DOI:10.25092/baunfbed. 1659715 *J. BAUN Inst. Sci. Technol., 28(1), 22-38, (2026)*

Meyve ve sebze ürünleri için geleneksel olmayan koruma alternatifleri: Genel bakış, teknolojik kısıtlamalar

Elif ÇELEN[1], Elif SAVAŞ[2*]

[1]Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Ana Bilim Dalı
[2]Balıkesir Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü*

Geliş Tarihi (Received Date): 18.03.2025
Kabul Tarihi (Accepted Date): 16.07.2025

Öz

Taze kesim veya işlenmiş pekçok meyve sebze ürününün raf ömrü hammadde kalitesi ile yakından ilişkilidir. Ayrıca meyve ve sebzelerin dezenfeksiyonu, gıda güvenliğinin sağlanması ve raf ömrünün uzatılması açısından kritik bir öneme sahiptir. Uygulanan gelenekçi yaklaşımlara alternatif olarak ortaya çıkan ozon, ultraviyole [UV] ışık, ultrason ve klor uygulamaları, mikroorganizma inaktivasyonu ve gıda kalitesinin korunmasında kayda değer kolaylıklar sunmaktadır. Bu modern teknikler tek başına ya da birlikte kullanıldıklarında pek çok avantaja sahip olmakla birlikte uygulama kısıtları da bulunmaktadır. Aynı zamanda modern yöntemler, sürdürülebilir çözümler sunmakta ve gıda güvenliği ile kaliteyi artırmaktadır. Bu çalışmanın, potansiyel yenilikçi dezenfeksiyon yaklaşımlarının ve teknolojilerin meyve ve sebze endüstrisinde kullanımı ve gelişimine ışık tutacağı düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: *Meyve, sebze, klor, UV, ozon, ultrason*

Non-traditional preservation alternatives for fruit and vegetable products: Overview, technological constraints

Abstract

The shelf life of many fresh cut or processed fruit and vegetable products is closely related to the quality of the raw materials. Furthermore, disinfection of fruits and vegetables is critical to ensuring food safety and extending shelf life. Ozone, ultraviolet [UV] light, ultrasound and chlorine applications, which emerged as alternatives to traditional approaches, offer significant advantages in inactivating microorganisms and preserving food quality. These modern

[*]Elif SAVAŞ, esavas@balikesir.edu.tr, https://orcid.org/0000-0002-4878-0013
Elif ÇELEN, celenelf@gmail.com, https://orcid.org/0009-0003-1538-4916

techniques have many advantages when used alone or together, but they also have application limitations. At the same time, modern methods offer sustainable solutions and increase fooGd safety and quality. This study sheds light on the use and development of potential innovative disinfection approaches and technologies in the fruit and vegetable industry.

Keywords: *Fruit, vegetable, chlorine, UV, ozone, ultrasound*

1. Giriş

Meyve ve sebzeler, dünya çapında sağlıklı beslenmenin önemli bir parçası olarak kabul edilmektedir. Dünya Sağlık Örgütü (WHO) de, sağlıklı bir yaşam için yeterli miktarda meyve ve sebze tüketiminin önemini vurgulamaktadır. WHO'nun önerisi, günde en az 400 gram meyve ve sebze tüketilmesidir [1]. Bu miktarda meyve sebze tüketimi, kalp hastalıkları, ve kanser gibi kronik hastalıkların önlenmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Ayrıca, meyve ve sebzeler, vücuda gerekli olan vitamin, mineral, lif ve antioksidanları sağlayarak bağışıklık sistemini güçlendirir, sindirim sağlığını iyileştirir ve genel sağlığı destekler. WHO, dünya genelinde birçok kişinin bu tüketim hedefini karşılamadığını ve özellikle düşük ve orta gelirli ülkelerde bu konuda önemli eksiklikler olduğunu belirtmektedir. FAO'nun 2020 verilerine göre Türkiye'de ortalama meyve ve sebze tüketimi kişi başına 356 gram/gün olarak kaydedilmiştir. Bu değer pekçok AB ülkesi ve Amerika Birleşik Devletleri'ne göre yüksek iken, tavsiye edilen miktardan düşük kalmaktadır [2]. Meyve ve sebzenin güvenle tüketimini artırmanın yolları arasında, toplumların sağlıklı beslenme alışkanlıklarını benimsemesi, yerel üretim ve tedarik zincirlerinin güçlendirilmesi, temiz içerik, eğitim ve farkındalık kampanyalarının yaygınlaştırılması yer almaktadır. Ancak, taze meyve ve sebzeler, özellikle toprak ve su ile temasta bulunanlar, çeşitli mikroorganizmalarla kontamine olabilmektedir. Bu mikroorganizmalar, patojenik bakteriler, virüsler, küfler ve maya türlerini içerebilir ve bunlar insanların sağlığını tehdit eden potansiyel tehlikeleri oluşturabilir [3, 4]. Dolayısıyla, bu ürünlerin güvenli tüketimi için etkili dezenfeksiyon yöntemlerinin geliştirilmesi büyük önem taşımaktadır.

Geleneksel dezenfeksiyon yöntemleri, genellikle kimyasal ajanlar, özellikle klor bazlı çözelti kullanımını içermektedir. Ancak, kimyasal dezenfektanlara dair artan sağlık endişeleri, çevre üzerindeki olumsuz etkiler ve potansiyel kalıntıların varlığı, alternatif dezenfeksiyon teknolojilerine olan ilgiyi artırmıştır [5]. Bu bağlamda, ultrason, ozon ve ultraviyole (UV) ışık gibi modern dezenfeksiyon teknolojileri son yıllarda büyük bir dikkat çekmiştir. Ultrasonik dalgalar, mikroorganizmaların hücresel yapısını bozarak, dezenfeksiyon etkinliğini artırırken [6], ozon ve UV ışık ise kimyasal kalıntı bırakmadan etkili bir dezenfeksiyon sağlamaktadır [7].

Bu araştırma, meyve ve sebzelerin dezenfeksiyonunda kullanılan geleneksel ve modern yöntemleri incelemeyi amaçlamaktadır. Her bir yöntemin etkinliğini, avantajlarını ve sınırlamalarını değerlendirerek, gelecekteki uygulamalar için potansiyel çözüm önerileri sunulacaktır.

2. Klor bazlı dezenfeksiyon yöntemleri

Klor, geniş bir mikrobiyal spektrum ile patojen inhibisyonu üzerine etkileri nedeniyle meyve ve sebze dezenfeksiyonunda sıklıkla tercih edilmektedir [4, 8]. Genellikle suda çözünebilen formda kullanılmakta ve bu yöntem, hızlı, etkili ve ekonomik olması

nedeniyle tercih edilmektedir [9, 10]. Ancak renk ve lezzet gibi duyusal özelliklere olan olumsuz etkiler [11] ve kalıntı problemi nedeniyle oluşan potansiyel sağlık riskleri ve çevresel riskler-i [12] kullanımını sınılandırmaktadır.

3. Ozon ile dezenfeksiyon

Ozon, taze meyve ve sebzelerin dezenfeksiyonunda yaygın olarak kullanılan, çevre dostu ve kalıntı bırakmayan bir dezenfektandır. ABD Gıda ve İlaç Dairesi (FDA) tarafından 1997 yılında güvenli kabul edilen (GRAS) bir madde olarak tanımlanan ozon ısıl olmayan gıda koruma teknikleri arasında yer almaktadır [13]. Ozon, güçlü oksidasyon özellikleri nedeniyle, mikroorganizmaların hücre duvarlarını parçalayarak bakteri ve mantarları indirgemektedir [14]. Ayrıca taze kesim sebze meyvelerde pestisitlerin indirgenmesi üzerine de etkili olduğu bildirilmiştir [15, 16]. Bu nedenle gıda sanayiinde, özellikle taze ürünlerin işlenmesinde sıklıkla kullanılmaktadır (Tablo 1).

Tablo 1. Meyve ve sebze endüstrisinde ozon uygulamaları

Meyve ve sebze	**Ozon uygulaması**	**Sonuçlar**	**Literatür**
Lahana	Ozonlanmış su (1,4 mg/L) 1, 5 ve 10 dakika boyunca	Bu araştırmada ozonlanmış su [AO] uygulaması ilk solunum metabolizmasını uyarmış, etilen üretimini azaltmış ve kontrole kıyasla taze kesilmiş lahananın genel kalitesini iyileştirmiştir. Trichlorfon, chlorpyrifos, methomyl, dichlorvos ve omethoate'in uzaklaştırılmasında 5 dakikalık uygulamanın etkisi kontrole göre daha fazla olmuştur.	[17]
Ispanak	Ozonlanmış su 1, 15 veya 30 s için 0.4, 0.8 ve 1.2 mg/L	Ozonlanmış su [30 saniye boyunca 0.8 mg/L] ambalajlamadan önce sararmayı azaltmış ve taze kesilmiş ıspanak yapraklarının bileşimsel özelliklerini koruyarak raf ömrünün 3 gün uzamasını sağlamıştır.	[18]
Elma	Ozonlanmış su (1.4 mg/L) 5 dakika boyunca	Suda çözünür pektin içeriği daha yavaş artarken, protopektin içeriği ve selüloz içeriği AO ile muamele edilmiş taze kesilmiş elmada kontrole kıyasla daha düşük bir oranda azalmıştır. AO uygulaması, depolama sırasında pektin metilesteraz aktivitesini artırmış ve β-galaktosidaz ve α-arabinofuranosidaz aktivitelerini belirgin şekilde inhibe etmiştir. Poligalakturonaz aktivitesi AO uygulamasından etkilenmemiştir.	[19]
Üzüm	Ozonlanmış su 2, 4, 6, 8 mg/L	Ozonlu su, özellikle 5 günlük depolamadan sonra solunum hızını uyarmış ve NaOCl [100 mg/L] ile sanitize edilmiş üzümlere kıyasla süperoksit dismutaz ve katalaz aktivitesini artırmıştır. Sanitasyon yöntemi olarak ozonlu su kullanımı, özellikle 6 ve 8 mg/L	[20]

		dozlarında, fonksiyonel kaliteyi iyileştirmiştir.	
Ananas	Gaz ozon 0.73 mmol, 20 dk	Ozon uygulaması antioksidan kapasitede artışa yol açmıştır.	[21]
Domates dilimleri	Ozonlanmış su 0.4 mg/L, 3 dk	Ozonla işlem görmüş domates dilimleri 10 günlük depolamanın ardından en iyi sertlik düzeyini ve mikrobiyal kaliteyi göstermiştir.	[22]
Havuç dilimleri	Ozonlanmış su 10 mg/L 10 dakika boyunca, 30 gün depolama, 6 ± 1°C, 85% bağıl nem	Ozon uygulaması mezofilik maya, küf ve koliform sayılarında sırasıyla 3.2, 1.8, and 2.4 log KOB/g azalmaya neden olmuştur.	[23]

Ozonun avantajları arasında, hızlı etki süresi, düşük maliyet ve işlem sırasında kimyasal kalıntı bırakmaması yer alır. Ozon, su ve hava ile kolayca uygulanabilir. Bununla birlikte, ozonun etkinliği, pH, sıcaklık, uygulama süresi ve konsantrasyon gibi faktörlere bağlıdır [4, 24]. Optimum zaman ve konsantrasyonda ozon işleminin taze ürünün duyusal niteliklerini, antioksidan potansiyelini ve sertliğini koruduğu ve raf ömrünü uzattığı bildirilmiştir [25]. Buna karşın yüksek ozon konsantrasyonları, bazı meyve ve sebzelerin dokularında hasara yol açabilir, bu da ürünlerin kalite kaybına neden olabilir [6]. Ayrıca uzun süreler boyunca 4,0 ppm'den daha yüksek konsantrasyonlardaki ozonun, ekipmanlar için son derece aşındırıcı ve insanlar için ölümcül olduğu bildirilmiştir [26]. Ozonun, özellikle ultraviyole ışık ve ultrason gibi diğer teknolojilerle kombine edilerek kullanılmasının, dezenfeksiyon etkinliğini artırdığı ortaya konmuştur [27].

4. Ultraviyole [UV] ışınlama ile dezenfeksiyon

Ultraviyole [UV] ışık, güneş ışınları içerisinde bulunan ve görünür ışıktan daha kısa dalga boyuna sahip [yaklaşık 10–400 nm aralığında] elektromanyetik ışınımdır. Uzun dalga ultraviyole A ışınları [UV-A: 315-400 nm], orta dalga ultraviyole B ışınları [UV-B: 280-315 nm], kısa dalga ultraviyole C ışınları [UV-C: 200-280 nm] ve vakum ultraviyole D ışınları [UV-D: 10-200 nm] olarak elektromanyetik dalga boylarına göre sınıflandırılır [28]. Mikroorganizmaların DNA ve RNA'sını hasara uğratarak, onların çoğalmasını engelleyen bir diğer etkili dezenfeksiyon yöntemidir [29]. UV ışık, özellikle yüzey dezenfeksiyonu için yaygın olarak kullanılmaktadır ve gıda sanayiinde, taze meyve ve sebzelerde patojenlerin inaktive edilmesinde önemli bir araçtır [30]. UV ışığın mikroorganizmalar üzerinde sağladığı etkili dezenfeksiyon, hızlı ve düşük maliyetli olması nedeniyle gıda sektöründe yaygın olarak tercih edilmektedir [31]. Tablo 2 meyve ve sebze endüstrisinde ultraviyole uygulama örneklerini sunmaktadır.

Tablo 2. Meyve ve sebze endüstrisinde ultraviyole uygulamaları

Meyve /sebze	**Ultraviyole uygulaması**	**Sonuçlar**	**Literatür**
Çilek	UV-C λ = 254 nm (0, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9 and 1.0 kJ/m^2) 9 güne kadar depolanmış 1-5°C	Tüm UV-C dozlarında mikroorganizma gelişmemiştir. En yüksek dozlarla muamele edilen meyveler [1 kJ/m^2] dokuzuncu günde belirgin şekilde sıkılaşmış ve bu doz ürünün duyusal kalitesini iyileştirmiştir.	[32]
Çin lahanası	UV-C, λ = 254 nm 1,8, 3,6, 5,4 ve 7,2 kJ/m^2 20°C'de depolama	3.6 ve 5.4 kJ/m^2 UV-C dozu yaprak sararmasını geciktirmiştir UV-C, özellikle peroksidaz [POD] ve süperoksit dismutaz [SOD] olmak üzere	[33]

		antioksidan enzimlerin aktivitelerindeki azalmayı geciktirmiştir. Etilen üretimini ve solunum oranlarını azaltmıştır.	
Tere	UV-C lamba 60 W 10, 20 ve 30 dakika 5°C'de 7 gün depolama ve %95 bağıl nem.	UV-C uygulaması bahçe teresinin yaprak sararması ve klorofil bozulması önlemiştir	[34]
Trabzon hurması	UV-C 1,5 ve 3 kJ/m^2 Depolama 0-4 ay 1°C	UV-C, meyve özellikleri üzerinde önemli bir etkisi olmaksızın hasat sonrası hastalık insidansını azaltmıştır.	[35]
Kale meyve suyu	UV-C uygulaması, toplam hacim, 2,32 mL/saniye akış hızı	108,3 mJ/cm^2 ortalama emilen akış, 5.8 log *E. coli* azalmasına neden olmuştur. Uygulama renk, klorofil veya antioksidan içeriği üzerinde hiçbir etki oluşturmamış; meyve suyunda, sedimantasyon ve esmerleşme artmıştır.	[36]
Nar suyu	UV-C uygulaması, (254 nm; 28 W UV-C çıkışı), (20,21 mL/saniye) ve UV lambalarının toplam çıkış gücü 28 W/lamba (× 9 lamba)	Toplam monomerik antosiyanin içeriği önemli ölçüde değişmemekle birlikte, bireysel antosiyanin pigmentleri %8.1 ile %16.3 oranında azalmıştır. Aerobik plak sayısı, maya ve küf sayısı ve *Escherichia coli* ATCC 25922 sırasıyla 1.8, 1.45 ve 6.15 log azalmıştır.	[37]
Üzüm *(Vitis vinifera* cv. Rishbaba)	UV-C uygulaması, (254nm; 30 W, 90 cm) 5 ve 10 dakika	Kateşin, epikateşin, prosiyanidin B2, kuersetin 3-galaktozid ve kuersetin 3-ramnozid konsantrasyonları artan UV-C dozuyla birlikte artmış, ancak UV-C ışınlamasından sonra prosiyanidin B1 konsantrasyonu azalmıştır.	[38]
Mango	UV-C uygulaması, (254 nm; 72.0 kJ/m^2)	*Colletotrichum gloeosporioides* konidial çimlenmesi ve sporlanması önlenmiştir.	[39]
Elma	UV-C uygulaması (1,2 kJ/m^2), +6^{o}C de 8 gün depolama	Toplam canlı sayısında 2 log azalma sağlanmıştır	[40]
Brokoli	5, 10 ve 15 °C depolama sıcaklıklarında her mikroorganizma için sırasıyla 1.07, 0.02 ve 9.26 kJ m^{-2} UV-C uygulaması	*E. coli, S. enteritidis* ve *L. Monocytogenes sayılarında* 1 log azalma sağlanmıştır	[41]
	UV-C (7.5 ve 10 kJ/m^2) uygulaması	*C. sakazakii* popülasyonunda 2–2.4 log kob/g'lik azalma sağlanmıştır	[42]
Marul [Iceberg]	UV-C (254 nm)/1.36, 2.72, 4.08, or 6.80 mW cm^2 for 0.5, 1, 3, 5, or 10 dakika, 25 °C/10 cm	E. *coli O157:H7, S. typhimurium* ve *L. monocytogenes* sayılarında kob/g'lik azalma sağlanmıştır	[43]

Meyve ve sebzelerin hasat sonrası bozulmalarında etken olan etilen salınımı ve solunum hızının artması ile indüklenen fungal bozulmalar besinsel ve ticari değer kayıplarının temelini oluşturmaktadır. UV ışık uygulamasının meyve ve sebzelerin yüzeylerinde

bulunan fungal bozulmaların önlenmesinde etkili olduğu bildirilmiştir [44, 45,46]. Bununla birlikte, UV ışığın etkinliği, alanın büyüklüğüne, ışık şiddetine ve uygulama süresine bağlıdır [López-Gálvez ve ark.,2019 4]. UV ışık uygulamaları, geleneksel kimyasal dezenfektanlara göre daha çevre dostudur, çünkü kimyasal kalıntı bırakmaz ve su kirliliğine yol açmaz. Bununla birlikte meyve ve sebzelerin yüzeyindeki kirler veya organik maddeler UV ışığın etkinliğini sınırlamaktadır. Hasat sonrası meyve ve sebzelerde UV uygulamaları düşük konsantrasyonda fenolik ve flavanoid madde içerikleri ile antioksidan kapasitede olumlu değişime yol açarken; yüksek konsantrasyon ve uzun süreli kullanımında renk bozulmaları, vitamin C kayıpları ve antioksidan kapasitede azalma olduğu bildirilmiştir [47].

5. Ultrason ile dezenfeksiyon

Ultrason, 20 ila 100 kHz arasında değişen bir frekansa sahip ses dalgalarının oluşturduğu basınç etkisiyle mikroorganizmaların hücre duvarlarının parçalanmasını sağlayan çevre dostu bir dezenfeksiyon yöntemidir [48]. Oluşan basıncın neden olduğu akustik kavitasyon ile DNA'ya zarar vererek meyve ve sebzelerin dezenfeksiyonunda güvenle kullanılmaktadır [49]. Ultrasonik dezenfeksiyon, aynı zamanda yüzeylerdeki kirlerin, pestisit kalıntılarının ve diğer yabancı maddelerin temizlenmesinde de etkilidir. Bu özellik, ultrasonu taze ürünlerde dezenfeksiyonun yanı sıra, temizlik sürecinde de kullanışlı hale getirmektedir. Meyve ve sebzelerde derin patojen gelişimi ses dalgalarının erişimini, dolayısıyla dezenfeksiyon etkinliğini sınırlamaktadır. Akustik kavitasyon nedeniyle oluşan enzimatik değişimler taze meyve ve sebzelerin sertliğini etkileyebilmektedir [50].

Ultrason etkinliği, kullanılan frekansa, süreye ve yoğunluğa bağlıdır [51]. Ayrıca, ultrasonik dezenfeksiyon sırasında kullanılan su sıcaklığı ve pH seviyesi de mikroorganizmaların inaktive edilmesinde önemli rol oynar. Bu nedenle, ultrasonik dezenfeksiyonun en verimli şekilde kullanılabilmesi için, bu faktörlerin doğru bir şekilde kontrol edilmesi gerekmektedir [6]. Tablo 3 meyve ve sebzelerin ultrason ile dezenfesiyonuna ilişkin araştırmaları sunmaktadır.

Tablo 3. Meyve ve sebze endüstrisinde ultrason uygulamaları

Meyve / sebze	Ultrason Uygulaması	Mikrobiyal azalma	Literatür
Çilek	350 W, 40 kHz, 10 dk, 20 °C	Mezofilik aerobik bakteriler: 0.66 lg kob/g; Küf ve maya: 0.54 log kob/g	[52]
Çilek	60 W, 33 kHz, 40 min, 25 °C	Mezopilik aerobik bakteri: 2 log kob/g; Maya ve küf: 1.22 log kob/g	[53]
Kiraz domates	45 kHz, 10 dakika, 20 °C	Mezofilik aerobik bakteriler: 1 log kob/g; *Salmonella typhimurium*: 0.83 log kob/g azalma	[54]
Yaban Mersini	22 °C, 500 W, 10 dakika, 20 kHz,	*Listeria innocua*: 2.7 log kob/g	[55]
Karnabahar	25 °C, 50 W/L, 20 kHz, 5 dakika	Mezofilik aerobik bakteriler: 0,51 log kob/g; Küf ve maya: 0.52 log kob/g; Koliform: 0.6 log kob/g	[56]
Marul [iceberg]	280 W/L, 20 kHz, 53 dakika	*Escherichia coli* O157:H7: 4.39 log kob/mL	[57]

Marul	100 W, 42 kHz, 10 dakika, 20 °C	*Escherichia coli* O157:H7: 2.61 log kob/cm^2; *Listeria innocua*: 2.23 log kob/cm^2; *Pseudomonas fluorescens*: 1.1 log kob/cm^2	[58]
Kırmızı dolmalık biber	120 W, 35 kHz, 2 min, 15 °C	*Listeria innocua*: 1.98 log kob/g	[59]

6. Asidik çözeltilerle dezenfeksiyon

Asidik çözeltiler, özellikle organik asitler, taze meyve ve sebzelerde mikroorganizmaların öldürülmesinde etkili bir dezenfeksiyon yöntemi olarak kabul edilmektedir. Asidik çözeltiler, genellikle organik asitler [örneğin, sitrik asit ve laktik asit] ve inorganik asitler [örneğin, sülfürik asit] olarak ayrılır. Bu asitler, meyve ve sebzelerin yüzeyinde bulunan bakterilerin ve patojenlerin inaktivasyonunda kullanılmaktadır. Asidik ortamlar, mikroorganizmaların hücre zarını etkileyerek, enzimatik aktivitelerini engeller ve çoğalmalarını durdurur [60]. Bu yöntem, özellikle kimyasal kalıntıların minimuma indirilmesini isteyen tüketiciler için tercih edilmektedir, çünkü asidik çözeltiler genellikle daha çevre dostudur.

Tablo 4. Meyve endüstrisinde asidik çözelti uygulamaları

Meyve	**Asidik çözelti uygulaması**	**Sonuçlar**	**Literatür**
Marul	Ayrı ayrı hepsi yıkamada denenmiş çözeltiler; pirinç sirkesi, akıtılmış pirinç suyu, karbonatlı su, NaCl+üzüm sirkesi, sıcak musluk suyu (40 °C), üzüm sirkesi [%6 asetik asit], üzüm sirkesi+su, soğuk musluk suyu (20 °C), limon suyu, karbonat su, üzüm sirkesi (%8 asetik asit), nane suyu ve üzüm sirkesi (%4 asetik asit)	Bu araştırmanın sonuçları kalıntı seviyesinin yıkama çözeltileri ile azaltıldığını göstermektedir. Yıkama çözeltisi uygulamaları arasında, pirinç sirkesi yıkama çözeltisinin pestisit kalıntılarını azaltmada en etkili olduğu bulunmuştur, bunun nedeni pestisitin yüksek derecede bozunmasıdır. Süzülmüş pirinç suyu ile yıkama da pirinç sirkesine benzer şekilde eşdeğer bir azaltma kabiliyeti sergilemiştir.	[61]
Elma	Su, sodyum hipoklorit, peroksiasetik asit, tween 20 çözeltisi	Kullanılan çözelti çeşitli peptisitleri (Thiabendazol %50,97, Difenilamin %88,8 Pirimetanil %40,36 Thiabendazol %49,04 Difenilamin %46,9 oranlarında) azaltmıştır.	[62]
Sarımsak	Musluk suyu, asidik çözelti, alkali çözelti	Kullanılan çözeltiler İprodion peptisitini % 4-90 oranında azaltmıştır.	[63]

Sitrik asit gibi asidik çözeltilerin kullanımının, meyve ve sebzelerde mikrobiyal yükü azaltmada etkili olduğu doğrulanmıştır (Tablo 4). Bununla birlikte, asidik çözeltilerin etkinliği, kullanılan asidin türüne, çözeltinin pH seviyesine ve maruz kalma süresine bağlıdır. Ancak, asidik çözeltiler, bazı meyve ve sebzelerde leke oluşumuna ve doku hasarına yol açabilir. Bu nedenle, asidik dezenfeksiyon yöntemleri daha çok yüzeysel dezenfeksiyon için uygundur ve bazı hassas meyve türlerinde dikkatli kullanılmalıdır.

7. Elektromanyetik alanlar ve mikrodalgalar

Mikrodalga, yüksek frekanslı elektromanyetik dalgalar kullanarak, su moleküllerini hızla ısıtıp mikroorganizmaların inaktivasyonunu sağlar. Mikrodalgalar, hızlı ısınma sağladığı için, dezenfeksiyon süresini önemli ölçüde kısaltabilir Mikrodalga ile dezenfeksiyon, geleneksel ısı uygulamalarına kıyasla daha az doku hasarı yaratabilir ve bu nedenle meyve ve sebzelerin kalitesini koruyabilir. Ancak, mikrodalga ısısı, bazı mikroorganizmalar üzerinde yeterli inaktivasyonu sağlamayabilir, bu yüzden çoğu zaman başka dezenfeksiyon yöntemleriyle birlikte kullanılır [27].

Elektromanyetik alanlar ile yapılan dezenfeksiyon, özellikle UV ışık ve mikrodalgaların kombinasyonu gibi yöntemler, taze ürünlerde mikroorganizmalara karşı etkili bir koruma sağlamaktadır. Bu yöntemlerin kombinasyonu, ürünlerin yüzeyinde daha derinlemesine etki yaratırken, aynı zamanda ürün kalitesini muhafaza edebilir [64].

8. Isı uygulaması ile dezenfeksiyon

Taze meyve ve sebzelerin termal dezenfeksiyonu sıcak suya daldırma, buhar uygulaması gibi klasik yöntemlerin yanısıra mikrodalga ve kızılötesi uygulamaları gibi yenilikçi yöntemleri de içermektedir. Yüzeydeki bakteri popülasyonunun azaltılmasında etkili olan sıcak suya daldırma ve buhar uygulamaları derin popülasyon inhibisyonlarında etkili bulunmamaktadırlar [46]. Kızılötesi ve mikrodalga ısıtma derinlemesine, eşit şekilde ve hızlı ısıtma sağlayan etkili yöntemler olarak kabul görmekte, ancak diğer yöntemlerle birlikte kullanıldığında etkinliği daha da artmaktadır [64].

9. Kombine yöntemler, geleceğe yönelik perspektifler ve yeni teknolojiler

Son yıllarda, farklı dezenfeksiyon yöntemlerinin kombinasyonları, daha yüksek etkinlik ve verimlilik sağlamada tercih edilmektedir. Örneğin, ozon ve ultrason kombinasyonu, mikrobiyal inaktivasyon oranını artırabilirken, aynı zamanda işlem süresini kısaltmaktadır [65]. Benzer şekilde, UV ışık ile ultrason veya klor bazlı dezenfektanların birleştirilmesi, daha etkili bir dezenfeksiyon sağlamaktadır. Bu tür kombinasyonlar, her bir yöntemin sınırlamalarını telafi ederken, genel dezenfeksiyon etkinliğini artırmaktadır. Araştırmalar, bu kombinasyonların hem mikroorganizmaların inhibisyonunda, hem de ürün kalitesinin korunmasında etkili olduğunu göstermektedir (Tablo 5).

Yapılan çalışmaların sonuçlarına göre bir arada kullanılan ultrason, ozon, UV ışık ve sıcak su uygulamaları hem mikroorganizmaların etkin şekilde yok edilmesi, hem de meyve ve sebzelerin kalitesinin korunmasını sağlayabilmektedir (Tablo 5). Ayrıca, bu yöntemlerin, geleneksel kimyasal dezenfektanların yerine geçebilecek alternatifler sunma potansiyeli vardır. Ozon, UV ışık ve ultrason gibi teknolojiler, çevre dostu ve kimyasal kalıntı bırakmayan alternatiflerdir, bu da onları daha sürdürülebilir çözümler haline getirmektedir [7]. Bununla birlikte, bu teknolojilerin uygulamaları maliyet, enerji tüketimi ve kullanımın verimliliği gibi kısıtlar içermektedir [66].

Gelecekte, bu dezenfeksiyon yöntemlerinin daha etkin hale getirilmesi için yenilikçi teknolojilerin geliştirilmesi ve daha büyük ölçeklerde uygulanabilirliklerinin test edilmesi gerekmektedir. Ayrıca, biyoteknolojik yöntemlerin, enzimlerin ve bitkisel bazlı dezenfektanların potansiyel kullanımı da araştırılmaktadır [48]. Bu alandaki yeni

gelişmeler, gıda güvenliğini sağlarken çevre üzerindeki etkileri en aza indirecek çözümler sunabileceği düşünülmektedir.
Gelecekte, taze meyve ve sebzelerde dezenfeksiyonun etkinliğini artırmak için bu yeni teknolojilerin araştırılması ve uygulama alanlarının genişletilmesi gerekmektedir. Bunun yanı sıra, yenilikçi kombine yöntemlerin geliştirilmesi, gıda sanayisinin sürdürülebilirliğine katkı sağlayacaktır.

Tablo 5. Meyve ve sebze endüstrisinde kombine yöntem uygulamaları

Meyve	**Kombine yöntem uygulaması**	**Sonuçlar**	**Literatür**
Kuşkonmaz	UV-C, λ = 254 nm 1 kJ/m^2 20°C'de 4 gün depolama ile ozonlu su yıkama	Kuşkonmazı ozonlu su (3 veya 4.5 ppm) ile yıkamak ve UV-C radyasyonu ile muamele etmek, depolama sırasında mikrobiyal yükleri sistematik ve önemli ölçüde etkilememiştir.	[67]
Marul	Ozonlanmış su, US-klor + 1 ppm ozon	Bu çalışmada, ozon kullanımının US-klorun dezenfeksiyon etkinliği artırdığı bulunmuş, ayrıca US-klor + 1 ppm ozon ilavesi kalite kaybına yol açmamış ve esmerleşme ile ilgili enzimler (POD ve PPO) üzerinde inhibitör bir etki göstermiştir.	[68]
Maydanoz	Ozonlanmış su 12.0 mg/L (5 dakika)	Klorofiller, askorbik asit, toplam fenolik madde içeriği ve antioksidan aktivite yıkama işlemlerinden [ozonlanmış su ve klor] olumsuz etkilenmemiştir.	[69]
İstiridye mantarı	UV-C 6, 96, 216, 360 ve 504 mWs/cm^2 ile birlikte etanol, H_2O_2 ve NaClO	Kombine dezenfektanlar / UV-C uygulamaları, bakteri sayılarında tek başına her iki uygulamaya göre daha fazla azalma sağlamıştır.	[70]
Kiraz domates	Ultrason (300 W, 20/40 kHz, 10 dakika, 25 °C) + Ozonlanmış su (0.85 mg/L)	Mezofilic bakteri: >3.00 log kob/g; küf ve maya : >3 log kob/g uygulamalardan sonra rapor edilmiştir.	[71]
Çin lahanası	Ultrason (120 W/L, 40 kHz, 10 dakika, 30 °C) + sodyum hipoklorit (100 mg/L)	*Listeria innocua*: 3.35 log kob/g	[72]

Hurma	0.5 saat UV-C (8.64 kJ/m2) ve 1 saat ozon (9.81 mg/m^3) uygulaması	Curtobacterium pusillum , Luteibacter jiangsuensis , Aspergillus niger ve Penicillium griseofulvum %100 inhibisyon	[73]
Papaya	UV-C (8.64 kJ/m^2) 0.5 saat ozon (% 1.5) uygulaması	*Salmonella poona* için 5.28 ve *L. monocytogenes* için 3.15 Log10 kob/g azalma	[74]
Roka	UV-C (20 kJ/m^2) ve ozon gazı (5 ppm) uygulaması, 12 gün +5ºC de depolama	Mezofilik, psikrofilik, *Enterobacteria,* küf ve maya sayılarında 0.80–1.11 log kob/g azalma	[75]

Sonuç ve tartışma

Meyve ve sebzelerin dezenfeksiyonu, gıda güvenliğini sağlamada önemli bir adımdır ve bu alanda kullanılan yöntemler hem mikroorganizmaların inaktive edilmesi hem de ürün kalitesinin korunması açısından büyük bir rol oynamaktadır. Çalışmalara göre ozon, ultraviyole [UV] ışık, ultrason ve kimyasal dezenfektanlar gibi geleneksel ve yenilikçi yöntemlerin kombinasyonları, dezenfeksiyon etkinliğini artırmada önemli sonuçlar doğurmuştur.
Geleneksel yöntemler yeterli olmadığında, çeşitli dezenfeksiyon tekniklerinin kombinasyonları daha etkili çözümler sunmaktadır. Araştırmalar, sinerjistik etki gösteren yöntemlerin bir araya getirilmesi ile her bir yöntemin tek başına uygulanmasından daha yüksek mikrobiyal inaktivasyon sağladığını raporlamaktadırlar. Özellikle çevre dostu kalıntı bırakmayan tekniklerin desteklediği klasik yöntemler etkin ve verimli bir dezenfeksiyon süreci sağlarken, maliyetlerin düşmesi nedeniyle sürdürülebilir çözümler sunmaktadır.

Geleneksel ve yenilikçi dezenfeksiyon yöntemlerinin kombinasyonları, gıda güvenliği ve su arıtma uygulamalarında önemli iyileştirmeler sunmaktadır. Bu kombinasyonlar, daha etkili, verimli ve çevre dostu dezenfeksiyon stratejilerinin geliştirilmesine olanak tanımaktadır. Gelecek araştırmalar, bu kombinasyonların optimizasyonuna ve yeni uygulama alanlarına yönelik olmalıdır. Bu çalışmalardan çıkarılacak genel sonuç, gıda güvenliği için etkili dezenfeksiyonun sadece mikroorganizmaları inaktive etmekle sınırlı kalmamalı, aynı zamanda gıda kalitesini ve besin değerini korumaya yönelik olmalıdır. Ozon, ultrason ve UV ışık gibi yöntemler, çevre dostu, etkili ve kimyasal kalıntı bırakmayan alternatifler olarak öne çıkmaktadır. Ancak her yöntemin avantajları ve sınırlamaları göz önünde bulundurularak, ürün türüne ve dezenfeksiyon koşullarına göre optimize edilmiş kombine yöntemlerin kullanımı daha yüksek başarı sağlayabilir.

Sonuç olarak, taze meyve ve sebzelerin dezenfeksiyonunda kullanılan yöntemlerin gelecekteki gelişimi, gıda güvenliği, kalite koruma ve çevresel etkiler arasında denge kurarak sürdürülebilir çözümler sunacaktır. Yenilikçi teknolojiler ve bunların optimizasyonu, gıda işleme sektörünün gelişen taleplerine yanıt verebilir.

Kaynakça

[1] WHO, Nutritional habits statistics, https://ec.europa.eu/eurostat/statisticsexplained/index.php?title=Nutritional_habits_statistics, (02.01.2024).

[2] FAO, The Food and Agriculture Organization. (2020). http://www.fao.org/faostat/en/#data/FBS (Erişim 18.09.2023).

[3] Barrera, M.J., Blenkinsop, R., ve Warriner, K., The effect of different processing parameters on the efficacy of commercial post-harvest washing of minimally processed spinach and shredded lettuce, **Food Control**, 25(2), 745–751, (2012).

[4] López-Gálvez, F., Tudela, J.A., Allende, A., ve Gil, M.I., Microbial and chemical characterization of commercial washing lines of fresh produce highlights the need for process water control, **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, 51, 211–219, (2019).

[5] Kim, H., Moon, M.J., Kim, C.Y., ve Ryu, K. Efficacy of chemical sanitizers against Bacillus cereus on food contact surfaces with scratch and biofilm, **Food Science and Biotechnology**, 28, 581–590, (2019).

[6] Zhang, H., Wang, S., Goon, K., Gilbert, A., Nguyen Huu, C., Walsh, M., Nitin, N., Wrenn, S., ve Tikekar, R.V. Inactivation of foodborne pathogens based on synergistic effects of ultrasound and natural compounds during fresh produce washing, **Ultrasonics Sonochemistry**, 64, (2020).

[7] Koca, N., Saatli, T.E., ve Urgu, M. Gıda Sanayisinde Ultraviyole Işığın Yüzey Uygulamaları.**Akademik Gıda** 16(1) 88-100, (2018).

[8] Byun, K., Han, S. H., Yoon, J., Park, S. H., ve Ha, S. Efficacy of chlorine-based disinfectants (sodium hypochlorite and chlorine dioxide) on Salmonella Enteritidis planktonic cells, biofilms on food contact surfaces and chicken skin. **Food Control**, 123, 107838, (2021).

[9] Nielsen, A., Garcia, L., Silva, K., Sabogal-Paz, L., Hincapié, M., Montoya, L., Galeano, L., Galdos-Balzategui, A., Reygadas, F., Herrera, C., Golden, S., Byrne, J., ve Fernández-Ibáñez, P. Chlorination for low-cost household water disinfection – A critical review and status in three Latin American countries. **International Journal of Hygiene and Environmental Health**, 244, 114004, (2022).

[10] Ban, H., Kim, H., Kang, H., ve Park, H. Comparison of the efficacy of physical and chemical strategies for the inactivation of biofilm cells of foodborne pathogens. **Food Science and Biotechnology**, 32(12), 1679, (2023).

[11] Zadeh, J.H., ve Pazır, F. Investigation of Changes in Color and Textural Quality Characteristics of Arugula (Eruca vesicaria) by Disinfectant Treatments. **Turkish Journal of Agriculture -Food Science and Technology**, 10(8): 1491-1495, (2022)66.

[12] Parveen, N., Chowdhury, S. ve Goel, S. Environmental impacts of the widespread use of chlorine-based disinfectants during the COVID-19 pandemic. **Environmental Science and Pollution Research**, 29, 85742–85760, (2022).

[13] Epelle, E. I., Macfarlane, A., Cusack, M., , A., Okolie, J. A., Mackay, W., Rateb, M., ve Yaseen, M. Ozone application in different industries: A review of recent developments. **Chemical Engineering Journal**, 454, 140188, (2023).

[14] Kaavya, R., Pandiselvam, R., Abdullah, S., Sruthi, N.U., Jayanath, Y., Ashokkumar, C., Khanashyam, A.C., Kothakota, A., ve Ramesh, S.V. Emerging non-thermal technologies for decontamination of Salmonella in food, **Trends in Food Science & Technology**, 112, 400–418, (2021).

[15] Singh, S., Solanki, V., Bardhan, K., Kansara, R., Vyas, T. K., Gandhi, K., Dhakan, D., Ali, H. M., ve Siddiqui, M.H. Evaluation of Ozonation Technique for Pesticide Residue Removal in Okra and Green Chili Using GC-ECD and LC-MS/MS. **Plants**, 11(23), 3202, (2021).

[16] Navya, K. P., Sudheer, K. P., Abdullah, S., Vithu, P., Pathrose, B., ve Rajesh, G. K. Effect of aqueous ozone treatment on the reduction of chlorpyrifos and physicochemical and microbial qualities of cucumber (Cucumis sativus L.): Process modeling and optimization. **Journal of Food Process Engineering**, 47(3), e14572, (2024).

[17] Liu, C., Chen, C., Jiang, A., Zhang, Y., Zhao, Q., ve Hu, W., Effects of aqueous ozone treatment on microbial growth, quality, and pesticide residue of fresh-cut cabbage, **Food Science & Nutrition**, 9, 52–61, (2020).

[18] Papachristodoulou, M., Koukounaras, A., Siomos, A.S., Liakou, A., ve Gerasopoulos, D. The effects of ozonated water on the microbial counts and the shelf life attributes of fresh-cut spinach, **Journal of Food Processing and Preservation**, 42, e13404, (2018).

[19] Botondi, R., Barone, M., ve Grasso, C. A Review into the Effectiveness of Ozone Technology for Improving the Safety and Preserving the Quality of Fresh-Cut Fruits and Vegetables. Foods, 10(4), 748, (2021).

[20] Silveira, A.C., Oyarzún, D. ve Escalona, V. Oxidative enzymes and functional quality of minimally processed grape berries sanitized with ozonated water, **International Journal of Food Science and Technology**, 53, 1371–1380, (2018).

[21] Alothman, M., Bhat, R. ve Karim, A. A. UV radiation-induced changes of antioxidant capacity of fresh-cut tropical fruits. **Innovative Food Science and Emerging Technology**, 10:512–516, (2009).

[22] Aguayo, E., Escalona, V., Silveira, A. C. ve Artés, F. Quality of tomato slices disinfected with ozonated water, **Food Science and Technology International**, 20, 227–35, (2014).

[23] Chauhan, O. P., Raju, P. S., Ravi, N., Singh, A. ve Bawa, A. S. Effectiveness of ozone in combination with controlled atmosphere onquality characteristics including lignification of carrot sticks. **Journal of Food Engineering**, 102, 43–48, (2011).

[24] Jamil, A., Farooq, S., ve Hashmi, I. Ozone Disinfection Efficiency for Indicator Microorganisms at Different pH Values and Temperatures. **Ozone: Science & Engineering**, 39(6), 407–416, (2017).

[25] Anjali, K. U., Reshma, C., Sruthi, N. U., Pandiselvam, R., Kothakota, A., Kumar, M., ve Mousavi Khaneghah, A. Influence of ozone treatment on functional and rheological characteristics of food products: an updated review. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, 64(12), 3687–3701, (2022).

[26] Vijay Rakesh Reddy, S., Sudhakar Rao, D. V., Sharma, R. R., Preethi, P., ve Pandiselvam, R. Role of Ozone in Post-Harvest Disinfection and Processing of Horticultural Crops: A Review. **Ozone: Science & Engineering**, 44(1), 127–146, (2021).

[27] Pandiselvam, R., Rathnakumar, K., Nickhil, C. et al. Ozone-Based Oxidation Treatment to Enhance Food Drying Rate and Quality: Mechanisms, Current Knowledge, and Future Outlook. **Food and Bioprocess Technology**, 18, 5038–5057, (2025).

[28] Lante, A., Tinello, F., ve Nicoletto, M. UV-A light treatment for controlling enzymatic Browning of fresh-cut fruits. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, 34, 141-147, (2016).

[29] Ma, L., Zhang, M., Bhandari, B., ve Gao, Z. Recent developments in novel shelf life extension technologies of fresh-cut fruits and vegetables. **Trends in Food Science & Technology**, 64, 23-38, (2017).

[30] De Souza, V. R., Popović, V., Bissonnette, S., Ros, I., Mats, L., Duizer, L., Warriner, K., ve Koutchma, T. Quality changes in cold pressed juices after processing by high hydrostatic pressure, ultraviolet-c light and thermal treatment at commercial regimes. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, 64, 102398, (2020).

[31] Gayán, E., Condón, S., ve Álvarez, I. Biological aspects in food preservation by ultraviolet light: A review. **Food and Bioprocess Technology**, 7, 1-20, (2014).

[32] Idzwana, M.I.N., Chou, K.S., Shah, R.M., ve Soh, N.C. The Effect Of Ultraviolet Light Treatment In Extend Shelf Life And Preserve TheQuality of Strawberry (Fragaria x ananassa) cv. Festival. **International Journal of Food Agriculture and Natural Resources**, 1(1), 15-18, (2020).

[33] Chairat, B., Nutthachai, P., ve Varit, S. Effect of UV-C treatment on chlorophyll degradation, antioxidant enzyme activities and senescence in Chinese kale (Brassica oleracea var. alboglabra), **International Food Research Journal**, 20(2), 623–628, (2013).

[34] Kasım, R., ve Kasım, M.U. UV-C treatments of freshcut garden cress (Lepidium sativum L.) enhanced chlorophyll content and prevent leaf yellowing, **World Applied Sciences Journal**, 17(4), 509–515, (2012).

[35] Khademi, O., Zamani, Z., Poor Ahmadi, E., ve Kalantari, S. Effect of UV-C radiation on postharvest physiology of persimmon fruit (Diospyros kaki Thunb.) cv. 'Karaj' during storage at cold temperature, **International Food Research Journal**, 20(1), 247–253, (2013).

[36] Pierscianowski, J.; Popović, V.; Biancaniello, M.; Bissonnette, S.; Zhu, Y.; Koutchma, T. Continuous-Flow UV-C Processing of Kale Juice for the Inactivation of E. Coli and Assessment of Quality Parameters. **Food Research International,** 140, 110085, (2021).

[37] Pala, Ç. U., ve Toklucu, A. K. Effect of UV-C light on anthocyanin content and other quality parameters of pomegranate juice. **Journal of Food Composition and Analysis**, 24(6), 790-795, (2011).

[38] Hemmaty, S., Hosseinzadeh, R., Dilmaghani, M. R., Tagiloo, R., ve Mohseniazar, M. . Effect of UV-C Irradiation on Phenolic Composition of 'Rishbaba'Table Grape (Vitis vinifera cv. Rishbaba). **Journal of Plant Physiology and Breeding**, 1(2), 29-38, (2011).

[39] Gunasegaran, B., Ding, P., ve Kadir, J. Morphological identification and in vitro evaluation of Colletotrichum gloesporioides in'Chok Anan'mango using UV-C irradiation. **In III Asia Pacific Symposium on Postharvest Research, Education and Extension**: APS2014 1213, 599-602, (2014).

[40] Manzocco, L., Da Pieve, S., Bertolini, A., Bartolomeoli, I., Maifreni, M., Vianello, A., ve Nicoli, M.C. Surface decontamination of fresh-cut apple by UV-C light exposure: Effects on structure, colour and sensory properties. **Postharvest Biology and Technology**, 61(2-3), 165-171, (2011).

[41] Martínez-Hernández, G. B., Huertas, J., Navarro-Rico, J., Gómez, P. A., Artés, F., Palop, A., ve Artés-Hernández, F. Inactivation kinetics of foodborne pathogens by UV-C radiation and its subsequent growth in fresh-cut kailan-hybrid broccoli. **Food Microbiology**, 46, 263-271, (2015).

[42] Santo, D., Graça, A., Nunes, C., ve Quintas, C. Survival and growth of Cronobacter sakazakii on fresh-cut fruit and the effect of UV-C illumination and electrolyzed water in the reduction of its population. **International Journal of Food Microbiology**, 231, 10-15, (2016).

[43] Kim, Y. H., Jeong, S.G., Back, K.H., Park, K.H., Chung, M.S. ve Kang, D.H. Effect of Various Conditions on Inactivation of Escherichia Coli O157:H7, Salmonella Typhimurium, and Listeria Monocytogenes in Fresh-Cut Lettuce Using Ultraviolet Radiation. International **Journal of Food Microbiology**, 166 (3), 349–355, (2013).

[44] Usall, J., Ippolito, A., Sisquella, M., ve Neri, F. Physical treatments to control postharvest diseases of fresh fruits and vegetables. **Postharvest Biology and Technology**, 122, 30-40, (2016).

[45] Wisniewski, M., Droby, S., Norelli, J., Liu, J., ve Schena, L. Alternative management technologies for postharvest disease control: The journey from simplicity to complexity. **Postharvest Biology and Technology**, 122, 3-10, (2016).

[46] Zhang, W., ve Jiang, W. UV treatment improved the quality of postharvest fruits and vegetables by inducing resistance. **Trends in Food Science & Technology**, 92, 71-80, (2019).

[47] Sonntag, F., Liu, H. ve Neugart, S. Nutritional and Physiological Effects of Postharvest UV Radiation on Vegetables: A Review. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, 71 (26), 9951-9972, (2023).

[48] Basumatary, R., Vatankhah, H., Dwivedi, M., John, D., ve Ramaswamy, H.S. Ultrasound-steam combination process for microbial decontamination and heat transfer enhancement, **Journal of Food Process Engineering**, 43, (2020).

[49] Mendoza, I..C., Luna, E.O., Pozo, M.D., Vásquez, M.V., Montoya, D.C., Moran, G. C., Romero, L.G., Yépez, X., Salazar, R., Romero-Peña, M., ve León, J.C. Conventional and non-conventional disinfection methods to prevent microbial contamination in minimally processed fruits and vegetables. **LWT - Food Science and Technology**, 165, 113714, (2022).

[50] Bhargava, N., Mor, R.S., Kumar, K., ve Sharanagat, V.S. Advances in application of ultrasound in food processing: A review. **Ultrasonics Sonochemistry**, 70, 105293, (2021).

[51] Fu, X., Belwal, T., Cravotto, G., ve Luo, Z. Sono-physical and sono-chemical effects of ultrasound: Primary applications in extraction and freezing operations and influence on food components. **Ultrasonics Sonochemistry**, 60, 104726, (2019).

[52] Cao, S., Hu, Z., Pang, B., Wang, H., Xie, H., ve Wu, F. Effect of ultrasound treatment on fruit decay and quality maintenance in strawberry after harvest, **Food Control**, 21(4), 529–532, (2010).

[53] Gani, A., Baba, W. N., Ahmad, M., Shah, U., Khan, A. A., Wani, I. A., Masoodi, F., ve Gani, A. Effect of ultrasound treatment on physico-chemical, nutraceutical and microbial quality of strawberry. **LWT - Food Science and Technology**, 66, 496-502, (2016).

[54] Brilhante São José, J.F., ve Dantas Vanetti, M.C. Effect of ultrasound and commercial sanitizers in removing natural contaminants and Salmonella enterica Typhimurium on cherry tomatoes, **Food Control**, 24(1-2), 95–99, (2012).

[55] Zhang, H., Tsai, S., ve Tikekar, R. V. Inactivation of Listeria innocua on blueberries by novel ultrasound washing processes and their impact on quality during storage. **Food Control**, 121, 107580, (2021a).

[56] Zhang, L., Yu, X., Yagoub, A.E.A., Owusu-Ansah, P., Wahia, H., Ma, H., ve Zhou, C. Effects of low frequency multi-mode ultrasound and its washing solution's interface properties on freshly cut cauliflower, **Food Chemistry**, 366, 130683, (2021b).

[57] Elizaquível, P., Sánchez, G., Selma, M., ve Aznar, R. Application of propidium monoazide-qPCR to evaluate the ultrasonic inactivation of Escherichia coli O157:H7 in fresh-cut vegetable wash water. **Food Microbiology**, 30(1), 316-320, (2012).

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

[59] Alexandre, E. M., Brandão, T. R., and Silva, C. L. Impact of non-thermal technologies and sanitizer solutions on microbial load reduction and quality factor retention of frozen red bell peppers. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, 17, 99-105, (2012).

[60] Irkin, R., Değirmencioğlu, N., ve Guldas, M. Effects of organic acids to prolong the shelf-life and improve the microbial quality of fresh cut broccoli florets, **Quality Assurance and Safety of Crops & Foods**, 7(5), 737–745, (2015).

[61] Balkan, T., ve Yılmaz, Ö. Efficacy of some washing solutions for removal of pesticide residues in lettuce. **Beni-Suef University Journal of Basic and Applied Sciences**, 11(1), 1-10, (2022).

[62] Al-Taher, F., Chen, Y., Wylie, P., ve Cappozzo, J. Reduction of pesticide residues in tomatoes and other produce, **Journal of Food Protection**, 76(3), 510–515, (2013).

[63] Bian, Y., Wang, J., Liu, F., Mao, B., Huang, H., Xu, J., Li, X., ve Guo, Y. Residue behavior and removal of iprodione in garlic, green garlic, and garlic shoot, **Journal of the Science of Food and Agriculture**, 100(13), 4705–4713, (2020).

[64] Amjad, A., Khalid Saeed, M., Rizwan Amjad, M., Hameed, A., Nawaz, H., Ullah, N., Sarwar, A., Aziz, T., Zahra, N., S. Alamri, A., Alsanie, W. F., ve Alhomrani, M. Effect of ozone, hydrogen peroxide, and chlorine solution in reduction of chlorpyrifos and cypermethrin residues from cauliflower. **Italian Journal of Food Science**, 36(4), 142-150, (2024).

[65] Pandiselvam, R., Subhashini, S., Banuu Priya, E., Kothakota, A., Ramesh, S., & Shahir, S.. Ozone based food preservation: A promising green technology for enhanced food safety. **Ozone: Science & Engineering**, 41, 17–34, (2019).

[66] Tchonkouang, R. D., Lima, A. R., Quintino, A. C., Cristofoli, N. L., ve Vieira, M. C. UV-C Light: A Promising Preservation Technology for Vegetable-Based Nonsolid Food Products. **Foods**, 12:17, 3227, (2023).

[67] Hassenberg, K., Huyskens-Keil, S., ve Herppich, W.B. Impact of postharvest UV-C and ozone treatments on microbiological properties of white asparagus (Asparagus officinalis L.), **Journal of Applied Botany and Food Quality**, 85(2), 174–181, (2012).

[68] Sun, Y., Wu, Z., Zhang, Y., ve Wang, J. Use of aqueous ozone rinsing to improve the disinfection efficacy and shorten the processing time of ultrasound-assisted washing of fresh produce, **Ultrasonics Sonochemistry**, 83, 105931, (2022).

[69] Karaca, H., ve Velioglu, Y.S. Effects of ozone and chlorine washes and subsequent cold storage on microbiological quality and shelf life of fresh parsley leaves, **LWT - Food Science and Technology**, 127, 109421, (2020).

[70] Ha, J.H., Lee, D.U., Auh, J.H., ve Ha, S.D. Synergistic effects of combined disinfecting treatments using sanitizers and UV to reduce levels of Bacillus cereus in oyster mushroom, **Journal of Korean Society of Applied Biology and Chemistry**, 54(2), 269–274, (2011).

[71] Mustapha, A.T., Zhou, C., Wahia, H., Amanor-Atiemoh, R., Otu, P., Qudus, A., Abiola Fakayode, O., ve Ma, H. Sonozonation: Enhancing the antimicrobial efficiency of aqueous ozone washing techniques on cherry tomato, **Ultrasonics Sonochemistry**, 64, (2020).

[72] Alenyorege, E.A., Ma, H., Ayim, I., Aheto, J.H., Hong, C., ve Zhou, C. Reduction of Listeria innocua in fresh-cut Chinese cabbage by a combined washing treatment of sweeping frequency ultrasound and sodium hypochlorite, **LWT - Food Science and Technology**, 101, 410–418, (2019).

[73] Chen, C., Hu, W., He, Y., Jiang, A., ve Zhang, R. Effect of citric acid combined with UV-C on the quality of fresh-cut apples. **Postharvest Biology and Technology**, 111, 126-131, (2015).

[74] Raybaudi-Massilia, R., Calderón-Gabaldón, M. I., Mosqueda-Melgar, J., ve Tapia, M. S. Inactivation of Salmonella enterica ser. Poona and Listeria monocytogenes on fresh-cut "Maradol" red papaya (Carica papaya L) treated with UV-C light and malic acid. **Journal für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit**, 8, 37-44, (2013).

[75] Gutiérrez, D. R., Chaves, A. R., ve Rodríguez, S.D.C. Use of UV-C and gaseous ozone as sanitizing agents for keeping the quality of fresh-cut rocket (Eruca sativa mill). **Journal of Food Processing and Preservation**, 41(3), e12968, (2017).