

## Seralar için Yapay Aydınlatma Sistemi Tasarımı: Günlük Işık İntegrali Yöntemi

**Mehmet Ali DAYIOĞLU, Hasan SİLLELİ**

Ankara Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarım Makinaları Bölümü, 06130-Aydınlıkevler-Ankara  
dayioglu@agri.ankara.edu.tr

Received (Geliş Tarihi): 09.05.2012

Accepted (Kabul Tarihi): 29.06.2012

**Özet:** Bu çalışmada, günlük ışık integrali yöntemi kullanılarak cam ve plastik örtülü seralar için yapay aydınlatma sisteminin tasarımı yapılmıştır. Günlük ışık integrali (DLI) 12 ay için hesaplanmış olup, her iki lokasyonda en düşük seviyeler Aralık ayında tespit edilmiştir. Tasarım ölçütleri olarak kullanılan en düşük DLI seviyeleri Afyon için 7-9 mol/m<sup>2</sup>gün ve Aydın için 8-10 mol/m<sup>2</sup>gün olarak saptanmıştır. Taban alanı 1000 m<sup>2</sup> olan örnek plastik ve cam seralarda iyi kalite (15 mol/m<sup>2</sup>gün) domates üretimi için gerekli fotosentez etkili ışınım (PAR) seviyeleri ve armatür sayıları tespit edilmiştir. Afyon'daki cam ve plastik seralar için gerekli PAR sırasıyla 139 ve 185 µmol/m<sup>2</sup>s'dir. Bu ışık seviyelerini sağlamak için gerekli lamba sayıları sırasıyla 265 ve 352 olarak hesaplanmıştır. Aydın'daki cam serada 116 µmol/m<sup>2</sup>s ışık seviyesi için gerekli olan armatür sayısı 221 ve plastik serada 162 µmol/m<sup>2</sup>s ışık seviyesi için gerekli olan armatür sayısı 309'dur.

**Anahtar kelimeler:** Sera, yapay aydınlatma, günlük ışık integrali, fotosentez etkili ışınım

### Design of Artificial Lighting System for Greenhouses: Daily Light Integral Method

**Abstract:** In this study, the design of the artificial lighting system for greenhouses covered with glass and plastic sheet was applied by using the daily light integral method. The daily light integral (DLI) was calculated for 12 months, and the lowest DLI levels in both locations were determined in December. The lowest DLI levels used as design criteria were found as 7-9 mol/m<sup>2</sup>day for Afyon, and 8-10 mol/m<sup>2</sup>day for Aydın. In design process, photosynthetically active radiation (PAR) levels and the numbers of lamps needed were determined for good quality (15 mol/m<sup>2</sup>day) tomato production in sample glass and plastic greenhouses with 1000 m<sup>2</sup> ground area. PAR levels needed for glass and plastic greenhouses in Afyon are founded as 139 and 185 µmol/m<sup>2</sup>s, respectively. In order to provide these light levels, the numbers of lamps were calculated as 265 and 352, respectively. Furthermore, the number of necessary lamps to provide PAR level of 116 µmol/m<sup>2</sup>s in glass greenhouse is 221, and 309 for PAR level of 162 µmol/m<sup>2</sup>s in plastic greenhouse in Aydın.

**Key words:** Greenhouse, artificial lighting, daily light integral, photosynthetically active radiation

### GİRİŞ

Işık bitki büyümesi ve gelişimi için temel faktördür. Ancak, doğal günışığı hem gün içinde hem de yıl boyunca mevsimler ve hava koşullarına bağlı olarak değişmektedir (Ciolkosz, 2008). Çoğu bitkinin verimi ve kalitesi üzerine düşen kümülatif ışık miktarıyla doğrudan ilişkilidir. Serada kış aylarında ışık seviyesinin yetersiz olması bitkilerin büyümesini ve gelişimini olumsuz etkilemektedir. Bitki büyümesi ve gelişimi açısından yapay aydınlatma sistemleri seraların önemli bir bileşeni olarak kullanılmaktadır.

Yapay aydınlatmada gün boyunca bitkiye ulaşan doğal ışık toplamının ve güneşlenme süresinin

bilinmesi gereklidir. Bu parametreler hem fotosentez hem de foto periyot aydınlatması açısından önemlidir.

Sera içindeki ışık seviyesi güneş ışınımı gelme açısı, gün uzunluğu, güneşlenme süresi, bulutluluk, yapısal gölgeleme, bitki yoğunluğu, örtü malzemesi ve kirlilik durumu gibi birçok faktörlere bağlı olarak %35-75 oranında azalmaktadır (Fisher ve Runkle, 2004). Ortalama güneşlenme süresi 4.5 saatten daha az olan bölgelerde yapay aydınlatma uygulaması pozitif sonuçlar vermektedir (Argus, 2010).

Bitkinin bir gün boyunca aldığı kümülatif ışık miktarı günlük ışık integrali (DLI) kavramıyla

tanımlanabilir. DLI bir günde birim alana gelen fotonların mol sayısını (mol/m<sup>2</sup>gün) ifade eder. Sera dışındaki DLI seviyeleri kış ve yaz aylarında 5-60 mol/m<sup>2</sup>gün gibi geniş bir aralıkta değişmektedir (Ciolkosz, 2008). Kış ve bahar aylarında sera içindeki DLI 1-10 mol/m<sup>2</sup>gün seviyelerine kadar düşebilmektedir (Lopez ve Runkle, 2008). Bitki türlerine göre değişmekle birlikte, genel olarak bitkiler günde en az 10-12 mol/m<sup>2</sup> ışık toplamına ihtiyaç duyarlar. DLI seviyesi yapay aydınlatma için tasarım aracı olarak kullanılabilir. Aydınlatma sisteminin işletilmesinde optimum bitki büyümesi ve gelişim stratejileri tespit edilebilir.

Seralarda doğal ışık eksikliğini tamamlamak için çoğunlukla cıva buharlı (M), metal halojen (MH), düşük ve yüksek basınçlı sodyum buharlı (LPS ve HPS) deşarj lambaları kullanılmaktadır. Uygulamada performans açısından yüksek basınçlı sodyum buharlı (HPS) fotosentez lambaları öne çıkmaktadır.

Both ve ark. (2002) seralarda ışığın homojen dağılımını iyileştirmek için aydınlatma sisteminin tasarımı ve kurulumu konularını araştırmışlardır. Ferentinos ve Albright (2005) serada bitki üretimini iyileştirmek amacıyla, yapay aydınlatma sisteminin optimal tasarımı için genetik algoritma tekniğini geliştirdiler. Moe ve ark. (2006) Norveç'te sera bitkilerinin yıl boyunca üretimi için yapay aydınlatma adlı makalelerinde farklı bitkilerin ışık gereksinimlerini anlık ve günlük ışık toplamına göre değerlendirmişlerdir. Ciolkosz (2008) yapay aydınlatma ile seralarda günışığı varlığının tasarımını günlük PAR verilerine göre araştırmış ve bazı tasarım ölçütleri üzerinde durmuştur. Hemming (2011) optimum bitki üretimi ve ürün kalitesi için uygulanan ışık yoğunluğu, ışık spektrumu ve foto-periyodun bitkinin ihtiyaçlarını karşılaması için, doğal ışık, HPS ve LED aydınlatma teknolojilerini uyarlayacak şekilde ayrıntılı olarak irdelemiştir.

Bu çalışmada, Afyon ve Aydın'daki cam ve plastik seralar için yapay aydınlatma sistemi tasarımı yapılmıştır. Tasarımda günlük ışık integrali yöntemi kullanılmış olup; Afyon ve Aydın'ın ışık koşullarını tanımlamak için gökyüzü, güneşlenme ve bulutluluk indeksleri geliştirilmiştir. Afyon ve Aydın için düşük, iyi ve yüksek kalite ölçütleri esas alınarak günlük ışık integrali seviyeleri tanımlanmıştır. Günlük ışık integraline göre fotosentez etkili ışınım seviyeleri ve armatür sayıları tespit edilmiştir.

## MATERYAL ve YÖNTEM

Araştırma çalışmasında, Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü'nün (DMİ) Afyon (17190) ve Aydın (17234) istasyonlarında 1975 ile 2010 yılları arasında yapılan ölçümler veri tabanı olarak kullanılmıştır. Meteorolojik veriler ortalama günlük toplam güneş ışınım şiddeti, güneşlenme süresi, bulutluluk, bulutlu gün sayısı, açık gün sayısı, hava sıcaklığı, bağıl nem, rüzgâr hızı ve yağış verilerini kapsamaktadır.

### Güneş ışınım modeli

Atmosfer dışından yatay düzleme gelen anlık toplam güneş ışınımı aşağıdaki eşitlikle hesaplanır (Duffie ve Beckman, 2006):

$$I_p = I_{sc} \left[ 1 + 0.033 \cos \frac{360n}{365} \right] \cos \theta_z \quad (1)$$

Bu eşitlikte,  $I_{sc}$  güneş sabiti (1367 W/m<sup>2</sup>),  $n$  1 Ocaktan itibaren gün sayısı ( $1 \leq n \leq 365$ ) ve  $\theta_z$  zenit açısıdır.

Yatay yüzeylerdeki güneş zenit açısı için şu eşitlik kullanılır (Duffie ve Beckman, 2006):

$$\cos \theta_z = \cos \varphi \cos \delta \cos \omega + \sin \varphi \sin \delta = \sin \gamma_s \quad (2)$$

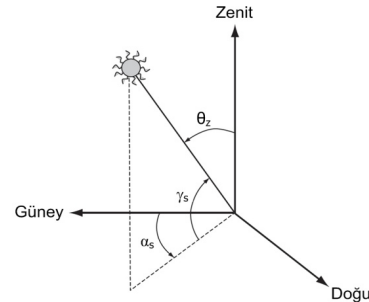
Bu eşitlikte  $\varphi$  enlem derecesi,  $\delta$  deklinasyon açısı,  $\omega$  saat açısı,  $\gamma_s$  yükseklik açısıdır. Şekil 1'de görüldüğü gibi güneş zenit açısının kosinüsü güneş yükseklik açısının sinüsüne eşittir. Saat açısı güneş zamanı 12:00 olduğunda  $\omega = 0$ 'dir.  $\omega$  saat açısı sabah negatif, öğleden sonra pozitifdir.

Azimut açısı ( $\alpha_s$ ) direkt güneş ışınımı izdüşümünün güneye göre açısal değişimi tanımlar (şekil 1):

$$\alpha_s = \text{sign}(\omega) \left| \cos^{-1} \left( \frac{\cos \theta_z \sin \varphi - \sin \delta}{\sin \theta_z \cos \varphi} \right) \right| \quad (3)$$

Atmosfer dışında yatay yüzeye gelen günlük toplam güneş ışınımının ( $H_p$ ) tespitinde aşağıdaki eşitlik kullanılır (Duffie ve Beckman, 2006):

$$H_p = \frac{24}{\pi} I_{sc} \left[ 1 + 0.033 \cos \left( \frac{360n}{365} \right) \right] \cos \theta_z \quad (4)$$



Şekil 1. Sabit bir noktaya göre güneşin pozisyonu

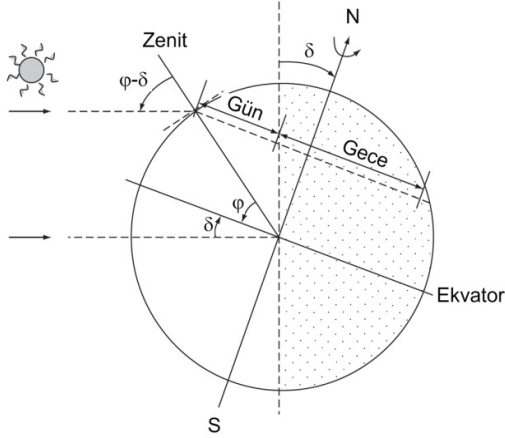
Zenit açısı integrasyonu esas alarak,  $\omega_s$  güneşin doğuş ve batış saat açılarına göre aşağıdaki eşitlikle hesaplanır (şekil 2):

$$\cos \theta_z = \cos \varphi \cos \delta \sin \omega_s + \frac{\pi \omega_s}{180} \sin \varphi \sin \delta \quad (5)$$

Deklasyon ve saat açıları için sırasıyla aşağıdaki eşitlikler kullanılır (Duffie ve Beckman, 2006):

$$\delta = 23.45 \sin \left( 360 \frac{284 + n}{365} \right) \quad (6)$$

$$\omega_s = \cos^{-1} [-\tan \delta \tan \varphi] \quad (7)$$



**Şekil 2. Öğle saatinde  $\delta < 0$  (kuzey yarıkürede kış) olduğu bir günde yer-güneş pozisyonu**

Gerçek güneş zamanı (GZ) için aşağıdaki eşitlik kullanılır:

$$GZ = SYZ + 4(L_{st} - L_{loc}) + E \quad (8)$$

Bu eşitlikte SYZ standart yerel zaman,  $L_{loc}$  yerel boylam,  $L_{st}$  standart saat boylamı ve E zaman denklemidir. Dünya kendi etrafında bir turunu 24 saatte tamamlar ve iki meridyen arası 4 dakikadır (Duffie ve Beckman, 2006):

$$E = a \left[ b + c \cos B - d \sin B - e \cos 2B - f \sin 2B \right] \quad (9)$$

Bu denklemde  $a=229.2$ ,  $b=0.000075$ ,  $c=0.001868$ ,  $d=0.032077$ ,  $e=0.014615$ ,  $f=0.04089$  ve

(10)

Gün uzunluğu (GU) aşağıdaki gibi saat açısının fonksiyonudur. Güneş dünyanın dönmesinden dolayı bir saatte 15 meridyen tarar:

$$GU = \frac{2}{15} \omega_s \quad (11)$$

Belirli bir lokasyonda yılın her günü için atmosfer dışına ulaşan toplam güneş ışınımı ( $H_o$ ) hesaplanabilir.

Yer yüzeyinde toplam güneş ışınımı ( $H$ ) meteoroloji istasyonlarında düzenli olarak ölçülmektedir. Toplam güneş ışınımı verileri ile güneşlenme süresi ve gün uzunluğu verileri kullanılarak pratik indeksler geliştirilmektedir. Bu amaçla, iki indeks kullanılmıştır:

1. Gökyüzü indeksi ( $K_T = H/H_o$ )
2. Güneşlenme indeksi ( $S_T = GS/GU$ )

### Günlük Işık İntegrali Yöntemi

Bitkiler güneşten gelen ışınımın fotosentez için gerekli olan 400 – 700 nm dalga aralığındaki kısmını kullanırlar. Günlük ışık integrali (DLI) iki kademeli integral kullanılarak aşağıdaki gibi tanımlanır (Ciolkosz, 2008):

$$DLI = \int_{t=0}^{86400} \int_{\lambda=400}^{700} PAR d\lambda dt \quad (12)$$

Bu eşitlikte,  $t$  günün zamanı (s) ve PAR  $\lambda$  dalga uzunluğunda (nm) quantum akı ( $\text{mol}/\text{nm} \cdot \text{m}^2$ ) yoğunluğudur. PAR 400-700 nm aralığında  $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$  olarak ölçülen fotosentez etkili ışınımdır.

Genel olarak meteoroloji istasyonlarında PAR ölçümleri yapılmaz; PAR ölçümleri yapılan lokasyon sayısı da sınırlıdır. İstenilen lokasyona ilişkin ışık seviyelerinin tespitinde meteoroloji istasyonlarında ölçülen güneşlenme verileri kullanılabilir.

Bu araştırmada, DLI seviyelerinin tespiti için Afyon ve Aydın meteoroloji istasyonunda ölçülen günlük toplam güneş ışınımı verileri kullanılmıştır. Bu amaçla, Afyon ve Aydın meteoroloji istasyonlarından alınan güneş ışınımı verilerine üç aşamalı sayısal dönüşüm işlemi uygulanmıştır:

1.  $H$  ( $\text{cal}/\text{cm}^2\text{gün}$ )  $\Rightarrow H$  ( $\text{MJ}/\text{m}^2\text{gün}$ )
2.  $H$  ( $\text{MJ}/\text{m}^2\text{gün}$ )  $\Rightarrow H_{PAR}$  ( $\text{MJ}/\text{m}^2\text{gün}$ )  
(Çizelge 1, Escobedo ve ark., 2009),
3.  $H_{PAR}$  ( $\text{MJ}/\text{m}^2$  PAR)  $\Rightarrow DLI$  ( $\text{mol}/\text{m}^2$ )  
 $1 \text{ MJ}/\text{m}^2 \text{ PAR} = 4.6 \text{ mol}/\text{m}^2$   
(Tsubo ve Walker, 2005).

Sera domates bitkisi için DLI seviyeleri ile bitki kalitesi arasında ilişkiler tasarım ölçütü olarak kullanılabilir. Bu amaçla, sera domates bitkisi için kabul edilebilir düşük kalite (A:8-12  $\text{mol}/\text{m}^2\text{gün}$ ), iyi kalite (B:14-20  $\text{mol}/\text{m}^2\text{gün}$ ) ve yüksek kalite (C:22-30  $\text{mol}/\text{m}^2\text{gün}$ ) için DLI seviyeleri tanımlanmıştır (Fisher ve Runkle, 2004).

**ARAŞTIRMA BULGULARI**

Seralar için aydınlatma sisteminin tasarımında DMİ Afyon ve Aydın verileri ve matematiksel model kullanılarak aşağıda sıralanan aşamalar izlenmiştir:

1. Güneş ışınım modeli kullanılarak atmosfer dışında yatay yüzeye gelen aylık ortalama günlük toplam güneş ışınım şiddetinin hesaplanması,
2. Gün uzunluğu, güneş doğuş ve batış saatlerinin saptanması,
3. Aylık ortalama günlük toplam güneş ışınımı ve güneşlenme süresi verilerinin işlenmesi,
4. Gökyüzü ve güneşlenme indekslerinin hesaplanması,
5. Günlük ışık integraline ilişkin hesaplamaların yapılması,
6. Domates bitkisi için en düşük kabul edilebilir kalite, iyi kalite ve yüksek kalite için günlük ışık integrali seviyeleri tespit edilmiştir.
7. Uygun DLI seviyeleri için armatür seçimi, sayısı ve yerleşimi yapılmıştır.

**Çizelge 1. Gökyüzü indeksine göre toplam günlük PAR eşitlikleri (Escobedo ve ark., 2009)**

| Gökyüzü indeksi           | Eşitlik             | R <sup>2</sup> |
|---------------------------|---------------------|----------------|
| $K_T \leq 0.35$           | $H_{PAR} = 0.512 H$ | 0.9925         |
| $0.35 \leq K_T \leq 0.55$ | $H_{PAR} = 0.496 H$ | 0.9938         |
| $0.55 \leq K_T \leq 0.65$ | $H_{PAR} = 0.490 H$ | 0.9923         |
| $K_T > 0.65$              | $H_{PAR} = 0.485 H$ | 0.9942         |
| $0 \leq K_T \leq 1$       | $H_{PAR} = 0.489 H$ | 0.9904         |

Afyon ve Aydın için atmosfer dışı verilerinin hesaplanmasında matematiksel model oluşturulmuş ve 12 ayı karakterize eden referans gün saylarına (n) göre çalıştırılmıştır.

Afyon koşulları için çizelge 2'de verilen sonuçlar elde edilmiştir. Sonuçlar atmosfer dışında yatay yüzeye gelen toplam günlük güneş ışınımını ( $H_o$ ), gün uzunluğunu (GU), güneş doğuş saatini (GDS), güneş batış saatini (GBS) ve saat olarak gün uzunluğunu (GUS) kapsamaktadır.

Model sonuçlarına göre, Afyon koşullarında  $H_o$ 'nin 14.71 MJ/m<sup>2</sup>gün (Aralık) ile 41.80 MJ/m<sup>2</sup>gün (Haziran) ve GU'nun 9.37 saat (Aralık) ve 14.66 saat (Haziran) arasında değiştiği tespit edilmiştir. Afyon koşullarında ölçülen aylık ortalama günlük toplam güneş ışınımı (H), güneşlenme süresi (GS) ve bulutluluk (BT) verileri ile gökyüzü ve güneşlenme indeksleri çizelge 3'de verilmiştir. Aylık ortalama günlük güneş ışınımının (H) 6.13 MJ/m<sup>2</sup>gün (Aralık) ile 24.55 MJ/m<sup>2</sup>gün (Temmuz) ve GS'nin 2.42 saat (Aralık) ve 11.07 saat (Temmuz) arasında değiştiği saptanmıştır.

**Çizelge 2. Güneş ışınım modeli sonuçları (Afyon)  $H_o$  (MJ/m<sup>2</sup>gün), GU (saat), saat:dakika:saniye**

| n   | $H_o$ | GU    | GDS      | GBS      | GUS      |
|-----|-------|-------|----------|----------|----------|
| 15  | 15.94 | 9.60  | 07:19:14 | 16:55:29 | 09:36:15 |
| 45  | 20.97 | 10.52 | 06:57:20 | 17:28:39 | 10:31:19 |
| 75  | 28.11 | 11.74 | 06:15:50 | 18:00:22 | 11:44:32 |
| 105 | 35.01 | 13.01 | 05:28:48 | 18:29:10 | 13:00:22 |
| 135 | 39.80 | 14.09 | 04:52:09 | 18:57:26 | 14:05:17 |
| 165 | 41.80 | 14.66 | 04:38:36 | 19:18:27 | 14:39:51 |
| 195 | 40.97 | 14.46 | 04:50:32 | 19:18:14 | 14:27:42 |
| 225 | 37.38 | 13.59 | 05:16:24 | 18:51:35 | 13:35:11 |
| 255 | 31.37 | 12.38 | 05:43:52 | 18:06:39 | 12:22:47 |
| 285 | 24.16 | 11.11 | 06:11:42 | 17:18:24 | 11:06:42 |
| 315 | 17.93 | 10.00 | 06:42:51 | 16:43:01 | 10:00:10 |
| 345 | 14.71 | 9.37  | 07:10:53 | 16:33:01 | 09:22:08 |

**Çizelge 3. Ölçülen veriler (H, GS, BT), gökyüzü ( $K_T$ ) ve güneşlenme ( $S_T$ ) indeksleri (Afyon)  $H$  (MJ/m<sup>2</sup>gün), GS (saat), BT(0-10)**

| Ay | H     | GS    | $K_T$ | $S_T$ | BT  |
|----|-------|-------|-------|-------|-----|
| 1  | 7.28  | 2.77  | 0.457 | 0.288 | 6.2 |
| 2  | 10.60 | 3.92  | 0.505 | 0.372 | 6.0 |
| 3  | 14.98 | 5.13  | 0.533 | 0.437 | 5.4 |
| 4  | 18.22 | 6.12  | 0.521 | 0.470 | 5.5 |
| 5  | 21.51 | 8.05  | 0.541 | 0.571 | 4.6 |
| 6  | 24.28 | 9.92  | 0.581 | 0.676 | 3.1 |
| 7  | 24.55 | 11.07 | 0.599 | 0.765 | 2.0 |
| 8  | 22.29 | 10.63 | 0.596 | 0.783 | 1.8 |
| 9  | 18.33 | 8.70  | 0.584 | 0.703 | 2.2 |
| 10 | 12.54 | 6.30  | 0.519 | 0.567 | 3.8 |
| 11 | 8.37  | 4.53  | 0.467 | 0.453 | 4.8 |
| 12 | 6.13  | 2.42  | 0.417 | 0.258 | 6.4 |

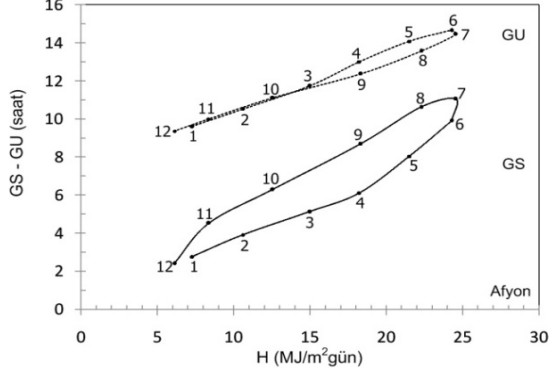
Afyon için  $K_T$  0.417-0.599,  $S_T$  0.258-0.783 ve BT 1.8-6.4 arasında değişmiştir. Şekil 3'de Afyon için aylık ortalama günlük toplam güneş ışınımının (H), aylara göre güneşlenme süresi (GS) ve gün uzunluğuna (GU) göre değişimleri gösterilmiştir. Aydın koşulları için çizelge 4'de verilen sonuçlar elde edilmiştir.

Model sonuçlarına göre,  $H_o$ 'nin 15.30 MJ/m<sup>2</sup>gün (Aralık) ile 41.76 MJ/m<sup>2</sup>gün (Haziran) ve GU'nun 9.46 saat (Aralık) ve 14.57 saat (Haziran) arasında değiştiği tespit edilmiştir. Aydın koşullarında ölçülen H, GS ve BT ile  $K_T$  ve  $S_T$  çizelge 5'de verilmiştir.

Aydın koşullarında, H'nin 6.66 MJ/m<sup>2</sup>gün (Aralık) ile 24.57 MJ/m<sup>2</sup>gün (Temmuz) ve GS'nin 4.10 saat (Aralık) ve 11.22 saat (Temmuz) arasında değiştiği tespit edilmiştir. Aydın için  $K_T$  0.435-0.6,  $S_T$  0.433-0.796 ve BT 0.5-4.6 arasında değişmiştir. Şekil 4'de Aydın için aylık ortalama günlük toplam güneş

ışınımının (H), aylara göre güneşlenme süresi (GS) ve gün uzunluğuna (GU) göre değişimleri gösterilmiştir.

Afyon ve Aydın için gökyüzü ve güneşlenme indeksleri arasındaki ilişki şekil 5'de gösterilmiştir.



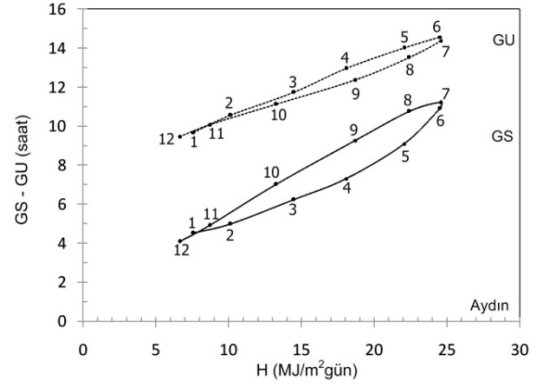
Şekil 3. Afyon için aylara göre H, GS, GU değişimleri

Çizelge 4. Güneş ışınım modeli sonuçları (Aydın)  
H<sub>o</sub> (MJ/m²gün), GU (saat), (saat:dakika:saniye)

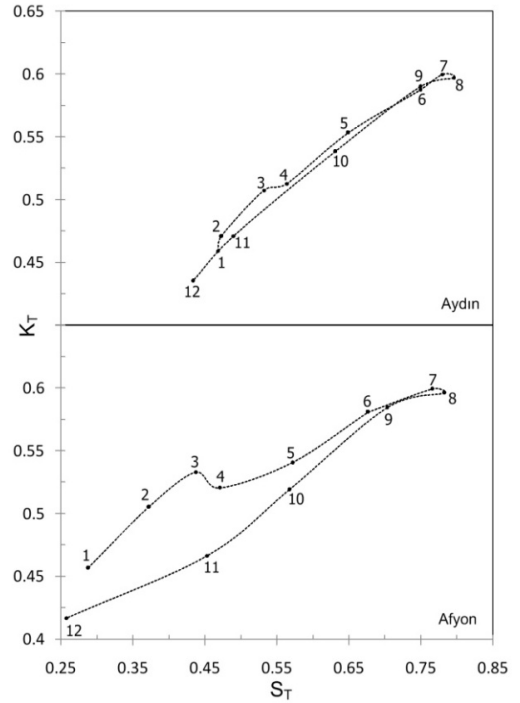
| n   | H <sub>o</sub> | GU    | GDS      | GBS      | GUS      |
|-----|----------------|-------|----------|----------|----------|
| 15  | 16.52          | 9.69  | 07:28:00 | 17:09:12 | 09:41:12 |
| 45  | 21.50          | 10.57 | 07:07:05 | 17:41:24 | 10:34:19 |
| 75  | 28.53          | 11.75 | 06:26:48 | 18:11:53 | 11:45:05 |
| 105 | 35.24          | 12.97 | 05:41:03 | 18:39:24 | 12:58:21 |
| 135 | 39.85          | 14.02 | 05:05:31 | 19:06:33 | 14:01:02 |
| 165 | 41.76          | 14.57 | 04:52:36 | 19:26:56 | 14:34:20 |
| 195 | 40.96          | 14.38 | 05:04:18 | 19:26:56 | 14:22:38 |
| 225 | 37.52          | 13.53 | 05:29:15 | 19:01:13 | 13:31:58 |
| 255 | 31.70          | 12.37 | 05:55:29 | 18:17:32 | 12:22:03 |
| 285 | 24.63          | 11.14 | 06:22:03 | 17:30:33 | 11:08:30 |
| 315 | 18.49          | 10.07 | 06:52:03 | 16:56:18 | 10:04:15 |
| 345 | 15.30          | 9.46  | 07:19:23 | 16:46:59 | 09:27:36 |

Çizelge 5. Ölçülen veriler (H, GS, BT), gökyüzü (K<sub>T</sub>) ve güneşlenme (S<sub>T</sub>) indeksleri (Aydın)  
H (MJ/m²gün), GS (saat), BT(0-10)

| Ay | H     | GS    | K <sub>T</sub> | S <sub>T</sub> | BT  |
|----|-------|-------|----------------|----------------|-----|
| 1  | 7.59  | 4.53  | 0.459          | 0.468          | 4.4 |
| 2  | 10.13 | 5.00  | 0.471          | 0.473          | 4.5 |
| 3  | 14.48 | 6.25  | 0.507          | 0.532          | 4.0 |
| 4  | 18.07 | 7.32  | 0.513          | 0.564          | 4.0 |
| 5  | 22.05 | 9.10  | 0.553          | 0.649          | 2.9 |
| 6  | 24.53 | 10.92 | 0.587          | 0.749          | 1.3 |
| 7  | 24.57 | 11.22 | 0.600          | 0.780          | 0.6 |
| 8  | 22.41 | 10.77 | 0.597          | 0.796          | 0.5 |
| 9  | 18.70 | 9.27  | 0.590          | 0.749          | 1.0 |
| 10 | 13.27 | 7.03  | 0.538          | 0.631          | 2.4 |
| 11 | 8.71  | 4.93  | 0.471          | 0.490          | 3.6 |
| 12 | 6.66  | 4.10  | 0.435          | 0.433          | 4.6 |



Şekil 4. Aydın için aylara göre H, GS, GU değişimleri



Şekil 5. Afyon ve Aydın için gökyüzü (K<sub>T</sub>) ve güneşlenme (S<sub>T</sub>) indeksleri değişimi

Afyon ve Aydın için K<sub>T</sub> gökyüzü indeksleri (0.417-0.599/0.435-0.6), yaklaşık aynı aralıkta değişmesine karşın, B<sub>T</sub> güneşlenme indeksleri (0.258-0.783/0.433-0.796) açısından özellikle kış aylarında önemli farklılıklar olduğu tespit edilmiştir. Bu farklılıkların güneşlenme sürelerinden (GS) kaynaklandığı görülmektedir. Ayrıca, aylık ortalama bulutluluk (BT) seviyesi de önemli bir faktör olarak rol oynamaktadır.

Güneşlenme süresi ve bulutluluk hem günlük toplam güneş ışınımı hem de günlük ışık integrali açısından önemlidir. Çizelge 6'da Afyon ve Aydın için günlük ışık integrali, güneşlenme ve bulutluluk indeksleri karşılaştırmalı olarak verilmiştir. DLI

seviyeleri Afyon ve Aydın için sırasıyla 13.99-55.34 ve 15.2-55.38 mol/m<sup>2</sup>gün aralıklarında değişmiştir.

Tüm verilerin regresyon analizi yapılarak, Afyon (R<sup>2</sup>=0.909, SH=2.239) ve Aydın (R<sup>2</sup>=0.94, SH=1.799 MJ/m<sup>2</sup>gün) için aylık ortalama günlük toplam güneş ışınımı (H) regresyon eşitlikleri türetilmiştir:

$$H_{AF} = 93.066S_T + 64.978B_T - 61.494 \quad (13)$$

$$H_{AY} = 119.711S_T + 63.107B_T - 74.207 \quad (14)$$

Benzer şekilde, Afyon (R<sup>2</sup>=0.911, SH=4.977) ile Aydın (R<sup>2</sup>=0.941, SH=4.019 mol/m<sup>2</sup>gün) için aylık ortalama günlük ışık integrali (DLI) regresyon eşitlikleri türetilmiştir:

$$DLI_{AF} = 212.911S_T + 150.323B_T - 141.653 \quad (15)$$

$$DLI_{AY} = 269.317S_T + 143.646B_T - 167.928 \quad (16)$$

Bu eşitlikler farklı güneşlenme ve bulut koşullarına göre toplam ışık seviyelerinin pratik olarak tespitinde kullanılabilir.

**Çizelge 6. Sera dışında Afyon ve Aydın için aylara göre DLI(mol/m<sup>2</sup>gün), S<sub>T</sub>, B<sub>T</sub>(=BT/10) bulguları**

| Ay | Afyon |                |                | Aydın |                |                |
|----|-------|----------------|----------------|-------|----------------|----------------|
|    | DLI   | S <sub>T</sub> | B <sub>T</sub> | DLI   | S <sub>T</sub> | B <sub>T</sub> |
| 1  | 16.62 | 0.288          | 0.62           | 17.31 | 0.468          | 0.44           |
| 2  | 24.18 | 0.372          | 0.60           | 23.11 | 0.473          | 0.45           |
| 3  | 34.18 | 0.437          | 0.54           | 33.03 | 0.532          | 0.40           |
| 4  | 41.58 | 0.470          | 0.55           | 41.24 | 0.564          | 0.40           |
| 5  | 49.08 | 0.571          | 0.46           | 49.71 | 0.649          | 0.29           |
| 6  | 54.73 | 0.676          | 0.31           | 55.28 | 0.749          | 0.13           |
| 7  | 55.34 | 0.765          | 0.20           | 55.38 | 0.780          | 0.06           |
| 8  | 50.24 | 0.783          | 0.18           | 50.51 | 0.796          | 0.05           |
| 9  | 41.31 | 0.703          | 0.22           | 42.16 | 0.749          | 0.10           |
| 10 | 28.61 | 0.567          | 0.38           | 30.27 | 0.631          | 0.24           |
| 11 | 19.09 | 0.453          | 0.48           | 19.87 | 0.490          | 0.36           |
| 12 | 13.99 | 0.258          | 0.64           | 15.20 | 0.433          | 0.46           |

Cam sera ve plastik sera (PS: yan duvarları polikarbonat, çatısı polietilen) için ortalama ışık geçirgenlik katsayıları Pollet ve Pieters (1999), Albright ve ark.(2000), Ciolkosz (2008), Al-Helal ve Alhamdan (2009)'den uyarlanarak sırasıyla 0.70 ve 0.55 olarak alınmıştır.

Sera içindeki toplam ışık miktarını karakterize eden DLI seviyeleri yapay aydınlatma sisteminin tasarımında kullanılmıştır. Yer yüzeyine gelen güneş ışınımının sera içine girişimi fotosentez etkili ışınım esas alınarak hesaplanmıştır. Sera dışında ve sera içindeki DLI hesaplama sonuçları çizelge 7'de verilmiş olup; aylara göre değişimleri şekil 6'da gösterilmiştir. Bu sonuçlara göre, sera dışında en düşük DLI seviyeleri Aralık ayında Afyon için 13.99 mol/m<sup>2</sup>gün ve Aydın için 15.2 mol/m<sup>2</sup>gün olarak tespit edilmiştir.

Afyon için DLI cam ve plastik serada sırasıyla 9.8 ve 7.7 mol/m<sup>2</sup>gün'dür. Aydın koşullarında ise en düşük DLI sırasıyla 10.64 ve 8.36 mol/m<sup>2</sup>gün'dür. Afyon ve Aydın için Aralık ayı en düşük DLI seviyeleri tasarım büyüklükleri olarak kullanılmıştır.

**Çizelge 7. Farklı koşullarda DLI'nin (mol/m<sup>2</sup>gün) Sera dışı (SD), Sera içi (Cam ve Plastik Sera: PS)**

| Ay | Afyon |       |       | Aydın |       |       |
|----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|    | SD    | Cam   | PS    | SD    | Cam   | PS    |
| 1  | 16.62 | 11.63 | 9.14  | 17.31 | 12.11 | 9.52  |
| 2  | 24.18 | 16.93 | 13.30 | 23.11 | 16.18 | 12.71 |
| 3  | 34.18 | 23.93 | 18.80 | 33.03 | 23.12 | 18.16 |
| 4  | 41.58 | 29.10 | 22.87 | 41.24 | 28.87 | 22.68 |
| 5  | 49.08 | 34.36 | 26.99 | 49.71 | 34.79 | 27.34 |
| 6  | 54.73 | 38.31 | 30.10 | 55.28 | 38.70 | 30.40 |
| 7  | 55.34 | 38.74 | 30.43 | 55.38 | 38.77 | 30.46 |
| 8  | 50.24 | 35.16 | 27.63 | 50.50 | 35.35 | 27.78 |
| 9  | 41.31 | 28.92 | 22.72 | 42.16 | 29.51 | 23.19 |
| 10 | 28.61 | 20.02 | 15.73 | 30.27 | 21.19 | 16.65 |
| 11 | 19.09 | 13.36 | 10.50 | 19.87 | 13.91 | 10.93 |
| 12 | 13.99 | 9.80  | 7.70  | 15.20 | 10.64 | 8.36  |

Tasarım sürecinde sera domates bitkisi için üç farklı kalite ve üç ışık seviyesi tanımlanmıştır:

(A) Yüksek kalite (DLI=25 mol/m<sup>2</sup>gün),

(B) İyi kalite (DLI=15 mol/m<sup>2</sup>gün),

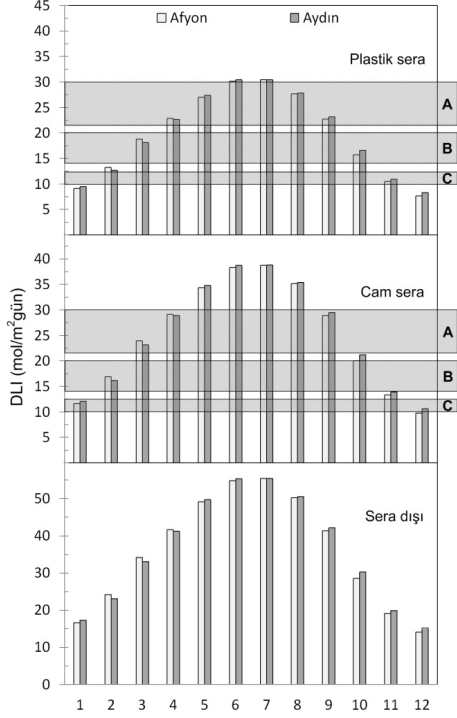
(C) En düşük kalite (DLI=10 mol/m<sup>2</sup>gün).

Afyon ve Aydın için DLI ≥ 10 mol/m<sup>2</sup>gün koşulunda yapay aydınlatma olmadan üretim yapılabilir. En düşük DLI seviyeleri (Aralık) aşağıya yuvarlanarak 7 (Afyon-PS), 8 (Aydın-PS), 9 (Afyon-cam) ve 10 mol/m<sup>2</sup>gün (Aydın-cam) doğal ışık alt sınırları olarak alınmıştır.

Taban alanı 1000 m<sup>2</sup> olan cam ve plastik seraların aydınlatılmasında 400 W gücünde yüksek basınçlı sodyum buharlı (HPS) armatürlerin kullanımı öngörülmüştür. İyi kalitede ürünün yetiştirilmesinde gerekli olan DLI=15 mol/m<sup>2</sup>gün ışık seviyesi tasarım ölçütü olarak kullanılmıştır. Bu ışık seviyesinin sağlanması için hesaplanan PAR seviyeleri, armatür sayıları (N) ve teknik bilgiler çizelge 8'de verilmiştir.

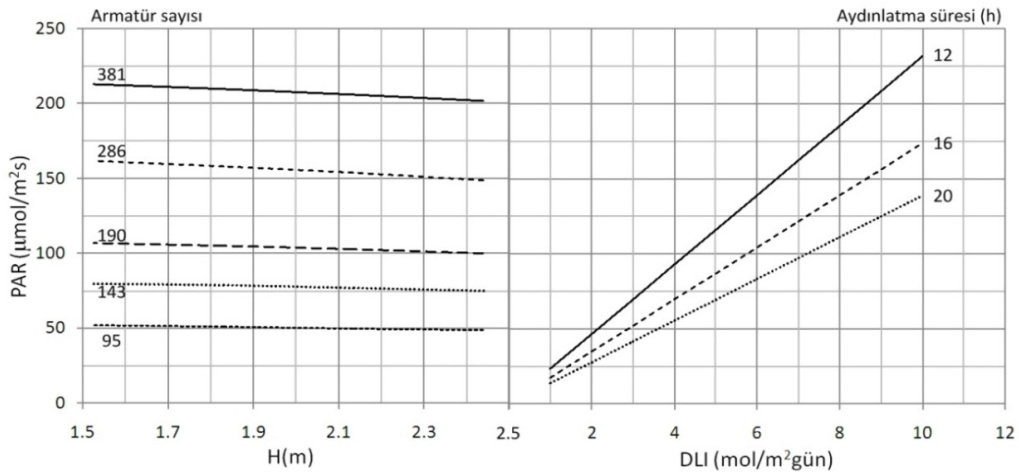
Tasarım sonuçlarına göre, Afyon'daki cam ve plastik seralarda iyi kalite domates yetiştirilmesi için H=2 m'de (bitki üstü - armatür arası dikey mesafe) olması gereken PAR seviyeleri 139 ve 185 μmol/m<sup>2</sup>s'dir. Cam serada 265 adet, plastik serada 352 adet HPS lambaya ihtiyaç olduğu, dolayısıyla plastik serada 87 adet daha fazla armatür kullanılması gerektiği söylenebilir. Aydın'daki cam ve plastik seralarda ise bitki üstünde olması gereken PAR seviyelerinin 116 ve 162 μmol/m<sup>2</sup>s olması gereklidir. Bunun için sırasıyla 221 ve 309 adet fotosentez lambasına ihtiyaç olduğu saptanmıştır. Afyon'da

Aydın'daki cam seradan 44 adet, plastik serada ise 43 adet daha fazla armatür gereklidir.



**Şekil 6. Farklı koşullarda DLI'nin aylara göre değişimi, Kalite seviyeleri: (A) Yüksek kalite, (B) İyi kalite, (C) Kabul edilebilir en düşük kalite.**

Tasarım sürecinde elde edilen bulgulara göre, pratik işlemler için şekil 7'deki diyagram oluşturulmuştur. Farklı yapay DLI ve aydınlatma süreleri için PAR, asılma yüksekliği ilişkileri ve gerekli armatür sayıları pratik bir şekilde tespit edilebilir.



**Şekil 7. Farklı DLI ve aydınlatma süreleri için, PAR, asılma yüksekliği ve armatür sayısı diyagramı (Sera alanı: 1000 m<sup>2</sup>, H: bitki-armatür arası yükseklik, Lamba ışık akısı: 525 µmol/s)**

## TARTIŞMA ve SONUÇ

Gün boyunca alınan kümülatif ışık miktarı bitkilerin verimini ve kalitesini doğrudan etkilemektedir. Seralarda yapay aydınlatma sisteminin tasarımında günlük ışık integrali yöntemi etkili bir araç olarak kullanılabilir. Aylık ortalama günlük toplam güneş ışınımı, güneşlenme süresi ve bulutluluk verileri kullanılarak yüksek doğrulukla DLI seviyeleri saptanabilir. Güneş ışınım modeli kullanılarak gün uzunluğu, güneş doğuş-batış saatlerine ek olarak gökyüzü ve güneşlenme indeksleri pratik olarak saptanabilir. Farklı bitki profilleri için belirlenen ışık - kalite ölçütlerine göre günlük ışık integrali seviyeleri tanımlanabilir; gerekli fotosentez etkili ışınım seviyeleri ve armatür sayıları tespit edilebilir. Yıl boyunca başarılı üretim için 100-250 µmol/m<sup>2</sup>s PAR ve 10-20 mol/m<sup>2</sup>gün DLI yeterlidir.

### Çizelge 8. İyi kalite ürün (DLI=15 mol/m<sup>2</sup>gün) için gerekli PAR (µmol/m<sup>2</sup>s) ve armatür sayıları (N)

Sera taban alanı: A=1000 m<sup>2</sup>,

Armatür yüksekliği: H=2 m

Aydınlatma süresi: 12 saat

Lamba: HPS-400 W, Lamba ışık akısı: 525 µmol/s

|           | Afyon |      | Aydın |      |
|-----------|-------|------|-------|------|
|           | Cam   | PS   | Cam   | PS   |
| Güneş DLI | 9     | 8    | 10    | 7    |
| HPS DLI   | 6     | 7    | 5     | 8    |
| ΣDLI      | 15    | 15   | 15    | 15   |
| PAR       | 139   | 185  | 116   | 162  |
| N         | 265   | 352  | 221   | 309  |
| A/N       | 3.77  | 2.84 | 4.52  | 3.24 |

## LİTERATÜR LİSTESİ

- Al-Helal, I. M., A. M. Alhamdan, 2009. Effect of arid environment on radiative properties of greenhouse polyethylene cover, *Solar Energy*, 83: 790-798
- Albright, L.D., A.J. Both ve A.J. Chiu, 2000. Controlling greenhouse light to a consistent daily integral, *Transaction of the ASAE*, 43(2): 421-431.
- Argus, 2010. Light and lighting control in greenhouses, pp. 25, Argus control Ltd., Canada.
- Both, A.J., D.E. Ciolkosz, L.D. Albright, 2002. Evaluation of Light Uniformity underneath Supplemental Lighting Systems, Proc. 4 th IS on Artif. Light. M. Dorias (ed.) *Acta Hort.* 580, ISHS 2002, 183-190
- Ciolkosz, D., 2008. Design daylight availability for greenhouses using supplementary lighting, *Biosystems Engineering*, 100: 571 – 580.
- Duffie, J. A., W. A. Beckman, 2006. *Solar Engineering of Thermal Processes*, Wiley, New York.
- Escobedo, J. F. , E. N. Gomes , A. P. Oliveira , J. Soares, 2009. Modeling hourly and daily fractions of UV, PAR and NIR to global solar radiation under various sky conditions at Botucatu, Brazil, *Applied Energy*, 86: 299–309.
- Ferentinos, K.P., L.D. Albright, 2005. Optimal design of plant lighting system by genetic algorithms, *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 18: 473–484.
- Fisher, P. and E. Runkle. 2004. *Lighting Up Profits: Understanding Greenhouse Lighting*. Meister Media Worldwide, Willoughby, Ohio.
- Hemming, S., 2011. Use of Natural and Artificial Light in Horticulture - Interaction of Plant and Technology, Proc. 6th IS on Light in Horticulture, Eds.: E. Goto and S. Hikosaka, *Acta Hort.* 907, ISHS 2011.
- Lopez, R.G. and E.S. Runkle. 2008. Photosynthetic daily light integral during propagation influences rooting and growth of cuttings and subsequent development of New Guinea impatiens and petunia. *HortSci.*, 43: 2052–2059.
- Moe, R., S. O. Grimstad, H. R. Gislørød, 2006. The Use of Artificial Light in Year Round Production of Greenhouse Crops in Norway , Proc. Vth IS on Artificial Lighting Ed. R. Moe, *Acta Hort.* 711, ISHS 2006, 35-42.
- Pollet, I.V., J.G. Pieters, 1999. Laboratory measurements of PAR transmittance of wet and dry greenhouse cladding materials, *Agric. & For. Met.*, 93: 149-152.
- Tsubo M., S. Walker 2005. Relationships between photosynthetically active radiation and clearness index at Bloemfontein, *Theor. Appl. Climatol.*, 80: 17-25.