



MEYVE VE SEBZELERİN KURUTULMASINDA ÖN İŞLEM OLARAK VURGULU ELEKTRİK ALAN KULLANIMI

Yasemin Çiftci*, Mustafa Fincan

Erciyes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Kayseri, Türkiye

Geliş / Received: 11.02.2021; Kabul / Accepted: 06.05.2021; Online baskı / Published online: 21.05.2021

Çiftci, Y., Fincan, M. (2021). Meyve ve sebzelerin kurutulmasında ön işlem olarak vurgulu elektrik alan kullanımı. *GIDA* (2021) 46 (4) 830-847 doi: 10.15237/gida. GD21036.

Çiftci, Y., Fincan, M. (2021). *The use of pulsed electric field as a pre-treatment for drying of fruits and vegetables. GIDA* (2021) 46 (4) 830-847 doi: 10.15237/gida. GD21036.

ÖZ

Meyve ve sebzelerin geleneksel yöntemler ile kurutulmasında, uygulanan kurutma sıcaklığının ve süresinin derecesi nihai ürünün kalite ve maliyetine önemli derecede etkide bulunmaktadır. Uygulanan yüksek sıcaklık ve uzun kuruma süreleri genellikle istenmeyen değişimleri tetikleyerek, ürünün kalite öğelerinde azalmalara yol açmakta ve enerji sarfiyatını artırmaktadır. Vurgulu elektrik alan tekniği, kurutmadaki bu olumsuzlukları azaltma potansiyeline sahip son yıllarda ortaya çıkan alternatif tekniklerden birisi olarak bilinmektedir. Şu ana kadar yapılan çalışmaların birçoğunda meyve sebzelerin bu teknik ile kurutulmasında kalite öğelerinin daha fazla korunduğu ve enerji sarfiyatının azaltılabileceği bildirilmiştir. Bu derleme kapsamında, vurgulu elektrik alan uygulamasının meyve sebzelerin kuruma davranışı ve kalite özellikleri üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir.

Anahtar kelimeler: Vurgulu elektrik alan, meyveler, sebzeler, kurutma

THE USE OF PULSED ELECTRIC FIELD AS A PRE-TREATMENT FOR DRYING OF FRUITS AND VEGETABLES

ABSTRACT

In drying of fruits and vegetables using traditional methods, the degree of drying temperature and time applied significantly affect the quality and cost of the final product. The high temperature and long drying periods generally trigger unwanted changes, causing a decrease in the quality attributes of product and an increase in energy expenditure. Pulsed electric field technique is known to be one of the alternative techniques that has emerged in recent years, which has the potential to reduce these drawbacks in drying. In most of the studies conducted so far, it has been reported that with this technique the quality attributes are more protected and the energy consumption can be reduced in the drying of fruits and vegetables. Within the scope of this review, the effects of pulsed electric field application on the drying behavior and quality characteristics of fruits and vegetables were evaluated.

Keywords: Pulsed electric field, fruits, vegetables, drying

* Yazışmalardan sorumlu yazar / Corresponding author

✉: yasemenciftcii@gmail.com

☎: (+90) 544 392 03 69

☎: (+90) 352 437 57 84

Yasemin Çiftci; ORCID no: 0000-0001-9934-0723

Mustafa Fincan; ORCID no: 0000-0002-9394-6449

GİRİŞ

Meyve ve sebzelerin günümüzde kullanılan birçok geleneksel kurutma yöntemleri ile kurutulmasında, kurutma yöntemine, uygulanan sıcaklık seviyesi ve süresine bağlı olarak çeşitli kalite kayıpları ortaya çıkmakta, bazen de yüksek enerji sarfiyatı nedeniyle ürünün maliyetini yükseltmektedir. Buna karşın tüketiciler, besin öğeleri yüksek oranda korunmuş, sağlık üzerinde olumlu etkileri olan ve ekonomik kazancı artıran kurutulmuş gıda ürünlerini talep etmektedir. Birçok çalışma (Dziki, 2020; Lammerskitten vd., 2019; Ostermeier vd., 2020; Radojčin vd., 2021; Wu vd., 2020; Yu vd., 2018) meyve ve sebzelerin kurutulmasında vurgulu elektrik alan (PEF) tekniğinin olumlu etkileri olduğunu göstermektedir. PEF, kurutma işlemlerinde kalite ve enerji kayıplarını azaltmak için umut verici bir teknik olarak karşımıza çıkmaktadır (Kempkes ve Simpson, 2018; Llavata vd., 2019; Mousakhani-ganjeh vd., 2021; Zhang vd., 2020).

Yüksek su aktivitesine sahip olan çiğ meyve ve sebzeler mekanik hasarlara, mikrobiyal bozulmalara ve çevresel koşullara karşı oldukça duyarlı olması nedeniyle bozulmaya elverişli bir yapıdadır. Kurutulmuş ürünlerde dayanım büyük ölçüde suyun uzaklaştırılması ile gerçekleşmektedir. Belirli bir su aktivitesine kadar uzaklaştırılan su sonrası mikrobiyal ve enzimatik aktivite sınırlanmakta, arzu edilmeyen fiziksel ve kimyasal değişiklikler en aza indirgenerek raf ömrü uzun gıda ürünleri elde edilmektedir (Mayor ve Sereno, 2004). Kurutma sıcaklığına bağlı olarak su, bitkisel dokudan uzaklaşırken çeşitli yapısal engeller ile karşılaşmaktadır. Büyük oranda hücre içi bölgede bulunan suyun çıkışına öncelikle hücre zarları, sonrasında hücre duvarı ve katman kalınlığı direnç göstermektedir (Khan vd., 2018). Kurutma boyunca hücre su kaybedip, büzülerek plazmolize uğramakta ve böylece hücre zarlarının direnci önemli oranda azalmaktadır (Ando vd., 2014; Lewicki ve Pawlak, 2003).

Meyve ve sebzelerin kurutulması geleneksel olarak vakumlu kurutma, güneşte kurutma, sıcak hava ile kurutma, dondurarak kurutma, akışkan yataklı kurutma ve tepsili kurutma gibi yöntemler ile gerçekleştirilmektedir. Geleneksel teknikler ile

kurutulan meyve ve sebzelerin çoğunlukla ısı uygulamasına bağlı olması kurutma sırasında oluşan bazı kalite sorunlarını beraberinde getirmektedir. Kurutulmuş meyve ve sebzeler ile ilgili başlıca kalite problemleri olan renk, doku, aroma ve besin maddelerini etkileyen değişiklikler gıda ürününü tüketiciler için kabul edilemez hale getirmektedir (Onwude vd., 2017; Sagar ve Kumar, 2010). Yapılan çeşitli araştırmalarda geleneksel yöntemlerle kurutulan havuç, zencefil, kivi, elma, altın çilek, nar, mango, portakal, hünnap ve domates gibi birçok meyve ve sebzede fenolik madde ve karotenoid içeriklerinin azaldığı rapor edilmiştir (Bozkir, 2020; Demiray ve Tulek, 2017; Ghafoor vd., 2020; Grabowska ve Marcin, 2021; Hamid vd., 2020; Izli vd., 2017a, 2017b; Nawirska-Olszańska vd., 2017; Sehwat vd., 2018; Smith vd., 2018; Wojdyło vd., 2019). Bazı çalışmalarda sıcak havayla kurutulan pancarda, betanin içeriğinin azaldığı belirtilmiştir (Kerr ve Varner, 2020; Liu vd., 2020). Sıcak havayla kurutulan muz, guava, hünnap, yaban mersini, vişne, çilek, kıvılcık meyveleri, yeşil biber, dolmalık biber ve brokolide C vitamini kayıpları rapor edilmiştir (Leiton-Ramírez vd., 2020; Nemzer vd., 2018; Rybak vd., 2020; Szadzińska vd., 2017; Takougnadi vd., 2020; Wang vd., 2020; Xu vd., 2020). Kurutma yöntemleri arasında ısı işlem içeren uygulamalarda kırmızı biber, karadut ve terebinth meyvesinde büyük oranda renk değişimleri tespit edilmiştir (Abbaspour-gilandeh vd., 2020; Chen vd., 2017; Koç, 2020). Mierzwa ve Pawłowski (2017) yaptıkları çalışmada sıcak hava ile kurutulan patatesin görünüşünde fark edilebilir bir deformasyon gözlemlenmiştir. Sıcak hava, mikrodalga ve kızılötesi kurutma yöntemleriyle kurutulan kırmızı biberler duyuşal olarak değerlendirildiğinde, panelistler tarafından en az tercih edilen örneklerin sıcak hava ile kurutulmuş olduğu belirtilmiştir (Guclu vd., 2021).

Tüm bu olumsuz sonuçlar neticesinde meyve ve sebzelerin kuruma özelliklerini iyileştirmek için geleneksel kurutma teknikleriyle kombine halde kurutma işlemi öncesi ön işlemler uygulanmaktadır. Çoğu ön işlemlerin amacı doku yapısını bozup, böylece suyun çıkışını kolaylaştırmaktır. Su çıkışının kolaylaşması,

kurumunun daha düşük sıcaklık ve kısa süre kullanılmaya imkân tanıyarak, beraberinde ortaya çıkan kalite kayıplarını azaltmaktadır. Son zamanlarda bitki hücre zarlarının geçirgenliğini artırarak meyve ve sebzelerin kurutulmasını kolaylaştıran aynı zamanda ürün kalitesinin koruyan ve ısısal olmayan PEF ön işlemleri dikkat çekmektedir (Huang vd., 2019; Sagar ve Kumar, 2010). PEF destekli kurutma, daha kısa kuruma süresi, düşük enerji tüketimi ve yüksek kalitede ürünler elde edilmesi gibi avantajları ile öne çıkan bir teknoloji olarak bilinmektedir.

Vurgulu Elektrik Alan (PEF) Tekniği

Vurgulu elektrik alan (PEF), elektrotlar arasına yerleştirilen hücre sistemlerine kesikli aralıklarda DC (doğru akım) voltaj uygulamasıdır. Uygulamanın bilenen en önemli etkisi, elektriksel alana maruz bırakılan hücrede önemli bir ısı artışına yol açmadan hücre zarlarında kalıcı veya geçici gözenekler (porlar) oluşturmaktır. Bu şekilde gözenek oluşturma işlemi elektroporasyon veya elektropermeabilizasyon olarak adlandırılmaktadır. Por oluşum mekanizması tam olarak aydınlatılmamış olmasına rağmen, buna dair Zimmermann tarafından (Zimmermann, 1986) sunulan dielektrik parçalanma teorisi en çok kabul görenler arasında yer almaktadır. Bu teoriye göre, hücre dışarıdan bir elektrik alana maruz bırakıldığında, dielektrik hücre zarının iç ve dış yüzeylerinde zıt yüklü iyonlar polarize olarak transmembran potansiyel (TMP)'in artışına yol açmaktadır. TMP'indeki artışa paralel iyonlar hücre zarında gittikçe artan bir basınç, sıkıştırma kuvveti meydana getirir ve nihayet TMP'i 1 Volt değerine ulaştığında hücre zarında gözenekler açılmaya başlamaktadır. Bu kritik seviyenin üzerinde elektrik alan uygulamasının sürdürülmesi halinde, hücre zarında kalıcı mekanik hasar oluşması tersinir olmayan elektroporasyon, kritik seviyeye kadar uygulanması halinde gözeneklerin açılıp kapanması ise tersinir elektroporasyon olarak adlandırılmaktadır (Kotnik vd., 2019; Ramaswamy ve Ramachandran, 2017; Zimmermann, 1986).

Gözeneklerin veya elektroporasyonun özellikleri diğer bazı şartlardan da etkilenmektedir. Özellikle, uygulanan elektrik alan kuvveti, vurgu şekli, vurgu

genişliği, vurgu sayısı ve vurgu frekansının büyüklüğü belirleyici olmaktadır. Elektrik alan kuvvetinin büyüklüğü elektroporasyonda en önemli bir parametreye iken diğer elektriksel değişkenlerin etkisi farklılık göstermektedir. Vurgu genişliği ve sayısındaki artışın hücre zarında bozunumu artırdığı gösterilirken, vurgu frekansının por oluşumu hakkındaki rolü üzerine sonuçlar değişmektedir (Kanduđer ve Miklavčić, 2008). En yaygın kullanılan vurgu şekilleri üstel azalan ve kare dalga biçimidir. Kare dalga şeklinin, üstel azalana göre daha az ısı artışına yol açtığı bilinmektedir. Elektriksel parametrelerin yanında, hücrelerin içinde bulunduğu sıcaklık, elektriksel iletkenlik ve hücre büyüklüğü gibi bazı ortam özelliklerinin de elektroporasyon özellikleri üzerine etkileri bulunmaktadır. Aynı şartlarda elektrik alan parametrelerine maruz bırakılan hipotonik ortamdaki hücreler, izotonik bir ortamdan daha düşük voltajda geçirgen hale gelmektedir (Rols ve Teissie, 1990). Önemli oranda lipitlerden oluşan hücre zarı yüksek sıcaklığa maruz bırakıldığında daha akışkan hale geldiğinden, daha düşük elektrik alan şiddetinde geçirgen hale gelmektedir (Kakı vd., 2014; Rols ve Teissie, 1990). Elektriksel iletkenlik değerinin artması, uygulama esnasında ısı artışını da indüklediğinden, hücre zarı deformasyonunda ısının etkisi ayrıca ortaya çıkmaktadır. Yapılan bazı çalışmalarda, ortam elektriksel iletkenlik değeri azaldıkça hücre parçalanma oranının arttığı gözlemlenmiştir (Hülshager vd., 1981; Silve vd., 2016). Hücre büyüklüğü arttıkça indüklenen membran potansiyeli arttığından hücre boyutu büyük olan hücreler küçük olan hücrelere göre elektrik alanın verdiği hasara daha duyarlı hale gelmektedir (Gaylor vd, 1988). Hücre zarı por geçirgenliğini sağlamak için gerekli olan elektrik alan kuvveti mikroorganizmalar (hücre boyutu 1-10 µm) için 12-20 kV/cm aralığında iken bitki hücrelerinde (hücre boyutu 40-200 µm) 1-2 kV/cm'dir (Soliva-fortuny vd., 2009).

Elektroporasyon geçmişten bu zamana biyoteknolojide gen aktarımında bilinen ve uygulanan bir tekniktir. Bununla beraber, tekniğin bitkisel hücrelerin, mikroorganizmaların ve tümörlerin inaktivasyonu gibi diğer alanlardaki potansiyeli üzerine çalışmalar son yıllarda artarak

devam etmektedir (Ariza-gracia vd., 2020; Emanuel vd., 2020; Maor vd., 2021; Rubin vd., 2018; Shabbir vd., 2020; Xu vd., 2018; Zhao vd., 2021). Meyve ve sebzelerin işlenmesi söz konusu olduğunda, tersinir olmayan elektroporasyon tekniğinin özellikle kütle transferini içeren kurutma ve ekstraksiyon proseslerini kolaylaştırıcı potansiyeli üzerinde durulmaktadır (Yarmush vd., 2014). Geleneksel kurutmada hücre zarlarını bozunduruş, kütle transferini artırmak için kurutma sıcaklığını en az 55-65 °C civarına çıkarmak şart iken, PEF ön işlemleri sonrası bu şart değildir (Eshtiaghi ve Knorr, 2002). Çünkü, PEF ile hücre zarları bozulan dokudan kütle transferi daha düşük sıcaklıklarda da hızlanmakta veya kurutma daha düşük sıcaklıklarda da gerçekleştirilebilmektedir. Bundan başka, herhangi bir PEF uygulamasının indüklediğı doku bozunum oranı, kuruma prosesini direkt olarak etkilemektedir. Diğer bir deyişle, dokuda bozulan hücre sayısı ne kadar artarsa, buharlaşan su miktarı da buna paralel artmakta, kuruma kolaylaşmaktadır. Dolayısıyla, PEF ile ortaya çıkan doku bozunum veya elektroporasyon seviyesinin belirlenmesi kuruma prosesini değerlendirmede kritik bir öneme sahip olmaktadır.

Doku Bozunum Oranın Belirlenmesi

Doku bozunum oranının (Z_p) belirlenmesinde yaygın olarak kullanılan yöntem, dokuların elektriksel özelliklerine dayanmaktadır. Sağlam bir dokunun elektriksel iletkenliğı frekans değerine bağlıdır. α -frekans bölgesinde (1-100 kHz) hücre zarları yalıtkan özelliklerini büyük ölçüde korurken akım (iletkenlik) ağırlıklı olarak hücre dışı bölgedeki iyonların ifadesidir. Buna karşın, β -frekans bölgesinde (0.1-100 MHz), hücre zarları yalıtkan özelliklerini frekans arttıkça kaybetmeye başlanmaktadır (Maxwell-Wagner etkisi), bununla birlikte hücre içi iyonlar da iletkenliğe dahil olmakta, dolayısıyla ölçülen iletkenlik hem hücre içi hem de hücre dışı iyonların bir ifadesi haline gelmektedir. Sağlam dokunun iletkenliğı bu şekilde frekansa bağlı iken, hücreleri tam olarak bozunmuş dokunun iletkenliğı farklı davranış göstermektedir. Bozunmuş hücre zarları bariyer özelliklerini kaybettiğinden ve buna bağlı olarak iyonca zengin hücre içi içeriğinin hücre dışına

yayılmasından, iletkenlik her iki frekans bölgesinde de sabit kalmaya meyil etmektedir (Şekil 1). Buna göre, ölçüm yeterince yüksek frekansta yapıldığında sağlam doku ve tam parçalanmış doku elektriksel iletkenlikleri birbirine yakın olmaktadır. Hücreleri sağlam, kısmen parçalanmış ve tam parçalanmış bitki dokusunun frekans artırımına karşı davranışları aşağıdaki Şekil 1’de (Knorr ve Angersbach, 1998) şematize edilmektedir (Foster, 2008).

Bu olgulardan yararlanılarak, herhangi bir işlem (PEF veya diğer) sonrası ortaya çıkan doku parçalanma oranı (Z_p)’nın tahminine yönelik farklı yöntemler geliştirilmiştir. En basit yaklaşımda, Z_p α -frekans alanındaki elektriksel iletkenliğinin β -frekans alanına oranından tahmin edilmektedir. Bundan başka, Angersbach vd. (1999), dokuların frekans tepkisini kullanan bir doku parçalanma indeksi Z_p tanımlamaktadır.

$$Z_p = \frac{\left(\frac{\sigma_h^t}{\sigma_h^i}\right)\sigma_t^t - \sigma_t^i}{\sigma_h^t - \sigma_t^i} \quad (\text{Denklem 1})$$

σ_t^t ve σ_t^i sırasıyla düşük frekansta (1-5 kHz) işlem görmüş ve işlem görmemiş (sağlam) dokunun, σ_h^t ve σ_h^i ise sırasıyla yüksek frekansta (3-50 MHz) işlem görmüş ve işlem görmemiş dokunun iletkenliğidir. Buna göre, sağlam doku için $Z_p \approx 0$, tam parçalanmış doku için $Z_p \approx 1$ olmaktadır.

Bundan başka, α -frekans alanındaki elektriksel iletkenliğı göz önüne alarak Z_p tahmini içeren diğer yöntemler de geliştirilmiştir. Bu yöntemlerde herhangi bir işlem (PEF veya diğer) sonrası hasıl olan elektriksel iletkenlik dondurup-çözme veya ısı işlem gibi tam doku parçalamayı sağlayan bir işlemden sonra hasıl olan iletkenliğe bölünerek, Z_p tahmini yapılmaktadır. Örneğinin dokunun su içerisinde PEF işlemine maruz bırakıldığında tanımlanan bir endeks de:

$$Z_p = \frac{\sigma - \sigma_s}{\sigma_{maks} - \sigma_s} \quad (\text{Denklem 2})$$

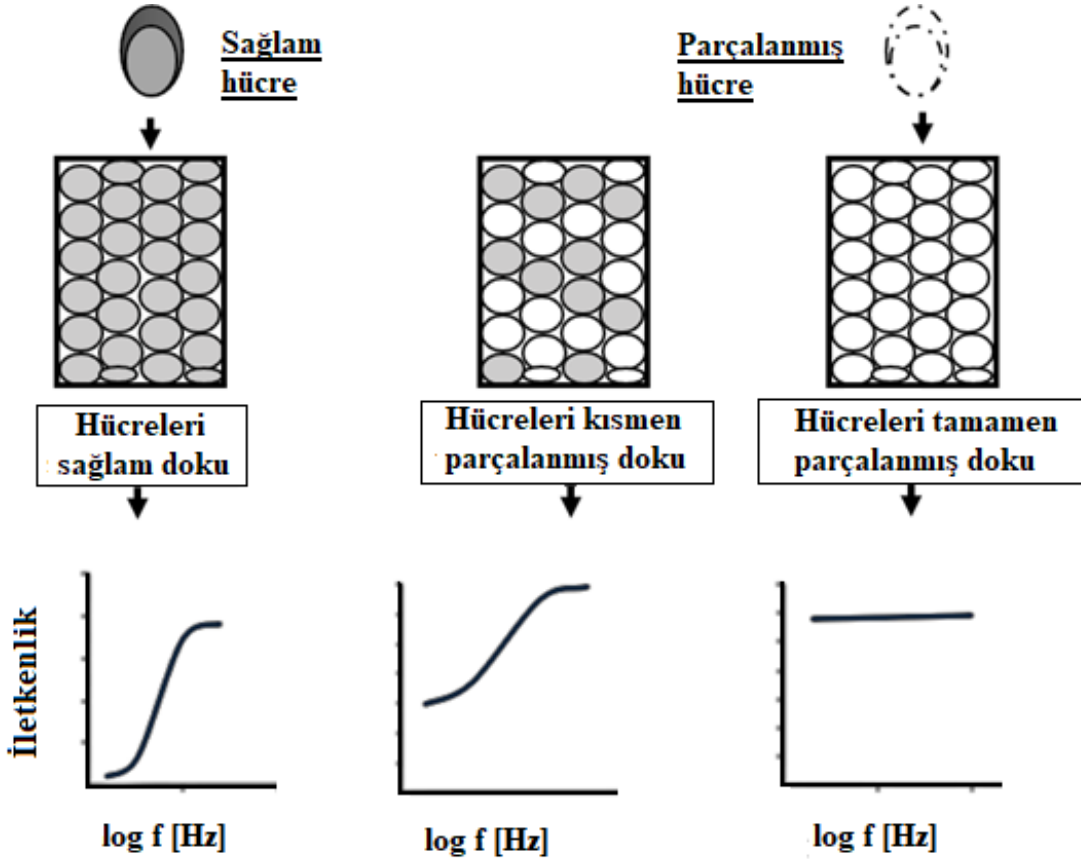
σ , σ_{maks} ve σ_s sırasıyla işlem gören, tam parçalanmış numunenin ve dokuyu çevreleyen suyun elektriksel iletkenliğidir. Fincan (2015) ve

Lebovka vd. (2002) tarafından tanımlanan diğer bir endeks de:

$$Z_p = \frac{\sigma - \sigma_i}{\sigma_d - \sigma_i} \quad (\text{Denklem 3})$$

σ , işlem görmüş dokunun α -frekans alanındaki elektriksel iletkenlik, “i” ve “d” alt indisi ise

sırasıyla sağlam ve tamamen parçalanmış dokunun iletkenliğini ifade etmektedir. Sağlam hücre için $Z_p \approx 0$, tamamen parçalanmış hücre için $Z_p \approx 1$ olmaktadır.



Şekil 1. Hücreleri sağlam, kısmen parçalanmış ve tam parçalanmış bitki dokusunun 1 kHz-50 MHz ölçüm frekansı aralığında tipik frekans-iletkenlik spektrumları (Knorr ve Angersbach, 1998)

PEF Ön İşlemi ile Kurutma

Sağlam bitkisel dokuda %90'a varan oranlarda bulunan su, hücre içi bölgede hücre zarları tarafından hapsedilmekte ve dışarıya çıkışı engellenmektedir. Destek görevi üstlenen hücre duvarı da su çıkışına engel teşkil eden bir bariyer olmasına rağmen, su çıkışına direnç gösteren temel bariyer hücre zarıdır. İşte PEF ile kurutma prosesinin iyileştirilmesi potansiyeli temelde PEF'in hücre zarlarındaki bozunum etkisine dayanmaktadır. Bununla birlikte, PEF'in bu etkisinin kurutma sıcaklığının 55 °C altındaki

sıcaklıklarda gerçekleştirildiğinde daha geçerli olduğu göz ardı edilmemelidir. Bu sıcaklık seviyesi üzerinde hücre zarları ısı etkisiyle bozunmaya (plazmoliz) başladıklarından, PEF ile önceden hücre bozunumu önemini kaybetmeye başlamaktadır (Eshtiaghi ve Knorr, 2002). Diğer taraftan, 55 °C altındaki sıcaklıklarda gerçekleştirilen kurutma prosesinde, bozulan hücre zarları suyun çıkışına izin vererek, kurutmanın hızlanmasına yol açmaktadır. Buna örnek olarak Alam vd. (2018) yaptığı çalışma incelendiğinde, 50 °C'de sıcak hava ile kurutulan

Meyve ve sebzelerin kurutulmasında vurgulu elektrik alan ön işlemleri

havauçlarda PEF ön işlemleri kuruma süresini %13 azaltırken, 70 °C’de kurutulan örneklerde kuruma süresinde bir azalma gözlenmemiştir. PEF’in düşük sıcaklıklarda kısa süren kurutmaya elveren bu potansiyeli yapılan bazı ön çalışmalarda ele alınmış, istenmeyen birçok reaksiyonları azalttığı ve ekonomik açıdan maliyeti düşürdüğü gösterilmiştir. PEF’in tüm bu olumlu yanlarına rağmen, meyve ve sebzelerdeki kurutma rolü

yeterince aydınlatılmamıştır. Şu ana kadar yapılan çalışmalarda, bazı meyve ve sebzelerin elektroporasyonunda farklı PEF parametreleri kullanılmış bunun yanı sıra farklı kurutma sıcaklıkları denenmiştir. Çeşitli meyve ve sebzelerin PEF yardımcı kurutma işleminde kullanılan deneysel şartların ve bulguların bir özeti Çizelge 1’de gösterilmektedir.

Çizelge 1. Farklı çalışmalardan PEF destekli meyve-sebze kurutulmasının bir özeti

Örnek	PEF İşlem Koşulları	Etkileri	Referanslar
Soğan	Üstel azalan monopolar vurgu, 0.36-1.07 kV/cm elektrik alan kuvveti, 40 µs vurgu genişliği, 2 Hz frekans	45 °C kuruma sıcaklığında 1.07 kV/cm elektrik alan kuvveti ve 4 kJ/kg spesifik enerji girişinde kuruma süresinde %30 düşüş gözlenmiştir. Elektrik alan kuvvetinin artmasıyla birlikte hücre parçalanma oranı da artmıştır. 1.07 kV/cm elektrik alan kuvvetinde hücre parçalanma oranı $Z_p = 0.47 \pm 0.07$ olarak bulunmuştur.	(Ostermeier vd., 2018)
Erik	Unipolar kare dalga vurgu, 1, 2 ve 3 kV/cm elektrik alan kuvveti, 30 vurgu	En yüksek hücre parçalanma oranı ($Z_p = 0.572$) ve nem difüzyon katsayısı ($0.27 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ ’den $16.47 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ ’ye) 3 kV/cm elektrik alan kuvvetinde gözlenmiştir. Yüksek hücre parçalanması kuruma oranını artırmış, kuruma süresini kısaltmıştır.	(Rahaman vd., 2019)
Elma	Monopolar yakın-dikdörtgen vurgu, 0.66-2.34 kV/cm, 8-92 vurgu, vurgular arası 25 µs	Proses değişkenleri 1.25 kV/cm elektrik alan kuvveti, 50 vurgu sayısı ve 80 °C işlem sıcaklığında optimize edilmiştir. Hücre parçalanma oranı $Z_p = 0.90$ olarak bulunmuştur.	(Chauhan vd., 2018)
Elma	Monopolar dikdörtgen şeklinde vurgu, 1-2 kV/cm, vurgular arası 900 ms, 10-60 vurgu, vurgu genişliği 90 µs	PEF işlemleri, kuruma süresini 0.86 sa azaltmıştır. Enerji tüketimi 1.5 kV/cm’de 35 vurgu sayısında %24.74 azalmıştır. Etkin difüzyon katsayısı $2.40 \times 10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}$ ’den $3.10 \times 10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}$ ’ye yükselmiştir.	(Wu ve Zhang, 2019)
Kayısı	0.625 ve 1.25 kV/cm, 30 ve 60 s, 100 Hz, vurgu genişliği 20 µs	Elektrik alan kuvveti 0.625’den 1.25 kV/cm’ye ve işlem süresi 30 s’den 60 s’ye çıkması sonucu kuruma oranında artış görülmüştür.	(Huang vd., 2019)
Nane	0.147, 0.294 ve 1.43 kV/cm elektrik alan kuvveti, 2, 10, 100 ve 0.2 ms vurgu genişliği, 1, 5, ve 10 s vurgu aralığı, 10-1485 aralığında vurgu sayısı	1.43kV/cm, 0.2 vurgu genişliğinde ve 0.294kV/cm, 100 ms vurgu genişliği şartlarında vurgu sayısı arttıkça kuruma sürelerinin kıaldığı görülmüştür. Yüksek elektrik alanında (1.43 kV/cm), 160x2ms, 0.1 Hz ve 10 s vurgu aralığı şartlarında uygulandığında hücre parçalanma oranı $Z_p = 81.30 \pm 4.84$ olarak bulunmuştur.	(Aldemir, 2019)

Çizelge 1. devam

Örnek	PEF İşlem Koşulları	Etkileri	Referanslar
Kırmızı dolmalık biber	1.0 kV/cm elektrik alan kuvveti, 20-200 üstel azalan vurgu, 143 µs vurgu genişliği, 1 Hz frekans	PEF ile işlem görmüş örneklerin rehidrasyon kapasitesi %50 artmıştır. Hücre parçalanma oranı 0.6-0.8 arasında rapor edilmiştir.	(Fauster vd., 2020)
Fesleğen	65 monopolar karesel vurgu, 650 V/cm elektrik alan kuvveti, 150 µs vurgu süresi, vurgular arası 760 µs	PEF ön işlemi kuruma süresini, sıcak hava ile kurutulan örnekte %57, vakum ile kurutulan örnekte %33 ve dondurularak kurutulan örnekte %25 oranında azaltmıştır.	(Telfser ve Galindo, 2019)
Patates	600 V/cm elektrik alan kuvveti, 100 monopolar vurgu vurgu süresi 100 µs, vurgular arası süre 10 ms	PEF işlemi, etkin nem difüzyonunu artırarak ön kurutma işlemini ve nem kaybının hızlanmasına yol açması ile kızartma prosesinin kılmasını sağlamıştır.	(Liu vd., 2018a)
Yaban mersini	2 kV/cm, 2 µs vurgu genişliği, 200 vurgu, 96 ms işlem süresi	75, 60 ve 45 °C'lerde vakumla kurutma öncesi PEF ön işlemi, kuruma süresinde sırasıyla 6 sa'ten 4 sa'e, 10 sa'ten 7 sa'e ve 70 sa'ten 40 sa'e düşüş göstermiştir.	(Yu vd., 2017)
Mango	1.07 kV/cm elektrik alan kuvveti, monopolar üstel azalan vurgu, vurgu süresi 40 µs, vurgular arası 0.5 s, 2 Hz, spesifik enerji girişi PEF1 (1kJ/kg); PEF2 (3kJ/kg)	PEF ön işlemi vakumla kurutulmuş örneklerin rehidrasyon yeteneğini PEF1 ve PEF2 için sırasıyla 3.14'den (işlem görmemiş) 3.11'e ve 2.52'e, sıcak hava ile kurutulmuş örneklerin ise sırasıyla %2 ve %15 oranında azaltmıştır.	(Lammerskitten vd., 2020)
Çilek ve kivi	100 ve 200 V/cm, 10 µs vurgu genişliği, 100 Hz frekans, 10 s işlem süresi	Ozmotik dehidrasyon ile kombine halde kullanılan PEF ön işlemi her iki meyvede de su kaybını %21.6 oranında artırmıştır. Her iki meyvede de antioksidan kapasite ve aktiviteyi artırmıştır.	(Tylewicz vd., 2020)
İspanak	3 kV/cm elektrik alan kuvveti, 1 µs vurgu genişliği, vurgu sayısı 1, işlem süresi 15 dak,	Kurutma öncesi PEF ön işlemi kuruma süresini 1.8 kat kısaltmıştır.	(Yamada vd., 2020)
Çilek	1 kV/cm elektrik alan kuvveti, vurgular arası 0.5 s (2 Hz) monopolar üstel azalan vurgu, vurgu süresi 40 µs	PEF ön işlemi görmüş çilekler işlem görmemişlere kıyasla şekli ve hacmi korunmuş, daha yüksek görsel kalite sergilemiştir. Daha homojen bir kuruma sağlanmıştır.	(Lammerskitten, vd., 2020)
Goji meyvesi	0.9-2.8 kV/cm elektrik alan kuvveti, 1 kHz-1MHz frekans aralığı, vurgu sayısı 7500'e kadar	Kurutma öncesi, ozmotik dehidrasyon ve PEF uygulaması (vurgu sayısı 750'den 7500'e yükseldikçe), su kaybını artırmıştır. 2.8 kV/cm, 15 µs vurgu genişliği ve 20 Hz frekans şartlarında hücre parçalanma indeksi (Z_p), 750, 1500 ve 7500 vurgu sayılarında sırasıyla 0.13, 0.20 ve 0.38 olarak bulunmuştur.	(Dermesonlou glou vd., 2018)

Meyve ve sebzelerin kurutulmasında vurgulu elektrik alan ön işlemleri

Çizelge 1. devam

Örnek	PEF İşlem Koşulları	Etkileri	Referanslar
Safran	2 kV/cm elektrik alan kuvveti, 50 dikdörtgen şeklinde vurgu, 20 µs vurgu genişliği, 1ms toplam işlem süresi, 50 Hz frekans	Kurutma öncesi PEF ön işlemleri, safran aroması ve renk gücünde sırasıyla %177 ve %40 artış göstermiştir.	(Neri vd., 2021)
Havuç	0.6 kV/cm, monopolar 10 vurgu, 100 µs vurgu süresi, vurgular arası 10 ms	PEF ön işlemleri, 25-90 °C'de kuruma süresini %33-55 oranında azaltmıştır. β-karoten kaybı ve renk değişimi işlem görmemiş örneklerle kıyasla daha az olduğu görülmüştür.	(C. Liu vd., 2020)
Patates	600 V/cm elektrik alan kuvveti, 100 monopolar vurgu, 100 µs vurgu süresi, vurgular arası 10 ms	PEF ön işlemleri, kuruma süresini %22-27 oranında azaltmıştır.	(Liu vd., 2018b)

Ostermeier ve arkadaşları (2018), PEF ön işleminin sıcak hava ile kurutulan taze soğan üzerine etkisini incelemiştir. Soğana farklı PEF parametreleri ($W = 0.2-20.0$ kJ/kg spesifik enerji, $E = 0.36-1.07$ kV/cm) uygulanmış, ardından 45, 60 ve 75 °C sıcaklıklarda sıcak hava ile kurutulmuştur. Farklı elektrik alan kuvvetlerinde (0.36 kV/cm, 0.71 kV/cm ve 1.07 kV/cm) ve değişen spesifik enerjilerde hücre parçalanma oranları incelenmiştir. Hücre parçalanması en fazla, 1.07 kV/cm elektrik alan kuvveti ve 2-16 kJ/kg spesifik enerji girişi aralığında görülmüştür. 1.07 kV/cm elektrik alan kuvvetinde 1, 4 ve 16 kJ/kg spesifik enerji değerlerinde soğanın 60 °C'de kuruma davranışı işlem görmemiş örneklerle karşılaştırılmıştır. Bunun sonucunda, PEF ön işlemleri görmemiş soğan örneklerinde 300 dakikada istenilen nem seviyesine ulaşırken işlem görmüş numunelerin kuruma süresinde azalma tespit edilmiştir. 4 kJ/kg spesifik enerji ile işlenen örneğin kuruma süresi 300 dakikadan 236 dakikaya %21.33'lük bir azalma ile en hızlı kuruma sağlamıştır. İşlem görmemiş örneklerle kıyaslandığında PEF ön işlemleri ile kuruma süreleri 45, 60 ve 75 °C kurutma sıcaklıklarında sırasıyla %30, %21.4 ve %6.4 oranında azalmıştır.

Rahaman ve arkadaşları (2019), eriğe uygulanan PEF ön işlemleri kuruma kinetiği, hücre parçalanması, renk ve mikro yapısal özellikleri açısından incelemiştir. PEF ön işlemleri 1, 2 ve 3 kV/cm elektrik alan şiddeti, 30 vurgu sayısı ve 10-

90 kJ/kg spesifik enerji girişi olacak şekilde gerçekleştirilmiştir. Ardından örnekler 70 °C'de sıcak hava fırınında kurutulmuştur. PEF'in hücre parçalanmasına etkisi, işlem yoğunluğunun ve özgül enerji tüketiminin artmasıyla artış göstermiştir. 1 kV/cm elektrik alan kuvvetinde hücre parçalanması 0.147 iken 2 ve 3 kV/cm'de sırasıyla 0.463 ve 0.572'ye yükselmiştir. Hücre parçalanması, kuruma oranı ve nem kaybının artırmasına yardımcı olmuştur. Kuruma oranı, PEF yoğunluğunun artmasıyla birlikte artış göstermiş, kuruma süresinin kısılmasına yol açmıştır. PEF ön işlemleri görmemiş örneğe (0.27×10^{-9} m²/s) kıyasla nem difüzyon katsayısı 1, 2 ve 3 kV/cm'de sırasıyla 11.7×10^{-9} m²/s, 12.15×10^{-9} m²/s ve 16.47×10^{-9} m²/s olarak artmıştır. Elektron mikroskopunda, işlem görmüş örneklerin hücre zarlarında büzülme meydana geldiği görülmüştür. Kurutma işleminden sonra işlem görmemiş örneklerle kıyasla PEF ön işlemleri görmüş örneklerin açıklık değeri (L^*) yükselmiştir.

Chauhan vd. (2018), elma dilimlerinin kuruma süresi, enerji girdisi ve hücre parçalanması üzerinde PEF ön işlemleri elektrik alan kuvveti (1'den 2 kV/cm'ye), vurgu sayısı (25'ten 75'e) ve PEF destekli haşlama ön işlemleri sırasında suyun sıcaklığının (60'dan 80 °C'ye) etkisini değerlendirmiştir. Farklı parametrelerde PEF işlemine maruz bırakılan elma dilimleri 60 °C'de 12 m/s hava hızında kurutulmuştur. Enerji girdisinin artmasıyla birlikte hücre zarı

geçirgenliğinin artmasına bağlı olarak yüksek oranda hücre parçalanması meydana gelmiştir. Zar geçirgenliğinin artması daha fazla suyun uzaklaşması anlamına geldiği için kuruma süresinde azalma gözlemlenmiştir. Uygulanan elektrik alan kuvveti kuruma hızını önemli ölçüde etkilemezken darbe sayısı ve ortam sıcaklığı etkili olmuştur. Bu çalışma sonucunda, iyi kalitede kurutulmuş elma elde etmek için deneysel şartlar, elektrik alan kuvveti 1.25 kV/cm, vurgu sayısı 50 ve su sıcaklığı 80 °C olarak belirlenmiştir.

Wu ve Zhang (2019), elma dokusunun dondurularak kurutma prosesinde PEF ön işleminin etkisini incelemişlerdir. Elma dokusu 1-2 kV/cm elektrik alan kuvveti, 10-60 vurgu sayısı, 900 ms vurgu aralığı, 90 µs vurgu genişliği monopolar dikdörtgen vurgu olacak şekilde PEF işlemine maruz bırakılmıştır. Ön dondurma işlemi -40 °C'de 10 saatte gerçekleştirildikten sonra örnekler 75 °C'de kurutulmuştur. Elma dokusunun kuruma karakteristiği incelendiğinde, işlem görmemiş örneklerle kıyasla PEF ön işlemi görmüş örneklerin nem değeri önemli oranda azalmıştır. İşlem görmemiş örnek, istenilen nem değerine 230 dakikada ulaşırken PEF ile işlem görmüş örnekler 190 dakikada ulaşmıştır. Ortalama kuruma süresi işlem görmemiş örnekler için 7.50 sa iken PEF ön işlemi görmüş örnekler için 6.64 sa olarak tespit edilmiştir. İşlem görmüş örneklerin enerji tüketimi %24.74 oranında azalmıştır. Enerji verimliliği için en etkili PEF koşulları, 1.5 kV/cm elektrik alan kuvvetinde 35 vurgu sayısı olarak belirlenmiştir. PEF sonrası meydana gelen elektroporasyon, membran geçirgenliğini artırmış, kuruma prosesini iyileştirmiştir. PEF ile işlem görmemiş örneklerin rehidrasyon oranı 4.14 iken PEF ön işlemi görmüş (1 kV/cm, 60 vurgu sayısı) örneklerin rehidrasyon oranının 7.11 olduğu görülmüştür. Etkin difüzyon katsayısı (D_{eff}), 2.40×10^{-8} m²/s'den 3.10×10^{-8} m²/s'e yükselmiştir. D_{eff} , elektrik alan yoğunluğunun ve vurgu sayısının artmasıyla birlikte hızlanma eğilimi göstermiştir.

Huang ve arkadaşları (2019), kayıslara farklı yoğunluklarda PEF ön işlemi uygulamış ardından kuruma oranlarını karşılaştırmıştır. Kontrol olarak: işlem görmemiş, %0.2 Na₂SO₃'e

daldırılmış işlem görmemiş ve 10 dak 80 °C'de ısıtılmış ardından oda sıcaklığında %0.2 Na₂SO₃'de 1 saat daldırılmış örnekler kullanılmıştır. PEF işlem koşulları, düşük yoğunluk (0.65 kV/cm, 100 Hz, 20 µs, 30 s işlem süresi), yüksek yoğunluk-kısa süre (1.25 kV/cm, 100 Hz, 20 µs, 30 s işlem süresi) ve yüksek yoğunluk-uzun süre (1.25 kV/cm, 100 Hz, 20 µs, 60 s işlem süresi) olarak uygulanmıştır. Sonrasında sıcak hava fırınında 45 °C'de 1.0 m/s hava hızında kurutulmuştur. Elektrik alan kuvveti 0.625' den 1.25 kV/cm'ye ve işlem süresi 30 s'den 60 s'ye çıkması sonucu kuruma hızında artış görülmüştür. Isıl işlem uygulanmış örneklerin kuruma hızı, düşük yoğunluk ve yüksek yoğunluk-kısa süreli örneklerden daha yüksek, yüksek yoğunluk-uzun süreli örnekten daha düşük bulunmuştur.

Fincan ve Aldemir (2019), nanenin kurutulmasında yüksek ve düşük elektrik alan kuvvetlerinde frekans ve darbe sayısının etkisini işlem görmemiş ve dondurulup çözündürülmüş örnekler ile kıyaslayarak incelemiştir. Yüksek elektrik alan (1.43 kV/cm, 0.2 vurgu genişliği) ve düşük elektrik alan (0.294 kV/cm, 100 ms vurgu genişliği) kuvvetlerinde vurgu sayısı arttıkça kuruma sürelerinin kısalacağı görülmüştür. Yüksek elektrik alan kuvvetinde (1.43 kV/cm, 2 ms vurgu genişliği) frekansın azalma etkisinin yüksek vurgu sayısında (99) önemli olduğu vurgulanmıştır. Frekans değeri azaldıkça kuruma süresi kısalmıştır. En düşük frekans olan 0.1 Hz'de kuruma süresi yaklaşık 2.7 saat olarak kaydedilmiştir. Düşük elektrik alan kuvvetinde (0.147 kV/cm, 100 ms vurgu genişliği) ise frekansın azalmasının önemli bir etkisi olmamış, ancak işlem görmemiş örneklerle kıyasla kuruma süresi kısalmıştır.

Fauster vd. (2020) yaptığı çalışmada, kırmızı dolmalık biberlerin dondurularak kurutulması sonucu oluşan olumsuz fiziksel özellikleri iyileştirmek amacıyla PEF ön işlemine (1.0 kV/cm elektrik alan kuvveti, vurgu genişliği 143 µs, 20-200 arası vurgu, 1 Hz frekans ve spesifik enerji girişi 0.7-6.0 kJ/kg olacak şekilde) tabi tutulmuştur. Sonuçlar incelendiğinde, spesifik enerji girişinin artmasıyla birlikte hücre parçalanma indeksi %30 artmıştır. PEF ön işlemi,

biberin tekstürel özelliği olan sertlik değerini, işlem görmemiş örneğe kıyasla %61.1-71.1'e kadar düşürmüştür. PEF ön işlemi görmüş örneklerin rehidrasyon kapasitesinin, işlem görmemiş örneklerle kıyasla yüksek olduğu belirtilmiştir.

Telfser ve Galindo (2019), fesleğen yapraklarına (*Ocimum basilicum* L.) uygulanan PEF ön işleminin farklı kurutma yöntemleri (sıcak hava, vakum ve dondurarak kurutma) üzerine etkilerini incelemişlerdir. Fesleğen yapraklarına, (650 V/cm elektrik alan şiddeti, vurgu süresi 150 µs, vurgular arası 760 µs ve 65 monopolar karesel vurgu olacak şekilde) PEF ön işlemi uygulanmıştır. Daha sonra ayrı ayrı 40 °C'de 2 m/s hava hızında, 14 Pa vakumlu ve -45 °C'de dondurularak kurutulmuştur. Dehidrasyon özellikleri PEF ön işlemi görmemiş örneklerle kıyaslanarak incelendiğinde kurutma metodlarının her birinde nem difüzyonu artmış, kuruma süreleri kısalmıştır. Kuruma süreleri işlem görmemiş örnekler ile kıyaslandığında, sıcak havayla kurutulan örnekte 23.5'ten 10.8 saate, vakum ile kurutulan örnekte 15'ten 10 saate ve dondurularak kurutulan örnekte 12'den 9 saate düşmüştür. Yani PEF ön işlemi kurutma süresini, sırasıyla %57, %33 ve %25 oranında azaltmıştır. Taze ve kurutulmuş fesleğen yapraklarının renk özellikleri incelendiğinde, dondurularak kurutulmuş örnekler hariç diğer örneklerin taze yapraklardan daha koyu renkte olduğu görülmüştür. Renkte en fazla koyulaşma, PEF ön işlemi ardından sıcak hava ile kurutulan örneklerde görülmüştür. Fesleğen yapraklarının yeşilliği (a^*), sıcak hava ile kurutulmuş örnekler başta olmak üzere her bir kurutma yönteminde önemli ölçüde azalmıştır.

Liu ve arkadaşları (2018a), PEF ön işlemi ardından sıcak hava ile kurutulan patateslerin kızartılması sırasında nem kaybı ve yağ alımı üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Patates dilimleri 25 mm çap ve 2.5 mm kalınlığında kesilmiş ardından 600 V/cm elektrik alan kuvveti, 100 monopolar vurgu, vurgu süresi 100 µs ve vurgular arası 10 ms olacak şekilde PEF uygulanmıştır. Daha sonra örnekler, 50 °C'de 2 m/s hava hızında 500, 1000 ve 2000 s sıcak hava ile kurutulmuş ardından 130 °C'de 600 s

kızartılmıştır. Sonuçlar incelendiğinde, PEF işlemi etkin nem difüzyon katsayısını artırarak ön kurutmayı hızlandırmış, kızartma süresini kısaltmıştır. Kuruma süresine karşı kızartma süresi incelendiğinde, kuruma süresi 500 s'yi aşması halinde kızartma süresi önemli ölçüde azalmıştır. Kurutma süresi 500 s üzerinde iken kızartmadan sonra yağ alımının, işlenmemiş örnek (≈ 0.47 g/g DM) ile karşılaştırıldığında PEF ile işlenmiş örneklerde (0.30 g/g DM) daha az olduğu görülmüştür.

Yu ve arkadaşları (2017), yaban mersininin sıcak hava ve vakumlu olarak kurutulmasında ön işlem olarak uygulanan PEF'in, yaban mersininin besinsel kalite ve kuruma karakteristiği üzerine etkisini incelemiştir. PEF ön işlemi 2 kV/cm elektrik alan kuvveti, 2 µs vurgu genişliği, saniyede 200 vurgu ve toplam işlem süresi 96 ms olacak şekilde uygulanmış, ardından vakumlu ve sıcak hava kurutucuda 45, 60 ve 75 °C sıcaklıklarda kurutulmuştur. Vakumlu kurutma öncesi PEF ön işlemi, kuruma süresini 45 °C'de 70 saatten 40 saate, 60 °C'de 10 saatten 7 saate ve 75 °C'de 6 saatten 4 saate kadar düşürmüştür. Kuruma süresinin kısılması enerji tasarrufuna önemli fayda sağlamıştır. 45 °C'de sıcak hava ile kurutulmuş örneklerde kuruma oranı hafif hızlanırken, 60 ve 75 °C'lerde önemli ölçüde azalma görülmemiştir. PEF + vakumlu kurutma (75 °C) uygulamasının, besinsel kayıpları en aza indirmek ve kuruma oranını artırmak için uygun olduğu sonucuna varılmıştır.

Lammerskitten ve arkadaşları (2020), mango dokusuna 1 kJ/kg (PEF1) ve 3 kJ/kg (PEF2) spesifik enerjiler, 1.07 kV/cm elektrik alan kuvveti, monopolar üstel azalan vurgu, vurgu süresi 40 µs, vurgular arası 0.5 s ve 2 Hz frekans olacak şekilde PEF işlemi uygulamış, sonrasında vakum ve sıcak hava kurutma yöntemi ile 70 °C'de kurutmuştur. Sonuçlar incelendiğinde, PEF ön işlemi rehidrasyon kapasitesini vakumlu kurutmada %21'e, sıcak hava kurutmada %16 'a kadar düşürmüştür. PEF işleminin renk değerleri üzerine etkisi incelendiğinde, PEF1 ön işlemi hem sıcak hava hem de vakumlu kurutma işleminde daha koyu kırmızı ve sarı renk değeri göstermiş bunun yanı sıra yüzey parlaklığı düşmüştür. PEF

ön işlemleri görmüş örneklerin fenolik madde içerikleri taze örneklerle kıyasla %70 oranında korunmuştur.

Tylewicz ve arkadaşları (2020), kivi ve çilek dokusuna ozmotik dehidrasyon (OD) öncesi PEF işlemleri uygulanmış (100 ve 200 V/cm, 10 µs vurgu genişliği, 100 Hz frekans ve 10 s işlem süresi), ardından %40'lık sakkaroz ve trehaloz çözeltisine daldırılarak 25 °C'de 120 dak ozmotik dehidrasyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu işlem, 200 V/cm elektrik alan kuvvetinde çilek örneklerinin antioksidan kapasitesi ve antioksidan aktivitesini sırasıyla %13.6 ve %11.5 artırmış, 100 V/cm'de kivi örneklerinin ise sırasıyla %7 ve %15.6 artırmıştır. Renk değerleri incelendiğinde, 200 V/cm elektrik alan şiddetindeki PEF ve trehalozlu OD kombinasyonunun çilek örneklerinin renginin korunması için en iyi şartları sağladığını rapor etmişlerdir.

Dermesonlouglou vd. (2018), goji meyvesinin kuruma özelliklerini iyileştirmek için ozmotik dehidrasyon (OD) ve PEF ön işlemleri uygulamışlardır. PEF ile ön işlenmiş örnekler (0.9-2.8 kV/cm elektrik alan kuvveti, 1 kHz-1MHz frekans aralığı, 7500'e kadar vurgu sayısı), 55 °C'de 180 dak OD'yu gerçekleştirilmiştir. Ardından 60 °C'de 400 dak kurutulmuştur. PEF ile işlem görmüş örnekler, taze + OD ve dondurulmuş çözündürülmüş + OD ile karşılaştırılmıştır. En yoğun PEF şartında (2.8 kV/cm ve 7500 vurgu) hücre parçalanma indeksi (Z_p), 0.38 olarak rapor edilmiştir. PEF ön işlemleri, kütle transferini pozitif olarak etkileyerek kurumayı geliştirmiştir.

Yamada ve arkadaşları (2020), ispanağa kurutma öncesi PEF ön işleminin kuruma hızı üzerindeki etkilerini çalışmışlardır. Ispanak dokusuna PEF işlemleri uygulanmış, (3 kV/cm elektrik alan kuvveti, 1 µs vurgu genişliği, 1 vurgu sayısı, işlem süresi 15 dak, toplam enerji girişi 7.1 j/g olacak şekilde) ardından 50 °C'de sıcak havayla kurutulmuştur. PEF işlemleri uygulanmış örnekler işlem görmemiş örneklerle karşılaştırıldığında kurutma süresinin 3.5 saatten 2 saate düştüğü rapor edilmiştir. Bu çalışmada, kurutma öncesi PEF ön işleminin yapraklı sebzelerde kurutma hızını iyileştirdiği sonucuna varılmıştır.

Lammerskitten ve arkadaşları (2020), çilek meyvesine PEF uygulamış (1 kV/cm elektrik alan kuvveti, vurgular arası 0.5 s monopolar üstel azalan vurgu ve vurgu süresi 40 µs olacak şekilde) ardından dondurarak kurutmuştur. Sonuçlar değerlendirildiğinde, PEF işlemleri sonrasında meydana gelen elektroporasyon olayı ile oluşan gözenekler (porlar), işlem görmemiş örneklerle kıyaslandığında dokuda daha büyük ve homojen bir dağılım sağlamıştır. Böylece kurutulan çilekler daha hacimli bir yapı ve görsel olarak daha iyi bir kalite sergilemiştir. L^* a^* b^* değerleri incelendiğinde, PEF ile muamele edilmiş dokuların daha iyi bir renk kalitesine sahip olduğu görülmüştür.

Neri ve arkadaşları (2021), sıcak havayla kurutma öncesi safranın kalitesi, rengi, tadı, aroması ve fonksiyonel özelliklerinin iyileştirilmesi üzerine PEF'in potansiyelini incelemişlerdir. Safran dokusuna, PEF ön işlemleri uygulanmış (2 kV/cm elektrik alan kuvveti, 50 dikdörtgen şeklinde vurgu, 20 µs vurgu genişliği, 1ms toplam işlem süresi, 50 Hz frekans olacak şekilde) sonra 45 °C'de 120 dak sıcak hava kurutma gerçekleştirilmiştir. Kurutma işlemi safran tat, aroma ve renginde artışlara neden olmuş, özellikle PEF ön işlemleri sonrası kurutulan örneklerin aromasında %177, renk gücünde %40 artış görülmüştür.

Liu ve arkadaşlarının (2020) yaptığı çalışmada, vakum kurutma öncesi PEF ön işleminin havucun kalite özellikleri üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Havuç dilimlerine PEF ön işlemleri uygulanmış (0.6 kV/cm, monopolar 10 vurgu, 100 µs vurgu süresi ve vurgular arası 10 ms olacak şekilde), ardından 25, 50, 75 ve 90 °C sıcaklıklarda vakumlu olarak kurutulmuştur. Sonuçlar incelendiğinde, sıcaklığın yükselmesiyle birlikte toplam kuruma süresi işlem görmemiş ve PEF ön işlemleri görmüş örnekler için sırasıyla 6 saatten 1.5 saate ve 2.7 saatten 1 saate düşmüştür. β -karoten içeriği ise 25 ve 90 °C'de işlem görmemiş örneklerde, sırasıyla 137 mg/100g ve 131 mg/100g iken PEF ön işlemleri görmüş örneklerde 170 mg/100g ve 155 mg/100g olarak rapor edilmiştir.

Patates dokusuna PEF ön işlemleri uygulanmış (600 V/cm elektrik alan kuvveti, 100 monopolar vurgu, 100 µs vurgu süresi ve vurgular arası 10 ms olacak şekilde) ardından farklı sıcaklıklarda (40, 50, 60 ve 70 °C olmak üzere) vakum kurutma işlemleri gerçekleştirilmiştir. Kurutma sıcaklığının artmasıyla kuruma süresi daha da kısalmış, PEF ön işleminin kuruma süresini %22-27 oranında azalttığı tespit edilmiştir (Liu vd., 2018b).

PEF İşleminin Potansiyel Olumsuz Yönleri

Günümüz itibarıyla PEF işleminin gıda güvenliği açısından riskli olduğuna dair bilgilere literatürde rastlanılmamaktadır veya sınırlı bilgi sunulmuştur. Bu konuda çalışmalar daha çok elektrot yüzeyindeki elektrokimyasal reaksiyonlar, serbest radikal oluşumu ve elektrotun korozyonu üzerinde odaklanmış durumdadır (Pakhomova vd., 2012; Zhang vd., 2011). Ortam özelliklerinin ve PEF parametre büyüklüklerinin bu reaksiyonların oluşumunda rol oynadığı ifade edilmiştir (Morren vd., 2003). Örneğin, yüksek elektriksel iletkenlik ortamının suyun elektrolizini artırdığı, ortamda klorürün bulunması halinde toksik klor bileşiminin oluştuğu rapor edilmiştir (Hülshager vd., 1981).

PEF'in kurutmada meydana getirebileceği olumsuzluklar hakkında, enzimatik aktivitedeki değişimler daha ön planda ortaya çıkmaktadır. Sağlam dokuda hücre ve duvarlarında tutunan enzimler, elektroporasyon sonrası substratlarına oksijen varlığında erişme imkanına kavuşmaktadır. Bu durum özellikle düşük sıcaklıktaki kurutmada, kuruma süresinin uzamasıyla daha da belirginleşmektedir. PEF ile muamele edilmiş bazı dokuların belirgin bir şekilde koyulaşması, polifenol oksidaz (PPO) enzimlerinin vakuolden salınan fenolik maddeler ile reaksiyonuna işaret etmektedir (Grimi vd., 2010; Janositz vd., 2011). Bundan başka, elektroporasyon sonrası diğer biyoaktif bileşikler ve renk maddeleri de enzimatik ve oksidatif bozulmalara açık hale gelmektedir. Yapılan bir çalışmada, havuç dokusuna uygulanan PEF işlemleri, β-karoten zincirinin oksidasyonunu teşvik ederek toplam karotenoid içeriğini azalmasına neden olmuştur (Wiktor vd., 2015).

SONUÇ

Yapılan çalışmalara göre PEF uygulamasının, meyve ve sebze kurutma prosesinde bir ön işlemler aşaması olarak kullanımı önemli avantajlar sağlamaktadır. Geleneksel kurutma yöntemlerinin aksine PEF, bitkisel dokulara elektrik alan uygulaması sonucu hücre zarının hasarı ile kütle transferini artırıp, dokudan su çıkışını kolaylaştırmaktadır. Bu teknik, kurutma proseslerinde işlemler süresini kısaltarak daha düşük enerji tüketimi sağlamaktadır. PEF aynı zamanda ısı olmayan bir teknoloji olduğu için ısıya duyarlı hücre bileşenlerinin termal hasarını minimuma indirerek besinsel ve fiziksel kaliteyi iyileştirmeye yardımcı olmaktadır. Meyve ve sebzelerde PEF ön işlemleri uygulaması, kurutma sonrası değerlendirilen antioksidan aktivite, vitamin, toplam fenolik madde ve toplam karotenoid içerik gibi birçok özelliğinin daha az kaybı ile sonuçlanmıştır. PEF ön işleminin geleneksel yöntemlerin gıdalarda meydana getirdiği söz konusu kayıpları azaltması, yapılan farklı çalışmalarda ortaya konmuştur. Elektroporasyon olayı ile hücre zarında oluşan gözeneklerin, 55 °C'nin üstündeki kurutma sıcaklıklarında hücre zarının erimesi sonucu önemi kalmamakla birlikte ek bir maliyete sebep olması da vurgulanması gereken ayrı bir konudur. Bu derlemede, çeşitli meyve ve sebzelere kurutma öncesi uygulanan PEF ön işleminin etkileri değerlendirildiğinde gıdanın renk özellikleri, tekstür ve besinsel içeriğinin genelde korunduğu sonucuna varılmaktadır. Ürünlerde daha kaliteli kurutma sağlamak amacıyla PEF'in sağladığı optimum şartlar tespit edilmeli ve bu tekniğin kurutma proseslerinde kullanımının yaygınlaştırılması sağlanmalıdır.

ÇIKAR ÇATIŞMASI BEYANI

Yazarlar arasında çıkar çatışması bulunmamaktadır.

YAZAR KATKILARI

Makalenin derlenmesinde, yazılmasında ve yayınlanmasında tüm yazarlar katkı sağlamışlardır.

KAYNAKLAR

Abbaspour-gilandeh, Y., Kaveh, M., Fatemi, H., Hernández-Hernández, J. L., Fuentes-Penna, A., Hernández-Hernández, M. (2020). Evaluation of

- the Changes in Thermal , Qualitative , and Antioxidant Properties of Terebinth (*Pistacia atlantica*) Fruit under Different Drying Methods. *Agronomy*, 10(9), 1378. <https://doi.org/10.3390/agronomy10091378>
- Alam, R., Lyng, J. G., Frontuto, D., Marra, F., Cinquanta, L. (2018). Effect of Pulsed Electric Field Pretreatment on Drying Kinetics, Color, and Texture of Parsnip and Carrot. *J Food Sci*, 83(8), 2159–2166. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.14216>
- Aldemir, S. (2019). Vurgulu elektrik alanı kullanılarak nanenin esmerleştirilmesi ve yöntemin “Siyah nane çayı” ürünü geliştirilmesinde potansiyelinin incelenmesi. Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, Kayseri, Türkiye, 92 s.
- Ando, Y., Mizutani, K., Wakatsuki, N. (2014). Electrical impedance analysis of potato tissues during drying. *J Food Eng*, 121(1), 24–31. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2013.08.008>
- Angersbach, A., Heinz, V., Knorr, D. (1999). Electrophysiological Model of Intact and Processed Plant Tissues: Cell Disintegration Criteria. *Biotechnol Prog*, 15(4), 753–762. <https://doi.org/10.1021/bp990079f>
- Ariza-gracia, M. Á., Cabello, M. P., Cebrián, G., Calvo, B., Álvarez, I. (2020). Experimental and computational analysis of microbial inactivation in a solid by ohmic heating using pulsed electric fields. *Innov Food Sci Emerg Technol*, 65(2), 102440. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2020.102440>
- Bozkir, H. (2020). Effects of hot air , vacuum infrared , and vacuum microwave dryers on the drying kinetics and quality characteristics of orange slices. *J Food Process Eng*, 43(10), 1–12. <https://doi.org/10.1111/jfpe.13485>
- 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. <https://doi.org/10.1007/s13197-018-3142-x>
- Chen, Q., Li, Z., Bi, J., Zhou, L., Yi, J., Wu, X. (2017). Effect of hybrid drying methods on physicochemical , nutritional and antioxidant properties of dried black mulberry. *LWT - Food Sci Technol*, 80(2), 178–184. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.02.017>
- Demiray, E., Tulek, Y. (2017). Degradation kinetics of β -carotene in carrot slices during convective drying. *Int J Food Prop*, 20(1), 151–156. <https://doi.org/10.1080/10942912.2016.1147460> Degradation
- Dermesonlouoglou, E., Chalkia, A., Dimopoulos, G., Taoukis, P. S. (2018). Combined effect of pulsed electric field and osmotic dehydration pretreatments on mass transfer and quality of air dried goji berry. *Innov Food Sci Emerg Technol*, 49(39), 106–115. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2018.08.003>
- Dziki, D. (2020). Recent Trends in Pretreatment of Food before Freeze-Drying. *Processes*, 8(12), 1661. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/pr8121661>
- Emanuel, E., Dubrovin, I., Hanya, E., Pinhasi, G. A., Pogreb, R., Cahan, R. (2020). Eradication of *Saccharomyces cerevisiae* by Pulsed Electric Field Treatments. *Microorganisms*, 8(11), 1684. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/microorganisms8111684>
- Eshtiaghi, M. N., Knorr, D. (2002). High electric field pulse pretreatment: Potential for sugar beet processing. *J Food Eng*, 52(3), 265–272. [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(01\)00114-5](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(01)00114-5)
- Fauster, T., Giancaterino, M., Pittia, P., Jaeger, H. (2020). Effect of pulsed electric field pretreatment on shrinkage , rehydration capacity and texture of freeze-dried plant materials. *LWT - Food Sci Technol*, 121, 108937. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108937>
- Fincan, M. (2015). Extractability of phenolics from spearmint treated with pulsed electric field. *J Food Eng*, 162, 31–37. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2015.04.004>
- Foster, K. R. (2008). Dielectric Properties of Tissues. In: *Encyclopedia of Biomaterials and Biomedical Engineering* (2nd ed.), W. Gary B. Gary

- (Eds.), CRC Press, Pennsylvania, USA, pp. 832-842.
- Gaylor, D. C., Prakah-Asante, K., Lee, R. C. (1988). Significance of Cell Size and Tissue Structure in Electrical Trauma. *J Theor Biol*, 133(2), 223–237. [https://doi.org/10.1016/S0022-5193\(88\)80007-9](https://doi.org/10.1016/S0022-5193(88)80007-9)
- Ghafoor, K., Juhaimi, F. A., Özcan, M. M., Uslu, N., Babiker, E. E., Ahmed, I. A. M. (2020). Total phenolics , total carotenoids , individual phenolics and antioxidant activity of ginger (*Zingiber officinale*) rhizome as affected by drying methods. *LWT - Food Sci Technol*, 126, 109354. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109354>
- Grabowska, J., Marcin, K. (2021). Bioactive compounds, antioxidant activity, and sensory qualities of red-fleshed apples dried by different methods. *LWT - Food Sci Technol*, 136, 110302. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110302>
- Grimi, N., Mamouni, F., Lebovka, N., Vorobiev, E., Vaxelaire, J. (2010). Acoustic impulse response in apple tissues treated by pulsed electric field. *Biosyst Eng*, 105(2), 266–272. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2009.11.005>
- Guclu, G., Keser, D., Kelebek, H., Keskin, M., Sekerli, Y. E., Soysal, Y., Selli, S. (2021). Impact of production and drying methods on the volatile and phenolic characteristics of fresh and powdered sweet red peppers. *Food Chem*, 338, 128129. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128129>
- Hamid, H., Thakur, N. S., Thakur, A., Kumar, P. (2020). Effect of different drying modes on phenolics and antioxidant potential of different parts of wild pomegranate fruits. *Sci Horti*, 274, 109656. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109656>
- Huang, W., Feng, Z., Aila, R., Hou, Y., Carne, A., Bekhit, A. E.-D. A. (2019). Effect of pulsed electric fields (PEF) on physico-chemical properties, β -carotene and antioxidant activity of air-dried apricots. *Food Chem*, 291, 253–262. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.04.021>
- Hülshleger, H., Potel, J., Niemann, E. G. (1981). Killing of Bacteria with Electric Pulses of High Field Strength. *Radiat Environ Biophys*, 20(1), 53–65. <https://doi.org/10.1007/BF01323926>
- Izli, N., Izli, G., Taskın, O. (2017a). Drying kinetics , colour , total phenolic content and antioxidant capacity properties of kiwi dried by different methods. *J Food Meas Charact*, 11(1), 64–74. <https://doi.org/10.1007/s11694-016-9372-6>
- Izli, N., Izli, G., Taskın, O. (2017b). Influence of different drying techniques on drying parameters of mango. *Food Sci Technol*, 37(4), 604–612. <https://doi.org/10.1590/1678-457X.28316>
- Janositz, A., Noack, A.-K., Knorr, D. (2011). Pulsed electric fields and their impact on the diffusion characteristics of potato slices. *LWT - Food Sci Technol*, 44(9), 1939–1945. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2011.04.006>
- Kakı, H. İ., Balkan, B., Akar, M., Font, A., Güler, F. K., Kalenderli, Ö. (2014). Darbeli Elektrik Alan Uygulamasının Sıvı Gıdaların Pastörizasyonunda Kullanımı. Eleco 2014 Elektrik-Elektronik-Bilgisayar ve Biyomedikal Mühendisliği Sempozyumu, 27 – 29 Kasım 2014, Bursa, Türkiye, s. 230-234.
- Kandušer, M., Miklavčič, D. (2008). Electroporation in Biological Cell and Tissue: An Overview. In: *Electrotechnologies for Extraction from Food Plants and Biomaterials*, E. Vorobiev N. I. Lebovka (Eds.), Springer, New York, NY, pp.1-37.
- Kempkes, M., Simpson, R. (2018). Pulsed Electric Field (PEF) Processing of Fruit and Vegetables. IEEE International Power Modulator and High Voltage Conference (IPMHVC), 3-7 June 2018, Jackson, WY, USA, pp. 499-503.
- Kerr, W. L., Varner, A. (2020). Chemical and physical properties of vacuum-dried red beetroot (*Beta vulgaris*) powders compared to other drying methods. *Dry Technol*, 38(9), 1165–1174. <https://doi.org/10.1080/07373937.2019.1619573>
- Khan, M. I. H., Nagy, S. A., Karim, M. A. (2018). Transport of cellular water during drying: An understanding of cell rupturing mechanism in

- apple tissue. *Food Res Int*, 105, 772–781. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.12.010>
- Knorr, D., Angersbach, A. (1998). Impact of high-intensity electric field pulses on plant membrane permeabilization. *Trends Food Sci Technol*, 9(5), 185–191. [https://doi.org/10.1016/S0924-2244\(98\)00040-5](https://doi.org/10.1016/S0924-2244(98)00040-5)
- Koç, G. Ç. (2020). The effect of different drying techniques and microwave finish drying on the powder properties of the red pepper powder (*Capsicum annuum* L.). *J Food Sci Technol*, 57(12), 4576–4587. <https://doi.org/10.1007/s13197-020-04496-1>
- Kotnik, T., Rems, L., Tarek, M., Miklavčič, D. (2019). Membrane Electroporation and Electroporeabilization: Mechanisms and Models. *Annu Rev Biophys*, 48, 63–91. <https://doi.org/https://doi.org/10.1146/annurev-biophys-052118-115451>
- Lammerskitten, A., Shorstkii, I., Parniakov, O., Mykhailyk, V., Toepfl, S., Rybak, K., Dadan, M., Nowacka, M., Wiktor, A. (2020). The effect of different methods of mango drying assisted by a pulsed electric field on chemical and physical properties. *J Food Process Preserv*, 44(12), 1–9. <https://doi.org/10.1111/jfpp.14973>
- Lammerskitten, A., Wiktor, A., Mykhailyk, V., Samborska, K., Gondek, E., Witrowa-rajchert, D., Toepfl, S., Parniakov, O. (2020). Pulsed electric field pre-treatment improves microstructure and crunchiness of freeze-dried plant materials: Case of strawberry. *LWT - Food Sci Technol*, 134, 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110266>
- Lammerskitten, A., Wiktor, A., Siemer, C., Toepfl, S., Mykhailyk, V., Gondek, E., Rybak, K., Witrowa-rajchert, D., Parniakov, O. (2019). The effects of pulsed electric fields on the quality parameters of freeze-dried apples. *J Food Eng*, 252, 36–43. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2019.02.006>
- Lebovka, N. I., Bazhal, M. I., Vorobiev, E. (2002). Estimation of characteristic damage time of food materials in pulsed-electric fields. *J Food Eng*, 54(4), 337–346. [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(01\)00220-5](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(01)00220-5)
- Leiton-Ramírez, Y. M., Ayala-Aponte, A., Ochoa-Martínez, C. I. (2020). Physicochemical Properties of Guava Snacks as Affected by Drying Technology. *Processes*, 8(1), 106. <https://doi.org/10.3390/pr8010106>
- Lewicki, P. P., Pawlak, G. (2003). Effect of Drying on Microstructure of Plant Tissue. *Dry Technol*, 21(4), 657–683. <https://doi.org/10.1081/DRT-120019057>
- Liu, C., Grimi, N., Lebovka, N., Vorobiev, E. (2018a). Effects of preliminary treatment by pulsed electric fields and convective air-drying on characteristics of fried potato. *Innov Food Sci Emerg Technol*, 47(2), 454–460. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2018.04.011>
- Liu, C., Grimi, N., Lebovka, N., Vorobiev, E. (2018b). Effects of pulsed electric fields treatment on vacuum drying of potato tissue. *LWT - Food Sci Technol*, 95, 289–294. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.04.090>
- Liu, C., Vorobiev, E., Grimi, N., Pirozzi, A., Ferrari, G. (2020). Effects of Pulsed Electric Fields on Vacuum Drying and Quality Characteristics of Dried Carrot. *Food Bioproc Technol*, 13(1), 45–52. <https://doi.org/10.1007/s11947-019-02364-1>
- Liu, Y., Duan, Z., Sabadash, S. (2020). Effect of hot air drying temperatures on drying characteristics and physicochemical properties of beetroot (*Beta vulgaris*) slices. *IOP Conf Ser: Earth Environ Sci*, 615, 012099. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/615/1/012099>
- Llavata, B., García-Pérez, J. V., Simal, S., Cárcel, J. A. (2019). Innovative pre-treatments to enhance food drying: a current review. *J Food Sci*, 35, 20–26. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2019.12.001>
- Maor, E., Sugrue, A., Witt, C., Vaidya, V. R., Desimone, C. V., Asirvatham, S. J., Kapa, S. (2021). Pulsed electric fields for cardiac ablation and beyond: A state-of-the-art review. *Heart Rhythm*, 16(7), 1112–1120. <https://doi.org/10.1016/j.hrthm.2019.01.012>

- Mierzwa, D., Pawlowski, A. (2017). Convective drying of potatoes assisted by microwave and infrared radiation-process kinetics and quality aspects. *J Food Nutr Res*, 56(4), 351–361.
- Morren, J., Roodenburg, B., de Haan, S. W. H. (2003). Electrochemical reactions and electrode corrosion in pulsed electric field (PEF) treatment chambers. *Innov Food Sci Emerg Technol*, 4(3), 285–295. [https://doi.org/10.1016/S1466-8564\(03\)00041-9](https://doi.org/10.1016/S1466-8564(03)00041-9)
- Mousakhani-ganjeh, A., Amiri, A., Nasrollahzadeh, F., Wiktor, A., Nilghaz, A., Pratap-Singh, A., Khaneghah, M. A. (2021). Electro-based technologies in food drying - A comprehensive review. *LWT - Food Sci Technol*, 145, 111315. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111315>
- Nawirska-Olszańska, A., Stępień, B., Biesiada, A., Kolniak-Ostek, J., Oziembłowski, M. (2017). Rheological, Chemical and Physical Characteristics of Golden Berry (*Physalis peruviana* L.) after Convective and Microwave Drying. *Foods*, 6(8), 60. <https://doi.org/10.3390/foods6080060>
- Nemzer, B., Vargas, L., Xia, X., Sintara, M., Feng, H. (2018). Phytochemical and physical properties of blueberries , tart cherries , strawberries , and cranberries as affected by different drying methods. *Food Chem*, 262(4), 242–250. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.04.047>
- Neri, L., Giancaterino, M., Rocchi, R., Tylewicz, U., Valbonetti, L., Faieta, M., Pittia, P. (2021). Pulsed electric fields (PEF) as hot air drying pre-treatment: Effect on quality and functional properties of saffron (*Crocus sativus* L.). *Innov Food Sci Emerg Technol*, 67, 102592. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2020.102592>
- Onwude, D. I., Hashim, N., Janius, R., Abdan, K., Chen, G., Oladejo, A. O. (2017). Non-thermal hybrid drying of fruits and vegetables : A review of current technologies. *Innov Food Sci Emerg Technol*, 43, 223–238. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2017.08.010>
- Ostermeier, R., Giersemehl, P., Siemer, C., Töpfl, S., Jäger, H. (2018). Influence of pulsed electric field (PEF) pre-treatment on the convective drying kinetics of onions. *J Food Eng*, 237, 110–117. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2018.05.010>
- Ostermeier, R., Parniakov, O., Töpfl, S., Jäger, H. (2020). Applicability of Pulsed Electric Field (PEF) Pre-Treatment for a Convective Two-Step Drying Process. *Foods*, 9(4), 512. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/foods9040512>
- Pakhomova, O. N., Khorokhorina, V. A., Bowman, A. M., Rodaitė-Riševičienė, R., Saulis, G., Xiao, S., Pakhomov, Andrei, G. (2012). Oxidative effects of nanosecond pulsed electric field exposure in cells and cell-free media. *Arch Biochem Biophys*, 527(1), 55–64. <https://doi.org/10.1016/j.abb.2012.08.004>
- Radojčin, M., Pavkov, I., Kovačević, D. B., Putnik, P., Wiktor, A., Stamenković, Z., Kešelj, K., Gere, A. (2021). Effect of Selected Drying Methods and Emerging Drying Intensification Technologies on the Quality of Dried Fruit: A Review. *Processes*, 9(1), 132. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/pr9010132>
- Rahaman, A., Siddeeg, A., Manzoor, M. F., Zeng, X.-A., Ali, S., Baloch, Z., Li, J., Wen, Q.-H. (2019). Impact of pulsed electric field treatment on drying kinetics , mass transfer , colour parameters and microstructure of plum. *J Food Sci Technol*, 56(5), 2670–2678. <https://doi.org/10.1007/s13197-019-03755-0>
- Ramaswamy, R., Ramachandran, R. P. (2017). Electric Field Analysis of Different Compact Electrodes for Pulsed Electric Field Applications in Liquid Food. IEEE International Power Modulator and High Voltage Conference (IPMHVC), 6-9 July 2016, San Francisco, CA, USA, pp. 160-165.
- Rols, M., Teissie, J. (1990). Modulation of Electrically Induced Permeabilization and Fusion of Chinese Hamster Ovary Cells by Osmotic Pressure. *Biochemistry*, 29(19), 4561–4567. <https://doi.org/10.1021/bi00471a009>
- Rubin, A. E., Usta, O. B., Schloss, R., Yarmush, M., Golberg, A. (2018). Selective Inactivation of

- Pseudomonas aeruginosa* and *Staphylococcus epidermidis* with Pulsed Electric Fields and Antibiotics. *Adv Wound Care*, 8(4), 136–148. <https://doi.org/10.1089/wound.2018.0819>
- Rybak, K., Samborska, K., Jedlinska, A., Parniakov, O., Nowacka, M., Witrowa-rajchert, D., Wiktor, A. (2020). The impact of pulsed electric field pretreatment of bell pepper on the selected properties of spray dried juice. *Innov Food Sci Emerg Technol*, 65, 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2020.102446>
- Sagar, V. R., Kumar, P. S. (2010). Recent advances in drying and dehydration of fruits and vegetables: a review. *J Food Sci Technol*, 47(1), 15–26. <https://doi.org/10.1007/s13197-010-0010-8>
- Sehrawat, R., Nema, P. K., Kaur, B. P. (2018). Quality evaluation and drying characteristics of mango cubes dried using low-pressure superheated steam, vacuum and hot air drying methods. *LWT - Food Sci Technol*, 92, 548–555. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.03.012>
- Shabbir, M. A., Ahmed, H., Maan, A. A., Rehman, A., Afraz, M. T., Iqbal, M. W., Khan, I. M., Amir, R. M., Ashraf, W., Khan, M. R., Aadil, R. M. (2020). Effect of non-thermal processing techniques on pathogenic and spoilage microorganisms of milk and milk products. *Food Sci Technol*, 41(2), 279–294. <https://doi.org/10.1590/fst.05820>
- Silve, A., Leray, I., Poignard, C., Mir, L. M. (2016). Impact of external medium conductivity on cell membrane electroporation by microsecond and nanosecond electric pulses. *Sci Rep*, 6(1), 1–15. <https://doi.org/10.1038/srep19957>
- Smith, J. C., Biasi, W. V., Holstege, D., Mitcham, E. J. (2018). Effect of Passive Drying on Ascorbic Acid, α -Tocopherol, and β -Carotene in Tomato and Mango. *J Food Sci*, 83(5), 1412–1421. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.14118>
- Soliva-fortuny, R., Balasa, A., Knorr, D., Martin-Belloso, O. (2009). Effects of pulsed electric fields on bioactive compounds in foods: a review. *Trends Food Sci Technol*, 20(11-12), 544–556. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2009.07.003>
- Szadzińska, J., Lechtańska, J., Kowalski, S. J., Stasiak, M. (2017). The effect of high power airborne ultrasound and microwaves on convective drying effectiveness and quality of green pepper. *Ultrason Sonochem*, 34, 531–539. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2016.06.030>
- Takougnadi, E., Boroze, T.-E. T., Azouma, O. Y. (2020). Effects of drying conditions on energy consumption and the nutritional and organoleptic quality of dried bananas. *J Food Eng*, 268(1), 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2019.109747>
- Telfser, A., Galindo, F. G. (2019). Effect of reversible permeabilization in combination with different drying methods on the structure and sensorial quality of dried basil (*Ocimum basilicum* L.) leaves. *LWT - Food Sci Technol*, 99(11), 148–155. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.09.062>
- Tylewicz, U., Oliveira, G., Alminger, M., Nohynek, L., Rosa, M. D., Romani, S. (2020). Antioxidant and antimicrobial properties of organic fruits subjected to PEF- assisted osmotic dehydration. *Innov Food Sci Emerg Technol*, 62, 102341. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2020.102341>
- Wang, X., Gao, Y., Zhao, Y., Li, X., Fan, J., Wang, L. (2020). Effect of different drying methods on the quality and microstructure of fresh jujube crisp slices. *J Food Process Preserv*, 45(2), 1–9. <https://doi.org/10.1111/jfpp.15162>
- Wiktor, A., Sledz, M., Nowacka, M., Rybak, K., Chudoba, T., Lojkowski, W., Witrowa-rajchert, D. (2015). The impact of pulsed electric field treatment on selected bioactive compound content and color of plant tissue. *Innov Food Sci Emerg Technol*, 30, 69–78. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2015.04.004>
- Wojdyło, A., Lech, K., Nowicka, P., Hernandez, F., Figiel, A., Carbonell-Barrachina, A. A. (2019). Influence of Different Drying Techniques on Phenolic Compounds, Antioxidant Capacity and Colour of *Ziziphus jujube* Mill. Fruits. *Molecules*, 24(13), 2361. <https://doi.org/10.3390/molecules24132361>
- Wu, X., Wang, C., Guo, Y. (2020). Effects of the high-pulsed electric field pretreatment on the mechanical properties of fruits and vegetables. *J*

- Food Eng*, 274, 109837. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2019.109837>
- Wu, Y., Zhang, D. (2019). Pulsed electric field enhanced freeze-drying of apple tissue. *Czech J Food Sci*, 37(6), 432–438. <https://doi.org/10.17221/230/2018-CJFS>
- Xu, X., Chen, Y., Zhang, R., Miao, X., Chen, X. (2018). Activation of Anti-tumor Immune Response by Ablation of HCC with Nanosecond Pulsed Electric Field. *J Clin Transl Hepatol*, 6(1), 85–88. <https://doi.org/10.14218/JCTH.2017.00042>
- Xu, Y., Xiao, Y., Lagnika, C., Song, J., Li, D., Liu, C., Jiang, N., Zhang, M., Duan, X. (2020). A comparative study of drying methods on physical characteristics, nutritional properties and antioxidant capacity of broccoli. *Dry Technol*, 38(10), 1378–1388. <https://doi.org/10.1080/07373937.2019.1656642>
- Yamada, T., Yamakage, K., Takahashi, K., Takaki, K., Orikasa, T., Aoki, H., Kamagata, J. (2020). Influence of Drying Rate on Hot Air Drying Processing of Fresh Foods Using Pulsed Electric Field. *IEEEJ Trans Elec Electron Eng*, 15(7), 1123–1125. <https://doi.org/10.1002/tee.23158>
- Yarmush, M. L., Golberg, A., Kotnik, T., Serša, G., Miklavčič, D. (2014). Electroporation-Based Technologies for Medicine: Principles, Applications, and Challenges. *Annu Rev Biomed Eng*, 16, 295–320. <https://doi.org/10.1146/annurev-bioeng-071813-104622>
- Yu, Y., Jin, T. Z., Fan, X., Wu, J. (2018). Biochemical degradation and physical migration of polyphenolic compounds in osmotic dehydrated blueberries with pulsed electric field and thermal pretreatments. *Food Chem*, 15(239), 1219–1225. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.07.071>
- Yu, Y., Jin, T. Z., Xiao, G. (2017). Effects of pulsed electric fields pretreatment and drying method on drying characteristics and nutritive quality of blueberries. *J Food Process Preserv*, 41(6), 1–9. <https://doi.org/10.1111/jfpp.13303>
- Zhang, S., Yang, R., Zhao, W., Liang, Q., Zhang, Z. (2011). The first ESR observation of radical species generated under pulsed electric fields processing. *LWT - Food Sci Technol*, 44(4), 1233–1235. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2010.11.016>
- Zhang, Z., Zhang, B., Yang, R., Zhao, W. (2020). Recent Developments in the Preservation of Raw Fresh Food by Pulsed Electric Field. *Food Rev Int*, 00(00), 1–19. <https://doi.org/10.1080/87559129.2020.1860083>
- Zhao, J., Chen, S., Zhu, L., Zhang, L., Liu, J., Xu, D., Tian, G., Jiang, T. (2021). Antitumor Effect and Immune Response of Nanosecond Pulsed Electric Fields in Pancreatic Cancer. *Front Oncol*, 10, 621092. <https://doi.org/10.3389/fonc.2020.621092>
- Zimmermann, U. (1986). Electrical Breakdown, Electroporation and Electrofusion. *Rev Physiol Biochem Pharmacol*, 105, 176–250. <https://doi.org/10.1007/BFb0034499>