Farklı Soğuk Pres İşlem Koşullarının Çörek Otu ve Hardal Tohumu Yağlarının ve Pres Atıklarının Kalitesi Üzerine Etkilerinin İncelenmesi

Dilara ACER

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı

Ağustos 2025

Investigation of the Effects of Different Cold Pressing Process Conditions on the Quality of Black Cumin and Mustard Seed Oils and Cold Press Wastes

Dilara ACER

MASTER OF SCIENCE THESIS

Department of Food Engineering

August 2025

Farklı Soğuk Pres İşlem Koşullarının Çörek Otu ve Hardal Tohumu Yağlarının ve Pres Atıklarının Kalitesi Üzerine Etkilerinin İncelenmesi

Dilara ACER

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği Uyarınca
Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı
YÜKSEK LİSANS TEZİ
olarak hazırlanmıştır.

Danışman: Doç. Dr. Onur KETENOĞLU

Ağustos 2025

ONAY

Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans öğrencisi **Dilara ACER**'in YÜKSEK LİSANS tezi olarak hazırladığı "Farklı Soğuk Pres İşlem Koşullarının Çörek Otu ve Hardal Tohumu Yağlarının ve Pres Atıklarının Kalitesi Üzerine Etkilerinin İncelenmesi" başlıklı bu çalışma, jürimizce lisansüstü yönetmeliğin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek oybirliği ile kabul edilmiştir.

Danışman: Doç. Dr. Onur KETENOĞLU

İkinci Danışman:

Yüksek Lisans Tez Savunma Jürisi:

Üye: Doç. Dr. Onur KETENOĞLU

Üye: Prof. Dr. Mustafa KIRALAN

Üye: Doç. Dr. İlyas ATALAR

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun ……..…….. tarih ve ……..……. sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. Fatma TÜMSEK
Enstitü Müdürü

ETİK BEYAN

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kılavuzuna göre, Doç. Dr. Onur KETENOĞLU danışmanlığında hazırlamış olduğum "Farklı Soğuk Pres İşlem Koşullarının Çörek Otu ve Hardal Tohumu Yağlarının ve Pres Atıklarının Kalitesi Üzerine Etkilerinin İncelenmesi" başlıklı Yüksek Lisans tezimin özgün bir çalışma olduğunu; tez çalışmamın tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallarına uygun davrandığımı; tezimde verdiğim bilgileri, verileri akademik ve bilimsel ilke ve kurallara uygun olarak elde ettiğimi; tez çalışmamda yararlandığım eserlerin tümüne atıf yaptığımı ve kaynak gösterdiğimi ve bilgi, belge ve sonuçları bilimsel etik ilke ve kurallara göre sunduğumu beyan ederim. 06/08/2025

Dilara ACER

İmza

ÖZET

Bu çalışmada, farklı sıcaklık ve vida dönüş hızı şartlarında çörek otu tohumu ile hardal tohumunun küspesi ve yağının bazı fizikokimyasal özellikleri incelenmiştir. Pres atıklarında pH, nem oranı, su aktivitesi, renk ve Fourier Transform Infrared Spektroskopisi (FTIR) analizleri yapılırken; yağlarda serbest asitlik, yağ asidi profili ve ekstraksiyon verimi analiz edilmiştir. Yanıt yüzeyi yöntemi kullanılarak tasarlanan deneylerde elde edilen verilerden matematiksel modeller oluşturulmuştur. Çörek otu küspesi numunelerinde ortalama pH ve nem değeri sırasıyla 6,28, ortalama nem miktarı %9,09 belirlenmiştir. Su aktivitesi en düşük 0,531±0,037 ile 90°C sıcaklık-30 rpm vida dönüş hızı koşulunda belirlenmiştir. Çörek otu küspesinin ortalama L*, a* ve b* renk değerleri sırasıyla 16,43, -2,50 ve 6,44 olarak tespit edilmiştir. Çörek otu yağı numunelerinde ortalama yağ verimi %21,96, serbest asitlik değeri %14,12 (% oleik asit cinsinden) olarak hesaplanmıştır. Çörek otu yağı numunelerinin ortalama renk indeks değeri ise -12,9 olarak belirlenmiştir. Hardal tohumu küspesi numunelerinde en yüksek ve en düşük pH değeri sırasıyla 6,22±0,05 ve 5,35±0,02 olarak belirlenirken, ortalama nem miktarı %7,02 olarak bulunmuştur. Hardal tohumunda en yüksek su aktivitesi 0,488±0,031 değeri ile 100°C sıcaklık ve 25 rpm vida dönüş hızında ölçülmüştür. Hardal tohumu küspesinin ortalama L*, a* ve b* renk değerleri sırasıyla 36,63, 5,20 ve 29,72 olarak belirlenmiştir. Hardal tohumu yağı numunelerinde ortalama yağ verimi %20,22, serbest asitlik ise %3,49 (oleik asit cinsinden) olarak hesaplanmıştır. Hardal tohumu yağı numunelerinin ortalama renk indeks değeri ise 11,13 olarak tespit edilmiştir. Hardal tohumu yağında baskın yağ asidinin ortalama %57,68 ile erüsik asit olduğu görülmüştür. FTIR analiz sonuçlarına göre çörek otu ve hardal tohumu pres atıklarında çeşitli fonksiyonel gruplara ait karakteristik pikler tespit edilmiştir. Bu pikler pres atıklarında biyolojik olarak aktif bileşenlerin (yağ, protein, karbonhidrat ve fenolik bileşikler) varlığı tespit edilmiştir. Bu çalışma, farklı işleme koşullarının çörek otu ve hardal tohumu gibi bitkisel yağların fizikokimyasal özellikleri üzerindeki etkilerini ortaya koyarak, soğuk presleme yönteminin yağ kalitesini nasıl etkilediğini anlamaya yönelik katkı sağlamaktadır.

Anahtar Kelimeler: soğuk pres, çekirdek yağı, küspesi, fizikokimyasal özellikler

SUMMARY

In this study, some physicochemical properties of the press cake and oil of black cumin and mustard seed were examined under different temperature and screw rotation speed conditions. PH, moisture content, water activity, color, and Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) analyses were conducted on the press cakes; while free acidity, fatty acid profile, and extraction yield were analyzed in the oils. Mathematical models were created from the experimental data obtained in trials designed using the response surface methodology. The average pH and moisture values of black cumin seed press cake samples were 6.28 and 9.09, respectively. The lowest water activity of black cumin seed cake was 0.531±0.037 at 90°C temperature and 30 rpm screw speed conditions. The average L*, a*, and b* color values of black cumin seed press cake were found to be 16.43, -2.50 and 6.44, respectively. In black cumin oil samples, the average oil yield was 21.96%, and the average free acidity value was calculated as 14.12% (expressed as oleic acid). The average color index of black cumin oil samples was calculated as -12.9. For mustard seed press cake samples, the highest and the lowest pH values were 6.22±0.05 and 5.35±0.02, respectively. The average moisture content was found to be 7.02%. The highest water activity of mustard seed press cake was measured as 0.488±0.031 at 100°C and 25 rpm conditions. The average L*, a*, and b* color values of mustard seed press cake were 36.63, 5.20, and 29.72, respectively. In mustard seed oil samples, the average oil yield was 20.22%, and the average free acidity was calculated as 3.32% (expressed as oleic acid). The average color index of mustard seed oil samples was measured as 11.13. The most abundant fatty acid of mustard seed oil was erucic acid with an average of 57.68%. FTIR analyses results revealed characteristic peaks corresponding to various functional groups in black cumin and mustard seed press cakes. These peaks indicated the presence of biologically active components (oil, protein, carbohydrate, and phenolic compounds) in the press cakes. This study contributes to understanding the effects of different processing conditions on the physicochemical properties of vegetable oils such as black cumin and mustard seed, and how the cold pressing method influences oil quality.

Keywords: cold press, seed oils, pressing waste, physicochemical properties

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam süresince bilgi ve tecrübesiyle bana rehberlik eden araştırma ve analiz süresi boyunca her zaman yol göstererek desteklerini esirgemeyen değerli tez danışanım Doç. Dr. Onur KETENOĞLU'na en içten teşekkürlerimi sunarım.

Yaşamımın her anında yanımda olduğu gibi bu süreçte de yanımda olan sevgi ve duasıyla bana güç veren canım annem Filiz AKBULUT her zaman en büyük güvencem olduğu için minnettarım.

Çalışmalarım süresince yalnızca akademik değil, duygusal anlamda da ayakta kalmamı sağlayan, gücümün tükendiği umudumu kaybettiğim anlarda sevgisi, anlayışı ve desteğiyle yanımda duran sevgili eşim Sinan ACER'e gönülden teşekkür ederim.

Son olarak bu süreçte varlıkları en doğal meditasyon kaynağı olan kedilerimiz SALEP ve DOLUNAY'a da teşekkürlerimi bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET ..... **vi**
SUMMARY ..... **vii**
TEŞEKKÜR ..... **viii**
İÇİNDEKİLER ..... **ix**
ŞEKİLLER DİZİNİ ..... **xi**
ÇİZELGELER DİZİNİ ..... **xiii**
1. GİRİŞ VE AMAÇ **1**
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI **3**
2.1. Yağlı Tohumlar 3
2.1.1. Hardal ve tohumu 3
2.1.2. Çörek otu tohumu 4
2.1.3. Hardal tohumu ve çörek otunun fizikokimyasal özellikleri 5
2.1.4. Dünyada ve Türkiye'de hardal ve çörek otu tohumunun üretimi ve tüketimi 6
2.2. Bitkisel Yağlar 9
2.2.1. Bitkisel yağların yapısı 9
2.2.1.1. Hardal yağının bileşimi 10
2.2.1.2. Çörek otu yağının bileşimi 11
2.3. Soğuk Pres ile Yağ Ekstraksiyonu 12
2.3.1. Soğuk presle ilgili genel bilgiler 12
2.3.2. Soğuk presle yapılan bazı çalışmaların literatür özeti 12
2.4. Soğuk Pres Yan Ürünleri 13
3. MATERYAL VE YÖNTEM **15**
3.1. Materyal 15
3.1.1. Hardal tohumu ve çörek otu 15
3.1.2. Araştırmada kullanılan kimyasal maddeler 16
3.2. Yöntem 16
3.2.1. Deneme planı tasarımı 16
3.2.2. Soğuk presle yağ eldesi 18

İÇİNDEKİLER

Sayfa

3.2.3. Serbest asitlik analizi ... 18
3.2.4. Yağlarda renk indeksi analizi ... 19
3.2.5. Yağ asidi kompozisyonu analizi ... 19
3.2.6. Ekstraksiyon verimi ... 20
3.2.7. Renk analizi ... 21
3.2.8. Nem tayini ... 21
3.2.9. Su aktivitesi (a_w) analizi ... 22
3.2.10. pH analizi ... 23
3.2.11. Fourier Transform Infrared spekroskopisi (FTIR) ... 23
3.2.12. İstatistiksel analiz ... 23
4. BULGULAR VE TARTIŞMA ... 25
4.1. Soğuk Pres Yağlara Ait Bulgular ... 25
4.1.1. Ekstraksiyon verimi ... 25
4.1.2. Serbest asitlik ... 26
4.1.3. Renk indeksi ... 28
4.1.4. Yağ asidi kompozisyonu ... 28
4.2. Soğuk Pres Küspelerine (Atık) Ait Bulgular ... 31
4.2.1. Nem ve su aktivitesi bulguları ... 31
4.2.2. pH değeri bulguları ... 32
4.2.3. Renk analizi bulguları ... 33
4.2.4. FTIR bulguları ... 33
4.2.4.1. Çörek otu tohumu pres küspesinde FTIR ... 34
4.2.4.2. Hardal tohumu pres küspesinde FTIR ... 42
4.3. Deneme Planına Ait Bulgular ... 47
4.3.1. Hardal tohumuna ilişkin grafikler ve varyans analizleri ... 48
4.3.2. Çörek otuna ilişkin grafikler ve varyans analizleri ... 62
5. SONUÇ VE ÖNERİLER ... 77
KAYNAKLAR DİZİNİ ... 80

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil **Sayfa**

2.1. Dünyada hardal üretimi 2022 (Anonim, 2025) 9
3.1. Çörek otu tohumu 15
3.2. Sarı hardal tohumu 15
3.3. Soğuk pres makinesi 18
3.4. Infrared nem tayin cihazı 22
3.5. Su aktivitesi ölçüm cihazı 22
3.6. pH metre 23
4.1. Renk indeksi L*, a* ve b* değerleri gösterimi 21
4.2. Spektra ilişki çizelgesi 34
4.3. Çörek otu tohumu pres küspesi FTIR analiz sonucu (Ç1-Ç5) 35
4.4. Çörek otu tohumu pres küspesi FTIR analiz sonucu (Ç6-Ç10) 37
4.5. Çörek otu tohumu pres küspesi FTIR analiz sonucu (Ç11-Ç15) 39
4.6. Çörek otu tohumu pres küspesi FTIR analiz sonucu (Ç16-Ç20) 40
4.7. Çörek otu tohumu pres küspesi FTIR analiz sonucu (Ç21-Ç26) 41
4.8. Hardal tohumu pres küspesi FTIR analiz sonucu (H1-H5) 42
4.9. Hardal tohumu pres küspesi FTIR analiz sonucu (H6-H10) 44
4.10. Hardal tohumu pres küspesi FTIR analiz sonucu (H11-H15) 45
4.11. Hardal tohumu pres küspesi FTIR analiz sonucu (H16-H20) 46
4.12. Hardal tohumu pres küspesi FTIR analiz sonucu (H21-H26) 47
4.13. Hardal tohumu küspesi a* değeri - sıcaklık - vida dönüş hızı yüzey grafiği 48
4.14. Hardal tohumu küspesi serbest asitlik - vida dönüş hızı - sıcaklık yüzey grafiği 50
4.15. Hardal tohumu küspesi su aktivitesi - vida dönüş hızı - sıcaklık yüzey grafiği 51
4.16. Hardal tohumu küspesi b* değeri - vida dönüş hızı - sıcaklık yüzey grafiği 53
4.17. Hardal tohumu küspesi L* değeri - vida dönüş hızı - sıcaklık yüzey grafiği 54
4.18. Hardal tohumu küspesi nem değeri - vida dönüş hızı - sıcaklık yüzey grafiği 56
4.19. Hardal tohumu küspesi pH - vida dönüş hızı - sıcaklık yüzey grafiği 57
4.20. Hardal tohumu yağı renk indeksi - vida dönüş hızı - sıcaklık yüzey grafiği 59
4.21. Hardal tohumu yağ verimi - vida dönüş hızı - sıcaklık yüzey grafiği 61

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil **Sayfa**

4.22. Çörek otu küspesi a* değeri - vida dönüş hızı - sıcaklık yüzey grafiği..... 62
4.23. Çörek otu küspesi b* değeri - vida dönüş hızı - sıcaklık yüzey grafiği..... 64
4.24. Çörek otu küspesi L* değeri - vida dönüş hızı - sıcaklık 65
4.25. Çörek otu küspesi su aktivitesi - vida dönüş hızı - sıcaklık yüzey grafiği 67
4.26. Çörek otu küspesi nem - vida dönüş hızı - sıcaklık yüzey grafiği..... 68
4.27. Çörek otu küspesi pH - vida dönüş hızı - sıcaklık yüzey grafiği..... 70
4.28. Çörek otu yağında renk indeksi - vida dönüş hızı - sıcaklık yüzey grafiği 71
4.29. Çörek otu yağında serbest asitlik(%) - vida dönüş hızı - sıcaklık yüzey grafiği 73
4.30. Çörek otu yağında verim - vida dönüş hızı - sıcaklık yüzey grafiği..... 75

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge **Sayfa**

2.1. Çörek otunun fiziksel özellikleri 5
2.2. Çörek otunun kimyasal özellikleri..... 5
2.3. Hardal tohumun fiziksel özellikleri 6
2.4. Hardal tohumunun kimyasal özellikleri 6
2.5. Yıllara göre bazı yağlı tohumların üretimi (TÜİK, 2025) 7
2.6. Çörek otu tohumunun yıllara göre alan ve üretimi (TÜİK, 2025) 8
2.7. Hardal yağının yağ asidi kompozisyonu 10
2.8. Çörek otu yağının yağ asidi kompozisyonu 11
3.1. Çalışmaya ilişkin deneme dizaynı tablosu 17
4.1. Soğuk pres işleminden elde edilen fazlara ait fizikokimyasal analiz bulguları..... 27
4.2. Hardal tohumu yağında yağ asidi kompozisyonu (%) 29
4.3. Çörek otu yağında yağ asidi kompozisyonu (%)..... 31
4.4. Hardal tohumu küspesinin a* değeri ANOVA tablosu 49
4.5. Hardal tohumu küspesinin serbest asitlik değeri ANOVA tablosu 51
4.6. Hardal tohumu küspesinin su aktivitesi değeri ANOVA tablosu..... 52
4.7. Hardal tohumu küspesinin b* değeri ANOVA tablosu..... 54
4.8. Hardal tohumu küspesinin L* değeri ANOVA tablosu 55
4.9. Hardal tohumu küspesinin nem değeri ANOVA tablosu 57
4.10. Hardal tohumu küspesinin pH değeri ANOVA tablosu 58
4.11. Hardal tohumu yağının renk indeksi (PCI) ANOVA tablosu 60
4.12. Hardal tohumu yağının yağ verimi ANOVA tablosu..... 61
4.13. Çörek otu küspesinin a* değeri ANOVA tablosu 63
4.14. Çörek otu küspesinin b* değeri ANOVA tablosu 65
4.15. Çörek otu küspesinin L* değeri ANOVA tablosu..... 66
4.16. Çörek otu küspesinin a_w değeri ANOVA tablosu 68
4.17. Çörek otu küspesinin nem değeri ANOVA tablosu 69
4.18. Çörek otu küspesinin pH değeri ANOVA tablosu 71
4.19. Çörek otu yağının renk indeksi (PCI) değeri ANOVA tablosu..... 72
4.20. Çörek otu yağının serbest asitlik (%) değeri ANOVA tablosu 74

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge **Sayfa**

4.21. Çörek otu yağının yağ verimi ANOVA tablosu 75

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler	Açıklama
<	Büyüktür
>	Küçüktür
≥	Büyük eşittir
±	Artı eksi
º	Derece
µ	Mikron
%	Yüzde
L*	Renk Parlaklık Değeri
b*	Sarı ve Mavi Değeri
a*	Kırmızı ve Yeşil Değeri
°C	Santigrat
a_w	Su Aktivitesi Değeri
ml	Mililitre
mm	Milimetre
N	Normalite
s	Saniye

Kısaltmalar	Açıklama
TÜİK	Türkiye İstatistik Kurumu
TÜRKOMP	Türkiye'nin Ulusal Gıda Kompozisyon Veri Tabanı
TAGEM	Tarımsal Araştırmalar ve Politikalar Genel Müdürlüğü

1. GİRİŞ VE AMAÇ

Yağ, karbonhidrat, protein, vitamin ve mineral maddeler açısından zengin içeriklere sahip olan yağlı tohumlar hem insan hem de hayvan beslenmesinde önemli bir yer almaktadır. Bununla beraber sanayi alanında da değerli bir hammadde olarak kullanılmaktadır. Çok çeşitli kullanım alanları bulunan yağlı tohumlar bu yönleriyle mucizevi bitkiler olmaktadır. Bu bitkilerden elde edilen yağlar insanların temel enerji kaynaklarından biri olmaktadır (Onat vd., 2017). Fenolik bileşenler, tokoferoller, karotenoidler, fitosteroller, esansiyel yağ asitleri ve flavonoidler gibi sağlığa yararlı biyoaktif bileşenleri içermesi bu yağların önemini arttırmaktadır (Uslu, 2023).

Çörek otu, ülkemizde yaygın olarak yetiştirilen ve tüketilen bir tohumdur. Buna karşın, hardal tohumu Türkiye'de sınırlı ölçüde yetiştirilmekte ve tüketimi oldukça düşük düzeydedir. Çörek otu 100 gram için 387 kcal, 22,0 protein, 20,18 yağ, 10,7 karbonhidrat 37,14g lif besin değerlerine sahiptir. Hardal tohumunun besin değerleri ise 100 gram için besin değerleri 85 kcal, 5,19 g protein, 4,78 g toplam yağ, 3,12 g karbonhidrat, 4,20 g lif oranına sahiptir (TÜRKOMP, 2025).

Soğuk pres yöntemi çözücü kullanılmadan basit ve ekonomik bir yöntem ile yağ elde edilmesi işlemidir. Isıl işleme gerek duyulmadan yüksek kalitede yağ elde edilmesini sağlamaktadır. Bu teknoloji ile elde edilen yağlar; besin değeri yüksek, duyusal açıdan kabul edilebilir ve rafinasyona ihtiyaç duymadan doğrudan tüketilen yağlardır

Soğuk pres teknolojisinden elde edilen yağların kullanımının yanı sıra bu yağların sıkımı esnasında ortaya çeşitli alanlarda kullanılan pres kekleri de elde edilmesini mümkün kılar (Uslu, 2023). Yağlı tohum pres kekleri, gıda, kozmetik, tekstil ve ilaç endüstrilerinde değerlendirilebilen; insan sağlığı açısından işlevsel özellikler taşıyan protein, diyet lifi ve antioksidanlar gibi biyoaktif bileşiklerce zengin değerli yan ürünlerdir. Ayrıca enzim, antibiyotik, biyosürfaktan ve mantar üretiminde etkili bir substrat olarak kullanılabilmektedir. Diğer önemli kullanım alanları arasında hayvan yemi, kompozit, biyoyakıt ve film üretimi yer almaktadır (Ancuța ve Sonia, 2020).

Bu tez çalışması kapsamında farklı dönüş hızı ve sıcaklıklar ile hardal tohumu ve çörek otu tohumuna soğuk pres tekniği uygulanmıştır. Soğuk pres tekniği uygulandıktan sonra küspesi ve çıkan yağ değerlendirilmiştir. Soğuk pres yağlarında ve pres atıklarında fizikokimyasal özelliklere bakılarak yüzey grafiği ve matematiksel modelleme yapılarak varyans analizi (ANOVA) ile değerlendirilmiştir.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

2.1. Yağlı Tohumlar

Protein, karbonhidrat, vitamin, mineral maddeler ve yağ bakımından zengin bir içeriğe sahip olan yağlı tohumlar; hem insanlar hem de hayvanlar için önemli bir besin kaynağıdır. Bunun yanı sıra, sanayi sektörüne yönelik değerli bir hammadde olarak da değerlendirilmektedir. Çok yönlü kullanım alanları nedeniyle bu tohumlar, "asrın harikaları" şeklinde tanımlanmaktadır. Söz konusu tohumlardan elde edilen bitkisel yağlar, insan beslenmesinde temel enerji kaynakları arasında yer almaktadır. Hayvansal kökenli yağların üretiminde görülen yetersizlik ve yüksek maliyet, tüketilen yağların büyük bir kısmının bitkisel kaynaklı olmasına neden olmuştur (%92,1) (Onat vd., 2017).

Arıoğlu (2016)'na göre yağlı Tohumların başlıca kullanım alanları aşağıdaki gibidir.

- Yağ üretiminde hammadde olarak kullanılır.
- Karma yem üretiminde kullanılır
- Toprak verimliliğini arttırır.
- Arı yetiştiriciliğinde arıların tercih edeceği bitkilerin başında gelir.
- Sanayide hammadde olarak kullanılır.
- Bio-dizel olarak kullanılmaya başlanmıştır.

2.1.1. Hardal ve tohumu

Hardal, M.Ö. 3000'li yıllara uzanan kayıtlarda adı geçen en eski baharatlardan biri olarak bilinmektedir (Thomas vd., 2012). Sarı/beyaz (*Brassica hirta / Sinapis alba*), siyah (*B. juncea*), oryantal/kahverengi (*B. nigra*), Etiyopya veya Habeş hardalı (*B. carinata*) ve yabani hardal (*Sinapis arvensis*) olmak üzere beş farklı türü bulunmaktadır (Nguyen vd., 2024; Grygier, 2022). Bu bitki yalnızca çeşni olarak değil, tıbbi amaçlarla da erken dönemlerden itibaren kullanılmıştır. M.Ö. 530 yılında Pisagor'un, akrep sokmalarına karşı bir çözüm olarak hardalı önerdiği bilinmektedir. Bazı kaynaklarda, bozulmuş gıdaların tadını maskelemek amacıyla yiyeceklere tat vermek için kullanıldığı belirtilmektedir. Ayrıca, Mısır'da kralların defin işlemlerinde de hardal tohumlarına yer verildiği aktarılmaktadır (Thomas vd., 2012).

Siyah hardalın çıkış noktasının Ortadoğu ve Akdeniz olmak üzere iki farklı bölge olduğu bilinmektedir. İlkbaharda yetişir ve vejetasyon süresi 40 ila 100 gün arasında değişmektedir. Batı Hindistan, Kuzey ve Güney Amerika, Sibirya, Çin, Kuzey Afrika ve Avrupa genelinde yetiştirilmektedir. Kahverengi hardal, Hindistan ve Orta Doğu kökenlidir. Vejetasyon süresi 70 ila 120 gün arasında değişmektedir. Hint hardalı, Çin hardalı, doğu hardalı, yaprak hardalı ve bitkisel hardal gibi adlarla da anılmaktadır (Grygier, 2022).

Etiyopya veya Habeş hardalı (*Brassica carinata*), Etiyopya kökenlidir. Bununla birlikte, kuzeydoğu Afrika'nın yanı sıra Fransa, İspanya, Kanada, Çin ve Hindistan'da da tarımı yapılmaktadır. Abiyotik ve biyotik stres faktörlerine karşı yüksek direnç göstermesi nedeniyle, bu özelliğe sahip olmayan çeşitlerle yapılan melezleme çalışmalarında genetik materyal kaynağı olarak değerlendirilmektedir (Thakur vd., 2019). Yabani hardal (*Sinapis arvensis*), *Brassicaceae* (Turpgiller) familyasına ait bir türdür. Vejetasyon süresi 70 ila 120 gün arasında değişmektedir. Kuraklığa dayanıklıdır (Warwick vd., 2008; Grygier, 2022). Türkiye'de buğday tarlalarında yabancı ot olarak da görülmektedir.

2.1.2. Çörek otu tohumu

Nigella sativa L., halk arasında "çörek otu" veya "siyah tohum" olarak bilinen, 2500 yıl öncesine kadar uzanan geçmişe sahip yıllık otsu bir bitkidir. Güney Avrupa, Suudi Arabistan, Pakistan, Kuzey Afrika, Türkiye, Yemen, Etiyopya ve Güneybatı Asya gibi birçok bölgede yetiştirilmektedir. Yunan tıp literatüründe ve Antik Mısır tıbbında kullanıldığı bilinmektedir (Ferizi vd., 2023; Gali-Muhtasib vd., 2006).

Asya, Orta Doğu ve Uzak Doğu ülkelerinde geleneksel tıpta yaygın şekilde kullanılmıştır. Baş ağrısı, öksürük, karın ağrısı, ishal, astım, romatizma gibi çeşitli rahatsızlıkların tedavisinde tercih edilmiştir. Bu bitkinin özellikle tohumları dikkat çekmektedir. Fitokimyasal içerikleri ve farmakolojik etkileri bakımından en çok araştırılan kısımlar tohumlardır. Tohumlardan elde edilen sulu ve yağ özlerinin; antioksidan, antiinflamatuar, antikanser, analjezik ve antimikrobiyal özellikler taşıdığı belirlenmiştir. Siyah tohumun esansiyel yağında en yüksek oranda bulunan bileşik timokinon olup, bu

maddenin birçok yararlı etkinin temel kaynağı olduğu ifade edilmektedir (Gali-Muhtasib vd., 2006).

2.1.3. Hardal tohumu ve çörek otunun fizikokimyasal özellikleri

Çörek otu tohumunun siyah renkte, üç veya dört köşeli bir yapıya sahip olduğu tespit edilmiştir. Tane boyutunun 1-5 mg arasında değiştiği bildirilmiştir (Ali ve Blunden, 2003; BAKA, 2022; Cheikh-Rouhou vd., 2007). Tohumların özgül ağırlığının 0,9217 ile 0,9298 arasında olduğu, bin tane ağırlığının ise 2,45-3,35 g aralığında bulunduğu belirtilmiştir (Başaran, 2023; Can, 2021). Thani vd. (2024) tarafından yürütülen bir çalışmada, tohumların nem oranı %4,8 ile %8,1 arasında ölçülmüştür. Çizelge 2.1'de çörek otu tohumunun fiziksel özellikleri özetlenmiştir.

Çizelge 2.1. Çörek otunun tohumunun fiziksel özellikleri

Özellik	**Değer**	**Kaynak**
Tohum Rengi	Siyah	(Ali ve Blunden, 2003)
Şekil	3-4 Köşeli	(BAKA, 2022)
Boyut	1-5 mg	(Cheikh-Rouhou vd., 2007)
Özgül Ağırlık	0,9217-0,9298	(Başaran, 2023)
1000 Tane Ağırlığı	2,45-3,35 g	(Can, 2021)

Çizelge 2.2'de çörek otunun kimyasal özellikleri verilmiştir. Yapılan bazı çalışmalara göre ham yağ %36-38, ham protein, %20-30, ham lif %5,91-7,29, kül %5,13-6,46 karbonhidrat %36,53-38,27 ve uçucu yağ %0,4-2,5 olarak bulunmuştur.

Çizelge 2.2. Çörek otunun kimyasal özellikleri

Bileşen	**Ortalama Değer**	**Kaynak**
Ham Yağ	%36-38	(Ali ve Blunden, 2003)
Ham Protein	%20-30	(Ayhan ve Altınkaynak, 2020)
Ham Lif	%5,91-7,29 (Standart sapma hesaplama)	(Şeran, 2011)
Kül (Mineral madde)	%5,13-6,46	(Başoğlu ve Bayrak, 1984)
Karbonhidrat	%36,53-38,27 (Standart Sapma hesaplama)	(Şeran, 2011)
Uçucu Yağ İçeriği	%0,4-2.5	(Ali ve Blunden, 2003)
Nem İçeriği	%4,8-8,1	(Thani vd., 2024)

Çizelge 2.3'te, hardal tohumunun fiziksel özelliklerine ilişkin çeşitli çalışmalardan elde edilen bazı veriler özetlenmiştir. Hardal tohumlarının sarı/beyaz, kahverengi ve siyah olmak üzere farklı renklerde olduğu görülmektedir.

Çizelge 2.3. Hardal tohumun fiziksel özellikleri

Özellik	Ortalama Değer	Kaynak
Tohum Rengi	Sarı/Beyaz, kahverengi, siyah	(Assefa vd., 2023)
1000 Tane Ağırlığı	3,17-4,24 g (türe bağlı)	(Sharif vd., 2017)
Özgül Ağırlık	0,871-0,922 g/cm³	(Beniwal vd., 2024).

Çizelge 2.3.'de tohum boyutunun 1-3 mm arasında değiştiği verilmiştir. Sharif vd. (2017) üç çeşit hardal tohumu ile yaptığı çalışmalar sonucunda 1000 tane ağırlığı çeşidine göre değiştiğini ve en düşük 3,17 en yüksek 4,24 olduğunu bulmuşlardır. Diğer çalışmalara göre tabloda özgül ağırlık 0,871-0,922, nem içeriği ise %4,10-4,52 bulunmuştur.

Çizelge 2.4. Hardal tohumunun kimyasal özellikleri

Bileşen	Ortalama Değer	Kaynak
Ham Yağ	%28-36	(Cui vd., 1993)
Ham Protein	%32,48-36,37	(Abul-Fadl vd., 2011)
Ham Lif	%6,34-7,87	(Abul-Fadl vd., 2011)
Kül (Toplam Mineral)	%1,7-15	(Cui vd., 1993)
Karbonhidrat	%13,73-18,85	(Sharif vd., 2017)
Nem İçeriği	%4,10-4,52	(Sharif vd., 2017)

Çizelge 2.4.'de hardal tohumunun kimyasal özellikleri verilmiştir. Çalışmalardan elde edilen sonuçlara göre ham yağ %28-36, ham protein %32,48-36,37, ham lif %6,34-7,87, kül %1,7-15, karbonhidrat ise %13,73-8,85 arasında bulunmuştur.

2.1.4. Dünyada ve Türkiye'de hardal ve çörek otu tohumunun üretimi ve tüketimi

Yağlı tohumlar, ülkemiz bitkisel yağ üretimi açısından önemli görülen tarım ürünleridir. Ülkemizde çörek otu tohumu ve hardal tohumu üretimi ilk sıralara girememektedir. En çok üretilen tohumlar yıllık üretim miktarları sırasıyla Çizelge 2.5 sunulmaktadır.

Çizelge 2.5. Yıllara göre bazı yağlı tohumların üretimi (TÜİK, 2025)

1990-2024/Yağlı tohumlar, 1990-2024

Yıl Üretim (Ton)	Soya	Ayçiçeği	Susam	Çiğit	Haşhaş (Tohum)
2004	50 000	800 000	23 000	1 425 850	17 809
2005	29 000	865 000	26 000	1 291 180	13 644
2006	47 300	1010 000	26 545	1 476 556	30 187
2007	30 666	770 000	20 010	1 320 831	8 981
2008	34 461	900 387	20 338	1 077 440	10 834
2009	38 442	960 300	21 036	1 021 200	34 194
2010	86 540	1 170 000	23 460	1 272 800	36 910
2011	102 260	1 170 000	18 000	1 527 360	45 077
2012	122 114	1 200 000	16 221	1 373 440	3 844
2013	180 000	1 380 000	15 457	1 287 000	19 244
2014	150 000	1 480 000	17 716	1 391 200	16 223
2015	161 000	1 500 000	18 530	1 213 600	30 730
2016	165 000	1 500 000	19 521	1 260 000	18 205
2017	140 000	1 800 000	18 410	1 470 000	15 244
2018	140 000	1 800 000	17 437	1 542 000	26 991
2019	150 000	1 950 000	16 893	1 320 000	27 288
2020	155 225	1 900 000	18 648	1 064 189	20 542
2021	182 000	2 215 000	17 657	1 350 000	21 037
2022	155 000	2 350 000	17 366	1 650 000	12 240
2023	137 500	1 960 000	16 190	1 260 000	7 922
2024	180 000	1 855 000	14 439	1 345 800	8 441

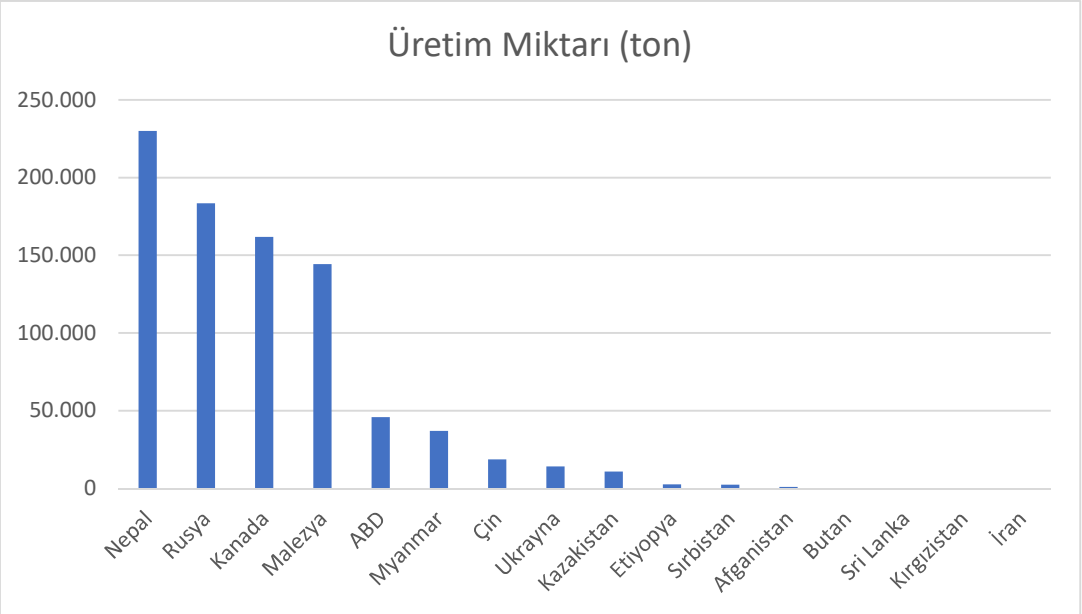
TÜİK'ten (2025) alınan verilere göre, bazı yağlı tohumların yıllara göre üretim miktarları belirlenmiştir. Soya tohumu, 182.000 ton ile 2021 yılında en yüksek üretim seviyesine ulaşmıştır. Ayçiçeği üretimi, 2.235.000 ton ile 2022 yılında en yüksek değeri görmüştür. Susam için bu değer 26.525 ton ile 2006 yılına, çiğit için ise 1.650.000 ton ile yine 2022 yılına denk gelmektedir. Haşhaş tohumu üretimi, en yüksek düzeye 45.077 ton ile 2011 yılında ulaşmıştır. Çizelge 2.5'te yer alan bu verilere göre, en fazla üretimi yapılan yağlı tohumun ayçiçeği olduğu gözlemlenmiştir.

Çizelge 2.6. Çörek otu tohumunun yıllara göre alan ve üretimi (TÜİK, 2025)

	Çörekotu	
Yıl	**Alan (Dekar)**	**Üretim (Ton)**
2012	2 299	161
2013	3 261	352
2014	1 717	140
2015	4 681	425
2016	23 160	2 527
2017	32 560	3 094
2018	33 864	3 322
2019	37 085	3 603
2020	33 773	3 412
2021	83 915	6 435
2022	108 029	10 089
2023	53 358	5 386
2024	55 997	4 572

TÜİK'ten (2025) elde edilen Çizelge 2.6 verilerine göre, çörek otu tohumu üretiminde ve ekim alanında 2012-2015 yılları arasında sınırlı bir düzey görülmektedir. 2016 yılında ise üretim ve ekim alanında yaklaşık altı kat artış sağlandığı belirlenmiştir. 2017-2020 yılları arasında dengeli bir artış yaşanmıştır. 2021 ve 2022 yıllarında üretim miktarı yüksek oranda artış göstermiş, 2022'de en yüksek seviyeye ulaşılmıştır. 2023 yılında ise bu oranlarda yaklaşık %50 düşüş yaşandığı görülmektedir. Verimliliğin (Üretim (ton) / Ekilen Alan (dekar)) en yüksek olduğu dönemlerin 2016 ve 2023 yılları olduğu anlaşılmaktadır. 2021 ve 2024 yıllarında ise verim düşüşünün; iklim, bakım veya tohum kalitesi gibi etkenlere bağlı olduğu düşünülmektedir.

Türkiye'de hardal üretiminin sınırlı olduğu ve 2003-2017 yılları arasında toplam 20.000 ton hardal ithal edildiği bildirilmiştir. Son yıllarda ise hardal üretimi ve ithalatına dair spesifik veriler bulunmamaktadır (Kayaçetin, 2020). Dünya genelinde hardal üretimine bakıldığında, 2022 yılı verilerine göre ilk sırada 230.050 ton ile Nepal yer almaktadır. Bu ülkeyi sırasıyla Rusya, Kanada ve Malezya takip etmektedir (Şekil 2.1) (Anonim, 2025).



Şekil 2.1. Dünyada hardal üretimi 2022 (Anonim, 2025)

2.2. Bitkisel Yağlar

2.2.1. Bitkisel yağların yapısı

Yağlar, yalnızca temel bir besin grubu olmakla kalmayıp, gıdalarda tat, aroma, lezzet, parlaklık ve doku özelliklerinin oluşmasında da önemli rol üstlenmektedir (Uslu, 2023).

Yağlar, karbonhidrat ve proteinlerle birlikte üç temel besin öğesinden biri olup, birim kütle başına en yüksek enerji değerine sahip bileşiklerdir (O'Brien, 2008). Bitkisel yağlar; çeşitli bitkilerin tohum, çekirdek ve meyve dokularından elde edilen, temel bileşeni trigliserit olan lipitlerdir (O'Brien, 2008). Yağlar, gliserol ile farklı uzunluk ve doymamışlık derecelerine sahip yağ asitlerinin esterleşmesiyle oluşan gliseritlerden meydana gelmektedir. Trigliseritler, üç yağ asidinin bir gliserol molekülüyle ester bağı kurması sonucunda oluşur. Yağlarda bulunan serbest yağ asitleri ise, ester yapıdaki bileşiklerin enzimatik ya da kimyasal yollarla hidrolize uğramasıyla ortaya çıkmaktadır (Aydoğmuş, 2020).

Dünya nüfusunun artmasıyla birlikte, gıda maddelerine olan talepte de artış yaşanmaktadır. Bu durum, bitkisel yağ tüketimini doğrudan etkilemektedir. Son yıllarda, bazı ülkelerde bitkisel yağların yalnızca gıda sektöründe kullanılmadığı gibi biyodizel

üretimi yapan enerji sektörlerinde de yaygın biçimde kullanıldığı görülmektedir. Bu gelişmeler, bitkisel yağları yalnızca beslenme açısından değil, enerji ve kimya sanayileri açısından da stratejik bir hammadde konumuna getirmiştir (TAGEM, 2021).

2.2.1.1. Hardal yağının bileşimi

Hardal yağı , hardal bitkisinin (*Brassica campestris*) tohumlarından elde edilir ve bu yağın kendine özgü keskin bir tadı ve aroması vardır (Jinadasa vd., 2022). Çizelge 2.7'de hardal yağının yağ asidi kompozisyonu özetlenmektedir.

Çizelge 2.7. Hardal yağının yağ asidi kompozisyonu

Yağ Asidi	Oran (%)	Kaynak
Eruşik Asit (C22:1)	%30-40	(Geçgel vd., 2016)
Oleik Asit (C18:1)	20-28	(Damian, 2014)
Linoleik Asit (C18:2)	12,44-21,99	(Gıdık ve Önemli, 2019).
Linolenik Asit (C18:3)	10-12	(Damian, 2014)
Palmitik Asit (C16:0)	3,14-5,88	(Gıdık ve Önemli, 2019)

Hardal yağının, kimyasal bileşimi diğer bitkisel yağlarla karşılaştırıldığında, hardal yağının antikarsinojenik etki gösterdiği, kanser oluşumunu engelleyebildiği, vücut sıcaklığını düşürdüğü ve cilt hastalıklarının tedavisinde etkili olduğu saptanmıştır. Bununla birlikte iştah açıcı özelliği ve vücut toniği olarak kullanımıyla da dikkat çekmektedir. Kan trombositlerinin yapışkanlığını azaltarak kalp yetmezliği riskini düşürmeye yardımcı olurken; çocuklarda astım, alerjik soğuk algınlığı ve astımlı egzama gibi rahatsızlıklara karşı koruyucu etki sağladığı, göz ve boğaz tahrişini önleyebildiği belirtilmektedir. Ayrıca kolesterol seviyesinin azaltılmasına ve alyuvar zar yapısının iyileştirilmesine katkı sağlayarak, alyuvar fonksiyonlarını desteklemektedir. Tüm bu yararlarının yanı sıra, gıdalara lezzet ve aroma kazandırmak suretiyle yağ ekonomisine de olumlu katkı sunduğu ifade edilmektedir (Kaur vd., 2019).

Hardal yağında yüksek oranda bulunan erüsik asit, cis-13-dokosenoik asit olarak da bilinmekte ve özellikle Brassicaceae familyasına ait bitkilerin (örneğin kolza veya hardal tohumu) tohumlarında yoğun şekilde yer almaktadır. Bu asidin toksik etkilerinin özellikle

kalp üzerinde yoğunlaştığı rapor edilmiştir (CONTAM vd., 2016). Bu duruma çözüm olarak, yüksek oleik asit (%67) içeren ve sıfır erüsik asit taşıyan, zeytinyağına benzer özelliklere sahip transgenik bir hardal çeşidinin geliştirildiği bildirilmiştir (Jinadasa vd., 2022).

Takahashi vd'nin (2021) tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada, erüsik asit içeren sarı hardal yağının, obezite ve diyabete bağlı olarak gelişen glikoz ve kemik metabolizması bozukluklarını iyileştirme potansiyeline sahip olabileceği öne sürülmüştür. Hardal tohumunun yüksek yağ içeriğine sahip olması, bu yağın yemeklik nitelikte olmaması ve yüksek erüsik asit düzeyi nedeniyle biyodizel üretiminde değerlendirilmesini olanaklı kılmaktadır (Geçgel vd., 2016).

2.2.1.2. Çörek otu yağının bileşimi

Çörek otu (*Nigella sativa L.*) tohumları ile bu tohumlardan elde edilen ham ya da uçucu yağların, geleneksel beslenme ve tıbbi uygulamalarda yaygın şekilde kullanıldığı bilinmektedir. Çörek otu yağı, sahip olduğu kimyasal bileşenler sayesinde antikanser, antidiyabetik, antiradikal, bağışıklık düzenleyici, analjezik, antimikrobiyal, antiinflamatuvar, spazm çözücü, bronş genişletici, karaciğer ve böbrek koruyucu ile tansiyon düşürücü etkiler göstermektedir. Ayrıca çörek otunun güçlü antioksidan özelliklere ve yüksek antioksidan aktiviteye sahip olduğu tespit edilmiştir (Ramadan, 2007). Çörek otu yağına ait yağ asidi dağılımı incelendiğinde, en yüksek oranda bulunan dört yağ asidi sırasıyla linoleik asit, oleik asit, palmitik asit ve stearik asittir. Yağ asidi kompozisyonuna ilişkin detaylı veriler Çizelge 2.8'de sunulmaktadır.

Çizelge 2.8. Çörek otu yağının yağ asidi kompozisyonu

Yağ Asidi	Yaklaşık Oran (%)	Kaynak
Linoleik Asit (C18:2)	48,30-57,85	(Aksoy, 2022)
Oleik Asit (C18:1)	17,9/20,7-24,6	(Tanbek, 2011; Hussein El-Tahir ve Bakeet, 2006)
Palmitik Asit (C16:0)	5.32-10.91	(Aksoy, 2022)
Stearik Asit (C18:0)	2,9/2,7-3	(Tanbek, 2011; Hussein El-Tahir ve Bakeet, 2006)

2.3. Soğuk Pres ile Yağ Ekstraksiyonu

2.3.1. Soğuk presle ilgili genel bilgiler

Son yıllarda doğal ve güvenilir gıdalara olan ilginin artmasıyla birlikte, tüketicilerin özellikle bitkisel sıvı yağlara yöneldiği gözlemlenmektedir. Bitkisel yağlar; belirli meyveler ile yağlı tohumlardan, çeşitli işleme teknikleri kullanılarak elde edilebilmektedir. Bu yöntemlerden biri olan soğuk pres teknolojisi; basit, ekonomik, solvent içermeyen ve çevre dostu bir mekanik ekstraksiyon yöntemi olarak öne çıkmaktadır. Isıl işlem gerektirmemesi sayesinde, yüksek kaliteli yağların üretimi mümkün olmaktadır. Ayrıca rafinasyon işlemine ihtiyaç duyulmaksızın doğrudan tüketime uygun, saf, güvenilir, besin değeri yüksek ve duyusal olarak kabul edilebilir yağlar elde edilebilmektedir. Soğuk pres yöntemiyle üretilen yağların; esansiyel yağ asitleri, fenolik bileşikler, flavonoidler, fitosteroller, karotenoidler ve tokoferoller gibi sağlık açısından yararlı biyoaktif bileşenler yönünden zengin olduğu bildirilmiştir (Uslu, 2023).

2.3.2. Soğuk presle yapılan bazı çalışmaların literatür özeti

Cheikh-Rouhou vd. (2007) tarafından yapılan bir çalışmada, Tunus ve İran kökenli iki çörek otu çeşidinin fizikokimyasal özellikleri belirlenmiştir. Soğuk çözücü yöntemi ile tohumlardan elde edilen ham yağların fiziksel ve kimyasal analizleri gerçekleştirilmiştir. Kuru ağırlık bazında elde edilen verilere göre, Tunus ve İran çeşitleri için protein oranı sırasıyla %26,7 ve %22,6; yağ oranı %28,48 ve %40,35; kül oranı %4,86 ve %4,41; toplam karbonhidrat oranı ise %40,0 ve %32,7 olarak rapor edilmiştir. Başlıca doymamış yağ asidi olarak linoleik asidin (%50,3-49,2) bulunduğu, bunu oleik asidin (%25,0-23,7) izlediği belirtilmiştir. Başlıca doymuş yağ asidinin ise palmitik asit (%17,2-18,4) olduğu bildirilmiştir. Ayrıca miristik, miristoleik, palmitoleik, margarik, margaroleik, stearik, linolenik, arakidik, eikosenoik, behenik ve lignoserik asitlerin de varlığı tespit edilmiştir (Cheikh-Rouhou vd., 2007).

Sawicka vd., (2020), yaptıkları çalışmada ‘Borowska’ ve ‘Bamberka’ olmak üzere iki beyaz hardal (*Sinapis alba L.*) çeşidini incelemişlerdir. Bu çeşitlerin tohumlarındaki yağ içeriği sırasıyla 276 g/kg ve 290 g/kg olarak belirlenmiştir. Elde edilen yağların yağ asidi bileşimleri arasında anlamlı farklılıklar gözlenmiştir. ‘Borowska’ çeşidinden elde edilen

yağın, ‘Bamberka’ çeşidine göre daha az doymuş yağ asidi içerdiği (%4,86’ya karşılık %10,36) belirlenmiştir. ‘Borowska’ yağında erüsik asit oranı %22,2 iken, ‘Bamberka’ yağında bu oran %3,8 olarak saptanmıştır (Sawicka vd., 2020). Bulgular, ‘Borowska’ çeşidinden preslenen yağın teknik amaçlı kullanım potansiyelini; ‘Bamberka’ çeşidinden elde edilen yağın ise düşük erüsik asit içeriği ve uygun yağ asidi kompozisyonu sayesinde gıda amaçlı kullanımını desteklediğini göstermektedir. Diyet bileşeni olarak değerlendirildiğinde, ‘Bamberka’ çeşidinden elde edilen yağ, %67,25 oranında toplam doymamış yağ asidi içeriği ile iyi bir kaynak olarak tanımlanmaktadır.

Canikli (2019) tarafından yürütülen çalışmada, pamuk tohumu yağı, soğuk sıkım yöntemiyle 5 mm çapında meme (nozul), 20 dev/dak (rpm) vida dönüş hızı ve sabit 40 °C sıcaklık koşullarında elde edilmiştir. Elde edilen yağın yağ asidi kompozisyonu incelendiğinde, en yüksek oranda linoleik asit (%55,55) bulunduğu, bunu sırasıyla palmitik asit (%25,34) ve oleik asit (%14,36)'in takip ettiği belirlenmiştir. Bu sonuçlar, pamuk tohumu yağının çoklu doymamış yağ asitleri bakımından zengin bir profil sunduğunu göstermektedir.

Deviren vd. (2021) 10 mm nozul çapında 25 rpm hızında 40 derece çıkış sıcaklığında soğuk sıkım yöntemi ile greyfurt çekirdeklerinden yağ elde etmişlerdir. Elde edilen yağların serbest asitliği 0,56±0,01 (Linoleik asit) , L değeri 23,7±0,9, a değeri -2±0,0 ve b değeri 11,9±0,0 renk indeksine sahip olan yağlardır.

2.4. Soğuk Pres Yan Ürünleri

Soğuk pres yöntemi yalnızca yağ elde etmek amacıyla kullanılmamaktadır. Bu işlem sonucunda, biyoaktif bileşenler yönünden zengin olan ve “pres keki” olarak adlandırılan bir yan ürün de elde edilmektedir. Söz konusu yan ürün; ekmek, kek, bisküvi, kraker, kurabiye ve kefir gibi çeşitli gıdaların formülasyonuna başarıyla dâhil edilmiştir. Pres kekinin gıdalarda değerlendirilmesi, sıfır atık ilkesi doğrultusunda; toplumsal, ekonomik ve çevresel sürdürülebilirliğe anlamlı katkılar sunmaktadır (Uslu, 2023). Kimyasal ya da ısıl işlem uygulanmadan elde edilen soğuk pres atıkları, içerdiği yüksek biyoaktif bileşen miktarı sayesinde doğrudan gıda üretiminde işlevsel bileşen olarak kullanılabilmektedir (Gülseren, 2019). Popović vd. (2020) pres atıklarındaki yüksek protein ve polisakkarit içeriğinin göz

önüne alındığında çevre dostu biyopolimer ambalaj malzemeleri üretilebileceğini ifade etmişlerdir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

3.1.1. Hardal tohumu ve çörek otu

Bu çalışmada, yağlı tohumlar kategorisinde değerlendirilen Sarı hardal ve çörek otu tohumları kullanılmıştır. Söz konusu tohumlar yerel pazarlardan temin edilmiştir. Laboratuvara getirilen numuneler, soğuk sıkım işlemi tamamlanana dek oda sıcaklığında muhafaza edilmiştir.



Şekil 3.1. Çörek otu tohumu



Şekil 3.2. Sarı hardal tohumu

3.1.2. Araştırmada kullanılan kimyasal maddeler

Analiz sürecinde kullanılan kimyasal maddeler aşağıda belirtilmiştir:

- Saf su
- 0,1 N Sodyum Hidroksit (Kimyalab, Türkiye)
- Etil Alkol (Isolab, Almanya)
- Metanol (Supelco, Almanya)
- Fenolftalein (Isolab, Almanya)

Tüm kimyasal maddeler, analizlerde analitik saflık derecesinde tercih edilmiştir.

3.2. Yöntem

3.2.1. Deneme planı tasarımı

Tez çalışmasına ait deneme planı, yanıt yüzey yöntemine (RSM - Response Surface Methodology) dayanan merkezi kompozit deneme düzeni (Central Composite Design) çerçevesinde, yüzey merkezli (face-centered) bir plan doğrultusunda oluşturulmuştur. Bağımsız değişkenler olarak; soğuk pres ekstraksiyon sıcaklığı (x) ile vida dönüş hızı (y) seçilmiştir. Bu değişkenlerin her biri için üç farklı seviye belirlenmiştir:

x: 80, 90, 100 (°C)

y: 25, 30, 35 (rpm)

Denemeler, her bir koşul için iki tekerrürlü şekilde gerçekleştirilmiş olup, toplamda yirmi altı deneme yürütülmüştür. Tasarımın merkez noktasında on deneme yer almaktadır. Analizlerden elde edilen veriler doğrultusunda, matematiksel modelleme amacıyla ikinci dereceden eşitlikler geliştirilmiştir. Genel olarak bu eşitlikler ikinci derece polinom yapısındadır:

$$y_i = c_0 + c_1 x + c_2 y + c_3 x^2 + c_4 y^2 + c_5 xy \tag{3.1}$$

Burada;

y_i: modelden hesaplanacak olan bağımlı değişken

c_0: sabit katsayı

c_1 ve c_2: doğrusal katsayılar

c_3 ve c_4: ikinci derece katsayılar

c_5 : interaksiyon katsayıları

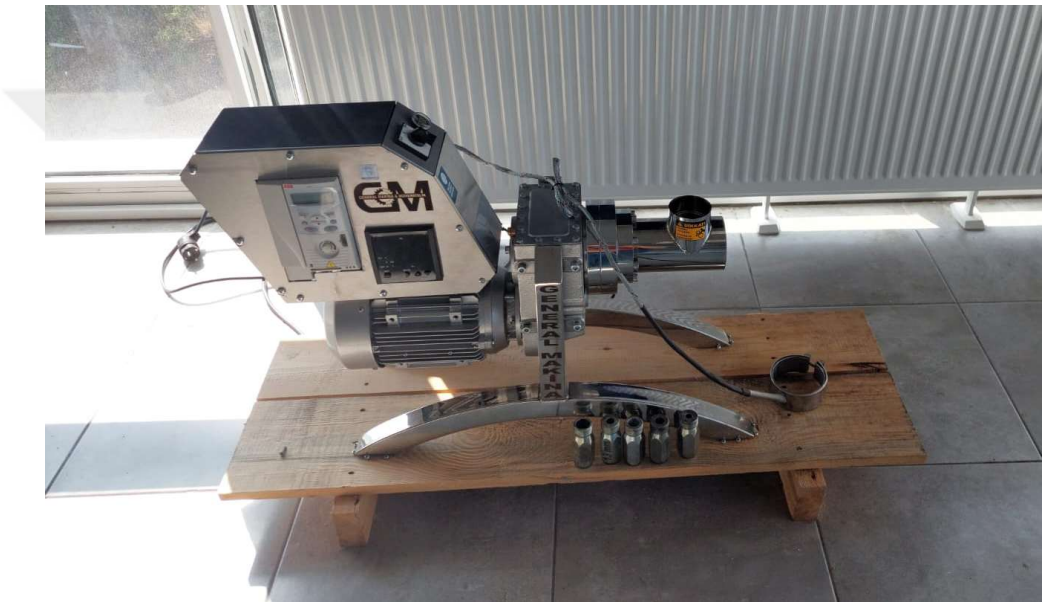
Analizlerden elde edilen veriler, Minitab istatistik programı (Minitab 16, Minitab Inc., A.B.D.) aracılığıyla değerlendirilmiştir. Varyans analizlerinde %95 güven aralığı esas alınmıştır. Bağımsız değişkenlerin ikili kombinasyonlarının bağımlı değişken üzerindeki etkilerini görsel olarak sunmak amacıyla, Statistica paket programı (Statistica v10, Statsoft Inc., Tulsa, OK) kullanılarak üç boyutlu yüzey grafiklerinden faydalanılmıştır. Deneme düzenine ilişkin bilgiler Çizelge 3.1'de sunulmuştur.

Çizelge 3.1. Çalışmaya ilişkin deneme dizaynı tablosu

Deneme No.	**Kodlanmamış Parametreler**		**Kodlanmış Parametreler**	
	Sıcaklık (°C) (x)	**Vida Dönüş Hızı (rpm) (y)**	**Sıcaklık (°C) (x)**	**Vida Dönüş Hızı (rpm) (y)**
1	80	25	-1	-1
2	100	25	1	-1
3	80	35	-1	1
4	100	35	1	1
5	80	30	-1	0
6	100	30	1	0
7	90	25	0	-1
8	90	35	0	1
9	90	30	0	0
10	90	30	0	0
11	90	30	0	0
12	90	30	0	0
13	90	30	0	0
14	80	25	-1	-1
15	100	25	1	-1
16	80	35	-1	1
17	100	35	1	1
18	80	30	-1	0
19	100	30	1	0
20	90	25	0	-1
21	90	35	0	1
22	90	30	0	0
23	90	30	0	0
24	90	30	0	0
25	90	30	0	0
26	90	30	0	0

3.2.2. Soğuk presle yağ eldesi

Soğuk pres işlemleri, Şekil 3.3'te gösterilen vidalı soğuk pres yağ sıkım cihazı (GM1000, General Mühendislik, Türkiye) yardımıyla gerçekleştirilmiştir. Denemelerde, farklı sıcaklıklar ve vida dönüş hızları uygulanmıştır. Nozzle başlığı olarak 15 mm çapında bir uç tercih edilmiş, presleme sürecinde sürtünmeden kaynaklı aşırı ısınmayı önlemek için aralıklı ısıtma uygulanmıştır.



Şekil 3.3. Soğuk pres makinesi

Sıkım işlemleri tamamlandıktan sonra elde edilen sulu örnekler, 10000 rpm dönüş hızında ve beş dakika süreyle santrifüjlenmiştir (Z 326 K, Hermle Labortechnik GmbH, Wehingen, Almanya). Bu işlem sonucunda yağlar ayrılarak tartılmıştır. Ayrıca, her bir denemeye ait küspeler ayrı ayrı paketlenmiş ve derin dondurucuda muhafaza edilmiştir.

3.2.3. Serbest asitlik analizi

Çekirdek yağlarındaki serbest asit oranları, titrasyon yöntemi kullanılarak belirlenmiştir. Soğuk pres işleminden sonra santrifüjlenen yağ örneklerinden 1,5 g tartılmış, üzerine 50 mL etanol ilave edilmiştir. Ardından, %0,1'lik fenolftaleinden 1-2 damla eklenmiştir. Bürete alınan 0,1 N NaOH çözeltisi ile renk değişimi gözlenene dek titrasyon

yapılmıştır. Harcanan NaOH miktarı kaydedilmiş ve hesaplama, Eşitlik 3.2'de verilen formül yardımıyla gerçekleştirilmiştir:

$$\%\ serbest\ asitlik = \frac{V \times 0{,}1 \times \mathbf{28{,}2}}{Tartım\ Miktarı} \tag{3.2}$$

(V: Harcanan NaOH, **oleik asit molekül ağırlığı; 28,2**; N:0,1; sodyum hidroksitin normalitesi).

3.2.4. Yağlarda renk indeksi analizi

Ekstrakte edilen yağların renk indeksi analizleri, spektrofotometre (v730, Jasco, Japonya) yardımıyla gerçekleştirilmiştir. Analizler, AOCS Cc 13c-50 (AOCS, 2003) yönteminin modifiye edilmiş şekli esas alınarak yürütülmüştür. Numuneler, tek kullanımlık küvetlere yerleştirilmiş ve saf suya karşı 460, 550, 620 ve 670 nm dalga boylarında absorbans değerleri ölçülmüştür. Elde edilen bu değerler, Eşitlik 3.3'te sunulan formüle yerleştirilerek fotometrik renk indeksi (PCI) hesaplanmıştır.

$$PCI = (1{,}29 \times A_{460}) + (69{,}7 \times A_{550}) + (41{,}2 \times A_{620}) - (56{,}4 \times A_{670}) \tag{0.3}$$

3.2.5. Yağ asidi kompozisyonu analizi

Yağ asidi kompozisyonunun belirlenmesinde gaz kromatografi (GC) cihazı (Shimadzu GC-2010 Pro, Shimadzu, Japonya) kullanılmıştır. Analiz öncesinde, yağlar uygun yöntemle türevlendirilmiş ve metil ester formları hazırlanmıştır. Hazırlanan metil esterler, InertCap 5MS/Sil kolonu (30 m uzunluk, 0.25 mm iç çap, 0.25 µm film kalınlığı) takılı GC cihazına enjekte edilerek analiz edilmiştir.

Toplam yağ miktarının belirlenmesinde, belirli miktardaki numuneler Soxhlet ekstraksiyon yöntemiyle işlenmiştir. Elde edilen yağlı çözücü, vakumlu etüv (WF-HTV25, Weightlab Instruments, Türkiye) kullanılarak uzaklaştırılmış ve geriye kalan yağ kütlesi yüzde olarak ifade edilmiştir. Ardından, ekstrakte edilen yağın yağ asidi kompozisyonu gaz kromatografi yöntemiyle analiz edilmiştir. Analiz öncesinde, uçucu olmayan yağ asitlerinin uçucu hale getirilmesi amacıyla metil esterleştirme işlemi uygulanmıştır. Bunun için, analitik terazide 0,1 g (±0,005 g) yağ bir santrifüj tüpüne tartılmış ve üzerine 10 mL hekzan

ilave edilmiştir. Karışım homojen hâle getirildikten sonra 0,5 mL 2 N metanollü potasyum hidroksit (met-KOH) eklenmiş ve karışım karanlık ortamda bir saat bekletilerek faz ayrımı sağlanmıştır. Oluşan metil esterler, karışımın üst fazından alınarak kapaklı GC vial kaplarına transfer edilmiştir. Hazırlanan örnekler, belirlenen cihaz parametrelerine göre enjekte edilmiştir. Analiz sonucunda elde edilen kromatogramlardaki pikler, aynı cihaz koşullarında daha önce enjekte edilen 37 yağ asidi metil esteri karışımından (37-FAME Mix) elde edilen kromatogramlarla karşılaştırılmış ve bileşenlerin tanımlanması bu şekilde yapılmıştır.

Analiz sırasında uygulanan enjeksiyon ve cihaz koşulları aşağıda ayrıntılı olarak verilmiştir:

- Kolon: InertCap 5MS/Sil (30 m × 0,25 mm I.D. × 0,25 µm film kalınlığı)
- Enjeksiyon hacmi: 1 µL
- Split/splitless: Split (1:40)
- Kolon akış hızı: 1 mL/dk
- Enjeksiyon bloğu sıcaklığı: 280 °C
- Kolon fırını sıcaklığı: Sıcaklık programı mevcut (80 °C-3dk sabit, 6 °C/dk hızla 300 °C'ye artış, bu sıcaklıkta 10 dk bekleme)
- Dedektör: Alev iyonlaştırmalı dedektör (FID); 300 °C
- Taşıyıcı gaz: Azot
- Metot süresi: 49,67 dk

3.2.6. Ekstraksiyon verimi

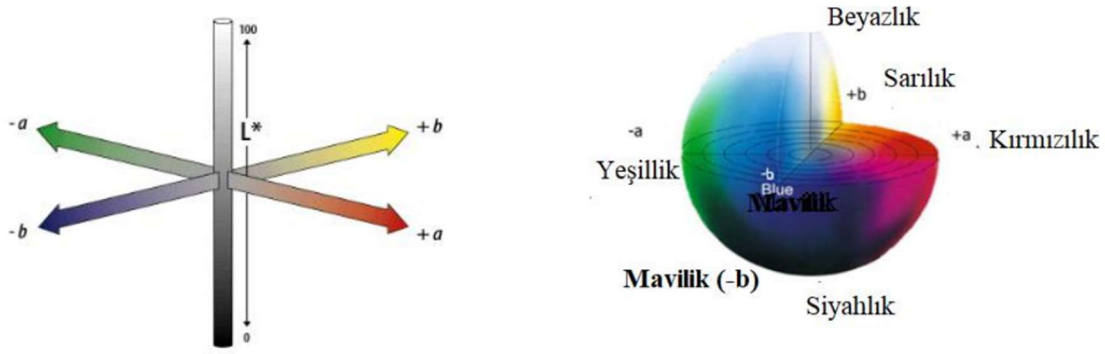
Soğuk sıkım işlemine geçilmeden önce, hardal ve çörek otu tohumları tartılmış ve ağırlıkları kaydedilmiştir. Ekstrakte edilen yağlar, santrifüjleme işleminden sonra tartılmış; bu veriler Eşitlik 3.4'te verilen formül kullanılarak yağ veriminin hesaplanmasında kullanılmıştır.

$$\%\ \text{Yağ Verimi} = \frac{Ekstrakte\ Edilen\ Yağ\ Miktarı}{Tohum\ Miktarı} \times 100 \tag{3.4}$$

3.2.7. Renk analizi

Soğuk sıkım sürecinde elde edilen atıklar (küspeler), bir öğütücü (SCM2934, Sinbo, Türkiye) yardımıyla parçalanarak boyutları küçültülmüştür. Renk ölçümleri, ışık almayan bir ortamda ve sabit numune kalınlığında gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla portatif bir kolorimetre (NR100, 3nh Technology Co. Ltd., Çin) kullanılmış ve ölçüm sonuçları L*, a*, b* renk parametreleri şeklinde ifade edilmiştir.

Renk analizinde kullanılan L*, a* ve b* değerleri, numunenin görsel özelliklerinin belirlenmesinde önemli parametrelerdir. L* değeri rengin açıklığını, a* değeri kırmızı-yeşil, b* değeri ise sarı-mavi eksenlerini temsil eder. L* değeri 0 olduğunda siyahı, 100 olduğunda ise beyazı gösterir. Negatif a* değerleri yeşili, pozitif olanlar kırmızıyı; negatif b* değerleri maviyi, pozitif olanlar ise sarıyı ifade eder. Renk uzayının merkezi, nötr gri tonlarını temsil ederken, a* ve b* değerlerinin büyüklüğü rengin doygunluğunu artırır (Karka, 2025).



Şekil 4.1. Renk indeksi L*, a* ve b* değerleri gösterimi (Karka, 2025)

3.2.8. Nem tayini

Küspelerin nem tayini analizleri, boyutları küçültülmüş örnekler üzerinde, infrared ısıtıcılı hızlı nem tayini cihazı (WA-123M, Weightlab Instruments, Türkiye) ile yapılmıştır (Şekil 3.4). Elde edilen sonuçlar yüzde nem miktarı olarak belirtilmiştir.



Şekil 3.4. Infrared nem tayin cihazı

3.2.9. Su aktivitesi (a_w) analizi

Numunelerin su aktivitesi, WaterLab (Steroglass S.r.l., Perugia, İtalya) marka cihaz (Şekil 3.5) ile ölçülmüştür. Yaklaşık 1 g tartılan numuneler 25 °C sıcaklıkta değerlendirilmiş; cihaz, denge bağıl neme ulaştığında gösterdiği değer kaydedilmiştir.



Şekil 3.5. Su aktivitesi ölçüm cihazı

3.2.10. pH analizi

pH analizleri, masaüstü tipi pH metre (MI 151, Milwaukee Instruments Inc., A.B.D.) ile yapılmıştır. Hardal ve çörek otu küspeleri, 1:10 (w/v) oranında saf su ile seyreltilmiş, manyetik karıştırıcı (TM12, Thermomac) kullanılarak homojen hâle getirilmiştir. Cihaz, pH 4 ve pH 7 tampon çözeltileri ile kalibre edildikten sonra pH değerleri belirlenmiştir (Şekil 3.6).



Şekil 3.6. pH metre

3.2.11. Fourier Transform Infrared spekroskopisi (FTIR)

Çörek otu ve hardal tohumu pres atıklarında, işlem koşullarının belirli fonksiyonel gruplar üzerindeki etkisini belirlemek üzere Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopi (FT-IR) analizi gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda, zayıflatılmış toplam yansıma (ATR)-FTIR spektrometresi (Alpha II, Bruker, A.B.D.) kullanılmıştır. Cihazda önce background ayarı yapılmış, ardından her numuneden yeterli miktarda örnek alınarak 4000-400 cm^{-1} dalga sayısı aralığında spektrumlar elde edilmiştir.

3.2.12. İstatistiksel analiz

Analizlerden elde edilen veriler, %95 güven aralığında varyans analizi (ANOVA) ile değerlendirilmiştir. Bu amaçla Minitab istatistik programı (Minitab 16, Minitab Inc., A.B.D.) kullanılmıştır. Ayrıca, soğuk pres işlem koşullarının analiz sonuçlarına olan ikili etkileri, Statistica paket programı (Statistica v10, Statsoft Inc., Tulsa, OK) yardımıyla üç

boyutlu yüzey ve kontur grafikler kullanılarak incelenmiştir. Analiz sonuçları arasındaki farkların belirlenmesinde %95 güven düzeyinde Duncan testi uygulanmıştır.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Soğuk Pres Yağlara Ait Bulgular

Farklı sıcaklık ve vida dönüş hızlarında soğuk pres yöntemiyle ekstrakte edilen hardal ve çörek otu tohumlarının hem yağ fazına hem de küspe fazına ait fizikokimyasal analiz sonuçları Çizelge 4.1'de sunulmuştur. Analiz bulguları, ortalama±standart sapma biçiminde verilmiş; merkez nokta dışındaki denemelerde veriler, iki tekerrürlü ölçümlerin ortalaması alınarak hesaplanmıştır.

4.1.1. Ekstraksiyon verimi

Elde edilen sonuçlara göre, hardal tohumu ve çörek otu yağı için ortalama yağ verimi sırasıyla %19,21 ve %21,45 olarak bulunmuştur. Beyzi (2018) tarafından yapılan çalışmada, çörek otu tohumlarının sabit yağ oranı %30,90 olarak belirlenmiştir. Söz konusu literatür bulgularıyla karşılaştırıldığında, bu çalışmada elde edilen yağ verimlerinin daha düşük olduğu gözlemlenmiştir. Bu çalışmada elde edilen yağ verimlerinin literatürde rapor edilen "toplam yağ" yüzdelerinden düşük çıkmasının temel nedeni, karşılaştırılan yöntemlerin farklılığı ve mekanik preslemenin doğası gereği küspede anlamlı miktarda yağ bırakmasıdır. Literatürdeki değerler çoğunlukla çözücü ekstraksiyonu (ör. Soxhlet/hekzan) ile belirlenen toplam yağ içeriğini ifade ederken, burada raporlanan verimler presle geri kazanılan yağ miktarını yansıtmaktadır. Tek kademeli presleme, kısa kalış süresi ve yetersiz sıkıştırma/nozul basıncı gibi proses özellikleri hücre duvarı kırılmasını sınırlayarak rezidüel yağın küspede kalmasına yol açabilir; sıcaklık–rpm kombinasyonunun optimumdan sapması, tane nemi ve kondisyonlama süresi, parçacık boyutu, çeşit/kabuk oranı ve depolama koşulları gibi hammadde faktörleri de verimi düşürebilir.

Çizelge 4.1 incelendiğinde, hardal tohumunda en yüksek yağ verimi %23,87±4,60 olarak, 100 °C sıcaklık ve 25 rpm vida dönüş hızı koşullarında elde edilmiştir. Çörek otunda ise en yüksek yağ verimi %24,23±16,77 olup, bu sonuç 100 °C sıcaklık ve 35 rpm dönüş hızı koşullarında gözlemlenmiştir. Çörek otunda daha yüksek verimin, daha yüksek vida dönüş hızında elde edilmesi; bu tohumun hardala kıyasla daha sert yapıda olması ve yağ hücrelerinin parçalanabilmesi için daha fazla mekanik enerjiye ihtiyaç duyması ile

açıklanabilir. Hardal tohumu yağında genel ortalama yağ verimi %20,22 olarak belirlenmiştir. Geçgel vd. (2016), yabani hardal tohumlarının yaklaşık %25-35 oranında yağ içerdiğini bildirmiştir. Grygier (2022) ise yaptığı çalışmada, hardal tohumlarının yağ oranlarını %23 ile %47 arasında tespit etmiştir. Bu çalışmada elde edilen veriler, standart sapma değerleri de göz önünde bulundurularak değerlendirildiğinde, literatürde bildirilen değerlerle büyük ölçüde uyumludur.

4.1.2. Serbest asitlik

Çörek otu tohumlarından elde edilen yağların serbest asitlik değerleri 12,71±1,57 ila 16,55±5,13 arasında hardal tohumlarından elde edilen yağlar 1,72±0,38 ila 5,55±6,10 arasındaki değerler olarak belirlenmiştir. Serbest asitlik düzeyinin yüksek olması, yağların kalite açısından olumsuz bir durum olduğundan, en düşük serbest asitlik değeri hardal tohumu için %1,72±0,38 olup, bu sonuç 90 °C sıcaklık ve 25 rpm vida hızı koşulunda elde edilmiştir. Çörek otu için en düşük serbest asitlik ortalama %12,71±1,57 olarak, 90 °C sıcaklık ve 30 rpm dönüş hızında kaydedilmiştir. Serbest asitlik düzeyinin, küspelerdeki nem miktarından etkilenebileceği göz önünde bulundurulduğunda, çörek otu tohumlarında daha yüksek serbest asitlik oranlarının gözlemlenmesi; bu tohumların hardala kıyasla daha yüksek nem içeriğine sahip olmasıyla açıklanabilir. Geçgel vd. (2016), serbest yağ asitliğini %0,30 (oleik asit cinsinden) olarak belirtmiştir. Yeasmin vd. (2021) ise hardal yağında serbest asitlik oranını %0,15±0,006 olarak tespit etmiştir. Söz konusu farklılıkların, kullanılan tohum çeşidi ve uygulanan işlem koşullarından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Çizelge 4.1. Soğuk pres işleminden elde edilen fazlara ait fizikokimyasal analiz bulguları

	Sıcaklık (°C)	Dönüş hızı (rpm)	Küspesi						Pres Yağı		
			Nem (%)	L*	a*	b*	pH	Su aktivitesi	Verim (%)	Serbest asitlik (%)	Renk İndeksi
ÇÖREKOTU	80	25	9,02±0,19	17,12±0,14	-2,48±0,05	6,51±0,04	6,25±0,23	0,538±0,033	23,22±4,21	15,79±2,57	-16,27±0,66
	100	25	9,19±0,25	15,95±0,25	-2,55±0,05	6,38±0,02	6,18±0,28	0,540±0,038	18,88±2,71	14,88±3,25	-6,76±9,54
	80	35	9,03±0,17	15,53±0,14	-2,55±0,08	6,43±0,16	6,34±0,05	0,556±0,001	21,05±1,80	16,55±5,13	-11,25±16,84
	100	35	9,16±0,29	16,05±0,09	-2,45±0,07	6,54±0,07	6,32±0,11	0,551±0,002	24,23±16,77	16,15±1,42	-5,50±27,27
	80	30	9,00±0,27	16,53±0,16	-2,47±0,01	6,52±0,04	6,37±0,04	0,552±0,022	19,62±5,68	13,54±0,93	-9,51±20,25
	100	30	9,14±0,26	17,12±0,14	-2,45±0,09	6,55±0,11	6,22±0,23	0,551±0,001	19,69±1,07	15,53±0,42	-8,22±24,58
	90	25	8,92±0,30	16,76±0,35	-2,47±0,08	6,53±0,14	6,37±0,03	0,562±0,005	22,97±1,63	14,10±1,19	-16,20±9,04
	90	35	9,03±0,12	16,68±0,01	-2,45±0,08	6,48±0,10	6,34±0,06	0,561±0,009	20,32±2,64	13,45±0,62	-9,94±19,42
	90	30	9,13±0,71	16,38±0,57	-2,53±0,07	6,37±0,12	6,24±0,09	0,531±0,037	23,11±4,31	12,71±1,57	-16,83±22,17
HARDAL	80	25	6,88±0,51	37,15±2,91	4,80±0,40	29,17±0,31	5,58±0,03	0,472±0,000	22,33±1,88	2,20±0,61	12,20±4,07
	100	25	7,38±1,10	36,98±6,31	5,07±1,89	30,12±5,84	5,73±0,47	0,488±0,031	23,87±4,60	4,51±0,37	18,23±10,60
	80	35	7,56±0,44	34,56±1,73	5,36±0,92	28,97±2,21	5,84±0,03	0,452±0,002	14,23±0,02	5,55±6,10	11,72±8,20
	100	35	6,91±0,36	35,71±0,13	5,20±0,16	29,70±0,24	5,87±0,23	0,469±0,003	14,29±3,01	3,47±0,32	6,96±0,78
	80	30	6,96±0,30	36,74±1,12	4,14±1,39	27,93±2,69	5,82±0,33	0,456±0,004	23,61±2,94	3,61±0,22	13,20±7,97
	100	30	6,71±0,15	31,85±1,20	4,89±0,89	27,54±1,27	5,35±0,02	0,458±0,011	17,25±7,63	2,40±0,71	19,53±7,21
	90	25	6,77±0,06	37,77±2,11	6,01±0,01	28,66±3,72	5,60±0,35	0,455±0,004	19,08±2,06	1,72±0,38	9,30±3,47
	90	35	6,38±0,09	36,43±1,23	5,24±0,31	30,48±0,95	6,22±0,05	0,466±0,002	15,78±1,61	5,05±2,45	7,81±2,51
	90	30	7,14±0,34	37,79±3,04	5,37±0,73	30,76±2,24	5,43±0,08	0,482±0,015	22,48±1,07	2,94±0,92	9,17±3,67

4.1.3. Renk indeksi

Çizelge 4.1'de, hardal ve çörek otu tohumlarından elde edilen yağlara ait renk indeks değerleri sunulmuştur. Elde edilen ortalama renk indeks değerleri çörek otu için -11,16, hardal tohumu için ise 12,01 olarak hesaplanmıştır.

Fernández-Vázquez vd. (2011) bilgisayarlı görme ile portakal suyunun renk özelliğinin duyusal değerlendirilmesi arasındaki ilişkiyi araştırmıştır. Ton (R=0,96) ve açıklık (R=0,92) panelistlerin renk değerlendirmesi ile görüntü değerleri arasında iyi bir korelasyona sahip olduğu fakat renk parlaklığı (R=0,069) arasında iyi bir korelasyon olmadığını tespit etmiştir.

Moyano vd. (2008), İspanya'da yetiştirilmiş zeytinlerden elde edilen yağların renk analizlerini UV-Vis diyot dizi spektrofotometresinde 5 mm genişliğinde kuvars küvetler kullanarak gerçekleştirmiştir. 380–770 nm dalga boyu aralığındaki tüm görünür spektrumlar 2 nm aralıklarla ölçülmüş ve kaydedilmiştir. Tüm ölçümler, yağ ekstraksiyonlarının tamamlanmasını takiben en geç 1 saat içinde yapılmıştır. Örneklerin pigment içerikleri (klorofil 0,15–61,96 mg/kg; karotenoid 0,53–31,51 mg/kg) renk açısından önemli farklılıklar göstermiştir. Analizler, renk parametrelerinin klorofilden çok karotenoid içeriği ile ilişkili olduğunu, baskın dalga boyunun ise her iki pigmentle de zayıf bir ilişki gösterdiğini ortaya koymuştur. Sonuç olarak, örneklerin renk özelliklerinin belirlenmesinde karotenoidlerin temel etken olduğu söylenebilir.

4.1.4. Yağ asidi kompozisyonu

Çizelge 4.2'de yer alan verilere göre, hardal tohumu yağında baskın yağ asidi erüsik asit olarak belirlenmiş; miktarının %57,73 ile %58,14 arasında değiştiği görülmüştür. Erüsik asidi, %21,21-21,75 aralığında değişen oleik asit ve ardından %13,56-13,83 aralığında linoleik asit izlemiştir. En yüksek erüsik asit oranı (58,137), 100°C ve 30 rpm dönüş hızında tespit edilmiştir. Bu durum yüksek sıcaklığın hücre yapısını parçalamasını kolaylaştırarak yağ ile yağ asitlerinin daha etkin bir şekilde serbestleşmesinden kaynaklanmaktadır. Buna karşı 80°C sıcaklık ve 30 rpm dönüş hızı koşullarında en düşük erüsik asit (57,485) oranı

ölçülmüştür. Ayrıca en yüksek linoleik asit oranı da (13,825), 80°C sıcaklık ve 30 rpm dönüş hızı koşullarındadır.

Jinadasa vd. (2022), Hindistan menşeli hardal yağlarında erüsik asit oranını %48,05-54,02 arasında raporlamıştır. Eryılmaz (2009), yabani hardal tohumlarından elde ettiği yağlarda %33,95±0,0276 oranında erüsik asit ve %16,04±0,0555 oranında oleik asit bulunduğunu belirtmiştir. Geçgel vd. (2016), yabani hardal tohumu yağında %20-28 oleik asit, %10-12 linoleik asit, %9-9,5 linolenik asit ve %30-40 erüsik asit oranlarına ulaşmıştır. Bu çalışmada tespit edilen erüsik asit miktarı, literatürde yer alan birçok değere kıyasla daha yüksek bulunmuştur. Antova vd. (2017) ise gerçekleştirdikleri çalışmada; erüsik (%28,0-%53,2), oleik (%13,7-%25,1), palmitik (%3,9-%5,2), gadoleik (%9,4-%14,2) ve linoleik asit (%4,9-%17,4) oranlarını raporlamıştır. Söz konusu bulgular, bu çalışmada elde edilen verilerle büyük ölçüde uyumludur.

Çizelge 4.2. Hardal tohumu yağında yağ asidi kompozisyonu (%)

Yağ Asitleri	**Örnek Kodları**								
	H1	**H2**	**H3**	**H4**	**H5**	**H6**	**H7**	**H8**	**H9**
Miristik Asit (C14:0)	0,027	0,026	0,027	0,025	0,025	0,027	0,025	0,025	0,025
Palmitoleik Asit (C16:1)	0,165	0,172	0,168	0,157	0,158	0,175	0,171	0,159	0,142
Palmitik Asit (C16:0)	2,292	2,31	2,295	2,312	2,332	2,263	2,303	2,292	2,273
Heptadesenoik Asit (C17:1)	0,051	0,034	0,037	0,038	0,028	0,038	0,033	0,033	0,026
Heptadekanoik Asit (C17:0)	0,017	0,018	0,017	0,018	0,016	0,017	0,016	0,018	0,017
Linoleik Asit (C18:2)	13,634	13,802	13,738	13,741	13,825	13,557	13,718	13,74	13,698
Oleik Asit (C18:1)	21,466	21,489	21,4	21,573	21,557	21,205	21,513	21,57	21,75
Stearik Asit (C18:0)	0,935	0,929	0,957	0,958	0,954	0,969	0,953	0,964	0,96
Araşidik Asit (C20:0)	0,957	0,962	0,975	0,952	0,968	0,963	0,964	0,971	0,951

Erüsik Asit (C22:1)	57,733	57,581	57,726	57,622	57,485	58,137	57,674	57,585	57,538
Behenik Asit (C22:0)	1,59	1,599	1,592	1,563	1,597	1,573	1,568	1,579	1,572
Lignoserik Asit (C24:0)	1,132	1,079	1,067	1,041	1,055	1,075	1,06	1,064	1,049

Çizelge 4.3'te çörek otu yağına ait yağ asidi kompozisyonu sunulmuştur. Elde edilen verilere göre, çörek otu yağında baskın yağ asidi linoleik asit olup, bu yağ asidinin oranı %58,40 ile %59,11 arasında değişmiştir. Linoleik asidi, %24,99-25,83 aralığında tespit edilen oleik asit takip etmiştir. Üçüncü sırada yer alan yağ asidi ise palmitik asit olup, oranı %11,96 ile %12,17 arasında değişmiştir. Numuneler arasında yapılan karşılaştırmada yağ asidi dağılımı işleme koşullarına göre farklılık göstermiştir. Palmitik asit ve linoleik asit oranlarının en yüksek düzeyde olduğu deneme 90 °C sıcaklık ve 35 rpm dönüş hızında gerçekleştirilen sekizinci deneme olmuştur. Bu koşullar çoklu doymamış asitlerin ekstraksiyonunu arttırdığını göstermiştir. Bu koşullarda linoleik ve palmitik asit oranlarının yükselmesi ile, oleik asit oranı diğer denemelere kıyasla en düşük düzeyde kalmıştır. Oleik asitin yüksek bunduğu (25,827) 80 °C sıcaklık ve 30 rpm şartları tekli doymamış asitlerin korunmasına katkı sağlamıştır.

Aksoy (2022) tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada, çörek otu yağındaki baskın yağ asitlerinin linoleik asit (%48,30-57,85) ve oleik asit (%25,69-42,10) olduğu; ana doymuş yağ asidi olarak ise palmitik asidin (%5,32-10,91) bulunduğu belirtilmiştir. Ramadan ve Mörsel (2002), çörek otu yağı üzerine gerçekleştirdikleri çalışmada en yüksek oranlarda bulunan yağ asitlerinin palmitik asit, oleik asit ve linoleik asit olduğunu ifade etmiştir. Çeşitli ekstraksiyon yöntemleri ve analiz teknikleri kullanılmış olmasına rağmen, elde edilen yağ asidi profilleri arasında önemli ölçüde benzerlik gözlemlenmiştir. Özellikle palmitik asit (%10,14-13), oleik asit (%24,1-28,32) ve linoleik asit (%56,51-58,49) oranlarının gösterdiği tutarlılık, çörek otu yağının temel yağ asidi bileşimi açısından belirgin bir istikrar sergilediğini göstermektedir. Literatürde bildirilen bu bulguların, mevcut çalışmada elde edilen verilerle büyük ölçüde örtüştüğü görülmektedir.

Çizelge 4.3. Çörek otu yağında yağ asidi kompozisyonu (%)

Yağ Asitleri	Örnek Kodları								
	Ç1	**Ç2**	**Ç3**	**Ç4**	**Ç5**	**Ç6**	**Ç7**	**Ç8**	**Ç9**
Miristik Asit (C14:0)	0,134	0,131	0,129	0,134	0,129	0,136	0,134	0,137	0,127
Palmitoleik Asit (C16:1)	0,206	0,2	0,198	0,206	0,176	0,201	0,185	0,184	0,201
Palmitik Asit (C16:0)	12,123	11,959	12,066	12,048	12,049	12,031	12,138	12,165	12,029
Heptadesenoik Asit (C17:1)	0,067	0,067	0,068	0,063	0,066	0,066	0,064	0,064	0,063
Heptadekanoik Asit (C17:0)	0,061	0,06	0,058	0,058	0,057	0,061	0,06	0,057	0,054
Linoleik Asit (C18:2)	58,664	59,044	58,68	58,816	58,408	58,809	58,648	59,111	58,864
Oleik Asit (C18:1)	25,372	25,307	25,542	25,461	25,827	25,501	25,478	24,99	25,406
Stearik Asit (C18:0)	3,123	2,995	3,017	2,971	3,042	2,955	3,052	3,036	2,99
Araşidik Asit (C20:0)	0,192	0,182	0,192	0,189	0,195	0,186	0,192	0,2	0,198
Behenik Asit (C22:0)	0,037	0,034	0,03	0,033	0,032	0,032	0,031	0,033	0,042
Lignoserik Asit (C24:0)	0,022	0,021	0,02	0,02	0,02	0,021	0,018	0,022	0,027

4.2. Soğuk Pres Küspelerine (Atık) Ait Bulgular

4.2.1. Nem ve su aktivitesi bulguları

Yapılan analizler sonucunda, çörek otu soğuk pres küspesinde nem oranının en düşük %8,92±0,30, en yüksek ise %9,19±0,25 olduğu belirlenmiştir. Bu değerlerin elde edildiği soğuk pres koşulları sırasıyla 90°C-25 rpm ve 100°C-25 rpm olarak kaydedilmiştir. Çörek otu küspesine ait su aktivitesi değerleri 0,531±0,037 ile 0,562±0,005 arasında değişmekte olup, ortalama su aktivitesi 0,549 olarak hesaplanmıştır. Ancak çörek otu küspesi ile ilgili akademik kaynaklara ulaşılamamıştır.

Hardal tohumu soğuk pres küspesinde ise nem oranının %6,38±0,09 ile %6,96±0,30 aralığında değiştiği, ortalama nem oranının ise %6,97 olduğu tespit edilmiştir. Bu değerlerin elde edildiği pres koşulları 90°C-35 rpm ve 80°C-30 rpm şeklindedir. Su aktivitesi açısından değerlendirildiğinde, en düşük ve en yüksek su aktivite değerlerinin sırasıyla 0,452±0,002

ve 0,488±0,031 olduğu belirlenmiş; ortalama değer ise 0,467 olarak hesaplanmıştır. Ünay vd. (2019) tarafından yapılan bir çalışmada, yazlık ve kışlık olarak ekimi gerçekleştirilen hardal bitkisinden soğuk sıkım yöntemiyle elde edilen yağdan arta kalan küspeye ilişkin ham besin madde analizlerinde, kuru madde miktarının %93,74±0,175 olduğu ve bu doğrultuda nem oranının yaklaşık %6,26 olarak hesaplandığı bildirilmiştir. Bu bulguların, yapılan çalışma sonuçlarıyla benzerlik gösterdiği görülmektedir. Küçükyıldırım (2024) ayçiçeği, pamuk ve soya küspesinin nem oranını en çok %12 olarak bulmuştur. Meram ve Tontul (2024) çalışmasından elde edilen bulgular, kurutulmuş fındık protein izolatlarının kuru madde içeriklerinin %94,83 ile %98,64 arasında değiştiğini, su aktivitesi değerlerinin ise 0,210 ile 0,284 arasında olduğunu göstermiştir.

Genel olarak değerlendirildiğinde, uygulanan soğuk pres koşulları altında çörek otu küspesinin, hardal küspesine kıyasla daha yüksek nem içeriğine ve su aktivitesine sahip olduğu anlaşılmaktadır. Bu durumun, çörek otu tohumlarının başlangıç nem içeriğinin daha yüksek olmasından kaynaklanabileceği düşünülmektedir.

4.2.2. pH değeri bulguları

Yapılan analizler doğrultusunda, çörek otu soğuk pres küspesinde pH değerlerinin 6,18±0,28 ile 6,37±0,03 arasında değiştiği belirlenmiştir. Bu değerlerin elde edildiği pres koşulları sırasıyla 100°C-25 rpm ile 80°C-30 rpm (ayrıca 90°C-25 rpm) olarak tespit edilmiştir.

Hardal tohumu soğuk pres küspesinde ise çörek otuna kıyasla daha düşük pH değerleri elde edilmiştir. Ortalama pH değeri 5,71 olarak belirlenirken, en düşük ve en yüksek değerler sırasıyla 5,35±0,02 ve 5,87±0,23 şeklinde ölçülmüştür. Bu değerlerin elde edildiği koşullar 100°C-30 rpm ve 100°C-35 rpm olarak kaydedilmiştir.

Giger-Reverdin vd. (2002) çalışmasında pH değerleri, nötre yakın soya küspesi (6,76) ile belirgin asidik mısır silajı (3,89) arasında değişmiş; bira tahılı, mısır glüten yemi, glüten unu ve mısır silajı yaklaşık pH ≈ 4 ile en asidik grubu oluşturmuş, kolza tohumu unu ise pH 5,69 (h,i,j) olarak belirlenmiştir.

4.2.3. Renk analizi bulguları

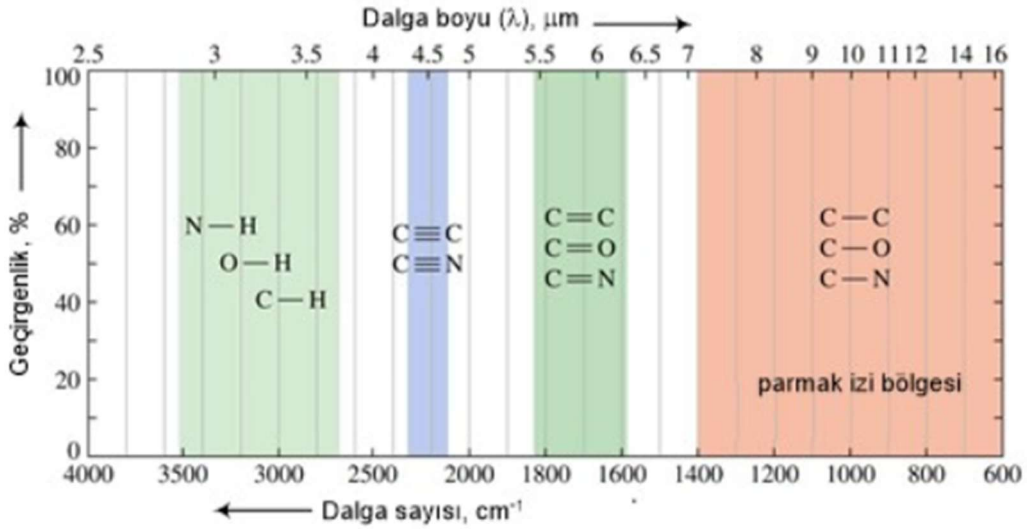
Çörek otu ve hardal tohumu soğuk pres küspelerine ait renk analiz sonuçları Çizelge 4.1'de sunulmuştur. Analizlerde, numunenin fizikokimyasal yapısı, ortam koşulları ve cihaz parametrelerinin etkili olması nedeniyle her numunede üçer ölçüm yapılmış ve ortalamalar esas alınmıştır. Hardal tohumu küspesinde ortalama L*, a* ve b* değerleri sırasıyla 36,11, 5,12 ve 29,26 olarak belirlenmiştir. Çörek otu küspesinde ise bu değerler sırasıyla 16,46, -2,49 ve 6,48 olarak analiz edilmiştir. Bu sonuçlar doğrultusunda, çörek otu küspesinin daha koyu renkli olduğu, hardal küspesinin ise sarı tonlarının daha baskın olduğu görülmektedir.

İşlem parametreleri dikkate alındığında, çörek otunda L*, a* ve b* değerlerinde önemli bir değişiklik gözlenmemiştir. Ancak hardal tohumu küspesinde L* değerinin 37,79±3,04 ile 31,85±1,20 arasında değiştiği belirlenmiştir. En açık renk 90°C-30 rpm koşulunda, en koyu renk ise 100°C-30 rpm'de elde edilmiştir. Bu durum, sıcaklık artışının küspe renginde koyulaşmaya neden olduğunu göstermektedir.

Petraru vd. (2021) iki farkı sıkım ile elde edilen ayçiçeği pres atığının renk analizini yaptığında kimyasal çözücü ile elde edilen ve soğuk sıkım ile elde edilen pres atıkları sırası ile L değerini 42,23±0,01, 46,29±0,01, a değerini 1,17±0,01, 1,57±0,01, b değerini ise 6,11±0,01, 8,90±0,01 olarak bulmuştur. Bu fark, soğuk sıkımın renk karakteristiklerini daha korunmuş halde bıraktığını, ekstraksiyonun ise daha koyu, renk yoğun bir ürün sağladığını göstermektedir.

4.2.4. FTIR bulguları

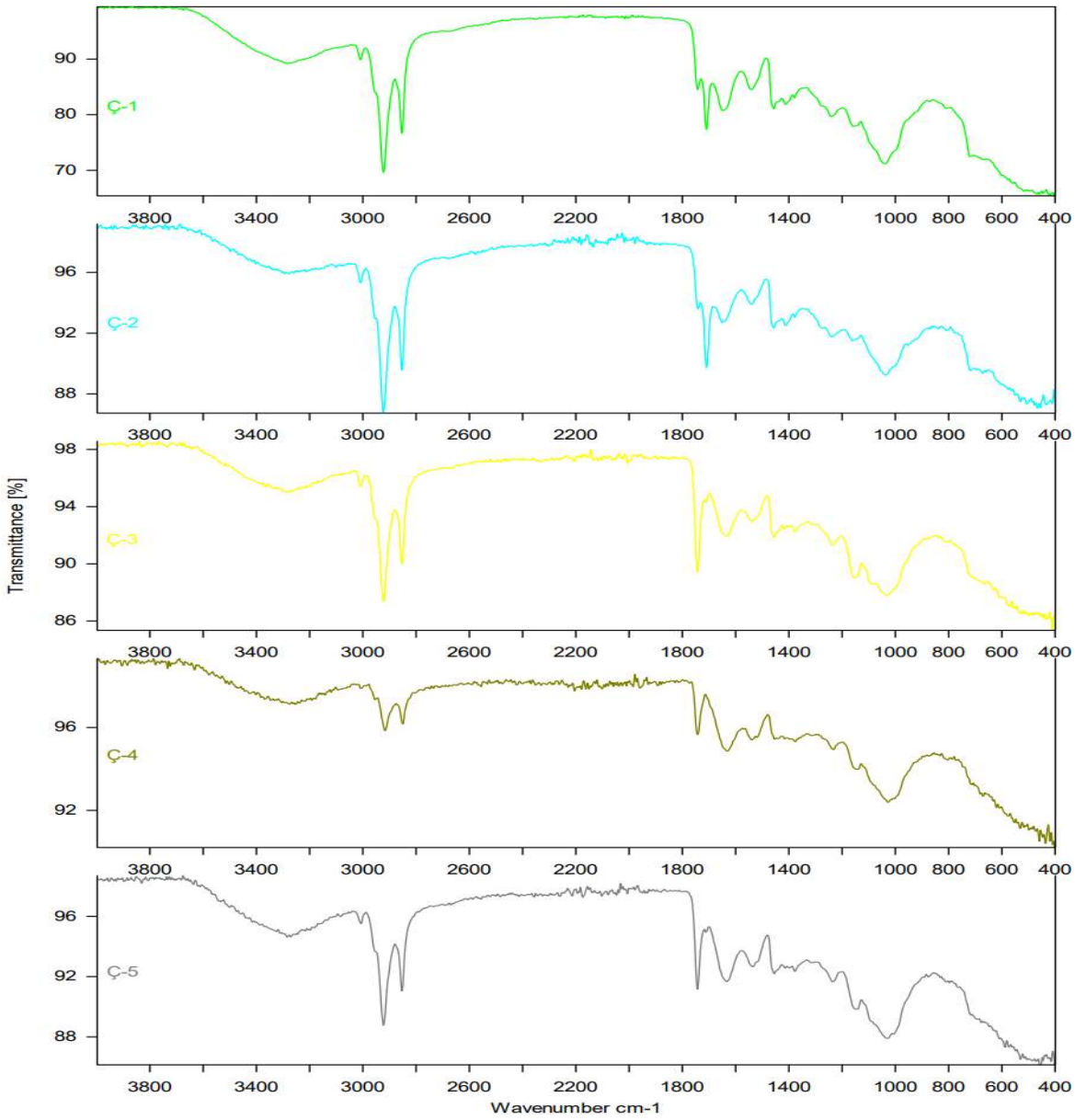
FTIR spektroskopisi, organik ve inorganik bileşenlerin karakterizasyonunda yaygın olarak kullanılan bir yöntem olup, elektromanyetik spektrum aracılığıyla çeşitli moleküllerin kimyasal profillerindeki değişimleri ortaya koyar (İçyer ve Durak, 2019; Çağlar vd., 2019). Bu çalışmada, elde edilen soğuk pres küspelerine ait FTIR spektrumlarının değerlendirilmesinde Şekil 4.2'de sunulan spektra çizelgesinden yararlanılmıştır (Beşergil, 2025).



Şekil 4.2. Spektra ilişki çizelgesi (Beşergil, 2025)

4.2.4.1. Çörek otu tohumu pres küspesinde FTIR

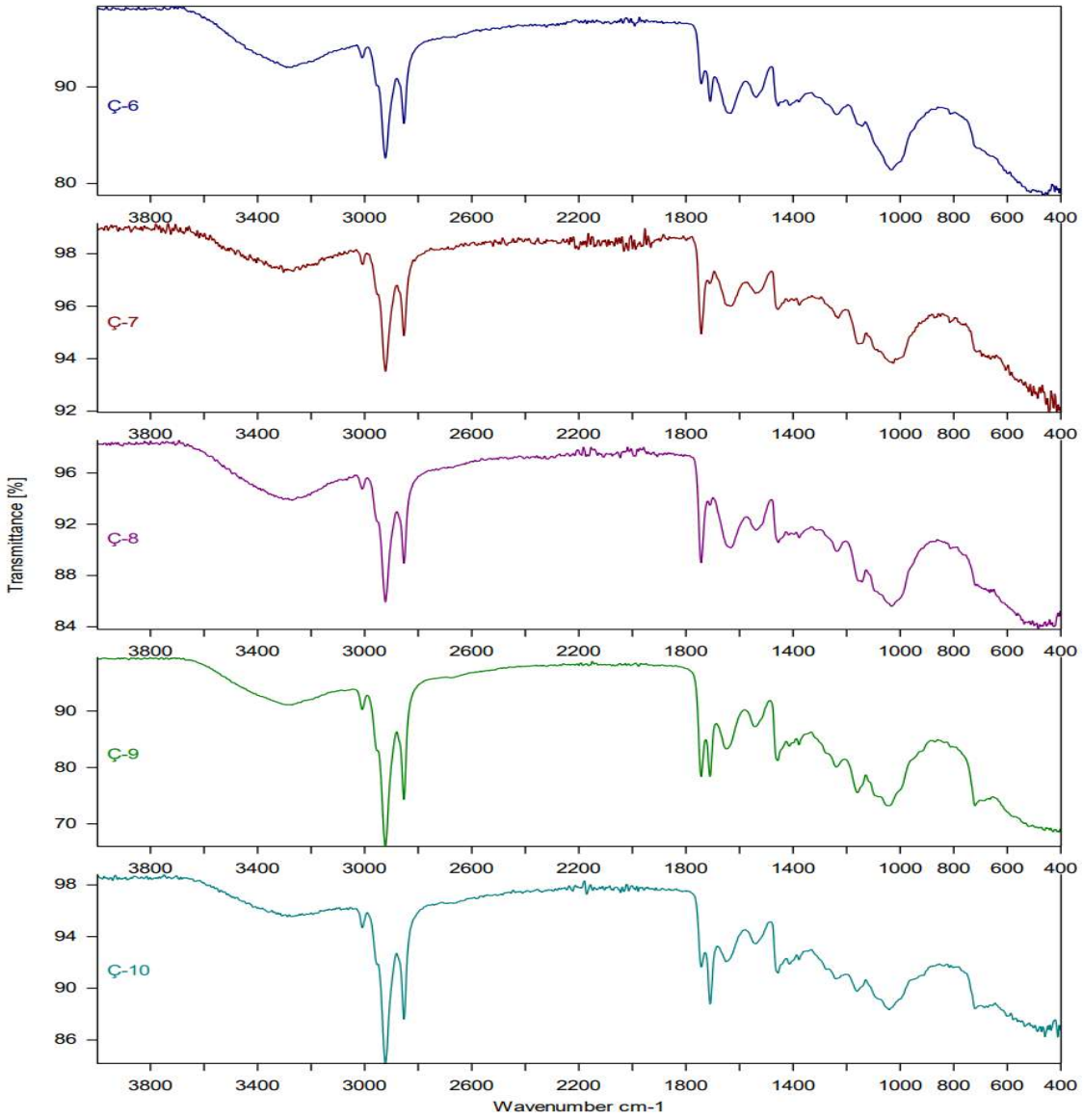
Çörek otu soğuk pres küspesine ait FTIR spektrumları, ilgili örneklerin kimyasal bileşimi hakkında bilgi vermektedir. Şekil 4.3 ile Şekil 4.7 arasında yer alan spektrumlar "C-1"den "C-26"ya kadar numaralandırılmış ve beşli gruplar hâlinde analiz edilmiştir. Spektrumlar, 4000-400 cm^{-1} aralığında kaydedilmiştir. Aşağıda, bu spektrumlara dayalı olarak yapılan yorumlara yer verilmiştir:



Şekil 4.3. Çörek otu tohumu pres küspesi FTIR analiz sonucu (Ç1-Ç5)

Şekil 4.3'te sunulan Ç1 numunesinde, 3200 ila 3400 cm^{-1} aralığında keskin bir pik gözlenmemiş, yalnızca -OH gerilmesine işaret eden bir bant belirlenmiştir. Bu bant, numunede su, alkol ya da fenolik bileşiklerin varlığına işaret edebilir. 2800-3000 cm^{-1} aralığında, yaklaşık %70 geçirgenlik gösteren keskin pik, sp^3 hibritleşmiş C-H bağ gerilmesine karşılık gelmektedir. 1700-1600 cm^{-1} aralığında gözlenen ve yaklaşık %80 geçirgenlik gösteren pik, C=C çift bağ gerilimiyle ilişkilidir. 1500 cm^{-1} civarındaki pik, aromatik C=C bağlarının gerilmesine karşılık gelir. 1400-400 cm^{-1} aralığı ise her maddeye özgü olan ve "parmak izi bölgesi" olarak adlandırılan kısmı oluşturmaktadır. Ç1, Ç2, Ç3 ve

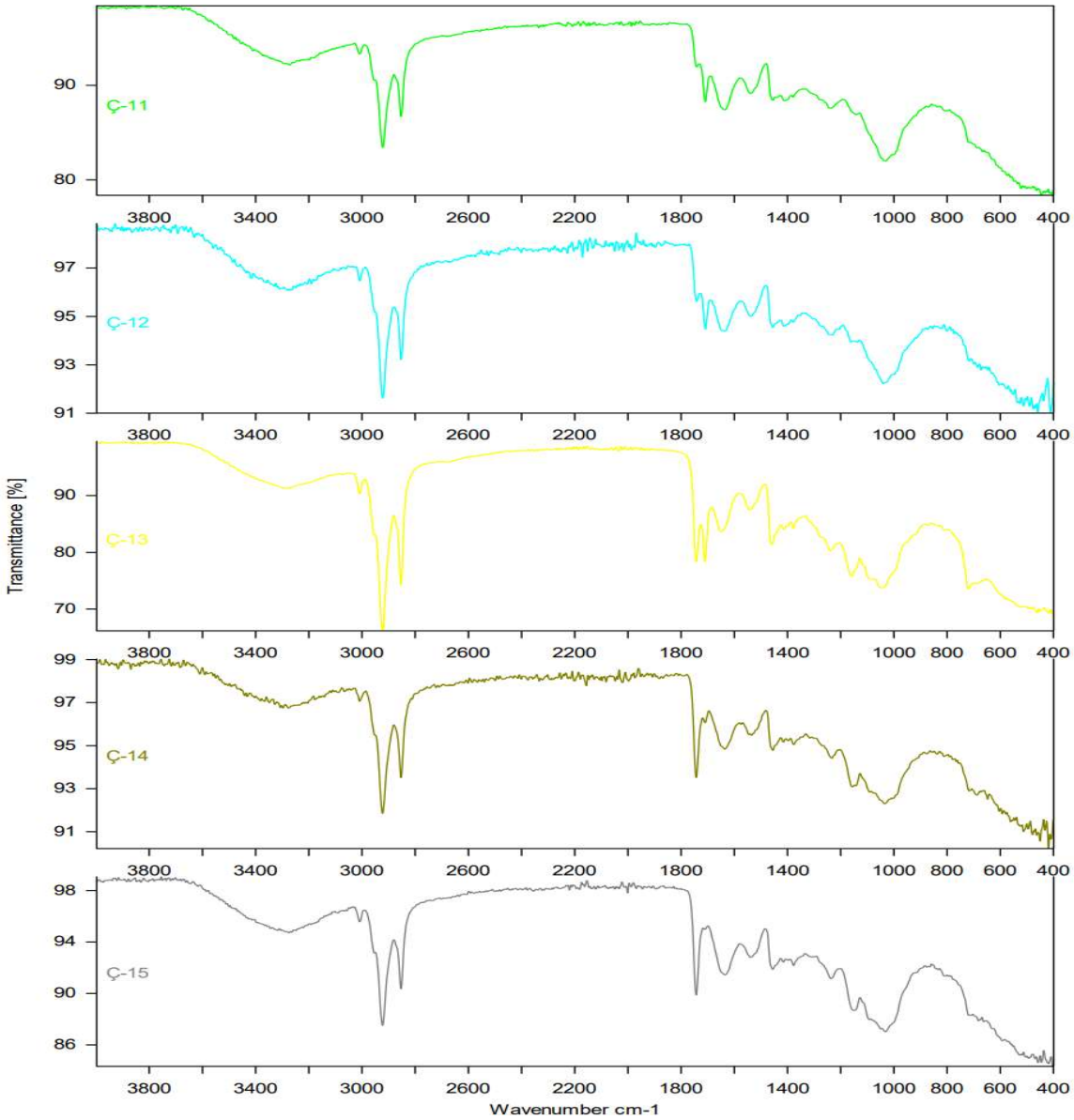
Ç5 örneklerinin benzer spektral özellikler gösterdiği, ancak Ç4 örneğinde aynı dalga sayısında daha yüksek (%96 üzeri) geçirgenlik değerlerinin gözlendiği belirlenmiştir. Ç4 örneğinde nem oranı %9,16 ile diğer örneklere göre daha yüksek bulunmuştur. Bu durum, FTIR spektrumunda bazı dalga sayılarında>%96'ya ulaşan geçirgenlik değerlerini açıklayıcı niteliktedir. Yüksek nem, matriste ışık saçılmasını artırarak etkin soğurmayı azaltmış ve özellikle lipit esterlerine karşılık gelen 1740 cm^{-1} bandı ile alifatik $–CH_2$/$–CH_3$ gerilme titreşimlerinin (3000–2800 cm^{-1}) bağıl şiddetini düşürmüştür. Sonuç olarak, Ç4'te gözlenen yüksek geçirgenlik, hem yüksek sıcaklıkta gerçekleşen daha etkin yağ uzaklaştırma süreci hem de görece yüksek nem içeriğinin optik etkileriyle ilişkilendirilebilir. Bu durum, Ç4 örneğinin ışığı daha az absorpladığını göstermektedir. Ç1 ve Ç3 örneklerinde lipit fraksiyonuna ait karakteristik sinyallerin daha belirgin olduğu tespit edilmiştir. Ç1 örneği 80 °C ve 25 rpm şartlarında, Ç3 örneği ise 80 °C ve 35 rpm şartlarında üretilmiştir. Her iki spektrumda da 3000 ve 2800 cm^{-1} dalga sayıları arasında görülen $–CH_2$/$–CH_3$ gerilme titreşimleri ile yaklaşık 1750 cm^{-1}'deki ester karbonil (C=O) bantlarının şiddetinin yüksek olması, küspede anlamlı miktarda artık trigliserit ve serbest yağ asidi bulunduğuna işaret etmektedir. Bu durum, presleme parametrelerinin (vida devri ve kalış süresi) lipit ekstraksiyon verimini doğrudan etkilediğini göstermektedir.



Şekil 4.4. Çörek otu tohumu pres küspesi FTIR analiz sonucu (Ç6-Ç10)

Şekil 4.4'te yer alan 6, 7, 8, 9 ve 10 numaralı örneklerin spektrumları incelendiğinde, Ç7 numunesinde 2800-3000 cm^{-1} aralığında %92-94 geçirgenlik gösteren belirgin bir pik gözlenmiştir. Bu pik, sp^3 hibritleşmiş C-H bağlarının gerilmesini ifade etmektedir. Ç6 numunesinde ise keskin piklerin bulunmadığı ve C=C çift bağ geriliminin gözlenmediği tespit edilmiştir. Diğer numunelerde, 1700-1600 cm^{-1} aralığında %80'e yakın geçirgenlik değerlerine sahip pikler, C=C çift bağ gerilimini işaret etmektedir. Ayrıca, 1500-400 cm^{-1} aralığındaki parmak izi bölgesinin her örnek için özgün karakteristikler sunduğu görülmüştür. Ç6 örneği 100 °C ve 30 rpm koşullarında üretilmiş olup spektrumda lipitlere ait bantların (3000–2800 cm^{-1} ve 1750 cm^{-1}) belirgin olduğu görülmüştür. Yüksek sıcaklık

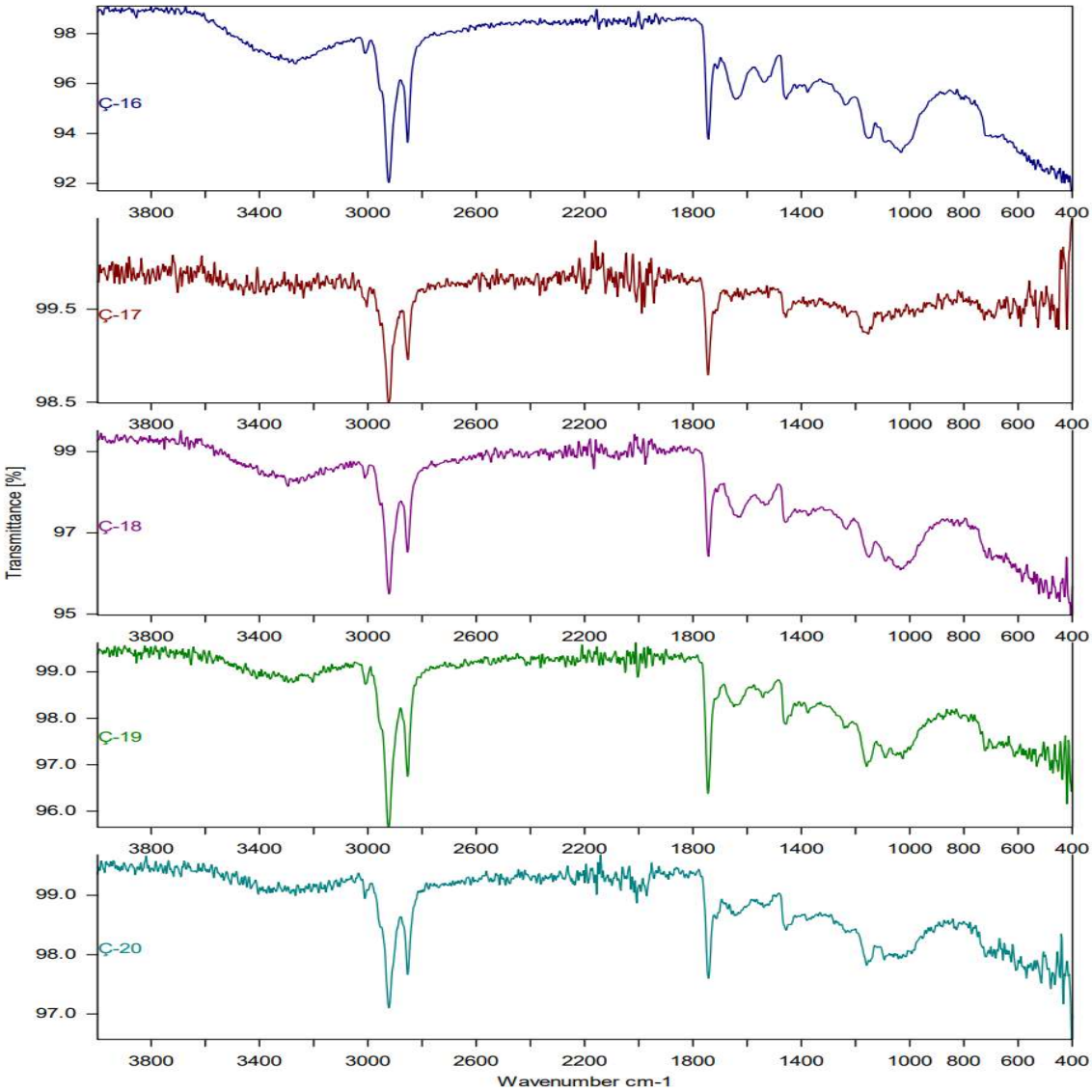
koşulu yağ ekstraksiyon verimini artırsa da orta devir sayısının (30 rpm) sağladığı görece uzun kalış süresi nedeniyle küspede bir miktar lipit kalıntısı tespit edilmiştir. Buna karşın geniş O–H bandının dar yapıda olması, nem oranının diğer örneklere kıyasla daha düşük olabileceğine işaret etmektedir. Ç8 örneği 90 °C ve 35 rpm koşullarında elde edilmiş olup lipit bantlarının şiddetinin (1740 cm^{-1} ve 2925–2853 cm^{-1}) diğer örneklere göre daha güçlü olduğu gözlenmiştir. Yüksek vida devri (35 rpm), kısa kalış süresine neden olarak yağ ekstraksiyon verimini azaltmış ve küspede daha fazla yağ kalıntısı bırakmıştır. Bu durum, spektrumda lipitlere ait karakteristik piklerin belirginleşmesine yol açmıştır. Polisakkarit bantlarının ise orta düzeyde olduğu görülmektedir. Ç9 örneği 90 °C ve 30 rpm koşullarında preslenmiş ve spektrumda lipit ile polisakkarit bantlarının dengeli bir şekilde yer aldığı belirlenmiştir. Orta devir hızı, Ç7'ye kıyasla daha kısa kalış süresi sağladığından lipit kalıntısı bir miktar daha fazla kalmıştır; ancak Ç8 kadar güçlü lipit sinyalleri sergilememektedir.



Şekil 4.5. Çörek otu tohumu pres küspesi FTIR analiz sonucu (Ç11-Ç15)

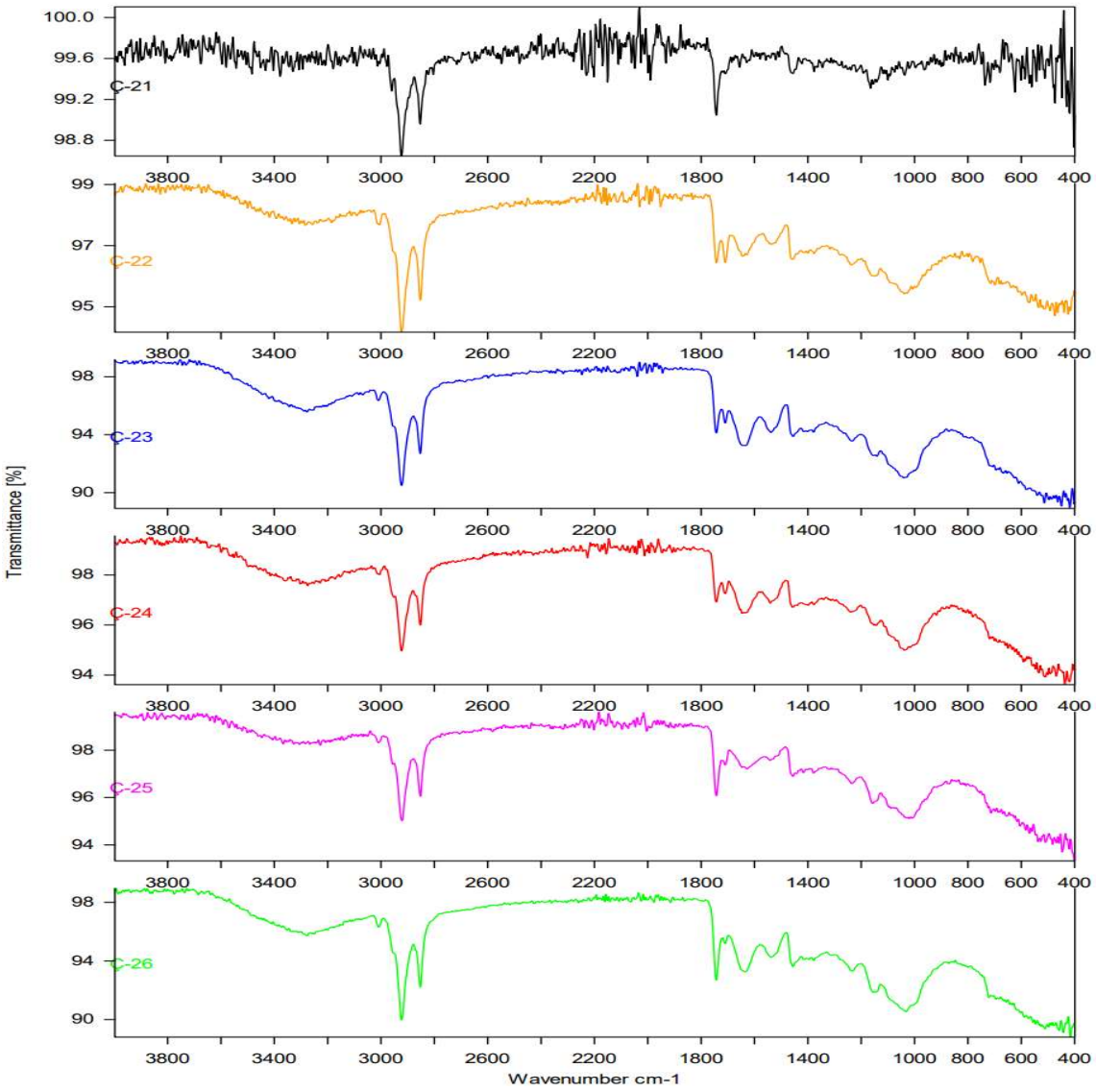
Şekil 4.5'te yer alan Ç11 ve Ç12 numunelerinde, 3200 cm^{-1} civarında geniş bir bant gözlenmiş olup, bu bant -OH gruplarının varlığına işaret etmektedir. 2800-3000 cm^{-1} aralığında %92-94 geçirgenlik gösteren keskin pikler ise -CH_2 ve -CH_3 gerilmeleri ile ilişkilendirilmiş; bu da lipid, selüloz ya da yağ asitlerinin varlığını düşündürmektedir. Ayrıca, 1000-1400 cm^{-1} aralığında gözlenen karmaşık yapı, protein ya da polisakkarit bileşiklerinin varlığına işaret etmektedir. Bununla birlikte, Ç13, Ç14 ve Ç15 numunelerinin spektral yapılarında benzerlik gözlenmiş, yalnızca geçirgenlik oranlarında farklılık tespit edilmiştir.

Rakita vd. (2023) kolza tohumu, kenevir tohumu, keten tohumu, ayçiçeği, ketencik ve kabak çekirdeği olmak üzere soğuk preslenmiş altı yağlı tohum pres keklerinin kimyasal bileşimini incelemiştir. Soğuk preslenmiş yağlı tohum pres atıklarının yüksek miktarda protein içerdiğini tespit etmişlerdir. En yüksek protein içeriği diğer pres atıklarına kıyasla %50,3 ile kabak çekirdeği olmuştur. Soğuk preslenmiş pres atıkları %8,9 ile %36,2 arasında değişen yüksek yağ içeriği ile karakterize edilmiştir. Bu sonuç mekanik preslemeden sonra yüksek miktarda yağın pres atığında kaldığını ifade etmiştir.



Şekil 4.6. Çörek otu tohumu pres küspesi FTIR analiz sonucu (Ç16-Ç20)

Şekil 4.6'da yer alan beş numunenin tümünde, 2850-2900 cm^{-1} aralığında %92-98,5 arasında değişen geçirgenlik gösteren pikler tespit edilmiştir. Bu pikler, alifatik sp^3 -CH bağları ile ilişkilendirilmiş olup, yağ asitlerinin varlığını desteklemektedir.

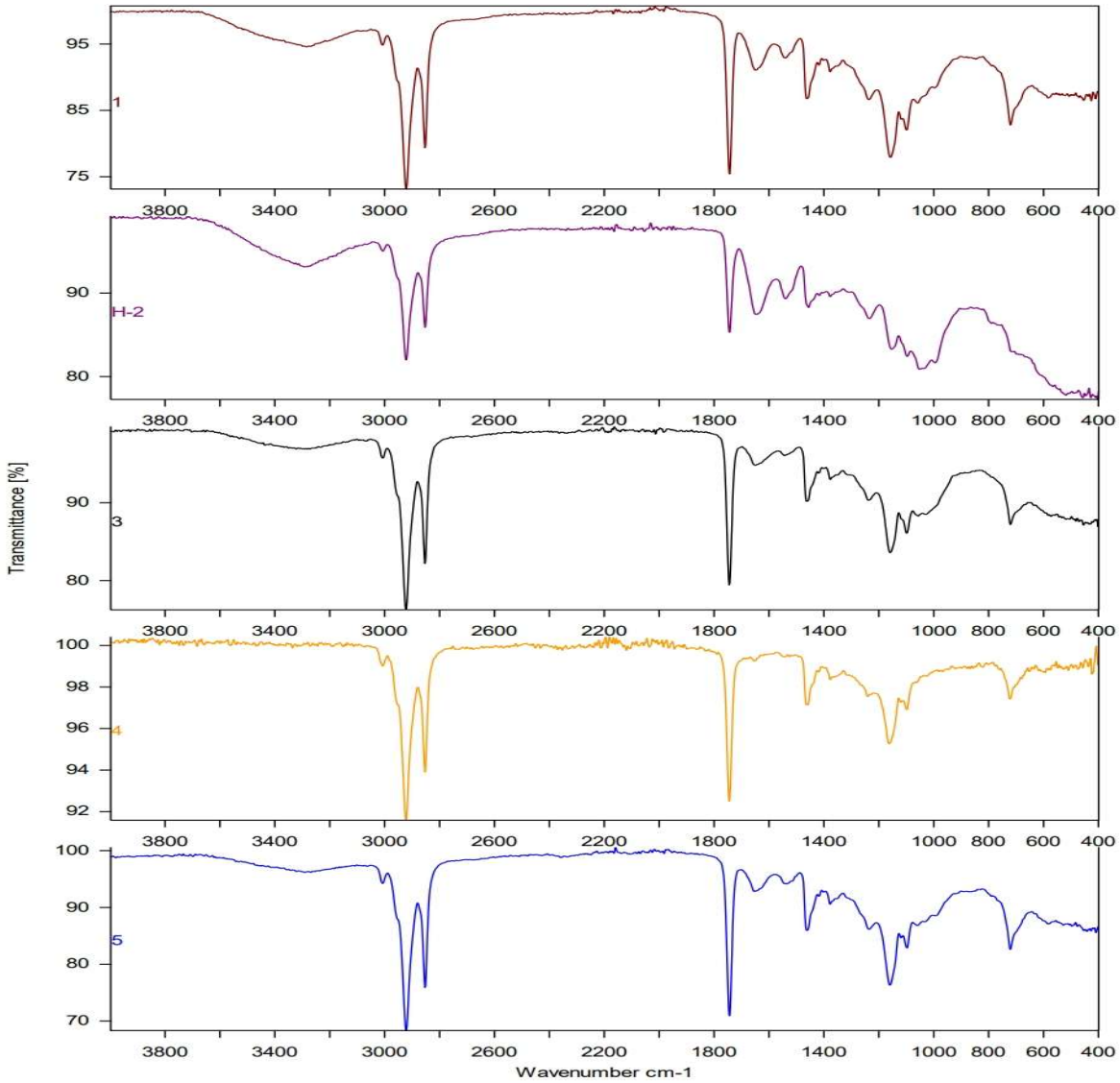


Şekil 4.7. Çörek otu tohumu pres küspesi FTIR analiz sonucu (Ç21-Ç26)

Şekil 4.7'deki analizler de önceki spektrumlarla benzer sonuçlar sunmuştur. Genel değerlendirme sonucunda, çörek otu pres küspesinde aromatik bileşikler, proteinler, yağ asitleri, selüloz ve hemiselülozların var olduğu ifade edilebilir. Özdemir (2023), ayçiçeği küspesinin yüksek düzeyde protein içerdiğini; kabuksuz örneklerde %46,8, kabuklu örneklerde ise %32,3 oranında olduğunu belirtmiştir.

4.2.4.2. Hardal tohumu pres küspesinde FTIR

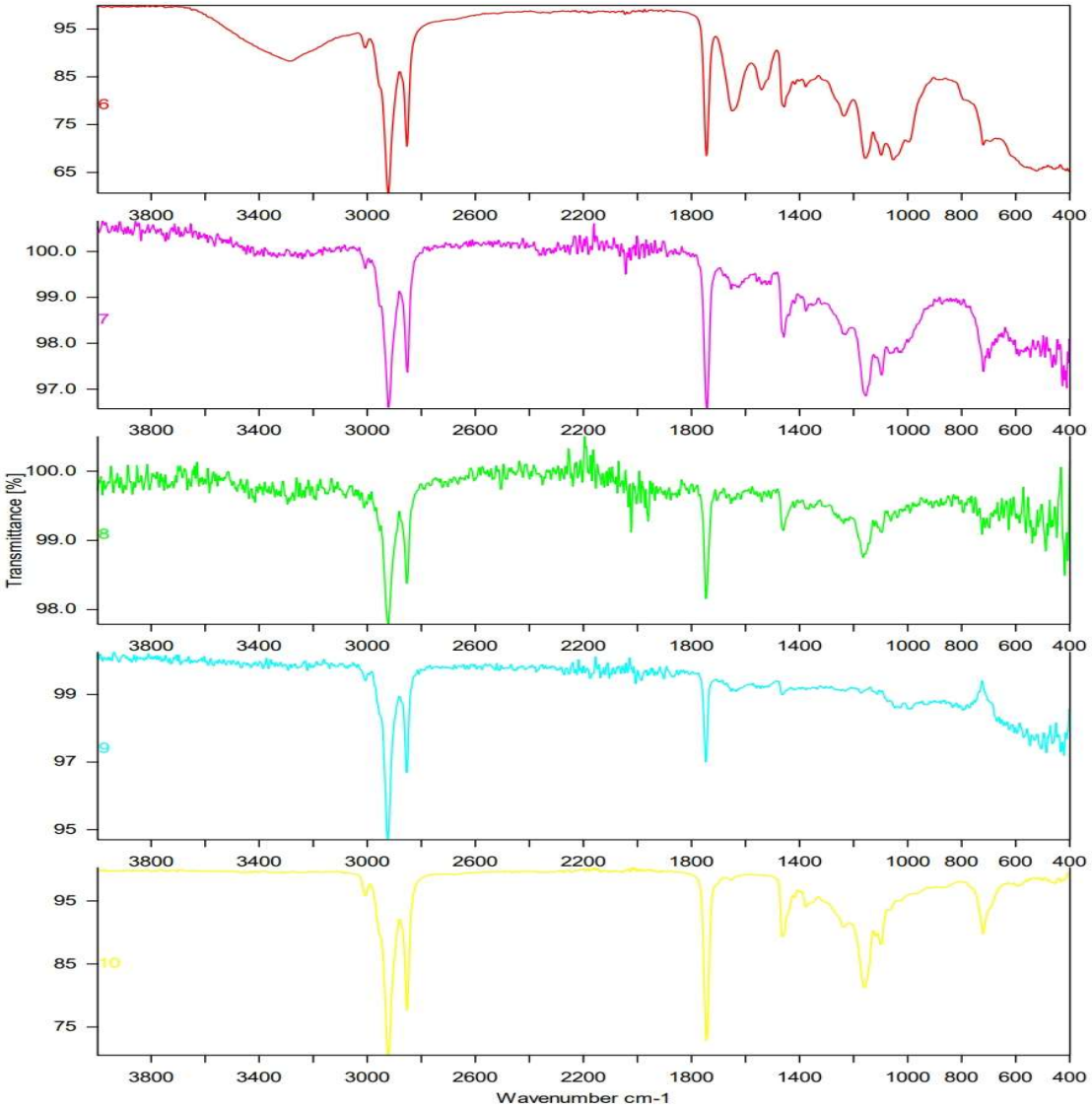
Şekil 4.8 ile Şekil 4.12 arasında, hardal tohumu pres küspelerine ait FTIR spektrumları sunulmuştur. Bu spektrumlar, 4000-400 cm^{-1} aralığında kaydedilmiştir. Deneme dizaynına göre toplamda 26 adet numunenin FTIR değerlendirmesi gerçekleştirilmiş ve aşağıda açıklanmıştır:



Şekil 4.8. Hardal tohumu pres küspesi FTIR analiz sonucu (H1-H5)

Şekil 4.8'de yer alan hardal tohumu pres küspesi örneklerinde, 3400–3200 cm^{-1} aralığındaki geniş bant, nem ve hidroksil gruplarına karşılık gelen O–H gerilmesi ile ilişkilidir. 2900-3000 cm^{-1} aralığında gözlenen net pikler, asimetrik C-H ($-CH_2$) gerilmesine

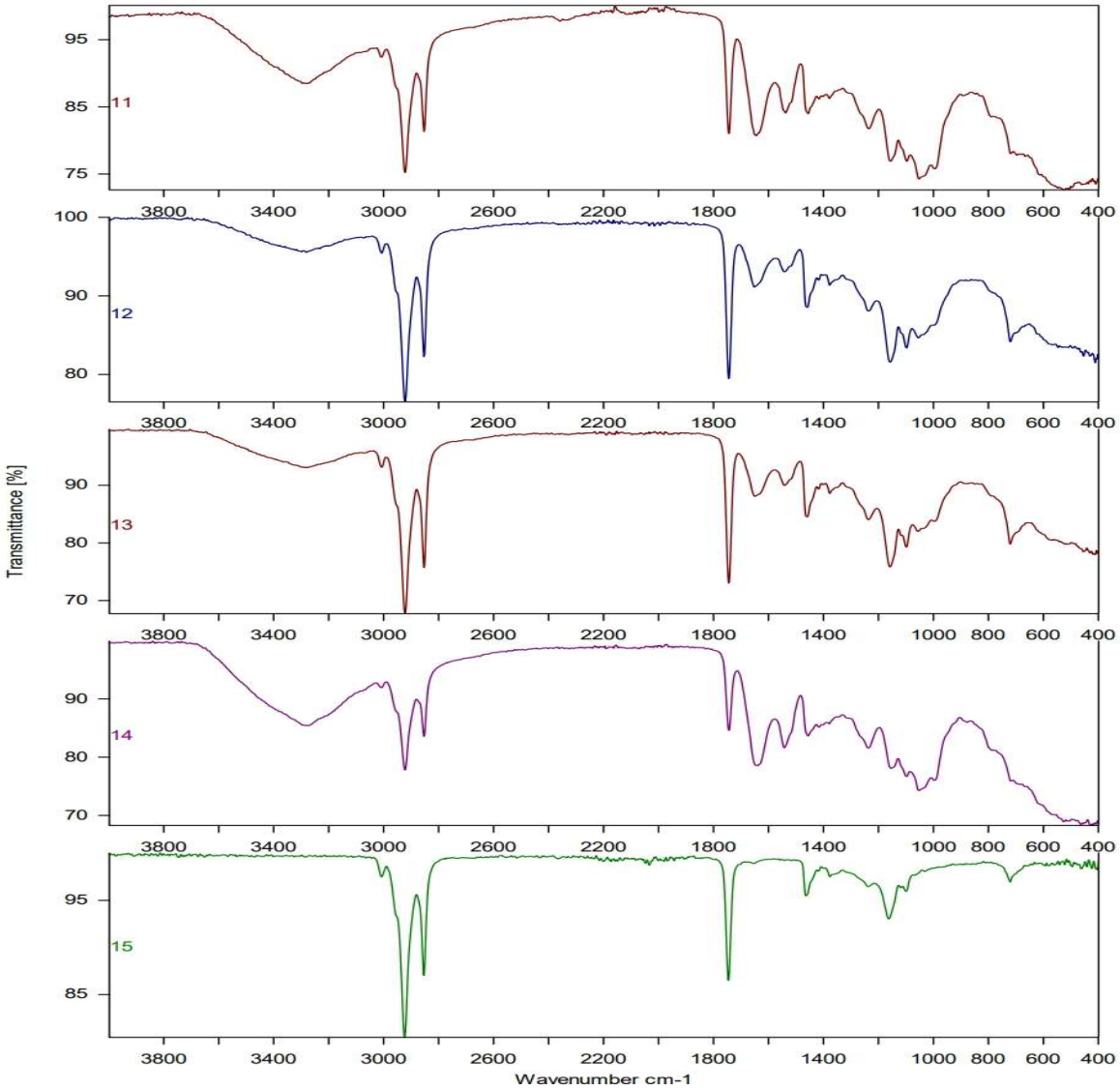
işaret etmekte ve alifatik zincir yapılarını temsil etmektedir. 2800-2900 cm^{-1} aralığında belirlenen pik ise simetrik C-H gerilmesine karşılık gelmekte olup, trigliserit ve lipit varlığını göstermektedir. Ayrıca, 1800-1700 cm^{-1} arasında gözlenen kuvvetli pik, C=O gerilmesi ile ilişkilendirilmiş ve yağ asitlerinin varlığına işaret etmiştir. Geçirgenlik değerlerinin %70 ile %95 arasında değiştiği belirlenmiştir. H2 örneği 100 °C ve 25 rpm koşullarında elde edilmiştir. Bu örnekte lipit bantlarının görece zayıfladığı, transmittans değerlerinin yüksek olduğu ve polisakkarit sinyallerinin öne çıktığı tespit edilmiştir. Yüksek rpm değerinin neden olduğu kısa kalış süresi, yağ ekstraksiyon verimini azaltmış ve küspede daha fazla yağ kalmasına yol açmıştır. Bu nedenle H3 spektrumu, lipit sinyalleri açısından en güçlü profillerden biri olarak öne çıkmaktadır. H4 örneği 100 °C ve 35 rpm koşullarında üretilmiştir. Bu örnekte sıcaklık etkisi yağ çıkışını kolaylaştırsa da yüksek rpm nedeniyle kısa kalış süresi oluşmuş ve yağ ekstraksiyonu tam verimli olamamıştır. Spektrumda hem lipit bantlarının hem de polisakkarit bantlarının belirgin olduğu dengeli bir yapı gözlenmektedir. H4, yağ ve lif sinyallerinin birlikte görüldüğü bir ara profil sergilemektedir.



Şekil 4.9. Hardal tohumu pres küspesi FTIR analiz sonucu (H6-H10)

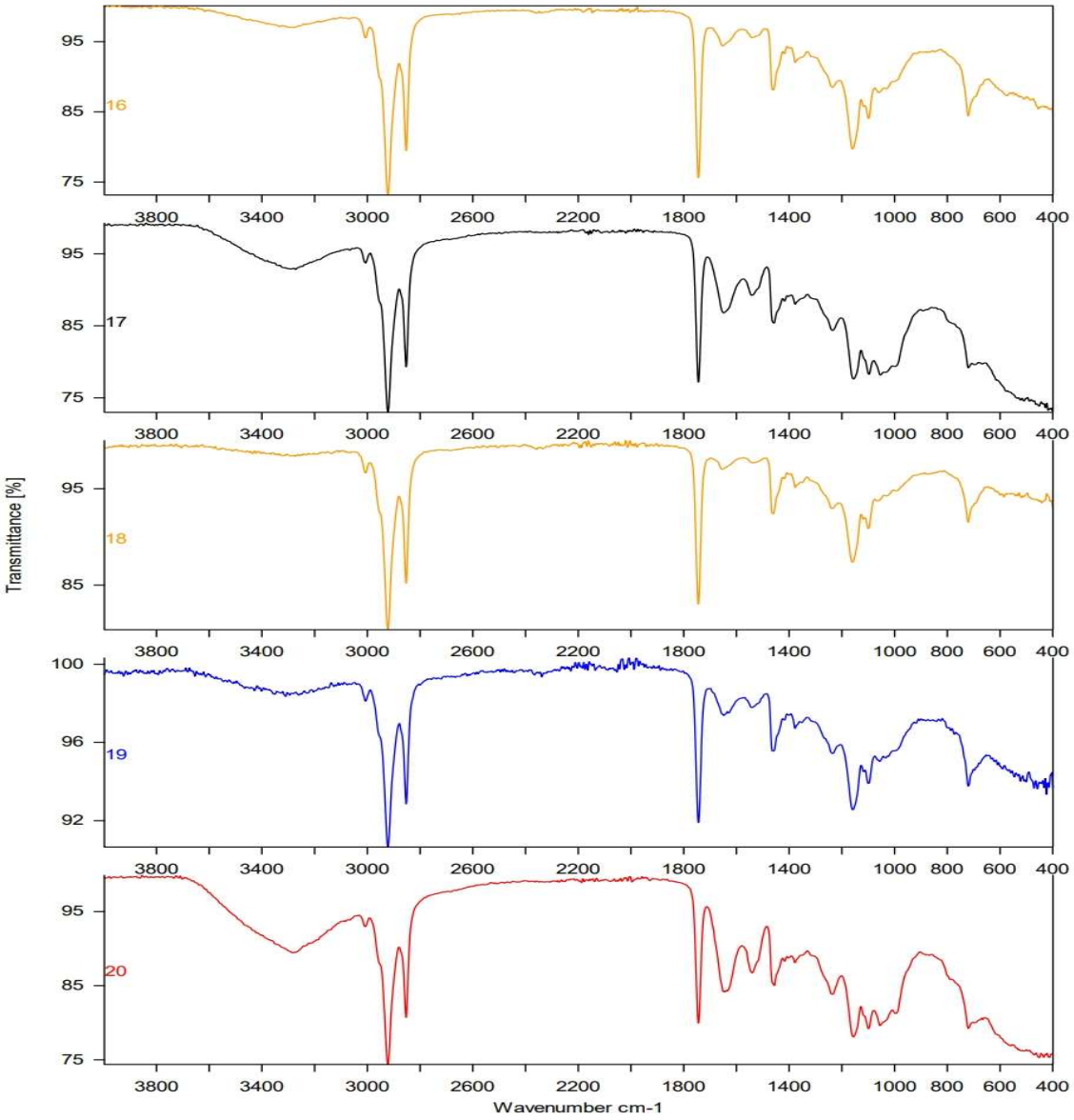
Şekil 4.9 incelendiğinde, beş farklı numuneye ait FTIR spektrumları yer almaktadır. 6, 7 ve 10 numaralı örneklerin spektrumlarında, 400-1500 cm^{-1} aralığında daha yayvan ve keskin pikler gözlenmiştir. 8 numaralı örnekte ise piklerin daha az belirgin olduğu tespit edilmiştir. Bu örneklerde geçirgenlik değerlerinin en az %60 düzeyinde olduğu belirlenmiştir. H7 örneği, düşük rpm (25 rpm) ve 90 °C sıcaklık koşullarında en verimli yağ ekstraksiyonunu göstermiş ve lif/polisakkarit ağırlıklı karakter sergilemiştir. H8 örneği, yüksek rpm (35 rpm) nedeniyle yağ ekstraksiyonunun sınırlı kaldığı ve lipit sinyallerinin en güçlü olduğu örnek olarak öne çıkmıştır. H6 örneği yüksek sıcaklıkta (100 °C) orta rpm (30 rpm) ile çalışıldığında nemin daha düşük olduğu ancak küspede belirgin lipit kalıntısının

bulunduğu bir profil ortaya koymuştur. H9 örneği ise lipit ve lif fraksiyonlarının dengeli olduğu orta bir kompozisyon sergilemiştir.



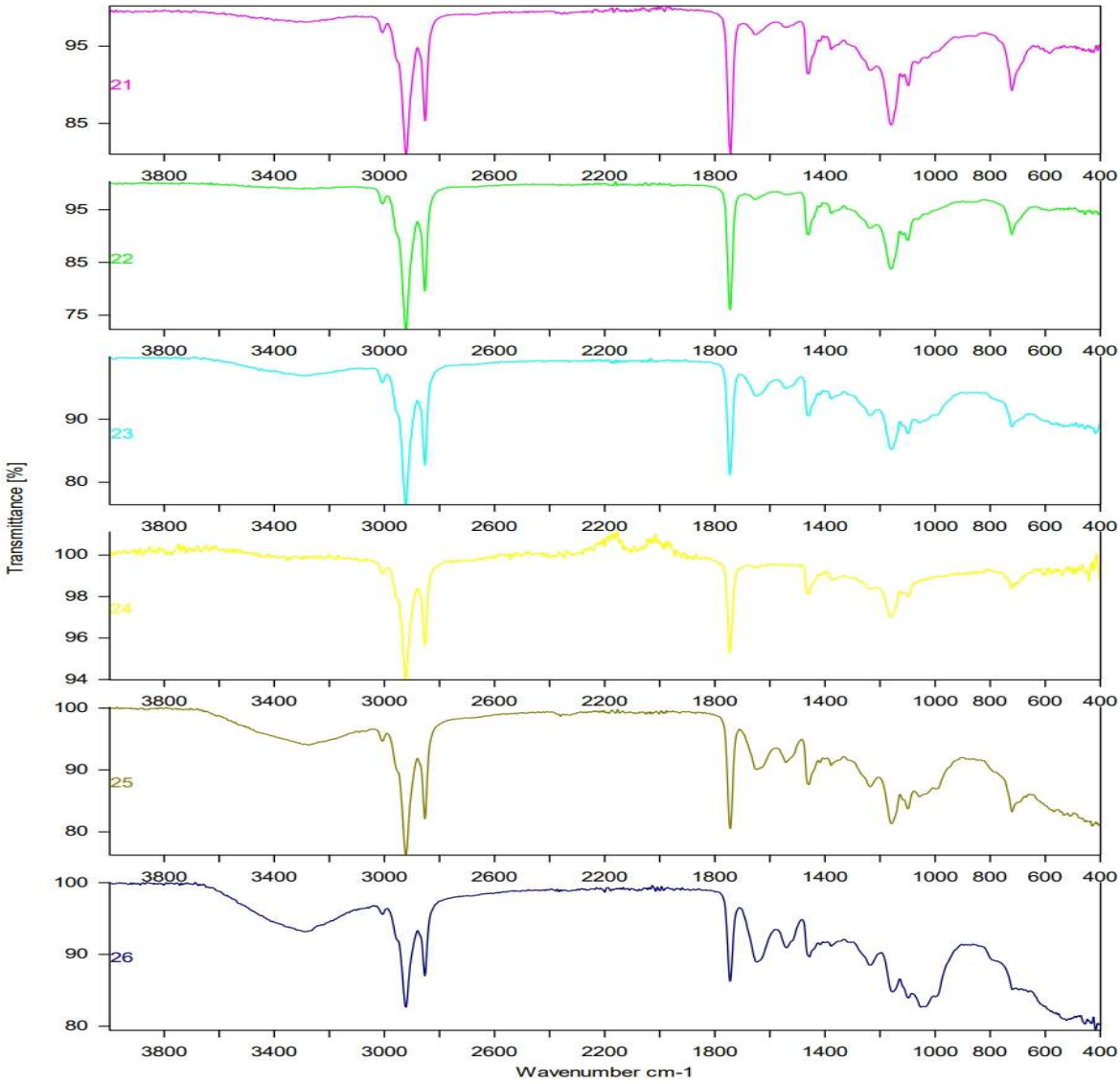
Şekil 4.10. Hardal tohumu pres küspesi FTIR analiz sonucu (H11-H15)

Şekil 4.10'da sunulan hardal tohumu pres küspelerine ait FTIR spektrumları değerlendirildiğinde, 2900-3000 cm^{-1} aralığında belirgin bir pik gözlenmiş; bu pik, asimetrik C-H ($-CH_2$) gerilmesi ile ilişkilendirilmiş ve alifatik zincir yapılarını göstermiştir. 2800-2900 cm^{-1} aralığında yer alan diğer pik ise simetrik C-H gerilmesine karşılık gelmekte olup, lipit ve trigliserit varlığını düşündürmektedir. Ayrıca, 1800-1700 cm^{-1} aralığında gözlenen kuvvetli pik, C=O bağ gerilmesine işaret ederek, yağ asitlerinin varlığını desteklemektedir. Bu spektrumlarda geçirgenlik değerleri %70 ile %95 arasında değişmiştir.



Şekil 4.11. Hardal tohumu pres küspesi FTIR analiz sonucu (H16-H20)

Şekil 4.11 ve Şekil 4.12'ye ait analizlerde, tüm numunelerin benzer spektral özellikler taşıdığı gözlemlenmiştir. 2800-2950 cm^{-1} aralığında -C-H bağ gerilmelerine ait piklerin tüm örneklerde mevcut olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, yaklaşık 1750 cm^{-1} civarında tespit edilen pikler, hardal küspesine özgü C=O bağlarını temsil etmektedir. Bu veriler doğrultusunda, hardal tohumu pres küspesi numunelerinde trigliserit, yağ asidi, lipit ve selüloz gibi bileşenlerin bulunduğu ifade edilebilir.

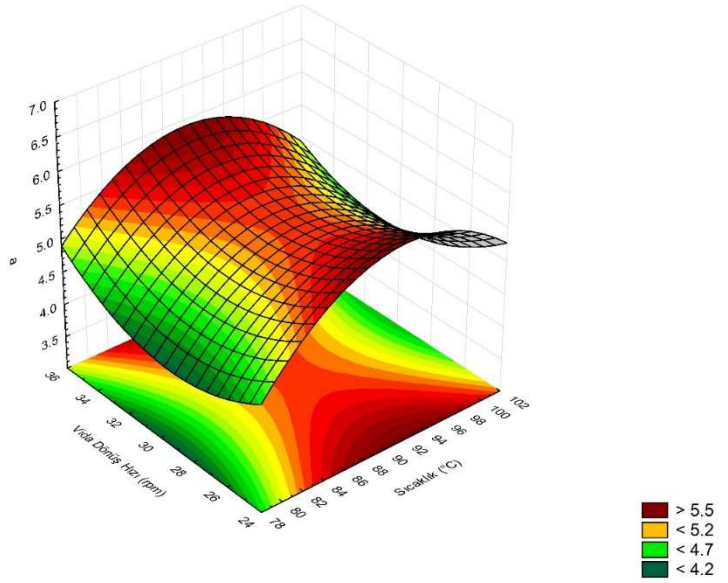


Şekil 4.12. Hardal tohumu pres küspesi FTIR analiz sonucu (H21-H26)

4.3. Deneme Planına Ait Bulgular

Bölüm 3.2.1'de açıklanan yöntem doğrultusunda, hardal tohumu ve çörek otunun soğuk presle işlenmesi sonucunda elde edilen analiz verileri, Bölüm 3.2.12'de tanımlandığı şekilde değerlendirilmiştir. İşlem koşullarının birlikte etkisini ortaya koymak amacıyla üç boyutlu yüzey ve kontur grafikleri oluşturulmuştur. Ayrıca, %95 güven düzeyinde varyans analizi yapılmış; istatistiksel olarak anlamlı ya da anlamsız olan değişkenler aşağıda tartışılmıştır.

4.3.1. Hardal tohumuna ilişkin grafikler ve varyans analizleri



Şekil 4.13. Hardal tohumu küspesi a* değeri - sıcaklık - vida dönüş hızı yüzey grafiği

Şekil 4.13'te, hardal tohumu küspesine ait a* değeri ile sıcaklık ve vida dönüş hızı arasındaki ilişki yüzey grafiğiyle gösterilmiştir. Grafik incelendiğinde, sıcaklığın artmasıyla birlikte vida hızının 30-34 rpm ve 26-24 rpm aralığında olması durumunda a* değerinde artış gözlenmiştir. Özellikle 85-95°C aralığında ve orta-yüksek vida hızlarında (>30 rpm ve <26 rpm), a* değerinin 5,5'in üzerine çıktığı ve renk yoğunluğunun arttığı belirlenmiştir. 80-100°C sıcaklık aralığında ve 32-36 rpm ile 24-28 rpm vida dönüş hızlarında daha kırmızı tonlarda ürün elde edilebileceği anlaşılmaktadır. Diğer yandan, 95°C üzeri ve 80°C altı sıcaklık değerlerinde, vida hızının 26-32 rpm aralığında olması durumunda kırmızılığın azaldığı gözlenmiştir. Gıda kalitesi ve oksidasyon bakımından genelde düşük a değeri hedeflenmektedir. a* değerine ilişkin üç boyutlu yüzey grafiğinden elde edilen matematiksel model Eşitlik 4.1'de verilmiştir.

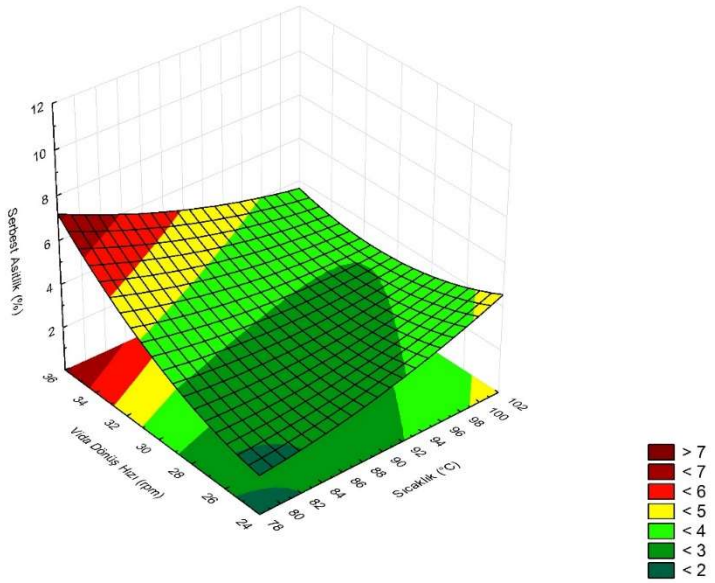
$$a = -42.7178 + 1.3236*x - 0.8083*y - 0.0069*x*x - 0.0021*x*y + 0.0166*y*y \quad (0.1)$$

(x: Sıcaklık (°C), y: Vida Dönüş Hızı (rpm))

Çizelge 4.4. Hardal tohumu küspesinin a* değeri ANOVA tablosu

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	5	3.1297	3.1297	0.62595	0.93	0.482
Linear	2	0.2453	2.9252	1.46259	2.18	0.140
Sıcaklık	1	0.2437	2.7702	2.77020	4.12	0.056
RPM	1	0.0016	0.4503	0.45027	0.67	0.423
Square	2	2.7941	2.7941	1.39706	2.08	0.151
Sıcaklık*Sıcaklık	1	1.8404	2.6450	2.64502	3.93	0.061
RPM*RPM	1	0.9537	0.9537	0.95371	1.42	0.248
Interaction	1	0.0903	0.0903	0.09031	0.13	0.718
Sıcaklık*RPM	1	0.0903	0.0903	0.09031	0.13	0.718
Residual Error	20	13.4436	13.4436	0.67218		
Lack-of-Fit	3	1.3087	1.3087	0.43622	0.61	0.617
Pure Error	17	12.1350	12.1350	0.71382		
Total	25	16.5734				

Hardal tohumu küspesinin a* değeri üzerine sıcaklık ve vida dönüş hızının etkisini belirlemek amacıyla yapılan varyans analizi sonuçları Çizelge 4.4'te sunulmuştur. Elde edilen matematiksel modelin verileri temsil etme düzeyinin istatistiksel olarak anlamlı olmadığı (p=0,482) belirlenmiş olsa da, modelin uyum eksikliği istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur. Ayrıca, sıcaklık ve vida dönüş hızının hem bireysel hem de etkileşimsel etkilerinin a* değeri üzerindeki farklılıklar açısından istatistiksel olarak anlamlı olmadığı görülmüştür (p>0,05).



Şekil 4.14. Hardal tohumu küspesi serbest asitlik - vida dönüş hızı - sıcaklık yüzey grafiği

Şekil 4.14'te, hardal tohumu soğuk sıkım işlem koşullarının küspedeki serbest asitlik (%) değeri üzerindeki etkileri üç boyutlu yüzey grafiğiyle gösterilmiştir. Yağlarda serbest asitliğin düşük olması arzu edilen bir özelliktir. En düşük serbest asitlik değerleri koyu yeşil alanlarla ifade edilmiştir. Özellikle 24-26 rpm vida dönüş hızında ve 78-82°C sıcaklık aralığında serbest yağ asitleri %2'nin altına inmektedir. Bu durum, yağın yüksek kalitede olduğunu göstermektedir. Serbest asitliğin %3'ün altına düşürüldüğü diğer koşullar ise 82-92°C sıcaklık ve 26-28 rpm vida dönüş hızıdır. Bu koşullar altında elde edilen yağ, daha kaliteli olup rafinasyona daha az ihtiyaç duyar. Yüksek vida hızı ve düşük sıcaklık koşullarında ise hammadde içerisindeki suyun küspe içerisinde daha fazla kalmasına bağlı olarak serbest asitlik değerleri daha yüksek bulunmuştur. Serbest asitlik değerine ilişkin matematiksel model Eşitlik 4.2'de verilmiştir.

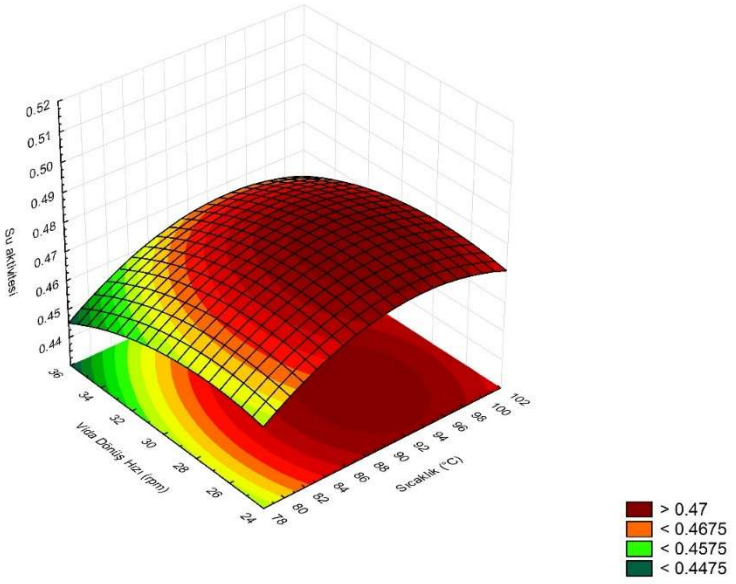
$$\text{Serbest Asitlik (\%)} = -11.814 + 0.1019*x + 0.5348*y + 0.003*x*x - 0.0219*x*y + 0.0271*y*y \quad (4.2)$$

(x: Sıcaklık (°C), y: Vida Dönüş Hızı (rpm))

Çizelge 4.5. Hardal tohumu küspesinin serbest asitlik değeri ANOVA tablosu

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	5	25.0384	25.0384	5.00768	1.76	0.167
Linear	2	10.8532	0.2398	0.11991	0.04	0.959
Sıcaklık	1	0.3185	0.0164	0.01643	0.01	0.940
RPM	1	10.5347	0.1971	0.19710	0.07	0.795
Square	2	4.5549	4.5549	2.27743	0.80	0.463
Sıcaklık*Sıcaklık	1	2.0147	0.4973	0.49732	0.18	0.680
RPM*RPM	1	2.5402	2.5402	2.54017	0.89	0.356
Interaction	1	9.6303	9.6303	9.63034	3.39	0.081
Sıcaklık*RPM	1	9.6303	9.6303	9.63034	3.39	0.081
Residual Error	20	56.8342	56.8342	2.84171		
Lack-of-Fit	3	4.6498	4.6498	1.54992	0.50	0.684
Pure Error	17	52.1844	52.1844	3.06967		
Total	25	81.8725				

Çizelge 4.5'te sıcaklık ve vida dönüş hızının serbest asitlik değerine etkisini belirlemek amacıyla gerçekleştirilen varyans analizine ait bulgular sunulmuştur. Elde edilen modelin verilerle tam anlamıyla örtüşmediği görülse de (p>0,05), modelin uyum eksikliği istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur. Dolayısıyla, modelin kullanımında herhangi bir uyumsuzluk öngörülmemektedir. Ayrıca, sıcaklık ve vida dönüş hızının bireysel ve etkileşimsel etkilerinin serbest asitlik ortalamaları arasında anlamlı bir fark oluşturmadığı tespit edilmiştir.



Şekil 4.15. Hardal tohumu küspesi su aktivitesi - vida dönüş hızı - sıcaklık yüzey grafiği

Şekil 4.15'te, işlem koşullarının hardal tohumu küspesinin su aktivitesi üzerindeki etkisi üç boyutlu grafik ile gösterilmiştir. Su aktivitesi, nem miktarıyla yakından ilişkili olup, ürünün raf ömrünü belirleyen önemli bir parametredir. 90-98°C sıcaklık ve 26-30 rpm vida dönüş hızı aralığında su aktivitesinin %0,47'nin üzerine çıktığı belirlenmiştir. En düşük su aktivitesi değeri (<0,4475) ise 78-80°C sıcaklıkta ve 35-36 rpm vida dönüş hızında elde edilmiştir. Hardalda a_w değerleri çörekotuna göre daha düşük seyretmiştir. Bu durum, daha düşük mikrobiyal aktivite riski ve daha uzun raf ömrü anlamına gelir. Çizelge 4.1'de özellikle 80 °C – 35 rpm'de elde edilen düşük a_w değeri depolama açısından avantajlıdır. Su aktivitesi için oluşturulan matematiksel model Eşitlik 4.3'te sunulmuştur.

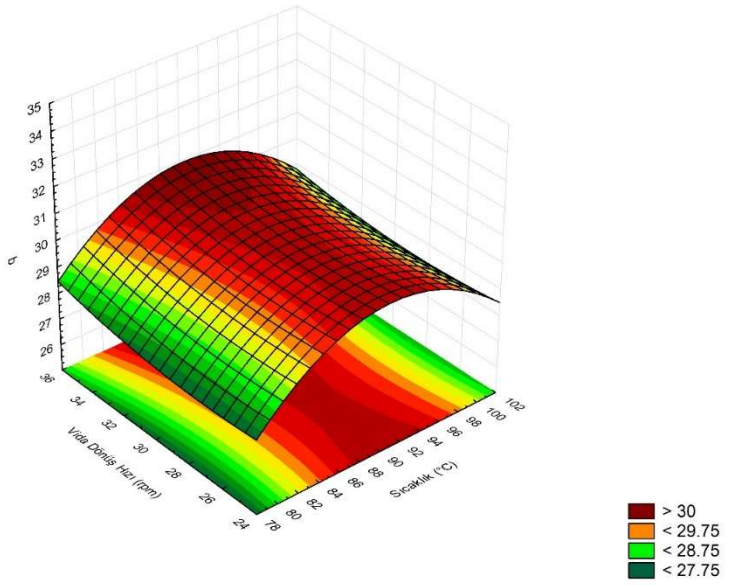
Su aktivitesi= -0.3569+0.0151*x+0.0096*y-
8.1862E-5*x*x+9E-6*x*y-0.0002*y*y (4.3)

(x: Sıcaklık (°C), y: Vida Dönüş Hızı (rpm))

Çizelge 4.6. Hardal tohumu küspesinin su aktivitesi değeri ANOVA tablosu

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	5	0.001474	0.001474	0.000295	1.03	0.426
Linear	2	0.000704	0.000488	0.000244	0.85	0.441
Sıcaklık	1	0.000427	0.000359	0.000359	1.25	0.276
RPM	1	0.000276	0.000063	0.000063	0.22	0.643
Square	2	0.000769	0.000769	0.000384	1.34	0.283
Sıcaklık*Sıcaklık	1	0.000645	0.000370	0.000370	1.29	0.269
RPM*RPM	1	0.000124	0.000124	0.000124	0.43	0.518
Interaction	1	0.000002	0.000002	0.000002	0.01	0.941
Sıcaklık*RPM	1	0.000002	0.000002	0.000002	0.01	0.941
Residual Error	20	0.005720	0.005720	0.000286		
Lack-of-Fit	3	0.002413	0.002413	0.000804	4.14	0.023
Pure Error	17	0.003307	0.003307	0.000195		
Total	25	0.007194				

Çizelge 4.6'da, sıcaklık ve vida dönüş hızının su aktivitesi üzerindeki etkisine ilişkin varyans analizi sonuçları yer almaktadır. Elde edilen bulgulara göre, uygulanan modelin verileri temsil etme gücü anlamlı bulunmamıştır (p=0,426). Ayrıca, modelin uyum eksikliği de istatistiksel olarak anlamlı olup, modele farklı üstel terimlerin eklenmesi gerektiği sonucuna varılmıştır. Faktörlerin bireysel ve etkileşimsel etkilerinin ise su aktivitesi üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık oluşturmadığı tespit edilmiştir.



Şekil 4.16. Hardal tohumu küspesi b* değeri - vida dönüş hızı - sıcaklık yüzey grafiği

Şekil 4.16'da, hardal tohumu soğuk sıkım işlem koşullarının b* değeri üzerine etkileri üç boyutlu olarak gösterilmiştir. 33-36 rpm vida dönüş hızında ve 87-94°C sıcaklık aralığında yüksek b* değerleri tespit edilmiştir. Bu durum, sarı rengin daha koyu tonlarda ortaya çıktığını göstermektedir. 80°C altı ve 100°C üzeri sıcaklıklarda ise sarı renk yoğunluğunun azalma eğiliminde olduğu gözlemlenmiştir. b* değerine ilişkin oluşturulan matematiksel model Eşitlik 4.4'te verilmiştir.

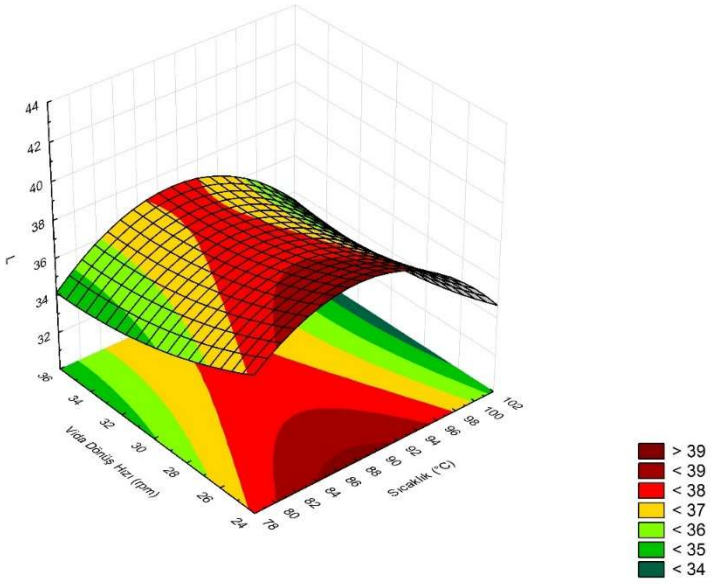
$$b^* = -97.269+2.9417*x-0.4213*y-0.016*x*x-0.0011*x*y+0.0093*y*y \quad (4.4)$$

(x: Sıcaklık (°C), y: Vida Dönüş Hızı (rpm))

Çizelge 4.7. Hardal tohumu küspesinin b* değeri ANOVA tablosu

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	5	16.189	16.189	3.2377	0.52	0.756
Linear	2	1.030	13.765	6.8823	1.11	0.348
Sıcaklık	1	0.550	13.684	13.6842	2.21	0.153
RPM	1	0.480	0.122	0.1223	0.02	0.890
Square	2	15.134	15.134	7.5670	1.22	0.315
Sıcaklık*Sıcaklık	1	14.833	14.213	14.2127	2.30	0.145
RPM*RPM	1	0.301	0.301	0.3010	0.05	0.828
Interaction	1	0.024	0.024	0.0242	0.00	0.951
Sıcaklık*RPM	1	0.024	0.024	0.0242	0.00	0.951
Residual Error	20	123.746	123.746	6.1873		
Lack-of-Fit	3	16.016	16.016	5.3388	0.84	0.489
Pure Error	17	107.730	107.730	6.3371		
Total	25	139.935				

Çizelge 4.7'de yer alan varyans analizi bulguları, işlem parametrelerinin hardal tohumu küspesinin b* değeri üzerine etkisini değerlendirmektedir. Elde edilen sonuçlara göre, bağımsız değişkenlerin b* değeri üzerindeki etkileri istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır (p>0,05). Uyum eksikliğinin istatistiksel olarak önemsiz çıkması, verilerin temsilinde modelin kullanımı sonucunda uyumsuzluk olmayacağını göstermektedir.



Şekil 4.17. Hardal tohumu küspesi L* değeri - vida dönüş hızı - sıcaklık yüzey grafiği

Şekil 4.17'de, işlem koşullarının hardal tohumu küspesinin L* değeri üzerindeki etkisi üç boyutlu yüzey grafiğiyle gösterilmiştir. 80-90°C sıcaklık aralığında ve 24-25 rpm

vida dönüş hızında L* değerinin en yüksek olduğu belirlenmiştir. Vida hızının artmasına bağlı olarak L* değerinin düştüğü ve bu durumun, artan sürtünmenin pigmentlerin daha yoğun şekilde bir araya gelmesine neden olarak renk koyulaşmasına yol açtığı düşünülmektedir. L* değerine ilişkin matematiksel model Eşitlik 4.5'te sunulmuştur.

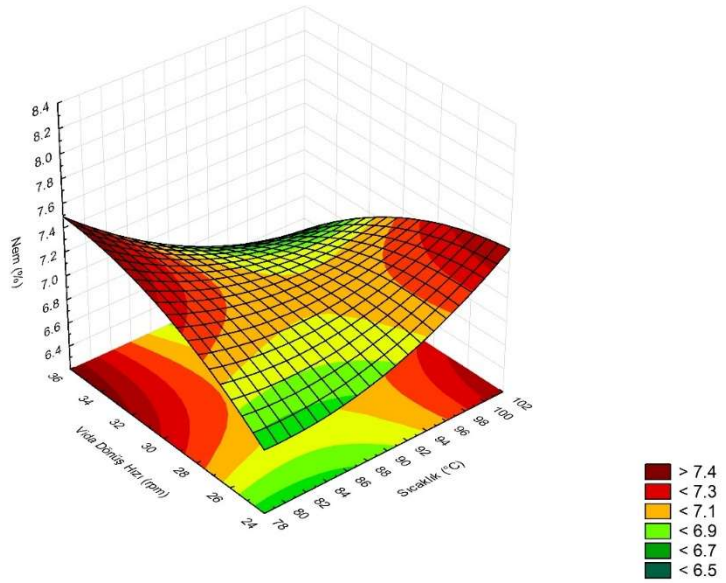
$$L= -100.8992+3.8641*x-2.0011*y-0.0229*x*x+0.0066*x*y+0.0206*y*y \quad (4.5)$$

(x: Sıcaklık (°C), y: Vida Dönüş Hızı (rpm))

Çizelge 4.8. Hardal tohumu küspesinin L* değeri ANOVA tablosu

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	5	44.788	44.788	8.9577	1.05	0.419
Linear	2	14.066	24.329	12.1643	1.42	0.265
Sıcaklık	1	5.070	23.611	23.6110	2.76	0.112
RPM	1	8.996	2.760	2.7596	0.32	0.577
Square	2	29.858	29.858	14.9288	1.74	0.201
Sıcaklık*Sıcaklık	1	28.392	29.029	29.0285	3.39	0.081
RPM*RPM	1	1.466	1.466	1.4655	0.17	0.684
Interaction	1	0.865	0.865	0.8646	0.10	0.754
Sıcaklık*RPM	1	0.865	0.865	0.8646	0.10	0.754
Residual Error	20	171.326	171.326	8.5663		
Lack-of-Fit	3	28.103	28.103	9.3678	1.11	0.372
Pure Error	17	143.223	143.223	8.4249		
Total	25	216.115				

Çizelge 4.8'de, sıcaklık ve vida dönüş hızının L* değeri üzerindeki etkisine ilişkin varyans analizi bulguları yer almaktadır. Modelin genel anlamda istatistiksel olarak anlamlı olmadığı belirlenmiştir (p=0,419). Ayrıca sıcaklık*Sıcaklık interaksiyon faktörünün anlamlılık düzeyine yakın (p=0,081) bir değer göstermesi dikkat çekicidir.



Şekil 4.18. Hardal tohumu küspesi nem değeri - vida dönüş hızı - sıcaklık yüzey grafiği

Şekil 4.18'de, sıcaklık ve vida dönüş hızı değişkenlerinin hardal tohumu küspesinin nem içeriği (%) üzerindeki etkileri kontur düzleminde sunulmuştur. Görselleştirmede, nem oranının renk değişimleriyle nasıl farklılaştığı açık şekilde ortaya konulmuştur. En düşük nem değeri (<%6,5), yüksek vida hızı (yaklaşık 36 rpm) ve yüksek sıcaklık (yaklaşık 102°C) koşullarında elde edilmiştir. Nem oranının yüksek çıktığı iki temel koşul belirlenmiştir: Bunlardan ilki 100-106°C sıcaklık ve 24-26 rpm vida hızı; diğeri ise yaklaşık 78°C sıcaklıkta ve 32-36 rpm aralığında vida hızı uygulandığında gözlenmiştir. Hardal küspesinde nem oranı çörekotuna kıyasla daha düşüktür (%6,4–7,6). Çizelge 4.1'de en düşük nem ise 90 °C'de yüksek hızla (35 rpm) gerçekleşmiş, bu da etkin nem uzaklaştırmasını sağlamıştır. Nem değerlerine ilişkin matematiksel model Eşitlik 4.6'da verilmiştir.

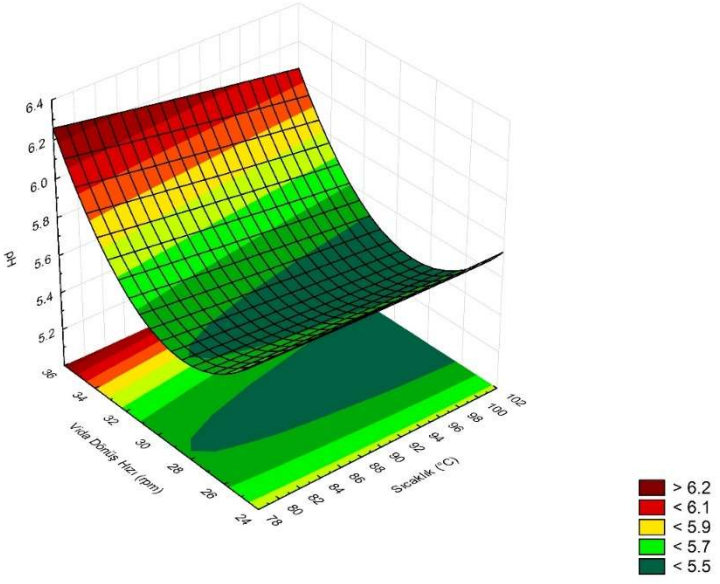
$$\text{Nem (\%)} = -1.4278 - 0.076x + 0.8168y + 0.0014x^2 - 0.0058xy - 0.005y^2 \quad (4.6)$$

(x: Sıcaklık (°C), y: Vida Dönüş Hızı (rpm))

Çizelge 4.9. Hardal tohumu küspesinin nem değeri ANOVA tablosu

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	5	0.87512	0.87512	0.175023	0.81	0.558
Linear	2	0.06422	0.46016	0.230082	1.06	0.365
Sıcaklık	1	0.05300	0.00913	0.009125	0.04	0.840
RPM	1	0.01122	0.45976	0.459760	2.12	0.161
Square	2	0.13606	0.13606	0.068030	0.31	0.734
Sıcaklık*Sıcaklık	1	0.04968	0.10115	0.101154	0.47	0.503
RPM*RPM	1	0.08638	0.08638	0.086381	0.40	0.535
Interaction	1	0.67483	0.67483	0.674832	3.11	0.093
Sıcaklık*RPM	1	0.67483	0.67483	0.674832	3.11	0.093
Residual Error	20	4.33977	4.33977	0.216988		
Lack-of-Fit	3	1.33879	1.33879	0.446262	2.53	0.092
Pure Error	17	3.00098	3.00098	0.176528		
Total	25	5.21489				

Çizelge 4.9'da sunulan varyans analizine göre, hardal tohumu küspesinin nem değerleri üzerinde işlem parametrelerinin bireysel etkileri ve sıcaklık*RPM etkileşim terimi istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır (p=0,093). Bu durum, gözlenen nem ortalamaları arasındaki farklara bu faktörlerin etkisinin istatistiksel olarak önemsiz olduğunu göstermektedir. Ancak etkileşim teriminin anlamlılık sınırına yakın bir değere sahip olması, belirli koşullar altında bu etkileşimin dikkate alınması gerektiğini düşündürmektedir.



Şekil 4.19. Hardal tohumu küspesi pH - vida dönüş hızı - sıcaklık yüzey grafiği

Şekil 4.19'da, işlem koşullarının pH değeri üzerindeki etkisi üç boyutlu yüzey grafiğiyle gösterilmiştir. 26-30 rpm vida dönüş hızlarında, sıcaklıktan bağımsız olarak pH değeri en düşük düzeylerde (<5,5) tespit edilmiştir. En yüksek pH değerleri ise 34-36 rpm aralığında gözlemlenmiştir ve yine sıcaklıktan bağımsızdır. pH değeri, gıda güvenliği ve kalitesi açısından önemli bir parametre olup, belirli ürünlerin yasal düzenlemelere uygunluğunun belirlenmesinde temel kriterlerden biridir (Aksoy, 2021). pH değerine ilişkin matematiksel model Eşitlik 4.7'de sunulmuştur.

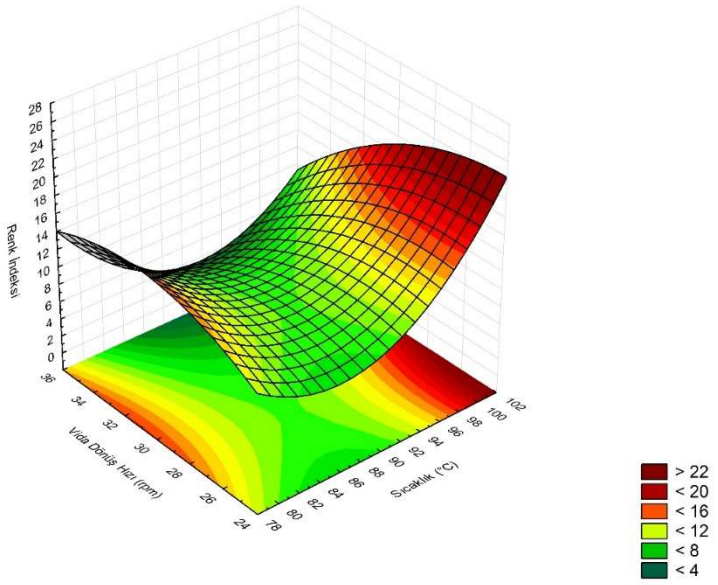
$$pH = 15.3223+0.0083*x-0.7014*y+2.7586E-5*x*x-0.0006*x*y+0.0132*y*y \quad (4.7)$$

(x: Sıcaklık (°C), y: Vida Dönüş Hızı (rpm))

Çizelge 4.10. Hardal tohumu küspesinin pH değeri ANOVA tablosu

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	5	1.09015	1.09015	0.218030	4.30	0.008
Linear	2	0.37899	0.34709	0.173543	3.42	0.053
Sıcaklık	1	0.02707	0.00011	0.000109	0.00	0.964
RPM	1	0.35192	0.33900	0.339000	6.68	0.018
Square	2	0.70396	0.70396	0.351979	6.94	0.005
Sıcaklık*Sıcaklık	1	0.10602	0.00004	0.000042	0.00	0.977
RPM*RPM	1	0.59793	0.59793	0.597934	11.79	0.003
Interaction	1	0.00720	0.00720	0.007200	0.14	0.710
Sıcaklık*RPM	1	0.00720	0.00720	0.007200	0.14	0.710
Residual Error	20	1.01471	1.01471	0.050736		
Lack-of-Fit	3	0.45082	0.45082	0.150273	4.53	0.016
Pure Error	17	0.56389	0.56389	0.033170		
Total	25	2.10486				

Hardal tohumu küspesinin pH değeri üzerine işlem parametrelerinin etkisini değerlendirmek amacıyla yapılan varyans analizine göre, oluşturulan modelin istatistiksel olarak anlamlı olduğu belirlenmiştir (p=0,008). Bu sonuç, modelin verilerin temsilinde kullanılabileceğini göstermektedir. Vida dönüş hızının hem bireysel (p=0,018) hem de karesel (p=0,003) etkileri istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur. Ancak sıcaklığın pH değeri üzerindeki etkisi anlamlı değildir (p=0,964). Öte yandan, uyum eksikliğinin anlamlı çıkması, örnekte var olan terimlerin bu analiz için yetersiz olduğunu göstermektedir.



Şekil 4.20. Hardal tohumu yağı renk indeksi - vida dönüş hızı - sıcaklık yüzey grafiği

Şekil 4.20'de yer alan üç boyutlu yüzey grafiği, sıcaklık ve vida dönüş hızı değişkenlerinin hardal tohumu yağı renk indeksi (PCI) üzerindeki etkisini görselleştirmektedir. Grafikte, yüksek sıcaklık ve düşük vida hızı kombinasyonlarında renk indeksinin arttığı ve koyu kırmızı bölgelerle ifade edildiği görülmektedir. Bu durum, materyalin daha uzun süre yüksek sıcaklığa maruz kaldığını göstermektedir. Düşük sıcaklık (78-93°C) ve yüksek vida hızı (28-36 rpm) koşullarında ise renk indeksi minimum düzeye inmektedir (koyu yeşil bölgeler). Hardal tohumu yağında renk değerleri incelendiğinde, en parlak sarı renk 100 °C sıcaklık ve 30 rpm dönüş hızı koşullarında 19,53±7,21 olarak, en koyu renk ise 100 °C sıcaklık ve 35 rpm dönüş hızı koşullarında 6,96±0,78 olarak belirlenmiştir. Yağların renkleri yapılarında var olan lipokrom grubu pigmentlerden kaynaklanmaktadır. Bu pigmentlerden bazıları karotenoidler, klorofiller ve gossipol olup, her biri yağlara kendine has renk özellikleri kazandırmaktadır. Bununla beraber söz konusu renk maddeleri üretim ve depolama aşamalarında çeşitli oksidatif reaksiyonlara girerek yağ renginde koyulaşmaya yol açabilmektedir (Aktaş, 2021).

Sıcaklık ve vida hızı parametrelerinin birlikte değerlendirilmesi, renk indeksinin kontrolü açısından önemli bulunmuştur. Bu ilişkiye ait matematiksel model Eşitlik 4.8'de verilmiştir.

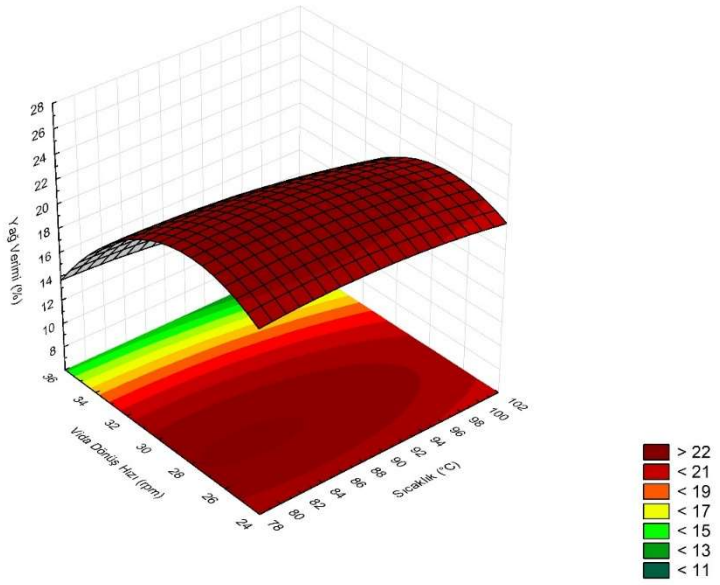
$$PCI = 230.3972-8.191*x+9.9173*y+0.0552*x*x-0.054*x*y-0.0917*y*y \quad (4.8)$$

(x: Sıcaklık (°C), y: Vida Dönüş Hızı (rpm))

Çizelge 4.11. Hardal tohumu yağının renk indeksi (PCI) ANOVA tablosu

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	5	304.48	304.48	60.90	2.42	0.072
Linear	2	77.64	149.35	74.67	2.97	0.074
Sıcaklık	1	19.25	106.09	106.09	4.22	0.053
RPM	1	58.39	67.78	67.78	2.70	0.116
Square	2	168.57	168.57	84.29	3.35	0.056
Sıcaklık*Sıcaklık	1	139.56	168.34	168.34	6.70	0.018
RPM*RPM	1	29.02	29.02	29.02	1.15	0.295
Interaction	1	58.27	58.27	58.27	2.32	0.144
Sıcaklık*RPM	1	58.27	58.27	58.27	2.32	0.144
Residual Error	20	502.87	502.87	25.14		
Lack-of-Fit	3	51.13	51.13	17.04	0.64	0.599
Pure Error	17	451.75	451.75	26.57		
Total	25	807.36				

Sıcaklık ve vida dönüş hızı faktörlerinin hardal tohumu yağının renk indeksi üzerindeki etkilerini belirlemek amacıyla yapılan varyans analizi bulguları Çizelge 4.11'de sunulmuştur. Modelin genel anlamlılığı sınır değere yakın bulunmuştur (p=0,072). Sıcaklık ve vida dönüş hızının bireysel etkileri istatistiksel olarak anlamlı bulunmamış, ancak sıcaklık*sıcaklık interaksiyon terimi anlamlılık düzeyine ulaşmıştır (p=0,018). Ayrıca, uyum eksikliğinin önemsiz çıkması (p>0,05), verilerin temsilinde modelin kullanımının uygun olabileceğini göstermektedir.



Şekil 4.21. Hardal tohumu yağ verimi - vida dönüş hızı - sıcaklık yüzey grafiği

Şekil 4.21'e göre, en düşük yağ veriminin yüksek vida dönüş hızlarında gerçekleştiği görülmektedir. Bu durum, hammaddenin tambur içerisinde daha hızlı ilerlemesi nedeniyle yağın yeterli sürede ekstrakte edilememesiyle açıklanabilir. En yüksek yağ verimi ise nispeten düşük vida dönüş hızlarında (27-28 rpm) ve orta-yüksek sıcaklık aralığında (78-86°C) elde edilmiştir. Grafikten hareketle, vida dönüş hızının yağ verimi üzerindeki etkisinin, sıcaklığa kıyasla daha belirgin olduğu söylenebilir. Yağ verimine ilişkin matematiksel model Eşitlik 4.9'da sunulmuştur.

Yağ Verimi (%)= -131.0572+0.9618*x+8.2573*y-0.0046*x*x-0.0074*x*y-0.1382*y*y (4.9)

(x: Sıcaklık (°C), y: Vida Dönüş Hızı (rpm))

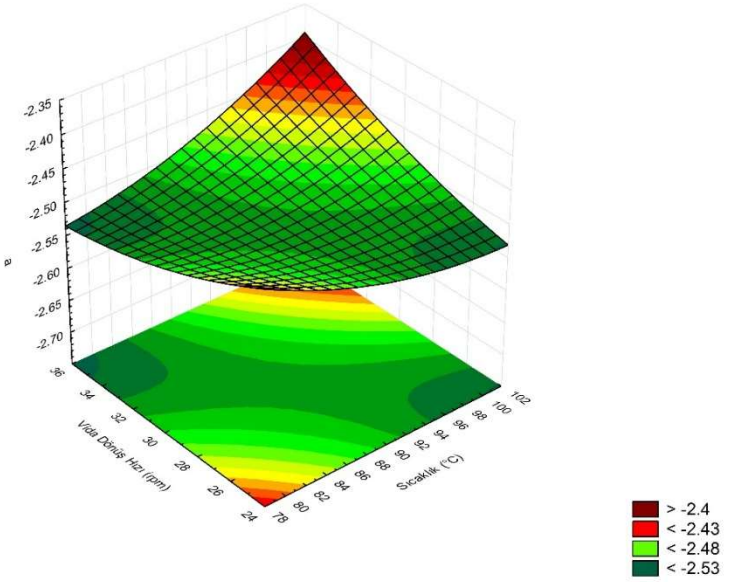
Çizelge 4.12. Hardal tohumu yağının yağ verimi ANOVA tablosu

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	5	241.745	241.745	48.349	5.16	0.003
Linear	2	154.413	52.798	26.399	2.82	0.084
Sıcaklık	1	7.553	1.463	1.463	0.16	0.697
RPM	1	146.860	46.988	46.988	5.01	0.037
Square	2	86.245	86.245	43.122	4.60	0.023
Sıcaklık*Sıcaklık	1	20.287	1.146	1.146	0.12	0.730
RPM*RPM	1	65.958	65.958	65.958	7.04	0.015
Interaction	1	1.088	1.088	1.088	0.12	0.737
Sıcaklık*RPM	1	1.088	1.088	1.088	0.12	0.737

Residual Error	20	187.466	187.466	9.373		
Lack-of-Fit	3	69.710	69.710	23.237	3.35	0.044
Pure Error	17	117.756	117.756	6.927		
Total	25	429.210				

Sıcaklık ve vida dönüş hızının hardal tohumu yağı verim oranına etkisini belirlemek üzere gerçekleştirilen varyans analizi sonuçları Çizelge 4.12'de sunulmuştur. Yağ verimine ilişkin oluşturulan modelin genel anlamlılığı istatistiksel olarak teyit edilmiştir (p=0,003). Özellikle vida dönüş hızının hem bireysel (p=0,037) hem de karesel etkileri (p=0,015), verim üzerinde anlamlı etkiler göstermiştir. Buna karşın sıcaklık değişkeni anlamlı bulunmamıştır. Ancak, modelin uyum eksikliğinin anlamlı çıkması, bu model için daha farklı terimlere ihtiyaç duyulduğunu göstermektedir.

4.3.2. Çörek otuna ilişkin grafikler ve varyans analizleri



Şekil 4.22. Çörek otu küspesi a* değeri - vida dönüş hızı - sıcaklık yüzey grafiği

Şekil 4.22'de, soğuk pres işlem koşullarının çörek otu küspesinin a* değeri üzerindeki etkileri üç boyutlu yüzey grafiği ile gösterilmiştir. Yüksek sıcaklık (94-102°C) ve düşük vida dönüş hızı (24-26 rpm) kombinasyonu ile düşük sıcaklık (78-80°C) ve yüksek vida dönüş hızı (34-36 rpm) kombinasyonlarında a* değerlerinin en düşük seviyelerde olduğu

belirlenmiştir. Bu durum, kırmızı rengin azalarak yeşil tonlara yaklaştığını göstermektedir. a* değerine ilişkin matematiksel model Eşitlik 4.10'da sunulmuştur.

$$a = 1.424-0.0545*x-0.1029*y+0.0002*x*x+0.0008*x*y+0.0005*y*y \quad (4.10)$$

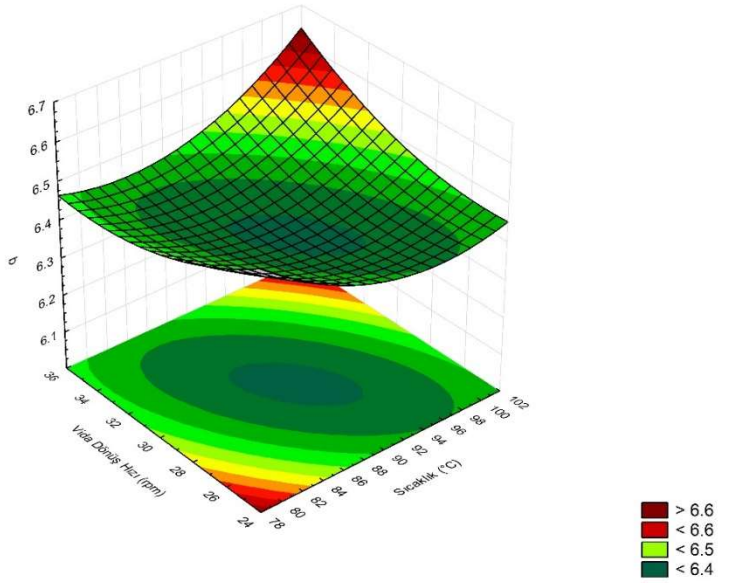
(x: Sıcaklık (°C), y: Vida Dönüş Hızı (rpm))

Çizelge 4.13. Çörek otu küspesinin a* değeri ANOVA tablosu

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	5	0.019390	0.019390	0.003878	0.74	0.600
Linear	2	0.001367	0.014392	0.007196	1.38	0.275
Sıcaklık	1	0.000833	0.004690	0.004690	0.90	0.354
RPM	1	0.000533	0.007296	0.007296	1.40	0.251
Square	2	0.003574	0.003574	0.001787	0.34	0.714
Sıcaklık*Sıcaklık	1	0.002837	0.001513	0.001513	0.29	0.596
RPM*RPM	1	0.000737	0.000737	0.000737	0.14	0.711
Interaction	1	0.014450	0.014450	0.014450	2.77	0.112
Sıcaklık*RPM	1	0.014450	0.014450	0.014450	2.77	0.112
Residual Error	20	0.104306	0.104306	0.005215		
Lack-of-Fit	3	0.019616	0.019616	0.006539	1.31	0.303
Pure Error	17	0.084690	0.084690	0.004982		
Total	25	0.123696				

Çizelge 4.13'te yer alan varyans analizi bulgularına göre, çörek otu küspesinin a* değeri üzerine etkili olan işlem parametrelerine ait oluşturulan matematiksel model, verileri temsil etme açısından istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır (p=0,6). Ancak sıcaklık*RPM etkileşim teriminin anlamlılık düzeyine yakın bir değere sahip olduğu

görülmektedir (p=0,112). Ayrıca, uyum eksikliğinin istatistiksel olarak önemsiz çıkması, bu modelin bu verilerin temsilinde uyumlu bir şekilde kullanılabileceğini göstermektedir.



Şekil 4.23. Çörek otu küspesi b* değeri - vida dönüş hızı - sıcaklık yüzey grafiği

Şekil 4.23'te, çörek otu küspesinin b* değerinin işlem koşullarına bağlı olarak nasıl değiştiği üç boyutlu yüzey grafiğiyle sunulmuştur. 28-32 rpm vida dönüş hızında ve 88-94°C sıcaklık aralığında b* değerlerinin en düşük seviyelerde olduğu ve sarı rengin azaldığı belirlenmiştir. Düşük sıcaklık-düşük vida hızı ve yüksek sıcaklık-yüksek vida hızı koşulları, sarı rengin artışı açısından uygun bölgeler olarak değerlendirilmiştir. b* değerine ilişkin matematiksel model Eşitlik 4.11'de verilmiştir.

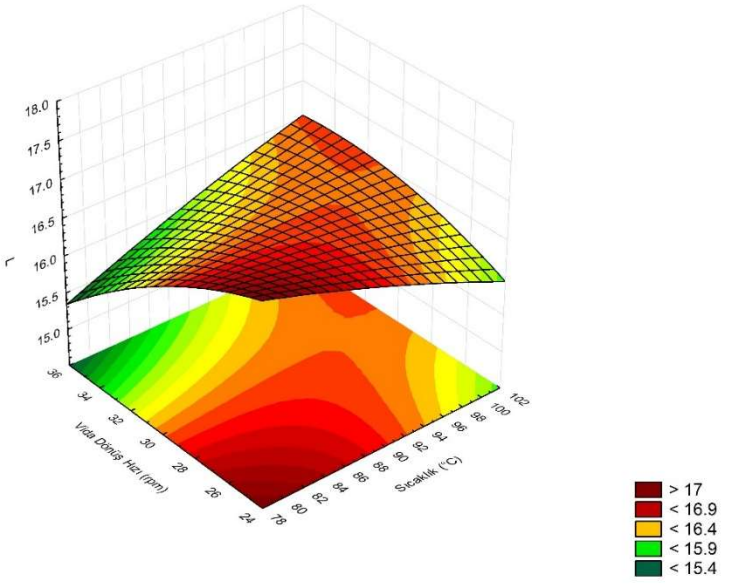
b= 16.2038-0.1516*x-0.201*y+0.0006*x*x+0.0012*x*y+0.0016*y*y (4.11)

(x: Sıcaklık (°C), y: Vida Dönüş Hızı (rpm))

Çizelge 4.14. Çörek otu küspesinin b* değeri ANOVA tablosu

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	5	0.078521	0.078521	0.015704	1.15	0.367
Linear	2	0.000567	0.077239	0.038619	2.83	0.083
Sıcaklık	1	0.000033	0.036339	0.036339	2.66	0.118
RPM	1	0.000533	0.027845	0.027845	2.04	0.169
Square	2	0.049155	0.049155	0.024577	1.80	0.191
Sıcaklık*Sıcaklık	1	0.040619	0.022845	0.022845	1.67	0.211
RPM*RPM	1	0.008536	0.008536	0.008536	0.63	0.438
Interaction	1	0.028800	0.028800	0.028800	2.11	0.162
Sıcaklık*RPM	1	0.028800	0.028800	0.028800	2.11	0.162
Residual Error	20	0.273140	0.273140	0.013657		
Lack-of-Fit	3	0.065900	0.065900	0.021967	1.80	0.185
Pure Error	17	0.207240	0.207240	0.012191		
Total	25	0.351662				

Çizelge 4.14'te sunulan varyans analizi bulgularına göre, işlem parametrelerinin b* değerleri üzerindeki bireysel ve etkileşimsel etkileri istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır.



Şekil 4.24. Çörek otu küspesi L* değeri - vida dönüş hızı - sıcaklık

Şekil 4.24'te, çörek otu küspesinin L* değeri üzerindeki işlem koşullarının etkisi üç boyutlu olarak gösterilmiştir. Düşük sıcaklık ve düşük rpm koşullarında L* değeri 17'nin üzerinde bulunurken, düşük sıcaklık ve yüksek vida dönüş hızlarında bu değer 15,4'ün altına düşmüştür. Renk değerinin artması (L*'nin yükselmesi), yüksek sıcaklık ve mekanik kuvvetin pigment yapısını bozarak ya da ayrıştırarak daha açık renklere neden olduğunu göstermektedir. L* değeri için oluşturulan model Eşitlik 4.12'de sunulmuştur.

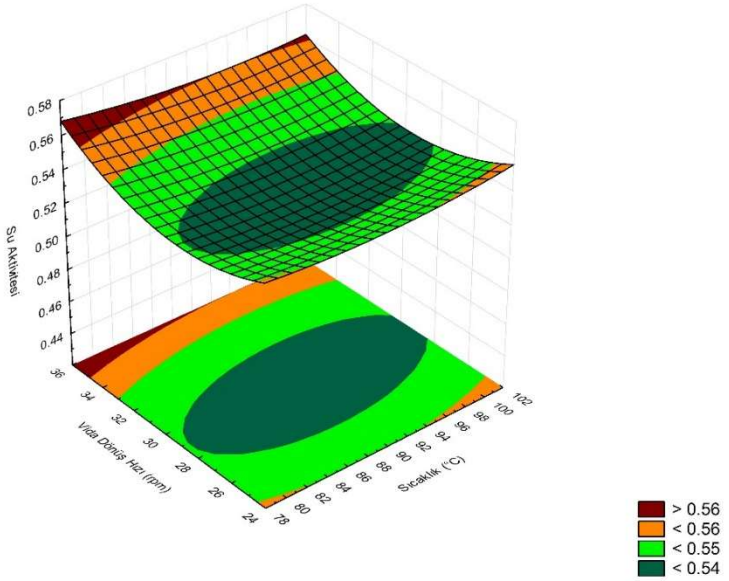
$$L = 32.5018-0.1836*x-0.4592*y-0.0004*x*x+0.0084*x*y-0.0059*y*y \quad (4.12)$$

(x: Sıcaklık (°C), y: Vida Dönüş Hızı (rpm))

Çizelge 4.15. Çörek otu küspesinin L* değeri ANOVA tablosu

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	5	2.42421	2.42421	0.48484	1.80	0.160
Linear	2	0.82807	0.23540	0.11770	0.44	0.653
Sıcaklık	1	0.00120	0.05331	0.05331	0.20	0.662
RPM	1	0.82687	0.14534	0.14534	0.54	0.472
Square	2	0.17652	0.17652	0.08826	0.33	0.725
Sıcaklık*Sıcaklık	1	0.05802	0.00839	0.00839	0.03	0.862
RPM*RPM	1	0.11850	0.11850	0.11850	0.44	0.515
Interaction	1	1.41961	1.41961	1.41961	5.26	0.033
Sıcaklık*RPM	1	1.41961	1.41961	1.41961	5.26	0.033
Residual Error	20	5.40110	5.40110	0.27006		
Lack-of-Fit	3	2.23061	2.23061	0.74354	3.99	0.026
Pure Error	17	3.17049	3.17049	0.18650		
Total	25	7.82531				

Çizelge 4.15'te, soğuk pres işlem koşullarının çörek otu küspesinin L* değeri üzerindeki etkilerine ilişkin varyans analizi bulguları sunulmuştur. Modelin genel anlamlılığı sınır değere yakın bulunmuştur (p=0,160). Ancak *sıcaklık*RPM etkileşim teriminin anlamlı çıkması (*p=0,033*), bu iki faktörün birlikte etkisinin L* değeri üzerinde belirleyici olduğunu göstermektedir. Bireysel etkilerin istatistiksel olarak önemsiz olması, etkileşimin daha önemli olduğunu işaret etmektedir. Bununla birlikte, uyum eksikliğinin anlamlı bulunması, model için kullanılan terimlerin yetersiz olduğunu ve daha fazla terime ihtiyaç duyulduğunu göstermektedir.



Şekil 4.25. Çörek otu küspesi su aktivitesi - vida dönüş hızı - sıcaklık yüzey grafiği

Şekil 4.25'te, çörek otu küspesinin su aktivitesi (aw) değeri üzerine sıcaklık ve vida dönüş hızının etkisi üç boyutlu yüzey grafiğiyle sunulmuştur. En düşük su aktivitesi (<0,54) değerine, sıcaklıktan bağımsız olarak 26-31 rpm vida hızında ulaşılmıştır. Hem dönüş hızının artması hem de azalması durumunda su aktivitesinin yükseldiği, en yüksek aw değerinin (>0,56) yaklaşık 78-90°C ve 99-102°C sıcaklık aralığında, 35-36 rpm vida hızında gözlemlendiği belirlenmiştir. Aynı sıcaklıkta (90 °C) farklı dönüş hızları, su aktivitesinde küçük fakat anlamlı değişikliklere yol açmıştır. Orta hız (30 rpm) daha düşük a_w ile daha stabil ürün verirken, düşük hız (25 rpm) daha yüksek a_w değeri ile mikrobiyal gelişime karşı nispeten daha risklidir. Bu ilişkiye ait matematiksel model Eşitlik 4.13'te verilmiştir.

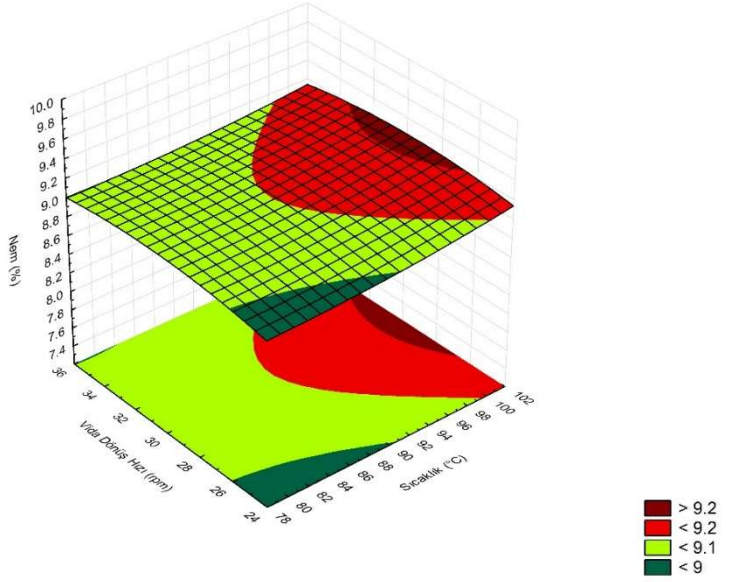
$$a_w = 1.1449-0.0045*x-0.0278*y+2.9879E-5*x*x-3.2E-5*x*y+0.0005*y*y \quad (4.13)$$

(x: Sıcaklık (°C), y: Vida Dönüş Hızı (rpm))

Çizelge 4.16. Çörek otu küspesinin a_w değeri ANOVA tablosu

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	5	0.001663	0.001663	0.000333	0.38	0.858
Linear	2	0.000267	0.000628	0.000314	0.36	0.704
Sıcaklık	1	0.000006	0.000032	0.000032	0.04	0.851
RPM	1	0.000261	0.000534	0.000534	0.61	0.445
Square	2	0.001375	0.001375	0.000688	0.78	0.471
Sıcaklık*Sıcaklık	1	0.000415	0.000049	0.000049	0.06	0.815
RPM*RPM	1	0.000961	0.000961	0.000961	1.09	0.309
Interaction	1	0.000020	0.000020	0.000020	0.02	0.880
Sıcaklık*RPM	1	0.000020	0.000020	0.000020	0.02	0.880
Residual Error	20	0.017608	0.017608	0.000880		
Lack-of-Fit	3	0.001949	0.001949	0.000650	0.71	0.562
Pure Error	17	0.015659	0.015659	0.000921		
Total	25	0.019271				

Çizelge 4.16'da yer alan varyans analizi sonuçlarına göre, işlem parametrelerinin çörek otu küspesinin su aktivitesi üzerindeki bireysel ve etkileşimsel etkileri istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır (p>0,05). Bu sonuç, sıcaklık ve vida dönüş hızının su aktivitesi üzerinde belirgin bir etki oluşturmadığını göstermektedir.



Şekil 4.26. Çörek otu küspesi nem - vida dönüş hızı - sıcaklık yüzey grafiği

Şekil 4.26'da, vida dönüş hızı ve sıcaklık değişkenlerinin çörek otu küspesinin nem içeriği üzerindeki etkilerini gösteren üç boyutlu grafik yer almaktadır. En düşük nem miktarının, 24-26 rpm vida dönüş hızlarında ve 78-90°C sıcaklık aralığında elde edildiği belirlenmiştir. Bu durum, düşük vida dönüş hızının materyalin tamburda daha uzun süre kalmasına ve bu nedenle daha fazla su kaybetmesine bağlanabilir. En yüksek nem içeriği ise 27-33 rpm vida dönüş hızlarında ve 100-102°C sıcaklıkta tespit edilmiştir. Çizelge 4.1'de çörekotunda nem içerikleri birbirine oldukça yakındır (%8,9–9,2). 100 °C'de nemin en yüksek çıkması, yüksek sıcaklıkta hücre yapısının parçalanarak yağ ile nemin daha yavaş uzaklaşmasıyla ilişkili olabilir. Nem değerine ilişkin model Eşitlik 4.14'te sunulmuştur.

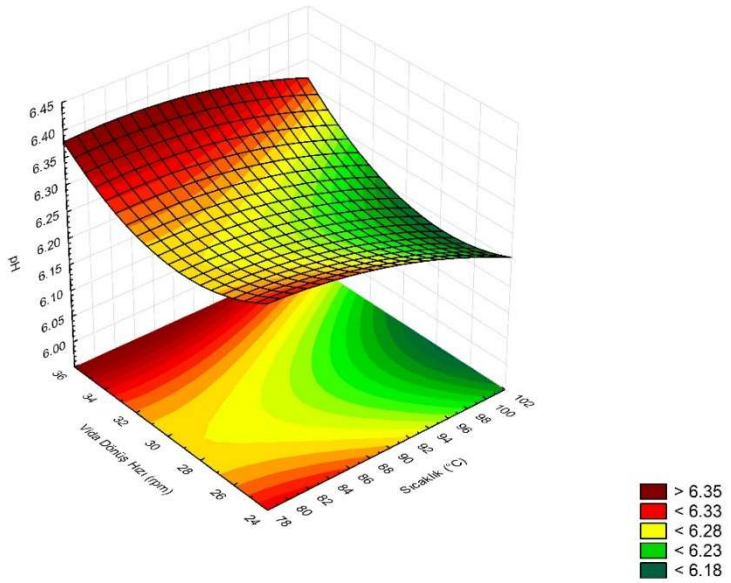
$$\text{Nem (\%)} = 7.7326-0.0366*x+0.1773*y+0.0003*x*x-0.0002*x*y-0.0026*y*y \quad (4.14)$$

(x: Sıcaklık (°C), y: Vida Dönüş Hızı (rpm))

Çizelge 4.17. Çörek otu küspesinin nem değeri ANOVA tablosu

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	5	0.08736	0.08736	0.017472	0.07	0.996
Linear	2	0.06310	0.02211	0.011055	0.04	0.957
Sıcaklık	1	0.06063	0.00212	0.002123	0.01	0.928
RPM	1	0.00247	0.02165	0.021653	0.09	0.772
Square	2	0.02344	0.02344	0.011721	0.05	0.954
Sıcaklık*Sıcaklık	1	0.00005	0.00423	0.004233	0.02	0.898
RPM*RPM	1	0.02339	0.02339	0.023388	0.09	0.763
Interaction	1	0.00082	0.00082	0.000820	0.00	0.955
Sıcaklık*RPM	1	0.00082	0.00082	0.000820	0.00	0.955
Residual Error	20	5.00361	5.00361	0.250181		
Lack-of-Fit	3	0.05595	0.05595	0.018649	0.06	0.978
Pure Error	17	4.94767	4.94767	0.291039		
Total	25	5.09097				

Çizelge 4.17'de yer alan varyans analizi bulgularına göre, işlem parametrelerinin nem içeriği üzerindeki bireysel ve etkileşimsel etkileri istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır (p>0,05). Ayrıca, uyum eksikliğinin önemsiz çıkması, bu modelin bu verilerin temsilinde kullanımı sonucu herhangi bir uyumsuzluk yaşanmayacağını göstermektedir.



Şekil 4.27. Çörek otu küspesi pH - vida dönüş hızı - sıcaklık yüzey grafiği

Şekil 4.27'de, çörek otu küspesinin pH değerleri üzerine sıcaklık ve vida dönüş hızının etkilerini gösteren üç boyutlu yüzey grafiği sunulmuştur. En yüksek pH değerlerinin, 35-36 rpm vida dönüş hızlarında ve 78-95°C sıcaklık aralığında elde edildiği belirlenmiştir. En düşük pH değerleri ise 24-30 rpm vida hızında ve 99-102°C sıcaklık aralığında tespit edilmiştir. Bu ilişkiye ait matematiksel model Eşitlik 4.15'te verilmiştir.

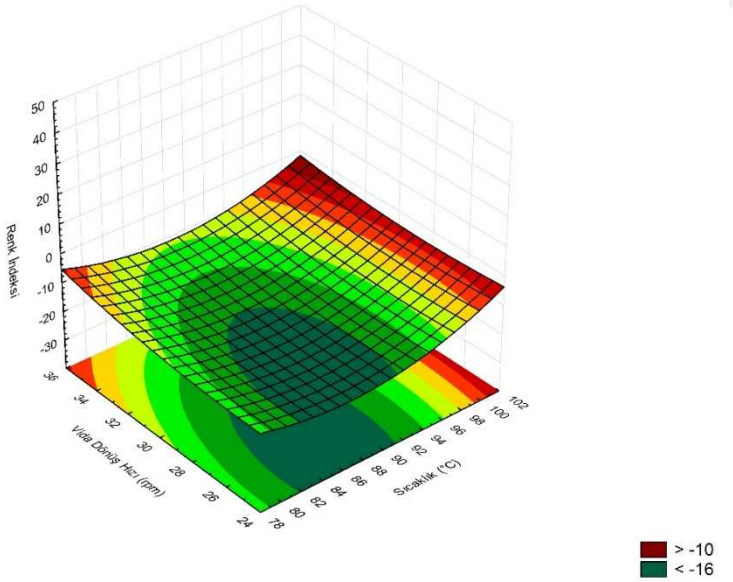
$$pH = 7.3804+0.0211*x-0.1326*y-0.0002*x*x+0.0002*x*y+0.002*y*y \quad (4.15)$$

(x: Sıcaklık (°C), y: Vida Dönüş Hızı (rpm))

Çizelge 4.18. Çörek otu küspesinin pH değeri ANOVA tablosu

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	5	0.046557	0.046557	0.009311	0.58	0.716
Linear	2	0.031804	0.012188	0.006094	0.38	0.690
Sıcaklık	1	0.018802	0.000703	0.000703	0.04	0.837
RPM	1	0.013002	0.012125	0.012125	0.75	0.396
Square	2	0.013850	0.013850	0.006925	0.43	0.656
Sıcaklık*Sıcaklık	1	0.000017	0.001683	0.001683	0.10	0.750
RPM*RPM	1	0.013833	0.013833	0.013833	0.86	0.365
Interaction	1	0.000903	0.000903	0.000903	0.06	0.815
Sıcaklık*RPM	1	0.000903	0.000903	0.000903	0.06	0.815
Residual Error	20	0.321889	0.321889	0.016094		
Lack-of-Fit	3	0.047049	0.047049	0.015683	0.97	0.430
Pure Error	17	0.274840	0.274840	0.016167		
Total	25	0.368446				

Çizelge 4.18'de, sıcaklık ve vida dönüş hızının pH değeri üzerindeki etkilerini değerlendirmek amacıyla gerçekleştirilen varyans analizi bulguları yer almaktadır. Hem bireysel hem de etkileşim terimlerinin pH değeri üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bir etkisinin bulunmadığı belirlenmiştir (p>0,05).



Şekil 4.28. Çörek otu yağında renk indeksi - vida dönüş hızı - sıcaklık yüzey grafiği

Şekil 4.28'de, çörek otu yağı renk indeksi (PCI) üzerine işlem koşullarının etkileri üç boyutlu grafikle sunulmuştur. Renk indeksinin en düşük olduğu koşullar 82-91°C sıcaklık

aralığında ve 24-30 rpm vida dönüş hızında gözlenmiştir. Çörekotu yağında renk değerleri incelendiğinde, en açık renk 100 °C sıcaklık ve 25 rpm dönüş hızı koşullarında −6,76 ± 9,54 olarak, en koyu renk ise 90 °C sıcaklık ve 30 rpm dönüş hızı koşullarında −16,83 ± 22,17 olarak belirlenmiştir. En yüksek renk indeksine ise 99-102°C sıcaklık aralığında ulaşılmış, bu durumda vida dönüş hızının anlamlı bir etkisi bulunmamıştır. Bu ilişkiye ait matematiksel model Eşitlik 4.16'da verilmiştir.

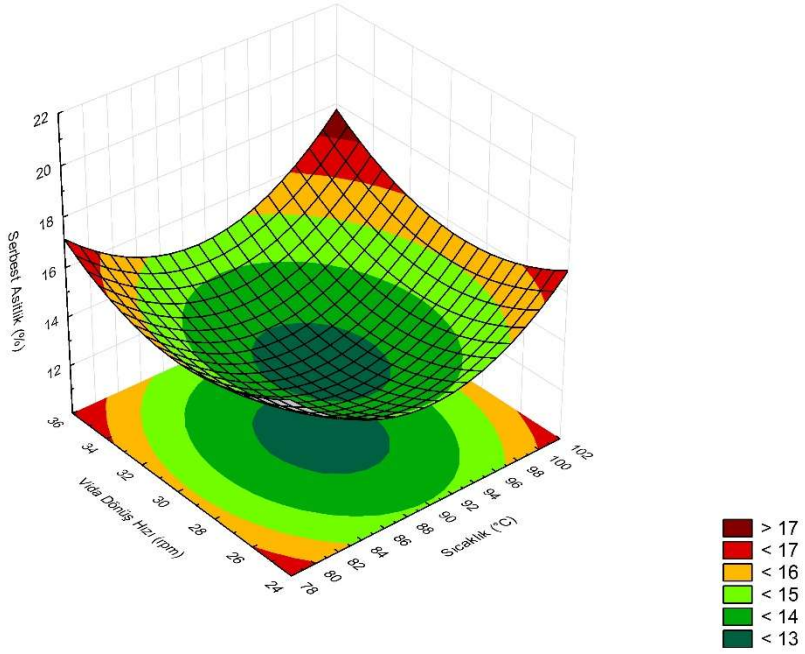
PCI = 402.6328-9.2866*x-1.3059*y+0.0563*x*x-0.0188*x*y+0.0569*y*y (4.16)

(x: Sıcaklık (°C), y: Vida Dönüş Hızı (rpm))

Çizelge 4.19. Çörek otu yağının renk indeksi (PCI) değeri ANOVA tablosu

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	5	407.96	407.96	81.592	0.23	0.945
Linear	2	143.87	146.08	73.040	0.21	0.815
Sıcaklık	1	91.41	136.37	136.373	0.39	0.542
RPM	1	52.46	1.18	1.175	0.00	0.955
Square	2	257.02	257.02	128.511	0.36	0.700
Sıcaklık*Sıcaklık	1	245.83	174.83	174.830	0.49	0.490
RPM*RPM	1	11.19	11.19	11.191	0.03	0.861
Interaction	1	7.07	7.07	7.069	0.02	0.889
Sıcaklık*RPM	1	7.07	7.07	7.069	0.02	0.889
Residual Error	20	7079.51	7079.51	353.975		
Lack-of-Fit	3	65.59	65.59	21.865	0.05	0.983
Pure Error	17	7013.91	7013.91	412.583		
Total	25	7487.47				

Çizelge 4.19'da sunulan varyans analizi sonuçlarına göre, işlem koşullarının çörek otu yağı renk indeksi üzerindeki bireysel ve etkileşim etkileri istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır. Uyum eksikliğinin istatistiksel olarak önemsiz olması, veriler ile modelin uyumlu olduğunu göstermektedir.



Şekil 4.29. Çörek otu yağında serbest asitlik(%) - vida dönüş hızı - sıcaklık yüzey grafiği

Şekil 4.29'da, çörek otu küspesindeki serbest asitlik değerine (% cinsinden) etki eden sıcaklık ve vida dönüş hızı parametrelerinin üç boyutlu kontur grafiği yer almaktadır. En düşük serbest asitlik (<%13), yüzeyin merkezinde yer alan koyu yeşil bölgede tespit edilmiş olup, bu alan 86-94°C sıcaklık ve 26-32 rpm vida hızı aralığına karşılık gelmektedir. En yüksek serbest asitlik (%>17) ise hem çok yüksek sıcaklıklarda hem de düşük (24-26 rpm) ve yüksek (34-36 rpm) vida dönüş hızlarında gözlenmiştir. Bu eğilim, aşırı düşük sıcaklık/devirde lipaz kaynaklı hidrolizin, aşırı yüksek sıcaklık/devirde ise ısıl/şer etkilerinin serbest yağ asitleri oluşumunu hızlandırdığı; buna karşılık orta sıcaklık–orta düşüklükte devir kombinasyonunun yağ akışkanlığını artırırken hidrolitik/oksidatif ayrışmayı sınırladığı yorumunu desteklemektedir. Serbest asitlik değerine ilişkin model Eşitlik 4.17'de sunulmuştur.

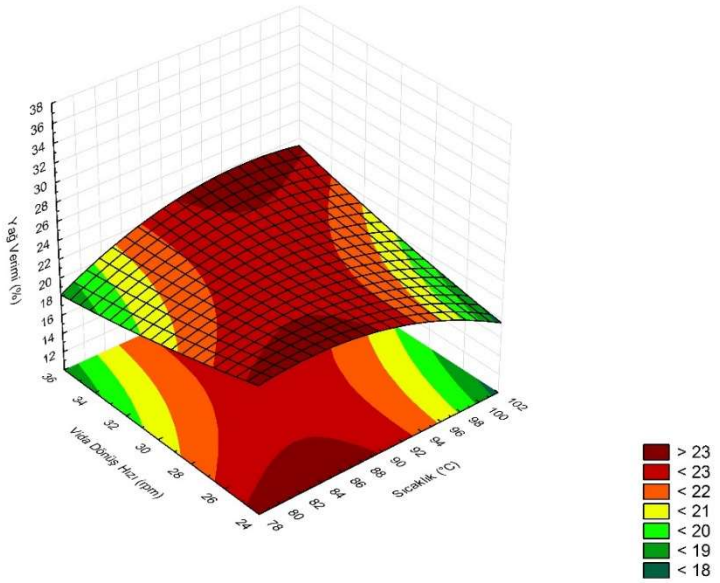
$$\text{Serbest Asitlik (\%)} = 217.3895-3.5687*x-3.0217*y+0.0195*x*x+0.0025*x*y+0.0473*y*y \quad (4.17)$$

(x: Sıcaklık (°C), y: Vida Dönüş Hızı (rpm))

Çizelge 4.20. Çörek otu yağının serbest asitlik (%) değeri ANOVA tablosu

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	5	45.767	45.7672	9.1534	2.38	0.076
Linear	2	0.789	31.1617	15.5809	4.05	0.033
Sıcaklık	1	0.153	20.1388	20.1388	5.23	0.033
RPM	1	0.636	6.2922	6.2922	1.63	0.216
Square	2	44.848	44.8483	22.4241	5.82	0.010
Sıcaklık*Sıcaklık	1	37.123	20.9266	20.9266	5.43	0.030
RPM*RPM	1	7.726	7.7255	7.7255	2.01	0.172
Interaction	1	0.130	0.1300	0.1300	0.03	0.856
Sıcaklık*RPM	1	0.130	0.1300	0.1300	0.03	0.856
Residual Error	20	77.027	77.0269	3.8513		
Lack-of-Fit	3	6.591	6.5909	2.1970	0.53	0.668
Pure Error	17	70.436	70.4360	4.1433		
Total	25	122.794				

Çizelge 4.20'de, işlem koşullarının soğuk sıkım çörek otu yağının serbest asitlik değeri üzerindeki etkilerini inceleyen varyans analizi bulguları yer almaktadır. Elde edilen matematiksel model, anlamlılık sınırına oldukça yakın bir değerde bulunmuştur (p=0,076). İşlem parametrelerinden sıcaklık, hem bireysel (p=0,033) hem de karesel (p=0,030) etkileriyle serbest asitlik üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur. Öte yandan, vida dönüş hızının bireysel ve etkileşimsel etkileri anlamlı çıkmamıştır. Ayrıca, uyum eksikliğinin önemsiz bulunması, veriler ile modelin uyumlu olduğunu göstermektedir.



Şekil 4.30. Çörek otu yağında verim - vida dönüş hızı - sıcaklık yüzey grafiği

Şekil 4.30'da, soğuk sıkım çörek otu yağı verimi üzerine işlem koşullarının etkilerini gösteren üç boyutlu yüzey kontur grafiği sunulmuştur. En yüksek yağ verimi, 24-26 rpm vida dönüş hızında 78-86°C sıcaklıkta ve 32-36 rpm hızda 90-102°C aralığında elde edilmiştir. Vida dönüş hızının artmasıyla birlikte sıcaklığın da yükselmesi, yağın viskozitesini azaltarak hammaddeden daha kolay ayrılmasını sağlamaktadır. Düşük sıcaklıklarda ise, daha viskoz yapıdaki yağın ekstraksiyonu için hammaddenin sistemde daha uzun süre işlenmesi gerektiği anlaşılmaktadır. Bu koşullar altında yağ verimi %23'ün üzerindedir. Öte yandan, düşük vida hızında sıcaklığın artmasıyla yağ veriminin düşmesi, materyalin uzun süreli yüksek sıcaklığa maruz kalması sonucu kabuk oluşumu ile açıklanabilir. Bu durum, yağın sistemden çıkışını zorlaştırmaktadır. Yağ verimine ilişkin model Eşitlik 4.18'de verilmiştir.

$$\text{Yağ Verimi (\%)} = -1.2432 + 1.9022x - 4.0794y - 0.0169x^2 + 0.0376xy + 0.0118y^2 \quad (4.18)$$

(x: Sıcaklık (°C), y: Vida Dönüş Hızı (rpm))

Çizelge 4.21. Çörek otu yağının yağ verimi ANOVA tablosu

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	5	45.438	45.438	9.0876	0.33	0.889
Linear	2	0.486	14.865	7.4323	0.27	0.766
Sıcaklık	1	0.396	5.722	5.7219	0.21	0.653
RPM	1	0.090	11.468	11.4683	0.42	0.526
Square	2	16.639	16.639	8.3195	0.30	0.742

Sıcaklık*Sıcaklık	1	16.155	15.851	15.8507	0.58	0.457
RPM*RPM	1	0.484	0.484	0.4841	0.02	0.896
Interaction	1	28.313	28.313	28.3128	1.03	0.323
Sıcaklık*RPM	1	28.313	28.313	28.3128	1.03	0.323
Residual Error	20	550.376	550.376	27.5188		
Lack-of-Fit	3	30.757	30.757	10.2522	0.34	0.800
Pure Error	17	519.619	519.619	30.5659		
Total	25	595.814				

Çizelge 4.21'de, çörek otu tohumu yağ verimi üzerine işlem parametrelerinin etkisini belirlemek amacıyla yapılan varyans analizi sonuçları sunulmaktadır. İşlem parametrelerinin bireysel ve etkileşimsel etkilerinin yağ verimi ortalamaları üzerinde anlamlı bir etkisinin olmadığı belirlenmiştir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında farklı dönüş hızı ve sıcaklık koşullarında soğuk sıkım yöntemi ile işlenen çörek otu tohumları ve hardal tohumlarından elde edilen yağlar ile pres atıklarının fizikokimyasal özellikleri incelenmiştir. Uygulanan işlem parametrelerinin ürünün kalitesi üzerine etkileri incelenmiş hem yağ hem de küspesi bakımından bulgular elde edilmiştir. Çalışma sonunda elde edilen bulgular neticesinde presleme koşullarının ürün üzerindeki etkisi aşağıda maddeler halinde sıralanmıştır.

- Çörek otu yağı ekstraksiyon verimi %18,88–24,23, hardal yağı ekstraksiyon verimi ise %14,23–23,87 arasında değişmiştir. En yüksek verim çörekotu için 100 °C, 35 rpm, hardal için 100 °C, 25 rpm koşullarında elde edilmiştir.
- Serbest asitlik çörek otu yağında %14,12, hardal tohumu yağında ise %3,49 olarak hesaplanmıştır. hardal tohumu yağında bulunmuştur. Çörek otu yağında en düşük serbest asitlik (%12,71 ± 1,57) 90 °C – 30 rpm'de, hardal yağında (%1,72 ± 0,38) ise 90 °C – 25 rpm'de elde edilmiş olup, bu bulgular işleme koşullarının yağ kalitesi üzerinde belirleyici bir faktör olduğunu göstermektedir. Sonuç olarak, incelenen aralıkta çörek otu için 90 °C–30 rpm**,** hardal için 90 °C–25 rpm serbest asitliği minimize eden işletme penceresini temsil etmektedir.
- Çörek otu yağında renk indeksi, en açık renk 100 °C sıcaklık ve 25 rpm dönüş hızı koşullarında −6,76 ± 9,54 olarak, en koyu renk ise 90 °C sıcaklık ve 30 rpm dönüş hızı koşullarında −16,83 ± 22,17 olarak belirlenmiştir. Hardal tohumu yağında renk değerleri incelendiğinde, en parlak sarı renk 100 °C sıcaklık ve 30 rpm dönüş hızı koşullarında 19,53±7,21 olarak, en koyu renk ise 100 °C sıcaklık ve 35 rpm dönüş hızı koşullarında 6,96±0,78 olarak belirlenmiştir. Hardal yağında istediğimiz özellik parlak sarı özelliğidir. 100 °C presleme sırasında yağlarda bulunan β-karoten gibi sarı–turuncu pigmentler daha etkin şekilde serbest kalır ve yağa geçer. Düşük dönüş hızında ekstraksiyon sınırlı kalabilir ya da yüksek dönüş hızında oksidatif strese maruz kalabildiği için uygun dönüş hızı 30 rpm olarak pigmentlerin çözülmesini artırırken bozulmayı minimuma indiren dengeli bir koşul sağlanmıştır.

- Yağ asidi kompozisyonu sonuçları incelendiğinde, çörek otu yağının baskın yağ asidi olarak linoleik asit ortalama %58,78 düzeyinde tespit edilmiştir. İkinci en çok bulunan yağ asidi ise miktarı %24,99-%25,83 değerleri arasında değişen oleik asit olmuştur. Bu yağ asitlerini ise miktarı %11,96 ile %12,17 arasında değişen palmitik asit takip etmektedir. Hardal tohumu yağında baskın yağ asidinin ortalama %57,68 ile erüsik asit olduğu görülmüştür. Diğer baskın yağ asitleri olarak ise oleik asit (%21,21-%21,75) ve linoleik asit (%13,56-%13,83) tespit edilmiştir. Yüksek sıcaklık ve orta dönüş hızı, pigment ve yağ asitlerinin serbestleşmesini artırarak erüsik asit oranını yükseltirken; daha düşük sıcaklıklarda ekstraksiyonun sınırlı kalması erüsik asit miktarını azaltmıştır. Bu bulgular, işleme koşullarının yağın yağ asidi kompozisyonu üzerindeki etkilerini açıkça ortaya koymaktadır.

Hardal ve çörek otu tohumunda küspesindeki analiz sonuçları aşağıdaki gibidir.

- Çörek otu tohumu küspesinde ortalama nem miktarı %9,09 olarak, hardal tohumu küspesinde ortalama nem miktarı ise %7,02 olarak bulunmuştur. Nem oranları değerlendirildiğinde hardal küspesinin çörekotuna kıyasla daha düşük nem içermesi nedeniyle depolama stabilitesi ve raf ömrü açısından avantajlı olduğunu ortaya koymaktadır. Raf ömrünün belirlenmesi açısından en düşük nem oranı hardal küspesi için 90°C 35 rpm koşullarında, çörek otu için 90°C 25 rpm koşullarında gerçekleşmiştir.
- Su aktivitesi çörek otu tohumu küspesinde ortalama 0,54±0,03 olarak ölçülmüştür. Hardal tohumu küspesinde su aktivitesi 0,47±0,02 olarak ölçülmüştür. Çörek otu tohumu küspesi için en düşük su aktivitesi 80°C-25 rpm, hardal tohumu küspesi için 80°C-35 rpm koşullarında gerçekleşmiştir.
- pH analizi sonucu çörek otu tohumu küspesinde 6,28±0,12 aralığında, hardal tohumu küspesinde 5,63±0,29 aralığında bulunmuştur. Bu bulgulara ait akademik verilere ulaşılamamıştır.
- FTIR analiz sonuçları incelendiğinde çörek otu ve hardal tohumu pres atıklarında çeşitli fonksiyonel gruplara ait karakteristik pikler tespit edilmiştir. Bu pikler pres atıklarında biyolojik olarak aktif bileşenlerin (yağ, protein, karbonhidrat ve fenolik bileşikler) varlığını işaret etmektedir. FTIR verileri çörek otu küspesinin kimyasal kompozisyonunun uygulanan presleme koşullarına duyarlı olduğunu

göstermektedir. Daha düşük yağ ekstraksiyon veriminde (örneğin Ç3) lipit sinyalleri öne çıkarken, daha etkin yağ uzaklaştırma veya daha lifli fraksiyonların baskın olduğu koşullarda (Ç2, Ç4, Ç5) polisakkarit/lignin temelli yapılar daha karakteristik hale gelmektedir. Hardal tohumu küspesinde rpm değerinin artışı (35 rpm) yağ ekstraksiyon verimini düşürerek lipit sinyallerini güçlendirmiş; düşük rpm (25 rpm) ise yağ ekstraksiyonunu daha verimli kılarak lif/polisakkarit sinyallerini baskın hale getirmiştir. Sıcaklık parametresi de önemli bir rol oynamaktadır; 100 °C koşullarında ekstraksiyon veriminin arttığı, 80 °C koşullarında ise yağ kalıntısının daha fazla olduğu anlaşılmaktadır. Bu bulgular, presleme sıcaklığı ve vida devrinin hardal tohumu küspesinin kimyasal bileşimi üzerinde belirleyici etkiler yarattığını ortaya koymaktadır.

- Renk sonuçlarına bakıldığında çörek otu tohumu küspesinde ortalama L*, a* ve b* değerleri sırasıyla 16,43, -2,50 ve 6,44 olarak belirlenmiştir. Hardal tohumu küspesinde L*a* ve b* değerleri sırasıyla 36,63, 5,20 ve 29,72 olarak belirlenmiştir. Bu bulgular çörek otu küspesinin işlem sonunda hardal tohumuna göre daha koyu, hardal tohumunun ise daha sarı elde edildiğini göstermektedir.

KAYNAKLAR DİZİNİ

Abul-Fadl, M. M., El-Badry, N., & Ammar, M. S. (2011). *Nutritional and Chemical Evaluation for Two Different Varieties of Mustard Seeds*. World Applied Sciences Journal, 15(9), 1225-1233.

Aktaş, A. B. (2021). *Bitkisel yağlarda renk. Gıdalarda renk* içinde (E. Hastaoğlu, ed.), (s. 203–224). Akademisyen Kitabevi, ISBN: 978-625-7401-03-6.

Aksoy, A. (2021). *Gıdalarda pH Ölçümünün Önemi*. Haliç Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 4(2), 193-216. doi: 10.46373/hafebid.978917

Aksoy, M. (2022). *Piyasada satışa sunulan çörekotu (Nigella sativa L.) yağlarının bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri açısından değerlendirilmesi.* Yüksek Lisans Tezi, Necmettin Erbakan Üniversitesi, Gıda Mühendisliği, Konya.

Ali, B. H., & Blunden, G. (2003). *Pharmacological and toxicological properties of Nigella sativa*. Phytotherapy Research, 17(4), 299-305. doi: 10.1002/ptr.1309

Ancuța, P., & Sonia, A. (2020). *Oil Press-Cakes and Meals Valorization Through Circular Economy Approaches: A Review.* Applied Sciences*,* 10*(21), 7432. https://doi.org/10.3390/app10217432*

Anonim (2025). *Mustard Seed Production*. https://www.helgilibrary.com/indicators/mustard-seed-production/, erişim tarihi: 20.04.2025

Antova, G. A., Angelova-Romova, M. I., Petkova, Zh. Y., Teneva, O. T., & Marcheva, M. P. (2017). *Lipid composition of mustard seed oils (Sinapis alba L.).* Bulgarian Chemical Communications, 49, 55-60.

AOCS. (2003). American Oil Chemists' Society. Methods: Cc 13c-50. *Official Methods and Recommended Practices of the American Oil Chemists' Society* (5. Basım). Champaign, IL:AOCS Press.

Arıoğlu, H. (2016). *Türkiye'de Yağlı Tohum ve Ham Yağ Üretimi, Sorunlar ve Çözüm Önerileri.* Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü Dergisi, 25(2), 357-368.

KAYNAKLAR DİZİNİ

Assefa, A. D., Kim, S.-H., Ko, H. C., Ro, N., Subramanian, P., Chung, Y.-J., Lee, Y.-H., Hahn, B.-S., & Rhee, J.-H. (2023). *Leaf Mustard (Brassica juncea) Germplasm Resources Showed Diverse Characteristics in Agro-Morphological Traits and Glucosinolate Levels*. Foods, 12(23), 4374. doi: 10.3390/foods12234374

Aydoğmuş, E. (2020). *Bitkisel Yağlardan Poliollerin Sentezlenmesi ve Üretilen Poliüretanların Karakterizasyonu.* Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı, Elazığ.

Ayhan, F., & Altınkaynak, D. (2020). *Çörek Otu Fizibilite Raporu ve Yatırımcı Rehberi* (ed. B. Akgün, E. Toprak, V. Yurtkulu, & E. Türktemel). *T.C Tarım ve Orman Bakanlığı Bitkisel Üretim Genel Müdürlüğü*.

BAKA. (2022). *Batı Akdeniz Kalkınma Ajansı, Çörek Otu Tarımı ve Endüstrisi Fizibilite Raporu.* https://baka.gov.tr/assets/upload/dosyalar/rek-otu-tarimi-ve-endustrisi-fizibilite-raporu.pdf, erişim tarihi: 23.04.2025

Başaran, E. (2023). *Yerli ve İthal Çörek Otu (Nigella sativa L.) Yağının Kimyasal Karakterizasyonu.* Yüksek Lisans Tezi, Bursa Teknik Üniversitesi, Orman Endüstri Mühendisliği, Bursa.

Başoğlu, F., & Bayrak, A. (1984). *Çöreotu (Çörek Otu)'nun Bazı Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri Üzerine Bir Araştırma.* Gıda, 9(6), 325-327.

Beniwal, R., Singh, A., & Bhatti, M. (2024). *Compendium on Phisicochemical Analysis of Different Marketed Preprations Of Musturd Oil.* International Journal of Innovative Science, Engineering & Technology, 11(4), 7-19.

Beşergil, B. (2025). *IR Absorpsiyon Spektroskopisi; Uygulamalar (applications).* https://bilsenbesergil.blogspot.com/p/blog-page_799.html, erişim tarihi: 10.04.2025

Beyzi, E. (2018). *Çörek Otu Bitkisinin (Nigella sativa L.) Kayseri Ekolojik Koşullarında Verim ve Kalite Özelliklerinin Belirlenmesi.* Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, 14, 245-248. doi: 10.31590/ejosat.460911

KAYNAKLAR DİZİNİ

Can, M. (2021). *Farklı Çörek Otu (Nigella sativa L.) Genotiplerinin Kışlık Ekim Koşullarında Verim ve Verim Öğelerinin Araştırılması*. Ziraat Mühendisliği, 372, 66-74. doi:10.33724/zm.892185

Canikli, A. (2019). *Genetik olarak geliştirilmiş Nazilli gossipolsüz (bezsiz) pamuk çiğiti ve soğuk sıkım küspesinin besin madde kompozisyonu ve gossipol düzeyi*. Yüksek lisans tezi, Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Zootekni Anabilim Dalı, Tokat, Türkiye.

Cheikh-Rouhou, S., Besbes, S., Hentati, B., Blecker, C., Deroanne, C., & Attia, H. (2007). *Nigella sativa L.: Chemical composition and physicochemical characteristics of lipid fraction.* Food Chemistry, 101(2), 673-681. doi: 10.1016/j.foodchem.2006.02.022

CONTAM (EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain), Knutsen, H. K., Alexander, J., Barregård, L., Bignami, M., Brüschweiler, B., Ceccatelli, S., Dinovi, M., Edler, L., Grasl-Kraupp, B., Hogstrand, C., Hoogenboom, L. (Ron), Nebbia, C. S., Oswald, I., Petersen, A., Rose, M., Roudot, A.-C., Schwerdtle, T., Vollmer, G., … Vleminckx, C. (2016). *Erucic acid in feed and food.* EFSA Journal, 14(11), e04593. doi: 10.2903/j.efsa.2016.4593

Cui, W., Eskin, N. A. M., & Biliaderis, C. G. (1993). *Chemical and physical properties of yellow mustard (Sinapis alba L.) mucilage.* Food Chemistry, 46(2), 169-176. doi: 10.1016/0308-8146(93)90032-B

Çağlar, M. Y., Demirci, M., Şahiner, A., Çakır, B., & Çağlar, A. F. (2019). *Gıda analizlerinde kullanılan spektroskopik teknikler.* Akademik Gıda, 17(1), 121–130. doi: 10.24323/akademik-gida.544975

Damian, C. (2014). *Physical Properties of Mustard Seeds (Sinapis Alba L.).* Lucrări Ştiinţifice - Seria Zootehnie, 61, 39-44.

KAYNAKLAR DİZİNİ

Deviren, A., Ok, S., & Yılmaz, E. (2021). *Soğuk baskı yöntemiyle üretilmiş greyfurt çekirdek yağındaki acılığın yıkama/ekstraksiyon teknikleriyle giderilmesi*. Akademik Gıda, 19(4), 404-413. doi: 10.24323/akademik-gida.1050772

Eryılmaz, T. (2009). *Hardal Yağı Biyodizelinde Farklı Karışım Oranlarının Dizel Motorlarda Performansa Etkisi.* Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi, Tarım Makineleri Anabilim Dalı, Konya, Türkiye.

Ferizi, R., Ramadan, M. F., & Maxhuni, Q. (2023). *Black Seeds (Nigella sativa) Medical Application and Pharmaceutical Perspectives*. Journal of Pharmacy and Bioallied Sciences, 15(2), 63-67. doi: 10.4103/jpbs.jpbs_364_22

Fernández-Vázquez, R., Stinco, C. M., Meléndez-Martínez, A. J., Heredia, F. J., & Vicario, I. M. (2011). *Visual and instrumental evaluation of orange juice color: A consumers' preference study.* Journal of Sensory Studies, 26*(6), 436–444. doi: 10.1111/j.1745-459X.2011.00360*.x

Gali-Muhtasib, H., El-Najjar, N., & Schneider-Stock, R. (2006). *The medicinal potential of black seed (Nigella sativa) and its components*. In *M. T. H. Khan & A. Ather* (Eds.), *Advances in Phytomedicine*, Vol. 2, pp. 133-153. Elsevier. doi: 10.1016/S1572-557X(05)02008-8

Geçgel, Ü., Apaydın, D., Gıdık, B., & Önemli, F. (2016). *Yabani Hardal (Sinapis Arvensis L.) Yağının Fizikokimyasal Özellikleri Ve Biyodizel Endüstrisinde Değerlendirme Olanakları*. 2. Ulusal Biyoyakıtlar Sempozyumu, Bildiri Kitabı, sf. 353. 27-30 Eylül 2016, Samsun

Gıdık, B., & Önemli, F. (2019). *Brassica Juncea, Brassica Napus, Sinapis Alba ve Camelina Sativa'nın Yağ İçeriği ve Yağ Asitleri Kompozisyonunun Belirlenmesi*. Bahçe, 48(2), 65-72.

KAYNAKLAR DİZİNİ

Giger-Reverdin, S., Duvaux-Ponter, C., Sauvant, D., Martin, O., Nunes do Prado, I., & Müller, R. (2002). *Intrinsic buffering capacity of feedstuffs.* Animal Feed Science and Technology, 96(1–2), 83–102. doi: 10.1016/S0377-8401(01)00330-3

Grygier, A. (2022). *Mustard Seeds as a Bioactive Component of Food.* Food Reviews International, 39(7), 4088–4101. doi: 10.1080/87559129.2021.2015774

Gülseren, M. (2019). *Çeşitli Bitkisel Soğuk Pres Atıklarının Endüstriyel Kek Üretiminde Kullanılması.* Yüksek Lisans Tezi, Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, Tekirdağ, Türkiye.

Hussein El-Tahir, K. E.-D., & Bakeet, D. M. (2006). *The Black Seed Nigella sativa Linnaeus—A Mine for Multi Cures: A Plea for Urgent Clinical Evaluation of its Volatile Oil.* Journal of Taibah University Medical Sciences, 1(1, Supplement C), 1-19. doi: 10.1016/S1658-3612(06)70003-8

İçyer, N. C., & Durak, M. Z. (2019). *Bitkisel yağlarda tağşiş belirleme metotları: Fourier dönüşümlü kızılötesi (FTIR) spektroskopisi*. Helal ve Etik Araştırmalar Dergisi, 1(2), 138–149.

Jinadasa, B. K. K. K., Van Bockstaele, F., Cvejic, J. H., & Simal-Gandara, J. (2022). *Chapter 11—Current trends and next generation of future edible oils.* In *R. Bhat* (ed.), *Future Foods*, pp. 203-231. Academic Press. doi: 10.1016/B978-0-323-91001-9.00005-0

Karka, H. U. (2025). *Enstrümental Analiz: Renk Ölçüm Cihazları. Gaziantep Üniversitesi Ders Notları*. https://akbis.gantep.edu.tr/yonetim/upload/files/110465-7716.pdf, erişim tarihi: 05.08.2025

Kaur, R., Sharma, A. K., Rani, R., Mawlong, I., & Rai, P. K. (2019). *Medicinal Qualities of Mustard Oil and Its Role in Human Health against Chronic Diseases: A Review*. Asian Journal of Dairy and Food Research, 38(2), 98-104. doi:10.18805/ajdfr.DR-1443

KAYNAKLAR DİZİNİ

Kayaçetin, F. (2020). *Botanical characteristics, potential uses and cultivation possibilities of mustards in Turkey: a review.* Turkish Journal of Botany, 44(2), 101-127. doi:10.3906/bot-1909-30

Küçükyıldırım, M. (2024). *Ekstraksiyon yöntemlerinin pamuk tohumu (çiğit) proteini özellikleri ve gosipol içeriğine etkisinin araştırılması* (Yüksek lisans tezi, T.C. Harran Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, Şanlıurfa, Türkiye).

Meram, A., & Tontul, I. (2024). *Physical, chemical, and technological properties of protein isolate obtained from hazelnut press cake as affected by drying technique*. Food Bioscience, 60, 104508. doi: 10.1016/j.fbio.2024.104508

Moyano, M. J., Meléndez-Martínez, A. J., Alba, J., & Heredia, F. J. (2008). *A comprehensive study on the colour of virgin olive oils and its relationship with their chlorophylls and carotenoids indexes (I): CIEXYZ non-uniform colour space.* Food Research International, 41(5), 505–512. doi: 10.1016/j.foodres.2008.03.007

Nguyen, T., Nandasiri, R., Fadairo, O., & Eskin, N. A. M. (2024). *Phenolics of mustard seeds: A review on composition, processing effect and their bioactvities*. Journal of the American Oil Chemists' Society, 101(1), 5-21. doi: 10.1002/aocs.12783

O'Brien, R. D. (2008). *Fats and Oils: Formulating and Processing for Applications* (3rd ed. b.). CRC Press. doi: 10.1201/9781420061673

Onat, B., Arıoğlu, H., Güllüoğlu, L., Kurt, C., & Bakal, H. (2017). *Dünya ve Türkiye'de Yağlı Tohum ve Ham Yağ Üretimine Bir Bakış*. KSÜ Doğa Bilimleri Dergisi, 20, 149-153. doi:10.18016/ksudobil.349197

Özdemir, E. (2023). *Türkiye'de yetiştirilen yağlı tohumlu bitkiler ve kullanım alanları*. *Mühendislik Alanında Yenilikçi Çalışmalar - I (2023/1)* içinde (G. Çaylı, ed.), s. 85-124*,* Artikel Akademi, İstanbul, Türkiye.

KAYNAKLAR DİZİNİ

Petraru, A., Ursachi, F., & Amariei, S. (2021). *Nutritional Characteristics Assessment of Sunflower Seeds, Oil and Cake. Perspective of Using Sunflower Oilcakes as a Functional Ingredient.* Plants, 10(11), 2487. doi: 10.3390/plants10112487

Popović, S., Hromiš, N., Šuput, D., Bulut, S., Romanić, R., & Lazić, V. (2020). *Chapter 3—Valorization of by-products from the production of pressed edible oils to produce biopolymer films.* In *M. F. Ramadan (Ed.)*, *Cold Pressed Oils* (pp. 15-30). Academic Press. doi: 10.1016/B978-0-12-818188-1.00003-7

Rakita, S., Kokić, B., Manoni, M., Mazzoleni, S., Lin, P., Luciano, A., Ottoboni, M., Cheli, F., & Pinotti, L. (2023). *Cold-Pressed Oilseed Cakes as Alternative and Sustainable Feed Ingredients: A Review.* Foods, 12(3), 432. doi: 10.3390/foods12030432

Ramadan, M. F., & Mörsel, J.-T. (2002). *Characterization of phospholipid composition of black cumin (Nigella sativa L.) seed oil.* Nahrung, 46(4), 240-244. doi: 10.1002/1521-3803(20020701)46:4%3C240::AID-FOOD240%3E3.0.CO;2-1

Ramadan, M. F. (2007). *Nutritional value, functional properties and nutraceutical applications of black cumin (Nigella sativa L.): An overview.* International Journal of Food Science & Technology, 42(10), 1208-1218. doi:10.1111/j.1365-2621.2006.01417.x

Sawicka, B., Kotiuk, E., Kiełtyka-Dadasiewicz, A., & Krochmal-Marczak, B. (2020). *Fatty Acids Composition of Mustard Oil from Two Cultivars and Physico-chemical Characteristics of the Seeds.* Journal of Oleo Science, 69(3), 207-217. doi: 10.5650/jos.ess19171

Sharif, R. H., Paul, R. K., Bhattacharjya, D. K., & Ahmed, K. U. (2017). *Physicochemical characters of oilseeds from selected mustard genotypes.* Journal of the Bangladesh Agricultural University, 15(1), 27-40. doi: 10.3329/jbau.v15i1.33527

Şeran, E. B. (2011). *Yağlı Tohumlara Uygulanan Ultrasonik Destekli Ön İşlem İle Soğuk Pres Yağlarında Verim ve Kalitenin Arttırılması.* Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, Türkiye.

KAYNAKLAR DİZİNİ

TAGEM. (2021). *Bitkisel Yağlar Sektör Politika Belgesi, 2020-2024.* T. C. Tarım ve Orman Bakanlığı. https://www.tarimorman.gov.tr/TAGEM/Belgeler/yayin/bitkiselyaglar%20sekto%CC%88r%20(1).pdf, erişim tarihi: 05.08.2025

Takahashi, A., Ishizaki, M., Kimira, Y., Egashira, Y., & Hirai, S. (2021). *Erucic Acid-Rich Yellow Mustard Oil Improves Insulin Resistance in KK-A^{y} Mice.* Molecules, 26(3), 546. doi:10.3390/molecules26030546

Tanbek, K. (2011). *Ratlarda Tiyoasetamidle İndüklenen Karaciğer Hasarına Karşı Nigella Sativa (Çörek Otu) Yağının Etkisi.* Yüksek Lisans Tezi, T.C İnönü Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Tıbbı Biyokimya Anabilim Dalı, Malatya, Türkiye.

Thakur, A. K., Singh, K. H., Sharma, D., Parmar, N., & Nanjundan, J. (2019). *Breeding and genomics interventions in Ethiopian mustard (Brassica carinata A. Braun) improvement – A mini review*. South African Journal of Botany, 125, 457-465. doi: 10.1016/j.sajb.2019.08.002

Thani, P. R., Johnson, J. B., Bhattarai, S., Trotter, T., Walsh, K., Broszczak, D., & Naiker, M. (2024). *An In-Depth Examination into How Genotype, Planting Density, and Time of Sowing Affect Key Phytochemical Constituents in Nigella sativa Seed.* Seeds, 3(3), 357-380. doi: 10.3390/seeds3030026

Thomas, J., Kuruvilla, K. M., & Hrideek, T. K. (2012). *21—Mustard.* In *K. V. Peter (Ed.)*, *Handbook of Herbs and Spices (Second Edition),* pp. 388-398. Woodhead Publishing. doi: 10.1533/9780857095671.388

TÜİK. (2025). Türkiye İstatistik Kurumu. https://data.tuik.gov.tr/Kategori/GetKategori?p=Tarim-111, erişim tarihi: 08.04.2025

TÜRKOMP. (2025). *Ulusal Gıda Kompozisyon Veri Tabanı*. T. C. Tarım ve Orman Bakanlığı, https://turkomp.tarimorman.gov.tr/database?type=diets, erişim tarihi: 05.08.2025

KAYNAKLAR DİZİNİ

Uslu, E. K. (2023). *Soğuk Pres Teknolojisi: Soğuk Pres Yağ, Soğuk Pres Keki Eldesi ve Değerlendirilmesi.* Lapseki Meslek Yüksekokulu Uygulamalı Araştırmalar Dergisi, 4(8), 58-66.

Ünay, E., Kayaçetin, F., Özdemir, P., Tunç, A. E., Şenyer, G. Y., & Erişek, A. (2019). *Türkiye'nin Farklı Lokasyonlarında Sonbaharda ve İlkbaharda Yetiştirilen Hardal (Brassica juncea)' ın Soğuk Pres Yöntemiyle Elde Edilen Küspesinin Ruminant Beslemesi Açısından Değerlendirilmesi.* Lalahan Hayvancılık Araştırma Enstitüsü Dergisi, 59(1), 14-18.

Warwick, S. I., Légère, A., Simard, M.-J., & James, T. (2008). *Do escaped transgenes persist in nature? The case of an herbicide resistance transgene in a weedy Brassica rapa population*. Molecular Ecology, 17(5), 1387-1395. doi: 10.1111/j.1365-294X.2007.03567.x

Yeasmin, Mst. S., Rana, G. M. M., Chowdhury, T. A., Ferdousi, L., Rahman, Md. M., & Rahman, Md. M. (2021). *Physico-Chemical Properties and GCMS Analyses of Indigenous Rice Bran and Mustard Seed Oils and their Blends.* Biomedical Journal of Scientific & Technical Research, 34(5), 27167-27172. doi: 10.26717/BJSTR.2021.34.005620