

## LED Aydınlatma Sisteminin Domates Bitkisinin Gelişimi Üzerine Etkileri

Nezihe KÖKSAL<sup>1\*</sup> Meral İNCESU<sup>1</sup> Ahmet TEKE<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Bahçe Bitkileri Bölümü

<sup>2</sup>Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü

\* Sorumlu Yazar  
e-mail: nkoksals@cu.edu.tr

Geliş Tarihi : 28 Kasım 2013  
Kabul Tarihi : 19 Aralık 2013

### Özet

Bitkiler iyi bir gelişim için ışığa gereksinim duyarlar. Bitki gelişiminde ihtiyaç duyulan ışığın kaynağı güneş veya yapay ışıklardır. Son dönemlerde LED (Light Emitting Diode-Işık Yayan Diyotlar) teknolojisi ile daha ucuz ve bitkinin fotosentetik aktivitesinin yoğun olduğu ışıklanma sağlanabilmektedir. Bu çalışmada LED lambaların domates bitkisinin (*Lycopersicon esculentum* L.) gelişimi üzerine etkisi incelenmiştir. Deneme, özel olarak planlanmış alçak plastik tünellerde yürütülmüştür. Bitkilerin yetiştirildiği tünellerde ışık kaynağı olarak; 1). Doğal güneş ışığı (kontrol grubu), 2). Gündüz saatlerinde güneş ışığı, güneş battıktan sonra ise kırmızı-turuncu ışık veren LED lambalar (623nm) kullanılmıştır. LED'lerin tüketeceği enerji ise güneş paneli sistemi aracılığıyla sağlanmıştır. Araştırmada, bitki boyu (cm), yaprak sayısı (adet), çiçek sayısı (adet), kök boğazı kalınlığı (mm), gövde kalınlığı (mm), yaprak kalınlığı (mm) toplam bitki ağırlığı (g), kök ağırlığı (g), biomas ağırlığı (g), kök/biomas oranı büyüme parametreleri incelenmiştir. Çalışma sonucunda, kırmızı-turuncu LED ışığı ile ek aydınlatmanın, bitki boyu, yaprak sayısı, çiçek sayısı ve biomas ağırlığı bakımından kırmızı-turuncu LED ışık ile yapılan ek aydınlatmanın istatistiksel olarak farklılık yarattığı belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Domates, LED, büyüme

## Effects of LED Lighting on Plant Development of Tomato

### Abstract

Plants need light for a good development. During the growth of plants, the required sources of the light are provided by either the sun or artificial lights. Recently, lighting which is cheaper and more intense activity in the plant photosynthetic light quality can be achieved with LED (Light Emitting Diode-Light-Emitting Diodes) technology. In this study, the effect of LED lamps on the growth of Pansy was investigated. The trial was carried out for four months under the low plastic tunnels which were designed specially for lighting treatments. In tunnels which tomato plants were grown; 1). Natural sunlight (control group), 2). Sunlight during the day, after sundown, the red-orange light emitting LED lamps (623nm) were used as the light sources. Energy consumed by LEDs was provided through the solar panel system. In this study, Plant height (cm), number of leaves (unit), number of flowers (unit), stem thickness (mm), thickness of leaf (mm), total plant weight (g), root weight (g), biomass weight (g), root/biomass ratio were evaluated. As a result, additional lighting with red-orange LED lights were signally effective on plant height, number of leaves, number of flowers, and biomass weight.

**Keywords:** Tomato, LED, Growth

## GİRİŞ

Domates meyvesi yenen sebze türleri içerisinde en fazla tüketilen türlerden birisidir. Domates yetiştiriciliğinde diğer bitkilerde de olduğu gibi çevresel faktörlerin bitki gelişimi üzerine önemli etkileri olmaktadır. Bu çevresel faktörlerden biri de ışıktır. Domates bitkisinin gün uzunluğuna karşı duyarlılığının fazla olmamasına karşın, yapılan çalışmalar 16 saat gün uzunluğunun olumlu etkileri olduğunu ortaya koymuştur. Uzun gün koşulları, salkım sayısını arttırırken, kısa gün koşulları çiçeklenme ve

meyve tutumunu erkene almaktadır. Işığın yetersiz olduğu durumlarda ince gövde gelişimi, çiçek sayısı azlığı, zayıf salkım oluşumu ve zayıf kök gelişimi sorunları ortaya çıkmaktadır (Sevgican, 1999). Kış aylarında (Aralık, Ocak, Şubat, Mart) ışık şiddeti düştüğü için seralarda domates yetiştiriciliğinde ek ışıklandırma ihtiyacı gündeme gelmektedir. Ancak, yetişme döneminde sera gibi büyük alanlarda ek ışıklandırma ekonomik olmayacağı için uygulanamamaktadır. Buna karşın, fide döneminde dar alanlarda fazla sayıda bitkinin ek ışıklandırılması başarı ile uygulanabilmektedir (Günay, 2005). Gün

uzunluğuna ilave olarak yapılan ek ışıklanma gelişmeyi arttırarak fide devresini kısaltmaktadır. Fide süresinin 3-4 hafta gibi kısa bir dönemi kapsamayı yapay ışıklandırmayı kullanılabilir kılmaktadır (Sevgican, 1999).

Bitkiler, klorofil oluşumu, fotosentez, anorganik maddelerin organik maddelere dönüşümü, sürgün, yaprak, çiçek ve meyve oluşumu için ışığa ihtiyaç duymaktadır (Eriş, 2007). Bitki gelişiminde ihtiyaç duyulan ışığın kaynağı güneş veya yapay ışıklardır (Kim ve ark., 2004; Ohasi-Kaneko ve ark., 2007). Güneşten yeryüzüne gelen ışık, farklı dalga boyu ışıklardan meydana gelmektedir. Spektrumdaki ışığın yaklaşık 390 nm ile 760 nm arasındaki dalga boyları görünür ışık olarak adlandırılmaktadır (Eriş 2007). Görünür ışık spektrumunda kırmızı-turuncu ışık dalga boyu (600-700nm) en uzun olan ışıktır (Yang ve ark., 2012). Bitkiler fotosentez yaparken spektrumdaki görünür ışığı kullanmaktadır (Eriş, 2007). Güneşin yaydığı elektromanyetik ışıklardan görünür dalga boyundaki fotonların enerjisi bitkiler tarafından fotosentezde kullanılmaktadır (Zhu ve ark., 2008). Işık, bitkiler için sadece fotosentezde enerji kaynağı olmayıp aynı zamanda farklı gelişim süreçlerini kontrol eden ve yönlendiren bir faktördür (Andiç, 1993; Padem ve Özdamar, 2002). Işık yoğunluğu, dalga boyu gibi ışıkla ilgili pek çok faktör bitki büyüme parametreleri (boğum uzunluk farklarını, bitki boyu, dallanma düzeni, yaprak boyutları ve biomass gibi) üzerine etkili olmaktadır (Lee, 1988; Lee ve ark., 1996, 1997, 2000; Stuefer ve Huber, 1998; Fisher ve ark., 2002; Croster ve ark., 2003; Griffith ve Sultan, 2005).

Işığın bitki gelişimindeki önemli etkileri örtü altı yetiştiriciliğinde ek ışık kullanımını gündeme getirmiştir. Özellikle ışık yoğunluğunun azaldığı kış aylarında güneş batarken yapılan ek ışıklandırmanın bitki büyümesi üzerine önemli etkileri bulunmaktadır (Decoteau ve ark., 1988; Blom ve ark., 1995; Chia ve Kubota, 2010). Güneş doğmadan önce ve/veya battıktan sonra yapılacak ek ışıklandırmalar için son yıllarda sahip olduğu bir çok avantajlarından dolayı LED ışıkların kullanımı yaygınlaşmaktadır (Pinho ve ark., 2007; Runkle, 2010; Johkan ve ark., 2010; Johansen ve ark., 2011; Yang ve ark., 2012). LED'li ışıklandırma bitkinin güneşsiz saatlerde de büyümesini sağlamaktadır (Okamoto ve ark., 1996; Yanagi ve ark., 1996; Yanagi ve Okamoto, 1997; Yorio ve ark., 2001). Serada sebze yetiştiriciliğinde bitkilerin gelişme aşamalarına

göre farklı renkte LED ışıkların kullanımı yaygınlaşmaya başlamıştır. Bu amaçla kırmızı ve mavi LED ışık yayan lambaların yaygın kullanımı ve satışı bulunmaktadır (Johansen ve ark., 2011).

LED lambalar, çevreci, uzun ömürlü ve konveksiyonel bütün ışık kaynaklarına göre elektrik tüketiminde tasarruflu oluşu sebepleri ile birçok ülkede kullanılmakta ve Türkiye'de de kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır (Anonim, 2011; Teke ve ark., 2011a,b). LED lambalar mevcut aydınlatma teknolojilerine göre %65'e varan oranda enerji tasarrufu sağlamaktadır (Runkle, 2010; Anonim, 2011). Ayrıca normal bir akkor ampulün ortalama kullanım ömrü 1000 saat iken LED lambaların kullanım ömrü 20.000 ile 50.000 saat arasında değişebilmektedir. LED lambalar morötesi veya kızılötesi ışınım yaymadıkları ve sistemin içinde civa ve kurşun bulunmadığı için bitkilere zarar vermeden aydınlatma sağlamaktadır. (Anonim, 2011).

LED ışıkların bitki yetiştiriciliğindeki etkilerine dair sınırlı sayıda çalışma bulunmaktadır. Bu çalışma ile Adana ve Çukurova bölgesinde örtü altı yetiştiriciliğinde LED lambaların kullanımının yaygınlaşmasına katkıda bulunmak amaçlanmıştır. Çalışmada domates yetiştiriciliğinde kırmızı LED ışıkların etkileri incelenmiştir. Bu amaçla özel olarak oluşturulmuş alçak plastik tüneller altına domates bitkileri yetiştirilmiştir. Aydınlatma olarak; Alçak plastik tünellerden birinde sadece doğal güneş ışığından yararlanılırken, diğerinde gündüz saatlerinde güneş ışığı, güneş battıktan sonra ise kırmızı-turuncu ışık veren LED lambalar ile ek ışıklandırma yapılarak bitkilerin gelişim süreci takip edilmiştir.

## MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmada kış döneminde yaygın olarak yetiştirilen Astona F1 (Nunhems) çeşidine ait 40 günlük ticari domates fideleri kullanılmıştır. Çalışmada Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi B6ahçe Bitkileri Bölümü Araştırma ve Uygulama Seralarında gerçekleştirilmiştir. Bitkilerin LED ek ışıklandırma altında yetiştiriciliği Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü tarafından oluşturulmuş olan LED aydınlatma sistemli-özel düzenekli alçak plastik tüneller altında gerçekleştirilmiştir.

Denemede bitkilerin yetiştirildiği alçak plastik tüneller, her biri 1'er m<sup>2</sup> olmak üzere iki eşit bölümden oluşmaktadır. Her iki tünelde de

ışıklandırma hariç, bitkilerin yetişmesi için gerekli diğer tüm koşullar eşit olacak şekilde planlanmıştır. Denemede bitkilerin yetiştirildiği tünellerden birinde ışık kaynağı olarak doğal güneş ışığı kullanılırken (kontrol grubu), diğerinde gündüz saatlerinde güneş ışığı, güneş battıktan sonra ise LED lambalar kullanılmıştır. LED'lerin tüketeceği yaklaşık 18 watt'lık güç ise güneş paneli sistemi aracılığıyla sağlanmıştır. Bu amaçla kullanılan düzenek; güneş paneli, akü, akü şarj regülatörü, fotosel, güç ölçümü (Watt transducer), veri kaydedici (data logger), bilgisayar, LED lambalar ve lüks metre'den oluşmaktadır. Ek ışıklandırma için kullanılan LED lambanın teknik özellikleri ise şu şekildedir; Marka: Helmet, Model: 5H4URCW, Lens büyüklüğü: 5, Işık Rengi: Kırmızı-turuncu, Işık dalga boyu: 623nm, görüntüleme açısı: 100°, ışık şiddeti 350-800 mcd, ileri yöndeki gerilimi (V), Tipik: 2, Maks: 2.4, İleri yöndeki akımı 20 mA.

Çalışmada domates bitkisinin fide aşamasındaki bitkileri kırmızı ışık veren LED lamba ile ek aydınlatma yapılan alçak plastik tünellere yerleştirilmiştir. Deneme 3 tekerrürlü ve her tekerrürde 5 adet bitki olacak şekilde planlanmıştır. LED lamba (623nm) ile ek aydınlanmalı ve lambasız (kontrol grubu) alçak plastik tüneller altında bitkilerin gelişimi 2 ay boyunca izlenmiştir. Ek ışıklandırmalar güneş battıktan sonra devreye giren ve kırmızı ışık veren LED lambalar (623nm) ile sağlanmıştır. LED lambaların devreye girmesi güneş ışığına duyarlı fotosel sistemi aracılığı ile gerçekleştirilmiştir. Buna göre güneş battıktan sonra 5 saat olmak üzere gün uzunluğu 16 saat olacak şekilde ek ışıklandırma yapılmıştır.

Deneme sonunda bitkilerde; bitki boyu (cm), yaprak sayısı (adet), çiçek sayısı (adet), kök boğazı kalınlığı (mm), gövde kalınlığı (mm), yaprak kalınlığı (mm), toplam bitki ağırlığı (g), kök ağırlığı (g), biomas ağırlığı (g), kök/biomas oranı parametreleri incelenmiştir. Bitkiler söküldükten sonra; Bitki boyu, kök boğazı kalınlığı, 3. boğumdaki gövde kalınlığı ölçülerek, yaprak sayısı ve çiçek sayısı sayılarak, toplam bitki ağırlığı, kök ağırlığı ve biomas ağırlığı ise hassas terazi ile tartılarak kaydedilmiştir. Kök ve biomas ağırlıkları oranlanarak kök/biomas oranı belirlenmiştir. Araştırma sonucunda LED aydınlatma sistemi altında yetiştirilen bitkiler ile kontrol bitkileri arasındaki gelişim farkları  $p=0.01$  ve  $p=0.05$  düzeyinde t-testi ile belirlenmiştir.

## BULGULAR VE TARTIŞMA

Deneme sonunda kırmızı-turuncu ışık veren LED lamba ile ek ışıklandırma yapılan ve ışıklandırma yapılmayan (kontrol grubu) tüneller altında yetiştirilen bitkiler arasında büyüme parametreleri açısından farklılıklar olduğu belirlenmiştir (Tablo 1). Buna göre; Bitki boyu, yaprak sayısı, çiçek sayısı ve biomas ağırlığı bakımından kırmızı-turuncu LED ışık ile yapılan ek aydınlatmanın istatistiksel olarak farklılık yarattığı belirlenmiştir. Öte yandan kök boğazı kalınlığı, gövde kalınlığı, yaprak kalınlığı, toplam bitki ağırlığı, kök ağırlığı ve kök/biomas oranı üzerine kırmızı-turuncu LED lamba ile ek aydınlatmanın bir etkisinin olmadığı tespit edilmiştir.

Bitki gelişimi ve fizyolojisi üzerine farklı dalga boyundaki ışık kaynağının önemli etkileri bulunmaktadır. Kırmızı-turuncu ışık (600-700 nm dalga boyu), hipokotil uzaması ve yaprak alan artışı üzerine etkili olmaktadır (Johkan ve ark., 2012). Son yıllarda sahip olduğu avantajlarından ötürü, örtü altında bitki yetiştiriciliğinde LED lambaların kullanımı yaygınlaşmaktadır. Her bitki türü, türünün özelliklerine göre kullanılan ışık kaynağı ve ışık dalga boyuna farklı tepkiler vermektedir. Brazaityte ve ark., (2010) turuncu LED ışık altında yetiştirilen domates bitkilerinde yaprak sayısının ve bitki yaş ağırlığının arttığını bildirmişlerdir. Burada sonuçları verilen araştırmada da yaprak sayısı ve biomas ağırlığı bakımından kırmızı-turuncu LED ışık ile yapılan ek aydınlatma istatistiksel olarak farklılık yarattığı belirlenmiştir. Bu sonuçlar literatür ile uyum göstermektedir. Domates yetiştiriciliğinde uzun gün koşulları, salkım sayısını arttırmaktadır. Buna karşın yetersiz ışık koşulu gövdenin ince kalmasına, çiçek sayısının azalmasına, salkımların zayıf kalmasına ve zayıf kök gelişimine sebep olmaktadır (Sevgican, 1999). Burada sonuçları verilen çalışmada da LED ışık altında ek aydınlatma altında yetiştirilen bitkilerde çiçek sayısı kontrole göre daha yüksek bulunmuştur.

## SONUÇ

Kış aylarında (Aralık, Ocak, Şubat, Mart) ışık şiddeti düştüğü için seralarda domates yetiştiriciliğinde ek ışıklandırma ihtiyacı bulunmaktadır. Buna karşın yetiştirme döneminde ek ışıklandırma ekonomik olmadığı için sadece fide döneminde uygulanması önerilmektedir. Enerji kaynağı olarak güneş enerjisinin

**Tablo 1.** Kırmızı-turuncu ışık veren LED lamba ile ek ışıklandırma yapılan ve ek ışıklandırma yapılmayan (Kontrol grubu) alçak plastik tüneller altında yetiştirilen domates bitkilerinin bitki büyüme ve gelişim özellikleri

Bitki Büyüme Parametreleri	LED	Kontrol	t test (Prob>t) <sup>1</sup>
Bitki boyu (cm)	47.75 ± 3.95	30.50 ± 3.63	0.0007**
Yaprak sayısı (adet)	15.25 ± 1.26	13.00 ± 0.82	0.0240*
Çiçek sayısı (adet)	10.75 ± 2.50	6.67 ± 0.94	0.0223*
Kök boğazı kalınlığı (mm)	7.83 ± 0.63	8.41 ± 1.06	0.3840 <sup>(ÖD)</sup>
Gövde kalınlığı (mm)	7.59 ± 0.32	6.54 ± 0.31	0.0031 <sup>(ÖD)</sup>
Yaprak kalınlığı (mm)	0.80 ± 0.45	0.73 ± 0.14	0.7839 <sup>(ÖD)</sup>
Toplam ağırlık (g)	87.25 ± 14.08	67.67 ± 10.87	0.0700 <sup>(ÖD)</sup>
Kök ağırlığı (g)	22.75 ± 7.80	15.67 ± 5.91	0.1980 <sup>(ÖD)</sup>
Biyomas ağırlığı (g)	64.50 ± 7.59	52.00 ± 4.97	0.0331*
Kök/Biomass	0.35 ± 0.09	0.30 ± 0.08	0.4140 <sup>(ÖD)</sup>

<sup>1</sup>: Önem Deresi, ÖD: Önemli değil, \*\*:p<0.01, \*:p<0.05

kullanılması ek ışıklandırmanın domates yetiştiriciliğinde daha etkin olarak kullanılması için bir çözüm olabilecektir. Bu sebeple çalışmada LED'lerin tüketeceği enerji, temiz enerji kaynağı olan güneş enerjisine dikkat çekmek için güneş paneli sistemi aracılığıyla sağlanmıştır.

Burada sonuçları verilen araştırma domates bitkisinin yetiştirme sürecinde kırmızı-turuncu LED ışıkların kullanımının bitki boyu, yaprak sayısı, çiçek sayısı ve biyomas ağırlığı parametreleri açısından farklılık yarattığını ortaya koymuştur. Sonuçlar domates bitkisinin yetiştirme sürecinde kırmızı-turuncu LED ışıkların kullanılabilirliğini ortaya koyarken, ileride yapılacak olan çalışmalara da temel oluşturmaktadır.

## KAYNAKLAR

Andiç C (1993). Tarımsal Ekoloji. Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları: 106, Ders Notları, Erzurum.

Anonim (2011). Dijital Teknik. S:102. Available:

<http://www.neoneon.com.tr/uploads/basinda/510b9ae5824653d8.pdf> (erişim:21.05.2012).

Blom TJ, Tsujita MJ, Roberts GL (1995). Far-red at end of day and reduced irradiance affect plant height of easter and asiatic hybrid lilies. *HortScience* 30: 1009-1012.

Brazaitytė A, Duchovskis P, Urbonavičiūtė A, Samuolienė G, Jankauskienė J, Sakalauskaitė J, Šabajevienė G, Sirtautas R, Novičkovas A (2010). The effect of light-emitting diodes lighting on the growth of tomato transplants. *Zemdirbyste Agriculture*, 97: 89-98. Available:

[http://www.lzi.lt/tomai/97\(2\)tomas/97\\_2\\_tomas\\_str10.pdf](http://www.lzi.lt/tomai/97(2)tomas/97_2_tomas_str10.pdf)

Chia PL, Kubota C (2010). End-of-day far-red light quality and dose requirements for tomato rootstock hypocotyl elongation. *HortScience* 45: 1501-1506.

Croster M.P, Witt WW, Spomer LA (2003). Neutral density shading and far-red radiation influence black nightshade (*Solanum nigrum*) and eastern black nightshade (*Solanum ptycanthum*) growth. *Weed Science* 51: 208-213.

Decoteau DR, Kasperbauer MJ, Daniels DD, Hunt PG (1988). Plastic mulch color effects on reflected light and tomato plant-growth. *Sci.Hortic* 34: 169-175.

Eriş A (2007). Bahçe Bitkileri Fizyolojisi. Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları:11, Ders Kitabı: 152, Bursa.

Fisher JB, Posluszny U, Lee DW (2002). Shade promotes thorn development in a tropical liana, *Artabotrys hexapetalus* (Annonaceae). *International Journal of Plant Sciences* 163: 295-300.

Griffith TM, Sultan SE (2005). Shade tolerance plasticity in response to neutral vs. green shade cues in *Polygonum* species of contrasting ecological breadth. *New Phytologist* 166: 141-148.

Günay A (2005). Domates. Sebze Yetiştiriciliği. Cilt II. (Özel Sebze Yetiştiriciliği) Ders Kitabı:318-344, İzmir.

Johansen NS, Eriksen AS, Mortensen L (2011). Light quality influences trap catches of *Frankliniella occidentalis* (Pergande) and *Trialeurodes vaporariorum* (Westwood). Integrated control in protected crops, temperate climate *IOBC/wprs Bulletin* 68: 89-92.

Johkan M, Shoji K, Goto F, Hahida S, Yoshihara T (2010). Blue light-emitting diode light irradiation of seedlings improves seedling quality and growth after transplanting in red leaf lettuce. *HortScience* 45: 1809-1814.

Johkan M, Shoji K, Goto F, Hahida S, Yoshihara T (2012). Effect of green light wavelength and intensity on photomorphogenesis and photosynthesis in *Lactuca sativa*. *Environmental and Experimental Botany* 75: 128-133.

Kim HH, Goins GD, Wheeler RM, Sager JC, (2004). Green-light supplementation for enhanced lettuce growth under red- and blue-light-emitting diodes. *HortScience* 39: 1617-1622.

Lee DW (1988). Simulating forest shade to study the developmental ecology of tropical plants: juvenile growth in three vines in India. *Journal of Tropical Ecology* 4: 281-292.

Lee DW, Krishnapilay B, Mansor M, Mohamad H, Yap SK (1996). Irradiance and spectral quality affect Asian tropical rain forest tree seedling development. *Ecology* 77: 568-580.

Lee DW, Oberbauer SF, Johnson P, Krishnapilay B, Mansor M, Mohamad H, Yap SK (2000). Effects of irradiance and spectral quality on leaf structure and function in seedlings of two Southeast Asian Hopea (Dipterocarpaceae) species. *American Journal of Botany* 87: 447-455.

Lee DW, Oberbauer SF, Krishnapilay B, Mansor M, Mohamad H, Yap SK (1997). Effects of irradiance and spectral quality on seedling development of two Southeast Asian Hopea species. *Oecologia* 110: 1-9.

Ohasi-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. *Environ. Cont. Biol.* 45: 189-198.

Okamoto K, Yanagi T, Takita S, Tanaka M, Higuchi T, Ushida Y, Watanabe H (1996). Development of plant growth apparatus using blue and red LED as artificial light source, *Acta Hort.* 440: 111-116.

Padem H, Özdamar H (2002). Sebze büyüme ve gelişiminde fotoreseptörler. *Derim* 9(2): 1-8.

Pinho P, Lukkala R, Särkkä L, Tetri E, Tahvonon R, Halonen L (2007). Evaluation of lettuce growth under multi-spectral-component supplemental solid state lighting in greenhouse environment. *International Review of Electrical Engineering (I.R.E.E.)* 2( 6):854-860.

Runkle E (2010). The future of greenhouse lighting. *gpn* 66.

Sevgican A (1999). Örtüaltı Sebzeciliği. Cilt I, Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları: 538, Ders Kitabı: 302, İzmir.

Stuefer JF, Huber H (1998). Differential effects of light quantity and spectral light quality on growth, morphology and development of two stoloniferous *Potentilla* species. *Oecologia* 117: 1-8.

Teke A, Haddur Ö, Mutlu Hİ (2011a). LED teknolojileri, Bölüm 1: Çeşitleri ve sürücü devreleri, *Yeni Enerji, Yenilenebilir Enerji Teknolojileri Dergisi* 24: 48-54.

Teke A, Haddur Ö, Mutlu Hİ (2011b). LED teknolojileri, Bölüm 2: LED'lerin kullanım alanları ve bazı özel uygulamaları, *Yeni Enerji, Yenilenebilir Enerji Teknolojileri Dergisi* 25: 50-54.

Yanagi T, Okamoto K (1997). Utilization of super-bright light emitting diodes as an artificial light source for plant growth. *Acta Hort. (ISHS)* 418: 223-228.

Yanagi T, Okamoto K, Takita S (1996). Effects of blue, red and blue/red lights of two different PPF levels on growth and morphogenesis of lettuce plants. *Acta Hort. (ISHS)*. 440: 117-122.

Yang ZC, Kubota C, Chia PL, Kacira M (2012). Effect of end-of-day far-red light from a movable LED fixture on squash rootstock hypocotyl elongation. *Scientia Horticulturae* 136: 81-86.

Yorio NC, Goins GD, Kagie HR, Wheeler RM, Sager JC (2001). Improving spinach, radish and lettuce growth under red light-emitting diodes (LEDs) with blue light supplementation, *HortScience* 36(2):380-383.

Zhu XG, Long SP, Ort DR (2008). What is the maximum efficiency with which photosynthesis can convert solar energy into biomass?. *Current Opinion in Biotechnology*. 19(2): 153-159.