

Işık Yayan Diyot (LED) Teknolojisinin Meyve ve Sebzelerin Hasat Sonrası Dönemindeki Uygulamaları

Rezzan KASIM¹, M.Ufuk KASIM²¹Kocaeli Üniversitesi, Arslanbey Meslek Yüksekokulu, 41285, Arslanbey/Kocaeli²Kocaeli Üni., Fen Bilimleri Enstitüsü, Bahçe Bitkileri Anabilim Dalı, Umuttepe/Kocaeli
rkasim@kocaeli.edu.tr (Sorumlu Yazar)

Özet

Katı-haldeki aydınlatma temeline dayanan, ışık yayan diyot (LED) aydınlatma teknolojisinin üretimi sırasında ve sonrasında kullanımı son on yılda artış göstermiştir. LED aydınlatma; fotoperiyodizm oluşturma amaçlı olarak sera üretimlerinde, doku kültürü çalışmalarında ve kontrollü çevre oluşturma çalışmalarında kullanılmaktadır. Kullanılan ışığın kalitesi ürünlerin verim ve kalitesini etkilemektedir. Kırmızı ötesi ışık, uzun gün bitkilerinin çiçeklenmesini uyandırırken, beyaz ışık fototropizm, kırmızı LED ışık ise fotosentezin artırılmasında önemlidir. LED aydınlatma teknolojisi bitki büyüme fiziolojisinde olduğu kadar hasat sonrası dönemde de önemli etkilere sahiptir. LED aydınlatma, bitkilerin ve bitkisel ürünlerin hasat sonrası depolanması sırasında ikincil metabolitleri etkilemektedir. Mavi LED, çileklerde antioksidant enzim aktivitesini artırırken, beyaz ışık marullarda karotenoidlerin parçalanmasını yavaşlatmaktadır. Benzer şekilde kırmızı LED ışık, satsuma mandarinlerinde toplam karotenoidleri, brokolide askorbik asit miktarını artırırken, lahanada C vitamini artırılmasında mavi ışık daha etkilidir. Ayrıca LED aydınlatma hasat sonraki dönemde ürün yüzeyindeki mikroorganizmaların azaltılması amaçlı olarak da kullanılmaktadır. Tangerinlerde mavi ışık fungal gelişimi azaltırken, çileklerde ultraviyole LED ışık, *Botrytis cinerea*'nın neden olduğu kurşunu küf gelişimini azaltmıştır. Bu çalışmada, Bahçe Bitkileri ürünlerinin hasat öncesi döneminde verim ve kalite kaybını azaltmada yoğun olarak kullanılan LED aydınlatma teknolojisini, hasat sonrasında kullanım amaçları ve etkileri incelenmiştir.

Anahtar kelimeler: LED, meyve, sebze, hasat sonrası, kalite, mikroorganizma

The Treatments of Light Emitting Diode (LED) Technology on Fruit and Vegetables during Postharvest Period

Abstract

The use of the solid state light-emitting-diode (LED) technology for both pre- and post-harvest period of horticultural crops was increased in the last decade. LED lighting was used to greenhouse production for the create photoperiodism, and to in tissue culture studies, and also to create controlled environment. The quality of used light has effected yield and quality of crops. While far-red light has stimulated inflorescence of long-day plant, the white light is important for the phototropism and red LED light is important to increase of photosynthesis. As well as LED lighting technology has effect on plant growing physiology, is great effect on postharvest period of crops. Seconder metabolite of plant is affected by LED lighting during postharvest storage period. While blue LED lighting increased antioxidant enzyme activity, white light delayed degradation of carotenoids. Similarly, total carotenoid content of satsuma mandarins and ascorbic acid content of broccoli is increased by red LED light whereas the blue light is the most effective than red light for increasing vitamin C in cabbage. Also, the LED lighting technology was used to decrease microorganism on the surface of product. While the fungal growth on the surface of tangerine was decreased by blue light, the ultraviolet LED light reduced grey mold caused by *Botrytis cinerea* in strawberry. In this study, the purpose and effects on fruit and vegetables during postharvest period of LED light technology that greatly used to improved yield and quality of preharvest period of horticultural crops was investigated.

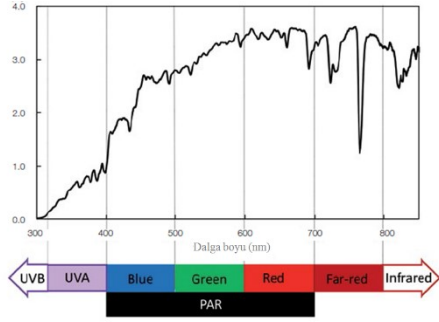
Keywords: LED, postharvest, fruit, vegetables, quality

1. Giriş

Elektromanyetik radyasyon (ER); boşlukta dalgalar halinde hareket eden bir radyant enerji tipi olup, elektromanyetik enerji foton olarak adlandırılan parçacıklar içerisinde yayılmaktadır. Fotonun taşıdığı enerji miktarı dalga boyu ile ters orantılıdır ve fotonun dalga boyu azaldıkça, içerdiği enerji miktarı artmaktadır. "Işık" ise ER spektrumunda bulunan ve insan gözüyle görülebilen bölge olarak tanımlanmakla birlikte, bitkiler açısından da ER spektrumundaki bitkiler tarafından alınabilen bölge olarak ifade edilmek-

tedir. Işığın ana kaynağı olan güneşin ürettiği fotonların dalga boyları farklı farklıdır. Güneşten gelen ışığın belirli dalga boyları atmosfer tarafından filtrelenmekte ve dünya yüzeyine ulaşan fotonların dalga boyu 150-4000 nm (Eltbaakh vd. 2011) arasında değişmektedir. Fotonlar dalga boylarına göre UVC: 100-280 nm, UVB: 280-325 nm, UVA: 315-400, görünür veya fotosentetik aktif ışık (PAR): 400-700 nm, kırmızı ötesi: 700-800 nm ve mor ötesi ışık 800-4000 nm olarak sınıflandırılmaktadır (Şekil 1).

Elektromanyetik spektrumun 400-700 nm dalga



Şekil 1. Güneşten gelen ışığın renkleri ve foton akış hızı (Davis, 2015).

Figure 1. The colors of light from sun and photon flow rate (Davis, 2015).

bo- b yuna sahip ve görünür ışık olarak adlandırılan kısmı renklere ayrılmakta (mavi: 400-500 nm; yeşil: 500-600 nm; kırmızı: 600-700) ve ayrıca bitkiler açısından da fotosentetik aktif ışık olarak adlandırılmaktadır. Bitki gelişiminde, fotosentezde ve meyve olgunlaşması aşamalarında doğal ışığın etkisinden, faydalanılmaktadır. Son yıllarda ise özellikle hasat sonrası çalışmalarda ışığın etkileri araştırılmaya başlanmış ve yapay aydınlatmalar kullanılarak, ışığın hasattan sonraki ürün kalitesi üzerindeki etkileri belirlenerek, hasat sonrası dönemde de aydınlatmaların yapılmasına başlanmıştır.

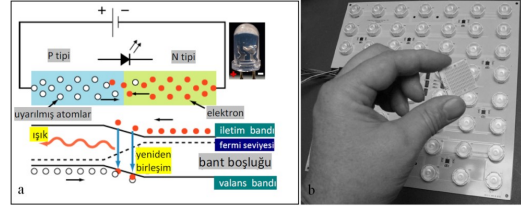
Bu çalışmada, ürünlerin hasat sonrasındaki depolama aşamalarındaki kalitesi üzerine LED aydınlatma sistemlerinin etkileri incelenmiştir.

2. LED Teknolojisi

Işık yayan diyot (LED) teknolojisi, diğer bütün aydınlatma sistemlerinden farklı olarak, cam veya gazlı bileşikler içermemekte ve bütün bileşenler katı halde bulunmaktadır. Bu nedenle LED'lerin kırılma katsayısı diğer tip lambalara göre daha azdır ve bunlar diğer lambaların zararlanacağı ve insan için sağlık ve güvenlik riski oluşturacağı yerlere kolaylıkla yerleştirilebilmektedir. LED'ler birbiri ile temasta olan iki tabakalı yarı iletken materyalden oluşmuştur. Elektrik akımı bir LED'den geçtiğinde elektronlar iki malzeme arasındaki birleşme boyunca hareket eder. Elektronlar birleşme noktasına geçtiğinde düşük enerji düzeyine düşerler ve süreçte bir foton ayrılır (Şekil 2).

LED içindeki kimya düşen enerji miktarını dolayısıyla yayılan fotonun dalga boyunu kontrol eder. LED'ler günümüzde renklere göre enerji dönüşüm etkinliği farklı olsa da (kırmızı ve mavi LED'ler en fazla enerji etkili) yaklaşık 240 ile 4000 nm arasında herhangi bir dalga boyunda üretilebilmektedir. LED'lerin dar spektrumu birçok fırsat sağlamasına karşın, çoğu durumda beyaz ışık daha uygun olarak görülmektedir.

Beyaz LED'ler mavi LED'lerin fosforla kaplanması ile imal edilmektedir. Fosfor LED tarafından yayılan ışığın bir kısmını absorbe eder ve daha uzun dalga boylarında tekrar yayar. Beyaz LED'in rengi imalat sırasında fosfor karışımlarının değiştirilmesi ile ayarlanabilmektedir. Beyaz LED'ler standart LED'lere göre daha az etkilidir çünkü fosfor kaplama LED tarafından yayılan ışığı dağıtır ve LED içindeki bazı ışıkları absorbe eder. Ayrıca, fosfor mavi fotonları absorbladığı ve daha uzun dalga boylarındaki fotonlar olarak enerjiyi tekrar yaydığı için bazı enerji ısıya dönüşür (bu enerji kaybı stokes kayması olarak adlandırılır) (Davis, 2015).



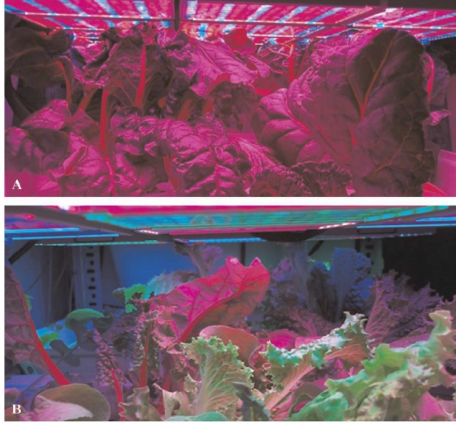
Şekil 2. (a) LED aydınlatma teknolojisinin şematik gösterimi (www.veksan.com). (b) LED sistemi (Morrow, 2008).

Figure 2. a) Schematic representation of the LED lighting technology (www.veksan.com). (B) LED system (Morrow, 2008).

2.1. LED Teknolojisinin Tarihiçesi

LED ile katı hal aydınlatma teknik olarak bahçe bitkilerinde kullanılan gazlı deşarj tip lambalardan farklı bir teknolojiyi ifade etmektedir. Spektrel bileşimin kontrolü ve radyant ısı çıkışının düşük buna karşın ışık yayılımının yüksek olduğu bu teknolojiyi; yüksek yoğunluklu deşarj (HID) lambaların geliştirilmesinden beri Bahçe Bitkilerinde en önemli ilerlemelerden biri haline getirmiştir. LED'lerin Amerika'da 1980'lerin sonu 1990'ların başında ilk basit LED sıralarının geliştirilmesi bitki büyümesinde denenmeye başlamıştır. İlk denemeler marul (Şekil 3, Massa vd. 2008), patates, ispanak ve buğdayda yapılmıştır (Morrow, 2008).

Başlangıçta mavi LED aydınlatma geliştirilemediği için, denemeler kırmızı (660 nm) LED'lerin tek başına veya mavi floresan lambalarla birlikte kullanılması yoluyla yapılmıştır. Bu dönemdeki çalışmalar daha çok bitki fizyolojisi denemelerine yoğunlaşmış (Tennessen vd. 1994 ve 1995) olmasına karşın, günümüzde LED'ler taşınabilir fotosentez ölçer gibi standart araştırma araçları ile birlikte kullanılmaya başlamıştır. 1990'larda LED'ler Hollanda'da tohum çimlenmesi ve çelik köklenmesinde (Nijssen vd., 1990) ve Japonya'da doku kültürü çalışmalarında (Miyashita vd. 1995) kullanılmıştır.



Şekil 3. Kırmızı+mavi (A) ve Kırmızı+mavi+yeşil (B) LED ışık altında yapılan pazu ve marul yetiştiriciliği (Massa vd., 2008).

Figure 3. Lettuce and chard growing under Red+blue (A) and red+blue+green (B) LED lighting (Massa vd., 2008).

LED aydınlatma sistemleri önceleri pahalı olduğundan bitki üretiminde LED uygulaması büyüme çemberi ve seralar gibi kontrollü ortamlardaki araştırmalarda kullanılmıştır. LED'ler altında bitki üretimi ile ilgili ilk çalışmalar NASA'daki araştırmacılar tarafından gelecekte Ay'da ve Mars'ta bitki kökenli rejeneratif yaşam-destek sistemlerinin geliştirilmesi için kullanılmıştır. Kennedy Uzay Merkezi (KUM) bitki araştırma grubu LED aydınlatma sistemlerini buğday (Goins vd., 1997), turp, ıspanak, marul (Goins vd., 2001; Yorio vd., 2001) ve biber (Brown vd., 1995) gibi birkaç bitki türünde verim ve fizyolojik tepkiler üzerine etkilerini araştırmak için kullanmışlardır. KUM, ayrıca spektral kaliteye tepki olarak bitki hastalık gelişimini (Schuerger ve Brown, 1999) ve yeşil ışıkla ek aydınlatmanın fotosentez üzerine etkisi (Kim vd., 2004) gibi konuları da araştırmıştır (Şekil 4).

3. LED Aydınlatma Teknolojisinin Hasat Sonrasında Kullanımı

Hasat sonrası çalışmaların en önemli amacı, kalite ve kantite olarak hasat sonrası kayıplarının azaltılmasıdır. Hasat sonrası iyi kalite denilince, kabul edilebilir görsel, doküsel, besinsel ve tat kalitesi, gıda kaynaklı patojenlerden yoksunluk ile birlikte mikroorganizmanın gıdada gelişmesinin engellenmesi gibi konular anlaşılmaktadır. Genel olarak, hasat sonrası kalite kaybının azaltılması için kritik şartlar, optimum sıcaklık ve nemin kombinasyonu ile ürünün tipine göre oksijen, karbondioksit ve etilen konsantrasyonlarının kullanılmasını içerir (Kader ve Rolle, 2004).

3.1. Kalite bileşenleri üzerindeki etkisi

Hasattan sonra ürünlere LED aydınlatma uygulaması ile ürünün bileşenlerinin miktarındaki değişimler incelenmiştir. Yapılan uygulamalar bazı türlerde bileşenler üzerinde etkili olurken bazı türlerde yaşlanmaya neden olarak kalitenin azalmasına yol açmaktadır. Örneğin, çileklerde hasat sonrası beyaz LED ($300 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$) ve mavi LED (200 ve $100 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$) uygulaması, meyvelerin aşırı olgunlaşmasına ve fazla su kaybetmesine yol açmış, ürünün C vitamini üzerinde ise herhangi bir etkisi olmamıştır (Li vd., 2016). Benzer bir etki domateslerde de bulunmuş, mavi LED ışık uygulanan domatesler etilen sentezinin artması dolayısıyla hızla olgunlaşmıştır (Ghanem vd., 2016). Domates gibi klimakterik bir türde hızlı olgunlaşmaya neden olan LED aydınlatma sistemi, turuncgil meyvelerinin daha koyu renkte sarartılması için kullanıldığında özellikle mavi ($400 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$; 465 nm) ve kırmızı ($600 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$; 630 nm) LED uygulamaları altında renk gelişimi daha iyi olurken, bu konuda mavi ışığın daha etkili olduğu tespit edilmiştir (Deng vd., 2016). Benzer şekilde $50 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ kırmızı ışığa (660 nm) 6 gün maruz kalan satsuma mandarinlerinin (*Citrus unshiu* Marc.) flavedosu, mavi LED (470 nm) uygulanan ve karanlık kontrol örneklerine göre daha fazla karotenoid miktarı içermiştir (Ma vd., 2011). Ayrıca kırmızı ışığın satsuma mandarinlerinin flavedosunda; kriptoksantin, tüm-trans-violaksantin, 9-cis-violaksantin ve luteinin toplam karotenoid birikimi ile eş zamanlı olarak arttığını göstermiştir. Etilen varlığında lutein birikiminin baskılanması, kırmızı LED ışık altında etilen uygulaması ile önlenmiştir (Ma vd., 2015).

LED aydınlatma teknolojisi ürünün antioksidant madde içeriğini de etkilemektedir. Turuncgil meyvelerinde fazla miktarda bulunan β -Cryptoxanthin (β -cry), kanser gibi belirli hastalıkların önlenmesinde önemli rol oynamaktadır. Satsuma mandarinlerinde 660 nm dalga boyunda kırmızı LED ışığın β -cry birikiminin uyarılmasında etkili olduğu fakat mavi ışığın (470 nm) bu açıdan etkili olmadığı bulunmuştur (Ma vd., 2012).

LED ışık uygulamalarında başlangıçta kırmızı ışık, daha sonra ise mavi ve yeşil ışık ve bu ışıkların kombinasyonları; özellikle de mavi ve kırmızı LED ışığın birlikte yoğun olarak kullanılmıştır. Ancak son yıllarda sarı ışıkla ilgili çalışmalar yapılmaya başlanmıştır. Elma, domates ve kırmızı dolma biberlere 590 nm dalga boyunda sarı LED uygulanmıştır. LED aydınlatma, uygulamadan 7 gün sonra elma kabuklarındaki toplam fenolik madde miktarını ve antioksidant potansiyelini artırmış, renk gelişimini hızlandırmıştır. Aynı şekilde domateslerde de fenolik madde miktarını artırırken, biberlerde ise antioksidant potansiyeli yükseltmiştir. Ayrıca LED

uygulanması elma ve biberlerde; β -karoten; biberlerde α -tokoferol ve γ -tokoferol ve elma kabukları ve biber meyvelerinde lutein miktarını artırmıştır. Buna karşın LED ışık uygulaması meyvelerde olgunlaşmayı hızlandırmış ve bazı ikincil metabolitlerin sentezini etkilemiştir (Kokalj vd., 2016).

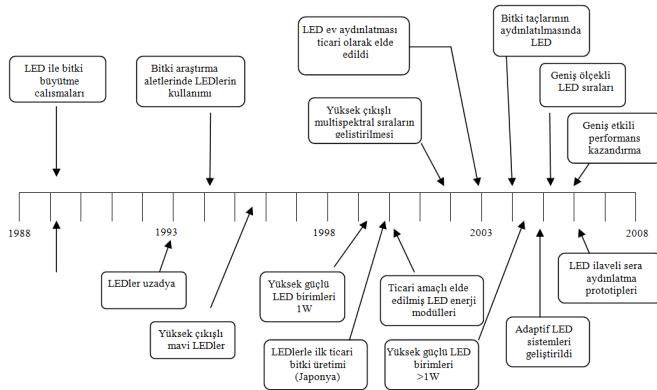
Hasat sonrası ışık uygulamaları özellikle yapraklı sebzelerde de sebzelerin raf ömrünü uzatmak için kullanılmaktadır. Ek olarak, yapraklı sebzeler gibi belirli gıdalar az miktarda ışığa maruz kaldıklarında kalitelerini karanlıkta depolandıkları zamana göre daha iyi korudukları gözlenmiştir (Braidot vd., 2014). Beyaz, yeşil, mavi ve kırmızı LED ışık altında depolanan lahanalarda yeşil ışığın klorofil miktarını artırdığı, buna karşın C vitamini ve fenolik madde miktarının mavi ışıkta depolananlarda daha yüksek olduğu bulunmuştur (Lee vd., 2014). Bitkilerde fotosentez yapraklardaki mezofil hücreleri yoluyla yapılmaktadır. Dolayısıyla yapraklı sebzelerin hasat sonrası döneminde sarmaların önlenerek kalitenin korunması açısından ışıkla ilgili çalışmalar yapılmaktadır. Fakat floresan lamba ve UV lambalarla çalışmalar yapılmasına karşın LED aydınlatma ile yapılan çalışmalar sınırlıdır. Lamb's marulunda sıcak beyaz LED ışık kullanılarak aralıklı olarak aydınlatma yapılmış ve uygulamanın klorofil a/b oranını artırdığını, pheophytin miktarındaki azalmayı yavaşlatmak yoluyla yaşlanmayı geciktirdiği bulunmuştur (Braidot vd., 2014). Ayrıca yapılan uygulamalar karotenoid düzeyinin korunmasını da sağlamıştır. Buna karşılık kullanılan ışık dalga boyu dolayısıyla renginin bitki gelişmesini değişik yönde etkilediği, örneğin sarı ışık (580-600 nm) marulda (*Lactuca sativa* cv. Grand Rapids) gelişmeyi baskılamış, fotosentezi ve glikoz üretimini de azaltmıştır (Dougher ve Bugbee, 2001). Buna karşılık floresan ve yeşil LED uygulamaları brokolinin raf ömrünü uzatmış, klorofil miktarındaki azalmayı önlemiştir.

Ayrıca yeşil ışık uygulanmış brokolide toplam fenol, glukosinolat ve DPPH radikal tarama aktivitesi artmıştır. Ayrıca Brokolide (*Brassica oleracea* L. var. *italica*) 4 gün süresince 50 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ kırmızı LED uygulaması, mavi ışık uygulaması ve karanlık kontrol uygulamasına göre etilen üretim oranını azaltmış, askorbik asit miktarını artırmış ve görsel olarak daha az sararmaya neden olmuştur (Ma vd., 2014).

3.2. Flavonoidler üzerindeki Etkisi

UV LED'lerin flavonoidlerin ve fenilpropanoidlerin üretimini uyardığı Kanazawa vd. (2012) tarafından belirtilmiştir. Su teresi ve bahçe bezelyesi filizleri 33 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ foton akışı altında 3 gün süreyle günde 160 d. UVA LED (375 nm) ile aydınlatılmış, sonra karanlıkta depolanmıştır. Radyasyonun başlamasında 6 gün sonra, sebzelerde quersetin-glikozit miktarı karanlık kontrole göre önemli oranda artmıştır. Flavonoidler UV ışığı alır ve bu nedenle bitkiyi UV zararına karşı korur. Dahası, UV radyasyonunun antimikrobiyal özellikleri nedeniyle UV LED'ler hasat sonrasında besinsel kalitenin artırılması ve istenmeyen mikrobiyal özelliklerin geciktirilmesi amaçlı kullanılmaktadır. Meyvelerde de flavonoid birikimi bitkiler tarafından alınan ışık spektrumunun kalitesine da bağlıdır. Daha kısa dalga boylarının mavi ve UV-ışık sınırlarındaki meyvelerde flavonoidlerin birikmesinde özellikle flavonoid sentez yolu genlerinin varlığını artırarak en önemli etkiyi yaptığı görülmüştür. Olgunlaşmamış çileklerde, mavi ışık antosiyaninlerin biyosentezini ve uygulamadan 4 gün sonra FaCHS'nin ekspresyonunu önemli oranda artırmıştır (Kadomura-Ishikawa vd., 2013). LED ışık ile uygulanan üzüm tanelerinin, antosiyanin konsantrasyonu mavi ışık uygulanmış kabukta en yüksek olmuş, bunu kırmızı ışık uygulaması izlemiştir (Kondo vd., 2014). Aynı çalışmada ayrıca antosiyanin profillerinde farklılıklar belirlenmiş ve hasada doğru kırmızı ve mavi LED uygulanmış kabukta malvidin-glikozitleri artmıştır. Dolayısıyla meyve bahçelerinde besinsel kalite ve biyoaktif bileşiklerinin artırılması yoluyla meyve kalitesinin yükseltilmesi için kırmızı ışık uygulamalarına başlanmıştır (Zoratti vd., 2014).

Antosiyaninler meyve ve sebzelerin mavi, mor, kırmızı vb. renklerini oluşturmakla kalmaz, aynı zamanda antikanserijen özellik gösterirler. Meyve ve sebzelerdeki antosiyanin miktarının fazla olması ürünlerin hem kalitesini artırırken, aynı zamanda dayanım özelliklerini iyileştirmektedir. Dolayısıyla meyve



Şekil 4. LED aydınlatma teknolojisinin gelişimi (Morrow, 2008).

Figure 4. The historical definition of LED lighting technology (Morrow, 2008).

ve sebzelerin antosiyanin miktarının artırılması ürünlerin hasat sonrası dayanımlarının da uzatılması anlamına gelmektedir. Çiçeklere 12 gün süreyle 5°C'de 40 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ mavi ışık uygulaması depolama süresince toplam antosiyanin miktarını artırırken aynı zamanda antosiyan biyosentezi ile ilişkili olan glucose-6-phosphate, shikimate dehydrogenase, tyrosine ammonia lyase, phenylalanine ammonia-lyase, cinnamate-4-hydroxylase, 4-coumarate/coenzyme A ligase, dihydroflavonol-4-reductase, chalcone synthase, flavanone-3- β -hydroxylase, anthocyanin synthase, UDP-glycose flavonoid-3-O-glycosyltransferase gibi enzimlerin aktivasyonuna da neden olmuştur. Dolayısıyla mavi ışık çiçeklerde depolama süresince antosiyanin miktarının artırılması için ek aydınlatma olarak önerilmiştir (Xu vd., 2014). Benzer etki yeşil ışıkla da sağlanmış, 500-600 nm dalga boyunda yeşil ışığa maruz kalmış; olgun olmayan çiçeklerde yeşil ışık antosiyanin miktarını artırarak, çiçeklerde hızla koyu kırmızı renk oluşmuştur (Kanazawa vd., 2012).

3.3. Olgunlaşma ve Yaşlanma Üzerindeki Etkisi

Uzak mesafelere taşınan gıdalar için, olgunlaşma oranının geciktirilmesi önemlidir yani ürünler istenilen uzaklığa ulaştığı zaman aşırı olgunlaşmış olmamalıdır. Işık, farklı tipteki meyveler üzerinde farklı etkilere sahiptir. Domateslerin olgunlaşma zamanı karanlıkta depolama öncesi mavi ışık ön uygulaması ile uzatılabilmektedir (Dhake ve Baek 2014a; 2014b). 7 gün süreyle mavi ışıkla (440-450 nm) aydınlatılan yeşil olgun domatesler, karanlıkta depolanan veya eşit süreyle kırmızı ışık (650-660 nm) aydınlatıldıktan sonra depolanan yeşil olgun domateslerle karşılaştırıldığında yeşilden kırmızı renge geçişleri daha yavaş oranda olmuştur. Ek olarak, mavi ışık uygulanan domatesler, karanlıkta depolanan ve kırmızı ışık uygulanan domateslere göre daha sert olmuştur. Kırmızı ışık uygulanan domatesler 21 gün sonra daha az sert olmuştur. Benzer şekilde, mavi ışık radyasyonu, likopen birikiminin daha yavaş oranda gerçekleşmesine neden olmuştur. Bu nedenle mavi ışık ön uygulaması domateslerin olgunlaşma zamanını yavaşlatmada ve hasat sonrası ticari değerini artırmada potansiyel etkili bir yöntemdir. Tersine, mavi LED ışığın (470 nm) çiçeklerde sekonder olgunlaşmayı hızlandırdığı, solunumda, etilen üretiminde artış ve kırmızı rengin hızlı gelişimi ile belirlenmiştir (Xu vd., 2014a; 2014b). Mavi ışığın hasat sonrası meyvelerde pigment sentezini uyardığı gösterilmiştir. Bununla birlikte meyve olgunlaşması üzerine mavi ışığın etkisi ile ilgili hala sınırlı bilgi vardır. 40 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ mavi LED uygulamasının şeftalinin hasat sonrası 10°C'de depolanması süresince meyve olgunlaşması, etilen biyosentezi ve sinyallenmesi üzerine etkilerini araştırmayı amaçlayan bir çalışmada mavi ışık

uygulaması, meyve sertliğindeki azalmayı artırarak ve etilen üretiminin artması ile ilişkili olan kabuk renk parametrelerini iyileştirerek meyve olgunlaşmasını uyarmıştır. Etilen algılanması ve sinyallenmesi ile ilişkili 6 gen incelenmiş, mavi ışık bu genlerden bir tanesini (PpERS1)'nin ekspresyonunun önlenirken, etilen sinyal yolunu uyararak ve etilen üretimini ve hasattan sonra şeftali meyve yumuşamasını uyararak 4 tanesini (PpEIN2, PpEIL1, PpEIL2 ve PpERF2) transkript düzeyinde artırmıştır. Karanlıkta depolanan kontrol meyveleri ile karşılaştırıldığında mavi ışık etilen biyosentetik ve sinyal genlerinin ekspresyon düzeyini artırarak, etilen üretimi ve sonuç olarak meyve olgunlaşması için yararlı olabilmektedir (Gong vd., 2015). Kim vd. (2011) olgunlaşmamış çiçeklerin 525 ve 630 nm dalga boyundaki LED ile aydınlatılmasının 3-4 gün sonra antosiyanin miktarında önemli artışla sonuçlandığını, bu artışın 470 nm mavi ışık uygulamasının etkisinden biraz daha az olduğunu belirtmiş, mavi LED çiçeklerin antosiyanin düzeyi ve renk yoğunluğunun iyileştirilmesinde çok etkili olmakla birlikte diğer LED'lerin görünür sınırlarda hala uygun olabileceğini göstermiştir.

Yaşlanma, bitkilerin yeni veya gelişen dokular için, ölen bitki dokularındaki besinlerin ve makromoleküllerin taşınması yoluyla bitkinin canlı kalmasını sağlayan genetik olarak kontrol edilen bir işlemdir. Bu olay, hasat edilmiş bitkilerde istenmeyen kalite kaybına yol açar. Işığın yaprak, gövde ve çiçeklerin yaşlanmasını önleyebildiği dair deliller vardır (Pogson ve Morris, 2004). Bununla birlikte ışığın optimum dağıtılması ile etkili bir uygulamanın yapılması, yoğunluk, spektral kompozisyonu, süresi veya fotoperiyot durumuna bağlı olarak zordur (Noodén ve Schneider, 2004). Düşük sıcaklıkta fazla ışık uygulaması foto-oksidatif strese ve hasat sonrası kalitenin azalmasına neden olabilir. (Glowacz vd., 2014). Fakat istisnalar vardır. Basil (*Ocimum basilicum* L.) yapraklarına uygulanan, zarar noktasının altındaki foton akışında aralıklı beyaz floresan lamba yaşlanmanın geciktirilmesinde etkili olmuştur (Costa vd., 2013). Önceki çalışmalarda yapraklı sebzelerde beyaz ışığın düşük foton akışı, 30 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ den daha düşük (Noichinda vd, 2007; Lester vd., 2010) ve aralıklı ışıklandırma değişik şekillerde (Costa vd., 2013; Gergoff-Grozeff vd., 2013) kullanılmıştır. Bu durumlarda LED'ler istenen aralıklı aydınlatma programı ile ışığın gerekli miktarda verilmesini kolaylıkla sağlar. Birçok çalışma, LED sistemleri kullanarak hasat sonrası yaşlanmanın geciktirilmesi için yürütülmüştür.

3.4. Mikroorganizma üzerindeki etkisi

Satsuma mandarinlerinde (*Citrus unshiu* Marc.), mavi küf *Penicillium italicum*'ü önlemek için hasat sonrası mavi LED ışığın (maksimum yayı-

lan dalga boyu 465 nm, $80\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) etkisi incelenmiştir. *Penicillium italicum* ile inokülasyondan sonra 6 gün süreyle mavi LED ışığı uygulaması meyvelerde semptom gelişimini, karanlıkta depolananlara göre azaltmıştır. LED aydınlatması, sporulasyonu ve misel alanını önemli oranda azaltmıştır. Diğer taraftan inokülasyondan 6 gün önce mavi LED uygulaması inokulum düzeyi düşük olduğunda belirtilerin gelişmesini azaltmıştır. Mavi ışık uygulaması sitrik asit konsantrasyonu ve su kaybı dışında meyve kalitesini etkilememiştir. Bu sonuçlar satsuma mandarinlerinde mavi ışığın fungal gelişimi doğrudan önleyebildiğini ve mavi küfe karşı antifungal etkiye bulunduğunu göstermiştir (Yamaga vd. 2015).

4. Sonuç

LED teknolojisi, aydınlatma amaçlı kullanılan en son teknolojidir. Bahçe Bitkilerinin hasat öncesi kontrollü üretiminden başlayarak hasat sonrası muhafaza kalitesinin artırılmasına yönelik olarak son yıllarda kullanılmaya başlanmıştır. LED aydınlatma teknolojisinin ürüne zarar oluşturması, ortama sıcaklık vermemesi ve değişik renklerde kullanılması gibi pek çok avantajları vardır. LED aydınlatma teknolojisinde ilk olarak kırmızı ışık geliştirildiği için çalışmalar daha çok bu yönde yapılmış, ancak daha sonra mavi, yeşil ve sarı LED'lerin geliştirilmesi ile bu renkler de çalışmalar yürütülmüştür. LED aydınlatma teknolojisi, hasattan sonraki dönemde ürün kalitesini; renklenmenin artırılması, C vitamini, flavonoid, antosiyanin vb. gibi antioksidant sentezinin teşvik edilmesi, olgunlaşmanın hızlandırılması, ürün yüzeyindeki mikroorganizma gelişiminin azaltılmasını sağlayarak korumaktadır. Ancak çalışmalar belirli türlerde sınırlı kalmıştır, bundan sonraki dönemde daha fazla türde araştırma yapılması gereklidir.

Kaynaklar

Braidot E, Petrusa E, Peresson C, Patui S, Bertolini A, Tubaro F, Wahlby U, Coan M, Vianello A, Zancani M, 2014. Low-intensity light cycles improve the quality of lamb's lettuce (*Valerianella oleria* L. Pollich) during storage at low temperature. Postharvest Biol. Technol. 90:15-23.

Brown CS, Schuerger AC, Sager JC, 1995. Growth and photomorphogenesis of pepper plants grown under red light-emitting diodes supplemented with blue or far-red-illumination. J. Amer. Soc.Hort.Sci. 120: 808-813.

Costa L, millan Montano Y, Carrion C, Rolny N, Guamet JJ, 2013. Application of low-intensity light pulses to delay postharvest senes-

cence of *Ocimum basilicum* leaves. Postharvest Biol. Technol. 86:182-191.

Davis P, 2015. Light and lighting. Technical Guide. AHDB Horticulture, Stoneleigh Park, Kenilworth, Warwickshire, CV82TL. <https://www.horticulture.ahdb.org.uk>

Deng, L., Hu, C., Li, J., Ritenour, M.A., 2016. Effects of Blue or Red LED Light Irradiation on Postharvest Degreening of Citrus Fruit . American Society for Horticultural Science, ASHS, 2016. <https://ashs.confex.com/ashs/2016/webprogram/Paper24941.html>

Dhakil R, Baek KH, 2014a. Metabolic alternation in the accumulation of free amino acids and Y-aminobutyric acid in postharvest mature green tomatoes following irradiation with blue light. Horticult Environ Biotechnol, 55:36-41.

Dhakil R, Baek KH, 2014b. Short period irradiation of single blue wavelength light extends the storage period of mature green tomatoes. Postharvest Biol Technol, 90:73-77.

Dougher TAO, Bugbee B, 2001. Evidence for yellow light suppression of lettuce growth. Photochem Photobiol, 73:208-212.

Eltbaakh YA, ruslan MH, Alghoul MA, Othman MY, Sopian K, Fadhel MI, 2011. Measurement of total and spectral solar irradiance: Overview of existing research. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 15:1403-1426.

Gergoff-Grozeff GE, Chaves AR, Bartoli CG, 2013. Low-irradiance pulses improve postharvest quality of spinach leaves (*Spinacia oleracea* L. Cv Bison), Postharvest Biol. Technol. 77:35-42.

Ghanem, W., Verdonk, J., Schouten, R., 2016. Effect of Post-harvest LED lighting on colour development in tomato. <http://www.wageningenur.nl/en/article/The-influence-of-postharvest-light-treatments-on-strawberries-quality-aspects.htm>

Glowacz M, Morgen LM, ReadeJPH, Cobb AH, Monaghan JM, 2014. High-but not low-intensity light leads to oxidative stress and quality loss of cold-stored baby leaf spinech. J. Sci. Food Agric. 95(9):1821-1829.

Goins GD, Ruffe LM, Cranston NA, Yorio NC, Wheeler RM, Sager JC, 2001. Salad crop production under different wavelengths of red light emitting diodes. SAE Technical Paper Series Paper no. 2001-01-2422.

- Gong, D., Cao, S., Shenge, T., Shaoa, J., Song, C., Wo, F., Chena, W., Yanga, Z., 2015. Effect of blue light on ethylene biosynthesis, signalling and fruitripening in postharvest peaches. *Scientia Horticulturae* 197 (2015) 657–664
- Jin P, Yao D, Xu F, Wang H, Zheng Y., 2015. Effect of light on quality and bioactive compounds in postharvest broccoli florets. *Food Chem.* 2015 Apr 1;172:705-9. doi: 10.1016/j.foodchem.2014.09.134. Epub 2014 Sep 30.
- Kader AA, Rolle RS, 2004. "The Role of Post-harvest Management in Assuring the Quality and Safety Horticultural Crops". Food and Agriculture Organization. Agricultural Services Bulletin 152, 52 p.
- Kadomura-Ishikawa Y, Muyawaki K, Noji S, Takahasli A, 2013. *Phototropin 2* is involved in blue light-induced anthocyanin accumulation in *Fragaria-ananassa* fruits. *J. Plant Res.* 126:847-857.
- Kanazawa K, Hashimoto T, Yoshida S, Sungwon P, Fukuda S, 2012. Short photoirradiation induces flavonoid synthesis and increases its production in postharvest vegetables. *J. Agric. Food Chem.* 60:4359-4368.
- Kim B, Lee H, Kim J, Kwon K, Cha H, Kim J, 2011. An effect of light emitting diode (LED) irradiation treatment on the amplification of functional components of immature strawberry. *Hortic. Eenviron. Biotechnol.* 52:35-39.
- Kim HH, Goins GD, Wheeler RM, Sager JC, 2004. Green-light supplementation for enhanced lettuce growth under red- and blue-light-emitting diodes. *HortScience*, 39:1617-1622.
- Kokalj, D., Hribar, J., Cigić, B., Zlatić, E., Demšar, L., Sinković, L., Sinković, L., Šircilj, H., Bizjak, G., Vidrih, R., 2016. Influence of Yellow Light-Emitting Diodes at 590 nm on Storage of Apple, Tomato and Bell Pepper Fruit. *Food Technol. Biotechnol.* 54 (2) 228–235 (2016)
- Kondo S, Tomiyama H, Rodyoung A, Okawa K, Ohara H, Sugaya S, Terahara N, Hirai N, 2014. Abscisic acid metabolism and anthocyanin synthesis in grape skin are affected by light-emitting diode (LED) irradiation at night. *J. Plant Physiol.* 171:823-829.
- Lee, Y.J., Ha, J.Y., Oh, J.E. Cho, M.S., 2014. The effect of LED irradiation on the quality of cabbage stored at a low temperature. *Food Sci Biotechnol* (2014) 23: 1087. doi:10.1007/s10068-014-0149
- Lester GE, Makus DJ, Hodges DM, 2010. Relationship between fresh-packaged spinach leaves expose to continuous light or dark and bioactive contents: effects of cultivar, leaf size, and storage duration. *J. Agric. Food Chem.* 58:2980-2987.
- Li, S., Schouten, R.E., Verdonk, J. 2016. The influence of postharvest light treatments on strawberries quality aspects. <http://www.wageningenur.nl/en/article/The-influence-of-postharvest-light-treatments-on-strawberries-quality-aspects.htm>
- Ma G, Zhang L, Kato M, Yamawaki K, Kiriwa, Y, Yahata M, Ikoma Y, Matsumoto H, 2011. Effect of blue and red led light irradiation on β -cryptoxanthin accumulation in the flavedo of citrus fruits. *J. agric. Food Chem.* 60:197-201.
- Ma, G., Zhang, L., Kato, M., Yamawaki, K., Kiriwa, Y., Yahata, M., Ikoma, Y., Matsumoto, H., 2015. Effect of the combination of ethylene and red LED light irradiation on carotenoid accumulation and carotenogenic gene expression in the flavedo of citrus fruit. *Postharvest Biology and Technology* 99 (2015) 99–104
- Ma, G., Zhang, L., Kato, M., Yamawaki, K., Kiriwa, Y., Yahata, M., Ikoma, Y., Matsumoto, H., 2012. Effect of Blue and Red LED Light Irradiation on β -Cryptoxanthin Accumulation in the Flavedo of Citrus Fruits. *J. Agric. Food Chem.*, 2012, 60 (1), pp 197–201, DOI: 10.1021/jf203364m
- Massa GD, Kim HH, Wheeler RM, Mitchell CA, 2008. Plant productivity in response to LED lighting. *HortScience*, 43:1951-1956.
- Morrow, R., C., 2008. LED Lighting in Horticulture. *HortScience*, 43(7): 1947-1950.
- Nijssen C, Kuhn O, Verbeek W, 1990. Method and device for lighting seeds or plant. U.S. Patent 4,914,858. Issued 4/10/1990.
- Noichinda S, Bodhipadma K, Mahamontri C, Narongruk T, Ketsa S, 2007. Light during storage prevents loss of ascorbic acid, and increases glucose and fructose levels in Chinese kale (*Brassica oleracea* var. *Alboglabra*). *Postharvest Bio. Technol.* 44: 312-315.
- Noodén LD, Schneider MJ, 2004. Light control of senescence. In: Nooden LD, editor. *Plant Cell death Processes*. San Diego, Academic Press. P:375-383.
- Pogson BJ, Morris SC, 2004. Postharvest senescence of vegetables and its regulation. In: Nooden LD, editor. *Plant Cell Death Processes*. San Diego: Academic Press. P:319-329.
- Schuerger AC, Brown CS, Stryjewski EC, 1997. Anatomical features of pepper plants (*Capsicum*

annuum L.) grown under red light-emitting diodes supplemented with blue or far-red light. *Ann. Bot. (Lond.)* 79:273-282.

Tennessen DJ, Bula RJ, Sharkey TD, 1995. Efficiency of photosynthesis in continuous and pulsed light emitting diode irradiation. *Photosynth. Res.* 44:261-269.

Tennessen DF, Singsaas EL, Sharkey TD, 1994. Light-emitting diodes as a light source for photosynthesis research. *Photosynth. Res.* 39:85-92.

Xu, F., Cao, S., Shi, L., Yang, Z., 2014a. Blue Light Irradiation Affects Anthocyanin Content and Enzymes Activities Involved In Postharvest Strawberry Fruit. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 62(20).

Xu F, Shi L, Chen W, Cao S, Su X, Yang Z, 2014b. Effect of blue light treatment on fruit quality, antioxidant enzymes and radical-scavenging activity in strawberry fruit. *Sci. Hortic.* 175:181-186.

Yamaga, I., Takahashi, T., Ishii, K., Kato, M., Kobayashi, Y., 2015. Antifungal effect of blue LED irradiation on the Blue mold *Penicillium italicum* in Satsuma mandarin fruits. *Horticultural Research (Japan)*, 14(1):83-87.

Yorio NC, Goins GD, Kagie HR, Wheeler RM, Sager JC, 2001. Improving spinach, radish and lettuce growth under red light-emitting diodes (LEDs) with blue light supplementation. *HortSCIENCE*, 36:380-383.

Zoratti, L., Karppinen, K., Escobar, A.L., Häggman, H., Jaakola, L., 2014. Light-controlled flavonoid biosynthesis in fruits. *Front Plant Sci.* 5:534.

