

Süs Bitkileri Yetiştiriciliğinde LED Aydınlatma Kaynaklarının Kullanımı

Gamze ÇAKIRER SEYREK^{1*}, Köksal DEMİR²

¹Ankara Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü, Ankara; ORCID: 0000-0002-6225-9208

²Ankara Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü, Ankara; ORCID: 0000-0001-6120-7249
Gönderilme Tarihi: 1 Ekim 2024 Kabul Tarihi: 30 Aralık 2024

ÖZ

Süs bitkileri endüstrisi, çok sayıda çeşitli türlerde estetik değerleri olan bitkileri kapsamaktadır. Bu sektörün ekonomik etkisi de dikkate değer bir öneme sahiptir. Süs bitkileri pazarının ekonomik büyüklüğüne rağmen çözülmesi gereken sorunlar ve bitki üretiminde iyileştirmeler gerekli olmaktadır. Ayrıca, süs bitkileri sektörü, pazarın küreselleşmesi, iklim değişikliğiyle ilgili belirsizlikler, arazi kullanım rekabeti gibi birden fazla zorlukla da karşı karşıya kalmaktadır. Hem ekonomik hem de sürdürülebilirlik açısından süs bitkileri üretiminin optimizasyonunda kontrollü ortam sistemleri, seralar, topraksız sistemler, tam kapalı mekanlar ve LED yapay ışık kaynaklarının kullanımı ve etkinlikleri son yıllarda yapılan araştırma sonuçlarıyla büyük önem kazanmıştır. Bu durum teknoloji odaklı bir yaklaşım kullanılarak çevresel parametrelerin doğru bir şekilde ele alınmasına olanak tanımaktadır. Işık, fotosentezde sahip olduğu önemi ile bitki büyümesini ve gelişimini koordine eden temel çevresel faktördür. Son yıllarda bitki yetiştiriciliği için özellikle LED teknolojisiyle istenilen dalga boyunda ve karışımlarında yapay aydınlatmanın uygulamalarında etkinlikleri görülmeye başlanmıştır. Ayrıca güneş radyasyonunun zayıf olduğu zamanlarda tamamlayıcı bir kaynak olarak da tek başına bir ışık kaynağı olarak fotosentez için enerji sağlamak ve bitki gelişim evrelerini, çiçeklenme süreçlerini düzenleyebilmektedir. Miktar (yoğunluk), süre (fotoperiyot) ve spektral kompozisyon gibi ışık özelliklerini düzenleyerek; çiçeklenmeyi, bitki gelişimini arzu edilen şekilde düzenleyebilmek, bitki mimarisini kontrol etmek, üretim sezonunu kısaltabilmek, yaprak ve çiçek renklerini etkileyebilmek, uzun ömürlülüğü sağlamak, raf ömrünü uzatmak gibi önemli süs bitkileri üretim hedeflerine ulaşmak mümkün olabilmektedir. Yalnızca bitkisel üretimde standart ek aydınlatma dışında, hızlı gelişim, vejetasyon süresini düzenleme, çiçek oluşumu, yapraklanma artışı, büyüme evrelerinin düzenlenmesi, renk oluşumları, bodurlaşma, vazo ömrünü uzatma gibi çok sayıda önemli etkiler ortaya çıkarılmaya başlanmıştır. Bu konuda son yıllarda araştırmalar hızlı bir artış göstermiştir. Bu çalışmada da süs bitkileri üretiminde önem kazanan LED aydınlatma kaynaklarının, farklı dalga boyu ve karışımlarının süs bitkilerinde ki sonuçları ve yapılan literatür çalışmalarıyla özellikle son yıllardaki etkinlikleri ortaya konulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Aydınlatma, LED, spektrum, süs bitkileri

Use of LED Lighting Sources in Ornamental Plant Cultivation

ABSTRACT

The ornamental plant industry covers a large number of plants with various types of aesthetic values. The economic impact of this sector has also considerable importance. Despite the economic size of the ornamental plant market, there are problems to be solved and improvements in plant production are necessary. In addition, the ornamental plant sector is faced with multiple challenges such as globalization of the market, uncertainties related to climate change, and land use competition. In terms of both economic and sustainability, the use and effectiveness of controlled environment systems, greenhouses, soilless systems, fully closed spaces and LED artificial light sources have gained great importance in the optimization of ornamental plant production with the results of research conducted in recent years. This situation allows environmental parameters to be addressed correctly using a technology-oriented approach. Light is the main environmental factor that coordinates plant growth and development with its importance in photosynthesis. In recent years, the effectiveness of artificial lighting applications, especially with LED technology in the desired wavelength and mixtures for plant cultivation, has begun to be seen. In addition, as a complementary source when solar radiation is weak, it provides energy for photosynthesis as a single light source and can regulate plant development stages and flowering processes. By regulating light properties such as amount (intensity), period (photoperiod) and spectral composition; it is possible to achieve important ornamental plant production targets such as regulating flowering and plant development as desired, controlling plant architecture, shortening the production season, affecting leaf and flower colors, ensuring longevity, and extending shelf life. Apart from standard supplementary lighting in plant production alone, many important effects such as rapid development, regulating vegetation period, flower formation, increased leafing, regulating growth phases, color formation, dwarfing, and extending vase life have begun to emerge. Research on this subject has shown a rapid increase in recent years. In this research, the results of LED lighting sources, which have gained importance in ornamental plant production, different wavelengths and mixtures on ornamental plants and their effectiveness, especially in recent years, have been revealed with literature studies.

Keywords: Lighting, LED, spectrum, ornamental plants

*Sorumlu yazar / Corresponding author: gcakirer@ankara.edu.tr

GİRİŞ

Süs bitkileri; kesme çiçekler, soğanlı bitkiler, iç ve dış mekân bitkileri gibi çok çeşitli bitkileri kapsamaktadır [1]. Süs bitkileri çevremize estetik bir görünüm sağlamasının yanı sıra tüm dünyada bitkisel üretim ticaretinde de ekonomik olarak büyük bir önem taşımaktadır [2, 3, 4]. Dünya çapındaki süs bitkileri pazarının 2023'ten 2028'e kadar olan dönemde %7,28'lik bir oranla daha da büyümesi beklenmektedir [5]. Avrupa, yaklaşık %47'lik bir payla en büyük süs bitkileri pazarına sahip olurken bunu Asya-Pasifik (%20) ve Amerika Birleşik Devletleri (%13,5) takip etmektedir [5]. Süs bitkileri sektörünün ekonomik önemine rağmen pazarın küreselleşmesi, iklim değişikliğiyle ilgili belirsizlikler, arazi kullanım rekabeti gibi sorunların çözülmesi gerekmektedir [6, 7]. Süs bitkileri üretiminin optimizasyonunda ekonomik ve sürdürülebilir sistemler bu sebeple büyük önem taşımaktadır. Özellikle seralar, topraksız tarım sistemleri, tam kapalı mekanlar ve LED aydınlatma kaynaklarının kullanımı son yıllarda büyük önem kazanmıştır [8].

Işık, fotosentetik CO₂ asimilasyonunu başlatıcı etkisi nedeni ile bitki büyümesi ve gelişimini etkileyen en temel çevresel faktördür. Ayrıca, büyümenin birçok gelişimsel yönünde yer almakta ve fotomorfogenez olarak tanımlanan sinyalleri tetiklemektedir [9, 10, 11]. Son yıllarda bitki yetiştiriciliğinde yapay aydınlatmanın kullanımı, güneş ışığının yetersiz olduğu zamanlarda tamamlayıcı veya tek başına bir ışık kaynağı olarak büyük önem taşımaktadır. Özellikle fotosentez için enerji sağlama, ürün morfogenezini ve çiçeklenme sürecini düzenleme gibi önemli etkileri aydınlatma kaynaklarının kullanımını daha da ön plana çıkartmaktadır [11, 12]. Işığın miktar (yoğunluk), süre (fotoperiyot) ve kalite (spektral kompozisyon) gibi özellikleri ayarlanarak çiçeklenmeyi teşvik etme, yaprak şeklini ve bitki mimarisini kontrol etme, üretim sezonunu uzatma, yaprak ve çiçek rengini ayarlama, vazo ömrünü uzatma ve patojenlere karşı dayanıklılığı artırmak gibi önemli süs bitkileri üretim hedefleri sağlanabilmektedir [9, 10].

Yapay aydınlatma kaynağı olarak yakın zamana kadar floresan, HPS ve metal halde lambaların kullanımı yaygındı. [13]. Ancak geleneksel aydınlatma sistemlerinde yaşanan sorunlar bu lambaların etkinliğini kısıtlamaktadır. Özellikle yüksek enerji ihtiyacı, aşırı ısınma ve ışık spektrumunu düzenleyememe gibi dezavantajları bu lambaların kullanımında ortaya çıkan sorunlardır [14, 15]. Son zamanlarda ortaya çıkan ışık yayan diyot (LED) teknolojisi ise sahip olduğu avantajları

nedeniyle süs bitkileri üretiminde büyük bir potansiyel taşımaktadır [16].

LED'ler, elektrik tüketiminin düşük olmasına rağmen yüksek enerji verimliliği sağlamaktadır. Ayrıca bu lambalar daha dayanıklı ve sağlam olmalarının yanı sıra uzun ömür gibi avantajlı özelliklere sahiptir. Bu lambaların sahip olduğu avantajlar LED'leri ticari alanlarda uygun maliyetli bir seçenek haline getirmektedir [16, 17, 18]. Isı emisyonunun düşük olması, bitkilere yakın yerleştirilmesine olanak tanınması ve spektrumun ayarlanabilmesi de en önemli özelliklerini oluşturmaktadır [18, 19]. Spektral kompozisyonun ayarlanabilmesi ve ışık reçetelerinin oluşturulabilmesi bitkilerin büyüme ve gelişimini kontrol etmek için üreticilere büyük avantajlar sunmaktadır [19, 20].

LED AYDINLATMA VE ÖNEMİ

Işık, bitkisel üretimde bitki büyümesini teşvik etmek için bitki genlerinin yaklaşık %90'ını kontrol etmektedir. Işık tarafından bitkilerin fotomorfogenez gelişimi değiştirilebilmektedir. Bu durum bitkilerin gelişimi ve büyümesi üzerinde büyük bir etki oluşturulabilmektedir [21]. Özellikle ışık, bitkilerde fitokimyasal konsantrasyonu da etkileyen en önemli değişkenlerden birisi olmaktadır [22]. Bu kapsamda yapay aydınlatma kaynakları bitki gelişimi açısından büyük önem taşımaktadır.

Yapay aydınlatma kaynakları; verim ve kalite artışı ile doğal ışığın yeterli olmadığı koşullarda (kuzey enlemleri, iç mekân yetiştiriciliği vb.) yetiştiricilik yapmaya olanak sağladığı için tarımda gün geçtikçe önem kazanmaktadır. Işık yayan diyot lambalar (LED'ler); floresan ve yüksek basınçlı sodyum (HPS) lambalara kıyasla daha verimli ışık kaynağı olması nedeni ile 2000'li yıllardan itibaren bitki yetiştiriciliğinde kullanılmaya başlanmıştır. LED lambaların elektrik enerjisini ışık gücüne daha yüksek verimlilikte dönüştürmesi, soğutma yüklerinin daha düşük olması elektrik tüketiminin de daha düşük olmasını sağlamaktadır [23]. Ayrıca LED lambalar ile ışığın spektral dağılımını kontrol etmek ve bitki tür/çeşidine göre ışık reçeteleri hazırlamak daha kolay olmaktadır [24, 25]. NASA'ya bağlı araştırmacılar, Ay ve Mars'ta gelecekteki tesisler için yenilenebilir yaşam destek sistemlerinde LED teknolojisini kullanarak bitki yetiştirme konusunda kapsamlı araştırmalar yürütmektedir [26]. LED ışık sistemlerinin bitkisel üretimdeki etkilerini ortaya koyabilmek için Kennedy Uzay Merkezi'nde (KSC) bilim insanları ıspanak, buğday, turp ve biber gibi çeşitli türler üzerinde araştırmalar gerçekleştirmektedir [27].

LED'lerin değişik spektrum ve ışık reçetelerinde üretilebilmesi bitkilerin gelişimini ve büyümesini optimize edebilen ve özelleştirme sağlayabilen avantajlar sunmaktadır [28]. LED'ler bitki fotoreseptörüyle eşleşen spektrumlarda üretilebildiği için spektral çıktı tarafından bitki gelişimi rahatlıkla kontrol edilebilmektedir [29, 30]. Ayrıca LED lambalar çevrelerine daha düşük ısı yaymaları nedeniyle bitkileri yakmamakta ve bitkilere daha yakın monte edilebilmektedir. Bu durum daha fazla alanın bitkisel üretimde kullanımına olanak tanınmaktadır [31]. Sahip olduğu avantajları nedeniyle LED lambalar bitki yetiştirme tesisi, doku kültürü gibi çeşitli uygulamalarda da önemli bir popülerlik kazanmaktadır. Bu kapsamda LED lambalar bitkisel üretim alanlarında tamamlayıcı veya birincil aydınlatma kaynakları olarak muazzam bir potansiyel sunmaktadır [32]. Yapay aydınlatmanın getirdiği finansal durum ise üretimde kalite ve verim artışı ile sürdürülebilirlik kazanmaktadır.

SÜS BİTKİLERİ VE IŞIK İLİŞKİSİ

Bitki fizyolojisinde, 'ışık' aralığı genellikle 320 nm'den 760 nm'ye kadar uzanmaktadır. Bu spektrum aralığındaki fotonlar bitkilerde bulunan çok az sayıda molekül türü tarafından emilebilmektedir [33]. Güneş enerjisinin yaklaşık yarısı atmosferle etkileşimi nedeniyle Dünya yüzeyine ulaşamamakta ve yalnızca 300-1000 nm arasındaki radyant enerji biyolojik süreci etkilemektedir [34]. Güneş radyasyonunun yaklaşık %8-9'unu ultraviyole radyasyon (UV), %45-50'sini Fotosentetik Aktif Radyasyon (PAR) ve yaklaşık %50'sini kızılötesi radyasyon oluşturmaktadır [35]. Güneş radyasyonu, organik materyalin sentezi için birincil enerji kaynağı olmasının yanı sıra [36] birçok yönden bitkisel üretimde verimin temel belirleyicisi de olmaktadır. Ayrıca ışık fotomorfojenik tepkileri tetiklemekte [37] ve stres faktörü (fotoinhibitör veya fotodestruktif etki) olarak da etkide bulunabilmektedir [36]. Çiçeklenme süresini kısaltmak ve bitki kütlesini artırmak süs bitkileri üretiminde en önemli unsurlardan birisidir. Çevresel gereksinimlerinin anlaşılması, bir bitkinin belirli bir tarihte çiçek açmaya programlanabilmesi veya renginin kontrol edilebilmesi açısından kritik öneme sahiptir [38, 39]. Bu kapsamda süs bitkilerinin morfogenezinde ışık kalitesi (spektral kalite), miktarı (foton akısı) ve süresi (fotoperiyot) güçlü bir etkiye sahiptir. Bitkiler ışığa verdikleri fizyolojik tepkilere bağlı olarak üç kategoriye ayrılabilir [40]. Birinci grup, orta-yoğun gölgeye ihtiyaç duyan ve yüksek ışığa alıştıramayan aşırı gölge bitkilerini içermektedir (*Aglaonema*, *Maranta* ve

Spathiphyllum). İkinci grup ise büyümek için ışığa ihtiyaç duyan ve düşük ışığa alıştıramayan bitkileri içermektedir (çam ağaçları ve tek yıllık çiçekli bitkiler). Son grupta ise çeşitli ışık yoğunluklarına uyum sağlayabilen (*Brassica*, *Ficus* ve *Dracaena* gibi) bitkiler bulunmaktadır [39].

Süs bitkilerinin estetik görünümü yaprakların renk durumuna bağlıdır. Tüketici tercihi açısından da bu durum bitkileri satın alma konusunda en önemli unsurlardan birisi olmaktadır. Yapraklarda bulunan klorofillerin yanı sıra karotenoidler, flavonoidler ve antosiyaninler rengi belirleyen başlıca pigmentlerdir [41]. Yaprak rengi özellikle sıcaklık, ışık yoğunluğu ve ışık kalitesi gibi çevresel koşullardan etkilenip, değiştirilebilmektedir [42]. Özellikle antosiyanin ve karotenoid pigmentasyonunu desteklemek amacıyla daha yüksek ışık yoğunluğu gerekli olmaktadır [43].

Doğal ışığın sınırlı olduğu koşullarda *Guzmania* ve *Cryptanthus* yetiştiriciliğinde mavi ışık kullanımının antosiyanin içeriğini iyileştirerek kırmızı pigmentasyonu yoğunlaştırdığı tespit edilmiştir [44]. *Bromeliaceae* familyasına ait olan *Neoregelia* bitkisi üretiminde de yazın seralarda yapılan gölgeleme ve kışın yetersiz ışık nedeniyle yaprak renginde solmalar meydana gelmektedir. *Neoregelia* bitkisinde mavi ışık uygulamasının antosiyanin birikimini artırdığı tespit edilmiştir [45].

Gündüz (fotoperiyot) ve gece (skotoperiyot) uzunluğu birçok süs bitkisinde çiçeklenmeyi etkileyen bir unsurdur. Üretim planlaması ticari bitki üretiminin en temel unsurudur. Ticari üreticiler süs bitkilerinin çoğunun fotoperiyodik olmasından dolayı çiçeklenmeyi teşvik etmek veya geciktirmek için aydınlatma uygulamaları yapmaktadır [46]. *Achillea millefolium*, *Gaura lindheimeri* ve *Lavandula angustifolia*'da günlük ışık integrali (DLI) seviyesi 5'ten 20 mol.m⁻².d⁻¹'e çıktıkça bitki kalitesinde (gövde kalınlığı, çiçek rengi ve dallanma) ve çiçek salkımı sayısında doğrusal artışlar olduğu tespit edilmiştir [47]. *Petunia × hybrida*, *Salvia coccinea*, *Catharanthus roseus* ve *Zinnia elegans* bitkilerinde de DLI 6'dan 43 mol.m⁻².d⁻¹'e çıktıkça çiçek sayısının arttığı tespit edilmiştir [48]. *Celosia argentea* var. *Plumosa* ve *Impatiens walleriana*'da DLI 5'ten 25 mol.m⁻².d⁻¹'e çıktıkça çiçekteki kuru kütle ve çiçek sayısı artarken, *Celosia argentea* var. *Plumosa*'da çiçeklenmenin hızlanması DLI'nın 5'ten 15 mol.m⁻².d⁻¹'e çıkması ile gerçekleşmiştir [49]. Ancak bazı türlerde ışık çiçeklenmeye geçişi de etkileyebilmektedir. Örneğin, gölgede yetiştirilen sardunyalar ortam ışığı koşullarındaki bitkilere göre çiçeklenme başlangıcından önce daha fazla yaprak geliştirmektedir [50].

SÜS BİTKİLERİ VE LED AYDINLATMA

Bitkisel üretimde tamamlayıcı veya tek aydınlatma kaynağı olarak LED'ler muazzam bir potansiyel sunmaktadır [51]. Son yıllarda yapılan çalışmalarda hasat sonrası kesme çiçeklerin vazo ömrünü artırmada LED aydınlatmanın kullanılabileceği üzerinde durulmaktadır [52]. Yapılan çalışmalarda krizantem (*Chrysanthemum grandiflorum* (Ramat.) Kitam) [53], karanfil (*Dianthus caryophyllus* L. cv. Master) [54], oryantal melez zambak 'Siberia' (*Lilium* spp.) [55] ve antoryum (*Anthurium andraeanum*) [56] gibi süs bitkilerinde hasat sonrası depolama sırasında ışığın yaşanmayı önlediği belirtilmiştir. Kırmızı LED aydınlatma uygulamasının kesme güllerde çiçek açma hızını önemli ölçüde yavaşlattığı ve etilen üretimini engellediği tespit edilmiştir [57]. Ayrıca bu aydınlatma kaynağının depolama sırasında asimilat biyosentezi, membran stabilitesi ve antioksidan enzim aktivitesi üzerinde de iyi bir etkiye sahip olduğu ortaya konulmuştur.

Uzun ve kısa günlerde ışık sinyalleri, fitokromlar ve kriptomlar gibi fotoreseptörler tarafından bitkiye aktarılmakta ve belirli dalga boylarındaki ışık emilmektedir [58]. Krizantemlerde de çiçeklenme fitokrom B (PHYB) tarafından modüle edilmektedir ve tepki kırmızı ışığa bağlı olmaktadır [59]. Bu tepki FR ışık [59] veya mavi ışık [60, 61] ile tersine çevrilebilmektedir. Dar ve belirli bir spektral bant oluşturmayı sağlayan LED'lerin krizantemde çiçeklenme mekanizması üzerindeki etkilerinin incelenmesine olanak tanıdığı belirtilmektedir [62]. Krizantemlerde çiçeklenmenin en etkili inhibisyonunun, maksimum 596 nm'de (kehribar ışık) ki ışıklarla olduğu tespit edilmiştir [63].

Işık kalitesinin çiçeklenme üzerine etkisi olduğu gibi sürgün mimarisi üzerine de etkileri bulunmaktadır. Çoğu bitki türünde, bitki boyu ve diğer morfolojik özellikler ışık yoğunluğu ve spektral bileşimdeki farklılıklarla değişim göstermektedir [64, 65, 66, 67]. Krizantemlerin büyümesinin, kırmızı/FR ışık koşullarından etkilendiği bildirilmektedir. Yapılan çalışmalarda kırmızı/FR oranı düşük olduğunda [68] veya ek FR ışık ilave edildiğinde [69, 70] sap uzunluğunun arttığı belirtilmektedir. %45 mavi (B) ve %55 kırmızı (R) (45B:55R) ışıktan oluşan LED aydınlatmanın aslanağzı (*Antirrhinum*, 'Montego Yellow') fidelerinde, 10B:90R altındaki bitkilere göre yaklaşık %25 daha düşük bitki boyu oluşturduğu tespit edilmiştir [71]. *Petunya* 'Sunacatcher Midnight Blue' bitkilerinde yapılan çalışmada da 0B:100R LED ışık altında serada yetiştirilen bitkilerin, HPS aydınlatma altında yetiştirilen bitkilerden %11 daha kısa saplara sahip

olduğu belirtilmiştir [72]. Ancak spektral değişim sardunya ('Designer Bright Red') ve *Impatiens hawkeri* ('Celebrette Frost') de belirgin bir fark yaratmamıştır. Yüksek oranda kırmızı ışık ve düşük oranda mavi ışık içeren aydınlatmanın ise *Impatiens* × *hybrida* Hort.'da terlemeyle su kaybının önlenmesinde etkili olan trikomların sayısını artırdığı tespit edilmiştir [73]. Ayrıca bu aydınlatma şekli ile çeliklerin hayatta kalmasına yol açarak, çeliklerin kalitesinde de denge sağlanabilmektedir. *Chrysanthemum* × *morifolium* (Ramat.) Hemsl., *Lavandula angustifolia* Mill. ve *Rhododendron simsii* Planch gibi diğer türlerde de kırmızı ışık uygulamasının köklenme performansını artırmada etkisi olduğu belirtilmektedir [74].

SONUÇ

Yüksek kaliteli bitkisel üretim ışık ve sıcaklık olmak üzere çevrenin dikkatli bir şekilde yönetilmesini gerektirmektedir. Bu kapsamda sıcaklık kadar ışıktaki oldukça önem kazanmaktadır. Yakın zamana kadar üretimde yalnızca sabit ve geniş spektrumlu geleneksel aydınlatma armatürleri (floresan lambalar gibi) kullanılmaktaydı [75]. Ancak LED aydınlatma teknolojisinin gelişimi ile geleneksel aydınlatma kaynakları yerini LED teknolojisine bırakmaktadır. Bu aydınlatma kaynaklarının ekonomik olmasının yanı sıra değişik spektrumlarda üretilebilmesi ve ışık reçeteleri uygulanabilmesi bu teknolojiyi daha da önemli hale getirmektedir. LED'lerin kullanımı bitki büyüme sürelerini kısaltabildiği gibi verim/kaliteyi de artırabilmektedir [76]. Doğal ışığın az olduğu bölgelerde, LED aydınlatmanın eklenmesi ile sera üretiminin sürdürülebilirliği sağlanabilmektedir [77]. Belirli spektrumlara sahip LED aydınlatma kaynakları ile yüksek ışık seviyelerine ihtiyaç duymayan bitki türlerinin bile daha iyi çiçeklenmesi sağlanabilmektedir [78]. Ayrıca LED aydınlatma ile çiçeklerin vazo ömrü veya raf ömrü kontrol altına alınabilmektedir [79, 80]. Tüm bu çalışmalar doğrultusunda LED aydınlatma kaynaklarının süs bitkileri sektöründe önemi oldukça fazladır. Bu sektörde farklı ışık reçeteleri ve farklı tür/çeşit bazında yapılacak LED aydınlatma çalışmaları gelecek yıllar açısından büyük önem taşımaktadır.

KAYNAKLAR

1. Sajjad, Y., Jaskani, M.J., Asis, M., Qasim, M. 2017. Application of plant growth regulators in ornamental plants: a review. Pak. J. Agri. Sci., 54(2):327-333.

2. Riaz, A., Batool, Z., Younis, A., Abid, L. 2002. Green areas: a source of healthy environment for people and value addition to property. *Int. J. Agric. Biol.* 4:478-481.
3. Memon, N., Qasim, M., Jaskani, M.J., Khooharo, A.A., Hussain, Z., Ahmad, I. 2013. Comparison of various explants on the basis of efficient shoot regeneration in gladiolus. *Pak. J. Bot.* 45:877-885.
4. Trivellini, A., Toscana, S., Romano, D., Ferrante, A. 2023. LED lighting to produce high-quality ornamental plants. *Plants* 12(8).
5. Global Flower and Ornamental Plants Industry Research Report 2023. Competitive Landscape, Market Size, Regional Status and Prospect; Market Reports World, Absolute Reports; Market Reports World: Pune, India, pp:107.
6. Ferrante, A., Trivellini, A., Scuderi, D., Romano, D., Vernieri, P. 2015. Post-production physiology and handling of ornamental potted plants. *Postharvest Biol. Technol.* 100:99-108.
7. Hill, J., Von Maltitz, G., Sommer, S., Reynolds, J., Hutchinson, C., Cherlet, M. 2018. World atlas of desertification. Publications Office of the European Union: Luxembourg.
8. Van Delden, S.H., SharathKumar, M., Butturini, M., Graamans, L.J.A., Heuvelink, E., Kacira, M., Kaiser, E., Klamer, R.S., Klerkx, L., Kootstra, G., Loeber A., Schouten, R.E., Stanghellini, C., van Ieperen, W., Verdonk, J.C., Vialet-Chabrand, S., Woltering, E.J., van de Zedde, R., Zhang, Y., Marcelis, L.F.M. 2021. Current status and future challenges in implementing and upscaling vertical farming systems. *Nat. Food* 2:944-956.
9. Xu, Y. 2019. Nature and source of light for plant factory. *Plant factory using artificial light*, Elsevier, Amsterdam, The Netherlands, pp:47-69.
10. Çakırer, G., Akan, S., Demir, K., Yanmaz, R. 2017. Bahçe bitkilerinde kullanılan ışık kaynakları. *Akademik Ziraat Dergisi* 6:63-70.
11. Demir, K., Sarıkamış, G., Çakırer Seyrek, G. 2023. Effect of LED lights on the growth, nutritional quality and glucosinolate content of broccoli, cabbage and radish microgreens. *Food Chemistry* 401, 134088.
12. Massa, G.D., Kim, H.H., Wheeler, R.M., Mitchell, C.A., Cary, A. 2008. Plant productivity in response to LED lighting. *HortScience* 43:1951-1956.
13. Zheng, L., He, H., Song, W. 2019. Application of light-emitting diodes and the effect of light quality on horticultural crops: A review. *HortScience* 54:1656-1661.
14. Paradiso, R., Proietti, S. 2021. Light-quality manipulation to control plant growth and photomorphogenesis in greenhouse horticulture: The state of the art and the opportunities of modern LED systems. *J. Plant Growth Regul.* 41:742-780.
15. Islam, M.A., Kuwar, G., Clarke, J.L., Blystad, D.R., Gislerød, H.R., Olsen, J.E., Torre, S. 2012. Artificial light from light emitting diodes (LEDs) with a high portion of blue light results in shorter poinsettias compared to high pressure sodium (HPS) lamps. *Sci. Hort.* 147:136-143.
16. Singh, D., Basu, C., Meinhardt-Wollweber, M., Roth, B. 2015. LEDs for energy efficient greenhouse lighting. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 49:139-147.
17. Bula, R.J., Morrow, R.C., Tibbitts, T.W., Barta, D.J., Ignatius, R.W., Martin, T.S. 1991. Light-emitting diodes as a radiation source for plants. *HortScience* 26:203-205.
18. Çakırer Seyrek, G., Demir, K. 2024. Urban agriculture and LED lighting. Ahi Evran International Congress on Scientific Research, 26-28 April 2024, Kırsehir Ahi Evran University, Kırsehir, Türkiye.
19. Morrow, R.C. 2008. LED lighting in horticulture. *HortScience* 43:1947-1950.
20. Karabourniotis, G., Liakopoulos, G., Bresta, P., Nikolopoulos, D. 2021. The optical properties of leaf structural elements and their contribution to photosynthetic performance and photoprotection. *Plants* 10, 1455.
21. Paradiso, R., Proietti, S. 2022. Light-quality manipulation to control plant growth and photomorphogenesis in greenhouse horticulture: the state of the art and the opportunities of Modern LED systems. *J. Plant Growth Regul.* 41:742-780.
22. Kopsell, D.A., Kopsell, D.E. 2008. Genetic and environmental factors affecting plant lutein/zeaxanthin. *Agro Food Ind. Hi-Tech* 19:44-46.
23. Piovene, C., Orsini, F., Bosi, S., Sanoubar, R., Bregola, V., Dinelli, G., Gianquinto, G. 2015. Optimal red:blue ratio in led lighting for nutraceutical indoor horticulture. *Scientia Horticulturae* 193:202-208.
24. Goto, E. 2012. Plant production in a closed plant factory with artificial lighting. *Acta Hort.* 956:37-49.
25. Hernández, R., Kubota, C. 2012. Tomato seedling growth and morphological responses to supplemental LED lighting red:blue ratios under varied daily solar light integrals. *Acta Hort.* 956:187-194.
26. Paucek, I., Appolloni, E., Pennisi, G., Quaini, S., Gianquinto, G., Orsini, F. 2020. LED lighting systems for horticulture: business growth and global distribution. *Sustainability* 12(8):7516.

27. Morrow, R.C. 2008. LED lighting in horticulture. *Hortscience* 43:1947-1950.
28. Gupta, S.D., Agarwal, A. 2017. Artificial lighting system for plant growth and development: chronological advancement, working principles, and comparative assessment. *Light Emitting Diodes for Agriculture: Smart Lighting*. Springer, Singapore, pp:1-25.
29. Fylladitakis, E.D. 2023. Controlled LED lighting for horticulture: a review. *Open J. Appl. Sci.* 13:175-188.
30. Tymoszuk, A., Kulus, D., Błażejewska, A., Nadolna, K., Kulpińska, A., Pietrzykowski, K. 2023. Application of wide-spectrum light-emitting diodes in the indoor production of cucumber and tomato seedlings. *Acta Agrobot.* 76, 762.
31. Rahman, M.M., Field, D.L., Ahmed, S.M., Hasan, M.T., Basher, M.K., Alameh, K. 2021. LED illumination for high-quality high-yield crop growth in protected cropping environments. *Plants* 10, 2470.
32. Sena, S., Kumari, S., Kumar, V., Husen, A. 2024. Light emitting diode (LED) lights for the improvement of plant performance and production: A comprehensive review. *Current Research in Biotechnology* 7, 100184.
33. Mohr, H., Schopfer, P. 1995. *Plant physiology*. Springer, Berlin, Germany.
34. Krug, H., 2002. Environmental influences on development, growth and yield. *The Physiology of Vegetable Crops*, CABI Publishing, New York, pp:101-181.
35. Castilla, N. 2005. *Invernaderos de plástico, tecnología y manejo*. Ediciones, MundiPrensa, Madrid, Spain.
36. Larcher, W. 2001. *Physiological plant ecology*. 4th edn., Springer, Stuttgart.
37. Ballaré, C.L., Casal, J.J. 2000. Light signals perceived by crop and weed plants. *Field Crop Research*, 67:149-160.
38. Warner, R.M., Erwin, J.E. 2003. Effect of photoperiod and daily light integral on flowering of five *Hibiscus* sp. *Scientia Horticulturae* 97:341-351.
39. Pérez, M., da Silva, T.J.A., Lao, M.T. 2006. *Light Management in Ornamental Crops*. Floriculture, Ornamental and Plant Biotechnology. Cilt.4, Global Science Books, UK.
40. Conover, C.A., Poole, R.T. 1990. Light and fertilizer recommendations for production of acclimatized potted foliage plants. *Foliage Digest* 13:1-6.
41. Tanaka, Y., Sasaki, N., Ohmiya, A. 2008. Biosynthesis of plant pigments: anthocyanins, betalains and carotenoids. *Plant J. Cell Mol. Biol.* 54:733-749.
42. Tilney-Bassett, R.A.E. 1986. *Plant Chimeras*. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
43. Kim, J., Kang, S.W., Pak, C.H., Kim, M.S. 2012. Changes in leaf variegation and coloration of english ivy and polka dot plant under various indoor light intensities. *HortTechnology* 22:49-55.
44. De Keyser, E., Dhooghe, E., Christiaens, A., Van Labeke, M.C., Van Huylbroeck, J. 2019. LED light quality intensifies leaf pigmentation in ornamental pot plants. *Scientia Horticulturae* 253:270-275.
45. Shi, J., Zhan, S., Jin, L., Zhou, Q., Shen, Y., Wan, X., Zou, L., Dong, Q., Bao, M., Tian, D., Ning, G., Ge, Y. 2023. Blue light exposure intensifies leaf red pigmentation and enhances oxidative stress tolerance in the ornamental bromeliad *Neoregelia* 'Fireball'. *Scientia Horticulturae* 310, 111716.
46. Runkle, E.S., Heins, R.D. 2006. Manipulating the light environment to control flowering and morphogenesis of herbaceous plants. *Acta Hort.* 711:51-60.
47. Fausey, B.A., Heins, R.D., Cameron, A.C. 2005. Daily light integral affects flowering and quality of greenhouse-grown *Achillea*, *Gaura*, and *Lavandula*. *HortScience* 40:114-118.
48. Faust, J.E., Holcombe, V., Rajapakse, N.C., Layne, D.R. 2005. The effect of daily light integral on bedding plant growth and flowering. *HortScience* 40:645-649.
49. Pramuk, L.A., Runkle, E.S. 2005. Modeling growth and development of celosia and impatiens in response to temperature and photosynthetic daily light integral. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 130:813-818.
50. Armitage, A.M., Wetzstein, H.Y. 1984. Influence of light intensity on flower initiation and differentiation in hybrid geranium. *HortScience* 19: 114-116.
51. In, B.C., Lim, J.H. 2018. Potential vase life of cut roses: Seasonal variation and relationships with growth conditions, phenotypes, and gene expressions. *Postharvest Biol. Technol.* 135:93-103.
52. Jiang, A., Zuo, J., Zheng, Q., Guo, L., Gao, L., Zhao, S., Wang, Q., Hu, W. 2019. Red LED irradiation maintains the postharvest quality of broccoli by elevating antioxidant enzyme activity and reducing the expression of senescence-related genes. *Sci. Hort.* 251:73-79.
53. Jerzy, M., Zakrzewski, P., Schroeter-Zakrzewska, A. 2011. Effect of colour of light on the opening of inflorescence buds and post-harvest longevity

- of pot chrysanthemums (*Chrysanthemum grandiflorum* (Ramat.) Kitam). *Acta Agrobot.* 64:13-18.
54. Heo, J.W., Chakrabarty, D., Paek, K.Y. 2004. Longevity and quality of cut 'Master' carnation and 'Red Sandra' rose flowers as affected by red light. *Plant Growth Regul.* 42(2):169-174.
 55. Lim, M.K., Lee, H.J., Kim, W.S. 2017. Effects of ultraviolet A (UVA) + light emitting diode (LED) irradiation on the cut flower quality and vase life of the oriental Hybrid Lily 'Siberia' simulated exportation. *Flower Res. J.* 25(3):118-123.
 56. Evelyn, S., Farrell, A.D., Elibox, W., De Abreu, K., Umaharan, P. 2020. The impact of light on vase life in (*Anthurium andraeanum* Hort.) cut flowers. *Postharvest Biol. Technol.* 159, 110984.
 57. Rezai, S., Sabzalian, M.R., Nikbakht, A., Zarei, H. 2024. Red LED light improved the vase life of cut rose flowers during cold storage. *Postharvest Biology and Technology* 210, 112752.
 58. Lin, C.T. 2000. Photoreceptors and regulation of flowering time. *Plant Physiol.* 123:39-50.
 59. Higuchi, Y., Narumi, T., Oda, A., Nakano, Y., Sumitomo, K., Fukai, S., Hisamatsu, T. 2013. The gated induction system of a systemic floral inhibitor, antiflorigen, determines obligate short-day flowering in chrysanthemums. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 110:17137-17142.
 60. Stack, P.A., Drummond, F.A., Stack, L.B. 1998. Chrysanthemum flowering in a blue light supplemented long day maintained for biocontrol of thrips. *Hortscience* 33:710-715.
 61. Jeong, S.W., Park, S., Jin, J.S., Seo, O.N., Kim, G.S., Kim, Y.H., Bae, H., Lee, G., Kim, S.T., Lee, W.S., Shin, S.C. 2012. Influences of four different light-emitting diode lights on flowering and polyphenol variations in the leaves of chrysanthemum (*Chrysanthemum morifolium*). *J. Agric. Food Chem.* 60:9793-9800.
 62. Nissim-Levi A., Kitron, M., Nishri, Y., Ovadia, R., Forer, I., Oren-Shamir, M. 2019. Effects of blue and red LED lights on growth and flowering of *Chrysanthemum morifolium*. *Scientia Horticulturae* 254:77-83.
 63. Sumitomo, K., Higuchi, Y., Aoki, K., Miyamae, H., Oda, A., Ishiwata, M., Yamada, M., Nakayama, M., Hisamatsu, T. 2012. Spectral sensitivity of flowering and FT-like gene expression in response to night-break light treatments in the chrysanthemum cultivar, 'Reagan'. *J. Hort. Sci. Biotech.* 87:461-469.
 64. Currey, C.J., Hutchinson, V.A., Lopez, R.G. 2012. Growth, morphology, and quality of rooted cuttings of several herbaceous annual bedding plants are influenced by photosynthetic daily light integral during root development. *HortScience* 47:25-30.
 65. Hernández, R., Kubota, C. 2016. Physiological responses of cucumber seedlings under different blue and red photon flux ratios using LEDs. *Environ. Exp. Bot.* 121:66-74.
 66. Lopez, R., Runkle, E. 2017. Light management in controlled environments. Meister Media Worldwide. Willoughby, OH.
 67. Mitchell, C.A., Dzakovich, M.P., Gomez, C., Lopez, R. 2015. Horticultural Reviews-Light-Emitting Diodes in Horticulture. Cilt.43, Horticultural Reviews, Wiley Blackwell.
 68. Khattak, A.M., Pearson, S. 2006. Spectral filters and temperature effects on the growth and development of chrysanthemums under low light integral. *Plant Growth Regul.* 49:61-68.
 69. Lund, J.B., Blom, T.J., Aaslyng, J.M. 2007. End-of-day lighting with different Red/Farred ratios using light emitting diodes affects plant growth of *Chrysanthemum × morifolium* Ramat. 'Coral charm'. *Hortscience* 42:1609-1611.
 70. Hisamatsu, T., Sumitomo, K., Shimizu, H. 2008. End-of-day far-red treatment enhances responsiveness to gibberellins and promotes stem extension in chrysanthemum. *J. Hort. Sci. Biotech.* 83:695-700.
 71. Poel, B.R., Runkle, E.S. 2017. Spectral effects of supplemental greenhouse radiation on growth and flowering of annual bedding plants and vegetable transplants. *HortScience* 52:1221-1228.
 72. Currey, C.J., Lopez, R.G. 2013. Cuttings of impatiens, pelargonium, and petunia propagated under light-emitting diodes and high-pressure sodium lamps have comparable growth, morphology, gas exchange, and post-transplant performance. *HortScience* 48:428-434.
 73. Kobori, M.M.R.G., Mello, S.D.C., Freitas, I.S.D., Silveira, F.F., Alves, M.C., Azevedo, R.A. 2022. Supplemental light with different blue and red ratios in the physiology, yield and quality of Impatiens. *Sci. Hort.* 306, 111424.
 74. Christiaens, A., Van Labeke, M.C., Gobin, B., Van Huylenbroeck, J. 2015. Rooting of ornamental cuttings affected by spectral light quality. *Acta Hort.* 1104:219-224.
 75. Park, Y., Gómez, C., Runkle, E.S. 2022. Indoor production of ornamental seedlings, vegetable transplants, and microgreens. *Plant Factory Basics, Applications and Advances*, Chapter 19, Elsevier Inc.
 76. Appolloni, E., Orsini, F., Pennisi, G., Gabarrell Durany, X., Paucek, I., Gianquinto, G. 2021. Supplemental LED lighting effectively enhances the yield and quality of greenhouse truss tomato

- production: Results of a meta-analysis. *Frontiers in Plant Science* 12, 596927.
77. Marcelis, L.F.M., Costa, J.M., Heuvelink, E. 2019. Achieving sustainable greenhouse production: Present status, recent advances and future developments. *Achieving Sustainable Greenhouse Cultivation* 1-14.
78. Javadi Asayesh, E., Aliniaiefard, S., Askari, N., Roozban, M.R., Sobhani, M., Tsaniklidis, G., Woltering, E.J., Fanourakis, D. 2021. Supplementary light with increased blue fraction accelerates emergence and improves development of the inflorescence in *Aechmea*, *Guzmania* and *Vriesea*. *Horticulturae* 7(11):485.
79. Aalifar, M., Aliniaiefard, S., Arab, M., Zare Mehrjerdi, M., Dianati Daylami, S., Serek, M., Woltering, E., Li, T. 2020. Blue light improves vase life of carnation cut flowers through its effect on the antioxidant defense system. *Frontiers in Plant Science* 11, 511.
80. Aliniaiefard, S., Falahi, Z., Dianati Daylami, S., Li, T., Woltering, E. 2020. Postharvest spectral light composition affects chilling injury in anthurium cut flowers. *Frontiers in Plant Science* 11, 846.