



MEYVE SUYU İŞLEMEDE ULTRASES KULLANIMI

Cüneyt Dinçer^{1,2,*}, Ayhan Topuz³

¹Akdeniz Üniversitesi Gıda Güvenliği ve Tarımsal Araştırmalar Merkezi, Antalya, Türkiye

²Akdeniz Üniversitesi Finike Meslek Yüksekokulu Gıda İşleme Bölümü, Antalya, Türkiye

³Akdeniz Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Gıda Mühendisliği Bölümü, Antalya, Türkiye

Geliş / Received: 19.03.2018; Kabul / Accepted: 13.06.2018; Online baskı / Published online: 27.06.2018

Dinçer, C., Topuz, A. (2018). Meyve suyu işlemede ultrases kullanımı. *GIDA* (2018) 43 (4): 569-581 doi: 10.153237/gida.GD18037

ÖZ

Bilinçli tüketicilerin sağlıklı, besleyici ve tazeye eşdeğer ürünleri tercih etmeleri, ısılmayan yenilikçi teknolojilere olan ilgiyi arttırmıştır. Bu kapsamda, ultrases meyve suyu işlemede umut vadeden ısılmayan alternatif yöntemlerden biri olarak tanımlanmaktadır. Gıda endüstrisinde mikrobiyal ve enzim inaktivasyonu için ultrasesin tek başına kullanımı şu anda yeterli değildir. Bununla birlikte ultrases, verimliliği arttırmak için kimyasallar, basınç ve sıcaklık ile kombine olarak da kullanılabilir. Ultrases uygulamasıyla, enzimler ve mikroorganizmalar termal yöntemle kıyasla daha düşük sıcaklıklarda inaktive edilebildiğinden daha kaliteli, lezzetli ve besleyici meyve suyu üretilmesi mümkün olmaktadır. Bu çalışmada ultrases işlemlerinin meyve suyu endüstrisinde kullanılabilirliği, avantaj ve dezavantajları derlenmiştir. Bu işlemin meyve suyu endüstrisinde kullanımına yönelik farkındalığın artırılması, sektör ve bilim insanlarının işbirliğinin sağlanarak kapsamlı araştırmalara konu edilmesine ihtiyaç olduğu değerlendirilmiştir.

Anahtar kelimeler: Ultrases, meyve suyu, biyoaktif bileşen, mikroorganizma, enzim inaktivasyon.

THE USE OF ULTRASOUND IN FRUIT JUICE PROCESSING

ABSTRACT

Emerging nonthermal technologies have raised great interest, because conscious consumers are demanding healthy, nutritious and equivalent to fresh products. In this regard, ultrasound has been identified as one of the promising nonthermal alternative methods in fruit juice processing. The use of ultrasound on its own in the food industry for microbial and enzyme inactivation is currently insufficient. However, ultrasound applications can also be used in combination with chemicals, pressure and temperature to increase efficiency. With ultrasound application, producing of higher quality, tasty and nutritious juice is possible because enzymes and microorganism can be inactivated at lower temperatures than thermal treatments. In this study, it has been compiled the advantages, disadvantages and usability of ultrasonic processes in the fruit juice industry. It is assessed necessary to raise awareness of the use of this process in the juice industry, the sector and scientists to be involved in comprehensive research by ensuring collaboration.

Keywords: Ultrasound, fruit juice, bioactive component, microorganism, enzyme, inactivation

*Yazışmalardan sorumlu yazar / Corresponding author:

✉ cdincer@akdeniz.edu.tr,

☎ (+90) 242 310 4345/2598

☎ (+90) 0 242 855 36 66

GİRİŞ

Meyve sularının üretiminde gerek mikrobiyal riskleri ve enzim aktivitesini azaltmak gerekse ürün stabilitesini sağlamak ve muhafazasını kolaylaştırmak için ayıklama, presleme, durultma, pastörizasyon ve konsantrasyon gibi işlemlere ihtiyaç duyulmaktadır (Cemeroğlu ve Karadeniz, 2001). Bu işlemlerden insan sağlığını ve ürün kalitesini etkileyen en kritik basamaklarından biri pastörizasyondur. Nitekim Amerikan Gıda ve İlaç Dairesi (FDA) meyve suyundaki hedef mikroorganizma sayısında 5 log azalma sağlayacak işlemi pastörizasyon normu olarak belirlemiştir (Salleh-Mack ve Roberts, 2007). Meyve suyu pastörizasyonu için genellikle ısıtma işlemi uygulanmaktadır. Ancak ısıtma işlemi ile ürünlerin uçucu bileşenler, vitaminler (C ve E), karotenoidler, antosiyaninler, organik asitler, pH ve renk gibi besleyici ve fizikokimyasal özelliklerinde olumsuz değişimler meydana gelebilmektedir (Zinoviadou vd., 2015; Dinçer ve Topuz, 2015; Anaya-Esparza vd., 2017a).

Günümüzde bilinçli tüketicilerin duyu ve besinsel özellikleri mümkün olduğunca korunmuş gıda ürünlerini tercih etme eğilimleri ısıtma işlemine alternatif yeni gıda muhafaza yöntemlerine olan ilgiyi arttırmıştır. Bu doğrultuda çalışmaların yoğunlaştığı alternatif bir pastörizasyon yöntemi, kimyasallar, basınç ve sıcaklık kombinasyonlarıyla birlikte de kullanılabilen ultrases uygulamalarıdır (Condón vd., 2005; Demirdöven ve Baysal 2008; Tiwari vd., 2009a; Zinoviadou vd., 2015). Ultrases, insanların duyma sınırı (16-20 kHz) üzerindeki yüksek frekanslı ses dalgaları olarak tanımlanmaktadır (Condón vd., 2005). Gıda endüstrisinde, ultrases ile ilgili çalışmalar genel olarak düşük enerjili (düşük güç veya düşük yoğunluklu) ve yüksek enerjili (yüksek güç, yüksek yoğunluk) ultrases olmak üzere iki başlık altında yürütülmektedir. Düşük yoğunluklu ultrases uygulandığı materyalde fiziksel ve kimyasal bir değişime neden olmamaktadır. Gıda sanayinde düşük yoğunluklu ultrases daha çok gıdaların fizikokimyasal özelliklerinin belirlenmesinde ve proses kontrolünde kullanılmaktadır (Knorr vd., 2004; Tiwari ve Mason, 2012). Yüksek enerjili ultrases ise ekstraksiyon, homojenizasyon, emülsiyon oluşturma, kurutma ve kristalizasyon

işlemlerinde, sıvı gıdalardan gazın uzaklaştırılmasında, enzim ve mikroorganizmaların etkisiz hale getirilmesinde uygulanmaktadır (McClements, 1997; Piyasena vd., 2003; Knorr vd., 2004; Tiwari ve Mason, 2012).

Bu derlemede meyve suyu işlemede alternatif bir yöntem olarak ön plana çıkan ultrasesin temel prensipleri, sistem bileşenleri ve etki mekanizmasının yanı sıra meyve suyunun raf ömrü ve bozulmasından sorumlu enzimlerin ve mikroorganizmaların ultrases ile inaktivasyonunu konu alan detaylı çalışmalara yer verilmiştir. Ayrıca ultrasesin meyve suyundaki biyoaktif bileşikler ve ürünün fizikokimyasal özellikleri üzerindeki etkilerinin de ayrıntılı olarak incelenmesi amaçlanmıştır.

ULTRASESİN TEMEL ÖZELLİKLERİ VE ULTRASONİK GÜÇ ÖLÇÜMÜ

Ultrases, katı, sıvı ve gazlardan geçebilen, insan kulağının işitme sınırından (16-20 kHz) daha yüksek frekanslı ses dalgaları olarak tanımlanmaktadır (Condón vd., 2005). Ses dalgalarındaki birbirine yakın iki tepe arasındaki mesafeye dalga boyu (λ) denilmektedir. Frekans (f) ise 1 saniyede oluşan ses titreşim sayısı veya bir noktadan geçen salınım olarak ifade edilebilmekte olup birimi Hertz (Hz)'dir. Ses dalgalarının yüksekliğine genlik (Amplitude, A) denir ve genlik ses dalgalarının gücünü belirler. Nitekim ses dalgasının içerdiği enerji, genliğin karesiyle doğru orantılıdır (McClements, 1997; Tiwari ve Mason, 2012).

Ultrases sıvı içerisinde uygulandığında sonikasyon olarak adlandırılabilen (Tiwari ve Mason, 2011) ve sonikasyonun temel etki mekanizması kaviteasyon ile açıklanmaktadır: Ses dalgası sıvının içerisinde geçerken boyuna dalgalar oluşturur ve ardışık olarak kasılıp gevşeme olayları gerçekleşir. Ses dalgası gevşeme pozisyonuna geçerken negatif basınç sıvının noktasal çekme kuvvetini aştığı zamanlarda mikro kabarcıklar ve boşluklar oluşur. Sıvı içindeki küçük kabarcıklar ultrases dalgalarının gevşeme-sıkışma hareketleri ile hızlı bir şekilde gelişir ve kritik bir değere ulaştığında patlamaktadır ki buna kaviteasyon denir. Bu olayda

noktasal olarak çok yüksek sıcaklık (5000 °C) ve basınç (100 MPa) oluşur (Piyasena vd., 2003; Tiwari ve Mason, 2011).

Gıda teknolojisinde ultrases kullanımında en önemli hususlarından biri sisteme uygulanacak enerji miktarının belirlenmesidir. Birçok ultrases ekipmanı üretilen gücü yani genliği değiştirebilme özelliğine sahiptir ancak bu gerçekte sisteme giren mutlak gücün bir ölçüsü değildir. Sisteme giren ultrases enerjisi, ultrases gücü (W), ultrases yoğunluğu (W/cm²) veya akustik enerji yoğunluğu (W/mL) olarak ifade edilebilir. Akustik güç yoğunluğu (APD) veya akustik enerji yoğunluğu (AED) işlem gören meyve suyunun birim hacmine uygulanan enerjinin bir göstergesidir (O'Donnell vd., 2010; Tiwari ve Mason, 2011). Bu ölçüm, farklı ultrases sistemlerinin karşılaştırılabilmesi ve daha büyük kapasiteli sistemlerin dizaynında fayda sağlaması bakımından da önem arz etmektedir. Ancak ultrasonik gücün mutlak doğrulukla ölçülmesi de pek mümkün değildir. Çünkü ses enerjisi absorbe edilir, yansıtılır ve kavitasyon üretiminde kullanılır. Bununla birlikte, bir reaktörde ısı kaybı ihmal edildiğinde ultrasonik güç için kalorimetrik yöntemle yaklaşık bir tahmin yapılabilmektedir. Buna göre meyve suyunun sıcaklığı (T) adiabatik koşullarda zamanın bir fonksiyonu olarak bir ısıl çift ile ölçülür. Zamana karşı sıcaklık verilerinden başlangıç sıcaklığının yükselişinin (dT/dt) polinomal kurveye uygunluğu belirlenir. Ultrasonik güç (P) ve APD (W/mL) değerleri aşağıdaki eşitlikler (1 ve 2) kullanılarak hesaplanır (Tiwari ve Mason, 2011).

$$P = mc_p \left(\frac{dT}{dt} \right)_{t=0} \quad (1)$$

$$APD = \frac{P}{V} \quad (2)$$

Formüllerde yer alan, P = Ultrasonik güç (W), m = Örneğin kütlesi (kg), Cp = Meyve suyunun özgül ısı (kJ/kg°C), dT/dt zamana bağlı sıcaklık değişimi (kurvenin eğimi) (°C/s), APD akustik güç yoğunluğu (W/mL) ve V örnek hacmidir (mL). Ayrıca ultrasonik gücün iyodine, Fricke, tereftalat ve nitrofenol gibi kimyasal yöntemlerle

de ölçülebileceği ifade edilmektedir (De Castro ve Capote, 2006).

ULTRASES SİSTEMLERİ VE SİSTEMLERİN BİLEŞENLERİ

Gıdalarda kullanılan ultrases sistemleri genel olarak jeneratör, dönüştürücü ve dağıtıcı olmak üzere üç temel kısımdan oluşmaktadır. Jeneratör elektrik enerjisini dönüştürücünün kullanabileceği yüksek frekanslı alternatif akıma çevirir. Dönüştürücü ise yüksek frekanslı alternatif akımı mekanik titreşimlere çevirmektedir. Dağıtıcı kısım da titreşimleri sıvı ortama göndermektedir (Mason, 1998; Leadley ve Williams, 2006). Gıda proseslerinde ultrases kullanımında gerekli enerjiyi sağlayan temel bileşen ultrasonik dönüştürücülerdir. Sıvı zorlamalı, manyetostrikatif ve piezoelektrik olmak üzere 3 tip dönüştürücü vardır (Mason, 1998; Leadley ve Williams, 2006). Piezoelektrik dönüştürücüler; ultrases oluşumunda en çok kullanılan dönüştürücü tipidir (Moussatov vd., 2005).

Küçük ve büyük ölçekli ultrases uygulamalarında farklı ultrases cihazları kullanılabilmeyle birlikte yaygın olarak kullanılan ultrasonik banyo ve ultrasonik prob sistemleridir (Mason, 1998; Zinoviadou vd., 2005). Ultrasonik banyolar yıllardır yaygın olarak kullanılan basit ve çok yönlü sistemlerdir. Probu sistemlere kıyasla daha ucuzdur. Bu sistemlerde dönüştürücü elemanlar genellikle tankın alt kısmına sabitlenir ve banyoların büyük kısmı yaklaşık 40 kHz'de çalışırlar. Bu sistemler oluşan kavitasyonun tank duvarlarına zarar vermesini önlemek amacıyla genellikle 1-5 W/cm² gibi düşük güç yoğunluğunda kullanılır (Mason, 1998, Santos ve Capelo, 2007). Bununla birlikte kullanılan ultrasonik banyonun istenen etkiyi gösterebilmesi için kavitasyon oluşumunu sağlaması önemlidir. Ancak ultrases banyolarının tümü bu amaç için yeterince güçlü olmayabilir. Bunu kontrol etmenin en pratik yolunun alüminyum folyo testi olduğu bildirilmektedir. Buna göre ultrasonik banyodaki deterjanlı su içerisine atılan bir parça alüminyum folyoda yaklaşık 30 saniye süre sonunda yoğun bir şekilde delikler oluşuyorsa sistemde kavitasyon oluşumunun gerçekleştiği söylenebilmektedir (De Castro ve Capote, 2006). Probu sistemler ise

genellikle doğrudan materyalin içine daldırılır ve ultrasonik banyolara kıyasla oldukça yüksek ultrases yoğunluğu üretebilmektedirler. Problar genellikle titanyum veya alüminyum alaşımlardan yapılabilmekle birlikte ısıya ve aşındırıcı ortamlara karşı dirençleri göz önüne alındığında titanyum alaşımlı problar daha çok tercih edilir (Mason, 1998). Bununla birlikte kullanıma bağlı olarak problu sistemler prob ucunun kavitasyon etkisiyle aşınması, içine daldırıldığı ürünün ısınması ve serbest radikal oluşumu gibi dezavantajlara da sahiptir. Kavitasyona bağlı olarak uçta meydana gelen aşınma metal kontaminasyonuna neden olabilmektedir. Ayrıca aşınmaya bağlı olarak prob boyunda küçülme ve etkinliğinde azalma da meydana gelebilmektedir. Bu nedenle üretici firmalar prob etkinliğinin ölçülebilmesi için genelde kullanım kılavuzlarında uygun test ve açıklamalara yer vermektedir. Problun kullanımında aşırı ısınma ve aşınmanın azaltılabilmesi için kesikli çalışma modunun kullanılması tavsiye edilmektedir. Problun daldırıldığı ürünün sıcaklığında meydana gelen artışları engellemek için ise soğutucu sıvı dolaşımının sağlandığı çift cidarlı kaplar kullanılabilir (Mason, 1998, De Castro ve Capote 2006, Santos ve Capelo, 2007). Problu sistemlerde dikkat edilmesi gereken diğer bir nokta problun sıvı içerisindeki derinliğidir. Köpük oluşumu ve aerosolü önlemek için prob yeterince derine daldırılmalıdır (De Castro ve Capote, 2006). Yaygın kullanılan 6-19 mm çaplarındaki problarda bu derinliğin 20-30 mm olarak tercih edildiği rapor edilmektedir (Tiwari vd., 2009a; Bevilacqua vd., 2014; Martínez-Flores, 2015; Dinçer ve Topuz, 2015).

Gıdalarda ultrases uygulaması tek başına uygulanabileceği gibi etkinliği artırabilmek için, ısı işlem ve/veya yüksek basınç ile birlikte de kullanılabilir. Ultrases ile ısı işlemin birlikte kullanıldığı uygulamalar termoseler, ultrases ile basınç birlikte kullanıldığı uygulamalar manoses, basınç ve ısı işlemle birlikte uygulanan ultrases işlemine ise manotermoses adı verilmektedir (Lee vd., 2009). Ayrıca ultrases işlemi vurgulu elektrik alan, ultraviyole ışın ve koruyucu maddelerle kombine olarak da kullanılabilir.

(Khandpur ve Gogate, 2015; Ferrario vd., 2015; Sánchez-Rubio vd., 2016).

ULTRASESİN MEYVE SUYU İŞLEMEDE KULLANIMI

Ultrases işlemi meyve suyu işlemede genel olarak hedef mikroorganizmaların ve enzimlerin inaktivasyonu amacıyla uygulanmaktadır. Bununla birlikte ultrases işlemi meyve sularının fizikokimyasal özelliklerinde de değişimlere neden olabilmektedir. Çizelge 1-4'te farklı meyve suları ile yürütülen çalışmalar özetlenmiştir.

ULTRASESİN MİKROORGANİZMALAR ÜZERİNE ETKİSİ

Ultrasesin mikrobiyal inaktivasyon mekanizmasıyla ilgili farklı teoriler olmakla birlikte kavitasyonun ana etken olduğu kabul görmektedir. Buna bağlı olarak ultrasesin inaktivasyon etkisinin genel olarak hücre membranlarındaki hasar, bölgesel ısınma ve serbest radikal oluşumundan kaynaklandığı yorumlanmaktadır (Piyasena vd., 2003; Leadley ve Williams, 2006; Tiwari ve Mason, 2011). Zira kavitasyonla oluşan şokların hücrede yeni porlar açması ve fonksiyonel bileşenlere zarar vermesi başlıca bakterisidal etkilerinden biri olarak gösterilmektedir. Kavitasyonun yoğunluğu zayıf şekilde bağlı ATPaz'ı hücre zarından uzaklaştırabilir, bu da hücre inaktivasyonunun olası başka bir mekanizmasıdır. Ultrases işleminin etki mekanizmalarından biri olan kimyasal etki de mikrobiyal inaktivasyonda önemli bir rol almaktadır. Yüksek sıcaklık ve basınç sonucu oluşan OH⁻ ve H⁺ radikalleri ve hidrojen peroksit (H₂O₂) bakterisidal etkiye sahiptir. Bu serbest radikallerin birincil hedef alanı bakteri hücresindeki DNA'dır (Piyasena vd., 2003; Leadley ve Williams, 2006; Tiwari ve Mason, 2011).

Genel olarak ultrasese karşı küçük hücrelerin büyük hücrelerden, Gram-pozitif bakterilerin Gram-negatif bakterilerden, aerobik bakterilerin, anaerobik bakterilerden, kok şeklindeki hücrelerin çubuk şeklindeki hücrelerden ve bakteri sporlarının vejetatif hücrelerden daha dirençli olduğu bildirilmektedir. Ayrıca sıcaklığa karşı dirençli olduğu bilinen mikroorganizmaların

çoğunun benzer şekilde ultrasese de dirençli olduğu rapor edilmektedir (Leadley ve Williams, 2006; Tiwari ve Mason, 2011). Mikroorganizmaların ultrases ile inaktivasyonu üzerine, işlem gören mikroorganizmanın tipi, ultrasesin gücü, uygulama süresi ve sıcaklığı ile işlem gören gıdanın fizikokimyasal özelliklerinin

etkili olduğu bildirilmektedir (Piyasena vd., 2003; Leadley ve Williams, 2006; Tiwari ve Mason, 2011). Nitekim Çizelge 1 incelendiğinde ultrasesin farklı meyve sularında, çeşitli mikroorganizmalar üzerine etkisinin sayılan faktörlere göre nasıl farklılık gösterdiği görülmektedir.

Çizelge 1. Ultrasesin meyve sularında mikrobiyal inaktivasyon üzerine etkisi

| Meyve Suyu | Mikroorganizma | İşlem koşulları | Mikrobiyal azalma (log) | Kaynak |
|--------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|----------------------------|
| Domates suyu | <i>Pichia fermentans</i> | 1500 W, 20 kHz, 19 mm çapında prob, genlik 61 µm, 7.5 dk, 32-45 °C | 5 | Adekunte vd., 2010 |
| Elma suyu | <i>Saccharomyces cerevisiae</i> ATCC 4113 | 400 W, 24 kHz, 22 mm çapında prob, genlik 120 µm; 30 dk, 60 °C | 7 | Marx vd., 2011 |
| Elma suyu, yaban mersini suyu, turna yemişi suyu | <i>Aspergillus ochraceus</i> , <i>Penicillium expansum</i> , <i>Rhodotorula sp.</i> , <i>Saccharomyces cerevisiae</i> , <i>Alicyclobacillus acidoterrestris</i> DSM 3922 | 600 W, 20 kHz, 12.7 mm çapında prob, genlik 60, 90, 120 µm, 3,6,9 dk, 60 °C | 3.56 -5.93 | Jambrak vd., 2018 |
| Karadut suyu | <i>Escherichia coli</i> ATCC 25922 | 750 W, 20 kHz, 13 mm çapında prob, genlik %100, 1.63 W/mL, 15 dk, 50°C | 5.14 | Diñcer ve Topuz, 2015 |
| Karışık (Elma%90-havuç%10) meyve suyu | <i>Escherichia coli</i> O157:H7 | 750 W, 20 kHz, 13 mm çapında prob, genlik %100,100kPa basınç, 60 sn, 60°C | 6.17 | Kahraman vd., 2017 |
| Nar suyu, portakal suyu | <i>Saccharomyces cerevisiae</i> | 200W, 24 kHz, 3 mm çapında prop, genlik 105 µm, 33.31 W/mL, 30 dk, 50 °C, 0.02 mg/mL Tarçın yaprağı uçucu yağı ile kombine | 2.81 2.52 | Sánchez-Rubio vd., 2016 |
| Portakal suyu | <i>Escherichia coli</i> K12 | 400 W, 24 kHz, 22 mm çapında prob, genlik 100 µm, 2.8 dk, 40 °C | 1.6 | Muñoz vd., 2011 |
| Portakal suyu | <i>Staphylococcus aureus</i> | 100 W, 30 kHz Ultrasonik banyo, 20 dk, 55°C | 3.3 | Walkling-Ribeiro vd., 2009 |

ULTRASESİN ENZİMLER ÜZERİNE ETKİSİ

Meyvelerde bulunan pektin metil esteraz, polifenoloksidaz, peroksidaz ve lipoksigenaz gibi enzimler meyve suyunun kalite özelliklerini olumsuz biçimde etkileyebilmektedir. Bu nedenle

meyve suyu işlemede genel olarak enzimlerin inaktivasyonu hedeflenmektedir. Çizelge 2'de ultrasesin meyve sularında enzimler üzerine etkilerini konu alan bazı çalışmalar özetlenmiştir.

Ultrasesin enzimlerin inaktivasyonundaki etkisi mikroorganizmaların inaktivasyonunda olduğu gibi kavitasyon kaynaklıdır. Bununla birlikte ultrasesin etkisi uygulanan ultrases gücü, ürün hacmi, pH, enzim konsantrasyonu, inhibitör ve mikroorganizma varlığı ile çözünmüş haldeki gazların konsantrasyonuna göre değişebilmektedir (Anaya-Esparza vd., 2017a). Ayrıca ultrases etkisinin enzime spesifik olduğu ve bunun da amino asit kompozisyonuna ve enzimin konformasyonel yapısına bağlı olarak da değiştiği bildirilmektedir. Nitekim manotermoses uygulaması ile peroksidazların inaktivasyonunda etkili olan mekanizmanın termal etkide olduğu gibi prostetik grubun ayrılmasıyla gerçekleştiği bildirilirken lipoksigenazın inaktivasyonunda ise oluşan serbest radikallerin etkisi ile proteinlerin denatürasyonuna dayandırılmaktadır. Katalaz,

invertaz ve pepsin gibi bazı enzimlerin ise ultrasese karşı daha dirençli oldukları ifade edilmektedir (O'Donnell vd., 2010; Tiwari ve Mason, 2011). Diğer taraftan Cheng vd (2007), 35 kHz'de 30 dakika süreyle ultrases uygulanmış guava suyu içinde polifenoloksidazda bir artış bildirmişlerdir. Bu artış muhtemelen uygulanan ultrases işleminin düşük güçte uygulanmasından kaynaklanmaktadır. Zira ultrasonik banyoların çoğu duvarlarında kavitasyon hasarını önlemek için genellikle düşük güçlerde dizayn edilir ve dolayısıyla büyük işlem hacmi nedeniyle akustik enerji yoğunlukları düşüktür. Nitekim düşük güç seviyelerinde uygulanan ultrasesin enzim aktivitesini teşvik edici yönde bir etki gösterebileceği farklı kaynaklarda da bildirilmektedir (O'Donnell vd., 2010).

Çizelge 2. Ultrasesin meyve sularında enzimlerin inaktivasyonu üzerine etkisi

| Meyve Suyu | İşlem koşulları | Etki/Sonuç* | Kaynak |
|----------------------|------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|---------------------------|
| Çin koca yemişi suyu | 600W, 20 kHz, 13 mm çapında prob, genlik %100, 452 W/ cm ² , 12 dk, | PPO ve POD %100 oranında inaktivasyon | Cao vd., 2018 |
| Domates suyu | 20 kHz, 10 mm çapında prob, genlik 75 µm, 40 W güç girişi, 4 dk, 75°C | PME yaklaşık tamamı, PG yaklaşık %72 oranında inaktivasyon | Terefe vd., 2009 |
| Elma suyu | 750 W, 20 kHz, 13 mm çapında prob, genlik %70, 0.3 W/cm ³ , 10 dk, 60°C | POD %91, PPO %93.85, PME %92.9 oranında inaktivasyon | Abid vd., 2014 |
| | 500 W, 25 kHz, Ultrasonik banyo, genlik %70, 0.06 W/cm ³ , 30 dk, 60°C | POD %30, PPO %37, PME %38 oranında inaktivasyon | |
| Greyfurt suyu | 420 W, 28 kHz, Ultrasonik banyo, %70, 60 dk, 60°C | PME %91, PPO %90, POD %89 oranında inaktivasyon | Aadil vd., 2015 |
| Portakal suyu | 200W, 24 kHz, 3 mm çapında prob, 80W güç girişi, 9.8 dk, 63°C | PME %91 oranında inaktivasyon | Koshani vd., 2015 |
| Guava suyu | 35 kHz, Ultrasonik banyo, 30 dk 20°C | PPO oranında artış | Cheng vd., 2007 |
| Havuç suyu | 750 W, 20 kHz, 13 mm çapında prob, genlik %70, 48 W/cm ² , 10 dk, 60°C | POD, PME, PPO, LOX enzimlerinde %90'ın üzerinde inaktivasyon | Jabbar vd., 2015 |
| Portakal suyu | 1500W, 20 kHz, 19 mm çapında prob, 1.05 W/mL, 10 dk, 25-45°C | PME %62 oranında inaktivasyon | Martínez-Flores vd., 2015 |
| Tarçın elması suyu | 400 W, 24 kHz, 7 mm çapında prob, 1.4 W/mL, 10 dk, 50-56.4°C | PPO %99 oranında inaktivasyon | Anaya-Esparza vd., 2017b |

*PME = Pektin Metilesteraz, PPO = Polifenol oksidaz, POD = Peroksidaz, LOX = Lipoksigenaz, PG = Poligalakturonaz

ULTRASESİN BİYOAKTİF BİLEŞENLER ÜZERİNE ETKİSİ

Meyve sularında askorbik asit, karotenoidler ve fenolik bileşikler gibi biyoaktif bileşiklerin varlığı bu ürünlerin kalitesi ve besin değerini tanımlar. Bu nedenle, ultrases uygulamasının biyoaktif bileşikler üzerindeki etkisi büyük önem taşımaktadır. Çizelge 3'te ultrasesin farklı meyve sularında biyoaktif bileşenler üzerine etkileri özetlenmiştir.

Meyve sularında askorbik asit korunumu bir kalite göstergesi olarak kullanılmaktadır. Askorbik asit başlangıç konsantrasyonu % 50 azaldığında raf ömrünün sona ermiş olduğu varsayılır (Anaya-Esparza vd., 2017a). Çizelge 3 incelendiğinde askorbik asit içeriğinin uygulanan ultrases gücü, uygulama süresi ve sıcaklığının yanında meyve suyu çeşidi ve içeriğine göre önemli farklılıklar gösterdiği ve askorbik asit kaybının genel olarak %15'in altında (Karpuz suyu hariç, Rawson vd., 2011) olduğu görülmektedir.

Mikroorganizmalar ve enzimlerin inaktivasyonunda olduğu gibi biyoaktif bileşenlerin degradasyonundan da ana etken olarak kavitasyon gösterilmektedir. Bununla birlikte ısı ve kavitasyonun meyve suyunda çözülmüş oksijenin ortamdan uzaklaştırılmasına yardımcı olduğu ve böylece askorbik asidin degradasyonunu geciktirebildiği de bildirilmektedir (Cheng vd., 2007). Askorbik asit degradasyonunun özellikle kavitasyon sonucu oluşan serbest radikallerle ilişkili olduğu ifade edilmektedir (Anaya-Esparza vd., 2017a). Genellikle, ultrases uygulamasıyla askorbik asit ile antosiyaninlerin meyve sularında aynı anda azaldığı, bu nedenle aralarında doğrudan bir etkileşim olabileceği rapor edilmektedir (Tiwari vd., 2008). Bununla birlikte Çizelge 3 incelendiğinde antosiyanin kaybının askorbik asit kaybına kıyasla daha düşük oranda seyrettiği dikkat çekmektedir. Antosiyanin içeriğinin de uygulanan ultrases gücü, uygulama süresi ve sıcaklığının yanında meyve suyu çeşidi ve içeriğine göre önemli farklılıklar gösterdiği bildirilmektedir. Özellikle uygulanan ultrases gücü ve süresi antosiyanin içeriğini önemli düzeyde etkilemektedir (Zinoviadou vd., 2015; Weber ve

Larsen, 2017). Nitekim Tiwari vd. (2010) kırmızı üzüm suyunda gerçekleştirdikleri ultrases uygulamasında düşük genlik ve kısa uygulama sürelerinde antosiyanin miktarında cüzi bir artış gözlemlenmişler, bu artışın matriksteki bağlı antosiyaninlerin ekstraksiyonu nedeniyle olabileceğini rapor etmişlerdir. Benzer şekilde çilek suyunda pelargonidin-3-glikozitin de düşük genlik ve kısa süre ultrases işlemi ile içeriğinde bir miktar artış gerçekleştiği bildirilmektedir. Bununla birlikte ultrases gücü ve sürenin artışıyla antosiyaninlerde azalış bildirilmektedir (Tiwari vd., 2008; Tiwari vd., 2009b). Benzer durum karotenoidler için de geçerlidir. Rawson vd., (2011) karpuz suyunda likopen içeriğinin düşük ultrases gücünde bir miktar artış gösterdiğini, ultrases gücü ve uygulama süresinin artışıyla ise azaldığını rapor etmişlerdir.

ULTRASESİN MEYVE SULARININ FİZİKOKİMYASAL ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE ETKİSİ

Ultrases uygulaması meyve sularında elektriksel iletkenlik, bulanıklık, renk, pH, asitlik, briks ve viskozite gibi özelliklerde değişime neden olabilmektedir (Çizelge 3). Söz konusu özelliklerdeki değişimlerin uygulanan ultrases gücü, uygulama süresi ve sıcaklığının yanında meyve suyu çeşidi ve içeriğine göre farklılıklar gösterebilmesi kaçınılmazdır. Nitekim ultrases uygulamasıyla asitlik ve pH karadut (Dinçer ve Topuz, 2015), havuç (Jabbar vd., 2015), tarçın elması (Anaya-Esparza vd., 2017b), elma (Abid vd., 2014), domates (Adekunte vd., 2010) ve portakal (Walkling-Ribeiro vd., 2009) suyunda önemli bir değişim göstermezken muz suyunda (Bora vd., 2017) pH'nın azaldığı bildirilmiştir. Portakal suyu gibi ürünlerde önemli bir kalite kriteri olan bulanıklık değerlerinde ise ultrases uygulamasıyla genel olarak bir artış rapor edilmektedir (Dinçer ve Topuz, 2015; Aadir vd., 2015; Martínez-Flores vd., 2015). Gıda ürünlerinin işlenmesinde önemli bir parametre olan viskozitedeki değişimin ultrasonik güç ve uygulama süresine göre farklılık gösterebileceği rapor edilmektedir. Ayrıca bu değişimin artış veya azalış eğiliminde, kalıcı veya geçici bir şekilde olabileceği bildirilmektedir (Zinoviadou vd., 2015). Ultrasesin meyve suyundaki uçucu

bileşenler üzerine ise negatif bir etkisi olduğu bununla birlikte bu etkinin termal yöntemle kıyasla

daha kabul edilebilir seviyelerde gerçekleştiği ifade edilmektedir (Anaya-Esparza vd., 2017a).

Çizelge 3. Ultrasesin meyve sularında biyoaktif bileşenler üzerine etkisi

| Meyve Suyu | İşlem koşulları | Etki/Sonuç | Kaynak |
|---------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|
| Böğürtlen suyu | 1500 W, 20 kHz, 19 mm çapında prob, genlik %100, 22.79 W/cm ² , 10 dk, 25°C | Antosiyanin kaybı <%6 | Tiwari vd., 2009c |
| Çilek suyu | 1500 W, 20 kHz, 19 mm çapında prob, genlik %100 (61 µm), 0.81 W/mL, 10 dk, 30-40°C | Antosiyanin %3.2, askorbik asit %11 azalış | Tiwari vd., 2008 |
| Elma suyu | 750 W, 20 kHz, 13 mm çapında prob, genlik %70, 0.3 W/cm ³ , 10 dk, 60°C | Askorbik asit ~%7 fenolik madde ~%26.4, flavonoid ~%8.48 flavonol ~%25.9, azalış. | Abid vd., 2014 |
| | 500 W, 25 kHz, Ultrasonik banyo, genlik %70, 0.06 W/cm ³ , 30 dk, 60°C | Askorbik asit ~%9.96, fenolik madde ~%31, flavonoid ~%14.4, flavonol ~%33.7, azalış. | |
| Greyfurt suyu | 420 W, 28 kHz, Ultrasonik banyo, genlik %70, 60 dk, 60°C | Fenolik madde ~%3.8 flavonoid ~%6.8 flavonol ~%15.4, DPPH radikal süpürücü etki ~%39.9, toplam antioksidan kapasite ~%11.3 azalış. | Aadil vd., 2015 |
| Havuç suyu | 750 W, 20 kHz, 13 mm çapında prob, genlik %70, 48 W/cm ² , 10 dk, 60°C | Fenolik madde ~%4.2, flavonoid ~%8.5, tanninler ~%10.1, askorbik asit ~%15 azalış. Karotenoidlerde (özellikle lutein ve likopen) artış | Jabbar vd., 2015 |
| Havuç suyu | 400 W, 24 kHz, 22 mm çapında prob, genlik 120 µm, 2181 mW/mL, 10 dk, 58°C | Karotenoidlerde %3.44 ve antioksidan kapasitede %5.21 artış, fenolik madde ve askorbik asitte önemli bir değişim bildirilmemiş | Martínez-Flores vd., 2015 |
| Karadut suyu | 750 W, 20 kHz, 13 mm çapında prob, genlik %100, 1.63 W/mL, 15 dk, 50°C | Antosiyanin ~%2.44 azalış | Dinçer ve Topuz, 2015 |
| Karpuz suyu | 1500 W, 20 kHz, 19 mm çapında prob, genlik 60 µm, 5 dk, 45°C | Askorbik asit, likopen ve toplam fenolik madde %25-35 azalış | Rawson vd., 2011 |
| Portakal suyu | 1500 W, 20 kHz, 19 mm çapında prob, genlik %100, 0.81 W/mL, 10 dk, 25°C | Askorbik asit kaybı <%5 | Tiwari vd., 2009e |
| Portakal ve mandarin suyu | 700 W, 25 kHz, Ultrasonik banyo, 0.016 W/mL 60 dk, 55°C | Askorbik asitte önemli bir değişim bildirilmemiş | Aguilar vd., 2017 |

Çizelge 4. Ultrasesin meyve sularında fizikokimyasal özellikler üzerine etkisi

| Meyve Suyu | İşlem koşulları | Etki/Sonuç | Kaynak |
|--------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|
| Böğürtlen suyu | 1500 W, 20 kHz, 19 mm çapında prob, genlik %100, 22.79 W/cm ² , 10 dk, 25°C | Renk değişimleri %5'in altında | Tiwari vd., 2009c |
| Domates suyu | 1500 W, 20 kHz, 19 mm çapında prob, genlik 61 µm, 7.5 dk, 32-45 °C | pH, briks ve titre edilebilir asitlikte önemli bir değişim gözlenmezken, renk değerlerinde değişim bildirilmiş | Adekunte vd., 2010 |
| Elma suyu | 750 W, 20 kHz, 13 mm çapında prob, genlik %70, 0.3 W/cm ³ , 10 dk, 60°C 500 W, 25 kHz, Ultrasonik banyo, genlik %70, 0.06 W/cm ³ , 30 dk, 60°C | pH, briks ve titre edilebilir asitlikte önemli bir değişim gözlenmezken, <i>L, a, b</i> renk değerlerinde artış bildirilmiş | Abid vd., 2014 |
| Elma suyu | 400 W, 24 kHz, 22 mm çapında prob, genlik 50-100 µm, 5-10 dk, 40-60°C | Bulanıklık değerinde artış | Ertugay ve Başlar, 2014 |
| Greyfurt suyu | 420 W, 28 kHz, Ultrasonik banyo, genlik %70, 60 dk, 60°C | Elektriksel iletkenlik azalış, bulanıklık ve viskozitede artış | Aadil vd., 2015 |
| Havuç suyu | 750 W, 20 kHz, 13 mm çapında prob, genlik %70, 48 W/cm ² , 10 dk, 60°C | pH, briks ve titre edilebilir asitlikte önemli bir değişim gözlenmezken, <i>L, a, b</i> renk değerlerinde artış bildirilmiş | Jabbar vd., 2015 |
| Havuç suyu | 400 W, 24 kHz, 22 mm çapında prob, genlik 120 µm, 2181 mW/mL, 10 dk, 58°C | Viskozitede kısmi bir artış | Martínez-Flores vd., 2015 |
| Karadut suyu | 750 W, 20 kHz, 13 mm çapında prob, genlik %100, 1.63 W/mL, 15 dk, 50°C | pH ve titre edilebilir asitlikte önemli bir değişim gözlenmezken, bulanıklık ve <i>L, a, b</i> renk değerlerinde artış bildirilmiş | Diñçer ve Topuz, 2015 |
| Muz suyu | 50 W, 40 kHz, Ultrasonik banyo, 30 dk | pH ve viskozitede düşüş | Bora vd., 2017 |
| Portakal suyu | 100 W, 30 kHz Ultrasonik banyo, 20 dk, 55°C | pH, briks ve elektriksel iletkenlikte önemli bir değişim gözlenmezken, <i>L</i> ve <i>a</i> renk değerlerinde artış, <i>b</i> de ise azalış belirlenmiş | Walkling-Ribeiro vd., 2009 |
| Portakal suyu | 1500W, 20 kHz, 19 mm çapında prob, 1.05 W/mL, 10 dk, 25-45°C | Bulanıklık değerinde artış | Tiwari vd., 2009d |
| Tarçın elması suyu | 400 W, 24 kHz, 7 mm çapında prob, 1.4 W/mL, 10 dk, 50-56.4°C | pH, briks ve titre edilebilir asitlikte önemli bir değişim gözlenmemiş | Anaya-Esparza vd., 2017b |

SONUÇ

Ultrasenin meyve suyunda mikroorganizma ve enzimlerin inaktivasyonunda tek başına kullanımının genel olarak istenen etki düzeyinde olmadığı ve bu nedenle diğer yöntemlerle kombine bir biçimde daha etkin ve verimli olarak kullanılabileceği vurgulanmaktadır. Bu kullanımıyla termal yöntemle kıyasla meyve suyu işlemede güvenilir ve umut vadeden bir alternatif yöntem olarak kabul edilmektedir. Termal yöntemle kıyasla özellikle biyoaktif ve besleyici bileşenler üzerindeki olumsuz etkinin daha düşük seviyede olması ultrasen işleminin önemini arttırmaktadır. Bununla birlikte ultrasen işleminin viskozite ve bulanıklık stabilitesine olumlu etkilerinin olması ayrıca bir avantaj sağlamaktadır. Diğer taraftan ultrasenin etkileri, uygulanan ultrasen gücü, hedef alınan mikroorganizma cinsi ve gıda matrisine göre oldukça farklılık göstermektedir. Bu nedenle ultrasen işlemi her gıda matrisi için ayrı ayrı incelenmeli ve endüstriyel tasarımlar için şartlar ürün bazında optimize edilmelidir.

KAYNAKLAR

Aadil, R. M., Zeng, X. A., Zhang, Z. H., Wang, M. S., Han, Z., Jing, H., Jabbar, S. (2015). Thermosonication: A potential technique that influences the quality of grapefruit juice. *Int J Food Sci Technol*, 50(5), 1275-1282, doi:10.1111/ijfs.12766

Abid, M., Jabbar, S., Hu, B., Hashim, M. M., Wu, T., Lei, S., Khan, M. A., Zeng, X. (2014). Thermosonication as a potential quality enhancement technique of apple juice. *Ultrason Sonochem*, 21(3), 984-990, doi.org/10.1016/j.ultsonch.2013.12.003

Adekunte, A.O., Tiwari, B.K., Cullen, P.J., Scannell, A.G.M. And O'Donnell, C.P. (2010). Effect of sonication on colour, ascorbic acid and yeast inactivation in tomato juice. *Food Chem* 122 (3):500-507, doi:10.1016/j.foodchem.2010.01.026

Aguilar, K., Garvín, A., Ibarz, A., Augusto, P. E. (2017). Ascorbic acid stability in fruit juices during thermosonication. *Ultrason Sonochem*, 37, 375-381, doi.org/10.1016/j.ultsonch.2017.01.029

Anaya-Esparza, L. M., Velázquez-Estrada, R. M., Roig, A. X., García-Galindo, H. S., Sayago-Ayerdi, S. G., Montalvo-González, E. (2017a). Thermosonication: An alternative processing for fruit and vegetable juices. *Trends Food Sci Technol*, 61, 26-37, doi.org/10.1016/j.tifs.2016.11.020

Anaya-Esparza, L. M., Velázquez-Estrada, R. M., Sayago-Ayerdi, S. G., Sánchez-Burgos, J. A., Ramírez-Mares, M. V., de Lourdes García-Magana, M., Montalvo-González, E. (2017b). Effect of thermosonication on polyphenol oxidase inactivation and quality parameters of soursoop nectar. *LWT Food Sci Technol*, 75, 545-551, doi.org/10.1016/j.lwt.2016.10.002

Bevilacqua, A., Speranza, B., Campaniello, D., Sinigaglia, M., Corbo, M. R. (2014). Inactivation of spoiling yeasts of fruit juices by pulsed ultrasound. *Food Bioprocess Technol*, 7(8), 2189-2197, doi:10.1007/s11947-013-1178-5

Bora, S. J., Handique, J., Sit, N. (2017). Effect of ultrasound and enzymatic pre-treatment on yield and properties of banana juice. *Ultrason Sonochem*, 37, 445-451, doi.org/10.1016/j.ultsonch.2017.01.039

Cao, X., Cai, C., Wang, Y., Zheng, X. (2018). The inactivation kinetics of polyphenol oxidase and peroxidase in bayberry juice during thermal and ultrasound treatments. *Innovative Food Sci Emerg Technol*, 45, 169-178, doi.org/10.1016/j.ifset.2017.09.018

Cemeroğlu, B., Karadeniz, F. (2001). *Meyve ve Sebze İşleme Teknolojisi 2. Meyve Suyu Üretim Teknolojisi*. Gıda Teknolojisi Derneği Yayınları No: 25, Ankara.384s. ISBN:975-93575-0-X

Cheng, L. H., Soh, C. Y., Liew, S. C., Teh, F. F. (2007). Effects of sonication and carbonation on guava juice quality. *Food Chem*, 104(4), 1396-1401, doi:10.1016/j.foodchem.2007.02.001

Condón, S., Raso, J., Pagán, R. (2005). Microbial inactivation by ultrasound. In: *Novel Food Processing Technologies*. Barbosa-Cánovas, G. V., Tapia, S. M., Cano M. P. CRC Press pp. 423-442. New York.

De Castro, M.D.L., Capote, F.P. (2006). *Introduction: fundamentals of ultrasound and*

- basis of its analytical uses: In: Analytical Applications of Ultrasound. Elsevier. De Castro M. D. L. and Capote F. P. (Editors) pp. 1-34 Oxford.
- Demirdöven, A., Baysal, T. (2008). The use of ultrasound and combined technologies in food preservation. *Food Rev Int*, 25(1), 1-11. doi.org/10.1080/87559120802306157
- Dinçer, C., Topuz, A. (2015). Inactivation of *Escherichia coli* and quality changes in black mulberry juice under pulsed sonication and continuous thermosonication treatments. *J Food Process Preserv*, 39(6), 1744-1753. doi:10.1111/jfpp.12406
- Ertugay, M. F., Başlar, M. (2014). The effect of ultrasonic treatments on cloudy quality-related quality parameters in apple juice. *Innovative Food Sci Emerg Technol* 26, 226-231, doi.org/10.1016/j.ifset.2014.06.013
- Ferrario, M., Alzamora, S. M., Guerrero, S. (2015). Study of the inactivation of spoilage microorganisms in apple juice by pulsed light and ultrasound. *Food Microbiol*, 46, 635-642, doi.org/10.1016/j.fm.2014.06.017
- Jabbar, S., Abid, M., Hu, B., Hashim, M. M., Lei, S., Wu, T., Zeng, X. (2015). Exploring the potential of thermosonication in carrot juice processing. *J Food Sci Technol*, 52(11), 7002-7013, doi:10.1007/s13197-015-1847-7
- Jambrak, A. R., Šimunek, M., Evačić, S., Markov, K., Smoljanić, G., Frece, J. (2018). Influence of high power ultrasound on selected moulds, yeasts and *Alicyclobacillus acidoterrestris* in apple, cranberry and blueberry juice and nectar. *Ultrasonics*, 83, 3-17. doi.org/10.1016/j.ultras.2017.02.011
- Kahraman, O., Lee, H., Zhang, W., Feng, H. (2017). Manothermosonication (MTS) treatment of apple-carrot juice blend for inactivation of *Escherichia coli* O157: H7. *Ultrason Sonochem*, 38, 820-828, doi.org/10.1016/j.ultsonch.2016.11.024
- Khandpur, P., Gogate, P. R. (2015). Effect of novel ultrasound based processing on the nutrition quality of different fruit and vegetable juices. *Ultrason Sonochem*, 27, 125-136, doi.org/10.1016/j.ultsonch.2015.05.008
- Knorr, D., Zenker, M., Heinz, V., Lee, D. (2004). Applications and potential of ultrasonics in food processing. *Trends Food Sci Tech*, 15 (5): 261-266, doi:10.1016/j.tifs.2003.12.001
- Koshani, R., Ziaee, E., Niakousari, M., Golmakani, M. T. (2015). Optimization of thermal and thermosonication treatments on pectin methyl esterase inactivation of sour orange juice (*Citrus aurantium*). *J Food Process Preserv*, 39(6), 567-573, doi:10.1111/jfpp.12262
- Leadley, C. E., Williams, A. (2006). Pulsed electric field processing, power ultrasound and other emerging technologies. In: Food processing handbook, Brennan, J. G., (Editor) 201-235.
- Lee, H., Zhou, B., Liang, W., Feng, H., Martin, S.E. (2009). Inactivation of *Escherichia coli* cells with sonication, manothermosonication, thermosonication, and manothermosonication: Microbial responses and kinetics modeling. *J Food Eng* 93 (3): 354-364, doi:10.1016/j.jfoodeng.2009.01.037
- Martínez-Flores, H. E., Garnica-Romo, M. G., Bermúdez-Aguirre, D., Pokhrel, P. R., Barbosa-Cánovas, G. V. (2015). Physico-chemical parameters, bioactive compounds and microbial quality of thermo-sonicated carrot juice during storage. *Food Chem*, 172, 650-656, doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.09.0
- Marx, G., Moody, A., Bermúdez-Aguirre, D. (2011). A comparative study on the structure of *Saccharomyces cerevisiae* under nonthermal technologies: high hydrostatic pressure, pulsed electric fields and thermo-sonication. *Int J Food Microbiol*, 151(3), 327-337,
- Mason, T.J. (1998). Power ultrasound in food processing-the way forward. In: Ultrasound in Food Processing. Povey, M. J.W. and Mason, J.T. (Editors), Blackie Academic & Professional, pp.105-126 London.
- McClements, D.J. (1997). Ultrasonic characterization of foods and drinks: Principles, methods, and applications. *Crit Rev Food Sci*, 37 (1): 1-46, doi.org/10.1080/10408399709527766

- Moussatov, A., Granger, C., Dubus, B. (2005). Ultrasonic cavitation in thin liquid layers. *Ultrason Sonochem* 12(6), 415-422, doi:10.1016/j.ultsonch.2004.09.001
- Muñoz, A., Palgan, I., Noci, F., Morgan, D. J., Cronin, D. A., Whyte, P., Lyng, J. G. (2011). Combinations of high intensity light pulses and thermosonication for the inactivation of *Escherichia coli* in orange juice. *Food Microbiol*, 28(6), 1200-1204, doi:10.1016/j.fm.2011.04.005
- O'Donnell, C. P., Tiwari, B. K., Bourke, P., Cullen, P. J. (2010). Effect of ultrasonic processing on food enzymes of industrial importance. *Trends Food Sci Technol* 21(7), 358-367. doi:10.1016/j.tifs.2010.04.007
- Piyasena, P. Mohareb, E., Mckellar, R.C. (2003). Inactivation of microbes using ultrasound: a review. *Int J Food Microbiol*, 87 (3): 207-216, doi:10.1016/S0168-1605(03)00075-8
- Rawson, A., Tiwari, B. K., Patras, A., Brunton, N., Brennan, C., Cullen, P. J., O'Donnell, C. (2011). Effect of thermosonication on bioactive compounds in watermelon juice. *Food Res Int*, 44(5), 1168-1173, doi:10.1016/j.foodres.2010.07.005
- Salleh-Mack, S.Z., Roberts. J.S. (2007). Ultrasound pasteurization: The effects of temperature, soluble solids, organic acids and pH on the inactivation of *Escherichia coli* ATCC 25922. *Ultrason Sonochem*, 14 (3): 323-329, doi:10.1016/j.ultsonch.2006.07.004
- Sánchez-Rubio, M., Taboada-Rodríguez, A., Cava-Roda, R., López-Gómez, A., Marín-Iñiesta, F. (2016). Combined use of thermo-ultrasound and cinnamon leaf essential oil to inactivate *Saccharomyces cerevisiae* in natural orange and pomegranate juices. *LWT Food Sci Technol*, 73, 140-146, doi.org/10.1016/j.lwt.2016.06.005
- Santos, H.M. and Capelo, J.L. 2007. Trends in ultrasonic-based equipment for analytical sample treatment. *Talanta*, 73 (5): 795-802, doi:10.1016/j.talanta.2007.05.039
- Soria, A. C., Villamiel, M. (2010). Effect of ultrasound on the technological properties and bioactivity of food: a review. *Trends Food Sci Technol*, 21(7), 323-331, doi:10.1016/j.tifs.2010.04.003
- Terefe, N. S., Gamage, M., Vilku, K., Simons, L., Mawson, R., Versteeg, C. (2009). The kinetics of inactivation of pectin methylesterase and polygalacturonase in tomato juice by thermosonication. *Food Chem*, 117(1), 20-27, doi:10.1016/j.foodchem.2009.03.067
- Tiwari, B. K., Muthukumarappan, K., O'donnell, C. P., Cullen, P. J. (2009d). Inactivation kinetics of pectin methylesterase and cloud retention in sonicated orange juice. *Innovative Food Sci Emerg Technol*, 10(2), 166-171, doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.09.072
- Tiwari, B. K., O'Donnell, C. P., Cullen, P. J. (2009c). Effect of sonication on retention of anthocyanins in blackberry juice. *J Food Eng*, 93(2), 166-171, doi:10.1016/j.jfoodeng.2009.01.027
- Tiwari, B. K., O'Donnell, C. P., Muthukumarappan, K., Cullen, P. J. (2009e). Ascorbic acid degradation kinetics of sonicated orange juice during storage and comparison with thermally pasteurised juice. *LWT Food Sci Technol*, 42(3), 700-704, doi:10.1016/j.lwt.2008.10.009
- Tiwari, B. K., O'Donnell, C. P., Patras, A., Cullen, P. J. (2008). Anthocyanin and ascorbic acid degradation in sonicated strawberry juice. *J Agric Food Chem*, 56(21), 10071-10077, doi:10.1021/jf801824v
- Tiwari, B.K., Mason, T.J. (2011). Ultrasound processing of fluid foods. In: Novel thermal and non-thermal technologies for fluid foods. Cullen, P.J., Tiwari, B. K., Valdramidis V. (Editors) Academic Press, pp. 135-165, Waltham.
- Tiwari, B.K., O'Donnell, C.P., Cullen, P. J. (2009a). Effect of non thermal processing technologies on the anthocyanin content of fruit juices. *Trends Food Sci Tech*, 20 (3-4): 137-145, doi:10.1016/j.tifs.2009.01.058
- Tiwari, B.K., O'Donnell, C.P., Patras, A., Brunton, N., Cullen, P.J. (2009b). Stability of anthocyanins and ascorbic acid in sonicated strawberry juice during storage. *Eur Food Res Technol*, 228 (5): 717-724, doi:10.1007/s00217-008-0982-z

Tiwari, B.K., Patras, A., Brunton, N., Cullen, P.J., O'donnell, C.P. (2010). Effect of ultrasound processing on anthocyanins and color of red grape juice. *Ultrason Sonochem*, 17 (3): 598-604, doi:10.1016/j.ultsonch.2009.10.009

Walkling-Ribeiro, M., Noci, F., Riener, J., Cronin, D. A., Lyng, J. G., Morgan, D. J. (2009). The impact of thermosonication and pulsed electric fields on *Staphylococcus aureus* inactivation and selected quality parameters in orange juice. *Food Bioprocess Technol*, 2(4), 422-430, doi:10.1007/s11947-007-0045-7

Weber, F., Larsen, L. R. (2017). Influence of fruit juice processing on anthocyanin stability. *Food Res Int*, 100, 354-365, doi.org/10.1016/j.foodres.2017.06.033

Zinoviadou, K. G., Galanakis, C. M., Brnčić, M., Grimi, N., Boussetta, N., Mota, M. J., ... & Barba, F. J. (2015). Fruit juice sonication: Implications on food safety and physicochemical and nutritional properties. *Food Res Int*, 77, 743-752, doi.org/10.1016/j.foodres.2015.05.032