

Hücreli Bitkisel Gıdalarda Kütle Transferini Arttırmak İçin Vurgulu Elektrik Alan Teknolojisinin Kullanımı

Serap ALDEMİR^{1*}

¹Yıldız Teknik Üniversitesi Kimya Metalürji Fakültesi Gıda Mühendisliği Bölümü Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul

¹<https://orcid.org/0000-0002-4766-7748>

*Sorumlu yazar: serap.aldemir@std.yildiz.edu.tr

Derleme Makalesi

ÖZ

Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 25.01.2023

Kabul tarihi: 18.06.2023

Online Yayınlanma: 20.12.2023

Anahtar Kelimeler:

Vurgulu elektrik alan
Hücreli bitkisel gıdalar
Kurutma
Ekstraksiyon
İnfüzyon

Son yıllarda hücreli bitkisel gıdaları işlemede ısı olmayan bir teknoloji olarak vurgulu elektrik alan (VEA) uygulamasının önemi giderek artmaktadır. Hücreli bitkisel gıdaların VEA ile işlenmesi, ürün kalitesinin iyileştirilmesinde, yeni ürünlerin eldesinde ve enerji sarfiyatını düşürmede umut verici bir teknoloji olma potansiyeline sahiptir. Bitkisel dokuların geçirgenliğini sağlamada ön işlem olarak VEA uygulanması ile kurutma, ekstraksiyon ve infüzyon işlemlerinde dokulardan suyun ve değerli bileşiklerin kütle transferini arttırdığı gösterilmiştir. Bu çalışmada, bitki dokularının elektroporasyonunun temel mekanizmaları ve elektrikle indüklenen hücre hasarının tespit yöntemleri konusunda bilgi verilmiştir. Aynı zamanda hücreli bitkisel gıdaları işlemede, VEA ön işlem uygulamasının kurutma, ekstraksiyon ve infüzyon gibi çeşitli proseslerde etkisinin belirlendiği çalışmalar üzerinde durulmuştur.

Use of Pulsed Electric Field Technology to Enhance Mass Transfer in Cellular Plant Foods

Review Article

ABSTRACT

Article History:

Received: 25.01.2023

Accepted: 18.06.2023

Published online: 20.12.2023

Keywords:

Pulsed electric field
Cellular plant foods
Drying
Extraction
Infusion

In recent years, the importance of the application of the pulsed electric field (PEF) as a non-thermal technology in processing cellular plant foods has been increasing. PEF processing of cellular plant foods has the potential to be a promising technology for improving product quality, obtaining new products, and reducing energy consumption. It has been shown to increase the mass transfer of water and valuable compounds from tissues in drying, extraction, and infusion processes with the application of PEF as a pre-treatment in ensuring the permeability of plant tissues. In this study, information is given about the basic mechanisms of electroporation of plant tissues and the detection methods of electrically induced cell damage. At the same time, studies in which the effect of PEF pre-treatment on various processes such as drying, extraction, and infusion were determined in the processing of cellular plant foods were emphasized.

To Cite: Aldemir S. Hücreli Bitkisel Gıdalarda Kütle Transferini Arttırmak İçin Vurgulu Elektrik Alan Teknolojisinin Kullanımı. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2023; 6(Ek Sayı): 588-605.

1. Giriş

Biyoteknolojide gen aktarımında elektroporasyon olarak bilinen tekniğin gıda işlemedeki potansiyeli üzerine çalışmalar son yıllarda giderek artmaktadır (Donsi ve ark., 2010; Ariza-gracia ve ark., 2020;

Zhao ve ark., 2021). Elektroporasyon tekniği bir hücre geçirgenleştirme yöntemidir. Bu yöntemde göre, iki elektrot arasına alınan hücresel yapılar kısa süreli vurgulu elektrik alana (VEA) maruz bırakıldıklarında hücre zarlarının hasarına yol açmaktadır (Yaşar, 2017). VEA işlemleri; önemli bir ısı artışına neden olmayan bir yöntem oluşu ve geleneksel yöntemlere (dondurup-çözme, ısıtma, enzimatik, mekanik) kıyasla düşük enerji maliyetinden dolayı gıda işlemede ilgi çekmektedir. Gıda işleme alanındaki çalışmaların çoğu mikrobiyal inaktivasyonu sağlamaya yöneliktir. Yapılan çeşitli çalışmalarda VEA'nın vegetatif hücreleri başarılı bir şekilde inaktif ettiği rapor edilmiştir. VEA'nın sporlar üzerine etkisinin ise sınırlı olduğu bilinmektedir. Bu nedenle bu alandaki çalışmalarda VEA'nın daha çok sıvı gıdaların (süt, sıvı yumurta, meyve suyu gibi) pastörizasyonunu sağlaması üzerinde durulmuştur (Wouters ve ark., 2001; Buckow ve ark., 2013; Fincan, 2015; Ariza-gracia ve ark., 2020; Emanuel ve ark., 2020). VEA'nın gıda işlemede ilgi çeken diğer bir alanı ise sağlam dokulardan kütle transferinin gerektiği kurutma, ekstraksiyon ve infüzyon gibi çeşitli proseslerde kütle transferini kolaylaştırmasıdır. Bitkisel dokuların hücre içinde vakuolde çeşitli endüstriyel, tıbbi ve aromatik bileşenler (fenolik maddeler, protein, şeker, pigment ve aroma) bulunması ve bunların çoğunun ısıyla degradasyona uğramasından dolayı VEA'nın ekstraksiyonda kütle transferini iyileştirici etkisi yoğun olarak çalışılmıştır. Bunun yanında, bitkisel dokulara VEA uygulamasının, hücre zarı hasarı ile kütle transferini arttırıp, dokudan suyun çıkışını kolaylaştırmasına yönelik kurutma üzerine etkileri çeşitli çalışmalarda gösterilmiştir (Phoon ve ark., 2008; Donsi ve ark., 2010; Cemeroğlu 2011; Xue ve Farid, 2015; Yaşar 2017; Nowacka ve ark., 2019).

2. Bitkisel Doku Morfolojisi

Bitki dokuları, kendilerini çevreleyen hücre dışı matris içinde, yan yana dikey ve yatay dizili hücrelerin bir araya gelmesiyle oluşur. Dokular, hücre içi ve hücre dışı bölgesinde iki türde sıvı içerir. Sıvının büyük bir kısmı hücre içinde bulunurken, çok azı hücre dışı alanda bulunur. Bu sıvı, içersinde aktif ve inaktif biyolojik maddeleri bulunduran sudur. Doku içerdiği sıvı ile yarı katı niteliğe sahiptir. Hücreler arasında çok az hava boşluğu bulunur (Fincan, 2003). Doku hücreleri daha çok izodiametrik veya çok yüzlü şekle sahip olan parankima hücrelerinden oluşur ve bu hücrelerin boyutu 40-200 µm arasında değişir. Hücreler, dış ortam ile sınırlarını belirleyen plasmalemma denen ince bir hücre zarı ve hücre duvarı ile çevrilidirler. Hücrelerin yapılarında bir çekirdek, sitoplazma ve sitoplazmada dağınık olarak bulunan farklı görevleri olan birçok farklı organeller (mitokondri, golgi organları, endoplazmik retikulum, ribozomlar, plastitler) bulunur. Sitoplazmada %60-90 su bulunur ve sitoplazmadaki kuru katı içeriğinin %40-50'i protein ve %2-3'ü lipitlerden meydana gelir. Olgun canlı bitki hücreleri, hücrenin toplam hacminin %80 ile %90'ını kaplayan büyük bir vakuol bulundurur. Vakuol, tonoplast denen bir zar ile çevrilidir ve bu zar içinde şekerler, organik asitler, proteinler, fenolik bileşikler, antosiyaninler vb. gibi çeşitli maddeleri içeren sulu bir sıvı bulunur (Soliva-Fortuny ve ark., 2009; Gonzalez ve Barrett, 2010; Cemeroğlu 2011; Aldemir, 2019)

Hücre zarı, hücrenin iç ve dış kısmı arasında madde akışını düzenlemede önemli bir göreve sahiptir. Kalınlığı 7,5-10 nm olup, yapısında %55 protein, %25 fosfolipid, %13 kolesterol ve %7 diğer lipit ve karbonhidratlar bulunur. Elastik yapılıdır. Hücre zarının dışında, hücre duvarı bulunur. Hücre duvarı, sert bir yapıdadır. Hücre zarına destek verir, hücrenin boyutunu ve şeklini sınırlandırır. Hücre duvarı primer duvar, sekonder duvar ve orta lamel olmak üzere üç katmandan oluşur. Tüm bitki hücreleri orta lamel ve primer hücre duvarına sahiptir fakat hepsinde sekonder hücre duvarı yoktur. Primer duvar, büyüyen bitki hücrelerinde orta lamel ile hücre zarı arasında oluşturulur ve ince elastik bir yapıdadır. Sekonder duvar, hücrenin büyümesi sona erince primer duvar ile plasmalemma arasında oluşturulur ve primer duvara göre daha katı ve kalın bir yapıya sahiptir. Orta lamel, hücre duvarı tabakasının en dışındaki katmandır ve yan yana gelmiş iki hücreyi birbirine bağlar, pektin adı verilen polisakkaritleri içerir. Primer hücre duvarı bileşimi (%9-25) selüloz, (%25-50) hemiselüloz, (%10-35) pektik maddeler ve (%10) proteinlerden oluşur. Ayrıca hücre duvarında peroksidazlar, pektinazlar, selülazlar ve ekspansinler gibi çeşitli enzimler de bulunur. Sekonder hücre duvarı, yaklaşık olarak %41-45 selüloz, %30 hemiselülozdan oluşur. Ancak bazı sekonder hücre duvarları yapısında, selülozdan çok daha sert olan lignin de (%22-28 oranında) bulundurabilir (Fincan, 2003; Cemeroğlu, 2011; Yaşar, 2017; Aldemir, 2019).

3. Elektroporasyon Teorisi ve Parametreleri

Elektroporasyon; elektrotlar arasına yerleştirilen biyolojik hücrelerin, kısa süreli (μ s veya ms) vurgulu elektrik alana (VEA) maruz bırakılmasıyla, hücre zarlarında geçici veya kalıcı gözeneklerin (porların) oluşumudur (Yaşar, 2017). Gözeneklerin oluşum mekanizması için birçok teorik model önerilmiş olmasına rağmen, en çok kabul gören Zimmermann tarafından (Zimmermann, 1986) ortaya atılan, dielektrik parçalanma teorisidir. Bu teoride, hücreler kesikli elektrik alana maruz kaldıklarında, dielektrik hücre zarının iç ve dış yüzeyinde serbest bulunan iyonlar, zıt iyon kümeleri şeklinde birikerek transmembran potansiyel (TMP)'inde artışa neden olur. TMP'deki artış ile zarın her iki yanındaki iyonların çekiminden dolayı sıkıştırma basıncı artar ve zar kalınlığında azalma meydana gelir. Elektrik alanın artmasıyla TMP yaklaşık 0,2-1,0 V civarında olduğunda hücre zarında gözenek oluşumu veya elektroporasyon başlar. Uygulanan elektrik alan kuvvetinin büyüklüğü kritik değere eşit veya çok az aşmışsa ve toplam hücre zarı yüzeyine göre gözeneklerin boyutu çok küçükse geri dönüşümlü elektroporasyon meydana gelir. Ancak uygulanan elektrik alan kuvvetinin büyüklüğü kritik değerden daha fazla olduğunda ve toplam hücre zarı yüzeyine göre gözeneklerin boyutu büyükse geri dönüşümsüz elektroporasyon meydana gelir (Zimmermann, 1986; Pataro ve ark., 2011). Hücre zarı elektroporasyonu, elektriksel parametrelere, ortamla ilgili parametrelere, hücre ve doku tipine bağlı olarak değişir (Yaşar, 2017).

3.1. Elektriksel parametreler

3.1.1. Elektrik alan kuvveti ve toplam işlem süresi

Elektrik alan kuvveti/yoğunluğu ve toplam işlem süresi VEA işlemlerinde doku/hücre zarı hasarını etkileyen en önemli işlem parametreleridir. Bu parametreler zar geçirgenliğini büyük ölçüde etkilemektedir (Barba ve ark., 2015). İşlem süresi dokunun, elektrik alan kuvvetine maruz kalma süresidir. Bu süre vurgu sayısı ile etkin vurgu süresi çarpılarak bulunur (Mohamed ve Eissa, 2012). Yapılan bir çalışmada, patates ve portakal dokularının 400 V/cm ve 1000 V/cm elektrik alan kuvvetlerindeki doku hasar kinetiği hesaplanmış ve elektrik alan kuvvetinin artmasıyla hasar kinetiğinin hızlandığı tespit edilmiştir (Ben Ammar ve ark., 2011). Hülshager ve ark., (1981) yaptığı çalışmada bakterilerin ölümünün nispi oranının elektrik alan şiddeti ve işlem süresi tarafından yönetildiğini bildirmişlerdir.

3.1.2. Vurgu süresi (genişliği)

Vurgu süresinin etkinliği üzerine yapılan çalışmalarda sonuçlar farklılık göstermektedir. Raso ve ark., (2000) yaptığı çalışmada aynı işlem süresi uygulamasında mikroorganizmadaki inhibasyonu vurgu süresinden (genişliği) bağımsızdır. Bazı çalışmalarda ise vurgu süresi değişimi doku/hücre zarı hasarını etkilemektedir. Saulis ve Saule (2012) vurgu süresinin zarda gözenek boyutu ilişkisi üzerine yaptığı çalışmada, uygulanan milisaniye ölçekli vurguların mikrosaniye ölçekli vurgulara göre zarda daha büyük gözenek oluşumuna yol açtığını bildirmiştir.

3.1.3. Vurgular arası süre

Vurgular arası süre ve buna bağlı olan vurgu frekansının ($f=1/\text{vurgular arası süre}$) elektroporasyon üzerindeki etkisi konusunda yapılan çalışmalar çelişkili sonuçlar vermiştir. Bazı çalışmalara göre yüksek frekansın elektroporasyonda daha büyük biyo-etkiler ve verimlilik sağladığı bildirilirken (Vernier ve ark., 2006; Nuccitelli ve ark., 2010; Jiang ve ark., 2011) bazı çalışmalarda ise düşük frekansın elektroporasyon üzerinde daha etkili olduğu bildirilmiştir (Sensoy ve Sastry, 2004; Asavasanti ve ark., 2011; Lamberti ve ark., 2015).

3.1.4. Vurgu sayısı

Vurgu sayısını arttırmanın hücre zarı hasarı üzerine etkisi sınırlıdır. Dokulara uygulanan ilk 10-20 vurgunun zar hasarı üzerinde etkisi büyük olurken vurgu sayısının artmasıyla bu etki azalmaktadır (Maskooki ve Eshtiaghi, 2012). Arevalo ve ark., (2004) yaptığı çalışmada vurgu sayısının 5'ten 120'ye çıkarılması patates dehidrasyon oranlarını değiştirmemiştir.

3.1.5. Vurgu şekli

Elektrik vurguları; kare, iki kutuplu kare, üstel azalma, iki kutuplu üstel azalma ve çift üstel gibi farklı dalga biçimlerine sahiptir. Kare tipi vurgularda, elektrik alan yoğunluğunun, üstel azalma vurgularından daha uzun süre yüksek ve sabit genlikte kalması kare vurguların etkisini arttırmaktadır.

Vurgu dalga şekli ayrıca iki dalga biçimi, “monopolar” ve “bipolar” olarak ayrılabilir. Hücre üzerindeki mono ve bipolar kare vurguların etkinliği konusunda sonuçlar çelişkilidir. Daha önceki çalışmalar, sıvı bir ortamdaki mikrobiyal hücreler üzerinde bipolar kare vurguların monopolarlara göre daha etkili olduğunu göstermiştir. Yeni bir çalışmada ise araştırmacılar, mikroalg hücrelerinden hücresel bileşiklerin ekstraksiyonunda monopolar kare vurguların bipolar kare vurgulardan daha etkili olduğunu bildirmişlerdir (Naliyadhara ve ark., 2022).

3.2. Ortamla ilgili parametreler

3.2.1. Sıcaklığın etkisi

Hücre zarı, yüksek sıcaklığa maruz bırakıldığında, zarın akışkanlığı ve geçirgenliği artarak, hücrenin daha düşük elektrik alan kuvvetinde geçirgen hale gelmesini sağlar. Yapılan bir çalışmada, hücre zarının elektroporasyonu için, 4 °C’de 2V, 20 °C’de 1V ve 30-40 °C’de 500 mV gerektiği belirtilmiştir (Zimmermann, 1986).

3.2.2. Ortamın elektriksel iletkenliği

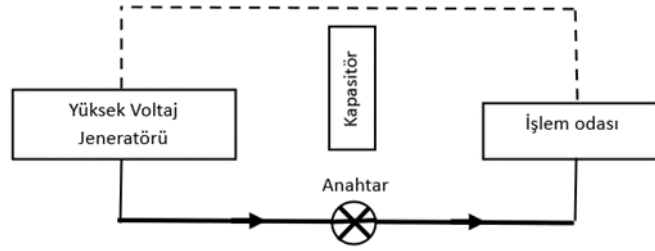
Ortamın elektriksel iletkenliğinin artması, VEA uygulama sırasında ısınma meydana getirir ve bu durumda hücrenin elektroporasyonunda ısı artışı etkili olmaktadır. Bazı çalışmalarda, elektriksel iletkenliğin azalmasıyla hücre zarı hasarının arttığı belirlenmiştir (Hülshager ve ark., 1981; Silve ve ark., 2016).

3.3. Hücre ve doku tipine bağlı parametreler

Boyutu büyük olan hücrelerin indüklenen potansiyel enerjisi, boyutu küçük olan hücrelere göre daha büyük olduğundan, elektrik alana karşı daha duyarlıdır (Gaylor ve ark., 1988). Hücre zarında por oluşumu için kritik elektrik alan kuvveti, bitki hücreleri (hücre boyutu 40-200 µm) için 1 kV/cm iken boyutu daha küçük olan mikrobiyal hücrelerde (hücre boyutu 1-10 µm) ise 12-20 kV/cm’dir (Soliva-Fortuny ve ark., 2009).

4. Hücreli Bitkisel Gıdalara Vurgulu Elektrik Alan Uygulaması

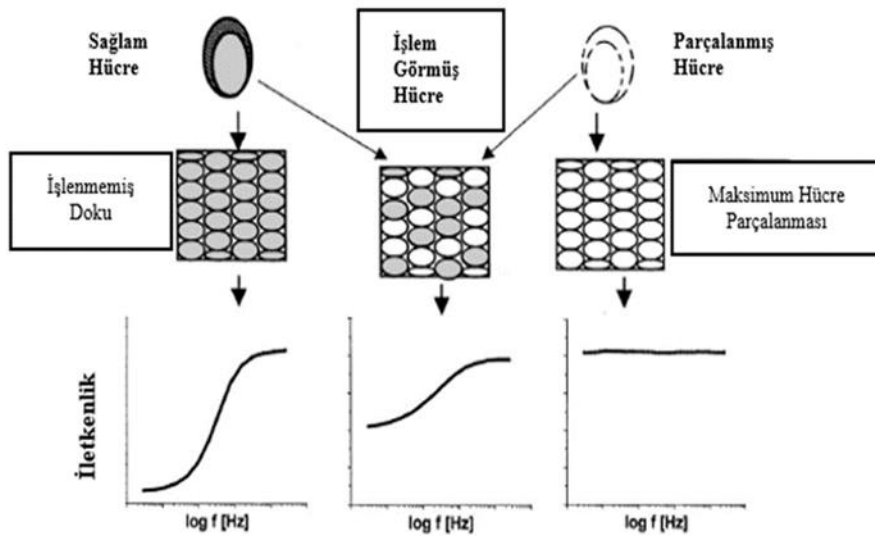
Hücreli bitkisel gıdalara VEA uygulama sisteminin en basit gösterimi Şekil 1’de verilmiştir. Genellikle VEA sistemi, yüksek voltaj DC jeneratörü, kapasitörler dizisi, yüksek voltaj anahtarı, işlem odacıkları, soğutma ekipmanı, ısı kontrol ünitesi ve kontrol sisteminden (bilgisayar) oluşmaktadır (Evrendilek, 1999; Ngadi ve ark., 2003). Sistemde, DC jeneratörü tarafından oluşturulan elektrik enerjisi kapasitörde depolanır. Sistem çalıştırıldığında kapasitördeki elektrik enerjisi istenen formda, sürede ve yoğunlukta uygulama odacığında su içinde bulunan gıdaya (sağlam doku) verilerek uygulama gerçekleşir (Ağçam ve ark., 2014; Aldemir, 2019). VEA sisteminin ana bileşenleri, yüksek voltaj jeneratörü, anahtar, kapasitör ve işlem odasıdır (elektrotlar) (Şekil 1).



Şekil 1. VEA sistemi (Seçkin ve Özgören, 2011; Yangılar ve ark., 2013).

5. Vurgulu Elektrik Alanın Hücreli Bitkisel Gıdalarda Meydana Getirdiği Değişmeler

Bitki hücreleri, iletken olmayan zarlarla çevrilidir. Hücrelerin içinde, iyonları bulduran önemli miktarda su vardır. VEA uygulamasıyla, hücre zarında gözenekler oluşur ve hücre içindeki iyonik sıvı hücre dışına doğru salınır. Bu durumda, ölçülen doku elektriksel iletkenliğinde değişimler gözlenir. Bu gözlenen iletkenlik frekans değerine bağlıdır. α -frekans bölgesinde ($<0,1$ MHz), akım, hücreler arası bölgeden geçer ve bu bölgede yapılan ölçümler sağlam dokunun hücreleri arasındaki iyonların miktarını verir. β -frekans bölgesinde (0,1-100 MHz), hücre zarları dielektrik özelliklerini kaybeder (Maxwell-Wagner etkisi) ve bu bölgede yapılan ölçümde hem hücre içi hem de hücre dışındaki iyonlar ölçülür (Yaşar, 2017). Şekil 2’de hücreleri sağlam, kısmen parçalanmış ve tam parçalanmış bitki dokusunun frekans artırımına bağlı iletkenlik değişimi şematize edilmektedir. Sağlam dokunun iletkenliği bu şekilde Maxwell-Wagner etkisine göre frekansın artmasına bağlı olarak artmakta iken tam parçalanmış dokunun iletkenliği frekansla artmayıp sağlam dokunun 50 MHz’deki değerinde sabit kalmaktadır. Buradan anlaşıldığı üzere, sağlam doku ve tam parçalanmış doku elektriksel iletkenlikleri yüksek frekansta ölçüm yapıldığında birbirine yakın olmaktadır (Knorr ve Angersbach, 1998).



Şekil 2. 1 kHz-50 MHz frekans aralığında sağlam hücreler, kısmen parçalanmış ve tamamen parçalanmış bitki dokusunun tipik frekans-iletkenlik spektrumu (Knorr ve Angersbach, 1998;

Aldemir, 2019)

VEA'nın ekstraksiyon, kurutma gibi kütle transferi içeren gıda proseslerinde dokuyu ne oranda parçaladığı merak edilen bir konudur. Doku parçalanma düzeyi ile kütle transferi arasında kuvvetli bir ilişki vardır. Doku parçalanma oranının belirlenmesinde doku parçalanma indeksleri geliştirilmiştir. Parçalanma indeksi ile bitki dokusundaki hasarlı hücrelerin oranı ve VEA'nın elektriksel parametrelerinin etkinliği belirlenmektedir (Knorr ve Angersbach, 1998).

Knorr ve Angersbach (1998) doku parçalanma derecesini ölçmek için, dokunun frekans bağımlılığına dayanan bir doku parçalanma indeksi, Z_p , Eşitlik 1'de tanımlanmıştır:

$$Z_p = 1 - b * \frac{(\sigma'_h - \sigma'_l)}{(\sigma_h - \sigma_l)}; b = \frac{\sigma_h}{\sigma'_l}; 0 \leq Z_p \leq 1 \quad (1)$$

σ_l ve σ'_l düşük frekans aralığında (1-5 kHz) sırasıyla işlem görmemiş (sağlam) ve işlem görmüş dokunun; σ_h ve σ'_h yüksek frekans aralığında (3-50 MHz) sırasıyla işlem görmemiş ve işlem görmüş dokunun elektriksel iletkenliğidir. Sağlam dokunun $Z_p \approx 0$ iken tam parçalanmış doku için $Z_p \approx 1$ olmaktadır.

Lebovka ve ark., (2002) tarafından farklı bir parçalanma indeksi, Eşitlik 2'de tanımlanmıştır:

$$Z_p = \frac{\sigma'_l - \sigma_l}{\sigma'_{ld} - \sigma_l} \quad (2)$$

σ_l , σ'_l ve σ'_{ld} düşük frekans aralığında (1-5 kHz) sırasıyla işlem görmüş, sağlam ve tamamen parçalanmış dokunun elektriksel iletkenlik değeridir. Sağlam doku için $Z_p \approx 0$ ve tam parçalanmış doku için $Z_p \approx 1$ verir.

Fincan (2015) tarafından tanımlanan bir indeks de, Eşitlik 3'te verilmiştir:

$$Z_p = \frac{\sigma - \sigma_s}{\sigma_f - \sigma_s} \quad (3)$$

σ , σ_f ve σ_s sırasıyla işlem gören, tam parçalanmış (dondurup-çözme) dokunun ve distile suyun elektriksel iletkenliğidir. Buna göre, sağlam dokunun $Z_p \approx 0$ ve tam parçalanmış dokunun $Z_p \approx 1$ olmaktadır.

5.1. Vurgulu elektrik alan işlemi ile kurutmanın kolaylaştırılması

Arevalo ve ark., (2004) elma ile patatesin kuruma etkinliği üzerine VEA ön işleminin etkisini incelemişlerdir. Elma ve patates dokusuna 0,75-1,5 kV/cm elektrik alan kuvveti, 100µs vurgu genişliği ve 5-120 vurgu sayısında VEA işlemi uygulanmıştır. Ardından örnekler 70 °C'de bir konvektif hava fırınında kurutulmuştur. VEA ön işleminin elmanın etkin nem difüzyon katsayısına bir etkisi olmadığı görülmüştür. Patateslere 0,75 ve 1,5 kV/cm'de uygulanan elektrik alanların patateslerin kuruma özelliklerinde etkisi benzer olmuştur ve vurgu sayısının 5'ten 120'ye çıkarılması difüzyon katsayısını etkilememiştir. İşlem görmemiş patates dokusunun etkin nem difüzyon katsayısı $0,78 \times 10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}$ iken VEA ön işlemi görmüş örneklerin (0,75-1,5 kV/cm, 5-120 vurgu sayısı, 100 µs vurgu genişliği) etkin

nem difüzyon katsayısı $1,09 \times 10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}$ 'ye yükselmiştir. Elma ve patates dokusunun kuruma özellikleri üzerinde, VEA ön işleminin etkisinin farklı olması, dokular arasındaki morfolojik farklılıklar ve dokuların farklı elektrolitik bileşenlerinden kaynaklanabileceği belirtilmiştir.

Amami ve ark., (2008) havuç dokusuna santrifüj ozmotik dehidrasyon (OD) öncesi VEA işlemi uygulanmış ($0,60 \text{ kV/cm}$, $100 \mu\text{s}$ vurgu genişliğinde monopolar kare vurgu, 50 ms işlem süresi ve enerji girişi 19 kJ/kg) ardından %65 (w/w)'lik sakkaroz çözeltisine daldırılarak 1, 2 ve 4 saat boyunca, $40 \text{ }^\circ\text{C}$ 'de, $2400 \times \text{g}$ merkezkaç ivmesinde OD işlemi gerçekleştirilmiş ve sonra $40-60 \text{ }^\circ\text{C}$ 'de ve sabit hava hızında ($6 \text{ m}^3/\text{h}$) kurutulmuştur. Sonuçlar incelendiğinde, kurutma sıcaklığının artmasıyla işlem görmemiş ve VEA ön işlem görmüş havuç dokusunun etkin nem difüzyon katsayısı artmıştır. Ayrıca, VEA ile işlenmiş havucun etkin nem difüzyon katsayısının işlem görmemiş olan örnekten daha yüksek olduğu belirtilmiştir. VEA işlemi uygulanmış örnekler işlem görmemiş örnekler ile karşılaştırıldığında $60 \text{ }^\circ\text{C}$ 'de kuruma süresinin 370 dakikadan 290 dakikaya düştüğü rapor edilmiştir. OD süresinin artmasıyla kuruma süresi azalmış ve 4 saat OD uygulamasından sonra örneklerin 90 dakikada kuruduğu bildirilmiştir. VEA ve OD (4 saat) uygulamasından sonra $60 \text{ }^\circ\text{C}$ 'de kurutmada kuruma süresi işlem görmemiş örneğe göre %81 azalmıştır. İşlem görmemiş örneğe ($0,93 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$) kıyasla VEA ön işlemi görmüş örneklerin ($1,17 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$) ve VEA ile birlikte 1, 2 ve 4 saatlik OD işlemi görmüş örneklerin etkin nem difüzyon katsayısı sırasıyla $1,96 \times 10^{-9}$, $3,07 \times 10^{-9}$ ve $5 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ 'ye yükselmiştir ($60 \text{ }^\circ\text{C}$ 'de kurutmada).

Wiktor ve ark., (2013) VEA ön işleminin elma dilimlerinin kuruma kinetiğine etkisini incelemiştir. Elma dilimleri 35 mm çapında ve 5 mm kalınlığında kesilip elektrotlar arasına yerleştirilmiş ardından elektrotlar arasındaki elektrik temasını arttırmak için işlem odası ticari elma suyu (%10,2 ekstrakt) ile doldurulup $5-10 \text{ kV/cm}$ elektrik alan kuvveti, $10-50$ vurgu sayısı, 1 s vurgu aralığı, 10 ms vurgu genişliğinde monopolar üstel vurgu olacak şekilde VEA uygulanmıştır. Ardından örnekler $70 \text{ }^\circ\text{C}$ 'de 2 m/s hava hızında kurutulmuştur. VEA işlemi hücre parçalanma indeksini (Z_p) artırmış ve bunun sonucu olarak da kurutma kinetiğini değiştirmiştir. 10 kV/cm ve 50 vurgu sayısında VEA ön işlemi kuruma süresini %12 oranında azaltmıştır. Örneğin, 60 dakikalık kurutmadan sonra, boyutsuz nem oranı, işlenmemiş örnekler için $0,26$ iken VEA uygulanmış (10 kV/cm , 50 vurgu) örneklerde ise $0,18$ olmuştur. VEA ile işlem görmemiş örneklerin etkin nem difüzyon katsayısının $1,04 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ olduğu, VEA ile işlem görmüş örneklerde ise etkin nem difüzyon katsayısının 5 kV/cm 'de 10 vurgu sayısında $1,09 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ ve 10 kV/cm 'de 50 vurgu sayısında $1,25 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ olduğu gözlenmiştir.

Won ve ark., (2015) kırmızı bibere uygulanan VEA ön işlemini kuruma hızı ve renk özellikleri açısından incelemiştir. VEA ön işlemi $1,0-2,5 \text{ kV/cm}$ elektrik alan şiddeti, $30 \mu\text{s}$ vurgu genişliği (bipolar kare vurgu), 100 Hz vurgu frekansı ve 1s , 2s ve 4s işlem süresi olacak şekilde gerçekleştirilmiştir. Sonra, örnekler $45 \text{ }^\circ\text{C}$ 'de sıcak hava fırınında kurutulmuştur. $2,5 \text{ kV/cm}$, 100 Hz ve 4s 'lik işlem süresinde kuruma süresi %34,7 azalır iken $2,5 \text{ kV/cm}$, 100Hz ve 1s 'lik işlem süresinde ise kuruma süresinin %20,4 azalmıştır. VEA ile işlem görmemiş örneklerde etkin nem difüzyon katsayısının $2,42 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ olduğu, VEA ön işlemi görmüş örneklerin ($2,5 \text{ kV/cm}$, 100 Hz , 4s) ise

etkin nem difüzyon katsayısı $3,71 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ 'ye yükseldiği görülmüştür. VEA ile muamele edilmiş kırmızı biberin daha kısa kuruma süresi, artan (L^* , a^* , b^*) renk değerleri ile karotenoid pigmentlerinin daha fazla tutulmasına yol açarak, kurutulmuş biberin renk kalitesine olumlu katkısı olmuştur.

Ostermeier ve ark., (2018) soğanların kuruma kinetiği üzerine VEA ön işleminin etkisini incelemiştir. VEA ön işlemi 0,2-20,0 kJ/kg spesifik enerji, 0,36-1,07 kV/cm elektrik alan kuvveti, 40 μs vurgu genişliği, 2 Hz frekans ve üstel azalan monopolar vurgu olacak şekilde gerçekleştirilmiştir. Ardından örnekler 45, 60 ve 75 °C sıcaklıklarda sıcak hava ile kurutulmuştur. Farklı VEA parametrelerinin hücre parçalanma oranları üzerine etkisi incelenmiştir. 1,07 kV/cm elektrik alan kuvvetinde en fazla hücre parçalanması ($Z_p \approx 0,6$) görülmüştür. 60 °C'de kurutmada, VEA işlemi görmemiş soğan örnekleri 300 dakikada istenen nem seviyesine ulaşılırken, 1,07 kV/cm elektrik alan kuvvetinde 1, 4 ve 16 kJ/kg spesifik enerji değerlerinde VEA işlemi görmüş örneklerin kuruma süresinde ise azalma tespit edilmiştir. En hızlı kuruma süresi, soğan örneğinin 4 kJ/kg spesifik enerji girişinde işlenmesinde görülmüştür. VEA işlemi görmemiş örneğe kıyasla 4 kJ/kg spesifik enerji ile işlenen örneğin kuruma süresi 300 dakikadan 236 dakikaya düşmüş, bu da %21,4'lük bir azalma ile en hızlı kuruma sağlamıştır. 45, 60 ve 75 °C'de kurutma sıcaklıklarında kuruma süreleri işlem görmemiş örneklere kıyasla VEA ön işlemi ile sırasıyla %30,3, %21,4 ve %6,4 oranında azalmıştır.

5.2. Vurgulu elektrik alan işlemi ile ekstraksiyonun kolaylaştırılması

Fincan ve ark., (2004) kırmızı pancardan pigment ekstraksiyonunda, VEA ön işleminin etkisini incelemiştir. VEA işleminden (1 kV/cm, 10 μs sürede, 270 monopolar karasel vurgu, 7 kJ/kg enerji girişi) sonra, 1 saatlik sulu ekstraksiyonun ardından toplam %90 oranında kırmızı renk ve iyon salınımı olduğunu rapor etmişlerdir. VEA işleminin düşük enerji sarfiyatı ile pancarlardan pigmentlerin ekstraksiyonunda etkili bir geçirgenleştirme yöntemi olduğu görülmüştür.

Gachovska ve ark., (2006) yaptığı çalışmada, Alfalfa yapraklarından meyve suyu eldesinde VEA işleminin etkisini incelemiştir. Alfalfa yaprakları parçalanarak püre haline getirilmiş ve bu püreden yaklaşık 40 g alınarak elektrotlar arasına (elektrotları arasındaki mesafe=40 mm) yerleştirilip (1Hz de 6 kV besleyen 1 μF kapasiteli 200 vurgu) VEA işlemi uygulanmış, ardından presleme işlemi gerçekleştirilmiştir. İlk preslemeden sonra elektrotlar arasındaki mesafe yaklaşık 10 mm'ye düşürülmüş ve tekrar VEA işlemi uygulanarak ikinci presleme işlemi gerçekleştirilmiştir. Her VEA işlemini sırasıyla 2 MPa basınç ve 4 MPa basınç uygulaması takip etmiştir. VEA ön işlemi meyve suyu, protein ve mineral miktarını önemli derecede arttırmıştır.

Guderjan ve ark., (2007) kolza yağı eldesinde, yağ verimi ve fonksiyonel gıda bileşenlerinin içeriğine VEA işleminin etkisini incelemiştir. Çalışmada, kabuklu ve kabuksuz kolza tohumu kullanılmış, solvent ekstraksiyonu veya presleme işlemiyle yağ ayırma ve yağ kalitesi karşılaştırılmıştır. Maksimum yağ geçirgenliği, kabuksuz kolza tohumu için 7,0 kV/cm ve 120 vurgu sayısında (84 kJ/kg) %55 ve kabuklu kolza için 5 kV/cm ve 60 vurgu sayısında (42 kJ/kg) %17 olarak bulunmuştur. VEA yoğunluğuna bağlı olarak yağ verimi preslemenin yanı sıra solvent ekstraksiyonu ile artmış ve yağda

tokoferol, polifenol, toplam antioksidan ve fitosterol konsantrasyonlarının daha yüksek olduğu görülmüştür. Doymamış özellikler ve sabunlaşma değerleri üzerinde herhangi bir etki tespit edilmemiş ancak preslemeden sonra özellikle kabuklu kolza tohumunda daha fazla serbest yağ asidi ve klorofil tespit edilmiştir.

Lopez ve ark., (2009) şeker pancarından farklı sıcaklıklarda (20-70 °C) sakkaroz ekstraksiyonunun kinetiği üzerinde VEA işleminin etkisini incelemiştir. VEA işlemi 1-7 kV/cm elektrik alan kuvveti, 5-40 vurgu sayısı, vurgu başına 0,006-0,19 kJ/kg spesifik enerji, 1-10 Hz vurgu frekansı, 2-5 ms vurgu genişliğinde kare veya üstel azalan vurgu olacak şekilde gerçekleştirilmiştir. Ekstraksiyon verimine, 7 kV/cm'de frekans, vurgu şekli ve vurgu genişliğinin bir etkisi yok iken sadece 20 °C'lik sıcaklıkta vurgu sayısının artmasıyla ekstraksiyon verimi artmıştır. Sakkaroz verimi elektrik alan kuvveti, enerji girişi, ekstraksiyon sıcaklığı ve süresinin artmasına bağlı olarak artmıştır. Elektrik alan kuvvetinin etkisi sıcaklık düşüğe daha yüksek olmuştur. VEA işlemi görmemiş örneklerle kıyasla 7 kV/cm'de (3,9 kJ/kg) 20 vurgu uygulanması, 20 °C ve 40 °C'de ekstraksiyon verimini sırasıyla 7 ve 1,6 kat arttırmıştır.

Fincan (2015) nane yapraklarından fenolik ekstraksiyonu eldesinde, VEA ön işleminin etkisini incelemiştir. VEA ön işlemi ekstraktlarda, toplam fenolik ve DPPH içeriğini önemli oranda artırmıştır. VEA(3 kV/cm'de 99x10µs monopolar karesel vurgu) ile sarf edilen enerjinin mikrodalga, dondurup-çözme ve ısıtma proseslerinden daha düşük olduğu ve ısıtmadaki enerji sarfiyatından %98 tasarruf sağlandığı belirlenmiştir.

Puértolas ve de Marañón (2015) VEA teknolojisi kullanımının zeytinyağı üretiminde ekstraksiyon verimi, kimyasal ve duyu kalite üzerindeki etkisini incelemiştir. Zeytin ezmesine VEA işlemi (2 kV/cm ve 11,25 kJ/kg) uygulanması, kontrole göre ekstraksiyon verimini %13,3 oranında artırmıştır. VEA işlemi ile elde edilen zeytinyağının, toplam fenolik içeriği (%11,5), toplam fitosteroller (%9,9) ve toplam tokoferoller (%15,0) kontrolden daha yüksek olduğu görülmüştür. VEA uygulamasının zeytinyağının genel kimyasal ve duyu özellikleri üzerinde olumsuz bir etkisi olmadığı bildirilmiştir. Xue ve Farid (2015) beyaz kültür mantarından polisakkaritler, polifenoller ve proteinlerin ekstraksiyonunda VEA ön işleminin etkisini incelemiştir. Beyaz mantar süspansiyonuna (%9 w/w) 12,4-38,4 kV/cm elektrik alan kuvveti, 400 ve 800 Hz frekans, bipolar kare vurgu, 2 µs vurgu süresi, 4 °C ve 20 °C giriş sıcaklıkları olacak şekilde VEA işlemi uygulanmıştır. Elektrik alan kuvveti, sıcaklık ve işlem süresinin artmasıyla ekstraktlardaki polisakkaritler, polifenoller ve protein konsantrasyonu artmıştır. Geleneksel yöntemle kıyasla VEA işlemi hafif ısıtma (ohmik) ile birlikte polisakkaritler, polifenoller ve protein verimini artırmıştır. Mantar süspansiyonunun 95 °C'de 1 saatlik geleneksel ekstraksiyonunda %55,8 polisakarit, %25,2 polifenol, %44,8 protein verimi elde edilmiştir. 20 °C'deki mantar süspansiyonuna VEA işlemi (38,4 kV/cm elektrik alan kuvveti ve 272 µs işlem süresi) uygulamasıyla %97,7 polisakarit, %50,9 polifenol ve %48,9 protein verimi elde edilmiştir ve VEA işlemi sonrası ortam sıcaklığının 85 °C olduğu bildirilmiştir.

Carbonell-Capella ve ark., (2017) yaptığı çalışmada, *Stevia rebaudiana* yapraklarından steviol glikozitlerin (steviosid ve rebaudiosit A) ve antioksidan bileşiklerin (toplam fenolik bileşikler, flavonoidler, klorofiller ve karotenoidler) etanol ve su karışımıyla ekstraksiyonunda mikrodalga, ultrason, vurgulu elektrik alan ve yüksek voltajlı elektrik deşarj ön işlemlerinin etkisini incelemiştir. Çalışmadan elde edilen sonuçlar, stevia yapraklarından kalorili olmayan tatlandırıcılar (steviol glikozitler) ve antioksidan bileşiklerin ekstrakte edilebilirliğinin eş değer enerjideki ön işlem yöntemleriyle arttığını göstermektedir. Bu da öğütmeye kıyasla sonraki saflaştırma ve konsantrasyon adımlarını kolaylaştırabilmektedir. Ekstraksiyon solventi olarak su kullanıldığında, ultrason ve mikrodalga destekli ekstraksiyondan sonra, sırasıyla steviosid ve rebaudiosit A'nın ekstraksiyon veriminin en yüksek olduğu görülmüştür. Fakat ekstraksiyon solventi olarak %50 etanol kullanıldığında, her iki bileşiğin en yüksek verimi VEA ön işlemiyle (20 kV/cm, 200 vurgu) elde edilmiştir. Bu çalışmada, geleneksel olmayan ekstraksiyon teknolojileri (vurgulu elektrik alanı, vb.) kullanılarak steviosid ve rebaudiosit A'nın seçici ekstraksiyonu, işleme adımlarının azaltılmasına (öğütme, saflaştırma, vb.) ve dolayısıyla geleneksel yöntemle bir alternatif olabileceği sonucuna varılmıştır.

Liu ve ark., (2019) taze çay yapraklarından fenolik ekstraksiyonunda kurutma işlemine alternatif bir ön işlem olarak VEA etkisini incelemiştir. Yapraklara öncelikle VEA ön işlemi (0,7-1,25 elektrik alan kuvveti, 100 µs vurgu süresi, 5 saniye vurgu arası ve 10-200 arası vurgu sayısı) uygulanmış, ardından yapraklardan fenolik maddeler katı-sıvı ekstraksiyon sistemi ile elde edilmiştir. Taze çay yapraklarından toplam fenolik madde miktarı, elektrik alan kuvveti ve vurgu sayısının artmasıyla artmıştır. En yüksek ekstraksiyon verimi için VEA şartları 1,0 kV/cm ve 100 vurgu (22 kJ/kg enerji girişi ve 1,5 °C sıcaklık artışı) olarak rapor edilmiştir. Fırında kurutma (80 °C'de 12 saat) ile karşılaştırıldığında, yapraklara VEA ön işlem uygulaması fenolik profili önemli ölçüde değiştirmeden ekstraksiyon oranını yaklaşık iki kat arttırmıştır. Bu çalışmada, zaman ve enerji açısından verimli bir işleme yöntemi olarak VEA'nın, çay yapraklarından daha fazla fenolik madde ekstraksiyonunda, kurutma işlemi için alternatif bir yöntem olduğu sonucuna varılmıştır.

Nowacka ve ark., (2019) kırmızı pancardan betalain'in ekstraksiyonunda VEA ön işleminin etkisini 4,38 ve 6,25 kV/cm elektrik alan kuvveti, 10-30 vurgu sayısı ve 0-12,5 kJ/kg enerji girişinde incelemiştir. VEA işlemi, elektroporasyonun bir sonucu olarak pancar dokusundan daha iyi pigment ekstraksiyonuna neden olmuştur. Pancar ekstraktındaki betalain bileşiklerinin içeriğindeki en yüksek artış (VEA ön işlemi görmemiş örneklerle kıyasla %329 betanin, %244 vulgaksantin), 4,38 kV/cm'de 20 vurgu ve 4,10 kJ/kg enerji girişinde görülmüştür.

Fincan ve Çiftçi (2021) VEA ön işlemi ile dereotundan fenoliklerin ekstraksiyonunu katı-sıvı ekstraksiyon sisteminde incelemiştir. Ekstraksiyon sonunda ölçülen toplam fenolik içerik, antioksidan kapasite ve antiradikal aktivite değerleri dondurma-çözme, mikrodalga, solvent işlemi ve ısıl işlem gibi ön işlemlerle karşılaştırılmıştır. Dereotu örneklerine 3 ve 4 kV/cm elektrik alan kuvveti ve 100 ms aralıklı 10 µs'lik karesel monopolar vurgulardan 99 adet VEA işlemi uygulanmıştır ve ardından

örneklerden fenolik maddeler katı-sıvı ekstraksiyon işlemiyle elde edilmiştir. En yüksek doku parçalanma oranı ($61,43 \pm 5,17$) 4 kV/cm'de $99 \times 10 \mu\text{s}$ 'lik VEA uygulamasında görülmüştür. İşlem görmemiş örneklere kıyasla VEA ön işlemi görmüş örneklerde toplam fenolik içerik artmıştır. VEA ön işlemi uygulanmış örneklerde toplam fenolik içerik ve antiradikal aktivite değerleri dondurup çözündürme ön işlemine kıyasla yaklaşık %35 oranında düşük bulunurken, ısıl işlem içeren (mikrodalga, solvent işlemi ve ısıl işlem) yöntemlerden ise ortalamada %68 oranında düşük olduğu tespit edilmiştir. Bu çalışmada, VEA ön işlemiyle fenolik madde ekstraksiyonunun diğer ön işlemlere kıyasla daha az miktarda olmasının doku parçalanma oranının %100'e yakın olmamasından ve fenolik maddelerin polifenol oksidaz (PPO) enzimi ile bozulmasından kaynaklanabileceği belirtilmiştir.

5.3. Vurgulu elektrik alan işleminin vakum infüzyonunda kullanımı

Phoon ve ark., (2008) ıspanak yapraklarına 580 V/cm elektrik alan kuvvetinde bipolar dikdörtgen vurgular uyguladıktan sonra empedans ölçümü ile geri dönüşümlü elektroporasyonunu göstermiştir ve ardından yapraklar 20 dakika boyunca %40'lık trehaloz (antifriz) çözeltisine daldırılarak vakum infüzyon işlemi uygulanmıştır. VEA işleminden sonra vakum infüzyon yöntemiyle trehalozun ıspanak yapraklarına aktarılması yaprakların donma direncini önemli ölçüde artırmıştır.

Yaşar (2017) nane yapraklarına vakum infüzyonu ile askorbik asit (Vitamin C) aktarımında geri dönüşümlü elektroporasyonun etkisini incelemiştir. En elverişli geri dönüşümlü elektroporasyon şartları VEA'nın 100 V/cm'de 3×20 ms şiddetinde ortaya çıkmıştır. Bu şiddetteki VEA'nın etkisi farklı vurgu aralığı sürelerinde (0,1s, 1s, 5s, 10s ve 30s) çalışılmıştır. Kısa süreli vurgu aralığı (0,1 s ve 1 s) uygulandığında dokuya transfer olan askorbik asit seviyesi \approx %65-68 iken, uzun süreli vurgu aralığında (5s-30s) yaklaşık olarak \approx %32-49 seviyesinde bulunmuştur. Bu sonuç, çalışmada belirtilen kısa süreli vurgu aralığında, daha büyük gözenek alanının oluşması ile hızlı kapanan gözenek yüzdesinin daha fazla olduğu hipotezini desteklemiştir. Bu sonuçlar, hücre içine madde aktarım çalışmalarında, kısa süreli vurgu aralığı uygulanmasının daha uygun olduğunu göstermektedir.

Mashkour ve ark., (2018) VEA ön işlemine sahip vakum infüzyonu (Vİ) işleminin bütün patatesin ferrik pirofosfat ile zenginleştirilmesi üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Vİ ile işlenmiş ve VEA-Vİ ile işlenmiş patateslerin demir içeriği işlenmemiş patateslere kıyasla sırasıyla yaklaşık %126 ve %457 artmıştır. Daha yoğun bir VEA ön işlemi, daha yüksek bir hücre parçalanmasına, renk ve dokusal parametrelerde düşüşe ve ayrıca işlenmiş patatesin bileşen sızıntısında artışa yol açmıştır. Bütün 180 g patateslerin VEA-Vİ işlenmesi sırasında, en yüksek demir zenginleştirmesini ve en düşük fizikokimyasal değeri elde etmek için 394 V/cm ve 36 vurguda VEA ön işleminin ardından vakum aşamasında 37 dakika boyunca 3,5 kPa'da ve atmosferik aşamada 39 dakika restorasyon süresiyle işlenmesi gerektiği belirtilmiştir.

Velickova ve ark., (2018) vakum infüzyonu ile kombine edilmiş VEA'nın dondurulup çözülmüş çileklerin kalite parametreleri üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Meyvelerin elektroporasyonu, 850 V/cm'lik nominal elektrik alan kuvvetinde, 100 μs genişliğinde 5 bipolar dikdörtgen vurgularda

sağlanmıştır. VEA işleminden sonra çilekler, 14 dakika boyunca bir kriyoprotektif solüsyon (12 g/100 g trehaloz ve 0,2 g/100 g antifriz proteinleri içeren iklimlendirilmiş kışlık buğday özü) ile vakumla infüze edilmiştir. Çilekler sıvı nitrojende dondurulmuş ve 20 °C’de havada çözülmüştür. Hücre canlılığı, dokusu ve rengi, donma ve çözülme döngüsünden önce ve sonra değerlendirilmiştir. Vakum infüzyonundan önce VEA ile ön işleme tabi tutulan meyve, epidermal katmanda daha yüksek hücre canlılığı sergilemiş ve sadece vakum infüzyonu ile işlenen örneklerle kıyasla %30 daha fazla kırmızı renk tutulmuştur. Ancak, VEA uygulama koşullarının damlama kaybı ve tekstür açısından çilek kalitesinin iyileştirilmesini sağlamada yeterli olmadığı belirtilmiştir.

Li ve ark., (2022) vurgulu elektrik alan ve destekli infüzyon yöntemleri (daldırma, ultrasound ve vakum) kullanılarak patates şeritlerine allin infüze edilip kızartma sonrasında sarımsak aromasının oluşumunu incelemiştir. Patates şeritleri, VEA ile işlenmiş ve ardından allin, daldırma, ultrason ve vakum destekli infüzyon kullanılarak işlenmiş şeritlere aktarılmıştır. 0,250, 0,650 ve 1,250 kJ/kg gibi daha düşük VEA yoğunluğu altında, destekli infüzyon yöntemlerin uygulanması, allin infüzyon etkinliğini önemli ölçüde iyileştirmiştir. 1,250 kJ/kg VEA işlemi ve 35 kHz ultrason destekli infüzyonun kombinasyonu, işlenmiş patates dilimlerinde daha yüksek allin konsantrasyonu ile sonuçlanmıştır. Duyusal değerlendirmeler kızartma sırasında sarımsak aromasının infüze edilen allinden oluştuğunu doğrulamıştır.

6. Sonuç

Yapılan çalışmalar, bitkisel dokulara VEA uygulamasının hücre zarı geçirgenliğinin sağlanmasında önemli avantajlara sahip olduğunu göstermektedir. Çalışmalarda, VEA’ya maruz bırakılarak, geçici gözenek oluşumu ile hücrelerin içerisine dışarıdan vitamin, mineral gibi maddelerin transferi sağlanarak fonksiyonel özellikleri geliştirilmiş yeni gıda ürünlerinin elde edilmesi sağlanmıştır. VEA işlemi, bitkisel dokulara elektrik alan uygulaması sonucu kalıcı hücre hasarı ile hücre içi bileşiklerin kütle transferini, ekstraksiyonunu ve kurutma gibi prosesleri kolaylaştırmaktadır. Kurutma proseslerinde VEA ön işlem uygulaması, dokudan suyun çıkışını hızlandırarak kuruma süresini kısaltmakta ve böylece daha az enerji tüketimi sağlamaktadır. VEA ısı olmayan bir teknolojidir ve bu nedenle ısıya duyarlı hücre bileşenlerinin termal hasarı en aza indirgenmektedir. VEA ön işlemi sonrası ekstraksiyon ile toplam antioksidan, toplam fenolik bileşikler, toplam polisakkarit ve toplam karotenoid içerik gibi birçok maddelerin kaybı daha az olmaktadır. VEA ön işlem uygulaması meyve suyu üretiminde verimi ve hücrelerin iç kısmından değerli metabolitlerin (fenolik, pigment, şeker, yağ veya aroma gibi) ekstraksiyonunu arttırmaktadır.

Bu derleme içerisinde rapor edilen tüm veriler, bitkisel dokulara kurutma öncesi uygulanan VEA ön işleminin, gıdanın kuruma süresini kısalttığını göstermektedir. VEA ön işlem uygulamasıyla, bitkisel gıdalardan ekstrakte edilen besinlerde zararı en aza indirgeyerek ekstraksiyonu arttırdığı sonucuna ulaşılmıştır. Ayrıca, yapılan çalışmalarda bitki hücre zarlarının VEA işlemi ile geçirgenliğinin artırılması sağlanarak, fonksiyonel bileşiklerin bitkisel gıdalara transferi ile yeni ürün geliştirmede

VEA işleminin uygulanabilir olduğu belirtilmiştir. Çalışmalarda, ürünlerin daha kısa sürede kurumasını sağlamak, ekstraksiyon verimliliğini arttırmak ve ürünlere dışardan madde transferini geliştirmek amacıyla VEA uygulamasının sağladığı optimum şartların belirlenmesi ve bu yöntemin kurutma, ekstraksiyon ve infüzyon proseslerinde kullanımının sağlanması gerektiği önerilmektedir.

Çıkar Çatışması Beyanı

Makale yazarı herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti

Yazar makaleye %100 oranında katkı sağlamış olduğunu beyan eder.

Kaynakça

- Ağçam E., Akyıldız A., Evrendilek GA. Vurgulu elektrik alan teknolojisi (PEF): Sistem ve uygulama odacıkları. Akademik Gıda 2014; 12: 69-78.
- Aldemir S. Vurgulu elektrik alanı kullanılarak nanenin esmerleştirilmesi ve yöntemin ‘Siyah Nane Çayı’ ürünü geliştirilmesinde potansiyelinin incelenmesi. Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri, Yüksek Lisans Tezi, 2019.
- Amami E., Khezami L., Vorobiev E., Kechaou N. Effect of pulsed electric field and osmotic dehydration pretreatment on the convective drying of carrot tissue. Drying Technology 2008; 26: 231–238.
- Arevalo P., Ngadi MO., Bazhal, MI., Raghavan GSV. Impact of pulsed electric fields on the dehydration and physical properties of apple and potato slices. Drying Technology 2004; 22(5): 1233–1246.
- Ariza-gracia MÁ., Cabello MP., Cebrián G., Calvo B., Álvarez I. Experimental and computational analysis of microbial inactivation in a solid by ohmic heating using pulsed electric fields. Innovative Food Science & Emerging Technologies 2020; 65(2): 102440.
- Asavasanti S., Ristenpart W., Stroeve P., Barrett DM. Permeabilization of plant tissues by monopolar pulsed electric fields: Effect of frequency. Journal of Food Science 2011; 76(1): 98-111.
- Barba FJ., Parniakov O., Pereira SA., Wiktor A., Grimi N., Boussetta N., Saraiva JA., Raso J., Martin-Belloso O., Witrowa-Rajchert D., Lebovka N., Vorobiev E. Current applications and new opportunities for the use of pulsed electric fields in food science and industry. Food Research International 2015; 77: 773-798.
- Ben Ammar J., Lanoisellé JL., Lebovka NI., Hecke EV., Vorobiev E. Impact of a pulsed electric field on damage of plant tissues: Effects of cell size and tissue electrical conductivity. Journal of Food Science 2011; 76(1): 90-97.

- Buckow R., Ng S., Toepfl S. Pulsed electric field processing of orange juice: A review on microbial, enzymatic, nutritional, and sensory quality and stability. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* 2013; 12(5): 455–467.
- Carbonell-Capella JM., Brnčić SR., Žlabur JŠ., Barba FJ., Grimi N., Koubaa M., Brnčić M., Vorobiev E. Electrotechnologies, microwaves, and ultrasounds combined with binary mixtures of ethanol and water to extract steviol glycosides and antioxidant compounds from stevia rebaudiana leaves. *Journal of Food Processing Preservation* 2017; 41(5): 1–9.
- Cemeroğlu BS. *Meyve ve Sebze İşleme Teknolojisi*. Ankara: Nobel Akademik Yayıncılık; 2011.
- Donsi F., Ferrari G., Pataro G. Applications of pulsed electric field treatments for the enhancement of mass transfer from vegetable tissue. *Food Engineering Reviews* 2010; 2(2): 109-130.
- Emanuel E., Dubrovin I., Hanya E., Pinhasi GA., Pogreb R., Cahan R. Eradication of *Saccharomyces cerevisiae* by pulsed electric field treatments. *Microorganisms* 2020; 8(11): 1684.
- Evrendilek GA., Zhang Q., Richter ER. Inactivation of *Escherichia coli* O157:H7 and *Escherichia coli* 8739 in apple juice by pulsed electric fields. *Journal of Food Protection* 1999; 62(7): 793-796.
- Fincan M. Pulsed Electric Field Treatment of Plant Tissue. Lund University Department of Food Teknology, Engineering and Nutrition, Sweden, Doctoral Thesis, 2003.
- Fincan M. Extractability of phenolics from spearmint treated with pulsed electric field. *Journal of Food Engineering* 2015; 162: 31–37.
- Fincan M., Çiftci Y., Vurgulu elektrik alan ön işleme ile dereotundan fenoliklerin ekstraksiyonu: dondurup çözündürme, ısı işlem, mikrodalga ön işlemleri ve solvent ekstraksiyonu ile karşılaştırılması. *Gıda Teknoloji Derneği/The Journal of Food* 2021; 46(6): 1343-1357.
- Fincan M., De Vito F., Dejmek P. Pulsed electric field treatment for solid-liquid extraction of red beetroot pigment. *Journal of Food Engineering* 2004; 64(3): 381–388.
- Gachovska TK., Ngadi MO., Raghvan GSV. Pulsed electric field assisted juice extraction from alfalfa. *Department of Bioresource Engineering* 2006; 48(3): 33–37.
- Gaylor DC., Prakah-Asante K., Lee RC. Significance of cell size and tissue structure in electrical trauma. *Journal of Theoretical Biology* 1988; 133(2): 223–237.
- Gonzalez ME., Barrett DM. Thermal, high pressure, and electric field processing effects on plant cell membrane integrity and relevance to fruit and vegetable quality. *Journal of Food Science* 2010; 75(7): 121-130.
- Guderjan M., Elez-Martínez P., Knorr D. Application of pulsed electric fields at oil yield and content of functional food ingredients at the production of rapeseed oil. *Innovative Food Science and Emerging Technologies* 2007; 8: 55–62.
- Hülshager H., Potel J., Niemann EG. Killing of bacteria with electric pulses of high field strength. *Radiat Environ Biophys*, 1981; 20(1): 53–65.
- Jiang N., Cooper BY. Frequency-dependent interaction of ultrashort E-fields with nociceptor membranes and proteins. *Bioelectromagnetics* 2011; 32: 148-163.

- Knorr D., Angersbach A. Impact of high-intensity electric pulses on plant membrane permeabilization. *Trends in Food Science and Technology* 1998; 9: 185-191.
- Lamberti P., Romeo S., Sannino A., Zeni L., Zeni O. The role of pulse repetition rate in nsPEF-induced electroporation: A biological and numerical investigation. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering* 2015; 62(9): 2234-2243.
- Lebovka NI., Bazhal MI., Vorobiev E. Estimation of characteristic damage time of food materials in pulsed-electric fields. *Journal of Food Engineering* 2002; 54(4): 337–346.
- Li J., Dadmohammadi Y., Li P., Madarshahian S., Alireza A. Generation of garlic flavor after frying by infusing alliin into potato strips using pulsed electric field and assisted infusion methods. *Food Chemistry* 2022; 396: 133643.
- Liu Z., Esveld E., Vincken J., Bruins ME. Pulsed electric field as an alternative pre-treatment for drying to enhance polyphenol extraction from fresh tea leaves. *Food and Bioprocess Technology* 2019; 12, 183-192.
- Lopez N., Puertolas E., Condon S., Raso J., Alvarez I. Enhancement of the solid-liquid extraction of sucrose from sugar beet (*Beta vulgaris*) by pulsed electric fields. *Food Science and Technology* 2009; 42: 1674–1680.
- Naliyadhara N., Kumar A., Girisa S., Daimary UD., Hegde M., Kunnumakkara AB. Pulsed electric field (PEF): Avant-garde extraction escalation technology in food industry. *Trends in Food Science and Technology* 2022; 122: 238-255.
- Ngadi MO., Bazhal MI., Raghavan GSV. Engineering aspects of pulsed electroplasmolysis of vegetable tissues. *Journal of Scientific Research and Development* 2003; 5: 1-9.
- Nowacka M , Tappi S., Wiktor A., Rybak K., Miszczkowska A., Czyzewski J., Drozdal K., Witrowa-Rajchert D., Tylewicz U. The impact of pulsed electric field on the extraction of bioactive compounds from beetroot. *Foods* 2019; 8(7): 244.
- Nuccitelli R., Tran K., Sheikh S., Athos B., Kreis M., Nuccitelli P. Optimized nanosecond pulsed electric field therapy can cause murine malignant melanomas to self-destruct with a single treatment. *International Journal of Cancer* 2010; 127: 1727-1736.
- Mashkour M., Maghsoudlou Y., Kashaninejad M., Aalami M. Iron fortification of whole potato using vacuum impregnation technique with a pulsed electric field pretreatment. NY; Springer; 2018.
- Maskooki A., Eshtiaghi MN. Impact of pulsed electric field on cell disintegration and mass transfer in sugar beet. *Food and Bioproducts Processing* 2012; 90: 377-384.
- Mohamed MEA., Eissa AHA. Pulsed electric fields for food processing technology. In: Eissa, A.A. (ed.) *Structure and Function of Food Engineering*. Hrvatisan: InTech 2012; 275-336.
- Ostermeier R, Giersemehl P., Siemer C., Töpfl S., Jäger H. Influence of pulsed electric field (PEF) pre-treatment on the convective drying kinetics of onions. *Journal of Food Engineering* 2018; 237: 110–117.

- Pataro G., Ferrari G., Donsi F. Mass transfer enhancement by means of electroporation. *Mass Transfer* 2011; 1(8): 151-176.
- Phoon PY., Galindo FG., Vicente A., Dejmek P. Pulsed electric field in combination with vacuum impregnation with trehalose improves the freezing tolerance of spinach leaves. *Journal of Food Engineering* 2008; 88 (1): 144-148.
- Puértolas E., de Marañón, IM. Olive oil pilot-production assisted by pulsed electric field: Impact on extraction yield, chemical parameters and sensory properties. *Food Chemistry* 2015: 167; 497-502.
- Raso J., Alvarez I., Condón S., Trepát FJS. Predicting inactivation of *Salmonella senftenberg* by pulsed electric fields. *Innovative Food Science and Emerging Technologies* 2000; 1: 21-29.
- Saulis G., Saule R. Size of the pores created by an electric pulse: Microsecond vs millisecond pulses. *Biochimica et Biophysica Acta* 2012; 1818: 3032–3039.
- Seçkin AK., Özgören E. Gıda endüstrisinde darbeli elektrik alan uygulamaları. *Gıda ve Yem Bilimi Teknolojisi Dergisi* 2011; 11: 39-48.
- Sensoy I., Sastry SK. Extraction using moderate electric fields. *Journal of food science* 2004; 69(1): 7-13.
- Silve A., Leray I., Poignard C., Mir LM. Impact of external medium conductivity on cell membrane electropermeabilization by microsecond and nanosecond electric pulses. *Scientific Reports* 2016; 6(1): 1–15.
- Soliva-Fortuny R., Balasa A., Knorr D. Effects of pulsed electric fields on bioactive compounds in foods: A review. *Trends in Food Science & Technology* 2009; 20: 544-556.
- Wiktor A., Iwaniuk M., Sledz M., Nowacka M., Chudoba T., Witrowa-Rajchert, D. Drying kinetics of apple tissue treated by pulsed electric field. *Drying Technology* 2013; 31(1): 112–119.
- Won YC., Min SC., Lee DU. Accelerated drying and improved color properties of red pepper by pretreatment of pulsed electric fields. *Drying Technology* 2015; 33(8): 926–932.
- Wouters PC., Alvarez I., Raso J. Critical factors determining inactivation kinetics by pulsed electric field food processing. *Trends in Food Science & Technology* 2001; 12: 112–121.
- Xue D., Farid MM. Pulsed electric field extraction of valuable compounds from white button mushroom (*Agaricus bisporus*). *Innovative Food Science and Emerging Technologies* 2015; 29: 178–186.
- Velickova E., Tylewicz U., Rosa MD., Winkelhausen E., Kuzmanova S., Romani S. Effect of pulsed electric field coupled with vacuum infusion on quality parameters of frozen/thawed strawberries. *Journal of Food Engineering* 2018; 233: 57-64.
- Vernier PT., Sun Y., Gundersen MA. Nanoelectropulse-driven membrane perturbation and small molecule permeabilization. *BMC Cell Biology* 2006; 7 (37): 1- 16.
- Yangılar F., Kabil E., Yılmaz F. PEF işleminin süt ve süt ürünlerinde uygulanabilirliği. *MANAS Journal of Engineering* 2013; 14(1): 73-85.

- Yaşar Ş. Nane yapraklarına vakum empregnasyonu yoluyla askorbik asit aktarımında tersinir elektroporasyonun rolü. Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri, Yüksek Lisans Tezi, 2017.
- Zhao J., Chen S., Zhu L., Zhang L., Liu J., Xu D., Tian G., Jiang T. Antitumor effect and immune response of nanosecond pulsed electric fields in pancreatic cancer. *Front Oncol* 2021; 10: 621092.
- Zimmermann U. Electrical breakdown, Electropermeabilization and electrofusion. *Reviews Physiology Biochemistry Pharmacology* 1986; 105: 176–250.