

GIDA

THE JOURNAL OF FOOD



E-ISSN 1309 - 6273, ISSN 1300 - 3070

CİLT / VOLUME : 50

SAYI / NUMBER : 4

YIL / YEAR : 2025

GIDA TEKNOLOJİSİ DERNEĞİ YAYINI

*PUBLISHED BY THE ASSOCIATION OF
FOOD TECHNOLOGY IN TURKEY*

Sahibi / Owner

Gıda Teknolojisi Derneği Adına / On behalf of the Association of Food Technology; Turkey

Prof. Dr. İbrahim ÇAKIR

Yönetim Kurulu Başkanı / President of the Association

Editör / Editor-in Chief Erinç, Hakan; <i>Niğde Ömer Halisdemir University, Türkiye</i>	Danışma Kurulu / Advisory Board Acar Soykut, Esra; <i>Bolu Abant İzzet Baysal University, Turkey</i> Atalar, İlyas; <i>Eskişehir Osman Gazi University, Turkey</i> Baysal, Taner; <i>Ege University, Turkey</i> Bezirtzoglou, Eugenia; <i>Democritus University of Thrace, Greece</i> Boyacı, İsmail Hakkı; <i>Hacettepe University, Turkey</i> Bozdoğan Konuşkan, Dilşat; <i>Mustafa Kemal University, Turkey</i> Candoğan, Kezban; <i>Ankara University, Turkey</i> Coşansu Akdemir, Serap; <i>Sakarya University, Turkey</i> Çapanoğlu Güven, Esra; <i>İstanbul Teknik University, Turkey</i> Dertli, Enes; <i>İstanbul Technical University, Turkey</i> Draughon, Ann; <i>Tennessee University, USA</i> El, Sedef Nehir; <i>Ege University, Turkey</i> Erbay, Zafer; <i>Adana Bilim ve Teknik University, Turkey</i> Erten, Hüseyin; <i>Çukurova University, Turkey</i> Fogliano, Vincenzo; <i>University of Napoli Federico II, Italy</i> Ghosh, Bikash C.; <i>National Dairy Research Institute, India</i> Griffiths, Mansel; <i>University of Guelph, Canada</i> Gül, Hülya; <i>Süleyman Demirel University, Turkey</i> Güneşer, Onur; <i>Uşak University, Turkey</i> Ho, Chi-Tang; <i>The State University of New Jersey, USA</i> İşleten Hoşoğlu, Müge; <i>Gebze Teknik University, Turkey</i> Kaban, Güzin; <i>Atatürk University, Turkey</i> Karaaslan, Mehmet; <i>Harran University, Turkey</i> Karaca, Hakan; <i>Pamukkale University, Turkey</i> Kuleaşan, Hakan; <i>Süleyman Demirel University, Turkey</i> Küçükçetin, Ahmet; <i>Akdeniz University, Turkey</i> Mete, Aylin A.; <i>Mersin University, Turkey</i> Morales, Francisco J.; <i>CSIC Instituto del Fr o, Spain</i> Muhtaba, Mustafa G.; <i>Florida Gulf Coast University, USA</i> Özmen Toğay, Sine; <i>Bursa Uludağ University, Turkey</i> Paalme, Toomas; <i>Tallinn University of Technology, Estonia</i> Raspor, Peter; <i>University of Primorska, Slovenia</i> Rezessy-Szabo, Judit M.; <i>Corvinus University of Budapest, Hungary</i> Selli, Serkan; <i>Çukurova University, Turkey</i> Soyer Küçükşenel, Yeşim; <i>Orta Doğu Teknik University, Turkey</i> Tekin, Aziz; <i>Ankara University, Turkey</i> Toker, Ömer S.; <i>Yıldız Teknik University, Turkey</i> Velioglu, Murat; <i>Namık Kemal University, Turkey</i> Yemiş, Oktay; <i>Sakarya University, Turkey</i> Yıldırım, Zeliha; <i>Ömer Halis Demir University, Turkey</i> Yorulmaz, Aslı; <i>Adnan Menderes University, Turkey</i> Yüceer, Yonca; <i>Çanakkale On Sekiz Mart University, Turkey</i>
Editörler / Editors Avcı, Ayşe; <i>Sakarya University, Türkiye</i> Aydın, Furkan; <i>Aksaray University, Türkiye</i> Çakır, İbrahim; <i>Bolu Abant İzzet Baysal University, Türkiye</i> Çevik, Kutlu; <i>Karamanoğlu Mehmetbey University, Türkiye</i> Çolakoglu, A. Sinan; <i>Kabramanmaraş Sütçü İmam University, Türkiye</i> Demirkesen Mert; <i>Ilkem, Ministry of Agriculture And Forestry, Türkiye</i> Demirok Soncu, Eda; <i>Ankara University, Türkiye</i> Eyiler, Esen; <i>Akdeniz University, Türkiye</i> Kahraman, Kevser; <i>Abdullah Gül University, Türkiye</i> Kuleaşan, Şükran; <i>Mehmet Akif University, Türkiye</i> Oskaybaş Emlek, Betül; <i>Niğde Ömer Halisdemir University, Türkiye</i> Sarcaoğlu, Furkan Türker; <i>Bursa Technical University, Türkiye</i> Torun, Mehmet; <i>Akdeniz University, Türkiye</i> Yavuzer, Emre; <i>Niğde Ömer Halisdemir University, Türkiye</i> Yılmaz, Merve Silanur; <i>Bitlis Eren University, Türkiye</i>	
Yönetim Yeri Adres / Address Büyükelçi Sokak No: 18/1 Kavaklıdere/Ankara Turkey Tel: (+90) 0534 968 5994 • Faks: (+90) 312 317 8711 E-posta / E-mail: dergi@gidadernegi.org URL: http://www.gidadernegi.org	
Yayın Türü: Yaygın süreli ve hakemli/ Widely published and peer-reviewed	
Hazırlayan / Prepared Sim Ajans, 19. Sokak No: 47/1 Emek / Ankara Tel : (+90) 312 925 25 95 e-mail: simajans@simajans.com	
Yayın Tarihi / Publication Date 15 08 2025	

Bu dergi, TÜBİTAK ULAKBİM TR Dizin, CrossRef, DergiPark Akademik, EBSCO Host, CiteFactor, Infobase Index, SciLit, Journal Index, BASE (Bielefeld Academic Search Engine), OCLS WorldCat, FAO Agris, CAB Abstracts, DIIF, Journal Factor, COSMOS, Scholarsteer, JIFACTOR, Research Impact Factor, Index Copernicus, Scientific World Index (Sciwindex), Scientific Indexing Services (SIS), CABI (CAB Direct), Academic Resource Index, IJIF, Food Science and Technology Abstracts (FSTA), Google Scholar ve Academindex Türkiye veri tabanları kapsamındadır.

This journal is covered by TÜBİTAK ULAKBİM TR Dizin, CrossRef, DergiPark Akademik, EBSCO Host, Cite Factor, Infobase Index, SciLit, Journal Index, BASE (Bielefeld Academic Search Engine), OCLS WorldCat, FAO Agris, CAB Abstracts, DIIF, Journal Factor, COSMOS, Scholarsteer, JIFACTOR, Research Impact Factor, Index Copernicus, Scientific World Index (Sciwindex), Scientific Indexing Services (SIS), CABI (CAB Direct), Academic Resource Index, IJIF, Food Science and Technology Abstracts (FSTA), Google Scholar and Academindex Turkey database systems.

İçindekiler / Content GIDA (2025)50(4)

Araştırmalar (İngilizce) / Researches (English)

Rayman Ergün, A. (2025). Effect of UV-C light on the inactivation of *Zygosaccharomyces rouxii* in apple juice: Evaluation of phenolic and antioxidant contents / UV-C ışığının elma suyuındaki *Zygosaccharomyces rouxii*'nin inaktivasyonuna etkisi: Fenolik ve antioksidan içeriklerinin değerlendirilmesi479-490

Falak, I. H., Özden Tuncer, B. (2025). Investigation of antibiotic resistance genes in *Enterococcus* strains isolated from sucuk, a traditional dry-fermented Turkish sausage / Geleneksel kuru fermente Türk sucuğundan izole edilen *Enterokok* suşlarında antibiyotik direnç genlerinin araştırılması491-505

Bostancı Selbeş, E., Haskaraca, G., Erem, F., Ayhan, Z. (2025). Development of gluten-free meatballs using oleaster and coconut flours as breadcrumb replacers / Galeta unu yerine iğde ve hindistan cevizi unu kullanılarak glutensiz köfte geliştirilmesi537-555

Topuz Türker, S., Bayram, M. (2025). Determination of total phenolic compound, antioxidant activity, and some physicochemical properties of different commercial fruit vinegars / Farklı ticari meyve sirkelerinin toplam fenolik bileşik, antioksidan aktivite ve bazı fizikokimyasal özelliklerinin belirlenmesi606-619

Yavuzer, Emre., (2025) Determination of the effect of heat treatment applied to anchovy on putrefaction by electronic nose / Hamsiye uygulanan ısıl işlemin kokuşma üzerine etkilerinin elektronik burun ile belirlenmesi620-628

Ünver Alçay, A., Ahmetoğlu, F. (2025). Effects of adding jerusalemJerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus*) on the quality and nutritional value of gluten-free bread / Yerelması (*Helianthus tuberosus*) ilavesinin glutensiz ekmek kalitesi ve besin değeri üzerindeki etkileri644-663

Günel, Z., Aşık Aygün, S., Atbakan Kalkan, T., Topuz, A. (2025). Effects of vacuum impregnation with boney and rosehip solutions on the fortification and enzymatic browning of quince (*Cydonia oblonga* M.) / Bal ve kuşburnu çözeltileri ile vakum impregnasyonun ayva (*Cydonia oblonga* M.)'nin zenginleştirilmesi ve enzimatik esmerleşmesi üzerine etkileri664-679

Araştırmalar (Türkçe) / Researches (Turkish)

Gürdaş Mazlum, S., Erdoğan, A. E. (2025). Guar gum ilaveli kitosan kompozit filmlerin karakterizasyonu / Characterization of guar gum-added chitosan composite films506-518

Yorgancı, T., Zungur Bastıoğlu, A., Yorulmaz, A. (2025). Dondurarak kurutma yöntemi ile incir çekirdeği yağının enkapsülasyonu ve toz ürünün karakterizasyonu / Encapsulation of fig seed oil by freeze drying method and characterization of the powder product519-536

Dal Konuş, Z., Turgay, Ö. (2025). Bitkisel süt ikamesi üretiminde atıkların değerlendirilmesi: Badem posasının besinsel içeriği üzerine bir çalışma / Valuation of waste in the production of vegetable milk substitute: A study on the nutritional content of almond pulse577-584

Derlemeler (Türkçe) / Review (Turkish)

Yigit, Y. (2025). Gastronomi alanında temel bazı besinlerde mikroplastik tehlikesi ve gıda güvenliği / Some basic foods in gastronomy microplastic hazard and food safety556-576

Beşen, D., Akyıldız, A. (2025). Sürdürülebilirlik ve gıda israfı yönünden hasat sonrası işlemler ve kombine uygulamalar / Post-harvest processes and combined applications in terms of sustainability and food waste -Review585-605

Demirpençe, H., Beyaz, D. (2025). Mikotoksinlerin detoksifikasyonunda kullanılan fiziksel, kimyasal ve biyolojik yöntemler / Physical, chemical and biological methods used in detoxification of micotoxins629-643

**EFFECT OF UV-C LIGHT ON THE INACTIVATION OF
ZYGOSACCHAROMYCES ROUXII IN APPLE JUICE: EVALUATION OF
PHENOLIC AND ANTIOXIDANT CONTENTS**

Ahsen RAYMAN ERGÜN*

Department of Food Engineering, Faculty of Engineering, Ege University, Izmir, Turkey

Received /Geliş: 12.01.2025; Accepted /Kabul: 27.05.2025; Published online /Online baskı: 13.06.2025

Rayman Ergün, A. (2025). Effect of UV-C light on the inactivation of *Zygosaccharomyces rouxii* in apple juice: Evaluation of phenolic and antioxidant contents. GIDA (2025) 50 (4) 479-490 doi: 10.15237/gida.GD25015

Rayman Ergün, A. (2025). UV-C ışığının elma suyundaki *Zygosaccharomyces rouxii*'nin inaktivasyonuna etkisi: Fenolik ve antioksidan içeriklerinin değerlendirilmesi. GIDA (2025) 50 (4) 479-490 doi: 10.15237/gida.GD25015

ABSTRACT

Improved quality and safety can be achieved by UV-C light which is a non-thermal method for fruit juices. *Zygosaccharomyces rouxii* causes spoilage problems in sugar foods, fruit juices and concentrates. In this research, the effect of UV-C light in different doses (4, 8, 12 J/cm²) was investigated for inactivation of *Z.rouxii* in apple juice and also some quality properties were evaluated such as color, total phenolic and antioxidant contents. As a result, applying 4 J/cm² irradiation gave the highest phenolic and antioxidant contents as 229.89±2.19 (mgGAE. mL⁻¹) and 0.032±0.05 (EC₅₀, µg/mL) respectively. Color values significantly affected from the increase in doses of irradiation ($P<0.05$). The reduction UV-C exposure in *Zygosaccharomyces rouxii* was achieved as 1.45 log CFU ml⁻¹ for 4 J/cm²; 2.09 log CFU ml⁻¹ for 8 J/cm² and lastly, 1.94 CFU/ml for 12 J/cm² treatment. These findings indicate that low doses of UV-C irradiation can effectively inactivate organisms while preserving quality characteristics of apple juice.

Keywords: Apple juice, ultraviolet light, irradiation, *Zygosaccharomyces rouxii*, phenolic content, quality

**UV-C IŞIĞININ ELMA SUYUNDAKİ ZYGOSACCHAROMYCES ROUXII'NİN
İNAKTİVASYONUNA ETKİSİ: FENOLİK VE ANTİOKSİDAN İÇERİKLERİNİN
DEĞERLENDİRİLMESİ**

ÖZ

Meyve sularında kalite ve güvenlik, termal olmayan bir yöntem olan UV-C ışığı ile artırılabilir. *Zygosaccharomyces rouxii*, şekerli gıdalarda, meyve sularında ve konsantrelerde bozulmaya neden olan bir mikroorganizmadır. Bu çalışmada, farklı dozlarda (4, 8, 12 J/cm²) uygulanan UV-C ışığının elma suyundaki *Z. rouxii*'nin inaktivasyonu üzerindeki etkisi incelenmiş ve ayrıca renk, toplam fenolik madde içeriği ve antioksidan kapasite gibi bazı kalite özellikleri değerlendirilmiştir. Sonuçlar, 4 J/cm² ışınlamanın en yüksek fenolik ve antioksidan içerik değerlerini sırasıyla 229.89±2.19 mg GAE/mL ve 0.032±0.05 EC₅₀ (µg/mL) olarak sağladığını göstermiştir. Renk değerleri, ışınlama dozlarının artışıyla belirgin şekilde değişmiştir ($P< 0.05$). UV-C ışığına maruz bırakılan *Z. rouxii*'nin azalması sırasıyla 4 J/cm² için 1.45 log CFU/mL, 8 J/cm² için 2.09 log CFU/mL, 12 J/cm² için 1.94 log CFU/mL olarak saptanmıştır. Bu bulgular, düşük dozda UV-C ışığı uygulamasının bozulmaya neden olan mikroorganizmaları etkili bir şekilde inaktive ederken elma suyunun kalite özelliklerini koruyabileceğini göstermektedir.

Anahtar kelimeler: Elma suyu, ultraviyole ışık, ışınlama, *Zygosaccharomyces rouxii*, fenolik madde, kalite

* Corresponding author / Sorumlu yazar

✉: ahsenrayman@gmail.com

☎: (+90) 537 729 4806

Ahsen Rayman Ergün; ORCID no: 0000-0003-0943-1950

INTRODUCTION

Apple (*Malus domestica* Borkh.; Rosaceae) is considered to be one of the most economically and culturally significant fruits, which is grown in all temperature zones (Patocka *et al.*, 2020; Spengler, 2019). Apples are a rich source of various nutrients, such as dietary fibers, vitamins, minerals, phenolic and bioactive compounds (Müller *et al.*, 2021; Hyun and Jang, 2016). Its high nutritional value increases its preference among consumers. It is known that it has anti-cancer, anti-diabetic, anti-inflammation and anti-obesity effects (Hyun and Jang, 2016). Thus, apple juice is a mostly preferred fruit juice by the consumers worldwide (Müller *et al.*, 2021).

Fruit juices have a low pH value and are typically abundant in carbohydrates and complex nitrogen sources, in that way offering optimal growth substrates for the proliferation of spoilage yeasts, molds, and certain acid-tolerant bacteria (Aneja *et al.*, 2014). Microbial spoilage has the potential to cause unfavorable alterations in the nutritional and sensory characteristics of fruit juices and beverages. Yeasts can be tolerable to the high acidity found in fruit juices and can easily thrive in anaerobical conditions (Saloma, 2018). However, certain strains of yeasts can cause alteration in different food and beverages such as wine and fruit juices (Hernandez *et al.*, 2018). In fruit juices generally *Zygosaccharomyces*, *Candida*, *Saccharomyces*, *Rhodotorula*, *Issatchenkia*, *Hanseniaspora*, and *Pichia* causes spoilage (Xiang *et al.*, 2020; Hernández *et al.*, 2018). However, yeasts belonging to the *Zygosaccharomyces* genus are regarded as the most common spoilage yeasts in sugary food and beverage products, and are the reason for significant financial losses within these sectors (Hernández *et al.*, 2018; Rojo *et al.*, 2015, 2017). Hereby, it is clear that this microbiological degradation in the fruit juice industry has major economic consequences (Marvig *et al.*, 2015).

Zygosaccharomyces rouxii is a facultative anaerobic yeast that can tolerate ethanol, sulfur dioxide and acetic acid and grow to 1.8-8 pH and 0.62 water activity (Karaman, 2020; Sperber and Doyle, 2009). The spoilage caused by *Zygosaccharomyces rouxii* strains, comprehended by consumers with

the formation of non-desired odors affecting the products. These odor compounds effect quality and may cause many waste in this type of products (Escott *et al.*, 2018).

Thermal treatments are used in food industry to protect the last product by inhibiting the growth of microorganisms and enzymes (Riganakos *et al.*, 2017). Nevertheless, thermal processing may cause some undesirable changes such as nutrient loss, color alteration and changes in sensory attributes (Riganakos *et al.*, 2017). It especially affects the color quality of anthocyanin containing fruit juices (such as apple and grapefruit), since anthocyanins degrade and form colorless or unwanted brown-colored pigments (Pala and Toklucu, 2011; La Cava and Sgroppo, 2019). Due to the growing consumer preference for healthy and minimally processed, preservative-free products, there is an effort to create innovative non-thermal technologies that can increase the quality and extend the shelf life of such products (La Cava and Sgroppo, 2019). For this reason, new non-thermal processes has been developed and combined, such as UV-C, pulsed electric field, and high hydrostatic pressure achieving equivalent or even higher degrees of stability and safety in food processing (La Cava and Sgroppo, 2019). Non-thermal pasteurization methods can help to denature enzymes and eliminate microorganisms with less harmful effects on sensory and nutritional quality of foods (Xiang *et al.*, 2018).

In recent decades, a range of non-thermal techniques has been developed, with ultraviolet light (UV) emerging as an outstandingly promising technology. United States Food and Drug Administration (USFDA) and the United States Department of Agriculture (USDA) specified the Ultraviolet (UV) irradiation as an alternative food processing technology for fruit juices in recent years (Feliciano *et al.*, 2019). This is mainly because of its user-friendly nature and its ability to efficaciously eliminate a wide array of microorganisms (Bintsis *et al.*, 2000). Moreover, UV treatment does not generate any chemical residues, so its appeal as a reasonable method for microbial control enhances (Guerrero-Beltrán

and Barbosa–Cánovas, 2004). UV light is between 100 and 400 nm region of the electromagnetic spectrum. This UV range may be further divided and classified as UV-A (315–400 nm), UV-B (280–315 nm), UV-C (200–280 nm), and the vacuum UV range (100–200 nm) (Baysal *et al.*, 2013). The UV-C light has germicidal effect on microorganisms such as bacteria, yeasts, molds and viruses (Caminiti *et al.*, 2012).

Recent studies demonstrated that UV-C light technology is one of the technologies studied to preserve the fruit juices such as orange juice (Prado *et al.*, 2019; Feliciano *et al.*, 2019; Hakguder Taze *et al.*, 2015), carrot juice (Riganakos *et al.*, 2017), grapefruit juice (La Cava and Sgroppo, 2019; Unluturk and Atilgan, 2015), mango juice (Santhirasegaram *et al.*, 2015), kale juice (Pierscianowski *et al.*, 2021) and apple juice (Baysal *et al.*, 2013; Gouma *et al.*, 2015; Xiang *et al.*, 2020). On the other hand, studies have been conducted on trying novel treatments for inactivation of different yeasts or bacteria that cause food spoilage in apple juice with UV-C (Baysal *et al.*, 2013; Saucedá-Gálvez *et al.*, 2020; Gabriel, 2012; Gouma *et al.*, 2015; Akwu *et al.*, 2021), but limited study investigated the UV-C effect on the *Z. rouxii* inhibition in apple juice (Xiang *et al.*, 2020). Previous researches investigate the UV-C effect on different microorganisms in apple juice such as Saucedá-Gálvez *et al.* (2020), investigate the single and combined UV-C and ultra-high pressure homogenisation treatments on inactivation of *Alicyclobacillus acidoterrestris* spores in apple juice also the same researchers evaluate the ultraviolet light (uv-c) effectiveness in the inactivation of bacterial spores inoculated in cloudy apple juice. In another study, Akwu *et al.* (2022), investigate the effect of germicidal short wave-length ultraviolet light on the polyphenols, vitamins, and microbial inactivation in highly opaque apple juice. Akgün and Ünlütürk (2017), determine the effects of ultraviolet light emitting diodes (LEDs) on microbial and enzyme inactivation of apple juice. Gabriel *et al.* (2012), inactivation of *Escherichia coli* O157:H7 and spoilage yeasts in germicidal UV-C-irradiated and heat-treated clear apple juice. They evaluate different doses and also

investigate the effect on the individual polyphenolic content and in-vitro total antioxidant activity of apple juice (Islam *et al.*, 2016). By this point of view this study will also add valuable contribution to the literature. Also there is no study in specially evaluating the phenolics and antioxidants after this effect.

Therefore in this study, it was aimed to investigate the inactivation effects of UV-C technology on the *Zygosaccharomyces rouxii* in clear apple juice. Additionally comparing the quality effects such as phenolic and antioxidant contents and color between control (not UV-C light irradiated) and UV-C application groups.

MATERIAL AND METHODS

Materials

Commercially available pasteurized apple juice (Harvest 100% Apple Juice, Dimes, İzmir, Turkey) was provided from a local market in İzmir, Turkey. Chemicals were analytical grade and provided by Merck (Darmstadt, Germany) or Sigma-Aldrich Trading Co. Ltd. (Buchs, Switzerland).

Culture and Medium Preparation

This study was carried out with osmophilic yeast, *Zygosaccharomyces rouxii* (DSM 7,525, DSMZ GmbH, Germany), supplied as lyophilized. According to the DSMZ, yeast malt agar was created from different media components including yeast extract, 3 g/L; malt extract, 3 g/L; peptone, 5 g/L; dextrose, 10 g/L; and agar 20 g/L (Merck, Darmstadt, Germany). Yeast cells were grown on liquid medium and incubated at 30°C shaker incubator (Biosan, ES-20, Latvia), at 120 rpm for 18 hr (Xiang *et al.*, 2018). 2-ml sterilized water was added for the suspension of the lyophilized culture then transferred to liquid medium and incubated at 25°C in static incubator (Nüve En 30, Turkey) at least 3 days (Chen and Tseng, 1997). The last concentration of the culture was determined as almost 10^7 CFU/ml. Cells were applied to centrifuge process (6000 rpm, 10 min, 4 °C) after growing by a centrifuge (Hettich mikro centrifuge, 200R, Germany). After this, supernatant was removed, and a tube was filled with sterile 0.1% peptone water (Xiang *et al.*,

2020). Uninoculated apple juices were used as the control samples.

Inoculation of Yeast and UV-C Treatment of Apple Juice

UV-C (UVP XX-15, UVP Inc., CA, USA) application was carried out using an mercury UV lamp with peak radiation at 254 nm wavelength. Flat black painted tube was used for the UV radiation which was in the same size with a Petri dish. The samples were placed in 6 cm diameter Petri dishes directly below the collimated UV beam and stirred continuously during the irradiation with a vortex mixer at 14000rpm (IKA, Yellowline TTS 2, IKA® Werke GmbH & Co. KG, Germany). The irradiance I_0 of the lamp was measured by a UV-VIS radiometer supplied with UVX-25 sensor (UVX, UVP Inc., CA, USA) placed at the same distance from the UV lamp as the plates. The UV lamp was preheated for approximately 30 minutes before starting the UV treatment to ensure a consistent intensity level (Baysal *et al.*, 2013).

For UV-C application, 25 ml of apple juice inoculated with 0.25 ml *Z. rouxii* cells was transferred to sterilized plastic petri dishes (90 mm×15 mm). The distance of apple juices to the lamp was kept constant as 10 cm, from this distance, different doses (4, 8, 12 J/cm²) were processed by taking into consideration of different studies and also equipment properties as reference (Hayes *et al.*, 2012; Xiang *et al.*, 2020; Saucedo-Gálvez *et al.*, 2020). The UV intensity was kept constant at 0.0071 W/cm². Exposure times were equal to UV doses divided by UV intensities (J/cm²). The exposure times of the samples to UV-C application were calculated as 9.38, 18 and 28 minutes, respectively.

Microbiological analysis

After UV-C treatment, for the determination of microbial counts 1 ml of each sample was taken and transferred to 9 ml peptone water (0.1%) dilutions were made. Counts were determined by plating the diluted samples onto yeast malt medium by taking 0.1 ml from the dilutions. After plating, the petri dishes were left to incubate at 25 °C for 3 days, and the microorganism counts in

the petri dishes were performed two replications. Results are expressed as log₁₀CFU/mL (Chen and Tseng, 1997).

Determination of physicochemical properties of apple juice

Total soluble solids content

Total soluble solids (TSS) were measured by a digital refractometer (Hanna, Romania) at 25°C. Results are expressed as °Brix (AOAC, 2000).

pH

The pH values of apple juices at 25°C were determined using a pH meter (Thermo Scientific Orion 3 Star, USA) (AOAC, 2000).

Total titratable acidity

Titrateable acidity (TA) determination was carried out with using 0.1 M NaOH until pH 8.2 was reached and the results were expressed as "g malic acid/100 mL apple juice"(g TA·100⁻¹ mL⁻¹) Titrateable acidity was calculated as shown in Equation 1.

$$\text{Titrateable Acidity \%} = V * F * E * 100 / m \quad (1)$$

where V is the amount of 0.1 N NaOH used (ml), F is the factor of the base solution used in the titration, E is 1 ml of 0.1 N NaOH equivalent of acid amount (g), m is the actual amount of sample titrated (ml) (Cemeroğlu, 2018).

Total phenolic content

The total phenolic compounds in the apple juice was determined by using the Folin-Ciocalteu method with a modification (Franke *et al.*, 2014; Xiang *et al.*, 2020). Gallic acid was used as a standard. Sample extract (500 µL) was mixed with Folin-Ciocalteu reagent (1.0 mL). A total of 2.0 mL of sodium carbonate solution (7.5%, w/v) and 1.5 mL of distilled water were added to the mixture. The solution was then vortexed thoroughly for 15 seconds and left to rest at room temperature for 60 minutes. The absorbance at 760 nm wavelength was measured using a Varian Cary 50 Scan (Australia) model spectrophotometer. The results were reported as milligrams of gallic acid equivalent per 100 mL of apple juice (mg GAE·100⁻¹ mL⁻¹).

Determination of Total Antioxidant Activity

For the determination of antioxidant activity of apple juice, DPPH assay is used. After the necessary dilutions were made (first diluted 1:10 with 80% methanol, then diluted again 1:10 from the dilute sample); 20, 40, 60, 80 and 100 µl of the extract were transferred to 5 different tubes. 600 µl DPPH solution was added on each tube. The total volume in each tube was then made up to 6 mL with methanol. After the tubes were kept in a dark environment at 25°C for 15 minutes, the absorbance of the samples were determined on a spectrophotometer at a wavelength of 517 nm using methanol as a blank (Cemeroğlu, 2018). Antioxidant activity was expressed as (EC₅₀, µg/mL) (Rydzak *et al.*, 2020).

Color parameters

Colorimetric measurement of the samples was carried out using a Chromameter (Konica Minolta CR- 600, Japonya). The color values were expressed as the L*, a* and b*. L* represents whiteness or brightness/darkness, a* is the red/green coordinate and b* the yellow/blue coordinate (Gök, 2021). The L* value represents lightness and darkness, with a higher L* value indicating a lighter-colored product. An increase in the b* value means a higher yellow intensity and an increase in the a* results in a higher red intensity. The instrument was calibrated before each analysis.

Statistical Analyses

The results were statistically analyzed using analysis of variance (ANOVA) in SPSS 13 software (SPSS Inc., Chicago, IL, USA), with the Duncan test applied to determine differences among treatments at a significance level of $P < 0.05$. Each experiment was conducted at least three times, and the means and standard deviations were calculated for the results.

RESULTS AND DISCUSSION**Assesment of microbial inactivation**

The initial microorganism numbers of *Zygosaccharomyces rouxii* were determined as 3.24×10^7 CFU mL⁻¹ for apple juice. Apple juice samples were exposed to UV-C radiation doses of 4 J/cm², 8 J/cm² and 12 J/cm². The reduction in

Zygosaccharomyces rouxii was achieved as 1.45 log CFU mL⁻¹ for 4 J/cm² radiation exposure; 2.09 log CFU mL⁻¹ for 8 J/cm² and lastly, there was a reduction of 1.94 CFU mL⁻¹ for a 12 J/cm² radiation treatment. It can be seen that the most reduction of microorganisms was obtained after a 8 J/cm² radiation treatment. Similar to this study, Galvez *et al.*, (2020) explained that the increase in doses not provide an increase in lethality. Similarly, Taze *et al.* (2015) studied with a UV dose of 108.42 mJ/cm², and found the maximum log reduction in yeast and mould count as 1.76 log₁₀ after 20 min of UV exposure ($I_0 = 1.32 \text{ mW/cm}^2$). In parallel with this, Bhat *et al.* (2011), remarked a reduction in yeasts and mould counts by 2-log cycle on UV treatments. Keyser *et al.* (2008), found a 1.32 log CFU/mL- 4.48 log CFU/mL reductions in, strawberry and guava-and-pineapple juice and mango nectar. At UV intensity levels of 1.31, 0.71, and 0.38 mW/cm², log reductions of 2.1 ± 0.3 , 1.6 ± 0.1 , and 0.8 ± 0.1 , respectively, were achieved in apple juice after 15 minutes of treatment (Baysal *et al.*, 2013). UV-C treatments proved to be more effective, reaching a lethality of 5.5 log₁₀ CFU/mL with a dose of 21.5 J/mL at 20°C. In contrast, UV-C treatments were less efficient at higher doses, achieving a maximum lethality of 4.07 log₁₀ CFU/mL with a dose of 28.7 J/mL (Sauceda *et al.*, 2020).

In another study, (Fenoglio *et al.*, 2020), *L. plantarum*, *E. coli*, and *S. cerevisiae* microorganisms were cultivated in clear pear juice and the inactivation effect of UV-C application on these microorganisms was examined. 4.4-5.5 log reductions were found for *L. plantarum*, *E. coli* and *S. cerevisiae*. In the study conducted by Lapena *et al.* (2022), the inactivation of *Escherichia coli*, *Salmonella enterica* and *Listeria monocytogenes* was assessed under different ultraviolet C (UVC_{254nm}) treatments in apple juice. *E. coli* and *S. enterica* populations were significantly reduced ($P < 0.001$) after UVC_{254nm} treatment with $904.0 \pm 1.0 \text{ mJ/cm}^2$ and a dose of $1200.0 \pm 1.0 \text{ mJ/cm}^2$ was needed to significantly reduce ($P < 0.001$) of *L. monocytogenes*. After 20 minutes of UV-C exposure (16.8 kJ/m^2), the spores of *Alicyclobacillus acidoterrestris*, *Alicyclobacillus herbarius*, and *Alicyclobacillus cycloheptanicus* were significantly reduced by more

than 4 log CFU/mL, with counts falling below the detection limit of the method (<1.7 log CFU/mL). Meanwhile, the spores of *Alicyclobacillus acidocaldarius* were even more sensitive to UV-C, with a similar reduction observed after just 15 minutes of exposure (12.6 kJ/m²) (Baysal *et al.*, 2013). The populations of *Z. rouxii* in apple juice were reduced by 4.86-log and 5.46-log values following UVC-LED irradiation at doses of 800 and 1200 mJ/cm², respectively ($P<0.05$) (Xiang *et al.*, 2020). Additionally, a flow rate of 0.0078 L/min (frequency 30 Hz) with a UV-C dose of 13.75 mJ/cm² effectively reduced *S. typhimurium* by 5 log₁₀ CFU/mL in pineapple juice, meeting the FDA standards (Mansor *et al.*, 2014). In a previous research it was determined that the decreases in inactivation of yeasts *Z. rouxii*, *Z. bailii* and *S. cerevisiae* were significant ($P<0.05$). Compared to control group with a UV dosage of 3.36 mJ/cm², 3.8-5.0 log reductions found (Hayes *et al.*, 2012). In a study, 10 mJ/cm² UV dose at 0.288645 mW/cm² average irradiance resulted in 3.4 log₁₀ CFU/mL reduction of *E. coli* at a depth of 1.5 cm using UV-LEDs emitting

light at 263 nm (Akwa *et al.*, 2022). The inactivation of *S. aureus* followed a linear decrease with increasing exposure time, and after 30 minutes of UV exposure, a notable reduction in bacterial levels was observed in the apple juice. Xiang *et al.* (2020), who studied with *Z. rouxii* in apple juices, found similar results to this study. 4.86- and 5.46-log values after UVC-LEDs irradiation at 800 and 1200 mJ/cm² ($P<0.05$), respectively.

Total soluble solid content, pH and titratable acidity

Physical and chemical properties such as pH, total soluble solids, titratable acidity, total phenolic content, total antioxidant content and color values (L^* , a^* , b^*) of the apple juice control samples were shown in Table 1. Total soluble solid content and titratable acidity were found in untreated (control) samples as 11.3 ± 0.05 (°Bx) and 0.29 ± 0.009 (%). According to Müller *et al.* (2014), untreated pH value of apple juice was found to be as 3.62 ± 0.04 similar to this study (3.93 ± 0.07).

Table 1. Physicochemical properties for control and treated samples

Quality parameters	Different doses of radiation (J/cm ²)			
	Control samples	4	8	12
Total soluble solid content (°Brix)	11.3 ± 0.05^a	11.55 ± 0.0^a	11.48 ± 0.037^b	11.22 ± 0.068^b
pH	3.93 ± 0.007^a	4.09 ± 0.068^b	4.07 ± 0.072^b	4.06 ± 0.10^b
Titratable acidity (g TA·100 ⁻¹ mL ⁻¹)	0.29 ± 0.009^a	0.08 ± 0.016^b	0.09 ± 0.016^b	0.08 ± 0.026^b
Total phenolic content (mgGAE·100 ⁻¹ mL ⁻¹)	240.46 ± 1.20^a	229.89 ± 2.10^b	218.36 ± 1.50^c	216.25 ± 1.05^c
Antioxidant activity (EC ₅₀ , µg/mL)	0.046 ± 0.05^a	0.032 ± 0.05^b	0.018 ± 0.05^c	0.013 ± 0.05^c
L^*	63.26 ± 0.98^a	60.70 ± 0.58^b	60.13 ± 0.51^b	59.43 ± 0.85^b
a^*	-2.60 ± 0.13^a	-2.84 ± 0.44^a	-3.73 ± 0.26^b	-3.89 ± 0.16^b
b^*	19.83 ± 0.83^a	22.88 ± 0.49^b	23.49 ± 0.67^b	27.97 ± 0.95^c

*Values in the rows with different superscripts (a, b, c) differ ($P<0.05$).

The results obtained from this study indicated that the content of total soluble solids differ significantly from the control group ($P<0.05$). pH value did not change within the treatment groups ($P>0.05$), but significantly differ from the control group ($P<0.05$). Additionally, titratable acidity

changed significantly ($P<0.05$). The fact that the pH value remains constant throughout the process can be seen as one of the advantages of UV-C application. A noticeable pH change can cause some undesired changes in sensory characteristics. pH and acidity are important

criteria that enhances the shelf life of fruit juice during the process control for maintaining the quality of the final product (Bhat *et al.*, 2011). Also, pH and °Brix can impact the lethality rate in UV-treated apple juice (Gök, 2021; Koutchma *et al.*, 2004; Caminiti *et al.*, 2011). These present results are in parallel with earlier studies in the literature, no significant changes were indicated in physicochemical parameters values such as pH, total soluble solids and total phenolic content in apple juice (Pala & Toklucu, 2013; Kyriakos *et al.*, 2017; Noci *et al.*, 2017; Walkling-Ribeiro *et al.*, 2008; Falguera, Pagan and Ibarz, 2011; Caminiti *et al.*, 2012). Teja *et al.* (2017), studied ultraviolet treatment with treatment times of 5, 10, and 15 min for a distance of sample from lamp source (8.6, 13.7, 18.6 and 22.8 cm) at 1 mm sample thickness. They also not found any significant effects on pH, TSS of apple and pineapple juice. In another study, Bhat *et al.* (2011), applied ultraviolet light (0, 30 and 60 min) to starfruit juice and detected significant decrease in the titratable acidity, but the decrease in °Brix and pH were not significant. Conformably, Torkanmani *et al.* (2011), After UVC no significant alteration was observed in juice pH and color and also Unluturk and Atilgan (2015) who studied with grape juice, after UV exposure no changes were seen in the values of pH, total soluble solid, and titratable acidity. Comparably, Xiang *et al.* (2020) found no significant differences in other characteristics, such as pH, electrical conductivity, titratable acidity, total soluble solids, reducing sugar, and lightness (L^*) value of apple juice exposed to 1200 mJ/cm² ($P > 0.05$). It is known that treatments in food industry may cause some unwanted changes in quality characteristics (Riganakos *et al.*, 2017). On the other hand, UV-C treatment causes a little change in these characteristics as it can be seen in this studies results. This makes the UV-C treatment an ideal alternative for food industry.

Evaluation of Total Phenolic Content and Antioxidant Activity

Phenolics in apple and apple juice shows antioxidant activity against free radicals and they are thought to account for the beneficial and healthy effects of apple and apple juices on human nutrition (Pavun *et al.*, 2018). For this

reason, it is desirable that the processes applied to apple juice for preservation purposes do not reduce the content of this phenolic substance. Total phenolic content of apple juice is considered as an important quality character (Gök, 2021). UV-C application can either increase or decrease the antioxidant values of the juice. These values are strictly dependent on the time of exposure, delivered dose and the raw material (Gök, 2021). In Table 1, it can be seen that after applying different doses of radiation, there was significant phenolic content change between the control, 4 (J/cm²) and the other groups ($P \leq 0.05$), while between the groups of 8 and 12 (J/cm²) doses there were no important changes found ($P > 0.05$). In parallel to recent results, phenolic contents were decreased after UVC treatments (La Cava *et al.*, 2019; La Cava and Sgroppo 2015). According to Noci *et al.*, (2008) with an UV-C treatment (2.66-53.1 J/cm²) total phenol content of apple juice decreased significantly. While, according to Feng *et al.* (2013), treatment of watermelon juice with 37 J/mL doses did not result in a significant change ($P > 0.05$) in total phenolic content. Inversely to these results, in mango juice there were significant increases after 15 and 30 min exposure of UV-C light in phenolics, carotenoids, flavonoids and thus antioxidant capacities (Santhirasegaram *et al.*, 2015). According to Caminiti *et al.* (2011), UV-C treatment of apple juice didn't have a significant effect on the phenolic content ($P > 0.05$). Islam *et al.*, (2016) discovered that the total phenolic content in the control and irradiated apple juice samples ranged from 9.79 to 9.48 mg GAE·100⁻¹ mL⁻¹, indicating that UV irradiation did not cause any significant changes ($P > 0.05$). Alternatively, it is well-established that heat treatments significantly decreases the polyphenols in apple juice ($P < 0.05$). According to Aguilar *et al.*, (2007) there was a 32.2% reduction of polyphenols in thermally-threatened apple juice.

Antioxidant activity decreased significantly after UV-C in all groups compared to untreated one. The minimum decrease was found in the 4 J/cm² sample group. Similarly, Teja *et al.* (2017), studied ultraviolet during 5, 10, and 15 min for a distance of sample from lamp source (8.6, 13.7, 18.6 and

22.8 cm) at 1 mm sample thickness. They stated that the antioxidant activity of apple and pineapple juices showed a decreasing trends with respect to an increase in dosage level. The obtained results suggested that ultraviolet treatment conditions slightly affect the quality parameters of the both juices. Significant reductions were measured that UV-C irradiation in apple juices at in the concentrations of phenolic and antioxidant compounds (Islam *et al.*, 2016). In contrast to this, Bhat *et al.* (2011), applied ultraviolet light (0, 30 and 60 min) to starfruit juice and detected an improvement on the antioxidants, including % DPPH inhibition, total phenols, flavonols, flavonoids, and antioxidant capacity, were measured following UV treatment at 60 min application. Nonetheless, the UVC-LEDs irradiation caused reduction in total phenolic content and antioxidant activity of apple juice (Xiang *et al.* 2020).

Significant decrease in total phenol content was established, while antioxidant capacity was not reduced significantly (Noci *et al.*, 2008). In the phenolics the highest content was found in UV-30 min. sample with an increase of 31%. However, for 60 min samples, degradation of flavonoids was obtained. This could be due to the prolonged UV-C exposure time, which generates excessive stress, thereby suppressing the flavonoid content. They also mentioned that DPPH inhibition increased by 91.2% by UV-C treated juice. The maximum increase in reducing capacity (12%) was found with control and 30 min sample. As mentioned earlier, the stress response induced by UV-C processing may enhance the extraction of antioxidant compounds, which is consistent with the findings of Bhat *et al.* (2011), where UV-C exposure increased the antioxidant capacity of starfruit juice. The differences between untreated and UV-C treated (48.12 kJ/L dose) orange juice were minimal in terms of organic acids, antioxidant capacity, and phenolic content. The total phenol content and antioxidant capacity of untreated orange juice were 1124.13 mg gallic acid/L and 4.71 mmol trolox equivalent/mL, respectively. These parameters showed no significant change

following UV-C and heat treatments ($P>0.05$) (Pala and Toklucu, 2013).

Results of Color Measurement

Color parameters are very important for consumer preferences. In this study, the lightness, greenness and yellowness of control group was 63.26 ± 0.98 , -2.60 ± 0.13 and 19.83 ± 0.83 respectively. UV-C treatment caused changes in brightness (L^*). Thus, the brightness of apple juice, which plays an important role in the consumer preference and acceptance, was protected better in the minimum dosage group than the others. a^* and b^* parameters showed changes after the UV-C exposure ($P\leq0.05$). The yellowness and greenness of the apple juice samples increased with the radiation application. Thus, after the UV-C treatment, apple juices became darker, greener and more yellow. In a different study (Müller *et al.*, 2014), untreated apple juice's color characteristics such as L^* , a^* and b^* values are determined as 30.5 ± 0.8 , 1.0 ± 1.0 and 18.6 ± 1.7 respectively. Similar results were found, after the UV-C and UV-B treatment of apple and grape juice, the brightness value also decreased, and a^* and b^* values showed increase with the treatment (Müller *et al.*, 2014). Falguera *et al.* (2011), investigated UV irradiation on physicochemical properties of apple juice from different sources. After applying 400, 500, 600 and 700 nm wavelength on four different apple juices, the brightness of each apple juice was decreased significantly. In another study, the results indicated that no significant changes ($P>0.05$) were observed in the L^* , a^* , and b^* values during storage for the control (fresh), thermally treated, and UV-C treated samples. Also they indicated that laboratory observations using the human eye revealed no evident difference between the fresh, thermally treated, and UV-C treated samples (Riganakosa *et al.*, 2017). Results showed significant improvements for brightness in star fruit irradiation (Bhat *et al.*, 2011). Though, for orange juice slight changes were detected in a^* and b^* values whereas L^* value remained almost constant after UV exposure (Taze *et al.*, 2015). Teja *et al.* (2017), studied with apple and pineapple juices, found that the color parameters (L^* , a^* and b^*) were

slightly affected by ultraviolet treatment (Teja *et al.*, 2017).

CONCLUSION

Apple juice, one of the most consumed fruit juices worldwide due to its taste and high nutritional values, provide a growing medium to *Z. rouxii* if not properly handled. This work aimed to address the impact of UV-C technologies on apple juice. Findings from the present study revealed that the logarithmic reduction in *Z. rouxii* was significant, especially in the samples exposed to 8 J/cm². The content of total soluble solids, pH value and titratable acidity changed significantly ($P < 0.05$), also the changes between the total phenolic contents have found to be significant ($P < 0.05$). On the other hand, the color parameters (L^* , a^* , b^*) changed slightly with UV-C radiation treatment. The increases in the doses caused decreases in the quality values. Thus, mild ultraviolet treatment on apple juice is an ideal alternative to heat treatments. In further studies, UV-C technology, maybe combined with other processes at low dosages of irradiation.

CONFLICTS OF INTEREST

The author state that they have no conflicts of interest.

REFERENCES

Aguilar-Rosas SF, Ballinas-Casarrubias ML, Nevarez-Moorillon GV, Martin-Belloso O, Ortega-Rivas, E. (2007). Thermal and pulsed electric fields pasteurization of apple juice: Effects on physicochemical properties and flavour compounds. *Journal of Food Engineering*, 83(1), 41-46.

Akwu AS, Patras A, Pendyala B., Kurup A., Chen FC, Vergne, MJ (2022). Effect of germicidal short wave-length ultraviolet light on the polyphenols, vitamins, and microbial inactivation in highly opaque apple juice. *bioRxiv*, 2022-07.

Almeida ETC, Barbosa IM, Tavares JF, Barbosa Filho JM, Magnani M, de Souza, EL (2018), Inactivation of spoilage yeasts by *Mentha spicata* L. and *M. x villosa* Huds. essential oils in cashew, guava, mango, and pine apple juices. *Frontiers in Microbiology*, 9, 1111.

Aneja KR, Dhiman R, Aggarwal NK, Aneja, A. (2014). Emerging preservation techniques for controlling spoilage and pathogenic microorganisms in fruit juices. *International Journal of Microbiology*, 2014, 758942.

Akgün, M. P., Ünlütürk, S. (2017). Effects of ultraviolet light emitting diodes (LEDs) on microbial and enzyme inactivation of apple juice. *International Journal of Food Microbiology*, 260, 65-74.

Barut Gök S. (2021). UV-C treatment of apple and grape juices by modified UV-C reactor based on Dean vortex technology: Microbial, physicochemical and sensorial parameters evaluation. *Food and Bioprocess Technology*, 14, 1055-1066.

Baysal AH, Molva C, Unluturk, S. (2013). UV-C light inactivation and modeling kinetics of *Alicyclobacillus acidoterrestris* spores in white grape and apple juices. *International Journal of Food Microbiology*, 166(3), 494-498. DOI: 10.1016/j.ijfoodmicro.2013.08.015

Bhat, R., Ameran, S. B., Voon, H. C., Karim, A. A., Tze, L. M. (2011). Quality attributes of starfruit (*Averrhoa carambola* L.) juice treated with ultraviolet radiation. *Food Chemistry*, 127(2), 641-644.

Bintsis T, Tzanetaki E.L, Robinson R.K, (2000). Existing and potential applications of ultraviolet light in the food industry — A critical review. *Journal of Food Science Application* 80, 637-645

Caminiti, IM., Noci, F., Munoz, A., Whyte, P., Morgan, DJ., Cronin, DA., et al. (2011). Impact of selected combinations of non-thermal processing technologies on the quality of an apple and cranberry juice blend. *Food Chemistry*, 124(4), 1387-1392.

Caminiti IM, Palgan, I, Muñoz A, Noci F, Whyte P, Morgan DJ, Cronin DA, Lyng JG, (2012) The effect of ultraviolet light on microbial inactivation and quality attributes of apple juice. *Food Bioprocess Technology*, 5, 680-686.

Cemeroğlu, B. (2018). Gıda analizi . Gıda Teknolojisi Derneği Yayınları.

Chen C, Tseng CW (1997) Effect of high hydrostatic pressure on the temperature

- dependence of *Saccharomyces cerevisiae* and *Zygosaccharomyces rouxii*. *Process Biochemistry*, 32(4):337-343 pp
- Escott C, Fresno, JMD, Loira I. (2018). *Zygosaccharomyces rouxii*: Control Strategies and Applications in Food and Winemaking. *Fermentation*, 4(3),69.
- Falguera V, Pagán J, Ibarz A. (2011). Effect of UV irradiation on enzymatic activities and physicochemical properties of apple juices from different varieties. *LWT-Food Science and Technology*, 44(1), 115-119.
- Feliciano RJ, Estilo EEC, Nakano H, Gabriel, AA, (2019), Ultraviolet-C resistance of selected spoilage yeasts in orange juice. *Food Microbiology*, 78(October 2018), 73–81. DOI: 10.1016/j.fm.2018.10.003
- Fenoglio D, Ferrario M, Schenk M, Guerrero S. (2020). Effect of pilot-scale UV-C light treatment assisted by mild heat on *E. coli*, *L. plantarum* and *S. cerevisiae* inactivation in clear and turbid fruit juices. Storage study of surviving populations. *International Journal of Food Microbiology*, 108767. DOI: 10.1016/j.ijfoodmicro.2020.10
- Franke, SIR (2004) Food Chemistry Study of antioxidant and mutagenic activity of different orange juices. 88, 45–55. DOI: 10.1016/j.foodchem.2004.01.021
- Gabriel, A. A. (2012). Inactivation of *Escherichia coli* O157: H7 and spoilage yeasts in germicidal UV-C-irradiated and heat-treated clear apple juice. *Food Control*, 25(2), 425-432.
- Gouma M, Gayán E, Raso J, Condón S, Álvarez I (2015) Inactivation of spoilage yeasts in apple juice by UV-C light and in combination with mild heat. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 32, 146–155. DOI: 10.1016/j.ifset.2015.09.008
- Guerrero–Beltrán JA, Barbosa–Cánovas GV, (2004) Review: advantages and limitations on processing foods by UV light. *Food Sci. Technol. Int.* 10, 137–148.
- Hakguder Taze B, Unluturk S, Buzrul S, Alpas H. (2015). The impact of UV-C irradiation on spoilage microorganisms and color of orange juice. *Journal of Food Science and Technology*, 52(2), 1000–1007. DOI: 10.1007/s13197-013-1095-7
- Hayes JC, Laffey, JG, McNeil B, Rowan, N. J. (2012). Relationship between growth of food-spoilage yeast in high-sugar environments and sensitivity to high-intensity pulsed UV light irradiation. *International journal of food science & technology*, 47(9), 1925-1934.
- Hernández, A, Pérez-Nevado F, Ruiz-Moyano S, Serradilla MJ, Villalobos MC, Martín A, Córdoba MG (2018). Spoilage yeasts: What are the sources of contamination of foods and beverages?. *International journal of food microbiology*, 286, 98-110.
- Huang Z, Hu H, Shen F, Wu B, Wang X, Zhang B, ... Zhang X. (2018). Relatively high acidity is an important breeding objective for fresh juice-specific apple cultivars. *Scientia Horticulturae*, 233, 29-37.
- Hyun TK, Jang KI. (2016). Apple as a source of dietary phytonutrients: an update on the potential health benefits of apple. *EXCLI Journal*, 15, 565.
- Islam MS, Patras A, Pokharel B, Wu Y, Vergne MJ, Shade L, ... Sasges, M. (2016). UV-C irradiation as an alternative disinfection technique: Study of its effect on polyphenols and antioxidant activity of apple juice. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 34, 344-351.
- Karaman K, Sagdic O, Yilmaz MT. (2020). Potential of natamycin to control growth of *Zygosaccharomyces* spp. in apple juice during storage. *International Journal of Food Microbiology*, 332(February), 108771. DOI: 10.1016/j.ijfoodmicro.2020.108771
- Keyser, M., Müller, I. A., Cilliers, F. P., Nel, W., Gouws, P. A. (2008). Ultraviolet radiation as a non-thermal treatment for the inactivation of microorganisms in fruit juice. *Innovative food science & emerging technologies*, 9(3), 348-354.
- Koutchma T, Keller S Chirtel S, Parisi, B. (2004). Ultraviolet disinfection of juice products in laminar and turbulent flow reactors. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 5, 179–189.
- La Cava ELM, Sgroppo SC (2019). Combined Effect of UV-C Light and Mild Heat on Microbial

- Quality and Antioxidant Capacity of Grapefruit Juice by Flow Continuous Reactor. *Food and Bioprocess Technology*, 12(4), 645–653. DOI: 10.1007/s11947-019-2239-1
- Legras JL, Merdinoglu D, Cornuet JM, Karst F. (2007). Bread, beer and wine: *Saccharomyces cerevisiae* diversity reflects human history. *Molecular Ecology*, 16(10), 2091–2102.
- Mansor, A., Shamsudin, R., Adzahan, N. M., Hamidon, M. N. (2014). Efficacy of ultraviolet radiation as non-thermal treatment for the inactivation of *Salmonella typhimurium* TISTR 292 in pineapple fruit juice. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, 2, 173–180.
- Marvig CL, Kristiansen RM, Nielsen DS (2015). Growth/no growth models for *Zygosaccharomyces rouxii* associated with acidic, sweet intermediate moisture food products. *International Journal of Food Microbiology*, 192, 51–57. DOI: 10.1016/j.ijfoodmicro.2014.09.021
- Müller WA, Valentina M, Pasin A, Sarkis, JR (2021), International Journal of Food Microbiology Effect of pasteurization on *Aspergillus fumigatus* in apple juice: Analysis of the thermal and electric effects. *International Journal of Food Microbiology*, 338(July 2020), 108993. DOI: 10.1016/j.ijfoodmicro.2020.108993.
- Müller A, Noack L, Greiner R, Stahl MR, Posten C. (2014). Effect of UV-C and UV-B treatment on polyphenol oxidase activity and shelf life of apple and grape juices. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 26, 498–504.
- Nicolau-Lapeña, I., Colás-Medà, P., Vinas, I., Alegre, I. (2022). Inactivation of *Escherichia coli*, *Salmonella enterica* and *Listeria monocytogenes* on apple peel and apple juice by ultraviolet C light treatments with two irradiation devices. *International Journal of Food Microbiology*, 364, 109535.
- Noci F, Riener, J, Walkling M, Cronin DA, Morgan DJ, Lying, JG. Ultraviolet irradiation and pulsed electric fields (PEF) in a hurdle strategy for the preservation of fresh apple juice. *Journal Food Engineering*. 2008, 85, 141–146.
- Pala ÇU, Toklucu AK (2011). Effect of UV-C light on anthocyanin content and other quality parameters of pomegranate juice. *Journal of Food Composition and Analysis*, 24(6), 790–795. DOI: 10.1016/j.jfca.2011.01.003
- Patocka J, Bhardwaj K, Klimova B, Nepovimova E, Wu Q, Landi M, Wu W. (2020). *Malus domestica*: A review on nutritional features, chemical composition, traditional and medicinal value. *Plants*, 9(11), 1408.
- Pavun L, Uskokovic-Markovic, S, Dikanović D, Djurdjevic, P. (2018). Determination of flavonoids and total polyphenol contents in commercial apple juices. *Czech Journal of Food Science*, 36, 2018 (3): 233–238
- Pierscianowski J, Popović V, Biancaniello M, Bissonnette S, Zhu Y, Koutchma T. (2021), Continuous-flow UV-C processing of kale juice for the inactivation of *E. coli* and assessment of quality parameters. *Food Research International*, 140(May 2020). DOI: 10.1016/j.foodres.2020.110085
- Prado DB do, Szczerepa MM dos A, Capeloto OA., Astrath NGC, Santos, N. C. A. dos, Previdelli, I. T. S., Nakamura, C. V., Mikcha, J. M. G., Abreu Filho, B. A. de. (2019). Effect of ultraviolet (UV-C) radiation on spores and biofilms of *Alicyclobacillus* spp. in industrialized orange juice. *International Journal of Food Microbiology*, 305(May). DOI: 10.1016/j.ijfoodmicro.2019.108238
- Riganakos KA, Karabagias IK, Gertzou I, Stahl M. (2017). Comparison of UV-C and thermal treatments for the preservation of carrot juice. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 42(June), 165–172. DOI: 10.1016/j.ifset.2017.06.015
- Rojo MC, López FA, Lerena MC, Mercado L, Torres A, Combina M. (2015). Evaluation of different chemical preservatives to control *Zygosaccharomyces rouxii* growth in high sugar culture media. *Food Control*, 50, 349–355.
- Rojo MC, Palazzolo CT, Cuello R, Gonzalez M, Guevara F, Ponsone ML, Combina, M. (2017). Incidence of osmophilic yeasts and *Zygosaccharomyces rouxii* during the production

- of concentrate grape juices. *Food microbiology*, 64, 7-14.
- Rydzak L, Kobus Z, Nadulski R, Wilczyński K, Pecyna A, Santoro F, Krzywicka, M. (2020) Analysis of selected physicochemical properties of commercial apple juices. *Processes*, 8(11), 1457.
- Saloma M. (2018) 16.1 introduction. 291–308. DOI: 10.1016/B978-0-12-802230-6.00016-3
- Santhirasegaram, V., Razali, Z., George, D. S., Somasundram, C. (2015). Comparison of UV-C treatment and thermal pasteurization on quality of Chokanan mango (*Mangifera indica* L.) juice. *Food and Bioprocesses*, 94, 313-321.
- Sauceda, G. J. N., Tió-Coma, M., Martínez-García, M., Hernández-Herrero, M. M., Gervilla, R., Roig-Sagués, A. X. (2020). Effect of single and combined UV-C and ultra-high pressure homogenisation treatments on inactivation of *Alicyclobacillus acidoterrestris* spores in apple juice. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 60, 102299.
- Sperber WH, Doyle, M. P. (2009). Compendium of the Microbiological Spoilage of Foods and Beverages.
- Spengler, RN. (2019). Origins of the apple: The role of megafaunal mutualism in the domestication of *Malus* and rosaceous trees. *Frontiers in Plant Science* 10, 617.
- Singleton VL, Rossi JA (1965) Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. *American journal of Enology and Viticulture*, 16(3), 144-158.
- Teja CK, Sanganamoni S, Prabhakar B, Rao, P. S. (2017) Effect of UV-C Light Treatment on Physicochemical and Bioactive Compounds in Apple and Pineapple Juices. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*. 6, 2321-2333.
- Unluturk S, Atilgan MR (2015). Microbial Safety and Shelf Life of UV-C Treated Freshly Squeezed White Grape Juice. *Journal of Food Science*, 80(8), M1831–M1841. DOI: 10.1111/1750-3841.1295.
- Xiang Q, Liu X, Li J, Liu S, Zhang H, Bai, Y. (2018). Effects of dielectric barrier discharge plasma on the inactivation of *Zygosaccharomyces rouxii* and quality of apple juice. *Food Chemistry*, 254(136), 201–207. DOI: 10.1016/j.foodchem.2018.02.008
- Xiang Q, Fan L, Zhang R, Ma Y, Liu S, Bai Y. (2020). Effect of UVC light-emitting diodes on apple juice: Inactivation of *Zygosaccharomyces rouxii* and determination of quality. *Food Control*, 111, 107082.
- Walkling-Ribeiro, M., Noci, F., Cronin, DA., Riener, J., Lyng, JG., Morgan, DJ. (2008). Reduction of *Staphylococcus aureus* and quality changes in apple juice processed by ultraviolet irradiation, pre- heating and pulsed electric fields. *Journal of Food Engineering*. 89: 267-273.

INVESTIGATION OF ANTIBIOTIC RESISTANCE GENES IN *ENTEROCOCCUS* STRAINS ISOLATED FROM SUCUK, A TRADITIONAL DRY-FERMENTED TURKISH SAUSAGE*

İbrahim Hakan FALAK, Banu ÖZDEN TUNCER**

Süleyman Demirel University, Faculty of Engineering and Natural Sciences,
Department of Food Engineering Isparta, Türkiye

Received / Geliş: 19.02.2025; Accepted / Kabul: 10.06.2025; Published online / Online baskı: 16.06.2025

Falak, İ. H., Özden Tuncer, B. (2025). Investigation of antibiotic resistance genes in *Enterococcus* strains isolated from sucuk, a traditional dry-fermented Turkish sausage. GIDA (2025) 50 (4) 491-505 doi: 10.15237/gida.GD25031

Falak, İ. H., Özden Tuncer, B. (2025). Geleneksel kuru fermente Türk sucuğundan izole edilen Enterokok suşlarında antibiyotik direnç genlerinin araştırılması. GIDA (2025) 50 (4) 491-505 doi: 10.15237/gida.GD25031

ABSTRACT

Enterococcus faecium and *Enterococcus faecalis* are lactic acid bacteria frequently found in fermented meat products such as sausage. These bacteria are important in the fermentation process because they help shape the unique taste, texture, and shelf life of the product. Although some enterococci are known to cause infections, enterococci isolated from various foods, especially meat products, have been shown to have much lower pathogenic potential compared to clinical strains. This has increased interest in foodborne enterococci. In this study, the presence of antibiotic resistance genes for erythromycin (*ermA*, *ermB*, *ermC*), tetracycline (*tetM*, *tetL*), ciprofloxacin (*gyrA*), streptomycin (*strA*, *strB*, *aadA*, *aadE*), vancomycin (*vanA*, *vanB*), and gentamicin [*aac(6')aph(2'')*, *aac(3'')II*, *aac(3'')IV*] was investigated in a total of 25 *Enterococcus* strains—*E. faecium* (24) and *E. faecalis* (1)—isolated from traditionally fermented sucuk samples by polymerase chain reaction (PCR). As a result of PCR analysis, the presence of the genes *ermA*, *ermB*, *ermC*, *tetM*, *tetL*, *gyrA*, *strA*, *strB*, *aadA*, *aadE*, *vanA*, *vanB*, *aac(6')aph(2'')*, *aac(3'')II*, and *aac(3'')IV* was not detected in any isolate. Although previous disk diffusion tests indicated that certain strains were resistant to ciprofloxacin (13/25) and erythromycin (1/25), it was observed that these strains did not harbor the corresponding antibiotic resistance genes. *Enterococcus* species are generally regarded as having a questionable status in terms of food safety. In this study, the absence of the investigated antibiotic resistance genes in enterococci isolated from sausage provides a potential advantage for these strains with respect to food safety.

Keywords: Sausage, *Enterococcus*, antibiotic resistance, polymerase chain reaction

GELENEKSEL KURU FERMENTE TÜRK SUCUĞUNDAN İZOLE EDİLEN ENTEROKOK SUŞLARINDA ANTİBİYOTİK DİRENÇ GENLERİNİN ARAŞTIRILMASI

ÖZ

Enterococcus faecium ve *Enterococcus faecalis*, sucuk gibi fermente et ürünlerinde sıklıkla bulunan laktik asit bakterisi türleridir. Bu bakteriler, ürünün benzersiz tadını, dokusunu ve raf ömrünü şekillendirmeye yardımcı olmaları nedeniyle fermentasyon sürecinde önem arz etmektedir. Bazı enterokokların enfeksiyonlara yol açtığı bilinse de çeşitli gıdalardan, özellikle et ürünlerinden izole edilen

* This paper is a part of MSc thesis of İbrahim Hakan Falak / Bu çalışma İbrahim Hakan Falak'ın MSc tezinin bir bölümüdür

** Corresponding author / Yazışmalardan sorumlu yazar

✉: banutuncer@sdu.edu.tr

☎: (+90) 246 211 8006

☎: (+90) 246 237 0437

İbrahim Hakan Falak; ORCID no: 0000-0001-9661-9673

Banu Özden Tuncer; ORCID no: 0000-0001-9678-4441

enterokokların, klinik suşlara kıyasla çok daha düşük patojenik potansiyele sahip olduğu gösterilmiştir. Bu durum, gıda kaynaklı enterokoklara olan ilgiyi artırmıştır. Bu çalışmada, geleneksel olarak fermente edilmiş sucuk örneklerinden izole edilen *E. faecium* (24 adet) ve *E. faecalis* (1 adet) olmak üzere toplam 25 *Enterococcus* suşunda eritromisin (*ermA*, *ermB*, *ermC*), tetrasiklin (*tetM*, *tetL*), siprofloksasin (*gyrA*), streptomisin (*strA*, *strB*, *aadA*, *aadE*), vankomisin (*vanA*, *vanB*) ve gentamisin [(*aac(6')**aph(2'')*), *aac(3'')*II, *aac(3'')*IV)] direnç genlerinin varlığı polimeraz zincir reaksiyonu (PZR) ile araştırılmıştır. PZR analizinin sonucunda, hiçbir izolatta *ermA*, *ermB*, *ermC*, *tetM*, *tetL*, *gyrA*, *strA*, *strB*, *aadA*, *aadE*, *vanA*, *vanB*, *aac(6')**aph(2'')*, *aac(3'')*II ve *aac(3'')*IV genlerinin varlığı tespit edilmemiştir. Daha önce yapılan disk difüzyon testlerine göre bazı suşların siprofloksasin (13/25) ve eritromisine (1/25) dirençli olduğu bilinmesine rağmen bu suşların da söz konusu antibiyotik direnç genlerini içermediği görülmüştür. Enterokok türleri genellikle gıda güvenliği açısından şüpheli bir statüye sahip olarak değerlendirilir. Yapılan çalışmada araştırılan antibiyotik direnç genlerinin sucuktan izole edilen enterokoklarda bulunmaması bu suşlara gıda güvenliği açısından bir avantaj sağlamaktadır.

Anahtar kelimeler: Sucuk, *Enterococcus*, antibiyotik direnç, polimeraz zincir reaksiyonu

INTRODUCTION

Enterococci, members of lactic acid bacteria, can grow in environments with a temperature range of 10-45°C, up to pH of 9.6, and 6.5% NaCl. Remarkably, enterococci are microorganisms that can colonize various ecosystems such as plants, soil, water, the gastrointestinal systems of humans, animals, and poultry, and can develop under adverse environmental conditions. This ability of enterococci to grow under extreme environmental conditions can lead to contamination of carcasses and meat during slaughter. The resistance of enterococci to extreme environmental conditions leads to a high ability of these bacteria to spread throughout the food chain (Foulquié Moreno et al., 2006; Byappanahalli et al., 2012; Cassenego et al., 2017). Enterococci, which can be found in fermented food products such as cheese, sausage, olives, and vegetables, are believed to play an important role, especially in traditional cheese and meat products, due to their unique aroma, texture, flavor, and taste (Graham et al., 2020; Dapkevicius et al., 2021). Moreover, certain foodborne enterococcal species, which produce bacteriocins, have the potential to act as natural food preservatives in food systems and have recently attracted the attention of researchers due to their probiotic characteristics. Despite the technological benefits of enterococci in traditional fermented food products and their positive impact on consumer health, the safety of these bacteria remains a topic of debate, particularly due to their potential to contain antibiotic resistance and virulence factors, and/or facilitate their transfer (Graham et al.,

2020). Due to the uncertainty regarding their safety, enterococci are not included in the European Food Safety Authority's Qualified Presumption of Safety (QPS) list or in the United States under the "Generally Recognized as Safe" (GRAS) status. The lack of a recognized safety status for enterococci has prevented the use of these bacteria as industrial food cultures, despite their potential benefits (Dapkevicius et al., 2021). Some enterococci are considered opportunistic human pathogens that cause hospital-acquired infections such as endocarditis, bacteremia, and urinary tract infections. Enterococcal infections are primarily associated with *E. faecalis* and *E. faecium*. Enterococci can be resistant to a wide range of antibiotics commonly used in human treatment, as well as those used in animal treatment, prophylaxis, or growth promotion. Although antibiotic resistance is not a virulence factor in itself, the presence of multidrug resistance in enterococci is a contributing factor to their pathogenicity. Resistant strains can persist in the host due to their insensitivity to antimicrobial treatments, leading to therapeutic failure and increasing the duration and severity of infections. Moreover, these strains often encode various virulence factors such as adhesion, biofilm formation, and immune evasion, which act synergistically to reinforce the invasiveness and treatment-resistant nature of infections. In this context, antibiotic resistance is regarded as one of the principal factors contributing to the clinical significance of enterococci, particularly in nosocomial infections (Ben Braïek and Smaoui 2019, Khalifa et al., 2024).

Enterococci have both intrinsic and acquired antibiotic resistance, which is encoded on chromosomes and plasmids or transposons, respectively (Demirgöl and Tuncer, 2017). Acquired antibiotic resistance genes can be horizontally transferred between distant or closely related bacteria via mobile genetic elements. In recent years, there has been an increase in studies aimed at detecting antibiotic resistance in non-pathogenic bacteria, as they serve as reservoirs for antibiotic resistance genes (Talon and Leroy, 2011). Enterococci are naturally resistant to commonly used antimicrobial compounds, such as β -lactams, cephalosporins, and aminoglycosides, to varying degrees, which hampers the treatment of enterococcal infections. Similarly, the presence of acquired antibiotic resistance profiles in these bacteria is of significant concern. Due to their ability to acquire foreign genetic material, including transposons and plasmids, enterococci rapidly became resistant to additional antimicrobial agents, such as erythromycin and tetracyclines, shortly after their introduction into clinical practice (Semedo-Lemsaddek et al., 2021).

To date, researchers have focused on the presence of these bacteria in raw materials prepared for further processing (e.g., through heat treatment of raw meat), while there has been less research on the presence of antibiotic-resistant enterococci in ready-to-eat foods sold in retail chains, such as smoked meats, sausages, fermented salami, offal products, formed meat products, and canned foods. The detection of *Enterococcus* strains in various foods and the study of their antibiotic resistance and the genes encoding resistance to different antibiotics will enable risk assessment and the selection of the appropriate strategy for food inspection. Therefore, the aim of this study is to determine the presence of antibiotic resistance genes in enterococci isolated from traditionally produced sucuk.

MATERIAL AND METHODS

Material

In the study, a total of 25 *Enterococcus* strains, including 24 *E. faecium* and 1 *E. faecalis* isolated from traditionally fermented sucuk samples, were used, and their antibiotic resistance profiles were

determined by the disk diffusion method (CLSI, 2012; Yüceer and Özden Tuncer, 2015). The antibiotic disk diffusion profiles of the enterococcal strains are given in Table 1. For the investigation of the presence of antibiotic resistance genes in the enterococcal strains using PCR, control strains were used: *E. casseliflavus*/*E. gallinarum* DYE44 (*ermA*⁺, *ermB*⁺, *gyrA*⁺, *aadA*⁺), *E. gallinarum* DYE45 (*ermA*⁺, *tetM*⁺, *tetL*⁺), *E. gallinarum* DYE46 (*strA*⁺) (Akpınar Kankaya and Tuncer, 2020), *E. faecium* FYE2 (*ermC*⁺) (Demirgöl and Tuncer, 2017), and *E. faecalis* ATCC29212 (*tetM*⁺), *E. faecium* ATCC51559 (*ermB*⁺, *aac6'aph2*⁺, *vanA*⁺), and *E. faecalis* ATCC51299 (*aac6'aph2*⁺, *vanB*⁺), which were obtained from the bacterial genetic culture collection of the Food Engineering Department at Süleyman Demirel University. The stock cultures of the enterococcal strains used in the study were cultivated in de Man Rogosa and Sharpe (MRS, LAB M, UK) broth with two successive passages at 37°C for 18 hours and preserved at 4°C.

Methods

Isolation of genomic DNA

To isolate genomic DNA, 25 enterococcal strains were cultured in MRS broth (LAB M) at 37°C for 18 hours. From these active cultures, 500 μ L was transferred into sterile Eppendorf tubes, which were then centrifuged at 13,000 rpm for 5 minutes (Sigma 2-16P, Germany) to pellet the cells. The supernatant was discarded, and 500 μ L of lysis buffer (pH 8.0 $\pm$ 0.02) was added to the resulting cell pellets. The pellets were resuspended by vortexing. The tubes were subsequently incubated in a water bath at 37°C for 30 minutes. After incubation, 30 μ L of a 10% (w/v) sodium dodecyl sulfate (SDS, Serva, Heidelberg, Germany) solution was added, and the tubes were heated in a water bath at 80°C for 5 minutes (Nüve NB9, Türkiye). Following lysis, 700 μ L of a phenol-chloroform solution (Merck, Germany), prepared at a 1:10 (v/v) ratio, was added to the suspension. The tubes were centrifuged at 13,000 rpm for 5 minutes (Sigma 2-16P, Germany), and the upper aqueous phase was transferred to new sterile Eppendorf tubes using a micropipette. To this phase, 700 μ L of 2-propanol (Merck, Germany) was added, and the tubes were centrifuged again

at 13,000 rpm for 5 minutes (Sigma 2-16P, Germany). The supernatant was discarded, and the DNA pellets were air-dried before being resuspended in 50 µL of Tris-EDTA buffer (pH

8.0 ± 0.02). The resulting genomic DNA samples were stored at -20°C , following the protocol described by Cancilla et al. (1992).

Table 1. Antibiotic disk diffusion profiles of enterococcal strains

Strains	Antibiotics*					
	VA	S	CIP	TE	CN	E
<i>E. faecium</i> OBS3	S**	S	R	S	S	I
<i>E. faecium</i> OBS4	S	S	S	S	S	S
<i>E. faecium</i> OBS11	S	S	I	S	S	I
<i>E. faecium</i> OBS12	S	S	S	S	S	R
<i>E. faecium</i> OBS13	S	S	I	S	S	I
<i>E. faecium</i> OBS14	S	S	I	S	S	S
<i>E. faecium</i> OBS15	S	S	I	S	S	I
<i>E. faecalis</i> OBS18	S	S	R	S	S	I
<i>E. faecium</i> OBS20	S	S	R	S	S	I
<i>E. faecium</i> OBS23	S	S	S	S	S	I
<i>E. faecium</i> OBS24	S	S	I	S	S	I
<i>E. faecium</i> OBS25	S	S	R	S	S	I
<i>E. faecium</i> OBS26	S	S	R	S	S	I
<i>E. faecium</i> OBS29	S	S	R	S	S	I
<i>E. faecium</i> OBS31	S	S	R	S	S	I
<i>E. faecium</i> OBS32	S	S	I	S	S	I
<i>E. faecium</i> OBS33	S	S	R	S	S	I
<i>E. faecium</i> OBS34	S	S	I	S	S	I
<i>E. faecium</i> OBS37	S	S	R	S	S	I
<i>E. faecium</i> OBS39	S	S	R	S	S	I
<i>E. faecium</i> OBS41	S	S	I	S	S	I
<i>E. faecium</i> OBS45	S	S	R	S	S	I
<i>E. faecium</i> OBS46	S	S	I	S	S	I
<i>E. faecium</i> OBS47	S	S	R	S	S	I
<i>E. faecium</i> OBS48	S	S	R	S	S	I

*VA, vancomycin (30 µg); S, streptomycin (300 µg); CIP, ciprofloxacin (5 µg); TE, tetracycline (30 µg); CN, gentamicin (120 µg); E, erythromycin (15 µg).

** S, susceptible; I, intermediary; R, resistant.

Agarose gel electrophoresis of genomic DNA samples

Genomic DNA samples were subjected to electrophoresis on a 1% (w/v) agarose gel (AppliChem, Darmstadt, Germany) using the Thermo OWL EASYCAST B2 horizontal gel electrophoresis system (United States). A 10 µL aliquot of each sample was mixed with 2 µL of loading dye and loaded into the wells. Electrophoresis was performed at 85 V for 1.5 to 2 hours with tris-acetate electrophoresis buffer. Following electrophoresis, the gel was stained for 60 minutes with ethidium bromide solution (0.2 µg/mL). After staining, the gel was visualized

under ultraviolet light at a wavelength of 312 nm, and an image was captured using a Nikon D5100 digital camera.

Investigation of antibiotic resistance genes by PCR

The primer pairs, PCR protocols, and PCR product sizes employed for the detection of antibiotic resistance genes in enterococcal strains, including those for erythromycin (*ermA*, *ermB*, and *ermC*), tetracycline (*tetM* and *tetL*), ciprofloxacin (*gyrA*), streptomycin (*strA*, *strB*, *aadA*, and *aadE*), vancomycin (*vanA* and *vanB*), and gentamicin (*aac(6')aph(2'')*, *aac(3'')II*, and *aac(3'')IV*), are

detailed in Table 2. PCR products were subjected to electrophoresis on a 1.5% (w/v) agarose gel, using the O'GeneRuler 100-bp DNA ladder (Fermentas) as a molecular size marker. DNA

bands were stained with ethidium bromide and visualized under ultraviolet illumination, followed by photographic documentation using a Nikon D5100 digital camera.

Table 2. Primers and product sizes used for the detection of antibiotic resistance genes

Antibiotics	Gene	Primer Sequence (5'-3')	Amplicon size (bp)	References
Erythromycin	<i>ermA</i>	AAGCGGTAAACCCCTCTGAG TCAAAGCCTGTCTGGAATTGG	441	Ouoba et al., 2008
	<i>ermB</i>	CATTTAACGACGAAACTGGC GGAACATCTGTGGTATGGCG	425	Ouoba et al., 2008
	<i>ermC</i>	ATCTTTGAAATCGGCTCAGG CAAACCCGTATTCCACGATT	295	Ouoba et al., 2008
Tetracycline	<i>tetM</i>	GTTAAATAGTGTCTTGGAG CTAAGATATGGCTCTAACAA	657	Ouoba et al., 2008
	<i>tetL</i>	GTTGCGCGCTATATTCCAAA TTAAGCAAACCTCATTCACGC	788	Ouoba et al., 2008
Ciprofloxacin	<i>gyrA</i>	GAYTATGCWATGTCAGTTATTGT GGAATRTTRGAYGTCATACCAAC	286	Ouoba et al., 2008
Streptomycin	<i>strA</i>	CTTGGTGATAACGGCAATTCTC CCAATCGCAGATAGAAAGGC	546	Ouoba et al., 2008
	<i>strB</i>	ATCGTCAAGGGATTGAAACC GGATCGTAGAACATATTGGC	509	Ouoba et al., 2008
	<i>aadA</i>	ATCCTTCGGCGCGATTITG GCAGCGCAATGACATTCTTG	282	Ouoba et al., 2008
	<i>aadE</i>	ATGGAATTATTTCCACCTGA TCAAAACCCCTATTAAAGCC	565	Ouoba et al., 2008
Vancomycin	<i>vanA</i>	GGGAAAACGACAATTGCG GTACAATGCGGCCGTTA	732	Dutka Malen et al., 1995
	<i>vanB</i>	ACGGAATGGGAAGCCGA TGCACCCGATTTTCGTTT	647	Depardieu et al., 2004
Gentamicin	<i>aac(6')aph(2'')</i>	CCAAGAGCAATAAGGGCATA CACTATCATAACCACTACCG	220	Ouoba et al., 2008
	<i>aac(3'')II</i>	TGAAACGCTGACGGAGCCTC GTCGAACAGGTAGCACTGAG	369	Ouoba et al., 2008
	<i>aac(3'')IV</i>	GTGTGCTGCTGGTCCACAGC AGTTGACCCAGGGCTGTCTGC	627	Ouoba et al., 2008

RESULTS AND DISCUSSION

Genomic DNA isolation and agarose gel electrophoresis

The agarose gel electrophoresis image of the genomic DNA samples from the enterococcal strains is presented in Figure 1.

Investigation of antibiotic resistance genes by PCR

PCR analysis aimed at detecting erythromycin resistance genes revealed the absence of *ermA*, *ermB*, and *ermC* genes in all 25 enterococcal strains (Figure 2). A comparison between the genotypic PCR results and phenotypic resistance profiles showed a correlation only in the *E. faecium* strains

OBS4 and OBS14, which were phenotypically sensitive to erythromycin. Conversely, no correlation was observed between the PCR results and the disk diffusion profiles of the phenotypically erythromycin-resistant *E. faecium* OBS12 strain or the remaining 22 enterococcal strains, which exhibited moderate resistance. The absence of *ermA*, *ermB*, and *ermC* genes in these strains suggests that alternative mechanisms may contribute to the observed resistance. Consistent with our findings, Hummel et al. (2007) reported that enterococci strains isolated from cheese samples, which exhibited phenotypic resistance to erythromycin, did not harbor any of the *ermA*, *ermB*, or *ermC* genes, as determined by PCR

analysis. Similarly, Jahan et al. (2013) observed that enterococcal strains isolated from fermented meat and meat products displayed phenotypic resistance to erythromycin, yet lacked the presence of the *ermA*, *ermB*, and *ermC* genes. In a study by Demirgöl and Tuncer (2017), enterococcal strains isolated from sausage samples exhibited resistance to erythromycin according to the disk diffusion test; however, PCR analysis revealed no presence of the *ermA*, *ermB*, or *ermC* genes. Recently, Geniş et al. (2024) identified erythromycin resistance in *E. mundtii* (1) and *E. faecium* (1) strain isolated from small ruminant colostrum, among a total of *E. mundtii*

(11) and *E. faecium* (2) strains. Nevertheless, none of the isolates contained the *ermA*, *ermB*, or *ermC* resistance genes. Macrolide antibiotics, such as erythromycin, are commonly employed in the treatment of respiratory infections, including community-acquired pneumonia, bronchitis, laryngitis, Legionnaire's disease, and whooping cough (Yamagami et al., 2024). Given the potential for the horizontal transfer of erythromycin resistance genes via mobile genetic elements, the absence of *erm* genes in the enterococcal strains in this study represents a positive finding.

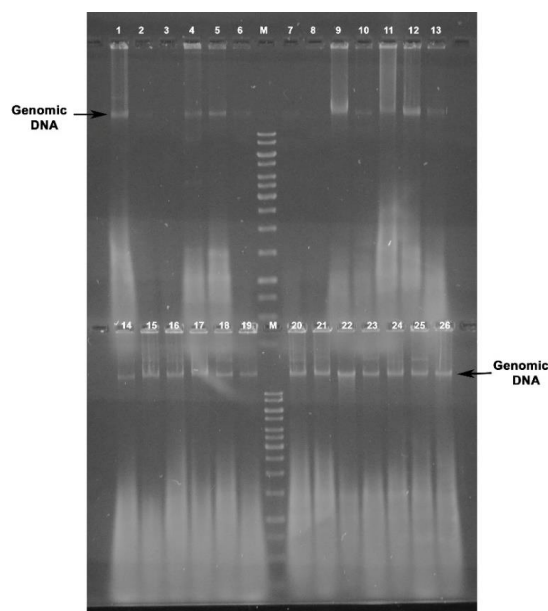


Figure 1. Agarose gel electrophoresis image of genomic DNA samples of some *Enterococcus* strains used in this study.

Results from PCR trials demonstrated that enterococcal strains, known to be phenotypically sensitive to tetracycline, did not harbor the *tetM* and *tetL* genes (Figure 3). These findings, derived from PCR analysis, corroborate the tetracycline disk diffusion test results previously reported. Hummel et al. (2007) observed that *E. faecium* and *E. faecalis* strains isolated from milk and cheese primarily contained the *tetL* gene, followed by the *tetM* gene. Moreover, they reported that 56% of the tested strains exhibited *tetK* resistance, while neither the *tetO* nor the *tetS* genes were detected in any of the strains. In a study conducted by

Demirgöl and Tuncer (2017), the presence of the *tetM* gene was identified in some tetracycline-sensitive *E. faecium* strains isolated from sausage, whereas others harbored the *tetL* gene. Additionally, consistent with our findings, they reported that none of the tetracycline resistance genes (*tetM*, *tetL*, *tetS*, *tetK*, or *tetO*) were present in *E. faecium* and *E. faecalis* strains identified as phenotypically sensitive or moderately resistant. Golob et al. (2019) reported a phenotypic tetracycline resistance rate of 29.2% in *E. faecalis* strains isolated from fresh pork and beef. Tetracyclines are a widely utilized class of

antibiotics, valued for their broad spectrum of activity and relative affordability compared to other antimicrobial agents. For many years, tetracyclines have been routinely added to animal feed at sub-therapeutic doses as growth promoters. However, prolonged use of tetracyclines has been linked to adverse effects, including allergic reactions in both humans and animals, as well as alterations in environmental microbiota and bacterial populations. Exposure to environmental stressors induces bacterial cells

to adapt by regulating specific molecular mechanisms. These mechanisms are often accompanied by the development of cross-resistance, heightened resistance to antimicrobial agents, upregulation of particular gene groups, or the acquisition of antibiotic resistance genes via horizontal gene transfer (Giacometti et al., 2021; Wiśniewski et al., 2024). In this context, the absence of detectable transferable tetracycline resistance genes in enterococcal strains represents a significant advantage.

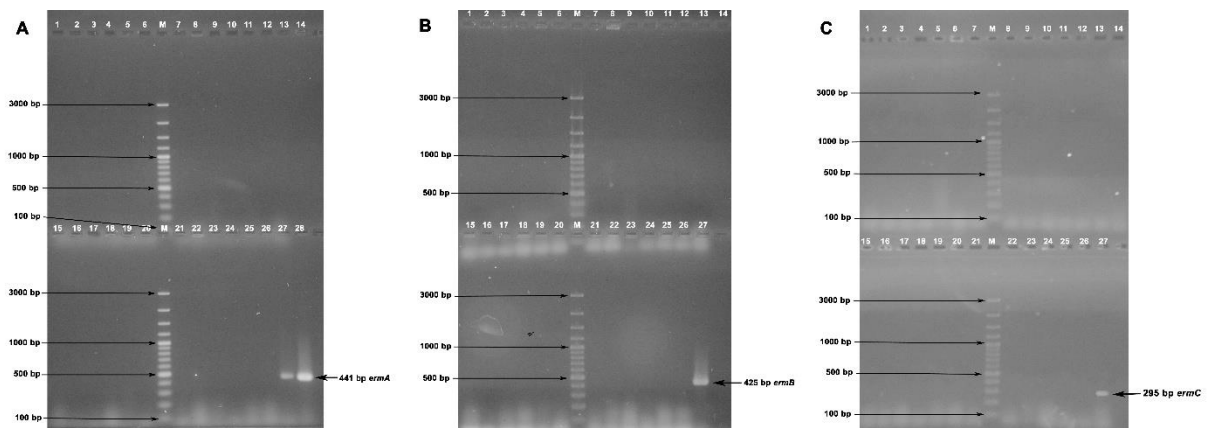


Figure 2. PCR amplification of *ermA* (A), *ermB* (B), and *ermC* (C) structural genes in *Enterococcus* strains (lines 2-26). Line 1: negative control (water) and line M: DNA ladder (O'GeneRuler™ 100-bp DNA ladder, Fermentas #SM1153, Lithuania). For panel A, line 27 contains *E. casseliflavus*/*E. gallinarum* DYE44 (positive control), and line 28 contains *E. gallinarum* DYE45 (positive control). For panel B, line 27 contains *E. faecium* ATCC 51559 (positive control). For panel C, line 27 contains *E. faecium* FYE2 (positive control).

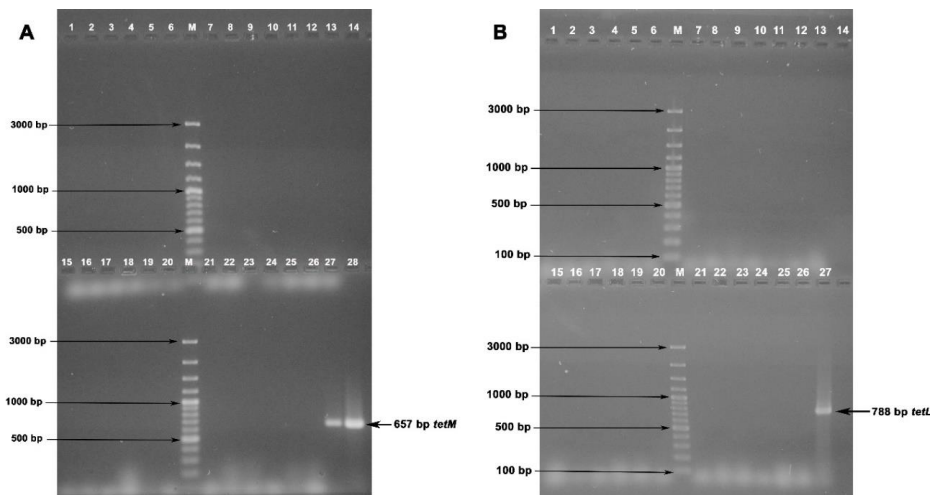


Figure 3. PCR amplification of *tetM* (A) and *tetL* (B) structural genes in *Enterococcus* strains (lines 2-26). Line 1: negative control (water) and line M: DNA ladder (O'GeneRuler™ 100-bp DNA ladder, Fermentas #SM1153, Lithuania). For panel A, line 27 contains *E. faecium* ATCC 29212 (positive control), and line 28 contains *E. gallinarum* DYE45 (positive control). For panel B, line 27 contains *E. gallinarum* DYE45 (positive control).

PCR testing targeting the *gyrA* gene, associated with ciprofloxacin-specific resistance, revealed that not only phenotypically sensitive *E. faecium* strains (OBS4, OBS12, and OBS23), but also all resistant or moderately resistant enterococcal strains, lacked the *gyrA* gene. This finding aligns with the results reported by Jahan et al. (2013), who found that while enterococcal strains isolated from fermented meat and meat products exhibited phenotypic resistance to ciprofloxacin, they did not harbor the *gyrA* gene. Similarly, Demirgöl and Tuncer (2017) reported a study conducted in Türkiye, where phenotypically ciprofloxacin-resistant enterococcal strains (23) were isolated from sucuk; however, only one isolate contained the *gyrA* gene. In recent years, with the increasing use of fluoroquinolones, high-level ciprofloxacin resistance has become more prevalent in clinical *E. faecalis* isolates. Furthermore, ciprofloxacin resistance is now widespread among *E. faecium* and *E. faecalis* strains isolated from poultry (Kim et al., 2018).

In this study, none of the enterococcal strains known to be sensitive to streptomycin (300 µg) contained the *strA*, *strB*, *aadA*, or *aadE* resistance genes, as determined by PCR analysis. These findings are consistent with the previous results obtained from the streptomycin disk diffusion test. Similarly, Geniş et al. (2024) found that all *E. mundtii* (11) and *E. faecium* (2) strains isolated from goat and sheep colostrum were sensitive to streptomycin (300 µg) and did not harbor the streptomycin resistance genes investigated in the present study. Conversely, Delpech et al. (2012) identified streptomycin resistance profiles in *E. faecalis* strains isolated from animal-derived foods, detecting the presence of streptomycin resistance genes in resistant strains through PCR. In the same study, resistance genes were not found in strains that were phenotypically sensitive to streptomycin. Similarly, Ben Said et al. (2016) reported that two of the four *E. faecalis* strains isolated from vegetables were resistant to streptomycin and possessed the *ant(6)* gene among the investigated resistance genes. In another study, Kürekci et al. (2016) detected high-level (300 µg) streptomycin resistance in *E. faecalis* strains isolated from cheese samples. However,

they were unable to identify the structural streptomycin resistance gene in both streptomycin-resistant and sensitive strains. Özdemir and Tuncer (2020) found that all high-level streptomycin (300 µg)-resistant enterococcal isolates from traditional cheese samples carried aminoglycoside-modifying resistance genes. Similarly, Yalçın et al. (2023) demonstrated that all high-level streptomycin-resistant enterococcal strains (31) isolated from retail chicken meat harbored aminoglycoside-modifying resistance genes. The acquisition of transferable aminoglycoside-modifying enzyme genes, which code for three enzyme groups—acetyltransferase, phosphotransferase, and nucleotidyltransferase—results in the development of high-level aminoglycoside resistance (Guzman Prieto et al., 2016). Given that streptomycin is a clinically significant aminoglycoside antibiotic, the absence of transferable resistance genes in the enterococcal strains (25) examined in this study represents a positive outcome for public health.

As a result of PCR testing, it was determined that all strains known to be sensitive to vancomycin lacked the vancomycin resistance genes *vanA* and *vanB* (Figure 4). Delpech et al. (2012) identified the presence of the *vanA* gene exclusively in vancomycin-resistant *E. faecium* strains isolated from animal-derived food products. In contrast, similar to the findings of the present study, they were unable to detect the *vanA* and *vanB* genes in vancomycin-sensitive *E. faecalis* strains. Additionally, Demirgöl and Tuncer (2017) observed a correlation between phenotypic and genotypic characteristics in *E. faecium* and *E. faecalis* strains isolated from sausages, noting that vancomycin-sensitive strains did not harbor the vancomycin resistance genes. El-Oraby et al. (2023) also reported that *E. faecalis* strains (10) isolated from chicken meat were vancomycin-sensitive and lacked the *vanA* and *vanB* genes. In contrast, Gürler et al. (2024) investigated the presence of *vanA* and *vanB* resistance genes in *E. faecium* (98) and *E. faecalis* (153) strains that were phenotypically sensitive to vancomycin, and found the *vanA* gene in a single *E. faecalis* strain, while the *vanB* gene was absent in all strains. Among vancomycin resistance phenotypes, VanA

(resistance to both vancomycin and teicoplanin) and VanB (resistance to vancomycin only) are the most prevalent. These VanA and VanB phenotypes are commonly observed in veterinary, clinical, and food-derived isolates but are less frequent in environmental or gastrointestinal system isolates (Murray, 1997; Murray, 2000). Vancomycin-resistant enterococci (VRE) have emerged as a growing global concern since their initial identification in the 1980s, and the subsequent report of the *vanA* gene in 1993. In 2017, the World Health Organization (WHO) classified vancomycin-resistant enterococci as a priority pathogen on the “Global Priority List of Antibiotic-Resistant Bacteria,” urging immediate attention (WHO, 2017). The use of avoparcin, a vancomycin analog, as a growth-promoting feed additive has been implicated in the rise of vancomycin-resistant enterococci in food animals. Despite a ban on avoparcin use for over 25 years, VRE isolation continues to be reported

in pig farms in Denmark (Telli et al., 2021). Although foodborne enterococci are not typically regarded as a direct source of antibiotic-resistant enterococci in humans, they represent a potential risk for the transfer of resistance determinants—such as *van* genes—to enterococcal strains adapted to humans. Consequently, food-producing animals may serve as a reservoir for VRE, with horizontal gene transfer of vancomycin resistance between animal-adapted and human-adapted enterococci or through the clonal spread of resistant strains. For instance, studies have shown that the colonization of vancomycin-resistant enterococcal strains of animal origin within the human gastrointestinal tract can facilitate the transfer of vancomycin resistance genes to both enterococci and other pathogens within the intestinal microbiota via conjugation (Chajęcka-Wierzchowska et al., 2020).

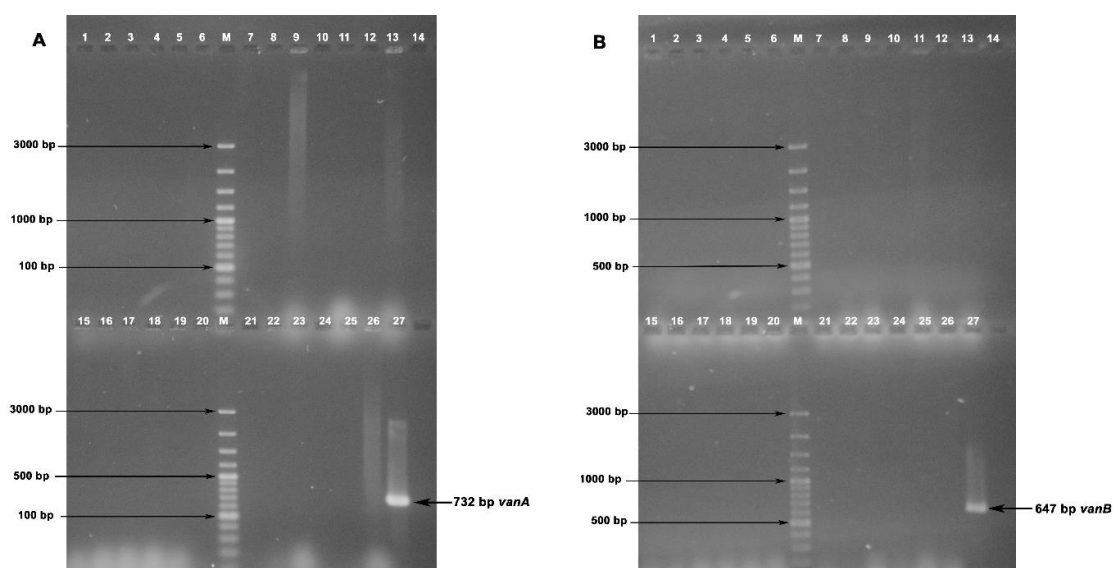


Figure 4. PCR amplification of *vanA* (A) and *vanB* (B) structural genes in *Enterococcus* strains (lines 2–26).

Line 1: negative control (water) and line M: DNA ladder (O’GeneRuler™ 100-bp DNA ladder, Fermentas #SM1153, Lithuania). For panel A, line 27 contains *E. faecium* ATCC51559 (positive control). For panel B, line 27 contains *E. faecalis* ATCC51299 (positive control).

PCR experiments demonstrated that none of the strains known to be sensitive to gentamicin harbored the gentamicin resistance genes *aac(6')aph(2'')* (Figure 5), *aac(3')III*, and *aac(3')IV*. Between 2000 and 2002, the number of gentamicin-resistant *E. faecalis* isolates from pigs

in Denmark increased by two- to fourfold. Concurrently, there was a rise in the number of *E. faecalis* isolates exhibiting high-level gentamicin resistance in patients with endocarditis infections (DANMAP, 2002). Later, Larsen et al. (2010) reported that all these isolates, both from humans

and pigs, belonged to the same clonal group, with pigs serving as a reservoir for *E. faecalis* strains with high-level gentamicin resistance in enterococcal infections. The specific host preferences of enterococci do not preclude the potential for antimicrobial resistance to be transmitted from animals to humans via enterococci. Indeed, several studies have

indicated that high-level gentamicin-resistant enterococcal strains are transmitted from animals to humans through the food chain, with enterococcal strains isolated from both animal-derived foods and humans harboring the same aminoglycoside resistance genes (Sparro et al., 2012; Jaimee and Halami, 2016).

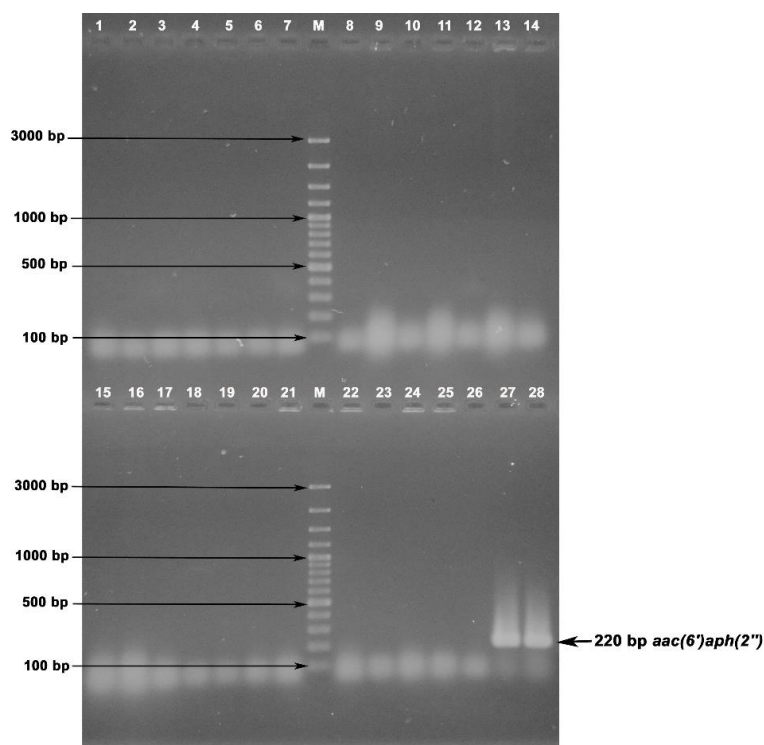


Figure 5. PCR amplification of *aac(6')aph(2'')* structural gene in *Enterococcus* strains (lines 2-26). Line 1: negative control (water), line M: DNA ladder (O'GeneRuler™ 100-bp DNA ladder, Fermentas #SM1153, Lithuania), line 27: *E. faecium* ATCC51559 (positive control), and line 28: *E. faecalis* ATCC51299 (positive control).

Enterococci, which are native to the digestive system, can develop resistance as a survival mechanism when exposed to antibiotics. The potential exists for antibiotic-resistant enterococci to spread to humans through direct contact with animals or the consumption of meat products (Shepard and Gilmore, 2002; Kühn et al., 2005). Additionally, because enterococci exhibit high resistance to heat, pH, and salt concentrations, they can survive in fermented or cooked meat products (Shepard and Gilmore, 2002; Teixeira and Facklam, 2003). Antibiotic-resistant enterococci found in farm animals and in meat

products derived from these animals harbor a range of natural and acquired resistance mechanisms against antibiotics commonly used in clinical settings, as well as efficient genetic exchange mechanisms that facilitate the spread of these resistance profiles. Antibiotic resistance genes, located on mobile genetic elements, can be transferred to human-derived enterococci (Shepard and Gilmore, 2002; Moubarek et al., 2003; Huys et al., 2013; Lester et al., 2006; Werner et al., 2013). In particular, antibiotic-resistant enterococci acquired through food consumption may transfer their antibiotic resistance genes to

pathogens within the human system. Consequently, enterococci serve as a significant gene pool in the dissemination of antibiotic resistance mechanisms (Chajęcka-Wierzchowska et al., 2021).

Additionally, the spread of antibiotic resistance in enterococci, which are opportunistic pathogens, has led to an increased prevalence of infections caused by these bacteria, particularly among individuals with compromised immune systems. Moreover, the rise in multidrug resistance rates in enterococci has significantly reduced the available antibiotic treatment options for enterococcal infections (Inoglu and Tuncer, 2013; Yogurtcu and Tuncer, 2013; Tuncer et al., 2013; Garrido et al., 2014; Demirgöl and Tuncer, 2017).

CONCLUSION

Enterococci possess genetic flexibility that enables them to survive under environmental stress conditions and emerge as significant pathogens in hospital-acquired infections. They can readily acquire and disseminate mobile genetic elements—such as plasmids, phages, and transposons—that carry antibiotic resistance and virulence genes. When combined with their ability to form biofilms and transfer resistance genes to other bacteria, this capacity renders them clinically concerning pathogens. Notably, *E. faecalis* and *E. faecium* have adapted to hospital settings through horizontal gene transfer, leading to the emergence of resistant strains. This adaptability complicates treatment strategies and contributes to increased mortality rates, particularly in cases involving vancomycin-resistant enterococci (VRE). In the conducted study, the presence of structural resistance genes for erythromycin, gentamicin, ciprofloxacin, streptomycin, tetracycline, and vancomycin in *Enterococcus* strains isolated from sucuk was investigated using PCR. The results revealed the absence of the targeted antibiotic resistance genes in the *Enterococcus* strains, indicating that these strains do not pose a risk of serving as reservoirs for the dissemination of antibiotic resistance mechanisms. This finding presents an advantage for the potential use of these strains as starter, adjunct starter, or probiotic cultures. However,

future studies should assess the virulence factors of these strains through both phenotypic and genotypic methods. Subsequently, strains that lack virulence properties should be further investigated for their industrial and probiotic characteristics, with an emphasis on evaluating their potential for application in the food industry.

ACKNOWLEDGMENTS

This study was supported by the Scientific Research Projects Coordination Unit of Süleyman Demirel University under project number 4740-YL1-16.

CONFLICT OF INTEREST

The authors have declared no conflicts of interest for this article.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

İbrahim Hakan Falak: investigation, data curation, writing – original draft; Banu Özden Tuncer: methodology, conceptualization, investigation, resources, supervision, project administration, funding acquisition, writing – review & editing. All authors read and approved the final manuscript.

REFERENCES

- Akpınar Kankaya, D., Tuncer, Y. (2020). Antibiotic resistance in vancomycin-resistant lactic acid bacteria (VRLAB) isolated from foods of animal origin. *Journal of Food Process Preservation*, 44: e14468. <https://doi.org/10.1111/jfpp.14468>
- Ben Braïek, O., Smaoui, S. (2019). Enterococci: Between Emerging Pathogens and Potential Probiotics. *BioMed Research International*, 5938210, 13 pages. <https://doi.org/10.1155/2019/593>
- Ben Said, L., Klibi, N., Dziri, R., Borgo, F., Boudabous, A., Ben Slama, K., Torresd, C. (2016). Prevalence, antimicrobial resistance and genetic lineages of *Enterococcus* spp. from vegetable food, soil and irrigation water in farm environments in Tunisia. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 96: 1627-1633. <https://doi.org/10.1002/jsfa.7264>
- Byappanahalli, M. N., Nevers, M. B., Korajkic, A., Staley, Z. R., Harwood, V. J. (2012). Enterococci in the environment. *Microbiology Molecular*

- Biology Reviews, 76: 685–706. <https://doi.org/10.1128/MMBR.00023-12>
- Cancilla, M.R., Powell, I.B., Hillier, A.J., Davidson, B.E. (1992). Rapid genomic fingerprinting of *Lactococcus Lactis* strains by arbitrarily primed Polymerase Chain Reaction with ³²P and fluorescent labels. *Applied and Environmental Microbiology*, 58: 1772-1775. <https://doi.org/10.1128/aem.58.5.1772-1775.1992>.
- Cassenego, A., D'Azevedo, P., Van der Sand, S., Frazzon, A., Arent, G. (2017). Comparison of virulence factors and genetic relationships of *Enterococcus faecalis* strains isolated from clinical, food and poultry samples. *Multidisciplinary Advances in Veterinary*, 1: 106–115.
- Chajęcka-Wierzchowska, W., Zadernowska, A., García-Solache, M. (2020). Ready-to-eat dairy products as a source of multidrug-resistant *Enterococcus* strains: Phenotypic and genotypic characteristics. *Journal of Dairy Science*, 103: 4068–4077 <https://doi.org/10.3168/jds.2019-17395>
- Chajęcka-Wierzchowska, W., Zarzecka, U., Zadernowska, A. (2021). *Enterococci* isolated from plant-derived food - Analysis of antibiotic resistance and the occurrence of resistance genes. *LWT- Food Science and Technology*, 139. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110549>
- CLSI. (2012). Clinical and Laboratory Standards Institute, Performance Standards for Antimicrobial Disk Susceptibility Tests; Approved Standard – Eleventh Edition. M02-A11, Vol. 32, No. 1.
- DANMAP, (2002). Use of antimicrobial agents and occurrence of antimicrobial resistance in bacteria from food animals, foods and humans in Denmark. *Statens Serum Institut og Technical University of Denmark*, https://www.danmap.org/-/media/arkiv/projekt-sites/danmap/danmap-reports/danmap_2002.pdf?la=en.
- Dapkevicius, M.d.L.E., Sgardioli, B., Câmara, S.P.A., Poeta, P., Malcata, F.X. (2021). Current trends of *Enterococci* in dairy products: a comprehensive review of their multiple roles. *Foods*, 10: 821. <https://doi.org/10.3390/foods10040821>
- Delpech, G., Pourcel, G., Schell, C., De Luca, M., Basualdo, J., Bernstein, J., Grenovero, S., Sparo, M. (2012). Antimicrobial resistance profiles of *Enterococcus faecalis* and *Enterococcus faecium* isolated from artisanal food of animal origin in Argentina. *Foodborne Pathogens and Disease*, 9(10): 44-939. <https://doi.org/10.1089/Fpd.2012.1192>.
- Demirgöl, F., Tuncer, Y. (2017). Detection of antibiotic resistance and resistance genes in *Enterococci* isolated from sucuk, a traditional Turkish dry-fermented sausage. *Korean Journal for Food Science of Animal Resources*, 37(5): 670-681. <https://doi.org/10.5851/kosfa.2017.37.5.670>
- Depardieu, F., Perichon, B., Courvalin, P. (2004). Detection of van alphabet and identification of *Enterococci* and *Staphylococci* at the species level by multiplex PCR. *Journal of Clinical Microbiology*, 42(12): 5857-5860. <https://doi.org/10.1128/JCM.42.12.5857-5860.2004>
- Dutka Malen, S., Evers, S., Courvalin, P. (1995). Detection of glycopeptide resistance genotypes and identification to the species level of clinically relevant *Enterococci* by PCR. *Journal of Clinical Microbiology*, 33: 21-34. <https://doi.org/10.1128/jcm.33.1.24-27.1995>
- El-Oraby, S., Awad, A., Younis, G. (2023). Characterization of vancomycin resistant *Enterococci* isolated from retail poultry meat. *Journal of Advanced Veterinary Research*, 13(9): 1894-1900. <https://advetresearch.com/index.php/AVR/article/view/1522>
- Foulquié Moreno, M. R., Sarantinopoulos, P., Tsakalidou, E., De Vuyst, L. (2006). The role and application of *enterococci* in food and health. *International Journal of Food Microbiology*, 106: 1–24. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2005.06.026>
- Garrido, A.M., Gálvez, A., Pulido R. P. (2014). Antimicrobial resistance in *enterococci*. *Journal of Infectious Diseases Therapy*, 2: 4. <https://doi.org/10.4172/2332-0877.1000150>.
- Geniş, B., Öztürk, H., Özden Tuncer, B., Tuncer, Y. (2024). Safety assessment of enterocin-producing *Enterococcus* strains isolated from sheep and goat colostrum. *BMC Microbiology*, 24(1): 391-0. <https://doi.org/10.1186/s12866-024-03551-7>.

- Giacometti, F., Shirzad-Aski, H., Ferreira, S. (2021). Antimicrobials and food-related stresses as selective factors for antibiotic resistance along the farm to fork continuum *Antibiotics*, 10(6): 671. <https://doi.org/10.3390/antibiotics10060671>.
- Golob, M., Pate, M., Kušar, D., Dermota, U., Avberšek, J., Papić, B., Zdovc, I., Bondi, M. (2019). Antimicrobial resistance and virulence genes in *Enterococcus faecium* and *Enterococcus faecalis* from humans and retail red meat. *Biomed Research International*, 14–16. <https://doi.org/10.1155/2019/2815279>.
- Graham, K., Stack, H., Rea, R. (2020). Safety, beneficial and technological properties of enterococci for use in functional food applications—a review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 60: 3836–3861. <https://doi.org/10.1080/10408398.2019.1709800>.
- Guzman Prieto, A.M., van Schaik, W., Rogers, M.R.C., Coque, T.M., Baquero, F., Corander, J., Willems, R.J.L. (2016). Global emergence and dissemination of Enterococci as nosocomial pathogens: attack of the clones? *Frontier Microbiology*, 7: 788. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2016.00788>
- Gürler, M., Karahan, Z.C., Evren, E., Tekeli, F.A. (2024). Investigation of *vanA* and *vanB* genes in vancomycin-susceptible enterococcal strains. *Journal of Global Antibiotic Resistance*, 39: 36–37. <https://doi.org/10.1016/j.jgar.2024.10.115>
- Hummel, A., Holzapfel, W.H., Franz, C.M.A.P. (2007). Characterisation and transfer of antibiotic resistance genes from enterococci isolated from food. *Systematic and Applied Microbiology*, 30: 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.syapm.2006.02.004>
- Huys, G., Botteldoorn, N., Delvigne, F., De Vuyst, L., Heyndrickx, M., Pot, B., Dubois, J.J., Daube, G. (2013). Microbial characterization of probiotics—advisory report of the Working Group "8651 Probiotics" of the Belgian Superior Health Council (SHC). *Molecular Nutritional Food Research*, 57(8): 1479–504. <https://doi.org/10.1002/mnfr.201300065>.
- Inoglu, Z.N., Tuncer, Y. (2013). Safety assessment of *Enterococcus faecium* and *Enterococcus faecalis* strains isolated from Turkish tulum cheese. *Journal of Food Safety*, 33(3): 369–377. <https://doi.org/10.1111/jfs.12061>
- Jahan, M., Krause, D.O., Holley, R.A. (2013). Antimicrobial resistance of *Enterococcus* species from meat and fermented meat products isolated by a PCR-based rapid screening method. *International Journal of Food Microbiology*, 163: 89–95. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2013.02.017>
- Jaimee, G., Halami, P.M. (2016). High level aminoglycoside resistance in *Enterococcus*, *Pediococcus* and *Lactobacillus* species from farm animals and commercial meat products. *Annals of Microbiology*, 66: 101–110. <https://doi.org/10.1007/s13213-015-1086-1>.
- Khalifa, M., Mohammad, M., Aolwafa, W., Shafik, N. (2024). The *Enterococcus*: Review of its characters regarding virulence factors, antibiotic Resistance, pathogenesis, and Treatment. *Sohag Medical Journal*, 28(3): 35–43. doi: 10.21608/smj.2024.313933.1491
- Kim, Y., B., Seo, H., J., Seo, K., W., Jeon, H., Y., Kim, D., K., Kim, S., W., Lim, S., K., Lee, Y., J. (2018). Characteristics of high-level ciprofloxacin-resistant *Enterococcus faecalis* and *Enterococcus faecium* from retail chicken meat in Korea. *Journal of Food Protection*, 81(8): 1357–1363. <https://doi.org/10.4315/0362-028X.JFP-18-046>. PMID: 30015506.
- Kühn, I., Iversen, A., Finn, M., Greko, C., Burman, L.G., Blanch, A.R., Vilanova, X., Manero, A. (2005). Occurrence and relatedness of vancomycin-resistant enterococci in animals, humans and the environment in different European regions. *Applied and Environmental Microbiology*, 71: 5383–5390. <https://doi.org/10.1128/AEM.71.9.5383-5390.2005>
- Kürekci, C., Pehlivanlar Önen, S., Yipel, M., Aslantaş, Ö., Gündoğdu, A. (2016). Characterisation of phenotypic and genotypic antibiotic resistance profile of Enterococci from cheeses in Turkey. *Korean Journal for Food Science of*

- Animal Resources*, 36(3): 352-358. <https://doi.org/10.5851/kosfa.2016.36.3.352>
- Larsen, J., Schonheider, H.C., Lester, C.H., Olsen, S.S., Porsbo, L.J., Garcia-Migura, L. (2010). Porcine-origin gentamicin-resistant *Enterococcus faecalis* in humans. Denmark. Emerg. *Emerging Infectious Diseases*, 16: 682-684. <https://doi.org/10.3201/eid1604.090500>.
- Lester, C.H., Frimodt-Møller, N., Sørensen, T.L., Monnet, D.L., Hammerum, A.M. (2006). In vivo transfer of the *vanA* resistance gene from an *Enterococcus faecium* isolate of animal origin to an *E. faecium* isolate of human origin in the intestines of human volunteers. *Antimicrobial Agents and Chemotherapy*, 50: 596-599. <https://doi.org/10.1128/aac.50.2.596-599.2006>
- Moubarek, C., Bourgeois, N., Courvalin, P., Doucet-Populaire, F. (2003). Multiple antibiotic resistance gene transfer from animal to human Enterococci in the digestive tract of gnotobiotic mice. *Antimicrobial Agents and Chemotherapy*, 47: 2993-2996. <https://doi.org/10.1128/aac.47.9.2993-2996.2003>
- Murray, B.E. (1997). Vancomycin-resistant enterococci. *The American Journal of Medicine*, 102(3): 284-93. [https://doi.org/10.1016/s0002-9343\(99\)80270-8](https://doi.org/10.1016/s0002-9343(99)80270-8)
- Murray, B.E. (2000). Vancomycin-resistant enterococcal infection. *The New England Journal of Medicine*, 342(10): 710-21. <https://doi.org/10.1056/nejm200003093421007>
- Ouoba, L.I.I., Lei, V., Jensen, L.B. (2008). Resistance of potential probiotic Lactic Acid Bacteria and Bifidobacteria of African and European origin to antimicrobials: determination and transferability of the resistance genes to other bacteria. *International Journal of Food Microbiology*, 121: 217-224. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2007.11.018>
- Özdemir, R., Tuncer, Y. (2020). Detection of antibiotic resistance profiles and aminoglycoside-modifying enzyme (AME) genes in high-level aminoglycoside-resistant (HLAR) enterococci isolated from raw milk and traditional cheeses in Turkey. *Molecular Biology Reports*, 47(3): 1703-1712. <https://doi.org/10.1007/s11033-020-05262-4>,
- Semedo-Lemsaddek, T., Cota, J.B., Ribeiro, T., Pimentel, A., Tavares, L., Bernardo, F., Oliveira, M. (2021). Resistance and virulence distribution in enterococci isolated from broilers reared in two farming systems. *Irish Veterinary Journal*, 74(1): 22 <https://doi.org/10.1186/s13620-021-00201-6>
- Shepard, B.D., Gilmore, M.S. (2002). Antibiotic resistant Enterococci: the mechanisms and dynamics of drug introduction and resistance. *Microbes and Infection*, 4: 215-224. [https://doi.org/10.1016/s1286-4579\(01\)01530-1](https://doi.org/10.1016/s1286-4579(01)01530-1)
- Sparro, M., Urbizu, L., Solana, M.V., Pourcel, G., Delpech, G., Confalonieri, A., Ceci M., Sánchez Bruni S.F. (2012). High-level resistance to gentamicin: genetic transfer between *Enterococcus faecalis* isolated from food of animal origin and human microbiota. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 54: 119-125. <https://doi.org/10.1111/j.1472-765x.2011.03182.x>
- Talon, R., Leroy, S. (2011). Diversity and safety hazards of bacteria involved in meat fermentations. *Meat Science*, 89: 303- 309. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2011.04.029>
- Telli, N., Telli, A., Biçer, Y., Turkal, G., Uçar, G. (2021). Isolation and antimicrobial resistance of vancomycin resistant *Enterococcus* spp. (VRE) and methicillin-resistant *S. aureus* (MRSA) on beef and chicken meat, and workers hands from slaughterhouses and retail shops in Turkey. *Journal of the Hellenic Veterinary Medical Society*, 72(4): 3345–3354. <https://doi.org/10.12681/jhvms.29373>
- Teixeira, L.M., Facklam, R.R. (2003). *Enterococcus*. In: Murray, P.R., Baron, E.J., Jorgensen, J.H., Tenover, M.C., Tenover, R.H., (eds). *Manual of Clinical Microbiology*, 8th edn. ASM Press, Washington, 422-433.
- Tuncer, B.Ö., Ay, Z., Tuncer, Y. (2013). Occurrence of enterocin genes, virulence factors, and antibiotic resistance in 3 bacteriocin-producer *Enterococcus faecium* strains isolated from Turkish tulum cheese. *Turkish Journal of Biology*, 37: 443-449. <https://doi.org/10.3906/biy-1209-26>

- Wiśniewski, P., Zakrzewski, A., Chajęcka-Wierzchowska, W., Zadernowska, A. (2024). Possibility of transfer and activation of 'silent' tetracycline resistance genes among *Enterococcus faecalis* under high-pressure processing. *Food Microbiology*, 120: 104481, <https://doi.org/10.1016/j.fm.2024.104481>.
- Werner, G., Coque, T.M., Franz, C.M., Grohmann, E., Hegstad, K. (2013). Antibiotic resistant Enterococci tales of a drug resistance gene trafficker. *International Journal of Medical Microbiology*, 303: 360-379. <https://doi.org/10.1016/j.ijmm.2013.03.001>
- WHO. WHO publishes list of bacteria for which new antibiotics are urgently needed [Internet]. 2017 [cited 2022 December 6]. Available from: <https://www.who.int/news/item/27-02-2017-who-publishes-list-of-bacteria-for-which-new-antibiotics-are-urgently-needed>.
- Yalçın, M., Özden Tuncer, B., Akpınar Kankaya, D., Tuncer, Y. (2023). Presence of genes encoding aminoglycoside-modifying enzyme (AME) and virulence factors in high-level aminoglycoside-resistant (HLAR) *Enterococcus* strains isolated from retail chicken meat in Turkey. *Journal of the Hellenic Veterinary Medical Society*, 74(4): 6439-6448. <https://doi.org/10.12681/jhvms.30850>,
- Yamagami, Y., Asao, M., Takahashi, A., Hashimoto, Y., Okuyama, N., Arai, E., Arihara, W., Masui, R., Shimazaki, Y. (2024). Prevalence and antimicrobial resistance of *Enterococcus* spp. isolated from animal feed in Japan. *Frontier in Veterinary Science*, 10: 1328552. <https://doi.org/10.3389/fvets.2023.1328552>
- Yogurtcu N.N., Tuncer, Y. (2013). Antibiotic susceptibility patterns of *Enterococcus* strains isolated from Turkish tulum cheese. *International Journal of Dairy Technology*, 66: 236-242. <https://doi.org/10.1111/1471-0307.12014>
- Yüceer, Ö., Özden Tuncer, B. (2015). Determination of antibiotic resistance and biogenic amine production of lactic acid bacteria isolated from fermented Turkish sausage (sucuk). *Journal of Food Safety*, 35: 276-285. <https://doi.org/10.1111/jfs.12177>

GUAR GAM İLAVELİ KİTOSAN KOMPOZİT FİLMLERİN KARAKTERİZASYONU

Sevim GÜRDAŞ MAZLUM^{1,2*}, Asli Eda ERDOĞAN²

¹Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Kimya Mühendisliği Bölümü, Sivas, Türkiye

²Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Gıda Mühendisliği Bölümü, Sivas, Türkiye

Geliş / Received 27.03.2025; Kabul / Accepted: 18.06.2025; Online baskı / Published online: 26.06.2025

Gürdaş Mazlum, S., Erdoğan, A. E. (2025). Guar gam ilaveli kitosan kompozit filmlerin karakterizasyonu. GIDA (2025) 50 (4) 506-518 doi: 10.15237/ gida.GD25048

Gürdaş Mazlum, S., Erdoğan, A. E. (2025). Characterization of guar gum-added chitosan composite films. GIDA (2025) 50 (4) 506-518 doi: 10.15237/ gida.GD25048

ÖZ

Bu çalışmada kitosana (CH) farklı oranlarda (%5-20) guar gam (GG) ilave edilerek kitosan biyokompozit yenilebilir film üretilmesi amaçlanmıştır. Kompozit filmlerin fiziksel, bariyer, mekanik, optik, termal ve mikroyapısal özellikleri incelenmiştir. Kompozit film bileşenleri arasındaki etkileşim FT-IR analizi ile termal kararlılığı ise DSC analizi ile araştırılmıştır. Kompozit filmlerin artan GG oranıyla daha pürüzsüz ve homojen yüzey morfolojisi sergilediği SEM analizi ile teyit edilmiştir. En düşük, nem içeriği (%21.27) ve su buharı geçirgenliği %15 GG ilaveli CH filmde, en düşük suda çözünürlük (%16.21) ise %20 GG ilaveli kitosan filmde tespit edilmiştir. En yüksek gerilme direnci (19.64 MPa) %10 GG ilaveli kitosan filmde, en yüksek kopma uzaması (%15.68) ve opaklık değeri %5 GG ilaveli kitosan filmde belirlenmiştir. Kitosan kontrol filmine kıyasla, GG ilavesi ile CH kompozit filmlerin suda çözünürlüğü, su buharı geçirgenliği ve esnekliği azalırken, opaklığın ve gerilme direncinin arttığı gözlenmiştir. Bulgularımız, GG ilaveli CH kompozit filmlerin biyobozunur, çevre dostu ve yenilebilir özellikleriyle geleneksel ambalajlara umut verici bir alternatif olabileceğini göstermiştir.

Anahtar kelimeler: Kitosan, guar gam, yenilebilir film, biyopolimer, biyokompozit

CHARACTERIZATION OF GUAR GUM-ADDED CHITOSAN COMPOSITE FILMS

ABSTRACT

In this study, it was aimed to produce chitosan (CH) biocomposite edible films by adding guar gum (GG) to chitosan at different ratios (5-20%). The physical, barrier, mechanical, optical, thermal, and microstructural properties of the composite films were investigated. The interaction between composite film components was investigated using FT-IR analysis, while thermal stability was investigated using DSC analysis. SEM analysis confirmed that the surface morphology of the composite films became smoother and more homogeneous with increasing GG content. The lowest moisture content (21.27%) and water vapour permeability were found in the CH film with 15% GG addition, and the lowest water solubility (16.21%) was found in the chitosan film with 20% GG addition. The highest tensile strength (19.64 MPa) was determined in the chitosan film with 10% GG addition, and the highest elongation at break (15.68%) and opacity value were determined in the chitosan film with 5% GG addition. Compared to the CH control film, it was observed that the

* Sorumlu yazar / Corresponding author

✉: sgurdas@cumhuriyet.edu.tr

☎: (+90) 346 219 1010

Sevim Gürdaş Mazlum; ORCID no:0000-0002-1166-422X

Asli Eda Erdoğan ORCID no: 0000-0002-6281-2747

addition of GG decreased the moisture content, water solubility, water vapour permeability, and flexibility of the chitosan composite films, while opacity and tensile strength increased. Our findings showed that CH composite films with GG addition could be a promising alternative to traditional packaging with their biodegradable, environmentally friendly, and edible properties.

Keywords: Chitosan, guar gum, edible film, biopolymer, biocomposite

GİRİŞ

Taze veya işlenmiş gıdaların güvenli bir şekilde tüketicilere ulaştırılabilmesi için gıdaların ambalajlanması büyük önem taşır. Gıda endüstrisinde yaygın olarak kullanılan plastik ambalajlar, petrol türevi sentetik polimerlerdir. Plastik ambalajlar, modern toplumların günlük yaşamında vazgeçilmez bir unsur haline gelmiş olsa da çevresel sürdürülebilirlik açısından ciddi sorunlara neden olmaktadır (Priyadarshi ve Rhim, 2020). Petrol türevi bu malzemelerin doğada uzun süre parçalanmaması, toprak ve su kaynaklarında birikerek ekosisteme zarar vermesi, mikro plastiklerin gıda zincirine karışması gibi sorunlar, alternatif ambalaj çözümlerine olan ihtiyacı artırmaktadır (Frangopoulos vd., 2025). Bu nedenle, plastik ambalajlara alternatif oluşturabilecek, çevre dostu ve biyolojik olarak parçalanabilen malzemelere olan ilgi giderek artmaktadır (Tang vd., 2018). Bu bağlamda, biyopolimerler, biyolojik uyumlulukları ve yenilebilirlik özellikleriyle geleneksel plastiklere karşı önemli bir alternatiftir. Biyopolimerler, plastik ambalajların çevre ve halk sağlığı üzerindeki olumsuz etkilerini azaltma potansiyeline sahip olup, gıdaların raf ömrünü uzatarak israfı önleme ve çevre kirliliğini azaltma gibi ek avantajlar sunmaktadır (Wang vd., 2023). Son yıllarda bilim insanları, polisakkaritler, proteinler, lipidler ve bunların türevleri gibi doğal polimerleri, gıda ambalajları üretmek için sentetik plastiklerin yerine kullanılabilirliğini araştırmaktadır. Polisakkaritler arasında selüloz türevleri, kitosan, nişasta, aljinat, karragenan ve pektin, film oluşturma yetenekleri nedeniyle en çok tercih edilenler arasındadır (Rao vd., 2010).

Kitosan selülozdan sonra dünyada en bol bulunan ikinci biyopolimerdir. Kitosanın içindeki amino ve hidroksil fonksiyonel gruplarının varlığı, onu farklı araştırma alanlarında kullanılabilen çok yönlü bir polimer haline getirir (Priyadarshi ve Rhim, 2020; Sharma ve Bhende, 2024). Çeşitli polimerler arasında, kitosan, iyi film oluşturma

yeteneği, düşük maliyeti, biyolojik olarak parçalanabilirliği, biyoyumluğu, toksik olmaması, antimikrobiyal aktivitesi ve kolay bulunabilirliği avantajları nedeniyle gıda ambalaj filmlerinin hazırlanmasında yaygın olarak kullanılmaktadır (Jiang vd., 2022; Wang vd., 2023; Sharma ve Bhende, 2024). Ancak, kitosanın düşük mekanik ve termal kararlılığı ve suya karşı yüksek hassasiyeti gibi dezavantajları, daha kısa bir gıda raf ömrüne yol açmış ve dolayısıyla gıda ambalajındaki uygulamalarını sınırlamıştır (Haghighi vd., 2020). Dezavantajlarını en aza indirmek için kitosanın diğer polimerlerle harmanlanması gerekir. Bu dezavantajların üstesinden gelmek için kompozit oluşturma, karıştırma gibi uygulamalar umut verici tekniklerdir (Wang vd., 2023). Polisakkaritler arasında GG ve CH, fizikokimyasal özellikleriyle yenilebilir film üretiminde tercih edilen polimerlerdir (Rahman vd., 2021). Bu nedenle yenilebilir kompozit filmler üretmek için CH ve GG biyopolimerleri seçilmiştir.

Polisakkaritler arasında GG fizikokimyasal özellikleri ve yenilenebilir doğası nedeniyle endüstride geniş uygulama alanlarına sahiptir. Guar gam, guar bitkisinin tohumlarından elde edilir ve kolayca temin edilebilen bir polimerdir (Rahman vd., 2021). Doğal düz zincirli bir polisakkarit olan GG, suda çözünür, iyi biyoyumluluğa ve güçlü film oluşturma yeteneğine sahip üstün bir çapraz bağlama maddesidir (Wang vd., 2023). Guar gam konsantrasyonundaki artış, çözelti viskozitesini artıran moleküller arası zincir etkileşimlerini zenginleştirir. Çözelti formundaki guar gamın en ilginç özelliği, kararlı ve yüksüz yapısından kaynaklanan geniş bir pH aralığında toksik olmayan doğasıdır. Guar gamın son viskozitesi pH'dan etkilenmez. Guar gam zincirleri, sulu çözeltide hidrojen bağı oluşturan çok sayıda hidroksil grubu içerir (Sharma vd., 2018). Polisakkaritlerin karışımı ile üretilen filmler polimer zincirlerinin etkileşimleri nedeniyle

kırılgandır. Plastikleştiriciler, polimer zincirleri arasındaki moleküller arası kuvvetleri zayıflatır ve böylece özellikleri değiştirerek, esnekliği ve kırılma direncini artırır (Hiremani vd., 2022). Mevcut çalışmada kitosan ve guar gam kompozit filmleri hazırlanırken plastikleştirici olarak gliserol seçilmiştir.

Jiang vd. (2022) tarafından kitosan/guar gam film matrisine yeşil ceviz kabuğu özütü ilavesi ile aktif ambalaj filmi üretilmiş ve bu filmlerin mikro yapıları ve fizikokimyasal özellikleri karakterize edilmiştir. Bir başka çalışmada kitosan/guar zamkı/polivinil alkol (CGPM) matrisine moringa özütünün dahil edilmesiyle elde edilen aktif filmlerin mekanik, termal, yapısal ve morfolojik özellikleri incelenmiştir (Bhat vd., 2022). Wang vd. (2023) tarafından CH ve GG içeren film matrisine çapraz bağlayıcı ve aktif madde olarak karpuz kabuğu özütü eklenerek üretilen filmin (CG-WRE) özellikleri incelenmiştir. Bitki özütünün aktif bileşenlerinin CH ve GG film matrisine ilave edilmesi aktif ambalaj sistemleri tasarlamak için olası bir alternatiftir (Bhat vd., 2022). Bununla birlikte, bu biyoaktif bileşenleri biyolojik olarak parçalanabilir ambalajlara dahil edilmesi çalışmalarına rağmen, zayıf mekanik özellikler (çekme mukavemeti ve kopma uzaması) ve artan hidrofilite gibi sorunlar nedeniyle endüstri tarafından kabul görmemiştir (Frangopoulos vd., 2025). Literatürde sadece kitosan ve guar gamın birlikte kullanımına ilişkin sınırlı sayıda çalışmalar mevcut olmakla birlikte, bu iki polimerin sinerjistik etkileri ümit vaat etmektedir. Rahman vd. (2021) tarafından herhangi bir plastikleştirici kullanmadan çapraz bağlı guar gam-kitosan (GG-GH-C) kompozit filmi üretilmiş ve çapraz bağlı kompozit filmin, yüksek su stabilitesine, yüksek mekanik mukavemete ve zorlu çevre koşullarına karşı dirençli olduğu bildirilmiştir. Bir başka çalışmada, kitosan ve GG bazlı kompozit filmler üretilmiş ve bu filmlerin optik, mekanik, bariyer ve antimikrobiyal özellikleri incelenmiştir. CS/GG kompozit filmindeki GG konsantrasyonu %15 (v/v) olduğunda, kompozit filmin mekanik ve bariyer özellikleri önemli ölçüde iyileştiği ve antimikrobiyal aktivitesinde, kitosan filmlerine benzer olduğu bildirilmiştir (Rao vd., 2010).

Literatürde GG ilaveli kitosan kompozit filmlerin, film bileşenleri arasındaki etkileşimleri (FTIR), mikro yapıları (SEM) ve termal kararlılıkları (DSC) detaylı bir şekilde incelenmemiştir. Bu çalışmanın amacı, gliserol kullanarak GG ve CH biyopolimerleri ile biyobozunur ve yenilebilir kompozit filmler üretme olasılığını araştırmak ve bu filmlerin fiziksel, mekanik, bariyer, termal ve mikroyapısal özelliklerini kapsamlı bir şekilde inceleyerek kullanılabilirliğini ortaya koymaktır.

MATERYAL METOT

Materyal

Kitosan (deasetilasyon derecesi >75) Sigma Aldrich'den (Sigma-Aldrich, Almanya) temin edilmiştir. Guar gam ve gliserol (Fluka) Sigma Aldrich'ten satın alınmıştır. Bu araştırmada kullanılan diğer tüm kimyasallar analitik saflıktadır.

Film Çözeltilerinin Hazırlanması ve Yenilebilir Film Üretimi

1 g kitosan, 100 mL %1 (v/v) asetik asit çözeltisi içinde 25°C'de 4 saat boyunca manyetik karıştırıcı yardımıyla çözündürülmüş, çözeltiye %0.5 (v/v) oranında gliserol eklenerek 6 saat boyunca karıştırılmıştır. Kitosan çözeltisinden hava kabarcıklarının ve çözünmeyen partiküllerin uzaklaştırılması için 4000 rpm'de 10 dk. santrifüj edilmiştir (Rao vd., 2010).

1 g guar gam damıtılmış suda karıştırılarak çözündürülmüş üzerine %35 (w/w) oranında gliserol eklenmiş ve çözelti 100 mL'ye tamamlanmıştır. Elde edilen %1'lik (w/v) GG çözeltisi manyetik karıştırıcıda 750 rpm, oda sıcaklığında homojenleştirildikten sonra 4000 rpm 12 dk santrifüj edilerek hava kabarcıkları ve çözünmeyen partiküller uzaklaştırılmıştır (Rao vd., 2010).

%1'lik (w/v) kitosan ve %1'lik (w/v) guar gam çözeltileri, GG (v/v) konsantrasyonu %0 (A), %5 (B), %10 (C), %15 (D) ve %20 (E) olacak şekilde karıştırılmıştır. Hazırlanan film çözeltileri 8 cm çapında teflon plakalara 10'ar mL olacak şekilde dökülüp 30°C'de 24 saat kurutularak analizlerde kullanılmak üzere depolanmıştır (Çizelge 1).

Çizelge 1. Guar gam ilaveli kitosan filmlerin bileşimi
Table 1. Composition of guar gum-added chitosan films

Film		Kitosan (g/100mL)	Guar Gam (g/100mL)
Film		Chitosan (g/100mL)	Guar Gum (g/100mL)
CH	A	1	0
CHGG5	B	0.95	0.05
CHGG10	C	0.90	0.1
CHGG15	D	0.85	0.15
CHGG20	E	0.80	0.20

Filmlerin Fizikokimyasal, Bariyer, Optik ve Mekanik Özellikleri

Filmler fiziksel ve mekanik özelliklerin karakterizasyonundan önce, filmlerdeki suyun dengesini sağlamak için 10 gün oda sıcaklığında %52 (doymuş magnezyum nitrat hegzahidrat çözelti) bağıl nem (RH) içeren bir şartlandırma desikatöründe tutulduktan sonra analizlerde kullanılmıştır.

Kalınlık ve Nem Miktarı

Filmlerin kalınlıkları 0.001 mm hassasiyet ile dijital bir mikrometre (Dasqua, İtalya) ile 10 farklı bölgeden ölçüldükten sonra bu ölçümlerin ortalaması alınmıştır. Ortalama kalınlık değeri su buharı geçirgenliği ve mekanik analiz hesaplamalarında kullanılmıştır (Kurt ve Kahyaoglu, 2014).

Filmlerin nem içeriği, filmler 105±2°C'de 12 saat boyunca sabit ağırlığa ulaşana kadar kurutulmasıyla belirlenmiştir. Nem içeriği, filmlerdeki ağırlık kaybının yüzdesi olarak hesaplanmıştır (Roy ve Rhim, 2020).

Suda Çözünürlük Analizi

Filmler, 20x20 mm parçalara bölünüp kurutma fırınında 105°C'de 24 saat kurutulduktan sonra başlangıç kuru madde miktarı 0.0001g hassasiyette tartılarak belirlenmiştir. Film örnekleri 30 mL distile suya daldırılıp üzeri parafilm ile kapatılarak 25°C'de 24 saat bekletilmiştir. Filmler aynı sıcaklık ve süre ile tekrar kurutulup, son kuru madde miktarı belirlenmiştir. % film çözünürlüğü suda çözünen kuru madde miktarının başlangıçtaki kuru madde miktarına oranı olarak hesaplanmıştır (Roy ve Rhim, 2020).

Su buharı geçirgenliği (SBG)

Laboratuvar çalışmalarında su buharı geçirgenliği ASTM-E96 Standart Test Metoduna alternatif bir metotla gerçekleştirilmiştir (Kurt ve Kahyaoglu, 2014). 10 cm cam deney tüplerinin içine 1'er g silika eklenmiş (24 saat 104°C'de kurutulmuş) tartılmıştır (%RH=0%). Tüplerin ağzı şartlandırılmış film numuneleri ile kaplandıktan sonra sızdırmaz bir şekilde parafilm yardımıyla sabitlenmiştir. Tüpler, içerisinde doymuş magnezyum nitrat hegzahidrat bulunan (%RH:52) desikatöre konularak 25°C'de bir hafta boyunca günlük olarak ağırlık artışı izlenip grafik elde edilmiştir. Bağıl nem higrometre (Trotec, Almanya) yardımıyla ölçülmüştür. Ağırlık-zaman eğrilerinin doğrusal olduğu bölgenin eğiminden yararlanılarak filmin su buharı geçirgenliği eşitlik [1]'e göre hesaplanmıştır.

$$SBG = \frac{w \cdot x}{\Delta P \cdot A \cdot t} \quad (1)$$

Bu eşitlikte; w/t = lineer regresyon ($R^2 \geq 0.99$) ile hesaplanan zamana bağlı ağırlık değişimini (g/h), x film kalınlığı (mm), A film geçirgenlik alanı (m²) ve ΔP 25°C'de film boyunca oluşan kısmi basınç farkını (kPa) göstermektedir (Kurt ve Kahyaoglu 2014). SBG sonuçları g.mm/h.m².kPa olarak ifade edilmiştir.

Renk ve Opaklık Analizleri

Filmlerin rengi, üç farklı renk skalasına (L*, a* ve b*) ait sayısal değerleri veren Minolta (CR-400, Minolta Camera Co., Osaka, Japan) renk ölçüm cihazı ile ölçülmüştür. L*, a* ve b* değerleri örneğe ait renk parametreleridir. Film örneklerinin renk ölçümleri, L= 93.49, a = 0.25 ve b=0.09 değerlerine sahip standart beyaz plaka üzerinde gerçekleştirilmiştir (Jouki vd., 2013). Farklı bölgelerden üç okuma yapıp kaydedilmiş

ve örneklerin toplam renk kaybı (ΔE) eşitlik [2] yardımıyla hesaplanmıştır:

$$\Delta E = \sqrt{(L^* - L)^2 + (a^* - a)^2 + (b^* - b)^2} \quad (2)$$

Filmlerin opaklığı, dikdörtgen kesilen numunelerin spektrofotometrede (Optima SP 3000 Plus, Japan) 600 nm'de absorbens değerleri belirlenmiştir. Absorbans değerlerinden filmlerin opaklık değeri eşitlik [3] yardımıyla hesaplanmıştır (Souza vd., 2017).

$$\text{Opaklık} = \frac{A_{600 \text{ nm}}}{x} \quad (3)$$

Opaklık (1/mm), $A_{600 \text{ nm}}$:absorbans değeri ve x: film kalınlığı (mm)

Mekanik özellikler

Filmlerin mekanik özellikleri olan gerilme direnci (veya çekme dayanımı) (TS) ve kopma anında % uzama değerleri (EB) TA.XTPlus model (Stable Micro Systems, İngiltere) tekstür analiz cihazı ile belirlenmiştir. Ölçüm işlemi oda sıcaklığında ($24 \pm 1^\circ\text{C}$) 5 kg'lık yük hücresi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Film örnekleri dikdörtgen biçiminde (6x1 cm) kesilmiş ve çekme probunun uç kısımlarından tutturulmuştur. Problar arası mesafe 50 mm olarak ayarlanmış ve filmler 10 mm/s hızda gerilmiştir. Gerilme ve kopma eğrilerini içeren grafiklerden TS (MPa) ve EB (%) parametreleri hesaplanmıştır. Kopma anında uygulanan maksimum kuvvet (TS) ile kopma uzaması (EB) miktarı cihaza bağlı bilgisayar programı ile kaydedilmiştir (Jouki vd., 2013).

Filmlerin yapısal karakterizasyonu

Filmler 10 gün oda sıcaklığında %52 bağıl nem (RH) içeren bir şartlandırma desikatöründe tutulduktan sonra, filmler bir hafta boyunca oda sıcaklığında %0 RH (silika jeller) altında desikatöründe şartlandırılmıştır. Şartlandırılan filmlerin DSC ve FT-IR analizleri yapılmıştır. Üretilen filmlerin termal özellikleri Diferansiyel taramalı kalorimetri (DSC) (Shimadzu-DSC 60) ile belirlenmiştir. Alüminyum kaplı DSC kapları içerisine film örnekleri (5-10 mg) konulmuş ve $10^\circ\text{C}/\text{dk}$. ısıtma oranı ile azot atmosferinde 0°C 'den 400°C 'ye kadar ısıtılmıştır (Yang et al. 2019).

Filmlerin moleküler karakterizasyonu, Fourier Dönüşümleri Kızılötesi (FT-IR) Spektroskopisi (Bruker, Almanya) cihazıyla ölçülmüştür. Ölçüm $400\text{-}4000 \text{ cm}^{-1}$ arasındaki frekanslarda ve 4 cm^{-1} çözünürlükte gerçekleştirilmiştir (Jiang et al., 2022).

Üretilen filmlerin yüzey morfolojisi ve mikro yapısı taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile belirlenmiştir. Filmler ilk önce çift taraflı karbon bant ile monte edilmiş, daha sonra numunelerin yüzey iletkenliklerinin sağlanabilmesi için Quorum Q150R ES Sputter Coater marka kaplama cihazı ile numune yüzeyleri altın kaplanmıştır. Numunelerin SEM ile mikroyapı incelenmesi Mira 3XMU FE-SEM cihazı ile gerçekleştirilmiştir.

İstatistiksel Analiz

Deneyler üç kez tekrarlanmış ve elde edilen veriler standart hata ile birlikte ortalama değer olarak verilmiştir (ortalama $\pm$ SE). Grup ortalamaları arasındaki istatistiksel olarak anlamlı farklılıkları değerlendirmek için tek yönlü varyans analizi (ANOVA) ve Tukey çoklu karşılaştırma testleri uygulanarak $P < 0.05$ istatistiksel fark anlamlı kabul edilmiştir. Deneysel verilerin analizinde Minitab 13 (Minitab Inc., State College, PA, ABD) kullanılmıştır.

BULGULAR VE TARTIŞMA

Yenilebilir Film Hazırlanması

Yapılan ön deneylerde plastikleştirici ilave edilmeden yenilebilir kitosan ve guar gam filmlerinin hazırlanmasının çok zor olduğu görülmüştür. Deneme çalışmalarında filmlerin kırılma olmaları ve teflon yüzeylerden ayırırken film bütünlüklerinin bozulması nedeniyle gliserol kullanılmıştır. Literatürdeki benzer çalışmalar dikkate alınarak farklı oranlarda gliserol ilavesi ile filmler üretilmiştir. 1 g kitosan için %0.5 (v/v) ve 1 g GG için %35 (w/w) oranında gliserol ilavesi ile hazırlanan filmlerin daha iyi özelliklere sahip olduğu görülmüş ve bu oranlarda film hazırlanmasına karar verilmiştir.

Filmlerin Fizikokimyasal, Bariyer, Renk, Optik ve Mekanik Özellikleri

Kalınlık filmlerin mekanik, optik ve bariyer özellikleri gibi çeşitli fiziksel özellikleri etkilediğinden dolayı önemli bir parametredir. Hazırlanan farklı oranlarda GG ilaveli kitosan filmlerin kalınlık, nem içeriği, suda çözünürlük ve su buharı geçirgenlik değerleri Çizelge 2’de verilmiştir. Kitosan kontrol filmin kalınlığı 0.097 mm olarak ölçülmüştür (Çizelge 2). GG ilaveli kitosan kompozit filmlerin kalınlık değerleri incelendiğinde; film kalınlığı en düşük %20 GG içeren film ile en yüksek %5 ve %15 GG içeren filmler arasında değişmiş olup, bu değerler arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmamıştır ($P>0.05$). Guar gam ilavesinin biyokompozit filmlerin kalınlığı üzerinde önemli bir etkisinin olmadığı görülmüştür ($P>0.05$). Rao vd., (2010) tarafında kitosan ve GG karışımından 35 μm ortalama kalınlıkta filmler üretilmiştir. Mevcut çalışmadan daha düşük film kalınlığı elde etmişlerdir. Film kalınlıklarının farklı olmasında, kitosanın astilasyon derecesinin düşük olması, kullanılan gliserol miktarı, film üretiminde kullanılan çözelti miktarı ve kuruma koşulları etkili olabilir (Emir Çoban vd., 2024).

Gıdalardaki nem içeriği, gıdanın tazeliğinin korunması ve bozulmasında rol oynar. Bir ambalajın, kullanıldığı ürünün nemini dış etkenlerden koruyabilme yeteneği, o ürünün

kalitesinin korunması açısından gereklidir ve yenilebilir filmlerin nem içeriğinin bilinmesi ambalajlama uygulamaları açısından oldukça önemlidir. Guar gam ilaveli kitosan kompozit filmlerinin nem içeriği en düşük %15 GG filmi %21.27 ile en yüksek %20 GG içeren film %31.90 arasında önemli ölçüde farklılık göstermiştir ($P<0.05$; Çizelge 2). Bu eğilim, muhtemelen su molekülleriyle hidrojen bağları oluşturabilen çok sayıda hidroksil grubu içeren guar gamın polisakkarit yapısı nedeniyle, daha yüksek GG ilavesi filmlerin higroskopik doğasını geliştirdiğini göstermektedir (Tang vd., 2018; Jiang vd., 2022). Kitosan kontrol filmi %29.78 nem içeriğine sahipti ve bu değer %5 GG ilavesiyle üretilen CHGG5 filminde %5.56 oranında azaldığı görülmüştür ($P<0.05$). CH ve GG arasında su bağlama bölgelerini geçici olarak azaltan bir etkileşimi yansıtır olabilir; benzer eğilim Emir Çoban vd., (2024) tarafından hazırlanan kompozit filmlerde de gözlemlenmiştir. Daha sonra %10 GG ilavesiyle kitosan kompozit filminin nem içeriği %28.15’e yükselmiştir ($P<0.05$). Kitosan kontrol filmine farklı oranlarda GG ilavesiyle nem içeriğinde dalgalanmalar gözlemlenmiştir. Bu durum, guar gamın higroskopik yapısından ve yüksek su tutma kapasitesinden kaynaklanabilir (Jouki vd., 2013; Sharma vd., 2018). Guar gam ilavesi ile filmlerin nem içeriği başlangıçta azalmasına rağmen, GG miktarının artmasıyla filmlerin nem içeriğinde de artışa neden olmuştur.

Çizelge 2. Kitosan kompozit filmlerin kalınlık, nem içeriği, suda çözünürlük ve su buharı geçirgenlik değerleri

Table 2. Thickness, moisture content, water solubility and water vapor permeability values of chitosan composite films

Film <i>Film</i>	Kalınlık (mm) <i>Thickness (mm)</i>	Nem içeriği (%) <i>Moisture content (%)</i>	Suda çözünürlük (%) <i>Water solubility (%)</i>
A	0.097 $\pm$ 0.005	29.787 $\pm$ 0.004 ^{ab}	20.120 $\pm$ 0.632 ^b
B	0.109 $\pm$ 0.003	24.221 $\pm$ 0.006 ^c	26.829 $\pm$ 1.165 ^a
C	0.107 $\pm$ 0.006	28.155 $\pm$ 0.003 ^b	21.918 $\pm$ 0.006 ^b
D	0.109 $\pm$ 0.005	21.275 $\pm$ 0.005 ^d	21.171 $\pm$ 0.011 ^b
E	0.097 $\pm$ 0.006	31.906 $\pm$ 1.088 ^a	16.216 $\pm$ 0.231 ^c

Ortalama $\pm$ standart hata, aynı sütundaki farklı harfler anlamlı farklılığı gösterir ($P < 0.05$)

Mean $\pm$ standard error, Different letters in the same column indicate significant difference ($P < 0.05$)

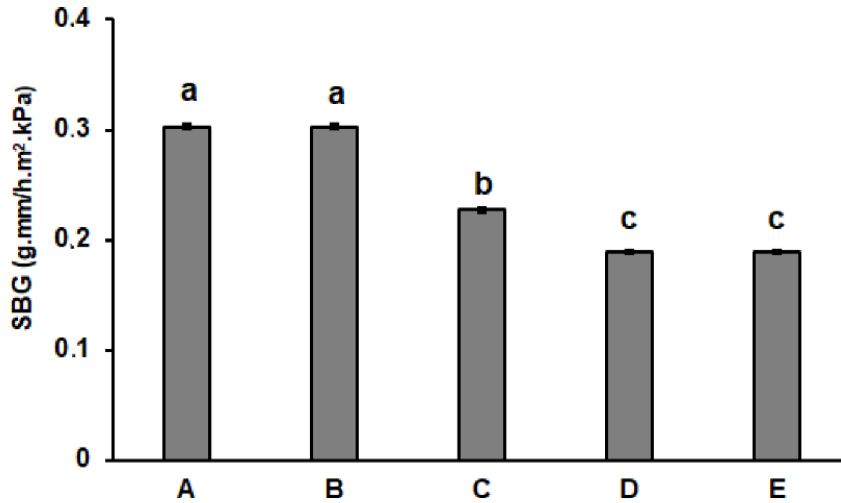
Filmin suda çözünürlüğü, filmin sulu ortamdaki suya direnme yeteneğini yansıtır. Biyopolimer filmlerin daha yüksek veya tam çözünürlüğü

parçalanma için yararlı olabilirken, filmlerin daha düşük çözünürlüğü ambalaj uygulamaları için tercih nedenidir (Jiang vd., 2022; Emir Çoban vd.,

2024). Kitosan kontrol filminin suda çözünürlüğü %20.12 olarak belirlenmiştir (Çizelge 2). Kitosana %5 GG ilavesiyle elde edilen kompozit filmin suda çözünürlüğünde önemli artış gözlenmiştir ($P<0.05$). Kitosan kontrol filmine göre; %10 GG ve %15 GG içeren kompozit filmlerin suda çözünürlüğünde meydana gelen artış istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır ($P>0.05$). Guar gam ilaveli kitosan filmler arasında, suda çözünürlük oranları %16.21 ile %26.82 arasında değişmiştir. Guar gam miktarı arttıkça suda çözünürlük değerinde bir azalma gözlemlenmiştir. Bu durum, guar gamın kitosan matrisi içerisinde daha yoğun bir ağ yapısı oluşturması ve suyun matrise nüfuz etmesini zorlaştırması ile açıklanabilir. Suda çözünürlük %5 GG ilavesiyle hafifçe artarken daha yüksek GG miktarıyla (%10 GG ve %20 GG) kademeli olarak azalmıştır. Moleküller arası hidrojen bağı, karışım filminin suda çözünürlüğünün azalmasının bir başka olası nedenidir. %20 GG ilaveli kitosan filmin daha düşük çözünürlüğü suya karşı direncinin arttığını göstermekte ve bu da onu nemli koşullarda stabilite gerektiren uygulamalar için umut verici

bir aday haline getirmektedir. Hiremani vd., (2022), benzer şekilde CH matrisindeki OMS (oksitlenmiş mısır nişastası) miktarının artırılmasıyla karışım filmlerinin suda çözünürlüğünü önemli ölçüde azalttığını rapor etmiştir.

Su buharı geçirgenliği, filmlerin ambalaj malzemesi olarak kullanılabilirliğini değerlendiren önemli bir parametredir. Yenilebilir filmler kaplandığı gıdanın nem alışverişini engelleyebilmelidir (Emir Çoban vd., 2024). Kitosan kontrol filmi ve %5 GG ilaveli kitosan filmi 0.303 g.mm/h.m².kPa ile en yüksek su buharı geçirgenliği gösterirken, %15 ve %20 GG ilaveli kitosan filmleri 0.189 g.mm/h.m².kPa ile en düşük su buharı geçirgenliği sergilemiştir ($P<0.05$). Bu azalma, guar gamın kitosan ile oluşturduğu yoğun matris yapısının su buharı geçişini engellediğini göstermektedir. Guar gam oranının artışı, filmlerin su buharına karşı bariyer özelliğini artırmış ve geçirgenlik değerlerini düşürmüştür (Rahman vd., 2021).



Şekil 1. Guar gam ilaveli kitosan kompozit filmlerin su buharı geçirgenlik değerleri

Figure 1. Water vapour permeability values of guar gum added chitosan composite films

Yenilebilir filmlerin rengi ve optik özellikleri ürünün genel görünüşü ve tüketici kabulünü etkileyen önemli parametrelerdir (Kurt ve Kahyaoglu, 2014). Film örneklerinin renk değerleri (L^* , a^* ve b^*), toplam renk farklılıkları

(ΔE^*) ve opaklık değerleri Çizelge 3'te sunulmuştur.

Çizelge 3. Kitosan kompozit filmlerin renk (L^* , a^* ve b^*), toplam renk (ΔE^*) ve opaklık değerleri
 Table 3. Colour (L^* , a^* and b^*), total colour (ΔE^*) and opacity values of chitosan composite films

Film Film	L^*	a^*	b^*	ΔE	Opaklık Opacity
A	89.66±0.05 ^a	0.780±0.006 ^a	-3.610±0.035 ^e	5.355±0.014 ^{ab}	1.27±0.01 ^e
B	88.99±0.01 ^b	0.260±0.020 ^c	-0.153±0.015 ^b	4.507±0.016 ^c	2.43±0.01 ^a
C	88.24±0.02 ^c	0.303±0.020 ^c	-1.200±0.112 ^c	5.411±0.005 ^a	1.77±0.01 ^c
D	89.78±0.03 ^a	0.520±0.005 ^b	-2.660±0.011 ^d	4.626±0.020 ^c	1.56±0.01 ^d
E	88.28±0.05 ^c	-0.120±0.011 ^d	0.220±0.023 ^a	5.224±0.057 ^b	2.03±0.09 ^b

Ortalama ± standart hata, aynı sütundaki farklı harfler anlamlı farklılığı gösterir ($P < 0.05$)

Mean ± standard error, Different letters in the same column indicate significant difference ($P < 0.05$)

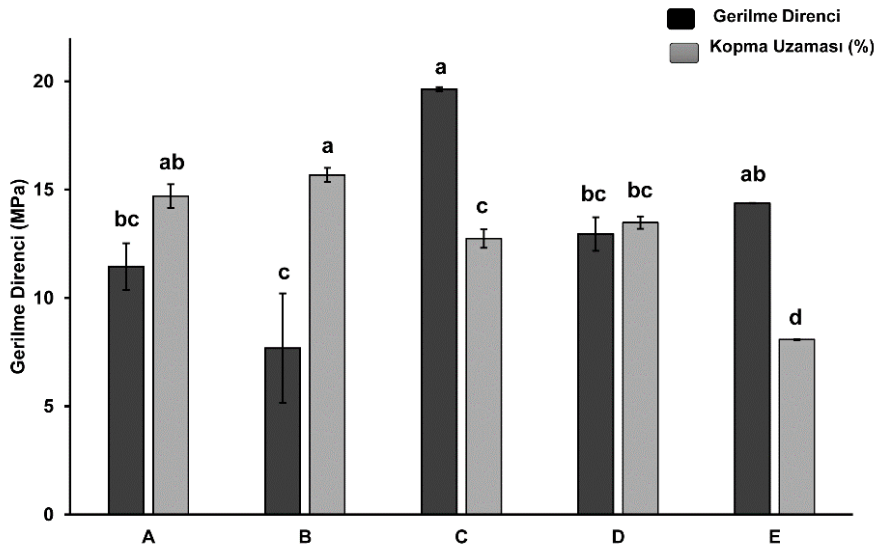
Renk farklılıkları L^* , a^* ve b^* gibi parametrelere göre belirlenir. L değeri açık-koyu yoğunluğunu, a değeri kırmızıdan yeşile geçişi ve b ise sarıdan maviye geçişi göstermektedir (Jiang vd., 2022). Filmlerin L^* değerlerinde istatistiksel olarak anlamlı bir değişim gözlenmiştir ($P < 0.05$). L^* değeri en yüksek kitosan kontrol filmi ve %15 GG ilaveli kitosan filmlerinde en düşük ise %10 ve %20 GG ilaveli kitosan filmlerinde görülmüştür ($P < 0.05$). GG ilavesi, kitosan filmlerinin parlaklığını genel olarak azaltma eğiliminde bir davranış sergilemesine neden olmuştur. Benzer bir olgu Jiang vd., (2022) tarafından da gözlemlenmiştir. a^* değeri, en yüksek 0.78 kitosan kontrol filminde görülmüştür ($P < 0.05$; Çizelge 3). Artan GG ilavesi ile kitosan kompozit filmlerinin sergilediği pozitif a^* değerleri kırmızı olma eğilimini, %20 GG ilaveli kitosan filmin negatif a^* değeri ise yeşil olma eğilimini göstermiştir (Rao ve ark., 2010). Kitosan kontrol filminin b^* değeri -3.61 olarak belirlenmiştir. GG ilaveli kitosan filmler arasında, b^* değeri -2.66 ile -0.153 arasında değişmiştir ($P < 0.05$). Filmlerin negatif b^* değerleri maviye kayma eğilimlerini, %20 GG ilaveli kitosan filmin pozitif b^* değeri ise filmin sarıya kayma eğilimini göstermiştir (Rahman vd., 2021). Bununla birlikte, film örneklerinin a^* ve b^* değerlerinin sıfıra yakın olması, renk tonlarının güçlü olmadığını ifade etmektedir. Kitosan kontrol filminin toplam renk farkı (ΔE) değeri 5.355 olarak hesaplanmıştır. GG ilaveli kitosan filmlerin ΔE değerleri 4.507 ile 5.411 arasında değişmiş olup guar gamının renk üzerindeki etkisi sınırlı kalmıştır ($P < 0.05$).

Kitosan kontrol filminin opaklık değeri 1.27 mm⁻¹ olarak hesaplanmıştır. Filmlerin opaklık değerleri arasında istatistiksel olarak önemli farklılıklar olduğu tespit edilmiştir ($P < 0.05$). Guar gam ilaveli kitosan filmlerde opaklık değeri, en düşük %15 GG ilaveli (1.56 mm⁻¹) film ile en yüksek %5 GG ilaveli (2.43±0.01) filmde görülmüştür. GG ilavesi ile kitosan kompozit filmlerinin opaklığında genel olarak artış gözlenmiştir. Bu sonuçlar, CH-GG filmlerinin gıda sistemlerinde UV'nin neden olduğu oksidatif bozulmayı azaltmaya yardımcı olabileceğini göstermektedir (Rao vd., 2010; Hiremani vd., 2022). Bu bulgular, filmlerin gıda yüzeyi kaplaması olarak ürün görünümünün iyileştirilmesi amacıyla kullanıldığında oldukça önemlidir.

Gıda paketlemede yenilebilir filmler, mekanik yönden yeterli dayanıklılığa sahip olmaları ve gıdaların bütünlüğünü korumaları gerekir (Souza vd., 2017). Gıda ambalajının koruyuculuğu ve kullanıma karşı olan dayanımı yenilebilir filmin gerilme direnci ile ilgilidir (Erge, 2025). Yenilebilir filmlerin mekanik özellikleri arasında bulunan gerilme direnci (TS) ve kopma uzaması (%EB) önemli parametrelerdendir (Kurt ve Kahyaoğlu, 2014). Filmlere ait gerilme dirençleri ve % kopma uzama değerleri Şekil 2'de karşılaştırmalı olarak sunulmuştur. Kitosan kontrol filminin gerilme direnci 11.45 MPa olarak ölçülmüştür. Kitosana %5 GG ilavesi ile gerilme direnci 7.68 MPa ile en düşük seviyeye inmiştir ($P < 0.05$). %10 GG ilavesiyle gerilme direnci 19.64 MPa ile en yüksek değere ulaşmıştır. CHGG5 ile CHGG10 filmleri karşılaştırıldığında, CHGG10 filminde GG miktarı 2 kat artarken gerilme direncinde yaklaşık 3 kat artış gözlenmiştir. Bu durum, kitosan

matrisine GG'in eklenmesi ile hidrojen bağları polimer ağ yapısını güçlendirerek daha dayanıklı ve esnek filmler oluşmasına katkıda bulunmuştur (Rahman vd., 2021). Guar gamın kitosan ile optimum oranlarda (%10 GG) sinerjik bir etki yaratarak mekanik dayanımı artırdığını göstermektedir. Literatürde, GG ilavesinin kitosan filmlerinin mekanik özelliklerini iyileştirdiği belirtilmektedir (Rao vd., 2010; Bhat vd., 2022; Jiang vd., 2022).

Kitosan kontrol filminin kopma uzaması %14.70 olarak ölçülmüştür. Kopma uzaması (elastikiyet) artan GG ilavesi ile azalma eğilimi göstermiştir. Guar gam ilaveli kitosan filmlerin EB değerleri %8.08 (%20 GG) ile %15.68 (%5 GG) arasında değişmiş ve bu değişim üzerine GG ilavesinin etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($P<0.05$). Bu sonuçlar, guar gamın filmin mekanik dayanıklılığını arttırdığını ve esnekliğini ise azalttığını göstermektedir.



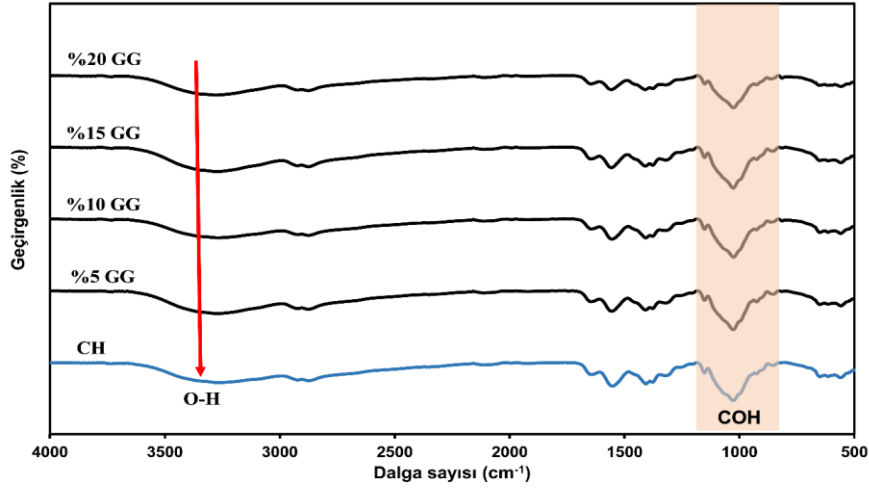
Şekil 2. Guar gam ilaveli kitosan kompozit filmlerin gerilme direnci ve kopma uzama
Figure 2. Tensile strength and elongation at break of guar gum-added chitosan composite films

Filmlerin Yapısal Karakterizasyonu

Filmlerin FT-IR Analizi

FTIR spektroskopisi, kompozit filmin bileşenleri arasındaki moleküler etkileşimi incelemek ve filmlerin kimyasal yapısını tanımak için kullanılan bir yöntemdir. Moleküller arasındaki etkileşim, fonksiyonel grubun dalga boyu değişiminden analiz edilebilmektedir (Hiremani vd., (2022; Emir Çoban vd., 2024). Kitosan ve GG ilaveli kitosan kompozit filmlerdeki spesifik fonksiyonel grupları araştırmak ve filmlerin bileşenleri arasındaki etkileşimleri anlamak için Kızılötesi spektroskopisi (FTIR) kullanılmıştır. Kitosan ve GG ilaveli kitosan kompozit filmlerin FTIR spektrumları Şekil 3'de verilmiştir. Kitosan filmin spektrumunda, 3268 cm⁻¹'de bulunan geniş pik O-H ve N-H gerilme titreşimini temsil etmektedir (Hiremani vd., 2022). 2920 ve 2873 cm⁻¹'de

görülen pikler ise simetrik ve asimetrik C-H gerilme titreşiminin karakteristiği olup polisakkaritin tipik özelliğidir (Emir Çoban vd., 2024). 1644 cm⁻¹'deki küçük pik C=O gerilmesine (amid I), 1553 cm⁻¹'deki pik N-H bükülmesine (amid II), ve 1026 cm⁻¹'deki keskin pik COH germe bantlarına atfedilir (Hiremani vd., 2022; Emir Çoban vd., 2024). 1320 cm⁻¹'deki pik amid III'ün C=N gerilmesine karşılık gelir. CH₂ bükülmesi ve CH₃ simetrik deformasyonları, sırasıyla 1407 cm⁻¹ ve 1377 cm⁻¹ civarındaki bantların varlığıyla doğrulanır (Emir Çoban vd., 2024). Ayrıca β (1→4) glikozit bağlarından kaynaklanan CO gerilme titreşimi 1152 cm⁻¹'de görülmektedir (Menazea vd., 2020). 921 cm⁻¹'deki küçük pik kitosan sakkarit yapısının C-H salınım titreşimini göstermektedir (Menazea vd., 2020).



Şekil 3. Guar gam ilaveli kitosan kompozit filmlerin FTIR spektrumları
 Figure 3. FTIR spectra of guar gum added chitosan composite films

Kitosan spektrumunda bulunan bütün bantlar diğer araştırmacılar tarafından da bildirilmiştir (Hiremani vd., 2022; Emir Çoban vd., 2024). Kitosana GG ilavesi ile bazı piklerin tepe noktalarında hafif kaymalar gözlenmiştir. Kitosan kontrol film spektrumunda O-H ve N-H gerilme titreşimini temsil eden 3268 cm^{-1} 'deki pik, %5, %10, %15 ve %20 GG ilaveli kitosan kompozit filmlerde sırasıyla 3273 , 3271 , 3275 ve 3278 cm^{-1} 'e kaymıştır. Kontrol filmine göre dalga sayındaki artış O-H grubunun arttığını ve hidrojen bağı oluştuğunu gösterir (Maiti vd., 2021). Kitosan filmindeki, simetrik ve asimetrik C-H gerilme titreşimini gösteren 2920 ve 2873 cm^{-1} 'deki pikler %5, %10, %15 ve %20 GG ilaveli kitosan kompozit filmlerde sırasıyla, 2922 - 2874 , 2920 - 2874 , 2922 - 2874 ve 2921 - 2875 cm^{-1} 'e kaymıştır. Kontrol filmindeki N-H bükülmesini temsil eden 1553 cm^{-1} 'deki pik %5, %10, %15 ve %20 GG ilaveli kitosan kompozit filmlerde sırasıyla, 1555 , 1554 , 1555 ve 1556 cm^{-1} 'da görülmüştür. Kitosan kontrol filmi ile GG ilaveli filmler arasında görülen bantlardaki kaymaların, kitosanın hidroksil ve amino grupları ile guar gamın hidroksil grupları arasında moleküller arası etkileşimden kaynaklandığı düşünülmektedir (Hiremani vd., 2022). Kitosan matrisine farklı oranlarda GG eklenmesi, bantlarda hafif bir kaymaya neden olsa da pik yoğunluklarında önemli bir etkisinin olmadığı ve yapısal bir

değişim gözlenmediği bulunmuştur (Emir Çoban vd., 2024).

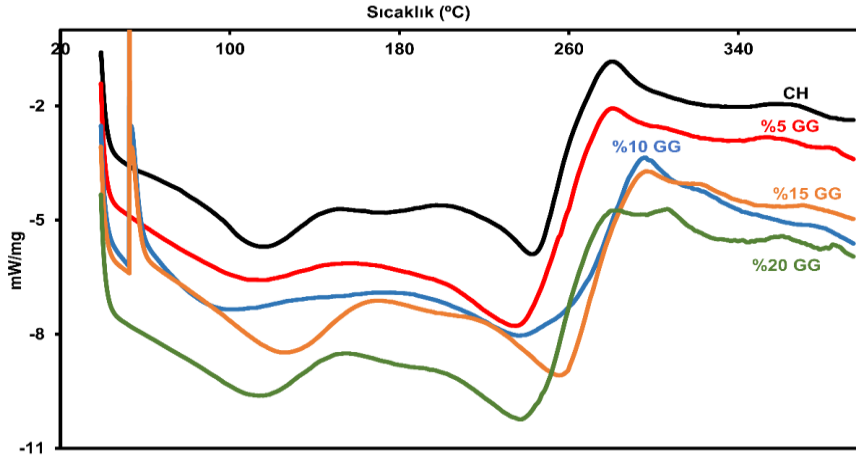
Termal Analiz

Diferansiyel taramalı kalorimetri (DSC), yenilebilir filmlerin termal davranışını değerlendirmek için kullanılan termoanalitik yöntemlerden biridir. Biyopolimerik malzemelerin karakterizasyonuna, malzemelerin ısıtıldığında davranışlarının değerlendirilmesine katkıda bulunmaktadır (Santana ve Bonomo 2024). Yenilebilir film bileşenlerinin termal özellikleri DSC analizi ile araştırılmış ve örneklerin DSC termogramları Şekil 4'de verilmiştir. Kitosan ve GG ilaveli kitosan kompozit filmlerin DSC termogramları literatürle uyumlu iki endotermik ve bir ekzotermik piklerin varlığını göstermiştir (Hiremani vd., 2022; Emir Çoban vd., 2024).

Suyun buharlaşmasına bağlı olarak 116.53°C 'de oluşan ilk endotermiktir pik kitosan zincirinin zayıfladığını göstermektedir (Şekil 4). Filmlerin hepsinde görülen ikinci endotermik tepe, filmlerin plastikleştirilmesinde kullanılan gliserolün parçalanmasına karşılık gelir. Bu değerler kitosan için 243°C ve %5, %10, %15 ve %20 GG ilaveli kitosan kompozit filmler için sırasıyla, 235 , 220 , 238 ve 23°C olarak belirlenmiştir. Kitosanda 280°C 'de, polisakkarit omurgasının termal ayrışmasıyla ilişkili olan ekzotermik bir pik ortaya

çıkıştır (Yang vd., 2019). GG ilavesi kitosan kompozit filmlerde de yaklaşık aynı noktada (280-281°C) görülen ekzotermik pikin, glukozamin

birimlerinin termal ayrışmasından kaynaklandığı düşünülmektedir (Hiremani vd., 2022)

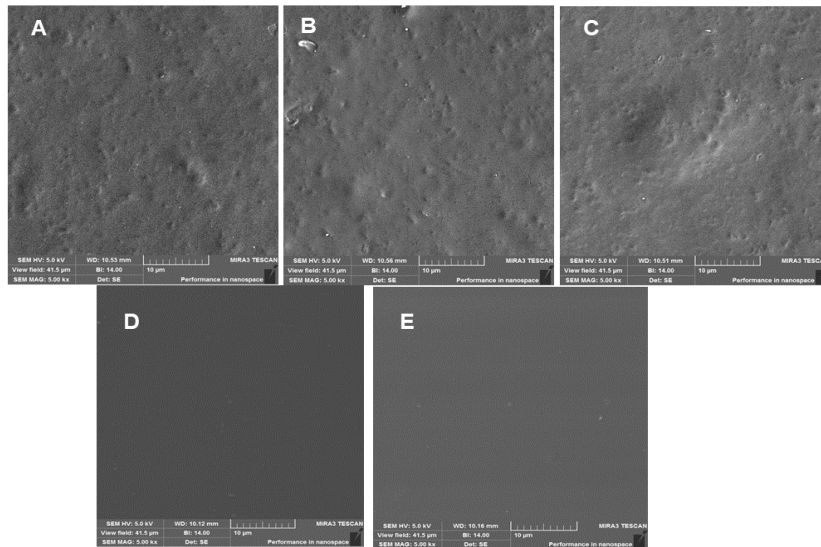


Şekil 4. Guar gam ilaveli kitosan kompozit filmlerin DSC termogramları
Figure 4. DSC thermograms of guar gum-added chitosan composite films

Yüzey Morfolojisi

Kitosan ve GG ilaveli kitosan kompozit filmlerin mikro yapılarını incelemek için SEM analizleri yapılmış ve SEM görüntüleri Şekil 5’de verilmiştir. Kitosan kontrol filmi hafif pürüzlü ve homojen bir yüzey sergilemiştir (Şekil A). %5 ve %10 GG ilaveli kitosan kompozit filmlerin yüzeyi düzgün ve kompakt yapısı kitosanın yüzey özellikleri ile benzerlik göstermiştir (Şekil B-C). %15 ve %20

GG ilaveli kitosan filmler daha pürüzsüz, homojen, gözeneksiz ve yoğun bir yüzey sergilemiştir (Şekil D-E). Artan GG ilavesinin kompozit filmlerin mikro yapılarını önemli ölçüde iyileştirdiği ve film bileşenleri arasında iyi bir uyum olduğu görülmektedir. Kitosan ve GG arasında hidrojen bağlarının oluşması, düzgün bir iç ağ yapısına katkı sağlamıştır (Wang vd., 2023).



Şekil 5. CH (A), % 5 GG (B), % 10 GG (C), % 15 GG (D) ve % 20 GG (E) filmlerinin yüzey morfolojisi.
Figure 5. Surface morphology of CH (A), 5% GG (B), 10% GG (C), 15% GG (D), and 20% GG (E) films.

SONUÇ

Bu çalışmada, farklı oranlarda guar gam ilaveli kitosan biyokompozit filmler hazırlanmış ve kompozit filmlerin fiziksel, bariyer, mekanik, optik, termal ve mikroyapısal özellikleri incelenmiştir. Guar gam ilavesi ile kitosan kompozit filmlerin termal kararlılıklarının arttığı, artan GG oranıyla daha pürüzsüz ve homojen yüzey morfolojisi sergilediği görülmüştür. Kitosan kontrol filmine kıyasla, artan guar gam ilavesi ile kitosan kompozit filmlerin su buharı geçirgenliği ve esnekliği azalırken, gerilme direncinin arttığı gözlenmiştir. Elde edilen kompozit filmlerin renk ve opaklık özellikleri incelendiğinde, guar gam ilavesi film parlaklığını azaltmış ve opaklığı ise arttırmıştır. Bu sonuç lipid oksidasyonuna karşı hassas olan gıdaların ambalajlanmasında guar gam ilaveli filmlerin kullanılmasının önemli bir avantaj sağlayacağını göstermektedir. Sonuç olarak bu çalışma, kitosan ve guar gam biyopolimer bileşenleri arasında pozitif bir etkileşim olduğu ve polimer bileşenlerinin her oranda karışabilirliği sayesinde biyobozunur ve yenilebilir film üretimi için %10 GG ilaveli kitosan kompozit filmin uygun olduğunu göstermiştir. Kitosan ve guar gam, kolay bulunabilirlikleri, ekonomik olmaları ve toksik olmayan yapıları nedeniyle vazgeçilmez biyopolimerlerdir ve plastik ambalajlara umut verici alternatiftir. Sürdürülebilir gıda ambalajlama çözümleri sağlayarak çevre kirliliğini azaltma ve gıda güvenliğini artırma potansiyeline sahiptir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma; Asli Eda Erdoğan'ın yüksek lisans tezinin bir bölümünden hazırlanmıştır. Cumhuriyet Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projesi birimi tarafından (CUBAP) M-668 nolu proje kapsamında desteklenmiştir.

YAZAR KATKILARI

Sevim Gürdaş Mazlum: Çalışmanın tasarımı, planlanması, projenin yönetimi, verilerin analizi, makalenin yazımı, istatistiksel değerlendirilme ve görselleştirme, Asli Eda Erdoğan: araştırmanın yürütülmesi, denemelerin ve deneysel analizlerin gerçekleştirilmesi ve verilerin analizi aşamalarında görev almışlardır.

KAYNAKLAR

- Bhat, V.G., Narasagoudr, S.S., Masti, S.P., Chougale, R.B., Vantamuri, A.B., Kasai, D. (2022). Development and evaluation of Moringa extract incorporated Chitosan/Guar gum/Poly (vinyl alcohol) active films for food packaging applications. *International Journal of Biological Macromolecules* 200:50-60. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.12.116>
- Emir, Çoban, O., Akat, Z., Karatepe, P., İncili, G.K. (2024). In vitro bioactivity of biodegradable films based on chitosan/quince seed mucilage reinforced with ZnO-nanoparticle. *Food Measure* 18:5450–5461. <https://doi.org/10.1007/s11694-024-02579-7>
- Erge, A. (2025). Çörek otu yağı ile zenginleştirilmiş jelatin bazlı ambalaj filmi üretimi ve tavuk eti muhafazasında kullanımı. *GIDA 50* (1):15–27 doi: 10.15237/ gida.GD24104.
- Frangopoulos, T., Marinopoulou, A., Petridis, D., Rhoades, J., Likotrafı, E., Goulas, A., Fetska, D., Mati, E., Tosounidou, A., Triantafillou, V., Tsihlakis, K., Veskou, E., Ylli, S., Karageorgiou, V. (2025). Films from Starch Inclusion Complexes with Bioactive Compounds as Food Packaging Material. *Food Bioprocess Technology*. 18:5164–5179 <https://doi.org/10.1007/s11947-025-03757-1>
- Haghighi, H., Licciardello, F., Fava, P., Siesler, H. W., Pulvirenti, A. (2020). Recent advances on chitosan-based films for sustainable food packaging applications. *Food Packaging and Shelf Life*. 26:100551. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2020.100551>
- Hiremani, V.D., Gasti, T., Masti, S.P., Malabadi, R.B., Chougale, R.B. (2022). Polysaccharide-based blend films as a promising material for food packaging applications: physicochemical properties. *Iranian Polymer Journal* 31: 503–518 <https://doi.org/10.1007/s13726-021-01014-8>
- Jiang, L., Wang, F., Xie, X., Xie, C., Li, A., Xia, N., Gong, X., Zhang, H. (2022). Development and characterization of chitosan/guar gum active packaging containing walnut green husk extract and its application on fresh-cut apple preservation. *International Journal of Biological*

- Macromolecules*. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2022.04.145>
- Jouki, M., Yazdi, F.T., Mortazavi, S.A., Koocheki, A. (2013). Physical, barrier and antioxidant properties of a novel plasticized edible film from quince seed mucilage. *International Journal of Biological Macromolecules*. 62:500-507. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2013.09.031>
- Kurt, A., Kahyaoglu, T. (2014). Characterization of a new biodegradable edible film made from salep glucomannan. *Carbohydrate Polymers*. 104:50-58. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2014.01.003>
- Maiti, S., Mishra, D., Nambiraj, N. A., Jaiswal, A. K. (2021). Physical and self-crosslinking mechanism and characterization of chitosan-gelatin-oxidized guar gum hydrogel. *Polymers Testing*, 97, 107155. <https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2021.107155>
- Menazea, A.A., Ismail, A.M., Awwad, N.S., Ibrahim, H.A. (2020). Physical characterization and antibacterial activity of PVA/Chitosan matrix doped by selenium nanoparticles prepared via one-pot laser ablation route. *Journal of Materials Research and Technology*, 9(5):9598-9606. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2020.06.077>
- Rahman, S., Konwar'a, A., Majumdar, G., Chowdhury, D. (2021). Guar gum-chitosan composite film as excellent material for packaging application. *Carbohydrate Polymer Technologies and Applications*, 2, 100158. <https://doi.org/10.1016/j.carpta.2021.100158>
- Priyadarshi, R., Rhim, J. (2020). Chitosan-based biodegradable functional films for food packaging applications. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 62, 102346. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2020.102346>
- Rao, M.S., Kanatt, S.R., Chawla, S.P., Sharma, A. (2010). Chitosan and guar gum composite films: preparation, physical, mechanical and antimicrobial properties. *Carbohydrate Polymers*. 82 (4):1243-1247. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2010.06.058>
- Roy, S.J., Rhim, W. (2020). Preparation of carbohydrate-based functional composite films incorporated with curcumin. *Food Hydrocolloids*, 98:105302. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.105302>
- Santana, R.F., Bonomo, R.C.F. (2024). Thermal analysis for evaluation of biodegradable films: a review. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry* 149:7155–7168. <https://doi.org/10.1007/s10973-024-13339-6>
- Sharma, G., Sharma, S., Kumar, A., Al-Muhtaseb, A.H., Naushad, M., Ghfar, A.A., Mola, G.T., Stadler, F.J. (2018). Guar gum and its composites as potential materials for diverse applications: A review. *Carbohydrate Polymers*, 199:534-545. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2018.07.053>
- Sharma, S., Bhende, M. (2024). An overview: non-toxic and eco-friendly polysaccharides—its classification, properties, and diverse applications. *Polymer Bulletin*. 81:12383–12429 <https://doi.org/10.1007/s00289-024-05307-9>
- Souza, V.G.L., Fernando, A.L., Pires, J.R.A., Rodrigues, P.F., Lopes, A.A., Fernandes, F.M.B., (2017). Physical properties of chitosan films incorporated with natural antioxidants. *Industrial Crops and Products*. 107:565-572. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.04.056>
- Tang, Y., Zhang, X., Zhao, R., Guo, D., Zhang, J. (2018). Preparation and properties of chitosan/guar gum/nanocrystalline cellulose nanocomposite films. *Carbohydrate Polymers*, 197, 128-136. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2018.05.073>
- Wang, F., Xie, C., Ye, R., Tang, H., Jiang, L., Liu, Y. (2023). Development of active packaging with chitosan, guar gum and watermelon rind extract: Characterization, application and performance improvement mechanism. *International Journal of Biological Macromolecules*. 227:711-725. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2022.12.210>
- Yang, K., Dang, H., Liu, L., Hu, X., Li, X., Ma, Z., Wang, X., Ren, T. (2019). Effect of syringic acid incorporation on the physical, mechanical, structural and antibacterial properties of chitosan film for quail eggs preservation. *International Journal of Biological Macromolecules*, 141:876-884. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.08.045>

DONDURARAK KURUTMA YÖNTEMİ İLE İNCİR ÇEKİRDEĞİ YAĞININ ENKAPSÜLASYONU VE TOZ ÜRÜNÜN KARAKTERİZASYONU

Tuğçe YORGANCI, Aslı ZUNGUR BASTIOĞLU, Aslı YORULMAZ*

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

Geliş / Received 25.03.2025; Kabul / Accepted: 25.06.2025; Online baskı / Published online: 05.07.2025

Yorgancı, T., Zungur Bastioğlu, A., Yorulmaz, A. (2025). Dondurarak kurutma yöntemi ile incir çekirdeği yağının enkapsülasyonu ve toz ürünün karakterizasyonu. GIDA (2025) 50 (4) 519-536 doi: 10.15237/gida.GD25045

Yorgancı, T., Zungur Bastioğlu, A., Yorulmaz, A. (2025). Encapsulation of fig seed oil by freeze drying method and characterization of the powder product. GIDA (2025) 50 (4) 519-536 doi: 10.15237/gida.GD25045

ÖZ

Bu çalışmanın amacı, incir çekirdeği yağını dondurarak kurutma yöntemi kullanılarak uygun kaplama materyalleriyle enkapsüle etmektir. Bu amaçla, farklı oranlarda maltodekstrin ve peynir altı suyu protein izolatu ile enkapsüle edilen incir çekirdeği yağı tozlarına fiziksel analizler uygulanmış ve en uygun kaplama materyali oranı belirlenmiştir. Optimal kaplama materyali ile üretilen toz incir çekirdeği yağı 4, 25 ve 60°C'da sıcaklıkta üç ay süreyle depolanmıştır. Sonuçlar fiziksel özellikler, peroksit değerleri ile mikroenkapsülasyon verimi dikkate alındığında optimal kaplama materyali oranının %33 peynir altı suyu izolatu: %67 maltodekstrin olduğunu ortaya koymuştur. Optimal kaplama materyali ile enkapsüle edilen incir çekirdeği yağı tozu örneklerinin depolanmaları sırasında oksidatif stabilitelerinin düştüğü belirlenmiştir. Duyusal analiz sonuçları, incir çekirdeği yağı tozu ile hazırlanan salata sosunun kontrol örneğine kıyasla daha çok beğenildiğini göstermiştir.

Anahtar kelimeler: Dondurarak kurutma, enkapsülasyon, incir çekirdeği yağı, maltodekstrin, peynir altı suyu proteini

ENCAPSULATION OF FIG SEED OIL BY FREEZE DRYING METHOD AND CHARACTERIZATION OF THE POWDER PRODUCT

ABSTRACT

The aim of this study is to encapsulate fig seed oil with suitable coating materials using the freeze-drying method. For this purpose, physical analyses were applied to fig seed oil powders encapsulated with different ratios of maltodextrin and whey protein isolates and the most suitable coating material ratio was determined. Powdered fig seed oil, produced with the optimal coating material, was stored at 4, 25 and 60°C for three months. The results revealed that the optimal coating material ratio was 33% whey protein isolate to 67% maltodextrin, considering the physical properties, peroxide values and microencapsulation efficiency. It was determined that the oxidative stability of fig seed oil powder samples encapsulated with optimal coating material decreased during storage. Sensory analysis results showed that the salad dressing prepared with fig seed oil powder was liked more than the control sample.

Keywords: Freeze drying, encapsulation, fig seed oil, maltodextrin, whey protein isolate

* Yazışmalardan sorumlu yazar / Corresponding author

✉: asliyorulmaz@adu.edu.tr

☎: (+90) 256 220 3700

☎: (+90) 256 220 3799

Tuğçe Yorgancı; ORCID no: 0009-0001-6860-1916

Aslı Zungur Bastioğlu; ORCID no: 0000-0003-0924-4645

Aslı Yorulmaz; ORCID no: 0000-0003-4446-6585

GİRİŞ

Sağlıklı ve uzun yaşamın simgesi olarak kabul edilen incir, yetiştiriciliği yapılan en eski meyvelerden biridir. Akdeniz ülkeleri dünya incir üretiminin yaklaşık %70'ini karşılamaktadır (Göçmez ve Seferoğlu, 2014). İncirin hem taze hem de kuru olarak tüketilebilmesi, incirin dünya çapında önemli bir hasat potansiyeline sahip olmasını sağlamıştır (Dueñas vd., 2008). İncir önemli miktarda lif içeriğiyle birlikte, potasyum, C vitamini, A vitamini, karbonhidrat ve çeşitli fenolik bileşikler içeren zengin bir meyvedir (Mawa vd., 2013). İncirin, proantosyanidinler gibi fenolik bileşiklerin üstün bir kaynağı olduğu ve kırmızı şarap ve çaydan daha yüksek fenolik madde içeriğine sahip olduğu rapor edilmiştir (Vinson vd., 1998).

İncir meyvesi, farklı büyüklüklerde ve sayıları 30 ile 1600 arasında değişebilen çekirdek içermektedir. Bir adet meyvede ortalama çekirdek sayısı 420 olup, Sarı Lop çeşidinde 1000 tohum ağırlığının 1.28 gram olduğu bulgulanmıştır (Çalışkan vd., 2012). İncir çekirdekleri %30'a varan düzeyde yağ içeriğine sahiptir (İçyer vd., 2017). İncir çekirdeklerinde yer alan yağın ekstrakte edilmesiyle elde edilen incir çekirdeği yağı son yıllarda popüler bir ürün haline gelmiştir. İncir çekirdeği yağı yüksek oranda linolenik asit ve bunun yanında daha düşük oranlarda oleik, linoleik, stearik ve palmitik asit içeriklerine sahiptir. İncir çekirdeği yağının ayrıca anlamlı düzeyde γ - tokoferol içerdiği ve zengin bir sterol kaynağı olduğu rapor edilmiştir (Şirinyıldız vd., 2023).

Enkapsülasyon, genel ifadeyle bir madde veya karışımın başka bir sistemle çevrenmesi sürecini tanımlamaktadır. Enfapsülasyon işlemi, gıda sektöründe yaygın olarak kullanılmakla birlikte; kimya, tarım, yem, tıp, eczacılık, biyoteknoloji gibi alanlarda da geniş bir şekilde yer almaktadır (Poncelet, 2006; Çakır, 2007). Enfapsülasyon teknolojisi gıda endüstrisinde gıdaları oluşturan bileşenlerin veya biyoaktif maddelerin korunması, stabilizasyonu ve/veya kontrollü salınımı için kullanılmakta ve bu sayede gıdalarda raf ömrünü uzatma, besin değerini artırma, sindirilebilirliği artırma ve olgunlaşma süresini azaltma gibi birçok fayda sağlamaktadır (Cho vd., 2003; Gökmen vd.,

2012). Enfapsüle edilen çekirdek malzemesi katı, sıvı veya gaz formda gıda bileşeni, enzim, hücre veya aktif bir bileşik; çevreleyen kaplama materyali ise protein ya da karbonhidrat esaslı bir kaplama malzemesi olabilmektedir. Enfapsülasyon işlemi sırasında nişasta, maltodekstrin, pullulan, sakkaroz, maltoz gibi karbonhidratlar; jelatin, peynir altı suyu proteinleri, kazein ve kazeinatlar gibi proteinler ve gam arabik gibi gıamlar kaplama malzemesi olarak kullanılabilmektedir.

Gıda bileşenlerinin enfapsülasyonu için yaygın olarak kullanılan yöntemler arasında püskürtme kurutma, dondurarak kurutma, akışkan yatak kaplama, ekstrüzyon, ko-kristalizasyon, moleküler enfapsülasyon ve kümelenme gibi çeşitli teknikler bulunmaktadır. Liyofilizasyon (dondurarak kurutma) işlemi temel olarak ürünün dondurulması ve buz kristallerinin süblimleşme yoluyla uzaklaştırılması prensibine dayanmaktadır. Bu yöntemde amaç, düşük sıcaklıklarda suyun uzaklaştırılmasını sağlayarak, yüksek sıcaklıkların neden olduğu değişimleri en aza indirmek ve kaliteli gıda ürünleri elde etmektir. Ancak, yüksek maliyet ve uzun işlem süresi bu yöntemin ticari uygulanabilirliğini sınırlamaktadır (Marques vd., 2006). Literatürde meyve (Hammami ve René, 1997; Krokida vd., 2001), kahve (Babic vd., 2009), yumurta (Jaekel vd., 2008) ve tavuk eti (Babic vd., 2009) gibi farklı gıda ürünlerinin liyofilizasyon tekniği ile kurutulduğu çalışmalar mevcuttur. Ratti (2001), dondurarak kurutma işleminin maliyeti yüksek hammaddelerin kurutulması için kullanılması durumunda ekonomik olarak daha uygun olacağını rapor etmiştir.

İncir çekirdeği yağı, her ne kadar yüksek biyoaktif bileşikler açısından zengin bir kaynak olarak öne çıksa da yüksek linolenik asit içeriği sebebiyle oksidasyon tepkimelerine oldukça duyarlıdır. Bu çalışmanın amacı oksidatif stabilitesi düşük olan incir çekirdeği yağının liyofilizasyon yöntemi kullanılarak farklı kaplama materyalleriyle enfapsülasyonunun sağlanması ve bu sayede farklı gıda uygulamaları için kullanılabilir hale getirilmesidir. Bu amaçla uygun kaplama materyali seçilerek enfapsüle incir çekirdeği yağı üretilmiş ve üç farklı sıcaklıkta 3 ay süresince depolanarak,

depolama süresince toz ürünün özellikleri incelenmiştir.

MATERYAL VE YÖNTEM

Materyal

Çalışmada kullanılan incir çekirdeği yağı (üretim yılı: 2022) Egesia Natural Product firmasından temin edilmiştir. Peynir altı suyu protein izolatu (WPI) Ak Gıda San. Tic. A.Ş.'den, maltodekstrin (MD, DE<20) Qinhuangdao Starch Co Ltd. (Çin)'den temin edilmiştir. Emülsifiye edici ajan olarak ise PGPR (poligliserol polirisinolat ester) (Merck, Darmstadt, Almanya) kullanılmıştır.

Yöntem

Emülsiyon Hazırlama ve Liyofilizasyon Tekniği ile Kurutma

Dondurarak kurutma işlemine tabi tutulacak olan emülsiyonlar klasik homojenizasyon işlemi ile mekanik bir homojenizatör (Ultra Turrax T18-IKA, Germany) kullanılarak hazırlanmıştır. Emülsiyonların kuru madde miktarı ile yağ içeriği Güngör (2013)'e göre belirlenmiştir. Emülsiyonlar, kuru madde miktarı %40 (kaplama materyali, yağ ve emülsifiye edici ajan) ve kuru

maddenin %30'u yağ olacak şekilde hazırlanmıştır ve kaplama materyallerinin bileşimi Çizelge 1'de verildiği gibidir. Emülsiyonun stabilizasyonunu sağlamak ve arttırmak amacıyla yağ içerisine %1 oranında emülsifiye edici ajan kullanılmıştır. %100 WPI ile de örnek hazırlanmıştır ancak bu örnek kurumamıştır ve toz ürün özellikleri göstermemiştir. Homojenizasyon işleminde bir beherde kaplama materyali su ilavesiyle 10000 rpm'de 2 dk süresince homojenize edilmiştir. Elde edilen karışım, 30 g yağ ve 0.30 PGPR üzerine ilave edilerek 5 dk süresince 17500 rpm hızında homojenize edilmiştir. Elde edilen emülsiyon petrilere 1 cm kalınlığında dökülerek -18 °C'da 24 saat boyunca bekletilmiş, ardından laboratuvar tipi liyofilizatörde (Labconco, Freezone) kurutulmuştur. Dondurarak kurutma yöntemi ile gerçekleştirilen denemelerde kondenser sıcaklığı -50 °C olarak belirlenmiş olup tüm denemelerde bu sıcaklık sabit tutulmuştur. Dondurarak kurutma yöntemi ile enkapsüle edilen incir çekirdeği yağı örnekleri havan yardımı ile toz haline getirilmiş ve analizlere kadar -18 °C'de muhafaza edilmiştir.

Çizelge 1. Dondurarak kurutulan örneklerin kaplama materyali bileşimleri

Table 1. The wall material composition of freeze-dried samples

Deneme no <i>Experiment number</i>	KM (%) <i>DM (%)</i>	Yağ (%) <i>Oil (%)</i>	MD (%) <i>MD (%)</i>	WPI (%) <i>WPI (%)</i>
1	40	30	100	0
2	40	30	50	50
3	40	30	33	67
4	40	30	67	33
5	40	30	25	75
6	40	30	75	25

KM: Kuru madde, MD: Maltodekstrin, WPI: Peynir altı suyu protein izolatu

DM: Dry matter, MD: Maltodextrin, WPI: Whey protein isolate

Depolama Denemeleri

Dondurarak kurutma yöntemi ile kimyasal ve fiziksel özellikler bakımından en uygun özellikleri sergileyen kaplama materyali oranı kullanılarak enkapsüle edilen incir çekirdeği yağı mikropartikülleri; 4, 25 ve 60 °C'de 90 gün boyunca, alüminyum kaplı polietilen (ALPE) ambalaj malzemesi kullanılarak depolanmıştır. Depolama boyunca 15 günlük aralıklar ile toz ürün özellikleri incelenmiştir.

Model Gıda Uygulaması

Dondurarak kurutma yöntemi ile en uygun kaplama materyali oranı kullanılarak elde edilen incir çekirdeği yağı mikrokapsülleri üretimi sonrası salata sosuna işlenmiş ve ürünlerde duyu analizi gerçekleştirilmiştir. Formülasyona dahil edilen incir çekirdeği yağı oranı ön denemeler ile belirlenmiştir. Hazırlanan 2 farklı salata sosunun bileşimi Çizelge 2'de verildiği gibidir. İncir çekirdeği yağı ve incir çekirdeği yağı

tozu içeren salata sosları Çizelge 2’de sunulan içeriklerin eklenmesinin ardından ev tipi bir el mikseri yardımı (Homend Foodrunner 2036h, Türkiye) ile 1 dakika boyunca karıştırılarak elde edilmiştir.

Çizelge 2. Salata soslarının bileşimi
Table 2. The composition of salad dressings

İçerik (g) Content (g)	1.örnek 1.sample	2.örnek 2.sample
İncir çekirdeği yağı Fig seed oil	20	-
İncir çekirdeği yağı tozu Fig seed oil powder	-	20
Limon Suyu Lemon juice	15	15
Su Water	20	20

Analiz Yöntemleri

Nem ve su aktivitesi

Dondurarak kurutma yöntemi ile elde edilen incir çekirdeği yağı tozlarının nem içeriği etüvde (JEIO TECH, ON-11E, Republic of Korea) kurutma yöntemi ile; su aktivitesi değerleri ise su aktivitesi tayin cihazı (Testo-AG 400, Almanya) kullanılarak ölçülmüştür.

Yığın yoğunluğu ve sıkıştırılmış yoğunluk

Mikroenkapsüle incir çekirdeği yağı tozlarının yığın yoğunluğu, 10 ml hacme sahip silindirik bir kap içerisine hava boşluğu kalmayacak şekilde ancak herhangi bir basınç uygulamaksızın doldurulmasıyla, kütle/hacim oranından hesaplanmıştır (Bhandari vd., 1992). Yığın yoğunluğu, ρ_b olarak ifade edilmiş ve birim olarak kg/m^3 kullanılmıştır. Sıkıştırılmış yoğunluk ise, 2 gram toz örneğin 10 mililitre hacme sahip silindirik bir kabın içine doldurulup sert bir zemine vurularak sıkıştırılması yoluyla belirlenmiştir. Sıkıştırılmış yoğunluk ρ_t olarak ifade edilmiş ve birim olarak kg/m^3 kullanılmıştır.

Akabilirlik

Yığın yoğunluğu ve sıkıştırılmış yoğunluk değerlerinden hesaplanan Carr indeksi (CI), toz ürünlerin akıcılık derecesini belirtmektedir (Carr, 1965). Toz ürünlerin akıcılık seviyesi Eşitlik 1’e göre hesaplanmıştır.

$$CI = \left(\frac{\rho_t - \rho_b}{\rho_t} \right) \times 100 \quad (1)$$

Toz ürünlerin akabilirliği, Carr indeksi (CI) değerlerine göre; CI değerinin 15’ten küçükse çok iyi, 15-20 arasında iyi, 20- 35 arasında zayıf, 35-45 arasında kötü, 45’ten büyük ise çok kötü olarak tanımlanmıştır (Carr, 1965).

Islanabilirlik

Islanabilirlik analizi için, 25 °C (± 1 °C) sıcaklıkta, 100 mililitre saf su içeren 250 mililitrelik bir beher kullanılmıştır. Düzenek, bir beher ve bir cam huniden oluşmaktadır ve beher ile huni arasındaki uzaklık 10 santimetre olarak ayarlanmıştır. Huni içine bir cam test tüpü yerleştirilerek, test tüpünün etrafına 0.1 gram incir çekirdeği yağı tozu örneği yerleştirilmiş ve toz örneğin tamamen ıslanma süresi ölçülmüştür (Jinapong vd., 2008).

Dağılıbilirlik

Dağılıbilirlik analizi için 25 °C (± 1 °C) sıcaklıkta, 10 ml saf su üzerine 1 gram incir çekirdeği yağı tozu eklenmiştir. Kaşık kullanılarak, 15 saniye süresince saat yönünde ve tersinde 25 dairesel hareket yapıldıktan sonra karıştırma sonlandırılmıştır. Rekonstitüe edilmiş örnek, 500 μm ’lik bir elekten süzölmüş ve elde edilen süzöntüden 1 ml alınmış ve darası alınmış alüminyum bir kaba aktarılmıştır. Vakumlu kurutucuda 70 °C (± 1 °C) sıcaklıkta 8 saat boyunca bekletildikten sonra, % dağılıbilirlik aşağıdaki denklem kullanılarak hesaplanmıştır (Jinapong vd., 2008).

$$\% \text{Dağılıbilirlik} = \frac{(10+a) \times \%TS}{a \times \left(\frac{100-b}{100} \right)} \quad (2)$$

a: Toz miktarı (g)

b: Tozun nem içeriği (%)

%TS: Elekten geçen rekonstitüe örneğin yüzde kuru madde miktarı

Renk Tayini

Mikroenkapsüle incir çekirdeği yağı tozlarının L, a, b değerleri renk tayin cihazı (Minolta, CR-300) kullanılarak ölçülmüş, kroma ve Hue değerleri ise aşağıdaki eşitlikler yardımı ile hesaplanmıştır.

$$Kroma = \sqrt{a^2 + b^2} \quad (3)$$

$$Hue = \tan^{-1} \frac{b}{a} \quad (4)$$

Partikül Morfolojisi

Mikroenkapsüle incir çekirdeği yağı tozlarının partikül morfolojisi (x1650), taramalı elektron mikroskobu (SEM) (FEI, QUANTA 250 FEG) kullanılarak belirlenmiştir.

Toplam Yağ Miktarı

Toplam yağ miktarı, Folch vd. (1957) yöntemine göre gerçekleştirilmiştir. Mikroenkapsüle incir çekirdeği yağı tozu, 80 ml kloroform/metanol (50:50, v/v) karışımında çözölmüş ve çözgen döner buharlaştırıcıda uzaklaştırıldıktan sonra numune, 103±2 °C'de 1 saat boyunca sabit bir tartıma getirilmiştir.

Ekstrakte Edilebilir Yağ Miktarı (Yüzey Yağı)

Mikroenkapsüle incir çekirdeği yağı tozu (5 g), petrol eteri (25 ml) ile 25 °C'de 15 dk boyunca çalkalamalı su banyosunda 75 rpm çalkalama hızında karıştırılarak ekstrakte edilmiş ve sonrasında karışım filtre edilerek 102 °C'de 1 saat süresince kurutulmuştur. Elde edilen yağ miktarı gravimetrik yöntemle belirlenmiştir (Zungur, 2013).

Mikroenkapsülasyon Verimi

Mikroenkapsülasyon verimi (MV), Pauletti ve Amestoy (1999) tarafından önerilen yöntemle göre, aşağıda verilen eşitlikle hesaplanmıştır.

$$MV = \frac{\text{Toplam yağ içeriği} - \text{Ekstrakte Edilebilir Yağ İçeriği}}{\text{Toplam Yağ İçeriği}} \times 100 \quad (5)$$

Duyusal Analiz

İncir çekirdeği yağı ve incir çekirdeği yağı tozu kullanılarak 2 farklı formülasyon halinde hazırlanan salata sosu örnekleri tat, koku, görünüş, aroma, kıvam ve genel beğeni açısından yarı eğitilmiş 10 kişilik bir panel grubu tarafından her bir kriter için 5 puan üzerinden hedonik test uygulanarak değerlendirilmiştir.

İstatistik Analiz

Analizler sonucu elde edilen veriler SPSS v15.0 (IBM, ABD) paket programı kullanılarak varyans analizine (ANOVA) tabi tutulmuştur. Ortalamalar arası fark Duncan testi ile belirlenmiştir. İstatistik analizlerde 0.05 önem düzeyi kullanılmıştır.

BULGULAR VE TARTIŞMA**Farklı kaplama materyalleriyle üretilen incir çekirdeği yağı tozunun fiziksel özellikleri**

Farklı kaplama materyalleriyle üretilen incir çekirdeği yağı tozunun fiziksel özellikleri Çizelge 3'te verildiği gibidir.

Toz ürünlerin nem içerikleri depolanmaları sırasında önemli bir özellik olarak öne çıkmaktadır. Yüksek nem oranı, ürünün akıcılığını azalttığı gibi, üründe yer alan yağın oksidasyonuna yol açabilir (Botrel vd., 2011). İncir çekirdeği yağı toz örneklerinin nem içerikleri %0.73 (%100 MD) ile %1.99 (%33 MD: %67 WPI) ve %2.18 (%25 MD: %75 WPI) arasında değişen değerler almıştır. Bu değerler, gıda endüstrisinde kurutulmuş ürünler için belirlenen maksimum %3-4'lük nem sınırının altındadır (Klinkesorn vd., 2005).

Su aktivitesi (a_w), gıdalarda bulunan serbest su miktarının bir ifadesi olup, suyun gıda ürünlerine yapısal olarak ne kadar sıkı bağlandığının bir ölçüsüdür. Toz ürünlerin su aktivitesi; oksidasyon, enzimatik olmayan esmerleşme ve mikrobiyal gelişmenin önlenmesi ve gıda stabilitesinin korunması için genellikle 0.25'in altında olmalıdır (Zungur, 2013). Tüm incir çekirdeği yağı tozu örneklerinin su aktivitesi değerleri bu kritik sınırın altında tespit edilmiştir. Mikroenkapsüle edilmiş incir çekirdeği yağı tozunun en düşük a_w değeri 0.01 olarak %100 MD oranında elde edilmiştir.

Kurutulmuş gıdalarda renk, ürünün albenisini etkileyen önemli bir kriterdir. Gıda formülasyonlarına dahil edilen bileşenlerin, son ürünün rengini olumsuz yönde değiştirmesi arzu edilmeyen bir durumdur. Mikroenkapsüle incir çekirdeği yağı tozu için en düşük L değeri %25 MD: %75 WPI oranında 59.33 olarak kaydedilirken; en yüksek L değeri 81.07 (%100 MD) ve 79.32 (%75 MD: %25 WPI) olarak tespit edilmiştir. İncir çekirdeği yağı tozlarının L değerleri incelendiğinde, MD içeriği yüksek örneklerin daha yüksek bir L değerine sahip olduğu belirlenmiştir. Bu durumun nedeninin maltodekstrinin beyaz renkte olmasından kaynaklanabileceği değerlendirilmektedir. Mikroenkapsüle incir çekirdeği yağı tozu için en düşük a değeri %100 MD oranında 0.25 olarak

bulunurken; en yüksek a değeri %33 MD: %67 WPI oranında 8.56 olarak bulunmuştur. Örneklerin b değeri en düşük %100 MD oranında 16.58 olarak hesaplanırken; en yüksek b değeri %33 MD: %67 WPI oranında 26.19 ve %67 MD: %33 WPI oranında 21.48 olarak belirlenmiştir. En

düşük kroma değeri 16.58 %100 MD oranında elde edilirken; en yüksek kroma değeri olan 27.55 %33 MD: %67 WPI oranında tespit edilmiştir. En düşük Hue değeri olan 71.90 %33 MD: %67 WPI oranında elde edilirken; en yüksek Hue değeri olan 89.10 %100 MD oranında bulunmuştur.

Çizelge 3. Farklı kaplama materyalleriyle üretilen incir çekirdeği yağı tozunun fiziksel özellikleri
Table 3. Physical properties of fig seed oil powder produced by different coating materials

Fiziksel özellikler Physical properties	Deneme No Experiment Number					
	1	2	3	4	5	6
Nem (%) Moisture (%)	0.73±0.04 ^a	1.29±0.11 ^{bc}	1.99±0.11 ^d	1.12±0.18 ^b	2.18±0.10 ^d	1.53±0.01 ^c
Su aktivitesi Water activity	0.01±0.00 ^a	0.02±0.00 ^b	0.05±0.00 ^c	0.03±0.00 ^c	0.05±0.00 ^c	0.05±0.00 ^d
L değeri L value	81.07±1.45 ^d	73.26±0.16 ^c	74.21±0.51 ^c	70.82±0.96 ^b	59.33±1.32 ^a	79.32±0.72 ^d
a değeri a value	0.25±0.07 ^a	7.31±0.25 ^c	8.56±0.25 ^f	6.64±0.46 ^d	5.34±0.32 ^c	4.70±0.01 ^b
b değeri b value	16.58±0.90 ^a	24.72±0.15 ^d	26.19±0.51 ^c	21.48±0.13 ^c	17.90±0.28 ^b	22.39±0.09 ^c
Kroma Chrom	16.58±0.90 ^a	25.78±0.21 ^d	27.55±0.56 ^c	22.49±0.26 ^c	18.68±0.33 ^b	22.88±0.09 ^c
Hue Hue	89.10±0.28 ^d	73.52±0.45 ^b	71.90±0.17 ^a	72.83±1.03 ^{ab}	73.39±0.79 ^b	78.15±0.05 ^c
YY (kg/m ³) BD	0.26±0.01 ^d	0.23±0.01 ^{ab}	0.24±0.02 ^{abc}	0.21±0.00 ^a	0.25±0.01 ^{bc}	0.23±0.01 ^{ab}
SY (kg/m ³) TD (kg/m ³)	0.34±0.00 ^d	0.29±0.01 ^c	0.29±0.01 ^{bc}	0.26±0.01 ^a	0.30±0.00 ^c	0.27±0.01 ^{ab}
CI (%) CI (%)	22.40±3.40	19.03±3.59	17.18±4.08	17.03±1.22	18.24±2.03	15.89±4.95
Dağılılırlik (%) Dispersibility (%)	80.98±3.36 ^a	95.57±1.26 ^b	98.21±1.22 ^c	97.33±1.88 ^c	81.71±2.48 ^a	100.00±1.23 ^d
Islanabilirlik (s) Wettability (s)	12.33±2.05 ^a	64.67±2.05 ^c	57.67±2.05 ^d	32.00±1.63 ^b	73.67±2.62 ^f	42.33±2.05 ^c

Aynı satırdaki farklı küçük harfler uygulamalar arasındaki anlamlı farkı ifade etmektedir ($p<0.05$)

Different lowercase letters on the same line indicate significant differences between applications ($p<0.05$)

YY: Yığın Yoğunluğu, SY: Sıkıştırılmış Yoğunluk, CI: Carr İndeks

BD: Bulk Density, TD: Tapped Density, CI: Carr Index

Toz ürünlerin yığın özelliklerini ortaya koyan yığın yoğunluğu, sıkıştırılmış yığın yoğunluğu ve akabilirlik değerleri, ürünün parçacık çapı ve parçacık boyutu dağılımı ile ilişkilidir (Barbosa-Cánovas vd., 2005). Yığın yoğunluğunun düşük olması, ürünün paket hacmini artırarak istenmeyen bir duruma yol açabildiği gibi; ürün boşlukları arasında hava tutarak oksidasyon riskini artırır ve ürünün depolama stabilitesinin azalmasına yol açar (Koç vd., 2011). Mikroenkapsüle incir çekirdeği yağı tozu

örneklerinin ortalama yığın yoğunluğu değerleri 0.21 g/cm³ (%67 MD: %33 WPI) ve 0.26 g/cm³ (%100 MD) arasında değişmiştir. Nakilcioğlu-Taş ve Ötleş (2021), mikroenkapsüle zeytin çekirdeği tozunun yığın yoğunluğunun 0.26 g/cm³ düzeyinde olduğunu rapor etmişlerdir. İncir çekirdeği yağı tozunun sıkıştırılmış yoğunluk değerlerinin 0.26 g/cm³ (%67 MD: %33 WPI) ve 0.34 g/cm³ (%100 MD) arasında değiştiği belirlenmiştir. Yığın yoğunluğu ve sıkıştırılmış yoğunluğu arasındaki farkın yüksek olması ürünün

akabilirliğinin kötü olduğunun bir işaretidir (Koç vd., 2011). Carr Index değerlerinin 15 ile 20 arasında çıkması ürünlerin akabilirlik özelliklerinin iyi olduğunu göstermektedir. İncir çekirdeği yağı tozlarının Carr indeks değerleri 15.89 (%75 MD: %25 WPI) ve 22.40 (%100 MD) arasında değişen değerler almıştır ve değerler arasında istatistiki olarak anlamlı fark tespit edilmemiştir.

Toz ürünlerin dağılıbilirlik ve ıslanabilirlik özellikleri; partikül boyutu, yoğunluğu, gözenekli yapısı ve yüzey alanı gibi faktörlere bağlıdır. Toz ürünlerin ıslanabilirliği, sıvının tozun yüzeyi altında emilme yeteneğini ölçen bir parametredir ve genellikle temas açısıyla belirlenmektedir. Hidrofobik kaplama maddeleriyle kaplanmış yüzeylerde, çoğunlukla geniş bir temas açısı meydana gelir ve bu durum, zayıf ıslanma özelliğine işaret eder. Ancak, higroskopik kaplama maddeleriyle kaplanmış yüzeyler tam tersi etki gösterir ve iyi bir ıslanma özelliğine sahip olurlar. Yüzeydeki serbest yağlar, ıslanabilirliği azaltmaktadır ve emülsifiye edici maddelerin kullanılmasıyla, yağ içeren kurutulmuş tozların ıslanabilirliğinin arttığı belirtilmektedir. Büyük yığınlar, ıslanmayı zorlaştırabilir (Hui vd., 2008). Mikroenkapsüle incir çekirdeği yağı tozlarının en düşük ıslanabilirlik süresi 12.33 s olarak ölçülmüştür ve bu değer %100 MD oranında elde edilmiştir. En yüksek ıslanabilirlik süresi ise 73.67 s olarak bulunmuş ve bu oran %25 MD: %75 WPI koşulunda tespit edilmiştir. MD oranı azaldıkça ıslanabilirlik sürelerinde de artış olduğu belirlenmiştir.

Dağılıbilirlik, aglomere veya topaklanmış toz ürünün çözelti içinde hafif bir karıştırma ile homojen bir şekilde dağılabilme yeteneğini ifade etmektedir (Hui vd., 2008). Bu özellik, toz ürünün gıda endüstrisinde kullanılabilirliğini belirleyen önemli bir parametre olup, yüksek olması arzu edilir. İncir çekirdeği yağı tozlarının en düşük dağılıbilirlik değerleri %100 MD ile kaplanan (%80.98) ve %25 MD: %75 WPI ile kaplanan (%81.71) örneklerde tespit edilmiştir. En yüksek dağılıbilirlik değeri ise (%100) %75 MD: %25 WPI kaplama oranında tespit edilmiştir. Kaplama materyali içeriğine göre toz örneğinin dağılıbilirliğinin değişmesi yüzey özelliklerinin

değişmesi ile ilişkilendirilebilir. Kullanılan kaplama materyali içeriğine bağlı olarak kaplama performansı değişiklik göstermekte, yüzey yağında değişim olmaktadır ve bu durum da tozların su içerisinde dağılıbilirliğini etkilemektedir (Balasubramani vd., 2015).

Partikül morfolojisi

Dondurarak kurutma yöntemiyle elde edilen 6 farklı içeriğe sahip örneklerin mikroenkapsüle incir çekirdeği yağı tozlarına ait taramalı elektron mikroskobu (SEM) görüntüleri Şekil 1'de verildiği gibidir. Görüntüler, ürünlerin partikül çaplarının homojen yapıda olmadığını ortaya koymaktadır. %100 MD içeren örneklerin partikül çapları çok küçük iken; %67 MD: %33 WPI dışındaki örneklerde partiküllerin şekillerini korumadığı ve küresel yapının bozulduğu gözlemlenmektedir. Partikül morfolojisi ve mikroenkapsüle örneklerin yüzey yağı arasında bir ilişki olduğu yapılan çalışmalarda sunulmaktadır (Bae ve Lee, 2008; Vega ve Roos, 2006). Yüzey yağın artışına bağlı olarak mikropartiküllerin şekillerinde aglomerasiyona bağlı olarak deformasyonlar gözlemlenebilmektedir.

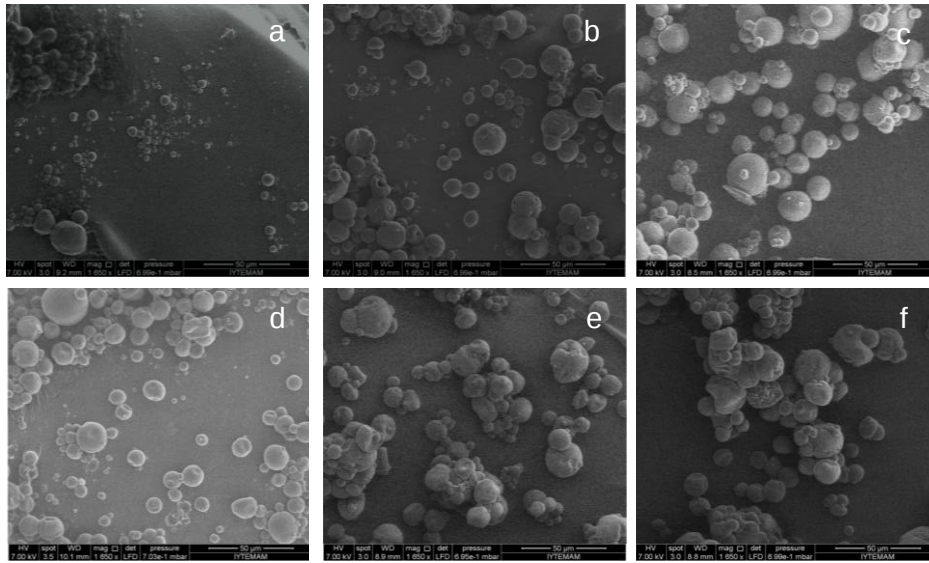
Farklı kaplama materyalleriyle üretilen incir çekirdeği yağı tozunun mikroenkapsülasyon verimi ve peroksit değerleri

Mikroenkapsüle edilmiş incir çekirdeği yağı tozlarının kaplama materyali değişimine bağlı olarak değişen mikroenkapsülasyon verimi ve peroksit değerleri Çizelge 4'te verilmiştir.

Toz ürünlerde mikroenkapsülasyon işleminin etkinliğini belirlemek için kullanılan önemli bir gösterge mikroenkapsülasyon verimidir. Mikroenkapsüle incir çekirdeği yağı tozu için en düşük mikroenkapsülasyon verimi değeri %63.52 ile %100 MD oranında elde edilirken, en yüksek mikroenkapsülasyon verimi değeri ise %80.28 ile %67 MD: %33 WPI oranında bulgulanmıştır. Genel bir yaklaşım olarak enkapsüle ürünlerde mikroenkapsülasyon verimlerinin %80 düzeyinde olması istenmektedir (Zungur, 2013). Bu duruma en uygun örneğin, en yüksek ekstraksiyon verimine sahip olan %33 WPI: %67 MD olduğu görülmüştür. Maltodekstrin, yüksek katı madde konsantrasyonunda düşük viskozite, iyi

çözünürlük, oksidasyona karşı iyi koruma nedeniyle mikroenkapsülasyonda duvar malzemesi olarak yaygın olarak kullanılan bir materyaldir. (Madene vd. 2006). Ancak zayıf emülsiyetme kapasitesine sahiptir, bu nedenle de mikroenkapsülasyon çalışmalarında başka bir kaplama materyali ile kombine edilmesine ihtiyaç duyulmaktadır. Hogan vd. (2001) tek bir duvar malzemesinin ideal bir kapsülleme maddesi için gereken tüm özelliklere sahip olmadığını, kapsülleme özelliklerini geliştirmeye yönelik yaklaşımların karbonhidrat ve protein

karışımlarına odaklandığını bildirmiştir. Peynir altı suyu proteinlerinin, emülsiyonun damlacık arayüzlerinde kalın viskoelastik filmler oluşturarak lipit oksidasyonunu engellemesi nedeniyle etkili bir duvar malzemesi olduğu bildirilmiştir (Hu vd. 2003). Kaplaması gerçekleştirilecek yağın özelliklerine ve kullanılan kurutma yöntemine ve kurutma işlem koşullarına bağlı olarak kaplama materyali içeriğinde meydana gelecek ufak değişimler son ürün özellikleri üzerinde etkili olabilmektedir.



Şekil 1. Dondurarak kurutma yöntemiyle elde edilen 6 örneğin incir çekirdeği yağı tozlarına ait taramalı elektron mikroskobu (SEM) görüntüleri (x1650) (a: %100 MD; b: %50 MD: %50 WPI; c: %33 MD: %67 WPI; d: %67 MD: %33 WPI; e: %25 MD: %75 WPI; f: %75 MD: %25 WPI)

Figure 1. Scanning electron microscope (SEM) images of fig seed oil powders of 6 samples obtained by freeze drying method (x1650) (a: %100 MD; b: %50 MD: %50 WPI; c: %33 MD: %67 WPI; d: %67 MD: %33 WPI; e: %25 MD: %75 WPI; f: %75 MD: %25 WPI)

Çizelge 4. Farklı kaplama materyalleriyle üretilen incir çekirdeği yağı tozunun mikroenkapsülasyon verimleri ve peroksit değerleri

Table 4. Microencapsulation efficiencies and peroxide values of fig seed oil powders produced by different coating materials

Deneme No Experiment Number	Mikroenkapsülasyon verimi (%) Microencapsulation efficiency (%)	Peroksit Değeri (meq O ₂ /kg yağ) Peroxide Value (meq O ₂ / kg yağ)
1	63.52±5.84 ^a	13.58±0.20 ^b
2	72.29±1.12 ^{ab}	14.79±0.00 ^c
3	70.64±0.07 ^{ab}	7.98±0.17 ^a
4	80.28±0.53 ^b	18.20±0.23 ^d
5	68.09±1.25 ^{ab}	23.24±0.09 ^e
6	71.90±6.31 ^{ab}	8.23±0.12 ^a

Aynı sütundaki farklı küçük harfler uygulamalar arasındaki anlamlı farkı ifade etmektedir ($p < 0.05$)

Different lower case letters in the same column indicate significant differences between applications ($p < 0.05$)

Yağlardaki peroksit değeri, yağın bozulma seviyesi ve saklanabilme süresi hakkında fikir veren önemli bir parametredir (Göğüş vd., 2009). Mikroenkapsüle incir çekirdeği yağı tozu için en düşük peroksit değeri 7.98 meq O₂/kg yağ ile %33 MD: %67 WPI oranında elde edilirken; en yüksek peroksit değeri ise 23.24 meq O₂/kg yağ %25 MD: %75 WPI oranında bulgulanmıştır.

Farklı kaplama materyalleri kullanılarak üretilen mikroenkapsüle incir çekirdeği yağı tozlarının nem içeriği, su aktivitesi, yığın yoğunluk, sıkıştırılmış yoğunluk, akabilirlik, ıslanabilirlik, dağılıbilirlik, renk değerleri, mikroenkapsülasyon verimi ve peroksit değerleri incelendiğinde 6 örnekli deneme deseninden elde edilen MD: WPI oranına göre en uygun olan ve depolama analizlerinde kullanılacak örneğin %33 WPI: %67 MD örneği olmasına karar verilmiştir.

İncir çekirdeği yağı tozunun depolama stabilitesi

Mikroenkapsüle incir çekirdeği yağı tozunun (%33 WPI: %67 MD) 4, 25 ve 60 °C sıcaklıklarda 90 gün boyunca depolanması ile nem içeriği, su

aktivitesi, yığın yoğunluğu, sıkıştırılmış yoğunluk, akabilirlik, ıslanabilirlik, dağılıbilirlik analiz sonuçları ile renk değerleri Çizelge 5-14'te verildiği gibidir.

Toz ürünlerin muhafaza edilme sürecinde, nem içeriği ve su aktivitesi değerleri büyük öneme sahiptir (Botrel vd., 2011). Toz ürünlerin depolanması esnasında yüksek nem içeriği, yağ oksidasyonunu artırabilir ve ürünün akışkanlığını etkileyebilir. Bu nedenle, nem içeriği depolama süresince kontrol altında tutulması gereken kritik bir parametredir (Sims, 1989). Farklı sıcaklıklarda depolanmış incir çekirdeği yağı tozu örneklerinin nem içerikleri depolama süresince %1.24 ile %2.48 arasında değişim göstermiştir. Depolama süresinde her sıcaklık için nem değerlerinde dalgalanmalar gözlenirse de 60 °C'de başlangıca göre artış gözlenmiş olup; 25 °C'de ise bir düşüş görülmektedir. Bu durum depolama sıcaklığının artışına bağlı olarak mikrokapsül yapısında bozulmaların meydana gelmesi ile ilişkilendirilebilir.

Çizelge 5. Farklı sıcaklıklarda depolanan incir çekirdeği yağı tozunun nem içerikleri

Table 5. Water contents of fig seed oil powder stored at different temperatures

Depolama süresi (gün) Storage time (day)	Depolama sıcaklığı (°C) Storage temperature (°C)		
	4	25	60
0	1.83±0.10 ^{bc,A}	1.83±0.10 ^{bce,A}	1.83±0.10 ^{bc,A}
15	1.64±0.15 ^{ab,A}	1.55±0.16 ^{ab,A}	1.67±0.04 ^{b,A}
30	1.24±0.10 ^{a,A}	1.41±0.04 ^{a,A}	1.29±0.09 ^{a,A}
45	2.08±0.07 ^{c,A}	1.99±0.14 ^{cd,A}	2.02±0.11 ^{c,A}
60	2.18±0.18 ^{c,A}	2.17±0.05 ^{d,A}	1.88±0.00 ^{bc,A}
75	2.07±0.12 ^{c,A}	1.99±0.12 ^{cd,A}	2.00±0.06 ^{c,A}
90	1.85±0.06 ^{bc,A}	1.71±0.02 ^{abc,A}	2.48±0.09 ^{d,B}

Aynı sütundaki farklı küçük harfler depolama günlerini, aynı satırdaki büyük harfler depolama sıcaklıkları arasındaki anlamlı farkı ifade etmektedir ($p<0.05$)

Different lowercase letters in the same column indicate storage days, and capital letters in the same line indicate significant differences between storage temperatures ($p<0.05$)

Toz ürünlerde oksidasyon, enzimatik olmayan esmerleşme ve mikrobiyal gelişimi kontrol altında tutmak için ürünlerin su aktivitesi değeri 0.1 – 0.2 aralığında bir değer olmalıdır (Pala ve Saygı, 1983). Dondurarak kurutma yöntemiyle elde edilen mikroenkapsüle incir çekirdeği yağı tozlarının farklı depolama sıcaklıklarında her koşul için ölçülen su aktivitesi değerleri, bu kritik değer olan

0.1 - 0.2 değerlerinin aralığındadır (Çizelge 6). Farklı sıcaklıklarda depolanmış incir çekirdeği yağı tozu örneklerinin su aktivitesi değerleri depolama süresi boyunca 0.03 ile 0.06 arasında değişim göstermiştir. Depolama süresince her üç sıcaklık değeri için de su aktivitesi değerlerinde başlangıca göre sayısal bir artış gözlenmiştir.

Çizelge 6. Farklı sıcaklıklarda depolanan incir çekirdeği yağı tozunun su aktiviteleri
 Table 6. Water activities of fig seed oil powder stored at different temperatures

Depolama süresi (gün) Storage time (day)	Depolama sıcaklığı (°C) Storage temperature (°C)		
	4	25	60
0	0.03±0.00 ^{a,A}	0.03±0.00 ^{a,A}	0.03±0.00 ^{a,A}
15	0.03±0.00 ^{a,A}	0.03±0.00 ^{a,A}	0.03±0.00 ^{a,B}
30	0.04±0.00 ^{b,A}	0.04±0.00 ^{a,B}	0.04±0.00 ^{a,B}
45	0.04±0.00 ^{b,A}	0.04±0.00 ^{a,A}	0.05±0.00 ^{a,B}
60	0.05±0.00 ^{c,A}	0.05±0.00 ^{a,B}	0.06±0.00 ^{a,C}
75	0.05±0.00 ^{c,B}	0.05±0.00 ^{a,A}	0.06±0.00 ^{d,B}
90	0.06±0.00 ^{a,C}	0.05±0.00 ^{a,A}	0.06±0.00 ^{a,B}

Aynı sütundaki farklı küçük harfler depolama günlerini, aynı satırdaki büyük harfler depolama sıcaklıkları arasındaki anlamlı farkı ifade etmektedir ($p<0.05$)

Different lowercase letters in the same column indicate storage days, and capital letters in the same line indicate significant differences between storage temperatures ($p<0.05$)

Farklı sıcaklıklarda depolanmış incir çekirdeği yağı tozu örneklerinin ortalama yığın yoğunluğu değerlerinin depolama süresince 0.17 kg/m³ ile 0.21 kg/m³ arasında değiştiği görülmüştür. Örneklerin sıkıştırılmış yoğunluk değerleri ise 0.23 kg/m³ ile 0.27 kg/m³ aralığında değişmiştir. Sıkıştırılmış yoğunluk değerleri 4°C'de depolama süresinde başlangıca göre düşüş göstermişken; 25 ve 60°C'de depolama sırasında ise önemli bir değişim gözlenmemiştir. Örneklerin Carr indeks (akabilirlik) değerleri 11.88 ile 30.38 arasında değişmiştir ve bu değerler (<40) örneklerin kabul edilebilir düzeyde bir akışkanlığa sahip olduklarını göstermektedir. Akabilirlik, depolama, taşıma, formülasyon ve karıştırma işlemleri sırasında gıda tozları için önem taşıyan bir diğer özelliktir. Bu

nedenle, uygun depolama koşullarını belirlemek için bu değişkenlerin etkisinin farkında olmak gerekir (Zungur Bastıoğlu vd., 2017). Depolama esnasında akabilirlik değerlerinde dalgalanmalar gözlenmiş olsa da 90 günlük depolama sonunda 25 ve 60°C'de depolanan örneklerde değişim gözlenmemiştir. 4°C'da meydana gelen düşüş buzdolabı koşullarında depolama sırasında yüzey özelliklerinde meydana gelen değişim ile açıklanabilir. Zungur Bastıoğlu vd. (2017) tarafından yapılan mikroenkapsüle zeytinyağı tozunun farklı sıcaklıklarda depolanmasının ürünün fizikokimyasal özellikleri üzerine etkisinin incelendiği çalışmada da benzer şekilde 4°C'de depolanan örneklerin depolama sonu CI değerleri diğer sıcaklıklara göre daha düşük bulunmuştur.

Çizelge 7. Farklı sıcaklıklarda depolanan incir çekirdeği yağı tozunun yığın yoğunluğu değerleri
 Table 7. Bulk densities of fig seed oil powder stored at different temperatures

Depolama süresi (gün) Storage time (day)	Depolama sıcaklığı (°C) Storage temperature (°C)		
	4	25	60
0	0.21±0.00 ^{c,A}	0.21±0.00 ^{b,A}	0.21±0.00 ^{ab,A}
15	0.17±0.00 ^{a,A}	0.20±0.00 ^{a,B}	0.20±0.00 ^{a,B}
30	0.21±0.00 ^{bc,A}	0.20±0.00 ^{ab,A}	0.21±0.00 ^{ab,A}
45	0.21±0.00 ^{bc,A}	0.20±0.00 ^{ab,A}	0.23±0.01 ^{b,A}
60	0.20±0.00 ^{bc,A}	0.20±0.00 ^{ab,A}	0.21±0.00 ^{a,A}
75	0.20±0.00 ^{bc,A}	0.21±0.00 ^{b,A}	0.21±0.00 ^{a,A}
90	0.20±0.00 ^{b,A}	0.20±0.00 ^{a,A}	0.21±0.00 ^{a,A}

Aynı sütundaki farklı küçük harfler depolama günlerini, aynı satırdaki büyük harfler depolama sıcaklıkları arasındaki anlamlı farkı ifade etmektedir ($p<0.05$)

Different lowercase letters in the same column indicate storage days, and capital letters in the same line indicate significant differences between storage temperatures ($p<0.05$)

Çizelge 8. Farklı sıcaklıklarda depolanan incir çekirdeği yağı tozunun sıkıştırılmış yığın yoğunluğu değerleri

Table 8. Tapped densities of fig seed oil powder stored at different temperatures

Depolama süresi (gün) Storage time (day)	Depolama sıcaklığı (°C) Storage temperature (°C)		
	4	25	60
0	0.25±0.00 ^{cd,A}	0.25±0.00 ^{a,A}	0.25±0.00 ^{a,A}
15	0.24±0.01 ^{ab,AB}	0.23±0.00 ^{a,A}	0.26±0.00 ^{ab,B}
30	0.24±0.00 ^{ab,AB}	0.24±0.00 ^{a,A}	0.25±0.00 ^{a,B}
45	0.24±0.00 ^{bc,A}	0.24±0.00 ^{a,A}	0.27±0.01 ^{b,A}
60	0.25±0.00 ^{d,A}	0.25±0.02 ^{a,A}	0.25±0.00 ^{a,A}
75	0.24±0.00 ^{ab,A}	0.24±0.00 ^{a,A}	0.26±0.00 ^{ab,B}
90	0.23±0.00 ^{a,A}	0.24±0.00 ^{a,A}	0.25±0.00 ^{a,B}

Aynı sütundaki farklı küçük harfler depolama günlerini, aynı satırdaki büyük harfler depolama sıcaklıkları arasındaki anlamlı farkı ifade etmektedir ($p<0.05$)

Different lowercase letters in the same column indicate storage days, and capital letters in the same line indicate significant differences between storage temperatures ($p<0.05$)

Çizelge 9. Farklı sıcaklıklarda depolanan incir çekirdeği yağı tozunun Carr Index değerleri

Table 9. Carr Indices of fig seed oil powder stored at different temperatures

Depolama süresi (gün) Storage time (day)	Depolama sıcaklığı (°C) Storage temperature (°C)		
	4	25	60
0	16.16±0.16 ^{c,A}	16.16±0.16 ^{c,A}	16.16±0.16 ^{b,A}
15	30.38±0.38 ^{e,C}	15.71±0.65 ^{c,A}	20.01±0.40 ^{c,B}
30	13.12±0.88 ^{a,A}	13.12±0.88 ^{ab,A}	13.43±0.85 ^{a,A}
45	15.14±0.86 ^{b,A}	15.00±1.00 ^{bc,A}	15.94±0.39 ^{b,A}
60	20.00±0.22 ^{d,B}	21.78±0.22 ^{d,C}	16.16±0.16 ^{c,A}
75	14.14±0.12 ^{ab,B}	11.88±0.12 ^{a,A}	19.80±0.20 ^{c,C}
90	13.86±0.65 ^{ab,A}	16.65±0.65 ^{c,B}	17.50±0.50 ^{b,B}

Aynı sütundaki farklı küçük harfler depolama günlerini, aynı satırdaki büyük harfler depolama sıcaklıkları arasındaki anlamlı farkı ifade etmektedir ($p<0.05$)

Different lowercase letters in the same column indicate storage days, and capital letters in the same line indicate significant differences between storage temperatures ($p<0.05$)

Toz ürünlerde dağılılabilirlik ve ıslanabilirlik; partikülün boyutuna, yoğunluğuna, porozitesine ve yüzey alanına bağlı olarak değişim gösteren özelliklerdir (Kim vd. 2002). Toz ürünlerin sıvı emme yeteneğini ölçen ıslanabilirlik değerleri mikroenkapsüle incir çekirdeği yağı tozları için depolama süresince 34.5-57.5 s aralığında değişmiştir. Depolama süresinde tüm sıcaklıklarda ıslanabilirlik değerlerinde dalgalanmalar gözlenirse de, 90. gün sonunda başlangıca göre artış gözlenmiştir ve en fazla artış 60 °C'de tespit edilmiştir. Tozların ıslanabilirliği, genellikle tozun yüzeyi ve penetre olan su arasındaki açıyla belirlenir. Bu sebeple tozun yüzey kompozisyonu, tozun ıslanabilme sürecinde önemli bir işleve

sahiptir. Bunlara ek olarak büyük yığınlar da ıslanmayı zorlaştırabilmektedir (Hui vd., 2008). Depolama sıcaklığının artışına bağlı olarak yüzey yağının özelliklerinin değişimi ve buna bağlı olarak topaklanmanın artışına bağlı olarak ıslanabilirlik değerlerinde artış gözlenmiştir.

Toz ürünlerin sıvı ortama karıştırıldığında bireysel partiküllere ayrılma yeteneğini ölçen bir parametre olan dağılılabilirlik, incir çekirdeği yağı tozlarında 86.03 ile 100 arasında değişen değerler almıştır. Elde edilen sonuçlar literatür ile uyum içerisindedir (Zou vd., 2025). Örneklerin dağılılabilirlik değerlerinin 25 ve 60°C'de depolanan örneklerde depolama sonunda azaldığı

gözlemlenmiştir. Örneklerin yüzey yağı miktarının zamanla artması, toz ürünlerin etrafında bir yağ tabakası oluşturarak ürünün su içinde homojen bir şekilde dağılmasına engel oluşturmaktadır. Ayrıca ıslanabilirliğin tersine daha büyük

partiküller suda daha kolay dağılırken, daha küçük partiküller dağılma sırasında yüzerek rehidrasyon özelliklerini etkileme eğilimi göstermektedir (Goula and Adamopoulos, 2008).

Çizelge 10. Farklı sıcaklıklarda depolanan incir çekirdeği yağı tozunun ıslanabilirlik değerleri

Table 10. Wettability values of fig seed oil powder stored at different temperatures

Depolama süresi (gün) Storage time (day)	Depolama sıcaklığı (°C) Storage temperature (°C)		
	4	25	60
0	34.50±0.50 ^{a,A}	34.50±0.50 ^{a,A}	34.50±0.50 ^{a,A}
15	51.00±1.00 ^{c,B}	47.50±0.50 ^{c,AB}	46.00±1.00 ^{c,A}
30	42.50±2.50 ^{b,A}	51.00±1.00 ^{d,B}	53.50±1.50 ^{de,B}
45	56.50±1.50 ^{c,B}	46.50±1.50 ^{c,A}	52.50±2.50 ^{d,AB}
60	44.50±0.50 ^{b,A}	41.00±1.00 ^{b,A}	41.00±1.00 ^{b,A}
75	52.50±2.50 ^{c,A}	54.50±0.50 ^{d,A}	53.00±1.00 ^{de,A}
90	53.50±1.50 ^{c,AB}	49.00±1.00 ^{cd,A}	57.50±0.50 ^{e,B}

Aynı sütundaki farklı küçük harfler depolama günlerini, aynı satırdaki büyük harfler depolama sıcaklıkları arasındaki anlamlı farkı ifade etmektedir ($p<0.05$)

Different lowercase letters in the same column indicate storage days, and capital letters in the same line indicate significant differences between storage temperatures ($p<0.05$)

Çizelge 11. Farklı sıcaklıklarda depolanan incir çekirdeği yağı tozunun dağılıbilirlik değerleri

Table 11. Dispersibility values of fig seed oil powder stored at different temperatures

Depolama süresi (gün) Storage time (day)	Depolama sıcaklığı (°C) Storage temperature (°C)		
	4	25	60
0	94.24±2.39 ^{ab,A}	94.24±2.39 ^{b,A}	94.24±2.39 ^{cd,A}
15	95.25±0.69 ^{ab,A}	94.68±1.27 ^{b,A}	126.69±2.02 ^{e,B}
30	96.26±0.82 ^{b,A}	96.58±1.01 ^{b,A}	98.31±0.17 ^{d,A}
45	92.71±2.61 ^{ab,B}	86.42±2.98 ^{a,A}	86.03±0.30 ^{a,A}
60	92.04±1.24 ^{ab,A}	95.72±1.49 ^{b,A}	92.52±0.28 ^{bc,A}
75	90.39±0.85 ^{a,A}	94.07±1.94 ^{b,A}	93.29±1.33 ^{bcd,A}
90	90.87±1.47 ^{ab,A}	92.76±2.66 ^{ab,A}	88.40±2.01 ^{ab,A}

Aynı sütundaki farklı küçük harfler depolama günlerini, aynı satırdaki büyük harfler depolama sıcaklıkları arasındaki anlamlı farkı ifade etmektedir ($p<0.05$)

Different lowercase letters in the same column indicate storage days, and capital letters in the same line indicate significant differences between storage temperatures ($p<0.05$)

Farklı sıcaklıklarda gerçekleştirilen depolama sürecinde renk değerlerinde genel olarak bir dalgalanma gözlenmiştir. Örneklerin L değerleri 59.48-78.76; a değerleri 0.65-1.55; b değerleri ise 11.40-16.55 arasında değişim göstermiştir.

Mikroenkapsüle incir çekirdeği yağı tozu örneklerinin 4, 25 ve 60 °C sıcaklıklarda 90 gün boyunca depolanması sırasında

mikroenkapsülasyon verimleri ve peroksit değerleri Çizelge 15-16'da verildiği gibidir.

Mikroenkapsüle incir çekirdeği yağı tozlarının depolama süresince mikroenkapsülasyon verimleri %73.07 ile %82.79 arasında değişim göstermiştir. Depolama süresinde örneklerin mikroenkapsülasyon veriminde dalgalanmalar gözlenirse de tüm sıcaklık değerlerinde artış gözlenmiştir.

Çizelge 12. Farklı sıcaklıklarda depolanan incir çekirdeği yağı tozunun L değerleri
 Table 12. L values of fig seed oil powder stored at different temperatures

Depolama süresi (gün) Storage time (day)	Depolama sıcaklığı (°C) Storage temperature (°C)		
	4	25	60
0	70.43±0.16 ^{d,A}	70.43±0.16 ^{c,A}	70.43±0.16 ^{c,A}
15	70.41±0.86 ^{d,B}	71.18±0.34 ^{c,B}	66.85±0.13 ^{b,A}
30	67.22±0.90 ^{c,A}	72.71±1.37 ^{c,B}	69.91±0.51 ^{c,AB}
45	69.02±1.20 ^{cd,A}	67.34±0.04 ^{b,A}	78.76±0.93 ^{c,B}
60	64.51±0.23 ^{ab,B}	67.04±0.01 ^{b,B}	60.65±1.16 ^{a,A}
75	66.57±0.68 ^{bc,B}	71.23±1.10 ^{c,C}	59.48±0.79 ^{a,A}
90	62.40±0.29 ^{a,AB}	62.19±0.34 ^{a,A}	66.66±1.63 ^{b,B}

Aynı sütundaki farklı küçük harfler depolama günlerini, aynı satırdaki büyük harfler depolama sıcaklıkları arasındaki anlamlı farkı ifade etmektedir ($p<0.05$)

Different lowercase letters in the same column indicate storage days, and capital letters in the same line indicate significant differences between storage temperatures ($p<0.05$)

Çizelge 13. Farklı sıcaklıklarda depolanan incir çekirdeği yağı tozunun a değerleri
 Table 13. a values of fig seed oil powder stored at different temperatures

Depolama süresi (gün) Storage time (day)	Depolama sıcaklığı (°C) Storage temperature (°C)		
	4	25	60
0	1.05±0.16 ^{b,A}	1.05±0.16 ^{b,A}	1.05±0.16 ^{b,A}
15	1.06±0.06 ^{b,A}	1.06±0.11 ^{b,A}	1.32±0.05 ^{bc,A}
30	1.40±0.04 ^{c,A}	1.32±0.12 ^{b,A}	1.55±0.04 ^{c,A}
45	0.77±0.06 ^{a,A}	1.07±0.01 ^{b,B}	1.33±0.04 ^{bc,C}
60	0.73±0.06 ^{a,A}	1.07±0.05 ^{b,B}	0.74±0.11 ^{a,A}
75	0.84±0.03 ^{ab,A}	1.07±0.05 ^{b,AB}	1.25±0.09 ^{bc,B}
90	0.65±0.09 ^{a,A}	0.69±0.02 ^{a,A}	1.25±0.01 ^{b,B}

Aynı sütundaki farklı küçük harfler depolama günlerini, aynı satırdaki büyük harfler depolama sıcaklıkları arasındaki anlamlı farkı ifade etmektedir ($p<0.05$)

Different lowercase letters in the same column indicate storage days, and capital letters in the same line indicate significant differences between storage temperatures ($p<0.05$)

Çizelge 14. Farklı sıcaklıklarda depolanan incir çekirdeği yağı tozunun b değerleri
 Table 14. b values of fig seed oil powder stored at different temperatures

Depolama süresi (gün) Storage time (day)	Depolama sıcaklığı (°C) Storage temperature (°C)		
	4	25	60
0	13.71±0.53 ^{cd,A}	13.71±0.53 ^{bcd,A}	13.71±0.53 ^{b,A}
15	13.77±0.18 ^{d,A}	14.07±0.32 ^{bcd,A}	13.72±0.08 ^{b,A}
30	13.15±0.12 ^{bcd,A}	14.62±0.35 ^{cd,B}	15.17±0.19 ^{c,B}
45	12.83±0.86 ^{abcd,A}	13.27±0.01 ^{b,A}	16.55±0.14 ^{d,B}
60	11.87±0.48 ^{ab,A}	13.52±0.05 ^{bc,B}	12.08±0.63 ^{a,A}
75	12.19±0.07 ^{abc,A}	14.89±0.51 ^{d,B}	11.70±0.09 ^{a,A}
90	11.40±0.01 ^{a,A}	11.63±0.16 ^{a,A}	13.24±0.09 ^{b,B}

Aynı sütundaki farklı küçük harfler depolama günlerini, aynı satırdaki büyük harfler depolama sıcaklıkları arasındaki anlamlı farkı ifade etmektedir ($p<0.05$)

Different lowercase letters in the same column indicate storage days, and capital letters in the same line indicate significant differences between storage temperatures ($p<0.05$)

Çizelge 15. Farklı sıcaklıklarda depolanan incir çekirdeği yağı tozunun mikroenkapsülasyon verimleri
 Table 15. Microencapsulation efficiencies of fig seed oil powder stored at different temperatures

Depolama süresi (gün) Storage time (day)	Depolama sıcaklığı (°C) Storage temperature (°C)		
	4	25	60
0	76.87±0.04 ^{a,A}	76.87±0.04 ^{a,A}	76.87±0.03 ^{c,A}
15	76.32±0.47 ^{a,A}	79.42±0.96 ^{ab,B}	75.90±0.02 ^{b,A}
30	76.79±0.11 ^{a,B}	78.86±0.13 ^{ab,C}	73.07±0.08 ^{a,A}
45	80.47±0.03 ^{d,C}	75.96±0.00 ^{a,A}	78.28±0.01 ^{d,B}
60	77.68±0.01 ^{b,A}	80.09±0.00 ^{c,B}	82.79±0.04 ^{g,C}
75	79.70±0.01 ^{c,B}	78.56±0.01 ^{b,A}	80.50±0.02 ^{f,C}
90	77.90±0.02 ^{b,A}	82.08±0.01 ^{d,C}	78.53±0.01 ^{e,B}

Aynı sütundaki farklı küçük harfler depolama günlerini, aynı satırdaki büyük harfler depolama sıcaklıkları arasındaki anlamlı farkı ifade etmektedir ($p<0.05$)

Different lowercase letters in the same column indicate storage days, and capital letters in the same line indicate significant differences between storage temperatures ($p<0.05$)

Farklı sıcaklıklarda depolanmış incir çekirdeği yağı tozu örneklerinin peroksit değerleri depolama süresince 5.73-71.35 meq O₂/kg yağ arasında değişmiştir. Depolama süresince her sıcaklık için peroksit değerlerinde dalgalanmalar gözlenirse de tüm sıcaklıklarda başlangıca göre bir artış olduğu gözlenmektedir. Depolama sırasında en yüksek değer 60 °C'ta 75. günde elde edilmiştir. Bu

durumda sıcaklığın artmasına bağlı olarak peroksit değeri de artmaktadır. Her üç sıcaklık değeri için de 45 günden daha uzun depolamaların ürün kalitesinde düşüşe yol açtığı gözlemlenmiştir. Bu durum incir çekirdeği yağı tozunun çabuk tüketilecek ve raf ömrü kısa gıdaların formülasyonunda kullanımının daha uygun olacağına işaret etmektedir.

Çizelge 16. Farklı sıcaklıklarda depolanan incir çekirdeği yağı tozunun peroksit değeri
 Table 16. Peroxide values of fig seed oil powder stored at different temperatures

Depolama süresi (gün) Storage time (day)	Depolama sıcaklığı (°C) Storage temperature (°C)		
	4	25	60
0	5.73±0.03 ^{a,A}	5.73±0.03 ^{a,A}	5.73±0.03 ^{a,A}
15	5.82±0.04 ^{a,A}	5.92±0.02 ^{a,A}	16.70±0.09 ^{b,B}
30	29.52±0.48 ^{c,C}	17.58±0.42 ^{b,A}	24.51±0.43 ^{c,B}
45	11.88±0.09 ^{b,B}	6.13±0.00 ^{a,A}	16.65±0.00 ^{b,C}
60	33.67±0.00 ^{d,B}	44.44±0.00 ^{d,C}	24.48±0.00 ^{c,A}
75	41.04±0.00 ^{e,A}	58.36±0.02 ^{e,B}	71.35±0.00 ^{e,C}
90	52.09±0.00 ^{f,C}	41.11±0.00 ^{c,A}	28.87±0.00 ^{d,B}

Aynı sütundaki farklı küçük harfler depolama günlerini, aynı satırdaki büyük harfler depolama sıcaklıkları arasındaki anlamlı farkı ifade etmektedir ($p<0.05$)

Different lowercase letters in the same column indicate storage days, and capital letters in the same line indicate significant differences between storage temperatures ($p<0.05$)

Model gıda uygulaması

İncir çekirdeği yağı tozu duyuusal değerlendirme için salata sosu formülasyonuna ilave edilmiştir ve kontrol grubuyla kıyaslanmıştır. Sos örnekleri hedonik test ile 10 kişilik panelist grubunda duyuusal analize tabi tutulmuştur. Elde edilen sonuçlar Çizelge 17'de gösterildiği gibidir.

Duyusal analiz sonuçları tat, koku, görünüş, aroma, kıvam ve tat sonrası izlenim açısından panelistler tarafından en yüksek puanı alan örneğin salata sosunun içerisine incir çekirdeği yağı tozu eklenen örnek olduğunu ortaya koymuştur. İncir çekirdeği yağı tozu eklenerek hazırlanan salata sosunda en çok kararsız kalınan

özellik ise koku olmuştur. Genel kabul açısından değerlendirildiğinde, incir çekirdeği yağı tozu eklenerek hazırlanan salata sosu örneğinin, incir

çekirdeği yağı ile hazırlanan örneğe kıyasla daha çok beğenildiği bulgulanmıştır.

Çizelge 17. Salata sosu örneklerine ait duyu analizi sonuçları

Table 17. Sensory analysis results of salad dressings

Değerlendirme Parametreleri <i>Evaluation parameters</i>	1	2	3	4	5
Örnek 1 (İncir çekirdeği yağı) <i>Sample 1 (Fig seed oil)</i>					
Tat <i>Taste</i>	-	7	3	-	-
Koku <i>Smell</i>	-	5	2	3	-
Görünüş <i>Appearance</i>	-	2	5	3	-
Aroma <i>Aroma</i>	-	3	5	2	-
Kıvam <i>Thickness</i>	-	2	4	4	-
Tat sonrası izlenim <i>Overall acceptance</i>	1	6	3	-	-
Örnek 2 (Mikroenkapsüle incir çekirdeği yağı tozu) <i>Sample 2 (Microencapsulated fig seed oil powder)</i>					
Tat <i>Taste</i>	-	-	1	9	-
Koku <i>Smell</i>	-	-	7	3	-
Görünüş <i>Appearance</i>	-	-	3	7	-
Aroma <i>Aroma</i>	-	-	3	7	-
Kıvam <i>Thickness</i>	-	-	-	10	-
Tat sonrası izlenim <i>Overall acceptance</i>	-	-	1	9	-

(1: Hiç beğenmedim, 2: Beğenmedim, 3: Kararsızım, 4: Beğendim, 5: Çok beğendim)

(1: I didn't like it at all, 2: I didn't like it, 3: I'm undecided, 4: I liked it, 5: I liked it a lot)

SONUÇ

Yapılan çalışmada incir çekirdeği yağı dondurarak kurutma yöntemiyle farklı oranlarda maltodekstrin ve peynir altı suyu protein izolatu karışımları ile enkapsüle edilmiştir. Elde edilen incir çekirdeği yağı tozunun fizikokimyasal özellikleri belirlenerek en uygun kaplama materyalinin %33 peynir altı suyu izolatu: %67 maltodekstrin karışımı olduğu tespit edilmiş ve bu koşullarda üretilen incir çekirdeği yağı tozu 4, 25

ve 60 °C'de 90 gün süresince depolanmış ve depolama süresince değişiklikler incelenmiştir. Depolama süreci boyunca yapılan analizlerde, uygun kaplama materyali ile mikroenkapsüle edilen örneklerin hem fizikokimyasal stabilitesini hem de fonksiyonel bileşenlerini daha iyi koruduğu belirlenmiştir. Bu da, incir çekirdeği yağı gibi oksidasyona duyarlı bileşenlerin korunmasında mikroenkapsülasyonun etkili bir yöntem olduğunu göstermektedir.

Bulgular, uygun kaplama materyali ile elde edilen enkapsüle incir çekirdeği yağının, farklı sıcaklıklarda depolandığında fiziksel ve kimyasal özelliklerinin incelenmesi açısından özgün bir yaklaşım sunmaktadır. Literatürde, incir çekirdeğinin dondurarak enkapsülasyonu sırasında kullanılan kaplama materyalinin toz ürünün fiziksel ve kimyasal özellikleri üzerindeki etkisini ele alan bir çalışmaya rastlanmamıştır. Elde edilen enkapsüle ürünün, ambalajlı toz ürünlerde yağ kaynağı olarak kullanılabilme potansiyeli bulunmaktadır.

Sonuç olarak, bu çalışma incir çekirdeği yağının fonksiyonel gıdalarda kullanım potansiyelini artırmakta ve gıda sanayisinde değerlendirilebilecek atıkların katma değeri yüksek ürünlere dönüştürülmesine katkı sunmaktadır. Elde edilen veriler, ilerleyen çalışmalarda farklı kurutma tekniklerinin veya kaplama materyallerinin karşılaştırılması açısından da bir temel oluşturmaktadır.

ÇIKAR ÇATIŞMASI

Bu makalede yazarların, başka kişiler veya kurumlar ile çıkar çatışması bulunmamaktadır.

YAZAR KATKILARI

Tuğçe Yorgancı denemelerin ve analizlerin yapılmasından, Aslı Zungur Bastıoğlu sonuçların yorumlanması ve istatistiki değerlendirmelerin yapılmasından, Aslı Yorulmaz makale yazımından sorumludur.

KAYNAKLAR

- Babić, J., Cantalejo, M.J., Arroqui, C. (2009). The effects of freeze-drying process parameters on Broiler chicken breast meat. *Food Science and Technology*, 42(8):1325-1334, doi: 10.1016/j.lwt.2009.03.020.
- Bae, E.K., Lee, S.J. (2008). Microencapsulation of avocado oil by spray drying using whey protein and maltodextrin. *Journal of Microencapsulation*, 25(8): 549-560, doi: 10.1080/02652040802075682.
- Balasubramani, P., Palaniswamy, P.T., Visvanathan, R., Thirupathi, V., Subbarayan, A., Maran, J.P. (2015). Microencapsulation of garlic

oleoresin using maltodextrin as wall material by spray drying technology. *International Journal of Biological Macromolecules*, 72: 210-217, doi: 10.1016/j.ijbiomac.2014.08.011.

Barbosa-Cánovas, G.V., Ortega-Rivas, E., Juliano, P., Yan, H. (2005). *Food powders: Physical properties, processing, and functionality*. 86, New York: Kluwer Academic/Plenum Publishers, 372 p.

Bhandari, B.R., Dumoulin, E.D., Richard, H.M.J., Noleau, I., Lebert, A.M. (1992). Flavor encapsulation by spray drying: Application to citral and linalyl acetate. *Journal of Food Science*, 57(1): 217-221, doi: 10.1111/j.1365-2621.1992.tb05459.x.

Botrel, D.A., Borges, S.V., Fernandes, R.V., Viana, A.D., Costa J.M., Marques, G.R. (2011). Evaluation of spray drying conditions on properties of microencapsulated oregano essential oil. *International Journal of Food Science and Technology*, 47:2289–2296, doi: 10.1111/j.1365-2621.2012.03100.x.

Carr, R.L. (1965). Evaluating flow properties of solids. *Chemical Engineering*, 72:163–168, doi: 10.4236/pp.2014.512122.

Cho, Y.H., Shim, H.K., Park, J. (2003). Encapsulation of fish oil by an enzymatic gelation process using transglutaminase cross-linked proteins. *Journal of Food Science*, 68(9): 2717-2723, doi:10.1111/j.1365-2621.2003.tb05794.x.

Çakır, İ. (2007). Fonksiyonel gıda bileşenleri ve probiyotiklerde mikroenkapsülasyon uygulamaları. 5. *Gıda Mühendisliği Kongresi*, 08-10 Kasım, Ankara, Türkiye.

Çalışkan, O., Polat, A.A. (2012). Morphological diversity among fig (*Ficus carica* L.) accessions sampled from the Eastern Mediterranean Region of Turkey. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 36(2): 179-193, doi: 10.3906/tar-1102-33.

Dueñas, M., Pérez-Alonso, J.J., Santos-Buelga, C., Escribano-Bailón, T. (2008). Anthocyanin composition in fig (*Ficus carica* L.). *Journal of Food Composition and Analysis*, 21(2): 107-115, doi: 10.1016/j.jfca.2007.09.002.

Folch, J., Lees, M., Sloane S. (1957). A simple method for the isolation and purification of total

- lipides from animal tissues. *Biological Chemistry*, 26(1):497-509, doi: 10.1016/S0021-9258(18)64849-5.
- Goula, A.M., Adamopoulos, K.G. (2008). Effect of maltodextrin addition during spray drying of tomato pulp in dehumidified air: II. Powder properties. *Drying Technology*, 26(6): 726-737, doi: 10.1080/07373930802046377.
- Göçmez, A., Seferoğlu, H.G. (2014). Sofralık ve kurutmalık incir kalite kriterleri ve kaliteyi etkileyen faktörler. *Türkiye Tarımsal Araştırmalar Dergisi*, 1:98-108, doi: 10.19159/tutad.29893.
- Göğüş, F., Özkaya, M.T., Ötles, S. (2009). *Zeytinyağı*. Eflatun Yayınevi, Ankara, 274s.
- Gökmen, S., Palamutoğlu, R., Sarıçoban, C. (2012). Gıda endüstrisinde enkapsülasyon uygulamaları. *Gıda Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 7(1): 36-50, doi: 10.38137/vftd.1096571.
- Güngör, Ö. (2013). Zeytinyağının püskürtmeli kurutma yöntemi ile mikroenkapsülasyonunun D-optimal dizayn ile optimizasyonu. Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek lisans tezi, İzmir, Türkiye, 173 s.
- Hammami, C., Rene, F. (1997). Determination of freeze-drying process variables for strawberries. *Journal of Food Engineering*, 32:133-154, doi: 10.1016/S0260-8774(97)00023-X.
- Hogan, S.A., McNamee, B.F., O'Riordan, E.D., O'Sullivan, M. (2001). Emulsification and microencapsulation properties of sodium caseinate/carbohydrate blends. *International Dairy Journal*, 11(3): 137-144, doi: 10.1016/S0958-6946(01)00091-7.
- Hui, Y., Clary, H., Farid, C., Fasina, M.M., Noomhorm, A., Welti – Chanes, J. (2008). *Food Drying Science and Technology: Microbiology, Chemistry, Applications*, DEStech Publications, Inc., USA, 791 p.
- Hu, M., McClements, D.J., Decker, E.A. (2003). Impact of whey protein emulsifiers on the oxidative stability of salmon oil-in-water emulsions. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51(5): 1435-1439, doi: 10.1021/jf0203794.
- İçyer N.C., Tokar O.S., Karasu S., Tornuk F., Kahyaoglu T., Arici, M. (2017). Microencapsulation of fig seed oil rich in polyunsaturated fatty acids by spray drying. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 11:50–57, doi: 10.1007/s11694-016-9370-8.
- Jaekel, T., Dautel, K., Ternes, W. (2008). Preserving functional properties of hen's egg yolk during freeze-drying. *Journal of Food Engineering*, 87(4):522-526, doi: 10.1016/j.jfoodeng.2008.01.006.
- Jinapong, N., Supphantharika, M., Pimon Jamnong, P. (2008). Production of instant soymilk powders by ultrafiltration, spray drying and fluidized bed agglomeration. *Journal of Food Engineering*, 84:194–205, doi: 10.53333/6353226.
- Kim, E.H.J., Chen, X.D., Pearce, D. (2002). Surface characterization of four industrial spray-dried dairy powders in relation to chemical composition, structure and wetting property. *Colloids and surfaces B: Biointerfaces*, 26(3): 197-212, doi: 10.1016/S0927-7765(01)00334-4.
- Klinkesorn, U., Sophanodora, P., Chinachoti, P., McClements, D., Decker E.A. (2005). Stability of spray-dried tuna oil emulsion encapsulated with two-layered interfacial membranes. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53: 8365-8371, doi: 10.1021/jf050761r.
- Koç, M., Koç, B., Sakin-Yılmaz, M., Kaymak-Ertekin, F., Susyal, G., Bağdathoğlu, N., (2011). Physicochemical characterization of whole egg powder microencapsulated by spray drying. *Drying Technology*, 29: 780- 788, doi: 10.1080/07373937.2010.538820.
- Krokida, M.K., Maroulis, Z.B., Saravacos, G.D. (2001). The effect of the method of drying on the colour of dehydrated products. *International Journal of Food Science Technology*, 36(1):53-59, doi: 10.1046/j.1365-2621.2001.00426.x.
- Madene, A., Jacquot, M., Scher, J., Desobry, S. (2006). Flavour encapsulation and controlled release—A review. *International Journal of Food Science and Technology*, 41(1): 1-21, doi: 10.1111/j.1365-2621.2005.00980.x.

- Marques, L.G., Silveira, A.M., Freire, J.T. (2006). Freeze-drying characteristics of tropical fruits. *Drying Technology*, 24(4): 457-463, doi: 10.1080/07373930600611919.
- Mawa, S., Husain, K., Jantan, I. (2013). Ficus carica L. Moraceae: Phytochemistry, traditional uses and biological activities. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, 2013 (1): 974256.
- Nakilcioğlu, E., Ötleş, S. (2021). Zeytin çekirdeği antioksidanlarının dondurarak kurutma tekniği ile mikroenkapsülasyonu: Toz ürünün fiziksel ve kimyasal karakterizasyonu. *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 10(1): 140-149, doi: 10.28948/ngumuh.740797.
- Pala, M., Saygi, Y.B. (1983). Su aktivitesi ve gıda işletmedeki önemi. *Ege Üniversitesi Gıda Mühendisliği*, 8(1): 33-39.
- Pauletti, M.S., Amestoy, P.J.F.S. (1999). Butter microencapsulation as affected by composition of wall material and fat. *Journal of Food Science*, 64(2): 279-282, doi: 10.1111/j.1365-2621.1999.tb15882.x.
- Poncellet, D. (2006). Microencapsulation: fundamentals, methods and applications. In: *Surface Chemistry in Biomedical and Environmental Science*, Dordrecht: Springer Netherlands, pp. 23-34.
- Ratti, C. (2001). Hot air and freeze-drying of high-value foods: A review. *Journal of Food Engineering*, 49(4): 311-319, doi: 10.1016/S0260-8774(00)00228-4.
- Sims, R.J. (1989). Spray dried emulsion, *Develop Food Science*. 19:495-509
- Şirinyıldız, D.D., Vardin, A.Y., Yorulmaz, A. (2023). The influence of microwave roasting on bioactive components and chemical parameters of cold pressed fig seed oil. *Grasas y Aceites*, 74(1): e490, doi: 10.3989/gya.1011212.
- Vega, C.R.Y.H., Roos, Y.H. (2006). Invited review: Spray-dried dairy and dairy-like emulsions—compositional considerations. *Journal of Dairy Science*, 89(2): 383-401, doi: 10.3168/jds.S0022-0302(06)72103-8.
- Vinson, J.A., Zubik, L., Bose, P., Samman, N., Proch, J. (2005). Dried fruits: excellent in vitro and in vivo antioxidants. *Journal of the American College of Nutrition*, 24(1): 44- 50, doi: 10.1080/07315724.2005.10719442.
- Zou, X., Pan, Y., Hu, J., Zhang, K., Yang, X., Nwankwo, J.A., Liu, W. (2025). Effects of different soluble dietary fibers on oil encapsulation: Comparison of emulsion and microcapsule properties. *Food Chemistry*, 479: 143842, doi: 10.3390/foods14050754.
- Zungur, A. (2013). Mikroenkapsülasyon işleminin ekstra sızma zeytinyağı tozunun depolanması sırasında oksidatif stabilite, sorpsiyon ve fiziksel kalite kriterleri üzerine etkisi. Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek lisans tezi, İzmir, Türkiye, 169 s.
- Zungur Bastıoğlu, A., Koç, M., Yalçın, B., Kaymak Ertekin, F., Ötleş, S. (2017). Storage characteristics of microencapsulated extra virgin olive oil powder: Physical and chemical properties. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 11: 1210-1226, doi: 10.1007/s11694-017-9498-1.

DEVELOPMENT OF GLUTEN-FREE MEATBALLS USING OLEASTER AND COCONUT FLOURS AS BREADCRUMB REPLACERS**Esra BOSTANCI SELBEŞ¹, Guliz HASKARACA^{2*},
Fundagül EREM¹, Zehra AYHAN²**¹ Zonguldak Bülent Ecevit University, Faculty of Engineering, Department of Food Engineering, Zonguldak, Türkiye² Sakarya University, Faculty of Engineering, Department of Food Engineering, Sakarya, Türkiye

Received / Geliş: 24.04.2025; Accepted / Kabul: 25.06.2025; Published online / Online baskı: 05.07.2025

Bostancı Selbeş, E., Haskaraca, G., Erem, F., Ayhan, Z. (2025). Development of gluten-free meatballs using oleaster and coconut flours as breadcrumb replacers. GIDA (2025) 50 (4) 537-555 doi: 10.15237/gida.GD25056

Bostancı Selbeş, E., Haskaraca, G., Erem, F., Ayhan, Z. (2025). Galeta unu yerine iğde ve hindistan cevizi unu kullanılarak glutensiz köfte geliştirilmesi. GIDA (2025) 50 (4) 537-555 doi: 10.15237/gida.GD25056

ABSTRACT

This study explored the development of gluten-free meatballs by substituting traditional breadcrumbs (BC) with oleaster flour (OF) and coconut flour (CF). Five meatball formulations were prepared: 8% BC (control, M1), 8% OF (M2), 8% CF (M3), 6% CF + 2% OF (M4), 4% CF + 4% OF (M5). The flour and meatball samples were evaluated for some of their physical, chemical, physicochemical and sensorial properties. OF addition notably enhanced the antioxidant capacity of the meatballs (52.93 mg Trolox equivalent/100g dry weight). OF and CF utilization increased cooking loss and altered textural properties ($P<0.05$). Sensory analysis revealed that M2 showed comparable scores to the control, while CF-containing samples received lower scores. Overall, OF and CF show potential as gluten-free ingredients in meatball formulations, with OF (M2) emerging as the most promising substitute for BC in terms of both nutritional quality and sensory acceptance.

Keywords: Gluten-related disorders, gluten-free diet, meatball, oleaster flour, coconut flour**GALETA UNU YERİNE İĞDE VE HİNDİSTAN CEVİZİ UNU KULLANILARAK GLUTENSİZ KÖFTE GELİŞTİRİLMESİ****ÖZ**

Bu çalışmada, geleneksel galeta unu (GU) yerine iğde unu (İU) ve hindistan cevizi unu (HCU) kullanılarak glutensiz köfte geliştirilmesi araştırılmıştır. Beş köfte formülasyonu hazırlanmıştır: %8 GU (kontrol, M1), %8 İU (M2), %8 HCU (M3), %6 HCU + %2 İU (M4), %4 HCU + %4 İU (M5). Un ve köfte örnekleri bazı fiziksel, kimyasal, fizikokimyasal ve duyu özellikleri açısından değerlendirilmiştir. İU ilavesi, köftelerin antioksidan kapasitesini belirgin şekilde artırmıştır (52.93 mg Troloks eşdeğeri/100 g kuru ağırlık). İU ve HCU kullanımı pişirme kaybını artırmış ve tekstürel özellikleri değiştirmiştir ($P<0.05$). Duyusal analiz sonuçlarına göre, M2 grubu kontrol grubuyla benzer puanlar alırken, HCU içeren formülasyonlar daha düşük puanlar almıştır. Genel olarak, İU ve HCU,

***Corresponding author / Sorumlu yazar**

✉: gyaldirak@sakarya.edu.tr

☎: (+90) 264 295 5933

☎: (+90) 264 295 5601

Esra Bostancı Selbeş; ORCID no: 0000-0003-1756-8949

Guliz Haskaraca; ORCID no: 0000-0002-4641-866x

Fundagül Erem; ORCID no: 0000-0003-1562-0686

Zehra Ayhan; ORCID no: 0000-0001-9114-4445

glutensiz köfte formülasyonlarında kullanılabilecek potansiyele sahip bileşenlerdir ve özellikle İU (M2), hem besinsel kalite hem de duyuşsal kabul açısından GU yerine en umut verici alternatif olarak öne çıkmaktadır.

Anahtar kelimeler: Glutenle ilişkili rahatsızlıklar, glutensiz beslenme, köfte, iğde unu, hindistan cevizi unu

INTRODUCTION

Meat and meat products play a vital role in human nutrition due to their high content of protein, vitamins, and essential fatty acids (Domínguez et al., 2019). Among these, meatballs are widely enjoyed globally for their appealing taste and ease of preparation and cooking. Traditionally, meatballs are made using minced meat (from beef, chicken, ham, fish, or a combination), breadcrumbs (BC), chopped onion, eggs, butter, and spices. Breadcrumbs are a key ingredient in meatball recipes, helping to bind the mixture and prevent it from breaking apart during cooking. However, the gluten content in BC renders meatballs unsuitable for those with gluten sensitivity (Babaoğlu, 2022).

Gluten is a protein naturally found in certain cereals, including wheat, barley, rye, and oats that contributes to the structural and sensory characteristics of products made from these grains. However, gluten-related disorders, including celiac disease (CD), wheat allergy, and non-celiac gluten sensitivity, have become increasingly prevalent (Canabillas, 2020; Šmídová and Rysová, 2020; Sebença et al., 2021). CD is one of the most common and serious gluten-related conditions, presenting as an autoimmune enteropathy triggered by gluten in genetically susceptible people (Niewinski, 2008). The global prevalence of CD is estimated to exceed 1% and is on the rise, with variations in prevalence ranging from 0% to 3.1% depending on the country (Bradauskiene et al., 2023; Jansson-Knodell et al., 2023). Based on five different diagnostic methods, wheat allergy prevalence is predicted to be less than 1% for each method (Liu et al., 2023). A range between 0.5-15% is estimated for the prevalence of non-celiac gluten sensitivity. For individuals with gluten-related disorders, lifelong gluten elimination from the diet is the primary step for treating the disease and alleviating its symptoms (Miranda et al., 2014; Kaur, 2023). This necessitates the removal of

almost all bakery goods (bread, pasta, cookies, cakes, etc.), including those sold in the market and made at home, from the diet. Furthermore, other products containing gluten and their derivatives should be avoided. Therefore, it is necessary to replace the ingredients in these products with their gluten-free counterparts. Gluten-free alternatives for these ingredients include gluten-free cereals, pseudocereals, legumes, tubers, nuts, oilseeds, fruits, vegetables, and their flours (El Khoury et al., 2018; Šmídová and Rysová, 2020). Additionally, commercially available gluten-free flour mixes are commonly used in gluten-free formulations (Stoin, 2016).

While conceptually straightforward, removing gluten from the diet can be challenging due to various economic and logistical factors, such as individuals' financial means and the limited availability of gluten-free products. These specialty products are often costly and may not be available in all markets. Additionally, the absence of gluten complicates the task of achieving desired textural, sensory, and nutritional qualities, often requiring the addition of other functional ingredients like hydrocolloids, emulsifiers, fibers, and enzymes (El Khoury et al., 2018). To expand the variety and accessibility of gluten-free products, a growing number of studies are being conducted by the food industry and academic researchers (Oyeyinka et al., 2018; Babaoğlu, 2022; Oyeyinka et al., 2022).

With the increasing demand for gluten-free meat products, the use of alternative flours (such as quinoa, buckwheat, chickpea, corn, millet, maize, rice, soy, linseed, amaranth, and hemp) in meatball production has garnered scientific interest (Mastanjević et al., 2014; Prabhu et al., 2016; Bağdatlı, 2018; Augustyńska-Prejsnar et al., 2022; Babaoğlu, 2022). For instance, Yazdanpanah et al. (2022) developed gluten-free sausages using chickpea flour, corn flour, and hydroxypropyl methylcellulose. Other studies,

like those by de Carvalho et al. (2018), optimized gluten-free nuggets with ingredients like oregano, basil, egg, soy oil, and amaranth flakes, while Devatkal et al. (2011) explored the quality of gluten-free chicken nuggets formulated with sorghum flour. Similarly, Romero et al. (2018), developed gluten-free fish patties using rice, corn, amaranth, or quinoa flours. Despite the growing literature, no study to date has explored the use of coconut flour (CF) and oleaster flour (OF) as binding ingredients in meatball formulations to replace BC.

Coconut is a tropical fruit known for its rich dietary fiber, vitamins, and minerals, and is widely used in various industries, including culinary, cosmetics, and pharmaceutical (Agyemang-Yeboah, 2011; Shankar et al., 2014). Coconut flour (CF), a by-product of coconut oil or coconut milk production, is derived from coconut residue and holds potential as a functional ingredient in foods. Studies suggest that adding CF to the diet may help reduce the risk of chronic diseases and regulate blood cholesterol and sugar levels (Jiamjariyatam et al., 2022). Oleaster is a nutrient-dense fruit with a floury texture, rich in essential fatty acids, vitamins, minerals, carotenoids, flavonoids, and other bioactive components (Sahan et al., 2015; Karkar and Şahin, 2022). It has been valued for its medicinal properties such as antipyretic, antidiarrheal, diuretic, and tonic effects; and is traditionally used for various treatments in Turkish, Jordanian, and Iranian folk medicine (Sahan et al., 2015). Oleaster flour (OF) is gluten-free and serves as a functional ingredient in diverse food applications, including bakery goods, dairy products, beverages, and confectionery, due to its dietary fiber, mineral content, phenolic compounds, and antioxidant activity (Sahan et al., 2013; 2015).

One of the primary challenges in producing gluten-free products is replicating the quality characteristics of gluten-containing counterparts. For this reason, the ingredients must perform similar functions to gluten. Dietary fiber, for instance, plays a crucial role in gluten-free formulations by binding water, increasing viscosity, and promoting gel formation (El

Khoury et al., 2018). Given the high fiber content of OF (Sahan et al., 2015) and CF (Trinidad et al., 2006), these flours may be promising substitutes for gluten-containing flours in meatball production, potentially fulfilling the same role as BC. This study aimed to develop gluten-free meatballs by replacing BC with gluten-free OF and CF and to evaluate their physical, chemical, and sensory properties. Furthermore, this research assessed the potential of OF and CF as innovative, functional ingredients in meatball formulations.

MATERIALS AND METHODS

Materials

Minced beef and spices (salt, cumin, red pepper, and black pepper) were sourced from the local market (File Markets) in Sakarya, Türkiye. The OF (flour of *Elaeagnus angustifolia* L.) obtained from the whole oleaster fruit including peel and seed also (Aktarmarka, İzmir, Türkiye) and the CF (flour of *Cocos nucifera*) (TheLifeCo, İstanbul, Türkiye) were procured from local suppliers. BC was obtained from local producer Bağdat Baharat (Bağdat Marketing Trade. Co. Ltd., Ankara, Türkiye) for control samples. OF, CF, and BC were purchased in powder form and used without pretreatment in the meatball formulations. Methanol was procured from Sigma Aldrich (St. Louis, MO, USA). Trolox (Acros, Thermo Fisher Scientific, MA USA), 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) (TCI, Tokyo Chemical Industry Co., Ltd., Tokyo, Japan), gallic acid, trichloroacetic acid (Isolab Laborgeräte GmbH, Eschau, Germany), acetone (VWR, Avantor, Radnor, US), sodium carbonate (AFG Scientific, Northbrook, USA), petroleum ether (Fluka, Honeywell Research Chemicals, North Carolina, US), nitric acid (Carlo Erba Reagents GmbH, Emmendingen, Germany), diethyl ether (Macron Fine Chemicals, Avantor, Radnor, US), and 1,1,3,3-Tetraethoxypropane (Cas no: 122-31-6, Sigma Aldrich, Germany) were used in the study. All other chemicals (such as Folin Ciocalteu's phenol reagent, acetic acid, etc.) used in the study were purchased from Merck (Merck KGaA, Darmstadt, Germany) unless otherwise specified.

Methods

Flour analyses

Proximate composition. The moisture (934.01), ash (923.03), protein (960.52), crude fat (920.39) content of flour samples were determined according to Association of Official Analytical Collaboration (AOAC) International method (AOAC, 2000). The method specified by the International Association for Cereal Science and Technology (ICC) was used for crude fiber analysis. Additionally, coconut flour was analyzed for crude fiber content following a defatting process (ICC, 1972).

Water and oil absorption. Water (WAC) and oil absorption (OAC) capacities of the flour were determined according to the method of Marchetti et al. (2018). One gram of flour samples was mixed with 10 ml of water and sunflower oil for WAC and OAC, respectively. The mixtures were held at room temperature for 30 min after vortexing for 2 min. After centrifuging at $3000 \times g$ for 20 min, supernatants were discarded, and the tubes were weighed. The experiments were conducted with four replicates, and the results were expressed as “g water/g flour” for WAC or “g oil/g flour” for OAC on a dry weight (dw) basis.

Total phenolic content and radical scavenging activity. Total phenolic content analysis of the flour samples was conducted following the method outlined by Ramírez-Maganda et al. (2015), with modifications to the extraction procedure as demonstrated by Handa et al. (2016). For extraction, each flour sample (0.6 g) was combined with methanol (50:50, methanol:water, w/w) until the mixture reached a total weight of 6 g. The mixture was shaken by vortexing which was repeated at 15 minutes intervals during incubation at 25 °C for one hour. After incubation, the mixtures were placed in an ultrasonic bath (CLS ULT.4010, Türkiye) at 25 °C for 15 minutes and then centrifuged (3000 rpm, 10 minutes). The supernatant was filtered through a filter paper (4-7 µm pore size) and a 0.45 µm cellulose-acetate-based syringe filter (Isolab Laborgeräte GmbH, Germany), respectively. Total phenolic content results were expressed as

mg Gallic acid equivalent/100 g dry sample (mg GAE/100 g dw) using a calibration curve ($y=11.55x+0.0113$, $R^2=0.9998$) of Gallic acid (5-80 mg/L).

The extracts obtained for the total phenolic content analysis were also used to determine the 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) radical scavenging activity (Akdeniz et al., 2018). The radical scavenging effect was determined with Equation (1). The results were expressed as both inhibition percentage and mg Trolox equivalent per 100 g dry sample (mg TE/100 g dw) using the calibration curve ($y=0.0778x-2.6201$, $R^2=0.9992$) of Trolox (40-1200 µM).

$$\text{Radical scavenging effect (\%)} = \frac{(ABS_{Blank} - ABS_{Sample \text{ or Trolox}})}{ABS_{Blank}} * 100 \quad (1)$$

Meatball analyses

Preparation of meatballs

The minced beef meat was divided into five portions. As shown in Table 1, five different meatball formulations were prepared as follows: M1 (control group - 8% BC), M2 (8% OF), M3 (8% CF), M4 (6% CF and 2% OF) and M5 (4% CF and 4% OF). These groups were formulated based on preliminary laboratory studies to determine the optimal formulation. To prepare the meatball dough, all ingredients were weighed separately, mixed, and kneaded until homogeneous. A portion of the meatball dough weighing 25 ± 0.5 g was taken and shaped into round meatballs using a meatball press, resulting in meatballs with a diameter of 6 cm. The shaped meatballs were placed in commercial polypropylene food containers, wrapped with stretch film, and then stored in a refrigerator (+4 °C) until analysis. Meatballs were produced with three independent repetitions, and samples from these three replicates were analyzed in duplicate.

Proximate composition. The moisture (950.46), ash (920.153), crude protein (955.04), and crude fat (991.36) content of the meatballs were determined according to the AOAC International method (AOAC, 2000). For pH analysis, the meatballs were diluted 10 times with distilled water, and the resulting mixture was measured at

room temperature ($24\pm 2^{\circ}\text{C}$) in a calibrated digital pH-meter (WTW, pH315i, Germany) (Haskaraca et al., 2017). The salt content of the meatballs was

determined using the Mohr precipitation titration method as described by Lee et al. (2022).

Table 1. Formulations used in meatball production

Ingredients	Formulations				
	M1	M2	M3	M4	M5
Minced beef meat	89%	89%	89%	89%	89%
BC	8%	-	-	-	-
OF	-	8%	-	2%	4%
CF	-	-	8%	6%	4%
Seasoning mix (1.25% salt, 1% cumin, 0.5% red pepper, 0.25% black pepper)	3%	3%	3%	3%	3%

OF: oleaster flour, CF: coconut flour, BC: breadcrumbs, M1: control group meatball including 8% breadcrumbs, M2: meatball including 8% oleaster flour, M3: meatball including 8% coconut flour, M4: meatball including 6% coconut flour and 2% oleaster flour, M5: meatball including 4% coconut flour and 4% oleaster flour

Cooking loss and diameter reduction

In order to determine cooking loss, 25 grams of meatballs were placed in a polyethylene bag and kept in a water bath at 80°C until the internal temperature reached 72°C . Then, the cooked meatballs were weighed after cooling, and cooking losses were calculated with Equation (2) (Murphy et al., 1975). The diameter reduction of the meatballs was calculated with Equation (3), which involved measuring the diameter of both

raw and cooked meatballs. Photos of the cooked and raw meatball samples are provided in Figure 1.

$$\text{Cooking Loss (\%)} = \frac{(\text{Raw meatball weight} - \text{Cooked meatball weight})}{\text{Raw meatball weight}} * 100 \quad (2)$$

$$\text{Diameter Reduction (\%)} = \frac{(\text{Raw meatball diameter} - \text{Cooked meatball diameter})}{\text{Raw meatball diameter}} * 100 \quad (3)$$



Figure 1. Appearance of raw (1a) and cooked (1b) meatballs prepared with different flour formulations.

Color measurement

Color values of the raw and cooked (cooked according to the procedure outlined in the cooking loss analysis) meatball samples were analyzed using CIE L* (lightness), a* (redness), and b* (yellowness) color scale with a colorimeter (PCE-CSM 7, PCE Instruments, Meschede, Germany) (Turgut et al., 2017). For each group, measurements were taken from six different points on the surfaces of three randomly selected meatballs. The results are presented as the mean L*, a*, and b* values.

DPPH radical scavenging activity

Radical scavenging activity analysis of the meatballs was conducted using the DPPH method (Akdeniz et al., 2018). The meatballs were extracted following the procedure outlined by Ergezer and Serdaroğlu (2018). For this purpose, two grams of meatball were vortexed with 10 ml of methanol and kept overnight for extraction at refrigeration temperature. After the extraction period, the mixture was centrifuged at 10000 rpm for 15 minutes (Nüve NF 1200R, Ankara, Türkiye), and the supernatants were stored at 4°C until analysis.

The DPPH radical scavenging activity, expressed as inhibition percentage (%), was determined for the meatball samples using Equation (1). Additionally, the DPPH radical scavenging activity was calculated as mg Trolox equivalent per 100 g of dry sample (mg TE/100 g dw) using the calibration curve of Trolox ($y = 0.2998x + 0.5004$, $R^2 = 0.9982$) for concentrations ranging from 5 to 125 ppm.

Thiobarbituric acid reactive substances (TBARs)

The TBARs values were determined according to the method applied by Mielnik et al. (2006) with a minor modification (the only modification was in the centrifugation step; samples treated with 7.5% trichloroacetic acid were centrifuged at 10000 rpm for 5 minutes). The absorbance of the samples was measured spectrophotometrically (Shimadzu UV-mini 1240, Kyoto, Japan) at 532 nm against a blank sample, and the results were calculated as "mg malonaldehyde/kg meatball (mg MA/kg)" using a calibration graph obtained

with 1,1,3,3-Tetraethoxypropane as the standard material.

Texture profile analysis (TPA)

TPA was performed using the TA-TX Plus texture analyzer (Stable Micro System, Surrey, UK) equipped with a 50 mm diameter cylindrical probe. The parameters included a test speed of 5 mm/s and a 30 kg load cell, operating under double compression mode at 50% compression. For this purpose, three cooked meatballs used in the cooking loss analysis were used for the TPA after cooling to room temperature. Two independent measurements were taken for each meatball, and the results were calculated as the mean of the measurements. The results were expressed in terms of hardness (N), adhesiveness (N.s), springiness, cohesiveness, gumminess (N), chewiness (N), and resilience (Crehan et al., 2000; Erdem et al., 2020).

Sensory evaluation

The sensory evaluation of the meatballs prepared with different gluten-free flours was conducted with the participation of 8 experienced panelists, consisting of academic staff and students (aged 20–40) from the Department of Food Engineering at Sakarya University. The sensory analyses of the meatballs took place after grilling both surfaces of the meatballs in a pan for 5 minutes. Panelists were asked to evaluate the meatballs in terms of their appearance/color, odor, flavor, texture, juiciness, and overall acceptance using a 9-point hedonic scale, ranging from 1 (extremely bad) to 9 (excellent) for each attribute (with 5 representing neither bad nor good) (Altuğ Onoğur and Elmacı, 2005).

Statistical analysis

Statistical differences between the flour types and the effect of different flour types on the physical, chemical, and sensory characteristics of the meatballs were determined by performing a one-way ANOVA using SAS System Software (SAS On Demand for Academics). Duncan's multiple range test was applied when the difference between samples was statistically significant ($P < 0.05$). All results are expressed as mean $\pm$ standard deviation in all tables. Meatballs were

produced with three independent repetitions and all analyses were performed in duplicate.

RESULTS AND DISCUSSION

Characterization of oleaster flour, coconut flour and breadcrumb

The characteristics of oleaster flour (OF), coconut flour (CF), and the control flour (BC), are

presented in Table 2. Significant differences were observed across the flour samples for all properties ($P < 0.05$). OF exhibited the highest total phenolic content and radical scavenging activity, while CF had the highest values for crude fiber, ash, fat, WAC, and OAC. The protein content was the highest in BC (12.81%), followed by CF (11.50%) and OF (7.69%).

Table 2. Characterization of oleaster flour, coconut flour and breadcrumb used in meatball production

	OF	CF	BC
Moisture (%)	5.72±0.11 ^a	3.76±0.03 ^b	5.60±0.08 ^a
Ash (%)	1.83±0.07 ^b	2.46±0.06 ^a	1.70±0.05 ^c
Lipid (%)	3.26±0.05 ^b	17.58±0.27 ^a	0.62±0.03 ^c
Protein (%)	7.69±0.00 ^c	11.50±0.00 ^b	12.81±0.00 ^a
Crude fiber (%)	15.12±0.27 ^b	22.25±0.54 ^a	0.74±0.07 ^c
WAC (g/g dw)	1.68±0.04 ^c	6.89±0.09 ^a	2.22±0.02 ^b
OAC (g/g dw)	1.17±0.01 ^b	1.23±0.01 ^a	1.04±0.02 ^c
TPC (mg GAE/100 g dw)	341.81±6.92 ^a	33.42±1.70 ^c	55.12±1.12 ^b
DPPH radical scavenging activity (as inhibition %)	70.07±2.81 ^a	9.58±0.34 ^b	6.13±0.59 ^c
DPPH radical scavenging activity (mg TE/100 g dw)	270.90±10.19 ^a	45.23±1.29 ^b	32.07±2.40 ^c

(a-c): Means with different letters in the same row indicate significant differences among the flour samples ($P < 0.05$). OF: oleaster flour, CF: coconut flour, BC: breadcrumbs, WAC: water absorption capacity, OAC: oil absorption capacity, TPC: total phenolic content, GAE: Gallic acid equivalent, TE: Trolox equivalent, dw: dry weight

Sahan et al. (2013) studied OF derived from two different oleaster genotypes, prepared by milling the dried fruit flesh with and without the peel after removing the seed. They reported the ash and protein contents for OF (with peel) from different genotypes ranged between 1.87 - 2.57 g/100 g and 4.49 - 4.65 g/100 g on a dry basis, respectively. Kouhanestani et al. (2019) produced OF from unpeeled fruit flesh and reported the ash, fat, protein, and crude fiber contents as 2.44, 4.38, 6.30, and 4.47 g/100 g dw, respectively. Differences observed between these studies and the data shown in Table 2 likely stem from variations in oleaster genotype, growing conditions, and processing methods. The OF used in this study was a commercial product containing peel, flesh, and seed. Kouhanestani et al. (2019) and Yavuz et al. (2021) reported the

total phenolic contents for OF as 436.60 mg GAE/100 g and 3957.06 mg GAE/g, respectively, with the higher phenolic content in the study of Yavuz et al. (2021) likely due to the absence of a drying process. They reported antiradical activity at 6.48% using the DPPH method, whereas the activity observed in this study was approximately 70% (Table 2). Karkar and Şahin (2022) also reported higher total phenolic content for oleaster flour dried at room temperature compared to OF used in this study. Although the drying temperature for the OF sample is unknown, the lower moisture levels in Table 2 might suggest higher drying temperatures or longer drying times.

Different production methods for CF, including those with or without the defatting process, have

been reported in the literature (Bawalan, 2000; Hopkin et al., 2022). Gunathilake et al. (2009) and Mihiranie et al. (2017) reported the protein, fiber, fat, and ash content of CF between 21.65% and 22.10%, 10.45% and 17.69%, 8.42% and 8.04%, and 5.96% and 6.17%, respectively. In comparison, CF's fat content in this study was nearly double, while the protein content was approximately half of their findings, which may be attributed to differences in CF production methods. The antioxidant activity (%) of defatted CF ranges between 20-65%, depending on extraction temperature (Du et al., 2019), whereas the radical scavenging activity in the current study for CF was 9.6%.

The moisture, protein, fat, ash, total phenolic content, and radical scavenging activity of BC were determined as 9.59 g/100 g, 10.30 g/100 g, 0.46 g/100 g, 0.53 g/100 g, 0.99 mg GAE/g, and 21.64%, respectively by Bahmanyar et al. (2021). Given the influence of growth conditions and wheat varieties on chemical composition (Kaur et al., 2021), some variations in results are expected. Additionally, the extraction method also affects the total phenolic content and radical scavenging activity. In the present study, the radical scavenging activity of BC was determined as 6.12% (Table 2).

WAC and OAC values are critical parameters in flour applications for achieving high-quality food products. Flour with excessively high or low WAC and OAC values can negatively impact food quality (Awuchi et al., 2019). Optimal OAC values enhance flavor retention and improve mouthfeel (Chandra and Samsher, 2013). As shown in Table 2, CF exhibited a significantly higher WAC than the other flours, likely due to its high fiber content, as reported by other researchers (Trinidad et al., 2006; Dat and Phuong, 2017; Du et al., 2021). Significant differences in OAC values were observed among the flour samples ($P < 0.05$). While Dat and Phuong (2017) determined the WAC and OAC values of different particle-sized CF samples to range between 7.91-11.88 g/g and 3.28-3.93 g/g, respectively, Mihiranie et al. (2017) found these values for defatted CF to be approximately 3g/g and 1 g/g, respectively. In

contrast to the WAC values of OF shown in Table 2, Sahan et al. (2015) reported the WAC values of unpeeled oleaster flour to range between 4.1 and 4.3 g/g, obtained from two different oleaster fruit genotypes. However, they obtained the flour after removing the seed, which might have a decreasing effect on WAC in our study.

Physicochemical properties of meatballs

Proximate composition

The proximate composition and pH values of raw meatballs are presented in Table 3. Different flours used in meatball production did not lead to statistically significant changes in moisture, fat, ash, protein, salt contents, or pH of the meatballs ($P > 0.05$). Similarly, previous studies have reported that the addition of flours such as buckwheat, chickpea, corn, and millet had no effect on moisture, fat, ash content, or pH, though differences in protein content were noted due to the inherent protein levels of each flour type (Babaoğlu, 2022). Another study reported quinoa flour led to statistically significant differences in the proximate composition of meatballs, although pH remained unaffected (Bağdatlı, 2018). The salt content of meatballs in this study was comparable to that of meatballs made with toasted BC, at 1.53% (Yılmaz and Dağlıoğlu, 2003).

Color

The color parameters L^* , a^* , and b^* for raw and cooked meatballs are illustrated in Figure 2. Flour type significantly influenced the color values L^* , a^* , and b^* ($P < 0.05$). The meatball sample containing 100% CF (M3) had the highest L^* , a^* , and b^* values in both raw and cooked states. Generally, the inclusion of CF increased the color values, which can be attributed to its naturally whiter and brighter appearance, while increasing the OF content led to decreased values, likely due to the darker pigmentation and higher fiber content of oleaster flour, which may reduce the lightness and brightness of the meatball surface. Bağdatlı (2018) reported that quinoa flour increased the L^* value of the meatballs, and Babaoğlu (2022) found that meatballs with buckwheat flour had the highest a^* values for both raw and cooked states. Similarly, buckwheat

and chickpea flour increased the L* values in raw and cooked meatballs, respectively. These findings align with current results, indicating that

variations in meatball ingredients can influence color characteristics (El Khoury et al., 2018; Kaur, 2023).

Table 3. Physicochemical properties of meatballs

	Formulations				
	M1	M2	M3	M4	M5
Moisture (%)	61.11±0.71	60.69±0.36	60.48±0.09	61.15±0.55	61.80±1.88
Ash (%)	2.26±0.06	2.27±0.07	2.41±0.17	2.40±0.15	2.30±0.07
Lipid (%)	11.18±0.71	11.52±0.75	13.00±0.08	11.90±0.42	12.18±1.00
Protein (%)	14.89±0.33	14.12±0.51	14.52±0.25	14.30±0.16	14.73±0.30
pH	5.95±0.04	5.90±0.02	5.92±0.00	5.92±0.04	5.88±0.01
Salt (%)	1.70±0.08	1.73±0.18	1.69±0.08	1.71±0.11	1.59±0.13
Cooking loss (%)	12.82±0.24 ^b	16.24±0.51 ^a	16.28±1.13 ^a	16.34±0.37 ^a	15.70±0.33 ^a
Diameter reduction (%)	11.97±4.22	13.38±2.64	10.00±1.53	12.38±1.47	12.93±1.28
DPPH radical scavenging activity (mg TE/100 g dw)	46.68±1.08 ^{bc}	52.93±1.78 ^a	38.40±1.43 ^d	43.89±2.44 ^c	50.55±3.55 ^{ab}
TBARs (mg MA/kg meatball)	1.46±0.13 ^c	2.44±0.18 ^a	1.58±0.11 ^c	2.01±0.16 ^b	2.12±0.24 ^b

(a-c): Means with different letters in the same row indicate significant differences among the meatball groups ($P<0.05$)

M1: control group meatball including 8% breadcrumbs, M2: meatball including 8% oleaster flour, M3: meatball including 8% coconut flour, M4: meatball including 6% coconut flour and 2% oleaster flour, M5: meatball including 4% coconut flour and 4% oleaster flour

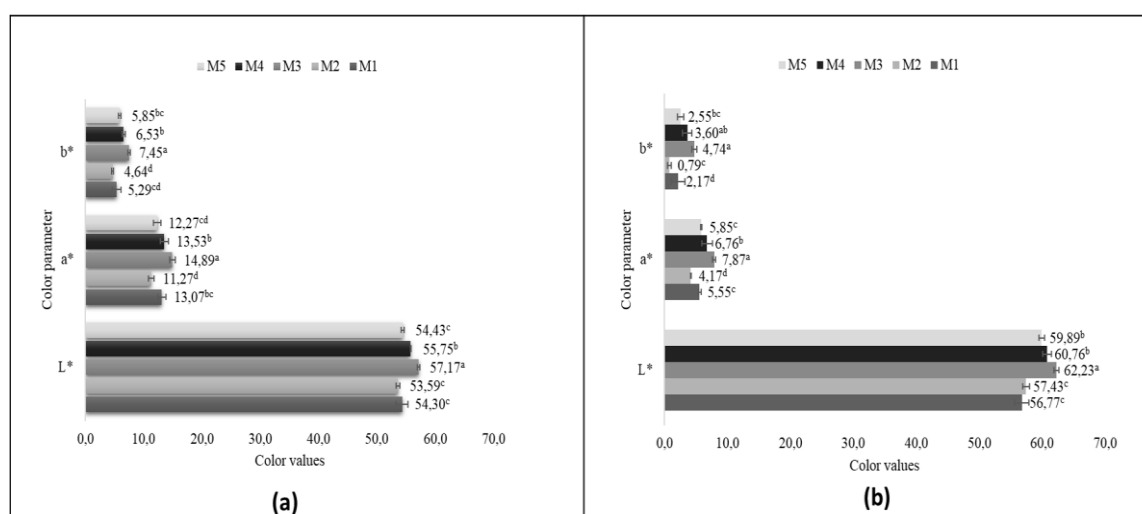


Figure 2. L*, a*, and b* color values of raw (2a) and cooked (2b) meatballs formulated with various gluten-free flours.

(a-d): Means with different letters indicate significant differences among different meatball groups for given color parameter ($P<0.05$).

Cooking loss and diameter reduction

The cooking loss and diameter reduction of the meatball samples are presented in Table 3. Given the high crude fiber, WAC, and OAC of OF and CF, it was initially expected that these meatballs would demonstrate lower cooking loss. However, the inclusion of OF and CF actually resulted in increased cooking loss compared to the control ($P<0.05$), possibly due to molecular interactions during cooking that altered water absorption behavior. But in the meantime, no significant differences were observed in the cooking loss of meatballs made with gluten-free flours. Similarly, Bağdatlı (2018) indicated that meatballs made with quinoa flour had lower cooking yields than those made with BC. Ergezer et al. (2014) found that meatballs prepared with potato puree exhibited higher cooking loss than those prepared with BC, while another study reported decreased cooking loss with gluten-free acorn flour (Akcan et al., 2024). In contrast, gluten-free meatballs made with buckwheat, chickpea, corn, and millet flours generally had lower cooking losses than BC-containing meatballs (Babaoğlu, 2022). In the literature, it has been observed that the cooking loss of meat products changes depending on the type of flour added. This variation is thought to be due to the chemical composition of the added flour, the contributions of other components in the formulation, or the applied cooking method.

Cooking loss is generally attributed to the water and fat loss occurring during meatball processing (Wang et al., 2016). Gluten, which typically forms a cohesive network, can reduce the mass transfer of proteins in flour and prevent excessive water loss (Kilincceker, 2013). The higher cooking loss values observed in meatballs containing OF and CF are likely due to the lack of gluten in these flours (Table 2). Moreover, protein molecules, especially those with polar amino acids, have a high affinity for water; approximately 31% of total water absorption in flour is attributed to proteins (Awuchi et al., 2019). As shown in Table 2, the protein content of OF and CF is lower than that of BC, which may contribute to the increased cooking loss in meatballs with OF and CF. Literature suggests that gluten-free meatballs made with flours containing protein levels similar

to or higher than BC generally exhibit lower cooking losses.

As expected, the diameter of all meatballs decreased with the cooking due to moisture and fat loss (Salarkarimi et al., 2019). However, no statistically significant differences in diameter reduction were observed among the groups in this study ($P>0.05$). Prior studies indicate that gluten-free flours tend to reduce the diameter reduction in cooked meatballs compared to gluten-containing controls (Salarkarimi et al., 2019; Babaoğlu, 2022). In meatballs made with various legume flours, diameter reduction ranged from 6.9% to 10.6% (Serdaroğlu et al., 2005). In comparison, meatballs made with buckwheat, chickpea, corn, and millet flours had diameter reductions below 16.73%, which is the value observed for BC-containing meatballs (Babaoğlu, 2022). The maximum and minimum diameter reductions in this study were obtained for the M2 group (13.38%) and the M3 group (10.00%), respectively.

DPPH radical scavenging activity

Table 3 shows that the highest radical scavenging activity was found in M2 (11.07% inhibition; 52.93 mg TE/100 g dw), likely due to the high DPPH radical scavenging activity of OF compared to CF and BC. This was followed by M5 (12.28% inhibition; 50.55 mg TE/100 g dw), M1 (11.36% inhibition; 46.68 mg TE/100 g dw), M4 (10.81% inhibition; 43.89 mg TE/100 g dw), and M3 (9.70% inhibition; 38.40 mg TE/100 g dw), respectively ($P<0.05$). Although CF has higher radical scavenging activity than BC, M3 did not exhibit higher antioxidant activity than M1 ($P<0.05$). differences in the stability or action duration of antioxidant compounds within different matrices, suggesting that CF's antioxidant compounds may exert a delayed effect within the meat matrix. The antioxidant activities of OF and CF are primarily attributed to their phenolic compounds (Adeloye et al., 2020; Karkar and Şahin, 2022).

Babaoğlu (2022) reported that cooked control meatballs exhibited lower radical scavenging activity (around 10%) than those made with

gluten-free flours (approximately 11-18%). Likewise, other researchers found that the addition of gluten-free tapioca and sorghum flours increased the antioxidant activity in meatballs (Ristanti et al., 2023). In a different study, chicken meatballs formulated with corn starch, quinoa starch, and quinoa seeds showed radical scavenging activities ranging from 20.28% to 34.84% (Park et al., 2021), values higher than those observed in our study. The presence of ingredients such as onion, garlic, and ginger in their formulation could explain the enhanced antioxidant activity in those meatballs.

TBARS

The TBARS values, an indicator of lipid oxidation, are presented in Table 3. Among the samples, M1 exhibited the lowest TBARS value (1.46 mg MA/kg meatball), followed by M3 (1.58 mg MA/kg meatball), M4 (2.01 mg MA/kg meatball), M5 (2.12 mg MA/kg meatball), and M2 (2.44 mg MA/kg meatball). Similar findings have been reported, showing that TBARS values in raw meatballs increase with the inclusion of gluten-free acorn flour (Akcan et al., 2024). Although OF demonstrated higher DPPH radical scavenging activity, meatballs containing OF had higher TBARS values compared to other samples. This could be attributed to the intrinsic characteristics, matrix interactions, and the effect of additives on antioxidant activity duration (Brewer, 2011).

In the present study, obtaining radical scavenging activity equivalent to or higher than the control group was a great achievement for developing gluten-free meatballs. However, further research is needed to examine the effects of OF and CF on antioxidant activity and TBARS values throughout storage.

Faki et al. (2022) reported that oleaster endocarp tissues contain approximately 90% unsaturated fatty acids, predominantly of the polyunsaturated type. Lipid oxidation in meat involves polyunsaturated fatty acids reacting with reactive oxygen species, suggesting that the high polyunsaturated fatty acid content in OF may contribute to the elevated TBARS levels observed in M2 (Amaral et al., 2018). Despite the higher

crude fat content of CF compared to BC, TBARS values in the M1 and M3 groups were not significantly different ($P>0.05$). Previous studies have found that meatballs with BC showed higher TBARS values than those containing oat flour, but lower values than those with pepper seed flour (Kılınççeker, 2015). The TBARS values of meatballs with breadcrumbs were higher than those of the meatballs with hemp cake (Kotecka-Majchrzak et al., 2021). For high-quality meat products, TBARS values are recommended to be below 3 mg MA/kg (Cadun et al., 2008). All meatball samples in this study are within this quality threshold, indicating acceptable lipid oxidation levels. Despite the differences in polyunsaturated fatty acid and crude fat content between OF and CF, TBARS values did not exceed the critical limit for quality.

Texture profile analysis (TPA)

TPA results of cooked meatball samples are shown in Table 4. The ranges of hardness (N), adhesiveness (N.s), springiness, resilience, gumminess (N), chewiness (N), and cohesiveness of meatballs are 208.03 - 342.87 N, (-5.54) - (-1.23) N.s, 0.27 - 0.30, 0.21 - 0.34, 118.11 - 263.71 N, 35.44 - 74.10 N, and 0.57 - 0.77, respectively. No statistical difference was observed in the adhesiveness and springiness values of the meatballs made from different flours ($P>0.05$). However, there was a statistically significant difference in the hardness, resilience, gumminess, chewiness, and cohesiveness values of the meatballs ($P<0.05$). The M3, M4, and M5 groups had higher hardness, resilience, gumminess, chewiness, and cohesiveness values than the M1 and M2 groups. However, there is no significant difference among the M3, M4, and M5 groups ($P>0.05$). The addition of OF or CF increased the hardness of meatballs compared to those with BC. This increment could be due to the higher cooking loss in the OF and CF-added groups. The change in textural properties is mainly related to the water binding and cooking loss properties of meatballs (Babaoglu, 2022). Among all formulations, M1, which had the lowest cooking loss (Table 3), was the best regarding textural properties.

Table 4. Texture profile analysis of meatballs

	Formulations				
	M1	M2	M3	M4	M5
Hardness (N)	208.03±11.42 ^c	311.78±9.74 ^b	330.10±14.24 ^{ab}	342.87±10.32 ^a	329.58±15.52 ^{ab}
Adhesiveness (N.sec)	-3.86±3.19	-3.24±1.59	-5.54±5.01	-2.82±1.18	-1.23±1.47
Springiness	0.30±0.01	0.29±0.02	0.27±0.01	0.28±0.02	0.28±0.00
Resilience	0.21±0.01 ^c	0.29±0.01 ^b	0.34±0.00 ^a	0.34±0.00 ^a	0.33±0.00 ^a
Gumminess (N)	118.11±6.43 ^c	213.61±8.38 ^b	252.02±13.55 ^a	263.71±6.23 ^a	248.39±11.49 ^a
Chewiness (N)	35.44±3.40 ^b	64.82±67.39 ^a	67.39±4.16 ^a	74.10±7.53 ^a	70.25±2.91 ^a
Cohesiveness	0.57±0.02 ^c	0.70±0.02 ^b	0.76±0.01 ^a	0.77±0.00 ^a	0.75±0.00 ^a

(a-c): Means with different letters in the same row indicate significant differences among the meatball groups ($P<0.05$)

M1: control group meatball including 8% breadcrumbs, M2: meatball including 8% oleaster flour, M3: meatball including 8% coconut flour, M4: meatball including 6% coconut flour and 2% oleaster flour, M5: meatball including 4% coconut flour and 4% oleaster flour

Ikhlas et al. (2011) used cassava, corn, wheat, sago, and potato flour in meatball production. They determined that meatballs produced with cassava flour had the best textural properties, while those with potato flour had the worst. Babaoğlu (2022) found that meatballs made with chickpea flour had better textural properties and were not different from the control meatballs. They also stated that the meatballs produced with corn flour showed the poorest textural properties. In the study of Bağdatlı (2018), hardness and cohesiveness values were higher in meatballs containing quinoa flour, while springiness values were higher in the control group. Mastanjević et al. (2014) concluded that hardness values were higher in gluten-free meatballs compared to the control samples. Salarkarimi et al. (2019) stated that hardness, springiness, cohesiveness, chewiness, gumminess, and resilience values were higher in meatballs made with toasted flour compared to those formulated with chestnut flour. They also suggested that these texture parameters decreased as the amount of chestnut flour substituted for toasted flour increased.

Sensory evaluation

The sensory attributes of the cooked meatball are shown in Figure 3. Flour types did not significantly affect the appearance/color of the

meatballs ($P>0.05$). A statistically significant difference was observed only between the M1 and M3 groups in terms of odor, flavor, and texture parameters ($P<0.05$). The juiciness scores of the meatballs decreased with the addition of gluten-free flours but this reduction was only found significant in groups M3, M4, and M5, compared to the control group ($P<0.05$). However, overall acceptance scores were significantly influenced by the flour types and concentrations used ($P<0.05$). The M1 group received the highest scores for flavor, texture, juiciness, and overall acceptance, while the CF-containing meatballs had the lowest ratings. Notably, the sensory scores of the M2 group were close to those of the control group (M1) ($P>0.05$). Although the inclusion of CF led to lower sensory scores, the meatballs were still deemed acceptable by the sensory panel, with overall acceptance scores as follows: M3-5.33, M4-6.29, and M5-6.38. Despite the lower sensory acceptability of CF, it still holds potential to be used in combination with other gluten-free flours in meatball formulations as an alternative to traditional breadcrumbs, due to its comparable protein content and antioxidant capacity to BC. To observe the single effects of the flours, the meatball formulations were held constant in this study, limiting improvements in texture and sensory attributes. Nevertheless, it was observed

that with optimized formulations (adjusting fat, water, and spice levels), these flours could be well-

suited for commercial gluten-free meatball production.

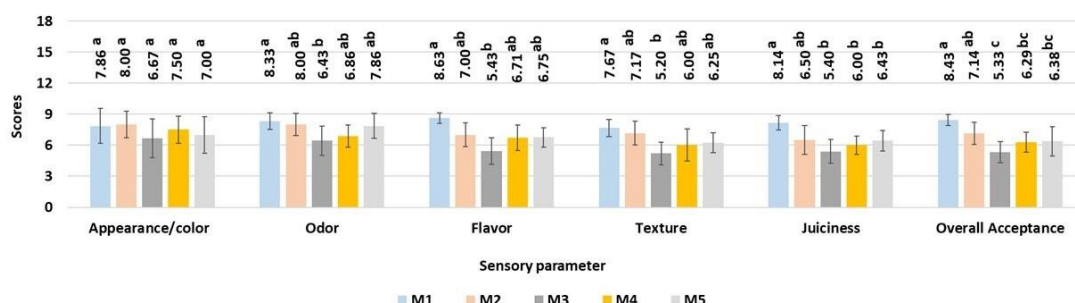


Figure 3. Sensory evaluation scores of meatball samples prepared with different flour formulations. (a-c): Means with different letters indicate significant differences among different meatball groups for same sensory parameter ($P < 0.05$).

Salarkarimi et al. (2019) found that increasing chestnut flour content in meatballs significantly improved texture, flavor, juiciness, and overall acceptance scores, although color scores declined. Mastanjević et al. (2014) reported no discernible differences in sensory properties among meatballs made with wheat, maize, and rice, while those with soy had the lowest scores for odor, consistency, and taste. It was reported that meatballs with potato puree attained higher flavor scores than those made with BC, albeit with lower texture scores (Ergezer et al., 2014). Bağdatlı (2018) observed no significant differences in odor, texture, or overall acceptance between meatballs containing equal portions of BC and quinoa flour, though taste scores improved with increasing quinoa flour content. Babaoğlu (2022) concluded that gluten-free flours did not significantly impact the appearance, odor, or texture of the meatballs.

While no study related to the addition of coconut flour and/or oleaster flour in meatballs could be found, cassava-coconut composite flour was evaluated in chicken sausages by Ayandipe et al. (2022), and 4.8% coconut flour and 15.2% cassava flour were determined as the optimum blend ratio to replace wheat flour. They observed no significant differences in the sensory acceptance of the optimal sausage over the wheat

flour-containing sausage. A recent study introduced coconut flour to fish sausages (James and Krishnamoorthy, 2025) and found it useful for improving the nutritional, textural, and sensory properties compared to the control, corn flour. On the other hand, Khalid et al. (2021) used young and mature coconut flesh as fat replacers in meatballs, and reported that using young coconuts in meatballs resulted in better cooking yield, texture, and sensory properties, and they recommended young coconut flesh as a potential fat replacer.

CONCLUSIONS

This study evaluated the use of OF and CF as gluten-free alternatives in meatball formulations, focusing on their effects on the physicochemical, antioxidant, and sensory properties of the final product. While the OF prominently led to higher antioxidant activity in the meatballs, CF exhibited much better results in terms of lipid oxidation similar to the control sample. The gluten-free nature of these flours, combined with lower protein content, led to increased cooking loss in OF- and CF-based meatballs when compared to traditional breadcrumb (BC) formulations.

The texture profile analysis revealed that gluten-free formulations with OF and CF increased hardness, gumminess, and chewiness, likely due to

the elevated cooking losses. Sensory evaluations further indicated that BC-based meatballs received the highest scores for flavor, texture, juiciness, and overall acceptance, while OF received the same scores and CF-containing meatballs had comparatively lower overall acceptance scores. Among the gluten-free formulations, the meatballs containing only oleaster flour (M2) demonstrated the most favorable sensory attributes, making it the most suitable alternative to traditional breadcrumbs.

In conclusion, both oleaster and coconut flours hold potential as functional, gluten-free ingredients in meatball production, particularly given their beneficial antioxidant properties. Future studies focusing on optimization and refining production methods could facilitate the development of gluten-free meat products with enhanced sensory appeal and improved functional attributes, contributing to healthier alternatives in gluten-free diets.

CONFLICT OF INTEREST

The authors report that there are no competing interests to declare.

ETHICAL STATEMENTS

Ethical approval for the involvement of human subjects in this study was granted by Sakarya University Research Ethics Committee, with reference number E-61923333-050.99-232826, 03/22/2023.

CREDIT AUTHORSHIP

CONTRIBUTION STATEMENT

Esra Bostancı Selbeş: Formal analysis, data curation, methodology, conceptualization, writing - original draft, visualization, Guliz Haskaraca: Formal analysis, data curation, methodology, conceptualization, writing - review & editing, visualization, Fundagül Erem: Formal analysis, data curation, methodology, conceptualization, statistics, writing - review & editing, Zehra Ayhan: technical support, writing - review & editing.

REFERENCES

Adeloye, J.B., Osho, H., Idris, L.O. (2020). Defatted coconut flour improved the bioactive

components, dietary fibre, antioxidant and sensory properties of nixtamalized maize flour. *Journal of Agriculture and Food Research*, 2: 100042, doi: 10.1016/j.jafr.2020.100042

Agyemang-Yeboah, F. (2011). Health benefits of coconut (*Cocos nucifera* linn.) seeds and coconut consumption. In *Nuts & Seeds in Health and Disease Prevention*, Preedy, V.R., Watson, R.R. and Patel, V.B. (eds.), Elsevier, New York, NY, pp. 361-367, doi: 10.1016/B978-0-12-375688-6.10043-X

Akcan, T., Önel, E., Ergezer, H. (2024). Acorn (*quercus ithaburensis*) Flour's effect on the physicochemical, textural, and sensory characteristics of raw and cooked beef meatballs. *International Journal of Gastronomy and Food Science*, 35: 100887, doi: 10.1016/j.ijgfs.2024.100887

Akdeniz, B., Şümnü, G., Şahin, S. (2018). Microencapsulation of phenolic compounds extracted from onion (*Allium cepa*) skin. *Journal of Food Processing and Preservation*, 42(7): e13648, doi: 10.1111/jfpp.13648

Altuğ Onoğur, T., Elmacı, Y. (2005). *Gıdalarda Duyusal Değerlendirme*. Sidas Medya, İzmir, Türkiye.

Amaral, A.B., da Silva, M.V. and da S. Lannes, S.C. (2018). Lipid oxidation in meat: mechanisms and protective factors-a review. *Food Science and Technology*, 38: 1-15, doi: 10.1590/fst.32518

AOAC. (2000). *Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Collaboration (AOAC) International: Official Methods of Analysis of AOAC International*. Washington DC.

Augustyńska-Prejsnar, A., Sokolowicz, Z., Ormian, M., Tobiasz-Salach, R. (2022). Nutritional and health-promoting value of poultry meatballs with the addition of plant components. *Foods*, 11(21): 3417.

Awuchi, C.G., Igwe, V.S., Echeta, C.K. (2019). The functional properties of foods and flours. *International Journal of Advanced Academic Research*, 5(11): 139-160.

Ayandipe, D.O., Adebawale, A.A., Obadina, O., Sanwo, K., Kosoko, S.B., Omohimi, C. I. (2020). Optimization of High-Quality Cassava and Coconut Composite Flour Combination as Filler

- in Chicken Sausages. *Journal of Culinary Science & Technology*, 20(1), 1–32. <https://doi.org/10.1080/15428052.2020.1799280>
- Babaoğlu, A.S. (2022). Effects of replacing breadcrumbs with buckwheat, chickpea, corn and millet flour in gluten-free meatball formulation. *Selcuk Journal of Agriculture and Food Sciences*, 36(3): 399-404, doi: 10.15316/SJAFS.2022.052
- Bağdatlı, A. (2018). The influence of quinoa (*Chenopodium quinoa* willd.) flour on the physicochemical, textural and sensorial properties of beef meatball. *Italian Journal of Food Safety*, 30(2): 280-288, doi: 10.14674/IJFS-945
- Bahmanyar, F., Hosseini, S.M., Mirmoghtadaie, L., Shojaee-Aliabadi, S. (2021). Effects of replacing soy protein and bread crumb with quinoa and buckwheat flour in functional beef burger formulation. *Meat Science*, 172: 108305, doi: 10.1016/j.meatsci.2020.108305
- Bawalan, D.D. (2000). The economics of production, utilization and marketing of coconut flour from coconut milk residue. *CORD*, 16(1): 29-36, doi: 10.37833/cord.v16i01.338
- Bradauskienė, V., Vaiciulytė-Funk, L., Martinaitienė, D., Andruskienė, J., Verma, A.K. Lima, J.P.M., Serin, Y., Catassi, C. (2023). Wheat consumption and prevalence of celiac disease: Correlation from a multilevel analysis. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 63(1): 18-32, doi: 10.1080/10408398.2021.1939650
- Brewer, M.S. (2011). Natural antioxidants: sources, compounds, mechanisms of action, and potential applications. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 10(4): 221-247, doi: 10.1111/j.1541-4337.2011.00156.x
- Cabanillas, B. (2020). Gluten-related disorders: Celiac disease, wheat allergy, and nonceliac gluten sensitivity. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 60(15): 2606-2621, doi: 10.1080/10408398.2019.1651689
- Cadun, A., Kışla, D., Çaklı, Ş. (2008). Marination of deep-water pink shrimp with rosemary extract and the determination of its shelf-life. *Food Chemistry*, 109(1): 81-87, doi: 10.1016/j.foodchem.2007.12.021
- Chandra, S., Samsher, L. (2013). Assessment of functional properties of different flours”, *African Journal of Agricultural Research*, 8(38): 4849-4852, doi: 10.5897/AJAR2013.6905
- Crehan, C.M. Hughes, E., Troy, D.J., Buckley, D.J. (2000). Effects of fat level and maltodextrin on the functional properties of frankfurters formulated with 5, 12 and 30% fat. *Meat Science*, 55(4): 463-469, doi: 10.1016/S0309-1740(00)00006-1
- Dat, L.Q., Phuong, V.T.H. (2017). Functional properties and influences of coconut flour on texture of dough and cookies. *Vietnam Journal of Science and Technology*, 55(5A): 100-107, doi: 10.15625/2525-2518/55/5A/12184
- de Carvalho, L.R.S., da Silva, C.H.D., Giada, M.d.L.R. (2018). Physical, chemical and sensorial properties of low-fat and gluten-free chicken nuggets. *Journal of Food Science and Technology*, 16(1): 18-29, doi: 10.1080/15428052.2017.1310071
- Devatkal, S.K., Kadam, D.M. Naik, P.K., Sahoo, J. (2011). Quality characteristics of gluten-free chicken nuggets extended with sorghum flour. *Journal of Food Quality*, 34(2011): 88-92, doi: 10.1111/j.1745-4557.2010.00367.x
- Domínguez, R., Pateiro, M., Gagaoua, M., Barba, F.J., Zhang, W., Lorenzo, J.M. (2019). Comprehensive review on lipid oxidation in meat and meat products. *Antioxidants*, 8(10): 429, doi: 10.3390/antiox8100429
- Du, X., Bai, X., Gao, W. and Jiang, Z. (2019). Properties of soluble dietary fibre from defatted coconut flour obtained through subcritical water extraction. *International Journal of Food Science and Technology*, 54(4): 1390-1404, doi: 10.1111/ijfs.14071
- Du, X., Wang, L., Huang, X., Jing, H., Ye, X., Gao, W., Bai, X., Wang, H. (2021). Effects of different extraction methods on structure and properties of soluble dietary fiber from defatted coconut flour. *LWT-Food Science and Technology*, 143: 111031, doi: 10.1016/j.lwt.2021.111031
- El Khoury, D., Balfour-Ducharme, S., Joye, I.J. (2018). A review on the gluten-free diet:

- technological and nutritional challenges. *Nutrients*, 10(10): 1410, doi: 10.3390/nu10101410
- Erdem, N., Babaoğlu, A.S., Poçan, H.B., Karakaya, M. (2020). The effect of transglutaminase on some quality properties of beef, chicken, and turkey meatballs. *Journal of Food Processing and Preservation*, 44(10): e14815, doi: 10.1111/jfpp.14815
- Ergezer, H., Akcan, T., Serdaroglu, M. (2014). The effects of potato puree and bread crumbs on some quality characteristics of low fat meatballs. *Korean Journal for Food Science of Animal Resources*, 34(5): 561-569, doi: 10.5851/kosfa.2014.34.5.561
- Ergezer, H., Serdaroglu, M. (2018). Antioxidant potential of artichoke (*Cynara scolymus* L.) byproducts extracts in raw beef patties during refrigerated storage. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 12: 982-991, doi: 10.1007/s11694-017-9713-0
- Faki, R., Seçilmiş Canbay, H., Gürsoy, O., Yilmaz, Y. (2022). Antioxidant activity, physico-chemical and fatty acid composition of oleaster (*Elaeagnus angustifolia* L.) varieties naturally grown in western mediterranean region of Turkey. *Akademik Gıda*, 20(4): 329-335, doi: 10.24323/akademik-gida.1224295
- Gunathilake, K.D.P.P., Yalegama, C., Kumara, A.A.N. (2009). Use of coconut flour as a source of protein and dietary fibre in wheat bread. *Asian Journal of Agriculture and Food Sciences*, 2(03): 386-395.
- Handa, C.L., de Lima, F.S., Guelfi, M.F.G., Georgetti, S.R., Ida, E.I. (2016). Multi-response optimisation of the extraction solvent system for phenolics and antioxidant activities from fermented soy flour using a simplex-centroid design. *Food Chemistry*, 197(Part A): 175-184, doi: 10.1016/j.foodchem.2015.10.124
- Haskaraca, G., Demirok Soncu, E., Kolsarıcı, N., Öz, F., Juneja, V.K. (2017). Heterocyclic aromatic amines content in chicken burgers and chicken nuggets sold in fast food restaurants and effects of green tea extract and microwave thawing on their formation. *Journal of Food Processing and Preservation*, 41(6): e13240, doi: 10.1111/jfpp.13240
- Hopkin, L., Broadbent, H., Ahlborn, G.J. (2022). Influence of almond and coconut flours on Ketogenic, Gluten-Free cupcakes. *Food Chemistry: X*, 13: 100182, doi: 10.1016/j.fochx.2021.100182
- ICC. (1972). *International Association for Cereal Science and Technology*. Determination of crude fibre value. Standard no:113.
- Ikhlas, B., Huda, N., Noryati, I. (2011). Chemical composition and physicochemical properties of meatballs prepared from mechanically deboned quail meat using various types of flour. *International Journal of Poultry Science*, 10(1): 30-37, doi: 10.3923/ijps.2011.30.37
- James, R.M., Krishnamoorthy, E. (2025). Coconut flour as a novel functional ingredient in tilapia fish sausage: Effect on textural and sensory properties. *Food Safety and Health*, 00:1-11, doi: 10.1002/fsh3.70004
- Jansson-Knodell, C.L., Celdir, M.G., Hujoel, I.A., Lyu, R., Gardinier, D., Weekley, K., Prokop, L.J., Rubio-Tapia, A. (2023). Relationship between gluten availability and celiac disease prevalence: A geo-epidemiologic systematic review. *Journal of Gastroenterology and Hepatology*, 38(10): 1695-1709, doi: 10.1111/jgh.16260
- Jiamjariyatam, R., Roskhrua, P., Attiwittayaporn, S. (2022). Effect of coconut flour on biscuit quality. *Journal of Culinary Science & Technology*, 20(3): 278-292, doi: 10.1080/15428052.2021.1978362
- Karkar, B., Şahin, S. (2022). Determination of phenolic compounds profiles and antioxidant properties of oleaster (*Elaeagnus angustifolia* L.) grown in Turkey. *European Food Research and Technology*, 248: 219-241, doi: 10.1007/s00217-021-03875-y
- Kaur, N., Singh, B., Kaur, A., Yadav, M.P., Singh, N., Ahlawat, A.K., Singh, A.M. (2021). Effect of growing conditions on proximate, mineral, amino acid, phenolic composition and antioxidant properties of wheatgrass from different wheat (*Triticum aestivum* L.) varieties. *Food Chemistry*, 341(Part 1): 128201, doi: 10.1016/j.foodchem.2020.128201

- Kaur, S. (2023). Disorders related with gluten and sources for gluten-free diet. *Journal of Pharmaceutical Innovation*, 12(6): 44-53.
- Khalid, S.K., Ismail-Fitry, M.R., Yusoff, M.M., Halim, H.H., Jaafar, A.H., Anuar, N. (2021). Different maturities and varieties of coconut (*Cocos nucifera* L.) flesh as fat replacers in reduced-fat meatballs. *Sains Malaysiana*, 50(8): 2219-2228
- Kılınççeker, O. (2015). Some quality characteristics of fish meatballs manufactured with different vegetable-based flours. *Gıda*, 40(2): 61-67, doi: 10.15237/gida.GD14058
- Kilincceker, O. (2013). Utilization of oat flour as edible coating material on fried chicken meat balls. *Focusing on Modern Food Industry (FMFI)*, 2(1): 36-42.
- Kotecka-Majchrzak, K., Kasalka-Czarna, N., Szychaj, A., Mikołajczak, B., Montowska, M. (2021). The effect of hemp cake (*Cannabis sativa* L.) on the characteristics of meatballs stored in refrigerated conditions. *Molecules*, 26(17): 5284, doi: 10.3390/molecules26175284
- Kouhanestani, S.B., Abbasi, H., Zamindar, N. (2019). The effects of oleaster flour, active gluten and sucrose replacement with potassium acesulfame and isomalt on the qualitative properties of functional sponge cakes. *Brazilian Journal of Food Technology*, 22: e2018142, doi: 10.1590/1981-6723.14218
- Lee, Y.C., Kung, H.F., Cheng, Q.L., Lin, C.S., Tseng, C.H., Chiu, K., Tsai, Y.H. (2022). Effects of high-hydrostatic-pressure processing on the chemical and microbiological quality of raw ready-to-eat hard clam marinated in soy sauce during cold storage. *LWT-Food Science and Technology*, 159: 113229, doi: 10.1016/j.lwt.2022.113229
- Liu, W., Wu, Y., Wang, J., Wang, Z., Gao, J., Yuan, J., Chen, H. (2023). A meta-analysis of the prevalence of wheat allergy worldwide. *Nutrients*, 15(7): 1564, doi: 10.3390/nu15071564
- Marchetti, L., Califano, A.N., Andrés, S.C. (2018). Partial replacement of wheat flour by pecan nut expeller meal on bakery products. Effect on muffins quality. *LWT-Food Science and Technology*, 95: 85-91, doi: 10.1016/j.lwt.2018.04.050
- Mastanjević, K., Jukić, M., Ugarčić, Ž., Kovačević, D., Kosović, I., Koceva Komlenić, D., Kuleš, A., Keleković, S. (2014). Use of maize, soy and rice breadcrumbs in the formulation of the gluten free meatballs. *Pro-ceedings of the 7th International Congress Flour-Bread'13 and 9th Croatian Congress of Cereal Technologists*, 2013 October 16-18, Opatija, Croatia.
- Mielnik, M.B., Olsen, E., Vogt, G., Adeline, D., Skrede, G. (2006). Grape seed extract as antioxidant in cooked, cold stored turkey meat. *LWT-Food Science and Technology*, 39(3): 191-198, doi: 10.1016/j.lwt.2005.02.00
- Mihiranie, S., Jayasundera, M., Perera, N. (2017). Development of snack crackers incorporated with defatted coconut flour. *Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences*, 7(2): 153-159, doi: 10.15414/jmbfs.2017.7.2.153-159
- Miranda, J., Lasa, A., Bustamante, L.A., Churrua, I., Simon, E. (2014). Nutritional differences between a gluten-free diet and a diet containing equivalent products with gluten. *Plant Foods for Human Nutrition*, 69: 182-187, doi: 10.1007/s11130-014-0410-4
- Murphy, E.W., Criner, P.E., Gray, B.C. (1975). Comparisons of methods for calculating retentions of nutrients in cooked foods. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 23(6): 1153-1157, doi: 10.1021/jf60202a021
- Niewinski, M.M. (2008). Advances in celiac disease and gluten-free diet. *Journal of the American Dietetic Association*, 108(4): 661-672, doi: 10.1016/j.jada.2008.01.011
- Oyeyinka, S.A., Ojuko, I.B., Oyeyinka, A.T., Akintayo, O.A., Adebisi, T.T., Adeloye, A.A. (2018). Physicochemical properties of novel non-gluten cookies from fermented cassava root. *Journal of Food Processing and Preservation*, 42(11): e13819, doi: 10.1111/jfpp.13819
- Oyeyinka, A.T., Abogunrin, A.O., Adebo, O.A., Kesa, H. (2022). In vitro digestibility, physicochemical, and sensory properties of a gluten-free biscuit from blends of cassava and

- African walnut flour. *Journal of Food Processing and Preservation*, 46(11): e17022, doi: 10.1111/jfpp.17022
- Prabhu, G., Husak, R., Smith, R. (2016). Use of stabilized rice bran and rice blend in gluten free turkey meatballs. *Meat Science*, 1(2): 39-40, doi: 10.221751/rmc2016.037
- Park, J.H., Lee, Y.J., Lim, J.G., Jeon, J.H., Yoon, K.S. (2021). Effect of quinoa (*Chenopodium quinoa* wild.) starch and seeds on the physicochemical and textural and sensory properties of chicken meatballs during frozen storage. *Foods*, 10(7): 1601, doi: 10.3390/foods10071601
- Ramírez-Maganda, J., Blancas-Benítez, F.J., Zamora-Gasga, V.M., García-Magaña, M.L., Bello-Pérez, L.A., Tovar, J., Sáyago-Ayerdi, S.G. (2015). Nutritional properties and phenolic content of a bakery product substituted with a mango (*Mangifera indica*) 'Ataulfo' processing by-product. *Food Research International*, 73: 117-123, doi: 10.1016/j.foodres.2015.03.004
- Ristanti, A., Hajrawati, H., Nahariah, N. (2023). Antioxidant activity and physical properties of chicken meatballs by tapioca flour substitution with sorghum flour. *The 4th International Conference of Animal Science and Technology (ICAST) 2021*, 2021 November 9-10, AIP Publishing, Makassar, Indonesia, doi: 10.1063/5.0144065
- Romero, M.C., Fogar, R.A., Rolhaiser, F., Clavero, V.V., Romero, A.M., Judis, M.A. (2018). Development of gluten-free fish (*Pseudoplatystoma corruscans*) patties by response surface methodology. *Journal of Food Science and Technology*, 55: 1889-1902, doi: 10.1007/s13197-018-3106-1
- Sabença, C., Ribeiro, M., de Sousa, T. (2021). Wheat/Gluten-related disorders and gluten-free diet misconceptions: A review. *Foods*, 10(8): 1765, doi: 10.3390/foods10081765
- Sahan, Y., Dundar, A.N., Aydın, E., Kilci, A., Dulger, D., Kaplan, F.B., Celik, G., Gocmen, D. (2013). Characteristics of cookies supplemented with oleaster (*Elaeagnus angustifolia* L.) flour. I physicochemical, sensorial, textural properties. *Journal of Agricultural Sciences*, 5(2): 160-168, doi: 10.5539/jas.v5n2p160
- Sahan, Y., Gocmen, D., Cansev, A., Celik, G., Aydın, E., Dundar, A.N., Dulger, D., Kaplan, F.B., Kilci, A., Gucer, S. (2015). Chemical and techno-functional properties of flours from peeled and unpeeled oleaster (*Elaeagnus angustifolia* L.). *Journal of Applied Botany and Food Quality*, 88: 34-41, doi: 10.5073/JABFQ.2015.088.007
- Salarkarimi, V., Varidi, M.J., Varidi, M. (2019). The effect of chestnut (*Quercus brantii*) flour substitution on the physicochemical and sensory properties of burgers. *Research and Innovation in Food Science and Technology*, 8(1): 15-30, doi: 10.22101/jrifst.2019.04.30.812
- Serdaroğlu, M., Yıldız-Turp, G., Abrodímov, K. (2005). Quality of low-fat meatballs containing Legume flours as extenders. *Meat Science*, 70(1): 99-105, doi: 10.1016/j.meatsci.2004.12.015
- Shankar, P., Ahuja, S., Tracchio, A. (2014). Coconut oil: A review. *Agro FOOD Industry Hi-Tech*, 24(5): 62-64.
- Šmídová, Z., Rysová, J. (2020). Gluten-free bread and bakery products technology. *Foods*, 11(3): 480, doi: 10.3390/foods11030480
- Stoin, D. (2016). Researches regarding the influence of coconut flour addition on the nutritional value of gluten-free cookies. *Journal of Agroalimentary Processes and Technologies*, 22(4): 292-300.
- Trinidad, T.P., Mallillin, A.C., Valdez, D.H., Loyola, A.S., Askali-Mercado, F.C., Castillo, J.C., Encabo, R.R., Masa, D.B., Maglaya, A.S., Chua, M.T. (2006). Dietary fiber from coconut flour: A functional food. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 7(4): 309-317, doi: 10.1016/j.ifset.2004.04.003
- Turgut, S.S., Işıkcı, F., Soyer, A. (2017). Antioxidant activity of pomegranate peel extract on lipid and protein oxidation in beef meatballs during frozen storage. *Meat Science*, 129: 111-119, doi: 10.1016/j.meatsci.2017.02.019
- Wang, K., Luo, S., Zhong, X., Cai, K., Cai, J., Jiang, S., Zheng, Z. (2016). Effect of modified wheat gluten on boiling resistance capacity of pork meatballs. *Journal of Food Science*, 81(2): E430-E437, doi: 10.1111/1750-3841.13207

Yavuz, Z. Tornuk, F., Durak, M.Z. (2021). Effect of oleaster flour addition as a source of dietary fiber on rheological properties of wheat dough. *European Food Research and Technology*, 2(1): 7-12.

Yazdanpanah, S., Ansarifard, S., Hasani, M. (2022). Development of novel gluten-free sausage based on chickpea, corn flour, and HPMC.

International Journal of Food Science, 2022: 3616887, doi: 10.1155/2022/3616887

Yılmaz, İ., Dağlıoğlu, O. (2003). The effect of replacing fat with oat bran on fatty acid composition and physicochemical properties of meatballs. *Meat Science*, 65(2): 819-823, doi: 10.1016/S0309-1740(02)00286-3

GASTRONOMİ ALANINDA TEMEL BAZI BESİNLERDE MİKROPLASTİK TEHLİKESİ VE GIDA GÜVENLİĞİ

Yusuf YİĞİT*

Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi
Otel Lokanta ve İkram Hizmetleri Bölümü/Aşçılık, Muğla, Türkiye

Geliş / Received 22.02.2025; Kabul / Accepted: 25.06.2025; Online baskı / Published online: 14.07.2025

Yiğit, Y. (2025). Gastronomi alanında temel bazı besinlerde mikroplastik tehlikesi ve gıda güvenliği. GIDA (2025) 50 (4) 556-576 doi: 10.15237/ gida.GD25028

Yiğit, Y. (2025). *Some basic foods in gastronomy microplastic hazard and food safety*. GIDA (2025) 50 (4) 556-576 doi: 10.15237/ gida.GD25028

ÖZ

Son yıllarda tüm dünyada meydana gelen ekonomik sıkıntıların artması, özellikle besin ürünlerinin hazırlanması, dağıtımı ve tüketimi aşamalarında plastik kullanımının da hızla yaygınlaşmasına sebep olmuştur. Diğer taraftan pandemi döneminde yoğun şekilde maske kullanımı, denizlerdeki ve doğal çevredeki plastik atıkların sayısındaki kontrolsüz artışı tetiklemiştir. Özellikle boyutları gözle fark edilemeyecek kadar küçük (<5 mm çap) olan plastik parçacıklar mikroplastik (MP) olarak isimlendirilir. MP'ler ise nispeten daha büyük yapıdaki plastiklere göre ekosistem ve canlılar için daha ciddi sağlık sorunları yaratmaktadır. Özellikle solunum sistemi yoluyla ve yemeklerin hazırlanmasında kullanılan temel besinlerle taşınan plastikler, canlı organizmalarda farklı sağlık sorunlarının oluşmasında etkilidir. Gastronomi alanında yemek üretiminde kullanılan su, şeker, bal, tuz ve deniz ürünleri gibi birçok besin maddesinde MP'lere rastlanılmaktadır. Yemek üretim sektöründe sadece ürün üretim aşamasında değil, üretim sonrası paketleme, dağıtım ve tüketim aşamalarında da ciddi bir plastik kullanımı söz konusudur. Plastikğin, kullanım kolaylığı ve ekonomik sebeplerle tercih edilmesi anlaşılır bir gerekçe olsa da meydana gelen çevre ve halk sağlığı sorunları beraberinde gıda güvenliği tartışmalarını zorunlu hale getirmektedir. Gastronomi ekosistemi açısından bakıldığında, özellikle plastik damacana içindeki sulara, deniz ürünlerinde, ballarda, plastik ambalaj içindeki şeker ve tuzlarda farklı oranlarda MP varlığı tespit edilmiştir. Bu çalışmada gastronomi alanında tüketilen bazı besinlerdeki MP varlığı ele alınarak, Türkiye'deki durum paylaşılmıştır.

Anahtar kelimeler: Mikroplastik, plastik tehlikesi, gıda güvenliği, gastronomi

SOME BASIC FOODS IN GASTRONOMY MICROPLASTIC HAZARD AND FOOD SAFETY

ABSTRACT

The increasing economic difficulties that have occurred all over the world in recent years have caused the use of plastic to become widespread, especially in the preparation, distribution and consumption of food products. On the other hand, the intensive use of masks during the pandemic period has triggered an uncontrolled increase in the number of plastic wastes in the seas and the natural environment. Plastic particles that are too small to be noticed by the eye (<5 mm diameter) are called microplastics. Microplastics, on the other hand, create serious health problems for the ecosystem and living things compared to relatively larger plastics. Plastics, especially those carried through the

* Sorumlu yazar / Corresponding author

✉: yusufyigit@mu.edu.tr

☎: (+90) 542 797 2718

Yusuf Yiğit; ORCID no: 0000-0003-0222-0210

respiratory system and with the basic nutrients used in the preparation of meals, are effective in the formation of different health problems in living organisms. Microplastics are found in many food items used in food production in the field of gastronomy, such as water, sugar, honey and seafood. There is a serious use of plastic in the food production sector, not only in the product production phase, but also in the post-production packaging, distribution and consumption phases. Although it is understandable that plastic is preferred for ease of use and economic reasons, the environmental and public health problems that occur make food safety discussions necessary. From the perspective of the gastronomy ecosystem, microplastic accumulation has been detected at different rates, especially in water in plastic bottles, seafood, and sugar and salt in plastic packaging. In this study, the presence of MP in some foods consumed in the field of gastronomy was discussed and the situation in Turkey was shared.

Key words: Microplastic, plastic hazard, food safety, gastronomy

GİRİŞ

Günlük hayatımıza 1950'li yıllardan sonra giren plastik kavramı, her geçen yıl artan üretimi ile dikkati çekmektedir. 1950'lerde 1.5 milyon ton üretim kapasitesi olan plastiğin, 2017 yılı itibari ile 4.8 ile 12.7 milyon ton plastik atık şeklinde okyanuslara atıldığı ve bu miktarın 280 bin tonunun okyanuslarda yüzdüğü bildirilmiştir (Lusher vd., 2017; Ginneken ve Van, 2019). Diğer taraftan Plastik Europe'ya göre 2021 yılı itibari ile plastik üretiminin 390.7 milyon tona ulaştığı ve bu üretimin ancak % 8.3'ünün geri dönüştürülmüş plastikten elde edildiği belirtilmiştir. Görüldüğü gibi 1950 lerden günümüze kadar geçen yaklaşık 70 yıllık süreçte plastik üretimi ortalama 260 kat artmış ve halen de artmaya devam etmektedir (Plastics Europe & EPRO, 2022). Günlük hayatta kullanılan plastiklerin çoğu gözle görülebilen ve doğada uzun yıllar dayanabilen maddeler olsa da, bilim dünyasında "mikroplastik" kavramı daha sık tartışılmaktadır. Mikroplastikler çoğu plastiğin çeşitli etkenlerle bozulması ve daha küçük parçalara ayrılması ile oluşmakta ve ekosistemden uzaklaştırılması hayli zor olmaktadır (Koelmans vd., 2022; Shim vd., 2017).

Mevcut atık arıtma teknolojilerinde herhangi bir iyileştirme öngörülmediği takdirde, yapılan çalışmalar 2050 yılına kadar küresel çevrenin (okyanuslar, tatlı su kaynakları, atmosfer ve kara ekosistemleri dahil olmak üzere) yaklaşık 13.2 milyar ton plastik kaynaklı atıkla kontamine olacağını göstermektedir (Silva vd., 2020).

Bu durumun bir sonucu olarak plastik kalıntılarının çeşitli gıdalar yoluyla organizmaya alınması muhtemel görülmektedir. Özellikle bu

alandaki literature bakıldığında genelde tuz, deniz ürünleri, ambalaj türleri, su ve çay gibi malzemelerde plastik varlığının nicel olarak saptanmaya çalışıldığı görülmektedir. Ancak doğrudan gıda tüketimi ile vücuda alınan plastik maruziyeti hakkında detaylı çalışmalara ihtiyaç duyulmaktadır. Diğer taraftan gastonomi alanında gıda üretiminde kullanılan temel malzemelerde çay, su ve damacana içme suları gibi ürünlerde araştırmalar yapılsa da bu çalışmalar ayrı ayrı ele alınmış ve karşılaştırmalı olarak detaylı incelemelere yer verilmemiştir (Kwon vd., 2020; Atakan vd., 2021).

Gastonomi alanında kullanılan malzemelerin üretimi, işlenmesi ve paketlenmesi gibi farklı aşamalarda da ürünlere MP'ler bulaşabilmekte, halk sağlığı sorunlarının oluşmaması veya en az indirilmesi için bu süreçlerin dikkatle ele alınması gerekmektedir. Bu kapsamda gıdalara bulaşan plastik kalıntılarının çok zor tespit edilmesi, değişen gıda matrisleri sebebi ile MP'lerin standart bir ölçümünün yapılamaması, gıda güvenliği alanında daha çok çalışmanın karşılaştırmalı olarak ele alınmasını zorunlu kılmaktadır (Kwon vd., 2020)

Bu derleme çalışmasında MP'lerin gastronomi alanında kullanılan farklı ürünlerdeki varlıkları ele alınmış, bu alandaki literatür taraması sonucu bulgular insan sağlığı açısından ayrı ayrı değerlendirilerek halk sağlığı için önerilerde bulunulmuş ve Türkiye'deki MP'lerin durumu en son araştırmalardan elde edilen verilerle ortaya konulmuştur.

MİKROPLASTİK KAVRAMI ve PLASTİK TÜRLERİ

Polimer matris yapısında yada sentetik katı parçacıklar halinde bulunabilen ve boyutları 1µm ile 5 mm arasında değişiklik gösteren, çoğunlukla duş jeli, yüz temizleyicisi, bulaşık süngeri gibi ürünlerde kullanılmak üzere boyutları küçültülebilen plastik yapısındaki ürünlere MP adı verilmektedir (Kannan ve Vimalkumar, 2021). MP'ler çevreye salınım kaynaklarına göre; *Birncil* ve *İkincil* olmak üzere iki temel grupta ele alınır. Birincil MP ler, az önce bahsettiğimiz daha çok mikrobuncuk yapısında olan, çoğu zaman giysilerde bulunan ve kasıtlı olarak 5 mm'nin altındaki boyutlarda üretilen MP'lerdir. İkincil MP'ler ise, plastik malzemelerin termal, foto, mekanik ve biyolojik bozulma olarak adlandırılan dört tip çevresel etki nedeniyle küçük parçalara ayrılmış halidir (Chamas vd., 2020).

Özellikle güneş ışınları *foto-degradasyon* (ışıkla-bozulma) olayını arttırarak plastikte C-H ve C-C bağlarının kopmasına sebep olur. Sıcaklığın

artması ile polimerlerin yapısı etkilenir ve *termal bozulma* oluşur. Mikroorganizmalar yoluyla aerobik ve anaerobik koşullarda oluşan enzimatik bozulmalar ise *biyolojik bozulma* olarak ifade edilir. Rüzgar, su, basınç gibi fiziksel stres koşullarında plastik maddelerde oluşan parçalanmalara ise *mekanik bozulma* adı verilir. (Fotopoulou ve Karapanagioti, 2019).

Hangi tür bozulma olursa olsun belirli fiziksel koşullarda plastikte meydana gelen değişimler plastiğin türüne ve üretim çeşidine bağlıdır. Bu sebeple plastik üretim türlerinin bilinmesi halk sağlığının korunması ve kullanım alanlarının doğru belirlenmesi bakımından son derece önem kazanmaktadır (Chamas vd., 2020). Günlük hayatta gıdalarla temasında farklı etkilere sahip olan plastik hammaddeler bazı kodlarla birbirinden ayrılır ve geri dönüşüm simgesi içerisinde bu kod numaraları ile tüketiciye sunulmaktadır. Şekil 1'de hammaddelerine göre plastik türleri ve kodları verilmiştir.

						
PETE	HDPE	PVC	LDPE	PP	PS	OTHER
Polietilen Tereftalat	Yüksek Yoğunluklu Polietilen	Polivinilklorür	Düşük Yoğunluklu Polietilen	Polipropilen	Polistiren	Diğer
						

Şekil 1. Hammaddelerine göre plastik türleri ve kodları (Anonim, 2024)

1.PETE veya PET – Polietilen Tereftalat:

Günümüzde çok yaygın olarak kullanılan malzemelerden birisidir. Ürün kodu geri dönüşüm işareti içinde bir (1) rakamıdır. Özellikle içecek şişeleri, temizlik ürünleri ve deterjan kaplarında, sıvı kristal ürünlerinde, gitar, vitray, piyano gibi ürünlerin cilalanmasında tercih edilmektedir. Bu plastik türü geri dönüştürülmeye uygun olsa da içerisine konulan gıda ve sıvılardan koku ve tatları emebilmektedir. Güneş ışığı ile temasında ve yüksek pH değişim durumlarında nispeten yapısı bozularak, yüksek toksik madde salınımına neden

olabilmektedir. Meyve suyu, ağız gargarası, plastik kola şişelerinde kullanıldığından bu sıvılarla temas ettiğinde mümkün olduğunca hızlı tüketilmeli ve hava ile teması en az düzeyde tutulmalıdır.

2.HDPE – Yüksek Yoğunluklu Polietilen:

Polietilen yapısındaki yoğunluk sebebi ile gıdalara sızma riski düşük bir maddedir. Ürün kodu geri dönüşüm işareti içinde iki (2) rakamıdır. Özellikle çocuk oyuncakları, yoğurt kapları, plastik sürahiler ve şampuan şişelerinde kullanılmaktadır. Geri dönüştürülmüş hali ile plastik kereste, çit ve kamp

malzemesi gibi ürünlerin yapımında tercih edilir. HDPE filament yapısı ile geri dönüşüme uygun olsa da, dönüşümü kolay değildir ve özel soğutma sistemlerini gerekli kılar.

3.V veya PVC – Polivinil Klorür: PVC malzemesi çok fazla zararlı kimyasallar içerdiğinden genellikle sıhhi tesisat boruları, yapı malzemeleri, pencere üretimi, yer döşemeleri ve tıbbi ekipmanlarda kullanılmaktadır. Ürün kodu geri dönüşüm işareti içinde üç (3) rakamıdır. PVC içerisine katılan kimyasal madde olan fitalatlar insan sağlığı için zararlıdır. Fitalarları genellikle daha dayanıklı yapmak için bir grup kimyasal kullanılır ve bunlar *plastikleştirici* olarak adlandırılır. Tıbbi borular, bahçe boruları ve bazı plastik ambalajlarda bu kimyasallar kullanılmaktadır. Fitalatlarla temas eden yiyecekler ve gıda maddeleri bir miktar kimyasal madde ile etkileşime girer. Özellikle yerde emekleyen çocuklar ellerini bir çok ürüne dokundurarak ağızlarına götürmektedir. Böylece fitalat parçacıkları toz yoluyla da vücuda alınmaktadır. Vücuda giren fitalatlar, plastikleri daha dayanıklı hale getirmek için kullanılan bir grup kimyasaldır. Genellikle plastikleştiriciler olarak adlandırılırlar. Bazı fitalatlar, plastik ambalaj, bahçe hortumları ve tıbbi borular gibi ürünlerin yapımında kullanılır. (Anonim, 2024).

4.LDPE – Düşük Yoğunluklu Polietilen: Plastik hammaddeler içerisinde en güvenilir ve en temiz yapıdaki ürün olup, esnek ve ince dokusu ile bilinmektedir. Ürün kodu geri dönüşüm işareti içinde dört (4) rakamıdır. Genellikle dondurulmuş gıda kapları, bakkal poşetleri, saklama şişeleri ve plastik ambalajlarda kullanılmaktadır. Geri dönüşüm yapılabilse de erimiş haldeki yapısı ve geldiği filament şekli sebebiyle dönüşüm önerilmez. Geri dönüşüm yapıldığında ise çöp kutularında, döşeme ve mobilyalarda tercih edilir. İnsan sağlığı için çok büyük tehlike olmasa da %100 güvenli olduğu söylenemez.

5.PP – Polipropilen: Genellikle sağlam bir dokuya sahip olan plastik malzemesidir. Ürün kodu geri dönüşüm işareti içinde beş (5) rakamıdır. Özellikle şurup şişeleri, tupperware ürünleri, ilaç ve yoğurt kaplarında tercih

edilmektedir. Mutfak araçlarının üretiminde yaygın kullanılır.

6.PS – Polistiren: Bu malzeme günlük kullanım plastiği olarak da bilinir. Ürün kodu geri dönüşüm işareti içinde altı (6) rakamıdır. Genellikle köpük içecek kaplarında, plastik yemek takımlarında, tek kullanımlık ürünlerde ve yumurta viyollerinde tercih edilir. Ürünlere sızıntı yapabildiği için kötü bir şöhrete sahiptir. Özellikle yeni araştırmalarda, köpük bardaklarda sıcak içecek içildiğinde bu kimyasalların vücuda geçebildiği bildirilmiştir (Sezer, 2024).

7.Diğer / Muhtelif Plastikler: Plastik yapısı bakımından 1-6 arasındakilere girmeyen, farklı mühendislik teknikleri ile geliştirilmiş plastik sınıfıdır. Ürün kodu geri dönüşüm işareti içinde yedi (7) rakamıdır. Bu kod numarasına sahip plastikler muazzam çeşitlilikte bir yelpazede üretilmektedir. Bu kategoriyi doğru tanımlamak zor olsa da çok fazla kimyasal kullanıldığından sağlık üzerine zararlı etkileri daha fazladır. Özellikle BPA ve yeni bir bisfenol türü olan BPS içeren plastik türleri olduğundan sağlık üzerine sakıncaları dikkat çekicidir. BPA maddesinin aşırı kilo alımı, insülin direnci ve obezite gibi konularla ilintili olduğuna dair yeni çalışmalar bulunmaktadır (Kılınç ve Keser, 2021).

MİKROPLASTİK KONTAMİNASYONU

MP'ler nispeten küçük olmaları sebebi ile çeşitli kaynaklardan suya, toprağa ve havaya karışarak bu ortamlardan da diğer canlılara bulaşabilmektedir. MP kaynaklarının özellikle su ve okyanus ortamlarına bırakılması, katı atık bertaraf işlemlerinin yetersizliği, evsel atıkların okyanus göl ve nehirlerle ulaşması gibi çeşitli sebeplerle suda yaşayan canlılar yoğun bir şekilde plastik maruziyetine uğramaktadır. Ayrıca katı atık toplanması sırasında oluşan plastik bozulmaları ve bu mikro parçacıkların rüzgarla taşınması gibi sebeplerle canlılar MP'lerden olumsuz şekilde etkilenmekte ve bu durum kontaminasyon riskini artırmaktadır (Ashrafy vd., 2022).

Diğer taraftan toprak ekim alanlarındaki biyokatı kullanımı ve plastik malçlama gibi sebeplerle toprak tarım alanlarında da MP kontaminasyonu

oluşmaktadır. Toprağa geçen MP'ler su ve trofik taşıma yoluyla meyve ve sebzelerde birikebilmektedir (Huang vd., 2020).

MP'lerin bitkilerle kontaminasyonunda işçi anıların da etkili olduğu bildirilmiştir (Edo vd., 2021). Özellikle gıda üretimi ve ambalajlanması sırasında oluşan atıklar, güzellik ürünleri atıkları, ambalaj sanayiinde kullanılan mikro boncuklar, araç lastikleri, boyalar, sentetik tekstil ürünleri, içecek şişeleri, gelişigüzel kullanılan elektronik ürünler ve bunların yavaş yavaş parçalanarak çevreye dağılması gibi etkenler MP

kontaminasyonunun ana sebepleri olarak görülmektedir (Nara, 2019).

Doğaya atılan plastik maddeleri kolaylıkla parçalanamazlar. Parçalanmanın oluşabilmesi için ultraviyole (UV) ışığa ihtiyaç duyulur. Plastikler fotodegradasyon olayı sonucunda güneşten gelen ışıkla zaman içerisinde parçalanma gösterirler. Plastik zamanla parçalanarak MP'leri oluşturur ve toplum sağlığı için daha zararlı hale gelebilir (Rainieri ve Barranco, 2019). Çizelge 1'de farklı polimerler için doğada bozunma süreleri verilmiştir.

Çizelge 1. Çeşitli polimerlerin yoğunluk değerleri ve doğada bozunma süreleri (Huang vd., 2020; Glaser, 2019).

Polimer	Polimer yoğunluğu (g/cm ³)	Doğada Bozunma Süresi(yıl)
Polipropilen (PP)	0.90-0.91	10-600
Polietilen (PE)	0.965-0.971	10-600
Poliamid (nylon)(PA)	1.02-1.05	
Polistiren (PS)	1.04-1.1	50-80
Polivinil klorür (PVC)	1.16-1.58	50-100+
Polyester	1.23-2.3	
Polietilen teraftalat (PET)	1.37-1.45	~450

Isı, ışık, rüzgar gibi çeşitli çevresel fiziksel etkilerle MP'lerde bozulmalar meydana gelmekte ve özellikle gıda ambalajlarından ürünlere kontaminasyon gerçekleşmektedir. Özellikle sıcak servis edilen içecek kaplarında bu tarz bir bozulma ile MP oluştuğu düşünülmektedir. (Sridharan vd., 2021). Gastronomi alanında plastik yemek kapları ve bardaklarının yaygın kullanımı, gıdalara doğrudan MP bulaşmasında etkilidir (Jadhav vd., 2021). Diğer taraftan COVID-19 salgını süresince gıda dağıtım işlerinde plastik kullanımı artmış, bu durum MP kontaminasyon düzeylerini olumsuz etkilemiştir (Du vd., 2020).

Gıda işleme alanında, yapılan farklı çalışmalarda, üretim, paketlenme ve dağıtım faaliyetlerinde işçilerin kullandığı bone, eldiven, maske gibi ekipmanlardan yada gıda formülasyonunda kullanılan su, tuz, katkı maddelerinden veya havalandırma sistemlerinden ürünlere MP karışabileceği belirtilmektedir (Brachner vd., 2020). Gastonomi alanında özellikle, süt, bira, içme suyu, damacana sular, şeker, tuz, bal, deniz ürünleri, tavuk, poşet çay, meyveli içecekler gibi farklı ürünlerde ve bu ürünlerin işlenme

sürecinde, MP parçacıklarının gıdalara bulaşabildiği bildirilmiştir (Diaz-Basantes vd., 2020; Shruti vd., 2020; Kosuth vd., 2018; Pivokonsky vd., 2018)

MİKROPLASTİKLERİN SAĞLIK ÜZERİNE ETKİLERİ

Çeşitli MP'lerin ortamda nasıl ayrıştığı ve besin zincirindeki durumu ile ilgili net bilgiler olmasa da bunların genellikle hayvanların tüketimi ile besin zincirine dahil olduğu düşünülmektedir. Özellikle deniz canlıları su alımı yoluyla MP'leri tüketmekte ve bu canlılar tarafından yutulan MP'ler, diğer canlıların onları yemesi ile bir üst besin zincirine yükselebilmektedir. Bu şekilde oluşan bir beslenme sisteminde MP'ler en üst beslenme halkasına kadar yükselerek çeşitli sağlık sorunlarına yol açabilirler (Nara, 2019).

MP'ler birçok kimyasal ürün için toksinleri taşıyıcı özellik gösterirler. Ortamda bulunan karsinojen, teratojen ve mutajen etkiye sahip kimyasallar adsorpsiyon yoluyla MP'lere tutunur ve sağlık üzerine ciddi sorunlar yaratır. Özellikle bunları tüketen canlılar yoluyla başka canlılara, kurşun,

mangan, bakır, alüminyum, çinko, gümüş ve demir gibi ağır metallerin taşınmasına sebep olurlar (Verla vd., 2019). Ayrıca canlıda meydana gelen sağlık sorunlarında MP'lerin yapısını oluşturan polimerin türü de etkilidir (Rochman vd., 2017).

Genellikle MP'ler insan vücuduna üç farklı yolla giriş yaparlar. Kozmetik ve kişisel bakım ürünleri yoluyla deri yüzeyinden, yeme içme yoluyla sindirim sisteminden ve solunum yoluyla da dolaşım sisteminden insanı hasta edebilirler. Bu yollardan en etkili günlük gıda tüketimi ile meydana gelen MP kontaminasyonudur (Prata vd., 2021). Özellikle toprakta yetişen bitki kökenli tüketimden günlük 80 g plastiğin, yıllık sofraya tuzu tüketiminden ise 150 partikül plastiğin vücuda alındığı belirtilmektedir (Ebere vd., 2019; Özçifçi vd., 2023).

Yutma yoluyla MP'lere maruz kalmak, canlıda endokrin sisteminde, mide ve bağırsak dolaşımında birçok sağlık sorununa sebep olmaktadır (Emenike vd., 2023). Genel olarak boyutu 10 µm'den küçük MP'ler bağırsaktan emilerek lenfatik sisteme ve dolaşıma geçebilirler bu sayede karaciğer, beyin, ve böbrek dokularında da birikebilirler (Yong vd., 2020) İlk defa 2022 yılında 22 sağlıklı gönüllüden alınan kanda PET, PS, PE, ve polimetil metakrilat (PMMA) polimerleri tanımlanarak insan kanında ortalama 1.6 µg/ml, MP olduğu belirlenmiştir (Leslie vd., 2022) Ragusa vd., (2021) ise 6 insan plasentası üzerinde bir çalışma yaparak boyutları 5 ile 10 µm arasında değişen düzensiz 12 adet MP parçacığını ilk defa plasentada tespit etmişlerdir. Bu çalışmalar plastik parçacıkların sadece sindirim sisteminde değil, kan dolaşımı yolu ile fetüse kadar olan tüm sistemlerde görülebileceğini kanıtlamıştır. MP'lerle ilgili yapılan farklı çalışmalarda uzun süreli membranlar arası etkisi, ikincil organlara ve dokulara translokasyonu henüz tam anlamıyla tanımlanmasa da solunum yolu rahatsızlıkları ile gelen farklı 22 hastanın balgamında, boyutu 500 µm'den küçük 21 farklı MP türü saptanmıştır (Huang vd., 2022). Bu sebeple plastik ürünler küçük parçacıklara ayrıldıkça çevreye verdiği zarar daha da artmaktadır (Wright ve Kelly, 2017). Plastik

üretimi sırasında son üründe istenen özelliklere göre üretim prosesinde antioksidanlar, plastikleştirici, yanma dayanımını arttırıcı, ultraviyole stabilizatörler, renklendirici ve yağlayıcılar gibi farklı maddeler ürüne ilave olarak katılmaktadır. Bu aşamada en çok kullanılan katkı maddeleri bisfenol A, ftalatlar, nonilfenol ve alev geciktiriciler gibi sağlığa zararlı maddelerdir (Lusher vd., 2017).

GASTRONOMİ ALANINDA MİKROPLASTİK VARLIĞI

Gıda ürünlerinde ve gastronomi alanında MP varlığı çalışmaları henüz yeni bir alandır ve üzerinde daha çok araştırma yapılması gerekmektedir. Literatürde tuz, bal, şeker ve içme suları gibi ürünler üzerinde yapılan çok sayıda çalışma yer alsa da, süt ve süt ürünlerinde (20 µm'den) küçük boyutlardaki MP varlığını tespit etmek son derece gelişmiş metodları gerekli kılmaktadır (Da Costa Filho vd., 2021). Gastronomi alanında özellikle gıda işleme ve üretim süreçleri gibi alanlarda çalışanların kıyafetlerinden, ortamın hava koşullarından ve kullanılan cihazların yıpranması sonucu oluşan kontaminasyonlardan gıda ürünlerine MP bulaşması söz konusu olmaktadır (Udovicki vd., 2022; Sewwandi vd., 2023).

Diğer taraftan bu alanda yapılan literatür çalışmalarında tuz, ambalaj malzemeleri, içme suları, çay ve deniz ürünlerinde MP varlığı belirlenmeye çalışılsa da benzer gıdaların doğrudan tüketimi yoluyla oluşan maruziyet tam olarak bilinmemektedir (Kwon vd., 2020).

Gıdalarda MP ölçülmesinde yaşanan güçlükler, plastik partiküllerin gıdadan ayrıştırılmasındaki zorluklar, pişmiş gıdalardaki MP yoğunluğunun tam olarak tespit edilememesi ve değişen farklı gıda matrisleri sebebiyle standartlaştırılmış analizlerin olmaması, MP tespiti alanında daha fazla çalışmanın yapılmasını gerekli kılmaktadır (Kwon vd., 2020).

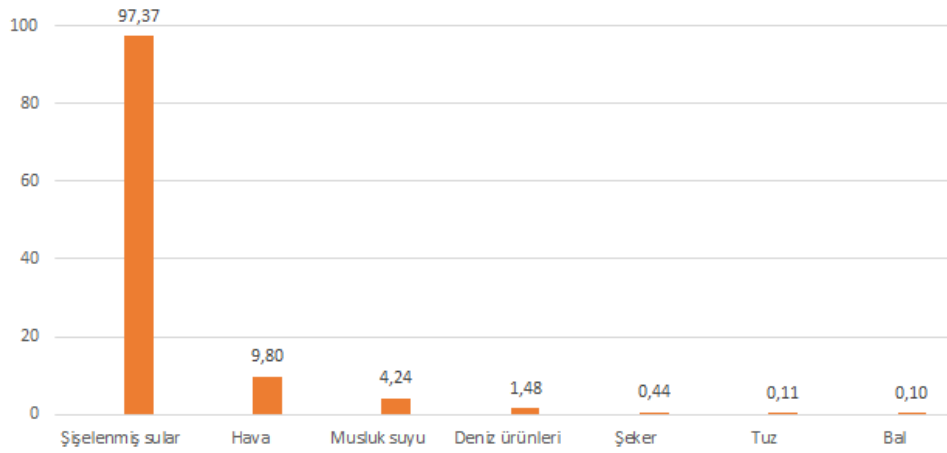
Ayrıca gıda ambalajlarında kullanılan plastikler ekstrüde polistiren (XPS) veya genleşmiş polistiren (EPS) gibi maddelerdir (Kedzierski vd., 2020). Kaplar folyolar, tepsiler, şişeler, kapaklar,

poşetler, gıda endüstrisinde kullanılan başlıca plastik ürünler arasındadır (Geueke vd., 2018).

Bu plastik kaplar sadece ambalajların mekanik aşınması ile değil, ısı ve UV ışını gibi dış ortam faktörlerinin etkisi ile bozunarak ve parçalanarak, depolama süresince plastik partüküllerin gıdalara bulaşmasına sebep olmaktadır (Sewwandi vd., 2023).

Gıda üretiminin tüm aşamalarında gıda ile temas edebilecek bütün malzeme ve teçhizat sağlık için

bir tehlike kaynağı oluşturmaktadır. Gıda ile temas eden maddeler çeşitli kanun ve yönetmeliklerle düzenlemelere tabi olsalar da, MP varlığı açısından oluşabilecek sağlık sorunları özenle ele alınmalıdır (Udovicki vd., 2022) Aşağıda Şekil 2’de bazı gıda maddeleri için litre/metreküp başına düşen mikroplastik miktarları verilmiş, ayrıca içme suyu, poşet çay, süt, tuz, bal, deniz ürünleri, tavuk ve ambalaj malzemeleri gibi gastonomi alanı için önemli olan temel ürünlerdeki MP varlığı ayrı ayrı ele alınmıştır.



*Şişelenmiş su, musluk suyu ve balda gr/litre, hava ve diğer ürünlerde gr/m³'dür.

Şekil 2. Çeşitli ürünlerde gr/litre ya da gr/m³ türünden MP miktarı

Şekil 2 dikkate alındığında gıda alanında özellikle şişelenmiş sulardaki MP varlığının diğer ürünlere göre daha ciddi düzeylerde olduğu görülmektedir (Armstrong, 2019).

Su Kaynaklarında Mikroplastik

Akarsu, rüzgar, hava gibi doğal yollarla MP'ler çevredeki kaynaklara bulaşabilmektedir. Su kaynaklarına bulaşan plastik atıklar buradaki canlılar, dalga hareketleri ve akıntılar yoluyla da tatlı su kaynaklarına ve dolayısıyla insan tüketimine ulaşabilmektedir (Kooi vd., 2017; Eerkes-Medrano vd., 2019). Özellikle atık su direnaj sistemlerinden ve taşkınlar yoluyla tarım alanlarından çamur şeklinde akarak farklı tatlı su sistemlerine MP bulaşmaktadır (Eriksen vd., 2013). Okyanuslarda bulunan plastik atıkların yaklaşık %18'inin balık ve su ürünü yetiştiriciliğinden, %80'inin ise karasal kökenli

kaynaklardan geldiği düşünülmektedir (Cole vd., 2011; Andrady, 2011). Özellikle aşırı hava olayları ve fırtına gibi durumlarda karalarda meydana gelen hava hareketleri sebebi ile plastik atıkların su kütlelerine erişimi artmaktadır (Cole vd., 2011). Diğer taraftan çamaşır yıkamada kullanılan deterjanlar ve giysilerden kopan plastik parçacıklar su kaynaklarındaki MP varlığına etki etmektedir (Aslan, 2018; Browne vd., 2011).

Browne vd. (2011) tarafından yapılan bir çalışmada evsel yıkama sonucunda çamaşır makinası atık suları incelenerek, tek bir giysiden her yıkama sırasında ortalama 1900 civarı, MP lif ortaya çıktığı belirtilmiştir. Başka bir çalışmada ise Napper vd. (2015) yüz peelinglerinden tek bir yıkamada, kullanım başına, boyut olarak 164-327 µm çapında, ortalama 4.594 ile 94.500 adet mikrobunuğun su akışına salındığını tespit

etmişlerdir. Almanya’da 2016 yılında, Mintenig vd. (2017) tarafından yapılan bir çalışmada, 12 atık su deşarj tesisinin 10’unda MP varlığı tespit edilmiş olup, bu MP’lerin boyutlarının 500 µm’den büyük olduğu belirtilmiştir. Yine Almanya’da yapılan başka bir çalışmada, Schymanski vd. (2018) tek sefer kullanılmış ve depozitolu olan 22 plastik şişe, 9 cam şişe ve 3 meşrubat kartonda yer alan suların MP içeriğini araştırmıştır. Bu çalışmada ortalama MP içerikleri, iade edilebilir şişelerde 118 ± 88 partikül/L, tek kullanımlık plastik şişelerde 14 ± 14 partikül/L ve içecek kartonlarında 11 ± 8 partikül/L şeklinde bildirilmiştir. Kosuth vd. (2018) tarafından yapılan bir başka çalışmada ise, 159 adet küresel kökenli musluk suyu araştırılmış bunların %81’inin antropojenik parçacıklar içerdiği bulunmuş, bu partiküllerin %98.3’ünün ise 0.1-5 mm aralığında liflerden oluştuğu belirtilmiştir.

Poşet Çayda Mikroplastik

İçecekler gibi düşük filtrasyon özelliklerine sahip olan maddeler daha analitik işlemlere gerek kalmadan filtrelemeye uygun olabilmektedir. Bu filtrasyon işlemleri selüloz nitrat, fiberglas, alüminyum oksit ve selüloz asetat (CA) gibi membran filtreler kullanılarak nispeten kolay yöntemlerle gerçekleştirilebilmektedir. Bu işlemler sırasında membranların gözenek çapları farklı boyutlarda belirlenerek MP’lerin farklı sınıflandırmalara tabi olması mümkündür (Kadaczapska vd., 2023). Bu sebeple de son yıllarda farklı gözenek çaplarına sahip membranlar ve basınç pompası birlikte kullanılarak, soğuk çay, enerji içeceği ve bira gibi sıvı formdaki gıdalardan MP’lerin başarılı bir şekilde ayrılması mümkün olabilmektedir (Shruti vd., 2020; Prata vd., 2020; Diaz-Basantes vd., 2020) Fakat yüksek sıcaklık kullanımının MP partiküllerinin fiziki yapısında değişmelere neden olduğu (çatlama, sararma, erime vb.) bildirilmiştir (Gulizia vd., 2022). Diğer taraftan plastik varlığının gıdalardan ayrılması için katı faz mikro ekstraksiyonu, manyetik ve ultrason teknikleri de uygulanabilmektedir (Sridhar vd., 2022).

Kanada’da dört farklı çay markasının ele alındığı bir araştırmada, poşet çayın ambalajından çaya geçen MP varlığı araştırılmıştır. Çay ambalajları

kesilerek örnekler çıkarılmış ve ambalajlar 95°C suya 5 dakika daldırılarak bekletilmiştir. Bu işlemler sonrasında elektron mikroskobu kullanılarak nano ve mikro parçacıklar tespit edilmiştir. Poşet ve süzöntü kalıntılarında plastik tespiti için Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi (FTIR) kullanılmıştır. Çalışma sonucunda plastik çay poşeti ile hazırlanan çayın, çay bardağı başına, 16 µg plastik yükü taşıdığı tahmin edilmiş, bu durumun sofraya tuzunda 0.005 µg/g olduğu bildirilmiştir. Ayrıca çay poşetinin oda sıcaklığında demlendiğinde çok daha az parçacığın çaya geçtiği ve genel olarak MP salınımı konusunda kullanım koşullarının önemi üzerinde durulmuştur. Sonuç olarak, bir fincan çay hazırlanırken 14.7 milyar mikron altı ($< 1 \mu\text{m}$) ve 2.3 milyon adet ise mikron boyutunda ($\sim 1-150 \mu\text{m}$) plastik parçacığın demleme suyuna salındığı tahmin edilmektedir. Bu salınan plastik miktarı sadece insanlar tarafından tüketilmemekte aynı zamanda kanalizasyon gibi sistemlerle atık su alanlarına ulaşarak MP kirliliğinin artmasına sebep olmaktadır (Hernandez vd., 2019). Diğer taraftan içecek paketlerinin bükülmesi, gıda paketlerinin açılması ve çay poşetlerinin demlenmesi sırasında uygulanan fiziksel işlemler sebebi ile de gıdalara plastik geçişi olduğu bildirilmektedir (Udovicki vd., 2022).

Normal şartlarda çay; içerdiği tanin, polifenoller, kafein gibi maddeler sayesinde kalp koruyucu anti-aging özelliği bulunan, zihinsel uyanıklılık durumuna katkı sağlayan sağlıklı bir içecektir. Ancak üretiminden tüketimine kadar geçen süreçte atmosferde bulunan PVC ve PE gibi plastik maddeler, üretimde kullanılan plastik araçlar, ambalaj ve gübrelere bulunan plastikler, farklı etkilerle çaya geçerek sağlıklı bir yaşamı tehdit edebilmektedir. Çayda MP varlığının azaltılması için ekiminden tüketime kadar geçen her aşamada plastik girdi miktarının azaltılması önem kazanmaktadır. Çay ürünlerinde bulunan plastikler genellikle polietilen ve polietilen tereftalat kaynaklıdır, bu sebeple de bazı işletmeler MP girdisini azaltmak amacıyla ambalajlarında plastik poşetler yerine, alüminyum kaplara öncelik vermekte, kağıt-alüminyum kompozitlere veya kağıt kaplara yer verilerek plastik varlığı azaltılmaktadır (Xing vd., 2023). Balcı tarafından

2020 yılında ülkemizde yapılan bir tez çalışmasında, market reyonlarının çay bölümlerinde önemli bir alanı teşkil eden poşet

çaylar ele alınmıştır. Çalışmada incelenen poşet çay tipleri Şekil 3’de belirtilen türdedir.



Şekil 3. İncelenen poşet çay türleri; demlik poşeti(a), bardak poşeti(b) ve stick çay(c)

Bu çalışmada toplamda 6 adet demlik poşet çay, 8 adet bardak poşet çay ve 1 adet de stick çay incelemeye alınmış, analizler 3 tekrarlı olarak gerçekleştirilmiştir. Söz konusu çalışmada bir poşet çaydan ortalama 36.5 adet plastiğin insan vücuduna geçebildiği bildirilmiştir. Diğer taraftan incelenen poşet çay türlerinde üretim meteryali olarak selüloz tercih edilse bile, bazı destek malzemelerinde plastik polimerlerin kullanıldığı vurgulanmıştır. İncelenen 15 markanın 10 tanesinin doğal selülozik malzeme, 5 tanesinin ise plastik türevi malzeme kullandığı belirtilmiştir. Bu çalışmadan anlaşılabileceği gibi, selüloz yapıda olan poşet çaylarda bile sağlığı olumsuz etkileyebilecek düzeylerde MP varlığı belirlenmiştir. Bu çayların tüketimi sırasında ayrıca şeker kullanışının, şeker kaplarından çaya geçebilecek plastik miktarını da ek olarak arttıracağı düşünülmektedir. Ayrıca demlik poşet çaylardaki MP varlığının, bardak poşet çaya göre daha fazla olduğu belirtilmiş ve “çay keyfi” yaparken mümkün olduğunca tek kullanımlık ürünlerden uzak durulmasının önemi vurgulanmıştır (Balci, 2020).

Süt Ürünlerinde Mikroplastik

Gastronomi alanında kaliteli protein kaynağı olarak görülen süt ve süt ürünleri günlük hayatta sıklıkla tüketilen önemli bir protein kaynağıdır (Demirgöl ve Sağdıç, 2018). Ancak süt ürünlerinin üretimden tüketime kadar geçen farklı aşamalarda, çeşitli faktörlerden etkilenerek MP kontaminasyonuna ve plastik etkileşimine maruz kaldığı düşünülmektedir. Özellikle üretim sürecindeki hijyen kurallarına dikkat edilmemesi, ortam

koşullarının uygunsuzluğu, kullanılan ekipmanlar yada ambalaj malzemeleri gibi etkenlerden plastik partikülleri ile kontaminasyon oluşabilmektedir.

Meksika’da 2020 yılında 8 farklı markadan alınan 23 farklı süt numunesi üzerinde MP varlığı araştırılmış, söz konusu çalışmada her ne kadar şişelenmiş sulara, poşet çay ve damacana sulara göre daha düşük düzeylerde plastik görülse de, sütlerde de MP varlığı bildirilmiştir. Bu çalışmada MP parçacıklarının genellikle kahverengi, mavi, kırmızı ve pembe renklerdeki liflerden yada parçacık halindeki partiküllerden oluştuğu vurgulanmıştır (Kutralam-Muniasamy vd., 2020).

Farklı araştırmalarda görüldüğü gibi süt dışındaki diğer içeceklerde de MP varlığı belirlenmiştir. Fakat süt ve süt ürünlerinde gıda güvenliği açısından kimyasal, fiziksel ve mikrobiyolojik tehlikeler daha sıkı denetlense de, MP tehlikesi henüz farkındalık seviyesine ulaşamamıştır (Kutralam-Muniasamy vd., 2020).

Buna rağmen bir çok araştırmada gastronomi alanında yaygın şekilde kullanılan süt ve süt ürünlerindeki süt sağımı, üretimi, tedarik zinciri, endüstriyel işlemler, paketlenme ve depolama gibi farklı aşamalarda MP’lerin kontaminasyon kaynağı olabileceği belirtilmiştir (Da Costa Filho vd., 2021).

Diğer taraftan son ürün halindeki süt mamüllerinin satışında genellikle plastik ambalaj malzemesi tercih edilmekte bu durum da plastik

bulaşma miktarının artmasına sebep olmaktadır. Süt gibi üretim aşamalarının hassas şekilde ele alınması gereken ürünlerde üretim sürecindeki tüm faaliyetler plastik partikül tespiti bakımından dikkatle gözden geçirilmelidir (Kutralam-Muniasamy vd., 2020).

Özellikle sütün sağımında kullanılan titreşimli ve vakumlu kauçuk malzeme içeren makinalardan, sütün fabrikaya naklinde kullanılan taşıma araçlarından, fabrika içerisinde süt taşımada kullanılan PVC ve PE özelliğindeki taşıma borularından süt ürünlerine MP geçişi söz konusu olmaktadır. Sütteki mikroorganizma yoğunluğunu azaltmak için uygulanan ultrafiltrasyon, makrofiltrasyon ve mikrofiltrasyon yöntemlerinde kullanılan membran filtrelerin yüksek basınç altında zarar görmesi sebebi ile de ciddi düzeylerde plastik bulaşımı görülmektedir. Süt fabrikasyonu sırasında polimerik membranların farklı cihazlardan koparak süte karışması ve ısı değişimleri sebebi ile bu bulaşmanın artması mümkün görülmektedir (Pironti vd., 2021).

Bu nedenlerle süt ve süt ürünleri üretimindeki tüm faaliyetlerin titizlikle ele alınarak süreçlerin plastik varlığı açısından yeniden ele alınması ve değerlendirilmesi halk sağlığı sorunlarının yaşanmaması için bir gereklilik olarak düşünülmektedir (Kutralam-Muniasamy vd., 2020).

Buyukunal vd. (2023) tarafından, Türk mutfak kültürü içeceği olan ayranı oluşturan süt, su, tuz, kültür gibi girdiler MP varlığı açısından incelemiş, bu çalışmada sırayla en yüksek MP miktarı tuzlu suda 43 partikül/100 mL, tuzda 33 partikül/100 g ve homojenizasyon, pastörizasyon gibi aşamalarda alınan sütte ise 26 partikül/100 mL MP tespit edilmiştir. Sonuç ürünü olarak ayranın kendisinde ise, 18 partikül/100 mL MP varlığı bildirilmiştir (Buyukunal, vd., 2023).

Çin’de bebek mamaları üzerine yapılan bir başka çalışmada ise, bebek beslenmesinde önemli bir yer tutan biberonun süt tozu preperatından 1.7 kat, süt tozundan ise 6.8 kat daha yüksek MP geçişine sebep olduğu tespit edilmiştir (Zhang vd., 2023).

Süt ürünleri üzerine yapılan çalışmalar genel olarak incelenmiş, boyutları 20 µm’den küçük olan MP’lerin varlığı konusunda güvenilir ölçüm yöntemlerinin bulunmaması nedeniyle, bu ürünlerdeki MP varlığı tespitinin henüz kısıtlı düzeyde olduğu belirtilmiştir (Da Costa Filho vd., 2021).

Yumurtada Mikroplastik

Yumurta gastronomi alanında yoğun olarak kullanılan özellikle yaş pasta üretimi, krema yapımı ve tatlı gibi alanlarda olmazsa olmaz önemli bir protein kaynağıdır. Çin’de yapılan bir çalışmada 5 farklı üreticiden yumurtalar alınarak incelenmiş ve toplanan yumurtalarda 50 ile 100 µm boyutlarında MP, parçacık halinde tespit edilmiştir. Araştırma genelinde yumurta başına adet olarak 11.67 ± 3.98 (mikroplastik sayısı/yumurta) parçacık konsantrasyonunda MP belirlendiği ve plastik varlığının genel olarak yumurtaların beyaz kısımlarında daha çok görüldüğü bildirilmiştir (Liu vd., 2022).

Tuzda Mikroplastik

Gıdalarda katkı maddesi, stabilizatör, lezzet verici veya koyulaştırıcı olarak kullanılan tuzlarda MP varlığı kronik bir sorun olarak görülmektedir (Udovicki vd., 2022). Ülkemizde, 2018 yılında Gündoğdu tarafından yapılan bir çalışmada; kaya tuzu, göl ve deniz tuzları MP bakımından karşılaştırılmış, özellikle 16–84 madde/kg oranı ile deniz tuzlarının MP miktarı diğer tuzlardan daha fazla bulunmuştur. Aynı çalışmada MP oranının en düşük olduğu tuz türünün 9–16 madde/kg miktarı ile kaya tuzu olduğu tespit edilmiştir. Bu durumun temel sebebinin kaya tuzunda tek bulaşma kaynağının işleme sırasında oluşan kontaminasyon olduğu düşünülmektedir (Gündoğdu, 2018).

Bu araştırmaya benzer şekilde dünya genelinde yapılan bazı çalışmalarda farklı bölgelerde tüketilen deniz tuzlarında MP varlığı tespit edilmiştir. Kilogram başına 13500-19800 parça ile en yüksek değer Hırvatistanda üretilen tuzlarda bulunmuştur (Peixoto vd., 2019). Tuzlarla ilgili 6 farklı kıtada 16 ülke/bölgeden elde edilen, toplamda 39 farklı tuz markası incelenerek, deniz göl ve kaya tuzu numuneleri

değerlendirilmiştir. Bu araştırmadan elde edilen sonuçlara göre, tuzlarda en çok rastlanan polimerlerin PP, PE, ve PET olduğu bildirilmiştir. Ayrıca deniz tuzlarında tespit edilen mikroplastiklerin %30 PP, %30 PET ve %35 PE; göl tuzlarında %47 PET, %28 PE, %11 teflon; kaya tuzlarında ise %23 PP, %26 PE, %41 PET'den oluştuğu tespit edilmiştir. Genel olarak bu çalışmadan elde edilen bulgulara göre Asya kıtasından alınan tuz numunelerinde MP varlığının diğer kıtalar göre daha yüksek olduğu, en yüksek MP varlığı olan toplamda 10 marka içinden 9 tanesinin Asya kıtasında yer aldığı görülmüştür. Bu sebeple Asya kökenli tuzlardaki plastik varlığı diğer kıtalardaki plastik varlığına göre anlamlı bulunmuş fakat kaya tuzlarında böyle bir farklılığa rastlanılmamıştır (Kim vd., 2018).

Fadare vd. (2021) tarafından yapılan bir başka çalışmada ise; 8 Afrika ülkesinden 23 farklı tuz markası mikroskobik/spektroskopik yöntemlerle incelenmiş ve tuz örneklerinde kg başına 3.42 ± 4.94 adet ile 0.67 ± 1.15 adet arasında MP varlığı belirlenmiştir. Aynı çalışmada tuzlarda görülen polimer madde türlerine bakıldığında genellikle polipropilen, asetat ve polietilenin baskınlığı dikkat çekmiştir. Bu çalışmaya göre tuzlardaki MP varlığının zannedildiği gibi tuz paketlerinden kaynaklanmadığı, muhtemelen üretim sırasındaki kontaminasyonun yada deniz kirliliğinin MP varlığını etkilediği belirtilmiştir (Fadare vd., 2021).

Bal ve Şekerde Mikroplastik

Avrupada yapılan bir çalışmada Fransa, Almanya, İspanya, Meksika ve İtalya'dan temin edilen toplam 19 bal örneğinde MP varlığı tespit edilmiştir. Tüm örneklerde lif ve parçacık sayıları ele alınmış, ballardaki parçacık miktarı 0-38/kg (ortalama 9 ± 9 kg) lif miktarı ise 40-660/kg (ortalama 166 ± 147 /kg), olarak belirlenmiştir. Aynı çalışmada MP parçacıklarının uzunlukları, 10-20 µm arasında, liflerin uzunlukları ise 40 µm ile 9 mm arasında bulunmuştur. Araştırmacılar genellikle mavi renkte plastik tespit edildiğini bildirirken, bunların arılar tarafından taşındığını yada ürünün işlenmesi sırasında bala bulaşabileceğini belirtmişlerdir. Söz konusu çalışmada şeker örneklerinde de MP varlığı

bulunmuştur. Özellikle rafine edilmiş tüm şeker örneklerinde renkli ve saydam lifler ortalama 217 ± 123 /kg, parçacıklar ise ortalama 32 ± 7 /kg aralığında bulunmuştur. Rafine edilmemiş şeker örnekleri ise MP bakımından daha tehlikeli durumdadır ve kg başına 540 parçacık ve 560 lif bulunduğu bildirilmiştir (Liebezeit ve Liebezeit, 2014).

Basantes vd. (2020) tarafından yapılan bir başka çalışmada cam kaplarda bulunan 14 adet bal MP varlığı bakımından incelenmiş, söz konusu ballarda boyutları 5.15-226.01 µm olan, 30-114 adet parçacık tespit edilmiştir. Bu MP'lerin kaynağının genel olarak PE, PP, ve poliakrilamid olduğu belirtilmiştir (Diaz-Basantes vd., 2020).

Deniz Ürünlerinde Mikroplastik

Deniz ürünlerindeki MP varlığı hem karadan hem de su kaynaklarından kontaminasyon ve taşınma yoluyla gerçekleşebilmektedir. Denizlerde bulunan toplam MP'lerin %80'inin karasal kökenli bulaşma ile oluştuğu ve söz konusu plastiklerin deniz canlıları tarafından yutularak onları tüketen insanlara kadar taşınabildiği bildirilmiştir (Horton vd., 2017). Bu durum sadece balıkları değil mikroalgleri de etkilemiş ve bu canlıların sağladığı fotosentetik aktivitede düşüş olduğu tespit edilmiştir (Akçay vd., 2020).

Genel olarak deniz ekosistemine bakıldığında; açık denizlerde, kıyılarda, kutuplarda, denizlerdeki çökeltelerde olmak üzere çok farklı bölgelerde MP'lere rastlanılmaktadır. Sonuç olarak bu ekosistem içinde var olan her tür canlıda MP varlığı söz konusu olmuştur. Bu kirliliğin yanı sıra plastik ürünlerin görünüş olarak plankton benzeri olması bir çok sucul canlının da bu ürünleri doğrudan yemesine sebep olmaktadır (Wang vd., 2019).

Bu plastik partikülleri sucul canlıların iç organlarında birikse ve pişirme öncesi temizleme aşamasında uzaklaştırılsa da, dolaylı yollardan insan sağlığını etkilediği düşünülmektedir. Diğer taraftan gastronomi alanında istisnai durumlardan olsa da hamsi, sardalya gibi daha ufak balıklar, çeşitli kabuklu deniz ürünleri kılçıkları ve bazen diğer organları ile tüketilebilmekte ve bu durum

farklı sorunları beraberinde getirmektedir. Özellikle midyeler üzerinde yapılan bir çalışmada, en düşük MP seviyesi 0.5 parçacık/g'dan az olmak üzere Avrupa'da, en yüksek MP seviyesi ise 4 parçacık/g olmak üzere Çin'de bildirilmiştir (Rainieri ve Barranco, 2019).

Sucul yaşayan canlılar içerisinde midyeler çok geniş alana dağılmış olmaları sebebi ile MP araştırmalarında bir indiktor olarak ele alınan organizmaların başında gelmektedir. Ülkemiz kıyı şeridinin %76'sını kapsayacak şekilde 23 farklı noktadan alınan midye örnekleri ile yapılan bir çalışmada çarpıcı sonuçlar elde edilmiştir. Bu çalışmada Marmara Denizi, Karadeniz, ve Akdeniz'den alınmak üzere toplamda, 347 midye örneğinin 222'sinde MP bulunduğu bildirilmiştir. Bu MP'lerin %28.4'ünü lifler, %67.6'sını parçacıklar ve kalan kısmının da filmler halinde yer alan plastik parçacıklardan oluştuğu rapor edilmiştir. Polimer türlerine göre bakıldığında en düşükten yükseğe doğru sırasıyla, %19.4 PE, %28.4 PP ve %32.9 PET türü plastik olduğu belirlenmiştir. Bu çalışmadan elde edilen verilere göre Türkiye'de midye kaynaklı MP'lere maruz kalma miktarının 1918 mikroplastik/yıl düzeyinde olduğu tahmin edilmiştir (Gedik ve Eryaşar, 2020).

Diğer taraftan Curren vd. (2020) tarafından Singapur'un 4 farklı lokasyonundaki yerel marketlerden temin edilen karidesler üzerinde yapılan bir çalışmada, bu canlıların bağırsaklarının temizlenmeden tüketilmesinin, insanlarda MP kontaminasyonunu arttırdığı bildirilmiştir. Yine bir başka çalışmada ise deniz ürünlerinden yumuşakçaların diğer sucul canlılara göre daha fazla MP taşıdığı belirtilmiştir. Bu çalışmaya göre, yumuşakçaların sırasıyla en düşük 8.07 ve en yüksek 428.4 partikül/g (ıslak gram ağırlığa karşılık gelen plastik parça adeti) MP varlığı ile %50-95 ile en yüksek MP konsantrasyon dağılımını gösterdiği vurgulanmıştır. Bu miktarlar kabuklulara göre yaklaşık 4 kat, balıklara göre ise yaklaşık 40 kat daha yüksek düzeylerde dir. Çeşitli organizmaların beslenme ekosistemlerindeki farklılıklardan veya plastik partiküllerinin dağılım durumlarındaki değişikliklerden böyle bir

sonucun meydana geldiği düşünülmektedir (Mohamed vd., 2021).

Tavukta Mikroplastik

Gastronomi alanında, özellikle son yıllarda daha yaygın olarak tüketilen tavuk ürünlerinde MP varlığı ile ilgili farklı çalışmalar ele alınmıştır. Fransa'da 2020 yılında yapılan bir araştırmada, ekstrüde polistiren köpük (XPS) tepsilerde satılan tavuk eti numuneleri incelenmiş, et ile tepsi arasında, paketlerin iç kısmında ve ambalajın dış kısmında MP varlığı belirlenmiştir. Bu araştırmada 4 farklı markaya ait ürünlerde özellikle et ile koruyucu film arasında XPS parçacıklarına rastlanmış olması MP bulaşmasının ürünün paketlenme sürecinden önce oluşabileceği şüphesini doğurmuştur. Diğer taraftan, üretimin gerçekleştirildiği ortam havasında asılı halde XPS parçacıkları olabileceği düşünülmüştür. Düşük yoğunluktaki MP'lerin elektrostatik yük ile yüklenmesi sonucu bu durumun oluşabileceği ihtimali üzerinde durulmuştur (Kedzierski vd., 2020).

Ambalaj materyalinin dış yüzeyindeki XPS miktarı farklı markalarda farklı sonuçlar taşımakla birlikte kilogram başına 10.8 ± 6.0 adet ve 1.1 ± 1.9 adet arasında; iç yüzeyde ise 18.7 ± 8.3 adet ile 4.0 ± 4.5 adet arasında belirlenmiştir. Tavuk etlerinde görülen bu parçacıklar gerek pişirme sırasında ürün üzerinden kolaylıkla ayrılmaması gerekse toksisite ve elektiriksel yük ile yüklenmesi gibi sorunlar sebebi ile ciddi sağlık problemlerini işaret etmektedir. Çalışmada elde edilen en önemli problemlerden birisi ise, yıkama ile etlerdeki MP varlığının kolay kolay giderilememesidir. Bu durumun sonucu olarak pişirme sırasında plastiklerin önemli bir kısmı et üzerinde bulunmakta ve et ile beraber pişirilmektedir. Söz konusu çalışmaya göre, tavuk ürünlerindeki bu plastik yoğunluğuna bakılarak, yetişkin bir insanın günde yaklaşık 1.4 mg MP tükettiği hesaplanmaktadır (Kedzierski vd., 2020).

Yin vd. (2023) tarafından yapılan başka bir çalışmada; MP'lerin kanatlı hayvanların kas dokularına, gastrointestinal sistemlerine ve karaciğerlerine bulaşabileceği bildirilmiştir. Aynı çalışmada MP bulaşmış kanatlı ve et ürünlerinin

patojen taşıma riskinin de artmış olabileceği vurgulanmıştır.

Havada Mikroplastik

Her ne kadar gıda sektöründe özellikle MP varlığı tuz, şeker, tavuk ve bal gibi ürünlerde araştırılsa da yapılan bazı çalışmalar havada da ciddi oranlarda MP olduğunu göstermektedir. Genel olarak dünya plastik üretiminin %16'sını oluşturan tekstil lifi yıllık 60 milyon metrik üretim hacmi ile plastik üretim alanında önemli bir konumdadır. Hava ile tenefüs edilen bu lif parçacıkları genellikle vücut tarafından tolere edilse de, bazı parçacıklar akciğere kadar ilerleyerek inflamasyon gibi etkilere yol açabilmektedir. Özellikle polisiklik aromatik hidrokarbonlar gibi kontaminantlar ve plastik içerisindeki plastikleştirici ve boyar maddeler mutajenik ve karsinojenik etki gösteren son derece zararlı maddeler içermektedir (Gasperi vd., 2018). Hava ile kontamine olmuş gıdalar ve açık alanlarda uygunsuz koşullarda satılan ürünler de bu kapsamda risk teşkil etmektedir. Ayrıca havada asılı bulunan bu partiküller başka bulaşıcılarla etkileşime girerek kontaminasyon oluşturabilmekte, bu durum farklı sağlık sorunlarına sebep olmaktadır. Bu kapsamda gıdaların uygun hava koşullarında satışı da önem kazanmaktadır (Kirstein vd., 2016).

Gıda Kaplarında Mikroplastik

Gastronomi alanında özellikle hazır gıda sektörünün hızla büyümesi tek kullanımlık kapların kullanım oranını arttırmış, bu durumun bir sonucu olarak da dünya genelinde üretilen plastik miktarının yaklaşık %40'nın tek kullanımlık olarak üretildiği belirtilmiştir. 2015 yılı verilerine göre gıda sektörünün küresel çaptaki değerinin 89 milyar ABD doları olduğu ve yıllık bu değer ortalama % 2.7 artmış olduğu ifade edilmektedir. Bu noktada, kuşkusuz gıda taşınmasında kullanılan malzemelerin MP varlığı önem taşımaktadır. 2020 yılında yuvarlak ve dikdörtgen şekilli plastik bardak ve kapların MP varlığı araştırılmıştır. Bu çalışmaya göre dikdörtgen şekilli kaplardan 38 ± 5.29 mg, yuvarlak şekilli kaplardan 12 ± 5.12 mg, plastik bardaklardan ise 3 ± 1.13 mg MP parçacığı izole edilmiştir. Bu çalışmadan anlaşıldığı üzere kaplarda bulunan MP

sayısında kabın üretim şeklinin bile önem taşıdığı vurgulanmıştır (Fadare vd., 2020).

Du vd. (2020) tarafından yapılan bir başka çalışmada, paket servis kaplarında sunulan yemeklerin MP varlığı araştırılmış ve kaplar doğrudan yıkama ve sıcak suya daldırıp yıkama gibi farklı tekniklere tabi tutulmuştur. Söz konusu çalışmada paket servis kaplarında bulunan MP'lerin kapların iç yüzeylerindeki dökülmelerden ve atmosferik serpintiden etkilendiği belirtilmiştir.

Gıdalarda paketlenme işlemleri ve paket açılması aşamalarında yada içeceğin tüketilmek üzere şişenin bükülmesi sırasında veya çay poşetlerinin kullanımı gibi günlük faaliyetler sebebi ile MP'lerin kolayca ortama yayılabildiği tespit edilmiştir (Udovicki vd., 2022).

TÜRKİYE'DE PLASTİK TEHLİKESİ

Üç tarafı denizlerle çevrili olan ülkemizin, tüm kıyı şeridinin %76'sını kapsayacak şekilde, Marmara, Akdeniz ve Karadeniz merkez olmak üzere 23 farklı bölgeden alınan midye örneklerinde MP varlığı belirlenmiştir. Toplanan 342 adet midyenin, 222 tanesinde plastik tespit edilmiş, bu plastiklerin %28.4'ünün liflerden, %67.6'sının parçacıklardan, kalan kısmının ise filmlerden oluştuğu bildirilmiştir (Gedik ve Eryaşar, 2020).

Başka bir çalışmada, genel olarak deniz ürünleri arasında yumuşakçaların 428.4 partikül/g, ile % 50-95 oranında yüksek MP varlığı taşıdığı ve bu plastik miktarının kabuklulara göre yaklaşık 4 kat, balıklara göre yaklaşık 40 kat fazla olduğu vurgulanmıştır. Söz konusu çalışmada elde edilen sonuçlarda, organizmaların farklı beslenme durumlarından etkilenebileceği veya ekolojik çevresel koşulların bu duruma katkı sunacağı vurgulanmıştır (Mohamed vd., 2021).

Ülkemiz genel olarak denizlerle çevrili olması, akarsu ve göller bakımından zengin ekosistemi sebebi ile daha önce ele aldığımız MP oluşumunu sağlayan etkenler bakımından özel bir konumdadır. Su, akarsu, rüzgar ve güneş gibi fiziki etkilerin aşındırma gücü ile plastik atıkların MP'lere dönüşümü hızla gerçekleşmekte

(Fotopoulou ve Karapanagioti, 2019), bu durum ülkemiz için büyük bir risk teşkil etmektedir. Özellikle Çin, Malezya ve Tayland gibi ülkelerin 2018 yılında atık ithalatını yasaklaması ile birlikte Türkiye, Avrupa'dan atık ithalatı konusunda

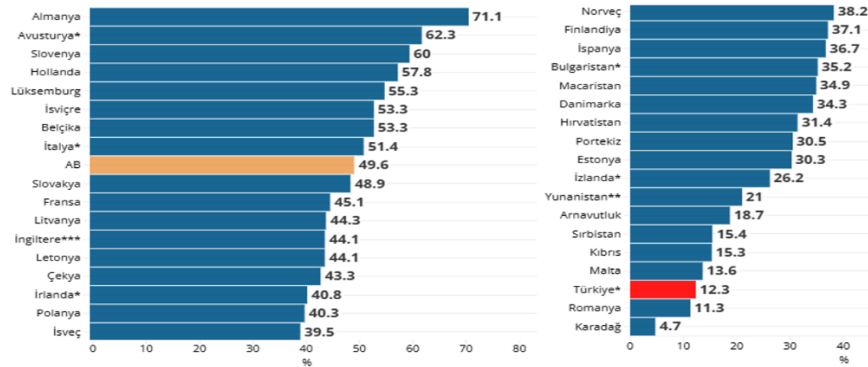
2004-2020 yılları arasında, ortalama 196 kat bir artış yaşamıştır. Şekil 4'de bazı ülkelerin plastik satışı (yeşil) ve alımı (kırmızı) farklı renklerle gösterilerek, 2020 verilerine göre Türkiye'nin bu alandaki konumu ok işareti ile belirtilmiştir.

En çok atık satışı yapan ülkeler —			En çok atık alımı yapan ülkeler —		
1	Almanya	853.860.858 kilo	1	Malezya	715.274.620 kilo
2	Japonya	820.742.495 kilo	2	Türkiye	619.287.422 kilo
3	Amerika Birleşik Devletleri	624.511.072 kilo	3	Almanya	567.239.848 kilo
4	Birleşik Krallık	560.986.540 kilo	4	Vietnam	440.706.678 kilo
5	Hollanda	413.233.255 kilo	5	Hollanda	417.312.448 kilo
6	Belçika	346.218.522 kilo	6	Amerika Birleşik Devletleri	243.981.665 kilo
7	Fransa	333.748.686 kilo	7	Endonezya	233.926.526 kilo
8	İtalya	217.167.070 kilo	8	Diğer Asya, nes	230.934.455 kilo
9	Slovenya	181.914.979 kilo	9	Polonya	195.332.771 kilo
10	Avusturya	179.322.638 kilo	10	İtalya	193.114.936 kilo

Şekil 4. Bazı önemli ülkelerin atık satışı ve alım durumları

Tablo incelendiğinde ülkemizin 2020 yılı itibarı ile Malezya'dan sonra en çok atık alan ikinci ülke konumunda olduğu, Almanya, Japonya, ABD ve İngiltere gibi küresel güçlerin ise en çok atık gönderen ülkeler olduğu görülmektedir (Anonim, 2025a). Tabloda atık alımı konusunda da,

Almanya dikkat çekmektedir, fakat Almanya'nın, Malezya ve Türkiye'den farklı olarak atık geri dönüşümünde dünyadaki en ileri ülkelerden birisi olduğu bilinmektedir. Şekil 5'de bazı ülkelerin belediye atıklarını geri dönüşüme kazandırabilme oranları verilmiştir.



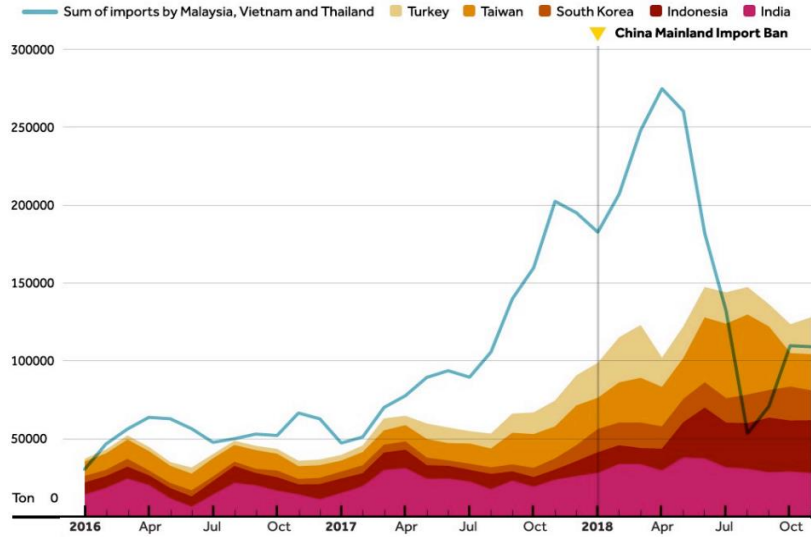
Şekil 5. Bazı ülkelerin belediye atıklarını geri dönüştürme oranları (2021)

OECD (Ekonomik Kalkınma ve İşbirliği Örgütü) tarafından 2021 yılında yayınlanan verilerine göre, Almanya'nın belediye atığının yüzde 71.1'ini geri dönüştürerek kullanabildiği, Türkiye'nin ise bu atıkları dönüştürebilme oranının çok düşük seviyelerde, yalnızca yüzde 12.3 olduğu görülmektedir. Söz konusu rapora göre Türkiye, evsel kökenli atığın geri dönüşümünde Avrupa ülkeleri içerisinde sondan 3. sıradadır. Bu durum

ülkemizi plastik atıklar konusunda riskli bir konuma taşımaktadır. Diğer taraftan 2017 yılından başlayarak Çin kademeli bir şekilde plastik atık yasağını gündeme getirerek, 2018 yılında diğer ülkelerden atık alımını tamamen yasaklamıştır. Bu durum Malezya, Vietnam ve Tayland gibi Asya ülkeleri ile Türkiye'yi plastik atık konusunda hedef ülke durumuna getirmiştir. Sonuç olarak ülkemiz, Avrupa'dan gelen atıklar

konusunda yeni adres haline gelmiş ve ne yazık ki bu yeni dönemden olumsuz şekilde etkilenmiştir. Kademeli olarak ülkemizin bu olumsuz durumdan nasıl etkilendiğini anlamak için Green Peace gibi oluşumların raporlarını incelemek gerekmektedir. Çevreci faaliyet gösteren kurumların bu konudaki resmi raporlarına bakıldığında, Türkiye'nin 2016 başında ayda 4.000 ton olan atık alım miktarının, 2018 yılının ilk aylarında ayda 33.000 tona, 2019

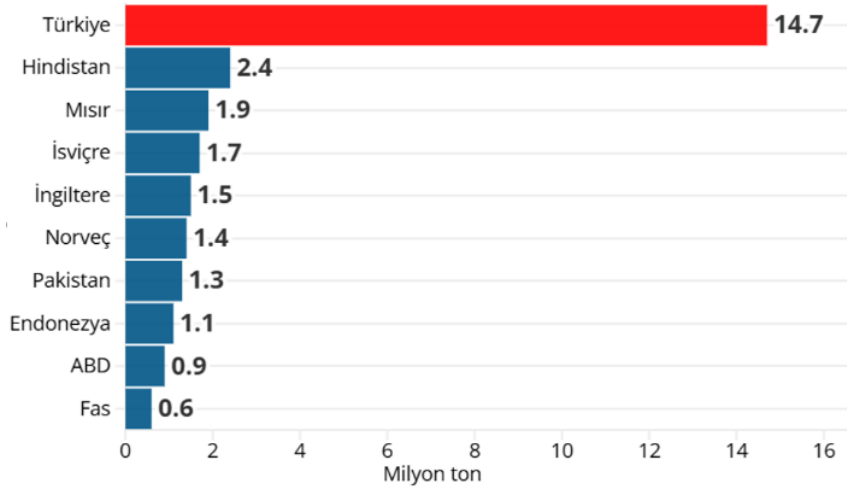
yılında ise ayda 48.500 tona yükseldiği bildirilmektedir. Son yıllardaki verilere göre sadece 2019 yılına kadar geçen 3 yılda bile ülkemizde atık konusunda neredeyse 13 kata yakın bir çöp fazlalığı oluşmuş ve malesef bu çöplerin geri dönüşümü, gelişmiş ülkelere kıyasla çok düşük seviyelerde kalmıştır (Anonim, 2025b). Şekil 6'da Çin'in küresel atık yasağı sonrası bazı ülkelerin plastik alım miktarları verilmiştir.



Şekil 6. Çin'in atık yasağı sonrası ülkelerin plastik alım miktarları

Yukarıdaki görselden de anlaşıldığı gibi özellikle Çin'de alınan kararlar gereği (2017-2018) dünya genelinde oluşan plastik atık alım miktarları dikkat çekici düzeylere ulaşmıştır. Bu kapsamda Green Peace gibi çevre örgütleri, farklı ülkelerde çeşitli sağlık sorunlarının oluştuğunu belirterek, bu konu ile ilgili örnek çalışmalar yapmakta, söz konusu süreçte özellikle Güneydoğu Asya ülkeleri birer birer kısıtlayıcı önlemler alarak plastik ve plastik kökenli MP varlığını kontrol altında tutmaya çalışmaktadır (Anonim, 2025c). Bu durumun bir sonucu olarak atık alımında ikinci sırada bulunan Türkiye, malesef kirlilik konusunda hedef ülke haline gelmekte ve yeterli önlemlerin alınmadığı düşünülmektedir. Şekil 7'de ülkelerin 2021 verilerine göre atık alım miktarları verilmiştir. Buna göre Türkiye'nin AB ülkeleri içerisinde 9 ülkenin toplamından daha fazla atık aldığı görülmektedir.

Şekil 7 incelendiğinde, diğer 9 ülkeye gönderilen atığın toplamından daha fazla atığın ülkemize gönderildiği açık şekilde anlaşılmaktadır. Bu üzücü tablonun sonucu olarak ülkemiz toprakları kirlenmekte, plastik kökenli MP varlığı hızla artmakta ve ilerleyen yıllarda ciddi sağlık sorunlarının oluşması kaçınılmaz hale gelmektedir (Anonim, 2025d). Özellikle plastik atıklardan dolayı meydana gelen su kirliliği, toprak ve ekim alanlarındaki olumsuz etkileşimler, plastik yakmaktan kaynaklı havada oluşan kirlilik ve korozyon gibi etkilerle denizlerde meydana gelen plastik birikimi, üç tarafı denizlerle çevrili olan ülkemiz için son derece kaygı verici sorunları beraberinde getirmektedir. Bu konuda ciddi önlemlerin alınması gerektiği çeşitli çevre aktivistleri tarafından sürekli vurgulanmakta, bu durumun sonucu olarak gerekli önleyici tedbirlerin alınması daha da önem kazanmaktadır (Anonim, 2025b).



Şekil 7. AB'nin atık ihraç ettiği başlıca ülkeler

SONUÇ

Son yıllarda değişen ekonomik koşullar ve pandemi gibi sebeplerle hızlı tüketim alışkanlıklarının yaygınlaşması, hayatımızın hemen her alanında önemli bir yer tutan plastik kullanımının da artmasına sebep olmuştur. Özellikle üretim alanında yaşanan küresel sıkıntılar, insanları tek kullanımlık araçlara yönlendirmekte ve bu durumun sonucu olarak da, plastik üretimi her geçen yıl artmaktadır. Gastronomi alanı için yiyecek içecek kaplarının üretiminden, taşıma kaplarının kullanımına kadar hemen hemen her alanda, plastiklerin daha sık tercih edildiği görülmektedir. Bu yaygın kullanım sonucunda atık ürünlerin önemli bir kısmı plastik kökenli atıklardan oluşmaktadır. Plastik atıklar zamanla, ısı ve ışık benzeri fiziksel etkilere maruz kalarak MP denilen daha küçük parçacıklara ayrışmaktadır. MP'ler genel olarak çok küçük yapıda plastik polimerlerden oluştukları için su ve hava gibi taşıyıcı faktörlerle taşınarak hemen her ortamda karşımıza çıkmaktadır. Plastik polimer parçacıkların bu özel yapısı sebebi ile; tavuk ve et ürünleri, süt ürünleri, deniz ürünleri, tuz, şeker ve bal gibi ürünlerde, yemeklerin hazırlanmasında kullanılan damacana sularda ve farklı ülkelerin ortak geleneğinde yer alan çay ürünlerinde MP varlığı görülmektedir.

MP'lerin hayatın her alanında karşımıza çıkması ve özellikle gastronomi alanında temel besin maddelerinde rastlanması, bu alanlarda çalışma

koşullarının değiştirilmesinden, ortak bir yaklaşımın geliştirilmesine kadar bir çok problemi beraberinde getirmektedir. Diğer taraftan plastik parçacıkların insanlarda ve canlılarda endokrin sistemi ile ilgili çok sayıda sağlık sorunu oluşturduğu bilinse de bu alanda yeterince çalışma yer almamakta ve ortak test yöntemlerinin geliştirilmesi bir zorunluluk olarak görülmektedir. Ayrıca kanalizasyon suları, farklı taşıma yöntemleri, hava ve rüzgar gibi etkilere plastik parçacıklar çok uzak mesafelere dağılarak halk sağlığı sorunlarına yol açmaktadır. Diğer taraftan plastik malzemelerin doğada kendiliğinden yok olma süreci çok uzun bir zaman dilimini kapsadığı için tüm dünya genelinde çöp dağlarının oluşmasına, bu çöplerin denizlere taşınarak dünya ekosistemi ile birlikte diğer canlılara da zarar vermesine sebep olmaktadır. Öte yandan Çin gibi büyük ülkelerin 2017-2018 yıllarında çöp alımını durdurması Türkiye ve Malezya gibi ülkelerde ciddi atık problemlerinin oluşmasına zemin hazırlamıştır. Bu kapsamda tüm dünya ülkelerinin plastik atıklar konusunda birlikte hareket etmeleri ve bilimsel yöntemlerle plastik atık problemini ciddi şekilde ele almaları gerekmektedir.

Sonuç olarak, MP'lerin gastronomi alanında temel gıdaların çoğunda görüldüğü ve ilerleyen yıllarda tüm dünya için ciddi sağlık sorunlarını oluşturabileceği düşünülmektedir. Özellikle gıda tüketimi, yemek ve içeceklerle yutulan plastiklerin toksik ve kanserojen etkileri, sıcaklık değişimleri

ile meydana gelecek potansiyel zararları yeterince bilinmemekte ve bu alanda yeni çalışmaların yapılması önem kazanmaktadır. Öte yandan, tüm dünya genelinde halk sağlığı sorunlarının oluşmaması, ekosistemin bozulmaması ve sürdürülebilir gıda üretiminin teşvik edilmesi için, tüketicilerin yeterince bilinçlendirilmesi oldukça önemli bir konudur. Bu kapsamda gastronomi alanında üretim yapan şeflerden, ürünü satın alan tüketicilere ve turizm alanındaki yöneticilere kadar toplumun her kesiminin yeterince bilinçlendirilmesi, plastik kullanımı ve zararlarının tespiti konusunda ciddi adımların atılması önerilebilir. Mevcut yapılan çalışmalar, plastik varlığının tespiti için geliştirilen test teknikleri ve uygulama alanları bakımından henüz istenen düzeyde değildir. Ayrıca MP tespiti için yapılan çalışmaların zor olması, multidisipliner bir yaklaşımla konunun tüm boyutlarıyla ele alınmasını, halk sağlığı, gastronomi, gıda, kimya ve tıp gibi alan uzmanlarının, hatta veteriner hekimlerin bu kapsamda birlikte çalışmasını gerekli kılmaktadır.

KAYNAKLAR

Anonim, (2024). <https://plastixmold.com/gidaya-uygun-plastik-hammadde-cesitleri/> (Erişim Tarihi: 20.12.2024).

Anonim, (2025a). <https://geridonusumekonomisi.com.tr/avrupa-atik-ihracatinda-yeni-yol-haritasi.html> (Erişim Tarihi: 10.01.2025).

Anonim, (2025b). <https://www.greenpeace.org/turkey/blog/dunyanin-bunalimi-plastik-atik-ithalati> (Erişim Tarihi: 15.01.2025).

Anonim, (2025c). <https://storage.googleapis.com/planet4-turkey-stateless/2019/09/c19ddece-c19ddece-plastik-atik-ithalat-raporu-gpea-plastic-waste-trade-research-briefing.pdf> (Erişim Tarihi: 18.01.2025).

Anonim, (2025d). <https://tr.euronews.com/2023/08/01/geri-donusum-orani-atik-aritmada-turkiyede-ve-avrupada-durum-ne> (Erişim Tarihi: 20.01.2025).

Akçay S, Törnük F, Yetim H. Mikroplastikler: Gıdalarda bulunuşu ve sağlık üzerine etkileri. EJOSAT 2020; (20),530-538.

Andrady AL. (2011). Microplastics in the Marine Environment. Mar Pollut Bull. 62: 1596-1605.

Aslan R. (2018). Mikroplastikler: Hayatı Kuşatan Yeni Tehlike. Göller Bölgesi Aylık Hakemli Ekonomi ve Kültür Dergisi. 6(66): 61-67.

Armstrong, M. (2019). How We Eat, Drink and Breathe Microplastics. <https://www.statista.com/chart/18299/how-we-eatdrink-and-breathe-microplastics/>. [Erişim tarihi 16 Temmuz 2020].

A. Glaser, J. (2019). Biological Degradation of Polymers in the Environment. Plastics in the Environment, IntechOpen.

Ashrafy, A., Liza, A. A., Islam, M. N., Billah, M. M., Arafat, S. T., Rahman, M. M., Rahman, S. M. (2022). Microplastics Pollution: A Brief Review of Its Source and Abundance in Different Aquatic Ecosystems. Journal of Hazardous Materials Advances, 100215.

Atakan O, Yüceer M, Caner C. (2021). Mikroplastikler ve Gıda Güvenliği. Akad Gıda;19(4):433-441

Balcı, S. Z. (2020). *Bazı gıdalardaki mikroplastik kirliliğinin tespiti* (Doctoral dissertation, Yüksek lisans tezi]. Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü).

Buyukunal, S. K., Rbaibi Zipak, S., Muratoglu, K. (2023). Microplastics in a Traditional Turkish Dairy Product: Ayrın. Polish Journal of Food and Nutrition Sciences, 73(2), 139-150.

Brachner, A., Fragouli, D., Duarte, I. F., Farias, P. M. A., Dembski, S., Ghosh, M., Barisic, I., Zdzienbło, D., Vanoirbeek, J., Schwabl, P., Neuhaus, W. (2020). Assessment of Human Health Risks Posed by Nano-and Microplastics Is Currently Not Feasible. International Journal of Environmental Research and Public Health, 17(23), 8832. <https://doi.org/10.3390/ijerph17238832>

Browne MA, Crump P, Niven SJ, Teuten, E, Tonkin A, Galloway T, Thompson R. (2011). Accumulation of Microplastic on Shorelines Worldwide: Sources and Sinks. Environ Sci & Technol. 45(21): 9175-9179.

- Cole M, Lindeque P, Halsband C, Galloway T. S. (2011). Microplastics as Contaminants in the Marine Environment: A Review. *Mar Pollut Bull.* 62: 2588-2597.
- Curren E., Leaw CP., Lim PT., Leong SCY. (2020). Evidence of marine microplastics in commercially harvested seafood. *Front Bioeng Biotechnol*; 8, 562760.
- Chamas, A., Moon, H., Zheng, J., Qiu, Y., Tabassum, T., Jang, J. H., Abu-Omar, M., Scott, S.L., Suh, S. (2020). Degradation rates of plastics in the environment. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 8(9), 3494-3511.
- Da Costa Filho, P. A., Andrey, D., Eriksen, B., Peixoto, R. P., Carreres, B. M., Ambühl, M. E., Descarrega, J.B., Dubascoux, S., Zbinden, P., Panchaud, A., Poitevin, E. (2021). Detection and characterization of small-sized microplastics ($\geq 5 \mu\text{m}$) in milk products. *Scientific Reports*, 11(1), 1-13.
- Demirgöl F, Sağdıç O. (2018). Fermente süt ürünlerinin insan sağlığına etkisi. *Avr Bil Tekn Derg*; (13), 45- 53.
- Diaz-Basantes., M. F., Conesa, J. A., Fullana, A. (2020). Microplastics in honey, beer, milk and refreshments in Ecuador as emerging contaminants. *Sustainability*, 12(14), 5514.
- Du, F., Cai, H., Zhang, Q., Chen, Q., Shi, H. (2020). Microplastics in take-out food containers. *Journal of Hazardous Materials*, 399, 122969.
- Eerkes-Medrano D, Leslie HA, Quinn B. (2019). Microplastics in Drinking Water: A Review and Assessment. *Curr Opin Environ Sci & Health.* 7: 69-75
- Eriksen M, Mason S, Wilson S, Box, C., Zellers, A., Edwards, W., Farley, H., Amato, S. (2013). Microplastic Pollution in the Surface Waters of the Laurentian Great Lakes. *Mar Pollut Bull.* 77: 177-182
- Ebere, E. C., Wirnkör, V. A., Ngozi, V. E. (2019). Uptake of microplastics by plant: a reason to worry or to be happy? *World Scientific News*, (131), 256-267.
- Edo, C., Fernández-Alba, A. R., Vejsnæs, F., van der Steen, J. J., Fernández-Piñas, F., Rosal, R. (2021). Honeybees as active samplers for microplastics. *Science of the Total Environment*, 767, 144481.
- Emenike, E. C., Okorie, C. J., Ojeyemi, T., Egbemhenghe, A., Iwuozor, K. O., Saliu, O. D., Okoro, H.K., Adeniyi, A. G. (2023). From oceans to dinner plates: The impact of microplastics on human health. *Heliyon*, 9(10).
- Fadare, O.O., Wan, B., Guo, L.-H., Zhao, L. (2020). Microplastics from consumer plastic food containers: Are we consuming it? *Chemosphere*, 253, 126787.
- Fadare, O.O., Okoffo, E.D., Olasehinde, E.F. (2021). Microparticles and microplastics contamination in African table salts. *Marine Pollution Bulletin*, 164.
- Fotopoulou, K. N., Karapanagioti, H. K. (2019). Degradation of various plastics in the environment. *Hazardous Chemicals Associated with Plastics in the Marine Environment*, 71-92.
- Gasperi, J., Wright, S.L., Dris, R., Collard, F., Mandin, C., Guerrouache, M., Langlois, V., Kelly, F.J., Tassin, B. (2018). Microplastics in air: Are we breathing it in? *Current Opinion in Environmental Science & Health*, 1, 1–5.
- Gedik, K., Eryaşar, A.R. (2020). Microplastic Pollution Profile of Mediterranean mussels (*Mytilus galloprovincialis*) collected along the Turkish Coasts. *Chemosphere*: 127570
- Geueke B, Groh K, Muncke J. (2018). Food packaging in the circular economy: Overview of chemical safety aspects for commonly used materials. *J CleanProd*;193,491-505.
- Ginneken, V. Van., (2019). Plastic in the food chain and the expected pandemic of cancer? *Novel Approaches in Cancer Study*, 3(3), 277,9.
- Gulizia, A. M., Brodie, E., Daumuller, R., Bloom, S. B., Corbett, T., Santana, M. M., Motti, C.A., Vamvounis, G. (2022). Evaluating the effect of chemical digestion treatments on polystyrene microplastics: recommended updates to chemical digestion protocols. *Macromolecular Chemistry and Physics*, 223(13), 2100485.

- Gündoğdu S. (2018). Contamination of table salts from Turkey with microplastics. *Food Addit Contam Part A*; 35(5), 1006-1014.
- Hernandez, L.M., Xu, E.G., Larsson, H.C.E., Tahara, R., Maisuria, V.B., Tufenkji, N. (2019). Plastic Teabags Release Billions of Microparticles and Nanoparticles into Tea. *Environmental Science and Technology*, 53(21), 12300–10.
- Hidalgo-Ruz, V., Gutow, L., Thompson, R.C., Thiel, M. (2012). Microplastics in the marine environment: A review of the methods used for identification and quantification. *Environmental Science & Technology*, 46(6), 3060-75.
- Horton AA, Walton A, Spurgeon DJ, Lahive E, Svendsen C. (2017). Microplastics in freshwater and terrestrial environments: Evaluating the current understanding to identify the knowledge gaps and future research priorities. *Sci Total Environ*; 586, 127-141.
- Huang, Y., Liu, Q., Jia, W., Yan, C., Wang, J. (2020). Agricultural plastic mulching as a source of microplastics in the terrestrial environment. *Environmental Pollution*, 260, 114096.
- Huang, S., Huang, X., Bi, R., Guo, Q., Yu, X., Zeng, Q., Huang, Z., Liu, T., Wu, H., Chen, Y., Xu, J., Wu, Y., Guo, P. (2022). Detection and analysis of microplastics in human sputum. *Environmental Science & Technology*, 56(4), 2476- 2486.
- Kannan, K., Vimalkumar, K. (2021). A review of human exposure to microplastics and insights into microplastics as obesogens. *Frontiers in Endocrinology*, 12, 724989.
- Kadac-Czapska, K., Trzebiatowska, P. J., Knez, E., Zaleska-Medynska, A., Grembecka, M. (2023). Microplastics in food-a critical approach to definition, sample preparation, and characterisation. *Food Chemistry*, 135985.
- Kedzierski M, Lechat B, Sire O, Le Maguer G, Le Tilly V, Bruzaud S. (2020). Microplastic contamination of packaged meat: Occurrence and associated risks. *Food Packaging Shelf*; 24,100489.
- Kim, J.S., Lee, H.J., Kim, S.K., Kim, H.J. (2018). Global Pattern of Microplastics (MPs) in Commercial Food-Grade Salts: Sea Salt as an Indicator of Seawater MP Pollution. *Environmental Science and Technology*, 52(21), 12819-28
- Kooi M, Nes EHV, Scheffer M et al. (2017). Ups and Downs in the Ocean: Effects of Biofouling on Vertical Transport of Microplastics. *Environ Sci Technol*. 51(14): 7963-7971.
- Koelmans AA, Redondo-Hasselerharm, PE, Nor NHM, de Ruijter VN, Mintenig, SM, Kooi M. (2022). Risk assessment of microplastic particles. *Nat Rev Mater*;7(2):138-152.
- Kosuth M, Mason SA, Wattenberg EV. (2018). Anthropogenic Contamination of Tap Water, Beer, and Sea Salt. *PloS one*, 13(4): 1-18.
- Kutralam-Muniasamy, G., Pérez-Guevara, F., Elizalde-Martínez, I., Shruti, V. C. (2020). Review of current trends, advances and analytical challenges for microplastics contamination in Latin America. *Environmental Pollution*, 267, 115463.
- Kılınç, G. E., & Keser, A. (2021). Besinlerle alınan endokrin bozucuların pubertal gelişim üzerine etkisi. *Mersin Üniversitesi Sağlık Bilimleri Dergisi*, 14(2), 342-353. <https://doi.org/10.26559/mersinsbd.842650>
- Kirstein IV, Kirmizi S, Wichels A, Garin-Fernandez A, Erler R, Löder M. et al. (2016). Dangerous hitchhikers? Evidence for potentially pathogenic *Vibrio* spp. on microplastic particles. *Mar Environ Res*;120,1- 8.
- Kwon JH, Kim JW, Pham TD, Tarafdar A, Hong S, Chun SH et al. (2020). Microplastics in food: a review on analytical methods and challenges. *Int J Environ Res Public Health*;17(18):6710. 4.
- Leslie, H. A., Van Velzen, M. J., Brandsma, S. H., Vethaak, A. D., Garcia-Vallejo, J. J., Lamoree, M. H. (2022). Discovery and quantification of plastic particle pollution in human blood. *Environment International*, 163, 107199.
- Liebezeit G, Liebezeit E. Synthetic particles as contaminants in German beers. *Food Addit Contam Part A* 2014; 31(9), 1574-1578.

- Liu, Q., Chen, Z., Chen, Y., Yang, F., Yao, W., Xie, Y. (2022). Microplastics contamination in eggs: Detection, occurrence and status. *Food Chemistry*, 397, 133771.
- Lusher, A., Hollman, P., Mendoza, J. (2017). Microplastics in fisheries and aquaculture: status of knowledge on their occurrence and implications for aquatic organisms and food safety.
- Mintenig SM., Int-Veen I., Löder MGJ., Primpke, S., Gerdt, G. (2017). Identification of Microplastic in Effluents of Wastewater Treatment Plants Using Focal Plane Array-Based Micro-Fourier-Transform Infrared Imaging. *Water Res.* 108: 365-72.
- Mohamed Nor, N.H., Kooi, M., Diepens, N.J., Koelmans, A.A. (2021). Lifetime Accumulation of Microplastic in Children and Adults. *Environmental Science & Technology*, 55(8), 5084-96
- Napper I.E., Bakir A., Rowland S.J., Thompson, R.C. (2015). Characterisation, Quantity and Sorptive Properties of Microplastics Extracted From Cosmetics. *Mar Pollut Bull.* 99(1): 178-185.
- Nara, R. (2019). Microplastic Contamination of the food supply chain. *Food Safety Magazine* (December 2018), 1-12.
- Özçiğçi, Z., Basaran, B., Akçay, H. T. (2023). Microplastic contamination and risk assessment in table salts: Turkey. *Food and Chemical Toxicology*, 175, 113698.
- Peixoto, D., Pinheiro, C., Amorim, J., Oliveira, L., Guilhermino, L., Vieira, M.N. (2019). Microplastic pollution in commercial salt for human consumption: A review. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 219, 161-8.
- Pivokonsky, M., Cermakova, L., Novotna, K., Peer, P., Cajthaml, T., Janda, V. (2018). Occurrence of microplastics in raw and treated drinking water. *Science of the Total Environment*, 643, 1644-1651.
- Pironti, C., Ricciardi, M., Motta, O., Miele, Y., Proto, A., Montano, L. (2021). Microplastics in the environment: intake through the food web, human exposure and toxicological effects. *Toxics*, 9(9), 224.
- Plastics Europe, EPRO, *Plastics - the Facts*, (2022). An analysis of European plastics production, demand and waste data 34. (<https://plasticseurope.org/knowledgehub/plastics-the-facts-2022/>).
- Prata, Joana C., Paço, A., Reis, V., da Costa, J.P., Fernandes, A.J.S., da Costa, F.M., Duarte, A.C., Rocha-Santos, T., (2020). Identification of microplastics in white wines capped with polyethylene stoppers using micro-Raman spectroscopy. *Food Chemistry*, 331, 127–323.
- Prata, J. C., da Costa, J. P., Lopes, I., Andrady, A. L., Duarte, A. C., Rocha-Santos, T. (2021). A One Health perspective of the impacts of microplastics on animal, human and environmental health. *Science of the Total Environment*, 777, 146094.
- Rainieri, S., Barranco, A. (2019). Microplastics, a food safety issue? *Trends in Food Science and Technology*, 84, 55-7.
- Rochman, C.M., Parnis, J.M., Browne, M.A., Serrato, S., Reiner, E.J., Robson, M., Young, T., Diamond, M.L., Teh, S.J. (2017). Direct and indirect effects of different types of microplastics on freshwater prey (*Corbicula fluminea*) and their predator (*Acipenser transmontanus*). *PLOS ONE* 12(11): e0187664.
- Sewwandi M, Wijesekara H, Rajapaksha AU, Soysa S, Vithanage M. Microplastics and plastics-associated contaminants in food and beverages; Global trends, concentrations, and human exposure. *Environ Pollut* 2023; 317, 120747.
- Shruti, V. C., Pérez-Guevara, F., ElizaldeMartínez, I., Kuttralam-Muniasamy, G. (2020). First study of its kind on the microplastic contamination of soft drinks, cold tea and energy drinks-Future research and environmental considerations. *Science of the Total Environment*, 726, 138580.
- Sridhar, A., Kannan, D., Kapoor, A., Prabhakar, S. (2022). Extraction and detection methods of microplastics in food and marine systems: a critical review. *Chemosphere*, 286, 131653.

- Sezer, C. (2024). *Sıcak içeceklerde kullanılan bardaklarda bisfenol migrasyonunun belirlenmesi* (Master's thesis, Balıkesir University (Turkey)).
- Silva, A. L. P., Prata, J. C., Walker, T. R., Campos, D., Duarte, A. C., Soares, A. M., Rocha-Santos, T. (2020). Rethinking and optimising plastic waste management under COVID-19 pandemic: policy solutions based on redesign and reduction of single-use plastics and personal protective equipment. *Science of the Total Environment*, 742, 140565.
- Shim WJ, Hong SH, Eo SE. (2017). Identification methods in microplastic analysis: a review. *Anal methods*;9(9):1384-1391.
- Schymanski D, Goldbeck C, Humpf HU., Fürst, P. (2018). Analysis of Microplastics in Water by Micro-Raman Spectroscopy: Release of Plastic Particles from Different Packaging into Mineral Water. *Water Res.* 129: 154-162
- Udovicki B, Andjelkovic M, Cirkovic-Velickovic T, Rajkovic A. (2022). Microplastics in food: scoping review on health effects, occurrence, and human exposure. *Int J Food Contam*;9(1):7.
- Verla, A.W., Enyoh, C.E., Verla, E.N., Nwarnorh, K.O. (2019). Microplastic-toxic chemical interaction: a review study on quantified levels, mechanism and implication. *SN Applied Sciences*, 1(11), 1-30, Doi: 10.1007/s42452-019-1352-0
- Wright, S.L., Kelly, F.J. (2017). Plastic and human health: A micro issue? *Environmental Science and Technology*, 51(12), 6634-47.
- Wang, W., Gao, H., Jin, S., Li, R., Na, G. (2019). The ecotoxicological effects of microplastics on aquatic food web, from primary producer to human: A review. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 173, 110-7.
- Xing D, Hu Y, Sun B, Song F, Pan Y, Liu S, Zheng, P. (2023). Behavior, Characteristics and Sources of Microplastics in Tea. *Hortic*; 9(2),174.
- Yong, C. Q. Y., Valiyaveetil, S., Tang, B. L. (2020). Toxicity of microplastics and nanoplastics in mammalian systems. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(05), 1509.
- Yin K, Wang D, Zhang Y, Lu H, Wang Y, Xing M. (2023). Dose-effect of polystyrene microplastics on digestive toxicity in chickens (*Gallus gallus*): Multi-omics reveals critical role of gut-liver axis. *J Adv Res*; 52, 3-18
- Zhang, Q., Liu, L., Jiang, Y., Zhang, Y., Fan, Y., Rao, W., Qian, X. (2023). Microplastics in infant milk powder. *Environmental Pollution*, 323, 121225.

BİTKİSEL SÜT İKAMESİ ÜRETİMİNDE ATIKLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ: BADEM POSASININ BESİNSEL İÇERİĞİ ÜZERİNE BİR ÇALIŞMA

Züleyha DAL KONUŞ^{*1}, Özlem TURGAY²

¹Kahramanmaraş İstiklal Üniversitesi, Gıda İşleme Bölümü

²Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Gıda Mühendisliği Bölümü

Geliş / Received 10.03.2025; Kabul / Accepted: 25.06.2025; Online baskı / Published online: 14.07.2025

Dal Konuş, Z., Turgay, Ö. (2025). Bitkisel süt ikamesi üretiminde atıkların değerlendirilmesi: Badem posasının besinsel içeriği üzerine bir çalışma. GIDA (2025) 50 (4) 577-584 doi: 10.15237/ gida.GD25038

Dal Konuş, Z., Turgay, Ö. (2025). Valuation of waste in the production of vegetable milk substitute: A study on the nutritional content of almond pulse. GIDA (2025) 50 (4) 577-584 doi: 10.15237/ gida.GD25038

ÖZ

Bu çalışmada bitkisel süt ikamesi olan badem sütünün prosesinde hammadde olarak kullanılan bademde, son ürün olan badem sütünde ve atık ürün olan posada % kurumadde, protein ve yağ miktarları ayrıca B1, B2, B3 ve B6 vitaminleri ile magnezyum ve fosfor mineralleri karşılaştırılmıştır. Posanın % kurumadde, protein ve yağ miktarları sırasıyla 79.52 ± 0.07 , 16.96 ± 0.01 , 30.54 ± 0.08 olarak; B1, B2, B3, B6 vitaminleri sırasıyla 0.04 ± 0.00 , 0.08 ± 0.00 , 0.83 ± 0.01 , 0.04 ± 0.00 mg/100g olarak ve Mg ve P ise sırasıyla 1015.00 ± 2.83 , 3051.00 ± 2.83 mg/kg olarak tespit edilmiştir. Analiz sonuçlarına göre bademde bulunan kurumadde, protein, yağ, vitamin ve minerallerin büyük bir kısmının posada kaldığı gözlenmiştir. Badem, badem sütü ve posanın karşılaştırılması sonucu aralarındaki farkın istatistiksel olarak anlamlı ve çok önemli olduğu tespit edilmiştir ($P < 0.001$). Elde edilen sonuçlar neticesinde posanın besinsel içeriğinin yüksek olduğu; badem unu, badem yağı gibi ürünlerin üretilmesinde hammadde olarak veya farklı ürünlerin üretilmesinde besin içeriğinin artırılması ve lezzet geliştirici gibi yan ürün olarak kullanılabileceği sonuçlarına varılmıştır.

Anahtar kelimeler: Badem sütü, bitkisel süt, badem

VALUATION OF WASTE IN THE PRODUCTION OF VEGETABLE MILK SUBSTITUTE: A STUDY ON THE NUTRITIONAL CONTENT OF ALMOND PULSE

ABSTRACT

In this study, the percentages of dry matter, protein, and fat, as well as the B1, B2, B3, and B6 vitamins, magnesium, and phosphorus minerals, were compared in almonds (used as raw material), almond milk (the final product), and almond pulp (the by-product) during the production of almond milk as a plant-based milk alternative.

The percentage of dry matter, protein, and fat in the pulp was found to be 79.52 ± 0.07 , 16.96 ± 0.01 , and 30.54 ± 0.08 , respectively. The amounts of B1, B2, B3, and B6 vitamins were 0.04 ± 0.00 , 0.08 ± 0.00 , 0.83 ± 0.01 , and 0.04 ± 0.00 mg/100g, respectively, and the magnesium (Mg) and phosphorus (P) levels were 1015.00 ± 2.83 and 3051.00 ± 2.83 mg/kg, respectively. According to the analysis results, it was observed that a large portion of the dry matter, protein, fat, vitamins, and

* Sorumlu yazar / Corresponding author

✉: zuleyha.dalkonus@istiklal.edu.tr

☎: (+90) 344 400 2864

Züleyha Dal Konuş; ORCID no: 0000-0001-7482-094X

Özlem Turgay; ORCID no: 0000-0003-2286-833X

minerals present in almonds remained in the pulp. A statistically significant and very important difference was found between the almond, almond milk, and pulp ($P<0.001$). The results concluded that the nutritional content of the pulp is high, and it can be used as a raw material for producing products such as almond flour and almond oil, or as an ingredient to increase the nutritional value or enhance the flavor of other products.

Keywords: Almond milk, plant-based milk, almond

GİRİŞ

Badem, *Rosaceae* familyasının *Prunus* cinsine bağlı *Prunus amygdalus* L. alt cinsi içerisinde yer almaktadır. (Soylu, 2003; Beyhan ve Şimşek, 2007). Badem zengin besinsel içeriğe sahip olan ve Gıda ve İlaç Organizasyonu (FDA)'nın "yoğun besin içerikli gıda (a nutrient- dense food) olarak tanımladığı fonksiyonel bir besindir. Badem vitamin E izoformlarını, vitamin B türlerini, Ca, Cu, Fe, Mg, Mn, P, K, Na, Zn gibi mineralleri, doymuş, tekli doymamış ve çoklu doymamış yağ asitlerini, fitosterollerini, lizin ve arjinin gibi aminoasitleri ve fenolik bileşikler içerir (Sethi vd., 2016; Grundy vd., 2016). Besleyiciliği yüksek olan badem daha çok çerezlik olarak, çikolata endüstrisinde, meyve barlarında aroma ve lezzet geliştirici ve besinsel içeriği artırıcı amaçlarla kullanılmaktadır. Ayrıca son yıllarda bitkisel süt ikamesi olarak badem sütü ve badem unu gibi karşımıza çıkmaktadır (Bolling, 2017; Li vd., 2018). Vejetaryen/vegan beslenmeyi tercih eden bireyler tarafından ayrıca besin alerjisi olan ve laktoz, kazein ve gluten intoleransı olan bireyler ve çölyak hastaları tarafından tüketilmektedir. Badem sütü bunların yanı sıra sütün az bulunduğu toplumlarda süte alternatif olarak tercih edilmektedir (Ayaz, 2018; Çakır ve Dokumacıoğlu, 2021; Seçim vd., 2022).

Badem sütü üretimi genel olarak bademlerin suda bekletilmesinin ardından öğütülmesi ve filtre edilmesi şeklinde gerçekleştirilmektedir (Bernat vd., 2015; Vanga ve Raghavan, 2018). Badem sütü yapmadan önce bademin kavrulması ya da badem sütü üretiminin filtrasyon aşamasından sonra uygulanan homojenizasyon işlemi veya emülgatör ilave edilmesi gibi uygulamalar üretim aşamalarında karşılaşılabilecek olan farklılıklar olmaktadır (Briviba vd., 2016; Maghsoudlou vd., 2016; Aydar vd., 2020; Şen ve Okur, 2023).

Badem sütü üretiminde sulandırma oranına bağlı olarak besinsel içeriğinde farklılıklar

görülmektedir. Ayrıca badem sütüne uygulanan pastörizasyon veya sterilizasyon gibi ısı işlemlerden kaynaklı olarak da besinsel içerikte değişimler olabilmektedir.

Badem unu üretim aşamaları ise yabancı maddelerden temizlenmesi, sert kabukların kırılması, bademlerin suda bekletilmesi, iç kabuklarından ayrılması, kurutulması, yağının azaltılması, öğütülmesi ve ardından tekrar kurutulması, elekten geçilmesi aşamalarından oluşmaktadır (Hopkin vd., 2022; Ogunjemilusi vd; 2023).

Bu çalışmanın amacı, bitkisel ikame sütlerden olan badem sütünün üretimi sonucunda açığa çıkan atığın yani posanın besinsel içeriğinin belirlenmesi ve farklı ürünlerin üretiminde hammadde, aroma ve lezzet geliştirici ya da besinsel değeri artırıcı olarak kullanılabilirliğinin araştırılmasıdır.

MATERYAL VE YÖNTEM

Materyal

Badem örnekleri çiğ olarak ticari faaliyet gösteren bir firmadan çalışmanın yapıldığı yıla ait üretilip paketlenmiş sert kabuklarından temizlenmiş olarak temin edilmiştir.

Metot

Badem sütünün üretilmesi: Bademler bir gece 25°C suda bekletildikten sonra süzölmüştür ve iç kabukları soyulmuştur. Kabukları soyulan bademler 1:4 oranında su ile karıştırılarak blender yardımı ile öğütölmüştür. Oluşan süspansiyon pamuklu bez kullanılarak süzölmüştür. Süzme işlemi sonucu elde edilen badem sütü 72 °C'de 30 dk pastörize edilmiştir ve +4 °C'de muhafaza edilmiştir.

Badem posasının hazırlanması: Badem sütü üretiminde süzölüp ayrılan posa ise 50 °C'de 17 saat kurutulmuştur ve -18 °C'de muhafaza edilmiştir.

Kimyasal Analizler

Kurumadde analizi: Sabit tartıma getirilen kaplara 5 g örnek tartılarak 105 oC'de 4 saat etüvde bekletilir. Süre sonunda örneklerin tartım sonuçlarının sabit tartıma gelip gelmediği kontrol edilir ve tartım sonuçları formüle yazılarak hesaplaması yapılır (Anonymous, 2010a; Anonymous, 2010b).

$$\%Kurumadde = \frac{G3 - G1}{G2 - G1} \times 100$$

(G1: Dara ağırlığı (g), G2: Dara ve tartılan örnek ağırlığı (g), G3: Son tartım ağırlığı (g))

Protein analizi: Kjeldahl tüplerine 1 g örnek tartılmıştır. Üzerine 15 ml (% 95'lik) H₂SO₄ ve katalizör tablet eklenir. Yakma ünitesinde 4 saat yakılır. Distilasyon aşaması için erlenmayerlere 50 ml saf su ve 15 ml (% 4'lük) borik asit konulur ve üzerine 3-4 damla taşıro indikatörü damlatılır. Distilasyon ünitesi için % 40'lık NaOH hazırlanır. Titrasyon aşamasında için distilasyon ünitesinden çıkan solvent 0.1 N HCl ile titre edilir. Sarfiyat hacmi formüle yazılarak hesaplanır (Anonymous, 2005).

$$\%Azot = (V1 - V2) \times \frac{0,0014}{G} \times 100$$

(V1: Sarf edilen HCl (ml), V2: Şahit numunede sarf edilen HCl (ml), G: Örnek miktarı (g), örneklerin türünden kaynaklı olarak işlem sonuçları 5.30 faktörü ile çarpılır.)

Yağ analizi: Soxhlet kartuşlarına 5 g örnek tartılarak üzeri pamuk ile kapatılır. Çözücü olaka hekzan kullanılır. FOSS Soxtec™ 8000 yağ tayin cihazı kaynatma aşaması için 40-60oC sıcaklık ve 30-45 dk süreye; durulama aşaması için 15-30 dk süreye; çözücü geri kazanımı için 10-15 dk süreye ayarlanır. Cihazdan alınan kartuşlar 60 oC'de kartuşlar sabit tartıma gelene kadar etüvde tutulur ve ardından tartılır. Tartım sonuçları formülde yerine yazılarak hesaplanır (Luque de Castro ve Priego-Capote, 2010).

$$\%Yağ = \frac{(m2 - m1)}{m3} \times 100$$

(m1: Boş kartuş ağırlığı (g), m2: Ekstraksiyon sonrası kartuş ağırlığı (g), m3: Örneğin ağırlığı (g))

Vitamin analizleri: Bu çalışmada kullanılan HPLC yöntemine göre vitamin analizi her vitamin için özgün koşullarda gerçekleştirilmiştir.

Vitamin B1: B1 vitamini analizi, otoklavlama, enzimatik hidroliz ve türevlendirme sonrası fosfat tamponu ve metanol (pH 7.1) mobil fazı kullanılarak, Agilent Eclipse XCD-C18 kolon ve floresans dedektörle (Ex: 366 nm, Em: 445 nm) yapılmıştır. Akış hızı 1µl/min. ve koşturma süresi ise 20 dk'dır.

Vitamin B2: B2 vitamini benzer şekilde otoklavlama ve enzimatik hidroliz sonrasında deiyonize su metanol karışımı (pH 2.5) mobil faz ile aynı kolon ile analiz edilmiş, floresans dedektör (Ex: 445 nm, Em: 545 nm) kullanılmıştır.

Vitamin B3: B3 vitamini ise otoklavlama, pH ayarı ve türevlendirme sonrası analiz edilmiştir. KH₂PO₄, H₂O₂ ve CuSO₄ içeren mobil faz, Lichospher 60 RP-select Bkolon ve floresans dedektör (Ex. 322 nm, Em: 380 nm) kullanılmıştır.

Vitamin B6: B6 vitamini analizinde ise otoklavlama ve enzimatik hidroliz uygulanmış, KH₂PO₄, octanesulfonic asit ve ACN içeren mobil faz (pH 2.85), Agilent Eclipse XCD-C18 kolon ve floresans dedektör (Ex: 290 nm, Em: 395 nm) tercih edilmiştir.

Tüm analizlerde 20 µl enjeksiyon hacmi, 1µl/min. akış hızı kullanılmıştır ve koşturma hızı 20-40dk arasında değişmiştir. Bu parametreler, vitaminlerin doğru ve hassas analiz edilmesini sağlayacak şekilde optimize edilmiştir (Eintemiller vd., 2007; Ball, 2005).

Mineral analizleri: Badem, badem sütü ve badem posasında magnezyum (Mg) ve fosfor (P) miktarlarının belirlenmesi amacıyla, her örnekten 0.5 g alınarak üzerine 8 ml %65'lik nitrik asit (HNO₃) ve 2 ml %31'lik hidrojen peroksit (H₂O₂) eklenmiştir. Hazırlanan karışım, ilk tepkimelerin gerçekleşmesi için 15-20 dk bekletilir. Sonrasında örnekler Milestone Connect ETHOS Up cihazında iki aşamalı olarak her aşamada 200 oC sıcaklık ve 1800 W güçte 15 dk süreyle mikrodalga esaslı yağ yakma işlemine tabii tutulmuştur. Yakması tamamlanan örnekler ultra saf suyla 50 ml hacme seyreltilerek 0.45 µm gözenek çapına sahip membran filtreden geçirilmiştir. Elde edilen çözeltilerden 100 µl alınarak, %2'lik HNO₃ ve 0.5'lik HCl karışımı ile 10 ml'ye kadar

tamamlanmıştır. Analizler, indüktif eşleşmiş plazma-kütle spektrometresi (ICP-MS) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Her örnekteki Mg ile P yüksek duyarlılıkla saptanmıştır (Anonymous, 2007).

İstatistik analizler: Araştırmada, analizler 3 paralel olarak gerçekleştirilmiştir. IBM SPSS Statistics Version 27.0.1 paket programı ile tüm veriler istatistiki olarak değerlendirilmiştir. Sonuçlar ortalama $\pm$ standart sapma olarak verilmiştir ve Tukey Çoklu Karşılaştırma Testi ile sonuçlar karşılaştırılmıştır.

SONUÇ VE TARTIŞMA

Badem, posa ve badem sütü arasındaki besin ögesi içerikleri karşılaştırıldığında, işleme sürecinin besin değerleri üzerinde önemli etkiler oluşturduğu görülmektedir. Kurumadde oranı, en yüksek değerler bademde tespit edilmiş olup, posa bu değerlerin bir miktar altında kalmış, badem sütünde ise belirgin bir azalma göstermiştir. Protein içerikleri incelendiğinde, bademin en yüksek değere sahip olduğu, posada hafif bir

düşüş yaşandığı, ancak badem sütünde anlamlı derecede azaldığı gözlemlenmiştir. Benzer şekilde, yağ içeriği de bademde en yüksek seviyede bulunmuş, posada daha düşük bir orana ulaşmış ve badem sütünde önemli ölçüde kayba uğramıştır.

Vitamin içerikleri açısından değerlendirildiğinde B1, B2, B3 ve B6 vitaminlerinin bademde en yüksek konsantrasyonlarda olduğu, posada nispeten düşük seviyelerde yer aldığı ve badem sütünde dikkate değer bir azalma gösterdiği tespit edilmiştir. Bu durum, vitaminlerin işleme sırasında kayba uğradığını veya posada tutulduğunu göstermektedir. Mineral içeriklerine bakıldığında, magnezyum ve fosforun da benzer bir eğilim sergilediği görülmüş, bu minerallerin bademde en yüksek, posada daha düşük ve badem sütünde oldukça düşük düzeyde olduğu belirlenmiştir. Özellikle badem sütündeki düşük mineral ve vitamin içerikleri, besin maddelerinin büyük bir kısmının posada yoğunlaştığını veya işleme sırasında kaybolduğunu işaret etmektedir. Sonuçlar Çizelge 1’de verilmiştir.

Çizelge 1: Örneklerde yapılan analizlerin ortalaması, standart sapmaları ve Tukey çoklu karşılaştırma testine göre farklılıkları

	Badem (<i>Almond</i>)	Posa (<i>Pulp</i>)	Badem Sütü (<i>Almond Milk</i>)
Kurumadde % <i>Dry matter (%)</i>	95.75 $\pm$ 0.18 ^A	79.52 $\pm$ 0.07 ^B	4.76 $\pm$ 0.05 ^C
Protein %	17.85 $\pm$ 0.07 ^A	16.96 $\pm$ 0.01 ^B	0.88 $\pm$ 0.01 ^C
Yağ % <i>Fat (%)</i>	35.30 $\pm$ 0.14 ^A	30.54 $\pm$ 0.08 ^B	3.77 $\pm$ 0.02 ^C
B1 vitamini (mg/100g)	0.05 $\pm$ 0.00 ^A	0.04 $\pm$ 0.00 ^B	0.02 $\pm$ 0.00 ^C
B2 vitamini (mg/100g)	0.09 $\pm$ 0.00 ^A	0.08 $\pm$ 0.00 ^B	0.01 $\pm$ 0.00 ^C
B3 vitamini (mg/100g)	0.91 $\pm$ 0.00 ^A	0.83 $\pm$ 0.01 ^B	0.06 $\pm$ 0.00 ^C
B6 vitamini (mg/100g)	0.05 $\pm$ 0.00 ^A	0.04 $\pm$ 0.00 ^B	0.01 $\pm$ 0.00 ^C
Magnezyum (mg/kg) <i>Magnesium (mg/kg)</i>	1177.50 $\pm$ 3.54 ^A	1015.00 $\pm$ 2.83 ^B	74.09 $\pm$ 0.05 ^C
Fosfor (mg/kg) <i>Phosphorus (mg/kg)</i>	3374.50 $\pm$ 4.95 ^A	3051.00 $\pm$ 2.83 ^B	182.75 $\pm$ 0.21 ^C

Tukey çoklu karşılaştırma testi uygulanmıştır. Çizelgedeki farklı harfler aynı satırdaki örnekler arasında istatistiksel olarak anlamlı fark olduğunu gösterir. (**P<0.001)

(Tukey's multiple comparison test was applied. The different letters in the table indicate a statistically significant difference between the samples in the same row. (**P<0.001))

Yapılan analizlerde badem, badem sütü ve posanın karşılaştırılması sonucu aralarındaki farkların istatistiksel olarak anlamlı ve çok önemli olduğu tespit edilmiştir ($P<0.001$). İstatistiksel analizler, her bir parametrede gruplar arasında anlamlı farklar olduğunu ve bu farkların, işleme sürecinin farklı aşamalarında besin değerlerini etkilediğini ortaya koymaktadır.

Bademin besin içeriği açısından literatürdeki çalışmalarla kıyaslandığında tutarlı sonuçlar verdiği görülmüştür. Hasan (2012), bademde %94.95 kurumadde, %56.76 yağ ve %20.39 protein değerleri tespit etmiş, bu çalışmada ise benzer şekilde %95.75 kurumadde, %35.30 yağ ve %17.85 protein bulunmuştur. Ayrıca, Richardson vd. (2009) tarafından bildirilen protein, yağ, vitamin B1, B2, B3 ve B6, magnezyum ve fosfor içerikleri de bu çalışmadaki sonuçlarla uyumluluk göstermiştir. Martins vd. (2017) tarafından yapılan bir çalışmada, bademin protein içeriği %12 olarak raporlanmışken, bu çalışmada %17.9 olarak bulunmuştur. Protein ve yağ değerlerindeki bu farkın, kullanılan badem cinsleri arasındaki farklılıklardan kaynaklanabileceği düşünülmektedir.

Badem sütü üzerine yapılan çalışmalarla kıyaslandığında, benzerlik ve farklılık gösteren sonuçlar dikkat çekmektedir. Hasan (2012), badem sütünde %3.51 kurumadde, %1.82 yağ ve %0.90 protein tespit etmişken, bu çalışmada sırasıyla %4.76, %3.77 ve %0.88 olarak bulunmuştur. Bu değerler, işleme koşulları ve sulandırma oranlarındaki farklılıklarla açıklanabilir. Chalupa-Krebzdak vd. (2018), ticari olarak satılan badem sütlerinde kurumadde içeriğini %2.95-3.6, protein içeriğini %0.31-2.08 ve yağ içeriğini %0.83-1.10 arasında bildirmiştir. Jeske vd. (2017) ise badem sütünün protein içeriğini %0.41-2.40 ve yağ içeriğini %1.18-4.40 arasında raporlamıştır. Bu çalışmada elde edilen değerler, literatürde bildirilen ticari badem sütü içerikleriyle kıyaslanabilir düzeydedir. Kundu vd. (2018), 1:3 sulandırma oranı ile ürettikleri badem sütünde %13.92 kurumadde, %0.77 protein ve %3.83 yağ bulmuşlardır. Kurumadde dışında bu sonuçlar çalışmamızla uyumludur; kurumadde farkının, sulandırma oranından kaynaklandığı

düşünülmektedir. Benzer şekilde, Topçuoğlu (2019), ticari olarak satılan bir badem sütünde %3.37 kurumadde, %0.99 protein ve %2.01 yağ tespit etmiştir. Ceylan ve Özer (2020), farklı sulandırma oranları ve sıcaklıklarla ürettikleri 13 farklı badem sütünde ortalama olarak %12.77 kurumadde, %3.21 protein ve %6.85 yağ içerikleri elde etmişlerdir. Bu farklılıkların, üretim koşulları ve sulandırma oranlarından kaynaklandığı anlaşılmaktadır.

Badem posasının besin içeriği açısından literatürde yeterince ele alınmamış olması, bu çalışmanın özgün yönlerinden biridir. Şensoy (2019), yağı kısmen alınmış badem posasının kurumadde içeriğini %95.38, yağını %45.99 ve proteinini %23.92 olarak rapor etmiştir. Bu çalışma da benzer şekilde, posanın besin öğeleri açısından bademe yakın değerlere sahip olduğunu göstermiştir. Ticari olarak satılan badem unlarıyla karşılaştırıldığında, posanın ticari ürünlere alternatif bir hammadde olarak değerlendirilebileceği açıktır. Türkiye’de satılan badem unlarının etiket bilgilerine göre yağ içeriği %11-57.29, protein içeriği ise %19.2-23.63 arasında değişmektedir (Yıldız, 2019). Bu durum, badem posasının yüksek besin değerleriyle ticari potansiyele sahip olduğunu desteklemektedir. Zor vd. (2021) badem ezmesinde yapmış oldukları çalışmalarında kurumadde miktarını %90.91-93.69, protein miktarını %9.45-14.87, fosfor miktarını 19075.77-27418 mg/kg ve magnezyum miktarını ise 11200.28-15424 mg/kg olarak tespit etmişlerdir. Protein miktarı açısından çalışmamıza yakınlık gösteren sonuçlar elde edilmişken kurumadde, Mg ve P açısından büyük farklılıklar olduğu söylenebilir. Bu farklılıkların badem ezmesi yapımında ingredient ilavesinin yapılması ve badem konsantrasyonunun daha fazla olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Ayrıca çalışmamızda atık olan badem posasının yapısında bulunan besin öğelerinin bir kısmının bitkisel süt ikamesine geçtiği, bir kısmının da işlem esnasında kayıplara uğramış olmasından kaynaklandığı söylenebilir. Ayrıca mineraller madde farklılıklarının bademin cinsinden kaynaklandığı söylenebilir. Kısmen yağı azaltılmış badem ununda yapılan bir çalışmada ise kurumadde miktarı % 96.2, protein miktarı %49.3, yağ miktarı

% 28, Mg miktarı 4500 mg/kg, P miktarı 6710 mg/kg olarak tespit edilmiştir (Siqueria vd., 2015). Yağ miktarı söz konusu çalışmamızda biraz daha yüksektir bunun sebebi Siqueria vd., nin bademin yağını azaltmış olmalarından kaynaklanabilir. Fakat diğer karşılaştırma parametrelerinde çalışmamıza ait sonuçlar daha düşüktür. Bunun sebebi ise çalışmamızda karşılaştırılması yapılanörneğin badem posası olması ve işlem görmüş bir atık ürün olması ile gerekçelendirilebilir.

Badem posasının değerlendirilmesi, ekonomik ve çevresel sürdürülebilirlik açısından önemlidir. Posa, düşük sıcaklıklarda (45-50 °C) kurutulduktan sonra öğütülerek badem unu haline getirilebilir. Bu badem unu, vegan ve glutensiz beslenme için ideal bir alternatif olup, kek, kurabiye, ekmek, pankek ve granola gibi ürünlerde kullanılabilir. Ayrıca, sporcu besinleri, evcil hayvan mamaları ve gıda takviyelerinde lif içeriğiyle besin değerini artırabilir. Ancak, ransiditeyi önlemek için vakum veya modifiye atmosfer ambalajlama yöntemleri tercih edilmelidir. Ayrıca, badem gibi yağlı tohumların içerdiği alerjen proteinler nedeniyle, ürün etiketlerinde bu durum açıkça belirtilmelidir.

Sonuç olarak, bu çalışma, badem sütü üretiminden elde edilen posanın atık olarak değerlendirilmek yerine yeni bir ürün için hammadde olarak kullanılabileceğini ortaya koymuştur. Kombine üretim zincirleriyle badem sütü, posa ve badem ununun birlikte üretilmesi, ekonomik değer yaratabilir. Çalışma, posanın besinsel içeriğinin göz ardı edilemeyecek kadar yüksek olduğunu ve bu yönüyle yeni ürün geliştirme süreçlerine referans olabileceğini göstermektedir. Diğer taraftan glutensiz ürünlerin popülaritesinin giderek attığı bu yıllarda yapılan bilimsel çalışmalara katkıda bulunabileceği, sürdürülebilirlik açısından da önemli bir geri kazanım olduğu düşünülmektedir.

YAZAR KATKILARI

Yazarlar çalışmaya eşit katkıda bulunmuştur.

ÇIKAR ÇATIŞMASI BEYANI

Bu çalışmanın herhangi bir çıkar çatışması yoktur. Çalışmada yer alan tüm veriler, bilimsel ve objektif

bir yaklaşımla toplanmış olup, elde edilen sonuçlar akademik dürüstlük ve etik kurallara uygun bir şekilde değerlendirilmiştir.

ETİK KURUL ONAYI

İnsan deneyi olmadığı için etik kurul onayı gerekmemektedir.

KAYNAKLAR

Anonymous (2005). AOAC Official Methods 2005-979.09 Protein in grains.

Anonymous (2007). Trace elements As, Cd, Hg, Pb and other elements. Determination by ICP-MS after pressure digestion. Nordic Committee On Food Analysis No:186, 14.

Anonymous (2010a). AOAC Official Methods 2010-925.10 Solids (total) and loss on drying (moisture) in flour.

Anonymous (2010b). AOAC Official Methods 2010-925.09 Solids (total) and loss on drying (moisture) in flour.

Ayaz, Z. (2018). Beslenmede farklı yaklaşımlar. *Journal of Turkish Family Physician*, 09(3), 85–92. <https://doi.org/10.15511/tjtfp.18.00385>

Aydar, E. F., Tutuncu, S., Ozcelik, B. (2020). Plant-based milk substitutes: Bioactive compounds, conventional and novel processes, bioavailability studies, and health effects. *Journal of Functional Foods*, 70, 103975. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2020.103975>

Ball, G. F. M. (2005). *Vitamins in foods: Analysis, bioavailability, and stability* (1st ed.). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781420026979>

Bernat, N., Chafer, M., Rodríguez-García, J., Chiralt, A., González-Martínez, C. (2015). Effect of high pressure homogenisation and heat treatment on physical properties and stability of almond and hazelnut milks. *LWT-Food Science and Technology*, 62(1), 488-496.

Beyhan, Ö., Şimşek, M. (2007). Kahramanmaraş merkez ilçe bademlerinin (*Prunus amygdalus* L.) seleksiyon yoluyla ıslahı üzerine bir araştırma. *Bahçe* 36 (1-2), 11 – 18.

Bolling, B. W. (2017). Almond polyphenols: Methods of analysis, contribution to food quality,

- and health promotion. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 16(3), 346–368.
- Briviba, K., Gräf, V., Walz, E., Guamis, B., Butz, P. (2016). Ultra high pressure homogenization of almond milk: Physico-chemical and physiological effects. *Food Chemistry*, 192, 82–89.
- Ceylan, M. M., Özer, E. A. (2020). Optimisation of almond milk producing using response surface method. *Journal of Agriculture*, 3(1), 6–18.
- Chalupa-Krebsdak, S., Long, C. J., Bohrer, B. M. (2018). Nutrient density and nutritional value of milk and plant-based milk alternatives. *International Dairy Journal*, 87, 84–92. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2018.07.018>
- Çakır, İ., Dokumacıoğlu, E. (2021). Besin alerjisi ve akıllı diyetler. *Türk Bilimsel Derlemeler Dergisi*, 14(2), 160–174.
- Eitenmiller, R. R., Landen Jr., W. O., Ye, L. (2007). *Vitamin analysis for the health and food sciences* (2nd ed.). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781420009750>
- Grundy, M. M., Carrière, F., Mackie, A. R., Gray, D. A., Butterworth, P. J., and Ellis, P. R. (2016). The role of plant cell wall encapsulation and porosity in regulating lipolysis during the digestion of almond seeds. *Food & Function*, 7(1), 69–78.
- Hasan, N. A. (2012). Almond milk production and study of quality characteristics. *Journal of Academia*, 2(1), 1–8.
- Hopkin, L., Broadbent, H., Ahlborn, G.J. (2022). Influence of almond and coconut flours on Ketogenic, Gluten-Free cupcakes. *Food Chemistry: X*, 13. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2021.100182>
- Jeske, S., Zannini, E., Arendt, E. K. (2017). Evaluation of physicochemical and glycaemic properties of commercial plant-based milk substitutes. *Plant Foods for Human Nutrition*, 72(1), 26–33.
- Kundu, P., Dhankhar, J., Sharma, A. (2018). Development of non-dairy milk alternative using soymilk and almond milk. *Current Research in Nutrition and Food Science Journal*, 6(1), 203–210.
- Li, X., Liu, Y., Hao, J., Wang, W. (2018). Study of almond shell characteristics. *Materials*, 11(9). <https://doi.org/10.3390/ma11091782>
- Luque de Castro, M. D., Priego-Capote, F. (2010). Soxhlet extraction: Past and present panacea. *Journal of Chromatography A*, 1217(16), 2383–2389.
- Maghsoudlou, Y., Alami, M., Mashkour, M., Shahraki, M. H. (2016). Optimization of ultrasound-assisted stabilization and formulation of almond milk. *Journal of food processing and preservation*, 40(5), 828–839.
- Martins, I. M., Chen, Q., Chen, C. Y. O. (2017). Emerging functional foods derived from almonds. In I. C. F. R. Ferreira, P. Morales, and L. Barros (Eds.), *Wild plants, mushrooms and nuts: Functional food properties and applications* (1st ed., pp. 445–469). John Wiley & Sons, Ltd.
- Odunkiran, A., Zor, M., Şengül, M. 2021. Edirne’de geleneksel olarak üretilen badem ezmesinin bazı kalite özellikleri. *İğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 11(2): 2051–2061.
- Ogunjemilusi MA, Igbaro JO, Ogori AF. (2023). Physiochemical properties of composite maize-ogi almond flour blends. *Journal of Nutritional Health & Food Engineering*, 13(1):11–13. DOI: 10.15406/jnhfe.2023.13.00365
- Richardson, D. P., Astrup, A., Cocaul, A., Ellis, P. (2009). The nutritional and health benefits of almonds: A healthy food choice. *Food Science and Technology Bulletin: Functional Foods*, 6(4), 41–50.
- Seçim, Y., Akyol, N., Kaya, M. (2022). Vegetarian diets. *Journal of Social, Humanities and Administrative Sciences*, 5(1), 66–82.
- Sethi, S., Tyagi, S. K., Anurag, R. K. (2016). Plant-based Milk Alternatives an Emerging Segment of Functional Beverages: A review. *Journal of Food Science and Technology*, 53(9), 3408–3423.
- Siqueira, A.P.S., Pacheco, M.T.B., Naves, M.M.V. 2015. Nutritional quality and bioactive compounds of partially defatted baru almond flour. *Food Science and Technology*, Campinas, 35(1):127–132.

Soylu, A. (2003). *Ilıman iklim meyveleri II*. Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Ders Notları, Yayın No: 72, Bursa.

Şen, L., Okur, S. (2023). Effect of hazelnut type, hydrocolloid concentrations and ultrasound applications on physicochemical and sensory characteristics of hazelnut-based milks. *Food Chemistry*, 402, 134288.

Şensoy, E. (2019). Farklı oranlarda kullanılan yağı azaltılmış badem posasının tarhananın fizikokimyasal ve reolojik özelliklerine etkisinin araştırılması (Yüksek lisans tezi). Ordu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

Topçuoğlu, E. (2019). Badem sütü ile zenginleştirilmiş probiyotik yoğurt üretimi (Yüksek lisans tezi). Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

Vanga, S. K., Raghavan, V. (2018). How well do plant based alternatives fare nutritionally compared to cow's milk?. *Journal of food science and technology*, 55(1), 10-20.

Yıldız, E. (2019). Glutensiz bisküvi üretiminde badem unu ve stevia kullanımı (Doktora tezi). Bursa Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK VE GIDA İSRAFI YÖNÜNDEN HASAT SONRASI İŞLEMLER VE KOMBİNE UYGULAMALAR

Dila BEŞEN*, Asiye AKYILDIZ

Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü Adana, Türkiye

Geliş / Received 26.03.2025; Kabul / Accepted: 09.07.2025; Online baskı / Published online: 24.07.2025

Beşen, D., Akyıldız, A. (2025). Sürdürülebilirlik ve gıda israfı yönünden hasat sonrası işlemler ve kombine uygulamalar. GIDA (2025) 50 (4) 585-605 doi: 10.15237/ gida.GD25047

Beşen, D., Akyıldız, A. (2025). Post-harvest processes and combined applications in terms of sustainability and food waste -Review. GIDA (2025) 50 (4) 585-605 doi: 10.15237/ gida.GD25047

ÖZ

Küresel ısınmaya bağlı olarak meyve ve sebzelerin üretiminde görülen sorunlar özellikle az gelişmiş ülkelerde gıdaya erişimi kısıtlamaktadır. Hasat sonrası kayıpların azaltılması ve raf ömrünün uzatılması için inovatif, verimli ve çevre dostu metotlar uygulanmalıdır. Bu literatür taramasında, hasat sonrası uygulanan geleneksel metotlar ile yenilebilir kaplama, modifiye atmosferde paketlenme (MAP), ısınlama, UV-C gibi inovatif yöntemlerin kombinasyonunun meyve ve sebzelerin kalite ve raf ömrü üzerine etkisi incelenmiştir. Sıcak su+gama ısınlaması, MAP+UV-C, 1-Metilsiklopropenin (1-MCP)+UV-C, MAP+ısınlama, yenilebilir kaplama+MAP gibi kombine yöntemlerin tekil uygulamalardan daha olumlu sonuçlar verdiği görülmüştür. Bu kombine yöntemlerin sinerjik etkisiyle ürün kalitesinin korunması, raf ömrünün uzatılması, ağırlık ve ürün kayıplarının azaltılması sağlanabilmektedir. Bu uygulamalar, gıda israfının, kıtlık riskinin ve tarımsal ürünlerden kaynaklanan karbon emisyonlarının azalmasını sağlayarak sürdürülebilir kalkınmayı destekleyecektir.

Anahtar kelimeler: Hasat sonrası kayıplar ve engelleme yöntemleri, sürdürülebilirlik, MAP, aktif ve yenilebilir kaplamalar, gıda israfı, raf ömrü, karbon emisyonu

POST-HARVEST PROCESSES AND COMBINED APPLICATIONS IN TERMS OF SUSTAINABILITY AND FOOD WASTE

ABSTRACT

Problems in the production of fruits and vegetables due to global warming restrict access to food especially in underdeveloped countries. Innovative, efficient and environmentally-friendly methods should be applied to reduce post-harvest losses and extend shelf life. In this literature review, the effects of the combination of traditional and innovative post-harvest methods such as edible coating, modified atmosphere packaging (MAP), irradiation, UV-C application on the quality and shelf life of fruits and vegetables were examined. It was observed that combined methods such as hot water+gamma irradiation, MAP+UV-C, 1-Methylcyclopropene (1-MCP)+UV-C, MAP+irradiation, edible coating+MAP provide better results than single applications. With the synergistic effect of these combined methods, product quality can be preserved, shelf life can be extended, and product weight losses can be mitigated. These applications support sustainable development by reducing food waste, famine risk and carbon emissions originating from agricultural products.

Keywords: Post-harvest losses and prevention methods, sustainability, map, active and edible coatings, food waste, shelf life, carbon emission

*Sorumlu yazar / Corresponding author

✉: dilabesen@hotmail.com

☎: +90 543 728 2000

Dila Beşen; ORCID no: 0009-0003-3992-477x

Asiye Akyıldız; ORCID no: 0000-0001-5584-0849

GİRİŞ

Günümüz dünya düzeninde nüfus artışı, artan gıda talebi, küresel ısınma ve iklim değişikliğinin yol açtığı kuraklık, bilinçsiz kaynak kullanımı ve gıda israfları, dengeli beslenmede önemli rolü olan tarımsal ürünler ile gıda güvenliğini tehdit etmektedir (Mahajan ve ark., 2024). Nüfus artış hızı ile ilgili yapılan çalışmalarda sürdürülebilir kalkınmanın yapı taşlarından olan sürdürülebilir tarımın, ekonomik büyüme, sürdürülebilirlik ve sosyal etki ile gıda güvenliğini sağlaması beklenmektedir (El-Ramady ve ark., 2015). Açlığa son verilmesi, sağlıklı ve kaliteli yaşam, sorumlu üretim ve tüketim gibi Birleşmiş Milletler (UN) Sürdürülebilir Kalkınma Amaçlarına (SKA) ulaşmak için verimli kaynak kullanımı ve yenilikçi uygulamalar ile artan küresel gıda arzını karşılayacak iyileştirmeler gıda kayıplarını azaltarak tarımsal ürünlerin sürdürülebilirliğine katkı sağlayacaktır. Hasat sonrası (HS) kayıplar ve gıda israfı, ekonomik kayıpları ve negatif çevresel etkisi nedeniyle özellikle gelişmekte olan ülkeler için büyük endişe kaynağıdır (Ninama ve ark., 2024; Güneş ve ark., 2024).

Gıda krizinin giderek önem kazandığı son yıllarda global seviyede gıda ürünleri içerisinde meyve ve sebzelerin (MS), türe göre toplam üretim miktarının %28-55 arasında değişen HS kayıp ile en yüksek kayıplara neden olduğu ve kayıpların bazı türler için %60'a kadar çıkabildiği belirtilmiştir (Yahia ve ark., 2019; Opara ve ark., 2021; Ueda ve ark., 2022). HS işlemlerin yetersizliği nedeniyle meyve ve sebzelerin %25-40'ı tüketiciye henüz ulaşmadan gıda kaybı olarak kayıtlara geçmektedir (Gulati ve ark., 2024).

Küresel ısınmaya negatif etkisi olan karbondioksit (CO₂), metan (CH₄), hidroflorokarbonlar (HFC'ler), nitroksit (N₂O), perflorokarbonlar (PFC'ler) ve sülfürheksaflorit (SF₆) gibi sera gazlarının (GHG) salınımında tarımsal faaliyetlerin önemli etkisi bulunmakta ve karbon emisyonu yüksek faaliyetler olarak bilinmektedir (Sentürk ve ark., 2023; Seed ve ark., 2022). Tarımsal ürünlerin verimli kullanılması ve kayıplarının azaltılması bu etkiyi azaltacağından doğru, yeterli ve etkin HS uygulamalar ile ürün karbon ayak izinin azalması mümkün olacaktır.

MS'lerin tedarik zincirinde; hasat, elleçleme, depolama, paketleme ve taşıma gibi aşamalarda meydana gelen HS kayıplar ile gıda israfı, beraberinde önemli ekonomik kayıplara yol açmaktadır. Bu kayıpların temel nedenleri arasında; enzimatik ve enzimatik olmayan esmerleşme reaksiyonları, tat, renk, görünüm bozulmaları, büzüşme, mikrobiyolojik bozulmalar, kabuk sertleşmesi ve besin değeri kayıpları gibi fiziksel, biyolojik, kimyasal ve fizikokimyasal etmenler yer almakta olup, biyolojik faktörlerin en belirleyici etken olduğu bilinmektedir (Prusky, 2011; El-Ramady 2015; Singh ve Thakur, 2024).

Meyve ve sebzelerin içerikleri, fiziksel, kimyasal, biyolojik özellikleri ile klimakterik özellik gösterip göstermediğine bağlı olarak seçilecek HS uygulamalardan en yüksek fayda sağlanması amaçlanmaktadır. Son yıllarda hızlanan çalışmalar ile raf ömrünü uzatmak, kaliteyi korumak, ağırlık kaybını azaltmak ve HS gıda güvenliğini sağlamak mümkün olmuştur (Tsurayya ve Kartika, 2015; Karoney ve ark., 2024). Geçmişten günümüze kaliteyi koruyarak raf ömrünü artırmak için olgunlaştırma, etilen, 1-MCP, putresin, kalsiyum ve doğal waks uygulamaları, kontrollü ve modifiye atmosfer, soğuk depolama, ısı işlem, ışınlama gibi uygulamalarla yenilebilir kaplama ve filmler, UV-C gibi yöntemler kullanılmaktadır (El-Ramady, 2015). Gıda güvenliği ve sürdürülebilir tarımın desteklenmesi için etilen gibi yaygın uygulamalar, gen modifikasyonu, fitohormonlar gibi yeni biyolojik araçların kullanımı, UV-C, yenilebilir kaplama, ışınlama, modifiye ve kontrollü atmosfer, 1-MCP uygulama gibi metotların kombine kullanılması ile ilgili çalışmalar ve uygulamalar yapılmaktadır (Asrey ve ark., 2023).

Literatür verileri, global raporlar incelenerek hazırlanan bu derleme makale, sürdürülebilir kalkınma ve sürdürülebilir tarım için meyve sebzelerde HS geleneksel ve inovatif metotlar ile bunların birlikte kullanıldığı uygulamaların literatür sonuçlarını sunmakta ve gıda israflarının minimize edilerek tarım kaynaklı karbon emisyonunun azaltılması için kombine metotların yaygınlaştırılmasında kaynak görevi görmektedir.

HASAT SONRASI İŞLEMLER

Ürünün hasat edildikten sonra tüketiciye ulaşıncaya kadar geçen sürede uygulanan işlemler, HS işlemler olarak adlandırılmakta olup HS ve işleme olarak iki ana aşamadan oluşmaktadır (Mutiarawati, 2007; Kembaren ve Muchsin, 2021). HS işlemler ürünün tedarik zinciri aşamalarında süre kazanılmasını amaçlarken (Elizabeth ve Anugrah, 2020), işleme ürünün raf ömrünü uzatmayı amaçlamaktadır (Zam ve ark., 2019; Imahori ve Bai, 2024).

Küresel olarak en çok atık oluşturulan ve israf edilen gıdaların önemli bir kısmını oluşturan meyve sebzeler için kayıpların büyük bölümü hasat sonrasında depolama ve lojistik aşamalarında oluşmaktadır (Chowdhury ve ark., 2025). Artan dünya nüfusu ve paralelinde artan kaynak tüketimi, değişen beslenme alışkanlıkları, olumsuz çevresel etkilerinin küresel ısınma, gıda kıtlığı ve açlık üzerindeki negatif etkisini azaltmak için eyleme geçmek ülkelerin öncelikleri arasında yer almakta, sürdürülebilir tarım ve sürdürülebilir üretim uygulamaları için verimlilik, tasarruf, kayıpların önlenmesi, dengeli beslenme ve yeni yöntemlerle ilgili çalışmalar yapılmaktadır (Linehan ve ark., 2012; Ananno ve ark., 2021; Görgülü, 2025).

Tedarik zincirindeki teknolojik ilerleme ve dijitalleşme desteğiyle verimliliklerin artırılması, proses hatalarının azalması ve kayıpların azaltılması çalışmaları yapılırken her yıl üretilen gıdaların yaklaşık %30'u atık olarak kayıtlara geçmektedir. Bozulma potansiyeli yüksek gıda grubunda olan taze meyve sebzeler yaklaşık %42'lik oran ile en fazla israf edilen gıda grupları arasında yer almakta ve önlem alınmaması durumunda bu oranın artacağı düşünülmektedir (Porat ve ark., 2018; Sagar ve ark., 2018; Anand ve ark., 2022; Ganesh ve ark., 2022).

Az gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler başta olmak üzere ülkelerin büyük çoğunluğunda atıkların tamamı geri kazandırılmadığından çevresel problemlere ve ekonomik kayıplara neden olmaktadır (Masud ve ark., 2020; Ananno ve ark., 2021). Karbon emisyonuna neden olan gıda atıklarının 1 kg'ı, 2.5 kg CO₂ eşdeğeri karbon emisyonu oluşturmaktadır (Ray ve ark., 2025).

Artan ivme ile yükseleceği düşünülen gıda israfı ve atık miktarını azaltmak için HS verimsiz ve uygun olmayan depolamalara alternatif yöntemler, raf ömrünün uzatılması, bozulma etmenlerinin yönetimi, yapay zeka destekli uygulamaların, gelişmiş sensör uygulamalarının ve yenilikçi paketlenme seçeneklerinin meyve sebze tedarik zincirine entegrasyonu, gıda güvenliği, sürdürülebilir tarım, su ve enerji kaynaklarının verimli kullanılması, sürdürülebilirlik ve döngüsel ekonomi ile ilgili küresel sorunların çözümü için kritik önem taşımaktadır (Fadiji ve ark., 2021; Rahardjo ve ark., 2023; Aier ve ark., 2024; Gorgulu, 2025).

Meyve sebzelerde depolama sonrasında oluşan gıda israfını, ürünlerin kalitesini, gıda güvenliğini pozitif yönde etkileyen yeni teknikler ve birden fazla metodun birlikte kullanımının sinerjik etkisi ile kaynaklar verimli kullanılacak ve SKA'na uygun politikaların izlenmesi ile gelecek nesillerin gıda ihtiyacının karşılanabilmesi mümkün olacaktır.

Etilen Yönetimi ve 1-Metilsiklopropan (1-MCP)

Olgunlaşma, meyvelerin tüketime veya işlenmeye hazır hale gelmesi için yumuşama, renklenme, tatlanma ve aroma bileşiklerinin artışı şeklinde gelişen fizyolojik bir süreçtir; olgunlaşma ile solunum ve etilen üretim hızı artmaktadır (El-Ramady, 2015). Meyve sebzelerin olgunlaşma hızını artıran ve doğal olarak bulunan bir metabolizma ürünü olan etilenin yüksek düzeyde maruziyeti erken olgunlaşmaya ve raf ömrünün kısılmasına neden olmaktadır. Bilinen en eski uygulamalardan biri olan etilen yönetimi hasat öncesi koşullar, meyve türü, etilen konsantrasyonu ve maruz kalma süresi, deponun bağlı nemi (RH) ve sıcaklık gibi faktörlerle değişiklik göstermekte ve gıda güvenliğini korurken HS kayıpları azaltmada etkin rol oynamaktadır (Ebrahimi ve ark., 2022; Adegoroye, 2023). Etilen, klimakterik meyvelerde olgunlaşmaya katkı sağlarken, klimakterik olmayan meyve ve yeşil yapraklı sebzelerde yüksek etilen seviyeleri besin değerini ve fiziksel özellikleri negatif etkileyerek kalite kayıplarına neden olmaktadır (Paul ve Pandey, 2014; Asrey ve ark., 2023; Badamosi ve ark., 2024).

Klimakterik meyveler başta olmak üzere meyvelerin en önemli bozulma nedenlerinin başında fazla etilen uygulamasının sonucu olarak meydana gelen hızlı solunum ve etilen salınımına bağlı değişiklikler enzimatik ve mikrobiyolojik bozulmalar gelmektedir (Li YongXin ve ark., 2018; Li ve ark., 2019). Depolama sırasında kontrolsüz ya da yüksek etilen maruziyetine bağlı bozulmaları önlemek için klimakterik özellik gösteren ürünlerle göstermeyenler ayrı depolanmalı ve etilen seviyesi kontrol edilmelidir (Mope ve ark., 2024). Gen modifikasyonları, fitohormonlar, mikroorganizmalar, yenilebilir film ve kaplama ile biyofiltrasyon gibi biyolojik malzemelerin kullanımı, etilen yönetimi ve yüksek etilen maruziyetine bağlı olumsuzlukların

kontrolü için etkili uygulamalardır (Ito ve ark., 2015; Asrey ve ark., 2023). Bu teknolojik yöntemlerin yanında etilen biyosentezini bloke edici ajanlardan aminoetoksivinilglisin, amino-oksiasetik asit, 1-MCP, potasyum permanganat, titanyum dioksit, ozon, brasinosteroidler, salisilik asit, poliaminler, kontrollü ve modifiye atmosfer depolama teknolojileri de yaygın olarak kullanılmaktadır (Zhu ve ark., 2015; Onik ve ark., 2021; Alonso-Salinas ve ark., 2024). Düşük konsantrasyonda yüksek etki gösteren, güçlü etilen inhibe edici ajan 1-MCP uygulaması ile ilgili çalışmalarda 1-MCP'nin ürünün raf ömrü ve kalitesine etkileri incelenmiştir (Çizelge 1).

Çizelge 1. Meyve ve sebzelerde 1-MCP uygulamaları

Meyve/Sebze	Uygulama	Sonuç	Referans
Elma	0,6 µl L ⁻¹ 1-MCP	120 gün depolamada kalitenin korunması	DeEll ve ark., 2002
Erik	0,0, 0,5, 1,0, 2,0 µL L ⁻¹	Yumuşama oranında azalma Raf ömründe artma	Khan ve Singh, 2009
Kivi	1 mg/kg 1-MCP	Meyve çürümesinde azalma Yumuşama oranında azalma Raf ömründe artma	Park ve ark., 2015
Avokado	156.25, 312.5, 625 µg/kg %3.3 1-MCP	Kalitenin korunmasında (2 ay) En etkin doz: 625 µg/kg en yeterli doz: 312.5 µg/kg	Doğan ve ark., 2017
Mandalina	500, 1000, 1500 µg/kg 1-MCP	1500 µg/kg 1-MCP ile 60 güne kadar biyoaktif bileşiklerin korunması	Baswal ve ark., 2021
Kivi	0,5 µL L ⁻¹ 1-MCP	Olgunlaşmada yavaşlama Raf ömründe artma Kalitede iyileşme	Chai ve ark., 2021
Çarkıfelek	1.2 µL L ⁻¹ 1-MCP	Solunum hızında yavaşlama Olgunlaşma süresinde gecikme Kalitenin korunması	Yingwei ve ark., 2021
Armut	0,5, 1,0, 1,5 µL L ⁻¹ 1-MCP	Ağırlık kaybında azalma Raf ömründe ve kalitede artış En etkin doz: 1,0 1-MCP	Wang ve ark., 2025

Fiziksel işlemler

Fiziksel işlemler meyve sebzelerin büyük kısmında HS kalitenin korunması ve raf ömrünün uzatılmasında güvenli, kimyasal kullanılmayan, kalıntı bırakmayan çevre dostu, etkili uygulamalardan biridir. Son yıllarda yapılan çalışmalarla termal işlemler, gama ışınlama ve UV-

C uygulaması gibi farklı fiziksel uygulamalar veya biyolojik, kimyasal metotlar ile fiziksel metotların birlikte kullanılmasıyla oluşan sinerjik etkinin ürün kalitesi, raf ömrünün uzatılması ve israfların azalmasına olanak sağlayan uygulamaların bilinirliği artmıştır. 2000 yılından sonra yapılan literatür çalışmaları incelendiğinde % 56.60 oran

ile en fazla sıcak su uygulaması ile ilgili çalışma yapılmış bunu ozon uygulaması (%20), ışınlama (%16.60) ve düşük sıcaklık uygulamaları (%6.60) takip etmiştir (Vinod ve ark., 2023). Son yıllarda, üründe kalıntı riski yaratmayan ve çevre dostu bir yöntem olan sıcak su uygulamasının, etilen üretimini baskıladığına dair çalışmalar mevcuttur. Meyve ve sebzelerde hasat sonrasında UV-C, ışınlama, ısıtma işlemi, ozon uygulaması, soğuk uygulama, ultrason ve cold plazma gibi fiziksel işlemler kullanılabilmekte; bu işlemlerle meyve sebzelerde kalitenin korunması, raf ömrünün uzatılması mümkün olmakta ve gıda kayıplarına doğrudan etki etmektedir (Fallik ve Ilić, 2021).

Termal işlemler

MS'lere HS uygulanan çevre dostu, kalıntı bırakmayan, ekonomik metot olan ısı uygulama, tek başına ya da diğer metotlarla kombine edilerek kaliteyi koruyup raf ömrünü uzatmaya katkı sağlamaktadır (Liu ve ark., 2012). Isıl uygulamalar sıcak suya daldırma (SSD), buharlı ısıtma işlemi veya sıcak hava uygulama şeklinde uygulanabilmekte olup soğuk zararını azaltma, mikrobiyolojik inaktivasyon, kalite ve duyu özellikleri koruma, raf ömrünü uzatma etkisi olduğu bilinmektedir (Çizelge 2). Pratik uygulamalarda sık kullanılan SSD'nin, enerji gereksinimi nedeniyle dezavantajlı olarak düşünüldüğü belirtilmektedir. (Vinod ve ark., 2023).

Çizelge 2. Meyve ve sebzelerde termal işlem uygulamaları

Meyve/Sebze	Metot	Parametre	Sonuç	Referans
Domates	Sıcak suya daldırma	40°C, 10 dk	Çürümeye azalma Raf ömründe artma	Boonkorn, 2016
Tatlı portakal	Buharlı ısıtma işlemi	0, 5, 10, 15, 20 dakika (dk)	5-10 dk: Etilen üretimi ve solunum hızında azalma, kalitenin korunması 15 ve 20 dk: kalite bozulması	Hussain ve ark., 2017
Kavun	Sıcak suya daldırma	55°C, 1 dk	Raf ömründe artış, Çürümeye azalma Kalitede artış	Abubakar ve ark., 2020
Elma (<i>Malus spp.</i>)	Sıcak suya daldırma	53-57°C, 3-5 dk	Çürümeye azalma	Petres ve ark., 2020
Üzüm (<i>Vitis vinifera</i> L.)	Sıcak suya daldırma	50°C, 10 dk	Mikrobiyal kalitede iyileşme Çevresel duyarlılık	Chiabrando ve Giacalone, 2020
Guava (<i>Psidium guajava</i>)	Sıcak suya daldırma	45°C, 2 dk	Kalitenin Korunması HS kayıpta azalma Mikrobiyal yükte azalma Raf ömründe artma	Killadi ve ark., 2021
Citron Meyvesi (<i>Citrus medica</i> L.)	Sıcak suya daldırma	50°C, 3 dk 55°C, 1 dk 60°C, 20 dk	50°C ve 55°C: ağırlık kaybında azalma Çürümeye oranında azalma, kalitenin korunması 60°C: ağırlık kaybında artış, kalitede bozulma 55°C: kalitenin korunması ve kayıpların azaltılmasında en etkin doz	Miao ve ark., 2025

İşınlama (radyasyon ve UV-C uygulama)

Meyve ve sebzelerde termal olmayan, zararlı mücadelesi ve mikrobiyolojik bozulmanın engellenmesi ile kaliteyi iyileştirerek raf ömrünün uzatılmasını, ağırlık kaybının azaltılmasını

sağlayan UV, kızılötesi frekans (KÖF), radyo frekans (RF) gibi iyonlaştırıcı olmayan radyasyonların veya gama (γ) ışını, X ışını ve yüksek enerjili elektron ışınları gibi iyonlaştırıcı radyasyonların belirli doz ve süre uygulanması,

radyasyon teknolojisi olarak bilinmektedir. Yüksek uygulama maliyeti ve tüketicideki algısı nedeniyle kullanımı sınırlı olan teknoloji, pest mücadelesinde pestisit kullanmadan zararlıları kontrol altında tutabilme özelliği ile çevre dostu uygulama olarak öne çıkmaktadır. Dünya Sağlık Örgütü, Gıda ve Tarım Örgütü ve Uluslararası Atom Enerjisi Ajansı tarafından güvenilir olarak belirtilen bu yöntem, sürdürülebilir tarım uygulamalarına ve açlığın önlenmesine önemli katkılar sağlamaktadır (Fan ve Niemira, 2020; Ben-Fadhel ve ark., 2021; Bisht ve ark., 2021; Aier ve ark., 2024).

Ayva için hasat sonrası gama ışınlamasının meyvenin kalitesini koruma ve raf ömrünü uzatma potansiyelini değerlendiren bir çalışmada, ayvalar 0.3–2.1 kGy doz aralığında ışınlanmış ve $15 \pm 2^\circ\text{C}$ sıcaklıkta, %85 bağıl nemde depolanmıştır. Çalışmada, ışınlamanın ayvanın depolama kalitesini ortam koşullarında koruduğu belirtilmiştir. Mikrobiyolojik incelemeler sonucunda, 1.8 ve 2.1 kGy dozlarında ışınlanan numunelerde, ortam koşullarında 15 gün depolama sonrasında mikrobiyal yük tespit edilmemiştir. Ayrıca, 30 günlük depolama süresi sonunda mikrobiyal yükte yaklaşık 2.4 log azalma gözlemlenmiştir. Sonuç olarak, 1.8–2.1 kGy doz aralığında uygulanan gama ışınlamasının ayvanın çürümesini önemli ölçüde engellediği ve ortam koşullarında raf ömrünü yaklaşık 40 gün uzattığı belirlenmiştir (Hussain ve ark., 2019).

Meyve ve sebzelerin tekstür, tat, koku, görünüş ve besin değerleri üzerinde minimal etkisi olan radyasyon teknolojisi, depolama süresince etilen üretimini azaltan fiziksel bir işlem olup, olgunlaşmanın gecikmesi, mikrobiyal yükün azaltılması, pest kontrolünün sağlanması ve bunlara bağlı raf ömrünün uzatılması için kullanılmakta ve çalışmalar (Çizelge 3) yapılmaktadır (Kalaiselvan ve ark., 2018; Reddy ve ark., 2018; Jat ve Lakhawat, 2021).

100-400 nm'ye sahip iyonlaştırıcı olmayan radyasyon olarak kabul edilen UV ışığı, termal ve kimyasal ihtiyacı olmayan, etileni parçalayabilen, etilen yönetiminde kullanılan, dokuyu ve rengi koruyabilen yenilikçi bir uygulama olup araştırmaların artırılması gerekmektedir (Prajapati

ve ark.; 2021, Bilgin ve ark.; 2024; Mope ve ark., 2024). Dalga boylarına göre dört ana bölgeye ayrılan UV ışınlarından UV-B (280-320 nm) ve UV-C (200-280 nm)'nin meyve kalitesi ve raf ömrünü uzatmada etkisi olduğu bilinmektedir. UV-B biyoaktif bileşikler, radikal temizleme aktivitesini ve/veya antioksidan enzimleri artırabilirken, UV-C antimikrobiyal etkisi ile gıda güvenliği için önemli bir yere sahiptir (Prajapati ve ark., 2021; Aier ve ark., 2024).

Şeftalilerde HS UV-C uygulamasının yaşlanmaya etki eden gen profilindeki değişiklikler incelenmiş, genomik düzeyde araştırma yapılan çalışmada HS UV-C uygulamanın depolama kalitesini iyileştirme ve şeftalinin raf ömrünü uzatmak için yararlı olduğu sonucuna ulaşılmıştır (Kan ve ark., 2021). Acı kabak meyvesinde UV-C ışınlamasının malondialdehit ve prolin gibi bileşiklerin etkilerini hafifletmede daha etkili olduğu belirtilmiştir (Prajapati ve ark., 2021).

Gemida ve arkadaşları (2023), sıcak su uygulaması (50°C , 20 dk), UV-C uygulaması (20 dk), deniz yosunu kaplama (%3) yapılmış örnekler ve 20 dk musluk suyunda bekletilmiş (kontrol) örnekleri karşılaştırarak farklı HS uygulamaların domatesin raf ömrü üzerine etkisini incelemişlerdir. Çalışmada raf ömrü açısından sıcak su (24.40 gün) ile UV-C (25 gün) uygulamalarının sonuçlarının benzer ve kontrol numunesine (19.60 gün) göre üstün olduğu, deniz yosunu kaplamanın ise 28 gün raf ömrü ile en etkili yöntem olduğu belirtilmiştir. Ağırlık kaybı açısından yüksekten aza doğru kontrol (%17.80), sıcak su (%13.60), UV-C (%10), deniz yosunu kaplama (%8.20) olarak sonuçlanmıştır. Sonuç olarak, deniz yosunu kaplamanın (%3) domatesin raf ömrünü 28 gün geciktirirken, ağırlık kaybını azaltma açısından en etkili ve yöntem olduğu, UV-C ve sıcak su uygulamasının ise deniz yosunu ile benzer etki gösterdiği ve birbirini ikame edeceği belirtilmiş, diğer yöntemlerin MS'ler için doğrulanması önerilmiştir.

Çizelge 3. Meyve ve sebzelerde ışınlama uygulamaları

Meyve/Sebze	Uygulam	Parametre	Etki	Referans
	a			
Şeftali, biber, soğan, havuç	KÖF	53-57°C, 3-5 dk	Görsel kalitede gelişme	Rajarithnam, 2011
Çeri domates	UV-C	4,2 kJ/m ²	Etilen üretiminin engellenmesi Kalitenin korunması	Bu ve ark., 2013
Ayva	Gama Işını	0.3–2.1 kGy	Mikrobiyal yükte azalma Çürüme insidansında azalma Raf ömründe artış	Hussain ve ark., 2019
Mango	Gama Işını	400, 800, 1200 Gy	Depolamada ağırlık kaybının azalması	Basir ve Adenan, 2019
Mango	UV-C	0, 4.0, 8.3, 11.7 kJ/m ²	Kalitenin korunması Raf Ömrünün artması	Pristijono ve ark., 2019
Çilek	X-ışını	0–1 kGy	≤1 kGy doz: Ağırlık kaybında azalma Raf ömründe artma Mikrobiyal yükte azalma Rengin uzun süre korunması Duyusal özelliklerin korunması	Yoon ve ark., 2020
Hünnap	Gama Işını	0,4 ve 1,0 kGy	Raf ömründe artma Etilen üretiminde azalma Ağırlık kaybında azalma Duyusal özelliklerin korunması Etkin doz: 1.0 kGy	Jat ve Lakhawat, 2021
Ejder meyvesi	UV-C	1.0 kJ/m ²	Çürümede gecikme	Ng ve ark., 2022
Şeftali	RF	27 MHz frekans	Kalitede artış	Lara ve ark., 2022
Cara Portakal	Cara Gama Işını	0,3, 0,6, 0,9 kGy	Etkin doz: 0,6 kGy Raf ömründe artış Ağırlık kaybında azalma Kalitenin korunması	Lu ve ark., 2023
Çilek, domates, muz	UV-C	45 C, 2 dk	Çilek: fenolik bileşiklerde artış Muz: raf ömründe artış Domates: mikrobiyal iyileşme	Asrey ve ark., 2024
Domates	X-ışını	0, 150, 400, 600, 1000 Gy	En etkili doz: ≥ 400Gy Raf ömründe artış Mikrobiyal yükte azalma	Yoon ve ark., 2024

Depolama ve modifiye atmosfer paketleme

MS'ler gibi hızlı bozulan ürünler için hasat sonrasında ürün kalitesini ve raf ömrünü önemli ölçüde etkileyen depolama için sıcaklık, nem, hava sirkülasyonu ve depo hijyeni gibi geleneksel kontroller ile yeni teknoloji ve yapay zekâ destekli depolama tekniklerinin kullanılması, ürün tüketiciye ulaşana kadar atık ve israfları önemli ölçüde azaltmaktadır (Loisel ve ark., 2021; Aier ve ark., 2024). Paketleme, taze ürünlerin raf ömrünü

uzatma ve gıda israfını azaltmada önemli bir rol oynamaktadır. Soğuk depolamayı destekleyebilen ve gelişmiş paketleme sistemlerinden biri olan modifiye atmosferde paketleme (MAP), tek ve özellikle farklı yöntemlerle kombine kullanıldığında olumlu sonuçlar alınan, içerisindeki ürünün oksijen (O₂) konsantrasyonunu belirli bir miktar düşürüp, karbondioksit (CO₂) konsantrasyonunu yükselterek ürünün yaşlanmasını yavaşlatan,

kalitesini koruyarak raf ömrünü uzatan etkili ve güvenli bir uygulamadır (Aier ve ark., 2024; Shankar ve ark., 2024; Yun ve ark., 2024). HS kayıpların azaltılmasında sürdürülebilir

paketlemenin önemi benimsenmiş ve literatürde bu konu ile ilgili çalışmalar artış göstermektedir (Çizelge 4).

Çizelge 4. Meyve ve sebzelerde MAP uygulamaları

Meyve/Sebze	MAP Parametreleri	Raf Ömrü (gün)	Etki	Referans
Avokado	7°C, %2-5 O ₂ , %3-10 CO ₂	12	Yumuşamada gecikme	Kargwal ve ark., 2020
Guava	12-15°C, %2-5 O ₂ , %2-5 CO ₂	15-20	Olgunlaşma ve soğuk zararın gecikmesi	Kargwal ve ark., 2020
Ananas	0°C, %2-5 O ₂ , %10 CO ₂	12	Soğuk zararın gecikmesi	Kargwal ve ark., 2020
Çilek	4°C, %10 O ₂ , %15 CO ₂ , %75 N ₂ 4°C, %7,5 O ₂ , %17,5 CO ₂ , %75 N ₂	15	Renkte korunması Mikrobiyolojik koruma Raf ömründe artış	Mulla ve ark., 2025

MAP uygulamasının etkinliğinde kullanılan ambalaj filminin kalınlığı, ambalaj filminin gaz geçirgenliği, kullanılan gaz özellikleri, ortam sıcaklığı, ürünün solunum hızı, paket içerisindeki ürün ve paketin hacmi gibi ürün ve ambalaj özellikleri doğrudan etkilidir (Zhang ve ark., 2025).

Zhang ve arkadaşları 2022 yılında yaptıkları çalışmada HS depolamada etileni parçalayan, etilen emici, MAP ve biyoaktif ambalajlama gibi farklı tekniklerin etkisini incelemişlerdir. Çalışmada etilen emici ve etilen parçalayan ambalajların etileni uzaklaştırarak, modifiye atmosfer paketlemenin MS'lerin etilene olan duyarlılığını azaltarak, biyoaktif paketlemenin meyve ve sebzelerin fizyolojik aktivitelerini düzenleyerek ve etilen üretimini azaltarak etki ettiğini tespit etmişlerdir. Sonuç olarak, dört yöntem normal paketleme ile karşılaştırıldığında etilen düzenleyici ambalajların meyve ve sebzeleri kalitesini koruyarak taze tutabilme kabiliyetlerinin üstün olduğunu belirtmiştir.

Kiraz domateslerde (*Lycopersicon esculentum* Mill.) pasif MAP uygulamasında poli (bütilen adipat-kotereftalat) (PBAT) /poli(e-kaprolakton) (PCL) filmlerin etkisi incelenmiştir. PBAT, PCL ve polietilen filmler, PBAT/PCL karışım filmlerin

farklı ağırlıklarda (%10, %20, %30) kullanıldığı çalışmada biyolojik olarak tamamen parçalanabilen, çevre dostu PBAT/PCL karışım filmler ile paketlenen kiraz domateslerin düşük sıcaklık ve ortam koşullarında polietilen (PE) film ile paketlenenlere göre daha üstün olduğu belirtilmiştir. PBAT/PCL (%20) karışım filmin kullanıldığı domateslerde gaz geçirgenliğinin dengeli olmasına bağlı olarak avantajlı olduğu görülmüştür (Zhang ve ark., 2025).

Yenilebilir kaplama ve uçucu yağ

Küresel ısınmaya önlem olarak yüksek karbon emisyonuna ve mikro plastik birikimine neden olan, biyolojik olarak parçalanmayan, atık oluşturan PE, PET gibi ambalajlar yerine yenilebilir, doğal bileşenlerden oluşan, biyolojik olarak parçalanabilen film ve kaplamaların kullanımı sürdürülebilirlik ve çevre farkındalığının artmasıyla yaygınlaşmaya başlamıştır (Fawole ve ark., 2020; Zhang ve ark., 2022; Sharma ve ark., 2024). Meyve sebzelerin raf ömrünün artırılması ve kalitesinin korunmasında iş gücü ihtiyacı, bakım maliyeti, yan ürünleri ve çevreye olumsuz etkisi bulunan HS geleneksel işlemlere alternatif olarak nem bariyeri görevi gören, solunum ve terleme hızını azaltan, renk değişimi ve ağırlık kaybını yavaşlatan, organik asit kaybı ve nişastanın

şekere dönüşmesi gibi olgunlaşmayla ilgili değişiklikleri geciktiren yenilebilir kaplamalar HS kayıpların azaltılmasında sürdürülebilir bir çözüm olarak kullanılabilmektedir (Çizelge 5). Daldırılarak, püskürtülerek veya fırçalanarak

uygulanabilen yenilebilir kaplamalar çevre dostu, pratik, ekonomik olmaları nedeniyle döngüsel ekonomiyi desteklemektedir (Aier ve ark., 2024; Sharma ve ark., 2024; Emmanuel ve ark., 2025).

Çizelge 5. Meyve ve sebzelerde yenilebilir kaplama ve uçucu yağ uygulamaları

Meyve/Sebze	Kaplama	Etki	Referans
Domates	Adaçayı uçucu yağ + Aloe vera jel asidi kaplama	Çürümede azalma Meyve sıklığının korunması	Tzortzakıs ve ark., 2019
Çilek ve Domates	Narenciye uçucu yağ Adaçayı uçucu yağ	Mikrobiyal aktiviteyi geciktirme Raf ömrünü uzatma	Shehata ve ark., 2020 Tzortzakıs ve ark., 2019
Erik	Polisakkarit bazlı kaplama	Büzülmeyi önleme	Fawole ve ark., 2020
Avokado	Biyopolimer kaplama	Kayıpları azaltma Olgunlaşmayı geciktirme Raf ömründe artış	Ochi ve ark., 2020
Muz	Aloe jel+ limon kabuğu Ekstraktı + gliserol	Antraknoz hastalığında azalma Ağırlık kaybında azalma Çürümede gecikme	Jodhani ve ark., 2022
Biber	Sodyum aljinat + gliserol	Raf ömründe artma Kontrollü ağırlık kaybı, solunum hızı	İşlek ve ark., 2024
Elma	Kitosan	Solunum hızı ve etilen üretim hızında azalma	Shah ve ark., 2024
Muz	Biyopolimer kaplama (kitosan)	Olgunlaşmayı yavaşlatma Kaliteyi koruma Raf ömrünü uzatma	Shinga ve ark., 2025
Elma	Biyopolimer kaplama	Kaliteyi koruma Raf ömrünü uzatma	Mikus ve Galus, 2025
Mandalina	Natürel waks kaplama	Raf ömründe 2 kat artma	Devi ve ark., 2025
Guava	Nar çekirdeği yağı + Jelatin bazlı kaplama	Ağırlık kaybında azalma Yumuşamanın gecikmesi Kalitede ve raf ömründe artma	Shahsavari ve Rastegar, 2025
Dikenli Armut	Polisakkarit bazlı kaplama	Kalitenin korunması	Rodrigues ve ark., 2025

Son yıllarda yapılan çalışmalarda karboksimetil selüloz ve guar gum gibi polisakkarit bazlı kaplamaların meyvelerin raf ömrünü uzatabildiği belirtilmiştir (Tzortzakıs ve ark., 2019; Ziv ve Fallik, 2021; Bhan ve ark., 2022; Gupta ve ark., 2023). Narenciye ve adaçayı gibi aromatik bitki türlerinden elde edilen uçucu yağlar, HS kaliteyi korumaya yardımcı olabilecek antimikrobiyal ve antioksidan özellikler taşıyan, tek başına veya taze

ürünlerin yenilebilir kaplaması için katkı maddesi olarak kullanılabilen ekonomik kaynaklardır (Tzortzakıs ve ark., 2019; Shehata ve ark., 2020; Ziv ve Fallik, 2021; López-Díaz ve ark., 2025). Bununla birlikte, farklı kaplamaların meyve fizyolojisi ve HS performans üzerindeki spesifik etkilerini tam olarak anlamak için daha fazla araştırmaya ihtiyaç vardır (Ziv ve Fallik, 2021).

Hasat sonrası kombine uygulamalar

Meyve ve sebzelerde HS kayıpları en aza indirme, yoksullukla mücadele, gıda güvenliğini sağlama ve ürün kalitesini koruma konusunda etkinliği yüksek, sürdürülebilir metotların kullanımı giderek önemli hale gelmektedir. Kalitenin stabilizasyonu, gıda güvenliğinin sağlanması ve raf ömrünün uzatılmasında tekil uygulamalar her zaman yeterli olmayabilir. Bu nedenle, farklı fiziksel, biyolojik ve kimyasal işlemlerin kombine kullanımı, sinerjik bir etki oluşturarak MS'lerde

yüksek düzeyde koruyucu etki sağlamaktadır. Son yıllarda gıda güvenliği ve gıdaya erişim problemlerinin önlenmesi için gıda kayıplarının azaltılmasında pozitif etkisi olan kombine uygulamalarla ilgili çalışmalar artış göstermektedir (Çizelge 6). Bu çalışmalarda yenilikçi kombine uygulamaların kaliteden ödün vermeden besleyici ürünlerin kullanılabilirliğine katkı sağladığı, raf ömrünü uzattığı ve gıda kayıplarını azalttığı görülmüştür (Elik ve ark., 2019).

Çizelge 6. Meyve ve sebzelerde hasat sonrası kombine uygulamalar

Meyve/Sebze	Kaplama	Etki	Referans
Elma	MAP + Soğuk depolama (15°C) + 1-MCP	Metabolizmanın yavaşlaması Olgunlaşmanın gecikmesi Raf ömrünün artması	da Silva Pinheiro ve ark., 2012
Papaya	Sıcak su (50°C, 10 dk) + gama ışınlama (0.08 kGy, 10 dk)	Raf ömründe artış	Harun-Ar-Rashid ve ark., 2019
Muz	1-MCP % sıvı etofon	Sarı rengin oluşumu fazla Şeker oluşumu fazla Homojen olgunlaşma Raf ömründe artış	Satekge ve ark., 2020
Çilek	UV-C + uçucu yağ	Raf ömrünü ve kalitesinde artış	Amiri ve ark., 2021
Ahududu	MAP + UV-C + Soğuk depolama	Ağırlık kaybında azalma Kalitenin korunması	Gimeno ve ark., 2022
Japon Eriği	1-MCP (625 µg/kg) + MAP	Raf ömründe artış	Uysal ve ark., 2023
Misket Limon	X-ışınlama + balmumu kaplama	Renk değişiminde tutarlılık Ağırlık kaybında azalma Kalitenin korunması Raf ömrünün uzatılması	Sun ve ark., 2024
Mango	1-MCP (1.2 mg/kg) + MAP	Çürüme insidansında gecikme Ağırlık kaybında azalma Raf ömründe artış Besin değerinin korunması	Usman ve ark., 2025
Kavun	1, 2, 3 µL L ⁻¹ 1-MCP + Soğuk depolama (8 ± 1 °C, 30 gün)	En etkili doz: 2 µL L ⁻¹ 1-MCP Ağırlık kaybında azalma Kalitenin korunması	Wang ve ark., 2025
Hurma	1-MCP + MAP	Ağırlık kaybını azaltma Meyve kalitesinin korunması	Moon ve ark., 2025

MS'lerde depolama süresince ağırlık kaybının azaltılması, olgunlaşma ve yumuşamanın geciktirilmesi, esmerleşmenin yavaşlatılması ve mikrobiyal bozulmaların baskılanması ile HS kalitenin korunmasında etkili olan kombine

uygulamalar SKA 2 (açlığa son), SKA 3 (sağlık ve kaliteli yaşam), SKA 8 (insana yakışır iş ve ekonomik büyüme), SKA 9 (sanayi, yenilikçilik, altyapı), SKA 12 (sorumlu tüketim ve üretim) ve SKA 13 (iklim eylemi) gibi birden çok

sürdürülebilir kalkınma amacını desteklemektedir (Elik ve ark., 2019; Ali ve ark., 2025).

Misket limon için 5 dakika 50°C su uygulanarak yapılan çalışmada misket limonlar 6 mm delikli 25 µm polipropilen film ile kapatılmış polipropilen tepsilerde 0,6 g etanol buhar pedi (EP) ile paketlenerek uygulanan kombine yöntemin HS kalite, fizyolojik değişiklikler ve klorofil parçalayıcı enzimlerinin aktiviteleri belirlenmiştir. Çalışmada, kombine uygulamanın depolamanın erken döneminde ACC (1-aminosilopropan-1-karboksilik asit) birikimini azaltarak veya etilenin biyosentezinde yer alan ACS (1-aminosilokropan-1-karboksilik asit sentaz) ve ACO (1-aminosilopropan-1-karboksilik asit oksidaz) uyarılmasını ortadan kaldırarak misket limonda etilen üretimini ve solunumu etkili bir şekilde azalttığı tespit edilmiştir. Aynı çalışmada uygulamanın depolamanın erken aşamasında klorofil parçalayıcı peroksidad, Mg-dechelataz ve feofitinaz gibi enzimlerin aktivitesini baskılayarak klorofil bozulmasını etkili bir şekilde engellediği ortaya konmuştur. Kombine yöntemin etkisinin değerlendirildiği çalışmada, misket limonlarda hasat sonrasında klorofil bozulması nedeniyle oluşan kalite kayıplarını azaltarak raf ömrünü uzatmada ve gıda israfının azaltılmasında etkili olabileceği düşünülmektedir (Opio ve ark., 2015; Opio ve ark., 2017).

Gimeno ve arkadaşları 2022 yılında MAP ve UV-C (254 nm dalga boyu) uygulamasının kırmızı ahududuların HS kalitesi üzerindeki etkisini belirlemişlerdir. Çalışma, 2 farklı modifiye atmosfer koşulunda, gaz iletim hızı farklı olan iki farklı film kullanılarak (MAP1: 1805 mL d⁻¹ ve 1570 mL d⁻¹; MAP2: 902 mL d⁻¹ ve 785 mL d⁻¹), 2 farklı yoğunlukta UV-C (UV1: 2 kJ/m² ve UV2: 4 kJ/m²) yapılmıştır. Çalışmada, kombine uygulamanın ahududunun etilen üretimi, solunum hızı, duysal özellikleri, biyoaktif bileşikler (antioksidan kapasitesi ve fenolik bileşikler), fiziksel, fiziko-kimyasal ve mikrobiyolojik kalite özellikleri 6°C'de 12 gün boyunca incelenmiştir. UVC2MAP2 ve MAP2 örnekleri 8 gün sonunda %1.66 çürüme belirtisi gösterirken UVC2MAP2 örneklerinin kontrol numunelerine göre daha

yüksek biyoaktif içeriğe sahip olduğu görülmüştür. UV-C'nin meyvelerin biyoaktif bileşiklerini artırırken, ağırlık kaybı ve sertlik üzerinde pozitif etkisi olduğu ancak etilen üretim ve solunum hızını artırarak raf ömrünün kısılmasına neden olabileceği belirtilmiştir. UV-C ile MAP ve soğuk depolama kombine edildiğinde sinerjik etki ile UV-C uygulamasına göre daha üstün olduğu görülmüş; ahududuyu korumada uygun olduğu, etilen yönetimi için doğru, yeterli doz ve gaz bileşiminin belirlenmesi için yeni çalışmalar yapılması gerektiği ifade edilmiştir.

'Dwarf Cavendish' muz çeşidinde PE, MAP, 1-MCP+MAP ve MAP+EP ile paketlenen numunelerin 30 günlük depolama (13°C, %90 RH) ve 4 günlük olgunlaştırmanın ardından raf ömürlerine etkisi incelenmiştir. Çalışmada 1-MCP ve MAP'ın kombine uygulandığı örnekler depolama sırasında en iyi sonuçları vermesine rağmen depolama sonrası 4 günlük olgunlaştırma sonrası olgunlaşma olmadığı ve şeker bileşimi gibi pazara sunulma kriterlerini sağlamadıkları görülmüştür. MAP+EP uygulanan örneklerin çalışma sonunda kalite özelliklerini sağladığı ve diğer tüm örneklerle kıyasla en yüksek beğeniyi aldığı belirtilmiştir (Akkurt ve ark., 2024).

Kayısı meyvesinde (*Farfia*) yapılan çalışmada, MAP ve 1-MCP uygulamalarının depolama üzerindeki etkisi; kontrol, MAP, 1-MCP (24 saat, 625 µg/kg 1-MCP), MAP+1-MCP (24 saat, 625 µg/kg 1-MCP) ve RipeLock™ MAP ambalaj + 1-MCP (24 saat, 625 µg/kg 1-MCP) olmak üzere 5 farklı uygulama ile ağırlık kaybı, organoleptik özellikler, biyoaktif bileşikler, solunum ve etilen hızı gibi fiziksel, kimyasal ve fizikokimyasal yönden incelenmiştir. Çalışmada, MAP'ın örneklerinin depolama süresince meyvelerdeki ağırlık kaybını azalttığı, MAP+1-MCP'nin sertliği koruduğu, MAP örneklerinin solunum hızının en düşük olduğu, kontrol numunesinin solunum hızının MAP örneklerine göre %36 daha hızlı olduğu ve MAP+1-MCP uygulanan kayısılarda depolama boyunca (42 gün+2 gün) kalite korunarak ağırlık kaybının azaldığı, dolayısıyla ekonomik kaybı azaltabileceği tespit edilmiştir (Meral ve ark., 2024).

HASAT SONRASI İŞLEMLERİN SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK ETKİSİ

Küresel ısınmanın neden olduğu iklim değişikliği, meyve ve sebze gibi tarımsal ürünlerin verimli ve güvenli üretimi için ciddi bir tehdit oluşturmakta ve üretimlerini negatif etkilemektedir. Tarımsal ürünler için gıda israfları, atıklar ve kaynakların verimsiz kullanımı karbon emisyonunun artmasına ve özellikle az gelişmiş ülkelerde gıdaya ulaşmada zorluklara neden olmaktadır. Yanlış ya da yetersiz uygulamalarla üretilen ürünlerin neredeyse yarısı, tüketiciye ulaşmadan israf olmaktadır. Gelecekte dünya nüfusunun sürdürülebilir şekilde beslenebilmesinde önemli rolü olan meyve ve sebzelerde yaşanan HS kayıpların önlenmesi veya en aza indirilmesi sağlanarak 2030 yılına kadar Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları'na ulaşmak mümkün olacaktır (Elik ve ark., 2019; Waluyo, 2024).

Ana hedefi sürdürülebilir üretim ve tüketim olan sürdürülebilir kalkınma, özellikle gelecek nesiller için ekonomik, ekolojik ve sosyokültürel standartların sağlanmasını amaçlarken, ekonomik büyümede artış, güvenlik, adalet ve çevre gibi sosyal faydaları da birlikte dikkate alan bir yaklaşımdır (Rao, 2011; Sassanelli ve ark., 2019; Niu ve ark., 2022; Mditshwa ve ark., 2023). SKA'ından sürdürülebilir üretim ve tüketime göre (12), HS kayıplar da dahil olmak üzere tedarik zinciri boyunca gıda israfı ve kayıplarının ve beraberinde sera gazının azaltılması hedeflenmektedir (Barrera ve ark., 2021; Ali ve ark., 2024). Tarımsal faaliyetler sonucu oluşan sera gazları, dünya çapında sera gazı emisyonlarının %26'sından fazlasını oluşturmakta ve küresel temiz suyun yaklaşık %70'ini, küresel ekilebilir arazilerin ≈%50'sini tüketmektedir (Kummu ve ark., Poore ve ark., 2018; 2012; Luo ve ark., 2021).

MS'ler gibi bozulabilir ürünlerin HS kayıpları mevsime, ürüne ve yetiştirme bölgesine bağlı olarak %60'a ulaşabilmektedir. Sadece gıda kaybı değil, beraberinde su, enerji, yakıt, gübre ve diğer birçok kaynağın kaybına da neden olan HS kayıpları, artan atık yönetimi maliyetleri, sera gazı emisyonu ve küresel ısınmaya bağlı gıdaya ulaşım problemlerini beraberinde getirmektedir. Sürdürülebilir gıda erişimi için HS uygulamaların

kayıpların azaltılması, enerji verimli yenilikçi sistemlerin kullanımı, atıkların yönetimi, gıda güvenliğinin sağlanması, teknik ve insan gücü kapasitesinin geliştirilmesi, ekosistem yaklaşımı gibi sürdürülebilir tarım ilkeleriyle entegrasyonu çevresel etkiyi en aza indirirken gıda üretimini optimize etmek için önemlidir (Sassanelli ve ark., 2019; Ali ve ark., 2025; Emmanuel ve ark., 2025).

Meyve ve sebzelerde iyi hasat uygulamaları, HS işlemlerde inovatif, teknoloji destekli, atık oluşturmayan ve çevre dostu uygulamaların kullanılmasıyla sağladıkları verimlilik artışı, besin değerini koruması, gıda güvenliğini artırması, atık oluşturma potansiyellerinin düşük oluşu, ürünlerin kalitesini koruyup raf ömrünü uzatarak ekonomiye katkısı ve adil iş gücü uygulamaları nedeniyle gıda israflarının önlenmesinde dikkat çekmektedir. Teknolojideki gelişmelerin merkezinde yapılacak iyileştirmeler ile gıdaya erişim imkânı kısıtlı olanların gıdaya erişimine olanak sağlanırken, israfların azalması, gıda kalitesi ve güvenliğinin artması ve küresel kaynakların korunması mümkün olmaktadır. Ürün kayıplarını azaltan uygulamalar verimli kaynak kullanımının yanında çevre dostu olmaları ve atık miktarını azaltmaları nedeniyle karbon emisyonunu da azaltmaktadır. Su ve enerji kullanımını sınırlayan yenilikçi uygulamaların bu özellikleri karbon emisyonuna pozitif etki ederek küresel ısınmanın negatif etkisi için iyileştirici rol oynamaktadır (Waluyo, 2024).

Sürdürülebilir HS uygulamalar, kayıpların azaltılması, çevreye etkiyi en aza indirmenin yanında gıda güvenliğinin sağlanmasını ve gıdaların kalitesinin korunmasını teşvik etmektedir. Bu teknolojilerdeki gelişmeler, gıda bulunabilirliğini iyileştirmeye, israfı azaltmaya ve büyüyen küresel nüfusu beslemeye yardımcı olma potansiyeline sahiptir. Gıda ürünleri ve içerisinde MS'ler yetiştirme ve işleme aşamalarında toprak, enerji ve su gibi yüksek kaynak ihtiyacı ve ambalaj malzemesi ihtiyacı nedeniyle yüksek karbon emisyonuna neden olmaktadır. MS'ler bu yönüyle çevresel etkisi ve beraberinde sürdürülebilirlik için endişe yaratmaktadır. İklim krizine bağlı su kıtlığının ve yüksek kaynak kullanımının gıda güvenliği ve sürdürülebilir gıda ihtiyacını tehdit

ettiği günümüzde ürünün karbon ve su ayak izini düşürmek için geleneksel metotlar ile düşük enerji ve su gereksinimi olan teknolojik metotların birlikte ya da ayrı ayrı kullanılması önerilmektedir (Emmanuel ve ark., 2025).

Hasat sonrasındaki kayıp ve israfları azaltmak için geleneksel fiziksel ve kimyasal yöntemlere alternatif yenilikçi, sürdürülebilir çözümlerin kullanımı, Sürdürülebilir Kalkınma Amaçlarını desteklemesi yönüyle önemli bir avantaj haline gelmiştir (Araújo ve ark., 2024; Ali ve ark., 2025). Son yıllarda kombine HS uygulamalar ile ilgili yapılan çalışmalar, bu uygulamaların meyve ve sebzelerin bozulmasını azaltma, depolama süresini uzatma ve depolama süresince kalitesini korumada etkin olduğunu buna bağlı olarak sağlıklı yaşamı teşvik eden ve gıda erişimini benimseyen küresel amaçlara ulaşmak için önemli bir kaynak görevi gördüğünü göstermektedir.

SONUÇ

MS'ler gibi hasattan sonra hızlı bozulan ürünlerin kalitesi ve güvenliğinin korunarak raf ömrünün uzatılması, gıda israfı ve atıklarını azaltılması ve sürdürülebilir tarımın desteklenmesinde HS metotların önemli etkisi bulunmaktadır. Geleneksel yöntemlerin yeni çevre dostu yöntemlerle birlikte kullanılması, HS işlemlerin başarısını artırmaktadır. Gelecek nesillerin gıdaya erişimini garanti altına alabilmek için ürünlerin lojistik, depolama ve işleme adımlarında çevresel etkisi düşük, etkinliği yüksek HS metotların tekil veya kombine olarak kullanılması, sinerjik etki yaratarak gıda güvenliği ve kaynak verimliliğini artırarak döngüsel ekonomiyi olumlu yönde etkileyeceği öngörülmektedir.

MS çeşitlerinin fiziksel, kimyasal ve mikrobiyolojik özellikleri seçilecek farklı metotlardan alınacak sonuca doğrudan etki etmektedir. Son zamanlarda bu konu ile ilgili çalışmalar yoğunlaşmış olsa da farklı protokollerin birlikte uygulamaları ile ilgili çalışmalar artırılmalıdır.

Sonuç olarak, teorik çalışmaların pratikte yaygın olarak uygulanabilir olması, HS ürünlerin kalitesinin korunarak uzun süre pazarlanabilmesinde ve kayıpların azaltılmasında

önemli bir ilerleme sağlayacaktır. Özellikle yenilebilir kaplamalar ve filmler, modifiye atmosfer paketlemeler, akıllı ambalajlar ve termal olmayan işlemler ile ilgili yapılacak çalışmalar, HS kayıpları azaltma stratejileri tasarlama konusunda rehberlik sağlayacaktır. Sürdürülebilirlik ve gıda israfı yönünden yasal otoritelerin teşvikleri ile üreticilerin sürdürülebilir uygulamaları pratikte kullanması, HS kayıpları önemli ölçüde azaltarak doğrudan ve dolaylı yoldan oluşan karbon emisyonunun azalmasına katkı sağlayacak ve böylece iklim krizinin etkileri azaltılabilecektir.

ÇIKAR ÇATIŞMASI

Yazarlar, bu derleme makalenin araştırılması, yazarlığı ve/veya yayınlanması ile ilgili herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan etmişlerdir.

YAZAR KATKILARI

Dila Beşen, makalenin yazımı, metodolojisi ve yayına hazırlanmasına, Asiye Akyıldız, makalenin değerlendirilmesi ve taslak metnin düzeltilmesinde katkı ve danışmanlık sağlamıştır.

KAYNAKLAR

- Abubakar, M. M., Norida, M., Rafii, M. Y., Nakasha, J. J. (2020). Effects of post-harvest hot water treatments on the fungi contamination, physiology and quality of rock melon fruit. *Australian Journal of Crop Science*, 14(7), 1081-1087.
- Adegrooye, A., Olubunmi-Ajayi, T. S., Akinbola, A. E., Oguntuase, D. T. (2023). Socioeconomic and performance of agripreneurs: A case study of dried melon value chain in Owo local government of Ondo State, Nigeria. *International Journal of Management & Entrepreneurship Research*, 5(12), 851-862.
- Aier, J., Panda, K. K., Siddiqui, N., Paul, D. (2024). Potential role of post-harvest management in agribusiness. In *BIO Web of Conferences* (Vol. 110, p. 04001). EDP Sciences.
- Akkurt, F., Yılmaz, E., Şen, F. (2024). Determination of the Effects of Some Post-Harvest Treatments on the Quality of Banana Fruits During Storage and After Ripening. *Meyve Bilimi*, 11(1), 43-51.

- Ali, A., Tan, Y., Medani, K., Xia, C., Abdullahi, N. M., Mahmood, I., Yang, S. (2025). Horticultural postharvest loss' and its socio-economic and environmental impacts. *Journal of Environmental Management*, 373, 123458.
- Ali, M., Ali, A., Ali, S., Chen, H., Wu, W., Liu, R., ..., Gao, H. (2025). Global insights and advances in edible coatings or films toward quality maintenance and reduced postharvest losses of fruit and vegetables: An updated review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 24(1), e70103.
- Alonso-Salinas, R., López-Miranda, S., Pérez-López, A. J., Acosta-Motos, J. R. (2024). Strategies to delay ethylene-mediated ripening in climacteric fruits: Implications for shelf life extension and postharvest quality. *Horticulturae*, 10(8), 840.
- Amiri, A., Mortazavi, S. M. H., Ramezani, A., Mahmoodi Sourestani, M., Mottaghipisheh, J., Iriti, M., Vitalini, S. (2021). Prevention of decay and maintenance of bioactive compounds in strawberry by application of UV-C and essential oils. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 15(6), 5310-5317.
- Anand, S., Barua, M. K. (2022). Modeling the key factors leading to post-harvest loss and waste of fruits and vegetables in the agri-fresh produce supply chain. *Computers and electronics in agriculture*, 198, 106936.
- Ananno, A. A., Masud, M. H., Chowdhury, S. A., Dabnichki, P., Ahmed, N., Arefin, A. M. E. (2021). Sustainable food waste management model for Bangladesh. *Sustainable Production and Consumption*, 27, 35-51.
- Araújo, A. S., de Lima, G. S., dos Santos Nunes, I., de Oliveira Farias, J. C. R., Navarro, D. M. D. A. F., Melo, N. F. C. B., ..., Stamford, T. C. M. (2024). Chitosan hydrochloride-gum Arabic-passion fruit seed oil nanoparticle edible coating to control fungal infection and maintain quality parameters of strawberries. *Food Control*, 161, 110360.
- Asrey, R., Sharma, S., Barman, K., Prajapati, U., Negi, N., Meena, N. K. (2023). Biological and postharvest interventions to manage the ethylene in fruit: a review. *Sustainable Food Technology*.
- Badamosi, A. P., Olutumise, A. I., Olukoya, O. P., Adegoroye, A., Aturamu, O. A. (2024). Socioeconomic impacts of flooding and its coping strategies in Nigeria: Evidence from Dagiri community, Gwagwalada area council of Abuja. *Natural Hazards Research*, 4(3), 374-386.
- Barrera, E. L., Hertel, T. (2021). Global food waste across the income spectrum: Implications for food prices, production and resource use. *Food Policy*, 98, 101874.
- Basir, M. Y., Adenan, M. Z. (2019). Investigation the effect of gamma irradiation on mass preservation of the local mango fruit (chokanan sp.). *Health Scope*, 1, 147-148.
- Baswal, A. K., Dhaliwal, H. S., Singh, Z., Mahajan, B. V. C. (2021). Post-harvest application of methyl jasmonate, 1-methylcyclopropene and salicylic acid elevates health-promoting compounds in cold-stored 'kinnow' mandarin (Citrus nobilis Lour x C. deliciosa Tenora) Fruit. *International Journal of Fruit Science*, 21(1), 147-157.
- Ben-Fadhel, Y., Cingolani, M. C., Li, L., Chazot, G., Salmieri, S., Horak, C., Lacroix, M. (2021). Effect of γ -irradiation and the use of combined treatments with edible bioactive coating on carrot preservation. *Food Packaging and Shelf Life*, 28, 100635.
- Bhan, C., Asrey, R., Meena, N. K., Rudra, S. G., Chawla, G., Kumar, R., Kumar, R. (2022). Guar gum and chitosan-based composite edible coating extends the shelf life and preserves the bioactive compounds in stored Kinnow fruits. *International Journal of Biological Macromolecules*, 222, 2922-2935.
- Bilgin, A. B., Güneş, G. (2024). Effects of ultraviolet-C treatment on postharvest physiologies and decay of berries: A review. *ITU Journal of Food Science and Technology*, 2(2), 85-100.
- Bisht, B., Bhatnagar, P., Gururani, P., Kumar, V., Tomar, M. S., Sinhmar, R., ..., Kumar, S. (2021). Food irradiation: Effect of ionizing and non-ionizing radiations on preservation of fruits and

- vegetables—a review. *Trends in Food Science & Technology*, 114, 372-385.
- Boonkorn, P. (2016). Impact of hot water soaking on antioxidant enzyme activities and some qualities of storage tomato fruits. *International Food Research Journal*, 23(3), 934.
- Bu, J., Yu, Y., Aisikaer, G., Ying, T. (2013). Postharvest UV-C irradiation inhibits the production of ethylene and the activity of cell wall-degrading enzymes during softening of tomato (*Lycopersicon esculentum* L.) fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 86, 337-345.
- Chai, J., Wang, Y., Liu, Y., Yong, K., Liu, Z. (2021). 1-MCP extends the shelf life of ready-to-eat 'Hayward' and 'Qihong' kiwifruit stored at room temperature. *Scientia Horticulturae*, 289, 110437.
- Chiabrando, V., Giacalone, G. (2020). Efficacy of hot water treatment as sanitizer for minimally processed table grape. *Journal of Cleaner Production*, 257, 120364.
- Chowdhury, R., Mim, S. J., Tasnim, A., Ng, K. T. W., Richter, A. (2025). Supply-disposition storage of fresh fruits and vegetables and food loss in the Canadian supply chain. *Ecological Indicators*, 170, 113063.
- da Silva Pinheiro, J. M., Mizobutsi, G. P., Mizobutsi, E. H., Nogueira, B., de Souza, M. H. M. C., Aguiar, M. C. S., ..., Maia, V. M. (2012). Maturation control of sugar apple using 1-methylcyclopropene, modified atmosphere packaging and cooling. *Journal of Food, Agriculture & Environment*, 10(2), 217-220.
- DeEll, J. R., Murr, D. P., Porteous, M. D., Rupasinghe, H. V. (2002). Influence of temperature and duration of 1-methylcyclopropene (1-MCP) treatment on apple quality. *Postharvest biology and Technology*, 24(3), 349-353.
- Devi, L. S., Mukherjee, A., Sharma, S., Katiyar, V., Dutta, J., Kumar, S. (2025). Natural wax-based edible coatings for preserving postharvest quality of mandarin orange. *Food Chemistry: X*, 26, 102302.
- Doğan, A., Kurubaş, M. S., Erkan, M. (2017). Farklı dozlarda 1-Metilsiklopropen (1-MCP) uygulamalarının 'Hass' avokado çeşidinin depolanması üzerine etkileri. *Mediterranean Agricultural Sciences*, 30(2), 71-78.
- Ebrahimi, A., Zabihzadeh Khajavi, M., Ahmadi, S., Mortazavian, A. M., Abdolshahi, A., Rafiee, S., Farhoodi, M. (2022). Novel strategies to control ethylene in fruit and vegetables for extending their shelf life: A review. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 19(5), 4599-4610.
- El-Ramady, H. R., Domokos-Szabolcsy, É., Abdalla, N. A., Taha, H. S., Fâri, M. (2015). Postharvest management of fruits and vegetables storage. *Sustainable Agriculture Reviews: Volume 15*, 65-152.
- Elik, A., Yanik, D. K., Istanbulu, Y., Guzelsoy, N. A., Yavuz, A., Gogus, F. (2019). Strategies to reduce post-harvest losses for fruits and vegetables. *Strategies*, 5(3), 29-39.
- Elizabeth, R., Anugrah, I. S. (2020). Akselerasi hilirisasi produk agroindustri berdayasaing mendongkrak kesejahteraan petani dan ekonomi pedesaan. *Jurnal Mimbar Agribisnis*, 6(2), 890-918.
- Emmanuel, O. K., Aria, J., Jose, D., Diego, C. (2025). Advancements in Postharvest and Food Processing Technology: Ensuring Food Quality and Sustainability.
- Fadiji, T., Bokaba, T., Fawole, O. A., Twinomurinzi, H. (2023). Artificial intelligence in postharvest agriculture: mapping a research agenda. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 7, 1226583.
- Fallik, E., Ilić, Z. (2021). The influence of physical treatments on phytochemical changes in fresh produce after storage and marketing. *Agronomy*, 11(4), 788. <https://doi.org/10.3390/AGRONOMY11040788>
- Fan, X., Niemira, B. A. (2020). Gamma ray, electron beam, and X-ray irradiation. *Food safety engineering*, 471-492.
- Fawole, O. A., Riva, S. C., Opara, U. L. (2020). Efficacy of edible coatings in alleviating shrivel

- and maintaining quality of Japanese plum (*Prunus salicina* Lindl.) during export and shelf life conditions. *Agronomy*, 10(7), 1023.
- Ganesh, K. S., Sridhar, A., Vishali, S. (2022). Utilization of fruit and vegetable waste to produce value-added products: Conventional utilization and emerging opportunities-A review. *Chemosphere*, 287, 132221.
- Gemida, J. V., Ardeña, R. A., Pillones, C. T. (2023). Shelf life of Tomato (*Solanum lycopersicum*) in different post-harvest treatments. *International Research Journal of Science, Technology, Education, and Management*, 3, 41-49.
- Gimeno Martínez, D., González Buesa, J., Oria, R., Venturini, M. E., Arias, E. (2022). Effect of Modified Atmosphere Packaging (MAP) and UV-C Irradiation on Postharvest Quality of Red Raspberries.
- Gorgulu A. (2025). Sustainable agriculture and climate solutions for the future of food security. *GIDA* (2025) 50 (1) 1-14 doi: 10.15237/gida.GD24099
- Gulati, A., Das, R., Winter-Nelson, A. (2024). *Reducing Post-Harvest Losses in Indian Agriculture-A Case Study of Selected Crops* (No. 20). Indian Council for Research on International Economic Relations (ICRIER), New Delhi, India.
- Gupta, V., Meena, N. K., Sharma, Y. K., Choudhary, K. (2023). Comparative study of different polysaccharide-based edible coatings on physicochemical attributes and bioactive compounds of mango cv. Dashehari fruits. *eFood*, 4(1), e55.
- Güneş, E., Öziyici, H. R., Gübbük, H. (2024). ‘Sel-42’ ve ‘Tainung’ papaya çeşitlerinin soğukta muhafazasında meyve kalite parametrelerindeki değişim üzerine 1-metilsiklopropenin (1-MCP) etkisi. *Harran Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi*, 28(4), 625-637.
- Harun-Ar-Rashid, M., Borman, B. C., Hasna, M. K., Begum, H. A. (2019). Effects of non-chemical treatments on postharvest diseases, shelf life and quality of papaya under two different maturity stages.
- Hussain, I., Rab, A., Khan, N. U., Sajid, M., Ali, N., Khan, S. M., Ali, S. (2017). Effect of chilling exposure and vapor heat treatment duration on the quality of sweet orange during simulated marketing. *Acta Scientiarum Polonorum. Hortorum Cultus*, 16(5), 39-47.
- Hussain, P. R., Rather, S. A., Suradkar, P. P., Ayob, O. (2019). Gamma irradiation treatment of quince fruit (*Cydonia oblonga* Mill): effect on post-harvest retention of storage quality and inhibition of fungal decay. *Journal of Radiation Research and Applied Sciences*, 12(1), 118-131.
- Imahori, Y., Bai, J. (2024). Postharvest Management of Fruits and Vegetables—Series II. *Foods*, 13(7), 1049.
- Ito, Y., Nishizawa-Yokoi, A., Endo, M., Mikami, M., Toki, S. (2015). CRISPR/Cas9-mediated mutagenesis of the RIN locus that regulates tomato fruit ripening. *Biochemical and biophysical research communications*, 467(1), 76-82.
- İşlek, F., Çavuşoğlu, Ş. (2024). Yenipazar Biber Çeşidinde Yenilebilir Kaplama Uygulamalarının Hasat Sonrası Fizyolojisi Üzerine Etkileri. *Ejons International Journal*, 8(3), 366-373.
- Jat, L., Lakhawat, S. S. (2021). Effect of gamma irradiation treatment at phytosanitary dose level on physiological and consumer traits of Indian ber. Part 1. Cultivar ‘Umran’. *Radiation Physics and Chemistry*, 179, 109209.
- Jodhani, K. A., Nataraj, M. (2021). Synergistic effect of Aloe gel (*Aloe vera* L.) and Lemon (*Citrus Limon* L.) peel extract edible coating on shelf life and quality of banana (*Musa* spp.). *Journal of Food Measurement and Characterization*, 15, 2318-2328.
- Kalaiselvan, R. R., Sugumar, A., Radhakrishnan, M. (2018). Gamma irradiation usage in fruit juice extraction. In *Fruit juices* (pp. 423-435). Academic Press.
- Kan, J., Hui, Y., Lin, X., Liu, Y., Jin, C. (2021). Postharvest ultraviolet-C treatment of peach fruit: Changes in transcriptome profile focusing on genes involved in softening and senescence. *Journal of Food Processing and Preservation*, 45(10), e15813.

- Kargwal, R., Garg, M. K., Singh, V. K., Garg, R., Kumar, N. (2020). Principles of modified atmosphere packaging for shelf life extension of fruits and vegetables: An overview of storage conditions. *IJCS*, 8(3), 2245-2252.
- Karoney, E. M., Molelekoa, T., Bill, M., Siyoum, N., Korsten, L. (2024). Global research network analysis of fresh produce postharvest technology: Innovative trends for loss reduction. *Postharvest Biology and Technology*, 208, 112642.
- Kembaren, E. T., Muchsin, M. (2021). Pengelolaan Pasca Panen Kopi Arabika Gayo Aceh. *Jurnal Visioner & Strategis*, 10(1).
- Khan, A. S., Singh, Z. (2009). 1-MCP application suppresses ethylene biosynthesis and retards fruit softening during cold storage of 'Tegan Blue' Japanese plum. *Plant Science*, 176(4), 539-544.
- Killadi, B., Gurjar, P. S., Lenka, J., Chaurasia, R., Shukla, D. K. (2021). Optimization of hot water treatment of guava fruits cv.'Shweta'to prolong cold storage. *Int. J. Chem. Stud*, 9, 410-415.
- Kummu, M., De Moel, H., Porkka, M., Siebert, S., Varis, O., Ward, P. J. (2012). Lost food, wasted resources: Global food supply chain losses and their impacts on freshwater, cropland, and fertiliser use. *Science of the total environment*, 438, 477-489.
- Lara, G., Takahashi, C., Nagaya, M., Uemura, K. (2022). Improving the shelf life stability of vacuum-packed fresh-cut peaches (*Prunus persica* L.) by radio frequency heating in water. *International Journal of Food Science and Technology*, 57(6), 3251-3262.
- Li, S. J., Xie, X. L., Liu, S. C., Chen, K. S., Yin, X. R. (2019). Auto-and mutual-regulation between two CitERFs contribute to ethylene-induced citrus fruit degreening. *Food Chemistry*, 299, 125163.
- Linehan, V., Thorpe, S., Andrews, N., Beaini, F. (2012). Food demand to 2050: Opportunities for Australian agriculture—Algebraic description of agrifood model. In *Proceedings of the Technical Annex to ABARES Outlook Conference Paper* (Vol. 12).
- Liu, J., Sui, Y., Wisniewski, M., Droby, S., Tian, S., Norelli, J., HersHKovitz, V. (2012). Effect of heat treatment on inhibition of *Monilinia fructicola* and induction of disease resistance in peach fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 65, 61-68.
- Loisel, J., Duret, S., Cornuéjols, A., Cagnon, D., Tardet, M., Derens-Bertheau, E., Laguerre, O. (2021). Cold chain break detection and analysis: Can machine learning help?. *Trends in Food Science & Technology*, 112, 391-399.
- López-Díaz, A. S., Antonio-Gutiérrez, O., Palou, E., Mani-López, E., López-Malo, A., Ramírez-Corona, N. (2025). Post-harvest quality preservation of red globe grapes using grape juice-based edible coatings combined with UVC treatment. *Food Chemistry*, 470, 142678.
- Lu, Q., Yang, D., Xue, S. (2023). Effects of postharvest gamma irradiation on quality maintenance of Cara Cara navel orange (*Citrus sinensis* L. Osbeck) during storage. *LWT*, 184, 115017.
- Luo, N., Olsen, T. L., Liu, Y. (2021). A conceptual framework to analyze food loss and waste within food supply chains: An operations management perspective. *Sustainability*, 13(2), 927.
- Mahajan, M., Singla, P., Sharma, S. (2024). Sustainable postharvest processing methods for millets: A review on its value-added products. *Journal of Food Process Engineering*, 47(1), e14313.
- Masud, M. H., Karim, A., Ananno, A. A., Ahmed, A. (2020). *Sustainable food drying techniques in developing countries: prospects and challenges* (p. 20220004385). Switzerland: Springer.
- Mditshwa, A., Khaliq, G., Hussein, Z., Ejaz, S. (2023). Sustainable postharvest management practices for fresh produce. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 7, 1143759.
- Meral, N., Şen, F., Yılmaz, E. (2024). 'Farfia'Kayısı Meyvelerinin Depolanabilirliğine Modifiye Atmosfer Paketleme ve 1-Metilsiklopropan Uygulamalarının Etkilerinin Belirlenmesi. *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, 12(s1), 2060-2068.
- Miao, J., Liu, W., Duan, M., Zhang, B., Shi, W., Chen, S., ..., Zhou, X. (2025). Effects of

- Postharvest Hot Water Treatment on the Preservation of Yunnan Citron. *Available at SSRN* 5099822.
- Mikus, M., Galus, S. (2025). Extending the Shelf Life of Apples After Harvest Using Edible Coatings as Active Packaging—A Review. *Applied Sciences*, 15(2), 767.
- Moon, Y., Shin, M. H., Kim, G. H., Kim, D. H., Kim, Y. H., Ma, K. B., ..., Kim, J. G. (2025). Effects of MAP and 1-MCP Treatments on the Quality of ‘Gampung’ Sweet Persimmon during a Simulated Marketing Period. *Horticultural Science and Technology*, 43.
- Mope, C., Adegoroye, A., Oluwalade, T. A., Adeyelu, A. A. (2024). Ethylene Management in Fresh Produce Transport. *Asian Journal of Food Research and Nutrition*, 3(1), 60-71.
- Mulla, M. F. Z., Shonte, T. T., Pathania, S. (2025). Quality parameters and shelf life of strawberry (cv. Centenary) fruits as affected by active modified atmosphere packaging. *International Journal of Food Science and Technology*, 60(1), vva010.
- Mutiarawati, T. (2007). Penanganan Pasca Panen Hasil Pertanian. *Bandung, Universitas Padjadjaran*, 1-5.
- Ng, L. C., Tan, J. S., Fauziah, T. A. (2022). Efficacy of ultraviolet-c irradiation to suppress fruit decay and retain the postharvest quality of dragon fruit (*Hylocereus polyrhizus*). *Malaysian Applied Biology*, 51(1), 119-128.
- Ninama, N., Gangal, L., Khayum, A., SB, H., HM, S., Singh, A. (2024). Post-harvest Biotechnology or Genetic Engineering Solutions: Extending Shelf Life and Reducing Food Waste. *Journal of Advances in Biology & Biotechnology*, 27(4), 1-26.
- Niu, Z., Ng, S. J., Li, B., Han, J., Wu, X., Huang, Y. (2022). Food waste and its embedded resources loss: A provincial level analysis of China. *Science of the total environment*, 823, 153665.
- Ochi, D., Yassue-Cordeiro, P. H., Severino, P., Yoshida, C. M. P., da Silva, C. F. (2020). Biopolymers applied as ethylene-scavenging films and coatings. In *Biopolymer Membranes and Films* (pp. 553-573).
- Onik, J. C., Wai, S. C., Li, A., Lin, Q., Sun, Q., Wang, Z., Duan, Y. (2021). Melatonin treatment reduces ethylene production and maintains fruit quality in apple during postharvest storage. *Food Chemistry*, 337, 127753.
- Opara, I. K., Fawole, O. A., Kelly, C., Opara, U. L. (2021). Quantification of on-farm pomegranate fruit postharvest losses and waste, and implications on sustainability indicators: South African case study. *Sustainability*, 13(9), 5168.
- Opio, P., Jitareerat, P., Pongprasert, N., Wongs-Aree, C., Suzuki, Y., Srilaong, V. (2017). Efficacy of hot water immersion on lime (*Citrus auratifolia*, Swingle cv. Paan) fruit packed with ethanol vapor in delaying chlorophyll catabolism. *Scientia Horticulturae*, 224, 258-264.
- Opio, P., Pongphen, J., Pongprasert, N., Wongs-Aree, C., Suzuki, Y., Srilaong, V. (2015). Postharvest Ethanol vapor treatment delays chlorophyll degradation and maintains quality of Thai lime (*Citrus Auratifolia* Swingle cv. paan) Fruit.
- Park, Y. S., Im, M. H., Gorinstein, S. (2015). Shelf life extension and antioxidant activity of ‘Hayward’ kiwi fruit as a result of prestorage conditioning and 1-methylcyclopropene treatment. *Journal of Food science and Technology*, 52, 2711-2720.
- Paul, V., Pandey, R. (2014). Role of internal atmosphere on fruit ripening and storability—a review. *Journal of food science and technology*, 51, 1223-1250.
- Petreš, M., Kalajdžić, J., Milić, B., Magazin, N., Stankov, A., Vukotić, J., Grahovac, M. (2020). Effect of hot water treatments on apple fruit rot caused by *Fusarium* spp. *Journal of Plant Diseases and Protection*, 127, 651-655.
- Poore, J., Nemecek, T. (2018). Reducing food’s environmental impacts through producers and consumers. *Science*, 360(6392), 987-992.
- Porat, R., Lichter, A., Terry, L. A., Harker, R., Buzby, J. (2018). Postharvest losses of fruit and vegetables during retail and in consumers’ homes: Quantifications, causes, and means of

- prevention. *Postharvest biology and technology*, 139, 135-149.
- Prajapati, U., Asrey, R., Varghese, E., Singh, A. K., Singh, M. P. (2021). Effects of postharvest ultraviolet-C treatment on shelf-life and quality of bitter gourd fruit during storage. *Food Packaging and Shelf Life*, 28, 100665
- Pristijono, P., Golding, J. B., Bowyer, M. C. (2018). Postharvest UV-C treatment, followed by storage in a continuous low-level ethylene atmosphere, maintains the quality of 'Kensington pride' mango fruit stored at 20 °C. *Horticulturae*, 5(1), 1.
- Prusky, D. (2011). Reduction of the incidence of postharvest quality losses, and future prospects. *Food security*, 3, 463-474.
- Rahardjo, B., Yudhanto, W., Aprilia, V. D. (2023). Penerapan Green Economy Melalui Pengolahan Pasca Panen Bagi Kelompok Tani Hortikultura Desa Pogalan Kecamatan Pakis Kabupaten Magelang. *Jurnal Dharma Jnana*, 3(2), 163-172.
- Rajaratnam, S. (Ed.). (2011). *Advances in preservation and processing technologies of fruits and vegetables*. New India Publishing.
- Rao, R. K. (Ed.). (2017). *Agricultural, Allied Sciences & Biotechnology for Sustainability of Agriculture, Nutrition & Food Security*. Mahima Research Foundation and Social welfare.
- Ray, A., Bhonsle, A. K., Singh, J., Trivedi, J., Atray, N. (2025). Examining alternative carbon resources for sustainable energy generation: A comprehensive review. *Next Energy*, 6, 100194.
- Reddy, S. V. R., Sharma, R. R., Gundewadi, G. (2018). Use of irradiation for postharvest disinfection of fruits and vegetables. In *Postharvest disinfection of fruits and vegetables* (pp. 121-136). Academic Press.
- Rodrigues, C., Polesca, C., Bicalho, I., Souza, V. G. L., Coelho, I., Fernando, A. L. (2025). Quality preservation and shelf-life extension of prickly pear (*Opuntia ficus-indica* L. Mill) using edible coatings. *Foods*, 14(2), 161.
- Sagar, N. A., Pareek, S., Sharma, S., Yahia, E. M., Lobo, M. G. (2018). Fruit and vegetable waste: Bioactive compounds, their extraction, and possible utilization. *Comprehensive reviews in food science and food safety*, 17(3), 512-531.
- Sassanelli, C., Rosa, P., Rocca, R., Terzi, S. (2019). Circular economy performance assessment methods: A systematic literature review. *Journal of cleaner production*, 229, 440-453.
- Satekge, T. K., Magwaza, L. S. (2020). The combined effect of 1-methylcyclopropene (1-MCP) and ethylene on green-life and postharvest quality of banana fruit. *International Journal of Fruit Science*, 20(sup3), S1539-S1551.
- Seed Q., Zhang A., Mustafa A., Sun B., Zhang S., Yang X. (2022). Effect of Long-Term Fertilization On Greenhouse Gas Emissions and Carbon Footprints In Northwest China: A Field Scale Investigation Using Wheat-Maize-Fallow Rotation Cycles, *Journal Of Cleaner Production*. 332:130075.
- Senturk, G.O., Gök, G., Koçyiğit, H. (2023). Tarımda Karbon Ayak İzi ve İklim Değişikliğine Etkisi. *Artvin Çoruh Üniversitesi Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, 1(1), 12-24.
- Shah, S. U., Hashmi, M. S., Khan, M. R., Ahmad, A., Riaz, A., Al Shoffe, Y., ..., Ippolito, A. (2024). Integration of chitosan coating and short-term hypobaric treatment extends postharvest life and upregulates defense-related enzymes in apple fruit. *European Journal of Plant Pathology*, 168(2), 231-247.
- Shahsavari, R., Rastegar, S. (2025). Innovative gelatin-based edible coatings for preserving postharvest quality of guava (*Psidium guajava* L.) fruit. *International Journal of Horticultural Science and Technology*, 909-922.
- Shankar, S., Mohanty, A. K., DeEll, J. R., Carter, K., Lenz, R., Misra, M. (2024). Advances in antimicrobial techniques to reduce postharvest loss of fresh fruit by microbial reduction. *npj Sustainable Agriculture*, 2(1), 1-20.
- Shehata, S. A., Abdeldaym, E. A., Ali, M. R., Mohamed, R. M., Bob, R. I., Abdelgawad, K. F. (2020). Effect of some citrus essential oils on post-harvest shelf life and physicochemical

- quality of strawberries during cold storage. *Agronomy*, 10(10), 1466.
- Shinga, M. H., Silue, Y., Fawole, O. A. (2025). Recent Advancements and Trends in Postharvest Application of Edible Coatings on Bananas: A Comprehensive Review. *Plants*, 14(4), 581.
- Singh, S. P., Thakur, R. (2024). Postharvest applications of cold plasma treatment for improving food safety and sustainability outcomes for fresh horticultural produce. *Postharvest Biology and Technology*, 209, 112694.
- Sun, X., Follett, P., Shu, C., Yusufali, Z., Bai, J., Wall, M. (2024). Effect of X-ray irradiation and carnauba wax coating on quality of lime (*Citrus latifolia* Tan.) fruit. *HortScience*, 59(5), 684-690.
- Tsurayya, S., Kartika, L. (2015). Kelembagaan dan strategi peningkatan daya saing komoditas cabai kabupaten Garut. *Jurnal Manajemen & Agribisnis*, 12(1), 1-1.
- Tzortzakakis, N., Xylia, P., Chrysargyris, A. (2019). Sage essential oil improves the effectiveness of Aloe vera gel on postharvest quality of tomato fruit. *Agronomy*, 9(10), 635.
- Ueda, J. M., Pedrosa, M. C., Heleno, S. A., Caroch, M., Ferreira, I. C., Barros, L. (2022). Food additives from fruit and vegetable by-products and bio-residues: A comprehensive review focused on sustainability. *Sustainability*, 14(9), 5212.
- Usman, H. M., Hussain, S., Anwar, R., Khan, A. S., Malik, A. U., Ali, M. M., ..., Abbas, A. (2025). Postharvest application of 1-methylcyclopropene and modified atmosphere packaging extends shelf life and maintains eating quality of mango fruit cv. Sufaid Chaunsa. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 49(2), 415-425.
- Uysal, G., Eroglu, D., Dayioğlu, A., Şen, F., Oğuz, İ. (2023). Effects of Modified Atmosphere Packaging and 1-Methylcyclopropene Treatment on Quality Properties of Japanese Plum Fruit (*Prunus salicina* Lindl. cv. 'Angeleno') During Cold Storage. *Erwerbs-Obstbau*, 65(5), 1383-1391.
- Vinod, B. R., Asrey, R., Sethi, S., Prakash, J., Meena, N. K., Menaka, M., ..., Shivaswamy, G. (2023). Recent advances in physical treatments of papaya fruit for postharvest quality retention: A review. *EFood*, 4(2), e79.
- Waluyo, T. (2024). Post-Harvest Technological Innovation In Sustainable Agribusiness Management. *Tec Empresarial*, 6(1).
- Wang, H., Li, Y., Wassie, M., Muhammad, M., Bai, S., Shi, H. (2025). The effect of 1-methylcyclopropene on the shelf life of sand pear fruits. *LWT*, 117530.
- Wang, H., Yang, Z., Amanullah, S., Wang, H., Liu, B., Liu, S., ..., Wang, C. (2025) Düşük Sıcaklıkta Depolama ile Birleştirilmiş Hasat Sonrası 1-MCP Tedavisinin Kavunun Fizyolojik Aktiviteleri ve Yenilebilir Kalitesi Üzerindeki Etkisinin Deşifre Edilmesi. *Bitkiler*, 14(4), 586.
- Yahia, E. M., Gardea-Béjar, A., de Jesús Ornelas-Paz, J., Maya-Meraz, I. O., Rodríguez-Roque, M. J., Rios-Velasco, C., ... ,Salas-Marina, M. A. (2019). Preharvest factors affecting postharvest quality. In *Postharvest technology of perishable horticultural commodities* (pp. 99-128). Woodhead Publishing.
- Yingwei, Q. I., JIANG, Y., Yulong, C. H. E. N., Ling, W. A. N. G., Feiping, C. H. E. N., Zheng, L. U. O., ..., Fanwei, D. A. I. (2025). Effects of 1-MCP on Ethylene Synthesis, Cell Wall Degradation and Related Genes Expression in Passion Fruit. *Journal of Food Science and Technology*, 43(1), 96-105.
- Yoon, K. N., Yoon, Y. S., Hong, H. J., Yeom, S. J., Park, J. H., Song, B. S., ..., Kim, J. K. (2024). Extending shelf life and analyzing dosimetric and detection techniques in postharvest tomatoes (*Solanum lycopersicum*) via X-ray irradiation. *LWT*, 201, 116230.
- Yoon, Y. S., Ameer, K., Song, B. S., Kim, J. K., Park, H. Y., Lee, K. C., ..., Park, J. H. (2020). Effects of X-ray irradiation on the postharvest quality characteristics of 'Maehyang'strawberry (*Fragaria* × *ananassa*). *Food chemistry*, 325, 126817.
- Yun, X., Liu, L., Hu, J., Sun, T., Zhang, J., Dong, T. (2024). Mechanical and gas permeability properties of poly (L-lactic acid)-based films and their application in fresh produce

preservation. *Packaging Technology and Science*, 37(4), 293-317.

Zam, W., Ilyas, I., Syatrawati, S. (2019). Penerapan teknologi pascapanen untuk meningkatkan nilai jual cabai di tanatoraja. *Jurnal Dedikasi Masyarakat*, 2(2), 92-100.

Zhang, H., Han, M., Xie, Y., Wang, M., Cao, C. (2022). Application of ethylene-regulating packaging in post-harvest fruits and vegetables storage: A review. *Packaging Technology and Science*, 35(6), 461-471.

Zhang, J., Wang, Y., Zhang, Y., Guo, J., Li, Y., Dong, T., Yun, X. (2025). Preparation of

PBAT/PCL Films for Passive Modified Atmosphere Packaging of Cherry Tomatoes. *Packaging Technology and Science*.

Zhu, T., Tan, W. R., Deng, X. G., Zheng, T., Zhang, D. W., Lin, H. H. (2015). Effects of brassinosteroids on quality attributes and ethylene synthesis in postharvest tomato fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 100, 196-204.

Ziv, C., Fallik, E. (2021). Postharvest storage techniques and quality evaluation of fruits and vegetables for reducing food loss. *Agronomy*, 11(6), 1133.

DETERMINATION OF TOTAL PHENOLIC COMPOUND, ANTIOXIDANT ACTIVITY, AND SOME PHYSICOCHEMICAL PROPERTIES OF DIFFERENT COMMERCIAL FRUIT VINEGARS

Semra TOPUZ TÜRKER*, Mustafa BAYRAM

Department of Food Engineering, Faculty of Engineering and Architecture,
Tokat Gaziosmanpaşa University, Tokat, Türkiye

Received /Geliş: 16.05.2025; Accepted /Kabul: 16.07.2025; Published online /Online baskı: 25.07.2025

Topuz Türker, S., Bayram, M. (2025). Determination of total phenolic compound, antioxidant activity, and some physicochemical properties of different commercial fruit vinegars. GIDA (2025) 50 (4) 606-619 doi: 10.15237/gida.GD25063

Topuz Türker, S., Bayram, M. (2025). Farklı ticari meyve sirkelerinin toplam fenolik bileşik, antioksidan aktivite ve bazı fizikokimyasal özelliklerinin belirlenmesi. GIDA (2025) 50 (4) 606-619 doi: 10.15237/gida.GD25063

ABSTRACT

This study aimed to determine the total phenolic content (TPC), total flavonoid content (TFC), antioxidant activity (ABTS, DPPH, FRAP), and some physicochemical properties of different uncommon fruit vinegars (pineapple, peach, banana, strawberry, fig, blackberry, apricot, gilaburu, sour cherry, and rosehip) of different brands sold in Türkiye. Except for one brand of blackberry vinegar, all samples exhibited titration acidity values below the acceptable limit. The vinegars showed notable differences in pH, dry matter, and color values. TPC and TFC values ranged between 63.08-4441.25 mg GAE/L and 4.62-3023.08 QE/L, respectively. ABTS, DPPH and FRAP values varied between 21.45-7710.91 mg TE/L, 3.40-2079.00 mg TE/L and 10.27-5332.20 mg TE/L, respectively. Rosehip vinegar samples exhibited the highest TPC, TFC, and antioxidant activity. Significant variations were determined not only among different types of fruit vinegars but also among different brands of the same fruit vinegar in terms of TPC, TFC, antioxidant activity, and physicochemical properties.

Keywords: Vinegar, phenolic, flavonoid, antioxidant activity

FARKLI TİCARİ MEYVE SİRKELERİNİN TOPLAM FENOLİK BİLEŞİK, ANTİOKSİDAN AKTİVİTE VE BAZI FİZİKOKİMYASAL ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ

ÖZ

Bu çalışma Türkiye’de satışa sunulan ve piyasada yaygın olmayan farklı markalara ait meyve sirkelerinin (ananas, şeftali, muz, çilek, incir, böğürtlen, kayısı, gilaburu, vişne ve kuşburnu) toplam fenolik madde (TFM), toplam flavonoid (TFL), antioksidan aktivite (ABTS, DPPH, FRAP) ve bazı fizikokimyasal özelliklerini belirlemeyi amaçlamıştır. Bir markaya ait böğürtlen sirkesi hariç tüm örneklerin kabul edilebilir sınırın altında titrasyon asitliği değerlerine sahip olduğu belirlenmiştir. Sirkelerin pH, kuru madde ve renk değerleri açısından da dikkate değer farklılıklara sahip olduğu

* Corresponding author / Sorumlu yazar

semra.topuz@gop.edu.tr Tel: (+90) 356 252 1616/ 2891 Fax (+90) 356 252 1729

Semra Topuz Türker; ORCID ID: 0000-0002-9122-0839

Mustafa Bayram; ORCID ID: 0000-0002-8232-226X

saptanmıştır. Ticari meyve sirkelerinin TFM ve TFL değerlerinin sırasıyla 63.08-4441.25 mg GAE/L ve 4.62-3023.08 KE/L aralığında; ABTS, DPPH ve FRAP değerlerinin ise sırasıyla 21.45-7710.91 mg TE/L, 3.40-2079.00 mg TE/L ve 10.27-5332.20 mg TE/L aralığında değiştiği belirlenmiştir. En yüksek TFM, TFL ve antioksidan aktivite değerleri kuşburnu sirkesi örneklerinde tespit edilmiştir. Hem farklı meyve sirkeleri hem de aynı meyve sirkesinin farklı markaları arasında TFM, TFL değerleri, antioksidan aktivite ve fizikokimyasal özellikler açısından önemli farklılıklar olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar kelimeler: Sirke, fenolik, flavonoid, antioksidan aktivite

INTRODUCTION

Vinegar is a fermented liquid product with a sour taste obtained by fermenting raw materials containing sugar or starch to first ethyl alcohol fermentation and followed by acetic acid fermentation (Budak et al., 2014). Simple sugars in the raw material are converted into alcohol by yeasts, and the occurred alcohol is oxidized to acetic acid by acetic acid bacteria (Gullo and Giudici, 2008). These microorganisms produce several metabolic compounds that control the flavor and taste of vinegar (Jang et al., 2015).

The earliest known use of vinegar is thought to date back more than 10000 years (Budak et al., 2014). In ancient times, it was observed that alcoholic beverages such as wine and beer turned into vinegar when left in an open container, and this transformation was considered an undesirable event. However, later the mechanism of this situation was examined, and vinegar production was carried out as a controlled process (Şengün and Kılıç, 2019).

Vinegar has been used for both food and medicinal purposes for many years (Budak et al., 2014). For food purposes, vinegar is used as a condiment as well as an acidifier and preservative (Tefaye et al., 2002). Medically, many functional activities of vinegar such as antibacterial properties, antioxidant activity, antidiabetic, antitumor effects, and ability to prevent cardiovascular disorders, lowering blood lipid, reducing body weight and organ enlargement, and helps to inhibit the development of hyperlipidemia, obesity. Due to its medicinal properties, it has long been used in traditional ancient medicine (Chen et al., 2023). These therapeutic effects of vinegar on health have been mainly associated with the acetic acid it contains. However, these positive effects can also be

attributed to the organic acids, polyphenols, melanoidins and other bioactive components contained in vinegar (De Leonardis et al., 2022). Various reactive oxygen species have been reported to affect lipids, proteins and DNA, causing cancer, accelerated aging and degenerative disorders in the brain (Dash et al., 2024). Consumption of food rich in bioactive molecules may reduce incidence and progression of these degenerative diseases by providing an antioxidant activity (Adefegha et al., 2022; Alejandra et al., 2023). Phenolic compounds found in vinegars produced from different raw materials and different techniques provide defense against oxidative stress by exhibiting antioxidant activity (Bakir et al., 2017; Kang et al., 2020; Melkis and Jakubczyk, 2024).

Vinegar is produced from various raw materials such as grains, fruits, vegetables, honey and whey (Bhat et al., 2014). In recent years, fruit vinegars with unique sensory properties have become more common and consumed in the world market (Şengün and Kılıç, 2019). The most well-known fruit vinegars are apple, grape and sugarcane (Ho et al., 2017). The sugar content of the fruits to be used in vinegar production must be high. If fruits with low sugar content are used, the sugar content of the medium can be increased with fruit juice concentrates (Şengün and Kılıç, 2019). Fruit vinegars attract consumer attention due to their functional properties. Accordingly, it is estimated that the demand for vinegars produced from high-quality and rich-content fruits and vegetables will gradually increase (Chen et al., 2023).

Vinegar can be produced in a wide variety of compositions around the world using different raw materials and different production methodologies. In this study, it was aimed to

determine the total phenolic content (TPC), total flavonoid content (TFC) and antioxidant activities as well as physicochemical properties of vinegars that are not very common on the market. Thus, it is thought that a contribution will be made to the literature on vinegars produced from fruits rich in phenolic compounds.

MATERIAL AND METHODS

Material

In this study, fruit vinegars (pineapple, peach, banana, strawberry, fig, blackberry, apricot, gilaburu, sour cherry and rosehip) offered for sale in markets or virtual shopping sites were obtained in February 2023. Vinegar samples from two different brands were provided for each vinegar type. The production dates of all vinegars correspond to different months within 2022. Samples were coded A1 and A2 for pineapple vinegar, B1 and B2 for peach vinegar, C1 and C2 for banana vinegar, D1 and D2 for strawberry vinegar, E1 and E1 for fig vinegar, F1 and F2 for blackberry vinegar, G1 and G2 for apricot vinegar, H1 and H2 for gilaburu vinegar, K1 and K2 for sour cherry vinegar and L1 and L2 for rosehip vinegar. All fruit vinegar samples were stored in a +4 °C refrigerator until the day of the experiment. Analyses were carried out in Tokat Gaziosmanpaşa University Faculty of Engineering and Architecture, Department of Food Engineering laboratories.

Chemical materials and equipments

Aluminum chloride (AlCl_3), sodium hydroxide (NaOH), sodium nitrite (NaNO_2), sodium carbonate (Na_2CO_3), sodium acetate (CH_3COONa), Folin-Ciocalteu (FC) reagent, potassium peroxydisulfate ($\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$) were supplied from Merck (Darmstadt, Germany). Gallic acid, iron (III) chloride (FeCl_3), quercetin, Trolox, ethanol, methanol, ABTS and DPPH were supplied from Sigma-Aldrich (Germany). TPTZ was bought from Tokyo Chemical Industry (Japan).

Precise balance (Radwag, AS 220 R2, Poland), centrifuge (Hettich EBA 21, Germany), UV-VIS spectrophotometer (PG Instrument, T80+, England), vortex (Velp Scientifica, Italy),

drying oven (Memmert, Germany), heated magnetic stirrer (Biosan, MSH 300, Latonya) were used at different stages during the research.

Methods

Physicochemical analyses

Total dry matter (g/L), color analysis (L^* , a^* , b^* , Chroma value (C^*) and Hue angle (H°)), titration acidity (g/L, in terms of acetic acid) and pH value of fruit vinegars were carried out according to the methods of Cemeroğlu (2013). L^* , a^* and b^* values of vinegar samples indicate the lightness-darkness (0:100), redness-greenness (+/-) and yellowness-blueness (+/-), respectively. The C^* values, also known as color saturation or intensity, represent the degree of vividness or purity of a color. The H° represents a position on the color wheel, ranging from 0° to 360° in the a^*-b^* plane. In this circular representation, red is positioned at 0° , yellow at 90° , green at 180° , and blue at 270° , with hues transitioning smoothly between these values (Pavlidis et al., 2006).

Determination of total phenolic compound

TPC was determined according to the FC method with slight modifications (Topuz and Bayram, 2022). 100 μL of each vinegar was reacted with 200 μL of 2 N FC reagent and 2 mL distilled water for 5 minutes at room temperature. Then, 1 mL of 20% Na_2CO_3 was added to this mixture. This mixture was stirred and incubated for 60 minutes in the dark at room temperature. Absorbance of mixtures was measured at 765 nm using a UV/VIS spectrophotometer. TPC results of fruit vinegars were presented as mg gallic acid equivalent (GAE)/L.

Determination of total flavonoid compound

TFC analysis assay was conducted with the partial modification of the method applied by Gaafar and Salama (2013). Briefly, 500 μL of each vinegar sample was reacted with 2 mL distilled water and 150 μL of 5% NaNO_2 for 5 minutes at room temperature. Then, 150 μL of 10% AlCl_3 was added and maintained for 5 minutes in room conditions. After then, 1 mL of 1 M NaOH and 1.2 mL distilled water was added to this mixture and stirred. Absorbance was measured at 510 nm using a UV/VIS

spectrophotometer. TFC results of fruit vinegars were presented as mg quercetin equivalent (QE)/L.

Determination of cation radical scavenging activity analysis (ABTS^{•+})

ABTS^{•+} values of fruit vinegar samples were determined method of Re et al. (1999) with slight modifications. The stock solution was K₂S₂O₈ (2.45 mM) with ABTS (7 mM). The solution was diluted with ethanol until the absorbance reached 0.700 (± 0.02) at 734 nm using a spectrophotometer. 40 μ L of fruit vinegar was reacted with 4 mL of the diluted ABTS radical solution for 7 minutes in the dark. Absorbance of the analysis mixture was measured at 734 nm in UV/VIS spectrophotometer. ABTS results of fruit vinegar samples were expressed as mg Trolox equivalent (TE)/L.

Determination of free radical scavenging activity analysis (DPPH[•])

DPPH[•] assay protocol was conducted according to the method described by Blasi et al. (2016). Briefly, DPPH solution (0.06 mM) was prepared with ethanol. 100 μ L of each vinegar was reacted with 3.9 mL of DPPH solution for 30 minutes at room temperature in the dark. Absorbance of the analysis mixture was measured at 517 nm in UV/VIS spectrophotometer. DPPH results of fruit vinegar samples were expressed as mg Trolox equivalent (TE)/L.

Determination of ferric reducing antioxidant power analysis (FRAP)

FRAP values of fruit vinegar samples were determined previously described by Benzie and Strain (1996). Briefly, the FRAP reagent was prepared by mixing 30mM sodium acetate buffer (pH:3.6), 10 mM TPTZ, and 20 mM FeCl₃ solution at a ratio of 10:1:1. Then, 100 μ L of each vinegar was reacted with 2.9 mL of FRAP reagent for 30 minute at room temperature in the dark environment. Absorbance of the analysis mixture was measured at 593 nm in UV/VIS spectrophotometer. FRAP results of fruit vinegar samples were expressed as mg Trolox equivalent (TE)/L.

Statistical analysis

Statistical analyses were done by using the Duncan test through the instrument of SPSS 22.0 (version 22.0, IBM, USA) statistical package program. Moreover, correlation coefficients were identified using the same program.

RESULTS AND DISCUSSIONS

Some physicochemical properties of commercial fruit vinegars

Some physicochemical properties of commercial fruit vinegar samples were given in Table 1. It was determined that the total dry matter values of fruit vinegar samples varied between 2.27 g/L (C1: Banana vinegar) and 57.72 g/L (K2: Sour cherry vinegar). The difference between the K2 sample, which exhibited the highest total dry matter value, and the other samples was found to be statistically significant ($P < 0.05$). No statistically significant difference was observed between the C1 sample, which showed the lowest value, and the A1, A2, and H2 samples ($P > 0.05$); however, statistically significant differences were detected among the other samples ($P < 0.05$). In other studies, total dry matter was reported as 29.00 g/L (Budak et al., 2022a) for peach vinegar, as 20.60 g/L (Gokirmakli et al., 2019) for strawberry vinegar, as 17.60 g/L (Özdemir et al., 2022a) for rosehip vinegar. The total dry matter values of grape vinegar, which is widely produced and consumed and is generally regarded more favorably in the market, was reported as 16.60 and 27.10 g/L (Budak, 2010), within the range of 1.95 and 17.25 g/L (Akbaş and Cabaroğlu, 2010), 1.12 and 6.38 g/L (Duman and Türkmen, 2024), 4.08 and 24.50 g/L (Tekin, 2014), 10.83 and 12.60 g/L (Turhan and Canbaş, 2016). In comparison, the total dry matter content of apple vinegar was reported as 19.60 and 18.00 g/L (Budak, 2010), as ranged between 0.87 and 5.54 g/L (Duman and Türkmen, 2024).

The pH values of the fruit vinegar samples were found between 2.87 (E2: Fig vinegar) and 3.99 (D2: Strawberry vinegar). The differences between the D2 sample, which exhibited the highest pH value, and the E2 sample, which showed the lowest pH value, compared to the other samples were found to be statistically significant ($P < 0.05$). In other studies, pH values

were reported as 2.80 and 2.60 (Rahman et al., 2024), 2.90 (Sossou et al., 2009) and 3.06 (Mokhtar et al., 2020) for pineapple vinegar, as 3.40 (Budak et al., 2022a) for peach vinegar, as 3.21 (Pathak et al., 2022) for banana vinegar, as 3.57 (Gokirmakli et al., 2019) for strawberry vinegar, as ranged between 3.05 and 3.73 (Sengun, 2013), as 3.22 for fig vinegar, as 3.32 for blackberry vinegar, as 3.33 (Sengun et al., 2020) for apricot vinegar, as 2.32 (Cosmulescu et al., 2022) for sour cherry, as 3.24 (Sengun et al., 2020) and 3.50 (Özdemir et al., 2022a) for rosehip

vinegar. The pH values of grape vinegar, which is widely produced and consumed and is perceived to have higher consumer preference, was reported as 2.87 and 2.90 (Budak, 2010), as ranged between 2.63 and 3.27 (Akbaş and Cabaroğlu, 2010), 1.89 and 3.29 (Duman and Türkmen, 2024), 2.68 and 2.85 (Turhan and Canbaş, 2016). In comparison, the pH value of apple vinegars was reported as 2.87 and 3.16 (Budak, 2010) and as ranged between 1.88 and 2.81 (Duman and Türkmen, 2024).

Table 1. Physicochemical characteristics of commercial fruit vinegar samples

Sample	Dry matter (g/L)	pH	Titration acidity (g/L) *
A1	4.37 ± 0.08 ^{klm**}	3.11 ± 0.02 ^{kl}	26.80 ± 1.13 ^b
A2	3.89 ± 0.01 ^{lm}	3.03 ± 0.01 ⁿ	4.97 ± 0.04 ^p
B1	17.23 ± 0.21 ^e	3.00 ± 0.01 ^o	29.00 ± 1.13 ^{efg}
B2	9.77 ± 0.46 ^{fg}	3.84 ± 0.01 ^c	12.39 ± 0.30 ^m
C1	2.27 ± 0.11 ^m	3.32 ± 0.01 ^g	13.74 ± 0.08 ^l
C2	6.92 ± 0.37 ^{hj}	3.12 ± 0.00 ^k	23.57 ± 0.21 ⁱ
D1	31.16 ± 0.04 ^b	3.68 ± 0.00 ^d	38.48 ± 0.74 ^b
D2	6.42 ± 0.03 ^{bjk}	3.99 ± 0.01 ^a	7.29 ± 0.07 ^o
E1	4.64 ± 0.21 ^{ikl}	3.67 ± 0.01 ^d	11.23 ± 0.52 ^m
E2	19.65 ± 0.18 ^d	2.87 ± 0.01 ^p	34.26 ± 1.22 ^d
F1	6.71 ± 0.05 ^{bj}	3.07 ± 0.01 ^m	34.21 ± 0.55 ^d
F2	22.20 ± 0.08 ^c	3.40 ± 0.01 ^f	41.38 ± 0.65 ^a
G1	9.59 ± 0.11 ^{fg}	3.27 ± 0.02 ^h	30.18 ± 0.08 ^e
G2	11.17 ± 0.34 ^f	3.17 ± 0.03 ⁱ	28.59 ± 0.33 ^{fg}
H1	6.88 ± 0.16 ^{bj}	3.09 ± 0.01 ^{lm}	28.05 ± 0.47 ^g
H2	3.68 ± 0.14 ^{lm}	3.18 ± 0.01 ^j	8.67 ± 0.16 ⁿ
K1	8.24 ± 0.44 ^{gh}	3.38 ± 0.00 ^f	29.73 ± 0.38 ^{ef}
K2	57.72 ± 4.50 ^a	3.17 ± 0.01 ^j	36.87 ± 0.75 ^c
L1	15.89 ± 0.01 ^e	3.87 ± 0.01 ^b	9.34 ± 0.25 ⁿ
L2	20.22 ± 0.30 ^{cd}	3.57 ± 0.01 ^c	17.60 ± 0.28 ^k

* Acetic acid equivalent

** Small letters in the same column show difference between vinegar samples ($P < 0.05$)

Results are given as mean ± standard deviation. A: Pineapple vinegar, B: Peach vinegar, C: Banana vinegar, D: Strawberry vinegar, E: Fig vinegar, F: Blackberry vinegar, G: Apricot vinegar, H: Gilaburu vinegar, K: Sour cherry vinegar, L: Rosehip vinegar

Analysis revealed that the titration acidity values as the acetic acid equivalent of fruit vinegar samples varied between 4.97 g/L (A2: Pineapple vinegar) and 41.38 g/L (F2: Blackberry vinegar). The differences between the F2 sample, which exhibited the highest titration acidity, and the A2 sample, which had the lowest value compared to the other samples were statistically significant ($P < 0.05$). Total acidity (titration acidity) content

of vinegar produced in Türkiye (in water-acetic acid) should not be less 40 g/L according to TS 1880 EN 13188 (Anonymous, 2003). According to Codex Alimentarius Commission, titration acidity of vinegar (except wine vinegar) should not be less than 50 g/L (CAC, 2000). Titration acidity value of the only F2 (blackberry vinegar) sample was in conformity with the TS 1880 EN 13188 vinegar standard. In other studies, titration

acidity were reported as 54.80 and 60.10 g/L (Rahman et al., 2024) and 11.40 (Mokhtar et al., 2020) for pineapple vinegar, as 46.50 g/L (Budak et al., 2022a) for peach vinegar, as 86.70 g/L (Pathak et al., 2022) for banana vinegar, as 45.90 g/L (Gokirmakli et al., 2019) for strawberry vinegar, as ranged between 21.00 and 69.70 g/L (Sengun, 2013) and 47.30 g/L for fig vinegar, as 45.60 g/L for blackberry vinegar, as 42.70 g/L (Sengun et al., 2020) for apricot vinegar, as 96.30 g/L (Cosmulescu et al., 2022) and 46.20 g/L (Budak et al., 2022b) for sour cherry vinegar, as 46.80 g/L (Sengun et al., 2020) and 46.20 g/L (Özdemir et al., 2022a) for rosehip vinegar. The titration acidity value of grape vinegars was reported as 85.90 and 122.90 g/L (Budak, 2010), within the range of 39.60 and 53.60 g/L (Akbaş and Cabaroğlu, 2010), 8.60 and 278.20 g/L (Duman and Türkmen, 2024). In comparison, the titration acidity value of apple vinegars was reported as 57.20 and 73.70 g/L (Budak, 2010), within the range of 39.60 and 336.20 g/L (Duman

and Türkmen, 2024), 40.50 and 47.70 g/L (Tekin, 2014).

Generally, there is a decrease in pH value parallel to the increase in titration value. However, this is not always the case for every example. There is no direct or predictable relationship between pH and titration acidity. The pH values of foods with the same titratable acidity value may differ from each other (AWRI, 2024). pH value is negative logarithm of the concentration of dissociated hydrogen ions. However, titratable acidity is related to the total concentration of weak and strong acids present in the food (Özdemir et al., 2022b).

Color analysis of commercial fruit vinegars

Color values that are important for consumer perception were evaluated by determining the L^* , a^* and b^* parameters (Karadag et al., 2020). Color values (L^* , a^* , b^* , C^* and, H°) of commercial fruit vinegar samples were given in Table 2.

Table 2. Color values of commercial fruit vinegar samples

Sample	L^*	a^*	b^*	Croma value	Hue angle
A1	$32.05 \pm 0.02^{b**}$	0.26 ± 0.02^r	14.96 ± 0.07^{kl}	14.96 ± 0.07^{kl}	89.02 ± 0.06^b
A2	25.65 ± 0.01^f	2.42 ± 0.10^m	22.54 ± 0.12^b	22.67 ± 0.12^c	83.87 ± 0.22^g
B1	23.33 ± 0.09^i	0.88 ± 0.04^o	13.84 ± 0.14^{mn}	13.87 ± 0.14^m	86.36 ± 0.21^e
B2	22.08 ± 0.02^l	6.60 ± 0.06^f	22.73 ± 0.17^b	23.67 ± 0.17^b	73.82 ± 0.15^k
C1	34.73 ± 0.08^a	-0.71 ± 0.01^s	17.24 ± 0.06^f	17.25 ± 0.06^h	92.35 ± 0.03^a
C2	26.91 ± 0.14^e	0.65 ± 0.08^p	13.57 ± 0.03^n	13.59 ± 0.02^m	87.24 ± 0.32^d
D1	13.44 ± 0.03^o	3.21 ± 0.03^k	9.54 ± 0.12^p	10.07 ± 0.13^n	71.41 ± 0.05^l
D2	19.44 ± 0.16^m	5.70 ± 0.14^g	15.30 ± 0.12^j	16.33 ± 0.16^j	69.57 ± 0.31^m
E1	26.78 ± 0.20^e	1.19 ± 0.05^n	14.72 ± 0.10^j	14.77 ± 0.10^j	85.38 ± 0.21^f
E2	24.75 ± 0.12^h	3.97 ± 0.03^j	20.36 ± 0.50^d	20.75 ± 0.49^e	78.96 ± 0.29^j
F1	27.53 ± 0.06^d	7.03 ± 0.06^e	16.63 ± 0.05^g	18.06 ± 0.03^g	67.09 ± 0.24^n
F2	10.57 ± 0.25^p	0.18 ± 0.02^r	6.31 ± 0.22^r	6.31 ± 0.21^o	88.33 ± 0.27^c
G1	22.49 ± 0.06^k	2.80 ± 0.04^l	16.23 ± 0.02^h	16.47 ± 0.02^j	80.20 ± 0.14^h
G2	29.24 ± 0.11^c	1.20 ± 0.03^n	15.11 ± 0.07^{jk}	15.16 ± 0.07^k	85.47 ± 0.14^f
H1	19.28 ± 0.03^m	9.25 ± 0.07^a	16.60 ± 0.27^g	19.01 ± 0.27^f	60.87 ± 0.23^p
H2	25.41 ± 0.08^g	8.89 ± 0.11^b	18.84 ± 0.09^e	20.84 ± 0.03^e	64.73 ± 0.37^o
K1	25.58 ± 0.12^{fg}	7.02 ± 0.06^e	20.70 ± 0.08^c	21.86 ± 0.07^d	71.26 ± 0.20^l
K2	14.02 ± 0.10^n	7.24 ± 0.11^d	11.72 ± 0.18^o	13.78 ± 0.20^m	58.31 ± 0.23^s
L1	29.08 ± 0.11^c	4.99 ± 0.04^h	29.87 ± 0.07^a	30.28 ± 0.07^a	80.52 ± 0.06^h
L2	13.87 ± 0.05^n	8.28 ± 0.21^c	14.04 ± 0.09^m	16.30 ± 0.05^j	59.48 ± 0.80^r

** Small letters in the same column show difference between vinegar samples ($P < 0.05$)

Results are given as mean $\pm$ standard deviation. A: Pineapple vinegar, B: Peach vinegar, C: Banana vinegar, D: Strawberry vinegar, E: Fig vinegar, F: Blackberry vinegar, G: Apricot vinegar, H: Gilaburu vinegar, K: Sour cherry vinegar, L: Rosehip vinegar

It was determined that the L^* values of fruit vinegar samples varied between 10.57 (F2: Blackberry vinegar) and 34.73 (C1: Banana vinegar). The differences between the C1 sample, which exhibited the highest L^* value, and the F2 sample, which had the lowest value, compared to the other samples were found to be statistically significant ($P < 0.05$). In other studies, L^* values were reported as 13.98 (Boondaeng et al., 2022) for pineapple vinegar, as ranged between 5.36-15.42 (Kılıç and Şengün, 2021) and 26.85 (Silva et al., 2024) for fig vinegar, as 60.2 (Karadag et al., 2020) for blackberry vinegar, as 30.39 (Silva et al., 2024) for apricot vinegar, as 61.3 (Karadag et al., 2020) and 29.73 (Özdemir et al., 2022a) for rosehip vinegar.

The a^* values of fruit vinegar samples ranged between -0.71 (C1: Banana vinegar) and 9.25 (H1: Gilaburu vinegar). There was no statistically significant difference between samples A1 and F2 in terms of a^* value ($P > 0.05$), but there was a statistically significant difference between all other samples ($P < 0.05$). In other studies, a^* values were reported as -1.18 (Boondaeng et al., 2022) for pineapple vinegar, as ranged between -1.65-8.51 (Kılıç and Şengün, 2021) and 0.48 (Silva et al., 2024) for fig vinegar, as 6.41 (Karadag et al., 2020) for blackberry vinegar, as -0.03 (Silva et al., 2024) for apricot vinegar, as 7.62 (Karadag et al., 2020) and -2.82 (Özdemir et al., 2022a) for rosehip vinegar.

The b^* values of fruit vinegar samples varied between 6.31 (F2: Blackberry vinegar) and 29.87 (L1: Rosehip vinegar). A statistically significant difference was observed between the L1 sample, which showed the highest b^* value, and the F2 sample, which exhibited the lowest value, as well as in comparison to the other samples ($P < 0.05$). In other studies, b^* values were reported as 5.57 (Boondaeng et al., 2022) for pineapple vinegar, as ranged between 3.96-8.29 (Kılıç and Şengün, 2021) and 3.17 (Silva et al., 2024) for fig vinegar, as 32.4 (Karadag et al., 2020) for blackberry vinegar, as 2.61 (Silva et al., 2024) for apricot vinegar, as 39.4 (Karadag et al., 2020) and 5.77 (Özdemir et al., 2022a) for rosehip vinegar.

In a study conducted by Duman and Türkmen (2024), color analyses were performed on grape and apple vinegars, both of which are widely produced and consumed. The L^* , a^* , and b^* values of grape vinegar were found to range from 30.73 to 42.70, 0 to 1.06, and 0.32 to 7.28, respectively. In comparison, the corresponding values for apple vinegar ranged from 33.14 to 44.79 (L^*), 0.02 to 1.44 (a^*), and 1.45 to 5.02 (b^*).

The colorimetric L^* , a^* , and b^* values of certain vinegars analyzed in this study differ markedly from the values reported in previous literature. The discrepancies in L^* , a^* , and b^* values compared to literature may stem from variations in raw materials, production methods, storage conditions, analytical techniques, and the presence of additives or contaminants. Similarly, Tomar et al. (2020) observed substantial differences between the colorimetric values and other characteristics of their produced hawthorn vinegar and those reported in the literature, which they attributed to variations in fruit variety, species, amount used, fermentation parameters, and storage period.

The C^* values of the fruit vinegar samples were found between 6.31 (F2: Blackberry vinegar) and 30.28 (L1: Rosehip vinegar). H° values varied between 58.32 (K2: Sour cherry vinegar) and 92.35 (C1: Banana vinegar). There were statistically significant differences between the L1 sample with the highest C^* value, the F2 sample with the lowest, and the other samples ($P < 0.05$). While the differences in H° values between the sample of E1-E2, G1-G2, and D1-K1 were not statistically significant ($P > 0.05$), the remaining samples showed significant differences ($P < 0.05$). These findings suggest that the type of fruit used in vinegar production has a significant influence on both color saturation and hue. The high C^* value observed in rosehip vinegar (L1) indicates a more vivid and intense color, whereas the low value in blackberry vinegar (F2) reflects a duller appearance. Similarly, the variation in H° points to noticeable differences in the color tone, with banana vinegar (C1) exhibiting a yellower tone and sour cherry vinegar (K2) leaning more toward reddish hues. Such differences are likely

attributable to the natural pigment composition of the fruits, including anthocyanins, carotenoids, and other phenolic compounds.

TPC and TFC contents of commercial fruit vinegars

The amount and profile of phenolic compounds in vinegar mainly depend on the raw materials used in vinegar production (Xia et al., 2020). Also, vinegar production method also affects bioactive properties of vinegars (Liu et al., 2016). TPC values of the commercial fruit vinegar samples ranged between 63.08 mg GAE/L (C1: Banana vinegar) and 4441.25 mg GAE/L (L1: Rosehip vinegar) (Table 3). The difference between the L1 sample, which exhibited the highest TPC value, and all other samples was statistically significant ($P<0.05$). In contrast, the C1 sample, which had the lowest TPC value, did not differ significantly from the A1, G2, E2, F1, and H2 samples ($P>0.05$); however, it showed statistically

significant differences when compared to the other samples ($P<0.05$). In other studies, TPC content were reported as 245.31 mg GAE/L (Boondaeng et al., 2022) for pineapple vinegar, as 1180.22 mg GAE/L (Budak et al., 2022a) and 372.30 mg GAE/L (Güzel, 2024) for peach vinegar, as 935.50 mg GAE/L (Sengun et al., 2020), 408.10 mg GAE/L (Güzel, 2024) and 641.00 mg GAE/L (Silva et al., 2024) for fig vinegar, as 167.50 mg GAE/L (Boonsupa, 2019) and 1162.0 mg GAE/L for blackberry vinegar, as 1005.00 mg GAE/L (Sengun et al., 2020) and 155.00 mg GAE/L (Silva et al., 2024) for apricot vinegar, as 975.80 mg GAE/L (Erdal et al., 2022) for gilaburu vinegar, as 3511.67 and 3365.76 mg GAE/L (Özen et al., 2020) and 3511.70 mg GAAE/L (Budak et al., 2022b) for sour cherry vinegar, as 76 mg GAE/L (Özdemir et al., 2022a), 1103.50 mg GAE/L (Sengun et al., 2020) and 5507.00 mg GAE/L (Güzel, 2024) for rosehip vinegar.

Table 3. TPC and TFC values of commercial fruit vinegar samples

Sample	TPC (mg GAE/L)	TFC (mg QE/L)
A1	96.21 $\pm$ 0.88 ^{kl*}	55.38 $\pm$ 2.72 ^k
A2	590.67 $\pm$ 9.43 ^d	4.62 $\pm$ 0.00 ^l
B1	241.42 $\pm$ 0.59 ^{fg}	276.92 $\pm$ 9.25 ^{ef}
B2	504.33 $\pm$ 20.62 ^d	435.00 $\pm$ 1.09 ^c
C1	63.08 $\pm$ 3.54 ^l	21.54 $\pm$ 1.63 ^{kl}
C2	250.17 $\pm$ 5.89 ^{fg}	112.69 $\pm$ 1.09 ^j
D1	1309.83 $\pm$ 43.60 ^c	700.00 $\pm$ 26.11 ^b
D2	466.83 $\pm$ 3.54 ^{de}	302.69 $\pm$ 5.44 ^e
E1	288.08 $\pm$ 1.18 ^{gh}	214.62 $\pm$ 3.81 ^g
E2	157.67 $\pm$ 4.71 ^{hkl}	43.85 $\pm$ 2.72 ^{kl}
F1	162.88 $\pm$ 9.13 ^{hkl}	58.46 $\pm$ 1.63 ^k
F2	478.17 $\pm$ 31.82 ^{de}	312.31 $\pm$ 4.35 ^{de}
G1	233.71 $\pm$ 6.78 ^{ghjk}	164.62 $\pm$ 7.07 ^h
G2	133.71 $\pm$ 7.37 ^{ikl}	17.31 $\pm$ 3.26 ^{kl}
H1	355.79 $\pm$ 12.08 ^{ef}	249.23 $\pm$ 2.72 ^{fg}
H2	193.08 $\pm$ 5.30 ^{ghkl}	153.08 $\pm$ 0.54 ^{hj}
K1	314.75 $\pm$ 5.30 ^{fg}	166.92 $\pm$ 2.72 ^h
K2	540.38 $\pm$ 2.06 ^d	351.92 $\pm$ 1.09 ^d
L1	4441.25 $\pm$ 126.69 ^a	3023.08 $\pm$ 5.44 ^a
L2	3772.50 $\pm$ 235.70 ^b	3019.23 $\pm$ 87.03 ^a

*Small letters in the same column show difference between vinegar samples ($P<0.05$)

Results are given as mean $\pm$ standard deviation. A: Pineapple vinegar, B: Peach vinegar, C: Banana vinegar, D: Strawberry vinegar, E: Fig vinegar, F: Blackberry vinegar, G: Apricot vinegar, H: Gilaburu vinegar, K: Sour cherry vinegar, L: Rosehip vinegar, TPC: Total phenolic content, TFC: Total flavonoid content

Analysis revealed that the TFC values of fruit vinegar samples varied between 4.62 mg QE/L (A: Pineapple vinegar) and 3023.08 mg QE/L (L1: Rosehip vinegar) (Table 3). No statistically significant difference was found between the L1 sample, which had the highest TFC value, and the L2 sample ($P>0.05$), while significant differences were observed between L1 and the other samples ($P<0.05$). Similarly, the A2 sample, which had the lowest TFC value, did not differ significantly from the C1, E2, and G2 samples ($P>0.05$), but showed statistically significant differences compared to all other samples ($P<0.05$).

The coefficients of Pearson's correlation between TPC and TFC was determined as 0.99. In other studies, TFC content were reported as 220.60 mg QE/L (Güzel, 2024) for peach vinegar, as 122.00 mg QE/L (Erdal et al., 2022) for gilaburu vinegar, as 3183.00 (Güzel, 2024) for rosehip vinegar.

Significant differences were determined between both different fruit vinegars and different brands of the same vinegar in terms of TPC and TFC values. The main reason for this variability may be the raw material types and fermentation methods (Güzel, 2024). This situation may be related to other factors such as geographical region, soil structure, climatic conditions in which the raw material grows (Liu et al., 2016). Furthermore, it was determined that two brands of rosehip vinegar and one brand of strawberry vinegar had very high TPC and TFC values. Rosehip fruit contains high amounts of phenolic acids, flavonoids, carotenoids, vitamin C and tocopherols (Özdemir et al., 2022a). Similarly, Güzel (2024) found the highest TPC value in rosehip vinegar for 15 different fruit vinegars.

Antioxidant activity of commercial fruit vinegars

Antioxidants have been used for many years to control oxidation and delay food spoilage (Finley et al., 2011). However, many antioxidant sources are used for their health benefits nowadays. The antioxidant activities of vinegar are mainly due to bioactive compounds such as phenolic compounds, carotenoids, phytosterols, vitamins C and vitamin E (Ho et al., 2017). The antioxidant

activity results of the fruit vinegars, as determined by ABTS, DPPH, and FRAP assays, were presented in Table 4. It was determined that ABTS values of the commercial fruit vinegar samples ranged between 21.45 mg TE/L (E2: Fig vinegar) and 7710.91 mg TE/L (L1: Rosehip vinegar). A statistically significant difference was observed between the L1 sample, which had the highest ABTS value, and all other samples ($P<0.05$). The difference between the E2 sample, which exhibited the lowest ABTS value, and the A1, A2, B1, C1, C2, F1, G1, G2, and H2 samples was not statistically significant ($P>0.05$), but the difference between the other samples is statistically significant ($P<0.05$). In other studies, ABTS values were reported as 8.05 mmol TE/L (Budak et al., 2022a) and 1.07 mmol/L (Güzel, 2024) for peach vinegar, as ranged between 0.44–3.98 µg TE/mL (Kılıç and Şengün, 2021) and 0.60 mg TE/L for fig vinegar, as 0.41 mg TE/L for blackberry vinegar, as 0.86 mg TE/L (Sengun et al., 2020) for apricot vinegar, as 8.14 mol TE/L and 27.35 mol TE/L (Özen et al., 2020), 2.00 mmol TE/L (Güzel, 2024) and 27.35 mmol TE/L (Budak et al., 2022b) for sour cherry vinegar, as 0.55 mg TE/L (Sengun et al., 2020), 842.00 mol TE/L (Özdemir et al., 2022a) and 31.41 mmol TE/L (Güzel, 2024) for rosehip vinegar.

DPPH values of the commercial fruit vinegar samples varied between 3.40 mg TE/L (B1: Peach vinegar) and 2079.00 mg TE/L (L1: Rosehip vinegar). The difference between the L1 sample, which exhibited the highest DPPH value, and all other samples was statistically significant ($P<0.05$). In contrast, the B1 sample, which had the lowest DPPH value, did not differ significantly from the A1, E2, and G2 samples ($p>0.05$); however, it showed statistically significant differences when compared to the other samples ($P<0.05$). In other studies, DPPH values were reported as 189.52 mg TE/kg (Boondaeng et al., 2022) for pineapple vinegar, as 1.03 mmol TE/L (Güzel, 2024) for peach vinegar, as 0.89 mg TE/L (Sengun et al., 2020) for apricot vinegar, as ranged between 1.25–7.51 mg TE/L (Kılıç and Şengün, 2021), 0.60 mg TE/L (Sengun et al., 2020), 0.79 mmol TE/L (Güzel, 2024) and

281.20 µg TE/L (Silva et al., 2024) for fig vinegar, as 341.00 µg TE/L (Silva et al., 2024) for apricot vinegar, as 0.41 mg TE/L for blackberry vinegar, as 0.55 mg TE/L (Sengun et al., 2020) and 24.03 mmol TE/L (Güzel, 2024) for rosehip vinegar.

FRAP values of the commercial fruit vinegar samples ranged between 10.27 mg TE/L (E2: Fig vinegar) and 5332.20 mg TE/L (L1: Rosehip vinegar). A statistically significant difference was observed between the L1 sample, which had the highest FRAP value, and all other samples ($P<0.05$). The difference between the E2 sample, which exhibited the lowest FRAP value, and the A1, B1, C1, F1, G1, and G2 samples was not

statistically significant ($P>0.05$), but the difference between the other samples is statistically significant ($P<0.05$).

For ABTS, DPPH and FRAP methods, the highest antioxidant activity was detected in the L1 coded rosehip vinegar sample. In other studies, FRAP values were reported as 5.31 mmol TE/L (Güzel, 2024) for peach vinegar, as 107.00 mg TE/L (Karadag et al., 2020) and 1.73 mmol TE/L (Güzel, 2024) for fig vinegar, as 581.00 mg TE/L for blackberry vinegar, as 366.00 mg TE/L (Karadag et al., 2020) and 167.06 mmol TE/L (Güzel, 2024) for rosehip vinegar.

Table 4. Antioxidant activity of commercial fruit vinegar samples

Sample	ABTS (mg TE/L)	DPPH (mg TE/L)	FRAP (mg TE/L)
A1	48.27 ± 1.93 ^{k*}	30.15 ± 1.06 ^{ik}	43.93 ± 1.03 ^{ik}
A2	209.64 ± 5.14 ^{ghjk}	62.40 ± 0.71 ^{hj}	208.07 ± 4.83 ^{fgh}
B1	74.18 ± 1.29 ^k	3.40 ± 0.71 ^k	119.29 ± 5.86 ^{hjk}
B2	694.91 ± 18.00 ^e	420.80 ± 5.66 ^c	609.37 ± 13.11 ^d
C1	67.82 ± 3.86 ^k	58.15 ± 2.47 ^{hj}	41.12 ± 1.55 ^{ik}
C2	230.09 ± 9.64 ^{ghjk}	126.40 ± 8.49 ^{fg}	166.85 ± 1.03 ^{ghj}
D1	1613.09 ± 61.71 ^c	190.65 ± 0.35 ^d	1257.17 ± 7.59 ^c
D2	894.91 ± 38.57 ^d	440.30 ± 0.71 ^c	668.39 ± 26.21 ^d
E1	321.45 ± 0.00 ^{fgh}	171.90 ± 14.85 ^{de}	273.93 ± 12.07 ^{efg}
E2	21.45 ± 1.29 ^k	7.15 ± 1.06 ^k	10.27 ± 0.69 ^k
F1	129.18 ± 3.21 ^{hjk}	71.65 ± 6.72 ^h	135.27 ± 2.93 ^{hjk}
F2	497.36 ± 0.64 ^f	126.40 ± 3.54 ^{fg}	355.88 ± 1.03 ^e
G1	170.09 ± 12.21 ^{ghjk}	50.90 ± 3.54 ^{hj}	143.07 ± 0.86 ^{ghjk}
G2	93.27 ± 2.57 ^{jk}	24.65 ± 2.47 ^{jk}	41.24 ± 3.10 ^{ik}
H1	299.64 ± 2.57 ^{fghj}	147.65 ± 0.35 ^{ef}	225.39 ± 10.69 ^{efgh}
H2	237.82 ± 5.14 ^{ghjk}	108.65 ± 0.35 ^g	224.41 ± 18.63 ^{efgh}
K1	327.82 ± 11.57 ^{fgh}	124.15 ± 3.89 ^{fg}	279.41 ± 3.28 ^{efg}
K2	368.27 ± 4.50 ^{fg}	123.15 ± 0.35 ^{fg}	320.27 ± 1.72 ^{ef}
L1	7710.91 ± 321.41 ^a	2079.00 ± 63.64 ^a	5332.20 ± 255.25 ^a
L2	5010.00 ± 263.56 ^b	1226.50 ± 31.82 ^b	3529.51 ± 20.70 ^b

*Small letters in the same column show difference between vinegar samples ($P<0.05$)

Results are given as mean ± standard deviation. A: Pineapple vinegar, B: Peach vinegar, C: Banana vinegar, D: Strawberry vinegar, E: Fig vinegar, F: Blackberry vinegar, G: Apricot vinegar, H: Gilaburu vinegar, K: Sour cherry vinegar, L: Rosehip vinegar, ABTS: Cation radical scavenging activity, DPPH: Free radical scavenging activity, FRAP: Ferric reducing antioxidant power

When both this study and the studies in literature were evaluated, it was determined that the antioxidant activities of vinegars were highly variable. The antioxidant activity of vinegars is highly related to the composition and amount of phenolic compounds of vinegars (Jeong et al., 2009; Xia et al., 2020). Furthermore, the coefficients of Pearson's correlation between TPC and ABTS, DPPH, FRAP were determined as 0.98, 0.95, 0.99, respectively in present study.

CONCLUSION

In this present study, fruit vinegars (pineapple, peach, banana, strawberry, fig, blackberry, apricot, gilaburu, sour cherry and rosehip) sold in the market were analyzed. Vinegar samples from two different brands were provided for each vinegar type. Titration acidity value of the vinegar samples (except F2: blackberry vinegar) were not in conformity with the TS 1880 EN 13188 vinegar standard. Fruit vinegar samples were quite different from each other in terms of pH value, dry matter and color values. In fact, significant differences were detected between different brands of the same vinegar sample. The highest total phenolic and total flavonoid compound values and antioxidant activity were determined in the rosehip vinegar sample. Rosehip vinegar is not very common on the market. Rosehip fruit which has a limited usage, can be processed into vinegar to obtain a functional product that is beneficial to health. Significant differences were determined between both different fruit vinegars and different brands of the same vinegar in terms of total phenolic and total flavonoid compound values and antioxidant activity. This study suggests that, in addition to the vinegar raw material, parameters such as raw material variety, raw material growing conditions, vinegar processing method should be taken into consideration as important factors in the physicochemical and bioactive properties of vinegar production.

CONFLICT OF INTEREST

The authors declare that they have no known competing financial interests or personal relationships that could have appeared to influence the work reported in this paper.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Semra Topuz Türker: Methodology, Formal analysis, Software, Writing-original draft; Mustafa Bayram: Supervision, Conceptualization, Writing-review & editing.

REFERENCES

- Adefegha, S.A., Oboh, G., Oluokun, O.O. (2022). Food bioactives: The food image behind the curtain of health promotion and prevention against several degenerative diseases. *Studies in Natural Products Chemistry*, 72: 391-421.
- Akbaş, M., Cabaroğlu, T. (2010). Ülkemizde üretilen bazı üzüm sirkelerinin bileşimleri ve gıda mevzuatına uygunlukları üzerine bir araştırma. *Gıda: The Journal of Food*, 35(3): 183-188.
- Alejandra, C.H.L., Diego, I.C., Diego, L.V., José, L.G.J., Lorena, L.G.M. (2023). Functional properties of bioactive compounds contained in vegetables commonly consumed in Mexico. *Studies in Natural Products Chemistry*, 79: 241-288.
- Anonymous (2003). TSE-Sirke-tarım kökenli sıvılardan elde edilen ürün-tarifler, özellikler ve işaretleme, TS 1880 EN 13188, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- AWRI (2024). Australian Wine Research Institute. Retrieved from: <https://awri.com.au> (Accessed: 02 May 2025).
- Bakir, S., Devencioglu, D., Kayacan, S., Toydemir, G., Karbancioglu-Guler, F., Capanoglu, E. (2017). Investigating the antioxidant and antimicrobial activities of different vinegars. *European Food Research and Technology*, 243: 2083-2094.
- Benzie, I.F.F., Strain, J.J. (1996). The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of "antioxidant power": The FRAP assay. *Analytical Biochemistry*, 239: 70-76.
- Bhat, S.V., Akhtar, R., Amin, T. (2014). An overview on the biological production of vinegar. *International Journal of Fermented Foods*, 3(2): 139-155.
- Blasi, F., Urbani, E., Simonetti, M.S., Chiesi, C., Cossignani, L. (2016). Seasonal variations in antioxidant compounds of *Olea europaea* leaves

- collected from different Italian cultivars. *Journal of Applied Botany and Food Quality*, 89: 202-207.
- Boondaeng, A., Kasemsumran, S., Ngowsuwan, K., Vaithanomsat, P., Apiwatanapiwat, W., Trakunjae, C., Janchai, P., Jungtheerapanich, S., Niyomvong, N. (2022). Comparison of the chemical properties of pineapple vinegar and mixed pineapple and dragon fruit vinegar. *Fermentation*, 8(11): 597.
- Boonsupa, W. (2019). Chemical properties, antioxidant activities and sensory evaluation of berry vinegar. *Walailak Journal of Science and Technology (WJST)*, 16(11): 887-896.
- Budak, H.N. (2010). Elma ve üzümünden üretilen sirkelerin bileşenleri ve fonksiyonel özellikleri üzerine araştırma. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı Doktora Tezi, Isparta, Türkiye, 185 s.
- Budak, N.H., Aykin, E., Seydim, A.C., Greene, A.K., Guzel-Seydim, Z.B. (2014). Functional properties of vinegar. *Journal of Food Science*, 79(5): R757-R764.
- Budak, N.H., Özdemir, N., Gökırmaklı, Ç. (2022a). The changes of physicochemical properties, antioxidants, organic, and key volatile compounds associated with the flavor of peach (*Prunus cerasus* L. Batsch) vinegar during the fermentation process. *Journal of Food Biochemistry*, 46(6): e13978.
- Budak, H.N., Filiz, B.E., Çetin, E.S., Gökırmaklı, Ç. (2022b). Antimicrobial activity of different kinds of traditional vinegar and its relationship with antioxidant properties. *The Annals of the University Dunarea De Jos of Galati. Fascicle VI-Food Technology*, 46(1): 140-154.
- CAC (2000). Codex Alimentarius Comission, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy.
- Cemeroğlu, B.S. (2013). *Gıda Analizleri*. Bizim Grup Basımevi, Ankara, Türkiye, 480 s. ISBN: 978-605-63419-3-9.
- Chen, G.L., Zheng, F.J., Lin, B., Yang, Y.X., Fang, X.C., Verma, K.K., Yang, L.F. (2023). Vinegar: A potential source of healthy and functional food with special reference to sugarcane vinegar. *Frontiers in Nutrition*, 10: 1145862.
- Cosmulescu, S., Stoenescu, A.M., Trandafir, I., Tuşulescu, F. (2022). Comparison of chemical properties between traditional and commercial vinegar. *Horticulturae*, 8(3): 225.
- Dash, U.C., Bhol, N.K., Swain, S.K., Samal, R.R., Nayak, P.K., Raina, V., Panda, S.K., Kerry, R.G., Duttaroy, A.K., Jena, A.B. (2024). Oxidative stress and inflammation in the pathogenesis of neurological disorders: Mechanisms and implications. *Acta Pharmaceutica Sinica B*, 15(1): 15-34.
- De Leonardis, A., Macciola, V., Iftikhar, A., Lopez, F. (2022). Antioxidant effect of traditional and new vinegars on functional oil/vinegar dressing-based formulations. *European Food Research and Technology*, 248(6): 1573-1582.
- Duman, A.D., Türkmen, A. (2024). The determination of chemical composition in some vinegars and compliance with food legislation. *African Journal of Biotechnology*, 23(12): 354-360.
- Erdal, B., Yıkımsı, S., Demirok, N.T., Bozgeyik, E., Levent, O. (2022). Effects of non-thermal treatment on gilaburu vinegar (*Viburnum opulus* L.): Polyphenols, amino acid, antimicrobial, and anticancer properties. *Biology*, 11(6): 926.
- Finley, J.W., Kong, A.N., Hintze, K.J., Jeffery, E.H., Ji, L.L., Lei, X.G. (2011). Antioxidants in foods: state of the science important to the food industry. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 59(13): 6837-6846.
- Gaafar, A.A., Salama, Z.A. (2013). Phenolic compounds from artichoke (*Cynara scolymus* L.) by-products and their antimicrobial activities. *Journal of Biology, Agriculture and Healthcare*, 3(1): e6.
- Gokırmaklı, Ç., Budak, N.H., Guzel-Seydim, Z.B., Seydim, A.C., Filiz, B.E., Karakulak, I.D. (2019). Antioxidant properties of strawberry vinegar. *International Journal of Food Engineering*, 5(3): 171-174.

- Gullo, M., Giudici, P. (2008). Acetic acid bacteria in traditional balsamic vinegar: phenotypic traits relevant for starter cultures selection. *International Journal of Food Microbiology*, 125(1): 46-53.
- Güzel, M. (2024). Determination of total phenolic, flavonoid and monomeric anthocyanin contents and antioxidant properties of 15 different fruit vinegars produced by traditional method. *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 13(3): 844-851.
- Ho, C.W., Lazim, A.M., Fazry, S., Zaki, U.K.H.H., Lim, S.J. (2017). Varieties, production, composition and health benefits of vinegars: A review. *Food Chemistry*, 221: 1621-1630.
- Jang, Y.K., Lee, M.Y., Kim, H.Y., Lee, S., Yeo, S.H., Baek, S.Y., Lee, C.H. (2015). Comparison of traditional and commercial vinegars based on metabolite profiling and antioxidant activity. *Journal of Microbiology and Biotechnology*, 25(2): 217-226.
- Jeong, C.H., Choi, G.N., Kim, J.H., Kwak, J.H., Kang, S.T., Choi, S.G., Heo, H.J. (2009). In vitro antioxidant properties and phenolic composition of Korean commercial vinegars. *Food Science and Biotechnology*, 18(5): 1258-1262.
- Kang, M., Ha, J.H., Lee, Y. (2020). Physicochemical properties, antioxidant activities and sensory characteristics of commercial gape vinegars during long-term storage. *Food Science and Technology*, 40(4): 909-916.
- Karadag, A., Bozkurt, F., Bekiroglu, H., Sagdic, O. (2020). Use of principal component analysis and cluster analysis for differentiation of traditionally-manufactured vinegars based on phenolic and volatile profiles, and antioxidant activity. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*, 70(4): 347-360.
- Kılıç, G., Şengün, İ.Y. (2021). Fig vinegar as an antioxidant and antimicrobial agent. *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, 9(4): 822-828.
- Liu, S., Chang, X., Liu, X., Shen, Z. (2016). Effects of pretreatments on anthocyanin composition, phenolics contents and antioxidant capacities during fermentation of hawthorn (*Crataegus pinnatifida*) drink. *Food Chemistry*, 212: 87-95.
- Melkis, K., Jakubczyk, K. (2024). The chemical profiles and antioxidant properties of live fruit or vegetable vinegars available on the Polish food market. *Foods*, 13(10): 1488.
- Mokhtar, S.I., Pahirulzaman, K.A.K., Xuan, F.Y. (2020). Antibacterial properties of natural tropical fruit vinegars against *Propionibacterium acnes*, *Staphylococcus epidermidis* and *Staphylococcus aureus* bacteria. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 596(1): 012090, IOP Publishing.
- Özdemir, N., Pashazadeh, H., Zannou, O., Koca, I. (2022a). Phytochemical content, and antioxidant activity, and volatile compounds associated with the aromatic property, of the vinegar produced from rosehip fruit (*Rosa canina* L.). *LWT*, 154: 112716.
- Özdemir, G.B., Özdemir, N., Ertekin-Filiz, B., Gökırmaklı, Ç., Kök-Taş, T., Budak, N.H. (2022b). Volatile aroma compounds and bioactive compounds of hawthorn vinegar produced from hawthorn fruit (*Crataegus tanacetifolia* (lam.) pers.). *Journal of Food Biochemistry*, 46(3): e13676.
- Özen, M., Özdemir, N., Filiz, B.E., Budak, N.H., Kök-Taş, T. (2020). Sour cherry (*Prunus cerasus* L.) vinegars produced from fresh fruit or juice concentrate: Bioactive compounds, volatile aroma compounds and antioxidant capacities. *Food Chemistry*, 309: 125664.
- Pathak, A., Mishra, S., Shankar, P., (2022). Chemical characterization and antioxidant property of fermented banana vinegar. *International Journal of Modern Pharmaceutical Research*, 6(5): 89-91.
- Pavlidis, M., Papandroulakis, N., Divanach, P. (2006). A method for the comparison of chromaticity parameters in fish skin: preliminary results for coloration pattern of red skin Sparidae. *Aquaculture*, 258(1-4): 211-219.
- Rahman, M., Uddin, M.B., Aziz, M.G., Haque, M.R., Siddiki, M.S.R. (2024). Quality assessment of vinegar produced from pineapple wastes utilizing both laboratory-isolated *Acetobacter* spp.

- and reference strain *Acetobacter pasteurianus* DSM-2324. *Journal of Agriculture, Food and Environment (JAFE)*, 5(2): 1-6.
- Re, R., Pellegrini, N., Progettante, A., Pannala, A., Yang, M., Rice-Evans, C. (1999). Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radical Biology & Medicine*, 26: 1231–1237.
- Sengun, I.Y. (2013). Microbiological and chemical properties of fig vinegar produced in Turkey. *African Journal of Microbiology Research*, 7(20): 2332-2338.
- Şengün, İ.Y., Kılıç, G. (2019). Farklı sirke çeşitlerinin mikrobiyolojisi, biyoaktif bileşenleri ve sağlık üzerine etkileri. *Akademik Gıda*, 17(1): 89-101.
- Sengun, I.Y., Kilic, G., Ozturk, B. (2020). Screening physicochemical, microbiological and bioactive properties of fruit vinegars produced from various raw materials. *Food Science and Biotechnology*, 29: 401-408.
- Silva, V., Mehrpour, G., Soares, V., Santo, D., Nunes, P., Quintas, C. (2024). Quality and biological properties of vinegar processed from non-valorized fruits in Southern Portugal. *Future Foods*, 9: 100337.
- Sossou, S.K., Ameyapoh, Y., Karou, S.D., De Souza, C. (2009). Study of pineapple peelings processing into vinegar by biotechnology. *Pakistan Journal of Biological Sciences: PJBS*, 12(11): 859-865.
- Tekin, S. (2014). Elma ve üzüm sirkelerinin ağır metal içeriklerinin ICP-MS (İndüktif eşleşmiş plazma-kütle spektrometresi) ile belirlenmesi. Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, Ankara, Türkiye, 74 s.
- Tesfaye, W., Morales, M.L., Garcia-Parrilla, M.C., Troncoso, A.M. (2002). Wine vinegar: technology, authenticity and quality evaluation. *Trends in Food Science & Technology*, 13(1): 12-21.
- Tomar, O., Çağlar, A., Akarca, G., Vatansever, H. (2020). Physicochemical and sensory quality properties of yellow hawthorn fruit (*Crataegus tanacetifolia*) vinegar produced by traditional fermentation method. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 19: 176-181.
- Topuz, S., Bayram, M. (2022). Oleuropein extraction from leaves of three olive varieties (*Olea europaea* L.): Antioxidant and antimicrobial properties of purified oleuropein and oleuropein extracts. *Journal of Food Processing and Preservation*, 46(6): e15697.
- Turhan, E.Ü., Canbaş, A. (2016). Chemical and sensory properties of vinegar from Dimrit grape by submerged and surface method. *Gıda/The Journal of Food*, 41(1): 1-7.
- Xia, T., Zhang, B., Duan, W., Zhang, J., Wang, M. (2020). Nutrients and bioactive components from vinegar: A fermented and functional food. *Journal of Functional Foods*, 64: 103681.

DETERMINATION OF THE EFFECTS OF HEAT TREATMENT APPLIED TO ANCHOVY ON PUTREFACTION BY ELECTRONIC NOSE

Emre YAVUZER*

Department of Food Engineering, Faculty of Engineering, Niğde Ömer Halisdemir University, Niğde, Türkiye

Received /Geliş: 16.05.2025; Accepted /Kabul: 09.07.2025; Published online /Online baskı: 04.08.2025

Yavuzer, E. (2025). Determination of the effects of heat treatment applied to anchovy on putrefaction by electronic nose. GIDA (2025) 50 (4) 620-628 doi: 10.15237/ gida.GD25066

Yavuzer, E. (2025). Hamsiye Uygulanan Isıl İşlemin Kokuşma Üzerine Etkilerinin Elektronik Burun İle Belirlenmesi, GIDA (2025) 50 (4) 620-628 doi: 10.15237/ gida.GD25066

ABSTRACT

In this study, the effect of heat treatment on the putrefaction levels of anchovy fish was investigated using an electronic nose system. Sensor data (MQ3, MQ4, MQ5, MQ9, MQ131, MQ135, MQ136, MQ137, MQ138, MQ139, MG811 and TGS813) obtained from raw and cooked anchovy samples during storage periods and the sensitivity of the sensors to odour changes were analysed. Based on the differences of their signals (ΔS) between two states, the effect of heat treatment on the odour dynamics was modelled by linear regression models. For example, modelling results for the MQ136 sensor were determined in the form $\Delta S(t) = -16.59t + 37.33$ ($R^2 = 0.84$), showing that cooking significantly decreases sensor responses over time. The findings indicated that cooking was found to delay odorization, likely due to changes in lipid oxidation and volatile compound dynamics, and that low-cost sensors can be developed into an advanced electronic nose system.

Keywords: Anchovy, electronic nose, MQ sensor, heat treatment, putrefaction

HAMSIYE UYGULANAN ISIL İŞLEMİN KOKUŞMA ÜZERİNE ETKİLERİNİN ELEKTRONİK BURUN İLE BELİRLENMESİ

ÖZ

Bu çalışmada, hamsi balıklarının bözülme seviyelerine ısıl işlemin etkisi elektronik burun sistemi kullanılarak araştırılmıştır. Depolama süreleri boyunca çiğ ve pişmiş hamsi örneklerinden elde edilen sensör verileri (MQ3, MQ4, MQ5, MQ9, MQ131, MQ135, MQ136, MQ137, MQ138, MQ139, MG811 ve TGS813) ve sensörlerin koku değişikliklerine olan hassasiyetleri analiz edilmiştir. İki durum arasındaki sinyal farklılıklarına (ΔS) dayanarak, ısıl işlemin koku dinamikleri üzerindeki etkisi doğrusal regresyon modelleri ile modellenmiştir. Örneğin, MQ136 sensörü için modelleme sonuçları $\Delta S(t) = -16.59t + 37.33$ ($R^2 = 0.84$) biçiminde belirlenmiş ve ısıl işlemin sensör tepkilerini zamanla önemli ölçüde azalttığını göstermiştir. Bulgular, pişirmenin muhtemelen lipid oksidasyonu ve uçucu bileşik dinamiklerindeki değişiklikler nedeniyle koku oluşumunu geciktirdiğini ve düşük maliyetli sensörlerin gelişmiş bir elektronik burun sistemine dönüştürülebileceğini göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Hamsi, elektronik burun, MQ sensörü, ısıl işlem, çürüme

* Corresponding author / Sorumlu yazar

✉: eyavuzer@ohu.edu.tr

☎: (+90) 388 225 2341

Emre Yavuzer; ORCID no: 0000-0002-9192-713X

INTRODUCTION

Seafood has an important place in human nutrition with its high protein content, long-chain fatty acids and essential vitamin-mineral profiles. Anchovy (*Engraulis encrasicolus*) stands out among these products as a species with high economic and nutritional value (Crisinel et al., 2012; Dağtekin et al., 2022). According to worldwide catch data, anchovy is a seafood product consumed intensively especially in the Mediterranean and Black Sea basins (Moon & Kim, 2024; Ye et al., 2024). Omega-3 fatty acids offer various health advantages thanks to their beneficial components such as vitamin B12 and selenium (Öğretmen, 2022; Park et al., 2018). However, the high water activity and protein content of anchovies make it a food that is susceptible to microbial growth and oxidation, hence the risk of rapid spoilage (Özoğul, 2004). Controlling the spoilage process of thermally treated or raw anchovies is critical to safeguard public health and minimize economic losses. In the literature, quality determination methods of fish and fish products are generally based on chemical analyses such as TVB-N, TBARS and PV and microbiological analyses such as TAMB and TAPB (Özoğul et al., 2013; Yavuzer, 2018, 2020). However, these methods have limitations in terms of both cost and time. Especially in rapidly perishable foods, the necessity to carry out the quality determination process with faster and more economical methods encourages the search for new technologies (Wang et al., 2022).

Electronic nose systems are a quality control technology that has become increasingly widespread in the food industry in recent years. These systems are used to determine spoilage levels by detecting volatile components emitted from foodstuffs (Lu et al., 2022). In particular, electronic nose systems integrated with open-source, cost-effective microcontrollers such as Arduino offer low-cost and user-friendly solutions (Yavuzer, 2021). Previous studies have demonstrated the effectiveness of electronic noses in detecting quality changes in fish and other foods (Al Isyrafie et al., 2022; Amorim et al., 2021; Yavuzer et al., 2024).

In this study, the effectiveness of electronic nose technology in determining the spoilage limits of raw and cooked anchovies due to thermal stress was investigated. The low-cost Arduino-based sensor system used in the study offers a feasible model for producers, consumers and the food industry due to its fast solution and easy redesign of the data obtained.

MATERIAL and METHODS

Electronics Components Used in the Device

In the study, the data inputs and outputs of the odour sensors were provided and processed by Arduino Mega 2560 R3, an open source physical programming platform. Arduino Mega 2560 R3 Development Board is an Atmega 2560 based microcontroller board with 54 digital input/output pins. Due to the necessity of using multiple sensors in the study, Arduino Mega Sensor Shield Board was also used. The electronic nose we developed in our previous study (Yavuzer, 2021) was modified and strengthened with additional sensors. Firstly, the device was operated empty for 30 minutes without any sample in order to narrow the ambient odours. Subsequently, sensor readings from the samples placed inside the device were obtained by subtracting the empty readings. The new electronic nose obtained by using MQ3, MQ4, MQ5, MQ9, MQ131, MQ135, MQ136, MQ137, MQ138, MQ139, MG811 and TGS813 sensors is shown in Figure 1 and the specifications of the sensors are given in Table 1.

Fish Material

The anchovies used in the study were caught in the Black Sea/Trabzon/Turkey and delivered to our laboratory under cold chain conditions. The raw anchovy group, whose internal organs were cleaned in an aseptic environment, were immediately subjected to analysis using the electronic nose system. A total of 2 kg of anchovies of homogeneous size (12 ± 3 cm) were used in the study. Real-time (1 per minute) sensor readings were taken at room temperature ($24^\circ\text{C} \pm 3$) and the mean and standard deviations of the readings at 0, 2, 4, 6, 8, 10 and 12 hours were processed for the study data. In order to obtain the cooked anchovy group, the anchovy

fish was cooked in oil at 170 ± 15 degrees for about 5 minutes. All sensor readings for the raw anchovy sample were performed for the cooked anchovy.

Table1. The sensors used in the study and the gases they measure

Sensor	Measurement
MQ3	Detects the presence of alcohol gas at an appropriate range of concentrations between 0.04mg / L and 4mg
MQ4	Detects the presence of methane (CNG) natural gas
MQ5	Isobutane and propane detection
MQ9	High sensitivity to hydrogen but low sensitivity to alcohol vapor
MQ131	Detects carbon monoxide (CO) in the environment.
MQ135	Detects the amount of ammonia, alcohol vapor, benzene, smoke and carbon dioxide gases
MQ136	Hydrogen sulphide gas sensor
MQ137	Ammonia sensor
MQ138	Acetone, alcohol, toluene,
MQ139	Freon Gas sensor
MG811	Air Carbon Dioxide Sensor
TGS813	Methane, propane and butane sensor

Mathematical Modeling

Prior to data acquisition, sensors were calibrated using clean air baselines, and all readings were normalized to initial conditions from raw and cooked anchovies. The cooking process changes the VOC levels and this change is detected by different sensors during the storage period. For each sensor, the effect of the cooking process was modelled as follows:

$$\Delta S_i(t) = a_i \cdot t + b_i$$

Where;

$\Delta S_i(t)$: post-cooking odour difference (cooked-raw) for sensor i , at storage time t hours

a_i : Coefficient representing the rate of change (slope) of the measurement difference with respect to the storage time.

b_i : Constant representing the initial measurement difference.

t : Storage time (hours).

i : Sensor number $i \in \{MQ3, MQ4, \dots, TGS813\}$

Statistical Analyses

All analyses were conducted in triplicate, and the results are presented as mean values $\pm$ standard deviation (S.D). Data were subjected to analysis of variance (one-way ANOVA).

RESULTS AND DISCUSSION

Although the electronic nose used in the study was calibrated in clean air, the system was operated empty for the first half hour in order to prevent the existing density in the environment from affecting the total odour level. The empty sensor data were recorded and averaged in minutes and then the odour change of the sample added to the environment was processed. Table 2 shows the empty sensor reading averages.

Table2. Average of the initial (empty) values of the sensors.

MQ3	MQ4	MQ5	MQ9	MQ131	MQ135	MQ136	MQ137	MQ138	MQ139	MG811	TGS813
265	255	80	235	50	33	349	396	291	351	11	176

The hourly increments of the sensors for raw anchovy are given in Table 3. All sensors with the exception of MG811, detected odour changes in anchovies due to thermal stress. The stability in odour changes increased steadily from hour zero

to hour 12 for sensors MQ3, MQ4, MQ9 and MQ136, whereas a decrease was observed only in the last hour for sensors MQ5, MQ131, MQ135, MQ137, MQ138, MQ139 and TGS813.

Table 3. Hourly increments of sensors for raw anchovy.

Hours	MQ3 $\bar{x} \pm \text{Sd}$	MQ4 $\bar{x} \pm \text{Sd}$	MQ5 $\bar{x} \pm \text{Sd}$	MQ9 $\bar{x} \pm \text{Sd}$	MQ131 $\bar{x} \pm \text{Sd}$	MQ135 $\bar{x} \pm \text{Sd}$
0	4 $\pm$ 0.02 ^{aD}	35 $\pm$ 1.41 ^{bH}	4 $\pm$ 0.08 ^{aD}	16 $\pm$ 0.09 ^{aF}	-12 $\pm$ 0.22 ^{bA}	10 $\pm$ 0.12 ^{aE}
2	22 $\pm$ 0.32 ^{bE}	33 $\pm$ 0.14 ^{aF}	21 $\pm$ 0.04 ^{bE}	32 $\pm$ 1.05 ^{bF}	-25 $\pm$ 0.18 ^{aA}	15 $\pm$ 0.91 ^{bD}
4	46 $\pm$ 0.12 ^{cD}	55 $\pm$ 1.13 ^{cE}	32 $\pm$ 0.09 ^{cC}	88 $\pm$ 0.21 ^{cF}	177 $\pm$ 1.44 ^{cH}	169 $\pm$ 0.55 ^{gG}
6	76 $\pm$ 0.09 ^{dD}	128 $\pm$ 0.44 ^{dE}	58 $\pm$ 1.12 ^{dC}	125 $\pm$ 1.42 ^{dE}	325 $\pm$ 3.52 ^{dD}	152 $\pm$ 1.74 ^{fF}
8	107 $\pm$ 0.85 ^{eC}	198 $\pm$ 1.85 ^{eF}	178 $\pm$ 1.78 ^{eE}	255 $\pm$ 2.24 ^{eG}	420 $\pm$ 1.32 ^{fC}	122 $\pm$ 2.06 ^{eD}
10	171 $\pm$ 0.14 ^{fD}	355 $\pm$ 1.88 ^{fF}	228 $\pm$ 2.77 ^{gE}	418 $\pm$ 3.19 ^{fI}	467 $\pm$ 3.44 ^{gK}	95 $\pm$ 0.13 ^{dC}
12	188 $\pm$ 0.92 ^{gD}	402 $\pm$ 1.98 ^{gJ}	204 $\pm$ 2.55 ^{fE}	498 $\pm$ 1.92 ^{gL}	405 $\pm$ 2.22 ^{eK}	44 $\pm$ 1.18 ^{cC}
Hours	MQ136 $\bar{x} \pm \text{Sd}$	MQ137 $\bar{x} \pm \text{Sd}$	MQ138 $\bar{x} \pm \text{Sd}$	MQ139 $\bar{x} \pm \text{Sd}$	MG811 $\bar{x} \pm \text{Sd}$	TGS813 $\bar{x} \pm \text{Sd}$
0	-8 $\pm$ 0.09 ^{aB}	52 $\pm$ 1.52 ^{aI}	52 $\pm$ 0.12 ^{aI}	30 $\pm$ 0.25 ^{aG}	1 $\pm$ 0.01 ^{aC}	41 $\pm$ 0.04 ^{aG}
2	6 $\pm$ 0.04 ^{bB}	252 $\pm$ 3.24 ^{bJ}	118 $\pm$ 1.22 ^{bH}	171 $\pm$ 2.24 ^{bI}	8 $\pm$ 0.01 ^{dC}	48 $\pm$ 0.01 ^{bG}
4	28 $\pm$ 0.08 ^{cB}	361 $\pm$ 1.45 ^{cJ}	305 $\pm$ 2.44 ^{cI}	242 $\pm$ 0.11 ^{cE}	5 $\pm$ 0.05 ^{eA}	178 $\pm$ 2.23 ^{cH}
6	29 $\pm$ 0.54 ^{cB}	402 $\pm$ 0.41 ^{dI}	458 $\pm$ 2.68 ^{gJ}	398 $\pm$ 0.55 ^{dH}	4 $\pm$ 0.01 ^{bA}	352 $\pm$ 1.95 ^{dG}
8	33 $\pm$ 2.23 ^{dB}	445 $\pm$ 1.65 ^{eJ}	405 $\pm$ 1.28 ^{fH}	492 $\pm$ 2.95 ^{gK}	4 $\pm$ 0.02 ^{bA}	442 $\pm$ 2.48 ^{eI}
10	38 $\pm$ 1.32 ^{eB}	401 $\pm$ 0.65 ^{dH}	380 $\pm$ 0.49 ^{eG}	458 $\pm$ 1.64 ^{fJ}	5 $\pm$ 0.08 ^{eA}	472 $\pm$ 1.62 ^{fI}
12	41 $\pm$ 0.22 ^{fB}	362 $\pm$ 2.84 ^{eH}	354 $\pm$ 1.45 ^{dG}	440 $\pm$ 0.42 ^{eA}	4 $\pm$ 0.04 ^{bA}	351 $\pm$ 2.94 ^{fI}

Different letters (a – g) in the same column and different letters (A – L) in the same row show significant differences ($p < 0.05$)

The 12 different sensors used in our study measured the time variation of volatile organic compounds from cooked anchovies. The data were analysed to determine the effect of heat treatment on the putrefaction process. Reading data of MQ3, MQ4, MQ5, MQ9, MQ131 and MQ135 sensors on raw and cooked anchovy is given in Figure 1. Previous studies (Yavuzer, 2020, 2021, 2023) have shown that the MQ3 sensor is a successful sensor for detecting odour changes in fish meat. An increase in data was observed during 0-12 hours of storage, with a significant peak at 12 hours, indicating the formation of alcohol during spoilage. The MQ4 and MQ5 sensors are sensitive to combustible gases such as methane and propane, and the negative values of MQ4 in particular are associated with the suppression of methane-type gases in cooked anchovies. This may also be attributed to the reduced emission of combustible gases released as a result of denaturation of proteins by heat. An increase in the data was observed during 0-12 hours of storage with a significant peak at 12 hours, indicating the formation of alcohol during spoilage. The MQ4 and MQ5 sensors are sensitive to combustible gases such as methane and propane, and the negative values of MQ4 in particular are associated with the suppression of methane-type gases in cooked anchovies. This can also be

explained by the low level of combustible gases released as a result of denaturation of proteins by heat. The cooking process almost completely stopped methane production, limiting microbial activity. In other studies on methane detection, it has been reported that the MQ4 sensor can be used to monitor anaerobic processes of food spoilage (Viciano-Tudela et al., 2023; Yavuzer et al., 2024). The sensitivity of the MQ9 sensor to gases such as carbon monoxide and methane showed an increasing trend from the 2nd hour onwards and peaked at the 10th hour. This supports the formation of carbon-based gases during lipid oxidation. The accumulation of gases such as carbon monoxide and methane during spoilage in raw fish indicated increased microbial and enzymatic activities, and cooking significantly reduced the release of these gases. These findings are supported by other studies in which the MQ9 sensor for carbon monoxide detection was associated with food spoilage (Darvishi et al., 2024). The MQ131 sensor for monitoring oxidation processes is an effective tool for air quality analyses (Kumar & Doss, 2023). The MQ131 sensor also showed a stable increase in the cooked anchovy data, indicating that oxidative processes are ongoing. It shows that oxidising gases accumulate in raw anchovies during spoilage, but this process is limited in cooked anchovies.

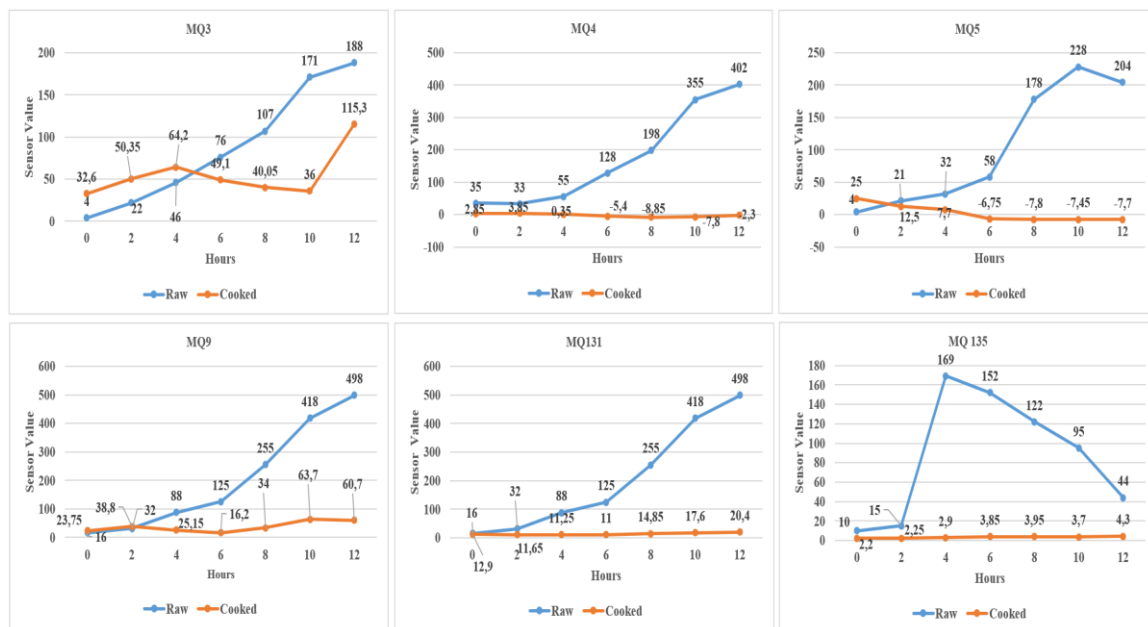


Figure1. Reading data of MQ3, MQ4, MQ5, MQ9, MQ131 and MQ135 sensors on raw and cooked anchovy

MQ135 is a sensor sensitive to ammonia and similar gases that affect air quality. It has been reported in the literature that the MQ135 sensor is effective in detecting ammonia during food spoilage (Astuti et al., 2021). Reading data of MQ136, MQ137, MQ138, MQ139, MG811 and

TGS813 sensors on raw and cooked anchovy is given in Figure 2. MQ136, MQ137 and MQ138 sensors are sensitive to sulfur compounds, ammonia and aromatic hydrocarbons, and all three are elevated at advanced stages of spoilage.

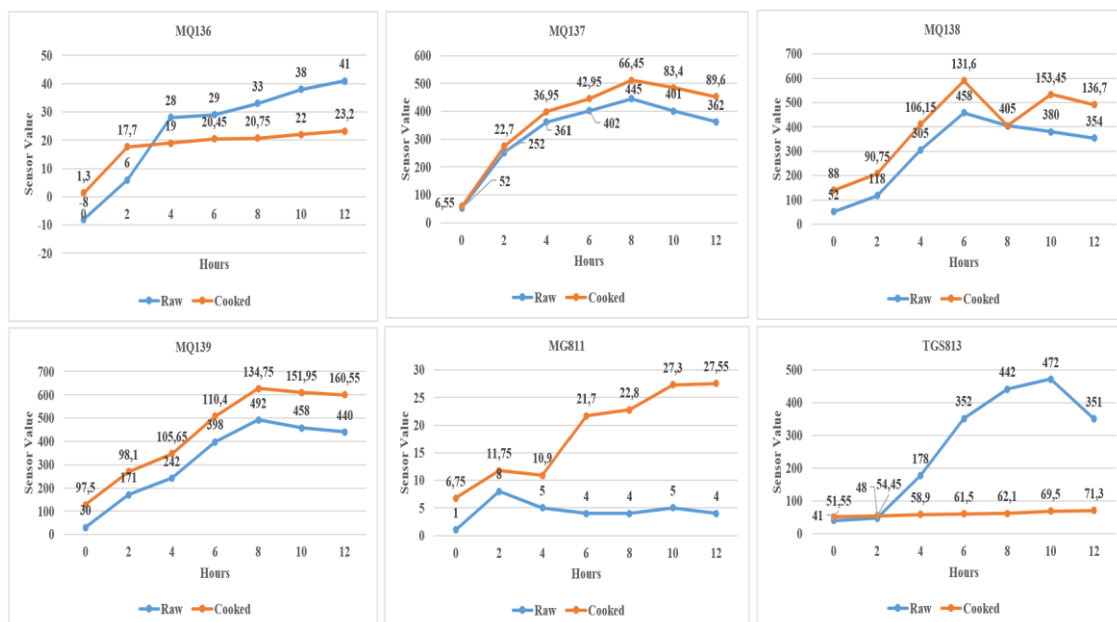


Figure 2. Reading data of MQ136, MQ137, MQ138, MQ139, MG811 and TGS813 sensors on raw and cooked anchovy

MQ139, a sensor sensitive to organic solvents, reflected the amount of aldehyde and ketone type compounds in cooked anchovies and showed a time-dependent increase. The TGS813 sensor showed high sensitivity to carbon-based gases and showed increases in cooked anchovies confirming spoilage.

The data obtained with the combination of these sensors reveals the thermal degradation process of proteins, fats and carbohydrates. The accelerating effect of heat treatment on the putrefaction process has been similarly reported in food spoilage analyses in the literature. (Schneedorferová et al. 2015)

Table 4. Hourly increments of sensors for cooked anchovies.

Hours	MQ3 $\bar{x} \pm Sd$	MQ4 $\bar{x} \pm Sd$	MQ5 $\bar{x} \pm Sd$	MQ9 $\bar{x} \pm Sd$	MQ131 $\bar{x} \pm Sd$	MQ135 $\bar{x} \pm Sd$
0	32.60 $\pm$ 2.57 ^{aG}	2.85 $\pm$ 0.12 ^{FB}	25.00 $\pm$ 0.93 ^{cf}	23.75 $\pm$ 3.46 ^{bF}	12.90 $\pm$ 3.46 ^{abE}	2.20 $\pm$ 0.22 ^{aB}
2	50.35 $\pm$ 3.41 ^{dG}	3.85 $\pm$ 0.25 ^{gB}	12.50 $\pm$ 0.09 ^{dD}	38.80 $\pm$ 2.63 ^{dF}	11.65 $\pm$ 1.48 ^{aC}	2.25 $\pm$ 0.16 ^{aA}
4	64.20 $\pm$ 3.31 ^{eK}	0.35 $\pm$ 0.03 ^{eA}	7.70 $\pm$ 3.63 ^{cC}	25.15 $\pm$ 3.23 ^{bG}	11.25 $\pm$ 0.53 ^{aE}	2.90 $\pm$ 0.13 ^{aB}
6	49.10 $\pm$ 2.83 ^{dI}	-5.40 $\pm$ 0.49 ^{cB}	-6.75 $\pm$ 2.42 ^{bA}	16.20 $\pm$ 2.81 ^{aE}	11.00 $\pm$ 2.85 ^{aD}	3.85 $\pm$ 0.23 ^{bC}
8	40.05 $\pm$ 1.82 ^{cG}	-8.85 $\pm$ 0.77 ^{aA}	-7.80 $\pm$ 3.01 ^{aB}	34.00 $\pm$ 1.21 ^{cA}	14.85 $\pm$ 0.61 ^{cD}	3.95 $\pm$ 0.71 ^{bC}
10	36.00 $\pm$ 3.82 ^{bF}	-7.80 $\pm$ 0.12 ^{bA}	-7.45 $\pm$ 2.76 ^{aA}	63.70 $\pm$ 1.41 ^{fG}	17.60 $\pm$ 2.25 ^{dC}	3.70 $\pm$ 0.33 ^{bB}
12	115.30 $\pm$ 2.98 ^{fJ}	-2.30 $\pm$ 0.40 ^{dB}	-7.70 $\pm$ 1.91 ^{aA}	60.70 $\pm$ 2.18 ^{eG}	20.40 $\pm$ 2.01 ^{cD}	4.30 $\pm$ 0.01 ^{cC}
	MQ136 $\bar{x} \pm Sd$	MQ137 $\bar{x} \pm Sd$	MQ138 $\bar{x} \pm Sd$	MQ139 $\bar{x} \pm Sd$	MG811 $\bar{x} \pm Sd$	TGS813 $\bar{x} \pm Sd$
0	1.30 $\pm$ 0.09 ^{aA}	6.55 $\pm$ 1.02 ^{aD}	88.00 $\pm$ 5.32 ^{aI}	97.50 $\pm$ 3.93 ^{aJ}	6.75 $\pm$ 0.08 ^{aC}	51.55 $\pm$ 2.33 ^{aH}
2	17.70 $\pm$ 1.29 ^{bE}	22.70 $\pm$ 1.52 ^{bF}	90.75 $\pm$ 2.14 ^{bJ}	98.10 $\pm$ 2.42 ^{aK}	11.75 $\pm$ 0.6 ^{bC}	54.45 $\pm$ 0.12 ^{bH}
4	19.00 $\pm$ 2.12 ^{cF}	36.95 $\pm$ 0.36 ^{cH}	106.15 $\pm$ 2.84 ^{cL}	105.65 $\pm$ 3.88 ^{bL}	10.90 $\pm$ 0.1 ^{bD}	58.90 $\pm$ 2.28 ^{cJ}
6	20.45 $\pm$ 1.84 ^{dF}	42.95 $\pm$ 1.88 ^{dH}	131.60 $\pm$ 3.23 ^{dK}	110.40 $\pm$ 3.71 ^{cJ}	21.70 $\pm$ 0.12 ^{cG}	61.50 $\pm$ 1.88 ^{dD}
8	20.75 $\pm$ 1.52 ^{dE}	66.45 $\pm$ 2.51 ^{eI}	149.90 $\pm$ 2.42 ^{fK}	134.75 $\pm$ 2.55 ^{dJ}	22.80 $\pm$ 0.22 ^{dF}	62.10 $\pm$ 1.42 ^{dH}
10	22.00 $\pm$ 0.20 ^{eD}	83.40 $\pm$ 0.71 ^{fI}	153.45 $\pm$ 3.62 ^{gJ}	151.95 $\pm$ 4.35 ^{eJ}	27.30 $\pm$ 0.41 ^{eE}	69.50 $\pm$ 2.23 ^{eH}
12	23.20 $\pm$ 0.11 ^{fE}	89.60 $\pm$ 3.55 ^{gI}	136.70 $\pm$ 2.44 ^{eK}	160.55 $\pm$ 2.38 ^{fL}	27.55 $\pm$ 0.16 ^{eF}	71.30 $\pm$ 2.88 ^{eH}

Different letters (a – g) in the same column and different letters (A – I) in the same row show significant differences ($p < 0.05$)

The cooking process alters the levels of volatile organic compounds levels and this change is detected by different sensors during the storage period. For example, according to the regression results for the MQ9 sensor, which we modelled with the highest accuracy:

$$\Delta S_{MQ9}(t) = -39.56 \cdot t + 70.28$$

This equation shows that the cooking-induced effect of the MQ9 sensor decreases with time, with an initial difference of 70.28 units. As the storage time increased (t), the difference was observed to decrease by 39.56 units per hour.

A regression analysis was performed to estimate the measurement differences between raw and cooked anchovies over time and to quantitatively understand the effect of cooking on odour and to model the effect of cooking. The aim is to create a mathematical model to explain the variations in sensor measurements. Time (Hours) and sensor measurement differences (cooked vs. raw) were used as independent variables, while a multiple

regression model was created to see which sensors provided the strongest effects. For this, an independent regression model was generated for each sensor (e.g. MQ3, MQ4, etc.). We started with a simple linear regression and then moved to a more complex model. As a first step, the linear relationship between time and measurement differences for each sensor was examined and modelled. The results of the regression analysis are given in Table 5. The relationship between time (Hours) and measurement differences (cooked - raw) was modelled for each sensor:

Among the sensors in the study, the strongest models ($R^2 > 0.85$) were MQ9, MQ4, MQ5, MG811 and MQ131. Especially MQ9 and MQ4 show significant effects on the change of odour components after cooking.

Weak Models ($R^2 < 0.5$): MQ135 and MQ137 failed to explain the measurement differences over time. Sensors with high R^2 values such as

MQ9 and MQ4 would be a more meaningful indicator to understand the effect of the cooking process, while these regression models can be

used to predict the change in odour level during the cooking process.

Table 5. Regression analysis on the effect of heat treatment on putrefaction.

Sensor	Coefficient	Intercept	R ² Value	Explanation
MQ9	-39.56	70.28	0.94	Strong negative relationship; the difference decreases over time.
MQ4	-34.57	32.67	0.91	Strong negative relationship; difference decreases rapidly.
MQ5	-23.46	39.38	0.90	Negative trend; decline over time is moderate.
MG811	1.85	2.89	0.88	Slightly positive relationship; difference increases over time.
MQ131	-43.57	24.66	0.85	Strong negative trend; difference decreases significantly.
MQ136	-2.50	8.91	0.83	Weak negative trend.
MQ3	-12.78	44.34	0.78	Negative trend; difference decreases over time.
MQ139	-30.86	-10.87	0.75	Moderate negative trend.
TGS813	-34.81	1.06	0.75	Strong negative relationship.
MQ138	-21.69	-43.48	0.52	Moderate negative trend.
MQ137	-16.28	-177.49	0.39	Weak relationship.
MQ135	-3.66	-61.47	0.06	Very weak relationship.

This study evaluated the effects of heat treatment of anchovies on putrefaction processes using an electronic nose system consisting of different gas sensors. MQ3, MQ4, MQ5, MQ9, MQ131, MQ135, MQ136, MQ137, MQ138, MG811 and TGS813 sensors were used to detect and characterise gas emissions from raw and cooked samples at different storage times.

The data obtained revealed that the sensor signals generally increased with increasing storage time in raw samples, indicating the accumulation of gases associated with putrefaction. In contrast, sensor responses in cooked samples remained relatively stable at lower levels, indicating that heat treatment suppresses microbial activity and gas formation. In particular, the sharp increases of sensors sensitive to sulphur compounds such as MQ136 and MQ137 in raw samples indicate that these gases are among the important markers of putrefaction. On the other hand, MQ138 and MG811 sensors offered more effective monitoring of carbon-based and organic compounds, which allowed a wider range of odour profiles to be evaluated.

CONCLUSION

The effect of cooking on the putrefaction process was evaluated by linear regression models on sensor data and it was found that odour changes were more pronounced in raw samples. These results suggest that heat treatment may affect not only microbial spoilage but also gaseous emissions due to lipid oxidation and protein denaturation. These findings demonstrate that electronic nose systems can be effectively employed in food safety and quality control processes. In conclusion, this study has demonstrated quantitatively how heat treatment affects odour formation due to spoilage in sensitive foods such as anchovies and proved the potential of electronic nose systems in such evaluations. In the future, further investigation of the effects of different cooking methods and conditions on odour dynamics will enable the development of more comprehensive modelling for food freshness and safety.

Declaration of Generative AI and AI-assisted technologies in the writing process

During the preparation of this work, the authors used ChatGPT, a language model developed by

Open AI, to improve the readability and clarity of the text. After using this tool, the authors reviewed and edited the content as needed and took full responsibility for the content of the publication.

REFERENCES

- Al Isyrafie, A. I. F., Kashif, M., Aji, A. K., Aidatuzzahro, N., Rahmatillah, A., Winarno, Susilo, Y., Syahrom, A., Astuti, S. D. (2022). Odor clustering using a gas sensor array system of chicken meat based on temperature variations and storage time. *Sensing and Bio-Sensing Research*, 37, 100508. <https://doi.org/10.1016/J.SBSR.2022.100508>
- Amorim, T. L., Fuente, M. A. de la, Oliveira, M. A. L. de, Gómez-Cortés, P. (2021). ATR-FTIR and Raman Spectroscopies Associated with Chemometrics for Lipid Form Evaluation of Fish Oil Supplements: A Comparative Study. *ACS Food Science and Technology*, 1(3), 318–325. https://doi.org/10.1021/ACSFOODSCITECH.0C00122/ASSET/IMAGES/LARGE/FS0C00122_0004.JPEG
- Astuti, S. D., Tamimi, M. H., Pradhana, A. A. S., Alamsyah, K. A., Purnobasuki, H., Khasanah, M., Susilo, Y., Triyana, K., Kashif, M., Syahrom, A. (2021). Gas sensor array to classify the chicken meat with *E. coli* contaminant by using random forest and support vector machine. *Biosensors and Bioelectronics*: X, 9, 100083. <https://doi.org/10.1016/J.BIOSX.2021.100083>
- Crisinel, A.-S., Cosser, S., King, S., Jones, R., Petrie, J., Spence, C. (2012). A bittersweet symphony: Systematically modulating the taste of food by changing the sonic properties of the soundtrack playing in the background. *Food Quality and Preference*, 24(1), 201–204. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2011.08.009>
- Dağtekin, M., Gücü, A. C., Genç, Y. (2022). Concerns about illegal, unreported and unregulated fishing, carbon footprint, and the impact of fuel subsidy - An economic analysis of the Black Sea anchovy fishery. *Marine Policy*, 140, 105067. <https://doi.org/10.1016/J.MARPOL.2022.105067>
- Darvishi, P., Mirzaee-Ghaleh, E., Ramedani, Z., Karami, H., Wilson, A. D. (2024). Detecting whey adulteration of powdered milk by analysis of volatile emissions using a MOS electronic nose. *International Dairy Journal*, 157, 106012. <https://doi.org/10.1016/J.IDAIRYJ.2024.106012>
- Kumar, T., Doss, A. (2023). AIRO: Development of an Intelligent IoT-based Air Quality Monitoring Solution for Urban Areas. *Procedia Computer Science*, 218, 262–273. <https://doi.org/10.1016/J.PROCS.2023.01.008>
- Lu, L., Hu, Z., Hu, X., Li, D., Tian, S. (2022). Electronic tongue and electronic nose for food quality and safety. *Food Research International*, 162, 112214. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2022.112214>
- Moon, S. Y., Kim, H. (2024). Feeding habits of Pacific anchovy, *Engraulis japonicus* (Actinopterygii: Clupeiformes: Engraulidae), captured off the southern coasts of Korea. *Acta Ichthyologica et Piscatoria*, 54, 1–11. <https://doi.org/10.3897/AIEP.54.109601>
- Öğretmen, Ö. Y. (2022). The effect of migration on fatty acid, amino acid, and proximate compositions of the Black Sea anchovy (*Engraulis encrasicolus*, Linne 1758) from Turkey, Georgia, and Abkhazia. *Journal of Food Composition and Analysis*, 105, 104197. <https://doi.org/10.1016/J.JFCA.2021.104197>
- Özoğul, F. (2004). Production of biogenic amines by *Morganella morganii*, *Klebsiella pneumoniae* and *Hafnia alvei* using a rapid HPLC method. *European Food Research and Technology*, 219(5), 465–469. <https://doi.org/10.1007/s00217-004-0988-0>
- Özoğul, F., Yavuzer, E., Özoğul, Y., Kuley, E. (2013). Comparative Quality Loss in Wild and Cultured Rainbow Trout (*Oncorhynchus mykiss*) during Chilling Storage. *Food Science and Technology Research*, 19(3), 445–454. <https://doi.org/10.3136/fstr.19.445>
- Park, J. A., Joo, S. Y., Cho, M. S., Oh, J. E. (2018). Changes in the physicochemical and microbiological properties of dried anchovy *Engraulis japonicus* during storage. *Fisheries*

- Science*, 84(6), 1091–1098. <https://doi.org/10.1007/S12562-018-1244-Z/TABLES/2>
- Viciano-Tudela, S., Parra, L., Navarro-Garcia, P., Sendra, S., Lloret, J. (2023). Proposal of a New System for Essential Oil Classification Based on Low-Cost Gas Sensor and Machine Learning Techniques. *Sensors* 2023, Vol. 23, Page 5812, 23(13), 5812. <https://doi.org/10.3390/S23135812>
- Wang, B., Deng, J., Jiang, H., Chen, Q. (2022). Electronic nose signals-based deep learning models to realize high-precision monitoring of simultaneous saccharification and fermentation of cassava. *Microchemical Journal*, 182, 107929. <https://doi.org/10.1016/J.MICROC.2022.107929>
- Yavuzer, E. (2018). Development of defective fish egg sorting machine with colour sensor for trout facilities. *Aquaculture Research*, 49(11), 3634–3637. <https://doi.org/10.1111/are.13831>
- Yavuzer, E. (2020). Determination of rainbow trout quality parameters with Arduino microcontroller. *Journal of Food Safety*, 40(6). <https://doi.org/10.1111/jfs.12857>
- Yavuzer, E. (2021). Determination of fish quality parameters with low cost electronic nose. *Food Bioscience*, 41, 100948. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2021.100948>
- Yavuzer, E. (2023). Rapid detection of sea bass quality level with machine learning and electronic nose. *International Journal of Food Science & Technology*, 58(5), 2355–2359. <https://doi.org/10.1111/IJFS.16365>
- Yavuzer, E., Köse, M., Uslu, H. (2024). Determining the quality level of ready to-eat stuffed mussels with Arduino-based electronic nose. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 18(7), 5629–5637. <https://doi.org/10.1007/s11694-024-02593-9>
- Ye, Y., Zhou, T., Liu, T., Shi, W. (2024). Quality-based selection of the optimal hot air gradient drying method for anchovy and modeling of drying kinetics. *Aquaculture and Fisheries*. <https://doi.org/10.1016/J.AAF.2024.03.002>

MİKOTOKSİNLERİN DETOKSİFİKASYONUNDA KULLANILAN FİZİKSEL, KİMYASAL ve BİYOLOJİK YÖNTEMLER

Hilal DEMİRPENÇE , Devrim BEYAZ²**

¹ Aydın Adnan Menderes Üniversitesi, Koçarlı Meslek Yüksekokulu, Kimya ve Kimyasal İşleme Teknolojileri
Bölümü, Aydın, Türkiye,

²Aydın Adnan Menderes Üniversitesi, Veteriner Fakültesi, Besin/Gıda Hijyeni ve Teknolojisi Anabilim Dalı,
Aydın, Türkiye

Geliş / Received 11.04.2025; Kabul / Accepted: 21.01.2025; Online baskı / Published online: 04.08.2025

Demirpençe, H., Beyaz, D. (2025). Mikotoksinlerin detoksifikasyonunda kullanılan fiziksel, kimyasal ve biyolojik yöntemler. GIDA (2025) 50 (4) 629-643 doi: 10.15237/ gida.GD25052

Demirpençe, H., Beyaz, D. (2025). *Physical, chemical and biological methods used in detoxification of micotoxins. GIDA (2025) 50 (4) 629-643 doi: 10.15237/ gida.GD25052*

ÖZ

Mikotoksinler, halk sağlığı üzerinde oluşturdukları tehdit ve ekonomilere olan olumsuz etkileri nedeniyle dünya çapında önemli bir sorun olarak kabul edilmektedir. Bu nedenle, gıdalarda mikotoksinlerin önlenmesi, kısmen azaltılması veya tamamen ortadan kaldırılmasına yönelik çalışmalar önem taşımaktadır. Gıdalardaki mikotoksinleri engellemek için uygulanan ısıtma işlemi, fermantasyon ve ışınlama gibi bazı endüstriyel ve evsel işlemler incelendiğinde, bu işlemlerin mikotoksinlerin tamamen uzaklaştırılmasında yetersiz kaldığı gözlemlenmiştir. Bu sebeple son yıllarda mikotoksinlerin kontrol altına alınabilmesi amacıyla tamamlayıcı stratejiler ve yenilikçi yöntemlerin geliştirilmesine odaklanılmıştır. Mikotoksin detoksifikasyonu için fiziksel (ışınlama, soğuk plazma, yüksek basınç, darbeli elektrik alanları), kimyasal (amonyak, kitosan, ozon) ve biyolojik (laktik asit bakterileri, probiyotikler) birçok yöntem kullanılmaktadır. Fiziksel ve kimyasal yöntemlerle karşılaştırıldığında, biyolojik yöntemlerle detoksifikasyon süreçleri, gıda ürünlerinin besin değerlerinde daha az kayba neden oldukları için en umut verici yaklaşım olarak değerlendirilmektedir.

Anahtar kelimeler: Mikotoksinler, detoksifikasyon, gıda güvenliği, halk sağlığı

PHYSICAL, CHEMICAL AND BIOLOGICAL METHODS USED IN DETOXIFICATION OF MICOTOXINS

ABSTRACT

Mycotoxins are recognized as a major problem worldwide due to the threat they pose to public health and their negative impact on economies. Therefore, efforts to prevent, partially reduce or completely eliminate mycotoxins in foods are important. When some of the industrial and domestic processes such as heat treatment, fermentation and irradiation applied to prevent mycotoxins in foods are examined, it has been observed that these processes are insufficient to completely remove mycotoxins. Therefore, recent years have focused on the development of complementary strategies and innovative methods to control mycotoxins. Many physical (irradiation, cold plasma, high pressure, pulsed electric fields), chemical (ammonia, chitosan, ozone) and biological (lactic acid bacteria, probiotics) methods are used for mycotoxin detoxification. Compared to physical and

*Sorumlu yazar / Corresponding author

✉: hilaldemirpençe@hotmail.com

☎: (+90) 506 232 1414

Hilal Demirpençe ORCID no: 0000-0001-6121-8909

Devrim Beyaz; ORCID no: 0000-0001-8935-9850

chemical methods, detoxification processes by biological methods are considered to be the most promising approach as they cause less loss of nutritional value of food products.

Key words: Mycotoxins, detoxification, food safety, public health

GİRİŞ

Mikotoksinler, belirli küfler tarafından üretilen ve küflerin geliştiği birçok gıdada doğal olarak oluşan sekonder toksik bileşiklerdir. Mikotoksinler, özellikle güçlü kanserojen madde olmaları, karaciğere zarar vermeleri ve bağışıklık sistemini baskılamaları ile insan ve hayvan sağlığı açısından ciddi tehlike oluşturmaktadırlar. Bu nedenle etkili gıda güvenliği uygulamaları; küflerin oluşumunu ve kontaminasyonunu önlemek, gıdaların uygun şekilde depolanmasını işlenmesini ve izlenmesini sağlamak için düzenleyici faaliyetler belirlemek gibi önlemleri içermektedir (Silva ve diğerleri, 2022; Bahari ve diğerleri, 2024).

Mikotoksinler; yerfıstığı, tahıllar, mısır, buğday gibi bitkisel gıdalar ve et, süt, yumurta gibi hayvansal gıdalarda tek başına veya kombinasyon halinde bulunabilmektedir. İnsanlar ve hayvanlar, mikotoksinlerle kontamine olmuş bitkisel ve hayvansal ürünlerin tüketimi yoluyla mikotoksinlere maruz kalmaktadırlar (Xu ve diğerleri, 2022; Silva ve diğerleri, 2022). Mikotoksinin küfler tarafından üretimi belirli çevresel faktörler tarafından uyarılmaktadır. Bu nedenle kontaminasyonun derecesi coğrafi konuma, tarımsal yöntemlere, depolama ve işleme dönemlerinde ürünlerin küf penetrasyonuna duyarlılığına göre değişmektedir (Adeyeye, 2016). İnsan ve hayvanlarda gıda yoluyla mikotoksine maruz kalındığında oluşabilecek akut, kronik, mutajenik ve teratojenik toksik etki mekanizmaları, bu toksinlerin gıdalarda bulunma dozları ve süreleri ile ilişkilendirilmektedir (Nesic ve diğerleri, 2021; Petrovic ve diğerleri, 2023). Mikotoksinlerin toksisiteleri yalnızca hayvan ve insan sağlığını olumsuz olarak etkilemekle kalmaz, aynı zamanda büyük çevresel değişikliklere de neden olur. Toksisitesinin derecesi, maruz kalma süresi, mikotoksin türü, besin değeri gibi çeşitli faktörlere bağlı olsa da, zararlı etkileri göz ardı edilmemelidir (Balwan ve diğerleri, 2023).

Küflerin mikotoksin üretebilmesi için gerekli optimum sıcaklık $25.5 \pm 5.5^\circ\text{C}$ 'dir. Mikotoksin gelişimi daha düşük sıcaklıklarda da (10°C 'nin

altında) meydana gelebilmektedir. Ancak gelişme süresi normalden daha uzun ve toksin konsantrasyonu daha az olmaktadır. Gıdada mikotoksin gelişimi için optimum su aktivitesinin (a_w) 0.83-0.9 aralığında olması gerekmektedir. Küf gelişimi ve mikotoksin üretimi için yüksek bağıl nem (%70-90) de önemli olmaktadır (Janik ve diğerleri, 2020).

Mikotoksinler çok stabildir ve gıda işleme proseslerine dayanabilmektedir (Awuchi ve diğerleri, 2021). Mikotoksinlerin gıdalarda oluşturduğu sağlık risklerini azaltmanın ya da önlemenin olası üç yolu bulunmaktadır. Bunlar; kontaminasyonun engellenmesi, mikotoksinlerin tüketicinin sindirim sistemi tarafından emiliminin engellenmesi ve mikotoksinlerin gıdalardan arındırılmasıdır. Detoksifikasyon yani arındırma işlemi, gıdalardaki mikotoksin düzeyini azaltmada en uygun yöntem olarak görülmektedir. Dünya genelinde mikotoksinlerin genellikle sağlık ve ekonomik yönden ortaya çıkardığı problemlerden dolayı gıdalarda mikotoksinlerin engellenmesi, kısmen azaltılması veya tamamen yok edilmesine yönelik çalışmalar artmıştır (Muhialdin ve diğerleri, 2020). Bu çalışma ile mikotoksinlerin önemi, detoksifikasyon yöntemleri ve bu yöntemlerin etkinliğinin detaylı bir şekilde karşılaştırılması amaçlanmıştır.

GIDALARDA KÜF VE MİKOTOKSİNLERİN ÖNEMİ

Mikotoksinler, besin kısıtlamaları ve aşırı karbon kaynağının varlığı nedeniyle küf gelişimi durduğunda üretilen toksinlerdir. Gıdalarda mikotoksinlerin bulunması tüketiciler için büyük bir tehdit oluşturmakta ve başlıca küresel sağlık sorunlarından birisi olarak kabul edilmektedir. Bazı gıdalarda bulunan mikotoksinler Çizelge 1'de gösterilmiştir (Balwan ve diğerleri, 2023).

Günümüzde iklim değişikliği gıda güvenliğini, yüksek sıcaklık, karbondioksit artışı, yağış miktarı ve dağılımı mikotoksin kontaminasyonu ve buna sebep olan etkilerde artış gibi tüm yönleriyle olumsuz etkilemektedir. Atmosferde sera

gazlarının artıyor olması küresel ısınmaya sebep olmakta ve bunun sonucunda hava sıcaklığının yılda 0,03°C artması beklenmektedir. Sıcaklık artışına bağlı olarak gıdalarda mikotoksin üretiminin artacağı tahmin edilmektedir. Günümüzde dünya çapında tahıl ve ürünlerinin

yaklaşık %25-50'si mikotoksinlerle kontamine olup, bu oranın %5-10'u tüketilebilir durumda olmamaktadır. Bunun sonucunda önemli ekonomik kayıplar meydana gelmektedir (Morshedi ve diğerleri, 2023).

Çizelge 1. Gıdalar ve Farklı Mikotoksin Kontaminasyonları (El-Sayed ve diğerleri, 2022; Muaz ve diğerleri, 2022; Morshedi ve diğerleri, 2023)

Gıda Grubu	Mikotoksinler
Tahıllar	Trikotesenler, Aflatoksinler, Fumonisinler, Zearalenonlar, Okratoksin
Baharatlar	Okratoksin
Yağlı tohumlar	Aflatoksinler, Okratoksin
Kuruyemişler	Aflatoksinler, Okratoksinler
Meyve ve Sebzeler	Patulin, Okratoksinler
Kahve ve Kakao	Okratoksinler
Süt	Aflatoksinler, Fumonisinler, Zearalenonlar, Okratoksinler
Yumurta	Zearalenonlar, Okratoksinler
Mısır	Fumonisinler, Zearalenonlar
Peynir	Aflatoksin M1

Mikotoksinler, hem insanlar hem de hayvanlar için akut kroniğe varıncaya kadar çeşitli sağlık sorunlarına neden oldukları için gıda güvenliği ile ilgili en önemli endişelerden birisi olarak kabul edilmektedir. Aflatoksinler, okratoksin (OTA, OTB, OTC) fumonisinler, deoksinivalenol, zearalenon, patulin gıdalarda bulunabilen ve insanların sağlığı üzerinde olumsuz etkileri olan başlıca mikotoksinlerdir (Aloui ve diğerleri, 2023). Gıdalarda mikotoksin üreten en önemli küf türleri; *Aspergillus*, *Fusarium* ve *Penicillium*'dur (Elkenany ve Awad, 2020).

Son araştırmalara göre, insan ve hayvan sağlığı için önemli bir tehdit oluşturan 500'den fazla mikotoksin tanımlanmıştır (Saghir ve Bancroft, 2024). Küresel toksisite seviyelerine göre, en yaygın mikotoksin olan aflatoksinler küresel toksik yükün %35'ini oluşturmaktadır. Aflatoksinler, özellikle sıcak ve nemli iklimlerde mısır ve fıstık gibi ürünlerde yaygın olarak bulunmakta ve kanserojen özellikleriyle bilinmektedir. Aflatoksinlerin ardından, okratoksin A ve deoksinivalenol (DON) toplam mikotoksin yükünün %20'sini oluşturmaktadır. Okratoksin A genellikle tahıllarda, kahvede ve

kurutulmuş meyvelerde bulunmakta olup nefrotoksisite oluşumu ile ilişkilidir. DON ise tahıllarda bulunmakta ve akut gastrointestinal rahatsızlığa neden olmaktadır. Küresel mikotoksin kontaminasyonunun %15'ini oluşturan fumonisinler mısırdaki yaygındır ve yemek borusu kanserinin oluşuma neden olmaktadır. Son olarak, küresel yükün %10'undan sorumlu olan zearalenon, tahıllarda bulunan ve özellikle çiftlik hayvanlarında hormonal dengeyi bozan östrojenik bir mikotoksindir (Mafe ve Busselberg 2024). Çizelge 2'de gıdalarda bulunan bazı mikotoksinlerin insanlarda neden olduğu sağlık problemleri ve mikotoksin oluşturan küf türleri özetlenmiştir.

MİKOTOKSİNLERİN DETOKSİFİKASYONU

İlaç, mutajen veya kanserojen gibi zararlı bileşenlerin insan vücudundan ve gıdalardan uzaklaştırılması veya etkisiz hale getirilmesi işlemi detoksifikasyon olarak tanımlanmaktadır. Gıdalarda bulunan mikotoksinler hem insanlar hem de hayvanlar için potansiyel olarak kanserojen, mutajenik, teratojenik, sitotoksik, nörotoksik, nefrotoksik, östrojenik ve

immünoşüpresan etkilere sahiptir. Gıdaların mikotoksinlerle kontaminasyonu, insanlar ve hayvanlar için küresel bir sağlık riski ve büyük ekonomik sorunlar oluşturmaktadır. İyi tarım ve üretim uygulamaları mikotoksin kontaminasyonunu önlemede önemli bir etken oluşturmaktadır. Ancak bu uygulamalar

mikotoksin kontaminasyonunu önlemede tam olarak etkili olmadığı için fiziksel, kimyasal ve biyolojik yöntemler ve farklı yenilikçi yaklaşımlar da dahil olmak üzere çeşitli detoksifikasyon yöntemleri geliştirilmiştir (Piotrowska, 2021; Zhao ve diğerleri, 2023).

Çizelge 2. Gıdalarda Bulunan Bazı Mikotoksinlerin İnsanlarda Oluşturduğu Sağlık Problemleri (El-Sayed ve diğerleri, 2022; Balwan ve diğerleri, 2023; Khan ve diğerleri, 2024)

Mikotoksinler	Küf Cinsleri/Türleri	Hastalık Nedeni/Toksik Etkileri
Aflatoksin	<i>A. flavus</i> , <i>A. parasiticus</i> , <i>A. nomius</i> , <i>A. pseudotamarii</i> , <i>A. ochraceoseus</i> , <i>A. bombycis</i>	Kanserojen, Hepatoksitite, DNA yapısının değişmesi, Bağışıklık sistemlerinin baskılanması, Bağırsak kanalında ve böbreklerde kanama, Fetal gelişimde anormallikler
Fumonisin	<i>F. oxysporum</i> , <i>F. nyagamai</i> , <i>F. proliferatum</i> , <i>F. verticillioides</i> , <i>F. culmorum</i>	Yemek borusu ve karaciğer kanserleri, Nörotoksisite, Kalp yetmezliği
Okratoksin	<i>A. ochraceus</i> , <i>A. niger</i> , <i>A. carbonarius</i> , <i>P. nordicum</i> , <i>P. viridicatum</i> , <i>P. verrucosum</i>	Böbrek yetmezliği ve karaciğer hasarı, İştahsızlık, Mide bulantısı ve kusma
Zearalenon	<i>F. cerealis</i> , <i>F. graminearum</i> , <i>F. equiseti</i> , <i>F. culmorum</i> , <i>F. verticillioides</i>	Bağışıklık sistemi baskılanması, Kanserojen
Trikotesen	<i>F. cephalosporium</i> , <i>Trichoderma</i> , <i>F. oxysporum</i> , <i>Stachybotrys</i> , <i>Trichothecium</i>	Kanserojen, Hormonal dengesizlik, Östrojenik etki, Üreme sorunları, Teratojenik etki, Protein sentezi inhibitörü, Anemi, Bağışıklık sistemi baskılanması
Patulin	<i>P. expansum</i> , <i>P. patulum</i> , <i>P. urticae</i> , <i>P. crustosum</i> , <i>P. Griseofulvum</i>	Kanserojen, Mutajenlik, Teratojenlik, Sinirsel bozukluklar, Böbreklerde hasar, Cilt problemleri, Beyin hasarı

Fiziksel yöntemlerle detoksifikasyon

Fiziksel detoksifikasyon; başka toksik madde oluşturmayan, teknik olarak uygulanabilir olan, yüksek detoksifikasyon verimliliğine sahip, gıdaya ve içerdiği besin maddelerine minimum oranda zarar veren, kimyasal kullanımını gerektirmeyen, düşük maliyetli ve çevre dostu bir yöntemdir. Fiziksel detoksifikasyon yöntemlerinden; ısı işlem (sıcaklık uygulaması), ışınlama, soğuk plazma (termal olmayan), yüksek basınç ve darbeli elektrik alanları üzerine yapılan araştırmalar oldukça ilgi çekmektedir (Wang ve diğerleri, 2023). Fiziksel detoksifikasyon yöntemleri, istenmeyen maddeyi fiziksel yollarla uzaklaştırmayı veya onu ana bileşikten daha az toksisiteye sahip veya zararsız bir bileşiğe dönüştürmeyi hedeflemektedir (Schrenk ve diğerleri, 2024).

Sıcaklık uygulamasında, mikotoksinler genellikle termal olarak çok karardır ve nadiren termal işlemlerle ortamdaki uzaklaştırılabilirler. Gıdalarda kızartma, kavurma ve ekstrüzyon işlemlerinde kullanılan daha yüksek sıcaklıklar mikotoksin kontaminasyonunu azaltabilmektedir (Karlovska ve diğerleri, 2016). Gıdalarda bulunan mikotoksinlerin detoksifikasyonunda kontaminasyonun ilk seviyesi, toksinin ve gıdanın türü, ısısal işlem süresi, gıdanın nem içeriği ve pH'ı, sıcaklığın gıdaya penetrasyon derecesi önemli olan parametrelerdir (Agriopoulou ve diğerleri, 2020). Bileşiminde yüksek yağ ve protein içeren gıdalar, mikotoksin detoksifikasyonunda yüksek sıcaklık uygulamaya uygun değildir (Afsah-Hejri ve diğerleri, 2020). Isısal işlemlerle

mikotoksinlerin azaltılması sağlanabilmekte ancak tamamen ortadan kaldırılmasında tek başına yeterli olmamaktadır (Ryu ve diğerleri, 2008). Ayrıca, ısısal işlemlerin gıdaların besinsel ve organoleptik özelliklerini olumsuz yönde etkilemesinden dolayı gıda endüstrisi termal olmayan yöntemlere giderek daha fazla ilgi duymaktadır (Sipos ve diğerleri, 2021).

Işınlama, gıda kontaminasyonunu gidermek için uygulanan termal olmayan fiziksel bir muhafaza yöntemidir. İyonlaştırıcı radyasyon (gama ışınları) ve iyonlaştırıcı olmayan radyasyon (ultraviyole ışık, güneş ışığı, mikrodalgalar) olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Bu radyasyon türlerinin her ikisinin de patojen mikroorganizmalar üzerinde öldürücü ya da sayılarını belli oranda azaltıcı, mikotoksinlerin üretimini durdurdurucu ve gıdada hali hazırda bulunan mikotoksinleri etkili bir şekilde parçalayıcı etkileri bulunmaktadır (Wang ve diğerleri, 2023). Gama ışınlamanın detoksifikasyon etkisi gıdaların nem içeriği, mikotoksin türleri, mikotoksin başlangıç kontaminasyon oranı, gama ışınlamanın dozu gibi faktörlere bağlıdır (Calado ve diğerleri, 2018; Peng ve diğerleri, 2023). Su ve diğer bileşenlerin radyolizi nedeniyle oluşan serbest radikallerin (hidrojen, süperoksit ve hidroksil iyonu) reaksiyonu sonucu oluşan dolaylı etkiler ışınlama ile detoksifikasyona neden olmaktadır (Guo ve diğerleri, 2021; Mir ve diğerleri, 2021).

Ultraviyole radyasyon (UV), gıda endüstrisinde dekontaminasyon için yaygın olarak kullanılan termal olmayan bir teknolojidir (Babaeie ve diğerleri, 2021). Ultraviyole radyasyon, dalga boyu aralığı 100 ile 400 nm arasında olan bir ışıktır. Elektromanyetik spektrumdaki dalga boyuna göre UVA (315–400 nm), UVB (280–315 nm) ve UVC (200–280 nm) olarak alt bölümlere ayrılmaktadır (Peng ve diğerleri, 2023). Ultraviyole ışınlama, fotoliz yoluyla kimyasal kontaminasyon kaynaklarını parçalamak için kullanılan etkili bir fiziksel teknolojidir. Yapılan araştırmalar, mikotoksinlerin detoksifikasyonunda UV ışınlamanın etkinliğinin özellikle UVC formunda olduğunu açıkça göstermiştir (Alnaemi ve diğerleri, 2025). UV, mikroorganizmaların hücre zarına nüfuz ederek DNA zincirlerindeki bitişik

timin ve sitozin bazıları arasında çapraz bağlanmaya neden olabilmektedir. Böylece DNA replikasyonunu ve transkripsiyonunu inhibe ederek, hücre fonksiyonunu bozmakta ve apoptotik hücre ölümünü başlatmaktadır. Mikotoksinlerin çoğu UV ışığını absorbe ettiği ve fotokatalitik bozunma reaksiyonlarına girdiği için UV ile detoksifiye edilebilmektedir. UV, gıdalardan mikrobiyal ve mikotoksin kontaminasyonunu gidermek için en yaygın kullanılan yöntemlerden birisidir (Wang ve diğerleri, 2024). Ultraviyole radyasyon zayıf bir penetrasyona sahip olduğu için sıklıkla katı yüzeylere veya şeffaf sıvılara uygulanmaktadır (Peng ve diğerleri, 2023).

Maddenin dördüncü hali olarak kabul edilen plazma, birçok yüklü parçacık (OH^- , H_2O^+ , elektronlar), reaktif bileşikler (reaktif oksijen türleri, hidroksil radikal, süperoksit anyon hidrojen peroksit ve reaktif nitrojen türleri, peroksinitrit), uyarılmış ve bazik hallerdeki moleküller ve UV fotonları içeren bir tür iyonize gazdır. Soğuk plazma sürecinde yer alan mikroorganizmaların yıkılma mekanizması henüz açıklığa kavuşturulmamıştır. Yapılan çalışmalarla mikrobiyal hücrelerin inaktivasyonu doğrulanmış, aralarındaki ilişkiler ise ayrıntılı olarak araştırılmamıştır. Biyolojik materyalle temas ettiğinde, oksijenden veya nitrojenden türetilen bileşikler, yani O , O_2 , O_3 , OH , NO ve NO_2 , yüksek reaktivite ile karakterize edilmektedir (Niedzwiedz ve diğerleri, 2019). Soğuk plazma yöntemiyle mikotoksinlerin detoksifiye edilmesinde spesifik mekanizmalar mikroorganizmalarda olduğu gibi açıklığa kavuşturulamamıştır. Mikotoksin bozunmasını açıklamak için yalnızca AFB1, ZEN ve patulinin mekanizmaları bildirilmiştir. AFB1'in bozunması, terminal furan halkasının C(8) ve C(9) bağından başlamakta ve nihai bozunma ürünü elde etmek için çeşitli bozunma yollarından geçmektedir. Soğuk plazma uygulaması ile AFB1'in terminal furan halkasındaki bu çift bağın olmadığı ortaya konmuş, lakton ve terminal furan halka modifikasyonu toksisite ile ilişkilendirilmiştir. Soğuk plazma ile patulin molekülündeki lakton ve hemiasetal yapıların bozulması ile patulin

toksitesinin önemli ölçüde azaldığı gözlemlenmiştir (Rao ve diğerleri, 2023).

Yüksek basınç uygulama teknolojisi, gıdayı bozulma etkenlerine karşı korumak için kullanılan, termal olmayan muhafaza ve sterilizasyon teknolojisidir. Bu teknolojiye, katı veya sıvı gıdalar yüksek basınca (genellikle 100 ila 1000 MPa aralığında) maruz bırakılmaktadır. Yüksek basınç, mikroorganizmaların, sporların, enzimlerin inaktivasyonuna neden olarak gıda ürünlerinin raf ömrünü, kalitesini, güvenliğini artırmaktadır. Ayrıca, yüksek basınç uygulanması ile mikotoksinlerin yapıları değiştirilmekte olup, toksisiteyi azaltılabilmektedir (Alizadeh ve diğerleri, 2021). Yüksek basınç işlemi; basınç seviyesi, basınçta geçen süre, işlem basıncına ulaşma süresi, adiabatik ısıtma, dekompresyon süresi, işlem sıcaklığı ve ürünün başlangıç sıcaklığı, gıdanın pH'ı bileşimi ve su aktivitesi, paketlenme malzemeleri ve işleme öncesi, depolama ve dağıtım sırasındaki dış faktörlerden etkilenmektedir (Woldemariam ve Emire, 2019).

Darbeli elektrik alanı, gıdayı işlemek için yüksek voltajlı ve kısa süreli darbeli elektrik alanı kullanan yeni bir gıda işleme teknolojisidir. Bu teknoloji ile mikroorganizmaların inaktivasyonu, mikotoksinlerin detoksifikasyonu, gıda kalitesinin iyileştirilmesi ve gıdanın raf ömrünün uzatılması işlemleri hedeflenmektedir. Darbeli elektrik alanı teknolojisinde, iki elektrot arasına yerleştirilen bir

ürüne kısa süreler boyunca farklı elektrik alanı gücünde (1–40 kV/cm) elektriksel işlemler uygulanmaktadır. Darbeli elektrik alanının düşük sıcaklıklarda mikroorganizmaları etkisiz hale getirmek için etkili bir yöntem olduğu bildirilmektedir. Sebzeler, meyve suları, süt ve sıvı yumurtalar gibi gıdaları sterilize etmek için yaygın olarak kullanılmaktadır. Darbeli elektrik alanının mikotoksinleri parçalamada iki şekilde etki mekanizması vardır. Birincisi, elektrik alanı tarafından üretilen yüksek voltaj ve kısa elektrik darbelerinin mikotoksin molekülleri üzerindeki doğrudan etkisidir. Bunun sonucunda kimyasal bağ kırılması veya redoks reaksiyonu meydana gelmektedir. İkincisi ise elektrik alanının, mikotoksinlerin bulunduğu hücre veya matris üzerindeki dolaylı etkisidir. Bu etki mikotoksinlerin fiziksel özelliklerini veya biyolojik aktivitesini değiştirmekte olup detoksifikasyona teşvik etmektedir. Darbeli elektrik alanı teknolojisi ile gıdaların oda sıcaklığında veya düşük sıcaklıklarda işlenebilmesi, böylece ısıl işlemde kaybolan besin ve lezzet kaybının önlenmesi sağlanmaktadır. Avantajlı yönleri olsa da darbeli elektrik alanı hala laboratuvarlarda gelişim aşamasındadır. Yatırım ve işletme maliyetleri diğer yöntemlere kıyaslandığında daha yüksektir. Aşırı elektrik alan yoğunluğu yüksek voltajlı darbe kaynaklarının ömrünü azaltabilmektedir (Pallares ve diğerleri, 2020; Wang ve diğerleri, 2024). Fiziksel yöntemlerle ilgili bazı çalışmalar Çizelge 3'de gösterilmiştir.

Çizelge 3. Fiziksel Detoksifikasyon Yöntemlerinin Kullanıldığı Bazı Çalışmalar

Fiziksel Yöntem	Gıda Ürünü/ Mikotoksin	Özet	Referans
Darbeli Işık	Elma suyu/Patulin	Glutasyon (125 mg/ L) ve Fe ²⁺ (10 mg/L) ilave edilmiş elma suyuna 64 J/cm ² enerji dozu uygulanmış ve patulinde %74 oranında azalma görülmüştür.	Rodriguez-Bencomo ve diğerleri, 2020
Darbeli Elektrik Alanı	Üzüm suyu ve Smoothie/ enniatinler ve beauverisi	Meyve sularında ve smoothielerde mikotoksin azalması %43 ila %70 arasında değişmiştir. 30 kV voltaj ve 3 kV/cm'lik bir alan gücü elde edilmiş, 500 kJ/kg enerji uygulanmıştır. İşlem süresince sıcaklık 75 °C'yi aşmamıştır.	Pallares ve diğerleri, 2020

Soğuk Plazma	İncir/AFB1, AFB2, AFG1, AFG2	Soğuk plazma işlemi 35 kV 30 kHz'de 15 dakika uygulanmıştır. Öneklerde AFB1, AFB2, AFG1, AFG2 miktarlarında sırasıyla %59.64, %92.24, %35.98 %48.02 azalmayla toplam aflatoksin miktarında azalma %62.91 olarak saptanmıştır.	Benzer Gürel, 2023
Soğuk Plazma	Kuru Üzüm/OTA	Farklı frekans (1250 ve 2000 Hz) ve süreler (2 ve 4 dakika) uygulanmıştır. OTA miktarında 2000 Hz 2 dakikada %69, 1250 Hz 4 dakikada %36.87 azalma saptanmıştır.	Akbulut, 2023
Yüksek Voltajlı Soğuk Plazma Gama Işınlama	Yağsız Süt/AFM1	Sütteki AFM1, süt renginde herhangi bir değişiklik olmaksızın 20 dakikada sırasıyla hava ve %65 oksijen içeren gaz kullanılması ile %65 ve %78.9 oranında parçalanmıştır.	Nguyen ve diğerleri, 2022
UV Işınlama	Süt/AFM1	Pastörize süte her gün 0.39 mGy doz ışınlama uygulanmış ve 4. günün sonunda %51.5, 8. günün sonunda ise %99 azalmıştır.	Hassanpour ve diğerleri, 2019
UV Işınlama	Yağsız Süt/AFM1	254 nm'de çalışan bir LED sistemi kullanılarak ışınlama gerçekleştirilmiştir. 20 dakikalık işlemin sonunda AFM1 %50 oranında azalmıştır.	Nguyen ve diğerleri, 2022
UV Işınlama	Süt/AFM1, AFB1	365 nm'de çalışan bir LED sistemi kullanılarak ışınlama gerçekleştirilmiştir. AFB1 ve AFM1 konsantrasyonlarını sırasıyla %78.2 (836 mJ/cm ² de) ve %65.7 (857 mJ/cm ² de) oranında azaltmıştır.	Kurup ve diğerleri, 2022
Yüksek Basınç Uygulama	Elma suyu/Patulin	Elma suyu, farklı patulin konsantrasyonlarıyla (5, 50 ve 100 ppb) yapay olarak kontamine edilmiştir. Sonuçlar, patulin seviyelerini %62.11'e kadar azalttığını göstermiştir.	Avsaroglu ve diğerleri, 2015

Kimyasal yöntemlerle detoksifikasyon

Kimyasal detoksifikasyon yöntemleri, istenmeyen bir maddenin toksik grubunu yok etmeyi veya toksin çözünürlüğünü değiştirmeyi, kimyasal bir reaksiyon yoluyla yapısını değiştirerek azaltmayı hedeflemektedir. Örneğin bu yöntemler OTA mikotoksininde lakton halkasını veya amid bağına hidrolize etmektedir. Kimyasal detoksifikasyonda genellikle amonyak, kitosan, ozon gibi uygulamalar kullanılmaktadır (Viviane ve diğerleri, 2021; Ding ve diğerleri, 2023; Schrenk ve diğerleri, 2024).

Amonyak gibi alkali kimyasalların gıdalarda kullanımına ülkemizde ve Avrupa Birliği ülkelerinde izin verilmemektedir (Akbulut, 2023). Kitosan, selülozdan sonra doğada en bol bulunan ikinci karbonhidrattır. Kitosanın tarımda gıda

koruyucu veya yardımcı madde olarak kullanımı gün geçtikçe artmaktadır. Kitosan, kitinin deasetillenmiş bir formu olup, mantarlar, bakteriler ve virüsler gibi çok çeşitli mikroorganizmaları engelleme yeteneğine sahiptir. Ayrıca yapılan çalışmalarla limon esansiyel yağı ile kombine olarak kullanımının, fumonisin ve DON üzerinde etkili olduğu bildirilmiştir (Viviane ve diğerleri, 2021). Bilinen mikotoksinlerin çoğu asitlere dirençlidir. Güçlü asitlerle yapılan işlemler çeşitli olumsuz etkilere yol açmakta, çeşitli yeni bileşiklerin, asitlerin, alkalilerin, oksitleyici maddelerin, disülfürlerin ve gazların oluşumuna sebep olmaktadır (Pleadin ve diğerleri, 2019). Ozon kullanımı son zamanlarda mikotoksinlerin parçalanması için uygulanabilir bir kimyasal yöntem olarak ortaya çıkmıştır. Ozon güçlü oksidasyon potansiyeline sahip olup, daha

fazla serbest radikal oluşturabilmektedir. Serbest radikaller mikotoksinlerde bulunan fonksiyonel grupların yapılarını değiştirmekte ve bunları düşük moleküler ağırlıklı ürünlere dönüştürmektedir. Böylece mikotoksinlerin toksisitesi azalmaktadır (Nagda ve Meena, 2024).

Ozon, doymamış çift bağlar ve karbon ile yüksek reaktiviteye sahip güçlü bir oksidan maddedir. Ozon FDA tarafından gıda endüstrileri için güvenli bir antimikrobiyal madde olarak 2001 yılında onay almış olan bir kimyasaldır. Ozon diğer kimyasal oksidanlara göre bol miktarda bulunması, hem gaz halinde hem de sıvı formda uygulanabilmesi, gıda ile temastan sonra herhangi bir kalıntı bırakmaması, yerinde üretilebilir olması ve tehlikeli bir atık madde oluşturmaması yönleriyle oldukça avantajlıdır. Ozon kullanımının verimliliği, gıdanın türüne, ortam sıcaklığına, pH'a

ve temas süresine bağlıdır. Oksijenin üç atomlu bir allotropu olan ozon, gıda endüstrisinde kullanılan oksidanlardan daha yüksek oksidasyon/redüksiyon potansiyeline sahip olan oldukça reaktif bir gazdır. Ozon gazı oluşumu, atmosferik hava, UV, korona deşarjı veya elektroliz gibi yüksek enerjili bir kaynağa maruz kaldığında meydana gelmektedir. Ozon gazının konsantrasyonu bir UV ölçer ile ölçülmektedir (Afsah-Hejri ve diğerleri, 2020; Conte ve diğerleri, 2020; Babaeie ve diğerleri, 2021; Alnaemi ve diğerleri, 2025). Yapılan çalışmalar süt, kuru üzüm, buğday unu gibi ürünlerde ozonun mikotoksin detoksifikasyonunda önemli bir etken olduğunu göstermektedir (Mohammadi ve diğerleri, 2017; Torlak, 2019; Zhuang ve diğerleri, 2020). Kimyasal yöntemlerle ilgili bazı çalışmalar Çizelge 4'te gösterilmiştir.

Çizelge 4. Kimyasal Detoksifikasyon Yöntemlerinin Kullanıldığı Bazı Çalışmalar

Kimyasal Yöntem	Gıda Ürünü/ Mikotoksin	Özet	Referans
Ozon	Süt/AFM1	Süte 0.56 µg/kg konsantrasyonda AFM1 eklenmiştir. Süt 5 dakika ozonlandığında (gaz halindeki ozon 80 mg/dak) AFM1'in %50 oranında azaldığı gözlemlenmiştir. Sütün pH ve oksidasyon değeri, uygulamalar sonucunda önemli ölçüde değişmemiştir. β-karoten içeriği ise önemli ölçüde azalmıştır.	Mohammadi ve diğerleri, 2017
Ozon	Kuru Üzüm/OTA	Kuru üzümler, 12.8 mg/L'de sürekli bir gaz halindeki ozon akışına maruz bırakılmıştır. Kuru Üzümlerdeki başlangıç OTA seviyesi, 16.7 µg/kg olarak belirlenmiştir. 120 ve 240 dakikalık ozon maruziyetinden sonra sırasıyla %60.2 ve %82.5 oranında azalmıştır.	Torlak, 2019
Ozon	Buğday unu/DON	Konsantrasyonu 60 mg/L olan ozon gazıyla 2 saat işlenmiş buğday ununda DON bozulması oranı %33.33 olarak tespit edilmiştir. Kalite özellikleri işlem sonunda korunmuştur.	Zhuang ve diğerleri, 2020
Kitosan (Manyetik parça üzerine kaplı)	Meyve suyu/Patulin	200 µg/L patulin içeren meyve suyuna 300 µg adsorban eklenmiş, 5 saat içinde maksimum 6,67 mg/g adsorpsiyon kapasitesiyle patulin adsorpsiyonu için kitosanın etkili olduğu gösterilmiştir.	Luo ve diğerleri, 2017

Biyolojik yöntemlerle detoksifikasyon

Mikroorganizmaların mikotoksinleri gidermek için kullanılması fikri 1960'lı yılların başlarında ortaya çıkmıştır. Mikroorganizmalar aflatoksinleri parçalama yetenekleri açısından incelenmişlerdir (Piotrowska, 2021). Biyolojik detoksifikasyonlar, genellikle istenmeyen maddenin metabolizma yoluyla kimyasal yapısını değiştirmek veya bakterilerin hücre duvarı polisakkaritlerine bağlanıp onları uzaklaştırmak için mikroorganizma veya enzimlerin kullanıldığı yöntemlerdir. Genel olarak, mikroorganizmalar detoksifikasyonda kullanılacaksa cins, tür ve suş adı veya kodu gibi taksonomik bilgilerin sağlanması gerekmektedir (Schrenk ve diğerleri, 2024). Mikrobiyal detoksifikasyonda, mikroorganizmaların üreme süreci sırasında ürettikleri metabolitler ve/veya salgıladıkları enzimler, mikotoksin üretimini engelleyerek veya parçalayarak mikotoksin kirliliğini azaltmaktadır. Mikroorganizmaların mikotoksinleri parçalayabilen enzimleri ve suşları belirlenmekte, daha sonra bu enzimlerin ve suşların yüksek verimli ekspresyonu için genetik teknoloji uygulanmakta ve bu enzimler ile suşlar izole edilmektedir. İzole suşlar ve enzimler gıdalardaki mikotoksinlerin parçalanmasında kullanılmak üzere saflaştırılmaktadır. Maya, bakteri ve mantarlar dahil olmak üzere birçok mikroorganizma gıda veya yemdeki mikotoksinleri parçalayabilmektedir (Xu ve diğerleri, 2022). Detoksifikasyon için kullanılacak mikroorganizmaların; kullanımının güvenli olması, patojenik ve toksik olmayan, stabil metabolitler üretmesi, mikotoksinleri parçalaması, tekrarlanamayan kompleksler oluşturması, depolama sırasında aktif olması, kabul edilemeyen düzeylerde bir koku veya tat üretmemesi, besin değerini koruması ve üretimi için minimum gereksinimlere sahip olması gibi belirli kriterleri karşılaması gerekmektedir (Muhialdin ve diğerleri, 2020).

Laktik asit bakterileri ve mayalar, mikotoksinleri hücre yüzeylerine bağlayarak veya daha az toksik ürünlere dönüştürerek azaltabildikleri için detoksifikasyonda en çok tercih edilen mikroorganizmalardır. Biyolojik yöntemlerde kullanılan mikroorganizmalar, mikotoksinlerin

mikrobiyal bozunumu için olası bazı yollar içermektedir. Fenolik hidroksil gruplarının modifikasyonu, lakton halkalarının hidrolizi ve asetilasyonu, keton karbonil gruplarının indirgenmesi, glukozilasyon, deaminasyon, dekarboksilasyon yollarıyla belirli gıdalardaki mikotoksinler bağlanabilmekte, parçalanabilmekte veya daha az toksik maddelere dönüştürülebilmektedir (Daou ve diğerleri, 2021; Xu ve diğerleri, 2022).

Laktik asit bakterileri, uygun hücre duvarı yapıları nedeniyle mikotoksinleri fiziksel olarak bağlayabildikleri için detoksifikasyonda önemli bir rol oynamaktadır (Lach ve Kotarska, 2024). Canlı mikroorganizmalar mikotoksini ya hücre duvarı bileşenlerine bağlamakta ya da aktif özümseme ve akümüilasyon ile absorbe etmektedir. Probiyotik bakterilerin mikotoksinlerin detoksifikasyonundaki etkisi, hücre duvarındaki peptidoglukan ve polisakkarit gibi hidrofobik kısımlara, aflatoksin benzeri mutajenik ve kanserojenik maddelerin kovalent olmayan bağlarla bağlanmasıdır. Daha sonra detoksifikasyon etkisi ile bu maddelerin ince bağırsakta birikmesinin engellenmesi ve bakteri-mikotoksin şeklinde vücut dışına atılmasıdır. Hücrelerden sulu ortama özgül enzimlerin salınmasıyla toksinlerin metabolik dönüşümler sonucu parçalanması da diğer detoksifikasyon etkisidir (Omak ve diğerleri, 2016).

Mikotoksinlerin mikrobiyal dönüşümü, fiziksel/kimyasal yöntemlere kıyasla daha spesifik ve çevre dostu olduğu için iyi bir alternatiftir. Ancak, bazı durumlarda kullanımları zaman alıcıdır ve pratik değildir. Birçok biyolojik yöntem yalnızca laboratuvar ortamlarında etkili olmuştur. Bu nedenle gıdadaki etkinliklerini test etmek için daha fazla çalışmaya ihtiyaç vardır (Daou ve diğerleri, 2021; Abraham ve diğerleri, 2022). Biyolojik yöntemlerle ilgili bazı çalışmalar Çizelge 5'te gösterilmiştir.

Çizelge 5. Biyolojik Detoksifikasyonun Kullanıldığı Bazı Çalışmalar

Biyolojik Yöntem	Gıda Ürünü/ Mikotoksin	Özet	Referans
Laktik bakterileri	asit Sirke/Patulin	Patulinin analize tabi tutulan aerobik ortamdaki küf enjekte edilen sirkelerde ham değerleri sırası ile 7.gün ve 15.gün için 2567.55 µg/L ve 4493.13 µg/L olarak bulunmuştur. Laktik asit bakterisi takviyesi yapılan aerobik sirkelerde ise patulin tespit edilememiştir. Anaerobik ortamda muhafaza edilen sirkelerde patulin gelişmesine rastlanmamıştır. Laktik asit bakterisi <i>Leuconostoc mesenteroides</i> bakterisinin antifungal etkisi kanıtlanmış olup mikotoksinlerin detoksifikasyonun biyolojik detoksifikasyon yöntemlerinin kullanılabileceği kanıtlanmıştır.	Çetin, 2024
Laktik bakterileri maya	asit ve Frescal peyniri/AFM1	Minas Frescal peynirinde AFM1'i azaltmak için katkı maddesi olarak <i>Lactobacillus rhamnosus</i> , <i>Lactobacillus lactis</i> ve <i>Saccharomyces cerevisiae</i> 'nin kullanılması, genellikle 28 gün olan peynir raf ömrü üzerinde herhangi bir olumsuz etkiye sahip olmamıştır. AFM1'de 10. günün sonunda HPLC ile yapılan analizlerde %94 azalma görülmüştür.	Gonçalves ve diğerleri, 2020
Laktik bakterileri	asit Badem ezmesi/AFB1, AFG1	<i>Lactobacillus fermentum</i> ve <i>Lactobacillus delbrueckii subsp. lactis</i> bakterileri kullanılarak AFB1 ve AFG1 oranları tespit edilmiştir. Bakterilerin etki oranları sırasıyla %50, %58, %58, %70 oranlarında tespit edilmiştir. Sonuçlar, <i>L. delbrueckii subsp. lactis</i> 'in badem ezmesindeki AFB1 ve AFG1'in detoksifikasyonu için pratik ve etkili bir yöntem olarak kullanılabileceği sonucunu desteklemektedir.	Hashemi ve Amiri, 2020
Kefir kültüründen elde edilen suşlar	Süt/OTA, ZEA	En yüksek OTA bağlanma miktarları KFLM3 (%81), KFLY6 (%74) ve KFGY7 (%62) suşlarıyla elde edilmiştir. Ayrıca, KFLM3, KFLY1, KFLY3, KFLY5, KFGY1 ve KFLY6 olmak üzere altı suşun sütte bulunan ZEA'nın tamamını (100%) bağlayabildiği gözlemlenmiştir (<i>Lactobacillus kefir</i> KFLM3, <i>Kazachstania servazii</i> KFGY7). Çıkan sonuçlar, kefir tüketiminin bu mikotoksinlerin gastrointestinal emilimini azaltmaya ve dolayısıyla toksik etkilerini de azaltmaya yardımcı olabileceğini düşündürmektedir.	Taheur ve diğerleri, 2017

SONUÇ

Mikotoksin kontaminasyonu hem ham maddelerde hem de işlenmiş gıdalarda bir sorun olduğundan, üretim zincirinin farklı aşamalarında bunların oluşumunu en aza indirmeye yönelik

stratejiler büyük önem taşımaktadır. Hasat öncesi stratejiler, küf gelişimini engelleyerek mikotoksin oluşumunu önlemeye odaklanmakta ve iyi tarım uygulamalarını sürdürmeyi, dirençli ürün çeşitlerini seçmeyi içermektedir. Ancak,

mikotoksinler hasat sonrası kontamine olmuşsa azaltılması/uzaklaştırılması genellikle daha zor olmaktadır. Mikotoksinlerin bir kısmı endotoksin olarak misel içinde birikme özelliğine sahipken, çoğu mikotoksin miselden substrata doğru salgılanmaktadır. Bundan dolayı küf içeren besinlerden miseller uzaklaştırıldığında besinde mikotoksin tehlikesi ortadan kalkmamaktadır.

Gıda zincirinde mikotoksinlerin oluşumu, tüm dünyanın karşı karşıya olduğu endişe verici kaçınılmaz bir sorundur. Mikotoksin oluşumunun azaltılması için en iyi yöntemlerin çevre koşullarının yönetilmesi, iyi tarım ve üretim pratiklerinin uygulanması ve uygun muhafaza koşullarının sağlanması olduğu görülmektedir. Detoksifikasyon işlemleri içinse fiziksel, kimyasal ve biyolojik detoksifikasyon yöntemleri önerilmiştir.

Gıdalarda kullanılan fiziksel ve kimyasal detoksifikasyon yöntemleri yüksek maliyetin yanı sıra gıdaların duyuşal özellikleri ve besin değerlerinde kayıplara neden olmaktadır. Bu nedenle gıdalarda bulunan mikotoksinlerin detoksifikasyonunda biyolojik yöntemler ön plana çıkmaktadır. Son yıllarda ise probiyotik bakterilerin detoksifikasyon etkisi, kullanımının avantajlı olmasından ve diğer yöntemlere göre zararlı etkileri olmadığından, ayrıca gıdalara da uygulanabilir olduğundan daha çok çalışılmaktadır. Bununla beraber çevre dostu ve etkili yöntemlerin giderek daha fazla talep görmesi eğilimi, araştırmaların bu yöne doğru kaydığını göstermektedir.

Mikotoksin kontaminasyonunun yaygın olması nedeniyle, gelecekteki stratejiler üretimden başlayarak gıdanın tüketiciye ulaşmasına kadar tüm gıda zinciri boyunca mantar kontaminasyonunu ve mikotoksin üretimini kontrol etme ihtiyacına odaklanmalıdır. Gıdada aynı anda oluşan mikotoksinlerin sinerjik toksik etkileri ve olası maskelenmiş mikotoksinlerin varlığı dikkate alınmalıdır. Fiziksel, kimyasal ve biyolojik dekontaminasyon yöntemlerinin güvenliği hakkında daha fazla araştırma yapılması gerekmekte ve dekontaminasyonu mümkün olan en üst düzeye çıkarmak için entegre bir

dekontaminasyon yaklaşımını birleştiren stratejiler geliştirilmelidir.

ÇIKAR ÇATIŞMASI

Yazarlar herhangi bir çıkar çatışması beyan etmemektedir.

YAZARLARIN KATKISI

Tüm yazarlar makalenin hazırlanması, yazımı ve yayınlanmasına katkıda bulunmuşlardır.

KAYNAKLAR

Abraham, N., Schroeter, K. L., Zhu, Y., Chan, J., Evans, N., Kimber, M. S., Seah, S. Y. (2022). Structure–function characterization of an aldo–keto reductase involved in detoxification of the mycotoxin, deoxynivalenol. *Scientific Reports*, 12(1), 14737. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-19040-8>

Adeyeye, S.A.O. (2016). Fungal mycotoxins in foods: a review. *Cogent Food & Agriculture*, 2: 1213127. <http://dx.doi.org/10.1080/23311932.2016.1213127>

Afsah-Hejri, L., Hajeb, P., Ehsani, R.J. (2020). Application of ozone for degradation of mycotoxins in food: A review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* 1-32. <http://dx.doi.org/10.1111/1541-4337.12594>

Akbulut, İ. (2023). Sultaniye cinsi kuru üzümde bulunan Okratoksin (OTA) detoksifikasyonunda soğuk plazma teknolojisinin kullanımı ve kalite özelliklerinin incelenmesi. Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, İzmir Türkiye, 150 s.

Alizadeh, A. M., Hashempour-Baltork, F., Khaneghah, A. M., Hosseini, H. (2021). New perspective approaches in controlling fungi and mycotoxins in food using emerging and green technologies. *Current Opinion in Food Science*, 39, 7-15. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cofs.2020.12.006>

Alnaemi, H. S., Dawood, T. N., Algwari, Q. T. (2025). Ultraviolet C and Ozone Application for Detoxification of Aflatoxin B1, Ochratoxin A, and Fumonisin B1 in Poultry Feeds. *Egyptian Journal of Veterinary Sciences*, 56(4), 797-813. <https://doi.org/10.21608/ejvs.2024.277904.193>

- Aloui, A., Salah-Abbès J.B., Zinedine, A., Riba, A., Durand, N., Meile, J.C., Montet, D., Catherine Brabet, C., Abbès, S. (2023). Prevention and detoxification of mycotoxins in human food and animal feed using bio-resources from south mediterranean countries: a critical review. *Critical Reviews in Toxicology*, 53(2), 117-130. <https://doi.org/10.1080/10408444.2023.2211178>
- Avsaroglu, M. D., Bozoglu, F., Alpas, H., Largeau, A., & Demazeau, G. (2015). Use of pulsed-high hydrostatic pressure treatment to decrease patulin in apple juice. *High Pressure Research*, 35(2), 214-222. <https://doi.org/10.1080/08957959.2015.1027700>
- Awuchi, C.G., Nyakundi Ondari, E., Ogbonna, C.U., Upadhyay, A.K., Baran, K., Okpala, C.O.R., Korzeniowska, M., Raquel P. F. Guiné, R.P.F. (2021). Mycotoxins affecting animals, foods, humans, and plants: types, occurrence, toxicities, action mechanisms, prevention, and detoxification strategies a revisit. *Foods*, 10, 1279. <https://doi.org/10.3390/foods10061279>
- Babae, R., Karami-Osboo, R., Mirabolfathy, M. (2021). An overview of effective detoxification methods for aflatoxin-contaminated pistachio. *Pistachio and Health Journal*, 4(2), 75-93. <https://doi.org/10.22123/PHJ.2021.283744.1096>
- Bahari, HR., Khaneghah, AM., Ismail Eş, I. (2024). Upconversion nanoparticles-modified aptasensors for highly sensitivemycotoxin detection for food quality and safety. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 23(3). <https://doi.org/10.1111/1541-4337.13369>
- Balwan, W.K., Neelam Saba, N., Kour, S. (2023). Study of impact of mycotoxins on the human health. *Scholars Bulletin*, 9(2), 19-23. <https://doi.org/10.36348/sb.2023.v09i02.003>
- Benzer Gürel, D. (2023). Atmosferik soğuk plazmanın yüksek ihracat kapasitesine sahip kuru incir ve kuru üzümdeki aflatoksinler ve okratoksin a üzerine etkisi. Manisa Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı Doktora Tezi, Manisa, Türkiye, 127s.
- Calado, T., Fernández-Cruz, M.L., Verde, S.C., Venâncio, A., Abrunhosa, L. (2018). Gamma irradiation effects on ochratoxin A: Degradation, cytotoxicity and application in food. *Food Chemistry*, 240, 463–471. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.07.136>
- Conte, G., Fontanelli, M., Galli, F., Cotrozzi, L., Pagni, L., Pellegrini, E. (2020). Mycotoxins in feed and food and the role of ozone in their detoxification and degradation: An update. *Toxins*, 12(8), 486. <https://doi.org/10.3390/toxins12080486>
- Çetin, Z. (2024). Sirkede penicillium expansum küfünün inaktivasyonu ve patulin degradasyonunda leuconostoc mesenteroides etkinliğinin incelenmesi. İstanbul Aydın Üniversitesi Yüksek Lisans Tezi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İstanbul
- Daou, R., Joubrane, K., Maround, R., Khabbaz, L.R., Ali Ismail, A., André El Khoury, A.E. (2021). Mycotoxins: Factors influencing production and control strategies. *Agriculture and Food*, 6(1), 416–447. <https://doi.org/10.3934/agrfood.2021025>
- Ding, L., Han, M., Wang, X., Yifei Guo, Y. (2023). Ochratoxin A: overview of prevention, removal, and detoxification methods. *Toxins*, 15, 565. <https://doi.org/10.3390/toxins15090565>
- Elkenany, R.M., Awad, A. (2020). Types of Mycotoxins and different approaches used for their detection in foodstuffs. *Mansoura Veterinary Medical Journal*, 21(4), 25-32. <https://doi.org/10.35943/mvmj.2021.161191>
- El-Sayed, R.A., Jebur, A.B., Kang, W., El-Demerdash, F.M. (2022). An overview on the major mycotoxins in food products: characteristics, toxicity, and analysis. *Journal of Future Foods*, 2(2), 91- 102. <https://doi.org/10.1016/j.jfutfo.2022.03.002>
- Guo, Y., Lihong Zhao, L., Ma, Q., Ji, C. (2021). Novel strategies for degradation of aflatoxins in food and feed: A review. *Food Research International*, 14, 109878. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109878>

- Gonçalves, B. L., Muaz, K., Coppa, C. F. S. C., Rosim, R. E., Kamimura, E. S., Oliveira, C. A. F., Corassin, C. H. (2020). Aflatoxin M1 absorption by non-viable cells of lactic acid bacteria and *Saccharomyces cerevisiae* strains in Frescal cheese. *Food Research International*, 136, 109604. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109604>
- Janik, E., Niemcewicz, M., Ceremuga, M., Stela, M., Bijak, J.S., Siadkowski, A., Bijak, M. (2020). Molecular aspects of mycotoxins—a serious problem for human health. *International Journal of Molecular Sciences*, 21, 8187. <https://doi.org/10.3390/ijms21218187>
- Hashemi, S. M. B., & Amiri, M. J. (2020). A comparative adsorption study of aflatoxin B1 and aflatoxin G1 in almond butter fermented by *Lactobacillus fermentum* and *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *lactis*. *Lwt-Food Science and Technology*, 128, 109500. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109500>
- Hassanpour, M., Rezaie, M. R., & Baghizadeh, A. (2019). Practical analysis of aflatoxin M1 reduction in pasteurized Milk using low dose gamma irradiation. *Journal of Environmental Health Science and Engineering*, 17, 863-872. <https://doi.org/10.1007/s40201-019-00403-9>
- Karlovsky, P., Suman, M., Berthiller, F., Meester, J., Eisenbrand, G., Perrin, I., Oswald, I.P., Speijers, G., Chiodini, A., Recker, T., Dussort, P. (2016). Impact of food processing and detoxification treatments on mycotoxin contamination. *Mycotoxin Research*, 32, 179–187. <https://doi.org/10.1007/s12550-016-0257-7>
- Khan, R., Anwar, F., Ghazali F.M. (2024). A comprehensive review of mycotoxins: Toxicology, detection, and effective mitigation approaches. *Helvion*, 10(8), e28361. <https://doi.org/10.1016/j.helivon.2024.e28361>
- Kurup, A. H., Patras, A., Pendyala, B., Vergne, M. J., & Bansode, R. R. (2022). Evaluation of Ultraviolet-Light (UV-A) Emitting Diodes Technology on the Reduction of Spiked Aflatoxin B 1 and Aflatoxin M 1 in Whole Milk. *Food and Bioprocess Technology*, 15, 1-12. <https://doi.org/10.1007/s11947-021-02731-x>
- Lach, M., Kotarska, K. (2024). Negative Effects of Occurrence of Mycotoxins in Animal Feed and Biological Methods of Their Detoxification: A Review. *Molecules*, 29(19), 4563. <https://doi.org/10.3390/molecules29194563>
- Luo, Y., Zhou, Z., Yue, T. (2017). Synthesis and characterization of nontoxic chitosan-coated Fe₃O₄ particles for patulin adsorption in a juice-pH simulation aqueous. *Food Chemistry*, 221, 317-323. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.09.008>
- Mafe, A. N., Büsselberg, D. (2024). Mycotoxins in food: cancer risks and strategies for control. *Foods*, 13, 3502. <https://doi.org/10.3390/foods13213502>
- Mir, S.A., Dar, B.N., Shah, M.A. Sofi, S.A., Hamdani, A.M. Oliveira, C.A.F., Moosavi, M.H., Khaneghah, A.M., Sant'Ana, A.S. (2021). Application of new technologies in decontamination of mycotoxins in cereal grains: Challenges, and perspectives. *Food and Chemical Toxicology*, 148, 111976. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2021.111976>
- Mohammadi, H., Mazloomi, S. M., Eskandari, M. H., Aminlari, M., Niakousari, M. (2017). The effect of ozone on aflatoxin M1, oxidative stability, carotenoid content and the microbial count of milk. *Ozone: Science & Engineering*, 39(6), 447-453. <https://doi.org/10.1080/01919512.2017.1329647>
- Morshedi, A., Shakerardekani, A., Reza Karazhian, R., Mohammad Morshedi, M., Valdes, M.E., Mohammadi-Moghaddam, T., Kariminejad, M. (2023). Mycotoxins' contamination in food and feeds: a review. *Journal of Food Chemistry & Nanotechnology*, 9(3), 141-149. <https://doi.org/10.17756/jfcn.2023-160>
- Muaz, K., Riaz, M., Oliveira, C. A. F. D., Akhtar, S., Ali, S. W., Nadeem, H., Park, S., B. (2022). Aflatoxin M1 in milk and dairy products: Global occurrence and potential decontamination strategies. *Toxin Reviews*, 41(2), 588-605. <https://doi.org/10.1080/15569543.2021.1873387>
- Muhialdin, B.J., Saari, N., Meor Hussin, A.S. (2020). Review on the biological detoxification of mycotoxins using lactic acid bacteria to enhance the sustainability of foods supply. *Molecules*, 25,

2655. <https://doi.org/10.3390/molecules25112655>
- Nagda, A., Meena, M. (2024). Alternaria mycotoxins in food and feed: Occurrence, biosynthesis, toxicity, analytical methods, control and detoxification strategies. *Food Control*, 158, 110211. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2023.110211>
- Nesic, K., Habschied, K., Mastanjevic, K. (2021). Possibilities for the biological control of mycotoxins in food and feed. *Toxins*, 13, 198. <https://doi.org/10.3390/toxins13030198>
- Niedźwiedz, I., Waśko, A., Pawlat, J., Polak-Berecka, M. (2019). The state of research on antimicrobial activity of cold plasma. *Polish Journal of Microbiology*, 68(2), 153-164. <https://doi.org/10.33073/pjm-2019-028>
- Nguyen, T., Palmer, J., Loo, T., Shilton, A., Petcu, M., Newson, H. L., Flint, S. (2022). Investigation of UV light treatment (254 nm) on the reduction of aflatoxin M1 in skim milk and degradation products after treatment. *Food Chemistry*, 390, 133165. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.133165>
- Omak, G., Özcan, T., Ersan, L. Y. (2016). Biyolojik detoksifikasyon ve probiyotikler. *Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 30(1), 157-168.
- Pallarés, N., Barba, F. J., Berrada, H., Tolosa, J., Ferrer, E. (2020). Pulsed electric fields (PEF) to mitigate emerging mycotoxins in juices and smoothies. *Applied Sciences*, 10(19), 6989. <https://doi.org/10.3390/app10196989>
- Peng, Z., Zhang, Y., Ai, Z., Ravi Pandiselvam, R., Jiale Guo, J., Anjineyulu Kothakota, A., Yanhong Liu, Y. (2023). Current physical techniques for the degradation of aflatoxins in food and feed: Safety evaluation methods, degradation mechanisms and products. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 22, 4030–4052. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.13197>
- Petrovic, E., Cosic, J., Vrandecic, K., Godena, K.S. (2023). Occurrence of mycotoxins in food and beverages. *Journal of Central European Agriculture*, 24(1), 137-150. <https://doi.org/10.5513/JCEA01/24.1.3704>
- Piotrowska, M. (2021). Microbiological decontamination of mycotoxins: opportunities and limitations. *Toxins*, 13, 819. <https://doi.org/10.3390/toxins13110819>
- Pleadin, J., Jadranka Frece, J., Ksenija Markov, K. (2019). Mycotoxins in food and feed. *Advances in Food and Nutrition Research*, 89, 297-345. <https://doi.org/10.1016/bs.afnr.2019.02.007>
- Rao, W., Li, Y., Dhaliwal, H., Feng, M., Xiang, Q., Roopesh, M. S., Du, L. (2023). The application of cold plasma technology in low-moisture foods. *Food Engineering Reviews*, 15(1), 86-112. <https://doi.org/10.1007/s12393-022-09329-9>
- Rodríguez-Bencomo, J. J., Sanchis, V., Viñas, I., Martín-Belloso, O., Soliva-Fortuny, R. (2020). Formation of patulin-glutathione conjugates induced by pulsed light: A tentative strategy for patulin degradation in apple juices. *Food Chemistry*, 315, 126283. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.126283>
- Ryu D., Bianchini, A., Bullerman, L.B. (2008). Effects of processing on mycotoxins. *Stewart Postharvest Review*, 6, 5. <https://doi.org/10.2212/spr.2008.6.5>
- Saghir, S. A., Bancroft, J. (2024). Molds and mycotoxins indoors I: Current issues and way forward. *Archives of Clinical Toxicology*, 7(1), 1-7. <https://doi.org/10.46439/toxicology.7.032>
- Schrenk, D., Bignami, M., Bodin, L., Chipman, J.K., Mazo, J., Grasl-Kraupp, B., Hoogenboom, L., Leblanc, J.C., Nebbia, C.S., Nielsen, E., Ntzani, E., Petersen, A., Sand, S., Schwerdtle, T., Vleminckx, C., Wallace, H., Rose, M., Cottrill, B., Lundebye, A.K., Metzler, M., Ben Whitty, B., Alberto Navarro-Villa, A. (2024). Guidance for the assessment of detoxification processes in feed. *EFSA Journal*, 22, e8528. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2024.8528>
- Silva, J.V.B., Oliveria, C.A.F., Ramalho, L.N.Z. (2022). An overview of mycotoxins, their pathogenic effects, foods where they are found and their diagnostic biomarkers. *Food Science and Technology*, 42 (6). <https://doi.org/10.1590/fst.48520>
- Sipos, P., Peles, F., Brassó, D.L., Béri, B., Pusztahelyi, T., Pócsi, I., Gyori, Z. (2021).

- Physical and chemical methods for reduction in aflatoxin content of feed and food. *Toxins*, 13, 204. <https://doi.org/10.3390/toxins13030204>
- Taheur, F. B., Fedhila, K., Chaieb, K., Kouidhi, B., Bakhrouf, A., & Abrunhosa, L. (2017). Adsorption of aflatoxin B1, zearalenone and ochratoxin A by microorganisms isolated from Kefir grains. *International Journal of Food Microbiology*, 251, 1-7. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2017.03.021>.
- Torlak, E. (2019). Use of gaseous ozone for reduction of ochratoxin A and fungal populations on sultanas. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 25(1), 25-29. <https://doi.org/10.1111/ajgw.12362>
- Viviane, I., Masabo, E., Joseph, H., Rene, M., Bizuru, E. (2021). Mycotoxin's Infections and Prevention Methods: State of the Art. *Agricultural Sciences*, 12,1269-1285. <https://doi.org/10.4236/as.2021.1211081>
- Zhao, L., Qi, D., Ma, Q. (2023). Novel strategies for the biodegradation and detoxification of mycotoxins in post-harvest grain. *Toxins*, 15, 445. <https://doi.org/10.3390/toxins15070445>
- Zhuang, K., Zhang, C., Zhang, W., Xu, W., Tao, Q., Wang, G., Ding, W. (2020). Effect of different ozone treatments on the degradation of deoxynivalenol and flour quality in Fusarium-contaminated wheat. *CyTA-Journal of Food*, 18(1), 776-784. <https://doi.org/10.1080/19476337.2020.1849406>
- Wang, Y., Shang, J., Cai, M., Liu, Y., Kai Yang, K. (2023). Detoxification of mycotoxins in agricultural products by non-thermal physical technologies: a review of the past five years. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 63 (33), 11668–11678. <https://doi.org/10.1080/10408398.2022.2095554>
- Wang, Y., Zhou, A., Yu, B., Sun, X. (2024). Recent advances in non-contact food decontamination technologies for removing mycotoxins and fungal contaminants. *Foods*, 13, 2244. <https://doi.org/10.3390/foods13142244>
- Woldemichael Woldemariam, H., Emire, S.A. (2019).High pressure processing of foods for microbial and mycotoxins control: current trends and future prospects. *Cogent Food & Agriculture*, 5(1), 1622184. <https://doi.org/10.1080/23311932.2019.1622184>
- Xu, H., Wang,L., Sun,J., Wang, L., Guo,H., Ye, Y., Sun, X. (2022). Microbial detoxification of mycotoxins in food and feed. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 62(18), 4951-4969. <https://doi.org/10.1080/10408398.2021.1879730>

EFFECTS OF ADDING JERUSALEM ARTICHOKE (*HELIANTHUS TUBEROSUS*) ON THE QUALITY AND NUTRITIONAL VALUE OF GLUTEN-FREE BREAD**Ayla ÜNVER ALÇAY^{*1,2}, Farnoush AHMETOĞLU³**¹Istanbul Aydın University, Department of Food Technology, Kucukcekmece/Istanbul, Türkiye²Istanbul Aydın University, Food Application and Research Center, Kucukcekmece/Istanbul, Türkiye³Istanbul Aydın University, Graduate School of Education, Department of Food Safety, Istanbul, Türkiye

Received /Geliş: 23.08.2024; Accepted /Kabul: 31.07.2025; Published online /Online baskı: 08.08.2025

*Ünver Alçay, A., Ahmetoğlu, F. (2025). Effects of adding jerusalemJerusalem artichoke (Helianthus tuberosus) on the quality and nutritional value of gluten-free bread. GIDA (2025) 50 (4) 644-663 doi: 10.15237/ gida.GD24089**Ünver Alçay, A., Ahmetoğlu, F. (2025). Yerelması (Helianthus tuberosus) ilavesinin glutensiz ekmek kalitesi ve besin değeri üzerindeki etkileri. GIDA (2025) 50 (4) 644-663 doi: 10.15237/ gida.GD24089***ABSTRACT**

Jerusalem artichoke, a plant that can be grown in areas with limited irrigable land, contains valuable macro and micro nutrients. Nowadays, there is an increased demand for gluten-free products. In this study, the physical, chemical, microbiological, and sensory effects of adding Jerusalem artichoke to gluten-free bread production were investigated. As a result of the study, it was determined that as the amount of Jerusalem artichoke powder increased in the gluten-free bread formulation, the specific volume, baking loss, moisture, and pH of the bread decreased, while the amounts of fiber and ash increased. Additionally, the selenium, calcium, and magnesium contents in the bread also increased significantly ($P < 0.05$). According to sensory evaluation results, gluten-free bread with 10% Jerusalem artichoke addition received the highest score in overall appreciation. The addition of Jerusalem artichoke powder to gluten-free bread dough improved the crumb and external appearance of the bread and eliminated some quality defects.

Keywords: Gluten-free bread, nutritional value, *Helianthus tuberosus*, microbiological quality, sensory analysis**YERELMASI (*HELIANTHUS TUBEROSUS*) İLAVESİNİN GLUTENSİZ EKMEK KALİTESİ VE BESİN DEĞERİ ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ****ÖZ**

Sulanabilir arazilerin kısıtlı olduğu yerlerde yetiştirilebilen bir bitki olan yer elması (*Jerusalem artichoke*), değerli makro ve mikro besinleri bünyesinde barındırır. Günümüzde glutensiz ürünlere olan talep artmıştır. Bu çalışmada Jerusalem artichoke ilavesinin glutensiz ekmek üretimine fiziksel, kimyasal, mikrobiyolojik ve duyuşsal etkileri araştırılmıştır. Çalışma sonucunda glutensiz ekmek formülasyonunda Jerusalem artichoke tozu miktarı arttıkça ekmeğin özgül hacminin, pişme kaybının, nem ve pH'nın azaldığı, lif ve kül miktarlarının ise arttığı belirlenmiştir. Ekmekteki selenyum, kalsiyum ve magnezyum içeriği de önemli ölçüde artmıştır ($P < 0.05$). Duyuşsal değerlendirme sonuçlarına göre, genel beğenide en yüksek puanı %10 yer elması ilaveli glutensiz ekmek almıştır. Glutensiz ekmek hamuruna *Jerusalem artichoke* tozu eklenmesi, ekmeğin iç yapısını ve dış görünümünü iyileştirmiş ve bazı kalite kusurlarını ortadan kaldırmıştır.

Anahtar kelimeler: Glutensiz ekmek, besin değeri, *Helianthus tuberosus*, mikrobiyolojik kalite, duyuşsal analiz

* Corresponding author / Sorumlu yazar

✉: aylaalcay@aydin.edu.tr

☎: (+90) 533 368 40 60

☎: (+90) 212 425 57 59

Ayla Ünver Alçay; ORCID no: 0000-0003-3254-155X

Farnoush Ahmetoğlu; ORCID no: 0000-0001-5250-1729

INTRODUCTION

Gluten is a type of protein group found in grains such as barley, wheat, and rye and is one of the main elements required to produce quality bread. It is responsible for the dough's elasticity, appearance, and extensibility. It has an important role in the development of the rheological and baking properties of the dough and the stabilization of the structure (Gallagher et al., 2004; Paciulli et al., 2016). Gluten turns the dough into a hard but flexible structure with water, and its adhesive properties make it elastic and give it a chewy feature, allowing the dough to rise during baking, creating a soft and crispy texture.

Some people cannot digest gluten and have a special sensitivity to gluten. The most important of these disorders is celiac disease and gluten-related intolerance, which, together with the intake of gluten-containing foods, develop a malabsorption syndrome that occurs because of the deterioration of the natural structure of the intestines (Karaahmet, 2018). A gluten-free diet is the most reliable and basic treatment for celiac patients. In recent years, there has been an increase in the consumption and demand for gluten-free products due to the increasing number of individuals diagnosed with gluten-related disorders. Some problems still exist in producing gluten-free bread with the desired nutritional value and technological features. Unless fortified, gluten-free products may not contain the same level of minerals, vitamins, and dietary fiber as gluten-containing products (Wierdsma et al., 2013).

Studies on the development of functional foods have increased in the food industry as people focus more on healthy nutrition and demand additional benefits from foods beyond nutrition. Jerusalem artichoke tubers are a valuable vegetable that is suitable for developing functional food with its content, which is high-yield; and low-cost compared to traditional agricultural products, and is highly resistant to frost, pests, and diseases (Yang et al., 2015). Jerusalem artichoke, which contains high amounts of inulin, can be a valuable component of food products (Murphy, 2001). Jerusalem

artichoke is from the family of *Compositae* (central flowers). It is an important and valuable food with macro- and microelements, also known as "*Helianthus tuberosus*" in Latin and "Jerusalem artichoke, sunroot, sunchoke, earth apple, wild sunflower, and topinambur" in English (Monti et al., 2005; Tassoni et al., 2010; Ma et al., 2011). It is a good source of vitamins (C, B, and β -carotene), minerals (iron, potassium, calcium, sodium, and selenium), and dietary fiber (Radovanovic et al., 2014). Its antioxidant, anticancer, antidiabetic, antifungal, and antirheumatic activities are known, and it has gelling ability. The main nutrient of Jerusalem artichoke tubers is inulin instead of starch (Abou-Arab et al., 2011). Inulin is widely used in functional foods worldwide. Known as bifidogenic and prebiotic, inulin attracts the attention of consumers who care about conscious and healthy nutrition by supporting healthy gastrointestinal flora and mineral absorption from the colon. It is also preferred in the food industry because of its fat and sugar replacement, viscosity, and texture-changing properties (Mudannayake et al., 2022). It can improve the nutritional value of the final product by increasing the dietary fiber content, reducing the calorie content, and increasing the prebiotic capacities. Including dietary fibers in bakery products is known to improve product properties such as reducing loaf duration, increasing firmness, and prolonging freshness (Elleuch et al., 2011).

Although there are studies investigating the effect of adding Jerusalem artichoke to some bakery products (Cetin Babaoglu et al., 2021; Gedrovica et al., 2011; Ponomareva et al., 2009; Ozgoren et al., 2019), there are limited studies on its use in gluten-free bread production. This study aims to determine whether the addition of Jerusalem artichoke powder produced by a simple drying method to gluten-free bread would increase the nutritional content, technological and sensory qualities of the bread, and determine its microbiological effects.

MATERIALS AND METHODS

The Jerusalem artichoke tubers used in the study were obtained from the district market in

Istanbul/Türkiye (in December), and gluten-free flour mixture (Sinangil Glutensiz Un, Türkiye), salt (Billur Sofra Tuzu, Türkiye), sugar (Dogan Sofra Şekeri, Türkiye), and sunflower oil (Yudum Ayçiçek Yağı, Türkiye) were obtained from the local market in branded and closed packaging.

Production of Jerusalem Artichoke Powder

Fresh Jerusalem artichoke tubers do not have a long shelf life. To solve this problem and facilitate its use, it was aimed to turn the tubers into a smaller volume and lighter powder. For this purpose, fresh and undamaged Jerusalem artichoke tubers were washed with drinking water, sliced at 0.2 mm thickness with a slicing machine (Tefal slicer, France), and dried in an industrial drying oven (Bosch, HBF514BSOT, Germany) at $60 \pm 5^\circ\text{C}$ for 8 hours. The dried slices were ground into powder with a grinding machine (Moulinex FP546810, France) for 2 minutes at the medium setting. The Jerusalem artichoke turned into powder was passed through a 35-mesh sieve (Figure 1).



Figure 1. Jerusalem artichoke powder

Production of Bread

The doughs with the contents shown in Table 1 were prepared by adding Jerusalem artichoke powder at different rates (0%, 5%, 10%, 15%,

20%, and 25%) to the gluten-free flour mixture and mixing in a professional kneading machine (Moulinex QA502G, France) at room temperature for 15 minutes. The gluten-free flour mixture consisted of cornstarch, rice flour, sugar, thickeners (pectin, xanthan gum), and raising agents (sodium bicarbonate, sodium acid pyrophosphate). The prepared doughs were covered with stretch film and left to ferment for 45 minutes in the oven (Nuve, EN300, Türkiye) set at 55°C , and at the end of the fermentation period, they were divided into 100-gram pieces and shaped. It was baked in an oven preheated to 200°C (Bosch HBF514BSOT, Germany) for 30 minutes.

Fourier Transform Infrared (ATR-FTIR) Spectroscopy

The functional units of the gluten-free flour mixture, Jerusalem artichoke powder, and Jerusalem artichoke-added bread samples were identified using FTIR (Skendi et al., 2018). The sample was placed in the ATR FTIR device with the pressing method and scanned in the range of $4000\text{--}400\text{ cm}^{-1}$. The position of absorption peaks in the resulting spectrum was used to determine the presence of specific functional groups. FTIR spectroscopy spectrum plots were created using OriginPro 2024 (v10.1) (Origin Lab, Northampton, MA, USA).

Weight loss, volume, and inner and outer color of bread

After fermentation, the bread dough was weighed with a scale (And HR-250AZ-4, Japan), and its weight was determined. After baking, the weight of these breads was measured again, and the weight difference was determined as a percentage. Three repetitions were performed for weight loss, and the average value was given. To determine the bread volume, the volume (ml) values were found based on the seed displacement method. Results were reported as the average of three measurements performed on a freshly made loaf (AACC, 2001). Three replications were made to determine the bread's specific volume, and the results were averaged. A color measuring device (Hunter colorimeter, AOB 551, USA) was used for the inner and outer colors of the bread.

Table 1. Gluten-free bread formulations

Bread number	JA %	Gluten-free flour mixture (g)	Baker's yeast (g)	Salt (g)	Sugar(g)	SO** (g)	Water (ml)
1	0	200	6	3	3.6	4	110
2	5	190	6	3	3.6	4	100
3	10	180	6	3	3.6	4	92.8
4	15	170	6	3	3.6	4	86
5	20	160	6	3	3.6	4	80
6	25	150	6	3	3.6	4	78

^aJA: Jerusalem artichoke powder ** SO: Sunflower oil

Textural Features

Texture analysis was performed on the day of bread production. Samples of 2 pieces of 3x3 cm were taken from the breads. Measurements of these samples were made with TA. XT plus C texture analysis instrument (Stable Microsystems, Godalming, Surrey, England) with a 1 mm cylinder probe at 5 mm/s speed, 10 mm penetrating depth, and 5 g detection force.

Sensory Evaluation

Sensory experiments were performed according to established ethical guidelines and informed consent from the participants. Thirty untrained panelists were selected from Istanbul Aydin University students and lecturers, and a hedonic scale of 1 (extremely bad) to 5 (very good) was used (Altug Onogur and Elmaci, 2011). Sensory evaluation of breads was performed on the day of bread production. The panelists were asked to evaluate the samples regarding pore structure, texture, crust color, inner color, taste and aroma, foreign taste and odor, and general appreciation criteria.

Chemical analysis

Moisture determination was made according to the method numbered AACC 44-01.01, and moisture content (%) was determined (AACC, 1999a). The pH measurement was made with the device pH meter (Hanna 211, Romania). In the determination of sugar and invert sugar, the Lane-Eynon method was used, which is based on the reduction of Cu-II-oxide in the Fehling solution of invert sugar to water-insoluble Cu-I-oxide in an

alkaline environment and boiling temperature (AOAC, 1990).

Determination of saturated and unsaturated fatty acids as a percentage was made according to TGK 2014/53 (TGK, 2014).

Ash determination was made according to the method numbered AACC 08-01.01 (AACC, 1999b). The ash amount (%) was calculated from the weight difference (Ozkaya and Kahveci, 1990). The amounts of selenium, potassium, magnesium, and calcium (mg/kg) in the Jerusalem artichoke-added breads were determined by the ICP-MS (Agilent 7700e) device, according to the NMKL-186 (Nordic Committee on Food Analysis) method (NMKL, 2007). Dietary fiber analysis was performed according to the AOAC 991.43 method (AOAC, 1995).

Microbiological Analysis

After the bread was taken out of the oven, they were cooled under aseptic conditions without contamination, put into sterile oven bags, and stored at 25°C until analysis. Microbiological analyses were made on the 1st, 3rd, 5th, and 7th days from each group of bread. From the bread samples, 10 g were weighed, and 90 ml of sterile sodium chloride solution (0.01% sodium chloride solution) was transferred after being placed in sterile bags. Then, homogenization was done with a stomacher device (Interscience Jumbomix 3500VP, France). 10-fold dilutions were prepared and inoculated in two parallels on suitable media. Microbiological analyses were performed

according to the ISO 4833-1:2013 standard (ISO, 2013) and Unachukwu and Nwakanma (2018).

Statistical Analysis

The data were analyzed by ANOVA using the SPSS 22 program (SPSS Inc., Chicago, IL, USA). Duncan's Multiple Range Test (DMRT) was used to determine the difference between the means when the difference between samples was significant (SPSS Inc., Chicago, IL, USA). $P < 0.05$ was accepted as the statistical significance level.

RESULTS AND DISCUSSION

Baking gluten-free bread is different from traditional bread making. Failure to provide the viscoelastic properties of gluten is an important technological problem. Gluten is necessary to capture the carbon dioxide produced during the leavening of bread dough; the lack of a protein network to provide this in gluten-free bread makes it very difficult to obtain an acceptable texture (Gallagher et al., 2004). This study aims to increase the nutritional value of gluten-free bread with the addition of Jerusalem artichoke, gain a functional feature, produce gluten-free bread with improved product quality, and create an alternative bread formulation. All trials were performed in triplicate, and all the results are given as the average of the three trials.

ATR-FTIR Spectrum of the Gluten-Free Flour Mix

The ATR-FTIR spectrum of the gluten-free flour mix is shown in Figure 2. When the main characteristic groups were observed in the FTIR spectrum of the gluten-free flour mixture, the band showing the vibrations of intermolecular and intramolecular hydroxyl (OH) groups by stretching and bending was detected in the range of 3650–3000 cm^{-1} . The band attributed to the vibration caused by the stretching of the bond (CH) of the starch anhydro-glucose unit is observed in the range of 3000–2850 cm^{-1} (Anchondo-Trejo et al., 2020). The absorption bands at 3287 cm^{-1} , 2919 cm^{-1} , and 1642 cm^{-1} correspond to O-H, C-H, and O-H stretching, respectively. Furthermore, the absorbance peak at 1412 cm^{-1} implied the presence of C-H symmetrical scissoring of the CH_2OH moiety.

1200–800 cm^{-1} are the fingerprinting regions of starch molecules. These characteristic functional groups in wheat flour and rice flour have been previously reported by different researchers (Ashwar et al., 2016; Bhat et al., 2016; Jan et al., 2022). The “sugar region” (950–1200 cm^{-1}) and “the anomeric region” (750–950 cm^{-1}) are considered important spectral regions for structural characterization of polysaccharides. In the region between 400 cm^{-1} and 1250 cm^{-1} , characteristic starch bands are observed. The band at 929 cm^{-1} is attributed to vibrations in the skeleton of α -1,4 glycosidic bonds, the band at 860 cm^{-1} to CH and C-H₂ deformation, and the band at 762 cm^{-1} to C-C stretching (Anchondo-Trejo et al., 2020). The absorption spectrum of 995 cm^{-1} is typical for most starches. This absorption band corresponds to the C=O extension of the glucose ring (Kacurakova et al., 2000; Wang et al., 2007; Wilson et al., 1988).

ATR-FTIR Spectrum of Oven-Dried Jerusalem Artichoke Powder

The ATR-FTIR spectrum of oven-dried Jerusalem artichoke powder contains general information about its molecular skeleton and functional groups. The ATR-FTIR spectra of the dried powder of Jerusalem artichoke are shown in Figure 2. When the ATR-FTIR spectrum was examined, characteristic polysaccharide peaks were observed. A broad absorption peak for O–H stretching vibrations is observed at 3298 cm^{-1} , and the absorption peak for C–H stretching vibrations is observed at 2925 cm^{-1} . Afoakwah (2022) determined these peaks at 3354 cm^{-1} for O–H stretching vibrations and absorption peaks for C–H stretching vibrations at 2931 cm^{-1} , and Shao et al. (2021) determined these peaks at 3370 cm^{-1} and 2950 cm^{-1} . C–O and C–C stretching and C–OH bending vibrations, which express a characteristic feature of a polysaccharide, were observed in a wide region of 900–1200 cm^{-1} . The absorption peak near 1024 cm^{-1} is attributed to the C–OH stretching vibration. Fructans from Jerusalem artichoke exhibited a band at 1596 cm^{-1} . This region is associated with the vibration modes of peptide bonds (amide I and II) (Diaz et al., 2022). Abou-Arab et al. (2011) determined the (C=C) functional groups at 3302–3360 cm^{-1} , (OH

stretching) 2931–2932 cm^{-1} (CH stretching), and 1592–1631 cm^{-1} . Differences in the spectrum may result from different structures. Absorption bands below 1500 cm^{-1} generally correspond to C-C, C-O-C, and C-OH vibration modes and glycosidic linkage vibrations and are called the “fingerprint” region (Smith et al., 1999). This area provides important information about organic

compounds such as sugars and organic acids present in the sample; however, it is difficult to analyze due to its complexity. The presence of FTIR absorption bands at 1000 and 1140 cm^{-1} corresponds to stretching vibrations of (C-OH) side groups and (C-O-C) glycosidic bond vibrations (Liu et al., 2016).

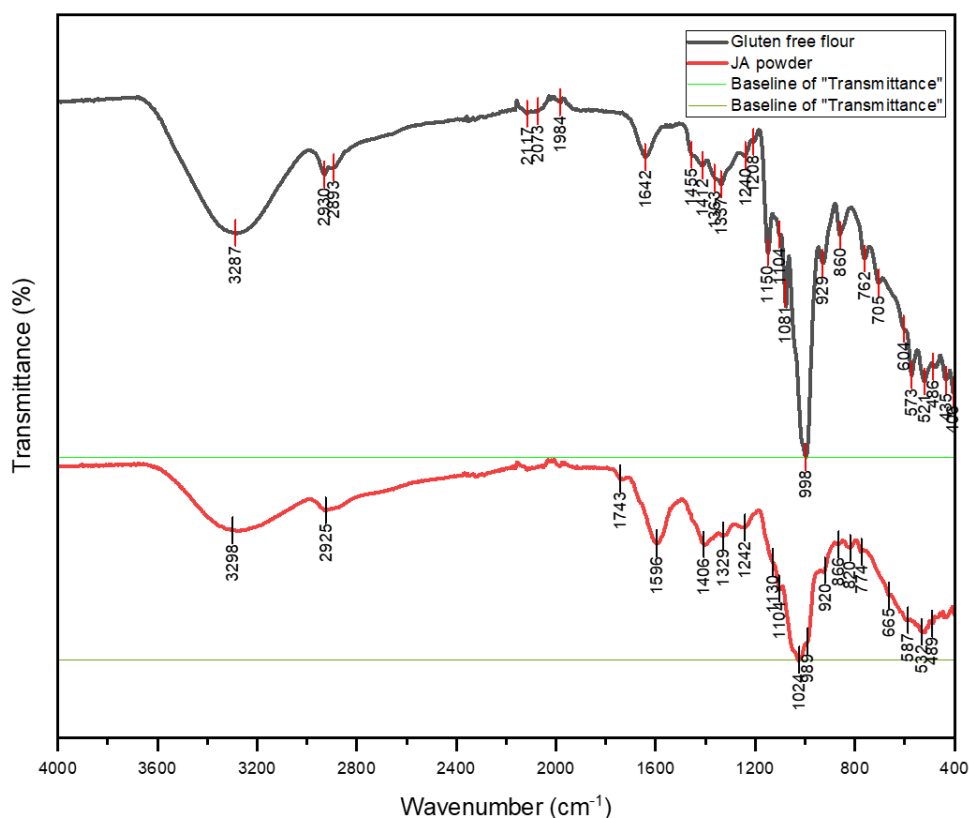


Figure 2. ATR-FTIR spectra of gluten-free flour and oven-dried powder of Jerusalem artichoke (JA)

ATR-FTIR Spectra of the Bread

The ATR-FTIR spectra of the breads are shown in Figure 3. Visual examination of the FTIR spectra of all bread samples revealed that blending Jerusalem artichoke and flour in different proportions reflected similar absorption bands and did not cause any significant changes in the functional groups studied. The broad main absorption peak around 3000–3600 cm^{-1} indicates the stretching vibrations of intermolecular or intramolecular O-H bonds. The narrow, sharp, but small peaks centered at 2930 and 2856 cm^{-1} are largely contributed to by symmetric stretching

vibrations of the C-H bonds of $-\text{CH}_2/-\text{CH}_3$ alkyl groups. The narrow peak centered at 1744 cm^{-1} corresponds to the presence of C=O stretching vibrations. In terms of protein structure analysis, FTIR spectra between 1500 and 1800 cm^{-1} provide important information. The “sugar region” (950–1200 cm^{-1}) and the “anomeric region” (750–950 cm^{-1}) are considered important spectral regions for the structural characterization of polysaccharides (Skendi et al., 2018). The waves between 1200 and 800 cm^{-1} are characteristic of the backbone vibrations of CO, CN, and CC bonds, which are assigned to the

presence of polysaccharides in bread flour (Sivam et al., 2013). Starch is the main constituent of the examined flours and has a fundamental role in dough production; the intense peak at 1012 cm^{-1} is attributed to C-O stretching and CH_2 bending vibrations of $-\text{CH}_2\text{OH}$ units (Kacurakova et al., 2000; Wang et al., 2007; Wilson et al., 1988). A

less intense peak at 1079 cm^{-1} was also noticed in all samples, which was attributed to C-O-H bending vibrations of glycosidic linkages. Similarly, another peak at 1145 cm^{-1} was associated with C-H stretching of starch (Mathlouthi et al., 1987).

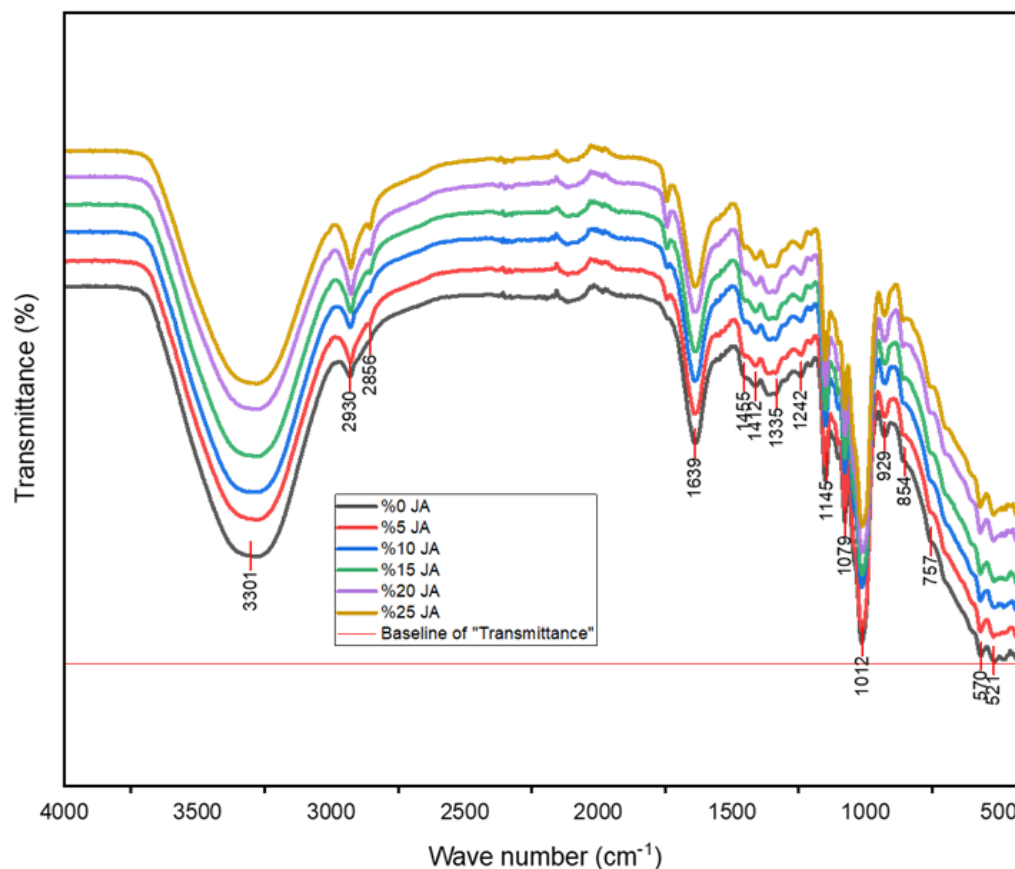


Figure 3. ATR-FTIR spectra of the bread samples incorporated with 0-25% Jerusalem artichoke (JA).

Weight Loss and Specific Volume of the Bread

According to the data obtained in this study, the highest weight loss occurred in bread with 5% Jerusalem artichoke, and this was determined as the closest value to bread produced as a control (0% Jerusalem artichoke). The lowest weight loss was observed in bread containing 20% and 25% Jerusalem artichoke. As a result of the analysis, the specific volume of the control bread (0%) obtained from the gluten-free mixture was higher than that of the other samples, and the specific

volume decreased as the Jerusalem artichoke powder content increased. Weight loss and specific volume results of bread samples and statistical evaluation results are given in Table 2.

In our study, the specific volume of bread without Jerusalem artichoke was 1.85 g/ml . In comparison, the specific volume of breads prepared by Yilmaz and Dogan (2015) from 8 different gluten-free flour mixtures obtained from the market was $2.08\text{--}2.89\text{ g/ml}$. The specific volume of our Jerusalem artichoke-added gluten-

free bread was 1.51-1.25 g/ml. It is thought that the reason for the different results obtained from the research of Yilmaz and Dogan (2015) is the use of different flour mixtures. In the gluten-free breads produced in our study, a decrease was observed in the specific volume of the breads as the Jerusalem artichoke powder increased. In the study of Cetin Babaoglu et al. (2021), including 20% Jerusalem artichoke powder in sourdough wheat bread significantly decreased the specific volume of sourdough bread. In the gluten-free breads with taro plant (*Colocasia esculenta*) prepared by Pehlivan (2016), the specific volume of the

bread decreased as the taro content increased. These results are consistent with the results of our study. There are also studies with different results. Praznik et al. (2002) determined an increase in bread volume, while Hager et al. (2011) did not find a significant change in volume by adding inulin. Peressini and Sensidoni (2009) reported that adding inulin causes a decrease or increase in the specific volume, depending on the type of flour. Ermosh et al. (2020) determined an increase in the specific volume of bread produced by adding Jerusalem artichoke powder to a mixture of wheat and rye flour.

Table 2. Weight loss and specific volume result graph of the bread samples

JA (%)	n	Weight loss (%)*	Specific volume (ml/g)*
0	3	13.50±0.67 ^d	1.85±0.01 ^e
5	3	12.00 ±0.37 ^c	1.51±0.01 ^d
10	3	11.30 ±0.09 ^{bc}	1.42±0.01 ^c
15	3	11.00 ±0.34 ^b	1.30±0.06 ^b
20	3	9.00 ±0.15 ^a	1.25±0.02 ^a
25	3	9.20 ±0.03 ^a	1.26±0.06 ^a

JA: Jerusalem artichoke powder. * Means within the same column with different superscript letters indicate a significant difference using the DMRT test ($P < 0.05$). Each represented mean±standard error of three samples (n).

In our study, the weight loss of breads without Jerusalem artichoke was 13.5%, while the specific volume of breads prepared by Yilmaz and Dogan (2015) from 8 different gluten-free flour mixtures obtained from the market was 17.92-20.97%. Weight loss was 9.20-12.00% in our Jerusalem artichoke-added gluten-free breads. In this study, weight loss decreased as the Jerusalem artichoke content increased, which may be related to the water-holding capacity of the Jerusalem artichoke. The high inulin and fiber content of the Jerusalem artichoke may increase the water-holding capacity as the hydroxyl groups form more hydrogen bonds with water (Shoaib Shehzad et al., 2016). According to another study, inulin can form a protective layer around starch granules, which may limit swelling and amylose release (Vazquez-Gutiérrez et al., 2017).

Bread Color Parameters

According to the data obtained in our study, it was observed that as the Jerusalem artichoke powder

content increased, it affected both the inner and crust color values of the breads (Figure 4, Table 3).

When the breads with Jerusalem artichoke addition were compared, a significant difference was found in the L, a, and b values of the crust and inner color of the bread ($P < 0.05$). In general, it was determined that the color quality defects disappeared when the bread containing the Jerusalem artichoke was compared to the control bread (0%) (Figure 4). This makes the crust color more pleasing than gluten-free bread without added Jerusalem artichokes. The color of the bread crust, an important criterion for consumers' bread preference, is influenced by many factors, such as the type of flour used, the quality and quantity of ingredients, and the cooking temperature and duration (Salinas and Puppo, 2015). This color is related to enzymatic and non-enzymatic browning reactions (Maillard reaction) and is an important parameter in bread quality.

This study, along with an increased Jerusalem artichoke content, showed a decrease in the L^* and b^* values and an increase in the a^* value of the crust and outer color. Since the baking time and temperature are the same in all manufactured formulations, we can conclude that the change in formulation caused a noticeable change in the color of the bread with added Jerusalem artichoke compared to the control bread (without Jerusalem artichoke). The results showed that jaundice and whiteness decreased, and redness increased in the

bread crust. In the study by Vega et al. (2024), Jerusalem artichoke caused the dough and baked product to become darker. It has been reported that the high presence of inulin supports the Maillard reaction, which is responsible for non-enzymatic browning (Turksoy and Ozkaya, 2006). In the study of Ermosh et al. (2020), wheat bread containing Jerusalem artichoke powder was determined to have a brown crust. It is consistent with the results of this study.

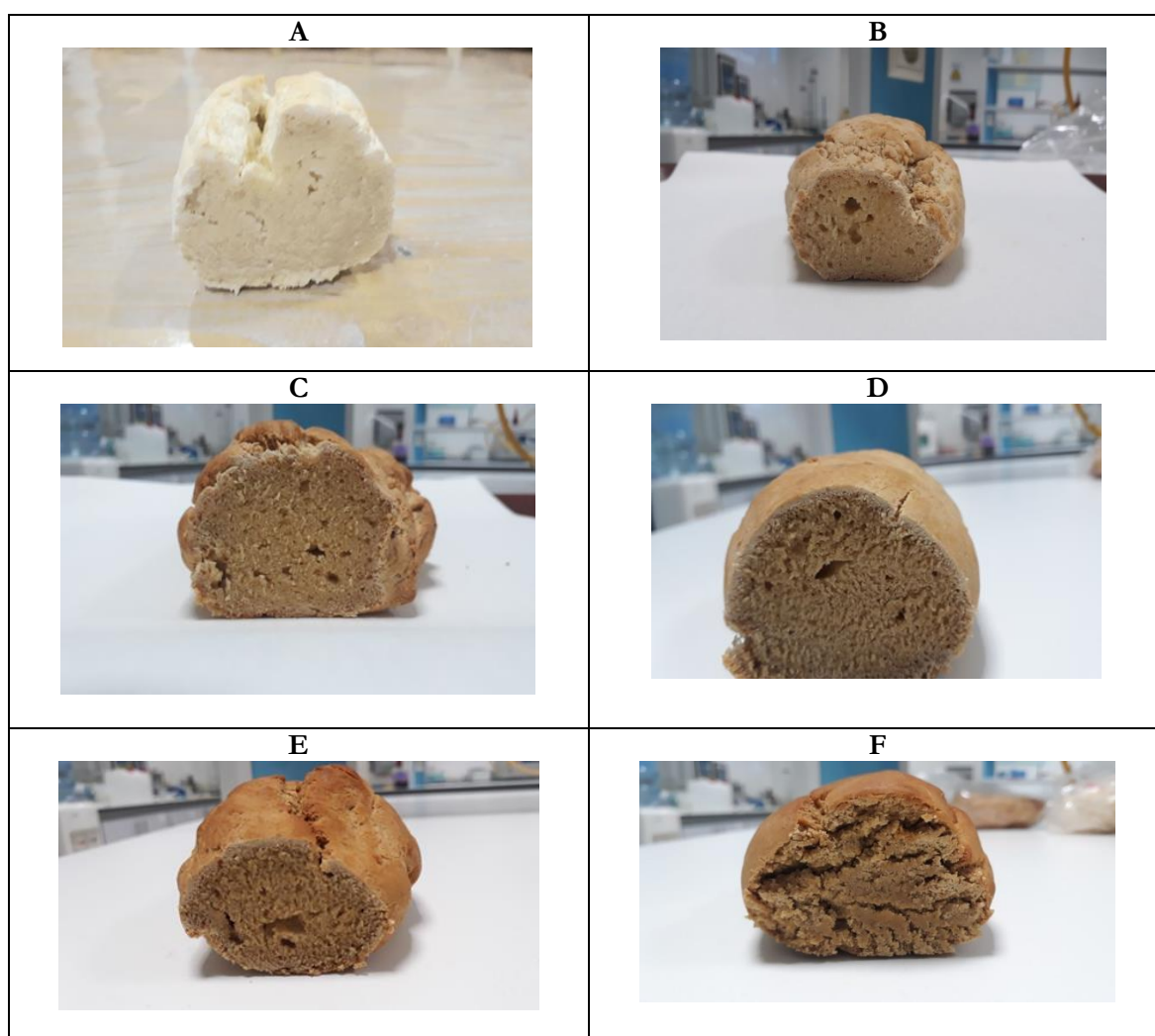


Figure 4. Cross-section photograph of bread with and without Jerusalem artichoke (A: 0% (control bread), B: 5 %, C: 10%, D: 15%, E: 20% and F: 25% JA).

Table 3. The color values of bread

JA%	n	crust color			crumb color		
		L*	a*	b*	L*	a*	b*
0	3	86.65±0.26 ^f	3.01±0.12 ^a	13.46±0.17 ^d	79.95±0.03 ^f	0.1±0.01 ^a	33.38±0.28 ^f
5	3	71.72±0.97 ^e	5.37±0.18 ^b	13.09±0.01 ^c	58.19±0.06 ^e	7.67±0.06 ^b	26.26±0.07 ^e
10	3	62.31±0.65 ^d	8.13±0.20 ^c	12.76±0.04 ^c	48.63±0.23 ^d	9.62±0.06 ^d	24±0.04 ^d
15	3	54.65±1.78 ^c	9.55±0.06 ^d	12.01±0.01 ^b	44.27±0.04 ^c	9.69±0.06 ^d	21.39±0.04 ^c
20	3	49.13±0.28 ^b	10.17±0.02 ^e	11.37±0.12 ^a	43.85±0.01 ^b	9.72±0.03 ^d	20.08±0.08 ^b
25	3	46.18±0.11 ^a	11.65±0.27 ^f	11.21±0.07 ^a	42.66±0.03 ^a	9.36±0.85 ^c	19.64±0.05 ^a

JA: Jerusalem artichoke powder. * Means within the same column with different superscript letters indicate a significant difference using the DMRT test ($P < 0.05$). Each represented mean $\pm$ standard error of three samples (n). L* –Lightness coordinate (L*=0 indicates black and L*=100 is white). a* is the red/green coordinate, +a* indicates red, –a* indicates green. b* is the yellow/blue coordinate and +b* indicates yellow and –b* indicates blue.

While a fresh Jerusalem artichoke tuber contains between 7% and 30% inulin, about 50% of the dry weight of the tuber is inulin (Kays and Nottingham, 2007). In the study of Salinas and Puppo (2015), the brightness (L*) decreased, and the a* and b* values increased during the production of inulin-fortified wheat bread. In their study, Frutos et al. (2008) mentioned that an increase in artichoke fiber increases the bread crust color. Hager et al. (2011) investigated the effect of adding inulin to wheat flour on the color of the bread crust and found that inulin darkened the bread crust and explained this by the fact that inulin leads to a stronger Maillard reaction. Peressini and Sensidoni (2009) observed that crust browning increases with fiber increase. Poinot et al. (2010) determined that adding inulin to white bread accelerates the formation of bread crust and the Maillard reaction and observed an increase in bread crust color (higher a* and b* values) with an increase in the amount of inulin.

The analysis of the inner color of the Jerusalem artichoke-added gluten-free bread showed that the redness increased as the content increased, the L* and b* values decreased, and the structure reached a more lively and normal bread appearance. Radovanovic et al. (2017) determined that bread enriched with 25% Jerusalem artichoke was well-baked, well-shaped, and dark brown inside, which was consistent with the results of this study.

Texture of Bread

In this study, Jerusalem artichoke powder added to gluten-free breads increased the hardness value of the bread. Hardness in bread is usually expressed by a decrease in the softness of the bread core (Gallagher et al., 2004). The results of the textural properties of the bread produced are shown in Figures 5-6 and Table 4. Cetin Babaoglu et al. (2021) determined that adding Jerusalem artichoke powder to the formula in sourdough breads significantly increased the hardness value ($P < 0.05$). Rubel et al. (2014) determined that enrichment with Jerusalem artichoke powder increased the hardness value of bread. According to the results of this study, in gluten-free breads, the chewiness level decreased with increasing Jerusalem artichoke content. Cetin Babaoglu et al. (2021) determined that adding Jerusalem artichoke powder to the formula increased the chewiness value of sourdough breads. Wheat flour containing gluten was used in this study. Barisik and Tavman (2018) showed a positive effect as the chewiness and content increased in gluten-free bread made with chickpea and rice flour.

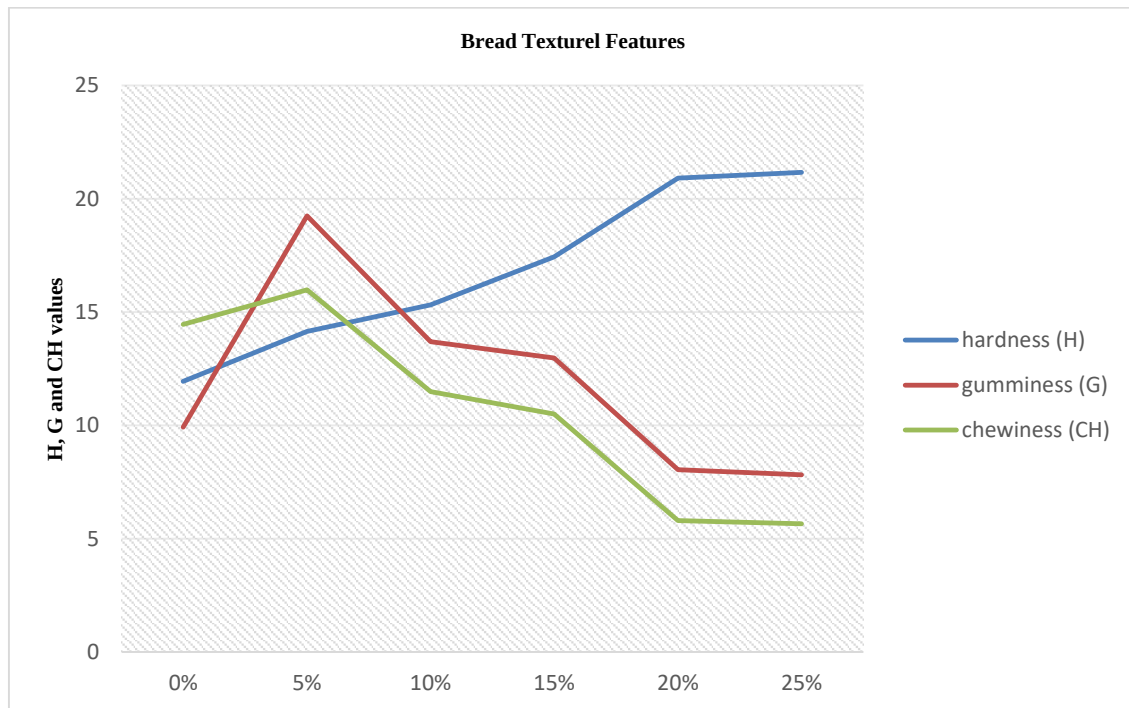


Figure 5. Textural properties of bread samples (hardness, gumminess, chewiness).

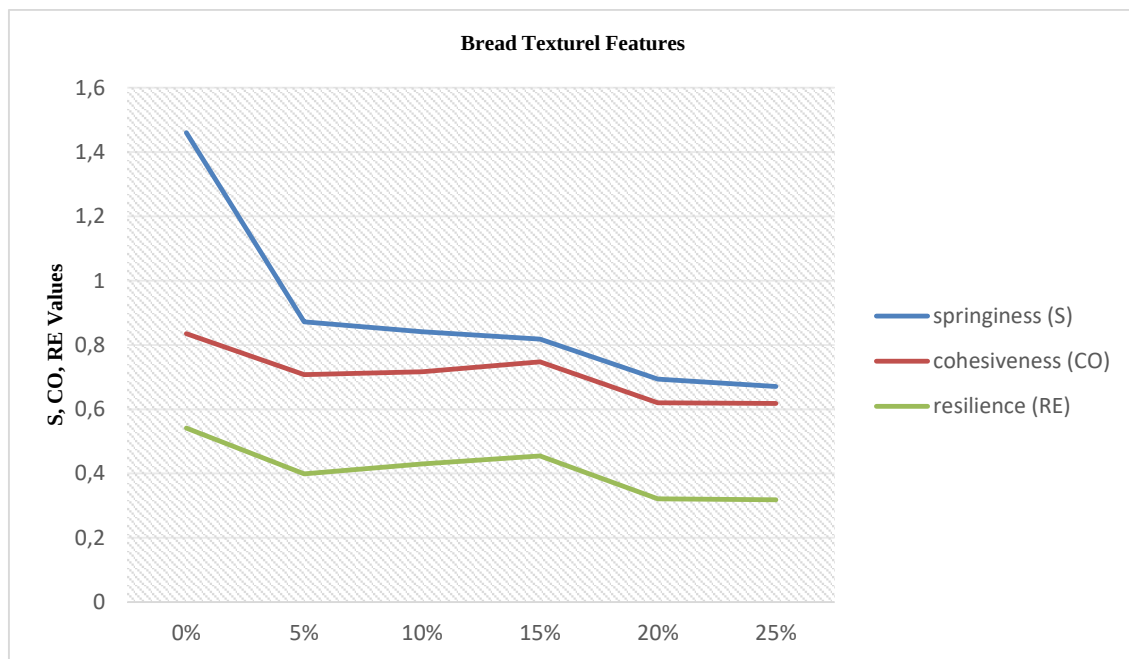


Figure 6. Textural properties of bread samples (springiness, cohesiveness, resilience).

The effects of helianthus tuberosus addition on the gluten-free bread

Table 4. Textural properties of bread samples

JA powder (%)	Hardness (g)	Springiness (mj)	Cohesiveness	Gumminess (g)	Chewiness (mj)	Resilience (mm)
0	11.94±0.01 ^a	1.46±0.01 ^f	0.835±0.01 ^e	9.92±0.01 ^c	14.45±0.01 ^e	0.54±0.01 ^e
5	14.15±0.04 ^b	0.87±0.01 ^e	0.71±0.01 ^b	19.25±0.01 ^f	15.99±0.01 ^f	0.40±0.01 ^b
10	15.32±0.08 ^c	0.84±0.01 ^d	0.72±0.01 ^c	13.69±0.01 ^e	11.49±0.01 ^d	0.43±0.01 ^c
15	17.44±0.04 ^d	0.82±0.01 ^c	0.75±0.01 ^d	12.98±0.01 ^d	10.50±0.01 ^c	0.46±0.01 ^d
20	20.92±0.03 ^e	0.69±0.01 ^b	0.62±0.01 ^a	8.051±0.01 ^b	5.81±0.01 ^b	0.32±0.01 ^a
25	21.17±0.01 ^f	0.67±0.06 ^a	0.62±0.01 ^a	7.82±0.01 ^a	5.65±0.01 ^a	0.32±0.0 ^a

JA: Jerusalem artichoke powder. * Means within the same column with different superscript letters indicate a significant difference using the DMRT test ($P < 0.05$). Each represented mean±standard error of three samples (n).

In this study, increasing Jerusalem artichoke content showed a lowering effect on gumminess. Likewise, the flexibility and elasticity of bread decreased as the Jerusalem artichoke content increased. Wahyono et al. (2016) reported that adding inulin to the bread formula increased the hardness and chewiness values, and the flexibility and stickiness values decreased. In the study conducted by Paciulli et al. (2016), gluten-free bread was produced by adding 10% and 20% chestnut flour to two different commercial gluten-free flour mixtures. The elasticity values of the breads were 0.40-0.45, respectively. As the percentage of Jerusalem artichoke increased,

cohesive adhesiveness increased to 15% and decreased after 20%. In a study by Erdemir (2015), the cohesive stickiness of wheat bread was 0.77, and this value was the closest (0.74) to gluten-free bread with a 15% Jerusalem artichoke content.

Chemical Analysis Results

Microbiological and chemical analysis results of Jerusalem artichoke and gluten-free flour used in bread production are given in Table 5. The chemical analysis results of the bread are shown in Table 6.

Table 5. Microbiological analysis and chemical analysis results of Jerusalem artichoke and gluten-free flour mix used in bread production

Sample	Ash	pH	Moisture (%)	Total Bacteria (log ₁₀)	Total Mold and Yeast (log ₁₀)
JA powder	8.170±0.363	4.90±0.001	4.00±0.34	2.27±0.001	<1
Gluten-free flour	1.080±0.21	4.98±0.002	11.83±0.12	1.69±0.001	<1

Table 6. Moisture, pH, and ash analysis results of gluten-free bread with Jerusalem artichoke powder ($P < 0.05$)

JA (%)	Moisture %	pH	Ash %
0	28.63±0.005 ^e	5.872±0.001 ^e	1.998±0.001 ^a
5	27.49±0.006 ^d	5.713±0.001 ^d	2.093±0.001 ^b
10	27.49±0.008 ^d	5.654±0.001 ^c	2.309±0.001 ^c
15	26.57±0.003 ^c	5.613±0.001 ^b	2.403±0.001 ^d
20	24.99±0.008 ^b	5.57±0.001 ^b	2.512±0.001 ^e
25	23.98±0.38 ^a	5.574±0.001 ^a	2.751±0.650 ^f

JA: Jerusalem artichoke powder. * Means within the same column with different superscript letters indicate a significant difference using the DMRT test ($P < 0.05$). Each represented mean±standard error of three samples (n).

In human health, dietary fibers have positive properties, such as regulating blood sugar, lowering cholesterol levels, and protecting against intestinal cancer and cardiovascular diseases (Kandıralı, 2014). In our study, the amount of dietary fiber, 1.90% in the control bread without Jerusalem artichoke, increased to 2.19% in the gluten-free bread with 25% Jerusalem artichoke powder added (Table 7). It has been reported that adding Jerusalem artichoke powder significantly increased the amount of non-starch polysaccharides in pastry products (cakes, butter biscuits, and honey biscuits), thereby increasing their fiber content, making these products healthier food (Gedrovica et al., 2011). Ponomareva et al. (2009) determined that adding

15% topinambur to rye and wheat bread improves the quality indicators of the finished product, increasing the dietary fiber in it by 0-25%. According to the research of Ozgoren et al. (2019), increasing the content of topinambur powder from 10% to 30% significantly increased the dietary fiber. Karklina et al. (2012), in their study investigating the nutritional value of biscuits by adding different amounts of dried Jerusalem artichoke powder, determined that adding up to 20% of Jerusalem artichoke powder instead of wheat flour increased the dietary fiber to 3.36 g/100 g. Cetin Babaoglu et al. (2021) determined that the total dietary fiber content increased from 2.62 to 5.30/100 g by including 20% Jerusalem artichoke powder in sourdough wheat bread.

Table 7. Some nutritional values of bread samples

JA* (%)	Total Sugar (%)	Dietary Fiber (%)	Energy (kcal/100 g)	S FA (%)	Unsaturated Fatty Acids	
					MFSA (%)	PFSA (%)
0	NDa	1.90±0.005 ^a	276.5 ±0.006 ^a	7.49±0.003 ^e	38.05±0.003 ^d	54.46±0.005 ^a
5	4.25±0.008 ^b	1.96±0.001 ^b	285.9 ±0.012 ^f	7.48±0.003 ^e	38.03±0.003 ^d	54.49±0.003 ^b
10	5.92±0.006 ^c	1.98±0.005 ^c	277.1 3±0.003 ^b	7.44±0.003 ^d	38.01±0.003 ^d	54.55±0.003 ^c
15	11.4±0.006 ^d	2.06±0.011 ^d	281.4±0.023 ^e	6.55±0.006 ^c	37.75±0.006 ^c	55.70±0.006 ^d
20	15.18±0.006 ^e	2.11±0.005 ^e	280.2 ±0.005 ^d	6.53±0.03 ^b	36.95±0.003 ^b	56.92±0.003 ^e
25	16.74±0.015 ^f	2.19±0.005 ^f	279.1 ±0.006 ^c	6.32±0.003 ^a	36.82±0.003 ^a	56.96±0.0003 ^f

In our study, while the ash rate was 1.998% in gluten-free breads that did not contain Jerusalem artichoke powder, it was 2.093-2.751% in those containing Jerusalem artichoke powder. According to the study of Ozgoren et al. (2019), increasing the cracker content of topinambur powder from 10% to 30% increased the ash content from 1.09% to 2.06%. These values are close to the results of our research. This study determined that the amounts of selenium, calcium, magnesium, and potassium increased significantly in gluten-free breads with Jerusalem artichoke added. Therefore, the nutritional value of Jerusalem artichoke increased the nutritional value of gluten-free breads. This is due to the high amount of these components in the Jerusalem artichoke tuber. Another study determined that the mineral (magnesium, calcium, phosphorus, and iron) content and fiber content of cookies in which 2.5, 5, 7.5, and 10% dried Jerusalem

artichoke tuber flour was used instead of wheat flour increased significantly (Solayman et al., 2023).

Our study determined that the energy value of the Jerusalem artichoke-added gluten-free bread was 286-279 kcal/100 g (Table 7). The values of saturated and monounsaturated fatty acids decreased, and polyunsaturated fatty acids increased. Radovanovic et al. (2014), in their study using 75% wheat flour (containing gluten) and 25% Jerusalem artichoke powder, determined that the bread enriched with Jerusalem artichoke had optimal nutritional and caloric value, a low glycemic index, and low glycemic load values. Radovanovic et al. (2014) determined the caloric value of wheat bread enriched with Jerusalem artichoke powder content as 226 kcal/100 g. When these results are compared, the caloric value is slightly higher than that of the 25%

The effects of helianthus tuberosus addition on the gluten-free bread

Jerusalem artichoke-added breads in Radovanovic et al.'s study (2014). This is thought to be due to the use of gluten-free flour. Some

microcomponent analysis results of bread samples are shown in Table 8.

Table 8. Some microcomponent analysis results of the bread samples

JA (%)	Selenium (mg/kg)	Calcium (mg/kg)	Magnesium (mg/kg)	Potassium (mg/kg)
0	0.017±0.003 ^a	452.618±0.012 ^a	113.899±0.025 ^a	778.220±0.005 ^a
5	0.018±0.003 ^{ab}	454.748±0.008 ^b	138.237±0.008 ^b	1.734.313±0.008 ^b
10	0.019±0.003 ^b	482.696±0.015 ^c	167.928±0.024 ^{cd}	3.009.609±0.011 ^c
15	0.021±0.005 ^c	538.508±0.049 ^d	237.045±0.005 ^d	5.292.842±0.003 ^d
20	0.021±0.006 ^c	539.707±0.001 ^e	237.768±0.005 ^e	5.298.903±0.008 ^e
25	0.024±0.005 ^d	614.013±0.001 ^f	280.760±0.008 ^f	6.926.842±0.015 ^f

JA: Jerusalem artichoke powder. Each value represented the mean±SD of three samples (n = 3). Means within the same column with different superscript letters indicate a significant difference using the DMRT test ($P < 0.05$).

Sensory Evaluation

Gluten-free products generally have poorer sensory quality than gluten-containing baked goods (Gallagher et al., 2014). In this study, according to the sensory evaluation results obtained from the panelists, gluten-free bread with 10% Jerusalem artichoke added got the highest score in general appreciation. Cetin Babaoglu et al. (2021) found that adding up to 10% of Jerusalem artichoke powder was acceptable in their study. Like this study, adding more than 10% of Jerusalem artichoke powder resulted in extremely low scores on the sensory evaluation. Wahyono et al. (2016) suggested that Jerusalem artichoke powder above 5% should not be added to breads.

Microbiological Analysis Results

The content of Jerusalem artichoke in gluten-free breads and the effects of 9 days of storage at room

temperature in sterile closed packaging on pH, moisture, total aerobic mesophilic bacteria, and total mold yeast are shown in Tables 9 and 10. In this study, significant results were obtained between the addition of Jerusalem artichoke powder to breads and the results of microbiological analysis ($P < 0.05$). The reason for the significant relationship between the results of microbiological analysis and the Jerusalem artichoke content and storage in bread was thought to be related to these many different factors. Changes in pH and moisture values should be evaluated because of their preventive effects on the development of microbiological activities (Pala, 2012). Microbiological analyses are important because of their effect on the shelf life of gluten-free products. Shelf life is related to many factors, such as microbiological load and humidity.

Table 9. The relationship between Jerusalem artichoke content and pH, moisture, total aerobic mesophilic bacteria, and total mold yeast in gluten-free breads

Microorganism	JA%	N	Mean±Std. Error*	95% Confidence Interval		Minimum*	Maximum*
				Lower Bound	Upper Bound		
Moisture	0	15	27.33±0.18 ^d	0.70	0.18	26.94	27.72
	5	15	27.07±0.19 ^d	0.73	0.19	26.66	27.4
	10	15	26.73±0.26 ^d	1.01	0.26	26.16	27.29
	15	15	24.28±0.43 ^c	1.67	0.43	23.36	25.21
	20	15	22.20±0.37 ^b	1.45	0.37	21.4	23.01
	25	15	20.33±0.52 ^a	2.012	0.52	19.22	21.44

pH	0	15	5.76±0.02 ^d	0.07	0.02	5.72	5.79
	5	15	5.68±0.01 ^c	0.028	0.01	5.67	5.7
	10	15	5.56±0.01 ^b	0.047	0.01	5.53	5.59
	15	15	5.57±0.01 ^b	0.03	0.01	5.55	5.59
	20	15	5.54±0.01 ^b	0.03	0.01	5.53	5.56
	25	15	5.4±50.04 ^a	0.18	0.05	5.35	5.55
Total mold and yeast	0	15	13.73±1.86 ^c	9.74	17.72	5	24
	5	15	10.8±2.53 ^c	5.36	16.23	1	29
	10	15	6.73±0.95 ^b	4.68	8.77	3	14
	15	15	4.53±0.41 ^b	3.64	5.41	1	6
	20	15	0.4±0.13 ^a	0.11	0.68	0	1
	25	15	6.13±1.133 ^b	3.70	8.56	2	15
Total aerobic mesophilic bacteria (TAMB)	0	15	15.6±0.88 ^d	13.69	17.50	9	20
	5	15	7±1.146 ^{bc}	4.54	9.45	0	14
	10	15	5.46±0.77 ^b	3.80	7.12	1	9
	15	15	9±1.29 ^c	6.21	11.78	4	19
	20	15	2±0.48 ^a	0.95	3.04	0	6
	25	15	7.66±0.53 ^{bc}	6.52	8.80	3	10

*Values indicate the arithmetic mean of colony numbers. N: Sample numbers. Means within the same column with different superscript letters indicate a significant difference using the DMRT test ($P < 0.05$) for each parameter.

Table 10. The relationship between the storage of gluten-free bread samples and the moisture, pH, total mold and yeast, and total aerobic mesophilic bacteria

	Storage day	N	Mean±Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
				Lower Bound	Upper Bound		
Moisture (%)	1	18	26.52±0.385 ^b	25.70	27.33	23.95	28.66
	3	18	25.14±0.74 ^{ab}	23.57	26.72	20.19	28.19
	5	18	24.44±0.70 ^a	22.96	25.92	19.9	27.2
	7	18	23.76±0.68 ^a	22.32	25.20	19.31	27.09
	9	18	23.41±0.73 ^a	21.85	24.96	18.18	26.8
pH	1	18	5.66±0.025 ^b	5.60	5.71	5.56	5.88
	3	18	5.62±0.021 ^{ab}	5.58	5.67	5.52	5.79
	5	18	5.59±0.022 ^{ab}	5.54	5.63	5.5	5.74
	7	18	5.55±0.038 ^a	5.47	5.63	5	5.74
	9	18	5.53±0.035 ^a	5.46	5.61	5	5.68
Total mold and yeast*	1	18	5.66±1.87 ^{ab}	1.70	9.62	0	24
	3	18	5.94±1.017 ^{ab}	3.79	8.09	0	15
	5	18	4.44±0.47 ^a	3.43	5.45	0	7
	7	18	10.27±2.31 ^b	5.38	15.16	0	29
	9	18	8.94±1.50 ^{ab}	5.77	12.11	0	19
Total aerobic mesophilic bacteria*	1	18	4.83±0.84 ^a	3.05	6.61	0	11
	3	18	8.5±0.99 ^{ab}	6.40	10.59	3	16
	5	18	10±1.49 ^b	6.84	13.15	1	19
	7	18	8.5556±1.23 ^{ab}	5.95	11.15	0	19
	9	18	7.0556±1.41 ^{ab}	4.05	10.05	0	20

*Values indicate the arithmetic mean of colony numbers. N: Sample numbers. Means within the same column with different superscript letters indicate a significant difference using the DMRT test ($P < 0.05$) for each parameter.

CONCLUSION

Enriching the nutritional values and increasing the functionality of gluten-free breads, which have an important place in the diet for many patients, such as those with celiac disease and gluten intolerance, is among the important issues. The addition of Jerusalem artichoke reflected significant impacts on the product. As a result of the study, it was found that with the increase in the amount of Jerusalem artichoke powder in the gluten-free bread formulation, the specific volume and baking loss, moisture, and pH of the bread decreased, while the amounts of fiber, ash, selenium, calcium, magnesium, and potassium, which are macro- and micronutrients of the bread, increased ($P < 0.05$). In gluten-free breads that do not contain Jerusalem artichoke, this value is not high. Saturated fatty acids and monounsaturated fatty acids values decreased, and polyunsaturated fatty acids increased. When the effect of the decrease in the moisture content of bread containing Jerusalem artichoke is evaluated, such an effect is important because it reduces the risk of spoilage in bread.

As a result of the high dietary fiber properties of Jerusalem artichoke, it has become important to make evaluations based on this situation. The effects of dietary fiber on human health include regulating blood sugar, lowering cholesterol levels, and protecting against bowel cancer and cardiovascular diseases.

It was determined that with the addition of Jerusalem artichoke, L^* and b^* values of the inner and outer color of gluten-free bread decreased, a^* values increased, and flexibility, cohesive chewiness, and elasticity decreased ($P < 0.05$). In this way, the external and internal color and textural properties of the bread have become more vibrant and have a normal bread appearance. Adding Jerusalem artichoke powder improved the internal and external appearance of gluten-free bread and caused some quality defects. According to the sensory analysis results from the panelists, the most liked Jerusalem artichoke-added bread is bread made with 10% content.

In addition, FTIR spectroscopy was performed to provide a database on the characteristic peak frequencies of gluten-free breads containing Jerusalem artichoke. It is thought that the results obtained will contribute to the scientific literature.

By adding Jerusalem artichoke powder obtained by a simple drying and grinding method, the nutritional value of standard specification gluten-free bread was increased, its sensory and textural properties were improved, and gluten-free bread with Jerusalem artichoke added became more acceptable. Adding Jerusalem artichoke when making gluten-free bread may provide some benefits in terms of both taste and nutritional value.

CONFLICT OF INTEREST

The authors declare that they have no financial conflict of interest.

REFERENCES

- Abou-Arab, A.A., Talaat, H.A., Abu-Salem, F.M. (2011). Physico-chemical properties of inulin produced from Jerusalem artichoke tubers on bench and pilot plant scale. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 5(5): 1297-1309.
- Afoakwah, N.A. (2022). Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus*) dietary-fiber powder functionality. *Helijon*, 8(12): 1-9, <https://doi.org/10.1016/j.helijon.2022.e12426>.
- Altug Onogur, T., Elmaci, T. (2011). *Gıdalarda dınyusal değerlendirme*. Sidas Medya Ltd. Sti. Izmir, Türkiye, 135 p.
- Anchondo-Trejo, C., Loya-Carrasco, J.A., Galicia-García, T., Estrada-Moreno, I., Mendoza-Duarte, M., Castellanos-Gallo, L., ... Soto-Figueroa, C. (2020). Development of a third generation snack of rice starch enriched with Nopal flour (*Opuntia ficus indica*). *Molecules*, 26(1): 54, <https://doi.org/10.3390/molecules26010054>.
- AOAC. (1990). AOAC Official Method 923.09, Invert sugar in sugars and syrup Lane-Eynon method. Official methods of analysis of the association of official analytical chemists. 15th Edition, Virginia, USA.

- AOAC. (1995). AOAC Official Method 991.43, Total, Soluble, and Insoluble Dietary Fibre in Foods. Official methods of analysis of the association of official analytical chemists. 16th Edition, Virginia, USA.
- AACC. (1999a). AACC Method 44-01.0, International Approved Methods of the American Association of Cereal Chemists. 11th Edition, AACC International, St. Paul, MN, USA.
- AACC. (1999b). AACC Method. 08-01.01, Ash-basic method, International Approved Methods of the American Association of Cereal Chemists. 11th Edition, AACC International, St. Paul, MN, USA.
- AACC. (2001). AACC Method 10-05.01, Approved methods of analysis, Guidelines for measurement of volume by rapeseed displacement. 11th Edition, St. Paul, AACC International, USA.
- NMKL. (2007). Nordic-Baltic Committee on Food Analysis (NMKL) 186, Trace elements – As, Cd, Hg, Pb and other elements. Determination by ICP-MS after pressure digestion., <https://www.nmkl.org/product/tungmetaller-as-cd-hg-og-pb-bestemmelse-med-icp-ms-ettersyreoppslutning-under-trykk-nmkl-186-2007/> (Accessed: 24 July 2025).
- ISO (2009). ISO 1871:2009. Food and feed products – General guidelines for the determination of nitrogen by the Kjeldahl method, 2001. International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland
- ISO (2013). ISO 4833-1:2013. Microbiology of the food chain — Horizontal method for the enumeration of microorganisms — Part 1: Colony count at 30 °C by the pour plate technique.
- TGK. (2014). Türk Gıda Kodeksi (TGK 2014/53). Zeytinyağı ve Pirina Yağı Analiz Metotları Tebliği. Resmi Gazete, Sayı: 29181. <https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuat?MevzuatNo=20224andMevzuatTur=9andMevzuatTertip=5> (Accessed: 24 July 2025).
- Ashwar, B.A., Gani, A., Wani, I.A., Shah, A., Masoodi, F.A., Saxena, D.C. (2016). Production of resistant starch from rice by dual autoclaving-retrogradation treatment: In vitro digestibility, thermal and structural characterization. *Food Hydrocolloids*, 56: 108-117, <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2015.12.004>.
- Barışık, D., Tavman, Ş. (2018). Glutensiz ekmek formülasyonlarında nohut unu kullanımının ekmeğin kalitesi üzerine etkisi. *Akademik Gıda*, 16(1): 33-41, <https://doi.org/10.24323/akademik-gida.415652>.
- Bhat, N.A., Wani, I.A., Hamdani, A.M., Gani, A., Masoodi, F.A. (2016). Physicochemical properties of whole wheat flour as affected by gamma irradiation. *LWT-Food Science and Technology*, 71: 175-183, <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.03.024>.
- Çetin Babaoğlu, H., Arslan Tontul, S., Akin, N. (2021). Fiber enrichment of sourdough bread by inulin rich Jerusalem artichoke powder. *Journal of Food Processing and Preservation*, 45(11): e15928, <https://doi.org/10.1111/jfpp.15928>.
- Diaz, A., Garcia, M.A., Dini, C. (2022). Jerusalem artichoke flour as food ingredient and as source of fructooligosaccharides and inulin. *Journal of Food Composition and Analysis*, 114:104863, <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2022.104863>.
- Elleuch, M., Bedigian, D., Roiseux, O., Besbes, S., Blecker, C., Attia, H. (2011). Dietary fibre and fibre-rich by-products of food processing: Characterisation, technological functionality and commercial applications: A review. *Food Chemistry*, 124(2): 411-421, <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.06.077>.
- Erdemir, Z.S. (2015). Isil işlem görmüş bakla ezme tozunun ekmek yapimında kullanımı ve kalite kriterleri üzerine etkisinin belirlenmesi. Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Denizli, 71 s.
- Ermosh, L.G., Safronova, T.N., Prishina, N.V. (2020). Features of biotechnological processes of bread production enriched with inulin-containing raw materials. In *IOP Conference Series: Earth and*

- Environmental Science*, Volume 421, No. 2. IOP Publishing. p. 022018, <https://doi.org/10.1088/1755-1315/421/2/022018>.
- Frutos, M.J., Guilabert-Antón, L., Tomás-Bellido, A., Hernández-Herrero, J.A. (2008). Effect of artichoke (*Cynara scolymus* L.) fiber on textural and sensory qualities of wheat bread. *Food Science and Technology International*, 14 (5_suppl): 49-55, <https://doi.org/10.1177/1082013208094582>.
- Gallagher, E., Gormley, T.R., Arendt, E.K. (2004). Recent advances in the formulation of gluten-free cereal-based products. *Trends in Food Science & Technology*, 15(3-4): 143-152, <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2003.09.012>.
- Gedrovica, I., Karklina, D., Fras, A., Jablonka, O., Boros, D. (2011). The non-starch polysaccharides quantity changes in pastry products where Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) added. *Procedia Food Science*, 1: 1638-1644, <https://doi.org/10.1016/j.profoo.2011.09.24>.
- Hager, A.S., Ryan, L.A., Schwab, C., Gänzle, M.G., O'Doherty, J.V., Arendt, E.K. (2011). Influence of the soluble fibres inulin and oat β -glucan on quality of dough and bread. *European Food Research and Technology*, 232: 405-413, <https://doi.org/10.1007/s00217-010-1409-1>.
- Jan, N., Naik, H.R., Gani, G., Bashir, O., Amin, T., Wani, S.M., Sofi, S.A. (2022). Influence of replacement of wheat flour by rice flour on rheo-structural changes, in vitro starch digestibility and consumer acceptability of low-gluten pretzels. *Food Production, Processing and Nutrition*, 4(1): 9, <https://doi.org/10.1186/s43014-022-00088-y>.
- Kacurakova, M., Capek, P., Sasinkova, V., Wellner, N., Ebringerova, A. (2000). FT-IR study of plant cell wall model compounds: pectic polysaccharides and hemicelluloses. *Carbohydrate Polymers*, 43(2): 195-203, [https://doi.org/10.1016/S0144-8617\(00\)00151-X](https://doi.org/10.1016/S0144-8617(00)00151-X).
- Karaahmet, F. (2018). Çölyak hastalığı'nda teşhis süresi. *Ege Tıp Dergisi*, 57(4): 228-231, <http://egetipdergisi.com.tr/en/download/article-file/461084> (Accessed: 24 July 2025).
- Kandırallı, S. (2014). Özel bir sağlıklı beslenme ve diyet danışmanlığı'na başvuran danışanların fonksiyonel besinlere yönelik farkındalığı, bilgi düzeyleri ve tüketim sıklıklarının araştırılması. Başkent Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Ankara, Turkey, 112 s.
- Kārklīņa, D., Gedrovica, I., Reca, M., & Kronberga, M. (2012). Production of biscuits with higher nutritional value. In Proceedings of the Latvian Academy of Sciences. Section B. *Natural, Exact, and Applied Sciences*, 66(3): 113-116, <https://doi.org/10.2478/v10046-012-0005-0>.
- Kays, S.J., Nottingham, S.F. (2007). Biology and chemistry of Jerusalem artichoke: *Helianthus tuberosus* L. 1st Edition, CRC Press, Boca Raton, Florida, USA, 496 p, ISBN:9780429148231.
- Liu, S., Shi, X., Xu, L., Yi, Y. (2016). Optimization of pectin extraction and antioxidant activities from Jerusalem artichoke. *Chinese Journal of Oceanology and Limnology*, 34(2): 372-381. <https://doi.org/10.1007/s00343-015-4314-4>.
- Mudannayake, D.C., Jayasena, D.D., Wimalasiri, K.M., Ranadheera, C.S., Ajlouni, S. (2022). Inulin fructans—food applications and alternative plant sources: a review. *International Journal of Food Science & Technology*, 57(9): 5764-5780. <https://doi.org/10.1111/ijfs.15947>.
- Ma, X.Y., Zhang, L.H., Shao, H.B., Xu, G., Zhang, F., Ni, F.T., Brestic, M. (2011). Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus*), a medicinal salt-resistant plant has high adaptability and multiple-use values. *Journal of Medicinal Plants Research*, 5(8): 1272-1279.
- Mathlouthi, M., Koenig, J.L. (1987). Vibrational spectra of carbohydrates. *Advances in Carbohydrate Chemistry and Biochemistry*, 44: 7-89, [https://doi.org/10.1016/S0065-2318\(08\)60077-3](https://doi.org/10.1016/S0065-2318(08)60077-3).
- Monti, A., Amaducci, M.T., Venturi, G. (2005). Growth response, leaf gas exchange and fructans accumulation of Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) as affected by different water regimes. *European Journal of Agronomy*, 23 (2): 136-145, <https://doi.org/10.1016/j.eja.2004.11.001>.

- Murphy, O. (2001). Non-polyol low-digestible carbohydrates: Food applications and functional benefits. *British Journal of Nutrition*, 85(1): S47-S53, <https://doi.org/10.1079/BJN2000261>.
- Ozgoren, E., Isik, F., Yapar, A. (2019). Effect of Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) supplementation on chemical and nutritional properties of crackers. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 13: 2812-2821, <https://doi.org/10.1007/s11694-019-00201-9>.
- Ozkaya, H., Kahveci, H.B. (1990). *Tabul ürünleri ve analiz yöntemleri*, Gıda Teknolojisi Derneği Yayınları, Yayın No 14, Ankara, Türkiye, 152 s.
- Paciulli, M., Rinaldi, M., Cirlini, M., Scazzina, F., Chiavaro, E. (2016). Chestnut flour addition in commercial gluten-free bread: A shelf-life study. *LWT - Food Science and Technology*, 70: 88-95, <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.02.034>.
- Pala, A. (2012). Farklı yöntemlerle kurutularak elde edilen boza tozunun hamur reolojik ve ekmek kalitesi üzerine etkisi. Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Denizli, Turkey, 58 s.
- Pehlivan, C. (2016). Çölyak hastaları için ekmek yapımında göleveze (*Colocasia esculenta* (L.) Schott) yumrusunun kullanımı. Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 59 s.
- Peressini, D., Sensidoni, A. (2009). Effect of soluble dietary fibre addition on rheological and breadmaking properties of wheat doughs. *Journal of Cereal Science*, 49(2): 190-201, <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2008.09.007>.
- Poinot, P., Arvisenet, G., Grua-Priol, J., Fillonneau, C., Le-Bail, A., Prost, C. (2010). Influence of inulin on bread: Kinetics and physico-chemical indicators of the formation of volatile compounds during baking. *Food Chemistry*, 119(4): 1474-1484, <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.09.029>.
- Ponomareva, M., Krikunova, L., Yudina, T. (2009). Functional bread using Jerusalem artichoke oil cake. *Bread Products*, 10: 44-45.
- Shoaib, M., Shehzad, A., Omar, M., Rakha, A., Raza, H., Sharif, H.R., ... Niazi, S. (2016). Inulin: Properties, health benefits and food applications. *Carbohydrate Polymers*, 147: 444-454, <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2016.04.020>.
- Praznik, W., Cieřlik, E., Filipiak-Florkiewicz, A. (2002). Soluble dietary fibres in Jerusalem artichoke powders: Composition and application in bread. *Food/Nahrung*, 46(3): 151-157, [https://doi.org/10.1002/1521-3803\(20020501\)46:3<151::aid-food151>3.0.co;2-4](https://doi.org/10.1002/1521-3803(20020501)46:3<151::aid-food151>3.0.co;2-4).
- Radovanovic, A.M., Milovanovic, O.Z., Kipic, M.Z., Ninkovic, M.B., Cupara, S.M. (2014). Characterization of bread enriched with Jerusalem artichoke powder content. *Journal of Food and Nutrition Research*, 2(12): 895-898, <https://doi.org/10.12691/jfnr-2-12-6>.
- Rubel, I.A., Pérez, E.E., Genovese, D.B., Manrique, G.D. (2014). In vitro prebiotic activity of inulin-rich carbohydrates extracted from Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) tubers at different storage times by *Lactobacillus paracasei*. *Food Research International*, 62: 59-65, <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.02.024>.
- Salinas, M. V., Puppo, M. C. (2015). Optimization of the formulation of nutritional breads based on calcium carbonate and inulin. *LWT-Food Science and Technology*, 60(1): 95-101, <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.08.019>.
- Shao, T., Yuan, P., Zhang, W., Dou, D., Wang, F., Hao, C., ... Wang, G. (2021). Preparation and characterization of sulfated inulin-type fructans from Jerusalem artichoke tubers and their antitumor activity. *Carbohydrate Research*, 509: 108422, <https://doi.org/10.1016/j.carres.2021.108422>.
- Sivam, A.S., Sun-Waterhouse, D., Perera, C.O., Waterhouse, G.I.N. (2013). Application of FT-IR and Raman spectroscopy for the study of biopolymers in breads fortified with fibre and polyphenols. *Food Research International*, 50(2): 574-585, <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2011.03.039>.
- Skendi, A., Mouselimidou, P., Papageorgiou, M., Papastergiadis, E. (2018). Effect of acorn meal-

- water combinations on technological properties and fine structure of gluten-free bread. *Food Chemistry*, 253:119-126, <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.01.144>.
- Solayman, A.R.M., Abdel-Samie, M.A., Mosilhey, S.H., Abed, S.M. (2023). Evaluation of Jerusalem artichoke as a functional ingredient in cookies production. *Sinai Journal of Applied Sciences*, 12(1): 27-40. <https://doi.org/10.21608/SINJAS.2023.192393.1187>.
- Smith, B.C. (1999). *Infrared Spectra Interpretation. A Systematic Approach*. 1st Edition, CRC Press LLC, Boca Raton, FL, USA, 288 p. eBook ISBN: 9780203750841.
- Tassoni, A. Bagni, N., Ferri, M., Franceschetti, M., Khomutov, A., Marques, M.P., Fiuza, S.M., Simonian, A.R., Serafini, F.D. (2010). Helianthus tuberosus and polyamine research: Past and recent applications of a classical growth model. *Plant Physiology and Biochemistry*, 48 (7): 496-505, <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2010.01.019>.
- Turksoy, S., Ozkaya, B. (2006). Gluten ve Colyak Hastalığı. Türkiye 9. Gıda Kongresi, 24-26 Mayıs, Bolu, Türkiye, s 810.
- Unachukwu, M. N., Nwakanma, C. (2018). The fungi associated with the spoilage of bread in Enugu state. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 4(1): 989-995. <http://eprints.gouni.edu.ng/id/eprint/267> (Accessed: 25 July 2025).
- Vázquez-Gutiérrez, J. L., Johansson, D., Langton, M. (2016). Effects of added inulin and wheat gluten on structure of rye porridge. *LWT-Food Science and Technology*, 66: 211-216, <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.10.034>.
- Vega, D.M., Versino, F., Dini, C., Viña, S.Z., García, M.A. (2024). Gluten-free baked products formulated with Jerusalem artichoke (Helianthus tuberosus) flour. *International Journal of Gastronomy and Food Science*, 36: 100946.
- Wahyono, A., Lee, S.B., Yeo, S.H., Kang, W.W., Park, H.D. (2016). Effects of concentration of Jerusalem artichoke powder on the quality of artichoke-enriched bread fermented with mixed cultures of *Saccharomyces cerevisiae*, *Torulaspora delbrueckii* JK08 and *Pichia anomala* JK04. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 28(4): 242, <https://doi.org/10.9755/ejfa.2015-12-1116>.
- Wang, J., Somasundaran, P. (2007). Study of galactomannose interaction with solids using AFM, IR and allied techniques. *Journal of Colloid and Interface Science*, 309(2), 373-383, <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2006.10.086>.
- Wierdsma, N.J., van Bokhorst-de van der Schueren, M.A., Berkenpas, M., Mulder, C.J., Van Bodegraven, A.A. (2013). Vitamin and mineral deficiencies are highly prevalent in newly diagnosed celiac disease patients. *Nutrients*, 5(10): 3975-3992, <https://doi.org/10.3390/nu5103975>.
- Wilson, R.H., Goodfellow, B.J., Belton, P.S. (1988). Fourier transform infrared spectroscopy for the study of food biopolymers. *Food Hydrocolloids*, 2(2): 169-178, [https://doi.org/10.1016/S0268-005X\(88\)80015-8](https://doi.org/10.1016/S0268-005X(88)80015-8).
- Yang, L., He, Q.S., Corscadden, K., Udenigwe, C.C. (2015). The prospects of Jerusalem artichoke in functional food ingredients and bioenergy production. *Biotechnology Reports*, 5: 77-88, <https://doi.org/10.1016/j.btre.2014.12.004>.
- Yılmaz, Y., Doğan, İ.S. (2015). Glutensiz ekmek karışımların kalite ve bileşenler yönünden değerlendirilmesi. *Gıda*, 40(6): 335-342, <https://doi.org/10.15237/gida.GD15023>.

EFFECTS OF VACUUM IMPREGNATION WITH HONEY AND ROSEHIP SOLUTIONS ON THE FORTIFICATION AND ENZYMATIC BROWNING OF QUINCE (*CYDONIA OBLONGA* M.)

**Zehra GÜNEL^{*1}, Serenay AŞIK AYGÜN²,
Tuğçe ATBAKAN KALKAN², Ayhan TOPUZ²**

¹Konya Food and Agricultural University, Faculty of Engineering and Architecture, Department of Food Engineering, Konya, Turkey

²Akdeniz University, Faculty of Engineering, Department of Food Engineering, Antalya, Turkey

Received /Geliş: 09.04.2025; Accepted /Kabul: 29.07.2025; Published online /Online baskı: 08.08.2025

Günel, Z., Aşık Aygün, S., Atbakan Kalkan, T., Topuz, A (2025). Effects of vacuum impregnation with honey and rosehip solutions on the fortification and enzymatic browning of quince (*Cydonia oblonga* M.). GIDA (2025) 50 (4) 664-679 doi: 10.15237/ gida.GD25051

Günel, Z., Aşık Aygün, S., Atbakan Kalkan, T., Topuz, A (2025). Bal ve kuşburnu çözeltileri ile vakum impregnasyonun ayva (*Cydonia oblonga* M.)'nin zenginleştirilmesi ve enzimatik esmerleşmesi üzerine etkileri. GIDA (2025) 50 (4) 664-679 doi: 10.15237/ gida.GD25051

ABSTRACT

This study aimed to determine the effects of the vacuum impregnation process and different drying techniques (hot-air, microwave, and osmotic) on the enrichment of quince and limiting enzymatic browning. Some physicochemical changes and sensory properties of the obtained samples were determined. According to the results, the total phenolic content of the control sample, calculated as 25.10 mg/100g, increased with the vacuum impregnation. Similarly, the control samples' ascorbic acid content also increased with vacuum impregnation. Antioxidant activity was determined as 1.90±0.08 g/mg DPPH in control samples, increased to 1.67±0.05g/mg DPPH on average with vacuum impregnation and drying techniques. Enzymatic browning was limited by the vacuum impregnation. According to the sensory analysis results, vacuum-impregnated quince fruits scored higher in all categories than fresh quince fruits. In addition, it was found that all drying methods had a statistically significant ($p<0.01$) effect on the physicochemical properties of vacuum impregnated quince samples.

Keywords: Vacuum impregnation, fortification, enzymatic browning, microwave drying, honey solution

BAL VE KUŞBURNU ÇÖZELTİLERİ İLE VAKUM İMPREGNASYONUN AYVA (*CYDONIA OBLONGA* M.)'NİN ZENGİNLEŞTİRİLMESİ VE ENZİMATİK ESMERLEŞMESİ ÜZERİNE ETKİLERİ

ÖZ

Bu çalışmada, vakum impregnasyon işleminin ve farklı kurutma tekniklerinin (sıcak hava, mikrodalga ve ozmotik) ayvanın zenginleştirilmesi ve enzimatik esmerleşmesinin sınırlandırılması üzerine etkilerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Elde edilen örneklerde bazı fizikokimyasal değişimler ve

* Corresponding author / Sorumlu yazar

✉: zehragidam.07@gmail.com

☎: (+90) 554 767 0800

Zehra Günel; ORCID no: 0000-0002-3431-7984

Serenay Aşık Aygün; ORCID no: 0000-0003-1689-5446

Tuğçe Atbakan Kalkan; ORCID no: 0000-0002-8469-8017

Ayhan Topuz; ORCID no: 0000-0002-6610-9143

duyusal özellikler belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, 25.10 mg/100g olarak hesaplanan kontrol örneğinin toplam fenolik madde içeriği vakum impregnasyon ile artmıştır. Benzer şekilde, kontrol örneklerinin askorbik asit içeriğinin de vakum impregnasyon ile arttığı gözlenmiştir. Antioksidan aktivite kontrol örneklerinde 1.90 ± 0.08 g/mg DPPH olarak belirlenmiş olup, vakum impregnasyon ve kurutma teknikleri ile ortalama 1.67 ± 0.05 g/mg DPPH değerine yükselmiştir. Enzimatik esmerleşme vakum impregnasyon ile sınırlandırılmıştır. Duyusal analiz sonuçlarına göre, vakum impregnasyon uygulanmış ayva meyveleri taze ayva meyvelerine göre tüm kategorilerde daha yüksek puan almıştır. Ayrıca, vakum impregnasyon uygulanmış ayva örneklerinin fizikokimyasal özellikleri üzerinde tüm kurutma yöntemlerinin istatistiksel olarak anlamlı ($p < 0.01$) bir etkiye sahip olduğu bulunmuştur.

Anahtar kelimeler: Vakum impregnasyon, zenginleştirme, enzimatik esmerleşme, mikrodalga kurutma, bal solüsyonu

INTRODUCTION

In recent years, the health benefits of foods have been one of the specific issues in the food industry. So, food companies have fronted to functional foods that meet consumer demands for a healthy lifestyle. Functional foods have been identified as providing additional benefits in preventing disease or supporting human health (Hironaka et al., 2015; Menrad, 2003). One of the options for developing new food products, in other words, functional foods, is the use of vacuum impregnation treatment that depends on immersing the samples in a solution, indicating the exchange of internal gas in the pores of the samples for an external liquid. It is an application based on low pressure to a solid-liquid system followed by the return of atmospheric pressure. Vacuum impregnation treatment causes important changes in the physicochemical properties of food samples that affect demeanour in drying treatments in highly porous foods, especially fruits, and vegetables, such as apple, pineapple, mushroom, and carrot (González-Féslér et al., 2008; Martín-Esparza et al., 2006; Matusek et al., 2008). It has been used in a wide range of practical applications such as the salting process (Chiralt et al., 2001), enrichment in some nutritional compounds (Blanda et al., 2008; Hironaka et al., 2011; Hironaka et al., 2015; Park et al., 2005), osmotic dehydration (Adsare et al., 2016; Bellary et al., 2011), enrichment with probiotic microorganisms (Betoret et al., 2003), calcium fortification (Gras et al., 2003; Moraga et al., 2009) and pH reduction (Derossi et al., 2010, 2013). It provides the removal of oxygen from the food pores, and this is effective in preventing the fading of fruit by enzymatic browning without

using antioxidants. Vacuum impregnation treatment also contributes to quality improvement in foods and extends shelf life by hindering enzymatic and oxidative browning (Jeon and Zhao, 2005; Perez-Cabrera et al., 2011).

Enzymatic browning is an undesirable case that occurs during food transportation, storage, and processing. Enzymatic browning often impairs the sensory properties of foods, and this situation reduces consumers' appetite for that food. In addition to all these, as foods' colour, taste, and textural properties deteriorate with enzymatic browning, the nutritional value also decreases (Uenal et al., 2010).

Quince fruit (*Cydonia oblonga* Miller) belongs to the pome fruit family known as the Maloideae subfamily of the Rosaceae family, which includes some fruits such as apples and pears. The main constituents of quince fruit are water (84%) and carbohydrates (15%), and it is also known as a good source of fibre, potassium, and vitamin C (Moreira et al., 2008). Quince has many essential health benefits such as expectorant, carminative, anticancer (Duke, 2002), anti-ulcer, antimicrobial, anti-allergic, and anti-inflammatory, and it is also used in the treatment of colds, flu, migraine (Hilgert, 2001) and conjunctivitis (Siddiqui et al., 2002). It has a hypoglycemic effect and supports the heart and brain (Szychowski et al., 2014). Because of its acidity, hardness, and astringency, quince fruit is difficult to be consumed as fresh; nevertheless, it is often consumed as jam, jelly, liqueur, and marmalade (Wojdylo et al., 2013). In addition to being difficult to consume without processing, quince is also very prone to enzymatic

browning due to the polyphenol oxidase enzyme (Yildiz et al., 2020).

This study aims to solve these problems of quince fruit with a vacuum impregnation technique. For this purpose, quince was vacuum-impregnated with two different solutions (honey and rosehip solutions), and some physicochemical and sensory analyses were carried out on the obtained products.

MATERIAL AND METHODS

Material

The quince fruits, honey, rosehip, and hibiscus used in the present study were purchased from a local market in Antalya, Turkey. All chemicals used in analyses were procured from Sigma (Taufkirchen, Germany) and Merck (Darmstadt, Germany) in analytical and chromatographic purity by their quality.

Methods

Preparation of Vacuum Impregnation Solutions

In the present study, honey and rosehip solutions were prepared for vacuum impregnation of quince samples. Both solutions were prepared in distilled water at 5, 10 and 20% concentrations. While honey was used directly, rosehip fruit was pureed with the help of a Waring blender (7011HS, CT, USA), and the solution was prepared with the puree. Hibiscus at the rate of 1.5% was added into both solutions for an acceptable colour.

Vacuum Impregnation Treatment and Drying of the Samples

A vacuum pump (Heidolph, Rotavac, Schwabach, Germany) was connected to the rotary evaporator (Heidolph, Laborota 4000, Schwabach, Germany), and the system was reinforced by an ultrasonic bath (Bandelin Electronic, RK 100 H, Berlin, Germany). Ultrasonic bath operating conditions were determined as 320 W ultrasonic peak power, 80 W nominal ultrasonic power, 35 kHz ultrasonic frequency, and 25°C room temperature. The temperature was controlled during the process and kept constant at 25°C with cold water supplement. Quince samples (approximately 20-25 pieces) sliced in a square

shape with a thickness of 6 mm were placed in a flask, and vacuum impregnation solutions (about 100-150 mL) were added to it. A 75 mmHg vacuum pressure was applied to the system for 20 minutes. After vacuum treatment, the system was restored to atmospheric pressure for 10 min. After vacuum impregnation treatment, the quince slices were drained, and the excess solution was removed with the help of a paper tissue. Then, the samples were dried by three different methods:

-They were dried in the oven at 50°C for 5 hours.

-They were dried in a microwave oven at 180 W power for 15 minutes.

-After keeping the samples in 60% sugar solution for one day, they were dried at 25°C for five days.

For control sample, fresh quince fruits were kept in impregnation solutions for the same time (30 min), but the vacuum impregnation treatment was not applied them. All samples were stored at -18 °C until analyses. The experimental procedure design is given in Figure 1.

Moisture Content, Water Activity and pH

The moisture content and the water activity values of the samples were determined via a moisture analyser (Kern DBS, Balingen, Germany) at 105°C, as gravimetrically and a water activity meter (Aqualab 4TE: Decagon Devices, Pullman, WA) at room temperature, respectively. pH values of the samples were determined using a pH meter (S20 SevenEasy, Mettler Toledo, Columbus, OH, USA) by homogenizing 2 g of quince sample in 18 mL distilled water (Tontul and Topuz, 2017; Eroglu et al., 2018).

Extraction and Sample Preparation

Extracts of vacuum impregnated quince samples and control samples were prepared for each analysis. Details of the extraction and sample preparation procedures are given below.

Antioxidant activity, total phenolic content, and ascorbic acid content: Extracts of quince samples were obtained by solid-liquid extraction with distilled water. First, quince samples were ground until they became puree with the help of a household blender. Then, they were mixed with

distilled water at a ratio of 1:20 (w/w). This mixture was kept in a shaking water bath at 99°C for 15 minutes. The extracts were quickly cooled with cold water and filtered through filter paper. Finally, the extracts were stored in bottles at -18°C (Sahin et al., 2009; Topuz et al., 2014).

5-hydroxymethylfurfural (HMF): 500 mg of pureed sample was taken and suspended with 5 mL of deionized water in a 10 mL centrifuge tube. The centrifuge tube was vortexed for 1 min and

0.25 mL of Carrez I and 0.25 mL of Carrez II solutions were added to clarify. The mixture was centrifuged at 4500 g for 10 min. The supernatant was collected in a 10 mL volumetric flask and 2 more extractions were performed with 2 mL of deionized water. The volume was then completed to 10 mL with deionized water. The mixture was analyzed by passing through a 0.45 mm filter paper for HMF analysis (Gunel et al, 2018).

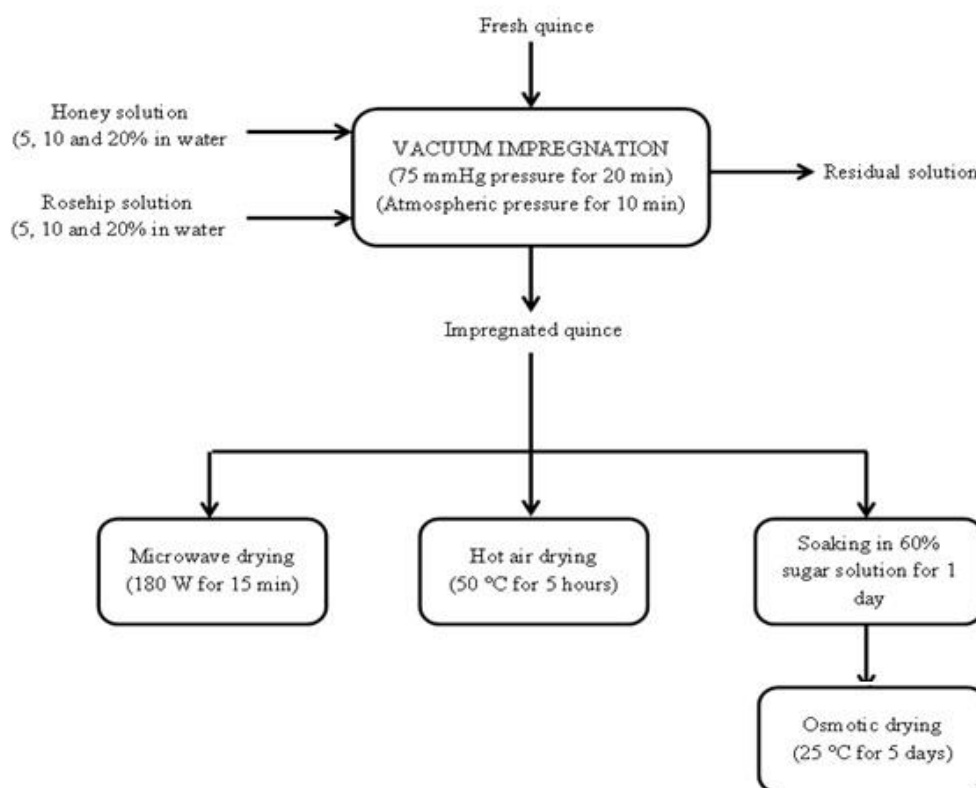


Figure 1. Experimental procedure design

Antioxidant Activity (AA)

The stable radical DPPH (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl radical) was used for determining the free radical-scavenging activity of the vacuum impregnation solutions and the quince samples by using the DPPH method (Topuz et al., 2014). The sample extract providing 50% inhibition (IC_{50}) of the DPPH radical was calculated from the plot of concentration versus percent inhibition. The IC_{50} value of Trolox solution was also determined to

compare the antioxidant activity of the samples by using the same procedure.

Total Phenolic Content (TPC)

The TPC of samples was determined using the Folin-Ciocalteu method (Sahin et al., 2009). According to this method, 100 μ L of diluted sample was mixed with 900 μ L of ultra-pure water, 5 mL of 0.2 N Folin-Ciocalteu reagent, and 4 mL of Na_2CO_3 (7.5% in water, w/w). The final

mixture was incubated at room temperature for one hour in a dark place. Absorption was measured at 765 nm with Shimadzu Spectrophotometer UV-1800 (Nakagyō-ku, Kyoto, Japan). The TPC was expressed as gallic acid equivalents (GAE) in mg/100 g dry matter.

5-hydroxymethylfurfural (HMF) Content

HMF contents of the vacuum impregnation solutions and the quince samples were determined using LC (Günel et al., 2018). HMF amounts were calculated using external standards. Chromatographic separation was carried out on a solvent delivery system (20AD, Shimadzu, Japan) with an autosampler (SIL-20A Prominence, Shimadzu, Japan), column (C18 column, five μm , 25×0.4 cm), maintained at 32°C in a column oven (CTO-20AC, Shimadzu, Japan). SPD-M20A Diode Array Detector (Shimadzu, Japan) was used to detect individual peaks. Acetonitrile in water (5% v/v, isocratic) was used as a mobile phase at a 1 mL/min flow rate. Sample aliquots of 20 μL were injected into the column, and the separated peaks were monitored at 280 nm.

The limit of detection (LOD), the limit of quantification (LOQ), the calibration curve, and the coefficients of regression (R^2) values of the HMF were calculated as 0.44, 1.35, $y=180222x+21000$ and 0.9999, respectively.

Ascorbic Acid Content (AAC)

The ascorbic acid content of the vacuum impregnation solutions and the quince samples was determined chromatographically after the dissolution of the samples in a 4.5% metaphosphoric acid solution (Tontul et al., 2018). Then, 0.45 μm Nylon filters (Sartorius, Goettingen, Germany) were used to filter the mix, and 20 μL of supernatant was injected into the HPLC system (Shimadzu, Japan). The flow rate of the mobile phase ultra-pure water acidified to pH 2.2 with H_2SO_4 was 0.8 mL/min. ALiChroSpher column (250 mm $\times$ 4.6 mm, 5 μm) was used for separation at 40°C. A diode array detector was used for detection at 245 nm for 15 minutes. Ascorbic acid content was calculated using external standards. The ascorbic acid content of

the vacuum impregnation solutions and quince samples were calculated as g/kg dry matter.

Colour Analysis (Hunter Lab)

Colour values of the samples were determined by using Chroma Meter CR-400 (Konica-Minolta Sensing Inc., Osaka, Japan) and expressed as Hunter L [(0) dark - (100) light], a [(+) red - (-) green] and b [(+) yellow - (-) blue] (Günel et al., 2018).

Browning Index (BI)

Browning index values of the samples were determined according to the literature method (Günel et al., 2018). For this purpose, the quince samples were homogenized in distilled water (1:20). Absorbance was measured at 420 nm by using a Shimadzu Spectrophotometer UV-1800 (Nakagyō-ku, Kyoto, Japan), chromatographically.

Sensory Analysis

The quince samples (vacuum-impregnated and control samples) were evaluated by 15 panellists previously informed about the sensory panel, quince, vacuum impregnation, and solutions. The samples were presented on a white plate and scored in terms of their sensory properties (colour, appearance, acidity, sweetness, flavour, texture, and global preference) on a hedonic scale, including points from 1 (very bad) to 9 (very good) (Barat et al., 2002).

Before the sensory analysis started, the samples dried with different drying methods (hot air, microwave, and osmotic) were tasted by the same panellists, and preliminary sensory analysis was performed. The sample that the panellists liked most in all criteria was the sample dried with microwave. Then, sensory analysis was made again and tried to determine the most preferred solution (honey or rosehip) and concentration (5, 10 or 20%) in microwave drying. Therefore, the results to be discussed under the sensory analysis title will be given for microwave-dried samples. In addition, both control and microwave-dried samples were served to panellists immediately after production to prevent possible browning that could change the panellists' minds.

Statistical Analysis

The vacuum impregnation experiments were conducted in two replicates and analyses were performed in duplicate. Results obtained in the present study and the main sources of variation were subjected to variance analysis and Duncan Multiple Comparison Test (SAS system for Windows V7, SAS Institute, Cary, NC, USA).

RESULTS AND DISCUSSION

Moisture Content, Water Activity and pH

According to moisture content analysis results (Table 1), the moisture content of quince fruit,

having approx. 82% initial moisture content, was reduced by vacuum impregnation and drying treatments. Impregnation solutions, both honey and rosehip, affected significantly ($p < 0.01$) the moisture content of the quince fruit. Similarly, drying processes affected the samples' moisture content significantly ($p < 0.05$). According to the results, the moisture content of the quince samples applied with vacuum impregnation decreased to approximately 15% in all drying methods.

Table 1. Effects of drying type and impregnation solutions on the moisture content, a_w and pH values of the samples

Drying type	Moisture content (%)	a_w	pH
Microwave	16.02 ^a ± 0.52	0.5055 ^a ± 0.0002	3.50 ^a ± 0.04
Hot air	14.60 ^c ± 1.09	0.4722 ^c ± 0.0010	3.01 ^b ± 0.11
Osmotic	15.08 ^b ± 0.74	0.4964 ^b ± 0.0007	3.46 ^a ± 0.02
Significance level	*	*	*
Impregnation solutions			
5% Honey	80.09 ^a ± 2.16	0.9610 ^a ± 0.0004	3.63 ^a ± 0.00
10% Honey	72.06 ^b ± 1.17	0.9554 ^a ± 0.0000	3.99 ^a ± 0.02
20% Honey	65.48 ^c ± 1.26	0.9412 ^a ± 0.0003	4.03 ^a ± 0.04
Significance level	**	-	-
5% Rosehip	81.56 ^a ± 1.52	0.9651 ^a ± 0.0001	3.56 ^a ± 0.04
10% Rosehip	76.02 ^b ± 1.21	0.9581 ^a ± 0.0002	3.62 ^a ± 0.02
20% Rosehip	70.23 ^c ± 1.04	0.9512 ^a ± 0.0008	3.73 ^a ± 0.03
Significance level	**	-	-
Control (Fresh)	82.13 ± 2.35	0.9691 ± 0.0006	3.52 ± 0.02
Control (SI)	81.09 ± 1.29	0.9685 ± 0.0002	3.67 ± 0.07

** $P < 0.01$; * $P < 0.05$ BI: Browning index, SI: Simple immersed

Since the initial moisture contents of the honey (approx. 15%) and rosehip (approx. 45%) used in the present study were lower than the quince fruit (approx. 82%), it is thought that the moisture content of the samples decreased with vacuum impregnation treatment. It is also believed that the moisture content decreased proportionally with the air exchange in the fruit pores by vacuum impregnation. The literature has already stated that vacuum impregnation is a pre-treatment used before the final drying stage to achieve two critical goals. These goals are stated as reducing the

moisture content before final drying for energy saving and increasing the physicochemical properties of the final product with impregnation solutions (Zhao and Xie, 2004; Barat et al., 2001). In the present study, these goals stated in the literature were achieved, and the moisture content of the product was reduced before the final drying.

A slight decrease in the pH values of the samples was observed at all drying types. Drying processes affected the samples' pH values significantly

($p < 0.05$). The lowest pH value (3.01 ± 0.11) was determined by hot air drying, while the highest pH value (3.50 ± 0.04) was determined by microwave drying. Some acidic chemical compounds formed during drying as a result of the Maillard reaction may have caused a decrease in the pH values of the samples (Günel et al., 2018).

Antioxidant Activity

In the present study, the antioxidant activity of the control samples increased both vacuum

impregnation treatment and drying processes. Impregnation solutions and drying methods affected significantly ($p < 0.01$) the antioxidant activity of the control samples (Table 2). Antioxidant activity values of 1.90 ± 0.08 g/mg DPPH in control samples increased to 1.67 ± 0.05 g/mg DPPH on average with vacuum impregnation and drying processes. The quinces' uptake of honey and rosehip solutions and their antioxidant compounds (e.g., flavonoids, citric acid) may account for this result.

Table 2. Effects of drying type and impregnation solutions on some chemical properties of quince fruit

Drying type	TPC (mg/100 g)	AA (g/mg DPPH)	HMF (mg/kg)	AAC (mg/100 g)
Microwave	$56.52^c \pm 0.52$	$1.72^a \pm 0.02$	$1.26^b \pm 0.02$	$55.56^b \pm 1.56$
Hot air	$77.64^a \pm 2.49$	$1.52^c \pm 0.02$	$16.56^a \pm 1.14$	$32.51^c \pm 1.13$
Osmotic	$61.48^b \pm 2.74$	$1.64^b \pm 0.07$	$3.56^b \pm 0.08$	$40.49^a \pm 1.98$
Significance level	**	**	*	**
Impregnation solutions				
5% Honey	$53.09^c \pm 2.13$	$1.76^a \pm 0.97$	$11.13^c \pm 0.59$	$30.13^c \pm 0.99$
10% Honey	$59.56^b \pm 1.19$	$1.69^b \pm 0.03$	$15.56^b \pm 1.02$	$38.56^b \pm 0.17$
20% Honey	$69.48^a \pm 1.11$	$1.60^c \pm 0.05$	$19.26^a \pm 1.06$	$43.49^a \pm 1.19$
Significance level	**	**	**	**
5% Rosehip	$50.42^c \pm 0.92$	$1.78^a \pm 0.01$	<LOD ^b	$49.56^c \pm 1.98$
10% Rosehip	$58.02^b \pm 1.33$	$1.71^b \pm 0.05$	<LOD ^b	$52.59^b \pm 1.75$
20% Rosehip	$63.22^a \pm 1.14$	$1.62^c \pm 0.08$	$1.43^a \pm 0.03$	$60.63^a \pm 2.02$
Significance level	**	**	*	**
Control (Fresh)	25.10 ± 0.15	1.98 ± 0.06	<LOD	17.80 ± 1.12
Control (SI)	27.02 ± 0.29	1.82 ± 0.02	<LOD	19.13 ± 1.15

** $P < 0.01$; * $P < 0.05$ TPC: Total phenolic content, AA: Antioxidant activity, AAC: Ascorbic acid content, SI: Simple immersed, LOD: Limit of Detection

Similar studies in the literature emphasized that the antioxidant activities of control samples were increased with vacuum impregnation. In one of these studies, it was reported that the antioxidant activity of the chokeberry fruit enriched with apple-pear juice increased by vacuum impregnation compared to its fresh state (Nawirska-Olszańska et al., 2020). In another study, it was reported that apple fruit was enriched with blueberry juice, and the final product's antioxidant activity was higher than the control sample (Castagnini et al., 2015).

Total Phenolic Content

The total phenolic contents of the samples were approximately doubled by both impregnation and drying processes (Table 2). The total phenolic content value, determined as 25.10 ± 0.15 mg/100g in the control sample, was measured as 27.02 ± 0.29 mg/100g in the samples kept in impregnation solutions without impregnation. The total phenolic content of the impregnated samples was determined as 58.96 ± 11.13 g/100g on average. The highest values of the total phenolic content were calculated as 77.64 ± 2.49 g/100g for hot air drying. The lowest

value of the total phenolic content was determined as 56.52 ± 0.52 g/100g for microwave drying. Both impregnation solutions and drying processes significantly ($p < 0.01$) affected the total phenolic content of the samples.

Many studies have reported that phenolic compounds are reduced due to leakage into the impregnation solution (Blanda et al., 2008; Radziejewska-Kubzdela et al., 2014). It has been reported that reducing phenolic content in vacuum impregnation treatment may result from osmotic dehydration of the plant tissue. In the literature, researchers have reported that another method, such as drying and/or ultrasound reinforcement, should be applied to reduce or stop this loss (Radziejewska-Kubzdela et al., 2014). However, in the present study, it was observed that the total phenolic content of quince samples increased with vacuum impregnation treatment. An increase in total phenolic content may result from the vacuum impregnation setup reinforced by an ultrasonic bath. In addition, it was also thought that since the vacuum-impregnated samples were dried, the total phenolic content of the samples increased.

In similar studies in the literature, it was reported that the phenolic content of the samples increased with vacuum impregnation reinforced by an ultrasonic bath. A study reported that the vacuum impregnation technique increased the total phenolic content of the mango fruit impregnated with grape residues. The same study stated that the vacuum impregnation setup was reinforced by an ultrasonic bath (de Medeiros et al., 2019).

In another study, black carrot concentrates were impregnated into apple samples. It was noted that there was a significant decrease in the total phenolic contents of the samples impregnated with a solution that were not contain black carrot concentrate. However, the researchers reported that as the concentration of black carrot concentrate in the impregnation solution increased, the total phenolic contents of the samples increased (Yılmaz and Ersus Bilek, 2017).

5-hydroxymethylfurfural (HMF) Content

HMF, one of the Maillard reaction products, causes non-enzymatic colour changes in the final product depending on the pH, type of reactants, water activity, and temperature. HMF is a primary Maillard reaction product (Gunel et al., 2019). HMF measurement is used to evaluate the quality of honey. HMF is not usually found in fresh honey and increases during storage. HMF is formed during the acid-catalyzed dehydration of hexoses. The amount of HMF in honey is linked to its chemical properties, such as pH, total acidity, and mineral content (Zappala et al., 2005).

HMF amount of the honey sample used in the present study was calculated as 23.12 ± 1.06 mg/kg on average. According to the Turkish Food Codex Honey Communiqué, it was stated that the HMF amount in honey should be at most 40 mg/kg, and honey above this value should not be consumed (Can et al., 2015). According to Honey Communiqué, it was observed that there was no harm in the consumption of honey used in the present study.

According to HMF analysis results (Table 2), it was determined that there was no HMF in control samples, both fresh and simple immersed. In both samples, the amount of HMF was calculated below the LOD value. Like the control samples, the amount of HMF in rosehip solutions (5 and 10%) was calculated below the LOD value. However, HMF amounts of quince samples impregnated with honey solutions increased depending on the honey concentration and were calculated as 15.32 ± 3.56 mg/kg, on average. Honey concentrations in impregnation solution affected significantly ($p < 0.01$) the HMF content of the quince samples. In addition, drying also affected significantly ($p < 0.05$) HMF content. As expected, the highest HMF amount was determined as 16.56 ± 1.14 mg/kg for hot air drying, while the lowest HMF amount (1.26 ± 0.02 mg/kg) was determined for microwave drying.

In foods, HMF can be formed in different ways, such as dehydration of hexoses or caramelization. Previous studies have shown that HMF can easily

be formed in foods with high sugar, like honey (Durmaz and Gökmen, 2010).

In the literature, no study was found to determine the amount of HMF content of the final products after vacuum impregnation treatment. The only research similar to the present study was carried out by Jeon and Zhao (2005). In the study, fresh-cut apple slices were vacuum-impregnated with a honey solution. However, HMF amounts of honey samples were determined while HMF analysis was not performed in impregnated apple samples. Therefore, according to the results of the present study, it was determined that the amount of HMF can increase with the vacuum impregnation process depending on whether the impregnation solution and/or control sample contains HMF. In this case, HMF can also be transferred from the impregnation solution to the sample with the vacuum impregnation process.

Ascorbic Acid Content

Ascorbic acid (Vitamin C), as is known, protects phenolic compounds from oxidation. It even reduces quinone to phenols (Zeraatgar et al., 2008; Zhang et al., 2019). Ascorbic acid is a nutrient and important antioxidant component in quince fruits and is known as a reducing and chelating agent to scavenge free radicals. The ascorbic acid content of the quince fruit used in the present study was calculated as 18.50 ± 0.98 mg/100g, which is compatible with the previous studies (Ahmad et al., 2008; Sharma et al., 2011). In addition, the ascorbic acid content of honey and rosehip used in the present study was calculated as 5.39 ± 2.02 and 65.56 ± 3.85 mg/100g, respectively.

According to the results, the ascorbic acid content of the fresh quince sample increased with vacuum impregnation treatment (Table 2). Impregnation solutions, both honey and rosehip, affected significantly ($p < 0.01$) the ascorbic acid content of the control samples. Drying type also affected significantly ($p < 0.01$) the vitamin C content of the control samples.

Since the initial ascorbic acid content of the rosehip solution was high, the vitamin C content of the quince samples impregnated with the

rosehip solution was higher than that of the honey solution. Besides, while the highest ascorbic acid amount was determined in microwave drying, the lowest ascorbic acid amount was determined in hot air drying as expected. Ascorbic acid degradation by hot air drying has also been reported in the literature (Nicoletti et al., 2007). The decrease in ascorbic acid content in osmotic drying is also thought to be due to the transition of ascorbic acid to the osmotic solution. As a matter of fact, it has been reported in the literature that osmotic pre-treatment can reduce the amount of ascorbic acid (Marfil et al., 2008).

In a study in the literature in which potato tubers were impregnated with an ascorbic acid solution, it was reported that the ascorbic acid content of the control samples increased, similar to the results of the present study (Hironaka et al., 2011). Obtained results from the present study indicated that vacuum impregnation treatment could reduce oxidation and effectively inhibit the decomposition of quince's ascorbic acid. It was determined that the vacuum impregnation process could increase the ascorbic acid content of quince, and browning could be slowed down/stopped indirectly.

Colour Properties and Browning Index (BI)

In the present study, to determine the effect of the vacuum impregnation process on the colour change in quince fruit accurately, vacuum-impregnated quince slices and quince slices without any treatment were kept for the same time (30 min) and under the same conditions (25 °C). Colour measurement results were taken in the 1st and 30th minutes.

According to the results, impregnation solutions affected significantly ($p < 0.01$) Hunter *L* values of quince samples (Table 3). Drying type affected also significantly ($p < 0.05$) Hunter *L* values of the samples. According to the measurements taken in the 1st minute, the *L* value determined as 66.06 ± 2.19 in the control sample seems to have decreased with the vacuum impregnation process. Still, the decrease in the *L* value in the control sample after 30 minutes was more than in the impregnated samples. The decrease in *L* value in

the control sample at the end of 30 minutes was approximately 40.76%, while it was about 0.76% in the vacuum-impregnated samples. Hence, it has been observed that honey with high antioxidant content effectively prevents the browning of quince's colour. As a matter of fact, Chen et al. (2000) stated that the effectiveness of honey in reducing browning is due to its antioxidant content. Likewise, Jeon and Zhao (2005) noted that honey prevents discolouration in apples due to its high antioxidant activity. The reason why rosehip solutions preserved the colour of quince samples was thought to be that rosehip has high ascorbic acid and antioxidant activity (Paunović et al., 2019).

Although keeping the control sample in honey and rosehip solutions by simple immersion partially prevented the browning of colour, it was predicted that darkening may continue after a long waiting period (Table 3). The vacuum impregnation process helps induce honey and rosehip into the pores of the fruit tissue and is more effective than simple immersion in preventing browning. A similar result was reported by Jeon and Zhao (2005), and it was noted that vacuum impregnation was more effective in preventing apple fruit colour than simple immersion in a honey solution.

Table 3. Colour properties of quince samples

1 st minute				
Drying type	Hunter <i>L</i>	Hunter <i>a</i>	Hunter <i>b</i>	BI
Microwave	63.52 ^a ± 1.82	10.02 ^a ± 0.12	16.36 ^a ± 1.22	21.01 ^c ± 1.02
Hot air	41.44 ^b ± 2.09	23.54 ^c ± 0.19	8.56 ^b ± 1.03	29.46 ^a ± 0.07
Osmotic	61.26 ^a ± 1.14	11.04 ^b ± 0.03	15.42 ^a ± 1.08	26.40 ^b ± 0.98
Significance level	*	**	*	**
Impregnation solutions				
5% Honey	60.56 ^a ± 2.22	-1.46 ^c ± 0.03	16.53 ^a ± 0.29	21.09 ^a ± 0.19
10% Honey	52.58 ^b ± 2.19	-1.00 ^b ± 0.00	12.41 ^b ± 1.00	24.42 ^b ± 0.78
20% Honey	47.08 ^c ± 1.17	0.02 ^a ± 0.00	9.01 ^c ± 0.07	28.69 ^c ± 0.99
Significance level	**	**	**	**
5% Rosehip	62.56 ^a ± 2.14	11.08 ^c ± 0.51	19.56 ^a ± 1.11	24.03 ^a ± 1.18
10% Rosehip	57.12 ^b ± 0.33	18.01 ^b ± 0.49	20.21 ^a ± 0.98	26.41 ^b ± 0.75
20% Rosehip	51.03 ^c ± 2.04	22.44 ^a ± 1.18	19.99 ^a ± 0.23	28.76 ^c ± 1.02
Significance level	**	**	-	**
Control (Fresh)	66.06 ± 2.19	-4.03 ± 0.00	20.06 ± 0.88	16.80 ± 1.12
Control (SI)	61.52 ± 1.17	-2.12 ± 0.01	18.52 ± 0.72	19.13 ± 1.15
30 th minutes				
Drying type	Hunter <i>L</i>	Hunter <i>a</i>	Hunter <i>b</i>	BI
Microwave	60.42 ^a ± 1.02	12.14 ^a ± 0.02	15.06 ^a ± 0.29	23.04 ^c ± 1.00
Hot air	39.38 ^b ± 1.49	24.41 ^c ± 0.11	7.99 ^b ± 0.04	31.03 ^a ± 0.02
Osmotic	58.22 ^a ± 1.01	13.06 ^b ± 0.11	14.92 ^a ± 0.13	28.40 ^b ± 0.98
Significance level	*	**	*	**
Impregnation solutions				
5% Honey	60.42 ^a ± 1.21	-0.06 ^c ± 0.00	15.03 ^a ± 0.17	22.00 ^a ± 0.11
10% Honey	51.50 ^b ± 2.03	0.14 ^b ± 0.01	11.06 ^b ± 0.00	25.56 ^b ± 0.21
20% Honey	46.12 ^c ± 0.17	1.16 ^a ± 0.03	8.04 ^c ± 0.02	29.06 ^c ± 0.09

Significance level	**	**	**	**
5% Rosehip	60.96 ^a ± 0.14	13.00 ^c ± 0.05	18.22 ^a ± 0.11	25.13 ^a ± 1.02
10% Rosehip	55.02 ^b ± 1.30	19.13 ^b ± 0.11	19.91 ^a ± 0.09	27.99 ^b ± 0.05
20% Rosehip	49.09 ^c ± 1.14	23.04 ^a ± 0.18	18.96 ^a ± 0.04	30.13 ^c ± 1.00
Significance level	**	**	-	**
Control (Fresh)	39.13 ± 1.21	-2.01 ± 0.02	19.56 ± 0.21	35.66 ± 1.10
Control (SI)	44.58 ± 0.17	-0.14 ± 0.00	16.52 ± 0.02	32.33 ± 0.15

** $P < 0.01$; * $P < 0.05$ BI: Browning index, SI: Simple immersed

Browning is mainly caused by the reaction of polyphenol oxidase and polyphenols and is known as a key quality attribute for consumer acceptance of fresh-cut quince slices. It generally resulted in the formation of melanins (brown colour) (Lin et al., 2006; Röbke et al., 2011). The browning index value is known as an indicator of browning formation in the final stage of the browning reaction (Şahin et al., 2009; Günel et al., 2018). In the present study, BI values of the quince fruit were significantly ($p < 0.01$) influenced by both impregnation solutions and drying type (Table 3). At the end of the 30th minute, it was observed that the BI values of the samples were also significantly ($p < 0.01$) affected by both impregnation solutions and drying types.

Similar to the L values of the samples, according to the measurements taken in the 1st minute, the BI value of the control sample seems to have increased with the vacuum impregnation process, but the increase in the BI value in the control sample after 30 minutes was more than the impregnated samples. The increase in BI value in the control sample at the end of 30 minutes was approximately 112.26%, while it was about 4.31% in the vacuum-impregnated samples. The results showed that vacuum impregnation with honey and rosehip solutions slowed/stopped the browning index of quince. Many researchers have reported similar results (Lin et al., 2006; Röbke et al., 2011). It has been reported in the literature that phenolic compounds in honey inactivate reactive oxygen. Therefore, it has its own antioxidant activity. It has also been reported that the enzymes in honey act as antioxidants by promoting the removal of oxygen (Lin et al., 2006).

It was observed that vacuum impregnation was more effective than the simple immersion method in the samples' BI and Hunter L values. Lin et al., (2006) and Röbke et al., (2011) reported similar results for BI values of fresh-cut apples. The porous microstructure of food can be impregnated with honey or other nutraceuticals using vacuum impregnation. Thus, the air is removed from the pores of the fruit by vacuum impregnation, and the impregnation of honey is promoted into the pores. Finally, impregnating honey into the pores of quince slices is more preventive for browning than simple immersion.

Sensory Properties

Sensory evaluation is one of the most critical stages of product development. Few studies in the literature evaluated the sensory qualities of quince-developed physicochemical and sensory properties with different technologies.

Sensory properties of the vacuum-impregnated and microwave-dried quince fruit are given in Figure 2. According to the results, the sensorial properties of the quince fruit were significantly ($p < 0.01$) influenced by impregnation solutions. In addition, all vacuum-impregnated quince fruits had significantly higher ($p < 0.05$) consumer acceptability ratings on appearance, colour, acidity, flavour, texture, odour, and global preference than the control samples.

The average appearance points of the control samples were calculated as 7.00 ± 0.50 . Appearance points of the samples impregnated with honey solution increased, while those impregnated with rosehip solution decreased. The sample impregnated with 20% honey solution got the maximum appearance point at 9 points.

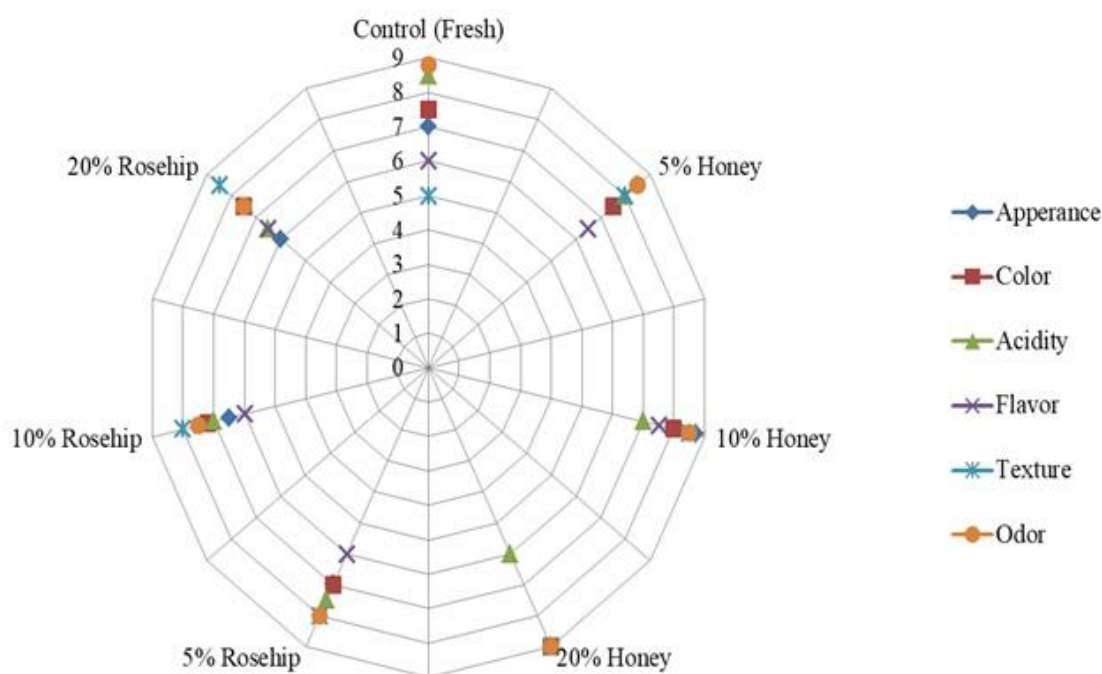


Figure 2. Sensorial properties of the vacuum impregnated quince fruit

According to the colour properties, the control sample got 7.50 ± 0.00 points for colour, while the sample impregnated with 20% honey solution scored 9.00 ± 0.00 points (the maximum) for colour. In addition, it was observed that the use of rosehip solution in vacuum impregnation reduced the colour values of the samples. The colour values of the samples impregnated with rosehip solution decreased to 6 points.

The acidity points of the control sample were calculated as 8.50 ± 0.50 on average. In contrast, the acidity points of the samples impregnated with honey and rosehip solutions decreased compared to the control sample. The sample impregnated with 20% honey solution got the minimum acidity point. Due to the sweetness of the honey solution, it was thought that the specific sourness/acidity of the quince fruit was suppressed. Thus, the panellists' favourite sample in terms of acidity was the sample impregnated with 20% honey solution.

According to the taste scores, the control sample got approx. 6.00 ± 0.50 points from panellists. While vacuum impregnation with honey solution increased the taste points of the samples,

impregnation with rosehip solution did not affect the taste points of the samples. The taste scores of the samples impregnated with rosehip solution were calculated like the control sample. The sample impregnated with 20% honey solution had the highest taste points.

Textural properties of the control sample got 5.00 ± 0.50 points from panellists, while those of impregnated samples with both honey and rosehip solution had higher texture points than the control sample. All panellists stated that the impregnated samples had better mouth feel and chewiness than the control sample. The maximum point was calculated for the sample impregnated with 20% honey solution.

According to the odour scores, the control sample had 8.70 ± 0.30 odour points. Samples impregnated with honey solution got almost the same score as the control sample, while samples impregnated with rosehip solution got lower odour scores than the control sample. The highest odour score was determined for the sample impregnated with 20% honey solution.

The panellists were asked to indicate their global preference for the samples. According to the global preference results, the control sample received the lowest score, samples impregnated with rosehip solution ranked second, and samples impregnated with honey solution ranked first. When asked which product they would prefer to buy, all 15 panellists stated the sample impregnated with 20% honey solution. The same sample was preferred in both repetitions of sensory analyses.

Studies on the subject have reported that vacuum impregnation technique increases the sensory properties of fruits and vegetables (Radziejewska-Kubzdela et al., 2014). In a study where fresh-cut apples were vacuum-impregnated with different solutions, it was reported that the sensory properties of the impregnated samples compared to the control sample were improved. It was also stated that the impregnated samples received consumer acceptance (Park et al., 2005). In another study made with apple fruit, it was reported that the vacuum impregnation technique improved the sensory properties of apples, and the impregnated apple was liked by consumers (Joshi et al., 2010).

In a study in which fresh-cut pear fruit was impregnated with honey solution, sensory analyses were carried out on the obtained products, and a comparison was made with control samples. According to the analysis results, the impregnated samples got higher scores than the control samples in all sensory properties. In addition, panellists gave their maximum global preference points for impregnated samples rather than the control sample (Lin et al., 2006).

In a study examining the sensory properties of pineapple fruits impregnated with sucrose solution by vacuum impregnation process, it was stated that vacuum impregnation improved the sensory properties of pineapple fruit. According to the sensory analysis results, the impregnated samples got the maximum global preference points from the panellists (Barat et al., 2002).

CONCLUSION

Due to its physicochemical properties, quince fruit, which is exposed to enzymatic browning quickly, has been vacuum-impregnated with honey and rosehip solutions. Also, quince consumption is limited due to its hardness, acidity, and astringency. The vacuum impregnation technique to process quince fruit limits enzymatic browning while increasing total phenolic content, antioxidant activity, and ascorbic acid content. It has been also observed that the sensory properties and consumer liking of the quince increase with the vacuum impregnation technique. Considering the consumer liking, drying the vacuum-impregnated quince with microwave has been deemed appropriate. It has been observed that microwave drying both shortens the process time and limits the formation of HMF. When the properties of the quince fruit impregnated by vacuum are examined, it can be observed that impregnation of quince with honey solution, rather than rosehip solution, increases its sensory properties as well as its physicochemical properties. Moreover, it has been observed that the enzymatic browning of the quince fruit impregnated with honey solution is limited. As a result, the vacuum impregnation technique can eliminate some problems that limit quince fruit consumption and processing.

DECLARATION OF COMPETING INTEREST

The authors declare no conflict of interest.

REFERENCES

- Adsare, S.R., Bellary, A.N., Sowbhagya, H., Baskaran, R., Prakash, M., Rastogi, N.K. (2016). Osmotic treatment for the impregnation of anthocyanin in candies from Indian gooseberry (*Emblica officinalis*). *Journal of Food Engineering*, 175: 24-32.
- Ahmad, M.F., Wani, N., Hassan, G.I., Zafar, G., Khan, I.A. (2008). Variability in quince (*Cydonia oblonga* Mill.) population from Baramulla district of Kashmir valley. *Indian Journal of Genetics and Plant Breeding*, 68(2): 215.
- Barat, J.M., Talens, P., Barrera, C., Chiralt, A., Fito, P. (2002). Pineapple candying at mild

- temperature by applying vacuum impregnation. *Journal of Food Science*, 67(8): 3046-3052.
- Bellary, A.N., Sowbhagya, H., Rastogi, N.K. (2011). Osmotic dehydration assisted impregnation of curcuminoids in coconut slices. *Journal of Food Engineering*, 105(3): 453-459.
- Betoret, N., Puente, L., Díaz, M., Pagán, M., García, M., Gras, M., Martí nez-Monzó, J., Fito, P. (2003). Development of probiotic-enriched dried fruits by vacuum impregnation. *Journal of Food Engineering*, 56(2): 273-277.
- Blanda, G., Cerretani, L., Bendini, A., Cardinali, A., Scarpellini, A., Lercker, G. (2008). Effect of vacuum impregnation on the phenolic content of Granny Smith and Stark Delicious frozen apple cvv. *European Food Research and Technology*, 226(5): 1229-1237.
- Can, Z., Yildiz, O., Sahin, H., Turumtay, E.A., Silici, S., Kolayli, S. (2015). An investigation of Turkish honeys: their physico-chemical properties, antioxidant capacities and phenolic profiles. *Food Chemistry*, 180: 133-141.
- Castagnini, J.M., Betoret, N., Betoret, E., Fito, P. (2015). Vacuum impregnation and air drying temperature effect on individual anthocyanins and antiradical capacity of blueberry juice included into an apple matrix. *LWT-Food Science and Technology*, 64(2): 1289-1296.
- Chen, L., Mehta, A., Berenbaum, M., Zangerl, A.R., Engeseth, N.J. (2000). Honeys from different floral sources as inhibitors of enzymatic browning in fruit and vegetable homogenates. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 48(10): 4997-5000.
- Chiralt, A., Fito, P., Barat, J., Andres, A., González-Martínez, C., Escriche, I., Camacho, M. (2001). Use of vacuum impregnation in food salting process. *Journal of Food Engineering*, 49(2): 141-151.
- de Medeiros, R.A.B., da Silva Júnior, E.V., da Silva, J.H.F., Neto, O.D.C.F., Brandão, S.C.R., Barros, Z.M.P., ... Azoubel, P.M. (2019). Effect of different grape residues polyphenols impregnation techniques in mango. *Journal of Food Engineering*, 262: 1-8.
- Derossi, A., De Pilli, T., Severini, C. (2010). Reduction in the pH of vegetables by vacuum impregnation: A study on pepper. *Journal of Food Engineering*, 99(1): 9-15.
- Derossi, A., De Pilli, T., Severini, C. (2013). Application of vacuum impregnation techniques to improve the pH reduction of vegetables: Study on carrots and eggplants. *Food and Bioprocess Technology*, 6(11): 3217-3226.
- Duke, J.A. (2002). *Handbook of medicinal herbs*. CRC Press.
- Durmaz, G., Gökmen, V. (2010). Determination of 5-hydroxymethyl-2-furfural and 2-furfural in oils as indicators of heat pre-treatment. *Food Chemistry*, 123(3): 912-916.
- Eroğlu, E., Tontul, İ., Topuz, A. (2018). Optimization of aqueous extraction and spray drying conditions for efficient processing of hibiscus blended rosehip tea powder. *Journal of Food Processing and Preservation*, 42(6): e13643.
- González-Fésler, M., Salvatori, D., Gómez, P., Alzamora, S. (2008). Convective air drying of apples as affected by blanching and calcium impregnation. *Journal of Food Engineering*, 87(3): 323-332.
- Gras, M., Vidal, D., Betoret, N., Chiralt, A., Fito, P. (2003). Calcium fortification of vegetables by vacuum impregnation: interactions with cellular matrix. *Journal of Food Engineering*, 56(2): 279-284.
- Gunel, Z., Tontul, İ., Dincer, C., Topuz, A., Sahin-Nadeem, H. (2018). Influence of microwave, the combined microwave/hot air and only hot air roasting on the formation of heat-induced contaminants of carob powders. *Food Additives & Contaminants: Part A*, 35(12): 2332-2339.
- Hilgert, N.I. (2001). Plants used in home medicine in the Zenta River basin, Northwest Argentina. *Journal of Ethnopharmacology*, 76(1): 11-34.
- Hironaka, K., Kikuchi, M., Koaze, H., Sato, T., Kojima, M., Yamamoto, K., Yasuda, K., Mori, M., Tsuda, S. (2011). Ascorbic acid enrichment of whole potato tuber by vacuum-impregnation. *Food Chemistry*, 127(3): 1114-1118.

- Hironaka, K., Koaze, H., Oda, Y., Shimada, K. (2015). Zinc enrichment of whole potato tuber by vacuum impregnation. *Journal of Food Science and Technology*, 52(4): 2352-2358.
- Jeon, M., Zhao, Y. (2005). Honey in combination with vacuum impregnation to prevent enzymatic browning of fresh-cut apples. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 56(3): 165-176.
- Joshi, A.P.K., Rupasinghe, H.P.V., Pitts, N.L. (2010). Sensory and nutritional quality of the apple snacks prepared by vacuum impregnation process. *Journal of Food Quality*, 33(6): 758-767.
- Lin, D.S., Leonard, S.W., Lederer, C., Traber, M.G., Zhao, Y. (2006). Retention of fortified vitamin E and sensory quality of fresh cut pears by vacuum impregnation with honey. *Journal of Food Science*, 71(7): 553-559.
- Marfil, P.H.M., Santos, E.M., Telis, V.R.N. (2008). Ascorbic acid degradation kinetics in tomatoes at different drying conditions. *LWT-Food Science and Technology*, 41(9): 1642-1647.
- Martín-Esparza, M., Martínez-Navarrete, N., Chiralt, A., Fito, P. (2006). Dielectric behavior of apple (var. Granny smith) at different moisture contents: Effect of vacuum impregnation. *Journal of Food Engineering*, 77(1): 51-56.
- Matussek, A., Czukor, B., Merész, P., Örsi, F. (2008). Comparison of diffusion of fructo-oligosaccharide components during vacuum impregnation and osmotic dehydration. *European Food Research and Technology*, 227(2): 417-423.
- Menrad, K. (2003). Market and marketing of functional food in Europe. *Journal of Food Engineering*, 56(2): 181-188.
- Moraga, M., Moraga, G., Fito, P., Martínez-Navarrete, N. (2009). Effect of vacuum impregnation with calcium lactate on the osmotic dehydration kinetics and quality of osmodehydrated grapefruit. *Journal of Food Engineering*, 90(3): 372-379.
- Moreira, R., Chenlo, F., Torres, M., Vallejo, N. (2008). Thermodynamic analysis of experimental sorption isotherms of loquat and quince fruits. *Journal of Food Engineering*, 88(4): 514-521.
- Nawirska-Olszańska, A., Pasławska, M., Stępień, B., Oziębłowski, M., Sala, K., Smorowska, A. (2020). Effect of vacuum impregnation with apple-pear juice on content of bioactive compounds and antioxidant activity of dried chokeberry fruit. *Foods*, 9(1): 108.
- Nicoletti, J.F., Silveira Jr, V., Telis-Romero, J., Telis, V.R. (2007). Influence of drying conditions on ascorbic acid during convective drying of whole persimmons. *Drying Technology*, 25(5): 891-899.
- Park, S.I., Kodihalli, I., Zhao, Y. (2005). Nutritional, Sensory, and Physicochemical Properties of Vitamin E and Mineral fortified Fresh cut Apples by Use of Vacuum Impregnation. *Journal of Food Science*, 70(9): 593-599.
- Paunović, D., Kalušević, A., Petrović, T., Urošević, T., Djinović, D., Nedović, V., Popović-Djordjević, J. (2019). Assessment of chemical and antioxidant properties of fresh and dried rosehip (*Rosa canina* L.). *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 47(1): 108-113.
- Perez-Cabrera, L., Chafer, M., Chiralt, A., Gonzalez-Martinez, C. (2011). Effectiveness of antibrowning agents applied by vacuum impregnation on minimally processed pear. *LWT-Food Science and Technology*, 44(10): 2273-2280.
- Radziejewska-Kubzdela, E., Biegańska-Marecik, R., Kidoń, M. (2014). Applicability of vacuum impregnation to modify physico-chemical, sensory and nutritive characteristics of plant origin products-a review. *International Journal of Molecular Sciences*, 15(9): 16577-16610.
- Röble, C., Brunton, N., Gormley, T.R., Butler, F. (2011). Quality and antioxidant capacity of fresh-cut apple wedges enriched with honey by vacuum impregnation. *International Journal of Food Science and Technology*, 46(3): 626-634.
- Şahin, H., Topuz, A., Pischetsrieder, M., Özdemir, F. (2009). Effect of roasting process on phenolic, antioxidant and browning properties of carob powder. *European Food Research and Technology*, 230(1): 155-161.

- Sharma, R., Joshi, V.K., Rana, J.C. (2011). Nutritional composition and processed products of quince (*Cydonia oblonga* Mill.). *Indian Journal of Natural Products and Resources*, 2(3): 354-357.
- Siddiqui, T.A., Zafar, S., Iqbal, N. (2002). Comparative double-blind randomized placebo-controlled clinical trial of a herbal eye drop formulation (Qatoor Ramad) of Unani medicine in conjunctivitis. *Journal of Ethnopharmacology*, 83(1-2): 13-17.
- Szychowski, P.J., Munera-Picazo, S., Szumny, A., Carbonell-Barrachina, Á.A., Hernández, F. (2014). Quality parameters, bio-compounds, antioxidant activity and sensory attributes of Spanish quinces (*Cydonia oblonga* Miller). *Scientia Horticulturae*, 165: 163-170.
- Tontul, I., Topuz, A. (2017). Effects of different drying methods on the physicochemical properties of pomegranate leather (pestil). *LWT*, 80: 294-303.
- Tontul, I., Eroğlu, E., Topuz, A. (2018). Convective and refractance window drying of cornelian cherry pulp: Effect on physicochemical properties. *Journal of Food Process Engineering*, 41(8): e12917.
- Topuz, A., Dinçer, C., Torun, M., Tontul, I., Nadeem, H.Ş., Haznedar, A., Özdemir, F. (2014). Physicochemical properties of Turkish green tea powder: effects of shooting period, shading, and clone. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 38(2): 233-241.
- Uenal, M.U., Şener, A., Bozdoğan, A. (2010). A comparative study of polyphenol oxidase from two varieties of quince (*Cydonia oblonga*). *Journal of Food Biochemistry*, 34(2): 356-367.
- Wojdyło, A., Oszmiański, J., Bielicki, P. (2013). Polyphenolic composition, antioxidant activity, and polyphenol oxidase (PPO) activity of quince (*Cydonia oblonga* Miller) varieties. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 61(11):2762-2772.
- Yildiz, G., İzli, G., Aadil, R.M. (2020). Comparison of chemical, physical, and ultrasound treatments on the shelf life of fresh cut quince fruit (*Cydonia oblonga* Mill.). *Journal of Food Processing and Preservation*, 44(3): e14366.
- Yılmaz, F.M., Ersus Bilek, S. (2017). Natural colourant enrichment of apple tissue with black carrot concentrate using vacuum impregnation. *International Journal of Food Science & Technology*, 52(6): 1508-1516.
- Zappala, M., Fallico, B., Arena, E., Verzera, A. (2005). Methods for the determination of HMF in honey: a comparison. *Food Control*, 16(3): 273-277.
- Zeraatgar, H., Davarynejad, G.H., Moradinezhad, F., Abedi, B. (2018). Effect of salicylic acid and calcium nitrate spraying on qualitative properties and storability of fresh jujube fruit (*Ziziphus jujube* Mill.). *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 46(1): 138-147.
- Zhang, L., Wang, P., Chen, F., Lai, S., Yu, H., Yang, H. (2019). Effects of calcium and pectin methylesterase on quality attributes and pectin morphology of jujube fruit under vacuum impregnation during storage. *Food Chemistry*, 289: 40-48.

İçindekiler / Content GIDA (2025)50(4)

Araştırmalar (İngilizce) / Researches (English)

- Rayman Ergün, A. (2025). Effect of UV-C light on the inactivation of *Zygosaccharomyces rouxii* in apple juice: Evaluation of phenolic and antioxidant contents / UV-C ışığının elma suyundaki *Zygosaccharomyces rouxii*'nin inaktivasyonuna etkisi: Fenolik ve antioksidan içeriklerinin değerlendirilmesi.....479-490
- Falak, İ. H., Özden Tuncer, B. (2025). Investigation of antibiotic resistance genes in *Enterococcus* strains isolated from sucuk, a traditional dry-fermented Turkish sausage / Geleneksel kuru fermente Türk sucuğundan izole edilen *Enterokok* suşlarında antibiyotik direnç genlerinin araştırılması.....491-505
- Bostancı Selbeş, E., Haskaraca, G., Erem, F., Ayhan, Z. (2025). Development of gluten-free meatballs using oleaster and coconut flours as breadcrumb replacers / Galeta unu yerine iğde ve hindistan cevizi unu kullanılarak glutensiz köfte geliştirilmesi.....537-555
- Topuz Türker, S., Bayram, M. (2025). Determination of total phenolic compound, antioxidant activity, and some physicochemical properties of different commercial fruit vinegars / Farklı ticari meyve sirkelerinin toplam fenolik bileşik, antioksidan aktivite ve bazı fizikokimyasal özelliklerinin belirlenmesi.....606-619
- Yavuzer, Emre. (2025). Determination of the effect of head treatment applied to anchovy on putrefaction by electronic nose / Hamsiye uygulanan ısıl işlemin kokuşma üzerine etkilerinin elektronik burun ile belirlenmesi.....620-628
- Ünver Alçay, A., Ahmetoğlu, F. (2025). Effects of adding jerusalem Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus*) on the quality and nutritional value of gluten-free bread / Yerelması (*Helianthus tuberosus*) ilavesinin glutensiz ekmek kalitesi ve besin değeri üzerindeki etkileri.....644-663
- Günel, Z., Aştık Aygün, S., Atbakan Kalkan, T., Topuz, A. (2025). Effects of vacuum impregnation with honey and rosehip solutions on the fortification and enzymatic browning of quince (*Cydonia oblonga* M.) / Bal ve kuşburnu çözeltileri ile vakum impregnasyonun ayva (*Cydonia oblonga* M.)'nin zenginleştirilmesi ve enzimatik esmerleşmesi üzerine etkileri.....664-679

Araştırmalar (Türkçe) / Researches (Turkish)

- Gürdaş Mazlum, S., Erdoğan, A. E. (2025). Guar gum ilaveli kitosan kompozit filmlerin karakterizasyonu / Characterization of guar gum-added chitosan composite films.....506-518
- Yorgancı, T., Zungur Bastıoğlu, A., Yorulmaz, A. (2025). Dondurarak kurutma yöntemi ile incir çekirdeği yağının enkapsülasyonu ve toz ürünün karakterizasyonu / Encapsulation of fig seed oil by freeze drying method and characterization of the powder product.....519-536
- Dal Konuş, Z., Turgay, Ö. (2025). Bitkisel süt ikamesi üretiminde atıkların değerlendirilmesi: Badem posasının besinsel içeriği üzerine bir çalışma / Valuation of waste in the production of vegetable milk substitute: A study on the nutritional content of almond pulse.....577-584

Derlemeler (Türkçe) / Review (Turkish)

- Yiğit, Y. (2025). Gastronomi alanında temel bazı besinlerde mikropplastik tehlikesi ve gıda güvenliği / Some basic foods in gastronomy microplastic hazard and food safety.....556-576
- Beşen, D., Akyıldız, A. (2025). Sürdürülebilirlik ve gıda israfı yönünden hasat sonrası işlemler ve kombine uygulamalar / Post-harvest processes and combined applications in terms of sustainability and food waste -Review.....585-605
- Demirpençe, H., Beyaz, D. (2025). Mikotoksinlerin detoksifikasyonunda kullanılan fiziksel, kimyasal ve biyolojik yöntemler / Physical, chemical and biological methods used in detoxification of mycotoxins.....629-643