

UV-B Stresine Maruz Bırakılan Horoz Karası Üzüm Çeşidinin Fotosentetik ve Fenolik Yanıtlarının Zamana Bağlı Değişimi

İbrahim Samet GÖKÇEN ^{1*}, Mustafa ÇELİK ², Nurhan KESKİN ³

¹ Kilis 7 Aralık Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü, Kilis

² Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Van

³ Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü, Van

*Sorumlu Yazar (Corresponding author): ibrahimgokcen@kilis.edu.tr

Özet

Bu çalışma, Horoz Karası (*Vitis vinifera* L.) üzüm çeşidine ait bir yaşlı fidanların farklı süre ve yoğunluklardaki UV-B uygulamalarına karşı gösterdiği fotosentetik ve fenolik yanıtların zamana bağlı değişimini incelemek amacıyla yürütülmüştür. Çalışmada; fidanlar 6-7 yapraklı dönemde iken düşük ve yüksek yoğunluklu UV-B uygulamaları yapılmış; kontrol, uygulama anı ve uygulamalardan 24 saat sonra yapraklarda ölçümler gerçekleştirilmiştir. Azot denge indeksi (NBI), klorofil, flavonoid ve antosiyanin içerikleri Dualex Force-A optik sensörü kullanılarak belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, UV-B uygulamaları NBI ve klorofil içeriği üzerinde istatistik olarak anlamlı ve zamana bağlı değişimlere neden olmuştur. Yüksek yoğunluklu UV-B uygulaması, NBI değerini kontrol grubuna göre yaklaşık iki kat artırmış; ancak uygulamadan 24 saat sonra bu etkinin önemli ölçüde azaldığı belirlenmiştir. Benzer şekilde, klorofil içeriği uygulama anında artış göstermiş, 24 saat sonra ise kontrol seviyelerine gerilemiştir. Buna karşın, flavonoid ve antosiyanin indekslerinde UV-B uygulamalarına göre zamana bağlı değişimler istatistik olarak anlamlı bulunmamıştır. Sonuç olarak, UV-B stresinin, Horoz Karası üzüm çeşidinde fotosentetik değişkenler üzerinde belirgin, fenolik yanıtlar üzerinde ise sınırlı etkiler oluşturduğu ve bu etkilerin büyük ölçüde kısa süreli olduğu belirlenmiştir.

Araştırma Makalesi

Makale Tarihçesi

Geliş Tarihi :10.12.2025
Kabul Tarihi :25.01.2026

Anahtar Kelimeler

Vitis vinifera L.
yaprak
UV-B stresi
dualex force-a
tahribatsız ölçüm

Time-Dependent Changes in Photosynthetic and Phenolic Responses in 'Horoz Karası' Grape Variety Exposed to UV-B Stress

Abstract

This study was conducted to investigate the time-dependent changes in photosynthetic and phenolic responses of one-year-old saplings of the 'Horoz Karası' (*Vitis vinifera* L.) grape variety to different durations and intensities of UV-B applications. In the study, low and high-intensity UV-B applications were performed when the saplings were in the 6-7 leaf stage; measurements were taken on the leaves at the time of application and 24 hours after application. Nitrogen balance index (NBI), chlorophyll, flavonoid, and anthocyanin contents were determined using a Dualex Force-A optical sensor. According to the results obtained, UV-B applications caused statistically significant and time-dependent changes in NBI and chlorophyll content. High-intensity UV-B application increased the NBI value by approximately twofold compared to the control group; however, this effect decreased significantly 24 hours after application. Similarly, chlorophyll content increased at the time of application and decreased to control levels after 24 hours. In contrast, time-dependent changes in flavonoid and anthocyanin indices according to UV-B applications were not found to be statistically significant. In conclusion, it was determined that UV-B stress had significant effects on photosynthetic parameters and limited effects on phenolic responses in the Horoz Karası grape variety, and these effects were largely short-lived.

Research Article

Article History

Received :10.12.2025
Accepted :25.01.2026

Keywords

Vitis vinifera L.
leaf
UV-B stress
dualex force-a
non-destructive testing

Atf: Gökçen, İ.S., Çelik, M., Keskin, N., 2026. UV-B Stresine Maruz Bırakılan Horoz Karası Üzüm Çeşidinin Fotosentetik ve Fenolik Yanıtlarının Zamana Bağlı Değişimi. *ISPEC Tarım Bilimleri Dergisi*, 10(1): 263-274. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.18692291>

Citation: Gökçen, İ.S., Çelik, M., Keskin, N., 2026. Time-Dependent Changes in Photosynthetic and Phenolic Responses in 'Horoz Karası' Grape Variety Exposed to UV-B Stress. *ISPEC Journal of Agricultural Sciences*, 10(1): 263-274. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.18692291>

© Bu çalışma *ISPEC Tarım Bilimleri Dergisi* tarafından Creative Commons Lisansı (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>) kapsamında yayınlanmıştır.

1. Giriş

Güneş radyasyonunun önemli bir bileşeni olan ultraviyole-B (UV-B; 280–315 nm) ışını, bitkilerin büyüme, gelişme ve metabolik süreçleri üzerinde belirleyici etkilere sahip çevresel bir faktördür. Stratosferik ozon tabakasındaki inceltme, yeryüzüne ulaşan UV-B radyasyonunun artmasına yol açmakta; bu durum, bitki fizyolojisi ve biyokimyası üzerindeki etkilerin daha ayrıntılı biçimde anlaşılmasını zorunlu kılmaktadır (Bornman ve ark., 2019). UV-B radyasyonu bitkilerde, DNA hasarı, protein degradasyonu ve fotosentetik aparatın işlevinde bozulmalar gibi olumsuz etkilere neden olabilmekle birlikte, aynı zamanda sekonder metabolitlerin sentezi ve birikimini teşvik eden koruyucu savunma mekanizmalarını da aktive edebilmektedir (Martínez-Lüscher ve ark., 2013). Asmanın (*Vitis vinifera* L.) UV-B radyasyonuna karşı geliştirdiği fizyolojik ve biyokimyasal yanıtlar, son yıllarda artan şekilde araştırma konusu olmuştur. Akdeniz iklim kuşağında yaygın olarak yetiştirilen asma, gelişim süreci boyunca yüksek ışık şiddetine ve dolayısıyla UV-B radyasyonuna maruz kalmakta; bu durum, asmada UV-B'ye özgü adaptasyon mekanizmalarının şekillenmesine neden olmaktadır (Del-Castillo-Alonso ve ark., 2016). Nitekim yapılan çalışmalar, asmada doğal UV-B seviyelerinin çoğu zaman bir stres faktöründen daha çok, meyve kalitesini belirleyen sekonder metabolitlerin birikimini düzenleyen bir sinyal unsuru olarak işlev gördüğünü vurgulamaktadır (Carbonell-Bejerano ve ark., 2014). Türkiye'nin önemli yerel üzüm çeşitlerinden biri olan Horoz Karası (*Vitis vinifera* L.), özellikle Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde Kilis ve Gaziantep illerinde yetiştirilen kırmızı renkli bir çeşittir (Balbaba ve Bağcı, 2022). Yüksek fenolik bileşik içeriği ve antioksidan kapasitesi ile dikkat çeken bu çeşit, sofralık, kurutmalık ve şaraplık-sıralık olarak değerlendirilmekte ve bölgesel bağcılık açısından önemli bir genetik kaynak niteliği taşımaktadır (Kok ve Bal, 2019). Bununla birlikte, Horoz Karası çeşidinin UV-B radyasyonuna karşı fizyolojik ve fenolik yanıtlarına ilişkin çalışmaların sınırlı olduğu görülmektedir. UV-B

radyasyonuna maruz kalan asma yapraklarında en belirgin fizyolojik tepkilerden biri, fotosentetik pigmentlerde meydana gelen değişimlerdir. Kolb ve ark. (2001), asma yapraklarında UV-B radyasyonunun fotosistem II üzerindeki etkilerini inceledikleri çalışmalarında, UV-B'ye bağlı fotosistem II inhibisyonunun epidermal UV-B tarama kapasitesinin artışı ile birlikte hafiflediğini bildirmişlerdir. Martínez-Lüscher ve ark. (2013) ise Tempranillo üzüm çeşidinde kısa ve uzun süreli UV-B maruziyetlerinin fizyolojik yanıtlarını karşılaştırmış; kısa süreli yüksek UV-B uygulamasının (20 gün, $9.66 \text{ kJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) net fotosentez, stomatal iletkenlik ve fotosistem II verimliliğinde belirgin azalmalar oluşturduğunu, buna karşılık uzun süreli maruziyetlerde (75 gün) bitkilerin yüksek düzeyde adaptasyon kapasitesi sergilediğini ortaya koymuştur. Bu bulgular, asmada UV-B stresine karşı zamanla gelişen tolerans mekanizmalarının varlığını açıkça göstermektedir. Asmanın UV-B stresine verdiği yanıtlar, maruz kalma süresi ve ışının yoğunluğuna bağlı olarak önemli farklılıklar göstermektedir. Kısa süreli ve yüksek yoğunluklu UV-B uygulamaları, genellikle akut stres tepkilerini tetiklerken, uzun süreli ve düşük yoğunluklu maruziyetler, kronik adaptasyon mekanizmalarının devreye girmesine yol açmaktadır (Martínez-Lüscher ve ark., 2013). Ayrıca UV-B uygulamasının sona ermesinden sonraki toparlanma süreci, stres toleransı ve dayanıklılık kapasitesinin değerlendirilmesi açısından kritik bilgiler sunmaktadır. Bu nedenle, UV-B uygulamalarının hem anlık hem de stres sonrası zamana bağlı etkilerinin izlenmesi, bitki-stres etkileşimlerinin bütüncül olarak anlaşılabilmesi için önem taşımaktadır. Geleneksel fizyolojik ve biyokimyasal analiz yöntemleri, çoğunlukla tahribatlı ölçümler gerektirmekte ve bu durum, aynı bitki üzerinde zamana bağlı tekrarlı ölçümlerin yapılmasını sınırlandırmaktadır. Son yıllarda geliştirilen optik sensör teknolojileri ise bu sınırlılıkları büyük ölçüde ortadan kaldırarak, bitki fizyolojisi araştırmalarında önemli bir metodolojik dönüşüm sağlamıştır. Bu bağlamda Dualux Force-A gibi taşınabilir

cihazlar, bitkilerin fizyolojik durumlarının hızlı, güvenilir ve bitki/yaprağa herhangi bir tahribat oluşturmada değerlendirilmesine olanak tanımaktadır. Dualex, Fransa Ulusal Bilimsel Araştırma Merkezi (CNRS) ve Paris-Sud Orsay Üniversitesi iş birliğiyle Force-A firması tarafından geliştirilen ve patentli optik teknolojiye dayanan bir yaprak klips sensörüdür (Cerovic ve ark., 2012). Bu cihaz, yaprak düzeyinde klorofil içeriğini, epidermal flavonoid-antosiyanın birikimini ve azot denge indeksini gerçek zamanlı ve yaprakta herhangi bir tahribat oluşturmada ölçebilmektedir. Dualex'in çalışma prensibi, epidermal polifenollerin klorofil floresansı üzerindeki tarama (screening) etkisine dayanmaktadır. Cihaz farklı dalga boylarında ışık kullanarak klorofili uyarmakta ve yayılan floresansı ölçerek ilgili indeksleri hesaplamaktadır (Goulas ve ark., 2004). Cerovic ve ark. (2015), asmada yürüttükleri çalışmada Dualex ile elde edilen verilerin klasik laboratuvar analizleriyle yüksek düzeyde korelasyon gösterdiğini ($R^2 > 0.85$) ve bu nedenle cihazın özellikle azot beslenme durumunun izlenmesinde güvenilir bir araç olarak kullanılabileceğini ortaya koymuşlardır. Dualex'in en önemli üstünlüklerinden biri, ölçüm süresinin 1 saniyeden kısa olması ve bitki dokusuna herhangi bir zarar vermemesidir. Bu özellik, aynı yaprak üzerinde zamana bağlı tekrarlı ölçümlerin yapılmasına olanak tanımakta ve bitkilerin çevresel streslere verdiği fizyolojik yanıtların gerçek zamanlı olarak izlenmesini mümkün kılmaktadır (Diago ve ark., 2016). Ayrıca cihazın GPS koordinatları ile tarih ve saat bilgilerini otomatik olarak kaydetmesi, veri yönetimi ve mekânsal analizler açısından

önemli avantajlar sunmaktadır. Bu özellikleriyle Dualex teknolojisi, aynı bitki materyali üzerinde zamana bağlı fizyolojik değişimlerin izlenmesine imkân sağlayarak, UV-B stresi gibi çevresel faktörlere karşı bitkilerin verdiği anlık ve gecikmeli yanıtların belirlenmesinde güçlü bir araştırma aracı olarak öne çıkmaktadır. Özellikle asma gibi uzun ömürlü bitkilerde stres fizyolojisi çalışmalarında, tahribatsız ve tekrarlanabilir ölçüm olanağı sunması nedeniyle yaygın olarak kullanılmaktadır (Cerovic ve ark., 2012; Cerovic ve ark., 2015; Friedel ve ark., 2020; Bendel ve ark., 2021; Gökçen ve Keskin, 2025; Gökçen ve ark., 2025a; Gökçen ve ark., 2025b). Bu çalışmada, Horoz Karası (*Vitis vinifera* L.) üzüm çeşidinin farklı süre ve yoğunluklardaki UV-B uygulamalarına verdiği fotosentetik ve fenolik yanıtların zamana bağlı değişimi incelenmiştir. Çalışmanın temel amacı, UV-B stresi altında azot denge indeksi, klorofil, flavonoid ve antosiyanın içeriklerinde şekilde belirlemek ve stres uygulamasının hemen ardından ve uygulama sonrasındaki 24 saatlik süreçte ortaya çıkan fizyolojik yanıtları karşılaştırmalı olarak değerlendirmektir. Bu yaklaşım ile UV-B stresinin anlık etkilerinin yanı sıra kısa dönemli adaptasyon ve toparlanma süreçlerinin ortaya konulması hedeflenmiştir.

2. Materyal ve Yöntem

2.1. Materyal

Çalışmada kullanılan Horoz Karası üzüm çeşidi (Şekil 1), iri ve kanatlı salkım yapısı olan, tane kabuk rengi mavi siyah, uzun-eliptik iri taneli, çekirdekli ve orta mevsimde olgunlaşan bir üzüm çeşididir (Çelik, 2006).



Şekil 1. Horoz Karası üzüm çeşidi
Figure 1. 'Horoz Karası' grape variety

2.2. Yöntem

2.2.1 Bitki eldesi

Horoz Karası üzüm çeşidine ait sağlıklı omcaldan alınan bir yaşlı dallar, iki göz üzerinden kesilmiş ve ısıtmasız sera koşullarında 12×20 cm boyutlarındaki (Çelik ve Uyar, 1992) %2 UV katkılı siyah polietilen tüplere dikilmiştir. Dikim ortamı olarak, perlit ve torf (2:1) karışımı kullanılmıştır. Başarıyla köklenen ve gelişim gösteren fidanlar 2.5 litrelik saksılara aktarılmış ve bitkiler 6-7 yapraklı aşamaya geldiğinde UV-B uygulamaları gerçekleştirilmiştir.

2.2.3 UV-B uygulamaları

UV-B uygulamaları, kontrollü bir kabin içerisinde, lamba-bitki mesafesi 40 cm olacak şekilde gerçekleştirilmiştir. Düşük yoğunluklu UV-B uygulaması, 311 nm dalga boyuna sahip tek bir Philips TL 20W/01 lamba kullanılarak 16 saat süreyle ($\approx 8.25 \mu\text{W cm}^{-2}$), yüksek yoğunluklu UV-B uygulaması ise aynı dalga boyunda dört adet Philips TL 20W/01 lamba ile 4 saat süreyle ($\approx 33 \mu\text{W cm}^{-2}$) uygulanmıştır (Şekil 2).



Şekil 2. Düşük yoğunluklu (solda) ve yüksek yoğunluklu (ortada) UV-B uygulamaları ile Dualox cihazı ve ölçüm tekniği (sağda)

Figure 2. Dualox device and measurement technique (right) with low-intensity (left) and high-intensity (between) UV-B applications

2.2.4 Dualox ölçümleri

Azot denge indeksi (NBI), klorofil içeriği (CHLR), flavonoid (FLAV) ve antosiyanin (ANTH) değerleri, sağlam yapraklar üzerinde taşınabilir optik sensör Dualox Scientific+ (Force-A, Fransa) kullanılarak belirlenmiştir (Şekil 2.). Ölçümler sırasında her yaprak üzerinde farklı noktalardan olmak üzere en az üç tekrar alınmış ve elde edilen değerlerin ortalaması değerlendirmeye dâhil edilmiştir. FLAV, ANTH ve NBI değerleri Dualox indeks birimi (dx) cinsinden ifade edilirken, klorofil içeriği $\mu\text{g cm}^{-2}$ birimiyle verilmiştir.

2.2.5 İstatistik analiz

Üzerinde durulan özellikler için tanımlayıcı istatistikler; ortalama, standart hata, minimum ve maksimum değer olarak ifade edilmiştir. Bu özellikler bakımından uygulamaları (grupları) karşılaştırmada Tek Faktörlü Tekrarlanan Ölçümlü Varyans Analizi yapılmıştır. Varyans

analizini takiben, farklı grupları belirlemek üzere, Tukey çoklu karşılaştırma testi yapılmıştır (Hoaglin, 2003). Daha sonra özellikler, ortalamanın altı ve üstü olmak üzere iki kategoriye ayrılmıştır. Özelliklerin kategorileri ile uygulamalar arasındaki ilişkileri ve bu ilişkilerin iki boyutlu uzaydaki konfigürasyonu belirlemek üzere Çoklu uyum analizi yapılmıştır. Hesaplamalarda istatistik önemlilik düzeyi %5 olarak alınmış ve hesaplamalar için SPSS (ver: 25) istatistik paket programı kullanılmıştır.

3. Bulgular ve Tartışma

3.1 Azot denge indeksi (NBI)

Azot denge indeksi (NBI) için gruplara göre tanımlayıcı istatistikler ve karşılaştırma sonuçları Tablo 1'de sunulmuştur. UV-B uygulamaları, Horoz Karası çeşidinin yapraklarında ölçülen NBI üzerinde istatistik olarak anlamlı değişimlere neden olmuştur

($p < 0.05$). En yüksek NBI değeri, yüksek yoğunluklu UV-B uygulamasında belirlenmiş olup (10.200 dx), bu değer kontrol grubuna (4.670 dx) oranla yaklaşık %118 artış

göstermiştir. Yüksek UV-B uygulaması, diğer tüm uygulamalardan istatistik olarak anlamlı şekilde ayrılmıştır (Tablo 1).

Tablo 1. NBI için gruplara göre tanımlayıcı istatistikler ve karşılaştırma sonuçları

Table 1. Descriptive statistics and comparison results by group for NBI

		n	Ort.	Std. Hata	Min.	Mak.	p
NBI (dx)	Kontrol	30	4.670 b	0.352	2.6	10.1	0.001
	Düşük UV-B	15	5.540 b	0.651	3.1	10.4	
	Yüksek UV-B	15	10.200 a	2.059	2.6	26.5	
	Düşük UV-B 24 saat sonra	15	5.120 b	0.758	2.4	11.8	
	Yüksek UV-B 24 saat sonra	15	6.687 b	0.988	2.9	17.9	
	Toplam	90	6.148	0.467	2.4	26.5	

Farklı harfi alan uygulamalar arası fark önemlidir ($p \leq 0.05$).

Düşük yoğunluklu UV-B uygulamasında elde edilen NBI değeri (5.540 dx), kontrol grubuna göre yaklaşık %18.6 oranında artış göstermiş olmakla birlikte, istatistik olarak aynı grupta yer almıştır. Düşük UV-B uygulamasından 24 saat sonra ölçülen NBI değeri (5.120 dx), uygulama anına oranla yaklaşık %7.6 oranında azalmış, ancak kontrol grubuna yakın seviyede kalmıştır. Yüksek UV-B uygulamasında elde edilen NBI değeri (10.200 dx), kontrol grubunun 2 katından fazla oranda artış göstermiştir. Yüksek UV-B uygulamasının ardından 24 saat sonra ölçülen NBI değeri (6.687 dx), uygulama anına göre yaklaşık %34.4 oranında düşüş göstermiştir. Buna karşın, bu değer kontrol grubuna göre hâlâ %43.2 daha yüksek bulunmuştur. Bu sonuçlar, yüksek yoğunluklu UV-B uygulamasının azot dengesi üzerinde güçlü ancak kısmen geri döndürülebilir bir etki oluşturduğunu göstermektedir. Yüksek yoğunluklu UV-B uygulamasının NBI değerlerinde kontrol grubuna göre yaklaşık 2.2 kat artışa neden olması dikkat çekici bir bulgudur. NBI, klorofil ve FLAV içeriğinin oranı olarak hesaplanmakta ve bitkilerin azot

beslenme durumunun güvenilir bir göstergesi olarak kabul edilmektedir (Cartelat ve ark., 2005). Cerovic ve ark. (2015), asmada Duallex ölçümleri ile yaprak azot içeriği arasında yüksek korelasyon olduğunu ve NBI'nin azot yetersizliği tanısında en iyi parametre olduğunu bildirmiştir. Çalışmada gözlenen NBI artışı, esas olarak klorofil içeriğindeki artış ve flavonol içeriğindeki göreceli stabilite ile açıklanabilir. Bu durum, UV-B stresinin kısa vadede azot metabolizmasını aktive ettiğini ve klorofil sentezini teşvik ettiğini düşündürmektedir. Benzer şekilde, mısır bitkisinde NBI değerlerinin azot uygulaması ile güçlü bir ilişki gösterdiği ve bitki gelişim evrelerine göre değiştiği bildirilmiştir (Dong ve ark., 2021). UV-B stresinden 24 saat sonra NBI değerlerinin azalması, bitkilerin homeostazı yeniden kurma eğiliminde olduğunu göstermektedir.

3.2 Klorofil (CHLR)

Klorofil için gruplara göre tanımlayıcı istatistikler ve karşılaştırma sonuçları Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Klorofil (CHLR) için gruplara göre tanımlayıcı istatistikler ve karşılaştırma sonuçları

Table 2. Descriptive statistics and comparison results by group for Chlorophyll (CHLR)

		n	Ort.	Std. Hata	Min.	Mak.	p
CHLR ($\mu\text{g cm}^{-2}$)	Kontrol	30	11.443 b	0.408	7.20	19.00	0.033
	Düşük UV-B	15	13.753 ab	1.194	9.60	23.50	
	Yüksek UV-B	15	14.487 a	1.379	7.70	23.40	
	Düşük UV-B 24 saat sonra	15	11.179 b	0.994	6.90	18.89	
	Yüksek UV-B 24 saat sonra	15	11.787 b	0.647	8.20	17.30	
	Toplam	90	12.349	0.401	6.90	23.50	

Farklı harfi alan uygulamalar arası fark önemlidir ($p \leq 0.05$).

Klorofil içeriği bakımından uygulamalar arasında istatistik olarak anlamlı farklılıklar belirlenmiştir ($p < 0.05$). En yüksek klorofil değeri, yüksek UV-B uygulamasında ölçülmüş ($14.487 \mu\text{g cm}^{-2}$) ve bu değer kontrol grubuna ($11.443 \mu\text{g cm}^{-2}$) göre yaklaşık %26.6 oranında artış göstermiştir. Yüksek UV-B uygulaması, istatistik olarak kontrol grubundan farklı bir grupta yer almıştır. Düşük UV-B uygulamasında klorofil içeriği $13.753 \mu\text{g cm}^{-2}$ olarak belirlenmiş olup, kontrol grubuna göre %20.1 oranında artış göstermiştir. Ancak bu artış, istatistik olarak hem kontrol hem de yüksek UV-B grubu ile kısmen örtüşen bir dağılım sergilemiştir. Uygulamalardan 24 saat sonra yapılan ölçümlerde, gerek düşük gerekse yüksek UV-B uygulamalarında klorofil içeriğinin azaldığı görülmüştür. Düşük UV-B uygulamasından 24 saat sonra ölçülen klorofil değeri ($11.179 \mu\text{g cm}^{-2}$), uygulama anına göre yaklaşık %18.7 oranında düşmüş ve kontrol grubuna benzer düzeye gerilemiştir. Benzer şekilde, yüksek UV-B uygulamasından 24 saat sonra klorofil içeriği ($11.787 \mu\text{g cm}^{-2}$), uygulama anına oranla yaklaşık %18.6 oranında azalmış ve kontrol grubu ile aynı grupta yer almıştır. Çalışmada, UV-B uygulaması sırasında klorofil içeriğinde gözlenen %26.6'lık artış, literatürdeki bazı bulgularla çelişkili görünmektedir. Martínez-Lüscher ve ark. (2013), Tempranillo üzüm çeşidinde kısa süreli yüksek UV-B uygulamasının (20 gün , $9.66 \text{ kJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) net fotosentez, stomatal iletkenlik ve Fotosistem II

verimliliğinde önemli azalmalara neden olduğunu bildirmişlerdir. Ancak araştırmacılar, uzun süreli maruziyette (75 gün) bitkilerin yüksek adaptasyon kapasitesi gösterdiğini ve fotosentetik parametrelerin normale döndüğünü belirtmişlerdir. Çalışmamızda gözlenen klorofil artışı, UV-B'nin indüklediği bir stres yanıtı olarak yorumlanabilir. Kolb ve ark. (2001), asma yapraklarında UV-B radyasyonunun epidermal UV-B taraması oluşturulmasıyla birlikte Fotosistem II inhibisyonunun düzeldiğini gözlemlemişlerdir. Klorofil artışı, bitkilerin ışık hasadını optimize ederek azalan fotosentetik verimlilik üzerindeki olumsuz etkileri kompanse etme stratejisi olabilir. Ayrıca, Del-Castillo-Alonso ve ark. (2016), doğal UV radyasyonuna maruz kalan Tempranillo üzüm çeşidinde sezon boyunca klorofil içeriğinde dalgalanmalar gözlemlemişler, ancak bu değişimlerin fenolojik evre ve çevre koşullarına bağlı olduğunu belirtmişlerdir. UV-B uygulamasından 24 saat sonra klorofil seviyelerinin kontrol değerlerine dönmesi, Horoz Karası çeşidinin hızlı bir toparlanma kapasitesine sahip olduğunu göstermektedir.

3.3 Flavonol (FLAV) ve antosiyanin (ANTH)

Flavonol (FLAV) ve Antosiyanin (ANTH) için gruplara göre tanımlayıcı istatistikler ve karşılaştırma sonuçları Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3. Flavonol (FLAV) ve Antosiyanin (ANTH) için gruplara göre tanımlayıcı istatistikler ve karşılaştırma sonuçları

Table 3. Descriptive statistics and comparison results by group for Flavonol (FLAV) and Antosiyanin (ANTH)

		n	Ort.	Std. Hata	Min.	Mak.	p
FLAV (dx)	Kontrol	30	2.628	0.111	1.42	3.58	0.220
	Düşük UV-B	15	2.636	0.147	1.48	3.44	
	Yüksek UV-B	15	2.298	0.157	1.58	3.46	
	Düşük UV-B 24 saat sonra	15	2.581	0.151	1.42	3.37	
	Yüksek UV-B 24 saat sonra	15	2.287	0.168	1.46	3.42	
	Toplam	90	2.509	0.064	1.42	3.58	
ANTH (dx)	Kontrol	30	0.718	0.009	0.62	0.82	0.508
	Düşük UV-B	15	0.677	0.006	0.63	0.72	
	Yüksek UV-B	15	0.735	0.061	0.58	1.58	
	Düşük UV-B 24 saat sonra	15	0.717	0.018	0.63	0.85	
	Yüksek UV-B 24 saat sonra	15	0.685	0.013	0.64	0.84	
	Toplam	90	0.708	0.011	0.58	1.58	

Farklılık önemli (anlamlı) bulunmadığı için harflendirme yapılmamıştır.

Çalışmanın en dikkat çekici bulgusu, kısa süreli UV-B uygulamasının epidermal flavonol ve antosiyanin içeriklerinde istatistik olarak anlamlı bir değişim oluşturmamasıdır. Bu sonuç, literatürdeki birçok çalışmayla çelişkili görünmektedir. Carbonell-Bejerano ve ark. (2014), güneş UV radyasyonunun üzüm kabuğunda flavonol, hidroksisinnamik asitler ve stilbenlerin biyosentezini artırdığını göstermiştir. Benzer şekilde, Martínez-Lüscher ve ark. (2014), Tempranillo üzüm çeşidinde, UV-B radyasyonunun hem flavonol hem de antosiyanin içeriklerini artırdığını ve flavonol profillerinde niteliksel farklılıklar oluşturduğunu bildirmiştir. Çalışmamızdaki bu farklılık, birkaç faktörle açıklanabilir. İlk olarak, UV-B maruziyetinin süresi kritik bir faktördür. Çalışmamızda uygulanan 4 ve 16 saatlik UV-B maruziyetleri, fenolik bileşiklerin sentezi ve birikimi için yeterli olmayabilir. Agati ve ark. (2013), flavonoidlerin fotokoruyucu işlevlerinin UV-B maruziyetine yanıt olarak günler içinde geliştiğini ve bu sürecin gen transkripsiyonu, protein sentezi ve metabolit birikimi aşamalarını içerdiğini vurgulamışlardır. İkinci olarak, yaprak yaşı önemli bir belirleyicidir. Gould ve ark. (2000), genç asma yapraklarında antosiyaninlerin fotokoruyucu bir rol oynadığını, ancak olgun yapraklarda bu bileşiklerin daha az akümüle olduğunu göstermiştir. Çalışmada kullanılan bir yaşlı fidanların yapraklarının fenolojik durumu, UV-B'ye karşı fenolik yanıtı etkilemiş olabilir. Üçüncü olarak, çeşit özelliği de rol oynayabilir. Horoz Karası çeşidinin genetik yapısı, kısa süreli UV-B stresine karşı fenolik birikimden ziyade diğer savunma mekanizmalarını (örneğin antioksidan enzimler) aktive ediyor olabilir. Flavonol indeks değerleri bakımından uygulamalar arasında istatistik olarak anlamlı bir farklılık belirlenmemiştir ($p < 0.05$). Kontrol grubunda flavonol değeri 2.628 dx olarak ölçülürken, düşük UV-B uygulamasında bu değer, 2.636 dx olup kontrol grubuna oldukça yakın bulunmuştur. Yüksek UV-B uygulamasında flavonol indeksi 2.298 dx olarak belirlenmiş ve kontrol grubuna göre yaklaşık %12.6 oranında azalma göstermiştir. Benzer şekilde, yüksek

UV-B uygulamasından 24 saat sonra ölçülen flavonol değeri (2.287 dx), uygulama anına göre belirgin bir toparlanma göstermemiştir. Düşük UV-B uygulamasından 24 saat sonra ölçülen flavonol değeri (2.581 dx), kontrol grubuna yakın seyretmiş ve zamana bağlı değişimin sınırlı olduğu gözlenmiştir. Genel olarak flavonol içeriğinde UV-B uygulamalarına bağlı olarak yönlü değişimler gözlenirse de, bu değişimler istatistik olarak anlamlı bulunmamıştır. UV-B stresinin asma yapraklarında transkriptom düzeyinde karşılaştırıldığı çalışmalarda, yüksek UV-B uygulamasının düşük UV-B uygulamasına oranla daha geniş kapsamlı bir “savunma/çoklu stres” yanıtı, düşük UV-B uygulamasının ise daha çok aklimasyon benzeri/düzenleyici yanıtları öne çıkardığı gösterilmiştir (Pontin ve ark., 2014). Özellikle yüksek UV-B'nin oksidatif yükü artırarak (i) mevcut fenolik havuzun antioksidan amaçlı tüketilmesi, (ii) büyüme/fotosentez baskılanmasıyla karbon akışının sekonder metabolizmaya sınırlı yönlendiği veya (iii) hasar-onarım süreçlerinin baskınlaşmasıyla açıklanabilir (Qian ve Hou, 2011). Uygulamadan 24 saat sonraki ölçümlerdeki azalmaların nedeninin (i) biyosentezin henüz tepeye ulaşmaması veya (ii) geçici değişimin geri toparlanmayla dengelenmesi şeklinde olabileceğini düşünülmektedir. Nitekim UV-B sonrası gen ifadesi dalgaları erken saatlerde belirginleşip metabolit düzeyindeki net artış daha geç görülebilir. Hasat sonrası şeftalide UV-B uygulamasının fenilpropanoid/flavonoid genlerinin hızla uyarılıp fenolik sınıflardaki artışın daha sonraki saatlerde belirginleşebildiği gösterilmiştir (Santin ve ark., 2023). Dualex'in verdiği FLAV sinyali pratik bir tarama avantajı sunsa da, epidermal optik özellikler ve fenoliklerin yaprak içi dağılımı nedeniyle ekstrakte edilen toplam fenoliklerle ilişki her zaman doğrusal olmayabilir; bu durum asma yaprağında epidermal UV absorbansı ile ekstrakt fenolikleri arasındaki ilişkiyi tartışan çalışmalarda vurgulanmıştır (Kolb ve Pfündel, 2005). Dualex'in sadece epidermal fenolik bileşikleri ölçtüğü ve mezofile bileşiklerin total konsantrasyonları hakkında sınırlı bilgi

konumlanmış ve bu durum, bu özelliklerin UV-B uygulamalarından önemli düzeyde etkilenmediğini göstermektedir. 24 saat sonraki toparlanma sürecini gösteren kategoriler (Düşük UV-B 24 saat sonra ve Yüksek UV-B 24 saat sonra), kontrol grubuna doğru bir eğilim göstermiş ve bu durum, UV-B stresinin kesilmesinden sonra fizyolojik özelliklerin normale dönme eğiliminde olduğu ile ilişkilendirilebilir. Çoklu uyum analizi, Horoz Karası asma fidanlarının, UV-B stresine karşı gösterdiği dinamik yanıtın ve toparlanma kapasitesinin çok boyutlu bir perspektiften anlaşılmasına olanak sağlamıştır.

3.5 Zamana bağlı toparlanma ve adaptasyon

UV-B uygulamasından 24 saat sonra NBI ve klorofil değerlerinin kontrol seviyelerine dönmesi, Horoz Karası çeşidinin etkili bir toparlanma mekanizmasına sahip olduğunu göstermektedir. Kolb ve ark. (2001), asma yapraklarında UV-B maruziyetinden sonra Fotosistem II'nin klorofil floresans veriminin toparlandığını gözlemlemişlerdir. Bu toparlanma, bitkilerin fotosentetik aparatlarındaki hasarı onarma kapasitesini ve homeostazı yeniden kurma yeteneklerini yansıtmaktadır. Martínez-Lüscher ve ark. (2013), asmanın uzun süreli UV-B maruziyetine karşı yüksek bir adaptasyon kapasitesi gösterdiğini ve bu adaptasyonun UV-B absorbe eden bileşiklerin yüksek birikimi ile ilişkili olduğunu bildirmiştir. Çalışmada, 24 saatlik toparlanma süresi içinde fenolik bileşiklerde anlamlı bir değişim gözlenmemesi, toparlanmanın esas olarak metabolik ve fotosentetik düzenlemeler yoluyla gerçekleştiğini düşündürmektedir.

3.6 Çeşit etkisi

Horoz Karası çeşidinin Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde yetiştirilmesi, bu çeşidin yüksek güneş ışığı ve UV radyasyonuna adapte olmuş olabileceğini düşündürmektedir. Balbaba ve Bağcı (2022), Horoz Karası üzüm çeşidinin yüksek antioksidan kapasitesi ve fenolik içeriği ile karakterize olduğunu bildirmiştir. Bu genetik altyapı, çeşidin UV-B stresine karşı gösterdiği toleransı açıklayabilir.

Del-Castillo-Alonso ve ark. (2016), Akdeniz koşullarında doğal UV radyasyonuna maruz kalan Tempranillo yapraklarının UV seviyelerine oldukça adapte olduğunu ve doğal çevresel UV radyasyonunun yaprak fizyolojisi üzerinde küçük bir stres etkisi oluşturduğunu belirtmiştir.

4. Sonuç

Bu çalışma, Horoz Karası fidanlarının farklı süre ve yoğunluktaki UV-B radyasyonuna karşı gösterdiği fizyolojik yanıtları ve toparlanma dinamiklerini tahribatsız Dualex Force A teknolojisi ile ortaya koymuştur. Bulgular, kısa süreli UV-B stresinin NBI ve klorofil içeriğinde önemli artışlara neden olduğunu, ancak epidermal flavonol ve antosiyanin birikimini etkilemediğini göstermiştir. Stres sonrası 24 saatlik süreçte, NBI ve klorofil değerlerinin kontrol seviyelerine döndüğü gözlenmiş ve bu durum Horoz Karası çeşidinin etkili bir toparlanma kapasitesine sahip olduğunu ortaya koymuştur. Elde edilen sonuçlar, asmanın UV-B stresine karşı yanıtının karmaşık, dinamik ve çok faktörlü olduğunu göstermektedir. Stres süresi, yoğunluğu, çeşit özellikleri ve yaprak yaşı gibi faktörler, UV-B yanıtını belirleyen önemli değişkenlerdir. Horoz Karası çeşidinin kısa süreli UV-B stresine karşı gösterdiği tolerans, Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nin yüksek güneş ışığı koşullarına adaptasyonun bir yansıması olabilir. Bu çalışmanın sınırlamaları arasında, UV-B maruziyetinin nispeten kısa süresi, sadece yaprak parametrelerinin değerlendirilmesi ve moleküler düzeydeki mekanizmaların araştırılmaması sayılabilir. Gelecek çalışmalarda, daha uzun süreli UV-B maruziyetlerinin etkileri, gen ekspresyon analizleri, antioksidan enzim aktivitelerinin ölçümü ve farklı fenolojik evrelerdeki yanıtların karşılaştırılması önerilmektedir. Ayrıca, farklı yerel üzüm çeşitlerinin UV-B stresine karşı karşılaştırmalı çalışmalarının yapılması, iklim değişikliği koşullarında yerel bağcılık için değerli bilgiler sağlayacaktır. Sonuç olarak, bu çalışma Türkiye'nin yerel üzüm çeşitlerinden biri olan Horoz Karası'nın UV-B stres fizyolojisine ilişkin ilk verileri sunmakta ve Dualex Force A gibi tahribatsız

sensör teknolojilerinin bitki stres araştırmalarındaki potansiyelini göstermektedir. Çalışma sonuçlarının iklim değişikliği senaryolarında artan UV-B radyasyonuna karşı bağcılık stratejilerinin geliştirilmesi ve yerel çeşitlerin korunması açısından önemli bir temel oluşturacağı düşünülmektedir.

Yazarların Katkı Beyanı

Yazarlar makaleye eşit katkıda bulunduklarını, makalenin yayına hazır son halini gördüklerini/okuduklarını ve onayladıklarını beyan ederler.

Çıkar Çatışması Beyanı

Tüm yazarlar, bu çalışma için herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan etmektedir.

Finansman

Bu çalışmanın yürütülmesi sırasında herhangi bir finansal destek alınmamıştır.

Etik Kurul Onayı

Bu çalışma insan veya hayvan denekleri içermediğinden etik kurul onayı gerekmemektedir.

Kaynaklar

- Agati, G., Brunetti, C., Di Ferdinando, M., Ferrini, F., Pollastri, S., Tattini, M., 2013. Functional roles of flavonoids in photoprotection: new evidence, lessons from the past. *Plant Physiology and Biochemistry*, 72: 35-45.
- Balbaba, N., Bağcı, S., 2022. Horoz Karası üzüm çeşidinde bazı kalite parametrelerinin belirlenmesi. *Food and Health*, 8(4): 290-301.
- Beh, E.J., Lombardo, R., 2014. Correspondence analysis: Theory, practice and new strategies. West Sussex: John Wiley and Sons.
- Bendel, N., Jäger, J., Töpfer, R., Herzog, K. 2021. Climate protection based on increased humus amounts in vineyard soils: sensor-based analysis of grapevine vitality. *XI International Symposium on Grapevine*

Physiology and Biotechnology, 1390: 241-248.

- Bornman, J.F., Barnes, P.W., Robson, T.M., Robinson, S.A., Jansen, M.A., Ballaré, C.L., Flint, S.D., 2019. Linkages between stratospheric ozone, UV radiation and climate change and their implications for terrestrial ecosystems. *Photochemical and Photobiological Sciences*, 18(3): 681-716.
- Carbonell-Bejerano, P., Diago, M.P., Martínez-Abaigar, J., Martínez-Zapater, J.M., Tardaguila, J., Núñez-Olivera, E., 2014. Solar ultraviolet radiation is necessary to enhance grapevine fruit ripening transcriptional and phenolic responses. *BMC plant biology*, 14(1): 183.
- Cartelat, A., Cerovic, Z.G., Goulas, Y., Meyer, S., Lelarge, C., Prioul, J.L., Barbottin, A., Jeuffroy, M.H., Gate, P., Agati, G., Moya, I., 2005. Optically assessed contents of leaf polyphenolics and chlorophyll as indicators of nitrogen deficiency in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Field Crops Research*, 91(1): 35-49.
- Cerovic, Z. G., Ghazlen, N.B., Milhade, C., Obert, M., Debuissou, S., Moigne, M.L., 2015. Nondestructive diagnostic test for nitrogen nutrition of grapevine (*Vitis vinifera* L.) based on dual leaf-clip measurements in the field. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 63(14): 3669-3680.
- Cerovic, Z.G., Masdoumier, G., Ghazlen, N.B., Latouche, G., 2012. A new optical leaf-clip meter for simultaneous non-destructive assessment of leaf chlorophyll and epidermal flavonoids. *Physiologia plantarum*, 146(3): 251-260.
- Çelik, H. 2006. Üzüm Çeşit Kataloğu (Grape Cultivar Catalog). Sunfidan A.Ş. Mesleki Kitaplar Serisi:3, Ankara.
- Çelik, H., Uyar, Z. 1992. Serada tüplü asma fidanı üretiminde tüp büyüklüğünün fidan randımanı ve kalitesi üzerine etkileri. *Türkiye I. Ulusal Bahçe Bitkileri Kongresi*, Kongre Bildiriler Kitabı, 13-16 Ekim, İzmir, s. 467-471.

- Del-Castillo-Alonso, M.Á., Diago, M.P., Tomás-Las-Heras, R., Monforte, L., Soriano, G., Martínez-Abaigar, J., Núñez-Olivera, E., 2016. Effects of ambient solar UV radiation on grapevine leaf physiology and berry phenolic composition along one entire season under Mediterranean field conditions. *Plant Physiology and Biochemistry*, 109: 374-386.
- Diago, M.P., Rey-Carames, C., Le Moigne, M., Fadaili, E.M., Tardáguila, J., Cerovic, Z.G., 2016. Calibration of non-invasive fluorescence-based sensors for the manual and on-the-go assessment of grapevine vegetative status in the field. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 22(3): 438-449.
- Dong, R., Miao, Y., Wang, X., Chen, Z., Yuan, F., 2021. Improving maize nitrogen nutrition index prediction using leaf fluorescence sensor combined with environmental and management variables. *Field Crops Research*, 269: 108-180.
- Friedel, M., Hendgen, M., Stoll, M., Löhnertz, O. 2020. Performance of reflectance indices and of a handheld device for estimating in-field the nitrogen status of grapevine leaves. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 26(2): 110-120.
- Goulas, Y., Cerovic, Z.G., Cartelat, A., Moya, I., 2004. Dualex: a new instrument for field measurements of epidermal ultraviolet absorbance by chlorophyll fluorescence. *Applied Optics*, 43(23): 4488-4496.
- Gould, K.S., Markham, K.R., Smith, R.H., Goris, J.J., 2000. Functional role of anthocyanins in the leaves of *Quintinia serrata* A. Cunn. *Journal of experimental botany*, 51(347): 1107-1115.
- Gökçen, İ. S., Çelik, M., Keskin, N., 2025a. Effects of Different Light and Irrigation Regimes on Leaf Pigments in Rumi Grape Variety Saplings. 7. *Uluslararası Harran Bilimsel Araştırmalarda Yenilikçi Yaklaşımlar Kongresi*, 18-21 Ekim, Şanlıurfa, s. 217-226.
- Gökçen, İ.S., Çelik, M., Keskin, N., 2025b. Determination of physiological and biochemical responses to ultraviolet stress in vine rootstocks. 7. *Uluslararası Harran Bilimsel Araştırmalarda Yenilikçi Yaklaşımlar Kongresi*, Kongre Bildiriler Kitabı, 18-21 Ekim, Şanlıurfa, s. 207-216.
- Gökçen, İ.S., Keskin, N., 2025. Physiological and biochemical response to ultraviolet stress in grapevine: in vitro modeling. *Applied Fruit Science*, 67(101): 1-9.
- Greenacre, M., 2017. Correspondence analysis in practice (3rd ed.). Barcelona: Chapman and Hall Book/CRC.
- Greenacre, M., 2007. Correspondence analysis in practice (2nd ed.). New York: Chapman and Hall Book/CRC.
- Hoaglin, D.C., 2003. John W. Tukey and data analysis. *Statistical Science*: 311-318.
- Kok, D., Bal, E., 2019. Changes on bioactive compounds and electrochemical characteristics of cv. Horoz Karası table grape (*Vitis vinifera* L.) induced by various doses of preharvest applications of benzoic acid, citric acid and oxalic acid at berry setting and veraison periods. *Erwerbs-Obstbau*, 61(1): 17-24.
- Kolb, C.A., Kaser, M.A., Kopecký, J., Zotz, G., Riederer, M., Pfundel, E.E., 2001. Effects of natural intensities of visible and ultraviolet radiation on epidermal ultraviolet screening and photosynthesis in grape leaves. *Plant physiology*, 127(3): 863-875.
- Kolb, C.A., Pfundel, E.E., 2005. Origins of non-linear and dissimilar relationships between epidermal UV absorbance and UV absorbance of extracted phenolics in leaves of grapevine and barley. *Plant, Cell & Environment*, 28(5): 580-590.
- Martínez-Lüscher, J., Morales, F., Delrot, S., Sánchez-Díaz, M., Gomès, E., Aguirreolea, J., Pascual, I., 2013. Short-and long-term physiological responses of grapevine leaves to UV-B radiation. *Plant Science*, 213: 114-122.

- Martínez-Lüscher, J., Sánchez-Díaz, M., Delrot, S., Aguirreolea, J., Pascual, I., Gomes, E., 2014. Ultraviolet-B radiation and water deficit interact to alter flavonol and anthocyanin profiles in grapevine berries through transcriptomic regulation. *Plant and Cell Physiology*, 55(11): 1925-1936.
- Pontin, M.A., Piccoli, P.N., Francisco, R., Bottini, R., Martinez-Zapater, J.M., Lijavetzky, D. 2010. Transcriptome changes in grapevine (*Vitis vinifera* L.) cv. Malbec leaves induced by ultraviolet-B radiation. *BMC Plant Biology*, 10(1): 224.
- Qian, S., Hou, X., 2011. Progress of molecular mechanisms of plant UV-B physiological effects. *Plant Physiology Journal*, 47: 1039-1046.
- Santin, M., Simoni, S., Vangelisti, A., Giordani, T., Cavallini, A., Mannucci, A., Ranieri, A., Castagna, A., 2023. Transcriptomic analysis on the Peel of UV-B-exposed peach fruit reveals an Upregulation of phenolic-and UVR8-related pathways. *Plants*, 12(9): 1818.