



Tarım Bilimleri Dergisi
Tar. Bil. Der.

Dergi web sayfası:
www.agri.ankara.edu.tr/dergi

Journal of Agricultural Sciences

Journal homepage:
www.agri.ankara.edu.tr/journal

Fotosentetik Aktif Radyasyon (FAR) Ölçümlerinde LED ve Fotodiyotların Kullanımı

Barış UZUN^a, Vedat DEMİR^b

^aMGM 2. Bölge Müdürlüğü, Güzelyalı, İzmir, TÜRKİYE

^bEge Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarım Makinaları Bölümü, Bornova, İzmir, TÜRKİYE

ESER BİLGİSİ

Araştırma Makalesi – Tarım Teknolojileri DOI: 10.1501/Tarimbil_0000001209

Sorumlu Yazar: Barış UZUN, E-posta: buzun@mgm.gov.tr, Tel: +90 532 5920349

Geliş Tarihi: 18 Haziran 2012, Düzeltmelerin Gelişi: 03 Ocak 2013, Kabul:25 Ocak 2013

ÖZET

Günümüzde fotosentetik aktif radyasyon (FAR) yüksek maliyetli FAR duyargaları ile ölçülmektedir. Hassas tarım uygulamalarında çok sayıda verinin anlık olarak algılanması ve doğru kararlar verilmesi gerekliliği ekonomik FAR ölçümünün önemini artırmıştır. Bu çalışmada, ticari FAR duyargalarının yerine kullanılacak, optoelektronik malzemeler olan fotodiyot ve LED'ler ile FAR ölçümünü ekonomik olarak gerçekleştirme olanaklarının ortaya konulması amaçlanmıştır. Bu amaçla çalışmada FAR duyargasına alternatif olabileceği düşünülen; sekiz farklı LED, üç farklı güç-LED'i (powerLED) ve iki farklı fotodiyotun FAR ölçümünde kullanılabilirliği araştırılmıştır. Hazırlanan deneme düzeneği DMİ İzmir Bölge Müdürlüğü'nde bulunan otomatik hava gözlem sistemine (AWOS) monte edilerek denemeler gerçekleştirilmiştir. Çalışma sonucunda ele alınan iki farklı fotodiyot ve üç farklı güç-LED'inden olumlu sonuç alınmamış, sekiz farklı LED'den beşi ile FAR duyargası arasında açık günler için % 99 üzerinde korelasyon tespit edilmiştir. Bulutlu ve yağışlı günler dikkate alındığında LED-B ve LED-C'nin % 99.2-%99.7 oranında korelasyon sağladığı ve bunların tarımsal mekanizasyon uygulamalarında duyurga olarak kullanılacak özellikte olduğu belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Fotosentetik aktif radyasyon (FAR); Fotodiyot; LED; Güç-LED

Feasibility of Photosynthetically Active Radiation (PAR) Measurement Using LED and Photodiode

ARTICLE INFO

Research Article – Agricultural Technologies

Corresponding Author: Barış UZUN, E-mail: buzun@mgm.gov.tr, Tel: +90 532 5920349

Received: 18 June 2012, Received in Revised Form: 03 January 2013, Accepted: 25 January 2013

ABSTRACT

Photosynthetically Active Radiation (PAR) is measured by high costs commercial PAR sensors. The feasibility of economical PAR measurements became crucial since sensing numerous data instantaneously has great importance of making right decisions for applications in precision farming. Therefore, achieving successful lighting applications

based on precision farming rules at greenhouse depends on making real-time, enough, multiple photosynthetically active radiation (PAR) measurement economically. The main objective of this study was to find out a cheap and easy device to substitute for commercial PAR sensors. For this purpose, the ability of utilization LEDs, powerLEDs and photodiodes which are opto-electronic equipment was investigated. Eight LEDs, three powerLEDs and two photodiodes with different specifications were tested during the experiments in order to determine feasibility of PAR measurements. The necessary experiments were carried out at Regional Meteorological Service in Izmir. The test units and equipments were designed and mounted on Automated Weather Observation System (AWOS). According to experiments results, powerLEDs and photodiodes revealed unfavourable results. On the other hand, the five out of eight LEDs were found to be 99 % correlated with PAR sensor measurements during the sunny days. The LED-B and LED-C have strong correlation coefficient of 99.2% and 99.7 %, respectively even in cloudy and rainy days. It was concluded that the use of LED-B and LED-C could substitute for PAR sensors in agricultural mechanization applications.

Keywords: Photosynthetically active radiation (PAR); Photodiode; LED; PowerLED

© Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi

1. Giriş

İklim şartları bitkilerin büyüme ve gelişmeleri için son derece önemli olduğundan, hava sıcaklığı ve nemi, CO₂, ışık miktarı gibi etmenler, bitkisel üretim uygulamalarında uygun olmalı ya da uygun hale getirilmelidir. Işık, bitkiler için bir bilgi ve enerji kaynağıdır. Işınımsal enerjinin 400–700 nm dalga boyu aralığındaki bölümü bitkiler tarafından fotokimyasal reaksiyonlar için kullanılır. Fotosentetik aktif radyasyon (FAR) olarak adlandırılan bitkinin fotosentez amaçlı kullandığı ışınımsal enerji isteği günlük toplam 1.2-1.7 MJm⁻² arasında değişiklik göstermektedir (Yağcıoğlu 2005). FAR miktarının dalga boyu aralığındaki ve şiddetindeki değişimleri, bitkinin büyüme ve gelişimi ile doğrudan ilişkilidir. Bu nedenle özellikle serada bitki yetiştiriciliği açısından FAR değeri büyük önem taşımaktadır. Bitkinin ihtiyaç duyduğu FAR miktarının eksik kalan bölümü, aydınlatma uygulamaları yapılarak bitkiye sağlanmalıdır.

Serada yetiştirme süresi boyunca, bulutluluk, hava kirliliği, sis, çeşitli yağış biçim ve rejimleri, yüksek oransal nem, sera örtüsünün kirliliği, çatı eğimi dolayısıyla oluşan yansıma, örtünün cinsi ve ışınım absorpsiyonu gibi pek çok sera dışı faktör, FAR miktarının ve dalga boyunun değişmesine neden olmaktadır. Ayrıca seralarda kullanılan gölge perdeleri, sera yapımında kullanılan metal yapı parçaları, havalandırma fanları, aydınlatma üniteleri, ısıtma üniteleri gibi sera içi faktörler de

sera içine giren ışınım enerjisinin farklı miktarda bitkinin yaprak bölgesine ulaşmasına neden olmaktadır (Yağcıoğlu et al 2004; Yağcıoğlu 2005). Bu nedenle seralarda yapılacak bitkisel üretimde, tamamlayıcı fotosentetik aydınlatma (TFA), tam yapay fotosentetik aydınlatma (TYFA) ya da gölge perdeleri yardımıyla gölgeleme uygulanmalıdır (Yağcıoğlu 2005). Ancak, aydınlatma-gölgeleme uygulamalarının büyük bir bölümü tekdüze bir aydınlatma uygulaması şeklinde; yetiştirme alanındaki tüm bitkilerin FAR miktarına aynı zamanda ve aynı oranda ihtiyaç duyduğu kabul edilerek gerçekleştirilmektedir (Yağcıoğlu 1996).

FAR ölçümü için yapılan ilk çalışmalar Federer & Tanner (1966), Biggs et al (1971) ve McCree (1972) tarafından yürütülmüştür. Temel olarak, fotosentezin belirli bir dalga boyu aralığında yapraklar tarafından yakalanan foton miktarı ile doğrudan orantılı olduğunu, ışınımsal enerjinin spektral dağılımında ve miktarında meydana gelen değişikliğe bağlı olarak, fotosentez hızının ve miktarının değiştiği belirlenmiştir. McCree (1972), tarla ve yetiştirme odası koşullarında gerçekleştirdiği çalışmalar sonucunda, elde edilen veriler yardımıyla fotokimyasal reaksiyonlar ile ışınımsal enerji arasındaki ilişkiyi belirleyen fonksiyon eğrilerini oluşturmuştur.

Günümüzde FAR ölçümleri için kullanılacak duyarların üretilmesinde iki yaklaşım vardır. Bunlar; bitkilerin fotosentetik foton verimini gösteren karakteristik bitki tepki eğrisini dikkate

arak ya da 400-700 nm aralığında gelen foton miktarına eşit tepki oranına sahip duyargalar üretmek yönündedir (LI-COR 2000).

FAR miktarının alansal ve zamansal değişiminin oldukça yüksek bir aralıkta değişim göstermesi, FAR ölçümleri için ihtiyaç duyulan duyargaların sayısının artmasına ve bunun sonucunda ticari olarak temininin yüksek edinme maliyetlerine ulaşmasına neden olmaktadır. Bu nedenle FAR duyargalarının yerine kullanılabilir, opto-elektronik yarı iletken malzeme temelli, düşük maliyetli düzeneklerin kullanılabilirliği üzerine araştırmalar gerçekleştirilmiştir.

MimsIII (2002), 1996-2002 tarihleri arasında Utah (ABD)'da mavi ve kırmızı LED'leri kullanarak FAR ölçümleri gerçekleştirmiştir. İki mavi ve bir kırmızı LED kullanarak kurduğu düzenekten elde ettiği verileri, iki farklı FAR duyargasından elde ettiği verilerle kıyaslamış ve bu verilerin her iki duyargadan elde ettiği veriler ile arasında % 97 oranında ilişki olduğunu ortaya koymuştur.

Acharya (2004), Hindistan'da ticari olarak piyasada bulunan yeşil, sarı ve kırmızı LED'lerin atmosferik optik derinlik hesaplamalarında güneş fotometresi olarak kullanılabilirliği sonucuna ulaşmıştır. Ayrıca LED'lerin ışımaya yaptığı dalga boyu aralığından daha geniş bir dalga boyu aralığında tepki oranına sahip olduğunu belirlemiştir. Böylece görünür dalga boyu aralığındaki ışımının LED'ler kullanılarak ölçülebileceği sonucuna ulaşmıştır.

Aaslyng et al (1999), iki farklı model GaAsP fotodiyot kullanarak FAR ölçümleri gerçekleştirmişlerdir. Referans olarak kullanılan FAR duyargası ile arasındaki ilişkiyi gösterir korelasyon, denemeler sonunda % 97'den daha yüksek çıkmıştır. Benzer şekilde Kanada Orman Araştırma Bakanlığı (Anonim 2000), Eylül 1998-Ekim 1999 yılları arasında FAR ölçümlerinde kullanılmak üzere, GaAsP fotodiyotları kullanarak yeni duyargalar geliştirmek üzere çalışmalar gerçekleştirmişlerdir. Denemeler sonunda FAR duyargası verileri ile geliştirilen yeni duyargaların verileri arasında 0.965-0.992 aralığında bir korelasyon ilişkisine ulaşmışlardır. Denemeler sonucunda FAR duyargası ile fotodiyotlardan elde

edilen verilerin dalga boyu bant aralığına bağlı tepki oranlarının birbiri ile paralellik gösterdiğini belirlemişlerdir.

Tarımda teknolojinin çevreyle dost, sınırlı ve kıt kaynakları en etkili şekilde kullanmaya odaklı ilkeler doğrultusunda kullanımına olanak sağlayan hassas tarım; her bir parsel için ne gerekiyorsa o kadar miktarda uygulamaların yapılması, bunun ölçme ve karşılaştırmaya dayandırılmasını felsefe edinen tarımsal faaliyet biçimidir. Seralarda yapılan aydınlatma-gölgeleme uygulamalarının hassas tarım açısından değerlendirilebilmesi, sera içine giren FAR miktarının zamana bağlı alansal dağılımındaki farklılıkların, sera alanını temsil edecek noktalardan elde edilen ölçümler sonucunda ortaya konularak, elde edilen verilerin değerlendirilmesi ile mümkündür. Bu değerlendirme sonucunda, tekdüze uygulamalar yerine değişken düzeyde gerçekleştirilebilirliği ile sağlanabilecek faydalar belirlenir. Böylece, değişken düzeyli aydınlatma uygulamaları ile etkin kaynak kullanımı, bitki verimi üzerinde miktar ve kalitede artış gerçekleştirilebilir, ayrıca uygulamaların sürdürülebilirliği sağlanabilecektir. Bu nedenle bu çalışmada, ticari olarak temin maliyeti yüksek olan FAR duyargaları yerine, temini daha kolay ve çok daha ucuz olan opto-elektronik yarı iletken malzemelerin (LED, fotodiyot) kullanılabilirliğini saptayarak, belirli dalga boyu aralığındaki FAR enerjisi miktarının zamansal ve alansal değişimini ekonomik olarak belirleyebilen duyargaların ortaya konması amaçlanmıştır.

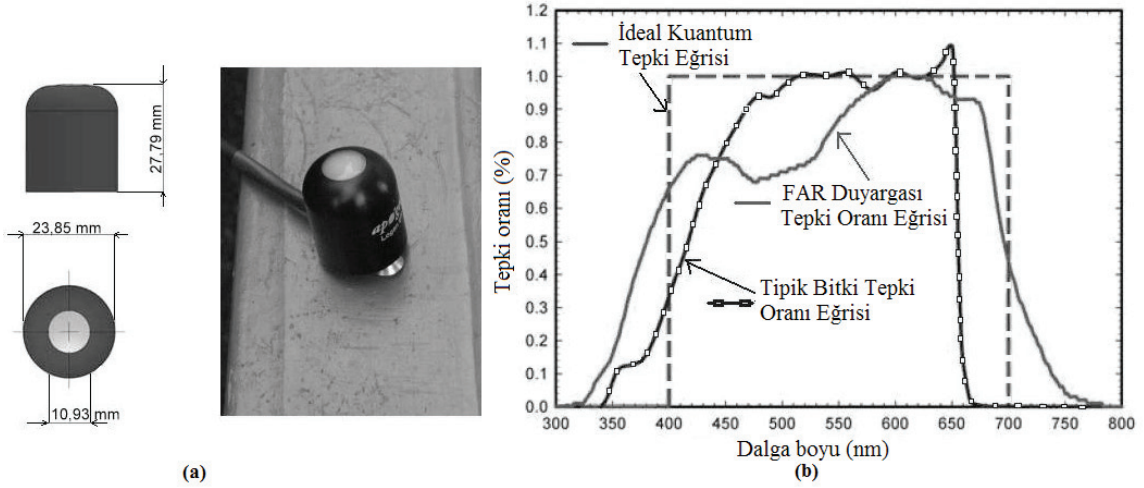
2. Materyal ve Yöntem

Birbirinden farklı özelliklere sahip ve farklı firmalar tarafından üretilen bir adet FAR duyargası (Şekil 1a), sekiz farklı LED ve üç adet güç-LED'i ile iki farklı tip fotodiyot (Çizelge 1 ve 2) denemede kullanılmıştır. LED, güç-LED'i ve fotodiyotlar herhangi bir uygulamaya (difüzör, filtre, pil, op-amp vb.) tabi tutulmadan temin edildiği koşullarda deneme düzenine yerleştirilmişlerdir (Uzun 2010).

FAR duyargası, dış ortam şartlarında ölçüm yapmak için üretilmiş SQ100 modeli (Apogee Instrument Inc.), siyah polikarbonat silindir,

silindirin tepe kısmında konumlandırılmış difüzör ve silindir içine yerleştirilen algılayıcıdan oluşmuştur. FAR duyargası, 400-700 nm dalga boyu aralığındaki foton miktarını % 0.1 hassasiyetli olarak $1 \mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ ölçebilmektedir.

FAR duyargasının ürettiği her bir mV, $5 \mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ ye karşılık gelmekte olup akım voltaja çevrilmiştir. Ölçüm yaptığı bant aralığında tepki oranı, tipik bitki tepki dalga boyu oranına benzer bir eğilim göstermektedir (Şekil 1b).



Şekil 1- (a) Denemelerde kullanılan FAR duyargası; (b) bitki ve denemelerde kullanılan FAR duyargası tepki eğrisinin ideal kuantum tepki eğrisi ile karşılaştırılması (APOGEE 2008)

Figure 1- (a) PAR sensor used in experiment; (b) comparison of ideal quantum response curve with typical plant and PAR sensor response curve which is used during the experiment (APOGEE 2008)

Çizelge 1- Denemede kullanılan LED ve güç-LED'lerine ait bazı teknik özellikler

Table 1- Some of the technical features of the LED and powerLED used in the study

LED ve Fotodiyotlar	Marka	Model	Çap (mm)	Renk	Üretim malzemesi	Aydınlatma açısı (°)	Dalga boyu aralığı (nm)
LED-A	Avago Tech.	Hlmp3750	5	Kırmızı	GaAsP	48	595-675
LED-B	Avago Tech.	Hlmp3762	5	Kırmızı	GaP	120	595-675
LED-C	Avago Tech.	Hlmpcb25	5	Mavi	InGaN	46	460-480
LED-D	Avago Tech.	Hlmp3850	5	Sarı	AlGaAs	48	547-619
LED-E	Kingbright	Kp-10B4	10	Mavi	InGaN	30	430-500
LED-F	Kingbright	Kp-10R4	10	Kırmızı	AlGaInP	20	610-645
LED-G	Kingbright	Kp-10Y4	10	Sarı	-	-	-
LED-H	Kingbright	Kp-10W4	10	Beyaz	-	-	-
Güç-LED-A	Helio	E1LB	1	Mavi	-	150	460-470
Güç-LED-B	Helio	E1LR	3	Kırmızı	-	150	610-630
Güç-LED-C	Helio	E3LR	1	Kırmızı	-	150	310-630

- Üretici ve ithalatçı firmadan temin edilememiştir.

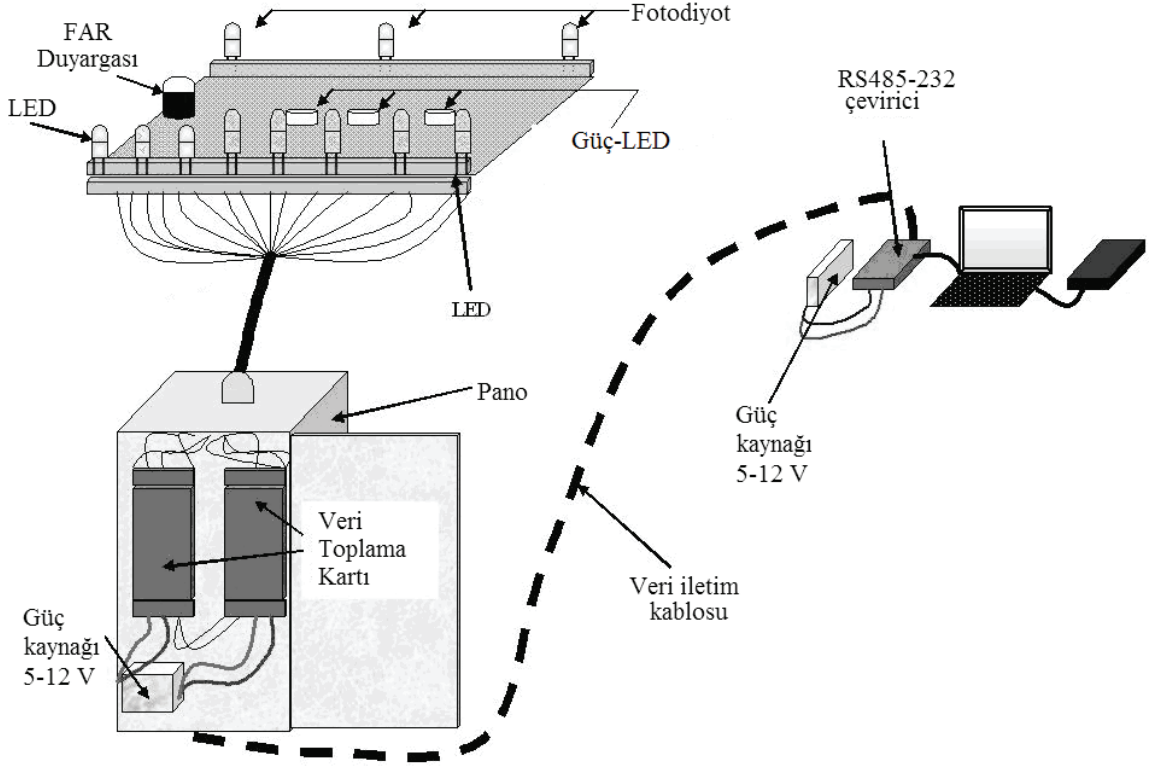
Çizelge 2- Denemede kullanılan fotodiyotlara ait bazı teknik özellikler*Table 2- Some of the technical features of the photodiodes used in the study*

<i>Fotodiyotlar</i>	<i>Marka</i>	<i>Model</i>	<i>Çap (mm)</i>	<i>Aktif çip alanı (mm)</i>	<i>Açısal tepki aralığı (°)</i>	<i>Tepki aralığı pik değeri (nm)</i>	<i>Tepki aralığı (nm)</i>
Fotodiyot-A	Perkin Elmer	VTP1220	6	1.2	140	550	330-720
Fotodiyot-B	Perkin Elmer	VTP9412	6	1.6	100	580	330-720

Denemelerde kullanılan FAR duyargası, çeşitli özelliklerdeki LED ve fotodiyotlar, birbirlerine gölge oluşturmayacak ve aralarında en az 7.5 cm mesafe olacak şekilde 40×60 cm boyutlarında ahşap bir platform üzerine yerleştirilmiştir. Yatay düzleme gelen direkt FAR miktarını ölçmek için; FAR duyargası, LED, güç-LED'i ve fotodiyotların, platform yüzeyi ile dik açı yapması ve platformun da yatay düzleme paralel olması sağlanmıştır (Şekil 2). Denemede iki adet 8 kanallı, Adam 4118+ (Advantech Co. Ltd.) analog/dijital çevirici veri toplama kartı kullanılmış, elde edilen veriler Adam 4520 RS485-232 çevirici modülü yardımıyla dizüstü bilgisayara aktarılmıştır. Kullanılan LED, fotodiyot ve güç-LED'leri, arada başka yardımcı elektronik ekipmana yer verilmeden 1 m uzunluğunda, elde edilen analog sinyalleri elektromanyetik alan ve girişim gibi dış etiklerden koruyan, izoleli kablo yardımı ile veri toplama kartlarının girişine doğrudan bağlanmıştır. Bilgisayar ortamında verilerin görüntülenmesi ve depolanması için laboratuvar çalışmaları sırasında Visidaq 3.11. veri toplama ve kontrol yazılımı kullanılarak bir strateji hazırlanmıştır.

Ölçümler, 1-31 Mayıs 2009 tarihleri arasında İzmir Meteoroloji Bölge Müdürlüğü gözlem parkında (29 m rakım, 38° 26' kuzey enlemi ve 27° 10' doğu boylamı) yapılmıştır. Gün doğumu ile gün batımı arasında FAR duyargası, LED, güç-LED'i ve fotodiyotlardan 1 saniye aralıklarla voltaj

değerleri ölçülerek kaydedilmiş ve elde edilen veriler dakikalık ortalamalara dönüştürülerek, her gün için ortalama 800 değer üretilmiştir. Denemelerin yapıldığı günlere ait İzmir Bölge Müdürlüğü'nün yer (sinoptik) ve yüksek seviye (rawinsonde) gözlemleri, saatlik yer gözlemleri ve otomatik hava gözlem sistemi (AWOS)'nden elde edilen atmosferik parametrelere ait veriler analiz edilerek atmosferin benzerlik gösterdiği günler belirlenmiştir. Atmosfer koşullarının deneme sonuçları üzerine etkisinin minimum olduğu günleri belirlemek için, atmosferde termodinamik bir dengenin olduğu varsayılarak belirlenen uluslararası standart atmosfer (ISA) koşulları referans olarak alınmıştır. Denemelerin gerçekleştirildiği atmosferik koşullar belirlenerek atmosferin benzerlik gösterdiği günler tespit edilmiştir. Böylece deneme tekrarlarını gerçekleştirmek için, farklı günlerde elde edilen verilerin benzer atmosferik koşullarda karşılaştırılması sağlanarak, yapay ışık kaynağı ile gerçekleştirilecek laboratuvar çalışmalarına duyulan ihtiyaç ortadan kaldırılmıştır. Bu veriler ışığında 9, 14 ve 15 Mayıs tarihleri açık ve az bulutlu gün olarak, 16, 17 ve 18 Mayıs tarihleri parçalı bulutlu ve çok bulutlu gün olarak ve 19 Mayıs yağışlı gün olarak belirlenmiştir (Uzun 2010).



Şekil 2- Denemede kullanılan düzeneğin şematik gösterimi

Figure 2- Schematic representation of the test apparatus used in experiment

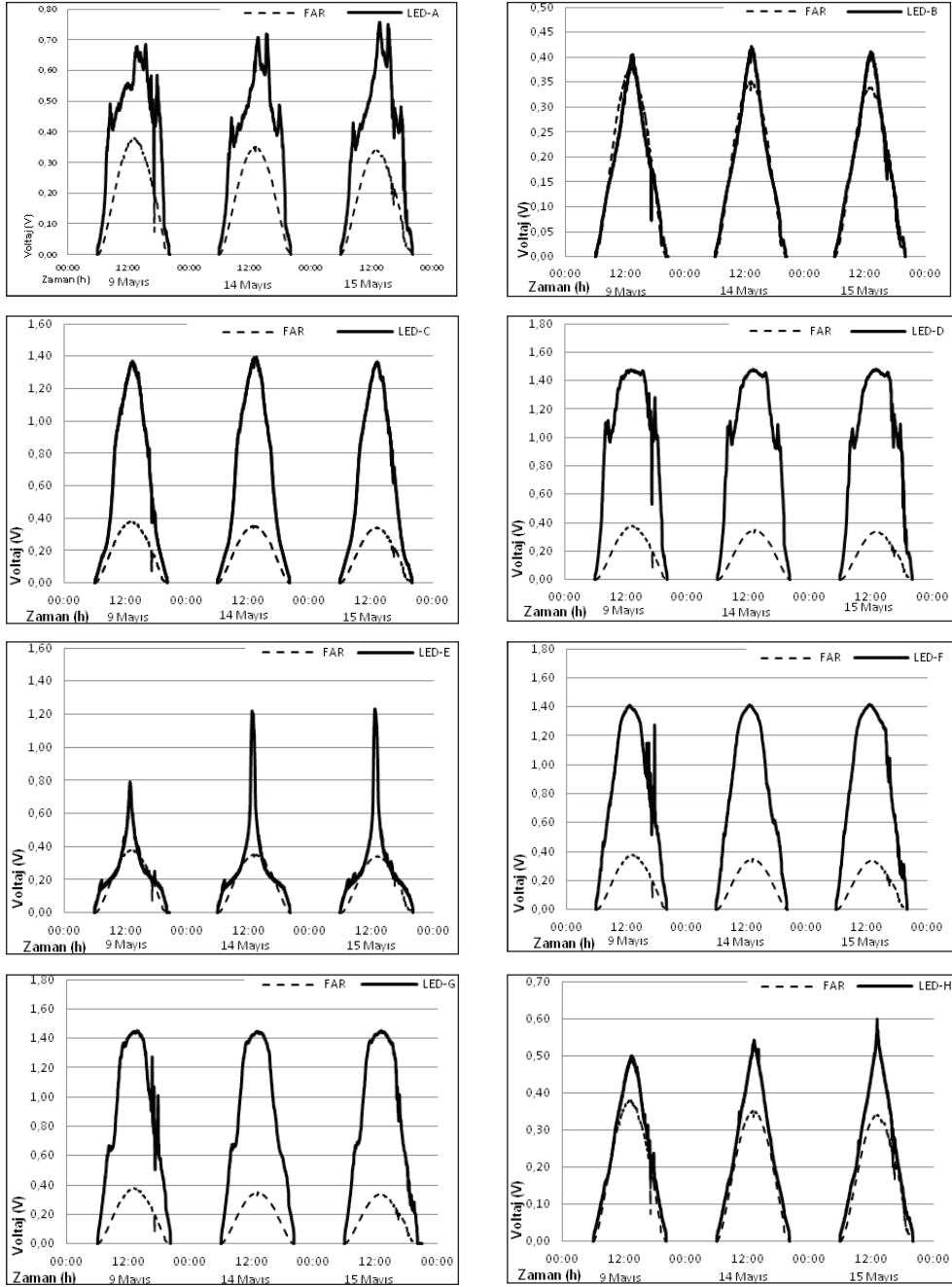
3. Bulgular ve Tartışma

Tüm ölçümlerin gerçekleştirildiği 1-31 Mayıs tarihleri arasında, meteorolojik parametreler değerlendirildiğinde, ISA standartlarında yer alan meteorolojik parametrelere çok yaklaşan ya da paralellik gösteren yağışsız, bulutsuz ve açık günler olarak 9, 14 ve 15 Mayıs 2009 tarihleri tekerrür günleri olarak belirlenmiştir. Bu günlere ait FAR duyarga verileri ile LED, güç-LED'i ve fotodiyotlardan elde edilen veriler arasındaki ilişkiler günlük zamana bağlı voltaj değişimi grafikleri oluşturularak sırasıyla Şekil 3, 4 ve 5'de verilmiştir.

Mayıs ayının 9, 14 ve 15 tarihli açık günlerde LED ve FAR duyargasının zamana bağlı voltaj değişimlerinin verildiği Şekil 3 incelendiğinde,

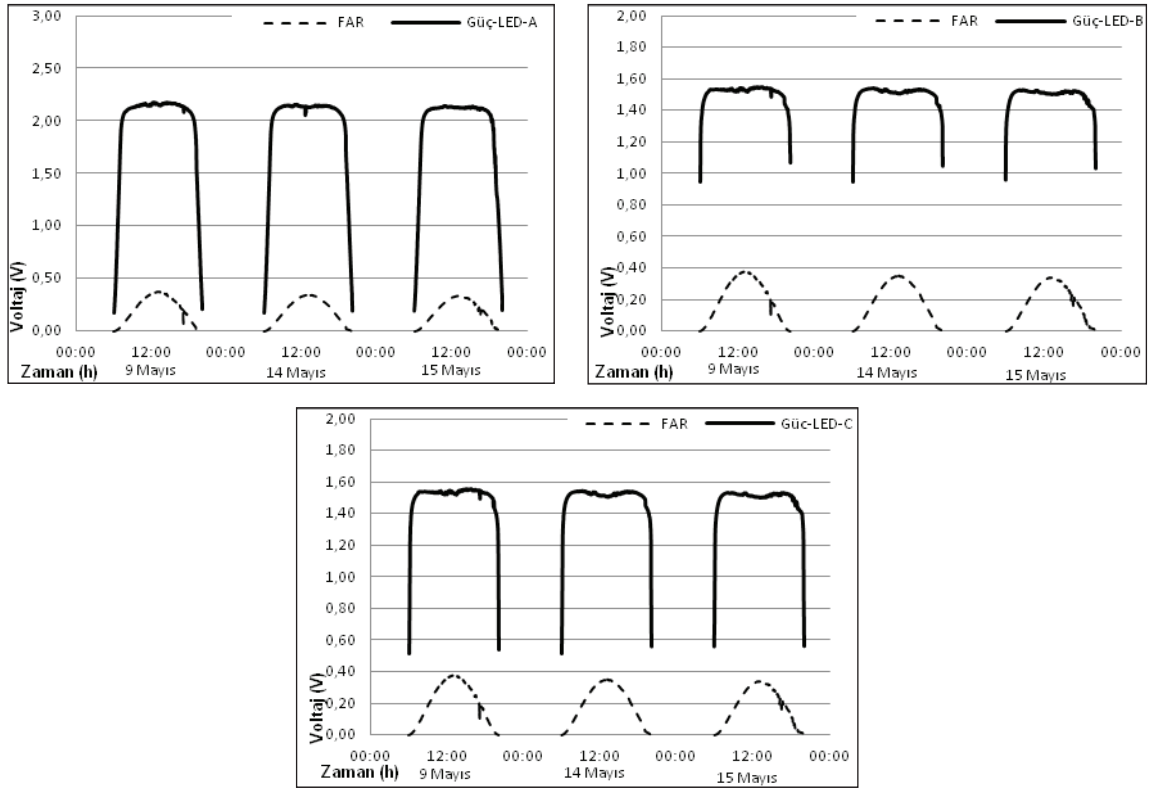
LED-E haricindeki LED'lerden elde edilen veriler, FAR duyargası verileri ile zamana bağlı olarak aynı eğilimde; her birim artış ve azalış ile doğru orantılı olarak değişim gösterdiği belirlenmiştir.

Aynı tarihlerde açık günlerde ölçüm yapılan güç-LED'i ve FAR duyargasının zamana bağlı voltaj değişimlerinin verildiği Şekil 4 incelendiğinde, FAR duyargası voltaj değişimi, artan FAR miktarı ile aynı oranda artmaya devam etmiş ancak güç-LED'leri belirli bir konumdan sonra sabit voltaj üretmişlerdir. Öğle saatlerinden sonra FAR miktarının azalmasına bağlı olarak FAR duyargasının ürettiği voltaj azalma eğilimine geçmiş ancak güç-LED'leri sabit değerde voltaj üretmeye devam etmiş ve belirli bir noktadan sonra aniden düşmüşlerdir. Bu durumun güç-LED'lerinin yapısal özelliğinden kaynaklandığı söylenebilir.



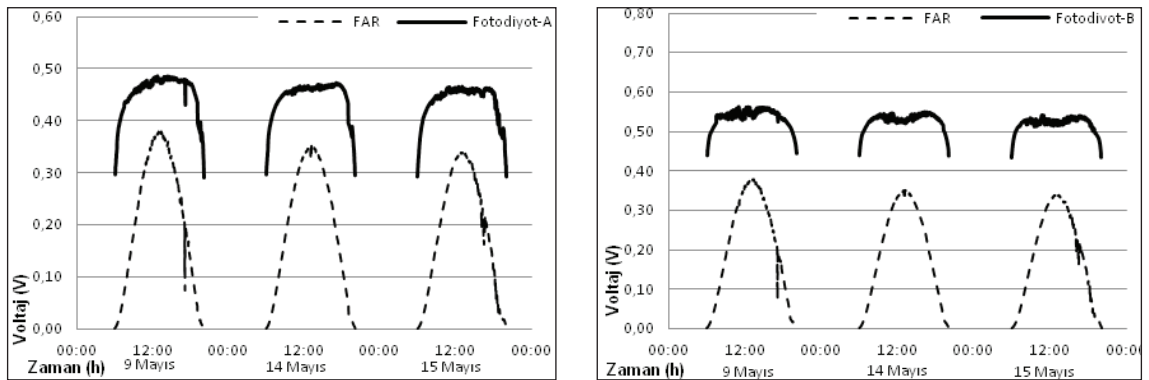
Şekil 3- Az bulutlu ve açık olarak belirlenen 9, 14 ve 15 Mayıs tarihlerinde LED ve FAR duyarğası verilerinin karşılaştırılması

Figure 3- Comparison of FAR sensor data with the LEDs data on the 9th, 14th and 15th of May which is determined as sunny days



Şekil 4- Az bulutlu ve açık olarak belirlenen 9, 14 ve 15 Mayıs tarihlerinde güç-LED’i ve FAR duyargası verilerinin karşılaştırılması

Figure 4- Comparison of FAR sensor data with the powerLEDs data on the 9th, 14th and 15th of May which is determined as sunny days



Şekil 5- Az bulutlu ve açık olarak belirlenen 9, 14 ve 15 Mayıs tarihlerinde fotodiyot ve FAR duyargası verilerinin karşılaştırılması

Figure 5- Comparison of FAR sensor data with the photodiodes data on the 9th, 14th and 15th of May which is determined as sunny days

Benzer şekilde 9, 14 ve 15 Mayıs tarihli açık günlerde fotodiyotlar ile FAR duyargasının zamana bağlı voltaj değişimlerinin verildiği Şekil 5 incelendiğinde ise, FAR değerinin artışına ya da azalışına bağlı olarak fotodiyotların ürettiği voltaj miktarı, FAR duyargasının ürettiği voltaj değerlerinden farklılık göstermektedir. Gün doğumundan hemen sonra hızla yükselen voltaj değerleri, FAR miktarının artmaya devam etmesine karşın, gün içinde belli bir değere yani açık devre voltaj değerine geldiğinde sabit kalmıştır. Bu durum, fotodiyotların üretim sürecinde belirlenen kirlenme miktarı, ışınım-duyarlılığı, kuantum verimi gibi yapısal özelliklerine bağlı olarak açık devre voltaj değerlerinin değişim göstermesi ile açıklanabilir. Öğleden sonra FAR değerinin azalma sürecine tepki vermemiştir. Gün batımına yaklaşınca hızla düşüşe geçmiştir. FAR ve fotodiyotlardan elde edilen değerler arasındaki ilişkileri belirlemek amaçlı uygulanan korelasyon analizi sonuçlarının verildiği Çizelge 3 incelendiğinde, uygulanan korelasyon analizi sonucunda elde edilen veriler arasında kuvvetli bir ilişki belirlenmemiştir. Aaslyng et al (1999) ve Kanada Orman Araştırma Bakanlığı (Anonim 2000) tarafından yapılan çalışmalarda

galyum arsenid fosfor (GaAsP) fotodiyotlar ile FAR duyargası arasında korelasyon katsayılarının %97'den daha yüksek olduğu belirtilmektedir. Ancak kullanılan FAR duyargasının beş de biri değerine temin edilebilen GaAsP fotodiyotların ülkemiz şartlarında hızlı temini açısından sıkıntılar yaşanması ve yüksek edinme maliyeti nedeni ile denemelerde FAR duyargasının 300'de biri değerine temin edilebilen silisyum (Si) fotodiyotlar tercih edilmiştir. Düşük ilişkinin nedeni kullanılan fotodiyotların malzeme ve optik-elektrik özelliklerinden kaynaklanmaktadır (Uzun 2010).

Tüm ele alınan LED, güç-LED'i ve fotodiyotların, FAR duyargası ile farklı çalışma koşullarındaki durumlarının ortaya konması açısından, deneme periyodunda 9, 14 ve 15 Mayıs tarihli açık günlerin yanında, parçalı ve çok bulutlu gün olarak belirlenen 16, 17 ve 18 Mayıs ile yağışlı gün olarak belirlenen 19 Mayıs günlerinde de ölçümler gerçekleştirilmiştir. Gün doğumu ile gün batımı arasında FAR miktarına bağlı değişimi temsil edebilecek, FAR duyargası değerleri ile LED, güç-LED'i ve fotodiyotların ürettiği değerler arasındaki korelasyon belirlenmiş ve korelasyon katsayıları Çizelge 3'de verilmiştir.

Çizelge 3- Denemede ele alınan LED, güç-LED ve fotodiyot verileri ile FAR duyargası verilerinin karşılaştırılması

Table 3- Comparison between the LED, powerLED and photodiode, and FAR sensor data

LED ve Fotodiyotlar	Korelasyon katsayısı (R) (%)						
	Açık ve az bulutlu günler			Parçalı ve çok bulutlu günler			Yağışlı gün
	9 Mayıs	14 Mayıs	15 Mayıs	16 Mayıs	17 Mayıs	18 Mayıs	19 Mayıs
LED-A	98.0	97.7	98.2	97.5	98.7	98.0	98.6
LED-B	99.5	99.4	99.5	99.5	99.6	99.6	99.2
LED-C	99.5	99.4	99.4	99.5	99.3	99.7	99.5
LED-D	98.4	98.3	98.6	98.0	98.8	98.0	98.2
LED-E	90.1	89.2	90.0	90.3	89.3	86.6	87.4
LED-F	99.1	99.3	99.3	96.5	97.2	95.0	95.4
LED-G	99.0	99.5	99.5	97.2	95.4	97.0	96.5
LED-H	99.3	99.5	99.4	98.2	99.1	98.1	98.0
Güç-LED-A	89.9	91.4	91.4	89.5	90.3	88.8	88.1
Güç-LED-B	84.6	87.0	86.5	84.8	84.8	82.2	79.7
Güç-LED-C	86.1	87.2	86.6	84.9	85.4	82.7	81.2
Fotodiyot-A	88.2	88.8	88.6	87.3	87.7	85.5	77.1
Fotodiyot-B	86.9	87.2	87.2	84.9	84.9	82.2	72.2

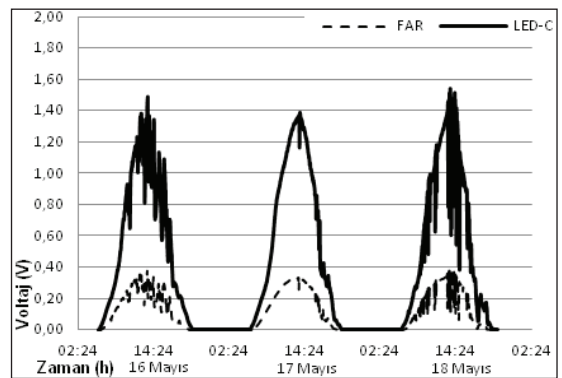
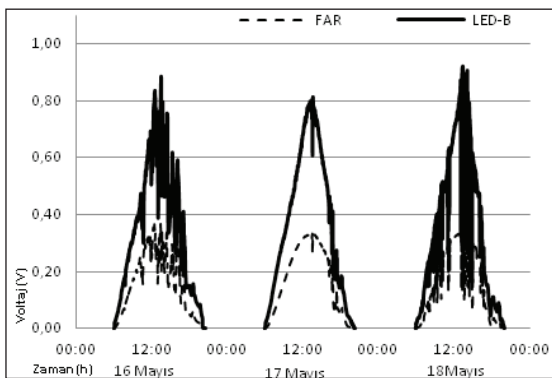
Çizelge 3’de verilen korelasyon katsayıları incelendiğinde, Şekil 4 ve 5’in açıklamasında da verildiği gibi açık günler için güç-LED’i ve fotodiyotlar, LED’lere göre daha düşük korelasyon göstermişlerdir. Bulutlu ve yağışlı günlerde bu korelasyon daha da azalmış ve % 90’ın altında kalmıştır. Elde edilen korelasyon sonuçları, fotodiyot kullanarak FAR ölçümleri gerçekleştiren Aaslyng et al (1999) ve Kanada Orman Araştırma Bakanlığı (Anonim 2000) tarafından yapılan çalışmalarda elde edilen % 97’den daha yüksek korelasyon katsayıları ile karşılaştırıldıklarında oldukça düşük kalmışlardır. Deneme sonucunda çalışmada yer verilen, Çizelge 1 ve Çizelge 2’de marka model ve optik elektronik özellikleri ile çalışma sınırları belirtilen Si fotodiyotların ve güç-LED’lerinin herhangi bir ek uygulama (elektronik devre tasarımı, difüzör, filtre, pil, op-amp vb.) olmadan hassas tarım uygulamalarında FAR ölçümlerinde tercih edilmemesi sonucuna varılmıştır.

Çizelge 3’de verilen korelasyon katsayıları LED’ler yönünden incelendiğinde ise, açık günler için verilen Şekil 3’te de görüldüğü gibi LED-E haricindeki LED’lerde % 97.7’nin üzerinde korelasyon elde edilmiştir. Şekil 3 incelendiğinde LED-E’de ışınım şiddetine bağlı olarak FAR duyargasına ve diğer LED’lere göre çok daha fazla ani artış gösterdiği görülür. Elde edilen korelasyon

sonuçları, LED kullanarak FAR ölçümleri gerçekleştiren Mims III (2002)’ün çalışmasında ele aldığı LED’ler FAR duyargası arasında % 97 oranında ilişki bulunduğu sonuçlarla uyumludur. LED-A, LED-D, LED-F, LED-G ve LED-H verilerinin grafikleri dikkatle incelendiğinde, % 97.7’nin üzerinde korelasyon oranı olmasına rağmen FAR duyargasında belirgin olmamakla birlikte bu elemanların ürettikleri voltajlarda zaman içinde ani artışların ve azalışların gerçekleştiği bölümler saptanmıştır (Şekil 3). Aynı LED’lerin bulutlu ve yağışlı günlerdeki korelasyon değerleri incelendiğinde ise LED-F, LED-G ve LED-H’nin korelasyon değerlerinin düştüğü görülmektedir.

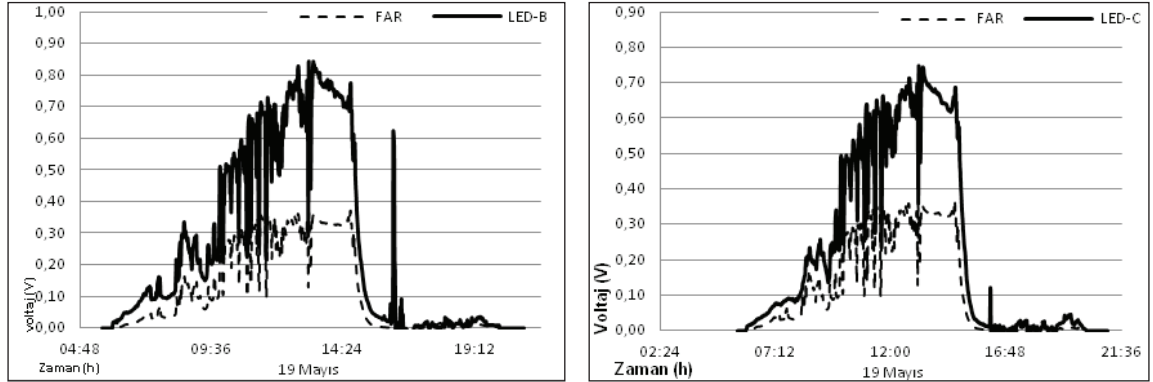
LED’ler içerisinde LED-B ve LED-C’nin, FAR duyargası ile arasındaki korelasyonun hem açık, hem de bulutlu ve yağışlı günlerde % 99’un üzerinde olduğu saptanmıştır. LED-B ve LED-C duyargalarının farklı çalışma koşullarındaki durumunun ortaya konması açısından, deneme periyodunda parçalı ve çok bulutlu gün olarak belirlenen 16, 17 ve 18 Mayıs ile yağışlı gün olarak belirlenen 19 Mayıs gününe ait verileri ile FAR duyargası verilerinin karşılaştırılması Şekil 6 ve Şekil 7’de verilmiştir.

Şekil 6 ve 7 incelendiğinde, bulutlu ve yağışlı günlerde LED-B ve LED-C, hava koşullarından



Şekil 6- Parçalı bulutlu ve çok bulutlu olarak belirlenen 16, 17 ve 18 Mayıs tarihlerinde LED-B ve LED-C ile FAR duyargası verilerinin karşılaştırılması

Figure 6- Comparison of FAR sensor data with the LED-B and LED-C data on the 16th, 17th, 18th May which is determined as partly cloudy and cloudy days



Şekil 7- Yağışlı gün olarak belirlenen 19 Mayıs tarihlerinde LED-B ve LED-C ile FAR duyargası verilerinin karşılaştırılması

Figure 7- Comparison of FAR sensor data with the LED-B and LED-C data on the 19th May which is determined as rainy day

FAR değişimi ile doğru orantılı etkilenmiştir. FAR miktarının şiddetinde ve dalga boyu aralığında, değişime neden olabilecek meteorolojik etmenler olmasına karşın, LED-B ve LED-C'nin % 99.2-%99.7 oranında değişen yüksek korelasyonla, gün içindeki anlık FAR artışı ve azalışı ile aynı eğilimde seyrettiği görülmüştür. Aynı zamanda LED-B ile FAR duyargası verileri, deneme boyunca birbirine çok yakın değerlerde seyretmişlerdir. Bu nedenle grafiksel gösterimi sırasında LED-B değerleri bulutlu ve yağışlı günlerde 2 kat büyütülerek kullanılmıştır. Yüksek ve istikrarlı korelasyon katsayısı nedeniyle LED-B ve LED-C duyargalarının yanında, LED-F ve LED-G duyargaları % 95'in üzerinde korelasyon oranı ve ürettikleri yüksek voltaj nedeniyle otomasyonda tercih nedeni olabilecek özelliktedirler. Bu durum yükseltici ve batarya gereksinimini ortadan kaldırmasının yanı sıra, daha ucuz veri toplama kartı kullanmaya olanak sağlayacaktır.

Bütün bunların yanında spektrofotometre ile LED'lerin duyarlı olduğu dalga boyu bant aralığının tespit edilerek ve tek bir LED yerine LED kombinasyonu yapılarak, FAR bölgesinin daha iyi temsil edilebileceği düşünülebilir. Ayrıca anlık FAR değeri ölçümleri gerektiren uygulamalarda, FAR dalga boyu bant genişliğinin LED'lere oranla

daha geniş bir bant aralığını kapsadığı ve LED'lerin ışık yaydığı dalga boyu bant aralığına yakın dar bir spektral genişlikte ölçüm yapabileceği göz önünde tutulmalıdır. Özellikle gün doğumunda, gün batımında ve güneş ışınımına etki eden bulutluluk, yağış, hava kirliliği, sis, pus gibi atmosferik olayların gerçekleştiği günlerde FAR dalga boyu bant aralığında yeryüzüne ulaşan ışınım enerjisi farklılık göstermektedir. Bununla birlikte pek çok etmen, seralarda yapılacak ölçümlerde FAR değerini etkilemektedir. Duyarga olarak belirlenen LED'lerin denemelerinin, açık atmosfer ve hava koşullarında gerçekleştirildiği değerlendirilmede dikkate alınmalıdır.

4. Sonuçlar

Ticari FAR duyargalarının yerine kullanılacak, opto-elektronik malzemeler olan fotodiyot ve LED'ler ile FAR ölçümünü ekonomik olarak gerçekleştirme olanaklarının ortaya konulmasının amaçlandığı bu çalışmada, sekiz farklı LED, üç farklı güç-LED'i ve iki farklı fotodiyot ele alınmıştır. Bu elemanları ve karşılaştırmada kullanılan FAR duyargasının açık, bulutlu ve yağışlı günlerde gerçekleştirilen ölçümlerden elde edilen anlık veriler değerlendirilmiştir. Günlük FAR ölçümü için güç-LED'i ve fotodiyotlardan elde edilen veriler

FAR duyargası ile karşılaştırıldığında bunların açık günlerde bile yetersiz kaldığı ve duyarga ile aynı eğilimde olmadıkları saptanmıştır. Çalışmada ele alınan sekiz LED'den ikisinin; LED-B ve LED-C'nin, bulutlu ve yağışlı günlerde dikkate alındığında % 99.2-99.7 oranında korelasyonu sağladığı ve bunların duyarga olarak kullanılabilir özellikte olduğu belirlenmiştir. Yüksek ve istikrarlı korelasyon katsayısı nedeniyle LED-B ve LED-C duyargalarının yanında, LED-F ve LED-G duyargaları % 95'in üzerinde korelasyon oranı ve ürettikleri yüksek voltaj nedeniyle otomasyonda tercih nedeni olabilecek özelliktedirler. Bu durum yükseltici ve batarya gereksinimini ortadan kaldırmasının yanı sıra, daha ucuz veri toplama kartı kullanmaya olanak sağlayacaktır.

Temin edilebilirlik ve edinme maliyeti açısından değerlendirildiğinde; duyarga olarak önerilen LED'ler kullanılan FAR duyargasının maliyetinin 300 ile 500'de biri değerindedir. Çalışma sürecinde temin edilebilirlik açısından LED-F ve LED-G ilk sırada yer almıştır. Ancak kullanılabilirlik açısından uygun olan LED-B ve LED-C'nin teminini sağlayan, genel Türkiye dağıtıcısı ve üretici firmasının kurumsallığı bu iki LED'i ön plana çıkarmaktadır.

Teşekkür

Projenin mali bütçesinin büyük bir bölümünü karşılayan Ege Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonu'na ve proje süresince işbirliği yapılan İzmir Meteoroloji Bölge Müdürlüğü'ne teşekkür ederiz.

Kaynaklar

Aaslyng J M, Rosenqvist E & Schmidt H K (1999). A sensor measurement of photosynthetically active radiation in plant canopy. *Agricultural and Forest Meteorology* **96**: 189-197

Acharya Y B (2004). Spectral emission characteristics of LED and its application to LED-based sun photometry. *Optics and Laser Technology* **37**: 547-550

Anonim (2000). Construction and testing of an inexpensive FAR sensor. Kanada Orman Araştırma Bakanlığı, Technical Note: **53**, British Columbia Press.

APOGEE (2008). Apogee Instruments Owner's Manual, Logan USA

Biggs W W, Edison A R, Eastin J D, Brown K W Maranville J W & Clegg M D (1971). Photosynthesis Light sensor and meter. *Ecology* **52**: 125-131

Federer C A & Taner C B (1966). Sensor for measuring light available for photosynthesis. *Ecology* **47**: 654-657

LI-COR (2000). Comparison of quantum sensors with different spectral sensitivities. Technical note 126, Lincoln, Nebraska. U.S.A.

McCree K J (1972). Test of Current Definitions of Photosynthetically Active Radiation Against the Leaf Photosynthesis Data, *Agricultural and Forest Meteorology*, **10**: 443-453

Mims III F M (2002). A five year study of a new kind of photosynthetically active radiation sensor. *American Society for Photobiology* **77**: 30-33

Yağcıoğlu A K (1996). Tarımsal Elektrifikasyon. Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları: 488, İzmir

Yağcıoğlu A K (2005). Sera Mekanizasyonu. Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları: 562, İzmir

Yağcıoğlu A K, Demir V & Günhan T (2004). Seraya giren faydalı ışınım enerjisini hesaplamak için bir yöntem-I. *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi* **41**(2):143-154

Uzun B (2010). Fotosentetik aktif radyasyon ölçümlerinde LED ve fotodiyotların hassas tarım açısından kullanılabilirliği üzerine bir araştırma. Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü (Basılmamış), İzmir