



Et ve Et Ürünlerinde Yenilikçi Isıl İşlem Uygulamaları

Innovative Thermal Processing Applications in Meat and Meat Products

Orhan KAYA^{1*}, Ezgi Ebrar KARATOPAN², Fatma VURAL³

^{1,2,3}Pınar Entegre Et ve Un Sanayi A.Ş., Araştırma ve Geliştirme Merkezi, İzmir

¹ORCID: 0000-0001-7602-4736  ²ORCID: 0000-0003-0050-8384 

³ORCID: 0009-0003-8959-4473 

*Sorumlu Yazar: orhan.kaya@pinaret.com.tr

Geliş Tarihi: 16.04.2025

Kabul Tarihi: 30.09.2025

ÖZET

Günümüzde et üretimi ve tüketimi küresel ölçekte artış göstermekte, özellikle gelişmekte olan ülkelerde bu eğilim daha belirgin bir şekilde izlenmektedir. İnsan beslenmesinde temel protein kaynaklarından biri olan et, yalnızca enerji ve protein kaynağı değil, aynı zamanda demir, çinko ve B₁₂ vitamini gibi birçok temel besin ögesini de içermektedir. Bu özellikleri sayesinde et, bağışıklık sisteminin desteklenmesi, kemik sağlığının korunması ve genel metabolik işlevlerin sürdürülebilmesi açısından önemli bir gıda maddesi olarak değerlendirilmektedir. Özellikle kırmızı et, yüksek biyolojik değere sahip protein ve vücut tarafından kolaylıkla emilebilen demir içeriğiyle ön plana çıkmaktadır. Ayrıca, sinir sistemi sağlığı için elzem olan B₁₂ vitamini bakımından da zengin bir kaynaktır. Uygun miktarlarda ve dengeli biçimde tüketildiğinde, beslenme yetersizliklerinin önlenmesine katkı sağlayabileceği gibi sağlıklı vücut ağırlığının korunmasında da rol oynamaktadır. Bununla birlikte, et ve et ürünlerinin yüksek su ve yağ içeriği nedeniyle mikrobiyal bozulmalara açık olduğu bilinmektedir. Bu sebeple, gıda güvenliğini sağlamak amacıyla çeşitli ısıl işlem teknikleri uygulanmaktadır. Ancak söz konusu işlemler, bazı besin öğelerinde kayıplara yol açabilmektedir. Bu bağlamda, hem besin değerini koruyan hem de enerji açısından daha verimli olan yeni nesil ısıl işlem teknolojilerine duyulan ihtiyaç artmaktadır. Bu derleme çalışması, et ve et ürünlerinde uygulanan modern elektriksel ısıtma yöntemlerinden ohmik ısıtma, mikrodalga ısıtma, radyofrekans ısıtma ve kızılötesi ısıtma tekniklerini kapsamlı bir şekilde ele almayı amaçlamakta; bu yöntemlerin ürün kalitesi, besin bileşenleri, mikrobiyal güvenlik, işlem verimliliği ve çevresel sürdürülebilirlik açısından avantaj ve dezavantajlarını karşılaştırmalı olarak değerlendirmektedir.

Anahtar kelimeler: Et ve et ürünleri, Alternatif ısıl işlemler, Ohmik ısıtma, Mikrodalga ısıtma, Radyofrekans

ABSTRACT

Meat production and consumption are increasing on a global scale, with this trend being more pronounced in developing countries. As one of the primary protein sources in human nutrition, meat is not only a source of energy and protein but also contains many essential nutrients such as iron, zinc, and vitamin B₁₂. Owing to these properties, meat is considered a vital food for supporting the immune system, maintaining bone health, and sustaining overall metabolic functions. In particular, red meat stands out due to its high biological value protein content and iron, which is readily absorbable by the human body. It is also a rich source of vitamin B₁₂, which is essential for the health of the nervous system. When consumed in appropriate amounts and as part of a balanced diet, meat can contribute to the prevention of nutritional deficiencies and help maintain a healthy body weight. However, due to its high water and fat content, meat and meat products are known to be susceptible to microbial spoilage. Therefore, various thermal processing techniques are employed to ensure food safety. Nevertheless, these processes may lead to the loss of certain nutrients. In this context, there is a growing need for novel thermal processing technologies that preserve nutritional value while offering greater energy efficiency. This review aims to comprehensively examine modern electrical heating methods applied to meat and meat products, including ohmic heating, microwave heating, radio frequency heating, and infrared heating. It evaluates these methods comparatively in terms of product quality, nutrient composition, microbial safety, processing efficiency, and environmental sustainability.

Keywords: Meat and meat products, Alternative thermal processing, Ohmic heating, Microwave heating, Radio frequency

GİRİŞ

İnsan beslenmesi açısından et ve et ürünleri en önemli gıda ürünleri arasındadır (Pu vd., 2015). Protein, demir ve vitaminler gibi temel besin öğeleri açısından zengin olup, insan vücudu için önemli bir besin kaynağıdır. Karma beslenmenin temel bir bileşeni olan et, enerji metabolizmasının düzenlenmesinde rol oynayan temel mikro besin öğeleri ve amino asitlerin yeterli düzeyde alınmasını sağlayarak insan sağlığı ve gelişimine katkıda bulunmaktadır (Chen vd., 2016; Sobral vd., 2018; Godfray vd., 2018; Giromini ve Givens, 2022). Vücut büyümesi, bakımı ve onarımı için gerekli olan protein açısından zengin olup, çığ halde 100 gramında ortalama 20–24 gram protein bulundurması nedeniyle önemli bir besin kaynağı olarak kabul edilmektedir (Wyness, 2016). Ayrıca bitkisel besin kaynaklarıyla karşılaştırıldığında et ve et ürünleri demir, çinko, fosfor ve potasyum gibi bazı minerallerin mükemmel bir kaynağı olarak kabul edilmektedir (Falowo, 2021). Et ve et ürünlerinin sahip olduğu bu mineral zenginliği kemik sağlığı için önemli bir niteliktedir. Yapılan çalışmalar yüksek protein alımına sahip bireylerin daha yavaş kemik kaybı oranına sahip olduğunu göstermiştir (Giromini ve Givens, 2022). Çeşitli ülkelerden elde edilen verilerle yapılan birçok çalışmada da, beslenme düzenine et dahil edildiğinde çocuklar, ergenler ve yetişkinlerde besin eksikliği olasılığının önemli ölçüde azaldığı doğrulanmaktadır (Gibson ve Ashwell, 2003; Cosgrove vd., 2005; Headey vd., 2018; Leroy ve Cofnas, 2020; Papier vd., 2021; Zaharia vd., 2021; Khonje vd., 2022).

Yapılan araştırmalar enerji alımını kontrol edildiğinde yağsız kırmızı et gibi yüksek proteinli ve düşük karbonhidratlı bir diyetin, düşük protein içeren benzer enerji seviyesindeki bir diyetle kıyasla kilo kaybını ve kilo kontrolünü kolaylaştırdığını göstermektedir (Layman vd., 2008; Paddon-Jones vd., 2008). Bu etkinin, proteinin tokluk hissini artırıcı etkisinden ve insanlarda yağsız kas kütlesi üzerindeki olumlu etkilerinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Geçmişte et tüketimi daha yüksek vücut kitle indeksi ile ilişkilendirilmiş olsa da diğer beslenme faktörleri kontrol edildiğinde, enerji kontrollü bir diyetin parçası olarak yağsız kırmızı et tüketiminin vücut ağırlığında artışa neden olmayacağı tespit edilmiştir (Spencer vd., 2003; Rosell vd., 2006). Ayrıca, kırmızı etten gelen protein alımındaki artışların

kan lipidlerini yükseltmeden kan basıncını düşürdüğü de belirlenmiştir (Hodgson vd., 2006). Öte yandan etten elde edilen hem demiri, bitkisel kaynaklarda bulunan non-hem demirine kıyasla daha yüksek biyoyararlanıma sahiptir. Özellikle kırmızı et, tavuk ve balıkla karşılaştırıldığında önemli bir hem demiri kaynağı olarak kabul edilmektedir (Johnston vd., 2007). Ayrıca et ve et ürünleri tiyamin, niasin, riboflavin ve pantotenik asit gibi geniş bir B vitamini grubunu içermektedir. B vitaminleri, sinir sistemi fonksiyonlarında ve vücutta enerji metabolizmasında önemli roller oynamaktadır (Binnie vd., 2014). Amerika Birleşik Devletleri Tarım Bakanlığı (USDA) tarafından yayımlanan bir rapora göre, kırmızı etin 100 gramı, önerilen riboflavin, niasin, B6 vitamini ve pantotenik asit alımının yaklaşık %25'ini karşılamaktadır (Raw, 2012). Ek olarak etin içinde bulunan yağda çözünen bir vitamin olan D vitamini, kalsiyum metabolizması ve kemik oluşumunda önemli roller oynamakta ve ayrıca hücre farklılaşmasını düzenlemektedir. (Marmot vd., 2007). Çinko katkısı açısından değerlendirildiğinde ise dana eti ve kuzu eti sırasıyla 100 gram başına 4,1 mg ve 3,3 mg çinko içermekte olup, bu nedenle zengin çinko kaynakları olarak sınıflandırılmıştır (Chan et al., 1996). 100 gram dana etinin günlük önerilen selenyum miktarının yaklaşık %37'sini, çinkonun %26'sını ve potasyumun %20'sini içerdiği bildirilmektedir (Raw, 2012).

Ancak et ve et ürünleri oldukça hızlı bir şekilde bozulabilen nitelikte ürünlerdir ve uygun şekilde işlenip paketlenmedikçe veya soğuk zincirde ya da onaylanmış koruma yöntemleri altında saklanmadıkça hızla kalitesini kaybetmektedir (Hassoun vd., 2020; Hassoun vd., 2020). Bu gıdalardaki bozulmalar genellikle yüksek yağ ve nem içeriğinden kaynaklanmaktadır, bu da onları protein parçalanması, lipid oksidasyonu ve dokusal bozulmalar gibi biyolojik faktörlere karşı daha hassas hale getirmektedir. Bu süreçler mikroorganizmalar ve enzimler tarafından da tetiklenerek ürünlerin raf ömrünün kısalmasına neden olmaktadır (Hematyar vd., 2019; Rathod vd., 2021). Ek olarak yüksek nem içeriği, su aktivitesi değeri ve zengin besin içeriği nedeniyle mikrobiyolojik bozulma riski de taşımaktadır. Sonuç olarak, yıllar içinde çeşitli koruma ve işleme yöntemleri geliştirilmiştir. Kolay erişilebilir olmaları ve basit uygulanmaları nedeniyle pişirme, kızartma, fırınlama ve

kavurma gibi geleneksel ısı işlemler et ve et ürünlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır (Luo vd., 2018; Sobral vd., 2018; Hassaoun vd., 2020).

Isıl işlemler gıdaların hazırlanması, duyuşal özelliklerinin ve sindirilebilirliğinin iyileştirilmesi, mikroorganizmaların inaktive edilerek gıda güvenliğinin sağlanması ve raf ömrünün uzatılması amacıyla kullanılmaktadır (Kubo vd., 2020). Ancak yüksek ısı uygulaması, özellikle ısı işlemlere karşı oldukça hassas olan et ve et ürünlerini duyuşal ve besin kalitesini olumsuz yönde etkileyebilmektedir (Hassoun vd., 2020; Bhat vd., 2021). Bu nedenden dolayı son yıllarda araştırmacılar yeni gıda işleme yöntemleri üzerine çalışmalarını gerçekleştirmektedirler. Geleneksel yöntemlerde, ürünün hedeflenen sıcaklığa ulaşması için gerekli enerji genellikle konveksiyon (iletim) ve kondüksiyon (taşıma) yoluyla aktarılmaktadır. Bu yöntemlerde yaygın olarak su, buhar, sıcak hava veya yağ (ısıtma ortamı) kullanılmaktadır (Meijer vd., 2021). Ancak bu yöntemlerde ekipman yüzeylerinde ısı kayıpları oluşmakta ve bu durum ısı transfer verimliliğini düşürmektedir. Böylelikle ürünün merkez noktasının istenen sıcaklığa ulaşması için geçen süre uzuyarak gıdanın kalitesinde istenmeyen değişiklikler meydana gelebilmektedir. Ek olarak bu geleneksel ısısal işlemler sıcaklığa duyarlı besin bileşenlerinin kaybı, gıdanın dokusu ve diğer organoleptik özelliklerindeki değişiklikler gibi istenmeyen bazı etkilere neden olabilmektedir (Hernández-Hernández vd., 2019).

Tüketicilerin minimum düzeyde işlenmiş, mikrobiyolojik olarak güvenli ve katkı maddesi içermeyen gıdalara olan talebindeki artış, gıda işlemede sürekli yeniliği gerekli kılmaktadır. 21. yüzyıl boyunca, dünya genelinde serbest ticaretin genişlemesi ve tüketicilerin lezzetli tatlar ve/veya zengin besin değerine sahip gıda ürünlerine olan artan talebi, gıda işleme teknolojilerinin gelişimini teşvik etmiştir. Bu anlamda, yenilikçi ısı işlem teknolojileri tüketici ihtiyaçlarını karşılamak için ortaya çıkmış ve bir ölçüde geleneksel işleme teknolojilerinin yerini almıştır. Bu yenilikçi işlem teknolojilerinin temel amacı gıdanın kalitesini, duyuşal ve besinsel özelliklerini korumanın yanı sıra gıdanın mikrobiyolojik güvenliğini sağlamaktır (Alvarenga vd., 2022). Ek olarak gıda işleme süresini azaltma, kütle ve ısı transferini hızlandırma

ve gıda kalitesini iyileştirme gibi avantajlara sahip olması gerekmektedir. (Hernández-Hernández vd., 2019). Ayrıca geleneksel işlem yöntemlerine kıyasla yenilikçi gıda işleme yöntemlerinin çevreye olan etkisinin daha az olması istenmektedir (Manaf ve Yusof, 2021). Bu bağlamda, ohmik ısıtma, indüksiyon ısıtma, kızılötesi ısıtma ve mikrodalga ısıtma gibi ısısal işlemler ile vurgulu elektrik alan, yüksek hidrostatik basınç, vurgulu ışık ve soğuk plazma gibi ısısal olmayan yöntemler, geleneksel işleme tekniklerine alternatif oluşturmaktadır (Döner vd., 2024; Icier ve Kaya, 2022; Manyatsi vd., 2023; Zhang vd., 2023; Li vd., 2023; Silva ve Evelyn, 2023; Li vd., 2023; Özdemir vd., 2023).

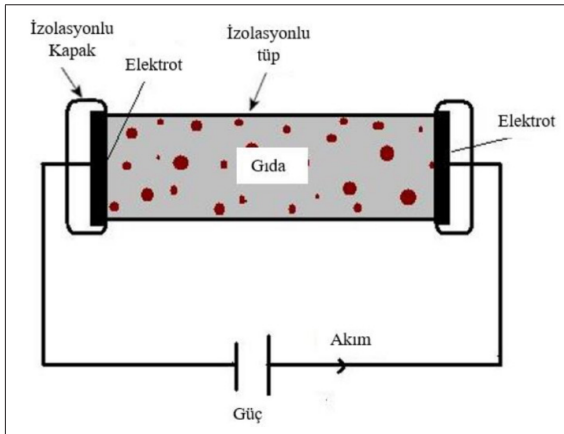
Bu derleme çalışması, et ve et ürünlerinde uygulanan modern elektriksel ısıtma yöntemlerinden ohmik ısıtma, mikrodalga ısıtma, radyofrekans ısıtma ve kızılötesi ısıtma tekniklerini kapsamlı bir şekilde ele almayı amaçlamaktadır. Çalışmada ayrıca, güncel literatür doğrultusunda et endüstrisinde kullanım potansiyeli taşıyan alternatif ısıtma yöntemleri değerlendirilerek bu tekniklerin gıda kalitesi ve güvenliği üzerindeki etkileri analiz edilmektedir.

OHMİK ISITMA

Joule yasasına göre bir dirençten geçen elektrik akımı, direnç içerisinde ısı açığa çıkmasına yol açmaktadır (Icier ve Kaya, 2022). Ohmik ısıtma işleminde gıda bir direnç işlevi görmektedir. Gıda maddesi üzerinden alternatif akım geçirildiği zaman ise elektrik enerjisi ısı enerjisine dönüşmektedir (Baysal vd., 2011). Alternatif elektrik akımı (I) dirençli (R) iletken bir gıda malzemesinden geçerken Joule ısıtma prensibi yoluyla doğrudan gıda içinde ısı oluşumu meydana getirmekte ve bu ısı oluşumu sıcaklık artışına neden olmaktadır (Zell vd., 2009). Oluşan ısı, voltaj gradyanı tarafından indüklenen akım ve elektriksel iletkenlik ile doğrudan ilişkilidir. Ohmik ısıtma sistemi, temel olarak bir ısıtma ünitesi, elektrotlar, veri kayıt sistemi, alternatif akım (AC) güç kaynağı, voltaj kontrol ünitesi ve sıcaklığı ölçmek için termokupllardan oluşmaktadır (Kaur ve Singh, 2016). Ohmik ısıtma işleminin şematik gösterimi Şekil 1'de gösterilmiştir.

Literatürde ohmik ısıtma işleminin et ve et ürünleri üzerindeki etkilerini inceleyen çalışmaların genellikle pişirme ve çözdürme işlemleri, elektriksel iletkenlik

tespiti ve modelleme çalışmaları üzerine odaklandırılmıştır. Ohmik ısıtmanın pişirme işlemlerinde kullanıldığı çalışmalar incelendiğinde; Bozkurt ve İçier (2010), farklı yağ oranlarına sahip dana etlerini 20, 30 ve 40 V/cm voltaj gradyanlarında ohmik ısıtarak pişirmiş ve ohmik ısıtmanın geleneksel yöntemle kıyasla tüm yağ seviyelerinde daha hızlı pişirme sağladığını göstermiştir. Araştırmacılar voltaj gradyanı arttıkça pişirme süresinin kısaldığını, yağ içeriği artışının elektriksel iletkenliği azaltarak pişirme süresini uzattığını, ayrıca ohmik ısıtmada hacim kaybının daha düşük olduğunu belirlemişlerdir. Zell vd. (2010) tarafından yapılan çalışmada, kombine ohmik ısıtma-geleneksel ısıtma sisteminde düşük sıcaklık uzun süreli (LTLT) ve yüksek sıcaklık kısa süreli (HTST) ohmik ısıtma protokolleri kullanılarak dana eti örnekleri pişirilmiş ve bu yöntemler geleneksel pişirme ile karşılaştırılmıştır. Her iki ohmik yöntemde de L renk değerinin geleneksel pişirmeye göre daha yüksek olduğu, tekstür profili açısından ise yöntemler arasında belirgin bir fark bulunmadığı rapor edilmiştir. Mitelut vd., (2011) kıyma ve 4 farklı çaptaki köfte örneklerine *Pseudomonas aeruginosa* ve *Staphylococcus aureus* mikroorganizmalarını inoküle ederek ve ohmik ısıtma işleminin bu mikroorganizmalar üzerindeki etkisini araştırmışlardır. 81°C'de 5 dk uygulanan ohmik işlem sonrası kıyma örneklerinde hedef mikroorganizmaların tespit edilmediğini rapor etmiştir. Köfte örneklerinde ise 125°C'de 5 dakika boyunca gerçekleştirilen ohmik pişirme işleminden sonra *P. aeruginosa* tespit edilememiştir.



Şekil 1. Ohmik ısıtma işlemi (İcier ve Kaya, 2020)

Sengun vd. (2014), köfte örneklerine 15.26 V/cm voltaj gradyanı ve 75 °C'de bekletme süresi olmadan uygulanan ohmik ön pişirme işleminin, toplam mezofilik

aerobik bakteri, küf, maya ve *S. aureus* sayısını önemli düzeyde azalttığını, *Salmonella*'yı tamamen elimine ettiğini, ancak *Listeria monocytogenes* için yeterince etkili olmadığını bildirmiştir. Pişirme sonrası köftelerde demir, krom, nikel ve manganez düzeylerinde artış gözlenmiş, ancak bu artışın diyet maruziyet sınırlarının altında kaldığı belirlenmiştir. Ayrıca ohmik pişirme işlemi, polisiklik aromatik hidrokarbonların (PAH) oluşumu ve mutajenik aktivite açısından güvenli bulunmuştur. Wang ve Farif (2015), dana etine uygulanan ohmik pişirme işlemlerinde farklı frekansların elektrot korozyonuna etkisini araştırmışlar ve 50 Hz ve 10 kHz'de gerçekleştirilen uygulamalarda, yüksek frekansın (10 kHz) 316L paslanmaz çelik elektrotlardaki korozyonu anlamlı düzeyde azalttığını ve et örneklerindeki demir, nikel ve krom düzeylerini daha düşük tuttuğunu ortaya koymuşlardır. Bir diğer çalışmada Turp (2016), keten tohumu unu ilavesiyle üretilen İnegöl köftelerinde dört pişirme yönteminin (ızgara, fırın, tava, ohmik) etkilerini incelemiş ve ohmik pişirmenin α -linolenik asidin korunmasında en avantajlı yöntem olduğunu, ayrıca bu köftelerde L ve a değerlerinin daha yüksek, yapı/tekstür ise daha sert olduğunu belirtmiştir. En yüksek pişirme verimi ise fırında pişirme ile elde edilmiştir. Sengun vd. (2017) yapmış olduğu bir diğer araştırmada, kombine ohmik-kızılötesi pişirme sisteminin köftelerin mikrobiyolojik kalitesi üzerindeki etkinliği incelenmiştir. Inmanee vd. (2019), vakumla paketlenmiş sosislerin pastörizasyonunda ohmik ısıtmayı kullanarak, bu yöntemin kısa sürede *L. monocytogenes*'i >5 log azaltarak tamamen inaktive ettiğini; buna karşın geleneksel ısıtmanın 30 saniyede 3 log, 2 dakikada ise 4 log azaltma sağladığını bildirmişlerdir. Her iki yöntemde renk ve doku değişimleri gözlenmiş, ancak tüketiciler bu yöntemler arasında duyuşal olarak herhangi bir fark algılamamıştır.

Ohmik ısıtma işleminin çözündürme işlemlerinde kullanıldığı çalışmalar incelendiğinde Bozkurt ve İçier (2012), dondurulmuş dana eti örneklerinin çözündürülmesinde ohmik ısıtma uygulamasını incelemişlerdir. Ohmik çözündürme, farklı voltaj gradyanlarının (10, 20 ve 30 V/cm) uygulanmasıyla gerçekleştirilirken, geleneksel çözündürme işlemi bir inkübatörde sabit koşullarda (25 °C, %95 RH) gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar, voltaj gradyanı arttıkça çözünme süresinin

azaldığını, sızıntı kaybının ise değişmediğini göstermiştir. Geleneksel çözündürme yönteminde dana eti örnekleri ohmik çözündürme yöntemine göre hem daha uzun sürelerde hem de daha fazla sızıntı kaybı çözünmüştür. İcier vd. (2010), dondurulmuş dana etinin ohmik (10, 20, 30 V/cm) ve geleneksel yöntemlerle çözündürülmesini karşılaştırmışlar ve çözünme süresinin voltaj gradyanı arttıkça azaldığını, 30 V/cm'de ohmik çözündürmenin yaylanma ve kohezyon açısından diğer yöntemlerden istatistiksel olarak farklı sonuçlar verdiğini bildirmişlerdir. Ayrıca 20 V/cm'de çözündürmenin daha sert, çiğnenebilir ve sakızımsı tekstür oluştururken, 10 V/cm'de sertlik dışında tekstürel özelliklerin geleneksel yöntemle benzediği belirlenmiştir.

Min vd. (2016), yüksek basınç (200 MPa) ve ohmik ısıtmayı (40 V/cm) entegre ederek dana etinin çözündürülmesinde bu yöntemin potansiyelini incelemişler ve yüksek basınç altında ohmik çözündürmenin süreyi 0.8 dakikaya düşürdüğünü, bunun ohmik (5.5 dk), yüksek basınç (11.5 dk) ve geleneksel (43.3 dk) yöntemlerden belirgin şekilde daha kısa olduğunu göstermişlerdir. Ayrıca, bu yöntemde sızıntı kaybının ohmik ve yüksek basınç çözündürmeye benzer, geleneksel yöntemle göre ise daha düşük olduğu; pişirme kaybının ise en fazla geleneksel çözündürmede gerçekleştiği belirlenmiştir. Mutlu ve İçier (2019), farklı yağ oranlarına sahip dondurulmuş kıymayı buzdolabı, akan su ve ohmik yöntemlerle çözündürerek viskoelastik özelliklerini incelemişler ve yağ içeriğinin artmasının storage modulus, loss modulus, complex modulus, loss tangent, dinamik ve kompleks viskoziteyi artırdığını belirlemişlerdir. Ayrıca frekans tarama testi sırasında frekans değerinin artmasının kıyma eti örneklerinde modulus değerlerinin artışına, dinamik ve kompleks viskozite değerlerinde ise azalmaya neden olduğunu saptamışlardır.

Ohmik ısıtma üzerindeki potansiyel etkileri nedeniyle, bir et ürününün formülasyonunda bulunan et türünün ve et olmayan bileşenlerin elektriksel iletkenliği bilgisi önem taşımaktadır. Bu nedenden dolayı Zell vd. (2009) yapmış oldukları çalışmada 5 farklı et türünün ve işlenmiş bir et ürününde kullanılan katkı maddelerinin (glikoz, sakkaroz, fruktoz, bütillhidroksianisol, laktoz, patates nişastası, gluten, buğday unu, kazein, peynir altı suyu, soya proteini, karagenan, sodyum askorbat, sodyum benzoat, fosfat, potasyum

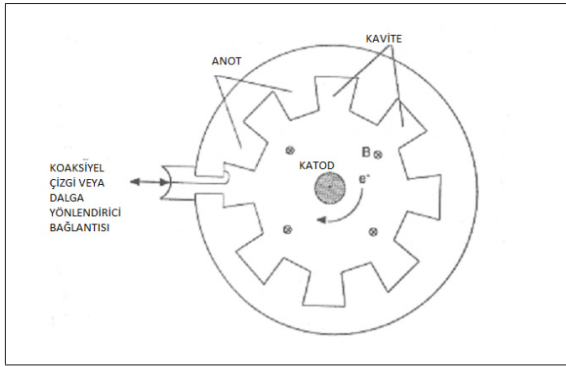
sorbat, sodyum nitrit, sodyum nitrat ve tuz) elektriksel iletkenlik değerlerini tespit etmişlerdir. Öte yandan formülasyonunda dana eti, su, gluten, patates nişastası, sodyum nitrit, fosfat ve tuz bulunan et karışımının elektriksel iletkenlik değeri belirlenmiştir. Farklı et türlerinin elektriksel iletkenlik değerleri incelendiğinde yağ oranı yüksek kuzu etinin iletkenliğinin en düşük, tuz içeriği yüksek tavuk etinin ise en yüksek olduğunu saptamışlardır. Sıcaklık artışının tüm etlerde iletkenliği artırdığı, işlenmiş dana etinde ise sodyum klorür ve fosfatın iletkenliği anlamlı düzeyde yükselttiği bildirilmiştir. Bir diğer çalışmada Bozkurt ve İçier (2010), farklı yağ içeriklerine sahip dana kıyması örneklerini çeşitli voltaj gradyanlarında ohmik ısıtarak pişirmişlerdir. Çalışmada elektriksel iletkenliği etkileyen başlıca faktörlerin sıcaklık ve yağ oranı olduğu belirlenmiş; başlangıç yağ içeriğinin iletkenlik üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bir etkisi bulunurken, voltaj gradyanlarının iletkenlik değişimine etkisi gözlenmemiştir. En yüksek iletkenlik değerleri ise en düşük yağ içeriğine sahip örneklerde tespit edilmiştir. Mutlu ve İçier (2018), %2, %10 ve %18 yağ içeren dondurulmuş kıyma örneklerini, 4±0,5°C ortam sıcaklığında farklı voltaj gradyanları uygulanarak ohmik çözündürme yöntemiyle -1°C merkez sıcaklığına kadar çözündürmüşlerdir. Çözündürme sonunda etkin elektriksel iletkenlik (EEC) değerleri sırasıyla 0,5774±0,0558, 0,4231±0,0510 ve 0,3933±0,0693 S/m olarak belirlenmiştir. EEC'nin sıcaklıkla değişimi -18°C ile -9,5°C arasında doğrusal, -9,5°C ile -4°C arasında üstel; -4°C üzerinde ise polinomsal modelle en iyi şekilde açıklanmıştır.

MİKRODALGA ISITMA

Mikrodalgalar, elektromanyetik radyasyon spektrumunda yer almakta ve dalga boyları kızılötesi ve radyo dalgaları arasında bulunmaktadır (Guzik vd., 2022). Mikrodalga, frekansları 300 MHz ile 300 GHz arasında değişen ve dalga boyları 1 metre ile 1 milimetre olan bir tür elektromanyetik dalgadır (Soni vd., 2020). ABD Federal İletişim Komisyonu'na (FCC) göre, endüstri ve ev-mutfak uygulamalarında kullanılan mikrodalga frekansları sırasıyla 915 ve 2450 MHz olması gerekmektedir (Tang vd., 2008). Işık gibi mikrodalga da düz bir hat boyunca taşınmakta ve bir metal plakaya çarptığında yansımaktadır. Mikrodalgalar su veya su içeren gıdalar tarafından emilebilmekte ve ısı üretmek için kullanılabilir. Mikrodalgalar su veya su içeren gıdalar tarafından emilebilmekte ve ısı üretmek için kullanılabilir.

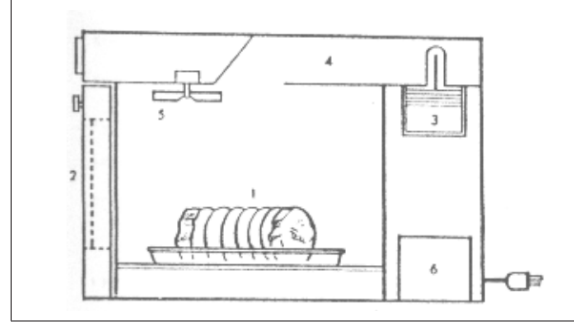
Bir gıda mikrodalga elektrik alanına yerleştirildiğinde, mikrodalga gıdadaki polar moleküllerde (örn., su) dipol titreşimleri ve dönme hareketleri oluşturmaktadır. Bu yoğun moleküler hareketler, gıdada ısı oluşumuna yol açmaktadır.

Mikrodalga sistemi, bir güç kaynağı sistemi (transformatörler ve güç düzenleme elektronik devreleri), bir magnetron, bir dalga yayıcı, bir dalga yönlendiricisi ve bir uygulayıcı/ısıtma boşluğundan oluşmaktadır. Magnetron, mikrodalga enerjisi ürettiği için mikrodalga sisteminin kalbi olan bir vakum tüptür. Magnetron temel olarak bir katot, anot ve statik manyetik alan kaynağından oluşur. Katot, ısıtma filamentini çevreleyen ve anot yapısının merkezinde yer alan emisyon malzemesinden yapılmış içi boş bir silindirdir. Anot ise boşluklar olacak şekilde işlenmiş, yüksek iletkenlikli bir malzemeden yapılmıştır.



Şekil 2. Mikrodalga ısıtma sisteminde kullanılan magnetronun şematik gösterimi (Baysal vd., 2011)

Günümüzde mikrodalga enerjisi, gıdaların çözülmesi, ön ısıtma, pastörizasyon, sterilizasyon, pişirme ve kurutma işlemleri için kullanılmaktadır. Mikrodalga ısıtmada ürüne iletilen elektromanyetik dalgalar (300–300.000 MHz frekans aralığında), iki mekanizma ile moleküler hareket (iyonik parçaların hareketi ve dipolar parçaların dönüşü) oluşturur. Gıdanın yapısındaki dipolar su molekülleri, uygulanan mikrodalga frekansına bağlı olarak elektrik alan yönünde saniyede milyonlarca kez yeniden hizalanmaktadır. Bu su moleküllerinin hareketi nedeniyle sürtünme meydana gelmekte ve gıda hacimsel olarak ısınmaktadır. Hacimsel ısınma, mikrodalga enerjisinin gıdada emilmesi ve bu enerjinin ısıya dönüştürülmesi sonucu gerçekleşmektedir (Aykın Dinçer, 2023).



Şekil 3. Bir mikrodalga fırının şematik gösterimi (1. ısıtma haznesi, 2. sızdırmaz kapak, 3. magnetron, 4. dalga yönlendirici, 5. dalga yayıcı, 6. güç kaynağı) (Baysal vd., 2011)

Mikrodalga ısıtma ile geleneksel ısıtma arasındaki temel fark, ısıtmanın gıdaya nasıl iletiliştir. Geleneksel ısıtma yöntemlerinde, ısı enerjisi yüzeyden gıdanın iç kısmına doğru aktarılmakta ve bu da yavaş bir ısıtma hızına neden olmaktadır. Oysa mikrodalga ısıtmada, gıda doğrudan iç kısmında hacimsel olarak ısıtılmaktadır. Bu nedenle, mikrodalga ısıtmanın kısa ısıtma süresi, hızlı sıcaklık artışı ve dolayısıyla gıdanın besin maddelerinde ve aromalarında daha az kayıpların meydana gelmesi gibi çeşitli avantajları bulunmaktadır (Guo vd., 2017). Bununla birlikte, mikrodalga ısıtmanın birincil dezavantajı, ısıtma döngüsü sırasında sıcaklık dağılımının homojen olmamasıdır. Bu durum, gıdada sıklıkla soğuk veya sıcak noktaların oluşmasına neden olabilmektedir (Tang vd., 2008). Bu sıcaklık düzensizliği, gıda kalitesi ve güvenliği açısından ciddi sorunlara yol açabilmektedir (Ekezie vd., 2017). Ancak son dönemde ortaya çıkan gıda işleme teknolojilerinin kullanımıyla ilgili kaydedilen ilerlemeler, mikrodalga enerjisinin daha fazla kullanılmasının önünü açmıştır (Wray ve Ramaswamy, 2015).

Huang ve Sites (2007), ambalajlı hazır et ürünlerinin pastörizasyonu için bir mikrodalga ısıtma sistemi geliştirmiştir. Vakum paketlenmiş sosisler 65, 75 ve 85 °C’de mikrodalga veya su banyosunda pişirilmiştir; mikrodalga yönteminin bakteri inaktivasyonunda %30–75 oranında daha etkili olduğu belirlenmiştir. Bir başka çalışmada Yarmand ve Homayouni (2009), keçi ve kuzu semimembranosus kasındaki yağ hücresi dağılımıyla çeşitli pişirme yöntemlerinin (geleneksel fırın, ev tipi ve endüstriyel mikrodalga) etkileşimini incelemiştir. Işık mikroskobu analizleri,

geleneksel fırında pişirilen örneklerde yağ tutulumunun daha yüksek olduğunu göstermiştir. Ayrıca, düzensiz yağ dağılımının pişirme sırasındaki yağ kaybını etkilediği ve mikrodalga pişirmede yağ globüllerinin hareketinin daha fazla olduğu belirlenmiştir.

Juan vd. (2012), marinasyonun, farklı mikrodalga güçlerinin (182 W ve 654 W) ve iç sıcaklıkların (60 ve 80 °C) semimembranosus (SM) ve semitendinosus (ST) kaslarından elde edilen dana eti örneklerinin kalitesi üzerine etkilerini incelemişlerdir. Çalışmada mikrodalga pişirmenin üründe heterojen sıcaklık dağılımı ve sıcaklık gradyanı oluşturduğu belirlenmiştir. ST kasında hem düşük hem yüksek güçte pişirme uygun bulunurken, SM kasında 654 W uygulamasının 182 W'ye göre daha yüksek pişirme kaybına ve daha açık, az kırmızı renge neden olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, 80 °C'ye kadar pişirme her iki kasta da pişirme ve renk kayıplarını artırmıştır. Musto vd. (2014), ise mikrodalga ısıtmanın etlerde pişirme kaybı üzerinde önemli bir etkisinin olduğunu tespit etmişlerdir. Pişirme kaybı değeri, pişirme süresi ve artan uç sıcaklıklar nedeniyle önemli artışlar göstermiştir.

Özbay-Doğu (2016), farklı sıcaklıklarda ön kurutma, farklı konsantrasyonlarda tuzlama ve daha sonra farklı mikrodalga güçlerinde kurutma sonucunda sığır etinde meydana gelen fiziksel değişiklikleri belirlemişler ve 50 °C'de ön kurutma ve 720 W mikrodalga ile kurutma yapılan ürünlerde en yüksek nem kaybı ve en düşük su aktivitesi değerleri tespit etmişlerdir. Ayrıca, %2.5 tuzlu ve 50 °C'de ön kurutma sıcaklığı ile 180 W mikrodalga gücünde kurutulmuş ürünlerde en yüksek büzülme oranı belirlenmiştir. Özcan ve Bozkurt (2015) yapmış oldukları çalışmada iki değişken olan pişirme süresini (10 ve 50 dakika) ve pişirme yöntemini (atmosferik basınç, yüksek basınç ve mikrodalga pişirme) incelemişlerdir. Mikrodalga pişirme uygulandığında, kavurmanın çok hızlı bir ısınma hızına sahip olduğu tespit edilmiştir. Sonuçlar mikrodalga pişirme yönteminin tüketici beklentilerine uygun aromalar üretebilen iyi bir tercih olduğunu göstermiştir. Öte yandan Çarkcıoğlu (2017), mikrodalga ile

kurutulmuş sığır eti örneklerinin sertliğinin belirgin şekilde arttığını ve tepside kurutma ile karşılaştırıldığında rehidratasyon oranının azaldığını bulmuştur. Aynı çalışmada, mikrodalga ile kurutulmuş örneklerde işlem süresinin kısa olması nedeniyle heme demir içeriğinin daha yüksek olduğu ve L, a, ve renk değerlerinin daha iyi korunduğu bildirilmiştir. Li vd. (2019), yak longissimus kasını farklı mikrodalga güçlerinde pişirerek pişirme kaybı, renk, kesme kuvveti, mikro yapı ve uçucu aroma bileşiklerini değerlendirmişlerdir. Mikrodalga süresi arttıkça pişirme kaybı, a değeri ve kesme kuvvetinin anlamlı şekilde yükseldiği belirlenmiştir. Orta güçte pişirilen örneklerde, diğer gruplara göre daha fazla pişirme kaybı ve uçucu bileşik saptanmıştır. Çalışma, mikrodalga pişirmenin yak etinde geleneksel yöntemle göre daha iyi doku ve aroma özellikleri sağladığını, ancak daha fazla pişirme ve renk kaybına yol açabileceğini göstermiştir. Gawat vd. (2024) ise endüstriyel mikrodalga ve sous vide işlemlerinin keçi ve kuzu biceps femoris kası üzerindeki etkilerini karşılaştırmışlar ve mikrodalga yönteminin daha yüksek pişirme kaybı, yapısal hasar ve yüzey hidrofobisitesine yol açtığını, ancak sindirim sonrası serbest amino N salınımı ve protein sindirilebilirliğinde iki yöntem arasında fark bulunmadığını saptamışlardır.

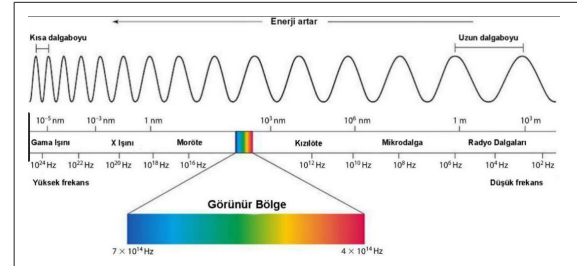
Mikrodalga ısıtmanın ticari popülaritesini sınırlayan en büyük dezavantajı ısıtma işlemi sırasında sıcaklık dağılımının eşit olmamasıdır. Bu durum gıdaların homojen şekilde işlenmemesine neden olmaktadır (Duan vd., 2010; Wang vd., 2013). Ayrıca, mikrodalga enerjisinin yüksek penetrasyon gücü, gıdanın yapısına, geometrisine, dielektrik özelliklerine ve fırın tasarımına bağlı olarak ürünlerin aşırı ısınmasına veya yanmasına neden olabilmektedir (Chandrasekaran vd., 2013). Bu zorlukların üstesinden gelmek için son dönemde hibrit/kombinasyon işlem yöntemleri veya mikrodalga destekli gıda işleme teknolojileri olarak adlandırılan bir kavram da ortaya çıkmıştır. Bu kavram, geleneksel veya geleneksel olmayan gıda işleme süreçlerini geliştirmek için mikrodalga kullanımını içermektedir. Böylelikle geleneksel gıda işleme teknikleriyle elde edilemeyen yüksek

kaliteli ürünler elde edilebilmektedir. Bu teknolojiler enerji tasarrufu, geliştirilmiş ürün kalitesi, azalan süre ve işletme maliyeti gibi avantajlarla mikrodalga enerjisinin faydalarını diğer gıda işleme teknolojilerinin eksikliklerini gidermek için birleştirmektedir (Kim vd., 2012; Ştefănoiu vd., 2016). Póltorak vd. (2015) mikrodalga/konveksiyon fırında kızartma işlemini sığır eti üzerinde uygulamışlardır. Konveksiyon fırın ve düşük yoğunluklu (%30) mikrodalga ısıtmanın birleştirildiği durumlarda, sığır eti için pişirme süresinin kısaldığı, pişirme kaybının azaldığı ve yumuşaklığın arttığı bildirilmiştir. Atani vd. (2022) ise kuzu eti örneklerine uyguladıkları mikrodalga destekli dondurma işleminde en yüksek mikrodalga gücü seviyesinde buz kristallerinin ortalama boyutunun, mikrodalga ışınımı uygulanmayan kontrol örneğine kıyasla yaklaşık %38 daha küçük olduğunu belirlemişlerdir. Ek olarak mikrodalga gücü seviyesi arttıkça sızıntı kaybı ve renk değişimi azalmıştır. %50 ve %60 mikrodalga gücü seviyelerinde yapılan mikrodalga destekli dondurma işlemi, çözündürülmüş kuzu etinin sertliğini iyileştirmiştir.

KIZILÖTESİ ISITMA

“Elektromanyetik (EM) spektrum” terimi, var olan tüm ışık türlerini kapsayan aralığı tanımlamak için kullanılmaktadır. Evrenin büyük bir kısmını oluşturan ışık, radyo dalgalarından gama (γ) ışınlarına kadar uzanan ve yoğunlukla insan gözüyle algılanamayan bir aralıkta yer almaktadır (Scoles, 2016). Görünür ışık, çıplak gözle algılanabilen en yaygın elektromanyetik ışınım türüdür (Austin vd., 2021). En uzun dalga boyuna sahip görünür ışık kırmızı olarak, en kısa dalga boyuna sahip olan ise mor olarak algılanmaktadır. Görünür spektrum, elektromanyetik spektrumun yalnızca küçük bir kısmını temsil etmekte ve geniş enerji aralığının büyük çoğunluğu gözle görülemeyen ışık türlerinden oluşmaktadır (Scoles, 2016). Frekans sıralamasında kırmızı ışığın altına inildikçe kızılötesi (IR), mikrodalga ve radyo dalgaları gibi, insan gözüyle algılanamayan ve görünür ışıktan daha düşük enerjiye sahip elektromanyetik ışınım türleri yer almaktadır. Frekans yükseldikçe, mor ışığın

ötesinde ise UV ışınım, X-ışınları ve gama (γ) ışınları gibi, görünür ışıktan daha yüksek enerjiye sahip elektromanyetik ışınım türleri bulunmaktadır.



Şekil 4. Elektromanyetik spektrum (Döner ve İçier, 2018)

Kızılötesi ışınımın dalga boyu 0,5 ile 100 μm arasında değişmektedir. Kızılötesi ışınlar üç gruba ayrılmaktadır: yakın kızılötesi (Near-IR, NIR), dalga boyu 0,75–1,4 μm arasında olan ve 400 °C altındaki sıcaklıklarda etkili olan tür; orta kızılötesi (Mid-IR, MIR), dalga boyu 1,4–3 μm aralığında olan ve 400–1000 °C sıcaklıklarında etkili olan tür; ve uzak kızılötesi (Far-IR, FIR), dalga boyu 3–1000 μm arasında olup 1000 °C üzerindeki sıcaklıklarda etkili olan türdür (Sakai ve Hanzawa, 1994; Skjöldebrand, 2001). Genel olarak, FIR ışınımı gıda işleme uygulamaları için avantajlıdır çünkü çoğu gıda bileşeni FIR bölgesindeki enerjiyi absorbe edebilmektedir (Sandu, 1986).

Kızılötesi (IR) ısıtıcılar, elektriği IR ışınımına dönüştürerek kapalı bir alana ısı dalgaları yaymak suretiyle çalışmaktadır. Bu alan içerisinde yer alan gıda gibi materyaller, 60.000 ila 150.000 MHz frekans aralığında su moleküllerinin titreşimi yoluyla dolaylı olarak ısınmaktadır. Bu nedenle kızılötesi ısıtıcılar, ısıtılacak ortamla doğrudan temas gerektirmeksizin çalışırlar. Kızılötesi ısıtma teknolojisi, yüksek ısı transfer oranı, kısa ısıtma süresi, düşük enerji tüketimi, homojen ısıtma sağlama kapasitesi ile ürün kalitesi ve gıda güvenliğini artırma gibi avantajlarla öne çıkmaktadır (Pan ve Atungulu, 2010). Kızılötesi ısıtıcıların enerji tüketiminin düşük olması, onları geleneksel ısıtıcılara kıyasla daha enerji verimli ve çevre dostu hale getirmektedir (Rastogi, 2012; Aboud vd., 2019).

Elektromanyetik (EM) ışınımın materyale nüfuz ettiği mesafe ‘nüfuz derinliği’ olarak tanımlanmakta olup, kızılötesi (IR) ışınımın geniş dalga boyu aralığı (780–1400 nm) bu derinliği doğrudan etkilemektedir (Piazena vd., 2017). IR

ışınımının nüfuz derinliğinin anlaşılması, etkili yüzey pastörizasyonu ve IR sistem tasarımı açısından kritik öneme sahiptir. Gıdanın kalınlığı, su aktivitesi, fiziksel hali, bileşimi ve kullanılan IR dalga boyu başlıca belirleyiciler olup (Sakai ve Hanzawa, 1994; Erdogdu vd., 2015), kimyasal bileşim, yoğunluk, gözeneklilik ve nem içeriği de nüfuz derinliği üzerinde önemli rol oynamaktadır. Bu nedenle, söz konusu parametreler endüstriyel IR uygulamalarının optimizasyonunda temel unsurlardır (Erdogdu vd., 2015). Günümüzde IR ışınımının sınırlı nüfuz derinliği, farklı teknolojilerle kombine edilerek aşılmaya çalışılmakta; özellikle et ve et ürünlerinde bu tür hibrit uygulamaların yaygınlaştığı görülmektedir.

Sheridan ve Shilton (1999), hamburger köftelerinin pişirme verimini orta (2,7 μm) ve uzun dalga boyu (4,0 μm) kızılötesi ışınlarla incelemişler ve uzun dalga IR uygulamasının daha düşük yüzey sıcaklıklarıyla hedef iç sıcaklığa ulaştırarak yüzeyde kuruma ve yanmayı azalttığını göstermişlerdir. Takip eden çalışmalarında (Sheridan ve Shilton, 2002), %0–40 arasında sığır yağı içeren köfteler hem orta hem uzun dalga IR ile 70 °C'ye kadar pişirilmiş; buharlaşmanın özellikle ilk dakikada başladığı, uzun süreli işlemlerin ise önemli nem, yağ ve aroma kayıplarına yol açtığı belirlenmiştir. Ayrıca artan yağ oranı, köfte yüzey sıcaklıklarını yükseltmiştir. Huang (2004), kızılötesi (IR) ısıtmanın frankfurterler örneklerinin yüzey pastörizasyonu için etkili olduğunu, 70–80 °C'de *L. monocytogenes* sayısını 3,5–4,5 log azaltırken ürün yapısında fiziksel hasara yol açmadığını ve sadece hafif renk koyulaşması oluşturduğunu bildirmiştir. Huang ve Sites (2008), sosis yüzeyinde *L. monocytogenes*'in inaktivasyonu için geliştirdikleri otomatik sıcaklık kontrollü IR sistemle 85 °C'de 2 dakikada 6,7 log düzeyinde azalma sağlamışlardır. Braeckman vd. (2009) ise, farklı kızılötesi ızgara/sıcak hava kombinasyonlarının hamburgerin nem, yağ, doku ve renk özellikleri üzerindeki etkilerini inceleyerek; kısa süreli kızılötesi işlemlerde sınırlı nem ve yağ kaybı gözlemlenmişler ve ızgara süresi arttıkça ürünün fırına giriş sıcaklığının yükselerek pişme süresini kısalttığını ve gelişen kabuk oluşumunun geleneksel pişirme sırasında ilave kayıpları azalttığını belirtmişlerdir.

Beard (2011), *L. monocytogenes* ve *Salmonella* ile inoküle edilmiş sosislerde 90

saniyelik UV ve IR kombine uygulamasının, sırasıyla 2,42 ve 3,46 log₁₀ CFU/g azalma sağladığını, ancak bu sürenin ambalaj filmini deformasyona uğrattığını bildirmiştir. Ha vd. (2012), jambonda NIR (1,8 kW) ile 50 saniyede *S. Typhimurium*, *Escherichia coli* O157:H7 ve *L. monocytogenes*'de 4,1–3,38 log azalma elde ederken, benzer inaktivasyon için konvektif ısıtmanın 180 saniye sürmesi gerektiğini belirtmiş; ayrıca NIR işleminin ürünün renk ve doku özelliklerini etkilemediğini göstermiştir. Kendirci vd. (2014) ise ohmik ön pişirilmiş dana köftelerinde IR pişirmenin PAH oluşumuna etkisini incelemiş, toplam PAH seviyelerinin 4,47–64 $\mu\text{g/kg}$ aralığında ve Benzo[a]piren ile PAH4 düzeylerinin Avrupa Komisyonu limitlerinin altında olduğunu rapor etmiştir.

Sengun vd., (2014), kombine ohmik-kızılötesi pişirme sisteminin köfte örneklerindeki mikrobiyolojik kalitesi üzerindeki etkinliğini araştırmışlardır. Kullanılan kızılötesi işlem koşullarına bağlı olarak, toplam mezofilik aerobik bakteri sayıları 1.96 ile 4.50 log birimi arasında azaltılmıştır. Uygulanan işlemde sonra köfte örneklerinde küf ve maya, *S. aureus*, *Clostridium perfringens*, *Salmonella*, *L. monocytogenes* ve *E. coli* O157:H7 tespit edilmemiştir. Ha ve Kang (2015), yakın kızılötesi (NIR) ısıtma ile ultraviyole (UV) ışınlamanın eşzamanlı uygulanmasının, dilimlenmiş jambonlarda *E. coli* O157:H7, *Salmonella typhimurium* ve *L. monocytogenes*'in inaktivasyonu ile ürün kalitesi üzerindeki etkilerini araştırmıştır. Eşzamanlı NIR-UV kombinasyon işlemi 70 saniyede, sırasıyla *E. coli* O157:H7 için 3.62 log CFU, *S. Typhimurium* için 4.17 log CFU ve *L. monocytogenes* için 3.43 log CFU azalma sağlamıştır. Kor ve İçier (2016), yarı pişmiş silindirik köfte ürününün kızılötesi pişirme işlemi sırasındaki sıcaklık ölçümlerini, hem temaslı (termokupllar) hem de temassız (termal görüntüleme) tekniklerle almışlardır. Nihai pişirme yöntemi olarak kızılötesi pişirme işlemi uygulanmıştır. Ortalama yüzey sıcaklığı, ısı akı yoğunluğu ve uygulama süresi arttıkça artmış; uygulama mesafesi azaldıkça da yükselmiştir. Sıcaklık homojenliği 0.77 ile 0.86 arasında değişmiştir. 8.5 kW/m² ısı akısı yoğunluğunda 8 dakika kızılötesi pişirme koşulu, merkez sıcaklığının 75 °C'nin üzerine çıkmasını sağlamıştır. Özcan vd., (2018) tarafından yapılan başka bir çalışmada, dana etine kızılötesi ısıtma ve ohmik pişirme uygulanmasının 12 farklı

PAH (Polisiklik Aromatik Hidrokarbon) bileşiği oluşumuna neden olduğu ve bu bileşiklerin seviyelerinin 1,25 ile 1,44 µg/kg arasında olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca Benzo(a)piren, Krizen, Benz(a)antrasen, Benzo(b)floranten toplamı düzeylerinin Avrupa Komisyonu düzenlemelerinin belirlediği sınırların altında olduğu tespit edilmiştir. Li vd. (2018), sığır etinden üretilen kurutulmuş et ürününün kurutma verimliliğini, orta ve uzak kızılötesi kurutma yöntemleri ile sıcak hava ile kurutma yöntemi arasında karşılaştırmalı olarak incelemiştir. Sonuçlar orta kızılötesi kurutma işlemi uygulanan örneklerde hedef sıcaklığa ulaşma süresi, enerji tüketimi ve ısınma süresinin sırasıyla %43, %24 ve %7 oranında azaldığını göstermiştir.

Suleman vd. (2020), kuzu köftelerde geleneksel, kızılötesi ve buharla pişirme yöntemlerinin renk, doku ve heterosiklik aromatik amin (HAA) içerikleri üzerine etkilerini incelemiştir. Doku profili, buhar ve kızılötesi pişirme yöntemlerinde daha iyi bulunurken, en fazla su kaybı ve HAA oluşumu kömür ızgarasında gözlenmiştir. Gao vd. (2024) ise sıcak hava kurutmaya ultrases ve kızılötesi uygulayarak etin renk ve yumuşaklık özelliklerini geliştirmiş, bu kombine yöntemin kalite ve lezzet açısından daha üstün sonuçlar verdiğini rapor etmiştir.

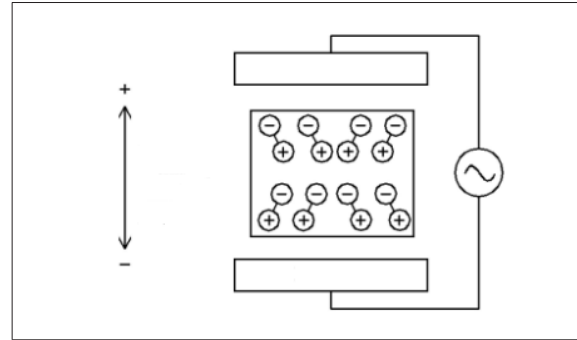
RADYOFREKANS ISITMA

Elektromanyetik radyasyon, iyonlaştırıcı ve iyonlaştırıcı olmayan olmak üzere iki gruba ayrılır. Radyo dalgaları atomları iyonize edecek kadar yüksek enerjiye sahip olmadıkları için iyonlaştırıcı olmayan radyasyon sınıfına dâhil edilmektedir. Radyo frekansı (RF) radyasyonunun bir madde ya da ortam tarafından emilmesi durumunda ortaya çıkan en olası etki ısı oluşumudur (Piyasena vd., 2003; Marra vd., 2009). Bu iki dalga boyunun etkili olduğu bölge, elektromanyetik spektrumda dielektrik bölge olarak adlandırılmaktadır (Döner ve İçier, 2018).

Yüksek frekanslı radyo dalgalarıyla yapılan ısıtma işlemine dielektrik ısıtma adı verilmektedir. Bu yöntem, elektromanyetik alternatif alanın gıdalardaki dipoller ve iyonik yüklerle etkileşime girmesi sonucunda ürün içerisinde hacimsel (volumetrik) ısı oluşumuna neden olur. RF ile yapılan ısıtmada kullanılan frekans aralığı 10-300 MHz arasında değişmektedir (Üslu ve Certel, 2006; Wang, 2011). Gıdanın kimyasal bileşimi, nem içeriği, sıcaklığı, yoğunluğu

ve elektromanyetik alanın frekansı gibi çeşitli faktörler, gıda maddelerinin dielektrik özelliklerini etkilemektedir. (Jiao vd. 2018). Dielektrik özellikler, RF işleminde penetrasyon derinliğini tahmin etmek ve ürün kalınlığını belirlemek için kullanılabilir (Boreddy ve Subbiah, 2016).

RF enerjisi bir triyot tüpü tarafından üretilmekte ve gıdaya bir çift elektrot aracılığıyla uygulanmaktadır. Şekil 1'de gösterilen paralel plakalı RF sisteminde, elektrotlardan biri topraklanarak bir kondansatör oluşturulmakta ve bu kondansatör elektrik enerjisini depolamaktadır (Marra vd., 2009). RF dalgaları, dielektrik malzemelerde bipolar polarizasyon ve/veya iyonik iletkenlik yoluyla ısı üretmektedir.



Şekil 5. Alternatif elektrik alanında ısı üretimi Wang vd. (2011)'dan uyarlanmıştır.

RF teknolojinin kullanıldığı ısı işlemlerde gıdaların ısıtma davranışı gıdanın bileşimine, geometrisine ve RF odasındaki yükün yönelimine bağlıdır (Bedane vd., 2021). RF güç seviyesi de ısıtma homojenliğinde önemli bir rol oynamaktadır. Daha düşük güç kullanımı, farklı geometrilere sahip gıda sistemlerinde daha yavaş ısıtma hızı ve daha az homojen sıcaklık dağılımına neden olabilmektedir (Bedane vd., 2021). Geleneksel yöntemlerle kıyaslandığında, RF veya mikrodalga gibi dielektrik ısıtma teknikleriyle ısıtma süresi daha kısadır. RF teknolojisinde hacimsel ısıtma gerçekleştiğinden, ürün dış yüzeylerden ziyade iç kısımdan itibaren ısıtılmaktadır. Ürün, saniyede milyonlarca kez pozitif ve negatif kutuplar arasında yön değiştiren iki elektrot (kondansatör plakası) arasında bir dielektrik ortam oluşturmaktadır. Bu ortamda, ürün içindeki polar moleküller elektrotların kutuplarına göre hizalanmaya çalışırken ortaya çıkan içsel sürtünme sonucu ürün ısınmaktadır. Ayrıca RF ile ısıtma genellikle numune boyunca daha homojen

şekilde gerçekleştiğinden, dış yüzeyde bozulma oluşumu da önlenabilmektedir (Zhao vd., 2000).

RF teknolojisi, diğer ısı yöntemlere kıyasla birçok avantaja sahiptir; bunlar arasında hızlı ısınma süresi, daha homojen ısı dağılımı, daha derin nüfuz etme kapasitesi ve daha düşük enerji tüketimi yer almaktadır (Jiao vd., 2018). RF uygulamaları gıda sektöründe oldukça geniş bir yelpazeyi kapsamaktadır; bunlar arasında çilek kurutma (Jiang vd., 2019), kıyma pişirme (Schlisselberg vd., 2013), kaju fıstığı kavurma (Liao vd., 2018) ve kabuklu yumurta pastörizasyonu (Geveke vd., 2018) yer almaktadır. Literatürde, et ve et ürünlerinde radyofrekans ısıtma teknolojisinin kullanımı daha çok çözündürme ve pişirme işlemleri amacıyla gerçekleştirildiği tespit edilmiştir.

Laycock vd. (2003), 27.12 MHz frekansında ve 1.5 kW gücünde bir RF ısıtıcı kullanarak kıyma, emülsifiye et ve kas eti örneklerini merkez sıcaklık 72 °C'ye ulaşana kadar pişirmişler ve RF'nin renk, su tutma kapasitesi, doku, ısıtma hızı ve sıcaklık dağılımı üzerindeki etkilerini su banyosu yöntemiyle karşılaştırmışlardır. RF pişirme, pişirme süresini önemli ölçüde kısaltarak (kıyma: 5.83 dk, emülsifiye et: 13.5 dk, kas eti: 13.25 dk; su banyosunda sırasıyla 151, 130 ve 109 dk), daha düşük su kaybı ve kabul edilebilir renk değerleri sağlamıştır. Zhang vd. (2004), 1 kg'lık kılıflı et emülsiyonlarının pastörizasyonu için optimize ettikleri protokole örnekleri 80 °C'de dolaşım sıcak suyla ısıtmış, ardından RF ile pastörize edilen ürünleri buharda pastörize edilenlerle karşılaştırmışlardır. RF uygulaması, daha yüksek su tutma kapasitesi ile birlikte anlamlı derecede daha sert, çiğnenebilir ve yapışkan bir doku sağlarken, buharla pişirmeye kıyasla daha az pişme rengi oluşumuna neden olmuştur. Wang vd. (2022), sosislerin RF enerjisiyle pastörizasyonu için 27.12 MHz frekansta ve 6 kW gücünde çalışan özel bir sterilizasyon sistemi tasarlamışlardır. Çalışmada sosislerin dielektrik özellikleri belirlenmiş, ısıtma hızı ve homojenliği incelenmiştir. Dielektrik özelliklerin sıcaklık ve frekanstan anlamlı şekilde etkilendiği; elektrot aralığı, numune yüksekliği ve NaCl içeriğinin ise ısıtma homojenliği üzerinde belirleyici olduğu bulunmuştur. En iyi homojenlik, 180 mm elektrot aralığı, 80 mm numune yüksekliği ve %3 NaCl içeriğinde elde edilmiştir.

RF ısıtma, yüksek ısıtma hızı ve derin penetrasyon kapasitesiyle özellikle

gıda çözündürme işlemleri için endüstriyel potansiyele sahiptir (Marra vd., 2009). Ancak, bileşenlerin farklı dielektrik özellikleri nedeniyle oluşan lokal enerji yoğunluğu ve termal kaçış ısınması, elektromanyetik alanın homojenliğini bozarak düzensiz ısıtma sorunlarına neden olabilmektedir. Isıtma homojenliği; ürün bileşimi, şekli, boyutu ve elektrotlar arası mesafe gibi birçok parametreye bağlıdır (Ferrari-John vd., 2016). Bazı çalışmalarda, etteki yağ ve tuz içeriğinin çözündürme homojenliğine etkisini araştırılmıştır. Farag vd. (2008), üç farklı blok şekilli sığır eti karışımının (yağsız, yağlı ve %50:50 yağ/yağsız karışımı) RF çözündürme ısıtma hızı ve enerji tüketimi üzerindeki etkisini incelemişler ve daha az yağ içeren etin daha iyi enerji emilimi sağladığını, yüksek yağ içeriğine sahip ürünlerin ise daha büyük sıcaklık gradyanına neden olduğunu ortaya koymuşlardır. Katkı maddeleri destekli RF işlemi et ürünlerinin çözündürülmesinde de kullanılabilmektedir. Li vd. (2021), %70 gliserol çözeltisinde yapılan RF işleminin, doğrudan RF ile işlenen donmuş bifteğe kıyasla 40 kat daha yüksek hız ve daha yüksek kalite sağladığını göstermişlerdir. Ayrıca Dong vd. (2021) farklı katkı maddelerinin gıda yapısı ve RF homojenliği üzerinde farklı etkiler yarattığını göstermiştir. Su ve yağ, RF ısıtma homojenliği açısından olumsuz etkiler gösterse de örneklerin renk ve parlaklığı üzerinde olumlu etkiler göstermiştir. Yüksek tuz içeriği ise renk ve parlaklık açısından olumsuz, RF ısıtma homojenliği açısından olumlu etki yaratmıştır.

SONUÇ

21. yüzyılda serbest ticaretin yaygınlaşması ve tüketicilerin lezzetli, besin değeri yüksek gıdalara artan talebi, gıda işleme teknolojilerinin gelişimini hızlandırmıştır. Bu kapsamda, yenilikçi ısı ve ısı olmayan işleme yöntemleri ortaya çıkmış ve kısmen geleneksel tekniklerin yerini almıştır. Her ne kadar şu anki piyasa payları sınırlı olsa da, önümüzdeki süreçte önemli ticari potansiyele sahip olacakları öngörülmektedir. Bu teknolojiler; işlem süresini kısaltma, kütle ve ısı transferini hızlandırma ile gıda kalitesini artırma gibi avantajlar sunmaktadır. Et ve et ürünlerinde özellikle ohmik, mikrodalga, kızılötesi ve radyofrekans ısıtma tekniklerinin öne çıktığı görülmektedir.

Literatürde et ve et ürünlerinde

ohmik ısıtma uygulamaları ağırlıklı olarak pişirme ve çözündürme işlemleri üzerine yoğunlaşmıştır. Ohmik ısıtmanın, ısının doğrudan ürün içinde üretilmesi sayesinde geleneksel yöntemlere kıyasla daha hızlı ve homojen ısıtma sağladığı; böylece besin içeriğinin daha iyi korunduğu ve enerji tüketiminin azaldığı bildirilmektedir. Ayrıca *Salmonella*, *L. monocytogenes* ve diğer patojenlere karşı kısa sürede yüksek düzeyde mikrobiyal inaktivasyon elde edilmiştir. Bununla birlikte, kas dokusu ve yağın farklı elektriksel iletkenlikleri ısı dağılımında dengesizliklere yol açmakta; elektrot temas zorunluluğu ise düzensiz yapılı parça etlerde homojen ısıtmayı güçleştirmektedir. Dolayısıyla ohmik ısıtma sistemlerinin, ürün özelliklerine uygun olarak tasarlanması süreç verimliliği açısından kritik öneme sahiptir. Mikrodalga ısıtmanın et ve et ürünlerine uygulanmasına ilişkin çalışmalarda; pişirme ve kurutmanın ürünlerin fiziksel, kimyasal, mikrobiyolojik ve duyuşal özellikleri üzerinde belirgin etkiler oluşturduğu saptanmıştır. Mikrobiyolojik açıdan, uygun süre ve sıcaklıkta gerçekleştirilen mikrodalga pişirme, patojenlerin etkin şekilde elimine edilmesini sağlayarak gıda güvenliği açısından umut vaat etmektedir. Duyuşal değerlendirmelerde, mikrodalga ile pişirilen etlerin aroma, lezzet ve genel beğeni bakımından olumlu sonuçlar verdiği; ancak aşırı kuruma ve doku kaybının bazı olumsuzluklara yol açabildiği bildirilmiştir. Bu etkilerin işlem süresi, güç seviyesi ve ürün tipine bağlı olduğu vurgulanmaktadır. Doğru parametrelerde uygulanan mikrodalga ısıtmanın zaman ve enerji tasarrufu sağlayarak geleneksel yöntemlere etkili bir alternatif oluşturabileceği belirtilmekle birlikte, sıcaklık dağılımındaki homojen olmama ve aşırı ısınma riskleri nedeniyle işlem parametrelerinin dikkatle optimize edilmesi gerekmektedir. Ayrıca hibrit ve destekleyici teknolojilerin entegrasyonu, mikrodalga ısıtmanın gıda işleme alanında daha etkin kullanımına katkı sunabilecektir. Kızılötesi ısıtma üzerine yapılan çalışmalar, bu yöntemin ve diğer teknolojilerle kombinasyonlarının et ürünlerinin işlenmesinde mikrobiyolojik güvenliği artırarak ürün kalitesini (örn., doku, renk, su ve yağ içeriği) koruma açısından geleneksel yöntemlere kıyasla daha verimli bir alternatif sunduğunu göstermektedir. Ancak

kızılötesi ısıtmanın sınırlı penetrasyon derinliği nedeniyle enerjinin daha çok yüzeyde yoğunlaşması, kalın veya heterojen ürünlerde yüzeyin aşırı pişip iç kısımların yetersiz ısınmasına ve buna bağlı kalite ile güvenlik sorunlarına yol açabilmektedir. Bu nedenle kızılötesi ısıtma, genellikle diğer ısıtma işlemleriyle kombine edilerek daha homojen ısı dağılımı ve işlem etkinliği sağlanmaktadır. RF ısıtma, elektromanyetik dalgalarla çalışan ve gıda endüstrisinde alternatif bir ısıtma işlemi olarak öne çıkan bir teknolojidir. Enerjiyi doğrudan gıda matrisine nüfuz ettirerek hacimsel ısı üretmesi sayesinde, mikrobiyal inaktivasyon, kurutma, pastörizasyon ve sterilizasyon işlemlerinde hızlı ve homojen ısıtma sağlar. Bu özellikleri, işlem süresini kısaltırken enerji tasarrufu ve ürün kalitesinin (örn., besin öğeleri, renk, aroma, doku) korunması gibi önemli avantajlar sunar. Ambalajlı ürünlerde de uygulanabilen RF, raf ömrünü uzatmada ve mikrobiyolojik güvenlik sağlamada etkilidir. Ancak ürün bileşimindeki heterojenlik, sıcaklık dağılımında düzensizliklere yol açabilir; ayrıca sistemlerin yüksek maliyeti, karmaşık proses kontrolü ve sınırlı mevzuat altyapısı, teknolojinin yaygınlaşmasını kısıtlamaktadır. Gıdanın dielektrik özelliklerine duyarlılığı nedeniyle, her ürün için özgün parametrelerin belirlenmesi gerekmektedir. Tüm bu yönleriyle RF, yüksek verimlilik ve kalite sunan, ancak dikkatli optimizasyon ve yatırım gerektiren bir ısıtma işlemi alternatifidir.

Et ve et ürünlerinde alternatif ısıtma teknolojilerinin kalite ve gıda güvenliği üzerindeki etkilerini araştırmaya yönelik çalışmaların artması ile bu teknolojilerin sınırlılıklarını aşacak yeni sistem tasarımlarının geliştirilmesi, daha yüksek enerji verimliliği sunan minimal işleme yöntemlerinin gıda sektörüne entegrasyonunu kolaylaştıracaktır. İşlem parametrelerinin optimize edilmesi ve teknolojik uygulamaların iyileştirilmesi ise hem ürün kalitesinin korunmasına hem de sürdürülebilir işleme süreçlerinin geliştirilmesine önemli katkılar sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

About, S. A., Altemimi, A. B., Al-Hilphy, A. R. S., Yi-Chen, L. ve Cacciola, F. (2019). A comprehensive review on infrared heating applications in

- food processing. *Molecules*, 24(22), 4125. <https://doi.org/10.3390/molecules24224125>
- Alvarenga, V. O., Brito, L. M. ve Lacerda, I. C. A. (2022). Application of mathematical models to validate emerging processing technologies in food. *Current Opinion in Food Science*, 48, 100928. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2022.100928>
- Atani, S. H., Hamdami, N., Dalvi-Isfahan, M., Soltanizadeh, N. ve Fallah-Joshaqani, S. (2022). Effects of microwave-assisted freezing on the quality attributes of lamb meat. *International Journal of Refrigeration*, 143, 192-198. <https://doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2022.03.019>
- Austin, E., Geisler, A. N., Nguyen, J., Kohli, I., Hamzavi, I., Lim, H. W. ve Jagdeo, J. (2021). Visible light. Part I: Properties and cutaneous effects of visible light. *Journal of the American Academy of Dermatology*, 84(5), 1219-1231. <https://doi.org/10.1016/j.jaad.2021.02.048>
- Aykın Dinçer, E. (2023). Dried meat products obtained by different methods from past to present. *Food Reviews International*, 39(5), 2457-2476. <https://doi.org/10.1080/87559129.2021.1956944>
- Baysal, T., İçier, F. ve Baysal, H. A. (2011). Güncel Elektriksel Isıtma Yöntemleri. *Sidas Medya Yayınları, Çankaya, İzmir*.
- Beard, B. L. (2011). *The use of ultraviolet and infrared electromagnetic radiation processing on packaged, ready-to-eat sausage*. University of Arkansas.
- Bedane, T. F., Erdogdu, F., Lyng, J. G. ve Marra, F. (2021). Effects of geometry and orientation of food products on heating uniformity during radio frequency heating. *Food and Bioprocess Processing*, 125, 149-160. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2020.11.010>
- Bhat, Z. F., Morton, J. D., Bekhit, A. E. D. A., Kumar, S. ve Bhat, H. F. (2021). Thermal processing implications on the digestibility of meat, fish and seafood proteins. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 20(5), 4511-4548. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12802>
- Binnie, M. A., Barlow, K., Johnson, V. ve Harrison, C. (2014). Red meats: time for a paradigm shift in dietary advice. *Meat Science*, 98(3), 445-451. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2014.06.024>
- Boreddy, S. R. ve Subbiah, J. (2016). Temperature and moisture dependent dielectric properties of egg white powder. *Journal of Food Engineering*, 168, 60-67. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2015.07.023>
- Bozkurt, H. ve İcier, F. (2010). Ohmic cooking of ground beef: Effects on quality. *Journal of Food Engineering*, 96(4), 481-490. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2009.08.030>
- Bozkurt, H. ve İcier, F. (2010). Electrical conductivity changes of minced beef-fat blends during ohmic cooking. *Journal of Food Engineering*, 96(1), 86-92. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2009.06.048>
- Bozkurt, H. ve İcier, F. (2012). Ohmic thawing of frozen beef cuts. *Journal of Food Process Engineering*, 35(1), 16-36. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4530.2009.00569.x>
- Braeckman, L., Ronsse, F., Hidalgo, P. C. ve Pieters, J. (2009). Influence of combined IR-grilling and hot air cooking conditions on moisture and fat content, texture and colour attributes of meat patties. *Journal of Food Engineering*, 93(4), 437-443. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2009.02.009>
- Chandrasekaran, S., Ramanathan, S. ve Basak, T. (2013). Microwave food processing—A review. *Food Research International*, 52(1), 243-261. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2013.02.033>
- Chen, Y. N., Sun, D. W., Cheng, J. H. ve Gao, W. H. (2016). Recent advances for rapid identification of chemical information of muscle foods by hyperspectral imaging analysis. *Food Engineering Reviews*, 8, 336-350.
- Cosgrove, M., Flynn, A. ve Kiely, M. (2005). Impact of disaggregation of composite foods on estimates of

- intakes of meat and meat products in Irish adults. *Public Health Nutrition*, 8(3), 327-337. <https://doi.org/10.1079/PHN2004692>
- Çarkcıoğlu, E. (2017). *Combined Effect of Microwave Drying with Salting and Tray Drying on the Quality Characteristics of Beef* (Doctoral dissertation).
- Dong, J., Kou, X., Liu, L., Hou, L., Li, R. ve Wang, S. (2021). Effect of water, fat, and salt contents on heating uniformity and color of ground beef subjected to radio frequency thawing process. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 68, 102604. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2021.102604>
- Döner, D., Çokgezme, Ö. F., Çevik, M. ve İçier, F. (2024). Design of ohmic thawing cell with hydrostatic pressure units: Application in minced beef. *Food and Bioprocess Technology*, 17, 925-938. <https://doi.org/10.1007/s11947-023-03176-0>
- Döner, D. ve İçier, F. (2018). Gıdaların elektriksel yöntemlerle işlenmesinde uygulanan farklı frekans ve dalga şekillerinin proses etkinliği üzerine etkisi. *Akademik Gıda*, 16(4), 470-482. <https://doi.org/10.24323/akademik-gida.505542>
- Duan, X., Zhang, M., Mujumdar, A. S. ve Wang, R. (2010). Trends in microwave-assisted freeze drying of foods. *Drying Technology*, 28(4), 444-453. <https://doi.org/10.1080/07373931003609666>
- Ekezie, F. G. C., Sun, D. W., Han, Z. ve Cheng, J. H. (2017). Microwave-assisted food processing technologies for enhancing product quality and process efficiency: A review of recent developments. *Trends in Food Science & Technology*, 67, 58-69. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.05.014>
- Erdogdu, S. B., Eliasson, L., Erdogdu, F., Isaksson, S. ve Ahrné, L. (2015). Experimental determination of penetration depths of various spice commodities (black pepper seeds, paprika powder and oregano leaves) under infrared radiation. *Journal of Food Engineering*, 161, 75-81. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2015.03.036>
- Falowo, A. B. (2021). A comprehensive review of nutritional benefits of minerals in meat and meat products. *Science Letters*, 9(2), 55-64. http://thesciencepublishers.com/science_letters/v9i2abstract5.html
- Farag, K. W., Lyng, J. G., Morgan, D. J. ve Cronin, D. A. (2008). Dielectric and thermophysical properties of different beef meat blends over a temperature range of -18 to +10 C. *Meat Science*, 79(4), 740-747. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2007.11.005>
- Ferrari-John, R. S., Katrib, J., Palade, P., Batchelor, A. R., Dodds, C. ve Kingman, S. W. (2016). A tool for predicting heating uniformity in industrial radio frequency processing. *Food and Bioprocess Technology*, 9, 1865-1873. <https://doi.org/10.1007/s11947-016-1762-6>
- Gao, J., Cheng, S., Sun, X., Bai, Y., Yu, X., Zeng, X., ... ve Han, M. (2024). Combination of contact ultrasound and infrared radiation for improving the quality and flavor of air-dried beef during hot air drying. *Ultrasonics Sonochemistry*, 110, 107047. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2024.107047>
- Gawat, M., Boland, M., Chen, J., Singh, J. ve Kaur, L. (2024). Effects of microwave processing in comparison to sous vide cooking on meat quality, protein structural changes, and in vitro digestibility. *Food Chemistry*, 434, 137442. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.137442>
- Geveke, D. J., Bigley, A. B., Brunkhorst, C. D., Jones, D. R. ve Tilman, E. D. (2018). Improvement in the radio frequency method to pasteurise shell eggs by automation and cost reduction. *International Journal of Food Science and Technology*, 53(11), 2500-2508. <https://doi.org/10.1111/ijfs.13843>
- Gibson, S. ve Ashwell, M. (2003). The association between red and processed meat consumption and iron intakes and status among British adults. *Public Health Nutrition*, 6(4), 341-350. <https://doi.org/10.1079/>

- PHN2002442
- Giromini, C. ve Givens, D. I. (2022). Benefits and risks associated with meat consumption during key life processes and in relation to the risk of chronic diseases. *Foods*, 11(14), 2063. <https://doi.org/10.3390/foods11142063>
- Godfray, H. C. J., Aveyard, P., Garnett, T., Hall, J. W., Key, T. J., Lorimer, J., ... ve Jebb, S. A. (2018). Meat consumption, health, and the environment. *Science*, 361(6399), eaam5324. <https://doi.org/10.1126/science.aam5324>
- Guo, Q., Sun, D. W., Cheng, J. H. ve Han, Z. (2017). Microwave processing techniques and their recent applications in the food industry. *Trends in Food Science & Technology*, 67, 236-247. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.07.007>
- Guzik, P., Kulawik, P., Zając, M. ve Migdał, W. (2022). Microwave applications in the food industry: An overview of recent developments. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 62(29), 7989-8008. <https://doi.org/10.1080/10408398.2021.1922871>
- Ha, J. W. ve Kang, D. H. (2015). Enhanced inactivation of food-borne pathogens in ready-to-eat sliced ham by near-infrared heating combined with UV-C irradiation and mechanism of the synergistic bactericidal action. *Applied and Environmental Microbiology*, 81(1), 2-8. <https://doi.org/10.1128/AEM.01862-14>
- Ha, J. W., Ryu, S. R. ve Kang, D. H. (2012). Evaluation of near-infrared pasteurization in controlling *Escherichia coli* O157:H7, *Salmonella enterica* serovar Typhimurium, and *Listeria monocytogenes* in ready-to-eat sliced ham. *Applied and environmental microbiology*, 78(18), 6458-6465. <https://doi.org/10.1128/AEM.00942-12>
- Hassoun, A., Heia, K., Lindberg, S. K. ve Nilsen, H. (2020). Spectroscopic techniques for monitoring thermal treatments in fish and other seafood: A review of recent developments and applications. *Foods*, 9(6), 767. <https://doi.org/10.3390/foods9060767>
- Hassoun, A., Måge, I., Schmidt, W. F., Temiz, H. T., Li, L., Kim, H. Y., ... ve Cozzolino, D. (2020). Fraud in animal origin food products: Advances in emerging spectroscopic detection methods over the past five years. *Foods*, 9(8), 1069. <https://doi.org/10.3390/foods9081069>
- Hassoun, A., Ojha, S., Tiwari, B., Rustad, T., Nilsen, H., Heia, K., ... ve Wold, J. P. (2020). Monitoring thermal and non-thermal treatments during processing of muscle foods: A comprehensive review of recent technological advances. *Applied Sciences*, 10(19), 6802. <https://doi.org/10.3390/app10196802>
- Headey, D., Hirvonen, K. ve Hoddinott, J. (2018). Animal sourced foods and child stunting. *American Journal of Agricultural Economics*, 100(5), 1302-1319. <https://doi.org/10.1093/ajae/aay053>
- Hematyar, N., Rustad, T., Sampels, S. ve Kastrup Dalsgaard, T. (2019). Relationship between lipid and protein oxidation in fish. *Aquaculture Research*, 50(5), 1393-1403. <https://doi.org/10.1111/are.14012>
- Hernández-Hernández, H. M., Moreno-Vilet, L. ve Villanueva-Rodríguez, S. J. (2019). Current status of emerging food processing technologies in Latin America: Novel non-thermal processing. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 58, 102233. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2019.102233>
- Hodgson, J. M., Burke, V., Beilin, L. J. ve Puddey, I. B. (2006). Partial substitution of carbohydrate intake with protein intake from lean red meat lowers blood pressure in hypertensive persons. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 83(4), 780-787. <https://doi.org/10.1093/ajcn/83.4.780>
- Huang, L. (2004). Infrared surface pasteurization of turkey frankfurters. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 5(3), 345-351. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2004.03.007>
- Huang, L. ve Sites, J. (2007). Automatic

- control of a microwave heating process for in-package pasteurization of beef frankfurters. *Journal of Food Engineering*, 80(1), 226-233. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2006.05.019>
- Huang, L. H. ve Sites, J. (2008). Elimination of *Listeria monocytogenes* on hotdogs by infrared surface treatment. *Journal of Food Science*, 73(1), M27-M31. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2007.00589.x>
- Icier, F., Izzetoglu, G. T., Bozkurt, H. ve Ober, A. (2010). Effects of ohmic thawing on histological and textural properties of beef cuts. *Journal of Food Engineering*, 99(3), 360-365. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2010.03.018>
- Icier, F. ve Kaya, O. (2022). Mathematical modeling of continuous induction heating of sour cherry juice. *Journal of Food Process Engineering*, 45(12), e14180. <https://doi.org/10.1111/jfpe.14180>
- Inmanee, P., Kamonpatana, P. ve Pirak, T. (2019). Ohmic heating effects on *Listeria monocytogenes* inactivation, and chemical, physical, and sensory characteristic alterations for vacuum packaged sausage during post pasteurization. *Lwt*, 108, 183-189. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.03.027>
- Johnston, J., Prynne, C. J., Stephen, A. M. ve Wadsworth, M. E. J. (2007). Haem and non-haem iron intake through 17 years of adult life of a British Birth Cohort. *British Journal of Nutrition*, 98(5), 1021-1028. <https://doi.org/10.1017/S0007114507749255>
- Jiang, H., Shen, Y., Zhen, L., Li, W. ve Zhang, Q. (2019). Evaluation of strawberries dried by radio frequency energy. *Drying Technology*, 37(3), 312-321. <https://doi.org/10.1080/07373937.2018.1439503>
- Jiao, Y., Tang, J., Wang, Y. ve Koral, T. L. (2018). Radio-frequency applications for food processing and safety. *Annual Review of Food Science and Technology*, 9, 105-127. <https://doi.org/10.1146/annurev-food-041715-033038>
- Kaur, N. ve Singh, A. K. (2016). Ohmic heating: concept and applications—a review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 56(14), 2338-2351. <https://doi.org/10.1080/10408398.2013.835303>
- Kendirci, P., Icier, F., Kor, G. ve Onogur, T. A. (2014). Influence of infrared final cooking on polycyclic aromatic hydrocarbon formation in ohmically pre-cooked beef meatballs. *Meat Science*, 97(2), 123-129. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2014.01.020>
- Khonje, M. G., Ricker-Gilbert, J., Muyanga, M. ve Qaim, M. (2022). Farm-level production diversity and child and adolescent nutrition in rural sub-Saharan Africa: a multicountry, longitudinal study. *The Lancet Planetary Health*, 6(5), e391-e399. [https://doi.org/10.1016/S2542-5196\(22\)00071-7](https://doi.org/10.1016/S2542-5196(22)00071-7)
- Kim, J., Mun, S. C., Ko, H. U., Kim, K. B., Khondoker, M. A. H. ve Zhai, L. (2012). Review of microwave assisted manufacturing technologies. *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing*, 13, 2263-2272. <https://doi.org/10.1007/s12541-012-0301-2>
- Kor, G. ve Icier, F. (2016). Thermal imaging during infrared final cooking of semi-processed cylindrical meat product. *Infrared Physics & Technology*, 79, 242-251. <https://doi.org/10.1016/j.infrared.2016.11.002>
- Kubo, M. T., Siguemoto, É. S., Funcia, E. S., Augusto, P. E., Curet, S., Boillereaux, L., ... ve Gut, J. A. (2020). Non-thermal effects of microwave and ohmic processing on microbial and enzyme inactivation: a critical review. *Current Opinion in Food Science*, 35, 36-48. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2020.01.004>
- Laycock, L., Piyasena, P. ve Mittal, G. S. (2003). Radio frequency cooking of ground, comminuted and muscle meat products. *Meat Science*, 65(3), 959-965. [https://doi.org/10.1016/S0309-1740\(02\)00311-X](https://doi.org/10.1016/S0309-1740(02)00311-X)
- Layman, D. K., Clifton, P., Gannon, M. C., Krauss, R. M. ve Nuttall, F. Q. (2008). Protein in optimal health: heart disease and type 2 diabetes. *The American Journal of Clinical*

- Nutrition*, 87(5), 1571S-1575S. <https://doi.org/10.1093/ajcn/87.5.1571S>
- Leroy, F. ve Cofnas, N. (2020). Should dietary guidelines recommend low red meat intake? *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 60(16), 2763-2772. <https://doi.org/10.1080/10408398.2019.1657063>
- Li, F., Zhu, Y., Li, S., Wang, P., Zhang, R., Tang, J., ... ve Jiao, Y. (2021). A strategy for improving the uniformity of radio frequency tempering for frozen beef with cuboid and step shapes. *Food Control*, 123, 107719. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2020.107719>
- Li, Y., Cai, R., Fu, C., Qi, L., Yuan, Y., Yue, T., Ge, Q., Zhao, Z. ve Wang, Z. (2023). Degradation of patulin in apple juice by pulsed light and its effect on the quality. *Food and Bioprocess Technology*, 16(4), 870-880. <https://doi.org/10.1007/s11947-022-02978-y>
- Li, S., Tang, S., Yan, L. ve Li, R. (2019). Effects of microwave heating on physicochemical properties, microstructure and volatile profiles of yak meat. *Journal of Applied Animal Research*, 47(1), 262-272.
- Li, Y., Wang, J. H., Wang, E. C., Tang, Z. S., Han, Y., Luo, X. E., Zeng, X., Woo, M. ve Han, Z. (2023). The microstructure and thermal properties of pulsed electric field pretreated oxidized starch. *International Journal of Biological Macromolecules*, 235, 123721. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.123721>
- Li, X., Xie, X., Zhang, C. H., Zhen, S. ve Jia, W. (2018). Role of mid-and far-infrared for improving dehydration efficiency in beef jerky drying. *Drying Technology*, 36(3), 283-293. <https://doi.org/10.1080/07373937.2017.1326129>
- Luo, J., Taylor, C., Nebl, T., Ng, K. ve Bennett, L. E. (2018). Effects of macro-nutrient, micro-nutrient composition and cooking conditions on in vitro digestibility of meat and aquatic dietary proteins. *Food Chemistry*, 254, 292-301. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.01.164>
- Manaf, Y. N. ve Yusof, Y. A. (2021). Emerging Trends in Sustainable Food Processing Industry. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 757(1), 012076. IOP Publishing. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/757/1/012076>
- Manyatsi, T. S., Al-Hilphy, A. R., Majzoobi, M., Farahnaky, A. ve Gavahian, M. (2023). Effects of infrared heating as an emerging thermal technology on physicochemical properties of foods. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 63(24), 6840-6859. <https://doi.org/10.1080/10408398.2022.2043820>
- Marra, F., Zhang, L. ve Lyng, J. G. (2009). Radio frequency treatment of foods: Review of recent advances. *Journal of Food Engineering*, 91(4), 497-508. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2008.10.015>
- Meijer, G. W., Lähteenmäki, L., Stadler, R. H. ve Weiss, J. (2021). Issues surrounding consumer trust and acceptance of existing and emerging food processing technologies. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 61(1), 97-115. <https://doi.org/10.1080/10408398.2020.1718597>
- Mitelut, A., Popa, M., Geicu, M., Niculita, P., Vatuiu, D., Vatuiu, I., Gilea, B., Balint, R. ve Cramariuc, R. (2011). Ohmic treatment for microbial inhibition in meat and meat products. *Romanian Biotechnological Letters*, 16(1), 149-152.
- Musto, M., Faraone, D., Cellini, F. ve Musto, E. (2014). Changes of DNA quality and meat physicochemical properties in bovine supraspinatus muscle during microwave heating. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 94(4), 785-791. <https://doi.org/10.1002/jsfa.6441>
- Özbay-Doğu, S. (2016). *Determination of effect of pre-treatments applying to round of meat (M. semitendinosus) on microwave drying* (Doctoral dissertation, Master thesis of Selçuk University (in Turkish), Turkey).
- Özcan, A. U. ve Bozkurt, H. (2015). Physical and chemical attributes of

- a ready-to-eat meat product during the processing: effects of different cooking methods. *International Journal of Food Properties*, 18(11), 2422-2432. <https://doi.org/10.1080/10942912.2014.982256>
- Özcan, A. U., Maskan, M., Bedir, M. ve Bozkurt, H. (2018). Effect of ohmic cooking followed by an infrared cooking method on lipid oxidation and formation of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) of beef muscle. *Grasas y Aceites*, 69(4), e279. <https://doi.org/10.3989/gya.0101181>
- Özdemir, E., Başaran, P., Kartal, S. ve Akan, T. (2023). Cold plasma application to fresh green leafy vegetables: Impact on microbiology and product quality. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 22(6), 4484-4515. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.13231>
- Pan, Z. ve Atungulu, G. G. (2010). *Infrared heating for food and agricultural processing*. CRC press. <https://doi.org/10.1201/9781420090994>
- Papier, K., Fensom, G. K., Knuppel, A., Appleby, P. N., Tong, T. Y., Schmidt, J. A., ... ve Perez-Cornago, A. (2021). Meat consumption and risk of 25 common conditions: outcome-wide analyses in 475,000 men and women in the UK Biobank study. *BMC Medicine*, 19, 1-14. <https://doi.org/10.1186/s12916-021-01922-9>
- Piazena, H., Meffert, H. ve Uebelhack, R. (2017). Spectral Remittance and Transmittance of Visible and Infrared-A Radiation in Human Skin—Comparison Between in vivo Measurements and Model Calculations. *Photochemistry and Photobiology*, 93(6), 1449-1461. <https://doi.org/10.1111/php.12785>
- Piyasena, P., Dussault, C., Koutchma, T., Ramaswamy, H. S. ve Awuah, G. B. (2003). Radio frequency heating of foods: principles, applications and related properties—a review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 43(6), 587-606. <https://doi.org/10.1080/10408690390251129>
- Półtorak, A., Wyrwisz, J., Moczowska, M., Marcinkowska-Lesiak, M., Stelmasiak, A., Rafalska, U., ... ve Sun, D. W. (2015). Microwave vs. convection heating of bovine Gluteus Medius muscle: impact on selected physical properties of final product and cooking yield. *International Journal of Food Science and Technology*, 50(4), 958-965. <https://doi.org/10.1111/ijfs.12729>
- Pu, H., Kamruzzaman, M. ve Sun, D. W. (2015). Selection of feature wavelengths for developing multispectral imaging systems for quality, safety and authenticity of muscle foods—a review. *Trends in Food Science & Technology*, 45(1), 86-104. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2015.05.006>
- Rastogi, N. K. (2012). Recent trends and developments in infrared heating in food processing. *Critical reviews in food science and nutrition*, 52(9), 737-760. <https://doi.org/10.1080/10408398.2010.508138>
- Rathod, N. B., Ranveer, R. C., Benjakul, S., Kim, S. K., Pagarkar, A. U., Patange, S. ve Ozogul, F. (2021). Recent developments of natural antimicrobials and antioxidants on fish and fishery food products. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 20(4), 4182-4210. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12787>
- Raw, P. (2012). Composition of foods raw, processed, prepared usda national nutrient database for standard reference, release 25. *United States Department of Agriculture (USDA)*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.1551.1284>
- Rosell, M., Appleby, P., Spencer, E. ve Key, T. (2006). Weight gain over 5 years in 21 966 meat-eating, fish-eating, vegetarian, and vegan men and women in EPIC-Oxford. *International Journal of Obesity*, 30(9), 1389-1396. <https://doi.org/10.1038/sj.ijo.0803305>
- Sakai, N. ve Hanzawa, T. (1994). Applications and advances in far-infrared heating in Japan. *Trends in Food Science & Technology*, 5(11), 357-362. [https://doi.org/10.1016/0924-2244\(94\)90213-5](https://doi.org/10.1016/0924-2244(94)90213-5)
- Schlisselberg, D. B., Kler, E., Kalily, E.,

- Kisluk, G., Karniel, O. ve Yaron, S. (2013). Inactivation of foodborne pathogens in ground beef by cooking with highly controlled radio frequency energy. *International Journal of Food Microbiology*, 160(3), 219-226. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2012.10.017>
- Scoles, S. (2016). What Do Radio Waves Tell Us about the Universe? *Front. Young Minds*, 4(2). <https://doi.org/10.3389/frym.2016.00002>
- Sengun, I. Y., Icier, F. ve Kor, G. (2017). Effects of combined ohmic-infrared cooking treatment on microbiological inactivation of meatballs. *Journal of Food Process Engineering*, 40(1), e12309. <https://doi.org/10.1111/jfpe.12309>
- Sengun, I. Y., Turp, G. Y., Icier, F., Kendirci, P. ve Kor, G. (2014). Effects of ohmic heating for pre-cooking of meatballs on some quality and safety attributes. *LWT-Food Science and Technology*, 55(1), 232-239. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2013.08.005>
- Sheridan, P. ve Shilton, N. (1999). Application of far infra-red radiation to cooking of meat products. *Journal of Food Engineering*, 41(3-4), 203-208. [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(99\)00091-6](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(99)00091-6)
- Sheridan, P. S. ve Shilton, N. C. (2002). Analysis of yield while cooking beefburger patties using far infrared radiation. *Journal of Food Engineering*, 51(1), 3-11. [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(01\)00029-2](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(01)00029-2)
- Silva, F. V. M. ve Evelyn. (2023). Pasteurization of food and beverages by high pressure processing (HPP) at room temperature: inactivation of *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli*, *Listeria monocytogenes*, *Salmonella*, and other microbial pathogens. *Applied Sciences*, 13(2), 1193. <https://doi.org/10.3390/app13021193>
- Skjöldebrand, C. (2001). Infrared heating. In *Thermal technologies in food processing* (pp. 208-228). Woodhead Publishing.
- Sobral, M. M. C., Cunha, S. C., Faria, M. A. ve Ferreira, I. M. (2018). Domestic cooking of muscle foods: Impact on composition of nutrients and contaminants. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 17(2), 309-333. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12327>
- Soni, A., Smith, J., Thompson, A. ve Brightwell, G. (2020). Microwave-induced thermal sterilization-A review on history, technical progress, advantages and challenges as compared to the conventional methods. *Trends in Food Science & Technology*, 97, 433-442. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.01.030>
- Spencer, E. A., Appleby, P. N., Davey, G. K. ve Key, T. J. (2003). Diet and body mass index in 38 000 EPIC-Oxford meat-eaters, fish-eaters, vegetarians and vegans. *International Journal of Obesity*, 27, 728-734. <https://doi.org/10.1038/sj.ijo.0802300>
- Suleman, R., Hui, T., Wang, Z., Liu, H. ve Zhang, D. (2020). Comparative analysis of charcoal grilling, infrared grilling and superheated steam roasting on the colour, textural quality and heterocyclic aromatic amines of lamb patties. *International Journal of Food Science and Technology*, 55(3), 1057-1068. <https://doi.org/10.1111/ijfs.14388>
- Ştefănoiu, G. A., Tănase, E. E., Miteluţ, A. C. ve Popa, M. E. (2016). Unconventional treatments of food: Microwave vs. radiofrequency. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, 10, 503-510. <https://doi.org/10.1016/j.aaspro.2016.09.024>
- Tang, Z., Mikhaylenko, G., Liu, F., Mah, J. H., Pandit, R., Younce, F. ve Tang, J. (2008). Microwave sterilization of sliced beef in gravy in 7-oz trays. *Journal of Food Engineering*, 89(4), 375-383. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2008.04.025>
- Turp, G. Y. (2016). Effects of four different cooking methods on some quality characteristics of low fat Inegol meatball enriched with flaxseed flour. *Meat Science*, 121, 40-46. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2016.05.016>
- Uslu, M. K. ve Certel, M. (2006). Dielektrik ısıtma ve gıda işlemede kullanımı. *Teknolojik Araştırmalar GTED*, 3(1),

- 61-69.
- Wang, Y., Li, Y., Wang, S., Zhang, L., Gao, M. ve Tang, J. (2011). Review of dielectric drying of foods and agricultural products. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 4(1), 1-19. <https://doi.org/10.3965/j.issn.1934-6344.2011.01.001-019>
- Wang, R. ve Farid, M. M. (2015). Corrosion and health aspects in ohmic cooking of beef meat patties. *Journal of Food Engineering*, 146, 17-22. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2014.08.011>
- Wang, Y., Zhang, M., Mujumdar, A. S. ve Mothibe, K. J. (2013). Microwave-assisted pulse-spouted bed freeze-drying of stem lettuce slices—Effect on product quality. *Food and Bioprocess Technology*, 6, 3530-3543. <https://doi.org/10.1007/s11947-012-1017-0>
- Wang, K., Huang, L., Xu, Y., Cui, B., Sun, Y., Ran, C., ... ve Wang, Y. (2022). Evaluation of pilot-scale radio frequency heating uniformity for beef sausage pasteurization process. *Foods*, 11(9), 1317. <https://doi.org/10.3390/foods11091317>
- Wray, D. ve Ramaswamy, H. S. (2015). Novel concepts in microwave drying of foods. *Drying Technology*, 33(7), 769-783. <https://doi.org/10.1080/07373937.2014.985793>
- Yarmand, M. S. ve Homayouni, A. (2009). Effect of microwave cooking on the microstructure and quality of meat in goat and lamb. *Food Chemistry*, 112(4), 782-785. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.06.033>
- Zaharia, S., Ghosh, S., Shrestha, R., Manohar, S., Thorne-Lyman, A. L., Bashaasha, B., ... ve Webb, P. (2021). Sustained intake of animal-sourced foods is associated with less stunting in young children. *Nature Food*, 2(4), 246-254. <https://doi.org/10.1038/s43016-021-00259-z>
- Zell, M., Lyng, J. G., Morgan, D. J. ve Cronin, D. A. (2009). Development of rapid response thermocouple probes for use in a batch ohmic heating system. *Journal of Food Engineering*, 93(3), 344-347. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2009.01.039>
- Zell, M., Lyng, J. G., Cronin, D. A. ve Morgan, D. J. (2009). Ohmic heating of meats: Electrical conductivities of whole meats and processed meat ingredients. *Meat Science*, 83(3), 563-570. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2009.07.005>
- Zell, M., Lyng, J. G., Cronin, D. A. ve Morgan, D. J. (2010). Ohmic cooking of whole beef muscle—Evaluation of the impact of a novel rapid ohmic cooking method on product quality. *Meat Science*, 86(2), 258-263. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2010.04.007>
- Zhao, Y., Flugstad, B. E. N., Kolbe, E., Park, J. W. ve Wells, J. H. (2000). Using capacitive (radio frequency) dielectric heating in food processing and preservation—a review. *Journal of Food Process Engineering*, 23(1), 25-55. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4530.2000.tb00502.x>
- Zhang, L., Lyng, J. G. ve Brunton, N. P. (2004). Effect of radio frequency cooking on the texture, colour and sensory properties of a large diameter comminuted meat product. *Meat Science*, 68(2), 257-268. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2004.03.011>
- Zhang, C., Lyu, X., Aadil, R. M., Tong, Y., Zhao, W. ve Yang, R. (2023). Microwave heating instead of blanching to produce low-fat French fries. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 84, 103298. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2023.103298>