

## İndüksiyon ve Ohmik Isıtma İşlemlerinin Gıdalara Uygulanabilirliğinin Karşılaştırılması

Orhan Kaya<sup>1</sup> , Filiz İçier<sup>2</sup> <sup>1</sup>Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, Bornova, İzmir<sup>2</sup>Ege Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Bornova, İzmir

Geliş Tarihi (Received): 12.12.2017, Kabul Tarihi (Accepted): 14.08.2018

✉ Yazışmalardan Sorumlu Yazar (Corresponding author): [orhankayaege@gmail.com](mailto:orhankayaege@gmail.com) (O. Kaya)

☎ 0 232 311 30 21 📠 0 232 311 48 31

### ÖZ

Geleneksel ısıtma yöntemlerinin enerji verimliliklerinin düşük olması ve gıdanın kalite özelliklerindeki bazı istenmeyen değişimlere sebep olmaları nedeniyle güncel ısıtma teknolojileri ile ilgili arayışlar son yıllarda giderek artmıştır. Tüketicilerinin minimal işlem gören ve yüksek kalitede ürün talebini karşılayan ve yüksek enerji verimliliğine sahip üretime olanak tanıyan güncel yöntemler, geleneksel yöntemlere alternatif olabilmektedir. Bu derleme çalışmasında güncel elektriksel ısıtma yöntemlerinden olan indüksiyon ısıtma ve ohmik ısıtma işlemleri tanıtarak, uygulama alanları ve çalışma prensipleri arasındaki farklılıklar tartışılmıştır. Her iki ısıtma yöntemi için tasarlanan sürekli sistem boru hattı ve pişirme uygulamaları konusunda yapılan çalışmalar incelenmiştir. Benzer amaçlarla oluşturulan gıda işleme sistemleri baz alınarak, iki farklı ısıtma yönteminin gıdalara uygulanabilirliği karşılaştırılmış ve potansiyel uygulama alanları konusunda öneriler oluşturulmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Elektriksel, İşleme, Pişirme, Gıda

### Comparison of the Applicability of Induction and Ohmic Heating Processes to Foods

#### ABSTRACT

Interest on novel thermal technologies has been steadily increased in recent years because of the some undesirable changes in the quality characteristics of foods and the low energy efficiency during conventional heating. Novel methods that meet customer expectations for minimally processed and high-quality products and enable high energy efficiency production can be alternative to conventional methods. In this review, induction heating and ohmic heating processes, which are novel electrical heating methods, are explained, and working principles and the differences between their application areas are discussed. The studies on the continuous system pipe line and cooking applications designed for both heating methods are presented. Based on the food processing systems established for similar purposes, the applicability of both heating methods to foods is compared, and their potential application areas are suggested.

**Keywords:** Electrical, Processing, Cooking, Food

#### GİRİŞ

Gıda üretiminde güvenilirliğin sağlanması ve kalitenin korunması ana hedeftir. Gıdalara uygulanan ısıl

işlemlerde hedeflenen mikroorganizmaların ve enzimlerin inaktivasyonunun sağlanması, diğer yandan besin içeriğinin korunması ve işlemin düşük enerji tüketimiyle gerçekleştirilmesi istenmektedir. Gıdalara

uygulanan pastörizasyon, sterilizasyon, kurutma ve evaporasyon gibi ısısal işlemler gıda güvenliğini sağlamak amacıyla uygulanan işlemlerdir. Geleneksel ısıtma yöntemlerinde ürünün istenilen sıcaklığa ulaşmasını sağlayacak olan enerji ürüne genellikle iletim ve taşınım mekanizmalarıyla aktarılmaktadır. Ancak bu yöntemlerde ekipmanlarının yüzeylerinde oluşan ısı kayıpları, ısı transfer verimliliğinin düşük olması ve ürünün merkez noktasının belirlenen sıcaklığa gelmesi için gereken süre içerisinde ısısal zarar meydana gelmesi gibi durumlar oluşmaktadır [1].

Tüketicilerin yüksek kalitede ürün talebi, ekolojik endişeler ve geleneksel ısıtma yöntemlerinin verimliliğinin düşük olması sebebiyle gıdaların işlenmesinde yeni teknolojilerin uygulanmasına yönelik arayışlar ortaya çıkmaktadır [1]. Yeni teknolojilerin tüketicilere güvenli, sağlıklı ve minimal işlem görmüş gıda ürünlerini sunması hedef olarak alınmaktadır [2]. Gıdaların içerisinde bulunan karotenoidler, antioksidanlar, fenolik bileşikler ve vitaminler vb. bileşenlerin insan sağlığı üzerine önemli etkilerinin olduğu bilinmektedir. Hedef mikroorganizmaların inaktivasyonunu sağlamak amacıyla uygulanan ısısal işlemlerin, bu bileşenlerin de en az düzeyde zarar görmesini hedefleyen yeni teknolojilerle uygulanması üzerine olan ilgi artmaktadır [3]. Yenilikçi teknolojilerin ayrıca sürdürülebilir gıda üretiminde enerji tüketimini ve su tüketimini düşüren çevreci yöntemler olma gibi üstünlüklerinin olması da amaçlanmaktadır [2].

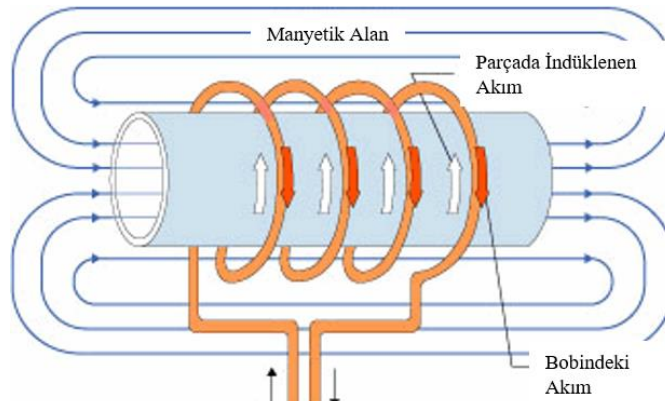
Tüketicilerin yüksek kalitede ürün talebini karşılayan ve aynı zamanda geleneksel ısıtma yöntemlerine göre yüksek enerji verimliliğine sahip olan ohmik ısıtma, kızılötesi ısıtma, mikrodalga ısıtma gibi ısısal işlemler ile vurgulu elektrik alan, yüksek hidrostatik basınç gibi ısısal olmayan işlemler geleneksel işleme yöntemlerine

alternatif oluşturmaktadır [4-11]. İndüksiyon ısıtma teknolojisinin de hızlı ısıtma sağlaması, yüksek enerji verimliliğine sahip olması ve ısıtılacak ürünle ısıtıcı arasında temas zorunluluğunun bulunmaması sebebiyle geleneksel ısıtma yöntemlerine alternatif bir ısıtma yöntemi olduğu düşünülmektedir.

Bu derleme çalışmasının amacı; güncel elektriksel ısıtma yöntemlerinden olan indüksiyon ısıtma ve ohmik ısıtma işlemlerinin benzerlikleri ve farklılıklarını ortaya koymak, benzer işleme amaçları üzerinden gıdalara uygulanabilirlik potansiyellerini tartışmaktır.

## İNDÜKSİYON ISITMA

İndüksiyon ısıtma, ferromanyetik malzemelerin belirtilen sıcaklık ve sürelerde ısıtılması sağlayan temassız bir ısıtma yöntemidir [12]. İndüksiyon ısıtmada ferromanyetik malzeme, manyetik alan sonucu malzemede oluşan "eddy" akımları ve "histeresis" kayıplarından dolayı ısınmaktadır. İndüksiyon ısıtma işleminde, indüksiyon bobininden alternatif akım geçirilerek indüksiyon bobinin etrafında bir manyetik alan oluşturulur. Bu manyetik alan içerisine ferromanyetik malzeme yerleştirildiğinde, malzemenin içerisinde bir gerilim indüklenir ve bu gerilim sonucunda "eddy" akımları oluşur. Ferromanyetik malzemenin, oluşan bu "eddy" akımlarına göstermiş olduğu direnç sonucunda ısınma gerçekleşmektedir (Şekil 1) [13, 14]. "Histeresis" kayıpları ise frekans etkisiyle birlikte malzemenin içindeki moleküllerin yön değiştirmesi ve sürtünmesine bağlı olarak ısı oluşumu meydana getirilmesidir. Ancak "eddy" akımlarının oluşturmuş olduğu etkiyle kıyaslandığında "histeresis" kayıpları sayesinde oluşan ısı çok daha az olduğu için genellikle ihmal edilir [12].



Şekil 1. İndüksiyon ısıtma işleminin şematik gösterimi [14]

Malzeme içerisinde oluşan "eddy" akımlarının yoğunluğu ve malzemedeki konumu işlem sırasında uygulanan frekansa bağlılık göstermektedir. Bu durum indüksiyon ısıtmada **akım nüfuz derinliği** olarak tanımlanmaktadır ve malzeme üzerinde meydana gelen "eddy" akımlarının, malzeme yüzeyinden itibaren erişebileceği derinlik olarak ifade edilmektedir [12]. İndüksiyon ısıtmada deri etkisi göz önüne alınarak farklı uygulama alanları geliştirilmiştir. Yüksek frekans değerlerinde "eddy" akımlarının yoğunluğu malzemenin üzerinde

yoğunlaşırken düşük frekans değerlerinde "eddy" akımlarının malzemedeki penetrasyonu daha fazla olmaktadır. Metal işlemede kullanılan yüzey sertleştirme işlemleri, kaynak işlemleri gibi sıcaklığın yüzeyde daha fazla olması istenen durumlarda yüksek frekans değerlerinde çalışmalar gerçekleştirilirken, metal malzemenin eritilmesi istenildiğinde işlem düşük frekanslarda gerçekleştirilebilmektedir. Günümüzde indüksiyon ısıtma işlem sırasında uygulanan çalışma frekansı bakımından; 1 kHz'in altında olanları düşük

frekanslı, 1 kHz ile 100 kHz arasında olanları orta frekanslı, 100 kHz'in üstünde olanları yüksek frekanslı indüksiyon ısıtma sistemleri olarak üç gruba ayrılmaktadır [15]. "Eddy" akımlarının malzemeye nüfuz edebileceği derinlik, kullanılan malzemenin manyetik geçirgenliğine ve malzemenin öz direncine de bağlıdır. Akım nüfuz derinliği malzemenin özgül direnci ile doğru orantılı, malzemenin manyetik geçirgenliği ile ters orantılıdır [12].

İndüksiyon ısıtmanın endüstriyel uygulamaları 20. yüzyılda başlamış olup ikinci dünya savaşı sırasında ve sonrasında otomotiv ve uçak endüstrilerinde kullanılmaya başlamıştır. Günümüzde indüksiyon ısıtma ön ve son ısıtma uygulamalarında, metal eritme, yüzey işleme, tavlama ve kaynaklama gibi birçok alanda kullanılmaktadır. İndüksiyon ısıtma, işlem hızını ve verimliliğini arttırmaktadır. Ayrıca aynı sistemde işleminin tekrar uygulanabilirliğini sağlasından dolayı endüstriyel işlemlerde otomasyonun oluşturulmasına olanak sağlamaktadır [16].

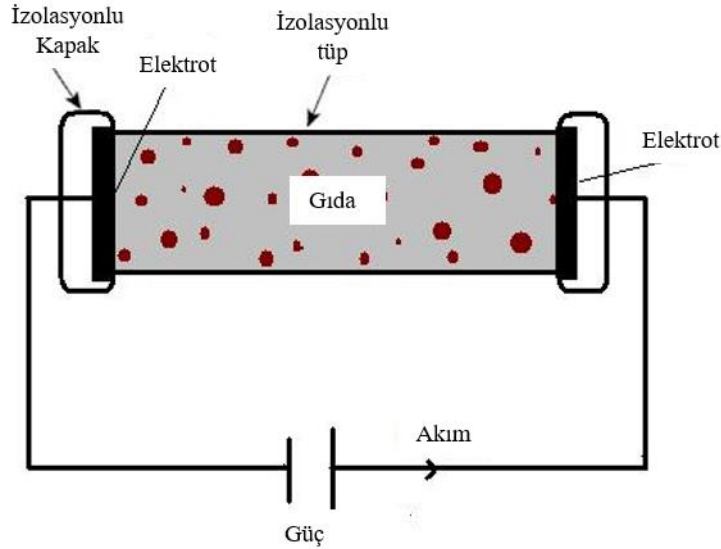
İndüksiyon ısıtmanın metal endüstrisi haricinde kullanıldığı en yaygın alan mutfak endüstrisidir. İndüksiyon ısıtma prensibiyle çalışan indüksiyon ocaklarında yemeği pişirmek için gerekli olan enerji direkt olarak pişirme kabının içerisinde oluşmaktadır, böylelikle hem enerji tasarrufu sağlanmaktadır, hem de pişirme süresi kısalmaktadır [17, 18]. Günümüzde indüksiyon ısıtma teknolojisinin kullanıldığı diğer bir alan ise tıp uygulamalarıdır. İndüksiyon ısıtma birçok cerrahi ekipmanların üretilmesinde ve sterilizasyonunda

kullanılmakta olup günümüzde bazı kanser tedavilerinde de kullanılmaya başlanmıştır [16, 19].

İndüksiyon ısıtmanın avantajları olarak; malzemenin bölgesel ısınmasının ve hedeflenen sıcaklığa hızlı ulaşmasının sağlanması, yüksek enerji verimliliğine sahip olması, otomasyon ve kontrol kolaylığı sağlanması gösterilmektedir. Ayrıca ısıtma işlemi sırasında yanıcı ve patlayıcı bir madde kullanılmaması, atık ısıtma suyu oluşturulmaması ve ısıtma işlemi sırasında fosil yakıtlarının kullanılmaması sayesinde güvenli ve çevreci bir ısıtma sağlar [16, 20].

## OHMİK ISITMA

Joule yasasına göre bir direnç üzerinden geçen elektrik akımı direncin içerisinde ısı oluşumuna neden olmaktadır. Ohmik ısıtma işleminde gıda direnç görevini görmekte, gıda maddesinden alternatif akım geçirilmekte ve elektrik enerjisi ısı enerjisine dönüştürmektedir (Şekil 2) [21, 22]. Ohmik ısıtma hızlı ve homojen ısıtma sağlanması, daha iyi ürün kalitesi sağlanması, ısıtma süresini kısaltması, düşük sermaye maliyeti gerektirmesi, enerji verimliliğinin yüksek olması ve çevreci bir ısıtma işlemi olması gibi birçok avantaja sahiptir [23]. Ohmik ısıtmanın karışım gıdalara da uygulanması mümkündür. Partikül içeren sıvı ürünlerde, partikül ve sıvı kısımlarının elektriksel iletkenlik değerleri ayarlanabildiğinde, katı partikülün sıvıya göre daha hızlı ısıtılabilmesi de sağlanabilmektedir [21].



Şekil 2. Ohmik ısıtma işleminin şematik gösterimi [21]

Ohmik ısıtma işleminde oluşan ısı jenerasyonu, işlem sırasında uygulanan voltaj gradyanına ve kullanılan gıdanın elektriksel iletkenliğine bağlıdır [24]. Ohmik ısıtma işleminde voltaj gradyanının artmasıyla birlikte örneğin istenilen sıcaklığa gelme süresi azalmaktadır [25]. Yüksek elektriksel iletkenlik değerine sahip gıdalar daha hızlı ısınmaktadır. Gıdaların elektriksel iletkenlik değerleri gıdanın bileşimi ve fiziksel yapısıyla farklılık göstermektedir. İyonik çözeltilerde sıcaklık ve iyon konsantrasyonu arttıkça elektriksel iletkenlik değeri

artmakta ve böylelikle ısınma için gereken süre kısalmaktadır. Katı-sıvı karışımlarında ise parçacık boyutunun artması veya azalması ile birlikte efektif elektriksel iletkenlik değeri değiştirilebilmektedir [21].

Ohmik ısıtma konusunda yapılan çalışmalar ilk olarak 19. Yüzyıl ve 20. Yüzyılın başlarına dayanmaktadır. Ancak o yıllarda ohmik ısıtma işleminin yüksek maliyetli olması, teknolojik yetersizlikler ve kullanılan elektrotların hızlı korozyona uğraması vb. sebepler nedeniyle bu

ısıtma yönteminden vazgeçilmek zorunda kalmıştır [26]. Teknolojinin gelişmesiyle birlikte 1990'lu yılların başlarından itibaren ohmik ısıtma ile ilgili çalışmalar tekrar hız kazanmıştır ve hala günümüzde ohmik ısıtma işlemiyle ilgili çalışmalar güncelliğini koruyarak devam etmektedir. Günümüzde ohmik ısıtma işlemi İtalya, Yunanistan, Fransa, Meksika, Japonya ve ABD'de bulunan bazı işletmeler endüstriyel olarak sıvı ve parçacıklı gıdaların işlenmesinde kullanılmaktadır [23].

Ohmik ısıtma işlemi günümüzde ön ısıtma, pastörizasyon, sterilizasyon, çözündürme, pişirme, haşlama, ekstraksiyon gibi birçok amaçla uygulama yeri bulunmaktadır [21]. US-FDA, ohmik ısıtma işleminin haşlama, evaporasyon, dehidrasyon, fermentasyon ve ekstraksiyon işlemlerinde alternatif yöntem olarak potansiyel kullanımı hakkında bir rapor hazırlamıştır [27].

### İNDÜKSİYON ISITMA ve OHMİK ISITMA İŞLEMLERİNİN ÇALIŞMA PRENSİPLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

İki ısıtma yönteminin çalışma prensipleri arasında benzerlik olmasına karşın, temel bazı özelliklerinde farklılıklar gözlenmektedir. Şu şekilde özetlenebilir;

- Her iki ısıtma işleminde de elektrik enerjisi ısı enerjisine dönüşmektedir.
- Malzeme indüksiyon ısıtma işleminde manyetik alan sonucu oluşan "eddy" akımlara göstermiş olduğu direnç sayesinde ısınırken, ohmik ısıtma işleminde malzemenin içerisinden direkt olarak geçen elektrik akıma göstermiş olduğu direnç sayesinde ısınmaktadır.
- Ohmik ısıtma işleminde elektrotlar ile gıda arasında temas zorunludur. İndüksiyon ısıtma işleminde gıdanın manyetik alan içine yerleştirilmesi yeterlidir, ferromanyetik olarak ısıtılan yüzey ile gıda arasında gerçekleştirilen ısı aktarımından da yararlanılabilmek mümkündür.
- Ohmik ısıtmada, ısıtılacak gıdanın elektriksel iletkenlik özelliği ısınma karakterini belirlemektedir. İndüksiyon ısıtmada, malzemenin ferromanyetik özelliği önemlidir.

- Ohmik ısıtma işlemi gıdada hacimsel ısınma sağlarken, indüksiyon ısıtma işlemi ferromanyetik malzemede hacimsel/bölgesel ısınma sağlamaktadır.
- İndüksiyon ısıtmada oluşan hacimsel ısınma karakteri, işlem sırasında uygulanan frekansa, malzemenin manyetik geçirgenliğine ve malzemenin öz direncine bağlılık göstermektedir. Ohmik ısıtmada ise hacimsel ısınma, uygulanan voltaj gradyanına ve gıdanın elektriksel iletkenliğine bağlıdır.

### SÜREKLİ SİSTEM BORU HATTI TASARIMLARINDA ÖRNEK UYGULAMALAR

#### İndüksiyon Isıtma

Hızlı ve bölgesel ısıtma, yüksek enerji verimliliği, güvenli ve çevreci bir ısıtma işlemi olan indüksiyon ısıtmanın boru hattı sisteminde kullanılmasına başlanması 1980'li yıllara dayanmaktadır [28]. Yapılan çalışmalarda indüksiyon ısıtma sürekli sistem boru hattı tasarımına entegre edilmiş olup boru hattının içerisinden geçirilen ürünün ısıtılması amaçlanmıştır. Farklı akış debilerinin ve farklı güç değerlerinin üründe sağladığı sıcaklık artışları tespit edilmiştir. Yapılan çalışmalarda kullanılan ürünler su ve yağ örnekleriyle sınırlı kalmıştır [29, 30, 31].

Sadakata ve ark. [32] sıcak su elde etmek için indüksiyon ısıtma prensibine dayanan bir boru hattı tasarımı gerçekleştirmişlerdir. Sabit akış debisinde çalıştırılan farklı güç değerlerinin suyun ısınması üzerine olan etkisi incelemiştir. 4.3kW'lık güç değerinde suyun sıcaklığındaki artış değerinin 75°C olduğu tespit edilmiştir.

Altıntaş ve ark. [33] yapmış oldukları çalışmada ise indüksiyon ısıtma prensibine dayanan bir sıvı ısıtıcısında hem indüksiyon gücünün hem de akış debisinin suyun ısıtılması üzerine olan etkilerini araştırmışlardır. 0.5 L/min akış debisine ve 3000 W çalışma gücü değerlerinde suda görülen sıcaklık artışı 64°C olmuştur. İndüksiyon ısıtmanın sürekli sistem boru hattı tasarımlarında kullanılmasını sonucu elde edilen veriler Tablo 1'de sunulmuştur.

Tablo 1. Boru hattı sistemlerinde indüksiyon ısıtmanın kullanıldığı bazı çalışmalar

Boru Hattının İçerisinden Geçirilen Ürün	Frekans (kHz)	Güç (W)	Isıtılan Metal Malzeme Tipi	Üründe Sağlanan Maksimum Sıcaklık Artışları	Kaynak
Yağ	-	888	Paslanmaz Çelik	31°C	[28]
Su	25	4000	Paslanmaz Çelik	85°C	[29]
Su	20	800 – 4300	Paslanmaz Çelik	75°C	[32]
Su	13.43	2200	Krom-Nikel Alaşımı	39.4°C	[30]
Su	20	2000 – 4300	Paslanmaz Çelik	75°C	[31]
Su	16.66	182 – 2959	Paslanmaz Çelik	64°C	[33]

#### Ohmik Isıtma

Sürekli ohmik ısıtma sistemleri üzerine yapılan çalışmalar, 1990'lu yılların başlarında yoğunluk kazanmıştır. Bu çalışmalarda sıvı ve katı-sıvı karışımlarının sürekli ohmik ısıtma sistemlerinde ısınma

davranışları ve modellenmesi üzerine çalışmalar gerçekleştirilmiştir [34-38]. Qihua ve ark. [39], sürekli ohmik ısıtma sisteminin performansı etkileyen faktörlerinin belirlenmesi için yaptıkları çalışmada, sisteme beslenen sıvı gıdanın akış hızı, gıdanın elektriksel iletkenlik değeri, uygulanan voltaj gradyanı ve

ısıtma ünitesinin konfigürasyonunun sistem performansını etkileyen parametreler olduğunu belirlemiştir.

Sürekli ohmik ısıtma sistemlerinin geleneksel ısıtma sistemleriyle karşılaştırılmasının yapıldığı çalışmalarda ohmik ısıtmanın mikroorganizmalar üzerine benzer veya daha yüksek inaktivasyon sağladığı ve kalite özellikleri açısından da sürekli ohmik ısıtma sisteminin üstünlüklerinin olduğu rapor edilmiştir. Sürekli ohmik ısıtma sistemlerinin üründe hedeflenen mikroorganizmaların inaktivasyonun sağlanmasında

etkili bir yöntem olduğu ayrıca üründeki kalite özelliklerini de daha iyi koruduğu için geleneksel ısıtma yöntemlerine alternatif olabileceği belirtilmiştir [40-43].

Ayrıca sürekli ohmik ısıtma sistemlerinde işlem süresi boyunca elektrotlarda görülen birikim tabakaları incelenmesi üzerine de çalışmalar gerçekleştirilmiştir [44-47]. Sürekli ohmik ısıtma sistemlerinin boru hattı tasarımı ile yapıldığı bazı çalışmalar ve sonuçları Tablo 2'de görülmektedir.

Tablo 2. Boru hattı sistemlerinde ohmik ısıtmanın kullanıldığı bazı çalışmalar

Ürün	Güç / Voltaj Gradyanı	Sonuç	Kaynak
Portakal Suyu	50 kW	Portakal suyunda pektin esteraz aktivitesinde %98 azalma ve C vitamende ise %15 azalma meydana gelmiştir.	[43]
Kayısı Şurubu	30 kW	Ohmik işlemden sonra paketlerde herhangi bir şişmenin olmadığı ayrıca bir yıl boyunca mikrobiyal stabilitenin korunduğu rapor edilmiştir.	[40]
Domates Suyu	25 - 40 V/cm	40 V/cm değerinde ısıtılan domates suyunda 30 s sonunda örneklerde incelenen mikroorganizmaların tespit limitinin altında olduğu saptanmıştır.	[42]
Elma suyu	26.7 V/cm	100°C'de 30 s ohmik ısıtma uygulaması, örneklere inoküle edilen tüm mikroorganizmaların inaktivasyonunu sağlamıştır.	[41]

## PIŞIRME İŞLEMİ ÖRNEK UYGULAMALARI

### İndüksiyon Isıtma

İndüksiyon ısıtmanın pişirme işleminde kullanımı üzerine yapılan çalışmalarda, indüksiyon ocaklarının pişirme işlemi sırasında verimliliği ve enerji tüketimiyle ilgili araştırmalar gerçekleştirilmiştir. İndüksiyon ocaklarının pişirme verimliliğinin diğer ocak tiplerine göre daha yüksek olduğu, ancak kullanılan pişirme kabının boyutlarının bu verimliliği değiştirdiği ve pişirme kabının istenilen sıcaklığa gelmesinin indüksiyon ocaklarında daha kısa sürede gerçekleştiği belirtilmektedir [48-51].

İndüksiyon ocaklarında yapılan kaynatma ve kızartma işlemlerinin bazı sebzelerdeki karotenoid içeriği ve duysal özellikleri üzerine yapılan çalışmalar da dikkat çekmektedir. Nunn ve ark. [52], indüksiyon ocağı, geleneksel ocak ve mikrodalga fırınına brokoli, havuç, yeşil fasulye ve patateslerin kaynatılmasında kullanmış olup, işlemlerin üründeki karotenoid içeriğinin değişimi ve duysal kalite üzerine etkileri konusunda araştırma gerçekleştirmişlerdir. Geleneksel ocak ve indüksiyon ocaklarıyla yapılan kaynatma işleminin daha yüksek pişirme verimliliğine sahip olduğu rapor edilmiştir. İndüksiyonla kaynatma işleminde patates ve brokolideki beta-karoten içeriği, mikrodalga ile kaynatma işlemine göre daha fazla korunmuştur. Eğitimli panelistlerin yapmış oldukları değerlendirmeler sonucunda ise pişirme metodlarının renk üzerine etkisinin olmadığı ve duysal doku değerlendirmesi sonucunda en iyi puanın mikrodalga fırın ile kaynatma işlemi yapılmış ürünlerde olduğu rapor edilmiştir. Rajagopal ve ark. [53] ise indüksiyon ocaklarında yapılan kızartma işleminin havuç, yeşil soğan, soğan, kırmızıbiber, sarı biber, bezelye sebzelerinde karotenoid içeriği ve duysal kalite

karakteristikleri üzerine etkisini incelemiştir. Sebzelerin pişirme sürelerinin 4 ve 6 dak. arasında değişmekte olduğu ve pişirme verimliliğinin %70.9 ile 92 arasında olduğu rapor edilmiştir. İndüksiyon ocağı kullanılarak yapılan kızartma işleminden sonra sebzelerde kalan karotenoid miktarının ise ortalama %85 olduğu görülmüştür.

### Ohmik Isıtma

Ohmik pişirme işlemi ile ilgili yapılan çalışmalar daha çok et ve pirinç örnekleri üzerine yoğunlaşmıştır. Et örnekleri ohmik pişirme işlemiyle pişirildiğinde geleneksel pişirme işlemine göre erişilmek istenen sıcaklığa daha kısa sürede ulaşıldığı, hedeflenen mikroorganizmada daha yüksek oranda inaktivasyon sağlandığı, örneklerdeki pişirme kaybının ve mineral kaybının daha az olduğu ve enerji tasarrufunun sağlandığı rapor edilmiştir [54-57].

Sürekli ohmik pişirme sisteminde [58], köfte örneklerinde optimum pişirme koşulunun bulunması amacıyla üç farklı voltaj gradyanında (15, 20 ve 25 V/cm) ve üç farklı sürede (0, 15 ve 30 s) çalışılmıştır. Köfte örneklerinin mikrobiyal yükündeki azalmaya, en az renk ve dokusal değişimlere neden olan optimum voltaj gradyanının 15.26 V/cm olduğu rapor edilmiştir. Sengun ve ark. [59], köfte örneklerinin ön pişirme işleminin bu optimum koşulda gerçekleştirildiğinde, toplam mezofilik aerobik bakterilerin, maya ve küflerin, *Staphylococcus aureus* sayılarının önemli ölçüde azaltıldığını, *Salmonella* spp. formlarının tamamen inaktive edildiğini, ancak *Listeria monocytogenes* hücrelerinin inaktivasyonunda etkili olmadığını rapor etmişlerdir. Yarı pişmiş örneklerdeki metal geçişi incelendiğinde, metal miktarının kabul edilebilir maksimum düzeylerin altında olduğu, ayrıca

mutajenik aktivite ve PAH formülasyonlarının güvenli düzeyde olduğu görülmüştür.

Ohmik pişirme işleminin pirinç örneklerinin pişirilmesinde kullanıldığı araştırmalarda ise ohmik pişirme işleminin daha az enerji tükettiği, ohmik pişirme işlemi sonucunda pirincin görünüşünün elektrikli ocakta pişirme işleminden elde edilen pirincin görünüşüne benzer olduğu rapor edilmiştir [60, 61].

## DIĞER GIDA İŞLEME UYGULAMALARI

İndüksiyon ısıtma işlemiyle yapılan çalışmalar metal ve mutfak endüstrisi ve tıp alanı üzerine yoğunlaşmıştır. Ancak ohmik ısıtma işlemi ısıtma ve pişirme işlemleri dışında fermentasyon, haşlama, evaporasyon, destilasyon, ekstraksiyon ve çözündürme gibi birçok amaç için de kullanılmaktadır. Tablo 3'te bu alanlarda son yıllarda yapılan çalışmalar görülmektedir.

Tablo 3. Ohmik ısıtmanın diğer gıda işleme uygulamalarında kullanımına yönelik bazı çalışmalar

İşlem	Ürün	Sonuç	Kaynak
Ohmik Fermentasyon	Ekmek hamuru	Fermentasyon süresi kısalmıştır.	[62]
Ohmik Haşlama	Enginar	Aynı sıcaklık değerinde ohmik haşlama ve geleneksel haşlama işlemi karşılaştırıldığında, ohmik haşlama işlemi sonucunda C vitamini kaybının daha az olduğu ve örneklerde kalan toplam fenolik madde içeriğinin daha fazla olduğu rapor edilmiştir.	[63]
Ohmik Evaporasyon	Nar suyu, Vişne suyu	Yüksek voltaj gradyanlarında ohmik ısıtma destekli vakum evaporasyon uygulamasının enerji verimliliğinin geleneksel vakum altında evaporasyona göre daha yüksek olduğu ve konsantrasyon işleminin süresinin kısaltıldığı belirlenmiştir.	[64, 65, 66]
Ohmik Destilasyon	Etanol	Etanol eldesi için gereken enerji, ohmik destilasyon işlemi ile %33 azaltılmıştır.	[67]
Ohmik Ekstraksiyon	Pektin	Portakal suyu atıklarından elde edilen pektinin daha yüksek verimde ekstrakte edilmesi sağlanmıştır.	[68]
Ohmik Çözündürme	Sığır eti	Uygulanan voltaj gradyanının artmasıyla birlikte donmuş sığır eti örneklerinin çözünme süreleri kısalmıştır.	[69]

## GIDA İŞLEMEDE UYGULANABİLİRLİK POTANSİYELLERİ

### Isı Değiştirici Sistemlerinde

İndüksiyon ısıtma işlemi daha çok metallerin eritilmesi, kaynatılması, tavlama, yüzey sertleştirilmesi gibi metalurji alanında kullanılmaktadır. İndüksiyon ısıtma yöntemiyle metallerin hızlı ve bölgesel ısınmasını sağlayarak gıdaların ısıtılması amaçlayan, sabit yüzey sıcaklığına sahip ısı değiştirici tasarımları gerçekleştirilebilir. Buradaki temel amaç indüksiyon ısıtma ile ısınan metal parçasının içerisinden gıdanın geçirilmesi olmalıdır. Isıtılması istenilen metalin tipi ve et kalınlığı, çalışma frekansı, güç ve akış debisi indüksiyonla ısı değiştirici tasarımda dikkat edilmesi gereken faktörler olduğu düşünülmektedir.

Ohmik ısıtma işlemi ise gıdalarda ısı değiştirici sistemlerinde hali hazırda kullanılmaktadır. Günümüzde ohmik ısıtma prensibiyle çalışan endüstriyel ısı değiştiriciler bulunmaktadır [23]. Farklı tasarımlar geliştirilerek, gıda işleme sistemlerinde pratik kullanımının artırılması mümkün olacaktır.

### Endüstriyel Pişirme Sistemlerinde

Günümüzde indüksiyon ısıtma işleminin herhangi bir endüstriyel pişirme sistemine entegrasyonu sağlanmamıştır. İndüksiyon ısıtma sonucunda metal parça hızlı bir şekilde ısınacağı için gıda ile temas eden bölgelerde yanma meydana gelebilir. Bu durumun

gerçekleşmemesi için ısıtılan metal parçanın sıcaklığının çok iyi bir şekilde kontrol edilmesi gerekmektedir. Sıcaklığın kademeli ve bölgesel olarak artırılacağı, yeterli tutma süresinin sağlanacağı sürekli sistemlerde hem ürünün merkez noktasının hedeflenen sıcaklığa hızla ulaşması, hem de bu süre içinde ürün yüzeyinde yanma meydana gelmemesi sağlanabilir.

Ohmik ısıtma işlemi günümüzde endüstriyel pişirme sistemlerinde kullanılmaktadır [70]. Literatürde farklı tasarımlara sahip laboratuvar ve pilot ölçekli sürekli ohmik pişirme sistemlerine de mevcuttur [58, 59]. Ohmik ısıtma prensibinin pişirme amaçlı olarak endüstriyel ölçekte kullanımına yönelik tasarımların geliştirilmesi, diğer ısıtma yöntemleri ile kombine olarak çalışabilecek ünitelerin tasarlanması ve kontrol sistemlerinin entegrasyonu gerekmektedir.

### Endüstriyel Mutfaklarda

Metal endüstrisi haricinde indüksiyon ısıtmanın en çok kullanıldığı alan mutfak endüstrisidir. İndüksiyon ocaklarının hızlı ısıtma sağlaması, yüksek verimliliğe sahip olması, güvenli, çevreci ve gelişmiş kontrol özellikleri sebebiyle diğer ocaklara göre birçok avantajı bulunmaktadır. Ayrıca indüksiyon ocakları haricinde indüksiyon ısıtma prensibiyle çalışan su ısıtıcıları ve kahve makineleri piyasada bulunmaktadır. Ancak farklı tasarımlar geliştirilerek, endüstriyel mutfaklarda basınçlı pişirme ünitelerinin veya fırınların indüksiyon ısıtma prensibine göre kullanımı mümkün hale getirilebilir.

Ohmik ısıtma işleminin ise günümüzde henüz endüstriyel mutfaklarda ya da küçük ev aleti olarak ticari olarak üretilen herhangi bir sistem olmamasına rağmen, mutfak endüstrisi için tasarlanmış olan ohmik sistemlerin patentleri bulunmaktadır [71, 72]. Oluşturulacak sistem için uygun geometrideki elektrotların gıdaya temasının işlem boyunca mükemmel sağlanması ve işlem boyunca temasın kesilmemesi gerekmektedir. Ayrıca parçacıklı gıdalardaki sıvı ve katı elektriksel iletkenliklerinin sıcaklıkla değişim ilişkisi pişirme işlemi sırasında büyük önem taşımaktadır. Özellikle katı gıdalara uygulanması amacıyla işlem parametrelerin ayarlanması ve kontrolü açısından daha fazla verinin sağlanacağı çalışmalara ihtiyaç bulunmaktadır.

## SONUÇ

Gıdaların işlenmesi sırasında kalitesinde meydana gelen değişiklikleri en aza indirmek ve taze gıdaya en yakın ürünü elde etmek amacıyla gıda işlemede yeni teknolojiler kullanılması günümüzde yaygınlaşmaktadır. Bu yeni teknolojiler sayesinde hem tüketicilerin yüksek kalitede ürün talebi karşılanmakta hem de enerji tasarrufu sağlanmaktadır.

Bu yenilikçi teknolojilerden olan ohmik ısıtma işleminde gıda direnç görevini görmekte, alternatif akım geçirilerek elektrik enerjisi ısı enerjine dönüştürmektedir. Ohmik ısıtma işleminin evaporasyon, ekstraksiyon, fermentasyon, pastörizasyon, sterilizasyon, çözündürme, haşlama gibi birçok gıda işleme alanında potansiyeli bulunmaktadır. Ohmik ısıtma işlemi gıdayı hızlı ve homojen bir şekilde ısıtmakta ve işlem süresini kısaltmakta ve böylelikle hem ürünün kalite özelliklerinde fazla değişim meydana getirmemekte hem de işlemin enerji verimliliğini artırmaktadır. Ancak ohmik ısıtma işlemi sırasında elektrotlarının gıdayla temasının kesilmesinin önlenmesinin gerekliliği, işlemi yönetecek olan personelin deneyimli olması ve sistemde izolasyonun sürekli sağlanması gibi kısıtlamalar bulunmaktadır. Bu kısıtlamaların günümüz teknolojisinin gelişmesiyle birlikte giderileceği ve ohmik ısıtma işleminin ticari olarak daha çok uygulama alanı bulacağı düşünülmektedir.

Ferromanyetik malzemelerin belirtilen sıcaklık ve sürelerde temassız bir şekilde ısıtılması sağlayan indüksiyon ısıtma ise günümüzde daha çok metalürjide, mutfak endüstrisinde ve tıp alanında uygulama alanı bulmaktadır. Hızlı ve bölgesel ısıtma sağlayan indüksiyon ısıtma teknolojisinin boru hatlarına entegrasyonunun sağlanıp sıvı gıdaların ısıtılmasında kullanılması hem tüketicinin yüksek kalitede ürün talebini karşılayabilir hem de enerji tasarrufu sağlayabilir. Ayrıca geleneksel ısıtma işlemleri sırasında kullanılan su tüketimine bu işlemlerde gereksinim olmadığı için gıda işleme sırasında kullanılan suyun tüketimini ve atık su yükünü de azaltacağı düşünülmektedir. Ancak indüksiyon ısıtmada gıdaya uygun ferromanyetik malzeme seçiminde sınırlamaların olması, tasarlanan sistemlerin kurulu sistemlere adaptasyonun zor olması ve sistemi kullanılacak personelin deneyimli olması gerekmektedir. Bu dezavantajların teknolojinin gelişmesiyle birlikte

giderilebileceği ve indüksiyon ısıtmanın gıdaların işlenmesinde de kullanılmasına başlanacağı düşünülmektedir.

Yeni teknolojilerin gıdalara uygulanması sırasında kalite özelliklerindeki değişim üzerine etkileri ve işlem parametrelerinin belirlenmesi konusunda yapılan çalışmaların sayısının artması ve farklı tasarımlar geliştirilerek bu teknolojilerin uygulamadaki sınırlamalarının ortadan kaldırılması sonucunda gıda işleme sistemlerine enerji verimliliği daha yüksek minimal işleme yöntemlerinin kazandırılmasının mümkün olabileceği düşünülmektedir.

## TEŞEKKÜR

Bu derleme çalışması, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Gıda Mühendisliği Anabilim Dalında yürütülen "Sürekli indüksiyon ısıtma sisteminin kurulumu ve vişne suyunun ısıtılmasında uygulanabilirliğinin deneysel ve kuramsal olarak incelenmesi" başlıklı yüksek lisans tezi kapsamında hazırlanmıştır.

## KAYNAKLAR

- [1] Pereira, R.N., Vicente, A.A. (2010). Environmental impact of novel thermal and non-thermal technologies in food processing. *Food Research International*, 43(7), 1936-1943.
- [2] Knorr, D., Froehling, A., Jaeger, H., Reineke, K., Schlueter, O., Schoessler, K. (2011). Emerging technologies in food processing. *Annual Review of Food Science and Technology*, 2, 203-235.
- [3] Rawson, A., Patras, A., Tiwari, B.K., Noci, F., Koutchma, T., Brunton, N. (2011). Effect of thermal and non thermal processing technologies on the bioactive content of exotic fruits and their products: Review of recent advances. *Food Research International*, 44(7), 1875-1887.
- [4] Evrendilek, G.A., Baysal, T., Icier, F., Yildiz, H., Demirdoven, A., Bozkurt, H. (2012). Processing of fruits and fruit juices by novel electrotechnologies. *Food Engineering Reviews*, 4(1), 68-87.
- [5] Aguilar-Rosas, S.F., Ballinas-Casarrubias, M.L., Nevarez-Moorillon, G.V., Martin-Belloso, O., Ortega-Rivas, E. (2007). Thermal and pulsed electric fields pasteurization of apple juice: Effects on physicochemical properties and flavour compounds. *Journal of Food Engineering*, 83(1), 41-46.
- [6] Nikdel, S., Chen, C.S., Parish, M.E., MacKellar, D.G., Friedrich, L.M. (1993). Pasteurization of citrus juice with microwave energy in a continuous-flow unit. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 41(11), 2116-2119.
- [7] Vikram, V.B., Ramesh, M.N., Prapulla, S.G. (2005). Thermal degradation kinetics of nutrients in orange juice heated by electromagnetic and conventional methods. *Journal of Food Engineering*, 69(1), 31-40.
- [8] Yildiz, H., Bozkurt, H., Icier, F. (2009). Ohmic and conventional heating of pomegranate juice: effects on rheology, color, and total phenolics. *Revista de*

- Agaroquímica y Tecnología de Alimentos*, 15(5), 503-512.
- [9] Hartyáni, P., Dalmadi, I., Cserhalmi, Z., Kántor, D.B., Tóth-Markus, M., Sass-Kiss, Á. (2011). Physical-chemical and sensory properties of pulsed electric field and high hydrostatic pressure treated citrus juices. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 12(3), 255-260.
- [10] Bozkır, H., Baysal, T., Ergün, A. R. (2014). Gıda Endüstrisinde Uygulanan Yeni Çözündürme Teknikleri. *Academic Food Journal/Akademik GIDA*, 12(3).
- [11] Çokgezme, Ö. F., & İçier, F. (2016). Dondurulmuş Gıdaların Çözündürülmesinde Alternatif Bir Yöntem: Ohmik Çözündürme. *Academic Food Journal/Akademik Gıda*, 14(2).
- [12] Dereci, S. (2010). İndüksiyonla Isıtma Sistemlerinin İncelenmesi ve Bir Uygulama Devresinin Gerçekleştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul
- [13] Öncü, S. (2005). Bir Fazlı Yüksek Verimli Ev Tipi Bir İndüksiyon Isıtma Sistemi, Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi, Denizli
- [14] Anonymous, "Opinions on Induction heating", <http://www.writeopinions.com/induction-heating> (Erişim Tarihi, 11.12.2017 )
- [15] Tokgöz, S. (2011). Elektromanyetik İndüksiyona Karşı Katı Cisimlerin Davranışı ve Sıcaklık Kontrolü, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta
- [16] Lucia, O., Maussion, P., Dede, E.J., Burdío, J.M. (2014). Induction heating technology and its applications: past developments, current technology, and future challenges. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 61(5), 2509-2520.
- [17] Sadhu, P.K., Pal, N., Bandyopadhyay, A., Sinha, D. (2010). Review of induction cooking-a health hazards free tool to improve energy efficiency as compared to microwave oven. *The 2nd International Conference on Computer and Automation Engineering (ICCAE)*, February 26-28, 2010, Singapore, Book of Proceedings, 5, 650-654p.
- [18] Gisslen, W. (2007). Professional cooking. John Wiley & Sons, Inc., New Jersey, USA.
- [19] Ito, A., Shinkai, M., Honda, H., Kobayashi, T. (2005). Medical application of functionalized magnetic nanoparticles. *Journal of Bioscience and Bioengineering*, 100(1), 1-11.
- [20] Mohring, J.U., Wrona E. (2011). Development of Customized Solutions - an Interesting Challenge of Modern Induction Heating. *Advances in Induction and Microwave Heating of Mineral and Organic Materials*, Edited by S. Grundas, InTech, Rijeka, Croatia, 125p.
- [21] Baysal, T., İçier, F., Baysal, H.A. (2011). Güncel Elektriksel Isıtma Yöntemleri. *Sidas Medya Yayınları, Çankaya, İzmir*.
- [22] Sharma, S., "Ohmic heating", <http://foodpathshala.ning.com/profiles/blogs/ohmic-heating> (Erişim Tarihi, 11.12.2017)
- [23] Varghese, K.S., Pandey, M.C., Radhakrishna, K., Bawa, A.S. (2014). Technology, applications and modelling of ohmic heating: a review. *Journal of Food Science and Technology*, 51(10), 2304-2317.
- [24] İçier, F., İlicali, C. (2005). Temperature dependent electrical conductivities of fruit purees during ohmic heating. *Food Research International*, 38(10), 1135-1142.
- [25] İçier, F., İlicali, C. (2004). Electrical conductivity of apple and sourcherry juice concentrates during ohmic heating. *Journal of Food Process Engineering*, 27(3), 159-180.
- [26] Kaur, N., Singh, A.K. (2016). Ohmic Heating: Concept and Applications - A Review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 56(14), 2338-2351.
- [27] FDA. (2001). Kinetics of Microbial Inactivation for Alternative Food Processing Technologies: Ohmic and Inductive Heating.
- [28] Curran, J.S., Featherstone, A.M. (1988). Electric-induction fluid heaters. *Power Engineering Journal*, 2(3), 157-160.
- [29] Kaneda, M., Hishikawa, S., Tamaka, T., Guo, B., Nakaoka, M. (1999). Innovative electromagnetic induction eddy current-based dual packs heater using voltage-fed high-frequency PWM resonant inverter for continuous fluid processing in pipeline. *The 25th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society*, 29 November - 3 December, 1999, California, USA, Book of Proceedings, 2, 797-802p.
- [30] Yıldız, M.N., İrfan, A. (2006). 2, 2kW'lık indüksiyonlu sıvı ısıtıcı tasarımı ve denemesi. *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 3, 11-23.
- [31] Kwon, S.K., Mun, S.P. (2008). Development of induction heater hot water system using new active clamping quasi resonant ZVS PWM inverter. *Journal of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers*, 22(11), 23-29.
- [32] Sadakata, H., Nakaoka, M., Yamashita, H., Omori, H., Terai, H. (2002). Development of induction heated hot water producer using soft switching PWM high frequency inverter. *Power Conversion Conference*, April 2-5, 2002, Osaka, Japan, Book of Proceedings, 2, 452-455p.
- [33] Altıntaş, A., Yıldız, M.N., Kızılkaya, İ. (2012). İndüksiyon Isıtma prensibi ile çalışan mikrokontrol denetimli bir sıvı ısıtıcısı tasarımı. *Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 29, 45-52.
- [34] Sastry, S.K. (1992). A model for heating of liquid-particle mixtures in a continuous flow ohmic heater. *Journal of Food Process Engineering*, 15(4), 263-278.
- [35] Zhang, L., Fryer, P.J. (1993). Models for the electrical heating of solid-liquid food mixtures. *Chemical Engineering Science*, 48(4), 633-642.
- [36] Zhang, L., Fryer, P.J. (1994). Food sterilization by electrical heating: sensitivity to process parameters. *AIChE Journal*, 40(5), 888-898.
- [37] Quarini, G.L. (1995). Thermalhydraulic aspects of the ohmic heating process. *Journal of Food Engineering*, 24(4), 561-574.
- [38] Stirling, R. (1987). Ohmic heating-a new process for the food industry. *Power Engineering Journal*, 1(6), 365-371.



- [39] Qihua, T., Jindal, V.K., Van Winden, J. (1993). Design and performance evaluation of an ohmic heating unit for liquid foods. *Computers and Electronics in Agriculture*, 9(3), 243-253.
- [40] Pataro, G., Donsi, G., Ferrari, G. (2011). Aseptic processing of apricots in syrup by means of a continuous pilot scale ohmic unit. *LWT-Food Science and Technology*, 44(6), 1546-1554.
- [41] Kim, N.H., Ryang, J.H., Lee, B.S., Kim, C.T., Rhee, M.S. (2017). Continuous ohmic heating of commercially processed apple juice using five sequential electric fields results in rapid inactivation of *Alicyclobacillus acidoterrestris* spores. *International Journal of Food Microbiology*, 246, 80-84.
- [42] Lee, S.Y., Sagong, H.G., Ryu, S., Kang, D.H. (2012). Effect of continuous ohmic heating to inactivate *Escherichia coli* O157: H7, *Salmonella Typhimurium* and *Listeria monocytogenes* in orange juice and tomato juice. *Journal of Applied Microbiology*, 112(4), 723-731.
- [43] Leizeron, S., Shimoni, E. (2005). Effect of ultrahigh-temperature continuous ohmic heating treatment on fresh orange juice. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(9), 3519-3524.
- [44] Ayadi, M.A., Leuliet, J.C., Chopard, F., Berthou, M., Lebouche, M. (2004). Continuous ohmic heating unit under whey protein fouling. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 5(4), 465-473.
- [45] Ayadi, M.A., Leuliet, J.C., Chopard, F., Berthou, M., Lebouché, M. (2005). Experimental study of hydrodynamics in a flat ohmic cell—impact on fouling by dairy products. *Journal of Food Engineering*, 70(4), 489-498.
- [46] Bansal, B., Chen, X.D. (2006). Effect of temperature and power frequency on milk fouling in an ohmic heater. *Food and Bioprocess Processing*, 84(4), 286-291.
- [47] Stancl, J., Zitny, R. (2010). Milk fouling at direct ohmic heating. *Journal of Food Engineering*, 99(4), 437-444.
- [48] Cernela, J., Heyd, B., Broyart, B. 2014. Evaluation of heating performances and associated variability of domestic cooking appliances (oven-baking and pan-frying). *Applied Thermal Engineering* 62(2): 758-765.
- [49] Karunanithy, C., Shafer, K. (2016). Heat transfer characteristics and cooking efficiency of different sauce pans on various cooktops. *Applied Thermal Engineering*, 93, 1202-1215.
- [50] Newborough, M., Probert, S.D., Newman, M., (1990). Thermal performances of induction, halogen and conventional electric catering hobs. *Applied Energy*, 37(1), 37-71.
- [51] Sweeney, M., Dols, J., Fortenbery, B., Sharp, F., (2014). Induction cooking technology design and assessment. *Small*, 5, 800.
- [52] Nunn, M.D., Giraud, D.W., Parkhurst, A.M., Hamouz, F.L., Driskell, J.A. (2006). Effects of cooking methods on sensory qualities and carotenoid retention in selected vegetables. *Journal of food quality*, 29(5), 445-457.
- [53] Rajagopal, L., Giraud, D.W., Hamouz, F.L., Driskell, J.A. (2007). Carotenoid retention and sensory characteristics of selected vegetables prepared by induction stir-frying. *Journal of Food Quality*, 30(5), 703-717.
- [54] Bozkurt, H., İçier, F. (2010). Ohmic cooking of ground beef: Effects on quality. *Journal of Food Engineering*, 96(4), 481-490.
- [55] Zell, M., Lyng, J.G., Cronin, D.A., Morgan, D.J. (2009). Ohmic cooking of whole beef muscle—Optimisation of meat preparation. *Meat Science*, 81(4), 693-698.
- [56] Zell, M., Lyng, J.G., Cronin, D.A., 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.
- [57] De Halleux, D., Piette, G., Buteau, M.L., Dostie, M. (2005). Ohmic cooking of processed meats: Energy evaluation and food safety considerations. *Canadian Biosystems Engineering*, 47(3), 41-47.
- [58] İçier, F., Sengun, I.Y., Turp, G.Y., Arserim, E.H. (2014). Effects of process variables on some quality properties of meatballs semi-cooked in a continuous type ohmic cooking system. *Meat Science*, 96(3), 1345-1354.
- [59] Sengun, I.Y., Turp, G.Y., İçier, F., Kendirci, P., 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.
- [60] Kanjanapongkul, K. (2017). Rice cooking using ohmic heating: Determination of electrical conductivity, water diffusion and cooking energy. *Journal of Food Engineering*, 192, 1-10.
- [61] Jittanit, W., Khuenpet, K., Kaewsri, P., Dumrongpongpaiboon, N., Hayamin, P., Jantarangsi, K. (2017). Ohmic heating for cooking rice: Electrical conductivity measurements, textural quality determination and energy analysis. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 42, 16-24.
- [62] Gally, T., Rouaud, O., Jury, V., Havet, M., Ogé, A., Le-Bail, A. (2017). Proofing of bread dough assisted by ohmic heating. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 39, 55-62.
- [63] İçier, F. (2010). Ohmic blanching effects on drying of vegetable byproduct. *Journal of Food Process Engineering*, 33(4), 661-683.
- [64] Cokgezme, O.F., Sabanci, S., Cevik, M., Yildiz, H., İçier, F. (2017). Performance analyses for evaporation of pomegranate juice in ohmic heating assisted vacuum system. *Journal of Food Engineering*, 207, 1-9.
- [65] İçier, F., Yildiz, H., Sabanci, S., Cevik, M., Cokgezme, O.F. (2017). Ohmic heating assisted vacuum evaporation of pomegranate juice: Electrical conductivity changes. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 39, 241-246.
- [66] Sabanci, S., İçier, F. (2017). Applicability of ohmic heating assisted vacuum evaporation for concentration of sour cherry juice. *Journal of Food Engineering*, 212, 262-270.
- [67] Gavahian, M., Farahnaky, A., Sastry, S. (2016). Ohmic-assisted hydrodistillation: A novel method

- for ethanol distillation. *Food and Bioproducts Processing*, 98, 44-49.
- [68] Saberian, H., Hamidi-Esfahani, Z., Gavlighi, H.A., Barzegar, M. (2017). Optimization of pectin extraction from orange juice waste assisted by ohmic heating. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, 117, 154-161.
- [69] Bozkurt, H., İcier, F. (2012). Ohmic thawing of frozen beef cuts. *Journal of Food Process Engineering*, 35(1), 16-36.
- [70] Park, J.W., Reed, Z.H. (2014). Effect of Ohmic Heating on Fish Proteins and Other Biopolymers. In *Ohmic Heating in Food Processing*, Edited by H.S. Ramaswamy, M. Marcotte, S. Sastry, K. Abdelrahim, CRC Press, Boca Raton, USA
- [71] Mohammed, M. (2002). Method and apparatus of cooking food. *U.S. Patent No. 20,040,197,451*.
- [72] Miyahara, K. (1990). Method of preparing foods by utilizing electric heating. *U.S. Patent No. 4,971,819*.
-