

ÖRTÜALTI TARIM UYGULAMALARI İÇİN LED AYDINLATMA SİSTEMLERİ VE ÖRNEK FİZİBİLİTE ÇALIŞMASI

Canan PERDAHÇI¹ Mert AKEL² Sabiha ENGEÇ³

¹Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Veziroğlu Yerleşkesi
41040 İzmit / KOCAELİ

^{2,3}Akım Metal San. ve Tic. A.Ş. Ar-Ge Merkezi
34459 Tuzla/İstanbul

perdahci@kocaeli.edu.tr¹, makel@akimmetal.com.tr², sengec@akimmetal.com.tr³

ÖZET

Bitkiler çimlenmeden çiçeklenmeye, tohum üretiminden yapraklanmaya kadar tüm yaşamları boyunca ışığa ihtiyaç duyarlar. Değişen iklim koşullarında bitki üretimi için yeterli bir ışık kaynağı sağlamak yapay aydınlatmanın en büyük sorunlarından biridir. Düşük verimlilik ve geleneksel ışık kaynaklarının yüksek enerji tüketimi nedeniyle, enerji tasarruflu sera aydınlatması için yeni sürdürülebilir ışık kaynakları kullanılmalıdır. Işık yayan diyot (LED) teknolojileri alanındaki son gelişmeler, bitki gelişmesini sağlamak için büyük bir potansiyel sunmaktadır. Günümüzde çoğu serada kullanılan geleneksel deşarj tipi lambalar (yüksek basınçlı sodyum lambalar) ve flüoresan lambalar ile karşılaştırıldığında, LED'ler çok daha sağlam, daha uzun ömürlü ve enerji tasarruflu katı hal ışık yayan cihazlardır. Bitkiler ışığın tüm dalga boylarını emmezler, ihtiyaçlarına göre uygun dalga boylarında seçicidirler. Bitkilerin kendi besinlerini ürettikleri verimli fotosentez için bitkilerin özel olarak ihtiyaç duyduğu ışık spektrumu kırmızı ve mavi dalga boylarıdır. LED teknolojisinin düşük enerji tüketimi, dayanıklılık, yüksek enerji verimliliği, dalga boyu özgüllüğü, uzun çalışma ömrü ve kırmızı ve mavi radyasyon miktarının farklı bitki türlerine veya aynı bitkinin farklı büyüme periyotlarına uyarlanabilmesi gibi birçok avantajları sayesinde sera aydınlatmasında mevcut ışık kaynaklarına gerçek bir alternatiftir. Bu çalışma sera bitkileri aydınlatması için yapay bir ışık kaynağı olan LED'lerin örtü altı tarımında kullanılmasına yönelik bir fizibilite çalışmasını içermekte olup yatırım amorti süresi 3-4 yıl olarak hesaplanmıştır.

1. GİRİŞ

Işık, bitkilerin sadece fotosentezin tek enerji kaynağı olarak değil, aynı zamanda fotosentetik doku tarafından yakalandıktan ve absorbe edildikten sonra dış morfogenez sinyali olarak hareket ederek bitki büyümesini ve gelişimini etkileyen hayati bir çevresel faktördür [1]. Doğal ışık kaynağının yani güneş radyasyonunun bitki yetiştirmede optimizasyon için yeterli olmadığı bölgelerde ilave yapay ışık kaynakları kullanılmaktadır. Metal halojen lamba, yüksek basınçlı sodyum buharlı lamba gibi konvansiyonel ışık kaynakları çok verimli değildirler ve yüksek ısı üretirler. Bu nedenle yol, bahçe, ofis aydınlatmaları ve otomobil farları gibi birçok alanda LED'in getirdiği yeniliklerde

olduğu gibi enerji verimli sera aydınlatması alanındaki LED'li bitki yetiştiriciliğindeki yeni sürdürülebilir çözümleri ülkemize getirmek, geliştirmek ve bu sayede ekonomik olarak ilerlemeye katkıda bulunmak amacıyla Ar-Ge çalışmaları başlamıştır. Işık kaynağı teknolojileri alanındaki son gelişmeler sera aydınlatması için ışık yayan diyot formunda LED, yüksek verimli ışık kaynakları ve sürdürülebilirlik için yeni görüşler geliştirilmektedir. Bu çalışmada, klasik aydınlatmanın yerini alan farklı dalga boylarında LED'ler ile seracılıkta verimlilik analizi incelenmektedir.

Bitkiler tarafından etkili fotosentez için özel olarak gerekli olan ışık, kırmızı ve mavi dalga boylarını içerir. Bununla birlikte, bitkiler için kullanılan flüoresan, civa veya

sodyum buharlı lamba gibi aydınlatma lambaları genellikle beyaz ışık bileşenlerinin yanı sıra kızılötesi ve ultraviyole bölgelerinde sarı ve yeşil renkte ışık üreten geleneksel yapay ışık kaynaklarıdır. Deşarj lambaları halen kullanılan geleneksel yapay bitki aydınlatma ürünlerinden biridir. Ancak enerji seviyeleri düşüktür ve fotosentez için bitkiler tarafından ihtiyaç duyulan dalga boylarında ışık üretimi açısından enerji tüketim seviyeleri yüksektir.



Şekil 1: Bitkisel büyüme için sera uygulamalarında kullanılan günışığını destekler nitelikte ve tamamen yapay ışık sağlayan uygulamalar.

Tablo 1’ de konvansiyonel tip aydınlatma lambalarının (yüksek basınçlı sodyum buharlı) LED aydınlatma sistemleri ile bir karşılaştırması yapılmıştır. Konvansiyonel aydınlatma lambalarının başlangıçtaki ışık üretim seviyeleri ve enerji etkinlik oranları zaman içinde hızlı bir düşüş göstermektedir. Tüketilen enerjinin yüzde 70’e varan

oranlarda ısıya dönüşmesi [2] ile sera iç sıcaklığı üzerinde istenilmeyen artışlar oluşması, sera görevlilerinin çalışmalarını zorlaştırması, yoğun ışık oluşması, çok geniş açı ile dağılan ışığın bir kısmının hedef alanlar dışına yönelerek işlevini kaybetmesi, deşarjlı ampullerin diğer dezavantajları arasındadır. Bu açılardan bitkisel büyüme, çimlenme, yaprak oluşumu ve çiçeklenme gibi olayları gerçekleştirmek için LED teknolojisi alternatifsiz bir çözüm sunmaktadır.

Tablo 1. Deşarj Ampullü ve LED Armatürlerin Teknik Özelliklerinin Karşılaştırılması [3].

| Özellik | HPS | LED |
|--|------|-----|
| Bitkinin doğrudan faydalandığı enerjinin toplam harcanan enerjiye oranı (Enerji Etkinliği) | % 10 | %95 |
| Lambanın zamanla ışık etkinliğinde azalma | ✗ | ✓ |
| Armatür yapısından kaynaklı ışık kayıplarının önlenmesi ve odaklanma | ✗ | ✓ |
| Bitki ihtiyacına göre farklı dalga boylarının optimize edilebilmesi | ✗ | ✓ |
| Sera içi sıcaklığının kontrolü kolaylığı | ✗ | ✓ |
| Sera konstrüksiyonuna uygun yapıda ve bitki boyuna göre ayarlanabilen armatür yapısı | ✗ | ✓ |
| Personelin çalışmasını zorlaştırmayan ışık yoğunluğu | ✗ | ✓ |

II. Bitki Gelişmesinde LED’lerin Yeri

Bitki yetiştiriciliği için LED’lerin kullanılması ilk olarak 1980’lerde LED’lerin

gelişiminin başlangıcıyla birlikte başlamıştır [4]. İlk deneyler marul, patates, ıspanak ve buğday üzerinde yapılmıştır. Mavi LED teknolojisi, o zamanki mavi bölge radyasyon seviyelerinde yeterince geliştirilemediğinden, çalışmada sadece kırmızı LED'ler (660nm) veya kırmızı LED'ler mavi floresan lambalarla birlikte kullanılmıştır [5]. Bu erken gelişmeler, örtüaltı bitki yetiştirme sistemleri için daha iyi ışık kaynakları geliştirme ihtiyacını doğurmuştur. Bu erken dönem LED çalışmaları bitki fizyolojisi deneyleri için LED tabanlı sistemlerin geliştirilmesine yol açmıştır. LED aydınlatma sistemlerinin yüksek maliyetli olması nedeniyle, bitki büyümesinde LED'lerin uygulanması öncelikle yetiştirme odaları ve seralar gibi kontrollü ortamlarla sınırlandırılmıştır. İlk dönemlerde LED ışık altındaki bitki üretimi ile ilgili yapılan çalışmaların çoğu, NASA üyesi araştırmacılar tarafından bitki bazlı rejeneratif yaşam destek sistemlerinin geliştirilmesi için hazırlanmıştır. Kennedy Uzay Merkezi'nde (KSC) araştırma grubu, LED tabanlı ışık sistemlerinin buğday, ıspanak, marul ve biber gibi bitkilerin verim ve fizyolojik tepkileri üzerindeki etkilerini araştırmış ve olumlu sonuçlar elde etmişlerdir [6]. LED ışık altında bitki yetiştirme teknolojisi, gelişen LED sistemleri ile birlikte yaygınlığını arttırmaya devam etmektedir. LED teknolojisinin bitki üretimi alanında sadece fotosentezi arttırmak amacıyla kullanımı değil ayrıca fotoperiyot ayarlama konusunda da araştırmalar olanca hızıyla devam etmektedir.

III. Örtüaltı Tarım için Aydınlatma Pazarı

Örtüaltı tarım aydınlatma ürünleri pazarı şu anda dünya çapında 2,43 milyar dolarlık büyüklüğe ulaşmıştır. Yapılan bir pazar analizine göre 5 yıllık projeksiyonda 2023

yılına kadar pazarın her yıl %20 oranında büyümesi ve toplamda 6,21 milyar dolara ulaşması öngörülmektedir [7]. Pazarın yaklaşık %80'inin LED aydınlatma ürünlerinden oluşması beklentiler arasındadır. Pazarın bu kadar büyümesinin sebebi tarım sektöründe yaşanan gelişmeler ve insan nüfusunun alışkanlıklarından kaynaklanmaktadır. Şu anda dünya üzerinde yaşanabilir toprakların yaklaşık %40'i üzerinde tarım yapılmaktadır ve ekili topraklarda yetişen ürünlerin %70'i son kullanıcıya ulaşmamaktadır. Bu oran endüstriyel tarım yapılan ve ileri teknolojileri kullanan ABD'de bile %40 mertebesindedir [2]. ABD'de tarım ürünlerinin son kullanıcıya ulaştırılabilmesi için kullanılan petrol miktarı yıllık petrol tüketiminin %10'unu oluşturmaktadır. Bu açıdan bakıldığında 2050 yılında 9,1 milyara yaklaşacak insan nüfusunu besleyebilmek için yenilikçi ve yüksek verimli tarım uygulamalarına geçilmesi şarttır [8]. Kapalı mekân tarımı gelecekte karşılaşılabileceğimiz kıtlık problemini çözebilecek yöntemlerin başında gelmektedir. Bunun yanında şehrin banliyölerinde yaşayan ve yarı açlık çeken büyük nüfusların beslenmesinde ve istihdamının sağlanmasında kapalı mekan tarımı, dikey bahçe gibi uygulamalar önemli bir çözüm yolu olarak görülmektedir [9].

IV. Örtüaltı Tarım için Örnek Fizibilite Çalışması

Yakın gelecekte çözüm yollarından biri olarak görülen dikey tarım uygulamalarına yönelik örnek bir iş planı ve fizibilite çalışması ZipFarm firmasının sunduğu veriler üzerinden yapılmıştır [10]. Şekil 2'de görseli verilen sistemin benzerinin ülkemiz şartlarına göre fizibilite çalışması yapılmıştır.



Şekil 2. Yurtdışında örnek olarak alınıp incelenen bir start up ZipFarm [10]

Hidrofonik tarım ve dikey bahçe uygulamaları yapan firmanın incelemesi 500m² alanda 110.000\$ yatırım ile kurulan dikey bir bahçe üzerinedir. Bu yatırım 192 ZipGrow Kuleleri, kuleleri desteklemek için 15 ZipGrow rafı, 355Watt gücünde 48 aydınlatma ünitesi, 330 Galon besin deposu, UV filitasyonlu ve otomatik besin maddesi ile kontrolü ve bir CO₂ besleme ünitesinden oluşmaktadır. Bu üniteler günde 18 saat boyunca ışık sağlamaktadır. Sistem günde yaklaşık 306 kWh enerji harcamaktadır. Ülkemizde sanayi ve tarım elektriği arasında fiyat farkları mevcuttur. Kanada menşeli firmanın beyanına göre kWh fiyatı 10-12 \$Cent olarak verilmiştir. Bu durumda günlük enerji gideri 30\$ civarındadır. İncelenen örnekte marul ve fesleğen kullanılmıştır. 3.5 hafta içerisinde yaklaşık 250 kg marul ve 250 kg fesleğen elde edilebildiği beyan edilmiştir. Taze olarak pazara sunulan bu gıdalardan marulun kg'ı 4\$ fesleğenin ise kg satış fiyatı 40\$'dır. 1 Watt kurulu LED ışık gücü yaklaşık 1\$ maliyeti olduğu düşünülürse [11], bu tarz bir projede aydınlatma sistemi maliyeti yaklaşık olarak 18.000\$ mertebesindedir. Toplam maliyetin içerisinde enerji tüketim maliyeti toplam giderlerin yaklaşık olarak yaklaşık %10'u olarak hesaplanmıştır. Örnekte verilen bahçe Kanada'da ki enerji maliyetleri, işletme giderleri ve gıda fiyatları baz alındığında

yaklaşık olarak 52 hafta kendini amorti edebilmektedir [10].

Ülkemizde yapay ışık ile ilgili benzeri bir fizibilite yapılacak olursa öncelikle kullanılacak bitkinin fotosentez için ihtiyacı olan enerji miktarı esas alınmalıdır. Literatürde pek çok bitkinin ihtiyacı olan değerler rapor edilmiştir [11]. Bunun yanında yapay ışıkla yetiştirilen bitkilerin ürün kalitesi konusunda da pek çok çalışma mevcuttur ve güneş ışığında yetişen bitkilerden hemen hiçbir farklarının olmadığı beyan edilmiştir [12]. Bitkilerin yapay ışıkla büyütülmesi konusunda yapılan pek çok fizibilite çalışması da mevcuttur [13] [14]. Bunlardan bir kısmı konvansiyonel ışıklarla LED armatürleri karşılaştırırken [15] [4], kimi çalışmalarda da doğrudan güneş ışığı ile LED aydınlatma armatürlerinin verim artışına etkisinin fizibilitesi yapılmıştır [16] [17] [18]. Sadece genel kabul gören sebze ve bitkiler değil Hollanda ve Kuzey Amerika'nın bazı bölgelerinde yetiştirilmesi yasal olan kenevir gibi farmasotik bitkiler içinde fizibilite çalışmaları yapılmıştır [19]. Bu verilere dayanarak yapay ışık altında bitkilerin yaklaşık olarak 200-1600 $\mu\text{mol.s/m}^2$ arasında foton enerjisine ihtiyaç duyduğu söylenebilir. Bu değer 2160-8640 lux arasındadır [12]. 1 lux aydınlatma 1 lümen/m² ışımaya değerindedir. LED aydınlatma armatürlerinde yaklaşık aydınlatma gücü 140 lümen/watt oranındadır. 1Watt kurulu LED ışık gücü için yaklaşık 1\$ mertebesinde maliyet gerektirdiği düşünülürse [11] 1 lux aydınlatma için 0.007\$ lık LED armatür yatırımı gereklidir. Bu da yaklaşık olarak bitki türüne göre m² başına 15-60 \$'lık bir LED armatür yatırımını demektir. Ülkemizde örtü altı tarım da yetiştirilen bitkiler % 95 sebze (genelde yazlık sebzeler), % 4 süs bitkileri (özellikle kesme çiçek) ve % 1 meyve türleri (özellikle

muz ve çilek) olmaktadır [20]. Ülkemiz sera sebze yetiştiriciliğinde; %51 domates, %20.2 salatalık, %17.3 biber ve %8.6 patlıcan yetiştiriciliği yapılmaktadır. Yaygın örtüaltı yetiştiricilik açısından domatesi bir örneklem olarak seçip hesaplamalarımızı bunun üzerinden yapabiliriz. Domates bitkisi için maksimum ışık alma süresi 18 saat olarak hesaplanmıştır [16]. Bu değer üzerinde bitkinin ürün veriminin düştüğü saptanmıştır. Örtü altı domates tarımının yoğun olarak yapıldığı Antalya-Mersin bölgesinde yaz dönemi güneşlenme süresi 16 saati bulurken kış döneminde bu süre 10 saate kadar düşmektedir. Yapay ışık ile domatesin kışın verimini %25 yazın ise %10 oranında arttırmak mümkündür. Örtü altında yaklaşık olarak dönüm başına yılda 1 defa dikim yapıldığında 10-12 ton ürün almak mümkünken LED aydınlatma sistemi ile bu rakam yılda 3 dikime kadar arttırılarak 36 ton'a çıkartılabilir [21]. Domates için 200 $\mu\text{mol.s/m}^2$ mertebesinde aydınlatma yeterlidir [16]. Bu durumda 1 dönüm için 15.000\$ lık aydınlatma sistemi gerekmektedir. Bu yaklaşık 15 kW gücünde LED aydınlatma armatürüne tekabül etmektedir. Bu yatırımın yıllık elektrik enerjisi ihtiyacı yaklaşık olarak 21.000 kWh'tir. Ülkemizde tarım sektöründe kullanılan elektriğin yaklaşık fiyatı 7 \$Cent civarındadır [22]. Böyle bir sistemin yıllık elektrik sarfiyatı 1500 \$ mertebesindedir. Şu anda örtü altı tarım sektöründe üretilen domatesin kg fiyatı 0.5 \$ mertebesindedir. Bu durumda sistemin üreticiye yaratacağı artı değer dönüm başına yıllık 4000-5000 \$ seviyesindedir. Uygulanan yöntemle sistem kendini yaklaşık 3-4 senede amorti edebilmektedir.

V. Sonuç

Konvansiyonel lamba teknolojisine göre LED aydınlatma armatürleri fotosentetik verimi, bitki formunu ve fonksiyonunu iyileştirmek için optimizasyona izin veren ayarlanabilir spektral kalite, düşük radyan ısıyla yüksek ışık akısı ve parlaklık sağlama yeteneği, çok daha güvenli olması, seralarda çok katmanlı tarımda ışık dağıtımının optimize etme imkanı gibi avantajlar taşımaktadır. Katı hal aydınlatma teknolojisi, mevcut armatür tiplerine göre sağladığı avantajlarla birlikte LED'leri örtüaltı tarımda gerek kısmen gün ışığını destekleyici gerekse tamamen yapay ışık kullanımında en ideal aydınlatma kaynağı haline getirmiştir. Günümüzde büyüyen bir pazar haline gelen örtü altı yapay ışık uygulamaları şu anda maloluş fiyatı ve amorti süreleri düşünüldüğünde 3-4 senede geri dönüş sağlayan bir yatırım olarak görülebilir.

KAYNAKLAR

- [1] C. A. Mitchell, A. Both, C. M. Bourget, C. Kuboto, R. G.Lopez, R. C. Morrow, S. Runkle, « LEDs: the future of green house lighting, » Chron Hortic, no:55, pp. 6–12, 2012.
- [2] D. Despommier, The Vertical Farm, Thomas Dunne's Books Martin's Press, 2010.
- [3] M. Çanakçı ve I. Akıncı, «Energy Use Pattern Analyses of Greenhouse Vegetable Production,» *Energy*, no. 31, pp. 1243-1256, 2006.
- [4] S. Devesh, B. Chandrajit, M. Merve ve R. Bernhard, «LEDs for Energy Efficient Greenhouse Lighting,» *Renewable and Sustainable Energy Reviews* , no. 49, pp. 139-147, 2015.
- [5] W. van Ieperen ve G. Trouwborst, «The Application of LEDs as Assimilation Light

- Source in Greenhouse Horticulture: a Simulation Study,» *Acta Hort*, no. 801, 2008.
- [6] G. Massa, H. Kim, R. Wheeler ve C. Mitchell, «Plant productivity in response to LED lighting,» *Hort Science*, no. 43, pp. 1951-1956, 2008.
- [7] [Çevrimiçi]. Available: <https://www.businesswire.com/news/home/20180924005433/en/6.2-Billion-Horticulture-Lighting-Market-Technology-Application>.
- [8] T. McEachern, «Determining the Most Efficient Type of Growth Light for an Aquaponics System using Yellow Lantern Chilies (*Capsicum chinense*),» *Bellarmino University*, 2016.
- [9] C. Bojaca ve E. Schrevens, «Energy assessment of peri-urban horticulture and its uncertainty: Case study for Bogota, Colombia,» *Energy*, no. 35, pp. 2109-2118, 2010.
- [10] [Çevrimiçi]. Available: <http://blog.zipgrow.com/indoor-hydroponic-farming-costs-profits>.
- [11] M. Dzakovic, C. Gomez ve C. Mitchell, «Tomatoes Grown with Light-emitting Diodes or High-pressure Sodium Supplemental Lights have Similar Fruit-quality Attributes,» *Hortscience*, cilt 50, no. 10, pp. 1498-1502, 2015.
- [12] M. Olle ve A. Viršile, «The effects of light-emitting diode lighting on greenhouse plant growth and quality.,» *Agricultural and Food Science*, cilt 22, no. 2, pp. 223-234, 2013.
- [13] A. VelezRamirez, E. Heuvelink, W. van Ieperen, D. Vreugdenhil ve F. Millenaar, «Continuous Light As A Way To Increase Greenhouse Tomato Production: Expected Challenges,» %1 içinde *ISHS Acta Horticulturae 956: VII International Symposium on Light in Horticultural Systems..*
- [14] V. Martineau, M. Lefsrud ve M. Naznin, «Comparison of Light-emitting Diode and High-pressure Sodium Light Treatments for Hydroponics Growth of Boston Lettuce,» *Hortscience*, cilt 47, no. 4, pp. 477-482, 2012.
- [15] J. Nelson ve B. Bugbee, «Economic Analysis of Greenhouse Lighting: Light Emitting Diodes vs. High Intensity Discharge Fixtures,» *Plos One*, cilt 9, no. 6, p. 99010, 2014.
- [16] F. Tewolde, N. Lu, K. Shiina, T. Maruo, M. Takagaki, T. Kozai ve W. Yamori, «Nighttime Supplemental LED Inter-lighting Improves Growth and Yield of Single-Truss Tomatoes by Enhancing Photosynthesis in Both Winter and Summer,» *Front Plant Sci.*, no. 7, p. 448, 2016.
- [17] K. Jokinen, L. Särkkä ve J. Näkkilä, «Improving Sweet Pepper Productivity By Led Interlighting,» *ActaHort (ISHS)*, 2012.
- [18] S. Hemming, «Use of Natural and Artificial Light in Horticulture - Interaction of Plant and Technology,» *Acta Horticultura (ISHS)*, 2011.
- [19] Caulkins ve P. Jonathan, «Estimated Cost of Production for Legalized Cannabis,» 2010.
- [20] H. Öz, «Türkiye’de Örtü Altı Yetiştiricilik Potansiyelinin Solar Radyasyon ve Güneşlenme Süresi Parametrelerine Göre İncelenmesi,»Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, no. 2, pp. 509-513, 2017.
- [21] S. Engindeniz, « Tarımda Girişimcilik Alternatifi: Serada Domates Yetiştiriciliği » *Tarım Türk Dergisi*, no. 53, pp. 27-36, 2015.
- [22] [Çevrimiçi]. Available: <https://www.epdk.org.tr/Detay/Icerik/3-1327/elektrik-faturalarina-esas-tarife-tablolari>