



MEYVE VE SEBZELERİN DEKONTAMİNASYONUNDA SU DESTEKLİ UV-C SİSTEMİNİN KULLANILMASI

Gülten Tiryaki Gündüz*, Özge Güteryüz

Ege Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Bornova, İzmir

Geliş / Received: 27.04.2021; Kabul / Accepted: 12.07.2021; Online baskı / Published online: 24.07.2021

Gündüz, G.T., Güteryüz, Ö. (2021). Meyve ve sebzelerin dekontaminasyonunda su destekli UV-C sisteminin kullanılması. *GIDA* (2021) 46 (5) 1069-1080 doi: 10.15237/gida. GD21086.

Gündüz, G.T., Güteryüz, Ö. (2021). *The use of water assisted UV-C system in the decontamination of fruits and vegetables. GIDA* (2021) 46 (5) 1069-1080 doi: 10.15237/gida. GD21086.

ÖZ

Minimal işlem görmüş taze meyve ve sebzelere olan talep son yıllarda artmaktadır. Bu gıdaların taze özelliklerinin korunmasında ve mikrobiyolojik açıdan güvenliğinin sağlanmasında termal olmayan yöntemler uygulanmaktadır. Klorla alternatif ve termal olmayan bir teknoloji olan UV-C ışık, gıdaların yüzeyindeki mikroorganizmaların inaktivasyonunda kullanılmaktadır. Ancak, gıdanın yüzey özellikleri ve UV-C ışığın penetrasyon derinliğinin düşük olması gibi faktörler nedeniyle bu uygulamanın etkinliği sınırlıdır. Bu faktörlerin etkisinin en aza indirilmesi için, su destekli UV-C (WUV-C) olarak adlandırılan UV-C ışığın su ile kombine edilerek kullanımı konusunda çalışmalar yürütülmektedir. Yapılan çalışmalarda, WUV-C işleminin, UV-C sistemine kıyasla gıda yüzeyine inoküle edilen mikroorganizmaların dekontaminasyonunda daha etkili olduğu tespit edilmiştir. Bu çalışmada, su destekli UV-C sisteminin taze meyve ve sebzelerin dekontaminasyonunda kullanımı konusunda yapılan araştırmalar incelenmiştir.

Anahtar kelimeler: Su destekli UV-C, minimal işlem görmüş gıdalar, dekontaminasyon, ısıl olmayan teknoloji, ultraviyole C ışık

THE USE OF WATER ASSISTED UV-C SYSTEM IN THE DECONTAMINATION OF FRUITS AND VEGETABLES

ABSTRACT

In recent years, demand for minimally processed fresh fruits and vegetables has been increasing. Non-thermal methods are applied to maintain freshness of these foods and to ensure microbiological safety. As a non-thermal technology and alternative to chlorine, UV-C light is used to inactivate microorganisms on the surface of foods. However, the effectiveness of this application is limited due to certain factors such as surface properties of food and low penetration depth of UV-C. Studies on the combined use of UV-C with water, called water assisted UV-C (WUV-C), have been carried out to minimize the effect of these factors. Studies have shown that WUV-C treatment is more effective for the decontamination of microorganisms inoculated onto the surface of food compared to the UV-C system. In this study, the investigations on the use of WUV-C system for decontamination of fresh fruits and vegetables were reviewed.

Keywords: Water assisted UV-C, minimally processed foods, decontamination, non-thermal technology, ultraviolet C light

* Yazışmalardan sorumlu yazar / Corresponding author

✉: gulten.tiryaki.gunduz@ege.edu.tr

☎: (+90) 232 311 3003

☎: (+90) 232 311 4831

Gülten Tiryaki Gündüz; ORCID no: 0000-0002-5878-7411

Özge Güteryüz; ORCID no: 0000-0002-7989-6342

GİRİŞ

Meyve ve sebzeler, beslenmenin önemli bir bölümünü oluşturmakta olup lif, vitamin ve mineraller açısından zengin oldukları için kalp-damar rahatsızlıkları ve kanser gibi hastalıkların oluşma ihtimalini azaltmaktadır (Ramos vd., 2013; Iglesias vd., 2018). Taze meyve ve sebzelerin sağlık üzerindeki olumlu etkilerinin belirlenmesiyle, bu gıdalara olan ilgi artmaktadır. Tüketicilerin günlük hayatında ve tüketim alışkanlıklarında meydana gelen değişikliklerle birlikte, yoğun çalışma temposu içerisinde mutfakta harcanacak zamanın kısıtlı olması nedeniyle minimum işlem görmüş gıdalara ihtiyaç duyulmaktadır.

Minimal işlem olarak taze gıdalara kesme, doğrama, kabuk soyma, yıkama, dezenfeksiyon ve paketlenme gibi işlemler uygulanmaktadır (Iglesias vd., 2018; Yüksel vd., 2020). Mekanik işlemlerin uygulanması sonucu gıdanın dokusunun bozulması nedeniyle bu gıdaların mikrobiyel ve duyuşal açıdan kalitesindeki değişim, işlem uygulanmamış taze ürüne kıyasla daha hızlı gerçekleşmektedir (Ma vd., 2017; Conduro vd., 2020). Herhangi bir işlem uygulanmayan taze ürünlerde raf ömrü hafta ya da ay kadar uzun süreler gösterirken, minimal işlenmiş gıdalarda bu süre 4-10 güne kadar düşebilmektedir (Siroli vd., 2015). Bu ürünlerin raf ömründe, uygulanan tarımsal faaliyetler, hasat ve hammaddenin işlenmesi sırasındaki uygulamalar, depolama koşulları vb. birçok etken söz konusudur (Giovenzana vd., 2015).

Minimal işlem görmüş olan gıdalarda, gıda güvenliğinin sağlanması, besin değerinde ve organoleptik özelliklerinde değişimin engellenmesi, buzdolabı koşullarında raf ömrünün uzatılması ve taze ürüne yakın özellikte kalması için ısı olmayan işlemler kullanılmaktadır (Ramos vd., 2013). Ancak, minimal işlem uygulamalarında kullanılan tekniklerde mikroorganizmaların tam anlamıyla uzaklaştırılması veya inaktivasyonu mümkün olmamakla birlikte, bu uygulamalar sonucunda gıda yüzeyleri istenmeyen mikroorganizmaların gelişimine açık hale gelmektedir (Alegre vd., 2013; Graça vd., 2017; Ma vd., 2017; Iglesias vd., 2018).

İşlem uygulanan gıda yüzeylerinde mikroorganizmaların besin elementlerine erişiminin daha kolay olması, taze gıdaların yüksek su aktivitesine sahip ve asitliğinin düşük veya nötr değerlere yakın olması mikrobiyel gelişimi teşvik etmektedir (Prakash vd., 2018).

Taze meyve ve sebzelerin çiğ olarak tüketiminin yaygınlaşması sonucu bu ürünler yoluyla meydana gelen mikrobiyel kaynaklı hastalık vakaları da yükselmiştir (Seong vd., 2017; Mostafidi vd., 2020). Taze meyve ve sebzelerin doğal florasında bozulmaya neden olan mikroorganizmalar olduğu gibi, kontamine olmaları durumunda gıda kaynaklı hastalığa yol açabilecek patojen bakteri, parazit ve viruslar da bulunabilmektedir (Alegre vd., 2013; Mostafidi vd., 2020). Bu kontaminasyon, bitkinin yetiştirildiği alanda olabileceği gibi ürünün hasatından tüketimine kadar olan süreçlerde de meydana gelebilmektedir (Birmipa vd., 2013; Castro-Ibáñez vd., 2017). Meyve ve sebze çeşitlerine bağlı olarak gıda kaynaklı hastalığa yol açan patojenlerin *Clostridium botulinum*, *Escherichia coli* O157:H7, *Listeria monocytogenes*, *Salmonella* spp., *Shigella* spp., *Vibrio cholerae*, *Yersinia enterocolitica*, *Staphylococcus* spp., Norovirus, Hepatit A virusu, *Cryptosporidium* spp. ve *Cyclospora* spp. olduğu rapor edilmiştir (Ramos vd., 2013) Çeşitli taze meyve ve sebzelerin florasındaki patojenlerin incelendiği bir çalışmada, örneklerin %16.03'ünde *Salmonella enterica*, % 1.89'unda ise *L. monocytogenes*'e rastlandığı bildirilmiştir (Li vd., 2017).

Taze meyve ve sebzelerin mikrobiyel yükü ve raf ömrü en çok bu ürünlere uygulanan yıkama, temizleme ve sanitasyon aşamalarından etkilenmektedir (Joshi vd., 2013). Yıkama işlemi, içilebilir su kaynağı kullanılarak yapılmaktadır (Yüksel vd., 2020). Bu işlem ile toprak vb. yabancı maddelerin ve gıdanın florasında bulunan mikrobiyel hücrelerin bir kısmının ürün yüzeyinden uzaklaştırılması sağlanmaktadır (Joshi vd., 2013; Kuan vd., 2017). Ancak, yıkama uygulamalarındaki suyun değiştirilmeden devamlı olarak kullanımı yıkama suyunun mikrobiyel yükünü arttırdığı için, yıkama suyunun gıda ürünlerinde kontaminasyona yol açabilme potansiyeli bulunmaktadır (Pablos vd., 2018).

Gıdalarda çapraz kontaminasyon ihtimalini önemli ölçüde azaltması ve kullanılan yıkama suyunun kalitesinin devam ettirilebilmesi için yıkama sularına dezenfektanlar ilave edilmektedir (Castro-Ibáñez vd., 2017; Pablos vd., 2018). Gıda endüstrisinde kimyasal dezenfektan olarak klor, maliyet açısından uygun olması, kolay temin edilebilir olması ve farklı mikrobiyel hücreler üzerinde inaktivasyon etkisinin olması gibi sağladığı avantajlardan dolayı yaygın olarak uygulanmaktadır (Meireles vd., 2016; Alenyorege vd., 2019). Taze gıdaların yüzeyinde bulunan mikroorganizmaların inaktivasyonunu sağlamak için yıkama suyu içerisinde 50-200 mg/L klor kullanılmaktadır (Graça vd., 2017; Nicolau-Lapeña vd., 2020). Ancak klor, organik madde varlığında etkinliğini kaybedebilmektedir (Jeong ve Ha, 2019). Ayrıca, klorun organik materyal ile tepkimeye girmesiyle birlikte trihalometanlar, kloropikrinler, haloetonlar ve haloasetik asitler gibi toksikolojik yan ürünlerin meydana geldiği (Alenyorege vd., 2019), buharının olduğu ortamda uzun süre durulmasının solunum yollarında ve ciltte rahatsızlıklara yol açabileceği belirtilmektedir (Alegre vd., 2013; Mostafidi vd., 2020). Bunların yanında, meyve ve sebzelerin yüzeyinde bulunan patojen mikroorganizmaların inaktivasyonunda kullanılan klor konsantrasyonlarının yetersiz kaldığı bildirilmiştir (Oliveira vd., 2015; Mostafidi vd., 2020). Klor kullanımının yarattığı olumsuz durumlardan dolayı klorun yerine geçebilecek dezenfekte edici uygulamalar üzerine çalışmalar yoğunlaşmaktadır (Leng vd., 2020; Ortiz-Solà vd., 2020).

Ultraviyole ışık (UV-C) teknolojisi, klorun yerine geçebilecek, ısı olmayan bir uygulamadır (Graça vd., 2017). Uygun dozlarda uygulanan UV-C ışığın, ürünün kalitesinde değişime yol açmaksızın mikroorganizmaların kontrolünde kullanılacağı belirtilmiştir (Gogo vd., 2017). Mikroorganizmaların inaktivasyonunda UV-C ışığın etki mekanizması, UV-C ışığın DNA tarafından absorbe edilmesi sonucunda meydana gelen pirimidin dimerlerinin, DNA'nın transkripsiyonunu ve replikasyonunu engellemesiyle oluşmaktadır (Kim ve Song, 2017; Pedrós-Garrido vd., 2018). UV-C uygulamalarının birçok avantajı olmasına rağmen, bu

uygulamaların etkinliğini sınırlayan faktörler bulunduğundan su destekli UV-C teknolojisi alternatif olarak ortaya çıkmıştır. Bu derlemede, UV-C ışığın özelliklerine, kullanım avantajı ve dezavantajlarına değinilerek, yeni bir teknoloji olan su destekli UV-C uygulamaları hakkında bilgi verilmiştir.

Taze meyve ve sebzelerde UV-C uygulamaları

UV-C ışık, 190-280 nm dalga boyu aralığında olup, minimal işlem görmüş taze gıdaların yüzeylerindeki mikroorganizmaların dekontaminasyonunda uygulanabilirliği olan bir teknolojidir (Guo vd., 2017). Amerikan Gıda ve İlaç Dairesi (FDA) tarafından bu teknolojinin, 253.7 nm dalga boyunda, ozon üretimi olmaksızın emisyonun %90'ını yayan düşük basınçlı civa lambaları kullanılarak, gıda ve gıda ürünlerinin yüzeyindeki mikroorganizmaların kontrolünün sağlanmasında, meyve ve sebze sularındaki patojen ya da diğer mikroorganizmaların azaltılmasında, gıda üretimindeki içme suyunun sterilizasyonunda kullanımı onaylanmıştır (FDA, 2000). UV-C uygulamasının mikrobiyel inaktivasyondaki etkinliğinin maksimum 254 nm dalga boyunda elde edildiği, bu teknolojinin bakteri, virus, küf ve maya üzerinde etki gösterdiği bildirilmiştir (Singh vd., 2020).

UV-C uygulamalarının avantajları arasında maliyetinin uygun, teknik montajının kolay ve uygulamanın çevre dostu olması, enerji gereksiniminin düşük olması, gıda bozulmalarına veya gıda kaynaklı hastalıklara yol açabilecek mikroorganizmaların kontrolünde kullanılabilmesi ve uygulama sonrası kimyasal kalıntı bırakmaması yer almaktadır (Birmpa vd., 2013; Liu vd., 2015a; Liu vd., 2015b; Guo vd., 2017; Butot vd., 2018; Collazo vd., 2018; Huang vd., 2018; Huang ve Chen, 2019; Huang ve Chen, 2020). Ayrıca ısı uygulamalardan farklı olarak, bu teknoloji sayesinde gıdaların duyuşal özelliklerinde ve tazeliğindeki değişim en az düzeydedir (Liu vd., 2015a; Liu vd., 2015b). Chen vd. (2018) tarafından yapılan çalışmada, taze kesilmiş elmalara 5.11 ± 0.23 log KOB/g düzeyinde inoküle edilmiş *S. enteritidis*'in dekontaminasyonu için 0.48 kJ/m² dozda

uygulanan UV-C işlemi ile 1.75 ± 0.24 log KOB/g azalma saptanırken, uygulama dozunun 0.96 kJ/m²'ye yükseltilmesiyle 2.38 ± 0.16 log KOB/g azalma olduğu tespit edilmiştir. Yeşil domateslere inoküle edilmiş *Salmonella*'nın inaktivasyonunda ise 30 saniye UV-C uygulaması (22.3 mJ/cm²) ile 3.22 logaritmik birim azalma sağlandığı bildirilmiştir (Lim ve Harrison, 2016). Seong vd. (2017) tarafından yapılan bir çalışmada, 5.54 log KOB/g *E. coli* O157:H7, 4.40 log KOB/g *S. Typhimurium* ve 5.21 log KOB/g *L. monocytogenes* inoküle edilmiş marulların UV-C (2 kg/s³ ışık şiddeti) ışık kaynağına maruz bırakılmasıyla patojen mikroorganizma popülasyonunda sırasıyla 1.22 log KOB/g, 0.72 log KOB/g ve 1.01 log KOB/g azalma tespit edilmiştir. Butot vd. (2018) tarafından yapılan çalışmada ise, *S. enterica*, *E. coli* O157: H7, *L. monocytogenes* inoküle edilmiş taze yaban mersini, çilek ve ahududu meyvelerine farklı sürelerde uygulanan UV-C (212 - 1331 mJ/cm²) işleminin patojen mikroorganizma sayısında ortalama 1 logaritmik birimi geçmeyen düzeyde azalma sağladığı saptanmıştır.

UV-C ışığın penetrasyon derinliğinin az olması, etkinliğinin gıdanın yüzey özelliklerine bağlı olması, çatlak/yarık gibi deforme olmuş gıdaların yüzeylerindeki mikroorganizmalar üzerine etkisinin düşük olması, yüksek dozlarda kullanılması durumunda gıdanın sıcaklığında artışa ve duysal özelliklerinde olumsuz değişimlere yol açabilmesi UV-C teknolojisinin etkinliğini sınırlayan faktörlerdir (Adhikari vd., 2015; Liu vd., 2015a; Liu vd., 2015b; Collazo vd., 2018; Park vd., 2018; Collazo vd., 2019a). Yapılan bir çalışmada, farklı meyve örneklerine inoküle edilmiş *E. coli* O157:H7 ve *L. monocytogenes* üzerine UV-C ışığın etkisi araştırılmıştır. *E. coli* O157:H7 popülasyonundaki azalma, elma ve armut örneklerinde 1. dakikada (0.92 kJ/m²) sırasıyla 2.9 ve 2.1 log KOB/g iken, bu azalmanın ahududu örneğinde 12. dakikada (10.5 kJ/m²) 1.1 log KOB/g, çilek örneğinde ise 8. dakikada (7.17 kJ/m²) 2.0 log KOB/g olduğu tespit edilmiştir. *L. monocytogenes* popülasyonundaki değişimin ise elma ve armut örneklerinde sırasıyla $5.$ (3.75 kJ/m²) ve $12.$ (10.3 kJ/m²) dakikada 1.6 log KOB/g, çilek ve kavun örneklerinde ise $14.$ dakikada (11.9 kJ/m²) 1.0 log KOB/g olduğu saptanmıştır.

Mikroorganizma cinsine bağlı olarak meydana gelen azalmaların meyvelerin yüzey özelliklerinden etkilendiği, elma ve armut örneklerindeki azalmaların kavun, çilek, ahududu gibi yüzeyi pürüzlü olan örneklerden daha fazla olduğu tespit edilmiştir (Adhikari vd., 2015). Bermúdez-Aguirre ve Barbosa-Cánovas (2013) tarafından yapılmış olan çalışmada ise, *E. coli* ATCC 11775 inoküle edilmiş havuç, marul, domates örneklerine 60 dakika boyunca 57.6 kJ/m² dozda UV-C uygulanması sonucunda, düzgün yüzeye sahip olmayan marulda 1.7 logaritmik birim azalma, havuçta ise inaktivasyon sağlanamadığı saptanırken, düzgün yüzeye sahip domates örneğinde ise 2.8 logaritmik birim azalma olduğu tespit edilmiştir.

UV-C teknolojisine yeni bir yaklaşım: Su destekli UV-C uygulamaları

UV-C uygulamalarının dezavantajlarının minimize edilmesinde alternatif bir yaklaşım olan su destekli UV-C teknolojisinin, taze meyve ve sebzelerin mikrobiyel dekontaminasyonunda kullanılabilme potansiyeli bulunmaktadır. Su destekli UV-C teknolojisi ile ürünlere UV-C ışık uygulanırken, aynı anda karıştırıcı sistem aracılığıyla ürünlerin su içerisinde yıkanması sağlanmaktadır (Guo vd., 2017). Su destekli UV-C (WUV-C) teknolojisinin taze meyve ve sebzelerin dekontaminasyonunda kullanılmasının önemli avantajları bulunmaktadır. Ürünün hareket kazandırılan yıkama suyu içerisinde kendi etrafında dönmesi sağlanırken yüzeyinin her noktasına UV-C ışık uygulanmaktadır (Liu vd., 2015a; Liu vd., 2015b; Guo vd., 2017; Huang vd., 2018). Gıdanın yüzeyi hem yıkama işlemiyle hem de UV-C ışık ile dekontamine olurken, aynı anda yıkama suyunun da dezenfeksiyonu sağlanmaktadır (Collazo vd., 2019b). Yıkama suyuna hareket kazandırılması esnasında, taze gıdanın mikroflorasında bulunan veya gıdaya sonradan bulaşan mikroorganizmaların bir kısmının yıkama suyuna transferi sağlanarak, bu mikroorganizmalar UV-C ışık ile dekontamine edilebilmektedir (Liu vd., 2015b; Lippman vd., 2020).

Meyve ve sebzelere uygulanan UV-C ve WUV-C işlemlerinin mikrobiyel azalma üzerindeki

etkisinin incelendiği çalışmalar Çizelge 1’de verilmiştir. Yaban mersini üzerine inoküle edilmiş MNV-1 Norovirus’ün inaktivasyonunda 2 dakika WUV-C uygulamasının 5 dakika UV-C uygulamasına kıyasla daha etkili olduğu, 10 mg/L klorla yıkamaya (>4.55 log POB (plak oluşturan birim/örnek) benzer şekilde virüsü belirleme limitinin altına düşürdüğü bildirilmiştir (Liu vd., 2015b). Yaban mersini örneklerine spot inokülasyon yöntemi ile inoküle edilmiş *Escherichia coli* O157:H7’nin inaktivasyonunda ise işlem sürelerinin (2-10 dakika) UV-C ve WUV-C’nin etkinliğinde önemli bir faktör olduğu, genel olarak düşük dozda WUV-C (5.52 kJ/m²) uygulamasının, yüksek dozda UV-C (9.48 kJ/m²) uygulamasından daha fazla inaktivasyon sağladığı belirlenmiştir. 10 dakika UV-C (47.4 kJ/m²) ve WUV-C (27.6 kJ/m²) uygulamaları sonrasında ise popülasyonda sırasıyla 4.0 log KOB (koloni oluşturan birim)/g ve 5.2 log KOB/g azalma sağlandığı tespit edilmiştir (Liu vd., 2015a). Guo

vd. (2017) tarafından yapılan çalışmada ise *S. enterica* inoküle edilmiş marul ve domates örneklerine 2 dakika WUV-C ve UV-C uygulanması sonrası, domateslerde istatistiksel açıdan en yüksek azalmanın WUV-C (4.97 log KOB/g) ile sağlandığı tespit edilmiştir. Marul örneğinde ise WUV-C (2.79 log KOB/g) sistemiyle UV-C’ye (1.32 log KOB/g) kıyasla daha iyi inaktivasyon elde edildiği tespit edilmiştir. Ortiz-Solà vd. (2021) tarafından yapılan çalışmada, çileklere inoküle edilmiş *S. enterica* ve *L. monocytogenes*’in dekontaminasyonunda UV-C’ye kıyasla su destekli UV-C sistemi (1.3 kJ/m², 4 UV-C lamba) ile 2 dakika uygulama sonrasında her iki patojen için sırasıyla 1.2 log KOB/çilek ve 1.6 log KOB/çilek daha fazla azalma elde edildiği belirlenmiştir. Yapılan çalışmalar incelendiğinde su destekli UV-C sisteminin, UV-C sistemine kıyasla mikrobiyel popülasyonun azaltılmasında daha etkili olduğu görülmektedir (Çizelge 1).

Çizelge 1. UV-C ve WUV-C uygulamaları sonrasında mikrobiyel azalmaların karşılaştırılması

Ürün	Mikroorganizma	UV-C Dozu, Süre	UV-C	WUV-C	Kaynak
Yaban mersini	MNV-1 Norovirus	WUV-C:12 kJ/m ² , 2 dk UV-C:30 kJ/m ² , 5 dk	3.04 log POB/örnek ^a	>4.32 log POB/örnek ^a	Liu vd., 2015b
Yaban mersini	<i>E. coli</i> O157:H7	WUV-C:27.6 kJ/m ² , 10 dk UV-C:47.4 kJ/m ² , 10 dk	4.0 log KOB/g ^a 1.6 log KOB/g ^b	5.2 log KOB/g ^a 1.6 log KOB/g ^b	Liu vd., 2015a
Domates	<i>S. enterica</i>	34.8 kJ/m ² , 2 dk	0.73 log KOB/g ^a 1.70 log KOB/g ^b	4.97 log KOB/g ^a 3.84 log KOB/g ^b	Guo vd., 2017
Marul	<i>S. enterica</i>	34.8 kJ/m ² , 2 dk	1.32 log KOB/g ^a 1.92 log KOB/g ^b	2.79 log KOB/g ^a 1.97 log KOB/g ^b	Guo vd., 2017

a: Spot inokülasyon, b: Daldırma yöntemiyle inokülasyon

WUV-C ve UV-C uygulamalarının kıyaslandığı çalışmalarda, aynı araştırmacılar WUV-C uygulamasının yıkama suyunun dezenfeksiyonundaki etkisini değerlendirmiştir. Liu vd. (2015b) tarafından yapılan çalışmada, uygulamanın 1. dakikasında analiz edilmiş yıkama sularında virus saptanmadığı belirlenmiştir. Diğer bir çalışmada ise, 2 dakika uygulama sonrasında yıkama suyunda *E. coli* O157:H7 tespit edilmemiştir (Liu vd., 2015a). Guo vd. (2017) ise domates örneklerinde kullandıkları yıkama suyunda *Salmonella* saptanmadığını, marul örnekleriyle yapılmış uygulamada ise düşük düzeylerde bulunduğunu belirlemişlerdir. Diğer bir çalışmada ise, çilek örneklerine 5 dakika WUV-C uygulanması sonrası yıkama sularında *L.*

monocytogenes ve *S. enterica* popülasyonu belirleme limitinin altına düşmüştür (Ortiz-Solà vd., 2021).

Farklı inokülasyon yöntemlerinin (spot veya daldırarak), dekontaminasyon uygulamaları sonrasında değişen düzeylerde mikrobiyel azalmaya yol açtığı tespit edilmiştir (Çizelge 1). Genel olarak, daldırma yöntemiyle gıdanın tüm yüzeyine mikroorganizma inoküle edildiği ve yüzeyinde bulunması ihtimal olan çatlak, yarık vb. yapılar mikrobiyellerin daha zor inaktive edilmesi gibi nedenlerden dolayı spot inokülasyon yöntemine kıyasla inoküle edilen mikroorganizma sayılarında daha az azalma elde edilmektedir.

WUV-C Sisteminin Kombine Yöntemlerle Kullanılması

Taze meyve ve sebzelerin yüzeyindeki mikroorganizmaların inaktivasyonunda birden çok uygulamanın birlikte kullanıldığı engel teknolojisi sıklıkla tercih edilmektedir (Joshi vd., 2013). Engel yaklaşımı ile gıdaların mikrobiyolojik açıdan güvenliği sağlanırken, gıdaya ait besin değerindeki ve duyuşal özelliklerindeki olumsuz değişim minimize edilebilmektedir (Ngnitcho vd.,

2017). Engel teknolojisiyle mikroorganizmaların öldürülmesinde sinerjistik etki sağlanabilmektedir (Castro-Ibáñez vd., 2017; Khan vd., 2017; Ngnitcho vd., 2017). Su destekli UV-C teknolojisinde yıkama suyunda farklı kimyasal dezenfektanların bulunması durumunda, uygulamanın mikroorganizmalar üzerindeki inaktivasyon etkisinin araştırıldığı çalışmalar Çizelge 2’de verilmiştir.

Çizelge 2. WUV-C uygulamasının farklı kimyasallarla birlikte kullanılmasının mikrobiyel inaktivasyon üzerine etkileri

Ürün	Mikroorganizma	UV-C Dozu	Uygulama	Mikroorganizma sayısında azalma	Kaynak
Yaban mersini	MNV-1 Norovirus	12 kJ/m ²	%2 YE* içeren 10 mg/L klor, WUV-C ve kombine uygulama	WUV-C	2.88 log POB/örnek
				Klor	2.05 log POB/örnek
				WUV+ Klor	≥3.51 log POB/örnek
Yaban mersini	<i>S. enterica</i> <i>E. coli</i> O157:H7	47.4 kJ/m ²	WUV-C ile 10 mg/L klor, 100 mg/L SDS*, %0.5 LA* kombinasyonu	Kimyasallarla kombine halde kullanıldığında inaktivasyonda artış tespit edilmemiştir.	Liu vd., 2015a
Brokoli	<i>Listeria innocua</i>	0.3 kJ/m ²	WUV-C ile 50 veya 80 mg/L PAA* kombinasyonu	WUV-C uygulaması ile aynı etkiyi göstermiştir.	Collazo vd., 2019a
Marul	<i>S. enterica</i> <i>L. monocytogenes</i>	0.1 kJ/m ²	WUV-C ile 40 veya 80 mg/L PAA kombinasyonu	Dekontaminasyon etkinliği artmamıştır.	Collazo vd., 2019b
Domates Marul	<i>S. enterica</i>	34.8 kJ/m ²	WUV-C ile %1 H ₂ O ₂ veya 10 mg/L klor	WUV-C uygulaması ile aynı etkiyi göstermiştir.	Guo vd., 2017

*YE: Yaban mersini ekstraktı, SDS: Sodyum dodesil sülfat, LA: Levulinik asit, PAA: Peroksiasetik asit

Liu vd. (2015b) tarafından yapılan çalışmada, yaban mersinine 6.76 log POB/örnek seviyesinde inoküle edilen MNV-1 Norovirus’un dekontaminasyonu, küçük ölçekli WUV-C sisteminde %2 yaban mersini suyu içeren yıkama suyuyla 2 dakika uygulama sonrasında değerlendirilmiştir. WUV-C sistemiyle elde edilen azalmanın (2.88 log POB/yaban mersini azalma), 10 ppm klorla yıkamaya (2.05 log POB/yaban mersini azalma) kıyasla istatistiksel açıdan daha yüksek olduğu, bu iki uygulamanın birlikte kullanımının (≥3.51 log POB/yaban mersini azalma) inaktivasyonu arttırdığı, genel olarak yıkama suyunda virus bulunmadığı tespit edilmiştir. Diğer bir çalışmada ise, yaban mersini örneklerine inoküle edilen *S. enterica* ve *E. coli* O157:H7’nin dekontaminasyonunda, 10 dakika boyunca WUV-C uygulamasıyla klor, sodyum

dodesil sülfat, levulinik asit solüsyonlarının birlikte kullanımının, su destekli UV-C sisteminde sinerjistik bir etki yaratmadığı tespit edilmiştir (Liu vd., 2015a). Brokoliye inoküle edilmiş *L. innocua*’nın inaktivasyonunda yıkama suyunda 50 veya 80 mg/L konsantrasyonda peroksiasetik asit bulunmasının 0.3 kJ/m² dozda uygulanan WUV-C (1.7 log KOB/g azalma) dekontaminasyon etkinliğini değiştirmediği belirlenmiştir (Collazo vd., 2019a). Collazo vd. (2019b) tarafından yapılan çalışmada ise 0.1 kJ/m² dozda WUV-C uygulamasının marul örneğine inoküle edilmiş *S. enterica* ve *L. monocytogenes*’i sırasıyla 2.0 ve 2.1 logaritmik birim azalttığı, ancak sistemin 40 ppm veya 80 ppm peroksiasetik asit konsantrasyonlarıyla birlikte kullanılmasının mikroorganizmaların dekontaminasyonunda sinerjistik bir etki yaratmadığı tespit edilmiştir.

Diğer bir çalışmada ise *Salmonella enterica*'nın inaktivasyonunda WUV-C sisteminin tek başına veya kimyasallar ile birlikte kullanımının domates (>5 log KOB/g) ve marul örneklerinde (>2 log KOB/g) istatistiksel açıdan benzer azalmalar sağladığı belirlenmiştir (Guo vd., 2017).

Patojenlerin dekontaminasyonunda kullanılan kombine uygulamalar ile yıkama suyundan kaynaklanabilecek çapraz bulaşmalar engellenebilmektedir. WUV-C sisteminin tek başına veya kimyasallarla birlikte hem ürünün hem de yıkama suyunun dekontaminasyonu açısından klor yerine kullanılabilirliği konusunda çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Nicolau-Lapeña vd. (2020) tarafından yapılan çalışmada, çileklere inoküle edilmiş *L. innocua* ve *S. Typhimurium*'un inaktivasyonunda, WUV-C'nin tek veya 40/80 mg/L perasetik asitle birlikte kullanılmasının 200 mg/L klorla yıkamaya alternatif olduğu saptanmış olup, klora benzer olarak WUV-C ile birlikte perasetik asit uygulamaları sonrasında yıkama suyunda *L. innocua* tespit edilmemiştir. Marul örneğine inoküle edilmiş *S. enterica*'nın inaktivasyonunda küçük ölçekli WUV-C (30 mW/cm²) sisteminin 80 mg/L peroksiasetik asitle birlikte kullanılmasının, 20 mg/L klorla yıkamadan daha etkili olduğu bildirilmiştir (Lippman vd., 2020). *L. innocua* inoküle edilmiş brokoli örneklerinin farklı dozlarda uygulanan WUV-C ile dekontaminasyonunun 100 mg/L klordan daha yüksek inaktivasyon sağladığı tespit edilmiştir (Collazo vd., 2019a). Marul için kullanılan bulanık yıkama suyu içeren WUV-C sisteminde ise klor bulunmasının su aracılığıyla meydana gelebilecek kontaminasyonu önleyeceği belirlenmiştir (Guo vd., 2017). Marul örneklerinde yapılan diğer bir çalışmada ise, sistemin 40 mg/L/80 mg/L konsantrasyonundaki peroksiasetik asitle kombinasyonunun yıkama suyundaki patojenleri inaktive ettiği bildirilmiştir (Collazo vd., 2019b).

Yıkama işlemi sırasında ürüne ait parçacıkların veya ürüne bulaşmış toprak vb. yabancı maddelerin yıkama suyuna geçmesi, yıkama suyunun berraklığını kaybetmesine neden olmaktadır. Yıkama suyunun berraklığını kaybetmesinin ürünlerin dekontaminasyonu

üzerine etkisinin araştırıldığı bir çalışmada, taze ürünlere (domates, marul) spot inokülasyon yöntemi ile inoküle edilen *S. enterica*'nın dekontaminasyonunda berrak yıkama suyuyla yapılan uygulamaya kıyasla, yıkama suyunun bulanık olmasının WUV-C sisteminin etkinliğini değiştirmediği tespit edilmiştir (Guo vd., 2017). Abadias vd. (2021) tarafından yapılan çalışmada, *L. innocua* inoküle edilmiş domates örnekleri değişen oranlarda (%0, 3 ve 10) domates parçacığı içeren yıkama suyunda ortalama 11.2 W/m² ışık şiddetindeki UV-C'ye maruz bırakıldığında, bulanıklığın maksimum düzeyde olması durumunda 3. ve 5. dakikalarda diğer bulanıklıklara kıyasla domateslerde daha az bir inaktivasyon elde edildiği tespit edilmiştir. Aynı zamanda, bulanıklıktaki artış ile birlikte yıkama suyundaki popülasyonun <1 log KOB/mL altında tutulması için uygulama süresinin uzadığı belirlenmiştir. Diğer bir çalışmada ise, *S. enterica* inoküle edilmiş marul örneklerinin dekontaminasyonunda, 2 dakika boyunca bulanık yıkama suyu içeren 10, 20 veya 30 mW/cm² ışık şiddetindeki WUV-C sisteminin 40 mg/L/80 mg/L konsantrasyondaki peroksiasetik asitle kombine olarak kullanılmasının istatistiksel açıdan WUV-C sisteminin etkinliğini arttırmadığı tespit edilirken, 20 veya 30 mW/cm² ışık şiddetinin ve 80 mg/L peroksiasetik asitle birlikte kullanılmasının yıkama suyunda çapraz kontaminasyonu önleyebileceği belirlenmiştir (Lippman vd., 2020). Huang vd. (2018) tarafından yapılan çalışmada ise farklı gıdalara inoküle edilmiş *Salmonella*'nın inaktivasyonu bulanık yıkama suyunda 2 dakika boyunca 10 mg/L klor, 80 mg/L peroksiasetik asit (PAA) veya bu kimyasalların 23-28 mW/cm² ışık şiddetindeki su destekli UV-C sistemiyle birlikte kullanılması sonucunda değerlendirilmiştir. Yıkama suyunun çapraz kontaminasyona yol açmaması, üründeki mikrobiyel popülasyonun azaltılması ve dezenfeksiyon maliyeti doğrultusunda ıspanak için klorla, domateste WUV-C sistemiyle, marul, yaban mersini ve havuç örneklerinde de WUV-PAA kombinasyonu ile yıkama uygulamalarının yapılmasının uygun olduğu sonucuna varılmıştır. Huang ve Chen (2020) tarafından yapılan çalışmada, yaban mersini ve marula >6 log KOB/g, domatese ise 4.1 log KOB/g *S. enterica*

inoküle edilmiş gıda örneklerine bulanık yıkama suyunda farklı konumlarda yerleştirilmiş UV-C ışık [suyun içerisinde (4 mW/cm² ışık şiddeti), üstten (23-28 mW/cm² ışık şiddeti) veya kombine halde] uygulanması sonucunda, domates (2.4-2.9 log KOB/g) ve yaban mersini (1.8-2.0 log KOB/g) örneklerine farklı konumlarda uygulanan UV-C ışık işlemleri arasında inaktivasyonun anlamlı olarak değişmediği tespit edilmiştir. Marul örneklerinde ise üstten veya kombine olarak ışık uygulamasının uygulamalar arasında farklı bir sonuç oluşturmadığı ve tüm uygulamalar arasında en iyi azalmayı (1.5 log KOB/g) sağladığı belirlenmiştir.

WUV-C uygulamasının örneklerin kalite kriterleri üzerindeki etkisi de incelenmiştir. Yapılan bir çalışmada, farklı dozlarda WUV-C uygulamasının (0.3-1.8 kJ/m²) geleneksel yöntemle yetiştirilmiş brokoli örneklerinin sertliğinde, parlaklığında ve Hue açısı değerlerinde değişikliğe yol açmadığı tespit edilmiştir (Collazo vd., 2018). Hue açısı, gözlemlenen maddenin rengini temsil etmekte olup, a* (kırmızı/yeşil) ve b*(sarı/mavi) parametrelerine göre formüle edilmektedir (Senadeera vd., 2020). Huang ve Chen (2020) ise WUV-C (27.6-33.6 kJ/m²) işleminin görsel açıdan gıdanın rengini ve dokusunu etkilemediğini bildirmişlerdir. Diğer bir çalışmada ise kimyasalların tek başına (10 veya 20 mg/L klor, 40 veya 80 mg/L peroksiasetik asit) veya peroksiasetik asidin WUV-C (30 mW/cm² ışık şiddeti) sistemiyle kullanılmasının üründe aynı renk değişimlerine yol açtığı belirlenmiştir (Lippman vd., 2020). Taze kesilmiş marul örneğinde ise WUV-C (0.1 kJ/m²) ile 80 mg/L peroksiasetik asidin birlikte kullanılmasının 6 günlük depolama süresinin sonunda hem yüksek konsantrasyonda kimyasal kullanımından hem de uygulanan kesme işleminin dokuya zarar vermesinden dolayı renk değerleri açısından kalite kaybına yol açtığı bildirilmiştir (Collazo vd., 2019b).

SONUÇ

UV-C ışınları minimal işlenmiş taze meyve ve sebzelerin yüzeylerinin dekontamine edilmesinde alternatif yöntem olarak kabul edilmekle birlikte, bu sistemin etkinliği belirli faktörlere göre

değişebilmektedir. UV-C'nin sınırlı olan etkinliğinin mümkün olduğunca ortadan kaldırılması için su destekli UV-C sistemi geliştirilmiştir. WUV-C üzerindeki çalışmalar son altı yılda olup, bu sistemin UV-C'ye kıyasla dekontaminasyonda daha etkili olduğu tespit edilmiştir. Bu sistemde hem gıda yıkanmakta hem de tüm yüzeyi daha homojen bir şekilde UV-C ışığa maruz kalmaktadır. Aynı zamanda su destekli UV-C sisteminin genel olarak gıda endüstrisinde yaygın kullanılan klor alternatif olduğu, kimyasal dezenfektanlarla birlikte kullanıldığında yıkama suyundan kaynaklı mikrobiyel kontaminasyonun önüne geçilebileceği yapılan çalışmalarda tespit edilmiştir. Sonuç olarak, WUV-C sisteminin meyve ve sebzelerin dekontaminasyonunda kullanılabilirliği hakkında yapılan çalışmalar doğrultusunda gıda yüzeyinde bulunabilecek patojen mikroorganizmaların inaktivasyonunda etkili bir uygulama olduğu görülmektedir. Gıda güvenliğinin sağlanması, üründe kalite kayıplarının en aza indirilmesi ve dolayısı ile ürünün raf ömrünün uzatılması amacıyla WUV-C sisteminin alternatif bir dekontaminasyon uygulaması olarak geliştirilmesi üzerine araştırmalar yoğunlaşmaktadır.

ÇIKAR ÇATIŞMASI BEYANI

Yazarlar, bu makale ile ilgili olarak başka kişiler ve/veya kurumlar arasında çıkar çatışması olmadığını beyan etmektedir.

YAZAR KATKILARI

Tüm yazarlar makalenin yazılmasında ve yayınlanmasında katkı sağlamışlardır. Makalenin hazırlanmasında başka kişi ve/veya kurumların katkısı yoktur.

KAYNAKLAR

Abadias, M., Colás-Medà, P., Viñas, I., Bobo, G., Aguiló-Aguayo, I. (2021). Application of an innovative water-assisted ultraviolet C light technology for the inactivation of microorganisms in tomato processing industries. *Food Microbiol*, 94: 103631, doi: 10.1016/j.fm.2020.103631.

Adhikari, A., Syamaladevi, R. M., Killinger, K., Sablani, S. S. (2015). Ultraviolet-C light inactivation of *Escherichia coli* O157: H7 and

- Listeria monocytogenes* on organic fruit surfaces. *Int J Food Microbiol*, 210: 136-142, doi: 10.1016/j.ijfoodmicro.2015.06.018.
- Alegre, I., Vinas, I., Usall, J., Teixido, N., Figge, M. J., Abadias, M. (2013). Control of foodborne pathogens on fresh-cut fruit by a novel strain of *Pseudomonas graminis*. *Food Microbiol*, 34(2): 390-399, doi: 10.1016/j.fm.2013.01.013.
- 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-Food Sci Technol*, 101: 410-418, doi: 10.1016/j.lwt.2018.11.048.
- Bermúdez-Aguirre, D., Barbosa-Cánovas, G. V. (2013). Disinfection of selected vegetables under nonthermal treatments: Chlorine, acid citric, ultraviolet light and ozone. *Food Control*, 29(1): 82-90, doi: 10.1016/j.foodcont.2012.05.073.
- Birmpa, A., Sfika, V., Vantarakis, A. (2013). Ultraviolet light and ultrasound as non-thermal treatments for the inactivation of microorganisms in fresh ready-to-eat foods. *Int J Food Microbiol*, 167(1): 96-102, doi: 10.1016/j.ijfoodmicro.2013.06.005.
- Butot, S., Cantergiani, F., Moser, M., Jean, J. et al. (2018). UV-C inactivation of foodborne bacterial and viral pathogens and surrogates on fresh and frozen berries. *Int J Food Microbiol*, 275: 8-16, doi: 10.1016/j.ijfoodmicro.2018.03.016.
- Castro-Ibáñez, I., Gil, M. I., Allende, A. (2017). Ready-to-eat vegetables: Current problems and potential solutions to reduce microbial risk in the production chain. *LWT-Food Sci Technol*, 85: 284-292, doi: 10.1016/j.lwt.2016.11.073.
- Chen, A. J., Luo, W., Luo, Y. B., Zhu, B. Z. (2018). Combined treatment of ultraviolet-C and *L. plantarum* on *Salmonella enteritidis* and quality control of fresh-cut apple. *J Food Process Preserv*, 42(1): e13349, doi: 10.1111/jfpp.13349.
- Collazo, C., Charles, F., Aguiló-Aguayo, I., Marín-Sáez, J. et al. (2019a). Decontamination of *Listeria innocua* from fresh-cut broccoli using UV-C applied in water or peroxyacetic acid, and dry-pulsed light. *Innov Food Sci Emerg Technol*, 52: 438-449, doi: 10.1016/j.ifset.2019.02.004.
- Collazo, C., Lafarga, T., Aguiló-Aguayo, I., Marín-Sáez, J., Abadias, M., Viñas, I. (2018). Decontamination of fresh-cut broccoli with a water-assisted UV-C technology and its combination with peroxyacetic acid. *Food Control*, 93: 92-100, doi: 10.1016/j.foodcont.2018.05.046.
- Collazo, C., Noguera, V., Aguiló-Aguayo, I., Abadias, M. et al. (2019b). Assessing water-assisted UV-C light and its combination with peroxyacetic acid and *Pseudomonas graminis* CPA-7 for the inactivation and inhibition of *Listeria monocytogenes* and *Salmonella enterica* in fresh-cut 'Iceberg' lettuce and baby spinach leaves. *Int J Food Microbiol*, 297: 11-20, doi: 10.1016/j.ijfoodmicro.2019.02.024.
- Condurso, C., Cincotta, F., Tripodi, G., Merlino, M., Giarratana, F., Verzera, A. (2020). A new approach for the shelf-life definition of minimally processed carrots. *Postharvest Biol Technol*, 163: 111138, doi: 10.1016/j.postharvbio.2020.111138.
- FDA (2000). Ultraviolet radiation for the processing and treatment of food. www.accessdata.fda.gov/scripts/cdrh/cfdocs/cf/cfr/cfrsearch.cfm?fr=179.39 (Erişim tarihi: 13 Ocak 2021).
- Giovenzana, V., Beghi, R., Civelli, R., Guidetti, R. (2015). Optical techniques for rapid quality monitoring along minimally processed fruit and vegetable chain. *Trends Food Sci Technol*, 46(2): 331-338, doi: 10.1016/j.tifs.2015.10.006.
- Gogo, E. O., Opiyo, A. M., Hassenberg, K., Ulrichs, C., Huyskens-Keil, S. (2017). Postharvest UV-C treatment for extending shelf life and improving nutritional quality of African indigenous leafy vegetables. *Postharvest Biol Technol*, 129:107-117, doi:10.1016/j.postharvbio.2017.03.019.
- Graça, A., Santo, D., Quintas, C., Nunes, C. (2017). Growth of *Escherichia coli*, *Salmonella enterica* and *Listeria* spp., and their inactivation using ultraviolet energy and electrolyzed water, on 'Rocha' fresh-cut pears. *Food Control*, 77: 41-49, doi: 10.1016/j.foodcont.2017.01.017.

- Guo, S., Huang, R., Chen, H. (2017). Application of water-assisted ultraviolet light in combination of chlorine and hydrogen peroxide to inactivate *Salmonella* on fresh produce. *Int J Food Microbiol*, 257: 101-109, doi: 10.1016/j.ijfoodmicro.2017.06.017.
- Huang, R., de Vries, D., Chen, H. (2018). Strategies to enhance fresh produce decontamination using combined treatments of ultraviolet, washing and disinfectants. *Int J Food Microbiol*, 283: 37-44, doi: 10.1016/j.ijfoodmicro.2018.06.014.
- Huang, R., Chen, H. (2019). Comparison of water-assisted decontamination systems of pulsed light and ultraviolet for *Salmonella* inactivation on blueberry, tomato, and lettuce. *J Food Sci*, 84(5): 1145-1150, doi: 10.1111/1750-3841.14510.
- Huang, R., Chen, H. (2020). Use of 254 nm ultraviolet light for decontamination of fresh produce and wash water. *Food Control*, 109: 106926, doi: 10.1016/j.foodcont.2019.106926.
- Iglesias, M. B., López, M. L., Echeverría, G., Viñas, I., Zudaire, L., Abadias, M. (2018). Evaluation of biocontrol capacity of *Pseudomonas graminis* CPA-7 against foodborne pathogens on fresh-cut pear and its effect on fruit volatile compounds. *Food Microbiol*, 76: 226-236, doi: 10.1016/j.fm.2018.04.007.
- Jeong, Y. J., Ha, J. W. (2019). Combined treatment of UV-A radiation and acetic acid to control foodborne pathogens on spinach and characterization of their synergistic bactericidal mechanisms. *Food Control*, 106: 106698, doi: 10.1016/j.foodcont.2019.06.024.
- Joshi, K., Mahendran, R., Alagusundaram, K., Norton, T., Tiwari, B. K. (2013). Novel disinfectants for fresh produce. *Trends Food Sci Technol*, 34(1): 54-61, doi:10.1016/j.tifs.2013.08.008.
- Khan, I., Tango, C. N., Miskeen, S., Lee, B. H., Oh, D. H. (2017). Hurdle technology: A novel approach for enhanced food quality and safety—A review. *Food Control*, 73: 1426-1444, doi: 10.1016/j.foodcont.2016.11.010.
- Kim, H. G., Song, K. B. (2017). Combined treatment with chlorine dioxide gas, fumaric acid, and ultraviolet-C light for inactivating *Escherichia coli* O157: H7 and *Listeria monocytogenes* inoculated on plums. *Food Control*, 71: 371-375, doi: 10.1016/j.ifset.2017.06.015.
- Kuan, C. H., Lim, L. W. K., Ting, T. W., Rukayadi, Y. et al. (2017). Simulation of decontamination and transmission of *Escherichia coli* O157: H7, *Salmonella* Enteritidis, and *Listeria monocytogenes* during handling of raw vegetables in domestic kitchens. *Food Control*, 80: 395-400, doi: 10.1016/j.foodcont.2017.05.029.
- Leng, J., Mukhopadhyay, S., Sokorai, K., Ukuku, D. O. et al. (2020). Inactivation of *Salmonella* in cherry tomato stem scars and quality preservation by pulsed light treatment and antimicrobial wash. *Food Control*, 110: 107005, doi: 10.1016/j.foodcont.2019.107005.
- Li, K., Weidhaas, J., Lemonakis, L., Khouryieh, H. et al. (2017). Microbiological quality and safety of fresh produce in West Virginia and Kentucky farmers' markets and validation of a post-harvest washing practice with antimicrobials to inactivate *Salmonella* and *Listeria monocytogenes*. *Food Control*, 79: 101-108, doi: 10.1016/j.foodcont.2017.03.031.
- Lim, W., Harrison, M. A. (2016). Effectiveness of UV light as a means to reduce *Salmonella* contamination on tomatoes and food contact surfaces. *Food Control*, 66: 166-173, doi: 10.1016/j.foodcont.2016.01.043.
- Lippman, B., Yao, S., Huang, R., Chen, H. (2020). Evaluation of the combined treatment of ultraviolet light and peracetic acid as an alternative to chlorine washing for lettuce decontamination. *Int J Food Microbiol*, 323: 108590, doi: 10.1016/j.ijfoodmicro.2020.108590.
- Liu, C., Huang, Y., Chen, H. (2015a). Inactivation of *Escherichia coli* O157: H7 and *Salmonella enterica* on blueberries in water using ultraviolet light. *J Food Sci*, 80(7): M1532-M1537, doi: 10.1111/1750-3841.12910.
- Liu, C., Li, X., Chen, H. (2015b). Application of water-assisted ultraviolet light processing on the inactivation of murine norovirus on

- blueberries. *Int J Food Microbiol*, 214: 18-23, doi: 10.1016/j.ijfoodmicro.2015.07.023.
- Ma, L., Zhang, M., Bhandari, B., Gao, Z. (2017). Recent developments in novel shelf life extension technologies of fresh-cut fruits and vegetables. *Trends Food Sci Technol*, 64: 23-38, doi: 10.1016/j.tifs.2017.03.005.
- Meireles, A., Giaouris, E., Simões, M. (2016). Alternative disinfection methods to chlorine for use in the fresh-cut industry. *Food Res Int*, 82: 71-85, doi: 10.1016/j.foodres.2016.01.021.
- Mostafidi, M., Sanjabi, M. R., Shirkhan, F., Zahedi, M. T. (2020). A review of recent trends in the development of the microbial safety of fruits and vegetables. *Trends Food Sci Technol*, 103: 321-332, doi: 10.1016/j.tifs.2020.07.009.
- Ngnitcho, P. F. K., Khan, I., Tango, C. N., Hussain, M. S., Oh, D. H. (2017). Inactivation of bacterial pathogens on lettuce, sprouts, and spinach using hurdle technology. *Innov Food Sci Emerg Technol*, 43: 68-76, doi: 10.1016/j.ifset.2017.07.033.
- Nicolau-Lapeña, I., Abadias, M., Viñas, I., Bobo, G. et al. (2020). Water UV-C treatment alone or in combination with peracetic acid: A technology to maintain safety and quality of strawberries. *Int J Food Microbiol*, 335: 108887, doi: 10.1016/j.ijfoodmicro.2020.108887.
- Oliveira, M., Abadias, M., Colás-Medà, P., Usall, J., Viñas, I. (2015). Biopreservative methods to control the growth of foodborne pathogens on fresh-cut lettuce. *Int J Food Microbiol*, 214: 4-11, doi: 10.1016/j.ijfoodmicro.2015.07.015.
- Ortiz-Solà, J., Abadias, I., Colás-Medà, P., Anguera, M., Viñas, I. (2021). Inactivation of *Salmonella enterica*, *Listeria monocytogenes* and murine norovirus (MNV-1) on fresh strawberries by conventional and water-assisted ultraviolet light (UV-C). *Postharvest Biol Technol*, 174: 111447, doi: 10.1016/j.postharvbio.2020.111447.
- Ortiz-Solà, J., Abadias, M., Colás-Medà, P., Sánchez, G., Bobo, G., Viñas, I. (2020). Evaluation of a sanitizing washing step with different chemical disinfectants for the strawberry processing industry. *Int J Food Microbiol*, 334: 108810, doi: 10.1016/j.ijfoodmicro.2020.108810.
- Pablos, C., Romero, A., de Diego, A., Vargas, C. et al. (2018). Novel antimicrobial agents as alternative to chlorine with potential applications in the fruit and vegetable processing industry. *Int J Food Microbiol*, 285: 92-97, doi: 10.1016/j.ijfoodmicro.2018.07.029.
- 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-Food Sci Technol*, 93: 109-115, doi: 10.1016/j.lwt.2018.03.035.
- Pedros-Garrido, S., Condón-Abanto, S., Clemente, I., Beltrán, J. A. et al. (2018). Efficacy of ultraviolet light (UV-C) and pulsed light (PL) for the microbiological decontamination of raw salmon (*Salmo salar*) and food contact surface materials. *Innov Food Sci Emerg Technol*, 50: 124-131, doi: 10.1016/j.ifset.2018.10.001.
- Prakash, A., Baskaran, R., Paramasivam, N., Vadivel, V. (2018). Essential oil based nanoemulsions to improve the microbial quality of minimally processed fruits and vegetables: A review. *Food Res Int*, 111: 509-523, doi: 10.1016/j.foodres.2018.05.066.
- Ramos, B., Miller, F. A., Brandão, T. R., Teixeira, P., Silva, C. L. (2013). Fresh fruits and vegetables- An overview on applied methodologies to improve its quality and safety. *Innov Food Sci Emerg Technol*, 20: 1-15, doi: 10.1016/j.ifset.2013.07.002.
- Senadeera, W., Adiletta, G., Önal, B., Di Matteo, M., Russo, P. (2020). Influence of different hot air drying temperatures on drying kinetics, shrinkage, and colour of persimmon slices. *Foods*, 9: 101, doi:10.3390/foods9010101.
- Seong, J. Y., Kwon, K. H., Oh, S. W. (2017). Combined effect of aerosolized malic acid and UV-C for the inactivation of *Escherichia coli* O157: H7, *Salmonella* Typhimurium, and *Listeria monocytogenes* on fresh-cut lettuce. *J Food Saf*, 37(4): e12359, doi: 10.1111/jfs.12359.

Singh, H., Bhardwaj, S. K., Khatri, M., Kim, K. H., Bhardwaj, N. (2020). UVC radiation for food safety: An emerging technology for the microbial disinfection of food products. *Chem Eng J*, 128084, doi: 10.1016/j.cej.2020.128084.

Siroli, L., Patrignani, F., Serrazanetti, D. I., Gardini, F., Lanciotti, R. (2015). Innovative strategies based on the use of bio-control agents to improve the safety, shelf-life and quality of

minimally processed fruits and vegetables. *Trends Food Sci Technol*, 46(2):302-310, doi: 10.1016/j.tifs.2015.04.014.

Yüksel, Ç., Atalay, D., Erge, H. S. (2020). Yenilebilir kaplamaların taze kesilmiş meyve ve sebzelerde kullanımı. *GIDA*, 45(2), 340-355, doi: 10.15237/gida.GD19144.