



Hasat Sonrası UV-A ve UV-B Işık Uygulamalarının Meyve ve Sebzelerin Kalite Kriterlerine Etkisi^A

Öznur CUMHUR^{1*}

Öz: Meyve ve sebzelerde hasat sonrası depolamada geleneksel ve yeni muhafaza teknolojilerinin kullanımıyla ürün ve besin kayıpları gibi çeşitli sorunlarla mücadele edilmektedir. Gıda ürünlerini koruma ve iyileştirme amaçlı kullanılan yeni teknolojilerden bir tanesi de ultraviyole (UV) ışık uygulamalarıdır. Bu çalışmada kabul edilebilir bir abiyotik stres olarak UV-A ve UV-B ışık uygulamalarının meyve ve sebzelerde duysal ve besinsel kalite kriterleri üzerine etkisi yapılan çalışmalar kapsamında değerlendirilmiştir. Ayrıca UV teknolojisinin meyve ve sebze endüstrisinde olası kullanımına yönelik bilgiler sunulmuştur. Literatür verileri ışığında elde edilen bulgular çevre dostu olan UV ışık teknolojisinin çeşitli meyve ve sebzelerde ürün kayıplarını azaltmak, besin kalitesi ve duysal özellikleri iyileştirmek, antioksidan kapasitesini arttırmak ve raf ömrünü uzatmak için kullanılabileceğini göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Kalite, duysal kalite, ultraviyole, hasat sonrası, UV-A, UV-B.

The Effect of Postharvest UV-A And UV-B Treatments on the Quality Criteria of Fruits and Vegetables

Abstract: In the postharvest storage of fruits and vegetables, various problems such as product and nutrient losses are reduced by using conventional and new preservation technologies. Ultraviolet (UV) light applications

^A Yapılan bu çalışma etik kurul izni gerektirmemektedir.

* **Sorumlu yazar/Corresponding Author:** ¹ Öznur CUMHUR, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Uygulamalı Bilimler Fakültesi, Turizm İşletmeciliği Bölümü, Bilecik, Türkiye, oznur.cumhur@bilecik.edu.tr, [OrcID 0000-0003-4486-2959](https://orcid.org/0000-0003-4486-2959)

Atf/Citation: Cumhuriyet, Ö. 2022. Hasat Sonrası UV-A ve UV-B Işık Uygulamalarının Meyve ve Sebzelerin Kalite Kriterlerine Etkisi. *Bursa Uludag Üniv. Ziraat Fak. Derg.*, 36(2), 461-477.

<https://doi.org/10.20479/bursauludagziraat.1032589>

are one of the new technologies used for the protection and improvement of food products. In this study, the effects of UV-A and UV-B light applications as an acceptable abiotic stress on the sensory and nutritional quality criteria of fruits and vegetables were evaluated within the scope of studies. In addition, possible uses of UV technology in the fruit and vegetable industry are presented. Findings from literature data show that environmentally-friendly UV light technology can be used to reduce product losses, to improve nutritional quality and sensory properties, increase antioxidant capacity, and to extend shelf life in various fruits and vegetables.

Keywords: Quality, sensory quality, ultraviolet, postharvest, UV-A, UV-B.

Giriş

Doğranmış (fresh-cut) veya minimum düzeyde işlenmiş meyve ve sebzelere olan talep son yıllarda artmakta ve gıda endüstrisinin önemli bir parçası haline gelmektedir. Yaygın olarak tüketilen ve içerdiği çeşitli bileşenler nedeniyle insan sağlığı açısından önemli olduğu bilinen meyve ve sebzeler bu noktada dikkat çekmektedir. Hızlı yaşlanma ve hastalıklar nedeniyle meyve ve sebzelerin hasat sonrası yönetimi ciddi bir sorun olmakta ve bu süreçte önemsenecek düzeyde ürün ve besin kayıpları meydana gelmektedir. Geleneksel olarak hasat sonrası muhafaza teknolojisi, çoğunlukla soğukta depolama ve koruyucu olarak kimyasalların kullanımına dayanmaktadır (Usall ve ark., 2016). Bu aşamada kalıntı içermeyen fiziksel sterilizasyon ve koruma yöntemi olarak soğutmadan farklı olarak birçok geleneksel ve yeni teknoloji kullanılırken, bunlardan bir tanesi de ultraviyole ışık uygulamalarıdır.

UV ışıklar elektromanyetik spektrumunda dalga boyu 100 ve 400 nm arasında olan ışık türü olup, birincil kaynağı güneştir. UV ışık dalga boylarına göre UV-A (315-400 nm), UV-B (280-315 nm), UV-C (200-280 nm) ve vakum UV (100-200 nm) olarak sınıflandırılmaktadır (Koutchma, 2009). Isıl olmayan teknolojilerden biri olan UV ışık teknolojisi meyve ve sebzeler üzerinde genel olarak iki farklı yararlı etki ortaya koymaktadır. UV ışık teknolojisi birinci etki olarak gıda ürünlerinde mikroorganizmaların inaktivasyonunu sağlamakta ve bu doğrultuda gıdaların raf ömrünü artırmaktadır (Koutchma, 2019). Bu amaçla gıda endüstrisinde güvenli gıda üretimine yönelik çalışmalarda özellikle UV-C kullanımı karşılığını bulmaktadır. UV ışık teknolojisi ikinci yararlı etki olarak gıda ürünlerinin mikroorganizmalara karşı savunmalarını iyileştirmek, insan sağlığı için yararlı etkileri olan bileşenlerin içeriğini arttırmak, raf ömrünü uzatmak, duyu özellikleri korumak ve hatta iyileştirmek için bazı istenen sonuçları ortaya çıkarmaktadır (Koutchma, 2019). Bu noktada UV ışık uygulaması meyve ve sebzelerin ürün kayıplarını azaltması, biyoaktif bitki bileşenlerini, besin değerlerini ve kalite kriterlerini koruması ve iyileştirilmesi bakımından gıda endüstrisinin ve pek çok araştırmacının ilgisini çekmektedir.

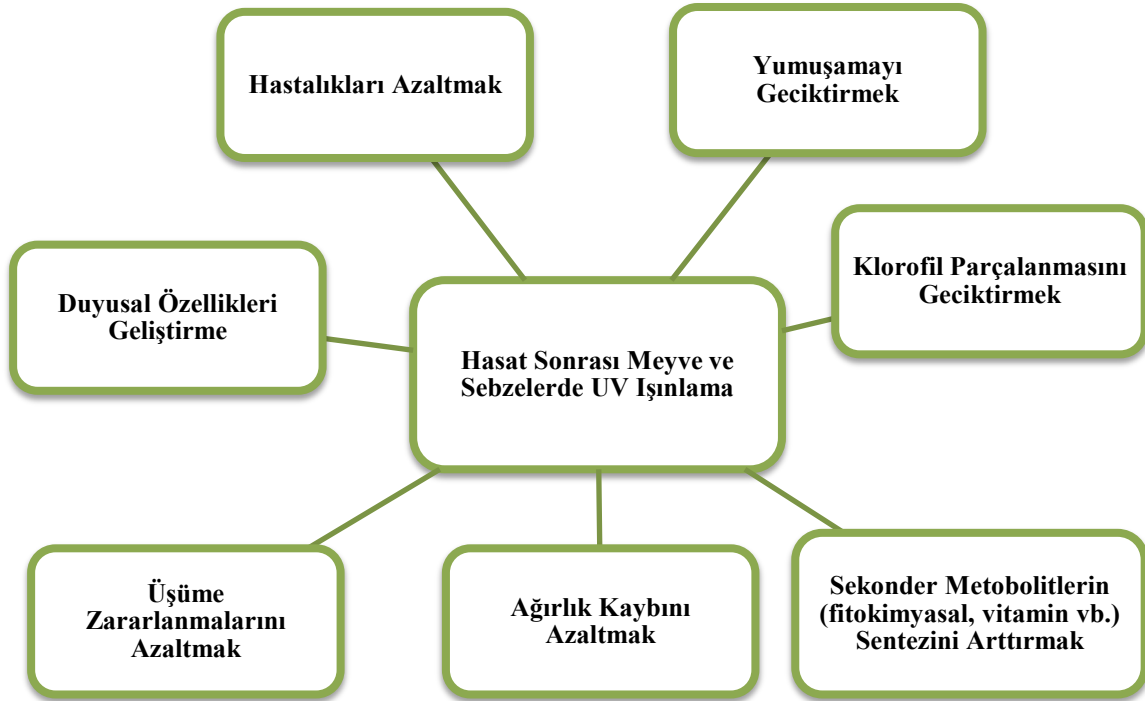
Literatürde UV-C uygulaması ve güvenli gıda üretimine yönelik çalışmalar daha yoğunlukta, özellikle UV-A ve UV-B ışık uygulamalarına yönelik çalışmalarının görece az olduğu tespit edilmiştir. Bu çalışmanın

amacı, meyve ve sebzelerin kalitelerini korumak için endüstriyel ölçekte UV teknolojisinin hangi parametrelerin, nasıl uygulanabileceğinin ortaya konulmasıdır. Uygulanabilirlik açısından değerlendirildiğinde, bilimsel yaklaşımların endüstriye uygulanması çok fazla araştırma ve geliştirme çalışmaları gerektirmektedir. Son yıllarda ise gıdalara yönelik çalışmaların bir bölümü UV uygulamaları doğrultusunda devam etmektedir. Bu makale kapsamında; hasat sonrası depolamada UV-A ve UV-B ışınlamayla meyve ve sebzelerde duyu ve besinsel kalite kriterlerinin nasıl etkilendiği yapılan araştırma temelli çalışmalar kapsamında tartışılmış ve UV ışınlanmanın endüstride kullanımına yönelik bilgiler sunulmuştur.

1. UV-A ve UV-B Işığın Meyve ve Sebzelerde Etki Mekanizması

UV ışığına maruz kalan meyve ve sebzelerin dokusunda UV ışığına karşı koruyucu tepki olarak biyokimyasal değişiklikler olur ve bu değişiklikler doğal savunma mekanizmasının geliştirilmesi gibi meyve ve sebzelerde farklı yanıtlara neden olmaktadır. Bu noktada düşük doz abiyotik streslere verilen yanıtların olumlu etkileri “hormesis” ile açıklanmaktadır. Hormesis, yüksek dozlarda zararlı olduğu düşünülen herhangi bir ajanın düşük dozuna maruz kalması nedeniyle herhangi bir sistem üzerinde uyarlanabilir yararlı bir etki olarak tanımlanır (Duarte-Sierra ve ark., 2020). Meyve ve sebzelerde hormesis ile solunum hızının artması/azalması, çimlenme, büyüme, olgunlaşma, hastalıklara karşı artan direnç gibi olası tepkiler ortaya çıkmaktadır (Sethi ve ark., 2018). UV maruziyeti ise meyve ve sebzeler tarafından algılanan fiziksel bir abiyotik stres türüdür. Bunun sonucunda, meyve ve sebzelerde sağlığa yararlı fitokimyasalların sentezlenmesini teşvik etmekte, taze ürünlerin hasat sonrası kayıplarını azaltmakta, kalitesini korumakta ve raf ömrünü uzatmaktadır. Hasat sonrası abiyotik stres meyve ve sebzelerde sekonder (ikincil) metabolitler gibi özel aktif bileşiklerin sentezini tetikleyerek ve/veya istenmeyen bileşiklerin sentezini azaltarak ürünlerin kalitesini iyileştirmektedir. Örneğin abiyotik stres, ikincil metabolik yolların anahtar enzim aktivitelerinde bir artış veya azalmaya neden olarak fitokimyasal birikimini veya kaybını etkilemektedir (Cisneros-Zevallos, 2003).

Hormesis tedavileri için düşük UV dozları ($0.125-9 \text{ kJ/m}^2$) gereklidir (Shama ve Alderson, 2005). Hormesis etkisi doz oranına, toplam maruz kalma süresine, meyve ve sebzelerin tür ve çeşidine, uygulama ve depolama sıcaklığına, kimyasal bileşimine, fiziksel yapısına ve maruz kalınan alana göre değişmektedir (Koutchma, 2014; Ribeiro ve ark., 2012; Sethi ve ark., 2018). Hasat sonrası meyve ve sebzelerde UV ışınlama kaynaklı hormesis için olası yanıtlar Şekil 1’de yer almaktadır. UV ışınlama ile bağlantılı tüm bu olumlu yanıtlara rağmen, bazı araştırmalarda UV uygulamaları ile herhangi bir etki tespit edilememiş veya olumsuz etkilerinin olduğu uygulama parametreleri bildirilmiştir (Aztekin ve ark., 2020; Cantos ve ark., 2000). Ayrıca bazı abiyotik stresler fitokimyasal bileşiklerin kaybına veya istenmeyen bileşiklerin üretimini tetiklemeye de neden olabilir. Dolayısıyla meyve ve sebze dokularının farklı abiyotik streslere nasıl tepki verdiğinin anlaşılması, genel olarak ve ürünler bazında abiyotik stres yanıtlarına etki eden parametrelerin ortaya koyulabilmesi önem arz etmektedir (Cisneros-Zevallos, 2003).



Şekil 1. UV ışık uygulamalarının meyveler ve sebzelere etkileri (Cisneros-Zevallos, 2003; Zhang ve Jiang, 2019).

2. Hasat Sonrası UV Uygulamalarının Meyve ve Sebze Kalitesi Üzerine Etkileri

Taze meyve ve sebzelerin kalitesi; doku, görünüm, renk, lezzet ve besin içeriği olmak üzere birçok parametreyi barındırır ve bu kalite kriterleri ürünlerin duyuşal olarak kabul edilebilirliklerini ve tüketici tercihlerini etkilemektedir. Son dönemde konuyla ilgili çalışan araştırmacılar hasat sonrası meyve ve sebzelerin kalitesini korumak ve iyileştirmek için UV teknolojisinin uygulanabilirliği üzerine çalışmaları yoğunlaştırmışlar ve bu doğrultuda UV uygulamalarının meyve sebzelerin kalite kriterleri üzerine etkilerini çalışmışlardır.

2.1. UV-A ve UV-B'nin Duyusal Özelliklere Etkileri

2.1.1. UV-A ve UV-B'nin Renk ve Görünüm Üzerine Etkileri

Meyve ve sebzeler, içerdikleri renk bileşenlerinin zenginliği nedeniyle çekici olmakta ve çeşitlilik göstermektedir. Taze depolanmış ürünlerin kalitesini değerlendirirken, tüketiciler ürün görünümünü ve rengini birincil kriter olarak dikkate alır. Meyve ve sebzelerde klorofil, antosiyanin ve karotenoid gibi renk bileşenleri bu noktada dikkat çekmekte ve ürünlerin renk kalitesi için bu bileşenlerin korunması önem taşımaktadır (Garcia ve Barrett, 2002). Depolama sırasında ürünlerdeki renk değişikliklerinin sebebi farklı kökenlere sahip olabilirken, çeşitli işlemler ile olası olumsuz değişiklikler kontrol altına alınabilir. Ultraviyole ışınlar da bu aşamada

ürünlerdeki klorofil, karotenoid ve antosiyanin gibi başlıca renk bileşiklerinde değişikliklere neden olmakta ve görsel kalitesini etkilemektedir. Örneğin; UV-B uygulamalarının taze kesilmiş ıspanak yapraklarının görsel kalitesi ve renk değişimleri üzerindeki etkilerinin değerlendirildiği çalışmada 0.9 kJ/m² dozda ışınlama ile ıspanak yapraklarının sararması yavaşlatılmış ve örneklerin görsel kalite puanları kontrole göre yüksek bulunmuştur (Kasım ve Kasım, 2017b). UV-A (4.5 ve 9.0 kJ/m²) ve UV-B (4.4 ve 26.3 kJ/m²) ışınlamasının brokolinin sararması üzerindeki etkisinin araştırıldığı çalışmada ise UV-B uygulamasının brokolide sararmayı geciktirdiği, ancak UV-A uygulamasının sararmayı engellemede önemli bir etkisinin olmadığı tespit edilmiştir. En az 8.8 kJ/m² olan UV-B dozları uygulanan ve 15°C'de saklanan brokolide hue açısı değerlerinin azalması önemli ölçüde gecikirken, klorofil bozunması da gecikmiştir. İlgili çalışmada rengin korunmasının, ışınlama türünün yanında ışınlama dozuna da bağlı olduğu gösterilmiştir (Aiamla-or ve ark., 2009). Optimum dozlarda UV-B ışınlamasına maruz kalan brokoli taçlarında reaktif oksijen türü seviyelerindeki artışların savunma mekanizmalarını tetiklediğinden brokoli yaşlanmasını geciktirilebileceği de işaret edilmiştir (Aiamla-or ve ark., 2009).

Yeşil rengin korunması ile ilgili çalışmaların bir bölümü de klorofil parçalanması ve klorofil parçalanmasında etkili olan enzim aktiviteleri üzerinde yoğunlaşmıştır. Aiamla-or ve ark. (2010) tarafından yapılan bir çalışmada 4.4, 8.8 ve 13.1 kJ/m² UV-B dozlarında ışık uygulamalarının depolama sırasında brokolilerde klorofil parçalanmasını etkili bir şekilde bastırdığı sonucu elde edilmiştir. Bu etki klorofilaz, klorofil azaltıcı peroksidaz, Mg-deşelataz gibi klorofil parçalayıcı enzimlerin aktivitelerinin bastırılması ile ilişkilendirilmiştir. En az 8.8 kJ/m²'lik bir UV-B dozunun hasat sonrası brokoli taçlarının sararmasını, hem klorofil-a hem de klorofil-b'nin bozulmasını geciktirebildiği bildirilmiştir (Aiamla-or ve ark., 2010). Benzer şekilde UV-B uygulamasının yeşil limonlarda da klorofil parçalanmasını geciktirdiği (Kaewsuksaeng ve ark., 2011; Srilaong ve ark., 2011) ve limonlarda klorofil yıkımının klorofil parçalayıcı enzimlerin, klorofilazın, klorofil parçalayıcı peroksidazın, feofitinazın ve Mg-deşelataz aktivitelerinin kontrolü yoluyla yapıldığı sonucuna ulaşılmıştır (Kaewsuksaeng ve ark., 2011). UV-B muamelesinin özel olarak klorofil bozunmasında peroksidaz enziminin aktivitesi üzerindeki etkisinin belirlenmeye çalışıldığı başka bir araştırmada ise yaşlanan brokoli sebzesinde peroksidazın üç izozimi tespit edilmiştir. Bu izozimlerden bir tanesinin UV-B tarafından baskılandığı ve böylece klorofilin bozunmasının önüne geçildiği gösterilmiştir (Aiamla-or ve ark., 2014). Bu aşamada UV ışınlama, klorofil parçalayıcı enzimlerinin aktivitesinde azalmaya yol açmakta ve böylece kontrol örneklerine göre yeşil renk daha iyi korunmaktadır. Darré ve ark. (2017) farklı doz (2, 4, 8, 12 kJ/m²) ve şiddetteki (3.2, 4, 5 W/m²) UV-B'nin taze brokoli taçlarına etkisini değerlendirmiş ve UV-B uygulamasının yoğunluğa büyük ölçüde bağlı olduğunu göstermiştir. Orta ve yüksek şiddetteki UV-B'nin, renk koruma üzerindeki etkisi, uygulanan dozdan bağımsız olarak ihmal edilebilir düzeyde olduğu tespit edilmiştir. Düşük yoğunluklu UV-B uygulamalarında ise Aiamla-or ve ark. (2009) tarafından yapılan çalışmadan farklı olarak düşük dozlarda (2 ve 4 kJ/m²) yeşil rengin korunması açısından daha iyi sonuçlar elde edilmiştir (Darré ve ark., 2017). Genel olarak yapılan çalışmalarda meyve ve sebzelerde bir abiyotik stres olarak UV uygulaması ile klorofil bozunmasının geciktirilebileceği gösterilmiş ve dolayısıyla sadece ürünün rengini etkilemediği aynı zamanda yaşlanmanın da geciktirilebileceği tespit edilmiştir.

Hasat sonrası UV-A ve UV-B uygulaması antosiyanin birikimi ve dolayısıyla çeşitli kırmızı meyve ve sebzelerin renklerinin iyileştirilmesi için kullanılmış ve bu bağlamda ultraviyole ışınların farklı sonuçları bildirilmiştir. Farklı UV-B ışık dozlarının (4.46 ve 8.93 kJ/m²) kapa biberlerin renk ve çürümesi üzerine etkisinin değerlendirildiği araştırmada, biberlerin kırmızı renk kalitesinin kontrol örneklerine kıyasla UV-B işleminin her iki dozu ile de arttırılabileceği, ancak düşük dozun (4.46 kJ/m²) biberlerin çürüme oranını düşürmek için optimal düzeyde olduğu tespit edilmiştir (Kasım ve Kasım, 2017a). UV-B uygulamasıyla kirazlarda 5 °C'de 28 günlük depolama sonrasında kırmızı renkten sorumlu olan antosiyanin içeriğinin kontrol örneklerine göre yüksek olduğu tespit edilmiş ve bu durum duyuşal değerlendirme de renk puanlarına yansımıştır (Abdipour ve ark., 2020). UV-A ve UV-B (6 kJ/m²) uygulanan tam olgun yaban mersini örneklerinde 0°C'de 28 gün depolama süresi boyunca meyve çürümesinde önemli bir azalma tespit edilirken; UV-B uygulanan meyvelerde kontrol ve UV-A uygulanan meyvelere göre antosiyanin miktarında daha az azalmanın olduğu tespit edilmiştir (Nguyen ve ark., 2014). Benzer şekilde hasat sonrası depolamada UV-B radyasyonu siyah havuç (Aztekin ve ark., 2020), kırmızı armut (Zhang ve ark., 2013), kırmızı üzüm (Csepregi ve ark., 2019; Sheng ve ark., 2018) ve elma (Hagen ve ark., 2007; Hu ve ark., 2020) gibi meyvelerde antosiyanin sentezini desteklemiş ve ürünlerde kırmızı renk gelişimine neden olmuştur. Meyve ve sebzelerde farklı reaksiyonlar ortaya çıkarabilen UV-A ve UV-B, antosiyanin biyosentez genlerini uyararak antosiyanin birikimini arttırabilmektedir (Guo ve ark., 2008). Ancak Cantos ve ark. (2000), üzümde UV-B uygulamasının üzümün rengi üzerinde veya üzüm rengi ile ilişkili olan antosiyaninler üzerinde etkili olmadığını bildirmişlerdir.

Domateslerde bulunan ve karakteristik pigmentasyonu sağlayan sarıdan kırmızıya kadar renk veren karotenoidler olup, domates başta likopen olmak üzere lutein, β-karoten gibi çeşitli karotenoidlerin kaynağıdır. Farklı dalga boylarında (353 nm, 365 nm, 400 nm) ve dozlarda UV-A ışık uygulamasının olgun domateslerin renk ve dokusunda herhangi bir değişim göstermeden karotenoid içeriğini arttırdığı tespit edilmiştir. 365 nm dalga boyundaki dozlarda ise karotenoidler maksimum seviyede olduğu belirlenmiştir (Dyshlyuk ve ark., 2020). Farklı dozlarda UV-B (10, 20, 40 ve 80 kJ/m²) ışınlamasının yeşil olgun domateslere uygulandığı başka bir çalışmada ise, 20 veya 40 kJ/m² UV-B ışınlamasının yüksek seviyede sertliği muhafaza ettiği, renk gelişimini geciktirmede etkili olduğu ve parlaklığını arttırdığı tespit edilmiş ve bu durum yaşlanmanın geciktirilmesi olarak bildirilmiştir. En yüksek doz olan 80 kJ/m² UV-B uygulamasında ise yüksek likopen içeriği elde edilmiş, ancak doku ve renk üzerinde olumsuz etkiler de tespit edilmiştir (Liu ve ark., 2011). Farklı olgunlaşma aşamalarında hasat edilen domateslere uygulanan çok düşük dozlarda UV-B ışınlama uygulamaları (0.564 ve 1.128 kJ/m²), hasat aşamalarının hiçbirinde domateslerin rengi üzerinde herhangi bir olumsuz etki göstermemiş ve renk özelliklerine etkisi farklı sonuçlar vermiştir. Kırılma dönemi ve pembe olum aşamasında hasat edilen domateslerde renk gelişimi UV-B uygulamaları ve 9 °C'de 14 günlük depolama neticesinde gecikmiş, ancak kırmızı olum aşamasında hasat edilen domateslerde renk gelişimi UV-B uygulamaları ile hızlanmıştır. Ancak UV-B ışınlaması ile 9 °C'de 21 günlük depolamada pembe ve kırmızı olum aşamalarındaki domateslerde renk oluşumunun geciktiği, kırılma dönemi hasat edilen domateslerde ise renk oluşumunun hızlandığı bildirilmiştir (Kasım ve Kasım, 2015). Karotenoidler açısından değerlendirilen başka bir çalışmada ise dolmalık biberlere (*Capsicum annuum* L.) 6 kJ/m² dozunda UV-B ve UV-C ışınlama ayrı ve beraber olarak uygulanmış. UV

uygulamalarından sonra başlangıçta biberlerin toplam karotenoid miktarı %21 artarken genel olarak tüm dolmalık biberlerde raf ömrü boyunca farklı düzeylerde karotenoid miktarlarında artışlar tespit edilmiştir. 7°C'de 14 günden sonra UV-B veya UV-C uygulan örneklerde toplam karotenoid miktarı kontrol örneklerine göre %59 oranında artarken, UV-B ve UV-C'nin beraber uygulandığı biber örneklerinde bu artış %94 düzeyinde tespit edilmiştir (Castillejo ve ark., 2022).

UV teknolojisi renk kalitesi açısından değerlendirildiğinde bir alternatif sunmaktadır. Ancak ışınlama sadece depolamada değil, taze kesilmiş meyve ve sebzelerde sorun oluşturan esmerleşmeyi azaltmak için de kullanılabilir. Bu doğrultuda UV uygulamaları ile taze kesilmiş meyve ve sebzelerde polifenol oksidaz aktivitesi kontrol edilerek kahverengileşmenin engellendiği tespit edilmiş (Lante ve ark., 2016) ve atıştırmalıklara yönelik bir ön işlem olarak gıda endüstrisi tarafından kullanımı önerilmektedir.

2.1.2. UV-A ve UV-B'nin Doku ve Lezzet Üzerine Etkileri

Renk ve görünümün yanında lezzet, aroma ve doku gibi duyuşal özellikler meyve ve sebzelerin hasat sonrası raf ömrünü ve tüketici tarafından kabul edilebilirliğini belirleyen diğer önemli faktörlerdir. Özellikle çilek, ahududu, şeftali, nektarin, kiraz, üzüm gibi meyveler dokusal olarak çok narin ve hassas oldukları için kısa süre saklanabilir ve bu tür meyvelerin hasat sonrası yönetimi önemli bir sorundur. UV-B ışınlamanın soğukta depolanan meyve ve sebzelerde olgunlaşma ve yumuşamayı geciktirmek, üşüme zararını azaltmak, görsel kaliteyi korumak ve dolayısıyla raf ömrünü uzatmak üzere etkili olduğu çeşitli çalışmalarda gösterilmiştir (Abdipour ve ark., 2019; Kasım ve Kasım, 2017a; Liu ve ark., 2012; Ruan ve ark., 2015). Örneğin orta dozda UV-B uygulanan (5 kJ/m²) ve 10 gün boyunca 6°C'de depolanmış mangoların olgunlaşması sırasında kontrol örneklerine kıyasla soğğun neden olduğu oksidatif hasarın bastırıldığı, soğuk toleransının ve meyve sertliğinin arttığı bildirilmiştir (Ruan ve ark., 2015). Benzer şekilde UV-B ışınlama şeftalilerde depolama ömrünü etkili bir şekilde uzatırken, ürünlerin yumuşamasını geciktirmiş, çürüme oranını ve kilo kaybını azaltmıştır. UV ışınlarının şeftalilerdeki kilo kaybını önlemedeki rolü, solunum hızı ve terlemeyi sınırlandırmak ve su kaybını azaltmayla ilişkilendirilmiştir. Ayrıca 4°C'de 25 günlük depolamadan sonra, UV ile işlenmiş şeftaliler görünüm, renk, lezzet ve genel kabul olmak üzere duyuşal özellikler ve fizikokimyasal özellikler bakımından işlenmemiş şeftalilere göre iyileşme göstererek daha çok tercih edilen bir kaliteye ulaşmıştır (Abdipour ve ark., 2019). UV-B uygulaması ile kirazlarda depolama sonrasında istenmeyen tat, koku ve renk gibi duyuşal değişikliklerin önlenildiği, olgunlaşma sürecinin baskılanabildiği de başka bir çalışmayla bildirilmiştir (Abdipour ve ark., 2020).

Hasat sonrası UV-B uygulamasının farklı türdeki şeftali ve nektarin meyvelerinde yumuşama sürecini yavaşlatmada etkili olup olmadığının değerlendirildiği çalışmada, çabuk yumuşayan şeftalilerde yumuşama önemli ölçüde engellenirken, yumuşamayan ve yavaş yumuşayan et meyvesine sahip şeftali ve nektarin örneklerinde bir farklılık tespit edilmemiştir. Bu durum UV-B etkilerinin genotipe bağlı farklı anatomik özelliklerden kaynaklanabileceğini düşündürmüştür (Scattino ve ark., 2016). UV ışınlaması ile meyvelerde hücre duvarı yapısının ve bileşenlerinin bozulmasından kaynaklanan yumuşama, hücre duvarındaki polimerler

arasındaki bağları kıran bazı enzimlerin (pektin metil esteraz, poligalakturonaz, galaktosidaz, proteaz, selüloz ve ksilanaz gibi) aktivitelerinin azaltılmasıyla ilişkili olduğu şeftali (Santin ve ark., 2019) ve domates (Barka ve ark., 2000) örneklerinde gösterilmiştir.

2.2. UV-A ve UV-B'nin Fitokimyasal Bileşenler ve Antioksidan Kapasite Üzerine Etkileri

Bitkisel gıdalarda bulunan ve beslenmenin ötesinde biyoaktif bileşikler olarak tanımlanan fitokimyasal içerik ile antioksidan kapasite meyve ve sebzeler için ana kalite kriterlerinden biri olarak düşünülmektedir (De Ancos ve ark., 2010). Meyve ve sebzelerde ikincil metabolit olarak ortaya çıkan, gıdaların rengini ve lezzetini etkileyen fitokimyasal bileşenler sağlık açısından da yararlı etkileri olmasıyla dikkat çekmektedir. Gelişmekte olan teknolojiler bu bileşikleri korumaya çalışmak için kullanılmakta ve bu doğrultuda UV ışınlama bu teknolojilerden biri olarak dikkat çekmektedir. Tüketicilerin sağlıklı gıdalar için artan talepleri ve üreticilerin bu talepleri yerine getirme çabasıyla beraber UV teknolojisinin meyve ve sebzeler üzerindeki etkisini değerlendiren birçok araştırma ve geliştirme çalışmaları yapılmakta ve bunlar aynı zamanda fonksiyonel gıdalara yönelik yapılan çalışmalara da katkıda bulunmaktadır. Farklı koşullarda uygulanan UV-A ve UV-B ışınlamalarının hasat sonrası çeşitli meyve ve sebzelerdeki fitokimyasal bileşenler ve antioksidanlar üzerine etkileri Çizelge 1'de özetlenmiştir.

Çizelge 1. Hasat sonrası meyve ve sebzelerde UV-A ve UV-B uygulamalarının fitokimyasal bileşikler ve antioksidanlar üzerine etkileri

Meyve ve Sebze (Bitki çeşidi)	UV Işık Uygulama Koşulları	Sonuçlar	Kaynakça
Elma (<i>Red delicious</i>)	- UV-B (219 kJ/m ²) - 20°C'de 7, 14 ve 21 gün depolama	- UV-B uygulaması ve 21 günlük depolama sonunda toplam fenolik birleşiklerle birlikte hidroksisünamik asitler, flavanoller ve antosiyaninler artmış ve tüm numunelerde daha yüksek antioksidan aktivite elde edilmiştir.	(Assumpção ve ark., 2018)
Elma (<i>Malus domestica</i> Borkh., cv. Aroma)	- UV-B (10 gün boyunca günde 12 saat 0.17 W/m ²)	- UV-B uygulamasıyla toplam fenol miktarı, antosiyanin, kuersetin glikozid, klorojenik asit ve askorbik asit içeriği ile antioksidan kapasitesi artmıştır.	(Hagen ve ark., 2007)
Kiraz (<i>Prunus avium</i>)	- UV-B (21.6 kJ/m ²) veya - UV-C (21.6 kJ/m ²) - 5°C'de 7, 14, 21, 28 gün depolama	- Her iki UV ışık uygulamasıyla toplam fenol miktarı kontrol örneklerine göre artmış olup, UV-C ışınlaması yapılan kirazlarda toplam fenol miktarı UV-B ışınlaması yapılanlara göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. - Kiraz meyvelerindeki depolama sırasında kademeli olarak azalan antioksidan kapasitesi UV-B ve UV-C uygulamalarıyla etkili bir şekilde inhibe edilmiştir.	(Abdipour ve ark., 2020)
Şeftali (<i>Prunus persica</i> L.)	- UV-B (2.3134 W/m ² , 10 ve 60 dak.) - 24°C'de 24 ve 36 saat depolama	- UV-B ile muamele edilmiş şeftalilerde 24 saat sonra fenoliklerin çoğunda azalma tespit edilmiştir. - Her iki UV-B uygulamasında 36 saat sonra özellikle antosiyaninler, flavonlar ve dihidroflavonoller başta olmak üzere fenolik birikimi olduğu gösterilmiştir.	(Santin ve ark., 2018)
Şeftali (Babygold 7, Suncrest) ve Nektarin (Big Top)	- UV-B (73 kJ/m ² , 12 saat; 146 kJ/m ² , 24 saat; 219 kJ/m ² , 36 saat)	- UV-B ışınlama, fenolik bileşikler genotipe bağlı bir şekilde etkilemiştir. "Big Top" nektarin ile "Suncrest" şeftalilerinde 24 ve 36 saat sonra toplam fenolik içerik, flavanol-3-ol, flavonoller artış göstermiştir. "Babygold 7" şeftalilerinde fenolikler UV-B ışınlamasından sonra azalmıştır. - UV-B ışınlaması yapılan "Big Top" nektarin ile "Suncrest" şeftalilerinde hidroksisünamatların konsantrasyonu 36 saat sonrasında da belirgin bir düzeyde olduğu gösterilmiştir.	(Scattino ve ark., 2014)

Çizelge 1. (Devamı)

Üzüm (<i>Vitis vinifera</i> L.)	<ul style="list-style-type: none">- UV-B (3.6 kJ/m²)- UV-C (3.6 kJ/m²)- 4°C'de 7, 14, 21 ve 28 gün depolama	<ul style="list-style-type: none">- UV-C uygulamalarının fenolik bileşiklerin ve antioksidan aktivitelerin artmasında UV-B'den daha etkili olduğu gösterilmiştir.- UV uygulamalarıyla üzümlerin fenolik içeriği ve antioksidan aktiviteleri uyarılmış ve kontrol meyvelerinden daha yüksek değerler olduğu tespit edilmiştir.	(Sheng ve ark., 2018)
Yaban mersini (<i>Vaccinium corymbosum</i> L.)	<ul style="list-style-type: none">- UV-B (0.075-0.15 Wh/m², 2 ve 24 saat)	<ul style="list-style-type: none">- 0.15 W/m² doz ve 2 saatlik sürede UV-B uygulaması fenolik birleşiklerde maksimum artışa neden olmuştur.- Her iki dozun 24 saatlik uygulamasında fenolik miktarı kontrol örneklerine göre daha fazla olduğu tespit edilmiştir.	(Eichholz ve ark., 2011)
	<ul style="list-style-type: none">- UV-A (6 kJ/m², 10 dak)- UV-B (6 kJ/m², 10 dak)- UV-C (6 kJ/m², 10 dak)- 0°C'de 7, 14, 21 ve 28 gün depolama	<ul style="list-style-type: none">- UV-B ve UV-C ışık uygulamalarında toplam fenolik miktarı ve antioksidan aktivite kontrol ve UV-A uygulanmış örneklerden daha yüksek olduğu gösterilmiştir.	(Nguyen ve ark., 2014)
Brokoli (<i>Brassica oleracea</i> var. <i>Italica</i>)	<ul style="list-style-type: none">- UV-B (2, 4, 8, 12 kJ/m² doz ve 3.2, 4, 5 W/m² şiddet)- 4°C'de 17 gün depolama	<ul style="list-style-type: none">- UV-B'ye maruz kaldıktan kısa süre sonra (0, 2, 6 ve 18 saat) fenolik madde miktarını geliştirdiği ve antioksidan birikimi sağladığı gösterilmiştir.- 17 günlük uzun süreli depolamada antioksidan kapasitesi ve toplam fenolik madde miktarının korunmadığı tespit edilmiştir.	(Darré ve ark., 2017)
	<ul style="list-style-type: none">- UV-B (5, 10, 15 kJ/m²)- UV-B (5, 10, 15 kJ/m²) + UV-C (9 kJ/m²)- 15°C'de 24, 48 ve 72 saat depolama	<ul style="list-style-type: none">- Brokoli yaprak, sap ve taçlarına uygulanan UV ışınlama neticesinde farklı düzeylerde antioksidan kapasitesinde artışlar görünürken, tüm üründe yapılan uygulamalar arasında önemli farklılıklar olmaksızın 15°C'de 72 saat sonra kontrol örneklerinden 1-1.2 kat daha yüksek antioksidan kapasitesi tespit edilmiştir.- Taç, yaprak ve saplarda UV-B ve UV-C kombinasyon uygulamalarıyla toplam fenol miktarı 72 saatlik depolama neticesinde maksimum seviyelerde bir artış göstermiştir.	(Formica-Oliveira ve ark., 2017)
Havuç (<i>Daucus carota</i> L. spp. <i>sativus</i> var. <i>atrorubens</i> Alef.)	<ul style="list-style-type: none">- UV-B (1.575, 3.15 ve 6.30 kJ/m²)- 4°C'de 1, 2, 3, 4 ve 5 ay depolama	<ul style="list-style-type: none">- Uygulanan dozlara bağlı olarak depolamanın ilk ayında toplam fenol içeriğinin arttığı, ancak sonraki aylarda fenol miktarının azaldığı tespit edilmiştir.- Depolama sonunda UV-B uygulamalarının toplam fenol içeriğini etkilemediği tespit edilmiştir.	(Aztekin ve ark., 2020)
Havuç (<i>Daucus carota</i>)	<ul style="list-style-type: none">- UV-B (1.3, 3.1, 5.9 ve 12 kJ/m²)- 15°C'de 72 saat depolama	<ul style="list-style-type: none">- Havuçlarda antioksidan kapasite önemli ölçüde (1.4-6.6 kat) artarken, toplam fenolik miktarındaki artış doğrudan antioksidan kapasitesi ile ilişkilendirilmiştir.	(Avena-Bustillos ve ark., 2012)
Domates (<i>Solanum lycopersicum</i> L.) 'Budenovka', 'Bull Heart' ve 'Gina' çeşitleri	<ul style="list-style-type: none">- UV-A (353 nm, 0.33 W/m²; 365 nm, 0.28 W/m²; 400 nm 0.28 W/m²) 10, 180 360 dak.- 4°C'de 36 saat depolama	<ul style="list-style-type: none">- Tüm dalga boylarında ve farklı domates türlerinde fenolik bileşiklerin (%42.9-55), karotenoidlerin (%24-56) ve flavonoidlerin (%28-33) toplam içeriğinin arttığı tespit edilmiştir.- Domateslerde dalga boyundan bağımsız olarak antioksidan enzim aktivitesinde (katalaz, peroksidaz, polifenol oksidaz, süperoksit dismutaz, fenilalanin amonyak-lyaz) artış tespit edilmiştir.	(Dyshlyuk ve ark., 2020)
Yeşil Olgun Domates (<i>Solanum Lycopersicon esculentum</i> cv. <i>Zhenfen 202</i>)	<ul style="list-style-type: none">- UV-B (10, 20, 40 ve 80 kJ/m²)- 14°C'de 7, 14, 21, 28 ve 37 gün depolama	<ul style="list-style-type: none">- Orta dozlar (20, 40 kJ/m²) toplam fenoliklerin ve flavonoidlerin birikmesini teşvik etmiş ve antioksidan kapasitesini artırmıştır.	(Liu ve ark., 2011)
Limon (<i>Citrus limon</i> , cv. <i>Limoneira 8A</i>)	<ul style="list-style-type: none">- UV-B (0.43 W/m²; 0.5, 1, 2, 3, 4 ve 5 dak.)- 25°C'de 24 saat depolama	<ul style="list-style-type: none">- 2 ve 3 dakikalık UV-B uygulaması kabuktaki flavedoda (turuncgillerde kabukta renkli olan dış tabaka) fenolik bileşiklerin sırasıyla %31.3 ve %19.3 oranında artışına neden olmuştur.- Limon kabuğunda flavedonun alt kısmındaki krem-beyaz renkli tabaka olan albedoda ise UV uygulaması neticesinde toplam fenoliklerde önemli bir değişiklik olmamıştır.	(Interdonato ve ark., 2011)
Beyaz Lahana (<i>Brassica oleracea</i> convar. <i>capitata</i> var. <i>alba</i>)	<ul style="list-style-type: none">- UV-B (0.3 ve 0.4 W/m², 12 saat)- 4°C'de 2, 4 ve 7 gün depolama	<ul style="list-style-type: none">- UV-B uygulamalarıyla flavonoidlerin ve hidroksisinnamik asitlerin artışı ve yeni oluşumu tespit edilmiştir.	(Harbaum-Piayda ve ark., 2016)

UV ışınlanmanın meyve ve sebzelerde fitokimyasal bileşenlerin birikimini teşvik eden etkisi, sadece meyve ve sebzenin türüne değil, aynı zamanda UV dalga boyuna, ışınlama dozuna, uygulama süresine, bileşen türüne ve diğer çevresel parametrelere bağlı olduğu bilinmektedir. Jansen ve ark. (2008) tarafından UV-B ışınlamasında doza karşı tepki olarak elde edilen yanıtlar beş grup altında değerlendirilmiştir:

- i) UV-B dozu arttıkça seviyeleri yükselen bileşenler,
- ii) Şiddetli UV-B ile tetiklenen ve stres ile ilişkili olan bileşenler,
- iii) UV-B uygulaması sırasında geçici olarak biriken bileşenler,
- iv) Seviyeleri kısa süreli akut UV-B maruziyeti altında değişen oranlarda düşen, ancak ürünler uzun süreli UV-B'ye alıştıklarında seviyeleri yükselen bileşenler,
- v) Orta düzey UV-B dozlarında seviyeleri zirve yapan, düşük ve yüksek UV-B dozlarında ise çok daha düşük seviyede olan bileşenler.

Elde edilen yanıtlara ek olarak etkilerin kalıcılığının ve ürüne dair parametrelerin de değerlendirilmesi önem arz etmektedir.

Meyve ve sebzelerin düşük dozlarda UV ışınına maruz kalması; fenolikler, terpenler ve nitrojen içeren bileşikler gibi temel olarak ikincil metabolit gruplarının biyosentezinde yer alan yolları etkilemekte (Cisneros-Zevallos, 2003) ve bu bileşenler abiyotik strese tepki olarak sentezlenmektedir (Tring ve ark., 2021). UV ışınlamadan dolayı bu bileşenlerin konsantrasyon düzeylerindeki değişimler bileşenlerin biyosentetik yollarında yer alan genlerin ve enzimlerin etkisi altında tartışılmaktadır. UV ışınlanmanın moleküler düzeyde metabolizmayı nasıl etkilediği, bu bileşenlerin biyosentezinde yer alan genlerin incelenmesi ve biyosentez süreçlerinin bu bağlamda daha ayrıntılı ve hatta ürünler bazında değerlendirilmesi önemlidir. Örneğin UV ışınlarının meyve ve sebzelerin biyokimyasal süreçlerine etkisinin değerlendirildiği araştırmalarda, polifenollerin biyosentetik yolundaki çeşitli enzimlerin potansiyel aktivasyonu geçici olarak gösterilmektedir (Nguyen ve ark., 2014; Sheng ve ark., 2018). Avena-Bustillos ve ark. (2012) tarafından havuçlara yönelik yapılan bir çalışmada, hasat sonrası UV-B uygulaması fenolik madde sentezini arttırmıştır. Bu durum enzim aktivitelerindeki artışın biyolojik bir yanıtı olarak açıklanmış ve özellikle fenil propanoid yolundaki anahtar enzim olan fenilalanin amonyak liyaz enziminin ortaya çıkmasıyla gösterilmiştir. Ancak genel olarak meyve ve sebzelerdeki farklı bileşenlerin UV uygulamalarına verdikleri yanıtları açıklayabilmek ve UV'nin etkisini yönetebilmek için çok daha fazla araştırma geliştirme çalışmalarına ihtiyaç vardır.

2.3. UV-A ve UV-B'nin Vitaminler Üzerine Etkileri

Meyve ve sebzelerde UV uygulaması tıpkı fitokimyasal bileşenlerde olduğu gibi insan sağlığı için faydalı olan vitaminler açısından da önemli olup bazı vitaminlerin sentezi ve birikmesini teşvik edebilmektedir. UV ışınlanmanın D ve C gibi vitaminler üzerindeki etkisi farklı meyve ve sebze tür ve çeşitlerinde çalışılmıştır.

Mantarlar özelinde değerlendirildiğinde ergosterolün bir dizi reaksiyon neticesinde D2 vitaminine dönüşümü güneş ışığı ile ilişkilendirilirken; D vitaminin miktarı büyük ölçüde çevresel koşullara bağlıdır (Morales ve ark., 2017). Hasat sonrası UV ışınlaması yapılan çeşitli mantarlarda ergosterolden önemli miktarlarda D2 vitaminin

üretildiği bildirilmiş (Gallotti ve Lavelli, 2020; Huang ve ark., 2015; Jasinghe ve Perera, 2005) ve mantar türlerinde D vitamini üretiminin etkisine ve optimizasyonuna yönelik çalışmalar yapılmıştır (Ko ve ark., 2008; Salemi ve ark., 2021; Wu ve Ahn, 2014). Bu amaç doğrultusunda mantarlarda UV ışınlama uygulamasında mantar türü, mantarların kabine yerleştirilirken yönelimi, ortam sıcaklığı, ortam nemi, dalga boyu, UV kaynağından uzaklık ve maruz kalma süresi gibi farklı parametreleri uygulayarak D vitamini üretiminin en verimli koşulları belirlenmeye çalışılmıştır (Jasinghe ve Perera, 2005; Salemi ve ark., 2021). Örneğin Salemi ve ark. (2021) beyaz şapkali mantarlarda (*Agaricus bisporus*) UV-B ve UV-C ışınlama ile D vitamini üretiminin optimizasyonunu yaptıkları çalışmalarında, UV-B 'nin mantarlarda D2 vitamini üretiminde en etkili dalga boyu olduğunu tespit etmişlerdir. Bu çalışmada beyaz şapkali mantarlar kabine yerleştirilirken UV lambasına göre yönelimi açısından da dört grupta değerlendirilmiştir. Yatay konumda sadece şapkaların yan tarafı UV'e dönük, lameller UV'e dönük, eğik olarak şapkanın çoğu ve gövdenin bir tarafı UV'e dönük ve 3-4 mm kalınlığında dilimleniş olarak kabine yerleştirilen mantarlarda eğik ve dilimlenmiş olarak yerleştirilen grupların hem UV-B hem de UV-C uygulamaları ile daha yüksek D vitamini ürettiği tespit edilmiştir. Bu durum mantarlarda UV'e maruz kalma alan genişliğinin etkisi ile ilişkilendirilmiştir. Mantarın UV ışığına maruz kalırken kabine yerleşim şekliyle ilgili yapılan başka bir çalışmada ise UV-A ışınlaması yapılan beş farklı mantar türlerinde (*Lentinula edodes*, *Pleurotus ostreatus*, *A. bisporus*, *Pleurotus cystidis*, *Flammulina velutipes*) lamellerin UV-A kaynağına bakacak şekilde ışığa maruz bırakılması dört kat daha fazla D2 vitamin seviyelerinin elde edilmesiyle sonuçlanmıştır (Jasinghe ve Perera, 2005). Sıcaklık açısından değerlendirildiğinde beyaz şapkali mantarlarda D2 vitamini üretimi için iç sıcaklığın optimum 27°C olduğu tespit edilirken (Salemi ve ark., 2021), *Lentinula edodes* (Shiitake) mantarlarında optimum sıcaklık 35°C olarak tespit edilmiştir (Jasinghe ve Perera, 2005). D vitamini stabilitesi açısından bakıldığında ise, beyaz şapkali mantarlarda D2 vitamini içeriğinin bir gün sonra 2°C'de ve pişirme sırasında neredeyse sabit kaldığı, ancak 7 günlük soğuk depolamadan sonra yaklaşık %50 azaldığı da bildirilmiştir (Salemi ve ark., 2021).

Genel olarak yenilebilir mantarlarda ışınlamanın etkilerini değerlendiren çalışmalar çoğunlukla yetiştirilen çeşitli mantarlar için yapılmış olup, ürünler sadece hayvan kaynaklı D vitaminine alternatif olarak sunulmaktadır. Ancak Gallotti ve Lavelli (2020) yaptığı çalışmada yüksek antioksidan ve antiglikasyon aktivitelerine sahip olan *A. bisporus* ve *P. ostreatus* mantar türlerini UV-B ile ışınlamış ve ürünlerde D2 vitamini içeriğinin yanında antioksidan ve antiglikasyon aktiviteleri üzerindeki etkisini de araştırmıştır. Işınlama her iki mantar türünde de D2 vitamini arttırmış, antiglikasyon aktivitesini etkilememiş, antioksidan aktivitede ise bir azalmaya neden olmuştur. D2 vitamini açısından mantarlarda UV uygulamasının önemi çok fazla araştırmacının ilgisini çekmiş olsa da ışınlamanın mantar matrisleri üzerindeki etkilerinin belirlenmesi hala eksiktir ve birçok biyoaktif bileşene sahip olan mantarlarda daha uygun ürünler geliştirmek için araştırma ve değerlendirme çalışmalarının yapılması gerekmektedir.

UV ışınlamanın bitkisel ürünlerde C vitaminine etkisi de nispeten çok çalışılan konulardan bir tanesidir. C vitamini 200-280 nm olan germisit dalga boyu aralığında yüksek UV emilimine sahipken, 300 nm'nin üzerindeki ışığı önemli ölçüde emmez. Dolayısıyla C vitamini emilimin gerçekleştiği dalga boylarında fotokimyasal reaksiyonların bir sonucu olarak foto bozunması mümkündür (Koutchma, 2009). UV-B uygulanan kiraz

(Abdipour ve ark., 2020), elma (Hagen ve ark., 2007) ve domates (Castagna ve ark., 2013) gibi ürünlerde depolama süresi boyunca askorbik asit içeriği korunmuştur. UV-B ışınlamanın meyve ve sebzelerde askorbik asit birikimi üzerinde elde edilen olumlu sonuçlarının aksine, yeşil olgun domateslerin askorbik asit içeriğinde olumsuz etkisi tespit edilmiştir (Liu ve ark., 2011). Domates örneklerinde elde edilen farklı sonuçlar, ürünlerin genotipleri tarafından UV ışınlamaya karşı farklı bir hassasiyet göstermesi ve ayrıca UV ışınlama parametreleri ve koşullarıyla ilişkilendirilebilir.

Sonuç

Mevcut çalışmalar neticesinde, meyve ve sebzelerin hasat sonrası kalitesini korumak için alternatif yaklaşımlar arasında UV teknolojisinin kullanılacağı düşünülmektedir. Bu aşamada kullanılan UV teknolojisinin soğukta muhafazayı destekleyerek faydalı olabileceği düşünülürken, ayrıca gıda endüstrisinde dondurma gibi bir muhafaza yöntemi öncesinde bir ön işlem olarak değerlendirilebileceği öngörülmektedir. Mevcut literatürde UV-B ışık uygulamalarının meyve ve sebzelerde duyu ve besinsel kaliteyi iyileştirme ve sürdürme yeteneği UV-A ışık uygulamalarına göre daha çok ön plana çıktığı ve bu anlamda daha fazla çalışma yapıldığı tespit edilmiştir.

Hasat sonrası meyve ve sebzelerde UV-A ve UV-B ışık uygulamalarının fitokimyasal bileşenler ve vitaminlerin sentezini ve birikmesini teşvik ettiği, antioksidan kapasiteyi arttırdığı, duyu özellikleri iyileştirdiği, ürün kayıplarını azalttığı ve raf ömrünü uzattığı tespit edilmiştir. Işık teknolojisiyle gerçekleştirilen değişimler ürünlerin besin değerini arttırırken, aynı zamanda fonksiyonel özellikleri yüksek ürünlerin üretimini de sağlamaktadır. Bu durum meyve ve sebzeleri farmakolojik açıdan daha elverişli hale getirmekte ve endüstride kullanımına yönelik faydalara işaret etmektedir. Ancak meyve ve sebzelerde elde edilen UV yanıtı meyve ve sebzelerin türü, UV ışınlamasına ait uygulama parametreleri ve çevresel koşullar gibi çeşitli hususlar arasındaki etkileşimle ilgilidir. Bunların yanı sıra UV ışık uygulamalarının meyve ve sebzeler üzerindeki spesifik etkilerinin tam olarak açıklanamadığı ve etki sürecinin netleştirilemediği durumlar söz konusudur. Bu noktada ayrıca meyve ve sebzelere genel olarak bakıldığında biyokimyasal bileşimlerdeki farklılıklar nedeniyle birçok yapısal ve besinsel özelliklerinde karakteristik farklılıkları paylaştıkları görülmektedir. Tüm bu çeşitlilikler ve farklılıklardan dolayı hasat sonrası yönetmek ve UV teknolojisinin gıda endüstrisi içerisinde daha fazla yer alabilmesi için farklı ışınlama ve çevresel parametrelerle ilgili çalışmaların ürünler bazında yapılmasına ve UV uygulamaların optimizasyonunun gerçekleştirilmesine ihtiyaç duyulmaktadır. Ancak bu araştırma ve geliştirme çalışmaları tamamlandıktan ve teknolojik altyapının hazırlanmasından sonra UV teknolojisinin meyve ve sebze endüstrisinde ticari olarak kullanımı söz konusu olabilecektir.

Teşekkür Bilgi Notu

Yapılan bu çalışma etik kurul izni gerektirmemektedir. Makale araştırma ve yayım etiğine uygun olarak hazırlanmıştır.

Kaynaklar

- Abdipour, M., Hosseinifarahi, M. and Naseri, N. 2019. Combination method of UV-B and UV-C prevents post-harvest decay and improves organoleptic quality of peach fruit. *Scientia Horticulturae*, 256, 108564.
- Abdipour, M., Sadat Malekhossini, P., Hosseinifarahi, M. and Radi, M. 2020. Integration of UV irradiation and chitosan coating: A powerful treatment for maintaining the postharvest quality of sweet cherry fruit. *Scientia Horticulturae*, 264, 109197.
- Aiamla-or, S., Kaewsuksaeng, S., Shigyo, M. and Yamauchi, N. 2010. Impact of UV-B irradiation on chlorophyll degradation and chlorophyll-degrading enzyme activities in stored broccoli (*Brassica oleracea* L. Italica group) florets. *Food Chemistry*, 120(3): 645–651.
- Aiamla-or, S., Shigyo, M., Ito, S. and Yamauchi, N. 2014. Involvement of chloroplast peroxidase on chlorophyll degradation in postharvest broccoli florets and its control by UV-B treatment. *Food Chemistry*, 165: 224–231.
- Aiamla-or, S., Yamauchi, N., Takino, S. and Shigyo, M. 2009. Effect of UV-A and UV-B irradiation on broccoli (*Brassica oleracea* L. Italica group) floret yellowing during storage. *Postharvest Biology and Technology*, 54(3): 177–179.
- Assumpção, C.F., Hermes, V.S., Pagno, C., Castagna, A., Mannucci, A., Sgherri, C., Pinzino, C., Ranieri, A., Flôres, S.H. and Rios, A.O. 2018. Phenolic enrichment in apple skin following post-harvest fruit UV-B treatment. *Postharvest Biology and Technology*, 138: 37–45.
- Avena-Bustillos, R.J., Du, W.X., Woods, R., Olson, D., Breksa, A.P. and McHugh, T.H. 2012. Ultraviolet-B light treatment increases antioxidant capacity of carrot products. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 92(11): 2341–2348.
- Aztekin, M.F., Kasım, R. and Kasım, M.U. 2020. Different doses of UV-B treatments increase total soluble phenols and anthocyanin content of Eregli black carrot (*Daucus carota* L. spp. *sativus* var. *atrorubens* Alef.) during storage. *Alinteri Journal of Agriculture Sciences*, 35(2): 14-23.
- Barka, E.A., Kalantari, S., Makhlof, J. and Arul, J. 2000. Impact of UV-C irradiation on the cell wall-degrading enzymes during ripening of tomato (*Lycopersicon esculentum* L.) fruit. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 48(3): 667–671.
- Cantos, E., García-Viguera, C., de Pascual-Teresa, S. and Tomás-Barberán, F.A. 2000. Effect of postharvest ultraviolet irradiation on resveratrol and other phenolics of Cv. Napoleon table grapes. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 48(10): 4606–4612.
- Castagna, A., Chiavaro, E., Dall'asta, C., Rinaldi, M., Galaverna, G. and Ranieri, A. 2013. Effect of postharvest UV-B irradiation on nutraceutical quality and physical properties of tomato fruits. *Food Chemistry*, 137(1-4): 151-158.

- Castillejo, N., Martínez-Zamora, L. and Artés-Hernández, F. 2022. Postharvest UV radiation enhanced biosynthesis of flavonoids and carotenes in bell peppers. *Postharvest Biology and Technology*, 184, 111774.
- Cisneros-Zevallos, L. 2003. The use of controlled postharvest abiotic stresses as a tool for enhancing the nutraceutical content and adding-value of fresh fruits and vegetables. *Journal of Food Science*, 68(5): 1560–1565.
- Csepregi, K., Körösi, L., Teszlák, P. and Hideg, É. 2019. Postharvest UV-A and UV-B treatments may cause a transient decrease in grape berry skin flavonol-glycoside contents and total antioxidant capacities. *Phytochemistry Letters*, 31: 63–68.
- Darré, M., Valerga, L., Ortiz Araque, L.C., Lemoine, M.L., Demkura, P.V., Vicente, A.R. and Concellón, A. 2017. Role of UV-B irradiation dose and intensity on color retention and antioxidant elicitation in broccoli florets (*Brassica oleracea* var. *Italica*). *Postharvest Biology and Technology*, 128: 76–82.
- De Ancos, B., Sánchez-Moreno, C. Plaza, L. and Cano M.P. 2010. Nutritional and Health Aspects of Fresh-Cut Vegetables: Advances in Fresh-Cut Fruits and Vegetables Processing. Ed.: Martin-Belloso, O., Soliva-Fortuny, R. CRC Press, Boca Raton FL, pp: 145-184.
- Duarte-Sierra, A., Tiznado-Hernández, M.E., Jha, D.K., Janmeja, N. and Arul, J. 2020. Abiotic stress hormesis: An approach to maintain quality, extend storability, and enhance phytochemicals on fresh produce during postharvest. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 19: 3659–3682.
- Dyshlyuk, L., Babich, O., Prosekov, A., Ivanova, S., Pavsky, V. and Chaplygina, T. 2020. The effect of postharvest ultraviolet irradiation on the content of antioxidant compounds and the activity of antioxidant enzymes in tomato. *Heliyon*, 6(1): e03288.
- Eichholz, I., Huyskens-Keil, S., Keller, A., Ulrich, D., Kroh L.W. and Rohn, S. 2011. UV-B induced changes of volatile metabolites and phenolic compounds in blueberries (*Vaccinium corymbosum* L.). *Food Chemistry*, 126: 60–64.
- Formica-Oliveira, A.C., Martínez-Hernández, G.B., Díaz-López, V., Artés, F. and Artés-Hernández, F. 2017. Use of postharvest UV-B and UV-C radiation treatments to revalorize broccoli by products and edible florets. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 43: 77–83.
- Gallotti, F. and Lavelli V. 2020. The effect of UV irradiation on vitamin D₂ content and antioxidant and antiglycation activities of mushrooms. *Foods*, 9(8): 1087.
- Garcia, E. and Barrett D.M. 2002. Preservative Treatments for Fresh-Cut Fruits and Vegetables: Fresh Cut Fruits and Vegetables: Science Technology and Market, Ed.: Lamikanra, O., CRC Press, Boca Raton FL, pp: 276–303.
- Guo, J., Han, W. and Wang, M. 2008. Ultraviolet and environmental stresses involved in the induction and regulation of anthocyanin biosynthesis: A review. *African Journal of Biotechnology*, 7(25): 4966-4972.

- Hagen, S.F., Borge, G.I.A., Bengtsson, G.B., Bilger, W., Berge, A., Haffner, K. and Solhaug, K.A. 2007. Phenolic contents and other health and sensory related properties of apple fruit (*Malus domestica* Borkh., cv. Aroma): Effect of postharvest UV-B irradiation. *Postharvest Biology and Technology*, 45(1): 1–10.
- Harbaum-Piayda, B., Palani, K. and Schwarz, K. 2016. Influence of postharvest UV-B treatment and fermentation on secondary plant compounds in white cabbage leaves. *Food Chemistry*, 197: 47–56.
- Hu, J., Fang, H., Wang, J., Yue, X., Su, M., Mao, Z., Zou, Q., Jiang, H., Guo, Z., Yu, L., Feng, T., Lu, L., Peng, Z., Zhang, Z., Wang, N. and Chen, X. 2020. Ultraviolet B-induced MdWRKY72 expression promotes anthocyanin synthesis in apple. *Plant Science*, 292: 110377.
- Huang, S.J., Lin, C.P. and Tsai, S.Y. 2015. Vitamin D₂ content and antioxidant properties of fruit body and mycelia of edible mushrooms by UV-B irradiation. *Journal of Food Composition and Analysis*, 42: 38–45.
- Interdonato, R., Rosa, M., Nieva, C.B., González, J.A., Hilal, M. and Prado, F.E. 2011. Effects of low UV-B doses on the accumulation of UV-B absorbing compounds and total phenolics and carbohydrate metabolism in the peel of harvested lemons. *Environmental and Experimental Botany*, 70(2-3): 204–211.
- Jansen, M.A.K., Hectors, K., O'Brien, N.M., Guisez, Y. and Potters, G. 2008. Plant stress and human health: Do human consumers benefit from UV-B acclimated crops? *Plant Science*, 175(4): 449–458.
- Jasinghe, V.J. and Perera, C.O. 2005. Distribution of ergosterol in different tissues of mushrooms and its effect on the conversion of ergosterol to vitamin D₂ by UV irradiation. *Food Chemistry*, 92: 541–546.
- Kaewsuksaeng, S., Urano, Y., Aiamla-or, S., Shigyo, M. and Yamauchi, N. 2011. Effect of UV-B irradiation on chlorophyll-degrading enzyme activities and postharvest quality in stored lime (*Citrus latifolia* Tan.) fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 61(2-3): 124–130.
- Kasim, M.U. and Kasim, R. 2015. Postharvest UV-B treatments increased fructose content of tomato (*Solanum lycopersicon* L. cv. Tayfun F1) harvested at different ripening stages. *Food Science and Technology*, 35(4): 742-749.
- Kasim, M.U. and Kasim, R. 2017a. The effects of ultraviolet B (UV-B) irradiation on color quality and decay rate of capia pepper during postharvest storage. *Food Science and Technology*, 38(2): 363–368.
- Kasim, M.U. and Kasim, R. 2017b. Yellowing of fresh-cut spinach (*Spinacia oleracea* L.) leaves delayed by UV-B applications. *Information Processing in Agriculture*, 4(3): 214–219.
- Ko, J.A., Lee, B.H., Lee, J.S. and Park, H.J. 2008. Effect of UV-B exposure on the concentration of vitamin D₂ in sliced Shiitake mushroom (*Lentinus edodes*) and white button mushroom (*Agaricus bisporus*). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56(10): 3671–3674.
- Koutchma, T. 2009. Advances in ultraviolet light technology for non-thermal processing of liquid foods. *Food and Bioprocess Technology*, 2(2): 138-155.
- Koutchma, T. 2014. *Food Plant Safety UV Applications for Food and Nonfood Surfaces*. Academic Press, London, 50p.

- Koutchma, T. 2019. *Ultraviolet Light in Food Technology-Principles and Applications*. CRC Press, Baco Raton FL, 343p.
- Lante, A., Tinello, F. and Nicoletto, M. 2016. UV-A light treatment for controlling enzymatic browning of fresh-cut fruits. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 34: 141–147.
- Liu, C., Han, X., Cai, L., Lu, X., Ying, T. and Jiang, Z. 2011. Postharvest UV-B irradiation maintains sensory qualities and enhances antioxidant capacity in tomato fruit during storage. *Postharvest Biology and Technology*, 59(3): 232–237.
- Liu, C., Jahangir, M.M. and Ying, T. 2012. Alleviation of chilling injury in postharvest tomato fruit by preconditioning with ultraviolet irradiation. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 92(15): 3016–3022.
- Morales, D., Gil-Ramirez, A., Smiderle, F.R., Piris, A.J., Ruiz-Rodriguez, A. and Soler-Rivas, C. 2017. Vitamin D-enriched extracts obtained from shiitake mushrooms (*Lentinula edodes*) by supercritical fluid extraction and UV-irradiation. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 41: 330–336.
- Nguyen, C.T.T., Kim, J., Yoo, K.S., Lim, S. and Lee, E.J. 2014. Effect of prestorage UV-A, -B, and -C radiation on fruit quality and anthocyanin of “duke” blueberries during cold storage. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 62(50): 12144–12151.
- Ribeiro, C., Canada, J. and Alvarenga, B. 2012. Prospects of UV radiation for application in postharvest technology. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 24(6): 586-597.
- Ruan, J., Li, M., Jin, H., Sun, L., Zhu, Y., Xu, M. and Dong, J. 2015. UV-B irradiation alleviates the deterioration of cold-stored mangoes by enhancing endogenous nitric oxide levels. *Food Chemistry*, 169: 417–423.
- Salemi, S., Sadisomeolia, A., Azimi, F., Zolfigol, S., Mohajerani, E., Mohammadi, M. and Yaseri, M. 2021. Optimizing the production of vitamin D in white button mushrooms (*Agaricus bisporus*) using ultraviolet radiation and measurement of its stability. *LWT - Food Science and Technology*, 137: 110401.
- Santin, M., Giordani, T., Cavallini, A., Bernardi, R., Castagna, A., Hauser, M.T. and Ranieri, A. 2019. UV-B exposure reduces the activity of several cell wall-dismantling enzymes and affects the expression of their biosynthetic genes in peach fruit (*Prunus persica* L., cv. Fairtime, melting phenotype). *Photochemical & Photobiological Sciences*, 18(5): 1280-1289.
- Santin, M., Lucini, L., Castagna, A., Chioldelli, G., Hauser, M.T. and Ranieri, A. 2018. Post-harvest UV-B radiation modulates metabolite profile in peach fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 139: 127–134.
- Scattino, C., Castagna, A., Neugart, S., Chan, H.M., Schreiner, M., Crisosto, C.H., Tonutti, P. and Ranieri, A. 2014. Post-harvest UV-B irradiation induces changes of phenol contents and corresponding biosynthetic gene expression in peaches and nectarines. *Food Chemistry*, 163: 51–60.
- Scattino, C., Negrini, N., Morgutti, S., Cocucci, M., Crisosto, C.H., Tonutti, P., Castagna, A. and Ranieri, A. 2016. Cell wall metabolism of peaches and nectarines treated with UV-B radiation: A biochemical and molecular approach. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 96: 939–947.

- Sethi, S., Joshi, A. and Arora, B. 2018. UV Treatment of Fresh Fruits and Vegetables: Postharvest Disinfection of Fruits and Vegetables Ed.: Siddiqui, M.W., Academic Press, United Kingdom, pp. 137-157.
- Shama, G. and Alderson, P. 2005. UV hormesis in fruits: A concept ripe for commercialisation. *Trends in Food Science & Technology*, 16(4): 128–136.
- Sheng, K., Zheng, H., Shui, S., Yan, L., Liu, C. and Zheng, L. 2018. Comparison of postharvest UV-B and UV-C treatments on table grape: Changes in phenolic compounds and their transcription of biosynthetic genes during storage. *Postharvest Biology and Technology*, 138: 74–81.
- Srilaong, V., Aiamla-or, S., Soontornwat, A., Shigyo, M. and Yamauchi, N. 2011. UV-B irradiation retards chlorophyll degradation in lime (*Citrus latifolia* Tan.) fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 59(1): 110–112.
- Tiring, G., Satar, S. and Özkaya, O. 2021. Sekonder metabolitler. *Bursa Uludag Üniv. Ziraat Fak. Derg.*, 35(1): 203 - 215.
- Usall, J., Ippolito, A., Sisquella, M. and Neri, F. 2016. Physical treatments to control postharvest diseases of fresh fruits and vegetables. *Postharvest Biology and Technology*, 122: 30-40.
- Wu, W.J. and Ahn, B.Y. 2014. Statistical optimization of ultraviolet irradiate conditions for vitamin D₂ synthesis in oyster mushrooms (*Pleurotus ostreatus*) using response surface methodology. *PLoS ONE*, 9(4): e95359.
- Zhang, D., Qian, M., Yu, B. and Teng, Y. 2013. Effect of fruit maturity on UV-B-induced post-harvest anthocyanin accumulation in red Chinese sand pear. *Acta Physiologiae Plantarum*, 35(9): 2857–2866.
- Zhang, W. and Jiang, W. 2019. UV treatment improved the quality of postharvest fruits and vegetables by inducing resistance. *Trends in Food Science & Technology*, 92: 71-80.

