

## Düşük Frekansta Elektriksel İşlem Destekli Ekstraksiyon Yöntemleri ile Gıdalardan Değerli Bileşen Eldesi

Buse Melek Çabas<sup>1</sup>  , Filiz İçier<sup>2</sup> 

<sup>1</sup>Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, 35100 Bornova İzmir

<sup>2</sup>Ege Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, 35100 Bornova, İzmir

Geliş Tarihi (Received): 26.03.2021, Kabul Tarihi (Accepted): 24.04.2021

✉ Yazışmalardan Sorumlu Yazar (Corresponding author): [buse.cabass@gmail.com](mailto:buse.cabass@gmail.com) (B.M. Çabas)

☎ 0 232 311 30 21 📠 0 232 311 48 31

### ÖZ

Son yıllarda gıdaların yapısında bulunan yağ, esansiyel yağ, renk maddesi, polifenol, protein ve pektin gibi değerli bileşenlerin eldesinde kullanılan ekstraksiyon yöntemlerinin bazı olumsuz yönlerinin olduğu bazı olumsuz yönlerinin iyileştirilmesi amacıyla güncel alternatif yöntemleri üzerine yapılan çalışmalar artmaktadır. Ekstraksiyon işlemi ile gıdaların yapısındaki değerli bileşenleri yüksek verim ve kalitede elde edebilmek amaçlanmaktadır. Güncel yöntemler arasında yer alan düşük frekansta elektrik işlem ile desteklenmiş ekstraksiyon yöntemleri, geleneksel yöntemlere kıyasla yüksek ekstraksiyon ve enerji verimliliği, daha az solvent tüketimi ve daha kısa işlem süresi gibi bazı avantajlar sağlamaktadır. Bu çalışmada, ohmik ısıtma, ılımlı elektrik alan ve vurgulu elektrik alan gibi düşük frekansta uygulanan elektriksel işlemlerin ekstraksiyon mekanizması üzerine etkileri, etki eden işlem parametreleri (sıcaklık, frekans, dalga tipi, voltaj gradyanı ve elektriksel iletkenlik) ve gıda endüstrisindeki uygulama alanları derlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Ekstraksiyon, Ohmik, Frekans, Voltaj, Elektriksel iletkenlik

### Extraction of Valuable Constituents from Foods by using Low Frequency Electrical Process Assisted Extraction Methods

#### ABSTRACT

In recent years, studies on novel extraction methods have been increasing to eliminate some disadvantages of conventional extraction methods to extract valuable components as oil, essential oil, color compounds, polyphenol, protein, pectin etc. from foodstuff. The aim of the extraction process is to obtain valuable components from food materials with high product yield and quality. The low-frequency electrical process assisted extraction methods, which are the novel extraction methods, provide advantages such as high extraction efficiency, less solvent consumption, short processing time and high energy efficiency compared to conventional methods. In this study, the effects of low-frequency electrical assisted extraction methods such as ohmic heating, moderate electric field and pulsed electric field on extraction mechanism, the effective process parameters (temperature, frequency, wave type, voltage gradient, electrical conductivity), and application areas in the food industry were reviewed.

**Keywords:** Extraction, Ohmic, Frequency, Voltage, Electrical conductivity

### GİRİŞ

Gıda endüstrisinde gıdalarda bulunan değerli bileşenlerin elde edilebilmesi için yaygın olarak

kullanılan işlemlerden birisi olan ekstraksiyon işleminde, işlem sonunda gıda maddesinin yapısındaki bozulma ile elde edilecek ürün verimi doğrudan ilişkilidir. Gıda sanayinde, hammaddeden son ürün eldesine kadar

uygulanan çeşitli işlemlerde yüksek oranda enerji tüketilmektedir. Endüstride artan enerji gereksinimi ve enerjinin efektif kullanılamaması hem ekonomik hem de ekolojik açıdan büyük sorun yaratmaktadır [1].

Enerji gereksinimini azaltmak ve enerjiyi daha verimli kullanabilmek için alternatif işleme tekniklerine ihtiyaç duyulmaktadır [2]. Alternatif gıda işleme yöntemleri arasında yer alan elektriksel işlemlerin geleneksel yöntemlere kıyasla daha verimli ve daha kaliteli ürün eldesi gerçekleştirebildikleri bilinmektedir. Ohmik ısıtma (OI), ılımlı elektrik alan (IEA), vurgulu elektrik alan (VEA), mikrodalga ve radyo frekans gibi elektriksel işlemlerin ısı ve/veya ısı olmayan etkilerinden yararlanarak gıdaların işlenmesi sağlanmaktadır [3, 4].

Gıdalar üzerinde yaygın olarak uygulanan elektriksel işlemlerden biri olan mikrodalga ışınım, elektromanyetik spektrumun bir parçasıdır ve 0.3 ve 300 GHz frekanslarına karşılık gelen milimetrik (0.01m) ve radyo (1 m) dalgaları bölgesine düşmektedir [4]. Gıda yüzeyine gönderilen mikrodalgalar, elektrik alan varlığında gıdadaki polar moleküller (su) ile aynı polarite düzeyine girmeye çalışmakta ve böylece kinetik enerji ile gıda ısınmaktadır [4]. Ardından ısı transferi iletim ve taşınım mekanizmaları ile devam etmektedir [5, 6]. Radyo frekans yöntemi ise 1 ve 300 MHz arasında frekans uygulanarak gerçekleştirilmektedir. Radyo frekans bölgesinde dalga boyu mikrodalgalara kıyasla daha uzun olduğu için penetrasyon kalınlığı da daha yüksektir [7]. Radyo frekans mekanizmasında iki elektrot arasında elektrotlara temas etmeden elektrik alanına maruz kalmaktadır. Böylece, elektrik alan altında gıdadaki iyonlar yer değiştirerek ve dipolar moleküller elektrik alan polaritesine göre yön değiştirerek gıda içerisine ısı enerjisi absorbe olmaktadır [4]. Her iki dielektrik ısıtma yönteminin de gıdalara uygulanması sırasında tespit edilen aşırı ısınma, heterojen yapı içerisinde sıcak nokta oluşumu, gıdanın şekline göre absorplanan elektriksel güç miktarı değişimi ve gıdanın boyutuna göre değişen penetrasyon kalınlığı gibi bazı dezavantajları bulunduğu bilinmektedir [4].

Güncel alternatif yöntemler arasında bulunan ve son yıllarda araştırmacıların enerji verimliliği yüksek alternatif gıda işleme yöntemleri olarak değerlendirdiği düşük frekansta elektriksel işlemler (OI, IEA ve VEA) ise dielektrik ısıtma bölgesine kıyasla daha düşük frekansta (1 - 80000 Hz) uygulanan elektriksel işlemler arasında yer almaktadır. Bu nedenle enerji aktarım hızının kontrolü daha kolaydır, uygulamaları daha pratiktir, enerji verimliliği daha yüksek işlemlerdir. Bu işlemler, elektrik akım veya elektriksel alan etkisi ile gıdaların ısıtılması, pişirilmesi, pastörize/sterilize edilmesi gibi ısı yöntemleri olarak uygulanabilmektedir [4]. Diğer yandan, gıdalardan değerli bileşenlerin eldesi, reolojik özelliklerin iyileştirilmesi ve verim artırılması gibi amaçlarla uygulanmaları durumunda ısı olmayan etkileri ile de dikkat çekmektedirler [8-14].

Elektriksel işlem desteği ile gıdalardan yağ [10, 15], esansiyel yağ [8, 9, 16], antosiyanin, betalain, karotenoid, klorofil gibi doğal renk maddeleri [17-23], inülin [24, 25], pektin [26, 27] ve protein [28] vb. değerli

bileşenlerin eldesinde hem enerji hem ürün eldesi açısından daha verimli ekstraksiyon işlemleri uygulanabilmektedir.

Ohmik ısıtma, gıda maddesi ile temas halinde olan elektrotlardan 1 - 2000 Hz frekans ve 1-100 V/cm voltaj gradyanı aralığında alternatif akım geçirilmesi ve gıda maddesinin direnç olarak kullanılması prensibine dayanmaktadır. Gıda maddesinin elektrik akımına karşı oluşturduğu direnç gıda içerisinde ısı oluşumuna neden olmakta ve böylece elektriksel enerji ısı enerjisine dönüşmektedir; oluşan bu değişim Ohm kanunu ile açıklanabilmektedir [4, 29-31]. Ohmik ısıtmanın başarısı, ısı üretim hızına, gıdanın elektriksel iletkenliğine, gıdanın bileşimine, elektrik alan şiddetine ve işlem süresine bağlıdır [32]. Ohmik ısıtma teknolojisi ile çözündürme, evaporasyon, fermentasyon, haşlama, pişirme, enzim inaktivasyonu ve ekstraksiyon yapılabilmektedir [16, 29, 33-36]. Ohmik ısıtma bu işlemlerde kolay proses kontrolü, kısa işlem süresi ve yüksek miktarda enerji tasarrufu gibi birçok avantaj sağlamaktadır [37]. IEA işlemi de 1 - 2000 Hz frekans ve 1-1000 V/cm aralığında uygulanmaktadır [11, 14, 17, 19, 38]. Uygulanan elektriksel alan şiddetinin düşük olduğu durumlarda, ısı olmayan elektrik alan etkisi ile hücre membranının geçirgenlik özelliğinde değişimler meydana geldiği belirlenmiş [39], aynı zamanda uygulanan frekans değerinin ise bu değişimlerin geri dönüşümlü veya kalıcı olması üzerine etkisinin olduğu rapor edilmiştir [40]. Diğer yandan yüksek elektriksel alan şiddetindeki uygulamalar ile elektrik alanın ısı olmayan etkisinin yanında joule ısıtmanın daha belirgin şekilde yapıda değişiklikler meydana getirdiği belirtilmiştir [14, 19]. Prensip olarak birbirlerine çok benzemek ile beraber, düşük frekanslı elektriksel işlemlerin ısı olmayan etkilerden yararlanma amaçlı uygulanması durumunda IEA olarak isimlendirildiği dikkati çekmektedir [3]. OI ve IEA uygulaması gıda içerisinde ısı jenerasyonuna neden olurken elektrik alandan kaynaklı ısı olmayan etkisi de gözlemlenmektedir [17, 19, 41]. Ohmik ısıtma işleminde Joule ısıtma etkisi daha belirgin olarak gözlemlenirken, IEA uygulamalarında elektrik alanın etkisi öne çıkmaktadır [42]. Yapılan çalışmalarda IEA işleminin uygulama alanları haşlama [19], kurutma ön işlemi [19, 43], ekstraksiyon [12, 14, 19], biyokütle üretiminin artırılması [38, 44], enzim inaktivasyonu [45, 46] ve mikrobiyal inaktivasyon [47] olarak belirlenmiştir. Kulshrestha ve ark. [39], ılımlı elektrik alan uygulamasının termal etki olmadan da dokuların su ve çözünür maddelerin geçirgenliğini arttırdığını rapor etmişlerdir.

Isı olmayan bir başka elektriksel işlem ise vurgulu elektrik alan uygulamasıdır. VEA mekanizması, kısa süreli (1-10 mikrosaniye) ve yüksek şiddette elektrik alan (15-80 kV/cm) uygulanmasına dayanan [48] ve geniş frekans aralığında uygulanabilen ısı olmayan güncel gıda işleme tekniklerinden birisidir. Hem elektrik akımı hem de elektriksel alan varlığında elektrik enerjisinin mikrosaniye aralıklarla uygulanması ile hücre membranında geri dönüşümlü veya kalıcı olarak gözenek oluşumu meydana gelmektedir. Bu olay ise elektroporasyon olarak adlandırılmaktadır. Diğer yandan

VEA uygulaması, OI ( $\leq 100$  V/cm) ve IEA ( $\leq 1000$  V/cm) işlemlerinden daha yüksek elektrik alana maruz bırakıldığı yöntem olarak öne çıkmaktadır [12, 34, 49].

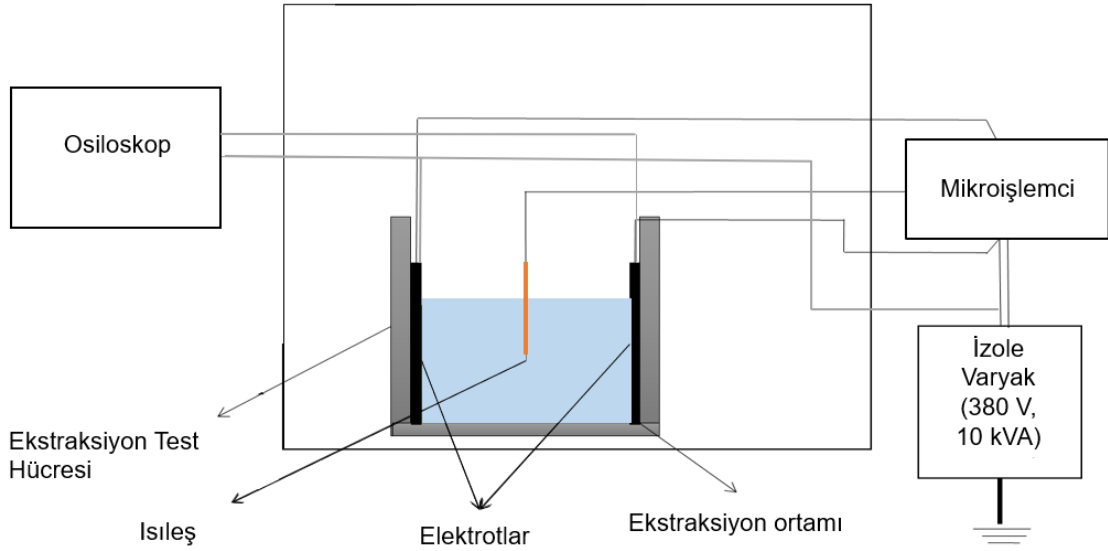
Bu çalışmanın amacı, düşük frekansta uygulanan elektriksel işlemlerin gıdalardan değerli bileşenlerin ekstraksiyonunda uygulanması, işlemlerin mekanizması, işlem sırasında sıcaklık, frekans, dalga tipi, elektrik alan şiddeti ve elektriksel iletkenlik gibi parametrelerin ekstraksiyon üzerine etkilerinin derlenmesi ile literatüre katkı sağlamaktır.

## DÜŞÜK FREKANSTA ELEKTRİKSEL İŞLEM DESTEKLİ EKSTRAKSİYON MEKANİZMASI

Geleneksel ekstraksiyon işleminde genelde kimyasal çözümlere ihtiyaç duyulmaktadır. Isıtıcı ortam sağlamak için ısıtıcı ekipmanlardan faydalanılmaktadır. Genel olarak iletim ve konveksiyon ısı transfer mekanizmaları ön planda olmakta ve homojen bir ısı transferinin

gerçekleşmesi güçleşmektedir. Ayrıca, aşırı ısınmadan dolayı istenmeyen bileşenlerin açığa çıkması, ekstrakte edilmek istenen bileşenlerin bozulması homojen ısınma gerçekleşmemesi, düşük ısı transfer hızı ve düşük ekstraksiyon verimi gibi bazı dezavantajlara sahiptir [3, 50].

Elektriksel ısıtma işlemi esnasında gıda, yapısından geçen elektrik akımına karşı direnç göstermekte ve bu sayede elektrik enerjisi ısı enerjisine dönüşmektedir. Gıda, oluşan ısı ile hacimsel olarak ısınmakta ve homojen ısı dağılımı gerçekleşmektedir. Bahsedilen prensibe dayanan IEA, OI ve VEA gibi elektriksel işlemlerin gıda alanında uygulanması için kullanılan sistemler temel olarak benzer donanım gereksinimine sahiptir. Bu sistemler, frekans ve voltaj değerleri ayarlanabilen güç ünitesi (varyak), test hücresi, elektrotlar, sıcaklık ölçüm üniteleri, osiloskop, akım ve voltaj ölçümlerini kaydeden ve sistemi kontrol eden bir mikroişlemciden oluşmaktadır [55] (Şekil 1).



Şekil 1. Düşük frekansta elektriksel işlem sisteminin ana parçalarının şematik gösterimi [55]

*Figure 1. Schematic representation of the main parts of the low frequency electrical processing system [55]*

Elektriksel işlem uygulamasında gıdanın yapısından geçirilen elektrik akımı, sistemde bulunan güç ünitesi (varyak) yardımıyla sağlanmaktadır. Doğru akım ve alternatif akım olmak üzere iki tip akım çeşidi uygulanabilmektedir. Alternatif akım, doğru akıma kıyasla gıdada gerçekleşebilecek elektroliz olayına daha az neden olduğu için elektriksel işlem sırasında daha çok tercih edilmektedir [3]. Ayrıca düşük frekans değerinde elektriksel işlemlerin uygulanabilmesi için gıdanın iki elektrot arasında olması gerekmektedir. Literatürdeki çalışmalarda, paslanmaz çelik [15, 17, 51], titanyum [14, 18, 52, 53], platinyum [12, 26], platinize titanyum [54] gibi çeşitli materyallerden elde edilmiş elektrotlar kullanılabileceği belirtilmektedir.

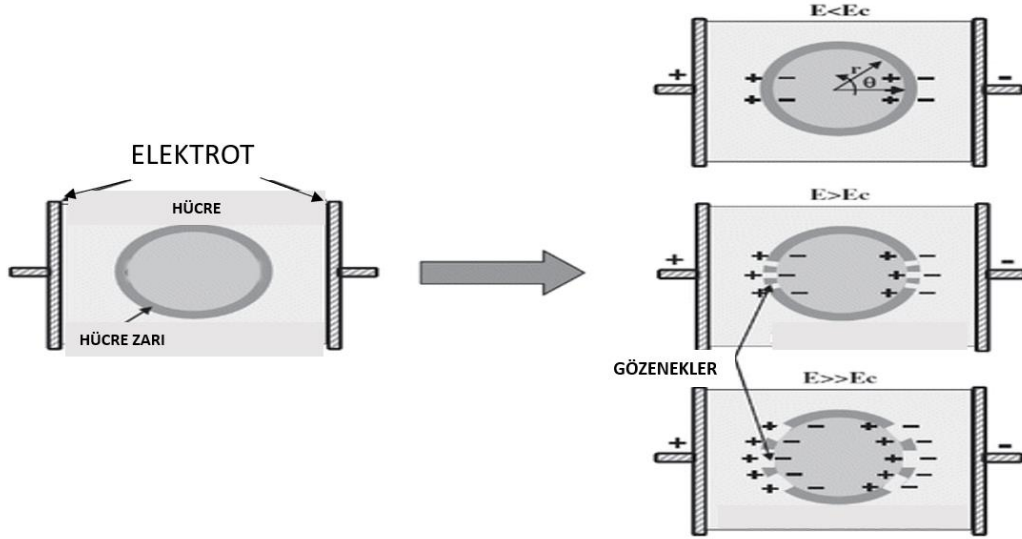
Genel olarak düşük frekansta uygulanan elektriksel işlemlerinin ekstraksiyon işlemine katkısı hem ısı hem de elektroporasyon etkisi ile kütle transfer hızının artması olarak açıklanmaktadır. Gıda, uygulanan elektrik alana direnç göstermekte ve böylece gıdanın yapısında

ısı jenerasyonu meydana gelerek gıdanın sıcaklığında artışa sebep olmaktadır [4, 29, 30, 31]. Özellikle ohmik ısıtma işlemi sırasında elektriksel alan şiddetinin sürekli uygulanması ve uygulama süresinin uzun olması, gıda üzerinde termal etkiye neden olmaktadır. IEA işleminde elektriksel alan şiddeti ve frekansın düzeyine bağlı olarak ısı etkisi sınırlı kalabilmektedir. VEA yönteminde ise işlemin daha yüksek frekansta ve daha yüksek elektriksel alan şiddetinde mikrosaniye düzeyinde darbe olarak uygulanması nedeniyle ısı etkisi minimum düzeyde tutulabilmektedir [4].

Elektriksel işlemlerde termal etkiye ek olarak termal olmayan elektrik etkisinin de gözlenebileceği literatürde belirtilmektedir. Elektriksel etki, gıda materyalinden elektrik alan geçirilmesi ile hücre membranı boyunca trans-membran potansiyelin indüklenmesi ve hücrenin geçirgenliğinin artması olarak gözlenmektedir. Özellikle hücre membranında biriken elektrik yükü, hücre membranında bulunan ve kütle transferinden sorumlu

olan fosfolipid yapıların ısı veya ısı olmayan nedenler ile denatürasyonuna sebep olabilmektedir [3, 19]. Böylece hücre duvarının iyon yük dengesi bozularak membranın geçirgenliği artmaktadır. Düşük sıcaklıkta elektrik alana maruz kalan genişlemiş hücre vakuollerinin elektromekanik olarak sıkışması nedeniyle hücre yapısında uzama meydana gelmekte ve bu nedenle hücre geçirgenliği artmaktadır [3, 19]. Elektrik alan şiddeti hücrenin sahip olduğu kritik trans-membran

gerilimi altında uygulandığında hücre membranında bir değişiklik görülmezken, kritik trans-membran gerilimi üzerinde uygulandığında ise geri dönüşümlü veya geri dönüşümsüz olarak elektroporasyon oluşmaktadır (Şekil 2). Hücre membranındaki değişimin geri dönüşümlü ve/veya geri dönüşümsüz olmasını, uygulanan elektrik alan şiddetinin yanı sıra frekans değerinin de etkilediği belirtilmektedir [40].



Şekil 2. Elektrik alanın biyolojik hücre membranı üzerine etkisi [56]  
 Figure 2. Effect of electric field on biological cell membrane [56]

Düşük frekanslı elektrik işlem uygulamasında, hücre membranında meydana gelen elektroporasyon sayesinde hücre içi değerli bileşenler ekstraksiyon ortamına kolayca transfer olabilmektedir [3]. Düşük sıcaklıklarda gerçekleştirilen düşük frekanslı elektriksel işlemlerin, elektriksel olarak hücre yapısına verdiği zarar ile hücre zarındaki açıklık sayısını arttırmasının ekstraksiyon verimini arttırdığı bildirilmektedir [11, 19]. Ancak, yüksek sıcaklık değerlerinde çalışıldığında, elektriksel işlemin baskın termal etkisi ile termal denatürasyondan ve hücrenin aşırı derecede genişlemesinden dolayı hücre membranı parçalanabilmektedir [35, 57].

Elektriksel işlemler ile desteklenmiş ekstraksiyon işleminin sağladığı avantajlar; yüksek enerji verimi [9, 15, 17], yüksek ekstraksiyon verimi, düşük işlem süresi ve kimyasal çözügen gereksiniminde azalmadır [11, 12, 14, 19, 58]. Fakat elektriksel sistemler ile çalışmak için bilgi/donanım gereksinimi, kalifiye eleman ihtiyacı, güvenlik önlemleri ve elektrotlarda meydana gelecek korozyon olasılığı gibi dezavantajları göz önünde bulundurmak gerekmektedir [4].

## İŞLEM ETKİNLİĞİNİ ETKİLEYEN PARAMETRELER

### Sıcaklığın Etkisi

Yüksek sıcaklıkta ekstrakte edilen materyalin çözügen içerisindeki çözünürlüğü artmakta ve buna bağlı olarak ekstraksiyon verimi de artmaktadır [26, 59, 60]. Ancak, protein, polisakkarit ve kolay degrade olan değerli

bileşenlerce zengin gıdaların ekstraksiyon sıcaklığının belirlenmesi kritik öneme sahiptir.

Ohmik ısıtma ile desteklenmiş ekstraksiyon yöntemi ile portakal kabuklarından pektin ekstrakte edilen bir çalışmada, farklı işlem süresi (5, 17.5 ve 30 dakika) ve sıcaklık değerlerinin (50, 70 ve 90°C) pektin verimi üzerine etkisi incelenmiştir. 90°C sıcaklık değerinde belli bir işlem süresine (30 dakika) kadar pektin veriminin artmakta olduğu belirtilmiştir. Ancak bu işlem süresinden sonra hammaddenin yapısında değişiklikler meydana geldiği için çözügen difüzyonunun yavaşladığı, dolayısıyla kütle transfer hızının düşebileceği ileri sürülerek ekstraksiyon veriminin değişmeyeceği bildirilmiştir [26].

Renkli patateslerden antosiyanin ekstraksiyonunun incelendiği bir çalışmada, sıcaklık (30, 60 ve 90°C) ve işlem süresi (0, 5 ve 10 dk.) artışı ile ekstraksiyon veriminin arttığı rapor edilmiştir [17]. Gıda içerisinde ısı jenerasyonu ile gerçekleşen hacimsel ısınmanın birçok değerli bileşenlerin ekstraksiyon ortamına transferini hızlandırdığı; deniz yosunu [61], aromatik bitki [62], pirinç kepeği [18], soya fasulyesi [51] ve şeker pancarı [63] ile yapılan çalışmalarda rapor edilmiştir. Benzer şekilde, kütle transferindeki artışın sebebi, termal etki ile gıdanın hücre ve dokusunda meydana gelen tahribat ile açıklanmıştır.

### Frekansın ve Dalga Tipinin Etkisi

Ekstraksiyon sırasında frekansın etkisi işlem sıcaklığına bağlı olarak değişmektedir. Diğer yandan, IEA

uygulamasında düşük sıcaklıkta frekans değeri azaldıkça, sıcaklık artış hızının ve ekstraksiyon veriminin arttığı belirtilmektedir [16, 19, 64]. Düşük frekans değerinde işlem süresi artarak hücre duvarında yükün birikmesi için daha fazla süre sağlanmakta ve hücre geçirgenliği artmaktadır [14, 54, 65]. Ayrıca, frekans arttıkça hücre geçirgenliğini arttırmak için gerekli eşik değeri de artmaktadır [14].

Wang ve Sastry [53] ılımlı elektrik alan destekli ekstraksiyon yöntemi ile elma suyunu ekstrakte ettikleri çalışmalarında, düşük frekans değerinin nem difüzyonunu olumlu yönde etkilediğini ve ekstraksiyon veriminin artmasına sebep olduğunu belirtmişlerdir. Pancar örneklerinden doğal renk maddesi difüzyonu üzerine yapılan bir çalışmada, 0-5000 Hz frekans aralığında, 23.9 V/cm voltaj gradyanında, 45°C sıcaklığa kadar uygulanan ohmik ısıtma işlemi için, düşük frekans değerinde daha yüksek ekstraksiyon verimi elde edilebileceği rapor edilmiştir [14]. Ohmik ısıtma sırasında uygulanan frekans değeri azaldıkça, hücre zarının sahip olduğu geçirgenlik özelliğini arttırmak için gerekli eşik değerinde azalma olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, hücre zarında fiziksel bir tahribat oluşmadığı, meydana gelen ekstraksiyonun elektriksel etki ile hücre zarında meydana gelen elektroporasyondan kaynaklandığı vurgulanmıştır. Kim ve Pyun [66], soya fasulyesinden soya sütünün ekstraksiyonu için ohmik ısıtma sırasında uygulanan kare dalga tipinin sinüs dalga tipinden daha az etkili olduğunu ve elde edilen sütün pH değerini arttırdığını belirtmişlerdir. Kare dalga tipi uygulamasının, soya sütünün pH değerinde artışa neden olmasının, kimyasal bileşenlerin parçalandığı anlamına geldiğini belirtmişlerdir. Ayrıca, Kim ve Pyun [66] yaptıkları çalışmada, farklı frekans değerlerinin (500-10000 Hz) etkisini inceleyerek, 1000 Hz frekans uygulamasının hücre içindeki sıvının hareket edebileceği boşluklar yarattığını ve bu nedenle elektriksel iletkenlik değerinde artış meydana gelerek ekstraksiyon veriminin yüksek olduğunu rapor etmişlerdir.

### **Voltaj Gradyanının Etkisi**

Yüksek voltaj gradyanı değerinde hücre içinde bulunan değerli bileşenin difüzyon hızı artmaktadır [14]. Uygulanan voltaj gradyanı değerinin hücre geçirgenlik özelliği üzerine etkisinin olduğu ve genelde ohmik ısıtma işleminde 10-20 V/cm aralığında voltaj gradyanının uygun olduğu belirtilmiştir [67]. Bu bilgiye dayanarak, Yodsuwan ve ark. [54], ohmik ısıtma ön işlemi uygulanmış alglerden biyodizel ürettikleri çalışmalarında, alglerin hücre geçirgenliğini arttırmak için gerekli eşik değerinin düşük olduğunu belirttikleri 15.97 V/cm voltaj gradyanında ve 5-100000 Hz frekans aralığında uygulama yapmışlardır. Araştırmacılar, optimum işlem koşulunu 5 Hz olarak tespit etmişlerdir. Diğer yandan yüksek voltaj gradyanı değerlerinde ısınma hızı da arttığı için ekstraksiyon veriminin arttığı belirtilmektedir [16, 18, 26, 68, 69].

Elma gibi yumuşak dokuya sahip gıdalara 70 V/cm ve daha yüksek voltaj gradyanında elektrik alan uygulandığında hücrelerin parçalandığı ve donmuş-

çözünmüş gıdaların dokusunda olduğu gibi tahribata uğradığı belirtilmektedir [68]. Ohmik ısıtma desteği kullanılarak buğday kepeğinden fenolik madde ekstrakte edilen çalışmada, uygulanan voltaj gradyanındaki artış ile ekstraksiyon veriminin arttığı tespit edilmesine karşın ekstrakte edilen fenolik maddenin antioksidan aktivitesinde azalma olduğu belirtilmiştir [70]. Aynı şekilde, soya fasulyesinden soya yağı elde edilen bir çalışmada ise, ohmik ekstraksiyon sırasında uygulanan voltaj değeri arttıkça ekstraksiyon veriminin arttığı, ancak ekstrakte edilen yağdaki serbest yağ asidi içeriğinin artması nedeniyle yağ kalitesinin azaldığı bildirilmiştir [51].

İncelenen çalışmalar doğrultusunda, uygulanan voltaj değeri arttıkça ekstraksiyon veriminde ve hızında artış görülmektedir. Ancak, voltaj gradyanındaki artış ekstraksiyon işlemi ile elde edilen bileşenin kalitesini olumsuz yönde etkileyebilmektedir. Gıdalardan değerli bileşen ekstraksiyonu sırasında, işlem parametresi olan voltaj gradyanının elde edilen bileşen kalitesine etkisi de göz önünde bulundurularak en uygun voltaj gradyanı değeri seçilmelidir.

### **Elektrik İletkenliğinin Etkisi**

Geleneksel ısıtma yöntemlerinde kontrol mekanizması gıdanın termal iletkenlik özelliği iken düşük frekansta uygulanan elektriksel ısıtma yöntemlerinde ise gıdanın elektriksel iletkenlik özelliğidir. Elektrik iletkenliğini etkileyen faktörler; sıcaklık, işlem süresi, gıdanın gözenekli yapısı, gıdanın iyon ve besin içeriğidir. Ayrıca gıdalara uygulanan işlemler sırasında da gıdanın yapısında meydana gelen değişimler sonucunda gıdanın elektriksel iletkenliği değişmektedir [71].

Ohmik ısıtma esnasında gıda içerisinde gerçekleşen ısı jenerasyonu doğrudan gıdanın elektrik iletkenlik özelliği ile ilişkilidir ve gıdanın ısınma süresini etkilemektedir [25, 68]. Yüksek işlem sıcaklığında, gıda içerisindeki iyonların hareketinden kaynaklı gıdanın elektriksel iletkenliğinde artış olduğu bilinmektedir [24, 25, 72]. Ohmik ısıtma destekli domates suyunun evaporasyonu sırasında, uygulanan elektrik alan şiddeti arttıkça iyonik hareketlerin arttığı ve hücrenin protopektin yapısı yıkıma uğradığı için yalıtkan olan gaz moleküllerinin uzaklaşması nedeniyle elektriksel iletkenliğin arttığı belirtilmiştir. Fakat 80°C ve üzerindeki işlem sıcaklığında ve yüksek elektrik alan şiddetinde, köpük oluşumu nedeniyle elektriksel iletkenlik değerinin azaldığını tespit etmişlerdir [86]. El Darra ve ark. [38] ohmik ısıtma destekli ekstraksiyon yöntemi ile polifenol ekstraksiyonu yaptıkları çalışmada, uygulanan voltaj gradyanı 200 V/cm'den 400 V/cm'ye arttırıldıkça elektriksel iletkenliğin arttığını tespit etmişlerdir.

Hasar görmemiş elma ve patatesin elektrik iletkenliği karşılaştırıldığında, elmanın gözenekli yapısından dolayı elektrik iletkenliğinin patatese kıyasla daha düşük olduğu belirtilmiştir [68]. Diğer yandan elektroporasyon ile elektriksel iletkenlik değişimi arasında bir ilişki olabileceği öne sürülmektedir [51, 68]. Ohmik hidrodistilasyon yöntemiyle esansiyel yağ ekstraksiyonu amacıyla yapılan çalışmalarda, yağın elektriksel

iletkenlik değerinin düşük olması nedeniyle çözgen olarak su kullanarak yağın damlacık halinde su içerisinde disperse olması sağlanmıştır [36, 73]. Termittikül ve ark. [24] ohmik ısıtma destekli ekstraksiyon yöntemi ile yer elması yumru tozundan inülin ekstrakte ettikleri çalışmalarında, kuru öğütülmüş yer elması yumru tozunun yaş öğütülmüş yer elması yumru tozuna göre yapısının daha çok hasar gördüğünü, bu nedenle öğütülmüş tozun elektriksel iletkenlik değerinin daha yüksek olduğunu bildirmişlerdir.

Lima ve ark. [74] ohmik ısıtma yönteminde uygulanan frekans (4, 10, 25 ve 60 Hz) ve dalga tipinin (Sinüs, Kare, Testere) turpun elektriksel iletkenlik değeri üzerine etkilerinin incelendiği çalışmalarında, tüm frekans değerlerinde kare dalga tipinin sinüs ve testere dalga tipine kıyasla daha düşük elektriksel iletkenlik değerlerine sahip olduğunu tespit etmişlerdir. Düşük elektriksel iletkenlik değerlerinin işlem süresinde uzamaya neden olduğu ve kütle transfer hızını azalttığı belirtilmiştir. Ayrıca düşük frekans değerlerinde (4 Hz), sinüs ve testere dalga tiplerinin elektriksel iletkenliğin sıcaklık ile değişimi üzerine etkisinin yüksek frekans değerlerine (10, 25 ve 60 Hz) kıyasla daha yüksek olduğunu belirtmişlerdir.

Gıdanın elektriksel iletkenlik değerine bağlı olarak ısı etki sağlanması istenmiyorsa voltaj gradyanının düşük tutulması ve yüksek frekanslarda çalışılması uygun olacaktır.

## **DÜŞÜK FREKANSTA ELEKTRİKSEL İŞLEM DESTEKLİ EKSTRAKSİYON YÖNTEMLERİNİN DEĞERLİ BİLEŞEN ELDESİ AMACIYLA GIDALARDAKİ UYGULAMALARI**

Düşük frekansta elektriksel işlemler ile destekli ekstraksiyon yöntemleri, son yıllarda güncel alternatif yöntemler arasında enerji verimliliği yüksek alternatif gıda işleme yöntemleri olarak değerlendirilmektedir. Genel olarak bu yöntemler ile ekstrakte edilen değerli bileşenler; yağ, esansiyel yağ, renk maddesi (antosiyenin, betanin, karotenoid, klorofil), fitokimyasal bileşikler, inülin, pektin ve proteindir (Tablo 1-3). Bu derleme çalışmasında özellikle benzer etkilerin rapor edildiği araştırmalardan örnekler seçilerek, gıdalara uygulanması sırasında ulaşılan ana sonuçlar verilmeye çalışılmıştır.

Ohmik destekli bir ekstraksiyon ünitesi ile pirinç kepeğinden yağ ekstrakte edilen bir çalışmada, ohmik ısıtma ile ön-işlem yapılan örneklerde verim %49-92 arasında değişmiş olup, ön-işlemsiz örneklerde verim %53 olarak bulunmuştur [52] (Tablo 2). Saberian ve ark. [26] ise portakal kabuğundan ohmik ısıtma ile desteklenmiş ekstraksiyon işlemiyle pektin elde ettikleri çalışmada, elektriksel işlem ile hücrelerin parçalandığını ve pektin ekstraksiyon veriminin arttığını tespit etmişlerdir (Tablo 3). Ayrıca, ekstraksiyon veriminin uygulanan elektrik alan kuvveti ve pH değerinden etkilendiğini vurgulamışlardır. Khuenpet ve ark. [25] enginar toz ürününden ohmik ve geleneksel ekstraksiyon yöntemi ile inülin elde ettikleri çalışmada, ekstraksiyon verimleri arasında fark olmadığını

belirtmişlerdir (Tablo 3). Diğer yandan, Termittikül ve ark. [24] enginardan (*Helianthus tuberosus L.*) ohmik ısıtma (10.5, 15.8, 21.1V/cm ve 50 Hz) destekli inülin ekstraksiyonu gerçekleştirdikleri çalışmalarında, elektriksel işlemler ile desteklenmiş ekstraksiyon proseslerinde hammadde özelliğinin ekstraksiyon verimini doğrudan etkilediğini belirtmişlerdir (Tablo 3). Onwuka ve Ejikeme [75] OI destekli ekstraksiyon yöntemi ile domates ve portakal meyvelerindeki suyu ekstrakte ettikleri çalışmalarında, yüksek voltaj değerinin bakır elektrot kullanılması durumunda aşırı ısınmaya neden olduğunu ve elde edilen meyve suyunun askorbik asit konsantrasyonunda azalma gerçekleştiğini rapor etmişlerdir (Tablo 3).

Elma suyu eldesinde ön işlem olarak ılımlı elektrik alan uygulanan çalışmada, 50°C sıcaklıkta elektriksel işlem uygulanan elmalardan elde edilen elma suyu veriminin 40°C sıcaklıkta işlem gören elmalara kıyasla daha yüksek olduğu tespit edilmiştir [53]. Böylece ekstraksiyon işlemi sırasında IEA yönteminin uygulamasının, ekstraksiyon verimi üzerine hem ısı hem de elektriksel etkisinin olduğu ortaya koyulmuştur [53] (Tablo 3).

Literatürde, düşük frekanslı elektriksel ekstraksiyon yöntemleri ile bitkilerden doğal renk maddelerinin eldesi üzerine yapılan çalışmalar da mevcuttur (Tablo 1). Lima ve ark. [76] OI destekli ekstraksiyon işlemi ile kırmızı pancardan renk maddesi (betanin) difüzyonu üzerine yaptıkları çalışmada, ohmik ekstraksiyon işleminin geleneksele (72°C) kıyasla daha düşük sıcaklıklarda (42 ve 58°C) gerçekleştiğini tespit etmişlerdir (Tablo 1). Ayrıca ohmik yöntem ile ekstrakte edilen örneklerin elektriksel iletkenlik değerinin daha yüksek olduğunu belirtmişlerdir. Porros-Parral ve ark. [58], kırmızı pancardan farklı sıcaklık (40, 50 ve 60°C), farklı örnek pozisyonu (elektrotlara dik ve paralel) ve farklı voltaj gradyanlarının (0, 6 ve 10 V/cm) betalain renk maddesinin difüzyon mekanizması üzerine etkilerini inceledikleri çalışmalarında, uygulanan voltaj gradyanı ile ekstrakte edilen betalain miktarının arasında doğru bir ilişki olduğunu belirtmişlerdir (Tablo 1). OI destekli ekstraksiyonunda, işlem sıcaklığının ve sürenin elde edilen betalain miktarı üzerine etkili olduğunu belirtmişlerdir. 60°C işlem sıcaklığında 1 saat işlem süresinden sonra elde edilen betalain miktarının azaldığını tespit etmişlerdir. Ohmik işlem sırasında, sıcaklık arttıkça hücreler üzerine etki eden elektriksel etkinin azaldığını termal etkinin ise artacağını belirtmişlerdir. Benzer şekilde Loginova ve ark. [20]'nın VEA destekli ekstraksiyon yöntemi ile kırmızı pancardan renk maddesi ekstraksiyonu üzerine yaptıkları çalışmada, 60°C'den yüksek sıcaklık değerinde uygulanan VEA işleminin ekstraksiyon verimini arttırdığını, ancak betalain miktarını olumsuz etkilediğini belirtmişlerdir. 80°C sıcaklıkta 1 saat ekstraksiyon işlemi sonucunda hammaddede bulunan betalainin neredeyse tümünün degrades olduğunu vurgulamışlardır (Tablo 1). IEA destekli ekstraksiyon yöntemi ile pancardan betalain bileşeni eldesi üzerine yapılan çalışmada ise, farklı voltaj gradyanı (0-23.9 V/cm) ve frekans (0, 10, 50, 250 ve 5000 Hz) değerlerinin betalain renk maddesi ekstraksiyonu üzerine etkisi incelenmiştir. Yüksek voltaj

değeri (23.9 V/cm) ve düşük frekans değerinin (50 Hz) ekstraksiyon verimini arttırdığı ve düşük frekans değerinde (50 Hz) hücre geçirgenliğine ait eşik potansiyelinin daha düşük olduğu bildirilmiştir [14] (Tablo 1). Pereira ve ark. [17] ohmik ısıtma ile renkli patateslerden fitokimyasal bileşiklerin ekstraksiyonu üzerine yaptıkları çalışmada, ohmik ısıtma ile desteklenmiş ekstraksiyon yönteminin geleneksel ekstraksiyon yöntemine kıyasla daha kısa sürede ve daha az enerji tüketimiyle gerçekleştiğini tespit etmişlerdir (Tablo 1).

Literatürde son yıllarda, esansiyel yağ ekstraksiyonu için uygulanan hidrodistilasyon ve buhar distilasyon işlemlerinin düşük frekanslı elektriksel işlemler ile desteklendiği çalışmaların yaygın olduğu görülmektedir (Tablo 2) [8, 9, 16, 35, 77-79]. Gavahian ve ark. [16] ve Hashemi ve ark. [77] farklı kekik türlerinde ohmik ısıtma destekli hidrodistilasyon ile uçucu yağ eldesini çalışmışlardır. Her iki çalışmada da seçilen işlem parametrelerine göre uygulanan bu yöntemin işlem süresini %30'a kadar kısaltabileceği belirtilmiştir. Bu çalışmalarda uygulanan frekans 50 Hz şebeke frekansı ve sinüs dalga tipidir. Ayrıca, Gavahian ve Chu [8] ODBH yöntemiyle lavanta bitkisinden esansiyel yağ ekstrakte ettikleri çalışmada, geleneksel buhar distilasyonuna kıyasla işlem sırasında kullanılan enerji değerinde %58 ve işlem süresinde ise %56 azalma sağlanabildiğini tespit etmişlerdir. Jaeschke ve ark. [11] mikroalglerden (*Heterochlorella luteoviridis*) IEA uygulaması ile karotenoid ve yağ ekstrakte etmişlerdir. Çözgen ortamında kullanılan etanol konsantrasyonu arttıkça ekstraksiyon veriminin arttığını ve 75 mL/100 mL etanol çözeltisinin kullanıldığı koşulda en yüksek ekstraksiyon verimini (%83) elde edildiği rapor edilmiştir.

Polifenol ve antosiyanin gibi değerli bileşenlerin ekstraksiyonunda da degradasyonu önlemek, işlem süresini kısaltmak ve ekstraksiyon verimini arttırmak için elektriksel işlemler ile desteklenmiş ekstraksiyon yöntemleri kullanılmaktadır (Tablo 3). Darra ve ark. [37] OI destekli ekstraksiyon yöntemi ile üzüm posasından polifenol ekstrakte ettikleri çalışmada, 200-800 V/cm voltaj gradyanı aralığında voltaj gradyanı arttırıldıkça hücrelerin membran geçirgenliğinin ve dolayısıyla polifenol ekstraksiyonunun arttığını tespit edilmiştir. Loypimai ve ark. [18] OI ile destekli ekstraksiyon yöntemiyle siyah pirinçten antosiyanin bileşiğini ekstrakte etmişlerdir. Ohmik ekstraksiyon yönteminin hücre membranının ve çevresindeki yapıların parçalanmasına sebep olduğunu ve çözgen difüzyonunu hızlandırarak polifenol ekstraksiyonunun arttığını belirtmişlerdir.

Düşük frekanslı elektriksel ekstraksiyon yöntemleri ile gerçekleştirilen çalışmalarda işlem parametrelerindeki gerçekleştirilen düzenlemeler ile işlem süresinin geleneksel ekstraksiyon yöntemlerinden çok daha kısa sürelerde gerçekleştirilebileceği görülmektedir. Ohmik hidrodistilasyon yöntemi ile esansiyel yağ ekstraksiyonu yapılan çalışmalarda, ohmik hidrodistilasyon yönteminde ısınma ve ekstraksiyon işlem sürelerinin daha kısa olduğu tespit edilmiştir [16, 35, 77]. Gavahian ve Chu [8] lavanta bitkisinden ohmik destekli buhar distilasyonu

(ODBD) yöntemi ile esansiyel yağ ekstraksiyonu üzerine yaptıkları çalışmada, ODBD yönteminde örneğin ısınma hızı daha yüksek olması nedeniyle, ekstrakte edilen ilk yağ damlasının 13 dk., geleneksel buhar distilasyonunda ise 26 dk. gözlemlendiği belirtilmiştir. Gavahian ve ark. [79] ve Manouchehri ve ark. [9] yaptıkları çalışmalarda, ohmik ısıtma destekli hidrodistilasyon yönteminin geleneksel hidrodistilasyon yöntemine kıyasla limon otundan ve gül yaprağından esansiyel yağ ekstraksiyonunu işlem süresini sırasıyla 2 ve 6 kat azalttığını tespit etmişlerdir. Ayrıca, daha kısa sürede daha az enerji tüketimi ile daha yüksek ekstraksiyon verimi elde edilebileceğini ve böylece ohmik ısıtma destekli hidrodistilasyon sisteminin sürdürülebilir üretime katkısının daha yüksek olduğunu belirtmişlerdir [9]. Damyeh ve Niakousari [78] *Pulicaria Undulata L.* bitkisinden esansiyel yağ ekstraksiyonunda geleneksel yöntemle 159 dk. olan işlem süresinin, ohmik ısıtma destekli hidrodistilasyon yöntemi ile 61 dk.'a düşürüldüğü rapor edilmiştir. Lopez ve ark. [21] VEA yöntemiyle kırmızı pancardan betanin ekstraksiyonunu inceledikleri üzerine yaptıkları çalışmada, 7 kV/cm voltaj gradyanında toplam betanin değerinin %90'ının ekstrakte edilebildiğini ve bu sonuca VEA uygulanmadan gerçekleştirilen işlemde 5 kat daha kısa sürede ulaşabildiğini bildirmişlerdir.

## GELİŞTİRİLMESİ GEREKEN HUSUSLAR

Elektrik alan işlemi hücre membranında geçirgenliği arttırmaya yardımcı olsa da elektroporasyonun birçok değişkene (hücre tipi, sıcaklık, elektrik alan şiddeti, frekans, dalga tipi) bağlı olarak farklı şekillerde gerçekleştiği bilinmektedir [80]. Ancak özellikle IEA işleminin hidrodistilasyon amaçlı uygulandığı çalışmalarda sabit frekans ve dalga tipinde sadece voltaj gradyanının etkisinin incelendiği dikkati çekmektedir. Voltaj gradyanının yanı sıra önemli işlem parametrelerinden olan dalga tipinin de hücreler üzerindeki etkisinin incelenmesi gerektiği düşünülmektedir. Ayrıca, 4 Hz'den daha düşük frekans değerlerinde çalışılarak düşük frekans değerinin ekstraksiyon verimi üzerine olumlu etkileri araştırılabileceği ve bu konuda yeterli çalışma olmadığı bildirilmiştir [14, 74].

Ohmik ısıtma yönteminin geleneksel tekniklere göre ön işlem olarak kullanmanın endüstriyel avantajını kanıtlamak için ayrıntılı bir tekno-ekonomik analiz ihtiyacı vardır [17]. Genel olarak düşük frekanslı elektriksel işlemler ile destekli ekstraksiyon işlemlerinin performans analizi ve modellenmesi üzerine yapılan çalışmalar da oldukça kısıtlıdır. Güncel ekstraksiyon yöntemlerinin alternatifliğinin ortaya koyulabilmesi için enerji ve ekserji analizi gibi performans analizlerinin ve işlemlerin tahminlenebilirliğini ortaya koymak adına modelleme yapılması gerektiği düşünülmektedir.

Elektriksel destekli ekstraksiyon işlemlerinin dokular üzerindeki elektrik etkisinin açık bir şekilde tespit edilebilmesine yönelik kısıtlı çalışma olduğu dikkati çekmektedir. Özellikle histolojik ve anatomik değişimlerin ve dokusal özelliklerdeki değişimlerin (reolojik özellikler, hücre bozulma indeksi) belirlenmesine yönelik çalışmaların yapılması önerilmektedir.

Tablo 1. Elektriksel işlem destekli ekstraksiyon yöntemleri ile renk maddesi ekstraksiyonu üzerine yapılan bazı çalışmalar

Değerli Bileşen	Hammadde	İşlem	İşlem Koşulu	Çalışma Çıktıları	Kaynak
Renk maddesi	Kırmızı Pancar	OI	0, 6, 10 V/cm, 40, 50, 60 °C, 50 Hz	Yüksek sıcaklık değerinde, ekstraksiyon verimi üzerine elektrik alan etkisinin azaldığı tespit edilmiştir.	[57]
Renk maddesi	Kırmızı Pancar	IEA	0-23.9 V/cm 0-5000 Hz	Yüksek elektrik alan ve düşük frekans değerine sahip işlem koşulunda ekstraksiyon veriminin arttığı tespit edilmiştir.	[14]
Renk maddesi	Kırmızı Pancar	VEA	375-1500 V/cm, 0-0.2 sn.	60°C'den yüksek sıcaklık değerinde uygulanan VEA işleminin ekstraksiyon verimini artırdığını fakat betalaın miktarını olumsuz etkilediği belirtilmiştir.	[20]
Renk maddesi	Kırmızı Pancar	VEA	0,3,5,7,9 kV/cm, 2 µs, 1 Hz, 5 darbe	Ekstraksiyon ortamı 7 kV/cm voltajı gradyanı, 3,5 pH ve 30°C sıcaklıkta gerçekleştirilen ekstraksiyon işlemi sonucu kırmızı pancarda bulunan toplam betaninin %90'nın 300 dakikada ekstrakte edildiği tespit edilmiştir.	[21]
Renk maddesi	Kırmızı Pancar	VEA	3 kV/cm, 20 µs 100 darbe	Ön işlem olarak VEA uygulanmış kırmızı pancarlardan elde edilen ekstrakt miktarı ön işlem görmemişlere (yalnızca baskı işlemi, 100 kg/cm <sup>2</sup> ) kıyasla %90 daha fazla olduğu tespit edilmiştir.	[22]
Pigment (karotenoid, klorofil)	Mikroalg	VEA	10-25 kV/cm, 3ms, 50 Hz, Kare dalga tipi	İşlem koşullarının yanı sıra, hücre büyüklüğü ve şeklinin de ekstraksiyon verimini etkilediği bildirilmiştir.	[81]
Renk maddesi	Renkli Patates	OI	15 V/cm ve 30 V/cm, 25 kHz	OI yöntemi ile renk maddelerinin geleneksel bir ekstraksiyon yönteminden çok daha kısa sürede ve daha düşük enerji tüketimi ile elde edilebildiği bildirilmiştir.	[17]

OI: Ohmik ısıtma; IEA: İlimli Elektrik alan; VEA: Vurgulu Elektrik Alan

Tablo 2. Elektriksel işlem destekli ekstraksiyon yöntemleri ile esansiyel yağ ve yağ ekstraksiyonu üzerine yapılan bazı çalışmalar

Değerli Bileşen	Hammadde	İşlem	İşlem Koşulu	Çalışma Çıktıları	Kaynak
Esansiyel yağ	Şam gülü	OIDH	220 V, 50 Hz	OIDH ile daha kısa işlem süresinde daha az enerji gereksinimi ile daha yüksek ekstraksiyon verimine ulaşıldığı tespit edilmiştir.	[9]
Esansiyel yağ	Kekik	OIDH	100-200 V	OIDH yöntemi ile ekstraksiyon süresini 95 dakikadan 77 dakikaya düşüğü belirlenmiştir.	[77]
Esansiyel yağ	<i>Pulicaria undulata</i> bitkisi	OIDH	150 V, 50 Hz	OIDH yöntemi ile ekstraksiyon süresini 159 dakikadan 61 dakikaya düşüğü tespit edilmiştir.	[78]
Esansiyel yağ	Lavanta	ODBD	4.8-7.1 V/cm, 500 W	Geleneksel buhar distilasyonu ve ODBD işleminin ekstraksiyon verimi üzerine istatistiksel bir etki tespit edilmemiştir.	[8]
Esansiyel yağ	Limon otu Bitkisi	OIDH	5.5-8.5 V/cm, 500 W	OIDH yöntemi geleneksel hidrodistilasyon yönteme kıyasla enerji tüketimini %46 seviyesinde azaltığı tespit edilmiştir.	[79]
Esansiyel yağ	Nane	OIDH	220, 380 V/cm; 25, 50, 100 Hz	OIDH işlemi geleneksel hidrodistilasyon yöntemine kıyasla işlem süresini %30 kısalttığı bildirilmiştir.	[16]
Esansiyel yağ	Nane	OIDH	220 V, 50 Hz	OIDH ile daha kısa işlem süresi ve daha az enerji tüketimi ile geleneksel hidrodistilasyon ile aynı verimi elde edilebildiği bildirilmiştir.	[35]
Esansiyel yağ	Tarçın	OIDH	7.5-12.5 V/cm 30-120 dk	OIDH işlemi için belirlenen optimum koşulda (119.9 dk, 8.83 V/cm) esansiyel yağ verimi geleneksel hidrodistilasyon yöntemine kıyasla daha yüksek elde edilebildiği belirlenmiştir.	[87]
Yağ	Pirinç Kepeği	OI	60,100, 140 V/cm, 60Hz	OI ile ön-ışılma yapılan örneklerde verim %49-92 arasında iken, ön-ışılmsız örneklerde verim %53 olarak tespit edilmiştir.	[52]
Yağ	Pirinç Kepeği	OI	54 V/cm, 50 Hz	Ohmik ekstraksiyon ile işlem süresinin kısaldığı ve enerji gereksiniminin azaldığı bildirilmiştir. Geleneksel solvent ekstraksiyonuna kıyasla avantajlı bir yöntem olduğu tespit edilmiştir.	[15]
Yağ	Soya Fasüyesi	OI	96, 120, 144 V/cm, 50 Hz, 70, 80, 90°C	90°C ve 96 V/cm işlem koşulunda 10 dk. uygulama ile maksimum elektriksel iletkenlik (1.36 S/m) ve yağ verimi elde edilmiştir.	[51]
Yağ	Sarımsak	OI	0, 5.6 ve 11.2 V/cm, 50 Hz	Hücre membranının geçirgenlik özelliğinin ve ekstraksiyon veriminde artış meydana geldiği bildirilmiştir.	[10]

OIDH: Ohmik Destekli Hidrodistilasyon; OI: Ohmik ısıtma



Tablo 3. Elektriksel işlem destekli ekstraksiyon yöntemleri ile değerli bileşen eldesi üzerine yapılan bazı çalışmalar  
 Table 3. Some studies on the extraction of valuable components by electrical process assisted extraction methods

Bileşen	Hammadde	İşlem	İşlem Koşulları	Çalışma Çıktıları	Kaynak
Pektin	Portakal kabuğu atığı	OI	7-15 V/cm, 50 Hz	Pektin ekstraksiyon veriminin arttığı, verimin uygulanan elektrik alan şiddeti ve pH değerinden etkilendiği bildirilmiştir.	[26, 27]
Protein	Mikroalg	VEA	20 kV/cm, 1-4 µs, 13.3-53.1 kJ/kg	VEA uygulaması ile suda çözünebilen değerli bileşenlerin ve suda çözünür proteinlerin seçici olarak ekstraksiyonunun mümkün olduğu, %3,6 oranında protein elde edilebildiği bildirilmiştir.	[82]
Protein	Mikroalg	VEA	7.5-30 kV/cm, 1-40 darbe, 0.05-5 µs,	VEA uygulamasının hücre geçirgenliğine katkı sağladığı fakat mekanik parçalamaya kıyasla ekstrakte edilebilen protein miktarının daha düşük olduğu bildirilmiştir.	[28]
Antosiyanin	Siyah pirinç	OI	50, 100, 150 ve 200 V/cm, 50Hz	Pirinç su içeriği düşük ve yağ içeriği yüksek olduğu için elektrik iletkenliğinin düşük olduğu bildirilmiştir. İşlem öncesi hammadde nem içeriği %30-40 değerine ulaşana kadar nemlendirme işlemi uygulanmıştır. Yüksek voltaj gradyanında polifenol ekstraksiyonunun daha kolay gerçekleştiği tespit edilmiştir.	[18]
Domates ve portakal suyu	Domates, Portakal	OI	9 ve 110 V	110 Voltaj değerinde ekstraksiyon veriminin arttığı fakat elde edilen meyve suyunda renk ve askorbik asit özelliğinde düşüş gerçekleştiğini tespit etmişlerdir.	[75]
Elma suyu	Elma	IEA	40 V/cm, 60 Hz, 40-50°C	IEA uygulaması ile meyve suyu ekstraksiyon verimi ve difüzyon iyileştirilmesinin gerçekleştirildiği rapor edilmiştir. Ayrıca sıcaklık artışının ekstraksiyon üzerine olumlu etkilerinin olduğunu belirtmişlerdir	[53]
İnülin	Enginar	OI	15-20 V/cm, 20 kHz	Elektriksel işlemin inülin miktar ve kalitesi üzerine olumsuz bir etkisi gözlenmemiştir.	[25]
İnülin	Enginar	OI	10.5, 15.8, 21.1 V/cm, 50 Hz	Kuru öğütülmüş yer elması tozunun yaş öğütülmüş yer elması tozuna kıyasla daha yüksek elektriksel iletkenliğe sahip olduğu ve ekstraksiyon veriminin daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.	[24]
Polifenol	Kırmızı üzüm posası	OI	100-800 V/cm	OI yöntem ile hücre geçirgenliği artırılarak geleneksel yöntemle kıyasla daha düşük enerji tüketimiyle daha fazla polifenol ekstrakte edilebildiği tespit edilmiştir.	[83]
Polifenol	Fermente üzüm	VEA	5, 10 kV/cm, 50 darbe, 1 Hz	Ön işlem olarak VEA uygulanan üzümlerden elde edilen ekstraktların toplam polifenol indeksi, kontrol yöntemi ile elde edilen ekstraktlara kıyasla daha yüksek olduğu bildirilmiştir.	[21]
Polifenol	Papaya tohumu	VEA	13.3 kV/cm, 8.3 µs, 1-2000 vurgu	Ön işlem olarak VEA uygulanmış ekstraksiyon işlemi elde edilen protein ve fenolik madde miktarı, ön işlem uygulanmadan ekstrakte edilenlere göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.	[23]
Polifenol	Üzüm	VEA	80 kV/cm, 10 µs, 80 vurgu, 0.5 Hz, 160 s	VEA uygulamasının, ekstraksiyon süresini ve işlem sıcaklığını azalttığı tespit edilmiştir.	[84]
Polifenol	Çay	YVED	0.1-1.1 kV/cm, 0.0001-0.1 s, 10-50 vurgu	Düşük voltaj gradyan (0.4 kV/cm) değerinde çalışırken uzun süre uygulanan vurgunun, işlem süresini uzattığı ve daha etkili bir ekstraksiyon gerçekleştirdiği bildirilmiştir. Voltaj gradyanı artırılarak (0.9 kV/cm) daha kısa işlem süresinde aynı ekstraksiyon veriminin elde edildiği belirtilmiştir.	[85]
Biyoaktif bileşenler	Safran	OI	75-225 V 15-45 dk	OI işlemi için belirlenen optimum koşulda (225 V, 45 dk) antosiyanin, toplam fenol ve flavonoid içeriği ultrason ve mikrodalgalı ekstraksiyon yöntemlerine kıyasla daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.	[88]

OI: Ohmik ısıtma; IEA: İlimli Elektrik Alan; VEA: Vurgulu Elektrik Alan; YVED: Yüksek Voltaj Elektrik Deşarj

## TEŞEKKÜR

Bu derleme çalışması, Ege Üniversitesi BAP FYL-2019-21153 nolu proje kapsamında maddi olarak desteklenen "Kırmızı Pancardan Renk Maddesi Ekstraksiyonunda Ohmik Isıtma Desteğinin Kullanımı" başlıklı Yüksek Lisans Tezi kapsamında hazırlanmıştır.

## KAYNAKLAR

- [1] Dincer, I., Rosen, M.A. (2013). Exergy and energy analyses. In Exergy, Elsevier, London, 21-30.
- [2] Apaiah, R.K., Linnemann, A.R., van der Kooi, H.J. (2006). Exergy analysis: A tool to study the sustainability of food supply chains. *Food Research International*, 39(1), 1-11.
- [3] Gavahian, M., Chu, Y.H., Sastry, S. (2018). Extraction from food and natural products by moderate electric field: Mechanisms, benefits, and potential industrial applications. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 17(4), 1040-1052.
- [4] Baysal, T., İçier, F., Baysal, A.H. (2011). Güncel Elektriksel Isıtma Yöntemleri. Sidas Yayıncılık (1. Baskı), İzmir.
- [5] Sumnu, S.G., Ozkoc, S.O. (2010). Infrared baking and roasting. In Infrared Heating for Food and Agricultural Processing, Edited by Zhongli Pan and Griffiths Gregory Atungulu. CRC Press, Florida, USA, 203-223p.
- [6] Sevda, S., Singh, A. (2020). Mathematical and statistical applications in food engineering: Mathematical Modelling for Predicting the Temperatures During Microwave Heating of Solid Foods, Edited by Ilicalı, C., İçier, F., Cokgezme, Ö.F., CRC press, Florida, ABD.
- [7] Ştefănoiu, G.A., Tănase, E.E., Miteluț, A.C., Popa, M. E. (2016). Unconventional treatments of food: microwave vs. radiofrequency. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, 10, 503-510.
- [8] Gavahian, M., Chu, Y.H. (2018). Ohmic accelerated steam distillation of essential oil from lavender in comparison with conventional steam distillation. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 50, 34-41.
- [9] Manouchehri, R., Saharkhiz, M.J., Karami, A., Niakousari, M. (2018). Extraction of essential oils from damask rose using green and conventional techniques: Microwave and ohmic assisted hydrodistillation versus hydrodistillation. *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, 8, 76-81.
- [10] Aamir, M., Jittanit, W. (2017). Ohmic heating treatment for Gac aril oil extraction: Effects on extraction efficiency, physical properties and some bioactive compounds. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 41, 224-234.
- [11] Jaeschke, D.P., Menegol, T., Rech, R., Mercali, G.D., Marczak, L.D.F. (2016). Carotenoid and lipid extraction from *Heterochlorella luteoviridis* using moderate electric field and ethanol. *Process Biochemistry*, 51(10), 1636-1643.
- [12] De Oliveira, C.F., Giordani, D., Gurak, P.D., Cladera-Olivera, F., Marczak, L.D.F. (2015). Extraction of pectin from passion fruit peel using moderate electric field and conventional heating extraction methods. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 29, 201-208.
- [13] Yildiz, H., Bozkurt, H., İçier, F. (2009). Ohmic and conventional heating of pomegranate juice: effects on rheology, color, and total phenolics. *Food Science and Technology International*, 15(5), 503-512.
- [14] Kulshrestha, S., Sastry, S. (2003). Frequency and voltage effects on enhanced diffusion during moderate electric field (MEF) treatment. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 4(2), 189-194.
- [15] Nair, G.R., Divya, V.R., Prasannan, L., Habeeba, V., Prince, M.V., Raghavan, G.V. (2014). Ohmic heating as a pre-treatment in solvent extraction of rice bran. *Journal of Food Science and Technology*, 51(10), 2692-2698.
- [16] Gavahian, M., Farhoosh, R., Javidnia, K., Shahidi, F., 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.
- [17] Pereira, R.N., Rodrigues, R.M., Genisheva, Z., Oliveira, H., de Freitas, V., Teixeira, J. A., Vicente, A.A. (2016). Effects of ohmic heating on extraction of food-grade phytochemicals from colored potato. *Food, Science and Technology*, 74, 493-503.
- [18] Loypimai, P., Moongngarm, A., Chottanom, P., Moontree, T. (2015). Ohmic heating-assisted extraction of anthocyanins from black rice bran to prepare a natural food colourant. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 27, 102-110.
- [19] Sensoy, I., Sastry, S.K. (2004). Ohmic blanching of mushrooms. *Journal of Food Process Engineering*, 27, 1-15.
- [20] Loginova, K.V., Lebovka, N.I., Vorobiev, E. (2011). Pulsed electric field assisted aqueous extraction of colorants from red beet. *Journal of Food Engineering*, 106(2), 127-133.
- [21] López, N., Puértolas, E., Condón, S., Raso, J., Alvarez, I. (2009). Enhancement of the extraction of betanine from red beetroot by pulsed electric fields. *Journal of Food Engineering*, 90(1), 60-66.
- [22] Bellebna, Y., Bermmaki, H., Semmak, A., Tilmatine, A. (2016). Experimental design for enhancement of betanin in beet juice using pulsed electric field. Bulletin of the Transilvania University of Brasov. Forestry, Wood Industry, *Agricultural Food Engineering*, Series II, 9(2), 71.
- [23] Parniakov, O., Barba, F.J., Grimi, N., Marchal, L., Jubeau, S., Lebovka, N., Vorobiev, E. (2015). Pulsed electric field and pH assisted selective extraction of intracellular components from microalgae *Nannochloropsis*. *Algal Research*, 8, 128-134.
- [24] Termrittikul, P., Jittanit, W., Sirisansaneeyakul, S. (2018). The application of ohmic heating for inulin extraction from the wet-milled and dry-milled powders of Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) tuber. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 48, 99-110.

- [25] Khuenpet, K., Fukuoka, M., Jittanit, W., Sirisansaneeyakul, S. (2017). Spray drying of inulin component extracted from Jerusalem artichoke tuber powder using conventional and ohmic-ultrasonic heating for extraction process. *Journal of Food Engineering*, 194, 67-78.
- [26] Saberian, H., Hamidi-Esfahani, Z., Gavlighi, H.A., Barzegar, M. (2017a). Optimization of pectin extraction from orange juice waste assisted by ohmic heating. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, 117, 154-161.
- [27] Saberian, H., Hamidi-Esfahani, Z., Ahmadi Gavlighi, H., Banakar, A., Barzegar, M. (2017b). The potential of ohmic heating for pectin extraction from orange waste. *Journal of Food Processing and Preservation*, 42(2), e13458.
- [28] Lam, G.P., Postma, P.R., Fernandes, D.A., Timmermans, R.A.H., Vermuë, M.H., Barbosa, M.J., Eppink, M.H. M., Wijffels, R.H., Olivieri, G. (2017). Pulsed Electric Field for protein release of the microalgae *Chlorella vulgaris* and *Neochloris oleoabundans*. *Algal Research*, 24, 181-187.
- [29] İçier, F. (2003). Gıdaların ohmik ısıtılmasının deneysel ve kuramsal olarak incelenmesi. Doktora tezi, Ege Üniversitesi, İzmir.
- [30] Sastry, S.K., Palaniappan, S. (1992). Mathematical modeling and experimental studies on ohmic heating of liquid-particle mixtures in a static heater. *Journal of Food Process Engineering*, 15(4), 241-261.
- [31] Skudder, P., Biss, C. (1987). Aseptic processing of food products using ohmic heating. *Chemical Engineer (London)*, (433), 26-28.
- [32] Kutlu, N., Yeşilören, G., İçci, A., Şakıyan, Ö. (2017). Konvansiyonel ekstraksiyona alternatif: yeşil teknolojiler. *Gıda*, 42(5), 514-526.
- [33] Anonim (2000). Kinetics of microbial inactivation for alternative food processing technologies: ohmic and inductive heating. (<http://www.cfsan.fda.gov/wcomm/ift-ohm.html>). (Erişim Tarihi: 20.02.2020)
- [34] Sastry, S.K. (2009). Ohmic heating. *Food Engineering-Volume III*, 37.
- [35] Gavahian, M., Farahnaky, A., Javidnia, K., Majzoobi, M. (2012). Comparison of ohmic-assisted hydrodistillation with traditional hydrodistillation for the extraction of essential oils from *Thymus vulgaris* L. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 14, 85-91.
- [36] Cevik, M., İçier, F. (2018). Effects of voltage gradient and fat content on changes of electrical conductivity of frozen minced beef meat during ohmic thawing. *Journal of Food Process Engineering*, 41(4), e12675.
- [37] Roberts, J.S., Balaban, M.O., Zimmerman, R., Luzuriaga, D. (1998). Design and testing of a prototype ohmic thawing unit. *Computers and Electronics in Agriculture*, 19(2), 211-222.
- [38] Loghavi, L., Sastry, S.K., Yousef, A.E. (2007). Effect of moderate electric field on the metabolic activity and growth kinetics of *Lactobacillus acidophilus*. *Biotechnology and Bioengineering*, 98(4), 872-881.
- [39] Kulshrestha, S.A., Sastry, S.K. (2010). Changes in permeability of moderate electric field (MEF) treated vegetable tissue over time. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 11(1), 78-83.
- [40] Napotnik, T.B., Miklavčič, D. (2018). In vitro electroporation detection methods—An overview. *Bioelectrochemistry*, 120, 166-182.
- [41] Cho, H.Y., Yousef, A.E., Sastry, S.K. (1999). Kinetics of inactivation of *Bacillus subtilis* spores by continuous or intermittent ohmic and conventional heating. *Biotechnology and Bioengineering*, 62(3), 368-372.
- [42] Sastry, S.K. (2005). Advances in ohmic heating and moderate electric field (MEF) processing. In *Novel Food Processing Technologies* (pp. 491-500). CRC Press, Boca Raton, FL, USA.
- [43] Zhong, T., Lima, M. (2003). The effect of ohmic heating on vacuum drying rate of sweet potato tissue. *Bioresource Technology*, 87(3), 215-220.
- [44] Loghavi, L., Sastry, S.K., Yousef, A.E. (2008). Effect of moderate electric field frequency on growth kinetics and metabolic activity of *Lactobacillus acidophilus*. *Biotechnology Progress*, 24(1), 148-153.
- [45] Samaranayake, C.P., Sastry, S.K. (2016). Effect of moderate electric fields on inactivation kinetics of pectin methylesterase in tomatoes: The roles of electric field strength and temperature. *Journal of Food Engineering*, 186, 17-26.
- [46] Samaranayake, C.P., Sastry, S.K. (2018). In-situ activity of  $\alpha$ -amylase in the presence of controlled-frequency moderate electric fields. *Food Science and Technology*, 90, 448-454.
- [47] Machado, L.F., Pereira, R.N., Martins, R.C., Teixeira, J.A., Vicente, A.A. (2010). Moderate electric fields can inactivate *Escherichia coli* at room temperature. *Journal of Food Engineering*, 96(4), 520-527.
- [48] Syed, Q.A., Ishaq, A., Rahman, U.U., Aslam, S., Shukat, R. (2017). Pulsed electric field technology in food preservation: A review. *Journal of Nutritional Health and Food Engineering*, 6(6), 168-172.
- [49] Rocha, C.M., Genisheva, Z., Ferreira-Santos, P., Rodrigues, R., Vicente, A.A., Teixeira, J.A., Pereira, R.N. (2018). Electric field-based technologies for valorization of bioresources. *Bioresource Technology*, 254, 325-339.
- [50] Gavahian, M., Farahnaky, A., Sastry, S. (2016). Multiple effect concentration of ethanol by ohmic-assisted hydrodistillation. *Food and Bioproducts Processing*, 100, 85-91.
- [51] Pare, A., Nema, A., Singh, V.K., Mandhyan, B.L. (2014). Combined effect of ohmic heating and enzyme assisted aqueous extraction process on soy oil recovery. *Journal of Food Science and Technology*, 51(8), 1606-1611.
- [52] Lakkakula, N.R., Lima, M., Walker, T. (2004). Rice bran stabilization and rice bran oil extraction using ohmic heating. *Bioresource Technology*, 92(2), 157-161.
- [53] Wang, W.C., Sastry, S.K. (2002). Effects of moderate electrothermal treatments on juice yield

- from cellular tissue. *Innovative Food Science and Emerging Technology*, 3, 371-377.
- [54] Yodsuwan, N., Kamonpatana, P., Chisti, Y., Sirisansaneeyakul, S. (2018). Ohmic heating pretreatment of algal slurry for production of biodiesel. *Journal of Biotechnology*, 267, 71-78.
- [55] Cabas, B. M., Azazi, I., Doner, D., Bayana, D., Cokgezme, O. F., İçier, F. (2019). Comparative performance analysis of ohmic thawing and conventional thawing of spinach puree. 4<sup>th</sup> International Conference on Food and Biosystems Engineering, May 30- June 2, 2019, Create Island, Greece, Book of Proceedings, 77-85.
- [56] Donsi, F., Ferrari, G., Pataro, G. (2010). Applications of pulsed electric field treatments for the enhancement of mass transfer from vegetable tissue. *Food Engineering Reviews*, 2(2), 109-130.
- [57] Porrás-Parral, G., Miri, T., Bakalis, S., Fryer, P.J. (2012). The effect of electrical processing on mass transfer in beetroot and model gels. *Journal of Food Engineering*, 112(3), 208-217.
- [58] Zimmermann, U., (1986). Electrical breakdown, electroporation and electrofusion. *Review of Physiology, Biochemistry and Pharmacology*, 105, 175-255.
- [59] Maran, J.P., Priya, B. (2015). Ultrasound-assisted extraction of pectin from sisal waste. *Carbohydrate Polymers*, 115, 732-738.
- [60] Yang, Z., Zhai, W. (2010). Optimization of microwave-assisted extraction of anthocyanins from purple corn (*Zea mays L.*) cob and identification with HPLC-MS. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 11(3), 470-476.
- [61] Salengke, S., Waris, S.A., Mochtar, A.H. (2016). Design and optimization of pilot scale ohmic-based carrageenan extraction technology. *Journal of Nutrition and Food Sciences*, 6(6), 67.
- [62] Gavahian, M., Farhoosh, R., Javidnia, K., Shahidi, F., Golmakani, M.T., Farahnaky, A. (2017). Effects of electrolyte concentration and ultrasound pretreatment on ohmic-assisted hydrodistillation of essential oils from *Mentha piperita L.* *International Journal of Food Engineering*, 13(10).
- [63] Lebovka, N.I., Shynkaryk, M., Vorobiev, E. (2007). Moderate electric field treatment of sugarbeet tissues. *Biosystems Engineering*, 96(1), 47-56.
- [64] Imai, T., Uemura, K., Ishida, N., Yoshizaki, S., Noguchi, A. (1995). Ohmic heating of Japanese white radish *Rhaphanus sativus L.* *International Journal of Food Science and Technology*, 30(4), 461-472.
- [65] Sastry, S.K., Barach, J.T. (2000). Ohmic and inductive heating. *Journal of Food Science*, 65, 42-46.
- [66] Kim, J., Pyun, Y. (1995). Extraction of soy milk using ohmic heating. 9<sup>th</sup> Congress of Food Science Technology, July 31-August 4, 1995, Budapest, Hungary, Book of Proceedings, 102-120.
- [67] Knirsch, M.C., Dos Santos, C.A., de Oliveira Soares, A.A.M., Penna, T.C.V. (2010). Ohmic heating—a review. *Trends in Food Science and Technology*, 21(9), 436-441.
- [68] Praporscic, I., Lebovka, N.I., Ghnimi, S., Vorobiev, E. (2006). Ohmically heated, enhanced expression of juice from apple and potato tissues. *Biosystems Engineering*, 93(2), 199-204.
- [69] Coelho, M.I., Pereira, R.N.C., Teixeira, J.A., Pintado, M.E. (2017). Valorization of tomato by-products: Influence of ohmic heating process on polyphenols extraction. 1<sup>th</sup> World Congress on Polyphenols Applications, June 20-21, 2017, Vienna, 87p., Retrieved from <https://hdl.handle.net/1822/47502>
- [70] Al-Hilphy, A. R., AlRikabi, A. K., & Al-Salim, A. M. (2015). Extraction of phenolic compounds from wheat bran using ohmic heating. *Food Science and Quality Management*, 43, 21-28.
- [71] Halden, K., de Alwis, A.A.P., Fryer, P.J. (1990). Changes in the electrical conductivity of foods during ohmic heating. *International Journal of Food Science and Technology*, 25, 9-25.
- [72] 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 and Emerging Technologies*, 39, 241-246.
- [73] Goullieux, A., Pain, J.P. (2005). Emerging technologies for food processing: Ohmic heating, Elsevier Academic Press, Inc, San Diego, CA, 476-479.
- [74] Lima, M., Sastry, S.K. (1999). The effects of ohmic heating frequency on hot-air drying rate and juice yield. *Journal of Food Engineering*, 41(2), 115-119.
- [75] Onwuka, U.N., Ejikeme, C. (2005). Influence of voltage and electrode type on the yield and quality of fruit juice extracted by ohmic heating. *Fruits*, 60(5), 341-349.
- [76] Lima, M., Heskitt, B.F., Sastry, S.K. (2001). Diffusion of beet dye during electrical and conventional heating at steady-state temperature. *Journal of Food Process Engineering*, 24(5), 331-340.
- [77] Hashemi, S.M.B., Nikmaram, N., Esteghlal, S., Khaneghah, A.M., Niakousari, M., Barba, F.J., Roohinejad, S., 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.
- [78] Damyeh, M.S., Niakousari, M. (2017). Ohmic hydrodistillation, an accelerated energy-saver green process in the extraction of *Pulicaria undulata* essential oil. *Industrial Crops and Products*, 98, 100-107.
- [79] Gavahian, M., Lee, Y.T., Chu, Y. H. (2018). Ohmic-assisted hydrodistillation of citronella oil from Taiwanese citronella grass: Impacts on the essential oil and extraction medium. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 48, 33-41.
- [80] Kandušer, M., Miklavčič, D., (2009). Electroporation in biological cell and tissue: an overview. In *electrotechnologies for extraction from food plants and biomaterials*. Springer, New York, 1-37.

- [81] Luengo, E., Condón-Abanto, S., Álvarez, I., Raso, J. (2014). Effect of pulsed electric field treatments on permeabilization and extraction of pigments from *Chlorella vulgaris*. *The Journal of Membrane Biology*, 247(12), 1269-1277.
- [82] Grimi, N., Dubois, A., Marchal, L., Jubeau, S., Lebovka, N.I., Vorobiev, E. (2014). Selective extraction from microalgae *Nannochloropsis* sp. using different methods of cell disruption. *Bioresource Technology*, 153, 254-259.
- [83] El Darra, N., Grimi, N., Vorobiev, E., Louka, N., Maroun, R. (2013). Extraction of polyphenols from red grape pomace assisted by pulsed ohmic heating. *Food and Bioprocess Technology*, 6(5), 1281-1289.
- [84] Boussetta, N., Lanoisellé, J.L., Bedel-Cloutour, C., Vorobiev, E. (2009). Extraction of soluble matter from grape pomace by high voltage electrical discharges for polyphenol recovery: Effect of sulphur dioxide and thermal treatments. *Journal of Food Engineering*, 95(1), 192-198.
- [85] Zderic, A., Zondervan, E. (2016). Polyphenol extraction from fresh tea leaves by pulsed electric field: A study of mechanisms. *Chemical Engineering Research and Design*, 109, 586-592.
- [86] Darvishi, H., Hosainpour, A., Nargesi, F., Fadavi, A. (2015). Exergy and energy analyses of liquid food in an Ohmic heating process: A case study of tomato production. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 31, 73-82.
- [87] Tunç, M.T., Koca, İ. (2021). Optimization of ohmic heating assisted hydrodistillation of cinnamon and bay leaf essential oil. *Journal of Food Process Engineering*, 44(3), e13635.
- [88] Gahruie, H.H., Parastouei, K., Mokhtarian, M., Rostami, H., Niakousari, M., Mohsenpour, Z. (2020). Application of innovative processing methods for the extraction of bioactive compounds from saffron (*Crocus sativus*) petals. *Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants*, 19, 100264.
-