

e-ISSN 2822-2873

ISSN 1303-3107

GIDA VE YEM BİLİMİ - TEKNOLOJİSİ

JOURNAL OF FOOD AND FEED SCIENCE - TECHNOLOGY

Yıl/Year: 22

Sayı/Number:34

2025/2

GIDA VE YEM BİLİMİ - TEKNOLOJİSİ DERGİSİ
Journal of Food and Feed Science - Technology
ISSN 1303-3107
e-ISSN 2822-2873

Yayın Bilgileri (Editorial Information)

Gıda ve Yem Kontrol Merkez
Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü adına sahibi
*Owner on behalf of Central Research Institute
of Food and Feed Control*

Dr. Yıldırım İSTANBULLU*

Dergi Sahibi-Journal Owner
(Enstitü Müdürü-Institute Manager)

Dr. Nazan ÇÖPLÜ*

Sorumlu Yazı İşleri Müdürü (Editor in Chief)

Dr. Vesile ÇETİN*

Yardımcı Yazı İşleri Müdürü (Assistant Editor) ve
İstatistik Editörü (Statistical Editor)

Dr. Hakan TOSUNOĞLU*

Yardımcı Yazı İşleri Müdürü (Assistant Editor)

Ekmek KATMER*

Yardımcı Yazı İşleri Müdürü (Assistant Editor)
Reklam ve Abone İşleri (Advertisement and Subscription) Grafik
Tasarım (Graphics Design)

Dr. Arzu YAVUZ*

Alan Editörü (Technical Editor) ve Dil Editörü (Language Editor)

Dr. Banu AKGÜN*

Alan Editörü (Technical Editor) ve Dil Editörü (Language Editor)

Filiz ÇAVUŞ*

Alan Editörü (Technical Editor) ve İstatistik Editörü (Statistical Editor)

Dr. Erdiç ALTINÇEKİÇ*

Alan Editörü (Technical Editor), İstatistik Editörü (Statistical Editor) ve
Mizanpaj Editörü (Layout Editor)

Nagihan UĞUR*

Alan Editörü (Technical Editor) ve İstatistik Editörü (Statistical Editor)

Şifa ÇALIŞKAN*

Alan Editörü (Technical Editor), Dil Editörü (Language Editor) ve
İstatistik Editörü (Statistical Editor)

Dr. Şafak ANDİÇ*

Alan Editörü (Technical Editor)

*Tarım ve Orman Bakanlığı Gıda ve Yem Kontrol Merkez Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, Türkiye

Yönetim ve Yayın Adresi (Administration and Publishing Address)

Gıda ve Yem Kontrol Merkez Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü
Adalet Mah. 1. Hürriyet Cad., No: 128-2
Hürriyet - 16160 Osmangazi / BURSA

Telefon (Telephone) : + 90 224 246 4720 (Pbx)

Belgegeçer (Fax) : + 90 224 246 1941

E-posta (e-mail): bursagida@tarimorman.gov.tr

Web adresleri (Web sites):

dergipark.org.tr/tr/pub/gidaveyem/
dergipark.org.tr/en/pub/gidaveyem/
arastirma.tarimorman.gov.tr/bursagida
foodandfeed.org

Bu Sayının Bilimsel Yayın Danışmanları*
(Advisory Board)

Prof. Dr. Hasan YALÇIN

Erciyes Üniversitesi,
Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü

Prof. Dr. Sevgi KOLAYLI

Karadeniz Teknik Üniversitesi,
Fen Fakültesi, Kimya Bölümü

Doç. Dr. Ali CİNGÖZ

Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi,
Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü

Doç. Dr. Arda ÇELİK

Bursa Uludağ Üniversitesi,
Ziraat Fakültesi, Zootehni Bölümü

Doç. Dr. Hande BALTACIOĞLU

Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi,
Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü

Doç. Dr. Muazzez CÖMERT ACAR

Ege Üniversitesi,
Ziraat Fakültesi, Zootehni Bölümü

Doç. Dr. Murat Reis AKKAYA

Adana Alparslan Türkeş Bilim ve Teknoloji Üniversitesi,
Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü

Doç. Dr. Mustafa SEVİNDİK

Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi,
Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Biyoloji Bölümü

Doç. Dr. Nazlı ŞAHİN

Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi,
Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü

Doç. Dr. Senem KAMILOĞLU BEŞTEPE

Bursa Uludağ Üniversitesi,
Ziraat Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü

Doç. Dr. Şeniz ÖZİŞ ALTINÇEKİÇ

Bursa Uludağ Üniversitesi,
Ziraat Fakültesi, Zootehni Bölümü

Doç. Dr. Yasin ÖZDEMİR

Tarım ve Orman Bakanlığı,
Atatürk Bahçe Kültürleri Merkez Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü

Dr. Öğr. Üyesi Aysel ELİK DEMİR

Tarsus Üniversitesi, Mersin Tarsus Organize Sanayi Bölgesi Teknik
Bilimler Meslek Yüksekokulu, Gıda İşleme Bölümü

Dr. Öğr. Üyesi Hüseyin DEMİRCAN

Bursa Teknik Üniversitesi,
Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü

Dr. Öğr. Üyesi Yavuz YÜKSEL

Balıkesir Üniversitesi,
Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü

Dr. Öğr. Gör. Berrak DELİKANLI KIYAK

Bursa Uludağ Üniversitesi,
İzmit Meslek Yüksekokulu, Gıda İşleme Bölümü

Dr. Ali GÜLER

Tarım ve Orman Bakanlığı,
Manisa Bağcılık Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü

Dr. Ali TEKİN

Tarım ve Orman Bakanlığı,
Alata Bahçe Kültürleri Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü

Dr. Özlem IŞIK DOĞAN

Tarım ve Orman Bakanlığı,
Gıda ve Yem Kontrol Merkez Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü

Dr. Özlem İSTANBULLU PAKSOY

Tarım ve Orman Bakanlığı,
Gıda ve Yem Kontrol Merkez Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü

*İsimler unvanlarına göre alfabetik sıra ile yazılmıştır.
Names are written in alphabetical order according to titles.



arastirma.tarimorman.gov.tr/bursagida
foodandfeed.org

ISSN 1303-3107
e-ISSN 2822-2873

GIDA VE YEM BİLİMİ - TEKNOLOJİSİ DERGİSİ

*Journal of
Food and Feed
Science - Technology*

Yıl/Year: 22

Sayı/Number: 34

2025/2

Gıda ve Yem Kontrol Merkez Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü
Central Research Institute of Food and Feed Control

YAYIN KURULU*
(Editorial Board)

Dr. Nazan öplü

Sorumlu Yazı İşleri Müdürü (*Editor*)

Tarım ve Orman Bakanlığı, Tarımsal Araştırmalar ve Politikalar Genel Müdürlüğü, Gıda ve Yem Kontrol Merkez Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, Türkiye

Dr. Vesile Çetin

Yardımcı Yazı İşleri Müdürü (*Assistant Editor*) ve İstatistik Editörü (*Statistical Editor*)

Tarım ve Orman Bakanlığı, Tarımsal Araştırmalar ve Politikalar Genel Müdürlüğü, Gıda ve Yem Kontrol Merkez Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, Türkiye

Dr. Hakan Tosunoğlu

Yardımcı Yazı İşleri Müdürü (*Assistant Editor*)

Tarım ve Orman Bakanlığı, Tarımsal Araştırmalar ve Politikalar Genel Müdürlüğü, Gıda ve Yem Kontrol Merkez Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, Türkiye

Ekrem Katmer

Yardımcı Yazı İşleri Müdürü (*Assistant Editor*)

Tarım ve Orman Bakanlığı, Tarımsal Araştırmalar ve Politikalar Genel Müdürlüğü, Gıda ve Yem Kontrol Merkez Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, Türkiye

Dr. Arzu Yavuz

Alan Editörü (*Technical Editor*) ve Dil Editörü (*Language Editor*)

Tarım ve Orman Bakanlığı, Tarımsal Araştırmalar ve Politikalar Genel Müdürlüğü, Gıda ve Yem Kontrol Merkez Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, Türkiye

Dr. Banu Akgün

Alan Editörü (*Technical Editor*) ve Dil Editörü (*Language Editor*)

Tarım ve Orman Bakanlığı, Tarımsal Araştırmalar ve Politikalar Genel Müdürlüğü, Gıda ve Yem Kontrol Merkez Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, Türkiye

Dr. Erdinç Altınçekiç

Alan Editörü (*Technical Editor*), İstatistik Editörü (*Statistical Editor*) ve Mizanpaj Editörü (*Layout Editor*)

Tarım ve Orman Bakanlığı, Tarımsal Araştırmalar ve Politikalar Genel Müdürlüğü, Gıda ve Yem Kontrol Merkez Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, Türkiye

Filiz Çavuş

Alan Editörü (*Technical Editor*) ve İstatistik Editörü (*Statistical Editor*)

Tarım ve Orman Bakanlığı, Tarımsal Araştırmalar ve Politikalar Genel Müdürlüğü, Gıda ve Yem Kontrol Merkez Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, Türkiye

Nagihan Uğur

Alan Editörü (*Technical Editor*) ve İstatistik Editörü (*Statistical Editor*)

Tarım ve Orman Bakanlığı, Tarımsal Araştırmalar ve Politikalar Genel Müdürlüğü, Gıda ve Yem Kontrol Merkez Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, Türkiye

Şifa Çalışkan

Alan Editörü (*Technical Editor*), Dil Editörü (*Language Editor*) ve İstatistik Editörü (*Statistical Editor*)

Tarım ve Orman Bakanlığı, Tarımsal Araştırmalar ve Politikalar Genel Müdürlüğü, Gıda ve Yem Kontrol Merkez Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, Türkiye

Dr. Şafak Andic

Alan Editörü (*Technical Editor*)

Tarım ve Orman Bakanlığı, Tarımsal Araştırmalar ve Politikalar Genel Müdürlüğü, Gıda ve Yem Kontrol Merkez Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, Türkiye

Prof. Dr. Abdulkadir Çıltaş

Atatürk Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Hayvansal Biyoteknoloji Bölümü, Türkiye

Prof. Dr. Abdullah Öksüz

Necmettin Erbakan Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Beslenme ve Diyetetik Bölümü, Türkiye

Prof. Dr. Ahmet Akköse

Atatürk Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Türkiye

Prof. Dr. Ahmet İnce

Çukurova Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarım Makineleri ve Teknolojileri Mühendisliği, Tarım Makinaları Bölümü, Türkiye

Prof. Dr. Ahmet Levent İnanç

Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Türkiye

Prof. Dr. Ali Gündoğdu

Karadeniz Teknik Üniversitesi Maçka Meslek Yüksekokulu, Eczane Hizmetleri Bölümü, Türkiye

Prof. Dr. Alya Aslaner

Bayburt Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Türkiye

Prof. Dr. Arzu Akpınar Bayizit

Bursa Uludağ Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Türkiye

Prof. Dr. Aycan Tosunoğlu

Bursa Uludağ Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Türkiye

Prof. Dr. Ayşegül Kumral

Bursa Uludağ Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Türkiye

Prof. Dr. Bahattin Akdemir

Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Biyosistem Mühendisliği Bölümü, Türkiye

Prof. Dr. Behiç Coşkun

Konya Gıda ve Tarım Üniversitesi, Tarım ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Türkiye

Prof. Dr. Belgin İzgi

Bursa Uludağ Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Kimya Bölümü, Türkiye

Prof. Dr. Belgin Sırken

Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Veteriner Fakültesi, Türkiye

Prof. Dr. Betül Güroy

Yalova Üniversitesi, Merkez Araştırma Laboratuvarı, Türkiye

Prof. Dr. Bilgen Osman

Bursa Uludağ Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Kimya Bölümü, Türkiye

Prof. Dr. Canan Ece Tamer

Bursa Uludağ Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Türkiye

Prof. Dr. Cem Karagözlü

Ege Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Süt Teknolojisi Bölümü, Türkiye

Prof. Dr. Cemalettin Baltacı

Gümüşhane Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Türkiye

Prof. Dr. Cemalettin Sarıçoban

Selçuk Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Türkiye

Prof. Dr. Çağrı Özgür Özkan

Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Göksun Meslek Yüksekokulu, Bitkisel ve Hayvansal Üretim Bölümü, Türkiye

*İsimler, unvanlara göre alfabetik sırada yazılmıştır.
Names are written in alphabetical order according to titles.

YAYIN KURULU*

(Editorial Board)

Prof. Dr. Derya Yeşilbağ

Bursa Uludağ Üniversitesi, Veteriner Fakültesi, Türkiye

Prof. Dr. Elif Tümay Özer

Bursa Uludağ Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Kimya Bölümü, Türkiye

Prof. Dr. Emine Budaklı Çarpıcı

Bursa Uludağ Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, Türkiye

Prof. Dr. Emrah Torlak

Necmettin Erbakan Üniversitesi, Fen Fakültesi, Moleküler Biyoloji ve Genetik Bölümü, Türkiye

Prof. Dr. Esmeray Küley

Çukurova Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi, Su Ürünleri Avlama ve İşleme Teknolojisi Bölümü, Türkiye

Prof. Dr. Esra Çapanoğlu

İstanbul Teknik Üniversitesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Türkiye

Prof. Dr. Fahrettin Göğüş

Gaziantep Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Türkiye

Prof. Dr. Faik Kantar

Akdeniz Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarımsal Biyoteknoloji Bölümü, Türkiye

Prof. Dr. Faruk Balcı

Bursa Uludağ Üniversitesi, Veteriner Fakültesi, Türkiye

Prof. Dr. Fatih Şen

Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü, Türkiye

Prof. Dr. Fatih Törnük

Yıldız Teknik Üniversitesi, Kimya-Metalürji Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Türkiye

Prof. Dr. Fatma Arık Çolakoğlu

Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Deniz Bilimleri ve Teknolojisi Fakültesi, Çanakkale Uygulamalı Bilimler Yüksekokulu, Gıda Teknolojisi Bölümü, Türkiye

Prof. Dr. Ferit Çoban

Aydın Adnan Menderes Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarım Ekonomisi Bölümü, Türkiye

Prof. Dr. Filiz Özçelik

Ankara Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Türkiye

Prof. Dr. Gülden Başyigit Kılıç

Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Türkiye

Prof. Dr. Gürbüz Güneş

İstanbul Teknik Üniversitesi, Kimya-Metalürji Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Türkiye

Prof. Dr. Güzin Kaban

Atatürk Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Türkiye

Prof. Dr. Hale Şamlı

Bursa Uludağ Üniversitesi, Veteriner Fakültesi, Türkiye

Prof. Dr. Harun Dıraman

Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü Türkiye

Prof. Dr. Hasan Hüseyin Kara

Necmettin Erbakan Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Beslenme ve Diyetetik Bölümü, Türkiye

Prof. Dr. Hasan Vural

Bursa Uludağ Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarım Ekonomisi Bölümü, Türkiye

Prof. Dr. Hasan Yalçın

Erciyes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Türkiye

Prof. Dr. Hasan Yetim

İstanbul Sabahattin Zaim Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Türkiye

Prof. Dr. Hayrettin Akkaya

İstanbul Üniversitesi, Veteriner Fakültesi, Klinik Öncesi Bilimler Bölümü, Türkiye

Prof. Dr. Hülya Gül

Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Türkiye

Prof. Dr. İbrahim Ak

Bursa Uludağ Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Zootekni Bölümü, Türkiye

Prof. Dr. Kağan Kökten

Sivas Bilim ve Teknoloji Üniversitesi, Tarım Bilimleri ve Teknoloji Fakültesi, Bitkisel Üretim ve Teknolojileri Bölümü, Türkiye

Prof. Dr. Lütfiye Yılmaz Ersan

Bursa Uludağ Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Türkiye

Prof. Dr. Mehmet Haluk Türkdemir

Bursa Uludağ Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Kimya Bölümü, Türkiye

Prof. Dr. Mehmet Yüceer

İnönü Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, Türkiye

Prof. Dr. Mete Yılmaz

Bursa Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Biyomühendislik Bölümü, Türkiye

Prof. Dr. Mıhriban Korukluoğlu

Bursa Uludağ Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Türkiye

Prof. Dr. Muhammet Arıcı

Yıldız Teknik Üniversitesi, Kimya Metalürji Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Türkiye

Prof. Dr. Murat Aydın

Atatürk Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarımsal Biyoteknoloji Bölümü, Türkiye

Prof. Dr. Murat Taşan

Namık Kemal Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Türkiye

Prof. Dr. Mustafa Kürşat Demir

Necmettin Erbakan Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Gıda Mühendisliği Bölümü, Türkiye

Prof. Dr. Mükerrrem Kaya

Atatürk Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Türkiye

Prof. Dr. Nurgül Özbay

Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Kimya ve Süreç Mühendisliği Bölümü, Türkiye

Prof. Dr. Omca Demirkol

Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Türkiye

Prof. Dr. Osman Kola

Adana Alparslan Türkeş Üniversitesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Türkiye

Prof. Dr. Osman Tiryaki

Erciyes Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bitki Koruma Bölümü, Türkiye

Prof. Dr. Osman Üçüncü

Karadeniz Teknik Üniversitesi, Maçka Meslek Yüksekokulu, Eczane Hizmetleri Bölümü, Gıda Teknolojisi, Türkiye

YAYIN KURULU*

(Editorial Board)

Prof. Dr. Oya Işık

Çukurova Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi, Temel Bilimler Bölümü, Türkiye

Prof. Dr. Ozan Gürbüz

Bursa Uludağ Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Türkiye

Prof. Dr. Ömer Utku Çopur

Bursa Uludağ Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Türkiye

Prof. Dr. Özlem Turgay

Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Türkiye

Prof. Dr. Ramazan Gökçe

Pamukkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Türkiye

Prof. Dr. Saliha Şahin

Bursa Uludağ Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Kimya Bölümü, Türkiye

Prof. Dr. Semih Ötles

Ege Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Türkiye

Prof. Dr. Seran Temelli

Bursa Uludağ Üniversitesi, Veteriner Fakültesi, Türkiye

Prof. Dr. Serkan Selli

Çukurova Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Türkiye

Prof. Dr. Sibel Soycan Önenç

Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Zootehni Bölümü, Türkiye

Prof. Dr. Sine Özmen Toğay

Bursa Uludağ Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Türkiye

Prof. Dr. Sevgi Kolaylı

Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Fakültesi, Kimya Bölümü, Türkiye

Prof. Dr. Şebnem Budak

Ankara Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Süt Teknolojisi Bölümü, Türkiye

Prof. Dr. Şebnem Pamuk

Afyon Kocatepe Üniversitesi, Veteriner Fakültesi, Türkiye

Prof. Dr. Şefik Kurultay

Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Türkiye

Prof. Dr. Şerife Şule Cengiz

Bursa Uludağ Üniversitesi, Veteriner Fakültesi, Türkiye

Prof. Dr. Şerife Tütüncü

Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Veteriner Fakültesi, Temel Bilimler Bölümü, Türkiye

Prof. Dr. Şule Turhan

Bursa Uludağ Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarım Ekonomisi Bölümü, Türkiye

Prof. Dr. Tanay Bilal

İstanbul Üniversitesi, Veteriner Fakültesi, Türkiye

Prof. Dr. Uğur Günşen

Bandırma Onyedli Eylül Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Beslenme ve Diyetetik Bölümü, Türkiye

Prof. Dr. Yasemin Şahan

Bursa Uludağ Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Türkiye

Prof. Dr. Zehra Büyüktuncer Demirel

Hacettepe Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Beslenme ve Diyetetik Bölümü, Türkiye

Prof. Dr. Zeki Gürler

Afyon Kocatepe Üniversitesi, Veteriner Fakültesi, Türkiye

Prof. Dr. Zeynel Dalkılıç

Aydın Adnan Menderes Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü, Türkiye

Doç. Dr. Adnan Fatih Dağdelen

Bursa Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Türkiye

Doç. Dr. Ali Cingöz

Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Türkiye

Doç. Dr. Ali İhsan Atalay

İğdır Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Zootehni Bölümü, Türkiye

Doç. Dr. Alper Kaşgöz

Yalova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Polimer Malzeme Mühendisliği Bölümü, Türkiye

Doç. Dr. Arda Çelik

Bursa Uludağ Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Zootehni Bölümü, Türkiye

Doç. Dr. Ayşe Kalemtaş

Bursa Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Türkiye

Doç. Dr. Ayşe Neslihan Dündar

Bursa Teknik Üniversitesi, Doğa Bilimleri, Mimarlık ve Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Türkiye

Doç. Dr. Çisem Bulut Albayrak

Aydın Adnan Menderes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Türkiye

Doç. Dr. Fatih Göğçer

Afyonkarahisar Sağlık Bilimleri Üniversitesi, Eczacılık Fakültesi, Eczacılık Meslek Bilimleri, Farmasötik Botanik Anabilim Dalı, Türkiye

Assoc. Professor Gabriela Iordachescu

Dunarea De Jos University, Faculty of Food Science and Engineering, Food Science, Food Engineering Biotechnologies and Aquaculture Department, Romania

Doç. Dr. Gamze Toydemir Şen

Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği, Türkiye

Doç. Dr. Furkan Türker Sarıcaoglu

Bursa Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Türkiye

Doç. Dr. Halil Yalçın

Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Veteriner Fakültesi, Gıda Hijyeni ve Teknolojisi Bölümü, Türkiye

Doç. Dr. Hande Baltacıoğlu

Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Türkiye

Doç. Dr. Hasan Cankurt

Kayseri Üniversitesi, Safiye Çıkrıkçıoğlu Meslek Yüksekokulu, Gıda İşleme Gıda Teknolojisi Programı, Türkiye

Doç. Dr. İlkey Yılmaz

Başkent Üniversitesi, Güzel Sanatlar, Tasarım ve Mimarlık Fakültesi, Gastronomi ve Mutfak Sanatları Programı, Türkiye

Doç. Dr. İlkem Demirköken Mert

Tarım ve Orman Bakanlığı, Tarımsal Araştırmalar ve Politikalar Genel Müdürlüğü, Türkiye

Doç. Dr. İncilay Gökbulut

İnönü Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Türkiye

YAYIN KURULU*

(Editorial Board)

Doç. Dr. Köksal Karadaş

Iğdır Üniversitesi, Iğdır Ziraat Fakültesi, Tarım Ekonomisi Bölümü, Türkiye

Assoc. Professor Liliana Mihalcea

Universitatea Dunarea De Jos Galati, Department of Food Science, Food Engineering and Applied Biotechnology, Romania

Doç. Dr. Merve Tomaş

İstanbul Sabahattin Zaim Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Türkiye

Doç. Dr. Mesut Ertan Güneş

Bursa Uludağ Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksek Okulu, Türkiye

Doç. Dr. Muazzez Cömert Acar

Ege Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Zootečni Bölümü, Türkiye

Doç. Dr. Murat Reis Akkaya

Adana Alparslan Türkeş Bilim ve Teknoloji Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Türkiye

Doç. Dr. Murat Zorba

Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Türkiye

Doç. Dr. Mustafa Sevinç

Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Türkiye

Doç. Dr. Mustafa Yaman

İstanbul Sabahattin Zaim Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Beslenme ve Diyetetik Bölümü, Türkiye

Assoc. Lecturer Dr. Mustafa Zafer Özel

Green Chemistry, Department of Chemistry, University of York, UK

Doç. Dr. Nazlı Şahin

Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Türkiye

Doç. Dr. Oktay Yerlikaya

Ege Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Süt Teknolojisi Bölümü, Türkiye

Doç. Dr. Oya İrmak Cebeci

Yalova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, Türkiye

Doç. Dr. Özlem Esmer

Ege Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Gıda Mühendisliği Bölümü, Türkiye

Doç. Dr. Perihan Yolcu Ömeroğlu

Bursa Uludağ Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Türkiye

Doç. Dr. Senem Kamiloğlu Beştepe

Bursa Uludağ Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Türkiye

Doç. Dr. Serap Duraklı Velioglu

Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Türkiye

Doç. Dr. Şeniz Öziş Altınçekiç

Bursa Uludağ Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Zootečni Bölümü, Türkiye

Doç. Dr. Tuba Dursun Çapar

Erciyes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği, Gıda Teknoloji Ana Bilim Dalı, Türkiye

Doç. Dr. Tuba Şanlı

Ankara Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Süt Teknolojisi Bölümü, Türkiye

Doç. Dr. Yekta Gezginç

Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Türkiye

Doç. Dr. Yasin Özdemir

Tarım ve Orman Bakanlığı, Atatürk Bahçe Kültürleri Merkez Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, Türkiye

Doç. Dr. Yılmaz Uçar

Çukurova Üniversitesi, Aladağ Meslek Yüksekokulu, Ormancılık Bölümü, Türkiye

Dr. Öğr. Üyesi Aşkın Birgül

Bursa Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Türkiye

Dr. Öğr. Üyesi Aysel Elik Demir

Tarsus Üniversitesi, Mersin Tarsus Organize Sanayi Bölgesi Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Gıda İşleme Bölümü, Türkiye

Dr. Öğr. Gör. Berrak Delikanlı Kıyak

Bursa Uludağ Üniversitesi, İznik Meslek Yüksekokulu, Gıda İşleme Bölümü, Türkiye

Dr. Öğr. Üyesi Betül Karşoğlu

Hasan Kalyoncu Üniversitesi, Güzel Sanatlar ve Mimarlık Fakültesi, Gastronomi Bölümü, Türkiye

Dr. Öğr. Üyesi Celale Kırkın Gözükmızı

İstanbul Üniversitesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Türkiye

Dr. Öğr. Üyesi Çağla Özbek

Toros Üniversitesi, Güzel Sanatlar, Tasarım ve Mimarlık Fakültesi, Gastronomi ve Mutfak Sanatları Bölümü, Türkiye

Dr. Öğr. Üyesi Elif Savaş

Bahçeşehir Üniversitesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Türkiye

Dr. Öğr. Üyesi Elif Yıldız

Bursa Uludağ Üniversitesi, Keles Meslek Yüksek Okulu, Gıda Teknolojileri Programı, Türkiye

Dr. Öğr. Üyesi Emre Kabil

Yalova Üniversitesi, Armutlu Meslek Yüksek Okulu, Gıda İşleme Bölümü, Türkiye

Dr. Öğr. Üyesi Ercan Sarıca

Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Türkiye

Dr. Öğr. Üyesi Fatma Cebeci

Bayburt Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Beslenme ve Diyetetik Bölümü, Türkiye

Dr. Öğr. Üyesi Fatma Kübra Sayın

Necmettin Erbakan Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Beslenme ve Diyetetik Bölümü, Türkiye

Dr. Öğr. Üyesi Funda Yılmaz Eker

İstanbul Üniversitesi, Veteriner Fakültesi, Besin Hijyeni ve Teknolojisi Bölümü, Türkiye

Dr. Öğr. Üyesi Gökhan İnat

Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Veteriner Fakültesi, Türkiye

Dr. Öğr. Üyesi Hacer Akpolat

Bayburt Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Beslenme ve Diyetetik Bölümü, Türkiye

Dr. Öğr. Üyesi Halime Uğur

Kütahya Sağlık Bilimleri Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Beslenme ve Diyetetik Bölümü, Türkiye

Dr. Öğr. Üyesi Harun Hurma

Namık Kemal Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Ekonomi Bölümü, Türkiye

Dr. Öğr. Üyesi Hatice Ahu Erdem Kahraman

Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Veteriner Fakültesi, Türkiye

YAYIN KURULU*

(Editorial Board)

Dr. Öğr. Üyesi Hilal Demirkese Bıçak

İstanbul Yeni Yüzyıl Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Beslenme ve Diyetetik Bölümü, Türkiye

Dr. Öğr. Üyesi Hulusi Akçay

Aydın Adnan Menderes Üniversitesi, Zootekni Bölümü, Türkiye

Dr. Öğr. Üyesi İnci Doğan

Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Türkiye

Dr. Öğr. Üyesi Kübra Eryaşar Örer

Bolu İzzet Baysal Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Türkiye

Dr. Öğr. Üyesi Mahmut Genç

Beykoz Üniversitesi, Sanat ve Tasarım Fakültesi, Gastronomi ve Mutfak Sanatları Bölümü, Türkiye

Dr. Öğr. Üyesi Mevhibe Terkuran

Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Kadirli Uygulamalı Bilimler Fakültesi, Gastronomi ve Mutfak Sanatları Bölümü, Türkiye

Dr. Öğr. Üyesi Mukaddes Kılıç Bayraktar

Karabük Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Beslenme ve Diyetetik Bölümü, Türkiye

Dr. Öğr. Üyesi Oya Sipahioğlu

Erciyes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği, Türkiye

Dr. Öğr. Üyesi Pınar Uzun

İsparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Gelendost Meslek Yüksekokulu, Gıda İşleme Bölümü, Türkiye

Dr. Öğr. Üyesi Rahmi Uyar

Aksaray Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Türkiye

Dr. Öğr. Üyesi Reyhan Selin Uysal Afacan

İstanbul Bilgi Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Genetik ve Biyomühendislik Bölümü, Türkiye

Dr. Öğr. Üyesi Sema Konyalı

Namık Kemal Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarım Ekonomisi Bölümü, Türkiye

Dr. Öğr. Üyesi Sevgi Dıblan

Tarsus Üniversitesi, Mersin Tarsus Organize Sanayi Bölgesi Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Gıda İşleme Bölümü, Türkiye

Dr. Öğr. Üyesi Sibel Bölek

Sağlık Bilimleri Üniversitesi, Hamidiye Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Türkiye

Dr. Öğr. Üyesi Sümeyye Sultan Tiske İnan

Karamanoğlu Mehmet Bey Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Türkiye

Dr. Öğr. Üyesi Tuğba Özdal

İstanbul Okan Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Türkiye

Dr. Öğr. Üyesi Yalçın Güçer

Ankara Üniversitesi, Beypazarı Meslek Yüksekokulu, Otel-Lokanta ve İkram Hizmetleri Bölümü, Aşçılık Programı, Türkiye

Dr. Öğr. Üyesi Yavuz Yüksel

Balıkesir Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Türkiye

Dr. Öğr. Üyesi Zehra Gülsünoğlu Konuşkan

İstanbul Aydın Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Beslenme ve Diyetetik Bölümü, Türkiye

Öğr. Gör. Dr. Berrak Delikanlı Kıyak

Bursa Uludağ Üniversitesi, İznik Meslek Yüksekokulu, Gıda İşleme Bölümü, Türkiye

Öğr. Gör. Dr. Cumhuri Berberoğlu

Bursa Uludağ Üniversitesi, Karacabey Meslek Yüksek Okulu, Gıda İşleme Bölümü, Türkiye

Öğr. Gör. Dr. Hacer Akpolat

Bayburt Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Beslenme ve Diyetetik Bölümü, Türkiye

Öğr. Gör. Dr. Hüseyin Can Alpsoy

Bursa Uludağ Üniversitesi, Yenişehir İbrahim Orhan Meslek Yüksek Okulu, Türkiye

Dr. Öğr. Üyesi Hüseyin Demircan

Bursa Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Türkiye

Dr. Öğr. Gör. Kader Çetin

Bursa Uludağ Üniversitesi, Karacabey Meslek Yüksek Okulu, Gıda İşleme Bölümü, Türkiye

Öğr. Gör. Dr. Yalçın Güçer

Ankara Üniversitesi, Kalecik Meslek Yüksek Okulu, Gıda İşleme Bölümü, Türkiye

Dr. Öğr. Üyesi Yavuz Yüksel

Balıkesir Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Türkiye

Dr. Ali Güler

Tarım ve Orman Bakanlığı, Manisa Bağcılık Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, Türkiye

Dr. Ali Tekin

Tarım ve Orman Bakanlığı, Tarımsal Araştırmalar ve Politikalar Genel Müdürlüğü, Alata Bahçe Kùltürleri Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, Türkiye

Dr. Angel Martinez Sanmartin

Food and Canning Industry, National Technological Centre, CTC, Spain

Dr. Aysun Öztürk

Tarım ve Orman Bakanlığı, Tarımsal Araştırmalar ve Politikalar Genel Müdürlüğü, Atatürk Bahçe Kùltürleri Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, Türkiye

Dr. Buket Çetiner

Tarım ve Orman Bakanlığı, Tarımsal Araştırmalar ve Politikalar Genel Müdürlüğü, Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, Türkiye

Dr. Çiğdem Kurtar

Tarım ve Orman Bakanlığı, Gıda ve Kontrol Genel Müdürlüğü, Gıda ve Kontrol Laboratuvarlar Daire Başkanlığı, Türkiye

Dr. Çiğdem Mecitoğlu Güçbilmez

Tarım ve Orman Bakanlığı, Tarımsal Araştırmalar ve Politikalar Genel Müdürlüğü, Bahri Dağdaş Uluslararası Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, Türkiye

Dr. Demet Yıldız Turgut

Tarım ve Orman Bakanlığı, Tarımsal Araştırmalar ve Politikalar Genel Müdürlüğü, Batı Akdeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, Türkiye

Dr. Elif Savaş

Balıkesir Üniversitesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Türkiye

Dr. Fatma Güngör Boynueyri

Tarım ve Orman Bakanlığı, Gıda ve Yem Kontrol Merkez Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, Türkiye

Dr. Halil Rıza Avcı

Tarım ve Orman Bakanlığı, Gıda ve Yem Kontrol Merkez Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, Türkiye

Dr. Huriye Özgöl Uçurum

Tarım ve Orman Bakanlığı, Gıda ve Yem Kontrol Merkez Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, Türkiye

YAYIN KURULU*
(Editorial Board)

Dr. Mehmet Cengiz Arslanoğlu

Tarım ve Orman Bakanlığı, Tarımsal Araştırmalar ve Politikalar Genel Müdürlüğü, Yalova Atatürk Bahçe Kültürleri Merkez Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, Türkiye

Dr. Musa Caner Sayın

Tarım ve Orman Bakanlığı, Pendik Veteriner Kontrol Enstitüsü Müdürlüğü, Türkiye

Dr. Mustafa Zafer Özel

Analytical Chemistry Lecturer, University of Hertfordshire, School of Life and Medical Sciences, Department of Clinical Pharmaceutical and Biological Sciences Division of Pharmaceutical Chemistry, UK

Dr. Oğuz Acar

Tarım ve Orman Bakanlığı, Tarımsal Araştırmalar ve Politikalar Genel Müdürlüğü, Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, Türkiye

Dr. Pervin Uzun

Tarım ve Orman Bakanlığı, Gıda ve Yem Kontrol Merkez Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, Türkiye

Dr. Ramazan Konak

Tarım ve Orman Bakanlığı, Tarımsal Araştırmalar ve Politikalar Genel Müdürlüğü, İncir Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, Türkiye

Dr. Sebahattin Kutlu

Tarım ve Orman Bakanlığı, Tarımsal Araştırmalar ve Politikalar Genel Müdürlüğü, Su Ürünleri Merkez Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, Türkiye

Dr. Seda Kayahan

Tarım ve Orman Bakanlığı, Tarımsal Araştırmalar ve Politikalar Genel Müdürlüğü, Yalova Atatürk Bahçe Kültürleri Merkez Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, Türkiye

Dr. Serpil Tural

Tarım ve Orman Bakanlığı, Samsun Gıda Kontrol Laboratuvar Müdürlüğü, Türkiye

Dr. Tuğba Gezgin

Tarım ve Orman Bakanlığı, Konya Gıda Kontrol Laboratuvar Müdürlüğü, Türkiye

Dr. Özlem Işık Doğan

Tarım ve Orman Bakanlığı, Gıda ve Yem Kontrol Merkez Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, Türkiye

Dr. Özlem İstanbullu Paksoy

Tarım ve Orman Bakanlığı, Gıda ve Yem Kontrol Merkez Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, Türkiye

İÇİNDEKİLER / CONTENTS

Özgün Araştırmalar / Original Articles

Sayfa No

Analitik Metot Verifikasyonunda İç İçe Tasarım Yaklaşımı: Kuru İncirlerde Aflatoksin Örneği 66-77

Nested Design Approach in Analytical Method Verification: Aflatoxin Example in Dried Figs
Tarık Yörükoğlu, Hakan Yavaş, Canan Aydın, Mehmet Yaşar Özkara

Antifungal Activity of Bee Pollen Extracts Against Selected Filamentous Fungi 78-87

Arı Poleni Ekstraktlarının Filamentöz Mantar Türlerine Karşı Antifungal Etkisi
Neslihan Ulubayram, Aycan Yigit Cinar

Derleme Makaleler / Review Papers

Yağlı tohum küspelerinin gıda endüstrisinde kullanım olanakları 1-17

Utilization possibilities of oilseed meals in food industry
Burcu Gizem Ersan, Aslı Yorulmaz

Microflora of table olive fermentation 18-32

Sofralık zeytin fermantasyonunun mikroflorası
Ahmet Bekteş, Merve Gündüz, Şeniz Karabiyikli Çiçek

Characterization and encapsulation methods of lime (*Citrus aurantifolia*) oil: A review 33-49

Misket limonu (*Citrus aurantifolia*) yağının karakterizasyonu ve enkapsülasyon yöntemleri, derleme
Nilüfer Gülcan Akalan, Aslı Gök

Beta glukan: Kaynaklarına göre sağlık faydaları ve besinlerdeki kullanımı 50-65

Beta glukan: Health benefits according to sources and use in foods
Saadet Özen, Hatice Neval Özbek, Fahrettin Göğüş

Derleme Makale/Review Paper

Yağlı tohum küspelerinin gıda endüstrisinde kullanım olanakları

Utilization possibilities of oilseed meals in food industry

Burcu Gizem Ersan^{1*} , Aşlı Yorulmaz¹ 

¹Aydın Adnan Menderes Üniversitesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, AYDIN, TÜRKİYE
(Yazar sıralamasına göre)

ORCID ID: 0009-0001-7752-1133, Gıda Mühendisi

ORCID ID: 0000-0003-4446-6585, Prof. Dr.

*Sorumlu yazar/Corresponding author: burcugizem.ersan@tarimorman.gov.tr

Geliş Tarihi : 23.05.2024

Kabul Tarihi : 20.02.2025

Öz

Amaç: Yağlı tohumlar yağ endüstrisi için önemli olduğu kadar yan ürünleri de farklı endüstriler için önem arz etmektedir. Artan nüfus ve gıda kaynaklarının yetersiz kalması ile birlikte atık olan bu ürünlerin değerlendirilmesi gerekmektedir. Günümüzde yağlı tohum küspeleri; unlu mamuller, içecekler, makarnalar, et ürünleri ve enerji barları gibi çeşitli üretim sektörlerinde kullanılmaktadır. Kullanıldıklarında ürünün protein, lif ve antioksidan içeriğini artırdığı ve ürünü sağlık açısından daha faydalı hale getirdikleri tespit edilmiştir. Bu çalışmanın amacı gıda endüstrisinde yağlı tohum küspelerinin muhtemel kullanım alanlarını değerlendirmektir.

Sonuç: Bu derlemede, yağlı tohum küspelerinin sağladığı yararlar, gıda endüstrisinde kullanım olanakları ve zorluklarına dair yapılmış çalışmalar literatür verileri kapsamında değerlendirilmiştir.

Anahtar kelimeler: yağlı tohum küspeleri; yağlı tohum kekleri; yan ürünler; gıda atıkları

Abstract

Objective: While oilseeds are important for the oil industry, their by-products can also be important for different industries. With a growing population and a shortage of food resources, it is necessary to make use of these waste products. Nowadays, oilseed meals are used in various production sectors such as baked goods, beverages, pasta, meat products, and energy bars. Their use has been shown to increase the protein, fibre and antioxidant content of the product, making it more beneficial to health. The aim of this study was to evaluate the potential for the uses of oilseed meals in the food industry.

Conclusion: In this review, studies on the benefits of oilseed meals, the utilization and challenges of their use in the food industry were evaluated in the context of literature data.

Keywords: oilseed pomace, oilseed meals, oilseed cakes, by-products, food waste

1. Giriş

Yağlı tohumlar, yağ elde etmek için kullanılan ve beslenme açısından önemli olan bitki tohumlarını ifade eder. Yağlı tohum denildiğinde akla chia, kenaf, soya fasulyesi, susam, yer fıstığı, kabak çekirdeği, kaju, kolza ve keten gibi tohumlar gelmektedir (Usman vd., 2023; Zhang vd.,2023).

Yağlı tohumların çoğu kabaca %15 oranında yağ içermektedir ve bu yağ çıkarıldıktan sonra yüksek miktardaki yağlı tohum küspeleri ise atılmaktadır. Tohum küspelerinin değerlendirilmesi genellikle yetersiz kalmakta ve yan ürün olarak kabul edilmektedir. Atık olan yan ürünler mikrobiyal bozulmaya yatkın olmaları ve ekonomik zorlukları nedeniyle çevre ve sağlık açısından endişe vericidirler. Bu yan ürünler diyet lifi, proteinler, antioksidan ve fitokimyasal bileşikler gibi sağlığa faydalı olan değerli bileşikler açısından zengindir (Nevara vd., 2022).

Yağlı tohum küspelerinin olası değerlendirme yöntemleri arasında hayvanlar için yem, kompost; enzim, antibiyotik ve yüzey aktif madde üretiminde substrat ve yeni geliştirilmiş fonksiyonel ürünlerde bileşen olarak değerlendirilme yer almaktadır (Petraru vd., 2021).

Gıda sanayiinde her yıl milyarlarca ton tarımsal ürün artışı olduğu ve bunların çok bulunan, yenilebilir ve ucuz kaynaklar olduğu ifade edilmiştir (Öztürk ve Ova, 2016). Bu yan ürünlerin kullanımı, döngüsel ekonomi kavramının ve etkin atık kullanımının başarılı bir şekilde gerçekleştirilmesine izin vermektedir (Petraru vd., 2021).

Yağlı tohumların gıda sanayiinde işlenmeleri sırasında açığa çıkan yan ürünlerinin değerlendirilebilmesi için yapılan araştırmalar ise son zamanlarda hız kazanmıştır (Öztürk ve Ova, 2016).

2. Yağlı tohumlar

Yağlı tohumlar çeşitli makro besinler (yağ, protein, karbonhidrat ve lif) ve mikro besinler (mineraller, vitaminler ve fitokimyasallar) açısından zengindir. Fitokimyasalların varlığı, antioksidan aktiviteyi sağladıkları için bağışıklığı artırmaya ve iltihaplanmayı azaltmaya yardımcı olurken, minerallerin varlığı enzimatik ve metabolik süreçlere yardımcı olabilmektedir (Usman vd., 2023).

3. Yağlı tohum küspeleri

Ham tohumlar işlenerek yağ elde edilir, bu presyon ve ekstraksiyon sonrasında elde edilen önemli yan ürünler ise yağlı tohum küspeleridir (Sunil vd., 2016; Singh vd., 2022).

Tohumlardan yağ çıkarmak için iki geleneksel yöntem bulunmaktadır. Bunlar solvent ekstraksiyonu ve preslemedir. “Küspe” terimi organik çözücülerle yapılan yağ uzaklaştırma işlemi uygulandığında kullanılırken, “kek” terimi ise doğrudan ekspeller tarafından elde edilmiş olan yan ürünlerde kullanılmaktadır (Hadidi vd., 2024).

Yan ürün olan kekler, yenilebilir ve yenilebilir olmayan şeklinde ikiye ayrılmaktadır. Yenilebilir olanları (yer fıstığı, soya fasulyesi, ayçiçeği, kolza tohumu, pamuk tohumu, keten tohumu, aspir ve mısır) yüksek besin değerlerine sahip olduğundan işlenmiş bileşenler (protein konsantresi, hidrolizati, izolati), bir substrat (yüzey aktif maddelerin, biyoaktif bileşiklerin, antibiyotiklerin, enzimlerin, vitaminlerin, aromaların, pigmentlerin ve aminoasitlerin üretiminde) ve antioksidan kaynağı olarak kullanılabilir (Ancuta ve Sonia, 2020; Petraru vd., 2021; Nevara vd., 2022; Zhang vd., 2023).

Bebek ürünlerine, unlu mamullere ve çok amaçlı takviyelere eklenerek yetersiz beslenmenin önlenmesinde, zengin besin içeriğinden ve düşük maliyetli olma avantajlarından dolayı sağlıklı gıdaların hazırlanmasında kullanılmaktadır (Sunil vd., 2016; Ancuta ve Sonia, 2020; Singh vd., 2022).

Yenilebilir olmayanlar ise (karanja, mauha, hint tohumu) toksik bileşiklerin varlığından dolayı gübre olarak kullanılabilir (Ancuta ve Sonia, 2020).

Bazı yağlı tohum kekleri, antibesinsel bileşiklere (pepsin ve tripsin inhibitörleri, fitatlar, tanenler gibi) sahiptir ve bu bileşikler vücuttaki biyoyararlanımı azaltabilmektedir. Antibesinsel bileşiklerin konsantrasyonu ve aktivitesi az olduğundan ve insan tüketiminde lezzetli hale getirmek için ısıl işleme inaktive edilebilmektedirler (Sunil vd., 2016).

3.1. Soya fasulyesi küspesi

Gıdada ve diğer sektörlerde farklı uygulamalarda kullanılabilen protein, esansiyel aminoasitler, diyet

lifleri, fenolik bileşikler, yağ, mineral, izoflavon ve antioksidan aktiviteye sahip fitokimyasallar açısından yüksek derecede kaliteli bir yan üründür (Zamindar vd., 2017; Abedini vd., 2021). Treonin, lizin ve triptofan gibi aminoasitler için mükemmel bir kaynaktır ancak metiyonin bakımından fakirdir (Ramachandran vd., 2006).

Soya fasulyesi kekinde (SFK) kuru madde (KM), ham protein (HM), karbonhidrat, ham lif (HL) sırasıyla %90,3, %51,8, %23,6 ve %17,8 olarak rapor edilmiştir (Singh ve Pandey, 2009; Abedini vd., 2021). SFK diğer yağlı keklere göre daha iyi enerji ve protein kaynağıdır fakat lif içeriği diğerlerine göre daha düşüktür (Singh ve Pandey, 2009; Singh vd., 2022).

SFK, sindirilebilirliğin yüksek olması ve lezzetli olmaları nedeniyle gıda ve yem ürünleri için en yaygın kullanılan üründür. Balık ve et proteini ikamelerinin yanı sıra iyi bir protein takviyesidir. Unlu mamullerde, protein izolatlarında ve konsantrelerinde, soya proteininde, unlarda, ekstrüde atıştırılmalıklarda ve fermente ürünlerde bir bileşen olarak kullanılabilir (Singh ve Pandey, 2009; Singh vd., 2022).

Luján-Rhenals vd. (2013) soya fasulyesi küspelerini seyreltik asit ile muamele ederek protein miktarlarını ve fermente edilebilir şekerleri geliştirmişlerdir. Küspeyi çeşitli konsantrasyonlarda (%0,5-2,0) ve sürelerde (1-16 saat) sülfirik asit ile hidrolize etmişlerdir. Maksimum protein içeriğini %1,2-1,7 konsantrasyonda, 1-2,6 saat arasında hidrolize olması sonucu elde etmişlerdir. En yüksek fermente edilebilir şekeri ise %2 konsantrasyon ve 6 saat hidrolize ederek sağlamışlardır. Protein ve şekerin ikili maksimum verimini ise %0,9-1,9 konsantrasyonları ve 1-4 saat hidroliz sonucu elde edilebileceği sonucuna varmışlardır.

Kim vd. (2002) soya fasulyesi küspesinin oligosakkarit kaynağı olarak kullanımını araştırmışlardır. Çeşitli koşullar altında soya fasulyesi küspelerinden oligosakkaritleri ekstrakte etmişlerdir. Ekstraksiyon için optimum koşulların; 65°C'de, 5:1 su/soya küspesi oranında oluştuğunu bulmuşlardır. Karıştırma işleminin oligosakkaritlerin ekstrakte edilebilirliğini artırabileceği, tek başına su kullanmaktansa %10 etanol/su çözeltisinin daha iyi bir ekstraksiyon sağlayacağı vurgulanmıştır. Oligosakkaritleri saflaştırmak için ultrafiltrasyon kullanılmıştır. Hacim konsantrasyon oranının %5 olması; %38,6

oranında fruktoz, %51,4 sukroz, %4,2 rafinoz ve %52,6 oranında stakioz ile ekstraktlardan %90'dan fazla proteinin uzaklaştırılması için en etkili koşul olduğu belirtilmiştir. Bu bulgular doğrultusunda, farklı ekstraksiyon teknikleri kullanılarak soya fasulye küspelerinin protein ve oligosakkaritler gibi faydalı bileşiklerin ekstraksiyonu için hammadde olarak kullanılabilirliğini ortaya koymuşlardır (Nevara vd., 2022).

3.2. Susam küspesi

Susam tohumu keklerinde (STK) KM, HP, ham lif değerleri sırasıyla %93,20, %47,37, %12,28 olarak rapor edilmiştir. Kuru maddede aminoasit seviyelerine bakılacak olursa, en yüksek glutamik asitin en düşük ise triptofanın bulunduğu görülmektedir (Abedini vd., 2021). Doymamış yağ asitleri, vitamin E, protein, diyet lifleri, mineraller ve fenolik bileşikler açısından zengindir (Nouska vd., 2024). Yüksek miktarda içerdiği lignandan (sesamol, sesamin, sesamolin, sesaminol diglukozid ve sesaminol triglukozid) dolayı iyi bir antioksidan kaynağıdır ve lipid oksidasyonuna karşı koruyucudur (Sunil vd., 2014; Nouska vd., 2024). Kolesterol seviyesini düşürücü etkisi bulunmakla birlikte, obezite ve hiperglisemiye de önleyebilmektedir (Sarkis vd., 2014; Sunil vd., 2016).

Mohdaly vd. (2011) susam keki ekstraktının ayçiçeği yağı ve soya fasulyesi yağını stabilize etmedeki antioksidan aktivitelerini ve koruyucu etkilerini test eden bir çalışma yapmışlardır. Bu ekstraktın hidrolitik stabiliteyi artırarak, çift bağ konjugasyonunu inhibe edip yağın termal bozulmasını engellediği ve bu yağları çok iyi bir şekilde stabilize edebildiği sonucuna varmışlardır.

Nascimento vd. (2011) yarı-yağlı susam keki (YYSK) (%0-20) ve mısır irmiği karışımlarını ekstrüdere besleyerek, ekstrüdatların özelliklerini incelemişlerdir. YYSK ilavesi ekstrüdatların protein, kül ve yağ içeriğini artırırken karbonhidrat içeriğini ise azaltmıştır. Duyusal kabul edilebilirlik ve besinsel açıdan, %20 YYSK ilavesinin kullanılabilir olduğunu rapor etmişlerdir.

Essa vd. (2015) STK'de protein ekstraksiyonu gerçekleştirilmesi üzerine çalışmalar yapmışlardır. Bu proteinlerin insan beslenmesi ve gelecekteki besin takviyeleri için değerli bir kaynak olduğunu kabul etmişlerdir.

3.3. Pamuk küspesi

Yağlı tohum endüstrisinde, dengeli aminoasit profili ve %45-55 oranında protein içeriğine sahip olan pamuk tohumu küspesi de önemli yan ürün kaynaklarından biridir. Fakat polifenolik bir bileşik olan serbest ve/veya bağlı gosipolün varlığı bu küspenin gıda ve yem endüstrisinde kullanımını sınırlandırmaktadır (Dabbour vd., 2023). Bağlı halde bulunan gosipol toksik değildir fakat esansiyel aminoasit olan lizinin biyoyararlanımını ve besinsel değerini azaltır. Serbest halde bulunan hali ise zararlıdır ve toksisiteye yol açabilmektedir (Küçükylıdırım, 2024). Gosipol içeriği azaltıldığı takdirde pamuk tohumu unları ve protein konsantreleri unlu mamullerde, atıştırmalıklarda ve et ürünlerinde fonksiyonel ve besleyici katkı maddeleri olarak kullanılabilir (Ma vd., 2017). Emülsifikasyon ve jel oluşturma özelliklerinin olması sebebiyle de gıda endüstrisinde kullanımı yaygınlaşmıştır (Küçükylıdırım, 2024).

3.4. Kanola küspesi

Kanola küspesi yüksek proteinli gıda bileşeni olma potansiyelinde olmakla birlikte protein içeriği %36-39 oranındadır (Zhang vd., 2017). Yüksek protein içeriğinden dolayı gıda endüstrisinde biyopolimer dolgu maddesi, emülgatör, jel oluşumu ve ayrıca film üretimi için kullanılabilir ve reolojik özelliklerde iyileşmeye yol açabilir (Abedini vd., 2021). İyi bir aminoasit profiline sahip olmasına rağmen diğer bitkisel protein kaynakları gibi lizin bakımından sınırlıdır ancak metiyonin ve sistin açısından dikkat çekici bir kaynaktır (Thacker ve Kirkwood, 2017). Gıda endüstrisinde kullanımını sınırlayan diğer bir faktör de antibesinsel içeriğinden dolayı işlendiği gıdanın organoleptik kalitesini olumsuz etkilemesidir. Bu faktör kaldırıldığında ya da kabul edilebilir bir düzeye indirildiğinde insan tüketimi için uygun bir protein kaynağı olarak kullanılabilir (Alashi vd., 2013). Selenyum ve fosfor içeriği yönünden önemli bir küspedir (Thacker ve Kirkwood, 2017). Fenolik bileşiklerin antioksidan aktivitelerine dayalı olarak sağlık açısından (örneğin antikanser, yaşlanma karşıtı vb.) faydalı olduğu yapılan araştırmalarla kabul edilmiştir (Obied vd., 2013).

Wanasundara vd. (2016), kanola keki proteininden bitki proteini kaynağı olarak yapılan protein ekstraksiyonu ile ilgili bir çalışmada, bu proteinin gıdalardaki yüksek emülsifiye edici özelliklerinin yanı sıra yenilenebilir biyopolimerler ve ambalajlar

gibi gıda dışı uygulamalarda da yüksek potansiyele sahip olduğunu göstermiştir.

3.5. Mısır küspesi

Mısır yan ürünleri çoğunlukla düşük ekonomik değere sahip olan hayvan yeminde kullanılmaktadır (Jiao vd., 2022). Mısır küspesi önemli miktarda ham protein (yaklaşık %20), yağ (%15- %20) ve lif içerdiğinden önemli bir kaynaktır (Matveeva vd., 2019; Jiao vd., 2022). Mısır küspesi unundaki proteinler çoğunlukla albümin ve globulinden oluşur ve esansiyel amino asitler bakımından dengelidir (Siddiq vd., 2009). Yaşlanma ve obezite karşıtı özellikleri bulunan önemli bir antioksidan kaynağı olmakla birlikte gıda bileşeni olarak kullanılmaya potansiyeline de sahiptir (Jiao vd., 2022).

Siddiq vd. (2009) yağı alınmış mısır tohumunun gıdalarda daha fazla kullanılmasına yardımcı olmak için buğday unu ile karışımlarının fonksiyonel ve reolojik özelliklerini araştırmışlardır. Yağı alınmış mısır unu ilavesinin fonksiyonel özellikleri iyileştirdiği, su ve yağ emilimi ile emülsiyon kapasitelerini arttırdığı görülmüştür.

3.6. Yer fıstığı küspesi

Yer fıstığı kekinde (YFK) KM, HP ve ham lif (HL) sırasıyla %91,96, %25,61 ve %7,91 olarak bildirilmiştir (Abedini vd., 2021). Yüksek protein içeriği nedeniyle insanlar için önemli bir protein kaynağıdır (Qinzhu vd., 2018). Arjinin açısından zengin fakat esansiyel aminoasit olan lizin açısından fakirdir (Singh vd., 2022). Aminoasit bakımından en yüksek oranda glutamik asit bulunurken, en az oranda triptofan bulunmaktadır (Abedini vd., 2021). Yağ içeriğinin yüksek olması nedeniyle acılaşmayı önlemek için YFK'nin uygun biçimde işlenmesi ve depolanmasına dikkat edilmelidir (Nevara vd., 2022). YFK yüksek değerli besin bileşenlerine sahip olduğundan makarna ve kurabiye gibi unlu mamul kullanımında önemli yere sahiptir (Abedini vd., 2021).

Marchetti vd. (2017), YFK'nin düşük geçirgenliğe sahip vakumlu paketlerde bir yıl boyunca sıcaklıktan bağımsız olarak depolanmasının antioksidan kapasiteyi, kalitesini ve düşük küfmaya sayısını koruduğunu göstermiştir. Bu özelliklere dayanarak YFK'nin unlu mamul ve tahıl barları gibi ürünlerde bileşen olarak kullanılabileceği görülmüştür.

3.7. Ayçiçeği küspesi

Ayçiçeği tohumu kekindeki (ATK) KM, HP ve HL miktarları sırasıyla %90,17, %32,84 ve %23,61 olarak bildirilmiştir. Aminoasit açısından kuru maddede en çok bulunan glutamin, en az bulunan ise sisteindir (Abedini, 2021). Esansiyel aminoasitler (lisin, metiyonin, sistin, triptofan gibi), mineraller, B grubu vitaminleri, E vitamini, antioksidan ve protein açısından zengindir (Sumon vd., 2020; Petraru vd., 2021). ATK'de ana antioksidan bileşikler olarak kabul gören fenolik bileşikler, lipid oksidasyonundan kaynaklanan kötü tat ve toksik bileşiklerin oluşumunu önlediğinden, ATK yağlı gıdalara eklenebilmektedir (Wanjari ve Waghmare, 2015). Aynı zamanda antihipertansiyon, antitümör ve antibakteriyel gibi biyolojik özelliklere de sahiptirler (Vasudha ve Sarla, 2021).

3.8. Chia küspesi

Protein, diyet lifi ve omega-3 gibi faydalı bileşikler nedeniyle fonksiyonel bileşen, takviye edici ürün gibi yeni gıda maddelerini formüle etmek için kullanım potansiyeline sahiptir (Nevara vd., 2022; Ferreira vd., 2023).

4. Yağlı tohum küspelerinin potansiyel gıda uygulamaları

Fonksiyonel gıdalar, içecek, süt ürünleri, unlu mamuller, şekerleme ve bebek maması pazarları da dahil olmak üzere birçok gıda kategorileri için kullanılabilir. Fonksiyonel bileşen olarak daha az kullanılan yağlı tohum küspelerinin kullanımı giderek daha fazla ilgi çekmektedir (Nevara vd., 2022).

4.1. Unlu mamullerde kullanımı

Diğer fonksiyonel gıdalar arasında glutensiz seçeneklerin en büyüğü bu üretim alanındadır. Bu yüzden protein ve lif bakımından zengin olan yağlı tohum küspeleri kek, bisküvi, ekmek ve kurabiye gibi ürünlere eklenebilmektedir. Yetersiz beslenen insanların diyetlerine, bebek mamalarına takviye edici olarak dahil edilebilmektedir (Nevara vd., 2022).

Ogunronbi vd. (2009) keten tohumu kekinin (%10 ve %15) esmer ekmeğe ilave edilmesinin besinsel bileşimine, duysal özelliklerine ve depolama stabilitesine etkisini araştırmışlardır. Kek ilaveli ekmeğin duysal olarak kabul edilebilir olduğu, %10 kek ilave edilmiş ekmeğin biraz daha fazla beğenildiği sonucuna ulaşılmıştır. Keten tohumu

kekinin içerdiği antioksidanlar sebebiyle de depolama stabilitesinin arttığı görülmüştür.

Reyes-Jaquez vd. (2012) mısır unu atıştırmalıklarını geliştirmek amacıyla pamuk tohumu küspesi eklemişlerdir. Küspe eklenmesiyle protein içeriği artmış, yağ içeriği ve su çözünürlük indeksi düşmüştür. Ayrıca atıştırmalıklara özgü çtır yapı kazandırmıştır.

Behera vd. (2013) yer fıstığı ve soya fasulyesi keklerinin potansiyel kullanımları üzerine çalışma yapmışlardır. Bisküvilerde, buğday ununun %20 oranında yer fıstığı ve soya fasulyesi keki ile yer değiştirilerek kullanılması sonucunda, kalite kriterlerinin kabul edilebilir düzeyde olduğu, protein, diyet lifi ve polifenol içeriği ile protein sindirilebilirliğinin arttığı belirlenmiştir.

Bhise vd. (2014) SFK, ATK ve keten tohumunun, kurabiye hamuru hazırlamak için normal una iyi bir takviye olabileceğini öne sürmüş ve bu konuda araştırma yapmışlardır. Kurabiye hamuruna söz konusu materyallerden ayrı ayrı %10, %20, %30 ve %40 oranlarında eklenmiş ve duysal kabul edilebilirlikle besinsel değerlerini karşılaştırmışlardır. İlave edilen miktar arttıkça protein ve lif miktarında artış görmüşlerdir. Tekstürel özellikler açısından %10 ilave edilmiş SFK, ATK ve keten tohumunun kendi içlerindeki diğer katkı seviyelerine ve kontrole kıyasla daha iyi sonuç verdiği, sonraki seviyelerde ise genel kabul edilebilirlikte düşüş olduğu görülmüştür. Hem duysal özellikleri hem de besinsel değerleri açısından ortak değerlendirme yapıldığında %10 ilavenin başarılı sonuç verdiğini bildirmişlerdir.

Radocaj vd. (2014) tarafından kenevir pres keki ve kafeinsiz yeşil çay yaprakları ekleyerek glutensiz krakerlerin besinsel ve antioksidan özelliklerinin değerlendirilmesi için çalışma yapılmıştır. Kenevir unu eklenmiş örnekler eklenmemiş kahverengi pirinç unu krakerlerinden çok daha yüksek protein, ham lif, mineral ve esansiyel yağ asitleri içeriği göstermiştir. Karbonhidrat içeriği ise azalmıştır.

Pojić vd. (2015), ekmeğin kalitesini geliştirmek için farklı oranlarda (%5, %10 ve %20) kenevir ununu, buğday unuyla karıştırmış ve ekmek üzerindeki etkisini incelemişlerdir. %10'a kadar kenevir unu ilavesi hamurun reolojik özelliklerini bozmazken %20 oranındaki ilave bozmuştur. Eklenen bileşen ekmeğin besin değerini artırmış, protein ile makro ve mikro elementlerin daha fazla alınmasını sağlamıştır.

Martins vd. (2017) unlu mamullere SFK'nin eklenmesinin besinsel ve duyuşal özellikler üzerine etkisini araştırmışlardır. SFK eklenmesi protein, mineral, lif içeriğini arttırırken, karbonhidrat miktarının azalmasına sebep olmuştur. Ekmeğe eklendiğinde duyuşal özellikleri arttırırken bisküvilere eklenmesi duyuşal kabul edilebilirliği azaltmıştır.

Seth ve Kochhar (2017) YFK unu eklenmiş unlu mamullerin besinsel ve duyuşal değerlendirmeleri için çalışma yapmışlardır. Pizza tabanı, çörek ve ekmeklere %5, %10 ve %15 oranında YFK unu eklenmiştir. İlave miktar arttıkça protein ve ham lif içeriğinin arttığı görülmüştür. Duyusal değerlendirme için kabul edilebilir ekleme düzeylerinin pizza tabanı ve çörekler için %10, ekmek için ise %15 olduğunu rapor etmişlerdir.

Silva vd. (2017) buğday unu ve soya küspesi ile hazırlanan farklı bisküvilerin besinsel, fonksiyonel ve duyuşal özellikleri üzerine araştırma yapmışlardır. Soya küspesi ile hazırlanan bisküvilerin düşük karbonhidratlı, yüksek proteinli ve yüksek lifli olduğu, yüksek antioksidan aktivite ve izoflavon içerdiği ayrıca iyi bir duyuşal kabul edilebilirlik gösterdiği belirlenmiştir.

El-Enzi vd. (2018) bisküvi yapımı için buğday ununa farklı ikame seviyelerinde (%20, %30 ve %40) STK unu ilave ederek bisküvinin besinsel ve yapısal özelliklerini araştırmışlardır. %20 STK ikamesinin, bisküvilerin duyuşal özellikleri açısından en iyisi olduğu sonucuna varmışlardır. Aynı zamanda, yapılan ilave ile protein, ham yağ, lif ve kül içeriği artış gösterirken, karbonhidrat ve nem içeriğinde ise azalma olduğunu bildirmişlerdir.

Prakash vd. (2018) STK ilavesi ile buğday unuyla yapılan bisküvilerin kalitesini arttırmaya yönelik çalışma yapmışlardır. Beyaz ve siyah susam kekinin, bisküvilere %50 oranında eklemişler ve protein, yağ, ham lif, mineral oranında artış karbonhidrat oranlarında ise düşüş olduğunu belirlemişlerdir. Mikrobiyal kontaminasyonun azaldığı ve bisküvilerin depolanabilirliğinin arttığı görülmüştür. STK ilavesinin bisküvilerin besinsel ve işlevsel özelliklerini geliştirdiğini rapor etmişlerdir.

Grasso vd. (2019) buğday unu yerine ağırlıkça %18 ve %36 ATK unu ile zenginleştirilmiş bisküvilerin enstrümantal ve duyuşal kalitesini değerlendirmek için çalışma yapmışlardır. ATK ununun ürüne

dahil edilmesi, protein içeriğinin yanı sıra, ürünün fenolik içeriği ve antioksidan kapasitesini de önemli ölçüde arttırmıştır. Eklenen oran arttıkça bisküvilerin daha kahverengi görünümde ve sertlikte olduğu belirtilmiştir.

Gülseren (2019) badem, ceviz, ay çekirdeği, kabak çekirdeği, fındık ve kanola tohum küspelerinin (%0, %5, %10, %15 ve %20 oranlarında) kek üretiminde kullanımının etkilerini araştırmıştır. Ay çekirdeği ve kabak çekirdeği ilavesinde küspenin kabuk içeriğinden dolayı kek ürününün yapısal özelliklerini kötü etkilediği görülmüştür. Kanola ilavesi ise tat ve aroma açısından en az beğenilmiştir.

Guiotto vd. (2020), chia ununu (tam, yarı yağı alınmış ve yağı alınmış, müsilaçlı veya müsilaçsız), ekmekteki teknolojik kaliteye etkisini araştırmak amacıyla %5 ile %10 oranlarında eklemişlerdir. Karışımların su emme, hamur gelişme süresi ve stabilitesinin en yüksek değeri %10 chia unu ve müsilaç varlığında gerçekleştiği görülmüştür. Chia unu (%10) ilavesi ekmeğin teknolojik kalitesinde düşüşe sebep olmuştur. Chia unu (%5) ilavesi ve müsilaç varlığı ise ekmeğin teknolojik kalitesini arttırmıştır.

Grasso vd. (2020) buğday unu yerine %15 ile %30 oranlarında ATK unu eklenmesinin, muffin üzerine etkilerini araştırmışlardır. Ürüne bu unun ilave edilmesi protein ve kül içeriğini arttırmış, karbonhidrat oranını azaltmıştır. Pişme kaybını etkilememiş, muffin yüksekliğini ve gözenek yoğunluğunu arttırmış, esnekliğini ise azaltmıştır. %15 ilave yapılmış ürünlerin kontrol ürünlere göre daha yakın bir profil sergilediği görülmüştür.

Mas vd. (2020) yağsız chia küspe unu kullanarak kurabiyelerin antioksidan kalitesini arttırmak için çalışma yapmışlardır. Chia ununu %5, %10 ve %20 oranlarında ekleyerek teknolojik ve duyuşal özellikler incelenmiştir. Un ilavesinin renk haricinde teknolojik özellikleri etkilemediği fakat polifenol içeriğini ve in vitro antioksidan kapasitesini arttırdığını görmüşlerdir. Duyusal olarak %10 katkılı kurabiyelerin daha uygun olduğunu belirtmişlerdir.

Martinez vd. (2021) kurabiyelerin besin değerini arttırmak için buğday unu ile yağsız keten, chia, susam ve haşhaş unlarını ikame etmişlerdir. İkame edilmiş ürünlerin teknolojik özelliklerini, besinsel bileşimini ve tüketici tarafından kabul edilebilirliklerini incelemişlerdir. İkame edilmiş

ürünlerin kontrol kurabiyelerine göre daha elastik davranış gösterdiği ve daha yüksek protein, lif, daha düşük karbonhidrat içeriğine sahip olduğu sonucuna varılmıştır. Susam ve keten unu ilave edilen kurabiyelerin tüketici değerlendirmesi, kontrol kurabiyesine yakın sonuçlar vermiştir. Fakat chia ve haşhaş unu ilave edilen kurabiyeler en az olumlu değerlendirme almıştır.

Nassef vd. (2023) tost ekmeğinin besinsel değerlerini artırarak daha sağlıklı unlu mamul sunmak üzere çalışma yapmışlardır. Buğday ununun %5, %10, %15 ve %20 oranlarında yağsız chia tohum keki unu ile ikame edilmesinin etkilerini araştırmışlardır. Chia ununun eklenmesi tost ekmeği hamurunda su emilimini, hamur gelişme süresini, hamur stabilitesini ve elastikiyetini artırmış fakat yumuşama derecesini azaltmıştır. %20'ye kadar ilave yapılması ekmek kalitesinde küçük bir düşüşe sebep olsa da lif, aminoasit ve mineral açısından besinsel değeri arttırmıştır. Duyusal özelliklerin de kabul edilebilir olduğu sonucuna varılmıştır.

Suleman vd. (2023) farklı oranlarda (%3, %7, %10 ve %14) YFK unu eklenerek elde edilen kurabiyelerin besinsel, mikrobiyolojik ve duyusal özelliklerini araştırmak için çalışma yapmışlardır. Yer fıstığı unu oranı artıkça nem oranı azalırken ham protein, yağ, lif oranları, antioksidan ve mineral değerleri artmış, mikrobiyal yük ise azalmıştır. Beslenme değerleri ve mikrobiyolojik açıdan %14 YFK unu eklenmiş kurabiye daha iyi sonuç verirken, panelistlerin duyusal değerlendirmesine göre en iyi sonucun %3 oranında ilave yapılmış kurabiyede olduğu görülmüştür.

Shchekoldina ve Aider (2014) normal una %10 oranında ATK ilavesi sonucunda elde edilen pişmiş ekmeğin daha yüksek su emme ve yumuşama etkisiyle birlikte iyi bir duyusal kaliteye sahip olduğunu gözlemlemişlerdir. Ancak hamur gelişme süresinin, stabilitesinin ve elastikiyetinin azaldığını belirtmişlerdir.

4.2. İçeceklerde kullanımı

Yağlı tohum küspelerinin, içerdikleri besinsel ve fonksiyonel özelliklerinden dolayı, içecek ürünleri de dahil olmak üzere, farklı gıda ürünlerinde ek bileşen olarak katıldıkları potansiyel uygulamaların büyük ilgi görmesine neden olduğu bildirilmiştir (Nevara vd., 2022).

Keten tohumu küspesi (%5, %10 ve %15 oranlarında), yeni bir kefir benzeri fermente içeceğin üretimi için bileşen olarak kullanılmıştır (Łopusiewicz vd. 2019). Laktik asit bakterileri ve mayanın herhangi bir takviye olmaksızın keten tohumu küspelerinde iyi geliştiği görülmüştür. Bu ilavenin laktoz intoleransı olan ve vegan tüketiciler tarafından fermente, süt ürünü olmayan yeni bir gıda olarak kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

Pap vd. (2020) enzimatik hidroliz kullanılarak kenevir tohum küspesinin değerlendirilmesi için çalışma yapmışlardır. Farklı özelliklere sahip tortu ve sıvı olarak iki fraksiyon elde edilmiştir. Sediment fraksiyonunun sıvılara göre daha yüksek potansiyele sahip önemli besin maddeleri (yağ, protein, kül, kannabinoidler, proantosiyanidinler) içerdiği belirlenmiştir. Fakat sediment fraksiyonda olanların uygulanmasının katı gıdalar (kraker, ekmek, gevrek ekmek) ile sınırlı olduğu, sıvı fraksiyonun ise çözünürlüğü daha fazla olduğu için içecek ürünlerinde kullanılabilir olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

4.3. Et ürünlerinde kullanımı

Kırmızı et bazlı işlenmiş gıdalar, pratik olmaları nedeniyle yaygın olarak tüketilmektedir (Nevara vd., 2022). Genel olarak bu ürünler obezite ve bazı kanser türleri riskini artıran yüksek kolesterol ve koroner kalp hastalığı ile yakından ilişkili olan yüksek doymuş yağ içeriği nedeniyle günümüzde sağlıksız olarak kabul edilmektedir (Nevara vd., 2022; Rabadán vd., 2021). Bu nedenle, zenginleştirilmiş et ürünleri üretmek için etin bir kısmını yağlı tohum proteini veya lif gibi bitki bazlı bileşenlerle değiştirerek daha sağlıklı ve yararlı hale getirilmeye çalışılmaktadır (Nevara vd., 2022).

Rhee vd. (2001) pamuk tohumu küspesi eklenen pişmiş etin antioksidatif özelliklerini incelemişlerdir. Yağlı kıymaya %3 oranında farklı pamuk küspeleri eklenmiş ve ürüne pişirme işlemi uygulanmıştır. Sonuçlar incelendiğinde küspe eklenmesinin antioksidatif etki gösterdiği ve lipid oksidasyonunu belli bir oranda engellediği görülmüştür.

Turhan vd. (2006) dana köftesine %2,5, %5,0, %7,5 ve %10 oranlarında soya keki eklemişler ve bu dana köftelerinde, eklenen oranlarla birlikte pişirme kaybının azaldığını ve su tutma kapasitelerinin arttığını belirlemişlerdir.

Souza vd. (2015) kısmen yağlı alınmış chia ununun ve soya proteinin hamburgerlere eklenmesinin, yağ asit bileşimi üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Ekleme işleminin yağ asidi, ham protein, kül ve besin bileşiminin iyileştirilmesine etki ettiğini görmüşlerdir. Chia ilavesinin α -linolenik asit içeriğini arttırmak ve besin açısından dengeli gıda elde etmek için alternatif olabileceği sonucuna varmışlardır.

Naumova vd. (2017) zenginleştirilmiş kıyılmış yarı mamul et ürünleri geliştirmek için kenevir ununun (%5, %10 ve %15 oranlarında) kullanımını araştırmışlardır. Et ürününün %10'luk kısmı kenevir unu ile ikame edildiğinde, ürünün rengini değiştirdiğini ancak kabul edilebilir lezzet profilini koruduğunu bildirmişlerdir. Ayrıca lipid içeriğini %22 oranında arttırmış ve magnezyum ve demir içeriklerini de iyileştirmiştir.

Izadkhasti vd. (2019) sosis ürününde, soya ve susam küspesini %2, %4 ve %6 konsantrasyonlarda buğday unu yerine ürüne eklemiş ve numunelerin fizikokimyasal, tekstürel ve renk özellikleri açısından kontrol grubu ile karşılaştırmışlardır. Bu küspelerin kullanımının, fizikokimyasal ve tekstürel özellikleri iyileştirdiği ve daha yüksek besin değeri verdiği sonucuna ulaşmışlardır.

Zahari vd. (2020) çift vidalı eş-dönüslü ekstrüder kullanarak yüksek nemli et türevleri üretmek için soya protein izolatının farklı seviyelerde (ağırlıkça %20, %40 ve %60) kenevir protein konsantresi ile ikamesini incelemişlerdir. %60'a kadar kenevir protein konsantresi içeren bir karışımın ekstrüde edilmesinin uygun olduğunu görmüşlerdir. Kenevir protein konsantresi, soya protein izolatına göre daha az su emmiş, daha yüksek denatüre etme sıcaklığına ihtiyaç duymuştur.

Rabadan vd. (2021) kuzu eti, yağ ve kıvam artırıcı yerine çeşitli yağlı tohum küspeleri ve kabuklu yemişlerden elde edilen yağlar ve unlar kullanılarak geleneksel kuzu burgerlerin yeniden formüle edildiği bir çalışma yapmışlardır. Haşhaş ve chia tohumu küspeleri kullanıldığında, daha yüksek karbonhidrat içeriğine sahip düşük kalorili burgerler üretilmiştir. İlave yapılarak elde edilen burgerlerin geleneksel burgerlere kıyasla sağlık açısından daha faydalı fakat onlarla benzer fiziksel özelliklere ve tüketici tercihlerine sahip olduğunu gözlemlemişlerdir.

4.4. Noodle ve makarnada kullanımı

Fırıncılık, et ve içecek ürünlerinin yanı sıra, yağlı tohum küspeleri ile desteklenmiş makarna/noodle ürünleri de geliştirilebilmektedir (Nevara vd., 2022).

Zawawi vd. (2013), sarı buğday noodle formülasyonuna %25 ve %75 oranında kenaf tohumu küspesi unu ekleyerek, fizikokimyasal ve besinsel özelliklerine etkisini incelemişlerdir. İlave edilmiş ürünlerin daha yüksek lif ve kül içerdiğini, %75 oranında ilave edilmesinin ise kontrole kıyasla en yüksek toplam fenolik madde içerdiğini görmüşlerdir. Zenginleştirilmiş ürünlerin daha iyi pişirme kalitesinin olduğu fakat daha düşük renk ve sertlik değerlerine sahip olduğu sonucuna varılmıştır.

Mridula vd. (2015), makarna üretimi için YFK, havuç suyu ve buğday unu kombinasyonu üzerine çalışma yapmışlardır. Çalışmada 10 g, 15 g ve 20 g YFK; 14 ml, 22 ml ve 30 ml havuç suyu ve 80 g, 85 g ve 90 g un kullanılmıştır. YFK ve havuç suyu oranı en fazla üretilen makarnanın, en yüksek antioksidan aktiviteyle birlikte kabul edilebilir duyu özelliklere sahip olduğu görülmüştür. Bileşenlerin eklenmesi makarnanın rengini iyileştirmiş, antioksidan ve protein içeriğini ise arttırmıştır.

Mridula vd. (2016) protein ve antioksidan aktiviteyi arttırarak makarnanın geliştirilmesi için YFK (10 g, 15 g ve 20 g), kırmızıbiber suyu (14 ml, 22 ml ve 30 ml) ve rafine buğday unu (80 g, 85 g ve 90 g) kullanmışlardır. YFK ve kırmızıbiber suyunun artırılması antioksidan aktivite ve protein içeriğinin artmasına ve duyu niteliklerin de gelişmesine neden olmuştur.

Teterycz vd. (2021) kenevir tohum küspesi (%2,5-%10) ve ununun (%5-%40) durum buğdayı makarnasının tekstür, duyu nitelik, pişirme kalitesi ve fizikokimyasal özelliklerine etkisini incelemişlerdir. İlave edilmiş ürünlerde diyet lifi, yağ, protein ve kül miktarının arttığı görülmüştür. Un eklenmiş ürünlerin daha düşük granülasyon ve daha yüksek besin değeri gösterdiği sonucuna varılmıştır.

4.5. Diğer ürün türlerinde kullanımı

Norajit vd. (2011) pirinç unu ile kenevir tohumu tozu ve çeşitli seviyelerde (%0, %20, %30 ve %40) kenevir tohumu küspesi ilavesiyle ekstrüde edilmiş karışımlardan enerji barları hazırlamış, bu

ilavelerin fiziksel, kimyasal ve antioksidan özelliklere etkisini araştırmışlardır. Kenevir tozu miktarının artırılmasının pirinç/kenevir ekstrüdatlarının yığın yoğunluklarını artırdığını, fakat kenevir içermeyen pirinç ekstrüdatlarına (kontrol) kıyasla su emme indeksini azalttığını gözlemlemişlerdir. Zenginleştirilmiş ürünlerin fenolik ve flavonoid içeriğinin arttığı görülmüştür. %20 ilave edilen ürünlerin renk, tat ve genel kabul edilebilirlik açısından daha uygun olduğu sonucuna varmışlardır.

Sobczak vd. (2020) keten, hindistan cevizi, kabak ve ay çekirdeği küspelerinden fonksiyonel takviye olarak kullanılabilecek tabletler oluşturmuşlardır. Bu küspeleri bal tozu ve nişasta ile kaplayıp, dayanıklı bir ürün elde etmişlerdir. Uygun şekilde işlenmiş yan ürünlerin besin takviyesi olarak kullanılabileceğini göstermişlerdir.

5. Fonksiyonel bileşen ve substrat olarak kullanımı

Protein bileşeni, enzim, mantar, antibiyotik ve antimikrobiyal üretiminde substrat olarak ve antioksidan olarak yağlı tohum kekleri kullanılmaktadır (Paul vd., 2018).

5.1. Protein konsantresi / izolatu / hidrolizatu olarak kullanımı

2050 yılına kadar küresel nüfusun 9,7 milyara ulaşacağı tahmin edilmektedir. Bu yüzden besleyici, sürdürülebilir, uygun fiyatlı ve protein açısından zengin gıdalara ihtiyaç duyulacağı bilinmektedir (Hadidi vd., 2024). Hayvancılık yıllardır yüksek kaliteli proteinler için ana kaynak olmuştur fakat iklim değişikliği, arz talep dengesinin bozulması, kaynakların korunması, biyoçeşitlilik kaybı, yüksek maliyet gibi sebeplerden dolayı alternatif olan bitki bazlı protein kaynaklarına ilgi giderek artmıştır (Zhang vd., 2023; Hadidi vd., 2024).

Bitki proteinleri, antibakteriyel, antiinflamatuvar, antidiyabetik ve antioksidan özellikler gibi birçok sağlık yararı ile ilişkilendirilmiştir. Yaygın bitki protein kaynakları baklagiller (soya fasulyesi, bakla, bezelye, nohut vb.), tahıllar (buğday, pirinç, mısır, arpa vb.) ve tohumlardır (chia, keten, kabak, ayçiçeği, susam vb.). Yağlı tohum proteinleri, hayvansal proteinlere kıyasla daha düşük kronik hastalık riski taşımaktadır. Düşük maliyetleri ve sağlık açısından faydaları olmaları nedeniyle gıda endüstrisinde unlu mamuller, et ve süt ürünleri alternatifleri başta olmak üzere birçok çeşit ürün

için protein kaynağı olabilmektedir (Zhang vd., 2023).

Yağlı tohum küspeleri protein konsantreleri (%30-%80 protein), protein izolatları (>%90 protein) ve protein hidrolizatları (proteinin hidrolize ürünü) hazırlamak için kullanılmaktadır. Protein izolatları, proteinin alkali ile çözündürülmesi, ardından asit kullanılarak izoelektrik çökelti elde edilmesi ve daha sonrasında yıkama ve kurutma işlemleri ile elde edilmektedir. Bu izolatlar enerji barları, protein içecekleri, dondurulmuş tatlılar, ekşi krema ve sosları, et ve peynir türevleri, ekstrüde ürünler, makarna, içecek tozları gibi ürünlerin zenginleştirilmesinde fonksiyonel bileşen olarak kullanılabilmektedir. Protein izolat hidrolizi sonrası protein hidrolizatu ortaya çıkmaktadır. Eğer uygun bir hidroliz yapılsa gıda endüstrisinde kullanılabilmektedir. İzolatların uygun ve kontrollü hidrolizi yapıldığında, biyolojik aktiviteye sahip ve insan sağlığı açısından yararlı olan biyoaktif peptitler olarak bilinen özel bir protein parçası oluşmaktadır. Biyoaktif peptitler antioksidan, antitrombotik, hipokolesterolemik ve immünomodülatör aktivitelerinden dolayı sağlığa yararlıdır (Paul vd., 2018).

Çiftçi (2018) yaptığı çalışmada fındık ve susam küspelerinden elde ettiği protein konsantrelerini, %5, %10, %15 ve %20 (w/w) oranlarında mayonez ve köfeye eklemiş ve fizikokimyasal ve duyuusal etkilerini incelemiştir. Köpük oluşturma kapasitesi en yüksek susam proteininde bulunmuştur. Protein konsantresi (%5) ilavesinin mayonezdeki emülsiyon stabilitesini olumsuz etkilemediği görülmüş olup, yumurta yerine alternatif olabileceği sonucuna varılmıştır. Duyusal değerlendirmelerde ise %5 protein konsantresi ilave edilen ürünlerin panelistler tarafından daha yüksek skor aldığı gözlenmiştir.

Mohammed vd. (2018) ayçiçeği keki protein izolatının %0, %1, %3, %6 ve %9 oranlarında buğday ununa eklenerek yapılan buğday ekmeği kalitesi ve besin değeri üzerindeki etkisini araştırmışlardır. %9 oranında yapılan ekleme, buğday ekmeğinin protein ve aminoasit içeriği bakımından besin değerini arttırmış, ekmek kalitesinde ise sadece küçük bir azalmaya sebep olmuştur. %1 katkılı ekmeğin panelistler tarafından kabul edilebilir olduğu ve kontrol ekmeğine göre tat ve doku açısından anlamlı bir fark olmadığını ortaya koymuşlardır.

Ham madde olarak yağlı tohum proteinlerinin kullanılmasında çeşitli sorunlarla karşılaşmaktadır. Genellikle bir ya da daha fazla esansiyel aminoasit bakımından eksik olmaları, hayvansal proteinlerle karşılaştırıldıklarında; suda çözünürlük, stabilite, köpük oluşturma kapasitesi açısından daha zayıf özellik göstermesi, tat, lezzet, antibesin ve alerjen problemleri bu sorunlardan bazılarıdır. Bu sorunların çözümü için yağlı tohum proteinlerinin fonksiyonel özelliklerinin, lezzetinin iyileştirilmesi, çeşitli yollarla (öğütme, otoklav, ıslatma, mikrodalga, çimlendirme, enzimatik işlem ve fermentasyon) antibesin ve alerjenitenin azaltılması üzerine çalışmalar yapılması gerekmektedir (Zhang vd., 2023).

5.2. Enzim olarak kullanımı

Endüstriyel uygulamalarda enzimlerin önemli bir rolü bulunmaktadır. Substrat olarak yağlı tohum kekleri kullanılarak katı hal fermentasyonu ile enzimler üretilirler. Çünkü yağlı kekler besin, karbon ve nitrojen açısından zengin ve ucuz malzemelerdir (Paul vd., 2018; Ancuta ve Sonia, 2020). Üretilen enzimler arasında α -amilaz, fitaz, proteaz, L-glutaminaz, inülinaz, glukoamilaz, mannoz ve tannaz önemlidir (Ancuta ve Sonia, 2020; Usman vd., 2023). Üretimleri, inkübasyon süresine ve substratın pH'sına, nemine ve partikül boyutlarına bağlıdır (Ancuta ve Sonia, 2020).

Soya fasulyesi ve susam keki gibi farklı yağlı keklerde büyüyen bakteri ve mantar suşları kullanılarak katı hal fermentasyonunda proteaz enzimi üretilmiştir (Usman vd., 2023).

5.3. Mantar üretiminde substrat olarak kullanımı

Endüstriyel yan ürünlerin olası bir kullanım alanı da mantar yetiştiriciliğidir. Yağlı tohum küspelerinden katı hal fermentasyonu ile iyi bir antioksidan özelliğe sahip mantarlar üretilmektedir (Ancuta ve Sonia, 2020).

Yapılan çalışmalarda mantarlara yağlı tohum küspesi eklendiğinde verim artışı gözlemlendiği bildirilmiştir. Üretilen mantarlar; köri, çorbalar gibi ürünlerin hazırlanmasında kullanılabilir. Mantarlar iyi bir protein kaynağı olmakla birlikte B ve C vitaminleri, kalsiyum, selenyum ve antioksidan açısından da zengindir. Bu nedenle doğrudan ya da çeşitli gıda preparatlarında bileşen olarak kullanılabilir (Paul vd., 2018, Usman vd., 2023).

5.4. Antibiyotik ve antimikrobiyal olarak kullanımı

Yağlı tohum küspesi, çeşitli antimikrobiyal ajanların ve antibiyotiklerin üretimi için kullanılan zengin bir substrattır. Ayçiçeği, soya fasulyesi ve susam yağlı tohum kekleri, klavulanik asit ve sefamisin C üretiminde katı hal fermentasyonu için substrat olarak kullanılmıştır (Paul vd., 2018, Usman vd., 2023).

Farzana vd. (2021) tarafından yapılan çalışmada, yağlı tohum küspesini substrat olarak kullanılarak *Bacillus licheniformis* ile fermente edilip antibiyotik olan basitrasin sentezi gerçekleştirilmiştir. Soya fasulyesi küspesinde maksimum performans elde edilmiştir.

5.5. Antioksidan olarak kullanımı

Yağlı tohum kekleri, oksidatif stresi azaltarak kanser türlerini önlemeye yardımcı olan fenolik asitlerin, lignanların ve flavonoidlerin serbest, esterleştirilmiş ve yoğunlaştırılmış formlarını içermektedir (Ancuta ve Sonia, 2020). Bu antioksidanlar, süperkritik sıvı, mikrodalga destekli, ultrason destekli, solvent ve yüksek basınç işleme destekli ekstraksiyonlar ile elde edilmektedir (Paul vd., 2018). Ekstrakte edilen antioksidanlar, enerji barlarında, unlu mamullerde, içeceklerde ve ekstrüde ürünlerde fonksiyonel gıda bileşeni olarak kullanılabilir. Soya kekinde antioksidatif aktiviteler izoflavonlar ve sinamik asitten, yer fıstığı kekinde ise fenolikler, klorojenik ve kafeik asitlerden kaynaklanmaktadır. Fenolik bileşikler (sinapin, benzoik, klorojenik, fenolik asitlerin esterleri gibi) kolza tohumu, hindistan cevizi, ayçiçeği, susam ve pamuk keklerindeki başlıca antioksidanlardır (Paul vd., 2018; Ancuta ve Sonia, 2020).

6. Yağlı Tohum Küspelerinin Gıda Endüstrisinde Kullanım Zorlukları

6.1. Taze Küspelerin Bozulması

Yağlı tohum küspeleri yüksek besin değeri ve nem içeriğinden dolayı kolay bozulma eğilimindedirler. Doğal kurutma süresi, hava koşulları ve gereken süre nedeniyle etkisiz kalmakla birlikte ürünlerin işlenmeden çürümesine neden olmaktadır. Dondurarak kurutma, vakumlu kurutma, fırında kurutma, sürekli akışkan yatakta kurutma, sıcak hava kurutma ve tamburlu kurutma kullanılarak bu sorun çözülebilmektedir (Colletti vd., 2020; Nevara vd., 2022).

6.2. Antibesin İçeriği

Gıdalarda yağlı tohum küspeleri kullanımının sınırlı olma nedenlerinden biri olan antibesinler, mikro ve makro besinlerin sindirimini ve emilimini etkileyen ve vücut organlarının işlevleri üzerinde olumsuz etkileri olan maddelerdir. Bunlara örnek olarak tanenler, fitik asit, α -amilaz, tripsin inhibitörleri, antivitaminler ve saponinler verilebilir. Isıl işlem (kavurma, kaynatma, mikrodalgada, otoklav kullanımı) ve fermentasyon uygulaması antibesinlerin giderilmesi için kullanılabilecek basit tekniklerdir (Abedini vd., 2021; Nevara vd., 2022; Razavizadeh vd., 2022)

Embaby (2010) yaptığı çalışma ile kaynatma, kavurma, mikrodalga pişirme ve otoklavlama gibi çeşitli ısıtma işlemleriyle muamele edilen susam tohumları ve yer fıstığının bazı antibesin maddelerinin (fitik asit, lektin, tanenler, tripsin inhibitörü ve α -amilaz inhibitörü) ve in vitro protein sindirilebilirliğinin seviyelerini analiz etmiştir. Isıl işlem uygulamasının antibesinleri azalttığı ve yer fıstığı proteininin sindirilebilirliğini arttırdığını görmüştür.

Colletti vd. (2020) soya fasulyesindeki tripsin inhibitörlerini kavurma işlemiyle kısmen etkisiz hale getirilebileceğini belirtmişlerdir. Yağlı tohum küspelerindeki antibesinleri uzaklaştırmak için kullanılan ısı uygulamasının, proteinin yapısını ve çözünürlüğünü olumsuz yönde etkileyeceğini ve böylece sindirilebilirliklerini değiştireceğini belirtmişlerdir.

6.3. Potansiyel Alerjenite

Bitkisel proteinlerden kaynaklanan alerjenite, yağlı küspe kullanımını sınırlayan faktörlerden biridir (Nevara vd., 2022). Gıda proteinlerine karşı olumsuz bir bağışıklık reaksiyonu olan alerji birçok kişinin güvenliği ve sağlığı için tehlikelidir (Abedini vd., 2021). Örneğin, yer fıstığı ve soya fasulyesinden elde edilen proteinler, alerjik reaksiyonlara neden olan ana proteinleri (glisin ve β -konglisinin) içermektedir. Susam, ayçiçeği tohumları da alerjiye neden olmaktadır. Kenevir tohumunun ise diğer yenilebilir tohumlara göre daha az alerjik olduğu düşünülmektedir (Nevara vd., 2022).

Cabanillas vd. (2012), alkalaz ve aromazim hidrolizinin yer fıstığı proteinini alerjenitesi üzerindeki etkisini incelemişlerdir ve IgE reaktivitesinde bir azalma bulmuşlardır.

Cabanillas vd. (2018) soya fasulyesindeki alerjeniteyi azaltmak için kullanılan ısısıl işlemin ve basıncın etkilerini araştırmışlardır. Soya fasulyesinin IgE reaktivitesinin 30 dakikaya kadar kaynatmaya dirençli ve 60 dakika boyunca uygulandığında ise daha yüksek bir etkiye sahip olduğu görülmüştür. Isı ve basıncın birlikte kullanılmasıyla ise IgE 'nin azaldığı görülmüştür.

Mamone vd. (2019) kenevir tohumu protein izolatının, önemli thaumatin benzeri protein ve lipid transfer proteini dahil olmak üzere bilinen tüm kenevir alerjenlerini ortadan kaldırmayacağı sonucuna ulaşmışlardır. Gastrointestinal sindirimden sonra hiçbir protein parçasına rastlanılmamıştır. Sonuç olarak, kenevir tohumu protein izolatının hipoalerjenik gıdalar için bir bileşen olarak kullanılabileceğini bildirmişlerdir.

Pi vd. (2021), ısısıl işlem, fermentasyon, glikozilasyon, enzim katalizi, çimlenme, ısıtılma ve yüksek hidrostatik basıncın soya fasulyesi alerjenleri üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Enzimatik bozunma, ısısıl işlem, fermentasyon yöntemlerinin alerjeniteyi azalttığı görülmüştür. Fakat yüksek sıcaklık gibi uygulamaların, besin değeri kaybına ve zararlı maddelerin oluşumuna yol açabileceğini de belirtmişlerdir.

6.4. Mikotoksin varlığı

Mikotoksinler, insan ve hayvan sağlığı üzerindeki olumsuz etkileri nedeniyle endişe yaratmaktadır. Kalite kontrol sorunları, sıcak ve nemli iklim, uygunsuz depolama ve üretim koşulları, yağlı tohumlarda mantar gelişimini destekleyerek mikotoksin kontaminasyonuna yol açabilmektedir. Bu durum, yağ işleme sırasında elde edilen yağ, yağı alınmış küspeye ve yemlere bulaşmasına neden olmaktadır (Ji vd., 2024). Isıl işlem, ekstrüzyon pişirme, öğütme, demleme, amonyasyon ve ozonlama işlemleri uygulanarak mikotoksin seviyeleri azaltılabilmektedir (Bhat ve Reddy, 2017; Ji vd., 2024).

6.5. Tüketici tarafından kabul edilebilirliği

Yeni gıda ürünlerinin (özellikle yağlı tohum küspelerinden elde edilen bileşenleri içerenlerin geliştirilmesi) tüketici tarafından duyuşal olarak kabul edilmeleri oldukça zordur. Besin değerlerinin iyileştirilmesine rağmen, çoğu tüketicinin yeni ürünleri denemeye istekli olmadığı unutulmamalıdır. Bu sebeple duyuşal değerlendirme, yeniden formüle edilmiş ürünlerin

başarısı için çok önemli bir kriterdir (Nevara vd., 2022).

7. Sonuç

Gıda endüstrisinde yağ üretimi sonucu oluşan yan ürün atık miktarı son derece fazla olmakta ve atıklar etkin bir şekilde değerlendirilememektedir. Genellikle hayvanlar için yem olarak kullanılan bu yan ürünler, besin değerleri açısından zengindir. Çevre sağlığı ve atıkların geri kazanımı için bu ürünlerin kullanım olanaklarının araştırılması önem arz etmektedir. Gıda endüstrisinde; unlu mamuller, içecekler, et ürünleri ve makarnalar dahil olmak üzere çeşitli alanlarda kullanılabilmektedir. Kullanıldığı ürünlerde protein ve lif miktarında artış sağlarken, çoğu zaman karbonhidrat miktarında ise azalma

sağlamaktadır. İçerdikleri antioksidanlardan dolayı sağlık açısından faydalıdır. Aynı zamanda fonksiyonel bileşen ya da bir substrat olarak kullanım imkanları da vardır. Enzim, antibiyotik, antimikrobiyal ve mantar üretiminde substrat olarak kullanılmakla birlikte keklerden elde edilen antioksidan ve proteinlerde ise bileşen olarak kullanılmaktadır. Antibesin içeriği ve alerjenite gibi endüstride kullanım zorlukları vardır. Keklerin kullanılabileceği kadar bozulması ve kullanıldığı ürünün tüketici açısından kabul edilebilirliği de kullanım olanaklarını sınırlamaktadır. Fakat bu sorunlara gelecekte yapılacak çalışmalarla çözümler bulunabilmesi durumunda atık olan bu yan ürünlerin kullanımı çevre kirliliğine çözüm olacaktır ve gıda endüstrisinde de alternatif bir kaynak yaratılabilecektir.

8. References

- Abedini, A., Alizadeh, A.M., Mahdavi, A., Golzan, S.A., Salimi, M., Tajdar-Oranj, B. ve Hosseini, H. (2021). Oilseed cakes in the food industry; A review on applications, challenges, and future perspectives. *Current Nutrition & Food Science*, 2022, 18, 345-362. <https://doi.org/10.2174/1573401317666211209150147>
- Alashi, A.M., Blanchard, C.L., Mailer, R.J. ve Agboola, S.O. (2013). Technological and bioactive functionalities of canola meal proteins and hydrolysates. *Food Reviews International*, 29:231-260. <https://doi.org/10.1080/87559129.2013.790046>
- Ancuta, P. ve Sonia, A. (2020). Oil press-cakes and meals valorization through circular economy approaches: A review. *Applied Science*, 2020, 10, 7432. <https://doi.org/10.3390/app10217432>
- Behera, S., Indumathi, K., Mahadevamma, S. ve Sudha, M.L. (2013). Oil cakes – a by-product of agriculture industry as a fortificant in bakery products. *International Journal of Food Science and Nutrition*, 2013; 64(7): 806-814. <https://doi.org/10.3109/09637486.2013.801405>
- Bhat, R. ve Reddy, K.R.N. (2017). Challenges and issues concerning mycotoxins contamination in oilseeds and their edible oils: Updates from last decade. *Food Chemistry* 215 (2017) 425-437. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.07.161>
- Bhise, S., Kaur, A., Ahluwalia, P. ve Thind, S.S. (2014). Texturization of deoiled cake of sunflower, soybean and flaxseed into food grade meal and its utilization in preparation of cookies. *Nutrition & Food Science*, Vol. 44 Iss 6 pp. 576 – 585. <http://dx.doi.org/10.1108/NFS-01-2014-0002>
- Cabanillas, B., Pedrosa, M.M., Rodriguez, J., Muzquiz, M., Maleki, S.J., Cuadrado, C., Burbano, C. ve Crespo, J.F. (2012). Influence of enzymatic hydrolysis on the allergenicity of roasted peanut protein extract. *Int Arch Allergy Immunol* 2012;157:41-50
- Cabanillas, B., Cuadrado, C., Rodrigues, J., Dieguez, M.C., Crespo, J.F. ve Novak, N. (2018). Boiling and pressure cooking impact on IgE reactivity of soybean allergens. *International Archives of Allergy and Immunology in press*(1-2). <https://doi.org/10.1159/000485894>
- Colletti, A., Attrovio, A., Boffa, L., Mantegna, S. ve Cravotto, G. (2020). Valorisation of by-products from soybean (*glycine max* (L.) Merr.) processing. *Molecules* 2020, 25, 2129. <https://doi.org/10.3390/molecules25092129>
- Çiftçi, H.S. (2018). *Fındık ve susam posalarından üretilen protein konsantrelerinin gıda ürünlerinde değerlendirilmesi*. [Yüksek lisans tezi, Namık Kemal Üniversitesi]. YÖK Ulusal Tez Merkezi.
- Dabbour, M., Hamoda, A., Mintah, B.K., Wahia, H., Betchem, G., Yolandani, Xu, H., He, R. ve Ma., H. (2023). Ultrasonic-aided extraction and degossypolization of cottonseed meal protein: Optimization and characterization of functional traits and molecular structure. *Industrial Crops &*

Products 204 (2023) 11726.
<https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2023.117261>

El-Enzi, S.M., Andigani, N.M., Al-Tamimi, N.A. ve Gabr, G.A. (2018). Physico chemical and sensory evaluation of the fortified biscuits with sesame cake flour. *Asian Food Science Journal* 5(4):1-8, 2018.

<https://doi.org/10.9734/AFSJ/2018/45232>

Embaby, H.E.S. (2011). Effect of heat treatments on certain antinutrients and in vitro protein digestibility of peanut and sesame seeds. *Food Science and Technology Research* 17 (1):31–8. <https://doi.org/10.3136/fstr.17.31>

Essa, R.Y., Elhady, R.R.A., Kassab, H. ve Ghazi, A. (2015). Isolation and characterization of protein isolated from sesame seeds (*Sesamum indicum*) meal. *Weber Agricultural Research & Management* 2015; 1: 160-8

Farzana, K., Shah, S.N., Butt, F.B. ve Awan, S.B. (2005). Biosynthesis of bacitracin in solid-state fermentation by *Bacillus licheniformis* using defatted oil seed cakes as substrate. *Pakistan J. Pharm. Sci.* vol. 2005;55–57. <https://doi.org/10.1002/jsfa.9542>

Ferreira, D.M., Nunes, M.A., Santo, L.E., Machado, S., Costa, A.S.G., Alvarez-Orti, M., Pardo, J.E., Oliveria, M.B.P.P ve Alves, R.C. (2023). Characterization of chia seeds, cold-pressed oil, and defatted cake: An ancient grain for modern food production. *Molecules* 2023, 28, 723. <https://doi.org/10.3390/molecules28020723>

Grasso, S., Liu, S. ve Methven, L. (2020). Quality of muffins enriched with upcycled defatted sunflower seed flour. *LWT – Food Science and Technology* 119 (2020)108893. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108893>

Grasso, S., Omoarukhe, E., Wen, Z., Papoutsis, K. ve Methven, L. (2019). The use of upcycled defatted sunflower seed flour as a functional ingredient in biscuits. *Foods* 2019, 8, 305. <https://doi.org/10.3390/foods8080305>

Guiotto, E.N., Tomas, M.C. ve Haros, C.M. (2020). Development of highly nutritional breads with by-products of chia (*Salvia hispanica* L.) seeds. *Foods* 2020, 9, 819. <https://doi.org/10.3390/foods9060819>

Gülseren, M. (2019). *Çeşitli bitkisel soğuk pres atıklarının endüstriyel kek üretiminde kullanılması.*

[Yüksek lisans tezi, Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi]. YÖK Ulusal Tez Merkezi.

Hadidi, M., Tan, C., Assadpour, E. ve Jafari, S.M. (2024). Oilseed meal proteins: From novel extraction methods to nanocarriers of bioactive compounds. *Food Chemistry* 438(2024) 137971. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.137971>

Izadkhasti, Z., Fazel, M. ve Abbasi, H. (2019). Effect of sesame and soybean meal mixture on physicochemical, textural properties of sausage. *Journal of Food Technology & Nutrition*, 2019; 16(4): 33-44

Ji, J., Wang, D., Wang, Y. ve Hou, J. (2024). Relevant mycotoxins in oil crops, vegetable oils, de-oiled cake and meals: Occurrence, control, and recent advances in elimination. *Mycotoxin Research* (2024) 40:45–70. <http://dx.doi.org/10.1007/s12550-023-00512-3>

Jiao, Y., Chen, H.D., Han, H ve Chang, Y. (2022). Development and utilization of corn processing by-products: A review. *Foods* 2022, 11, 3709. <https://doi.org/10.3390/foods11223709>

Kim, S., Kim, W. ve Hwang, I.K. (2002). Optimization of the extraction and purification of oligosaccharides from defatted soybean meal. *International Journal of Food Science and Technology* 2003, 38, 337–342. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2621.2003.00679.x>

Küçükyıldırım, M. (2024). *Ekstraksiyon Yöntemlerinin Pamuk Tohumu (Çiğit) Proteini ve Gosipol içeriğine Etkisinin Araştırılması.* [Yüksek lisans tezi, Harran Üniversitesi]. YÖK Ulusal Tez Merkezi.

Lopusiewicz, L., Drozłowska, E., Siedlecka, P., Mezynska, M., Bartkowiak, A., Sienkiewicz, M., Zielinska-Blizniewska, H ve Kwiatkowski, P. (2019). Development, characterization, and bioactivity of non-dairy kefir-like fermented beverage based on flaxseed oil cake. *Foods* 2019, 8, 544. <https://doi.org/10.3390/foods8110544>

Lujan-Rhenals, D., Morawicki, R.O., Mendez-Montealvo, G. ve Wang, Y.J. (2013). Production of a high-protein meal and fermentable sugars from defatted soybean meal, a co-product of the soybean oil industry. *International Journal of Food Science & Technology*, 2014, 49, 904-910. <https://doi.org/10.1111/ijfs.12384>

- Ma, M., Ren, Y., Xie, W., Zhou, D., Tang, S., Kuang, M., Wang, Y. ve Du, S. (2017). Physicochemical and functional properties of protein isolate obtained from cottonseed meal. *Food Chemistry* 240 (2018) 856-862. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.08.030>
- Mamone, G., Picariello, G., Ramondo, A., Nicolai, M.A. ve Ferranti, P. (2019). Production, digestibility and allergenicity of hemp (*Cannabis sativa* L.) protein isolates. *Food Research International (Ottawa, Ont.)* 115 (January):562–71.
- Marchetti, L., Romero, L., Andres, S.C. ve Califano, A.N. (2017). Characterization of pecan nut expeller cake and effect of storage on its microbiological and oxidative quality. *Grasas Aceites* 68 (4), October–December 2017, e226. <http://dx.doi.org/10.3989/gya.0667171>
- Martinez, E., Garica-Martinez, R., Alvarez-Orti, M. Rabadan, A., Pardo-Gimenez, A. ve Pardo, J.E. (2021). Elaboration of gluten-free cookies with defatted seed flours: Effects on technological, nutritional, and consumer aspects. *Foods* 2021, 10, 1213. <https://doi.org/10.3390/foods10061213>
- Martins, Z.E., Pinho, O., Ferreira, I.M.P.L.V.O. (2017). Food industry by-products used as functional ingredients of bakery products. *Trends in Food Science & Technology* 67 (2017) 106e128. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tifs.2017.07.003>
- Mas, A.L., Brigante, F.I., Salvucci, E., Pigni, N.B., Martinez, M.L., Ribotta, P., Wunderlin, D.A. ve Baroni, M.V. (2020). Defatted chia flour as functional ingredient in sweet cookies. How do Processing, simulated gastrointestinal digestion and colonic fermentation affect its antioxidant properties? *Food Chemistry* 316 (2020) 126279. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.126279>
- Matveeva, J., Maslova, A. ve Bazhenova, T. (2019). Perspective of corn oilcake use in the flour products production . *14th International Scientific Conference, Jelgava*.
- Mohammed, K., Obadi, M., Omedi, J.O., Letsididi, K.S., Koko, M., Zaaboul, F., Siddeeg, A. ve Liu, Y. (2018). Effect of sunflower meal protein isolate (SMPI) addition on wheat bread quality. *Journal of Academia and Industrial Research* 6 (9).
- Mohdaly, A.A.A., Smetanska, I., Ramadan, M.F., Sarhan, M.A. ve Mahmoud, A. (2011). Antioxidant potential of sesame (*Sesamum indicum*) cake extract in stabilization of sunflower and soybean oils. *Industrial Crops and Products* 34 (2011) 952-959. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2011.02.018>
- Mridula, C., Gupta, R.K., Khaira, H. ve Bhadwal, S. (2015). Groundnut meal and carrot fortified pasta: optimization of ingredients level using RSM. *Proc. Natl. Acad. Sci., India, Sect. B Biol. Sci.* (Apr–June 2017) 87(2):277–288. <https://doi.org/10.1007/s40011-015-0586-x>
- Mridula, D., Gupta, R.K., Bhadwal, S. ve Khaira, H. (2016). Optimization of groundnut meal and capsicum juice for protein and antioxidant rich pasta. *Agric Res (September 2016)* 5(3):293–304. <https://doi.org/10.1007/s40003-016-0216-8>
- Nascimento, E.M.G.C., Carvalho, C.W.P., Takeiti, C.Y., Freitas, D.D.G.C. ve Ascheri, J.L.R. (2011). Use of sesame oil cake (*Sesamum indicum* L.) on corn expanded extrudates. *Food Research International* 45 (2012) 434-443. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2011.11.009>
- Nassef, S.L., El-Hadidy, G.S. ve Abdelsattar, A.S. (2023). Impact of defatted chia seeds flour addition on chemical, rheological, and sensorial properties of toast bread. *Egyptian Journal of Agricultural Sciences* 73(4):55-56. <https://doi.org/10.21608/ejarc.2023.174785.1008>
- Naumova, N., Lukin, A. ve Bitiutskikh, K. (2017). Organoleptic evaluation of the quality of the enriched chopped semi-finished meat products. *Bulletin of the Transilvania University of Braşov Series II Vol. 10 (59) No.2 – 2017*.
- Nevara, G.A., Ibrahim, S.G., Muhammed, S.K.S., Zawawi, N., Mustapha, N.A. ve Karim, R. (2022). Oilseed meals into foods: an approach for the valorization of oilseed by-products. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 2023, No.23, 6330-6343. <https://doi.org/10.1080/10408398.2022.2031092>
- Norajit, K., Gu, B.J., Ryu, G.H. (2011). Effects of the addition of hemp powder on the physicochemical properties and energy bar qualities of extruded rice. *Food Chemistry* 129 (2011) 1919–1925. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.06.002>
- Nouska, C., Irakli, M., Palakas, P., Lytjou, A.E., Bouloumpasi, E., Biliaderis, C.G. ve Lazaridou, A. (2024). Influence of sesame cake on physicochemical, antioxidant and sensorial characteristics of fortified wheat breads. *Food*

Research International 178(2024) 113980.
<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2024.113980>

Obied, H.K., Song, Y., Foley, S., Loughlin, M., Rehman, A., Mailer, R., Masud, T. ve Agboola. (2013). Biophenols and antioxidant properties of Australian canola meal. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 5;61(38):9176-84.
<https://doi.org/10.1021/jf4026585>

Ogunronbi, O., Jooste, P.J., Abu, J.O. ve Merwe, B.V.D. (2009). Chemical composition, storage stability and effect of cold-pressed flaxseed oil cake inclusion on bread quality. *Journal of Food Processing and Preservation* 35 (2011) 64–79.
<https://doi.org/10.1111/j.1745-4549.2009.00452.x>

Öztürk, E. ve Ova, G. (2016). Yağlı tohum kabuklarının biyoaktif bileşen potansiyeli ve gıdalarda kullanımı. *Akademik Gıda* 15(3)(2017) 315-321.
<https://doi.org/10.24323/akademik-gida.345280>

Pap, N., Hamberg, L., Pihlava, J.M., Hellström, J., Mattila, P., Euro, M., Pihlanto, A. (2020). Impact of enzymatic hydrolysis on the nutrients, phytochemicals and sensory properties of oil hemp seed cake (*Cannabis sativa* L. FINOLA variety). *Food Chemistry* 320 (2020) 126530.
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.126530>

Paul, P.K., Mahawar, M.K., Mani, A., Abobatta, W. ve Panja, P. (Eds.). (2018). *Trends & prospects in food technology, processing and preservation*. Today and Tomorrow's Printers and Publishers.

Petraru, A., Ursachi, F. ve Amariei, S. (2021). Nutritional characteristics assessment of sunflower seeds, oil and cake. Perspective of using sunflower oilcakes as a functional ingredient. *Plants*, 10, 2487.
<https://doi.org/10.3390/plants10112487>

Pi, X., Fu, G., Wu, Z. ve Cheng, J. (2021). Effect of processing on soybean allergens and their allergenicity. *Trends in Food Science & Technology* 118 (2021) 316–327.
<https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.10.006>

Pojic, M., Hadnadev, T.D., Hadnadev, M., Rakita, S. ve Brlek, T. (2015). Bread supplementation with hemp seed cake: a by-product of hemp oil processing. *Journal of Food Quality* 38 (2015) 431–440.
<https://doi.org/10.1111/jfq.12159>

Prakash, K., Naik, S.N., Vadivel, D., Hariprasad, P., Gandhi, D. ve Saravanadevi, S. (2018). Utilization of defatted sesame cake in enhancing

the nutritional and functional characteristics of biscuits. *Journal of Food Processing and Preservation* 2018; 42: e13751.
<https://doi.org/10.1111/jfpp.13751>

Qinzhu, Z., Yan-ling, C., Dong-xiao, S., Tian, B., Yang, Y. ve Shan, H. (2018). Process optimization and anti-oxidative activity of peanut meal Maillard reaction products. *LWT- Food Science and Technology* 97 (2018) 573-580.
<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.07.025>

Rabadan, A., Alvarez-Orti, M., Martinez, E., Pardo-Gimenez, A., Zied, D.C. ve Pardo, J.E. (2021). Effect of replacing traditional ingredients for oils and flours from nuts and seeds on the characteristics and consumer preferences of lamb meat burgers. *LWT- Food Science and Technology* 136 (2021) 110307.
<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110307>

Radocaj, O., Dimic, E. ve Tsao, R. (2014). Effects of hemp (*cannabis sativa* L.) Seed oil press-cake and decaffeinated green tea leaves (*camellia sinensis*) on functional characteristics of gluten-free crackers. *Journal of Food Science* 79, 3, 2014.
<https://doi.org/10.1111/1750-3841.12370>

Ramachandran, S., Singh, S.K., Larroche, C., Soccol, C.R. ve Pandey, A. (2006). Oil cakes and their biotechnological applications – A review. *Bioresource Technology* 98(2007) 2000-2009.
<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2006.08.002>

Razavizadeh, S., Alencikienė, G., Vaiciulyte-Funk, L., Ertbjerg, P. ve Salaseviciene, A. (2022). Utilization of fermented and enzymatically hydrolyzed soy press cake as ingredient for meat analogues. *LWT - Food Science and Technology* 165 (2022) 113736.
<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.113736>

Reyes-Jaques, D., Casillas, F., Flores, N., Andrade-Gonzales, I., Solis-Soto, A., Medrano-Roldan, H., Carrete, F ve Delgado, E. (2012). The effect of glandless cottonseed meal content and process parameters on the functional properties of snacks during extrusion cooking. *Food and Nutrition Sciences*, 2012, 3, 1716-1725.
<http://dx.doi.org/10.4236/fns.2012.312225>

Rhee, K.S., Ziprin, Y.A. ve Calhoun, M.C. (2001). Antioxidative effects of cottonseed meals as evaluated in cooked meat. *Meat Science* 58 (2001) 117-123.

- Sarkis, J.R., Michel, I., Tessaro, I.C. ve Marczak, L.D.F. (2014). Optimization of phenolics extraction from sesame seed cake. *Separation and Purification Technology* 122 (2014) 506–514. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2013.11.036>
- Seth, K. ve Kochhar, A. (2017). Formulation and nutritional evaluation of baked products supplemented with partially defatted peanut flour. *Nutrition & Food Science*, Vol. 47 No. 6, pp. 808–816. <https://doi.org/10.1108/NFS-12-2016-0188>
- Siddiq, M., Nasir, M., Ravi, R., Dolan, K.D. ve Butt, M.S. (2009). Effect of defatted maize germ addition on the functional and textural properties of wheat flour. *International Journal of Food Properties*, 12: 860–870.
- Silva, F.O., Miranda, T.G., Justo, T., Frasco, B.S., Conte-Junior, C.A., Monteiro, M. ve Perrone, D. (2017). Soybean meal and fermented soybean meal as functional ingredients for the production of low-carb, high-protein, high-fiber and high isoflavones biscuits. *LWT - Food Science and Technology* 90 (2018) 224–231. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.12.035>
- Singh nee Nigam, P. ve Pandey, A. (Eds.). (2009). *Biotechnology for agro-industrial residues utilisation*. Springer Dordrecht. <https://doi.org/10.1007/978-1-4020-9942-7>
- Singh, R., Langyan, S., Rohtagi, B., Khandelwal, A. ve Shrivastana, M. (2022). Protein for human consumption from oilseed cakes: A review. *Frontiers in Sustainable Systems* <https://doi.org/10.3389/fsufs.2022.856401>
- Sobczak, P., Zawislak, K., Starek, A., Zekiewicz-Sobczak, W., Sagan, A., Zdybel, B. ve Andrejko, D. (2020). Compaction process as a concept of press-cake production from organic waste. *Sustainability* 2020, 12, 1567. <https://doi.org/10.3390/su12041567>
- Souza, A.H.P., Gohara, A.K., Rotta, E.M., Chaves, M.A., Silva, C.M., Dias, L.F., Gomes, S.T.M., Souza, N.E. ve Matsushita, M. (2015). Effect of addition of chia's byproduct in the composition of fatty acids in hamburgers through chemometric methods. *J Sci Food Agric* 2015 Mar 30;95(5):928-35. <https://doi.org/10.1002/jsfa.6764>
- Suleman, D., Bashir, S., Shah, F.U.H., Ikram, A., Shahid, Z., Tufail, T., Khan, A.A., Ahsan, F., Ambreen, S., Raza, A. ve Mohamed, M.H. (2023). Nutritional and functional properties of cookies enriched with defatted peanut cake flour. *Cogent Food & Agriculture*, 9:1, 2238408. <https://doi.org/10.1080/23311932.2023.2238408>
- Sumon, M.M., Ahmed, K.U., Nuruddin, M.M., Hossain, A. ve Hussain, M.A. (2020). Comparative study on physicochemical composition of different genotypes of sunflower seed and mineral profile of oil cake. *The Agriculturists* 18(2): 83-93 (2020). <https://doi.org/10.3329/agric.v18i2.51062>
- Sunil L., Prakruthi A., Prasanth Kumar P.K. ve Gopala Krishna A.G. (2016). Development of health foods from oilseed cakes. *Journal of Food Processing & Technology* Volume 7, Issue 11, 1000631. <https://doi.org/10.4172/2157-7110.1000631>
- Sunil, L., Appaiah, P., Kumar, P.K.P. ve Krishna, A.G.G. (2014). Preparation of food supplements from oilseed cakes. *Journal of Food Science and Technology* 52(5). <https://doi.org/10.1007/s13197-014-1386-7>
- Teterycz, D., Sobota, A., Przygodzka, D. ve Lysakowska, P. (2021). Hemp seed (*Cannabis sativa* L.) enriched pasta: Physicochemical properties and quality evaluation. *Plos One* 16(3): e0248790. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0248790>
- Thacker, P. ve Kirkwood, R. (2017). *Non-traditional feeds for use in swine production*. (1st edition). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9780203711248>
- Turhan, S., Temiz, H. ve Sağır, İ. (2006). Utilization of wet okara in low-fat beef patties. *Journal of Muscle Foods* 18 (2007) 226–235. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4573.2007.00081.x>
- Usman, I., Saif, H., Imran, A., Afzaal, M., Saeed, F., Azam, I., Afzal, A., Ateeq, F., Shah, Y.A., ve Shah, M.A. (2023). Innovative applications and therapeutic potential of oilseeds and their by-products: an eco-friendly and sustainable approach. *Food Science & Nutrition* 2023;11:2599-2609. <https://doi.org/10.1002/fsn3.3322>
- Vasudha, C. ve Sarla, L. (2021). Nutritional quality analysis of sunflower seed cake (SSC). *The Pharma Innovation Journal* 2021; 10(4): 720-728.
- Wanasundara, P., McIntosh, T., Perera, S., Withana-Gamage, T. ve Mitra P. (2016). Canola/rapeseed protein-functionality and nutrition. *OCL* 2016;23: p. (4)D407.

Wanjari, N ve Waghmare, J. (2015). Phenolic and antioxidant potential of sunflower meal. *Advances in Applied Science Research*, 2015, 6(4):221-229.

Zahari, I., Ferawati, F., Helstad, A., Ahiström, C., Östbring, K., Rayner, M. ve Purhagen, J.K. (2020). Development of high-moisture meat analogues with hemp and soy protein using extrusion cooking. *Foods* 2020, 9(6), 772. <https://doi.org/10.3390/foods9060772>

Zamindar, N., Bashash, M., Khorshidi, F., Serjouie, A., Shirvani, M.A., Abbasi, H. ve Sedaghatdoost, A. (2017). Antioxidant efficacy of soybean cake extracts in soy oil protection. *Journal Food Science and Technology*. 54(7): 2077-2084. <https://doi.org/10.1007/s13197-017-2646-0>

Zawawi, N., Gangadharan, P., Ahma Zaini, R., Samsudin, M.G., Karim, R. ve Maznah, I. (2013). Nutritional values and cooking quality of defatted Kenaf seeds yellow (DKSY) noodles. *International Food Research Journal* 21(2): 603-608 (2014)

Zhang, B., Liu, G., Ying, D., Sanguansri, L. ve Augustin, M.A. (2017). Effect of extrusion conditions on the physico-chemical properties and *in vitro* protein digestibility of canola meal. *Food Research International* 100 (2017) 658 – 664. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodres.2017.07.060>

Zhang, M., Wang, O., Cai, S., Zhao, L. ve Zhao, L. (2023). Composition, functional properties, health benefits and applications of oilseed proteins: a systematic review. *Food Research International* 171(2023) 113061. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2023.113061>

Review Paper/Derleme Makale

Microflora of table olive fermentation

Sofralık zeytin fermantasyonunun mikroflorası

Ahmet Bekteş¹, Merve Gündüz^{2*}, Şeniz Karabıyıklı Çiçek³

^{1,2}Tokat Gaziosmanpaşa University Graduate Education Institute, Department of Food Engineering, TOKAT, TÜRKİYE

³Tokat Gaziosmanpaşa University Faculty of Engineering and Architecture, Department of Food Engineering, TOKAT, TÜRKİYE
(Yazar sıralamasına göre)

ORCID ID: 0000-0001-9092-7296, PhD Student

ORCID ID: 0000-0002-7684-4002, Food Engineer (MSc)

ORCID ID: 0000-0001-9287-9400, Prof. Dr.

*Corresponding author/Sorumlu yazar: mervegunduzz.mg@gmail.com

Geliş Tarihi : 04.07.2024

Kabul Tarihi : 02.01.2025

Abstract

Objective: Olive consumption has been showing an increasing trend in recent years due to the increasing interest in healthy and balanced nutrition. Olives are consumed in different ways such as table olives and olive oil. Fermentation of table olives is very important to remove bitterness and to produce safe table olives with appropriate sensory and biochemical properties and long shelf life. Table olive fermentation is carried out under spontaneous or controlled conditions. There are many microorganisms in the natural microflora of olives. When the studies are examined, it is generally seen that the dominant species are lactic acid bacteria such as *Lactobacillus pentosus*, *Lactobacillus plantarum*, yeasts such as *Candida*, *Saccharomyces*, *Pichia* and mould species such as *Penicillium*, *Aspergillus*. Therefore, table olive production is a very complex process due to the rich microflora diversity.

Conclusion: In this review, general information about olive fruit and microorganisms involved in table olive fermentation are given. The effects of microorganisms on the organoleptic properties and biochemical properties of table olives during the fermentation period have been studied in detail. An important resource has been presented to researchers and industry working on table olives with this study.

Keywords: Olive; spontaneous fermentation; starter culture; microflora

Öz

Amaç: Son yıllarda sağlıklı ve dengeli beslenmeye artan ilgiden dolayı zeytin tüketimi artış eğilimi göstermektedir. Zeytin, sofralık zeytin ve zeytinyağı gibi farklı şekillerde tüketilmektedir. Sofralık zeytin fermantasyonu, acılığın giderilebilmesi, uygun duyuşal ve biyokimyasal özelliklere sahip, raf ömrü uzun ve güvenli sofralık zeytin üretebilmek için oldukça önemlidir. Sofralık zeytin fermantasyonu, spontan veya kontrollü koşullarda gerçekleştirilmektedir. Zeytinin doğal mikroflorasında çok sayıda mikroorganizma bulunmaktadır. Yapılan çalışmalar incelendiğinde genel olarak baskın türlerin *Lactobacillus plantarum*, *Lactobacillus pentosus* gibi laktik asit bakterilerinden, *Candida*, *Saccharomyces*, *Pichia* gibi mayalardan ve *Penicillium*, *Aspergillus* gibi küf türlerinden oluştuğu görülmektedir. Dolayısıyla, sofralık zeytin üretimi sahip olduğu zengin mikroflora çeşitliliğinden dolayı oldukça kompleks bir süreçtir.

Sonuç: Bu derleme çalışmasında zeytin meyvesi ve sofralık zeytin fermantasyonunda rol oynayan mikroorganizmalar hakkında genel bilgiler verilmektedir. Fermantasyon süresi boyunca mikroorganizmaların, sofralık zeytinlerin organoleptik özellikleri ve biyokimyasal özellikleri üzerindeki etkileri detaylı bir şekilde incelenmiştir. Bu çalışma ile birlikte sofralık zeytin üzerine çalışan araştırmacılara ve endüstriye önemli bir kaynak sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Zeytin; spontan fermantasyon; starter kültür; mikroflora

1. Introduction

Olive, which is traditionally cultivated in Mediterranean countries (Sozbilen and Baysal, 2016) and is a fruit of the *Olea europaea* tree, is a drupe and fleshy fruit with a high fat content, low sugar concentration and bitter component (oleuropein) (Arroyo-López et al., 2012). It is believed that the olive plant first grew in the region encompassing Hatay, Mardin, Palestine, Syria, and the island of Cyprus (Anonymous, 2019). The spread of the olive to the world has been in the form of Southeastern Anatolia, Western Anatolia, Aegean Islands and Greece-Italy-France-Spain (Anonymous, 2016).

According to the data of the Food and Agriculture Organization (FAO), olive decile areas increased by 6.42% and olive production increased by 19.98% between 2012 and 2022 worldwide. In the 2021-22 season, olive production was realized on 10.95 million hectares of land worldwide and 21.45 million tons of crops were obtained. The countries with the highest olive production in 2021-22 were Spain, Greece, Türkiye, Italy, Morocco, Egypt, Portugal, Tunisia, Syria and Algeria, respectively. According to the International Oliveoil Council (IOC) data, the per capita table olive consumption by country in the 2019/20 production season is 5.6 kg in Syria, 6.2 kg in Algeria, 5.5 kg in Egypt, 3.9 kg in Türkiye, 3.5 kg in Spain and 2.5 kg in Peru (IOC, 2023).

Olive is a food containing high levels of fat (12-30%), low levels of sugar (2.6-6%), oleuropein, which is a bitter component, water, protein, anthocyanins, organic acids and mineral substances (Tokuşoğlu, 2016; Rokni et al., 2017). In recent years, olive consumption has increased due to the increasing interest of people in issues such as quality life, health and balanced nutrition (Özdek and Aybar, 2019). Olive consumption is considered under two main categories: table olives and olive oil.

Table olives are defined in the Turkish Food Codex Communiqué on Table Olives numbered 29097 and dated 23 August 2014 as "olives obtained from cultivated olive tree (*Olea europaea* L.) fruits by removing the bitterness in accordance with the technique, subjected to fermentation work or not kept, adding starter culture and/or other additives, when necessary, with or without pasteurisation or sterilisation process" (Anonymous, 2014). Table olives are divided into 3 groups: green, different

colors and black olives according to the maturity level of the fresh fruit (Rejano et al., 2010). In addition, according to customer demands and the way they are presented to the market, they are classified as whole olives, pitted olives, filled olives, half olives, quarter olives, divided olives, sliced olives, broken olives, crushed olives, scratched olives, saddle olives, etc. (Tokuşoğlu, 2016).

In this study, information about the importance of fermentation in table olive production, production problems related to the optimisation of fermentation conditions and microbial flora that play a role in fermentation are reviewed.

2. Natural flora of the olive fruit

Table olive fermentation usually occurs spontaneously. The natural microflora of olives plays an important role in spontaneous fermentations (SF). The microflora of olives varies depending on the type of olive, the geographical region in which it is located and the type of processing.

There are limited number of studies on the natural flora of raw olive fruit. In one of these studies, lactic acid bacteria (LAB), *Bacillaceae*, *Enterobacteriaceae*, *Micrococcaceae*, *Pseudomonadaceae*, mould and yeast species were detected from the fruits of Hurma and Erkence olive species grown in Karaburun district of Izmir, Türkiye (Sozbilen and Baysal, 2016). Bella di Cerignola olives harvested from Santo Stefano in the Apulian Region of Italy were fermented according to Spanish and natural fermentation methods and LAB, mesophilic bacteria, *Pseudomonadaceae*, *Enterobacteriaceae*, *Micrococcaceae*, *Staphylococcus* spp., and yeasts were detected. *Bacillus* species were dominant in mesophilic microorganism population of raw olives and *Chryseobacterium* spp., *Enterobacter amnigenus* and *Enterobacter cloacae* were isolated in the first phase of fermentation (Campaniello et al., 2005). *Enterobacteriaceae*, *Clostridium*, *Pseudomonas*, *Staphylococcus* spp., LAB and some mold species were isolated from processed olives and their brines (Erten et al., 2015). In the early days of fermentation, LAB such as *Pediococcus cerevisiae* and *Leuconostoc mesenteroides* (Turantaş, 2021) and Gram negative bacteria (*Enterobacter*, *Citrobacter*, *Aeromonas*,

Escherichia and *Klebsiella*) grow. The growth of Gram negative bacteria continue until LAB grow and reduce the pH of the environment to a certain level. It has been reported that *Saccharomyces*, *Pichia*, *Candida* genera are frequently encountered in table olive fermentations. The most important microorganism group in olive fermentations is LAB. Especially, *Lactobacillus* spp. (*Lactobacillus plantarum*) are the most dominant species (Erten et al., 2015). In addition, *Rhizopus nigricans*, *Fusarium semiticum*, *Penicillium*, *Aspergillus* mould species were detected in the microbial flora of olive fruits. *Penicillium* species are the most dominant species among the moulds (Tokuşoğlu, 2016).

3. Table olive fermentation and importance of fermentation

Olive is the only fruit that cannot be consumed directly after harvesting. The bitterness of olives must be removed in order to consume them. Several processes can be apply for removing bitterness in olive fruits. Bitterness in olives can be eliminated by alkali application, brining, salting, fermentation, acidification, enzyme treatment, sonication, freezing-thawing and drying methods (Kara and Özbaş, 2013; Yılmaz et al., 2022). Fermentation of table olives occurs under spontaneous or controlled conditions (with or without starter culture). The microorganisms involved in fermentation are yeasts and LAB (Arroyo-López, 2012; Bonatsou et al., 2017). It is stated that oleuropein, which is a phenolic compound and the cause of bitterness in olives, is degraded by the enzyme β -glucosidase produced by yeasts and LAB during fermentation and then converted into hydroxytyrosol and elenolic acid by esterase enzyme (Kara and Özbaş, 2013; Boskou et al., 2015). LAB are very important for olive fermentation because they can survive in brine, tolerate high pH and sodium chloride (NaCl) values, produce high amounts of lactic acid, and have specific enzymes (Abouloifa et al., 2020b). LAB especially cause a decrease in pH with the lactic acid produced in table olive fermentation. When fermentation ends, the amount of salt used to preserve the product decreases due to the increase in the acidity of the environment (Özdemir, 2011), the microbial load of olives decreases and thus the shelf life prolonged. The metabolites and volatile components (alcohol, ethyl acetate and acetaldehyde) produced by yeasts involved in fermentation produce the desired taste and aroma

in olives (Bonatsou et al., 2018). In addition, the odor, color, taste and texture such as properties of the final product are improved thanks to the lipase and esterase activities of the yeasts (Bonatsou et al., 2018; Perpetuini et al., 2020).

Table olive fermentation is very important for the growth of desirable sensory and biochemical properties in the end product (Kaltsa et al., 2014), inhibition of undesirable microorganisms (lactic acid, bacteriocin, etc.) (Hurtado et al., 2012), reduction of high salt concentration which is harmful for health and improves olive flavour (Özay et al., 1994; Özdemir, 2011), reduction of alkali use due to the natural removal of the bitterness cause of oleuropein from olives (Boskou et al., 2015) All these are very important in process in terms of producing a quality product with a long shelf life and food safety (Chranioti et al., 2018).

4. Production problems related to optimisation of fermentation conditions

It has been reported that the optimum salt concentration at which LAB can grow is maximum 9% (Erten et al., 2015). This ratio is in the range of 12-14% in olive fermentation produced by traditional method (Özay et al., 1994). Therefore, the use of high salt is disadvantageous for the growth of microorganisms involved in fermentation. In addition, halophilic Archaea, which can grow under high salt concentration and low acidity conditions and are spoilage factors in foods, can be observed (Abriouel et al., 2011).

Spontaneous fermentation takes place with the natural microflora on the surface of the olive fruit. Accordingly, spontaneous fermentation may lead to the production of low-quality products with variable sensory characteristics due to the long period under uncontrolled conditions (Boskou et al., 2015). In short, spontaneous fermentation has more disadvantages compared to fermentations using starter culture (Bonatsou et al., 2017).

During the alkaline treatment and washing stages in the bitterness removal process, the sugar content in olive fruits decreases. Therefore, the fermentation process proceeds outside the desired. Accordingly, acidity remains at low levels. As a result, spoilage factors and pathogenic microorganisms may grow in the environment and cause risky food production and product spoilage in terms of food safety. In addition, alkaline application causes a decrease in phenolic

compounds that contribute to the texture, taste, colour and antioxidant capacity of olives. The fact that the amount of phenolic compounds in the environment decreases over time also leads to the inability to achieve the desired sensory properties in the final product (Chranioti et al., 2018).

In the spontaneous table olive fermentation performed in the tank, if the tank lid is left open or if air remains in the upper part of the tank, oxidative yeasts and moulds can accumulate on the brine surface and cause olive spoilage (Kailis and Kiritsakis, 2017). Mould growth in brine can cause the formation of mycotoxins, which is an important problem in terms of food safety. Aflatoxins, ochratoxin and citrinin are mycotoxins that cause problems in olives (Tokuşoğlu, 2016). In order to prevent or reduce the formation of moulds and also mycotoxins in table olives during the process from harvest to consumption, preventions are important such as applying good manufacturing procedures at the harvest stage, keeping storage conditions (temperature, packaging, salinity, etc.) under control (Bavaro et al., 2017).

In recent years, interest in the use of starter cultures in the industrial production of table olives has increased. However, the use of starter cultures in table olive production has not yet become widespread. This is because the optimization of microbial strains to be used as starter cultures in table olive fermentation has not been carried out. Therefore, microbiological controls of the fermentation process cannot be performed (Chranioti et al., 2018).

5. Spontaneous fermentation in table olive production

Spontaneous fermentation is carried out by the natural microflora present on the surface of the olive fruit. Table olive species can generally be processed through spontaneous fermentation (4-10% NaCl) at 25°C under anaerobic conditions (Kailis and Kiritsakis, 2017).

In a study bacterial identification of six different naturally fermented table olive species (*Nocellara de Belice*, *Itrana nera*, *Itrana Bianca*, *Bella di Cerignola*, *Peranzana* and *Cellina Di Nardò*) supplied from three regions of Italy (Apulia, Sicily and Lazio) were performed and, *Lactobacillus fermentum*, *Lactobacillus pentosus*, *Lactobacillus plantarum*, *Lactobacillus helveticus*, *Lactobacillus casei* and *Enterococcus durans* species were

identified and it was observed that *Lactobacillus pentosus* was the dominant species (Tofalo et al., 2014).

Leuconostoc pseudomesenteroides, *Pediococcus parvulus* and *Lactobacillus pentosus*, species were identified in the study to determine the characterisation of LAB (*Lactobacillus*, *Pediococcus* and *Leuconostoc*) isolated from *Aloreña* green table olives naturally fermented (fermentation in vats and large tanks at room temperature) in four plants from Málaga, Spain. Most of the isolates of *Lactobacillus pentosus* and *Leuconostoc pseudomesenteroides* showed high acidification capacity by lowering the pH up to 3.8 (Abriouel et al., 2012).

The yeast population and dynamics involved in the spontaneous fermentation of *Negrinha de Freixo* green table olive species performed at room temperature in brine with an initial salt content of 7% and a pH set to 4 with the addition of lactic acid were evaluated in both brine and olive fruit. The yeast species *Rhodotorula glutinis*, *Pichia guilliermondii*, *Rhodotorula graminis*, *Candida norvegica*, *Galactomyces reessii*, *Candida boindini*, *Debaromyces hansenii*, *Saccharomyces cerevisiae*, *Pichia membranifaciens* and *Candida tropicalis* were isolated from the fruit during fermentation. The yeast species *Pichia manshurica*, *Galactomyces reessii*, *Candida boindini*, *Debaryomyces hansenii*, *Saccharomyces cerevisiae*, *Pichia membranifaciens* and *Candida tropicalis* were isolated from the brine during fermentation. It was observed that the most frequently detected yeast species during fermentation was *Saccharomyces cerevisiae*, followed by *Candida tropicalis*, *Pichia membranifaciens* and *Candida boindini* yeast species. (Pereira et al., 2015).

Table olives were produced by natural fermentation using *Bella di Cerignola*, *Nocellara del Belice*, *Itrana bianca*, *Itrana nera*, *Cellina di Nardò* and *Peranzana* olives grown by different producers in the Puglia, Sicily and Lazio regions of Italy. Studies have confirmed that the microorganisms responsible for fermentation are yeasts, and *Saccharomyces cerevisiae* has been isolated from all olive varieties. It was determined that the yeasts found in the environment were *Candida boidinii*, *Candida ishivadae*, *Wickerhamomyces anolamus*, *Candida ishivadae* and *Pichia galeiformis* species (Tofalo et al.,

2013). In another study investigated the microbial dynamics of Manzanilla olive species processed by Spanish-style green olive fermentation without any starter culture, acidified with lactic acid and HCl, with a salt ratio of 10-11%, it was observed that the dominant species was *Lactobacillus pentosus*. Apart from *Lactobacillus pentosus*, a total of 15 LAB were isolated. *Weissella paramesenteroides/hellenica*, *Enterococcus saccharolyticus*, *Sporolactobacillus inulinus/terrae*, *Pediococcus parvulus* and *Lactobacillus rhamnosus* identified in this study have not been previously identified in Spanish-style table olive fermentations. *Sporolactobacillus inulinus/terrae* and *Enterococcus saccharolyticus* have not been previously sampled in any olive preparation. *Enterococcus casseliflavus* and *Enterococcus saccharolyticus* were observed at the beginning of fermentation. It has been observed that *Candida thaimueangensis* and *Saccharomyces cerevisiae* were predominate among the yeasts. *Rhodotorula mucilaginosa* and *Candida butyri/asseri* species have been identified from fermented olives obtained according to Spanish traditional methods. As a result of the studies carried out, *Saturnispora mendoncae* was carried out in isolation (Lucena-Padrós et al., 2014).

It has been confirmed that alkaliphilic and halophilic bacteria in the natural microflora are involved in the fermentation of green olives obtained according to Spanish traditional production methods without the addition of any starter culture. At the end of the study, 13 bacterial species belonging to 11 genera including *Aerococcus* sp., *Alkalibacterium* sp., *Amphibacillus tropicus*, *Catenococcus thiocycli*, *Enterococcus olivae*, *Halolactobacillus* sp., *Halomonas mongoliensis*, *Marinilactobacillus* sp., *Matronobacillus azotifigens*, *Streptohalobacillus salinus*, *Vibrio* sp. were identified. Among the identified species, a high number of halophilic (*Alkalibacterium*, *Marinilactobacillus* and *Halolactobacillus*) and alkaliphilic LAB were observed (Lucena-Padrós and Ruiz-Barba, 2016).

Bleve et al. (2015), investigated the profiles of microorganisms involved in small scale fermentations of Kalamata and Conservolea table olive species. Olives were subjected to a 180-day fermentation at ambient temperature (8-30°C) at 8% salt concentration. As a result of the study, "Generally Recognised as Safe" (GRASS) yeast

species; *Pichia anomala* and *Debaryomyces hansenii* in Conservolea olives, *Pichia anomala*, *Pichia membranifaciens* *Saccharomyces cerevisiae*, *Debaryomyces hansenii*, and *Guehomyces pullulans* (non-GRASS) in Kalamata olives were identified. In addition, *Lactobacillus plantarum* and *Acetobacter tropicalis* bacterial species were detected in Conservolea olives, while *Leuconostoc mesenteroides* and *Lactobacillus plantarum* bacterial species were detected in Kalamata olives.

In the study carried out to determine the LAB strains found in the biofilms of Aloreña, Manzanilla and Gordal type table olives obtained from Spanish style green olives and direct pickled (natural) olive production enterprises, and which may be used as starter culture in table olive production, 79 different genotypes were obtained from the isolates obtained. Among these genotypes, 16 genotypes were observed to be dominant. Of these genotypes, 13 of them were identified as *Lactobacillus pentosus* and 3 of them were identified as *Lactobacillus plantarum* strains. It was observed that *Lactobacillus pentosus* Lp13 was the most dominant genotype among all strains except Aloreña green natural olives, followed by *Lactobacillus pentosus* Lp6. In addition, in this study, it was observed that the biodiversity indices of Manzanilla and Gordal olive cultivars produced by the Spanish-style production method were higher than those of olives produced according to the direct brine olive processing method. It has been observed that the dominant species found in Spanish table olive biofilms was *Lactobacillus pentosus*, but some genotypes of *Lactobacillus plantarum* were also detected (Benítez-Cabello et al., 2019).

In the study in which 72 yeast isolates identified from the brines of Bosana table black olives grown on the Italian island of Sardinia and produced by spontaneous fermentation method were identified, it was determined that the dominant yeast species were *Nakazawaea molendini-olei* and *Wickerhamomyces anomalus*. It was also observed that *Candida boidinii*, *Candida diddensiae*, *Saccharomyces cerevisiae* and *Zygorhizoglyphus mackii* species were present at lower rates (Porru et al., 2018).

In a study, the predominant bacterial species in the spontaneous fermentation of Gordal and Manzanilla table olives produced industrially with

the Spanish-style production technique were identified. *Vibrio vulgaricus*, *Lactobacillus parafarraginis* and *Lactobacillus plantarum* spp. were identified in both olive varieties. *Halolactobacillus halophilus* and *Lactobacillus sanfranciensis* were identified only in Gordal olive samples, while *Staphylococcus* sp. was detected only in the initial stage of Manzanilla olive fermentations. Also, the bacterial species in the solid sea salts used in the preparation of the brine were also identified and the presence of *Bacillus*, *Enterococcus* and *Staphylococcus* species, which were not detected during fermentation, were detected (Benítez-Cabello et al., 2016).

In the study, Müjdecı et al. (2018), yeast isolation was performed as a result of natural fermentation of Gemlik type olives grown in Akhisar and Iznik regions of Türkiye and identified the yeast strains. At the end of the study, *Candida mycentangi*, *Candida famata*, *Candida hellenica*, *Candida pelliculosa*, *Candida membranifaciens*, *Zygosaccharomyces mrakii* and *Saccharomyces cerevisiae* yeast species were identified. They also reported that *Candida famata* and *Candida pelliculosa* were the most common yeast species in both regions.

The probiotic properties of antifungal *Lactobacillus* strains isolated from brine samples obtained from an enterprise operating in Oujda, Morocco and producing table green olives by traditional fermentation method without alkali treatment were characterised. *Candida pelliculosa* isolated from previously fermented green olive brine was selected as the target microorganism for the identification of antifungal *Lactobacillus* strains. 104 LAB isolates obtained, 14 strains were observed to form high inhibition zones against *Candida pelliculosa* and molecular identification, it was determined that five of these strains consisted of *Lactobacillus brevis*, two of them *Lactobacillus pentosus* and seven of them *Lactobacillus plantarum* (Abouloifa et al., 2020a).

The yeast biota associated with table olives produced by natural fermentation method from *Nocellara messinese* olive variety obtained from olive groves in Calabria and the growth of this yeast biota in different brines were investigated (Sidari et al., 2019). The fermentations were designed in four different ways and carried out at room temperature for 240 days. According to the results of the study, it was observed that the most

isolated species was *Pichia kudriavzevii* and the other isolated yeast species were *Candida boidinii*, *Candida tropicalis*, *Candida aaseri*, *Wickerhamomyces anomalus*, *Candida diddensiae*, *Saccharomyces cerevisiae*, *Zygoascus meyeræ*, *Zygoascus hellenicus* and *Pichia mexicana*. It was observed that increasing the salt concentration from 5% to 8% promoted the presence of *Pichia kudriavzevii* species continuously throughout the fermentation. At the end of fermentation, the presence of *Wickerhamomyces anomalus* species was detected in all brine samples. *Pichia mexicana* and *Saccharomyces cerevisiae* species were detected in brines acidified with lactic acid.

In a study in which the antibacterial activities of LAB isolated from fermented table olive samples produced in the market and at home were investigated, isolates showing antibacterial activity were identified. It was observed that these isolates showing antimicrobial activity belonged to *Lactobacillus plantarum*, *Enterococcus faecium* and *Lactobacillus brevis* species (Kıvanç and Erikçi, 2018).

The factors causing the formation of soft and whitish areas on the olive surface during the olive (*Alorena de Malaga*) fermentation period have been investigated. The olives were fermented in brine without any starter culture for 20 days using traditional methods and then packaged by a company in Guadalhorce Valley. The packages contained olives, spices and brine. The packs were kept at 23 ± 2 °C and sampled periodically. At the end of the study, a total of 20 yeast and 65 LAB isolations were obtained in the brine and fruits of commercially packaged olives at different sampling times. *Enterobacteriaceae* (*Enterobacter gergoviae*) were only detected in very low populations immediately after packaging (day 1). The dominant flora during the shelf life has been LAB and yeasts. Ten *Lactobacillus* bacteria were isolated from visibly spoilt fruit. All these isolated bacteria belonged to *Lactobacillus pentosus* species. The microbial species detected in the product after packaging were *Lactobacillus plantarum* and *Enterobacter gergoviae* and among bacteria, *Candida parapsilosis*, *Lodderomyces elongisporus* and *Candida tropicalis*, among yeasts. *Lactobacillus pentosus* was found to be the dominant species in spoilt packages (Romero-Gil et al., 2016).

In another study aimed to determine the effects of the use of KCl and CaCl₂ instead of NaCl as brine during fermentation on the microbiological quality criteria of table green olives of the genus *Maçanilha algarvia*. Fermentation processes were carried out in 5 stages with different brine salt concentrations in October and April for 162 days at room temperature by direct brine olive production method. It was observed that the *Enterobacteriaceae* population decreased over time in all fermentations. The rate of decrease was found to be faster and greater in brines containing calcium and sodium. *Pseudomonas*, *Listeria monocytogenes*, *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus* and *Salmonella* were not detected in the table olives produced. In addition, *Saccharomyces cerevisiae*, *Pichia membranifaciens*, *Priceomyces carsonii*, *Candida boidinii*, *Wickerhamomyces anomalus*, *Zygosaccharomyces mrakii* and yeast-like fungus *Galactomyces geotrichum* were identified (Mateus et al., 2016).

Table olives of the *Taggiasca* genus were left to spontaneous fermentation in a brine containing 10% NaCl without any pretreatment. During the fermentation period, *Wickerhamomyces anomalus*, *Candida diddensiae*, *Aureobasidium pullulans*, *Cyteromyces nyonsensis* and *Pichia membranifaciens* were isolated by traditional culture-related methods and it was observed that the flora responsible for fermentation consisted of yeasts (Traina et al., 2024).

The Spanish-style olive production and spontaneous fermentation of *Manzanilla* olives harvested at the mature-green stage from Seville, Spain, have been studied comparatively. While *Pichia*, *Lactobacillus* and *Saccharomyces* are the dominant flora in the production of Spanish-style olives, it has been understood that *Saccharomyces*, *Halomonas*, *Allidiomarina*, *Nakazawaea* and *Pichia* take an active part in fermentation in spontaneous fermentation. As a result of fermentation, a higher acetic acid content was found in Spanish-style olives, while it was determined that olives obtained as a result of spontaneous fermentation had a higher methyl ketone content (Ruiz-Barba et al., 2023).

Biochemical, physicochemical and microbiological characterization of table olives of the genus *Cobrançosa* were carried out during spontaneous fermentation. During the fermentation period, all organic acids showed an inverse

parabolic development. Although yeasts were the dominant flora at the beginning of the fermentation, an increase occurred due to the presence of LAB in later times. It was determined that the dominant LAB flora during fermentation consisted of *Lactiplantibacillus paraplantarum*, *Lactiplantibacillus pentosus*, *Oenococcus kitaharae* and *Pediococcus parvulus* (Reis et al., 2022).

6. Fermentation under controlled conditions in table olive production

Olive fermentation is a process influenced by factors such as water activity, pH, presence of nutrients, salt concentration in brine and presence of phenolic substances. In an spontaneous fermentation, the growth of microorganisms that cause product spoilage and economic losses are likely to occur because of product spoilage. For this reason, continuous adjustment of the salt concentration of the brine and acidification of the brine are industrial practices applied to control the process and prevent abnormal fermentation. Starter cultures can also be used in controlled fermentations (Grounta and Panagou, 2017). The use of starter cultures will increase the fermentation rate and ensure a rapid decrease in pH. In this way, unwanted microorganisms will be eliminated in the environment. LAB such as *Lactobacillus pentosus*, *Lactobacillus plantarum* and *Lactobacillus paracasei* are frequently used as starter cultures in olive fermentations. In addition, these LAB are potential probiotic bacteria (Rokni et al., 2017).

In a study conducted, the effect of bacterial community and dynamics on metabolome formation during fermentation of *Nocellara Etnea* table olives was investigated. The fermentation process lasted for 120 days at 20°C±2 during fermentation, the salt amount of the brine was kept constant to be 8%. 6 Different combinations of *Lactobacillus plantarum* UT2.1, *Lactobacillus pentosus* TH969 and *Lactobacillus paracasei* N24 bacteria were used in fermentation. The group that was left to spontaneous fermentation without adding starter was evaluated as a negative control. as a result of the analyses performed at the beginning of fermentation, it was determined that *Lactobacillus plantarum* was the dominant in the environment. Of fermentation 60. and 120. as a result of the analyses performed on the day, it was observed that there was the development of

Pediococcus parvulus, *Lactobacillus acidipiscis* and *Lactobacillus paracollinoides*. When fermentation ended, a significant decrease in the Enterobacteriaceae population occurred in all samples except the negative control group (Randazzo et al., 2017).

In a study investigating the technological performance of two starter cultures in the processing of Tonda di Cagliari olives sourced from Sardinia, Italy, a single strain of *Lactobacillus plantarum* (SSL) and a mixture of *Lactobacillus pentosus* strain (SIE) were used as starting cultures and spontaneous fermentation (SF) were accepted as the control group. The salt concentration was kept constant at 7% during the process and fermentation was carried out in an air-conditioned room and the temperature of the room was adjusted to 27° C and then to 24° C until a constant pH was reached for all groups. Studies have shown that SIE is more effective in inhibiting the microflora that causes deterioration compared to SSL and NF methods. Microorganisms belonging to the Enterobacteriaceae were not found in the SIE samples from the 10 day of fermentation, in the SSL and NF samples from the 30 day of fermentation. Yeasts were detected throughout the fermentation, although they decreased during the first 7 days in brine. However, mould population could not be detected in any sample. It was observed that the starter cultures used in the study rapidly acidified the brine and decreased the pH value below 4 after the 12th day of fermentation. In SF samples, the pH value decreased to 4.3 after 45th day of fermentation. In addition, high levels of hydroxytyrosol were detected in the samples of both starter cultures at the end of the process compared to SF samples (Campus et al., 2015). This shows that starter cultures are very effective in removing the natural bitterness of olives.

In a study to control the spontaneous fermentation process (5% NaCl and 30°C) of Moroccan *Picholine* green olives without alkali treatment, they were inoculated with two *Lactobacillus* strains (*Lactobacillus pentosus* S100 and *Lactobacillus plantarum* S175). Physicochemical parameters (reducing sugar, pH, sodium chloride, free acidity, hydrolysis products and oleuropein) and microbiological parameters (LAB, mesophilic aerobic bacteria, *Staphylococcus* spp., coliforms, moulds and yeasts) were regularly examined during fermentation. According to the results of the

research, lactic acid population increased in the first 15 days in inoculated samples and in the first 20 days in non-inoculated samples and then slightly decreased. Yeast, mould and mesophilic bacteria population increased in the first 15 days and then decreased and became stable. It was observed that the use of starter culture was effective on yeast and mould population. Especially *Lactobacillus pentosus* S100 strain was more effective on yeast and mould population at certain times of fermentation compared to the samples inoculated with *Lactobacillus plantarum* S175 and control group samples. Coliform bacteria showed a rapid increase in the first 5 days in the inoculated samples and in the first 10 days in the non-inoculated samples in the first 5 days, and then decreased rapidly and were eliminated. *Staphylococcus* population showed a rapid increase in the first 10 days in all samples and was eliminated after a drastic decrease in the 3rd week of fermentation. It was also observed that the added starter cultures hydrolysed the bittering agent oleuropein, improving the hygienic quality and sensory characteristics of the final product. In addition, it was concluded that LAB strains are dominant species against spoilage and pathogenic microorganisms in the environment (Ghabbour et al., 2016).

Chranioti et al. (2018) evaluated the efficacy of commercial (CM: *Lactobacillus pentosus*) and autochthonous starter cultures (OSC: belonging to the *Lactobacillus plantarum* group isolated from olives) on physicochemical and microbiological profile parameters during the fermentation of Conservolea green olives. SF was considered as a control group. Salt concentration was kept constant at 6% during fermentation. Olive samples were prepared in two groups. The first group (A) was prepared without any bitterness removal before fermentation and the second group (B) was prepared by removing bitterness with alkali. According to the results of the study, LAB population varied between the groups. In the first days of fermentation, a decrease in the amount of LAB o was observed depending on the treatment. While a decrease was observed in samples inoculated with CM in groups A (0.6 log cfu/ml) and B (2.5 log cfu/ml), no decrease was observed in samples inoculated with OSC in both groups. The numbers of LAB in both groups were determined as OSC > CM > SF According to the results of the analyses, autochthonous starter

cultures survived better than commercial starter cultures. Yeast population increased during fermentation and showed almost no change after the 45th day of fermentation. *Enterobacteriaceae* were present in all groups at the initial stage of fermentation. Although they showed a certain level of increase in the first stage of fermentation, their numbers decreased rapidly and disappeared in the following stages. They were not detected after 30 days of fermentation in SF samples and after 20 days in CM and OSC samples. The mould population remained below the detection limit during fermentation. It was also observed that autochthonous starter cultures were more effective than other treatments in removing bitterness in olives and increasing the acidity of the medium by rapidly decreasing the pH.

In a study investigating the yeast diversity of naturally fermented black olives produced from Gemlik-type olives grown in Serinyol, Tarsus and Bahçe districts of Türkiye, olives were subjected to fermentation for 180 days at different salt concentrations of 6%, 8% and 10%. The salt content of brines containing 10% and 8% NaCl was kept constant during the fermentation period. It has been observed that natural microflora *Candida boidinii*, *Wickerhamomyces anomalus* and *Saccharomyces* sp. are the dominant in Tarsus and Garden districts. It has been understood that *Candida boidinii* and *Saccharomyces* sp. are the dominant natural microflora in Serinyol district (Leventdurur et al., 2016).

Olives harvested from a garden in Cyprus were subjected to three different fermentation processes (a-spontaneous fermentation at 10% NaCl (Control); b-fermentation with *Lactobacillus plantarum* starter culture at 10% NaCl and c-fermentation with *Lactobacillus plantarum* starter culture at 7% NaCl) in brines to which 0.33% w/v citric acid was added after breaking, and the microbial population was monitored for 365 days at $23\pm 2^\circ\text{C}$. According to the results obtained; *Enterobacteriaceae* and coliforms were present in the brine at the beginning of fermentation, but rapidly decreased and could not be detected after the 15th day in the samples inoculated with starter culture and after the 22nd day in the control group. LAB population was observed to be the dominant microorganisms in the samples inoculated with starter culture. In the control group, LAB population increased until the 22nd day of fermentation and reached the maximum level and

after a slight decrease at this point, LAB population remained constant until the end of fermentation. In the samples inoculated with starter culture, it was observed that it increased after a slight decrease in the first 8 days and reached the highest level on the 120th day of fermentation. Yeast population reached the highest level in approximately 8 days in all treatments. While the yeast population maintained their numbers from the 8th day onwards in the control group, a rapid decrease was observed in the samples inoculated with starter culture and they maintained their numbers from the 60th day of fermentation. *Staphylococcus* could not be detected throughout the whole process. In the study, it was observed that olive samples became consumable from the 120th day (Anagnostopoulos et al., 2020).

In a study investigating the effect of sequential inoculation with β -glucosidase positive *Lactobacillus plantarum* F3.3 strain and probiotic *Lactobacillus paracasei* N24 strains as starter culture on brine fermentation to produce low salt Sicilian table olives, *Nocellara Etnea* variety olives obtained from a local company in Sicily were used. Olives were processed without any alkali treatment and fermented in brines containing 5% and 8% (w/v) NaCl for 120 days at room temperature ($18\pm 2^\circ\text{C}$). The experimental fermentation design was designed to consist of 8 treatments at 5% and 8% (w/v) NaCl with (F5A, F5B, F8A, F8B) and without (F5C, F5D, F8C, F8D) starter culture additions. On the 60th day of fermentation, F5B, F5D, F8B, F8D samples were inoculated with the potential probiotic *Lactobacillus paracasei* N24 strain. Uninoculated samples were considered as control group. Sea salt was added periodically to maintain the initial salt concentration in the samples. At certain stages of fermentation, 600 LAB and 200 yeasts were isolated and identified. In the species-level identification of LAB, strains belonging to *Lactobacillus paracasei*, *Lactobacillus plantarum*, *Lactobacillus casei* and *Lactobacillus pentosus* species were detected. *Pichia kluyveri*, *Candida boidinii*, *Candida diddensiae*, *Meyerozyma guilliermondii* and *Wickerhamomyces anomalus* species were identified in yeast isolates obtained during fermentation. It was observed that the dominant LAB and yeast species were *Wickerhamomyces anomalus* and *Lactobacillus plantarum*, respectively. It was also observed that the potential probiotic *Lactobacillus paracasei* N24 strain

survived the fermentation process (Pino et al., 2019).

In a study, the effects of six selected yeast starter cultures (*Wickerhamomyces anomalus* 1960, *Candida adriatica* 1985, *Nakazawaea molendinolei* 2004, *Cyteromyces matritensis* 2005, *Candida diddensiae* 2011 and *Saccharomyces cerevisiae* 2046) on the fermentation of black table olives produced from Taggiasca variety olives using the Greek method at different salt concentrations and the survival of these yeasts under different fermentation conditions were evaluated. Fermentation was carried out in three different brines under ambient conditions (15-20°C) for 120 days. Brines; A: Unacidified brines containing 8% (m/v) NaCl; B: Unacidified brines containing 12% (m/v) NaCl; C: Brines containing 12% NaCl acidified with 0.3% citric acid are prepared in such a way. In addition, an uninoculated control group was formed for each type of brine. Microbiological analyses were carried out at the beginning, 30th day and 120th day of fermentation. According to the results obtained, it was observed that the inoculated yeasts survived differently depending on the salt concentration during the first 30 days, but on the 120th day of fermentation, *Candida adriatica* 1985, *Wickerhamomyces anomalus* 1960 and *Candida diddensiae* 2011 were the starter yeasts with the best survival capacity under all conditions. The yeast strain *Nakazawaea molendinolei* 2004 was detected in brine containing 8% NaCl, but not in brine containing 12% NaCl. *Cyteromyces matritensis* 2005 was not detected in 12% NaCl brine acidified with citric acid. In addition, it has been observed that the yeast population of the *Pichia manshurica* species, which is included in the natural microflora, increases during fermentation (Ciardini and Zullo, 2019).

In a study conducted by Pino et al. (2018), the effect of different salt concentrations on the formation of physicochemical, microbiological, sensory and volatile organic compounds in order to produce *Nocellara Ethnea* table olives has been investigated. *Lactobacillus paracasei* N24, which is thought to have probiotic properties and *Lactobacillus plantarum* UT2.1 were used as starter cultures. All fermentations were carried out at room temperature (18±2°C) and monitored over a period of 120 days. Sea salt was added to maintain the brine salt concentration at the initial level. In addition, fresh brine was periodically fed

so that the olives were completely immersed in the brine to prevent the growth of moulds on the brine surfaces. The results of the analyses showed the dominance of LAB from the 7th day of fermentation and the decrease of yeasts and *Enterobacteriaceae* species in the starter-inoculated samples during fermentation. At the end of the fermentation, *Enterobacteriaceae* species could be counted only in the control group samples. In addition, LAB were identified, and the identified species were *Lactobacillus plantarum*, *Lactobacillus paracasei*, *Lactobacillus casei* and *Lactobacillus pentosus*. At the end of fermentation, *Lactobacillus plantarum* and *Lactobacillus pentosus* species were detected in all samples. It was also observed that *Lactobacillus paracasei* N24 strain showed high survival performance in all samples.

Kazachstania humilis AG5, *Kluyveromyces lactis* L39, *Nakazawaea molendinolei* IG9, *Candida adriatica* L30 and *Candida diddensiae* IG12 yeasts were used during the fermentation of *Gordal* and *Manzanilla* green table olives under controlled conditions. The natural culture medium obtained from olives was used in the selection of yeasts, and the amount of phenolic matter, the amount of volatile matter and organoleptic properties such as bitterness, odor, acidity, salinity and hardness were monitored during the fermentation period.

The yeast that increased the amount of volatile compounds the most in *Gordal* olives was *Kluyveromyces lactis* L39, while the yeasts that increased the amount of volatile compounds the most in *Manzanilla* olives were *Candida adriatica* L30 and *Kluyveromyces lactis* L39. *Candida diddensiae* IG12, *Nakazawaea molendinolei* IG9 and *Candida adriatica* L30 were effective in reducing the amount of phenolic substances at the end of fermentation in both olive genera. It has been observed that there is a correlation between the total amount of phenolic substances and bitterness during fermentation. (Ruiz-Barba et al., 2024).

Three different fermentation processes were carried out from *Chalkidiki* olives under controlled conditions according to the composition of chloride salts of brine (8% NaCl, 4% NaCl-4% KCl and 4% NaCl-3% KCl-1% CaCl₂). It has been observed that lactic acid bacteria are responsible for the fermentation of olives processed at low NaCl concentrations, and a radical increase in the amount of acetic acid in the advanced stages of

fermentation confirms the existence of hetero-fermentative LAB metabolisms. The presence of 3-methyl-1-butanol in groups containing high NaCl indicates that yeasts are the dominant microflora (Alvanoudi et al., 2024).

In a study in which the spontaneous and controlled fermentation of *Gemlik* black olive was examined by comparison, *Lactiplantibacillus plantarum* and *Lactiplantibacillus pentosus* strains were vaccinated into separate groups during fermentation under controlled conditions. Brine containing 10% NaCl was used in two types of fermentation and the amount of salt in the brine was kept constant during the fermentation period under controlled conditions. It was observed that the pH value of both olive meat and brine juice was lower in the olive groups to which starter culture was added compared to the group obtained at the end of spontaneous fermentation. During the fermentation period, it was understood that the olive groups to which starter culture was added increased the acidity more compared to the group obtained as a result of spontaneous fermentation. In addition, both the LAB number and the yeast number were found to be higher in the fermentation of olives to which starter culture was added than the numbers obtained as a result of spontaneous fermentation. It has been determined that *Lactiplantibacillus pentosus* causes an improvement in sensory characteristics at the end of fermentation and has a higher potential to reduce reduced sugar faster, acidify faster, and promote microbial growth (Koyuncu and Cabaroğlu, 2024).

8. References

Abriouel, H., Benomar, N., Cobo, A., Caballero, N., Fuentes, M. Á. F., Pérez-Pulido, R. and Gálvez, A. (2012). Characterisation of lactic acid bacteria from naturally-fermented Manzanilla Aloreña green table olives. *Food Microbiology*, 32(2), 308-316, <http://dx.doi.org/10.1016/j.fm.2012.07.006>

Abriouel, H., Benomar, N., Lucas, R. and Gálvez, A. (2011). Culture-independent study of the diversity of microbial populations in brines during fermentation of naturally-fermented Aloreña green table olives. *International Journal of Food*

7. Conclusion

Table olive production is a very complex process due to many factors such as the diversity of microbial flora, salt concentration, acidity, olive type, cultivation region, processing method, and temperature. Some studies have found that Gram-negative bacteria species such as *Pseudomonas*, *Aeromonas*, *Flavobacterium*, *Clostridium*, and *Bacillus* dominate in the early stages of fermentation. As acidity decreases, lactic acid bacteria species such as *Lactococcus*, *Pediococcus*, and *Leuconostoc* are observed to dominate. *Pediococcus* and *Leuconostoc* species are thought to play a role in the rapid decrease of pH. Yeast species (*Candida* spp., *Saccharomyces* spp., *Pichia* spp.) have been observed throughout the fermentation process. Additionally, some studies have detected halophilic *Archaea* in olives and brines, which degrade the quality of olives and cause spoilage.

In alkaline treatment and debittering processes, the growth rate of microorganisms decreases due to the reduction of sugar in the environment, allowing pathogenic microorganisms to proliferate. Therefore, in addition to adding sugar and lactic acid to the environment at the beginning of fermentation, oleuropeinolytic microorganisms should be used. In this way, the nutritional value of the olives is preserved, and a safe product with a long shelf life is produced. The use of controlled fermentation and starter cultures will reduce product spoilage and prevent economic losses. Therefore, research on the use of starter cultures in olive fermentation should be increased. These studies should focus on identifying strains that can be used as starter cultures in table olive production and optimizing these strains.

Microbiology, 144(3), 487-496, <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2010.11.006>

Abouloifa, H., Rokni, Y., Bellaouchi, R., Ghabbour, N., Karboune, S., Brasca, M., ... and Asehrou, A. (2020a). Characterisation of probiotic properties of antifungal *Lactobacillus* strains isolated from traditional fermenting green olives. *Probiotics Antimicrobial Proteins*, 12, 683-696. <https://doi.org/10.1007/s12602-019-09543-8>

Abouloifa, H., Rokni, Y., Bellaouchi, R., Hasnaoui, I., Gaamouche, S., Ghabbour, N., ... and Asehrou, A. (2020b). Technological properties of

potential probiotic *Lactobacillus* strains isolated from traditional fermenting green olive. *Journal of microbiology, biotechnology and food sciences*, 9(5), 884-889. <https://doi.org/10.15414/jmbfs.2020.9.5.884-889>

Alvanoudi, P., Ordoudi, S. A., Nakas, A., Assimopoulou, A. N. and Mantzouridou, F. T. (2024). Volatilome changes in brines along the spontaneous fermentation of Spanish-style cv. Chalkidiki green olives under high and low NaCl conditions. *Food and Bioprocess Technology*, 17(6), 1462–1478 <https://doi.org/10.1007/s11947-023-03211-0>

Anagnostopoulos, D., A., Goulas, V., Xenofontos, E., Vouras, C., Nikoloudakis, N. and Tsaltas, D. (2020). Benefits of the use of lactic acid bacteria starter in green cracked Cypriot table olives fermentation. *Foods*, 9 (1), 17. <https://doi.org/10.3390/foods9010017>

Anonymous, (2014). Türk Gıda Kodeksi. Sofralık Zeytin Tebliği (2014/33). Gıda Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı. 23 Ağustos 2014 tarih ve 29097 sayılı Resmi Gazete, Ankara.

Anonymous, (2016). Türk zeytin yağı sektörü. Olivae-Uluslar Arası Zeytin Konseyi Resmi Dergisi. <http://koop.gtb.gov.tr/data/58244e541a79f57caca402ad/OLIVAE%20Eyl%C3%BCl%202016%20T%C3%BCrk%C3%A7e%20Versiyon.pdf> (Erişim Tarihi: 10.09.2020).

Anonymous, (2019). 2018 Yılı Zeytin ve Zeytinyağı Raporu, Ticaret Bakanlığı Esnaf, Sanatkarlar ve Kooperatifçilik Genel Müdürlüğü. <https://ticaret.gov.tr/data/5d41e59913b87639ac9e02e8/3acedb62acea083bd15a9f1dfa551bcc.pdf> (Erişim Tarihi: 15.10.2020)

Arroyo-López, F. N., Romero-Gil, V., Bautista-Gallego, J., Rodríguez-Gómez, F., Jiménez-Díaz, R., García-García, P., ... and Garrido-Fernández, A. (2012). Yeasts in table olive processing: desirable or spoilage microorganisms?. *International Journal of Food Microbiology*, 160(1), 42-49. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2012.08.003>

Bavaro, S., L., Susca, A., Frisvad, J., C., Tufariello, M., Chytiri, A., Perrone, G., ...and Bleve, G. (2017). Isolation, characterisation, and selection of molds associated to fermented black table olives.

Frontiers in microbiology. 8, 1356. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.01356>

Benítez-Cabello, A., Bautista-Gallego, J., Garrido-Fernández, A., Rantsiou, K., Cocolin, L., Jiménez-Díaz, R. and Arroyo-López, F. N. (2016). RT-PCR-DGGE Analysis to elucidate the dominant bacterial species of industrial Spanish-style green table olive fermentations. *Frontiers in microbiology*, 7 (1291). <https://doi.org/10.3389/fmicb.2016.01291>

Benítez-Cabello, A., Calero-Delgado, B., Rodríguez-Gómez, F., Garrido-Fernández, A., Jiménez-Díaz, R., & Noé Arroyo-López, F. (2019). Biodiversity and Multifunctional Features of Lactic Acid Bacteria Isolated From Table Olive Biofilms. *Frontiers in microbiology*, 10, 836. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.00836>

Bleve, G., Tufariello, M., Durante, M., Grieco, F., Ramires, F., A., Mita, G., ...and Logrieco, A. F. (2015). Physico-chemical characterisation of natural fermentation process of Conservolea and Kalamata table olives and development of a protocol for the pre-selection of fermentation starters. *Food Microbiology*, 46, 368-382. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fm.2014.08.021>

Bonatsou, S., Paramithiotis, S. and Panagou, E. Z. (2018). Evolution of yeast consortia during the fermentation of Kalamata natural black olives upon two initial acidification treatments. *Frontiers in microbiology*, 8, 2673. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.02673>

Bonatsou, S., Tassou, C. C., Panagou, E. Z. and Nychas, G. J. E. (2017). Table olive fermentation using starter cultures with multifunctional potential. *Microorganisms*, 5(2), 30. <https://doi.org/10.3390/microorganisms5020030>

Boskou, D., Camposeo, S. and Clodoveo, M. L. (2015). Table Olives as Sourcer of Bioactive. Compounds Olive and Olive Oil Bioactive Constituents, Boskou, D., AOC Press, Urbana, United States of America, pp. 217-259.

Campus, M., Sedda, P., Cauli, E., Piras, F., Comunian, R., Paba, A., ...and Bandino, G. (2015). Evaluation of a single strain starter culture, a selected inoculum enrichment, and natural microflora in the processing of Tonda di Cagliari natural table olives: Impact on chemical, microbiological, sensory and texture quality. *LWT*

- *Food Science and Technology*, 64(2), 671-677.

<http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2015.06.019>

Campaniello, D., Bevilacqua, A., D'Amato, D., Corbo, M. R., Altieri, C. and Sinigaglia, M. (2005). Microbial characterization of table olives processed according to Spanish and natural styles. *Food Technology and Biotechnology*, 43(3), 289-294.

Chranioti, C., Kotzekidou, P. and Gerasopoulos, D. (2018). Effect of starter cultures on fermentation of naturally and alkali-treated cv. Conservolea green olives. *LWT - Food Science and Technology*, 89, 403-408. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.11.007>

Ciafardini C. and Zullo B. A. (2019). Use of selected yeast starter cultures in industrial-scale processing of brined Taggiasca black table olives. *Food Microbiology*, 84, 103250. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2019.103250>

Erten, H., Boyacı-Gündüz, C.P., Ağırman, B. ve Cabaroğlu, T. (2015). Fermentation, Pickling, and Turkish Table Olives. *Handbook of Vegetable Preservation and Processing*, Ed: Hui, Y.H. and Evranuz, E.Ö. CRC Press, 209-224.

F.A.O. (Food and Agriculture Organization), (2023), FAOSTAT database,

<https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>

Ghabbour, N., Rokni, Y., Lamzira, Z., Thonart, P., Chihib, N. E., Peres, C. and Asehrou, A. (2016). Controlled fermentation of Moroccan picholine green olives by oleuropein-degrading *Lactobacilli* strains. *Grasas Aceites*, 67(2), e138-e138 doi: <http://dx.doi.org/10.3989/gya.0759152>

Grounta, A. and Panagou, E. Z. (2017). Olives Fermentation. *Lactic Acid Fermentation Of Fruits and Vegetables*, Paramithiotis, S., CRC Press, Baco Raton, USA, pp. 157-174.

Hurtado, A., Reguant, C., Bordons, A. and Rozès, N. (2012). Lactic acid bacteria from fermented table olives. *Food Microbiology*, 31, 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2012.01.006>

IOC. (2023), <https://www.internationaloliveoil.org/>

Kailis, S. G. and Kiritsakis, A. (2017). Table olives: Processing, Nutritional, and Health Implications. *Olives and Olive Oil as Functional Foods: Bioactivity. Chemistry and Processing*, 295-324.

<https://doi.org/10.1002/9781119135340.ch15>

Kaltsa, A., Papaliaga, D., Papaioannou, E. and Kotzekidou, P. (2015). Characteristics of oleuropeinolytic strains of *Lactobacillus plantarum* group and influence on phenolic compounds in table olives elaborated under reduced salt conditions. *Food Microbiology*, 48,58-62. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fm.2014.10.016>

Kara, G. N. ve Özbaş, Z. Y. (2013). Sofralık zeytin üretiminde doğal maya florasının önemi. *Gıda*, 38(6), 375-382.

Kıvanç, M. ve Erikçi, Ş. Y. (2018). Sofralık fermente zeytinlerden (*Olea Europaea* L.) izole edilen laktik asit bakterilerinin antimikrobiyal aktivitesinin ve bazı metabolik özelliklerinin belirlenmesi. *Anadolu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi C- Yaşam Bilimleri ve Biyoteknoloji*, 7 (1), 41-51. <https://doi.org/10.18036/aubtdc.310201>

Koyuncu, G. ve Cabaroğlu, T. (2024). Impact of lactic acid bacteria starter inoculation on the Physico-chemical, microbiological, volatiles and sensory properties of natural black Gemlik (*Olea europaea* L., cv.) table olives. *Food Bioscience*, 60, 104310. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2024.104310>

Leventdurur, S., Sert-Aydın, S., Boyacı-Gunduz, C. P., Ağırman, B., Ghorbal, A. B., Francesca, N.,...ve Erten, H. (2016). Yeast biota of naturally fermented black olives in different brines made from cv. Gemlik grown in various districts of the Cukurova region of Turkey. *Yeast*, 33(7), 289-301. <https://doi.org/10.1002/yea.3170>

Lucena-Adrós, H., Caballero-Guerrero, B., Maldonado-Barragán, A. and Ruiz-Barba, J. L. (2014). Microbial diversity and dynamics of Spanish-style green table-olive fermentations in large manufacturing companies through culture-dependent techniques. *Food Microbiology*. 42: 154-165. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fm.2014.03.020>

Lucena-Adrós, H. and Ruiz-Barba, J. L. (2016). Diversity and enumeration of halophilic and alkaliphilic bacteria in Spanish-style green table-olive fermentations, *Food Microbiology*, 53, 53-62. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fm.2015.09.006>

Mateus, T., Santo, D., Saúde, C., Pires-Cabral, P. and Quintas, C. (2016). The effect of NaCl reduction in the microbiological quality of cracked green table olives of the Maçanilha Algarvia

cultivar. *International Journal of Food Microbiology*, 218, 57-65. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2015.11.008>.

Özay, G., Borcaklı, M., Alperden, İ., Özsan, E. ve Erdek, Y. (1994). Farklı iki tip zeytin (Gemlik ve Edincik) fermantasyonlarının kimyasal ve mikrobiyolojik yönden incelenmesi. *Gıda*, 19 (1), 37-43.

Özdek, H. ve Aybar, A. S. (2019). Zeytinyağı üretiminde yenilikler ve Türkiye'nin küresel rekabetçi pozisyonu. *Göller Bölgesi Aylık Hakemli Ekonomi ve Kültür Dergisi*, 7 (76), 55-61.

Özdemir, Y. (2011). Bazı Melez Zeytinlerin Fizikokimyasal Özelliklerinin ve Starter Kültür (*Laktobacillus plantarum*) İlaveli Sofralık Zeytin Fermantasyonuna Uygunluklarının Belirlenmesi, Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, Doktora Tezi- 125 s. Tekirdağ, Türkiye.

Pereira, E. L., Ramalhosa, E., Borges, A., Pereira, J. A. and Baptista, P. (2015). Yeast dynamics during the natural fermentation process of table olives (cv. Negrinha de Freixo). *Food Microbiology*, 46, 582-586. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fm.2014.10.003>

Perpetuini, G., Prete, R., Garcia-Gonzalez, N., Alam, M. K. and Corsetti, A. (2020). Table olives more than a fermented food. *Foods*, 9, 178. <https://doi.org/10.3390/foods9020178>

Pino, A., Angelis, M., D., Todaro, A., Van Hoorde, K., Randazzo, C. L., and Caggia, C. (2018). Fermentation of Nocellara Etnea Table Olives by Functional Starter Cultures at Different Low Salt Concentrations. *Frontiers in microbiology*, 9, 1125. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.01125>

Pino, A., Vaccalluzzo, A., Solieri, L., Romeo, F., V., Todaro, A., Caggia, C., ... and Randazzo C. L. (2019). Effect of Sequential Inoculum of Beta-Glucosidase Positive and Probiotic Strains On Brine Fermentation to Obtain Low Salt Sicilian Table Olives. *Frontiers in microbiology*, 10, 174. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.00174>

Porru, C., Rodríguez-Gómez, F., Benítez-Cabello, A., Jimenez-Díaz, R., Zara, G., Budroni, M., ... and Noé Arroyo-López, F. (2018). Genotyping, identification and multifunctional characteristics of yeasts associated to Bosana naturally black table olive fermentations. *Food Microbiology*, 69, 33-42. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fm.2017.07.010>

Reis, P. J., Tavares, T. G., Rocha, J. M., Malcata, F. X. and Macedo, A. C. (2022). Cobrançosa table olives: Characterization of processing method and lactic acid bacteria profile throughout spontaneous fermentation. *Applied Sciences*, 12(19), 9738. <https://doi.org/10.3390/app12199738>

Rejano, L., Montaña, A., Casado, F., J., Sánchez, A. H. and de Castro, A. (2010). Table Olives: Varieties and Variations. *Olives and Olive Oil in Health and Disease Prevention*, Preedy, V.R. and Watson, R.R., Academic Press, 5-15, San Diego, USA.

Randazzo, C. L., Todaro, A., Pino, A., Pitino, I., Corona, O. and Caggia, C. (2017). Microbiota and metabolome during controlled and spontaneous fermentation of Nocellara Etnea table olives. *Food Microbiology*, 65, 136-148. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fm.2017.01.022>

Rokni, Y., Abouloifa, H., Bellaouchi, R., Gaamouche, S., Mchouer, K., Hassanoui, I., ... and Asehrou, A. (2017). Technological process of fermented olive. *Arabian Journal of Chemical and Environmental Research*, 4, 63-91.

Romero-Gil, V., Gómez-Rodríguez, F., Garrido-Fernández, A., García-García, P. an Arroyo-López, F. N. (2016). Lactobacillus pentosus is the dominant species in spoilt packaged Alorña de Málaga table olives. *LWT - Food Science and Technology*, 70, 252-260. <http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2016.02.058>

Ruiz-Barba, J. L., Cortés-Delgado, A., Sánchez, A. H., López-López, A. and Montaña, A. (2024). Naturally Fermented Gordal and Manzanilla Green Table Olives: Effect of Single Yeast Starters on Fermentation and Final Characteristics of the Products. *Fermentation*, 10(9), 439. <https://doi.org/10.3390/fermentation10090439>

Ruiz-Barba, J. L., Sánchez, A. H., López-López, A., Cortés-Delgado, A. and Montaña, A. (2023). Microbial community and volatolome changes in brines along the spontaneous fermentation of Spanish-style and natural-style green table olives (Manzanilla cultivar). *Food microbiology*, 113, 104286. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2023.104286>

Sidari, R., Martorana, A. and de Bruno, A. (2019). Effect of brine composition on yeast biota associated with naturally fermented Nocellara messinese table olives. *LWT - Food Science and*

Technology, 109, 163-170.
<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.04.010>

Sozbilen, G. S. ve Baysal, A. H. (2016). Microbial profile and bacterial characterisation of naturally debittered Hurma olives compared to non-debittered Erkence variety during ripening period. *International Journal of Food Science & Technology*, 51, 2099-2015.
<https://doi.org/10.1111/ijfs.13187>

Tofalo, R., Perpetuini, G., Schirone, M., Ciarrocchi, A., Fasoli, G., Suzzi, G. and Corsetti, A. (2014). Lactobacillus pentosus dominates spontaneous fermentation of Italian table olives. *LWT - Food Science and Technology*, 57(2), 710-717. <http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2014.01.035>

Tofalo, R., Perpetuini, G., Schirone, M., Suzzi, G. and Corsetti, A. (2013). Yeast Biota Associated to Naturally Fermented Table Olives From Different Italian Cultivars. *International Journal of Food Microbiology*, 161(3), 203-208.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2012.12.011>

Tokuşoğlu, Ö. (2016). Özel Meyve: Zeytin Kimyası, Kalite ve Teknolojisi. Sıdaş Medya, İzmir, Türkiye, 463 s. ISBN: 978-9944-5660-4-9.

Traina, C., Ferrocino, I., Bonciolini, A., Cardenia, V., Lin, X., Rantsiou, K. and Cocolin, L. (2024). Monitoring the yeasts ecology and volatiles profile throughout the spontaneous fermentation of Taggiasca cv. table olives through culture-dependent and independent methods. *International Journal of Food Microbiology*, 417, 110688.
<https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2024.110688>

Turantaş, F. (2021). Fermente Gıdalar, Gıda Mikrobiyolojisi, Ünlütürk, A., Turantaş, F., Sıdaş Medya Ltd. Şti., İzmir, Türkiye, s. 447- 469.

Yılmaz, T., Aydar, A. Y. ve Özçelik, M. (2022). Modeling the Effects of Physical Methods on Olive Bitterness Components. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 22(1), 154-164.
<https://doi.org/10.35414/akufemubid.1006595>

Review Paper/Derleme Makale

Characterization and encapsulation methods of lime (*Citrus aurantifolia*) oil: A review

Misket limonu (*Citrus aurantifolia*) yağının karakterizasyonu ve enkapsülasyon yöntemleri, derleme

Nilüfer Gülcan Akalan^{1*}, Aşlı Gök¹

Faculty of Engineering, Chemical Engineering Department, Istanbul University-Cerrahpaşa, 34320 Avcılar, İstanbul, Türkiye

(By author order/Yazar sıralamasına göre)

ORCID ID: 0000-0001-7703-7176, PhD student

ORCID ID: 0000-0001-5388-5445, Assoc. prof.

*Corresponding author/Sorumlu yazar: nilufergulcan.akalan@ogr.iuc.edu.tr

Received Date/Geliş Tarihi : 26.08.2024

Accepted Date/Kabul Tarihi : 26.03.2025

Abstract

Objective: Lemons and limes, characterized by their heightened acidity compared to other citrus fruits, play essential roles as flavoring agents and sweeteners in various markets. Extracting valuable essential oils from limes involves both traditional and non-traditional methods. Lemons and limes, among the most intricate citrus fruit varieties to analyze, are subjects of limited scholarly discourse, with scant literature available. This article brings together the results of studies that looked at encapsulation techniques that were meant to improve the quality of components made by extracting lime species oils and how well they kept their essential oil compositions. These encapsulation techniques have the potential to be influential in realizing future food safety objectives. Their efficacy lies in their ability to safeguard the intricate characteristics of essential oils, thereby contributing to the overarching goals of ensuring product integrity and safety within the realm of food production.

Conclusion: These encapsulation techniques have the potential to be influential in realizing future food safety objectives. Their efficacy lies in their ability to safeguard the intricate characteristics of essential oils, thereby contributing to the overarching goals of ensuring product integrity and safety within the realm of food production.

Keywords: *Citrus aurantifolia* oil, bioactive components, encapsulation, extraction, methods

Öz

Amaç: Misket limonları ve limonlar diğer turunçgillere kıyasla yüksek asitlikte olup çeşitli pazarlarda tatlandırıcı ve aroma verici olarak önemli bir rol oynamaktadır. Misket limonlarından değerli uçucu yağların elde edilmesi hem geleneksel hem de geleneksel olmayan yöntemler ile sağlanmaktadır. Analiz edilmesi en zor narenciye çeşitleri arasında yer alan limon ve misket limonu, sınırlı literatürle sınırlı bilimsel araştırma konusudur. Bu makale, misket limonu türlerinin yağlarının çıkarılmasıyla elde edilen bileşenlerin kalitesini ve uçucu yağ bileşenlerini ne kadar iyi koruyup iyileştirmeyi amaçlayan kapsülleme tekniklerini inceleyen çalışmaların sonuçlarını bir araya getirmektedir.

Sonuç: Bu kapsülleme teknikleri, gelecekteki gıda güvenliği hedeflerinin gerçekleştirilmesinde etkili olma potansiyeline sahiptir. Etkinlikleri, uçucu yağların karmaşık özelliklerini koruma özelliklerine bağlıdır ve böylece gıda üretimi alanında ürün bütünlüğü ve güvenliğini sağlamaya yönelik genel hedeflere katkıda bulunmaktadır.

Anahtar kelimeler: *Citrus aurantifolia* yağı, biyoaktif bileşenler, enkapsülasyon, ekstraksiyon, yöntemler

1. Introduction

The lime (*C. aurantifolia*), said to have originated in Malaysia or the East Indian archipelago, is a hybrid created by combining *C. maxima* with *C. medica*. *C. medica* was introduced to the eastern Mediterranean in the fifth and fourth centuries BC. *C. aurantium*, *C. aurantifolia* and *C. maxima* did not reach the Mediterranean until the 10th century AD, after the Islamic conquest. The diffusion of these *citrus* varieties to the Western world began in the 10th century AD, facilitated by Muslim influences, likely via routes passing through Sicily and the Iberian Peninsula (Langgut, 2017).

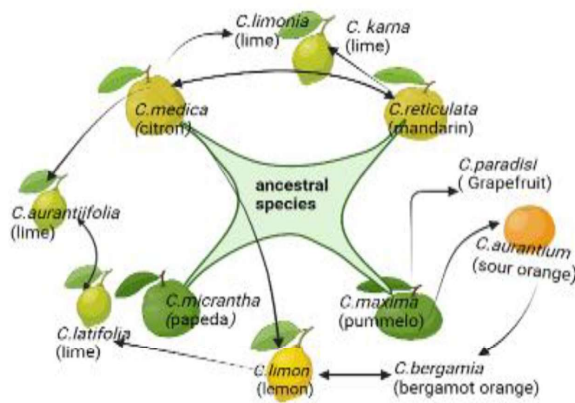


Figure 1. Pedigree of cultivable *Citrus* species

Additionally, the commercially significant *citrus* fruits within the Rutaceae family, experiencing heightened demand, trace their origin primarily to sexual hybridization involving four ancestral taxa. The phenotypic diversity observed within these familial groups predominantly arises from somatic mutations stabilized by apomixis in *citrus* species or grafting practices facilitating clonal propagation. However, utilizing the genealogical tree alone proves inadequate for comprehensively studying *citrus* domestication. Debates persist in the *citrus* taxonomy and lineage formation, particularly concerning the compatibility of genera within the *citrus* family and their related counterparts. This ongoing discourse necessitates a continual reevaluation of *citrus* taxonomy. Concurrently, extensive genomic studies are underway to elucidate the intricate phylogenetic relationships inherent in *citrus*. The broader endeavor comprehensively explores *citrus* taxonomy, diversity, origin, and domestication. Such an encompassing perspective is poised to contribute significantly to unraveling the nuanced history of *citrus* domestication (Kalita et al., 2021).

However, the European Food Safety Authority (EFSA)'s review, based on reported sound agricultural practices, believes that long-term consumption of residues arising from using potassium phosphonates is unlikely to endanger consumers' health. This is based on the residue definition of fosetyl-Al, which is made up of phosetyl, phosphonic acid, and their salts. Analytical methods, specifically tandem mass spectrometry and high-performance liquid chromatography, are recommended for detecting potassium phosphonate residues in plant matrices, including those with a high acid content, such as citrus fruits. High-fat diets contain more than 0.5 mg/kg of phosphonic acid. The EFSA also conducted a preliminary risk assessment using the updated acceptable dietary intake for phosphonic acid of 1 mg/kg body weight per day, as proposed in the EFSA decision on fosetyl. However, it is vital to note that this value has yet to get formal attention (Bellisai et al., 2021).

A study found that a combination of fish-fed *B. licheniformis* and 3% lemon peel produced extremely good growth performance in fish. This was partly due to the lemon peel's antibacterial capabilities, which successfully reduced harmful microbes in the gut flora, promoting *B. licheniformis* proliferation. The study also found that fish treated with *B. licheniformis* and/or lemon peel had significantly higher levels of blood albumin and total protein than the control group. Furthermore, including *B. licheniformis* and/or lemon peel in the diet improved humoral and cutaneous mucus immunity and antioxidative responses to *Aeromonas hydrophila* infection in fish (Sadeghi et al., 2021). Supplementation of probiotics and lemon peel reduced serum malondialdehyde levels, indicative of decreased oxidative stress and increased activity of antioxidant enzymes. This collective evidence underscores the potential synergistic benefits of incorporating probiotics and lemon peel in fish diets for growth enhancement and improving immune responses and antioxidant capabilities (Sadeghi et al., 2021).

Encapsulation technology is currently used in many different sectors, such as pharmacology, chemistry, cosmetics, food, and paints. Furthermore, this technology is becoming increasingly crucial in the world and can be a

means for future research (Calderón-Oliver and Ponce-Alquicira, 2022). This review summarizes recent research on extraction (Table 1) and

encapsulation methods for recovering bioactive compounds from *C. aurantifolia* species, commonly known as lime.

Table 1. Summary of extraction studies with lime

Extraction methods	Solvent	Devices	Components	Percentage(oils)	References
Cold Pressing	-	GC-FID*	γ -Terpinene	13.09	(Liu et al., 2022)
			Limonene	54.63	
			β -Pinene	10.21	
Cold Pressing	Ethanol <i>n</i> -hexane	GC/FID* GC/MS* UV/Vis*	Limonene	50.6	(Bitterling et al., 2022)
			γ -Terpinene	8.96	
			<i>p</i> -Cymene	5.8	
Hydro-distillation	Water	GC-MS*	<i>d</i> -Limonene	35.98	(Sandra et al., 2020)
			β -Pinene	9.02	
			Terpineol.	8.12	
Supercritical carbon dioxide	Gas	GC/MS* UV/Vis*	Limonene	59.10	(Akolade et al., 2020)
			β -Pinene	18,07	
			γ -Terpinene	10,57	
Steam distillation	Acetic acid chloroform pectin	GC/MS*	Limonene	48.43	(Etta-Francis et al., 2022)
Ultrasonically assisted extraction	Methanol	CapLC*	Limonene Linalool Farnesene α -Pinene Myrcene	persample, different concentrations	(Ponce-Rodriguez et al., 2021)
Hydro-distillation	<i>n</i> -Hexane	GC-MS*	δ -Limonene Citral β -Pinene Cosmene	22.22 14.60 14.21	(Pratiwi et al., 2022)
Hydro-distillation	<i>n</i> -Hexane	GC-MS*	<i>d</i> -Limonene Cyclohexene 4-Methylene-1-(1-methylethyl)	30.34 24.71 8.89	
			Citral β -Citral	6.38	
Steam distillation	Water	GC-MS*	α -Terpinol Limonene 3-Terpinen-1-ol β -Terpineol	44.74 11.88 4.5 3.18	(de Paiva Silva et al., 2023)
Hydro-distillation	Water	GC-MS*	Limonene	44,69 $\pm$ 2,11	
			γ -Terpinene	16.22 $\pm$ 1.05	

*Gas chromatography-flame ionization detector (GC-FID), mass spectrometry (GC/MS), spectrophotometric analysis (UV/VIS), capillary liquid chromatography (CAPLC), high-performance liquid chromatography (HPLC)

2. Bioactive components of lime oil

2.1. Antioxidants

The isolation of antioxidants from Mediterranean plants is an appropriate alternative (Pavlić et al., 2021). Besides, plant extracts were found to be an important source of chemical compounds having powerful antioxidant activity (Rojas and Buitrago, 2019).

C. aurantifolia Swingle is recognized as the inaugural variety of lime designed to withstand cold conditions, while *C. latifolia* is acknowledged as the authentic lime. Varieties cultivated in tropical regions exhibit larger physical dimensions

compared to their counterparts. People have historically attributed the fruit's efficacy in preventing scurvy to its consumption. Notably, lime peels and pulp, characterized by their thinness, undergo drying processes in lemon processing plants. These by-products are premium sources for extracting high-quality pectin, renowned as a vegetarian gelatin substitute. They can be used in nutrition and to make useful by-products that can be used in many different industries. Lime acids possess the capability to react with amines in fish, forming non-volatile ammonium salts. Additionally, these acids demonstrate the ability to hydrolyze resilient

collagen fibers. Notably, the primary mineral in lime juice is potassium (Liu et al., 2022).

As an important antioxidant source of lime, flavonoids are thought to have a stronger neuroprotective effect as they change the signals inside neurons that control their survival, death, and differentiation. Flavonoids are prevalent in plant tissues, primarily occurring in relatively high concentrations as sugar conjugates. The rutinose flavanones found in lemons and limes contribute to a neutral flavor, with neohesperidin being a distinctive component exclusive to limes. Eriocitrin is one of the glycoside flavonoids that has the best antioxidant activity. In lime, hesperidin is the main flavanone. It has been revealed that lime oil contains 15.64 mg/100 g of hesperidin (Liu et al., 2022). Oil from lemons and limes encompasses oxygen-containing heterocyclic compounds. Bioactive substances and phytochemicals, like hesperidin and eriocitrin, have been shown to improve oxidative stress and lipid profiles, which is especially helpful for people with metabolic syndrome. Also, coumarins and furocoumarins, especially bergamottin and 5-geranyloxy-7-methoxycoumarin parts, have strong anti-tumor and anti-cancer properties (Liu et al., 2022). This shows that lime components have a lot of different drug-like potential. The acidity of lime fruit depends on the carbohydrate concentration in the fruit (Balyan et al., 2024). This acid was found to maintain the quality properties of gel coats (Yousefi et al., 2024).

The peels of the lime types were all different in terms of phenolic content. However, it was more abundant in bioactive compounds, as indicated by their higher antioxidant capacity (Cioni et al., 2022). Mexican lemons showed a strong positive correlation between antioxidant capacity and phenolics (Mohammed et al., 2024).

The research identified myristic acid, 1,4-butanediol, *n*-hexadecanoic acid, 1,2-benzenedicarboxylic acid, diisooctyl ester, stigmasterol, and spathulenol by gas chromatography combined with mass spectrometry. *N*-hexane was used as the solvent and a Soxhlet extractor. Other lemons do not contain the terpenoids found in these extracted oils from lime seeds. However, the lime seed did not contain flavonoids, phenolics, or tannins. Lemon seeds and peel had greater antioxidant activity and proportion of tetradecanoic acid (Oluwatobi et al.,

2023). Furanocoumarins are not present when distilled essential oils are used. However, the expressed oils pose a modest hazard to phototoxicity (Lin et al., 2019).

2.2. Essential oils

Essential oils contain terpenoids or isoprenoids, which are many plants' most common and structurally varied natural compounds with various structural variations (Powder-George, 2024). Terpenoid groups such as monoterpenes, sesquiterpenes, and oxygenated terpene derivatives are most of the chemicals in essential oils. Additionally, oxygenated terpenes, which include alcohols, aldehydes, and ketones. Essential oil compounds are influenced by plant genetics and numerous environmental stress factors, as proven in research analyzing extraction methods (Julaeha et al., 2022b). However, limonene is a key component (Etta-Francis et al., 2022). Therefore, it's worth noting that *d*-limonene is highly preferred in the industry due to its numerous properties (Bellisai et al., 2021).

UV-A irradiation tests with bergamot, lemon, and lime oils have shown that furocoumarins have photo-protective properties for terpene stability. Keeping important molecules like *R*-(+)-limonene and γ -terpinene from breaking down too quickly stops the formation of unwanted oxidation products like limonene hydroperoxides and *p*-simene. This outcome holds considerable importance, given the pivotal role of odor in the essential oil, perfume, and cosmetics industries. Consequently, the natural presence of furocoumarins in *citrus* and other essential oils contributes to extended shelf life and enhanced stability in the final consumer products (Bitterling et al., 2022).

The beneficial impact of natural furocoumarins in cold-pressed citrus oils is particularly notable, owing to their photo-protective effects on essential oils. Furthermore, these furocoumarins can serve as effective photo-protective agents when added to highly sensitive essential oils. Acting as a protective shield, furocoumarins shield sensitive terpenes from direct exposure to UV radiation, effectively absorbing most radiation energy. Additionally, fluorescence deactivation is associated with a pronounced bathochromic shift to wavelengths exceeding 400 nm. Consequently, low-energy radiation lacks the potency to initiate direct terpene oxidation (Bitterling et al., 2022).

Furocoumarins also reach the triplet state through intersystem transition (ISC), which makes it easier for high-voltage UV radiation to be turned into lower-energy visible light. This mechanism significantly favors the stability of terpenes, further emphasizing the photo-protective role of furocoumarins in essential oils. The component γ -terpinene exhibited a relatively abundant presence in all three oils, whereas the degradation of *R*-(+)-limonene occurred at varying rates, with lime and lemon oils experiencing. Notably, *R*-(+)-limonene, a monocyclic monoterpene, is highly susceptible to dehydrogenation, rendering it particularly sensitive to degradation. The undesirable formation of *p*-simene from terpinene is associated with an unpleasant kerosene-like odor. Adding furocoumarins significantly mitigates the loss of γ -terpinene while simultaneously reducing the formation of the unpleasant compound *p*-simene. Concurrently, a notable formation of hydroperoxides was observed. Beyond preservation, furocoumarins' protective impact improved olfactory quality, possibly due to a bathochromic shift of radiated light towards fewer harmful, wider wavelengths. The fact that stable furocoumarins and unstable terpenes work together shows that photosensitized citrus compounds can be stored for longer (Bitterling et al., 2022).

The lime peel essential oil contains triterpenoid steroids (Julianti Wijayadi and Rusliati Rusli, 2020). In a study analyzing 36 constituents by gas chromatography combined with mass spectrometry, the five major components of *C. aurantifolia* oil were *d*-limonene, cyclohexene, 4-methylene-1-(1-methylethyl), citral, *cis*-citral, and α -farnesene (Julaeha et al., 2022a). In the study with 33 mg/mL, the lime solution was prepared as the median lethal concentration, the amount of essential oil was determined as 44.74%, and α -terpineol was determined by gas chromatography combined with mass spectrometry (De Paiva Silva et al., 2023). The study set the instrument conditions as a 45-400 mass load range and the mass spectrum time as 0.5 seconds. Relative retention indices were defined based on C₉-C₂₀, C₆-C₂₆ (Hassanein et al., 2023), and C₅-C₂₅ (Lin et al., 2019), n-alkane sequences. The monoterpene alcohol α -terpinol was the main component of lime (Da Silva et al., 2022).

Among the 18 components in lime peel oil, the highest amount of α -terpineol, non-polar *d*-limonene, β -pinene, and citral components affected

by geographical conditions were found. In the microencapsulation process, the oil yield was 51.46%, and the oil content was 58.66%, the essential oils found in lime (*C. aurantifolia*) peel included α -pinene (81%), β -pinene, β -phellandrene, (+)-4-carene, *d*-limonene (35.98%), *o*-cymene, β -ocimene, γ -terpinene, 2-carene (1.61%), β -myrcene, terpinen-4-ol, and β -myrcene (Sandra et al., 2020). The oil consisted of 39.23% *d*-limonene, 22.82% β -pinene, 5.63% citral, and 3.74% α -terpineol (Julaeha et al., 2021a). Key components include *d*-limonene (Mohammed et al., 2024), β -pinene, and terpineol (Da Silva et al., 2022).

Lime (*C. aurantifolia*) oil volatiles were found to be 98.3% monoterpenes. In the study, the monoterpene components limonene and citral are hydrophobic with a ring structure. The mixture in lemon oil was also significantly protective against *Staphylococcus aureus* (G+) (Allam et al., 2022). The lime essential oil contains 36% oxygen compounds. These compounds have strong antimicrobial activity compared to nitro compounds (Mohammed et al., 2024).

Citral, geraniol, linalool, and thymol are among the components found in Orange (*C. sinensis* L.O), Lemon (*C. limon* L.O), and Lime (*C. aurantifolia* L.O) fruit peel oils that show more phenolic and antiseptic properties. Additionally, the study found saponification values of 146 mg KOH/g, 158 mg KOH/g, and 123 mg KOH/g. The moisture content of pectin extracted from orange, lemon, and lime peels was 3.2%, 3.7%, and 4.4%. The pectin derived from orange peel and lemon peel was light brown, but that obtained from lime peel was dark brown. It is suggested that it can be supported as a supplement in animal feeding. Based on the research data, it is predicted that this study will positively impact future studies due to its low acid values, high oil yield rates, and excellent storage life (Etta-Francis et al., 2022).

Limes and lemons have different peel oil compositions (Jungen et al., 2023). The essential oil of lime also has a natural analgesic effect (Harahap et al., 2023). Higher photocatalytic activity was observed for the components with lime added (Hidayat et al., 2024).

D-limonene, phytol, α -tocopherol, and 5,7-dimethoxycoumarin have been identified in lime peels extracted with ethyl acetate, chloroform, and n-hexane solvents. Many of these are of biological

importance, such as stigmasterol, *d*-limonene, vitamin E, and α -tocopherol (Asmah et al., 2020).

The active chemicals discovered in the study on *C. aurantifolia* (Christm.) species included germacrene isomers (61.2%), pineene, linalool dimer, bornane, citral, anethole, anisole, safrol, and demitol. Lime peel oils, considered beneficial to human health, should be used in specific doses. However, the lime essential oil is thought to have mild hematotoxic, nephrotoxic, and hepatotoxic effects (Adokoh et al., 2019).

Compounds such as β -bisabolene, (*E*)-caryophyllene, geranyl acetate, trans- α -bergamotene, and α -humulene can decrease radionuclides (Salem et al., 2024). Lemon peel essential oil had an average repellency of 70.0 to 94.0 mg/cm². The absence of phytotoxicity suggests that these discarded waste essential oils might be used to safeguard the storage core (Visakh et al., 2022).

3. Essential oil extraction methods

Both conventional and unconventional methods are used in the extraction of essential oils. Conventional techniques include Hydro-distillation, Soxhlet Extraction, Cold Pressing, and Solvent Extraction. In contrast, non-conventional methods include supercritical fluid extraction, microwave-assisted hydro-distillation, solvent-free microwave extraction, microwave hydrodiffusion, and gravity. Hydro-distillation is the most commonly utilized method among these techniques (Figure 2) (Julaeha et al., 2022a).

Various physical properties, such as an increased refractive index due to longer chain components or oxygen-containing mechanisms, influence the composition of essential oils. These oils contribute to a higher medium density, impeding the refraction of incident light. The weight percentage of constituent components also affects physical properties specific gravity, and the acid number indicates the amount of free acids in a solution. In addition, most of the chemicals found in essential oils, such as β -pinene and *d*-limonene, are non-polar, which is anticipated to affect their solubility in alcohol (Sandra et al., 2020).

3.1. Distillation

It is housed in a distillation flask attached to a water-filled balloon with a round bottom. Pipes attach the condensation unit to the distillation

bottle. The essential oil is distilled using steam and filtered through the shells. After using an extraction condenser to extract the water phase, the diethyl ether phase is gathered, and the water is dried using a few drips of anhydrous magnesium salt. After that, the fat is measured and sent to a vapor extractor to remove any leftover diethyl ether (Etta-Francis et al., 2022).

A steam distillation study yielded 2.3% (w/w) volatile oil (Lin et al., 2019). The distillation method identified components such as citral, carveol, terpinen-4-ol, *p*-cymene, sabinene, and pinene at a higher rate than other *citrus* species (Dmitrieva et al., 2024). Sabinene, β -pinene, and limonene were the most prevalent volatile components in the essential oil derived from hydrodistilling Kaffir lime (*C. hystrix*). This kind of lemon's attractive aroma and high concentration of minerals and bioactive substances make it a valuable ingredient in nutritional supplements in capsule form (Lubinska-Szczygel et al., 2023). *C. aurantifolia* rip extract also has antioxidant activity and stabilizes membranes by gelling free radicals (Oyinloye et al., 2024). Specifically, the ratio of phenolic acids, the kind or quantity of flavonoids, and the absence of furanocoumarins are key requirements for the technique (Lee et al., 2022).

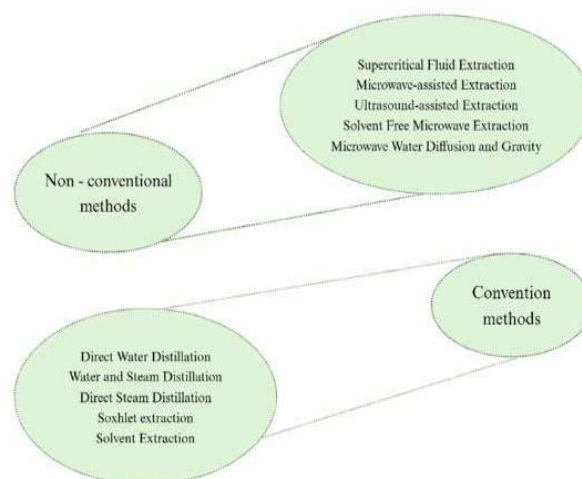


Figure 2. Extraction methods

3.2. Cold pressing

These methods are mainly employed for laboratory purposes, which involve pressing the flavado layer by hand to expose the lipid bubble. The fat can be gathered in saltwater and kept frozen. However, this method has not been widely used due to lesser yields than solvent, steam, or hydro-distillation

procedures (Etta-Francis et al., 2022). The industry faces a noteworthy challenge in employing the cold-pressing method due to the exceedingly thin peel of these limes. Consequently, a two-step process is adopted, wherein initial pressing yields an emulsion of juice and oil. Subsequently, direct steam distillation separates the lime oil from the juice (Liu et al., 2022).

3.3. Ultrasound-assisted extraction

In research utilizing *C. aurantium* (bitter orange) and lemon and orange tree leaves, analytes were extracted in methanol using an ultrasound-assisted extraction procedure. The study employed ultrasound-assisted extraction-capillary liquid chromatography for the first time to analyze limonene, linalool, farnesene, α -pinene, and myrcene components. The shorter analysis time provides an advantage over other approaches. Gas chromatography is commonly used to analyze terpenes in plants and plant-derived products. The terpene concentrations observable by gas chromatography-mass spectrometry are comparable or slightly lower. However, this is partially related to the preconcentration produced by solid-phase extraction or solid-phase microextraction techniques. The suggested capillary liquid chromatography approach has several benefits over gas chromatography-based diagnostics, including simplicity and speed. As a result, the approach may be used to analyze biological activity attributed to particular terpenes like those used in this study. It may also be used to compare the biological activity of various items by estimating the total quantity of certain terpenes. Although terpenes were the only substances evaluated in this work, it is worth noting that capillary liquid chromatography is a flexible technology that may be used to determine volatile and non-volatile plant elements simultaneously. The main constraint is the need for a capillary liquid chromatography system, which provides advantages in analytical performance and application. This approach positively influenced biological activity, raw material quality, storage conditions, and processes (Ponce-Rodriguez et al., 2021).

Lemon juice was centrifuged, and the solid residue was sonicated in 1 ml of fresh acetonitrile at 20°C for 5 min. The samples were passed through methanol cartridges. A serum extract was prepared by eluting the retained oxygenated heterocyclic

compounds with ethyl acetate. Ultrasonication (300 w, 20°C, 5 min) was used to redissolve the dried extract in methanol. At the end of the study, the oxygenated heterocyclic compounds 8-geranyloxypsoralen, byacangelicin, 5-geranoxo-7-methoxycoumarin, phellopterin, and methoxyflavones in lemon and lemon juice were characterized. These compounds have also been proven to possess medicinal properties (Li et al., 2021).

3.4. Supercritical fluid extraction

When essential oils dissolved in aqueous media undergo thermal-oxidative processes, inactive components are formed. One study focused on the antidiabetic properties of lime oil using treatment with polyethylene glycol and lauric acid via supercritical carbon dioxide at 120 psi and 45°C. Polymer-oil combinations produced co-precipitates, were then micronized using a 500 μ m nozzle. The addition of polyethylene glycol and lauric acid to lime oil in a gas-saturated solution made spherical microparticles that were approximately 2 μ m in size. The encapsulation of these particles resulted in a lower melting point and fusion heat than those enclosed with just polyethylene glycol. This has resulted in enhanced oil holding capacity and performance. The encapsulation procedure increased the average release time, reducing evaporation in physiological fluids. The ability of encapsulation to protect the anti-free radical and α -amylase inhibitory effects of essential oils shows that they can keep their medicinal properties (Akolade et al., 2020). Distillation, cold pressing, microwave-assisted extraction, and supercritical fluid are generally applied as extraction methods for essential oils (Razola-Diaz et al., 2021).

3.5. Microwave extraction

The microwave-extracted oil from the sample was cooled in the condenser. The condensate was routed via a separation funnel to separate the oil from the water. A vacuum pump produced the necessary suction pressure. Optimal circumstances were discovered with 797,844 W microwave power and 500 to 1000 W microwave power for approximately 30 minutes. Under these settings, the essential oil yield was 0.792 ± 0.03 %, and antibacterial activity was 18.25 ± 1.45 mm. In addition, delicious lemon peels were ultrasonically pretreated before microwave extraction. As a result, the essential oil yield rose from 0.84% to

1.06%. *D*-limonene, bergamol, β -pinene, linalool, α -pinene, 1,8-cineol, and α -terpineol components were identified in sweet lime peels in the highest ratio (Arafat et al., 2020).

4. Encapsulation

Microcapsules are formed through the attraction between oppositely charged molecules, creating an insoluble colloidal phase. The technique encapsulates the core with a polymer and reduces surface tension. During co-acervation, amide groups are formed when carboxyl groups in polysaccharides combine with amino groups in proteins. To ensure the presence of reactive ends toward specific functional groups, it is necessary to stimulate this need. A notable example is glutaraldehyde, which is often used to form covalent bonds between the carbonyl and amine groups in glutaraldehyde/gelatin. The formation of covalent bonds presence of cross-linking sites both affect microcapsule density. In particular, the mixing speed during the process is critical. Rapid particle movement promotes microcapsule bursting, resulting in a less homogeneous size distribution. This underscores the importance of carefully controlling mixing conditions to achieve the desired microcapsule characteristics (Figure 3) (Sandra et al., 2020).

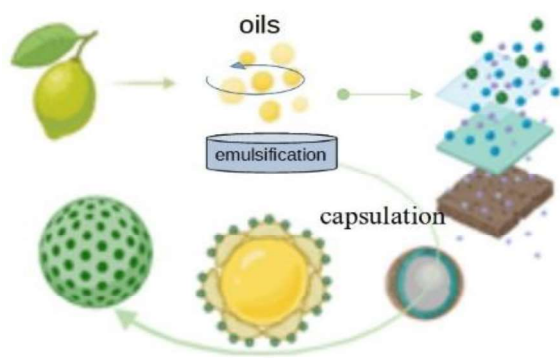


Figure 3. Encapsulation

Lime was identified using scanning electron microscopy, the content of *C. aurantifolia* essential oil within the microcapsules was determined using ultraviolet-visible spectrophotometry, and the oil content was calculated using regression equations developed from standard curves. Equations (1) and (2) are used to compute oil content and encapsulation efficiency, respectively (Julaeha et al., 2021a).

$$\left(\frac{\text{Actual coating oil amount}}{\text{weight of microcapsule}} \times 100 \right) \quad (1)$$

$$\left(\frac{\text{Actual coating oil amount}}{\text{amount of oil added}} \times 100 \right) \quad (2)$$

Lime seed essential oil capsules were round and supple, with a mean particle size of 1.554 μm . It is worth noting that 79% of the oil was discharged within 2 hours due to an interaction of mechanical and chemical forces. A 4% citric acid binding agent improved fixation, resulting in just 3% mass loss after 15 washes. The functional fabric coated with 4% binder had significant antibacterial action. This highlights the potential of utilizing essential oil microcapsules for developing antibacterial functional fabrics with enhanced durability through optimized binding methods (Julaeha et al., 2021b).

In the study demonstrating the suitability of *C. aurantifolia* shoot tips for encapsulating artificial seeds, the beaded shoot tips exhibited a maximum germination rate of 81.43%. Autoclaving at 121°C and 104 kPa, with pH correction to 5.8, proved effective for sterilization. The procedure for creating synthetic seed encapsulation from shoot tips was as follows: First, mix 200 mL of liquid seed sodium alginate solution with 30g of sucrose. This methodology is aimed at creating encapsulated synthetic seeds for further utilization in plant propagation and cultivation (Sharma and Roy, 2021).

A particle size analyzer can also be used to determine the size and distribution of microcapsules. All microcapsules can have well-distributed particle sizes and homogeneity based on mean/median ratios close to one. According to scanning electron microscopy, micrographs of oil microcapsules cross-linked with 15% CaCl_2 , mostly spherical and clustered microcapsules, were observed. Fourier may identify more efficient interactions to transform the infrared spectroscopy study of the microcapsules. Among all microcapsules, 15% of cross-linkers retained up to 73% of the essential oil core. The study observed a decrease in essential oil capsules stored for three weeks. This was thought to be due to physical and chemical changes in the coating, oil diffusion, and capsule disintegration. Moderate inhibition of *S. aureus*, *S. epidermidis*, *E. coli*, and *K. pneumoniae* bacteria was found. As a result, antibacterial oil microcapsules have a broad application in the cosmetic and textile industries (Pratiw et al., 2022).

The essential oils isolated from *C. aurantifolia* were packaged in gelatin alginate capsules. The microcapsules were immobilized on cotton fabric

by pad-drying with a citric acid binder. The microcapsules were tested for their antibacterial efficacy against gram-positive *S. aureus*. The findings revealed that the components of *C. aurantifolia* essential oils work together to enhance their effectiveness. The antibacterial activity of the microcapsules was comparable to that of the positive controls, ampicillin and limonene, indicating that the microcapsules can sustain antibacterial efficacy (Julaeha et al., 2022). In addition, as a result of a study with 58.66% oil content and 92.04% encapsulation efficiency, it is understood that more oil is absorbed in microcapsules of *C. aurantifolia* bark essential oils in 1:2.0 ratios of gelatin and sodium alginate coatings (Sandra et al., 2020).

Essential oils are fragrant, fatty organic compounds produced naturally in plants. Microcapsules play an important role in preserving and using essential oils' antibacterial and insecticidal properties in various sectors. Microcapsules help to preserve food during long-term storage. In medicine, the prolonged release of encapsulated essential oils has shown efficacy against multi-resistant bacteria, skin irritation, and cancer cells in animals. Furthermore, in the textile business, fabrics containing encapsulated essential oils have demonstrated remarkable repellency against mosquitoes and microorganisms and UV protection, even after several washing cycles (Nguyen et al., 2021).

The Food and Drug Administration classifies essential oils as medicines based on their intended use. As a result, the coating procedure is crucial in determining average size, stability, encapsulation efficiency, and release profile. Essential oils' nature, amount, and stereochemistry are significantly altered during extraction. Several factors must be addressed when establishing an acceptable delivery system for individual essential oils, including the manufacturing process (heat or organic solvent) (Cimino et al., 2021).

The effect of adding nanogel loaded with gelatin and lemon peel extract, composed of guar gum and gelatin, to a casein/basil seed chewing gum film revealed significant nanoparticle accumulation on the surface at higher percentages. Regardless of concentration, the films containing nanogel exhibited good antioxidant properties (Mei KR., 2021), which are considered positive for coating techniques. Coating processes conducted at various

concentration levels contribute to extending the final product's shelf life. Green technology views encapsulation as a valuable approach to enhancing food safety (Mortazavi Moghadam et al., 2023).

Polymeric nanoencapsulation is a widely adopted strategy for preserving essential oils, and among the various techniques for designing polymeric nanoparticles, nanoprecipitation has garnered significant attention. Putting essential oils inside polymeric nanoparticles makes them better at many important jobs, like killing microorganisms, stopping oxidation, fighting fungal infections, lowering inflammation, and getting rid of pests and insects. This approach, employing polymeric nanoparticles for delivering essential oils, represents a cutting-edge development in pharmaceutical technology. Additionally, scaling up nanoprecipitation for industrial applications is essential to implementing this technology on a larger scale (Lammari et al., 2020).

Copper oxide nanoparticles were synthesized in research utilizing *C. aurantifolia* leaf extract. The biosynthesized CuO nanoparticles had medium crystalline characteristics, with a crystal size of roughly 22 nm and a band gap of 3.48–3.51 eV. (Rafique et al., 2020).

The size of the nanocapsule oil obtained in the study was about 28 nm. A nano-emulsion is a heterogeneous mixture of a sparsely dispersed liquid in droplets in another liquid. These nano-emulsion droplets are measured between 20 and 500 nm. The surfactants Tween 80 and Span 20 were used for the encapsulation study in the dextrose agar medium (Allam et al., 2022).

Protect against toxin-induced biochemical changes with lime peel oil and nano-emulsion (Sabry et al., 2022). Essential oils' components are responsible for their pharmaceutical qualities. Some of the most researched qualities include antioxidant, anti-inflammatory, antibacterial, wound healing, and anxiolytic activity. Encapsulation helps to increase bioavailability, improve chemical stability, and reduce the volatility and toxicity of essential oils. Recent research has focused on various encapsulation strategies, such as micro- and nano-emulsions, liposomes, solid lipid nanoparticles, and nanostructured lipid carriers, to improve essential oil delivery and therapeutic potential (Cimino et al., 2021).

New food packaging trends include encapsulated bioactive essential oil components. This method improves food shelf life by utilizing essential oils' significant antibacterial and anti-pathogenic qualities (Shaaban and Farouk, 2022). The shelf life of the lime fruit in the coating is increased by the combination of pomegranate seed oil and gelatin (Mohammadi et al., 2024). A new composite of lime peel oil, whey protein, gum arabic, carboxymethyl cellulose, and gelatin was found to have favorable nanocapsulation (Hassane et al., 2023). Essential oil coating inhibited fungal spores on rubberwood (Owolab et al., 2021)

4.1. Encapsulation methods of lime oil

Research has revealed that limonene is extremely efficient against a wide spectrum of bacteria and fungi, often outperforming other terpenes, extracts, and essential oils. Its applications in food processing, storage, and packaging are significant. Encapsulation may be the best way to maintain its action and prevent oxidation. These include simple and sophisticated co-acervation, nano- or microencapsulation with various wall materials, including polysaccharides or proteins, molecular entrapment with cyclodextrins, spray drying, electrospinning, and nano-emulsion. Less prevalent methods include electrospraying and supercritical fluid technologies (Ibáñez et al., 2020).

4.1.1. Coacervation

One significant advantage of this approach is that the encapsulated limonene's form, size, and release rate may be adjusted by simply adjusting the concentration and ratio of chitosan and NaOH solution. Release profiles are typically created in two stages. Encapsulation via co-acervation, which provides a good barrier against the oxidation of sensitive components, looks to be an excellent method for encapsulating limonene flavor. The most critical criteria for creating co-acervation biopolymer complexes with maximum limonene encapsulation are viscosity and pH (Ibáñez et al., 2020).

Microcapsules containing *C. aurantifolia* essential oil, alginate/gelatin polymers, and different concentrations of CaCl_2 cross-linking agents were optimized for essential oil co-acervation utilizing Tween 80 emulsifying agents. The study used Avrami's kinetic equation ($k=1.60\pm3.68 \times 10^{-5}\text{s}^{-1}$) to simulate the microcapsule structure and release

mechanism, with an average particle size of $1.394 \mu\text{m}$. 43.56% encapsulation effect was observed at ambient temperature for three weeks, showing good thermal stability up to 100°C . Combining essential oil and alginate-gelatin shells containing varying concentrations of CaCl_2 cross-linking agent resulted in a microcapsule yield of 35-41%. The optimum number of microcapsules was obtained at 10-20% crosslinker (Pratiwi et al., 2022).

Essential oil capsules were obtained through complicated co-acervation with two biopolymers: alginate-gelatin, gum arabic-gelatin, and gum arabic-chitosan as shell, all under identical conditions. The alginate/gelatin combination yielded the most spherical and thinnest microcapsules, ranging in size from 5 to $33.1 \mu\text{m}$ without any aggregation. The gum Arabic/gelatin shell pair resulted in coarse and partially agglomerated microcapsules in the $7\text{-}10.1 \mu\text{m}$ range. Gum arabic/chitosan exfoliants are small clustered microcapsules ($2.1\text{-}5.1 \mu\text{m}$) dispersed on the surface. Because essential oils are often soluble in non-polar solvents, n-hexane was utilized to extract the released essential oils for measurement. The alginate/gelatin biopolymers produced the best essential oil microcapsules with well-dispersed particle size and homogeneity (Julaeha et al., 2022a).

The mixed conservation method study used separate 2% alginate and gelatin coatings. To achieve a $60\pm1^\circ\text{C}$ temperature, and agitated at 1250 rpm. Tween 80 (0.8g) and essential oils were combined in drops. The sodium alginate solution (40 mL) was then added gradually. The resultant liquid was agitated for 15 minutes before adding 2.5% acetic acid to achieve a pH of 3.75. The resultant microcapsules were then filtered via a Buchner funnel. The finished product was washed with demineralized water. Research has reported that microcapsules made with this technique can function as oil mimics (Sandra et al., 2020).

The peel oil of lime was microencapsulated utilizing the co-acervation procedure, which used gelatin and alginate as the wall material at 2% (w/v), Tween 80 as the emulsifier, and calcium chloride as the cross-linker. The diameters of these capsules ranged from 52 to $178 \mu\text{m}$. The increase in the amount of oil did not affect the diameter of the capsule particles, and the variation of the microcapsule yield between 26% and 31% was due

to the different weights of the essential oils. Particle size and morphology were also affected by processing at various mixing temperatures. Microcapsules generated at 35°C had a slightly lower particle diameter than those created at 40°C, but the shape was more uniform and spherical. Different mixing speeds resulted in microcapsules measuring 1.40-1.52 µm and yielding 23-30%. Increasing the speed beyond 600 rpm destroys the encapsulated oil. This decreases both oil content and yield. The mixing method controls both the microcapsule size and the size distribution (Julaeha et al., 2022a).

The viscosity of the emulsion is reduced, and the demulsification rate is increased by increasing the citric acid content. Citric acid has a higher emulsifying efficiency than other acids due to the high number of carboxyl groups. Suspended droplets coalesce, and the emulsion separates easily, with a balanced separation between the aqueous and emulsion phases. Each emulsification is optimized at 80°C. An inexpensive emulsifier is an effective method of remediating contaminated water (Moodley et al., 2022).

The microemulsions were then impromptu prepared by combining all the components and mixing in a vortex mixer. The research were formed using decyl glucoside and butylene glycol as surfactant and co-surfactant in a 2:1 weight ratio. The irritancy of these oils was shown to be reduced by microencapsulation (Prommaban and Chaiyana, 2022).

4.1.2. Spray drying

The spray drying method results in uniform morphologies due to the effects of wall composition, atomisation, drying parameters, uneven shrinkage in the first drying stages and the directed surface pressure of the viscous fluid (Compelo-Felix et al., 2017).

The essential oils of lime peel (*C. aurantifolia*) are complex metabolites used as preservatives. Physical methods such as spray drying, lyophilisation, supercritical fluidisation, and solvent evaporation are examples of physicochemical techniques: co-conservation, ionic gelation, and electrostatic film formation. Chemical approaches include interfacial polymerisation and molecular inclusion complexation (Da Silvet al., 2022). An encapsulation technique has proven effective in

protecting essential oils from environmental conditions, including oxidation and biological activity. In the industry, spray drying and emulsification are among the most preferred methods for encapsulation (Shaaban and Farouk et al., 2022).

4.1.3. Electrospinning technique

Increasing the polymer content via electrospinning will either raise the viscosity of the emulsion or precipitate the polymer, decreasing or even eliminating the probability of the encapsulated limonene spreading. Relative humidity was discovered to have an important impact on component release. This makes this approach appealing in active packaging, particularly for fresh foods, where the risk of microbial deterioration is greater in environments with high water activity. Emulsion electrospinning is utilized to create animal serum albumin-controlled delivery systems. One of the most significant benefits of employing supercritical fluid technology to encapsulate limonene is that it operates at low temperatures, allowing sensitive compounds to be encapsulated. The efficiency of encapsulating the limonene component was lower than that of conventional spray drying techniques. Limonene's preservation properties, health advantages, and pleasant taste and odor make it valuable in the cosmetics, food, and beverage sectors. It has proven antimicrobial activity in food products as well as antioxidant potential in preventing decay and extending shelf life. With its broad biological activities, limonene's non-toxicity and numerous modes of action make it an attractive natural alternative to synthetic pesticides and preservatives for a growing industry. Ambient conditions highly influence this compound (Ibáñez et al., 2020).

4.1.4. Freeze-drying (lyophilization)

Lyophilization is a preferred method for essential oil extraction because it protects compounds from high temperatures. Among various extraction methods, ultrasound-assisted extraction is considered the best, followed by microwave-assisted extraction and agitation extraction. Essential oils are sensitive to high temperatures, and these methods help preserve their quality. Cold-pressed lime oil, obtained by mechanical pressing of the peel, contains citral, high levels of sesquiterpenes, and aldehydes. Monoterpenes are found in lower amounts in the oil from the peel than in the water, and approximately 20% of non-

volatile chemicals are present (Liu et al., 2022). With spray cooling, a thin coating film is formed around solid, liquid and gas particles or live organisms (Abdul-Al et al., 2022).

Contrarily, distillation does not yield essential oil that contains non-volatile substances. People are now more interested in the oxygen heterocyclic compounds found in lime oil. To check their quality, high-performance liquid chromatography analysis has replaced the older total UV absorption

methods. Different processing methods can influence the composition of these non-volatile compounds. It's noted that bergamottin, a compound found in lime oil, possesses natural anti-cancer properties. Therefore, caution is advised during extraction to avoid affecting its beneficial properties and overall metabolism (Liu et al., 2022). The data from the literature studies and the conditions of the research with lime peel oil are summarized in Table 2.

Table 2: *C. aurantifolia* application methods and their effects

Interfacial solvent/Wall material	Encapsulated material shape and size	Application method	Key findings	References
Distilled water: Copper sulfate pentahydrate	Irregular and spherical-like nanoparticles (22 nm)	Biological synthesis	Activity against <i>S. aureus</i> and <i>E. coli</i>	(Rafique et al., 2020)
n-Hexane- acetic acid; tween-80 /gelatin and sodium alginate	Microcapsules with various shapes	Complex co-acervation	Increasing the coating ratio increased encapsulation efficiency and yield	(Sandra et al., 2020)
Hexane, dichloromethane, dimethylsulphoxide; Polyethylene glycol and lauric acid	Rough spherical microparticles (~ 2 µm)	Gas-saturated solution technology	The overall average lime oil release time was increased. The encapsulation yield was raised.	(Akolade et al., 2020)
Tween 80, CaCl ₂ , acetic acid; alginate–gelatin	Spherical and agglomerated shape (1.394 µm)	Co-acervation	Gram-positive and Gram-negative antibacterial activity, effectively coacervated with 15% CaCl ₂ cross-linker	(Pratiwi et al., 2022)
n-Hexane, citric acid, Tween 80; glutaraldehyde, alginate-gelatin-gum Arabic-chitosan, sodium alginate	Spherical capsules (1.802±0.082/1.554 µm)	Pad-dry-cure method using various concentrations, Complex Co-acervation	Microcapsules covered with biodegradable polymers Moderate antimicrobial activity was detected. Superior bactericidal activity	(Julaeha et al., 2022)
n-Hexane, Tween 80, acetic acid; calcium chloride, gelatine, alginate,	Homogeneous and rounder morphology (1.40-1.52µm)	Complex Co-acervation	Microcapsules were optimally characterized and manufactured successfully.	(Julaeha et al., 2021)
Sodium periodate, ethylene glycol, acetone; casein, gelatin, guar gum, dialdehyde-guar gum	Smooth nanoparticle	Nanocapsulation; inverse miniemulsion synthesis	A novel nano gel was fabricated by inverse miniemulsion synthesis with an inhibitory effect against microorganisms.	(Mortazavi Moghadam et al., 2023)
Tween80, deionized water; oil phase (oil and corn oil)	Spherical shape (20-60 nm)	Nano-emulsion; spontaneous emulsification method.	Gram-positive microbes were more susceptible and could be used as functional ingredients.	(Mei K.R., 2021)
Glacial acetic acid, tween80, sodiumtripolyphosphate; chitosan	Homogeneously distributed (271.7 nm)	Nanocapsulation; ionic gelation method; freeze drying method	Prevents acne vulgaris and treats acne effectively and efficiently	(Julianti et al., 2020)

5. Conclusion

These fruits are cultivated commercially across diverse countries, including India, the United States, Spain, Italy, Argentina, Egypt, and Iran. In contrast, due to their sensitivity to cold climates, limes are exclusively grown in tropical regions, with Mexico and Brazil standing out as primary

producers. Due to their versatility and consistent demand, lemons contribute significantly to food safety while offering numerous health benefits. Recent advancements in extraction techniques aim to improve the quality yield of essential oils while simultaneously reducing energy consumption,

reflecting a progressive evolution in lime processing methodologies.

Lime's bioactive components benefit human health. However, these components also have active properties that ensure the safety and reliability of food products. Recently, oil extraction trials using green techniques have improved the quality of these sensitive-structure oils. Contemporary approaches use coating methods such as coacervation, spray drying, freeze drying, ve electrospinning to preserve the qualitative and quantitative attributes of essential oils extracted

from limes. Consequently, the composition of these oils and the selection of preparation methodologies stand as pivotal determinants in yielding a final product tailored for specific pharmaceutical applications.

Acknowledgments: This study received no specific funding or support from any government, commercial, or charitable organization.

Conflicts of Interest: The authors declare no conflicts of interest.

6. References

- Abdul-Al, M., Saeinasab, M., and Sefat, F. (2022), Encapsulation techniques overview. *Principles of Biomaterials Encapsulation*. Volume One, 13-36. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-85947-9.00002-9>.
- Adokoh, C. K., Asante, D.-B., Acheampong, D. O., Kotsuchibashi, Y., Armah, F. A., Sirikiyi, I. H., Kimura, K., Gmakame, E., and Abdul-Rauf, S. (2019). Chemical profile and in vivo toxicity evaluation of unripe *Citrus aurantifolia* essential oil. *Toxicology Reports*, 6, 692–702. <https://doi.org/10.1016/j.toxrep.2019.06.020>
- Akolade, J. O., Nasir-Naeem, K. O., Swanepoel, A., Yusuf, A. A., Balogun, M., and Labuschagne, P. (2020). CO₂-assisted production of polyethylene glycol / lauric acid microparticles for extended release of *Citrus aurantifolia* essential oil. *Journal of CO₂ Utilization*, 38, 375–384. <https://doi.org/10.1016/j.jcou.2020.02.014>
- Allam, O., Hebeish, A., Ramadan, Manal, and Ismail, S. (2022). Preparation and application of lemon peel oil (*Citrus aurantifolia*) to improve microbial resistance of wool and viscose fabrics. *Egyptian Journal of Chemistry*, 0(0), 0–0. <https://doi.org/10.21608/ejchem.2022.108504.4959>
- Arafat, Y., Altemimi, A., Ibrahim, S. A., and Badwaik, L. S. (2020). Valorization of Sweet Lime Peel for the Extraction of Essential Oil by Solvent-Free Microwave Extraction Enhanced with Ultrasound Pretreatment. *Molecules*, 25(18), 4072. <https://doi.org/10.3390/molecules25184072>
- Asmah, N., Suniarti, D., Margono, A., Mas'ud, Za., and Bachtiar, E. (2020). Identification of active compounds in ethyl acetate, chloroform, and N-hexane extracts from peels of *Citrus aurantifolia* from Maribaya, West Java, Indonesia. *Journal of Advanced Pharmaceutical Technology and Research*, 11(3), 107. https://doi.org/10.4103/japtr.JAPTR_177_19
- Balyan, V., Bhatnagar, P., Singh, J., Sharma, Y. K., Chopra, R., and Mishra, A. (2024). Impact of Foliar Application of Urea and Nano Urea Levels on Quality, Physiological, and Leaf Nutrient Content Attributes of Acid Lime (*Citrus aurantifolia* Swingle) cv. Kagzi in Vertisols of Jhalawar District in Rajasthan. *Asian Journal of Advances in Agricultural Research*, 24(1), 19–32. <https://doi.org/10.9734/ajaar/2024/v24i1484>
- Bellisai, G., Bernasconi, G., Brancato, A., Carrasco Cabrera, L., Ferreira, L., Giner, G., Greco, L., Jarrah, S., Kazocina, A., Leuschner, R., Magrans, J. O., Miron, I., Nave, S., Pedersen, R., Reich, H., Ruocco, S., Santos, M., Scarlato, A. P., Theobald, A., ... Verani, A. (2021). Modification of the existing MRLs for potassium phosphonates in lemons, limes and mandarins and in herbal infusions from leaves and herbs. *EFSA Journal*, 19(6). <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2021.6673>
- Bitterling, H., Mailänder, L., Vetter, W., Kammerer, D. R., and Stintzing, F. C. (2022). Photo-protective effects of furocoumarins on terpenes in lime, lemon, and bergamot essential oils upon UV light irradiation. *European Food Research and Technology*, 248(4), 1049–1057. <https://doi.org/10.1007/s00217-021-03945-1>
- Calderón-Oliver, M., and Ponce-Alquicira, E. (2022). The Role of Microencapsulation in Food Application. *Molecules*, 27(5), 1499. <https://doi.org/10.3390/molecules27051499>
- Campelo-Felix, P.H., Souza, H.J.B., Figueiredo, J deA, Fernandes, R.V de B., Botrel, D.A., Oliveira,

- C.R. de, Yoshida, M.I., and Borges, S.V. (2017). Prebiotic Carbohydrates: Effect on Reconstitution, Storage, Release, and Antioxidant Properties of Lime Essential Oil Microparticles. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 65 (2), 445-453. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.6b04643>
- Cimino, C., Maurel, O. M., Musumeci, T., Bonaccorso, A., Drago, F., Souto, E. M. B., Pignatello, R., and Carbone, C. (2021). Essential Oils: Pharmaceutical Applications and Encapsulation Strategies into Lipid-Based Delivery Systems. *Pharmaceutics*, 13(3), 327. <https://doi.org/10.3390/pharmaceutics13030327>
- Cioni, E., Migone, C., Ascrizzi, R., Muscatello, B., De Leo, M., Piras, A. M., Zambito, Y., Flamini, G., and Pistelli, L. (2022). Comparing Metabolomic and Essential Oil Fingerprints of *Citrus australasica* F. Muell (Finger Lime) Varieties and Their In Vitro Antioxidant Activity. *Antioxidants*, 11(10), 2047. <https://doi.org/10.3390/antiox11102047>
- Da Silva, L. C., Castelo, R. M., Cheng, H. N., Biswas, A., Furtado, R. F., and Alves, C. R. (2022). Methods of Microencapsulation of Vegetable Oil: Principles, Stability and Applications - A Minireview. *Food Technology and Biotechnology*, 60(3), 308-320. <https://doi.org/10.17113/ftb.60.03.22.7329>
- De Paiva Silva, G. T., Figueiredo, K. G., Alves, D. S., de Oliveira, D. F., Silva, G. H., de Souza e Silva, G. T., de Oliveira, M. S., Biondi, A., and Carvalho, G. A. (2023). Survival and Demography of the Tomato Borer (*Tuta absoluta*) Exposed to Citrus Essential Oils and Major Compounds †. *Agriculture*, 13(3), 538. <https://doi.org/10.3390/agriculture13030538>
- Dmitrieva, V. L., Dmitriev, L. B., Sushkova, L. O., and Trukhachev, V. I. (2024). Citrus essential oils as biologically active substances in the human health preventive care. *BIO Web of Conferences*, 82, 01015. <https://doi.org/10.1051/bioconf/20248201015>
- Etta-Francis, I., J. G. Akpa, and E. O. Ehirim. (2022). Comparative Study on the Analysis and Utilization of Citrus Peels Essential Oil and Pectin. *Iconic Research And Engineering Journals*, 5(7), 402-411.
- Harahap, N., Manalu, N., Siregar, N., and Machrina, Y. (2023). Effect of Massage Therapy with Lime (*Citrus Aurantifolia*) Essential Oil on the Recovery of Delayed Onset of Muscle Soreness in Athletes. *Medical Archives*, 77(1), 24. <https://doi.org/10.5455/medarh.2023.77.24-28>
- Hassanein, M. M. M., Abdel-Razek, A. G., Al-Amrousi, E. F., and Badr, A. N. (2023). Application of lime peel oil composite nanoemulsion to prevent toxigenic fungi in nuts. *Heliyon*, 9(8), e18620. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e18620>
- Hidayat, R. N., Widiyandari, H., Parasdila, H., Prilita, O., Astuti, Y., Mufti, N., and Ogi, T. (2024). Green synthesis of ZnO photocatalyst composited carbon quantum dots (CQDs) from lime (*Citrus aurantifolia*). *Catalysis Communications*, 106888. <https://doi.org/10.1016/j.catcom.2024.106888>
- Ibáñez, M. D., Sanchez-Ballester, N. M., and Blázquez, M. A. (2020). Encapsulated Limonene: A Pleasant Lemon-Like Aroma with Promising Application in the Agri-Food Industry. A Review. *Molecules*, 25(11), 2598. <https://doi.org/10.3390/molecules25112598>
- Julaeha, E., Eddy, D. R., Wahyudi, T., Ningsih, B. A., Nurzaman, M., Permadi, N., Herlina, T., and Anshori, J. Al. (2022a). Coacervate Microcapsules of *Citrus aurantifolia* Essential Oil (LOs): Optimization and Their Antibacterial Activity Study. *ChemistrySelect*, 7(15). <https://doi.org/10.1002/slct.202200187>
- Julaeha, E., Nurzaman, M., Eddy, D. R., Kurnia, D., Puspita, S., Rosandi, Y., Wahyudi, T., and Anshori, J. Al. (2021a). Preparation and Characterization of *Citrus aurantifolia* Lime Oils Microcapsules by Complex Coacervation Technique. *Revista de Chimie*, 71(12), 146-155. <https://doi.org/10.37358/RC.20.12.8395>
- Julaeha, E., Nurzaman, M., Wahyudi, T., Nurjanah, S., Permadi, N., and Anshori, J. Al. (2022b). The Development of the Antibacterial Microcapsules of Citrus Essential Oil for the Cosmetotextile Application: A Review. *Molecules*, 27(22), 8090. <https://doi.org/10.3390/molecules27228090>
- Julaeha, E., Puspita, S., Eddy, D. R., Wahyudi, T., Nurzaman, M., Nugraha, J., Herlina, T., and Al Anshori, J. (2021b). Microencapsulation of lime (*Citrus aurantifolia*) oil for antibacterial finishing

of cotton fabric. *RSC Advances*, 11(3), 1743–1749. <https://doi.org/10.1039/D0RA09314A>

Julianti Wijayadi, L., and Rusliati Rusli, T. (2020). Encapsulated Lime Peel Essential Oil (*Citrus hystrix*) Into Chitosan Nanoparticle: New Entity to Enhanced Effectivity Against *Propionibacterium* Acne in Vitro. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 852(1), 012016. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/852/1/012016>

Jungen, M., Dragičević, N., Rodriguez-Werner, M., Schmidt, S., Dinis, K., Tsamba, L., Jamin, E., Fiedler, T., Fischbach, N., Steingass, C. B., Camel, V., and Schweiggert, R. (2023). A pragmatic authenticity assessment of lemon (*Citrus limon* [L.] *Burm.f.*) juices by its profile of coumarins, psoralens, and polymethoxyflavones. *Food Control*, 146, 109529. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2022.109529>

Kalita, B., Roy, A., Annamalai, A., and PTV, L. (2021). A molecular perspective on the taxonomy and journey of Citrus domestication. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics*, 53, 125644. <https://doi.org/10.1016/j.ppees.2021.125644>

Lammari, N., Louaer, O., Meniai, A. H., and Elaissari, A. (2020). Encapsulation of Essential Oils via Nanoprecipitation Process: Overview, Progress, Challenges and Prospects. *Pharmaceutics*, 12(5), 431. <https://doi.org/10.3390/pharmaceutics12050431>

Langgut, D. (2017). The Citrus Route Revealed: From Southeast Asia into the Mediterranean. *HortScience*, 52(6), 814–822. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI11023-16>

Lee, G. J., Lee, S. Y., Kang, N.-G., and Jin, M. H. (2022). A multi-faceted comparison of phytochemicals in seven citrus peels and improvement of chemical composition and antioxidant activity by steaming. *LWT*, 160, 113297. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.113297>

Li, G., Rouseff, R., Cheng, Y., Zhou, Q., and Wu, H. (2021). Comprehensive identification and distribution pattern of 37 oxygenated heterocyclic compounds in commercially important citrus juices. *LWT*, 152, 112351. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112351>

Lin, L.-Y., Chuang, C.-H., Chen, H.-C., and Yang, K.-M. (2019). Lime (*Citrus aurantifolia* (Christm.)

Swingle) Essential Oils: Volatile Compounds, Antioxidant Capacity, and Hypolipidemic Effect. *Foods*, 8(9), 398. <https://doi.org/10.3390/foods8090398>

Liu, S., Li, S., and Ho, C.-T. (2022). Dietary bioactives and essential oils of lemon and lime fruits. *Food Science and Human Wellness*, 11(4), 753–764. <https://doi.org/10.1016/j.fshw.2022.03.001>

Lubinska-Szczygeł, M., Kuczyńska-Łażewska, A., Rutkowska, M., Polkowska, Ż., Katrich, E., and Gorinstein, S. (2023). Determination of the Major By-Products of *Citrus hystrix* Peel and Their Characteristics in the Context of Utilization in the Industry. *Molecules*, 28(6), 2596. <https://doi.org/10.3390/molecules28062596>

Mei, K.R. (2021). Physicochemical, Antioxidant And Antibacterial Properties Of Betel Leaf And Kaffir Lime Essential Oil Nanoemulsions. Project Report. Universiti Sains Malaysia.

Mohammadi, M., Rastegar, S., and Aghaei Dargiri, S. (2024). Enhancing Shelf-Life Quality of Mexican Lime (*Citrus aurantifolia*) Fruit Using Gelatin Edible Coating Incorporated with Pomegranate Seed Oil. *Applied Fruit Science*, 66(1), 121–132. <https://doi.org/10.1007/s10341-023-01014-3>

Mohammed, I. O., Alrasheid, A. A., and Hussein Ayoub, S. M. (2024). GC-MS Analysis and Study of the Antimicrobial Activity of *Citrus paradisi*, *Citrus aurantifolia*, and *Citrus sinensis* Peel Essential Oils as Hand Sanitizer. *International Journal of Microbiology*, 2024, 1–11. <https://doi.org/10.1155/2024/4957712>

Moodley, P.-P., Lokhat, D., Ahmad, A., Mishra, A., and Meikap, B. C. (2022). Kinetic studies on the potential use of citrus-based green and low-cost demulsifying agents for the oil-in-water emulsions' treatment. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 10(1), 107127. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2021.107127>

Mortazavi Moghadam, F. A., Khoshkalampour, A., Mortazavi Moghadam, F. A., PourvatanDoust, S., Naeijian, F., and Ghorbani, M. (2023). Preparation and physicochemical evaluation of casein/basil seed gum film integrated with guar gum/gelatin-based nanogel containing lemon peel essential oil for active food packaging application. *International*

Journal of Biological Macromolecules, 224, 786–796.

<https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2022.10.166>

Nguyen, T. T. T., Le, T. V. A., Dang, N. N., Nguyen, D. C., Nguyen, P. T. N., Tran, T. T., Nguyen, Q. V., Bach, L. G., and Thuy Nguyen Pham, D. (2021). Microencapsulation of Essential Oils by Spray-Drying and Influencing Factors. *Journal of Food Quality*, 2021, 1–15. <https://doi.org/10.1155/2021/5525879>

Oluwatobi, F., Afolabi, O., Okiki, P., Adeniyi, F., and Akpor, O. (2023). Bioactive properties of the extracts of peels, pomace, seeds, and essential oils of *Citrus limon* and *Citrus aurantifolia*. *Journal of Applied Biology and Biotechnology*. <https://doi.org/10.7324/JABB.2023.143783>

Owolabi, I. O., Songsamoe, S., Khunjan, K., and Matan, N. (2021). Effect of tapioca starch coated-rubberwood box incorporated with essential oils on the postharvest ripening and quality control of mangosteen during transportation. *Food Control*, 126, 108007. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCONT.2021.108007>

Oyinloye, E. O., Murtala, A. A., Oladoja, F. A., Aderinola, A. A., Okunye, L. O., Saka, S. A., Abolarinwa, J. A., Kasumu, O. E., and Osipitan, L. E. (2024). *Citrus aurantifolia* (Chrism.) Swingle peel extract attenuate nephrotoxicity induced by doxorubicin. *Pharmacological Research - Modern Chinese Medicine*, 11, 100412. <https://doi.org/10.1016/j.prmcm.2024.100412>

Pavlić, B., Šojić, B., Teslić, N., Putnik, P., and Kovačević, D. B. (2021). Extraction of bioactive compounds and essential oils from herbs using green technologies. In *Aromatic herbs in food* (pp. 233-262). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-822716-9.00007-X>

Ponce-Rodríguez, H., Verdú-Andrés, J., Campíns-Falcó, P., and Herráez-Hernández, R. (2021). Capillary Liquid Chromatography for the Determination of Terpenes in Botanical Dietary Supplements. *Pharmaceuticals*, 14(6), 580. <https://doi.org/10.3390/ph14060580>

Powder-George, Y. L. (2024). Terpenoids. In *Pharmacognosy* (pp. 253–294). Elsevier.

<https://doi.org/10.1016/B978-0-443-18657-8.00006-2>

Pratiwi, L., Eddy, D. R., Al Anshori, J., Harja, A., Wahyudi, T., Mulyawan, A. S., and Juliaha, E. (2022). Microencapsulation of *Citrus aurantifolia* essential oil with the optimized CaCl₂ crosslinker and its antibacterial study for cosmetic textiles. *RSC Advances*, 12(47), 30682–30690. <https://doi.org/10.1039/D2RA04053K>

Prommaban, A., and Chaiana, W. (2022). Microemulsion of essential oils from citrus peels and leaves with anti-aging, whitening, and irritation-reducing capacity. *Journal of Drug Delivery Science and Technology*, 69, 103188. <https://doi.org/10.1016/j.jddst.2022.103188>

Rafique, M., Tahir, M. B., Irshad, M., Nabi, G., Gillani, S. S. A., Iqbal, T., and Mubeen, M. (2020). Novel *Citrus aurantifolia* leaves-based biosynthesis of CuO nanoparticles for environmental and wastewater purification as an efficient photocatalyst and antibacterial agent. *Optik*, 219, 165138. <https://doi.org/10.1016/j.ijleo.2020.165138>

Razola-Díaz, M. del C., Guerra-Hernández, E. J., García-Villanova, B., and Verardo, V. (2021). Recent developments in extraction and encapsulation techniques of orange essential oil. *Food Chemistry*, 354, 129575. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.129575>

Rojas, J., Buitrago, A. (2019). Chapter 1 - Antioxidant Activity of Phenolic Compounds Biosynthesized by Plants and Its Relationship With Prevention of Neurodegenerative Diseases, Campos, M.R.S., In *Bioactive Compounds*, Woodhead Publishing, Pages 3-31, ISBN 9780128147740, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814774-0.00001-3>

Sabry, B. A., Badr, A. N., Ahmed, K. A., Desoukey, M. A., and Mohammed, D. M. (2022). Utilizing lemon peel extract and its nano-emulsion to control aflatoxin toxicity in rats. *Food Bioscience*, 50, 101998. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2022.101998>

Sadeghi, F., Ahmadifar, E., Shahriari Moghadam, M., Ghiyasi, M., Dawood, M. A. O., and Yilmaz, S. (2021). Lemon, (scp) *Citrus aurantifolia* (scp), peel and *Bacillus licheniformis* protected common carp, (scp) *Cyprinus carpio* (scp), from (scp)

Aeromonas hydrophila (scp) infection by improving the humoral and skin mucosal immunity, and antioxidative responses. *Journal of the World Aquaculture Society*, 52(1), 124–137. <https://doi.org/10.1111/jwas.12750>

Salem, A., Khandaker, M. M., Mahmud, K., Alsufyani, S. J., Majrashi, A. A., Rashid, Z. M., Alenazi, M. M., Osman, N., and Badaluddin, N. A. (2024). Enhancing photosynthesis and root development for better fruit quality, aroma, and lessening of radioactive materials in key lime (*Citrus aurantifolia*) using *Trichoderma harzianum* and *Bacillus thuringiensis*. *Plant Physiology and Biochemistry*, 206, 108295. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2023.108295>

Sandra, P., Eddy, D.R., Wahyudi, T., and Julaeaha, E. (2020). Microencapsulation of Lime Peel Essential Oils (*Citrus aurantifolia*) with Complex Coacervation Methods using Gelatin/Sodium Alginate Coating. [Http://Journal.Uinjkt.Ac.Id/Index.Php/Valensi](http://Journal.Uinjkt.Ac.Id/Index.Php/Valensi), 6(1), 104–110

Shaaban, H. A., and Farouk, A. (2022). Encapsulation of Essential Oils and Their Use in

Food Applications. Essential Oils—*Advances in Extractions and Biological Applications*, 1-15. <https://doi.org/10.5772/intechopen.103147>

Sharma, P., and Roy, B. (2021). Impact of Encapsulation on Plantlet Regeneration from in vitro Grown Shoot tips of *Citrus aurantifolia* (Lime). *Plant Tissue Culture and Biotechnology*, 31(1), 43–49. <https://doi.org/10.3329/ptcb.v31i1.54110>

Visakh, N. U., Pathrose, B., Chellappan, M., Ranjith, M. T., Sindhu, P. V., and Mathew, D. (2022). Chemical characterisation, insecticidal and antioxidant activities of essential oils from four *Citrus spp.* Fruit peel waste. *Food Bioscience*, 50, 102163. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2022.102163>

Yousefi, M., M. Nazoori, F., Mirdehghan, S. H., and Shamshiri, M. H. (2024). Potential Effects of Aloe vera Gel on Maintaining the Quantitative and Qualitative Characteristics of Lime Fruits (*Citrus aurantifolia*) in Cold Storage. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 0–0

Derleme Makale/Review Paper

Beta gluklan: Kaynaklarına göre sağlık faydaları ve besinlerdeki kullanımı

Beta glucan: Health benefits according to sources and use in foods

Saadet Özen^{1*}, Hatice Neval Özbek², Fahrettin Göğüş²

¹Kilis 7 Aralık Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Beslenme ve Diyetetik Bölümü, KİLİS, TÜRKİYE

²Gaziantep Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, GAZİANTEP, TÜRKİYE

(Yazar sıralamasına göre)

ORCID ID: 0000-0003-4555-2127 Doktor Öğretim Üyesi

ORCID ID: 0000-0001-6543-4086 Araştırma Görevlisi Doçent Doktor

ORCID ID: 0000-0002-8610-5297 Profesör Doktor

*Sorumlu yazar/Corresponding author: saadetozen06@gmail.com

Geliş Tarihi : 13.12.2024

Kabul Tarihi : 07.04.2025

Öz

Amaç: Beta gluklan, yararlı sağlık etkileri olan tahıllar, maya, mantar ve alglerden elde edilebilen çok yönlü bir nişasta olmayan polisakkarittir. Çeşitli glikozidik bağlarla birbirine bağlanmış doğrusal β-D-glikoz zincirlerinden oluşan yapısı beta gluklanın işlevselliğinde önemli bir rol oynar. Beta gluklanların çözünürlük, viskozite ve fermente edilebilirlik gibi benzersiz özellikleri, yapısal çeşitliliklerinden kaynaklanır. Beta gluklan kaynakları ise, tahıllarda; arpa, yulaf, çavdar, buğday ve pirinçte, mayalarda; *Saccharomyces cerevisiae* ve *Candida Utilis*'te, mantarlarda; *shiitake*, *maitake*, *reishi*, *istiridye*, *chaga*, alglerde ise; *Euglena gracilis* ve *E. pisciformis* gibi suşlarda bulunur. Beta gluklanların biyoyararlanımı ve sağlık etkileri, kaynağa ve yapısal bileşime bağlı olarak değişmekte olup, gıda, ilaç ve kozmetikte geniş uygulamalara yol açmaktadır. Birçok araştırmada, kardiyovasküler sağlık, diyabet yönetimi, bağışıklık modülasyonu, ağırlık kontrolü başta olmak üzere sağlık üzerinde daha birçok olumlu etkileri vurgulamıştır. Tahıl beta gluklanları, kolesterol ve kan şekeri seviyelerini düzenlemede özellikle etkilidir; maya ve mantar beta gluklanları ise etkileyici immünomodülatör ve kanser karşıtı özellikler göstermektedir. Ayrıca, beta gluklanların gıda endüstrisinde kullanımı, bazı yeni uygulama alanları ve fonksiyonel ürün geliştirme açısından önemli bir potansiyeli vardır. Düşük kalorili, yüksek lifli ürünlerin geliştirilmesinde işlevsel bir bileşen olarak rolleri, tüketici sağlık bilinci arttıkça ivme kazanmaktadır.

Sonuç: Bu derleme çalışmasında, beta gluklanların geniş yelpazedeki faydalı etkileri nedeniyle insan sağlığını iyileştirme potansiyeli değerlendirilmiş, gıdalarda kullanılabileceği alanlar irdelenmiştir. Beta gluklanların sağlık yararlarını destekleyen önemli kanıtlara rağmen, çalışmalardaki tutarsızlıklar, genellikle kaynak ve moleküler ağırlık gibi gözden kaçan değişkenlerden kaynaklanır. Bu sorunları ele almak ve gelecekteki araştırmalara katkıda bulunmak için, ekstrakte edilen beta gluklan yapılarının karakterizasyonuna öncelik verilmelidir.

Anahtar Kelimeler: Beta gluklan, beta gluklanların sağlık yararları, gıda katkı maddesi, besin zenginleştirmesi, fonksiyonel besinler

Abstract

Objective: Beta-glucan is a versatile non-starch polysaccharide derived from cereals, yeast, fungi, and algae, with beneficial health effects. Its structure, consisting of linear β-D-glucose chains linked together by various glycosidic bonds, plays an important role in the functionality of beta glucan. The unique properties of beta-glucans, such as solubility, viscosity, and fermentability, are due to their structural diversity. Sources of beta glucan are found in grains such as barley, oats, rye, wheat and rice, in yeasts such as *Saccharomyces cerevisiae* and *Candida Utilis*, in mushrooms such as *shiitake*, *maitake*, *reishi*, *oysters*, *chaga*, and in algae such as

Euglena gracilis and *E. pisciformis*. The bioavailability and health effects of beta-glucans vary depending on the source and structural-composition, leading to wide applications in food, pharmaceuticals, cosmetics. Many studies have highlighted its positive effects on health, including cardiovascular health, diabetes management, immune modulation, weight control, and more. Cereal-beta-glucans are particularly effective in regulating cholesterol and blood sugar levels; yeast and fungal-beta-glucans show impressive immunomodulatory and anti-cancer properties. In addition, the use of beta glucans in the food industry has significant potential in terms of some new application areas and functional product development. Their role as functional ingredient in the development of low-calorie, high-fiber products is gaining momentum as consumer health awareness increases.

Conclusion: In this review, the potential of beta glucans to improve human health due to their wide range of beneficial effects was evaluated and the areas where they can be used in foods were examined. Despite significant evidence supporting the health benefits of beta glucans, inconsistencies across studies are often due to overlooked variables such as source and molecular weight. To address these issues, future research should prioritize characterization of beta-glucan structures and extraction methods.

Keywords: Beta glucan, health benefits of beta glucans, food additive, food fortification, functional foods.

1. Giriş

Beta glukun, β -D-glukozun doğrusal zincirlerinden oluşan yapısal bileşimiyle ayırt edilen önemli bir nişasta olmayan polisakkarittir. Bu zincirler, özellikle β -(1→3), (1→4) ve/veya (1→6) olmak üzere çeşitli tipte glikozidik bağlarla birbirine bağlıdır ve hem dallanmış hem de dallanmamış formda bulunabilirler. Beta glukun doğada birçok kaynaktan, arpa ve yulaf gibi tahıllar, bazı bakteriler, bazı mantarlar, likenler ve alglerde bulunabilir. Çözünabilir beta glukunların biyoyararlanımı %0,5 ile %4,9 arasında değişiklik gösterir (Bobade vd., 2021). Öğütme, çimlendirme, pişirme, fırınlama, ekstrüzyon, kavurma ve dondurma gibi çok sayıda gıda işleme tekniği, beta glukun içeriği, çözünürlük ve viskozite, moleküler ağırlık dahil olmak üzere birçok özelliğini önemli ölçüde etkileyebilir. Genel olarak, bu yöntemler çözünür beta glukunların ekstraksiyon verimini veya saflığını artırmak içindir ama moleküler ağırlık dağılımlarını azaltabilir ve bu da fizyolojik etkilerini etkileyebilir (Bobade vd., 2021; Tosh vd., 2010).

Beta glukunun sağlık üzerindeki yararlı etkileri incelendiğinde; kan serumunda total kolesterolü ve LDL kolesterolü azaltması (Yu vd., 2022), postprandiyal kan glukozu yükselmesini inhibe etmesi (Aoe vd., 2021), kronik gastritte mukozal hasarı hafifletmesi (Gudej vd., 2021), çeşitli duysusal ve fiziksel duysu durumları üzerindeki pozitif etkileri (Wolever vd., 2021), prebiyotik etkileri nedeniyle bağışıklık fonksiyonunu artırması (Mio vd., 2021), immünomodülatör, anti-enflamatuvar, anti-tümör ve anti-metastatik etkileri olması, grip ve besin alerjilerini semptomlarını hafifletmesi, stresi azaltması, bağırsak mukozasını koruması, yağ emilimini azaltması, kemik sağlığını ve mide ülserlerini iyileştirmesi (Suzuki vd., 2021) gibi birçok sağlık yararından söz edilebilir. Ayrıca ABD Sağlık Bakanlığına bağlı Gıda ve İlaç İdaresi (FDA) tarafından onaylanan sağlık iddiaları arasında “Koroner kalp hastalığı riskini azaltmak için gerekli olan çözünür lif kaynağının günlük diyet alımını ve ürünün bir porsiyonunun belirtilen günlük diyet alım seviyesine yaptığı katkıyı belirtir.” ifadesi yer almaktadır. Bu iddiada beta glukuna ilişkin olarak, “Tam yulaf veya arpadan veya bütün yulaf ve arpa kombinasyonundan günde 3 g veya daha fazla beta glukun çözünür lif.” ifadesi beta glukun kaynağını vurgulamaktadır. (Food and Drug Administration [FDA], 2021).

Beta glukunun insan ve hayvan sağlığı üzerindeki zararlı etkilerine bakıldığında ise, bugüne kadar yapılan çalışmalarda beta glukun tüketimiyle ilişkili herhangi bir toksisite bildirilmemiştir. Beta glukunun güvenliğini ele alan çeşitli araştırmalar, tüketiminin güvenli olduğunu ve olumsuz sağlık etkilerinden uzak olduğunu tutarlı bir şekilde göstermiştir. Özellikle, hayvan çalışmalarında, yüksek dozlarda bile hiçbir toksisite sonucu gözlemlenmemiştir (Bobade vd., 2021). Örneğin yapılan bir hayvan çalışmada, vücut ağırlığı kilogramı başına 2000 mg gibi oldukça yüksek bir konsantrasyonda bile yapılan denemede hiçbir denekte toksisite gözlemlenmemiştir (Delaney vd., 2004).

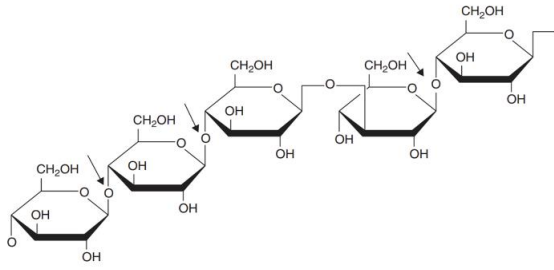
Beta glukun hakkında Profesör Somsak Varakamin “Tıbbi bir krizde, sağlığını ve bağışıklığını korumak için hastalıklarla mücadele eden sadece tek bir maddeyle sınırlı olsaydınız, istisnasız, seçmeniz gereken madde “beta glukun” olmalıdır.” demiştir. Sağlık alanında potansiyel terapötik etkileri nedeniyle beta glukun, bir çok araştırmacının ilgisini son yıllarda daha çok çekmektedir (Muthuramalingam vd., 2022).

2. Beta Glukun Kaynakları

Arpa, yulaf ve buğday gibi tahıllar beta glukunun en uzun süredir bilinen kaynaklarıdır. Son zamanlarda araştırmacıların beta glukuna olan ilgisiyle birlikte, mikroorganizmaların (maya, mantar, bakteri), mantarların, likenlerin ve deniz yosunları/alglerin beta glukun kaynağı olduğu saptandı (Bobade vd., 2021). Farklı kaynaklardan elde edilen beta glukunların her biri farklı kimyasal yapılara ve sağlık yararlarına sahiptir:

2.1. Tahıl Beta Glukunları

Tahıl beta glukunları, esas olarak (1→3), (1→4) β D glukandan oluşur (Şekil 1). Tahıl beta glukun kaynakları arpa, yulaf, çavdar, buğday ve pirinçtir (Du et al., 2019; Maheshwari et al., 2017; Murphy et al., 2020). Beta glukun içeriği arpada %2,5-%11,3, yulafta %2,2-7,8, çavdarda %1,2-2,0 ve buğdayda %0,4-1,4 arasında değişmektedir. Arpada, beta glukunlar nişastalı endospermin her yerinde bulunurken, buğdayda en yüksek konsantrasyonda subaleurone tabakasında bulunur ve buğday endosperminin geri kalanında çok az miktarda bulunur (Khaleghdoust vd., 2023).



Şekil 1. Tahıl beta glukanları (β (1 $\rightarrow$ 3), (1 $\rightarrow$ 4) β D glukanlar) (Abuajah, 2017)

Tahıl beta glukanlarının kalp sağlığı üzerinde oldukça yararlı etkileri bulunmaktadır. LDL kolesterolü düşürme ve HDL seviyelerini destekleme özelliklerinden dolayı, arter duvarlarında plak oluşumunu engelleyici özellik gösterir. Böylece ateroskleroz oluşumunu engelleyebilir. Ayrıca kan basıncını düzenleyerek hipertansiyon riskini azaltır (Ege ve Köseoğlu Aydenk, 2021; Joyce vd., 2019; Sima vd., 2018).

Bu etkiler literatürde çeşitli mekanizmalar ile açıklanmaktadır. Beta glukanlar çözünür ve viskoz diyet lifleridir. Bağırsakların yüzeyinde mukozal bir jel yapı oluşturmaktadır. Bu jel yapı, safra tuzlarının emilimini engelleyerek karaciğerin yeniden safra tuzu sentezlemesini sağlamaktadır. Miktarı artan safra asitleri ise dolaşımda bulunan kolesterolün kullanılmasını teşvik ederek kanda bulunan kolesterol seviyelerinin azalmasını sağlar. Ayrıca bu jel yapı ve beta glukanın viskoziteyi artırması sayesinde kolesterolün bağırsaktan emilimi azalır (Ege ve Köseoğlu Aydenk, 2021; Joyce vd., 2019; Sima vd., 2018).

Tahıl beta glukanlarının sağlık üzerindeki en önemli etkilerinden biri de diyabet üzerindeki pozitif etkileridir. Kan glukozu regülasyonu ve tokluk hissi oluşturma etkileri, glukoz emilimini yavaşlatma etkileri, özellikle tip 2 diyabetli bireylerde insülin duyarlılığını artırıcı etkileri vardır (Biörklund vd., 2005; Canfora vd., 2015; El Khoury vd., 2012; Mäkelä vd., 2020).

Beta glukanın insülin duyarlılığını artırma ve kan glukozunu azaltma mekanizmaları incelendiğinde, viskozite özelliği ön plana çıkmaktadır. Beta glukanın tüketilmesi ile, sindirim sisteminde bulunan maddeler daha viskoz bir hal almaktadır, bu sayede, sindirim sistemi daha yavaş boşalmaktadır. Sindirim ve emilim yavaşlamakta, enzim difüzyonu azalmakta ve enterositlere glukoz geçişi azalmaktadır (El Khoury vd., 2012). Beta glukanın viskozitesinin artması molekül ağırlığı ile

ilişkilidir (Mäkelä vd., 2020). Örneğin beta glukanın serum lipoproteinleri ve yemek sonrası glukoz ve insülin konsantrasyonlarını üzerine etkisi araştıran bir çalışmada, denekler 5 gruba ayrılmıştır. Kontrol grubu, 5 g ve 10 g molekül ağırlığı 70000 Da olan yulaf beta glukanı verilen ve 5 g ve 10 g molekül ağırlığı 40000 Da olan arpa beta glukanı verilen gruplara içecekler verilmiştir. En iyi etki, 5 g yüksek molekül ağırlıklı beta glukan verilen grupta görülürken, diğer gruplarda anlamlı etki saptanmamıştır (Biörklund vd., 2005).

Başka bir mekanizma ise, beta glukanın fermente olabilme özelliği ile açıklanmaktadır. Bağırsakta fermente olan beta glukandan kısa zincirli yağ asitleri oluşur. Bu yağ asitleri reseptörleri uyarak kasların insülin duyarlılığının artmasını sağlamaktadır (Canfora vd., 2015; El Khoury vd., 2012). Çözünen, fermente edilebilir, yüksek molekül ağırlıklı ve viskozitesi yüksek beta glukanlar, HbA1c, tokluk kan şekeri, insülin düzeylerinde azalma sağlamakta, kardiyovasküler hastalık riskini azaltmakta, doyumluk hissinin artırarak vücut ağırlığı kontrolünde yarar sağlamaktadır. Diyabet yönetiminde de önemli bir potansiyeli vardır. Yeterli miktarda diyet lifi tüketiminin yanı sıra, FDA'nın da önerdiği gibi günlük 3 g beta glukan tüketimi sağlık için yarar sağlamaktadır (Karaçil & Akbulut, 2013).

Tahıl beta glukanlarının sindirim sistemi üzerinde de oldukça yararlı etkileri bulunmaktadır. Bağırsak sağlığı, günümüzde gıda alanındaki en çok odaklanılan araştırma alanlarından biridir. Yapılan klinik araştırmalarda, tahıl beta glukanlarının bağırsak mikrobiyotası üzerinde olumlu bir etki sağladığı, bağırsak geçirgenliğini azalttığı, bağırsak bağışıklık sistemini aktive edici özellikler gösterdiği, kısa zincirli yağ asitleri üretimini artırdığı ve inflamatuvar yanıtı azaltıcı etkiler gösterdiği saptanmıştır (Shoukat ve Sorrentino, 2021). Arpanın yüksek moleküler ağırlıklı beta glukan içeriği prebiyotik görevi görür, mikrobiyom modülasyonu ve kısa zincirli yağ asidi üretimi yoluyla bağırsak sağlığını destekler, potansiyel olarak kolon kanserini önler ve bağışıklığı artırır (Ali vd., 2024).

Gastrointestinal sistemdeki kommensal bakteriler, doku oluşumundan sindirilemeyen karbonhidratların parçalanmasına, bağışıklık sistemi gelişimine, vitamin sentezine, patojenlerin kolonizasyonunu engellemeye ve bağırsağın bariyer fonksiyonuna kadar çok sayıda işlevi yerine

getirir. Bağırsak mikrobiyotasının bileşiminde ve çeşitliliğinde herhangi bir değişiklik, çeşitli metabolik bozukluklara yol açan disbiyozu neden olabilir. Bununla birlikte, özellikle tahıl beta glukanolari disbiyozu geciktirmeye yardımcı olabilecek hem *Lactobacilli* hem de *Bifidobacteria spp.*'nin büyümesini desteklemektedir. Böylelikle bağırsak mikrobiyotası modülasyonu sağlamaktadır (Shoukat ve Sorrentino, 2021).

Hayvanlarda yapılan bir inceleme çalışmasında, kısa zincirli yağ asitlerinin, bağırsak pH'nın ve lümenal oksijen seviyelerinin azaltılmasında rol oynadığı, su ve iyon emilimini iyileştirdiği, sıkı bağlantı proteinlerini ve villüs yüksekliğini güçlendirdiği, mukoza hücrelerine enerji sağlandığı, mukus kalınlaşmasını sağladığı, doğuştan ve adaptif bağışıklığı artırdığı ifade edilmiştir (Adebawale vd., 2019). Başka bir hayvanlar üzerinde yapılan araştırmada tahıl beta glukanolarının spesifik kimyasal yapıları nedeniyle, diğer diyet liflerinden daha hızlı fermente edilebildiği görülmüştür. Fermentasyon sonucunda ana ürünler asetat, propiyonat ve bütirat (Drzikova vd., 2005). İnsanlarda yapılan diyet arpa beta glukanolari eklenen bir araştırmada ise dışkı örneklerinde kısa zincirli yağ asitlerinde artış görülmüştür (Thandapilly vd., 2018).

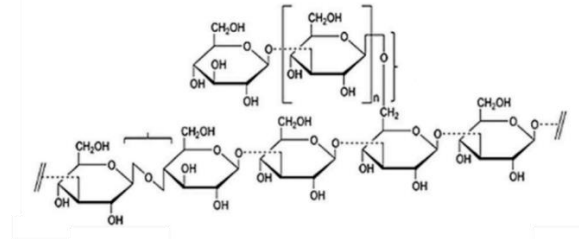
Yüksek oranda yağ açısından zengin ve lif açısından düşük, yüksek oranda işlenmiş besinler ile karakterize “Batılı” tarzı beslenme modeli, nöroinflamasyon ve bilişsel bozukluk da dahil olmak üzere birçok metabolik işlev bozukluğuyla ilişkilidir. Beta glukanolari, alt gastrointestinal sistemde fermente edilerek, potansiyel olarak mikrobiyal ekosistemi etkiler ve dolayısıyla bağırsak-beyin eksenini yoluyla biliş ve beyin fonksiyonlarını iyileştirebilir. Yüksek yağ ve yetersiz lif ile beslenen obez fareler ile yapılan bir araştırmada, 15 hafta boyunca uzun süreli takviyenin ardından beta glukanolari takviyesi, nesne konumu, yeni nesne tanıma ve yuva oluşturma testleri ile davranışsal olarak değerlendirilen batılı beslenme tarzının neden olduğu bilişsel bozukluğu önlediği görülmüştür (Shi vd., 2020; Zhang vd., 2019).

Sağlıklı yetişkinler üzerinde yapılan başka bir araştırmada ise günde 3 kez 1 g beta glukanolari verilen bireylerde, plasebo grubuna kıyasla, 2. haftada baş ağrısı şiddetinde azalma, anksiyete ve üşüme hissinde azalma, eklem/uzuv ağrısında azalma, konsantrasyon güçlüğünde azalma, 4. haftada yorgunluk ve sıcak basması hissinde azalma

saptanmıştır. Bu veriler, beta glukanolari sağlıklı yetişkinlerde çeşitli gastrointestinal sistem dışı semptomları azaltılabileceğine dair ön hipotez oluşturan kanıtlar sağlar (Wolever vd., 2021).

2.2. Maya Beta Glukanolari

Maya beta glukanolari (1→3), (1→6) β D glukanolari oluşur (Şekil 2). Maya beta glukanolari bira mayası veya fırıncı mayası olarak bilinen, ekmek, şarap ve bira yapımında çoğunlukla kullanılan *Saccharomyces cerevisiae* hücre duvarlarında bulunur. *S. cerevisiae*, hücrenin iç bölmelerini koruyan polisakkaritler ve proteinlerden oluşan kalın bir hücre duvarına sahiptir (Thomas vd., 2022). *S. cerevisiae*'nin hücre duvarı, hücre kuru kütlelerinin %20-30'una kadarını oluşturabilir (Kim ve Yun, 2006). Beta glukanolari (1→3), beta glukanolari (1→6) sırasıyla toplam hücre duvarı polisakkaritinin yaklaşık %50-55'ini ve %10-15'ini oluşturur (Zhou vd., 2019). *Candida Utilis*'ten elde edilen beta glukanolari da yeni bir maya beta glukanolari kaynağı olarak tanıtılmıştır (Suzuki vd., 2021).



Şekil 2. Maya beta glukanolari (β (1→3), (1→6) β D glukanolari) (Ansari ve Darvishi, 2024)

Maya beta glukanolarının, hem doğuştan hem de kazanılmış bağışıklık sistemleri üzerindeki düzenleyici etkileri, anti-enflamasyon, anti-tümör ve immün modülatör etkileridir. Beta glukanolari, fagositozun düzenlenmesi, sitokin üretimi ve salgılanması, antikor oluşumu ve hücre içi sinyalleme dahil olmak üzere çeşitli biyolojik aktivitelerin köklü aktivatörleri ve modülatörleridir. Dektin-1, tip 3 kompleman reseptörlerinin (CR3) ve toll benzeri reseptörler (TLR'ler) gibi reseptörlerle etkileşim yoluyla, beta glukanolari doğrudan makrofajları, nötrofilleri ve doğal öldürücü hücreleri (NK) aktive edebilir ve ayrıca T hücrelerini ve B hücrelerini aktive ederek TNF-α, interleukinler (IL'ler) ve antikorların üretimini ve salgılanmasını artırabilir (Zhong vd., 2021).

Maya beta glukanoları kış aylarında sıklıkla rastlanan üst solunum hastalıklarında etkilidir. Yapılan bir araştırmada günlük 900 mg maya glukani verilen sağlıklı bireylerde üst solunum yolu enfeksiyonun şiddetinde pozitif etkiler görülmüştür. Ayrıca kan basıncı ve ruh hali üzerinde pozitif etkiler tespit edilmiştir. (Dharsono vd., 2019).

Li ve diğerlerinin (2024) yaptığı bir araştırmada, *S. cerevisiae*'den elde edilen suda çözünen sülfatlanmış beta glukani türevi (SCGS), belirgin anti-tümör ve anti-metastatik etkiler göstermiştir. SCGS, B16F10 melanom hücrelerinin in vitro canlılığını önemli ölçüde engellemiş ve RAW264.7 bağışıklık hücrelerine karşı düşük sitotoksikite sergilemiştir. Buna ek olarak, B16F10 hücrelerinin in vitro göçünü baskılayarak anti-metastatik özellik göstermiştir. SCGS tedavisi, IFN- α , TNF- α ve IL-1 β düzeylerinde artış sağlayarak immünomodülatör etkiler ortaya koymaktadır. Ayrıca SCGS, parçalayıcı enzimleri düzenleyerek ekstraselüler matriksi korumaktadır. Özellikle, tümör invazyonu ve metastazında kritik rol oynayan matriks metalloproteinazlardan MMP-2 ve MMP-9'u inhibe etmekte ve ekstraselüler matriks öğelerinden heparan sülfat proteoglikani korumaktadır. Tümör hücrelerinin göçünün bloke edilmesi ve immünomodülatör etkiler, tümör karşıtı aktivitenin artmasına katkı sağlamaktadır. SCGS, yeni bir tümör karşıtı ve metastaz önleyici ilaç olarak umut vadetmektedir (Li vd., 2024). Mayadan elde edilen beta glukani kanser tedavisindeki bazı yeni yaklaşımları ise; tümör mikroçevresi modülasyonu, eğitilmiş bağışıklık, ilaç dağıtımı ve kombinasyon tedavileridir. Tümör mikroçevresi modülasyonunu, bağışıklık hücresi fenotiplerini değiştirerek, örneğin, M2 makrofajlarını M1'e dönüştürerek, tümör mikra çevresinin immünosüpresiften immünoestimülatöre dönüştürebilmesidir. Eğitilmiş bağışıklık ise, doğuştan gelen bağışıklık hücrelerinde "eğitilmiş bağışıklık" tepkisini tetikleyerek, sonraki zorluklara karşı gelişmiş tepkileri sağlamasıdır. İlaç dağıtımı, partikül beta glukani içi boş yapısının, diğer kanser tedavileri için bir dağıtım aracı olarak siRNA gibi kullanılabilme potansiyeli sayesinde oluşmaktadır. Kombinasyon tedavisi ise beta glukani, immünoterapi, kemoterapi gibi diğer kanser tedavileriyle birlikte kullanılmasıdır. Beta glukani preparatlarının standardize edilmesi ve kanser önleme ve tedavisindeki potansiyelinin

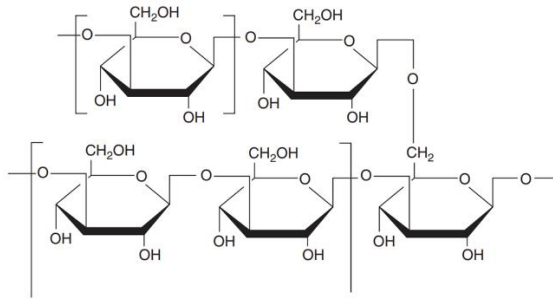
daha fazla araştırılması gerekmektedir (Geller vd., 2019).

Maya beta glukanoları ayrıca bağırsak mikrobiyotasını düzenlemede, gıda alerjisini azaltmada, yara iyileşmesinde, kan glikozunu, trigliseridi ve kolesterolü düşürmede önemli roller oynar. (Zhong vd., 2021). Maya beta glukanolarının alımının ardından sağlıklı bireylerde artan tükürük IgA, obez bireylerde artan IL-10 düzeyleri, alerjik hastalarda immünolojik parametrelerde faydalı değişiklikler ve kanser hastalarında aktive olmuş monositler bildirilmiştir. Hayvan modellerinde, bakteriyel enfeksiyonların sıklığını ve stres kaynaklı sitokin düzeylerini azaltmış ve sitotoksik ajanların anti-neoplastik etkilerini artırmıştır. İlaç zehirlenmesi ve iskemi/reperfüzyon hasarına karşı koruyucu etkiler de bildirilmiştir (Samuelsen vd., 2014).

Ayrıca başka bir çalışma düşük melatonin düzeyine bağlı olarak gelişen kötü uyku kalitesi olan otizm spektrum bozukluğunda, beta glukani müdahalesinde bulunan 13 çocuk üzerinde yapılan araştırmada melatonin düzeylerinin arttığı, uyku düzeni ve kalitesinde iyileşme görüldüğü bildirilmiştir (Raghavan vd., 2022).

2.3. Mantar Beta Glukanoları

Mantar beta glukanoları mantarların hücre duvarlarında bulunan uzun veya kısa zincirli glikoz polimerleridir. Glukani, mantarlarda su (%90), proteinler ve aminoasitler (%10-40), yağlar (%2-8), vitaminler, antioksidanlar, tuzlar ve metallerin yanı sıra bulunan başlıca polisakkaritlerdir. Polisakkaritler dahil toplam karbonhidratlar mantarların kuru maddesinin yaklaşık %50'sini oluşturur. Beta glukani β (1 $\rightarrow$ 3) ve β (1 $\rightarrow$ 6) bağları vardır ve doğrusal ve dallanmış yapılar oluştururlar (Şekil 3). Bu yapı, yalnızca β (1 $\rightarrow$ 3) ve β (1 $\rightarrow$ 4) bağları olan ve dallanma olmayan tahıllardaki beta glukani ile tezat oluşturur. Birçok mantar türünde beta glukani bulunur, özellikle *Lentinan* olarak bilinen *Shiitake* (*Lentinula Edodes*), *Maitake* (*Grifola Frondosa*), *Reishi* (*Ganoderma Lucidum*), *İstiridye* (*Pleurotus türleri*, *Pleurotus Ostreatus*), *Trametes Versicolor*), *Chaga* (*Inonotus Obliquus*) mantar türleri örnek olarak verilebilir. Kuru ağırlıklarında, beta glukani içeriği % 20-58 arasında analiz edilmiştir (Cerletti vd., 2021).



Şekil 3. Mantar beta glukanları (β (1 $\rightarrow$ 3), (1 $\rightarrow$ 6) β D glukanlar) (Abuajah, 2017)

Fungal beta glukanların nörodejeneratif hastalıkları önlemedeki rolü, bağırsak-beyin eksenindeki etkileri anti-inflamatuar ve antioksidan özellikleriyle bağlantılıdır. Bağırsak-beyin eksenini, bağırsak mikrobiyomu ile beyin arasındaki çift yönlü iletişimi tanımlar. Mantar beta glukanının nörodejeneratif hastalıkları önleme etkileri, bağırsak mikrobiyotası modülasyonu, anti-inflamatuar ve antioksidan etkiler, nöroprotektif etkiler olarak gruplandırılabilir (Barcan vd., 2024). Prebiyotik olan mantar beta glukanları, bağırsak mikrobiyotası modülasyonu sağlayarak, bağırsak mikrobiyotasının bileşimini ve işlevini değiştirebilir ve potansiyel olarak bağırsak iltihabını ve oksidatif stresi azaltabilir. Bu pozitif bağırsak ortamı daha sonra bağırsak-beyin eksenini aracılığıyla beyin üzerinde pozitif etkiler sağlayabilir. Çalışmalar, faydalı bakteri türlerini artırarak ve zararlı bakteri türlerini azaltarak etki gösterdiğini ortaya koymuştur (Zhao vd., 2023). Anti-inflamatuar ve antioksidan etkiler ise, beta glukanların, beyne ulaştıklarında nörodejeneratif hastalıklarla bağlantılı nöroinflamasyonu ve oksidatif stresi azaltabilmesidir (Chen vd., 2024). Bazı klinik öncesi hayvan çalışmalarında, fungal beta glukanların beyin hücrelerini hasardan koruyabileceği ve hatta nörodejenerasyonlu hayvan modellerinde bilişsel işlevi iyileştirebileceği bu sayede nöroprotektif etkiler gösterebileceği ortaya konulmuştur. Mekanizmalar tam olarak belirlenmemiştir (Dimopoulou vd., 2022).

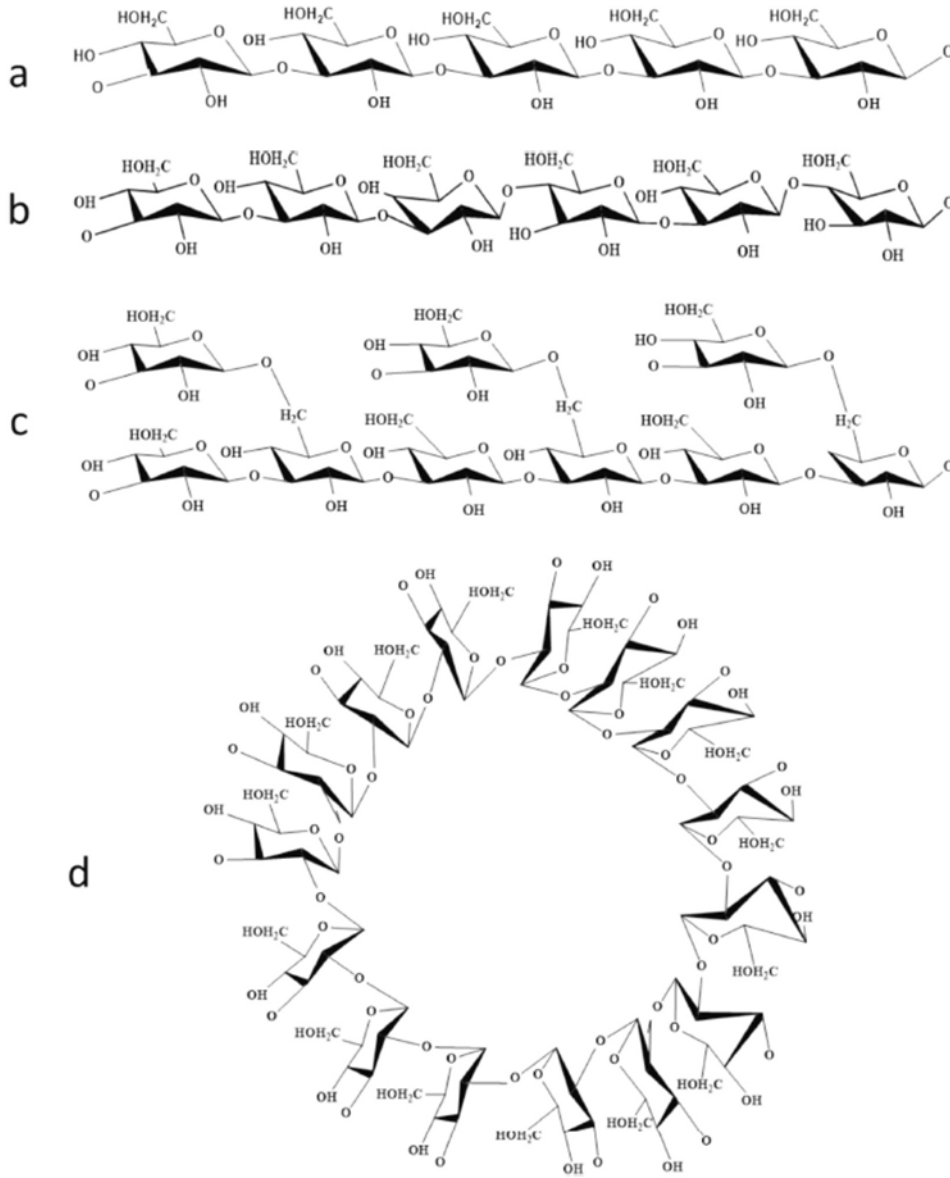
Kanser tedavisinde adjuvan tedavi olarak kullanılan fungal beta glukanların incelendiği bir araştırmada, beta glukanların, kemoterapi veya radyoterapinin neden olduğu bağışıklık baskılanmasını azalttığı, beyaz kan hücresi iyileşmesini hızlandırdığı, bulantı semptomlarında ise belirgin bir fark görülmediği tespit edilmiştir.

Bu alanda daha detaylı araştırmalara ihtiyaç vardır (Steimbach vd., 2021).

Son araştırmalar, beta glukanların COVID-19'un önlenmesinde ve tedavisinde potansiyeli olduğunu öne sürmektedir. Diğer kaynaklardan elde edilen beta glukanların aksine, mantarlardan elde edilen beta glukanlar kısa β (1 $\rightarrow$ 6) yan zincirlerine sahip β (1 $\rightarrow$ 3) glukanlardır. Bu yapı, bağışıklık hücrelerinin yüzeyinde bulunan reseptörler tarafından tanınır; bu nedenle, mantar beta glukanları spesifik immünomodülatör özelliklere sahiptir ve biyolojik yanıt değiştirici olarak kabul edilir. Dahası, mantar beta glukanları da özelliklerini, mantar beta glukanlarının biyoaktivitesini etkileyen temel faktörlerden biri olan üçlü sarmal konformasyonuna borçludur (Mironczuk-Chodakowska vd., 2021). Bağışıklık sistemi üzerindeki etkilerinden bazıları, fagositoz, interlokin (IL)-2 üretimi, antikör üretimi, süperoksit üretimi, interferon gama (IFN-gama) üretimidir. COVID-19 için makrofajları aktive eden etkileri, doğal öldürücü - Natural Killer (NK) hücreleri ve baskılayıcı T hücre yanıtını uyardığı bildirilmiştir (Şirinyıldız ve Mavi Bulut, 2022). COVID-19 sendromu, akut olarak gelişen, bağışıklık hücrelerinin aşırı tepkisine neden olan sitokin fırtınasına yol açabilir. Dolayısıyla COVID-19 ile mücadelede sitokin fırtınasını baskılayabilmek önemli bir potansiyel tedavi seçeneğidir. Beta glukan alımı sitokin fırtınasını baskılayabilmek için önemli bir potansiyel çözüm sunulabilir (Lionetti vd., 2021).

2.4. Alg Beta Glukanları

Beta glukan kaynakları içerisinde algler de önemi bir yer tutar. Kuru hücre ağırlığının %80'i kadar beta glukan içeren alg türleri vardır. Ayrıca alglerden elde edilen beta glukanın kimyasal yapısı tekdüze değildir; alg türüne bağlı olarak değişir. Doğrusal β (1-3)-glukan, doğrusal β (1 $\rightarrow$ 3, 1 $\rightarrow$ 4)-glukan, yan zincir dallı β (1 $\rightarrow$ 3, 1 $\rightarrow$ 6)-glukan, siklik β (1 $\rightarrow$ 2)-glukan yapılarında görülebilir (Şekil 4). *Euglena gracilis* ve *E. pisciformis* suşları kuru maddede %70-80 beta glukan içeriğine sahip alg suşlarıdır. Beta glukan kaynağı olarak algler, spesifik kimyasal yapılarının yanı sıra, daha yüksek verim, daha basit ekstraksiyon ve sürdürülebilirlik (daha az arazi ve kaynak) nedeniyle tercih edilebilmektedir (Kumar vd., 2025).



Şekil 4. Alg beta glukanları (a) Doğrusal β -(1 $\rightarrow$ 3)-glukanın yapısı (b) Doğrusal β -(1 $\rightarrow$ 3, 1 $\rightarrow$ 4)-glukan (c) Yan zincir dalı β -(1 $\rightarrow$ 3, 1 $\rightarrow$ 6)-glukan (d) Siklik β -(1 $\rightarrow$ 2)-glukan (Kumar vd., 2025).

Beta glukan, yara iyileşmesindeki çok yönlü aktiviteleri nedeniyle çeşitli cilt rahatsızlıklarını tedavi etmek için iyi bir tamamlayıcı tedavi seçeneği potansiyelidir. Laminarin (alglerden elde edilen bir beta glukan) anti-bakteriyel özellikleri ve stabilitesi sayesinde hem doğrudan hem de dolaylı sinyal yollarıyla, immünositleri ve deri hücrelerini etkileyen etkili bir yara iyileştirme ajanıdır. Beta glukan, granülasyon dokusundaki makrofajları uyarak, hücre çoğalmasını, anjiyogenezi artıran Dektin-1 reseptörü aracılığıyla büyüme faktörlerinin ve inflamatuvar sitokinlerin salınımını teşvik ederek yara iyileşmesini destekler (Younis vd., 2022).

Kozmetik sektöründe de alg beta glukanları oldukça önemlidir. Ciltten kolaylıkla emilmektedir. Cildin nemlendirilmesine ve gençleşmesine yardımcı olduğu, hassas ciltlerde su tutma kapasitesini artırdığı, eritem olmaksızın su kaybını azalttığı ve erken cilt yaşlanması sorununu hafiflettiği gösterilmiştir. Beta glukanların kırıksıklık karşıtı etki gösterdiği, yüzdeki çizgileri ve cilt pürüzlülüğünü azalttığı ortaya konulmuştur. Oksidatif strese karşı koruyucu etki göstermiştir ve UV ışınlarının neden olduğu hasarı azaltmıştır (S. Ahmad vd., 2024).

Kaynaklarına göre beta glukanların bazı yapısal özellikleri ve sağlık yararları potansiyellerinin özeti Çizelge 1’de özetlenmiştir.

Çizelge 1. Kaynaklarına göre beta glukanların bazı özellikleri ve sağlık yararları

Grup	Kaynak	Yapı	Potansiyel Sağlık yararları
Tahıl Beta Glukanları	Arpa, yulaf, çavdar, buğday ve pirinç	(1→3), (1→4) β D glukun	LDL Kolesterolü düşürme, HDL kolesterol seviyelerini destekleme, damarlarda plak oluşumunu engelleme, kan basıncını düzenleme, kan glukozu regülasyonu, tokluk hissi oluşturma, insülin duyarlılığını artırma, bağırsak geçirgenliğini azaltma, prebiyotik olma, bağırsak sağlığını destekleme, kolon kanserini önleme, bağışıklığı destekleme, bağırsak mikrobiyotası modülasyonu, bilişsel bozukluğu önleme, baş ağrısı şiddetinde azalma, anksiyete ve üşüme hissinde azalma, eklem/uzuv ağrısında azalma, konsantrasyon güçlüğünde azalma, yorgunluk hissinde azalma, sıcak basması hissinde azalma
Maya Beta Glukanları	Ekmekek, şarap ve bira yapımında çoğunlukla kullanılan <i>Saccharomyces cerevisiae</i> , <i>Candida Utilis</i>	(1→3), (1→6) β D glukun	İmmünomodülatör, anti-enfeksiyon, anti-enflamasyon, anti-tümör, anti-metastatik, üst solunum yolu enfeksiyonun şiddetinde azalma, kan basıncını düzenleme, olumlu ruh hali, anti-kanser, gıda alerjisini azaltma, yara iyileşmesi, kan glikozunu düzenleme, trigliseriti düşürme, kolesterolü düşürme, ilaç zehirlenmesine karşı koruyucu etkileri, iskemi/reperfüzyon hasarına karşı koruyucu etkileri, uyku düzeni ve kalitesinde iyileşme
Mantar Beta Glukanları	<i>Shiitake (Lentinula Edodes)</i> , <i>Maitake (Grifola Frondosa)</i> , <i>Reishi (Ganoderma Lucidum)</i> , <i>İstiridye (Pleurotus türleri)</i> , <i>Pleurotus Ostreatus</i> , <i>Trametes Versicolor</i> , <i>Chaga (Inonotus bliquus)</i>	β (1→3) ve β (1→6) doğrusal ve dallanmış yapılar	Anti-inflamatuar, antioksidan, nörodejeneratif hastalıkları önleme etkileri, bağırsak mikrobiyotası modülasyonu, nöroprotektif etkiler, kanser tedavisinde adjuvan tedavi, COVID-19'un önlenmesinde ve tedavisinde alternatif potansiyeli
Alg Beta Glukanları	<i>Euglena gracilis</i> , <i>E. pisciformis</i>	Doğrusal β (1-3)-glukun, doğrusal β (1→3, 1→4)-glukun, yan zincir dallı β (1→3, 1→6)-glukun, siklik β (1→2)-glukun yapılarında	Yara iyileşmesi, anti-bakteriyel, cilt nemlendirme ve yüz çizgilerinde azaltıcı etkileri, kırışıklık karşıtı etki, cilt pürüzlülüğünü azaltma, UV ışınlarının neden olduğu hasarı azaltma

3. Beta Glukanların Gıdalarda Kullanımı

Beta glukunlar, et ürünleri, süt ürünleri, içecek, fırın ürünleri, makarna ürünleri, hayvan yemleri ve

ilaç sektöründe yerini almaktadır. Gıda katkı maddeleri olarak, enkapsülasyon yoluyla ilaç ve ilaç salınımı sağlayarak ve farklı gıda matrislerine

dahil edilerek nutrasötik ve fonksiyonel gıdaların geliştirilmesinde kullanılmaktadır (S. Ahmad vd., 2024). Diyet lifinin de değerli bir bileşeni olan beta glukun, immüno modülasyon, anti-tümör, anti-obezojenik, anti-diyabetik, anti-kolesterol, anti-kanser, anti-viral, anti-inflamatuvar, anti-metastatik, antioksidan aktiviteler dahil olmak üzere çok sayıda sağlık yararına sahiptir.

Yaşam tarzı hastalıkları olarak kabul edilen obezite, diyabet ve kalp hastalıkları gibi birçok hastalığın tedavisini yönetmek için, beta glukun kullanılarak üretilen fonksiyonel besinler önemli alternatiflerdir. Kolesterol düşürücü etkileri FDA tarafından da onaylanan beta glukunun, günlük 3 g miktarında besinlere eklenmesi kalp sağlığını korumak için önerilir (FDA, 2021). Ayrıca tip 2 diyabetli erkek hastalarda aynı dozla kahvaltılık gıda (3 g beta glukun içeren tam tahıllı ekmek ve müsli) tüketimi ile daha iyi glisemik kontrol sağlamıştır ve daha düşük plazma kolesterol seviyelerine ulaşılmıştır (Kabir vd., 2002). Son yıllarda obezite ile mücadele kapsamında, tüketiciler tarafından da yoğun ilgi gören düşük kalorili ve yüksek lifli besinlerin üretiminde de beta glukundan yararlanılır. Bir diyet lifi olan beta glukun, aynı zamanda iyi bir yağ ikamesidir. Örneğin et ürünlerinde son yıllarda daha düşük enerji, yağ, kolesterol ve sodyum içeriğinde ürün elde etmek için, et ürünlerine et dışı bileşenlerin eklenebileceği ve aynı zamanda bu bileşenlerin ek fonksiyonel faydalarından yararlanılabileceği görüşü doğrultusunda, tahıl beta glukunı eklenerek, daha düşük yağlı et emülsiyonları oluşturulmuştur. Emülsiyonlarda yüksek miktarda beta glukun kullanımı analiz edilmiştir. Nişasta miktarı düşük olan beta glukunun, sertlik hariç, pişirme kaybını, ürünün rengini ve fonksiyonel özelliklerini iyileştirdiği, protein matriksine yeterli düzeyde dahil olduğu görülmüştür (Vasquez Mejia vd., 2018). Benzer bir çalışmada, yine farklı oranlarda tahıl beta glukunları eklenerek düşük yağlı dana burgerleri geliştirilmiştir. Kontrol örneğine göre daha düşük kolesterol içeriğine ve benzer müşteri çekiciliğine sahip daha sağlıklı düşük yağlı bir et ürünü oluşturmuştur. (Szpicer vd., 2020).

Bir araştırmada Hindistan'da yoğurt olarak tüketilen "dahi", yağsız manda sütünden üretilmiştir ve farklı oranlarda (%0,25, 0,50, 0,75 ve 1,0) beta glukun eklenmiştir. Miktar olarak %0,5 beta glukun eklenen örneklerde, diğer örneklere göre daha üstün kalite, daha az peynir altı suyu ve daha iyi dokusal özellikler görülmüştür. Viskozite

olumlu yönde etkilenmiştir. Beta glukun ile zenginleştirilmiş dahi, kontrol örneğine göre daha fazla sertlik ve tutarlılık göstermiştir. %0,5 seviyesinde beta glukun ilavesiyle hazırlanan dahi, kontrol örnekleri ve farklı beta glukun seviyeleriyle hazırlanan diğer dahi örnekleriyle karşılaştırıldığında, çekici veya doğal rengiyle, önemli ölçüde daha iyi renk değerleri ve duysal puanlar elde etmiştir. Bu sayede düşük yağlı dâhinin olumsuz duysal özellikleri giderilmiştir ve daha fonksiyonel bir ürün elde edilmiştir (Bhaskar vd., 2017).

Düşük yağlı ve enerjisi azaltılmış dondurma üretiminde de beta glukunun pozitif etkileri görülmüştür. Farklı beta glukun yapılarının β (1→3, 1→4) ve β (1→3), değişen oranlarda (%0,5 ve %1) eklenerek denendiği az yağlı ve az kalorili dondurma örnekleri oluşturulmuştur. Bu örnekler tam yağlı ve dengeleyici maddelerle desteklenmiş kontrol dondurasıyla işlevsel özellikleri ve duysal nitelikleri bakımından kıyaslanmıştır. Yulaftan izole edilen β (1→3, 1→4) yapısındaki beta glukun eklenmesi, kontrol dondurasına en çok benzeyen düşük kalorili dondurma üretimini desteklemiştir (Aljewicz vd., 2020). Beta glukunların yüksek viskozitesi, su tutma kapasitesi, emülsifiye yeteneği ve stabilize edici özelliği nedeniyle beta glukun, et ve süt ürünlerinde yağ ikamesi olarak kullanılma potansiyeline sahiptir. Düşük kalorili ve kolesterolü azaltılmış, duysal ve dokusal özellikleri geliştirilmiş düşük yağlı ürünler, kahvaltılık sosislere, sosisli sandviçlere ve mayonezlere beta glukun eklenerek geliştirilmiştir (Mishra, 2020).

Beta glukun birçok sağlık faydasının yanı sıra gıda endüstrisi için de değerli bir gıda katkı maddesidir. Koyulaştırma, stabilize etme, emülsifikasyon ve jelleştirme gibi birçok işlevsel özelliklere de sahiptir. Bu özellikler, beta glukunun çorbalara, soslara, içeceklere ve diğer gıda ürünlerine eklenmesini sağlar. Arpa beta glukunlarının ağızda yumuşak bir his bıraktığı için içeceklerde kullanılma potansiyeli vardır. Aljinatlar, pektin, ksantan zımkı ve karboksimetil selüloz yerine kullanılabilir. Ekmek ve fırıncılık endüstrisinde de viskoziteyi artırmak için koyulaştırıcı madde, yağ ikamesi, diyet lifi kaynağı ve reolojik özelliklerin iyileştirilmesi gibi çeşitli uygulamaları vardır. Arabinoksilan ve beta glukun ile zenginleştirilmiş unla yapılan ekmeklerde, hacmin iyileştiği ve çözünür lif içeriğinin arttığı görülmüştür. Tahıl beta glukunlarının, kek hamurunda da reolojik ve

fiziksel özellikleri geliştirdiği görülmüştür (A. Ahmad vd., 2012).

Sağlık beyanlarında belirtilen beta glukan eklenmesinin olumlu etkileri üzerine gıda endüstrisinde besin zenginleştirme uygulamaları da vardır. Tüketicilerin son yıllarda bilinçli beslenme konusunda farkındalığının da artmasının etkisiyle beta glukanla zenginleştirilmiş ürünlerin sayısı ve çeşitliliği de artmaktadır. Beta glukanla zenginleştirilmiş kahvaltılık gevrek, ekmek, kek gibi fırın mamulleri ve süt ürünleri gibi fonksiyonel besinler artmaktadır. Özellikle tahıllar geniş bir nüfus tarafından yaygın olarak tüketildiği için hem arzu edilen miktarı sağlama hem de birden fazla öğünde tüketilebilme kolaylığı sayesinde kalp sağlığını korumak için uygun bir seçenektir. Fırıncılık endüstrisinde buğday unu çözünür bir lif olan beta glukan ile zenginleştirerek başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Geliştirilen ürünlerde, organoleptik özelliklerin, fiziko-kimyasal ve reolojik özelliklerin iyileştirildiği araştırmalar bulunmaktadır. Bazı araştırmalar beta glukan katkılı hamurun muhtemelen daha iyi gaz tuttuğu için reolojik ve viskoelastik özelliklerini geliştirdiğini göstermiştir (Mishra, 2020). Ekmeğe beta glukan eklenmesi, indirgeyici şekerlerin salınımını yavaşlatma (in vitro) ve sonuç olarak sindirim için nişasta bulunabilirliğini artırma kapasitesine sahiptir bu sayede hiperglisemi ve hiperinsülinemide iyileşme sağlamaktadır (A. Ahmad vd., 2012).

Süt endüstrisinde beta glukan kullanımı konusunda artan bir ilgi vardır. Süt ve süt ürünlerinde tahıl beta glukanları, doku oluşumu, süt yağının tadını taklit etme, içeceklerin viskozitesini artırma, reolojik özellikleri iyileştirme gibi etkiler sağlarken, aynı zamanda plazma kolesterol düzeylerinde düşüş, bağırsak üzerinde olumlu etkiler gibi sağlık yararları da gözlemlenmiştir. Maya ve yenilebilir mantarlardan elde edilen beta glukanlar ise bağışık sisteminde olumlu etki göstermektedir. Geliştirilen fonksiyonel besinlerde kullanılabilir beta glukan oranı ise, sütli içecekler için %1,9-3,0; fermente süt ürünleri için %0,1-0,5; peynirler ve peynir benzeri ürünler için %0,2-1,4; dondurma ve dondurulmuş tatlılar için: %0,5-2,0 aralığındadır (Mykhalevych vd., 2022). Mikroorganizmalar ve beta glukanın simbiyotik ilişkisi, süt proteinlerinin ve polisakkaritlerin faz ayrılmasını kontrol ederek süt ürünlerinin dokusal özelliklerini değiştiren çeşitli biyoaktif bileşiklerin salınmasına neden olur. Simbiyotik (probiyotik+prebiyotik) gıda

ürünlerine yönelik farkındalık tüketicilerde ve dolayısıyla gıda endüstrilerinde artmaktadır (Mishra, 2020). Bir araştırmada, laktik asit bakterileri tarafından tam yulaf taneleri fermente edilerek beta glukanla zenginleştirilmiş bir içecek oluşturulmuştur (Angelov vd., 2006). Başka bir araştırmada ise, portakal aroması ve peynir altı suyu proteini izolatu kullanarak, %0,5 beta glukan içeren zenginleştirilmiş içecek formüle edilmiştir (Temelli vd., 2004). Porsiyon başına en az 0,75 g yulaf beta glukanı içeren raf ömrü uzun yüksek proteinli süt geliştirilen bir araştırmada ise, içeceklerinin fonksiyonel özellikleri ve duyuşsal kabul edilebilirliği üzerine yulaf unu ve süt proteininin etkisi değerlendirilmiştir. Farklı oranlarda yulaf unu ve süt proteini izolatu kullanılan bu araştırmada, içeceklerin kabul edilebilirliğini etkileyen ana özelliklerin ağız hissi (kalınlık), tatlılık ve ağızda kalan tat olduğu sonucuna varılmıştır. Yulaf unu ve süt proteini izolatu içeriğindeki azalmanın genel duyuşsal kabul edilebilirliği artırdığı bulunmuştur. Bu nedenle, bu iyileşmenin algılanan kalınlıktaki azalmadan kaynaklandığı düşünülmüştür. Bu sayede, kardiyovasküler hastalık riskini azaltma ve yüksek protein içeriği iddialarını karşılayan kabul edilebilir bir fonksiyonel süt içeceği formüle etmenin mümkün olduğu gösterilmiştir (Vasquez-Orejarena vd., 2018).

Makarna ürünlerine beta glukan eklenmesi daha düşük glisemik yanıtı ortaya koymuştur (A. Ahmad et al., 2012). Benzer şekilde, beta glukanla zenginleştirilmiş kahvaltılık barlarda ve beta glukan içeren ekmeklerde glisemik indeksi azaldığı bildirilmiştir. Durum buğdayı irmiğinin %0, %4, %8, %12 ve %16 oranlarında yulaf beta glukan lifi ile zenginleştirilmesiyle üretilen taze makarna örnekleri, 150 tüketici ve 10 panelistten oluşan bir grup tarafından değerlendirilmiş ve %16 yulaf beta glukanı içeren örnek en çok beğenilen ürün olmuştur (Jaworska vd., 2020).

Beta glukanın gıda ve ilaç endüstrisinde henüz yeni sayılan başka bir kullanım alanı da enkapsülasyondur. Günümüzde araştırmacılar, ilaç veya değerli gıda bileşenlerini olumsuz koşullar altında stabilize etmenin yollarını araştırmaktadır ve bunlar arasında kapsülleme tekniği, neme, ısıya, ışığa veya oksidasyona duyarlı aktif bileşikler için umut verici bir koruyucu yöntem olarak kabul edilmektedir. Kapsülleme, daha küçük boyutlu çekirdek malzemenin duvar matrisinin içi boş yapıları içine paketlenmesini içerir. Maltodekstrin,

sodyum aljinat, pektin, beta siklodekstrin ve diğerleri gibi çeşitli duvar malzemeleri kullanılmaktadır. Tahıllarda (1 → 4) ve (1 → 3) β glikozidik bağlar ve mantarlarda (1 → 6) β glikozidik bağlar aracılığıyla bağlanan β-D-glukopiranoz ünitelerinden oluşan dallanmamış bir beta gluklan yapısı, benzersiz bal peteği yapısına sahiptir. Ayrıca serum kolesterol seviyesini düşürme, glisemik yanıtı azaltma, bağışıklık sistemini geliştirme ve bağırsakta yararlı mikrofloranın büyümesi gibi ek sağlık yararları, duvar malzemesi olarak kullanımı için beta gluklanı daha avantajlı kılar. Safran antosiyaninlerinin stabilizasyonunu sağlamak ve beta gluklan içinde kapsüllenerek bağırsaktaki biyoyararlanımlarını artırmayı amaç edinen bir araştırmada, beta gluklanın safran biyoaktiflerini kapsülleme potansiyeline sahip olduğunu ve simüle edilmiş gastrointestinal yoldan geçerken stabilitesini iyileştirdiğini göstermiştir. Kapsülleme, bağırsak bölümünde antosiyaninlerin bulunabilirliğini artırarak oral sindirim sırasında maksimum emilim sağlayabileceği, farklı gıda sistemlerinde bu biyoaktiflerin güçlendirilmesi için çok etkili bir yol olabileceği ve beta gluklanın biyoaktiflerin kapsüllemesi için bir duvar malzemesi olarak kullanabileceğini gösterir. Ayrıca beta gluklanın sağlık destekleyici özelliklerinden dolayı daha fazla yarar sağlayabileceği de ortaya konulmuştur (M. Ahmad vd., 2018).

4. Mevcut Sorunların Analizi ve Gelecek Çözümleri

Beta gluklan ile ilgili yapılan araştırmalar incelendiğinde özellikle klinik araştırmalarda bazı tutarsızlıklar gözlenebilir. Klinik bir araştırmada elde edilen sonuçlar tüm beta gluklanlar adına genellenebilmektedir. Aslında beta gluklanlar ile yapılan her bir çalışmada beta gluklanın kaynağı, yapısı, ekstraksiyon tekniği, viskozitesi, molekül ağırlığı detayları oldukça önemlidir. Araştırmalardaki tutarsız sonuçlar bu detaylardaki farklılıklardan kaynaklanabilir. Örneğin, beta gluklanların immünolojik aktiviteleriyle ilgili 10.000 yayının %20'sinden azı, makale metninin başlığında veya özet bölümünde kullanılan beta gluklanın yapısına yer vermektedir (Murphy vd., 2020).

Beta gluklanın sağlık faydalarından söz ederken araştırmalarda, beta gluklanın kaynağına, kimyasal yapısına, hazırlama yöntemine detayları ile yer vermek gerekli ve önemlidir. Kullanılan ekstraktın,

suda çözünürlüğü, viskozitesi, molekül ağırlığı, fermente edilebilirliği sağlık yararları için oldukça önemlidir ve tanımlamak gereklidir. Bu amaçla potansiyel olarak kullanılabilecek yöntemler arasında yapısal analiz için; nükleer manyetik rezonans (NMR), kemolitik yöntemler (metilasyon analizi), titreşimsel spektroskopik yöntemler (Fourier dönüştürülmüş kızılötesi spektroskopisi FTIR, Raman) ve moleküler ağırlık tayini için jel geçirgenlik kromatografisi yöntemleri (GPC) kullanılabilir. Bu sayede beta gluklanların temel kaynağı, yapısı, fonksiyon ilişkileri daha sağlıklı ve doğru şekilde kurulabilir (Murphy vd., 2020).

5. Sonuç

Son yıllarda oldukça dikkat çeken bir polisakkarit olan beta gluklan, birçok sağlık yararları ve çok yönlü uygulamaları nedeniyle ilgi görmektedir. Tahıllarda, mayalarda, mantarlarda ve alglerde bulunan beta gluklanların, işlevselliklerine katkıda bulunan belirgin yapısal özellikleri vardır. Beta gluklanların sağlık yararları yaygın olarak bilinmektedir. Kardiyovasküler ve metabolik sağlık, bağışıklık güçlendirme başta olmak üzere birçok alanda faydası bulunmaktadır. Tahıl beta gluklanları LDL kolesterolü etkili bir şekilde düşürür ve kan şekeri seviyelerini yönetir, ateroskleroza önlemede ve diyabeti yönetmede önemli destek sağlar. Benzer şekilde, maya ve mantar beta gluklanları, (1→3) ve (1→6) bağlantılarıyla, bağışıklık sistemini uyarmada önemli bir rol oynar, anti-inflamatuar, anti-tümör ve anti-viral özellikler gösterir. Alg beta gluklanları yara iyileştirme, oksidatif stresle mücadele ve kozmetik sektöründe öne çıkmaktadır. Beta gluklanlarla zenginleştirilmiş fonksiyonel gıdalar, obezite, diyabet ve kardiyovasküler rahatsızlıklar gibi yaşam tarzı hastalıklarını hafifletmek için umut verici bir strateji olarak ortaya çıkmıştır. Üreticiler, beta gluklanları çeşitli gıda ürünlerine dahil ederek, besin profilini iyileştirebilir ve fonksiyonel faydaları ile sağlıklı gıdalara yönelik tüketici talebini karşılayabilirler.

Çıkar çatışması: Yazarlar, bu yazı için gerçek, potansiyel veya algılanan çıkar çatışması olmadığını beyan etmişlerdir.

Etik izin: Araştırma niteliği bakımından etik izne tabii değildir.

Finansal destek: Bu çalışma herhangi bir fon tarafından desteklenmemiştir.

6. Kaynaklar

- Abuajah, C.I. (2017). Functional Components and Medicinal Properties of Food. In: Mérillon, JM., Ramawat, K. (eds) *Bioactive Molecules in Food. Reference Series in Phytochemistry*. Springer, Cham. Retrieved from https://doi.org/10.1007/978-3-319-54528-8_39-1
- Adebowale, T. O., Yao, K., & Oso, A. O. (2019). Major cereal carbohydrates in relation to intestinal health of monogastric animals: A review. *Animal Nutrition*, 5(4), 331–339. <https://doi.org/10.1016/j.aninu.2019.09.001>
- Ahmad, A., Anjum, F. M., Zahoor, T., Nawaz, H., & Dilshad, S. M. R. (2012). Beta glucan: A valuable functional ingredient in foods. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 52(3), 201–212. <https://doi.org/10.1080/10408398.2010.499806>
- Ahmad, M., Ashraf, B., Gani, A., & Gani, A. (2018). Microencapsulation of saffron anthocyanins using β glucan and β cyclodextrin: Microcapsule characterization, release behaviour & antioxidant potential during in-vitro digestion. *International Journal of Biological Macromolecules*, 109, 435–442. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.11.122>
- Ahmad, S., Jan, K., Sahu, J. K., Habib, M., Jan, S., & Bashir, K. (2024). A Comprehensive Review on Recent Trends and Utilization of Algal β -Glucan for the Development of Nutraceuticals and Functional Foods. *Food Reviews International*, 52(03), 201–212. <https://doi.org/10.1080/87559129.2024.2404222>
- Ali, A., Ullah, Z., Ullah, R., & Kazi, M. (2024). Barley a nutritional powerhouse for gut health and chronic disease defense. *Heliyon*, 10(20), e38669. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e38669>
- Aljewicz, M., Florczuk, A., & Dabrowska, A. (2020). Influence of β -glucan structures and contents on the functional properties of low-fat ice cream during storage. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*, 70(3), 233–240. <https://doi.org/10.31883/pjfn/120915>
- Angelov, A., Gotcheva, V., Kuncheva, R., & Hristozova, T. (2006). Development of a new oat-based probiotic drink. *International Journal of Food Microbiology*, 112(1), 75–80. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2006.05.015>
- Aoe, S., Mio, K., Yamanaka, C., & Kuge, T. (2021). Low molecular weight barley β -glucan affects glucose and lipid metabolism by prebiotic effects. *Nutrients*, 13(1), 1–13. <https://doi.org/10.3390/nu13010130>
- Barcan, A. S., Barcan, R. A., & Vamanu, E. (2024). Therapeutic Potential of Fungal Polysaccharides in Gut Microbiota Regulation: Implications for Diabetes, Neurodegeneration, and Oncology. *Journal of Fungi*, 10(6). <https://doi.org/10.3390/jof10060394>
- Bhaskar, D., Khatkar, S. K., Chawla, R., Panwar, H., & Kapoor, S. (2017). Effect of β -glucan fortification on physico-chemical, rheological, textural, colour and organoleptic characteristics of low fat dahi. *Journal of Food Science and Technology*, 54(9), 2684–2693. <https://doi.org/10.1007/s13197-017-2705-6>
- Biörklund, M., van Rees, A., Mensink, R. P., & Önnings, G. (2005). Changes in serum lipids and postprandial glucose and insulin concentrations after consumption of beverages with β -glucans from oats or barley: A randomised dose-controlled trial. *European Journal of Clinical Nutrition*, 59(11), 1272–1281. <https://doi.org/10.1038/sj.ejcn.1602240>
- Bobade, H., Gupta, A., & Sharma, S. (2021). Beta-glucan. In J. Kour & G. A. Nayik (Eds.), *Nutraceuticals and Health Care* (1., pp. 343–358). Academic Press, Elsevier. www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/B9780323897792000132
- Canfora, E. E., Jocken, J. W., & Blaak, E. E. (2015). Short-chain fatty acids in control of body. *Nature Publishing Group*, 11(October). <https://doi.org/10.1038/nrendo.2015.128>
- Cerletti, C., Esposito, S., & Iacoviello, L. (2021). Edible mushrooms and beta-glucans: Impact on human health. *Nutrients*, 13(7). <https://doi.org/10.3390/nu13072195>
- Chen, X. J., Deng, Z., Zhang, L. Le, Pan, Y., Fu, J., Zou, L., Bai, Z., Xiao, X., & Sheng, F. (2024). Therapeutic potential of the medicinal mushroom *Ganoderma lucidum* against Alzheimer's disease. *Biomedicine and Pharmacotherapy*, 172 (February), 116222. <https://doi.org/10.1016/j.biopha.2024.116222>

- Delaney, B., De Vogel, N., & Krul, C. A. M. (2004). Evaluation of the in vivo genetic toxicity of concentrated barley β -glucan [Letter to the Editor]. *Food and Chemical Toxicology*, 42(1), 155–156. [https://doi.org/10.1016/S0278-6915\(03\)00219-9](https://doi.org/10.1016/S0278-6915(03)00219-9)
- Dharsono, T., Rudnicka, K., Wilhelm, M., & Schoen, C. (2019). Effects of Yeast (1,3)-(1,6)-Beta-Glucan on Severity of Upper Respiratory Tract Infections: A Double-Blind, Randomized, Placebo-Controlled Study in Healthy Subjects. *Journal of the American College of Nutrition*, 38(1), 40–50. <https://doi.org/10.1080/07315724.2018.1478339>
- Dimopoulou, M., Kolonas, A., Mourtakos, S., Androutsos, O., & Gortzi, O. (2022). Nutritional Composition and Biological Properties of Sixteen Edible Mushroom Species. *Applied Sciences (Switzerland)*, 12(16). <https://doi.org/10.3390/app12168074>
- Drzikova, B., Dongowski, G., & Gebhardt, E. (2005). Dietary fibre-rich oat-based products affect serum lipids, microbiota, formation of short-chain fatty acids and steroids in rats. *British Journal of Nutrition*, 94(6), 1012–1025. <https://doi.org/10.1079/bjn20051577>
- Du, B., Meenu, M., Liu, H., & Xu, B. (2019). A concise review on the molecular structure and function relationship of β -glucan. *International Journal of Molecular Sciences*, 20(16). <https://doi.org/10.3390/ijms20164032>
- Ege, R., & Köseoğlu Aydenk, S. Z. (2021). Beta glukanın kardiyovasküler sağlık üzerine etkisi. *İstanbul Sabahattin Zaim Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 3(2), 159–164. <https://doi.org/10.47769/izufbed.915997>
- El Khoury, D., Cuda, C., Luhovyy, B. L., & Anderson, G. H. (2012). Beta glucan: Health benefits in obesity and metabolic syndrome. *Journal of Nutrition and Metabolism*, 1–28. <https://doi.org/10.1155/2012/851362>
- Food and Drug Administration. (2021). 21 CFR § 101.81 - Health claims: Soluble fiber from certain foods and risk of coronary heart disease (CHD).. [Government]. Office of the Federal Register, National Archives and Records Administration. In *Office of the Federal Register, National Archives and Records Administration*. www.govinfo.gov/content/pkg/CFR-2021-title21-vol2/pdf/CFR-2021-title21-vol2-sec101-81.pdf
- Geller, A., Shrestha, R., & Yan, J. (2019). Yeast-derived β -glucan in cancer: Novel uses of a traditional therapeutic. *International Journal of Molecular Sciences*, 20(15), 1–20. <https://doi.org/10.3390/ijms20153618>
- Gudej, S., Filip, R., Harasym, J., Wilczak, J., Dziendzikowska, K., Juszczak, M., Lange, E., Oczkowski, M., Jałosi, M., & Gromadzka-ostrowska, J. (2021). Clinical Outcomes after Oat Beta-Glucans Dietary Treatment in Gastritis Patients. *Nutrients*, 13(8)(2791). <https://doi.org/10.3390/nu13082791>
- Jaworska, D., Królak, M., Przybylski, W., & Jezewska-Zychowicz, M. (2020). Acceptance of Fresh Pasta with β -Glucan Addition: Expected Versus Perceived Liking. *Foods*, 9(7), 1–17. <https://doi.org/10.3390/foods9070869>
- Joyce, S. A., Kamil, A., Fleige, L., & Gahan, C. G. M. (2019). The cholesterol-lowering effect of oats and oat beta glucan: Modes of action and potential role of bile acids and the microbiome. *Frontiers in Nutrition*, 6 (November), 1–15. <https://doi.org/10.3389/fnut.2019.00171>
- Kabir, M., Oppert, J. M., Vidal, H., Bruzzo, F., Fiquet, C., Wursch, P., Slama, G., & Rizkalla, S. W. (2002). Four-week low-glycemic index breakfast with a modest amount of soluble fibers in type 2 diabetic men. *Metabolism: Clinical and Experimental*, 51(7), 819–826. <https://doi.org/10.1053/meta.2002.33345>
- Karaçıl, M. Ş., & Akbulut, G. (2013). Tip 2 diabetes mellitus ve beta glukun. *Beslenme ve Diyet Dergisi*, 41(3), 242–246. www.tuik.gov.tr
- Khaleghdoust, B., Esmailzadeh-Salestani, K., Korge, M., Alaru, M., Möll, K., Värnik, R., Koppel, R., Tamm, Ü., Kurg, M., Altosaar, I., & Loit, E. (2023). Barley and wheat beta-glucan content influenced by weather, fertilization, and genotype. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 7. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2023.1326716>
- Kim, K. S., & Yun, H. S. (2006). Production of soluble β -glucan from the cell wall of *Saccharomyces cerevisiae*. *Enzyme and Microbial Technology*, 39(3), 496–500. <https://doi.org/10.1016/j.enzmictec.2005.12.020>
- Kumar, V., Bhoyar, M. S., Mohanty, C. S., Chauhan, P. S., Toppo, K., & Ratha, S. K. (2025). Untapping the potential of algae for β -glucan production: A review of biological properties,

strategies for enhanced production and future perspectives. *Carbohydrate Polymers*, 348(PB), 122895. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2024.122895>

Li, J., Zheng, M., Wang, Z., Liu, Y., Niu, Q., Zhou, H., Wang, D., Song, J., Bi, H., Guo, B., Yu, G., & Cai, C. (2024). Anti-tumor and anti-metastasis of water-soluble sulfated β -glucan derivatives from *Saccharomyces cerevisiae*. *Carbohydrate Polymers*, 344 (February). <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2024.122466>

Lionetti, V., Bollini, S., Coppini, R., Gerbino, A., Ghigo, A., Iaccarino, G., Madonna, R., Mangiacapra, F., Miragoli, M., Moccia, F., Munaron, L., Pagliaro, P., Parenti, A., Pasqua, T., Penna, C., Quaini, F., Rocca, C., Samaja, M., Sartiani, L., ... Angelone, T. (2021). Understanding the heart-brain axis response in COVID-19 patients: A suggestive perspective for therapeutic development. *Pharmacological Research*, 168 (January), 105581. <https://doi.org/10.1016/j.phrs.2021.105581>

Maheshwari, G., Sowrirajan, S., & Joseph, B. (2017). Extraction and isolation of β -glucan from grain sources—A review. *Journal of Food Science*, 82(7), 1535–1545. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.13765>

Mäkelä, N., Brinck, O., & Sontag-Strohm, T. (2020). Viscosity of β -glucan from oat products at the intestinal phase of the gastrointestinal model. *Food Hydrocolloids*, 100. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.105422>

Mio, K., Otake, N., Nakashima, S., Matsuoka, T., & Aoe, S. (2021). Ingestion of high β -glucan barley flour enhances the intestinal immune system of diet-induced obese mice by prebiotic effects. *Nutrients*, 13 (3), 1–12. <https://doi.org/10.3390/nu13030907>

Mironczuk-Chodakowska, I., Kujawowicz, K., & Witkowska, A. M. (2021). Beta-glucans from fungi: Biological and health-promoting potential in the covid-19 pandemic era. *Nutrients*, 13(11). <https://doi.org/10.3390/nu13113960>

Mishra, N. (2020). Cereal β Glucan as a Functional Ingredient. *Innovations in Food Technology: Current Perspectives and Future Goals*, 109–122. https://doi.org/10.1007/978-981-15-6121-4_8

Murphy, E. J., Rezoagli, E., Major, I., Rowan, N. J., & Laffey, J. G. (2020). B-Glucan Metabolic and

Immunomodulatory Properties and Potential for Clinical Application. *Journal of Fungi*, 6(4), 1–33. <https://doi.org/10.3390/jof6040356>

Muthuramalingam, K., Kim, Y., & Cho, M. (2022). B-Glucan, “the Knight of Health Sector”: Critical Insights on Physiochemical Heterogeneities, Action Mechanisms and Health Implications. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 62(25), 6908–6931. <https://doi.org/10.1080/10408398.2021.1908221>

Mykhalevych, A., Polishchuk, G., Nassar, K., Osmak, T., & Buniowska-Olejnik, M. (2022). β -Glucan as a Techno-Functional Ingredient in Dairy and Milk-Based Products — A Review. *Molecules*, 27(6313), 1–24. <https://doi.org/10.3390/molecules27196313>

Raghavan, K., Dedeepiya, V. D., Kandaswamy, R. S., Balamurugan, M., Ikewaki, N., Sonoda, T., Kurosawa, G., Iwasaki, M., Preethy, S., & Abraham, S. J. K. (2022). Improvement of sleep and melatonin in children with autism spectrum disorder after β -1,3/1,6-glucan consumption: An open-label prospective pilot clinical study. *Brain and Behavior*, 12(9), 1–7. <https://doi.org/10.1002/brb3.2750>

Samuelsen, A. B. C., Schrezenmeir, J., & Knutsen, S. H. (2014). Effects of orally administered yeast-derived beta-glucans: A review. *Molecular Nutrition and Food Research*, 58(1), 183–193. <https://doi.org/10.1002/mnfr.201300338>

Shi, H., Yu, Y., Lin, D., Zheng, P., Zhang, P., Hu, M., Wang, Q., Pan, W., Yang, X., Hu, T., Li, Q., Tang, R., Zhou, F., Zheng, K., & Huang, X. F. (2020). B-glucan attenuates cognitive impairment via the gut-brain axis in diet-induced obese mice. *Microbiome*, 8 (1), 1–21. <https://doi.org/10.1186/s40168-020-00920-y>

Shoukat, M., & Sorrentino, A. (2021). Cereal β -glucan: a promising prebiotic polysaccharide and its impact on the gut health. *International Journal of Food Science and Technology*, 56(5), 2088–2097. <https://doi.org/10.1111/ijfs.14971>

Sima, P., Vannucci, L., & Vetvicka, V. (2018). β -glucans and cholesterol (Review). *International Journal of Molecular Medicine*, 41(4), 1799–1808. <https://doi.org/10.3892/ijmm.2018.3411>

Şirinyıldız, F., & Mavi Bulut, A. (2022). Beta glukanların bağışıklık üzerine etkileri: Güncel

yaklaşımlar. *İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi Sağlık Bilimleri Fakültesi Dergisi*, 7(1), 173–178.

Steimbach, L., Borgmann, A. V., Gomar, G. G., Hoffmann, L. V., Rutkevski, R., de Andrade, D. P., & Smiderle, F. R. (2021). Fungal beta-glucans as adjuvants for treating cancer patients – A systematic review of clinical trials. *Clinical Nutrition*, 40 (5), 3104–3113. <https://doi.org/10.1016/j.clnu.2020.11.029>

Suzuki, T., Kusano, K., Kondo, N., Nishikawa, K., Kuge, T., & Ohno, N. (2021). Biological activity of high-purity β -1,3-1,6-glucan derived from the black yeast *aureobasidium pullulans*: A literature review. *Nutrients*, 13 (242), 1–24. <https://www.mdpi.com/2072-6643/13/1/242>

Szpicer, A., Onopiuk, A., Pótorak, A., & Wierzbicka, A. (2020). The influence of oat β -glucan content on the physicochemical and sensory properties of low-fat beef burgers. *CYTA - Journal of Food*, 18 (1), 315–327. <https://doi.org/10.1080/19476337.2020.1750095>

Temelli, F., Bansema, C., & Stobbe, K. (2004). Development of an Orange-flavored Barley β -Glucan Beverage with. *Journal of Food Science*, 69(7), 237–241. <https://ift.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/j.1365-2621.2004.tb13622.x>

Thandapilly, S. J., Ndou, S. P., Wang, Y., Nyachoti, C. M., & Ames, N. P. (2018). Barley β -glucan increases fecal bile acid excretion and short chain fatty acid levels in mildly hypercholesterolemic individuals. *Food and Function*, 9(6), 3092–3096. <https://doi.org/10.1039/c8fo00157j>

Thomas, S., Rezoagli, E., Abidin, I. Z., Major, I., Murray, P., & Murphy, E. J. (2022). β -Glucans from Yeast—Immunomodulators from Novel Waste Resources. *Applied Sciences (Switzerland)*, 12(10). <https://doi.org/10.3390/app12105208>

Tosh, S. M., Brummer, Y., Miller, S. S., Regand, A., Defelice, C., Duss, R., Wolever, T. M. S., & Wood, P. J. (2010). Processing affects the physicochemical properties of β -glucan in oat bran cereal. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 58 (13), 7723–7730. <https://doi.org/10.1021/jf904553u>

Vasquez-Orejarena, E., Simons, C. T., Litchfield, J. H., & Alvarez, V. B. (2018). Functional Properties of a High Protein Beverage Stabilized with Oat- β -Glucan. *Journal of Food Science*,

83(5), 1360–1365. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.14119>

Vasquez Mejia, S. M., de Francisco, A., Manique Barreto, P. L., Damian, C., Zibetti, A. W., Mahecha, H. S., & Bohrer, B. M. (2018). Incorporation of β -glucans in meat emulsions through an optimal mixture modeling systems. *Meat Science*, 143(January), 210–218. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2018.05.007>

Wolever, T. M. S., Rahn, M., Dioum, E. H., Jenkins, A. L., Ezatagha, A., Campbell, J. E., & Chu, Y. (2021). Effect of oat β -glucan on affective and physical feeling states in healthy adults: Evidence for reduced headache, fatigue, anxiety and limb/joint pains. *Nutrients*, 13(1534). <https://doi.org/10.3390/nu13051534>

Younis, N. S., Mohamed, M. E., & El Semary, N. A. (2022). Green Synthesis of Silver Nanoparticles by the Cyanobacteria *Synechocystis* sp.: Characterization, Antimicrobial and Diabetic Wound-Healing Actions. *Marine Drugs*, 20(1). <https://doi.org/10.3390/md20010056>

Yu, J., Xia, J., Yang, C., Pan, D., Xu, D., Sun, G., & Xia, H. (2022). Effects of Oat Beta-Glucan Intake on Lipid Profiles in Hypercholesterolemic Adults: A Systematic Review and Meta-Analysis of Randomized Controlled Trials. *Nutrients*, 14(10). <https://doi.org/10.3390/nu14102043>

Zhao, J., Hu, Y., Qian, C., Hussain, M., Liu, S., Zhang, A., He, R., & Sun, P. (2023). The Interaction between Mushroom Polysaccharides and Gut Microbiota and Their Effect on Human Health: A Review. *Biology*, 12(1), 1–29. <https://doi.org/10.3390/biology12010122>

Zhong, K., Liu, Z., Lu, Y., & Xu, X. (2021). Effects of yeast β -glucans for the prevention and treatment of upper respiratory tract infection in healthy subjects: a systematic review and meta-analysis. *European Journal of Nutrition*, 60(8), 4175–4187. <https://doi.org/10.1007/s00394-021-02566-4>

Zhou, X., He, J., Wang, L., Wang, Y., Du, G., & Kang, Z. (2019). Metabolic engineering of *saccharomyces cerevisiae* to improve glucan biosynthesis. *Journal of Microbiology and Biotechnology*, 29 (5), 758–764. <https://doi.org/10.4014/jmb.1812.12049>

Özgün Araştırma/Original Article

Analitik Metot Verifikasyonunda İç İçe Tasarım Yaklaşımı: Kuru İncirlerde Aflatoksin Örneği

Nested Design Approach in Analytical Method Verification: Aflatoxin Example in Dried Figs

Tarık Yörükoğlu¹, Hakan Yavaş^{2*}, Canan Aydın³, Mehmet Yaşar Özkara⁴

¹ Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fak., Gıda Mühendisliği Bölümü, KAHRAMANMARAŞ/TÜRKİYE

² Gıda ve Yem Kontrol Merkez Araştırma Enstitüsü BURSA/TÜRKİYE,

³ Gıda Mühendisi, Gıda Kontrol Laboratuvar Müdürlüğü GAZİANTEP/TÜRKİYE

⁴ Gıda Mühendisi, Gaziantep Ticaret Borsası Özel Gıda Kontrol Laboratuvarı GAZİANTEP/TÜRKİYE

(Yazar sıralamasına göre)

ORCID ID: 0000-0001-8507-708X, Dr. Öğr. Üyesi.

ORCID ID: 0000-0003-3435-2699, Ziraat Mühendisi

ORCID ID: 0000-0003-1931-0511, Gıda Mühendisi

ORCID ID: 0000-0003-3006-9431, Gıda Mühendisi

*Sorumlu yazar/Corresponding author: yavashakan@tarimorman.gov.tr

Geliş Tarihi : 10.12.2024

Kabul Tarihi : 06.01.2025

Öz

Amaç: Bu çalışma, kuru incirlerde aflatoksin analizine yönelik kullanılan analitik yöntemlerin doğruluğunu, güvenilirliğini ve tekrarlanabilirliğini değerlendirmek amacıyla iç içe tasarım (nested design) yaklaşımını incelemektedir. Analitik yöntemlerin güvenilir sonuçlar verebilmesi için verifikasyon süreçleri büyük önem taşımaktadır. Nested design, laboratuvar koşullarında farklı faktörlerin varyans üzerindeki etkilerini ANOVA yöntemi ile analiz ederek metodun sağlamlığını ve kesinliğini aynı anda verebilmektedir.

Materyal ve yöntem: Aflatoksin analizi, AOAC Official Method 999.07'nin modifiye edilmiş bir versiyonu ile gerçekleştirilmiştir. Modifikasyon, ekstraksiyon ve çözelti oranlarında yapılan değişiklikleri kapsamaktadır. Analizler, HPLC-FLD cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Çalışmada cihaz performansı, standart analiz testleri ve matris etkileri gibi parametreler detaylı bir şekilde incelenmiştir. Deneyler; farklı operatörler, cihazlar ve günlerde gerçekleştirilmiş, veriler ANOVA ile analiz edilerek tekrarlanabilirlik (RSDr) ve tekrarüretilebilirlik (RSDR) hesaplamaları yapılmıştır. Ayrıca yöntem performansı, düşük ve yüksek aflatoksin seviyelerinde test edilmiştir.

Tartışma ve sonuç: Sonuçlar, modifiye yöntem ile orijinal yöntem arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark olmadığını ($t < t_{kritik}$; $t_{kritik} = 2.228$) ve modifiye metodun güvenilir olduğunu ortaya koymuştur. Kalibrasyon eğrisi için elde edilen R^2 değeri 0.9996 olup, yöntem yüksek bir doğruluk sağlamıştır. Limit of Detection (LOD) değeri 0.5 µg/kg, Limit of Quantification (LOQ) değeri ise 1.0 µg/kg olarak hesaplanmıştır. Toplam aflatoksin analizinde modifiye yöntem ile ölçülen değerler % 92.89-91.05 geri kazanım oranı sağlamış ve bu oran yasal sınırların (%80-110) içinde kalmıştır. İç içe Tasarım (Nested design) yaklaşımı ile elde edilen değerler sırasıyla; Sr (Tekrarlanabilirlik Standart Sapması): 0.015, SR (Tekrarüretilebilirlik Standart Sapması): 0.045, %RSDr (Tekrarlanabilirlik Bağlı Standart Sapma): 1.683, %RSDR (Tekrarüretilebilirlik Bağlı Standart Sapma): 5.036'dır. Çalışma, iç içe tasarım analitik yöntem verifikasyonunda etkin bir araç olduğunu ve matris etkisi yüksek ürünlerde başarılı bir şekilde uygulanabileceğini göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: İncir; aflatoksin; metot verifikasyonu; iç içe tasarımı

Abstract

Objective: This study aims to evaluate the accuracy, reliability, and repeatability of analytical methods used for aflatoxin analysis in dried figs through the nested design approach. Verification processes are critical to ensuring that analytical methods produce reliable results. The nested design statistically analyzes the effects of various factors on variance using the ANOVA method, providing both the robustness and precision of the method simultaneously.

Material and methods: Aflatoxin analyze was conducted using a modified version of AOAC Official Method 999.07. The modifications included adjustments in extraction and solvent ratios. Analyses were performed using an HPLC-FLD system. Parameters such as device performance, standard analysis tests, and matrix effects were thoroughly examined. Experiments were conducted under different conditions, including variations in operators, devices, and days. Data were analyzed using ANOVA, and repeatability (RSDr) and reproducibility (RSDR) calculations were performed. The method's performance was also tested at low and high aflatoxin levels.

Results and conclusion: The results showed no statistically significant difference between the original and modified methods ($t < t_{critical}$; $t_{critical} = 2.228$), confirming the reliability of the modified method. The calibration curve yielded an R^2 value of 0.9996, demonstrating high accuracy. The Limit of Detection (LOD) was calculated as 0.5 µg/kg, and the Limit of Quantification (LOQ) was 1.0 µg/kg. Recovery rates in total aflatoxin analysis using the modified method ranged between 92.89% and 91.05%, falling within the legal limits of 80-110%. The values obtained through the Nested Design approach were as follows: Sr (Repeatability Standard Deviation): 0.015, SR (Reproducibility Standard Deviation): 0.045, %RSDr (Relative Standard Deviation for Repeatability): 1.683, and %RSDR (Relative Standard Deviation for Reproducibility): 5.036. This study demonstrated that the nested design is an effective tool for verifying analytical methods and can be successfully applied to products with high matrix effects.

Keywords: Fig, aflatoxin, method verification, nested design

1. Giriş

Kimyasal analizlerde metot verifikasyonları önem arz etmektedir. Doğru, güvenilir ve tekrarlanabilir analitik sonuçlar elde etmek için, kullanılan analiz yöntemlerinin performansının kapsamlı bir şekilde değerlendirilmesi ve doğrulanması gerekmektedir (Rao ve Srinivas, 2015). Metotların doğrulanması, TS EN ISO/IEC 17025:2017 standardının 7.2.1.5 maddesinde belirtilen bir gerekliliktir. Bu maddede, laboratuvarın yöntemlerin düzgün bir şekilde çalıştığını ve gereken performansın elde edilebildiğini doğrulaması gerektiği belirtilmektedir. Eğer yöntem yayımlayan kuruluş tarafından güncellenirse, doğrulama çalışmalarının gerekli ölçüde tekrarlanması gerekmektedir. Bu ifade, laboratuvarın yöntemlerin doğrulanması için bazı deneysel çalışmalar yapması gerektiğini göstermektedir. Doğrulama çalışmaları, laboratuvar koşullarında yapılan deneysel çalışmaları içermekte olup, yayımlanmış metot performans parametrelerinin istatistiksel olarak anlamlı bir şekilde elde edilebildiğini kanıtlamayı amaçlamaktadır (Anonim, 2018a, TÜRKAK, 2023).

Doğrulama çalışmaları, laboratuvarın yeni geliştirilmiş bir yöntemi geçerli kılmaya kıyasla daha az iş yükü gerektirmektedir. Bununla birlikte, doğrulama çalışmaları yeterli ve kapsamlı olmalıdır, böylece geçerli kılınmış yöntemin yayınlanmış performans parametrelerini elde edebileceğini istatistiksel olarak kanıtlanabilir (TÜRKAK, 2022).

Analitik metot validasyonu ve verifikasyonu, analitik yöntemlerin doğruluğunu, hassasiyetini ve güvenilirliğini değerlendirmek için kullanılan süreçlerdir. Analitik metot validasyonu ve verifikasyonun bazı yaygın çeşitleri (EURACHEM/CITAC, 2012) Çizelge 1’de verilmiştir.

Bu çeşitler, analitik metot validasyonu ve verifikasyonu sürecinin temel bileşenlerini kapsamaktadır. Ancak, analizin türüne ve spesifik gerekliliklere bağlı olarak farklı çeşitler ve parametreler de değerlendirilebilir (Anonim 2018a, Anonim 2018b, TÜRKAK, 2023, B. Magnusson ve U. Örnemark, 2014).

Kimyasal analizlerde metot verifikasyonlarında iç içe tasarım yaklaşımı (nested design), analitik metodun doğruluğunu ve güvenilirliğini sağlamak için farklı seviyelerde testlerin uygulanmasını

içerir. Bu yaklaşım, her seviyede elde edilen verilerin bir sonraki seviye için temel oluşturduğu bir hiyerarşik yapıyı takip eder.

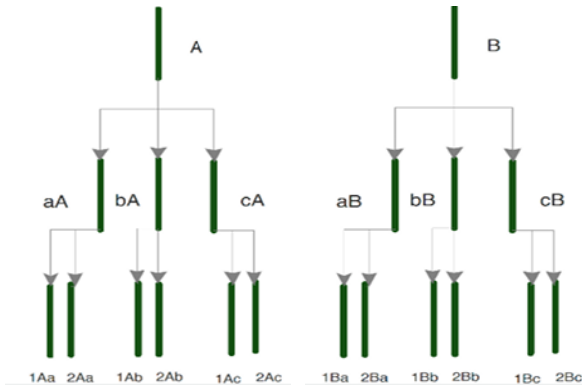
Çizelge 1. Analitik Yöntem Performans Parametreleri.

Terminoloji	Tanım
Doğruluk (Accuracy)	Analitik yöntemin gerçek değerlere ne kadar yakın ölçümler gerçekleştirdiğini değerlendirir. Gerçek değerlere yakın ölçüm sonuçları elde etmek hedeflenir.
Hassasiyet (Precision)	Analitik yöntemin tekrarlanabilirliğini ve tutarlılığını değerlendirir. Aynı örneği tekrarlayan ölçümlerin tutarlılığı incelenir.
Belirlilik Sınırı (LOD)	Analitik yöntemin, analitin en düşük tespit edilebilir derişimini belirleme yeteneğini değerlendirir.
Ölçüm Aralığı (Range)	Analitik yöntemin doğru ve güvenilir sonuçlar elde edebileceği derişim aralığını belirler. Minimum ve maksimum derişimleri kapsar.
Kesinlik (Specificity)	Analitik yöntemin, analiti diğer bileşenlerden etkilenmeden doğru şekilde ölçebilme yeteneğini değerlendirir.

Kimyasal analizlerde iç içe tasarım yaklaşımının seviyeleri Çizelge 2 de gösterilmiştir.

Çizelge 2. Analitik Metot Doğrulama Seviyeleri ve Açıklamaları.

Test Türü	Açıklama
Cihaz Performans Testleri	Analitik cihazların (örneğin, spektrometreler, kromatograflar) doğru çalışıp çalışmadığını kontrol eder. Kalibrasyon, doğrusalılık, tekrarlanabilirlik ve sınır değerleri test edilir.
Standart Analiz Testleri	Analiz yöntemindeki her adım standart maddeler veya örnekler kullanılarak test edilir. Örneğin, ekstraksiyon veya türetme reaksiyonlarının verimliliği kontrol edilir.
Matris Etkisi Testleri	Gerçek örneklerin matris etkileri (girişim yapan bileşikler, pH, iyon gücü) dikkate alınarak test yapılır. Gerçek örneklerle yakın koşullarda yöntemin performansı değerlendirilir.
Kesinlik Testleri	Yöntemin tekrarlanabilirliği (aynı cihaz ve analist) ve tekrar üretilebilirliği (farklı cihazlar ve analistler) test edilir. Aynı numunelerin tekrar analizleriyle kesinlik belirlenir.
Doğruluk Testleri	Yöntemin doğruluğu, sertifikalı referans maddeler veya alternatif referans yöntemlerle karşılaştırılarak değerlendirilir. Geri kazanım deneyleri veya katma maddesi testleri uygulanır.
Rutin Örnekler Üzerinde Doğrulama	Metot, gerçek rutin örnekler üzerinde test edilerek performansı doğrulanır. Metot validasyon parametrelerinin tümü bu aşamada değerlendirilir.



Şekil 1. İç İçe Deney Tasarımı (TÜRKAK, 2022).

Şekil 1'de gösterilen iç içe (nested design) deneysel tasarım, genellikle varyans bileşenlerinin değerlendirilmesinde kullanılır. Bu nedenle, geçerli kılma çalışmalarında kesinliğin tespiti, laboratuvar numunesinin homojenliğinin kontrolü ve numune alma çalışmalarında sıklıkla uygulanır. Laboratuvar numunesinin homojenliğini istatistiksel olarak kanıtlamak için, homojen laboratuvar numunesinden alınan bir dizi numune ile bu numuneden alınan alt numuneler ve tekrar analizleri için hiyerarşik bir iç içe desen oluşturulur.

Dengeli bir iç içe deneysel tasarımda, aynı seviyedeki gruplardan eşit sayıda gözlem yapılması planlanır. İç içe deneysel tasarım, tek

veya iki etkenli ANOVA ile incelenir (TÜRKAK, 2022).

2. Materyal ve yöntem

Bu çalışmada, kuru incirde Aflatoksin B₁ ve Toplam Aflatoksin analizi Kuru Meyvelerde Aflatoksin Analizi AOAC Official Method 999.07'den modifiye edilmiş yöntem kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Modifiye edilen aşamalar; Orijinal metotta ekstraksiyon için kullanılan 300 mL (240+60) MeOH-H₂O miktarı, 200 mL (160+40) olarak değiştirilmiş, Süzüntüden alınan 10 mL ve üzerine ilave edilen 60 mL PBS, 10 mL üzerine 40 mL ultra saf su olarak değiştirilmiş ve 3 mL'ye tamamlanan son hacim 2 mL'ye tamamlanmıştır. Yapılan bu değişiklikler için doğrulama çalışması olarak incir numunesine 5,2 ppb'lik spike yapılarak her iki metot ile çalışılmıştır. Çalışma sonucu Çizelge 3'te detaylı olarak verilmiş ve istatistiksel olarak orijinal metot ile modifiye edilmiş metot arasında t-testi yapılmıştır (Çizelge 4). Her durumda, mutlak t-değeri kritik t-değerinden ($t_{crt}=2,228$) daha küçük olduğundan, iki metodun sonuçları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmamaktadır. Bu durum, modifiye metodun orijinal metotla uyumlu olduğunu ve benzer sonuçlar verdiğini göstermektedir.

Çizelge 3. Orijinal ve Modifiye Yöntemlerin Kuru İncir Örneğindeki Aflatoksin Sonuçları (ppb).

AFL G2 (0,6 ppb)		AFL G1 (2 ppb)		AFL B2 (0,6 ppb)		AFL B1 (2 ppb)		AFL TOPLAM (5,2 ppb)	
Orijinal	Modifiye	Orijinal	Modifiye	Orijinal	Modifiye	Orijinal	Modifiye	Orijinal	Modifiye
0,543	0,574	1,895	1,876	0,557	0,557	1,913	1,913	4,907	4,957
0,587	0,573	1,959	1,852	0,606	0,568	1,912	1,913	5,064	4,948
0,540	0,556	1,858	1,877	0,567	0,583	1,928	1,907	4,894	5,000
0,587	0,576	1,864	1,880	0,581	0,571	1,969	1,873	5,001	4,900
0,561	0,565	1,832	1,835	0,555	0,548	1,803	1,923	4,751	4,871
0,536	0,571	1,912	1,848	0,556	0,568	1,835	1,892	4,839	4,912

Çizelge 4. Orijinal ve Modifiye Yöntemlerin İstatistiksel Karşılaştırma Sonuçları (t-Test).

AFB1	t= -0,445	tcrt=2,228	t<tcrt	UYGUN
AFB2	t= -0,471	tcrt=2,228	t<tcrt	UYGUN
AFG1	t= 1,265	tcrt=2,228	t<tcrt	UYGUN
AFG2	t= -1,017	tcrt=2,228	t<tcrt	UYGUN
Toplam AF	t= -0,445	tcrt=2,228	t<tcrt	UYGUN

Çizelge 5'te çalışmada kullanılan yüksek basınç sıvı kromatografisi (HPLC) cihazının marka-model ve analiz çalışma koşulları gösterilmiştir.

Çizelge 5. HPLC Cihazı Konfigürasyonu ve Analiz Çalışma Şartları.

Ekipman	Marka-Model	Şartlar
HPLC	Dionex Ultimate	
Pompa	Dionex P680	1 ml/dak. <300 bar
Oto Örnekleyici	Dionex ASI-100	100 µL
Dedektör	Dionex RF 2000	Ex: 360nm; Em: 440nm
Kolon Fırın	TCC-100	25 °C
Yazılım	Packer Bell, Chromeleon	
Kolon	Avantor ACE, C18 -250 mm-5µm- 4,6 mm	

2.1. Kimyasallar ve Sarf Malzemeler

Sodyum Klorür (7647-14-5), asetonitril (75-05-8), metanol (67-56-1) kimyasalları HPLC grade saflıkta, potasyum bromür (7758-02-3) %99,5 ve nitrik asit (7697-37-2) %65. Triology Aflatoksin B1, B2, G1, G2 kuru kristal toz standart kullanılmıştır.

2.2. Örneklerin hazırlanması

Kuru incir numuneleri, Silverson laboratuvar cihazı kullanılarak homojenize edilmiş ve analize hazırlanmıştır. Bu işlemde, 1000 mL'lik bir blender kabına 50 ±0.01 g numune tartılmış ve üzerine 5 g NaCl, 100 mL saf su ve 150 mL MeOH ilave edilerek 2 dakika boyunca yüksek devirde karıştırılmıştır. Karışım, cam huni ve ardından kaba filtre kağıdı ile Whatman No:4 filtre kağıdından süzülerek filtrat elde edilmiştir. Filtrattan 20 mL pipetle alınarak, üzerine 20 mL PBS (8.1.) solüsyonu veya saf su eklenmiş ve 1:100'lük bir mezürde karıştırılmıştır.

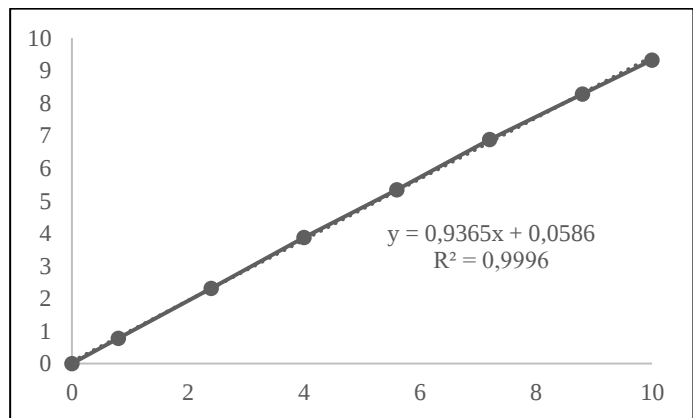
Sonrasında, IAC kolonunun mavi kısmı çıkarılmış, uç kısmı kesilmiş ve tekrar takılarak kolon

enjektöre sabitlenmiştir. Pipetle alınan 10 mL ekstrakt (kabuklu numunelerde 20 mL), kolondan saniyede 1 damla olacak şekilde geçirilmiştir. Ardından, kolon iki kez 10 mL saf su ile yıkanmış ve akış hızı 5 mL/dk'yı aşmayacak şekilde düzenlenmiştir. Kolondan su tamamen çıkarıldıktan sonra, 1 mL MeOH kolona eklenerek yavaşça geçirilmiş ve 15 mL'lik koyu renkli bir vialde toplanmıştır. Daha sonra, işlem 1 mL saf su kullanılarak tekrarlanmış ve bu su da aynı vialde birleştirilerek toplam hacim 2 mL'ye ulaşmıştır. Karışım, vorteks cihazında iyice karıştırıldıktan sonra 2 mL'lik bir vialde enjeksiyona hazır hale getirilmiştir (AOAC, 2003).

3. Tartışma

Aflatoksin analizinde doğru ve tekrarlanabilir sonuçlar elde etmek için doğrulama süreçleri büyük önem taşır (Williams & Zhao, 2019). Metodun geçerliliğini belirlemek için örnek körü, bilinen konsantrasyonlardaki örnekler, referans materyalleri veya kirlenmiş numuneler kullanılabilir. ISO 11095 standardına göre, metot çalışması için en az üç farklı konsantrasyon seviyesinde ya da ilgili mevzuatın belirlediği seviyelerde standart çözeltilerle en az iki kez tekrarlanan analizler yapılmalıdır. Bu analizlerin her biri, metot uygulandıktan sonra en az iki defa cihazda ölçülmelidir. Şekil 2'de Aflatoksin B1 için çizilen kalibrasyon grafiği R^2 (0,9996) değeri, kalibrasyon noktaları ve HPLC'de gelen alan büyüklükleri görülmektedir. Şekil 6'da ise elde edilen kalibrasyon grafiğinin ölçüm belirsizliğinin nasıl hesaplanacağını gösteren formülasyon yer almaktadır. Hesaplamalar sonucunda Kalibrasyon grafiğinden gelen genişletilmiş belirsizlik bütçesi $U(x)=0,012$ olarak hesaplanmıştır.

	A Conc. (ppb)	B Area
1	0	0
2	0,8	0,7743
3	2,4	2,3115
4	4	3,8788
5	5,6	5,3444
6	7,2	6,8878
7	8,8	8,2824
8	10	9,3239

**Şekil 2.** Aflatoksin B1 HPLC Cihazı Kalibrasyon Grafiği.

Çoğu modern analitik yöntem için LOD, yöntem saptama sınırı (MDL) ve enstrümantal saptama sınırı (IDL) olmak üzere iki bileşene ayrılabilir. MDL, belirli analitlerin analizi için geliştirilen ekstraksiyon ve analiz yöntemlerine uygulanması gereken bir terimdir. MDL, belirli bir matris için (belirli bir yöntemle) güvenilir bir şekilde tespit

edilebilen veya arka plandan ayırt edilebilen bir analitin en küçük miktarı veya konsantrasyonu olarak tanımlanabilir. Başka bir deyişle LOD, bir yöntemle ölçülen ve kendisiyle ilişkilendirilen belirsizlikten daha büyük olan en düşük değerdir (Taylor, 1989). MDL belirlenirken tüm matris girişimleri dikkate alınmalıdır (NATA, 2012).

Çizelge 6. Kalibrasyonda Gelen Ölçüm Belirsizliği Hesaplama Formülü

$u(x_0) = \frac{S}{b} \sqrt{\frac{1}{p} + \frac{1}{n} + \frac{(x_0 - \bar{x}_{\text{hesaplanan}})^2}{S_{xx}}}$		
S	0,061	Lineer kalibrasyon standart belirsizliği ($u(x_0)$) yukarıdaki formüle göre hesaplanır.
b	0,9365	
p	1	
n	10	$u(x_0)$: Kalibrasyon standart belirsizliği
x_0	5,6	S: Residuel standart sapma
X hesaplanan	4,85	b: Kalibrasyon doğrusunun eğimi
S_{xx}	94,88	p: Her bir konsantrasyon için okuma sayısı
Kalibrasyon Belirsizlik		n: Toplam okuma sayısı
$u(x_0)$	0,068	x_0 : kalibrasyon aralığının ortasına denk gelen bir konsantrasyon değeri alınır.
x_0	5,6	X hesaplanan: Hesaplanan konsantrasyon değerlerinin ortalaması
u (K)	0,012	S_{xx} : sample corrected sum of squares değeridir.

Codex Alimentarius Komisyonu Prosedür El kitabına göre yöntemin belirtilen hüküm, belirtilen ürün ve belirtilen seviye(ler) (maksimum ve/veya minimum) (ML) için geçerli olması gerekir. Yöntemin uygulanabilir minimum aralığı, değerlendirilecek belirlenen seviyeye (ML) bağlıdır ve tekrar üretilebilirlik standart sapması (SR) veya LOD ve LOQ cinsinden ifade edilebilir denmektedir. El kitabına göre uygulanabilir minimum aralığın belirlenmesine alternatif olarak kriterler LOD ve LOQ için sayısal değerler olabilir. Bu kapsamda LOD için sayısal değer şu şekilde hesaplanabilir: 0,1 mg/kg veya üzerindeki seviyeler için belirtilen ML'nin 1/10'undan fazla olmamalı veya 0,1 mg/kg'ın altındaki seviyeler için belirtilen ML'nin 1/5'inden fazla olmamalıdır. Aynı

şekilde LOQ'nun sayısal değeri şu şekilde hesaplanabilir: 0,1 mg/kg veya üzerindeki seviyeler için belirtilen ML'nin 1/5'inden fazla olmamalı veya 0,1 mg/kg'ın altındaki seviyeler için belirtilen ML'nin en fazla 2/5'i. kadar olmalıdır (FAO ve WHO, 2023).

Türk Gıda Kodeksi Bulaşanlar Tebliği (2023/11) kuru incir numunelerinde Toplam Aflatoksin maksimum izin verilen limit değeri 10 µg/kg olarak belirlenmiştir (Çizelge 7). Metot verifikasyon çalışmamızda LOD ve LOQ değeri hesaplanmasında 10 µg/kg Toplam Aflatoksin değeri baz alınarak hesaplama yapılmıştır (Anonim, 2023).

Limit of detection (LOD):

For $ML \geq 0,1 \text{ mg/kg}$, $LOD \leq ML \cdot 1/10$

For $ML < 0,1 \text{ mg/kg}$, $LOD \leq ML \cdot 1/5$

Limit of quantification (LOQ):

For $ML \geq 0,1 \text{ mg/kg}$, $LOQ \leq ML \cdot 1/5$

For $ML < 0,1 \text{ mg/kg}$, $LOQ \leq ML \cdot 2/5$

Çizelge 7. Türk Gıda Kodeksi Buluşanlar Yönetmeliği Antep Fıstığı Aflatoksin Limit Değerleri, (Anonim, 2023).

LOD ve LOQ				
Max Limit (µg/kg)	10,00 (Toplam Aflatoksin)			
LOD ≤ 1/5 ML	2,0 µg/kg			
LOQ ≤ 2/5 ML	4,0 µg/kg			
LOD	AFB1	0,5	AFG1	0,5
	AFB2	µg/kg	AFG2	µg/kg
LOQ	AFB1	1 µg/kg	AFG1	1 µg/kg
	AFB2		AFG2	

Geri kazanım çalışmaları, sertifikalı referans malzeme, belirlenmiş referans metodoloji ve yeterlilik testi mevcut olmayan durumlar için uygulanan bir yöntemdir. Bu yöntemin en önemli yararı, analizlerin orijinal matris üzerinde, yani testin gerçekleştirildiği gerçek örnek üzerinde yapılabilmesidir. Geri kazanım çalışması sırasında, analiz edilecek madde orijinal matrise eklenerek zenginleştirilir. Ancak, bu yöntemin dezavantajı, zenginleştirme işlemi sırasında, örneklerdeki

analitlerin orijinal örneklerdeki gibi güçlü fiziksel ve kimyasal bağlara sahip olmamasıdır. Bu, dışarıdan eklendiği için, analitlerin matrisle aynı güçlü bağları oluşturamamasıdır. Buna rağmen, geri kazanım çalışmaları genellikle daha doğru sonuçlar üretmektedir.

Başarılı bir geri kazanım oranı, aksi belirtilmediği sürece, %80 ile %110 arasında değişen sonuçlarla tanımlanır, Çizelge 8’de verilen aflatoksin B₁, B₂, G₁ ve G_a için geri kazanım değerleri yasal mevzuatın belirttiği sınır değerler arasında kaldığı görülmektedir. Sonuçların konsantrasyona göre değişebileceği göz önünde bulundurularak, yasal sınırlamaların olduğu durumlarda düşük konsantrasyonlarda da testler yapılmalıdır. Eurachem kılavuzu, etkin bir geri kazanım çalışmasının en az altı tekrar içermesi gerektiğini önerir ve çalışmaların, farklı konsantrasyon seviyelerinde, ölçüm aralığına uygun şekilde gerçekleştirilmesi tavsiye edilir (Yılmaz, 2012).

Çizelge 8. Kuru İncir Aflatoksin Geri Kazanım Değerleri.

Analist	Okunan Değer				Hesaplanan (%)			
	G2	G1	B2	B1	G2	G1	B2	B1
1	0,30	0,90	0,25	0,89	99,67	90,10	84,67	88,90
	0,28	0,91	0,27	0,90	93,67	90,80	90,67	89,70
2	0,28	0,90	0,26	0,90	94,33	89,50	87,33	90,10
	0,29	0,87	0,26	0,88	97,67	87,40	87,67	88,20
3	0,29	0,87	0,27	0,90	95,67	86,50	89,67	89,80
	0,29	0,90	0,26	0,89	98,00	89,90	88,00	88,50
4	0,28	0,93	0,27	0,94	92,33	92,60	90,33	93,80
	0,25	0,87	0,26	0,94	84,67	87,20	85,67	94,20
5	0,26	0,88	0,26	0,92	87,33	88,00	85,33	91,60
	0,29	0,90	0,26	0,93	95,00	90,10	85,00	93,00
6	0,25	0,92	0,26	0,93	83,33	92,10	88,00	93,00
	0,28	0,88	0,28	0,92	93,00	87,70	93,67	91,80
Ortalama	0,28	0,89	0,26	0,91	92,89	89,33	88,00	91,05
Standart Sapma	0,02	0,02	0,01	0,02	5,22	1,97	2,71	2,12
% RSD	5,62	2,21	3,08	2,33	5,62	2,21	3,08	2,33

ISO 3534-1(2006), kesinliği, öngörülen koşullar altında elde edilen bağımsız test sonuçları arasındaki yakınlığın (dağılıma derecesi) bir ölçüsü olarak tanımlar (öngörülen koşullar, örneğin, tekrarlanabilirlik, ara kesinlik veya tekrar üretilebilirlik). Gerekli hassasiyet, test sonuçlarının karar vermede oynayacağı role göre belirlenir. Not: "Bağımsız test sonuçları", aynı veya benzer test nesnesi üzerindeki önceki sonuçlardan etkilenmeyecek şekilde elde edilen sonuçlar

anlamına gelir; aynı zamanda test materyalleri bağımsız olarak hazırlanmıştır ve bu nedenle, ölçülen popülasyondan rastgele örnekler olarak kabul edilir.

Kesinlik genellikle standart sapma (daha az kesinlik daha büyük bir standart sapma ile yansıtılır) veya tekrarlanan sonuçların göreceli standart sapması (varyans katsayısı) gibi kesin olmayan ölçümlerle sayısal olarak ifade edilir.

Ancak diğer uygun önlemler de uygulanabilir. Belirtilen kesinliğin, yöntemin normal çalışma koşulları altındaki performansını gerçek anlamda yansıtabilmesi için, bu koşullar altında belirlenmesi gerekir (NATA,2012).

Kesinlik, ölçümlerin güvenilirliğini belirlemede önemli bir rol oynar ve dört temel faktöre bağlıdır. Zaman unsuru, kısa ve uzun vadede yapılan ölçümlerin tutarlılığını etkileyebilir; çevresel koşullardaki değişimler ölçüm sonuçlarını farklılaştırabilir. Kalibrasyon, aynı ekipmanla yapılan ölçümlerin tutarlılığını sağlamak için düzenli olarak yapılmalı, böylece sapmalar düzeltilmelidir. Operatör değişkenliği, farklı operatörler veya aynı operatörün farklı zamanlarda yaptığı ölçümler arasındaki tutarlılığı etkileyebilir. Son olarak, kullanılan ekipman, ölçüm sonuçlarının tutarlılığı üzerinde doğrudan etkilidir. Bu dört faktör, tekrarlanabilirlik ve tekrar üretilebilirlik çerçevesinde değerlendirilir (Yılmaz, 2012).

Eurachem rehberinde (2012), tekrarüretilebilirlik, laboratuvarlar arası (inter-laboratory) tekrar üretilebilirlik ve laboratuvar içi (intra-laboratory) tekrarüretilebilirlik olarak ikiye ayrılmıştır.

Eurachem rehberinde kesinlik için 10 tekrardan bahsederken TS ISO 5725-3 standardında en az 15 tekrar öngörülmüştür.

TÜRKAK'ın Metodun Geçerli Kılınması ve Doğrulanması için Bilgilendirme Kılavuzu (2023), kesinlik parametresinin hesaplanması sürecinde; kesinlik standart sapması basit tekrarlar içeren bir deneysel tasarım ile hesaplanabileceği gibi iç içe deney tasarımı (nested design) kullanılarak ANOVA ile de hesaplanabileceğini bildirmektedir. İç içe tasarım (nested design), karmaşık analizlerde farklı varyans bileşenlerini değerlendirmede etkili bir yöntemdir (Smith ve Chen, 2020).

Deney metodunun doğası gereği aynı gün içerisinde yeterli sayıda deney yapma imkânı yoksa kesinlik çalışmasında tekrarlanabilirlik ve ara kesinlik standart sapmalarını aynı anda vermesi nedeni ile ANOVA en etkili istatistiksel değerlendirme yöntemidir. Doğrulama amaçlı çalışma sonuçlarının değerlendirilmesinde ANOVA kullanılacaksa çalışmaya katılacak personelin tecrübesi göz önüne alınarak yeterli sayıda çalışma yapılması sağlanır.

Buradaki deney tasarımının günlük olarak (en az 2 tekrar ile) en az 5 gün yapılması önerilmektedir. Kuru incirde aflatoksin analizi verifikasyon çalışmasında düşük ve yüksek seviye olmak üzere 2 farklı toksin seviyesinde, 3 farklı laboratuvar personeli, 9 farklı günde her bir analiz 3'er paraleli olacak şekilde çalışmalar yapılmıştır. Elde edilen veriler iç içe tasarım yönetimi kullanılarak tekrarlanabilirlik (RSD_r) ve tekrarüretilebilirlik (RSD_R) değerleri aynı anda ANOVA analizi yardımı ile hesaplanmıştır (Çizelge 9 ve Çizelge 10).

Farklı seviyelerde, ürün kategorilerinde, analitik partilerde vb. farklı koşullarda elde edilen, n sayıdaki ölçümlerin standart sapmaları ve/veya bağlı standart sapmaları aşağıdaki formüller (ve ANOVA testi öncesinde varyansların homojenliğinin uygun bir istatistiksel yaklaşımla, örneğin Cochran testi, ispatlanmak koşulu) ile birleştirilebilir (TÜRKAK, 2022).

Cochran testi, kategorik verilerin (örneğin, evet/hayır, kırmızı/mavi/yeşil gibi) bir grup içinde homojen dağılıp dağılmadığını test etmek için kullanılan istatistiksel bir yöntemdir. Özellikle, bir örneklemin farklı alt gruplarında gözlenen frekansların eşit olup olmadığını değerlendirmek için kullanılır.

Burada sırasıyla her bir veri setine ait df ; serbestlik derecesini, s ; standart sapmasını, ve RSD ; bağlı standart sapmasını ve k ise toplam veri seti sayısını ifade eder. Elde edilen birleştirilmiş standart sapmanın toplam serbestlik derecesi ise $(1 + 2 + \dots +)$ 'dir. (TÜRKAK, 2022).

Varyans analizinin (ANOVA) arkasındaki temel fikir, tekrar analizlerinin örneğin, analist, cihaz, gün, laboratuvar, metot vb. gibi gruplanabilir, setteki toplam varyans, gruplar arası ve grup içi birleştirilmiş varyanslar (s^2) ile ifade edilebilir. ANOVA Şekil C.1'de gösterildiği gibi bir deneysel çalışma türü ile elde edilen sonuçların değerlendirilmesinde kullanılabilir. Bu "iç içe tasarım" da, tekrar ölçümleri (tipik olarak tekrarlanabilirlik koşulları altında elde edilmiş) p grup veriyi sağlamak için değişik gözlemlerdeki ölçümlerle tekrarlanır. Ara kesinlik hesabı için bu tür bir çalışmada gözlemler arası koşullarda en yüksek varyasyon sağlanmalıdır (değişik günler, değişik analist vb.) (Magnusson ve Örnemark, 2014)

Çizelge 9. Düşük Seviye Kuru İncir Örneğinde Aflatoksin B₁ İstatistiksel Veri Analizi.

Analiz	AFB1	AFB1	AFB1	AFB1	AFB1	AFB1	AFB1	AFB1	AFB1	AFB1
Matriks	İncir	İncir	İncir	İncir	İncir	İncir	İncir	İncir	İncir	İncir
Kişi	1.Kişi	2.Kişi	3.Kişi	1.Kişi	2.Kişi	3.Kişi	1.Kişi	2.Kişi	3.Kişi	1.Kişi
Uygulama	Spike	Spike	Spike	Spike	Spike	Spike	Spike	Spike	Spike	Spike
Seviye	1 ppb	1 ppb	1 ppb	1 ppb	1 ppb	1 ppb	1 ppb	1 ppb	1 ppb	1 ppb
1	0,921	0,902	0,890	0,906	0,931	0,912	0,899	0,932	0,794	
2	0,943	0,875	0,861	0,901	0,958	0,917	0,861	0,924	0,807	
3	0,910	0,874	0,858	0,900	0,937	0,907	0,855	0,900	0,788	
Ortalama	0,925	0,884	0,870	0,902	0,942	0,912	0,872	0,919	0,796	
Toplam Ortalama	0,891									
SD	0,0168	0,0159	0,0177	0,0032	0,0142	0,0050	0,0239	0,0167	0,0097	
T.SD	0,0433									
RSD	0,0182	0,0180	0,0203	0,0036	0,0151	0,0055	0,0274	0,0181	0,0122	
%RSD	1,82	1,80	2,03	0,36	1,51	0,55	2,74	1,81	1,22	
Varyans	0,000282	0,000252	0,000312	0,000010	0,000201	0,000025	0,000569	0,000277	0,000094	
Min.	0,910	0,874	0,858	0,900	0,931	0,907	0,855	0,900	0,788	
Max.	0,943	0,902	0,890	0,906	0,958	0,917	0,899	0,932	0,807	
Cochran Hesaplanan	0,281									
Cochran Kritik	0,871									
Varyans Homojenliği	UYGUN									
Tekrar. Sınırı(r) ="f"	3,300	0,055	0,052	0,058	0,011	0,047	0,017	0,079	0,055	0,032
Xmax-Xmin		0,033	0,028	0,032	0,006	0,027	0,010	0,044	0,032	0,019
Tekrar. Limit Değerlendirme		UYGUN	UYGUN	UYGUN	UYGUN	UYGUN	UYGUN	UYGUN	UYGUN	UYGUN
Grubbs Küçük Şüpheli		0,873	0,609	0,660	0,726	0,776	1,000	0,698	1,121	0,858
Grubbs Büyük Şüpheli		1,091	1,154	1,151	1,141	1,129	1,000	1,146	0,801	1,098
Grubbs Değerlendirme	1,155	UYGUN	UYGUN	UYGUN	UYGUN	UYGUN	UYGUN	UYGUN	UYGUN	UYGUN
Sr-Tekrarlanabilirlik Standart Sapması		0,015								
SR- Tekrarüretilebilirlik Standart Sapması		0,045								
%RSDr tekrarlanabilirlik		1,683								
%RSDR Tekrarüretilebilirlik		5,036								

Çizelge 9 düşük konsantrasyon seviyesindeki kuru incir örneklerinde yapılan aflatoksin B₁ analizine dair istatistiksel veriler sunulmuştur. Tekrarlanabilirlik standart sapması (Sr) 0,015 olarak belirlenmiş ve %RSD değeri 1,683 olarak hesaplanmıştır. Bu değerler, yöntemin düşük seviye konsantrasyonlarda tutarlı ve güvenilir ölçümler yapabildiğini göstermektedir. Ayrıca, tekrar üretilebilirlik standart sapması (SR) 0,045 ve %RSD değeri 5,036 olarak hesaplanmıştır. Bu sonuçlar, yöntem performansının farklı operatörler ve cihazlar arasında bile uyumlu olduğunu doğrulamaktadır (Magnusson & Örnemark, 2014). Analiz sırasında elde edilen düşük standart sapma ve %RSD değerleri, metodun düşük aflatoksin seviyelerinde bile hassasiyet ve kesinlik açısından uygun olduğunu göstermektedir (TS 5822-2 ISO 5725-2, 2000).

Yüksek konsantrasyon seviyesinde yapılan analizlerde ise tekrarlanabilirlik standart sapması (Sr) ve tekrar üretilebilirlik standart sapması (SR) değerlerinin yüksek seviye konsantrasyonlarda artış gösterdiği gözlemlenmiştir (Çizelge 10).

Ancak, %RSD değerlerinin kabul edilebilir sınırlar içerisinde olması, metodun yüksek seviyelerde de güvenilir olduğunu göstermektedir. Bu durum, aflatoksin konsantrasyonunun yüksek olduğu örneklerde metodun tutarlı sonuçlar verdiğini ve analitik performansın değişmediğini ortaya koymaktadır.

Tekrarlanabilirlik (%RSD ≤ 2): Düşük seviyelerde %RSD değeri 2'nin altında kalarak, ölçümlerin tutarlı olduğunu kanıtlamaktadır [(ISO 3534-1, 2006)]. Tekrar Üretilebilirlik (%RSD ≤ 5): Yüksek seviyelerde %RSD değeri 5 civarında seyrederek, farklı koşullar altında metodun güvenilirliğini koruduğunu göstermektedir (Taylor, 1989).

Bu bulgular, metodun modifiye edilmiş versiyonunun orijinal yöntemle uyumlu olduğunu desteklemektedir (AOAC, 2003). Ayrıca, iç içe tasarımın farklı faktörlerin etkisini değerlendirme konusunda güçlü bir araç olduğunu ortaya koymaktadır (Anonim, 2018a).

Çizelge 10. Yüksek Seviye Kuru İncir Örneğinde Aflatoksin B₁ İstatistiksel Veri Analizi.

Analiz	AFB1	AFB1	AFB1	AFB1	AFB1	AFB1	AFB1	AFB1	AFB1	AFB1
Matriks	İncir	İncir	İncir	İncir	İncir	İncir	İncir	İncir	İncir	İncir
Kişi	1.Kişi	2.Kişi	3.Kişi	1.Kişi	2.Kişi	3.Kişi	1.Kişi	2.Kişi	3.Kişi	1.Kişi
Uygulama	Spike	Spike	Spike	Spike	Spike	Spike	Spike	Spike	Spike	Spike
Seviye	2 ppb	2 ppb	2 ppb	2 ppb	2 ppb	2 ppb	2 ppb	2 ppb	2 ppb	2 ppb
1	1,871	1,777	1,809	1,824	1,847	1,767	1,859	1,842	1,803	1,803
2	1,908	1,889	1,820	1,833	1,841	1,793	1,865	1,834	1,840	1,840
3	1,892	1,796	1,822	1,810	1,848	1,842	1,803	1,852	1,827	1,827
Ortalama	1,890	1,821	1,817	1,822	1,845	1,801	1,842	1,843	1,823	1,823
Toplam Ortalama	1,834									
SD	0,0186	0,0599	0,0070	0,0116	0,0038	0,0381	0,0342	0,0090	0,0188	0,0188
T.SD	0,0341									
RSD	0,0098	0,0329	0,0039	0,0064	0,0021	0,0211	0,0186	0,0049	0,0103	0,0103
%RSD	0,98	3,29	0,39	0,64	0,21	2,11	1,86	0,49	1,03	1,03
Varyans	0,000344	0,003592	0,000049	0,000134	0,000014	0,001450	0,001169	0,000081	0,000352	0,000352
Min.	1,871	1,777	1,809	1,810	1,841	1,767	1,803	1,834	1,803	1,803
Max.	1,908	1,889	1,822	1,833	1,848	1,842	1,865	1,852	1,840	1,840
Cochran Hesaplanan	0,500									
Cochran Kritik	0,871									
Varyans Homojenliği	UYGUN									
Tekrar. Sınırı(r) ="f"	3,300	0,061	0,198	0,023	0,038	0,012	0,126	0,113	0,030	0,062
Xmax-Xmin		0,037	0,112	0,013	0,023	0,007	0,075	0,062	0,018	0,037
Tekrar. Limit Değerlendirme		UYGUN	UYGUN	UYGUN	UYGUN	UYGUN	UYGUN	UYGUN	UYGUN	UYGUN
Grubbs Küçük Şüpheli		1,042	0,729	1,143	1,064	1,145	0,884	1,150	0,961	1,083
Grubbs Büyük Şüpheli		0,952	1,140	0,714	0,920	0,704	1,085	0,663	1,035	0,888
Grubbs Değerlendirme	1,155	UYGUN	UYGUN	UYGUN	UYGUN	UYGUN	UYGUN	UYGUN	UYGUN	UYGUN
Sr-Tekrarlanabilirlik Standart Sapması		0,028								
SR- Tekrarüretilebilirlik Standart Sapması		0,040								
%RSDr tekrarlanabilirlik		1,541								
%RSDR Tekrarüretilebilirlik		2,171								

Çizelge 11 de verilen kesinlik değerleri (sr ve sR) aşağıdaki denklemlerle hesaplanabilir:

1) Tekrarlanabilirlik standart sapması (Sr) "Gruplar İçinde Kareler Ortalamasının" kareköküne eşittir:

$$S_r = \sqrt{MS_w}$$

2) Gruplar Arasındaki varyansın (sb) toplam varyansa katkısı da ANOVA Tablosundan hesaplanabilir:

$$S_b = \sqrt{(MS_b - MS_w)/n}$$

3) Laboratuvar içi tekrar üretilirlik standart sapması (sR), yukarıdaki iki bileşenin (Gruplar içinde ve gruplar arasında varyansın) birleştirilmesi ile hesaplanabilir:

$$S_R = \sqrt{S_r^2 + S_b^2}$$

ANOVA bir laboratuvarında uygulandığında deney metodunun tekrarlanabilirlik ve ara kesinlik standart sapmalarının belirlenmesinde ve ayrıca ikiden fazla ölçüm dizisinin aritmetik ortalamaların karşılaştırılmasında kullanılabilir. Yukarıda verilen örnek deney metodunun kesinlik verilerini (tekrarlanabilirlik ve ara kesinlik) bulmaya amaçlamaktadır. Bu nedenle aritmetik ortalamaların karşılaştırılmasında uygunluk değerlendirme kriteri olan $F \leq F_{ölçütü}$ çıkması hali bu çalışmalarda aranmaz (TS 5822-1 ISO 5725-1, (2011), TS 5822-2 ISO 5725-2, (2000)).

İç içe tasarım (nested design) yöntemi kullanılarak yapılan bu istatistiksel analizler, analitik metodun hem düşük hem de yüksek seviyelerde güvenilir sonuçlar sağladığını göstermektedir. Bu yaklaşım sayesinde cihazlar, operatörler ve zaman faktörleri arasındaki varyasyonlar detaylı olarak incelenmiş ve metodun tekrarlanabilirlik ve tekrar üretilirlik açısından yeterli olduğu doğrulanmıştır (TÜRKAK, 2023).

Çizelge 11. Tek etken ANOVA hesaplama formülleri (TÜRKAK, 2022).

Varyans Kaynağı	Karelerin Toplamı (SS)	Serbestlik derecesi (df)	Karelerin Ortalaması (MS)	F	P	F _{kritik}
Gruplar arasında	SS _b	p-1	MS _b = SS _b / (p-1)	MS _b /MS _w		
Gruplar içinde	SS _w	N-p	MS _w = SS _w / (N-p)			
Toplam	SS _T = SS _b + SS _w	N-1				

Çizelge 12, düşük seviyedeki aflatoxin B1 konsantrasyonlarında metodun tekrarlanabilirlik (Sr) ve tekrar üretilebilirlik (SR) değerlerini sunmaktadır. Tekrarlanabilirlik standart sapması (Sr) 0,015 ve tekrar üretilebilirlik standart sapması (SR) 0,045 olarak hesaplanmıştır. Bu değerler, yöntemin düşük seviyeli konsantrasyonlarda güvenilir ölçümler yaptığını göstermektedir. Ayrıca, %RSD_r (tekrarlanabilirlik için bağlı standart sapma) 1,683 ve %RSD_R (tekrar üretilebilirlik için bağlı standart sapma) 5,036 olarak hesaplanmıştır. Bu oranlar, uluslararası standartlara göre kabul edilebilir sınırlar içindedir (TS 5822-3 ISO 5725-3, 2000).

Çizelge 12. Düşük Seviye Kuru İncir Örneğinde Aflatoxin B1 İç İçe Tasarım Yöntemi ile RSD_r ve RSD_R Değerlerinin Hesaplanması.

Sr-Tekrarlanabilirlik Standart Sapması	$S_r = \sqrt{MS_w}$	0,015
SR-Tekrarüretilebilirlik Standart Sapması	$S_R = \sqrt{(MS_b - MS_w)/n}$	0,045
%RSD _r tekrarlanabilirlik	$\%RSD_r = S_r / \text{Ortalama}$	1,683
%RSD _R Tekrarüretilebilirlik	$\%RSD_R = S_R / \text{Ortalama}$	5,036

4. Sonuç

İç içe tasarım yaklaşımını analitik metot verifikasyonunda uygulamak, metodolojinin farklı koşullar altındaki robustluğunu (güçlülüğünü) ve güvenilirliğini değerlendirmede önemli bir araçtır. Bu yaklaşım, özellikle karmaşık testlerin ve analizlerin doğruluğunu ve tekrarlanabilirliğini sağlamak için kritik öneme sahiptir.

Her seviyede elde edilen veriler, bir sonraki seviyenin tasarımına ve değerlendirmesine katkıda bulunur. Örneğin, cihaz performansındaki bir sorun, sonraki seviyelerdeki testleri etkileyebilir. Bu nedenle, her seviyenin başarılı olması önemlidir.

Bu yaklaşım, kimyasal analiz yöntemlerinin güvenilirliğini sağlamak için sistematik bir süreç sağlar. Ancak, her yöntem ve uygulama alanı için spesifik gereksinimler ve toleranslar göz önünde bulundurulmalıdır.

Analitik metot verifikasyonunda iç içe tasarım kullanımının avantajları şunlardır:

1. Daha Derinlemesine Analiz: Metodun farklı koşullar altında nasıl performans gösterdiğini detaylı bir şekilde analiz etme imkânı sunar.
2. Faktör Etkileşimlerinin Belirlenmesi: Farklı faktörlerin (cihaz, operatör, numune türü vb.) sonuçlar üzerindeki etkileşimlerini değerlendirme olanağı sağlar.
3. Etkin Kaynak Kullanımı: Veri toplama ve analiz süreçlerinde kaynakları daha etkin kullanmayı mümkün kılar, çünkü iç içe tasarım veri toplama işlemini daha sistematik hale getirir.
4. Veri Yorumlama: Veri seti içindeki değişkenler arasındaki ilişkilerin daha net bir şekilde yorumlanmasına yardımcı olur.

Bu çalışmada, kuru incir numunelerinde aflatoxin analizine yönelik modifiye edilen analitik metot, iç içe tasarım (nested design) yaklaşımı ile doğrulanmıştır. Metot verifikasyonu, yöntemin hassasiyet, doğruluk, kesinlik, LOD (saptama sınırı) ve LOQ (kantitasyon sınırı) gibi temel parametreler açısından uygun olduğunu göstermiştir. Modifiye edilen yöntem ile orijinal yöntem arasında yapılan istatistiksel karşılaştırmalar, iki yöntemin sonuçlarının uyumlu olduğunu ve modifiye yöntemin güvenilir olduğunu ortaya koymuştur. Ayrıca, nested design yaklaşımıyla, cihaz ve operatör gibi farklı faktörlerin varyans üzerindeki etkileri ayrıntılı şekilde değerlendirilmiş, yöntemin farklı koşullarda tekrarlanabilirliği ve güvenilirliği kanıtlanmıştır.

Elde edilen sonuçlar, kuru incir gibi matris etkisinin yüksek olduğu ürünlerde bile yöntemin güvenilir şekilde uygulanabileceğini göstermektedir. Metodun hem düşük hem de yüksek aflatoxin seviyelerinde doğruluk ve hassasiyet açısından etkin olduğu belirlenmiştir. Bu bulgular, modifiye edilen analitik yöntemin, yasal limitlerin değerlendirilmesinde ve aflatoxin analizinde rutin kullanım için uygun olduğunu

ortaya koymaktadır. Çalışma, metot verifikasyonu süreçlerinde iç içe tasarım yaklaşımının kullanılabilirliğini ve avantajlarını vurgularken,

5. References

Anonim, 2023. Türk Gıda Kodeksi Bulaşanlar Yönetmeliği. Gıda, Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı. 05 Kasım 2023 tarih ve 32360 sayılı Resmî Gazete, Ankara.

Anonim, 2018a. Gıda ve Kontrol Genel Müdürlüğü, Kimyasal ve fiziksel analizlerde metot validasyon/verifikasyon rehberi https://www.tarimorman.gov.tr/GKGM/Belgeler/DB_Gida_Kont/Kimyasal_Fiziksel_Val_Ver_Rehberi.pdf (Erişim: 27.03.2024)..

Anonim, 2018b. Gıda ve Kontrol Genel Müdürlüğü, Kimyasal ve fiziksel analizlerde ölçüm belirsizliği rehberi https://www.tarimorman.gov.tr/GKGM/Belgeler/DB_Gida_Kont/Kimyasal_Fiziksel_Val_Ver_Rehberi.pdf (Erişim: 27.03.2023)..

AOAC, 2003. Official Methods of Analysis. 21th ed., Association of Official Analytical Chemists, Gaithersburg, MD, USA

B. Magnusson and U. Örnemark, 2014. Eurachem Guide: The Fitness for Purpose of Analytical Methods – A Laboratory Guide to Method Validation and Related Topics, (2nd ed. 2014). ISBN 978-91-87461-59-0. Available from <http://www.eurachem.org>

EURACHEM/CITAC Guide. (2012). *Quantifying Uncertainty in Analytical Measurement*. 3rd Edition.

FAO and WHO. 2023. *Codex Alimentarius Commission Procedural Manual*. Twenty-eighth edition, revised. Rome. <https://doi.org/10.4060/cc5042en>

ISO, 2006. ISO 3534-1: 2006. Statistics–Vocabulary and symbols–Part 1: General statistical terms and terms used in probability.

NATA, 2012. Guidelines for the validation and verification of quantitative and qualitative test methods, National Association of Testing Authorities Technical Note.

Rao, P. S., & Srinivas, S. P., 2015. Analytical method validation and method transfer in pharmaceuticals. In S. P. Srinivas (Ed.), *Pharmaceutical Analytical Chemistry* (pp. 23–42).

güvenilir analiz sonuçları elde etmek için laboratuvarlar arası standartlaştırılmış bir temel sunmaktadır.

Elsevier. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780124158097000021>

Smith, J. A., & Chen, L., 2020. Nested design for variance component analysis in method validation. *Accreditation and Quality Assurance*, 25(3), 231–239. <https://link.springer.com/article/10.1007/s00769-020-01446-5>

Taylor, J.K., *Quality Assurance of Chemical Measurements*, sixth edition, Lewis Publishers, ISBN 0-87371-097-5, 1989, page 79.

TS 5822-1 ISO 5725-1, 2011. *Ölçme metotlarının ve sonuçlarının doğruluğu (gerçeklik ve kesinlik) - Bölüm 1: Genel Prensipler ve tarifler*, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS 5822-2 ISO 5725-2, 2000. *Ölçme metotlarının ve sonuçlarının doğruluğu (gerçeklik ve kesinlik) - Bölüm 2: Standart bir ölçme metodunun tekrarlanabilirliği ve uyarlığın tayini için temel metot*, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS 5822-3 ISO 5725-3, 2000. *Ölçme metotlarının ve sonuçlarının doğruluğu (gerçeklik ve kesinlik) - Bölüm 3: Standard bir ölçme metodunun kesinliğinin ara ölçmeleri*, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS EN ISO/IEC 17025, 2017. *Deney ve kalibrasyon laboratuvarlarının yetkinliği için genel gereklilikler*, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

Türk Akreditasyon Kurumu, TÜRKAK, 2022. *Metodun geçerli kılınması ve doğrulanması için bilgilendirme kılavuzu*, Türk Akreditasyon Kurumu, Ankara.

Türk Akreditasyon Kurumu, TÜRKAK, 2023. *Uygunluk değerlendirme kuruluşlarının akreditasyonu prosedürü*, Türk Akreditasyon Kurumu, Ankara.

Yılmaz, A. 2012. Kimyasal analizlerde metod validasyonu ve verifikasyonu. *Turklab Rehber*, (01).

Williams, C., & Zhao, Y. 2019. Aflatoxin determination in food samples: Methods and applications. *Toxins*, 11(7), 401

Original Article/Özgün Araştırma

Antifungal Activity of Bee Pollen Extracts Against Selected Filamentous Fungi

Arı Polen Ekstraktlarının Filamentöz Mantar Türlerine Karşı Antifungal Etkisi

Neslihan Ulubayram^{1,2*}, Aycan Yigit Cinar³

¹ Department of Food Processing, Vocational School of Altıntaş, Kutahya Dumlupınar University, KUTAHYA, TÜRKİYE

² Department of Food Engineering, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Bursa Uludağ University, BURSA, TÜRKİYE

³ Department of Food Engineering, Faculty of Engineering and Natural Sciences, Bursa Technical University, BURSA, TÜRKİYE

(By author order/Yazar sıralamasına göre)

ORCID ID: 0000-0001-5880-4261, Öğr. Gör.

ORCID ID: 0000-0003-2038-725X, Doç. Dr.

*Corresponding author/Sorumlu yazar: neslihan.ulubayram@dpu.edu.tr

Geliş Tarihi : 12.02.2025

Kabul Tarihi : 11.06.2025

Abstract

Objective: Pollen is a natural bee product known for its rich bioactive content and positive effects on health. Although previous research has highlighted the antibacterial and antifungal properties of bee pollen, there is still a lack of comprehensive studies investigating its inhibitory effects on fungi, particularly molds. Our research seeks to contribute to filling this gap by assessing the antifungal potential of bee pollen against selected fungal species.

Materials and methods: In this study, the antifungal properties of bee pollen obtained by combining two multifloral samples from the Bursa region were evaluated. Ethanolic and methanolic extracts of the bee pollen at varying concentrations (1%, 5%, 7.5%, and 10%) were tested for their inhibitory effects against *Alternaria alternata*, *Penicillium chrysogenum*, *Fusarium culmorum*, and *Aspergillus flavus*.

Results and conclusion: Both pollen extracts exhibited dose-dependent antifungal activity against all tested fungal strains, with the methanol/water extract demonstrating significantly greater efficacy than the ethanol/water extract. The highest antifungal activity among all tested fungi was consistently observed at the 10% extract concentration. Among the tested strains, *F. culmorum* demonstrated the highest sensitivity, with a 7.5% concentration effectively inhibiting its growth. Given the promising antifungal potential, further investigation is needed to identify the primary bioactive compounds and elucidate their mechanisms of action.

Keywords: Bee pollen, antifungal activity, filamentous fungi, mold

Öz

Amaç: Polen, zengin biyoaktif içeriği ve sağlık üzerine olumlu etkileri ile bilinen doğal bir arı ürünüdür. Polen üzerinde yürütülen bilimsel çalışmalar, onun antibakteriyel ve antifungal özelliklerini ortaya koymaktadır. Ancak, özellikle küf mantarları üzerinde arı polenin inhibisyon etkisine dair yeterli çalışma bulunmamaktadır. Araştırmamız, arı polenin seçilmiş mantar türlerine karşı antifungal potansiyelini değerlendirerek literatüre katkıda bulunmayı amaçlamaktadır.

Materyal ve yöntem: Bu çalışmada, Bursa bölgesinden temin edilen iki multifloral polen örneğinin birleştirilmesiyle elde edilen arı polenin antifungal özellikleri değerlendirilmiştir. Polen farklı konsantrasyonlarda hazırlanan etanolik ve metanolik ekstreleri (%1, %5, %7,5, %10), *Alternaria alternata*, *Penicillium chrysogenum*, *Fusarium culmorum* ve *Aspergillus flavus* olmak üzere dört filamentöz mantar türüne karşı test edilmiştir.

Tartışma ve sonuç: Her iki polen ekstresi de test edilen tüm mantar türlerine karşı doza bağlı antifungal aktivite göstermiş olup, metanol/su ekstresinin etanol/su ekstresine kıyasla belirgin şekilde daha yüksek etkinlik sergilediği gözlemlenmiştir. En yüksek antifungal aktivite, tüm mantar türlerinde %10'luk ekstre konsantrasyonunda kaydedilmiştir. Test edilen türler arasında *F. culmorum*, %7,5'lik konsantrasyonda dahi

etkili bir inhibisyon göstererek en yüksek duyarlılığı sergilemiştir. Elde edilen umut verici sonuçlar doğrultusunda, polenin antifungal potansiyelini sağlayan biyoaktif bileşenlerin tanımlanması ve etki mekanizmalarının aydınlatılması için ileri çalışmalara ihtiyaç duyulmaktadır.

Anahtar kelimeler: Arı poleni, antifungal aktivite, filamentli mantarlar, küf

1. Introduction

Pollen is typically yellow or orange in color and a powdery material, produced by blooming plants and collected by bees to serve as a nutrient source for the development and maintenance of the colony. Besides being a nutrient food for bees, bee pollen has been used in human nutrition and apitherapy for many years. Composition of pollen mainly depends on botanical and geographic origin, therefore some pollen types are classified as highly nutritious, while others are characterized by their therapeutic properties (Kieliszek et al., 2018). In general, bee pollen contains essential nutrients like carbohydrates, amino acids, proteins, lipids, vitamins, minerals and bioactive substances such as phytosterols, phenolic compounds, phytochemicals and flavonoids. Due to its nutrients, it is considered as a potential source of energy and proteins for human consumption (Kroyer and Hegedus, 2001; Campos et al., 2010). With contribution to nutrition, bee pollen exhibits antioxidants, anti-inflammatory, hepatoprotective, anti-carcinogenic, antibacterial, anti-fungicidal, and anti-atherosclerotic activities (Campos et al., 2010; Komosinska-Vassev et al., 2015; Alvarez-Suarez, 2017). Owing to its bioactive components and nutritional benefits, pollen is generally consumed as a functional food and therapeutic agent. While bee pollen contains compounds with potential bioactive and therapeutic properties, further extensive studies are necessary to fully understand its applications in therapy (Denisow and Denisow-Pietrzyk, 2016).

Recent studies have underlined the antibacterial and antifungal features of bee pollen, attributing these effects primarily to its rich bioactive compounds such as flavonoids, phenolic compounds, and phenol amides (Rodríguez-Pólit et al., 2023). Studies investigating the correlation between phenolic content and antimicrobial activity in bee pollen have identified kaempferol, quercetin, and caffeic acid as key bioactive compounds (Ilie et al., 2024). These components act through multiple mechanisms, including bacterial membrane disruption, ion channel interference, and ATP synthesis inhibition against diverse bacterial pathogens (Bakour et al., 2019). Also, the precise mechanisms underlying the differential effects of these phenolics on microbial growth remain to be fully understood. Further research is necessary to know the relationships between these two and specific antifungal efficacy of individual phenolic constituents.

Research has shown that bee-collected pollen exhibits antimicrobial effect against diverse

pathogens, including bacteria and fungi. The most sensitive microorganisms are Gram positive bacteria, particularly *Staphylococcus aureus*, as shown by Carpes et al. (2007), Fatrcová-Šramková et al. (2013) and Pascoal et al. (2014). Some studies have also shown an inhibitory activity opposed to Gram negative bacteria, such as *Pseudomonas aeruginosa* and *Escherichia coli*, along with yeasts and fungi (Carpes et al., 2007). Studies about antibacterial effects of pollen are considerably more comprehensive and more than those addressing its antifungal properties. Notably, investigations into fungal activity have predominantly focused on *Candida* spp., common yeast species frequently associated with such research (Didaras et al., 2020). The most extensive study conducted on the antifungal activity of bee pollen evaluated its efficacy against a wide range of fungal species, including *Aspergillus niger*, *Aspergillus flavus*, and *Aspergillus fumigatus*, as well as seven different yeast strains: *Candida krusei*, *Candida albicans*, *Rhodotorula mucilaginosa*, *Candida glabrata*, *Geotrichum candidum*, *Candida parapsilosis* and, *Candida tropicalis* (Kacaniova et al., 2012). However, there is not sufficient research on the inhibitory effects of bee pollen against fungi, especially molds. Also, studies exhibit considerable variation depending on the solvent utilized. This variability underscores the importance of solvent selection in determining the efficacy of bioactive compounds, highlighting the need for careful optimization in antimicrobial studies. In this study, the antifungal activity of bee pollen, especially on filamentous molds, was investigated and the comparative results obtained using different solvents were evaluated. The inhibitory potential and efficacy of the bee pollen on causers of food spoilage and potentially toxigenic fungi was investigated.

2. Materials and Methods

Pollen was prepared by mixing two multifloral bee pollen samples which were obtained from different beekeepers in Kestel and İnegöl regions of Bursa, Turkey. While the flora of these regions has been investigated in previous studies, palynological analysis could provide valuable insights for further research into regional variations in pollen composition.

The microscopic filamentous fungi (*Alternaria alternata*, *Penicillium chrysogenum*, *Aspergillus flavus* and *Fusarium culmorum*) were provided by the culture collection of Department of Food Engineering, Faculty of Engineering and Natural

Sciences, Bursa Technical University. Sabouraud dextrose agar (SDA) used as the main medium in the study.

For the preparation of sample extracts, the method reported by Morais et al. (2011) was used, with minor modifications. Prior studies have shown that bee pollen compounds are soluble in alcohol-based solvents and, to some extent, in water. Considering these findings, a solvent mixture combining ethanol/methanol and water was formulated to enhance the extraction of such bioactive compounds. Methanol/water (3:1, v/v) and ethanol/water (3:1, v/v) were used as solvents. Pollen (50 g) was extracted 150 ml of solvent by maceration with stirring at room temperature for 24 h and the solution was filtered by Whatman filter paper No. 4 and the solid residue was re-extracted. Then, they were stored in small (20 mL) colorful bottles under refrigeration until use.

The fungi were cultivated on Sabouraud dextrose agar (SDA) petries for seven days at 30 °C and the spores were harvested with 10 mL of 0.1% Tween 80 (Merck, Darmstadt, Germany) solution sterilized by membrane (0.45 µm) filtration. The spore suspensions were adjusted with the same solution to give a final concentration of 10⁶ spore/mL and used the same day. Pollen extracts were added to Sabouraud dextrose agar with proper amounts to prepare of 1%, 5%, 7.5 % and 10% (v/v) concentrations of extract-containing medium. Agar solutions, adjusted to the desired concentrations, were poured into sterile Petri dishes and point-inoculated with 2 mL of spore suspension in the center. Plates were incubated at 30 °C for 7 days. Culture medium without pollen extracts was used as a control and methanol/ethanol solvents were substituted to determine inhibition effect of solvents (Yigit and Korukluoglu, 2007). The fungus was incubated at 30°C for seven days. The Petri plates, in which no growth was observed were incubated for 14 days. After seven days of incubation, the colony diameter was measured, and percent mycelial inhibition was calculated as follows.

$$I = (C - T/C) \times 100$$

Where I is the inhibition (%), C is the colony diameter of mycelium from the control Petri plate (in mm), and T is the colony diameter of mycelium from the test Petri plate (in mm) (Özcan, 2004). Three replications were made for each concentration and the microorganism, and averages and standard deviations were calculated.

The statistical analyses were performed using Minitab, version 22 (Minitab LLC, PA, USA). The obtained data was expressed as mean ± standard deviation (SD). Differences between means were determined by one-way analysis of variance (ANOVA) at a significance level of p<0,05, followed by Tukey's test as a post-hoc analysis.

3. Results and Discussion

Existing research often focuses on a narrow range of fungal species. Results generally varied significantly due to factors such as botanical origin, extraction methods, and the microorganisms tested. The choice of solvent also critically influences outcomes, complicating data interpretation. These limitations are obstacles to fully understanding the antifungal potential of bee pollen. Our study aimed to contribute to this field by increasing the available data and it was observed that both pollen extracts demonstrated dose-related antifungal effect on all test fungi. The antifungal activities of methanol/water and ethanol/water extracts of pollen against pathogenic fungus are shown in Table 1.

Among the applied extract concentrations, the 10% dose showed the strongest antifungal activity against all tested fungal species. *Alternaria alternata* showed statistically significant inhibition (p<0.05) across tested concentrations (5%, 7.5% and 10%) of both methanol and ethanol extracts. The inhibition zones decreased from 64.3 ± 0.6 mm to 29.5 ± 1.7 mm at the highest concentration (10%) of the methanol/water extract, while the ethanol/water extract showed a more dramatic reduction from 85 mm to 3.42 ± 2.8 mm. At 7.5% concentration, the inhibition of *A. alternata* was 46% for the methanol/water extract and 44% for the ethanol/water extract. The highest inhibition was observed at 10% concentration, with the methanol/water extract achieving 54% inhibiting and the ethanol/water extract reaching 60% (Figure 1). According to Özcan et al. (2004), the percent inhibition of pollen at concentrations of 2% and 5% against *A. alternata* was found to be lower than 50%. This may be attributed to the relatively low concentration used, as evidenced by the findings in our study, where at a 5% concentration, the methanol extract exhibited 37% inhibition, while the ethanol extract demonstrated 25% inhibition against *A. alternata*. As reported by Cabrera and Montenegro (2013), aqueous extract, did not exhibit a complete inhibitory effect on the fungi; however, it resulted in delayed growth when compared to the control group. The study result reveals the importance of the extraction method.

Table 1. Inhibition zone diameters of methanol/water and ethanol/water extracts against fungi at different concentrations (in mm $\pm$ S.D.)

Fungi	Extract Type	Control	1%	5%	7.5%	10%
<i>Alternaria alternata</i>	M	64.3 $\pm$ 0.6 ^a	59.5 $\pm$ 0.0 ^b	40.7 $\pm$ 0.3 ^c	34.8 $\pm$ 0.6 ^d	29.5 $\pm$ 1.7 ^e
	E	85.0 $\pm$ 0.0 ^a	85.0 $\pm$ 0.0 ^a	63.8 $\pm$ 1.6 ^b	4.73 $\pm$ 0.6 ^c	3.42 $\pm$ 2.8 ^d
<i>Aspergillus flavus</i>	M	66.3 $\pm$ 0.6 ^a	64.5 $\pm$ 0.0 ^a	36.3 $\pm$ 1.0 ^b	31.2 $\pm$ 0.6 ^c	27.2 $\pm$ 0.6 ^d
	E	85.0 $\pm$ 0.0 ^a	85.0 $\pm$ 0.0 ^a	78.7 $\pm$ 1.2 ^a	4.82 $\pm$ 1.6 ^b	3.67 $\pm$ 1.5 ^b
<i>Penicillium chrysogenum</i>	M	14.3 $\pm$ 0.6 ^a	19.2 $\pm$ 0.6 ^a	13.0 $\pm$ 0.7 ^{ab}	9.80 $\pm$ 0.6 ^{bc}	5.00 $\pm$ 0.7 ^c
	E	27.3 $\pm$ 0.6 ^a	25.3 $\pm$ 0.4 ^a	16.7 $\pm$ 0.6 ^a	15.0 $\pm$ 1.4 ^b	12.3 $\pm$ 0.6 ^b
<i>Fusarium culmorum</i>	M	61.0 $\pm$ 1.0 ^a	14.2 $\pm$ 0.6 ^b	12.5 $\pm$ 0.0 ^b	9.50 $\pm$ 0.0 ^b	-
	E	41.0 $\pm$ 1.0 ^a	17.7 $\pm$ 0.6 ^b	15.8 $\pm$ 0.1 ^c	-	-

(-) No inhibition zone, M: Methanol extract, E: Ethanol extract Within a column, means with distinct letters differ significantly ($p < 0.05$).

Similarly, the methanol/water extract reduced *Aspergillus flavus* growth from 66.3 $\pm$ 0.6 mm to 27.2 $\pm$ 0.6 mm, while the ethanol/water extract showed a more pronounced reduction, from 85 mm to 3.67 $\pm$ 1.53 mm. At 10% concentration, the methanol/water extract achieved the highest inhibition of *Aspergillus flavus* at 59%, while the ethanol/water extract reached 57% inhibition, demonstrating the strong dose-dependent antifungal potential of both extracts at higher concentrations (Figure 1). Research about the antifungal activity of pollen on *Aspergillus* species (*Aspergillus flavus*, *Aspergillus fumigatus*, *Aspergillus niger*, *Aspergillus ochraceus* and *Aspergillus versicolor*) provided bee pollen has an antifungal activity but not completely inhibited mycelial growth (Özcan, 2004; Fatrcová-Šramková et al., 2016). A study used three different strains of filamentous fungi, *A. niger*, *A. flavus*, *A. fumigatus* has confirmed that pollen had antifungal effect on selected fungus. In this study, methanol and ethanol were used for extraction, with concentrations of 99.9% and 70% methanol (aqueous, v/v) and 96% and 70% ethanol (aqueous, v/v), respectively. The antifungal activity of the 70% aqueous methanol extract of pollen was found greater than the ethanol extract with the same concentration on *A. flavus* (Kacániová et al., 2012) similarly to our findings. The methanol/water extract demonstrated greater effectiveness overall compared to the ethanol/water extract, especially at low concentrations. The study supported earlier research and contributed to understanding pollen's antifungal effect.

Penicillium chrysogenum exhibited notable inhibition across all concentrations of both methanol/water and ethanol/water extracts. The growth zones of mold decreased progressively with increasing extract concentrations, reaching their lowest values at the highest concentration (10%), where significant growth suppression was observed. Academic literature has a limited number

of studies investigating the antimicrobial activity of bee pollen against *Penicillium* spp. For instance, in a study by Fernandes et al. (2024), which focused on selected fungal species, it was reported that bee bread exhibited no inhibitory effect on *Penicillium* sp. In this study, the broth microdilution method was utilized, and measurements were performed employing a spectrophotometric technique. Despite these findings, a separate study examining hydroxycinnamic acid amides from bee pollen revealed that *Penicillium verrucosum* was the most susceptible mold to these antifungal compounds. The compounds not only inhibited the radial growth of *P. verrucosum* but also affected its ability to sporulate (Kyselka et al., 2018). It is important to consider that the current findings may be influenced by the methodologies employed. Results show a need for further research to determine the efficacy of antifungal components and determine the relationships between these components and their antimicrobial activities.

In our study, *Fusarium culmorum* showed absolute growth inhibition at the highest concentration (10%) of both extracts. Furthermore, the 7.5% concentration of ethanol/water extract inhibited the growth of *F. culmorum*. This result is significant, as *F. culmorum* is a known plant pathogen responsible for crop diseases. Research has demonstrated that *F. culmorum* is more sensitive than other species of molds. In these studies which tested the fungistatic activity of aqueous extracts of plants and essential oils against *A. Alternata*, *A. candidus*, *A. niger*, *F. culmorum* and *Penicillium* sp., observed *F. culmorum* was the most sensitive one (Magro et al., 2006; Sitara et al., 2008).

Generally, *A. alternata* and *A. flavus* showed resistance to all extracts, *F. culmorum* was the most sensitive strain as both extracts has low inhibition percentage. Considering all the results, antifungal activity was observed against all test microorganisms. While the findings align with

some studies in literature, there are also studies that present contrasting results. Erkmen and Özcan, (2008) carried out a study on Turkish bee pollen with methanol extracts of (0.02% to 2.5% and mentioned that pollen showed no activity on selected spoilage and pathogenic microorganisms which includes *Candida albicans*, *Saccharomyces cerevisiae*, *A. alternata* and *F. oxysporum*. Özcan et al., 2004 used methanol extract with the concentrations of 2,5% and 5% on same fungus.

None of the tested pollen extracts were able to fully suppress the mycelial growth of the fungi. Additionally, the inhibition percentage for both concentrations of pollen against *A. alternata* and *F. oxysporum* was less than 50%. Due to these results, the increase in inhibition percentages depends on doses and the usage of lower doses may have provided unsatisfactory results about inhibition efficacy of bee pollen.

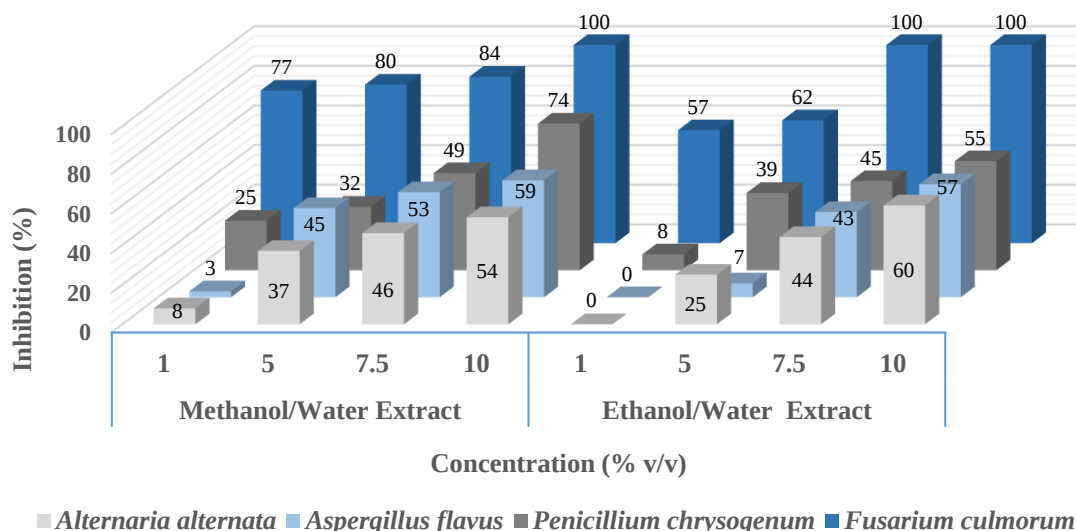


Figure1. Inhibition percentage of fungi with different amounts of bee pollen extracts

The methanol/water extract generally exhibited higher antifungal activity at lower concentrations in comparison to the ethanol/water extract. However, the ethanol/water extract exhibited a more precise effect at higher concentrations, particularly against *Fusarium culmorum*, where complete inhibition was observed. The choice of solvent and concentration plays an essential role in the efficacy of antifungal activity. The differences in the antifungal effect with tested extracts may be assigned to their ability to dissolve polar compounds like flavonoids and phenolics which show good antimicrobial activity (Parekh et al., 2006; Wang and Weller, 2006).

Methanol and ethanol are the most accepted extraction agents for antimicrobial analysis, followed by water. The choice of solvent may influence the extraction efficiency because of its specific chemical affinity for certain active components. For instance, water has been shown to effectively extract flavonoids, including quercetin and kaempferol-linked glycosides (Didaras et al., 2020). Akhir et al. (2017) extracted bee bread using

ethanol and hexane, and showed ethanol exhibited higher antioxidant and antimicrobial activity compared to hexane-extracted samples. Since antimicrobial activity is primarily attributed to phenolic compounds, the ethanolic aqueous solution appears to facilitate greater extraction of these bioactive constituents. In another study, among the tested solvents (95% ethanol, 70% ethanol, dichloromethane, and hexane), 70% ethanol extraction yielded the highest extract amount (41.1% w/w) and demonstrated the strongest antioxidant activity. These results suggest that the aqueous-ethanolic solution (70%) is more efficient in extracting bioactive compounds as we used in our study (Rashid et al., 2023). Methanol was also used alongside ethanol as both are widely used in similar studies. Methanol is preferred due to its potential to extract bioactive antifungal compounds despite its known toxicity (Suurbaar et al., 2017; Kabra et al., 2019).

Moreover, existing studies have demonstrated that the effect of solvent on antifungal activity is specific to microorganisms. For instance, *A.*

fumigatus exhibited the highest susceptibility among *Aspergillus spp.* when tested against the 70% ethanol extract, whereas it displayed the highest resistance against the 70% methanol extract (Kacániová et al., 2012). These results highlight the importance of solvent selection and concentration in influencing antifungal efficacy, underlining the need for Detailed analysis of these parameters in future studies.

The antifungal activity of bee pollen cannot be properly evaluated without considering the key bioactive compounds. Flavonoids such as quercetin and kaempferol glycosides interfere with fungal cell wall synthesis and increase membrane permeability, break cellular integrity. Phenolic acids, including caffeic acid and ferulic acid, show antifungal effect by inducing oxidative stress, which damages proteins and DNA. Additionally, the enzyme glucose oxidase generates hydrogen peroxide, a potent antimicrobial agent that suppresses fungal proliferation (Bhattacharya et al., 2023).

Non-polar solvent extracts, rich in lipophilic fractions, have demonstrated efficacy against common foodborne fungi like *Penicillium* and *Aspergillus* by disrupting their lipid membranes. Organic acids also make the environment too acidic for fungi to survive (Kaškonienė et al., 2020). Importantly, the interaction of these diverse compounds likely produces synergistic effects, enhancing the overall antifungal activity.

Besides phenolic compounds, macronutrient composition of bee pollen also significantly influences its antimicrobial activity. Phospholipids

of bee pollen contribute to its antifungal activity by affecting the fluidity and permeability of the fungal cell membrane. The proteins and amino acids in bee pollen may further enhance its antifungal properties by acting as antimicrobial peptides. Additionally, compounds such as alkaloids and terpenes, which are less studied but gaining attention, could play a role in the antimicrobial mechanisms of bee pollen (Didaras et al., 2020).

4. Conclusion

Fungal pathogens threaten food security by damaging vegetables, fruits and grains, and contaminating them with toxins. In this study, the fungal pathogens were specifically selected based on their documented potential for toxicity and their capacity for plant diseases. The results proved that bee pollen has an antifungal effect of these fungal pathogens. In the future, besides therapeutic usage of it, pollen and its bioactive components may be used as bio preservative agents or to increase the functionality of food. Additional research is necessary to identify the phenolic compounds responsible for antifungal activity, elucidating their structure-activity relationships, and correlating these findings with the product's origin are crucial for understanding its bioactive potential and ensuring reproducible efficacy.

5. Acknowledgments

A preliminary version of this study was presented as an oral presentation at [IX International Scientific Agriculture Symposium, in October 2018, Bosnia and Herzegovina]. The current manuscript has been expanded and revised for publication.

6. References

- Akhir, R. A. M., Bakar, M. F. A., & Sanusi, S. B. (2017, October). *Antioxidant and antimicrobial activity of stingless bee bread and propolis extracts*. In AIP conference proceedings (Vol. 1891, No. 1). AIP Publishing.
- Alvarez-Suarez, J. M. (Ed.). (2017). *Bee Products-Chemical and Biological Properties*. Springer.
- Cabrera, C., and Montenegro, G. (2013). Pathogen control using a natural Chilean bee pollen extract of known botanical origin. *Ciencia e investigación agraria: revista latinoamericana de ciencias de la agricultura*, 40(1), 223-230.
- Campos, M. G. R., Frigerio, C., Lopes, J., and Bogdanov, S. (2010). What is the future of Bee-Pollen. *Journal of ApiProduct and ApiMedical Science*, 2(4), 131-144.
- Carpes, S. T., Beghini, R., Alencar, S. M. D., and Masson, M. L. (2007). Study of preparations of bee pollen extracts, antioxidants and antibacterial activity. *Ciência e Agrotecnologia*, 31(6), 1818-1825.
- Denisow, B., and Denisow-Pietrzyk, M. (2016). Biological and therapeutic properties of bee pollen: a review. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 96(13), 4303-4309.
- Didaras, N. A., Karatasou, K., Dimitriou, T. G., Amoutzias, G. D., and Mossialos, D. (2020). Antimicrobial activity of bee-collected pollen and beebread: State of the art and future perspectives. *Antibiotics*, 9(11), 811.
- Erkmen, O., and Özcan, M. M. (2008). Antimicrobial effects of Turkish propolis, pollen,

and laurel on spoilage and pathogenic food-related microorganisms. *Journal of medicinal food*, 11(3), 587-592.

Fatrcová-Šramková, K., Nôžková, J., Kačániová, M., Mariassyova, M., Rovna, K., and Stričík, M. (2013). Antioxidant and antimicrobial properties of monofloral bee pollen. *Journal of Environmental Science and Health, Part B*, 48(2), 133-138

Fatrcová-Šramková, K., Nôžková, J., Máriassyová, M., and Kačániová, M. (2016). Biologically active antimicrobial and antioxidant substances in the *Helianthus annuus* L. bee pollen. *Journal of Environmental Science and Health, Part B*, 51(3), 176-181.

Fernandes, K. E., Frost, E. A., Kratz, M., and Carter, D. A. (2024). Pollen products collected from honey bee hives experiencing minor stress have altered fungal communities and reduced antimicrobial properties. *FEMS Microbiology Ecology*, 100(7), fiae091.

Ilie, C. I., Spoiala, A., Geana, E. I., Chircov, C., Ficai, A., Ditu, L. M., & Oprea, E. (2024). Bee bread: a promising source of bioactive compounds with antioxidant properties—first report on some antimicrobial features. *Antioxidants*, 13(3), 353.

Kabra, A., Sharma, R., Hano, C., Kabra, R., Martins, N., & Baghel, U. S. (2019). Phytochemical composition, antioxidant, and antimicrobial attributes of different solvent extracts from *myrica esculenta* buch.-ham. Ex. D. Don leaves. *Biomolecules*, 9(8), 357.

Kačániová, M., Vuković, N., Chlebo, R., Haščík, P., Rovna, K., Cubon, J., ... and Pasternakiewicz, A. (2012). The antimicrobial activity of honey, bee pollen loads and beeswax from Slovakia. *Archives of Biological Sciences*, 64(3), 927-934.

Kaškonienė, V., Adaškevičiūtė, V., Kaškonas, P., Mickienė, R., & Maruška, A. (2020). Antimicrobial and antioxidant activities of natural and fermented bee pollen. *Food Bioscience*, 34, 100532.

Kieliszek, M., Piwowarek, K., Kot, A. M., Błażej, S., Chlebowska-Śmigiel, A., and Wolska, I. (2018). Pollen and bee bread as new health-oriented products: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 71, 170-180.

Komosinska-Vassev, K., Olczyk, P., Kaźmierczak, J., Mencner, L., and Olczyk, K. (2015). Bee pollen: chemical composition and therapeutic application. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, 2015(1), 297425.

Kroyer, G., and Hegedus, N. (2001). Evaluation of bioactive properties of pollen extracts as functional dietary food supplement. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 2(3), 171-174.

Kyselka, J., Bleha, R., Dragoun, M., Bialasová, K., Horáčková, S., Schätz, M., ... and Synytsya, A. (2018). Antifungal polyamides of hydroxycinnamic acids from sunflower bee pollen. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 66(42), 11018-11026.

Magro, A., Carolino, M., Bastos, M., and Mexia, A. (2006). Efficacy of plant extracts against stored products fungi. *Revista Iberoamericana de Micología*, 23(3), 176-178.

Morais, M., Moreira, L., Feás, X., and Estevinho, L. M. (2011). Honeybee-collected pollen from five Portuguese Natural Parks: Palynological origin, phenolic content, antioxidant properties and antimicrobial activity. *Food and Chemical Toxicology*, 49(5), 1096-1101.

Özcan, M. (2004). Inhibition of *Aspergillus parasiticus* NRRL 2999 by pollen and propolis extracts. *Journal of medicinal food*, 7(1), 114-116.

Özcan, M., Ünver, A., Ceylan, D. A., and Yetisir, R. (2004). Inhibitory effect of pollen and propolis extracts. *Food/Nahrung*, 48(3), 188-194.

Parekh, J., Jadeja, D., and Chanda, S. (2006). Efficacy of aqueous and methanol extracts of some medicinal plants for potential antibacterial activity. *Turkish Journal of Biology*, 29(4), 203-210.

Pascoal, A., Rodrigues, S., Teixeira, A., Feás, X., and Estevinho, L. M. (2014). Biological activities of commercial bee pollens: Antimicrobial, antimutagenic, antioxidant and anti-inflammatory. *Food and Chemical Toxicology*, 63, 233-239.

Rashid, Z. M., Abd Rashid, K. A., & Anwar, N. Z. R. (2023). Heterotrigona Itama Bee Bread Extracts: Effect of Solvent Polarity on Extraction Yield, Chemical Characteristics and Antioxidant Activity. *Journal Of Agrobiotechnology*, 14(1), 44-53.

Rodríguez-Pólit, C., Gonzalez-Pastor, R., Heredia-Moya, J., Carrera-Pacheco, S. E., Castillo-Solis, F., Vallejo-Imbaquingo, R., ... and Guaman, L. P. (2023). Chemical properties and biological activity of bee pollen. *Molecules*, 28(23), 7768.

Sitara, U., Niaz, I., Naseem, J., and Sultana, N. (2008). Antifungal effect of essential oils on in vitro growth of pathogenic fungi. *Pakistan Journal of Botany*, 40(1), 409.

Suurbaar, J., Mosobil, R., & Donkor, A. M. (2017). Antibacterial and antifungal activities and phytochemical profile of leaf extract from different extractants of *Ricinus communis* against selected pathogens. *BMC research notes*, 10, 1-6.

Wang, L., and Weller, C. L. (2006). Recent advances in extraction of nutraceuticals from plants. *Trends in Food Science and Technology*, 17(6), 300-312.

Yigit, A., and Korukluoglu, M. (2007). The effect of potassium sorbate, NaCl and pH on the growth of food spoilage fungi. *Annals of Microbiology*, 57(2), 209-215.

GIDA VE YEM BİLİMİ-TEKNOLOJİSİ DERGİSİ **ETİK KURALLARI ve İNTİHAL KONTROLÜ**

Gıda ve Yem Bilimi-Teknolojisi Dergisi, Yayın Etiği Komitesi [Committee on Publication Ethics (COPE)] tarafından hazırlanan yönerge (The COPE Code of Conduct for Journal Editors) hükümlerine uymayı kabul ve taahhüt etmiştir.

Dergi tarafından kabul edilen etik görev ve sorumluluklar Committee on Publication Ethics (COPE) ve Council of Science Editors (CSE) tarafından yayınlanan rehberler ve politikalar dikkate alınarak hazırlanmıştır.

A- EDITÖRLER ve YAYIN KURULUNUN UYMASI GEREKEN ETİK KURALLAR

Gıda ve Yem Bilimi-Teknolojisi Dergisi'nin Editörler Kurulu, açık erişim olarak Committee on Publication Ethics (COPE) tarafından yayınlanan "COPE Code of Conduct and Best Practice Guidelines for Journal Editors" ve "COPE Best Practice Guidelines for Journal Editors" rehberleri temelinde belirtilen tüm etik görev ve sorumluluklara bağlı kalmayı taahhüt eder.

1-Editörler, dergide basılan tüm makalelerden sorumlu olup derginin niteliğinin iyileştirilmesine katkı yapmakla yükümlüdürler.

2-Editörler, okuyuculardan gelen geri bildirimleri dikkate almak ve geri bildirim vermekle yükümlüdürler.

3- Editörler, dergiye gönderilen çalışmaların önemi, özgün değeri, geçerliliği, anlatımın açıklığı ve derginin amaç ve hedeflerine uygunluğu bakımından değerlendirerek olumlu ya da olumsuz karar vermelidirler.

4-Editörler, dergiye gönderilen çalışmaları; yazarların sosyal, kültürel, ekonomik özellikleri ile dini inançları göz önüne alınmaksızın, sadece entelektüel değerleri çerçevesinde değerlendirilmelidir.

5-Editörler ve Yayın Kurulu, dergiye yayınlanmak üzere gönderilen çalışmaların, 3 hafta içerisinde değerlendirmeye alıp almayacaklarına karar vermeli ve bunu yazara bildirmelidirler.

6-Editörler ve Yayın Kurulu, makaleyi ilk inceleme sonucunda ret etme hakkına sahiptir.

7-Dergiye gönderilen çalışmalar editörler tarafından öncelikle intihal ihtimaline karşı raporların olup olmadığı kontrol edilmelidir. Bu aşamada intihal raporu olmayan çalışmalar ve intihal ihtimali olan çalışmalar, editörler tarafından reddedilir.

8-Editörler ve Yayın Kurulu Üyeleri Dergiye gönderilen makaleleri hakemler dışında hiç kimseye ifşa etmemelidirler.

9-Editörler, dergiye gönderilen çalışmaların kabulü için yazarlara dergideki herhangi bir makaleye veya başka bir çalışmaya atıf yapması konusunda telkinde bulunmamalıdır.

10-Editörler, makaleleri aynı disiplindeki konu uzmanlıklarına uygun olan hakemlere göndermelidirler.

11- Yayın Kurulu, yazarlarla, yazarların kurumları ya da yazarların bir veya daha fazla ilgi alanı ile ilgili herhangi bir çıkar çatışması/çakışması yaşama durumundaysa, görevlendirilen editöre bilgi vermeli ve değerlendirme sürecinden çekilmelerini istemelidirler.

12-Editörler, hakemleri tarafsız, bilimsel ve nesnel bir dille çalışmayı değerlendirmeleri için teşvik etmelidirler.

13-Editörler, makaleleri objektif değerlendiren, hakemlik sürecini zamanında yerine getiren, makaleyi yapıcı eleştirilerle değerlendiren ve etik kurallara uygun davranan bilim insanlarının olmasına özen göstermelidirler.

14-Editörler, yayın kurulu ve hakemler kurulu üyelerini, uzmanlık alanlarına uygun, katkı sağlayabilir ve uygun nitelikte belirleyerek kurullara derginin yayın politikaları konusunda bilgi vermekle yükümlüdür.

B-YAZARLARIN UYMASI GEREKEN ETİK KURALLAR

Gıda ve Yem Bilimi-Teknolojisi Dergisi yayın etiği açısından, COPE (Committee on Publication Ethics) tarafından kabul edilen kriterlere uymayı taahhüt eder.

1-Eserlerin tüm sorumluluğu yazarlarına aittir. Eserler, bilim etiği ilkelerine uygun olarak hazırlanmalı, Etik Kurul Raporu gerektiren durumlarda bir kopyası eklenmelidir.

Aşağıdaki araştırma konuları ile ilgili Etik Kurul Raporu bilgileri (kurul adı, tarih ve sayı no) yöntem bölümünde ve ayrıca makale son sayfasında ek olarak verilmelidir.

- ✓ Anket, mülakat, odak grup çalışması, gözlem, deney, duyuşsal analiz, görüşme teknikleri kullanılarak katılımcılardan veri toplanmasını gerektiren nitel ya da nicel yaklaşımlarla yürütölen her türlü araştırmalar.
- ✓ İnsan ve hayvanların (materyal/veriler dahil) deneysel ya da diğör bilimsel amaçlarla kullanılması,
- ✓ İnsanlar üzerinde yapılan klinik araştırmalar,
- ✓ Hayvanlar üzerinde yapılan araştırmalar,
- ✓ Kişisel verilerin korunması kanunu gereğince retrospektif çalışmaları.
- ✓ Ayrıca, kullanılan fikir ve sanat eserleri için telif hakları düzenlemelerine riayet edilmeli, başkalarına ait ölçek, anket, fotoğrafların kullanımı için sahiplerinden izin alınması.

2-Yayımlanması istenilen eserlerin herhangi bir yerde yayımlanmamış veya yayımlanmak üzere herhangi bir dergiye gönderilmemiş olması zorunludur.

3-Ancak; yurtiçi veya yurtdışı kongrelerde sunularak yalnızca özeti yayımlanmış makaleler yayıma kabul edilmektedir.

4-Dergiye yayımlanmak üzere gönderilen eserlerle birlikte Telif Hakkı Devir Sözleşmesi de tüm yazarlarca imzalanarak, makale ile birlikte gönderilmelidir.

5-Dergi, COPE hükümleri doğrultusunda, hakemlerin ve yazarların kimliklerinin birbirinden gizlendiğı double blind peer review (Çift Kör) hakem değeriendirmesi sistemini kullanmaktadır

6-Yayın sürecinde, dergi ile yazışmaları yapan kişi/kişiler “Sorumlu Yazar” olarak kabul edilir. Yazışmaların diğör yazarlarla paylaşılması, gerekli işlemlerin zamanında ve doğru olarak yapılması “Sorumlu Yazar”a aittir. “Sorumlu Yazar” makalenin ilk ismi olmak zorunda değildir.

7-Değerlendirme süreci başlamış bir çalışmada yazar ekleme, yazar sırası değiştirme ve yazar çıkartma gibi özel durumlar “Sorumlu Yazar” inisiyatifindedir.

8-Son Kontrol Listesi sadece sorumlu yazar tarafından imzalanarak makale ile birlikte gönderilmelidir.

9-Gıda ve Yem Bilimi-Teknolojisi Dergisi yayımlanmak üzere gönderilen makaleler, hakem süreci başlatıldıktan sonra geri çekilemez.

10-Gıda ve Yem Bilimi-Teknolojisi Dergisi İntihal ve Duplicate önüne geçmek üzere sorumlu yazarlardan İntihal raporu talep edilir.

11-Benzerlik oranı kaynakça hariç en fazla %30 olmalıdır.

12-Yazarlar, yayınlanmak üzere gönderilen tüm çalışmaların potansiyel çıkar çatışması teşkil edebilecek durumları ve çalışmaları destekleyen kuruluşları makalenin son kısmında beyan etmekle yükümlüdürler.

13-Ayrıca, çalışma lisansüstü tezlerden üretilmiş ise ve çalışmaya katkısı için teşekkür edilecek kişi veya kurumlar varsa bu gibi durumların da makalenin son kısmında belirtilmesi gerekmektedir.

C-HAKEMLERİN UYMASI GEREKEN ETİK KURALLAR

1-Hakemler, Gıda ve Yem Bilimi-Teknolojisi Dergisi’ne gönderilen bir çalışma kendi uzmanlık alanında değilse, makale konusu hakkında yeterli bilgiye sahip değilse ya da zamanında bir değerlendirme yapamayacak durumda ise, editörü bu durumdan haberdar ederek değerlendirme görevinden ayrılmalıdır.

2-Hakemler, yazarı ile aralarında rekabet, iş birliği veya başka türlü ilişki ya da bağlantılar bulunduğunu tespit ettiği çalışmaları kesinlikle değerlendirmemelidir.

3-Hakemler, gizlilik ilkesine riayet ederek değerlendirmesini yapmalı, çalışmayı üçüncü kişilerle paylaşmamalıdır.

4-Hakemler, inceleme sürecinde elde etmiş olduğu ayrıcalıklı bilgi ve fikirleri gizli tutmalı ve kişisel çıkarı için kullanmamalıdır.

5-Hakemler, eleştiri ve önerilerini nazik bir dille objektif ve yapıcı bir şekilde yapmalıdır.

6-Yazara karşı iftira ve hakaret içeren aşağılayıcı yorum ve eleştiri kullanılmamalıdır.

7-Hakemler, fikirlerini açık biçimde destekleyen belgelerle desteklemelidir.

8-Hakemler, değerlendirilen çalışmanın daha önce yayınlanmış başka bir çalışma ile arasında esaslı bir benzerlik tespit etmeleri halinde, durumu editöre iletmelidirler.

GIDA VE YEM BİLİMİ-TEKNOLOJİSİ DERGİSİ
GENEL İLKELER ve YAZIM KURALLARI

Gıda ve Yem Kontrol Merkez Araştırma Enstitüsü Gıda ve Yem Bilimi-Teknolojisi Dergisi, yılda iki defa (Ocak ve Temmuz) yayımlanan hakemli bir dergidir.

Dergide, özgün araştırma ürünü makaleler ile belirli bir konuyu yeterli sayıda kaynaktan araştırarak hazırlanmış derleme makaleleri yayımlanır.

Önemli bir potansiyeli ya da bulgusu olmayan ve sadece yerel ilgi çekecek makaleler basıma kabul edilmez.

Derleme makalelerde, en az %75'i son 10 yıla ait olmak üzere en az 30 kaynak olmalıdır.

Dergide yayımlanacak makaleler; gıda, yem, bunlara ait katkı maddeleri ve hammaddeler, su-atıksu, su ürünleri, gıda ile temas eden madde ve malzemelerde;

- Güvenilirlik ve kalite
- İşleme teknolojileri
- Analiz yöntemleri
- Biyogüvenlik ve biyoteknoloji
- Sosyo-ekonomik araştırmalar
- Mevzuatlar
- Diğer konular (geleneksel gıdalar, organik gıda ve yem, beslenme, gıda kimlik belirleme, gıda ve yem sanayi atıklarının değerlendirilmesi vb.) ile ilgili olmalıdır.

"Gıda ve Yem Bilimi-Teknolojisi" dergisine gönderilmiş ve makalenin tamamı ya da bir bölümünün herhangi bir dilde daha önceden yayınlanmamış (tezler ve kongre sunu özetleri hariç) başka bir dergiye basım için gönderilmemiş olması gerekir. "Gıda ve Yem Bilimi-Teknolojisi" dergisinde yayınlanmış olan bir makale başka bir yerde yayınlanamaz (BGA-FR-104 Telif Hakkı Devri Formu dikkate alınır).

Etik Kurul İzin Belgesi'nin kullanıldığı araştırmalarda bu belgelerin makaleye eklenmesi gerekir.

Yayınlanması için "Gıda ve Yem Bilimi-Teknolojisi" dergisine gönderilen makalede herhangi bir kurum ya da kuruluşan doğrudan ya da dolaylı alınan desteğin makale içinde ilk sayfa dipnot veya teşekkür başlığı altında belirtilmesi tümüyle yazarların sorumluluğundadır.

Tüm aşamalardan geçmiş dergimizde yayınlanması uygun olarak değerlendirilmiş makalenin hangi sayıda yayınlanacağı ile ilgili bilgi sorumlu yazara iletilir.

Aşağıda verilen yazım kurallarına uymadan hazırlanmış ve/veya dergi yayın ilkeleri ile uyuşmayan makaleler, hakeme gönderilmeden yazara iade edilir.

1.1.1. MAKALE GÖNDERİMİ

Makaleler, basılı kopyaya gerek olmaksızın bursagida@tarimorman.gov.tr ve dergi.bursagida@gmail.com adresine e-posta yolu ile gönderilmelidir.

Makaledeki bilgilerin doğruluğunun sorumluluğu yazar(lar)a aittir.

Yazar isterse, makaleyi değerlendirmek üzere Son Kontrol Listesi Formunda (BGA-FR-103) ilgili bölüme üç isme kadar hakem önerebilir. Editör ve Yayın Kurulu, hakemleri seçme hakkını korur.

Gönderilen yazılar, önce dergi editörleri tarafından dergi ilkelerine uygunluk açısından incelenir. Uygun bulunmayanlar için kabul edilmeme sebebi yazara bildirilir.

Uygun bulunanlar, o alandaki en az iki hakeme gönderilir. Hakemlerden birinden olumsuz sonuç gelmesi halinde üçüncü hakeme gönderilir. Dergi, COPE hükümleri doğrultusunda, hakemlerin ve yazarların kimliklerinin birbirinden gizlendiği double blind peer review (Çift Kör) hakem değerlendirmesi sistemini kullanmaktadır.

Hakemler, Hakem Değerlendirme Formunu (BGA-FR-102) doldurarak makale ile ilgili değerlendirmelerini editöre iletirler. Hakemlerin ve yazarların isimleri gizli tutulur ve raporlar beş yıl süreyle saklanır. Hakem raporlarından ikisi olumlu, diğeri olumsuz olduğu takdirde, yazı editör kurulu kararına göre yayımlanır. Olumsuz görüş bildiren hakeme durum hakkında bilgi verilir. Yazarlar, hakemlerin görüş ve önerileri doğrultusunda düzeltmeleri yaparlar. Editör ve Yayın Kurulu gerektiği durumlarda yazıların yazım şekli üzerinde değişiklik yapabilir

Bütün makaleler ile birlikte Telif Hakkı Devri Formu (BGA-FR-104) ile Son Kontrol Listesi (BGA-FR-103) gönderilmelidir.

<http://arastirma.tarimorman.gov.tr/bursagida> veya <https://dergipark.org.tr/tr/journal/197/file-manager> adreslerindeki Telif Hakkı Devri Formu (BGA-FR-104) doldurulup sorumlu yazar tarafından imzalandıktan sonra tarayıcıdan geçirilmeli ve elektronik dosya olarak dergi.bursagida@gmail.com adresine mail ile gönderilmelidir. Makale basım için kabul edilmezse Telif Hakkı Devri Formunun (BGA-FR-104) yasal bir önemi kalmaz ve hükümsüz olarak kabul edilir.

Telif Hakkı Devri Formunun (BGA-FR-104) imzalanması ile yazar, makalenin Gıda ve Yem Bilimi-Teknolojisi dergisinde basılması ve web sayfasında yayınlamasına ilaveten makalenin tamamı ya da bir kısmının yasal olarak çoğaltılması, yeniden basılması ve dağıtılması hakkını Gıda ve Yem Kontrol Merkez Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü'ne devrederek, kendi haklarından feragat etmektedir.

1.1.2. MAKALENİN HAZIRLANMASI

Dergiye başvuru sırasında gönderilecek makale, Microsoft Word yazılımıyla, A4 boyutundaki kâğıdın tek yüzüne Times New Roman yazı tipi, 12 punto ve 2 satır aralıkla iki yana yaslanmış olarak yazılmalı ve satırlar numaralandırılmalıdır. Kenar boşlukları, her bir kenardan 2,5 cm olmalıdır. Sayfada gölgelendirme ve çerçeve vb. uygulamalar yapılmamalıdır. Makale içeriği, dil bilgisi kurallarına özen gösterilerek akıcı ve anlaşılır bir şekilde yazılmalıdır. Makaleler, çizelge ve şekiller dâhil toplam 22 sayfayı geçmemelidir. Editör ve yayın kurulu, makalenin kısaltılmasını isteyebilir. Ayrı kapak sayfası dışındaki tüm sayfalar numaralandırılmalı, ancak metin içinde belirli bir sayfa numarasına atıf olmamalıdır.

Makale;

- Makale türü (Özgün Araştırma / Original Article - Derleme Makale / Review Paper),
- Başlık, İngilizce Başlık,
- Yazar İsimleri ve Adresleri
- ORCID ID,

- Öz
- Türkçe Anahtar Kelimeler,
- Abstract, Keywords,
- Ana Metin:
 - Giriş,
 - Materyal ve yöntem (Özgün Araştırma),
 - Bulgular ve tartışma (Özgün Araştırma),
 - Sonuç,
- Teşekkür (gerekliyse),
- Kaynaklar başlıkları altında hazırlanmalıdır.

Kısaltmalar metin içerisinde ilk kullanıldığı yerde tanımlanmalıdır. Çalışma içerisinde geçen mikroorganizma isimleri ile Latince ifade ve isimler italik olarak yazılmalı ve kısaltmalarda uluslararası yazım kuralları göz önünde bulundurulmalıdır. İngilizce hazırlanacak makalelerde ana metin kısımları aynı başlıklardan oluşmalıdır.

Başlık: Makale başlığı metne uygun kısa ve açık, İngilizce ve Türkçe, sadece ilk harfi büyük, 12 punto, koyu ve sayfaya ortalanmış olmalıdır. Diğer başlıklar da sola dayalı olarak yazılmalı ve sadece ilk kelimenin ilk harfi büyük yazılmalıdır.

Yazar İsimleri: Eserin yazar ya da yazarlarının adı ve soyadı başlığın hemen altında bir satır boşluktan sonra, unvan belirtilmeden, 10 punto, yazarın isim ve soyadı baş harfleri büyük ve kelime koyu yazılmalıdır. Altına bağlı oldukları kurumlar numaralandırılarak italik ve 8 punto olarak yazılmalıdır. Kurumların altına ise ORCID ID başlığı koyu renk olacak şekilde, numara ve unvanlar yer almalıdır. Bu bilgilerin altında ise yazışmalardan sorumlu yazara ait iletişim maili bulunmalıdır.

Öz/Abstract: Türkçede 250, İngilizcede 300 kelimeyi geçmeyecek şekilde yazılmalıdır. Öz bölünmüş olarak düzenlenmelidir. Derleme makalelerde bölünmüş öz, Amaç/Objective ve Sonuç/Conclusion olarak belirtilmelidir. Özgün araştırma makalelerde ise bölünmüş öz; Amaç/Objective, Materyal ve yöntem/Material and method, Bulgular ve tartışma/Results and discussion ve Sonuç/Conclusion, olarak düzenleme yapılmalıdır.

Anahtar Kelimeler / Keywords: Özetlerin altına eser metnini ifade edebilecek en az 3 en çok 7 adet anahtar kelime özel isimler hariç küçük harfle yazılmalıdır. Anahtar kelimeler özet içerisinde yer almalıdır.

Metin: Özgün Araştırma makalelerde; Giriş, Materyal ve yöntem, Bulgular ve tartışma ile Sonuç kısımlarından oluşur. Derlemelerde ise konuya uygun olarak bölümlendirme yapılabilir. Metin içerisinde geçen tüm başlık ve alt başlıklar bir alt satırda İngilizce ve italik olarak yazılabilir.

Çizelgeler ve Şekiller: Yazı içinde geçen tablolar, “çizelge”; grafik, resim, fotoğraf, harita ve akım şemaları ise “şekil” olarak isimlendirilmeli ve 11 puntodan düşük punto kullanılmasından olabildiğince kaçınılmalıdır.

Çizelge başlıkları çizelgenin üstüne, şekil başlıkları ise şeklin altına yazılmalı ve sırayla numaralandırılmalıdır. Kullanılan çizelge ve şekillere metin içinde atıf mutlaka yapılmalıdır. Metin içinde geçen veriler çizelge ve şekillerin tekrarı olmamalıdır. Çizelge ve şekillerin başlıkları içerikleriyle uyumlu ve anlaşılabilir olmalıdır. Şekiller ve resimlerin yüksek çözünürlükte olmasına dikkat edilmelidir. Resimler (ve gerekiyorsa şekiller) .jpg veya .png formatında metin içerisinde yer almalıdır. Çizelge ve şekillerde verilecek dipnotlar çizelge ve şekillerin altına 8 punto ve italik olarak

yazılmalıdır. Tercihe bağı olarak Türkçe araştırma makalelerinde çizelge/şekil başlığı ve varsa tüm dipnotlar çizelgede/şekilde yer alan Türkçe kelimelerin İngilizcesi de bir alt satırında italik olarak yazılmalıdır.

Metin içinde geçen kaynak bildirimleri ve kaynaklar kısmı APA yazım stili kullanılarak hazırlanmalıdır. Kaynakların yazımında aşağıdaki örnek yazım biçimleri kullanılmalı ve makalelerin yayınlandığı dergi isimleri kısaltma kullanılmadan ve italik olarak yazılmalıdır. Web adreslerine atıf yapılacağında (mümkün olduğunca Resmî web sayfalarına atıf yapılmalıdır) mutlaka ilgili web adresine erişim tarihi verilmelidir.

Kaynaklar:

Metin içinde yazar veya yazarlara yapılan atıf

Tek yazar:

Vurarak (2021) 'a göre
(Vurarak, 2021).

İki yazarlı:

Ciniviz ve Yılmaz Ersan (2021)'a göre
(Ciniviz ve Yılmaz Ersan, 2021)

Üç ve daha fazla yazarlı metinlerde, sadece ilk yazarın adı kullanılıp sonrasında "vd." ifadesi kullanılır:

Harris vd. (2001) ifade ettiği üzere (...)
Harris vd. (2001)'ne göre (...)
(Harris vd., 2001)

Yazar bir organizasyon veya hükümet kurumu ise,

İlk atıfta olduğu gibi atıf yapılır; eğer çok bilinen bir kurum ise, sonraki kullanımlarda kısaltması tercih edilir:

İlk atıf: Association of Official Analytical Collaboration International'a (2021) göre
İkinci atıf: AOAC'a (2021) göre
İlk atıf: (Association of Official Analytical Collaboration International [AOAC], 2021)
İkinci atıf: (AOAC, 2021)

Aynı parantezde birden fazla esere atıfta bulunulduğunda, bunlar harf sırasına göre dizilmeli ve iki eser noktalı virgül ile ayrılmalıdır:

(Ciniviz ve Yılmaz Ersan, 2021; Hamzaoğlu vd., 2021; Vurarak, 2021).

Aynı soyisme sahip yazarlarda, karışıklığı önlemek için ismin ilk harfi de kullanılır:

(E. Kural, 2010; L. Kural, 1999)

Aynı yazarın aynı yıl yayımlanan iki veya daha fazla eserine atıf yapılıyorsa; yıldan sonra (a, b, c) harfleri kullanılır:

Rice (2017a)'nin çalışmasına göre

Rice (2017b)'nin çalışmasına göre

Dipnotlar ve sonnotlar

APA yazım stilinde, dipnot ve son not kullanımı pek tercih edilmemektedir. Bundan dolayı mümkün olduğu kadar az dipnot kullanılmalıdır. Yalnızca çok elzem bir açıklayıcı not gerektiğinde dipnot kullanılmalıdır.

Önemli not: APA atıf ve kaynakçada “and” yerine “&” kullanılmasını önermektedir. Ancak Türkçede “&” sembolü “ve” yerine kullanılmadığından, Türkçe olarak yazılan metinlerde atıf yaparken ve kaynakça yazarken “&” sembolü kullanılmamalıdır. Ayrıca, üç kişiden çok yazarlı metinlere atıf yaparken APA “et al.” (Hamzaoglu et al., 2021) kullanılmasını önermektedir. Ancak Türkçede “et al.” yerine “vd.” (Hamzaoglu vd., 2021) kullanılmalıdır. Makale İngilizce ise yerine göre “&” sembolü ve “and” kullanılmalıdır.

Kaynak listesi:

Yararlanılan kaynaklar sıra numarası verilmeksizin yazarın soyadı dikkate alınarak alfabetik sıraya göre yazılmalıdır. Aynı yazara ait fazla sayıdaki eserler kronolojik olarak sıralanmalıdır.

Tek yazar:

Vurarak, Y. (2021). Semi-Mechanical Harvesting method effect on oil content and fat composition of sesame. *Gıda ve Yem Bilimi Teknolojisi Dergisi*, (25), 39-47. Retrieved from <https://dergipark.org.tr/tr/pub/bursagida/issue/60450/886028>

İki yazar:

Ciniviz, M. ve Yılmaz Ersan, L. (2021). Süt ürünleri tüketiminin kolorektal kanser üzerine etkisi. *Gıda ve Yem Bilimi Teknolojisi Dergisi*, (25), 1-14. Erişim: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/bursagida/issue/60450/885980>

Üç ile yedi yazar arası:

Hamzaoglu, M., Demir, S., Tosunoğlu, H., Zengingönül Gökçay, R. ve Deniz, A. (2021). QuEChERS -LC MS/MS yönteminin ballarda bazı pestisit kalıntıları için metot validasyonu. *Gıda ve Yem Bilimi Teknolojisi Dergisi*, (25), 48-56. Erişim: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/bursagida/issue/60450/886069>

Yedi yazardan fazla ise; ilk altı yazarın adı listelendikten sonra üç nokta koyup son yazarın adı eklenir. Yedi isimden fazlası yer almamalıdır:

Miller, F. H., Choi, M. J., Angeli, L. L., Harland, A. A., Stamos, J. A., Thomas, S. T., . . . and Rubin, L. H. (2009). Web site usability for the blind and low-vision user. *Technical Communication*, 57, 323-335.

Organizasyonun yazar olduğu durumlarda:

AOAC. (2021).

Aynı yazarın iki ve daha fazla çalışması kullanılmışsa; kaynaklar tarih sırasına göre dizilmelidir:

Çetin, T. (2019).

Çetin, T. (2020).

Eğer yazar bir çalışmada tek yazar ve başka çalışmada ortak yazar ise, önce tek yazarlı olan çalışma listelenmelidir:

İç, E. (2000). Hıyar turşusu salamurasında kalsiyum klorür kullanarak tuz konsantrasyonunun azaltılma olanağı üzerine araştırma. Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi-117 s. Ankara.

İç, E., Özçelik, F. ve Denli, Y. (1999). Hıyar turşularının depolanması üzerine kalsiyum asetat ve pastörizasyonun etkisi. *Gıda*, 24 (4): 243-250.

Eğer bir yazarın farklı yazarla yayımladığı eserler varsa, sıralama alfabetik olarak ikinci veya sonraki isme bağlı olarak yapılır:

Wegener, D. T. Kerr, N. L., Fleming, M. A. and Petty, R. E. (2000). Flexible corrections of juror judgments: Implications for jury instructions. *Psychology, Public Policy, and Law*, 6, 629-654.

Wegener, D. T., Petty, R. E. and Klein, D. J. (1994). Effects of mood on high elaboration attitude change: The mediating role of likelihood judgments. *European Journal of Social Psychology*, 24, 25-43.4

Bir yazarın aynı yıl yayımlanmış iki veya daha fazla çalışması varsa, (a, b, c) gibi harfler kullanılır:

Rice, W.E. (2017a). Alkalinity 2320 B, Standard methods for the examination of water and wastewater, 23rd Edition, ISBN: 9780875532875.

Rice, W.E. (2017b). Chloride 4500 CL, Standard methods for the examination of water and wastewater, 23rd edition, ISBN: 9780875532875.

Kitap yazarı bilinmeyen durumlarda:

Anonim (1983). Gıda maddeleri muayene ve analiz yöntemleri. TOKB Köy Hiz. Gen. Müd. Yayınları, Genel Yayın No: 65, 796 s, Ankara.

Kongre bildirisi veya poster:

Parsons, C.M. (1994). Amino acid availability for poultry. 9th European Poultry Conference, World's Poultry Science Association, Book of proceedings, Glasgow, UK, Vol: 2, 356-359.

Makale:

Karakaya, M., Sariçoban, C. ve Aksoğan, M. (2003). Tavşan etinin prerigor ve postrigor aşamalarında bazı teknolojik özelliklerinin tespiti. *Gıda ve Yem Bilimi-Teknolojisi Dergisi*, 3, 15-19.

İnternet Kaynağı:

Warrence, N.J., Bauder J.W. and Pearson K.E. (2004). Basics of salinity and sodicity effects on soil physical properties. Land Resources and Environmental Sciences Department, Montana State University, <http://waterquality.montana.edu/docs/methane/basics.pdf> (Erişim Tarihi/Access Date: 15.12.2004).