

## Meyve ve Sebzelere UV-C Işık Uygulamaları ile Küf İnhibisyonu

Ayça Korkmaz , Gülten Tiryaki Gündüz 

Ege Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, İzmir

Geliş Tarihi (Received): 13.11.2017, Kabul Tarihi (Accepted): 28.05.2018

✉ Yazışmalardan Sorumlu Yazar (Corresponding author): [gulden.tiryaki.gunduz@ege.edu.tr](mailto:gulden.tiryaki.gunduz@ege.edu.tr) (G. Tiryaki Gündüz)

☎ 0 232 311 30 03 📠 0 232 311 48 31

### ÖZ

Küfler, meyve ve sebzelerin bozulmasına neden olarak ekonomik kayıplara ve mikotoksin üreterek sağlık üzerinde olumsuz etkilere neden olabilmektedir. UV-C ışık teknolojisi, meyve ve sebzelerin yüzey dekontaminasyonu için kullanılan ısı olmayan işlemlerden biri olup, mikroorganizmaların gelişimini inhibe etmek, ve bu yolla depolama ve nakliye sırasındaki kayıpları kontrol altına almak için kullanılan alternatif yöntemlerden biridir. UV uygulaması gıda güvenilirliğinin sağlanmasında ürünlerin kalitesini olumsuz yönde etkilememesi ve ekonomik bir yöntem olması nedeniyle pek çok araştırmancının konusu olmuştur. Ultraviyole ışık ile bakterilerin inaktivasyonu ile ilgili birçok çalışma mevcut iken, literatürde küflerle ilgili sınırlı sayıda çalışmaya rastlanmıştır. Bu çalışma kapsamında, meyve ve sebzelerde bulunan küflerin inhibisyonunda UV-C ışık uygulamalarının germisidal ve hormetik (savunma mekanizmasının uyarılması) etkileri incelenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Küf inhibisyonu, UV-C, Gıda endüstrisi, Mikrobiyel kalite

### Mold Inhibition on Fruits and Vegetables by UV-C Light Treatments

#### ABSTRACT

Molds can lead to the deterioration of fruits and vegetables, causing economic losses and have negative effects on health by producing mycotoxins. UV-C light technology is one of the non-thermal processes used for the surface decontamination of fruits and vegetables and is one of the alternative methods used to inhibit the growth of microorganisms and to control losses during storage and transport. UV-C treatment has been the subject of many studies since the quality of products is not adversely affected and it is a low-cost method. Limited number of studies is found in the literature on mold inhibition, while there are many studies on the inactivation of bacteria by ultraviolet light. In this study, germicidal and hormetic effects of UV-C light applications for inhibition of molds in fruits and vegetables were reviewed.

**Keywords:** Mold inhibition, UV-C, Food industry, Microbial quality

#### GİRİŞ

Gıdalardaki küf bulaşmalarını engellemek amacıyla çeşitli önlemler alınmasına rağmen küfler doğanın yaygın bulaşanları olup, hasat öncesinde, hasat sırasında veya sonrasında işleme, depolama ve satış sırasında ürünlere bulaşabilmektedir. Meyveler yüksek su aktiviteleri, yüksek şeker içeriği ve düşük pH gibi

özellikleri nedeniyle bakteriyel bozulmalardan çok fungal bozulmaya açıktır [1, 2]. Hasat edilen meyve ve sebzelerin üçte birinden fazlasının hasat sonrası bozulmalardan dolayı, tüketiciye ulaşmadan atıldığı tahmin edilmektedir [3]. Küfler gıdaların bozulmasına neden olarak ekonomik kayıplara yol açmakta, ayrıca insan sağlığı açısından zararlı olan mikotoksinler oluşturmakta ve bu nedenle küflü gıdalarda potansiyel

sağlık riski bulunmaktadır [4]. Gıdaların bozulmasının engellenmesi suretiyle ekonomik kayıpları azaltmak, gıda güvenliği ve muhafazasını sağlamak için çeşitli uygulamalar kullanılmaktadır. Bu amaçla en sık tercih edilen yöntemlerden biri, küf gelişimi ve mikotoksin oluşumunu önlenmek için fungusitlerin kullanımıdır. Ancak fungusitlere direnç gösterebilen patojen suşların ortaya çıkması ve fazla kimyasal madde uygulamasının gıdalarda kalıntı bırakması insan sağlığı açısından risk oluşturmaktadır [5]. Gıda güvenliği ve çevrenin korunması kapsamında dünya çapında artan endişeler, araştırmacıları hasat sonrası fungal hastalıkların engellenmesinde etkili ve çevre dostu teknolojileri araştırmaya yönlendirmektedir [4]. Gıdaların muhafazasında kullanılan yeni teknolojiler meyve ve sebzelerin kalitesinin iyileştirilmesinde ve güvenliğinin sağlanmasında veya sürdürülmesinde önemli faydalar sağlamaktadır [2].

UV-C ışık teknolojisi, gıda proseslerinde mikroorganizmaların inaktivasyonunu sağlamak ve gıdanın raf ömrünü arttırmak için alternatif olarak kullanılan bir prostedir. UV-C ışık kullanıldığında herhangi bir atığın çıkmaması ve prosesin herhangi bir kimyasal madde kullanmayı gerektirmemesi UV-C işleminin çevre dostu olmasını sağlamaktadır. Ayrıca mikrobiyal inaktivasyon sağlanmasının yanı sıra, yapılan çalışmalarda sebze ve meyvelere UV-C uygulaması sonucunda oluşan serbest radikallerin stres sinyalleri veya stres cevabını baskılama özellikleri bulunması nedeniyle, meyve sebzelerdeki antioksidan kapasitesinde artışa ve ürünün raf ömrünün uzamasına katkı sağladığı belirtilmektedir [6, 7]. UV-C uygulaması (3.0 kJ/m<sup>2</sup>) ile taze kesilmiş kırmızı lahanaların depolaması sırasında antioksidan aktivitesinde artış olduğu tespit edilmiştir [8]. UV-C ışığı bitkilerde bir takım antifungal bileşiklerin sentezini sağlayarak ve patogenez ile ilişkili proteinler, flavonoidler, fenolik asitler, lignin, suberin, katalaz, peroksidaz, askorbat peroksidaz ve fenilalanin amonyum liyaz gibi antioksidan enzimlerin aktivitesini indükleyerek, meyve üzerindeki fungus üremesini sınırlayıp hastalığın şiddetini azaltmaktadır [9-12].

UV ışık uygulamaları ilk olarak içme suyunun dezenfeksiyonu için Fransa'da 1906'lı yıllarda

kullanılmıştır [13]. Günümüzde ise gıda endüstrisinde UV-C sistemleri, süt, et ve fırıncılık endüstrilerinde ekipman yüzeylerinin, konveyörlerin, şişe, kutu gibi ambalajlama ürünlerinin dekontaminasyonunda kullanılmaktadır [14]. Ancak, düşük nüfuz etme kapasitesi sebebiyle UV-C ışığın kullanımı hava, su gibi saydam maddeler, pürüzsüz katı gıda yüzeyleri ve gıda ambalajları ile sınırlı kalmaktadır [15]. UV-C sistemlerinin işletme maliyetlerinin düşük olmasının yanı sıra, herhangi bir kimyasal kalıntı bırakmamasından dolayı UV-C uygulamaları gıda endüstrisinde sıklıkla kullanılmaktadır [16, 17].

Küfler, oksijen ihtiyaçlarından dolayı meyve ve sebzelerin yüzeylerinde gelişmektedir. Ürün yüzeylerindeki mikrobiyal yüklerin azaltılmasında klor gibi kimyasal dezenfektanların kullanımı, meyve ve sebze yüzeylerinde bir takım hasarlara neden olabileceğinden, yüzeylerde etkili bir dekontaminasyon yöntemi olan UV-C ışık uygulamalarının uygun dozlarda kullanımının meyve ve sebzelerin yüzeylerindeki küf yükünün azaltılması, fungal hastalıkların önlenmesi, ürünlerin raf ömrünün uzatılması gibi pek çok yararı bulunmaktadır. Bu çalışmada meyve ve sebzelerdeki küf gelişiminin önlenmesi için alternatif bir yöntem olan UV-C ışık teknolojisinin kullanımı üzerine yapılan araştırmalar derlenmiştir.

## UV IŞIĞIN SINIFLANDIRILMASI VE MİKROORGANİZMALAR ÜZERİNDEKİ İNKTİVASYON MEKANİZMASI

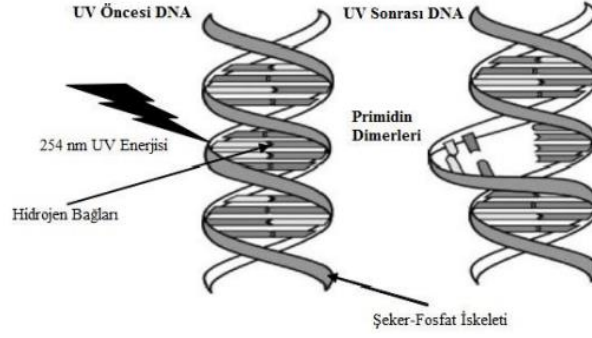
Işık, dalga boyları formunda ilerleyen bir elektromanyetik radyasyondur. Işık, enerji akışı olarak düşünülmekte ve bu enerjinin miktarı ise ışığın dalga boyu ve frekansına bağlı olmaktadır. Farklı dalga boyu ve frekanstaki ışıkların yer aldığı spektruma "elektromanyetik spektrum" denilmektedir. İnsan gözü bu spektrumdaki 400 nm ile 700 nm dalga boyu arasındaki ışığı görebilmekte olup bu kısım "görünür ışık" olarak adlandırılmaktadır. UV ışık elektromanyetik spektrumun görünür ışıktan daha kısa dalgaboylu, daha yüksek enerjili, dalgaboyu 100 ile 400 nm arasında değişen kısmını oluşturmakta ve dalgaboylarına göre 4 farklı şekilde sınıflandırılmaktadır (Tablo 1) [15, 18, 19].

Tablo 1. UV ışığın sınıflandırılması [15, 18, 19]

UV ışık tipi	Dalga boyu aralığı	Karakteristik özellikleri
UV-A	320-400 nm	İnsan cildindeki değişmeler, bronzlaşma
UV-B	280-320 nm	Cilt yanıkları ve cilt kanseri
UV-C	200-280 nm	Mikroorganizmalar üzerinde germisidal etki
UV-V	100-200 nm	Vakum UV aralığı

Kısa dalgaboylu UV ışığı (UV-C), mikroorganizmalar üzerinde germisidal etkiye sahiptir. Çoğu mikroorganizma 200 ile 310 nm dalga boyu arasındaki UV ışığını absorblamaktadır. Absorplanan UV ışığı elektronların yer değiştirmesini sağlayarak mikroorganizmaların DNA'sında bulunan bağları kırmaktadır [20]. Mikroorganizmalar UV-C ışığa maruz

kaldıklarında, DNA zinciri üzerindeki komşu pirimidin bazlarının birbirine bağlanmasından dolayı (Şekil 1)'de gösterilen pirimidin dimerleri (T-T, T-C) oluşmaktadır. Oluşan pirimidin dimerleri DNA'daki normal konfigürasyonu bozarak DNA transkripsiyonunu ve translasyonunu engellemekte, replikasyonu durdurmaktadır [14, 21].



Şekil 1. UV-C ışığının mikroorganizmanın DNA'sı üzerine etkisi [14]

UV-C ışığının 250-260 nm dalga boyu aralığında bakteri, virüs, protozoa, küf, maya gibi birçok mikroorganizma için öldürücü etkisi bulunmaktadır [22]. Ancak, fotoliz enzimine sahip olan bazı mikroorganizmalar görünür ışık (400-700 nm) varlığında pirimidin dimerleri arasındaki bağı kırılarak DNA'daki hasarı onarabilmektedir [20]. UV-C ışığına karşı en dirençli mikroorganizmalar küfler iken, UV-C'ye direnç sıralamasında küflerden sonra gelen mayaların, bakteriler ile kıyaslandığında UV-C ışığına karşı en dirençli olduğu belirtilmektedir [14]. UV-C ışığının mikroorganizmalar üzerindeki inhibisyon etkisi ışık kaynağına, mikroorganizma türüne, mikroorganizmanın bulunduğu yüzeyin özelliklerine bağlı olarak değişkenlik göstermektedir [22]. Ökaryotların ve prokaryotların UV-C'ye karşı gösterdiği direnç farklılıkları, ökaryotik hücrelerde DNA'nın çekirdek içerisinde, histon proteinlerine sarılı ve paketlenmiş olarak bulunmasının yanında, kimyasal bileşim ve kalın hücre duvarlarının da

UV-C'ye karşı direnç katkısında bulunduğu düşünülmektedir [23, 24].

Canlı hücreler üzerine uygulanan UV-C ışık etkisi hücre tarafından absorplanan doz ile ifade edilmektedir. Ultraviyole ışık dozu, ekipmanın ve ışık kaynağının UV-C ışık şiddeti ve uygulama süresinin bileşimidir. Uygulama yapılacak gıda maddesinde hedef alınacak olan mikroorganizmanın ultraviyole ışığına olan hassasiyeti, uygulama dozunun seçilmesinde kullanılan önemli bir parametredir [14]. UV-C ışığının şiddetini ölçmek için genellikle radyometre, fotometre veya spektrometre cihazları kullanılmaktadır [19]. UV-C şiddeti (Eşitlik 1); belirli bir alan üzerine tüm yönlerden gelen toplam ışık gücünün (Watt, W) belirli alana bölünmesiyle,  $W/m^2$  veya  $mW/cm^2$  olarak ifade edilmektedir. UV-C dozu (Eşitlik 2) ise; belirli bir alan üzerine tüm yönlerden gelen toplam ışık enerjisinin (Joule, J) bu belirli alana bölünmesiyle ve  $J/m^2$  veya  $mJ/cm^2$  birimiyle gösterilmektedir [14].

$$UV \text{ Şiddet } (W/m^2) = \text{Lambanın gücü } (W) \times \text{Yoğunluk faktörü } (1/m^2) \quad (1)$$

$$UV \text{ Doz } (J/m^2) = UV \text{ Şiddeti } (W/m^2) \times \text{Etki süresi } (s) \quad (2)$$

## GIDA ENDÜSTRİSİNDE UV-C IŞIĞIN KULLANIMI

Bitkisel ürünlerde hasat sonrasındaki küf gelişiminin engellenmesi genellikle hasat öncesi uygulanan fungusitler tarafından sağlanmaktadır [25]. Sentetik ilaçlar etkili olmasına rağmen, devam eden veya tekrarlanan uygulamaları biyolojik dengeyi bozarak çevre sorunlarına, hastalık ve salgınlara, çeşitli fungusitlere karşı direncin oluşmasına neden olmaktadır [26-29]. Pestisit kullanımını azaltan yeni yönetmelikler ve tüketicilerin pestisit içermeyen ürünlere olan ilgileri nedeniyle sentetik fungusitler yerine yeni arayışlara yönelmektedir [30]. Klor çözeltileri meyve ve sebzeleri sanitize etmek için antimikrobiyel etkinliği, düşük maliyeti ve kullanım kolaylığı nedeniyle yaygın olarak kullanılan bir dezenfektan olmaya devam etmekle birlikte, olası kanserojenik klorlu bileşiklerin oluşum riskinden dolayı klor alternatif uygulamalar araştırılmaktadır [31]. Dolayısıyla, taze meyve ve sebze endüstrisinde çevre dostu teknolojilere gün geçtikçe daha fazla önem verilmekte ve kimyasal fungusitlerin yerini alacak alternatif arayışlar daha çok önem kazanmaktadır. Hasat sonrası teknolojide, UV-C ışığı, ısı ile muamele, antagonistik mikroorganizmalar, kitosan vb. doğal biyositlerin uygulanması gibi birçok umut verici

yaklaşım bulunmaktadır [32-37]. Yapılan çalışmalarda 254 nm dalga boyunda maksimum germisidal etki gösteren UV-C ışığının, klor, hidrojen peroksit veya ozondan daha fazla germisidal etki gösterebildiği belirlenmiştir [38-41]. Ayrıca, ozon, hidrojen peroksit ( $H_2O_2$ ) ve klor bazlı dezenfektanlar gibi antimikrobiyel özellik gösteren maddelerle kombine edildiğinde, UV-C ışığının germisidal etkisinin arttığını gösteren çok sayıda çalışma bulunmaktadır [42-47]. Meyve ve sebzelerin dezenfeksiyonu için modifiye edilmiş bu yöntemlerin bakteriler üzerinde kullanımı ile ilgili pek çok çalışma yapılmasına rağmen endüstride bu uygulamaların çoğu henüz yaygın olarak kullanılmamakta ve bu yöntemlerin küfler ile ilgili kullanımı hakkında az sayıda çalışma bulunmaktadır [31].

Taze meyve ve sebzelerin kimyasal sanitasyonu ile ürün tekstüründe bozulmalar meydana gelebilmektedir. Ancak uygun dozlarda UV-C uygulamaları ile gıdanın tekstürüne zarar vermeden ürünün mikrobiyel yükü azaltılabilmektedir. Allende ve Artes [48] tarafından yapılan bir çalışmada, "Lollo Rosso" marula UV-C uygulamasının küf gelişimini azaltma yönünde etkili olduğu ve uygulanan işlemin marul dokusunu daha parlak hale getirdiği tespit edilmiştir. Söz konusu

çalışmada, UV-C uygulaması yapılan ürünlerde toplam psikrotrofik canlı, koliform ve maya sayılarının kontrol ile karşılaştırıldığında daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Nimitkeatkai ve Kulthip [49] tarafından yapılan bir çalışmada ise, dilimlenmiş pitaya meyvesine 3.2 kJ/m<sup>2</sup> dozunda UV-C uygulaması yapıldıktan sonra meyveler %95 bağıl nem, 5°C sıcaklıkta, 6 gün boyunca depolanmıştır. Kontrol örnekleri ile kıyaslandığında, UV-C uygulaması yapılan meyvelerde toplam aerobik bakteri, koliform ve küf-maya sayıları istatistiksel olarak anlamlı derecede düşük bulunmuş, UV-C uygulamasının taze kesilmiş pitaya meyvesi için alternatif sanitasyon yöntemi olarak kullanılabilme potansiyeli olduğu belirtilmiştir.

### UV-C IŞIĞIN GERMİSİDAL ETKİSİ

UV-C ışığının meyve ve sebzeler üzerindeki etkileri germisidal ve hormetik olmak üzere iki farklı şekilde açıklanmaktadır. Düşük dozlarda (0.25-8.0 kJ/m<sup>2</sup>) kullanılan UV-C ışığı mikroorganizmaların DNA'sını etkilemekte ve bu dozlardaki UV-C uygulamaları germisidal veya mutajenik ajan olarak kullanılmaktadır [50]. Bitki hastalıklarının kontrolünde kullanılan fungusit uygulamalarının zararlı etkilerinden dolayı günümüzde fungusitlerin kullanımını önleyebilecek alternatif yöntemler araştırılmaktadır. UV-C ışığının meyve ve sebzeler üzerine inoküle edilmiş küfler için germisidal

etkisini belirlemeye yönelik yapılan çalışmalarda, UV-C ışığının küf sayılarının veya küflerin gelişme oranlarını önemli düzeylerde azalttığı görülmektedir (Tablo 2). Gündüz ve ark. [51] UV-C ışığının, hasat sonrasında naranciyelerde bozulmalara neden olan *Penicillium digitatum* ve *Penicillium italicum* üzerine germisidal etkilerini araştırmış ve *P. italicum*'un *P. digitatum*'a göre daha fazla direnç gösterdiği tespit etmiştir. Bu çalışmada 4.00-4.50 log kob/ portakal olacak şekilde *P. italicum* ve *P. digitatum* ile inoküle edilen portakallara 0.26- 15.84 kJ/m<sup>2</sup> dozlarında uygulanan UV-C işlemi sonucunda *P. digitatum* sayısı 3.17 kJ/m<sup>2</sup> dozda 2.75- 3.33 log kob/ portakal azalırken, *P. italicum* sayısında ise 4.75 kJ/m<sup>2</sup> dozda 1.94 log kob/ portakal azalma kaydedilmiştir. Sonuçta, *P. italicum* sporlarını inaktif hale getirmek üzere tasarlanan UV-C uygulamalarının, *P. digitatum* sporlarına karşı yeterli derecede koruma sağlayacağı ve UV-C ışığının, portakalın hasat sonrası patojenlerinin gelişimini azaltmak için sentetik kimyasallar yerine alternatif bir yöntem olabileceği belirtilmiştir. Gündüz ve Pazır [52] tarafından yapılan bir diğer çalışmada, *P. digitatum* ve *P. italicum* kültürleri inoküle edilmiş portakallara 7.92 kJ/m<sup>2</sup> dozunda UV-C işlemi uygulanmış ve 25°C'de 6 günlük depolama süresi sonunda kontrol örnekleri ile kıyaslandığında, UV-C uygulanmış örneklerde küf gelişiminin yaklaşık 3 kat daha düşük olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 2. UV-C ışığının meyve ve sebzeler üzerindeki küfler için germisidal etkisi

Mikroorganizma	Uygulanan doz (kJ/m <sup>2</sup> )	Ürün	Etki	Kaynak
<i>P. digitatum</i> <i>P. italicum</i> (10 <sup>6</sup> spor/mL)	3.17	Portakal	2.75 ve 3.33 log azalma	[51]
<i>P. expansum</i> (5x10 <sup>4</sup> spor/mL)	1.2	Elma	1.8 log azalma	[53]
	2.1	Kiraz	2.4 log azalma	
	3.3	Çilek	2.6 log azalma	
	3.3	Ahududu	2.8 log azalma	
<i>P. digitatum</i> (10 <sup>4</sup> spor/mL)	3.38	Satsuma mandalinası	<i>P. digitatum</i> gelişmesini önemli ölçüde engelleme ancak kararma oluşumu	[54]
Küf ve maya sayısı	4.93-9.86	Sakız kabağı	3 log azalma	[55]
Küf ve maya sayısı	4	İstiridye mantarı	Uygulama sonrası 4°C'de 15 gün depolanan mantarlarda ilk 3 günde küf ve maya sayısında 0.5 log azalma	[56]
<i>Penicillium</i> sp. (5x10 <sup>4</sup> spor/mL)	1.2-3.6	Soğan	Bozulma oranında azalma ve spor oluşumunu engelleme	[57]

UV-C ışığının *in vitro* koşullarda germisidal etkisini belirlemeye yönelik yapılan çalışmalarda uygulanan UV-C dozuna ve test edilen küf türüne göre farklı inhibisyon oranları tespit edilmiştir (Tablo 3). Valero ve ark. [58] tarafından yapılan bir çalışmada, üzümde bulunan küfler (*Aspergillus carbonarius*, *A. niger*, *Cladosporium herbarum*, *Penicillium janthinellum* ve *Alternaria alternata*) üzerine UV-C ışığının germisidal etkisi belirlenmiştir. UV-C'ye 10 saniye maruz kaldıktan sonra test edilen diğer türler için spor çimlenmesinde %70'den fazla azalma görülürken, *Alternaria alternata* ve *A. carbonarius* %25 oranında azalma ile en çok direnç gösteren türler olmuştur. Bu çalışmada 300 saniye süre

ile UV-C uygulanması *A. alternata* haricinde incelenen tüm izolatların gelişmesini engellemiştir. Hasat edilen üzümlere UV-C ışık uygulanması ve sonrasında üzümlerin depolanması esnasında, küflerin çimlenmesi önlenerek mikotoksin üretilmesinin engellenebileceği bildirilmiştir. Begum ve ark. [59] yapmış oldukları çalışmada, *Aspergillus flavus*, *Penicillium corylophilum* ve *Eurotium rubrum* sporlarını inaktive etmek için UV-C uygulaması etkili iken, *Aspergillus niger* için bu uygulamanın daha az etkili olduğunu tespit etmişlerdir. Bu durum, melanin içermeyen küf türlerinin UV-C'ye daha duyarlı iken, *A.niger*'in melanin pigmenti içermesinden dolayı UV-C'ye daha dirençli olması ile

açıklanmıştır. Fungal sporlara karşı UV-C ışığının etkinliği, uygulama sıcaklığı, örnek ve lamba arasındaki mesafe, lambanın yönü, UV-C şiddeti, maruz kalma süresi ve küf türlerine bağlı olarak önemli derecede değişmektedir [7]. Meyve yüzey morfolojisinin UV-C'nin germisidal etkisi üzerine yapılan bir araştırmada, UV-C uygulamasının *P.*

*expansum* inaktivasyonunda bir alternatif olduğu, ancak küf sayısındaki azalma miktarının meyve yüzey morfolojisine bağlı olduğu ve yüzey pürüzlülüğünün mikroorganizma inaktivasyon hızının düşmesine sebep olduğu tespit edilmiştir [53].

Tablo 3. *In vitro* koşullarda UV-C ışığının germisidal etkisi

Mikroorganizma	Uygulanan doz	Ortam	Etki	Kaynak
<i>P. digitatum</i> <i>P. italicum</i> (10 <sup>6</sup> spor/mL)	1.5 kJ/m <sup>2</sup>	Potato Dextrose Agar (PDA)	<i>P. digitatum</i> popülasyonunda 3.9 logaritmik birim azalma, <i>P. italicum</i> popülasyonunda 5.3 logaritmik birim azalma	[52]
<i>A. flavus</i> <i>A. niger</i> <i>P. corylophilum</i> <i>P. digitatum</i>	1161 J/m <sup>2</sup>	Czapek yeast extract agar (CYA)	<i>A. flavus</i> popülasyonu %19 oranında canlılığını sürdürürken bu oran diğer türler için sırasıyla %38 ve 1'in altında	[59]
<i>A. flavus</i> <i>A. fumigatus</i> <i>A. versicolor</i> <i>A. fumigatus</i> <i>P. chrysogenum</i> <i>C. cladosporoides</i> (10 <sup>2</sup> spor/mL)	3.96 kJ/m <sup>2</sup>	Potato Dextrose Agar (PDA)	<i>P. digitatum</i> UV-C uygulaması ile tamamen inhibe etme	[60]
<i>A. flavus</i> <i>A. fumigatus</i> <i>A. versicolor</i> <i>A. fumigatus</i> <i>P. chrysogenum</i> <i>C. cladosporoides</i> (10 <sup>2</sup> spor/mL)	35-98 mJ/cm <sup>2</sup>	Malt Extract Agar (MEA)	%95 azalmanın sağlandığı doz <i>A. flavus</i> için 35 mJ/cm <sup>2</sup> <i>A. fumigatus</i> için 98 mJ/cm <sup>2</sup>	[61]
<i>Penicillium sp.</i> <i>Cladosporium sp.</i> (10 <sup>6</sup> -10 <sup>7</sup> spor/mL)	17.5 mJ/cm <sup>2</sup> - 43.8 mJ/cm <sup>2</sup>	Saboraud Dextrose Agar (SDA)	4.38 mJ/cm <sup>2</sup> dozunda UV-C uygulaması ile sırasıyla %90, 91, 72 ve 23 azalma	[62]
<i>Penicillium sp.</i> <i>Cladosporium sp.</i> (10 <sup>6</sup> -10 <sup>7</sup> spor/mL)	13.65 J/cm <sup>2</sup>	Potato Dextrose Agar (PDA)	Sırasıyla %75 ve 10 inaktivasyon	[63]

FDA tarafından ultraviyole ışık 253.7 nm dalga boyunda ozon üretmeyen, emisyonun %90'ını yayan düşük basınçlı civa lambaları kullanılarak gıda yüzeylerindeki mikroorganizmaların kontrol altına alınmasında, suların sterilizasyonunda ve meyve-sebze sularındaki

patojenlerin veya diğer mikroorganizmaların azaltılmasında kullanımına izin verilmektedir [64]. Ultraviyole ışığının FDA tarafından izin verilen kullanım alanları ve şartları Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 4. Ultraviyole ışığının FDA tarafından izin verilen kullanım alanları ve şartları [64]

Kullanım alanı	Kullanım şartları	Kullanım Amacı
Gıda ve ürünleri	Yağ içeriği yüksek olan gıdalarda vakum altında veya inert atmosferde; radyasyon şiddeti 1 W/ 5-10 ft <sup>2</sup>	Gıda yüzeylerindeki mikroorganizmaların kontrolü
İçme Suyu	Absorbsiyon sabiti her cm için 0.19 veya daha az; 1 Watt için akış hızı 100 gal/h; su derinliği 1 cm veya daha az; lambanın çalışma sıcaklık aralığı 36 - 46°C	Gıdaların üretiminde kullanılan suların sterilizasyonu
Meyve-sebze suları	Reynolds sayısının en az 2.200 olduğu türbülanslı akış	Patojenlerin ve diğer mikroorganizmaların azaltılması

UV-C işlemi ile hasar görmüş hücreler görünür ışığa (400-700 nm) maruz kaldıklarında fotoreaktivasyon adı bir mekanizmayla, hücreler geriye dönüşüm yaparak tekrar üreyebilmektedir. Bu hücreler fotolizaz enzimine sahiptir ve bu enzim ışık varlığında pirimidin dimerleri arasındaki bağı kırarak DNA'daki hasarı onarabilmektedir [20]. Bu nedenle, UV-C işlemi sonrasında ürünlerin karanlıkta bekletilmesi gerekmektedir. Janisiewicz ve ark. [30] tarafından yapılan bir çalışmada, petrielerde bulunan *Botrytis cinerea* sporlarına 60 saniye UV-C işlemi uygulandığında spor sayısının 35'ten 13'e düştüğü, petrieler UV-C işlemi sonrasında 2 saat karanlık koşullarda bekletildiğinde ise spor sayısında daha fazla

azalma olduğu, bekleme süresi 4 saate çıkarıldığında ise petrielerin çoğunda üreme gözlenmediği belirlenmiştir.

UV-C ışığının penetrasyon gücünün zayıf olması nedeniyle, sadece yüzeylerde etkili olması meyve suları gibi sıvı gıdalarda UV-C uygulamalarını kısıtlamaktadır. Bu tür gıdaların UV-C uygulamalarında sistemden geçecek sıvıya homojen bir biçimde ışığın ulaşmasını sağlamak ve mikrobiyel inaktivasyonun etkinliğini arttırmak için farklı reaktör tasarımları kullanılmaktadır [14]. Riganakos ve ark. [65] tarafından yapılan bir çalışmada 1137.5 mJ/cm<sup>2</sup>lik dozda UV-C uygulanmış havuç suları ve ısıtılmış pastörize edilmiş havuç suları 4°C'de 16 gün boyunca depolanmıştır. Uygulama yapılmayan kontrol örneklerinde 4 gün olan raf ömrünün

pastörizasyon ve UV-C uygulamaları ile 12 güne kadar uzatıldığı belirlenmiştir. UV-C uygulaması sonucunda havuç suyundaki küf-maya sayısının belirleme limitlerinin altında kaldığı tespit edilmiştir. Pastörizasyon ile UV-C uygulaması kıyaslandığında ürünün duyuusal özelliklerinde bir değişim olmadığı belirtilmiştir. Bu nedenle havuç suyunun raf ömrünü arttırmak için UV-C teknolojisinin ısı işlem uygulamaları yerine kullanılabilme potansiyeline sahip olduğu rapor edilmiştir. Günümüzde, tüketiciler tarafından minimum işlem görmüş, organoleptik özellikleri korunmuş güvenli gıdalar talep edildiğinden, bu amaçla gıdalarda ısısal olmayan alternatif yöntemler kullanılmaktadır. Bhat [66] tarafından yapılan bir çalışmada domates suyuna 15, 30, 60 dakikalık UV-C işlemleri uygulanmış ve uygulama süresi arttıkça toplam fenolik madde miktarında artış olurken askorbik asit miktarında azalmalar olduğu kaydedilmiştir. Ayrıca, üründe toplam küf sayısı kontrol örneklerde 5.17 kob/mL iken, 60 dakikalık UV-C işlemi sonucunda 4.96 kob/mL olarak belirlenmiştir. Sonuç olarak ısısal olmayan bir gıda muhafaza yöntemi olan UV-C uygulamasının, taze domates suyu kalite parametrelerini iyileştirme veya koruma yeteneğine sahip olduğu belirtilmiştir. Pala ve Toklucu [67] tarafından yapılan bir çalışmada, kırmızı ve beyaz üzüm sularına 12.6 J/mL dozunda UV-C ışık uygulamasının toplam küf sayısında sırasıyla 2.89 ve 2.71 logaritmik birim azalma sağladığı tespit edilmiştir. Ayrıca 25.2 J/mL dozunda UV-C ışık uygulaması ile de tüm mikrobiyel yükün elimine edildiği belirtilmiştir. Müller ve ark. [68] tarafından yapılan bir çalışmada ise 100.47 kJ/L

dozundaki UV-C uygulaması ile elma sularındaki toplam küf maya sayısı 3.10 log kob/mL'den 1.54 log kob/mL'ye düşerken, üzüm suyunda ise toplam küf maya sayısında 2 logaritmik birimden daha fazla azalma kaydedilmiştir. Feng ve ark. [69] tarafından yapılan bir çalışmada karpuz suyuna 37.5 J/mL uygulanan UV-C ışığın toplam aerobik bakteri sayısını 1.47 log kob/mL, toplam küf sayısını ise 0.99 log kob/mL azalttığı belirlenmiştir. Ayrıca uygulanan dozda karpuz suyunun besin değerinde anlamlı düzeyde olumsuz bir etkinin olmaması, ürünün raf ömrünü iyileştirmek için UV-C ışığın kullanılabilirliğini göstermiştir.

## UV-C IŞIĞIN HORMETİK ETKİSİ

Meyve ve sebzelere uygulanan düşük dozlardaki UV-C ışık, bitkilerin savunma sistemlerini güçlendirmektedir [50]. Hormetik etki olarak adlandırılan bu durum, canlı doku için yararlı ve düşük seviyede bir stres oluşturarak bitkinin savunma mekanizmasının uyarılması olarak tanımlanmaktadır [70]. Düşük dozda kısa dalga boylu ultraviyole ışık (UV-C, 190-280 nm dalga boyları) ile meyve ve sebzelerin depolama sırasındaki bozulmaları önlenebilmektedir. Son yıllarda yapılan UV-C işlemini konu alan yayınlarda, bu işlemin hormetik etkilerine yönelik çalışmalar üzerinde durulmaktadır. Yapılan birçok çalışmada, düşük dozlarda UV-C uygulamalarının hasat sonrası meyvelerin kalitesinin korumasını sağladığı bildirilmiştir (Tablo 5).

Tablo 5. Farklı gıdalarda UV-C ışığın hormetik etkileri

Mikroorganizma	Uygulanan doz	Ürün	Etki	Kaynak
<i>P. digitatum</i>	3.38 kJ/m <sup>2</sup>	Mandalina	Küf sayısında önemli derecede azalma	[54]
<i>Colletotrichum acutatum</i>	1-4 kJ/m <sup>2</sup>	Yaban mersini	Bozulma insidansında %10 azaltma	[78]
<i>P. digitatum</i>	0.2-12 kJ/m <sup>2</sup>	Kumkuat (Kamkat)	<i>P. digitatum</i> inaktivasyonu ve 17°C'de 2 hafta depolamadan sonra görülen bozulma belirtileri	[79]
<i>Monilinia fructicola</i>	0.4-40 kJ/m <sup>2</sup>	Şeftali	Küf sporlarının çimlenme oranı kontrol örnekleri ile kıyaslandığında dört kat daha düşük	[80]
<i>B. cinerea</i>	0.125-0.5 kJ/m <sup>2</sup>	Üzüm	Lezyon çaplarında azalma	[81]
<i>B. cinerea</i>	0.36 J/cm <sup>2</sup>	Üzüm	<i>B. cinerea</i> kaynaklı bozulma insidansında azalma	[82]
<i>B. cinerea</i>	0.25-1 kJ/m <sup>2</sup>	Üzüm	UV-C ile bitki savunma mekanizmasının uyarılması ile çürük meyve yüzdesini %70 düzeyinde engelleme	[83]
<i>Fusarium solani</i>	3.6 kJ/m <sup>2</sup>	Tatlı patates	<i>F. solani</i> kaynaklı bozulmaya karşı dirençte artma	[84]
<i>P. expansum</i>	7.5 kJ/m <sup>2</sup>	Elma	<i>P. expansum</i> inoküle edilmeden 96 saat önce uygulanan 7.5 kJ/m <sup>2</sup> dozundaki UV-C işleminde bitki savunma mekanizmasının en fazla olduğu belirlenmiş	[85]
Toplam küf maya sayısı	12.5 kJ/m <sup>2</sup>	Yıldız meyvesi	UV-C uygulamasından hemen sonra toplam küf maya sayısında 1.9 logaritmik birim azalma	[86]

Ayrıca, meyve olgunluğunun gecikmesi, funguslar ve bakterilere karşı doğal savunma mekanizmasının oluşumu sağlanmaktadır [71, 72]. Düşük dozlarda UV-C ışık ile hormetik etki uygulamaları meyve patojenine karşı meyvenin antimikrobiyel tepkisini ortaya çıkartmaktadır [73]. UV-C ışığın tek başına veya diğer

biyolojik koruma yöntemleriyle birlikte kullanılarak pek çok sebze ve meyvede hasat sonrası hastalık görülme sıklığında (insidans) azalma sağladığı belirtilmiştir [33, 71, 74-76].

Düşük dozlarda UV-C ışık, belirli genlerin ve enzimlerin aktivasyonu ile metabolik aktivitedeki değişiklikleri kapsayan hücrel savunma mekanizmasını uyarmaktadır. Hormetik etki mekanizması tam olarak anlaşılacakla birlikte, UV-C uygulamasının bitkilerdeki belirli gen ve enzimleri aktif hale getirerek metabolik aktivitede değişikliklere neden olduğu bu sayede hücrel koruyucu mekanizmanın çalışmasını sağladığı ifade edilmektedir. Bu enzimler: 1) patojenlere karşı yapısal bariyer olan lignin polimerlerin oluşumundan ve oksidatif etkiden sorumlu peroksidaz ve redüktaz enzimleri; 2) fungal hücre duvarı bileşenlerine yönelik litik etki gösteren glukana ve kitinaz gibi enzimlerdir (Tablo 6) [87, 88]. Pombo ve ark. [89] tarafından yapılan bir çalışmada, çileklere uygulanan UV-C (4.1 kJ/m<sup>2</sup>) işlemi sonrasında, meyvelerin yumuşamasına neden olan ekspansiyon genlerinin (*FaEXP2* ve *FaEXP5*) ekspresyonu kontrole göre ilk 4 saatte daha az bulunmuştur. Hücre duvarının yıkımını sağlayarak meyvelerin olgunlaşmasına neden olan enzimlerin üretilmesinde görev alan genlerin ifadesinin UV-C uygulamasından sonraki ilk 4-24 saat aralığında baskılandığı tespit edilmiş olup, UV-C uygulaması sonrasında 96 saat boyunca işlem görmüş meyvelerin daha sert olduğu belirlenmiştir. D'hallewin ve ark. [90] tarafından yapılan bir çalışmada 0.5 kJ/m<sup>2</sup> UV-C uygulaması ile portakallardaki bozulmalar etkin bir şekilde azalmış olup, portakalın cinsine, meyvenin olgunluğuna ve uygulanan UV-C işlemine göre, portakal kabuğunda scoparone ve scopoletin gibi fitoaleksinlerin biriktiği rapor edilmiştir. Mercier ve ark. [91] tarafından yapılan bir çalışmada ise, UV-C işleminden (0.88 kJ/m<sup>2</sup>) önce veya sonra *B. cinerea* inoküle edilen havuçlar

arasında 25-50 günlük depolama süresinin sonunda, UV-C uygulanmış havuçlarda 6-methoxymellein birikiminin fazla olduğu ancak *B. cinerea*'nin havuç üzerindeki gelişme çapı açısından önemli farklılıklar olmadığı tespit edilmiştir. Ben-Yehoshua ve ark. [92] ise yapmış oldukları bir çalışmada, limonlara uygulanan 5 kJ/m<sup>2</sup> UV-C işlemi ile limondaki scoparone konsantrasyonunun arttığı ve scoparone konsantrasyonunun artması ile limonlardaki *P. digitatum* gelişiminin azaldığı belirlenmiştir. Benzer şekilde Charles ve ark. [93] tarafından yapılan bir çalışmada UV-C işlemi (3.7 kJ/m<sup>2</sup>) uygulanmış domateslerde rishitin birikiminin arttığı ve gri küf gelişimine karşı direncin arttığı rapor edilmiştir. Charles ve ark. [94] tarafından yapılan diğer bir çalışmada ise, domateslere 3.7 kJ/m<sup>2</sup> dozunda UV-C uygulaması sonucunda perikarp yapısında modifikasyonlar olduğu ve perikarp hücre duvarında birikim zonlarının oluştuğu belirlenmiştir. Araştırmacılar, UV-C işleminin domateste *B. cinerea* kaynaklı gri küf oluşumunu engellemesinin domateste oluşan fenolik, lignin ve/veya suberin gibi yapısal bileşikler tarafından güçlendirilen fiziksel bariyerden kaynaklandığını savunmuşlardır. Diğer meyvelerden nispeten daha kısa bir raf ömrüne sahip olan, taze Trabzon hurmalarına UV-C işlemi uygulanmış ve uygulamadan sonra meyveler >%80 nem oranı, 1°C sıcaklıkta 0, 1, 2, 3, 4 ay boyunca karanlıkta depolanmıştır. UV-C uygulamalarının (1.5-3.0 kJ/m<sup>2</sup>), sıklık, etilen üretimi ve kabuk rengi gibi meyve nitelikleri üzerinde istatistiksel açıdan herhangi bir önemli etkiye neden olmaksızın, depolama esnasında hasat sonrası meyve hastalık insidansını azalttığı görülmüştür [12].

Tablo 6. UV-C ışığın hormetik etkisi ile meyve ve sebzelerde oluşan bileşikler

Mikroorganizma	Uygulanan doz	Ürün	Etki	Kaynak
<i>B. cinerea</i>	0.88 kJ/m <sup>2</sup>	Havuç	6-methoxymellein birikiminde artış	[76]
<i>Botrytis cinerea</i>	2 kJ/m <sup>2</sup>	Çilek	Kitinaz, β-1.3-glukanaz, fenilalanin amonyum liyaz, peroksidaz ve polifenoloksidaz aktiviteleri, toplam fenolik madde miktarında önemli düzeyde artış	[77]
<i>Colletotrichum acutatum</i>	0-4 kJ/m <sup>2</sup>	Yaban mersini	Toplam antosiyanin ve toplam fenolik madde miktarında artış	[78]
<i>P. digitatum</i>	0.2-12 kJ/m <sup>2</sup>	Kumkuat	Fitoaleksinin (scoparone) birikiminde artış	[79]
<i>Monilinia fructicola</i>	0.4-40 kJ/m <sup>2</sup>	Şeftali	Fenilalanin amonyum liyaz aktivitesinde artış	[80]
<i>Penicillium</i> sp.	0.5 kJ/m <sup>2</sup>	Portakal	UV-C işlemi ile scoparone ve scopoletin gibi fitoaleksinlerin birikiminde artış	[90]
<i>P. digitatum</i>	5 kJ/m <sup>2</sup>	Limon	Scoparone konsantrasyonunda artış	[92]
<i>B. cinerea</i>	3.7 kJ/m <sup>2</sup>	Domates	Rishitin birikiminde artış UV-C sonrası domateste oluşan fenolik maddeler, lignin ve/veya suberin gibi yapısal bileşikler tarafından güçlendirilen savunma mekanizması ile <i>B. cinerea</i> kaynaklı gri küf gelişimini engelleme	[93, 94]
<i>B. cinerea</i>	0.85 kJ/m <sup>2</sup>	Marul	UV-C uygulamasıyla marullarda fenilalanin amonyum liyaz aktivitesinde artış	[95]

## UV IŞIK UYGULAMALARIN AVANTAJ VE DEZAVANTAJLARI

UV ışık uygulamaları, herhangi bir kimyasal kalıntı bırakmaması ve düşük bakım, kurulum maliyetine sahip olmasından dolayı gıda endüstrisinde kullanılmaktadır

[15, 18]. Ultraviyole ışık teknolojisi uygun dozlarda uygulandığında gıdalar üzerinde olumsuz etkiye sebep olmamakla birlikte, uzun süre ultraviyole ışığa maruz bırakılan gıdalarda kalite kaybına yol açabilen istenmeyen değişiklikler meydana gelebilmektedir [21]. Bitkinin dokusuna ve UV-C dozuna bağlı olarak hücre

geçirgenliği değişebilmekte olup, hücre geçirgenliğinin artması durumunda elektrolit artışı, aminoasit ve karbonhidrat sızmasına neden olarak mikrobiyel gelişim teşvik edilebilmektedir [7]. Uzun sürelerdeki UV-C uygulamaları gıdada A, B2 ve C vitaminlerinin kaybına yol açabilmektedir. Ayrıca renk maddeleri uygulama sırasında oluşan peroksitlerden dolayı zarar görürken, riboflavinlerin ışık yardımıyla aktifleşmesi ve metiyonin oluşumu ayrıca 185-195 nm dalga boyunda ozon gazı oluşumu da kötü kokunun ortaya çıkmasına sebep olmaktadır [96, 97]. Ultraviyole ışık metal oksit ve oksijen varlığında nişastanın depolimerizasyonuna neden olabileceği gibi, yağ içeren gıdalarda lipid radikalleri ve hidrojen peroksit oluşumu gözlemlenmektedir. Peroksit oluşumu ise yağda çözünen vitaminlerin, renk pigmentlerinin ve diğer besin öğelerinin kaybolmasına yol açabilmektedir. UV-C ışığa maruz kalma serbest radikal oksidasyonunu başlatmakta ve diğer oksidasyon işleminin aşamalarını katalize etmektedir. Bununla birlikte süperoksit radikalleri; karbonhidrat çapraz bağlanmasına, protein çapraz bağlanmasına, protein fragmentasyonuna, doymamış yağ asidi peroksidasyonuna ve zar akışkanlık fonksiyonunun kaybolmasına sebep olabilmektedir [98]. Bu nedenle, dezenfeksiyon sürecinin UV-C ışık uygulama ekipmanlarında yapılacak değişiklikler ve modifikasyonlar ile optimize edilmesi ile gıdaların kalitesi korunmuş ve gıda güvenirliliği sağlanmış olmaktadır [21]. Ayrıca, UV-C ışık uygulamalarında maruziyeti önlemek ve personel güvenliğinin sağlanması için, UV-C ışık uygulamalarına yönelik uygun olarak tasarlanmış ekipman tercih edilmeli, personel UV-C ışığa bağlı tehlikeler konusunda bilgilendirilmeli ve kişisel koruyucu donanımlar sağlanmalıdır [73].

## SONUÇ

UV-C ışık uygun dozlarda kullanıldığında, meyve ve sebzelerin raf ömrünün uzatılmasında ve gıda güvenirliliğinin sağlanmasında kullanılabilecek ısı olmayan alternatif bir teknolojidir. UV-C ışığın gıdalarda bulunan mikroorganizmalar üzerindeki germisidal etkisinin yanı sıra, hormetik etkisi sayesinde ürünlerin savunma mekanizmasını aktifleştirerek gıdaların kalitesi ve raf ömrü üzerinde olumlu etkileri bulunmaktadır. UV-C ışığın germisidal ve hormetik etkisi ile ilgili birçok bilimsel araştırma yapılmakta, ancak UV-C ışık teknolojisinin endüstriyel anlamda yaygınlaşması için daha fazla araştırmaya ihtiyaç duyulmaktadır.

## KAYNAKLAR

- [1] Pitt, J.I., Hocking, A.D. (2009). *Fungi and Food Spoilage*. Springer Science and Business Media, London.
- [2] Ma, L., Zhang, M., Bhandari, B., Gao, Z. (2017). Recent developments in novel shelf life extension technologies of fresh-cut fruits and vegetables. *Trends in Food Science & Technology*, 64, 23-38.
- [3] Romanazzi, G., Sanzani, S.M., Bi, Y., Tian, S., Martínez, P.G., Alkan, N. (2016). Induced resistance to control postharvest decay of fruit and vegetables. *Postharvest Biology and Technology* 122, 82-94.
- [4] Liu, J., Sui, Y., Wisniewski, M., Xie, Z., Liu, Y., You, Y., Zhang, X., Sun, Z., Li, W., Li, Y., Wang, Q. (2017). The impact of the postharvest environment on the viability and virulence of decay fungi. *Critical Reviews In Food Science and Nutrition*, 1-7.
- [5] Günaydın, Ş., Karaca, H. (2015). Küf gelişimi ve mikotoksin oluşumunun kontrolünde doğal bitki ekstraktlarının kullanımı. *Akademik Gıda*, 13(2), 173-182.
- [6] Wang, C.Y., Chen, C.T., Wang, S.Y. (2009). Changes of flavonoid content and antioxidant capacity in blueberries after illumination with UV-C. *Food Chemistry*, 117, 426-431.
- [7] Artes-Hernandez, F., Martinez- Hernandez, G.B., Aguayo, E., Gomez, P.A., Artes, F. (2017). Fresh-cut fruit and vegetables: Emerging eco-friendly techniques for sanitation and preserving safety. *Postharvest Handling*, 7-45.
- [8] Wu, J., Liu, W., Yuan, L., Guan, W.Q., Brennan, C.S., Zhang, Y.Y., Zhang, J., Wang, Z.D. (2017). The influence of postharvest UV-C treatment on anthocyanin biosynthesis in fresh-cut red cabbage. *Scientific Reports*, 7, 1-11.
- [9] Shama, G., Alderson, P. (2005). UV hormesis in fruits: a concept ripe for commercialization. *Trends in Food Science and Technology*, 16, 128-136.
- [10] Charles, M.T., Goulet, A., Arul, J. (2008). Physiological basis of UV-C induced resistance to *Botrytis cinerea* in tomato fruit: IV. Biochemical modification of structural barriers. *Postharvest Biology and Technology*, 47, 41-53.
- [11] Charles, M.T., Tano, K., Asselin, A., Arul, J. (2009). Physiological basis of UV-C induced resistance to *Botrytis cinerea* in tomato fruit. V. constitutive defense enzymes and inducible pathogenesis-related proteins. *Postharvest Biology and Technology*, 51, 414-424.
- [12] Khademi, O., Zamani, Z., Poor Ahmadi, E., Kalantari, S. (2013). 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.
- [13] Masschelein, W.J., Rice, R.G. (2002). *Ultraviolet light in water and waste water sanitation*. Lewis Publishers, Boca Raton, 2p.
- [14] Koutchma, T., Forney, L.J., Moraru, C.I. (2009). *Ultraviolet Light in Food Technology: Principles and Applications*, CRC Press, New York, 1-31, 69-101, 102-125.
- [15] Guerrero-Beltran, J.A., Barbosa-Canovas, G.V. (2004). Advantages and limitations on processing foods by UV light. *Food Science and Technology International*, 10(3), 137-147.
- [16] Hijnen, W.A.M., Beerendonk, E.F., Medema, G.J. (2006). Inactivation credit of UV radiation for viruses, bacteria and protozoan (oo) cysts in water. *Water Research*, 40, 3-22.
- [17] Yaun, B.R., Sumner, S.S., Eifert, J.D., Marcy, J.E. (2004). Inhibition of pathogens on fresh produce by ultraviolet energy. *International Journal of Food Microbiology*, 90(1), 1-8.



- [18] Sastry, S.K., Datta, A.K., Worobo, R.W. (2000). Ultraviolet light. *Journal Food Science Supplement*, 65(12), 90–92.
- [19] Bintsis, T., Litopoulou-Tzanetaki, E., Robinson, R.K. (2000). Existing and potential applications of ultraviolet light in the food industry. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 80, 637-645.
- [20] Lopez-Malo, A., Palou, E. (2005). Ultraviolet light and food preservation. *Novel food processing Technologies*, 18, 405-421.
- [21] Krishnamurthy, K., Irudayaraj J., Yang, W., Demirci, A. (2008). UV Pasteurization of food materials, Food processing operations modeling design and analysis, Edited by Irudayaraj, J., Jun, S., CRC Press, New York, 281–302p.
- [22] Guerrero-Beltran, J.A., Barbosa-Canovas, G.V. (2005). Reduction of *Saccharomyces cerevisiae*, *Escherichia coli*, *Listeria innocua* in apple juice by ultraviolet light. *Journal of Food Process Engineering*, 28, 437-452.
- [23] Müller, A., Stahl, M.R., Graef, V., Franz, C.M.A.P., Huch, M. (2011). UV-C treatment of juices to inactivate microorganisms using Dean vortex technology. *Journal of Food Engineering*, 107, 268-275.
- [24] Tran, M.T.T., Farid, M. (2004). Ultraviolet treatment of orange juice. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 5, 495-502.
- [25] Locke, T., Fletcher, J.T. (1988). Incidence of benomyl and iprodione resistance in isolates of *Botrytis cinerea* in tomato crops in England and Wales in 1986. *Plant Pathology*, 37, 381–384.
- [26] Katan, T. (1982). Resistance to 3,5-dichlorophenyl-N-cycloheximide (dicarboximide) fungicides in the grey mould pathogen *Botrytis cinerea* in protected crops. *Plant Pathology*, 31, 133–141.
- [27] Georgopoulos, S.G. (1987). The development of fungicide resistance. In Population of plant pathogens: Their Dynamics and Genetics, Edited by M.S., Wolfe & C.E., Caten., UK: Blackwell, Oxford, 239-251p.
- [28] Staub, T. (1991). Fungicide resistance; practical experience with anti resistance strategies and the role of integrated use. *Annual Review of Phytopathology*, 29, 421–442.
- [29] Elad, Y., Yunis, H., Katan, T. (1992). Multiple resistance to benzimidazoles dicarboximides and diethofencarb in field isolates of *Botrytis cinerea* in Israel. *Plant Pathology*, 41, 41–46.
- [30] Janisiewicz, W.J., Takeda, F., Gleen, D.M., Camp, M.J., Jurick II, W. M. (2016). Dark period following UV-C treatment enhances killing of *Botrytis cinerea* conidia and controls gray mold of strawberries. *Phytopathology*, 106(4), 386-394.
- [31] Rico, D., Martín-Diana, A.B., Barat, J.M., Barry-Ryan, C. (2007). Extending and measuring the quality of fresh-cut fruit and vegetables. *Trends in Food Science & Technology*, 18, 373–386.
- [32] Arul, J. (1994). Emerging technologies for the control of postharvest diseases of fresh fruits and vegetables. In: Biological Control of Postharvest Diseases, Theory and Practice. Edited by Wilson, C.L., Wisniewski, M.E., CRC Press, London, Tokyo, 1–10p.
- [33] Wilson, C.L., El Ghaouth, A., Chalutz, E., Droby, S., Stevens, C., Lu, J.Y., Khan, V., Arul, J. (1994). Potential of induced resistance to control postharvest diseases of fruits and vegetables. *Plant Disease (USA)*, 78, 837–845.
- [34] Mari, M., Guizzardi, M., Brunelli, M., Folchi, A. (1996). Postharvest biological control of grey mould (*Botrytis cinerea* Pers.: Fr.) on fresh-market tomatoes with *Bacillus amyloliquefaciens*. *Crop Protection*, 15(8), 699–705.
- [35] Arul, J., Mercier, J., Charles, M.T., Baka, M., Maharaj, R. (2001). Photochemical treatment for control of postharvest diseases in horticultural crops. In: Physical Control Methods in Plant Protection, Edited by C, Vincent, B., Panneton, F. Fleurat-Lessard, INRA Editions, Paris, 146–161p.
- [36] Ben-Yeohshua, S., Mercier, J. (2005). UV irradiation, biological agents, and natural compounds for controlling postharvest decay in fresh fruits and vegetables. In: Environmentally Friendly Technologies for Agricultural Produce Quality, Edited by S. Ben-Yehoshua, Taylor & Francis, Boca Raton, 266–299p.
- [37] Charles, M.T., Benhamou, N., Arul, J. (2008). Physiological basis of UV-C induced resistance to *Botrytis cinerea* in tomato fruit. III. Ultrastructural modifications and their impact on fungal colonization. *Postharvest Biology and Technology*, 47, 27–40.
- [38] Muraca, P., Stout, J.E., Yu, V.L. (1987). Comparative assessment of chlorine, heat, ozone, and UV light for killing *Legionella pneumophila* within a model plumbing system. *Applied and Environmental Microbiology*, 53(2), 447-453.
- [39] Jemni, M., Gómez, P.A., Souza, M., Chaira, N., Ferchichi, A., Otón, M., Artés, F. (2014). Combined effect of UV-C, ozone and electrolyzed water for keeping overall quality of date palm. *LWT-Food Science and Technology*, 59(2), 649-655.
- [40] Mukhopadhyay, S., Ukuku, D.O., Juneja, V., Fan, X. (2014). Effects of UV-C treatment on inactivation of *Salmonella enterica* and *Escherichia coli* O157:H7 on grape tomato surface and stem scars, microbial loads, and quality. *Food Control*, 44, 110-117.
- [41] Tawema, P., Han, J., Vu, K.D., Salmieri, S., Lacroix, M. (2016). Antimicrobial effects of combined UV-C or gamma radiation with natural antimicrobial formulations against *Listeria monocytogenes*, *Escherichia coli* O157: H7, and total yeasts/molds in fresh cut cauliflower. *LWT-Food Science and Technology*, 65, 451-456.
- [42] Cho, M., Yoo, J., Cho, M., Kim, J.H. (2006). Investigating synergism during sequential inactivation of *Bacillus subtilis* spores with several disinfectants. *Water Research*, 40, 2911-2920.
- [43] Hadjok, C., Mittal, G.S., Warriner, K. (2008). Inactivation of human pathogens and spoilage bacteria on the surface and internalized within fresh produce by using a combination of ultraviolet light and hydrogen peroxide. *Journal of Applied Microbiology*, 104, 1014-1024.
- [44] Jung, Y.J., Oh, B.S., Kang, J.W. (2008). Synergistic effect of sequential or combined use of ozone and

- UV radiation for the disinfection of *Bacillus* spores. *Water Research*, 42, 1613-1621.
- [45] Koivunen, J., Heinonen-Tanski, H. (2005). Inactivation of enteric microorganisms with chemical disinfectants, UV irradiation and combined chemical/UV treatments. *Water Research*, 39, 1519-1526.
- [46] Murphy, H.M., Payne, S.J., Gagnon, G.A. (2008). Sequential UV- and chlorine based disinfection to mitigate *Escherichia coli* in drinking water biofilms. *Water Research*, 42, 2083-2092.
- [47] Rodriguez-Romo, L.A., Yousef, A.E. (2005). Inactivation of *Salmonella enterica* serovar Enteritidis on shell eggs by ozone and UV radiation. *Journal of Food Protection*, 68, 711-717.
- [48] Allende, A., Artes, F. (2003). UV-C radiation as a novel technique for keeping quality of fresh processed 'Lollo Rosso' lettuce. *Food Research International*, 36(7), 739-746.
- [49] Nimitkeatkai, H., Kulthip, J. (2016). Effect of sequential UV-C irradiation on microbial reduction and quality of fresh-cut dragon fruit. *International Food Research Journal*, 23(4), 1818-1822.
- [50] Terry, L.A., Joyce D.C. (2004). Elicitors of induced disease resistance in postharvest horticultural crops. *Postharvest Biology and Technology*, 32, 1-13.
- [51] Gündüz, G.T., Juneja, V.K., Pazır, F. (2015). Application of Ultraviolet-C light on oranges for the inactivation of postharvest wound pathogens. *Food Control*, 57, 9-13.
- [52] Gündüz, G.T., Pazır, F. (2013). Inactivation of *Penicillium digitatum* and *Penicillium italicum* under in vitro and in vivo conditions by using UV-C light. *Journal of Food Protection*, 76(10), 1761-1766.
- [53] Syamaladevi, R.M., Adhikari, A., Lupien, S.L., Dugan, F., Bhunia, K., Dhingra, A., Sablani, S.S. (2015). Ultraviolet-C light inactivation of *Penicillium expansum* on fruit surfaces. *Food Control*, 50, 297-303.
- [54] Kinay, P., Yıldız, F., Şen, F., Yıldız, M., Karacali, I. (2005). Integration of pre- and postharvest treatments to minimize *Penicillium* decay of Satsuma mandarins. *Postharvest Biology and Technology*, 37, 31-36.
- [55] Erkan, M., Wang, C.Y., Krizek, D.T. (2001). UV-C irradiation reduces microbial populations and deterioration in Cucurbita pepo fruit tissue. *Environmental and Experimental Botany*, 45, 1-9.
- [56] Wang, Q., Chu, L. and Kou, L. (2017). UV-C Treatment maintains quality and delays senescence of oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus*). *Scientia Horticulturae*, 225, 380-385.
- [57] Rodov, V., Tiete, Z., Vinokur, Y., Horev, B., Eshel, D. (2010). Ultraviolet light stimulates flavonol accumulation in peeled onions and controls microorganisms on their surface. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 58, 9071-9076.
- [58] Valero, A., Begum, M., Leong, S.L., Hocking, A.D., Ramos, A.J., Sanchis, V., Marin, S. (2007). Effect of germicidal UV-C light on fungi isolated from grapes and raisins. *Letters in Applied Microbiology*, ISSN 0266-8254.
- [59] Begum, M., Hocking, A.D., Miskelly, D. (2009). Inactivation of food spoilage fungi by ultraviolet (UV-C) irradiation. *International Journal of Food Microbiology*, 129, 74-77.
- [60] Fernandez, Y.J., Hall, D.J. (2004). In vitro response of *Penicillium digitatum* and *Geotrichum candidum* to ultraviolet (UV-C) exposure. *Proceedings of Florida State Horticultural Society*, 117, 380-381.
- [61] Green, C.F., Scarpino, P.V., Jensen, P., Jensen, N.J., Gibbs, S.G. (2004). Disinfection of selected *Aspergillus* spp. using ultraviolet germicidal irradiation. *Canadian Journal of Microbiology*, 50, 221-224.
- [62] Menetrez, M.Y., Foarde, K.K., Dean, T.R., Betancourt, D.A. (2010). The effectiveness of UV irradiation on vegetative bacteria and fungi surface contamination. *Chemical Engineering Journal*, 157, 443-450.
- [63] Hamanaka, D., Nrimura, N., Baba, N., Mano, K., Kakiuchi, M., Tanaka, F., Uchino, T. (2011). Surface decontamination of fig fruit by combination of infrared radiation heating with ultraviolet irradiation. *Food Control*, 22, 375-380.
- [64] U.S. Food and Drug Administration, Center for Food Safety and Applied Nutrition. 2000. Ultraviolet radiation for the processing and treatment of food. Electronic Code of Federal Regulations, Ch 1., Title 21. [https://www.ecfr.gov/cgi-bin/text-idx?SID=215a87adad2ac773b018b90432f287d3&mc=true&tpl=/ecfrbrowse/Title21/21cfr179\\_main\\_02.tpl](https://www.ecfr.gov/cgi-bin/text-idx?SID=215a87adad2ac773b018b90432f287d3&mc=true&tpl=/ecfrbrowse/Title21/21cfr179_main_02.tpl) (Erişim tarihi: 29.10.2017).
- [65] Riganakosa, K.A., Karabagias, I.K., Gertzou, I., Stahl, M. (2017). Comparison of UV-C and thermal treatments for the preservation of carrot juice. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 42, 165-172.
- [66] Bhat, R. (2016). Impact of ultraviolet radiation treatments on the quality of freshly prepared tomato (*Solanum lycopersicum*) juice. *Food Chemistry*, 213, 635-640.
- [67] Pala, Ç.U., Toklucu, A.K. (2013). Effects of UV-C light processing on some quality characteristics of grape juices. *Food and Bioprocess Technology*, 6, 719-725.
- [68] Müller, A., Noack, L., Greiner, R., Stahl, M.R., Posten, C. (2014). Effect of UV-C and UV-B treatment on polyphenol oxidase activity and shelf life of apple and grape juice. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 1-31.
- [69] Feng, M., Ghafoor, K., Seo, B., Yang, K., Park, J. (2013). Effects of ultraviolet-C treatment in Teflon-coil on microbial populations and physico-chemical characteristics of watermelon juice. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 19, 133-139.
- [70] Shama, G. (2007). A new role for UV Extensions to the shelf life of plant foods by UV induced effects. *IOA-IUVA Joint World Congress*, August 27-29, Los Angeles, California, USA.
- [71] Gonzalez-Aguilar, G.A., Villegas-Ochoa, M.A., Martinez-Tellez, M.A., Gardea, A.A., Ayala-Zavala, J.F. (2007). Improving antioxidant capacity of fresh-cut mangoes treated with UV-C. *Journal of Food Science*, 72, S197-S202.

- [72] Alothman, M., Bhat, R., Karim, A.A. (2009). Effects of radiation processing on phytochemicals and antioxidants in plant produce. *Trends in Food Science & Technology*, 20, 201- 212.
- [73] Shama, G. (2007). Process challenges in applying low doses of ultraviolet light to fresh produce for eliciting beneficial hormetic responses. *Postharvest Biology and Technology*, 44, 1–8.
- [74] Stevens, C., Wilson, C. L., Lu, J.Y., Khan, V.A., Chalutz, E., Droby, S., Kabwe, M.K., Haung, Z., Adeyeye, O., Pusey, L.P., Wisniewski, M.E., West, M. (1996). Plant hormesis induced by ultraviolet light-C for controlling postharvest diseases of tree fruits. *Crop Protection*, 15, 129–134.
- [75] Lu, J.Y., Stevens, C., Khan, V.A., Kabwe, M. (1991). The effect of ultraviolet irradiation on shelf-life and ripening of peaches and apples. *Journal of Food Quality*, 14, 299–305.
- [76] Mercier, J., Arul, J., Julien, C. (1993). Effect of UV-C on phytoalexin accumulation and resistance to *Botrytis cinerea* in stored carrots. *Journal of Phytopathology*, 139, 17–25.
- [77] Jin, P., Wang, H., Zhang, Y., Huang, Y., Wang, L., Zheng, Y. (2017). UV-C enhances resistance against gray mold decay caused by *Botrytis cinerea* in strawberry fruit. *Scientia Horticulturae*, 225, 106–111.
- [78] Perkins-Veazie, P., Collins, J.K., Howard, L. (2008). Blueberry fruit response to postharvest application of ultraviolet radiation. *Postharvest Biology and Technology*, 47, 280–285.
- [79] Rodov, V., Ben-Yehoshua, S., Kim, J.J., Shapiro, B., Itah, Y. (1992). Ultraviolet illumination induces scoparone production in kumquat and orange fruit and improves decay resistance. *Journal of American Society for Horticultural Science*, 117, 788-792.
- [80] Stevens, C., Khan, V.A., Lu, J.Y., Wilson, C.L., Pusey, P.L. Kabwe, M.K., Igwegbe, E.C.K., Chalutz, E., Droby, S. (1998). The germisidal and hormetic effects of UV-C light on reducing brown rot disease and yeast microflora of peaches. *Crop Protection*, 17, 75-84.
- [81] Nigro, F., Ippolito, A., Lima, G. (1998). Use of UV-C light to reduce *Botrytis* storage rot of table grapes. *Postharvest Biology and Technology*, 13, 171–181.
- [82] Romanazzi, G., Mlikota Gabler, F., Smilanick, J.L. (2006). Preharvest chitosan and postharvest UV-C irradiation treatments suppress gray mold of table grapes. *Plant Disease*, 90, 445–450.
- [83] Akbudak, B., Karabulut, Ö.A. (2002). Üzüm muhafazasında gri küften (*B. cinerea* Pers:Fr.) kaynaklanan kalite kaybı ve çürümelerin Ultraviolet-C (UV-C) ışık uygulamaları ile önlenmesi üzerine bir araştırma. *Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 16(2), 35-46.
- [84] Stevens, C., Khan, V.A., Lu, J.Y., Wilson, C.L. (1999). Induced resistance of sweetpotato to *Fusarium* root rot by UV-C hormesis. *Crop protection*, 0261-2194.
- [85] Capdeville, G., Wilson, C.L., Beer, S.V., Aist, J.R. (2002). Alternative disease control agents induce resistance to blue mold in harvested 'Red Delicious' apple fruit. *The American Phytopathological Society*, 92(8), 900-908.
- [86] Moreno, C., Andrade-Cuvi, M.J., Zaro, M.J., Darre, M., Vicente, A.R., Concellón, A. (2017). Short UV-C treatment prevents browning and extends the shelf-life of fresh-cut Carambola. *Hindawi Journal of Food Quality*, 1-9.
- [87] Gonzalez-Aguilar, G.A., Villa-Rodriguez, J.A., Ayala-Zavala, J.F., Yahia, E.M. (2010). Improvement of the antioxidant status of tropical fruits as a secondary response to some postharvest treatments. *Trends in Food Science & Technology*, 21, 475–482.
- [88] Koutchma, T., Orłowska, M. (2012). Ultraviolet light for processing fruits and fruit products, Rodrigues, S., Fernandez, F.A.N. (Eds.), *Advances in Frit Processing Technologies*. CRC Press, Taylor and Francis Group, Boca Raton, pp. 1-31.
- [89] Pombo, M.A., Dotto, M.C., Martínez, G.A., Civello, P.M. (2009). UV-C irradiation delays strawberry fruit softening and modifies the expression of genes involved in cell wall degradation. *Postharvest Biology and Technology*, 51, 141–148.
- [90] D'hallewin, G., Schirra, M., Manueddu, E., Piga, A., Ben-Yehoshua, S. (1999). Scoparone and scopoletin accumulation and ultraviolet-C induced resistance to postharvest decay in oranges as influenced by harvest date. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 124, 702-707.
- [91] Mercier, J., Roussel, D., Charles, M.T., Arul, J. (2000). Systemic and local responses associated with UV- and pathogen-induced resistance to *Botrytis cinerea* in Stored Carrot. *Phytopathology*, 90, 981-986.
- [92] Ben-Yehoshua, S., Rodov, V., Kim, J.J., Carmeli, S. (1992). Preformed and induced antifungal materials of citrus fruits in relation to the enhancement of decay resistance by heat and ultraviolet treatments. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 40, 1217-1221.
- [93] Charles, M.T., Mercier, J., Makhlof, J., Arul, J. (2008). Physiologicalbasis of UV-C- induced resistance to *Botrytis cinerea* in tomato fruit: I. Role of pre- and post- challenge accumulation of phytoalexin-rishitin. *Postharvest Biology and Techonology*, 47, 10-20.
- [94] Charles, M.T., Benhamou, N., Arul, J. (2008). Physiologicalbasis of UV-C- induced resistance to *Botrytis cinerea* in tomato fruit: III. Ultrastructural modifications and their impact on fungal colonization. *Postharvest Biology and Technology*, 47, 27-40.
- [95] Vásquez, H., Ouhibia, C., Lizzi, Y., Azzouz, N., Forgesa, M., Bardin, M., Nicot, P., Urban, L., Aarouf, J. (2017). Pre-harvest hormetic doses of UV-C radiation can decrease susceptibility of lettuce leaves (*Lactuca sativa* L.) to *Botrytis cinerea* L. *Scientia Horticulturae*, 222, 32–39.
- [96] Ohlsson, T., Bengtsson, N. (2002). *Minimal Processing Technologies in the Food Industry*, CRC Press, New York, 34–57p.
- [97] Cuvelier, M., Berset, C. (2005). Phenolic compounds and plant extracts protect paprika

against UV-induced discoloration. *International Journal Food Science and Technology*, 40, 67–73.  
[98] Kolakowska, A. (2003). Lipid oxidation in food systems. In Chemical and functional properties of

food lipids, Edited by Kolakowska, A., Sikorski, Z.E., CRC Press, New York, 133–168p.