



Gıda İşlemede Isısal Olmayan Uygulamalar: Vurgulu Elektrik Alan

Non-thermal Applications in Food Processing: Pulsed Electric Field

Fatma Kevser ERAFŞAR¹ ve İnci ÇINAR²

¹ Yüksek Lisans Öğrencisi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniv., FBE, Kahramanmaraş

² Yrd.Doç.Dr., Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniv., Mühendislik-Mimarlık Fak., Gıda Mühendisliği Böl.

Özet

Son yıllarda gıda işleme endüstrisi daha yüksek besinsel kalite, daha uzun raf ömrü ve tazesine daha yakın nitelikte ürünler sağlayan ısısal olmayan işleme teknikleri üzerinde yoğunlaşmıştır. Gıda kalitesi ve işleme maliyetleri sebebiyle vurgulu elektrik alan (VEA) ısısal olmayan teknikler arasında uygulaması her geçen gün artan bir teknik olmuştur. VEA uygulaması elektrik yükü içeren gıdaya çok kısa süreli olarak elektrotlarla yüksek elektrik alandan kısa vurgular uygulanması esasına dayanmaktadır. Bu teknik, yüksek sıcaklık uygulamalarına gerek duymadığından, termal yöntemlere göre duyu ve besinsel kalitenin daha iyi korunmasını sağlamaktadır. VEA işleme parametreleri ve gıdanın niteliklerine bağlı olarak mikrobiyal inhibisyon ve inaktivasyonda, enzim inaktivasyonunda, dehidrasyonda ve ekstraksiyonda etkili biçimde kullanılabilir. Bu çalışmada VEA uygulamaları ve ekipmanları ile konuyla ilgili son yıllarda yapılan çalışmalar hakkında temel bilgilerin verilmesi amaçlanmaktadır.

Anahtar kelimeler: Isısal Olmayan Prosesler, Vurgulu Elektrik Alan, İnaktivasyon, Dehidrasyon, Ekstraksiyon.

Abstract

In recent years, target of food processing industry has been shifted towards non-thermal processes which provide high nutritional value, extended shelf-life and fresh-like properties to the processed foods. Among others, pulsed electric field (PEF) is an emerging technique due to its impacts on food quality and processing costs. PEF application is based on a treatment of short pulses of high electric field into a food which possesses charged molecules in a fairly short times by the use of electrodes. Elimination of elevated processing temperatures provides better sensorial and nutritional quality as compared to thermal processes. Depending on the processing parameters and properties of food, PEF technique is effective in inhibition and inactivation of microbial growth, enzyme inactivation, dehydration and extraction. Present study aims to give brief information on the basic concepts of PEF applications, equipments and recent studies in the literature.

Keywords: Non- Thermal Processes, Pulsed Electric Field, İnactivation, Dehydration, Extraction.

1.Giriş

Artan tüketici bilinci ve daha sağlıklı, kaliteli, besinsel içeriğini koruyan ve mikrobiyal açıdan güvenilir gıdaların üretimi için sterilizasyon, pastörizasyon kurutma ve koyulaştırma gibi termal işlemlerin kullanımı oldukça yaygın olmasına rağmen termal işlemlerin gıdanın kimyasal içeriği ile besinsel ve duyu özellikleri üzerinde oluşturduğu bazı olumsuzluklar alternatif ısısal olmayan tekniklerin geliştirilmesine neden olmuştur (Oğuzhan 2013; Yangılar ve ark. 2013; Griffiths ve Walking-Ribeiro 2014; Mohamed ve Eissa 2012; Noci ve ark. 2008). Isısal olmayan tekniklerin başlıcaları kimyasal madde uygulaması (etilen oksit, hidrojen peroksit), yüksek hidrostatik basınç, vurgulu ışık, ultraviyole ışınlama, süperkritik akışkanlar, iyonize radyasyon, ultrasonikasyon, darbeli yüksek yoğunluklu ışık, membran filtrasyon, soğuk atmosferik plazma, ohmik ısıtma ve vurgulu elektrik alandır (Oğuzhan 2013; Griffiths ve Walking-Ribeiro 2014; Mohamed ve Eissa 2012; Chauhan ve Unni 2015; Eroğlu ve Yıldız 2011).

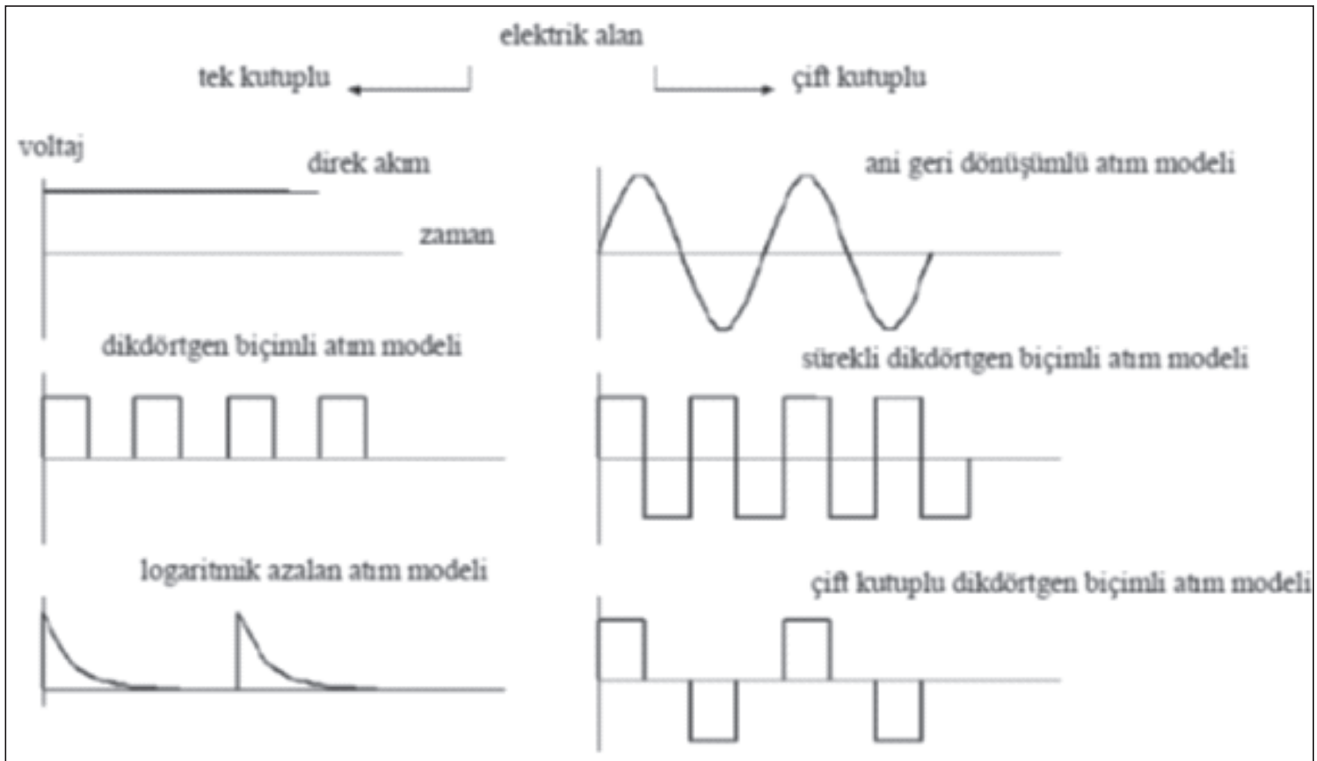
Gürsul (2012) tarafından özetlendiği üzere vurgulu elektrik alanın ilk gıda uygulaması Doevenspeck tarafından faz ayrılmasının iyileştirilmesi için tanımlanmış ve patenti alınmıştır. Sale ve Hamilton tarafından 1960'larda yapılan araştırmalarda vurgulu elektrik alanın mikrobiyal inaktivasyona etkisi incelenmiştir. Bununla birlikte çalışmalar bitki elektroplazmolizi, sıvı yumurtaların pastörizasyonu ve 1980'lerin başında

meyve işleme ile sınırlı kalmıştır. 1980'lerin sonlarında hayvan hücresinden yağ geri kazanımının iyileştirilmesi ve pompalanabilir gıdalarda mikrobiyal inaktivasyona yönelik iki prosesle VEA uygulamaları tekrar hız kazanmıştır.

Vurgulu Elektrik Alan Uygulamasının Prensibi

VEA uygulamasının esası iki elektrot arasına yerleştirilmiş gıdaya mikro saniyelik zaman aralığında yüksek yoğunluklu elektrik alan (10-80 kV/cm) uygulanmasıdır. Ortama verilen yüksek voltajlı elektrik akımı sıvı gıdanın iletken iyon konsantrasyonuna bağlı olarak gıdaya geçmektedir. VEA tekniğinin etkinliği elektrik alan yoğunluğu, uygulama süresi, vurgu sayısı, vurgu dalga şekli, mikroorganizmanın büyüklüğü, büyüme fazı, şekli ve fizyolojik durumu, uygulanacak ürünün bileşimi, sıcaklığı, fiziksel özellikleri, pH'sı ve aw gibi faktörlere bağlıdır (Ağçam 2011; Uysal 2010; Sağdıç ve ark. 2008; Marselles-Fontanet ve Martin-Belloso 2007; Nguyen ve Mittal 2007).

VEA uygulaması hücre zarında yüklü moleküllerin hareket ve yönelimlerinde değişikliklere neden olarak hücre zarının strese girmesine ve deformasyonuna yol açmaktadır (Altuntaş 2007). Uygulama süresinin artırılması mikrobiyal inaktivasyonu arttırmaktadır. Vurgu genişliği arttıkça uygulama süresi de artmakta ve buna bağlı olarak mikrobiyal inaktivasyonda da artış görülmektedir. VEA ile yapılan farklı çalışmalarda 1-100 vurgu sıklığında 15-80 kV/cm'lik elektrik alanın 1-100 μ s süreyle uygulanmasının bakteri ve enzimleri inaktive ettiği görülmüştür (Gürsul 2012; Açı ve ark. 2014; Pataro ve ark. 2014; Seçkin ve Özgören 2011; Jaeger ve ark. 2012; Temiz ve ark. 2008). VEA uygulamalarında amaca uygunluk açısından farklı vurgu modelleri kullanılabilmektedir (Şekil 1).



Şekil 1. Vurgulu elektrik alan teknolojisinde kullanılan farklı vurgu modelleri (Ağçam 2011).

Elektrik alan vurgu modelleri yaygın olarak logaritmik azalan ve kare/dikdörtgen dalgalar şeklindedir. Logaritmik azalma vurgusu voltajın hızla maksimuma yükselip yavaşça sıfırlanması şeklindeyken kare/dikdörtgen dalga vurgusu voltajın hızla maksimuma yükselip belirli süre bu değerde kalarak hızla sıfırlanması şeklindedir (Açı ve ark. 2014). Dikdörtgen vurgu modelinin inaktivasyon etkisinin logaritmik azalan modelden daha yüksek olduğu gözlenmiştir. Bipolar uygulama mikrobiyal inaktivasyonda mono polar uygulamadan daha etkidir.

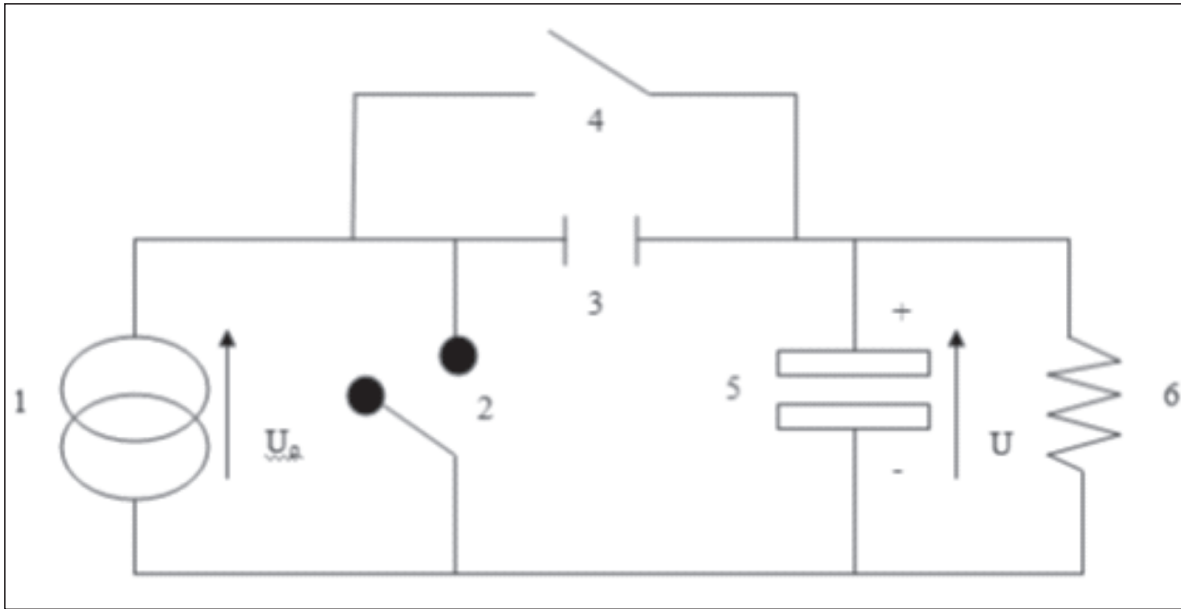
VEA uygulamasında hava kabarcıkları dielektrik bozunmaya sebep olduğu için, çalışmalar düşük elektrik iletkenlikli ve hava kabarcığı içermeyen gıdalarla sınırlandırılmıştır. Küçük partiküller içeren sıvı gıdalar da uygulamada işlenebilir olmasına rağmen partikül boyutu sıvı matris boşluğundan daha küçük olması gerekmektedir. Mikrobiyal inaktivasyonun gerçekleşebilmesi için uygulanması gereken en düşük elektrik alan yoğunluğu olarak tanımlanan kritik elektrik alan yoğunluğunun (E_c) mümkün olduğunca düşük olması istenir.

Yüksek elektrik alan yoğunluğu sıvı işlenen ürünlerde dielektrik bozunma, kıvılcımlanma ve istenmeyen reaksiyonların gelişmesine neden olabilmektedir (Ağçam 2011; Altuntaş 2007). Bozunma elektrostatik sıkıştırma kuvveti ile hücre zarı dengesinin bozulması olarak gerçekleşmekte, artan kuvvetle hücre zarı kalınlığı azalmakta, hücre zarı alanı ile yağ tabakaları arasındaki oran arttığından yağların faz dengesi bozulmakta ve bu durum dielektrik parçalanma teorisi ile açıklanmaktadır.

Vurgulu Elektrik Alan Ekipmanları

Şekil 2’de detaylandırıldığı üzere VEA uygulamasında kullanılan laboratuvar ya da ticari ölçekli ekipmanlar sırasıyla yüksek voltaj oluşturan akım jeneratörü, jeneratör tarafından oluşturulan elektrik enerjisini depolayan kapasitör, örnek haznesi, sıvı gıdanın sistemde taşınmasını sağlayan sıvı taşıma sistemi ile sıcaklık ve vurgu (atım) görüntüleme sistemlerinden oluşmaktadır.

Elektrik akım jeneratörü sistemde biriktirilip depo edilen düşük seviyeli enerjiyi yüksek voltajlı enerji seviyesine yükselterek akım üretmektedir. Üretilen yüksek voltajlı elektrik akımı mikro saniyelerle ifade edilen sürelerde gıdaya iletiildiğinden gıdanın ısınması minimum düzeyde olmaktadır. Örnek haznesinin ısınması hazneye su banyosu içine daldırılmış boruların yerleştirilmesiyle engellenebilmektedir. Vurgulu elektrik alan ile yapılan üretimlerde homojenliği sağlamak için sabit elektrik akımı uygulanması gerekliliğinden yola çıkılarak kesikli ve sürekli çalışan endüstriyel sistemler geliştirilmiştir.



Şekil 2. Logaritmik azalan vurgu üreten PEF sistemi: yüksek voltaj jeneratörü (1), yüksek voltaj anahtarı (2), kapasitör (3), güvenlik anahtarı (4), paralel plaka elektrotlu örnek haznesi (5), kapasitör şarj indüktansı (6), (Gürsul 2012).

Sıvı gıdaların işlenmesinde kullanılan aseptik sistemlerin temel ekipmanları ürün hazırlama tankları, gaz alma ünitesi, ısı değiştiriciler ve paslanmaz çelik taşıma borularıdır. Laboratuvar ölçekli VEA sistemlerinde genellikle bu borulara bağlı VEA uygulamaları sırasında sıcaklık değişimlerinin görüntülediği termokopullar bulunmaktadır. Pilot ve ticari ölçekli vurgulu elektrik alan sistemlerinde sıcaklık kontrolü vurgulu elektrik alan uygulamaları öncesinde ve sonrasında borulu ısı değiştiricilerle sağlanmaktadır. Uygulama haznesinin giriş ve çıkışı ile ısı değiştiricilerin çıkışında bir seri direnç sıcaklık-detektör problemleri yerleştirilebilmektedir. Vurgular yüksek voltajlı problemler, akım monitörleri ve osiloskoplarla görüntülenmektedir (Uysal 2010).

Gıdalarda Kullanım Alanları

VEA teknolojisi tüketicilere yüksek kaliteli gıdalar sunmayı hedefleyen ve uygulaması giderek yaygınlaşan artan bir yöntemdir. Bu alanda yapılan önceki çalışmalar sıvı gıdalarda termal pastörizasyon ve alternatif olarak düşük sıcaklıklarda mikrobiyal ve enzimatik inaktivasyon üzerinde yoğunlaşmaktadır. Bazı çalışmalarda vurgulu elektrik alanın elektroporasyon etkisi araştırılmıştır. Son çalışmalarla gıda proseslerinde meyve suyu veriminin artırılması, kurutma, dondurma, ekstraksiyon işlemlerinde verim ve işlem hızının artırılması, sıvıların dondurulmasında homojen şekillerin elde edilmesi, katı ve yarı katı ürünlerin raf ömürlerinin artırılması ve gıda bileşenlerinin fonksiyonel özelliklerinin değiştirilmesi mümkün olmuştur.

Mikroorganizma İnaktivasyonu

VEA uygulamalarıyla sıvı gıdalara yönelik yapılan çalışmalar genel olarak portakal ve elma suyunda yoğunlaşmış olup kayısı, şeftali, soya sütü, bira, yabanmersini suyu, süt ve süt ürünleri ürünlerinin mikrobiyal ve enzimatik inaktivasyon mekanizması incelenmiştir (Altuntaş 2007). Süt ve süt ürünlerindeki çalışmalar yağsız süt, tam yağlı süt ve yoğurt üzerine yoğunlaşmış ve VEA uygulanan tam yağlı süt ve yağsız sütte 3 ile 6 log'luk azalma görüldüğü bildirilmiştir (Temiz ve ark. 2008). Sıvı gıdalarda mikrobiyal inaktivasyon için genellikle 12-35 kV/cm'lik elektrik alan yoğunluğunda 1-100s'lik kısa vurgular kullanılmaktadır (Yangılar ve ark. 2013).

Liu ve ark. (2015)'nin belirttiği üzere yapılan çalışmalar ısı ve alkali şokların *Staphylococcus aureus*'un vurgulu elektrik alan uygulamasına karşı direncini arttırdığını göstermiştir. Süte 25-35kV/cm elektrik alan yoğunluğu, 100Hz vurgu frekansı ve 8µs bipolar vurgu uygulamasında *Staphylococcus aureus* sayısında 4,5 log'luk azalma görülmüştür (Yu 2009). Craven ve ark. (2008) 55°C'ye ısıtılmış UHT süte ilave edilen *Pseudomonas* izolatlarının 31 kV/cm'lik vurgulu elektrik alanın 20 ms süreyle uygulanmasının raf ömrüne etkisini araştırmışlar ve psikrofil bakteriler için en az 5 log'luk azalma gözlemlemişlerdir. Muamele yapılmamış süütün raf ömrü 4°C'de 8 gün iken muamele gruplarının (103-105 CFU mL⁻¹ ilave edilen izolat seviyeleri) raf ömrü sırasıyla 13-11 gün olarak bulunmuştur. Chauhan ve Unni (2015) ise elma, üzüm ve portakal-havuç suyuna farklı sıcaklık (10-35°C), akış hızı (3-60mL/dak), elektrik alan yoğunluğu (20-35kV/cm) ve vurgu süresi (2,5-125 µs) uygulanmasında farklı mikroorganizmalar için (*E. coli*, *L. plantarum* ve *S. cerevisiae*) 1,3-3,9log'luk azalmalar tespit etmişlerdir.

Enzim İnaktivasyonu

VEA'nın enzim inaktivasyonuna etkileri birçok araştırmaya konu olmuştur. Noci ve ark. (2008) taze elma suyunda UV ışınlar ve vurgulu elektrik alanın renk, pH, briks, enzimatik olmayan esmerleşme indeksi, antioksidan kapasitesi, polifenol oksidaz ve peroksidaz enzim aktiviteleri üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Çalışma sonunda UV ışınlama ve VEA kombinasyonunun son ürün kalitesinin korunması ve enzim inaktivasyonu üzerinde diğer yöntemlere göre daha etkili olduğunu belirlemişlerdir.

Aguilo-Aguayo ve ark. (2008) domates suyuna 35 kV/cm'lik güçte ve 35°C altındaki sıcaklıkta 50-250 Hz vurgu sıklığı ve 1-7 µs vurgu genişliğinde 1000-2000 µs mono ve bipolar vurgu uygulamasının peroksidaz inaktivasyonuna etkilerini yanıt yüzey yöntemi ile çalışmışlar ve bipolar uygulamanın monopolden daha etkili olduğunu, uygulama süresi arttıkça inaktivasyonun arttığını ve vurgu sıklığı ile uygulama süresi arasındaki etkinin istatistiksel olarak önemli olduğunu saptamışlardır. 35 kV/cm güç ve 200 Hz vurgu sıklığında, 7 µs'lik bipolar vurgunun 2000 µs süreyle uygulanmasının peroksidaz inaktivasyonu için yeterli olduğunu ifade etmişlerdir. Domates suyundaki enzim inaktivasyonu için yapılan başka çalışmalarda ise 35 kV/cm güç, 1000 µs işlem süresinde, 250 Hz vurgu sıklığı ve sürekli akış sağlayan eş doğrusal bölmeli 7 µs vurgu genişlikli bipolar kare vurgu uygulamasının pektin metil esterazda %8,3'lük, 35 kV/cm güç, 1911 işlem süresi, 138 Hz vurgu sıklığı ve 7 µs bipolar vurgu uygulanmasında peroksidazda %92'lik, 80 kV/cm güç, 0,5Hz vurgu sıklığında 2 µs vurgu uygulandığında poligalakturonazda %55'lik, 4 µs bipolar kare vurgu uygulandığında ise %64,6'lik inaktivasyonu sağlanmıştır (Aguilo-Aguayo ve ark. 2008; Martin-Belloso ve ark. 2014).

Marselles-Fontanet ve Martin-Belloso (2007)'nin beyaz üzüm suyundaki oksidatif enzimlerin VEA ile inaktivasyonunu üzerine yaptıkları çalışmalarında 35 kV/cm güçte 4 µs bipolar kare vurgu uygulandığında peroksidazda %50'lik inaktivasyon sağlanırken aynı şartlarda polifenol oksidazda %100'lük inaktivasyon sağlanmıştır. Başka bir çalışmada ise üzümdeki polifenol oksidaz aktivitesinin %100 inaktivasyonu için 30 kV/cm güç, 3000 µs işlem süresinde, 600 Hz vurgu sıklığı ile 3,23-4,00-µs bipolar vurgu uygulaması yeterli olmuştur (Odrizola-Serrano ve ark. 2013).

Aguilo-Aguayo ve ark. (2010a)'nın VEA değişkenlerinin karpuz suyundaki peroksidaz ve lipoksigenaz aktivitelerine etkisini belirlemek için yaptıkları çalışmada 35 kV/cm güç, 2000 µs işlem süresi, 114 Hz'ten yüksek vurgu sıklığı ile 7,0 µs bipolar vurgu kullanılarak peroksidazın %100'ü, 35 kV/cm güç, 1000 µs işlem süresi, 220 Hz vurgu sıklığı ile 1,0 µs bipolar vurgu kullanılarak lipoksigenazın %50'sinin inaktif olduğu belirlenmiştir.

Chauhan ve Unni (2015) polifenol oksidaz inaktivasyonunu elma, mantar, armut ve şeftali üzerinde çalışmış ve inaktivasyonun üstel modelle ifade edilebileceğini belirtmişlerdir. Kalıntı polifenol oksidaz aktivitesini mantarda (50 kV/cm güç, 2 µs vurgu genişliği, 30 vurgu) %60, elmada (24 kV/cm güç, 20 µs vurgu genişliği, 300 vurgu) %96, şeftalide (24 kV/cm güç, 20 µs vurgu genişliği, 400 vurgu) %49 ve armutta (22 kV/cm güç, 20 µs vurgu genişliği, 300 vurgu) %30 olarak belirlemişlerdir.

Pastörizasyon

Yapılan araştırmalar sonucunda sıvı gıdaların pastörizasyonu için VEA uygulamasının besinsel özelliklerde olumsuz değişikliklere sebep olmadığı, geleneksel ısı işlemlere göre fiziko-kimyasal ve duyuşal özellikleri daha iyi koruduğu ve daha az enerjiye ihtiyaç gösterdiği belirlenmiştir (Açu ve ark. 2014; Jin ve ark. 2015).

Ağçam (2011) portakal suyuna uyguladıkları farklı şiddette VEA ve termal pastörizasyonun 180 gün 4°C’de depolama sonucu pektin metil esteraz inaktivasyonu, antioksidan aktivite, askorbik asit içeriği, renk, esmerleşme indeksi, HMF miktarı, toplam fenolik ve karotenoid madde, fenolik ve karotenoid bileşikler, mineral madde ve duyuşal özellikler üzerine etkisini araştırmıştır. VEA uygulamaları, dört farklı güç (13,82, 17,06, 21,50 ve 25,26 kV/cm) ve iki farklı uygulama süresinde (1033,9 ve 1206,2 µs) gerçekleştirmiştir. Portakal suyu ile elektrik akımına paralel olarak aynı doğrultuda hareket ettiren eş zamanlı akış uygulama bölmeleri ve bipolar kare dalga boylu elektrik akımı kullanmıştır. Termal pastörizasyon ise 90°C’de, 10 ve 20s olarak uygulanmıştır. VEA uygulanan örneklerde depolama boyunca pektin metil esteraz aktivitesi azalırken termal pastörizasyon uygulanan örneklerde artış olduğu saptanmıştır.

Meyve Suyu Üretimi

VEA uygulamasının meyve suyu verimi ve rengi üzerine etkileri son yıllarda yapılan araştırmalara konu olmuştur. Jaeger ve ark. (2012) tarafından katı-sıvı ayırmada, kayışlı filtre pres, raflı ve bezli pres, hidrolik filtre pres ve dekantör olmak üzere dört farklı sistem ile VEA destekli olarak preslenen elma ve havuç suyunda geri kazanım uygulaması yapılmıştır. Vidalı pres kullanılarak 50-250 kg/h akış oranı ile sürekli eş doğrusal tipi işleme odalarında 3 µs’lik vurgu genişliğine sahip dikdörtgen vurgular kullanılmış ve VEA uygulamasının elma püresinde %0-11’lik ve havuç püresinde ise %8-31’lik meyve suyu verim artışı sağladığı saptanmıştır.

VEA uygulamasının meyve suyu bileşen verimini arttırdığına yönelik diğer bir çalışmada üzümde 0,5 kV/cm güçte 50 vurgu uygulanmış üzüm suyu örneklerinde toplam fenolik bileşen miktarı kontrole kıyasla üzüm suyunda %13 ve posasında %24’lük artış göstermiştir. Toplam fenolik bileşenler 2,4 kV/cm güç ile 20 vurgu uygulandığında ise kontrole kıyasla üzüm suyunda %28 ve posasında %14 artmıştır (Gürsul 2012). Ayrıca farklı çalışmalarda depolama sırasında domates (Vallerdu-Queralt ve ark. 2013), havuç-portakal ve portakal sularında (Ağçam 2011; Odriozola-Serrano ve ark. 2013) karotenoid miktarlarının, domates, çilek (Odriozola-Serrano ve ark. 2013), üzüm (Lopez-Giral ve ark. 2015) ve portakal (Ağçam ve ark. 2014) sularında ise fenolik bileşen miktarlarının ve aroma ve tekstürel özelliklerinin (Ağçam 2011; Aguilo-Aguayo ve ark. 2010b ve 2010a) termal yöntemle göre değişimi incelenmiştir.

Odriozola-Serrano ve ark. (2013) tarafından yapılan çalışmada termal işlem (90°C de 60s) ve VEA (35kV/cm güçte 4µs bipolar vurgu) uygulanan stabilize domates ve çilek sularının 4°C’de 56 günlük depolama sonundaki fenolik asit ve flavonol değerleri kıyaslanmış ve klorojenik asit (%79- %86), ferulik asit (%69-%67), p-kumarik asit (%53-%53), kafeik asit (%118-%132), kuersetin (%64-%80), kaempferol (%75-%82) ve çilek suyunda p-hidroksibenzoik asit (%59-%67), p-kumarik asit (%79-%88), elajik asit (%108-%117), kuersetin (%54-%44) ve kaempferol (%82-%89) değerlerinde genel olarak VEA uygulaması ile daha yüksek sonuçlar gözlenmiştir.

Aguilo-Aguayo ve ark. (2009) çilek, domates ve karpuz sularına yüksek yoğunluklu VEA uygulandığında rengin termal işlenen (90°C’de 60s) veya ham meyve sularına kıyasla daha iyi korunduğunu ve HMF değerinin daha düşük olduğunu saptamışlardır. Diğer bir çalışmalarında ise karpuz sularında 4°C’de 56günlük depolama boyunca aroma bileşenlerini korumak amacıyla geleneksel ısı işleme (90°C’de 30-90s) alternatif olarak VEA (35kV/cm güçte 1727µs süreyle 188 vurgu sıklığında 4µs bipolar vurgu) uygulamasını incelemişler ve yapılan uygulamalardan bağımsız olarak uçucu bileşenlerin zamanla azaldığını ancak VEA uygulaması ile aroma bileşenlerinin daha iyi korunduğunu tespit etmişlerdir (Aguilo-Aguayo ve ark. 2010b). Vallverdu-Queralt ve ark (2013) orta (1kV/cm güç, 4 µs monopolar vurgu, 16 vurgu sayısı ve 0,1 Hz vurgu frekansı) ve yüksek (35 kV/cm, 1500 µs, 4 µs bipolar kare dalga vurgu ve 100 Hz) yoğunluklu VEA uygulanan domates suyu ile termal işlenmiş (90°C, 60s) domates suyu örneklerinin karotenoid içeriklerini inceledikleri çalışmada 4°C’de 56günlük bir depolama sonunda orta yoğunluklu VEA uygulanan domates suyunda 15-cislikopen içeriğinde %63–65’lik artış gözlenmiştir. Yüksek yoğunluklu VEA uygulanan domates sularında karotenoid içeriğinin termal işlenmiş ve işlem görmemiş domates sularından %10-20 daha yüksek olduğu saptanmıştır.

Kurutma

Angersbach ve Knorr tarafından 1997’de yapılan çalışmada patates küplerinde (1x1x1 cm) hücre içi su salınımlarında 1.5 ve 3.0 kV/cm güç ve 15- 30 vurgu sayısı ile optimum şartlar sağlanmıştır. Düşük özgül enerjide (6,4-16,2 kJ/kg) maksimum su salınımı (%29) gözlenmiştir. Ade-Omowaye ve ark. (2001) tarafından yapılan çalışmada 1m/s hava hızındaki akışkan yataklı kurutucuda (60°C’de, 6saat) kırmızıbiberin dehidrasyonunda 1cm uzunluktaki biber dilimlerine suda ağartma (kaynar suda 3dak), kabuk soyma (25-35°C’de %5’lik NaOH ile) işlemleri, yüksek hidrostatik basınç (25°C’de, 10 dak, 400MPa) ve VEA (24 kV/cm güç, 10 üstel vurgu, 300µs) olmak üzere farklı ön işlemler uygulanmıştır. VEA uygulanmış numuneler kontrol ile kıyaslandığında kurutma süresinde %25’lik bir azalma olduğu gözlenmiştir. Diğer bir çalışmada hindistan cevizi işlemede ön işlem olarak kullanılan VEA uygulamasında (0,1–2,5 kV/cm güç, 575 µs ve 1Hz vurgu frekansı ile 0-200 adet vurgu) kurutma süresinde yaklaşık %22’lik bir azalma gözlenmiştir (Chauhan ve Unni 2015).

Dondurma

Jalte ve ark. (2009) patates örneklerine (26mm çap, 10mm yüksekliğinde) 10-4 ve 0,3s arasında çeşitli sürelerde vurgulu elektrik alan (400 V/cm) uygulayarak doku hasar derecesini elektrik iletkenliğindeki değişim ile ifade etmişlerdir. Tüm örnekler -35° C’de 2m/s hızdaki hava üfleli dondurucu ile 0,04mbar basınçta ve 0°C’de dondurulmuş ve VEA uygulanmıştır. Bu işlemlerin sonucunda örneklerde donma süresinin kısaldığı ancak doku hasarının arttığı gözlemlenmiştir.

Mok ve ark. (2015) yaptıkları çalışmada gıdaların dondurulmasında VEA ve statik manyetik alan (SMF) teknolojilerinin kombinasyonlarının etkinliğini incelemek amacıyla %0,9’luk NaCl çözeltisini 1,78 V/cm elektrik alan yoğunluğu, 0,5 yük oranı, 0-20Hz vurgu frekansında VEA ve farklı statik manyetik alan (itme-çekme) koşullarında dondurmuşlardır. Kombine vurgulu elektrik alan (1,78V/cm elektrik alan yoğunluğu, 20Hz vurgu frekansı) ve itme statik manyetik alan teknolojileri ile -20°C’deki donma noktasında kısa geçiş fazındaki buz kristallerinin en küçük ortalama boyutunu ve homojen yuvarlak şekillerini elde etmişlerdir.

2. Sonuç

Son yıllarda daha sağlıklı bir yaşam hedefleyen tüketici tercihleri sebebiyle gıda endüstrisi daha sağlıklı, doğala yakın nitelikte ve besinsel içerik kayıplarının az olduğu yeni üretim tekniklerini hedeflemektedir. Gıdaların işlenmesi sırasında ısıl işlemlerin besinsel değer ve duyu kalite üzerine olumsuz etkileri olduğu bilindiği için muhafaza amacıyla ısısız olmayan proseslere yönelim gözlenmektedir. Bu anlamda VEA uygulamaları popülerite kazanmaktadır. Son çalışmalar ışığında bu uygulama gıda işlemede ana hedefler olan kaliteli, güvenli, sağlıklı ve standart üretim mümkün kılmaktadır.

3. Kaynaklar

- Açu, M., Yerlikaya, O. ve Kınık, Ö., 2014. Gıdalarda ısıl olmayan yeni teknikler ve mikroorganizmalar üzerine etkileri. *Gıda ve Yem Bilimi-Teknolojisi Dergisi/Journal of Food and Feed Science-Technology*, 14:23-35.
- Ade-Omowaye, B.I.O., Rastogi, N.K., Angersbach, A. and Knorr D., 2001. Effects of high hydrostatic pressure or high intensity electrical field pulse pre-treatment on dehydration characteristics of red paprika. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 2(1):1-7.
- Aguilo-Aguayo, I., Soliva-Fortuny, R. and Martin-Belloso, O., 2010a. Impact of high-intensity pulsed electric fields on peroxidase and lipooxygenase activities of watermelon juice. *LWT-Food Science and Technology*, 43(6):897-902.
- Aguilo-Aguayo, I., Soliva-Fortuny, R. and Martin-Belloso, O., 2010b. Color and viscosity of watermelon juice treated by high-intensity pulsed electric fields of heat. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 11(2):299-305.
- Aguilo-Aguayo, I., Montero-Calderon, M., Soliva-Fortuny, R. and Martin-Belloso, O., 2010a. Changes on flavor compounds throughout cold storage of watermelon juice processed by high-intensity pulsed electric fields or heat. *Journal of Food Engineering*, 100(1):43-49.
- Aguilo-Aguayo, I., Montero-Calderon, M., Soliva-Fortuny, R. and Martin-Belloso, O., 2010b. Changes on flavor compounds throughout cold storage of watermelon juice processed by high-intensity pulsed electric fields or heat. *Journal of Food Engineering*, 100(1):43-49.
- Aguilo-Aguayo, I., Odriozola-Serrano, I., Quintao-Teixera, L. J. and Martin-Belloso, O., 2008. Inactivation of tomato juice peroxidase by high-intensity pulsed electric fields as affected by process conditions. *Food Chemistry*, 107(2):949-955.

- Aguilo-Aguayo, I., Soliva-Fortuny, R. and Martin-Belloso, O., 2009. Avoiding non-enzymatic browning by high intensity pulsed electric fields in strawberry, tomato and watermelon juices. *Journal of Food Engineering*, 92:37-43.
- Ağçam, E., 2011. Vurgulu elektrik alan ve ısı işlem uygulamalarının portakal suyunun özellikleri ve raf ömrü üzerine etkileri. Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Ağçam, E., Akyıldız A. ve Akdemir-Evrendilek, G., 2014. Comparison of phenolic compounds of orange juice processed by pulsed electric fields (PEF) and conventional thermal pasteurisation. *Food Chemistry*, 143:354-361.
- Altuntaş, J., 2007. Atımlı elektrik alan (PEF) uygulaması ile vişne suyu kayısı ve şeftali nektarlarının bazı teknolojik özellikleri ve mikrobiyolojik inaktivasyonunun incelenmesi. Mustafa Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Hatay.
- Chauhan, O.P. and Unni, L.E., 2015. Pulsed electric field (PEF) processing of foods and its combination with electron beam processing. *Electron Beam Pasteurisation and Complementary Food Processing Technologies*, 9:157-184.
- Craven, H.M., Swiergon, P., Midgely, S.Ng.J., Versteeg, C., Coventry, M.J. and Wan, J., 2008. Evaluation of pulsed electric field and minimal heat treatments for inactivation of *Pseudomonas* and enhancement of milk shelf-life. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 9(2):211-216.
- Eroğlu, E. ve Yıldız, H., 2011. Gıdaların ozmotik kurutulmasında uygulanan yeni tekniklerin enerji verimliliği bakımından değerlendirilmesi. *Gıda Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 6(2), 41-48.
- Griffiths, M.W. and Walking-Ribeiro M., 2014. Pulsed electric field processing of liquid foods and beverages. *Emerging Technologies for Food Processing*, 7:115-145.
- Gürsul, I. 2012. Vurgulu elektrik alan uygulamalarının domates hücre kültürlerindeki biyoaktif bileşenler üzerine etkisi. Tunceli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tunceli.
- Jaeger, H., Schulz, A., Karapetkov, N. and Knorr, D., 2012. Protective effect of milk constituents and sublethal injuries limiting process effectiveness during PEF inactivation of *LB. Rhamnosus*. *International Journal of Food Microbiology*, 134(1-2):154-161.
- Jalte, M., Lanoiselle, Y.L., Lebovka, N. I. and Varobies, E., 2009. Freezing of potato tissue pre-treated by pulsed electric fields. *LWT-Food Science and Technology*, 42(2):576-580.
- Jin, T.Z., Guo, M. and Zhang, H.Q., 2015. Upscaling from benchtop processing to industrial scale production: More factors to be considered for pulsed electric field food processing. *Journal of Food Engineering*, 146:72-80.
- Liu, Z., Zeng, X., Sun, D., Han, Z. and Aadil, R.M., 2015. Synergistic effect of thermal and pulsed electric field (PEF) treatment on the permeability of soya PC and DPPC vesicles. *Journal of Food Engineering*, 153:124-131.
- Lopez-Giral, N., Gonzalez-Arenzana, L., Gonzalez-Ferrero, C., Lopez, R., Santamaria, P., Lopez-Alfaro, I. and Garde-Cerdan, T., 2015. Pulsed electric field treatment to improve the phenolic compound extraction from Graciano, Tempranillo and Grenache grape varieties during two vintages. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 28:31-39.
- Marselles-Fontanet, A. and Martin-Belloso, O., 2007. Optimization and validation of PEF processing conditions. *Journal of Food Engineering*, 83:452-462.
- Martin-Belloso, O., Marselles-Fontanet, A.R. and Elez-Martinez, O., 2014. Enzymatic inactivation by pulsed electric fields. *Emerging Technologies for Food Processing*, 115-168.
- Mohamed, M.E. and Eissa, S.H., 2012. Pulsed electric field for food processing technology. *Structure and Function of Food Engineering*, 11:275-306.
- Mok, J.H., Choi, W., Park, S.H., Lee, S.H. and Jun, S., 2015. Emerging pulsed electric field (PEF) and static magnetic field (SMF) combination technology for food freezing. *International Journal of Refrigeration*, 50:137-145.
- Nguyen, P. and Mittal, G., 2007. Inactivation of naturally occurring microorganisms in tomato juice using pulsed electric field (PEF) with or without antimicrobials. *Chemical Engineering and Processing*, 46:360-365.
- Noci, F., Riener, J., Walkling-Ribeiro, M., Cronin, D., Morgan, D. and Lyng, J., 2008. Ultraviolet irradiation and pulsed electric fields (PEF) in a hurdle strategy for the preservation of fresh apple juice. *Journal of Food Engineering*, 85:141-146.

- Odrizola-Serrano, I., Aguilo-Aguayo, I., Soliva-Fortuny, R. and Martin-Belloso, O., 2013. Pulsed electric field processing effects on quality and health-related constituents of plant based foods. *Trends in Food Science and Technology*, 29:98-107.
- Oğuzhan, P., 2013. Yüksek basınç teknolojisinin gıda endüstrisinde kullanımı. EÜFBED-Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 6(2):205-219.
- Pataro, G., Falcone, M., Donsi, G. and Ferrari, G., 2014. Metal release foamstainless steel electrodes of a PEF treatment chamber: Effects of electrical parameters and food composition. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 21:58-65.
- Sağdıç, O., Ekici, L. ve Yetim, H., 2008. Gıdaların muhafazasında yeni mikrobiyal inaktivasyon metotları. Türkiye 10.Gıda Kongresi Bildiri Kitabı, 949-952.
- Seçkin, A. ve Özgören, E., 2011. Gıda endüstrisinde darbeli elektrik alan uygulamaları. *Gıda ve Yem Bilimi-Teknolojisi Dergisi/ Journal of Food and Feed Science-Technology*, 11:39-48.
- Temiz, H., Tarakçı, Z. ve Aykut, U., 2008. Süt ve süt ürünlerinde mikroorganizmaları azaltmada alternatif yöntemler. Türkiye 10.Gıda Kongresi Bildiri Kitabı, 777-780.
- Uysal, E.E., 2010. Atımlı Elektrik alan (PEF) teknolojisinin kırmızı şarapların kalite özellikleri üzerine etkisi. Abant İzzet Baysal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Bolu.
- Vallerdu-Queralt, A., Odrizola-Serrano, I., Oms-Oliu, G, Lamuela-Raventos R. M., Elez-Martinez, P. and Martin-Belloso O., 2013. Impact of high-intensity pulsed electric fields on carotenoids profile of tomato juice made of moderate-intensity pulsed electric fields-treated toatoes. *Food Chemistry*, 141(3):3131-3138.
- Yangılar, F., Kabil, E. ve Yılmaz, F., 2013. PEF işleminin süt ve süt ürünlerinde uygulanabilirliği. *MJEN MANAS Journal of Engineering*, 1(1):43-50.
- Yu, L.J., 2009. Application of pulsed electric field treated milk on cheese processing: Coagulation properties and flavor development, PhD dissertation, McGill University, Department of Bioresource Engineering, p:169.