



---

**Makale / Research Paper**

---

**Et Teknolojisinde Alternatif Isıtma Yöntemleri**

**Tuba CANDAN\*, Aytunga BAĞDATLI**

Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, 45140  
Manisa/TÜRKİYE  
[htuba93@gmail.com](mailto:htuba93@gmail.com)

**Received/Geliş:** 09.03.2018

**Revised/Düzeltilme:** 23.03.2018

**Accepted/Kabul:** 19.04.2018

**Öz:** Et, kimyasal bileşimi nedeniyle hızla bozulabilen bir gıdadır. Bu nedenle etin muhafazası için çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Haşlama, kavurma gibi geleneksel ısıtma yöntemleri, gıdaların raf ömrünün uzatılmasını ve mikrobiyal açıdan gıda güvenliğini sağlamaktadır. Ancak et ve et ürünlerinin besin değerinde ve duyu niteliklerinde kayıplar meydana gelmektedir. Bunun yanı sıra geleneksel ısıtma yöntemlerinde işlem süresinin uzun olması nedeniyle enerji kullanımı fazla olmaktadır. Gıdaların geleneksel yöntemlerle pişirilmesi sonucunda fiziksel ve kimyasal yapılarında gerçekleşen değişimlerin sebep olduğu renk, tekstür gibi özelliklerindeki değişimler, ürün kalitesinde belirleyici rol oynamaktadır. Bu işlemler sırasında gıda kalitesinin bozulması tüketici kabulünde endişe kaynağıdır. Tüketici memnuniyetini sağlamak amacıyla bilim insanları daha güvenli ve besleyici gıda ürünleri üretmek için çeşitli gıda işleme teknolojilerini araştırmaktadır. Bu teknolojiler arasında son yıllarda ortaya çıkan alternatif ısıtma yöntemleri olarak kullanılan ohmik ısıtma, mikrodalga ısıtma, radyo frekans ısıtma ve infrared ısıtma dikkat çekmektedir. Bunun nedeni, geleneksel yöntemlere kıyasla alternatif yöntemler, gıda güvenliği açısından yarar sağlarken, işlem sürelerini azaltarak enerji tüketiminin korunmasını sağlamaktadır. Ayrıca bu teknikler et endüstrisinde gıdaların besin öğeleri içeriği ile fonksiyonel ve duyu özelliklerinin korunmasını da sağlamaktadır. Gelecekte, geliştirilen alternatif ısıtma tekniklerinin, günümüzde kullanılan geleneksel ısıtma yöntemlerinin yerini alacağı düşünülmektedir.

**Anahtar kelimeler:** Alternatif ısıtma yöntemleri; Ohmik ısıtma; Mikrodalga ısıtma; Radyo frekans ısıtma; Infrared ısıtma

---

**Alternative Heating Methods Used in Meat Technology**

**Abstract:** Meat is a food that can quickly deteriorate due to its chemical composition. For this reason, various methods are applied to protect the meat. Although conventional heating methods such as boiling and frying, provide shelf life of food and microbial food safety. However it causes sensory loss and nutritional value losses. Also, excessive use of energy due to long duration of heating process. Changes such as color, texture (structure) properties in the physical and chemical structure of food as a result of cooking, play a decisive role in the quality of the cooking. The deterioration of food quality during these processes is a major concern for consumers. To ensure consumer satisfaction, scientists have explored a variety of food processing technologies to produce safer and nutritious food products. Among these technologies, ohmic heating, microwave heating, radio frequency heating and infrared heating as alternate heating methods which have emerged in the past years have attracted much attention. This is because, compared to their conventional counterparts, novel food processes allow a significant reduction in the overall processing times with savings in energy consumption, while ensuring food safety, and ample benefits for the industry. In addition, these techniques allow the nutritional content of foods and the functional and sensory properties of the food to be preserved in the meat industry. Alternative heating techniques developed in the future are expected to take the place of traditional methods used today.

**Keywords:** Alternative heating methods, Ohmic heating, Microwave heating, Radio frequency heating, Infrared heating

---

## 1. Giriş

Et, yüksek besin değeri ve su aktivitesine sahip olduğu için kalite bozulmalarına oldukça duyarlıdır. Kalitenin bozulması, kimyasal ve mikrobiyal değişikliklerden kaynaklanmaktadır. En yaygın kimyasal bozulma şekli et lipidlerinin oksidasyonudur. Et, bozulma etmeni mikroorganizmalar ve gıda kaynaklı patojenlerin çoğalması için uygun ortam sağlamaktadır. Günümüzde etin, raf ömrünü uzatmak, kimyasal, fiziksel ve mikrobiyal bozulmaları önlemek için geleneksel ısıtma yöntemleri kullanılmaktadır. Haşlama, kavurma gibi geleneksel ısıtma yöntemleri etin korunmasında kullanılan en yaygın yöntemlerdir. Geleneksel ısıtma yöntemleri mikrobiyal güvenliğin sağlanmasında etkili olurken, ürün kalitesini olumsuz yönde etkilemektedir [1-4]

Geleneksel ısıtma yöntemlerinde ısı transfer hızının yavaş olması nedeniyle gıdanın işleme süresi zaman almaktadır. Bu nedenle termal işlemlerin en belirgin özelliği yüksek enerji tüketimidir. Ayrıca, geleneksel ısıtma yöntemlerinde etin farklı bölümlerine ısı iletimiyle iç direnç heterojen ısıtma işlemi neden olmaktadır. Besin değerini koruyan minimum işlenmiş et, son yıllarda tüketiciler tarafından ilgi görmektedir. Tüketicilerin artan taleplerini karşılamak amacıyla, geleneksel pişirme yöntemlerinin yerini alacak yeni teknolojilerin keşfi ortaya çıkmaktadır. Ohmik ısıtma, mikrodalga ısıtma, radyo frekans ısıtma ve kızılötesi ısıtma içeren termal teknolojiler, geleneksel pişirme yöntemlerine alternatif olarak geliştirilmektedir [5,6].

Alternatif ısıtma teknikleri, termal enerjinin doğrudan gıdanın içinde üretildiği hacimsel ısıtma yöntemidir. Bu sayede alternatif ısıtma yöntemleri ısının gıdalarda homojen dağılmasını sağlamaktadır. Bu durum gıda kaynaklı hastalıkların önlenmesi için önemli bir faktördür. Termal yöntemlerin yanı sıra doğal gıda ürünlerine yönelik dünya çapındaki ilgiye yanıt olarak mikroorganizmaların inaktive edilmesi için termal olmayan teknolojiler de geliştirilmektedir. Ultrason, yüksek basınç uygulaması, vurgulu elektrik alan ve vurgulu ışık gibi yeni termal olmayan teknolojiler ortam sıcaklığında, mikroorganizmaları inaktive edebilmektedir. Termal ve termal olmayan teknolojilerin çeşitli gıda ürünlerinin korunması ve kalitesi üzerindeki etkileri günümüzde araştırılmaktadır [7,8].

Alternatif ısıtma yöntemlerinde amaç, ürün kalitesini artırmak, işlem maliyetlerini azaltmak, kısa sürede seri üretim yapmak ve enerji tüketimini azaltmaktır. Yeni teknolojiler üretici firma tarafından daha yüksek bir sermaye yatırımı gerektirirken, üretim maliyetlerini azaltarak gıda işleminin sürdürülebilirliğini sağlamaktadır. Geliştirilen yöntemler su tasarrufunu sağlamakta, gıda kalitesini iyileştirmekte ve verimliliği arttırmaktadır. Yüksek kaliteye sahip gıdaların elde edilmesiyle gelirin artacağı ve büyük pazar payının oluşacağı düşünülmektedir [9-12].

Alternatif ısıtma yöntemleri üzerine yapılan çalışmalar son yıllarda hız kazanmıştır. Ancak günümüz şartlarında çoğunlukla deneysel uygulamalar ile sınırlı kaldığı görülmektedir. Bu derlemenin temel amacı taze eti muhafaza etmek için kullanılan mevcut yöntemleri ve geliştirilen yeni yöntemleri tanımlamaktır. Ayrıca son zamanlarda yayımlanan kaynaklara dayanarak et endüstrisinde kullanım potansiyeli olan alternatif ısıtma yöntemlerine ait uygulamaları gıda kalitesi ve güvenlik yönünden değerlendirmek amaçlanmaktadır.

## 2. Et Endüstrisinde Isıtma Teknikleri

Etin pişirilmesi, lezzetli ve güvenli ürün elde etmek için gereklidir. Pişirme, gıda kaynaklı patojenlere zarar vererek mikrobiyal güvenliği sağlamaktadır. Pişirme işlemiyle et, yenilebilir ve daha sindirilebilir hale gelmektedir. Ayrıca, lezzet, hassasiyet, renk ve görünüm gibi tüketici tercihleriyle ilgili temel özellikleri etkilemektedir. Araştırmalarda pişirme yöntemiyle tüketici kabulünü etkileyebilecek uçucu bileşiklerin oluşumu arasında doğrudan ilişki olduğu belirtilmiştir.

Etin fiziksel özellikleri ve yeme kalitesi pişirme sıcaklığı ve zamandan etkilenmektedir. Türk Gıda Kodeksi kırmızı et için merkezi sıcaklığı 72°C olarak bildirmiştir [13-16].

Termal yöntemler etin işlenmesi amacıyla uygulanabilir ana muhafaza mekanizmalarından biri olarak bilinmektedir. Dünya’da ete uygulanan farklı geleneksel pişirme yöntemleri; haşlama (boiling), kızartma (frying), fırında pişirme (baking), ızgara (grilling), rosto (roasting), buharda pişirme (steaming), tandır (tanpoori), glaze etme (glazing) şeklinde sıralanmaktadır. Pişirme sırasında ette gerçekleşen fiziksel ve kimyasal değişiklikleri etin kalitesi açısından anlamak önemlidir. Pişirme işlemiyle etin iç sıcaklığındaki artışın kollajen büzülmesini artırdığı, su tutma kapasitesini düşürdüğü, pişirme kaybını artırdığı, kalitesini ve kabul edilebilirliğini etkilediği bilinmektedir. Pişirme süresi, pişirme yöntemi, sıcaklık ve kas bileşimi etin kalite özelliklerini etkileyen önemli değişkenlerdir [15,17-19].

Ete uygulanan yüksek sıcaklık işlemi dokunun, rengin, lezzetin ve biyoaktif bileşiklerin zarar görmesine neden olmaktadır. Epidemiyolojik veriler ve hayvan çalışmaları, et tüketiminin kanser gelişimine neden olduğunu vurgulamaktadır. Bu durumun nedeni etin pişirilmesi sonucunda oluşan kanserojen bileşiklerdir. Bu bileşikler arasında N-nitrozo-bileşikleri (NOC), polisiklik aromatik hidrokarbonlar (PAH), lipit oksidasyon ürünleri ve heterosiklik aromatik aminler (HAA) bulunmaktadır [20-22].

Isıtma sırasında ette gerçekleşen en önemli değişiklikler kas proteinlerinde meydana gelmektedir. Sıcaklığın neden olduğu kas proteinlerinin denatürasyonu kapsamlı bir şekilde incelenmiştir. Miyozin 40-55°C arasında denatürasyona uğrarken, aktin- aktomiyozin kompleksi ve titin yaklaşık 80°C’de denatüre olmaktadır. Sarkoplazmik ve kollajen proteinlerin geçiş sıcaklığı 60-75°C arasındadır. Kollajen kısalması ise 58°C ile 65°C arasında olmaktadır. Bu nedenle, sıcaklık artışı etteki kas yapısının yeniden düzenlenmesine, çeşitli boyutlarda yeni yapılar ve kanallara neden olmaktadır. Bu işlem sırasında, suyun miyofibriller proteinler ile olan etkileşimi zayıflamaktadır. Kas liflerinin büzülmesinin sonucu olarak protein denatürasyonu tarafından şekillenen kanallar vasıtasıyla su kaybı meydana gelmektedir [23-25].

Isıl işlemde kaynaklanan diğer önemli yan etki lipit oksidasyonudur. Lipit oksidasyonu ette istenmeyen kokuların oluşumuna, tekstür değişimine, esansiyel yağ asitlerinin kaybına ve toksik bileşiklerin üretimine neden olmaktadır. Ayrıca lipitlerin oksidatif bozulması, biyolojik membranlara, enzimlere ve proteinlere zarar vermektedir. Bu nedenle insan sağlığını doğrudan etkilemektedir. Lipit oksidasyonunun başlatılması doymamış yağ asitleri, oksijen ve düşük molekül ağırlıklı metallerin etkileşimine bağlanmaktadır. Bu etkileşim, serbest radikallerin üretimi ve oksidatif reaksiyonların açığa çıkmasıyla sonuçlanmaktadır [26-28].

Heterosiklik aromatik aminler (HAA), kırmızı et, kümes hayvanları ve balıkların pişirilmesi sırasında oluşan mutajenik veya kanserojenik bileşiklerdir. HAA, aflatoksin B1’den 100 kat mutajenikliğe sahip ve benzo[a] pirinden, diğer gıda mutajenlerine nazaran 2000 kat değişkenliğe sahiptir. Uluslararası Kanser Araştırmaları Ajansı (IARC), HAA türlerinin olası kanserojen olduğunu belirtmiştir. Araştırmalarda 25’den fazla HAA izole edilerek, tanımlanmıştır. HAA çeşidi ve miktarı; etin yapısı, pişirme süresi, pişirme sıcaklığı, pişirme yöntemi, pH, su aktivitesi, karbonhidratlar, serbest amino asitler ve kreatin gibi faktörlere bağlanmaktadır. Isıl işleme tabi tutulmuş gıdalarda HAA oluşumu, sıcaklığın şiddetine bağlıdır. Bu sıcaklığa bağlı olarak, HAAs iki ana gruba ayrılır: 100-200°C’de oluşan IQ ve 200°C’de oluşan non-IQ türüdür. Yapılan araştırmalarda, kimyasal reaksiyonlar açısından ette heterosiklik aromatik amin oluşum mekanizmalarının tanımlanamayacağı belirtilmiştir [29,30].

Geleneksel ısıtma yöntemlerinde uzun süre ve yüksek sıcaklık kullanılmaktadır. Isıtma sırasında ette oluşan bileşikler insan sağlığını tehdit etmektedir. Ayrıca bu işlem etin besin değerini de

düşürmektedir. Bu nedenle, insan sağlığı açısından güvenli, yüksek besin değerine sahip ve minimum düzeyde işlenmiş gıdalar üretmek amacıyla bilim insanları ohmik ısıtma, mikrodalga ısıtma, radyo frekans ısıtma ve infrared ısıtma gibi alternatif ısıtma yöntemlerini geliştirmektedir. Geliştirilen yöntemlerin mekanizmalarını daha iyi anlamak ve geliştirmek amacıyla bu alanda çalışmalar devam etmektedir [20,31].

### 3. Alternatif Isıtma Teknikleri

#### 3.1. Ohmik Isıtma

Yenilikçi ve alternatif gıda işleme yöntemlerinden biri olan ohmik ısıtma, gıdanın içinden alternatif elektrik akımı geçirilerek ısı üretilen gelişmiş termal işleme yöntemidir. Bu nedenle ohmik ısıtma sisteminde akım homojen bir şekilde geçerek, homojen sıcaklık dağılımı kolayca elde edilmektedir. Bu işlem, gıda sisteminin tüm kütlelerini hacimsel olarak ısıtmaktadır. Gıda ürünleri elektrik akımının geçmesine imkan sağlayan yeterli miktarda su ve elektrolit içerdiğinde, ohmik ısıtma ürün içinde ısı üretmek için kullanılabilir. Ohmik ısıtma sisteminde ısıtma oranını etkileyebilecek birçok faktör vardır. Bunlardan bazıları özısı, parçacık türü, boyutu, konsantrasyonu, şekli ve elektrik alanındaki yönü ve işlem sıcaklığıdır. Gıdaların elektrik iletkenliği, ısıtma hızını etkileyen en önemli parametrelerden biridir [32-34].

Gıda maddelerinin 0.01-10 S/m aralığında elektrik iletkenliğine sahip olması ohmik ısıtma için uygun kabul edilmektedir. Gıda ürünlerinin elektriksel iletkenlikleri genellikle sıcaklığa ve bileşenlerine bağlıdır. Yüksek miktarda tuz veya asit içeren gıdalar artan elektriksel iletkenliğe sahip olurken, yüksek miktarda yağ içeren gıdaların elektriksel iletkenliği düşmektedir. Gıda maddesinin elektriksel iletkenliğinin, iyonik içeriği, nem hareketliliği ve fiziksel yapıyla güçlü bir şekilde ilişkili olduğu belirtilmiştir. Ohmik ısıtma, gıdayla doğrudan temas eden elektrotların varlığı veya kullanılan frekanslar ve dalga formları ile diğer ısıtma yöntemlerinden ayrılır. Genel olarak, gıdalara uygulanan ohmik ısıtma frekansı 50 veya 60 Hz arasındadır [35].

Etin ohmik ısıtılması, oldukça hızlı olduğu için geleneksel ısıtma yöntemleriyle karşılaştırıldığında umut verici bir tekniktir. Ohmik ısıtma, etin protein koagülasyonunu, agregasyonu ve renk tutarlılığını artırmaktadır. Yapılan araştırmalar, ohmik ısıtma uygulanmış fermente et ürününün, hindi etinin ve sığır etinin, geleneksel olarak işlenmiş ürünlere kıyasla çok daha kısa pişirme süreleri, daha yüksek pişirme verimi, daha tutarlı görünüm ve daha iyi pişirme kalitesi sunduğunu göstermektedir [36,37]

Ohmik ısıtma yönteminde gıda için uygulanacak voltaj gradyanı önemli bir parametredir. Ohmik ısıtma için uygun voltaj gradyanının incelendiği bir çalışmada; ohmik ısıtma (20-40-60 V/cm) ve konvensiyonel ısıtma sistemleri, farklı oranlarda yağ içeren sığır etleri (%2-9-15) için araştırılmıştır. Gıda ürününde yağ miktarı arttıkça ohmik pişirme süresinin arttığı gözlemlenmiştir. Bunun nedeni olarak yağın gıdanın elektrik iletkenliğini düşürdüğü belirtilmiştir. Çalışma sonucunda voltaj gradyanının artmasıyla pişirme süresinde düşüş olduğu gözlemlenmiştir. Sığır eti (%2 yağ içeriği) geleneksel olarak 373±3 saniyede pişerken, 40 V/cm voltaj gradyan uygulanan ohmik ısıtmayla 26±2 saniyede pişirildiği belirtilmiştir [38].

Ohmik ısıtma yöntemi gıdanın kalite özelliklerini geleneksel ısıtma yöntemine göre daha iyi korumaktadır. Engchuan vd., 2014 köftelere uygulanan ohmik ısıtma ve geleneksel ısıtma yöntemlerini duysal ve fiziksel açıdan karşılaştırmıştır [39]. Sonuç olarak ohmik ısıtma yöntemiyle köftelerin nem içeriği düşük olurken, daha sıkı ve daha düzgün yapı, renklerinin ise daha parlak olduğu belirtilmiştir. Ohmik ısıtma yöntemiyle homojen bir sıcaklık dağılımı elde edildiği için geleneksel ısıtma yöntemine göre daha kısa pişirme süresi sağladığı gözlemlenmiştir. Zell vd., 2012 jambon örneklerinde ohmik ısıtma (LTLT- 70 °C, 5 dk/ HTST- 95 °C, 6 dk) ve geleneksel ısıtma

(80°C, 120 dk) yöntemlerini pişirme kaybı, renk, doku ve duyu kalite açısından incelemiştir [40]. LTLT uygulamasının diğer uygulamalara kıyasla çok daha düşük pişirme kaybı verdiği belirtilmiştir. Renk analizinde L değeri için en parlak değerler HTST uygulamasında elde edildiği gözlemlenmiştir. HTST uygulamasında geleneksel yöntemle göre daha sert yapı profili olduğu aktarılmıştır. Ohmik ısıtma uygulanan etlerin duyu değerlendirilmesi yeme kalitesi açısından oldukça kabul görürken, renk, lezzet ve duyarlılık bakımından geleneksel etlere göre daha düşük olduğu belirtilmiştir.

Yıldız-Turp, 2016 keten tohumu unu ile zenginleştirilmiş İnegöl köftelerine dört farklı pişirme yöntemi (ızgara, fırın, tava ve ohmik pişirme) uygulamıştır [41]. Yöntemler fizikokimyasal parametreler (pişirme verimi, nem tutma oranı, yağ tutma oranı, renk), yağ asidi kompozisyonu ve duyu özellikler açısından ele alınmıştır. Keten tohumu unu yüksek miktarda  $\alpha$ -linolenik asit içermektedir ve bu yağ asidinin tutulması açısından en iyi pişirme yönteminin ohmik ısıtma olduğu belirtilmiştir. Ohmik pişirme uygulanmış İnegöl köfte örnekleri, geleneksel yöntemlerle pişirilmiş örneklerle kıyasla daha parlak bir yüzey rengine ve daha sert dokuya sahip olduğu aktarılmıştır. En yüksek pişirme verimi ise fırında pişirilen köftelerde olduğu gözlemlenmiştir.

Köftelere ohmik ön pişirmenin uygulandığı bir çalışmada, farklı voltaj gradyanları (15, 20 ve 25 V/cm) ve tutma süreleri (0, 15, 30 saniye) çalışılmıştır. Değişkenler için köftelerin renk, duyu ve toplam mikrobiyal sayımda log azalmaları dikkate alınmıştır. Köftelere uygulanan toplam pişirme süresi 15 V/cm'de daha uzun olduğu için, bu gerilim gradyanında köfte içinde kahverengi renk oluşumunun en yüksek seviyede olduğu gözlemlenmiştir. Aynı zamanda 15 V/cm'de, toplam mikrobiyal sayımlarda daha yüksek indirgeme sağlandığı belirtilmiştir. Optimum ohmik ısıtma için uygun model 15.26 V/cm gerilim gradyan değeri ve tutma süresi 0 saniye olarak bildirilmiştir. Çalışmada uygun şartların sağlanması ile kaliteli ve güvenli yarı pişmiş et ürünlerinin üretilebileceği sonucuna varılmıştır [42]. Yücel-Şengün vd., 2014 ohmik pişirme uygulanmış (15.26 V/cm gerilim gradyanı ve 0 saniye tutma süresi) yarı pişmiş köftelerin duyu fiziksel ve mikrobiyolojik özelliklerini araştırmıştır [43]. Duyu değerlendirme sonucunda, yarı pişmiş köfte örneklerinin genel olarak kabul edildiği belirtilmiştir. Ohmik ısıtma yöntemiyle köftelerde yüksek pişirme verimi, nem tutma ve yağ tutma değerleri elde edildiği gözlemlenmiştir. Ohmik pişirme yönteminin toplam mezofilik aerobik bakteri, küf ve maya sayılarını azalttığı ve *Staphylococcus aureus* ve *Salmonella spp.* tamamen ortadan kaldırdığı belirtilirken, *Listeria monocytogenes*'i etkisiz hale getirmekte yetersiz olduğu belirtilmiştir. Ohmik ısıtma sisteminin ayrıca polisiklik aromatik hidrokarbonlar oluşumu ve mutajenik aktivite bakımından güvenilir olduğu aktarılmıştır.

Ohmik ısıtma sistemi içinde bulunan elektrot plakalarının pişirme işleminden sonra korozyona uğraması, gıda ürününün güvenliğini etkilediği için önemli bir konudur. Wang ve Farid, 2015 farklı paslanmaz elektrot plakaların korozyon üzerine etkisini belirlemek amacıyla seçili parametreler (50 Hz, 10 kHz frekanslar) kullanmıştır [44]. Çalışma sonucunda elektrot plakalarının ve pişmiş köftedeki metal iyonu oranlarının görsel olarak gözlemlenmesi sağlanmıştır. Ohmik pişirme işleminde yüksek frekans kullanımının korozyonu önemli ölçüde azalttığı belirtilmiştir. Yüksek frekansta güç kullanımı pişmiş ette krom ve nikel iyonu oranlarının güvenli sınırlar dahilinde kaldığı belirtilmiştir.

Konvansiyonel çözündürme yöntemlerinde; uzun çözündürme zamanı, sızıntı miktarının yüksek olması nedeniyle beslenme kaybı ve çözündürme sırasında istenmeyen mikrobiyal oluşum gibi bazı dezavantajlar bulunmaktadır. Bu nedenle ohmik ısıtma etin çözündürülmesinde alternatif sunmaktadır. Balpetek ve Gürbüz, 2015 etin çözündürülmesinde kullanılan oda sıcaklığında çözündürme, buzdolabında çözündürme ve ohmik ısıtma ile çözündürme (50 V/ m) gibi farklı yöntemlerin etkilerini incelemiştir [45]. Bu amaçla çözündürme tekniklerinin etin kalitesi ve çözündürme süreleri üzerine etkisi araştırılmıştır. Çalışma sonucunda en hızlı eritmenin ve en az pişirme kaybının, ohmik ısıtma uygulanan örneklerde olduğu belirtilmiştir. İçier vd., 2010 ohmik

ısıtma ile çözündürme ve kontrollü inkübatör ile çözündürme ( $25 \pm 0.7^\circ\text{C}$ , %  $95 \pm 0.5$  RH) yöntemlerini sığır etlerinin yapısal değişiklikleri açısından incelemiştir [46]. Ohmik ısıtma ile çözündürme uygulanmış etlerde daha sert yapı olduğu belirtilirken, geleneksel çözündürme işlemiyle daha esnek etlerin elde edildiği belirtilmiştir. Yapıdaki bu sertlik, ilk sıkıştırma işlemi uygulandığında etin göstermiş olduğu maksimum direnç olarak tanımlanmıştır. Geleneksel çözündürme yöntemiyle sığır eti dokusunda bulunan kollajen fibril ağı kaybı ve dokuda bozulma gözlemlenmiştir. Dokuda meydana gelen denatürasyon bozulmanın nedeni olarak belirtilmiştir.

Etlerin ohmik ısıtılması üzerine yapılmış birçok çalışma olsa da, boşluklar mevcut çalışmaların karşılaştırılabilirliğinin yetersizliğinden kaynaklanmaktadır. Ayrıca işlem parametrelerini kontrol etme maliyeti ve zorlukları ve uygun mevzuat eksikliği bu alanın temel meselesidir. Dolayısıyla, daha fazla araştırma ürün ve işlem parametrelerinin ve sistem tasarımının karşılaştırılabilmesine imkan sağlayacaktır. Sistematik çalışmalar, ohmik ısıtmanın daha ileri bilim tabanlı geliştirilmesi ve süreçlerin karşılaştırılması için temel oluşturmaktadır [47,48].

### 3.2. Mikrodalga Isıtma

Mikrodalga ısıtma teknolojisi, gıdaların işlenmesi için endüstriyel olarak kullanılan ayrıca gıdaları birkaç dakika içinde yeniden ısıtma veya pişirme yeteneği ile insanlar tarafından evlerde kullanılan dielektrik ısıtma yöntemidir. Mikrodalga enerjisi, 300 MHz ile 300 GHz aralığında frekansa sahip iyonize olmamış elektromanyetik ışınımdır. Verimliliği ve maliyeti dengelemek için kullanılan ev mikrodalga frekansı 2,45 GHz, endüstriyel mikrodalga frekansı 915 MHz veya 2,45 GHz'dır [49-50].

Mikrodalga ısıtmada homojen elektromanyetik alan, enerjinin doğrudan gıdanın içerisine girmesini sağlayarak hızlı ve hacimsel ısıtma gerçekleşmesine sebep olmaktadır. Bu nedenle, mikrodalga teknolojisi, dielektrik malzemeleri işlemek için endüstride yaygın şekilde kullanılmaktadır. Gıda işlemede kurutma, çözündürme, sterilizasyon, ısıtma gibi mikrodalga uygulamaları nedeniyle daha fazla enerji tasarrufu, daha az işlem süresi ve işletme maliyeti sağlamaktadır [51,52].

Mikrodalga ısıtma ikili polarizasyon ve iyonik iletken olmak üzere iki mekanizma tarafından gerçekleşmektedir. Dipolar polarizasyon, su gibi polar moleküllerde ısı üretilmesiyle gerçekleşir. Mikrodalga ısıtma, suyun dipolar yapısından dolayı gıdalardaki sudan büyük ölçüde etkilenir. Suya bir elektrik alan uygulandığında dipolar su molekülleri, elektrik alan doğrultusunda yeniden hizalanmaya başlar. Mikrodalganın frekansına bağlı olarak saniyede milyon kez yeniden düzenlenme, su moleküllerinin iç sürtünmesine neden olarak hacimsel olarak gıdaların ısıtılmasına neden olmaktadır. Bu nedenle, mikrodalga ısıtma süt, meyve suyu, et ve kanatlı eti gibi nem içeriği %50' den fazla olan gıdalara uygulanmaktadır [53,54].

Mikrodalga sisteminde elektrik enerjisini mikrodalga enerjisine dönüştüren magnetron bulunmaktadır. Mikrodalgalar temas ettikleri madde ile etkileşime girer. Bu etkileşim 3 şekilde olmaktadır: absorbe edilebilir, yansıtılabilir veya hiçbir değişikliğe uğramadan devam edebilir. Mikrodalgalar gıda maddeleri tarafından absorbe edildiği zaman sürtünme ısıyı açığa çıkar ve gıda maddesi ısınır. Mikrodalga ısıtma etlerde vitamin ve mineral kayıplarını azaltmaktadır. Et içerisinde homojen ısıtma sağladığı için yüzeyin aşırı ısınmasını ve yüzey sertleşmesini önleyerek ürün kalitesini geliştirmektedir. Etin büzülmesini önlenmekte ve renkte, görünümde ve lezzette genel olarak bir iyileşme sağlamaktadır. Aynı zamanda antinutrisyonel faktörleri azaltırken, in vitro proteinlerin sindirilebilirliğini de arttırmaktadır [50, 55-57].

Dominguez vd., 2015 tay etine 4 farklı pişirme yöntemi (kavurma  $200^\circ\text{C}$ - 12 dk; ızgara  $150^\circ\text{C}$ - 5 dk; mikrodalga pişirme 1000 W- 3 dk; zeytinyağı ile kızartma  $180^\circ\text{C}$ - 4 dk) uygulayarak aminoasit ve yağ asidi profili üzerine etkisini araştırmıştır [13]. Çalışma sonucunda aminoasit içeriğinin

ızgara, mikrodalga ve kavurma yöntemlerinde daha çok korunduğu belirtilmiştir. Doymuş yağ asidi miktarında azalma dört pişirme yönteminde de gözlemlenmiştir. Izgara ve kavurma yöntemlerinde çoklu doymamış yağ asidi miktarının mikrodalga yöntemine göre daha fazla olduğu aktarılmıştır.

Yarmand vd., 2013 deve etine uygulanan farklı pişirme tekniklerinin (kavurma 100 °C- 100 dk; kendi suyuyla kısık ateşte pişirme 100 °C- 70 dk; mikrodalga pişirme 2450 MHz- 600 W- 3 dk) karşılaştırıldığı bir çalışmada pişirme kaybı ve kasın mekanik özellikleri incelenmiştir [58]. Pişirme kaybının mikrodalga ile pişirilen deve etlerinde, geleneksel yöntemlerden daha fazla olduğu belirtilmiştir. Mikrodalga yöntemi ile pişirme kaybının yüksek olması; proteinlere kısa zamanda uygulanan yüksek sıcaklık nedeniyle, tekstür parçalanması ve protein denatürasyonu gerçekleşerek kas yapısından ayrılan su ve yağ oranının artmasına bağlanmıştır. Kasın mekanik özellikleri pişirme sırasında miyofibriler yapısında ve bağ dokusunda meydana gelen değişimlerden etkilenmektedir. Geleneksel yöntemlerde uzun süre yüksek sıcaklığa maruz kalan etlerin kas lif demetlerinin zarar gördüğü gözlemlenmiştir. Mikrodalga yönteminde süre sınırlı olduğu için kasın bağ dokusu korunmuştur. Bağ dokunun korunması nedeniyle mikrodalga ile pişirilen etlerin, geleneksel yöntemler ile pişirilen etlere göre daha sert olduğu belirtilmiştir.

Poltorak vd., 2015 farklı yoğunluklarda mikrodalga ısıtma ile kavurma yönetimini kombine ederek yeni bir ısıtma yöntemi (mikrodalga ısıtma yoğunlukları %30- %100) geliştirmiştir [59]. Geliştirilen bu yöntem sığır etinin pişirme verimi, tekstür ve renk özellikleri açısından kavurma yöntemi ile karşılaştırılmıştır. Kombine sistem ile etin pişirme süresinin geleneksel yöntemlere göre daha kısa olduğu gözlemlenmiştir. Yüksek yoğunluklu kombine sistem kullanımı etin kesme kuvveti ve sıkıştırma kuvvetinde yüksek değerlere neden olduğu için kalitesini olumsuz etkilemiştir. Düşük yoğunluklu kombine sistemde kavurma yöntemine göre daha yüksek a\* değeri olduğu belirtilmiştir. Yüksek yoğunluklu kombine sistemin pişirme süresini kısaltırken, pişirme kaybını ve etin kalitesini olumsuz yönde etkilediği aktarılmıştır. Düşük yoğunluklu kombine sisteminin pişirme süresini ve enerji tüketimini azaltılması nedeniyle başarılı bir şekilde kullanılabilirliği belirtilmiştir.

Jouquand vd., 2015 sığır etine uygulanan farklı güçlerde mikrodalga ısıtma ile geleneksel ısıtma yöntemini pişirme süresi, tekstür ve mikrobiyolojik analizler açısından karşılaştırmıştır [60]. Mikrodalga ısıtma ile pişirme süresinin geleneksel ısıtma yöntemine göre %56 oranında azaldığı gözlemlenmiştir. Mikrodalga sisteminde düşük güç kullanımının gevrekliği olumlu olarak etkilediği, yüksek güç kullanımının ise gevrekliği olumsuz etkilediği belirtilmiştir. Sığır etine eklenen *E. faecalis* için mikrodalga ısıtmanın etkisi incelendiğinde 12 log indirgeme sağlandığı belirtilmiştir.

Peiretti vd., 2012 mikrodalga ısıtma ve ızgara yöntemini kombine ederek kızartma (200°C- 10 dk/ 140°C- 10 dk), mikrodalga ısıtma (750 W- 10 dk) ve haşlama (100°C- 10 dk) yöntemleriyle kıyaslamıştır [61]. Sığır etinde bulunan karnozin ve anserin içeriklerinin TBARS içerikleri üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Karnozinin suda çözünmesiyle en düşük değer (%50 kayıp) haşlama yönteminde olduğu, mikrodalga-ızgara kombine sisteminde ise en çok korunduğu (%10 kayıp) belirtilmiştir. Anserin içeriği ise en düşük %70'lik kayıpla haşlama yönteminde olduğu aktarılmıştır. Pişmiş sığır etinin, taze ete göre daha yüksek TBARS değeri gösterdiği aktarılmıştır. En yüksek TBARS değerinin yüksek sıcaklıkta kızartma, mikrodalga ısıtma ve haşlama yönteminde olduğu belirtilmiştir. Kombine sistemde karnozin miktarının en fazla olması nedeniyle TBARS değerinin diğer yöntemlere göre daha düşük olduğu belirtilmiştir.

Chang vd., 2011 haşlama (95°C) ve mikrodalga ısıtma (2450MHz- 250W) uygulayarak, sığır etinin bağ dokusunu ve kollajen yapısını incelemiştir. Çalışmada 40, 50, 60, 70, 80 ve 90 °C' lik son nokta sıcaklıkları uygulanmıştır [62]. Mikrodalga ısıtma ile kollajen içeriğinin, 90°C dışında her sıcaklıkta haşlama yöntemine göre daha yüksek olduğu belirtilmiştir. Çalışmada sıcaklık artışıyla kollajen değerinin artması, pişirme kaybındaki artışa ve ısıtma sırasında kollajenin jelatine dönüşmesine

bağlanmışır. Mikrodalga ısıtma uygulanan etin bağ dokusunun 60, 70, 80 ve 90 °C'de haşlama yöntemine göre daha yüksek olduğu belirtilmiştir.

### 3.3 Radyo Frekans Isıtma

Radyo frekans enerjisi, özellikle gıda endüstrisinde ısıtma alanında geniş uygulamaya sahiptir. Basitçe gıdaların radyo frekans ısınması, gıdanın hacimsel olarak sahip olduğu ısının doğrudan elektrik enerjisine dönüşmesiyle açıklanmaktadır. Bu elektrik enerjisi, bir kapasitörün plakaları arasında oluşan yüksek frekanslı elektrik alan tarafından sağlanmaktadır. Gıdalar ise kapasitör plakaları arasında yer alan dielektrik malzeme gibi davranır. Mikrodalga ısıtmadan farklı olarak RF teknolojisinde, enerji depolayan bir kapasitör bulunmaktadır. Bu kapasitörde bulunan dielektrik malzeme gıdadır ve elektrik enerjisini ısıya çevirir [56,63,64].

Radyo frekans (RF) teknolojisinde 3 kHz ila 300 MHz frekans aralığındaki elektromanyetik dalgaları kullanılmaktadır. Elektromanyetik spektrumun radyo frekans (RF) bölgesi içinde gıdaların ısıtılması için izin verilen frekanslar vardır. RF ısıtma için bu frekans 27,12 MHz olarak belirlenmiştir. Radyo frekans (RF) ısıtma, hacimsel ısıtma sağlayarak işlem maliyetini ve süresini azaltarak yüksek verimlilik sağlamaktadır. Ayrıca çevreye zarar vermemesi nedeniyle de geleneksel yöntemlere göre birçok avantajı vardır. Radyo frekans ısıtma ile gıdalarda su kaybının azaldığı, kabul edilebilir renk ve dokunun sağlandığı ve raf ömrünün uzadığı belirtilmiştir. Ayrıca mikrobiyal kontaminasyon düzeyinin düşmesini sağlayarak gıda güvenliğinin artmasına sebep olmaktadır [65-66-67-68]. Bununla birlikte orta ve yüksek nemli gıdaların RF işlemi sırasında karşımıza çıkan önemli bir sorun, düzgün olmayan ısıtmadır. Bu sorun, gıdaların kenarlarında ve köşelerinde aşırı ısınma ile gerçekleşen kalite kaybına ve ürün hasarına neden olmaktadır. Bu düzensiz ısıtma, gıdaların dielektrik özellikleri ve çevre ortamı arasındaki farktan kaynaklanmaktadır. Radyo frekans ısıtma teknolojisi için bu sorunu ortadan kaldırmak amacıyla çeşitli yöntemler aranmaktadır. Su içeriği yüksek gıdalar için, araştırmacılar hareketli veya dönen bir yöntemle ısıtmayı geliştirmiştir. Orta/ düşük nemli gıdalar için; araştırmacılar sıcak hava yardımı, aralıklı karıştırma, elektrot değişimi ve plastik levhalar geliştirmiştir [65,69].

Rincon vd., 2015 radyo frekans ısıtma (27.12 MHz, 6kW) uygulanan farklı kalınlıklarda (1.2- 1.9- 2.5 cm) sığır eti bifteklerinin fizikokimyasal özelliklerini incelemiştir [70]. Bifteklerin pişirilmesinde farklı son nokta sıcaklıkları (55, 65, 75°C) belirlenmiştir. Çalışma sonucunda 55°C'de ısıtma hızının, 65°C ve 75°C'deki ısıtma oranından önemli derece yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Bu durum 55°C'ye ulaşan bifteklerde suyun dokuda tutulmasına bağlanmışır. Sıcaklık arttıkça 65°C ve 75°C ulaşan bifteklerde suyun dokudan uzaklaştığı gözlemlenmiştir. Pişirme süresi açısından, 1.2 cm kalınlıkta biftekler için 1.9 ve 2.5 cm kalınlıkta etlere göre daha fazla pişirme süresinin gözlemlendiği belirtilmiştir. Bunun nedeni RF enerjisinin 1.2 cm et ile birleşmesinin optimal olmadığına ve enerjinin bir kısmının kaybolduğuna bağlanmışır. Pişirme kaybının 2.5 cm bifteklerde, 1.2 cm ve 1.9 cm bifteklerle kıyasla daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Çalışmada 1.9 cm kalınlığa sahip olan biftekler için olumlu sonuçların elde edildiği belirtilmiştir.

Schlisselberg vd., 2013 köftelere uyguladığı radyo frekans ısıtma (7.5 dk) ve kombine ısıtma (radyo frekans+ konvensiyonel, 5.5 dk) sistemini, pişirme süresi ve mikrobiyal yük açısından konvensiyonel ısıtma (220°C, 40 dk) sistemi ile karşılaştırmıştır [68]. Köftelerin konvensiyonel pişirilmesi *E. coli* sayısını 5.5 log azalttığı, RF ısıtmanın *E. coli* oluşumunu, kombine ısıtma sisteminin *Salmonella* sayısını tespit edilemeyen seviyelere indirdiği belirtilmiştir. RF ısıtma ile *L. monocytogenes* sayısı 0.4 log azaldığı, konvensiyonel ısıtma yöntemiyle tespit edilemeyen seviyelere düştüğü belirlenmiştir. Kombine ısıtma yöntemiyle pişirme süresinin geleneksel yöntemle göre %86 oranında azaldığı aktarılmıştır.



Uyar vd., 2014 et küpleri için uygun radyo frekans ısıtma sistemini çeşitli parametreler açısından değerlendirmiştir [71]. Bu amaçla 2 grup oluşturulmuştur; 1. grupta elektrotlar arası mesafe 78.56 mm, 2. grupta gıda yüzeyi ve elektrot arası mesafe 2.5 mm tutularak her iki grup içinde gıda boyutunun etkisi araştırılmıştır. Çalışmada 1. grup için etin sahip olduğu hacmin küçülmesiyle hava boşluğunun arttığı gözlemlenmiştir. Bu durum elektrik alanın et tarafından absorbe edilmeden doğrudan geçmesine ve ısıtma hızının yavaş olmasına neden olmuştur. 2. grupta en küçük hacim için ısıtma hızının arttığı gözlemlenmiştir. Bu durum ise hava boşluğunun kısa olması nedeniyle et tarafından absorbe edilen elektrik alanının artarak ısıtma hızının arttığına bağlanmıştır. Sonuç olarak etin hacminin oldukça önemli olduğuna ve elektrotlar arasındaki mesafeyi değiştirerek et için optimum radyo frekans sisteminin oluşturulabileceğine varılmıştır. Nagaraj vd., 2015 farklı yağ içeriğine (%10- 15- 20- 27) sahip köftelere radyo frekans ısıtma (27.12 MHz- 60°C) uygulayarak ısıtma hızını incelemiştir [72]. Köftelere RF ısıtma öncesinde farklı sıcaklıklarda (10- 25- 50°C) suda ön pişirme uygulanmıştır. Çalışma sonucunda ön pişirme sıcaklıklarının arttıkça radyo frekans ısıtma süresinin kısalacağı belirtilmiştir. Yağ oranları açısından %10 oranına sahip köfteler daha kısa sürede (10.12 dk 10°C, 7.03 dk 25°C, 4.08 dk 50°C) 60°C'ye ulaştığı gözlemlenmiştir. %27 yağ oranına sahip köftelerin ise en uzun sürede (18.87 dk 10°C, 17.26 dk 25°C, 13.86 dk 50°C) ulaştığı belirlenmiştir. Yüksek yağ içerikli köftelerin daha düşük dielektrik özelliklere sahip olduğu aktarılmıştır.

Rincon ve Singh, 2016 sığır eti bifteklerine farklı son sıcaklıkta (60- 63- 65°C) radyo frekans uygulayarak Şiga toksini üreten *E. coli* türleri (*O157:H7- O26:H11- O111*) ve patojen olmayan *E. coli* üzerine etkisini incelemiştir [73]. Her iki *E. coli* grubu için 5 log azalma en iyi sonuç olarak 65°C'de gerçekleştiği bildirilmiştir. *E. coli* türleri için 60°C'de 2 log ve 5 log arasında azalma elde edildiği belirtilmiştir. 63°C'de pişirmenin *E. coli O157:H7* ve *E.coli O111* için etkili olurken, *E.coli O26:H11* için etkili olmadığı aktarılmıştır. Zhang vd., 2007 farklı oranlarda su (%21- 29), yağ (%12.4- 29.7) ve tuz (%0.4- 2.4) içeren et hamurunun (meat batter) dielektrik özelliklerini ve ısıtma hızını radyo frekans ısıtma ve mikrodalga ısıtma için değerlendirmiştir [66]. Eklenen tuz oranının artmasıyla dielektrik özelliklerin olumlu etkilenerek ısıtma hızını artırdığı belirtilmiştir. Yağ oranının artmasıyla et hamurunun dielektrik özelliklerinin önemli ölçüde azaldığı gözlemlenmiştir. Su oranının et hamurunun dielektrik özellikleri üzerine etkisi çalışmada tanımlanamamıştır. Bu durum yağsız etin sahip olduğu yüksek nem içeriği ile eklenen su arasındaki etkileşime bağlanmıştır.

Laycock vd., 2003 radyo frekans ısıtma ve haşlama yöntemini 3 çeşit et ürününün (kıyma, %2 oranında tuz içeren kıyma ve et) pişirme süresi, fiziksel ve kimyasal özellikleri açısından karşılaştırmıştır [74]. Et ürünlerinin pişirme süreleri sırasıyla: buharda pişirme, 151- 130- 109 dakika radyo frekans ısıtma, 5.83- 13.5- 13.25 dakika olarak elde edilmiştir. Radyo frekans ısıtma ile pişirme süresinin önemli ölçüde kısalacağı belirtilmiştir. Radyo frekans uygulanmış et ürünlerinde haşlama yöntemine göre su kaybının azaldığı gözlemlenmiştir. RF ile pişirilen kıymanın, haşlama yöntemine göre daha yüksek esnekliğe sahip olduğu belirtilmiştir. Sertlik, esneklik gibi tekstür özellikleri açısından radyo frekans ısıtma ile et ürünlerinde daha olumlu sonuçlar elde edildiği bildirilmiştir.

### 3.4 İnfrared Isıtma

İnfrared (kızılötesi) ısıtma veya diğer bir deyişle ısı radyasyonu gıdaların dışarıdan üretilen ve gıda yüzeyleri tarafından absorbe edilen ışın enerjisiyle ısıtılmasıdır. Radyasyonun derecesi, yayılan enerji ve absorbe edilen dalga boyu gıda bileşeni tarafından tespit edilmektedir. Uygulanan radyasyonun bir kısmı gıda tarafından absorbe edilirken, diğer kısmı ise yansımaya uğramaktadır. İnfrared ısıtmada, gıda işleme tekniği olarak kullanılabilir elektromanyetik spektrum 0.5- 100 µm dalga boyu arasında değişmektedir. İnfrared pişirme koşulları 3 farklı şekilde, farklı dalga boyunda uygulanmaktadır: yakın (0.5- 1.4 µm), orta (1.4- 3.0 µm), uzak (>3.0 µm) dalga boyu olarak belirlenmiştir. Yakın dalga boyları 1000°C'nin üzerindeki sıcaklıklarda, uzak dalga boyları

400°C'nin altındaki sıcaklıklarda ve orta dalga boyları bu iki sıcaklık değeri arasında ortaya çıkmaktadır [75-77].

Kızılötesi (IR) ışınım elektromanyetik dalga şeklinde olan enerjidir. Bu enerji, gazla çalışan ve elektrikle ısıtılan emitörler tarafından üretilmektedir. İnfrared ısıtma gıdaların pişirilmesinde temassız ısıtma sağlamaktadır. İnfrared ısıtmanın en önemli avantajı, yüksek ısı transfer katsayısıdır. İnfrared ısıtma sistemi ile gıdaların yüzeyi hızlı bir şekilde ısınmakta ve daha sonra ısı, gıdaların içine aktarılmaktadır. Böylelikle infrared ısıtma gıda ürünlerinin yüzeyinde oluşabilecek mikroorganizmaları inhibe etmek için elverişlidir. Ayrıca gıdalarda minimum bozulma, hızlı ısıtma, yüksek enerji verimliliği ve düşük ısıtma maliyeti gibi birçok avantaj sağlamaktadır. Bu özelliklerinden dolayı infrared ısıtma teknolojisinin, gıda endüstrisinde ısıtma ve kurutma alanlarında kullanımı önerilmektedir [78,79].

Kendirci vd., 2014 ohmik ön pişirme (92 sa- 15,26 V) uygulanan sığır eti köftesine son pişirme olarak infrared ısıtma uygulamıştır [79]. İnfrared ısıtma sisteminde farklı ısı akısı (3.7, 5.7 ve 8.5 kW/m<sup>2</sup>), farklı uygulama mesafeleri (10.5, 13.5 ve 16.5 cm) ve farklı uygulama süreleri (4, 8 ve 12 dk) belirlenmiştir. İnfrared ısıtmanın köftelerde polisiklik aromatik hidrokarbon (PAH) oluşumu üzerine etkisi incelenmiştir. Et ve et ürünlerinde PAH değerinin 1-77 ppm arasında olması gerektiği bilinmektedir. Çalışma sonucunda köftelerde toplam PAH içeriği 4.47 ila 64 ppm arasında bulunduğu belirtilmiştir. Köftelerde oluşan minimum toplam PAH değeri 8.475 kW/m<sup>2</sup> ve uygulama mesafeleri 13.5 ve 16.5 cm infrared sisteminde gözlemlenmiştir. İnfrared ısıtma sisteminde kullanılan ısı akısının artmasıyla toplam PAH oluşumunun düştüğü, yüksek ısı akısının ise köftede daha yüksek sıcaklığa sebep olduğu belirtilmiştir. Sonuç olarak infrared ısıtma ile takip edilen ohmik ön pişirmenin, köftelerin PAH kontaminasyonu açısından güvenli pişirme tekniği olduğu belirtilmiştir. Yücel-Şengün vd., 2015 ohmik ısıtma ve infrared ısıtma sistemlerini kombine ederek sığır eti köftesinin mikrobiyolojik özelliklerini incelemiştir [80]. Bu çalışmada Kendirci vd, 2014'ün infrared ısıtma için belirlemiş olduğu farklı parametreler kullanılmıştır. Uygulanan infrared ısıtma ile köftelerin toplam mezofilik aerobik bakteri sayısında 1.96 ve 4.50 arasında değişen logaritmik azalma sağlandığı belirtilmiştir. Çalışma sonucunda köftelerde küf ve maya, *Staphylococcus aureus*, *Clostridium perfringens*, *Salmonella spp.*, *Listeria monocytogenes* ve *Escherichia coli* tespit edilmediği gözlemlenmiştir. Yıldız-Turp vd., 2016 ohmik ön pişirme uygulanmış sığır eti köftesine son aşamada infrared ısıtma uygulayarak renk, doku ve pişirme özellikleri açısından incelemiştir [81]. Bu çalışmada Kendirci vd, 2014'ün infrared ısıtma için belirlemiş olduğu farklı parametreler kullanılmıştır. Yüksek ısı akısı (8.475 kW/m<sup>2</sup>) uygulanan köftelerde pişirme veriminin, diğer ısı akılarına göre daha düşük olduğu gözlemlenmiştir. İnfrared ısıtmada pişirme süresinin uzamasıyla düşük pişirme verimi elde edildiği belirtilmiştir. Ayrıca yüksek ısı akısı sıcaklığın artmasına neden olarak, köfteleri protein denatürasyonuna ve yapısal değişikliğe uğrattığı belirtilmiştir. Köfteler için uygun olan renk, en az uygulama mesafesi (10.5 cm) ve en uzun uygulama süresine (12 dakika) sahip olan infrared ısıtma sisteminde sağlandığı belirlenmiştir.

## 5. Sonuçlar

Gıdaların genel kalitesine ve besinsel değerine daha az etki edecek yeni gıda işleme yöntemlerinin tüketiciler tarafından talep edilmesiyle yeni ve alternatif ısıtma yöntemleri önem kazanmaktadır. Yeni alternatif yöntemler tek başlarına veya diğer ısıtma yöntemleri ile beraber kullanılarak duyuusal ve besin içeriği açısından kaliteli ürün elde edilmesinde başarıyla kullanılacak teknikler olarak görülmektedir. Mevcut çalışmalar göz önünde bulundurulduğunda alternatif ısıtma tekniklerinde geleneksel pişirme yöntemlerine kıyasla daha kısa sürede ette homojen sıcaklık elde edilmekte, etin protein yapısı daha iyi korumakta ve pişirme kaybı daha az olmaktadır. Fakat her analiz için her ısıtma tekniğinin aynı sonucu verdiği söylenemez. Örneğin mikrodalga ısıtmada pişirme kaybının ve fiziksel özelliklerin olumsuz etkilendiği belirtilmiştir. Alternatif ısıtma tekniklerinde uygulanan

elektrik alanının, oluşan elektrik akımının ve uygulanan elektrik frekansının farklı mikroorganizmalara ve gıdalara etkileri üzerine incelenecek daha fazla çalışmaya ihtiyaç vardır. Aynı zamanda ısıtma tekniklerinin optimum parametreleri et ürünü açısından sağlayabilmesi için daha fazla araştırma yapılmalıdır.

## Kaynaklar

- [1] Aymerich, T., Picouet, P.A., Monfort, J.M., “Decontamination technologies for meat products”, *Meat Science*, 2008, 78:114–129s.
- [2] Shah, M.A., Don Bosco, S.J., Mir, S.A. “Plant extracts as natural antioxidants in meat and meat products”, *Meat Science*, 2014, 98:21–33.
- [3] Demirdöven, A., Baysal, T., “Meyve ve Sebze İşleme Sanayinde Yeni Uygulamalar”, Türkiye 10. Gıda Kongresi, Erzurum, 207-210, (2008).
- [4] Do, T-T-H., Schnitzer, H., Le, T-H., “A decision support framework considering sustainability for the selection of thermal food processes”, *Journal of Cleaner Production*, 2014, 78:112-120.
- [5] Zell, M., Lyng, G.J., Cronin, A.D., Morgan, J.D., “Ohmic cooking of whole beef muscle- Optimisation of meat preparation”, *Meat Science*, 2009, 81:693–698s.
- [6] İçier, F., “Ohmic Heating of Fluid Foods”, *Novel Thermal and Non-Thermal Technologies for Fluid Foods*, Academic Press, USA, (2012).
- [7] Yıldız-Turp, G., Yücel-Şengün, I., Kendirci, P., İçier, F., “Effect of ohmic treatment on quality characteristic of meat: A review”, *Meat Science*, 2013, 93:441–448.
- [8] Pereira, R.N., Vicente, A.A., “Environmental impact of novel thermal and non-thermal Technologies in food processing”, *Food Research International*, 2010, 43:1936–1943.
- [9] Wang, L., “Energy efficiency technologies for sustainable food processing”, *Energy Efficiency*, 2014, 7:791-810.
- [10] Knirsch, M.C., Santos, C.A., Vicente, A.A.M.O.S., Penna, T.C.V., “Ohmic heating -a review”, *Trends in Food Science & Technology*, 2010, 21:436-441.
- [11] Fellows P.J., “Introduction”, *Food Processing Technology Principles and Practice*, CRC Press, New York, (2009).
- [12] Misra, N.N., Koubaa, M., Roohinejad, S., Juliano, P., Alpas, H., Inácio, R.S., Saraiva, J.A., Barba, F.J., “Landmarks in the historical development of twenty first century food processing Technologies”, *Food Research International*, 2017, 97:318–339.
- [13] Domínguez, R., Borrajo, P., Lorenzo, J.M., “The effect of cooking methods on nutritional value of foal meat”, *Meat Science*, 2015, 43:61-67.
- [14] Pathare, P.B., Roskilly, A.P., “Quality and Energy Evaluation in Meat Cooking”, *Food Eng Rev*, 2016, 8:435–447.
- [15] Lorenzo, J.M., Cittadini, A., Munekata, P.E., Domínguez, R., “Physicochemical properties of foal meat as affected by cooking methods”, *Meat Science*, 2015, 108:50–54.
- [16] Türk Gıda Kodeksi, (2012) Türk Gıda Kodeksi Et Ve Et Ürünleri Tebliği, Tebliğ No: 2012/74 <http://www.mevzuat.gov.tr/Metin.Aspx?MevzuatKod=9.5.16821&MevzuatIliski=0&sourceXmlSearch=et> Son Erişim Tarihi: 26.02.2018
- [17] Bakalis, S., Cox, P.W., Fryer, P.J., “Modelling particular thermal Technologies”, *Thermal technologies in food processing*, CRC Press, New York, (2001).
- [18] Sanguansri, P., “Traditional Thermal Processing”, *Reference Module in Food Sciences*, 1-3. (2016).
- [19] Lopes, A.F., Alfaia, C.M.M., Partidário, A.M.C.P.C., Lemos, J.P.C., Prates, J.A.M., “Influence of household cooking methods on amino acids and minerals of Barrosã-PDO veal”, *Meat Science*, 2015, 99:38–43.
- [20] Lee, S.H., Choi, W., Jun, S., “Conventional and Emerging Combination Technologies for Food Processing”, *Food Eng Rev*, 2016, 8:414–434.

- [21] Ling, B., Tang, J., Kong, F., Mitcham E.J., Wang, S., “Kinetics of Food Quality Changes During Thermal Processing: a Review”, *Food Bioprocess Technol*, 2015, 8:343–358.
- [22] Soladoye, O.P., Shand, P., Dugan, M.E.R., Gariépy, C., Aalhus, J.L., Estévez, M., Juárez, M., “Influence of cooking methods and storage time on lipid and protein oxidation and heterocyclic aromatic amines production in bacon”, *Food Research International*, 2017, 99:660-669.
- [23] Calabrò, E., Magazù, S., “Non-Thermal Effects of Microwave Oven Heating on Ground Beef Meat Studied in the Mid- Infrared Region by Fourier Transform Infrared Spectroscopy”, *An International Journal for Rapid Communication*, 2015, 649-656.
- [24] Scussat, S., Vaultot, C., Ott, F., Cayot, P., Delmotte, L., Loupiac, C., “The impact of cooking on meat microstructure studied by low field NMR and Neutron Tomography”, *Food Structure*, 2017, 14:36-45.
- [25] Kondjoyan, A., Kohler, A., Realini, C.E., Portanguen, S., Kowalski, R., Clerjon, S., Gatellier, P., Chevolleau, S., Bonny, J-M., Debrauwer, L., “Towards models for the prediction of beef meat quality during cooking”, *Meat Science*, 2014, 97:323–331.
- [26] Domínguez, R., Gómez, M., Fonseca, S., Lorenzo, J.M., “Effect of different cooking methods on lipid oxidation and formation of volatile compounds in foal meat”, *Meat Science*, 2014, 97:223–230.
- [27] Candan, T., Aytunga Bağdatlı, A., “Use of natural antioxidants in poultry meat”, *CBÜ Fen Bil. Dergi.*, 2017, 13 (2):279-291.
- [28] Kılıç, B., Şimşek, A., Claus, J.R., Atılgan, E., “Melting release point of encapsulated phosphates and heating rate effects on control of lipid oxidation in cooked ground meat”, *LWT - Food Science and Technology*, 2016, 66:398-405.
- [29] Öz, F., Kızıl, M., Zaman, A., Turhan, S., “The effects of direct addition of low and medium molecular weight chitosan on the formation of heterocyclic aromatic amines in beef chop”, *LWT- Food Science and Technology*, 2016, 65:861-867.
- [30] Szterk, A., “Heterocyclic aromatic amines in grilled beef: The influence of free amino acids, nitrogenous bases, nucleosides, protein and glucose on HAA content”, *Journal of Food Composition and Analysis*, 2015, 40:39-46.
- [31] Jiménez-Sánchez, C., Lozano-Sánchez, J., Segura-Carretero, A., Fernández-Gutiérrez, A., “Alternatives to conventional thermal treatments in fruit-juice processing. Part 1: Techniques and applications”, *Critical Reviews In Food Science And Nutrition*, 2017, 57 (3):501-523.
- [32] Cokgezme, O.F., Sabanci, S., Cevik, M., Yildiz, H., Icier, F., “Performance analyses for evaporation of pomegranate juice in ohmic heating assisted vacuum system”, *Journal of Food Engineering*, 2017, 207:1-9.
- [33] Sarang, S., Sastry, S.K., ve Knipe, L., “Electrical conductivity of fruits and meats during ohmic heating”, *Journal of Food Engineering*, 2008, 87:351–356s.
- [34] Zhu, S.M., Zareifard, M.R., Chen, C.R., Marcotte, M., Grabowski, S., “Electrical conductivity of particle–fluid mixtures in ohmic heating: Measurement and simulation”, *Food Research International*, 2010, 43:1666–1672.
- [35] Sarkis, J.R., Mercali, G.D., Tessaro, I.C., Marczak, L.D.F., “Evaluation of key parameters during construction and operation of an ohmic heating apparatus” *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 2013, 18:145–154.
- [36] Sman, R.G.M., “Model for electrical conductivity of muscle meat during Ohmic heating”, *Journal of Food Engineering*, 2017, 208:37-47.
- [37] Dai, Y., Miao, J., Yuan, S-Z., Liu, Y., Li, X-M., Dai, R-T., “Colour and sarcoplasmic protein evaluation of pork following water bath and ohmic cooking”, *Meat Science*, 2013 93:898-905.
- [38] Bozkurt, H., İçier, F., “Ohmic cooking of ground beef: Effects on quality”, *Journal of Food Engineering*, 2010, 96:481–490.

- [39] Engchuan, W., Jittanit, W., Garnjanagoonchorn, W., “The ohmic heating of meat ball: Modeling and quality determination”, *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 2014, 23:121–130.
- [40] Zell, M., Lyng, J.G., Morgan, D.J., Cronin, D.A., “Quality evaluation of an ohmically cooked ham product”, *Food Bioprocess Technol*, 2012, 5:265–272.
- [41] Yildiz-Turp, G., “Effects of four different cooking methods on some quality characteristics of low fat Inegol meatball enriched with flaxseed flour”, *Meat Science*, 2016, 121:40-46.
- [42] İçier, F., Yücel-Şengün, İ., Yildiz-Turp, G., Arserim, E.H., “Effects of process variables on some quality properties of meatballs semi-cooked in a continuous type ohmic cooking system”, *Meat Science*, 2014, 96:1345–1354.
- [43] Yücel-Şengün, İ., Yildiz-Turp, G., İçier, F., Kendirci, P., Kor, G., “Effects of ohmic heating for pre-cooking of meatballs on some quality and safety attributes”, *LWT- Food Science and Technology*, 2014, 55:232-239.
- [44] Wang, R., Farid, M.M., “Corrosion and health aspects in ohmic cooking of beef meat patties”, *Journal of Food Engineering*, 2015, 146:17–22.
- [45] Balpetek, D., Gürbüz, Ü., “Application of Ohmic Heating System in Meat Thawing”, *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 2015, 195:2822–2828.
- [46] İçier, F., Turgay-Izzetoglu, G., Bozkurt, H., ve Ober, A., “Effects of ohmic thawing on histological and textural properties of beef cuts”, *Journal of Food Engineering*, 2010, 99:360–365.
- [47] Kaur, N., Singh, A.K., “Ohmic Heating: Concept and Applications-A Review”, *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 2016, 2338-2351.
- [48] Jaeger, H., Roth, A., Toepfl, S., Holzhauser, T., Engel, K-H., Knorr, D., Vogel, R.F., Bandick, N., Kulling, S., Heinz, V., Steinberg, P., “Opinion on the use of ohmic heating for the treatment of foods”, *Trends in Food Science & Technology*, 2016, 55:84-97.
- [49] Bozkır, H., Baysal, T., Ergün, A.R., “Gıda Endüstrisinde Uygulanan Yeni Çözündürme Teknikleri”, *Akademik Gıda*, 2014, 12 (3):38-44.
- [50] Guo, Q., Sun, D-W., Cheng, J-H., Han, Z., “Microwave processing techniques and their recent applications in the food industry”, *Trends in Food Science & Technology*, 2017, 67:236-247.
- [51] Santos, T., Valente, M.A., Monteiro, J., Sousa, J., Costa, L.C., “Electromagnetic and thermal history during microwave heating”, *Applied Thermal Engineering*, 2011, 31:3255-3261.
- [52] Ekezie, F-G.C., Sun, D-W., Han, Z., Cheng, J-H., “Microwave-assisted food processing technologies for enhancing product quality and process efficiency: A review of recent developments”, *Trends in Food Science & Technology*, 2017, 67:58-69.
- [53] Anwar, J., Shafique, U., Waheed-uz-Zaman, Rehman, R., Salman, M., Dar, A., Anzano, J.M., Ashraf, U., Ashraf, S., “Microwave chemistry: Effect of ions on dielectric heating in microwave ovens”, *Arabian Journal of Chemistry*, 2015, 8:100-104.
- [54] Song, W-J., Kang, D-H., “Influence of water activity on inactivation of *Escherichia coli* O157:H7, *Salmonella Typhimurium* and *Listeria monocytogenes* in peanut butter by microwave heating”, *Food Microbiology*, 2016, 60:104-111.
- [55] Barbosa-Cánovas, G.V., Ilce Medina-Meza, İ., Candoğan, K., Bermúdez-Aguirre, D., “Advanced retorting, microwave assisted thermal sterilization (MATS), and pressure assisted thermal sterilization (PATS) to process meat products”, *Meat Science*, 2014, 98:420–434.
- [56] İbicek, T., “Alternatif Pişirme Yöntemlerinin Araştırılması ve Yeni Hibrid Yöntem Oluşturulması”, (Yüksek Lisans Tezi), İstanbul Üniversitesi ve Fen Bilimleri Enstitüsü, (2006).
- [57] Konak, Ü.İ., Certel, M., Helhel, S., “Gıda Sanayisinde Mikrodalga Uygulamaları”, *Gıda Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 2009, 4 (3):20-31.
- [58] Yarmand, M.S., Homayouni, A., Nikmaram, P., Djomeh, Z.E., “Microstructural and mechanical properties of camel longissimus dorsi muscle during roasting, braising and microwave heating”, *Meat Science*, 2013, 95:419–424.

- [59] Półtorak, A., Wyrwisz, J., Moczowska, M., Marcinkowska-Lesiak, M., Stelmasiak, A., Rafalska, U., Wierzbicka, A., Sun, D-W., “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*, 2015, 50:958–965.
- [60] Jouquand, C., Tessier, F.J., Bernard, J., Marier, D., Woodward, K., Jacolot, P., Gadonna-Widehem, P., Laguerre, J-C., “Optimization of microwave cooking of beef burgundy in terms of nutritional and organoleptic properties”, *LWT- Food Science and Technology*, 2015, 60:271-276.
- [61] Peiretti, P.G., Medana, C., Visentin, S., Dal-Bello, F., Meineri, G., “Effect of cooking method on carnosine and its homologues, pentosidine and thiobarbituric acid-reactive substance contents in beef and turkey meat”, *Food Chemistry*, 2012, 132:80–85.
- [62] Chang, H.J., Xu, X.L., Li, C.B., Huang, M., Liu, D.Y., Zhou, G.H., “A Comparison of Heat-Induced Changes of Intramuscular Connective Tissue and Collagen of Beef Semitendinosus Muscle During Water Bath And Microwave Heating”, *Journal of Food Process Engineering*, 2011, 34:2233–2250.
- [63] Rowley, A.T., EA Technology Ltd., Chester., “Radio frequency heating” *Thermal technologies in food processing*, CRC Press, New York, (2001).
- [64] Ferrari-John, R.S., Katrib, J., Palade, P., Batchelor, A.R., Dodds, C., Kingman, S.W., “A Tool for Predicting Heating Uniformity in Industrial Radio Frequency Processing”, *Food Bioprocess Technol*, 2016, 9:1865–1873.
- [65] Jiao, Y., Shi, H., Tang, J., Li, F., Wang, S., “Improvement of radio frequency (RF) heating uniformity on low moisture foods with Polyetherimide (PEI) blocks”, *Food Research International*, 2015, 74:106-114.
- [66] Zhang, L., Lyng, G.J., Brunton, P.N., “The effect of fat, water and salt on the thermal and dielectric properties of meat batter and its temperature following microwave or radio frequency heating”, *Journal of Food Engineering*, 2007, 80:142–151.
- [67] Uyar, R., Erdogdu, F., Sarghinic, F., Marra, F., “Computer simulation of radio-frequency heating applied to block-shaped foods: Analysis on the role of geometrical parameters”, *Food and Bioprocess Processing*, 2016, 98:310-319.
- [68] Schlisselberg, D.B., Kler, E., Kalily, E., Kisluk, G., Karniel, O., Yaron, S., “Inactivation of foodborne pathogens in ground beef by cooking with highly controlled radio frequency energy”, *International Journal of Food Microbiology*, 2013, 160:219–226s.
- [69] Zhang, S., Huang, Z., Wang, S., “Improvement of radio frequency (RF) heating uniformity for peanuts with a new strategy using computational modeling”, *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 2017, 41:79-89.
- [70] Rincon, A.M., Singh, R.K., Stelzleni, A.M., “Effects of endpoint temperature and thickness on quality of whole muscle non-intact steaks cooked in a Radio Frequency oven”, *LWT- Food Science and Technology*, 2015, 64:1323-1328.
- [71] Uyar, R., Erdogdu, F., Marra, F., “Effect of load volume on power absorption and temperature evolution during radio-frequency heating of meat cubes: A computational study”, *Food and Bioprocess Processing*, 2014, 92:243–251.
- [72] Nagaraj, G., Singh, R., Hung, Y.C., Mohan, A., “Effect of radio-frequency on heating characteristics of beef homogenate blends”, *LWT- Food Science and Technology*, 2015, 60:372-376.
- [73] Rincon, A.M., Singh, R.K., “Inactivation of Shiga toxin-producing and nonpathogenic *Escherichia coli* in non-intact steaks cooked in a radio frequency oven”, *Food Control*, 2016, 62:390-396.
- [74] Laycock, L., Piyasena, P., Mittal, G.S., “Radio frequency cooking of ground, comminuted and muscle meat products”, *Meat Science*, 2003, 65:959–965.

- [75] Troy, D.J., Ojha, K.S., Kerry, J.P., Tiwari, B.K., “Sustainable and consumer-friendly emerging technologies for application within the meat industry: An overview”, *Meat Science*, 2016, 120:2–9.
- [76] Fellows P.J. “Dielectric, ohmic and infrared heating”, *Food Processing Technology Principles and Practice*, CRC Press, New York, (2009).
- [77] Skjoldebrand, C., ABB Automation Systems., “Infrared heating”, *Thermal technologies in food processing*, CRC Press, New York, (2001).
- [78] Wang, B., Venkitasamy, C., Zhang, F., Zhao, L., Khir, R., Pan, Z., “Feasibility of jujube peeling using novel infrared radiation heating technology”, *LWT- Food Science and Technology*, 2016, 69:458-467.
- [79] Kendirci, P., Icier, F., Kor, G., Altug-Onogur, T., “Influence of infrared final cooking on polycyclic aromatic hydrocarbon formation in ohmically pre-cooked beef meatballs”, *Meat Science*, 2014, 97:123–129.
- [80] Yücel-Sengun, I., Icier, F., Kor, G., “Effects Of Combined Ohmic–Infrared Cooking Treatment on Microbiological Inactivation of Meatballs”, *Journal of Food Process Engineering*, 2015, 40:1745-4530.
- [81] Yildiz Turp, G., Filiz Icier, F., Kor, G., “Influence of infrared final cooking on color, texture and cooking characteristics of ohmically pre-cooked meatball”, *Meat Science*, 2016, 114:46–53.