

PAPER DETAILS

TITLE: Ultrases Yıkama İşleminin Meyve ve Sebzelerin Mikrobiyal Dekontaminasyonunda Kullanımı

AUTHORS: Fatih Mehmet YILMAZ,Fulya OKUROGLU,Ahmet Görgüç

PAGES: 1201-1216

ORIGINAL PDF URL: <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/911705>

Ultrases Yıkama İşleminin Meyve ve Sebzelerin Mikrobiyal Dekontaminasyonunda Kullanımı

Fulya OKUROĞLU^{ID}, Ahmet GÖRGÜÇ^{ID}, Fatih Mehmet YILMAZ*^{ID}

¹Aydın Adnan Menderes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, 09010, Efeler, Aydın, Türkiye

Geliş / Received: 28/05/2019, Kabul / Accepted: 15/12/2019

Öz

Meyve ve sebzelerin yetiştirme, hasat ve sonrası aşamalarında bulaşan mikroorganizmalar bazen sağlık açısından ciddi tehlikeler oluşturabilmektedir. Bu sebeple meyve ve sebzelerin endüstriyel olarak yıkanmalarında çeşitli dekontaminasyon uygulamaları geliştirilmiştir. Gıdaya fizikokimyasal, besinsel ve duyuşsal olarak daha az zarar verdiği belirtilen ultrases teknolojisi çeşitli gıdaların yıkanmasında denenmiş ve gıdaların dekontaminasyonunda kullanılabilir bir yöntem olduğu anlaşılmıştır. Çevre açısından zararlı etki oluşturmaması nedeniyle ultrases teknolojisi araştırmacılar tarafından tavsiye edilmektedir. Yıkama işlemlerinde kullanılan dezenfektanların ultrases ile birlikte kullanıldığında daha yüksek dekontaminasyon etki gösterdikleri bildirildiğinden ultrases teknolojisinin yıkama ajanları ile bir arada kullanımı farklı araştırmalarda yer edinmektedir. Halen gelişme aşamasında olan ultrases teknolojisinin gıda endüstrisinde kullanımı ile ilgili bilimsel araştırmalar devam etmektedir. Literatür sonuçları değerlendirildiğinde, ultrases ile yıkama işlemlerinin meyve ve sebzelerin başlangıç mikrobiyal yükünü önemli oranda azalttığı görülmektedir. Bu nedenle, ultrases teknolojisi özellikle gıda maddelerinin dekontaminasyonunda gelecek vadede bir yöntem olarak karşımıza çıkmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Ultrases, Meyve ve sebze yıkama, Dekontaminasyon, Gıda güvenliği.

The Use of Ultrasound Washing Process on Microbial Decontamination of Fruits and Vegetables

Abstract

Microorganisms contaminated during the growing, harvesting and later stages of fruit and vegetables can sometimes cause serious health hazards. Therefore, various decontamination applications have been developed for the industrial washing of fruits and vegetables. Ultrasound technology, which is less harmful to foods in terms of physicochemical, nutritional and sensory attributes, has been evaluated and became a convenient technique in the decontamination of various foods. It is recommended the use of ultrasound technology by researchers, due to its non-harmful nature to the environment. It has been reported that disinfectants used in washing processes show higher decontamination effects when used in combination with ultrasound, therefore studies handle combined use of ultrasound and washing agents. The ultrasound technology is still in progress, and the researches about the use of ultrasound technology in the food industry continue. Considering the literature results, it is seen that ultrasound washing processes significantly reduce the initial microbial load of fruits and vegetables. For this reason, the ultrasound technology is a promising method especially in the decontamination of foodstuffs.

Keywords: Ultrasound, Fruit and vegetable washing, Decontamination, Food safety.

1. Giriş

Meyve ve sebzelerin besin değerlerinin en yüksek oranda korunması nedeniyle işlenmeden taze olarak tüketilmesi en ideal, tercih edilen durum olarak gösterilmektedir. Buna rağmen, etkin bir yıkama ve dekontaminasyon işlemi uygulanmadığında ise potansiyel sağlık tehlikesi oluşturabilecekleri vurgulanmaktadır. Meyve ve sebzelerin taze tüketimi sonucunda patojen mikroorganizmaların (*Escherichia coli* O157: H7, *Salmonella spp.* ve *Listeria spp.* gibi) neden olduğu çok sayıda salgın vakası bildirilmiştir (Ersus ve Turantaş, 2013). Almanya'da 2011 yılında tüketilen maş fasulyesi filizinin *E. coli* O104: H4 ile kontaminasyonu sonucu oluşan salgında yaklaşık 4.000 kişi zehirlenmiş ve 47 kişi hayatını kaybetmiştir (Millan-Sango vd., 2017). Yakın dönemde ise ABD'de 907 kişide salatalık tüketiminden dolayı *Salmonella poona*, 261 kişide ise kavun tüketimine bağlı olarak *Salmonella typhimurium* ile *Salmonella newport* kaynaklı hastalıklar rapor edilmiştir (Duarte vd., 2018).

Taze ürünlerin bakteriler ile kontaminasyonu, ekim, hasat ve hasat sonrası işleme sırasında ortaya çıkabilir. Meyve ve sebzelerin özel bir teknoloji ya da dezenfektan madde kullanılmaksızın yalnızca su ile yıkanmalarının patojen bakterilerin etkisizleştirilmesi için yeterli olmadığı belirtilmektedir (Huang vd., 2018). Gıda kaynaklı hastalıkların ortaya çıkma riskini azaltmak için meyve ve sebzelerde patojen mikroorganizmaların dekontaminasyonunda sanitasyon işleminin kritik bir aşama olduğu düşünülmektedir (Duarte vd., 2018). Hasat öncesi ve sonrasında farklı birçok noktada kontaminasyon riski bulunduğundan, taze ürünlerin dekontaminasyonu için etkili yöntem veya yöntemlerin geliştirilmesine

ihtiyaç duyulmaktadır (Huang ve Chen, 2018). Bu sebeple dekontaminasyon etkisi ile ön plana çıkan ultrases teknolojisi son yıllarda en çok üzerinde durulan yöntemlerden biri haline gelmiştir (Görgüç vd., 2019).

Ultrases teknolojisi kimya, gıda işleme, ilaç, tıp ve savunma sanayi dahil olmak üzere çeşitli alanlarda kullanılmaktadır (Ojha vd., 2017). Ultrases uygulaması, mikrobiyal güvenliğin artmasına katkıda bulunan ve özellikle ısıya duyarlı, besleyici, duyuşsal ve fonksiyonel özelliklere sahip gıdalarda raf ömrünü uzatan termal olmayan bir teknolojidir. Ultrases teknolojisi meyve ve sebzelerin dekontaminasyon amaçlı yıkanmasında diğer kimyasal maddelerle bir arada kullanılabilmektedir (Ersus ve Turantaş, 2013). Ultrases aynı zamanda “yeşil” ve sürdürülebilir teknoloji olarak da kabul edilen, basit ve etkili bir yöntemdir (Jambrak vd., 2018).

Bu derleme kapsamında, ultrases teknolojisinin meyve ve sebzelerin mikrobiyal dekontaminasyonunda kullanımı ve yıkama işlemleri esnasında ultrases ile kombine olarak kullanılan kimyasal dezenfektanlar, örnek literatür çalışmalarıyla karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir.

2. Ultrases Tarihi

1826 yılında İsviçreli bir fizikçi olan Jean-Daniel Colladon, bir su altı zili kullanarak Cenevre Gölü sularındaki ses hızını belirlemek amacıyla bir çalışma gerçekleştirmiştir. 1800'lerin devamında ise fizikçiler ses dalgalarının titreşim, iletim, yayılım ve kırılma özelliklerini tanımlamaya çalışmışlardır. 1877'de İngiltere'de Lord Rayleigh tarafından yayınlanan “Ses Teorisi” tezinde tanımlanan akustik ses dalgaları, sonraki fonoloji (ses bilimi) çalışmalarının

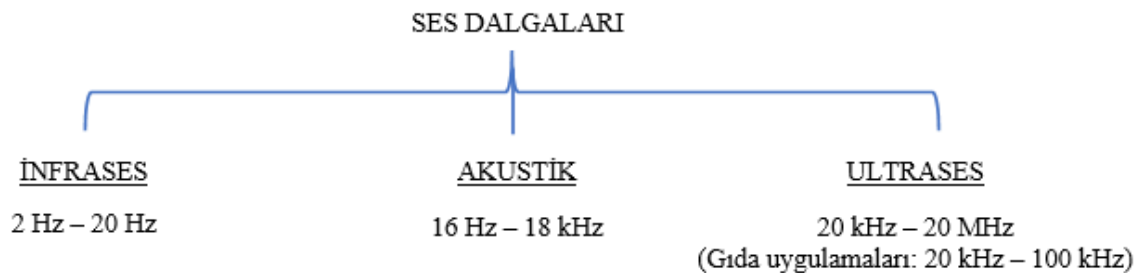
temelini oluşturmuştur. İnsanın duyma sınırının üstünde çok yüksek frekanslı ses dalgaları 1876'da İngiliz Bilim İnsanı Francis Galton tarafından, "Galton düdüğü" icat edilerek üretilmiştir (Woo, 2002).

Pierre Curie'nin 1880'deki piezoelektrik etkisi keşfi ultrases teknolojisi devrimini başlatmıştır. Bu teknoloji ilk olarak derinlik tespiti için gemilerde ve kırılma tespiti için metalürjide uygulanmış, bir süre sonra ise tıbbi uygulamalarda kullanılmaya başlanmıştır. Ultrasesin biyolojik etki üretme potansiyeli ilk olarak 1917'de rapor edilmiştir. Langevin, küçük bir tanktaki balığın ultrasese maruz kaldığında öldüğünü göstermiştir. Sonraki çalışmalar, ultrasesin diğer biyolojik türlere de hasar verdiğini doğrulamıştır. Ultrasesin termal etkileri, 1940'larda, ameliyat sırasında dokuyu sterilize etmek ve *in situ* kanserli hücreleri yok etmek için kullanılmıştır (Shankar ve Pagel, 2011).

Ultrases uygulamasındaki gelişmeler, İkinci Dünya Savaşı'ndan önceki yıllarda emülsifikasyon ve yüzey temizliği de dahil olmak üzere bir dizi teknoloji için araştırılmaya başlanmıştır (Dolatowski vd., 2007).

3. Ultrases Teknolojisi

Ses dalgaları, sürekli frekanslara sahip bir titreşim enerjisi şeklindedir (Huang vd., 2017). Ultrasonik dalgalar ses dalgalarına benzemekle birlikte frekansları insan kulağı tarafından algılanamayacak kadar yüksektir (Torley ve Bhandari, 2007; Huang vd., 2017). Ultrases, insan kulağı ile duyulabilen maksimum frekanstan (16-18 kHz) daha yüksek bir frekansta katı veya akışkan içinden geçebilen bir mekanik titreşim enerjisidir (Jayasooriya vd., 2004). Ultrases (sonikasyon), sözlük anlamı itibarıyla saniyede 20.000 veya daha fazla titreşim gerçekleştiren ses dalgaları ile oluşan enerji olarak ifade edilmektedir. Genellikle, mevcut ultrases cihazları 20 kHz ila 10 MHz frekans aralığında çalışmaktadır (Piyasena vd., 2003; Ersus ve Turantaş, 2013; Sayın ve Tamer, 2014). Ultrases uygulamaları; ses gücü (W), ses yoğunluğu (W/m^2) ve/veya ses enerji yoğunluğu ($W.s/m^3$) ile karakterize edilmektedir (Knorr vd., 2004; Dolatowski vd., 2007). Şekil 1'de çeşitli ses dalgaları için frekans aralıkları verilmiştir (Ojha vd., 2017).



Şekil 1. Ses dalgaları için frekans aralıkları (Ojha vd., 2017).

Ultrases uygulaması mikroorganizmalar üzerinde etkili olmasına rağmen bu yöntemin tek başına uygulandığında

üründeki mikroorganizma sayısının yeterli oranda düşmediği belirtilmektedir. Bunun sonucunda ultrasesin başka yöntemlerle

birlikte uygulanması kanaatine varılmıştır. Bu kapsamda;

- Ultrases ve ısıl işlem (Termosonikasyon),
- Ultrases ve basınç (Manosonikasyon),
- Ultrases, basınç ve ısıl işlem (Manotermosonikasyon)

kombine uygulamalarının değerlendirildiği çalışmalar mevcuttur. Termosonikasyon, 100 °C'nin altında genellikle 50 – 60 °C'de; manosonikasyon ise 600 MPa basıncın altında uygulanan işlemlerdir (Zinoviadou vd., 2015). Ayrıca; ısı, basınç ve ultrases kombinasyonlarının

(manotermosonikasyon) ısıya dirençli enzimleri etkisizleştirdiği de bildirilmiştir (Piyasena vd., 2003; Knorr vd., 2004; Sayın ve Tamer, 2014).

Düşük enerjili ultrases uygulamalarının çoğunlukla 1 W/cm²'den düşük yoğunluklarda ve 100 kHz'ten yüksek frekanslarda gerçekleştirildiği görülmektedir. Düşük enerjili ultrases uygulamaları arasında hücresel aktivitelerin uyarılması, ultrases destekli ekstraksiyon, kristalleşme, emülsifikasyon, filtrasyon, kurutma ve dondurma işlemleri yer almaktadır (Knorr vd., 2004).

Yüksek enerjili ultrases uygulamaları genellikle 1 W/cm²'den daha yüksek yoğunluklarda 20-100 kHz arasındaki frekanslarda kullanılmaktadır. Sıvı gıdaların gazdan arındırılması, oksidasyon/indirgeme reaksiyonlarının uyarılması, enzimlerin ve proteinlerin denatürasyonu ve kristalizasyon için çekirdeklenmenin uyarılması gibi işlemlerde yüksek enerjili ultrases uygulamasının kullanıldığı çalışmalar mevcuttur (Knorr vd., 2004).

Ultrases dalgalarının gıdalar üzerine etkisi birçok alanda çalışılmıştır. Fermantasyon (Ojha vd., 2017), kurutma (da Silva Júnior vd., 2018), dondurulmuş gıda üretimi (Kiani vd., 2015), köpürtme (Sheng vd., 2018), emülsifikasyon (Aydin vd., 2017), dekontaminasyon (Millan-Sango vd., 2017; Ghadimi ve Kordestanian, 2017), ekstrüzyon (Ma vd., 2018), atık su arıtma (Borea vd., 2018), filtrasyon (dos Santos Sousa vd., 2016), ekstraksiyon (Liao vd., 2016; Rahimpour vd., 2018), kristalizasyon (Mohod ve Gogate, 2018), etin yumuşatılması (Hu vd., 2018) ve enzimlerin etkisizleştirilmesi (Sulaiman vd., 2015; Rojas vd., 2017; Cao vd., 2018) bu çalışmalara örnek olarak sayılabilir.

Gıda teknolojisinde kullanılan ultrases uygulamaları genellikle iki çeşit olarak karşımıza çıkmaktadır: Probu sistem ve ultrases su banyosu. Probu sistemler, çözelti içine probun daldırılması ile yüksek kavitasyonlu ultrases oluşumu sağlayan sistemlerdir. Ultrases su banyosu ise, genellikle haznenin altına yerleştirilen piezoelektrik kristaller ve transdüser ile ultrases dalgalarının oluşturulduğu sistemlerdir. Her iki sistemin de kendi içinde avantaj ve dezavantajlarından bahsedilmektedir. Ultrases banyolarının probu sistemlere kıyasla daha az etkinliğe sahip oldukları; buna rağmen mekanik karşılaştırmaları yapıldığında ise probu sistemler ile sınırlı hacimde işlem yapılabilirdiği ifade edilmektedir (Bromberger Soquetta vd., 2018).

4. Kavitasyon Oluşumu

Sıvı ortamda ultrases etkisi kavitasyon olayı ile açıklanmaktadır (Torley ve Bhandari, 2007). Düşük basınçlı dalga oluşumu sırasında ultrasonik dalgalar küçük vakum

baloncuklar meydana getirirler. Bu baloncuklar daha fazla enerji absorblayamayacak hacme ulaştıklarında yüksek basınçlı dalga oluşumu sonucu eş zamanlı olarak içe doğru patlarlar. Bu olaya kavitasyon adı verilmektedir. Kavitasyon sonucunda oluşan baloncukların sönmelenmesi ile anlık ve lokal olarak 5.000 K sıcaklık ve 1.000 atm'nin üzerinde basınç açığa çıkmaktadır (Chemat ve Khan, 2011). Bu durum, kimyasal reaksiyonların tetiklenmesine neden olmaktadır (Sayın ve Tamer, 2014).

Isıl işlem gibi konvansiyonel uygulamalar gıdalarda istenmeyen bazı değişimlere neden olurken, ultrases teknolojisinin yer aldığı uygulamalarda ise ultrases dalgalarının oluşturduğu kavitasyon sayesinde mikroorganizmalar inaktive edilirken gıdalarda istenmeyen değişiklikler de nispeten daha az olabilmektedir (Sayın ve Tamer, 2014). Ultrases işleminin biyosidal etkilerinin mekanik etkiler ve akustik kavitasyon ile üretilen sonokimyasal reaksiyonlardan kaynaklandığı düşünülmektedir (Gao vd., 2014; Chemat vd., 2017). Ultrases işleminin mikroorganizmaları öldürme etkisi onların hücre duvarlarını parçalaması ile meydana gelmektedir. Sonikasyon işlemi ile kavitasyon oluşmakta ve gaz kabarcıkları da bu ortamda meydana gelmektedir (Sayın ve Tamer, 2014). Kabarcıklar, mikroorganizmaları etkisiz hale getirebilen lokalize mekanik ve kimyasal enerjiler üretmektedir (São José ve Vanetti, 2012). Bu ultrases enerjisi gaz kabarcıklarındaki buharı etkin bir şekilde tutamadığı için gaz kabarcığı patlamakta ve böylece ortam yoğunlaşmaktadır. Yoğunlaşan ortam ani olarak yüksek bir sıcaklık ve basınç bölgesi oluşturmaktadır. Oluşan bu ortamda bulunan mikroorganizmaların hücre

duvarları zarar görerek mikroorganizma inaktif hale gelmektedir. Bu bölge, bakterilerin büyük oranda inaktivasyonunu sağlamakta; ancak çok sınırlı bir alanı kapsadığı için bakterilerin tamamını öldürememektedir (Sayın ve Tamer, 2014).

Bir ortamın kavitasyon eşiği (kavitasyon oluşturmak için gereken minimum salınım) bir dizi faktör tarafından belirlenmektedir. Bunların arasında çözünmüş gaz miktarı, hidrostatik basınç, sıvının özgül ısı ve oluşan baloncuktaki gaz ve sıvının gerilme direnci bulunmaktadır. Diğer bir değişken ise kavitasyon eşiğiyle ters orantılı olan sıcaklıktır. Kullanılan ultrases frekansı 2,5 MHz'in altında olmalıdır, çünkü kavitasyon olayı bu seviyenin üzerinde gerçekleşmemektedir (Piyasena vd., 2003).

Her ne kadar düşük ve yüksek frekanslı ultrases işlemleri sırasında kavitasyon üretilebilse de bu frekanslarda baloncukların patlaması sırasında salınan enerji farklıdır. Düşük frekanslı ultrases daha büyük kavitasyon kabarcıkları oluşturmakta ve patlamalar yüksek frekanslı ultrases ile karşılaştırıldığında daha yüksek enerji salınımına neden olmaktadır. Düşük frekanslı ultrases 1 W/cm²'nin altında; yüksek frekanslı ultrases ise 10-1000 W/cm² enerji ile ilişkilendirilmektedir (Gao vd., 2014).

Sıvı sistemlerdeki ultrases uygulama prensibi, temel olarak kavitasyon ile ilgili mekanik dalgaların etkilerine dayanmaktadır (Mothibe vd., 2011). Ultrasonik titreşim hareketleri mekanik basınç dalgalarına neden olarak katının içindeki sıvının çıkmasına ve dış ortamdaki sıvının katının içerisine girmesine neden olur, böylece daha verimli bir ekstraksiyon işlemi gerçekleşir. Bu olaya ise sünger

etkisi (sponge effect) denilmektedir (Ulusoy ve Karakaya, 2011).

5. Ultrasesin Mikroorganizmalara Etkisi

Gıdalarda mikroorganizma yükünün azaltılması veya giderilmesi amacıyla ultrases teknolojisi ele alınmaktadır. Ultrases, mikroorganizma gelişimini engellemekte ve böylece gıdalar mikrobiyolojik açıdan güvenli hale gelmektedir. Gıda endüstrisinde kalite kaybından sorumlu kir, böcek ilacı kalıntıları ve mikroorganizmaları gidermek amacıyla yıkama işleminin etkili bir şekilde yapılması oldukça önemlidir. Gıdanın bir sanitizer ajan ile yıkama tankına daldırılmasıyla etkin bir yıkama işlemi gerçekleştirilerek mikrobiyal yükün azaltıldığı yaygın olarak kabul edilmektedir (Ersus ve Turantaş, 2013). Sanitizer ajanlara ek olarak özellikle meyve ve sebzelere uygulanan ultrases yıkama işlemi son ürün kalitesini, güvenliğini ve raf ömrünü olumlu anlamda etkileyen önemli bir teknoloji olarak karşımıza çıkmaktadır (Gil vd., 2009).

Sıvı içerisinde kavitasyon etkisi ile oluşan küçük kabarcıklar sonik alandan geçerek mikro akımlar oluşturmaktadır. Bu akımlar hücre yüzeyine sürtünerek hücre duvarı ve hücre zarının parçalanmasını sağlayan büyük kuvvetler oluşturmaktadır. Yakın konumda bulunan titreşimli gaz kabarcıkları, dönme kuvvetleri ve gerilmeler ile hücre içi organelleri etkilemektedir. Mikrobiyal inaktivasyon için tahmin edilen diğer mekanizmalar ise serbest radikal oluşumuyla ilgilidir. Bu bileşikler, farklı ultrases uygulamalarını kolaylaştırmaya yardımcı olmaktadır. Kaviteasyon oluşumu sonucunda kabarcık

çökmesi ile suyun sonolizine katkıda bulunabilecek enerji açığa çıkmaktadır. Bu reaksiyonda, önemli bakteri öldürücü etkileri olan hidroksil (OH^-) ve hidrojen (H^+) iyonları ile hidrojen peroksit üretilmektedir. Oluşan bu serbest radikaller DNA'nın uzaması boyunca kırılma ve parçalanma meydana getirerek mikrobiyal inaktivasyonu sağlamaktadır (de São José vd., 2014).

6. Meyve ve Sebzelerin Yıkamasında Kullanılan Kimyasallar

Sanitasyon, mikrobiyal kontaminasyonu ve gıda kaynaklı hastalık riskini azaltmada kritik bir adımdır (Rosario vd., 2018). Taze meyve ve sebze üreticilerinin genellikle kaliteyi korumak, mikrobiyal yükü azaltmak ve son ürünün raf ömrünü uzatmak amacıyla yıkama suyu dezenfektanlarına güvindikleri bilinmektedir. Su, potansiyel kontaminasyonu azaltmak için yararlı ancak tek başına yeterli olmayan bir araçtır. Dezenfektanlarla yıkama işlemi çeşitli kirlilik faktörlerini gidermek ve dezenfekte edilmiş ürünler arasında çapraz bulaşmayı önlemek adına önem arz etmektedir (Gil vd., 2009).

Günümüzde, meyve ve sebzelerin mikrobiyal yükünü azaltmak için klor (Zhou vd., 2009), klor dioksit (Aday vd., 2014; Millan-Sango vd., 2017), asitlendirilmiş sodyum klorür (Zhou vd., 2009), organik asit formülasyonları (Sagong vd., 2011), alkali bazlı dezenfektanlar, hidrojen peroksit (São José ve Vanetti, 2012), ozonlanmış su (Aday vd., 2014), elektrolize su (Mikš-Krajnik vd., 2017), peroksiasetik asit (São José ve Vanetti, 2012; Silveira vd., 2018) gibi kimyasallar ile ısı işlem (Ngnitcho vd.,

2018), ultraviyole ışınımı (Kaur vd., 2015; Mikš-Krajnik vd., 2017), vurgulu elektrik alan (Wiktor vd., 2018), salınlı manyetik alan ve yüksek basınç (Bot vd., 2018; Calva-Estrada vd., 2018; Önür vd., 2018) gibi yenilikçi yöntemler, kullanılan dekontaminasyon teknikleri arasında yer almaktadır.

Mikrobiyal açıdan kontamine olan ürünler gıda işlemede ciddi sorun teşkil etmekte ve bu unsurun ortadan kaldırılması birçok alanda zaruri hale gelmektedir (Kordová vd., 2018). Antimikrobiyal etkinliğini arttırmak için ultrases uygulaması diğer dekontaminasyon teknolojileri ile bir arada kullanılabilir. Güçlü bir oksitleyici ajan olan klor dioksit, 1900'lü yıllardan beri dezenfektan olarak kullanılmaktadır (de São José ve Vanetti, 2015). Bazı araştırmalar, klor dioksitin klordan 2,5 kat daha fazla etki göstermesi nedeniyle klorun etkili bir alternatifi olabileceğini göstermiştir. Aynı zamanda klor dioksit birçok uluslararası kuruluş tarafından kanserojen olmayan bir kimyasal olarak sınıflandırılmıştır (Millan-Sango vd., 2017). Suyun klor dioksitle dezenfeksiyonu sonrasında suda klorit ve klorat inorganik yan ürünleri oluşmaktadır. Yıkamada kullanılan kloritin maksimum konsantrasyonu Amerika Çevre Ajansı (USEPA) tarafından 1 mg/L, Dünya Sağlık Örgütü (WHO) tarafından ise 0,7 mg/L olarak belirlenmiştir. Ülkemizde ise klor dioksit kaynaklı yan ürünler için henüz bir sınır değeri bulunmamaktadır (Avşar vd., 2017). Aday vd. (2014)'nin çilek üzerine yaptığı çalışmada ozon ve klor dioksitin kombine kullanımının (0,075 mg/L ozon, 6 mg/L klor dioksit ve 30 W ultrases) çileklerin raf ömrünü artırdığı gösterilmiştir.

Hidrojen peroksit, hidroksi radikaller gibi sitotoksik etkiler gösteren serbest radikallerin oluşumuna neden olduğundan bakterisidal özellikli güçlü bir oksitleyici olarak kabul görmektedir. Oluşan diğer serbest radikaller protein, lipid ve DNA dâhil olmak üzere temel hücresel bileşenlerle etkileşime girmektedir (de São José ve Vanetti, 2015). Ultrases dalgalarının da bu serbest radikallerinin oluşumunda rol aldıkları dikkate alındığında, hidrojen peroksit ve ultrasesin birlikte kullanıldığı yıkama işlemlerinin yüksek dekontaminasyon etki gösterebileceği yorumu yapılabilir. Dekontaminasyon işlemlerinde hidrojen peroksitin kullanıldığı araştırmalar mevcuttur (Kordová vd., 2018). Peroksiasetik asit, minimum işlenmiş meyve ve sebzelerin sterilize edilmesinde kullanılan başka bir kimyasal maddedir (de São José, ve Vanetti, 2015). Peroksiasetik asidin önemli bir avantajı, bu bileşiğin çevre için bir risk oluşturmaması ve organik maddelerle reaksiyona girdikten sonra toksik bileşikler üretmemesidir (São José ve Vanetti, 2012). Ayrıca peroksiasetik asit klor ve klor dioksitten daha güçlü bir oksitleyici ajandır ve hücresel organik bileşenleri etkilememesi gibi ek kullanım avantajlarına sahiptir (de São José, ve Vanetti, 2015).

Gıda endüstrisinde kullanılan kimyasal maddeler ve bu kimyasalların yıkama işlemi sonunda gıda yüzeyinde kalıntı bırakma ihtimali tüketici sağlığı açısından riskler (karsinojenik etki gibi) oluşturabilmektedir. Bu nedenle, gıda endüstrisinde yüzeydeki kalıntıları gidermek amacıyla klor bazlı sanitizere alternatif olarak yeni kimyasallar kullanılmaya başlanmıştır. Bu amaçla yıkama yardımcısı olarak tarçın kabuğu

emülsiyonları (Ribes vd., 2017; Park vd., 2018), tarçın yaprağı yağı emülsiyonu (Kang ve Song, 2018a; Kang vd., 2019), bitkisel esansiyel yağ nanoemülsiyonları (Kang ve Song, 2018b) gibi biyoaktif bileşikler kullanılmaktadır. Gıdanın mikrobiyal güvenliğini ve organoleptik kalitesini etkin bir şekilde koruyan bu kimyasallar son yıllarda kullanılmaya başlanılan etkili ve yenilikçi yaklaşımlar olarak karşımıza çıkmaktadır.

7. Meyve ve Sebzelerin Mikrobiyal Yükünün Azaltılmasında Ultrases Teknolojisinin Kullanımı

Ultrases teknolojisi ve ultrases ile birlikte kullanılan dezenfektanların farklı meyve ve sebzelerde mikrobiyal dekontaminasyon etkileri ile ilgili literatür bulguları Tablo 1’de sunulmuştur.

Tablo 1. Meyve ve sebzelerin ultrases ile yıkanması ve mikrobiyal yüklerinin azalmasına dair literatür bulguları

Ürün	Ultrases (US) sistemi & parametreleri	İşlemler	Mikrobiyal azalma (log ₁₀ CFU / g)	Referans
Marul	Ultrases su banyosu; 40 kHz, 20 °C, 5 dk., 30 W/L, %2 malik asit, laktik asit ve sitrik asit	Malik Asit; US + Malik Asit	<i>Escherichia coli</i> 1,55; 2,52 <i>Salmonella typhimurium</i> 1,75; 2,73 <i>Listeria monocytogenes</i> 1,76; 2,87	Sagong vd. (2011)
		Sitrik Asit; US + Sitrik Asit	<i>E. coli</i> O157: H7 1,35; 2,43 <i>S. typhimurium</i> 1,81; 3,18 <i>L. monocytogenes</i> 1,46; 2,34	
		Laktik Asit; US + Laktik Asit	<i>E. coli</i> O157: H7 1,74; 2,75 <i>S. typhimurium</i> 1,73; 2,71 <i>L. monocytogenes</i> 1,30; 2,50	
Marul	Ultrases su banyosu; 40 kHz, 5 dk., 500 W, 50 mg/L PA (peroksiasetik asit)	PA	<i>S. typhimurium</i> 2,4	Silveira vd. (2018)
		US+ PA	<i>S. typhimurium</i> 3,0	
Kıvırcık Marul	Ultrases su banyosu; 37 kHz, 380 W, 5 - 100 dk., NaOCl (50 - 200 ppm)	US - 5 dk. US - 100 dk.	<i>Cronobacter sakazakii</i> 0,01 0,58	Park vd. (2016)
		NaOCl – (50 ppm) NaOCl – (200 ppm)	<i>C. sakazakii</i> 0,58 2,77	
		US + NaOCl (50 ppm) US + NaOCl (200 ppm)	<i>C. sakazakii</i> 1,66 4,44	

Yabani yonca ve Maş fasulyesi filizi	Ultrases probu; 26 kHz, 5 dk., 200 W	US	<i>Salmonella</i> spp. Yabani yonca 1,40 Maş fasulyesi 1,89 <i>E. coli</i> Yabani yonca 1,06 Maş fasulyesi 1,23	Millan-Sango vd. (2017)
		US + ClO ₂ (3 ppm)	<i>Salmonella</i> spp. Yabani yonca 1,94 Maş fasulyesi 2,06 <i>E. coli</i> Yabani yonca 2,62 Maş fasulyesi 2,08	
Kiraz domates	Ultrases su banyosu; 45 kHz, 0-30 dk., 25 °C	US (10 dk.) US (20 dk.) US (30 dk.) %5 Hidrojen peroksit PA (40 mg/L) US+ PA (10 dk., 40 mg/L)	<i>S. typhimurium</i> 0,83 1,22 1,73 2,1-2,6 2,73 3,88	São José ve Vanetti (2012)
Elma	Ultrases su banyosu; 700 W & 28 kHz, 20dk., ClO ₂ (200 ppm)	US US + ClO ₂	<i>Alicyclobacillus acidoterrestris</i> 0,78 2,35	Cai vd. (2015)
Erik	Ultrases probu; 600 W & 28 kHz, 10 dk, 14,2 °C	US	<i>E. coli</i> 2,75 <i>Bacillus cereus</i> 3,40 <i>S. typhimurium</i> 0,71	Sarkinas vd. (2018)
Marul	Ultrases probu; 200 W & 26 kHz, 5 dk., 40 – 45 °C	US US + %0,018 esansiyel yağı US + %0,022 esansiyel yağı	<i>E. coli</i> 2,33 3,34 3,87	Millan-Sango vd. (2015)
Ispanak Yaprakları	Ultrases probu; 200 W/L & 21,2 kHz, 2 dk. Su, klor, asitli elektrolize su (AEW), peroksiasetik asit (PA), asitli sodyum klorit (ASC)	Sanitizer	<i>E. coli</i> Su 1,0 Klor (200 mg/L) 2,0 AEW (80 mg/L) 2,2 PA (80 mg/L) 2,2 ASC (200 mg/L) 3,1	Zhou vd. (2009)
		US+ Sanitizer	<i>E. coli</i> Su 2,1 Klor (200 mg/L) 3,1 AEW (80 mg/L) 3,1 PA (80 mg/L) 2,9 ASC (200 mg/L) 4,0	

Taze roka	Ultrases su banyosu; 70 W & 40 kHz, 25 °C, 5 dk., 100 mg/L sodyum hipoklorit (SH) çözeltisi, 100 mg/L sodyum dikloroizosiyanürat (SD) çözeltisi, 1.200 mg/L asetik, laktik ve sitrik asit çözeltisi (ALC), NS: Sterilize edilmemiş numuneler, Su (W)	NS W SH SD ALC US US+SH US+SD US+ALC	Mezofilik Aerobik 5,956 5,916 5,106 4,926 5,036 5,586 4,496 4,996 5,006	Francisco vd. (2018)
Mor lahana	Ultrases su banyosu; 500 W & 40 kHz, 5 dk. Su (W), 100 mg/L sodyum hipoklorit (SH), 100 mg/L sodyum dikloroizosiyanürat (SD), 1.200 mg/L benzalkonyum klorür (BC)	W US SH US+SH SD US+SD BC US+BC	Mezofilik Aerobik 0,3 0,6 0,8 0,6 1,1 1,3 2,2 2,5	Duarte vd. (2018)
Çin lahanası	Ultrases su banyosu; 600 W, 30 °C NaOCl (20–100 mg/L) 120 W/L	0 kHz + NaOCl (20 mg/L) 0 kHz + NaOCl (100 mg/L) 28 kHz + NaOCl (0 mg/L) 28 kHz + NaOCl (100 mg/L) 68 kHz + NaOCl (0 mg/L) 68 kHz + NaOCl (100 mg/L)	<i>Listeria innocua</i> 0,36 0,95 <i>L. innocua</i> 0,22 1,35 <i>L. innocua</i> 0,71 2,87	Alenyorege vd. (2019)
Çilek	Ultrases su banyosu; 500 W & 40 kHz, 5 dk. SW: Sterilize edilmiş su, AA: Asetik asit, SDBS: Sodyum dodesil benzensülfonat, PA: Peroksiasetik asit, US: Ultrases	SW AA SDBS PA US US + AA US + SDBS US + PA	Mezofilik Aerobik 0,2 0,3 0,4 1,4 0,8 0,9 1,1 1,8	do Rosário vd. (2017)
Salatalık	Ultrases su banyosu; 380 W & 37 kHz, 0-60 dk. Peroksiasetik asit (PA): 50 - 200 ppm	US(0 dk.) + PA (50 ppm) US(0 dk.) + PA (200 ppm) US (60 dk.) + PA (0 ppm) US (60 dk.) + PA (200 ppm)	<i>C. sakazakii</i> 0,89 1,88 <i>C. sakazakii</i> 0,60 3,51	Bang vd. (2017)
Kavun	Ultrases su banyosu; 40 kHz, 500 W, 7 °C, 5 dk., US: Ultrases SW: Steril su NaOCl: Sodyum hipoklorit (100 mg/L)	SW NaOCl US US + NaOCl	Mezofilik Aerobik 2,9 2,8 2,7 2,5	Rosario vd. (2018)

Tablo 1 incelendiğinde, peroksiasetik asit (PA), sodyum hipoklorit (NaOCl veya SH), klor dioksit (ClO₂), sodyum dikloroizosiyanürat (SD), hidrojen peroksit (HP) en yaygın kullanılan dezenfektanlar olarak ön plana çıkmaktadır. Bu dezenfektanlar ultrases ile kombine yıkamalarda gıdada bulunan mikroorganizmaları önemli ölçüde azaltmıştır. Ultrases işleminin sanitasyon ajanları ile kombine kullanımının mikroorganizmaları azaltmada tek başına kullanımına kıyasla daha etkili olduğu da ayrıca görülmektedir. Park vd. (2016) ile São José ve Vanetti (2012)'nin yaptığı araştırmalarda tek başına ve kısa süreli ultrases uygulamalarında mikrobiyal azalma düşük değerlerde seyrederken, ultrases ile dezenfektanların kombine uygulanması sonucu yüksek oranda mikrobiyal azalma gözlenmiştir. Sagong vd. (2011)'ne göre, marulun organik asitlerle ultrases yıkama işleminde malik asit, sitrik asit ve laktik asit sırasıyla *L. monocytogenes*, *S. typhimurium* ve *E. coli* O157: H7'yi önemli ölçüde azaltmıştır. Bu bulgular doğrultusunda ultrases teknolojisi ile dezenfektanların kombine uygulamalarının mikrobiyal yükte tekli uygulamalara kıyasla daha fazla azalmaya yol açtıkları ifade edilebilir.

do Rosário vd. (2017) asetik asit, sodyum dodesil benzen sülfonat ve peroksiasetik asit ile çilekte yıkama işlemleri gerçekleştirmiş, bu kimyasalların ultrases ile kombine kullanılması sonucu mikrobiyal yükte önemli oranda azalmalar sağlamışlardır. Benzer şekilde, mor lahananın yıkanmasında ultrases ile kombine kullanımların yalnızca sodyum hipoklorit, sodyum dikloroizosiyanürat ve benzalkonyum klorür ile yıkama işlemlerine kıyasla mezofilik aerobik ve

toplam koliform sayısında daha fazla düşüşe neden olduğu gözlenmiştir (Duarte ve vd., 2018). Salatalık üzerinde gerçekleştirilen bir çalışmada 200 ppm peroksiasetik asit kullanımının, daha düşük konsantrasyonlarda kullanımına kıyasla mikrobiyal inaktivasyonda daha etkili olduğu rapor edilmiştir (Bang vd., 2017). Farklı kimyasalların ultrases ile kombine kullanımlarını kıyaslayan bir çalışmada ise ıspanak yapraklarının yıkanmasında ultrases ile klor kullanımının peroksiasetik asit-ultrases kombinasyonuna kıyasla daha fazla mikrobiyal azalma sağladığı bildirilmiştir (Zhou vd., 2009). Yapılan bu araştırmalar ışığında hedef mikroorganizma grubuna göre uygulanan dezenfektan türü, miktarı ve ultrases gücü & frekansındaki farklılıkların mikrobiyal azalmada önemli faktörler olduğu sonucuna ulaşılmaktadır.

Yıkama işleminde kimyasal ajanlara alternatif olarak kekik esansiyel yağının kullanımının ele alındığı bir çalışmada Millan-Sango vd. (2015), marulların yıkanmasında artan kekik esansiyel yağı konsantrasyonunun ultrasesin tekli kullanımına kıyasla *E. coli* dekontaminasyonunda daha etkili olduğunu bildirmişlerdir.

8. Sonuç

Gıda endüstrisinde uzun yıllardan günümüze kadar kullanımı devam eden dezenfektanlar, yıkama işleminde gıda yüzeyinde kalıntı bırakma olasılığı sebebiyle risk taşımayan ve insan sağlığı için risk oluşturmayacak alternatif kimyasallar ile değiştirilmektedir. Bu dezenfektanlar tek başına mikrobiyal yükte yüksek oranda bir düşüş sağlayamadığından çeşitli teknolojiler ile kombine olarak gıdalara uygulanmaktadır. Dezenfektanlar

ile kombine ultrases kullanımı, meyve ve sebzelerdeki mikrobiyal yükün azaltılmasında önemli bir uygulama olarak ön plana çıkmaktadır; ancak ultrases teknolojisindeki sünger etkisi de dikkate alındığında meyve ve sebzelerin dokularından yıkama suyuna organik maddelerin geçişi, yıkama suyundan ise meyve ve sebzelere sınırlı miktarda da olsa yıkama ajanlarının geçişi göz ardı edilmemelidir. Bu yüzden, yıkama işlemlerinin etkinlikleri test edilirken söz konusu geçişlerin olup olmadığı ve oluyor ise de geçiş miktarları analiz edilmelidir. Ultrases teknolojisinin endüstriyel boyutta yıkama işlemlerinde uygulanmasını sağlayacak ekipman tasarımları üzerinde çalışmalar yapılması da önem arz etmektedir. Yıkama ajanlarına alternatif esansiyel yağlar ve bitkisel ekstraktlar gibi doğal kaynakların kullanıldığı ve ultrases ile etkileşimlerinin incelendiği çalışmaların oldukça sınırlı olduğu görülmektedir. Sonuç olarak, meyve ve sebzelerin ultrases ile yıkanması işlemi ile ilgili daha çok bilimsel ve endüstriyel ölçekte çalışma yapılması gerekliliği anlaşılmaktadır.

9. Kaynaklar

Aday, M. S., Caner, C. 2014. "Individual and combined effects of ultrasound, ozone and chlorine dioxide on strawberry storage life", *LWT*, 57(1), 344-351.

Alenyorege, E. A., Ma, H., Ayim, I., Aheto, J. H., Hong, C., Zhou, C. 2019. "Reduction of *Listeria innocua* in fresh-cut Chinese cabbage by a combined washing treatment of sweeping frequency ultrasound and sodium hypochlorite", *LWT*, 101, 410-418.

Avşar, E., Karadağ, S. G., Toröz, İ., Hanedar, A. 2017. "İstanbul Ömerli ham suyunda dezenfeksiyon amaçlı klor dioksit

kullanımının dezenfeksiyon yan ürün (DYÜ) oluşumuna etkisinin araştırılması". *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 23(3), 298-303.

Bang, H. J., Park, S. Y., Kim, S. E., Rahaman, M. M. F., Ha, S. D. 2017. "Synergistic effects of combined ultrasound and peroxyacetic acid treatments against *Cronobacter sakazakii* biofilms on fresh cucumber", *LWT*, 84, 91-98.

Bilek, S. E., Turantaş, F. 2013. "Decontamination efficiency of high power ultrasound in the fruit and vegetable industry, A review", *International Journal of Food Microbiology*, 166(1), 155-162.

Borea, L., Naddeo, V., Shalaby, M. S., Zarra, T., Belgiorno, V., Abdalla, H., Shaban, A. M. 2018. "Wastewater treatment by membrane ultrafiltration enhanced with ultrasound: Effect of membrane flux and ultrasonic frequency", *Ultrasonics*, 83, 42-47.

Bot, F., Calligaris, S., Cortella, G., Plazzotta, S., Nocera, F., Anese, M. 2018. "Study on high pressure homogenization and high power ultrasound effectiveness in inhibiting polyphenoloxidase activity in apple juice", *Journal of Food Engineering*, 221, 70-76.

Bromberger Soquetta, M., Schmaltz, S., Wesz Righes, F., Salvalaggio, R., de Marsillac Terra, L. 2018. "Effects of pretreatment ultrasound bath and ultrasonic probe, in osmotic dehydration, in the kinetics of oven drying and the physicochemical properties of beet snacks", *Journal of Food Processing and Preservation*, 42(1), e13393.

Cai, R., Yuan, Y., Wang, Z., Guo, C., Liu, B., Yue, T. 2015. "Reduction of *Alicyclobacillus acidoterrestris* spores on apples by chlorine dioxide in combination with ultrasound or shaker", *Food and Bioprocess Technology*, 8(12), 2409-2417.

Calva-Estrada, S. D. J., García, O., Mendoza, M. R., Jiménez, M. 2018. "Characterization of O/W emulsions of

carotenes in blackberry juice performed by ultrasound and high-pressure homogenization”, *Journal of Dispersion Science and Technology*, 39(2), 181-189.

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 Science & Emerging Technologies*, 45, 169-178.

Chemat, F., Khan, M. K. 2011. “Applications of ultrasound in food technology: Processing, preservation and extraction”, *Ultrasonics Sonochemistry*, 18(4), 813-835.

Chemat, F., Rombaut, N., Sicaire, A. G., Meullemiestre, A., Fabiano-Tixier, A. S., Abert-Vian, M. 2017. “Ultrasound assisted extraction of food and natural products. Mechanisms, techniques, combinations, protocols and applications. A review”, *Ultrasonics Sonochemistry*, 34, 540-560.

da Silva Júnior, E. V., de Melo, L. L., de Medeiros, R. A. B., Barros, Z. M. P., Azoubel, P. M. 2018. “Influence of ultrasound and vacuum assisted drying on papaya quality parameters”, *LWT*, 97, 317-322.

de São José, J. F. B., de Andrade, N. J., Ramos, A. M., Vanetti, M. C. D., Stringheta, P. C., Chaves, J. B. P. 2014. “Decontamination by ultrasound application in fresh fruits and vegetables”, *Food Control*, 45, 36-50.

de São José, J. F. B., Vanetti, M. C. D. 2015. “Application of ultrasound and chemical sanitizers to watercress, parsley and strawberry: Microbiological and physicochemical quality”, *LWT*, 63(2), 946-952.

Dolatowski, Z. J., Stadnik, J., Stasiak, D. 2007. “Applications of ultrasound in food technology”, *Acta Scientiarum Polonorum Technologia Alimentaria*, 6(3), 89-99.

do Rosário, D. K. A., da Silva Mutz, Y., Peixoto, J. M. C., Oliveira, S. B. S., de Carvalho, R. V., Carneiro, J. C. S.,

Bernardes, P. C. 2017. “Ultrasound improves chemical reduction of natural contaminant microbiota and *Salmonella enterica* subsp. *enterica* on strawberries”, *International Journal of Food Microbiology*, 241, 23-29.

dos Santos Sousa, L., Cabral, B. V., Madrona, G. S., Cardoso, V. L., Reis, M. H. M. 2016. “Purification of polyphenols from green tea leaves by ultrasound assisted ultrafiltration process”, *Separation and Purification Technology*, 168, 188-198.

Duarte, A. L. A., do Rosário, D. K. A., Oliveira, S. B. S., de Souza, H. L. S., de Carvalho, R. V., Carneiro, J. C. S., Bernardes, P. C. 2018. “Ultrasound improves antimicrobial effect of sodium dichloroisocyanurate to reduce *Salmonella Typhimurium* on purple Cabbage”, *International Journal of Food Microbiology*, 269, 12-18.

Francisco, C. A. I., Araujo Naves, E. A., Ferreira, D. C., Rosário, D. K. A. D., Cunha, M. F., Bernardes, P. C. 2018. “Synergistic effect of sodium hypochlorite and ultrasound bath in the decontamination of fresh arugulas”, *Journal of Food Safety*, 38(1), e12391.

Gil, M. I., Selma, M. V., López-Gálvez, F., Allende, A. 2009. “Fresh-cut product sanitation and wash water disinfection: problems and solutions”, *International Journal of Food Microbiology*, 134(1-2), 37-45.

Gao, S., Hemar, Y., Ashokkumar, M., Paturel, S., Lewis, G. D. 2014. “Inactivation of bacteria and yeast using high-frequency ultrasound treatment”, *Water Research*, 60, 93-104.

Ghadimi, A. H., Kordestanian, N. 2017. “Survey on approaches to eliminate harmful microorganisms in food technology based on ultrasonic waves”, *Biosciences Biotechnology Research Asia*, 14(1), 251.

Görgüç, A., Gençdağ, E., Tecimen, S., Anakız, S., Köse, S. Ö., Bıyık, H. H., Yılmaz, F. M. 2019. “Effect of ultrasound

washing process on the quality parameters of fresh strawberry during cold storage”, *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, 7(9), 1457-1464.

Hu, J., Ge, S., Huang, C., Cheung, P. C., Lin, L., Zhang, Y., Huang, X. 2018. “Tenderization effect of whelk meat using ultrasonic treatment”, *Food Science & Nutrition*, 6(7), 1848-1857.

Huang, G., Chen, S., Dai, C., Sun, L., Sun, W., Tang, Y., Xiong, F., He, R., Ma, H., 2017. “Effects of ultrasound on microbial growth and enzyme activity”, *Ultrasonics Sonochemistry*, 37, 144-149.

Huang, K., Wrenn, S., Tikekar, R., Nitin, N. 2018. “Efficacy of decontamination and a reduced risk of cross-contamination during ultrasound-assisted washing of fresh produce”, *Journal of Food Engineering*, 224, 95-104.

Huang, R., Chen, H. 2018. “Evaluation of inactivating *Salmonella* on iceberg lettuce shreds with washing process in combination with pulsed light, ultrasound and chlorine”, *International Journal of Food Microbiology*, 285, 144-151.

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.

Jayasooriya, S. D., Bhandari, B. R., Torley, P., D'arcy, B. R. 2004. “Effect of high power ultrasound waves on properties of meat: A review”, *International Journal of Food Properties*, 7(2), 301-319.

Kang, J. H., Song, K. B. 2018a. “Combined effect of a positively charged cinnamon leaf oil emulsion and organic acid on the inactivation of *Listeria monocytogenes* inoculated on fresh-cut Treviso leaves”, *Food Microbiology*, 76, 146-153.

Kang, J. H., Song, K. B. 2018b. “Inhibitory effect of plant essential oil nanoemulsions

against *Listeria monocytogenes*, *Escherichia coli* O157: H7, and *Salmonella* Typhimurium on red mustard leaves”, *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 45, 447-454.

Kang, J. H., Park, S. J., Park, J. B., Song, K. B. 2019. “Surfactant type affects the washing effect of cinnamon leaf essential oil emulsion on kale leaves”, *Food Chemistry*, 271, 122-128.

Kaur, J., Karthikeyan, R., Pillai, S. D. 2015. “Effectiveness of ultrasound, UV-C, and photocatalysis on inactivation kinetics of *Aeromonas hydrophila*”, *Journal of Environmental Science and Health, Part A*, 50 (12), 1223-1229.

Kiani, H., Zhang, Z., Sun, D. W. 2015. “Experimental analysis and modeling of ultrasound assisted freezing of potato spheres”, *Ultrasonics Sonochemistry*, 26, 321-331.

Knorr, D., Zenker, M., Heinz, V., Lee, D. U. 2004. “Applications and potential of ultrasonics in food processing”, *Trends in Food Science & Technology*, 15(5), 261-266.

Kordová, T., Scholtz, V., Khun, J., Soušková, H., Hozák, P., Čerovský, M. 2018. “Inactivation of microbial food contamination of plastic cups using nonthermal plasma and hydrogen peroxide”, *Journal of Food Quality*, 2018.

Liao, J., Zheng, N., Qu, B. 2016. “An improved ultrasonic-assisted extraction method by optimizing the ultrasonic frequency for enhancing the extraction efficiency of lycopene from tomatoes”, *Food Analytical Methods*, 9(8), 2288-2298.

Ma, W., Xie, F., Zhang, S., Wang, H., Hu, M., Sun, Y., Li, Y. 2018. “Characterizing the structural and functional properties of soybean protein extracted from full-fat soybean flakes after low-temperature dry extrusion”, *Molecules*, 23(12), 3265.

Mikš-Krajnik, M., Feng, L. X. J., Bang, W. S., Yuk, H. G. 2017. “Inactivation of *Listeria monocytogenes* and natural

microbiota on raw salmon fillets using acidic electrolyzed water, ultraviolet light or/and ultrasounds”, *Food Control*, 74, 54-60.

Millan-Sango, D., McElhatton, A., Valdramidis, V. P. 2015. “Determination of the efficacy of ultrasound in combination with essential oil of oregano for the decontamination of *Escherichia coli* on inoculated lettuce leaves”, *Food Research International*, 67, 145-154.

Millan-Sango, D., Sammut, E., Van Impe, J. F., Valdramidis, V. P. 2017. “Decontamination of alfalfa and mung bean sprouts by ultrasound and aqueous chlorine dioxide”, *LWT*, 78, 90-96.

Mohod, A. V., Gogate, P. R. 2018. “Improved crystallization of ammonium sulphate using ultrasound assisted approach with comparison with the conventional approach”, *Ultrasonics Sonochemistry*, 41, 310-318.

Mothibe, K. J., Zhang, M., Nsor-Atindana, J., Wang, Y. C. 2011. “Use of ultrasound pretreatment in drying of fruits: drying rates, quality attributes, and shelf life extension”, *Drying Technology*, 29(14), 1611-1621.

Ngnitcho, P. F. K., Tango, C. N., Khan, I., Daliri, E. B. M., Chellian, R., Oh, D. H. 2018. “The applicability of Weibull model for the kinetics inactivation of *Listeria monocytogenes* and *Escherichia coli* O157: H7 on soybean sprouts submitted to chemical sanitizers in combination with ultrasound at mild temperatures”, *LWT*, 91, 573-579.

Ojha, K. S., Mason, T. J., O'Donnell, C. P., Kerry, J. P., Tiwari, B. K. 2017. “Ultrasound technology for food fermentation applications”, *Ultrasonics Sonochemistry*, 34, 410-417.

Önür, İ., Misra, N. N., Barba, F. J., Putnik, P., Lorenzo, J. M., Gökmen, V., Alpas, H. 2018. “Effects of ultrasound and high pressure on physicochemical properties and HMF formation in Turkish honey types”,

Journal of Food Engineering, 219, 129-136.

Park, J. B., Kang, J. H., Song, K. B. 2018. “Combined treatment of cinnamon bark oil emulsion washing and ultraviolet-C irradiation improves microbial safety of fresh-cut red chard”, *LWT*, 93, 109-115.

Park, S. Y., Mizan, M. F. R., Ha, S. D. 2016. “Inactivation of *Cronobacter sakazakii* in head lettuce by using a combination of ultrasound and sodium hypochlorite”, *Food Control*, 60, 582-587.

Piyasena, P., Mohareb, E., McKellar, R. C. 2003. “Inactivation of microbes using ultrasound: A review”, *International Journal of Food Microbiology*, 87(3), 207-216.

Rahimpour, S., Dinani, S. T. 2018. “Lycopene extraction from tomato processing waste using ultrasound and cell-wall degrading enzymes”, *Journal of Food Measurement and Characterization*, 12(4), 2394-2403.

Ribes, S., Fuentes, A., Talens, P., Barat, J. M. 2017. “Application of cinnamon bark emulsions to protect strawberry jam from fungi”, *LWT*, 78, 265-272.

Rojas, M. L., Trevilin, J. H., dos Santos Funcia, E., Gut, J. A. W., Augusto, P. E. D. 2017. “Using ultrasound technology for the inactivation and thermal sensitization of peroxidase in green coconut water”, *Ultrasonics Sonochemistry*, 36, 173-181.

Rosario, D. K., Duarte, A. L. A., Madalao, M., Libardi, M. C., Teixeira, L. J., Conte-Junior, C. A., Bernardes, P. C. 2018. “Ultrasound improves antimicrobial effect of sodium hypochlorite and instrumental texture on fresh-cut yellow melon”, *Journal of Food Quality*, 2018.

Sagong, H. G., Lee, S. Y., Chang, P. S., Heu, S., Ryu, S., Choi, Y. J., Kang, D. H. 2011. “Combined effect of ultrasound and organic acids to reduce *Escherichia coli* O157: H7, *Salmonella* Typhimurium, and *Listeria monocytogenes* on organic fresh

lettuce”, *International Journal of Food Microbiology*, 145(1), 287-292.

São José, J. F. B., Vanetti, M. C. D. 2012. “Effect of ultrasound and commercial sanitizers in removing natural contaminants and *Salmonella enterica* Typhimurium on cherry tomatoes”, *Food Control*, 24(1-2), 95-99.

Sarkinas, A., Sakalauskiene, K., Raisutis, R., Zeime, J., Salaseviciene, A., Puidaite, E., Mockus, E., Cernauskas, D. 2018. “Inactivation of some pathogenic bacteria and phytoviruses by ultrasonic treatment”, *Microbial Pathogenesis*, 123, 144-148.

Sayın, L., Tamer, C. E. 2014. “Yüksek hidrostatik basınç ve ultrasonun gıda koruma yöntemi olarak kullanımı”, *Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 28(1), 83-93.

Shankar, H., Pagel, P. S. 2011. “Potential adverse ultrasound-related biological effects: A critical review”, *Anesthesiology: The Journal of the American Society of Anesthesiologists*, 115(5), 1109-1124.

Sheng, L., Wang, Y., Chen, J., Zou, J., Wang, Q., Ma, M. 2018. “Influence of high-intensity ultrasound on foaming and structural properties of egg white”, *Food Research International*, 108, 604-610.

Silveira, L. O., do Rosário, D. K. A., Giori, A. C. G., Oliveira, S. B. S., da Silva Mutz, Y., Marques, C. S., Bernardes, P. C. 2018. “Combination of peracetic acid and ultrasound reduces *Salmonella* Typhimurium on fresh lettuce (*Lactuca sativa* L. var. *crispa*)”, *Journal of Food Science and Technology*, 1-6.

Sulaiman, A., Soo, M. J., Farid, M., Silva, F. V. 2015. “Thermosonication for polyphenoloxidase inactivation in fruits: Modeling the ultrasound and thermal kinetics in pear, apple and strawberry purees at different temperatures”, *Journal of Food Engineering*, 165, 133-140.

Torley, P. J., Bhandari, B. R. 2007. “Ultrasound in Food Processing and Preservation”, *Handbook of Food Preservation* 2nd ed., *CRC Press*, Florida, 713-741.

Ulusoy, K., Karakaya, M., 2011. “Gıda endüstrisinde ultrasonik ses dalgalarının kullanımı”, *GIDA*, 36(2), 113-120.

Wiktor, A., Gondek, E., Jakubczyk, E., Dadan, M., Nowacka, M., Rybak, K., Witrowa-Rajchert, D. 2018. “Acoustic and mechanical properties of carrot tissue treated by pulsed electric field, ultrasound and combination of both”, *Journal of Food Engineering*, 238, 12-21.

Woo, J. 2002. “A short history of the development of ultrasound in obstetrics and gynecology”, *History of Ultrasound in Obstetrics and Gynecology*, 3, 1-25.

Zhou, B., Feng, H., Luo, Y. 2009. “Ultrasound enhanced sanitizer efficacy in reduction of *Escherichia coli* O157: H7 population on spinach leaves”, *Journal of Food Science*, 74(6), M308-M313.

Zinoviadou, K. G., Galanakis, C. M., Brnčić, M., Grimi, N., Boussetta, N., Mota, M. J., Saraiva, J. A., Patras, A., Tiwari, B., Barba, F. J. 2015. “Fruit juice sonication: Implications on food safety and physicochemical and nutritional properties”, *Food Research International*, 77, 743-752.