



## VURGULU ELEKTRİK ALAN TEKNİĞİNİN NATÜREL ZEYTİNYAĞININ ÜRETİM VERİMİ İLE KİMYASAL VE DUYUSAL ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE ETKİSİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Recep Güneş<sup>1\*</sup>, Şefik Kurultay<sup>2</sup>, Ümit Geçgel<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Kırklareli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Kırklareli, Türkiye

<sup>2</sup>Namık Kemal Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Tekirdağ, Türkiye

Geliş / Received: 23.09.2018; Kabul / Accepted: 25.11.2018; Online baskı / Published online: 24.12.2018

Güneş, R., Kurultay, Ş., Geçgel, Ü. (2018). Vurgulu elektrik alan tekniğinin natürel zeytinyağının üretim verimi ile kimyasal ve duyuşsal özellikleri üzerine etkisinin değerlendirilmesi. *GIDA* (2019) 44 (1): 10-21 doi: 10.15237/gida.GD18097

Güneş, R., Kurultay, Ş., Geçgel, Ü. (2018). Evaluation of effect of pulsed electric field technique on production yield, chemical and sensory properties of virgin olive oil. *GIDA* (2019) 44 (1): 10-21 doi: 10.15237/gida.GD18097

### ÖZ

Zeytin ağacının meyvesinden hiçbir saflaştırma (rafinasyon) işlemine tabi olmadan sadece mekanik veya diğer fiziksel yöntemlerle elde edilen natürel (doğal) zeytinyağının (Virgin olive oil, VOO) üretim süreci son yıllarda stabil kalmıştır. Günümüzde ise, kaliteli natürel zeytinyağlarının endüstriyel anlamda üretilebilmesi için geleneksel kesikli üretimin, sürekli üretim sistemine dönüştürülmesi ve üretim kapasitelerinin iyileştirilmesi için gelişmiş makinelerin tasarlanması ve oluşturulması amaçlanmaktadır. Bu bakımdan, gıda ürünlerinin işlenmesinde keşfedilen yeni teknolojilerden biri olan vurgulu elektrik alan (Pulsed electric field, PEF) uygulaması, birçok gıdanın işlenmesinde başarılı bir şekilde uygulanabildiği gibi natürel zeytinyağının üretiminde de verimi arttırmak ve aynı zamanda yüksek kalitede son ürün elde etmek için önerilmektedir. Bu derlemede, PEF işleminin temel prensipleri ile bu tekniğin zeytinyağının üretim verimine etkisi ve son ürünün kalitesi üzerindeki rolünün ortaya konması amaçlanmıştır.

**Anahtar kelimeler:** Natürel zeytinyağı, vurgulu elektrik alan, yağ verimi

## EVALUATION OF EFFECT OF PULSED ELECTRIC FIELD TECHNIQUE ON PRODUCTION YIELD, CHEMICAL AND SENSORY PROPERTIES OF VIRGIN OLIVE OIL

### ABSTRACT

The production process of virgin olive oil (VOO), obtained only by mechanical or other physical methods without any purification (refining) treatment from the fruit of the olive tree, has not been changed for a long time. Today, in order to ensure the industrial production of high quality virgin olive oil, it is aimed to transform the traditional batch production system into a continuous operation and design advanced machines for the improvement of the production capacities. In this respect, pulsed electric field (PEF) which is one of the new technologies discovered as novel food processing, has been successfully applied in the processing of many foodstuffs and is also proposed to increase production yield and quality of the virgin olive oil. In this review, it is aimed to explain the basic principles of the PEF and the effect of this technique on the production yield of the olive oil and the quality of the final product.

**Keywords:** Virgin olive oil, pulsed electric field, oil yield

\*Yazışmalardan sorumlu yazar / Corresponding author;

✉ recepunes@klu.edu.tr,

☎ (+90) ) 232 311 3011

☎ (+90) 288 214 0516

### GİRİŞ

Sağlıklı ve doğal yiyeceklere yönelik tüketici taleplerinde meydana gelen artış, besin değeri daha yüksek gıdaların ve gıda bileşenlerinin üretilebilmesi için yeni ürün işleme tekniklerinin geliştirilmesini tetiklemiştir (Guderjan vd., 2005; Bansal vd., 2015). Aynı zamanda, ürün işlemede meydana gelen kayıpların en aza indirilmesi, hammaddelerin etkili bir şekilde değerlendirilerek yan ürünlerin azaltılması ve böylece hem çevresel sürdürülebilirliğin hem de ekonomik kazancın sağlanması açısından farklı işlem basamaklarında yeni teknolojilerin kullanımına yönelik artan bir ilgi olmuştur. Bu bakımdan yeni ürün işleme tekniklerinden biri olan vurgulu elektrik alan (Pulsed electric field, PEF) uygulamasının, belirtilen bu amaçlara ulaşmada umut vaat eden bir proses olabileceği, özellikle natürel zeytinyağı üretiminde bir ön işlem olarak uygulandığında verimi ve aynı zamanda son ürünün fitokimyasal içeriğini arttırabileceği belirtilmiştir (Puértolas ve Martínez de Marañón, 2015).

Dünyadaki zeytin ağacı varlığının %98'i Akdeniz havzası olarak adlandırılan bölgede yer almaktadır ve zeytin ağacının meyvesinden elde edilen zeytinyağı bu bölgenin önemli bir ekonomik ürünüdür (Parvaiz vd., 2013; Aguilera ve Ruiz-Valenzuela, 2014). Zeytinyağı, duysal ve besleyici özelliklerinin benzersizliği nedeniyle Akdeniz diyetinin temel ve vazgeçilmez bir parçasıdır (El Sohaimy vd., 2016). Diğer bitkisel yağlardan farklı olarak, hiçbir kimyasal işlem görmeden en doğal hali ile üretilip tüketilebilmekte ve Türk Gıda Kodeksi'ne göre üretimdeki farklılığa bağlı olarak, natürel (doğal), rafine (işlenmiş), riviera (paçal) ve çeşnili zeytinyağları olmak üzere 4 sınıfa ayrılmaktadır (Anonim, 2017).

Zeytinyağı tüketiminin faydaları eski çağlardan itibaren bilinmektedir. Antik çağlardan günümüze kadar süregelen zaman zarfında zeytinyağının sadece gıda maddesi olarak değil aynı zamanda kozmetik, merhem, sabun ve aydınlanma gibi çok çeşitli alanlarda kullanımı söz konusudur (Clodoveo vd., 2015). Günümüzde ise, yapılan bilimsel çalışmalarla zeytinyağının sağlık üzerine olumlu etkilerinin ortaya konması, aynı zamanda Akdeniz diyetine olan ilginin artması ve

tüketicilerin daha az işlenmiş ürünleri tercih etme eğilimleri gibi nedenler zeytinyağı tüketimini arttırmıştır (Amiot, 2014; Rahmani vd., 2014; Visioli vd., 2018). Bu bakımdan, zeytinyağı üretiminde verim ve ürün kalitesini arttırabilmek, aynı zamanda farklı tüketici beklentilerini karşılayabilmek için en eski sistemler dâhil revize edilmekte ve üretim prosesinin çeşitli aşamalarında yeni teknolojiler denenmektedir (Abenoza vd., 2013; Puértolas ve Martínez de Marañón, 2015).

Natürel zeytinyağı üretiminde kullanılan yöntemler; geleneksel presleme prosesi ve modern (sürekli) üretim prosesleri (2 ve 3 fazlı üretim prosesi) olmak üzere sadece mekanik veya fiziksel işlemleri içermektedir (Öğütçü vd., 2013; Khdaïr vd., 2015). Üretimin temel bir aşaması olan yoğurma (malaksasyon) işlemi, zeytin hamurunu (ezmesini) homojen bir karışım haline getirip yağ globüllerini birleştirmekte ve böylece bir sonraki katı-sıvı faz ayrımı işleminde üründen elde edilen yağ miktarını arttırmaktadır. Yapılan araştırmalarda, yoğurma işleminin süresi ve/veya sıcaklığı arttırıldığında, yağ veriminin yanı sıra nihai ürünün kalitesini belirgin şekilde etkileyen kimyasal ve enzimatik reaksiyonların hızının da arttığı rapor edilmiştir (Jiménez vd., 2014; Reboredo-Rodríguez vd., 2014). Zeytinlerin çeşit ve olgunluğu ve aynı zamanda öğütme (kırama), yoğurma gibi işlem basamaklarının etkinliği, verim üzerinde son derece etkili olmakla birlikte, fiziksel yöntemler ile zeytin meyvesindeki yağın sadece %80'i kazanılmaktadır. Geri kalan %20'lik kısım, işlem sonunda açığa çıkan sıvı (karasu) ve katı (pirina) zeytin atıklarıyla birlikte kaybolmakta ve bu atıklar polifenoller gibi biyoaktif bileşiklerin önemli bir kısmını da içermektedir. Bu nedenle üretimde maksimum yağ kazanımı sağlamak için en yaygın çözüm olarak, yoğurma süresi ve/veya sıcaklığı arttırılmakta ya da yüksek yoğurma sıcaklığında ikinci bir ekstraksiyon döngüsü uygulanmaktadır (Puértolas vd., 2016a, 2016b). Ancak, bu tür uygulamaların kimyasal ve duysal parametreler üzerinde olumsuz etkisi olup, üretilen zeytinyağları da düşük kaliteli olarak sınıflandırılmaktadır. Dolayısıyla ürün işleme prosesine uygulanacak teknolojik yeniliklerde yağ verimi ile ürün kalitesi arasında mutlak bir

dengein sağlanması gerekmektedir. Bu bakımdan araştırmalarda çeşitli mekanik ve enzimatik uygulamaların yanı sıra, PEF tekniğinin, mısır, soya veya kolzadan elde edilen yağ veriminin ve ürün kalitesinin iyileştirilmesinde uygun bir ön işlem olduğu tespit edilmiş ve bu nedenle zeytinyağı üretiminde de kullanılabileceği belirtilmiştir (Guderjan vd., 2005, 2007; Clodoveo vd., 2015). Üreticiler de, elde edilen ürünün üretim maliyetini düşürerek verimliliği arttırabilmek, işletmenin çalışma kapasitesini optimize edip çalışma süresini azaltmak için alternatif ekstraksiyon prosesleri aramaktadırlar. Bu hedeflere ulaşmak için PEF tekniği öne çıkan teknolojiler arasında yer almaktadır (Clodoveo, 2013). Nitekim bu derlemede de, PEF işleminin temel prensipleri ile bu tekniğin zeytinyağının üretim verimine etkisi ve son ürünün kalitesi üzerindeki rolünün ortaya konması amaçlanmıştır.

#### **Vurgulu elektrik alan (pulsed electric field, PEF)**

PEF, iki elektrot arasına yerleştirilen bir malzemenin, mikrosaniye ile milisaniye arasında çok kısa bir süre zarfında yüksek gerilim darbeleri ile muamele edildiği, bitkisel ve hayvansal dokulardaki hücrelerin yapısını bozan ısısız olmayan bir işlemdir. Yaklaşık olarak 50 yıl önce geliştirilen bu teknoloji, yakın zamanda yürütölen farklı endüstriyel uygulamaların yanı sıra, büyük ölçekli ticari üretimlerde farklı amaçlar doğrultusunda test edilmiş ve gıda sektörüne başarılı bir şekilde adaptasyonu gerçekteştirilmiştir. Söz konusu bu teknolojinin, geleneksel kurutma yöntemlerine göre önemli bir sıcaklık artışı olmaksızın bitkisel ve hayvansal dokulardaki hücre zarının geçirgenliğini geri dönüşümlü veya geri dönüşümsüz olarak etkilediği bildirilmiştir (Cholet vd., 2014; Sampedro vd., 2014; Kumar vd., 2015). Meyve ve sebzelerde kurutma süresinin azaltılması, meyve suyu ekstraksiyon veriminin arttırılması veya renklendiriciler, sükröz ve polifenoller gibi değerli hücre içi bileşiklerin ekstraksiyonunun iyileştirilmesi, çeşitli gıdalarda mikrobiyal inaktivasyonun sağlanması, enzimatik aktivitenin değişimi, sıvı atıkların dezenfekte edilmesi ve gıda bileşenlerinin fonksiyonel özelliklerinin iyileştirilmesi için PEF tekniğinin kullanımı

laboratuvarlarda veya pilot ölçekli tesislerde yapılan çeşitli araştırmalar ile test edilmiş ve sonuçların umut verici olduğu belirtilmiştir (Ağçam vd., 2014; Bobinaité vd., 2015; Ricci vd., 2018).

Hücre zarı, katı-sıvı ekstraksiyonu işleminde hücre içi maddelerin (su, yađ ve antioksidanlar gibi) kazanımında fiziksel bir bariyer görevi görmektedir (Lamanauskas vd., 2015). Biyolojik materyallerde hücre zarının parçalanması veya hücre zarı geçirgenliğinin arttırılmasıyla bu maddelerin hücre dışına geçişi sağlanabilmektedir (Yang ve Hinner, 2015). PEF işleminin yoğunluğuna (elektrik alan şiddeti, vurgu sayısı ve süresi) ve hücrenin özelliğine (boyut, şekil, iletkenlik) göre, hücre zarında mekaniksel olarak geri dönüşümlü veya geri dönüşümsüz porlar oluşabilmektedir. Diđer bir ifadeyle elektriksel alan şiddeti, hücre zarının fonksiyonunu yitirmesi veya parçalanması için önkoşul olarak kabul edilen kritik bir transmembran potansiyelinin oluşumuna yol açmaktadır. Bu olaya elektroporasyon (elektriksel bozunma, elektropermabilizasyon) denmektedir. Geri dönüşümlü elektroporasyonda hücre zarı boyunca iletken kanalların oluşumu söz konusudur, ancak bu durum birkaç saniye içinde düzelir. Bitki dokularında hücre zarının geri dönüşümlü elektroporasyonu için uygulanması gereken kritik elektrik alan şiddeti 0.1-1 kV/cm olarak belirlenmiştir. Diđer yandan, geri dönüşümsüz elektroporasyon ise hücre içi ozmotik dengein bozulmasına, sitoplazmik içeriğin hücre dışına sızmasına ve böylece hücrenin dağılmasına neden olmaktadır. Bitki ve hayvan dokularında hücre zarının geri dönüşümsüz elektroporasyonu için 0.5-3 kV/cm, mikrobiyal inaktivasyon içinse 5-50 kV/cm değerleri arasında elektriksel alana ihtiyaç olduğu bildirilmektedir (Clodoveo, 2013; Mahnić-Kalamiza vd., 2014). Dolayısıyla bu işlem sayesinde meyve ve sebze dokularındaki hücre zarı geri dönüşümsüz bir şekilde yapısal değişime uğratarak fonksiyonunu yitirmekte, böylece presleme veya ekstraksiyon gibi kütle transferi işlemlerinin etkinliği artmaktadır (Bobinaité vd., 2015). Bu bakımdan PEF tekniğinin, daha fazla enerji ve zaman gerektiren geleneksel termal veya

mekanik işlemler yerine kullanılabilceği belirtilmektedir.

Tüm bu mekaniksel etkilerin yanı sıra, ısısal olmayan bir işlem olarak tanımlanan PEF tekniğinde, uygulama şiddetine bağlı olarak belirgin bir sıcaklık artışı da olmaktadır (Buckow vd., 2013). Birçok araştırmacı, PEF'in uygulama odalarında meydana gelen bu sıcaklık artışını incelemiş ve bu durumun düşük ürün akış hızından ve gıdanın elektriği iyi iletememesinden dolayı oluşan direnç nedeniyle elektrik enerjisinin büyük bir çoğunluğunun ısı enerjisine dönüşmesinden kaynaklandığını bildirmiştir (Gerlach vd., 2008; Clodoveo, 2013; Ağçam vd., 2014). Ancak, geleneksel ısı işlemler uygulama yüzeyinin aşırı ısınarak sertleşmesine neden olup ısı ve kütle geçişini yavaşlatırken, PEF tekniğinde uygulanan enerji, tüm ürüne hızlı ve homojen olarak aktarılıp volumetrik bir sıcaklık artışına neden olmaktadır (Clodoveo, 2013). Ayrıca PEF teknolojisi, geleneksel ısı işlemler ile karşılaştırıldığında enerji girdisine bağlı olarak ürün sıcaklığında meydana gelen artışın oldukça düşük olduğu ve genel olarak geleneksel yöntemlerin aksine gıdanın fonksiyonel ve besleyici değerini etkilemediği ifade edilmektedir (Olsen vd., 2010; Clodoveo, 2013).

Proses etkinliği açısından bakıldığında ise PEF uygulamasında, kullanım amacına bağlı olarak belirlenmesi gereken bir takım parametreler bulunmaktadır. PEF sistemine ait teknik parametreler arasında elektrik alan şiddetinin yanı sıra vurgu şekli, vurgu genişliği, vurgu sayısı ve süresi, toplam işlem süresi ve uygulama sıcaklığı yer almaktadır (Puértolas vd., 2016b). PEF tekniğinde, elektrik alan şiddeti, vurgu sayısı ve işlem sıcaklığı hücrenin dağılma indeksini önemli ölçüde etkilemektedir (Chauhan vd., 2018). Uygulamada en çok kullanılan vurgu şekli ise üstel (eksponansiyel) ve kare dalga olup, vurgu şekline bağlı olarak hücre zarı polarizasyonunda farklılıklar meydana gelmektedir. Üstel dalgaya sahip vurguların üretilmesi kare vurgulara kıyasla daha kolaydır ancak kare vurgu formları üstel vurgulara göre daha etkilidir. PEF tekniğinde vurgu genişliği belirli bir seviyeye ulaştığında hücre zarında elektroporasyon görülmektedir ve

vurgu süresi ile birlikte etkin proses süresini oluşturmaktadır (Rocha vd., 2018). Diğer yandan, sisteme ait uygulama odalarında bulunan hava kabarcıklarının, bu odaların sahip olduğu geometrik şeklin, ürün akış hızının ve gıda ürünlerine ait fiziksel ve kimyasal özelliklerin de PEF uygulamasında elektroporasyonu etkilediği bilinmektedir (Joannes vd., 2015; Raso vd., 2016). Bu bakımdan, hedeflenen amaca yönelik olarak yapılacak optimizasyon çalışmalarında proses parametreleri ile hücrenin dağılma seviyesi göz önünde bulundurularak, bunlar arasında tespit edilebilir korelasyonların bulunması oldukça önem taşımaktadır.

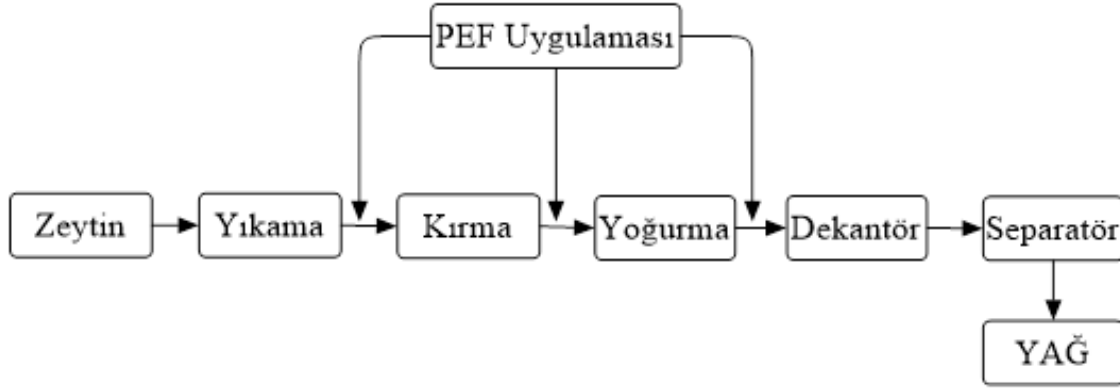
### **Vurgulu elektrik alan tekniğinin natürel zeytinyağı üretiminde kullanımı**

Geleneksel ekstraksiyon işlemi öncesinde numunenin PEF tekniği ile ön-muamelesinin, gıdanın genel yapısına zarar vermeyip, ılımlı bir sıcaklık artışı ile değerli hücre içi bileşiklerin kazanımını arttırdığı tespit edilmiştir (Vorobiev ve Lebovka, 2011). Son yıllarda, ekstraksiyon işlemlerinde ön-muamele basamağını optimize etmek, ekstraksiyon verimini arttırmak ve son ürünün kimyasal karakteristiğini iyileştirmek amacıyla mikrodalga, düşük frekanslı ultrases, basınçlı şok dalgası gibi çeşitli teknolojiler araştırma konusu olmuştur (Juliano vd., 2015; Kittiphoom ve Sutasinee, 2015; Maroušek, 2015). Bunlar arasında PEF tekniği, ekstrakte edilmek istenen bileşiklerin daha doğal, hızlı ve ekonomik bir şekilde kazanımını sağlaması bakımından araştırmacıların ve gıda endüstrisinin oldukça dikkatini çekmiştir. Dolayısıyla yapılan çeşitli araştırmalarda; farklı hammaddelerden (ay çekirdeği, mısır, soya, palm, kolza gibi) yağ ekstraksiyonunda bir ön-muamele olarak PEF tekniği kullanılmış olup, sonuçların verim ve ürün kalitesi üzerine etkisi incelenmiştir (Guderjan vd., 2005, 2007; Paoplook ve Eshtiaghi, 2013; Shorstkii vd., 2015). Yakın zamanda ise bu tekniğin natürel zeytinyağı üretiminde kullanımı da araştırılmaya başlanmış ve sonuçların dikkat çekici olduğu vurgulanmıştır (Abenoza vd., 2013; Puértolas ve Martínez de Marañón, 2015).

Yapılan çeşitli araştırmalarda PEF tekniği, zeytinyağı üretiminin farklı proses basamaklarında

uygulama alanı bulmuştur. Şekil 1, zeytinyağının endüstriyel üretim basamaklarını ve PEF tekniğinin üretimde uygulanması önerilen noktalarını göstermektedir. Bu uygulama noktalarının yıkama, kırma ve yoğurma işlemleri sonrasında yer aldığı görülmektedir. Kırma sonrası uygulanan PEF, hücre membranlarının

elektroporasyonuna bağlı olarak yoğurma esnasında yağ salınımını arttırmak için uygulanmaktadır. Yoğurma sonrası uygulanan PEF'te ise yağın demülsifikasyonunun kolaylaştırılması ve sonraki santrifüj esnasında kütle transferinin iyileştirilmesi amaçlanmaktadır (Abenoza vd., 2013; Puértolas vd., 2016a).



Şekil 1. Natürel zeytinyağı üretim hattının basitleştirilmiş şeması ve vurgulu elektrik alanının üretime entegre edilebileceği farklı işlem basamakları

Figure 1. The simplified schematic line of the natural olive oil production and the different process steps in which the pulsed electric field can be integrated into the production

Guderjan vd. (2005) yaptıkları araştırmada, PEF işleminin farklı bitkisel yağların (mısır, soya ve zeytin) üretim verimi ve kalitesi üzerine etkisini incelemişlerdir. Zeytinlere orta (0.7 kV/cm, 30 vurgu) ve yoğun (1.3 kV/cm, 100 vurgu) şiddette PEF, 50°C'de 30 dak klasik ısıl işlem ve dondurma-çözündürme kombinasyonundan oluşan farklı ön-işlem teknikleri uygulanmıştır. Ardından numuneler mekanik olarak ezildikten sonra 2500 g'de 10 dak boyunca santrifüj edilerek yağ eldesi gerçekleştirilmiş ve ön-işlem tekniğine göre yağ verimleri karşılaştırılmıştır. Araştırma sonuçları, referans metoda kıyasla her tekniğin yağ verimini arttırdığını göstermiştir. Özellikle PEF tekniğinde, elektrik alan şiddetine bağlı olarak verimin sırasıyla %6.5 ve %7.4 oranında artış gösterdiği; bu değerlerin 50°C'de 30 dak ısıl işlemde elde edilen verimden (%5.3) daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Dondurma-çözündürme kombinasyonundan oluşan ön-işlem tekniğinde ise %7.9 ile maksimum oranda yağ verimi elde edilmiş ancak daha fazla enerji girdisine ihtiyaç olduğu belirtilmiştir.

Abenoza vd. (2013) PEF tekniğinin zeytinyağının verim ve kalitesi üzerine etkisini inceledikleri çalışmada, zeytin hamurunu 1 kV/cm ve 2 kV/cm elektrik alan şiddetinde ve 125 Hz frekansta 3 mikrosaniyelik 50 monopolar vurguya maruz bırakmışlardır. Yoğurma işlemi ise 0, 15 ve 30 dak boyunca  $15\pm 0.2^{\circ}\text{C}$  ve  $26\pm 0.2^{\circ}\text{C}$ 'de gerçekleştirilmiştir. Ardından zeytin ezmesi, 1370 g'de 2 dak santrifüje tabi tutulup yağ kazanımı yapılmıştır. Bu koşullar altında, yoğurma işlemi yapılmayan zeytin ezmelerine sadece 0, 1 ve 2 kV/cm PEF işlemi uygulandığında ekstraksiyon veriminin sırasıyla %4.75, %5.84 ve %7.34 olduğu; diğer yandan farklı şiddette PEF ve farklı sıcaklıklarda yoğurma işleminin beraber uygulandığı ezmelerde ise %11.50-14.10 arasında değişen oranlarda verim elde edildiği tespit edilmiştir. Bu bakımdan, zeytin ezmesi sırasıyla 1 ve 2 kV/cm PEF ile işlendiğinde ekstraksiyon veriminin kontrol grubuna göre sırasıyla %23 ve %54 oranında artış gösterdiği belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, yoğurma işlemi 26°C'de yapıldığında PEF uygulamasının, aynı sıcaklıktaki kontrol grubuna göre ekstraksiyon verimini arttırmadığı gözlenmiştir (Çizelge 1). Bu nedenle

PEF işleminin, ekstraksiyon veriminde bir azalmaya neden olmadan yoğurma sıcaklığını azaltabileceği (26°C'den 15°C'ye) rapor edilmiştir. Yoğurma sıcaklığındaki bu azalmanın özellikle yağın organoleptik kalitesi üzerinde önemli olması bakımından bir avantaj olduğu ve üretimde enerji tasarrufu sağlayabileceği belirtilmiştir. Ayrıca yapılan araştırmada 15°C gibi düşük bir sıcaklıkta

uygulanan PEF ile elde edilen verimin, zeytinyağı üretiminde verimi arttırmak için kullanılan çeşitli enzim, NaCl veya talk (hidratlı doğal magnezyum silikat) ilavesi (Ranalli vd., 2003; Cruz vd., 2007; Caponio vd., 2014) gibi farklı stratejiler sonucunda elde edilen verim değerleri ile benzerlik gösterdiği vurgulanmıştır.

Çizelge 1. Vurgulu elektrik alan tekniğinin zeytinyağının üretim verimine etkisi (Abenoza vd., 2013)  
 Table 1. The effect of the pulsed electric field technique on the oil yield of the olive oil (Abenoza et al., 2013)

Yoğurma süresi (dak.) <i>Malaxation time</i> (min.)	Yoğurma sıcaklığı (°C) <i>Malaxation temperature</i> (°C)	Elektrik alan şiddeti (kV/cm) <i>Electric field strengths</i> (kV/cm)	Yağ verimi (%) <i>Oil yield (%)</i>
0		0	4.75±0.30 <sup>a</sup>
		1	5.84±0.50 <sup>ac</sup>
		2	7.34±0.30 <sup>c</sup>
15	15°C	0	11.24±0.42 <sup>a</sup>
		1	11.50±0.46 <sup>a</sup>
		2	12.15±0.47 <sup>b</sup>
15	26°C	0	11.36±0.33 <sup>a</sup>
		1	11.90±1.10 <sup>a</sup>
		2	11.90±0.36 <sup>a</sup>
30	15°C	0	12.37±0.47 <sup>a</sup>
		1	13.80±0.19 <sup>b</sup>
		2	14.10±0.10 <sup>b</sup>
30	26°C	0	13.30±0.40 <sup>a</sup>
		1	13.60±0.50 <sup>a</sup>
		2	13.77±0.39 <sup>a</sup>

Her bir değer ortalama ± standart sapmayı temsil etmektedir. ANOVA analizi ile; yoğurma zamanı, sıcaklık ve farklı elektrik alan şiddetine göre elde edilen yağ verimleri karşılaştırılmıştır. Aynı sütunda farklı harfle gösterilen değerler arasındaki fark istatistiksel açıdan önemli bulunmuştur (p<0.05).

*Each value represents the mean ± standard deviation. By ANOVA analysis; the oil yields obtained for a given malaxation time, temperature and different electric field strengths were compared. The difference between the values indicated by different letters in the same column was found statistically significant (p<0.05)*

Aynı araştırmada, PEF işlemi ekstraksiyon veriminde bir azalmaya neden olmadan yoğurma sıcaklığını azalttığı için, zeytin hamuruna uygulanan bu tekniğin, elde edilen yağın fizikokimyasal ve duyuşal özellikleri üzerine etkisinin belirlenebilmesi açısından yapılan analizlerde, kontrol grubu için 10 kg zeytin hamuru 26°C'de 30 dak, diğer grup için aynı miktardaki zeytin hamuruna 2 kV/cm elektrik alan şiddetinde PEF uygulanıp 15°C'de 30 dak süreyle yoğurma işlemine tabi tutulmuş ve yağlarda yapılan analizlerde elde edilen sonuçlar

karşılaştırılmıştır. Bu sonuçlara göre, PEF uygulaması ile elde edilen zeytinyağlarının; asitlik, peroksit, K<sub>232</sub> ve K<sub>270</sub> gibi kaliteyi ölçmede kanunen belirlenmiş olan parametrelerin kritik limitlerini aşmadığı ve bu işlemin üründe duyuşal olarak herhangi bir kötü tat veya kokuya neden olmadığı ortaya konmuştur. Diğer yandan yapılan pigment analizinde, 26°C'de 30 dak yoğurma işlemine tabi tutulmuş kontrol grubunun klorofil ve karotenoid içeriği diğer gruba göre biraz daha yüksek bulunmuş ve bu durumun kontrol grubunda yoğurma esnasında uygulanan sıcaklığın

daha yüksek olmasından kaynaklandığı belirtilmiştir. Pigment içeriğindeki bu küçük farklılık, PEF ile işlenen zeytin hamurundan elde edilen yağın açıklık değerinin ( $L^*=94.24$ ) kontrol grubundan ( $L^*=92.24$ ) biraz daha yüksek olmasına neden olmuştur. Araştırmacılara göre, yağın açıklık değeri ( $L^*$ ), pigment içeriğindeki azalma ile birlikte genellikle artmaktadır çünkü pigmentler ışığın bir kısmını iletmek yerine absorbe etmektedir (Criado vd., 2008). Bununla birlikte, kontrol grubunda yoğurma esnasında uygulanan sıcaklığın daha yüksek olmasından dolayı fenolik içeriği daha yüksek,  $\alpha$ -tokoferol miktarı ise PEF ile muamele edilen yağlarda kısmen daha yüksek bulunmuştur. PEF'in yağ asidi bileşimi üzerindeki etkisine bakıldığında; doymuş, doymamış ve çoklu doymamış yağ asitlerinde önemli bir farklılık oluşturmadığı tespit edilmiştir (Abenzoza vd., 2013).

Konuya paralel olarak Puértolas ve Martínez de Marañón (2015), PEF teknolojisi ile entegre edilmiş pilot zeytinyağı üretim tesisi kurarak, uygulamanın ekstraksiyon verimine ve yağın kimyasal ve duyuşal özellikleri üzerine etkisini incelemişlerdir. Araştırmada zeytinler mekanik olarak ezilip  $24^{\circ}\text{C}$ 'de 60 dak boyunca yoğurma işlemine tabi tutulmuş, ardından PEF işlemi uygulanarak (2 kV/cm, 25 Hz frekans, 520 kg/h olacak şekilde) santrifüj vasıtasıyla yağ eldesi gerçekleştirilmiştir. Söz konusu çalışmada PEF uygulamasından kaynaklanan sıcaklık artışının  $3^{\circ}\text{C}$ 'yi geçmediği belirtilmiştir. Bu koşullar altında kontrol grubunda yağ verimi 20 kg/100 kg olarak belirlenirken; PEF işlemi uygulanmış grupta verim 22.66 kg/100 kg olarak tespit edilmiştir. Buna göre PEF tekniği, üretimde işlenen her 100 kg zeytinden ilave olarak 2.66 kg zeytinyağı kazanımı sağlayıp, kontrol grubuna göre yağ verimini %13.3 oranında arttırmıştır. Ayrıca, PEF tekniği ile elde edilen zeytinyağlarının toplam fenolik madde, toplam fitosterol ve toplam tokoferol içeriği de kontrol grubundan önemli derecede yüksek (sırasıyla %11.5, %9.9 ve %15.0) bulunmuştur. Çizelge 2 incelendiğinde, zeytin hamuruna PEF uygulaması, elde edilen yağın serbest asitliğini oleik asit cinsinden %0.19'dan %0.22'ye yükseltmiştir ( $p<0.05$ ). Ancak, gözlenen bu artış, yasal olarak belirtilen maksimum sınırın altında

kaldığından, yöntemin yağın kalitesi üzerinde olumsuz bir etkiye neden olmadığı belirtilmiştir. Nitekim benzer bir durum, PEF ile elde edilen kolza yağında da gözlenmiştir (Guderjan vd., 2007). Ayrıca, PEF tekniğinin zeytinyağının genel kimyasal ( $K_{232}$ ,  $K_{270}$ , peroksit değeri) ve duyuşal özellikleri üzerinde olumsuz bir etki yaratmadığı ve analiz sonuçlarının yasal standartlarda belirtilen limitlere uygun olduğu rapor edilmiştir. Aynı zamanda bu sonuçların enzim uygulaması, ultrases veya mikrodalga gibi diğer işlemlerde elde edilen verilere de benzerlik gösterdiği ifade edilmiştir.

Natürel zeytinyağı üretiminde bir yan ürün olan prinada yaklaşık olarak %20-25 civarında yağ kalmaktadır. Fiziksel işlemlerle kazanılamayan bu yağ (~5-8 kg yağ/100 kg zeytin) sektör için büyük bir maddi kayıp anlamına gelmekte olup, geri kalan bu yağ sanayide organik çözücüler kullanılarak ekstrakte edilmektedir (Abenzoza vd., 2013; Dammak vd., 2015). Bu parametreler göz önünde bulundurularak, Puértolas ve Martínez de Marañón (2015)'in araştırma sonuçları incelendiğinde, PEF uygulaması ile prinada kalan yağın ~%50'sinin üretime kazandırılabilceği görülmektedir. Bu durum, natürel zeytinyağı üretiminde yağ kazanımının %80'lerden %90'lara çıkarılabileceğini, böylece yan ürün miktarının ve buna paralel olarak sektörün oluşturduğu çevresel problemlerin azaltılabileceğini göstermektedir. Aynı zamanda üretimde sağlanan verim artışıyla birlikte işletmelerin kâr marjları da artacağından bu durumun ekipmana yapılan yatırım maliyetlerini sübvansedeceği belirtilmektedir (Puértolas ve Martínez de Marañón, 2015).

Yapılan bu çalışmalar doğrultusunda; ultrases veya mikrodalga teknolojisi gibi zeytinyağı üretiminde önerilen diğer yeni fiziksel yöntemlerle karşılaştırıldığında, PEF uygulamasının verimin artırılmasında daha etkili olduğu görülmektedir. Laboratuvar çalışmalarına göre, ultrases muamelesinin (35 kHz, 150 W, 8 dak) ekstraksiyon verimini yaklaşık olarak %6 oranında arttırdığı tespit edilmiştir (Clodoveo vd., 2013). Bununla birlikte, ultrases işleminde yoğunluğun artırılmasının (2450 MHz, 800 W, 3 dak) ve aynı zamanda mikrodalga uygulamasına

başvurulmasının da verim üzerinde etkili olmadığı belirtilmiştir (Clodoveo ve Hbaieb, 2013). Diğer yandan Puértolas ve Martínez de Marañón (2015)'in yaptıkları araştırmaya göre, PEF uygulamasının yağın fenolik içeriğinin zenginleştirilmesinde alternatif bir yöntem olabileceği görülmektedir. Yapılan farklı çalışmalarda, ekstraksiyon veriminin artırılmasında kullanılan kalsiyum karbonat ve talk gibi kimyasal yardımcı maddelerin zeytinyağının fenolik içeriğine katkı sağlamadığı, hatta azalttığı ortaya konmuştur (Moya vd., 2010; Tamborrino vd., 2017). Benzer şekilde, zeytin hamurunun direkt olarak ultrases ile muamelesinin de fenoliklerin zenginleştirilmesine yönelik etkili bir yöntem olmadığı, hatta yağın toplam fenolik içeriğini azalttığı tespit edilmiştir (Clodoveo vd., 2013). Literatürde, PEF uygulamasının fenolikler üzerine sağladığı bu katkının; enzim formülasyonu, zeytin çeşidi ve ekstraksiyon koşulları gibi çeşitli faktörlere bağlı olarak %4 ile %48 gibi artışların sağlandığı enzim uygulaması ile karşılaştırılabilir nitelikte olduğu

belirtilmektedir (De Faveri vd., 2008; Hadj-Taieb vd., 2012). Aynı şekilde, PEF işleminin zeytinyağının tokoferol içeriğine etkisinin de enzim uygulaması ile eşdeğer nitelikte olduğu vurgulanmıştır. Ultrases işleminin ise konvansiyonel prosedürlere kıyasla toplam tokoferol içeriğini değiştirmediği ve hatta az miktarda düşürdüğü tespit edilmiştir (Jiménez vd., 2007). Ancak Clodoveo vd. (2013) yakın zamanda yaptıkları araştırmada, ultrases uygulaması ile zeytinyağının tokoferol içeriğinde %60'dan fazla bir artış olduğunu kaydetmişlerdir. Toplam fitosterol miktarı açısından bakıldığında ise, ortaya çıkan yeni ekstraksiyon tekniklerinin bu bileşikler üzerindeki etkilerine yönelik veriler yetersizdir. Puértolas ve Martínez de Marañón (2015)'in yaptıkları çalışmada, PEF uygulamasının zeytinyağındaki toplam fitosterol miktarına etkisi, aynı teknikle elde edilen kolza yağında da gözlenmiştir (Guderjan vd., 2007). Enzim uygulaması ile elde edilen zeytinyağlarının fitosterol seviyelerinde ise herhangi bir değişiklik tespit edilmemiştir (Ranalli vd., 2003).

Çizelge 2. Vurgulu elektrik alan işleminin zeytinyağının verim ve kimyasal özellikleri üzerine etkisi (Puértolas ve Martínez de Marañón, 2015)

Table 2. Effects of pulsed electric field processing on yield and chemical properties of olive oil (Puértolas and Martínez de Marañón, 2015)

Zeytinyağı Olive oil	Verim* Yield*	Serbest asitlik* Free acidity*	Peroksit Değeri* Peroxide value*	K <sub>232</sub>	K <sub>270</sub>	Toplam fenolik* Total phenolic*	Toplam tokoferol* Total tocopherol *	Toplam fitosterol* Total phytosterol*
Kontrol örneği Control sample	20 <sup>a</sup>	0.19± 0.01 <sup>a</sup>	10.85± 0.43 <sup>a</sup>	1.71± 0.09 <sup>a</sup>	0.11± 0.02 <sup>a</sup>	404 <sup>a</sup>	19.2± 1.61 <sup>a</sup>	1380± 82.3 <sup>a</sup>
PEF örneği PEF sample	22.66 <sup>b</sup>	0.22± 0.01 <sup>b</sup>	10.58± 0.25 <sup>a</sup>	1.68± 0.02 <sup>a</sup>	0.11± 0.01 <sup>a</sup>	451 <sup>b</sup>	22.0± 0.64 <sup>b</sup>	1520± 42.4 <sup>b</sup>

\*Yapılan araştırmada verim %, serbest asitlik değeri % oleik asit cinsinden, peroksit değeri meq O<sub>2</sub>/kg, toplam fenolik madde miktarı mg kafeik asit/kg yağ, toplam tokoferol miktarı mg/100 g yağ, toplam fitosterol miktarı ise mg/kg yağ olarak hesaplanmıştır. Aynı sütunda farklı harfle gösterilen değerler arasındaki fark istatistiksel açıdan önemli bulunmuştur (p<0.05).

\*In the research, the oil yield was calculated as %, total amount of phenolic substances was calculated as mg caffeic acid/kg oil, free acidity value was calculated as % oleic acid, peroxide value was calculated as meq O<sub>2</sub>/kg, total tocopherol amount was calculated as mg/100 g oil and total phytosterol amount was calculated as mg/kg oil. The difference between the values indicated by different letters in the same column was found statistically significant (p<0.05).



## SONUÇ

Yapılan araştırmalara göre, PEF uygulamasının natürel zeytinyağı üretiminde kullanımı bir takım avantajlar sunmaktadır. Mevcut teknolojilerin aksine PEF, hücre zarının geri dönüşümsüz bir şekilde yapısını bozarak, bitkisel dokuda yer alan yağ ve diğer bileşiklerin kazanımını kolaylaştırmaktadır. Bu bakımdan bu tekniğin, mevcut zeytinyağı üretim tesislerine entegrasyonu yapılarak tesisler modernize edilebilir ve bu sayede tesisin hem üretim kapasitesinin artması, hem de üretim süresinin azalması sağlanabilir. Diğer yandan düşük enerji gereksinimine ek olarak, bu teknoloji zeytinyağı üretiminde kullanıldığı takdirde yoğurma sıcaklığını azaltabilmekte ve aynı zamanda verimi de arttırmaktadır. Kimyasal ve duyuşal açıdan değerlendirildiğinde ise, PEF işleminin elde edilen ürün üzerinde olumsuz bir etki yaratmadığı, buna ek olarak yağdaki polifenoller, fitosteroller ve tokoferoller gibi insan sağlığına ilişkin bileşiklerin içeriğini arttırdığı görülmektedir. Aynı zamanda natürel zeytinyağı üretiminde verimi arttırmak için önerilen diğer kimyasal, biyokimyasal ve fiziksel tekniklerde elde edilen verilerle karşılaştırıldığında, PEF tekniği; etkinlik, kullanılabilirlik ve ürün kalitesi açısından birçok yöntemi geride bırakmaktadır. Bu bakımdan söz konusu alanda yapılacak yeni çalışmalarla; zeytinin çeşidi, olgunluk durumu, yoğurma sıcaklığı ve süresi gibi verim üzerinde büyük öneme sahip dış faktörler göz önünde bulundurularak, PEF tekniğinin yağ eldesi ve yağ verimi üzerine etkilerinin ortaya konması, üretimde kullanılacak en uygun parametrelerin belirlenmesi ve bunların literatüre kazandırılması gerekmektedir.

## KAYNAKLAR

Abenoza, M., Benito, M., Saldaña, G., Álvarez, I., Raso, J., Sánchez-Gimeno, A.C. (2013). Effects of Pulsed Electric Field on Yield Extraction and Quality of Olive Oil. *Food Bioproc Tech*, 6(6): 1367-1373.

Ağçam, E., Akyıldız, A., Evrendilek, G.A. (2014). Vurgulu Elektrik Alan Teknolojisi (PEF): Sistem ve Uygulama Odacıkları. *Akademik Gıda*, 12(2): 69-78.

Aguilera, F., Ruiz-Valenzuela, L. (2014). Forecasting olive crop yields based on long-term aerobiological data series and bioclimatic conditions for the southern Iberian Peninsula. *Span J Agric Res*, 12(1): 215-224.

Amiot, M.J. (2014). Olive oil and health effects: From epidemiological studies to the molecular mechanisms of phenolic fraction. *OCL-Oilseeds and fats, Crops and Lipids*, 21(5): 1-8.

Anonim (2017). Türk Gıda Kodeksi. Zeytinyağı ve Pirina Yağı Tebliği (2017/26). Gıda, Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı. 17 Eylül 2017 tarih ve 30183 sayılı Resmi Gazete, Ankara.

Bansal, V., Siddiqui, M., Rahman, M. (2015). Minimally Processed Foods: Overview. In: *Minimally Processed Foods*, Siddiqui M.W., Rahman, M.S. (Eds), Springer International Publishing, New York, pp. 1-15.

Bobinaité, R., Pataro, G., Lamanuskas, N., Šatkauskas, S., Viškėlis, P., Ferrari, G. (2015). Application of pulsed electric field in the production of juice and extraction of bioactive compounds from blueberry fruits and their by-products. *J Food Sci Technol*, 52(9): 5898-5905.

Buckow, R., Ng, S., Toepfl, S. (2013). Pulsed electric field processing of orange juice: a review on microbial, enzymatic, nutritional, and sensory quality and stability. *Compr Rev Food Sci Food Saf*, 12(5): 455-467.

Caponio, F., Monteleone, J.I., Martellini, G., Summo, C., Paradiso, V.M., Pasqualone, A. (2014). Effect of talc addition on the extraction yield and quality of extra virgin olive oil from Coratina cultivar after production and during storage. *J Oleo Sci*, 63: 1125-1132.

Chauhan, O.P., Sayanfar, S., Toepfl, S. (2018). Effect of pulsed electric field on texture and drying time of apple slices. *J Food Sci Technol*, 55(6): 2251-2258.

Cholet, C., Delsart, C., Petrel, M., Gontier, E., Grimi, N., L'hyvernay, A., Ghidossi, R., Vorobiev, E., Mietton-Peuchot, M., Gény, L. (2014). Structural and biochemical changes induced by pulsed electric field treatments on Cabernet Sauvignon grape berry skins: impact on

- cell wall total tannins and polysaccharides. *J Agric Food Chem*, 62(13): 2925-2934.
- Clodoveo, M.L. (2013). An overview of emerging techniques in virgin olive oil extraction process: strategies in the development of innovative plants. *J Agric Eng*, 44: 297-305.
- Clodoveo, M.L., Durante, V., La Notte, D. (2013). Working towards the development of innovative ultrasound equipment for the extraction of virgin olive oil. *Ultrason Sonochem*, 20(5): 1261-1270.
- Clodoveo, M.L., Hbaieb, R.H. (2013). Beyond the traditional virgin olive oil extraction systems: Searching innovative and sustainable plant engineering solutions. *Food Res Int*, 54(2): 1926-1933.
- Clodoveo, M.L., Camposeo, S., Amirante, R., Dugo, G., Cicero, N., Boskou, D. (2015). Research and Innovative Approaches to Obtain Virgin Olive Oils with a Higher Level of Bioactive Constituents. In: *Olive and Olive Oil Bioactive Constituents*, Boskou, D. (Ed), AOCS Press, Urbana, USA, pp. 179-215.
- Criado, M.N., Romero, M.P., Casanovas, M., Motilva, M.J. (2008). Pigment profile and colour of monovarietal virgin olive oils from Arbequina cultivar obtained during two consecutive crop seasons. *Food Chem*, 110(4): 873-880.
- Cruz, S., Yousfi, K., Pérez, A.G., Mariscal, C., Garcia, J.M. (2007). Salt improves physical extraction of olive oil. *Eur Food Res Technol*, 225(3): 359-365.
- Dammak, I., Neves, M., Souilem, S., Isoda, H., Sayadi, S., Nakajima, M. (2015). Material Balance of Olive Components in Virgin Olive Oil Extraction Processing. *Food Sci Technol Res*, 21(2): 193-205.
- De Faveri, D., Aliakbarian, B., Avogadro, M., Perego, P., Converti, A. (2008). Improvement of olive oil phenolics content by means of enzyme formulations: Effect of different enzyme activities and levels. *Biochem Eng J*, 41(2): 149-156.
- El Sohaimy, A.A.S., El-Sheikh, H.M., Refaay, M.T., Zaytoun, A.M.M. (2016). Effect of Harvesting in Different Ripening Stages on Olive (*Olea europea*) Oil Quality. *Am J Food Technol*, 11: 1-11.
- Gerlach, D., Alleborn, N., Baars, A., Delgado, A., Moritz, J., Knorr, D. (2008). Numerical simulations of pulsed electric fields for food preservation: A review. *Innov Food Sci Emerg Technol*, 9(4): 408-417.
- Guderjan, M., Töpfl, S., Angersbach, A., Knorr, D. (2005). Impact of pulsed electric field treatment on the recovery and quality of plant oils. *J Food Eng*, 67(3): 281-287.
- Guderjan, M., Elez-Martinez, P., Knorr, D. (2007). Application of pulsed electric fields at oil yield and content of functional food ingredients at the production of rapeseed oil. *Innov Food Sci Emerg Technol*, 8(1): 55-62.
- Hadj-Taieb, N., Grati, N., Ayadi, M., Attia, I., Bensalem, H., Gargouri, A. (2012). Optimisation of olive oil extraction and minor compounds content of Tunisian olive oil using enzymatic formulations during malaxation. *Biochem Eng J*, 62: 79-85.
- Jiménez, A., Beltrán, G., Uceda, M. (2007). High-power ultrasound in olive paste pretreatment. Effect on process yield and virgin olive oil characteristics. *Ultrason Sonochem*, 14(6): 725-731.
- Jiménez, B., Sánchez-Ortiz, A., Rivas, A. (2014). Influence of the malaxation time and olive ripening stage on oil quality and phenolic compounds of virgin olive oils. *Int J Food Sci Technol*, 49 (11): 2521-2527.
- Joannes, C., Sipaut, C.S., Dayou, J., Yasir, S.M., Mansa, R.F. (2015). The potential of using pulsed electric field (PEF) technology as the cell disruption method to extract lipid from microalgae for biodiesel production. *Int J Renew Energy Res*, 5(2): 598-621.
- Juliano, P., Augustin, M.A., Xu, X.Q., Mawson, R., Knoerzer, K. (2015). Advances in high frequency ultrasound separation of particulates from biomass. *Ultrason Sonochem*, 35: 577-590.
- Khdair, A.I., Ayoub, S., Abu-Rumman, G. (2015). Effect of pressing techniques on olive oil quality. *Am J Food Technol*, 10: 176-183.

- Kittiphoom, S., Sutasinee, S. (2015). Effect of microwaves pretreatments on extraction yield and quality of mango seed kernel oil. *Int Food Res J*, 22(3): 960-964.
- Kumar, Y., Patel, K.K., Kumar, V. (2015). Pulsed electric field processing in food technology. *Int J Eng Stud Tech Approach*, 1(2): 6-17.
- Lamanauskas, N., Bobinaite, R., Satkauskas, S., Viskelis, P., Pataro, G., Ferrari, G. (2015). Pulsed electric field-assisted juice extraction of frozen/thawed blueberries. *Zemdirbyste Agric*, 102(1): 59-66.
- Mahnič-Kalamiza, S., Vorobiev, E., Miklavčič, D. (2014). Electroporation in food processing and biorefinery. *J Membr Biol*, 247(12): 1279-304.
- Maroušek, J. (2015). Economic Analysis of the Pressure Shockwave Disintegration Process. *Int J Green Energy*, 12: 1232-1235.
- Moya, M., Espínola, F., Fernández, D.G., De Torres, A., Marcos, J., Vilar, J., Josue, J., Sánchez, T., Castro, E. (2010). Industrial trials on adjuvants for olive oil extraction. *J Food Eng*, 97(1): 57-63.
- Öğütçü, M., Aydeniz, B., Yılmaz, E. (2013). Comparison of the virgin olive oils obtained from different points of common oil production systems. *GIDA*, 38(2): 79-85.
- Olsen, N.V., Grunert, K.G., Sonne, A.M. (2010). Consumer acceptance of high-pressure processing and pulsed-electric field: A review. *Trends Food Sci Technol*, 21(9): 464-472.
- Paoplook, K., Eshtiaghi, M.N. (2013). Impact of High Electric Field Pulses on Cell Disintegration and Oil Extraction from Palm Fruit Mesocarp. *Int J Environ Agric Res*, 2(3): 363-369.
- Parvaiz, M., Hussain, K., Shoaib, M., William, G., Tufail, M., Hussain, Z., Gohar, D., Imtiaz, S.A. (2013). Review: Therapeutic Significance of Olive *Olea europaea* L. (Oleaceae Family). *Global J Pharm*, 7(3): 333-336.
- Puértolas, E., Martínez de Marañón, I. (2015). Olive oil pilot-production assisted by pulsed electric field: Impact on extraction yield, chemical parameters and sensory properties. *Food Chem*, 167: 497-502.
- Puértolas, E., Alvarez-Sabatel, S., Cruz, Z. (2016a). Pulsed electric field: groundbreaking technology for improving olive oil extraction. <https://www.aocs.org/stay-informed/read-inform/featured-articles/pulsed-electric-field-groundbreaking-technology-for-improving-olive-oil-extraction-march-2016> [Erişim tarihi: 13.02.2017].
- Puértolas, E., Koubaa, M., Barba, F.J. (2016b). An overview of the impact of electrotechnologies for the recovery of oil and high-value compounds from vegetable oil industry: Energy and economic cost implications. *Food Res Int*, 80: 19-26.
- Rahmani, A.H., Albutti, A.S., Aly, S.M. (2014). Therapeutics role of olive fruits/oil in the prevention of diseases via modulation of anti-oxidant, anti-tumour and genetic activity. *Int J Clin Exp Med*, 7: 799-808.
- Ranalli, A., Pollastri, L., Contento, S., Lucera, L., Del Re, P. (2003). Enhancing the quality of virgin olive oil by use of a new vegetable enzyme extract during processing. *Eur Food Res Technol*, 216: 109-115.
- Raso, J., Frey, W., Ferrari, G., Pataro, G., Knorr, D., Teissie, J., Miklavčič, D. (2016). Recommendations guidelines on the key information to be reported in studies of application of PEF technology in food and biotechnological processes. *Innov Food Sci Emerg Technol*, 37: 312-321.
- Reboredo-Rodríguez, P., González-Barreiro, C., Cancho-Grande, B., Simal-Gándara, J. (2014). Improvements in the malaxation process to enhance the aroma quality of extra virgin olive oils. *Food Chem*, 158: 534-545.
- Ricci, A., Parpinello, G.P., Versari, A. (2018). Recent advances and applications of pulsed electric fields (PEF) to improve polyphenol extraction and color release during red winemaking. *Beverages*, 4(18): 1-12.
- Rocha, C.M.R., Genisheva, Z., Ferreira-Santos, P., Rodrigues, P., Vicente, A.A., Teixeira, J.A., Pereira, R.N. (2018). Electric field-based

- technologies for valorization of bioresources. *Bioresour Technol*, 254: 325-339.
- Sampedro, F., McAloon, A., Yee, W., Fan, X., Geveke, D.J. (2014). Cost Analysis and Environmental Impact of Pulsed Electric Fields and High Pressure Processing in Comparison with Thermal Pasteurization. *Food Bioprocess Technol*, 7: 1928-1937.
- Shorstkii, I., Mirshekarloo, M.S., Koshevoi, E. (2015). Application of Pulsed Electric Field for Oil Extraction from Sunflower Seeds: Electrical Parameter Effects on Oil Yield. *J Food Process Eng*, 40(1): 1-7.
- Tamborrino, A., Squeo, G., Leone, A., Paradiso, V.M., Romaniello, R., Summo, C., Pasqualone, A., Catalano, P., Bianchi, B., Caponio, F. (2017). Industrial trials on coadjuvants in olive oil extraction process: Effect on rheological properties, energy consumption, oil yield and olive oil characteristics. *J Food Eng*, 205: 34-46.
- Toepfl, S., Mathys, A., Heinz, V., Knorr, D. (2006). Review: Potential of High Hydrostatic Pressure and Pulsed Electric Fields for Energy Efficient and Environmentally Friendly Food Processing. *Food Rev Int*, 22(4): 405-423.
- Visioli, F., Franco, M., Toledo, E., Luchsinger, J., Willett, W.C., Hu, F.B., Martinez-Gonzalez, M.A. (2018). Olive oil and prevention of chronic diseases: Summary of an international conference. *Nutr Metab Cardiovasc Dis*, 28: 649-656.
- Vorobiev, E., Lebovka, N.I. (2011). Pulse Electric Field-Assisted Extraction. In: *Enhancing Extraction Processes in the Food Industry*, Lebovka, N.I., Vorobiev, E., Chemat, F. (Eds), CRC Press, Taylor & Francis Group, Boca Raton, Florida, USA, pp. 25-85.
- Yang, N.J., Hinneri M.J. (2015). Getting across the cell membrane: an overview for small molecules, peptides, and proteins. *Methods Mol Biol*, 1266, 29-53.