

Led Işığın Fesleğen Tohumunun Çimlenmesi Üzerine Etkisi

Mehmet Akgün¹, Mithat Akgün², Mehmet Muharrem Özcan³, Özer Şenyurt², Kürşat Korkmaz^{1*}

¹Department of Soil Science and Plant Nutrition, Faculty of Agriculture, Ordu University, 52200 Ordu-Turkey

²Vocational School of Technical Sciences, Ordu University, 52200 Ordu-Turkey

³Department of Field Crops, Faculty of Agriculture, Ordu University, 52200 Ordu-Turkey

(Geliş Tarihi/Received Date: 17.04.2020; Kabul Tarihi/Accepted Date: 30.06.2020)

Öz

Işık, tohum çimlenmesini etkileyen en önemli faktörlerden biridir. Son yıllarda, tohum çimlenmesini ve bitki büyümesini teşvik etmek için ışık yayan diyotların (LED) yapay ışık olarak kullanılmasına yönelik ilgi artmıştır. Bu çalışmanın amacı, fesleğen (*Ocimum basilicum* L.) tohumunun çimlenmesi üzerine LED'in farklı renk sıcaklığı ve LED'e maruz kalma süresinin etkisini değerlendirmektir. Fesleğen tohumları bir büyüme odasında üç LED renk sıcaklığına (kontrol, 3000 ve 6500 K) ve dört farklı maruz kalma süresine (0, 10, 15 ve 20 sa gün⁻¹) tabi tutuldu. LED'ler, ek bir ışık kaynağı olarak kullanıldı ve büyüme odasının içindeki tohumların 50 cm üzerine yatay olarak yerleştirildi. Maruz kalma süresi ve LED renk sıcaklıkları, karanlık koşullara (kontrol) kıyasla incelenen tüm çimlenme özelliklerini önemli ölçüde iyileştirdi, ancak plumula uzunluğunu azalttı. LED renk sıcaklığı ve maruz kalma süresinin etkileşimi çimlenme oranını önemli ölçüde etkiledi. Günde 15 saat süreyle 6500 K'lık LED uygulamasıyla çimlenme süresi % 12 azaldı ve çimlenme oranı % 43 arttı. Plumula uzunluğu, LED'e maruz kalma süresinin artmasıyla % 54 azaldı, ancak radikula uzunluğu kontrole kıyasla 3 kat arttı. Bu sonuçlar, günde 15 saat boyunca 6500 K LED uygulamasının, tohum çimlenmesini önemli ölçüde arttırdığını ve ortalama çimlenme süresini kısalttığını gösterdi. Sonuç olarak, bu çalışma LED'in, fesleğenin tohum çimlenmesini iyileştirmek için başarılı bir şekilde kullanılabileceğini göstermiştir.

Anahtar kelimeler: Çimlenme Oranı, LED, Işık Yayan Diot, Işığa Maruz Bırakma Süresi, *Ocimum basilicum* L

Effect of Led Light on Seed Germination of Basil

Abstract

Light is one of the most important factors affecting seed germination. In recent years, there has been an increased attention focusing on the use of artificial lights as light-emitting diode (LED) to stimulate seed germination and plant growth. The objective of this study was to evaluate effect of exposure time and color temperature of LED on seed germination of basil (*Ocimum basilicum* L.). Basil seeds were subjected to three LED color temperatures (control,

*Sorumlu Yazar / Corresponding Author: korkmaz60@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-3004-4349>;
Mehmet AKGÜN: <https://orcid.org/0000-0001-5148-5544>; Mithat Akgün: <https://orcid.org/0000-0002-5514-1236>; Mehmet Muharrem ÖZCAN: <https://orcid.org/0000-0002-3166-2678>;
Özer ŞENYURT: <https://orcid.org/0000-0002-8604-9125>

3000 and 6500 K) and four different exposure times (0, 10, 15 and 20 h per day) in a growth chamber. The LEDs were used as a supplemental light source and placed horizontally 50 cm above the seeds inside the growth chamber. Exposure time and LED color temperatures considerably improved all germination properties studied, in comparison to dark conditions (the control), but decreased plumula length. The interaction effect of LED color temperature and exposure time was significant for germination rate. Germination time decreased by 12 % and germination rate increased by 43 % with LED treatment of 6500 K for 15 h per day. Plumula length decreased by 54 % with increasing exposure time of LED, but radicle length increased 3-fold compare with the control. These results indicated that 6500 K LED treatment for 15 h per day notably promoted seed germination and shortened the mean germination time. In conclusion, the present results suggested that LEDs could be successfully used to improve seed germination of basil.

Keywords: Germination Rate, LEDs, Light-Emitting Diode, Light Exposure Time, *Ocimum basilicum* L.

1. Giriş

Işık, tohumların çimlenebilmesi, tomurcukların açılabilmesi, bitkilerin çeşitli organlarının büyüüp şekillenebilmesi gibi farklı fizyolojik süreçleri etkileyebilen ve kontrol edebilen önemli bir çevresel sinyaldir (Vieira ve ark. 2018). Işıklanma süresi ve şiddetindeki değişimler, bitkinin fotosentez metabolizmasını doğrudan etkilediği için, oluşan karbonhidratların bitkideki taşınma modelini ve bitki gelişimini de etkilemektedir (Korkmaz & Alkan 2017). Güneş ışığı tükenmez bir enerji kaynağı olmasına rağmen günümüzde ışığın yetersiz olduğu alanlarda ve sera üretim sistemlerinde ek ışık kaynaklarının kullanımı son derece önemli hale gelmiştir (Koç ve ark. 2009; Çakırcı ve ark. 2017). Işığın farklı dalga boylarının fotosentez üzerindeki etkileşimi henüz tam olarak anlaşılabilmiş değildir. Güneş ışığı spektrumu; morötesi veya ultraviyole (100-400 nm), görünür ışık (400-700 nm) ve kızılötesi (>700 nm) olmak üzere üç kısımdan oluşur ve bu spektrumun bitkiler tarafından fotosentezde kullanılan kısmı PAR (fotosentetik aktif radyasyon) ışığı olarak adlandırılan 400-700 nm'lik kısımdır (Öztekın & Türe 2019). Bitkisel üretimde bitkiler esas olarak fotosentez yapmak için, gelen spektrumun kızılötesi, kırmızı ve mavi kısımlarını kullanarak çok sayıda gelişimsel ve uyum süreçlerini düzenler (Çağlayan & Ertekin 2018). Bitkiler ancak yeterli ışık altında sağlıklı bir şekilde büyüyebilirler. Işık sadece fotosentezde enerji kaynağı olarak değil, tohum çimlenmesinden bitki ölümüne kadar olan süreçte büyüme ve gelişme, kalite ve verimde artış, fotoperiyot zamanlarını ayarlama ve çeşitli metabolik ve fotokimyasal olaylarda etkilidir (Öztekın & Türe 2019). Işık, bitkilerdeki farklı fotoreseptörler tarafından tespit edilir ve tohumlarda fitokromlar, ışık sinyallerini algılamak ve bunları dâhili (biyokimyasal) sinyale dönüştürmekten sorumludur (Vieira ve ark. 2018). Bu nedenle, bitkilerin tohumdan başlayan tüm yaşam döngüleri boyunca ışıklandırma ve karartma süreleri (fotoperiyotları) ayarlanarak, birçok gelişme süreci denetim altına alınabilir. Işığın farklı dalga boylarının etkisi, büyüme döngüsünde bulunduğunuz yere ve bitki türlerine bağlı olduğundan, bitkilerin ihtiyaçlarını en iyi şekilde karşılayacak spektrumu tanımlamak önemlidir. Bu kapsamda bitkisel üretimde yapay ışıkların kullanımı son derece olumlu sonuçlar vermektedir (Lin ve ark. 2013; Bantis ve ark. 2016; Sanoubar ve ark. 2018). Bu amaçlar için akkor telli lambalar, metal halojen (MH) lambalar, yüksek basınçlı sodyum buharlı deşarj (LPS, HPS) lambaları, floresan lambalar ve LED (ışık yayan diyot) gibi farklı yapay ışık kaynakları kullanılabilir (Koç ve ark 2009; Lin ve ark 2013; Çakırcı ve

ark 2017, Sanoubar ve ark 2018; Öztekin & Türe 2019). Yapay ışıklandırma, gün ışığına ilave ışık verilerek bitki için uygun ışık spektrumunun artırılması şeklinde uygulanabileceği gibi, gün uzunluğunun ve ışık şiddetinin artırılması veya çiçeklenme gibi bitkisel tepkilerin olabilmesi için fotoperiyodik ışıklandırma uygulaması şeklinde de yapılabilir (Öztekin & Türe 2019). Yapay ışık kaynağı olarak, ışık yayan diyot (LED) sistemlerinin, yeni teknolojik gelişmelerle birlikte tarımda kullanılması bitkisel üretim sistemine yeni bir boyut kazandırmaktadır. LED aydınlatma, yılın herhangi bir zamanında bitkisel üretimi teşvik edici kontrollü çevre tarımının kilit ve etkili bir bileşeni olma yolunda hızla gelişmektedir (Sakhonwasee ve ark 2017; Çağlayan & Ertekin 2018; Ratner ve ark 2019). LED ışık teknolojisi; uzun ömür, küçük hacim, düşük ısı emisyonu, ayarlanabilir ışık yoğunluğu, yüksek enerji dönüşüm verimliliği ve dalga boyu özgülüğü gibi bir dizi avantaja sahiptir (Bantis ve ark 2016; Vasilean ve ark 2018; Ratner ve ark 2019). Günümüzde LED'ler, istenilen dalga boylarında ayarlanabilir olmasından dolayı bitki yetiştiriciliğinde, özellikle de ışığın yetersiz olduğu alanlarda ve seracılıkta bitkilerin büyümesi, olgunlaşması ve çiçek açma gibi biyolojik olayların kontrolü açısından da oldukça kullanışlıdır. Bu nedenle bitkilerin gelişiminde ilk aşama olan çimlenme aşamasında ışığın etkilerinin araştırılması oldukça önemlidir. Çimlenme, mevcut ışığın miktarı ile kalitesinden ve tohumun onu algılama kapasitesinden etkilenmektedir (Vieira ve ark 2018). Bu açıdan değerlendirildiğinde küçük tohumlarda çimlenme için ışık gereksinimi oldukça önem kazanmaktadır (Oliveira & Garcia 2011). Bu çalışmada, fesleğen (*Ocimum basilicum* L.) tohumunun çimlenmesi üzerine LED'in farklı renk sıcaklığı ve maruz kalma süresinin etkisini araştırmak amaçlanmıştır.

2. Materyal ve Yöntem

Çimlendirme testleri, Ordu Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Laboratuvarında Tesadüf Parsellerinde faktöriyel deneme desenine göre 4 tekerrürlü olarak yürütülmüştür. Araştırmada fesleğen bitkisi kullanılmıştır ve tohumlar, fungal enfeksiyonun önlenmesi için % 3'lük sodyum hipoklorür çözeltisi ile 2 dakika muamele edildikten sonra 5 dakika süreyle steril distile su ile yıkanmıştır (Sanoubar ve ark 2018). Çimlenme testleri, saf su ile ıslatılan çift kat Whatman No.1 filtre kağıtlarının yerleştirildiği, steril plastik petri (9 cm) kaplarında gerçekleştirilmiştir. Evaporasyonla su kaybının önlenmesi için her bir petri kabı sıkıca parafilm ile kapatılmıştır. Her birinde 25 tohum bulunan, 4 tekrarlı petri kapları 7 gün süresince, kontrol (karanlık) ile birlikte 3000 K (sıcak beyaz) ve 6500 K (gün ışığı) olmak üzere üç LED renk sıcaklığına (LRS) ve günde kontrol (karanlık), 10, 15 ve 20 saat (sa) olmak üzere dört farklı maruz kalma süresine (LMS) tabi tutulmuştur. LED'ler 60x60 cm ebatlarında ve gün ışığından izole edilmiş şekilde karartılarak özel olarak hazırlanan büyüme kabininde tohumların 50 cm üzerine yatay olarak yerleştirilerek çimlenme testleri yürütülmüştür. Deneme süresince tohumlar her gün kontrol edilerek, 2 mm kökçük uzunluğuna sahip tohumlar çimlenmiş olarak kabul edilmiştir (Sanoubar ve ark. 2018; Açıkgöz & Kara 2019). Denemede, Çimlenme Oranı (%), Çimlenme Süresi (gün), Çimlenme İndeksi, Plumula ve Radikula Uzunluğu (mm) belirlenmiştir (Karagüzel 2003; Uyanık ve ark. 2014). Çimlenme oranı; çimlenmenin sabitlendiği 7 günün sonunda, ekilen ve çimlenen tohumlar oranlanarak hesaplanmıştır. Çimlenme indeksi (GI)'nin hesaplanmasında $(GI) = \sum(Gt/Tt)$ formülü kullanılmış, burada Gt: ekimden sonraki t'inci günde çimlenen tohum sayısını, Tt: ekimden sonraki gün sayısını göstermektedir. Ortalama çimlenme süresi (MGT) ise $(MGT) = \sum T_i N_i / \sum N_i$ formülü ile hesaplanmış, burada T_i: ekimden sonraki kaçınıcı günde gözlem yapıldığını, N_i: gözlemin yapıldığı günde çimlenen tohum sayısını ifade etmektedir (Karagüzel ve ark., 2004).

Araştırma sonucu elde edilen veriler, SAS istatistik paket programından faydalanılarak varyans analizine tabi tutulmuş ve ortalamalar arasındaki farklılıklar LSD testine göre hesaplanmıştır.

3. Bulgular ve Tartışma

3.1. Çimlenme Oranı (%)

Farklı LED renk sıcaklığı (LRS) ve maruz kalma süresinin (LMS) çimlenme oranı üzerine etkisi istatistiksel olarak sırasıyla; $P < 0.01$ ve $P < 0.001$ düzeyinde önemli bulunmuştur (Çizelge 1).

Çizelge 1. Farklı LED Renk Sıcaklığı ve Maruz Kalma Süresinin Çimlenme Oranı (%) Üzerine Etkisi

	Kontrol	10	15	20	Ortalama
	(sa gün ⁻¹)				
3000 K	58.7	64.0	65.0	74.0	65.4 B
6500 K	58.7	76.0	84.0	82.7	75.3 A
Ortalama	58.7 B	70.0 A	74.5 A	78.3 A	
	F değeri	LSD			
LRS	0.0028	5.97			
LMS	0.0009	8.45			

Kontrol grubunda ortalama çimlenme oranı % 58.7 iken, bu oran 3000 K uygulamasında % 65.4'e ve 6500 K ışık uygulamasıyla % 75.3'e yükselmiştir. Çimlenme oranı üzerine ışığa maruz kalma süresinin etkisi incelendiğinde en düşük çimlenme oranına kontrol grubunda % 58.7 iken, maruz kalma süresi 20 sa gün⁻¹ olmasıyla birlikte % 78.3'e yükselmiştir. Renk sıcaklığı ve maruz kalma süresinin çimlenme oranı üzerine etkileri incelendiğinde ise en düşük çimlenme oranı % 58.7 ile kontrol grubunda elde edilirken, en yüksek çimlenme oranı 6500 K LED'in 15 sa gün⁻¹ uygulanmasıyla % 84.0 olarak, kontrole göre sırasıyla yaklaşık % 43 oranında bir artış elde edilmiştir. Bu etkinin, 6500 K gün ışığının fazla miktarda mavi renk içermesinden dolayı, tohumlarda ışığın algılanmasında rol oynayan ve çimlenmeyi kontrol eden fitokromların mavi ışığı absorbe etmesinden kaynaklı olduğu düşünülmektedir. Kırmızı veya kırmızı ötesi ışınımdaki değişiklikler ve bunların oranları fitokromlar tarafından algılanmakta olsa da, fitokromların mavi ışığı absorbe ederek mavi ışığa da tepki verdiği bilinmektedir (Akbarian ve ark 2016; Vasilean ve ark 2018). Simlat ve ark (2016) konuyla ilgili olarak yürüttükleri çalışmada, en düşük çimlenme oranının karanlık koşullarda gerçekleştiğini ve mavi LED uygulamalarıyla birlikte çimlenme oranının önemli ölçüde arttığını belirtirken, beyaz LED uygulamalarının çimlenme üzerine daha etkili olduğunu ifade etmişlerdir. Bu sonuçlar 6500 K (gün ışığı) uygulamasının ve artan ışığa maruz kalma süresinin fesleğende çimlenme oranını önemli ölçüde arttırdığını göstermektedir. Benzer şekilde konuyla ilgili yürütülen çalışmalarda da yapay ışık uygulamalarının bitkilerde çimlenme dönemlerinde önemli etkilerinin olabileceği belirtilmiştir (Koç ve ark 2009; Sanoubar ve ark 2018; Vieira ve ark 2018).

3.2. Çimlenme süresi (gün)

Farklı LED renk sıcaklığı ve maruz kalma sürelerinin çimlenme süresi üzerine etkisi incelendiğinde yapay ışığa maruz kalma süresinin çimlenme süresi üzerine etkisi istatistiksel olarak ($P<0.01$) önemli bulunmuştur (Çizelge 2).

Kontrol grubunda ortalama çimlenme süresi 4.11 gün iken, bu süre LED ışığa maruz kalma süresinin artırılmasıyla azalarak 15 sa gün⁻¹ uygulamasında 3.59 gün ve 20 sa gün⁻¹ uygulamasında ise 3.64 gün olmuştur. Bu iki uygulama aynı istatistiki gruba girmiş ve bu uygulamalar arasında önemli bir fark görülmemiştir. Çimlenme süresinde 15 sa gün⁻¹ LED uygulaması kontrole göre % 12'lik önemli bir azalış meydana getirmiştir. LED renk sıcaklığının çimlenme üzerine bir etkisi bulunmamışken ışığa maruz kalma süresinin artmasıyla çimlenme süresinin önemli ölçüde arttığı belirlenmiştir (Çizelge 2). Yapılan araştırmalarda ışığın bazı bitkilerde dormansiyi uyarırken, bazı bitkilerde bu etkiyi kaldırdığı belirtilmiştir (Karakurt ve ark. 2010). Tohumlarda ışığa tepkinin temel mekanizmasının, kimyasal olarak aktif bir pigment olan fitokron ile ilişkili bir durum olması ve tohum kabuğu ile embriyonun ışığa hassasiyet gösteren sensör özelliğinde olması nedeniyle artan ışıklanma süresinin çimlenme üzerine olumlu etkileri olduğu söylenebilir. Bu sonuçların aksine bulgular da literatürde yer almaktadır. Ryu ve ark. (2012) karahindiba bitkisinde mavi, kırmızı ve mavi-kırmızı LED uygulamalarının kontrole göre çimlenme süresini geciktirdiğini belirtmişlerdir. Vieira ve ark. (2018) 11 farklı *Vellozia* türünde ışığın şiddeti ve süresinin çimlenme üzerine etkilerini araştırdıkları çalışmada beyaz ışık uygulamalarının çimlenme süresini kontrole göre % 55 oranında azalttığını ancak ışığın etkisinin bitki türleri arasında önemli ölçüde değiştiğini bildirmiştir. Bu bulgular çimlenme aşamasında bitkilerin ışığa karşı tepkilerinin farklı olabileceğini göstermektedir. Konuyla ilgili olarak birçok araştırmacı bitki türlerine bağlı olarak bitkilerin ihtiyaçlarını en iyi şekilde karşılayacak ışık spektrumunu tanımlamanın bitki gelişimi açısından önemli olduğunu belirtmiştir (Vaselian ve ark. 2018; Vieira ve ark 2018; Çağlayan & Ertekin 2018).

Çizelge 2. Farklı LED Renk Sıcaklığı ve Maruz Kalma Süresinin Çimlenme Süresi (gün) Üzerine Etkisi

	Kontrol	10	15	20	Ortalama
					(sa gün-1)
3000 K	4.11	4.10	3.78	3.63	3.91
6500 K	4.11	3.93	3.40	3.65	3.77
Ortalama	4.11 A	4.02 A	3.59 B	3.64 B	
	F değeri	LSD			
LMS	0.0036	0.32			

3.3. Çimlenme İndeksi

Farklı LED renk sıcaklığı ve maruz kalma sürelerinin çimlenme indeksi üzerine etkisi incelendiğinde LED renk sıcaklığı ve maruz kalma süreleri ve LRS X LMS interaksyonu istatistiksel olarak ($P<0.001$) önemli bulunmuştur (Çizelge 3).

Çizelge 3. Farklı LED Renk Sıcaklığı ve Maruz Kalma Süresinin Çimlenme İndeksi Üzerine Etkisi

	Kontrol	10	15	20	Ortalama
	(sa gün ⁻¹)				
3000 K	49.15 d	51.30 d	55.06 cd	60.20 c	53.93 B
6500 K	49.15 d	73.66 b	82.51 a	74.61 b	69.98 A
Ortalama	49.15 C	62.78 B	68.78 A	67.40 AB	
	F değeri	LSD			
LRS	<.0001	3.75			
LMS	<.0001	5.30			
LRS x LMS	0.0003	7.49			

Kontrol grubunda ortalama çimlenme indeksi 49.15 iken, bu oran 3000 K uygulamasında 53.93'e ve 6500 K ışık uygulamasıyla 69.98'e yükselmiştir. Çimlenme indeksi üzerine ışığa maruz kalma süresinin etkisi incelendiğinde en düşük çimlenme indeksi kontrol grubunda 49.15'iken maruz kalma süresi 10 sa gün⁻¹ olmasıyla 62.78'e, 15 sa gün⁻¹ olmasıyla birlikte 68.78'e yükselmiştir. Maruz kalma süresinin artırılmasıyla birlikte 20 sa gün⁻¹ koşullarında 67.40 olan çimlenme indeksinde 15 sa gün⁻¹ uygulamasına göre önemli bir değişim olmadığı görülmektedir (Çizelge 3). Renk sıcaklığı ve maruz kalma süresinin çimlenme indeksi üzerine etkileri incelendiğinde ise en düşük çimlenme indeksi 49.15 ile kontrol grubunda elde edilirken, en yüksek çimlenme indeksi 6500 K LED'in 15 sa gün⁻¹ uygulanmasıyla 82.51 olarak belirlenmiştir. Bu sonuçlara göre LED ışığın sıcaklığı ve maruz kalma süresi arasındaki etkileşim çimlenme indeksi üzerinde etkilidir. Benzer şekilde konuyla ilgili yürütülen çalışmalarda da yapay ışık uygulamalarının bitkilerde çimlenme dönemlerinde önemli etkilerinin olabileceği belirtilmiştir (Akbarian ve ark. 2016; Vaselian ve ark. 2018).

3.4. Plumula Uzunluğu (mm)

Farklı LED 3000 K ve 6500 K renk sıcaklığı ve maruz kalma sürelerinin plumula uzunluğu üzerine etkisi incelendiğinde ışığa maruz kalma süresinin etkisi istatistiksel olarak (P<0.001) önemli bulunmuştur (Çizelge 4).

Çizelge 4. Farklı LED Renk Sıcaklığı ve Maruz Kalma Süresinin Plumula Uzunluğu (mm) Üzerine Etkisi

	Kontrol	10	15	20	Ortalama
	(sa gün ⁻¹)				
3000 K	18.64	11.03	9.93	7.88	11.87
6500 K	18.64	10.86	10.53	9.19	12.30
Ortalama	18.64 A	10.94 B	10.23 B	8.53 C	
	F değeri	LSD			
LMS	<.0001*	1.65			

Kontrol grubunda ortalama plumula 18.64 mm iken, bu süre LED ışığa maruz kalma süresinin artırılmasıyla azalarak 20 sa gün⁻¹'de 8.53 mm olmuştur. Plumula uzunluğu LED ışığın renginden etkilenmese de ışığa maruz kalma süresinden önemli ölçüde etkilenerek % 55 oranında bir azalma göstermiştir. Bu sonuçlar fesleğen tohumlarının ışığa maruz kalma süresiyle birlikte plumula uzunluğunun azaldığını ortaya koymuştur.

3.5. Radikula Uzunluğu (mm)

Farklı LED 3000 K ve 6500 K renk sıcaklığı ve maruz kalma sürelerinin radikula uzunluğu üzerine etkisi incelendiğinde, LED renk sıcaklığı ve LRS X LMS interaksyonu ($P<0.01$), LED'e maruz kalma süresi istatistiksel olarak ($P<0.001$) önemli bulunmuştur (Çizelge 5).

Kontrol grubunda ortalama radikula uzunluğu 7.5 mm iken, 3000 K uygulamasında 15.72 mm ve 6500 K ışık uygulamasıyla 19.12 mm olarak ölçülmüştür. Radikula uzunluğu üzerine ışığa maruz kalma süresinin etkisi incelendiğinde en düşük çimlenme oranına sahip kontrol grubunda 7.50 mm iken, maruz kalma süresi 15 sa gün⁻¹ olmasıyla birlikte 22.98 mm, 20 sa gün⁻¹ olmasıyla ise 25.09 mm olarak ölçülmüştür. Bu iki uygulama arasında istatistiksel olarak bir fark görülmemektedir (Çizelge 5). Bu sonuçlara göre radikula uzunluğu LED renk sıcaklığı ve LED'e maruz kalma süresinin artmasıyla kontrole göre önemli ölçüde artmıştır. Renk sıcaklığı ve maruz kalma süresinin radikula uzunluğu üzerine etkileri incelendiğinde ise en düşük 7.50 mm ile kontrol grubunda elde edilirken, en yüksek 6500 K LED'in 15 sa gün⁻¹ uygulanmasıyla 26.58 mm olarak belirlenmiştir. Simlat ve ark. (2016) mavi ışığın, kontrol ile karşılaştırıldığında kök gelişimini 2-5 kat arasında artırdığını belirtmişlerdir. Konuyla ilgili olarak yürütülen çalışmalarda mavi ışığı absorbe eden pigmentler hem kriptokromları hem de fototropinleri içerdiğini ve kriptokrom sistemi, çimlenme, yaprak genişlemesi, kök uzaması ve stoma açılması gibi roller üstlendiği birçok araştırmacı tarafından bildirilmiştir (Ryu ve ark. 2012; Simlat ve ark. 2016; Çağlayan & Ertekin 2018). Bu sonuçlara göre, 6500 K uygulaması içerdiği mavi renk yoğunluğunun fazla olması ve fesleğen tohumunun mavi rengi absorbe etmesinden dolayı radikula uzunluğunu artırmış olabilir.

Çizelge 5. Farklı LED Renk Sıcaklığı Ve Maruz Kalma Süresinin Radikula Uzunluğu (mm) Üzerine Etkisi

	Kontrol	10	15	20	Ortalama
	(sa gün ⁻¹)				
3000 K	7.50 c	10.04 c	19.38 b	25.96 a	15.72 B
6500 K	7.50 c	18.18 b	26.58 a	24.22 a	19.12 A
Ortalama	7.50 C	14.11 B	22.98 A	25.09 A	
	F değeri	LSD			
LRS	0.0017	1.91			
LMS	<.0001	2.75			
LRS x LMS	0.0021	3.83			

4. Sonuç ve Öneriler

LED ışık sıcaklığı ve ışığa maruz kalma süresinin fesleğen bitkisinde çimlenme özellikleri üzerine etkisinin araştırıldığı bu çalışmada LED ışık uygulamasının çimlenme oranını artırdığı ve çimlenme süresini kısaltarak önemli ölçüde çimlenme üzerine etki ettiği belirlenmiştir. LED ışığın, ekimden önce uygulanması bu tür küçük tohumların çimlenme gücünün artırılması açısından oldukça ekonomik görülmektedir. Elde edilen tüm sonuçlar birlikte değerlendirildiğinde çimlenme üzerine ışığın önemli bir faktör olduğu ve LED uygulanarak yapılacak yapay aydınlatma ile çimlenme özelliklerinin artırılacağı belirlenmiştir. Bununla birlikte yapay ışık kaynağı olarak LED ışığın kullanımının fesleğen tohumlarının çimlenmesi üzerine olumlu etkilerinin olduğu sonucuna varılmıştır.

Kaynaklar

1. Açıkgöz M A & Kara Ş M (2019). Effect of various pretreatments on germination of Turkish endemic achillea gypsicola hub.-mor. species under in vivo and in vitro conditions. Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 9(4): 2321-2329.
2. Akbarian B, Matloobi M & Mahna N (2016). Effects of LED light on seed emergence and seedling quality of four bedding flowers. Journal of Ornamental and Horticultural Plants 6(2):115-123.
3. Bantis F, Ouzounis T & Radoglou K (2016). Artificial LED lighting enhances growth characteristics and total phenolic content of *Ocimum basilicum* L, but variably affects transplant success. Scientia Horticulturae 198: 277-283.
4. Çağlayan N & Ertekin C (2018). Farklı dalga boylu LED ışıklarının yeşil yapraklı bitkilerin gelişimi üzerindeki etkileri. Tarım Makinaları Bilimi Dergisi 14(2): 105-114.
5. Çakırer G, Akan S, Demir K & Yanmaz R (2017). Bahçe bitkilerinde kullanılan ışık kaynakları. Akademik Ziraat Dergisi Cilt:6 Özel Sayı: 63-70.
6. Karagüzel O, 2003. Farklı Tuz Kaynak ve Konsantrasyonlarının Güney Anadolu Doğal *Lupinus varius*'lerinin Çimlenme Özelliklerine Etkisi. Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 16(2): 211-220.
7. Karagüzel O, Cakmakçı S, Ortacesme V & Aydınoglu B (2004). Influence of seed coat treatments on germination and early seedling growth of *Lupinus varius* (L.). Pakistan Journal of Botany, 36(1): 65-74.
8. Karakurt H, Aslantaş R & Eşitken A (2010). Tohum çimlenmesi ve bitki büyümesi üzerinde etkili olan çevresel faktörler ve bazı ön uygulamalar. Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi 24(2): 115-128.
9. Koç C, Vatandaş M & Koç A B (2009). LED aydınlatma teknolojisi ve tarımda kullanımı. 25. Tarımsal Mekanizasyon Ulusal Kongresi, 01-03 Ekim, Isparta.
10. Korkmaz H & Alkan S (2017). Bitkilerde allokasyonu etkileyen faktörler. Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 7(4): 23-32.
11. 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.
12. Oliveira P G & Garcia Q S (2011). Germination characteristics of Syngonanthus seeds (Eriocaulaceae) in campos rupestres vegetation in south-eastern Brazil. Seed Science Research 21: 39-45.
13. Öztekin G B & Türe K (2019). Tam spektrumlu gün ışığı floresan lamba ile yapay ışıklandırmanın marulda fide kalitesine etkisi. Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi 56(4): 437-445.
14. Ratner K, Joshi N C, Yadav D, Many Y, Kamara I, Esquira I, Achiam M, Gilad Z & Charuvi D (2019). Application of LED-interlighting for improving the yield of passive tunnel-grown bell pepper. In XI International Symposium on Protected Cultivation in Mild Winter Climates and I International Symposium on Nettings, pp.19-26.

15. Ryu J H, Seo K S, Choi G L, Rha E S, Lee S C, Choi S K, Rha E S, Lee S C, Choi S K, Kang S & Bae C H (2012). Effects of LED light illumination on germination, growth and anthocyanin content of dandelion (*Taraxacum officinale*). Korean Journal of Plant Resources 25(6): 731-738.
16. Sakhonwasee S, Tummachai K & Nimnoy N (2017). Influences of LED light quality and intensity on stomatal behavior of three petunia cultivars grown in a semi-closed system. Environmental Control in Biology, 55(2): 93-103.
17. Sanoubar R, Calone R, Noli E & Barbanti L (2018). Data on seed germination using LED versus fluorescent light under growth chamber conditions. Data in Brief, 19: 594-600.
18. Simlat M, Ślęzak P, Moś M, Warchoń M, Skrzypek E & Ptak A (2016). The effect of light quality on seed germination, seedling growth and selected biochemical properties of *Stevia rebaudiana* Bertoni. Scientia Horticulturae 211: 295-304.
19. Uyanık M, Kara S M & Korkmaz K (2014). Bazı kışlık kolza (*Brassica napus* L.) çeşitlerinin çimlenme döneminde tuz stresine tepkilerinin belirlenmesi. Journal of Agricultural Sciences 20(4): 368-375.
20. Vasilean I, Cîrciumaru A, Garnai M & Patrascu L (2018). The influence of light wavelength on the germination performance of legumes. The Annals of the University Dunarea de Jos of Galati. Fascicle VI-Food Technology, 42(2): 95-108.
21. Vieira B C, Rodrigues B M & Garcia Q S (2018). Light exposure time and light quality on seed germination of *Vellozia* species (Velloziaceae) from Brazilian campo rupestre. Flora 238: 94-101.