

Farklı Dalga Boylu Led Aydınlatma Uygulamalarının Domateste Fide Kalitesi Üzerine Etkileri

Abdullah HAVAN^{1*}, Şebnem KÖKLÜ ARDIÇ², Rabia HAVAN³, Ahmet KORKMAZ⁴

^{1,2,3,4} Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü, Kahramanmaraş
¹<https://orcid.org/0009-0008-8749-0204>, ² <https://orcid.org/0000-0002-5769-2963>, ³ <https://orcid.org/0009-0008-1552-1294>,
⁴<https://orcid.org/0000-0002-3886-5953>
✉: abdullahhavan@ksu.edu.tr

ÖZET

Bu çalışma, farklı dalga boylarına sahip led lambalar kullanılarak oluşturulan aydınlatma ortamlarının domates fidelerinin kaliteleri üzerine olan etkilerinin araştırılması ve fide üreticilerinin teslimatlarında herhangi bir sebeple meydana gelebilecek gecikmeler olması durumunda fidelerde boy ve kalite kontrolünün sağlanarak üreticilerin bu sıkıntılarında bir çözüm bulmak amacıyla yürütülmüştür. Bu amaçla öncelikle iklim odasında aynı ışık yoğunluğuna sahip farklı dalga boylarında (kırmızı, mavi, yeşil, beyaz-günışığı karışımı-kontrol) led lambalar altında dikim aşamasından itibaren “Ferguson F1” domates çeşidine ait fideler 10 gün süre ile yetiştirilmiştir. Daha sonra domates fideleri, boy uzamasını baskılamada etkili olduğu belirlenen mavi ışığın farklı oranlarda (%100, %50, %25 ve %12.5) kontrol olarak kullanılan beyaz-günışığı karışımı lambalara eklenmesiyle elde edilen ışık koşullarına maruz bırakılmıştır. Son olarak da farklı oranlarda mavi ışığın uzun dönemdeki etkilerinin kalıcılığını ortaya koyabilmek amacıyla fideler tekrar beyaz-günışığı koşullarına maruz bırakılmıştır. Fide aşamasında kullanılan farklı dalga boyları arasından domates fidelerinin gelişimini baskılayan dalga boyunun mavi ışık olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, bitki gelişimini teşvik eden ve fide boyunda artışlara neden olan ışığın ise kırmızı ışık olduğu ortaya konmuştur. Farklı oranlarda mavi ışık koşulları altında yetiştirilen domates fidelerinde mavi ışık oranı azaldıkça bitki yaş ağırlığında ve bitki boyunda önemli seviyede artışlar elde edilmiştir. Farklı oranlardaki mavi ışığın fide kalitesi üzerine uzun süreli etkisine bakıldığında uygulama sonrası kontrol aydınlatma koşullarına alınan domates fidelerinin kalitesi üzerinde mavi ışığın etkisinin geçici olduğu ve fidelerde büyümenin devam ettiği görülmüştür. Bu sonuçlar fide boyunun baskılanmasında %100 mavi ışığın kullanılabileceğini ve mavi ışığın etkisinin hazır fide yetiştiriciliğinde kullanılan kimyasal maddeler gibi kalıcı olmadığını göstermiştir.

Bahçe Bitkileri

Araştırma Makalesi

Makale Tarihçesi

Geliş Tarihi : 31.05.2024

Kabul Tarihi : 30.10.2024

Anahtar Kelimeler

Lycopersicon lycopersicum

Dalga Boyu

Led Lamba

Fide Boy Kontrolü

Effects of Different Wavelength-Led Lighting Applications on Seedling Quality in Tomato

ABSTRACT

This study was conducted to investigate the effects of lighting environments created using LED lamps with different wavelengths on the quality of tomato seedlings and to find a solution to the problems of transplant producers in case of any delays in deliveries, by ensuring control over the height and quality of the seedlings. For this purpose, seedlings of the “Ferguson F1” tomato variety were first grown for 10 days under LED lamps with different wavelengths (red, blue, green, white-daylight mix-control) with the same light intensity in a climate chamber from the transplanting stage. Subsequently, the tomato seedlings were exposed to light conditions obtained by adding blue light, which was determined to be effective in suppressing stem elongation, in different proportions (100%, 50%, 25%, and 12.5%) to the white-daylight mix lamps used as control. Finally, to demonstrate the long-term effects and persistence of different proportions of blue light, the seedlings were once

Horticulture

Research Article

Article History

Received: 31.05.2024

Accepted: 30.10.2024

Keywords

Lycopersicon lycopersicum

Wavelength

LED Lamp

Seedling Height Control

again exposed to white-daylight conditions. Among the different wavelengths used during the seedling stage, blue light was determined to suppress the growth of tomato seedlings. Additionally, it was found that red light promoted plant growth and caused a significant increase in seedling height. Significant increases in plant fresh weight and plant height were also obtained in tomato seedlings grown under different blue light conditions as the proportion of blue light decreased. When the long-term effect of different proportions of blue light on seedling quality was considered, it was observed that the effect of blue light on the quality of tomato seedlings transferred to control lighting conditions after application was temporary and the growth of the seedlings continued. These results have shown that 100% blue light can be used to suppress seedling height and that the effect of blue light is not as permanent as the chemicals used in the transplant cultivation industry.

Atıf Şekli: Havan, A., Köklü-Ardıç, Ş., Havan, R & Korkmaz, A (2024). Işık Kalitesinin Domates Fidelerinin Vejetatif Gelişimine Etkileri. *KSÜ Tarım ve Doğa Derg 27*(Ek Sayı 2), 372-384. <https://doi.org/10.18016/ksutarimdog.vi.1491999>

To Cite : Havan, A., Köklü-Ardıç, Ş., Havan, R & Korkmaz, A (2024).Light Quality Effects on Vegetative Growth of Tomato Seedlings. *KSU J. Agric Nat 27*(Suppl 2), 372-384 <https://doi.org/10.18016/ksutarimdog.vi.1491999>

GİRİŞ

İnsan hayatına 1980'li yılların sonlarında girmeye başlamış olan ve aydınlatma amacıyla bitki yetiştiriciliğinde büyük avantajlar sağlayan led lambalar; 1990'lı yılların başında bitki yetiştiriciliği ile ilgili çalışmalar yapan bilim insanların merakını uyandırmış ve yetiştiricilikte özellikle aydınlatmanın yetersiz kaldığı durumlarda kullanılabilirliği araştırılmaya başlanmıştır (Bula ve ark., 1991, Bayhan & Avcı, 2019). Led lambaların bitki yetiştiriciliğinde kullanılması ile birlikte özel spektrum aralıkları geliştirilmiş; bu da bitkinin büyüme hızı, fotosentez verimliliği, biyokütle üretimi ve çiçeklenme gibi belirli özelliklerinin geliştirebilmesi ya da kontrol edilmesine olanak sağlamıştır. Böylece bitkilerde istenen özellikleri elde etmek ve bitkilerin kalitesi ile verimliliğini artırmaya yönelik ışığın kullanılabilirliği ispatlanmıştır (Ouzounis ve ark., 2015, Çağlayan & Ertekin, 2018).

Bitki yetiştiriciliğinin hemen hemen tüm aşamalarında ışığın dalga boylarının üretim amacına uygun olarak kullanılması, yetiştiriciliğin kalitesini artırmakla birlikte kontrollü bir fide üretim sistemine olanak sağlamakta ve fide kalitesini artırarak hem fide üreticisinin hem de fide alıcısının iyi sonuçlar almasını sağlamaktadır. Günümüz koşullarında ise sebze üreticileri artık üretim materyali olarak kullanılan fideleri genellikle kendisi üretmemekte bunun yerine hazır üretilmiş şekilde temin etmektedir. Bu sebeplerden dolayı hazır fide üretim sektörü son yıllarda ülkemizde büyük bir gelişme göstermiş ve sayıları 210'un üzerinde olan üretici firmalarda yılda yaklaşık 6.5 milyar sebze fidesi üretilmektedir (Yetiştir & Ellialtıoğlu, 2022). Hazır fide üreten firmalar, tohum ekim zamanını üreticiden gelen talepler doğrultusunda ayarlayarak istenilen zamanda teslimat yapmakta ve üreticilerin isteklerine

cevap vermektedir. Fakat üreticinin bazı nedenlerden dolayı yetiştiricilik yapılacak olan ortamı ya da araziye zamanında hazırlayamaması gibi durumlarda firmaların teslimat yapamamasından dolayı fideler, seralarda büyüme ve gelişmeye devam etmektedir. Büyüme ve gelişmenin devam etmesi, fide boyunun aşırı uzamasına (istenilen hazır fide formunu aşması) dolayısıyla fide kalitesinin düşmesine yol açmaktadır (Başak & Demir, 2022, Çakırer Seyrek, 2024). Bu problemi ortadan kaldırmak amacıyla fide üreticileri büyümeyi engelleyici bazı kimyasal maddeler kullanılmakta fakat bu maddelerin etkisi istenilenden daha uzun sürelerde devam edebilmekte ve fideler yetiştirme yerlerine dikildiklerinde bile büyüme ve gelişme olumsuz etkilenebilmektedir (Uslu, 2002). Şu ana kadar fidelerde boy kontrolü amacıyla daminozide, butralin, chlormequat, chlorpropham, 3 maleichydrazide ve mepiquat chloride gibi engelleyici etki gösteren giberellin sentez inhibitörleri ile gece sıcaklığını gündüz sıcaklığından yüksek tutmak gibi yöntemler kullanılmaktadır (Mohamed, 2022). Giberellin sentez inhibitörleri hem tek yıllık hem de çok yıllık bitkilerde bitki boy ve sürgün uzamasının kontrolünde etkili olmaktadır (Ergun ve ark., 2007). Ancak, bu kimyasalların etkileri uygulamadan sonra uzun süre devam edebilmektedir. Örneğin, patlıcan fideleri ile yapılan bir çalışmada paclobutrazol uygulamasının fide gelişimini gereğinden fazla baskıladığı bu yüzden tarlaya dikilen fidelerde gelişme ve büyümenin durmasının bir süre daha devam ettiği ve hasatta gecikmeye neden olduğu bildirilmiştir (Geboloğlu ve ark., 2015).

Bitkilerin yaşamsal faaliyetlerini sürdürdüğü ışık dalga boyları insan gözüne benzer bir spektrum aralığına sahiptir (Deram, 2013). Araştırmalar, fotosentez etkinliği için en önemli dalga boylarının mavi ve kırmızı dalga boylarında olduğunu göstermektedir ve fotosentetik verimliliğin optimum

olduğu zirve noktası 440 (mavi) ve 670 (kırmızı) nm'de (+/- 10 nm) bulunmaktadır (McCree, 1971). Bununla birlikte, ışığın kalitesinin bitki büyüme ve gelişmesinde etkilerinin oldukça değişken olduğu bilinmektedir. Örneğin, domates fidelerinde yapılan bir çalışmada, yetiştiricilikte kullanılan 230 ve 300 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ PPF'de mavi ışığın bitki büyümesini baskıladığı ve fide boylarının uzamasını engellendiği bulunmuştur (Kaya, 2022). Yine domates yetiştiriciliğinde sadece kırmızı ışığın kullanımının boy uzamasını ve yaprak büyümesini teşvik ettiği fakat fotosentezde rol alan enzimlerin aktivitesini düşürdüğü bildirilmiştir (Izzo ve ark., 2020). Aynı çalışmada yetiştiricilikte kullanılan mavi ışığın ise daha kısa boylu kompakt yapılı fidelerin oluşumuna neden olduğu ve fotosentetik kapasiteyi ise teşvik ettiği belirlenmiştir. Buna karşılık patlıcan fideleri üzerine yapılan bir çalışmada mavi ışığın fide boy uzamasını, yaprak gelişimini ve fotozsentetik aktiviteyi teşvik ettiğini ve kırmızı ışığın ise bu parametreleri baskıladığı belirlenmiştir (Di ve ark., 2021).

Bu çalışmada, sebze yetiştiriciliğinde üreticilerin farklı dalga boyları kullanarak bitki boy kontrolünü kimyasal madde kullanmadan sağlayabilme olanakları araştırılmıştır. Bu çalışmanın ülkemizdeki sebze fidesi üretimi ve farklı dalga boyları üzerine etkileri bakımından ileride yapılacak çalışmalar için de yardımcı olması amaçlanmıştır. Çalışma, farklı dalga boylarına sahip led lambalar kullanılarak oluşturulan ortamların domates fidelerinin kaliteleri üzerine olan etkilerinin araştırılması ve fide üretiminde teslimatının herhangi bir sebeple gecikmesi durumunda fidelerde boy ve kalite kontrolünün sağlanarak fide üreticilerinin bu sıkıntısına bir çözüm bulmak amacıyla kurgulanmıştır. Bu amaca yönelik olarak öncelikle kullanılan farklı dalga boyları arasında büyümeyi baskılayan dalga boyunun ortaya konması amaçlanmıştır. Daha sonra, büyümeyi baskılayan dalga boyundaki lambaların değişik oranlarda güneş ışığını taklit eden beyaz-gün ışığı lambalarla belirli oranda karıştırılarak elde edilen ışık koşullarında yetiştirilmesinin fidelerin büyüme ve gelişmeleri üzerine etkilerinin belirlenmesi ve böylece hazır fide yetiştiriciliğinde alternatif fide boy kontrolü yöntemi olarak kullanılabilme olanağının araştırılması hedeflenmiştir.

MATERYAL ve YÖNTEM

Materyal

Çalışma Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Ziraat Fakültesi Bahçe Bitkileri Bölümüne ait tohum ve sebze fizyolojisi laboratuvarına ait iklim odasında yürütülmüştür. Araştırmada materyal olarak Ferguson F₁ domates çeşidi (Antalya Tarım, Antalya) kullanılmıştır. Ferguson F₁ sırik domates çeşidi, kaliksi uzun ve kalın olup boğum araları kısadır.

Bahar dikimlerine uygun olan bu domates çeşidinin meyvesi hafif dilimli ve yuvarlak olup 220-240 g arası meyve ağırlığı vardır.

Yöntem

Bitkilerin yetiştirildiği iklim odasında farklı dalga boylarına sahip 100 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ışık yoğunluğunu homojen bir şekilde sağlayabilen farklı sayı ve renklerdeki led lambalar (mavi, kırmızı ve yeşil) kullanılarak homojen bir ışık sistemi kurulmuştur. Kontrol olarak da aynı ışık yoğunluğuna sahip beyaz ve gün ışığı karışımı (%50-50 oranında) led lambalar kullanılmıştır. Mavi led lambaların üretici beyanı esasına göre ışığın sahip olduğu dalga boyu 456 nm, kırmızı lambaların 665 nm, yeşil lambaların ise 510 nm'dir. Kontrol grubu olarak kullanılan beyaz led lambaların dalga boyu ise görünür spektrum (400-700 nm) aralığıdır (Çağlayan & Ertekin., 2016) ve gün ışığının spektrum aralığı ise 360-780 nm dalga boyunu kapsayan tam spektrumlu ışık olduğu bildirilmiştir (Bohar ve ark., 2017). Bitkilerin yetiştirildiği iklim odasında raflar, farklı dalga boyuna ait led lambalarla ışıklandırılmış ve ışığın yandaki ya da karşıdaki bitkilere etki etmemesi için rafların aralarına ve önlerine ışık geçirmez levhalar ve örtüler eklenmiştir.

Domates tohumları içerisinde 3:1 oranında torf ve perlit bulunduran viyollere ekilmiş ve viyoller sıcaklığı 25 °C'ye ayarlanmış iklim odasına konmuştur. Araştırmada, farklı dalga boyuna sahip led lambaların fide kalitesi üzerindeki etkilerini ortaya koymak amacıyla aşağıda belirtilen aydınlatma yöntemleri uygulanmıştır.

Fide Aşamasında Farklı Dalga Boylarındaki Işığın Fide Kalitesi Üzerine Etkisi

Fideler 3-4 yapraklı hazır fide formuna gelene (dikim aşaması) kadar kontrol uygulaması (beyaz ve gün ışığı karışımı) altında yetiştirilmiştir. Yetiştiricilik süresi boyunca 2 kez ½ oranında Hoagland çözeltisi ve 2 kez demir sülfat gübrelemesi yapılmıştır. Fideler dikim aşamasına ulaştıklarında 10 gün süreyle 100 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ışık yoğunluğuna sahip farklı dalga boylarındaki led lambalarla (%100 kırmızı, %100 mavi, %100 yeşil ve %100 kontrol) aydınlatılmış raflara taşınmışlardır. Her bir uygulama 4 kez tekrar edilmiş ve her tekerrürde 8 adet bitki yer almıştır. Belirtilen sürenin sonunda bitkiler üzerinde aşağıda belirtilen fenolojik ölçümler ve analizler yapılmıştır.

Farklı Oranlarındaki Mavi Işığın Fide Kalitesi Üzerine Etkisi

Yukarıda belirtilen araştırma sonrasında bitki boy uzamasını baskılayan dalga boyunun mavi olduğu belirlenmiştir. Kontrol uygulamasında kullanılan led lambalar (beyaz ve gün ışığı karışımı) altında yetiştirilen fideler 3-4 yapraklı aşamaya ulaştıklarında 10 gün süreyle %0 (kontrol), %12.5, %25, %50 ve %100 oranında mavi ışık eklenmiş kontrol

ışığı aydınlatma koşullarına alınmışlardır. Bütün uygulamalarda $100 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ışık yoğunluğu elde etmek için farklı sayıda led lamba kullanılmıştır. Her bir uygulama 4 kez tekrarlanmış ve her tekerrürde 8 fide yetiştirilmiştir. Sürenin sonunda bitkiler üzerinde aşağıda belirtilen fenolojik ölçümler ve analizler yapılmıştır

Farklı Oranlardaki Mavi Işığın Fide Kalitesi Üzerine Kalıcı Etkilerinin Araştırılması

Yukarıda belirtilen ışık koşullarında 10 gün süresince bırakılan fidelerin bir kısmı üzerinde aşağıda belirtilen fenolojik ölçümler alınmış ve analizler yapılmıştır. Fide kalitesindeki meydana gelen değişikliklerin kalıcı olup olmadığını ortaya koymak amacıyla daha sonra beyaz ışık-gün ışığı karışımı (kontrol) koşullarına alınarak 10 gün daha ortamda bırakılan fidelerde sürenin sonunda aşağıda belirtilen fenolojik ölçümler ve analizler yapılmıştır. Her bir uygulama 4 kez tekrarlanmış ve her tekerrürde 8 fide yetiştirilmiştir.

Uygulamalar arasındaki farkı ortaya koymak amacıyla aşağıda belirtilen ölçüm ve analizler yapılmıştır.

Fiziksel ölçümler

Fide boyu (cm): Toprak seviyesinden bitkinin büyüme ucuna kadar olan mesafe dijital kumpas aracılığıyla tekerrürdeki tüm fidelerde belirlenmiştir.

Fide gövde kalınlığı (çap, mm): Fidelerin gövde çapı toprak seviyesinde dijital kumpas aracılığıyla tekerrürdeki tüm fidelerde belirlenmiştir.

İlk gerçek yaprağa kadar olan gövde uzunluğu boyu (cm): Toprak seviyesinden ilk gerçek yaprağa kadar olan mesafe dijital kumpas aracılığıyla tekerrürdeki tüm fidelerde belirlenmiştir.

Fide yaş ağırlığı (g): Her bir fidenin (toprak üstü kısım) taze ağırlığı hassas terazide tartılarak belirlenmiştir.

Fide kuru ağırlığı (g): Fideler etüvde $72 \text{ }^\circ\text{C}$ 'de 48 saat süre ile kurutulduktan sonra ağırlıkları hassas terazi kullanılarak belirlenmiştir.

Kök yaş ağırlığı (g): Fideler toprak seviyesinden kesilmiş ve kökler akan su altına yıkandıktan sonra kurutma kâğıdı ile yüzey kurutma yapılmış ve ağırlıkları belirlenmiştir.

Kök kuru ağırlığı (g): Kökler etüvde $72 \text{ }^\circ\text{C}$ 'de 48 saat süre ile kurutulduktan sonra ağırlıkları hassas terazi kullanılarak belirlenmiştir.

Yaprak alanı: Bitkilerin yaprak alanları (petiyoller hariç) LICOR LI-3000 serisi yaprak alanı ölçer yardımı ile her bir tekerrürden rastgele seçilen 3 bitki üzerinde belirlenmiştir.

Laboratuvar analizleri

Klorofil miktarı: Bitkiler arasından (her uygulamanın her bir tekerrüründen) tesadüfen alınan 0.5 g yaprak örneği %80'lik aseton ile ekstrakt edildikten sonra

klorofil a ve klorofil b pigmentlerinin konsantrasyonları, filtre edilmiş ekstrakt solüsyonunun abosorbanslarının Optima SP-3000 Plus model spektrofotometrede 645 nm ve 663 nm 'de okunmasından sonra Gunes ve ark. (2007)'de belirtilen aşağıdaki formüle göre hesaplanmıştır.

$\text{Klorofil a (mg g}^{-1} \text{ taze ağırlık-TA)} = 11.75 \times A_{663} - 2.35 \times A_{645}$

$\text{Klorofil b (mg g}^{-1} \text{ taze ağırlık)} = 18.61 \times A_{645} - 3.96 \times A_{663}$

Malondialdehid (MDA) içeriği: Bitki dokularında serbest radikallerin oluşturduğu hasardan dolayı oluşan bir bozulma ürünü olan MDA içeriği Zhang ve ark. (2005)'de belirtilen yöntemle göre belirlenmiştir. Bunun için 0.25 g yaprak örneği (her uygulamada bulunan her bir tekerrürden) %0.1 trikloroasetik asit (TCA) ile ezilerek $6000 \text{ g}'de 5 \text{ dk}$ süre ile santrifüj edilmiştir. Elde edile süpernatanttan 1 mL alınarak içinde %20 TCA bulunan %0.5'lik tiobarbütrik asit (TBA)'den 4 mL ilave edilmiş ve sonrasında $100 \text{ }^\circ\text{C}$ 'de 30 dk kaynatıldıktan sonra buz banyosuna 5 dk süre ile konulmuştur. Sonrasında spektrofotometrede 450 , 532 ve 600 nm 'de absorban okumaları yapılmış ve MDA içeriği aşağıda belirtilen formüle göre hesaplanmıştır.

$\text{MDA (}\mu\text{mol g}^{-1} \text{ TA)} = 6.45 \times (A_{532} - A_{600}) - 0.56 \times A_{450}$

H_2O_2 (Hidrojen peroksit) içeriği: Yapraklarda stres sonucu oluşan serbest bir radikal olan H_2O_2 miktarının tayini Alexieva ve ark. (2001)'de belirtilen yöntem kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bunun için 0.25 g yaprak örneği (her uygulamada her tekerrüründen alınmış) buz üzerinde porselen havan içerisinde 3 mL %0.1'lik TCA ilave edilerek ezilmiştir. Örnekler pipet ile çekilerek, 2 mL 'lik ependorf tüplere konmuş soğutuculu santrifüjde $4 \text{ }^\circ\text{C}$ 'de 10.000 'de 10 dk santrifüj edilmiştir. Sonrasında 15 mL hacime sahip tüplere sırası ile $75 \mu\text{L}$ supernatant, $75 \mu\text{L}$ K-P tampon çözeltisi ve 1.5 mL KI (potasyum iyodür) konulmuş ve vorteks ile 30 sn karıştırıldıktan sonra spektrofotometrede 390 nm 'de okunmuştur. Kör numune oluştururken supernatant yerine saf su kullanılmış ve diğer işlemlerde aynı şekilde tekrarlanmıştır. Farklı yoğunlukta $1-1000 \text{ nmol}$ yoğunluk aralığında H_2O_2 içeren çözeltiler kullanılarak standart eğri elde edilmiş ve örneklerin H_2O_2 içeriği standart eğriden elde edilen denkleme göre $\mu\text{mol g}^{-1} \text{ TA}$ olarak hesaplanmıştır.

İstatistik Analizler

Araştırma sonucu elde edilen veriler SAS 8.1 istatistik paket programı kullanarak 4 tekerrürlü olarak tesadüf parselleri deneme desenine göre tek yönlü varyans analizine tabi tutulmuş ve uygulamalar arasındaki farklılıkların belirlenmesinde LSD (asgari önemli fark) testi kullanılmıştır.

BULGULAR ve TARTIŞMA

Farklı dalga boylarındaki ışığın domates fideleri üzerine etkileri

Çizelge 1 incelendiğinde 10 gün süreyle mavi ışığa maruz bırakılan fidelerin boylarının diğer ışık uygulamalarına kıyasla önemli seviyede daha kısa olduğu ve mavi ışığın bitki boy uzaması üzerinde engelleyici bir etkiye sahip olduğu belirlenmiştir (Şekil

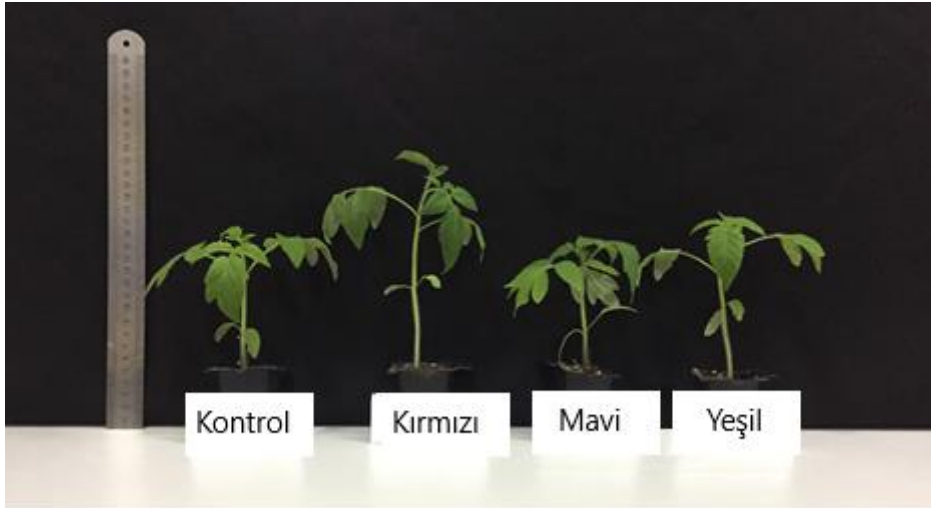
1). Farklı dalga boylarındaki led lambalar altında yetiştiricilik yapmanın gövde kalınlığı üzerine olan etkisine bakıldığında, en kalın fidelerin kırmızı ışık altında yetiştirilen fideler olduğu ve diğer tüm ışık uygulamalarındaki fidelerin önemli seviyede daha ince gövde kalınlığına sahip olduğu görülmüştür. Işık kalitesinin domates fidelerinin ilk gerçek yaprağa kadar olan uzunluğu ve yaprak sayısı üzerine önemli bir etkisinin olmadığı belirlenmiştir (Çizelge 1).

Çizelge 1. Işık kalitesinin domates fidelerinin ilk gerçek yaprak boyu, fide boyu, gövde çapı ve yaprak sayısı üzerine etkisi

Table 1. The effects of light quality on the distance to first true leaves, seedling height, stem diameter and leaf number of tomato seedlings.

| Uygulamalar | İlk gerçek yaprak boyu (cm) | Fide Boyu (cm) | Gövde çapı (mm) | Yaprak sayısı (adet) |
|---------------------|-----------------------------|---------------------------|--------------------------|----------------------|
| Kontrol | 5.79 ± 0.17 | 15.33 ^a ± 0.65 | 2.63 ^b ± 0.13 | 4.46 ± 0.14 |
| Kırmızı | 6.04 ± 0.23 | 16.14 ^a ± 0.30 | 3.12 ^a ± 0.05 | 4.62 ± 0.09 |
| Mavi | 5.35 ± 0.41 | 12.00 ^b ± 0.80 | 2.77 ^b ± 0.08 | 4.17 ± 0.10 |
| Yeşil | 5.62 ± 0.13 | 15.33 ^a ± 0.66 | 2.63 ^b ± 0.13 | 4.43 ± 0.14 |
| p değeri | 0.3341 | 0.0027 | 0.0193 | 0.1205 |
| LSD _{0.05} | - | 1.95 | 0.32 | - |

*: P<0.05 Farklı harflerle gösterilen değerler istatistiksel olarak birbirinden farklıdır.



Şekil 1. Fide aşamasında farklı dalga boyunda ışığa maruz kalan domates fideleri
Figure 1. Tomato seedlings are exposed to light of different wavelengths at the seedling stage.

Veriler incelendiğinde ışık kalitesinin bitki yaş ve kuru ağırlığını önemli seviyede etkilediği görülmüş ve en yüksek bitki yaş ve kuru ağırlığı (sırasıyla 17.14 ± 0.51 g ve 1.47 ± 0.05 g) kırmızı ışık altında yetişen fidelerde ölçülmüştür. Kırmızı ışık altında yetişen fideleri kontrol ve yeşil ışığa maruz kalan fideler takip etmiş ve mavi ışık altında yetişen fidelerin ise en düşük bitki yaş ve kuru ağırlığına (sırasıyla 10.90 ± 0.24 g ve 0.77 ± 0.04 g) sahip olduğu belirlenmiştir. Işık kalitesinin kök yaş ve kuru ağırlığı üzerine önemli bir etkisinin ise olmadığı gözlenmiştir (Çizelge 2).

Yukarıda bahsedilen sonuçlar farklı renkte led lambalar altında yetiştirilen hazır fide aşamasına ulaşmış domates fidelerinde kırmızı ışığın fide boyunun uzamasını teşvik ettiğini, buna karşılık mavi

ışığın ise fidelerin gelişimlerini ve dolayısıyla boylarını önemli seviyede baskıladığını ortaya koymuştur. Kırmızı ışığın bitki boy uzamasını ve fotosentez hızını teşvik ettiği bilinmekte ayrıca bu dalga boyunun fizyolojik aktiviteler bakımından en etkin dalga boyu olduğu ifade edilmekte ve yetiştiricilikte kırmızı ışık oranının azalmasıyla bitki boylarının büyümesinin yavaşladığı rapor edilmiştir (Tanaka ve ark., 1998, Jin ve ark., 2023). Örneğin bir çalışmada, domates, turp, soya fasulyesi ve hıyar fideleriyle 200 ve 500 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ PPFD ışık yoğunluğunda yapılan yetiştiricilikte, %100 mavi ışığın bitki boy uzamasını engellediği ve kırmızı ışığın ise bitki boy uzamasını teşvik ettiği belirlenmiştir (Snowden ve ark., 2016).

Çizelge 2. Işık kalitesinin domates fidelerinin ve köklerin yaş (YA) ve kuru ağırlığı (KA) üzerine etkileri
Table 2. The effects of light quality on the fresh and dry weight of tomato seedlings and roots.

| Uygulamalar | Fide YA (g bitki ⁻¹) | Fide KA (g bitki ⁻¹) | Kök YA (g bitki ⁻¹) | Kök KA (g bitki ⁻¹) |
|---------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|
| Kontrol | 14.62 ^b ± 0.72 | 0.92 ^b ± 0.05 | 1.94 ± 0.21 | 0.21 ± 0.03 |
| Kırmızı | 17.14 ^a ± 0.51 | 1.47 ^a ± 0.05 | 2.56 ± 0.15 | 0.22 ± 0.01 |
| Mavi | 10.90 ^c ± 0.24 | 0.77 ^c ± 0.04 | 1.99 ± 0.16 | 0.16 ± 0.01 |
| Yeşil | 14.62 ^b ± 0.72 | 0.96 ^b ± 0.05 | 1.94 ± 0.21 | 0.16 ± 0.02 |
| p değeri | 0.0001 | 0.0001 | 0.01 | 0.11 |
| LSD _{0.05} | 1.80 | 0.14 | - | - |

*: P<0.05 Aynı sütunda farklı harflerle gösterilen değerler istatistiksel olarak birbirinden farklıdır.

Diğer bir çalışmada, *Arabidopsis* fidelerinde kırmızı ışığın yaprak alanı büyümesini, biyokütleyi ve net fotosentez hızını teşvik ettiği, mavi ışığın ise karotenoid ve antosiyanin içeriğini artırdığı bildirilmiştir (Yavari ve ark., 2021). Mavi ışık fotoreseptörü cry1'in (kriptokrom) giberellin ve oksin seviyelerini baskılayarak bitkilerin boy uzamasını kısıtladığı bildirilmiştir (Cosgrove, 1994; Folta ve ark., 2003). Ayrıca, kriptokromların, hipokotil ve boy büyümesini baskılamak için biyoaktif giberellinlerin birikimini engelleyebileceği belirlenmiştir (Zhao ve ark., 2007). Yine kırmızı ışığa maruz kalan bitkilerde görülen boy uzamasının giberellin sentezinin teşvik edilmesinden (Quyang ve ark., 2015) ve mavi ışığın neden olduğu boy uzaması baskılanmasının da giberellin sentezini bloke eden genlerin teşvik edilmesinden kaynaklandığı bildirilmiştir (Matsuo ve ark., 2019). Ayrıca bu araştırma sonuçları yeşil ışığın domates fidelerinin vejetatif büyümesi üzerine olumsuz bir etkisinin olmadığını ortaya koymuştur.

Benzer şekilde Claypool ve Lieth (2020) yeşil ışığa maruz kalan biber fidelerinde büyümenin olumsuz etkilenmediği ve fidelerin boyunun kırmızı ışığa maruz kalan fidelerle aynı olduğu bildirmiştir.

Işık kalitesinin domates fidelerinin klorofil, MDA ve H₂O₂ içerikleri üzerine etkileri incelendiğinde stres parametreleri olan MDA ve H₂O₂ içeriklerinin önemli seviyede etkilendiği fakat klorofil içeriğinin ise değişmediği görülmüştür. Bitkilerin H₂O₂ içeriği kontrol grubu fidelerine (0.26 ± 0.01 µmol g⁻¹ TA) kıyasla kırmızı ve mavi ve ışık altında daha yüksek (sırasıyla 0.36 ± 0.03 µmol g⁻¹ TA ve 0.36 ± 0.02 µmol g⁻¹ TA) bulunmuştur. Yine kırmızı ışığa maruz kalan fidelerin MDA içeriğinin diğer uygulamalardaki fidelerden önemli seviyede daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Bu sonuçlar kırmızı ve mavi ışığın domates fidelerinde strese neden olduğunu ortaya koymuştur (Çizelge 3). Ayrıca, ışığın kalitesinin domates fidelerinin klorofil içeriğini etkilemediği belirlenmiştir.

Çizelge 3. Işık kalitesinin domates fidelerinin klorofil, MDA ve H₂O₂ içerikleri üzerine etkisi
Table 3. The effect of light quality on the chlorophyll, MDA, and H₂O₂ contents of tomato seedlings.

| Uygulamalar | Klorofil (mg g ⁻¹ TA) | MDA (mg g ⁻¹ TA) | H ₂ O ₂ (mg g ⁻¹ TA) |
|---------------------|-------------------------------------|--------------------------------|--|
| Kontrol | 0.094 ± 0.002 | 2.28 ^b ± 0.14 b | 0.26 ^b ± 0.01 |
| Kırmızı | 0.089 ± 0.001 | 3.32 ^a ± 0.23 a | 0.36 ^a ± 0.03 |
| Mavi | 0.086 ± 0.002 | 2.69 ^b ± 0.09 b | 0.36 ^a ± 0.02 |
| Yeşil | 0.088 ± 0.003 | 2.31 ^b ± 0.19 b | 0.31 ^{ab} ± 0.02 |
| p değeri | 0.1321 | 0.0039 | 0.0208 |
| LSD _{0.05} | - | 0.53 | 0.07 |

*: P<0.05 Aynı sütunda farklı harflerle gösterilen değerler istatistiksel olarak birbirinden farklıdır.

Bu sonuçlara göre %100 mavi ve %100 kırmızı ışık uygulamalarının fidelerde strese neden olduğu anlaşılmıştır. Araştırmalarda, tek renk ışık kaynağı olarak mavi ve kırmızı ışığın kullanılmasının bitkilerde strese neden olduğu bilinmektedir. Örneğin, ıspanak fidelerinde beyaz, mavi, kırmızı ve kırmızı-mavi ışık uygulamalarında yapılan bir çalışmada 300 µmol m⁻² s⁻¹ PPFD'de mavi, kırmızı ve kırmızı-mavi ışıklar altında bırakılan fidelerin klorofil içerikleri

beyaz ışık altında yetiştirilen fidelerden daha düşük seviyede olduğu bildirilmiştir (Ohashi-Kaneko ve ark., 2007). Yine, *Camptotheca acuminata* bitkilerinde yapılan bir çalışmada, 120 µmol m⁻² s⁻¹ PPFD'de tek renk kaynağı mavi, sarı, yeşil ve kırmızı ışığın kullanıldığı ortamlarda yetiştirilen bitkilerin MDA içeriği en yüksek mavi ışık altında bulunmuştur (Yu ve ark., 2017). Ayrıca, domates fidelerinde yapılan bir çalışmada ise 30 gün boyunca sadece kırmızı ışığa maruz kalan fidelerde klorofil içeriğinin ve yaprak

kalınlığının sadece mavi ve beyaz ışığa maruz kalanlara kıyasla önemli seviyede daha düşük olduğu dolayısıyla kırmızı ışığın fidelerde strese neden olduğu bildirilmiştir (Li ve ark., 2021).

Farklı oranlarda mavi ışığın domates fideleri üzerindeki etkileri

Veriler incelendiğinde ilk gerçek yaprağa kadar olan uzunluğun %50 mavi, %25 mavi ve %12.5 mavi ışık ile aydınlatılmış fidelerde kontrol ve %100 mavi ışığa maruz kalan fidelere kıyasla daha büyük olduğu görülmüştür. Ayrıca %100 mavi ışığa maruz kalan fidelerin (6.38 ± 0.06 cm) en kısa boya sahip olduğu ve bu fideleri sırasıyla kontrol grubu fideleri (8.01 ± 0.31 cm) ile %50 mavi (10.55 ± 0.10 cm), %25 mavi (12.36 ± 0.20 cm) ve %12.5 mavi ışık (13.62 ± 0.29 cm) ile aydınlatılmış fidelerin takip ettiği görülmüştür. Bu sonuçlar %100 mavi ışığın fide boy uzunluğu üzerinde

baskılayıcı bir etkiye sahip olduğunu, ancak kontrol grubu ışıklandırmasına eklenen mavi ışığın miktarının artmasının boy uzamasını teşvik ettiğini ortaya koymuştur (Şekil 2). Yine kontrol grubu fidelerinin en küçük gövde çap kalınlığı değerlerine sahip olduğu görülmüş buna karşılık gövde çapı en yüksek olan fideler ise %12.5 oranındaki mavi ışık ile aydınlatılmış uygulamadan elde edilmiştir. Yaprak sayısı ait verilere bakıldığında kontrol grubu ışığa değişen oranlarda eklenen mavi ışığın yaprak sayısı üzerinde etkisinin önemli olduğu görülmüş ve en yüksek yaprak sayısına mavi ışık oranının %12.5 olması durumunda ulaşıldığı belirlenmiştir. Buna karşılık yapılan ışıklandırmanın içerisinde mavi ışığın oranının değiştirilmesinin yaprak alanı üzerine bir etkisinin olmadığı ve tüm uygulamalardaki fidelerin istatistiksel açıdan benzer yaprak alanına sahip olduğu görülmüştür (Çizelge 4).

Çizelge 4. Farklı oranlardaki mavi led lambalar ile yapılan aydınlatmanın domates fidelerin vejetatif büyümesi üzerine etkileri

Table 4. The effects of lighting with different ratios of blue LED lights on the vegetative growth of tomato seedlings

| Uygulamalar | İlk gerçek yaprak boyu (cm) | Fide Boyu (cm) | Gövde çapı (mm) | Yaprak Sayısı (Adet) | Yaprak alanı (cm ²) |
|---------------------|-----------------------------|--------------------|----------------------|----------------------|---------------------------------|
| Kontrol | $5.60^b \pm 0.36$ | $8.01^d \pm 0.31$ | $2.70^c \pm 0.10$ | $2.98^b \pm 0.06$ | 65.06 ± 1.83 |
| %100 Mavi | $5.06^b \pm 0.06$ | $6.38^e \pm 0.05$ | $2.83^{bc} \pm 0.06$ | $2.92^b \pm 0.07$ | 64.87 ± 2.25 |
| %50 Mavi | $6.67^a \pm 0.30$ | $10.55^c \pm 0.10$ | $2.91^b \pm 0.05$ | $3.06^b \pm 0.06$ | 72.45 ± 5.01 |
| %25 Mavi | $7.57^a \pm 0.39$ | $12.36^b \pm 0.20$ | $2.79^{bc} \pm 0.05$ | $3.08^b \pm 0.08$ | 68.80 ± 1.63 |
| %12.5 Mavi | $7.63^a \pm 0.29$ | $13.62^a \pm 0.29$ | $3.13^a \pm 0.05$ | $3.37^a \pm 0.06$ | 69.19 ± 2.08 |
| p değeri | 0.0006 | 0.0001 | 0.0081 | 0.0072 | 0.3546 |
| LSD _{0.05} | 0.95 | 0.66 | 0.20 | 0.21 | - |

*: P<0.05 Aynı sütunda farklı harflerle gösterilen değerler istatistiksel olarak birbirinden farklıdır



Şekil 2. Farklı oranlardaki mavi ışık altında yetiştirilen domates fideleri
Figure 2. Tomato seedlings were grown under different ratios of blue light.

Ayrıca veriler incelendiğinde en yüksek yaş ağırlığa (10.04 ± 0.17 g) %12.5 oranında mavi ışık ile aydınlatılmış fidelerin sahip olduğu buna karşılık en düşük fide yaş ağırlığının (6.35 ± 0.13 g) ise %100 mavi ışık ile aydınlatılmış fidelerde elde edildiği görülmektedir. Yine benzer bir şekilde bitki kuru

ağırlık değerleri incelendiğinde en yüksek fide kuru ağırlığa kontrol ve %12.5 oranında mavi ışık ile aydınlatılmış fidelerin sahip olduğu belirlenirken en düşük kuru ağırlığın da yine %100 mavi ışık ile aydınlatılmış fidelerin sahip olduğu belirlenmiştir. Elde edilen bu sonuçlar, %100 mavi ışık altında

yapılan domates fidesi yetiştirildiğinde toprak üstü yaş ve kuru kütle birikiminin azaldığı ve %12.5 oranında kullanılan mavi ışığın ise bitki vejetatif gelişimi ve büyümeyi teşvik ettiği söylenebilir. Kök yaş ağırlık değerleri incelendiğinde %100 mavi ışık ile yapılan aydınlatmanın fide kök yaş ağırlığında ciddi

düşüşlere neden olduğu bulunmuştur. Kök kuru ağırlık değerleri en düşük %25 mavi ışık (0.08 ± 0.002 g) uygulamasında gözlenmiş ve en yüksek kök kuru ağırlığı ise %100 mavi ışık (0.18 ± 0.003 g) ile aydınlatılmış fidelerde elde edilmiştir (Çizelge 5).

Çizelge 5. Farklı oranlardaki mavi led lambalar ile yapılan aydınlatmanın domates fidelerinin toprak altı ve üstü yaş ve kuru ağırlıkları üzerine etkileri

Table 5. The effects of lighting with different ratios of blue LED lights on the above and below-ground fresh and dry weights of tomato seedlings

| Uygulamalar | Fide YA (g bitki ⁻¹) | Fide KA (g bitki ⁻¹) | Kök YA (g bitki ⁻¹) | Kök KA (g bitki ⁻¹) |
|---------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|
| Kontrol | 7.20 ^c ± 0.30 | 0.77 ^{ab} ± 0.05 | 2.40 ^a ± 0.13 | 0.13 ^{ab} ± 0.001 |
| %100 Mavi | 6.35 ^d ± 0.13 | 0.58 ^c ± 0.03 | 1.73 ^b ± 0.14 | 0.18 ^a ± 0.003 |
| %50 Mavi | 8.24 ^b ± 0.07 | 0.69 ^{bc} ± 0.01 | 2.16 ^a ± 0.14 | 0.13 ^{ab} ± 0.002 |
| %25 Mavi | 8.27 ^b ± 0.11 | 0.68 ^{bc} ± 0.06 | 2.44 ^a ± 0.18 | 0.08 ^b ± 0.002 |
| %12.5 Mavi | 10.04 ^a ± 0.17 | 0.82 ^a ± 0.02 | 2.40 ^a ± 0.08 | 0.14 ^{ab} ± 0.001 |
| p değeri | 0.0001 | 0.0086 | 0.0213 | 0.05 |
| LSD _{0.05} | 0.55 | 0.12 | 0.43 | 0.05 |

*: P<0.05 Aynı sütunda farklı harflerle gösterilen değerler istatistiksel olarak birbirinden farklıdır.

Farklı mavi ışık oranlarına maruz kalan fidelerde en yüksek klorofil içeriği kontrol grubu bitkiler ile %25 ve %12.5 oranında mavi ışık ile aydınlatılmış bitkilerde ölçülmüştür. Mavi ışık oranının artırılarak %50 seviyesine çıkarılması yaprakların klorofil içeriğinde düşüşe neden olmuş ve en düşük klorofil içeriği ise %100 mavi ışık ile aydınlatılmış fidelerde belirlenmiştir. Buna karşılık en yüksek yaprak MDA içeriği ise %100 oranında mavi ışık ile aydınlatılmış fidelerde belirlenmiş ve mavi ışık oranının azaltılması yaprak MDA içeriğinde önemli düşüşlere neden olmuştur. Benzer şekilde uygulamalar arasında en yüksek yaprak H₂O₂ içeriği %100 oranında mavi ışık ile aydınlatılmış fidelerde ölçülmüş, diğer tüm uygulamalarda yaprak H₂O₂ içeriği önemli seviyede daha düşük bulunmuştur (Çizelge 6).

Sonuçlar detaylı bir şekilde değerlendirildiğinde farklı oranlarda mavi ışık altında bırakılan domates fidelerinde mavi ışığın oranının azaltılmasıyla fide boyu arasında ters bir ilişki olduğu görülmüş ve en düşük mavi ışık oranı olan %12.5 oranında en uzun boylu fideler elde edildiği görülmüştür. Yine bu çalışmada mavi ışık oranının düşürülmesi ile domates fidelerinin yaprak klorofil içeriğinde artışlar, MDA ve H₂O₂ içeriklerinde ise düşüşler gözlemlenmiştir. Benzer şekilde, bitki aydınlatmasında azalan oranda kullanılan mavi ışığın sardunya ve petunyalarda bitki boyunun uzamasını ve klorofil içeriğini teşvik ettiği bildirilmiştir (Park ve Runkle, 2019). Mavi ışığın azaltılması yaprak alanını ve gövde uzamasını arttırdığı bunun da verimin artırılmasını teşvik edebileceği bildirilmiştir (Gent, 1995). Marul fidelerinde yapılan bir çalışmada aydınlatmada kullanılan ışık içerisindeki mavi oranının düşürülmesiyle biyokütle veriminin arttığı

belirlenmiştir (Wheeler ve ark., 1994). Son zamanlarda tek renk kaynağı üzerine yapılan çalışmalarda mavi ışığın genellikle bitki boy uzamasının ve sürgün ağırlığını baskıladığı ortaya konmuştur (Son ve Oh, 2013; Kopsell ve ark., 2015; Wollaeger ve Runkle, 2015). Bu çalışmada %12.5 mavi oranına sahip ışık ile aydınlatılmış domates fidelerinin yaprak sayısının ve fide yaş ağırlığının kontrol uygulamasındaki fidelerden daha fazla olduğu, fide kuru ağırlığının ise kontrol bitkileri seviyesinde olduğu belirlenmiştir. Hıyar fidelerinde yapılan bir çalışmada, 100 µmol m⁻² s⁻¹lik bir PPFD'de mavi ışığın oranının %75'den %10'a düşürülmesiyle birlikte, fide boyu ve yaprak alanı doğrusal olarak arttığı buna karşılık ise stoma iletkenliği ve klorofil içeriğinin ise azaldığı bildirilmiştir (Hernández ve Kubota, 2016).

Farklı Oranlarda Mavi Işığın Fide Kalitesi Üzerine Kalıcı Etkilerinin Araştırılması

Farklı oranlarda mavi ışığa maruz kaldıktan sonra gün ışığı ve beyaz ışık karışımı (kontrol) koşullarında 10 gün süreyle yetiştirilen domates fidelerine ait veriler incelendiğinde farklı oranlarda mavi ışığa maruz kalmanın etkilerinin hala sürmekte olduğu ve en kısa ilk gerçek yaprağa kadar olan uzunluğa %100 mavi (5.14 ± 0.29 cm) ile aydınlatılmış fidelerin sahip olduğu görülmüştür. Bu uygulamayı sırasıyla kontrol grubu fideleri (6.14 ± 0.19 cm) ve %50 mavi (6.94 ± 0.35 cm) ışık ile aydınlatılmış fideler takip etmiş ve ilk gerçek yaprağa kadar en uzun olan fideler ise %25 (7.99 ± 0.23 cm) ve %12.5 (8.71 ± 0.08 cm) oranında mavi ile aydınlatılmış fideler olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 6. Farklı oranlardaki mavi led lambalar ile yetiştirilen fidelerinin klorofil, MDA ve H₂O₂ içeriklerine etkisi
Table 6. The effect of different ratios of blue LED lights on the chlorophyll, MDA, and H₂O₂ contents of the seedlings

| Uygulamalar | Klorofil (mg g ⁻¹ TA) | MDA (mg g ⁻¹ TA) | H ₂ O ₂ (mg g ⁻¹ TA) |
|---------------------|-------------------------------------|--------------------------------|--|
| Kontrol | 0.078 ^a ± 0.004 | 1.40 ^b ± 0.27 | 0.53 ^b ± 0.01 |
| %100 Mavi | 0.057 ^c ± 0.001 | 2.26 ^a ± 0.34 | 0.80 ^a ± 0.02 |
| %50 Mavi | 0.067 ^b ± 0.004 | 2.10 ^{ab} ± 0.15 | 0.59 ^b ± 0.04 |
| %25 Mavi | 0.072 ^{ab} ± 0.002 | 1.99 ^{ab} ± 0.19 | 0.54 ^b ± 0.01 |
| %12.5 Mavi | 0.074 ^{ab} ± 0.001 | 1.44 ^b ± 0.20 | 0.54 ^b ± 0.01 |
| p değeri | 0.0025 | 0.05 | 0.0001 |
| LSD _{0.05} | 0.009 | 0.75 | 0.07 |

*: P<0.05 Aynı sütunda farklı harflerle gösterilen değerler istatistiksel olarak birbirinden farklıdır.

Benzer şekilde fide boyu dikkate alındığında en kısa boylu fidelerin %100 mavi (8.04 ± 0.40 cm) ile aydınlatılan fideler olduğu belirlenmiş en uzun boylu fidelerin ise %12.5 oranında mavi (16.12 ± 0.70 cm) ışık ile aydınlatılmış fidelerin olduğu görülmüştür (Şekil 3). Fidelerin gövde kalınlıkları dikkate alındığında %100 mavi ile aydınlatılmış fidelerin (2.73 ± 0.09 cm) diğer tüm uygulamalara kıyasla daha ince oldukları belirlenmiştir. Farklı oranlarda mavi ışık ile yapılan aydınlatmanın yaprak alanı üzerine önemli bir

etkisinin olduğu gözlemlenmiş fakat yaprak sayısı üzerinde etkisinin ise önemsiz olduğu bulunmuştur. Uygulamalar arasında en yüksek yaprak alanına %25 mavi, %50 mavi ve %12.5 mavi ışık (sırasıyla 90.75 ± 2.79 cm², 79.87 ± 2.22 cm² ve 85.69 ± 0.85 cm²) ile aydınlatılmış fidelerin sahip olduğu görülmüş bu değerleri kontrol grubu takip etmiş ve en düşük yaprak alanı ise %100 mavi ışığa (54.80 ± 0.85 cm²) maruz kalan fidelerde belirlenmiştir (Çizelge 7).



Şekil 3. Farklı oranlardaki mavi led lambalar ile yapılan aydınlatma sonrası kontrol ışığı koşullarında yetiştirilen domates fideleri

Figure 3. Tomato seedlings grown under controlled light conditions after exposure to different ratios of blue LED lights

En yüksek fide yaş ağırlığına %12.5 mavi ve %25 mavi ışık (sırasıyla 11.98 ± 0.26 g ve 10.91 ± 0.44 g) ile aydınlatılmış fidelerin sahip olduğu bulunmuş ve bu değerleri sırasıyla %50 mavi ile kontrol ışıklandırmasına maruz kalan fideler takip etmiştir. Fide yaş ağırlığında en düşük değer ise %100 mavi ışığa maruz kalmış (6.47 ± 0.22 g) fidelerde ölçülmüştür. En düşük fide kuru ağırlığı %100 mavi ışık (0.69 ± 0.08 g) uygulaması altında bırakılan fidelerden elde edilmiş ve diğer tüm uygulamalardaki fideler daha yüksek kuru ağırlığa sahip olmuşlardır. Ayrıca, en yüksek kök yaş ağırlığı %12.5 mavi ışık (5.48 ± 0.34 g) altında yetişen fidelerde görülürken bu

fideleri kontrol, %25 ve %50 mavi ışık altında bırakılan fideler takip etmiş ve en düşük kök yaş ağırlığı ise %100 mavi (2.37 ± 0.12 g) ışığa maruz kalan fidelerde ölçülmüştür. Kök kuru ağırlığında ise yine benzer bir eğilimin olduğu ortaya çıkmış ve %100 mavi ışık ile aydınlatılmış fideler en düşük kök kuru ağırlığına sahip olurken %12.5 ve %25 mavi ışık ile kontrol grubu aydınlatmasına maruz kalan fidelerde en yüksek değerler elde edilmiştir (Çizelge 8).

Farklı oranlarda mavi ışık ile yapılan aydınlatmanın domates fidelerinin klorofil içeriği üzerine etkisi önemli bulunmuş ve en yüksek klorofil içeriği (0.085 ± 0.001 µmol g⁻¹ TA) %12.5 mavi ışık ile aydınlatılmış

fidelerde gözlenmiş olup bu grubu sırasıyla kontrol ($0.078 \pm 0.001 \mu\text{mol g}^{-1} \text{TA}$), %25 mavi ışık ($0.070 \pm 0.0008 \mu\text{mol g}^{-1} \text{TA}$) ve %50 mavi ışık ($0.067 \pm 0.001 \mu\text{mol g}^{-1} \text{TA}$) uygulaması takip etmiştir. En düşük yaprak klorofil içeriği ise ($0.063 \pm 0.001 \mu\text{mol g}^{-1} \text{TA}$) %100 mavi ışık altında yetiştirilen domates fidelerinde

saptanmıştır. Farklı oranlarda mavi ışığa maruz kaldıktan sonra 10 gün süreyle günışığı koşullarında yapılan yetiştiriciliğin yaprak MDA ve H_2O_2 içerikleri üzerine etkileri ise istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur (Çizelge 9).

Çizelge 7. Farklı oranlardaki mavi led uygulaması sonrası kontrol ışığı koşullarında yetiştirilen fidelerin ilk gerçek yaprak uzunluğu, fide boyu, gövde çapı, yaprak sayısı ve yaprak alanı

Table 7. Distance to first true leaf, seedling height, stem diameter, leaf number, and leaf area of seedlings grown under control light conditions after blue LED light application

| Uygulamalar | İlk gerçek yaprak boyu (cm) | Fide Boyu (cm) | Gövde çapı (mm) | Yaprak sayısı (adet) | Yaprak alanı (cm ²) |
|---------------------|-----------------------------|--------------------|-------------------|----------------------|---------------------------------|
| Kontrol | $6.14^c \pm 0.19$ | $9.98^d \pm 0.19$ | $3.08^a \pm 0.05$ | 3.48 ± 0.07 | $72.33^b \pm 9.24$ |
| %100 Mavi | $5.14^d \pm 0.29$ | $8.04^e \pm 0.40$ | $2.73^b \pm 0.09$ | 3.42 ± 0.04 | $54.80^c \pm 0.85$ |
| %50 Mavi | $6.94^b \pm 0.35$ | $12.57^c \pm 0.14$ | $3.03^a \pm 0.03$ | 3.35 ± 0.04 | $79.87^{ba} \pm 2.22$ |
| %25 Mavi | $7.99^a \pm 0.23$ | $14.11^b \pm 0.21$ | $3.21^a \pm 0.01$ | 3.40 ± 0.15 | $90.75^a \pm 2.79$ |
| %12.5 Mavi | $8.71^a \pm 0.08$ | $16.12^a \pm 0.70$ | $3.14^a \pm 0.03$ | 3.40 ± 0.14 | $85.69^{ba} \pm 0.85$ |
| p değeri | 0.0001 | 0.0001 | 0.0056 | 0.9345 | 0.0017 |
| LSD _{0.05} | 0.77 | 1.21 | 0.21 | - | 14.06 |

*: P<0.05 Aynı sütunda farklı harflerle gösterilen değerler istatistiksel olarak birbirinden farklıdır

Çizelge 8. Farklı oranlardaki mavi led uygulaması sonrası kontrol ışığı koşullarında yetiştirilen fidelerin toprak altı ve üstü yaş ve kuru ağırlık değerleri

Table 8. The above and below ground fresh and dry weight values of seedlings grown under controlled light conditions after blue LED light exposure

| Uygulamalar | Fide YA (g bitki ⁻¹) | Fide KA (g bitki ⁻¹) | Kök YA (g bitki ⁻¹) | Kök KA (g bitki ⁻¹) |
|---------------------|----------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| Kontrol | $9.41^c \pm 0.61$ | $1.17^a \pm 0.14$ | $3.57^b \pm 0.39$ | $0.27^{ba} \pm 0.03$ |
| %100 Mavi | $6.47^d \pm 0.22$ | $0.69^b \pm 0.08$ | $2.37^c \pm 0.12$ | $0.15^c \pm 0.00$ |
| %50 Mavi | $9.90^{bc} \pm 0.24$ | $1.13^a \pm 0.05$ | $3.26^b \pm 0.18$ | $0.23^b \pm 0.01$ |
| %25 Mavi | $10.91^{ba} \pm 0.44$ | $1.13^a \pm 0.05$ | $3.70^b \pm 0.10$ | $0.26^{ba} \pm 0.03$ |
| %12.5 Mavi | $11.98^a \pm 0.26$ | $1.37^{a\pm} 0.04$ | $5.48^a \pm 0.34$ | $0.34^a \pm 0.01$ |
| p değeri | 0.0001 | 0.0020 | 0.0001 | 0.0028 |
| LSD _{0.05} | 1.21 | 0.25 | 0.81 | 0.07 |

*: P<0.05 Aynı sütunda farklı harflerle gösterilen değerler istatistiksel olarak birbirinden farklıdır.

Çizelge 9. Farklı oranlardaki mavi led uygulaması sonrası kontrol ışığı koşullarında yetiştirilen fidelerin klorofil, MDA ve H_2O_2 içerikleri

Table 9. The chlorophyll, MDA, and H_2O_2 contents of seedlings grown under controlled light conditions after blue LED light exposure

| Uygulamalar | Klorofil (mg g ⁻¹ TA) | MDA (mg g ⁻¹ TA) | H_2O_2 (mg g ⁻¹ TA) |
|-------------|----------------------------------|-----------------------------|--|
| Kontrol | $0.078^b \pm 0.001$ | 2.45 ± 0.50 | 0.66 ± 0.01 |
| %100 Mavi | $0.063^e \pm 0.001$ | 3.42 ± 0.11 | 0.79 ± 0.09 |
| %50 Mavi | $0.067^d \pm 0.001$ | 3.29 ± 0.68 | 0.75 ± 0.03 |
| %25 Mavi | $0.070^c \pm 0.001$ | 3.10 ± 0.46 | 0.71 ± 0.02 |
| %12.5 Mavi | $0.085^a \pm 0.001$ | 2.56 ± 0.30 | 0.68 ± 0.01 |
| p değeri | 0.0001 | 0.4885 | 0.2721 |

*: P<0.05 Aynı sütunda farklı harflerle gösterilen değerler istatistiksel olarak birbirinden farklıdır.

Elde edilen sonuçlar domates fidelerinde mavi ışık oranına göre değişmekle birlikte fide boyu ve ilk gerçek

yaprağa kadar olan uzunluk açısından uygulamalar arasındaki farklılıkların korunduğu ama tüm

uygulamalardaki fidelerin gelişerek boylarının arttığı gözlemlenmiştir. Bu sonuçlar mavi ışığın fide boyu üzerindeki baskılayıcı etkisinin kalıcı olmadığı ve fideler kontrol (beyaz ve günışığı karışımı) ışığı koşullarına alındığında büyümelerinin normal şekilde devam ettiğini göstermiştir. Literatürde giberellin biyosentez inhibitörü çeşitli kimyasal maddelerin kullanılması sonucu fidelerde boy kontrolünün sağlandığı fakat çoğu zaman kullanılan kimyasalın dozunun yüksek olması halinde fidelerin arazi koşullarına aktarılmaları sonrası hala büyümelerinin duraksadığı ve çiçeklenmenin geciktiği hatta ürünün de olumsuz etkilendiği bildirilmiştir (Kofidis ve ark., 2008; Özbay ve Ergun, 2015). Bu nedenle tek renk kaynağı olarak mavi ışık kullanılmasının domates fidelerinin boylarının baskılanmasında kullanılabilceği ve elde edilen etkinin ise fidelerin normal aydınlatma koşullarına döndüklerinde kalıcı olmadığını belirlenmesi fide üreticileri açısından kullanılabilcek bir yöntem olarak görülmektedir.

SONUÇ ve ÖNERİLER

Bu çalışmada farklı dalga boyunda ışınım yapan led lambalar altında yapılan yetiştiricilik sonucunda tek renk ışık kaynağı olarak mavi dalga boyunun kullanılmasının fidelerin boy uzamasını ve fide ağırlığını büyük oranda baskıladı ve dolayısıyla vejetatif büyümeyi sınırladığı görülmüştür. Buna karşılık, kırmızı ışık altında yetiştirilen fidelerin boylarının ve gövde çap kalınlıklarının arttığı ve dolayısıyla mavi ışığın aksine fide yaş ağırlığını arttığı belirlenmiştir. Ayrıca mavi ve kırmızı ışık altında yapılan yetiştiriciliğin bitkilerde MDA ve H₂O₂ içeriklerini yükselttiği dolayısıyla strese neden olduğu belirlenmiştir.

Yine hazır fide formuna gelmiş fideler farklı oranlardaki mavi ışık altında yetiştirildiğinde %100 mavi ışığın fidelerin boy uzamasını engellediği ve mevcut ışık yoğunluğu içerisindeki mavi ışık oranının azaltılmasıyla doğru orantılı olarak fide boy uzamasının teşvik edildiği belirlenmiştir. Kontrol uygulamasını oluşturan beyaz-günışığı karışımına en düşük oranda (%12.5) eklenen mavi ışık, beklenen aksine domates fidelerinin boylarının ve ağırlıklarının önemli seviyede artmasına neden olmuştur. Böylece araştırmanın amaçlarından biri olan doğal aydınlatmaya ya da güneş ışığına ilave olarak fide boy gelişimini baskılayan renkteki (mavi) led lambaların karıştırılmasının fide boy kontrolü amacına yönelik pratikte kullanılmasının mümkün olmayacağı belirlenmiştir. Ancak, mavi ışık uygulamalarından sonra fidelerin beyaz ve günışığı karışımından oluşan kontrol koşullarına transfer edilmesiyle mavi ışığın neden olduğu büyümedeki gerilemenin kalıcı olmadığı, dolayısıyla fidelerin boylarının uzamaya devam ettiği belirlenmiştir. Sonuç olarak, domates fidelerinde etkileri kalıcı olmayan ışık dalga boyunun mavi olduğu

ve %100 mavi ışığın fidelerde boy uzamasını baskılayıcı bir uygulama olarak kullanılabilceği belirlenmiştir. Ancak, mavi ışığın sebep olduğu vejetatif büyüme üzerindeki baskılayıcı etkilerinin giberellin sentezinin geçici olarak engellenmesi olduğu düşünüldüğü için bu konunun detaylı bir şekilde araştırılmasının gerekli olduğu düşünülmektedir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma Abdullah HAVAN'ın Yüksek Lisans Tez çalışmasının bulgularını içermektedir. Bu çalışmayı 2019/4-2 YLS numaralı projeye destekleyen Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimine teşekkür ederim.

Çıkar Çatışması Beyanı

Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

KAYNAKLAR

- Alexieva, V., Sergiev, I., Mapelli, S., & Karanov, E. (2001). The effect of drought and ultraviolet radiation on growth and stress markers in peas and wheat. *Plant, Cell & Environment*, 24(12), 1337-1344.
- Başak, H., & Demir, K., (2022). Sebze Fidelerinde Büyüme Ve Gelişimin Kontrolü. *Sebzelerde Fide Yetiştiriciliği-2* (Pp.625-651), Ankara: Gece Kitaplığı.
- Bayhan, Y., & Zafer, A. V. C. I. (2019). Örtü altı sebze yetiştiriciliğinde LED aydınlatma sistemlerinin bitki gelişimine ve verimine etkisinin belirlenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (17), 86-95. <https://doi.org/10.31590/ejosat.615444>
- Bohar, J., Fernandes, G. E., & Xu, J. (2017). Spectral-temporal LED lighting modules for reproducing daily and seasonal solar circadian rhythmicities. In *2017 IEEE International Conference on Smart Computing (SMARTCOMP)* (pp. 1-6). IEEE.
- Bula, R.J., Morrow, R.C., Tibbitts, T.W., Barta, D.J., Ignatius, R.W., & Martin, T.S. (1991). Light-emitting diodes as a radiation source for plants. *HortScience*, 26(2), 203-205.
- Çağlayan, N., & Ertekin, C. (2018). Farklı dalga boylu LED ışıklarının yeşil yapraklı bitkilerin gelişimi üzerindeki etkileri. *Tarım Makinaları Bilimi Dergisi*, 14(2), 105-114.
- Claypool, Nicholas & Lieth, JH. (2020). Physiological responses of pepper seedlings to various ratios of blue, green, and red light using LED lamps. *Scientia Horticulturae*. 268. 109371. [10.1016/j.scienta.2020.109371](https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109371).
- Cosgrove, D.J. (1994). *Photomodulation of growth. In: Photomorphogenesis in Plants*. Springer, Dordrecht. s.631- 658.
- Çağlayan, N., & Ertekin, C. (2016). Sebze Üretiminde

- İlave LED Aydınlatma Uygulamaları. *Tarım Makinaları Bilimi Dergisi*, 12(1), 27-35.
- Çakırer Seyrek, G. (2024). *Domates (Lycopersicon esculentum L.) fidelerinin muhafazasında farklı dalga boylu led aydınlatma uygulamalarının fide kalite parametreleri üzerine etkileri (tez no 864155)*. [Doktora tezi. Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bahçe Bitkileri Anabilim Dalı]. Yüksek Öğretim Kurulu Tez Merkezi.
- Deram, P. (2013). *Light-emitting-diode (led) lighting for greenhouse tomato production*. Yüksek Lisans Tezi. McGill University. Montreal, Quebec.
- Di, Q., Li, J., Du, Y., Wei, M., Shi, Q., Li, Y., & Yang, F. (2021). The combination of red and blue lights improved the growth and development of eggplant (*Solanum melongena* L.) seedlings by regulating photosynthesis. *Journal of Plant Growth Regulation*, 40, 1477-1492.
- Ergun, N., Çağlar, G., Özbay, N., & Ergun, M. (2007). Hıyar fide kalitesi ve bitki gelişimi üzerine prohexadione-calcium uygulamalarının etkileri. *Bahçe*, 36(1), 49-60.
- Folta, K.M., Pontin, M.A., Karlin- Neumann, G., Bottini, R., & Spalding, E.P. (2003). Genomic and physiological studies of early cryptochrome 1 action demonstrate roles for auxin and gibberellin in the control of hypocotyl growth by blue light. *The Plant Journal*, 36(2), 203-214.
- Geboloğlu, N., Durukan, A., Sağlam, N., Doksöz, S., Şahin, S. & Yılmaz, E. (2015). Patlıcanda fide gelişimi ve fide Kalitesi ile paclobutrazol uygulamaları arasındaki ilişkiler. *Tarım Bilimleri Araştırma Dergisi*, 8 (1), 62-66.
- Gent, M.P.N. (1995). Canopy light interception, gas exchange, and biomass in reduced height isolines of winter wheat. *Crop Science*, 35, 1636-1642.
- Gunes, A., Inal, A., Bağcı, E.G., Coban, S., & Pilbeam, D.J. (2007). Silicon mediates changes to some physiological and enzymatic parameters symptomatic for oxidative stress in spinach (*Spinacia oleracea* L.) grown under B toxicity. *Scientia Horticulturae*, 113(2), 113-119. <https://doi.org/10.1007/s11104-006-9137-9>
- Hernández, R., & Kubota, C. (2016). Physiological responses of cucumber seedlings under different blue and red photon flux ratios using leds. *Environmental and Experimental Botany*, 121, 66-74. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2015.04.001>
- Izzo, L. G., Mele, B. H., Vitale, L., Vitale, E., & Arena, C. (2020). The role of monochromatic red and blue light in tomato early photomorphogenesis and photosynthetic traits. *Environmental and Experimental Botany*, 179, 104195.
- Jin, D., Su, X., Li, Y., Shi, M., Yang, B., Wan, W., & Zou, J. (2023). Effect of red and blue light on cucumber seedlings grown in a plant factory. *Horticulturae*, 9(2), 124. <https://doi.org/10.3390/horticulturae9020124>
- Kaya, T. (2022). *Farklı Dalga Boylu led Aydınlatma Uygulamalarının Domates (Lycopersicon esculentum L) Fidelerinin gelişimi Kalite Özellikleri ve Mineral Element İçeriklerine Etkileri (Tez no 761650)*. [Doktora tezi. Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bahçe Bitkileri Anabilim Dalı]. Yüksek Öğretim Kurulu Tez Merkezi.
- Kofidis, G., Giannakoula, A., & Ilias, I.F. (2008). Growth, anatomy and chlorophyll fluorescence of coriander plants (*Coriandrum sativum* L.) treated with prohexadione-calcium and daminozide. *Acta Biologica Cracoviensia Series Botanica*, 50(2), 55-62.
- Kopsell, D.A., Sams, C.E., & Morrow, R.C. (2015). Blue wavelengths from LED lighting increase nutritionally important metabolites in specialty crops. *HortScience*, 50(9), 1285-1288. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.50.9.1285>
- Matsuo, S., Nanya, K., Imanishi, S., Honda, I., & Goto, E. (2019). Effects of blue and red lights on gibberellin metabolism in tomato seedlings. *The Horticulture Journal*, 88(1), 76-82.
- McCree, K.J. (1971). The action spectrum, absorptance and quantum yield of photosynthesis in crop plants. *Agricultural Meteorology*, 9, 191-216. [https://doi.org/10.1016/0002-1571\(71\)90022-7](https://doi.org/10.1016/0002-1571(71)90022-7)
- Mohamed, O. A. (2022). *Tüplü domates fidesi yetiştiriciliğinde farklı bakırlı fungusit uygulamalarının boy kontrolü ve kalite üzerine etkileri (Tez no 717310)*. [Doktora Tezi, Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bahçe Bitkileri Ana Bilim Dalı]. Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi.
- Ohashi-Kaneko, K., Takase, M., Kon, N., Fujiwara, K., & Kurata, K. (2007). Effect of light quality on growth and vegetable quality in leaf lettuce, spinach and komatsuna. *Environmental Control in Biology*, 45(3), 189-198. <https://doi.org/10.2525/ecb.45.189>
- Ouzounis, T., B. Razi Parjikolaei, X. Fretté, E. Rosenqvist, & C. O. Ottosen, (2015). Predawn and high intensity application of supplemental blue light decreases the quantum yield of PSII and enhances the amount of phenolic acids, flavonoids, and pigments in *Lactuca sativa*. *Frontiers in Plant Science* 6:19. <https://doi.org/10.3389/fpls.2015.00019>
- Özbay, N., & Ergun, N. (2015). Prohexadione calcium on the growth and quality of eggplant seedlings. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 50(10), 932-938. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X 201500100009>
- Park, Y. & Runkle, E.S. (2019). Blue radiation attenuates the effects of the red to far-red ratio on extension growth but not on flowering. *Environmental and Experimental Botany*, 168, 103871.

- <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2019.103871>
- Quyang F, Mao JF, Wang J, Zhang S, & Li Y (2015). Transcriptome analysis reveals that red and blue light regulate growth and phytohormone metabolism in Norway spruce [*Picea abies* (L.) Karst.]. *PLoS ONE* 10(8):83–85.
- Snowden, M.C., Cope, K.R., & Bugbee, B. (2016). Sensitivity of seven diverse species to blue and green light: interactions with photon flux. *PLoS One*, 11 (10), e0163121. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0163121>
- Son, K.H. & Oh, M.M. (2013). Leaf shape, growth, and antioxidant phenolic compounds of two lettuce cultivars grown under various combinations of blue and red light-emitting diodes. *HortScience*, 48(8), 988-995. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.48.8.988>
- Tanaka, M., Takamura, T., Watanabe, H., Endo, M., Yanagi, T., & Okamoto, K. (1998). In vitro growth of Cymbidium plantlets cultured under superbright red and blue light-emitting diodes (LEDs). *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 73(1), 39-44. <https://doi.org/10.1080/14620316.1998.11510941>
- Uslu, A. (2002). *Aşılı hıyar fidesi yetiştiriciliğinde, farklı aşı yöntemlerinin karşılaştırılması üzerine bir araştırma*(Tez no 128465). [Yüksek Lisans Tezi. Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Bahçe Bitkileri Ana Bilim Dalı]. Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi.
- Wheeler, R.M., Mackowiak, C.L., Sager, J.C., Yorio, N.C., & Knott, W.M. (1994). Growth and gas exchange by lettuce stands in a closed, controlled environment. *The Journal of the American Society for Horticultural Science* 119, 610–615.
- Wollaeger, H.M. & Runkle, E.S. (2015). Growth and acclimation of impatiens, salvia, petunia, and tomato seedlings to blue and red light. *HortScience* 50 (4), 522–529. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.50.4.522>
- Yavari, N., Tripathi, R., Wu, BS, MacPherson, S., Singh, J., & Lefsrud, M. (2021). The effect of light quality on plant physiology, photosynthetic, and stress response in *Arabidopsis thaliana* leaves. *PLoS Bir One* . 16(3), e0247380. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0247380>
- Yetişir, H. & Ellialtıoğlu, Ş. (2022). *Sebzelerde Fide Yetiştiriciliği - 2. Gece Kitaplığı*, Ankara
- Yu, W., Liu, Y., Song, L., Jacobs, D. F., Du, X., Ying, Y., & Wu, J. (2017). Effect of differential light quality on morphology, photosynthesis, and antioxidant enzyme activity in *Camptotheca acuminata* seedlings. *Journal of Plant Growth Regulation*, 36, 148-160. <https://doi.org/10.1007/s00344-016-9625-y>
- Zhang, H.Y., Jiang, Y.N., He, Z.Y., & Ma, M. (2005). Cadmium accumulation and oxidative burst in garlic (*Allium sativum*). *Journal of Plant Physiology*, 162, 977-984. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2004.10.001>
- Zhao, X., Yu, X., Foo, E., Symons, G.M., Lopez, J., Bendehakkalu, K.T., Xiang, J., Weller, J.L., Liu, X., Reid, J.B., & Lin, C. (2007). A study of gibberellin homeostasis and cryptochrome-mediated blue light inhibition of hypocotyl elongation. *Plant Physiology*, 145(1), 106–118. <https://doi.org/10.1104/pp.107.099838>