
GIDA BİLİMLERİ VE MÜHENDİSLİĞİ DEĞERLENDİRMELERİ

Editör: Doç.Dr. Hatice PEKMEZ

Gıda Bilimleri ve Mühendisliği Değerlendirmeleri

Editör

Doç.Dr. Hatice PEKMEZ

yaz
yayınları

2025

**Gıda Bilimleri ve Mühendisliği
Değerlendirmeleri**

Editör: Doç.Dr. Hatice PEKMEZ

© YAZ Yayınları

Bu kitabın her türlü yayın hakkı Yaz Yayınları'na aittir, tüm hakları saklıdır. Kitabın tamamı ya da bir kısmı 5846 sayılı Kanun'un hükümlerine göre, kitabı yayınlayan firmanın önceden izni alınmaksızın elektronik, mekanik, fotokopi ya da herhangi bir kayıt sistemiyle çoğaltılamaz, yayınlanamaz, depolanamaz.

E_ISBN 978-625-5838-84-1

Ekim 2025 – Afyonkarahisar

Dizgi/Mizanpaj: YAZ Yayınları

Kapak Tasarım: YAZ Yayınları

YAZ Yayınları. Yayıncı Sertifika No: 73086

M.İhtisas OSB Mah. 4A Cad. No:3/3
İscehisar/AFYONKARAHİSAR

www.yazyayinlari.com

yazyayinlari@gmail.com

info@yazyayinlari.com

İÇİNDEKİLER

Application of Pulsed Electric Field (PEF) on Liquid Foods and Meat Products.....	1
<i>Zeynep AKŞİT</i>	
Fonksiyonel Yağlar ve Moleküler Gastronomi	22
<i>Benan DİNÇ GİRĞİN</i>	

"Bu kitapta yer alan bölümlerde kullanılan kaynakların, görüşlerin, bulguların, sonuçların, tablo, şekil, resim ve her türlü içeriğin sorumluluğu yazar veya yazarlarına ait olup ulusal ve uluslararası telif haklarına konu olabilecek mali ve hukuki sorumluluk da yazarlara aittir."

APPLICATION OF PULSED ELECTRIC FIELD (PEF) ON LIQUID FOODS AND MEAT PRODUCTS

Zeynep AKŞİT¹

1. INTRODUCTION

Consumers have become increasingly aware of health and the risks associated with food consumption. The food industry focuses its resources and expertise on meeting expectations by producing safe and wholesome products. Safe food production involves examining inputs entering the food chain, preventing contamination during and after processing, and reducing or eliminating microbial loads (Lado & Yousef, 2002; Ghoshal, 2023).

Thermal operations in foods, such as blanching, pasteurization, and sterilization, reliably ensure safety and shelf life, but they can deplete heat-labile vitamins (notably ascorbic acid), alter polyphenols and carotenoids, drive Maillard-related color and flavor changes, reduce volatile aroma compounds, and soften texture depending on time–temperature history and matrix (Narra et al., 2024; Lin & Xiao, 2024). To protect product aroma, color, and nutrients, processing is done at room temperature or slightly above (Aronsson et al., 2005).

Physical and chemical changes caused by classical thermal treatments have directed the food industry toward non-thermal preservation techniques (Carpentieri et al.,

¹ Dr. Öğr. Üyesi, Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi, Turizm ve Otelecilik Meslek Yüksekokulu, Aşçılık programı, zeynep.aksit@erzincan.edu.tr, ORCID: 0000-0002-0349-0223.

Timmermans et al., 2022). As a result, the 2020s have seen growing attention to non-thermal techniques such as high-pressure processing (HPP), pulsed electric fields (PEF), cold plasma, UV-C/pulsed light, and ultrasound, which target microbial reduction at mild temperatures while better preserving “fresh-like” sensory and nutritional attributes (Zia et al., 2024).

Among non-thermal processing methods used in food technology, PEF has shown substantial progress (Lebovka et al., 2001). PEF may increase membrane permeability or cause irreversible damage. Demand for PEF in food processing has grown, especially for microbial inactivation, improved juice yield from plant tissues, and dewatering/drying (Lebovka et al., 2005). Considering other alternative methods as well, advances in PEF have taken a significant share of research in the past decade (Fortuny et al., 2009).

In many PEF studies, when field strengths on the order of 20–80 kV/cm and microsecond-scale (1–100 μ s) short pulses (tens to hundreds of pulses in most reports) are applied, and/or when an appropriate treatment time–energy input is provided, inactivation of vegetative bacteria and certain enzymes can be achieved (Ghoshal, 2023; Taha et al., 2022; Horlacher et al., 2024). Such PEF applications exert a more limited impact on quality attributes such as vitamins, aroma, and color, compared with thermal pasteurization; for example, numerous studies have reported better retention of vitamin C and volatile aroma compounds in orange juice (Lee, 2024).

Pulsed electric fields (PEF) can modulate meat structure and processing performance primarily through electroporation of muscle cell membranes, which increases membrane permeability and can accelerate proteolysis and mass transfer while largely preserving fresh-like attributes when applied at moderate intensities (Jeong et al., 2024; Jeong et al., 2023).

2. PEF SYSTEM AND MECHANISM OF ACTION

PEF technology delivers short (ms or μ s) high-voltage pulses (20–80 kV/cm) between two electrodes holding the product in a treatment chamber. High-frequency current and voltage measurements are used to determine electrical properties such as polarization at intact membranes and interfaces and changes in electroporability caused by DC pulses (Angersbach, Heinz, & Knorr, 2000). A typical PEF system comprises the PEF generation unit (high-voltage supply and pulse generator), treatment chamber, suitable product handling modules, and monitoring/control devices (Fortuny et al., 2009). Figure 1 represents PEF application system.

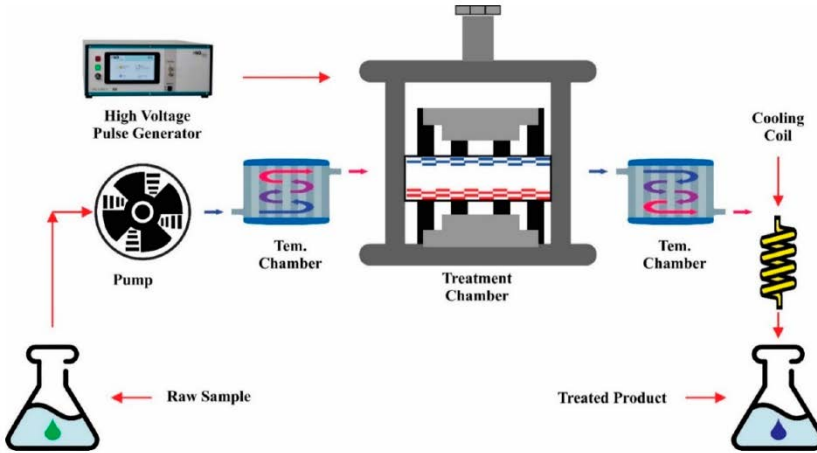


Figure 1. PEF application system (Roobab et al., 2022).

Based on dielectric breakdown theory, when the natural membrane potential ($\sim 1V$) is exceeded, the membrane is damaged. After exposure to an electric field, increased permeability allows small molecules in, leading to cell swelling and eventual membrane rupture (Taha et al., 2022; Ghoshal, 2023; Swayne et al., 2024).

The transmembrane potential is disrupted and pores are formed when a cell is subjected to PEF because the electric field

encourages the buildup of positive and negative charges at the cell membrane. After PEF treatment, the cell may react in one of two ways, depending on the electric field strength attained. Pores will close and the cell will resume its regular function (reversible electroporation) if the electric field strength does not beyond the critical threshold for the cell. Electroporation becomes irreversible and the contents of the cell seep out of the permanently created pores as the cell necrotizes if the electric field strength beyond the critical threshold (Berry-Kilgour et al., 2024).

To achieve high-voltage fields, circuits comprising power supplies with capacitor-resistor networks, electrodes, and inductors are configured and the charge is discharged at intervals onto the sample. The field is commonly applied as exponentially decaying, square, bipolar or oscillatory pulses (Ngadi et al., 2009; Domínguez-Soberanes et al., 2025). Figure 2 represents pulse shapes used in PEF system.

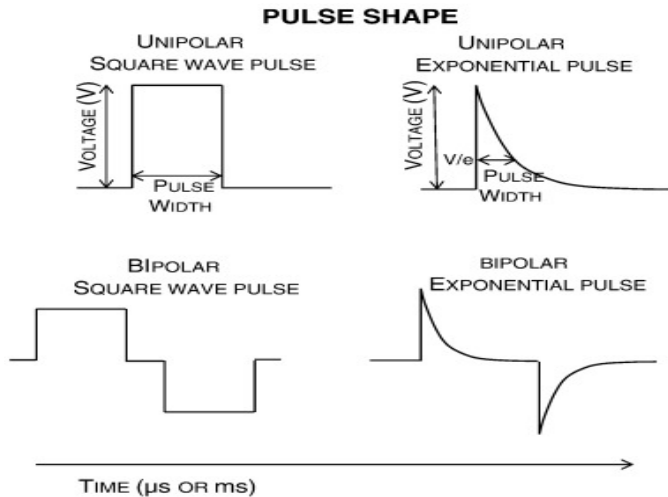


Fig. 2. Pulse shapes commonly used in PEF treatments (Raso et al., 2016).

Most PEF studies focus on inactivation of microorganisms and enzymes. Effectiveness depends on field strength, frequency, pulse width, treatment time, and product flow rate; among these, field strength and treatment time are especially critical (Li, Chen, & Mo, 2007).

3. INACTIVATION MECHANISM

Electrical inactivation of microorganisms has been investigated for over a century. As early as 1879, Cohn and Mendelsohn examined the effect of passing direct current through nutrient solutions; later summaries cite these early attempts, but contemporary accounts note they did not achieve sterilization under those conditions (Cohn & Mendelsohn, 1879; Tracy, 1932; Morren et al., 2003). Theories explaining the effect of PEF on microorganisms include dielectric breakdown, disturbance of osmotic balance, formation of hydrophobic and hydrophilic pores, and structural change theories (Güleç, 2006).

PEF can have lethal effects on living cells and this is explained as dielectric breakdown of the membrane. When the electric field is between 100 and 1000 kV/m and the application time exceeds 10–15 ms, changes become irreversible. Bacterial inactivation depends on field strength, duration, number of pulses, pulse waveform and pulse width. It is also affected by microbial species, growth phase, initial load, cell size, the ionic concentration and conductivity of the suspension (Gudmundsson & Hafsteinsson, 2005; Güleç, 2006). Figure 3 represents effect of PEF on cell.

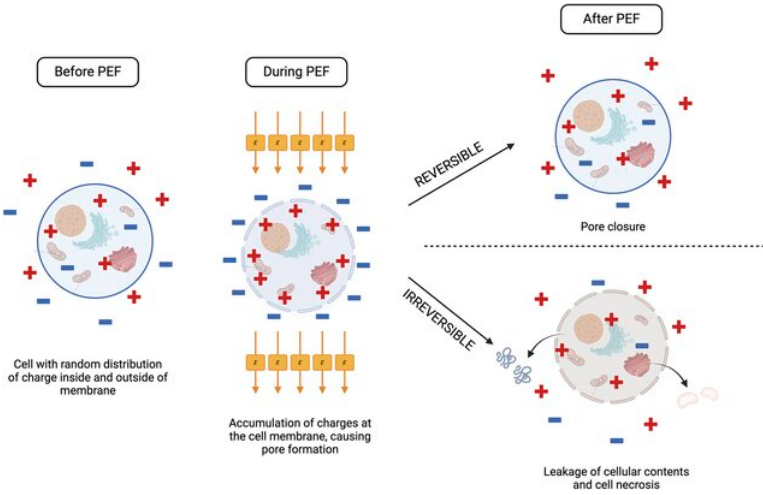


Figure 3. Effect of PEF on a cell (Berry-Kilgour et al., 2024).

Many studies report that fields of 15–80 kV/cm with 1–100 pulses of 1–100 μ s are sufficient to inactivate bacteria and enzymes, with minimal impact on vitamins, aroma, and color. For vegetative cells 15 kV/cm may suffice, whereas ascospores and endospores require much higher fields. PEF has shown effects against *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, *Bacillus subtilis*, *B. cereus*, *Listeria monocytogenes*, and *Saccharomyces cerevisiae* (Sağdıç et al., 2008) but 21.5 kV/cm with 20 pulses (0.39 ms) did not inactivate alkaline phosphatase in milk (Shamsi et al., 2008).

Enzyme activities associated with proteins can be inactivated under certain PEF conditions (Roobab et al., 2022; Horlacher et al., 2024). Field strength, pulse width, number, and waveform are critical, as are matrix, pH, and temperature (Taha et al., 2022; Marín-Sánchez et al., 2024). Electrochemical reactions at electrodes may induce local pH shifts via partial electrolysis, affecting activity (Morren et al., 2003). Despite extensive work on microbial inactivation, mechanisms of enzyme inactivation by PEF are not fully resolved and results vary (Yogesh et al., 2015; Ghoshal, 2023)

4. APPLICATIONS OF PEF IN LIQUID FOODS

In recent years there has been growing demand for fresh-like products; especially liquid foods such as fruit and vegetable juices and milk. These foods are rich in antioxidants, phenolics, carotenoids, and vitamins. Conventional thermal inactivation of microorganisms can affect aroma and taste and cause nutrient losses (Huang & Wang, 2009).

Due to their high ionic content, liquid foods conduct electricity efficiently (Zhang, 2007.). To generate high electric fields in foods, energy stored in capacitor banks is rapidly discharged for microseconds into the treatment chamber between electrodes (Domínguez-Soberanes et al., 2025). In pulsed-power systems, capacitors are charged over a relatively long period and released over an extremely short pulse, charging time is typically much longer than the pulse duration (Takaki et al., 2021).

In liquid foods, pulsed electric fields (PEF) achieve pasteurization-level microbial reductions at short treatment times and low thermal load, helping preserve fresh-like physicochemical and sensory attributes while limiting nutrient losses (Brito & Silva, 2024; Ghoshal, 2023). In citrus systems, moderate-intensity PEF has matched safety targets with improved retention of fresh flavor volatiles relative to conventional heating (Timmermans et al., 2022), and recent pilot-scale work in blood orange juice demonstrated extended refrigerated shelf life alongside higher levels of bioactive compounds (Fabroni et al., 2024). Quality and safety outcomes are strongly parameter-dependent—field strength, pulse width/number, specific energy, and matrix factors—and full enzyme control (e.g., pectin methylesterase for cloud stability) often benefits from mild-heat synergy or carefully managed maximum temperature during treatment (Brito & Silva, 2024; Li et al., 2021; Tongdonyod et al., 2023; Timmermans et al., 2022). Overall, the literature supports

PEF as a robust nonthermal option for juices and other pumpable products, delivering chill-stable beverages with sensory profiles closer to fresh juice than those obtained by conventional thermal processes (Buckow et al., 2013).

Most high-voltage studies have aimed at pasteurizing liquid products to achieve target microbial reductions and assess enzyme inactivation (Buckow et al., 2013; Ghoshal, 2023). More recently, medium-intensity treatments have been explored to increase tissue permeability (Alkanan et al., 2024). PEF can be integrated into extraction and drying operations (Kim et al., 2023) and may modulate stress responses in plant tissues or cell cultures to increase biosynthesis of target compounds (Ye et al., 2004; Su et al., 2024). According to one study, the combination of PEF and moderate heat sufficiently extended the shelf life of milk. The thermal regeneration system increases the energy efficiency of the preservation processes studied, making them comparable to pasteurization (Sepulveda et al., 2009).

Aguayo et al. (2008) showed that high-intensity PEF effectively inactivated peroxidase (POD) in tomato juice: at $<35^{\circ}\text{C}$, 35 kV/cm, 200 Hz, 7 μs bipolar pulses for a total of 2000 μs achieved complete POD inactivation. Sánchez-Moreno et al. (2004) assessed PEF at 35 kV/cm (4 μs bipolar pulses, 800 Hz, total 750 μs) in orange juice and found no change in total flavones. Qiu et al. (1998) found thermally pasteurized orange juice contained two to three times less vitamin C than PEF-treated juice. Bendicho et al., (2002) evaluated water-soluble (riboflavin, thiamin, ascorbic acid) and fat-soluble (cholecalciferol, tocopherol) vitamins in milk. Apart from a slight decrease in ascorbic acid, changes were negligible. Thus, PEF at 22.6 kV/cm and 100 μs preserved initial vitamin levels better than medium and high-heat pasteurization.

5. APPLICATIONS OF PEF IN MEAT PRODUCTS

Meat is a rich source of protein, vitamins, and minerals, and has long held a central place in human nutrition. Because it supplies essential amino acids and minerals such as iron, zinc, copper, selenium, and magnesium, as well as vitamins B6, B12, and niacin, it is a key component of a balanced diet (Altunboy & Sarıçoban, 2014).

Curing remains a widely used preservation method. Salt lowers water activity and inhibits microbial growth while enhancing texture. Because diffusion is slow, producers often use multi-needle injectors to shorten processing, which can compromise quality (McDonnell et al. (2014). From a consumer perspective, color is the primary quality cue before purchase, while tenderness, juiciness, and flavor dominate during consumption. Tenderness relates to resistance to biting and the force required to shear a piece of meat, and is a major driver of acceptance (Altunboy & Sarıçoban, 2014).

As a minimal processing technology, PEF has attracted attention primarily for liquid foods, whereas applications in solid foods are less explored. Studies on muscle foods such as beef remain limited (McDonnell et al., 2014). If PEF achieves microbial inactivation in beef similar to that seen in liquids, it can affect tenderness, water-holding capacity, color, and muscle structure (O'Dowd et al., 2013). PEF applied to meat can reduce microbial load; thus improving safety and shelf-life, while increasing cell permeability by electroporation and potentially improving tenderness. Despite accelerating glycolysis and enzyme release, studies on PEF in red meat are limited (Suwandy et al., 2015 (b)). Despite challenges in implementation and optimization, results indicate both positive and negative changes depending on settings and muscle. Compared with conventional methods, PEF can preserve quality, extend storage life, shorten

processing time, and lower energy use; combinations with mild heat are promising for liquid foods (Guo et al., 2024).

Immediately post-slaughter (pre-rigor), tenderness decreases markedly during rigor mortis, and increases only slightly post-rigor due to proteolysis—never fully reaching initial tenderness (Zorba & Kurt, 2005). Post-mortem aging is widely used to improve tenderness but is slow and requires long refrigerated storage (≤ 28 days), imposing costs. Alternative physical methods to accelerate tenderization include ultrasound (US), high hydrostatic pressure (HHP), and shock waves. Outcomes vary by method and conditions (Arroyo et al., 2005). PEF offers a rapid, cost-effective way to modify muscle cell structures and potentially influence tenderness. Effects on tenderness and quality attributes have not been examined in depth (O'Dowd et al., 2013). Applying PEF after curing and resting for 12 h improved tenderness in duck or beef (Faridnia et al., 2014).

Arroyo et al. (2005) examined PEF effects on quality of beef longissimus thoracis et lumborum (LTL) using 300–600 square pulses, 1.4 kV/cm, 10 Hz, 20 μ s pulses, applied on post-mortem days 2, 10, 18, and 26. Temperature rises of 7.7 °C (300 pulses) and 14.5 °C (600 pulses) were observed, with no adverse effects on cooking loss, storage loss, or color. PEF tended to reduce hardness regardless of application day; sensory panelists reported similar odor and better texture in PEF-treated samples.

Faridnia et al. (2014) studied fresh and freeze-thawed beef muscles treated with bipolar square pulses at 1.4 kV/cm, 20 μ s, 1032 pulses, 50 Hz. Higher fields (1.7–2 kV/cm) caused edge cooking. PEF increased sample temperature by 10–12 °C, raised conductivity, and slightly lowered pH, consistent with enhanced ion transport and membrane permeability. PEF increased purge in both fresh and thawed meat but did not affect cooking loss.

Suwandy et al. (2014) (a) investigated proteolysis in cold-boned *M. longissimus lumborum* (LL) and *M. semimembranosus* (SM) under PEF (5–10 kV, 20/50/90 Hz). PEF reduced shear force by ~19%. In SM, reductions depended on frequency; in LL they were insensitive to field intensity. Western blots indicated increased degradation of desmin and troponin-T.

O'Dowd et al. (2013) evaluated post-rigor beef semitendinosus (ST) with field strengths 1.1–2.8 kV/cm, 5–200 Hz, 152–300 pulses. Samples exhibited greater weight loss with increasing temperature; PEF-treated muscles lost more than water-bath controls at equivalent temperatures, had lower water-holding capacity, and showed smaller fiber bundles microscopically. McDonnell et al. (2014) examined PEF as a pre-treatment to accelerate salting in pork. Low frequency and high field strength increased salt migration and electroporation. Optimization of pulse number and energy input is critical for efficiency. Other studies also report accelerated salt diffusion with PEF in meat systems (Jeong et al., 2023; Guo et al., 2024).

Collectively, recent studies indicate PEF is a promising nonthermal tool for tenderization and for accelerating salt/marinade penetration in meat systems, provided process windows are optimized for the specific cut and endpoint quality targets (Guo et al., 2024).

6. CONCLUSION

PEF can accelerate mass transfer during brining or marination, improve tenderness, and modulate water-holding when operated within appropriate parameter windows; in liquid products such as fruit juices, PEF often supports superior retention of vitamins and volatile aroma compounds compared with conventional heating. Process outcomes are sensitive to field strength, pulse width and number, specific energy input, and the

matrix profile (conductivity, pH, and temperature). Practical deployment requires attention to electrode durability, chamber design, and product-specific challenges such as spore-forming organisms and enzyme inactivation.

PEF offer several advantages over conventional thermal methods. When appropriately parameterized, PEF shows a greater capacity to preserve product quality, extend shelf life, and shorten overall processing times. Energy losses are typically lower, and—particularly in liquid foods—combining PEF with mild heating has demonstrated promising preservation performance while better maintaining heat-labile constituents and fresh-like sensory attributes.

In liquid foods, PEF can enhance extraction yields and pasteurization performance, while offering superior retention of heat-labile vitamins, volatile aroma compounds, and secondary metabolites compared with conventional thermal processing. By contrast, studies on meat products remain relatively limited. Owing to challenges in implementation and optimization—and the fact that the underlying mechanisms are not yet fully elucidated—the literature reports both beneficial and adverse quality changes depending on product type and processing parameters.

Despite these benefits, large-scale deployment remains constrained. Evidence from industrial-scale investigations is still limited, and the need for high voltages raises safety and infrastructure requirements. In regions with expensive electricity, operating costs can be prohibitive; in addition, electrode selection and food-contact considerations may further increase materials costs. Practical implementation is complicated by product-specific operating windows and optimization demands, and reports of structural changes in meat products—including undesirable textural effects—underscore the need for careful

process control. For protein-rich foods such as fish and meat, electroporation effects are under-studied, and variability among experimental setups and processing parameters hampers cross-study comparability.

REFERENCES

- Aguayo, I. A., Serrano, I. O., Teixeira, L. J. Q., & Belloso, O. M. (2008). Inactivation of tomato juice peroxidase by high-intensity pulsed electric fields as affected by process conditions. *Food Chemistry*, 107, 949–955.
- Alkanan, Z. T., Al-Mashahedy, L. A., & Jameel, A. T. (2024). Trends, recent advances, and application of pulsed electric fields for food processing. *Chemical Engineering & Technology*, 47(8), 1–15. doi:10.1002/cben.202300078
- Altunboy, A., & Sarıçoban, C. (2014). Muscle stretching techniques used in meat tenderization. *Electronic Journal of Food Technologies*, 9(2), 63–75.
- Angersbach, A., Heinz, V., & Knorr, D. (2000). Effects of pulsed electric fields on cell membranes in real food systems. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 1(2), 135–149.
- Aronsson, K., Rönner, U., & Borch, E. (2005). Inactivation of *Escherichia coli*, *Listeria innocua* and *Saccharomyces cerevisiae* in relation to membrane permeabilization due to PEF. *International Journal of Food Microbiology*, 99, 19–32.
- Arroyo, C., Lascorz, D., O'Dowd, L., Noci, F., Arimi, J., & Lyng, J. G. (2005). Effect of pulsed electric field treatments at various stages during conditioning on beef *longissimus thoracis et lumborum*. *Meat Science*, 99, 52–59.
- Bendicho, S., Espachs, A., Arántegui, J., & Martín, O. (2002). Effect of high-intensity pulsed electric fields and heat treatments on vitamins of milk. *Journal of Dairy Research*, 69(1), 113–123. doi:10.1017/S0022029901005258

- Berry-Kilgour, C., Wise, L., King, J., & Oey, I. (2024). Application of pulsed electric field technology to skin engineering. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 12, 1386725.
- Brito, I. P. C., & Silva, E. K. (2024). Pulsed electric field technology in vegetable and fruit juice processing: A review. *Food Research International*, 184, 114207. doi:10.1016/j.foodres.2024.114207
- Buckow, R., Ng, S., & Toepfl, S. (2013). Pulsed electric field processing of orange juice: A review on microbial, enzymatic, nutritional, and sensory quality and stability. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 12(5), 455–467. doi:10.1111/1541-4337.12026
- Carpentieri, S., Ferrari, G., & Pataro, G. (2023). PEF-assisted extraction of valuable compounds from red grape pomace: Process optimization. *Frontiers in Nutrition*, 10, 1158019.
- Cohn, F., & Mendelsohn, B. (1879). Ueber Einwirkung des electrischen Stromes auf die Vermehrung von Bacterien. *Beiträge zur Biologie der Pflanzen*, 3, 141–162.
- Domínguez-Soberanes, J., Ruiz-Martinez, O. F., & Davalos Hernandez, F. (2025). Power converter design for pulsed electric field-based milk processing: A proof of concept. *Foods*, 14(13), 2177. doi:10.3390/foods14132177
- Fabroni, S., Platania, G. M., Amenta, M., Ballistreri, G., Galvano, F., Nges, I. A., & Timpanaro, N. (2024). Pulsed electric field as a mild treatment for extended shelf-life and preservation of bioactive compounds in blood orange juice. *Applied Sciences*, 14(16), 7275. doi:10.3390/app14167275
- Faridnia, F., Ma, O. L., Bremer, P. J., Burritt, D. J., Hamid, N., & Oey, I. (2014). Effect of freezing as pre-treatment prior to

PEF processing on beef quality. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 26, 240–248.

Fortuny, R. S., Balasa, A., Knorr, D., & Martín-Belloso, O. (2009). Effects of pulsed electric fields on bioactive compounds in foods. *Trends in Food Science & Technology*, 20, 544–556.

Ghoshal, G. (2023). Comprehensive review on pulsed electric field in food preservation: Gaps in current studies for potential future research. *Heliyon*, 9(6), e17532. doi:10.1016/j.heliyon.2023.e17532

Gudmundsson, M., & Hafsteinsson, H. (2005). Effect of high-intensity electric field pulses on solid foods. In *Emerging technologies for food processing* (pp. 141–153).

Güleç, H. A. (2006). Pulsed electric field and ultrasound in modern food preservation. In *Proceedings of the 9th Turkish Food Congress* (pp. 73–76). Bolu.

Guo, Y., Gao, J., Bai, Y., Wang, X., Xu, X., Lu, X., Yue, J., & Han, M. (2024). Effect of PEF on NaCl diffusion in beef and consequence on meat quality. *Meat Science*, 213, 109507. doi:10.1016/j.meatsci.2024.109507

Horlacher, N., et al. (2024). Effect of pulsed electric field processing on microbial and enzyme inactivation in blended plant-based milk alternatives. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 99, 103973. doi:10.1016/j.ifset.2024.103973

Huang, K., & Wang, J. (2009). Designs of PEF treatment chambers for liquid foods: A review. *Journal of Food Engineering*, 95, 227–239.

Jeong, S.-H., Jung, Y.-M., Kim, S., Kim, J.-H., Yeo, H., & Lee, D.-U. (2023). Tenderization of beef semitendinosus

- muscle by PEF with a direct contact chamber. *Foods*, 12(3), 430. doi:10.3390/foods12030430
- Kim, S.-Y., Lee, B.-M., Hong, S.-Y., Yeo, H.-H., Jeong, S.-H., & Lee, D.-U. (2023). A pulsed electric field accelerates mass transfer during convective drying of carrots. *Foods*, 12(3), 589. doi:10.3390/foods12030589
- Lado, B. H., & Yousef, A. E. (2002). Alternative food preservation technologies: Efficacy and mechanisms. *Microbes and Infection*, 4, 433–440.
- Lebovka, N. I., Bazhal, M. I., & Vorobiev, E. (2001). PEF breakage of cellular tissues: Percolative properties. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 2, 113–125.
- Lebovka, N. I., Praporscic, I., Ghnimi, S., & Vorobiev, E. (2005). Temperature-enhanced electroporation under PEF. *Journal of Food Engineering*, 69, 177–184.
- Lee, P.-Y. (2024). Prospects of pulsed electric fields technology in food preservation and processing applications from sensory and consumer perspectives. *International Journal of Food Science & Technology*, 59(10), 6925–6943. doi:10.1111/ijfs.17515
- Li, L., Xu, Z., Wang, S., Li, Y., Wang, R., Wang, R., & Wang, J. (2021). The effect of pulsed electric fields (PEF) combined with temperature and natural preservatives on the quality and microbiological shelf-life of cantaloupe juice. *Foods*, 10(11), 2606. doi:10.3390/foods10112606
- Li, Y., Chen, Z., & Mo, H. (2007). Effects of pulsed electric fields on physicochemical properties of soybean protein isolates. *LWT – Food Science and Technology*, 40, 1167–1175.

- Lin, S., & Xiao, J. (2024). Impact of thermal processing on dietary flavonoids. *Advances in Food and Nutrition Research*, 108, 1–34. doi:10.1016/bs.afnr.2023.10.002
- Marín-Sánchez, J., et al. (2024). Pulsed electric fields effects on proteins. *Proteins*, 92(2), 137–159. doi:10.1002/prot.26718
- McDonnell, C. H., Allen, P., Chardonnerau, F. S., Arimi, J. M., & Lyng, J. G. (2014). PEF for accelerating salting of pork. *LWT – Food Science and Technology*, 59, 1054–1060.
- Morren, J., Roodenburg, B., & de Haan, S. W. H. (2003). Electrochemical reactions and electrode corrosion in pulsed electric field (PEF) treatment chambers. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 4(3), 285–295. doi:10.1016/S1466-8564(03)00041-9
- Narra, F., Piragine, E., Benedetti, G., Ceccanti, C., Florio, M., Spezzini, J., Troisi, F., Giovannoni, R., Martelli, A., & Guidi, L. (2024). Impact of thermal processing on polyphenols, carotenoids, glucosinolates, and ascorbic acid in fruit and vegetables and their cardiovascular benefits. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 23(6), e13426. doi:10.1111/1541-4337.13426
- Ngadi, M. O., Yu, L., Amiali, M., & Ortega-Rivas, E. (2009). Food quality and safety issues during pulsed electric field processing. In *Processing effects on safety and quality of foods* (p. 441).
- O'Dowd, L., Arimi, J. M., Noci, F., Cronin, D. A., & Lyng, J. G. (2013). Effect of PEF on tenderness and quality of post-rigor beef. *Meat Science*, 93, 303–309.
- Qiu, X., Sharma, S., Tuhela, L., Jia, M., & Zhang, Q. H. (1998). An integrated PEF pilot plant for continuous nonthermal

- pasteurization of fresh orange juice. *Transactions of the ASAE*, 41(4), 1069–1074. doi:10.13031/2013.17235
- Raso, J., Frey, W., Ferrari, G., Pataro, G., Knorr, D., Teissie, J., & Miklavčič, D. (2016). Recommendations guidelines on the key information to be reported in studies of application of PEF technology in food and biotechnological processes. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 37, 312–321.
- Roobab, U., Aadil, R. M., Ahmed, M., & Madni, G. M. (2022). Applications of innovative non-thermal pulsed electric fields (PEF) in food processing. *Foods*, 11(10), 1524.
- Sağdıç, O., Ekici, L., & Yetim, H. (2008). New microbial inactivation methods in food preservation. In *Proceedings of the 10th Turkish Food Congress* (p. 949). Erzurum.
- Sánchez-Moreno, C., Cano, M. P., de Ancos, B., Plaza, L., Olmedilla, B., Granado, F., Elez-Martínez, P., Martín-Belloso, O., & Martín, A. (2004). PEF-processed orange juice consumption increases plasma vitamin C. *Journal of Nutritional Biochemistry*, 15, 601–607.
- Sepúlveda, D. R., Gongora-Nieto, M. M., Guerrero, J. A., & Barbosa-Cánovas, G. V. (2009). Shelf-life of whole milk processed by PEF with PEF-generated heat. *LWT – Food Science and Technology*, 42(3), 735–739.
- Shamsi, K., Versteeg, C., Sherkat, F., & Wan, J. (2008). Alkaline phosphatase and microbial inactivation by pulsed electric field in bovine milk. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 9(2), 217–223.
- Su, W., et al. (2024). Effects of PEF technology on nutritional quality: Opportunities and challenges. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 8, 1385533.

- Suwandy, V., Carne, A., van der Ven, R., Bekhit, A. A., & Hopkins, D. L. (2015a). PEF and proteolysis in cold-boned beef LL and SM. *Meat Science*, *100*, 222–226.
- Suwandy, V., Carne, A., van der Ven, R., Bekhit, A. A., & Hopkins, D. L. (2015b). PEF treatment on hot-boned muscles of different potential tenderness. *Meat Science*, *105*, 24–31.
- Swayne, M., Perumal, G., Padmanaban, D. B., & Zarrelli, D. (2024). Improved lifetime of a PEF system using laser-induced surface oxidation. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, *97*, 103789. doi:10.1016/j.ifset.2024.103789
- Takaki, K., Takahashi, K., Guionet, A., & Ohshima, T. (2021). Pulsed power applications for protein conformational change and the permeabilization of agricultural products. *Molecules*, *26*(20), 6288. doi:10.3390/molecules26206288
- Taha, A., Ashokkumar, M., & Roos, Y. H. (2022). Pulsed electric field: Fundamentals and effects on structural and techno-functional properties of dairy and plant proteins. *Foods*, *11*(11), 1556.
- Timmermans, R. A. H., Roland, W. S. U., van Kekem, K., Matser, A. M., & van Boekel, M. A. J. S. (2022). Effect of pasteurization by moderate-intensity PEF treatment compared to thermal treatment on quality attributes of fresh orange juice. *Foods*, *11*(21), 3360.
- Tongdonyod, S., Thikham, S., & Kittiwachana, S. (2023). Optimization of pulsed electric fields combined with mild heat treatment on microbial inactivation of tender coconut water and evaluation of quality attributes during storage.

Innovative Food Science & Emerging Technologies, 90, 103507.

- Tracy, R. L. (1932). Lethal effect of alternating current on yeast cells. *Journal of Bacteriology*, 24(6), 423–438.
- Ye, H., Liu, J., & Styles, P. (2004). Pulsed electric field stimulates plant secondary metabolism in *Taxus chinensis* suspension cultures. *Biotechnology Letters*, 26(13), 983–987. doi:10.1023/B:BILE.0000032966.65670.6c
- Yogesh, K., et al. (2015). Pulsed electric field processing of egg products: A review. *Korean Journal for Food Science of Animal Resources*, 35(6), 739–749. doi:10.5851/kosfa.2015.35.6.739
- Zhang, H. (2007). Electrical properties of foods. USA, 1, 485. (bibliyografik ayrıntılar sağlanmadığından giriş aynen bırakılmıştır)
- Zia, H., Slatnar, A., Košmerl, T., & Korošec, M. (2024). A review study on the effects of thermal and non-thermal processing techniques on the sensory properties of fruit juices and beverages. *Frontiers in Food Science and Technology*, 4, 1405384.
- Zorba, Ö., & Kurt, Ş. (2005). Effects of high pressure on quality of meat and meat products. *YYU Veterinary Journal*, 16(1), 71–76.

FONKSİYONEL YAĞLAR VE MOLEKÜLER GASTRONOMİ

Benan DİNÇ GİRGİN¹

1. GİRİŞ

Fonksiyonel gıdalar, sağlık üzerinde olumlu etkiler yaratma veya belirli hastalıkların gelişimini önleme potansiyeli taşıyan bileşenler ya da canlı mikroorganizmalar içeren; güvenliği kanıtlanmış ve hedeflenen yararı sağlayacak düzeyde formüle edilmiş yeni nesil gıdalar olarak tanımlanmaktadır (Temple, 2022). Fonksiyonel yağlar, lipid ve glikoz metabolizmasını düzenleme, tromboz riskini azaltma ve bilişsel performansı destekleme gibi spesifik fizyolojik etkiler gösteren biyoaktif veya fonksiyonel bileşenler içeren; omega-3 ve omega-6 yağ asitleri bakımından zengin çoklu doymamış yağ asitlerinden oluşmaktadır (Yue et al., 2020). Moleküler gastronomi ise gıda bilimi ile mutfak sanatının kesişiminde yer alan ve malzemelerin ve pişirme tekniklerinin dönüştürülmesinde bilimsel prensipleri uygulayan bir disiplindir (Manoj J & Venkatraman, 2025).

2. FONKSİYONEL YAĞLAR

2.1. Fonksiyonel Yağların Yağ Asidi Profilleri

Fonksiyonel diyet lipitlerinin önemli bir temsilcisi olan omega (ω) serisi yağ asitleri, son yıllarda yoğun ilgi görmektedir. Bu sınıflandırma, yağ asidi molekülünün metil ucundan itibaren

¹ Öğr. Gör. Dr., Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Pazarlar Meslek Yüksekokulu, benan.dincgirgin@dpu.edu.tr, 0000-0001-6682-6567.

ilk çift bağın konumuna dayalı olup genellikle ω -3, ω -6 ve ω -9 formlarında bulunmaktadır. Özellikle ω -3 ve ω -6 çoklu doymamış yağ asitlerinin diyabet, kanser, inflamasyon, kardiyovasküler ve nörolojik hastalıkların önlenmesi ve/veya yönetiminde potansiyel yararlar sağladığı literatürde bildirilmektedir (D'Angelo, Motti, & Meccariello, 2020; Ma et al., 2022).

2.1.1. Omega-3, Omega-6 ve Omega-9 Yağ Asitleri

Alfa-linolenik asit (ALA), eikosapentaenoik asit (EPA) ve dokosahekzaenoik asit (DHA) gibi omega-3 yağ asitleri, insan sağlığında kritik işlevlere sahip temel çoklu doymamış yağ asitleridir. Bu bileşikler hem hayvansal hem de bitkisel kaynaklarda bulunmakta olup, özellikle balıklar ve algler EPA ile DHA bakımından zenginken; keten tohumu, ceviz ve çeşitli yenilebilir tohumlar başlıca ALA kaynağıdır (Saidaiyah, Banu, Khan, Geetha, & Somraj, 2024). Omega-3 yağ asitlerinin yaklaşık %20'si fonksiyonel gıdaların üretiminde kullanılmakta olup, bu ürünler temel beslenmenin ötesinde ek sağlık yararları sunmayı amaçlamaktadır. Omega-3 ile zenginleştirme ve mikroenkapsülasyon teknikleri, yoğurt, meyve suyu, tahıl ürünleri, kuruyemişler, taze gıdalar, yemeklik yağlar ve bebek mamaları gibi çeşitli gıdalara bu yağ asitlerinin eklenmesinde en yaygın kullanılan yöntemler arasında yer almaktadır (Yadav, Chauhan, & Al-Sebaei, 2020).

Omega-6 yağ asitleri, bitkisel yağlar, kuruyemişler ve tohumlarda yaygın olarak bulunan temel çoklu doymamış yağ asitleri (PUFA) arasında yer almakta olup, linoleik asit (LA, 18:2, omega-6) biyoaktif metabolitlerin önemli bir öncüsü olarak katkı sağlamaktadır (Kaviani, Hajibabaei, Abedpoor, & Safavi, 2025).

Omega-9 tekli doymamış yağ asitleri (MUFA'lar), bitkiler, hayvanlar ve mikroorganizmalar gibi çeşitli doğal organizmalarda yaygın olarak bulunmaktadır. Bu grupta birçok

farklı omega-9 yağ asidi bulunmasıyla birlikte, başlıca temsilcileri oleik asit, gondolik asit, erusik asit, nervonik asit, ksimenik asit ve lumegueik asittir (Wang et al., 2025).

2.2. Fonksiyonel Yağların Biyoaktif Bileşikleri

Bitkisel yağlar, besinsel ve fonksiyonel özellikleri bakımından önemli bir değere sahiptir ve bu nedenle üretim süreçlerinin iyileştirilmesine yönelik yenilikçi teknolojilere olan bilimsel ilgiyi artırmaktadır. Bu gelişmeler, yağların verimini, besin bileşimini, organoleptik niteliklerini ve işlevsel özelliklerini geliştirmeyi hedeflemektedir. Ayrıca bitkisel yağlar, fenolik bileşenlerin stabilizasyon teknikleriyle bünyelerine entegre edilmesi sayesinde, biyoaktif özelliklerini ve dolayısıyla sağlık açısından potansiyel faydalarını artırma kapasitesiyle öne çıkmaktadır (Montoro-Alonso et al., 2025).

2.2.1. Tokoferoller

E vitamininin başlıca yağda çözünebilen fraksiyonlarını oluşturan tokoferoller, hem besinsel açıdan hem de farmakolojik açıdan yüksek öneme sahip temel doğal bileşiklerdir (Yingfei Liu, Lv, Wang, Wei, & Chen, 2025). Tokoferoller, kromanol halkasında bulunan metil gruplarının sayısı ve yerleşimine bağlı olarak α , β , γ ve δ olmak üzere dört doğal homolog formda bulunmaktadır (Azzi, 2019; Pawlak et al., 2024).

Bunlar içerisinde insanlarda en yüksek E vitamini aktivitesini sergileyen formu α -tokoferol'dür (Meier, Tomizaki, Schulze-Briese, Baumann, & Stocker, 2003). Farmakolojik açıdan tokoferoller, kardiyovasküler hastalıklar, diyabet ve kanser gibi kronik hastalıklarla ilişkili oksidatif stresi azaltmada etkili antioksidan özellik gösterirler (Martemucci et al., 2023).

2.2.2. Fitosteroller

Fitosteroller, bağırsaktan kolesterol emilimini azaltarak toplam ve düşük yoğunluklu lipoprotein (LDL) kolesterol

düzeylerini düşürür ve bu nedenle etkili hipokolesterolemik bileşikler olarak kabul edilir (Keservani, Sharma, & Kesharwani, 2019). En bol bulunan fitosteroller beta-sitosterol, kampesterol ve stigmasteroldür (Bacchetti, Masciangelo, Bicchiega, Bertoli, & Ferretti, 2011). Günlük fitosterol alımı, Batılı ülkelerde genellikle önerilen (2 g/gün) faydalı düzeyin altında kalmaktadır. Bu durum, araştırmacılar ve gıda endüstrisi arasında fitosterol ile zenginleştirilmiş yeni fonksiyonel gıdaların tasarımı ve geliştirilmesine olan ilgiyi artırmıştır (Jiménez et al., 2024).

Fitosteroller, farklı gıda matrislerine kolaylıkla eklenebilme özelliğine sahiptir. İlk olarak 1995 yılında, Finlandiya’da Benecol markalı margarin, bitkisel stanol yağ asidi esterleri ile takviye edilerek satışa sunulmuştur. O tarihten bu yana, fitosterollerle zenginleştirilmiş pek çok fonksiyonel gıda geliştirilmiş ve küresel pazarda yerini almıştır (Tolve et al., 2020). Fitosterol ile zenginleştirilen fonksiyonel yağlar arasında ayçiçeği, soya fasulyesi, pirinç kabuğu, kanola ve Hindistan cevizi yağları yer almakta olup, özellikle soya fasulyesi yağı diğer yağlara kıyasla daha yüksek stabilite gösterdiği için fitosterol dispersiyonu ve gıda takviyesi amacıyla daha uygun bir seçenek olarak değerlendirilmektedir (Pavani, Poonam, & Sushil Kumar, 2022).

Fitosterollerin hem sulu hem de lipid matrislerde düşük çözünürlüğü, stabilitesini, biyoerişilebilirliğini ve biyoyararlanımını iyileştirmek amacıyla mikro ve nanokapsülleme, nanoemülsiyonlar ve lipid bazlı nanotaşıyıcılar gibi çeşitli stratejilerin kullanılmasını gerektirmektedir. Her ne kadar fitosterollerin çeşitli kronik hastalıklara karşı potansiyel faydalarına dair bazı kanıtlar bulunmuş olsa da, bu etkilerin ve koruyucu rolünün daha kesin olarak doğrulanabilmesi için klinik öncesi ve klinik düzeyde ilave araştırmalara ihtiyaç olduğu belirtilmektedir (Jiménez et al., 2024).

2.2.3. Fenolik Bileşikler

Fenolik bileşikler, yalnızca gıda ürünlerinin renk ve tat özelliklerine katkılarıyla değil, aynı zamanda tüketicilere sundukları ek sağlık yararları nedeniyle de en yoğun araştırılan bileşik gruplarından biridir (Matsumura, Kitabatake, Kayano, & Ito, 2023). Uçucu yağlar, içeriklerindeki biyoaktif bileşenler sayesinde yalnızca lezzet profilini zenginleştirmekle kalmaz, aynı zamanda antimikrobiyal özellikleriyle gıda güvenliğini artırır ve raf ömrünü uzatır (Serradell et al., 2020).

2.3. Fonksiyonel Yağların Sağlık Üzerine Etkileri

Vitaminler, uçucu yağlar ve yağ asitleri gibi lipofilik fonksiyonel bileşenler, insan sağlığının korunmasında kritik öneme sahiptir. Örneğin, provitamin A niteliğindeki beta-karoten, metabolizma yoluyla retinal ve retinoik aside dönüşerek görme, bağışıklık sistemi işlevleri ve büyüme süreçlerine katkıda bulunur (Joshi, Kumar, & Kataria, 2023; Szabo et al., 2021).

2.3.1. Kardiyovasküler Sağlık

Yapılan araştırmalar, hem akut hem de kronik kardiyovasküler hastalıkların gelişiminde oksidatif stresin önemli bir rol oynadığını ortaya koymaktadır (Yılmaz et al., 2020; Mongirdiené et al., 2023). Serbest radikaller, hücresel metabolizma sırasında sürekli olarak üretilmekte ve hücre içi sinyal iletimi, homeostazis ile savunma mekanizmalarının işleyişinde görev almaktadır. Özellikle düşük yoğunluklu lipoproteinlerin (LDL) oksidasyonu, plak oluşum sürecini tetikleyerek ateroskleroz ve diğer kardiyovasküler hastalıkların patogeneğinde kilit bir faktör olarak değerlendirilmektedir (Gul, Singh, & Jabeen, 2016).

Örneğin balık yağında bulunan Omega-3 yağ asitlerinin (EPA ve DHA) düşük yoğunluklu lipoprotein (LPL) ve yağ asidi oksidasyon enzimlerinin ekspresyonunu artırarak, çok düşük

yoğunluklu lipoprotein reseptörünün (VLDL) ekspresyonunu azaltarak, yağlı tohumlarda yer alan MUFA, PUFA, lif, E vitamininin ise safra asitlerinin emilimini azaltıp kolesterolün katabolizmasını hızlandırarak, bağırsak mikrobiyotası aracılığıyla kısa zincirli yağ asitlerinin sentezini artırarak ve apolipoprotein B düzeyleri ile toplam ve LDL kolesterol konsantrasyonlarını düşürerek kardiyoprotektif özellikler gösterdiği bildirilmiştir (Chiu, Shen, Venkatakrishnan, & Wang, 2018).

2.3.2. Bilişsel Fonksiyon ve Sinir Sistemi Sağlığı

Nörodejeneratif hastalıklar genellikle yaşlı nüfusla ilişkilendirilse de, yaşam kalitesindeki iyileşmelere rağmen, bu hastalıklar günümüzde her yaş grubunda önemli bir sağlık tehdidi oluşturmaktadır. Araştırmalar, neredeyse tüm uçucu yağların belirli ölçüde nöroprotektif özellikler taşıdığını ve yüzyıllardır ruh sağlığını desteklemek amacıyla takviye olarak kullanıldığını göstermektedir. Nörodejeneratif bozukluklar için ana terapötik müdahale olarak kullanılma potansiyeline sahip olan monoterpen fenolik esansiyel yağlardan biri olan karvakrolün terapötik potansiyelini vurgulayan bir derleme çalışmasında gelecekteki araştırmaların karvakrol formülasyon tasarımlarına farmasötik nanoteknolojinin entegre edilmesine odaklanılması gerektiği bildirilmiştir (Tareen, Catenacci, Perteghella, Sorrenti, & Bonferoni, 2024).

Bir çalışmada ABD'li yetişkinlerde, özellikle kadınlarda, daha fazla zeytinyağı tüketmenin, beslenme kalitesinden bağımsız olarak, demans kaynaklı ölüm riskinin daha düşük olmasıyla ilişkili olduğu ortaya konmuş ve margarin ve mayonez yerine zeytinyağı tüketiminin, demans kaynaklı ölüm riskinin daha düşük olmasıyla ilişkili olduğu ve demanssız uzun ömürlülüğü artırmak için potansiyel bir strateji olabileceği görülmüştür (Tessier et al., 2024).

2.3.3. Bağışıklık Sistemi Üzerine Etkiler

Omega-3 yağ asitleri, özellikle EPA ve DHA, hücre zarı akışkanlığını, sinyal yollarını ve gen ekspresyonunu etkileyerek bağışıklık sistemi üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Araştırmalar, bu yağ asitlerinin diyetle eklenmesinin bağışıklık tepkilerini iyileştirebileceğini ve immünolojik dengeyi korurken inflamasyonun çözülmesine yardımcı olabileceğini göstermiştir (Bodur, Yılmaz, Ağagündüz, & Ozogul, 2025).

İnsan bağırsak mikrobiyotası, konakçı bağışıklık sisteminin düzenlenmesinde ve immün toleransın korunmasında kritik bir çevresel faktör olarak tanımlanmaktadır. Ancak, mikrobiyota dengesinin bozulması (disbiyoz), kanser, otoimmün hastalıklar ve nörolojik bozukluklar gibi çeşitli patolojik durumlarla ilişkilendirilmiştir. Bağırsak bakterilerinin, konak bağışıklık yanıtlarını kısmen ürettikleri metabolitler aracılığıyla düzenlediği bilinmektedir. Son yıllarda yapılan araştırmalar, kısa zincirli yağ asitleri gibi mikrobiyal kökenli metabolitlerin konak reseptörlerini doğrudan etkileyerek bağışıklık sistemi üzerinde önemli modülatör roller oynadığını ortaya koymuştur (Döğüş, Deami, & Yönden, 2023).

3. MOLEKÜLER GASTRONOMİ ve YAĞLARIN ROLÜ

3.1. Moleküler Gastronomi

Beslenme, insanlığın var oluşundan bu yana yaşamın sürdürülmesi için temel bir gereksinim olmuştur. Ancak küreselleşmenin etkisiyle, yeme-içme eylemi yalnızca fizyolojik bir zorunluluk olmaktan çıkarak sosyal, kültürel ve deneyimsel bir olguya dönüşmüştür. Günümüzde bireylerin, yalnızca ev ortamında değil, farklı coğrafyalarda yeni tatlar keşfetmek

amacıyla beslenme pratiklerini çeşitlendirdikleri ve bu süreçten keyif aldıkları gözlemlenmektedir (Çözeli & Doğdubay, 2017).

Moleküler gastronomi, gıdaların pişirme sürecinde geçirdiği fiziksel ve kimyasal dönüşümleri bilimsel yöntemlerle inceleyen bir disiplin olarak tanımlanmaktadır (This, 2009). Moleküler gastronomide en sık emülsifikasyon, sferifikasyon, flaş dondurma, efervesan, jelifikasyon, dönüşüm, kıvamlandırma ve sous vide teknikleri kullanılmaktadır (Manoj J & Venkatraman, 2025). Bu çalışmada ise, yağlardan yararlanılabilen moleküler gastronomi uygulamalarından emülsifikasyon ve kapsülleme, jelleştirme, tozlaştırma ile sferifikasyon tekniklerine değinilmiştir.

3.2. Moleküler Gastronominin Temel Teknikleri

3.2.1. Emülsifikasyon

Omega-3 yağ asitleri, karotenoidler ve yağda çözünen vitaminler gibi lipofilik fonksiyonel bileşenler, insan sağlığına pek çok yarar sağlasa da, su bazlı gıda sistemlerindeki düşük çözünürlükleri nedeniyle formülasyon zorlukları yaratmaktadır. Bu sınırlamayı aşmak için kullanılan emülsifikasyon teknikleri, söz konusu bileşenlerin sulu ortamlarda homojen bir şekilde dağılmasına olanak tanıyarak çeşitli gıda ürünlerine etkin biçimde entegre edilmelerini kolaylaştırır (Henao-Ardila, Quintanilla-Carvajal, & Moreno, 2024).

Lesitin, fırıncılık ürünleri, içecekler, şekerlemeler ve emülsifikasyon işlemleri de dahil olmak üzere birçok gıda uygulamasında kullanılan çok yönlü bir bileşendir. Pişirme yüzeylerinde sıvı lipit bariyerleri oluşturarak ürünlerin yüzeyden kolayca ayrılmasını sağladığı için, ticari fırıncılıkta önemli bir katkı maddesi olarak değerlendirilmektedir. Ayrıca kek, kurabiye ve benzeri nemli ürünlerin üretiminde de yaygın biçimde kullanılmaktadır. Sprey formundaki lesitinler genellikle düşük viskoziteye sahiptir ve asetonda çözünmeyen madde oranları %32

ile %50 arasında değişmektedir. Bunun yanı sıra, sulu ayırıcı ajanlar, aglomere toz karışımları, hazır gıdalar ve içecek formülasyonlarında da fonksiyonel bir bileşen olarak kullanılmaktadır (List, 2015).

3.2.2. Jel Oluşturma

Jelleştirme, temel olarak sulu bir maddenin elle tutulabilir ve bıçakla kesilebilir bir forma dönüşmesi süreci olarak tanımlanabilir (Durlu Özkaya & Onurlar, 2018). Jeller; dağıtılmış kolloidlerden oluşan, üç boyutlu ağ yapısına sahip ve gözeneklerinde su, yağ ya da hava tutabilen fonksiyonel malzemelerdir. Bu özelliklerine göre sırasıyla hidrojel, oleojel ve aerojel olarak sınıflandırılırlar (Abdullah, Liu, Javed, & Xiao, 2022).

Agar agar, jelleştirme yöntemlerinde yaygın olarak tercih edilen temel bileşenlerden biridir. Saf yapısı sayesinde ağızda belirgin bir tat ya da kokusal etki bırakmamaktadır. Bu madde, okyanuslarda bulunan *Rhodophyta* adlı kırmızı deniz yosunlarından elde edilir. Rengini, yapısında yer alan klorofil ve fikobilin olarak adlandırılan kırmızı pigmentlerden almaktadır (Keskin, Erol, & Örgün, 2018).

3.2.3. Tozlaştırma

Tozlaştırma tekniği temelde iki şekilde gerçekleştirilmektedir. Birincisi, yüksek oranda yağ içeren ve akışkan özellik gösteren maddelerin granül forma dönüştürülmesidir. Bu tekniğin uygulanabilirliğini sağlayan en önemli unsur, ürünün tekstürünü ve moleküler yapısını iyileştiren katkı maddelerinin sağlık açısından güvenli düzeylerde kullanılmasıdır. Böylece, hedeflenen toz form elde edilinceye kadar katkı maddesi ilavesi mümkün olmaktadır (Pamukçu, Tanrısever, & Alpaslan, 2020).

İkincisi, akışkan ya da katı formdaki gıdaların, sıvı azot içeren bir kapta form değiştirerek buz fazına geçmesi ve düşük sıcaklığın etkisiyle istenen boyutlarda parçalanması esasına dayanmaktadır. Sıcaklığın düşmesiyle ürünlerin kırılabilirliği artmakta, bu durum onların daha kolay işlenebilmesini sağlamaktadır. Granül hale getirilen ürünlerin, tüketim sırasında vücut ısıyla temas ettiğinde yeniden sıvı forma dönüşerek şerbet benzeri bir yapı oluşturduğu gözlemlenmiştir. Çikolata, zeytinyağı ve bacon gibi ürünlerin bu yöntemle başarılı bir şekilde toz formuna dönüştürülebildiği deneysel olarak ortaya konmuştur (Alpaslan, 2019).

3.2.4. Sferifikasyon

Sferifikasyon, sodyum aljinat içeren bir sıvının kalsiyum banyosuna daldırılıp pişirildiği bir tekniktir. Bu süreç, genellikle “kimyasal pişirme” olarak adlandırılır. Sferifikasyon yönteminde, kalsiyum kaynağı içeren bir sıvı ortam hazırlanır ve aljinat içeren yenilebilir sıvı bu ortama daldırılarak jel tabakası oluşturulur. Aljinat ile etkileşim sağladığı için çoğunlukla kalsiyum klorür, bu işlemde temel jelleştirici ajan olarak kullanılmaktadır (Gomes, Simões, & Silva, 2020). Sferifikasyon milimetrik boyutta, ideal olarak küresel olan bu tür parçacıkları tasarlamak için kullanılan tüm yöntemlerdir (Bennacef, Desobry-Banon, Probst, & Desobry, 2021).

4. FONKSİYONEL YAĞLARLA YENİLİKÇİ UYGULAMALAR

4.1. Emülsifikasyon ve Kapsülleme

Emülsifikasyon, moleküler gastronomi kapsamında öne çıkan temel uygulamalardan biri olarak değerlendirilmektedir (Batu, 2019).

Bir araştırmada, omega-3 yağ asitleri bakımından zengin bir kaynak olan keten tohumu yağı, çeşitli taşıyıcı maddeler ve emülsifikasyon teknikleri kullanılarak mikrokapsül formuna dönüştürülmüştür. Çalışmada, keten tohumu yağı üç farklı karbonhidrat türevi (maltodekstrin, N-Lok, HiCap 100), iki farklı protein kaynağı (sodyum kazeinat ve peyniraltı suyu protein konsantresi) ile arap zıncı kullanılarak oluşturulan üçlü kombinasyonlarla kapsüllenmiş ve her formülasyonda en yüksek kapsülleme verimini sağlayan optimum oranlar belirlenmiştir. Kapsülleme işlemi için klasik homojenizasyon ve ultrasonik homojenizasyon yöntemleri karşılaştırılmıştır. Genel bulgular, ultrasonik homojenizasyon ile elde edilen mikrokapsüllerin, klasik yöntemle üretilenlere kıyasla daha küçük parçacık boyutuna sahip olduğunu ve daha yüksek kapsülleme etkinliği gösterdiğini ortaya koymuştur. Taşıyıcı kombinasyonlarının emülsiyon damlacık boyutunu etkilediği, ancak mikrokapsül parçacık boyutlarında belirgin bir farklılık yaratmadığı gözlenmiştir. Oksidatif dayanıklılık açısından, en kararlı mikrokapsüllerin maltodekstrin ile peyniraltı suyu protein konsantresinin birlikte kullanıldığı formülasyonlarda üretildiği; arap zıncı içeren kombinasyonlarda ise mikrokapsüllerin hızlı oksidasyona uğradığı tespit edilmiştir. Sonuç olarak, oksidatif stabilitenin yüzey yağ miktarından çok kullanılan taşıyıcı sistemin türüyle ilişkili olduğu anlaşılmıştır (Tontul, 2011).

Kapsülleştirme tekniği, mutfak uygulamalarına ilk kez 2003 yılında El Bulli tarafından, bir sıvının başka bir sıvı banyosu içerisinde kontrollü jelleştirilmesi yöntemiyle kazandırılmıştır. Bu yaklaşımın gelişmesiyle birlikte, modern mutfaklarda farklı boyut ve formlarda kapsülleştirilmiş ürünler üreilmeye başlanmış; havyar, yumurta, gnocchi ve ravioli bu uygulamalara örnek teşkil etmiştir (Özel, 2018).

Karotenoidler, lipofilik yapıya sahip, konjuge çift bağlar içeren ve güçlü antioksidan özellik gösteren organik

pigmentlerdir. Son yıllarda bu bileşiklere yönelik araştırmalar, insan sağlığı üzerindeki olumlu etkileri doğrultusunda fonksiyonel gıdalar, farmakolojik uygulamalar ve biyoyararlılık üzerine yoğunlaşmıştır. Bununla birlikte, gıdaların işlenmesi ve depolanması sırasında oksijen, ısı, nem ve ışık gibi çevresel faktörler ile gastrointestinal sistemdeki koşullar, karotenoidlerin biyolojik aktivitelerini olumsuz yönde etkileyerek etkinliklerinde azalmaya neden olabilmektedir. Lipofilik özelliklerinden dolayı karotenoidlerin sulu sistemlerde kullanılabilirliği sınırlıdır. Bu nedenle, söz konusu kısıtlamaların aşılmasında mikroenkapsülasyon yöntemi etkin bir çözüm olarak öne çıkmaktadır (İnan Çinkır, Ağçam, & Akyıldız Asiye, 2019).

Cornacchia & Roos (2011) tarafından yapılan bir çalışmada, lipit taşıyıcısının fiziksel durumunun ve yağ-su emülsiyonlarının arayüz bileşiminin β -karotenin stabilitesi üzerindeki etkisi incelenmiş, %10 hidrojene palm çekirdeği yağı konsantrasyonuna sahip, %0,05 β -karoten ve %30 sukroz içeren pH 7' deki su fazına sahip emülsiyonlar, %1, %1,5, %2 ve %3 peynir altı suyu protein izolatu ile stabilize edilmiş, ve edinilen bulgulara göre, emülsiyonlarda yağda çözünen besin maddelerinin bozunumu azaltılabileceği ve gıda, ilaç ve ilgili uygulamalarda çeşitli özel ihtiyaçlar için verimli iletim sistemleri tasarlanıp üretilabileceği belirtilmiştir.

Lourenço et al. (2017), püskürterek kurutma yöntemiyle gallik asit ve kekik otu esansiyel yağını enkapsüle etmişlerdir. Çalışmada, *Enterobacter A47* suşundan elde edilen FucoPol adlı ekzo-polisakkarit kullanılarak küresel formda ve pürüzsüz yüzeye sahip mikrokapsüller geliştirilmiştir. Araştırmacılar, söz konusu ekzo-polisakkaritin enkapsülasyon ve paketleme uygulamaları açısından önemli bir potansiyele sahip olduğunu vurgulamışlardır.

Fitosteroller, bitkilerde doğal olarak bulunan lipofilik bileşiklerdir ve yapısal olarak kolesterole büyük ölçüde benzerdir. Bitki sterollerinin, insanlarda toplam serum kolesterolü ile düşük yoğunluklu lipoprotein düzeylerini azalttığı bilinmektedir. Ancak, yüksek erime sıcaklıkları, düşük suda çözünürlükleri ve kireçimsi tat özellikleri nedeniyle doğrudan kullanım alanları sınırlıdır. Ayrıca kimyasal yapılarının kolay oksitlenebilir olması, biyoyararlılık ve emilim açısından ek bir kısıt oluşturmaktadır (Özel, 2018).

Bu nedenlerle, fitosterol karışımları elektropüskürtme ve püskürterek kurutma yöntemleri kullanılarak kapsüllenmiştir. Çalışmada her iki yöntemde de çeşitli parametreler optimize edilmiş ve elde edilen kapsüllerin mide-bağırsak sisteminde salınım davranışları incelenmiştir. Sonuç olarak, her iki yöntem de bağırsakta açılabilen, partikül boyutu küçük ve stabil fitosterol kapsüllerinin üretimine olanak sağlamıştır. Elde edilen kapsüllerin, doğrudan gıda takviyesi olarak veya çeşitli gıda formülasyonlarına ilave edilerek ticarileştirilebilir nitelikte fonksiyonel bir gıda bileşeni olabileceği ortaya konulmuştur (Özel, 2018).

Bir çalışmada, kırmızı biber oleoresini gellan gam, mesquite gam ve maltodekstrin kaplama materyalleri kullanarak emülsifikasyon tekniği ile mikroenkapsüle edilmiş ve çok katmanlı emülsifikasyon ile elde edilen püskürtülerek kurutulmuş mikrokapsüllerin, daha iyi morfoloji ve en yüksek enkapsülasyon etkinliğine sahip olduğunu ve toplam karotenoid dayanımı gösterdiğini belirtmişlerdir (Rodríguez-Huezo, Pedroza-Islas, Prado-Barragán, Beristain, & Vernon-Carter, 2004).

4.2. Sferifikasyon, Tozlaştırma ve Jelleştirme

Sferifikasyon, zeytinyağını, yuvarlak formda yapılandırılabilen bir gastronomi tekniğidir. Bu işlemde kalsiyum laktat ve sodyum aljinat, zeytinyağının katı forma dönüşümünü

sağlayan temel katkı maddeleri olarak rol oynamaktadır. Gıdalarda gerçekleştirilen bu tür fiziksel ve kimyasal modifikasyonlar, günümüzde moleküler gastronominin yenilikçi uygulamaları arasında önemli bir yer tutmaktadır (Keskin et al., 2018).

Kızılaslan, Koç, & Kulu (2022), zeytinyağında mesare - kudret narı soft jelleri preparatlarının mide rahatsızlıklarının tedavisinde yaygın olarak kullanılan kudret narı preparatlarının meyve yağı ekstresi, standardize edilerek geliştirilen softjel formu sayesinde alım zorluklarının önüne geçildiğini ve ciddi bir kullanım kolaylığı sağladığını bildirmişlerdir.

Santos, Magalhães, Okuro, Steel, & Cunha (2024), oleajatör olarak sodyum kazeinattan yararlanarak quercetin biyoaktif bileşiği ile yağ fazı olarak ayçiçek yağı kullanılmasıyla yüksek antioksidan kapasiteye sahip pound kek elde etmişlerdir.

Başka bir çalışmada oleajatör olarak kandilya mumu ve gliserol monostearat tan yararlanarak β - karoten biyoaktif bileşiği ile yağ fazı olarak ayçiçek yağı kullanılmasıyla yüksek mukavemete sahip muffin elde edilmiştir (Jeong, Lee, & Oh, 2021).

Karnauba mumunun oleajelatör olarak kullanıldığı ve yağ fazının kanola yağı olduğu, kekik esansiyel yağı eklenmiş oleojellerden yenilebilir kaplamalar geliştirilmiş ve böylelikle elde edilen tavuk nuggetların derin kızartma sırasında düşük yağ emilimi, düşük peroksit değeri ve daha fazla nem tutma eğilimi gösterdiği belirtilmiştir (Oyom et al., 2024).

Ksantan zımkı ve soya lesitini ile formüle edilmiş zerdeçal özütü içeren oleojeller, yüksek yağ bağlama kapasitesi, olumlu reolojik özellikler ve istenen oksidatif stabilite göstermiş ve bu olejel pound kek formülasyonunda katı yağ ikamesi olarak kullanıldığında, pound kekin sertliğinin azaldığının ve genel

gözenekliliğin arttığının gözlemlendiği belirtilmiştir (Hong, Shin, & Kim, 2024a).

Başka bir çalışmada, oleojelatör olarak ksantan zatkı ve soya lesitini kullanılarak E vitamini ile zenginleştirilmiş oleojeller hazırlanmış ve tereyağı yerine E vitamini ile zenginleştirilmiş oleojel kullanılmasının pound kekin sertliğini azalttığı, daha yumuşak bir doku sağladığı ve pound kekin genel gözenekliliğinin arttığı bildirilmiştir (Hong, Shin, & Kim, 2024b).

5. MOLEKÜLER GASTRONOMİDE YARARLANILAN KATKI MADDELERİ

5.1. Aljinat

Aljinat, kıvam artırıcı ve stabilizatör olarak çeşitli endüstriyel ve gıda uygulamalarında yaygın biçimde kullanılan bir polimerdir. Ayrıca, hassas bileşenleri kapsülleme özelliği sayesinde sferifikasyon ve benzeri küreselleştirme süreçlerinde de önemli bir rol oynamaktadır. ABD Gıda ve İlaç Dairesi (FDA) tarafından “Genel Olarak Güvenli Kabul Edilen” (GRAS) bir bileşik olarak sınıflandırılan aljinat; toksik ve antijenik olmayan, biyouyumluluğu yüksek ve biyolojik olarak parçalanabilir bir materyal olarak değerlendirilmektedir (Bennacef et al., 2021).

5.2. Lesitin

Lesitin, genellikle soya fasulyesi veya yumurta akından elde edilen doğal bir bileşiktir. Moleküler gastronomide, sıvıların köpürtülmesi, hafif veya donmuş köpüklerin hazırlanması gibi uygulamalarda yaygın biçimde kullanılır. Yağ/su ya da hava/su bazlı emülsifikasyon işlemlerinde etkili bir yüzey aktif madde olarak görev yapar. En bilinen kullanım alanı ise, meyve suları veya aromatik sıvıların hafif köpük formuna dönüştürülmesi

sırasında, oluşan hava kabarcıklarını stabilize etmesidir (Ivanovic, Kresimir, & Luka, 2011).

5.3. Metil Selüloz

Metil selüloz, beyaz renkli, saf yapıda bir toz olup soğuk suda çözünebilen ve şeffaf jel formu oluşturabilen bir bileşiktir. Odun veya pamuk kaynaklarından elde edilen bu madde, film oluşturma, su tutma, ısı artışıyla jel oluşturma ve ısı azaldığında sıvılaşma gibi özellikleri sayesinde emülsifikasyon işlemlerinde tercih edilmekte ve moleküler gastronomide yaygın olarak kullanılmaktadır (Tayar & Çıbık, 2013).

5.4. Kalsiyum Laktat

Kalsiyum laktat, moleküler gastronomide sıklıkla kullanılan bir katkı maddesi olup, sodyum aljinat ile birlikte basit veya ters küreleme işlemlerinde iyon içeren baz çözeltiler aracılığıyla elde edilen bir laktik asit tuzudur. Sodyum aljinatın jelleşebilmesi için serbest kalsiyum iyonlarının varlığı gereklidir (Akerdem, 2009).

6. SONUÇ

Fonksiyonel yağlar, sahip oldukları biyoaktif bileşenler ve fizyolojik düzenleyici etkileri sayesinde çağdaş beslenme biliminin en önemli yapıtaşlarından biri hâline gelmiştir. Bu yağlar, yalnızca enerji kaynağı olmanın ötesinde, kardiyovasküler, nörolojik ve immün sistem işlevlerinin korunmasında etkin rol oynamaktadır. Omega-3, omega-6 ve omega-9 gibi çoklu ve tekli doymamış yağ asitleri, tokoferoller, fitosteroller ve fenolik bileşikler fonksiyonel gıdaların geliştirilmesinde temel biyoaktif bileşenler olarak öne çıkmaktadır.

Moleküler gastronomi, fonksiyonel bileşenlerin etkinliğini artırmak adına disiplinler arası bir köprü işlevi

görmektedir. Emülsifikasyon, sferifikasyon, jelleştirme, kapsülleme ve tozlaştırma gibi teknikler, fonksiyonel yağların hem duyuşal niteliklerini hem de biyolojik etkinliklerini koruyarak gıda matrislerine yenilikçi biçimlerde entegre edilmesine olanak tanımaktadır. Bu sayede, fonksiyonel yağlar yalnızca sağlık açısından değerli bileşenler olarak değil, aynı zamanda gastronomik yaratıcılığın birer aracı olarak da konumlanmaktadır.

Moleküler gastronomi teknikleriyle optimize edilen fonksiyonel yağ formülasyonları, gıdaların besinsel değerini artırmanın yanında, tüketici deneyimini zenginleştiren yeni dokusal ve duyuşal boyutlar kazandırmaktadır. Ayrıca, bu yaklaşımlar sürdürülebilir üretim, fonksiyonel gıda inovasyonu ve kişiselleştirilmiş beslenme konseptleriyle de uyum göstermektedir.

Sonuç olarak, fonksiyonel yağlar ve moleküler gastronomi arasındaki etkileşim, geleceğin gıda bilimi açısından önemli bir araştırma alanı oluşturmaktadır. Bu iki alanın entegrasyonu, hem sağlık odaklı hem de estetik açıdan tatmin edici ürünlerin geliştirilmesine olanak sağlayarak, bilimsel bilgi ile gastronomik sanatın kesiştiği yenilikçi bir zemin yaratmaktadır.

KAYNAKÇA

- Abdullah, Liu, L., Javed, H. U., & Xiao, J. (2022). Engineering Emulsion Gels as Functional Colloids Emphasizing Food Applications: A Review. *Frontiers in Nutrition*, 9, 890188. <https://doi.org/10.3389/fnut.2022.890188>
- Akerdem, F. (2009). Moleküler Kokteyller. *Gusto Dergisi*, (93), 30–37.
- Alpaslan, K. (2019). *Yöresel Yemeklerde Moleküler Gastronomi Kullanımı*. (Yüksek Lisans Tezi). Kastamonu Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü / Turizm İşletmeciliği Ana Bilim Dalı.
- Azzi, A. (2019). Tocopherols, tocotrienols and tocomonoenols: Many similar molecules but only one vitamin E. *Redox Biology*, 26, 101259. <https://doi.org/10.1016/j.redox.2019.101259>
- Bacchetti, T., Masciangelo, S., Bicchiega, V., Bertoli, E., & Ferretti, G. (2011). Phytosterols, phytostanols and their esters: From natural to functional foods. *Mediterranean Journal of Nutrition and Metabolism*, 4(3), 165–172. <https://doi.org/10.1007/s12349-010-0049-0>
- Batu, A. (2019). Moleküler Gastronomi: Gıda Üretiminde Yeni Bir Devrim. *Aydın Gastronomy*, 3(1), 43-54. *Aydın Gastronomy*, 3(1), 43–54.
- Bennacef, C., Desobry-Banon, S., Probst, L., & Desobry, S. (2021). Advances on alginate use for spherification to encapsulate biomolecules. *Food Hydrocolloids*, 118, 106782. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2021.106782>
- Bodur, M., Yilmaz, B., Ağagündüz, D., & Ozogul, Y. (2025). Immunomodulatory Effects of Omega-3 Fatty Acids: Mechanistic Insights and Health Implications. *Molecular*

Nutrition & Food Research, 69(10), e202400752.
<https://doi.org/10.1002/mnfr.202400752>

- Chiu, H.-F., Shen, Y.-C., Venkatakrishnan, K., & Wang, C.-K. (2018). Popular functional foods and nutraceuticals with lipid lowering activity and in relation to cardiovascular disease, dyslipidemia, and related complications: An overview. *Journal of Food Bioactives*, 16–27. <https://doi.org/10.31665/JFB.2018.2137>
- Cornacchia, L., & Roos, Y. H. (2011). State of Dispersed Lipid Carrier and Interface Composition as Determinants of Beta-Carotene Stability in Oil-in-Water Emulsions. *Journal of Food Science*, 76(8). <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2011.02376.x>
- Çözeli, F., & Doğdubay, M. (2017). Endüstri 4.0 sanayi devriminin moleküler mutfakta uygulanabilirliği. D. Bozok, C. Avcıkurt, M. Doğdubay, M. Sarıoğlu, & GK Girgin İçinde, *Gastronomi Üzerine Araştırmalar*, 471–486.
- D'Angelo, S., Motti, M. L., & Meccariello, R. (2020). ω -3 and ω -6 Polyunsaturated Fatty Acids, Obesity and Cancer. *Nutrients*, 12(9), 2751. <https://doi.org/10.3390/nu12092751>
- Döğüş, Y., Deami, A., & Yönden, Z. (2023). Mikrobiyota Kaynaklı Kısa Zincirli Yağ Asitleri ve Hastalıklar Üzerine Etkileri. *Arşiv Kaynak Tarama Dergisi*, 32(4), 246–253. <https://doi.org/10.17827/aktd.1330297>
- Durlu Özkaya, F., & Onurlar, B. (2018). Moleküler Probiyotik Dondurma (Molecular Probiotic Ice Cream). *Journal of Tourism and Gastronomy Studies*, 6(3), 154–168. <https://doi.org/10.21325/jotags.2018.245>

- Gomes, L. R., Simões, C. D., & Silva, C. (2020). Demystifying thickener classes food additives through molecular gastronomy. *International Journal of Gastronomy and Food Science*, 22, 100262. <https://doi.org/10.1016/j.ijgfs.2020.100262>
- Gul, K., Singh, A. K., & Jabeen, R. (2016). Nutraceuticals and Functional Foods: The Foods for the Future World. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 56(16), 2617–2627. <https://doi.org/10.1080/10408398.2014.903384>
- Henao-Ardila, A., Quintanilla-Carvajal, M. X., & Moreno, F. L. (2024). Emulsification and stabilisation technologies used for the inclusion of lipophilic functional ingredients in food systems. *Heliyon*, 10(11), e32150. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e32150>
- Hong, S. J., Shin, G. H., & Kim, J. T. (2024a). Fabrication and Application of Turmeric Extract-Incorporated Oleogels Structured with Xanthan Gum and Soy Lecithin by Emulsion Template. *Gels*, 10(1), 84. <https://doi.org/10.3390/gels10010084>
- Hong, S. J., Shin, G. H., & Kim, J. T. (2024b). Vitamin E-fortified emulsion-templated oleogels structured with xanthan gum and soybean lecithin and their application in pound cakes. *Food Bioscience*, 57, 103505. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2023.103505>
- İnan Çinkır, N., Ağçam, E., & Akyıldız Asiye. (2019). Microencapsulation of Carotenoid Components and Recent Developments in Used Methods. *Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology*, 7(12), 2170–2183.

- Ivanovic, S., Kresimir, M., & Luka, P. (2011). Molecular gastronomy in function of scientific implementation in practice. *UTMS Journal of Economics*, 2(2), 139–150.
- Jeong, S., Lee, S., & Oh, I. (2021). Development of Antioxidant-Fortified Oleogel and Its Application as a Solid Fat Replacer to Muffin. *Foods*, 10(12), 3059. <https://doi.org/10.3390/foods10123059>
- Jiménez, P., Bustamante, A., Echeverría, F., Samba, V., Rincón-Cervera, M. Á., Farías, C., & Valenzuela, R. (2024). Metabolic Benefits of Phytosterols: Chemical, Nutritional, and Functional Aspects. *Food Reviews International*, 40(9), 2917–2939. <https://doi.org/10.1080/87559129.2023.2290489>
- Joshi, K., Kumar, P., & Kataria, R. (2023). Microbial carotenoid production and their potential applications as antioxidants: A current update. *Process Biochemistry*, 128, 190–205. <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2023.02.020>
- Kaviani, E., Hajibabaei, F., Abedpoor, N., & Safavi, K. (2025). Synergic Effects and Possible Mechanism of Omega-6 Fatty Acids (ω -6) on Immune System, Inflammation, and Cancer. *Molecular Nutrition & Food Research*, 69(12), e70092. <https://doi.org/10.1002/mnfr.70092>
- Keservani, R. K., Sharma, A. K., & Kesharwani, R. K. (Eds.). (2019). *Nutraceutical and Functional Foods in Disease Prevention*: IGI Global. <https://doi.org/10.4018/978-1-5225-3267-5>
- Keskin, E., Erol, G., & Örgün, E. (2018). Otel Aşçılarının Moleküler Gastronomi Üzerine Düşünceleri: Nevşehir Örneği (The Opinions of Hotel Cooks on Molecular Gastronomy: The Case of Nevşehir). *Journal of Tourism*

- and Gastronomy Studies*, 6(3), 215–227.
<https://doi.org/10.21325/jotags.2018.279>
- Kızılaslan, Y., Koç, F. E., & Kulu, Ç. (2022, November 24). *Zeytinyağlı Kudret Narı Soft Jel*. 168.
- Lee, P., & Rogers, M. A. (2012). Effect of calcium source and exposure-time on basic caviar spherification using sodium alginate. *International Journal of Gastronomy and Food Science*, 1(2), 96–100.
<https://doi.org/10.1016/j.ijgfs.2013.06.003>
- List, G. R. (2015). Soybean Lecithin: Food, Industrial Uses, and Other Applications. In *Polar Lipids* (pp. 1–33). Elsevier.
<https://doi.org/10.1016/B978-1-63067-044-3.50005-4>
- Liu, Y., Lv, M., Wang, Y., Wei, J., & Chen, D. (2025). Analytical Strategies for Tocopherols in Vegetable Oils: Advances in Extraction and Detection. *Pharmaceuticals*, 18(8), 1137.
<https://doi.org/10.3390/ph18081137>
- Lourenço, S. C., Torres, C. A. V., Nunes, D., Duarte, P., Freitas, F., Reis, M. A. M., ... Alves, V. D. (2017). Using a bacterial fucose-rich polysaccharide as encapsulation material of bioactive compounds. *International Journal of Biological Macromolecules*, 104, 1099–1106.
<https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.07.023>
- Ma, J., Zhang, C., Liang, W., Li, L., Du, J., Pan, C., ... Wang, Y. (2022). ω -3 and ω -6 Polyunsaturated Fatty Acids Regulate the Proliferation, Invasion and Angiogenesis of Gastric Cancer Through COX/PGE Signaling Pathway. *Frontiers in Oncology*, 12, 802009.
<https://doi.org/10.3389/fonc.2022.802009>
- Manoj J, J. B., & Venkatraman, A. (2025). Trends In Molecular Gastronomy. *Journal of Future Foods*,

S2772566925001995.

<https://doi.org/10.1016/j.jfutfo.2025.03.010>

- Martemucci, G., Portincasa, P., Centonze, V., Mariano, M., Khalil, M., & D'Alessandro, A. G. (2023). Prevention of Oxidative Stress and Diseases by Antioxidant Supplementation. *Medicinal Chemistry*, 19(6), 509–537. <https://doi.org/10.2174/1573406419666221130162512>
- Matsumura, Y., Kitabatake, M., Kayano, S., & Ito, T. (2023). Dietary Phenolic Compounds: Their Health Benefits and Association with the Gut Microbiota. *Antioxidants*, 12(4), 880. <https://doi.org/10.3390/antiox12040880>
- Meier, R., Tomizaki, T., Schulze-Briese, C., Baumann, U., & Stocker, A. (2003). The Molecular Basis of Vitamin E Retention: Structure of Human α -Tocopherol Transfer Protein. *Journal of Molecular Biology*, 331(3), 725–734. [https://doi.org/10.1016/S0022-2836\(03\)00724-1](https://doi.org/10.1016/S0022-2836(03)00724-1)
- Mongirdienė, A., Liuizė, A., Karčiauskaitė, D., Mazgelytė, E., Liekis, A., & Sadauskienė, I. (2023). Relationship between Oxidative Stress and Left Ventricle Markers in Patients with Chronic Heart Failure. *Cells*, 12(5), 803. <https://doi.org/10.3390/cells12050803>
- Montoro-Alonso, S., Expósito-Almellón, X., Martínez-Baena, D., Martínez-Martí, J., Rueda-Robles, A., Pérez-Gálvez, R., ... Lozano-Sánchez, J. (2025). Bioactive Enrichment and Sustainable Processing of Vegetable Oils: New Frontiers in Agri-Food Technology. *Foods*, 14(5), 769. <https://doi.org/10.3390/foods14050769>
- Oyom, W., Mahmud, N., Islam, J., Valizadeh, S., Awuku, R. B., Ibrahim, S. A., & Tahergorabi, R. (2024). Enhancing the oxidative stability, physicochemical and sensory quality of deep-fat fried chicken nuggets using thyme essential

- oil-loaded oleogel coatings. *Progress in Organic Coatings*, 186, 107977. <https://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2023.107977>
- Özel, K. (2018). *Moleküler Mutfak Tekniklerinden: Kapsülleştirme, Tütsüleme, Sous-Vide, Soğuk Pişirme-Sıvı Azot Tekniklerinin Duyusal Analiz Yöntemiyle İncelenerek Örnek Standart Reçetelerin Hazırlanması*. (Yüksek Lisans Tezi). Gazi Üniversitesi.
- Pamukçu, H., Tanrıseven, C., & Alpaslan, K. (2020). Moleküler Gastronomi Yöresel Yemeklerde Kullanılabilir mi (Can Molecular Gastronomy be Usefull for Local Food). *Journal of Tourism and Gastronomy Studies*, 8(1), 231–256. <https://doi.org/10.21325/jotags.2020.545>
- Pavani, M., Poonam, S., & Sushil Kumar, S. (2022). Development of phytosterol enriched functional edible oils: Study of physical, chemical, thermal and structural Properties. *Journal of Scientific & Industrial Research*, 81(5), 549–560.
- Pawlak, K., Jopek, Z., Święcicka-Füchsel, E., Kutyla, A., Nam Ombugadu, J., & Wojciechowski, K. (2024). A new RPLC-ESI-MS method for the determination of eight vitamers of vitamin E. *Food Chemistry*, 432, 137161. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.137161>
- Rodríguez-Huezo, M. E., Pedroza-Islas, R., Prado-Barragán, L. A., Beristain, C. I., & Vernon-Carter, E. J. (2004). Microencapsulation by Spray Drying of Multiple Emulsions Containing Carotenoids. *Journal of Food Science*, 69(7), 351–359. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2004.tb13641.x>
- Saiaiah, P., Banu, Z., Khan, A. A., Geetha, A., & Somraj, B. (2024). A comprehensive review of omega-3 fatty acids:

- Sources, industrial applications, and health benefits. *Annals of Phytomedicine An International Journal*, 13(1). <https://doi.org/10.54085/ap.2024.13.1.20>
- Santos, M. A. S., Magalhães, A. E. R., Okuro, P. K., Steel, C. J., & Cunha, R. L. (2024). High internal phase emulsion-template oleogels stabilized by sodium caseinate:quercetin complexes and potential application in pound cakes. *Journal of Food Engineering*, 366, 111860. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2023.111860>
- Serradell, A., Torrecillas, S., Makol, A., Valdenegro, V., Fernández-Montero, A., Acosta, F., ... Montero, D. (2020). Prebiotics and phytochemicals functional additives in low fish meal and fish oil based diets for European sea bass (*Dicentrarchus labrax*): Effects on stress and immune responses. *Fish & Shellfish Immunology*, 100, 219–229. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2020.03.016>
- Szabo, K., Emőke Teleky, B., Ranga, F., Simon, E., Lelia Pop, O., Babalau-Fuss, V., ... Cristian Vodnar, D. (2021). Bioaccessibility of microencapsulated carotenoids, recovered from tomato processing industrial by-products, using in vitro digestion model. *LWT*, 152, 112285. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112285>
- Tareen, F. K., Catenacci, L., Perteghella, S., Sorrenti, M., & Bonferoni, M. C. (2024). Carvacrol Essential Oil as a Neuroprotective Agent: A Review of the Study Designs and Recent Advances. *Molecules*, 30(1), 104. <https://doi.org/10.3390/molecules30010104>
- Tayar, M., & Çıbık, R. (2013). *Gıda Kimyası*. Bursa.: Dora Yayıncılık.

- Temple, N. J. (2022). A rational definition for functional foods: A perspective. *Frontiers in Nutrition*, 9, 957516. <https://doi.org/10.3389/fnut.2022.957516>
- Tessier, A.-J., Cortese, M., Yuan, C., Bjornevik, K., Ascherio, A., Wang, D. D., ... Guasch-Ferré, M. (2024). Consumption of Olive Oil and Diet Quality and Risk of Dementia-Related Death. *JAMA Network Open*, 7(5), e2410021. <https://doi.org/10.1001/jamanetworkopen.2024.10021>
- This, H. (2009). Molecular Gastronomy, a Scientific Look at Cooking. *Accounts of Chemical Research*, 42(5), 575–583. <https://doi.org/10.1021/ar8002078>
- Tolve, R., Cela, N., Condelli, N., Di Cairano, M., Caruso, M. C., & Galgano, F. (2020). Microencapsulation as a Tool for the Formulation of Functional Foods: The Phytosterols' Case Study. *Foods*, 9(4), 470. <https://doi.org/10.3390/foods9040470>
- Tontul, İ. (2011). *Keten tohumu yağının püskürterek kurutmayla mikroenkapsülasyonu üzerine farklı taşıyıcı madde ve emülsiyon uygulamalarının etkilerinin araştırılması / Investigation of effects of different wall materials and emulsification applications on microencapsulation of flaxseed oil by spray drying*. (Yüksek Lisans Tezi). Akdeniz Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Wang, Y., Jin, J., Wu, G., Wei, W., Jin, Q., & Wang, X. (2025). Omega-9 monounsaturated fatty acids: A review of current scientific evidence of sources, metabolism, benefits, recommended intake, and edible safety. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 65(10), 1857–1877. <https://doi.org/10.1080/10408398.2024.2313181>
- Yadav, P., Chauhan, A. K., & Al-Sebaei, M. A. (2020). Omega-3 Fatty Acid from Plant Sources and Its Application in

Food Technology. In P. Mishra, R. R. Mishra, & C. O. Adetunji (Eds.), *Innovations in Food Technology* (pp. 41–52). Singapore: Springer Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-15-6121-4_4

Yilmaz, M. I., Romano, M., Basarali, M. K., Elzagallaai, A., Karaman, M., Demir, Z., ... Demirkaya, E. (2020). The Effect of Corrected Inflammation, Oxidative Stress and Endothelial Dysfunction on Fmd Levels in Patients with Selected Chronic Diseases: A Quasi-Experimental Study. *Scientific Reports*, 10(1), 9018. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-65528-6>

Yue, H., Qiu, B., Jia, M., Liu, J., Wang, J., Huang, F., & Xu, T. (2020). Development and optimization of spray-dried functional oil microcapsules: Oxidation stability and release kinetics. *Food Science & Nutrition*, 8(9), 4730–4738. <https://doi.org/10.1002/fsn3.1684>

GIDA BİLİMLERİ VE MÜHENDİSLİĞİ
DEĞERLENDİRMELERİ

yaz
yayınları

YAZ Yayınları
M.İhtisas OSB Mah. 4A Cad. No:3/3
İscehisar / AFYONKARAHİSAR
Tel : (0 531) 880 92 99
yazyayinlari@gmail.com • www.yazyayinlari.com