

## **Sebze Üretiminde İlave LED Aydınlatma Uygulamaları**

**Nuri ÇAĞLAYAN<sup>1</sup>, Can ERTEKİN<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Akdeniz Üniveristesi, Mühendislik Fakültesi, Mekatronik Mühendisliği Bölümü, 07058, Antalya, Türkiye

<sup>2</sup>Akdeniz Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği Bölümü, 07058, Antalya, Türkiye  
nuricaglayan@akdeniz.edu.tr

Geliş Tarihi (Received): 06.05.2016

Kabul Tarihi (Accepted): 27.07.2016

**Özet:** Aydınlatma kaynakları teknolojisindeki son gelişmeler, sürdürülebilir ve yüksek verimli LED ışığı uygulamaları için yeni ufuklar açmaktadır. LED ve geleneksel ışık kaynakları için yapılan karşılaştırmalı ekonomik analizlerin sonucu, LED'lerin yüksek enerji etkinliği, düşük bakım maliyetleri ve uzun ömürleri sayesinde, uzun dönem sebze üretim maliyetlerinin düşmesine olanak vereceğini ortaya koymaktadır. LED'lerin geleneksel ışık kaynaklarına gerçekten alternatif olabileceğini anlamak için farklı türden bitkilerin farklı dalga boyları karşısında verdiği tepkilerin incelendiği çalışmalar yapılmaktadır. Ancak, farklı dalga boylu ışık veren LED'lerin bitki fizyolojisi üzerine etkilerinin anlaşılması için daha detaylı bilimsel çalışmalara ihtiyaç vardır. Teknolojik yenilikler ışık tayfının ayarlanmasını sağlamakta, LED armatürlerin bitki yetiştiriciliğinde kullanılmasını kolaylaştırmaktadır.

Bu çalışmada, yapay aydınlatmada geleneksel ışık kaynakları yerine LED ışık kaynaklarının kullanılma potansiyeli incelenmiştir. İlave olarak, LED lambalı bir aydınlatma otomasyon sistemi tanıtılmış, LED ışığının özelliklerine ve bitkiler üzerindeki etkilerine ilişkin araştırma sonuçları verilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** LED lamba, dalga boyu, LED aydınlatma otomasyon sistemi

### **Applications of Supplemental LED Lighting in Vegetable Production**

**Abstract:** Recent developments in the field of light source technologies have opened up new horizon for sustainable and highly efficient light sources in the form of LEDs (Light Emitting Diodes) for greenhouse lighting. In a comparative economic analysis of traditional vs. LED lighting, it shows that the introduction of LEDs allows reduction of the production cost of vegetables in the long-run, due to the LEDs' high energy efficiency, low maintenance cost and longevity. In order to evaluate LEDs as a true alternative to current lighting sources, species specific plant response to different wavelengths is discussed in a comparative study. However, more detailed scientific studies are necessary to understand the effect of different wavelength of LEDs on plants physiology. Technical innovations are required to design and realize an energy efficient light source with a spectrum tailored for optimal plant growth in specific plant species. This review focuses on the potential of LEDs to replace traditional light sources in additional lighting. Additionally, an automation system with LED light was introduced and the properties of LED light and research results were given about the effects on the plants.

**Key words:** LED light, wavelength, automation system with LED light

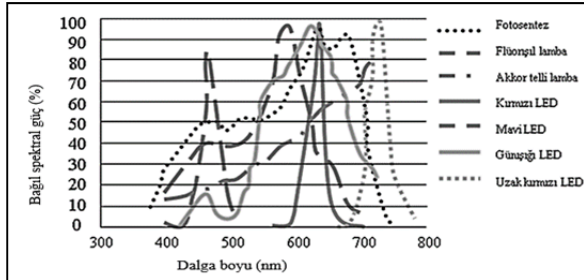
### **GİRİŞ**

Seralarda en çok tercih edilen yapay ışık kaynağı yüksek basınçlı sodyum buharlı (HPS) lambalarıdır. HPS lambalar nispeten daha yüksek enerji tüketirler, yüksek sıcaklıkta ( $\geq 200^{\circ}\text{C}$ ) çalışırlar ve bunun sonucu

olarak ortama önemli derecede ısı yayarlar (Opdam ve ark. 2005). Bu nedenlerden ötürü enerji verimliliği esas alındığında, seralarda HPS lambalarının kullanılması gelecekte kısıtlanabilecektir. Buna karşılık

LED armatürler çok daha az ısı yayarken daha yüksek ışık akısı verebilmektedirler. Bu sayede de bitkilere daha yakın ve sıra aralarına yerleştirilebilir, yüksek ve eşit ışık akısı verebilecek şekilde farklı fiziksel yapılarda üretilebilmektedirler. Ayrıca LED'ler dijital olarak ışık kontrolünün sağlanabilmesine ve enerji verimliliğine sahip aydınlatma sistemlerinin geliştirilmesine de olanaklar sağlamaktadır (Lin ve ark. 2013). Bu sayede bitkinin gelişim safhaları boyunca değişik aydınlık şiddeti veya tayftaki farklı dalga boylarını vermek gibi karmaşık ışık programlarının uygulanabilmesinin yolunu açmaktadırlar.

Geleneksel ışık kaynaklarının yaydıkları dalga boylarının büyük bir kısmı PAR (Photosynthetically Active Radiation) eğrisinin dışında yer almaktadır. Bu durum, geleneksel ışık kaynaklarının bitkilerin gelişiminde LED'lere göre daha az verimli olduklarını göstermektedir. Diğer bir ifadeyle, LED'ler tükettikleri enerjinin neredeyse tamamını fotosentez için gerekli PAR bölgesindeki dalga boylarında yaymaktadırlar (Koç ve ark. 2009). Özellikle mavi, kırmızı ve kızılötesi ışık veren LED lambalar (Şekil 1), fotosentez için yeterli enerjiyi karşılayabilmektedirler (Çağlayan ve Ertekin 2011).



**Şekil 1. Fotosentez ve yapay ışık kaynaklarına ait karakteristik eğriler**

Figure 1. Characteristic of the photosynthesis and the artificial light sources

LED'ler, gaz veya akkor tel kullanan geleneksel ışık kaynaklarından farklı olarak  $n$  ve  $p$  tipi yarıiletken yapılar arasına yerleştirilmiş aktif katman tabakasından ve bunların elektriksel bağlantılarından oluşan opto-elektronik bir elemandır. LED üzerinden doğru akım geçirildiğinde elektronlar aktif katmanı uyarır ve böylece ışık üretilir. Üretilen ışık doğrudan veya reflektörden yansıma ile yayılmaktadır. Aktif katmanın madde yapısına bağlı olarak görülebilir ışık tayfının belirli bir bölümünde ışık yayarlar (Musayev 1999). Başka bir ifadeyle tek renk ışık üretilir ve aktif katmanda kullanılan madde LED ışığının rengini belirler (Çizelge 1). Bu sayede bitkinin fotoreseptörüne uygun çiçeklenme ve fotosentez

etkinliği gibi farklı fiziksel süreçlerin yanı sıra bitki morfolojisi üzerinde de etkili dalga boyları elde edilebilmektedir (Yeh ve Chung 2009).

**Çizelge 1. LED yapısındaki yarı iletkenler ve verdikleri dalga boyları**

Table 1. Semiconductors in the LEDs structure and their wavelengths

Yarı İletken Malzeme	Dalga Boyu
SiC, InGaP, GaN	0.4 – 0.68
GaP, GaAsP	0.60 – 0.70
GaAs, GaAsP	0.70 – 0.95
GaAlAs,	0.70 – 0.95
GaAsSb, AlGaAsSb	1.00 – 2.00

LED bitki yetiştirme lambaları üzerine yapılan araştırmalar yaklaşık çeyrek yüzyıldan beri devam etmektedir. Çeşitli sebzeler üzerinde yapılan LED aydınlatma uygulamalarının yüksek verimlilik ve besin kalitesi açısından iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. Yapılan araştırmalarda, farklı dalgaboylu ışıkların bitkiler üzerinde fizyolojik ve morfolojik açılardan farklı değişimlere yol açtıkları görülmektedir (Yanağı ve Okamoto 1997). Örnek olarak; kırmızı ışık (610-720 nm) fotosentez gelişimini arttırırken, mavi ışık (400-500 nm) klorofil sentezi ve kloroplast gelişimi, stoma açıklığı ve fotomorfogenes için oldukça önemlidir (Senger 1982). Stutte ve ark. (2009) patates, turp ve marul üzerinde yapılan çalışmalarda mavi ışığın (400-500 nm) daha yüksek biyokütle ve yaprak alanı için gerekli olduğunu göstermiştir. Ancak, kırmızı ışığın farklı dalga boyları (660, 670, 680 ve 690 nm) ve mavi ışığın farklı dalga boyları (430, 440, 460 ve 475 nm) bitki çeşidine bağlı olarak aynı etkileri göstermeyebilmektedir. PAR bölgesinin dışında kalan kızılötesi LED ışığının ise (700-725 nm) bitki büyümesini ve fotosentezi desteklediği görülmektedir. Ayrıca, kırmızı (640 nm) ile kızılötesi (730 nm) LED ışığı altında yetişen marul bitkisi üzerinde yapılan denemelerde, kızılötesi ve kırmızı ışığın bitkideki antosiyanini ve antioksidanı önlediği veya bastırdığı buna karşılık toplam biyokütle ve yaprak uzunluğunun artışına neden olduğu görülmüştür. Goins ve ark. (1997), 660-690 nm dalga boyu arasında artan şekilde verilen kırmızı LED ışığının marulun biyokütle veriminde önemli artışların olduğunu gözlemişlerdir. Araştırmacıların yaptığı başka bir çalışmada ise, buğdayın (*Triticum aestivum* L., cv.) yaşam döngüsünü yalnız kırmızı LED ışığı kullanarak tamamlayabileceğini fakat uygun miktarda mavi ışığın ilave edilmesiyle daha fazla miktarda kuru madde ve tohum üretiminin destekleneceği sonucuna

ulaşmışlardır. Mizuno ve ark. (2011) lahanası (*Brassica oleracea* var. *capitata* L.) üzerinde yaptığı denemelerde, tek kaynak olarak kırmızı LED (640 nm) ışığı kullanmış ve elde edilen sonuçlar yapraklardaki antosiyanin içeriğinde artış olduğunu göstermiştir. Ayrıca, biberde (*Capsicum annuum* L.) kızılötesi (735 nm) ve kırmızı (660 nm) ışığın birlikte verilmesiyle (Toplam  $300 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ), gövde biyokütlesi ile bitki boyundaki artışın, tek başına verilen kırmızı ışığa göre daha yüksek olduğu

gözlenmiştir (Brown ve ark. 1995). Mavi (400-500 nm) ve kırmızı ışığın birleşimi ile yeşil sebze büyüme ve besin değeri üzerindeki olumlu etkileri yapılan çeşitli çalışmalardan bilinmektedir. Li ve ark. (2012) Çin lahanası üzerinde yaptıkları çalışmalarında mavi (440 ve 476 nm) ile kırmızı (660 nm) LED'leri birlikte kullanmışlar ve bu birleşimin daha yüksek klorofil oranına neden olduğu sonucuna varmışlardır. Benzer denemelerde alınan sonuçlardan bazıları Çizelge 2'de verilmiştir.

**Çizelge 2. LED ışığının bazı bitkilerin fizyolojisi üzerindeki etkileri**

Table 2. LED light effects on some plants' physiology

Bitki	Işık kaynağı	Bitki Üzerindeki Etkisi
Fesleğen ( <i>Ocimum gratissimum</i> L.)	Kırmızı, 660 ve 635 nm LED + Mavi, 460 nm LED	Çiçeklenmede gecikme (460 nm + 635 nm birleşime göre) (Tarakanov ve ark. 2012)
Marul ( <i>Lactuca sativa</i> L. Cv. Red Cross)	Kırmızı, 658 nm LED	Fenolik madde konsantrasyonunda %6'ya varan artış (li ve Kubota 2009)
Domates ( <i>Lycopersicon esculentum</i> L. Cv.)	Kırmızı, 638 nm LED ( $210 \mu\text{mol m}^{-2} \text{S}^{-1}$ ) + HPS ( $300 \mu\text{mol m}^{-2} \text{S}^{-1}$ )	Fenolik %28.5, Tokoferol %33.5, Şeker 552.5 ve antioksidan kapasitesinde %14.5 artış, fakat C vitamini içeriğinde azalma (Samuoliene ve ark. 2012 a).
Yeşil Soğan ( <i>Allium cepa</i> L.)	Kırmızı, 660 nm LED	Verimde artış (Lu ve ark. 2012).
Marul ( <i>Lactuca sativa</i> )	Kırmızı, 638 nm LED +	Nitrat içeriğinde azalma (Lu ve ark. 2012).
Cherry domates fideleri	Doğal gün ışığı Mavi+Kırmızı+Yeşil LED (Toplam $300 \mu\text{mol m}^{-2} \text{S}^{-1}$ )	Net fotosentez ve $\text{mm}^2$ başına stoma sayısında artış (Lu ve ark. 2012).
Kıvrıkcık lahanası ( <i>Brassica oleracea</i> L. cv.)	Kırmızı 640 nm LED (ön hazırlık aşamasında soğuk beyaz flüoresan lamba ile birlikte)	Lutein ve klorofil a, b toplamında artış. (Lefsrud ve ark. 2008)
Kırmızı, yeşil ve açık yeşil yapraklı marul ( <i>Lactuca sativa</i> L.)	Kırmızı, 638 nm LED ( $300 \mu\text{mol m}^{-2} \text{S}^{-1}$ ) + HPS ( $90 \mu\text{mol m}^{-2} \text{S}^{-1}$ )	Açık yeşil yapraklı marulda %12.5 nitrat artışı fakat kırmızı yapraklıda %56.2 ve yeşil yapraklıda %20.0 azalma. (Samuoliene ve ark. 2011)
Hıyar transplantasyonu (mandy F1)	Mavi, 455 ve 470 nm LED ( $15 \mu\text{mol m}^{-2} \text{S}^{-1}$ ) + HPS ( $90 \mu\text{mol m}^{-2} \text{S}^{-1}$ )	455 nm uygulamasında daha yavaş büyüme ve gelişme; 470 nm uygulamasında yaprak alanında, yaş ve kuru madde miktarında artış. (Novickovas ve ark. 2012)
Domates (magnus F1) tatlı biber ( <i>Capsicum annuum</i> L.)	Yeşil, 505 ve 530 nm LED ( $15 \mu\text{mol m}^{-2} \text{S}^{-1}$ ) +	Yalnız hıyarda 530 nm'de gelişim veb fotosentetik pigment toplamında artış, Domates ve tatlı biberde 505 nm uygulamasında yaprak alanında, yaş ve kuru madde miktarında artış.
Hıyar ( <i>Cucumis sativus</i> )	HPS ( $90 \mu\text{mol m}^{-2} \text{S}^{-1}$ )	(samuoliene ve ark. 2012a)

Bazı araştırmacıların HPS ve güçlü parlak ışık veren kırmızı ve mavi LED karışımı lambalar ile yaptıkları deneysel çalışmalarda, aynı miktar domates üretildiği zaman LED kullanıldığında harcanan enerjinin, HPS aydınlatmadakinin yaklaşık %25'i olduğu sonucuna varılmıştır (Kacira 2011). Benzer sonuçlar hıyar ve marul üretiminde de görülmüştür (Mitchell 2012). Geleneksel lambalar (HPS) kullandıkları elektrik enerjisinin %30'unu ışığa çevirebilirken, LED'ler farklı dalga boyları için optimize edilebildiklerinden kullandıkları enerjinin %90'dan fazlasını ışığa çevirebilmektedirler ve akkor telli, sodyum ve cıva

buharlı lambalara kıyasla %50-80 arasında enerji tasarrufu sağlamaktadırlar (Klären GmbH 2016). Bu durum, LED'lerin kullanıldığı seralarda yapılan üretimin, geleneksel aydınlatma armatürlerinin kullanıldığı seralardakine oranla önemli ölçüde düşük fiyatlı yapılabilmesini ve rekabet açısından avantajlı duruma gelmesini sağlayabilecektir.

Türkiye'de özellikle yapay aydınlatma uygulamaları yapan bazı fideliklerde, bitki büyüme odaları ile doku kültürü ve aşılı fide uygulamalarında sınırlı sayıda da olsa LED bitki yetiştirme lambalarının kullanıldığı görülmektedir. LED ışık kaynaklı bitkisel aydınlatma

uygulamalarının yaygın ve etkili kullanımını arttırmak için kaliteli ve uygun fiyatlı LED ışık kaynakları ile kontrol sistemlerinin geliştirilmesine ve yerli üretimin teşvik edilmesine ihtiyaç vardır.

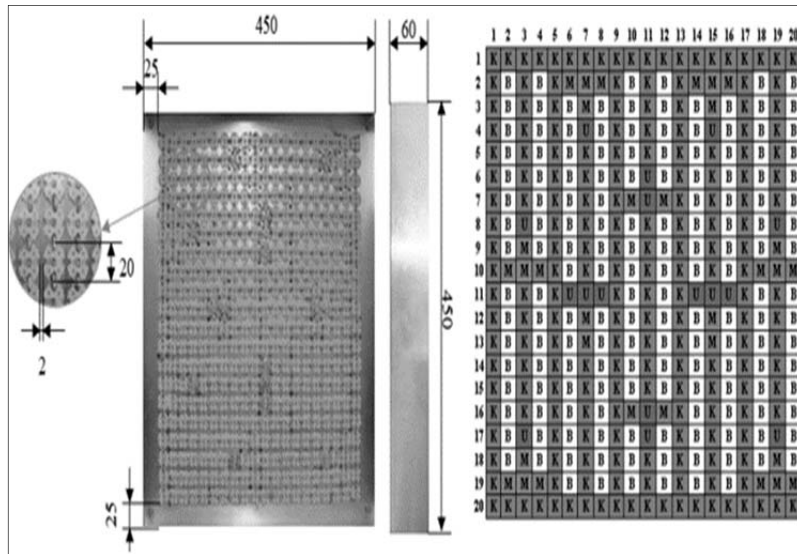
### MATERYAL ve YÖNTEM

Bu çalışmanın amacı, seralar, bitki yetiştirme ve doku kültürü odaları ile araştırma amaçlı çalışmalar için farklı dalga boylu ışık veren LED lamba ve onun kontrol sisteminden oluşan Aydınlatma Otomasyon Sisteminin (AOS) tasarlanması ve bir örneğinin imal edilmesidir. Geliştirilen AOS, ortamdaki PAR miktarını anlık olarak izlemekte ve eksik veya fazlalığı hesaplamaktadır. Fark olması durumunda, LED lamba aktif olmakta ve aydınlık şiddeti ortamda istenilen PAR miktarına eşit olana kadar otomatik olarak ayarlanmaktadır. Böylece ortamın PAR miktarının sabit kalması amaçlanmaktadır. Eksik PAR miktarının hesaplanmasında Eşitlik 1 kullanılmıştır.

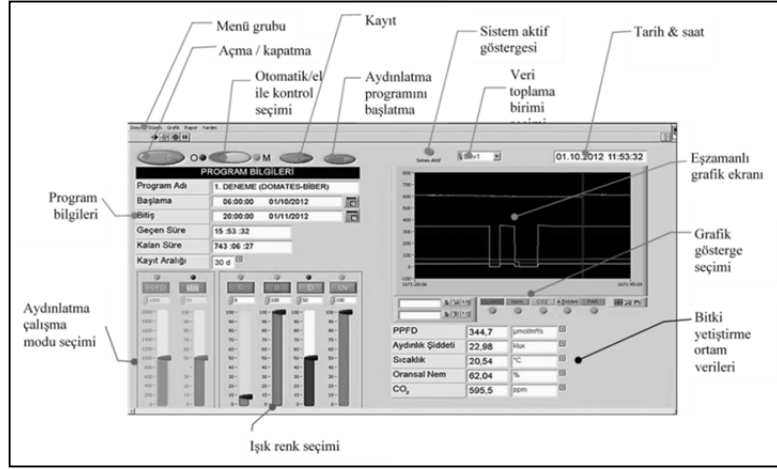
$$P = \frac{(I_0 - I_1) \cdot 10^6 \text{ J} \cdot \text{MJ}^{-1}}{t \cdot 3600 \text{ s} \cdot \text{h}^{-1}} \quad (1)$$

Burada,  $P$  eksik ( $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$ ),  $I_0$  istenen ( $\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{gün}^{-1}$ ),  $I_1$  ortamda bulunan PAR miktarını ( $\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{gün}^{-1}$ ) ve  $t$  ortalama gün uzunluğunu ( $\text{saat} \cdot \text{gün}^{-1}$ ) göstermektedir. AOS tam yapay ortamlarda kullanıldığında, ışık olmayacağından  $I_1 = 0$  olacaktır. PAR ölçümü için LICOR LI-190 PAR quantum duyargası (Tayf tepkisi: 400-700 nm; Duyarlılık: 5-10  $\mu\text{A}/1000 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ; Doğrusallık: 10000  $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ye kadar en fazla %1) kullanılmıştır (LICOR inc. 2012). Eksik PAR enerjisini karşılayan LED lambada 4 farklı dalgaboylu LED grubu ve toplam 400 adet Cree ve Edison marka LED bulunmaktadır (Şekil 2). LED lambadaki LED'lerin sayıları ve teknik özellikleri Çizelge 3'de verilmiştir. Her LED grubu seri ve paralel bağlı LED dizilerinden oluşmakta ve her grup için 185 W, 30 Vdc ve 6,2 A anahtarlamalı ve sabit akım çıkışlı bir sürücü tercih edilmiştir (Mean Well inc. 2012). Kontrol yazılımı olarak LabVIEW (Laboratuary Virtual Instrument Engineering Workbench) geliştirme platformu kullanılmıştır. Ortamdaki PAR duyargasından gelen analog verilerin toplanması, bilgisayara gönderilmesi ve LED gruplarının ışık kontrolünün sağlanması için National Instruments firmasına ait 16 bitlik, 32 analog girişe ve 48 adet iki yönlü sayısal giriş-çıkış portuna sahip NI USB-6363 veri toplama birimi kullanılmıştır (National Instrument 2012).

AOS yazılımının arayüzü Şekil 3'te ve sistemin çalışma prensibini açıklayan akış şeması Şekil 4'de verilmiştir (Çağlayan 2013). Sistemin tamamlanmasının ardından laboratuvar ortamında hazırlanan test düzeneğinde elektriksel ve ışık (PAR) ölçümleri yapılmış ve laboratuvar test sonuçları elde edilmiştir. Test düzeneğinde hazırlanan yatay düzlem (45x45 cm) üzerinde işaretli 25 adet noktada ışık ölçümü yapılmış ve ışığın yüzeydeki dağılımı incelenmiştir. Ölçümler lambanın 20, 40, 60, 75 ve 90 cm yüksekliklerinde yapılmıştır (Şekil 5).

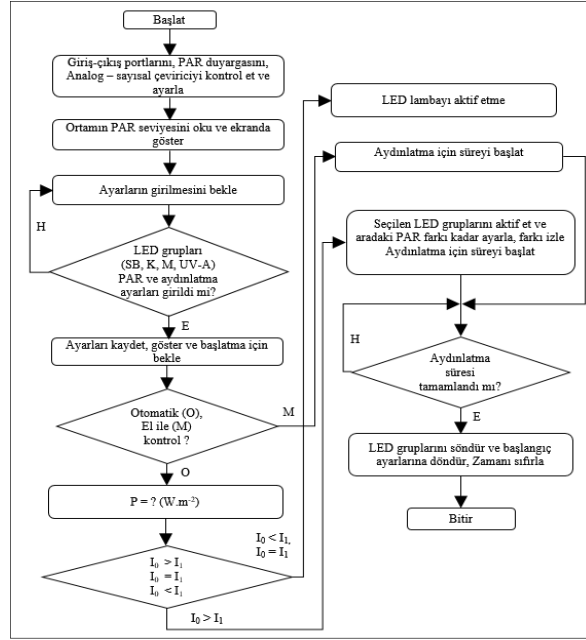


Şekil 2. LED lamba (K: Kırmızı, M: Mavi, D: Soğuk Beyaz, U: UV-A)  
Figure 2. LEDs (K: Red, M: Blue, D: Cold White, U: UV-A)



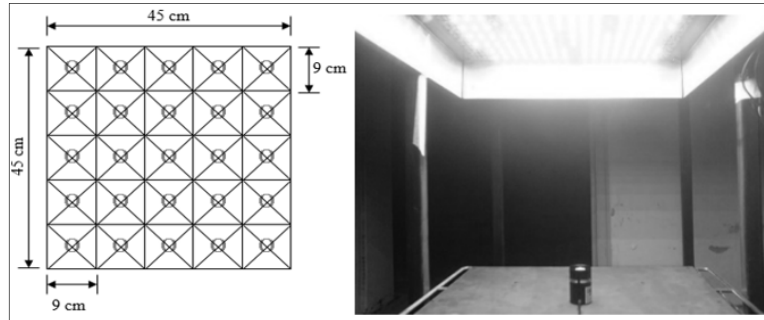
Şekil 3. Aydınlatma Otomasyon Sistemine (AOS) ait yazılımın arayüzü

Figure 3. Interface of the lighting automation system's software



Şekil 4. Aydınlatma Otomasyon Sisteminin akış şeması

Figure 4. Flow chart of the lighting automation system



Şekil 5. LED lambanın ışık ve elektriksel ölçümlerin yapıldığı laboratuvar test düzeneği

Figure 5. Laboratory test system in which measurements of the LED's light and electrical

Testlerde, özellikle LED lamba ışığının yatay düzlemde homojen dağılımına ait sorunlar görülmüş ve kabul edilebilir eşit ışık dağılım elde edilene kadar lambadaki LED yerleşim düzeninde çeşitli değişikliklere gidilmiştir. Bu testlerin ardından AOS'nin ışık kontrol testlerine geçilmiştir. Işık kontrol testleri yapay ve doğal ışığın olduğu ortamlarda yapılmış ve AOS'nin ışığın zamanla değiştiği (arttığı veya azaldığı) durumlardaki davranışı gözlenmiştir. Buradaki beklenti, ışığın yetersiz olduğu zamanlarda kontrol sisteminin durumu hızlıca algılayıp eksik PAR miktarını hesaplaması ve ortamdaki PAR miktarının istenen miktara gelecek şekilde LED lambanın ışığını otomatik olarak ayarlayabilmesidir. Ortamın eksik PAR miktarının hangi dalga boylu LED grupları (SB, K, M, UV-A ve kombinasyonları) ile tamamlanacağı kullanıcı tarafından yazılım arayüzünden girilmekte ve eksik PAR miktarı ayarlanan LED gruplarının verdiği ışıkla karşılanmaktadır.

AOS tamamlandıktan sonra performansının incelenmesi amacıyla domates (*Solanum lycopersicum*) fideleri üzerinde denemeler yapılmıştır.

Denemelerde farklı kombinasyonlarda ayarlanmış üç farklı dalga boylu ışığın fideler üzerindeki etkileri incelenmiştir. Bitkisel uygulamalarda kullanılan ve ticari olarak satışı yapılan LED yetiştirme lambalarındaki ışık oranları genellikle %90 kırmızı ile %10 mavi veya %80 kırmızı ile %20 mavi şeklinde olmaktadır. Ayrıca, tam yapay ortamda ışık altındaki sebze bitkilerinin üretimi için  $100-800 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  önerilmektedir (Karakaş 2008). Denemelerde de benzer kombinasyonlar kullanılmış ve kullanılan ışık kombinasyonları Çizelge 4'te verilmiştir. Tüm denemelerde PAR miktarı  $350 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  olacak şekilde ayarlanmıştır. Denemeler tohum çimlendikten hemen sonra başlatılmış ve her deneme 30 günlük periyotlarda,  $25^{\circ}\text{C}$ , %60 bağıl nemde 16 saat aydınlık ve  $18^{\circ}\text{C}$ , %65 bağıl nemde 8 saat karanlık uygulamalar şeklinde yürütülmüştür. D1, D2 ve D3 LED denemeleri 120 L ve 475x540x985 mm boyutlarındaki bir bitki yetiştirme kabini içinde, Kontrol grubu ise 600 W ve 5000K Metal Halojen (MH) lamba ışığı altında ayrı bir ortamda yürütülmüştür.

**Çizelge 3. Lambadaki LED dağılımı ve özellikleri (Cree inc. ve Edison inc. 2012)**

Teknik Özellikler	Cree XL amp XP-C			Edison Edixeon
	Soğuk beyaz	Kırmızı	Mavi	Morötesi (UV-A)
Renk sıcaklığı (K)	6500	-	-	-
Dalga Boyu (nm)	400-700	620-630	465-485	390-410
Işık akısı	100 lm	45.7 lm	23.5 lm	528 mW
Renk dönüşüm dizini (CRI)	70	-	-	-
Çalışma akımı (mA)	350	350	350	700
Çalışma gerilimi (V)	3.2-3.9	2.2-2.5	3.3-3.9	3.4
Çektiği güç (W)	1	1	1	3
Isıl direnç ( $^{\circ}\text{C W}^{-1}$ )	12	10	12	15
Işık yayım açısı ( $^{\circ}$ )	115	125	125	120
LED lambadaki sayısı (adet)	160	192	32	16
Pakey yapısı	Yüzey montaj (SMD: Surface Mount Device)			

**Çizelge 4. Denemelerde kullanılan ışık kombinasyonları ve oranları**

Table 4. Combinations and ratios of light used in test

	Denemelerde kullanılan ışık kombinasyonlarındaki oranlar (%)				
	UV-A LED (390-410 nm)	Mavi LED (465-485 nm)	Kırmızı LED (620-630 nm)	Soğuk Beyaz LED (6500K)	MH (5000K)
D1	-	-	-	100	-
D2	-	20	80	-	-
D3	10	70	20	-	-
K	-	-	-	-	100

**Çizelge 5. LED lambaya ait ışık ölçümleri**

Table 5. Light measurements of LED's

Yükseklik (cm)	LED Gruplarının PAR Miktarları ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )						
	SB	K	M	UV-A	K+M	K+M+UV-A	SB+K+M+UV-A
20	824.5	967.7	173.3	38.2	1129.3	1141.3	1784.5
40	415.7	489.3	90.1	16.5	578.1	590.1	941.1
60	267.6	316.4	60.4	10.0	378.1	387.6	626.9
75	210.2	251.0	47.0	8.6	298.2	302.2	493.4
90	172.5	210.1	38.9	6.9	250.1	254.1	419.7

(sb: Soğuk beyaz; K: Kırmızı; M: Mavi; UV-A: Morötesi)

**Çizelge 6. Bitkiler üzerinde yapılan fiziksel ölçüm sonuçları**

Table 6. Physical measurements made on plants

Deneme	Gövde çapı (mm)	Boy uzunluğu (mm)	Yaprak alanı ( $\text{mm}^2/\text{bitki}$ )	Yaprak sayısı (adet/bitki)	Kök uzunluğu (mm)
D1	2.26±0.18	121.42±0.64	427.78	2.81	75.52±1.00
D2	2.70±0.15	116.11±0.62	782.17	3.00	78.68±0.65
D3	3.12±0.11	97.30±0.95	480.55	2.76	67.13±0.85
K	2.59±0.22	131.94±0.95	541.21	2.67	117.20±0.95

**Çizelge 7. Toplam ve kuru ağırlık, kül, nem, kuru madde ve organik madde miktarları**

Table 7. Quantities of the total and dry weight, ash, moisture, dry matter and organic matter

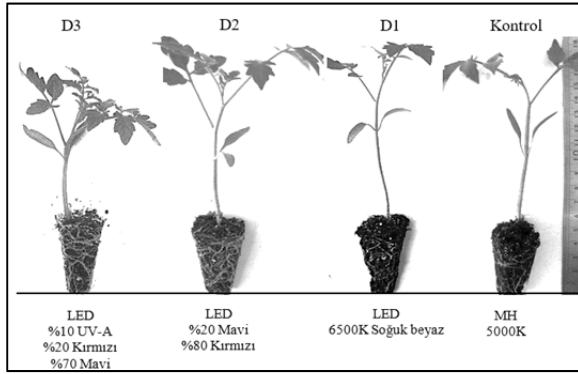
Deneme	Toplam ağırlık, $W_t$ (g)	Kuru madde ağırlığı, $W_m$ (g)	Kül içeriği, % $N_k$ (%)	Kuru madde içeriği, % $N_m$ (%)	Organik madde içeriği, % $OM$ (%)
D1	1.66	0.29	9.62	17.47	7.85
D2	1.91	0.37	5.76	19.37	13.61
D3	2.59	0.35	7.33	13.51	6.18
K	3.80	0.64	7.87	16.84	8.97

**SONUÇLAR ve TARTIŞMA**

LED lambanın PAR ölçümleri, tam karanlık ortamda, LED lambanın yatay düzlemde 20, 40, 60, 75, 90 cm yükseklik konumlarında ve lambadaki tüm LED'ler en yüksek PAR miktarını verecek şekilde ayarlandıktan sonra yapılmıştır. Yapılan ışık ölçümlerine ait sonuçları Çizelge 5'de verilmiştir. D1, D2, D3 LED ve MH ışığı altında yapılan bitki denemelerinde 30 günlük deneme sonunda fidelerin görünüşleri Şekil 6'da, bitkiler üzerinde yapılan fiziksel ölçüm sonuçları ise Çizelge 6'da verilmiştir. Denemeler sonucunda, gövde kalınlığı en büyük olan fideler mavi ışığın daha yoğun olduğu D3 denemesinde ( $3,12 \pm 0,11$  mm) ölçülürken, en küçük gövde kalınlığı soğuk beyaz ışık altında yetişen D1 denemesindeki fidelerde ( $2,26 \pm 0,18$  mm) ölçülmüştür. Boy ve kök uzunluğu en fazla olan bitkiler MH ışık altındaki bitkilerde görülürken, en kısa boylu bitkiler mavi ışığın yoğun olarak kullanıldığı D3 denemesinde elde edilmiştir. Yaprak sayısının en çok ve yaprak alanının

en büyük olduğu fideler, %20 mavi ile birlikte %80 oranında kırmızı ışığın verildiği D2 deneme sonuçlarında saptanmıştır. Yapılan ölçümler sonucunda kuru madde miktarları kırmızı ışığın daha yoğun olduğu D2 denemesinde (%19,62) en yüksek seviyede olurken, bunu soğuk beyaz gün ışığı veren D1 (%17,32) ve mavi-morötesi ışığın daha yoğun olduğu D3 (%13,58) izlemiştir. Pinho ve ark. (2007), camlı sera koşullarında marul (*Lactuca sativa var. crispata L. 'Frislice'*) bitkisi üzerinde, LED tabanlı tamamlayıcı 460 nm mavi ve 630 nm kırmızı aydınlatma sistemleri ile yaptıkları denemelerde de kırmızı-turuncu LED'lerin biyokütle birikiminin artırılmasında etken olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Öte yandan kontrol grubundaki MH ışığına en yakın ölçüm sonuçları D1 denemesindeki soğuk beyaz ışık LED grubu altındaki fidelerde bulunmuştur. Organik madde miktarları ise sırasıyla D2 (%13,87), K (%8,86), D1 (%7,70) ve D3 (%6,25) olarak tespit edilmiştir (Çizelge 7). D1, D2, D3 denemeleri ile MH

lamba altındaki kontrol grubundan elde edilen klorofil a/b değeri yaklaşık 1/3 oranındadır. Analiz sonuçlarına göre (Şekil 7) en yüksek klorofil a ( $4,513 \text{ mg.ml}^{-1}$ ) ve b ( $11,681 \text{ mg.ml}^{-1}$ ) MH ışığı altındaki fidelerde, en yüksek klorofil a/b miktarı ( $0,391 \text{ mg.ml}^{-1}$ ) ile D3 denemesinde elde edilmiştir. MH lamba grubuna en yakın değerler D1 denemesinde görülmüştür. Bunun nedeni olarak her iki grubun verdiği ışığın renk sıcaklığının benzer aralıkta olması ve görünür bölgede klorofil pigmentinin daha etkin olduğu mavi ve kırmızı dalga boylarını içermesinden kaynaklandığı söylenebilir.



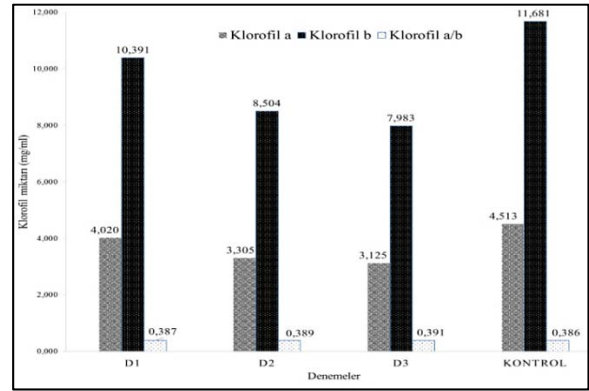
Şekil 6. D1, D2 ve D3 LED ve MH ışığı altında yetiştirilen fideler

Figure 6. Seedlings growing under the D1, D2 and D3 LEDs and MH

## LİTERATÜR LİSTESİ

- Brown C, Shuerger AC ve Sager JC (1995). Growth and photomorphogenesis of pepper plants under red light-emitting diodes with supplemental blue or far-red lighting. *J Am SocHortic Sci.*120:808–813.
- Cree inc. (2012). XLamp LED teknik dökümanı. <http://www.cree.com/led-components-and-modules/products/xlamp>. (Erişim tarihi: Kasım 2012).
- Çağlayan N ve Ertekin C (2011). Bitkisel Üretim İçin Led Yetiştirme Lambalarının Kullanımı. Uluslararası Katılımlı I. Ali Numan Kırac Tarım Kongresi ve Fuarı, 27-30 Nisan 2011, Bildiri Kitabı, s.1227-1232, Eskişehir.
- Çağlayan N (2013). Seralar için LED Lambalı Aydınlatma Otomasyon Sisteminin Tasarlanmasına ve Uygulanmasına Yönelik Bir Çalışma. Akdeniz Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü, Yayınlanmış Doktora Tezi, Antalya.
- Edison inc. (2012). Edixeon Emitter High Power LED Datasheet. <http://www.edison-opto.com.tw/Datasheet/Edixeon> (Erişim tarihi: Mayıs 2012).
- Goins GD, Yorio NC, Sanwo MM ve Brown CS (1997). Photomorphogenesis, photosynthesis and seed yield of wheat plants grown under red light-emitting diodes (LEDs) with and without supplemental blue lighting. *J Exp Bot.* 48:1407–1413.

Buna göre klorofil a ve b miktarı, mavi ve kırmızı ışık bölgelerinde daha fazla olmaktadır. Mavi ışık bölgesinde klorofil a için en yüksek ışık absorpsiyonu  $429 \text{ nm}$ , klorofil b için  $453 \text{ nm}$  dalga boyunda gerçekleşirken, kırmızı ışınlar bölgesinde klorofil a için  $660 \text{ nm}$ , klorofil b için  $642 \text{ nm}$  dalga boylarında gerçekleşmektedir. Klorofil bakımından en zayıf değerler ise D3 denemesindeki fidelerde ölçülmüştür.



Şekil 7. Klorofil a, b ve a/b analiz sonuçları

Figure 7. Analysis result chlorophyll a, b and a/b

## TEŞEKKÜR

Bu çalışma Akdeniz Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi Tarafından desteklenmiştir (Proje No: 2011.03.0121.001).

- Kacira M (2011). Greenhouse Production in US: Status, Challenges, and Opportunities. Presented at CIGR 2011 conference on Sustainable Bioproduction WEF 2011, September 19-23, 2011.
- Karakaş A (2008). Sera Aydınlatmaçılığı. [http://www.emo.org.tr/ekler/ec2236203d220c2\\_ek.pdf?de rgi=534](http://www.emo.org.tr/ekler/ec2236203d220c2_ek.pdf?de rgi=534) (Erişim tarihi: Nisan 2012).
- KLÄREN GmbH (2016). Neden LED ? <http://www.klaren.com.tr/neden-led>. (Erişim tarihi: Şubat 2016).
- Koç C, Vatandaş M ve Koç AB (2009). LED Aydınlatma Teknolojisi ve Tarımda Kullanımı. 25. Tarımsal Mekanizasyon Ulusal Kongresi, s.153-158, Isparta.
- Lefsrud MG, Kopsell DA ve Sams CE (2008). Irradiance from distinct wavelength light-emitting diodes affect secondary metabolites in kale. *Hort Science.* 43:2243–2244.
- LI-COR inc. (2012). Işık Ölçüm Duyargaları Teknik Dökümanları. <http://www.licor.com/env/products/light/> (Erişim tarihi: Nisan 2012).
- Li H, Tang C, Xu Z, Liu X ve Han X (2012). Effects of different light sources on the growth of non- heading chinese cabbage (*Brassica campestris* L.). *J Agr Sci.*4:262–273.
- Li Q ve Kubota C (2009). Effects of supplemental light quality on growth and phytochemicals of baby leaf lettuce.



- Environ Exp Bot. 67:59–64.
- Lin KH, Huang MY, Huang WD, Hsu MH, Yang ZW ve Yang CM (2013). The effects of red, blue, and white light-emitting diodes on the growth, development, and edible quality of hidroponically grown lettuce (*Lactuca sativa* L. var. capitata). *SciHortic-Amsterdam*. 150:86–91.
- Lu N, Maruo T, Johkan M, Hohjo M, Tsukakoshi S, Ito Y, Ichimura T ve Shinohara Y (2012). Effects of supplemental lighting with light-emitting diodes (LEDs) on tomato yield and quality of single-truss tomato plants grown at high planting density. *Environ Control Biol*. 50:63–74.
- Mean Well inc. (2012). LED Sürücü Teknik Dökümanları. <http://www.meanwell.com>. (Erişim tarihi: Temmuz 2012).
- Mitchell CA, Both A, Bourget CM, Kuboto C, Lopez RG, Morrow RC and Runkle S. (2012). LEDs: The future of greenhouse lighting. *Chronica Horticulture*. 55:6-12.
- Mizuno T, Amaki W ve Watanabe H (2011). Effects of monochromatic light irradiation by LED on the growth and anthocyanin contents in laves of cabbage seedlings. *Acta Horticulturae*. 907:179–184.
- Musayev E (1999). *Optoelektronik Devreler ve Sistemler*. Birsen Yayınevi, 284 s., İstanbul.
- National Instruments Inc. (2012). Distributed Measurement and Control Systems with NI LabVIEW, National Instruments Corporation. <http://www.ni.com>. (Erişim tarihi: Ekim 2012).
- Novičkovas A, Brazaitytė A, Duchovskis P, Jankauskienė J, Samuolienė G, Viršilė A, Sirtautas R, Bliznikas Z ve Žukauskas A (2012). Solid-state lamps (LEDs) for the short-wavelength supplementary lighting in greenhouses: experimental results with cucumber. *Acta Hort*. 927:723–730.
- Opdam JG, Schoonderbeek GG, Heller EB ve Gelder A (2005). Closed greenhouse: a starting point for sustainable entrepreneurship in horticulture. *Acta Hort*. 691:517-524.
- Pinho P, Lukkala R, Särkkä L, Tetri E, Tahvonen R ve Halonen L (2007). Evaluation of Lettuce Growth Under Multi-Spectral-Component Supplemental Solid State Lighting in Greenhouse Environment. *International Review of Electrical Engineering (IREE)*, (2): 6.
- Samuolienė G, Brazaitytė A, Duchovskis P, Viršilė A, Jankauskienė J, Sirtautas R, Novičkovas A, Sakalauskienė S ve Sakalauskaitė J (2012b). Cultivation of vegetable transplants using solid-state lamps for the short-wavelength supplementary lighting in greenhouses. *Acta Hort*. 952:885–892.
- Samuolienė G, Brazaitytė A, Sirtautas R, Novičkovas A ve Duchovskis P (2011). Supplementary red-LED lighting affects phytochemicals and nitrate of baby leaf lettuce. *J Food Agric Environ*. 9:271–274.
- Samuolienė G, Sirtautas R, Brazaitytė A, Viršilė A ve Duchovskis P (2012a). Supplementary red- LED lighting and the changes in phytochemical content of two baby leaf lettuce varieties during three seasons. *J Food Agric Environ*. 10:701 – 706.
- Senger H (1982). The effect of blue light on plants and microorganisms. *Phytochem Photobiol*. 35:911–920.
- Stutte GW, Edney S ve Skerritt T (2009). Photoregulation of bioprotectant content of red leaf lettuce with light-emitting diodes. *Hort Science*. 44:79–82.
- Tarakanov I, Yakovleva O, Konovalova I, Paliutina G ve Anisimov A (2012). Light-emitting diodes: on the way to combinatorial lighting technologies for basic research and crop production. *ActaHorticulturae*. 956:171–178.
- Yanagi T ve Okamoto K (1997). Utilization of super-bright light emitting diodes as an artificial light source for plant growth. *Acta Hort*. 418:223-228.
- Yeh N ve Chung JP (2009). High-brightness LEDs – energy efficient lighting sources and their potential in indoor plant cultivation. *Renew Sust Energy Rev*.13:2175–2180.