



Ohmik Isıtma Destekli İşlemlerin Gıdalarda Kullanımı ve Kalite Üzerine Etkisi

Bige İNCEDAYI^{1*}, Buket SEYHAN¹, Ömer Utku ÇOPUR¹

Öz: Gıda sektöründe geleneksel ısıl işlem uygulamalarına alternatif olabilecek daha hızlı ve çevreci üretim teknolojileri araştırılmaktadır. Son zamanlarda üzerinde birçok araştırma yapılan yöntemlerden biri olan, literatürde joule ısıtma, elektriksel direnç ısıtma, elektro iletken ısıtma ve rezistans ısıtma olarak da adlandırılan ohmik ısıtma, gıdaların elektriksel yolla ısıtıldığı bir sistemdir. Geniş bir uygulama alanına sahip olan ohmik ısıtma yönteminde ısı enerjisinin direk ürün içerisinde oluşması birçok avantaj sağlamaktadır. Ohmik ısıtma sisteminin verimliliğini etkileyen başlıca parametreler elektriksel direnç, elektriksel alan kuvveti, partikül boyutu ve konsantrasyondur. Bu derleme çalışmasında, son dönemlerde ohmik ısıtma sistemi ile gerçekleştirilen evaporasyon, ekstraksiyon, çözündürme, enzimatik ve mikrobiyal inaktivasyon uygulamaları incelenerek, ohmik ısıtmanın verimliliği, avantajları ve gıda kalitesi üzerine etkileri değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Elektroporasyon, evaporasyon, inaktivasyon, ohmik ısıtma.

* **Sorumlu yazar/Corresponding Author:** ¹ Bige İNCEDAYI, Bursa Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Gıda Mühendisliği Bölümü, Bursa Türkiye, bige@uludag.edu.tr, [OrcID 0000-0001-6128-7453](https://orcid.org/0000-0001-6128-7453)

¹ Buket SEYHAN, Bursa Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Gıda Mühendisliği Bölümü, Bursa Türkiye, buketseyhan.bkt@gmail.com, [OrcID 0000-0002-9948-4433](https://orcid.org/0000-0002-9948-4433)

¹ Ömer Utku ÇOPUR, Bursa Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Gıda Mühendisliği Bölümü, Bursa, Türkiye, ucopur@uludag.edu.tr, [OrcID 0000-0002-1951-7937](https://orcid.org/0000-0002-1951-7937)

Use of Ohmic Heating Assisted Treatments in Foodstuffs and Impact on Quality

Abstract: In the food sector, faster and ecological production technologies alternative to conventional heat treatment applications are being investigated. Ohmic heating, also called joule heating, electrical resistance heating, electro-conductive heating and resistance heating in the literature, which is one of the most researched method in recent years, is a system where the foods are heated electrically. This method has a wide application area and the formation of heat energy directly in the product during the process provides many advantages. The main parameters affecting the efficiency of the ohmic heating system are electrical resistance, electrical field strength, particle size and concentration. In this study, current ohmic heating assisted evaporation, extraction, dissolution, enzymatic and microbial inactivation applications are reviewed and the effects of ohmic heating on efficiency and food quality have been evaluated.

Keywords: Electroporation, evaporation, inactivation, ohmic heating.

Giriş

Geleneksel ısı işlem uygulamaları gıdaların korunmasında yaygın olarak kullanılan temel yöntemlerdendir (Kaur ve Singh, 2016; Cappato ve ark., 2017). Gıdalara uygulanan ısı işlemlerin ana hedefi gıdaların mikrobiyal güvenliğini sağlayıp, besinsel öğeleri ve duyuşal özelliklerini de koruyarak, ürünün kalitesini ve raf ömrünü arttırmaktır (Shiby ve ark., 2014). Ancak geleneksel ısı işlemlerdeki ısı transfer mekanizmalarının ürün yüzeyinde aşırı ısınmaya neden olarak, ısıya duyarlı besin öğelerinde ve duyuşal özelliklerde kayıplara neden olması gibi bazı dezavantajları mevcuttur. Endüstrideki geleneksel ısı işlem uygulamalarında genellikle ısı enerji katı, sıvı veya gaz formundaki yakıtların yakılmasıyla üretilerek, doğrudan ya da dolaylı olarak materyale aktarıldığından enerji verimi düşük ve çevrede kirlilik oluşturma oranı yüksektir. Bu nedenlerden dolayı son dönemlerde yeni ve alternatif ısıtma teknolojilerine karşı artan bir talep söz konusudur. Ohmik ısıtma sistemleri gıda sanayinde birçok uygulama alanı bulan bu alternatif yöntemlerden biridir (Sakr ve Liu, 2014).

Ohmik ısıtma, sistemden alternatif akım geçirilirken, devreyi tamamlayan bir parça olan gıdanın elektriksel direncine bağılı olarak ısıtılması ilkesine dayanan elektriksel ısıtma tekniğidir. Ohmik ısıtma sırasında elektrik enerjisinin termal enerjiye dönüşümü söz konusudur. Isıtılacak ürünler, iki ya da daha fazla sayıda elektrodun bir araya gelmesiyle oluşturulmuş elektrik alan içerisinde, doğrudan temas ettikleri elektrodlardan gelen akımın üzerlerinden geçişi esnasında, bu akıma karşı göstermiş oldukları direnç miktarıyla orantılı olarak ısınırlar (Jeager ve ark., 2016). Bu sistemde geçen alternatif akıma direnç gösteren gıda ya da gıda karışımında hacimsel olarak bir ısı artışı meydana gelir. Ohmik ısıtma, mikrodalga ve indüktif ısıtma yöntemlerinden gıda ile temas halindeyken ısıtma işlemini gerçekleştirmesi yönüyle ayrılmaktadır (Kaur ve Singh, 2016). Isıtma ortamı olarak genellikle kullanılan sıvı faz, yüksek iletkenliği nedeniyle, düşük konsantrasyondaki tuz çözeltisidir (Wongsa-Ngasri ve Sastry, 2015; İçier ve ark., 2017; Liu ve ark., 2017).

Ohmik ısıtma teknolojisi hızlı ve eşit miktarda ısıtma gerçekleştirebilmesi nedeniyle, konvansiyonel ısıtma teknolojisi ile kıyaslandığında birçok avantaja sahiptir. Bu avantajlar aşağıdaki gibidir (Cappato ve ark., 2017; Kutlu ve ark., 2017; Gavahian ve Farahnaky, 2018).

- Ohmik ısıtma tekniğinde ürünün düzgün ve hızlı bir sıcaklık artışıyla işlem görmesi, uygulanan ısıtma işleminin daha etkin olmasını, ürünün besleyici bileşiminin ve duyuşsal özelliklerinin korunmasını sağlamaktadır.
- Isı transfer yüzeyine ihtiyaç duyulmaksızın ısı enerjisi direk ürün içerisinde üretilmektedir.
- Ürün yüzeyinde sıcak bölgelerin oluşmasına neden olmayışı, bu teknolojinin sıcaklık artışına karşı hassasiyet gösteren gıda maddelerinin işlenmesinde de kullanımını mümkün kılmaktadır.
- İstenilen sıcaklığa kısa sürede ulaşılmaktadır.
- Ohmik ısıtma işlemi aynı anda katı ve sıvı fazda ısıtmayı mümkün kılmaktadır.
- Akım kesildiği anda ısı transferi son bulduğundan sürecin kontrolü kolaylıkla sağlanmaktadır.
- Kitlesel bir ısıtmanın gerçekleşmesi nedeniyle karıştırma işlemine gerek duyulmamaktadır.
- Ohmik ısıtma sistemlerinde ısıtma enerjisinin ürün içerisinde oluşması nedeniyle elektrik enerjisinin %90'ı ısı enerjisine dönüşmekte ve bu sayede enerji verimliliği sağlanmaktadır.
- Sessiz ve çevre dostu bir sistemdir. Bu yüzden 'green technology' olarak adlandırılmaktadır.
- Daha az bakım ile daha iyi ve daha basit proses kontrolü sağlanmasına imkan tanımaktadır.

Buna karşın sistemin nispeten yeni bir teknik olmasına da bağlı olarak bazı olumsuz yanları mevcuttur (Tola ve ark., 2014; Sakr ve Liu, 2014; Çokçezme ve İçier, 2016; Kaur ve Sing, 2016; Cappato ve ark., 2017);

- Farklı gıdalar farklı elektriksel iletkenliklere sahip olduğu için, ürüne göre sistem parametrelerinin yapılandırılmasına ihtiyaç duyulmaktadır.
- Gıda bileşenlerinin elektriksel özelliklerindeki heterojenlik pişme kalitesini etkilemektedir.
- Sıvı matrisle elektrotların temas halinde olması gerekmektedir. Aksi takdirde alternatif akım etkin bir şekilde ürüne iletilmediğinde üründe homojen ve hızlı bir ısı artışı sağlanamamaktadır.
- Uygun niteliklere sahip elektrot malzemesinin seçilmesi büyük önem taşımaktadır. Aksi takdirde elektrotlarda oluşan korozyon nedeniyle ürüne metal iyonu geçişleri gerçekleşerek toksik etkilere sebep olabilmektedir.
- Sistemi izlemek ve sürekli kontrol etmek gerekmektedir.

Genel olarak bir ohmik ısıtma düzeneği güç kaynağı, ısıtma hücresi, elektrotlar, mikroişlemci ve bilgisayardan meydana gelmektedir (Gavahian ve Farahnaky, 2018). Ohmik ısıtma destekli bir evaporasyon sisteminde güç kaynağı istenilen gerilimin oluşturulması ve sisteme ulaştırılmasını sağlamak amacıyla kullanılmaktadır. Kullanılan güç kaynağının kapasitesi, ihtiyaç duyulan voltaj gradyanlarına ve gerçekleştirilecek işleme göre değişiklik göstermektedir. Güvenli bir işlem yapılabilmesi için gıda maddesinin içerisinde bulunduğu bölüm olan ısıtma hücresinin yalıtkan bir malzemedan yapılmış olması gerekmektedir. Ayrıca işlem sırasında gıda maddesi ve elektrik iletim hattı arasında bulunan ve gıdayla direkt temas halinde

bulunan elektrotlarda yüksek iletkenliğe sahip, üründe kalıntı bırakmayan malzemelerin seçimi oldukça önemlidir (Çokgezme ve İçier, 2016; Gavahian ve Farahnaky, 2018).

Ohmik ısıtmanın direk olarak işlem veya ön işlem seviyesinde çok sayıda uygulama alanı mevcuttur. Bunlardan başlıcaları; haşlama, evaporasyon, kurutma, pastörizasyon, sterilizasyon, fermentasyon, ekstraksiyon ve çözündürmedir. Sistemin uygulanışına etki eden bazı parametreler aşağıda açıklanmıştır.

Ohmik Isıtmayı Etkileyen Faktörler

Gıdalarda ohmik ısıtmanın verimliliğini etkileyen temel faktörler elektriksel direnç, elektriksel alan kuvveti, partikül boyutu, konsantrasyon, iyonik konsantrasyon ve enerji verimliliğidir (Kaur ve Singh, 2016).

Elektriksel Direnç

Ohmik ısıtma işlemlerinin uygulanmasında en önemli faktörlerden biri ürünün elektriksel direnci ve bu direncin sıcaklığa bağlı olarak göstermiş olduğu değişimdir (Kaur ve Singh, 2016). Ürün sıcaklığı yükseldikçe elektriksel direnç azalır, bu durum yüksek sıcaklarda gerçekleştirilen işlemlerde sürenin uzamasına neden olur (Sakr ve Liu, 2014). Bir ohmik ısıtma ünitesinin gerçek direnci, ürünün spesifik elektriksel direncine ve ısıtıcı ünitesinin boyutlarına bağlıdır (İçier, 2003).

Sıvı ve katı parçacıklı yapıları bünyesinde bir arada bulunduran gıda ürünlerinin ohmik yöntemle ısıtılması sırasında, taşıyıcı faz ve partiküller arasındaki elektriksel direnç farkı, sistemin etkinliğini direk olarak etkilemektedir. Sıvı faz içerisinde bulunan katı bir faz, elektriksel direncine bağlı olarak sıvıdan daha hızlı ya da daha yavaş bir şekilde ısınabilir (Chen, 2015).

Elektriksel Alan Kuvveti

Elektriksel alan kuvveti arttıkça, daha yüksek elektrik iletkenliğine ulaşılmaktadır. Yükselen elektriksel iletkenlik, ısınmanın daha hızlı gerçekleşmesini ve mikrobiyal inaktivasyonun daha etkin olmasını sağlar (Kaur ve Singh, 2016). Elektriksel alan, elektrotlar arası mesafenin ya da uygulanan gerilimin ayarlanması ile değiştirilebilir (Silva ve ark., 2017).

Frekans ve Dalga Boyu

Ohmik ısıtma işlemi sırasında uygulanan frekans ve dalga boyutu, verimliliği ve kaliteyi etkilemektedir (Sakr ve Liu, 2014; Silva ve ark., 2017). Ohmik ısıtma esnasında alternatif akımın frekansını ve boyutunu değiştirmek ısı kütle transferini ve gıdanın özelliklerini etkilemektedir. Dolayısıyla bu iki parametrenin ohmik ısıtma üzerine etkilerini takip etmek önemlidir (Silva ve ark., 2017).

Partikül Büyüklüğü ve Konsantrasyon

Ohmik ısıtmanın homojen ve etkin bir şekilde gerçekleştirilebilmesi için temel olarak boyut, şekil ve konsantrasyon da dahil olmak üzere üç özelliğin dikkate alınması gerekmektedir (Chen, 2015).

Parçacıklı gıdaların ohmik yöntemle ısıtılması sırasında, ürünün içerisinde bulunan parçacıkların boyutu ve elektriksel iletkenliklerinin hesaplanması önem taşımaktadır. Küçük parçacıklardan (5mm'den az) oluşan emülsiyonlar veya kolloidler için parçacıkların elektrik iletkenliği göz ardı edilebilir, ancak daha büyük partiküller (15-25 mm) içeren gıdalar için iki fazın özellikleri ve göreceli ısıtma oranlarının ısıtma işlemi üzerine etkisi yüksektir (Silva ve ark., 2017).

Ohmik ısıtma sırasında ürünün konsantrasyonu da ısıtmanın etkinliğini ve süresini etkilemektedir. Ürün konsantrasyonunun artışı iyonik hareketliliğin yavaşlamasına ve bu da elektriksel iletkenliğin azalmasına neden olmaktadır. Bu nedenle yüksek yoğunluklu ve yüksek özgül ısılara sahip ürünler daha yavaş ısınırken, yüksek viskoziteli akışkanlar düşük viskoziteli olanlara göre ohmik yöntemle daha hızlı ısınırlar (Silva ve ark., 2017).

Çizelge 1'de farklı işlem koşullarında uygulanan işlem parametreleri görülmektedir. Yapılan bu çalışmaların sonucunda genel olarak ohmik ısıtma uygulamasının, işlem sürelerini azalttığı, ürünlerin besin değerlerini koruduğu, işleme kolaylığı sağladığı ve enerji tasarrufuna neden olduğu görülmüştür.

Çizelge 1. Farklı materyallere uygulanan ohmik ısıtma parametreleri

Materyal	Uygulanan İşlem	Frekans	Sıcaklık	Voltaj	Elektriksel Alan	Araştırmacılar
Tuna Balığı	Çözündürme	50 Hz - 20 kHz	20 °C	200 V	-	Liu ve ark. (2017)
Domates	Kabuk Soyma	30 - 60 Hz	40 °C	1-100 V	8-10 V cm ⁻¹	Wongsa-Ngasri ve Sastry (2015)
Pirinç	Pişirme	50 Hz	100 °C	250 V	20 V cm ⁻¹	Kanjanapongkul (2017)
Patates	Çözündürme	-	4 °C	-	25 V cm ⁻¹	İçier ve ark. (2016)
Greyfurt ve Kan Portakalı Suyu	Pastörizasyon	50 Hz	70 °C	-	1 -30 V cm ⁻¹	Achir ve ark. (2016)
Ekmek Hamuru	Fermentasyon	50 Hz	35 °C	50-150 V	-	Gally ve ark. (2017)
Portakal Suyu Üretim Artıkları	Pektin Ekstraksiyonu	50 Hz	50-90 °C	-	7-15 V cm ⁻¹	Saberian ve ark. (2017)
Vişne Suyu	Vakum Evaporasyon	50 Hz	20-65 °C	-	10-14 V cm ⁻¹	Sabancı ve İçier (2017)
Domates Püresi	Enzim İnaktivasyonu	-	90 °C	-	24 V cm ⁻¹	Makroo ve ark. (2016a)
Peyniraltı Suyu	Endüstriyel Peynir Altı Suyu İşleme	60 Hz	72-75 °C	-	4-5 V cm ⁻¹	Costa ve ark. (2018)

Ohmik Isıtmanın Elektroporasyon Etkisi

Ohmik ısıtma teknolojisi ısıtma işlevinin ötesinde, uygulanan elektrik alan sayesinde ekstraksiyon oranlarını arttıran, jelatinleşme sıcaklığı ve entalpiyi azaltan elektroporasyona neden olur (Kaur ve Singh, 2016). Hücrenin elektroporasyonu hücre zarlarında gözenek oluşumu olarak tanımlanmaktadır. Hücrenin elektrik alan içerisinde

bulunmasıyla birlikte membran geçirgenliği artmakta ve zar boyunca madde difüzyonu elektroporasyon ile sağlanmaktadır (Knirsch ve ark., 2010). Artan geçirgenlik hücresel bileşiklerin sızıntısıyla, materyallerin daha fazla difüzyonuna ve hücrenin geri dönüşümsüz olarak zarar görmesine neden olmaktadır (Cappato ve ark., 2017). Elektroporasyon bu sayede mikroorganizmalar üzerinde hücresel zarara neden olarak ısıl direnci azaltmaktadır (Cappato ve ark., 2017). Bu mekanizma ohmik ısıtmanın termal olmayan etkilerindedir (Knirsch ve ark., 2010). Ayrıca ohmik ısıtmadan kaynaklanan elektroporasyon ölümcül düzeyde zarara neden olmayan dozlarda uygulandığında, besin maddelerinin taşınmasını kolaylaştırarak mikrobiyal büyümeyi de teşvik edebilmektedir (Cappato ve ark., 2017).

Ohmik Isıtma Uygulamaları

Evaporasyon

Gıda endüstrisinde sıvı haldeki ürünlerin konsantreye işlenmesi sırasında evaporasyon tekniği kullanılmaktadır. Konsantrasyon işlemi genellikle ürüne ısıl işlem uygulanarak bünyesindeki serbest suyun bir kısmının uzaklaştırılması suretiyle gerçekleştirilir. Böylece evaporasyon işlemiyle su aktivitesi azaltılan ürün, mikrobiyal bozulmalara karşı daha dayanıklı hale gelmektedir. Aynı zamanda ürünün konsantreye işlenmesi sırasında hacminin azalması paketleme, taşıma ve depolama maliyetlerinde de azalış sağlar. Ancak ısıya duyarlı gıdaların konsantreye işlenmesi sırasında renk, aroma, tat ve besin değerinde kayıplar yaşanabilmektedir. Bu olumsuz etkileri minimize etmek için endüstride genellikle vakum evaporasyon uygulamaları kullanılmakta, işlem bu sayede daha düşük sıcaklık derecelerinde gerçekleştirilebilmektedir (Sabancı ve İçier, 2017). Evaporasyon uygulamalarının uzun sürelerde gerçekleşmesi hem zaman hem de enerji kayıplarına neden olmakta ve bu nedenle maliyetler artmaktadır. Gıda endüstrisinde evaporasyon sürelerini azaltarak etkin bir işlem gerçekleştirilebilmek için yapılan alternatif uygulamalardan biri de evaporasyon sisteminin ısı ünitesinde ohmik sistemlerin kullanılmasıdır. Yapılan çalışmalar, ohmik destekli evaporasyon ünitelerinin, işlem sürelerini kısalttığını ve verim artışı sağladığını ortaya koymuştur (İçier ve ark., 2017; Çokgezme ve ark., 2017).

Sabancı ve İçier (2017), vişne suyunu konsantreye işlemek amacıyla kullandıkları ohmik destekli vakum evaporasyon düzeneğinde buharlaşma süresinde önemli düzeyde azalma meydana geldiğini saptamıştır. Benzer şekilde nar suyunun konsantreye işlenmesinde ohmik destekli vakum evaporasyon sisteminin performansını inceleyen Çokgezme ve ark. (2017) ohmik ısıtma sisteminin vakum buharlaştırma sistemi ile entegrasyonunun sistem performansını arttırıcı etki gösterdiğini bildirmiştir.

Ekstraksiyon - Hidrodestilasyon

Ekstraksiyon gıda proseslerinde katı ya da sıvı fazda bulunan bir veya birden daha fazla sayındaki değerli bileşiğin farklı çözünürlük özelliklerinden yararlanılarak diğer bir sıvı faza alınması olarak tanımlanmaktadır (Nakilcioğlu ve Ötleş, 2014; Kutlu ve ark., 2017). Gıda sanayinde önemli bir basamak olan ekstraksiyon işlemleri genellikle konvansiyonel yöntemlerle gerçekleştirilmektedir. Ancak son yıllarda konvansiyonel

ekstraksiyon yöntemlerindeki solvent kullanımının ve sürenin azaltılması bunun yanı sıra ekstraksiyon veriminin artırılması amacıyla alternatif ekstraksiyon yöntemleri araştırılmaktadır (Kutlu ve ark., 2017). Bu yöntemlerden biri olan ohmik destekli ekstraksiyon düzeneklerinde gıda bileşenlerinin ekstraksiyonu konvansiyonel yöntemle kıyasla çok daha kısa sürelerde, daha yüksek verim ve kalitede gerçekleştirilebilmektedir (Loypima ve ark., 2015; Pereira ve ark., 2016; Saberian ve ark., 2017). Ohmik destekli ekstraksiyon düzeneklerinde ohmik sistem ısı kaynağı olarak işlev görmesinin yanı sıra, uyguladığı elektrik alan sayesinde hücresel dokularda elektroporasyona neden olarak biyoaktif bileşenlerin daha iyi ekstrakte edilmesine imkan tanır (Pereira ve ark., 2016). Loypima ve ark. (2015), ohmik destekli ekstraksiyon düzeneğinde siyah pirinç kepeğinden antosiyanin ekstrakte edilmesi ve elde edilen ekstraktın doğal gıda boyası olarak kullanılması üzerine yaptıkları çalışmada, buhar destekli ekstraksiyon ünitesinin ohmik destekli ekstraksiyon düzeneğinden daha düşük verim sağladığını görmüştür. Saberian ve ark. (2017) portakal suyu üretiminden çıkan atıklara, 90 °C’ de uyguladıkları ohmik ısıtma işlemi ile hücre duvarında daha yoğun bir yıkım gerçekleştirerek, geleneksel yöntemle kıyasla daha fazla pektin ekstraktı elde etmişlerdir.

Ohmik ısıtmanın nispeten yeni olan uygulama alanlarından bir diğeri ohmik destekli hidrodestilasyon sistemleridir. Ohmik ısıtmanın hacimsel ısıtma özelliğinin damıtma düzeneklerine uygulanmasıyla elde edilen bu sistemde destilasyon işleminin daha kısa süreler içerisinde, enerjiden de tasarruf sağlayarak gerçekleştirilmesi mümkün olmaktadır (Gavahian ve ark., 2015; Hashemi ve ark., 2017). Ohmik destekli bir hidrodestilasyon ünitesinde geleneksel ısıtıcı yerine ohmik ısıtma düzeneği kullanılmaktadır. Bu sayede daha iyi proses kontrolü sağlanmakta, damıtma maliyetleri ve süresi azaltılmaktadır (Gavahian ve Farahnaky, 2018). Hashemi ve ark. (2017), gıda maddelerinden antioksidanların ve esansiyel yağların eldesinde ohmik destekli hidrodestilasyon sistemlerinin daha çevreci bir yöntem olduğunu ifade etmiştir. Gavahian ve ark. (2015), nereden ohmik destekli hidrodestilasyon yöntemi ile esansiyel yağların ekstraksiyonunda, enerjiden yaklaşık %80, zamandan %75 tasarruf sağlamıştır.

Enzim İnaktivasyonu

Enzimler, gıda maddesinde kötü koku oluşumu, renk ve lezzet kayıpları, tekstürel yapıda değişikliğe neden olma gibi gıda kalitesini düşüren bazı olumsuz etkilere sahip olabilmektedir. Bu nedende gıdaların işlenmesi sırasında enzim aktivasyonunun kontrol altına alınması gerekmektedir. Bu amaçla çoğunlukla geleneksel ısıl işlem uygulamaları kullanılmaktadır (Demirdöven ve Baysal, 2014). Ancak geleneksel ısıl işlem uygulamaları enzimleri inaktive ederken, aynı zamanda ürünün duyu ve besinsel özelliklerinde kayıplara da neden olabilmektedir. Bu nedenle enzim inaktivasyonunu sağlamak amacıyla alternatif ısıl işlem uygulamaları denenmekte ve bu uygulamaların ürün kalitesi üzerine etkileri araştırılmaktadır. Bunlardan biri olan ohmik ısıtma yönteminin, kısa sürelerde etkin bir ısınma gerçekleştirilmesi nedeniyle enzim inaktivasyonunu sağladığı, aynı zamanda da kalite parametrelerini koruduğu görülmüştür (Jakob ve ark., 2010; Demirdöven ve Baysal, 2014; Makroo ve ark., 2016a).

Demirdöven ve Baysal (2014) tarafından yapılan çalışmada, portakal suyu üretiminde gecikmiş acılık olarak adlandırılan acılışmaya neden olarak ürün kalitesi ve tazeliğini azaltan pektin metilesteraz (PME) enzimi, ohmik yöntemle %96 oranında inaktive edilmiş ve bu sırada ürünün askorbik asit içeriği, konvansiyonel yöntemle göre daha iyi korunmuştur.

Saxena ve ark. (2016), ohmik ısıtmanın şeker kamışı suyunun bileşimindeki polifenoloksidaz enziminin aktivitesinde etkili bir azalış sağladığını tespit etmiştir. Makroo ve ark. (2016a) domates suyunda ohmik ısıtma yöntemiyle enzim inaktivasyonunun ürünün fizikokimyasal karakteristikleri üzerine etkisini incelemiştir. Bu çalışmanın sonuçlarına göre ohmik yöntemle enzim inaktivasyonu, konvansiyonel yöntemle kıyasla daha kısa sürelerde tamamlanmış ve ürünün fizikokimyasal özellikleri daha iyi korunmuştur.

Mikrobiyal İnaktivasyon

Gıdaların koruma altına alınması için uygulanan ısıya dayalı mikrobiyal inaktivasyon yöntemleri ürünün renginde, lezzetinde ve besin değerlerinde kayıplar meydana getirebilmektedir (Cho ve ark., 2017). Ancak günümüzde tüketicinin minimal işlenmiş, besin değeri yüksek ve güvenilir gıdaya olan talebi istikrarlı bir şekilde artmaktadır (Kim ve Kang, 2017). Bu nedenle inaktivasyon uygulaması sırasında gerçekleşen kalite kayıplarını en aza indiren yöntemler araştırılmaktadır. Ohmik ısıtma termal nitelikteki mikrobiyal inaktivasyon mekanizmalarına alternatif bir yöntem olup, kitlesel ve hızlı bir ısıtma ile etkin bir mikrobiyal inaktivasyon sağlamaktadır (Yıldız-Turp ve ark., 2013; Park ve Kang, 2013; Jeager ve ark., 2016; Cappato ve ark., 2017; Cho ve ark., 2017). Ohmik ısıtma mikrobiyal inaktivasyon mekanizması üzerine termal etki göstermesinin yanı sıra, bu sistemde kullanılan alternatif akım mikroorganizmaların hücre zarlarında gözenek oluşturmak suretiyle termal olmayan etkiler de göstermektedir (Jeager ve ark., 2016). Elektriksel akıma maruz bırakılan gıda maddesindeki mikrobiyal hücreler üzerinde yük birikimi gerçekleşir. Bu yük birikimi membran geçirgenliğinin artmasına ve hücre zarında gözenek oluşması yoluyla ısıl direncin azalmasına neden olmaktadır (Yıldız-Turp ve ark., 2013; Cappato ve ark., 2017).

Park ve Kang (2013), yaptıkları çalışmada mikrobiyal inaktivasyon üzerine ohmik ısıtmanın elektroporasyon etkisini incelemiştir. Çalışma sonucunda ohmik ısıtmanın ısıl etkisinin yanı sıra, gösterdiği elektroporasyon etkisiyle birlikte mikrobiyal inaktivasyonu çok daha kısa sürelerde ve daha düşük sıcaklıklarda gerçekleştirebildiği sonucuna varılmıştır. Cho ve ark. (2017), kırmızı biber salçasını pastörize etmek için kullandıkları ohmik ısıtma sistemiyle mikrobiyal inaktivasyonu, konvansiyonel yöntemle göre daha kısa sürelerde sağlamıştır. Aynı araştırmacılar, yüksek viskoziteli ürünlerin ısı temelli sterilizasyonu için enerji verimliliği sağlaması açısından da ohmik sistemlerin kullanımının daha uygun olduğu sonucuna ulaşmıştır.

Elma suyunda ohmik yöntemle mikrobiyal inaktivasyonun optimum şartlarını araştıran Park ve ark. (2017), uygun voltaj gradyanlarında uygulanan ohmik muamele ile etkin bir mikrobiyal inaktivasyon sağlamış, ürünün besinsel ve duyuşal özelliklerinin büyük ölçülerde muhafaza edildiğini ve ekonomik yönden de tasarruf sağlandığını belirtmiştir (Park ve Kang, 2017).

Hradecky ve ark. (2017), ohmik sterilizasyon yönteminin bebek mamalarında mikrobiyal güvenilirliği sağlayan ve aynı zamanda besin kayıplarını ve kanserojen furan bileşiklerinin oluşumunu minimumda tutan bir yöntem olduğunu saptamıştır.

Çözündürme

Dondurarak muhafaza gıdaların korunmasında yaygın olarak kullanılan bir yöntem olsa da, dondurulmuş ürünlerin geleneksel ısı uygulamalarıyla çözündürülmesi sırasında birçok problemle karşılaşmaktadır. Çözündürme sırasında ürünün mikrobiyal güvenliğini sağlamak için hızlı ve homojen bir ısı artışıyla, bölgesel ısı artışlarının önlenmesi hedeflenmektedir. Ancak konvansiyonel ısıtma yöntemlerinde bu koşulların sağlanması kimi zaman mümkün olmamaktadır. Ohmik ısıtma uygulamaları gıdaların çözündürülmesinde kullanımı mümkün olan alternatif bir çözündürme yöntemidir. Ohmik ısıtma sistemlerinde ısının hacimsel, tekdüze ve hızlı bir biçimde artışı çözündürme işleminde tercih nedeni olmasını sağlamaktadır. Ohmik çözündürme prosesinde elektrik enerjisinin ısı enerjisine dönüşüm oranı %90'nın üzerindedir (Ghnimi ve ark., 2008).

Balpetek ve Gürbüz (2015), yaptıkları çalışmada donmuş eti çözündürmek için ohmik ısıtma yöntemini kullanarak geleneksel yöntemle kıyasla daha kısa sürede, daha az ağırlık kaybıyla çözündürme işlemini gerçekleştirmiştir. Ancak ohmik çözündürme sistemlerinde homojen ısınmanın meydana gelebilmesi için elektrotlarla temasın gerçekleşmiş olması zorunluluğu vardır. Çözündürme sırasında elektrotlarla temasın sürekliliğini sağlamak ve iletken ortam yaratmak amacıyla araştırmacılar su ya da tuzlu su kullanmış ve bu fazlar içerisinde ürünü çözüdürmüşlerdir (Çokgezme ve İçier, 2016; İçier ve ark., 2016; Liu ve ark., 2017) Dondurulmuş patates küplerinin çözündürülmesine yönelik yapılan bir araştırmada, seçilen çözelti ile gıdanın elektriksel iletkenliği arasındaki bağlantının önemi ve buna yönelik olarak parametrelerin optimize edilmesiyle etkin bir çözündürme işleminin gerçekleştirilebileceği vurgulanmıştır (İçier ve ark. 2016). Diğer bir araştırmada Min ve ark. (2016), ohmik çözündürme düzeneği ile yüksek basınç yardımıyla çözündürme sistemlerini birleştirerek "basınçlı ohmik çözündürme sistemi" ni oluşturmuştur. Bu sistem, basınç uygulamasıyla suyun faz geçiş noktasını düşürerek, arttırılmış ısı akışı sağlamak suretiyle çözündürme sırasında buz fazının su fazına geçişini daha da hızlandırmış ve bu sayede ohmik çözündürme daha verimli (hızlı ve hacimsel ısı oluşumu) gerçekleştirilmiştir.

Ohmik Isıtmanın Gıda Kalitesi Üzerine Etkileri

Ohmik ısıtma sistemlerinde elektriksel enerjinin termal enerjiye dönüşümü yoluyla ortaya çıkan ısı, ekstraksiyon, çözündürme, pişirme, enzimatik ve mikrobiyal inaktivasyon gibi birçok işlemde kullanılmaktadır (Achir ve ark., 2016; Makro ve ark., 2016; Liu ve ark., 2017; Kim ve ark., 2018). Bu işlemler gerçekleştirilirken ohmik sistemlerin kullanımı, kısa sürede kitlesel bir ısı artışı meydana getirmesi yönüyle ürünün rengini, dokusunu, aromasını ve lezzetini korumakta, aynı zamanda mikrobiyal yünden güvence altına alınabilmesini kolaylaştırmaktadır (Cappato ve ark., 2017; Parmar ve ark., 2018). Pastörizasyon ya da sterilizasyon uygulamaları sırasında ohmik sistemlerin kullanımı ısı etkisinin yanı sıra, elektriksel akımın hücresel dokularda

oluşturduğu elektroporasyonun da etkisiyle daha kısa sürelerde işlem uygulanmasını mümkün kılarak, ürünün güvenliği ve kalitesini kontrol altında tutulabilmektedir. Konvansiyonel yöntemlere kıyasla ohmik ısıtma sistemleri ile gerçekleştirilen sterilizasyon ve pastörizasyon işlemlerinin, ürünün besinsel içeriğini daha iyi koruduğu yapılan çalışmalarla ortaya konmuştur (Achir ve ark., 2016; Cho ve ark., 2016; Makroo ve ark., 2016b; Mesías ve ark., 2016). Aynı zamanda ohmik sterilizasyon uygulamaları sırasında ürün içerisinde ısıya aşırı maruz kalan bölgelerin oluşmaması, ısı etkisiyle ortaya çıkan zararlı bileşenlerin oluşmasının da önüne geçmektedir (Hradecky ve ark., 2017; Kim ve ark., 2018). Pişirme, haşlama, çözündürme gibi işlemler sırasında ürüne uygun gerilim ve güç değerlerinin uygulanmasıyla, tekstürel kalitenin korunması sağlanmaktadır. (Gavahian ve ark., 2011; Farahnaky ve ark., 2012; Kanjanapongkul, 2017). Yapılan çalışmalarda dondurulmuş ürünlerin çözündürülmesi sırasında ohmik sistemlerin kullanılmasıyla, ürün dokusunun zarar görmediği, nem kaybının çok düşük seviyede olduğu, renk ve aromanın diğer yöntemlere kıyasla daha iyi korunduğu bildirilmiştir (Bozkurt ve İçier, 2012; Çelebi ve İçier, 2014; Liu ve ark., 2017; Llave ve ark., 2018). Ohmik ısıtma sistemi bu özellikleri nedeniyle besinsel içeriği korunmuş, kaliteli ve güvenilir gıda talebinin karşılanmasında kullanılması uygun ve tercih edilebilir bir sistemdir.

Sonuç

Ohmik ısıtma sistemi gıda sektöründe geleneksel ısıtma yöntemlerine alternatif olarak değerlendirilen ve son dönemlerde üzerinde çokça araştırma yapılan sistemlerden biridir. Ohmik ısıtma sisteminde elektrik enerjisinin ürün içerisinde, ısı enerjisine dönüşmesiyle hızlı ve düzgün bir ısıtma işleminin gerçekleştirilmesi mümkün olmaktadır. Bu sayede üründe besin kayıpları minimize edilmekte ve daha kısa sürelerde etkin ısıtma işlemleri gerçekleştirilebilmektedir. Aynı zamanda ohmik ısıtma sistemlerinde ısı kaynağının elektrik enerjisi olması nedeniyle, geleneksel yöntemlere kıyasla, çevrede kirlilik oluşturma oranı oldukça düşüktür.

Yapılan çalışmalar, ohmik ısıtmanın gıda sektöründe evaporasyon, ekstraksiyon, enzim inaktivasyonu, mikrobiyal inaktivasyon ve çözündürme gibi birçok alanda uygulanabilir bir sistem olduğunu göstermektedir. Geleneksel ısıtma yöntemleri ile kıyaslandığında; ohmik ısıtma sisteminin yer aldığı uygulamalarla işlemler çok daha kısa sürelerde, yüksek enerji verimliliği ve minimum besin kaybıyla tamamlanmaktadır. Ohmik ısıtma sisteminde ürünlerin besinsel ve duyu kalite parametrelerinin büyük ölçüde muhafaza edilerek, ısı işlem uygulamasının gerçekleştirebilmesi, günümüz tüketicisinin minimal işlem görmüş, besin değeri yüksek, güvenilir ve kaliteli gıdaya olan talebini karşılamak amacıyla kullanımını mümkün kılmaktadır. Bu nedenlerle ohmik ısıtma sistemlerinin gıda sanayinde, üretim akışlarına adapte edilerek kullanımının birçok avantaj sağlayacağı öngörülmektedir.

Kaynakça

- Achir, N., Dhuique-Mayer C., Hadjal T., Madani, K., Pain, J.P. and Dornier, M. 2016. Pasteurization of citrus juices with ohmic heating to preserve the carotenoid profile. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 33: 397-404.
- Balpetek, D. and Gürbüz, Ü. 2015. Application of Ohmic Heating System in Meat Thawing. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 195: 2822-2828.
- Bozkurt, H. and Icier, F. 2012. Ohmic thawing of frozen beef cuts. *Journal of Food Process Engineering*, 35: 16-36.
- Cappato, L.P., Ferreira, M.V.S., Guimaraes, J.T., Portela, J.B., Costa, M.Q., Freitas, A.L.R., Cunha, R.L., Oliveria, C.A.F., Mercali, G.D., Marzack, L.D.F. and Cruz, A.G. 2017. Ohmic heating in dairy processing: Relevant aspects for safety and quality. *Trends in Food Science & Technology*, 62: 104-112.
- Celebi, C. and Icier, F. 2014. Ohmic thawing of frozen ground meat. *Bulgarian Chemical Communications*, 46 (Special issue B): 121-125.
- Chen, C. 2015. Ohmic Heating: *Conventional and Advanced Food Processing Technologies*. Ed.: Bhattacharya, S., John Wiley & Sons, New Jersey, US, pp: 673-690.
- Cho, W., Yi, J.Y. and Chung, M. 2016. Pasteurization of fermented red pepper paste by ohmic heating. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 34: 180-186.
- Cho, W.I., Kim, E.J., Hwang, H.J., Cha, Y.H., Cheon, H.S., Choi, J.B. and Chung, M.S. 2017. Continuous ohmic heating system for the pasteurization of fermented red pepper paste. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 42: 190-196.
- Costa, N. R., Cappato, L.P., Ferreira, M.V.S., Pires, R.P.S., Moraes, J., Esmerino, E.A., Silva, R., Neto, R.P.C., Tavares, M.I.B., Freitas, M.Q., Junior, R.N.S., Rodrigues, F.N., Bisaggio, R.C., Cavalcanti, R.N., Racies, R.S.L., Silva, M.C. and Cruz, A.G. 2018. Ohmic Heating: A potential technology for sweet whey processing. *Food Research International*, 106: 771-779.
- Çokgezme, Ö.F ve İçier, F. 2016. Dondurulmuş Gıdaların Çözündürülmesinde Alternatif Bir Yöntem: Ohmik Çözündürme. *Akademik Gıda*. 14(2): 166-171.
- Çokgezme, Ö.F., Sabancı, S., Çevik, M., Yıldız H. and İçier F. 2017. Performance analyses for evaporation of pomegranate juice in ohmic heating assisted vacuum system. *Journal of Food Engineering*, 207:1-9.
- Demirdöven, A. and Baysal, T. 2014. Optimization of ohmic heating applications for pectin methylesterase inactivation in orange juice. *Journal of Food Science and Technology*, 51: 1817-1826.
- Farahnaky, A., Azizi R. and Gavahian, M. 2012. Accelerated texture softening of some root vegetables by Ohmic heating. *Journal of Food Engineering*, 113: 275-280.
- Gally, T., Rouaud, O., Jury, V., Havet, M., Oge, A. and Le-Bail, A. 2017. Proofing of bread dough assisted by ohmic heating. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 39: 55-62.

- Gavahian, M. and Farahnaky, A. 2018. Ohmic-assisted hydrodistillation technology: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 72: 153-161.
- Gavahian, M., Farahnaky, A. and Sastry, S. 2016. Ohmic-assisted hydrodistillation: A novel method for ethanol distillation. *Food Bioproducts Processing*, 98: 44-49.
- Gavahian, M., Farahnaky, A., Majzoobi, M., Javidnia, K., Saharkhiz, M.J. and Mesbahi, G. 2011. Ohmic-assisted hydrodistillation of essential oils from *Zataria multiflora* Boiss (Shirazi Thyme). *Journal of Food Science and Technology*, 46: 2619-2627.
- Gavahian, M., Farhoosh, R., Javidnia, K., Shahidi, F. and Farahnaky, A. 2015. Effect of applied voltage and frequency on extraction parameters and extracted essential oils from *Mentha piperita* by ohmic assisted hydrodistillation. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 29: 161-169.
- Gavahian, M., Chu, Y. and Farahnaky, A. 2019. Effects of ohmic and microwave cooking on textural softening and physical properties of rice. *Journal of Food Engineering*, 243: 114-124.
- Ghnimi, S., Flach- Malaspina, N., Dresch, M., Delaplace, G. and Maingonnat, J.F. 2008. Design and performance evaluation of an ohmic heating unit for thermal processing of highly viscous liquids. *Chemical Engineering Research and Design*, 86: 626-632.
- Hashemi, S.M.B., Nikmaram, N., Esteghlal, S., Khaneghah, A.M., Niakousari, M., Barba, F.J., Roohinejad, S. and Koubaa, M. 2017. Efficiency of Ohmic assisted hydrodistillation for the extraction of essential oil from oregano (*Origanum vulgare* subsp. *viride*) spices. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 41: 172-178.
- Hradecky, J., Kludska, E., Belkova, B., Wagner M. and Hajslova, J. 2017. Ohmic heating: A promising technology to reduce furan formation in sterilized vegetable and vegetable/meat baby foods. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 43: 1-6.
- İçier, F. 2003. Gıdaların Ohmik Isıtma Yöntemiyle Isıtılmasının Deneysel ve Kuramsal Olarak İncelenmesi. Doktora Tezi. E.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Ana Bilim Dalı, İzmir.
- İçier, F., Yıldız, H., Sabancı, S., Çevik M. and Çokgezme, Ö.F. 2017. Ohmic heating assisted vacuum evaporation of pomegranate juice: Electrical conductivity changes. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 39: 241-246.
- İçier, F., Çokgezme, Ö.F. and Sabancı, S. 2016. Alternative Thawing Methods for Blanched Potato Cubes: Microwave, Ohmic, and Carbon Fiber Plate Assisted Cabin Thawing. *Journal of Food Process Engineering*, 40: e12403.
- Jakób, A., Bryjak, J., Wójtowicz, H., Illeová, V., Annus, J. and Polakovič, M. 2010. Inactivation kinetics of food enzymes during ohmic heating. *Food Chemistry*, 123: 369-376.
- Jeager, H., Roth, A., Toepfl, S., Holzhauser, T., Engel, K.H., Knorr, D., Vogel, R.F., Bandick, N., Kulling, S., Heinz, V. and Steinberg, P. 2016. Opinion on the use of ohmic heating for the treatment of foods. *Trends in Food Science & Technology*, 55: 84-97.

- Kanjanapongkul, K. 2017. Rice cooking using ohmic heating: Determination of electrical conductivity, water diffusion and cooking energy. *Journal of Food Engineering*, 192: 1-10.
- Kaur, N. and Singh, A.K. 2016. Ohmic Heating: Concept and Applications-A Review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 56(14): 2338-2351.
- Kim, S. S. and Kang, D.H. 2017. Synergistic effect of carvacrol and ohmic heating for inactivation of *E. coli* O157:H7, *S. typhimurium*, *L. monocytogenes*, and MS-2 bacteriophage in salsa. *Food Control*, 73: 300-305.
- Kim, S., Park, S. and Kang, D. 2018. Application of continuous-type pulsed ohmic heating system for inactivation of foodborne pathogens in buffered peptone water and tomato juice. *LWT-Food Science and Technology*, 93: 316-322.
- Knirsch, M.C., Santos, C.A., Vicente, A.A.M.O.S. and Penna, T.C.V. 2010. Ohmic heating- a review. *Trends in Food Science & Technology*, 21: 436-441.
- Kutlu, N., Yeşilören, G., İşçi, A. and Şakıyan, Ö. 2017. Konvansiyonel ekstraksiyona alternatif: Yeşil teknolojiler. *Gıda*, 42 (5): 514-526.
- Liu, L., Llave, Y., Zheng, D., Fukuoka, M. and Sakai, N. 2017. Electrical conductivity and ohmic thawing of frozen tuna at high frequencies. *Journal of Food Engineering*, 197: 68-77.
- Llave, Y., Morinaga, K., Fukuoka, M. and Sakai, N. 2018. Characterization of ohmic heating and sous-vide treatment of scallops: Analysis of electrical conductivity and the effect of thermal protein denaturation on quality attribute changes. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 50: 112-123.
- Makroo, H. A., Rastogi, N.K. and Srivastava, B. 2016a. Enzyme inactivation of tomato juice by ohmic heating and its effects on physico-chemical characteristics of concentrated tomato paste. *Journal of Food Process Engineering*, 40:e12464.
- Makroo, H.A., Saxena, J., Rastogi, N.K. and Srivastava, B. 2016b. Ohmic heating assisted polyphenol oxidase inactivation of watermelon juice: Effects of the treatment on pH, lycopene, total phenolic content, and color of the juice. *Journal of Food Processing Preservation*, 41:e13271. DOI: 10.1111/jfpp.13271.
- Mesías, M., Wagner, M., George, S. and Morales, F.J. 2016. Impact of conventional sterilization and ohmic heating on the amino acid profile in vegetable baby foods. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 34: 24-28.
- Min, S. G., Hong, G.P., Chun, J.Y. and Park, S.H. 2016. Pressure Ohmic Thawing: a Feasible Approach for the Rapid Thawing of Frozen Meat and Its Effects on Quality Attributes. *Food and Bioprocess Technology*, 9: 564-575.
- Nakilcioğlu, E. and Ötleş, S. 2014. Basınçlı Çözgen Ekstraksiyonu ve Gıda Sanayiindeki Uygulamaları. *Akademik Gıda*, 12(2): 88-94.
- Park, I.K. and Kang, D.H. 2013. Effect of Electroporabilization by Ohmic Heating for Inactivation of *Escherichia coli* O157:H7, *Salmonella enterica* Serovar Typhimurium, and *Listeria monocytogenes* in Buffered Peptone Water and Apple Juice. *Applied Environmental Microbiology*, 79 (23): 7122-7129.

- Park, I.K., Ha, J.W. and Kang, D.H. 2017. Investigation of optimum ohmic heating conditions for inactivation of *Escherichia coli* O157:H7, *Salmonella enterica* serovar Typhimurium, and *Listeria monocytogenes* in apple juice. *BMC Microbiology*, 17:117.
- Parmar, P., Singh, A.K., Meena, G.S., Borad, S. and Raju, P.N. 2018. Application of ohmic heating for concentration of milk. *Journal of Food Science and Technology*, 55(12): 4956-4963.
- Pereira, R.N., Rodrigues, R.M., Genisheva, Z., Oliveira, H., Freitas, V., Teixeira, J. A. and Vicente, A.A. 2016. Effects of ohmic heating on extraction of food-grade phytochemicals from colored potato. *LWT-Food Science and Technology*, 74: 493-503.
- Sabancı, S. and İçier, F. 2017. Applicability of ohmic heating assisted vacuum evaporation for concentration of sour cherry juice. *Journal of Food Engineering*, 212: 262-270.
- Saberian, H., Hamidi-Esfahani, Z., Gavlighi, H.A. and Barzegar, M. 2017. Optimization of pectin extraction from orange juice waste assisted by ohmic heating. *Chemical Engineering and Processing*, 117: 154-161.
- Sakr, M. and Liu, S. 2014. A comprehensive review on applications of ohmic heating (OH). *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, 39: 262-269.
- Saxena, J., Makroo, H.A. and Srivastava, B. 2016. Effect of ohmic heating on Polyphenol Oxidase (PPO) inactivation and color change in sugarcane juice. *Journal of Food Process Engineering*, 40:e12485.
- Shiby Varghese, K., Pandey, M.C. and Radhakrishna, K. 2014. Technology, applications and modelling of ohmic heating:a review. *Journal of Food Science and Technology*. 51(10): 2304-2317.
- Silva, V.L.M., Santos, L.M.N.B.F. and Silva, A.M.S. 2017. Ohmic Heating: An Emerging Concept in Organic Synthesis. *Chemistry European Journal*, 23: 7853-7865.
- Tola, Y.B., Rattan, N.S. and Ramaswamy, H.S. 2014. Electrodes in ohmic heating 11. *Ohmic Heating in Food Processing*, Ed.: Ramaswamy, H.S., Marcotte, M., Sastry, S., Abdelrahim, K. 16p.
- Wongsa-Ngasri, P. and Sastry, S.K. 2015. Effect of ohmic heating on tomato peeling. *LWT-Food Science and Technology*, 61: 269-274.
- Yildiz-Turp, G., Sengun, I.Y., Kendirci, P. and İçier, F. 2013. Effect of ohmic treatment on quality characteristics of meat: A review. *Meat Science*, 93: 441-448.