

## Ultraviyole Işık ve Çevresel Stres Şartlarında Meyve ve Sebzelere Antosiyaninlerin Oluşumu ve Değişimi

Feridun AZTEKİN<sup>1</sup>, Rezzan KASIM<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Gıda, Tarım ve Hayvancılık İl Müdürlüğü, Kocaeli

<sup>2</sup>Kocaeli Üni., Arslanbey Meslek Yüksekokulu, 41285, Arslanbey/Kocaeli  
rkasim@kocaeli.edu.tr (Sorumlu Yazar)

### Özet

Antosiyaninler, flavonoidler içerisinde yer alan suda çözünür pigmentler olup, pH'ya bağlı olarak değişik renkler oluşturmaktadır. Antosiyaninler bitkiler aleminde epidermal ve mezofil hücrelerinin vakuollerinde bulunmakta, değişik stres şartlarına karşı bitkinin savunma mekanizmasının oluşturduğu ikincil metabolitler olarak da bilinmektedir. Antosiyaninler, özellikle tozlayıcı böceklerin dikkatinin çekilmesinin yanı sıra; ultraviyole radyasyon, otoburlar, kuraklık ve soğuk gibi çevresel streslere karşı savunma amaçlı olarak da bitkide biriktirilmektedir. Antosiyaninler yaygın olarak meyve, çiçek, sebze ve diğer bitki doku ve organlarında bulunmakta, çoğunlukla meyve ve çiçeklerde biriktirilmekle birlikte, aynı zamanda yaprak, gövde ve depo organlarında da bulunmaktadır. Antosiyaninler, böğürtlen, kırmızı ve siyah ahududu, maviyemiş, yaban mersini, kiraz, Frenk üzümü, kan portakalı, mürver, üzüm gibi meyveler ile kırmızı soğan, turp, kırmızı lahanaya, rezene, kırmızı marul, patlıcan, kırmızı kabuklu patates ve mor tatlı patates gibi sebzelerin kırmızı, mavi ve mor renklerini oluşturmaktadır. Bitkilerde bulunan antosiyanin miktarı; bitki genleri ışık, sıcaklık ve tarımsal faktörler tarafından etkilendiği için, farklı bitkiler ve hatta aynı bitkinin çeşitleri arasında dikkate değer oranda farklıdır. Bu çalışmada bitkilerdeki antosiyanin oluşumu ve biriktirilmesi üzerine ultraviyole radyasyon ve çevresel faktörlerinin etkisi incelenmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Flavonoid, antosiyanin, meyve, sebze, stres.

## Formation and Variation of Anthocyanins in Fruits and Vegetables in Ultraviolet Light and Environmental Stress Conditions.

### Abstract

Anthocyanins are water-soluble pigments that belong to the family of flavonoids and exhibit a variety of colours depending on pH. Anthocyanins are located in the vacuoles of the epidermal and mesophyll cells, and known that secondary metabolite which produced against different stress condition by plant defence metabolism. They are involve in attraction of pollinators, and under defences against environmental stresses like ultraviolet irradiation, herbivores, drought and cold temperatures. Red, blue and purple colors of fruits such as red and black raspberry, blueberry, blackcurrant, billberry, sweet cherry, black currant, red orange; and also of vegetables such as red onion, radish, red cabbage, red lettuce, eggplant, red and purple potato are produced by anthocyanins. There are the great differences with regard to anthocyanin content of different kinds of plants and also among the variety of the same species; due to, genetical factors, temperature, light, and the agricultural factors. In this study the effect of ultraviolet radiation and environmental stress factors on anthocyanins formation and accumulation.

**Keywords:** Flavonoids, anthocyanin, fruit, vegetable, stress.

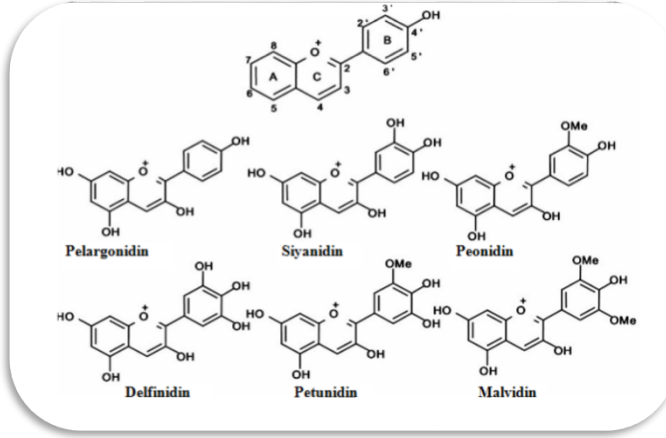
### 1. Giriş

İkincil metabolitler bitki yaşamının korunmasında temel rolü olmayan fakat bitkinin çevresine adapte olması ve korunması için önemli olan bileşikler olarak tanımlanır. Bununla birlikte ikincil metabolitlerin bitkinin büyüme ve gelişmesindeki kritik rolü yeni yeni anlaşılmaktadır. Bitkilerde ikincil metabolitlerin büyük çoğunluğu karbonhidrat, yağ ve aminoasit gibi birincil metabolitlerden sentezlenmektedir. Bunlar, bitkilerin otçul hayvanlara ve patojenlere karşı korunması için gerekli olup, çoğunlukla çevresel streslere karşı koruma da sağlamaktadır (Seigler, 1998). İkincil metabolitler bitkinin kendine özgü tadı, kokusu ve renginin oluşmasında önemli olduğu gibi, gıda katkısı, tatlandırıcısı olarak, ilaç yapımında kullanılmaktadır.

Flavonoidler, değişik bitkilerde yaygın olarak bulunan bir ikincil metabolit sınıfı olup bitkilerin ultraviyole (UV) radyasyona karşı korunması,

patojen ve böceklerle karşı savunulması, polen verimliliğinin artırılması, mikroorganizma yoluyla sinyalleme, oksin taşınımının düzenlenmesi ve pigmentasyon gibi olaylarda önemli rol oynamaktadır. Dolayısıyla flavonoidler meyve ve sebzelerin; rengi, aroması, burukluğu ve antioksidant özelliklerini etkileyerek; meyve kalitesinin ve ekonomik değerinin belirlenmesinde önemli rol oynamaktadır. (He ve Guisti, 2010). Günümüzde flavonoidlerin 10.000'den fazla çeşidi bilinmektedir (Martens vd., 2010).

Çiçeklerde ve meyvelerde bulunan en önemli flavonoid bileşikleri; flavonoller, antosiyaninler ve proantosiyanidinlerdir. *Antosiyanin pigmentleri*, bitki renklerinin oluşumunda önemlidir ve çiçeklerin değişik renkleri, böceklerin dikkatinin çekilmesi yoluyla tozlanmaya önemli katkılar sağlamakla birlikte kuvvetli antioksidantır. *Flavonoller* bitkinin ışığa karşı korumasında da rol oynamakta ve genellikle bitkilerde UV radyas-



**Şekil 1.** Önemli antosiyaninlerin kimyasal yapısı.  
**Figure 1.** The chemical structure of significant anthocyanins

yonuna karşı koruyucu etki göstermekte aynı zamanda serbest radikal yakalayıcısı olarak görev yapmaktadır. *Proantosiyanidinler*, burukluk verici bileşikler olarak, meyvenin erken gelişme döneminde otobur hayvanlara ve patojen enfeksiyonlarına karşı korunmasını sağlamaktadır (Koes vd., 2005; Bogs vd., 2007). Çevresel stres şartlarının çoğu (yüksek ve düşük sıcaklık, kuraklık, alkalilik, tuz stresi, ultraviyole (UV) radyasyon stresi ve patojen enfeksiyonu vb.) bitkiler için potansiyel olarak zararlıdır. Buna karşın bu streslere karşı bitki savunma mekanizmasının sonucu olarak ikinci metabolit miktarında artış meydana gelmektedir. Örneğin, patojen enfeksiyonu, UV radyasyon, yüksek ışık, yaralanma, besin yetersizlikleri, sıcaklık ve herbisit uygulamaları fenilpropanoid dolayısıyla antosiyanin birikimini arttırmaktadır (Dixon ve Paiva, 1995, Winkel-Shirley, 2001).

Bu çalışmada abiyotik stres ve UV ışığa maruz kalma süreçlerinde bitkilerde antosiyaninlerin değişimi incelenmiştir.

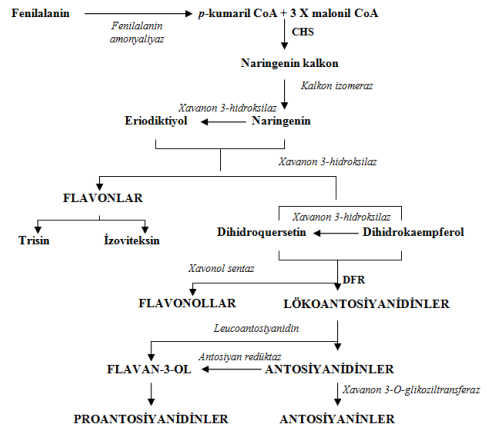
## 2. Antosiyaninler

Antosiyaninler, suda çözünür vakuoler pigmentlerdir ve ortam pH'sına bağlı olarak bitkilerde kırmızı, mavi ve mor olarak görülmektedirler. Antosiyan kelimesi *anthos*, çiçek ve *kyanos*; koyu mavi anlamına gelen iki kelimeden türetilmiş olup en önemli özelliği doğal renklendirici olmasıdır. Antosiyaninler bitkilerde yapraklar, gövdeler, kökler, çiçekler ve meyveler gibi bütün organlarda oluşur ve çiçek, meyve ve sebzelerde turuncudan kırmızı, mor ve maviye kadar değişen renkleri oluşturmaktadır. Bitkilerde doğal olarak oluştuğu bilinen 17 antosiyanin bulunmakla birlikte; bunlardan 6 tanesi; siyanidin, peonidin, pelargonidin, malvidin, delfinidin ve petunidin yüksek bitkilerde yaygın olarak bulunmaktadır. Antosiyaninlerin adlandırılmaları, ekstrete edildikleri renkli çiçeklere göre - örneğin;

petunidin (Petunya), rosinidin (Rose-gül) ve peonidin (Peonya)-yapılmıştır (Raghvendra vd., 2011). Antosiyaninler içinde doğada genellikle pelargonidin ve siyanidin türevleri pigmentler; kırmızı ve mor renkleri üretirken, delfinidin mor veya mavi renkleri oluşturmaktadır.

Antosiyanidin türevleri olan antosiyaninlerin bitkilerde oluşturduğu parlak kırmızı ve mor renkler tozlayıcı böcekleri çekerek, meyve-deki kabukların renkli olması, hayvanların meyvelerle beslenerek tohumlarının yayılmasını dolayısıyla bitkinin neslinin devam ettirilmesini sağlamaktadır. Ayrıca antosiyaninler fotosentetik organlarda "güneş yansıtıcı" olarak görev

almakta ve mavi-yeşil ve UV ışığı absorbe ederek yüksek ışıktan hücrelerin zarar görmesini engellemektedir. Kabaca fotosentezde oluşturan tüm hidrokarbonların %2'si flavonoidlere ve bunların antosiyanin gibi türevlerine dönüştürül-



**Şekil 2.** Antosiyanin biyosentezi  
**Figure 2.** Biosynthesis of anthocyanins.

mektedir. Doğada her yıl 109 ton kadar antosiyanin üretilmektedir. (Raghvendra vd., 2011).

### 2.1. Antosiyaninlerin Kimyasal Yapısı

Antosiyaninler; flavilyum veya 2- fenilbenzopirilyum tuzlarının polihidroksi ve polimetoksi türevleridir ve flavonoid olarak bilinmektedirler. Doğada; antosiyanidin veya aglikonların glikozitleri olarak bulunmaktadır (Horbowicz, 2008). Antosiyaninler; antosiyanidinle glikoz, galaktoz, ramnoz, ksiloz ve arabinoz gibi şekerlerden bir veya ikisinin bağlanması sonucu oluşmaktadır. Yüksek bitkilerde bulunan önemli antosiyanidinlerin kimyasal yapıları Şekil 1'de; antosiyaninlerin biyosentez yolu Şekil 2'de verilmiştir.

**Çizelge 1.** Bazı meyve ve sebzelerin antosiyanin içerikleri  
**Table 1.** The anthocyanin content of selected fruit and vegetables.

Meyve ve Sebze	Toplam Antosiyanin İçeriği (mg/kg <sup>1</sup> )
Elma (kabuk)	100 – 2160
Yaban mersini	4600
Böğürtlen	820 – 1800
Mavi yemiş	825 – 5300
Kiraz	3500 – 4500
Aronia	5060 – 10000
Kızılcık	460 – 2000
Mürver	2000 – 15600
Üzüm, kırmızı	300 – 7500
Üzüm, mavi	80 – 3880
Portakal, kan	2000
Erik	19 – 250
Ahududu, kırmızı	100 – 600
Ahududu, siyah	763 – 4277
Çilek	127 – 360
Frenk üzümü, siyah	1300 – 4000
Frenk üzümü, kırmızı	119 – 186
Lahana, kırmızı	250
Patlıcan	7500
Turp, kırmızı	110 – 600
Soğan, mor	Up ot 250
Ravent, çok yıllık	Up ot 2000
Havuç, Mor	200 – 230

Kaynak: Timberlake ve Henry (1988), Eder (2000) ve Clifford (2000)'den derlenmiştir.

Antosiyaninler bitkideki hammaddeden fenilalanin aminoasidi veya malonil Co-A kullanılarak oluşturulmaktadır. Bu iki substrat, antosiyanlar için temel materyal olan kalkonları oluşturur ve bir seri enzimsel basamağın ardından antosiyaninler üretilir (Şekil 2). Antosiyaninlerin ana maddesi “antosiyanidin” veya “proantosiyanidin” olarak adlandırılan ve şeker içermeyen bir moleküldür.

## 2.2. Meyve ve Sebzelerde Bulunan Antosiyaninler

Antosiyaninler bitkiler alemindeki türlerin çoğunda bulunmakta; böğürtlen, kırmızı ve siyah ahududu, maviyemiş, yaban mersini, kiraz, frenk üzümü, kan portakalı, mürver, üzüm gibi meyveler ile kırmızı soğan, turp, kırmızı lahana, rezene, kırmızı marul, patlıcan, kırmızı kabuklu patates ve mor tatlı patates gibi sebze (Çizelge 1) türlerinde biriktirilmektedir. Antosiyaninler; maviyemiş, kızılcık, yaban mersini, böğürtlen, kırmızı ve siyah ahududu, kiraz, patlıcan kabukları, Concord üzümü, muskadin üzümü, kırmızı lahana gibi meyve ve sebzelerde bol miktarda bulununken; muz, kuşkonmaz, bezelye, armut ve patateste çok az oranda bulunur. Bilinen en fazla antosiyanin miktarı siyah soya fasulyesi (*Glycine max* L. Merr.) tohum kabuğunda her

100 g<sup>3</sup>'te 2000 mg olarak ölçülmüş, ayrıca siyah rus yaban mersininde (*Aronia melonocarpa* L.) de fazla miktarda bulunmuştur. Antosiyaninler çoğunlukla çiçekler ve meyvelerde biriktirilmelerine karşılık aynı zamanda yaprak, gövde ve depo organları gibi bitkinin değişik kısımlarında bulunmaktadır. Antosiyanin miktarı, genetik faktörler, çevresel ve kültürel faktörler tarafından etkilendiği için, farklı bitkiler ve hatta aynı bitkinin çeşitleri arasında toplam antosiyanin miktarı önemli oranda farklılık göstermektedir. Genel olarak antosiyanin miktarı meyvelerde sebzelerden daha yüksek olup antosiyanin miktarı bakımından en zengin olan meyveler değişik üzüm- süm meyveler ve siyah frenk üzümü iken sebzelerde en fazla antosiyanin içeren tek tür patlıcan dır (Çizelge 1)

Yüksek bitkilerde yaygın olarak bulunan antosiyanidinlerin bitkilerin yenilebilir kısımlarındaki dağılım oranları; Siyanidin (%50), pelargonidin (%12), peonidin (%12), delphinidin (%12), petunidin (%7) ve malvidin (%7)'dir. Genel olarak siyanidin (cy), delphinidin (dp) ve pelargonidin (pg) doğada oldukça yaygın olmakla birlikte meyvelerin %90'unda siyanidin bulunur. Elma, armut ve erik gibi türlerde antosiyanidinlerin yalnızca biri bulunurken kırmızı üzümdeki antosiyanidinler 20'den fazla pigmentin karışımını içerebilmektedir (Çizelge 2).

Dolayısıyla değişik meyve ve sebzelerin renklerinden değişik antosiyanidinler sorumludur. Örneğin; siyanidin şeftali, kiraz, erik, incir, ahududu, frenk üzümü, kırmızı lahanada ana renk oluşumunda sorumlu iken bazı üzüm ve çeşitlerinde malvidin; çilek, kırmızı turp ve dutta pelargonidin, batak kızılcığında peonidin Amerikan üzümlerinde, petunidin ana rengi oluşturmaktadır. Antosiyaninlerin bitkilerde farklı renkleri oluşturma özellikleri; içerdikleri antosiyanidin halka yapısından kaynaklanmaktadır (Çizelge 2, Şekil 3).

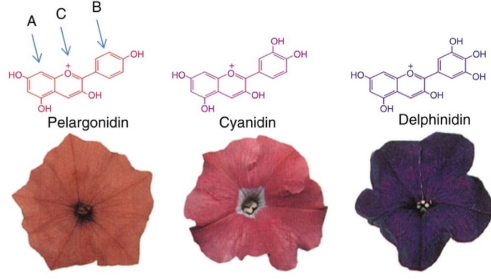
## 3. Çevresel Stres Şartlarının Bitkilerde Antosiyanin Birikmesine Etkisi

### 3.1. Çevresel Stres

Abiyotik stres belirli bir çevrede yaşayan organizmalar üzerinde cansız faktörlerin olumsuz etkisi olarak tanımlanmaktadır. Yüksek ve düşük sıcaklıklar, kuraklık, alkalilik, tuzluluk, UV stresi ve patojen enfeksiyonu gibi fazla miktardaki çevresel stresler bitkiler için potansiyel olarak zararlıdır (Seigler, 1998).

### 3.2. Çevresel Stres Faktörleri İle Antosiyanin Birikimi Arasındaki İlişkiler

Bitkilerin abiyotik stres şartlarına maruz kalması sonucu, bitkinin savunma metabolizmasının tepkisi olarak sekonder metabolit sentezi uyarılmaktadır. Bitki sekonder metabolitlerinden birisi olan antosiyanin sentezide abiyotik stres şartları ile değişmekte, çoğunlukla stres şartlarında bit-



**Şekil 3.** Değişik antosiyanidin türlerinin oluşturduğu renkler  
**Figure 3.** The colors of produced by different anthocyanidin.

kilerde antosiyan biriktirilmektedir.

### 3.2.1. Tuz Stresi

Hüresel kurumaya yol açan ortamdaki tuz fazlalığı osmatik strese neden olur ve sitoplazmadan suyun ayrılması sitosoller ve vakuolar hacimlerde azalmaya sonuçlanır. Tuz stresi bitkilerde çoğunlukla hem iyonik hemde osmatik strese yol açar ve bitkilerdeki özel sekonder metabolitlerin birikmesine yada azalmasına neden olur (Mahajan ve Tuteja, 2005). Tuz stresi şartlarına karşı bitkilerde antosiyanin miktarında artış olduğu belirtilmiştir (Parida ve Das, 2005). Bunun tersine tuz stresi, tuza duyarlı türlerde antosiyanin miktarını azaltmıştır (Daneshmond vd., 2010).

### 3.2.2. Kuraklık Stresi

Kuraklık stresi, bitki büyüme ve gelişmesini etkileyen en önemli abiyotik streslerden birisidir. Kuraklık stresi; topraktaki faydalı su miktarı kritik düzeye (solma noktası) azalması ve atmosferik şartlar nedeniyle su kaybının devam etmesi sonucu oluşur. Kuraklık stresine tolerans, bitkilerin çoğunda görülmektedir fakat miktarı türden türe değişmektedir. Kuraklık stresi, genellikle yüksek sıcaklıklar ve solar radyasyonla ilişkili olan su yetersizliği nedeniyle artar (Xu vd., 2010). Kuraklık çoğunlukla oksidatif strese yol açar ve söğüt yapraklarında flavonoidlerin ve fenolik asitlerin miktarını arttırdığı belirlenmiştir (Larson, 1988). Antosiyaninlerin, düşük sıcaklıklarda ve kuraklık stresi altında biriktirildiği tespit edilmiş, antosiyanin içeren bitki dokularının kuraklığa karşı oldukça dayanıklı olduğu bulun-

muştur (Chalker-Scott, 1999). Örneğin; mor acı biber çeşitleri su stresine, yeşil çeşitlerden daha iyi dayanmaktadır (Bahler vd., 1999).

### 3.2.3. Ağır Metal Stresi

Lantan, evrapiyum (örapiyum), gümüş ve kadmiyum gibi metal iyonları ve oksalatlar da ikincil metabolit üretimini etkilemektedir (Marschner, 1995). Nikel (Ni) iz elementi üreaz enziminin önemli bir bileşenidir ve bitki gelişimi için gereklidir. Bununla birlikte, yüksek Ni konsantrasyonu bitki gelişimini azaltır (Hagemeyer, 1999; Hawrylak vd. 2007). Ni stresine bağlı olarak antosiyanin düzeyinde önemli azalma olduğunu belirtmiştir. Üstelik Nikelin antosiyaninlerin birikmesini önlediği gösterilmiştir (Krupa vd., 1996). İz elementler antosiyanin biyosentezini fenilalenin ammonia liyaz aktivitesini önleyerek önemli ölçüde sınırlamaktadır.

### 3.2.4. Yüksek Sıcaklık

Sıcaklık bitkinin metabolik aktivitesini etkileyen önemli bir çevresel stres faktörüdür. Dolayısıyla sıcaklık etkisi ile bitki antosiyanin düzeylerinde de değişimler meydana gelmektedir. Callus dokularının ve kültüre alınmış hücrelerin büyümesini teşvik için kullanılan normal sıcaklık 17-25°C'dir. Chan vd. (2010), 20±2°C gibi düşük sıcaklıkta inkübe edilmiş, *Melastoma malabathricum* hücre kültürlerinin 26±°C ve 29±2°C'de yetiştirilenlere göre daha iyi büyüdüğünü ve daha fazla antosiyanin ürettiğini bulmuşlardır. *Perilla frutescens* (Zhong ve Yoshida, 1999) ve çilekte (Zhang vd., 1997) hücre kültürlerinde optimum sıcaklıkların (25°C) antosiyanin verimini maksimuma çıkardığını bulmuşlardır. Düşük sıcaklıklar antosiyanin birikimini uyarır fakat hücre gelişimini azaltır. Çilek doku kültüründe maksimum antosiyanin miktarı 15 °C'de maksimuma ulaşmış ve 35 °C'de 13 katına çıkmıştır. *Perilla frutescens*'in süspansiyon kültürlerinde, antosiyanin miktarı 28 °C'de önemli oranda azalırken, 25 °C'de optimum verim elde edilmiştir. Benzer sonuçlar *Daucus carota*'nın hücre süspansiyon kültürlerinde optimum antosiyanin üretimi için elde edilmiştir (Narayan vd., 2005).

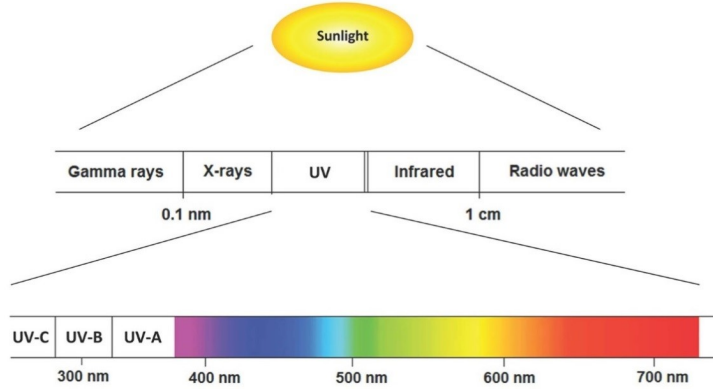
### 3.2.5. Düşük Sıcaklık

Düşük sıcaklık ılıman iklim bitkilerini etkileyen en önemli zararlı abiyotik stres şartlarından biridir. Ilıman iklim bitkileri sonbaharda dona karşı dayanımlarının yükseltmek için dona/-karşı ko-

**Çizelge 2.** Bazı meyve ve sebzelerde fazla miktarda bulunan antosiyanidin türleri

**Table 2.** Content of main anthocyanidins in selected fruits and vegetables.

Bitki	Siyanidin (mg kg <sup>-1</sup> )	Delfinidin (mg kg <sup>-1</sup> )	Pelargonidin (mg kg <sup>-1</sup> )
Kuş kirazı	435.8		
Mürver	758.5		
Yaban Mersini		161.9	
Siyah Frenk üzümü		181.1	
Kırmızı lahana	72.9		
Turp			25.7
Patlıcan		13.8	



**Şekil 4.** Elektromanyetik spektrum.  
**Figure 4.** Electromagnetic spectrum.

ruyucu bileşiklerin miktarlarını arttırmak suretiyle metabolizmalarını sıcaklık değişimlerine karşı ayarlayarak sıcaklıktaki değişimlere karşı adaptasyon sağlamaktadırlar. Dona karşı koruyucu bileşiklerle korunma işlemi, osmotik zararlanma, kuruma ve düşük sıcaklıklar gibi çevresel değişimler bitkiler üzerinde bir seri stres reaksiyonları oluşturabilmektedir. Kış boyunca ılıman iklim bitki metabolizması, şeker alkollerleri (sorbitol, ribitol, inositol), eriyebilir şekerler (sakaroz, rafinoz, staçiyoz, trehaloz) ve düşük-molekül ağırlıklı azotlu bileşikler (prolin, glisin, betain) gibi dona karşı koruyucu bileşiklerin miktarını arttırmak üzere yönlendirilmektedir (Griffith ve Yoish, 2004). Ayrıca soğuk stresinin antosiyanin birikimine de neden olduğu bildirilmiştir (Christie vd., 1994).

### 3.2.6. Besin Eksikliği Stresi

Bitki beslenme stresine girdiğinde, büyümesi fotosentezden daha fazla engellenir çünkü karbon ikincil metabolitlere paylaştırılır. Fosfor stresine maruz kalan *Daucus carota* kallusunda kuru ağırlıkta % 7,2 oranında antosiyanin üretilirken, kontroldeki antosiyanin üretimi % 5,4 oranında kalmıştır.

### 3.2.7. Ultraviyole Radyasyon Stresi

Işık bitki gelişiminin düzenlenmesi ve bitki genlerinin ekspresyonunda en önemli çevre faktörlerinden biridir. Bitkinin fotosentez verimliliğinin maksimuma çıkarma yeteneği, ışığı algılama, değerlendirme ve ışığın kalitesi, kantitesi ve yönüne tepki verme kapasitesine bağlıdır. Güneş ışığının elektromanyetik spektrumu, gama ışınlarından; X- ışınlarına hatta bir ekstrem olarak radyo dalgalarına kadar uzanmaktadır (Şekil 4).

Biyolojik olarak aktif radyasyon (ışınım), UV-ışığı (400 nm' nin altında) da içeren 300- 800 nm. spektrumu kapsar. Görünür ışık spektrumu 400-700 nm arasındadır ve mavi (400-495 nm), yeşil (495-570 nm), sarı (570-590 nm) ve kırmızı (590-710 nm) renkleri içerir. Ayrıca dün-

ya üzerine ulaşan güneşin UV radyasyonu, UV- A (320-400 nm) ve kısmen UV-B (280-320 nm)'den oluşurken; UV-B'nin çoğu ve UV-C (< 280 nm)'nin tamamı ozon tabakası tarafından absorbe edilmektedir (Zoratti vd., 2014). Son 10 yılda, ozon tabakasının delinmesi, güneşten dünyaya ulaşan UV-B miktarını arttırmış ve günümüzde toplam güneş radyasyonunun ortalama % 0,5'i UV-B'den oluşmuştur (Heijde ve Ulm, 2012). UV-B, toplam güneş radyasyonunun çok az bir fraksiyonunu oluşturmasına karşın; bitkilerin büyüme

ve gelişmesini etkileyen fotosentez, hücre bölünmesi ve diğer yaşam olaylarındaki değişimleri uyarak, bitkilerde aşırı fotobiyolojik etki göstermektedir (Zoratti vd., 2014).

UV-B ışığın oluşturduğu stresin, bitkilerde DNA, proteinler ve foto sentetik cihazlarda zarar oluşturan reaktif oksijen türleri (ROS) nm üretimini arttırdığı fakat bu etkilerin doz ve fenotipe bağlı olduğu bilinmektedir (Frohnmeier ve Staiger, 2003). Bazı flavonoidler özellikle flavonoller, UV-B radyasyonunu seçici olarak absorblayarak ROS'un etkili bir yakalayıcısı olduğu belirlenmiştir (Falcon-Ferreira vd., 2012). Dolayısıyla ışık ve UV-B dalga boylarında, bitkilerde flavonoid üretimi önemli oranda uyarılmaktadır. Çiçeklerin, meyvelerin ve sebzelerin çoğu UV-ışığa karşı tepki olarak flavonları ve antosiyanları üretmektedir.

Hasat öncesi dönemdeki yapılan çalışmalar; elma ve kiraz kabuklarında UV-radyasyona tepki olarak antosiyanin seviyelerinde artış olduğunu göstermiştir (Arakawa vd., 1985, 1993; Ban vd., 2007). Benzer şekilde Tempranilla kırmızı üzüm çeşidinde iki farklı dozdaki (5,98 ve 9,66 m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>) ek UV-B uygulaması flavonoid profilini etkilemiş, üzüm tanalarının kabuklarındaki antosiyanin ve flavonol miktarını arttırmıştır (Martinez-Luscher vd., 2014)

Hasat sonrası dönemde meyve ve sebzelere uygulanan UV- radyasyonu da flavonoidlerin dolayısıyla antosiyanin miktarını arttırmaktadır. Ravaglia vd. (2013), Stark Red Gold nektarin çeşidinde beyaz ışığa ek olarak 72 saat UV-ışığı uygulamasının, nektarinlerin kabuklarındaki antosiyanin birikimini arttırdığı tespit etmişlerdir. Elmalarda hasat sonrası görünür beyaz ışığa ek olarak yapılan UV- B uygulaması, toplamflavonoid ve antosiyanin miktarını arttırmıştır (Hagen vd., 2007). Benzer etki Avrupa armut (*Pyrus Communis*) Çin armudu (*P.pyrifolia* Naşi) çeşitlerinde de elde edilmiştir (Qian vd., 2013; Sun vd., 2014). Yeşil olgun domateslere hasat sonrası UV-B uygulaması flavonal miktarını artırır-

ken; UV-A uygulaması antosiyanin miktarını arttırmıştır (Guo ve Worg, 2010).

#### 4. Sonuç

Abiyotik stres şartları ve ultraviyole radyasyon stresi, bitkilerde savunma mekanizmasını harekete geçirerek, ikincil metabolitlerin miktarlarında değişimlere çoğunlukla da artışlara neden olmaktadır. Bitki ikincil metabolitlerinden flavonoid grubu içerisinde yer alan antosiyanin miktarında stres şartlarında artmaktadır. Antosiyaninler bitkilere mavi - mor - turuncu - kırmızı rengini veren pigmentler olmakla birlikte, aynı zamanda bitkilerde oluşan ROS'ni yakalayıcı etkileri ile antikanserojen etkiye sahip bileşiklerdir. Dolayısıyla meyve ve sebzelerde hem hasat öncesi ve hasat sonrası dönemde kontrollü şartlar altında stres koşulları oluşturularak antosiyanin miktarının artırılması, meyve ve sebzelerin kalitesinin görsel artırılmasının yanısıra antikanserojen özelliklerinin de artırılmasını sağlayacaktır. Ayrıca mor havuç gibi doğal renklendirici olarak kullanılan türlerde ürünün katma değerinin yükseltilmesini sağlayacaktır.

#### 5. Kaynaklar

Arakawa O, 1993. Effect of ultraviolet light on anthocyanin synthesis in light-colored sweet cherry, cv. Sato Nishiki. J. Jpn. So., Hort. Sci., 62:543-546.

Arakawa O, Hori Y, Ogata R, 1985. Relative effectiveness and interaction of ultraviolet-B red and blue light in anthocyanin synthesis of apple fruit., Physiol. Plant, 64:323-327.

Bahler BD, Steffen KI, Orzolek MD, 1991. Morphological and biochemical comparison of a purple-leafed and a green-leafed pepper cultivar. HortScience, 26:736.

Bogs J, Jaffe FW, Taos AM, Walker AR, Robinson SP, 2007. The grapevine transcription factor VvMYBPA1 regulates proanthocyanidin synthesis during fruit development. Plant Physiol., 143: 1347-1361.

Chalker-Scott L, 1999. Environmental significance of anthocyanins in plant stress responses. Photochem Photobiol, 70:1-9.

Chan LK, Koay SS, Boey PL, Bhat, A, 2010. Effects of abiotic stress on biomass and 43:127-135.

Christie PJ, Alfenito MR, Walbot V, 1994. Impact of low temperature stress on general phenylpropanoid and anthocyanin pathways: Enhancement of transcript abundance and anthocyanin pigmentation in maize seedling. Planta, 194: 541-549.

Clifford MN, 2000. Anthocyanins-nature, occurrence and dietary burden. J.Sci.Food Agric., 80:1063-1072.

Daneshmand F, Arvin MJ, Kalantari KM, 2010. Physiological responses to NaCl stress in three wild species of potato in vitro. Acta Physiol. Plant., 32: 91-101.

Dixon RA, Paiva N, 1995. Stressed induced phenyl propanoid metabolism. Plant Cell, 7:1085-1097.

Eder A, 2000. Pigments in food analysis by HPLC. (Nollet M.L.L. eds.), Marcel Dekker, New York, pp:845-880.

Falcon-Ferreyra ML, Rius SP, Casati P, 2012. Flavonoids: Biosynthesis, biological functions, and biotechnological applications. Front. Plant Sci., 3:222.

Frohnmeyer H, Staiger D, 2003. Ultraviolet-B radiation-mediated responses in plants. Balancing damage and protection. Plant Physiol, 133: 1420-1428.

Griffith M, Yoish MWF, 2004. Antifreeze proteins in overwintering plants: a tale of two activities. Trends Plant Sci. 9:399-405.

Guo J, Wang M, 2010. Ultraviolet A specific induction of anthocyanin biosynthesis and PAL expression in tomato (*Solanum lycopersicum* L.), Plant Growth Regul, 62:1-8.

Hagemeyer J, 1999. Ecophysiology of plant growth under heavy metal stress. In: Prasad MNV, Hagemeyer, J., Eds. Heavy metal stress in plants, Berlin: Springer, 222.

Hagen SF, Borge GIA, Bengston GB, Bilger W, Berge A, Haffner K, 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 Biol. Tec., 45:1-10.

Hawrylak B, Matraszek R, Szymanska M, 2007. Response of lettuce (*Lactuca sativa* L.) to selenium in nutrient solution contaminated with nickel. Veg. Crop Res. Bull.67:63.

He J, Guisti M, 2010. Anthocyanins: Natural Colorants with Health Promoting Properties. Annu. Rev. Food Sci. Technol., 1:163-187.

Heijde M, Ulm R, 2012. UV-B photoreceptor-mediated signaling in plants. Trends Plant Sci. 17:230-237.

Horbowicz M, Kosson R, Grzesiuk A, Debski H, 2008. Anthocyanins of fruits and vegetables-their occurrence, analysis and role in human nutrition. Vegetable Crops Research Bulletin, 68:5-22.

Koes R, Verweij W, Quattrocchio F, 2005. Flavonoids: a colorful model for the regulation and evolution of biochemical pathways. Trends Plant Sci., 10: 236-242.

Krupa Z, Baranowska M, Orzol D, 1996. Can anthocyanins be considered as heavy metal

- stres indicator in higher plants? *Acta Physiol. Plant*, 18:147-151.
- Larson RA, 1988. The antioxidants of higher plants. *Phytochemistry*, 27:969-978.
- Mahajan S, Tuteja N, 2005. Cold, salinity and drought stresses: An Overview. *Arch Biochem Biophys*, 444:139-158.
- Marschner H, 1995. Mineral nutrition of higher plants, Academic Press, London, 889.
- Martens S, Preuss A, Matern U, 2010. Multi-functional flavonoid dioxygenases: Flavonol and anthocyanin biosynthesis in *Arapidopsis thaliana* L., *Phytochemistry*, 71: 1040-1049.
- Martinez-Lüscher J, Torres N, Hilbert G, Richard T, Sanchez-Diaz M, Delrot S, 2014. Ultra-violet-B radiation modifies the quantitative and qualitative profile of flavonoids and amino acids in grape berries. *Phytochemistry*, 102: 106-114.
- Narayan MS, Thimmaraju R, Bhagyalakshmi N, 2005. Interplay of growth regulators during solid-state and liquid-state batch cultivation of anthocyanin producing cell line of *Daucus carota*. *Process Biochem*, 40:351-358.
- Parida AK, Das AB, 2005. Salt tolerance and salinity effects on plants: a review. *Acotoxicol Environ. Saf.*, 60:324-349.
- Qian M, Zhang D, Yue X, Wang S, Li X, Teng Y, 2013. Analysis of different pigmentation patterns in Mantianhong (*Pyrus pyrifolia* Nakai) and Cascade (*Pyrus communis* L) under bagging treatment and postharvest UV-B/visible irradiation conditions. *Sci. Hortic.* 151: 75-82.
- Raghvendra M, Sharma V, Shakya A, Hedaytullah MD, Arya GS, Mishra A, Gupta AD, Pachpute AP, Patel D, 2011. Chemical and potential aspects of anthocyanins- A water soluble vacuolar flavonoid pigments: A review. *Int. J. Pharm. Sciences Review and Research.*, 6(1):28-33.
- Ravaglia D, Espley RV, Henry-Kirk RA, Andreotti C, Ziosi V, Hellens RP, 2013. Transcriptional regulation of flavonoid biosynthesis in nectarine (*Prunus persica*) by a set of R2R3MYB transcription factors. *BMC Plant Bio.* 13:68.
- Seigler DS, 1998. *Plant Secondary Metabolism*. Boston MA: Chapman and Hall (Kluwer Academic Publishers), 711.
- Sun Y, Qian M, Wu R, Niu Q, Teng Y, Zhang D, 2014. Postharvest pigmentation in red Chinese sand pears (*Pyrus pyrifolia* Nakai) in response to optimum light and temperature. *Postharvest Biol. Tec.* 91:64-71.
- Timberlake CF, Henry, B.S., 1988. Anthocyanins as natural food colorants. *Prog. Clin. Biol. Res.*, 280:107-121.
- Winkel-Shirley B, 2001. Flavonoid biosynthesis. A colorful model for genetics, biochemistry, cell biology and biotechnology. *Plant Physiol*, 26:485-493.
- Xu Z, Zhou G, Shimizu H, 2010. Plant responses to drought and rewatering. *Plant Signal Behav.* 5:649-654.
- Zhang W, Seki M, Furusaki S, 1997. Effect of temperature and its shift on growth and anthocyanin production in suspension cultures of strawberry cells. *Plant Sci.* 127: 207-214.
- Zhong JJ, Yoshida T, 1993. Effects of temperature on cell growth and anthocyanin production in suspension cultures of *Perilla frutescens*. *J. Ferment Bioeng.*, 76:530-531.
- Zoratti L, Karppinen K, Escobar AL, Haggman H, Jaakola L, 2014. Light-controlled flavonoid biosynthesis in fruits. *Frontiers in Plant Science.* 5:1-15.