.

3.7.2.3. Uçucu bileşen analizi

Depolama süresince tüm sıcaklıkların depolama günlerinde 3'er gram peynir, cam viallere tartılmış ve 3.4.2.'de verilen yönteme göre yapılmıştır.

3.7.2.4. Mikrobiyolojik analizler

Mikrobiyolojik analizler için peynir örneklerinden 10 g alınarak stomacher torbalarına aktarılmış ve üzerine 90 mL Ringer çözeltisi ilave edilmiştir. Örnekler stomacher cihazında (Seward 400 Circulator, London, England) yaklaşık 1 dakika homojenize edilerek 10^{-1} başlangıç dilüsyonu hazırlanmıştır.

Toplam mezofilik aerobik bakteri (TMAB) sayımı, Plate Count Agar (PCA) besiyeri kullanılarak gerçekleştirilmiş ve örnekler 30 °C'de 48 saat inkübasyona bırakılmıştır. Sonuçlar kob/g olarak ifade edilmiştir (Dıblan & Kaya, 2023). Küf ve maya sayımı ise Dichloran Rose Bengal Chloramphenicol (DRBC) Agar kullanılarak yayma plak yöntemiyle gerçekleştirilmiştir. Örnekler 25 °C'de 5 gün inkübe edilmiş ve kob/g olarak ifade edilmiştir (İncili vd., 2023).

3.7.2.5. Duyusal analiz

Duyusal analizler, İnönü Üniversitesi Gıda Mühendisliği Bölümü akademik personeli ve lisansüstü öğrencileri arasından seçilen 6 kişilik panelist grubu tarafından gerçekleştirilmiştir. Panelistlerden örnekleri tatmadan yalnızca görünüş, renk, yapı, koku ve genel kabul edilebilirlik özellikleri açısından değerlendirmeleri istenmiştir. Değerlendirmeler 9 puanlı hedonik skala kullanılarak yapılmış olup; 1 “çok kötü”, 5 “orta” ve 9 “mükemmel” olarak tanımlanmıştır (Çizelge 3.7). Örnekler renk, yapı ve görünüş, koku, yabancı koku ve genel kabul edilebilirlik kriterleri açısından değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlar panelist puanlarının ortalaması alınarak ifade edilmiştir.

Çizelge 3.7. Peynir örneklerinin duyuşal değerdendirilmesinde kullanılan puanlama skalası

Kriter	A	B	C
Renk			
Yapı ve görünüş			
Koku			
Yabancı koku			
Genel kabul edilebilirlik			

Panelist: _____ Tarih: _____

Değerdendirme Ölçeğı (Hedonik Skala)

1=Çok kötü 2=Çok zayıf 3=Zayıf 4=Kabul edilebilir altı 5=Orta 6=Kabul edilebilir 7=İyi 8=Çok iyi 9=Mükemmel

Talimat: Örnekleri tatmadan, yalnızca görünüş, koku ve fiziksel özelliklerine göre değerdendiriniz.

3.8. İstatistiksel Analizler

Tüm istatistiksel analizler IBM SPSS Statistics 25.0 (IBM Corp., Armonk, NY, USA) yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Verilerin normal dağılım gösterip göstermediğini belirlemek amacıyla Shapiro-Wilk testi uygulanmıştır. Normal dağılım göstermeyen parametreler için parametrik olmayan Mann-Whitney U testi kullanılmıştır. Normal dağılım gösteren verilerde, gruplar arası varyans eşitliğini değerdendirmek için Levene testi uygulanmış, varyansların eşit olduğu durumlarda bağımsız iki örneklem t-testi (Independent Samples t-test) kullanılmıştır. Tüm analizlerde anlamlılık düzeyi $P < 0.05$ olarak kabul edilmiştir. Veriler ortalama $\pm$ standart sapma ($\bar{X} \pm SD$) olarak sunulmuştur. Aynı depolama süresi içerisindeki gruplar ile aynı uygulama grubu içerisindeki depolama süreleri arasındaki farklılıklar Tukey çoklu karşılaştırma testi ile değerdendirilmiştir. Tüm analizlerde anlamlılık düzeyi $P < 0,05$ olarak kabul edilmiş ve sonuçlar ortalama $\pm$ standart sapma ($\bar{X} \pm SD$) şeklinde ifade edilmiştir.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Kayısı Çekirdeği Pres Keki Bileşim Analizi Sonuçları

Kayısı çekirdeği pres keki ve Soxhlet ile yağı uzaklaştırılmış yağsız pres kekinde yapılan kimyasal bileşim analizi sonuçları Çizelge 4.1’de verilmiştir. Yağlı pres kekinde protein oranı %44,43 yağsız pres kekinde bu oran %58,68 olarak bulunmuştur ($P<0,05$). Benzer şekilde yağlı pres keklerinde karbonhidrat ve enerji değerleri yağsız pres kekindeki sonuçlardan daha yüksektir ($P<0,05$). Yağsız pres kekinde, protein oranındaki artış ve yağ oranındaki azalış, yağsız pres kekinde karbonhidratın ve enerji değerinin azalması ile ilişkilendirilmektedir.

Kaya Turan vd., (2025), kayısı çekirdeği kabuklu ve kabuksuz pres keklerinde protein oranını sırasıyla, %35,69 ve 33,56 olarak, yağ oranını ise %13,72 ve 18,20 olarak bulmuştur. Yapılan çalışmada, pres makinesinde 13 mm’lik nozul kullanıldığı ve çalışma hızının 22 Hz olduğu belirtilmiştir. Daha büyük nozul çapı ve yüksek çalışma hızının, presleme sırasında uygulanan basıncı azaltarak daha kalın pres keklerinin oluşmasına neden olduğu ve buna bağlı olarak pres kekinde daha fazla yağ kalmasına yol açtığı düşünülmektedir. Nitekim daha büyük nozul çapı, vida mili tarafından uygulanan basıncı azaltmakta; bu da yağ veriminin düşmesine ve pres kekinde daha yüksek miktarda yağ kalmasına neden olabilmektedir. Bir çalışmada farklı bezelye tohumları ve bunların yağsız pres keklerinde protein miktarları sırasıyla %25,0-29,0 ve 76,5-86,18 aralığında bulunduğu bildirilmiştir (Yang vd., 2023). Farklı çalışmalarda elde edilen değerler, yağ uzaklaştırma yöntemi, ekipman parametreleri ve ham maddenin türüne bağlı olarak değişiklik göstermekte olup, bu durum pres kekinin protein ve diğer besin bileşenleri açısından değerlendirilmesinde proses koşullarının kritik rol oynadığını ortaya koymaktadır. Mevcut araştırmada elde edilen sonuçlar göz önüne alındığında, kayısı çekirdeği pres kekinin sadece alternatif bir bitkisel protein kaynağı değil, aynı zamanda yüksek protein içeriği ve sahip olduğu besin profili nedeniyle fonksiyonel gıda formülasyonlarında, besin takviyelerinde ve çeşitli endüstriyel uygulamalarda kullanılabilecek potansiyel bir bileşen olduğu öne sürülebilir.

Çizelge 4.1. Yağlı ve yağsız pres kekinin kimyasal bileşimi.

Pres Keki	Protein (%)	Yağ (%)	Kül (%)	Nem (%)	Karbonhidrat (%)	Enerji (kcal/100 g)
Yağlı	44,43±0,26 ^b	3,48±0,48	5,54±0,00 ^b	6,64±0,00 ^b	39,91±0,74 ^a	368,68±2,39 ^a
Yağsız	58,68±1,61 ^a	TE	5,97±0,01 ^a	6,76±0,01 ^a	28,60±1,63 ^b	349,10±0,08 ^b

Farklı harflerle gösterilen ortalamalar arasında istatistiksel olarak anlamlı fark bulunmaktadır ($P < 0.05$). İstatistiksel karşılaştırmalar Shapiro-Wilk normallik testi sonrası uygun şekilde bağımsız t-testi veya Mann-Whitney U testi ile yapılmıştır. TE: Tespit edilemedi.

4.2. US Destekli Ekstraksiyon Parametrelerinin Optimizasyonu ve Yanıt

Yüzey Metodunun Uyumu

Ekstraksiyon yöntemi, proteinlerin fonksiyonel özellikleri üzerinde doğrudan etkilidir. Bu nedenle, uygun yöntemin seçimi ve doğrulanması önemlidir. Geleneksel yöntemlerin sınırlamaları nedeniyle, alternatif olarak geliştirilmiş ekstraksiyon teknikleri önerilmektedir. US uygulaması; proteinlerin fonksiyonunu, yapısını, partikül büyüklüğünü, çözünürlüğünü, protein jellerinin gücünü ve dolayısıyla mikro yapısını değiştirmektedir (D. Wu vd., 2020).

Kayısı çekirdeği pres kekinden US destekli ekstraksiyon ile elde edilen protein izolatlarında genlik, US süresi ve pres keki miktarı gibi 3 farklı değişkenin optimizasyonu istatistiksel yanıt yüzey metodu kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla Box-Behnken deneysel tasarımı kullanılarak 17 farklı deneme dizaynı uygulanmıştır. 3 farklı bağımsız değişkenin izolat verimi ve çözünürlük olmak üzere 2 yanıt değişkeni üzerindeki etkisi değerlendirilmiştir. Çizelge 4.2’de Box-Behnken deney tasarımı gösterilmektedir.

Çizelge 4.2’de görüldüğü gibi ekstraksiyon verimi %27,61-38,64 arasında değişmektedir. En yüksek verim değeri %40 genlik, 20 dk US süresi ve % 1 pres keki oranı ile elde edilmiştir. Çözünürlük ise %72,60-95,40 arasında değişmektedir. En yüksek çözünürlük değerinin ise %60 genlik, 20 dk US süresi ve %3 pres keki oranı ile edildiği görülmektedir.

Çizelge 4.3’te ekstraksiyon verimi ve çözünürlüğe ait model uygunluklarının varyans analizi (ANOVA) sonuçları verilmiştir. Değerlendirmelerde P değeri, F değeri, R^2 ve düzeltilmiş R^2 (Adj- R^2) değerleri dikkate alınmıştır.

Ekstraksiyon verimi için modelin belirleme katsayısı (R^2) 0,9807, düzeltilmiş R^2 değeri ise 0,9559 olarak hesaplanmıştır. Bu sonuçlar, modelin ekstraksiyon verimi üzerindeki değişimi %98,07 oranında açıkladığını ve gereksiz model terimleri çıkarıldığında dahi %95,59 oranında açıklayıcılığını koruduğunu göstermektedir (Şekil 4.1). Modelin

uyum eksikliği P değeri 0,4813 olarak tespit edilmiş ve bu değerin 0,05'ten büyük olması nedeniyle önemsiz, yani modelin uygunluğu açısından olumlu bulunmuştur. Ayrıca, ekstraksiyon verimi için modelin F değeri oldukça yüksek, P değeri ise < 0.0001 bulunmuştur. Bu da modelin istatistiksel olarak anlamlı ve güvenilir olduğunu göstermektedir.

Çözünebilirlik için R^2 değeri 0,6764, düzeltilmiş R^2 değeri ise 0,4823 olarak belirlenmiştir. Bu model, 2FI modeli ile tanımlanmıştır. Sonuçlar, modelin çözünebilirlikteki varyasyonu %67,64 oranında açıkladığını ve gereksiz terimler çıkarıldığında bu oranın %48,23'e düştüğünü göstermektedir (Şekil 4.1). Modelin uyum eksikliği P değeri 0,8982 ile önemsiz bulunmuş, bu da modelin veriye iyi uyum sağladığını göstermektedir. Modelin genel P değeri ise 0,0399 olup, istatistiksel olarak anlamlı kabul edilmiştir ($P < 0.05$).

Çizelge 4.2. Box-Behnken deneysel tasarımında tahmini ve gerçek değerler.

Faktörler (Bağımsız Değişkenler)				Cevaplar (Bağımlı Değişkenler)					
Deneme	Genlik	US Süresi	Pres Keki Miktarı	Çözünübilirlik (%)			Ekstraksiyon Verimi (%)		
	(%)	(dk)	(%)	Gerçek	Tahmini	Bağıl hata	Gerçek	Tahmini	Bağıl hata
1	20	5	3	78,80	77,6139	-1,50	27,61	27,9816	1,35
2	40	12,5	3	85,40	85,6496	0,29	33,76	32,7647	-2,95
3	40	12,5	3	74,00	85,6496	15,88	33,02	32,7647	-0,77
4	40	5	1	81,60	77,7692	-4,69	34,96	34,3153	-1,84
5	40	12,5	3	83,00	85,6496	3,19	33,27	32,7647	-1,52
6	20	12,5	5	94,20	93,3049	-0,95	29,49	28,4497	-3,53
7	20	12,5	1	72,60	76,1549	4,90	33,52	34,2397	2,14
8	40	12,5	3	91,00	85,6496	-5,88	32,14	32,7647	1,94
9	40	20	1	92,20	89,9799	-2,41	38,64	39,0228	0,99
10	60	12,5	5	82,00	81,5442	-0,56	31,28	31,1022	-0,57
11	60	5	3	82,60	80,9746	-1,97	30,46	30,6341	0,57
12	40	5	5	80,20	80,8192	0,77	27,47	28,5253	3,83
13	60	12,5	1	87,60	91,5942	4,56	37,35	36,8922	-1,23
14	40	12,5	3	89,00	85,6496	-3,77	32,59	32,7647	0,54
15	60	20	3	95,40	92,1639	-3,39	34,88	35,3416	1,32
16	20	20	3	94,60	91,8460	-2,91	32,74	32,6891	-0,16
17	40	20	5	91,80	94,9299	3,42	33,07	33,2328	0,49

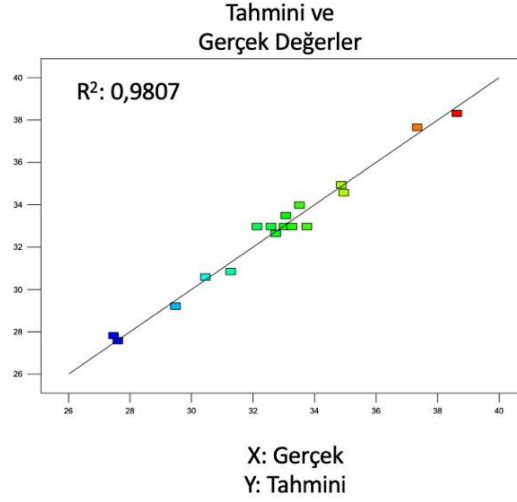
Çizelge 4.3. Ekstraksiyon verimi ve çözünürlük yüzdesine ait model uygunluğu varyans analizi

Kaynak	Ekstraksiyon Verimi (%) Kuadratik model					Çözünürlük (%) 2F1 model				
	Kareler Toplamı	sd	Ortalama kare	F değeri	P değeri	Kareler Toplamı	sd	Ortalama kare	F değeri	P değeri
Model	137,34	9	15,26	39,52	<0,0001	542,62	6	90,44	3,48	0,0399
A – Genlik	14,07	1	14,07	36,44	0,0005	6,77	1	6,77	0,26	0,6207
B – US Süresi	44,32	1	44,32	114,79	<0,0001	323,12	1	323,12	12,45	0,0055
C – Pres Kek Miktarı	67,05	1	67,05	173,65	<0,0001	25,21	1	25,21	0,97	0,3476
A²	4,90	1	4,90	12,70	<0,0092					
B²	0,87	1	0,87	2,25	0,1773					
C²	4,50	1	4,50	11,64	0,0113					
AB	0,13	1	0,13	0,33	0,5857	2,31	1	2,31	0,089	0,7713
AC	1,04	1	1,04	2,69	0,1447	184,96	1	184,96	7,13	0,0235
BC	0,92	1	0,92	2,39	0,1663	0,25	1	0,25	9,632	0,9238
Hata	2,70	7	0,51			259,55	10	26,96		
Model Uyumsuzluğu	1,15	3	0,59	1,52	0,4813	83,74	6	13,96	0,32	0,8982
Saf Hata	1,55	4	0,39			175,81	4	43,95		
Toplam Varyans	140,05	16				802,17	16			
R²				0,9807					0,6764	
Düzenlenmiş R²				0,9559					0,4823	
Varyans Katsayısı %				1,90					5,95	

Sd : Serbestlik Derecesi

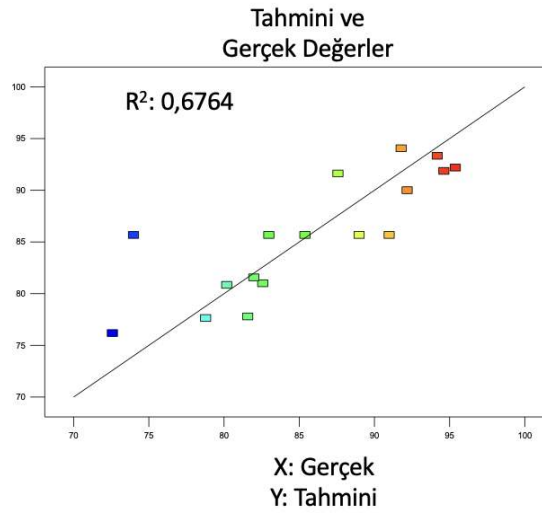
Design-Expert® Software
Verim
Color points by value of
Verim:
38.64
27.47

a- Verim



Design-Expert® Software
Çözünürlük
Color points by value of
Çözünürlük:
95.4
72.6

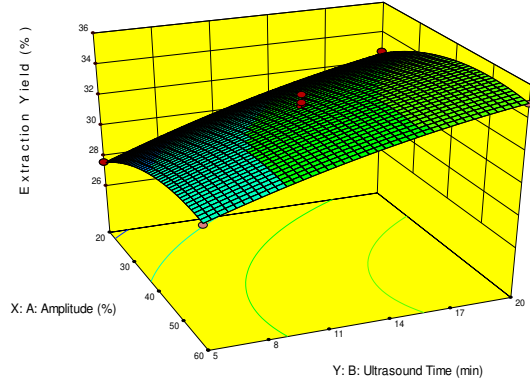
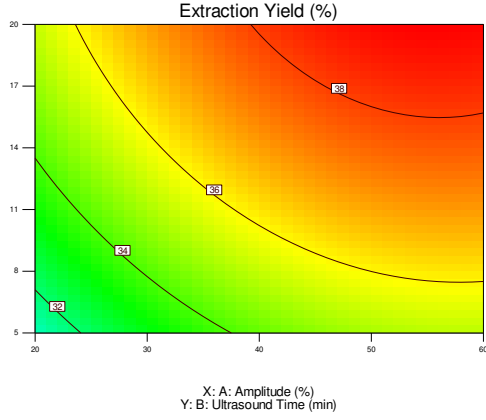
b- Çözünürlük



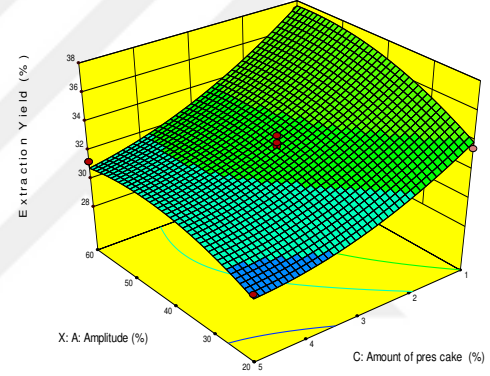
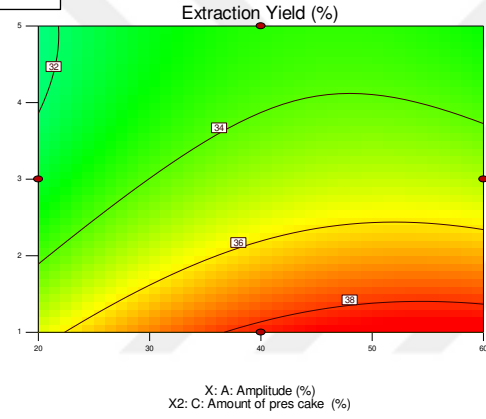
Şekil 4.1. Ekstraksiyon verimi (a) ve çözünürlük (b) üzerinde gerçek ve tahmini rakamlar üzerine etkili regresyon katsayıları.

Model denklemlerinin istatistiksel olarak anlamlı ve yeterli bulunmasının ardından, her bir parametrenin diğerleriyle olan etkileşimi ve bu etkileşimlerin yanıt değişkenleri üzerindeki etkisi, iki ve üç boyutlu (2B ve 3B) cevap yüzey grafikleri Design Expert programı kullanılarak görselleştirilmiş ve grafikler üzerinden yorumlanmıştır. Bu grafikler, deneysel faktörler arasındaki etkileşimleri görsel olarak inceleme imkanı sunmaktadır. Her bir 3B yüzey grafiği, iki bağımsız değişkenin tepkideki etkisini ortaya koyarken, üçüncü değişken sabit tutulmuştur. Deney tasarımıındaki 2 cevap üzerine oluşturulan grafikler Şekil 4.2 ve 4.3’de verilmiştir.

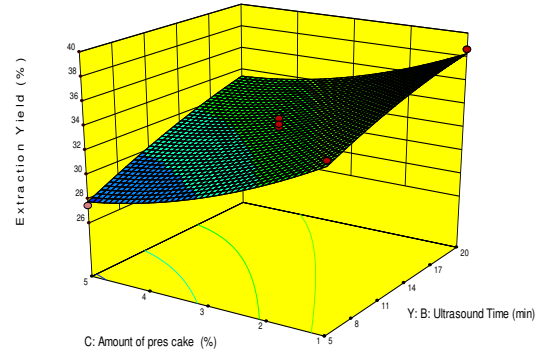
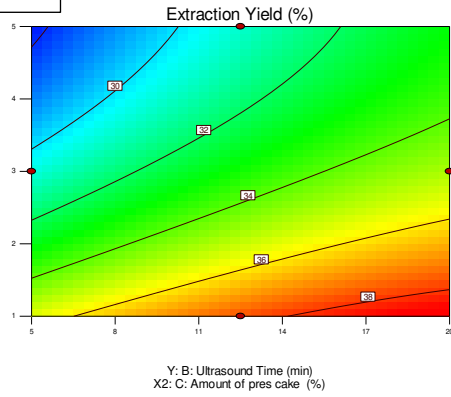
A



B



C



Şekil 4.2. Kayısı çekirdeği pres keki protein izolatu eldesinde ekstraksiyon verimi üzerine genlik, pres keki miktarı ve ultrases süresi faktörlerinin ikili etkileşimlerini gösteren 2B kontur ve 3B yüzey grafikleri: (A) genlik–süre, (B) genlik–pres keki miktarı ve (C) pres keki miktarı–süre.

Şekil 4.2’de A olarak verilen 2B ve 3B grafikler, US ekstraksiyon süresinin uzatılması ve genliğin artırılmasıyla birlikte, protein izolatu ekstraksiyon veriminde bir artış olduğunu göstermektedir. Bu durum US dalgalarının oluşturduğu kavitasyon etkisinin şiddetlenmesiyle açıklanabilir. Artan genlik ve süreye bağlı olarak kavitasyon etkisi yoğunlaşmakta, bu da hücre duvarının daha etkin bir şekilde parçalanmasına ve hücreden çözücüye proteinlerin geçişinin kolaylaşmasını sağlamaktadır. Literatürde yapılan benzer çalışmalar da bu bulguları desteklemektedir. Bakla protein izolatu üzerine yapılan bir çalışmada ekstraksiyon süresinin uzaması ve US gücünün artmasıyla birlikte verimin de arttığı bildirilmiştir (Badjona vd., 2024a). Bakla protein izolatu ile yapılan başka bir çalışmada da US uygulamasının protein verimini artırdığı belirtilmiştir (Badjona vd., 2024b). Nohut protein izotu ile ilgili bir çalışmada US uygulamasının izolat verimini %13,52 oranında artırdığı bildirilmiştir (Lai vd., 2024). Elde edilen veriler ve literatür destekli bulgular, US destekli ekstraksiyon yönteminin, bitkisel kaynaklı proteinlerin izolasyonunda verimliliği artıran ve geleneksel yöntemlere kıyasla daha avantajlı bir yaklaşım sunduğunu ortaya koymaktadır.

Şekil 4.2’de B olarak verilen 2B ve 3B grafikler, pres keki miktarı ve genlik değişkenlerinin protein izolatu ekstraksiyon verimi üzerindeki etkisini göstermektedir. Grafik genliğin artmasıyla birlikte verimin yükseldiği ancak pres keki miktarındaki artışın ekstraksiyon verimini olumsuz etkilediğini yansıtmaktadır. Bu durum katı madde miktarının kütle transferini zorlaştırarak çözücü protein etkileşimini sınırlamasıyla açıklanabilir. Sonuç olarak düşük pres keki miktarı ve yüksek genlik uygulamalarının ekstraksiyon veriminin artırılması açısından daha uygun olduğu görülmektedir. Bakla izolatları ile ilgili yapılan bir çalışmada yüksek ekstraksiyon hacminin daha az tercih edilebilir olduğu, toplam ekstraksiyon hacminin yüksek olmasının olumsuz etki gösterdiği bildirilmiştir. Düşük ekstraksiyon hacminin protein izolat verimini artırdığı bildirilmiştir (Badjona vd., 2024).

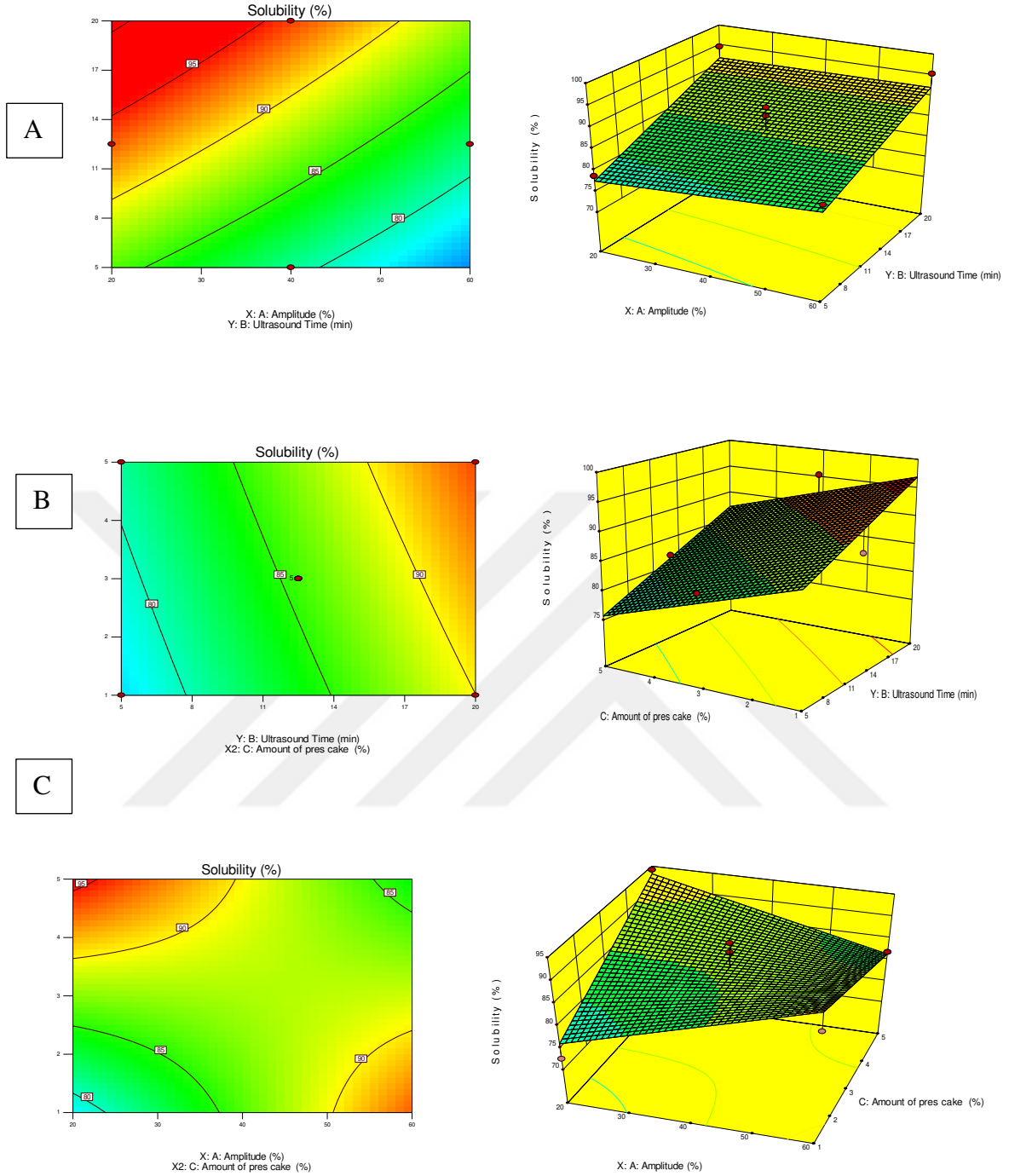
Şekil 4.2’de ekstraksiyon verimi üzerine US süresi ve pres keki miktarının etkisini gösteren 2B ve 3B grafik C olarak verilmiştir. Ekstraksiyon süresinin artması ve pres keki miktarının azalmasıyla verimin arttığı şekilde görülmektedir. En yüksek verim, düşük pres keki miktarı ve uzun ultrason süresi kombinasyonunda elde edilmiştir. Yüzey düzgün ve eğimlidir bu da değişkenlerin etkisinin anlamlı ve istikrarlı olduğunu göstermektedir. Bu çalışmanın bulguları, US destekli ekstraksiyonun bitkisel kökenli protein izolatu eldesinde verimliliği artıran etkili bir yöntem olduğunu göstermektedir. Şekil 4.2’de sunulan 2B ve 3B grafiklerine göre; ekstraksiyon süresi ve genlik arttıkça, protein izolatu ekstraksiyon verimi önemli ölçüde artış göstermiştir. Buna karşılık, pres keki miktarının artışı verimi olumsuz

yönde etkilemiştir. Bu durum, artan katı madde oranının kütle transferini sınırlandırarak çözünür proteinlerin geçişini zorlaştırmasıyla açıklanabilir.

Çizelge 4.1’de görüldüğü gibi en yüksek verim değeri %40 genlik, 20 dk US süresi ve % 1 pres keki oranı ile elde edilmiştir. Bizim çalışmamızın sonucu, düşük pres keki miktarı ve yüksek genlik seviyelerinin kayısı çekirdeği pres keki protein izolatı ekstraksiyon verimini artırmak için daha uygun koşullar olduğunu göstermektedir.

Şekil 4.3’de A-C’de verilen 2B ve 3B grafikler, US süresi, pres keki miktarı ve genlik değişkenlerinin kayısı çekirdeği protein izolatının çözünürlüğü üzerindeki etkisini göstermektedir. A’da US süresinin artmasının protein izolatlarında çözünürlüğü artırdığı ve genlik seviyesinin arttıkça çözünürlüğün de süreye bağlı olarak arttığı gözlemlenmiştir. B’de pres keki miktarının artması ile çözünürlüğün azaldığı ancak sürenin artmasının çözünürlüğü artırdığı görülmüştür. C’de ise genlik seviyesinin artması ile çözünürlüğün arttığı ancak pres keki miktarının artması ile azaldığı gözlemlenmektedir.

Çizelge 4.1’de en yüksek çözünebilirlik değerinin ise %60 genlik, 20 dk US süresi ve %3 pres keki oranı ile edildiği görülmektedir. Xu vd., (2023) yaptıkları çalışmada US işleminin protein izolatlarında çözünürlüğü artırdığını bildirmişlerdir. Darı protein konsantrelerinin üzerine US uygulamasının da çözünürlüğü artırdığı ifade edilmiştir (Nazari vd., 2018). US uygulamasının çözünürlük üzerine etkisi çeşitli yapısal ve fizikokimyasal değişimlerle açıklanabilmektedir. Yüksek yoğunluklu US uygulaması, protein moleküllerindeki kovalent ve kovalent olmayan bağları parçalayarak, küresel proteinlerin üç boyutlu yapısında bozulmalara neden olmakta ve bu bozulmalar sonucunda protein yüzeyinde yer alan yüklü grup sayısı artmakta ve elektrostatik kuvvet güçlenmektedir. Böylece, protein-su etkileşimleri artmakta, protein moleküllerinin polaritesi yükselmekte ve bu durum çözünürlüğün artmasını sağlamaktadır (Lai vd., 2024; Yildiz vd., 2017). Ayrıca, ultrason uygulaması konformasyonel değişiklikleri tetikleyerek hidrofilik amino asit kalıntılarının su fazına yönelmesine neden olur. Bununla birlikte, çözünmeyen protein agregatlarının çözünür hale gelmesi de çözünürlük artışına katkı sağlar. Ultrasonun bir diğer etkisi ise protein partikül boyutunu küçültmesidir; bu da daha geniş bir yüzey alanı sağlayarak proteinlerin su ile etkileşimini kolaylaştırır ve dolayısıyla çözünürlüğü artırır (Y. Wang vd., 2023; Yildiz vd., 2017).



Şekil 4.3. Kayısı çekirdeği pres keki protein izolatu eldesinde çözünürlük üzerine genlik, pres keki miktarı ve süre faktörlerinin ikili etkileşimlerini gösteren 2B kontur ve 3B yüzey grafikleri: (A) genlik–süre, (B) pres keki miktarı–süre ve (C) genlik-pres keki miktarı

Yanıt yüzeyi optimizasyonu sonuçlarına ve gerçek durumla birleştirilmiş olarak, kayısı çekirdeği pres keki protein izolatu için optimum proses parametreleri genlik %52,423, US süresi 18.185 dk, pres keki miktarı ise %1,006 olarak belirlenmiştir. Bu parametreler uygulandığında ekstraksiyon verimi değerinin %38,08, çözünürlüğün ise % 93,791 olacağı

öngörülmüştür. Bu koşullar üç deneysel olarak doğrulandığında protein veriminin $38,26 \pm 0,28$, çözünübilirliğin ise $90,25 \pm 0,63$ olduğu bulunmuştur. Ön görülen ve gözlenen değerler karşılaştırıldığında bağıl hatanın ekstraksiyon verimi için $0,47$ olduğu, çözünübilirlik değeri için ise $3,78$ olduğu belirlenmiştir. Bu da 4 'den daha düşük bir hata payına sahip olduğunu göstermektedir. Sonuç olarak, modelin bu deneyin sonuçlarının teorik olarak yorumlanmasında uygulanabilir olduğu ve pratik operasyonlar için yol gösterici öneme sahip olduğu düşünülmektedir.

Ayrıca, optimizasyon sonrası elde edilen kayısı çekirdeği pres keki protein izolatının geleneksel yöntemle elde edilen izolatla karşılaştırmalı olarak yapısal, biyoaktif, fonksiyonel ve termal özellikleri de incelenmiş; bu analizler ile US destekli ekstraksiyonun protein kalitesi ve işlevselliği üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir.

4.3. Fonksiyonel Özellikler

Çeşitli yapısal, işlevsel ve besinsel özelliklere sahip olan proteinler gıda sektöründe formülasyonlar için önemli bir yere sahiptir. Köpük oluşturma kapasitesi ve stabilitesi, emülsiyon aktivitesi ve stabilitesi, su tutma ve yağ tutma kapasitesi gibi fonksiyonel özellikleri işleme koşullarından etkilenmektedir (Haider vd., 2025). Kayısı çekirdeği pres kekinden geleneksel yöntemle (KPKI) ve US destekli yöntemle (US-KPKI) ekstrakte edilen protein izolatlarının fonksiyonel özellikleri incelenmiştir.

4.3.1. Köpük oluşturma aktivitesi ve stabilitesi

Bitki proteinleri, hava-su ara yüzeyinde adsorbe olarak hava kabarcıklarını çevreleyen koruyucu bir film oluşturmaları sayesinde köpüklerin stabilizasyonuna önemli ölçüde katkıda bulunmaktadır. Bu fonksiyonel özellik bitki proteinlerinin gıda ürününde kullanımı için kritik bir rol oynamaktadır (Haider vd., 2025). Çalışmamızda bu fonksiyonel özellik köpük oluşturma hacmi ve köpük stabilitesi testleri ile belirlendi. Köpük oluşturma aktivitesi; yoğun çalkalama sırasında bir protein çözeltisinin üretebildiği köpük hacmini ifade ederken, köpük oluşturma stabilitesi ise oluşan köpüğün çökmeden önce stabil kalabildiği süreyi göstermektedir. Kayısı çekirdeği pres kekinden geleneksel yöntemle ve US destekli yöntemle ekstrakte edilen protein izolatlarının köpük oluşturma aktivitesi (KA) ve stabilitesi (KS) Çizelge 4.4'de verilmiştir. KPKI ve US-KPKI'nin köpük oluşturma aktivitesi sırasıyla $156,87 \pm 0,41$ ve $183,44 \pm 0,19$ olarak bulunmuştur. US destekli ekstraksiyon ile edilen protein izolatının köpük oluşturma aktivitesi, geleneksel yöntemle

elde edilen protein izolatından yüksek tespit edilmiştir ve istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ($p<0,05$). KPKI ve US-KPKI'nın köpük stabilitesi (KS) sırasıyla % $134,22\pm0,38$ ve $167,11\pm0,77$ olarak tespit edilmiştir ve US uygulamasının köpük stabilitesini anlamlı düzeyde artırdığı belirlenmiştir ($P <0,05$).

Çizelge 4.4. Kayısı çekirdeği pres keki protein izolatlarının fonksiyonel ve biyoaktif özellikleri.

Fonksiyonel Özellikler	US-KPKI	KPKI
Emülsiyon Aktivite İndeksi (EAI) (m^2/g)	$10,61\pm0,04^a$	$10,86\pm0,29^b$
Emülsiyon Stabilite İndeksi (ESI) (dk)	$20,88\pm0,16^a$	$17,82\pm0,67^b$
Köpük Oluşturma Aktivitesi (KA) (%)	$183,44\pm0,19^a$	$156,87\pm0,41^b$
Köpük Oluşturma Stabilitesi (KS) (%)	$167,11\pm0,77^a$	$134,22\pm0,38^b$
Su Tutma Kapasitesi (g su/g protein)	$3,41\pm0,27^a$	$2,02\pm0,02^b$
Yağ Tutma Kapasitesi (g yağ/g protein)	$13,50\pm0,77^a$	$11,92\pm0,17^b$
DPPH (% inhibisyon)	$8,30\pm0,47^b$	$11,90\pm0,47^a$
ABTS (%inhibisyon)	$65,45\pm1,76^b$	$71,94\pm1,16^a$
FRAP (mg/mL)	$25,91\pm0,04^b$	$55,42\pm0,24^a$
Serbest SH ($\mu\text{mol/g}$)	$7,72\pm0,10^a$	$5,44\pm0,06^b$
Verim (%)	$38,28\pm0,4^a$	$26,17\pm0,38^b$
Çözünürlük (%)	$90,85\pm0,07^a$	$84,12\pm0,06^b$

Harflendirme, parametrik (t-testi) ya da non-parametrik (Mann-Whitney U) test sonuçlarına göre yapılmıştır. Aynı satırdaki farklı harfler, gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı fark olduğunu gösterir ($P < 0.05$). KPKI: Kayısı çekirdeği pres kekinden geleneksel yöntemle elde edilen protein izolatı, US-KPKI: US destekli yöntemle ekstrakte edilen protein izolatlarını

Yüksek US yoğunluğunun soya proteini izolatının köpürme özelliklerine etkisinin incelendiği bir çalışmada, yüksek yoğunlukta US uygulamasının, izolatların köpük oluşturma kapasitesi üzerinde sıcaklıkla sinerjik bir etki yarattığı, köpük oluşturma stabilitesini ise önemli ölçüde değiştirmedığını bildirmişlerdir (Morales vd., 2015). Peynir altı suyu proteini izolatlarıyla ilgili başka bir çalışmada ise işlem görmemiş izolatlarla kıyasla US uygulanan izolatlarda, US süresi ile birlikte köpük oluşturma aktivitesi ve stabilitesinin önemli ölçüde arttığı bildirilmiştir (Meng vd., 2021). Çalışmamızdaki bulgular da bu sonuçlarla uyumludur. Bu sonuçlar da US işleminin proteinlerin köpürme özelliğini geliştirdiğini desteklemektedir. Bu etkinin US işlemiyle proteinlerin molekül parçacık boyutunu küçülmesiyle sıvı-hava arayüz tarafından emilmesini artırması ile açıklanabilir. Çünkü boyutu küçülen proteinler homojen dağılır ve kısmen protein yapıları açılır bu da köpürme özelliklerinin gelişmesine katkı sağlamaktadır (Meng vd., 2021; Morales vd., 2015).

4.3.2. Su tutma kapasitesi ve yağ tutma kapasitesi

Su tutma ve yağ tutma kapasiteleri proteinlerin et analogları, yoğurt analogları, emülsiyonlar ve diğer gıda ürünlerinde kullanımı açısından önemli bir fonksiyonel özelliktir (Badjona vd., 2024b; Xu vd., 2023).

Kayısı çekirdeği pres kekinden geleneksel yöntemle ve US destekli yöntemle ekstrakte edilen protein izolatlarının su ve yağ tutma kapasiteleri Çizelge 4.4’de verilmiştir. Su tutma kapasitesi US-KPKI örneğinde $3,41 \pm 0,27$ g su/ gr protein izolati ve KPKI örneğinde $2,02 \pm 0,02$ g su/ g protein izolati olarak tespit edilmiştir. Su tutma kapasitesi US işlemiyle birlikte artmıştır ve istatistik olarak anlamlı bulunmuştur ($P < 0,05$). Yağ tutma kapasiteleri US-KPKI ve KPKI örnekleri için sırasıyla $13,50 \pm 0,77$ g yağ/g protein izolati ve $11,92 \pm 0,17$ g yağ/g protein izolati olarak bulunmuştur. US-KPKI örneğinin yağ tutma kapasitesi yüksek bulunmuştur ve geleneksel yöntemle kıyaslandığında istatistiksel olarak farklıdır ($P < 0,05$).

Bakla fasülyesi izolatının fonksiyonel özellikleri üzerine US’nin etkisinin incelendiği bir çalışmada US örneğinde su tutma kapasitesi 3,56 g su/g protein izolati olarak bulunurken, kontrol örneğinde 3,01 g su/g protein izolati olarak bulunmuştur. Benzer şekilde yağ tutma kapasitesinin de US uygulanan örneklerde daha yüksek tespit edildiği bildirilmiştir (Badjona vd., 2024b). Siyah kimyon proteinin incelendiği bir çalışmada su tutma ve yağ tutma kapasiteleri sırasıyla $7,00 \pm 0,04$ g su/g protein izolati ve $5,40 \pm 0,4$ g yağ/g protein izolati olarak bulunmuştur (Çavdaroğlu vd., 2026). US işleminin kayısı çekirdeği protein izolatlarının su ve yağ tutma kapasitelerini artırması, uygulamanın protein yapısında meydana getirdiği yapısal değişikliklerle ilişkilendirilebilir. US sırasında oluşan kavitasyon, yüksek kesme kuvvetleri ve mikro türbülans yaratarak proteinlerin yapısının gevşemesine ve kısmi denatürasyona neden olmuş; böylece hidrofilik grupların açığa çıkmasını sağlayarak suyla etkileşimini kolaylaştırmış ve su tutma kapasitesini artırmış olabilir. Ayrıca, US’nin protein agregatlarını parçalayarak daha küçük partiküller oluşturması yüzey alanını artırması sonucu açığa çıkan hidrofobik bölgeler ise yağ moleküllerinin bağlanmasına olanak tanıyarak yağ tutma kapasitesinin yükselmesine katkıda bulunmuş olabilir. Bu bulgular, US uygulamasının bitki proteinlerinde su ve yağ tutma özelliklerini iyileştirdiğini bildiren önceki çalışmalarla (Badjona vd., 2024b; Xu vd., 2023) uyumludur. Kayısı çekirdeği pres keki protein izolatlarının su ve yağ tutma kapasitelerinin US uygulaması ile anlamlı şekilde artmış olması, bu proteinlerin fonksiyonel kullanım potansiyelini göstermektedir.

4.3.3. Emülsiyon aktivitesi ve stabilitesi

Proteinlerin emülsifiye edici özellikleri, moleküler yapı ve etkileşimlerden etkilenmekte olup, bu özelliklerin değerlendirilmesinde en yaygın kullanılan metotlar emülsiyon aktivite (EAI) ve emülsiyon stabilite indeksi (ESI) ölçümleridir (Haider vd., 2025).

Çalışmamızda kayısı çekirdeği pres kekinden geleneksel yöntemle ve US destekli yöntemle ekstrakte edilen protein izolatlarının EAI ve ESI ölçülerek Çizelge 4.4'de verilmiştir. US-KPKI örneğinde EAI $10,61 \pm 0,04$ m²/g olarak ölçülürken bu değer KPKI örneğinde $10,86 \pm 0,29$ m²/g olarak tespit edilmiştir. ESI değerleri ise US-KPKI ve KPKI için sırasıyla $20,88 \pm 0,16$ ve $17,82 \pm 0,67$ dk olarak bulunmuştur ($P < 0,05$).

Kabak çekirdeği protein izolatının çalışıldığı bir çalışmada farklı sürelerde US uygulanmıştır. En yüksek emülsiyon aktivitesi ve stabilitesi, 20 dk uygulanan izolatlarda görülmüş ve daha uzun US uygulama sürelerinde aktivite azalmış ve bu durumun denatüre proteinlerin agregasyonundan kaynaklandığı bildirilmiştir (Habib vd., 2025). Ceviz protein izolatlarının özelliklerinin araştırıldığı bir çalışmada US uygulamasının en yüksek EAI ($24,19 \pm 0,38$ m²/g) and ESI ($91,12 \pm 1,17\%$) aktivitesi gösterdiği bildirilmiştir (Shi vd., 2023). Sonuçlarımız da bu çalışmalarla uyumludur. US uygulaması ESI artırmıştır. Bu da US uygulaması ile protein boyutunun azalması, yüzey alanı-hacim oranını artırarak emülsifiye edici özelliği artırmasından kaynaklanıyor olabilir (M. M. Rahman & Lamsal, 2021).

4.3.4. Çözünabilirlik

Proteinlerin fonksiyonel özelliğini belirlemek için önemli gösterge olan çözünürlük, proteinin agregasyonu ve denatürasyonunun en belirgin ölçüsüdür ve belirli bir pH'ta proteinin çözünürlüğü denatürasyon derecesine, yüzey hidrofobisitesine, parçacık boyutuna ve agregatların boyutuna bağlıdır (Habib vd., 2025; M. M. Rahman & Lamsal, 2021).

Kayısı çekirdeği pres kekinden geleneksel yöntemle ve US destekli yöntemle ekstrakte edilen protein izolatlarının çözünürlük değerleri Çizelge 4.3'de verilmiştir. US-KPKI ve KPKI örneklerinin çözünürlüğü sırasıyla $90,85 \pm 0,07$ ve $84,12 \pm 0,06$ olarak bulunmuştur. US destekli ekstraksiyon ile elde edilen protein izolatlarının çözünürlük değeri daha yüksek bulundu ve istatistiksel olarak anlamlı çıkmıştır ($P < 0,05$).

Perilla protein izolatının US ile optimizasyonunun yapıldığı bir çalışmada, US destekli ekstraksiyon ile hazırlanan protein izolatının çözünürlüğünün, pH 7,0-11,0 aralığında kontrol örneğine göre önemli ölçüde yüksek olduğu tespit edilmiştir (Singh vd., 2025). Habib vd., (2025) US uygulanan kabak çekirdeği protein izolatının 20 dk'lık US uygulaması ile en yüksek çözünürlük değerine sahip olduğunu bildirilmişlerdir. Bezelye protein izolatlarının teknofonksiyonel özellikleri üzerine US'nin de incelendiği bir çalışmada, işlenmemiş izolatların %14,53 çözünürlüğe sahip olduğu US işlemi ile çözünürlüğün artarak %18,09'a yükseldiği bulunmuştur (Bahmanyar vd., 2025).

Çalışmamızın sonuçları, literatürde bildirilen bulgularla uyumlu bulunmuştur. Protein çözünürlüğündeki artış, US uygulamasının kavitasyon ve mekanik etkileriyle protein yapısında meydana getirdiği değişikliklere bağlanabilir. Bu etkiler, hidrofobik etkileşimlerin zayıflamasına, partikül boyutunun küçülmesine ve hidrofilik grupların açığa çıkmasına yol açarak proteinlerin suyla etkileşimini güçlendirmiş ve çözünürlüğün önemli ölçüde artmasına katkı sağlamıştır (Bahmanyar vd., 2025; Habib vd., 2025) .

4.3.5. Antioksidan aktivite analizleri

Bitki proteinlerinin antioksidan, antiinflamatuvar ve antidiyabetik gibi çeşitlik biyoaktif özelliklere sahip olduğu bilinmektedir. Bu çalışmada da protein izolatlarının antioksidan aktiviteleri, ABTS, DPPH ve FRAP radikal tarama yöntemleri ile belirlenmiş olup Çizelge 4.3'de verilmiştir. US-KPKI ve KPKI örneklerinde ABTS radikali inhibisyon aktivitesi sırasıyla %65,45±1,76 ve %71,94±1,16, DPPH radikali inhibisyon aktivitesi ise sırasıyla 8,30±0,47 11,90±0,47 olarak tespit edilmiştir. Ayrıca, FRAP değerleri US-KPKI ve KPKI örnekleri için sırasıyla 25,91 ± 0,04 ve 55,42 ± 0,24 mg/mL olarak belirlenmiştir. US işlemiyle birlikte antioksidan aktivitelerde azalma gözlenmiştir ve istatistiksel olarak anlamlıdır ($P<0,05$). Yüksek yoğunluklu US ile elde edilen Kenevir tohumu protein izolatlarının antioksidan özelliklerinin de incelendiği bir çalışmada US işleminin aktioksidan aktiviteyi artırdığı bildirilmiştir (Karabulut & Yemiş, 2022). Kabak çekirdeği protein izolatlarında DPPH radikal tarama aktivitesinin US süresi ile birlikte artış gösterdiği belirtilirken (Habib vd., 2025), badem ve Hindistan Cevizi pres keklerinde US ile DPPH ve FRAP radikal tarama aktivitelerinde azalma görüldüğü bildirilmiştir (Aiello vd., 2022).

İlgili çalışmalar, aromatik amino asitlerin (fenilalanin, tirozin ve triptofan) ve kükürt içeren amino asit kalıntılarının, protein moleküllerinin serbest radikal yakalama yeteneğini etkilediğini bildirmiştir (Yang vd., 2018). Bu azalmanın muhtemelen protein dizisinde

şelatlayıcı amino asitlerin (sistein, histidin ve glutamik asit) varlığıyla ilgili olduğu bildirilmiştir (Cadena-Cadena vd., 2022).

Önceki çalışmalarda sonikasyon uygulamasının antioksidan aktivite üzerinde hem artırıcı hem de azaltıcı etkiler gösterebildiği bildirilmiştir. Bu çalışmada ise antioksidan aktivitede bir azalma gözlenmiştir. Söz konusu durumun, ultrasonikasyon sırasında meydana gelen kavitasyon etkisiyle serbest radikal oluşumunun tetiklenmesi ve oluşan bu radikallerin proteinlerde oksidatif modifikasyonlara yol açarak antioksidan kapasitede azalmaya neden olması ile ilişkili olabileceği düşünülmektedir.

4.3.6. Serbest sülfidril grup miktarı

KPKI ve US-KPKI örneklerinde yer alan serbest sülfidril miktarları Çizelge 4.4.'de verilmiştir. KPKI ve US-KPKI'da serbest sülfidril miktarları sırasıyla $7,72 \pm 0,10$ ve $5,44 \pm 0,06$ $\mu\text{mol/g}$ olarak belirlenmiştir ($P < 0,05$). Serbest SH gruplarındaki bu artış, sonikasyon işleminin protein yapısındaki bağları kırarak disülfid bağlarının parçalanmasına ve SH gruplarının açığa çıkmasına neden olduğunu göstermektedir. Benzer şekilde, kırmızı biber tohumlarından elde edilen protein izolatlarında da uzun süreli sonikasyonun protein molekülleri içerisindeki disülfid bağlarının kırılmasını teşvik ettiği ve buna bağlı olarak serbest SH içeriğinin arttığı bildirilmiştir (Manzoor vd., 2025). Buna karşılık, farklı işleme yöntemleri serbest SH grupları üzerinde farklı etkiler oluşturabilmektedir. Örneğin, yüksek basınç uygulanmış bezelye protein izolatlarında, SH gruplarının oksidasyonuna bağlı olarak serbest SH içeriğinde azalma gözlemlenmiştir (Li vd., 2025). Genel olarak bu sonuçlar, yüksek basınç gibi bazı işlemlerin serbest SH grup içeriğini azaltabildiğini, sonikasyonun ise disülfid bağlarının kırılmasını kolaylaştırarak serbest SH gruplarının miktarını artırdığını göstermektedir.

4.3.7. Taramalı Elektron Mikroskopu (SEM) görüntüleri

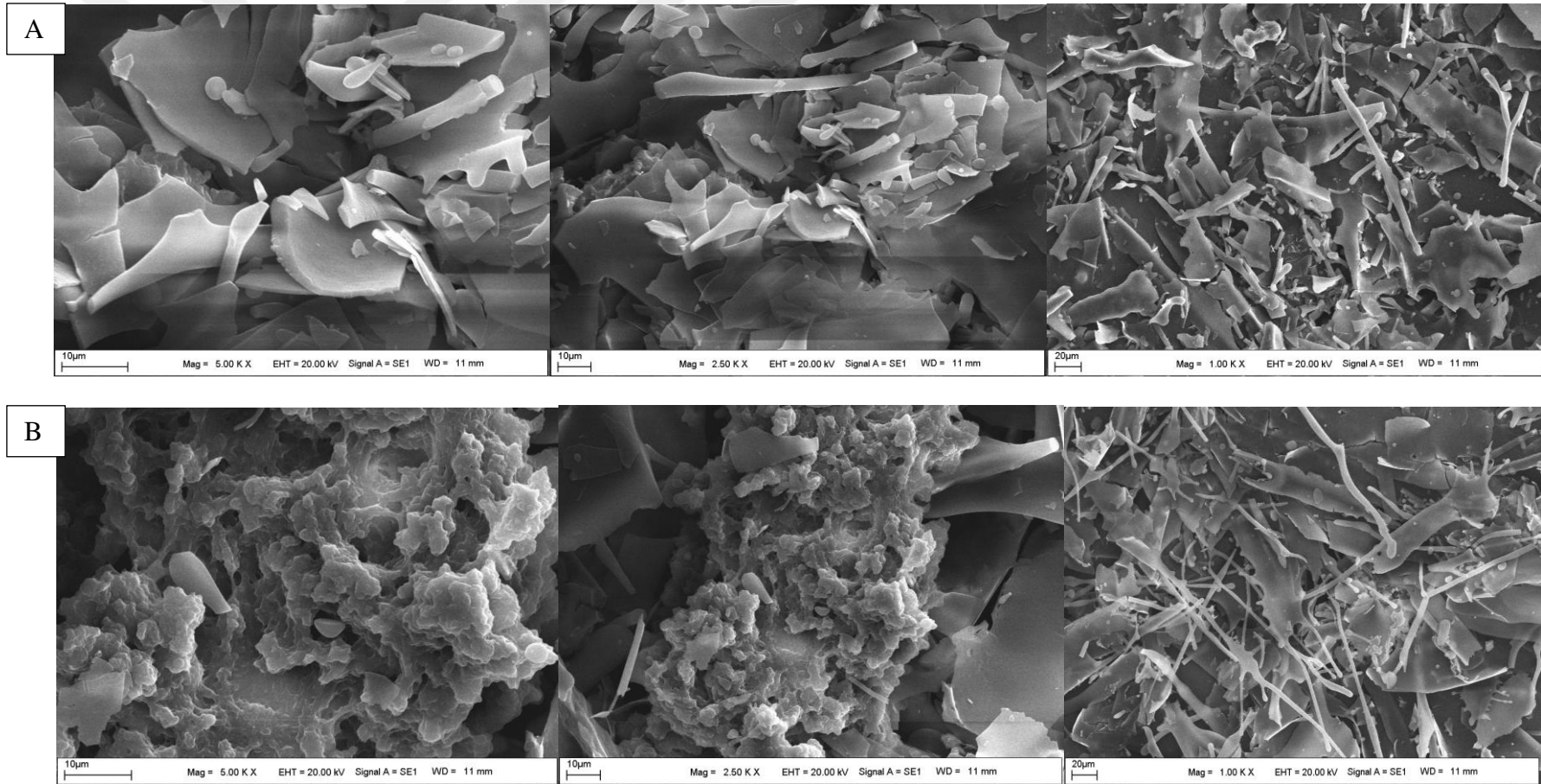
Taramalı elektron mikroskobu malzemelerin yüzey morfolojisinin ayrıntılı olarak incelenmesinde yaygın olarak kullanılan bir karakterizasyon tekniğidir. Geleneksel yöntem (KPKI) ve US destekli yöntem (US-KPKI) ile elde edilen kayısı çekirdeği pres keki protein izolatlarının mikroyapısal özellikleri, taramalı elektron mikroskobu (SEM) görüntüleri kullanılarak $\times 1000$, $\times 2500$ ve $\times 5000$ büyütmelede değerlendirilmiştir. Her iki örneğe ait SEM mikrografları Şekil 4.4. A-B'de verilmiştir.

Şekil 4.4. A'da SEM görüntüleri incelendiğinde, geleneksel yöntemle elde edilen protein izolatında (KPKI), yoğun tabakamsı, kompakt ve düz yüzeyli parçacıklar gözlemlenmiştir. Bu yapılar, birbirine sıkıca tutunmuş ve oldukça sınırlı poroziteye sahip olup, büyük ölçüde düzenli morfoloji sergilemektedir. Gözlemlenen kompakt yapı, protein partiküllerinin ekstraksiyon sürecinde yeterince parçalanmadığını ve sınırlı bir yüzey alanına sahip olduğunu göstermektedir. Bu durum, KPKI örneklerinin çözünürlük, su ve yağ tutma kapasitesi gibi fonksiyonel özelliklerinin düşük bulunması ile uyumludur. Ayrıca, proteinlerin yüzey özelliklerinin sınırlı kalması, emülsiyon ve köpük stabilitesinin de düşük olmasına neden olmuştur.

Şekil 4.4. B'de US destekli ekstraksiyonla elde edilen US-KPKI örneği, KPKI örneğine göre belirgin şekilde farklı bir mikroyapı sunmaktadır. SEM mikrografında, protein partikülleri daha dağılmış, düzensiz, pütürlü yüzeyli ve gözenekli bir morfoloji sergilemektedir. Bu yapı, US dalgalarının oluşturduğu kavitasyon etkisiyle protein agregatlarının kırılması ve parçalanması ile oluşmuş olabilir. Daha gevşek ve düzensiz yapı, yüzey alanında artışa ve proteinlerin su ve yağ gibi moleküllerle daha kolay etkileşime girmesine olanak tanımaktadır. Bu durum, Çizelge 4.3'de verildiği gibi US-KPKI örneklerinde gözlenen daha yüksek çözünürlük, su/yağ tutma kapasitesi, emülsiyon stabilitesi ve köpük özelliklerini mikroyapısal olarak desteklemektedir.

Siyah fasülye proteinlerinin yapısal ve fiziksel özelliklerinin incelendiği bir çalışmada US uygulaması ile elde edilen protein izolatının SEM görüntülerinin herhangi bir işlem görmeyen protein izolatlarından farklı bir mikroyapı sergilediği bildirilmiştir (L. Jiang vd., 2014). Bu durumu da US uygulamasının proteinlerin bağlarının açılmasından ve fonksiyonel grupların açığa çıkarak (hidrofobik gruplar gibi) birbirleriyle etkileşime girerek protein agregasyonuna ve ağ oluşumuna yol açmasından kaynaklanmış olacağını belirtmişlerdir (L. Jiang vd., 2014). Yulaf proteinleri izolatlarında US uygulamasının yapısal özellikler üzerine etkisinin incelendiği başka bir çalışmada protein kümelerinin parçalandığı, daha küçük ve dağınık parçacıklar oluşturduğu bildirilmiştir (Rafique vd., 2025).

Çalışmamızın sonucunda her iki yöntemin SEM analizine dayalı karşılaştırmalı değerlendirmesi, ekstraksiyon tekniğinin protein izolatlarının yapısal bütünlüğü ve fonksiyonel performansı üzerinde belirleyici bir rol oynadığını ortaya koymaktadır.



Şekil 4.4. A-Geleneksel yöntemle (KPKI) ve B-US destekli ekstraksiyon ile elde edilen kayısı çekirdeği pres keki protein izolatlarının (US-KPKI) SEM görüntüleri (soldan sağa 5000×, 2500× ve 1000× büyütme).

4.3.8. Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi (FTIR)

FTIR gıdalardaki temel bileşenlerin fonksiyonel gruplarını ve yapısal özelliklerini belirlemek amacıyla yaygın olarak kullanılmaktadır. Protein izolatlarında ise özellikle amid I ve amid II bantlarının analizi, proteinlerin ikincil yapı düzenlemeleri hakkında bilgi sağlayarak izolatın yapısal özelliklerinin değerlendirilmesine olanak tanımaktadır (Ahmad & Ayub, 2022).

Bu çalışmada, kayısı çekirdeğinden geleneksel yöntem ve US destekli ekstraksiyon yöntemiyle elde edilen protein izolatlarına ait FTIR spektrumları ile Gaussian modeli kullanılarak belirlenen protein ikincil yapıları Şekil 4.5’de gösterilmektedir.

Amid I bandı ($1600\text{--}1700\text{ cm}^{-1}$) proteinlerin ikincil yapısındaki değişiklikleri yansıtmak için kullanılan en yaygın banttır (Y. Wang vd., 2021). Bu bant aralığı protein moleküllerinin C–O gerilmesine atfedilir ve çoğunlukla protein ikincil konformasyonundaki değişikliklere duyarlıdır. Çeşitli protein izolatlarında Amid I bölgesine karşılık gelen tepeler, α -heliks, β -tabaka, β -dönüş ve rastgele bobin yapılarının varlığını doğrulamaktadır (Badjona vd., 2024b). Şekil 4.5’de görüldüğü gibi US-KPKI örneğinde Amid I bandında KPKI örneğine göre kayma olduğu ve pik yoğunluğunun daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir.

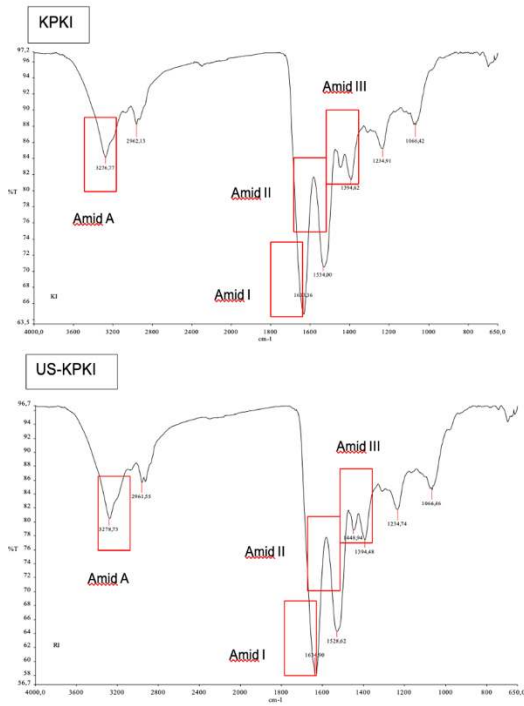
Amid II bandı ($1480\text{--}1580\text{ cm}^{-1}$) N-H ve C-N gerilme titreşimlerinin birleşimi olan karakteristik bölgelerdir. Şekil 4.5’de Amid II bandı incelendiğinde pik spektrumları KPKI örneğinde $1534,00$ olduğu ve US-KPKI örneğinde ise $1528,62'$ e kaydığı görülmüştür. US uygulaması sırasındaki oluşan kaviteasyonlar gibi bozucu kuvvetler bu konformasyonel değişikliklere yol açmış olabilir (Karabulut & Yemiş, 2022).

Amid III ($1450\text{--}1300\text{ cm}^{-1}$) bantları karmaşık titreşim biçimlerinden oluşan karakteristik bölgelerdir (Hadnağev vd., 2018).

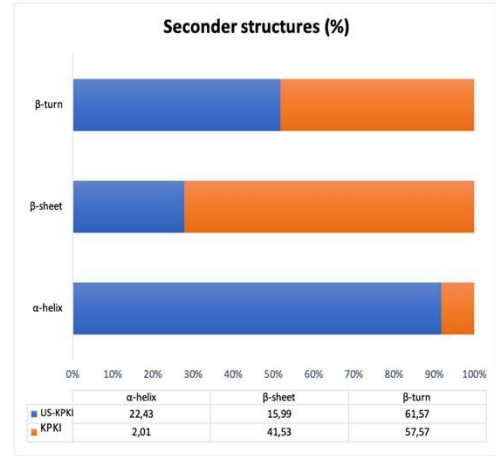
Şekil 4.5b’de sunulan Amid I bandı dekonvolüsyonuna dayalı kantitatif analiz, US-KPKI ve KPKI örneklerinin ikincil yapı dağılımlarının belirgin şekilde farklılaştığını açıkça göstermektedir. α -heliks, β -tabaka ve β -dönüş fraksiyonları birlikte değerlendirildiğinde, ultrases işleminin protein yapısında önemli bir konformasyonel yeniden düzenlemeye neden olduğu görülmektedir. Her iki örnekte de β -dönüş yapılarının baskın olduğu belirlenmiş olup, bu yapıların oranı US-KPKI ve KPKI için sırasıyla $\%61,57$ ve $\%57,57$ olarak hesaplanmıştır. Buna karşılık β -tabaka fraksiyonunun KPKI’da ($\%41,53$), US-KPKI’ya ($\%15,99$) kıyasla belirgin şekilde daha yüksek olduğu, bunun daha düzenli ve etkileşim odaklı yapısal bölgelerin artışı gösterdiği belirlenmiştir. α -heliks içeriğinin US-KPKI’da

%22,43 ve KPKI'da ise %2,01 olduğu belirlenmiştir. Bu durum, sonikasyon işlemi sonucunda helikal düzenin azaldığını ve protein yapısının dönüş ve tabaka ağırlıklı konformasyonlara doğru yeniden organize olduğunu göstermektedir.

İkincil yapıdaki bu değişimin, sonikasyon sırasında meydana gelen kaviteasyon etkisiyle protein yapısındaki amino asit dizileri ve disülfid bağları gibi farklı bölgeler arasındaki bağların kırılması ve bunun sonucunda moleküler yapının yeniden düzenlenmesi ile ilişkili olduğu bildirilmiştir (Malik & Saini, 2018). Sonikasyon etkisinin protein moleküllerinin konformasyonel yapısını değiştirerek FTIR spektrumunda ikincil yapı bölgelerinde farklılıklara yol açtığı belirlenmiştir.



a)



b)

Şekil 4.5. a) Geleneksel ve US destekli ekstraksiyon ile elde edilen protein izolatlarına ait FTIR spektrumu, b) ikincil yapıların yüzdesi

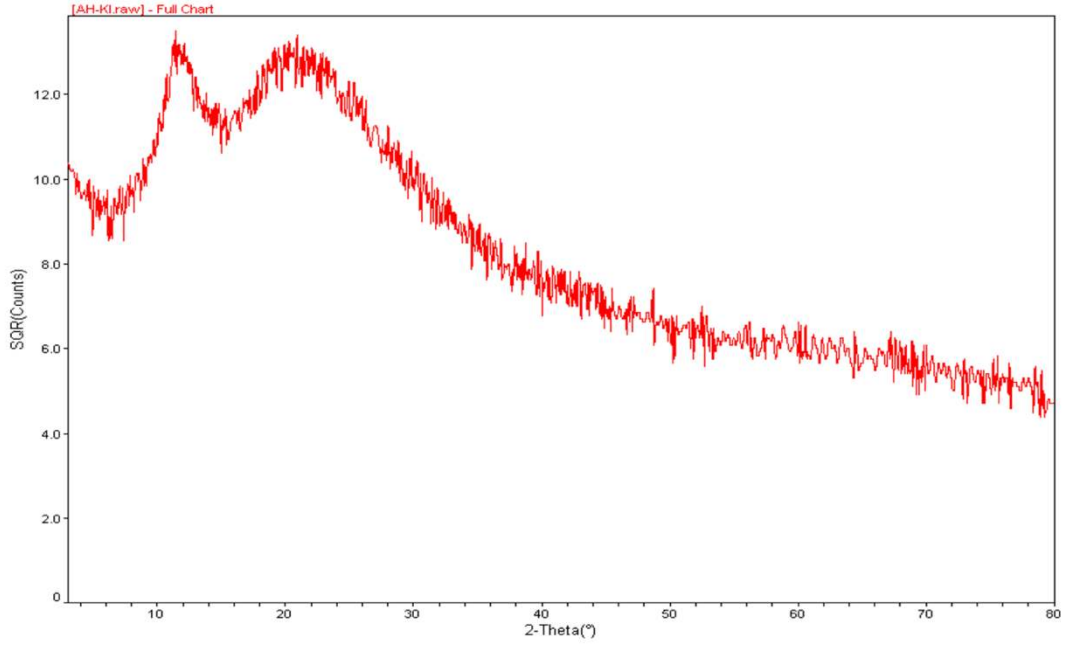
4.3.9. X-ışını kırınımı analizi (XRD)

X-ışını kırınımı (XRD) analizi, kristal ve amorf bölgelerin belirlenmesi ile moleküler düzenin aydınlatılmasına olanak tanımaktadır (Ukkunda vd., 2025). Kayısı çekirdeği pres keki protein izolatlarının faz bileşimini ve kristal yapısal özellikleri araştırmak için X-ışını kırınımı (XRD) kullanılmıştır. Geleneksel ve US destekli ekstraksiyon ile elde edilen protein izolatlarının XRD desenleri, yapısal özellikler hakkında daha fazla bilgi sağlamak amacıyla incelenmiştir.

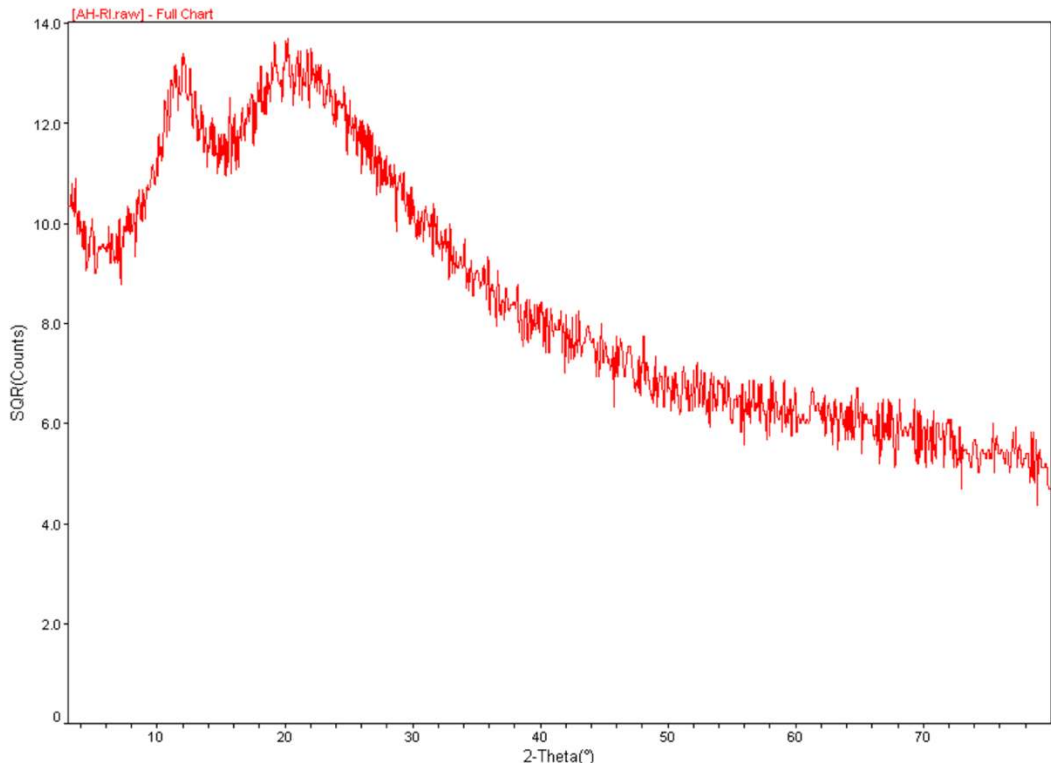
US destekli ve geleneksel yöntemle elde edilen protein izolatlarının difraktogramı Şekil 4.6’da verilmiştir. Her iki örnekte 2-Theta° 12,5 ° ve 20 °’de iki tepe göstermiştir. KPKI ve US-KPKI benzer bir difraktogram gösterse de US-KPKI örneğinde daha yüksek kırınım yoğunluğu görülmektedir. Bu farklılıklar, ekstraksiyon koşullarının XRD desenlerini etkilediğini göstermektedir.

Ayçiçeği unlarından elde edilen izolatların XRD difraktogramları incelendiğinde 2-Theta 10 ° ve 20 °’de iki pik gösterdiği, protein izolatlarının amorf halde olduğu ve US uygulamasının protein izolatlarının kristal boyutunda azalmaya neden olduğu bildirilmiştir (Malik ve Saini, 2018). Yapılan başka bir çalışmada protein izolatlarının XRD profilinde yaklaşık $2\theta = 8,90^\circ$ ve $2\theta = 19^\circ$ ’de bulunan bu iki belirgin tepenin, α -sarmal ve β -tabaka yapıların varlığını gösterdiği belirtilmiştir (Ghobadi vd., 2021). Yapılan çalışmalarda US uygulamasının kırınım yoğunluğunu düşürdüğü ve daha az kristal yapı gösterdiği bildirilmektedir (Badjona vd., 2024b; Ghobadi vd., 2021; Malik & Saini, 2018). Ancak bu çalışmada, US uygulamasının XRD desenleri üzerinde belirgin bir etkisi gözlemlenmemiştir. Bu durum, uygulanan US koşullarının (genlik, süre, katı oranı) proteinlerin kristalin yapısını bozmak için yeterli düzeyde olmaması, kayısı çekirdeği proteinlerinin yapısal olarak daha dirençli olması ya da kurutma gibi sonraki işlemlerin kristalin yapıların yeniden düzenlenmesine yol açması ile açıklanabilir. Ayrıca, literatürde pH değiştirme, yüksek basınçlı homojenizasyon ve hafif termal sonikasyon gibi işlemlerin proteinlerin üç boyutlu yapılarını değiştirerek daha düzensiz kristalin formların oluşumunu teşvik ettiği bildirilmiştir (Karabulut vd., 2024). Bu bağlamda, çalışmamızda kullanılan ekstraksiyon yöntemi, bu tür yapısal dönüşümlerin oluşması için yeterince kuvvetli olmayabileceğinden, US’nin kristalin yapı üzerindeki etkisi sınırlı kalmış olabilir.

KPKI



US-KPKI



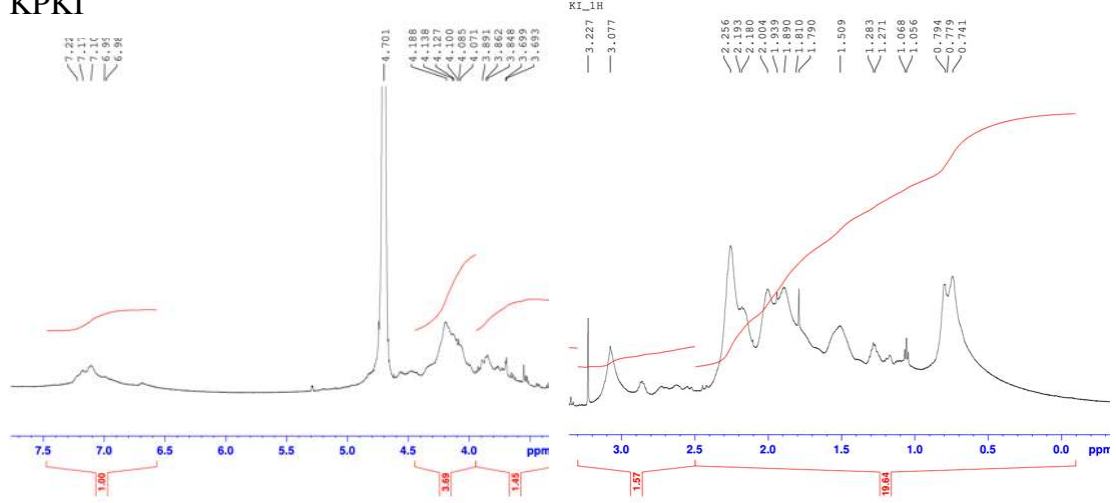
Şekil 4.6. Geleneksel ve US destekli ekstraksiyon ile elde edilen protein izolatlarına ait XRD spektrumu.

4.3.10. Proton Nükleer Manyetik Rezonans (^1H NMR)

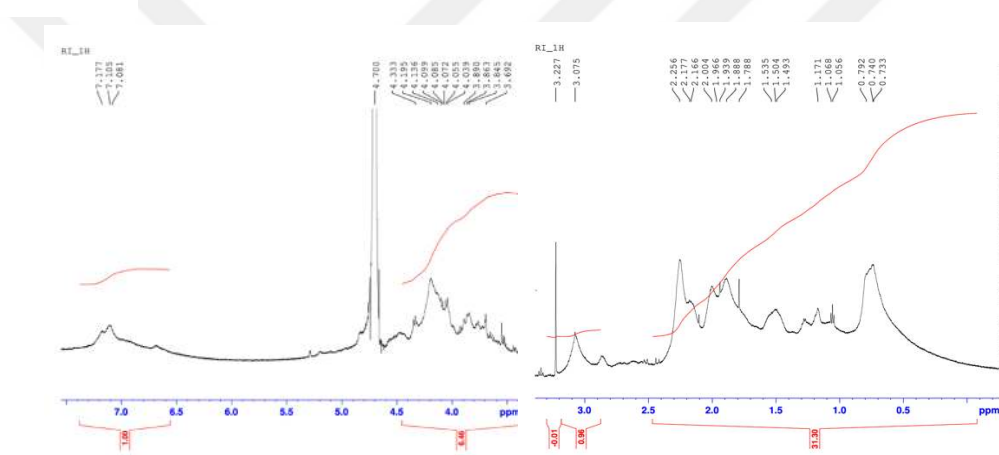
Nükleer manyetik rezonans (NMR) spektroskopisi, proteinlerin yapı, etkileşim ve dinamiklerini atomik düzeyde analiz etmeye olanak tanıyan güçlü bir yöntemdir (Hu vd., 2021). Kayısı çekirdeğinden geleneksel yöntem ve US destekli ekstraksiyon yöntemiyle elde edilen protein izolatlarında, protein salınımının dinamiklerini ve US destekli ekstraksiyon ile geleneksel ekstraksiyonun mekanizmaları kapsamlı bir şekilde anlamak için incelenen NMR spektrumları Şekil 4.7’de verilmiştir.

NMR tekniği, gıdalardaki amino asit bileşiminin detaylı olarak incelenmesine olanak sağlayarak kimyasal kaymaları göstermektedir (Daniloski vd., 2023). Şekil 4.7’de görüldüğü üzere, KPKI örneğinde 0,70, 1,06, 1,27, 1,51, 1,8–2,6, 3,0, 3,2, 3,7–4,2, 4,7 ve 6,98–7,22 ppm aralığında çeşitli sinyaller (pikler) tespit edilmiştir. US-KPKI örneğinde ise 1,271 ve 1,283 ppm’de gözlenen pikler bulunmazken, yalnızca bu örneğe özgü olarak 1.493 ve 1.535 ppm’de yeni sinyaller ortaya çıkmıştır. Sai-Ut vd., (2024) yaptıkları çalışmada 1,49 ppm’deki pikin alanine ait olduğunu bildirmişlerdir. Bu sonuç ileriki bölümlerde verilen amino asit sonucuyla da birbirini doğrulamaktadır. Ayrıca, 3.227 ppm’deki sinyalin yoğunluğunun US-KPKI örneğinde daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Bu bulgular, US işleminin protein yapısında bazı değişikliklere neden olabileceğini düşündürmektedir. Benzer şekilde, Consonni vd., (2011) tarafından yapılan bir çalışmada Amarone şarabı analiz edilmiş ve lösün için 0,88, 1,44 ve 3,37 ppm; treonin için 1,42 ve 4,38 ppm; alanin için 1,45 ve 3,65 ppm; prolin için ise 2,01, 2,08, 2,35, 3,38 ve 4,11 ppm’de karakteristik ^1H NMR sinyalleri gözlemlenmiştir. Bu sonuçlar, belirli amino asitlerin NMR spektrumlarında ayırt edilebilir kimyasal kayma değerlerine sahip olduğunu göstermektedir.

KPKI



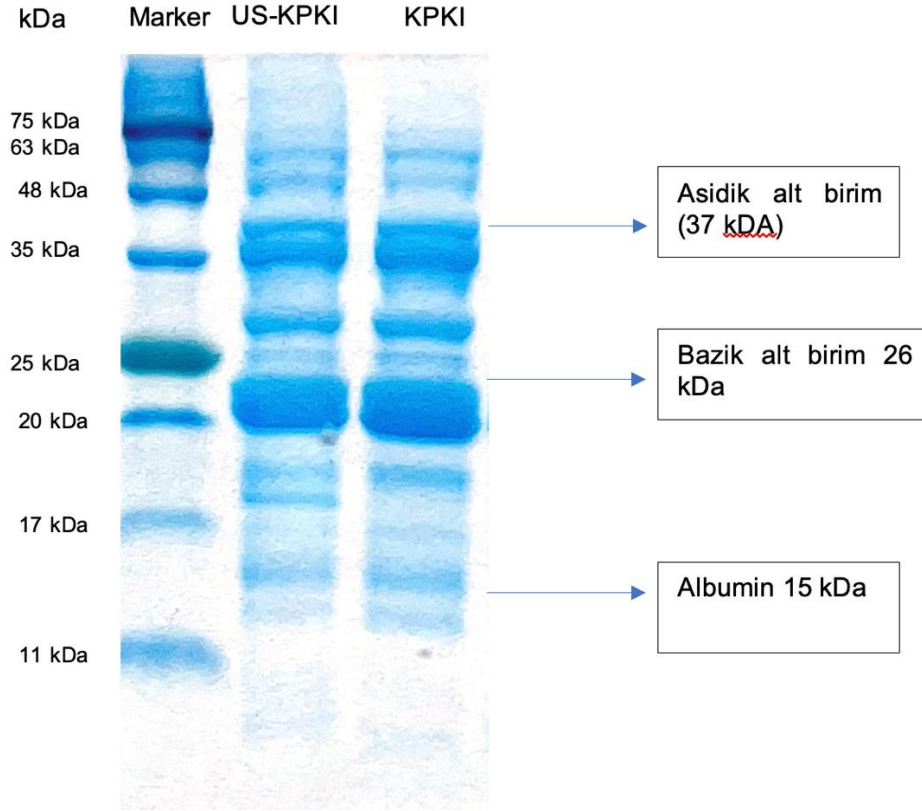
US-KPKI



Şekil 4.7. Geleneksel yöntemle (KPKI) ve US destekli ekstraksiyon (US-KPKI) ile elde edilen protein izolatlarına ait NMR spektrumu.

4.3.11. Moleküler ağırlık dağılımı (SDS-PAGE)

US destekli ve geleneksel yöntemle elde edilen protein izolatlarının birincil yapıdaki farklılıklarını incelemek için SDS-PAGE yapılmıştır ve Şekil 4.8’de gösterilmektedir. Şekil 4.8’de görüldüğü üzere protein bantları 11 kDa ile 75 kDa arasında sıralanmıştır. Özellikle 20-25 kDa ve 35-48 kDa arasındaki bantlarda belirgin yoğunluklar gözlemlenmiştir. Ayrıca 20-25kDa arasındaki yoğun banda ait alt birimler 17-20 kDa arası sıralanmıştır ve US destekli ekstraksiyon ile elde edilen protein izolatında gözlemlenirken geleneksel yöntemle elde edilen protein izolatında görülmemiştir. Söz konusu etki, US’nin neden olduğu kaviteasyon ve mekanik kesme kuvvetleriyle ilişkili olabilir. Ancak, bu bulgunun yalnızca belirli bantlarda sınırlı olması nedeniyle, protein moleküllerinin genel yapısal bütünlüğü üzerine etkilerine yönelik daha kapsamlı analizlere ihtiyaç duyulmaktadır.



Şekil 4.8. Geleneksel yöntemle ve US destekli ekstraksiyon ile elde edilen protein izolatlarına ait SDS-PAGE bandları.

Benzer şekilde, bakla fasulyesi protein izolatı (FBPI) üzerine yapılan bir çalışmada, US parametrelerinin birincil yapı üzerindeki etkileri incelenmiş ve sonikasyon sırasında oluşan kayma gerilimlerinin ve türbülansların, peptit bağlarını kırarak düzeyde olmadığı rapor edilmiştir (Badjona vd., 2024b). US ekstraksiyonu ile elde edilen bakla fasulyesi protein izolatının SDS-PAGE analizinde, uygulanan sonikasyon koşullarının proteinlerin birincil yapısında bir değişikliğe neden olmadığı, alt birim bileşiminin zamana bağlı olarak sabit kaldığı gözlemlenmiştir. Bu durum, uygulanan US işleminin makromoleküllerin birincil yapısını bozacak yeterlilikte olmadığını ortaya koymaktadır (Badjona vd., 2024a).

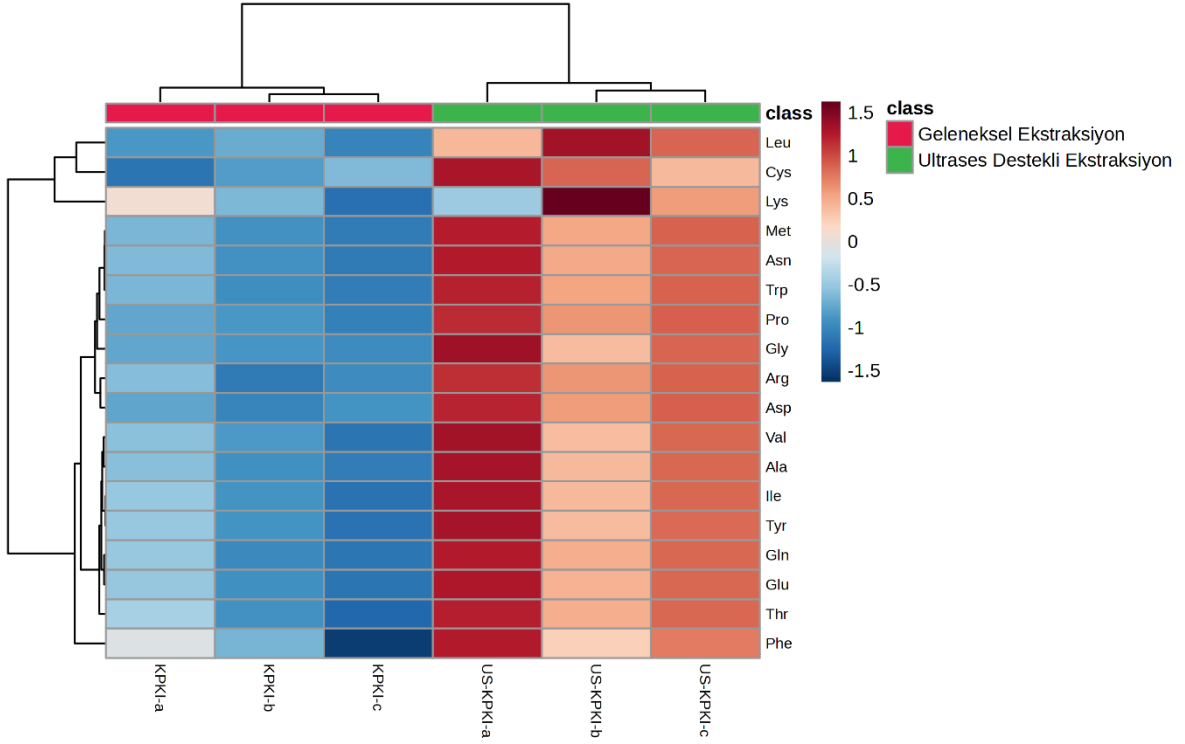
4.3.12. Aminoasit Analizi

Geleneksel ekstraksiyon (KPKI) ve US destekli ekstraksiyon (US-KPKI) yöntemleriyle elde edilen protein izolatlarının amino asit profilleri arasındaki farklılıklar Şekil 4.9'da ısı haritasında verilmiştir. Renk skalası, amino asit düzeylerinin normalize edilmiş değerlerini temsil etmekte olup; kırmızı tonlar yüksek, mavi tonlar ise düşük yoğunlukları ifade etmektedir. Toplam 18 aminoasitten 8'i esansiyel Lösin (Leu), Lizin

(Lys), Metiyonin (Met), Triptofan (Trp), Valin (Val), İzolösin (Ile), Treonin (Thr), Fenilalanin (Phe), 10'u ise esansiyel olmayan Sistein (Cys), Asparajin (Asn), Prolin (Pro), Glisin (Gly), Arjinin (Arg), Aspartik asit (Asp), Alanin (Ala), Tirozin (Tyr), Glutamin (Gln), Glutamik asit (Glu) aminoasittir.

Isı haritasında US-KPKI grubu örneklerinde daha fazla sayıda amino asitte pozitif (kırmızı tonlarda) yoğunluklar gözlenmiştir. Bu durum, US işleminin protein yapısında bulunan amino asitleri serbest hale getirme veya daha fazla ekstrakte etme konusunda etkili olduğunu göstermektedir. Özellikle lösin (Leu), sistein (Cys), lizin (Lys), metiyonin (Met), triptofan (Trp) gibi esansiyel amino asitlerde US-KPKI grubuna ait örneklerde daha yüksek miktarda tespit edilmiştir. Buna karşın, geleneksel ekstraksiyon ile elde edilen KPKI örnekleri, genel olarak mavi tonlarda olup, amino asit yoğunluklarının daha düşük olduğunu görülmektedir. Özellikle aspartik asit (Asp), glutamik asit (Glu), glisin (Gly), alanin (Ala) gibi esansiyel olmayan amino asitlerde, geleneksel ekstraksiyonun sınırlı verim sağladığı görülmektedir. Ayrıca, hiyerarşik kümelemenin de US-KPKI ve KPKI örneklerinde kendi içinde kümелendiğı ve 2 ayrı grup oluşturduğu görülmektedir. Bu durum, ekstraksiyon yönteminin amino asit profili üzerinde sistematik ve ayırt edici bir etki yarattığını desteklemektedir.

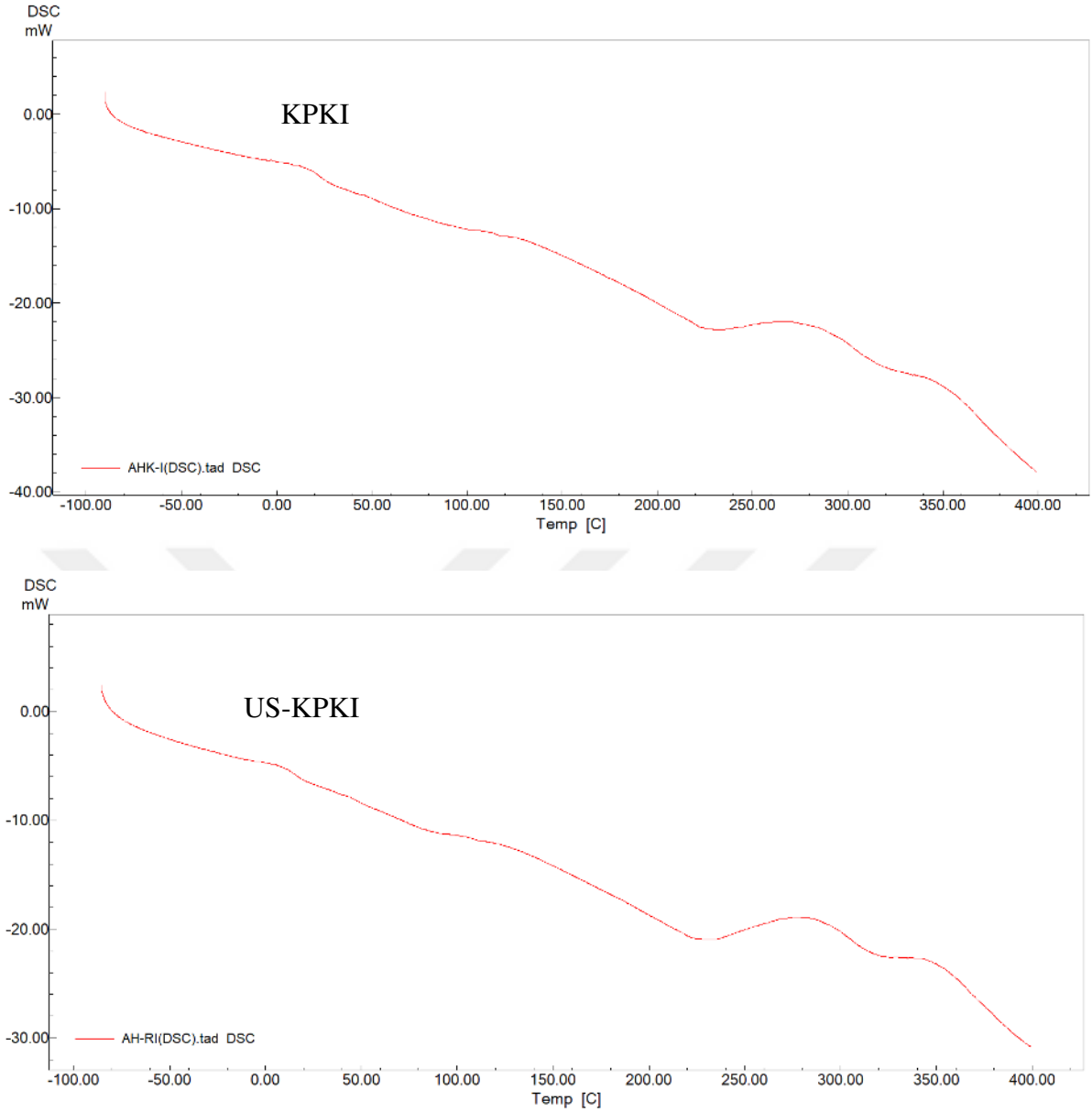
Yulaf protein izolatları ile ilgili yapılan bir çalışmada US uygulaması ile aminoasit içeriğinde azalma görüldüğü ve US uygulamasının yulaf protein izolatlarının besinsel değerini azalttığı bildirilmiştir (Rafique vd., 2025). Kenevir protein izolatlarıyla ilgili başka bir çalışmada US uygulaması ile birlikte toplam aminoasit içeriğinin arttığı tespit edilmiştir (Rawat & Saini, 2023). Singh vd., (2025) perilla protein izolatlarının US ile optimizasyonunu incelediğı çalışmaları, US uygulamasının protein izolatlarının amino asit profili üzerinde önemli etkiler gösterdiği, uygulama sonrası amino asit miktarının arttığını bildirmişlerdir. US uygulamasının amino asit içeriğı üzerindeki genel etkisi, protein türüne, US yoğunluğuna ve ekstraksiyon için kullanılan saf protein ya da hücre matrisi gibi substrat tipine bağılı olarak değışkenlik gösterdiği söylenebilir (Rahman & Lamsal, 2021).



Şekil 4.9. Geleneksel ve US destekli ekstraksiyon yöntemleriyle elde edilen kayısı çekirdeği protein izolatlarının amino asit profiline ait ısı haritası (Heatmap) grafiği.

4.3.13. Diferansiyel Taramalı Kalorimetri (DSC)

Termal kararlılık, proteinlerin işlevsel özelliklerini doğrudan etkileyen kritik bir parametredir ve gıda sistemlerinde kullanım potansiyellerini belirlemede önemli rol oynamaktadır. Gıda üretim süreçlerinin çoğunda çeşitli ısı işlem basamaklarının bulunması nedeniyle, proteinlerin bu koşullardaki davranışlarının anlaşılması büyük önem taşımaktadır (Badjona vd., 2024a). Bu çalışmada proteinlerin termal davranışları, Diferansiyel Taramalı Kalorimetri (DSC) yöntemi kullanılarak analiz edilmiştir. DSC, proteinlerin denatürasyon sürecinde meydana gelen entalpi değişimini ve denatürasyon sıcaklığını (Td) hassas biçimde belirleyebilmektedir. Denatürasyon sıcaklığı, proteinin üçüncül yapısının bozulduğu kritik sıcaklık olarak tanımlanır ve endotermik bir tepe noktası şeklinde DSC termogramlarında gözlemlenir. Bu tepe noktasının yüksekliği ve konumu, proteinin termal kararlılığı hakkında doğrudan bilgi vermektedir.



Şekil 4.10. Geleneksel ve US destekli ekstraksiyon yöntemleriyle elde edilen kayısı çekirdeği protein izolatlarının Diferansiyel Taramalı Kalorimetri (DSC) termogramları.

KPKI ve US-KPKI yöntemleriyle elde edilen protein izolatlarının DSC termogramları Şekil 4.10'da sunulmuş ve birden fazla endotermik geçiş sergilediği belirlenmiştir. Düşük sıcaklık bölgesinde (yaklaşık 70–110 °C) gözlemlenen termal olayların, bitki protein izolatları için bildirilen tipik denatürasyon aralığıyla uyumlu olarak protein yapısal geçişlerine ve denatürasyonla ilişkili süreçlere atfedildiği bildirilmiştir (Malik vd., 2017). Denatürasyonla ilişkili geçiş sıcaklığı KPKI için 114,76 °C, US-KPKI için ise 89,09 °C olarak belirlenmiş olup, sonikasyon işlemi sonrasında daha düşük bir denatürasyon sıcaklığına geçiş olduğu gözlemlenmiştir. Denatürasyon sıcaklığındaki bu azalmanın, ultrases işleminin protein izolatlarında konformasyonel değişikliklere yol açarak

termal davranış üzerinde değişime neden olabileceğini düşündürdüğü belirtilmiştir (J. Cao vd., 2025; Gul vd., 2025). Bu yorum, sonikasyon sonrasında ikincil yapıda belirgin bir yeniden dağılımı ortaya koyan FTIR dekonvolüsyon sonuçlarıyla desteklenmiş olup, bu yeniden dağılımın β -tabaka içeriğinde azalma ve α -heliks ile β -dönüş yapılarında artış ile karakterize olduğu bildirilmiştir (Şekil 4.5b). β -tabaka açısından zengin konformasyonların genellikle daha düzenli ve termal olarak daha dirençli yapılarla ilişkili olduğu dikkate alındığında, bu yapıların azalması ve yapısal esnekliğin artmasının, açılma için gereken termal enerjiyi düşürerek S-PI örneklerinde gözlenen daha düşük Td değerine katkı sağlamış olabileceği düşünülmektedir.

Termal kararlılığın, proteinlerin fonksiyonel özelliklerini doğrudan etkileyen ve gıda sistemlerinde kullanım potansiyelini belirlemede önemli bir parametre olduğu bildirilmiştir. Gıda üretim süreçlerinin büyük bir kısmının çeşitli termal işlem adımlarını içerdiği göz önüne alındığında, proteinlerin bu koşullar altındaki davranışlarının anlaşılmasının kritik öneme sahip olduğu vurgulanmıştır taşımaktadır (Badjona, Bradshaw, vd., 2024a). Mevcut çalışmada sonikasyon uygulanan örnekte denatürasyonla ilişkili geçişin daha düşük sıcaklığa kaydığı gözlemlenmiş olmakla birlikte, genel termogramlarda yüksek sıcaklık bozunmasına ait geçişlerin daha erken bir başlangıç göstermediği belirlenmiştir. Bu durum, ultrases uygulamasının erken bozunma açısından belirgin bir termal dengesizlik oluşturmada yalnızca konformasyonel organizasyonu değiştirdiğini göstermiştir. Ricci vd., (2018), baklagil proteinleri üzerinde yaptıkları çalışmada protein saflığı %30–88 aralığında azaldıkça hem termal stabilitenin hem de camsı geçiş sıcaklığının azaldığını bildirmiştir. Bununla birlikte, denatürasyon sıcaklığının protein saflığına veya kaynağına bağlı olmadığı, ancak yalnızca %60'ın üzerindeki saflık seviyelerinde bozunma sıcaklığından daha düşük değerler gösterdiği rapor edilmiştir.

4.4. *Cyclotrichium niveum* Bitkisinde ve Esansiyel Yağında Uçucu Bileşen Sonuçları

Lamiaceae familyasına ait olan *Cyclotrichium* Manden. & Scheng. cinsi, Türkiye florasında ikisi endemik olmak üzere beş türle temsil edilmekte olup, *C. niveum* bu endemik türlerden biridir. *Cyclotrichium* bitkileri geleneksel olarak yiyecek ve bitki çaylarında aroma verici olarak ve ayrıca yatıştırıcı, rahatlatıcı, gaz giderici ve solunum yolu rahatsızlıklarını tedavi edici özellikleri nedeniyle kullanılmaktadır (Guzel vd., 2017). *Cyclotrichium niveum* bitkisinden Clevenger aparatı ile yapılan hidrodistilasyon sonucu yaklaşık %4,1 verimle

renksiz bir esansiyel yağ elde edilmiştir. Bitkide ve esansiyel yağında GC-MS ile uçucu bileşen analizi yapılmış ve Çizelge 4.4’de verilmiştir.

Bitkinin ve esansiyel yağın GC-MS ile uçucu bileşen tanımlanması sonucu 31 bileşenin varlığı saptanmıştır. Bu bileşenler arasında esansiyel yağın %53,20’si isopulegone, %22,09’u 6-octenik asit, 3,7-dimethyl- ve %11,75 p-menthone bulunmuştur. Bitkinin kendisinde ise bu bileşenler sırasıyla %48,58, 17,32 ve 0,43 olarak tespit edilmiştir. Ayrıca p-Menth-4-en-3-one ise esansiyel yağda %0,10 bulunurken bitkide %26,67 bulunmuştur.

Diğer bir endemik tür olan *C. Origanifolium* esansiyel yağında, toplam 24 uçucu bileşen tanımlandığı ve en baskın bileşenlerin sırasıyla %52,4 isomenthone, %23,4 pulegone ve %9,5 β -pinene olduğu bildirilmiştir (Aydın vd., 2025). Yapılan başka bir çalışmada *C. Niveum*’dan %0,8 verimle açık sarı renkte esansiyel yağ elde edildiği ve tespit edilen 32 bileşen arasında en fazla sırasıyla %49,23 pulegone ve %15,2 isomenthone bulunduğu bildirilmiştir (Figueredo vd., 2019).

4.5. Esansiyel Yağın Antimikrobiyal Aktivitesi

Esansiyel yağların antibakteriyel etkinliği, terpenler, fenolikler ve aldehytler gibi hücre zarından geçiş yaparak zar bütünlüğünü bozup hücre ölümüne yol açabilen fitokimyasalların sinerjik etkisine atfedilmektedir (Aydın vd., 2025). *C. niveum* bitkisinde de antimikrobiyal analiz gerçekleştirilerek farklı mikroorganizmalara karşı gösterdiği inhibisyon Çizelge 4.6’da verilmiştir.

Esansiyel yağın antimikrobiyal aktivitesi incelendiğinde, farklı mikroorganizmalara karşı değişen düzeylerde inhibisyon gösterdiği belirlenmiştir. *Staphylococcus aureus* ATCC 43300 suşunda $20,25 \pm 1,26$ mm ile en yüksek inhibisyon çapının elde edilmiştir. Bu sonuç *C.niveum* esansiyel yağın özellikle Gram-pozitif bakterilere karşı daha etkili olduğunu ortaya koymaktadır. Benzer şekilde *Listeria monocytogenes* ATCC 7644 de yüksek inhibisyon çapı ($17,36 \pm 1,01$ mm) göstermiştir ve bu durumu desteklemektedir. Gram-negatif bakterilerde ise daha düşük inhibisyon çapları gözlenmiştir (*E. coli* O157:H7 ATCC 43895: $15,67 \pm 0,81$ mm; *Salmonella Typhimurium* 14028: $14,81 \pm 0,47$ mm). *Penicillium chrysogenum* 10106 ve *Aspergillus parasiticus* NRLL 2999 suşlarında da antimikrobiyal aktivite sırasıyla $14,23 \pm 1,07$ mm ve $16,97 \pm 0,67$ mm olarak tespit edilmiştir.

Çizelge 4.5. *Cyclotrichium niveum* esansiyel yağ ve bitkisindeki uçucu bileşikler (%).

Bileşik	<i>Cyclotrichium niveum</i> Esansiyel Yağı	<i>Cyclotrichium niveum</i> Bitkisi
α -Pinene, (-)-	0,64	TE
β -Pinene	0,60	0,13
Sabinene	0,18	0,28
β -Myrcene	0,38	TE
l-Limonene	2,15	1,56
1,8-Cineole	4,61	2,58
p-Menthone	11,75	0,43
p-Menth-4-en-3-one	0,10	26,67
Linalool	0,06	TE
4-Terpineol	0,03	TE
Isopulegone	53,20	48,58
Germacrene	0,02	0,10
2-Isopropyl-2,5-dimethyl-cyclohexanone	0,52	0,76
Piperitone	0,06	0,11
Geranyl acetate	0,01	TE
β -Citronellol	0,02	TE
Linalool oxide	0,03	TE
trans-2-Decenal	TE	0,22
2-Cyclohexen-1-one, 3-methyl-6-(1-methylethenyl)-, (S)-	0,03	TE
2,3-Dioxabicyclo[2.2.2]oct-5-ene, 1-methyl-4-(1-methylethyl)-	0,05	TE
5-Isopropyl-6-methyl-hepta-3,5-dien-2-ol	0,02	0,20
Chrysantenone	0,32	0,19
1-Undecyne (CAS)	TE	0,09
6-Octenoic acid, 3,7-dimethyl-	22,09	17,32
Exo-isocamphonone	2,71	TE
Pinocampheol	0,02	TE
(+) Spathulenol	0,42	TE
Bicyclogermacrene	TE	0,15
Thymol	0,02	TE

TE: Tespit edilemedi

Elde edilen sonuçlar, esansiyel yağın antimikrobiyal etkinliğinin mikroorganizma türüne bağlı olarak değiştiğini ve özellikle Gram-pozitif bakteriler üzerinde daha belirgin olduğunu göstermektedir.

Aydın vd., 2025, *C. Origanifolium* esansiyel yağının *P. aeruginosa* (ATCC 9070) ve *E. faecalis* (ATCC 49452) üzerinde önemli bir inhibitör etki gösterdiğini bildirmişlerdir.

Yapılan başka bir çalışmada, *Cyclotrichium niveum* esansiyel yağının *Klebsiella pneumoniae* and *Staphylococcus aureus* üzerinde sırasıyla 48,00 ve 47,00 mm inhibisyon zonu oluşturduğu ve antimikrobiyal aktivite gösterdiği bildirilmiştir (Alim vd., 2014). Ghavam vd., (2022), *S. aureus*'a karşı en yüksek inhibisyonun *T. daenensis* uçucu yağı ile (39 ± 1 mm) elde edildiğini ve bu etkinin rifampin ve gentamisinden daha yüksek olduğunu bildirmiştir.

Çizelge 4.6. *Cyclotrichium niveum* esansiyel yağının farklı mikroorganizmalara karşı inhibisyonu.

Mikroorganizma	İnhibisyon Çapı (mm)
<i>Aspergillus parasiticus</i> NRLL 2999	16,97±0,67
<i>Penicillium chrysogenum</i> 10106	14,23±1,07
<i>Salmonella typhimurium</i> 14028	14,81±0,47
<i>Staphylococcus aureus</i> ATCC 43300	20,25±1,26
<i>Escherichia coli</i> O157:H7 ATCC 43895	15,67±0,81
<i>Listeria monocytogenes</i> ATCC 7644	17,36±1,01

4.6. 3B Yazıcı ile Yazdırılan Filmlerin Optimizasyonu

Protein izolatu (%), Esansiyel yağ (%) ve gliserol ile hazırlanan film oluşturma çözeltisi ile elde edilen filmlerin optimizasyonu istatistiksel yanıt yüzey metodu kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla Box-Behnken deneysel tasarımı kullanılarak 15 farklı deneme dizaynı uygulanmıştır. 3 farklı bağımsız değişkenin antioksidan ve yazdırılabilirlik olmak üzere 2 yanıt değişkeni üzerindeki etkisi değerlendirilmiştir. Çizelge 4.7’de Box-Behnken deney tasarımı gösterilmektedir.

Çizelge 4.7’de görüldüğü gibi antioksidan aktivite %16,67-85,43 arasında değişmektedir. En yüksek antioksidan aktivite %10 protein izolatu, %2 esansiyel yağ ve %20 gliserol oranı ile elde edilmiştir. Yazdırılabilirlik ise 2,8-10,0 arasında değişmektedir. En yüksek yazdırılabilirlik değerinin ise %5,5 protein izolatu, %2 esansiyel yağ ve %20 gliserol oranı ile elde edildiği görülmektedir.

Çizelge 4.8’de antioksidan aktivite ve yazdırılabilirlik oranına ait model uygunluklarının varyans analizi (ANOVA) sonuçları verilmiştir. Değerlendirmelerde *P* değeri, *F* değeri, *R*² ve düzeltilmiş *R*² (Adj-*R*²) değerleri dikkate alınmıştır.

Antioksidan aktivite için modelin belirleme katsayısı (R^2) 0,9588, düzeltilmiş R^2 değeri ise 0,9476 olarak hesaplanmıştır. Bu sonuçlar, modelin antioksidan aktivite üzerindeki değişimi %95,58 oranında açıkladığını ve gereksiz model terimleri çıkarıldığında dahi %94,76 oranında açıklayıcılığını koruduğunu göstermektedir (Şekil 4.11). Modelin uyum eksikliği P değeri 0,2215 olarak tespit edilmiş ve bu değerin 0,05'ten büyük olması nedeniyle önemsiz, yani modelin uygunluğu açısından olumlu bulunmuştur. Ayrıca, antioksidan için modelin P değeri ise $<0,0001$ bulunmuştur. Bu da modelin istatistiksel olarak anlamlı ve güvenilir olduğunu göstermektedir.

Yazdırılabilirlik için R^2 değeri 0,9888, düzeltilmiş R^2 değeri ise 0,9687 olarak belirlenmiştir. Bu model, kuadratik model ile tanımlanmıştır. Sonuçlar, modelin yazdırılabilirlik varyasyonunu %98,88 oranında açıkladığını ve gereksiz terimler çıkarıldığında bu oranın %96,87'e düştüğünü göstermektedir (Şekil 4.11). Modelin uyum eksikliği P değeri 0,0748 ile önemsiz bulunmuş, bu da modelin veriye iyi uyum sağladığını göstermektedir. Modelin genel P değeri ise 0,0002 olup, istatistiksel olarak anlamlı kabul edilmiştir ($P < 0,05$).

Çizelge 4.7. Box-Behnken deneysel tasarımında tahmini ve gerçek değerler.

Faktörler (Bağımsız Değişkenler)				Yanıtlar (Bağımlı Değişkenler)					
	Protein İzolatı (%)	Esansiyel Yağ (%)	Gliserol (%)	ABTS (% İnhibisyon)			Yazdırılabilme Derecesi (Skor)		
				Gerçek	Tahmini	Bağlı Hata	Gerçek	Tahmini	Bağlı Hata
1	5,5	1,25	20	48,99	47,25	1,74	10,0	9,63	3,70
2	5,5	1,25	20	43,18	47,25	-4,07	9,0	9,63	1,73
3	1	1,25	30	17,29	9,42	7,87	5,0	4,72	5,60
4	10	2	20	85,43	83,18	2,25	4,0	4,26	-6,50
5	1	0,5	20	16,67	11,32	5,35	7,0	7,38	-5,43
6	1	2	20	19,46	25,29	-5,83	5,8	5,51	-5,00
7	1	1,25	10	24,34	27,20	-2,86	6,3	6,48	-2,86
8	5,5	2	10	72,45	63,12	9,33	5,8	5,86	-1,03
9	5,5	0,5	30	28,22	31,38	-3,16	5,0	4,9	2,00
10	10	1,25	10	83,57	85,09	-1,52	2,8	2,95	-5,36
11	5,5	0,5	10	43,8	49,16	-5,36	6,0	6,43	-7,17
12	5,5	1,25	20	44,81	47,25	-2,44	9,7	9,63	0,72
13	10	0,5	20	73,02	69,21	3,81	2,9	2,64	8,97
14	10	1,25	30	67,29	67,30	-0,01	3,3	3,45	-4,55
15	5,5	2	30	40,23	45,34	-5,11	3,8	3,64	4,21

Çizelge 4.8. Antioksidan aktivite ve yazdırılabilirlik derecesine ait model uygunluğu varyans analizi.

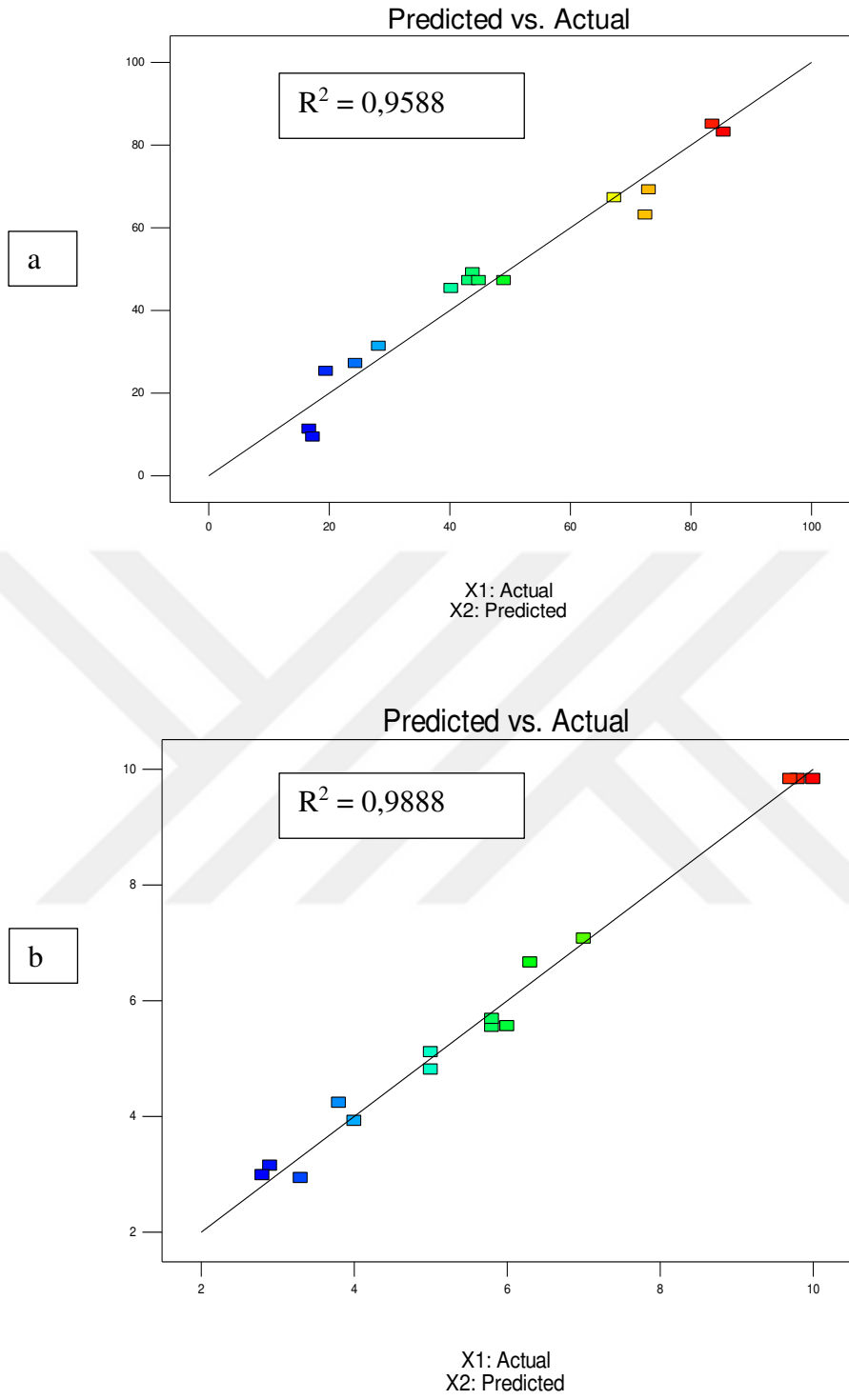
Kaynak	Antioksidan (ABTS, % İnhibisyon)					Yazdırılabilirlik Derecesi				
	Liner model					Kvadratik Model				
	Kareler Toplamı	sd	Ortalama Kare	F Değeri	P Değeri	Kareler Toplamı	sd	Ortalama Kare	F Değeri	P Değeri
Model	7724,40	3	2574,80	85,32	< 0,0001	81,83	9	9,09	49,19	0,0002
A – Protein İzolatı (%)	6701,93	1	6701,93	222,09	< 0,0001	15,40	1	15,40	83,33	0,0003
B – Esansiyel Yağ (%)	390,04	1	390,04	12,93	0,0042	0,28	1	0,28	1,52	0,2722
C – Gliserol (%)	632,43	1	632,43	20,96	0,0008	1,81	1	1,81	9,77	0,0261
A²						30,08	1	30,08	162,73	< 0,0001
B²						15,58	1	15,58	84,29	0,0003
C²						25,52	1	25,52	138,09	< 0,0001
AB						1,32	1	1,32	7,16	0,0441
AC						0,81	1	0,81	4,38	0,0905
BC						0,25	1	0,25	1,35	0,2973
Hata						259,55	10	26,96		
Model Uyumsuzluğu	313,99	9	34,89	3,88	0,2215	0,88	3	0,29	12,54	0,0748
Saf Hata	17,96	2	8,98			0,047	2	0,023		
Toplam varyans	8056,35	14				82,76	14			
R²				0,9588					0,9888	
Düzenlenmiş R²				0,9476					0,9687	
Varyans Katsayısı %				11,63					0,8291	

Model denklemlerinin istatistiksel olarak anlamlı ve yeterli bulunmasının ardından, her bir parametrenin diğerleriyle olan etkileşimi ve bu etkileşimlerin yanıt değişkenleri üzerindeki etkisi, iki ve üç boyutlu (2B ve 3B) cevap yüzey grafikleri Design Expert programı kullanılarak görselleştirilmiş ve grafikler üzerinden yorumlanmıştır. Bu grafikler, deneysel faktörler arasındaki etkileşimleri görsel olarak inceleme imkanı sunmaktadır. Her bir 3B yüzey grafiği, iki bağımsız değişkenin tepkideki etkisini ortaya koyarken, üçüncü değişken sabit tutulmuştur. Deney tasarımıdaki 2 cevap üzerine oluşturulan grafikler Şekil 4.12 ve 4.13’de verilmiştir.

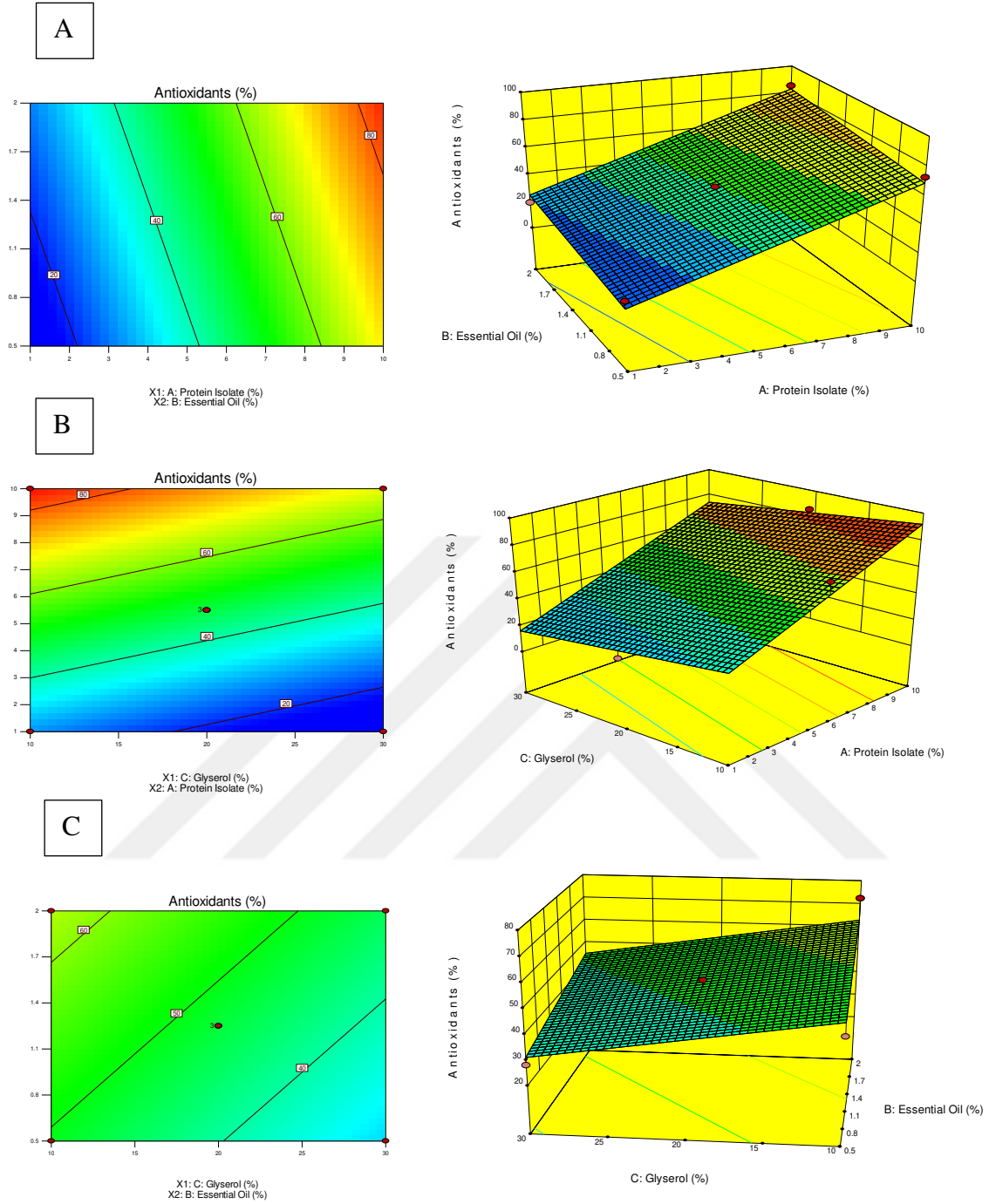
Şekil 4.12’de A olarak verilen 2B ve 3B grafiklerde, protein izolatu ve esansiyel yağ oranının artışıyla beraber, 3B yazıcıda yazdırılan filmlerde antioksidan aktivitenin arttığını göstermiştir. Bu durum, protein izolatu ile esansiyel yağ faktörü arasında pozitif yönlü bir ilişki bulunduğunu ve ayrıca Çizelge 4.8’de sunulduğu üzere modelin lineer yapıda olduğunu göstermektedir.

Şekil 4.12’de B olarak verilen 2B ve 3B grafiklerde, A’dakine benzer şekilde düz eğimli bir düzlem şeklinde olup lineer modeli göstermiştir. Protein izolatu oranının artmasıyla antioksidan aktivitenin arttığı görülmektedir. Grafiklerde çizgilerinin paralel ve düzenli bir dağılım göstermesi, faktörlerin yanıt üzerindeki etkisinin lineer karakterde olduğunu ortaya koymaktadır. Benzer şekilde, 3B yüzey grafiğinde gözlenen düzgün ve eğimli düzlem yapısı da modelin lineer olduğunu desteklemektedir. Bu bulgular, yanıt değişkenindeki değişimin faktör seviyelerindeki artışa doğrusal olarak bağlı olduğunu ve elde edilen verilerin lineer model ile yeterli düzeyde temsil edildiğini göstermektedir.

Şekil 4.12’de C olarak verilen 2B ve 3B grafikler de, bağımsız değişkenlerin yanıt üzerindeki ortak etkisini göstermektedir. 2B grafikte çizgilerinin birbirine paralel ve düzenli bir dağılım sergilemesi, incelenen değişkenler ile yanıt arasında doğrusal bir ilişki bulunduğunu ortaya koymaktadır. Kontur çizgilerinde belirgin bir eğrilik gözlenmemesi, kuadratik terimlerin etkisinin sınırlı olduğunu ve modelin lineer olduğunu göstermektedir. Grafiklerde renk geçişlerinin düzenli bir eğilim göstermesi, yanıt değerinin faktör seviyelerine bağlı olarak kademeli bir değişim sergilediğini ve ani artış veya azalışların bulunmadığını ortaya koymaktadır. Grafiğin merkezinde yer alan deneysel merkez noktası, modelin bu bölgede kararlı ve güvenilir tahminler sunduğunu göstermektedir. 3B grafiği incelendiğinde, yüzeyin düzgün ve eğimli bir yapı sergilediği, ancak belirgin bir maksimum veya minimum nokta içermediği görülmektedir.



Şekil 4.11. Antioksidan (a) ve yazdırılabilirlik derecesi (b) için gerçek ve öngörülen rakamları etkileyen regresyon katsayıları.



Şekil 4.12. Film solüsyonunda protein izolatu, esansiyel yağ ve gliserol oranlarının filmlerin ABTS radikal süpürme aktivitesi (% inhibisyon) üzerine etkisini gösteren 2B kontur ve 3B yüzey grafikleri: (A) protein izolatu–esansiyel yağ, (B) protein izolatu–gliserol ve (C) esansiyel yağ–gliserol.

Şekil 4.13 A’da sunulan 2B grafik, esansiyel yağ ve protein izolatu bağımsız değişkenlerin yazdırılabilirlik yanıtı üzerindeki ortak etkisini açık biçimde ortaya koymuştur. Renk dağılımının merkezde yoğunlaşması ve merkeze doğru artan yanıt

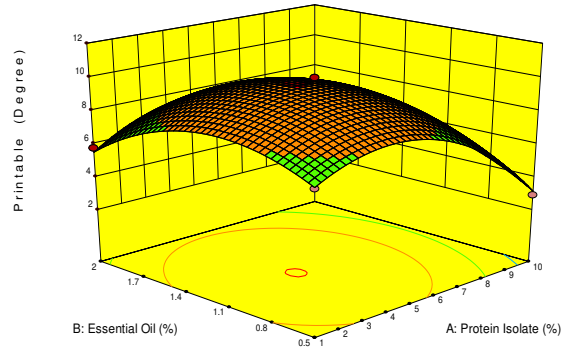
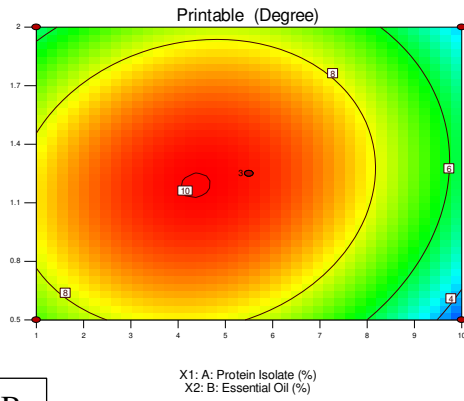
değerleri, sistemin optimum bir çalışma noktasına sahip olduğunu ortaya koymuştur. Kontur grafiğinde en yüksek yanıt değerinin, deneysel tasarımın merkezine yakın bir bölgede yer alması, seçilen faktör aralıklarının uygun olduğunu ve maksimum yanıtın deney alanı içerisinde yakalandığını göstermektedir. 3B yanıt yüzeyi grafiği incelendiğinde, yüzeyin kubbe şeklinde bir yapı sergilediği ve merkez noktaya doğru yükseldiği görülmüştür. Bu durum esansiyel yağ ve protein izolatu arasında anlamlı bir etkileşim bulunduğunu göstermiştir. Bu yapı, yanıtın bağımsız değişkenlerin belirli seviyelerinde maksimuma ulaştığını ve bu noktadan uzaklaştıkça azaldığını göstermiştir. Yüzeyin simetrik ve düzgün olması, kuadratik terimlerin modelde anlamlı olduğunu ve matematiksel modelin yanıtı başarıyla temsil ettiğini desteklemiştir. Sonuç olarak, bu grafikler birlikte değerlendirildiğinde, incelenen yanıt için belirgin bir optimum noktanın bulunduğu, faktörlerin doğrusal etkilerinin yanı sıra eğrisel etkilerinin de önemli olduğu ve deneysel tasarımın optimizasyon çalışmaları için uygun olduğu sonucuna varılmaktadır. Düşük protein izolatu konsantrasyonlarında film matriksinin yeterli yapısal bütünlüğe ulaşamaması nedeniyle yazdırılabilirlik sınırlı kaldığı görülmüştür. Protein izolatu oranının artmasıyla birlikte viskoelastik ağ yapısının güçlenmesi, filament sürekliliğini ve katman stabilitesini artırarak yazdırılabilirliği iyileştirmiştir. Ancak yüksek protein izolatu seviyelerinde artan viskozite ve akış direnci, ekstrüzyon sürecini zorlaştırarak yazdırılabilirlikte düşüşe neden olmuştur.

Şekil 4.13’de B olarak sunulan 2B ve 3B grafik, gliserol ve esansiyel yağ bağımsız değişkenlerinin yazdırılabilirlik yanıtı üzerindeki etkileşimini göstermiştir. Grafik incelendiğinde, yazdırılabilirliğin her iki bileşene de bağlı olarak doğrusal olmayan bir değişim sergilediği görülmüştür. Grafikte çizgilerinin kapalı ve eliptik bir yapı sergilemesi, yanıtın bağımsız değişkenlere bağlı olarak belirgin bir kuadratik davranış gösterdiğini ortaya koymuştur. Kontur çizgilerinin merkezde yoğunlaşması, yanıt değerinin bu bölgede maksimuma ulaştığını ve optimum koşulların deneysel tasarım alanı içerisinde yer aldığını göstermiştir. Renk dağılımı incelendiğinde, grafiğin merkez bölgesinde kırmızı tonların hâkim olduğu ve yanıt değerinin bu noktada en yüksek seviyeye ulaştığı görülmektedir. Merkezden uzaklaştıkça renklerin sarı ve yeşil tonlara doğru kademeli olarak değişmesi, yanıt değerinin faktör seviyelerindeki değişime bağlı olarak düzenli bir şekilde azaldığını göstermiştir. Bu durum, modelin ani değişimler içermediğini ve yanıtın faktörlere karşı kararlı bir davranış sergilediğini ortaya koymaktadır. Grafikteki elipslerin büyük ekseninin bir faktör doğrultusunda uzaması, ilgili faktörün yanıt üzerindeki etkisinin diğer faktöre kıyasla daha baskın olabileceğine işaret etmiştir. Bununla birlikte, eliptik yapının simetrik

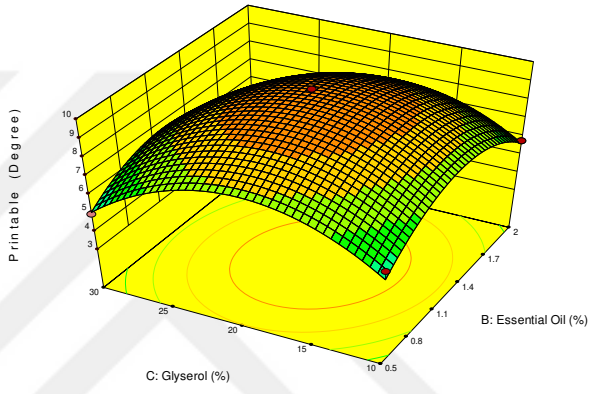
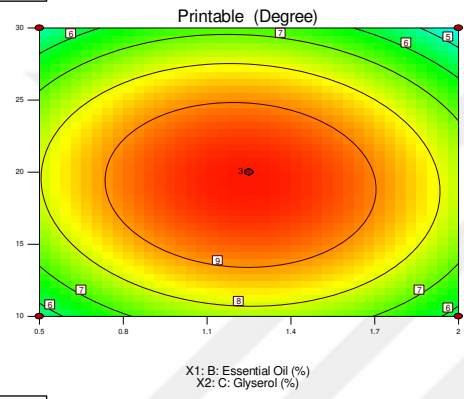
olması, faktörler arasında güçlü bir etkileşim bulunmadığını, ancak her iki faktörün de yanıt üzerinde anlamlı etkilerinin olduğunu düşündürmektedir. Sonuç olarak, kontur grafiği, incelenen yanıt için belirgin bir optimum bölgenin bulunduğunu, kuadratik terimlerin modelde önemli rol oynadığını ve yanıt yüzey metodolojisinin optimizasyon amacıyla bu sistem için uygun olduğunu ortaya koymuştur. Ayrıca, düşük gliserol oranlarında filmin yeterli esneklik kazanamaması nedeniyle yazdırılabilirlik sınırlı kalmıştır. Gliserol miktarının artmasıyla birlikte polimer zincirleri arasındaki etkileşimlerin azalması, filmin akışkanlığını ve katmanlar arası bağlanmayı iyileştirerek yazdırılabilirliği artırmıştır. Ancak yüksek gliserol seviyelerinde aşırı yumuşama, yapışkanlık ve yapısal zayıflama nedeniyle yazdırılabilirlik tekrar düşüş göstermiştir.

Şekil 4.13’de C olarak verilen 2B ve 3B grafikler protein izolatu ve gliserol bağımsız değişkenlerinin yazdırılabilirlik cevabı üzerine etkisini göstermiştir. Grafikler incelendiğinde, yazdırılabilirliğin her iki bileşene de bağılı olarak doğrusal olmayan bir değişim sergilediği görülmüştür. Grafikte çizgilerinin kapalı ve eliptik bir yapı sergilemesi, yanıtın bağımsız değişkenlere bağılı olarak belirgin bir kuadratik davranış gösterdiğini ortaya koymuştur. Protein İzolatı konsantrasyonu %1’den %4-5 seviyelerine çıktıkça yazdırılabilirlik derecesi artış görülmüştür. Ancak bu değer %6’nın üzerine çıktığında, grafik renginin sarıdan maviye dönmesiyle yazdırılabilirliğin azaldığı gözlemlenmiştir. Bu durum, aşırı protein miktarının karışımın viskozitesini çok fazla artırarak ekstrüzyonu zorlaştırmasından kaynaklanmış olabilir. Gliserol oranının %10’dan %20’ye doğru yükseldiğinde yazdırılabilirlik iyileştiği gözlemlenmiştir. Gliserolün plastikleştirici etkisi sayesinde karışımın akışkanlığı optimize edilmiştir. Ancak %25-30 gibi daha yüksek gliserol seviyelerinde, yapı çok yumuşadığı için formun korunması zorlaşmış ve yazdırılabilirlik skoru düşmüştür. Özellikle yüksek gliserol (%30) ve yüksek protein (%10) kombinasyonunda yazdırılabilirlik en düşük seviyeye inmiştir. Bu durum, formülasyonun aşırı katı veya aşırı yapışkan hale gelerek yazım işlemini imkansız kıldığını göstermiştir. Benzer şekilde, protein oranının %10’a yaklaştığı tüm senaryolarda gliserol miktarından bağımsız olarak yazdırılabilirlik hızla düşmüştür; bu da protein miktarının yazdırılabilirlik üzerinde baskın bir negatif sınırlayıcı olduğunu ortaya koymuştur. Sonuç olarak yazdırılabilirlik derecesini maksimize etmek için protein izolatu ve gliserol oranlarının orta seviyelerde tutulması gerektiği tespit edilmiştir. İstatistiksel modelleme kapsamında elde edilen bu grafikler sistemin kararlılığını ve optimize edilebilirliğini doğrulamaktadır.

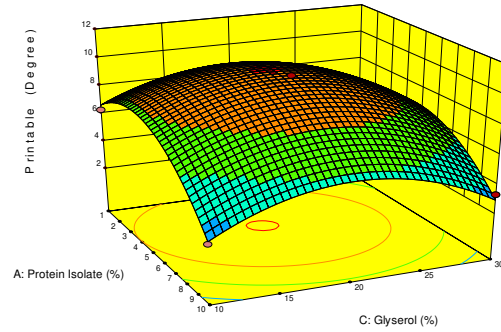
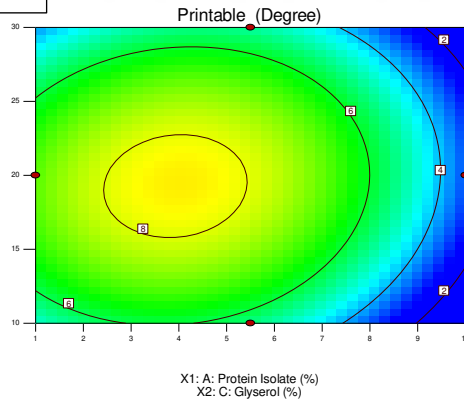
A



B



C



Şekil 4.13. Film solüsyonunda protein izolatı, esansiyel yağ ve gliserol oranlarının filmlerin yazdırılabilirlik derecesi üzerine etkisini gösteren 2B kontur ve 3B yüzey grafikleri: (A) protein izolatı–esansiyel yağ, (B) esansiyel yağ–gliserol ve (C) protein izolatı–gliserol

Yanıt yüzeyi optimizasyonu sonuçlarına ve gerçek durumla birleştirilmiş olarak, 3B yazdırılabilir film için optimum proses parametreleri protein izolatı %4,804, esansiyel yağ oranı %1,195 ve gliserol miktarı ise %19,585 olarak belirlenmiştir. Bu parametreler uygulandığında yazdırılabilirlik ve ABTS % inhibisyonunun sırasıyla 10,00 ve %42,63

olacağı öngörülmüştür. Bu koşullar üç deneysel olarak doğrulandığında yazdırılabilirlik $9,75 \pm 0,07$, antioksidan miktarı ise $37,16 \pm 0,69$ olduğu bulunmuştur. Ön görülen ve gözlenen değerler karşılaştırıldığında bağıl hatanın yazdırılabilirlik için $5,33$ olduğu, antioksidan için ise $14,7$ olduğu belirlenmiştir. Sonuç olarak, modelin bu deneyin sonuçlarının teorik olarak yorumlanmasında uygulanabilir olduğu ve pratik operasyonlar için yol gösterici öneme sahip olduğu düşünülmektedir.

4.7. Filmlerin Karakterizasyonu

4.7.1. Kalınlık ölçümü

Optimize edilen parametrelere göre hazırlanan PI-F, PI/EO- F- ve 3B-F'nin kalınlık ölçümü Çizelge 4.9'da verilmiştir. PI-F, PI/EO- F- ve 3B-F filmlerinin kalınlıkları sırasıyla $0,25 \pm 0,01$, $0,24 \pm 0,02$ mm ve $0,21 \pm 0,01$ mm olarak bulunmuştur. 3B yazıcı ile hazırlanan filmlerde kalınlık dökme yöntemine göre hazırlanan filmlerden daha düşük ölçülmüştür ve istatistik olarak diğer örneklerden farklı bulunmuştur ($P < 0,05$). Her ne kadar bileşim aynı da olsa yazıcı ile yazdırılan filmin yazdırma parametrelerinden dolayı farklılık gözlenmiştir. Kompozit sarkoplazmik protein ile hazırlanan filmlerin kalınlığı $0,24$ ile $0,30$ mm arasında (Hemung vd., 2026), Kappa-karragenan ve Sonneratia caseolaris meyve unu ile hazırlanan filmlerin kalınlığının ise $0,071$ ve $0,130$ mm arasında ölçüldüğü bildirilmiştir (Abdillah vd., 2026). Jiao vd., (2026) farklı gıda katkı maddeleriyle modifiye edilmiş yenilebilir zein filmlerinin kalınlığının $0,22$ mm ile $0,28$ mm arasında olduğunu bildirmiştir. Film kalınlığı, genellikle kullanılan bileşenlere ve bunların kuru madde miktarına bağlı olarak değişebilmektedir. Bu nedenle, farklı film hazırlama çözeltilerinden elde edilen filmlerde farklı kalınlık değerleri ölçülmektedir.

Çizelge 4.9. Filmlerin kalınlık, opaklık, nem ve L^* , a^* , ve b^* renk parametreleri

	PI-F	PI/EO-F	3B-F
Kalınlık (Mm)	$0,25 \pm 0,01^b$	$0,24 \pm 0,02^b$	$0,21 \pm 0,01^a$
Opaklık (Abs/Mm)	$0,64 \pm 0,00^a$	$0,96 \pm 0,01^c$	$0,81 \pm 0,02^b$
Nem (%)	$21,14 \pm 0,80^a$	$18,52 \pm 0,29^b$	$12,41 \pm 0,07^c$
L^*	$12,11 \pm 0,91^a$	$14,08 \pm 1,60^a$	$20,49 \pm 3,01^b$
a^*	$-0,84 \pm 0,12^a$	$-0,90 \pm 0,09^a$	$-0,49 \pm 0,19^b$
b^*	$-3,59 \pm 0,4^b$	$-4,51 \pm 0,48^a$	$0,94 \pm 0,13^a$

4.7.2. Nem içeriği

Filmlerin nem içeriği PI-F için $21,14 \pm 0,80$, PI/EO-F için $18,52 \pm 0,29$, ve 3B-F için $12,41 \pm 0,07$ olarak tespit edilmiştir (Çizelge 4.9). Satureja khuzestanica uçucu yağı içeren protein bazlı yenilebilir filmlerde esansiyel yağ konsantrasyonunun artmasıyla nem içeriğinin azaldığı tespit edilmiştir (Khalili vd., 2025). Karanfil ve kafur esansiyel yağlarıyla zenginleştirilmiş süt proteini bazlı yenilebilir filmlerde kontrol filminin nem içeriği (%43,92), karanfil veya kafur yağı içeren filmlere (%33,97 ve %28,18) göre daha yüksek olduğu bulunmuştur (Mahdy vd., 2025). Çalışmamızdaki sonuçlar da yapılan çalışmalarla uyumludur. Bu durum, esansiyel yağların hidrofobik özellik göstermesine atfedilebilir ve filmlerin hidrofobikliğinin artmasıyla ilişkili olduğu söylenebilir. Ayrıca 3B-F örneğinin daha düşük kalınlığa sahip olması, bu örnekte gözlenen düşük nem içeriği ile ilişkili olabilir. Daha ince film yapısının yüzey alanı/hacim oranını artırarak suyun daha kolay uzaklaşmasına neden olduğu ve bunun da nem içeriğinin azalmasına katkı sağladığı düşünülmektedir.

4.7.3. Renk analizi

Ambalajın temel amaçlarından biri tüketiciyi ürünü satın almaya teşvik etmek olduğu için film rengi önemli bir optik özelliktir ve aynı zamanda gıdayı ışık kaynaklı oksidasyona karşı koruyabilmektedir. Yenilebilir filmlerde renk çeşitliliği diğer ambalaj materyallerine göre daha sınırlıdır. Film renk özellikleri genellikle L^* , a^* ve b^* renk parametreleri kullanılarak değerlendirilmektedir (Khalili vd., 2025). Çalışmamızda yer alan filmlerin renk parametrelerine ait L^* , a^* ve b^* değerleri Çizelge 4.9’da verilmiştir. Sırasıyla PI-F, PI/EO-F ve 3B-F’lerde L^* değeri $12,11 \pm 0,91$, $14,08 \pm 1,60$, $20,49 \pm 3,01$ olarak bulunmuştur. Esansiyel yağ ilavesi ile filmin L^* değerinde artış gözlenmiştir. 3B ile yazdırılan filmlerde parlaklık değeri daha yüksek tespit edilmiştir. Tüm örneklerde a^* değerlerinin negatif olması, filmlerin yeşilimsi tona sahip olduğunu göstermektedir. Özellikle PI/EO-F örneğinde mutlak a^* değerinin daha yüksek olması, yeşil tonunun bu örnekte daha belirgin olduğunu göstermektedir. Benzer şekilde, b^* değerlerinin negatif olması filmlerin mavimsi renk tonuna sahip olduğunu göstermektedir. PI/EO-F filmlerinde b^* değeri PI-F örneğinde göre daha yüksek olması ise mavimsi tonun bu örnekte daha baskın olduğunu göstermektedir. Ancak 3B-F örneğinde b^* değeri pozitifdir yani bu örnekte sarılık hakimdir. *S. khuzestanica* uçucu yağının amarant bazlı filmlerin rengi üzerindeki etkileri incelendiği çalışmada örneklere uçucu yağ eklenmesi, L^* , a^* , b^* parametrelerini değiştirdiği tespit

edilmiştir (Khalili vd., 2025). Nane yağı ile zenginleştirilmiş kitosan/ksantan gum ile hazırlanan yenilebilir filmlerde esansiyel yağ eklenmesinin sarılık değerini yükselttiği bildirilmiştir (Jiao vd., 2026). Çalışmamızda özellikle 3B yazıcı ile üretilen filmlerde sarılık (b*) değerinin daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Ayrıca bu filmlerin daha düşük kalınlığa sahip olması, renk özelliklerindeki değişim ile ilişkili olabilir.

4.7.4. Opaklık

PI-F, PI/EO-F ve 3B-F filmleri şeffaf, homojen, kabarcıksız, esnek ve döküm sırasında kolayca soyulabilir özellik göstermiştir. Yenilebilir filmlerde opaklık, özellikle ambalajın şeffaf olması amaçlandığında tüketici kabul edilebilirliğinde önemli bir rol oynamaktadır. Filmlere ait opaklık değerleri Çizelge 4.9 da verilmiştir. Filmler arasındaki opaklık değeri $0,64 \pm 0,00$ ve $0,96 \pm 0,01$ Abs₆₀₀/mm arasında değişmektedir. En yüksek opaklık değeri PI/EO-F filminde $0,96 \pm 0,01$ Abs₆₀₀/mm, en düşük opaklık ise PI-F filminde tespit edilmiştir. Esansiyel yağ eklenmesi opaklığı artırırken 3B yazıcı ile yazdırılan filmlerde opaklık $0,81 \pm 0,02$ dökme yöntemine göre düşük bulunmuştur. Bunun nedeni film kalınlığından kaynaklanmış olabilir. Sonneratia caseolaris ile zenginleştirilmiş kappa-karragenan filmlerinin opaklık değerleri $0,91 \pm 0,10$ ile $8,714 \pm 1,28$ Abs₆₀₀/mm arasında değiştiği (Abdillah vd., 2026), kenevir protein izolatu, nişasta ve karanfil yağı ile hazırlanan filmlerde ise bu değerlerin $0,096 \pm 0,001$ ve $0,549 \pm 0,008$ Abs₆₀₀/mm arasında olduğu bildirilmiştir (Rawat & Saini, 2024). Çalışmalarda film solüsyonundaki bileşiklerin (karragenan ve nişasta gibi) opaklığı etkilediği ortaya konmuştur. Bizim çalışmamızda da bulunan opaklık değeri çalışmalarla benzer aralıklardadır.

4.7.5. Antimikrobiyal aktivite

PI-F, PI/EO-F ve 3B-F filmlerinde antimikrobiyal analiz gerçekleştirilip sadece PI/EO-F de antimikrobiyal etki görülmüş olup sonuçlar Çizelge 4.10'da verilmiştir.

PI/EO-F filminde antimikrobiyal aktivitesi değerlendirildiğinde, *Aspergillus parasiticus* NRLL 2999, *Penicillium chrysogenum* 10106, *Salmonella* Typhimurium, *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli* O157:H7 ve *Listeria monocytogenes* üzerine inhibisyon etkisi gösterdiği belirlenmiştir. En yüksek inhibisyon çapı $9,14 \pm 0,05$ mm ile *Penicillium chrysogenum* 10106 ve $9,07 \pm 0,04$ mm ile *Salmonella* Typhimurium'da gözlenirken, bunu sırasıyla *Aspergillus parasiticus* NRLL 2999 ($8,99 \pm 0,33$ mm), *Listeria monocytogenes* ($8,97 \pm 0,02$ mm), *Staphylococcus aureus* ($8,93 \pm 0,15$ mm) ve *Escherichia*

coli O157:H7 (8,75±0,10 mm) izlemiştir. Sonuçlar, film örneklerinin hem Gram pozitif hem de Gram negatif bakterilere karşı benzer düzeyde antimikrobiyal aktivite gösterdiğini ortaya koymuştur.

Yapılan bir çalışmada, kekik esansiyel yağı içeren kitosan/kazein bazlı yenilebilir filmlerin *Escherichia coli* ve *Staphylococcus aureus* üzerine güçlü antimikrobiyal aktivite gösterdiği bildirilmiştir. Özellikle esansiyel yağ konsantrasyonunun artmasıyla inhibisyon zon çaplarının arttığı bildirilmiştir (Roshandel-hesari vd., 2022). Oregano esansiyel yağı nanoemülsiyonu içeren guar gam-kitosan bazlı yenilebilir filmlerin *Staphylococcus aureus* ve *Escherichia coli* üzerine güçlü antibakteriyel aktivite gösterdiği bildirilmiştir (Cai vd., 2025). Genel olarak değerlendirildiğinde, elde edilen bulgular ve literatür sonuçları birlikte ele alındığında, esansiyel yağ içeren yenilebilir filmlerin hem Gram pozitif hem de Gram negatif bakterilere karşı antimikrobiyal etki göstererek mikrobiyal gelişimi baskılayabildiği ve bu nedenle gıda koruma uygulamalarında potansiyel bir aktif ambalaj materyali olarak kullanılabileceği sonucuna varılmıştır. Ayrıca 3B yazıcı ile yazdırılan filmlerde yazdırma sürecinde kullanılan nozul basıncı, kesme kuvveti (shear stress), katman yapısı, kuruma davranışı ve esansiyel yağın film matrisi içerisindeki dağılımı gibi faktörlerin antimikrobiyal bileşenlerin etkinliğini etkileyebileceği düşünülmüştür. Ayrıca 3B yazdırılan filmlerin daha düşük kalınlığa sahip olması, aktif bileşen miktarının azalmasına ve inhibisyon zonunun oluşmamasına neden olmuş olabilir.

Çizelge 4.10. PI/EO-F filminin farklı mikroorganizmalara karşı inhibisyonu

Mikroorganizma	İnhibisyon Çapı (Mm)
<i>Aspergillus parasiticus</i> NRLL 2999	8,99±0,33
<i>Penicillium chrysogenum</i> 10106	9,14±0,05
<i>Salmonella typhimurium</i> 14028	9,07±0,04
<i>Staphylococcus aureus</i> ATCC 43300	8,93±0,15
<i>Escherichia coli</i> O157:H7 ATCC 43895	8,75±0,10
<i>Listeria monocytogenes</i> ATCC 7644	8,97±0,02

4.7.6. Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi (FTIR)

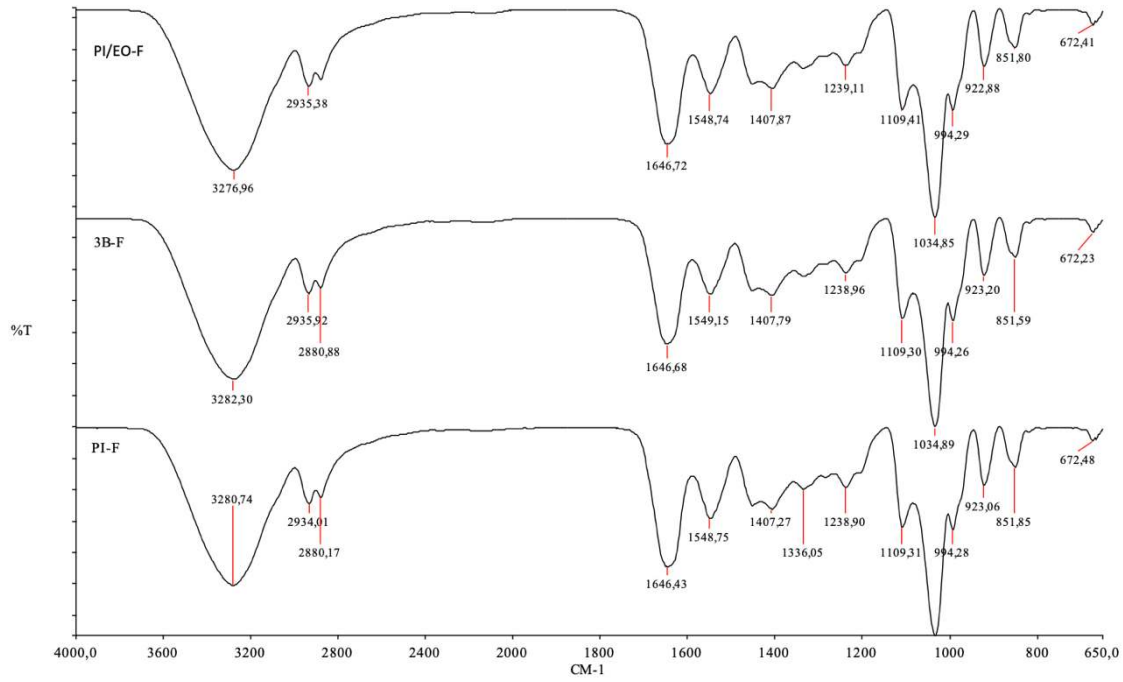
Filmlerdeki bileşenler arasındaki etkileşim FTIR ile analiz edildi ve 3600-650 cm⁻¹ bölge aralığındaki absorpsiyonlar Şekil 4.14’de FTIR spektrumunda gösterilmektedir. Spektrum incelendiğinde genel olarak filmler arasında temel fonksiyonel grupların benzer olduğu ancak bazı bantlarda yoğunluk farkı (%T) gözlemlenmektedir.

Proteinlerin ikincil yapısındaki değişikleri yansıtmak için kullanılan en yaygın bant olan Amid I bandı ($1600\text{--}1700\text{ cm}^{-1}$) (Y. Wang vd., 2021), PI/EO-F, 3B-F ve PI-F örneklerinde sırasıyla $1646,72$, $1646,68$, $1646,43\text{ cm}^{-1}$ bantları olarak görölmüştür. Bu bant aralığı protein moleküllerinin C–O gerilmesine atfedilir ve çoğunlukla protein ikincil konformasyonundaki değişikliklere duyarlıdır. Protein izolatında $1633\text{--}1634\text{ cm}^{-1}$ civarında görülen (Şekil 4.5) Amid I bandının, PI/EO-F, 3B-F ve PI-F numunelerinde $1646,43 - 1646,72\text{ cm}^{-1}$ seviyelerine doğru kayması, proteinin ikincil yapısında (sekonder yapı) ve hidrojen bağı ortamında önemli değişiklikler meydana geldiğini gösterir. Bu durumun, film çözeltisinin hazırlanması sırasında uygulanan denatürasyon işleminden kaynaklanmış olabileceği düşünülmektedir. Ayrıca plastikleştirici gibi diğer moleküllerin protein zincirleri arasına girerek protein içi hidrojen bağlarını zayıflatması veya yeniden düzenlemesi sonucunda bandın daha yüksek dalga bandında gözleendiği söylenebilir.

Protein izolatında $1528,62\text{--}1534,00\text{ cm}^{-1}$ arasında görülen Amid II bandı ($1480\text{--}1580\text{ cm}^{-1}$), filmlerde $1548,74\text{--}1549,15\text{ cm}^{-1}$ aralığında görölmüştür. Film oluşumu sırasında protein zincirleri ile diğer bileşenler arasındaki etkileşimler ve hazırlık aşamasındaki denatürasyon işleme düzeninin değişmesine neden olabilmektedir. Bu durumun, peptit bağlarının kimyasal çevresini etkileyerek Amid II bandının daha yüksek dalga sayılarına kaymasına yol açtığı düşünülmektedir. EO-F, 3B-F ve PI-F numunelerinde Amid II bandının yaklaşık 1549 cm^{-1} civarında benzer değerlerde gözlenmesi ise kullanılan plastikleştiricinin ve esansiyel yağın, protein yapısı üzerinde benzer moleküler değişimlere neden olduğunu göstermektedir.

Karmaşık titreşim modlarından oluşan karakteristik bölgeler olarak tanımlanan Amid III ($1450\text{--}1300\text{ cm}^{-1}$) bantları (Hadnağev vd., 2018) protein izolatında tespit edilirken (Şekil 4.5), film örneklerinde gözlenmemiştir.

PI/EO-F, 3B-F ve PI-F filmlerinde sırasıyla $3276,96$, $3280,74$ ve $3282,30\text{ cm}^{-1}$ civarında gözlenen absorpsiyon bandı, gliserol, protein izolatu ve esansiyel yağ bileşenlerinden kaynaklanan hidroksil gruplarının O–H gerilme titreşimleri ile amid A bandına ait N–H gerilme titreşimlerine karşılık gelmektedir. Söz konusu bandın genişlemesi, protein molekülleri ile gliserol ve esansiyel yağ bileşenlerinden gelen hidroksil grupları arasında oluşan moleküller arası hidrojen bağlarıyla ilişkilendirilmektedir (Hemung vd., 2026).



Şekil 4.14. Filmlerin FT-IR spektrumu

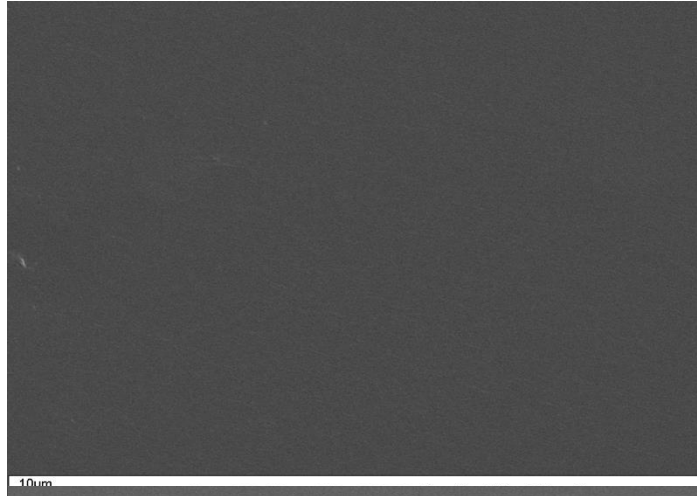
1396–1455 cm^{-1} civarında gözlenen absorpsiyon bantlarının, amino asit yan zincirleri ile gliserol ve çalışmada kullanılan organik ekstrakt bileşenlerine ait C–H ve O–H bağlarının bükülme titreşimlerinden kaynaklandığı bildirilmektedir (Hemung vd., 2026). PI/EO-F, 3B-F ve PI-F film örneklerinde bu bantlar sırasıyla 1407,87, 1407,79 ve 1407,27 cm^{-1} 'de gözlenmiştir. Bu durumun, protein izolatındaki amino asit yan zincirleri ile gliserol ve esansiyel yağ bileşenleri arasındaki moleküler etkileşimlerden kaynaklandığı düşünülmektedir. 1200–1233 cm^{-1} aralığında gözlemlenen absorpsiyon bantları, amid III bandına karşılık gelen C–N gerilme ve N–H bükülme titreşimlerine atanmıştır (Böcker ve diğerleri, 2007).

1158–1030 cm^{-1} aralığında gözlenen güçlü C–O–C gerilme titreşimlerinin sülfatça zengin yapılarla ilişkili olduğu; ayrıca 1024 cm^{-1} ve 1412 cm^{-1} 'de belirlenen C–O bağlarına ait gerilme titreşim bantlarının ise muhtemelen yeni hidrojen bağlarının oluşumundan kaynaklandığı bildirilmektedir (S. Cao vd., 2026; Cheng vd., 2024). PI/EO-F, 3B-F ve PI-F film örneklerinde bu bantlar sırasıyla 1034,85 cm^{-1} , 1034,89 cm^{-1} ve 1034,64 cm^{-1} olarak belirlenmiştir. Literatürde bildirilen sonuçlarla benzer şekilde, bu bantların film matrisinde yeni hidrojen bağlarının oluşumuyla ilişkili olduğu düşünülmektedir.

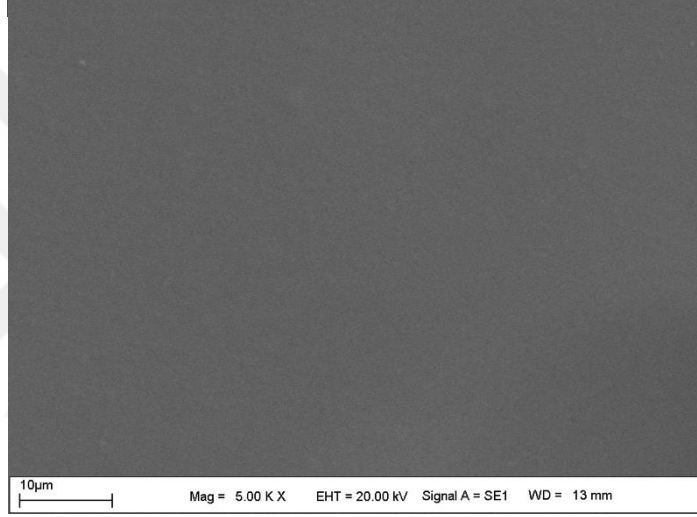
4.7.7. Taramalı elektron mikroskobu görüntüleme (SEM)

Biyopolimer filmlerin mikro yapısal özellikleri, film bileşenleri arasındaki etkileşimden etkilenir ve bu da kapsamlı özelliklerinde sonuçsal etkilere yol açmaktadır. Film mikro yapısını ve yapılarındaki potansiyel gözenek ve çatlakların varlığını daha iyi anlamak için taramalı elektron mikroskobu analizi yapılmıştır. PI-F, PI/EO-F ve 3B-F filmlerinin yüzey morfolojisine ait mikrograflar Şekil 4.15’de verilmiştir. PI-F, PI/EO-F ve 3B-F örneklerinin yüzeyleri, gözenek ve düzensizlik içermeyen pürüzsüz homojen bir yapı göstermiştir. Esansiyel yağ ve izolatin filmlerde düzgün bir şekilde dağıldığı ve filmlerin mikroyapısı üzerinde bir olumsuzluk yaratmadığı görülmektedir. Çalışmamızla benzer şekilde, kenevir protein izolatu, nişasta ve karanfil yağı ile hazırlanan filmlerde de homojen yapıya sahip olduğu bildirilmiştir (Rawat & Saini, 2024). Amarant bazlı protein filmlerinde uçucu yağ içermeyen filmlerin yüzey görüntüleri gözeneklilik ve düzensizlik içermeyen homojen bir yapı sergilerken, uçucu yağ konsantrasyonu arttıkça daha fazla gözenek oluşmuş ve filmler daha pürüzlü hale geldiği bildirilmiştir (Khalili vd., 2025). *C. niveum* bitkisinin esansiyel yağının ve kayısı çekirdeği izolatinin film oluşumundan sorumlu bileşenler arasında maksimum kompaktlık ve mükemmel uyumluluk sergilediğini görülmüştür. Ayrıca 3B yazıcı ile hazırlanan filmlerin de mikro yapısının korunduğu tespit edilmiştir. Ayrıca *C. niveum* bitkisinin esansiyel yağının biyopolimer matrisine dahil edilmesi, lipidlerin dağılmış bir sıvı faza ayrılmasına yol açmadığı ve film oluşumundan sorumlu polimerler arasında güçlü bir uyumluluk olduğunu göstermiştir.

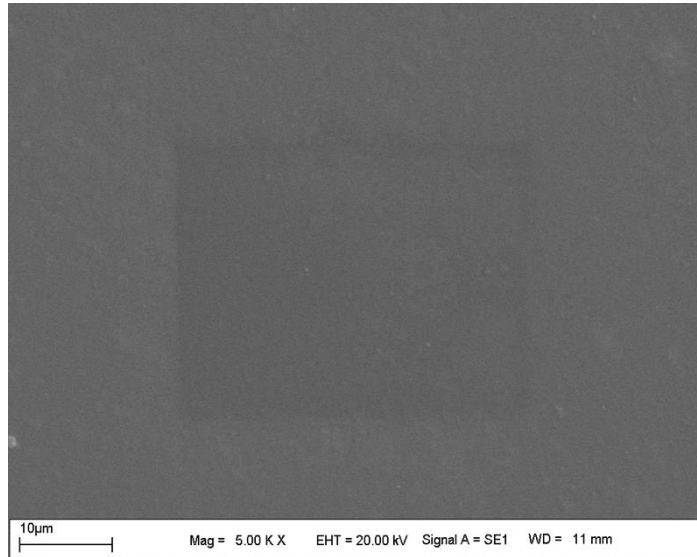
a) PI-F



b) PI/EO-F



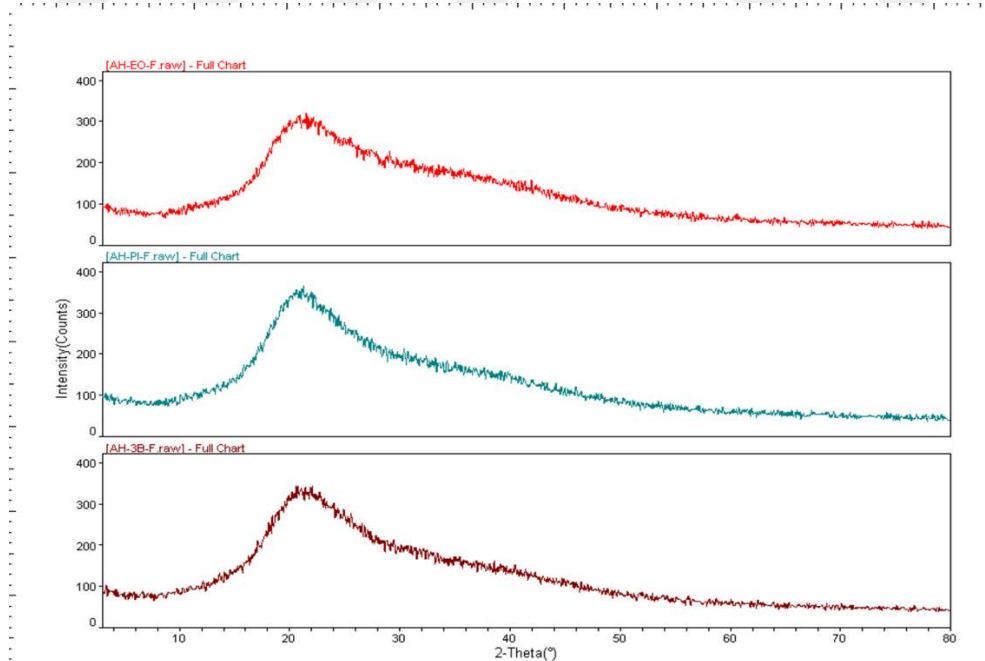
c) 3B-F



Şekil 4.15. Filmlere ait SEM görüntüleri (×5000)

4.7.8. Filmlerin X-ışınımı kırınımı analizi

Filmlerin yapısı içindeki kristallliği incelemek, kayısı çekirdeği protein izolatu ve *C. niveum* bitkisinin esansiyel yağının arasındaki uyumluluğu göstermek için XRD kırınım analizi yapılmıştır. PI/EO-F, PI-F ve 3B-F filmlerine ait XRD spektrumları Şekil 4.16’da gösterilmiştir. Protein izolatında XRD spektrumunda 2-Theta° 12,5 ° ve 20 °’de iki tepe noktasına sahip olduğu tespit edilmiştir (Şekil 4.16). Filmlerde ise 2-Theta° 22° ‘de keskin tepe noktasına sahip tek bir pik göstermiştir. Bu durumun, FTIR sonuçlarında da görüldüğü üzere film çözeltisinin hazırlanması sırasında uygulanan denatürasyon işleminden kaynaklanmış olabileceği düşünülmektedir. Ayrıca filmlere *C. niveum* uçucu yağın eklenmesi herhangi bir yeni kırınım tepe noktası oluşturmamıştır. Bu da esansiyel yağın faz ayrımı veya kristalleşme olmaksızın amorf bir halde matris boyunca homojen bir şekilde dağıldığını göstermektedir. Bu bulgular, uçucu yağların genel yapısını değiştirmeden protein matrisiyle fiziksel olarak etkileşime girdiğini daha da doğrulayan FTIR sonuçlarıyla tutarlı bulunmuştur. Nane yağı ile zenginleştirilmiş kitosan-ksantan gumu ile hazırlanan yenilebilir filmlerin X-ışını kırınım spektrumlarının birbirine benzediği, $2\theta = 18\text{--}25^\circ$ aralığında tipik geniş amorf haleler ortaya koyduğu ve film solüsyonun bileşenlerinin birbirleriyle uyumlu olarak homojen yapı oluşturduğu bildirilmiştir (S. Cao vd., 2026).



Şekil 4.16. Filmlere ait XRD spektrumu

4.8. Depolama Süresince Peynirlerde Yapılan Analizler

4.8.1. Peynirde kuru madde miktarı

25°C, 15°C ve 6°C’de depolanan kaşar peynirlerinin depolama süresince kuru madde miktarlarındaki değişimler Çizelge 4.11’de verilmiştir. 15°C ve 6°C’de depolanan Kontrol peynirlerinde depolama süresince kuru madde miktarında istatistiksel olarak önemli bir değişim belirlenmemiştir ($P>0,05$). Buna karşın, 25°C’de depolanan Kontrol peynirlerinde 2. günde $57,95 \pm 0,25$ olarak belirlenen kuru madde miktarının, diğer depolama günlerinde $55,51-55,97$ aralığında değiştiği ve bu farkın istatistiksel olarak önemli olduğu tespit edilmiştir ($P<0,05$).

25°C ve 15°C’de depolanan PI/EO-F filmi ile kaplanan kaşar peynirlerinde kuru madde miktarının $58,18 \pm 0,24$ ile $64,39 \pm 0,08$ arasında değiştiği ve depolama süresince artış gösterdiği belirlenmiştir ($P<0,05$). Buna karşılık, 6°C’de depolanan PI/EO-F filmi ile kaplanan kaşar peynirlerinde depolama boyunca kuru madde miktarında istatistiksel olarak önemli bir değişim gözlenmemiştir ($P>0,05$).

Çizelge 4.11. Farklı depolama sıcaklıklarında (25°C, 15°C ve 6°C) K, PI-F ve PI/EO-F filmleri ile kaplanmış kaşar peynirlerinin depolama süresince kuru madde miktarları (%)

DEPOLAMA GÜNÜ	K	PI-F	PI/EO-F
25°C			
D-2	$57,95 \pm 0,25$ ^{b, A}	$62,27 \pm 0,22$ ^{b, B}	$58,18 \pm 0,24$ ^{a, A}
D-7	$55,92 \pm 0,19$ ^{a, A}	$59,44 \pm 0,09$ ^{a, B}	$58,92 \pm 0,37$ ^{b, B}
D-10	$55,97 \pm 0,87$ ^{ab, A}	$62,26 \pm 0,21$ ^{b, B}	$63,9 \pm 0,03$ ^{c, B}
D-15	$55,51 \pm 0,30$ ^{a, A}	$62,13 \pm 0,42$ ^{b, B}	$64,39 \pm 0,08$ ^{d, B}
15°C			
D-10	$55,52 \pm 0,04$ ^{a, A}	$58,17 \pm 0,1$ ^{a, B}	$58,48 \pm 0,05$ ^{a, C}
D-20	$55,56 \pm 0,02$ ^{a, A}	$59,82 \pm 2,2$ ^{a, A}	$59,31 \pm 0,29$ ^{b, A}
D-25	$55,87 \pm 0,03$ ^{b, A}	$58,34 \pm 0,33$ ^{a, B}	$60,05 \pm 0,04$ ^{c, C}
6°C			
D15	$56 \pm 0,33$ ^{a, A}	$58,44 \pm 0,19$ ^{a, B}	$61,17 \pm 0,29$ ^{a, C}
D25	$56,21 \pm 0,19$ ^{a, A}	$59,92 \pm 0,39$ ^{b, AB}	$62,13 \pm 1,59$ ^{a, B}
D35	$55,87 \pm 0,17$ ^{a, A}	$58,82 \pm 0,19$ ^{ab, B}	$62,81 \pm 0,19$ ^{a, C}

Veriler ortalama $\pm$ standart sapma olarak verilmiştir. Aynı depolama gününde farklı büyük harfler (A–C) örnekler arasındaki istatistiksel farkı, aynı örnekte farklı küçük harfler (a–d) depolama günleri arasındaki istatistiksel farkı göstermektedir ($P < 0,05$).

Ayrıca, Kontrol, PI-F ve PI/EO-F filmi ile kaplanan kaşar peynirlerinin her bir sıcaklık grubunda depolamanın 2. gününde kuru madde miktarları arasında istatistiksel olarak önemli farklılıklar belirlenmiştir ($P<0,05$).

25°C’de depolanan Kontrol örneklerinde depolama süresince peynirlerin yapısal bütünlüğünü kaybettiği ve şekil deformasyonu meydana geldiği gözlenmesine rağmen kuru madde miktarında önemli bir değişim belirlenmemiştir ($P>0,05$). Buna karşın PI/EO-F kaplı örneklerde kuru madde miktarının 25°C ve 15°C depolama boyunca artış göstermesi ($P<0,05$), yüksek sıcaklık koşullarında film-peynir ara yüzeyinde meydana gelen etkileşimlerin nem transferini etkilediğini düşündürmektedir. Özellikle yüksek sıcaklıklarda peynirde yağ fazının hareketliliğinin artması ve film matriksi ile etkileşime girmesi, filmin bariyer özelliklerinde değişime neden olmuş olabilir. Bu durumun film kaplı örneklerde daha fazla nem kaybına ve buna bağlı olarak kuru madde miktarında artışa yol açmış olabileceği değerlendirilmektedir. Farklı filmlerle kaplanan farklı sıcaklıklarda depolanan kaşar peynirlerinde kuru madde miktarının %56,00 ile 60,00 arasında bulunduğu bildirilmiştir (Dıblan & Kaya, 2023). Balık yağı ile zenginleştirilmiş kitosan film ile kaplanan normal depolama sıcaklığında depolanan Kaşar peynirlerinde olgunlaşma boyunca tüm örneklerde kuru madde oranının arttığı, ancak bu artışın kaplanmamış örneklerde daha yüksek olduğu bildirilmiştir. Araştırmacılar, yenilebilir film kaplamalarının nem kaybını geciktirerek peynir yüzeyinde meydana gelen deformasyonu azalttığını belirtmişlerdir (Yangılar, 2016). Sodyum kazeinat ve kitosan bazlı yenilebilir kaplamaların kaşar peynirleri üzerindeki etkisinin araştırıldığı bir çalışmada, kitosan bazlı yenilebilir kaplamaların kaşar peynirlerinde nem kaybını sınırlandırdığı, ancak depolama süresince kuru madde miktarındaki artışı tamamen engelleyemediği bildirilmektedir (Yalçın vd., 2021).

4.8.2. Depolama süresince peynirlerde renk değişimi

25°C, 15°C ve 6°C’de depolanan kaşar peynirlerinin depolama süresince L^* , a^* ve b^* değerlerindeki değişimler Çizelge 4.12’de verilmiştir. 25°C’de depolanan örneklerde depolama süresince L^* değerlerinde dalgalanmalar meydana gelmiştir. Kontrol örneklerinde L^* değerinin 62,21–66,76 arasında değiştiği görülürken, PI-F ve PI/EO-F kaplı örneklerde depolamanın ilerleyen günlerinde L^* değerlerinde azalma meydana geldiği tespit edilmiştir ($P<0,05$). Özellikle PI/EO-F kaplı örneklerde depolamanın 10. gününde L^* değerinin $55,02\pm 0,55$ ’e düştüğü belirlenmiştir.

Peynirlerin a^* değerleri incelendiğinde, tüm örneklerde negatif değerlerin belirlenmiş olması peynir örneklerinde yeşil tonun baskın olduğunu göstermektedir. 25°C’de depolanan örneklerde depolama boyunca a^* değerlerinde önemli bir değişim olmamıştır ($P>0,05$). b değerleri bakımından ise tüm örneklerde pozitif olarak bulunmuş ve sarı rengin baskın olduğu belirlenmiştir. 25°C’de depolanan örneklerde özellikle PI-F ve PI/EO-F kaplı peynirlerde depolamanın 10. gününde b^* değerlerinde azalma meydana geldiği tespit edilmiştir ($P<0,05$).

6°C’de depolanan özellikle film kaplı örneklerde renk parametrelerinin daha stabil olduğu belirlenmiştir. Özellikle L değerlerinde depolama süresince sınırlı değişim meydana gelmiş, PI-F ve PI/EO-F kaplı örneklerde renk stabilitesinin daha iyi korunduğu gözlenmiştir.

Düşük depolama sıcaklığını oksidatif ve biyokimyasal reaksiyonları yavaşlatması nedeniyle renk değişimlerinin daha sınırlı geręekleřtięi düşünülmektedir. Düşük sıcaklıklarda polimer matriks hareketliliğinin azalması, filmin su buharı ve gaz geğirgenliğini sınırlandırarak peynir yüzeyindeki fiziksel değişimleri yavaşlatmış olabilir. Balmumu bazlı aktif film ile yapılan bir çalışmada kaplanan kaşar peynirlerinde depolama boyunca renk parametrelerinde değişimler meydana geldiği, ancak kaplama uygulamasının renk stabilitesini korumaya katkı sağladığı bildirilmiştir. Araştırmacılar bu durumun, kaplama materyalinin peynir yüzeyindeki fiziksel ve biyokimyasal değişimleri yavaşlatması ile ilişkili olabileceğini belirtmişlerdir (Akarca vd., 2025).

Çizelge 4.12. Farklı depolama sıcaklıklarında (25°C, 15°C ve 6°C) K, PI-F ve PI/EO-F filmleri ile kaplanan kaşar peynirlerinin renk değerleri

Depolama Günü	K			PI-F			PI/EO-F		
	L	a	b	L	a	b	L	a	b
25°C									
D2	64,17 ± 0,24 ^{ab, B}	-2,34 ± 0,02 ^{a, A}	11,24 ± 0,01 ^{a, B}	61,79 ± 0,25 ^{b, A}	-2,28 ± 0,02 ^{a, AB}	10,83 ± 0,02 ^{ab, A}	62,44 ± 0,07 ^{c, A}	-2,19 ± 0,01 ^{a, B}	10,91 ± 0,06 ^{ab, A}
D7	66,35 ± 1,58 ^{ab, A}	-1,75 ± 0,08 ^{aA}	12,71 ± 0,43 ^{a, A}	64,47 ± 1,41 ^{b, A}	-1,82 ± 0,06 ^{a, A}	12,16 ± 0,4 ^{b, A}	63,96 ± 3,08 ^{d, A}	-1,77 ± 0,15 ^{b, A}	12,98 ± 1,01 ^{c, A}
D10	62,21 ± 0,05 ^{a, C}	-1,14 ± 0,99 ^{a, A}	12,52 ± 1,25 ^{a, C}	57,98 ± 0,18 ^{a, B}	-2,45 ± 0,28 ^{a, A}	9,53 ± 0,14 ^{a, AB}	55,02 ± 0,55 ^{a, A}	-2,43 ± 0,01 ^{a, A}	8,77 ± 0,03 ^{a, A}
D15	66,76 ± 1,46 ^{b, B}	-1,92 ± 0,12 ^{a, A}	12,09 ± 0,17 ^{a, C}	57,34 ± 0,38 ^{a, A}	-2,28 ± 0,37 ^{a, A}	9,78 ± 0,7 ^{a, A}	58,93 ± 0,23 ^{ab, A}	-2,34 ± 0,12 ^{a, A}	10,72 ± 0,59 ^{ab, AB}
15°C									
D10	67,42 ± 3,12 ^{b, A}	-2 ± 0,01 ^{a, C}	12,04 ± 2,47 ^{a, A}	64,48 ± 0,23 ^{b, A}	-2,21 ± 0,01 ^{c, A}	11,91 ± 0,18 ^{b, A}	61,01 ± 0,61 ^{a, A}	-2,06 ± 0,01 ^{a, B}	11,03 ± 0,05 ^{a, A}
D20	65,54 ± 0,43 ^{a, A}	-2,15 ± 0,19 ^{a, A}	11,12 ± 0,25 ^{a, A}	57,34 ± 0,19 ^{a, A}	-2,41 ± 0,03 ^{b, A}	10,18 ± 0,03 ^{a, A}	59,10 ± 1,00 ^{a, A}	-2,43 ± 0,21 ^{a, A}	9,03 ± 0,90 ^{a, A}
D25	68,71 ± 0,25 ^{a, B}	-2,07 ± 0,04 ^{a, B}	11,79 ± 0,38 ^{a, B}	59,61 ± 0,93 ^{a, A}	-2,34 ± 0,07 ^{ab, A}	9,47 ± 0,60 ^{a, A}	60,51 ± 0,07 ^{a, A}	-2,49 ± 0,04 ^{a, A}	10,65 ± 0,03 ^{a, AB}
6°C									
D15	64,7 ± 1,25 ^{a, A}	-1,87 ± 0,13 ^{b, A}	11,66 ± 0,45 ^{a, A}	66,18 ± 0,01 ^{b, A}	-1,88 ± 0,13 ^{a, A}	11,6 ± 0,22 ^{a, A}	65,73 ± 1,04 ^{a, A}	-2,13 ± 0,07 ^{b, A}	9,43 ± 1,44 ^{a, A}
D25	67,37 ± 0,12 ^{a, B}	-2,27 ± 0,04 ^{ab, A}	11,63 ± 0,04 ^{a, A}	65,1 ± 0,13 ^{a, A}	-2,07 ± 0,38 ^{a, A}	12,25 ± 0,29 ^{a, A}	65,09 ± 0,58 ^{a, A}	-2,23 ± 0,05 ^{ab, A}	12,12 ± 0,27 ^{a, A}
D35	70,83 ± 0,14 ^{b, B}	-2,16 ± 0,00 ^{a, B}	11,89 ± 0,39 ^{a, A}	66,11 ± 0,38 ^{b, A}	-2,27 ± 0,01 ^{a, B}	11,64 ± 0,5a, A	65,8 ± 0,07 ^{a, A}	-2,44 ± 0,05 ^{a, A}	10,35 ± 0,1 ^{a, A}

Veriler ortalama ± sapma olarak verilmiştir. Aynı depolama gününde farklı büyük harfler (A–C) örnekler arasındaki istatistiksel farkı, örnekte farklı küçük harfler (a–d) depolama günleri arasındaki istatistiksel farkı göstermektedir ($P < 0,05$)

4.8.3. Peynirlerde duyuusal analiz

25°C, 15°C ve 6°C ' de depolanan kaşar peynirlerinin depolama süresince gerçekleştirilen duyuusal değerlendirme sonuçları Çizelge 4.13'de verilmiştir. Duyusal analiz sonuçlarına göre, 25°C'de depolanan Kontrol örneği depolamanın son gününde renk, yapı-görünüş, koku ve genel kabul edilebilirlik parametrelerinde en düşük puanları almıştır ($P < 0,05$). Benzer şekilde, PI-F ve PI/EO-F ile kaplanan kaşar peynirlerinde de 25°C,'de depolamanın son gününde renk, yapı-görünüş, koku ve genel kabul edilebilirlik skorlarının diğer depolama günlerine göre azaldığı belirlenmiştir.

15°C'de depolanan Kontrol örneğinde genel kabul edilebilirlik skorunun depolama süresince azalma gösterdiği, ancak bu değişimin istatistiksel olarak önemli olmadığı tespit edilmiştir ($P > 0,05$). 15°C'de depolanan Kontrol örneklerinde yapı-görünüş parametresi skorunun depolamanın 20. gününde azalma gösterdiği, ancak bu değişimin istatistiksel olarak önemli olmadığı belirlenmiştir ($P > 0,05$). Benzer şekilde, aynı sıcaklıkta PI-F ile kaplanan örneklerde de yapı-görünüş skorunun depolama süresince azaldığı, ancak bu azalmanın istatistiksel açıdan anlamlı olmadığı tespit edilmiştir ($P > 0,05$).

15°C'de depolamanın son gününde en yüksek genel kabul edilebilirlik skorunun PI/EO-F örneğinde ($7,43 \pm 1,26$), en düşük skorun ise K örneğinde ($6,75 \pm 1,26$) olduğu belirlenmiştir.

6°C'de depolanan örneklerde renk parametresi $7,13 \pm 0,85$ ve $8,00 \pm 1,00$ arasında değişmektedir ve depolama boyunca örnekler arasında fark bulunmamıştır ($P > 0,05$). Yine aynı sıcaklıkta K örneğinde genel kabul edilebilirlik skoru $7,60 \pm 0,89$ - $7,95 \pm 0,82$, PI/F örneğinde $7,50 \pm 1,00$ - $7,73 \pm 0,95$, PI/EO-F örneğinde ise $7,20 \pm 1,64$ - $7,45 \pm 0,97$ aralığında değişmektedir.

25°C'de depolanan örneklerde duyuusal kalite kayıplarının, yüksek sıcaklığa bağlı olarak mikrobiyal gelişimin hızlanması ve buna bağlı biyokimyasal değişimlerin artması ile ilişkili olabileceği düşünülmektedir. PI/EO-F ile kaplanan kaşar peynirlerinin koku parametresinden daha düşük skor aldığı belirlenmiştir. Panelistler tarafından bu durumun, *C. niveum* esansiyel yağından kaynaklanan mentol benzeri aromadan kaynaklandığı ifade edilmiştir.

Çizelge 4.13. Depolama süresince K, PI-F ve PI/EO-F filmleri ile kaplanan kaşar peynirlerinin duyu analizi sonuçları

ÖRNEKLER	SICAKLIK VE GÜNLER	RENK	YAPI GÖRÜNÜŞ	KOKU	YABANCI KOKU	GENEL KABUL EDİLEBİLİRLİK
K	T25-d2	8,00 ± 0,82 ^{b,A}	8,25 ± 0,96 ^{b,A}	8,50 ± 0,58 ^{b,A}	9,00 ± 0,00 ^{a,A}	8,50 ± 0,58 ^{b,A}
	T25-d7	7,80 ± 0,84 ^{b,A}	7,20 ± 1,79 ^{b,A}	7,60 ± 1,14 ^{b,A}	9,00 ± 0,00 ^{a,A}	7,40 ± 1,14 ^{b,A}
	T25-d10	7,00 ± 1,00 ^{b,A}	6,60 ± 1,34 ^{b,A}	7,40 ± 1,34 ^{b,A}	9,00 ± 0,00 ^{a,B}	6,80 ± 1,10 ^{b,A}
	T25-d15	3,25 ± 0,50 ^{a,A}	3,75 ± 0,96 ^{a,A}	3,25 ± 0,96 ^{a,A}	8,75 ± 0,50 ^{a,A}	3,50 ± 0,58 ^{a,A}
PI-F	T25-d2	8,00 ± 0,71 ^{b,A}	8,20 ± 0,45 ^{c,A}	8,60 ± 0,55 ^{c,A}	8,80 ± 0,45 ^{a,A}	8,60 ± 0,55 ^{d,A}
	T25-d7	6,80 ± 1,79 ^{ab,A}	7,20 ± 1,92 ^{bc,A}	6,80 ± 1,79 ^{ab,A}	8,80 ± 0,45 ^{a,A}	6,00 ± 1,58 ^{b,A}
	T25-d10	6,17 ± 1,33 ^{ab,A}	5,67 ± 0,82 ^{ab,A}	7,67 ± 0,82 ^{b,A}	9,00 ± 0,00 ^{a,B}	6,83 ± 0,75 ^{c,A}
	T25-d15	5,00 ± 0,82 ^{a,AB}	5,00 ± 0,82 ^{a,A}	4,88 ± 1,03 ^{a,AB}	8,25 ± 1,50 ^{a,A}	5,25 ± 0,50 ^{a,B}
PI/EO-F	T25-d2	8,60 ± 0,55 ^{b,A}	9,00 ± 0,00 ^{b,A}	8,00 ± 1,00 ^{a,A}	8,60 ± 0,55 ^{a,A}	7,80 ± 0,45 ^{b,A}
	T25-d7	6,00 ± 1,41 ^{a,A}	6,33 ± 1,03 ^{a,A}	6,00 ± 1,90 ^{a,A}	7,83 ± 1,47 ^{a,A}	5,83 ± 0,98 ^{a,A}
	T25-d10	5,83 ± 1,83 ^{a,A}	6,33 ± 1,51 ^{a,A}	5,33 ± 2,42 ^{a,A}	7,67 ± 1,03 ^{a,A}	5,67 ± 0,52 ^{a,A}
	T25-d15	4,20 ± 1,10 ^{a,B}	4,40 ± 1,52 ^{a,A}	6,10 ± 1,34 ^{a,B}	7,80 ± 1,30 ^{a,A}	5,50 ± 1,00 ^{a,B}
K	T15-d10	8,00 ± 0,89 ^{a,A}	8,33 ± 0,82 ^{b,A}	8,50 ± 0,55 ^{a,A}	9,00 ± 0,00 ^{a,A}	8,00 ± 0,89 ^{a,A}
	T15-d20	7,00 ± 0,82 ^{a,A}	6,88 ± 0,63 ^{a,A}	7,00 ± 0,82 ^{a,A}	9,00 ± 0,00 ^{a,A}	7,13 ± 0,25 ^{a,A}
	T15-d25	7,00 ± 0,82 ^{a,A}	6,95 ± 0,33 ^{a,A}	7,38 ± 1,25 ^{a,A}	8,75 ± 0,50 ^{a,A}	6,75 ± 1,26 ^{a,A}
PI-F	T15-d10	7,83 ± 0,75 ^{a,A}	8,17 ± 1,17 ^{a,A}	7,83 ± 0,75 ^{a,A}	9,00 ± 0,00 ^{a,A}	8,17 ± 0,75 ^{a,A}
	T15-d20	6,50 ± 1,22 ^{a,A}	7,50 ± 0,58 ^{a,A}	7,5 ± 0,58 ^{a,A}	9,00 ± 0,00 ^{a,A}	7,00 ± 0,91 ^{a,A}
	T15-d25	6,88 ± 1,31 ^{a,A}	7,00 ± 1,83 ^{a,A}	7,63 ± 0,95 ^{a,A}	9,00 ± 0,00 ^{a,A}	7,43 ± 1,26 ^{a,A}
PI/EO-F	T15-d10	8,00 ± 0,63 ^{a,A}	8,33 ± 1,21 ^{a,A}	7,00 ± 2,10 ^{a,A}	7,67 ± 1,21 ^{a,B}	7,17 ± 1,47 ^{a,A}
	T15-d20	7,50 ± 1,00 ^{a,A}	7,88 ± 0,63 ^{a,A}	6,63 ± 0,95 ^{a,A}	8,00 ± 1,15 ^{a,A}	7,43 ± 0,96 ^{a,A}
	T15-d25	7,00 ± 0,82 ^{a,A}	7,38 ± 1,25 ^{a,A}	7,25 ± 0,50 ^{a,A}	8,00 ± 0,82 ^{a,A}	7,30 ± 0,48 ^{a,A}
K	T6-d15	7,40 ± 0,55 ^{a,A}	7,20 ± 0,45 ^{a,A}	7,2 ± 0,84 ^{a,A}	9,00 ± 0,00 ^{a,A}	7,60 ± 0,89 ^{a,A}
	T6-d25	8,00 ± 0,82 ^{a,A}	8,08 ± 0,70 ^{a,A}	7,25 ± 0,96 ^{a,A}	8,25 ± 0,96 ^{a,A}	7,95 ± 0,82 ^{a,A}
	T6-d35	8,00 ± 1,00 ^{a,A}	8,33 ± 0,58 ^{a,A}	7,67 ± 1,15 ^{a,A}	8,67 ± 0,58 ^{a,A}	7,67 ± 1,15 ^{a,A}
PI-F	T6-d15	7,60 ± 0,55 ^{a,A}	7,60 ± 0,55 ^{a,A}	7,90 ± 0,55 ^{a,A}	9,00 ± 0,00 ^{a,A}	7,7 ± 1,20 ^{a,A}
	T6-d25	7,13 ± 0,85 ^{a,A}	7,75 ± 0,96 ^{a,A}	7,75 ± 0,96 ^{a,A}	9,00 ± 0,00 ^{a,A}	7,73 ± 0,95 ^{a,A}
	T6-d35	7,75 ± 0,50 ^{a,A}	6,75 ± 0,96 ^{a,A}	7,25 ± 1,50 ^{a,A}	9,00 ± 0,00 ^{a,A}	7,50 ± 1,00 ^{a,A}
PI/EO-F	T6-d15	7,4 ± 0,55 ^{a,A}	7,40 ± 0,55 ^{a,A}	6,70 ± 1,57 ^{a,A}	8,60 ± 0,89 ^{a,A}	7,20 ± 1,64 ^{a,A}
	T6-d25	7,75 ± 1,26 ^{a,A}	8,00 ± 0,82 ^{a,A}	7,08 ± 1,42 ^{a,A}	9,00 ± 0,00 ^{a,A}	7,45 ± 0,97 ^{a,A}
	T6-d35	8,00 ± 1,00 ^{a,A}	8,00 ± 1,00 ^{a,A}	7,00 ± 1,00 ^{a,A}	8,33 ± 1,15 ^{a,A}	7,33 ± 1,15 ^{a,A}

Veriler ortalama ± standart sapma olarak verilmiştir. Aynı depolama gününde farklı büyük harfler (A–C) örnekler arasındaki istatistiksel farkı, aynı örnekte farklı küçük harfler (a–d) depolama günleri arasındaki istatistiksel farkı göstermektedir ($P < 0,05$).

Ancak bu farklılığa rağmen PI/EO-F kaplı örneklerin özellikle düşük ve orta sıcaklıklarda genel kabul edilebilirlik açısından kabul edilebilir düzeyde kaldığı görülmüştür. Depolama sıcaklığına yönelik yapılan bir çalışmada, esansiyel yağ içeren kitosan film ile kaplanan Göbek Kaşar peynirlerinde duyu özelliklerinin depolama süresince değiştiği ve özellikle esansiyel yağ içeren örneklerin aroma ve genel kabul edilebilirlik bakımından daha düşük

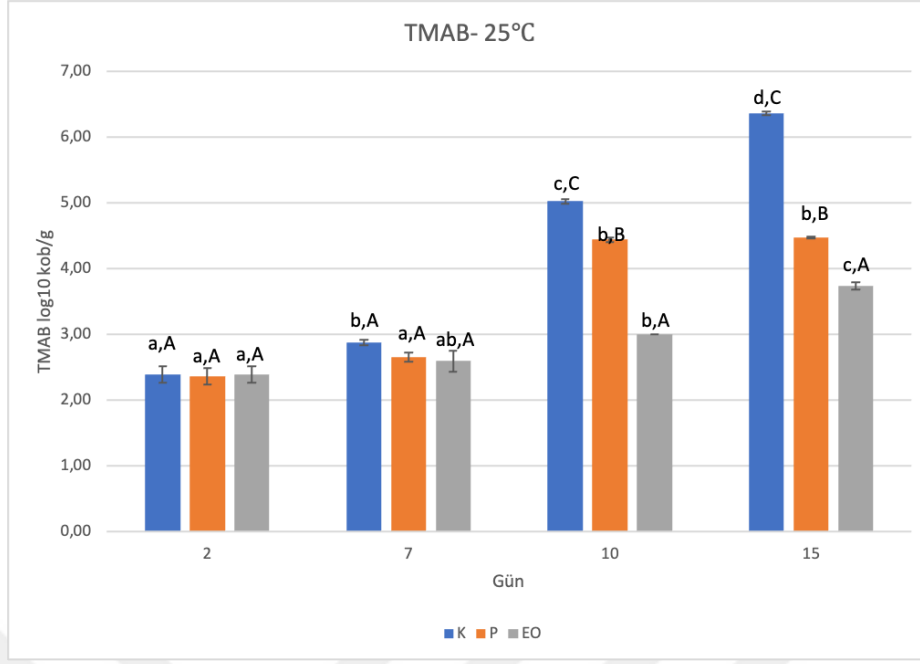
skor aldığı bildirilmiştir. Araştırmacılar bu durumun, esansiyel yağın ürünün organoleptik özelliklerini etkilemesinden kaynaklanabileceğini belirtmişlerdir (Yangılar, 2016).

4.8.4. Peynirde mikrobiyolojik analizler

25°C, 15°C ve 6°C ' de depolanan kaşar peynirlerinin depolama süresince gerçekleştirilen toplam mezofilik aerobik bakteri (TMAB) sayımları Şekil 4.17–4.19'da, küf ve maya sayılarındaki değişimler ise Çizelge 4.14'te verilmiştir.

25°C'de depolanan Kontrol peynirlerinde TMAB sayılarının depolama süresince arttığı belirlenmiş olup, TMAB sayısı $2,39 \pm 0,12$ log kob/g'dan $6,36 \pm 0,03$ log kob/g'a yükselmiştir (Şekil 4.17). Depolamanın 7. gününe kadar Kontrol örnekleri ile diğer örnekler arasında istatistiksel olarak önemli bir farklılık gözlenmezken, 10. ve 15. günlerde örnekler arasında önemli farklılıkların olduğu tespit edilmiştir ($P<0,05$). PI-F ile kaplanan örneklerde depolamanın 10. gününde TMAB sayısında artış gözlenmiş ve bu değer depolamanın 2. ve 7. günlerindeki değerlerden istatistiksel olarak farklı olduğu belirlenmiştir ($P<0,05$). Ancak depolamanın 10. ve 15. günleri arasında istatistiksel olarak önemli bir farklılık tespit edilmemiştir ($P>0,05$). Depolamanın 10. ve 15. günlerinde Kontrol, PI-F ve PI/EO-F kaplı örnekler arasında TMAB sayıları bakımından istatistiksel olarak önemli farklılıklar belirlenmiştir ($P<0,05$). PI/EO-F ile kaplanan örneklerde depolamanın 10. ve 15. günlerinde TMAB sayısında artış gözlenmiş ve bu artışın istatistiksel olarak önemli olduğu belirlenmiştir ($P<0,05$). Depolamanın 15. gününde TMAB sayısı $3,74 \pm 0,06$ log kob/g olarak tespit edilmiştir. Bununla birlikte, diğer örneklerle kıyasla TMAB sayısındaki daha sınırlı artışın, film yapısında bulunan esansiyel yağın antimikrobiyal etkisi ve peynir yüzeyine kontrollü yayılımı ile ilişkili olabileceği düşünülmektedir.

15°C'de depolanan Kontrol örneğinde TMAB sayısının depolamanın 20. gününde ilk güne göre arttığı ve bu artışın istatistiksel olarak önemli olduğu belirlenmiştir ($P<0,05$). Ancak depolamanın 20. ve 25. günleri arasında istatistiksel olarak önemli bir farklılık tespit edilmemiştir ($P>0,05$). PI-F ile kaplanan örneklerde ise TMAB sayısında depolamanın 25. gününde artış gözlenmiş ve bu artışın istatistiksel olarak önemli olduğu belirlenmiştir ($P<0,05$). PI/EO-F ile kaplanan örneklerde de depolamanın 20. gününde TMAB sayısında ilk güne göre artış meydana geldiği belirlenmiştir ($P<0,05$). Bununla birlikte, depolamanın 20. ve 25. günleri arasında istatistiksel olarak önemli bir farklılık bulunmamıştır ($P>0,05$).

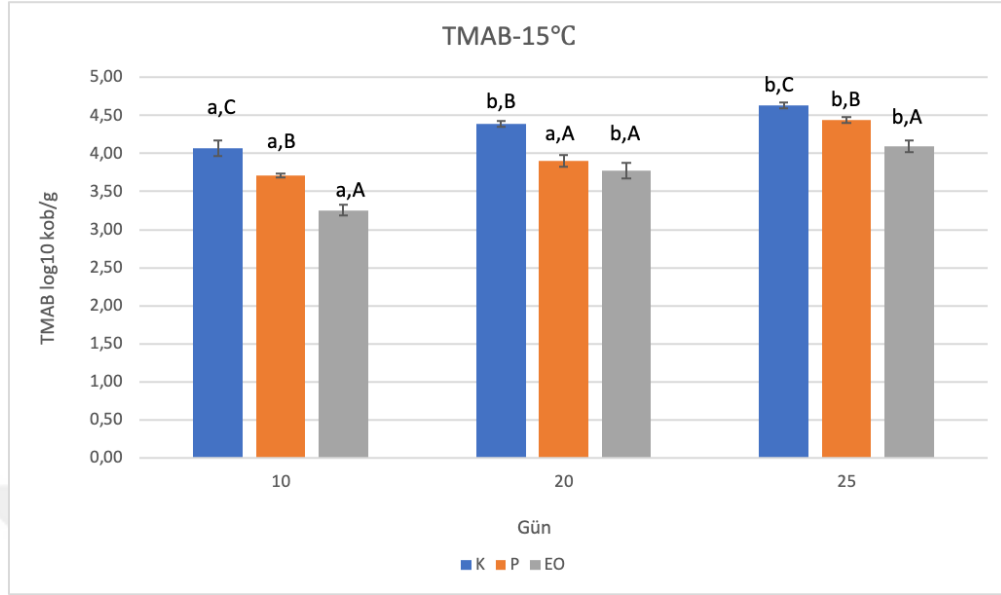


Şekil 4.17. 25°C’de depolanan K, PI-F ve PI/EO-F ile kaplanmış kaşar peynirlerinin depolama süresince toplam mezofilik aerobik bakteri (TMAB) sayılarındaki değişimler (log kob/g)

15°C’de ilk depolama gününde tüm örnekler arasında TMAB sayıları bakımından istatistiksel olarak önemli farklılık belirlenmiştir ($P<0,05$). Depolamanın 20. gününde ise PI-F ve PI/EO-F kaplı örnekler arasında istatistiksel olarak önemli bir farklılık gözlenmezken ($P>0,05$) depolamanın son gününde ise örnekler arasında istatistiksel olarak önemli bir farklılık tespit edilmiştir ($P<0,05$).

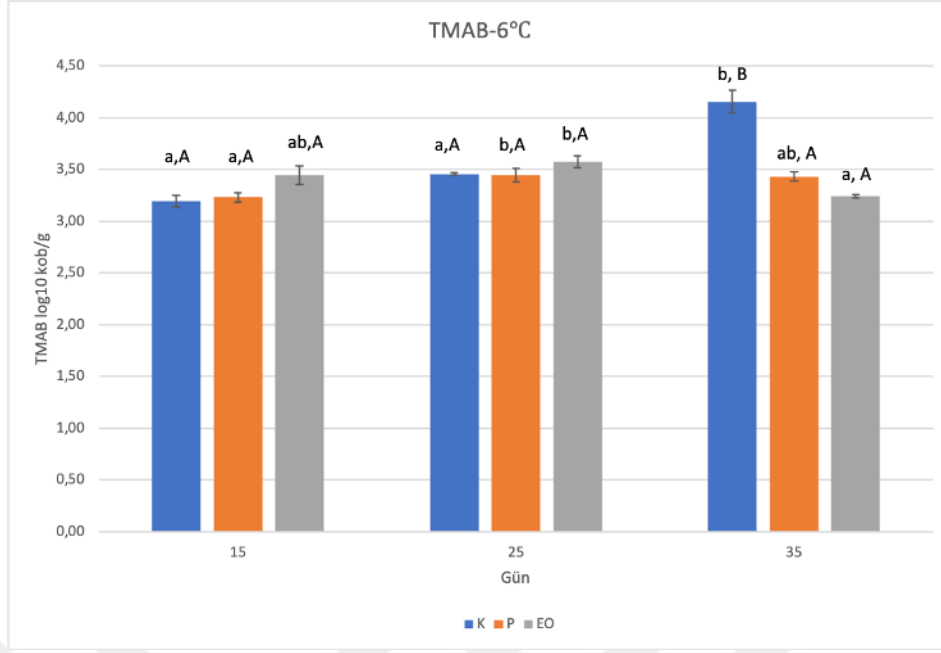
6°C’de depolanan kaşar peynirlerinin TMAB sayılarındaki değişimler incelendiğinde, Kontrol örneğinde depolama süresince TMAB sayısının arttığı belirlenmiştir. Kontrol örneğinde TMAB sayısı depolamanın 15. gününde yaklaşık 3,19 log kob/g iken, 35. günde 4,15 log kob/g seviyesine yükselmiştir ve bu artış istatistiksel olarak önemli olduğu belirlenmiştir ($P<0,05$). PI-F ile kaplanan örneklerde depolama boyunca TMAB sayılarında sınırlı değişim gözlenmiş olup, depolamanın 35. gününde yaklaşık 3,43 log kob/g değeri belirlenmiştir. PI/EO-F ile kaplanan örneklerde ise TMAB sayılarının depolama boyunca daha stabil seyrettiği ve 35. günde yaklaşık 3,24 log kob/g olarak tespit edilmiştir. Depolamanın 15. ve 25. günlerinde örnekler arasında önemli bir farklılık gözlenmezken ($P>0,05$), 35. günde Kontrol örneğinin TMAB sayısının PI-F ve PI/EO-F kaplı örneklerden istatistiksel olarak daha yüksek olduğu belirlenmiştir ($P<0,05$). Özellikle PI/EO-F kaplı örneklerde TMAB gelişiminin daha düşük olması, esansiyel yağın

antimikrobiyal etkisi ile ilişkili olabilir. Ayrıca düşük depolama sıcaklığının mikrobiyal gelişimi yavaşlatarak örneklerde TMAB artışını sınırladığı düşünülmektedir.



Şekil 4.18. 15°C’de depolanan K, PI-F ve PI/EO-F ile kaplanmış kaşar peynirlerinin depolama süresince toplam mezofilik aerobik bakteri (TMAB) sayılarındaki değişimler (log kob/g)

25°C, 15°C ve 6°C ’de depolanan kaşar peynirlerinin küf-maya sayılarındaki değişimler Çizelge 4.13’te verilmiştir. 25°C’de depolanan Kontrol örneklerinde depolama süresince küf-maya sayısının arttığı belirlenmiştir. Depolamanın 2. gününde küf-maya gelişimi <1,0 log kob/g olarak bulunurken, 7. günde $2,00 \pm 0,00$ log kob/g düzeyinde küf-maya gelişimi belirlenmiştir. Depolamanın ilerleyen günlerinde küf-maya sayısının önemli düzeyde arttığı ve 15. günde $5,25 \pm 0,15$ log kob/g’a ulaştığı tespit edilmiştir ($P < 0,05$). PI-F ile kaplanan örneklerde ise depolamanın 10. gününde küf-maya gelişimi belirlenmiş ve depolama süresince artış göstererek 15. günde $4,54 \pm 0,11$ log kob/g olarak tespit edilmiştir ($P < 0,05$). Buna karşın PI/EO-F ile kaplanan örneklerde 25°C’de depolama boyunca küf-maya gelişimi <1,0 log kob/g olarak bulunmuştur.



Şekil 4.19. 6°C’de depolanan K, PI-F ve PI/EO-F ile kaplanmış kaşar peynirlerinin depolama süresince toplam mezofilik aerobik bakteri (TMAB) sayılarındaki değişimler (log kob/g)

15°C’de depolanan örneklerde de benzer şekilde Kontrol örneklerinde küf-maya sayısının depolama boyunca arttığı belirlenmiştir. Kontrol örneğinde küf-maya sayısı depolamanın 10. gününde $4,02 \pm 0,04$ log kob/g iken, 25. günde $5,14 \pm 0,01$ log kob/g’a yükselmiştir ($P < 0,05$). PI-F ile kaplanan örneklerde ise küf-maya gelişimi daha düşük düzeyde gerçekleşmiş ve depolamanın 25. gününde $2,15 \pm 0,21$ log kob/g olarak belirlenmiştir. PI/EO-F ile kaplanan örneklerde ise depolama boyunca küf-maya gelişimi gözlenmemiştir ($< 1,0$ log kob/g).

6°C’de depolanan örneklerde Kontrol peynirlerinde depolamanın 25. gününde küf-maya gelişimi belirlenmiş ve 35. günde $3,91 \pm 0,00$ log kob/g’a yükselmiştir. Buna karşın PI-F ve PI/EO-F ile kaplanan örneklerde depolama boyunca küf-maya gelişimi $< 1,0$ log kob/g olarak bulunmuştur.

Genel olarak değerlendirildiğinde, depolama sıcaklığının artmasıyla küf-maya gelişiminin hızlandığı belirlenmiştir. Özellikle PI/EO-F ile kaplanan örneklerde tüm depolama sıcaklıklarında küf-maya gelişiminin gözlenmemesi, esansiyel yağın antimikrobiyal etkisi ile ilişkili olabilir.

Çizelge 4.14. 25°C, 15°C ve 6°C’de K, PI-F ve PI/EO-F filmleri ile kaplanmış kaşar peynirlerinde depolama süresince maya-küf sayılarındaki değişim (log kob/g)

Depolama Günü	K	PI-F	PI/EO-F
25°C			
D2	<1,0 log kob/g	<1,0 log kob/g	<1,0 log kob/g
D7	2,00 ± 0,00 ^a	<1,0 log kob/g	<1,0 log kob/g
D10	5,01 ± 0,01 ^{b,B}	3,57 ± 0,04 ^{a,A}	<1,0 log kob/g
D15	5,25 ± 0,15 ^{c,B}	4,54 ± 0,11 ^{b,A}	<1,0 log kob/g
15°C			
D10	4,02 ± 0,04 ^{a,B}	2,15 ± 0,21 ^{a,A}	<1,0 log kob/g
D20	5,01 ± 0,01 ^{b,B}	3,13 ± 0,02 ^{b,A}	<1,0 log kob/g
D25	5,14 ± 0,01 ^{c,B}	2,15 ± 0,21 ^{c,A}	<1,0 log kob/g
6°C			
D15	<1,0 log kob/g	<1,0 log kob/g	<1,0 log kob/g
D25	2,60 ± 0,00 ^a	<1,0 log kob/g	<1,0 log kob/g
D35	3,91 ± 0,00 ^b	<1,0 log kob/g	<1,0 log kob/g

Veriler ortalama ± standart sapma olarak verilmiştir. Aynı depolama gününde farklı büyük harfler (A–C) örnekler arasındaki istatistiksel farkı, aynı örnekte farklı küçük harfler (a–d) depolama günleri arasındaki istatistiksel farkı göstermektedir ($P < 0,05$). T.E: Tespit edilemedi

Yapılan bir çalışmada, potasyum sorbat, nisin, kitosan ve gümüşlü zeolit içeren aktif ambalajların kontrol grubuna kıyasla mikrobiyal gelişimi başarılı bir şekilde baskıladığı bildirilmiştir. Ancak depolama sıcaklığının artmasıyla birlikte (15°C ve 25°C), aktif ambalajların koruyucu etkisinin azaldığı ve mikrobiyal gelişimin hızlandığı belirtilmiştir. Aynı çalışmada, maya ve küf gelişiminin kontrolünde en etkili uygulamanın kitosan içeren film olduğu ve bu filmin 15°C ve 25°C’de depolanan örneklerde maya-küf gelişimini tamamen inhibe ettiği ifade edilmiştir (Dıblan & Kaya, 2023). Susam yağı ve çörek otu yağı içeren balmumu bazlı aktif filmlerle kaplanan kaşar peynirlerinde mikrobiyal gelişimin sınırlandırıldığı ve özellikle maya-küf gelişiminin baskılandığı bildirilmiştir. Film kaplı örneklerde toplam mikroorganizma sayılarının kontrol örneklerine göre daha düşük olduğu ve bu durumun film yapısında bulunan biyolojik aktif bileşenlerin antimikrobiyal etkisinden kaynaklandığı ifade edilmiştir (Akarca vd., 2025). Sodyum kazeinat ve kitosan bazlı yenilebilir kaplamaların kaşar peynirleri üzerindeki etkisinin araştırıldığı bir çalışmada, özellikle maya ve küf gelişiminin kitosan ile kaplanan örneklerde önemli ölçüde baskılandığı bildirilmiştir (Yalçın vd., 2021).

Bu sonuçların çalışmamız ile benzerlik gösterdiği düşünülmektedir. Özellikle PI/EO-F ile kaplanan örneklerde küf-maya gelişiminin gözlenmemesi ve TMAB sayılarındaki

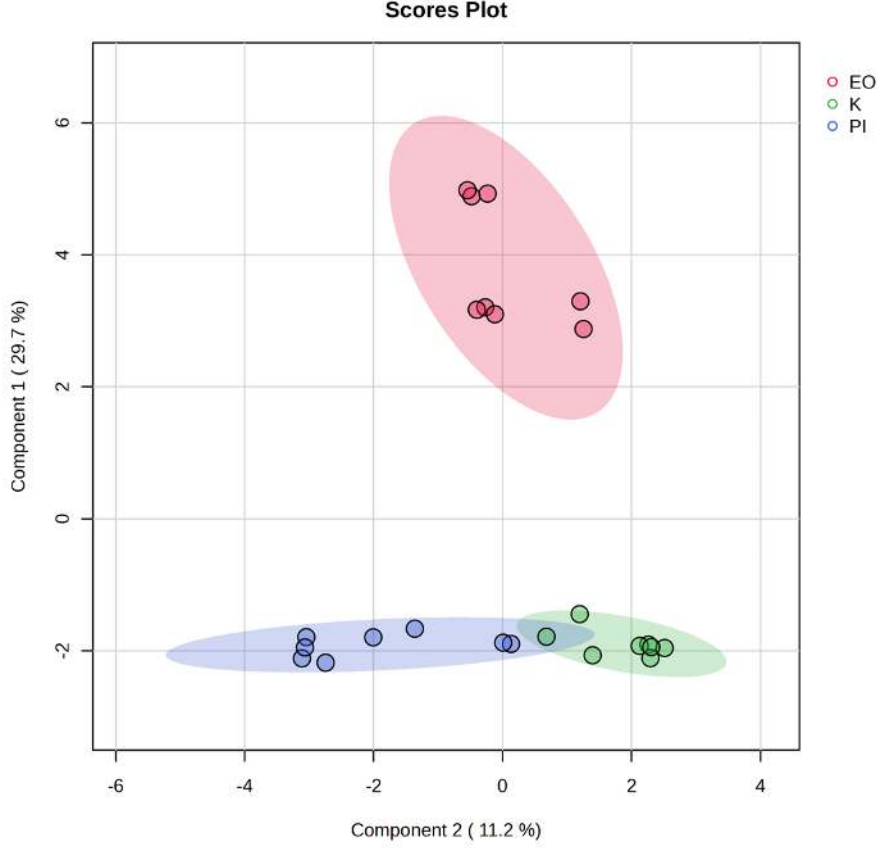
artışın sınırlı kalması, film yapısında bulunan esansiyel yağın antimikrobiyal etkisi ile ilişkili olabilir. Bununla birlikte, depolama sıcaklığının artmasıyla mikrobiyal gelişimin hızlanması, yüksek sıcaklığın mikroorganizmaların gelişimi için daha uygun koşullar oluşturduğunu göstermektedir.

4.8.5. Peynirde uçucu bileşenler

Şekil 4.20’de 25°C’de depolanan K, PI-F ve PI/EO-F ile kaplanan örneklerle ait uçucu bileşenlerin heatmap analizi verilmiştir. Analiz sonucunda toplam 101 adet uçucu bileşen tespit edilmiş olup, bu bileşenlere ait yüzde (%) alan değerleri Ek A’da tablo halinde sunulmuştur. Heatmap sonuçları incelendiğinde, PI/EO-F, K ve PI-F örneklerinin uçucu bileşen profilleri bakımından birbirinden farklı kümelendiği görülmüştür. PI/EO-F örneklerinin özellikle monoterpen ve seskiterpen bileşikler bakımından diğer örneklerden belirgin şekilde ayrıldığı belirlenmiştir. Limonen, α -pinen, sabinen, mentol, mirsen ve γ -terpinen gibi terpenik bileşiklerin PI/EO-F örneklerinin daha yüksek yoğunlukta bulunduğu görülmüştür. Ayrıca thujone, piperitone, isopulegone ve spathulenol gibi bileşiklerin bu gruba özgü karakteristik bileşenler olduğu belirlenmiştir.

PI-F ile kaplı kaşar peynirlerinin uçucu bileşenlerinde özellikle metil ketonlar, alkoller ve bazı aldehytlerin daha yoğun olduğu tespit edilmiştir. 2-undekanon, 2-nonanon ve 2-heptanon gibi keton bileşiklerinin yanı sıra 1-hekzanol, benzil alkol ve hekzanal gibi bileşiklerin PI-F grubunda daha yüksek seviyelerde bulunduğu görülmüştür. Kontrol örneklerinin ise PI/EO-F ve PI-F grupları arasında ara bir profil sergilediği, özellikle bazı organik asitler ve alkan bileşikler bakımından farklılık gösterdiği belirlenmiştir.

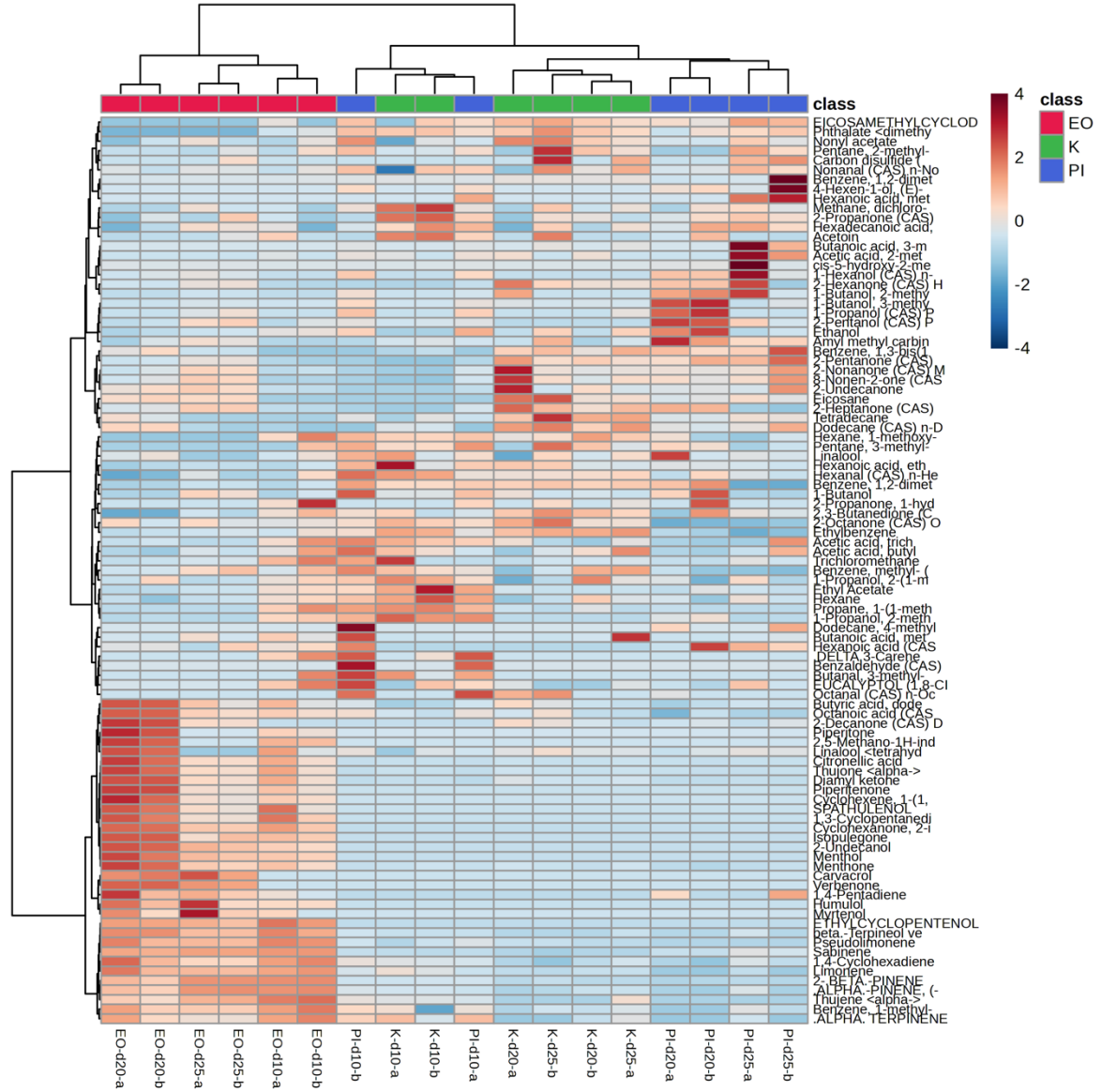
PI/EO-F örneklerinde yüksek yoğunlukta belirlenen limonen, α -pinen, sabinen, mentol, γ -terpinen, piperiton ve diğer terpenik bileşiklerin bu ayrışmada etkili olduğu düşünülmüştür.



Şekil 4.21. 25°C’de depolanan K, PI-F ve PI/EO-F örneklerinin uçucu bileşen profillerine ait temel bileşen analizi (PCA)

K ve PI-F örneklerinin PCA grafiğinde birbirine daha yakın konumlandığı görülmüştür. Heatmap analizindeki hiyerarşik kümelendirme sonuçları da bu benzerliği desteklemektedir. Bununla birlikte PI-F örneklerinin özellikle 2-undekanon, 2-nonanon ve 2-heptanon gibi metil ketonlar ile benzil alkol gibi bazı bileşikler bakımından K örneklerinden farklılaştığı belirlenmiştir. Bu bileşiklerin PI-F örneklerinin PC2 eksenini boyunca ayrışmasına katkı sağladığı düşünülmektedir. K örneklerinin ise PI-F ve PI/EO-F örnekleri arasında ara bir profil sergilediği görülmüştür. Kontrol örneklerinde bazı organik asitler, alkoller ve alkan bileşiklerinin orta düzeyde yoğunluk gösterdiği belirlenmiştir. Bu durumun, K örneklerinin PCA grafiğinde iki grup arasında daha dengeli bir konumda yer almasına neden olmuştur.

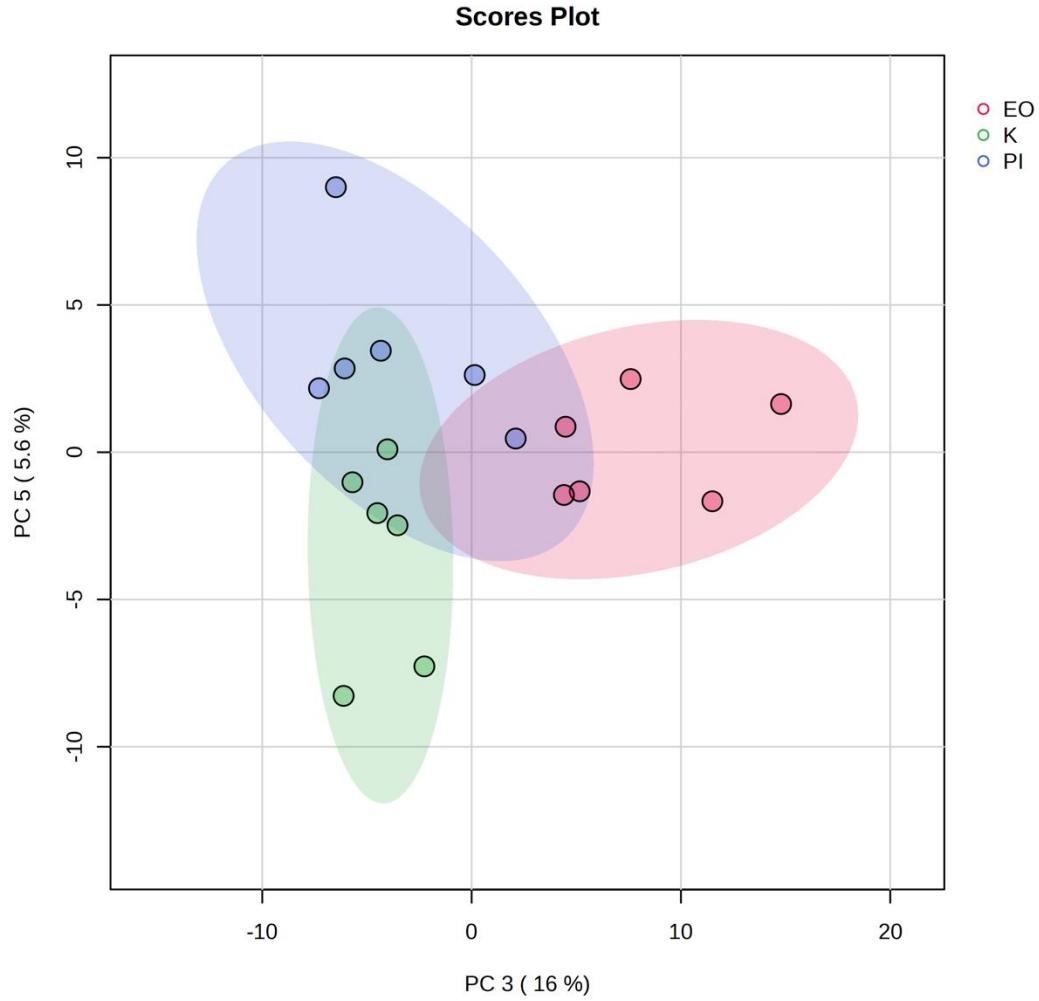
Genel olarak PCA ve heatmap analizleri birlikte değerlendirildiğinde, PI/EO-F örneklerinin terpenik bileşikler bakımından zengin ve karakteristik bir uçucu profile sahip olduğu, PI-F örneklerinin ise daha çok keton kaynaklı uçucu bileşiklerle karakterize edildiği görülmektedir.



Şekil 4.22. 15°C’de depolanan K, PI-F ve PI/EO-F örneklerinin uçucu bileşen profillerine ait heatmap gösterimi

Şekil 4.22’de 15°C’de depolanan K, PI-F ve PI/EO-F ile kaplanan örneklerin uçucu bileşen profillerine ilişkin heatmap analizi gösterilmektedir. Örneklerde toplam 95 adet uçucu bileşen belirlenmiş olup, bu bileşenlerin yüzde (%) alan değerleri Ek Çizelge B’de ayrıntılı olarak verilmiştir. Heatmap analizinde PI/EO-F örneklerinde 25°C’de depolanan örneklerde olduğu gibi özellikle limonen, α -pinen, sabinen, mentol, menton, thujone ve spathulenol gibi terpen ve terpenoid bileşiklerin yüksek yoğunlukta bulunduğu

belirlenmiştir. Bu bileşiklerin PI/EO-F örneklerinde yoğun kırmızı renk ile temsil edilmesi, esansiyel yağ ilavesinin uçucu profil üzerinde baskın etkisi olduğunu göstermektedir.



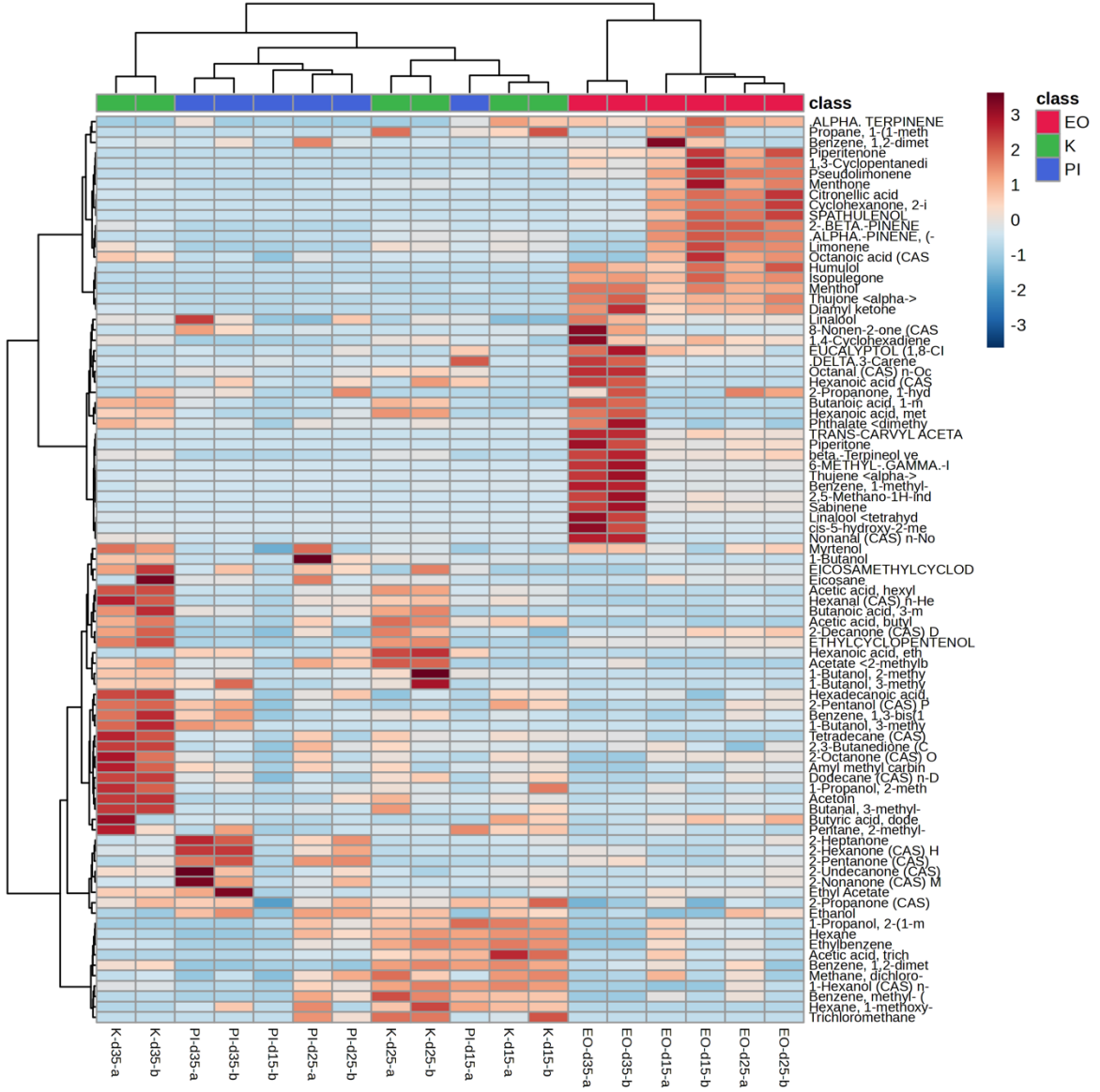
Şekil 4.23. 15°C’de depolanan K, PI-F ve PI/EO-F örneklerinin uçucu bileşen profillerine ait temel bileşen analizi (PCA)

K, PI-F örneklerinin heatmapp analizinde benzer uçucu profil özellikleri grafikteki dağılımdan görülmektedir. Bununla birlikte bu örnekler arasında özellikle 2-undekanon, 2-nonanon, 1-hekzanol ve asetik asit gibi bazı keton, alkol ve organik asit bileşenleri bakımından yoğunluk farklılıkları bulunduğu gözlemlenmiştir. Özellikle PI-F örneklerinin 20. ve 25. günlerinde bazı keton bileşiklerinin daha yüksek seviyelerde bulunduğu görülmüştür. Depolama süresinin uçucu bileşen profili üzerinde etkili olduğu belirlenmiştir. Heatmap analizinde depolama günlerinin örneklerin kendi içerisinde alt kümeler oluşturduğu görülmüştür. Özellikle PI/EO-F-d10 örneklerinin diğer aynı grup örneklerden kısmen farklılaştığı, ancak yine de PI/EO-F ana kümesi içerisinde yer aldığı belirlenmiştir.

Şekil 4.23’de 15°C’de depolanan K, PI-F ve PI/EO-F örneklerinin uçucu bileşen profillerine PCA analizi verilmiştir. PCA analizinde K, PI-F ve PI/EO-F örneklerinin birbirinden belirgin şekilde ayrıldığı görülmüştür. PC3 toplam varyansın %16’sını, PC5 ise %5,6’sını açıkladığı görülmüştür. PI/EO-F örneklerinin PCA grafiğinde pozitif PC3 yönünde kümелendiği, K, PI-F örneklerinin ise PCA grafiğinde negatif PC3 bölgesinde konumlandığı ve örneklerin birbirinden ayrıldığı tespit edilmiştir. Bu durum, PI/EO-F örneklerinin uçucu bileşen profili bakımından diğer gruplardan belirgin derecede farklı olduğunu göstermiştir. PCA grafiğinde PI/EO-F örneklerinin pozitif PC3 yönünde ayrışmasının temel nedeninin heatmap grafiğinde de görülen terpenik bileşikler olduğu düşünülmektedir.

Şekil 4.24’te 6°C’de depolanan K, PI-F ve PI/EO-F ile kaplanan örneklerin uçucu bileşen profillerine ilişkin heatmap analizi, Şekil 4.25’te ise PCA analizi sonuçları gösterilmektedir. Örneklerde toplam 87 adet uçucu bileşen belirlenmiş olup, bu bileşenlerin yüzde (%) alan değerleri Ek Çizelge C’de ayrıntılı olarak verilmiştir. PCA analizinde K, PI-F ve PI/EO-F örneklerinin uçucu bileşen profillerine göre farklı kümelenmeler oluşturduğu görülmüştür. Toplam varyansın %25,8’ini açıklayan PC1 ve %30,4’ünü açıklayan PC2 birlikte değerlendirildiğinde, PI/EO-F örneklerinin negatif PC1 ve negatif PC2 bölgesinde daha kompakt bir küme oluşturduğu belirlenmiştir. PI/EO-F örneklerinin birbirine yakın konumlanması, bu grubun uçucu bileşen profili bakımından daha homojen bir yapı gösterdiğini ortaya koymuştur.

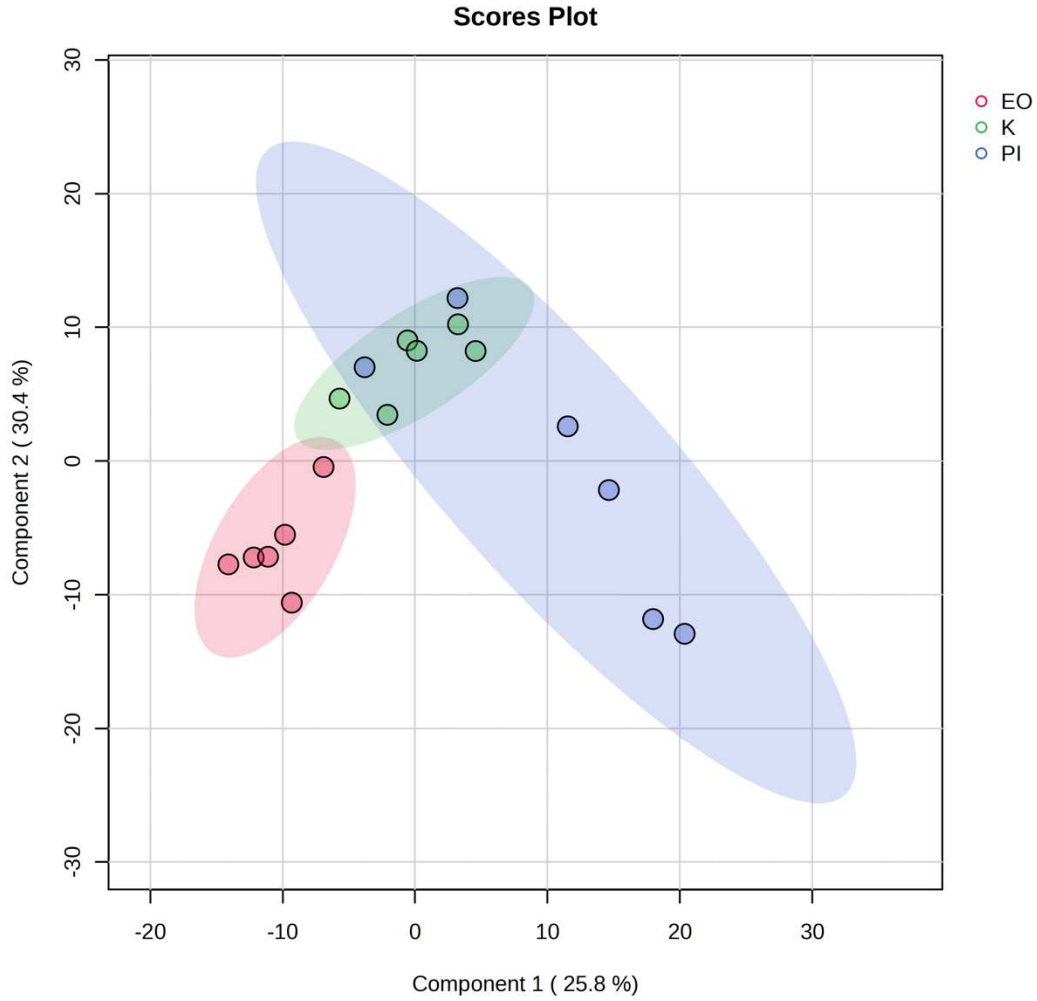
Heatmap analizinde PI/EO-F örneklerinde özellikle mentol, menton, piperiton, α -terpinen, okaliptol ve linalool gibi terpenik bileşiklerin yüksek yoğunlukta bulunduğu belirlenmiştir. Özellikle mentol ve piperiton bileşiklerinin PI/EO-F grubunu diğer örneklerden ayıran temel belirteçler olduğu değerlendirilmiştir. K, PI-F örneklerinin PCA grafiğinde PI/EO-F örneklerine göre birbirine daha yakın konumlandığı görülmüştür. Özellikle bazı PI-F örneklerinin K örnekleriyle aynı bölgede kümelenmesi, bu iki grubun 6°C’de benzer uçucu bileşen profilleri sergilediğini göstermektedir. Bununla birlikte PI-F grubunun PCA grafiğinde daha geniş bir alana yayıldığı belirlenmiştir. Bu durumda, PI-F örneklerinde depolama süresine bağlı olarak daha yüksek metabolomik değişkenlik meydana gelmesinden kaynaklanmış olabilir.



Şekil 4.24. 6°C’de depolanan K, PI-F ve PI/EO-F örneklerinin uçucu bileşen profillerine ait heatmap gösterimi

Heatmap analizinde K, PI-F örneklerinde özellikle heksanal, 1-heksanol, 2-heptanon ve bütanoik asit gibi aldehit, alkol, keton ve organik asit türevlerinin daha yoğun olduğu görülmüştür. Ayrıca hiyerarşik kümelendirme analizinde PI/EO-F kendi içerisinde daha sıkı bir küme oluşturduğu, K ve PI-F örneklerinin ise depolama günlerine göre birbirine daha yakın dallarda yer aldığı tespit edilmiştir.

Genel olarak değerlendirildiğinde, 6°C depolama koşullarında PI/EO-F grubunun karakteristik terpenik profilini gösterdiği, K ve PI-F örneklerinin ise aldehit, keton ve alkol bileşikler bakımından birbirine daha yakın bir uçucu profil sergilediği görülmüştür.



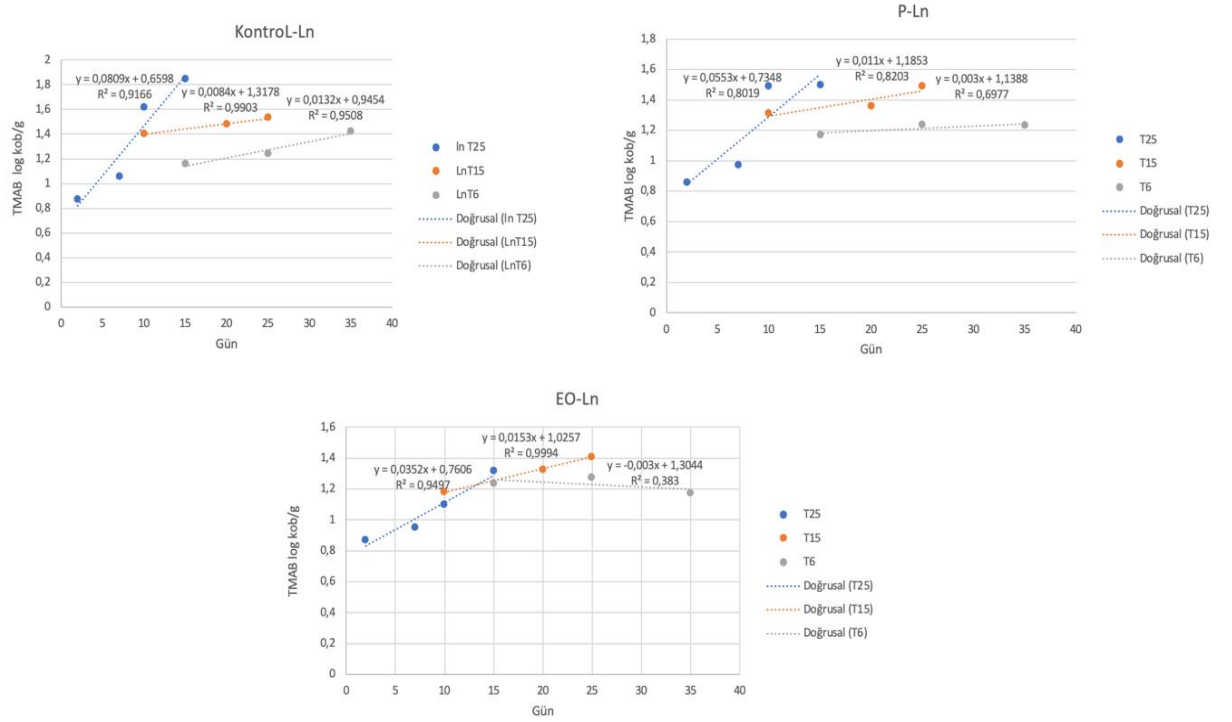
Şekil 4.25. 6°C’de depolanan K, PI-F ve PI/EO-F örneklerinin uçucu bileşen profillerine ait temel bileşen analizi (PCA)

Susam yağı ve çörek otu yağı içeren balmumu bazlı aktif filmlerle kaplanan kaşar peynirlerinde çörek otu yağı eklenmesi, peynirin aroma profilini oluşturan uçucu bileşenlerin miktarını önemli ölçüde artırdığı bildirilmiştir.

4.9. Raf Ömrü Testi

Kontrol, PI-F ve PI/EO-F ile kaplanan kaşar peynirleri hızlandırılmış raf ömrü testi için 6°C, 15°C ve 25°C’de depolanarak raf ömrü takibi yapılmıştır. Depolama süresince genel bir kalite parametresi olan TMAB sayımları kalite parametresi olarak seçilmiştir. (Dıblan & Kaya, 2023). Üç farklı sıcaklıkta depolanan örneklerde TMAB sayılarındaki değişim kinetiğini belirlemek amacıyla öncelikle 0. dereceden reaksiyon eşitliği kullanılarak grafikler oluşturulmuş ve korelasyon katsayıları (R^2) hesaplanmıştır. Daha sonra 1. dereceden reaksiyon eşitliği kullanılarak grafikler çizilmiş ve R^2 değerleri belirlenmiştir.

Tüm örneklerde daha yüksek R^2 değerlerinin 1. dereceden reaksiyon modelinde elde edildiği belirlenmiş olup, denklemler ve R^2 değerleri Şekil 4.26’da verilmiştir.



Şekil 4.26. Farklı sıcaklıklarda depolama boyunca TMAB sayısındaki değişimin 1.dereceden kinetik modelinin belirlendiği ln-grafikleri

Mikroorganizmaların gelişim kinetiğinin belirlenmesinde 1. Dereceden reaksiyon ‘ $\ln(N_t/N_0)=kt$ ’ eşitliğine göre modellenmiştir. N_t , t süresi sonundaki bakteri sayısını, N_0 başlangıç bakteri sayısını ifade etmiştir. Her bir örnek için farklı depolama sıcaklıklarında reaksiyon hız sabiti (k) değerlerinin belirlenmesi amacıyla zamana karşı $\ln(N_t/N_0)$ grafiği oluşturulmuştur ve doğrusal regresyon analizinden elde edilen denklemlerin eğimlerinden k değerleri hesaplanmıştır. Daha sonra elde edilen k değerlerinin doğal logaritmaları alınarak Arrhenius eşitliğine göre $1/T$ ’ye karşı grafikleri çizilmiş ve doğrusal regresyon analizinden elde edilen denklemlerin eğimlerinden aktivasyon enerjileri (E_a) hesaplanmıştır. Kontrol, PI-F ve PI/EO-F örnekleri için aktivasyon enerjileri sırasıyla 70,4 kJ/mol, 114,6 kJ/mol ve 98,4 kJ/mol olarak belirlenmiştir.

TMAB limit değeri olarak 10^6 kob/g değeri seçilmiştir (Dıblan & Kaya, 2023). Referans depolama sıcaklığı olarak 6°C esas alınmış ve peynir örneklerinin 15°C ’deki raf ömrü aşağıdaki matematiksel model kullanılarak hesaplanmıştır:

$$I = I_0 \cdot \exp[t \cdot k_{ref} \cdot \exp\left[-\left(\frac{E_a}{R}\right)\left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_{ref}}\right)\right]]$$

Çizelge 4.15. Kontrol, PI-F ve PI/EO-F ile kaplanan peynirlerin tahmini raf ömrü modellemesi

Film Çeşitleri	Sıcaklık	Ln(Kref)	T (K)	Tref	Ea(J/Mol)	Tahmini Raf Ömrü (Gün) (Tref: 6 °C)
Kontrol	15°C	-7,9961	288,15	279,15	70369,696	46,02
	25°C	-7,9961	298,15	279,15		17,18
PI-F	15°C	-9,1856	288,15	279,15	114159,53	83,86
	25°C	-9,1856	298,15	279,15		16,88
PI/EO-F	15°C	-9,0525	288,15	279,15	98404,504	90,75
	25°C	-9,0525	298,15	279,15		23,17

Kritik TMAB değeri temel alınarak oluşturulan raf ömrü modeline göre tahmini raf ömürleri Çizelge 4.15’de verilmiştir. Kontrol, PI-F ve PI/EO-F ile kaplanan peynir örneklerinin 15°C’de depolanma raf ömürleri sırasıyla 46,02 gün, 83,86 gün ve 90,75 gün, 25°C’de depolanma raf ömürleri ise 17,18 gün, 16,88 gün ve 23,17 gün olarak hesaplanmıştır. Kontrol, PI-F ve PI/EO-F ile kaplanan peynir örneklerinin raf ömrü değerleri karşılaştırıldığında, özellikle PI/EO-F uygulamasının TMAB gelişimini geciktirerek raf ömrünü uzattığı belirlenmiştir. 15 °C’de depolanan örneklerde PI/EO-F uygulaması en yüksek raf ömrünü sağlamış olup, bu durum film matriksinden salınan antimikrobiyal bileşenlerin düşük sıcaklıklarda daha etkili olduğunu göstermektedir. Düşük sıcaklık koşullarında mikroorganizmaların metabolik aktivitelerinin yavaşlaması, filminden salınan aktif bileşenlerin bakteriyel gelişimi baskılamasını kolaylaştırmış olabilir. Buna karşılık, 25 °C’de depolanan örneklerde tüm uygulamalarda raf ömrünün belirgin şekilde azaldığı görülmüştür. Yüksek sıcaklıkta mikroorganizmaların çoğalma hızının artması nedeniyle, filminden salınan antimikrobiyal ajanların TMAB gelişimini tamamen kontrol etmekte yetersiz kaldığı düşünülmektedir. Özellikle kontrol örneğine kıyasla PI/EO-F örneğinde raf ömrü artışı gözlenmesine rağmen, bu etkinin soğuk depolama koşullarındaki kadar belirgin olmadığı belirlenmiştir. Bu durum, yüksek sıcaklıklarda antimikrobiyal bileşenlerin salınım hızının veya stabilitesinin mikrobiyal büyümeyi baskılamak için yeterli olmamasıyla açıklanabilir. Elde edilen bulgular, yenilebilir aktif filmlerin raf ömrünü uzatma potansiyeline sahip olduğunu, ancak optimum etkinliğin düşük depolama sıcaklıklarında sağlandığını göstermektedir.

Rosmarinus officinalis L., *Thymus vulgaris* ve *Coriandrum sativum* L.'nin süperkritik akışkan ekstraktlarını içeren yenilebilir kaplamalar depolanan peynirlerde yenilebilir kaplamaların peynirlerin raf ömrünü 40 gün üzerine çıkarıldığı bildirilmiştir (Alloh vd., 2024). Benzer şekilde, yapılan bir çalışmada kekik esansiyel yağı içeren nanoenkapsüle yenilebilir kaplamaların Karish peynirlerinde mikrobiyal gelişimi yavaşlatarak raf ömrünü uzattığı bildirilmiştir. Kaplanmamış peynir örnekleri 7 gün içerisinde bozulurken, kaplanmış örneklerin mikrobiyolojik ve duyu kalitesini 28 gün boyunca koruduğu belirtilmiştir (Hamouda vd., 2025). Diğer bir çalışmada, mor pirinç kabuğu ekstraktı içeren yenilebilir filmlerin Paneer’nde mikrobiyal gelişimi yavaşlatarak kalite kayıplarını azalttığı ve soğuk depolama süresince raf ömrünü uzattığı bildirilmiştir (Deol vd., 2025). Genel olarak değerlendirildiğinde, literatürde bildirilen çalışmalarla uyumlu şekilde, çalışmamızda geliştirilen yenilebilir aktif filmlerin mikrobiyal gelişimi geciktirerek peynir örneklerinin raf ömrünü uzatma potansiyeline sahip olduğu, ancak bu etkinin özellikle düşük depolama sıcaklıklarında daha belirgin olduğu sonucuna varılmıştır.

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışma, Box–Behnken yanıt yüzey yöntemi kullanılarak kayısı çekirdeği pres kekinden yüksek verim ve yüksek çözünürlüğe sahip protein izolatu elde edilebileceğini ve bunun değerli bir bitki proteini kaynağı olabileceğini ortaya koymuştur. Ayrıca, kayısı çekirdeği pres kekinden elde edilen protein izolatlarının yapısal ve fonksiyonel özellikleri karakterize edilmiş; US destekli ekstraksiyon yöntemiyle elde edilen protein izolatları, geleneksel alkali-izoelektrik çöktürme yöntemiyle elde edilenlerle karşılaştırılmıştır. YYM ile belirlenen optimum protein izolatu ekstraksiyon koşulları %52,423 genlik, 18,185 dakika sonikasyon süresi ve %1 pres keki miktarı olarak tespit edilmiştir. Bu optimum koşullar üç tekrarlı deneyle doğrulandığında, protein verimi $38,26 \pm 0,28$ ve çözünürlük $90,25 \pm 0,63$ olarak bulunmuştur. US destekli ekstraksiyonla elde edilen protein izolatları lösin, sistein, lizin, metiyonin ve triptofan gibi esansiyel amino asitleri daha yüksek miktarlarda içerirken, geleneksel yöntemle elde edilen protein izolatlarında amino asit konsantrasyonları daha düşük bulunmuştur. US uygulaması, protein izolatının köpürme aktivitesi, stabilitesi ve emülsiyon stabilitesi gibi fonksiyonel özelliklerini geliştirmiştir. Bu bulgular, sonikasyon destekli ekstraksiyonun yalnızca kayısı çekirdeği pres keki protein izolatının verimini ve çözünürlüğünü artırmakla kalmadığını, aynı zamanda fonksiyonel, yapısal ve termal özelliklerini de ortaya çıkardığını göstermektedir. Böylece bu yöntem, umut vadeden bir bitki bazlı protein kaynağı sunmaktadır.

C. niveum bitkisinin esansiyel yağının *Aspergillus parasiticus* NRLL 2999, *Penicillium chrysogenum* 10106, *Salmonella* Typhimurium 14028, *Staphylococcus aureus* ATCC 43300, *Escherichia coli* O157:H7 ATCC 43895, ve *Listeria monocytogenes* ATCC 7644 karşı inhibisyon gösterdiği tespit edilmiştir.

Cyclotrichium niveum (INU 16430-2022, INU 16431-2022) esansiyel yağı ve kayısı çekirdeği protein izolatu bir araya getirilerek kompozit bir film solüsyonu/mürekkebi hazırlanarak optimize edilmiştir. Ayrıca 3B gıda yazıcısı kullanılarak film yazdırma işlemi gerçekleştirilmiştir. YYM ile belirlenen optimum film solüsyonu hazırlama koşulları %4,804 protein izolatu, %1,195 esansiyel yağ ve %19,585 gliserol miktarı olarak tespit edilmiştir. Bu optimum koşullar üç tekrarlı deneyle doğrulandığında, antioksidan $37,16 \pm 0,69$ ve yazdırılabilirlik $9,75 \pm 0,07$ bulunmuştur.

Optimize parametrelerle dökme yöntemine ve 3B yazıcı ile film hazırlanarak karakteristik özellikleri incelenmiştir. Buna göre, 3B yazıcı ile üretilen filmlerin dökme

yöntemiyle hazırlanan filmlere kıyasla daha düşük kalınlık ve opaklık değerlerine sahip olduğu belirlenmiştir. Esansiyel yağ ilavesinin filmlerin nem içeriğini azalttığı ve bunun film yapısının hidrofobikliğinin artmasıyla ilişkili olduğu düşünülmektedir. Antimikrobiyal analizlerde, 3B yazdırılan filmlerde inhibisyon aktivitesinin gözlenmemesi; yazdırma sürecinde oluşan nozul basıncı, kesme kuvveti, katman yapısı ve aktif bileşenlerin matristeki dağılımındaki değişimlerle ilişkilendirilmiştir. SEM analizleri, 3B yazdırma işlemine rağmen filmlerin mikro yapısının korunduğunu ve *C. niveum* esansiyel yağının biyopolimer matris içerisinde homojen şekilde dağıldığını göstermiştir. FTIR analizlerinde ise filmler arasında temel fonksiyonel grupların benzer olduğu ve esansiyel yağ ilavesinin yeni bir pik oluşturmaması, uçucu yağın matriste faz ayrımı oluşturmada amorf halde dağıldığını ve protein matrisiyle fiziksel etkileşim gösterdiğini ortaya koymuştur.

Peynir örneklerinde yapılan analizler genel olarak değerlendirildiğinde, depolama sıcaklığının kalite parametreleri, mikrobiyal gelişim ve duyu özellikleri üzerinde önemli etkisi olduğu belirlenmiştir. Yüksek depolama sıcaklıklarında özellikle PI/EO-F ile kaplanan örneklerde kuru madde miktarının artması, film-peynir ara yüzeyindeki etkileşimlerin nem transferini etkilediğini göstermiştir. Düşük sıcaklıklarda ise filmlerin bariyer özelliklerini daha iyi koruduğu ve fiziksel değişimlerin daha sınırlı gerçekleştiği belirlenmiştir. Duyusal analizlerde, PI/EO-F kaplı örneklerde *C. niveum* esansiyel yağından kaynaklanan mentol benzeri aroma nedeniyle koku skorlarının daha düşük olduğu görülmüş, ancak genel kabul edilebilirliğin özellikle düşük ve orta sıcaklıklarda kabul edilebilir düzeyde kaldığı tespit edilmiştir. Mikrobiyolojik analizlerde depolama sıcaklığının artmasıyla TMAB ve küf-maya gelişiminin hızlandığı belirlenirken, PI/EO-F ile kaplanan örneklerde tüm sıcaklıklarda küf-maya gelişiminin gözlenmemesi esansiyel yağın antimikrobiyal etkisiyle ilişkilendirilmiştir. Ayrıca uçucu bileşen analizleri, PI/EO-F örneklerinin özellikle monoterpen ve seskiterpen bileşikleri bakımından diğer örneklerden farklı bir profil sergilediğini ortaya koymuştur.

Raf ömrü modeli sonuçları, PI/EO-F ile kaplanan peynir örneklerinin özellikle düşük depolama sıcaklığında TMAB gelişimini geciktirerek raf ömrünü uzattığını göstermiştir. 15°C’de depolanan PI/EO-F kaplı örneklerin en yüksek raf ömrüne sahip olduğu belirlenirken, düşük sıcaklıklarda mikroorganizmaların metabolik aktivitelerinin yavaşlamasının filmde salınan antimikrobiyal bileşenlerin etkinliğini artırdığı düşünülmektedir. Buna karşılık, 25°C’de tüm örneklerde raf ömrünün belirgin şekilde azaldığı ve yüksek sıcaklığın mikrobiyal gelişimi hızlandırarak aktif bileşenlerin etkinliğini sınırlandırdığı belirlenmiştir. Genel olarak elde edilen bulgular, esansiyel yağ içeren

yenilebilir aktif filmlerin peynirlerin raf ömrünü uzatma potansiyeline sahip olduğunu göstermiştir.

Gelecekte yapılacak çalışmalarda, kayısı çekirdeği protein izolatlarının duyuşal özellikleri, sindirilebilirliği, jel oluşturma kapasitesi ve reolojik davranışlarının daha ayrıntılı olarak incelenmesi önerilmektedir. Ayrıca, bu protein izolatlarının farklı bitki bazlı gıda formülasyonlarında kullanım potansiyelinin değerlendirilmesi ve ticari bitki bazlı protein izolatlarıyla karşılaştırılması önem taşımaktadır. Bunun yanı sıra, *C. niveum* esansiyel yağının antimikrobiyal aktivitesinin farklı gıda sistemlerinde değerlendirilmesi ve kullanım alanlarının genişletilmesine yönelik çalışmalar yapılabilir. 3B yazıcı uygulamalarında kullanılan film oluşturma solüsyonlarının farklı bileşenlerle zenginleştirilmesiyle yeni kullanım alanları geliştirilebilir. Ayrıca, 3B yazıcı ile üretilen yenilebilir filmlerin ürünlerin raf ömrünün izlenmesine yönelik akıllı ambalaj sistemlerinde kullanım potansiyelinin araştırılması önerilmektedir.

KAYNAKLAR

- Abdillah, A. A., Putri, P. H., Nandasari, N., Anggraeni, A. P., Saputra, E., Pujiastuti, D. Y., Mubarak, A. S., & Alamsjah, M. A.** (2026). Characterization of edible films developed from kappa-carrageenan reinforced with pedada flour (*Sonneratia caseolaris*): A potential packaging application for fish fillets. *Applied Food Research*, 6(1), 101954. <https://doi.org/10.1016/J.AFRES.2026.101954>
- Ahmad, A., & Ayub, H.** (2022). Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) Technique for Food Analysis and Authentication. *Nondestructive Quality Assessment Techniques for Fresh Fruits and Vegetables*, 103-142. https://doi.org/10.1007/978-981-19-5422-1_6
- Ahmadzadeh, S., Hettiarachchy, N., Luthra, K., Chen, J., Seo, H. S., Atungulu, G. G., & Ubeyitogullari, A.** (2023). Effects of polyphenol-rich grape seed and green tea extracts on the physicochemical properties of 3D-printed edible soy protein films. *Food Packaging and Shelf Life*, 40, 101184. <https://doi.org/10.1016/J.FPSL.2023.101184>
- Aiello, G., Xu, R., Pugliese, R., Bartolomei, M., Li, J., Bollati, C., Rueller, L., Robert, J., Arnoldi, A., & Lammi, C.** (2022). Quality Assessment of the Protein Ingredients Recovered by Ultrasound-Assisted Extraction from the Press Cakes of Coconut and Almond Beverage Preparation. *Foods*, 11(22). <https://doi.org/10.3390/foods11223693>
- Akarca, G., Atik, A., Atik, I., Ozcan, T., & Denizkara, A. J.** (2025). Evaluation of the Effects of Beeswax Films Formulated with Sesame and Black Cumin Oils on the Fermentation and Bio-flavouring Properties of Pasta-Filata Type Kashar Cheese. *Food and Bioprocess Technology*, 18(8), 7710-7730. <https://doi.org/10.1007/S11947-025-03895-6/FIGURES/2>
- Alim, A., Goze, I., Cetin, A., Atas, A. D., Vural, N., & Donmez, E.** (2014). Antimicrobial activity of the essential oil of *Cyclotrichium niveum* (Boiss.) Manden. Et Scheng. *Advanced Journal of Microbiology Research*. <http://advancedresearchjournals.org/AJMR>
- Alloh, P. B. R. A., El-Said, M. M., El-Sayed, H. S., Baranenko, D. A., & El-Messery, T. M.** (2024). Extension of ultrafiltered cheese shelf life using edible coatings containing supercritical rosemary, thyme and coriander extracts as antimicrobial agents. *Food Control*, 163, 110479. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCONT.2024.110479>
- Aloui, H., Khwaldia, K., Sánchez-González, L., Muneret, L., Jeandel, C., Hamdi, M., & Desobry, S.** (2014). Alginate coatings containing grapefruit essential oil or grapefruit seed extract for grapes preservation. *International Journal of Food Science and Technology*, 49(4), 952-959. <https://doi.org/10.1111/IJFS.12387>
- Alves, S. J. F., Pires, E. B. E., Alexandre, M. A. da S., Santos, C. C. A. do A., Martin, J. G. P., Campelo, P. H., Martins, E., & Eller, M. R.** (2025). Single-cell proteins as alternative sources of proteins and nutrients. *Food Research International*, 214, 116631. <https://doi.org/10.1016/J.FOODRES.2025.116631>
- AOAC.** (1990). Official method for analysis (15th ed.). *Association of Official Analytical Chemists*.
- Avelar, Z., Vicente, A. A., Saraiva, J. A., & Rodrigues, R. M.** (2021). The role of emergent processing technologies in tailoring plant protein functionality: New insights. *Trends in Food Science & Technology*, 113, 219-231. <https://doi.org/10.1016/J.TIFS.2021.05.004>
- Avila-Sosa, R., Palou, E., Jiménez Munguía, M. T., Nevárez-Moorillón, G. V., Navarro Cruz, A. R., & López-Malo, A.** (2012). Antifungal activity by vapor contact of essential oils added to amaranth, chitosan, or starch edible films. *International Journal of Food Microbiology*, 153(1-2), 66-72. <https://doi.org/10.1016/J.IJFOODMICRO.2011.10.017>

- Aydın, B., Alkuyruk, S. B., Tekman, E., Yuca, H., Karadayı, M., Gülşahin, Y., Çeçen, Ö., Bona, G. E., Demirci, B., Bona, M., & Karakaya, S. (2025). Investigating the phytochemical profile, biological potentials, morphological, and anatomical characteristics of *Cyclotrichium organifolium* (Labill.) Manden. & Scheng. (Lamiaceae) from Turkey. *Protoplasma*, 262(2), 279-298. <https://doi.org/10.1007/S00709-024-01992-5/FIGURES/9>
- Badjona, A., Bradshaw, R., Millman, C., Howarth, M., & Dubey, B. (2024a). Optimization of ultrasound-assisted extraction of faba bean protein isolate: Structural, functional, and thermal properties. Part 2/2. *Ultrasonics Sonochemistry*, 110. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2024.107030>
- Badjona, A., Bradshaw, R., Millman, C., Howarth, M., & Dubey, B. (2024b). Structural, thermal, and physicochemical properties of ultrasound-assisted extraction of faba bean protein isolate (FPI). *Journal of Food Engineering*, 377. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2024.112082>
- Badjona, A., Millman, C., Howarth, M., Dubey, B., & Bradshaw, R. (2024). Response surface methodology guided approach for optimization of protein isolate from Faba bean. Part 1/2. *Ultrasonics Sonochemistry*, 109. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2024.107012>
- Bahmanyar, F., Pashaei, M., Nayebzadeh, K., Dini, A., Mirmoghtadaie, L., & Hosseini, H. (2025). Techno-functionality of pea protein isolate: Influence of ultrasound and high-pressure homogenization modification methods. *Ultrasonics Sonochemistry*, 116. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2025.107321>
- Beljkaš, B., Matić, J., Milovanović, I., Jovanov, P., Mišan, A., & Šarić, L. (2010). Rapid method for determination of protein content in cereals and oilseeds: Validation, measurement uncertainty and comparison with the Kjeldahl method. *Accreditation and Quality Assurance*, 15(10), 555-561. <https://doi.org/10.1007/s00769-010-0677-6>
- Bisht, A., Murugan, G., Hussain, M., & Abdi, G. (2025). Current advancements in alternative protein sources: Plant-based, cultured meat, and insect proteins for a sustainable future. *Food Bioscience*, 73, 107708. <https://doi.org/10.1016/J.FBIO.2025.107708>
- Brishti, F. H., Ibadullah, W. Z. W., Hanafi, M. A., Hajar-Azhari, S., Arulrajah, B., Sadia, H. T., Hossain, M. A., Yea, C. S., Hussin, A. S. M., Ismail-Fitry, M. R., Misir, J., Maqsood, S., Ahmed, J., Caballero-Briones, F., Anwar, F., Kaur, P., Zalpouri, R., Hussein, F. A., & Saari, N. (2025). The multifaceted Sacha Inchi (*Plukenetia volubilis* L.) protein: From molecular composition to extraction techniques, techno-functional properties, and food applications. *Food Chemistry*, 492, 145533. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2025.145533>
- Brown, A. C., de Beer, D., & Conradie, P. (2014). DEVELOPMENT OF A STEREOLITHOGRAPHY (STL) INPUT AND COMPUTER NUMERICAL CONTROL (CNC) OUTPUT ALGORITHM FOR AN ENTRY-LEVEL 3-D PRINTER. *The South African Journal of Industrial Engineering*, 25(2), 39-47. <https://doi.org/10.7166/25-2-675>
- Cadena-Cadena, F., Cuevas-Acuña, D. A., Reynaga-Franco, F. de J., Rodríguez-Felix, G., Núñez-Ruiz, M. D. S., Higuera-Barraza, O. A., Ochoa-Meza, A. R., & Arias-Moscato, J. L. (2022). Effect of Ultrasonic Pulses on the Functional Properties of Stickwater. *Applied Sciences (Switzerland)*, 12(3). <https://doi.org/10.3390/app12031351>
- Cai, R., Jia, L., Yang, R., Tao, H., Cui, H., Lin, L., Khojah, E., Bushnaq, T., & Shi, C. (2025a). Fabrication of guar gum/chitosan edible films reinforced with orange essential

- oil nanoemulsion for cheese preservation. *International Journal of Biological Macromolecules*, 285, 138285. <https://doi.org/10.1016/J.IJBIOMAC.2024.138285>
- Cai, Y., Li, M., Xu, H., Huang, F., Zhao, Y., Zhang, J., Huang, Y., & Zeng, X.-A.** (2026a). Advanced physical-based techniques for the extraction and modification of plant protein: mechanisms, functions, and applications. *Food Chemistry*, 499, 147249. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2025.147249>
- Calligaris, S., Lucci, P., Milani, A., Rovellini, P., Lagazio, C., Conte, L., & Nicoli, M. C.** (2022). Application of accelerated shelf-life test (ASLT) procedure for the estimation of the shelf-life of extra virgin olive oils: A validation study. *Food Packaging and Shelf Life*, 34, 100990. <https://doi.org/10.1016/J.FPSL.2022.100990>
- Cano-Medina, A., Jiménez-Islas, H., Dendooven, L., Herrera, R. P., González-Alatorre, G., & Escamilla-Silva, E. M.** (2011). Emulsifying and foaming capacity and emulsion and foam stability of sesame protein concentrates. *Food Research International*, 44(3), 684-692. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2010.12.015>
- Cao, S., Dong, G., Yang, T., Jin, J., Ba, L., Luo, D., & Zhao, Z.** (2026). Edible films of chitosan- xanthan gum enriched with cornmint oil: Characterization and application in blueberry preservation. *International Journal of Biological Macromolecules*, 341, 150348. <https://doi.org/10.1016/J.IJBIOMAC.2026.150348>
- Chen, L., & Zhang, S. B.** (2023). Structural and functional properties of self-assembled peanut protein nanoparticles prepared by ultrasonic treatment: Effects of ultrasound intensity and protein concentration. *Food Chemistry*, 413. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.135626>
- Chen, S., & Luo, X.** (2024). Chia seed protein as a promising source for plant-based foods: Functional properties, processing methods and potential food applications. *Applied Food Research*, 4(2), 100459. <https://doi.org/10.1016/J.AFRES.2024.100459>
- Chen, Y., Meng, X., Zhao, L., Peng, P., Ma, Y., & Wang, J.** (2025). Recent progress in hygroscopicity improvement strategies of protein-based films for edible food packaging. *Trends in Food Science & Technology*, 164, 105270. <https://doi.org/10.1016/J.TIFS.2025.105270>
- Cheng, M., Shu, Y., Li, M., Li, C., Liang, T., & Zhang, Z.** (2024). Characterisation of an edible active film prepared from bacterial nanocellulose/forsythia essential oil Pickering emulsions with funoran and its application in fresh meat. *International Journal of Biological Macromolecules*, 280, 136141. <https://doi.org/10.1016/J.IJBIOMAC.2024.136141>
- Chirinos, R., Scharff-Salinas, R., Rodriguez-Diaz, J., Figueroa-Merma, A., Aguilar-Galvez, A., Guzmán, F., Contardo, I., Pedreschi, R., & Campos, D.** (2024). Conventional and ultrasound-assisted extractions of protein from sacha inchi (*Plukenetia volubilis*) and their impact on the physicochemical and structural characteristics. *Applied Food Research*, 4(2). <https://doi.org/10.1016/j.afres.2024.100545>
- Consonni, R., Cagliani, L. R., Guantieri, V., & Simonato, B.** (2011). Identification of metabolic content of selected Amarone wine. *Food Chemistry*, 129(2), 693-699. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.05.008>
- Costa, M. J., Maciel, L. C., Teixeira, J. A., Vicente, A. A., & Cerqueira, M. A.** (2018). Use of edible films and coatings in cheese preservation: Opportunities and challenges. *Food Research International*, 107, 84-92. <https://doi.org/10.1016/J.FOODRES.2018.02.013>
- Cui, H., Chen, Y., Aziz, T., Al-Asmari, F., Alwethaynani, M. S., Shi, C., & Lin, L.** (2025). Antibacterial mechanisms of diacetyl on *Listeria monocytogenes* and its

- application in Inner Mongolian cheese preservation via gelatin-based edible films. *Food Control*, 168, 110920. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCONT.2024.110920>
- Cui, H., Xu, R., Hu, W., Li, C., Abdel-Samie, M. A., & Lin, L.** (2023). Effect of soy protein isolate nanoparticles loaded with litsea cubeba essential oil on performance of lentinan edible films. *International Journal of Biological Macromolecules*, 242, 124686. <https://doi.org/10.1016/J.IJBIOMAC.2023.124686>
- Çavdaroğlu, E., Topçuoğlu, M., Koşar, D., Acar, E., Polat, N. Y., Berk, B., Çavdaroğlu, Ç., & Yemenicioğlu, A.** (2026). Harnessing pulse proteins as soy protein substitutes in spreadable cheese analogues: exploring correlations among protein techno-functionality, and cheese textural, rheological and sensory properties. *Food Hydrocolloids*, 171, 111780. <https://doi.org/10.1016/J.FOODHYD.2025.111780>
- Daniloski, D., Markoska, T., McCarthy, N. A., & Vasiljevic, T.** (2023). Casein micelle with different β -casein phenotypes: Fingerprinting pH-induced structural changes using FTIR and NMR spectroscopies. *Food Hydrocolloids*, 143. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2023.108881>
- Das, D., Sheikh, M. A., & Mir, N. A.** (2025). Exploring the potential of amaranth proteins: Composition, functional characteristics, modifications, bioactive peptides, and possible applications in food and packaging industries. *Journal of Food Composition and Analysis*, 139, 107146. <https://doi.org/10.1016/J.JFCA.2024.107146>
- Deol, P., Madhumita, M., Kumar, A., & Lai, C. W.** (2025). Artemisia vulgaris L. seed polysaccharides and purple rice husk extract incorporated carboxymethyl cellulose-based edible films for paneer (Indian cottage cheese) packaging. *International Journal of Biological Macromolecules*, 331, 148420. <https://doi.org/10.1016/J.IJBIOMAC.2025.148420>
- Dey, S., Hettiarachchy, N., Bisly, A. A., Luthra, K., Atungulu, G. G., Ubeyitogullari, A., & Mozzoni, L. A.** (2022). Physical and textural properties of functional edible protein films from soybean using an innovative 3D printing technology. *Journal of Food Science*, 87(11), 4808-4819. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.16349>
- Diblan, S., & Kaya, S.** (2023). Shelf life modelling of kaşar cheese packaged with potassium sorbate, nisin, silver substituted zeolite, or chitosan incorporated active multilayer plastic films. *International Dairy Journal*, 140, 105596. <https://doi.org/10.1016/J.IDAIRYJ.2023.105596>
- Dikilitaş Saçkesen, Ş., Karakaya, S., Durmaz, G., Gündüz, O., Şahingil, D., & Hayaloğlu, A.A.** (2025). Unveiling the Potential of EU PDO Registered Malatya Apricot (*Prunus armeniaca* L.): Compositional, Functional, Nutritional, and Economic Aspects | Enhanced Reader. *ACS Food Science & Technology*, 5, 909-924.
- Dikme, T. G., & Hayaloğlu, A. A.** (2025). A new plant-based milk and milk powder analogue from apricot (*Prunus Armeniaca* L.) seed press cake after cold pressing process. *European Food Research and Technology*, 251(8), 2291-2305. <https://doi.org/10.1007/S00217-025-04763-5>
- Eyidemir, E., & Hayta, M.** (2009). The effect of apricot kernel flour incorporation on the physicochemical and sensory properties of noodle. *African Journal of Biotechnology*, 8(1), 85-090. <https://doi.org/10.4314/AJB.V8I1.59742>
- Fajardo, P., Martins, J. T., Fuciños, C., Pastrana, L., Teixeira, J. A., & Vicente, A. A.** (2010). Evaluation of a chitosan-based edible film as carrier of natamycin to improve the storability of Saloio cheese. *Journal of Food Engineering*, 101(4), 349-356. <https://doi.org/10.1016/J.JFOODENG.2010.06.029>

- Fan, Y., Ren, J., Xiao, X., Cao, Y., Zou, Y., Qi, B., Luo, X., & Liu, F.** (2025). Recent advances in polysaccharide-based edible films/coatings for food preservation: fabrication, characterization, and applications in packaging. *Carbohydrate Polymers*, 364, 123779. <https://doi.org/10.1016/J.CARBPOL.2025.123779>
- FAOSTAT.** (t.y.). Geliş tarihi 14 Aralık 2025, gönderen <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL/visualize>
- Fatima, A., Singh, P., Pandey, V. K., Singh, R., & Rustagi, S.** (2024). Exploring the significance of protein concentrate: A review on sources, extraction methods, and applications. *Food Chemistry Advances*, 5, 100771. <https://doi.org/10.1016/J.FOCHA.2024.100771>
- Fidan, Ş., Tekin, A., Şahingil, D., Karabulut, İ., & Hayaloğlu, A. A.** (2025). A plant-based cheese alternative (PCA) developed by oleogelation with apricot kernel oil and incorporation of the kernel press cake: An alternative approach to produce PCA containing lower saturated fatty acid. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 102, 103968. <https://doi.org/10.1016/J.IFSET.2025.103968>
- Galus, S., & Kadzińska, J.** (2015). Food applications of emulsion-based edible films and coatings. *Trends in Food Science & Technology*, 45(2), 273-283. <https://doi.org/10.1016/J.TIFS.2015.07.011>
- Gaspar, M. C., & Braga, M. E. M.** (2023). Edible films and coatings based on agrifood residues: a new trend in the food packaging research. *Current Opinion in Food Science*, 50, 101006. <https://doi.org/10.1016/J.COFS.2023.101006>
- Gezer, İ., Haciseferoğullari, H., Musa Özcan, M., Arslan, D., Asma, B. M., & Ünver, A.** (2011). PHYSICO-CHEMICAL PROPERTIES OF APRICOT (*Prunus armeniaca* L.) KERNELS. *South Western Journal*, 2(1), 1-13. <http://anucraiova.3x.ro/swjhbe/index.html2011>
- Ghavam, M., Bacchetta, G., Castangia, I., & Manca, M. L.** (2022). Evaluation of the composition and antimicrobial activities of essential oils from four species of Lamiaceae Martinov native to Iran. *Scientific Reports 2022 12:1*, 12(1), 17044-. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-21509-5>
- Ghobadi, M., Varidi, M. J., Koocheki, A., & Varidi, M.** (2021). Effect of heat treatment on the structure and stability of Grass pea (*Lathyrus sativus*) protein isolate/Alyssum homolocarpum seed gum nanoparticles. *International Journal of Biological Macromolecules*, 182, 26-36. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.03.170>
- Goksen, G., Karabulut, G., Keklik, M., & Martínez-Sanz, M.** (2025). Comprehensive review of the digestibility of novel alternative protein sources: Current status and challenges. *Food Chemistry*, 489, 145013. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2025.145013>
- González-García, E., Marina, M. L., & García, M. C.** (2020). Apricot. *Valorization of Fruit Processing By-products*, 43-65. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-817106-6.00003-4>
- Gulcin, I., Tel, A. Z., & Kirecci, E.** (2008). Antioxidant, Antimicrobial, Antifungal, and Antiradical Activities of *Cyclotrichium Niveum* (BOISS.) Manden and Scheng. *International Journal of Food Properties*, 11(2), 450-471. <https://doi.org/10.1080/10942910701567364>
- Gupta, D., Lall, A., Kumar, S., Patil, T. D., & Gaikwad, K. K.** (2024). Plant-based edible films and coatings for food-packaging applications: recent advances, applications, and trends. *Sustainable Food Technology*, 2(5), 1428-1455. <https://doi.org/10.1039/D4FB00110A>
- Gupta, R. K., Guha, P., & Srivastav, P. P.** (2022). Natural polymers in bio-degradable/edible film: A review on environmental concerns, cold plasma technology

- and nanotechnology application on food packaging- A recent trends. *Food Chemistry Advances*, 1, 100135. <https://doi.org/10.1016/J.FOCHA.2022.100135>
- Gülçin, İ., Bingöl, Z., Taslimi, P., Gören, A. C., Alwasel, S. H., & Tel, A. Z.** (2022). Polyphenol Contents, Potential Antioxidant, Anticholinergic and Antidiabetic Properties of Mountain Mint (*Cyclotrichium leucotrichum*). *Chemistry & Biodiversity*, 19(3), e202100775. <https://doi.org/10.1002/CBDV.202100775>
- Habib, M., Singh, S., Ahmad, S., Jan, S., Gupta, A., Jan, K., & Bashir, K.** (2025). Ultrasonication modifies the structural, thermal and functional properties of pumpkin seed protein isolate (PSPI). *Ultrasonics Sonochemistry*, 112. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2024.107172>
- Haciseferoğullari, H., Gezer, I., Özcan, M. M., & MuratAsma, B.** (2007). Post-harvest chemical and physical–mechanical properties of some apricot varieties cultivated in Turkey. *Journal of Food Engineering*, 79(1), 364-373. <https://doi.org/10.1016/J.JFOODENG.2006.02.003>
- Hadidi, M., Aghababaei, F., & McClements, D. J.** (2023). Enhanced alkaline extraction techniques for isolating and modifying plant-based proteins. *Food Hydrocolloids*, 145, 109132. <https://doi.org/10.1016/J.FOODHYD.2023.109132>
- Hadidi, M., Hossienpour, Y., Nooshkam, M., Mahfouzi, M., Gharagozlou, M., Aliakbari, F. S., Aghababaei, F., & McClement, D. J.** (2024). Green leaf proteins: a sustainable source of edible plant-based proteins. İçinde *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* (C. 64, Sayı 29, ss. 10855-10872). Taylor and Francis Ltd. <https://doi.org/10.1080/10408398.2023.2229436>
- Hadidi, M., Ibarz, A., & Pouramin, S.** (2021). Optimization of extraction and deamidation of edible protein from evening primrose (*Oenothera biennis* L.) oil processing by-products and its effect on structural and techno-functional properties. *Food Chemistry*, 334, 127613. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2020.127613>
- Hadidi, M., Jafarzadeh, S., Forough, M., Garavand, F., Alizadeh, S., Salehabadi, A., Khaneghah, A. M., & Jafari, S. M.** (2022). Plant protein-based food packaging films; recent advances in fabrication, characterization, and applications. *Trends in Food Science & Technology*, 120, 154-173. <https://doi.org/10.1016/J.TIFS.2022.01.013>
- Hadnadev, M., Dapčević-Hadnadev, T., Lazaridou, A., Moschakis, T., Michaelidou, A. M., Popović, S., & Biliaderis, C. G.** (2018). Hempseed meal protein isolates prepared by different isolation techniques. Part I. physicochemical properties. *Food Hydrocolloids*, 79, 526-533. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2017.12.015>
- Haider, T., Akram, W., Joshi, R., Vishwakarma, M., Saraf, S., Soni, V., & Garud, N.** (2025). Unlocking the secrets: Structure-function dynamics of plant proteins. İçinde *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces* (C. 254). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfb.2025.114791>
- Hamouda, M. A., El-saharawy, T. M. H. A., El-Saadany, A. A. E. khalik A., El-diahy, E. M., & El-Ashaal, E. S.** (2025). Comparative study of oregano essential oil nanoemulsion and encapsulated in chitosan nanoparticles for enhancing the shelf life of Karish cheese. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 106, 104267. <https://doi.org/10.1016/J.IFSET.2025.104267>
- Harris, G. K. , & M. M. R.** (2017). Ash analysis. *Food analysis*, 287-297.
- Hassan, B., Chatha, S. A. S., Hussain, A. I., Zia, K. M., & Akhtar, N.** (2018). Recent advances on polysaccharides, lipids and protein based edible films and coatings: A review. *International Journal of Biological Macromolecules*, 109, 1095-1107. <https://doi.org/10.1016/J.IJBIOMAC.2017.11.097>
- Hemung, B. orn, Masusai, C., Phoolklang, A., & Jirukkakul, N.** (2026). Characterization of composite sarcoplasmic protein films with acid- and alkaline-isolated myofibrillar

- protein and red water lily petal extract for edible seafood packaging. *Applied Food Research*, 6(1), 101997. <https://doi.org/10.1016/J.AFRES.2026.101997>
- Hewage, A., Olatunde, O. O., Nimalaratne, C., Malalgoda, M., Aluko, R. E., & Bandara, N.** (2022). Novel Extraction technologies for developing plant protein ingredients with improved functionality. *Trends in Food Science & Technology*, 129, 492-511. <https://doi.org/10.1016/J.TIFS.2022.10.016>
- Hu, Y., Cheng, K., He, L., Zhang, X., Jiang, B., Jiang, L., Li, C., Wang, G., Yang, Y., & Liu, M.** (2021). NMR-Based Methods for Protein Analysis. *Analytical Chemistry*, 93(4), 1866-1879. <https://doi.org/10.1021/acs.analchem.0c03830>
- İncili, G., Akgöl, M., Karatepe, P., Kanmaz, H., Kaya, B., Tekin, A., & Adnan Hayaloğlu, 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. <https://doi.org/10.1016/J.FOODRES.2023.113045>
- İncili, G. K., Akgöl, M., Karatepe, P., Üner, S., Tekin, A., Kanmaz, H., Kaya, B., Çalicioğlu, M., & Hayaloğlu, A. A.** (2025). Quantification of Bioactive Metabolites Derived from Cell-Free Supernatant of *Pediococcus acidilactici* and Screening their Protective Properties in Frankfurters. *Probiotics and Antimicrobial Proteins*, 17(1), 253-270. <https://doi.org/10.1007/s12602-023-10147-6>
- Jiang, J., Watowita, P. S. M. S. L., Chen, R., Shi, Y., Geng, J. T., Takahashi, K., Li, L., & Osako, K.** (2022). Multilayer gelatin/myofibrillar films containing clove essential oil: Properties, protein-phenolic interactions, and migration of active compounds. *Food Packaging and Shelf Life*, 32, 100842. <https://doi.org/10.1016/J.FPSL.2022.100842>
- Jiang, L., Wang, J., Li, Y., Wang, Z., Liang, J., Wang, R., Chen, Y., Ma, W., Qi, B., & Zhang, M.** (2014). Effects of ultrasound on the structure and physical properties of black bean protein isolates. *Food Research International*, 62, 595-601. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.04.022>
- Jiao, Y., Zheng, Z., & Chang, Y.** (2026). Fabrication, characterization, and antibacterial activities of edible zein films enhanced with three food additives for effective preservation of emerald green grapes. *LWT*, 249, 119377. <https://doi.org/10.1016/J.LWT.2026.119377>
- Kandasamy, S., Yoo, J., Yun, J., Kang, H.-B., Seol, K.-H., Kim, H.-W., Ham, J.-S., Kandasamy, S. ;, Yoo, J. ;, Yun, J. ;, Kang, H.-B. ;, Seol, K.-H. ;, Kim, H.-W. ;, Ham, J.-S., & Farris, S.** (2021). Application of Whey Protein-Based Edible Films and Coatings in Food Industries: An Updated Overview. *Coatings 2021, Vol. 11, Page 1056*, 11(9), 1056. <https://doi.org/10.3390/COATINGS11091056>
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.focha.2023.100429>
- Karabulut, G., Kapoor, R., Yemis, O., & Feng, H.** (2024). Manothermosonication, high-pressure homogenization, and their combinations with pH-shifting improve the techno-functionality and digestibility of hemp protein. *Food Hydrocolloids*, 150. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2023.109661>
- Karabulut, G., & Yemiş, O.** (2022). Modification of hemp seed protein isolate (*Cannabis sativa* L.) by high-intensity ultrasound treatment. Part 1: Functional properties. *Food Chemistry*, 375. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.131843>
- Kaska, A., & Secme, M.** (2025). Pharmacological Screening of Four Medicinal Lamiaceae Plants, Two of Which Are Endemic to Türkiye: Apoptotic and Cytotoxic

- Characteristics. *Journal of Herbal Medicine*, 51, 101020. <https://doi.org/10.1016/J.HERMED.2025.101020>
- Kaya Turan, B., Kanmaz, H., & Hayaloğlu, A. A.** (2025). Optimization of the Production of Press Cake Paste From Apricot (*Prunus armeniaca* L.) Kernels and Prediction of Shelf-Life Kinetics of the Product. *Journal of Food Science*, 90(7), e70416. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.70416>
- Khalid, L., Jabeen, I., Ahmad, T., Inam-ur-Raheem, M., Shahid, A., Cirillo, T., & Esposito, F.** (2025). Valorization of fruit and vegetable by-products for protein extraction and their functional applications in food and non-food sectors. *Food and Bioproducts Processing*, 154, 198-215. <https://doi.org/10.1016/J.FBP.2025.09.013>
- Khalili, E., Jahed Khaniki, G., Shojaee-Aliabadi, S., Shariatifar, N., Aslani, R., & Mirmoghtadaie, L.** (2025a). Development and characterization of amaranth protein-based edible films incorporating Satureja khuzestanica essential oil. *Applied Food Research*, 5(1), 100967. <https://doi.org/10.1016/J.AFRES.2025.100967>
- Kilic, T., Karahan, A., Dirmenci, T., Arabaci, T., Kocabas, E., & Goren, A. C.** (2007). Essential oil compositions of some species of Cyclotrichium and antimicrobial activities. *Chemistry of Natural Compounds*, 43(6), 733-735. <https://doi.org/10.1007/S10600-007-0250-7>
- Lai, X. J., Chen, J. Q., Nie, J., Guo, P. F., Faisal Manzoor, M., Huang, Y. Y., Li, J., Lin, S. Y., Zeng, X. A., & Wang, R.** (2024). Enhancement of extraction efficiency and functional properties of chickpea protein isolate using pulsed electric field combined with ultrasound treatment. *Ultrasonics Sonochemistry*, 111. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2024.107089>
- Lamsal, B. P., & Wanasundara, J. P. D.** (2024). Processing of protein ingredients from plant sources. *Functionality of Plant Proteins: Properties, Methods of Assessment, Modifications and Applications*, 23-45. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-91721-6.00018-9>
- Li, Y., Masijn, Q., Van der Meeren, P., Goemaere, O., & Fraeye, I.** (2025). The effect of high-pressure homogenization on physicochemical properties, flow behavior and thermal gelation of commercial pea protein isolate. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 104. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2025.104083>
- Liminana, P., Garcia-Sanoguera, D., Quiles-Carrillo, L., Balart, R., & Montanes, N.** (2018). Development and characterization of environmentally friendly composites from poly(butylene succinate) (PBS) and almond shell flour with different compatibilizers. *Composites Part B: Engineering*, 144, 153-162. <https://doi.org/10.1016/J.COMPOSITESB.2018.02.031>
- Lisitsyn, A., Semenova, A., Nasonova, V., Polishchuk, E., Revutskaya, N., Kozyrev, I., & Kotenkova, E.** (2021). Approaches in Animal Proteins and Natural Polysaccharides Application for Food Packaging: Edible Film Production and Quality Estimation. *Polymers* 2021, Vol. 13, Page 1592, 13(10), 1592. <https://doi.org/10.3390/POLYM13101592>
- Liu, C., Z. J., G. S., C. M.** (2025). Quantification of Crude and Soluble Protein Content. İçinde Y. Li (Ed.), *Plant-Based Proteins* (ss. 107-122).
- Liu, R., & Mabury, S. A.** (2020). Synthetic Phenolic Antioxidants: A Review of Environmental Occurrence, Fate, Human Exposure, and Toxicity. *Environmental Science and Technology*, 54(19), 11706-11719. https://doi.org/10.1021/ACS.EST.0C05077/SUPPL_FILE/ES0C05077_SI_001.PDF
- Lopez-Polo, J., Muñoz-Shugulí, C., Patiño Vidal, M., & Patiño Vidal, C.** (2024). Electrospun edible films and coatings: Development, functionality and food

- applications. *Trends in Food Science & Technology*, 143, 104253. <https://doi.org/10.1016/J.TIFS.2023.104253>
- Ma, J., Sun, Y., Meng, D., Zhou, Z., Zhang, Y., & Yang, R.** (2023). Yeast proteins: The novel and sustainable alternative protein in food applications. *Trends in Food Science & Technology*, 135, 190-201. <https://doi.org/10.1016/J.TIFS.2023.04.003>
- Mahdy, S. M., Selim, S., Abu-Hussien, S. H., Alahmadi, A., Waznah, M. S., Alzahofi, N. N., Albalawi, A. S., Albakri, N. N., Almutrafy, A. M., Salem, S. S., & Abo El-Naga, M. Y.** (2025). Milk protein-based edible films enriched with clove and camphor essential oils: Characterization, bioactivity, and potential applications against periodontal pathogens. *International Journal of Biological Macromolecules*, 322, 146896. <https://doi.org/10.1016/J.IJBIOMAC.2025.146896>
- Malik, M. A., & Saini, C. S.** (2018). Rheological and structural properties of protein isolates extracted from dephenolized sunflower meal: Effect of high intensity ultrasound. *Food Hydrocolloids*, 81, 229-241. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.02.052>
- Malila, Y., Owolabi, I. O., Chotanaphuti, T., Sakdibhornssup, N., Elliott, C. T., Visessanguan, W., Karoonuthaisiri, N., & Petchkongkaew, A.** (2024). Current challenges of alternative proteins as future foods. İçinde *npj Science of Food* (C. 8, Sayı 1). Nature Research. <https://doi.org/10.1038/s41538-024-00291-w>
- Manzoor, M. F., Waseem, M., Diana, T., Wang, R., Ahmed, Z., Mohamed Ahmed, I. A., Ali, M., & An-Zeng, X.** (2025). Ultrasound-assisted modification to improve the red pepper seed protein isolate structural, functional, and antioxidant properties. *International Journal of Biological Macromolecules*, 309. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2025.143154>
- Masoud, O. R., Hassanem, A. M., & Mohamed, Z. S.** (2008). Utilization of sweet apricot kernels in some dairy products 1-ice cream. *Egyptian Journal of Agricultural Research*, 86(4), 1577-1589.
- Meganaharshini, M., Sudhakar, V., Dhivya Bharathi, N., & Deepak, S.** (2023). Review on recent trends in the application of protein concentrates and isolates – A food industry perspective. *Food and Humanity*, 1, 308-325. <https://doi.org/10.1016/J.FOOHUM.2023.05.022>
- Meng, Y., Liang, Z., Zhang, C., Hao, S., Han, H., Du, P., Li, A., Shao, H., Li, C., & Liu, L.** (2021). Ultrasonic modification of whey protein isolate: Implications for the structural and functional properties. *LWT*, 152. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112272>
- Morales, R., Martínez, K. D., Pizones Ruiz-Henestrosa, V. M., & Pilosof, A. M. R.** (2015). Modification of foaming properties of soy protein isolate by high ultrasound intensity: Particle size effect. *Ultrasonics Sonochemistry*, 26, 48-55. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2015.01.011>
- Moula Ali, A. M., Sant'Ana, A. S., & Bavisetty, S. C. B.** (2022). Sustainable preservation of cheese: Advanced technologies, physicochemical properties and sensory attributes. *Trends in Food Science & Technology*, 129, 306-326. <https://doi.org/10.1016/J.TIFS.2022.10.006>
- Munir, M., Nadeem, M., Qureshi, T. M., Leong, T. S. H., Gamlath, C. J., Martin, G. J. O., & Ashokkumar, M.** (2019). Effects of high pressure, microwave and ultrasound processing on proteins and enzyme activity in dairy systems — A review. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 57, 102192. <https://doi.org/10.1016/J.IFSET.2019.102192>
- Mutlu, M., & Hayaloğlu, A. A.** (2022). View of Determination of bioactivity of seed protein hydrolysates and amygdalin content for some apricot (*Prunus armeniaca* L.)

- varieties grown in Malatya, Turkey. *The Journal of Raw Materials to Processed Foods*, 10-19. <https://www.journalrpfods.com/index.php/pub/article/view/22/2>
- Mühlbauer, W., & Müller, J.** (2020). Apricot (*Prunus armeniaca* L.). *Drying Atlas*, 269-278. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818162-1.00030-4>
- Navaf, M., Sunooj, K. V., Aaliya, B., Sudheesh, C., Akhila, P. P., Mir, S. A., Nemtanu, M. R., George, J., Lackner, M., & Mousavi Khaneghah, A.** (2023). Contemporary insights into the extraction, functional properties, and therapeutic applications of plant proteins. *Journal of Agriculture and Food Research*, 14, 100861. <https://doi.org/10.1016/J.JAFR.2023.100861>
- Navina, B., Velmurugan, N. K., Joseph, P. J., Krishnamoorthy, S., & Rajamani, M.** (2025). Novel extraction technologies for nutrient recovery from edible insects: A review. *Food and Humanity*, 5, 100896. <https://doi.org/10.1016/J.FOOHUM.2025.100896>
- Nazari, B., Mohammadifar, M. A., Shojaee-Aliabadi, S., Feizollahi, E., & Mirmoghtadaie, L.** (2018). Effect of ultrasound treatments on functional properties and structure of millet protein concentrate. *Ultrasonics Sonochemistry*, 41, 382-388. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2017.10.002>
- Negi, P., Kalsi, R., Bhasin, J. K., Kashyap, P., Thakur, A., & Goksen, G.** (2024). Ultrasound-driven advancements in food waste protein extraction: Assessing yield, nutritional impacts, techno-functionality, and structural modifications. *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, 42, 101767. <https://doi.org/10.1016/J.SCP.2024.101767>
- Nerlekar, N., Satvekar, R., Nandre, V., & Dandge, P.** (2026). Food packaging materials: Types, properties, and applications. *Safety and Sustainability Aspects of Food Packaging*, 29-52. <https://doi.org/10.1016/B978-0-443-24768-2.00019-3>
- Nilofar, N., Zengin, G., Acar, M., Bouyayha, A., Youssra, A., Eldahshan, O., Fayez, S., & Fahmy, N.** (2024). Assessing the Chemical Composition, Antioxidant and enzyme Inhibitory Effects of *Pentapleura subulifera* and *Cyclotrichium glabrescens* Extracts. *Chemistry & Biodiversity*, 21(2), e202301651. <https://doi.org/10.1002/CBDV.202301651>
- Nur Hanani, Z. A., Roos, Y. H., & Kerry, J. P.** (2014). Use and application of gelatin as potential biodegradable packaging materials for food products. *International Journal of Biological Macromolecules*, 71, 94-102. <https://doi.org/10.1016/J.IJBIOMAC.2014.04.027>
- Özdemir, A., Yildiz, M., Senol, F. S., Şimay, Y. D., Ibişoglu, B., Gokbulut, A., Orhan, I. E., & Ark, M.** (2017). Promising anticancer activity of *Cyclotrichium niveum* L. extracts through induction of both apoptosis and necrosis. *Food and Chemical Toxicology*, 109, 898-909. <https://doi.org/10.1016/J.FCT.2017.03.062>
- Pawase, P. A., Rout, S., Tripathy, S., Pathare, A. M., Srivastav, P. P., Bashir, O., & Panghal, A.** (2025a). Recent advances in cellulose, chitosan, and protein-based edible films for sustainable food packaging: A comprehensive review. *International Journal of Biological Macromolecules*, 321, 146172. <https://doi.org/10.1016/J.IJBIOMAC.2025.146172>
- Pearce, K. N., & Kinsella, J. E.** (1978). Emulsifying Properties of Proteins: Evaluation of a Turbidimetric Technique. İçinde *J. Agric. Food Chem* (C. 26, Sayı 3). <https://pubs.acs.org/sharingguidelines>
- Pérez, B., Nykvist, H., Brøgger, A. F., Larsen, M. B., & Falkeborg, M. F.** (2019). Impact of macronutrients printability and 3D-printer parameters on 3D-food printing: A review. *Food chemistry*, 287, 249-257. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2019.02.090>

- Pi, X., Ye, H., Cao, Q., Jia, Y., Chen, Y., Bo, C., Li, B., & Chu, J.** (2025). Recent advances of high-intensity ultrasound on protein structure and quality: Allergenicity, physicochemical properties, functionality assessment and future perspective. *Food Chemistry*, 495, 146518. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2025.146518>
- Purkait, M. K., Debnath, B., & Duarah, P.** (2026a). Food shelf-life enhancement by using additives in biopolymer packaging. *Sustainable Advances in Biopolymer-Based Packaging for Food Shelf-life Extension*, 87-114. <https://doi.org/10.1016/B978-0-443-33120-6.00002-5>
- Purkait, M. K., Debnath, B., & Duarah, P.** (2026b). Polysaccharide-based food packing materials. *Sustainable Advances in Biopolymer-Based Packaging for Food Shelf-life Extension*, 29-56. <https://doi.org/10.1016/B978-0-443-33120-6.00007-4>
- Purkait, M. K., Debnath, B., & Duarah, P.** (2026c). Protein- and lipid-based food packaging materials. *Sustainable Advances in Biopolymer-Based Packaging for Food Shelf-life Extension*, 57-85. <https://doi.org/10.1016/B978-0-443-33120-6.00009-8>
- Rafique, H., Peng, P., Hu, X., Saeed, K., Khalid, M. Z., Khalid, W., Morya, S., Alsulami, T., Mugabi, R., & Nayik, G. A.** (2025). Ultrasound-assisted modification of oat protein isolates: Structural and functional enhancements. *Ultrasonics Sonochemistry*, 112. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2024.107204>
- Rahman, M., & Brazel, C. S.** (2004). The plasticizer market: an assessment of traditional plasticizers and research trends to meet new challenges. *Progress in Polymer Science*, 29(12), 1223-1248. <https://doi.org/10.1016/J.PROGPOLYMSCI.2004.10.001>
- Rahman, M. M., & Lamsal, B. P.** (2021). Ultrasound-assisted extraction and modification of plant-based proteins: Impact on physicochemical, functional, and nutritional properties. *Çinde Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* (C. 20, Sayı 2, ss. 1457-1480). Blackwell Publishing Inc. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12709>
- Raj K V, A., Biswas, D., & Roy, S.** (2025). Recent Advances in Protein-Based Edible Films and Coatings for Meat Packaging Applications. *Food and Bioprocess Technology* 2025 18:10, 18(10), 8123-8153. <https://doi.org/10.1007/S11947-025-03939-X>
- Ravindran, N., Kumar Singh, S., & Singha, P.** (2024). A comprehensive review on the recent trends in extractions, pretreatments and modifications of plant-based proteins. *Food Research International*, 190, 114575. <https://doi.org/10.1016/J.FOODRES.2024.114575>
- Rawat, R., & Saini, C. S.** (2023). Modification of sunnhemp (*Crotalaria juncea*) protein isolate by high intensity ultrasound: Impact on the molecular structure, amino acid composition and nutritional profiling. *Food Bioscience*, 56. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2023.103100>
- Rawat, R., & Saini, C. S.** (2024). A novel biopolymeric composite edible film based on sunnhemp protein isolate and potato starch incorporated with clove oil: Fabrication, characterization, and amino acid composition. *International Journal of Biological Macromolecules*, 268, 131940. <https://doi.org/10.1016/J.IJBIOMAC.2024.131940>
- Ricci, L., Umiltà, E., Righetti, M. C., Messina, T., Zurlini, C., Montanari, A., Bronco, S., & Bertoldo, M.** (2018). On the thermal behavior of protein isolated from different legumes investigated by DSC and TGA. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 98(14), 5368-5377. <https://doi.org/10.1002/jsfa.9078>
- Roshandel-hesari, N., Mokaber-Esfahani, M., Taleghani, A., & Akbari, R.** (2022). Investigation of physicochemical properties, antimicrobial and antioxidant activity of edible films based on chitosan/casein containing *Origanum vulgare* L. essential oil and its effect on quality maintenance of cherry tomato. *Food Chemistry*, 396, 133650. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2022.133650>

- Salazar, J. A., Hernández, G. O., Stanley, J., & Drogoudi, P.** (2026). Apricot. *Temperate Tree Fruits and Nuts*, 241-293. <https://doi.org/10.1016/B978-0-443-29137-1.00006-2>
- Sánchez-Peña, M. J., Márquez-Sandoval, F., Ramírez-Anguiano, A. C., Velasco-Ramírez, S. F., Macedo-Ojeda, G., & González-Ortiz, L. J.** (2017). Calculating the metabolizable energy of macronutrients: A critical review of atwater's results. *Nutrition Reviews*, 75(1), 37-48. <https://doi.org/10.1093/nutrit/nuw044>
- Sarathy, S. P., Ravikumar, H., Nanjan, P., Alagesan, N., & Chua, B. L.** (2025). Plant-based protein: A multi-nutritional sustainable alternative to animal foods and their structure, functions, and relationship: A review. *International Journal of Biological Macromolecules*, 321, 146465. <https://doi.org/10.1016/J.IJBIOMAC.2025.146465>
- Saxena, A., Sharma, L., & Maity, T.** (2020). Enrichment of edible coatings and films with plant extracts or essential oils for the preservation of fruits and vegetables. *Biopolymer-Based Formulations: Biomedical and Food Applications*, 859-880. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816897-4.00034-5>
- Schmitt, C., & Wanasundara, J. P. D.** (2024). Functionality of plant proteins and importance of aggregation state. *Functionality of Plant Proteins: Properties, Methods of Assessment, Modifications and Applications*, 47-66. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-91721-6.00019-0>
- Shawky, E., Zhu, W., & Tian, J.** (2025a). A review of innovative extraction technologies for protein recovery from plant-based by-products: A step toward zero-waste processing. *International Journal of Biological Macromolecules*, 315, 144301. <https://doi.org/10.1016/J.IJBIOMAC.2025.144301>
- Shi, L. S., Yang, X. Y., Gong, T., Hu, C. Y., Shen, Y. H., & Meng, Y. H.** (2023). Ultrasonic treatment improves physical and oxidative stabilities of walnut protein isolate-based emulsion by changing protein structure. *LWT*, 173. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.114269>
- Siddiqui, S. A., Anwar, S., Yunusa, B. M., Nayik, G. A., & Mousavi Khaneghah, A.** (2023). The potential of apricot seed and oil as functional food: Composition, biological properties, health benefits & safety. *Food Bioscience*, 51, 102336. <https://doi.org/10.1016/J.FBIO.2022.102336>
- Singh, T., Awasthi, R., Prabhakar, P. K., & Madhumita, M.** (2025). Optimization of ultrasound mediated extraction of perilla protein isolate: study of ultrasonication effect on amino acid profile and functional characteristics. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 19(4), 2574-2594. <https://doi.org/10.1007/s11694-025-03132-w>
- Skurtys, O., Acevedo, C., Pedreschi, F., & Enronoe, J.** (2014). *Food hydrocolloid edible films and coatings*. <https://ialimentoslem1.wordpress.com/wp-content/uploads/2013/12/food-hydrocolloid-edible-films-and-coatings.pdf>
- Şahingil, D., Alkan, G., & Hayaloğlu, A. A.** (2025). Process development for TGase-assisted plant-based probiotic yogurt production with *Lactobacillus acidophilus* LA-5 and EU PDO Malatya apricot (*Prunus armeniaca* L.) kernel extract. *Applied Food Research*, 5(2), 101152. <https://doi.org/10.1016/J.AFRES.2025.101152>
- Tan, M., Nawaz, M. A., & Buckow, R.** (2023). Functional and food application of plant proteins—a review. *Food Reviews International*, 39(5), 2428-2456. <https://doi.org/10.1080/87559129.2021.1955918>
- Tasnim, M., & Islam, M. N.** (2026). Active edible coatings for smart food preservation and sustainability: A review. *Carbohydrate Polymer Technologies and Applications*, 13, 101061. <https://doi.org/10.1016/J.CARPTA.2025.101061>
- T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı** (2025). *Kayıt ürün raporu*. Tarım Reformu Genel Müdürlüğü, Tarımsal Ekonomi ve Politika Geliştirme Enstitüsü.

- <https://arastirma.tarimorman.gov.tr/tepge/Belgeler/PDF%20Ürün%20Raporları/2025%20Ürün%20Raporu/Kayıslar%20Ürün%20Raporu%202025-421%20TEPGE.pdf>
- Ukkunda, N. S., Santhoshkumar, P., Paranthaman, R., & Moses, J. A.** (2025). X-ray diffraction and its emerging applications in the food industry. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 65(24), 4660-4675. <https://doi.org/10.1080/10408398.2024.2395487>
- V, A. K., Hasan, M., Mangaraj, S., M, P., Verma, D. K., & Srivastav, P. P.** (2022). Trends in Edible Packaging Films and its Prospective Future in Food: A Review. *Applied Food Research*, 2(1), 100118. <https://doi.org/10.1016/J.AFRES.2022.100118>
- Vieira, M. G. A., Da Silva, M. A., Dos Santos, L. O., & Beppu, M. M.** (2011). Natural-based plasticizers and biopolymer films: A review. *European Polymer Journal*, 47(3), 254-263. <https://doi.org/10.1016/J.EURPOLYMJ.2010.12.011>
- Wanasundara, J. P. D., Lamsal, B. P., & Schmitt, C.** (2024). Fundamentals of proteins from plant sources for sustainable and nutritious foods. *Functionality of Plant Proteins: Properties, Methods of Assessment, Modifications and Applications*, 3-22. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-91721-6.00016-5>
- Wang, M., Li, D., Zang, Z., Sun, X., Tan, H., Si, X., Tian, J., Teng, W., Wang, J., Liang, Q., Bao, Y., Li, B., & Liu, R.** (2022). 3D food printing: Applications of plant-based materials in extrusion-based food printing. *Critical reviews in food science and nutrition*, 62(26), 7184-7198. <https://doi.org/10.1080/10408398.2021.1911929>
- Wang, Y., Liu, J., Zhang, Z., Meng, X., Yang, T., Shi, W., He, R., & Ma, H.** (2023). Insights into Ultrasonication Treatment on the Characteristics of Cereal Proteins: Functionality, Conformational and Physicochemical Characteristics. *İçinde Foods (C. 12, Sayı 5)*. MDPI. <https://doi.org/10.3390/foods12050971>
- Wang, Y., Yi, S., Lu, R., Sameen, D. E., Ahmed, S., Dai, J., Qin, W., Li, S., & Liu, Y.** (2021). Preparation, characterization, and 3D printing verification of chitosan/halloysite nanotubes/tea polyphenol nanocomposite films. *International Journal of Biological Macromolecules*, 166, 32-44. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.09.253>
- Witthayaprapakorn, C., Thananukul, K., Suttunun, N., Punyamoongwongsa, P., & Molloy, R.** (2013). Preparation of Biodegradable Polymer Blended of Poly(L-Lactic Acid)/Cellulose Acetate Films in the Solvent Mixture. *Advanced Materials Research*, 664, 702-706. <https://doi.org/10.4028/WWW.SCIENTIFIC.NET/AMR.664.702>
- Wu, D., Tu, M., Wang, Z., Wu, C., Yu, C., Battino, M., El-Seedi, H. R., & Du, M.** (2020). Biological and conventional food processing modifications on food proteins: Structure, functionality, and bioactivity. *İçinde Biotechnology Advances (C. 40)*. Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2019.107491>
- Wu, X., Wu, Y., Lv, X., Li, J., Liu, L., Du, G., Chen, J., & Liu, Y.** (2025). Synthetic biology and protein processing engineering-driven microbial protein supply by yeast and filamentous fungi. *Trends in Food Science & Technology*, 166, 105408. <https://doi.org/10.1016/J.TIFS.2025.105408>
- Xi, W., & Lei, Y.** (2020). Apricot. *Nutritional Composition and Antioxidant Properties of Fruits and Vegetables*, 613-629. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812780-3.00038-6>
- Xie, D., Ma, H., Xie, Q., Guo, J., Liu, G., Zhang, B., Li, X., Zhang, Q., Cao, Q., Li, X., Ma, F., Li, Y., Guo, M., & Yin, J.** (2024). Developing active and intelligent biodegradable packaging from food waste and byproducts: A review of sources, properties, film production methods, and their application in food preservation. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 23(3), e13334. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.13334>

- Xu, J. hao, Xiao, S., Wang, J. hui, Wang, B., Cai, Y. xue, & Hu, W. feng.** (2023a). Comparative study of the effects of ultrasound-assisted alkaline extraction on black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae protein: Nutritional, structural, and functional properties. *Ultrasonics Sonochemistry*, 101, 106662. <https://doi.org/10.1016/J.ULTSONCH.2023.106662>
- Xue, H., Feng, J., Zhang, K., Wang, Y., Liao, X., & Tan, J.** (2025). Insights into the preparation, properties, application in food of polysaccharide-based edible films and coatings: An updated overview. *Current Research in Food Science*, 11, 101123. <https://doi.org/10.1016/J.CRFS.2025.101123>
- Yalçın, Ü., Andic, S., Akkol, S., Kazeinat, S., Bazlı, K., Kaplamaların, Y., Peynirnin, K., Kimyasal, B., Ve Mikrobiyolojik, Y., & Etkisi, Ö.** (2021). The Effect of Sodium Caseinate or Chitosan Edible Coatings on Some Chemical Textural and Microbiological Characteristics of Kashar Cheese. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 11(1), 290-302. <https://doi.org/10.21597/jist.741326>
- Yang, J., Hu, L., Cai, T., Chen, Q., Ma, Q., Yang, J., Meng, C., & Hong, J.** (2018). Purification and identification of two novel antioxidant peptides from perilla (*Perilla frutescens* L. Britton) seed protein hydrolysates. *PLoS ONE*, 13(7). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0200021>
- Yang, J., Lorenzetti, R. L., Bing, D., Zhang, S., Lu, J., & Chen, L.** (2023). Composition, functionalities, and digestibility of proteins from high protein and normal pea (*Pisum sativum*) genotypes. *Sustainable Food Proteins*, 1(1), 4-15. <https://doi.org/10.1002/sfp2.1005>
- Yangilar, F.** (2016). Effect of the Fish Oil Fortified Chitosan Edible Film on Microbiological, Chemical Composition and Sensory Properties of Göbek Kashar Cheese during Ripening Time. *Korean Journal for Food Science of Animal Resources*, 36(3), 377. <https://doi.org/10.5851/KOSFA.2016.36.3.377>
- Yao, Q. bo, Huang, F., Lu, Y. hui, Huang, J. ming, Ali, M., Jia, X. Z., Zeng, X. A., & Huang, Y. yan.** (2024). Polysaccharide-based food packaging and intelligent packaging applications: A comprehensive review. *Trends in Food Science & Technology*, 147, 104390. <https://doi.org/10.1016/J.TIFS.2024.104390>
- Yazdanshenas, H., & Tafrihi, M.** (2022). The biological and therapeutic potentials of *Cyclotrichium* genus: a systematic review. *International Journal of Environmental Health Research*, 32(11), 2589-2599. <https://doi.org/10.1080/09603123.2021.1977784>
- Yildiz, G., Andrade, J., Engeseth, N. E., & Feng, H.** (2017). Functionalizing soy protein nano-aggregates with pH-shifting and mano-thermo-sonication. *Journal of Colloid and Interface Science*, 505, 836-846. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2017.06.088>
- Yilmaz, F., & Dagdemir, E.** (2012). The effects of beeswax coating on quality of Kashar cheese during ripening. *International Journal of Food Science & Technology*, 47(12), 2582-2589. <https://doi.org/10.1111/J.1365-2621.2012.03137.X>
- Zakki, A., Aryanti, N., & Hadiyanto, H.** (2024). Functional and structural characteristic of plant protein isolates as emulsifier by ultrasound-assisted extraction: A review. *Bioactive Carbohydrates and Dietary Fibre*, 32, 100449. <https://doi.org/10.1016/J.BCDF.2024.100449>
- Zhang, S., Xia, C., Dong, Y., Yan, Y., Li, J., Shi, S. Q., & Cai, L.** (2016). Soy protein isolate-based films reinforced by surface modified cellulose nanocrystal. *Industrial Crops and Products*, 80, 207-213. <https://doi.org/10.1016/J.INDCROP.2015.11.070>
- Zhang, X., Zhang, T., Zhao, Y., Jiang, L., & Sui, X.** (2024). Structural, extraction and safety aspects of novel alternative proteins from different sources. *Food Chemistry*, 436, 137712. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2023.137712>

- Zhao, T., Echegaray, N., Lorenzo, J. M., Günal-Köroğlu, D., Capanoglu, E., Ziora, Z. M., & Esatbeyoglu, T.** (2026). Exploring meat analogs: A review of alternative proteins with a focus on food safety and regulatory challenges. *Food Control*, 182, 111777. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCONT.2025.111777>
- Zhu, X., Meng, T., Ren, F., An, N., Chen, B., Liu, X., & Liu, H.** (2025). A review on apricot kernel seed proteins and peptides: Biological functions and food applications. *International Journal of Biological Macromolecules*, 292, 139053. <https://doi.org/10.1016/J.IJBIOMAC.2024.139053>
- Zong, A., Cao, H., & Wang, F.** (2012). Anticancer polysaccharides from natural resources: A review of recent research. *Carbohydrate Polymers*, 90(4), 1395-1410. <https://doi.org/10.1016/J.CARBPOL.2012.07.026>



EKLER

EK-1. Çizelge A. 6°C’de depolanan K, PI-F ve PI/EO-F örneklerinin uçucu bileşenleri (%)

BİLEŞEN	RT(DK)	T6-D15-EO	T6-D15-K	T6-D15-PI	T6-D25-EO	T6-D25-K	T6-D25-PI	T6-D35-EO	T6-D35-K	T6-D35-PI
ETHANOL	4,61	1,69±0,05	4,62±0,37	1,85±0,07	4,62±0,70	4,86±0,20	5,69±0,05	2,45±0,38	2,20±0,29	5,58±0,77
ACETONE	4,815	2,38±0,02	3,78±0,01	3,25±0,25	1,58±0,35	2,46±0,18	2,87±0,79	1,12±0,50	2,84±0,61	3,04±0,09
1,4-PENTADIENE	5,045	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E
DİCHLOROMETHANE	5,135	2,38±0,15	2,86±0,14	1,02±0,40	1,64±0,38	2,62±0,83	2,11±0,56	0,65±0,08	1,01±0,11	0,96±0,20
CARBON DİSÜLFİDE	5,197	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E
PROPANOL	5,365	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E
2-METHYLPENTANE	5,445	0,13±0,04	0,29±0,02	0,24±0,28	0,09±0,02	0,14±0,0	0,09±0,04	0,08±0,03	0,63±0,08	0,39±0,12
3-METHYLPENTANE	5,599	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E
DİACETYL	5,716	0,55±0,20	0,43±0,07	0,27±0,33	0,29±0,41	0,84±0,14	0,82±0,39	0,44±0,18	1,83±0,02	0,36±0,07
HEXANE	5,84	8,16±0,90	15,67±0,02	14,47±0,18	4,16±1,26	14,15±1,89	11,16±2,41	0,34±0,16	3,19±0,60	0,67±0,12
2-(1-METHYLETHOXY)-1-PROPANOL	5,902	12,55±0,65	26,25±2,83	16,75±1,31	4,91±0,47	19±0,20	14,38±0,85	T.E	T.E	T.E
ETHYL ACETATE	6,09	3,41±0,89	1,39±0,15	0,18±0,22	2,52±0,88	2,35±0,18	1,68±0,62	0,84±0,45	5,43±0,00	11,78±0,55
CHLOROFORM	6,162	T.E	1,01±0,16	0,03±0,03	T.E	1,57±0,04	0,93±0,19	T.E	T.E	T.E
ISOBUTYL ALCOHOL	6,342	0,25±0,11	1,01±0,09	T.E	0,05±0,07	0,45±0,19	0,29±0,05	T.E	2,20±0,29	0,26±0,11
PROPYL İSOPROPYL ETHER	6,666	0,30±0,06	0,28±0,07	0,06±0,02	T.E	0,17±0,25	T.E	T.E	T.E	T.E
3-METHYLBUTANAL	6,833	T.E	0,02±0,00	T.E	T.E	0,04±0,05	0,01±0,01	T.E	0,12±0,00	T.E
1-BUTANOL	7,016	0,03±0,0	0,11±0,01	0,03±0,00	T.E	0,16±0,06	0,76±0,09	T.E	0,4±0,01	T.E
ACETOL	7,432	T.E	T.E	T.E	0,18±0,02	T.E	0,09±0,03	0,16±0,02	0,07±0,01	0,06±0,01
2-PENTANONE	7,54	0,41±0,07	1,41±0,36	0,36±0,09	3,46±0,65	0,4±0,08	15,91±0,66	6,77±1,19	3,16±0,47	19,43±1,97
2-PENTANOL	7,77	0,08±0,01	0,32±0,08	0,04±0,04	0,21±0,02	0,07±0,02	0,12±0,05	0,07±0,02	0,48±0,02	0,34±0,05
METHYL BUTYRATE	8,392	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E
ACETOİN	8,497	2,86±0,08	4,86±0,48	1,69±0,90	3,43±0,15	6,96±0,55	3,73±0,34	1,69±0,86	18,64±0,36	1,07±0,36
3-METHYL-1-BUTANOL (ISOAMYL ALCOHOL)	8,732	0,09±0,03	0,31±0,01	0,01±0,02	0,15±0,13	1,84±0,67	0,19±0,26	0,11±0,06	1,13±0,06	1,53±0,88
2-METHYL-1-BUTANOL	8,85	T.E	0,08±0,01	0,09±0,11	T.E	0,74±0,09	0,06±0,00	T.E	0,38±0,01	0,15±0,07
TOLUENE	9,773	0,40±0,07	1,07±0,03	0,62±0,15	0,44±0,12	1,76±0,28	1,05±0,38	T.E	0,23±0,01	0,1±0,02
ISOBUTYL ACETATE	9,892	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E
2-HEXANONE	10,436	T.E	0,1±0,04	0,03±0,03	0,15±0,05	0,05±0,03	0,45±0,21	0,21±0,03	0,14±0,02	1,01±0,00
HEXANAL	10,763	0,51±0,00	2,15±0,71	0,90±1,09	1,02±0,37	3,99±0,29	2,43±0,09	0,18±0,01	8,21±1,20	0,78±0,14
BUTYRİC ACİD	11,133	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E
N-BUTYL ACETATE	11,232	0,16±0,05	0,98±0,06	0,39±0,06	0,10±0,03	1,69±0,14	0,66±0,06	0,07±0,00	1,49±0,29	0,14±0,10
1-METHOXYHEXANE	11,675	T.E	0,16±0,01	0,11±0,14	T.E	0,24±0,12	0,12±0,17	T.E	T.E	0,09±0,01
ISOVALERİC ACİD	12,469	T.E	0,03±0,00	T.E	0,10±0,01	0,9±0,12	0,31±0,13	0,13±0,00	1,18±0,34	0,3±0,06
ETHYLBENZENE	12,999	0,26±0,19	0,74±0,05	0,37±0,04	0,21±0,04	0,68±0,09	0,29±0,04	T.E	0,19±0,02	0,06±0,00
HEXANOL	13,167	0,02±0,03	3,96±0,29	2,06±0,41	1,41±0,75	3,97±0,45	2,18±0,52	0,35±0,04	1,48±0,06	0,63±0,08
ISOAMYL ACETATE	13,433	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E	0,48±0,09	0,3±0,04
(E)-4-HEXEN-1-OL	13,522	T.E	T.E	T.E	T.E	0,43±0,01	0,26±0,06	0,1±0,04	0,26±0,06	0,09±0,01
CİS-5-HYDROXY-2-METHYL-1,3-DİOXANE	13,811	0,07±0,03	T.E	0,06±0,09	0,08±0,01	T.E	0,09±0,13	8,83±1,95	T.E	0,11±0,00
2-HEPTANONE	13,942	0,32±0,05	2,81±0,34	0,62±0,64	3,06±0,72	0,51±0,08	12,26±0,32	0 T.E	1,91±0,32	23,17±3,27

O-XYLENE	14,159	0,32±0,20	0,91±0,10	0,48±0,08	0,29±0,04	0,94±0,08	0,04±0,06	0,22±0,08	0,53±0,05	T.E
AMYL METHYL CARBINOL	14,295	0,27±0,05	0,71±0,14	0,29±0,34	0,59±0,06	0,64±0,64	0,88±0,01	T.E	2,54±0,41	0,96±0,20
2-BUTOXYETHANOL	14,523	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E
SORBALDEHYDE	14,693	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E
2,5-DIMETHYLPYRAZINE	14,808	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E
METHYL TRICHLOROACETATE	15,045	0,44±0,01	1,55±0,28	0,49±0,56	0,17±0,02	0,7±0,12	0,18±0,06	0,06±0,00	T.E	T.E
METHYL CAPROATE	15,175	T.E	0,03±0,00	T.E	T.E	0,33±0,02	0,04±0,06	0,42±0,04	0,22±0,02	0,03±0,0
A-THUJENE	15,38	0,24±0,01	0,07±0,00	T.E	0,27±0,01	0,03±0,04	0±0	4,58±0,59	T.E	T.E
A-PINENE	15,687	3,14±0,6	0,81±0,08	0,31±0,35	3,13±0,22	0,68±0,13	0,21±0,02	0,02±0,00	0,17±0,04	T.E
DIMETHYL PHTHALATE	16,105	0,03±0,05	0,09±0,00	0,06±0,07	0,03±0,05	0,13±0,03	0,13±0,03	0,48±0,14	0,26±0,04	0,10±0,01
B-TERPINEOL / CAMPHENE	16,273	0,33±0,01	0,05±0,00	T.E	0,46±0,05	0,25±0,02	0,07±0,03	1,25±0,09	0,28±0,02	T.E
BENZALDEHYDE	16,753									
SABINENE	17,125	0,74±0,21	0,08±0,01	0,02±0,02	0,75±0,06	0,10±0,01	T.E	4,7±0,63	T.E	T.E
B-PINENE	17,31	3,29±0,58	0,42±0,07	0,17±0,19	3,36±0,42	0,61±0,06	T.E	0,45±0,12	0,64±0,2	T.E
HEXANOIC ACID	17,575	T.E	T.E	1,00±1,16	T.E	1,44±2,03	0,7±0,99	4,22±0,31	T.E	0,9±1,27
2-OCTANONE	17,62	3,74±0,10	4,18±0,3	0,68±0,81	3,89±0,31	2,75±0,46	3,48±0,81	0,11±0,00	11,25±2,59	2,43±0,15
ETHYL HEXANOATE	17,857	T.E	T.E	0,21±0,24	0,13±0,03	0,96±0,06	0,19±0,27	T.E	T.E	0,37±0,01
OCTANAL	17,9	0,04±0,06	T.E	0,11±0,13	T.E	0,31±0,03	0,07±0,01	0,91±0	T.E	0,15±0,02
PSEUDOLIMONENE	18,247	0,66±0,01	T.E	0,04±0,05	0,64±0,01	T.E	T.E	0,15±0,03	T.E	T.E
HEXYL ACETATE	18,347	0,07±0	0,37±0,06	0,12±0,14	0,09±0,01	1,12±0,07	0,33±0,05	T.E	1,63±0,03	0,15±0,01
Δ3-CARENE	18,424	T.E	T.E	0,14±0,17	T.E	T.E	T.E	0,27±0,03	T.E	T.E
A-TERPINENE	18,675	0,21±0,07	0,17±0,04	0,04±0,05	0,17±0,01	T.E	T.E	0,13±0,03	T.E	0,05±0,07
AMYL BUTYRATE	18,782	T.E	T.E	0,05±0,07	0,09±0,01	0,82±0,09	0,17±0,03	1,41±0,07	0,91±0,03	0,21±0,02
P-CYME	18,961	1,21±0,22	0,73±0,09	0,32±0,38	1,14±0,06	0,50±0,70	0,36±0,04	14,56±0,18	0,52±0,73	0,33±0,06
LIMONENE	19,158	11,96±0,41	3,89±0,44	1,48±1,74	11,06±0,17	4,81±0,62	0,69±0,01	0,29±0,01	3,98±0,82	0,23±0,04
1,8-CINEOLE	19,262	0,26±0,07	T.E	0,14±0,17	0,08±0,01	T.E	0,07±0,00	0,62±0,15	T.E	0,02±0,00
BENZYL ALCOHOL	19,346	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E
ETHYLCYCLOPENTENOLONE	19,875	0,45±0,04	0,09±0,04	0,03±0,04	0,57±0,03	1,25±0,06	0,16±0,03	0,46±0,03	1,51±0,21	0,09±0,02
Γ-TERPINENE	20,158	0,42±0,14	0,09±0,01	0,09±0,11	0,35±0,03	0,29±0,03	0,06±0,00	0,8±0,01	0,25±0,02	T.E
NONYL ACETATE	20,354	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E
NONANOL	20,466	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E
4-METHYLDODECANE	20,632	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E
8-NONEN-2-ONE	20,892	T.E	0,4±0,04	0,05±0,06	0,19±0,2	0±0	0,25±0,08	4,87±0,63	T.E	2,32±1,09
2-NONANONE	21,189	0,56±0,03	2,44±1,01	0,44±0,51	1,77±0,35	0,58±0,00	4,26±0,47	0,17±0,06	1,07±0,20	12,9±0,64
LINALOOL	21,483	0,15±0,04	T.E	0,07±0,07	0,16±0,00	0,1±0,06	0,11±0,15	0,29±0,06	0,13±0,01	0,29±0,18
NONANAL	21,601	0,28±0,01	0,69±0,04	0,26±0,30	0,31±0,05	0,92±0,11	0,56±0,19	7,84±0,09	1,41±0,05	0,37±0,03
PHENETHYL ALCOHOL	22,191									
OCTANOIC ACID	23,937	7,02±0,73	2,31±0,48	1,04±1,21	6,06±0,35	2,1±0,06	2,14±0,67	0,51±0,03	4,19±0,49	1,72±0,15
MENTHOL	24,173	0,45±0,16	T.E	0,03±0,04	0,42±0,01	T.E	0,04±0,06	0,58±0,00	T.E	T.E
ISOPULEGONE	24,263	0,58±0,22	T.E	T.E	0,55±0,06	T.E	T.E	0,54±0,02	T.E	T.E
PULEGONE	24,503	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E
2-DECANONE	24,508	0,47±0,12	0,13±0,01	0,1±0,06	0,54±0,07	0,76±0,18	0,24±0,28	0,28±0,01	0,87±0,16	0,12±0,02
N-DODECANE	24,732	0,21±0,06	0,42±0,07	0,08±0,1	0,34±0,04	0,46±0,06	0,17±0,07	0,14±0,00	0,95±0,02	0,35±0,06
MYRTENOL	24,977	0,09±0,04	0,08±0,01	0,03±0,00	0,16±0,01	0,10±0,00	0,17±0,01	0,19±0,01	0,25±0,02	0,08±0,01

4-PROTOADAMANTANONE	25,368	0,21±0,09	T.E	T.E	0,19±0,02	T.E	T.E	1,40±0,23	T.E	T.E
VERBENONE	25,456	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E
4,7-DİMETHYLBENZOFURAN	25,58	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E
DİAMYL KETONE	25,611	1,24±0,3	0,09±0,03	0,05±0,07	1,73±0,32	0,10±0,14	0,13±0,08	2,47±0,75	0,29±0,06	0,06±0,01
2-ISOPROPYL-2,5-DİMETHYLCYCLOHEXANONE	25,694	2,14±0,37	T.E	T.E	2,71±0,53	T.E	0,02±0,00	0,19±0,02	T.E	0,02±0,02
TETRAHYDROLİNALOOL / ISOBUTYRIC ACİD	26,067	0,22±0,00	0,11±0,02	0,06±0,07	0,29±0,04	0,06±0,09	0,13±0,06	6,39±1,09	0,2±0,05	0,08±0,00
MENTHONE	26,388	7,08±4,11	0,42±0,06	0,48±0,56	5,77±0,88	1,38±0,21	0,73±0,06	0,58±0,12	0,99±0,26	0,31±0,06
1,3-BİS(1,1-DİMETHYLETHYL)BENZENE	26,669	0,20±0,12	0,47±0,11	0,13±0,17	0,57±0,19	0,85±0,20	0,38±0,13	0,28±0,07	2,05±0,37	1,27±0,31
3-METHYL-2-TERT-BUTOXYCYCLOHEXENE	26,725	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E
PİPERİTONE	26,769	0,18±0,04	T.E	T.E	0,31±0,00	T.E	T.E	1,29±0,24	T.E	T.E
2-ACETYL-4-METHYL-1,3-CYCLOPENTANEDİONE	27,139	1,48±0,01	T.E	T.E	1,30±0,19	T.E	T.E	0,49±0,07	T.E	T.E
2-UNDECANONE	27,77	0,23±0,04	0,28±0,01	0,07±0,09	0,29±0,05	0,08±0,11	0,31±0,01	0,09±0,02	0,42±0,03	1,18±0,07
2-UNDECANOL	27,81	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E
CARVACROL	28,099	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E
HUMULOL	29,053	0,09±0,00	T.E	T.E	0,11±0,04	T.E	T.E	0,09±0,02	T.E	T.E
TRANS-CARVYL ACETATE	29,13	0,10±0,01	T.E	T.E	0,09±0,01	T.E	T.E	0,44±0,00	T.E	T.E
PİPERİTENONE	29,566	0,51±0,01	T.E	T.E	0,53±0,18	T.E	T.E	0,23±0,01	T.E	T.E
DODECYL BUTYRATE	29,792	0,36±0,02	0,49±0,14	T.E	0,42±0,17	T.E	0,03±0,00	0,03±0,00	0,59±0,03	0,11±0,02
EİCOSANE	29,933	0,11±0,00	T.E	T.E	0,09±0,01	0,08±0,00	0,22±0,01	T.E	0,37±0,53	0,08±0,01
N-TETRADECANE	30,762	T.E	0,17±0,03	0,05±0,06	T.E	0,2±0,01	0,13±0,01	0,13±0,01	0,58±0,07	0,09±0,02
4A-METHYLDECAHYDRONAPHTHALEN-1-YL ACETATE	31,99	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E
6-METHYL- γ -İONONE	32,034	0,21±0,06	T.E	T.E	0,27±0,08	T.E	T.E	3,18±0,36	T.E	T.E
A-THUJONE	32,26	3,58±0,54	0,08±0,01	T.E	4,67±1,03	0,19±0,02	0,03±0,00	5,87±0,58	0,51±0,05	0,06±0,01
CİTRONELLİC ACİD	33,113	6,85±1,55	0,06±0,01	0,03±0,04	8,49±0,13	0,21±0,06	0,06±0,00	0,53±0,03	0,42±0,12	0,08±0,03
SPATHULENOL	36,302	0,67±0,03	T.E	T.E	0,89±0,14	T.E	T.E	0,08±0,02	T.E	T.E
METHYL PALMİTATE	43,774	0,06±0,00	0,19±0,01	0,03±0,02	0,12±0,04	0,05±0,07	0,18±0,06	0,09±0,01	0,42±0,01	0,14±0,05
EİCOSAMETHYLCYCLODECASİLOXANE	44,938	0,06±0,00	T.E	0,05±0,05	0,07±0,01	0,14±0,20	0,16±0,03	T.E	0,31±0,10	0,12±0,09

Veriler ortalama $\pm$ standart sapma olarak verilmiştir. T.E: Tespit edilemedi.

EK-2. Çizelge B. 15°C’de depolanan K, PI-F ve PI/EO-F örneklerinin uçucu bileşenleri (%)

BİLEŞEN	RT(DK)	T15-D10- EO	T15-D10-K	T15-D10-PI	T15-D20-EO	T15-D20-K	T15-D20-PI	T15-D25-EO	T15-D25-K	T15-D25-PI
ETHANOL	4,61	4,19±0,25	1,05±0,02	7,07±1,33	1,59±0,5	2,18±0,02	11,23±1,91	2,69±0,13	6,12±0,02	2,17±0,76
ACETONE	4,815	2,39±0,48	5,25±0,18	3,12±0,95	2,37±0,78	2,55±0,87	3,22±0,45	3,08±0,14	2,95±0,64	3,67±0,34
1,4-PENTADIENE	5,045	0,19±0,14	T.E	T.E	0,88±0,03	T.E	0,20±0,28	0,57±0,12	T.E	0,34±0,48
DİCHLOROMETHANE	5,135	2,09±0,51	5,78±0,58	3,08±0,06	1,95±0,02	2,12±0,35	2,54±0,98	2,82±0,57	3,50±0,58	3,17±0,53
CARBON DİSÜLFİDE	5,197	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E	0,47±0,06	2,85±0,34	2,01±0,42
PROPANOL	5,365	T.E	T.E	0,31±0,04	T.E	T.E	0,71±0,1	0,13±0,07	0,07±0,09	T.E
2-METHYLPENTANE	5,445	0,17±0,04	0,14±0,01	0,32±0,08	0,09±0,00	0,18±0,06	T.E	0,12±0,01	0,50±0,05	0,37±0,02
3-METHYLPENTANE	5,599	0,04±0,00	0,06±0,00	0,11±0,01	T.E	0,04±0,00	0,06±0,01	T.E	0,09±0,01	0,01±0,00
DİACETYL	5,716	0,42±0,08	0,34±0,01	0,34±0,05	0,12±0,01	0,45±0,02	0,37±0,05	0,26±0,04	0,48±0,1	0,33±0,03
HEXANE	5,84	9,39±1,16	17,77±1,25	13,31±1,04	2,06±0,11	5,96±0,53	3,08±0,49	4,33±0,39	5,16±0,4	6,41±0,46
2-(1-METHYLETHOXY)-1-PROPANOL	5,902	15,53±2,23	23,46±2,37	17,09±2,02	13,14±1,34	13,31±1,68	7,02±0,03	8,54±0,75	10,59±0,32	11,49±0,16
ETHYL ACETATE	6,09	1,40±0,08	3,85±0,73	2,12±0,75	T.E	0,34±0,06	0,42±0,06	0,29±0,00	0,24±0,03	0,25±0,02
CHLOROFORM	6,162	1,43±0,05	1,15±0,63	0,69±0,07	0,04±0,00	0,08±0,01	0,01±0,00	0,21±0,00	0,19±0,09	0,26±0,06
ISOBUTYL ALCOHOL	6,342	1,22±0,03	2,30±0,04	1,88±0,32	0,04±0,00	0,05±0,00	0,68±0,02	T.E	0,04±0,00	0,02±0,00
PROPYL İSOPROPYL ETHER	6,666	0,41±0,06	0,54±0,03	0,43±0,06	T.E	0,09±0,01	0,01±0,00	T.E	T.E	T.E
3-METHYLBUTANAL	6,833	0,02±0,03	0,02±0,03	0,05±0,02	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E
1-BUTANOL	7,016	0,03±0,00	0,09±0,00	0,32±0,02	T.E	0,10±0,01	0,34±0,06	0,17±0,03	0,05±0,01	T.E
ACETOL	7,432	0,16±0,04	T.E	0,04±0,00	T.E	T.E	0,11±0,03	T.E	0,05±0,00	T.E
2-PENTANONE	7,54	3,47±0,24	1,48±0,00	3,34±0,8	5,8±0,28	13,81±2,95	12,27±3,17	8,43±0,11	9,8±0,20	16,33±4,06
2-PENTANOL	7,77	0,3±0,07	0,38±0,06	0,66±0,08	0,17±0,01	0,09±0,00	3,04±0,18	0,12±0,15	0,12±0,03	0,86±0,07
METHYL BUTYRATE	8,392	0,84±0,01	T.E	1,66±0,21	0,07±0,00	0,07±0,02	T.E	0,45±0,05	1,78±2,51	0,17±0,10
ACETOİN	8,497	1,23±0,41	4,24±0,26	1,07±0,51	0,09±0,02	0,14±0,01	1,64±0,65	0,62±0,05	2,10±0,91	0,10±0,03
3-METHYL-1-BUTANOL (ISOAMYL ALCOHOL)	8,732	0,21±0,04	0,25±0,01	1,24±0,43	0,13±0,04	0,51±0,15	4,77±0,49	0,41±0,05	0,34±0,01	0,29±0,37
2-METHYL-1-BUTANOL	8,85	T.E	0,06±0	0,23±0,07	T.E	0,42±0,03	0,86±0,02	0,07±0,01	0,05±0,00	0,72±0,06
TOLUENE	9,773	0,63±0,03	0,73±0,02	0,83±0,09	0,38±0,02	0,49±0,09	0,22±0,06	0,74±0,01	0,68±0,03	0,07±0,03
ISOBUTYL ACETATE	9,892	0,02±0,00	0,03±0,00	0,09±0,01	T.E	0,1±0,01	T.E	T.E	T.E	0,45±0,01
2-HEXANONE	10,436	0,11±0,02	0,07±0,00	0,13±0,06	0,22±0,01	0,71±0,01	0,65±0,00	0,39±0,02	0,49±0,08	0,61±0,07
HEXANAL	10,763	1,16±0,12	2,12±0,08	1,9±0,08	0,31±0,13	1,42±0,08	1,23±0,08	0,94±0,02	1,51±0,03	1,06±0,13
BUTYRİC ACİD	11,133	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E
N-BUTYL ACETATE	11,232	0,59±0,03	0,56±0,05	0,64±0,07	0,05±0,00	0,23±0,03	0,07±0,00	0,24±0,07	0,61±0,05	0,47±0,08
1-METHOXYHEXANE	11,675	0,15±0,06	0,11±0	0,13±0,01	T.E	0,12±0,06	0,05±0,00	T.E	0,11±0,02	0,03±0,00
ISOVALERIC ACİD	12,469	T.E	T.E	0,04±0,01	T.E	T.E	T.E	T.E	0,07±0,01	0,66±0,05
ETHYLBENZENE	12,999	0,56±0,05	1,06±0,05	0,66±0,09	0,40±0,00	0,99±0,09	0,31±0,06	0,48±0,03	1,11±0,07	0,07±0,00
HEXANOL	13,167	T.E	T.E	1,69±0,04	0,34±0,01	T.E	2,02±0,07	0,63±0,07	T.E	3,18±0,66
ISOAMYL ACETATE	13,433	3,54±0,09	6,95±0,08	8,79±1,52	2,65±0,16	7,36±0,08	9,36±1,62	3,96±0,04	7,93±0,12	0±0
(E)-4-HEXEN-1-OL	13,522	T.E	T.E	0,86±0,06	T.E	T.E	0,82±0,24	T.E	T.E	2,37±3,16
CİS-5-HYDROXY-2-METHYL-1,3-DİOXANE	13,811	T.E	T.E	0,14±0,09	0,04±0,05	T.E	0,42±0,11	0,06±0	T.E	7,55±0,68
2-HEPTANONE	13,942	3,96±0,2	1,25±0,10	4,3±0,77	7,07±0,66	16,66±0,11	16,2±0,43	13,23±0,08	15,34±0,23	0,87±0,1
O-XYLENE	14,159	1,03±0,28	1,44±0,10	1,25±0,14	0,75±0,02	2,04±0,27	0,04±0,00	0,9±0,04	2,3±0,10	10,75±0,39

AMYL METHYL CARBINOL	14,295	0,49±0,01	0,83±0,06	0,64±0,17	0,62±0,05	0,54±0,02	2,43±0,7	1,11±0,12	1,27±0,16	1,37±0,07
2-BUTOXYETHANOL	14,523	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E
SORBALDEHYDE	14,693	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E
2,5-DIMETHYLPYRAZINE	14,808	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E
METHYL TRICHLOROACETATE	15,045	1,39±0,29	1,4±0,18	1,54±0,51	0,42±0,07	0,45±0,04	0,10±0,08	0,30±0,05	0,49±0,04	0,94±0,14
METHYL CAPROATE	15,175	T.E	T.E	0,02±0,00	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E	0,08±0,02
A-THUJENE	15,38	0,24±0,01	0,06±0	0,07±0,02	0,12±0,02	T.E	T.E	0,17±0,01	0,05±0,01	T.E
A-PINENE	15,687	2,55±0,07	0,65±0,01	0,66±0,15	1,74±0,2	0,36±0,04	0,1±0,08	2,52±0,06	0,42±0,05	0,46±0,07
DIMETHYL PHTHALATE	16,105	0,05±0,01	0,09±0	0,08±0,02	T.E	0,09±0	0,05±0,01	T.E	0,10±0,03	0,08±0,01
B-TERPINEOL / CAMPHENE	16,273	0,34±0,06	0,04±0	0,05±0,01	0,36±0	T.E	T.E	0,25±0,00	0,02±0,00	0,03±0,00
BENZALDEHYDE	16,753	T.E	T.E	0,28±0,07	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E
SABINENE	17,125	0,54±0,00	0,07±0,01	0,09±0,01	0,48±0,02	0,04±0,00	0,1±0,01	0,51±0,00	0,02±0,00	0,17±0,04
B-PINENE	17,31	2,6±0,02	0,59±0,04	0,59±0,03	1,83±0,24	0,28±0,01	0,20±0,05	2,53±0,00	0,37±0,07	0,26±0,06
HEXANOIC ACID	17,575	0,37±0,08	T.E	0,44±0,63	0,22±0,02	T.E	0,63±0,08	0,24±0,05	T.E	0,56±0,13
2-OCTANONE	17,62	2,47±0,17	3,37±0,33	2,85±0,03	2,56±0,66	3,23±0,73	0,9±0,12	2,65±0,48	3,59±0,26	1,2±0,15
ETHYL HEXANOATE	17,857	0,1±0,05	0,57±0,02	0,42±0,05	0,04±0,00	0,29±0,06	0,19±0,01	0,10±0,00	0,27±0,05	0,15±0,02
OCTANAL	17,9	T.E	T.E	0,19±0,02	T.E	0,06±0,08	0,01±0,02	T.E	0,07±0,1	T.E
PSEUDOLIMONENE	18,247	0,52±0,03	0,03±0,00	0,1±0,03	0,46±0,01	0,04±0,02	T.E	0,37±0,01	0,05±0,00	T.E
HEXYL ACETATE	18,347	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E
Δ3-CARENE	18,424	0,08±0,01	0,02±0,00	0,13±0,00	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E
A-TERPINENE	18,675	0,2±0,02	0,11±0,06	0,14±0,02	0,15±0,05	0,02±0,00	T.E	0,10±0,00	0,04±0,00	0,03±0,00
AMYL BUTYRATE	18,782	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E
P-CYMENE	18,961	1,06±0,1	0,32±0,05	0,64±0,08	0,86±0,06	0,34±0,06	0,22±0,00	0,77±0,01	0,46±0,04	0,44±0,12
LIMONENE	19,158	9,23±0,53	4,23±0,80	2,89±0,50	9,30±0,16	2,19±0,28	0,34±0,02	7,64±0,12	2,06±0,41	1,29±0,27
1,8-CINEOLE	19,262	0,37±0,02	0,15±0,02	0,41±0,03	0,12±0,01	0,07±0,1	0,06±0,03	0,12±0	0,07±0,1	0,2±0,05
BENZYL ALCOHOL	19,346	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E
ETHYLCYCLOPENTENOLONE	19,875	0,26±0,04	T.E	T.E	0,22±0,01	T.E	T.E	0,19±0,02	T.E	T.E
Γ-TERPINENE	20,158	0,29±0,02	0,11±0,01	0,12±0,03	0,29±0,08	0,05±0,01	0,02±0,00	0,18±0	0,05±0,00	0,08±0,00
NONYL ACETATE	20,354	0,24±0,01	0,14±0,02	0,41±0,14	0,15±0,01	0,51±0,13	0,24±0,01	0,26±0,1	0,49±0,19	0,36±0,1
NONANOL	20,466	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E
4-METHYLDODECANE	20,632	T.E	T.E	0,07±0,10	T.E	T.E	0,01±0,00	T.E	T.E	0,03±0,04
8-NONEN-2-ONE	20,892	0,34±0,03	0,09±0,03	0,48±0,03	0,77±0,15	1,9±0,55	1,09±0,22	1,41±0,08	1,24±0,02	1,66±0,62
2-NONANONE	21,189	2,80±0,39	0,99±0,21	2,83±0,58	3,8±0,81	11,23±0,23	5,51±0,45	7,29±0,32	5,65±0,19	8,49±1,56
LINALOOL	21,483	0,36±0,07	0,48±0,21	0,51±0,1	0,37±0,04	0,2±0,17	0,58±0,17	0,19±0,00	0,46±0,02	0,35±0,02
NONANAL	21,601	0,23±0,04	0,17±0,03	0,33±0,02	0,22±0,03	0,2±0,09	0,23±0,01	0,24±0,00	0,39±0,03	0,32±0,04
PHENETHYL ALCOHOL	22,191	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E
OCTANOIC ACID	23,937	2,09±0,24	1,21±0,11	1,81±0,11	3,65±0,04	1,2±0,12	0,7±0,24	2,11±0,18	1,48±0,56	0,83±0,03
MENTHOL	24,173	0,17±0,01	T.E	T.E	0,38±0,06	T.E	T.E	0,20±0,02	T.E	T.E
ISOPULEGONE	24,263	0,18±0,02	T.E	T.E	0,38±0,01	T.E	T.E	0,16±0,05	T.E	T.E
PULEGONE	24,503	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E
2-DECANONE	24,508	T.E	T.E	T.E	0,53±0,03	0,1±0,09	0,04±0,02	0,16±0,01	0,05±0,08	0,03±0,04
N-DODECANE	24,732	0,17±0,03	0,27±0,01	0,15±0,00	0,37±0,00	0,43±0,08	0,28±0,02	0,19±0,02	0,51±0,03	0,38±0,11
MYRTENOL	24,977	0,04±0,06	T.E	T.E	0,13±0,07	T.E	T.E	0,20±0,15	T.E	T.E
4-PROTOADAMANTANONE	25,368	0,06±0,00	T.E	T.E	0,11±0,01	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E

VERBENONE	25,456	T.E	T.E	T.E	0,08±0,00	T.E	T.E	0,06±0,00	T.E	T.E
4,7-DİMETHYLBENZOFURAN	25,58	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E
DİAMYL KETONE	25,611	0,75±0,33	0,1±0,01	0,05±0,02	1,55±0,02	0,21±0,10	0,06±0,00	0,58±0,07	0,17±0,02	0,09±0,01
2-ISOPROPYL-2,5-DİMETHYLCYCLOHEXANONE	25,694		T.E	T.E						
TETRAHYDROLİNALOOL / ISOBUTYRİC ACİD	26,067	1,71±0,47			2,67±0,06	T.E	0,03±0,00	1,35±0,07	T.E	0,04±0,01
MENTHONE	26,388	0,12±0,08	0,03±0,00	0,06±0,02	0,23±0,02	0,07±0,00	0,05±0,02	T.E	0,08±0,02	0,07±0,01
1,3-BİS(1,1-DİMETHYLETHYL)BENZENE	26,669	1,74±0,38	0,46±0,08	0,41±0,02	3,68±0,39	0,48±0,13	0,22±0,09	1,78±0,12	0,51±0,06	0,37±0,06
3-METHYL-2-TERT-BUTOXYCYCLOHEXENE	26,725	0,04±0,01	0,25±0,06	0,07±0,02	0,65±0,15	0,71±0,17	0,86±0,16	0,34±0,01	1,03±0,07	1,22±0,54
PİPERİTONE	26,769	0,12±0,03	T.E	T.E	0,34±0,07	T.E	T.E	0,08±0,02	T.E	T.E
2-ACETYL-4-METHYL-1,3-CYCLOPENTANEDİONE	27,139	0,06±0,03	T.E	T.E	0,24±0,03	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E
2-UNDECANONE	27,77	0,19±0,09			0,26±0,03			0,08±0,01	T.E	T.E
2-UNDECANOL	27,81	0,23±0,01	0,09±0,02	0,17±0,01	0,58±0,09	1,14±0,31	0,4±0,02	0,69±0,08	0,33±0,04	0,72±0,22
CARVACROL	28,099	0,18±0,02	T.E	T.E	0,46±0,02	T.E	T.E	0,25±0,03	T.E	T.E
HUMULOL	29,053	T.E	T.E	T.E	0,09±0,01	T.E	T.E	0,10±0,03	T.E	T.E
TRANS-CARVYL ACETATE	29,13	0,06±0,00	T.E	T.E	0,12±0,05	T.E	T.E	0,13±0,01	T.E	T.E
PİPERİTENONE	29,566	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E
DODECYL BUTYRATE	29,792	0,21±0,01	T.E	T.E	0,64±0,02	T.E	T.E	0,16±0,02	T.E	T.E
EİCOSANE	29,933	0,17±0,09	0,01±0,00	0,08±0,01	0,38±0,01	0,11±0,08	0,02±0,00	0,16±0,07	0,07±0,02	0,06±0,01
N-TETRADECANE	30,762	T.E	T.E	T.E	0,07±0,01	0,09±0,06	0,04±0,00	0,07±0,00	0,10±0,06	0,05±0,01
4A-METHYLDECAHYDRONAPHTHALEN-1-YL ACETATE	31,99	0,03±0,00	0,05±0,02	0,07±0,03	0,15±0,02	0,05±0,00	T.E	0,23±0,08	0,08±0,01	
6-METHYL-İ-İONONE	32,034	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E
A-THUJONE	32,26	2,53±0,35	0,13±0,06	T.E	5,39±0,64	0,19±0,04	0,06±0,02	1,81±0,13	0,16±0,04	0,07±0,01
CİTRONELLİC ACİD	33,113	4,67±2,24	0,14±0,03	0,07±0,02	10,29±1,44	0,27±0,17	0,08±0,03	3,41±0,17	0,23±0,1	0,1±0,01
SPATHULENOL	36,302	0,45±0,38	T.E	T.E	0,75±0,07	T.E	T.E	0,22±0,06	T.E	T.E
METHYL PALMİTATE	43,774	0,05±0,06	0,16±0,05	0,12±0,03	0,03±0,04	0,02±0,03	0,12±0,06	0,11±0,01	0,12±0,02	0,15±0,04
EİCOSAMETHYLCYCLODECASILOXANE	44,938	0,03±0,00	0,04±0,00	0,08±0,02	T.E	0,09±0,01	0,06±0,01	T.E	0,09±0,03	0,11±0,01

Veriler ortalama ± standart sapma olarak verilmiştir. T.E: Tespit edilemedi.

EK-3. Çizelge C. 25°C’de depolanan K, PI-F ve PI/EO-F örneklerinin uçucu bileşenleri (%)

BİLEŞEN	RT(DK)	T25-D2-EO	T25-D2-K	T25-D2-PI	T25-D7-EO	T25-D7-K	T25-D7-PI	T25-D10-EO	T25-D10-K	T25-D10-PI	T25-D15-EO	T25-D15-K	T25-D15-PI
ETHANOL	4,61	3,96±0,01	2,89±0,21	5,09±0,82	1,34±0,13	11,39±1,71	7,98±0,33	0,77±0,04	2,00±0,00	6,47±0,14	2,66±0,18	2,12±0,59	5,52±0,14
ACETONE	4,815	2,98±1,53	2,42±0,11	3,30±1,37	1,22±0,06	4,04±0,86	1,14±0,19	1,60±0,36	1,71±0,11	4,38±0,54	1,53±0,59	1,53±0,59	1,53±0,59
1,4-PENTADIENE	5,045	0,83±0,02	0,84±0,13	1,51±0,04	1,45±1,06	3,90±0,25	0,20±0,08	5,64±1,36	15,19±4,24	0,94±0,00	0,56±0,11	2,82±1,90	0,90±0,17
DİCHLOROMETHANE	5,135	2,60±0,05	2,1±0,66	3,90±0,18	1,93±0,69	4,09±0,03	2,49±0,93	2,97±0,00	2,60±0,18	1,08±0,13	2,78±0,51	1,07±0,03	1,02±0,01
CARBON DİSÜLFİDE	5,197	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E
PROPANOL	5,365	T.E	0,09±0,01	T.E	T.E	T.E	0,21±0,06	T.E	T.E	1,05±0,08	0,12±0,07	0,33±0,31	0,66±0,06
2-METHYLPENTANE	5,445	0,21±0,03	0,44±0,16	0,40±0,05	0,09±0,00	0,57±0,01	0,37±0,11	T.E	T.E	T.E	0,12±0,02	0,06±0,00	T.E
3-METHYLPENTANE	5,599	0,07±0,00	0,17±0,04	0,15±0,02	T.E	0,19±0,01	0,03±0,00	T.E	0,16±0,21	0,08±0,01	0 T.E	0,07±0,00	0,06±0,01
DIACETYL	5,716	0,52±0,02	0,75±0,06	0,74±0,12	0,11±0,03	0,24±0,02	0,28±0,03	0,12±0,02	0,05±0,00	0,05±0,00	0,26±0,03	0,09±0,03	0,08±0,01
HEXANE	5,84	10,68±0,22	14,76±1,82	16,1±2,27	6,27±1,41	8,96±0,77	4,45±6,29	4,21±0,27	6,49±0,12	3,89±0,66	4,28±0,47	2,2±0,49	3,82±0,29
2-(1-METHYLETHOXY)-1-PROPANOL	5,902	20,98±8,92	27,02±4,24	31,24±8,74	11,45±0,56	20,59±2,9	19,39±1,77	7,71±0,69	11,89±1,26	7,94±0,97	8,45±0,9	6,4±0,83	10,55±1,19
ETHYL ACETATE	6,09	3,78±1,07	6,98±0,47	5,50±0,28	0,65±0,18	0,6±0,08	0,05±0,02	0,63±0,04	1,78±0,25	1,09±0,06	0,28±0,00	1,81±0,09	0,05±0,01
CHLOROFORM	6,162	T.E	T.E	T.E	0,69±0,08	0,6±0,08	1,42±0,42	0,41±0,05	T.E	T.E	0,21±0,01	T.E	0,01±0,00
ISOBUTYL ALCOHOL	6,342	1,99±0,88	3,11±0,32	3,2±0,29	0,4±0,09	0,86±0,09	0,38±0,11	0,25±0,07	1,29±0,14	2,1±0,34	2,04±0,8	0,79±0,19	1,19±0,08
PROPYL İSOPROPYL ETHER	6,666	0,39±0,02	1,09±0,47	0,72±0,04	0,29±0,31	0,7±0,98	0,44±0,53	0,17±0	0,19±0,04	0,04±0,02	T.E	T.E	0,15±0,07
3-METHYLBUTANAL	6,833	T.E	1,07±0,11	0,03±0,03	T.E	0,2±0,23	0,12±0,04	T.E	0,23±0,03	0,05±0,01	T.E	0,32±0,06	0,11±0,01
1-BUTANOL	7,016	0,06±0,00	0,23±0,03	0,14±0,03	0,03±0,00	0,03±0,01	1,03±0,45	0,47±0,13	0,05±0	2,37±0,36	0,16±0,03	0,27±0,01	3,92±0,14
ACETOL	7,432	0,21±0,12	0,02±0,00	0,04±0,04	3,85±0,36	0,04±0,00	0,2±0,08	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E
2-PENTANONE	7,54	0,34±0,09	0,14±0,03	1,00±0,09	0,05±0,02	3,27±0,24	6,68±1,61	4,15±0,07	6,28±0,49	0,93±1,32	8,33±0,27	7,83±0,46	4,54±1,65
2-PENTANOL	7,77	0,14±0,09	0,15±0,06	0,29±0,04	4,31±0,95	0,08±0,01	0,6±0,05	T.E	1,03±0,05	0,35±0,46	1,21±0,17	2,06±0,58	1,82±0,35
METHYL BUTYRATE	8,392	3,12±0,34	0,83±0,03	5,67±1,35	0,05±0,08	1,86±0,51	0,25±0,05	0,20±0,02	0,44±0,07	1,23±0,56	0,61±0,16	0,08±0,01	0,13±0,01
ACETOİN	8,497	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E
3-METHYL-1-BUTANOL (ISOAMYL ALCOHOL)	8,732	0,13±0,03	3,21±0,4	0,27±0,07	0,26±0,01	0,13±0,02	4,07±1,5	0,13±0,06	2,12±0,43	2,85±2,61	0,41±0,04	1,64±1,08	4,78±0,56
2-METHYL-1-BUTANOL	8,85	0,04±0,00	0,11±0,01	0,05±0,01	0,18±0,05	0,03±0,01	0,61±0,18	T.E	0,43±0,1	0,48±0,07	0,07±0,01	0,32±0,24	0,61±0,07
TOLUENE	9,773	0,42±0,07	0,53±0,11	0,38±0,06	0,06±0,00	0,89±0,44	0,74±0,26	0,26±0,04	0,33±0,08	2,73±3,29	0,74±0,12	0,19±0,04	0,59±0,02
ISOBUTYL ACETATE	9,892	0,04±0,00	0,2±0,04	0,05±0,00	0,31±0,05	T.E	0,10±0,03	T.E	0,03±0,01	0,37±0,47	T.E	0,03±0,00	T.E
2-HEXANONE	10,436	0,17±0,00	T.E	0,03±0,00	0,35±0,49	0,14±0,02	0,26±0,02	0,18±0,06	0,41±0,04	0,28±0,22	0,39±0,03	0,46±0,04	0,29±0,11
HEXANAL	10,763	0,86±0,21	1,57±0,82	1,88±0,50	0,27±0,05	1,06±0,06	1,41±0,41	0,29±0,07	0,4±0,01	0,7±0,09	0,93±0,3	0,47±0,16	1,36±0,07
BUTYRİC ACİD	11,133	0,16±0,00	0,77±0,07	0,32±0,05	0,15±0,02	0,15±0,02	0,65±0,27	T.E	0,15±0,06	T.E	0,07±0,00	0,16±0,00	0 T.E
N-BUTYL ACETATE	11,232	0,28±0,19	0,65±0,01	0,42±0,16	0,17±0,01	0,39±0,10	0,35±0,1	0,06±0,00	0,12±0,01	0,09±0,01	0,24±0,06	0,06±0,00	0,04±0,03
1-METHOXYHEXANE	11,675	0,08±0,01	0,19±0,06	0,11±0,01	T.E	0,10±0,03	0,21±0,06	T.E	0,11±0,01	0,63±0,09	T.E	T.E	T.E
ISOVALERIC ACİD	12,469	T.E	T.E	T.E	T.E	0,06±0,01	T.E	T.E	0,3±0,02	0,02±0,03	T.E	0,34±0,03	0,08±0,01
ETHYLBENZENE	12,999	0,35±0,01	0,56±0,01	0,35±0	0,25±0,03	0,57±0,05	0,42±0,19	0,19±0,03	0,39±0,04	0,12±0,06	0,47±0,03	0,22±0,05	0,24±0,03
HEXANOL	13,167	T.E	T.E	T.E	0,17±0,03	T.E	2,92±0,13	0,55±0,18	0±0	11,96±6,09	0,62±0,16	T.E	21,48±6,25
ISOAMYL ACETATE	13,433	2,11±0,01	3,43±0,93	2,30±0,10	1,64±0,34	3,97±0,18	T.E	1,52±0,35	2,69±0,68	0±0	3,92±0,03	1,69±0,25	T.E
(E)-4-HEXEN-1-OL	13,522	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E	0,33±0,47	T.E	T.E	2,65±3,7	T.E	T.E	3,15±0,44
CİS-5-HYDROXY-2-METHYL-1,3-DİOXANE	13,811	0,11±0,03	T.E	0,12±0,05	T.E	T.E	7,79±2,82	0,07±0	0±0	0,18±0,06	0,06±0	T.E	0,15±0,04
2-HEPTANONE	13,942	0,41±0,05	0,25±0,03	0,88±0,08	14,54±1,2	8,72±0,32	0,52±0,15	7,88±1,1	17,27±1,00	16,58±3,62	13,07±0,17	17,27±0,63	11,65±0,31
O-XYLENE	14,159	0,47±0,06	0,83±0,25	0,47±0,03	T.E	1,2±0,01	5,71±1,08	T.E	T.E	T.E	0,89±0,06	T.E	T.E
AMYL METHYL CARBİNOL	14,295	0,76±0,1	1,74±0,28	1,11±0,35	0,23±0,02	0,83±0,05	T.E	0,14±0,05	0,77±0,08	3,25±0,23	1,1±0,09	1,66±0,49	1,43±0,26
2-BUTOXYETHANOL	14,523	1,32±0,12	1,6±0,27	1,28±0,54	0,8±0,17	1,23±0,01	1,84±0,25	0,19±0	0,37±0,19	0,23±0,05	0,13±0,02	0,33±0,16	T.E
SORBALDEHYDE	14,693	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E	0,95±0,34	T.E	T.E	4,39±0,9	T.E	T.E	0,45±0,14
2,5-DİMETHILPYRAZİNE	14,808	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E	0,35±0,1	T.E	T.E	0,04±0,00	T.E	T.E	0,32±0,08
METHYL TRİCHLOROACETATE	15,045	1,37±0,15	3,16±0,86	1,8±0,14	0,62±0,1	1,57±0,27	0,14±0,02	0,39±0,12	0,66±0,28	0,61±0,52	0,29±0,05	0,19±0,04	0,18±0,02
METHYL CAPROATE	15,175	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E	1,28±0,23	0,04±0,00	0,02±0,00	0,21±0,04	T.E	T.E	0,08±0,01
A-THUENE	15,38	0,27±0,03	0,05±0,03	0,03±0	0,13±0,00	0,01±0,00	0,05±0,00	0,19±0,03	0,03±0,00	0,23±0,02	0,17±0,01	T.E	0,09±0,02
A-PİNE	15,687	2,39±0,21	1,08±0,50	0,63±0,03	1,8±0,02	0,41±0,02	0,06±0,00	1,96±0,04	0,36±0,05	0,20±0,04	2,49±0,01	0,1±0,02	0,15±0,04
DİMETHYL PHTHALATE	16,105	0,06±0,01	0,2±0,04	0,12±0,03	0,05±0,00	0,06±0,00	0,12±0,06	T.E	0,06±0,01	0,44±0,08	0±0	0,02±0,00	0,01±0,00

B-TERPINEOL / CAMPHENE	16,273	0,38±0,06	0,07±0,03	0,04±0,00	0,25±0,01	0,03±0,00	0,07±0,01	0,37±0,00	0,03±0	0,05±0,07	0,25±0	0,14±0,03	0,09±0,01
BENZALDEHYDE	16,753	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E	0,17±0,05	0,06±0,00	T.E	0,38±0,03	T.E	T.E	0,35±0,06
SABINENE	17,125	0,45±0,09	0,07±0,00	0,03±0,01	0,47±0,02	0,03±0,00	0,07±0,06	0,60±0,00	0,05±0,00	0,12±0,07	0,51±0,01	T.E	0,03±0,04
B-PINENE	17,31	2,55±0,39	0,56±0,11	0,38±0,02	1,89±0,07	0,22±0,05	0,38±0,04	2,12±0,05	0,19±0,00	0,08±0,06	2,50±0,04	T.E	0,19±0,04
HEXANOIC ACID	17,575	0,67±0,04	1,39±0,12	0,94±0,36	T.E	0,42±0,6	T.E	T.E	0,19±0,06	0,04±0,00	0,25±0,05	T.E	0,01±0,01
2-OCTANONE	17,62	2,07±0,52	1,11±0,14	0,82±0,09	3,59±0,22	1,91±0,32	3,28±0,72	1,43±0,8	1,21±0,01	0,84±0,19	2,62±0,42	1,92±0,14	0,58±0,06
ETHYL HEXANOATE	17,857	0,1±0,02	0,19±0,08	0,12±0,03	0,11±0	0,31±0,05	0,2±0,08	T.E	0,14±0,01	3,11±0,11	0,10±0,00	0,7±0,01	1,21±0,32
OCTANAL	17,9	T.E	0,07±0,01	T.E	T.E	0,13±0,03	0,24±0,1	T.E	T.E	T.E	T.E	0,48±0,06	0,37±0,15
PSEUDOLIMONENE	18,247	0,5±0,12	0,07±0,02	0,03±0,00	0,40±0,00	0,06±0,01	0,11±0,05	0,59±0,01	0,04±0	0±0	0,37±0	0±0	0,40±0,06
HEXYL ACETATE	18,347	T.E	0,04±0,05	T.E	T.E	0,02±0,03	T.E	T.E	0,01±0,01	0,03±0,00	T.E	0,85±0,13	0,07±0,01
Δ3-CARENE	18,424	0,07±0,00	0,13±0,07	0,07±0,01	0,03±0,00	0,09±0,04	0,20±0,05	T.E	0,02±0	0,01±0,00	T.E	T.E	0,01±0,00
A-TERPINENE	18,675	0,16±0,03	0,14±0,05	0,07±0,01	0,13±0,01	0,09±0,01	0,08±0,11	0,2±0,01	0,03±0,01	0,01±0,00	0,10±0,00	T.E	0,02±0,00
AMYL BUTYRATE	18,782	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E
P-CYME	18,961	1,05±0,19	0,75±0,19	0,5±0,02	0,89±0,01	0,47±0,03	0,54±0,28	1,12±0,04	0,32±0,02	0,06±0,00	0,76±0	0,1±0,08	0,09±0,04
LIMONENE	19,158	8,25±1,5	3,59±0,11	2,18±0,25	7,36±0,12	1,90±0,03	0,55±0,17	9,12±0,21	2,19±0,16	0,70±0	7,55±0,03	0,56±0,17	0,38±0,29
1,8-CINEOLE	19,262	0,41±0,04	0,82±0,39	0,55±0,16	0,28±0,1	0,28±0,08	0,25±0,17	0,23±0,01	0,18±0,06	0,04±0,00	0,11±0,00	0,02±0,00	0,04±0,00
BENZYL ALCOHOL	19,346	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E	0,54±0,05	T.E	T.E	0,14±0,14
ETHYLCYCLOPENTENOL ONE	19,875	0,43±0,09	T.E	T.E	0,22±0,00	T.E	T.E	0,14±0,01	0,03±0,00	0,16±0,05	0,18±0,02	0,33±0,02	0,03±0,01
Γ-TERPINENE	20,158	0,27±0,04	0,11±0,04	0,06±0,02	0,22±0,02	0,06±0,00	0,06±0,02	0,28±0,02	0,05±0,00	0,08±0,02	0,18±0,03	0,1±0,06	0,05±0,00
NONYL ACETATE	20,354	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E
NONANOL	20,466	0,31±0,08	1,07±0,32	0,52±0,10	0,47±0,14	0,24±0,01	1,65±0,37	0,12±0,09	0,15±0,07	3,87±0,43	0,26±0,09	0,02±0,00	2,7±0,37
4-METHYLDODECANE	20,632	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E
8-NONEN-2-ONE	20,892	T.E	T.E	0,03±0,04	1,7±0,2	1,19±0,27	0,48±0,67	0,80±0,27	2,69±0,06	0,97±0,36	1,39±0,06	2,87±4,06	1,29±0,73
2-NONANONE	21,189	0,43±0,09	0,28±0,04	0,54±0,30	7,68±0,77	5,69±1,08	2,22±3,15	4,23±0,69	11,86±0,28	5,21±1,67	7,21±0,18	24,96±6,3	5,57±1,86
LINALOOL	21,483	0,20±0,01	0,43±0,03	0,22±0,08	0,25±0,03	0,23±0,03	0,19±0,07	0,26±0,05	0,21±0,03	0,41±0,03	0,19±0,00	0,57±0,81	0,42±0,35
NONANAL	21,601	0,22±0,06	0,39±0,10	0,27±0,01	0,23±0,01	0,22±0,04	0,12±0,04	0,22±0,02	0,16±0,00	0,07±0,10	0,24±0,00	0,18±0,01	0,14±0,01
PHENETHYL ALCOHOL	22,191	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E	0,09±0,03	T.E	T.E	0,05±0,00
OCTANOIC ACID	23,937	2,11±0,64	0,34±0,04	0,25±0,05	3,41±0,03	1,03±0,23	0,71±1	7,21±1,04	0,17±0,01	0,72±0,23	2,08±0,14	0,38±0,06	0,36±0,39
MENTHOL	24,173	0,23±0,07	T.E	T.E	0,31±0,01	T.E	T.E	0,42±0,04	T.E	T.E	0,20±0,01	T.E	T.E
ISOPULEGONE	24,263	0,22±0,06	T.E	T.E	0,25±0,01	T.E	T.E	0,59±0,10	T.E	T.E	0,16±0,06	T.E	T.E
PULEGONE	24,503	0,27±0,08	T.E	T.E	0,31±0,01	T.E	T.E	0,13±0,08	T.E	T.E	0,10±0,06	T.E	T.E
2-DECANONE	24,508	T.E	T.E	T.E	0,15±0,01	0,02±0,00	0,06±0,03	0,22±0,00	0,04±0,01	0,70±0,05	0,16±0,01	0,20±0,00	0,60±0,15
N-DODECANE	24,732	0,12±0,04	0,06±0,00	0,03±0,01	T.E	0,19±0,02	0,09±0,03	0,19±0,00	0,29±0,01	0,05±0,07	0,19±0,02	0,35±0,18	0,12±0,08
MYRTENOL	24,977	0,06±0,03	T.E	T.E	0,05±0,01	T.E	T.E	0,16±0,02	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E
4- PROTOADAMANTANO NE	25,368	0,09±0,03	T.E	T.E	0,07±0,01	T.E	T.E	0,18±0,02	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E
VERBENONE	25,456	0,04±0,06	T.E	T.E	0,1±0,04	T.E	T.E	0,08±0	T.E	T.E	0,06±0,00	T.E	T.E
4,7- DIMETHYLBENZOFURA N	25,58	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E	0,02±0,03	T.E	T.E	0,04±0,00	T.E	T.E	0,04±0,02
DIAMYL KETONE	25,611	0,83±0,19	T.E	T.E	0,76±0,05	T.E	T.E	1,30±0,07	T.E	T.E	0,57±0,06	T.E	T.E
2-ISOPROPYL-2,5- DIMETHYLCYCLOHEXA NONE	25,694	2,18±0,24	T.E	T.E	1,51±0,09	T.E	T.E	2,42±0,21	T.E	T.E	1,33±0,04	T.E	T.E
TETRAHYDROLINALOO L / ISOBUTYRIC ACID	26,067	0,18±0,04	0,17±0,04	0,10±0,02	0,02±0,04	0,04±0,01	0,06±0,00	0,23±0,02	0,03±0	0,03±0,00	T.E	0,04±0,00	0,01±0,02
MENTHONE	26,388	1,48±0,29	0,39±0,02	0,12±0,01	2,36±0,01	0,22±0,06	0,18±0,07	5,66±1,10	0,15±0,01	0,14±0,07	1,75±0,09	0,31±0,01	0,13±0,10
1,3-BIS(1,1- DIMETHYLETHYL)BENZ ENE	26,669	0,08±0,03	0,21±0,05	0,02±0,03	0,23±0,00	0,61±0,01	0,27±0,05	0,08±0,02	0,68±0,07	0,08±0,02	0,34±0,01	0,66±0,23	0,28±0,07
3-METHYL-2-TERT- BUTOXYCYCLOHEXENE	26,725	0,20±0,07	T.E	T.E	0,13±0,01	T.E	0,08±0,11	0,33±0,07	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E
PIPERITONE	26,769	0,09±0,06	T.E	T.E	0,06±0,00	T.E	T.E	0,3±0,06	T.E	T.E	0,08±0,02	T.E	T.E
2-ACETYL-4-METHYL- 1,3- CYCLOPENTANEDIONE	27,139	0,16±0,01	T.E	T.E	0,21±0,01	T.E	T.E	0,63±0,18	T.E	T.E	0,08±0,01	T.E	T.E

2-UNDECANONE	27,77	0,09±0,03	T.E	T.E	0,43±0,03	0,10±0,02	T.E	0,29±0,03	0,36±0,03	0,27±0,07	0,68±0,07	5,56±0,69	0,76±0,25
2-UNDECANOL	27,81	0,28±0,07	T.E	T.E	0,20±0,03	T.E	0,08±0,01	0,26±0,04	T.E	T.E	0,24±0,02	T.E	T.E
CARVACROL	28,099	0,03±0,05	T.E	T.E	0,09±0,02	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E	0,09±0,03	T.E	T.E
HUMULOL	29,053	0,05±0,01	T.E	T.E	0,07±0,03	T.E	T.E	0,10±0,02	T.E	T.E	0,03±0,00	T.E	T.E
TRANS-CARVYL ACETATE	29,13	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E
PİPERİTENONE	29,566	0,20±0,07	T.E	T.E	0,21±0,00	T.E	T.E	0,42±0,10	0±0	0±0	0,15±0,02	T.E	T.E
DODECYL BUTYRATE	29,792	0,19±0,08	T.E	T.E	0,18±0,01	T.E	T.E	0,27±0,03	0±0	0±0	0,16±0,06	T.E	T.E
EİCOSANE	29,933	T.E	0,11±0,04	0,1±0,02	T.E	0,01±0,01	T.E	T.E	T.E	0,08±0,01	T.E	0,32±0,07	0,14±0,02
N-TETRADECANE	30,762	T.E	0,05±0,00	T.E	T.E	0,05±0,00	0,02±0,00	T.E	0,08±0	0,02±0,00	T.E	0,16±0,05	0,04±0,02
4A- METHYLDECAHYDRON APHTHALEN-1-YL ACETATE	31,99	0,12±0,03	T.E	T.E	0,08±0,00	T.E	T.E	0,15±0,01	T.E	T.E	0,06±0,01	T.E	T.E
6-METHYL-İ-İONONE	32,034	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E
A-THUJONE	32,26	2,48±0,40	0,06±0,00	T.E	2,24±0,05	0,03±0,00	0,10±0,00	2,93±0,00	0,04±0,00	T.E	1,79±0,10	0,12±0,02	0,01±0,00
CİTRONELLİC ACİD	33,113	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E	T.E
SPATHULENOL	36,302	0,26±0,08	T.E	T.E	0,21±0,01	T.E	T.E	0,32±0,07	T.E	T.E	0,22±0,05	T.E	T.E
METHYL PALMİTATE	43,774	0,14±0,01	0,15±0,06	0,18±0,02	T.E	0,11±0,01	0,11±0,07	0,03±0,00	0,07±0,03	0,06±0,02	0,11±0,01	0,06±0,00	0,06±0,00
EİCOSAMETHYLCYCLOD ECASILOXANE	44,938	0,12±0,05	0,15±0,04	0,18±0,10	0,06±0,01	0,24±0,01	0,16±0,01	T.E	0,03±0,00	0,01±0,02	0,05±0,07	0,02±0,03	0,03±0,04

Veriler ortalama ± standart sapma olarak verilmiştir. T.E: Tespit edilemedi.

ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad

: Hilal KANMAZ

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2015, İnönü Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği
- **Yüksek Lisans** : 2019, İnönü Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği
- **Doktora** : 2026, İnönü Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği

MESLEKİ DENEYİM:

- 2021 yılından beri İnönü Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü'nde Araştırma Görevlisi olarak çalışmaktadır.

YÜKSEK LİSANS VEYA DOKTORA TEZİNDEN TÜRETİLEN ÇALIŞMALAR (Makaleler, Bildiriler, Patentler v.b.)

- Baran, U., **Kanmaz, H.**, Turan, B. K., Şahingil, D., & Hayaloğlu, A. A. (2025). Effect of roasting and sonication-assisted extraction conditions on phenolic compounds, physical properties and other constituents of EU PDO Malatya apricot (*Prunus armeniaca* L.) kernel skins. *Applied Food Research*, 101555.
- **Kanmaz, H.**, Şahingil, D., Alwazeer, D., Bulut, M., Kuru, M., Makav, M., & Hayaloğlu, A. A. (2025). Hydrogen-rich water consumption modifies the chemical, biochemical, nutritional, and bioactive properties of the goat's colostrum and mature milk. *Food Chemistry*, 480, 143855.
- Kaya Turan, B., **Kanmaz, H.**, & Hayaloğlu, A. A. (2025). Optimization of the Production of Press Cake Paste From Apricot (*Prunus armeniaca* L.) Kernels and Prediction of Shelf-Life Kinetics of the Product. *Journal of Food Science*, 90(7), e70416.
- Amanpour, A., **Kanmaz, H.**, Turan, B. K., Olum, E., & Hayaloğlu, A. A. (2025). Insights into heavy metal contamination, phenolic profile, and antioxidant capacities of leaf lettuce (*Lactuca sativa* L. var. *crispa*) and Swiss chard (*Beta vulgaris* L. var. *cicla*) cultivated on traffic intensity roadside. *Journal of Food Composition and Analysis*, 140, 107292.
- Tekin, A., **Kanmaz, H.**, Kaya, B., Sulejmani, E., & Hayaloğlu, A. A. (2025). Effect of fermentation conditions on the chemical composition, peptides, texture and volatile compounds of Turkish bag sausage (Torba sucuk). *Food Chemistry Advances*, 6, 100873.
- Mutlu, M. D., **Kanmaz, H.**, Kaya, B., & Hayaloğlu, A. A. (2025). Enrichment in Bioactive, Techno-Functional and Health Benefits of Yogurt Fortified with Cranberry (*Cornus mas* L.). *Dairy*, 6(2), 12.
- İncili, G. K., Akgöl, M., Karatepe, P., Üner, S., Tekin, A., **Kanmaz, H.**, ... & Hayaloğlu, A. A. (2025). Quantification of bioactive metabolites derived from cell-free supernatant of *Pediococcus acidilactici* and screening their protective properties in frankfurters. *Probiotics and Antimicrobial Proteins*, 17(1), 253-270.
- Akbay, Ö. C., Bahçe, E., Köytepe, S., **Kanmaz, H.**, & Hayaloğlu, A. A. (2025). Production of natural source nanocrystalline cellulose and performance comparison with

industrial cellulose. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part N: Journal of Nanomaterials, Nanoengineering and Nanosystems*, 23977914251397585.

- Soltani, M., Saremnezhad, S., **Kanmaz, H.**, Tekin, A., Gökçe, Y., Kaya, B., ... & Hayaloglu, A. A. (2024). Influence of using different ratios of small ruminants (ovine and caprine) milk on compositional and proteolytic changes during ripening of raw milk lighvan cheese. *International Dairy Journal*, 149, 105821.
- Amanpour, A., Coskun, B., **Kanmaz, H.**, Turan, B. K., Soylu, M., Celik, F., & Hayaloglu, A. A. (2024). Elucidation of heavy metal content, phenolic profiles, and antioxidant activities of kale (*Brassica oleracea* L. var. acephala) and arugula (*Brassica eruca* L.) grown in urban gardens in Istanbul. *Journal of Food Science*, 89(6), 3506-3522.
- Saremnezhad, S., Soltani, M., Tekin, A., **Kanmaz, H.**, Sahingil, D., Kaya, B., ... & Hayaloglu, A. A. (2024). Influence of the Blends of Sheep's and Goat's Milk on the Functional Properties and Volatile Compounds of Lighvan Cheese During Ripening: A Comparative Study. *Food Science & Nutrition*, 12(11), 9764-9776.
- Medjoudj, H., Gökçe, Y., Kaya, B., **Kanmaz, H.**, Derouiche, M., Grama, B. S., & Hayaloglu, A. A. (2024). Proteolysis and physicochemical characterisation of traditional Klila and Jben'cheeses of cow and goat milk. *STUDIES IN ENGINEERING AND EXACT SCIENCES Учредители: South Florida Publishing LLC*, 5(3), e12410.
- **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.
- İncili, G. K., Akgöl, M., Karatepe, P., Tekin, A., **Kanmaz, H.**, Kaya, B., & Hayaloğlu, A. A. (2023). Whole-cell postbiotics: an innovative approach for extending the shelf life and controlling major foodborne pathogens in chicken breast fillets. *Food and Bioprocess Technology*, 16(7), 1502-1524.
- 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.
- Alwazeer, D., Elnasanelkasim, M. A., Çiğdem, A., **Kanmaz, H.**, Hayaloglu, A. A., & Hancock, J. T. (2023). Hydrogen incorporation into solvents can improve the extraction of phenolics, flavonoids, anthocyanins, and antioxidants: A case-study using red beetroot. *Industrial Crops and Products*, 202, 117005.
- İncili, G. K., Karatepe, P., Akgöl, M., Güngören, A., Koluman, A., İlhak, O. İ., **Kanmaz, H.**, Kaya, B., & 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.
- İncili, G. K., Karatepe, P., Akgöl, M., Tekin, A., **Kanmaz, H.**, Kaya, B., ... & Hayaloğlu, A. A. (2022). Impact of chitosan embedded with postbiotics from *Pediococcus acidilactici* against emerging foodborne pathogens in vacuum-packaged frankfurters during refrigerated storage. *Meat Science*, 188, 108786.
- İncili, G. K., Karatepe, P., Akgöl, M., Kaya, B., **Kanmaz, H.**, & Hayaloğlu, A. A. (2021). Characterization of *Pediococcus acidilactici* postbiotic and impact of postbiotic-fortified chitosan coating on the microbial and chemical quality of chicken breast fillets. *International journal of biological macromolecules*, 184, 429-437.
- İncili, G. K., Aydemir, M. E., Akgöl, M., Kaya, B., **Kanmaz, H.**, Öksüztepe, G., & Hayaloğlu, A. A. (2021). Effect of *Rheum ribes* L. juice on the survival of *Listeria*

monocytogenes, *Escherichia coli* O157: H7 and *Salmonella* Typhimurium and chemical quality on vacuum packaged raw beef. *LWT*, 150, 112016.

- Gökçe, Y., **Kanmaz, H.**, Er, B., Sahin, K., & Hayaloglu, A. A. (2021). Influence of purple basil (*Ocimum basilicum* L.) extract and essential oil on hyperlipidemia and oxidative stress in rats fed high-cholesterol diet. *Food Bioscience*, 43, 101228.

