







Ek Beyaz LED Aydınlatma Uygulamalarının Biber Fidelerinin Kalite Özellikleri Üzerine Etkisi

Effect of Supplementary White LED Lighting Applications on Quality Characteristics of Pepper Seedlings

Yüksel Atakan Bal¹ , Aslıhan Çilingir Tütüncü² , Harun Özer³ , Aysun Pekşen⁴ 

Geliş Tarihi (Received): 23.09.2024

Kabul Tarihi (Accepted): 11.11.2024

Yayın Tarihi (Published): 24.12.2024

Öz: Çalışmanın amacı, gün içerisinde ışık şiddeti $100 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 'nin altına düştüğünde, gün doğumundan gün batımına kadar gün boyu doğal gün ışığına ve gün doğumundan önce 3 saat ve gün batımından sonra 3 saat (fotoperiyodun uzatıldığı) olmak üzere yapılan beyaz LED ek aydınlatma uygulamalarının biber fide kalitesi üzerine etkilerini belirlemektir. Ek aydınlatma uygulamaları, kontrol (hiçbir ek aydınlatmanın yapılmadığı doğal gün ışığı koşulları) uygulaması ile karşılaştırılmıştır. Çalışma, 2024 Mart ayında cam serada yürütülmüştür. Fide kalitesini belirlemek amacıyla fide boyu, gövde çapı, kök uzunluğu, gövde, kök ve toplam fide kuru ağırlıkları, yaprak alanı, yaprak klorofil içeriği ve stoma iletkenlik değerleri ölçülmüştür. Beyaz LED ek aydınlatma uygulamalarının kök uzunluğu, toplam fide kuru ağırlığı, gövde çapı, yaprak alanı, yaprak klorofil içeriği ve stoma iletkenlik değerleri kontrole göre istatistiksel olarak önemli düzeyde ($p < 0.05$) yüksek bulunmuştur. Stoma iletkenliği ve yaprak klorofil içeriği haricinde çalışmada incelenen özellikler bakımından en yüksek değerler gün içerisinde ışık şiddeti $100 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 'nin altına düştüğünde yapılan ek ışık uygulamasından elde edilmiştir. Çalışmada, fotoperiyodun uzatılması yaprak klorofil içeriği ve stoma iletkenliğini artırırken, en kısa boylu bitkiler (5.95 cm) de bu uygulamadan elde edilmiştir. Gün içerisinde ışık şiddeti $100 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ altına düştüğünde yapılan beyaz LED ek aydınlatma uygulamasının biber fide kalitesini önemli ölçüde artırdığı belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Aydınlatma, biber, biyomas, fide, ışık yoğunluğu, kalite

&

Abstract: The aim of the study was to determine the effects of supplementary white LED lighting applications on pepper seedling quality when the light intensity falls below $100 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ during the day, compared to natural daylight throughout the day from sunrise to sunset, and from 3 hours before sunrise to 3 hours after sunset (extending the photoperiod). Supplementary lighting applications were compared with the control (daylight conditions without supplementary lighting). The study was carried out in a glass greenhouse in March 2024. To determine the seedling quality, seedling height, stem diameter, root length, stem, root and total seedling dry weights, leaf area, leaf chlorophyll content and stomatal conductance values were measured. Root length, total seedling dry weight, stem diameter, leaf area, leaf chlorophyll content and stomatal conductance values of different supplementary white LED lighting applications were statistically significantly ($p < 0.05$) higher compared to the control. The highest values for the traits examined in the study, except for stomatal conductance and leaf chlorophyll content, were obtained from the supplementary light application when the light intensity fell below $100 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ during the day. In the study, while the photoperiod extension increased the leaf chlorophyll content and stomatal conductance, the shortest plants (5.95 cm) were also obtained from this application. It was determined that the supplementary white LED lighting application significantly increased the pepper seedling quality when the light intensity fell below $100 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ during the day.

Keywords: Lighting, pepper, biomass, seedling, light intensity, quality

Atıf/Cite as: Bal, Y. A., Tütüncü, A. Ç., Özer, H., & Pekşen, A. (2024). Ek beyaz led aydınlatma uygulamalarının biber fidelerinin kalite özellikleri üzerine etkisi. Uluslararası Tarım ve Yaban Hayatı Bilimleri Dergisi, 10(3), 322-332. doi: 10.24180/ijaws.1554806

İntihal-Plagiarizm/Etik-Ethic: Bu makale, en az iki hakem tarafından incelenmiş ve intihal içermediği, araştırma ve yayın etiğine uyulduğu teyit edilmiştir. / This article has been reviewed by at least two referees and it has been confirmed that it is plagiarism-free and complies with research and publication ethics. <https://dergipark.org.tr/pub/ijaws>

Copyright © Published by Bolu Abant İzzet Baysal University, Since 2015 – Bolu

¹ Yüksek Lisans Öğrencisi Yüksel Atakan Bal, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü, atakanbal1@gmail.com

² Araş. Gör. Aslıhan Çilingir Tütüncü, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü, aslihanc.tutuncu@omu.edu.tr

³ Doç. Dr. Harun Özer, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü, haruno@omu.edu.tr

⁴ Prof. Dr. Aysun Pekşen, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü, aysunp@omu.edu.tr (Sorumlu Yazar/Corresponding author)

GİRİŞ

Sebze yetiştiriciliğinde yüksek verim ve kaliteli ürün elde etmek için, tohumluk kadar kullanılan fidelerin kalitesi de önemlidir. Fide yetiştiriciliği stres şartlarının kontrolü, hastalıklarla mücadele, verim ve kalite artışı gibi sağladığı katkılar nedeniyle sebze yetiştiriciliğinde önemli avantajlara sahiptir. Türkiye’de 2000’li yıllara kadar üreticiler yaygın olarak kendi ürettiği fideleri kullanırken, günümüzde ticari fide sektörünün gelişmesine bağlı olarak hazır fide kullanımı yaygınlaşmıştır (Demir vd., 2020). Sebze fideleri, ileri tarım tekniklerinin uygulandığı ticari işletmelerde kontrollü şartlarda üretilmektedir. Ticari fide sektöründe firma sayısının artması ve sektörün gelişmesi; fide kalitesinin artması ve fiyatların düşürülmesi bakımından önemli sonuçlar ortaya koymuştur. Gelişen sebze fidesi üretim sektörü ile yıllık 6 milyar adet fide üretim sayısına ulaşılmıştır. Sebze fidesi üretiminde ilk sırayı domates alırken bunu marul, biber, lahanagiller, hıyar, karpuz ve diğer türler takip etmektedir (Tüzel vd., 2020; Fidebirlik, 2022).

Fide büyümesi, sebze büyümesinin en kritik aşamalarındandır ve yüksek kaliteli sebze üretiminin temelini oluşturur. Yetiştiriciliğin istenen özelliklerde, sağlıklı ve homojen fideler ile yapılması şarttır (Özer, 2018; Öztekin ve Türe, 2019). Ticari fide üreticilerinin birim alandan elde edilen fide miktarını artırmak amacıyla küçük kök hacmine sahip fide kapları kullanmaları ve ışıklandırma süresinin az olduğu bölge ve mevsimlerde yapılan fide üretimlerinde aşırı boylanma sorunu ile karşılaşmaktadır. Aşırı boylanmaya bağlı cılızlaşma, hastalık ve zararlılara karşı hassasiyet, tarla tutumu ve adaptasyonda zorluk, geç çiçeklenme ve boğum aralığı artışına bağlı olarak verim kayıpları gibi istenmeyen sorunlar meydana gelmektedir. Bu durum da araştırmacıları özellikle yetersiz aydınlatma sorununun çözümüne yönelik çalışmalara yöneltmiştir. Fidelik sektöründe fide boyu, boğum arası uzunluğu, gövde kalınlığı, yaprak sayısı ve kök gelişimi gibi fide kalitesini belirleyen parametrelerin sağlanabilmesi için yeni üretim teknikleri ve uygulamalar yapılmaktadır (Çopur ve Sarı, 2012; Uçan ve Uğur, 2021).

Fidelerde boy kontrolü için sulamanın azaltılması, soğuk su kullanımı, budama, fırçalama ve süpürme gibi kültürel uygulamalar etkili sonuçlar vermediği için genellikle başta Paclobutrazol olmak üzere Klormekuat klorür ve Daminozid vb. çeşitli büyümeyi geciktirici kimyasal kullanımı tercih edilmektedir (Uçan ve Uğur, 2021). Ancak kullanılan bu kimyasalların insan ve çevre sağlığı üzerine olumsuz etkiler oluşturabileceğine yönelik ciddi endişeler bulunmaktadır (Yamada vd., 2001; Uçan ve Uğur, 2021). Boy kontrolü için alternatif bir uygulama da ışık manipülasyonlarıdır (Clifford vd., 2004). Işık, bitki büyümesi ve gelişiminin tüm fizyolojik süreçlerinde temel rollere sahip önemli çevresel faktörlerden birisidir. Işık, bitkiler için enerji kaynağı görevi görür. Işık yoğunluğu, kalitesi, ışıklandırma süresi ve yönü bitkilerin morfolojik ve fizyolojik özellikleri üzerine etkilidir ve bitki büyümesinde çok önemli bir role sahiptir. Düşük ışık koşulları özellikle gaz alışverişini etkileyerek bitki büyümesi ve üretkenliğini olumsuz etkilerken, aşırı ışık koşulları ise fotosentez yapan mekanizmalar üzerine zararlı etkilere neden olmaktadır (Li vd., 2017; Izzo vd., 2020; Pan vd., 2020; Zushi vd., 2020; Zheng vd., 2023). Işığın yoğunluğu ve kalitesi bitkilerin büyümesi, morfogenezi ve diğer fizyolojik tepkileri için önemlidir (Li ve Kubota, 2009).

Son yıllarda birçok araştırmacı fide kalitesi ve sebze üretimini artırmak amacıyla seralarda ideal yetiştirme ve aydınlatma koşullarının oluşturulmasına yönelik araştırmalara yönelmiştir. Yaygın olarak kullanılan yapay tamamlayıcı aydınlatma sistemleri floresan, yüksek basınçlı sodyum, metal halide, akkor telli ve LED lambalardır (Xu vd., 2016). Aydınlatma sisteminde uygulanan bu yapay ışık kaynaklarının belirgin dezavantajları vardır. Akkor ampullerin, floresan tüplerin, yüksek basınçlı sodyum lambaların ve metal halide lambaların güç tüketimi çok fazladır, aynı zamanda çok fazla ısı üretirler. Yapay ek aydınlatmanın maliyetinin düşürülmesinin büyük önem taşıdığı günümüzde, LED ışık kaynağı ek aydınlatma sisteminde en iyi seçimdir. LED ışık kaynaklarının enerji tüketiminin düşük olması yanı sıra uzun ömürlü olmaları, hafif olmaları, entegre edilmesinin kolay olması, ısı yaymaması ve farklı dalga boyunda ışık üretilmesi gibi avantajları bulunmaktadır (Xu vd., 2016; Wei vd., 2019; Palmitessa vd., 2021; Dyśko ve Kaniszewski, 2021; Zheng vd., 2021). Işık yoğunluğu ve aydınlatma süresi eksikliği olan koşullarda, LED ek aydınlatma sistemlerinin kullanımının fide kalitesi ve verimli üretim için önemli bir araç olacağı düşünülmektedir.

Biber (*Capsicum annum* L.), 2022 yılı verilerine göre dünyada 36.97 milyon ton üretilmektedir. Türkiye, 3.01 milyon ton ile dünya biber yetiştiriciliğinde Çin, Meksika ve Endonezya’dan sonra 4. sırada yer almaktadır

(FAO, 2024). Biber, dünyada ve ülkemizde ekonomik önemi olan ve yaygın olarak üretimi yapılan bir sebze türüdür. Ülkemizde hem örtüaltında hem de açıkta yetiştiriciliği yapılmaktadır. Biber üretiminde verim ve kaliteli üretim için fide kalitesi büyük önem taşımaktadır. Bitki türlerinin ek aydınlatmaya tepkileri farklıdır (Hernández ve Kubota, 2013) ve fide kalitesi için ek aydınlatmanın etkilerinin bitki türüne özgü belirlenmesi gerekmektedir. Bu nedenle çalışmada serada biber fidesi yetiştiriciliğinde en uygun ek LED aydınlatma sistemlerinin belirlenerek ortaya konulması hedeflenmiştir. Bu amaçla çalışmada ilkbahar döneminde biber fidesi yetiştiriciliğinde gün ışığına ek olarak üç farklı ek aydınlatma uygulamasının (gün içerisinde ışık şiddeti $100 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 'nin altına düştüğünde yapılan beyaz LED ek aydınlatma, gün doğumundan gün batımına kadar gün boyu doğal gün ışığına ek beyaz LED aydınlatma ve gün doğumundan 3 saat önce ve gün batımından 3 saat sonra olmak üzere beyaz LED aydınlatma ile fotoperiyodun uzatıldığı uygulama) fide biyomasi ve kalitesi üzerine etkileri araştırılmıştır.

MATERYAL VE METOT

Çalışma, Ondokuz Mayıs Üniversitesi Ziraat Fakültesindeki cam serada (169 m^2) yer alan fide üretim odasında ($3.3 \text{ m} \times 7 \text{ m}$) yürütülmüştür. Çalışmada gün ışığına ek olarak 3 farklı beyaz (400-700 nm) dalga boyunda yapılan ek aydınlatma uygulaması (1, 2 ve 3) incelenmiştir (Çizelge 1). Hiçbir ek aydınlatmanın yapılmadığı doğal gün ışığı koşulları kontrol uygulaması olarak ele alınmıştır. LED lamba ayarlamaları akşam saatlerinde hiçbir ışık kaynağı yokken sera iklim kontrol cihazı (LOGO-24CE, Siemens, Berlin, Almanya) ile otomatik olarak yapılmıştır.

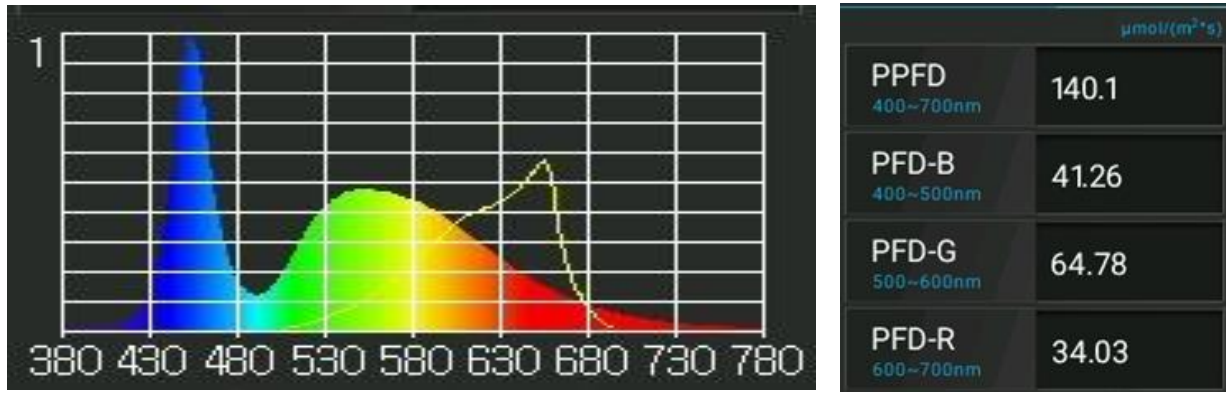
Çizelge 1. Çalışmada ele alınan ek aydınlatma uygulamaları.

Table 1. Additional lighting applications considered in the study.

Dalga boyu	Işık uygulaması	DLI ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{ day}^{-1}$)
Beyaz LED 400-700 nm	1 Gün içerisinde ışık şiddeti $100 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 'nin altına düştüğünde gün ışığına ek aydınlatma	15.96
	2 Gün doğumundan gün batımına kadar gün boyu doğal gün ışığına ek aydınlatma	20.25
	3 Gün doğumundan 3 saat önce ve gün batımından 3 saat sonra olmak üzere yapılan ek aydınlatma ile fotoperiyodun uzatıldığı aydınlatma	16.54
Kontrol (Hiçbir ek aydınlatmanın yapılmadığı doğal gün ışığı koşulları)		15.63

Fide üretim odasında $1 \text{ m} \times 2.5 \text{ m} \times 0.85 \text{ m}$ ebatlarında dört adet tezgâh bulunmaktadır. Denemede ele alınan her bir ışık uygulaması, bir tezgâh olacak şekilde düzenleme yapılmıştır. Beyaz LED (400-700 nm) lambalar (Grow Light G1, Plantekno, İstanbul, Türkiye) viyollerin üzerinde konumlandırılmıştır. Işık etkilerinin birbirine karışmaması için viyoller arasındaki mesafe ayarlanmıştır. LED lambaların aynı ışık şiddetini ($140 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) bitki üzerine gönderebilmesi için spektrometre (LI-180, LI-COR, Hamburg, Germany) kullanılarak ayarlama yapılmıştır (Şekil 1).

Gün içerisinde ışık şiddeti $100 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 'nin altına düştüğünde gün ışığına ek aydınlatma (1) ve gün doğumundan gün batımına kadar gün boyu doğal güneş ışığına ek aydınlatma (2) uygulamalarında ışık şiddetinin ayarlanmasında daha önceki yapılan çalışma bulguları dikkate alınmıştır (Rakutko vd., 2015; Matsuda vd., 2016; Wei vd., 2019). Çalışmalarda domates fidesi yetiştiriciliğinde genel olarak 100 ile $150 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ arasındaki ek ışık şiddeti önerildiği için biberde de $140 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ değeri kullanılmıştır. Ayrıca lambalar, viyollerdeki bitkilere belirtilen yoğunlukta ışığı sağlayacak mesafede tutulmuş ve fideler büyüdükçe mesafe korunacak şekilde yerleri ayarlanmıştır.



Şekil 1. Beyaz LED lambaların spektrum (PPFD) pozisyonlarının ayarlanması.

Figure 1. Adjusting the spectrum (PPFD) positions of white LED lamps.

Tezgâh üzerlerine sulama için bir metre yüksekliğinde mini sprinkler yerleştirilmiştir. Seranın ısıtılması için fanlı ısıtıcı (Evo5, EvoTech, Ankara, Türkiye) kullanılmıştır. Sıcaklık, nem (Hobo, MX2301A, Onset, Bourne, ABD) ve ışık değerleri (Hobo, H21, Onset, Bourne, ABD) veri kaydedicilerle ölçülmüştür. Yetiştiriciliğinin yapıldığı seradaki sıcaklık, oransal nem ve ışık değerleri Çizelge 2’de verilmiştir.

Çizelge 2. Sera içi iklim (sıcaklık, oransal nem ve ışık) değerleri.

Table 2. Greenhouse climate (temperature, relative humidity and light) values.

	Sıcaklık (°C)	Oransal nem (%)	Işık şiddeti ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)
En düşük	20.8	33.2	111.6
En yüksek	29.9	68.3	658.5
Ortalama	25.1	49.0	434.2

Çalışmada “Karizma” kıl tatlı biber çeşidi kullanılmıştır. Tohum ekimi 06.03.2024 tarihinde yapılmış ve ilk gerçek yapraklı dönemde (18.03.2024) ek ışık uygulamalarına başlanılmıştır. Biber tohumları, 216 gözlü (31 mm x 31 mm x 65 mm) ve 695 mm x 470 mm x 75 mm boyutlarındaki EPS viyollere ekilmiştir. Viyoller, torf (Klasman, KTS I, DRT, Antalya, Türkiye) ile doldurularak tohum ekiminden sonra ince bir vermikülit tabakası ile kaplanmıştır. Daha sonra viyoller fide üretim tezgâhlarına yerleştirilerek otomatik sulama (Esp-Rzx8, Rainbird, İstanbul, Türkiye) sistemine bağlı mini sprinkler ile sulanmıştır. Fidelerde ilk gerçek yapraklar görüldükten sonra haftada bir olmak üzere 400 ppm NPK’lı (15-15-15, Gübretaş) gübre uygulanmıştır.

Fidelerde Yapılan Ölçüm ve Gözlemler

Fidelerin kalitesini belirlemek amacıyla fideler dikim aşamasına geldiklerinde (dört gerçek yapraklı dönem) 3 tekrerrürde ve her bir tekrerrürde 10 fide olacak şekilde toplam 30 biber fidesinde ölçüm yapılmıştır. Fide boyu fidelerin kök boğazından büyüme noktasına kadar olan kısmın cetvel ile, gövde çapı ise fidelerin kök boğazının 1 cm üzerinden kumpas ile ölçülerek belirlenmiştir. Yaprak alanı hesaplanırken fidelerdeki tüm yapraklar A3 kâğıdı üzerine yapıştırılmış, daha sonra fotokopileri çekilmiştir. Fotokopiler üzerinden yaprak alanları planimetre kullanılarak (Placom Dijital Planimetre, SOKKISHA Planimeter Inc., Model KP-90) ölçülmüştür. Fide yapraklarının klorofil içeriği (CCI), klorofilmetre (CCM-200, Opti-Sciences, ABD) kullanılarak sabah 09:00-11:00 saatleri arasında tespit edilmiştir. Yapraklardaki stoma iletkenliği ($\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) değerleri ise porometre (SC-1, Decogon Devices, Pullman, USA) kullanılarak sabah 09:00-11:00 saatleri arasında belirlenmiştir.

Kök uzunluğu fidelerin kök boğazından en uzun kökün uç noktasına kadar olan mesafenin cetvel yardımıyla ölçülmesi ile belirlenmiştir. Fide kuru ağırlıklarının belirlenmesinde; fideler köklere zarar verilmeden sökülmüş, kökler yıkanmış ve kök, gövde ve yapraklar olmak üzere kısımlarına ayrılmıştır.

Daha sonra fidenin ayrılan kısımları ayrı ayrı kese kâğıtlarına yerleştirilerek 80°C sıcaklıktaki etüve yerleştirilmiş ve 48 saat sabit ağırlığa gelinceye kadar kurutulmuştur. Örnekler 0.01 g'a duyarlı terazi ile tartılarak fide kısımlarının kuru ağırlıkları tespit edilmiştir.

İstatistik Analizler

Araştırma, Tesadüf Parselleri deneme desenine göre 3 tekerrürlü olarak kurulmuştur. Elde edilen verilerin istatistiksel analizinde IBM SPSS versiyon 20.0 istatistik analiz programı kullanılmıştır. Ortalamalar arasındaki farklılıkların gruplandırılmasında "Duncan Çoklu Karşılaştırma" testinden yararlanılmıştır.

BULGULAR VE TARTIŞMA

Farklı beyaz LED ek aydınlatma uygulamalarının fide boyu, kök uzunluğu, gövde kuru ağırlığı, kök kuru ağırlığı ve toplam fide kuru ağırlığı üzerine etkileri istatistiksel olarak önemli ($p < 0.05$) bulunmuştur. En yüksek fide boyu (9.17 cm) ise gün içerisinde ışık şiddeti $100 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 'nin altına düştüğünde yapılan beyaz LED ek aydınlatma uygulamasından elde edilmiştir. Fide boyu bakımından bu uygulama ile gün doğumundan gün batımına kadar gün ışığına ek beyaz LED aydınlatma uygulaması (8.98 cm) arasında istatistiksel fark bulunmamıştır (Çizelge 3). Fide boyunun uzun olması, kuru madde birikiminin az olması durumunda sorun teşkil etmektedir. Ancak bu çalışmada yukarıda ifade edilen uygulamalardaki fidelerin gövde, kök ve toplam fide kuru ağırlıkları ile gövde çapı değerlerinin yüksek olması (Çizelge 3 ve Çizelge 4) nedeniyle fide boylarının sorun oluşturmadığı sonucuna varılmıştır. Ayrıca Matsuo vd. (2019) yaptıkları çalışmada kırmızı LED uygulamaları altında yetiştirilen fidelerin daha uzun boylu olduklarını bildirmişlerdir. Çalışmada en kısa fide boyu (5.95 cm), gün doğumundan önce ve gün batımından sonra 3'er saat olmak üzere beyaz LED aydınlatma ile fotoperiyodun uzatıldığı uygulamada tespit edilmiştir (Çizelge 3). Bu durum uzun fotoperiyodun biber fideleri üzerinde stres oluşturmasından kaynaklanmış olabilir. Uzun fotoperiyodun domates bitkilerindeki büyüme üzerinde etkileri olumsuz bulunmuştur (Ménard vd., 2005). Demers vd. (1998), sera domates mahsulü için en iyi fotoperiyodun 14 saat olduğunu, 14 saatten uzun fotoperiyotların domates bitkisinin büyümesini ve verimini artırmazken, 20 saat veya daha uzun fotoperiyotların yaprak klorozuna neden olduğunu, hatta büyümeyi ve verimi azaltabildiğini bildirmişlerdir.

Gövde, kök ve toplam fide kuru ağırlıklar incelendiğinde; en yüksek değerler, aralarında istatistiksel fark bulunmayan gün içerisinde ışık şiddeti $100 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 'nin altına düştüğünde yapılan beyaz LED ek aydınlatma ve gün doğumundan gün batımına kadar gün boyu gün ışığına ek beyaz LED aydınlatma uygulamalarından elde edilmiştir (Çizelge 3). Bu bulgular, artan ışık şiddeti ile kuru ağırlık değerlerinin arttığını bildiren Wei vd. (2019)'nin bulguları ile benzerdir. Domates fidesi yetiştiriciliğinde, özellikle kırmızı/mavi ışık oranının 1.2 ve ışık şiddetinin $150 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ olduğu koşullarda kırmızı ve mavi ışığın birlikte kullanımının kaliteyi artırdığı belirlenmiştir (Zheng vd., 2021). Kırmızı ve mavi ışık uygulamasının kuru ve yaş ağırlık artışı sağlamasının, fotosentez enzimlerinin (RuBP oksijenaz-karboksilaz (rubisco) ve PEP karboksilaz) aktivitelerinin artışına bağlı olduğu ifade edilmektedir (Shin vd., 2008; Matsuda vd., 2016; Anuchai ve Hsieh, 2017; Gao vd., 2020). Ayrıca bu iki ek aydınlatma uygulamasında fidelerin yaprak alanlarının da daha yüksek olduğu belirlenmiştir (Çizelge 4). Toplam yaprak alanının artması, tüm bitkinin fotosentez seviyesini artırmakta ve kuru madde birikimini teşvik etmektedir (Claypool ve Lieth, 2020; Li vd., 2021). Çalışma bulguları ek aydınlatma uygulamalarının yaprak alanını artırarak biyokütleyi arttırabileceğini göstermektedir. Wang vd. (2022) yaptıkları çalışmada sabah ve akşam 3 saat ek LED aydınlatma yapıldığında kök ağırlığının önemli oranda arttığını bildirmişlerdir. Gün doğumundan önce ve gün batımından sonra 3'er saat olmak üzere beyaz LED aydınlatma ile fotoperiyodun uzatıldığı uygulamada kök ve toplam fide kuru ağırlığı değerleri, kontrol uygulamasından daha yüksek bulunmakla birlikte diğer ek ışık uygulamalarından düşük bulunmuştur (Çizelge 3).

Gün ışığına ek beyaz LED ışık uygulamaları hem kök uzunluğu hem de kök kuru ağırlığını artırmıştır (Çizelge 3). Çalışmada elde edilen bulgular, fide aşamasında gün ışığına ek tam spektrumlu floresan lamba ile aydınlatmanın kök uzunluğunu kontrole göre %11.9 artırdığını bildiren Öztekin ve Türe (2019)'nin çalışma bulgularına benzer bulunmuştur. En düşük kök uzunluğu, kök kuru ağırlığı ve toplam fide kuru ağırlığı değerleri hiçbir ek aydınlatmanın yapılmadığı gün ışığı koşullarında (kontrol) tespit edilmiştir

(Çizelge 3). Hazır fide sektöründe köklerin kalitesi çok önemlidir. Köklerin kalitesi, fidelerin nakilden sonra büyümesine ve gelişimine doğrudan etki ederek ürünlerin kalitesini ve verimini etkilemektedir (Wei vd., 2020). Işık yoğunluğunun düşük olması sebze fidelerinin üretim sürelerinin uzamasına ve kalitesinin düşmesine neden olabilir. Ek aydınlatma (beyaz, beyaz+kırmızı ve kırmızı+mavi) uygulamalarının fidelerde net fotosentez, kök aktivitesi ve nişasta içeriğini artırdığı bildirilmiştir (Zheng vd., 2021; Zhang vd., 2022). Kırmızı ve mavi LED (8:2) uygulamalarının da fotosentez hızını artırarak kök aktivitesi ve verimi önemli oranda artırdığı saptanmıştır (Lin vd., 2013; Paponov vd., 2020). Benzer şekilde domates fidelerinde kırmızı (%70) ve mavi (%30) ışığa %30 yeşil ışık ilavesinin kök uzunluğunu önemli oranda artırdığı belirlenmiştir (Li vd., 2021).

Çizelge 3. Farklı ek beyaz LED aydınlatma uygulamalarının fide boyu, kök uzunluğu, gövde kuru ağırlığı, kök kuru ağırlığı ve toplam fide kuru ağırlığı üzerine etkileri.

Table 3. Effects of different supplementary white LED lighting applications on seedling height, root length, stem dry weight, root dry weight and total seedling dry weight.

Dalga boyu	Işık uygulaması	Fide boyu (cm)	Kök uzunluğu (cm)	Gövde kuru ağırlığı (g)	Kök kuru ağırlığı (g)	Toplam fide kuru ağırlığı (g)
Beyaz LED 400-700 nm	1	9.17 a	7.22 a	0.38 a	0.40 a	1.10 a
	2	8.98 a	7.78 a	0.36 a	0.41 a	1.07 a
	3	5.95 b	7.45 a	0.20 b	0.33 ab	0.77 b
	Kontrol	7.32 ab	6.62 b	0.24 b	0.22 b	0.66 b

Sütündeki farklı harfler arasında istatistiksel olarak $p < 0.05$ düzeyinde önemli fark vardır. 1: gün içerisinde ışık şiddeti $100 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 'nin altına düştüğünde yapılan beyaz LED ek aydınlatma, gün doğumundan gün batımına kadar gün ışığına ek beyaz LED aydınlatma ve gün doğumundan önce 3 saat ve gün batımından sonra 3 saat olmak üzere beyaz LED aydınlatma ile fotoperiyodun uzatıldığı uygulama

Biber fidelerinin gövde çapı, yaprak alanı, yaprak klorofil içeriği ve stoma iletkenliği ek aydınlatma uygulamalarından istatistiksel olarak önemli düzeyde etkilenmiştir. En yüksek gövde çapı ve yaprak alanı gün içerisinde ışık şiddeti $100 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 'nin altına düştüğünde yapılan beyaz LED ek aydınlatma uygulamasında belirlenmiştir. Bunu gün doğumundan gün batımına kadar gün boyu gün ışığına ek beyaz LED aydınlatma uygulaması izlemiştir (Çizelge 4). Farklı dalga boyunda LED uygulamalarından kırmızı ve mavi ışığın birlikte uygulanmasının fide gövde çapını önemli oranda artırdığı, en düşük gövde çapının kırmızı ışık uygulamasından elde edildiği bildirilmiştir (Rakutko vd., 2015; Hernández vd., 2016; Kim ve Hwang, 2019; Soltani vd., 2023; Li vd., 2023). Bu durumun fotoreseptörlerin (fitokromlar) hücre bölünmesini ve gelişimini teşvik etmesinden kaynaklandığı ifade edilmektedir (Taiz ve Zeiger, 2008; Yousef vd., 2021; Soltani vd., 2023). Gövde çapı sebzelerin vejetatif dönemdeki büyümesini açıklayan önemli parametrelerden bir tanesidir. Kökten suyun taşınmasında ve karbonhidratların yer değiştirmesinde önemli bir role sahiptir. Genel olarak domates fidelerinde dengeli bir büyüme istenirken, gövde çapının yüksek olmasının uzun vadede yüksek verim artışı ile sonuçlandığı bildirilmiştir (Özer ve Kandemir, 2016). Yaprak alanındaki artış (Çizelge 4), ek aydınlatmanın fidelerin büyümesini ve gelişimini hızlandırdığını göstermektedir. LED lamba ile yapılan aydınlatmanın alçak plastik tünelde yetiştirilen domateslerin yaprak sayısını kontrole göre %17.3 artırdığı belirlenmiştir (Köksal vd., 2013). Domates fidelerinde genel olarak uzak kırmızı ışık ve tam spektrum LED uygulamalarının diğer dalga boylarına göre yaprak alanını önemli oranda artırdığı ifade edilmektedir (Cookson vd., 2005; Kim ve Hwang, 2019). Beyaz ışık ve tam spektrum LED uygulamaları da yaprak alanını önemli oranda artırmıştır (Zhang vd., 2022). Benzer şekilde bu çalışmada da ek aydınlatma uygulamaları kontrole göre yaprak alanının artmasını sağlamıştır.

En yüksek yaprak klorofil içeriği gün doğumundan önce ve gün batımından sonra 3'er saat olmak üzere beyaz LED aydınlatma ile fotoperiyodun uzatıldığı uygulama (17.5 CCI) ve gün doğumundan gün batımına kadar gün boyu gün ışığına ek beyaz LED aydınlatma uygulamasından (17.2 CCI) elde edilmiştir.

Fotoperiyodun uzatılmasının yaprak klorofil içeriğini olumlu etkilediği belirlenmiştir. En düşük yaprak klorofil uygulaması ise kontrol uygulamasında tespit edilmiştir (Çizelge 4). Öztekin ve Türe (2019) yaptıkları çalışmada marul bitkisinde gün ışığı+ floresan lamba uygulamasının fidelerde klorofil miktarını artırdığını bildirmişlerdir. Domates fidesi yetiştiriciliğinde farklı lambaların [ışık yayan diyot (LED), floresan lamba (FL) ve yüksek basınçlı sodyum buharlı lamba (HPS)] kullanıldığı çalışmada en yüksek yaprak klorofil içeriği FL lamba uygulamasından elde edilirken en düşük değer ise LED ve HPS lamba uygulamalarından elde edilmiştir (Rakutko vd., 2015). Farklı ışık şiddetinde (60, 150, 240 ve 330 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) uygulanan kırmızı ve mavi ışığın domates fidelerinin yaprak klorofil içeriğini ışık şiddeti 240 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ olduğu uygulamaya kadar artırdığı ve daha sonra ışık şiddeti arttığında klorofil içeriğinin azaldığını bildirmişlerdir (Zheng vd., 2023).

Çizelge 4. Farklı ek beyaz LED aydınlatma uygulamalarının gövde çapı, yaprak alanı, yaprak klorofil içeriği, stoma iletkenliği üzerine etkileri.

Table 4. Effects of different supplementary white LED lighting applications on stem diameter, leaf area, leaf chlorophyll content, stomatal conductance.

Dalga boyu	Işık uygulaması	Gövde çapı (mm)	Yaprak alanı (cm ²)	Yaprak klorofil içeriği (CCI)	Stoma iletkenliği (mmol m ⁻² s ⁻¹)
	1	2.09 a	10.5 a	14.7 b	130.8 b
Beyaz LED 400-700 nm	2	1.92 ab	8.2 ab	17.2 a	150.5 b
	3	1.86 ab	7.2 b	17.5 a	176.3 a
	Kontrol	1.78 b	6.6 b	13.8 b	104.8 c

Sütündeki farklı harfler arasında istatistiksel olarak $p < 0.05$ düzeyinde önemli fark vardır. 1: gün içerisinde ışık şiddeti 100 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 'nin altına düştüğünde yapılan beyaz LED ek aydınlatma, gün doğumundan gün batımına kadar gün ışığına ek beyaz LED aydınlatma ve gün doğumundan önce 3 saat ve gün batımından sonra 3 saat olmak üzere beyaz LED aydınlatma ile fotoperiyodun uzatıldığı uygulama

Çalışmada en yüksek stoma iletkenlik değerleri, gün doğumundan önce ve gün batımından sonra 3'er saat olmak üzere beyaz LED aydınlatma ile fotoperiyodun uzatıldığı uygulamadan elde edilmiştir. Bu uygulamayı diğer ek aydınlatma uygulamaları izlemiştir. Ele alınan ek ışık uygulamalarında yetiştirilen fidelerin stoma iletkenlik değerlerinin kontrolden önemli düzeyde yüksek olduğu tespit edilmiştir (Çizelge 4). Özer (2012), stoma iletkenliği ile fotosentez hızı arasında olumlu ve önemli bir ilişki olduğunu, stoma iletkenliği arttıkça fotosentez hızının da arttığını bildirmiştir. He vd. (2019) LED ışık takviyesi ve takviyesi olmadan yetiştirilen Çin brokolisi fidelerinin büyüme ve kalite parametrelerini incelemişler ve ek aydınlatmanın fidelerin CO₂ asimilasyonu, stoma iletkenliği ve verimlilik gibi fotosentetik parametrelerini iyileştirdiğini bildirmişlerdir. Diğer bir çalışmada domates fidesi yetiştiriciliğinde farklı (50, 100 ve 150 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) ek beyaz aydınlatma uygulamasının 100 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ışık şiddetine kadar stoma iletkenliğini arttırdığı, ancak belli bir eşik (150 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) değerden sonra azalttığı belirlenmiştir (Wei vd., 2019). Hem sabah hem de akşam ışık takviyesinin domates yapraklarındaki rubisco enziminin aktivitesini artırarak fotosentez ve karbonhidrat oluşumunu olumlu etkilediği ifade edilmektedir (Izzo vd., 2020; Yousef vd., 2021; Wang vd., 2022). Ancak bu çalışmada en yüksek stoma iletkenlik değerleri (Çizelge 4) gün doğumundan önce ve gün batımından sonra 3 saat olmak üzere beyaz LED aydınlatma ile fotoperiyodun uzatıldığı uygulamadan elde edilmesine rağmen, bu uygulamadan fide kuru ağırlığı (Çizelge 3) bakımından aynı ölçüde bir artış tespit edilmemiştir.

Kaliteli fidelerin, büyüme aşamasında çevresel stresten uzak, sağlıklı, kalın yapraklı, iyi gelişmiş kök sistemlerine sahip, uygun büyüklükte olmaları gerekmektedir (Lee vd., 2010). Gün içerisinde ışık şiddeti 100 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 'nin altına düştüğünde yapılan beyaz LED ek aydınlatma ve gün doğumundan gün batımına kadar gün boyu gün ışığına ek beyaz LED aydınlatma uygulamalarından Zheng vd. (2021)'nin bulgularına benzer sonuçlar elde edilmiştir. Kırmızı ve mavi ışığı bünyesinde barındıran beyaz (Şekil 1) LED ek ışık uygulamalarının fide kalitesini artırdığı belirlenmiştir.

SONUÇ

Çalışmada, ek beyaz LED aydınlatma uygulamalarının yetersiz güneş ışığı koşullarında serada yetiştirilen biber fidelerinin büyümesini ve gelişimini desteklediği ortaya konulmuştur. En yüksek yaprak klorofil içeriği ve stoma iletkenliği ile en kısa boylu fideler, gün doğumundan önce 3 saat ve gün batımından sonra 3 saat olmak üzere beyaz LED ek aydınlatma ile fotoperiyodun uzatıldığı uygulamadan elde edilmiştir. Sonuç olarak, fide boy kontrolü yönünden fotoperiyodun uzatıldığı uygulama ön plana çıkmıştır. Bununla birlikte denemeden elde edilen verilere göre gün içerisinde ışık şiddeti $100 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 'nin altına düştüğünde ve gün doğumundan gün batımına kadar gün ışığına ek beyaz LED aydınlatma uygulamalarının biber fidelerinin boyu, kök uzunluğu, fide kuru ağırlıkları, gövde çapı ve yaprak alanlarını önemli oranda artırdığı belirlenmiştir. Bu çalışmada ek aydınlatma uygulamalarının ekonomik boyutu incelenmemiş olmakla birlikte, gün boyu ek aydınlatmanın maliyeti göz önüne alındığında gün içerisinde ışık şiddetinin $100 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 'nin altına düştüğünde yapılacak aydınlatmanın tercih edilmesi önerilmektedir. Bundan sonra yapılacak çalışmalarda ek aydınlatma uygulamalarının fide üretim maliyeti üzerine etkilerinin incelenmesi faydalı olacaktır.

ÇIKAR ÇATIŞMASI

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması yoktur.

YAZAR KATKISI

Birinci ve ikinci yazar araştırmanın yürütülmesi ve verilerin elde edilmesinde, üçüncü ve dördüncü yazar araştırmanın planlanması, sonuçların değerlendirilmesi ve yazılmasında görev almışlardır.

KAYNAKLAR

- Anuchai, J., & Hsieh, C. H. (2017). Effect of change in light quality on physiological transformation of in vitro *Phalaenopsis* 'Fortune Saltzman' seedlings during the growth period. *The Horticulture Journal*, 86(3), 395-402. <https://doi.org/10.2503/hortj.MI-151>
- Claypool, N. B., & Lieth, J. H. (2020). Physiological responses of pepper seedlings to various ratios of blue, green, and red light using LED lamps. *Scientia Horticulturae*, 268, 109371. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109371>
- Clifford, S. C., Runkle, E. S., Langton, F. A., Mead, A., Foster, S. A., Pearson, S., & Heins, R. D. (2004). Height control of poinsettia using photoselective filters. *HortScience*, 39(2), 383-387. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.39.2.383>
- Cookson, S. J., Van Lijsebettens, M., & Granier, C. (2005). Correlation between leaf growth variables suggest intrinsic and early controls of leaf size in *Arabidopsis thaliana*. *Plant, Cell & Environment*, 28(11), 1355-1366. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.2005.01368.x>
- Çopur, H., & Sarı, N. (2012). Sera hıyar fidesi üreticisi paclobutrazol ve bakır sülfat uygulamalarının fide büyümesi üzerine etkileri. *Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 27(1), 1-12.
- Demers, D. A., Dorais, M., Wien, C. H., & Gosselin, A. (1998). Effects of supplemental light duration on greenhouse tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) plants and fruit yields. *Scientia Horticulturae*, 74(4), 295-306. [https://doi.org/10.1016/S0304-4238\(98\)00097-1](https://doi.org/10.1016/S0304-4238(98)00097-1)
- Demir, K., Başak, H., Çakırer, G., & Başkent, A. (2020). *Fidecilik sektörünün mevcut durumu ve gelecek öngörülleri*. Türkiye Ziraat Mühendisliği IX. Teknik Kongresi Bildiriler Kitabı-2, Türkiye.
- Dyśko, J., & Kaniszewski, S. (2021). Effects of LED and HPS lighting on the growth, seedling morphology and yield of greenhouse tomatoes and cucumbers. *Horticultural Science*, 48(1), 22-29. <https://doi.org/10.17221/4/2020-HORTSCI>
- FAO (2022). *Food and Agriculture Organization of the United Nations*. <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QC> L [Erişim tarihi: 25.09.2024].
- Fidebirlik (2022). Kuruluşundan bugüne fidebirlik. E-Bülten, Sayı 47. <http://www.fidebirlik.org.tr/wp-content/uploads/2022/03/E-B%C3%9CLTEN-%C5%9EBT-2022.pdf> [Erişim tarihi: 20.08.2024].
- Gao, S., Liu, X., Liu, Y., Cao, B., Chen, Z., & Xu, K. (2020). Photosynthetic characteristics and chloroplast ultrastructure of welsh onion (*Allium fistulosum* L.) grown under different LED wavelengths. *BMC Plant Biology*, 20, 1-12. <https://doi.org/10.1186/s12870-020-2282-0>

- He, J., Qin, L., Teo, L. J. L., & Wei, C. T. (2019). Nitrate accumulation, productivity and photosynthesis of Brassica alboglabra grown under low light with supplemental LED lighting in the tropical greenhouse. *Journal of Plant Nutrition*, 42(15), 1740-1749. <https://doi.org/10.1080/01904167.2019.1643367>
- Hernández, R., Eguchi, T., Devenci, M., & Kubota, C. (2016). Tomato seedling physiological responses under different percentages of blue and red photon flux ratios using LEDs and cool white fluorescent lamps. *Scientia Horticulturae*, 213, 270-280. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2016.11.005>
- Hernández, R., & Kubota, C. (2013). LEDs supplemental lighting for vegetable transplant production: Spectral evaluation and comparisons with HID technology. International Symposium on New Technologies for Environment Control, Energy-Saving and Crop Production in Greenhouse and Plant 1037 (pp. 829-835). <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2014.1037.110>
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2020.104195>
- Kim, H. M., & Hwang, S. J. (2019). The growth and development of 'mini chal'tomato plug seedlings grown under various wavelengths using light emitting diodes. *Agronomy*, 9(3), 157. <https://doi.org/10.3390/agronomy9030157>
- Köksal, N., İncesu, M., & Teke, A. (2013). LED Aydınlatma sisteminin domates bitkisinin gelişimi üzerine etkileri. *Tarım Bilimleri Araştırma Dergisi*, 6(2), 71-75. <https://www.ijans.org/index.php/ijans/article/view/271>
- Lee, J. M., Kubota, C., Tsao, S. J., Bie, Z., Echevarria, P. H., Morra, L., & Oda, M. (2010). Current status of vegetable grafting: Diffusion, grafting techniques, automation. *Scientia Horticulturae*, 127(2), 93-105. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2010.08.003>
- Li, F., Li, Y., Li, S., Wu, G., Niu, X., & Shen, A. (2021). Green light promotes healing and root regeneration in double-root-cutting grafted tomato seedlings. *Scientia Horticulturae*, 289, 110503. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.110503>
- Li, H., Lu, X., Chen, J., & Jiang, R. (2023). Variation in growth, physiological characteristics of tomato seedlings exposed to different LEDs light quality. *Pakistan Journal of Botany*, 55(4), 1347-1352. [http://dx.doi.org/10.30848/PJB2023-4\(41\)](http://dx.doi.org/10.30848/PJB2023-4(41))
- Li, Q., & Kubota, C. (2009). Effects of supplemental light quality on growth and phytochemicals of baby leaf lettuce. *Environmental and Experimental Botany*, 67(1), 59-64. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2009.06.011>
- Li, Y., Xin, G., Wei, M., Shi, Q., Yang, F., & Wang, X. (2017). Carbohydrate accumulation and sucrose metabolism responses in tomato seedling leaves when subjected to different light qualities. *Scientia Horticulturae*, 225, 490-497. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.07.053>
- Lin, K. H., Huang, M. Y., Huang, W. D., Hsu, M. H., Yang, Z. W., & Yang, C. M. (2013). The effects of red, blue, and white light-emitting diodes on the growth, development, and edible quality of hydroponically grown lettuce (*Lactuca sativa* L. var. *capitata*). *Scientia Horticulturae*, 150, 86-91. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2012.10.002>
- Matsuda, R., Yamano, T., Murakami, K., & Fujiwara, K. (2016). Effects of spectral distribution and photosynthetic photon flux density for overnight LED light irradiation on tomato seedling growth and leaf injury. *Scientia Horticulturae*, 198, 363-369. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.11.045>
- 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. <https://doi.org/10.2503/hortj.UTD-005>
- Ménard, C., Dorais, M., Hovi, T., & Gosselin, A. (2005). Developmental and physiological responses of tomato and cucumber to additional blue light. V. International Symposium on Artificial Lighting in Horticulture 711 (pp. 291-296). <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2006.711.39>
- Özer, H. (2012). Organik Domates (*Solanum lycopersium* L.) Yetiştiriciliğinde Değişik Masura, Malç Tipi ve Organik Gübrelerin Büyüme, Gelişme, Verim ve Kalite Üzerine Etkileri. Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Bahçe Bitkileri Ana Bilim Dalı, Samsun. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezSorguSonucYeni.jsp>
- Özer, H. (2018). The effects of different seedling production systems on quality of tomato plantlets. *Acta Scientiarum Polonorum Hortorum Cultus*, 17(5), 15-21. <https://doi.org/10.24326/asphc.2018.5.2>
- Özer, H., & Kandemir, D. (2016). Evaluation of the performance of greenhouse tomato seedlings grown with different cultivation techniques. *Bangladesh Journal of Botany*, 1, 203-209.

- Öztekin, G. B., & Türe, K. (2019). Tam Spektrumlu Gün Işığı Floresan Lamba ile Yapay Işıklandırmanın Marulda Fide Kalitesine Etkisi. *Journal of Agriculture Faculty of Ege University*, 56(4), 437-445. <https://doi.org/10.20289/zfdergi.534300>
- Palmitessa, O. D., Prinzenberg, A. E., Kaiser, E., & Heuvelink, E. (2021). LED and HPS supplementary light differentially affect gas exchange in tomato leaves. *Plants*, 10(4), 810. <https://doi.org/10.3390/plants10040810>
- Pan, T., Wang, Y., Wang, L., Ding, J., Cao, Y., Qin, G., Yan, L., Xi, L., Zhang, J., & Zou, Z. (2020). Increased CO₂ and light intensity regulate growth and leaf gas exchange in tomato. *Physiologia Plantarum*, 168(3), 694-708. <https://doi.org/10.1111/pp1.13015>
- Paponov, M., Kechasov, D., Lacey, J., Verheul, M. J., & Paponov, I. A. (2020). Supplemental light-emitting diode inter-lighting increases tomato fruit growth through enhanced photosynthetic light use efficiency and modulated root activity. *Frontiers in Plant Science*, 10, 1656. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.01656>
- Rakutko, S., Rakutko, E., & Tranchuk, A. (2015). Comparative evaluation of tomato transplant growth parameters under led, fluorescent and high-pressure sodium lamps. *Engineering for Rural Development*, 222-229.
- Shin, K. S., Murthy, H. N., Heo, J. W., Hahn, E. J., & Paek, K. Y. (2008). The effect of light quality on the growth and development of in vitro cultured *Doritaenopsis* plants. *Acta Physiologiae Plantarum*, 30, 339-343. <https://doi.org/10.1007/s11738-007-0128-0>
- Soltani, S., Arouiee, H., Salehi, R., Nemati, S. H., Moosavi-Nezhad, M., Gruda, N. S., & Aliniaefard, S. (2023). Morphological, phytochemical, and photosynthetic performance of grafted tomato seedlings in response to different LED light qualities under protected cultivation. *Horticulturae*, 9(4), 471. <https://doi.org/10.3390/horticulturae9040471>
- Taiz, L., & Zeiger, E. (2008). *Bitki fizyolojisi (Plant physiology)*. (Çev. İ. Türkan, 3. baskı), Palme Yayıncılık, Ankara.
- Tüzel, Y., Gül, A., Öztekin, G. B., Engindeniz, S., Boyacı, F., Duyar, H., Cebeci, E., & Durdu, T. (2020, Ocak 13-17). *Türkiye'de örtüaltı yetiştiriciliği ve yeni gelişmeler*. Türkiye Ziraat Mühendisliği IX. Teknik Kongresi, 13(17), 725-750, Türkiye.
- Uçan, U., & Uğur, A. (2021). Acceleration of growth in tomato seedlings grown with growth retardant. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 45(5), 669-679. <https://doi.org/10.3906/tar-2011-4>
- Wang, S., Meng, X., Tang, Z., Wu, Y., Xiao, X., Zhang, G., Hu, L., Liu, J., & Yu, J. (2022). Red and blue LED light supplementation in the morning pre-activates the photosynthetic system of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) leaves and promotes plant growth. *Agronomy*, 12(4), 897. <https://doi.org/10.3390/agronomy12040897>
- Wei, H., Wang, M., & Jeong, B. R. (2020). Effect of supplementary lighting duration on growth and activity of antioxidant enzymes in grafted watermelon seedlings. *Agronomy*, 10(3), 337. <https://doi.org/10.3390/agronomy10030337>
- Wei, H., Zhao, J., Hu, J., & Jeong, B. R. (2019). Effect of supplementary light intensity on quality of grafted tomato seedlings and expression of two photosynthetic genes and proteins. *Agronomy*, 9(6), 339. <https://doi.org/10.3390/agronomy9060339>
- Xu, Y., Chang, Y., Chen, G., & Lin, H. (2016). The research on LED supplementary lighting system for plants. *Optik*, 127(18), 7193-7201. <https://doi.org/10.1016/j.ijleo.2016.05.056>
- Yamada, K., Honma, Y., Asahi, K. I., Sassa, T., Hino, K. I., & Tomoyasu, S. (2001). Differentiation of human acute myeloid leukaemia cells in primary culture in response to cotylenin A, a plant growth regulator. *British Journal of Haematology*, 114(4), 814-821. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2141.2001.03029.x>
- Yousef, A. F., Ali, M. M., Rizwan, H. M., Tadda, S. A., Kalaji, H. M., Yang, H., Ahmed, M. A. A., Wro bel, J., Xu, Y., & Chen, F. (2021). Photosynthetic apparatus performance of tomato seedlings grown under various combinations of LED illumination. *Plos one*, 16(4), e0249373. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0249373>
- Zhang, G., Li, Z., Cheng, J., Cai, X., Cheng, F., Yang, Y., & Yan, Z. (2022). Morphological and physiological traits of greenhouse-grown tomato seedlings as influenced by supplemental white plus red versus red plus blue LEDs. *Agronomy*, 12(10), 2450. <https://doi.org/10.3390/agronomy12102450>

- Zheng, J., Gan, P., Ji, F., He, D., & Yang, P. (2021). Growth and energy use efficiency of grafted tomato transplants as affected by LED light quality and photon flux density. *Agriculture*, 11(9), 816. <https://doi.org/10.3390/agriculture11090816>
- Zheng, Y., Zou, J., Lin, S., Jin, C., Shi, M., Yang, B., Yang, Y., Jin, D., Li, R., Li, Y., Wen, X., Yang, S., & Ding, X. (2023). Effects of different light intensity on the growth of tomato seedlings in a plant factory. *Plos one*, 18(11), e0294876. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0294876>
- Zushi, K., Suehara, C., & Shirai, M. (2020). Effect of light intensity and wavelengths on ascorbic acid content and the antioxidant system in tomato fruit grown in vitro. *Scientia Horticulturae*, 274, 109673. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109673>.