



Farklı Işık Dalga Boylarının Mikrodenetleyici Kontrollü Serada Bitki Besin Kalitesine Etkisi

Zeynep EKİCİOĞLU KUZECİ¹, Mevlüde Alev ATEŞ^{2*}

¹ Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Kırşehir

² Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarımsal Biyoteknoloji Bölümü, Kırşehir

*Sorumlu Yazar (Corresponding author): malev.ates@ahievran.edu.tr

Özet

Artan dünya nüfusu ile birlikte kentsel ve kırsal alanda daralan tarım arazileri nedeniyle gıda ihtiyacının karşılanması günümüzde önemli olmaktadır. Son yıllarda seralar ile tarımın daha verimli hale getirilmesi ya da tarıma uygun olmayan ortamlarda bitki yetiştirilmesi üzerine çalışmalar yapılarak soruna çözüm aranmaktadır. Teknolojik gelişmelere paralel olarak mikro denetleyici sistemlerin kullanılması ile çalışmalarda, bitki büyüme ve gelişme üzerine yoğunlaşmaktadır. Bu çalışmada mikrodenetleyici ile verileri kontrol edilen (ışık, nem ve sıcaklık değerleri), ve içerisinde farklı dalga boylarına sahip LED ışıklı bölmeleri bulunan prototip sera düzeneği tasarlanmıştır. Serada hayvan ve insan beslenmesinde yeşil yapraklarının besin içeriklerinin önemli olduğu arpa (*Hordeum vulgare* L.) bitkisi yetiştirilmiştir. Farklı dalga boyuna sahip LED altında bitkinin gelişimi ve klorofil miktarı incelenmiştir. Kırmızı (35lm), mavi+kırmızı (35lm+20lm) ve mavi (20lm) LED'ler ile kontrol grubu oluşturulan deneyde 14.günde mavi veya kırmızı ışık dalga boylarında yetişen yeşil yapraklardan ölçülen kök ve besin değerlerinin beklenen miktarlar için yeterli olmadığı görülürken, kırmızı+mavi ışığın birlikte verildiği bölmedeki klorofil a ve klorofil b değerleri diğer tüm ışıklardan istatistiki olarak önemli ölçüde farklılık göstermiştir. Ancak kök gelişimi kontrol grubuna göre daha düşük seviyede olduğu saptanmıştır. Bu çalışma ile yapay ışıklandırma sistemlerinin mikrodenetleyiciler aracılığıyla kontrol edildiği bitki yetiştirme ortamlarına dair yapılan araştırmalara katkı sunması amaçlanmaktadır.

Araştırma Makalesi

Makale Tarihçesi

Geliş Tarihi :10.11.2024
Kabul Tarihi :25.12.2024

Anahtar Kelimeler

Mikrodenetleyici
sera otomasyonu
sera aydınlatma
klorofil
arpa

The Effect of Different Light Wavelengths on Plant Nutrient Quality in a Microcontroller-Controlled Greenhouse

Abstract

Increasing the global population and decreasing urban and rural agricultural land make satisfying food demands critical. Greenhouses for growing plants in inappropriate conditions have been studied to improve agriculture in recent years. Based on technical advances, microcontroller systems have concentrated plant growth and development study. This research created a prototype greenhouse with compartments with different-wavelength LED lights and a microprocessor to manage light, humidity, and temperature. In the greenhouse, barley (*Hordeum vulgare* L.) was grown for animal and human sustenance. Plant growth and chlorophyll concentration were tested with various wavelength LEDs. In an experiment with red (35lm), blue+red (35lm+20lm), and blue (20lm) LEDs, the root and nutrient values measured from green leaves grown under blue or red light wavelengths were insufficient for the expected amounts on the 14th day, while the compartment with red and blue light showed statistically significant differences from all other lights. However, root growth was lower than the control group. This study intends to examine microcontroller-controlled artificial lighting systems in plant agriculture.

Research Article

Article History

Received :10.11.2024
Accepted :25.12.2024

Keywords

Microcontrollers
greenhouse automation
greenhouse lighting
chlorophyll
barley

1. Giriş

Kontrol edilebilir sera sistemleri, tarlaya göre daha az kaynak tüketimine ve daha az sera gazı üretimine neden olmaktadır. Seralar akıllı kontrol sistemleri ile donatılırsa, otomatik müdahalelerle enerji tasarrufu ve emisyonunda da azalma sağlanabilmektedir (Li ve ark., 2021). Diğer yandan serada yapılan üretimde bitkiyi olumsuz etkileyebilecek iklim koşulları da elimine edileceğinden ürün kalitesi de her geçen gün artacaktır. Temelde seralardaki bitki büyümesi esas olarak farklı değişkenlerden sıcaklık, nem, aydınlatma yoğunluğu ve karbondioksit içeriği gibi unsurlardan etkilenmektedir. Bu parametrelerin optimum düzeyde izlenmesi ve kontrolü; üretimi, kaliteyi ve büyüme döngüsünü olumlu şekilde destekleyerek ekonomik olarak da ayrıca fayda sağlayacaktır (Achour ve ark., 2018).

Işık yayan diyotlar olarak da tanımlayabileceğimiz LED'ler geleneksel aydınlatma lambalarından farklı bir teknolojiye sahiptir. Küçük boyutları, dayanıklılıkları, uzun ömürleri, basit kullanımları, düşük ısı yaymaları ve yetiştirilen bitkiye özel olarak dalga boyu seçeneği sunmaları bitki bazlı uygulamalarda, LED'leri diğer ışık kaynaklarından bir adım öteye geçirmiştir (Massa ve ark., 2008). Literatüre bakıldığında, bitkilerin büyümesinde ve fotosentezinde ışık kalitesinin önemi birçok çalışma ile açıklanmıştır (Hoenecke ve ark., 1992; Tripathy ve Brown, 1995). Ancak çoğu çalışmada klasik ışık yayan floresan veya akkor ampuller kullanılmış ve bitkiler için düşük kalitede elverişsiz dalga boyu ürettikleri için büyümeye katkıları olmamıştır. Literatürde LED'lerin bitki aydınlatmasında kullanılmasına dair ilk örnek, uzay araştırmalarına yönelik yapılan bir çalışmada karşımıza çıkmaktadır (Barta ve ark., 1992). Beyaz floresan lamba ve LED ışık altında büyütülen marul bitkisinin kullanıldığı bir başka çalışmada, bitki gelişimleri karşılaştırılmış ve ikisindeki gelişimin eşit miktarda olduğu gözlemlenmiştir. Ancak günümüzde ilerleyen teknolojiyle birlikte, elektrik sarfiyatı göz önüne alınarak LED

aydınlatmanın tercih edilmesi gerektiği öngörülebilir olmuştur (Bula ve ark., 1991).

Yapılan başka bir çalışmada metal halojen bir lamba ve LED aydınlatması altında yetiştirilen bir tür biber çeşidinin büyümesi ve kuru ağırlık dağılımı karşılaştırılmıştır (Brown ve ark., 1995). Bahsedilen çalışmada, farklı dalga boylarında ışık veren LED sistemi kombinasyonlarının, bitkilerin gelişimi için özellikle uzay araçlarında tercih edilebileceği sonucuna varılmıştır. UV ve mavi dalga boyu ışınları filtrelenmiş ışık ile floresan beyaz ışığın bitkilerin üzerindeki etkisinin incelendiği diğer bir çalışmada ise, filtrelenmiş ışığın büyümeyi arttırdığı tespit edilmiştir (Hangarter ve Stasinopoulos, 1991). Goins ve ark. (1997)'nin yayınladıkları bir çalışmada ise sadece kırmızı LED ile aydınlatılan ortamda buğday yetiştirilebileceği ancak mavi ışıkla desteklenen kırmızı LED aydınlatmanın, daha büyük bitkiler ve daha fazla miktarda tohum üretimi sağladığından bahsedilmiştir. Laboratuvarında yetiştirilen bir orkide türüne ait çalışmada sadece kırmızı LED aydınlatması yapılmasının yaprak büyümesini teşvik ettiği ancak klorofil seviyesini düşürdüğü tespit edilmiştir. Kırmızı + mavi LED ile aydınlatma yapıldığında ise bitkinin yaprak büyümesi, klorofil içeriği, sürgün ve kök ağırlığı açısından olumlu gelişmeler gösterdiği belirtilmiştir (Tanaka ve ark., 1998). Bitki aydınlatmasının altı farklı şekilde yapıldığı ve bitki büyümesinin incelendiği bir diğer çalışmada ise; fotosentez hızı en yüksek kırmızı + mavi ışıktaki, ardından floresanda tespit edilmiştir. En düşük fotosentez hızı ise mavi + uzak kırmızı ışıktaki ve kırmızı ışıktaki bulunmuştur. Taze ve kuru ağırlık ile yaprak alanı en yüksek kırmızı + mavi ışık ile floresan altında elde edilmiştir. En az ise mavi + uzak kırmızı LED altında bulunmuştur. Ek olarak ışık kalitesinin yaprak gözeneklerini ve sayısını da etkilediği gözlemlenmiştir (Kim ve ark., 2004). Gün ışığına ek olarak LED aydınlatma sağlanan tatlı patates bitkisi incelendiğinde, taze ve kuru ağırlığının sadece gün ışığı alan bitkiye nazaran arttığı belirlenmiştir (He ve Qin, 2020). Bir diğer çalışmada da kırmızı ve mavi LED ışıkların farklı yüzdelere ile

kombinasyonunun, marul bitkisinin antioksidan özellikleri üzerindeki etkisi incelenmiştir (Długosz-Grochowska ve ark., 2016). Diğer yandan yüksek basınçlı sodyum ve floresan lamlar ile LED'ler karbondioksit ve ısı emisyonu, elektrik tüketimi gibi başlıklar altında karşılaştırılmış ve LED teknolojisinin doğa dostu olduğu çalışmanın sonuçları ile belirlenmiştir (Taulavuori ve ark., 2017). Kırmızı ve mavi ışık LED'lerin ikiye bir oranda kullanıldığı ve safran bitkisinin üzerindeki etkilerinin incelendiği bir çalışmada; bu ışıklandırmanın yaprak uzunlukları, klorofil içeriği ve fotosentez özellikleri üzerinde olumlu etki yarattığı tespit edilmiştir (Zhu ve ark., 2022). Kivi meyvesi üzerinde yapılan bir çalışmada ise; mavi ışığın bitkideki klorofil birikimini arttırdığı, kırmızı ışığın ise kivi'nin büyümesini ve gelişimini uyarak, yapraklarda daha fazla stoma oluşumunu teşvik ettiği sonucuna ulaşılmıştır (Xiaoying ve ark., 2022).

Seralardaki otomatik kontrol hem enerji verimliliği sağlamakta hem de sera içindeki iklimlendirmeyi doğru bir şekilde kontrol ederek mahsuller için uygun koşulları sağlayabilmektedir. Sera sistemindeki nem, sıcaklık, aydınlatma miktarı manuel olarak da yapılabilmektedir ancak bu işlem görüldüğü kadar kolay değil aksine karmaşık bir hal alabilir. Bu işlemler kurulan otomatik kontrol sistemleri ile çok daha ucuz ve kolay bir şekilde uygulanabilmektedir. Manuel sistemlerin yüksek maliyetinin yanı sıra yanlış kontrol yapılması gibi birçok dezavantajı olabilir. Otomatik kontrol sistemlerinde kullanılan sensörlerin azalan maliyetleri ve küçülen boyutları sayesinde, seraların verimliliğinin arttığı görülmektedir (Wang ve ark., 2006). Örneğin biber, 20 °C civarında yetişirken (Attar ve ark., 2013), orkide, edamame ve limonotu sırasıyla; 18-30 °C, 20-25 °C ve 22-38 °C sıcaklığa ihtiyaç duymaktadır. Ayrıca bu bitkilerin her birinin optimum büyüme sağlama ve meyve vermesi için gerekli nem miktarı %30-90 arasında değişmektedir (Chou ve ark., 2004). Bu nedenle kurulan otomatik kontrol sistemi ile araştırılan bitki türü için uygun bir ortam sağlanması çalışmaları kolaylaştırmakta ve

kontrollü şekilde yapılmasını sağlamaktadır. Bu da çalışmaların güvenilirliği konusunda önem arz etmektedir.

Yukarıda verilen referanslar incelendiğinde birçok bitkinin yetiştiği ortamdaki ışık çeşidinin bitki gelişimi ve bitkinin bazı fizyolojik özellikleri üzerinde etkisi görülmüştür. Tüm bu çalışmalar dikkate alındığında sera koşullarındaki değişken parametrelerden olan ışığın, şiddetinin ve dalga boyunun besin kalitesi üzerine etkisinin araştırılması ve uygulama sırasında otomatik sistemlerin kullanılması çalışmamızın amacını oluşturmuştur. Özellikle besin değeri bakımından klorofil miktarlarının ölçülmesi ile farklı dalga boyundaki LED ışığın bitkilerin fotosentez mekanizması hızı ve dolaylı olarak besin üretme kapasitesi üzerindeki etkisi belirlenmiş olacaktır.

2. Materyal ve Yöntem

Çalışma kapsamında imal edilen prototip bir sera düzeneğine laboratuvar ortamında otomatik kontrol sisteminin uygulaması yapılmıştır. Mikrodenetleyici ile sera aydınlatmasının sürelerinin, neminin ve sıcaklığının kontrolü ana işlem birimi olarak Arduino Mega kart kullanılarak yapılmıştır. Sera sıcaklığı ile toprak nemi sensörler kullanılarak bilgisayar ekranından takip edilmiştir. Seraların aydınlatma süreleri kontrol edilirken, üç seradaki nem ve sıcaklığın eşitliği de kontrol edilmiştir. Sera dışarıdan güneş almayacak şekilde ve kapaklı üç bölme olarak tasarlanmıştır. Bölmelerde birbirinden ayrı şekilde farklı dalga boyundaki ışıkları içeren kırmızı, mavi ve kırmızı + mavi LED aydınlatmaları konulmuştur. Ayrıca kontrol grubu olarak da gün ışığında yetiştirilmek üzere laboratuvar ortamında bir bölüm oluşturulmuştur.

Yetiştirilmek üzere seçilen arpa (*Hordeum vulgare* L.) tohumları bölmeler içerisindeki 4 ayrı alüminyum kap içerisindeki toprağa ekilmiştir. Bu kapların her biri sırasıyla sadece mavi, mavi + kırmızı, sadece kırmızı LED ile aydınlatılan, ayarlanan aydınlatma süreleri haricinde karanlık olan ve birbirleri arasında herhangi bir ışık geçişi olmayan üç bölmeye

yerleştirilmiştir. Sistemde kullanılan LED aydınlatmaların dalga boyları: kırmızı için 620 nm, mavi için 470 nm değerindedir. Ayrıca her bir kırmızı LED 35 lm, her bir mavi LED 20

lm aydınlatma sağlamaktadır. Her bir bölmede ise üçlü şerit LED’lerden 8 adet bulunmaktadır (Şekil 1).

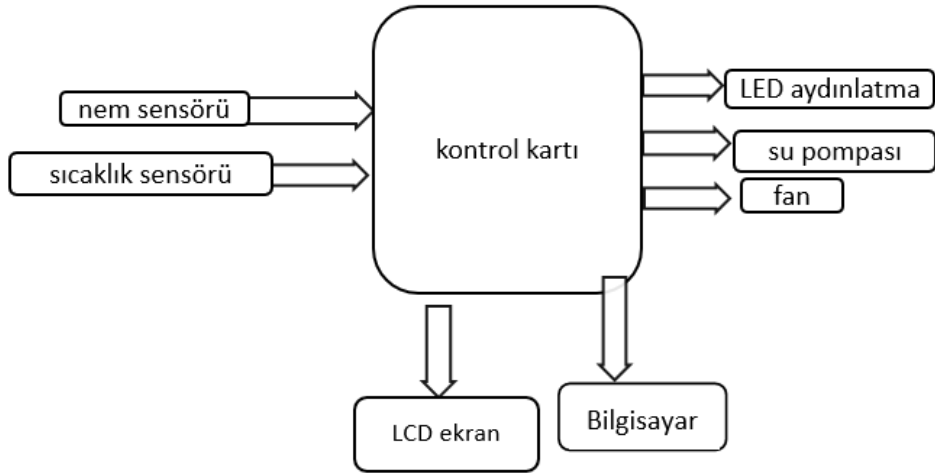


Şekil 1. (a) Ekim alanlarının hazırlanması ve (b) Sistemin üstten genel görünümü

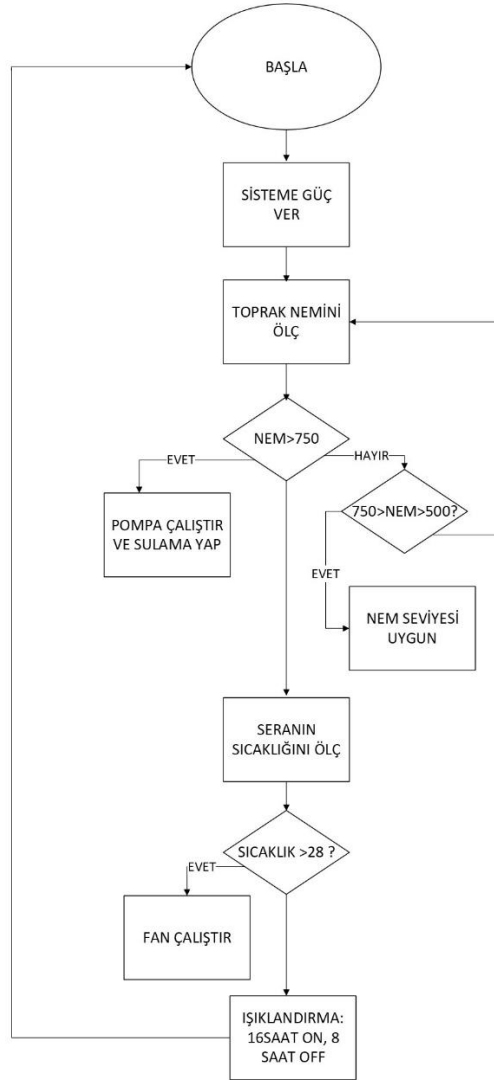
Figure 1. (a) Preparation of planting areas and (b) System overview

Bölmelere yerleştirilen sensörler vasıtasıyla da ilgili standart koşullar sağlanmıştır. Sensörlerden gelen veriler kontrol kartına giriş verisi olarak tanımlanmış ve gelen veriler seradaki LCD ekran modülü ile görüntülenmiştir. Seralardaki aydınlatma süreleri yine yazılım ile kontrol altında tutulmuştur. Tasarlanan deneysel sistem, üç başlık altında ele alınmıştır. Bu başlıklardan ilki sensörlerdir (nem sensörü ve sıcaklık sensörü). İkinci kısım ise kontrol kartı ve kontrol kartına gelen verilerin dış dünyaya

aktarıldığı bilgisayar ve LCD ekranlardır. Üçüncü ve son kısım ise kontrol kartından aldığı komuta göre çalışan elemanların olduğu LED’ler, su pompaları ve fanlardan oluşan kısımdır. Otomatik sera sisteminin tüm bileşenlerini gösteren şema Şekil 2 ve sistemin işleyişinin akış şeması Şekil 3’deki gibi verilmiştir. Sistemde izlenen ve/veya kontrol altında tutulan üç parametre vardır, bu parametrelere dair açıklamalar alt başlıklarda verilmiştir.



Şekil 2. Sistemin genel diyagramı
Figure 2. General diagram of the system



Şekil 3. Kontrol sistemin akış şeması
Figure 3. Flowchart of the control system

a. Işık izleme ve kontrol sistemi

Oluşturulan prototip seranın yapay aydınlatması şerit LED'ler ile sağlanmaktadır. Yazılan program ile seraya gün içerisinde 16 saat ışık verilmiş, 8 saat karanlıkta kalması sağlanmıştır. Aydınlatmanın açılıp kapanması 5V'luk röleler ile sağlanmaktadır. LED aydınlatmadan gelen ışık miktarına göre, üzerinde LDR ışık sensörü bulunan bir kontrol kartının çıkışı 0 V veya 5 V olarak okunmaktadır. Sensörün çalışma mantığına göre karanlık ortamda sıfır volt, ışık algılandığında beş volt, sensör kartının çıkışından okunmaktadır. Sensörün ışık hassasiyeti ise kartın üzerinde bulunan potansiyometre ile ayarlanmaktadır. Bu çalışmada seralardaki ışığın olması veya olmaması durumu göz önüne alınmıştır. Işığın miktarı ve ışık şiddeti, tüm seralara eşit miktarda ve aynı konumda yerleştirilen LED'ler ile sağlanmaktadır. Yani ışığın şiddetinin azaltılması veya artırılması bu çalışma kapsamında yapılmamakta ancak ışığın açık/kapalı olma durumu kontrol edilmektedir.

b. Nem izleme ve kontrol sistemi

Bitkinin yetişeceği bölmenin nemi bağlı nem sensörü kartının problrı ile ölçülmektedir. Eğer ölçülen nem değeri belirlenen nem miktarından az ise bitki tablasına bir pompa yardımıyla kontrollü şekilde bir miktar su verilmektedir. Kullanılan nem sensörü KL165 olup, sensörün kuru durumda 1023 değerini okuma yapacağı, su dolu bir kapta ise okunan değerin 400 olduğu bilgisi mevcuttur. Buna göre yazılan program ile verilen şu değerler referans alınmıştır. Okunan değer 500 ve altı ise toprak aşırı nemli, okunan değer 500-750 arası ise nem optimum, son olarak okunan değer 750 ve üzeri ise toprak kuru kabul edilmektedir. Sensörün analog çıkışında okunan değere göre sulama pompası çalıştırılmakta ya da çalıştırılmamaktadır.

c. Sıcaklık izleme ve kontrol sistemi

Seradaki her bölmenin ayrı ayrı sıcaklıkları, kullanılan sensör ile anlık olarak

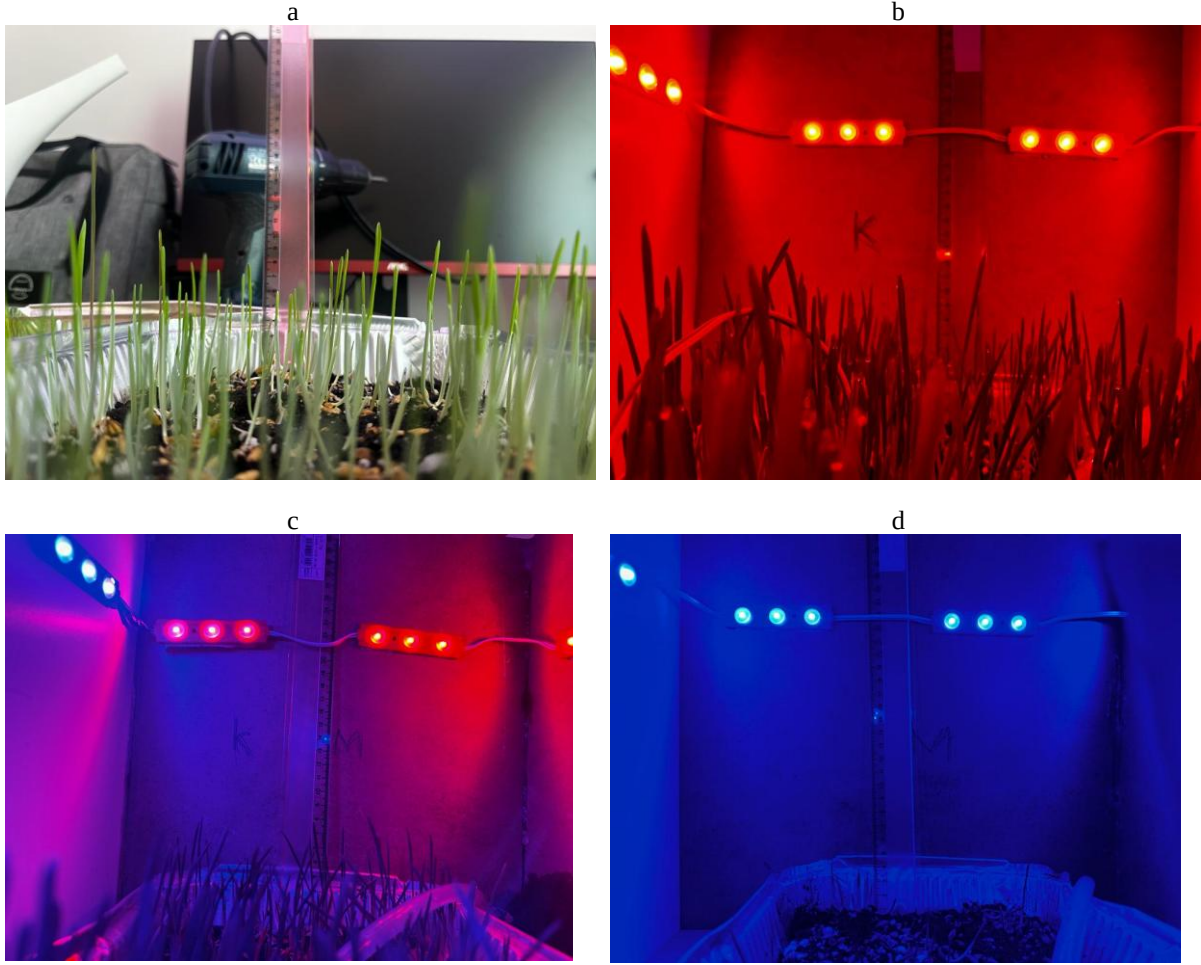
ölçülmektedir. Kullanılan sensör 0-100 santigrat derece arasında ölçüm yapan ve 10 mV/derece hassasiyete sahip LM35D sıcaklık algılayıcı modüldür. Seranın bulunduğu ortamın sıcaklığı ortalama 28 °C olduğu için ve sera dışındaki kontrol grubu ile mümkün olduğunca aynı sıcaklıkta bitkinin yetiştirilmesi için, sera içindeki sıcaklıkta 28 °C de tutulmuştur. Yazılan bilgisayar programına göre, sıcaklık 28 °C üzerine çıktığında seranın ilgili bölmesindeki fan çalışmaktadır.

d. Bitkinin besin değeri analizleri

Proje için kurulan mini serada yetiştirilen arpa bitkisinin tohumları ilk ekimden itibaren optimum koşullarda sensörlerle sabit tutulan nem, sıcaklık ve 16 saatlik ışık koşulları altında 14 gün süreyle takip edilmiştir. 14. Günde ise farklı ışık çeşitleri altında yetiştirilen bitkilerin taze yaprakları kullanılarak klorofil a ve klorofil b ölçümleri yapılmıştır. Normal şartlarda birçok petrol türevi bileşik klorofil ekstraksiyonu için kullanılabilir (Tekin ve Bilek, 2019). Bu çalışmada ise klorofil içeriklerini çıkarmak için her bir gruptan 50 mg taze örnek alınarak (3'er tekrarlı), 3 ml saf metanol içerisinde 2 saat karanlık ortamda 23 °C de bekletilmiştir. Süre sonunda her bir örnekten alınan sıvılar UV-Spektrofotometre aleti yardımıyla hem klorofil a için hem de klorofil b için 650 ve 665 nm dalga boyunda klorofil miktar ölçümleri yapılmıştır (Şekil 6). Ayrıca morfolojik gözlem olarak da kök ve yaprak boyları fiziksel olarak incelenmiştir (Şekil 5).

3. Bulgular

Ekim işleminin beşinci günü seralardaki görüntü Şekil 4'de verilmiştir. Görüldüğü üzere sadece kırmızı ve kırmızı + mavi LED ile aydınlatılan seralar ile gün ışığındaki kontrol grubunun gelişimleri benzer ilerlemiştir. Ancak sadece mavi LED ile aydınlatılan seradaki bitki gelişimin daha düşük seviyede olduğu saptanmıştır.

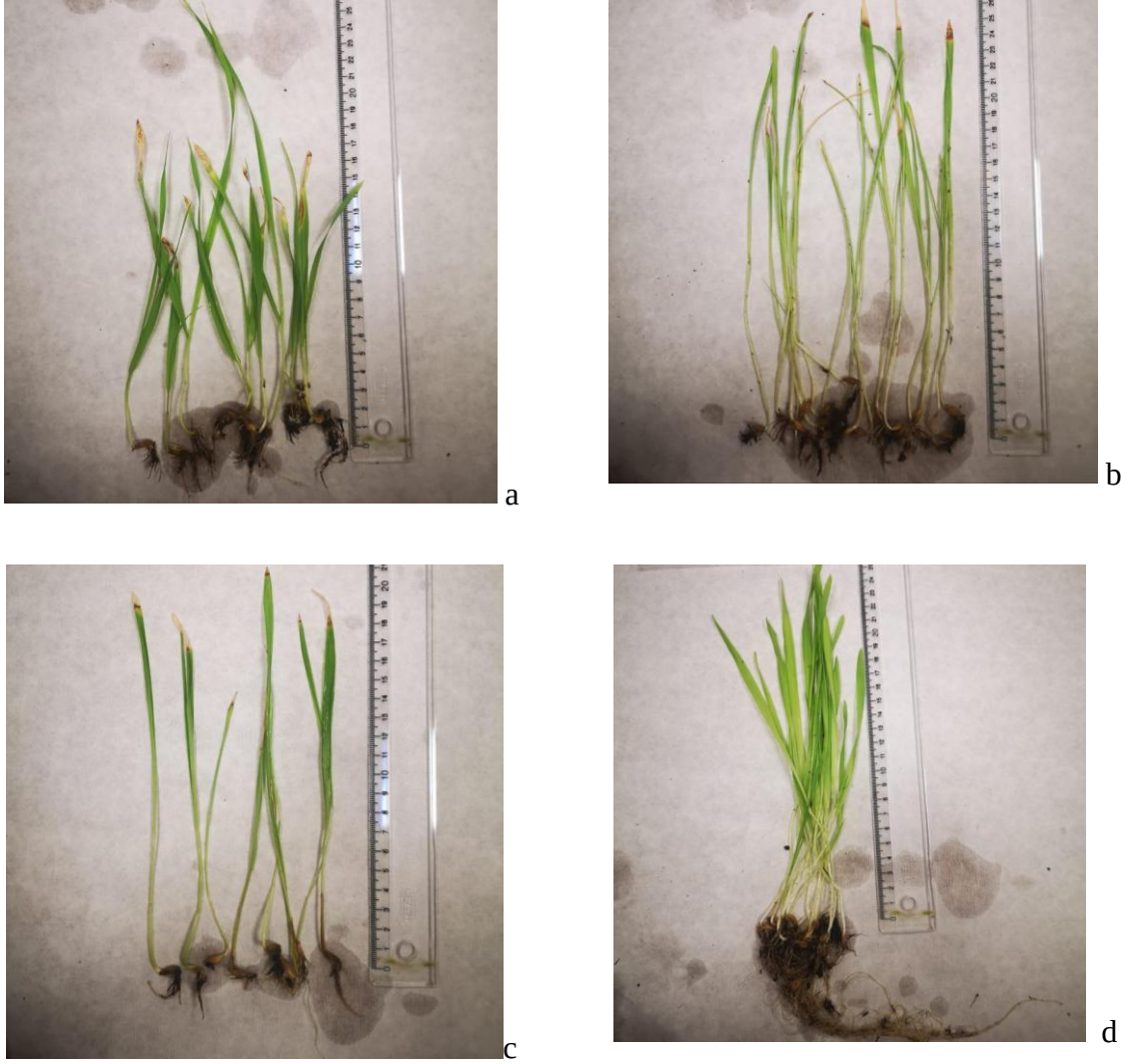


Şekil 4. Beşinci günde (a) gün ışığın kontrol grubu (b) kırmızı LED ile aydınlatılan sera (c) kırmızı+ mavi LED ile aydınlatılan sera ve (d) mavi LED ile aydınlatılan sera

Figure 4. On the fifth day, (a) the control group exposed to daylight, (b) the greenhouse illuminated with red LED, (c) the greenhouse illuminated with red + blue LED, and (d) the greenhouse illuminated with blue LED

Sistem, 14. gününde bitkilerin yeterli büyüme sağladığı görülmüş ve sonlandırılmıştır. Şekil 5’de tüm kaplardan alınan arparların fotoğrafları görülmektedir. Yapılan morfolojik ölçümlerde kırmızı ışık ile aydınlatılan kısımdaki bitkiler daha ince fakat boyca uzun oldukları ve yeşil yapraklarının daha açık yeşil olduğu görülmektedir. Ayrıca kök yapılarının kontrole göre daha zayıf oldukları da kayıtlara alınmıştır. Mavi ışık verilen bitkiler ise boy olarak en kısa boylu

olmalarına rağmen yaprak renkleri ve kalınlıkları diğer ışık türleri ile aydınlatılan bitkilere göre daha fazla olmuş ve kök yapıları ise yine kontrol grubuna göre daha zayıf kaldığı tespit edilmiştir. Hem kırmızı hem de mavi ışık verilen bitkilerin ise boyları kontrol grubuna yakın olmuştur. Lakin kalınlık ve yeşil renklilik olarak kontrolden daha kalın ve yeşil oldukları görülmüştür. Kök yapıları ise yine kontrol grubundan daha düşük seviyede olduğu saptanmıştır.

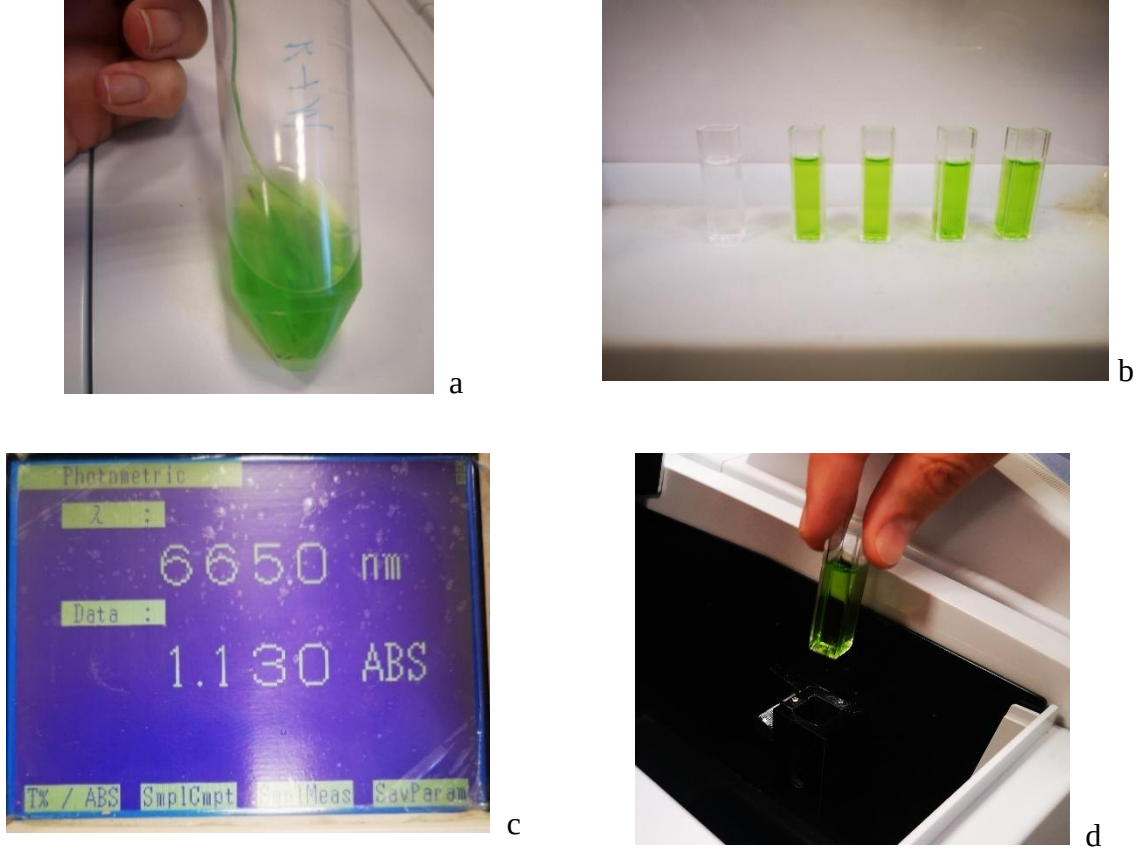


Şekil 5. Ekimin 14. gününde (a) mavi LED ile aydınlatılan sera (b) kırmızı LED ile aydınlatılan sera (c) kırmızı+ mavi LED ile aydınlatılan sera ve (d) gün ışığı kontrol grubu

Figure 5. On the 14th day of cultivation, (a) the greenhouse illuminated with blue LED, (b) the greenhouse illuminated with red LED, (c) the greenhouse illuminated with red+blue LED, and (d) the daylight control group

Yetiştirilen bitkilerin besin içeriklerinin ölçümü için klorofil miktar analizleri yapılmıştır (Şekil 6). 14. gün de alınan taze yapraklardan her bir grup için spektrofotometrede 3 tekrarlı ölçümler yapılmıştır. Her bir farklı bölmedeki ışıklandırmaya (mavi, kırmızı, mavi+kırmızı ve kontrol) ait ölçülen klorofil a ve klorofil b 'ye ait değerler hesaplanmıştır. LED ışık bakımından klorofil içerik ortalamaları arasında istatistik olarak fark olup olmadığı Genel Lineer Model kullanılarak Varyans Analizi (ANOVA) ile test edilmiştir (SPSS ver

29). Analiz edilmiş ve LED grubunun klorofil içerikleri bakımından hangi grup ortalamalarının farklı olduğu Tukey çoklu karşılaştırma yöntemiyle harflendirilerek gösterilmeye çalışılmıştır (Tablo 1) (Tukey, 1953; Keselman ve Rogan, 1977; Zar ,1999; Genc ve Soysal, 2018). En çok klorofil miktarı kırmızı ve mavi ışığın birlikte verildiği bitkilerde olmuştur. Özellikle de yeşil yapraklı yenilen bitkilerde klorofil miktarlarının oranının besin değeri açısından önemli olduğu kabul edildiğinde bu sonuç önemli olmaktadır.



Şekil 6. Yeşil yapraklardan UV-Spektrofotometrede Klorofil ölçüm analizlerinin basamakları (a) bitkilerin yeşil yapraklarının metanolde bekletilmesi (b) spektrofotometre ölçümü için küvetlerin hazırlanması (c) ölçüm için cihaz değerleri (d) spektrofotometre ölçümünün yapılması

Figure 6. Steps for Chlorophyll Measurement Analysis from Green Leaves Using a UV-Spectrophotometer: (a) soaking the green leaves of plants in methanol, (b) preparation of cuvettes for spectrophotometer measurement, (c) setting device parameters for measurement, (d) performing the spectrophotometer measurement.

Tablo 1. Farklı LED ışıklarının ve Kontrol grubunun 3 tekrarlı Klorofil a ve b içeriklerinin ölçümlerinin istatistiksel analizleri

Table 1. Statistical analyses of the measurements of Chlorophyll a and b content, via repeated three times, for different LED lights and the Control group

LED	N	Klorofil a	Klorofil b
Kontrol	3	0.5170±0.00058b	1.0163±0.00145b
Kırmızı	3	0.4123±0.00033d	0.8203±0.00033d
Mavi	3	0.4977±0.00067c	0.9773±0.00033c
Kırmızı+Mavi	3	0.5697±0.00033a	1.1293±0.00145a
		F=16.853	p=0.002

a-d: aynı satırda da farklı harfi taşıyan klorofil ortalamaları arasındaki fark istatistik olarak önemlidir.

*, 0,05 önem düzeyinde istatistik olarak önemlidir ($p \leq 0,05$).

4. Tartışma ve Sonuç

Araştırma kapsamında farklı dalga boylarındaki LED ile aydınlatılan, nemi, sıcaklığı ve aydınlanma süreleri kontrol altında tutulan akıllı sera ortamındaki arpa bitkisinin besin içerikleri klorofil miktarları ölçülerek

araştırılmıştır. Seranın bölmelerindeki nem, sıcaklık ve ışık şiddeti hepsinde sabit tutulmuştur. Bitki gelişimini farklılaştıran tek faktör olarak, kırmızı ve mavi ışık dalga boyları olmuştur. Yapılan denemelerde elde edilen sonuçlar göstermektedir ki kırmızı ve mavi bir arada bulunan LED'lere sahip

konteynerdeki arpa bitkisi besin miktarı açısından en iyi konumda olduğu istatistiki olarak saptanmıştır. Bulgular, tıpkı Hangarter ve Stasinopoulos (1991) ile Goins ve ark. (1997) yaptıkları çalışmalarda gibi LED 'lerin dalga boyunun değişmesi bitkilerin hem gelişimlerini hem de besin miktarlarını ve dolaylı olarak da tohum kapasitelerini arttırmaktadır. Özellikle yeşil yapraklı çiğ besin maddesi olarak tüketilen sebzelerde ileriki yıllarda yapılacak çalışmalarda LED ışıklarının farklı dalga boylarında kullanılması besin değerlerinin artması açısından önemli bir faktör olarak kullanılabilineceğini göstermiştir.

6 farklı şekilde yapılan ve bitki büyümesinin incelendiği Kim ve ark. (2004) yaptıkları çalışmada, bitki yetiştirilirken yapılan aydınlatmanın bitki büyümesi üzerine etkilerinden bahsedilmiştir. Çalışmada fotosentez hızı en yüksek kırmızı + mavi ışıkta, ardından floresanda tespit edilmiştir. En düşük fotosentez hızı ise mavi + uzak kırmızı ışıkta ve kırmızı ışıkta bulunmuştur. Yapılan çalışmamızda da bu çalışmayla paralel sonuçlar elde edilmiştir. Özellikle mavi ve kırmızı ışığın birlikte kullanıldığı bölmedeki klorofil içerikleri diğer bölmelerden daha yüksek olduğu görülmüştür. Yine Kim ve ark. (2004) yaptıkları çalışmada olduğu gibi kontrol grubunda ise tek ışıklı bölmelere göre daha fazla klorofil içeriği tespit edilmiştir.

Tarımsal üretimin günden güne önem kazandığı ve teknolojinin gelişmesiyle daha verimli daha hızlı daha kolay üretimin yapılması gerekliliği göz önüne alındığında topraksız üretimde ışığın besin değerleri üzerindeki önemi ortaya çıkmaktadır. Her ne kadar kök yapısı bakımından elde edilen bitkiler kontrol kadar güçlü olmasa da hızlı büyüme ve besin değeri açısından daha kaliteli bitkilerin eldesi daha ön plana çıkmaktadır. Sonuçta topraksız, viol ya da cocopit gibi toprak benzeri tarımın uygulandığı sera koşullarında bitkilere verilen optimum şartlar sebebiyle kök gelişiminin bitkinin basit ihtiyaçlarını karşılayacak kadar olması çalışmalar için yeterlidir.

Bu çalışmadaki bulguların gösterdiği bir diğer unsur ise kullanılan mikrodenetleyici kart ile sera sisteminin otomasyonu tasarımıdır. Manuel sistemlerin yetiştiricilere yüklediği yüksek maliyetler ve özellikle yanlış kontrol yapılması gibi birçok dezavantajlarının yanında otomatik kontrol sistemleri bu konuda çözüm sunmaktadır. Kullanılan sensörlerin azalan maliyetleri ve küçülen boyutları sayesinde, seraların verimliliğinde artış gözlemlenmektedir (Wang ve ark., 2006). Bu sistemlerden Mikrokontrol kartlar, aynı anda birçok faktörü kontrol edebilme ve izleyebilme yeteneği sayesinde, gelecekte kurulacak seralarda sistem yönetimini kolaylaştıracaktır. Çalışmada tüm yetiştirme koşullarının aynı anda bu sistemle kontrol edilebilmesi ve tek bir programdan veri akışının sağlanabilmesi de çalışmayı değerli kılmaktadır.

Konu üzerinde yapılan tüm çalışmaların amacı, tarıma elverişli olmayan, ışık, sıcaklık, nem gibi faktörlerin yeterli olmadığı tüm ortamlarda seraya yönelik düzeneklerin kurulması sırasında üretim için gereken ortamın ve altyapının araştırılmasıdır. Özellikle iklim değişikliğinin ön plana çıktığı günümüzde, tarımsal üretimde hem insan hem de hayvan beslenmesi için besin değeri yüksek ürünlerin eldesinde kullanılacak olan seraların kontrol mekanizması yüksek olan farklı mikro denetleyici sistemlerle donatılması önem arz etmektedir. Çalışmamız tüm bu sorunlara çözüm üretmek amacıyla, hem kullanılan mikro denetleyici kart sistemi ile hem de kullanılan yapay ışıkların dalga boyunun yetiştirilen ürün kalitelerine etkisi açısından bir prototip olarak değerlendirilebilir.

Yazarların Katkı Beyanı

Yazarlar makaleye eşit katkıda bulunduklarını beyan ederler.

Çıkar Çatışması Beyanı

Tüm yazarlar, bu çalışma için herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan etmektedir.

Finansman

Bu çalışma, Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından desteklenmiştir (Proje No: MMF.A4.22.011).

Kaynaklar

- Achour, Y., Mernissi, N.E., Zejli, D., 2018. Design and implementation of greenhouse remote monitor system. *IEEE 5th International Congress on Information Science and Technology CiSt*, Proceedings Book, 21-27 October Marrakech, Morocco, pp. 1-6.
- Attar, I., Naili, N., Khalifa, N., Hazami, M., Farhat, A., 2013. Parametric and numerical study of a solar system for heating a greenhouse equipped with a buried exchanger. *Energy Conversion and Management*, 70: 163-173.
- Barta, D.J., Tibbitts, T.W., Bula, R.J., Morrow, R.C., 1992. Evaluation of light emitting diode characteristics for a space-based plant irradiation source. *Advances in Space Research*, 12(5): 141-149.
- Brown, C.S., Schuerger, A.C., Sager, J.C., 1995. Growth and photomorphogenesis of pepper plants under red light-emitting diodes with supplemental blue or far-red lighting. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 120(5): 808-813.
- 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. *Horticultural Science*, 26(2): 203-205.
- Chou, S.K., Chua, K.J., Ho, J.C., Ooi, C.L., 2004. On the study of an energy-efficient greenhouse for heating, cooling and dehumidification applications. *Elsevier Applied Energy*, 77: 355-373.
- Długosz-Grochowska, O., Kołton, A., Wojciechowska, R., 2016. Modifying folate and polyphenol concentrations in Lamb's lettuce by the use of LED supplemental lighting during cultivation in greenhouses. *Journal of Functional Foods*, 26: 228-237.
- Genc, S., Soysal, M.İ., 2018. Parametric and nonparametric post hoc tests. *Black Sea Journal of Engineering and Science*, 1(1): 18-27.
- Goins, G.D., Yorio, N.C., Sanwo, M.M., Brown, C.S., 1997. Photomorphogenesis, photosynthesis, and seed yield of wheat plants grown under red light-emitting diodes LEDs with and without supplemental blue lighting. *Journal of Experimental Botany*, 48(312): 1407-141.
- Hangarter, R.P., Stasinopoulos, T.C., 1991. Repression of plant tissue culture growth by light is caused by photochemical change in the culture medium. *Elsevier Plant Science*, 79: 253-257.
- He, J., Qin, L., 2020. Growth and photosynthetic characteristics of sweet potato *Ipomoea batatas* leaves grown under natural sunlight with supplemental LED lighting in a tropical greenhouse. *Journal of Plant Physiology*, 252: 1-10.
- Hoenecke, M.E., Bula, R.J., Tibbitts, T.W., 1992. Importance of 'Blue' photon levels for lettuce seedlings grown under red-light-emitting diodes. *American Society for Horticultural Science*, 27(5): 427-430.
- Keselman H.J., Rogan J.C., 1977. The Tukey multiple comparison test: 1953-1976. *Psychological Bulletin*, 84(5): 1050-1056.
- Kim, S.J., Hahn, E.J., Heo, J.W., Paek, K.Y., 2004. Effects of LEDs on net photosynthetic rate, growth and leaf stomata of chrysanthemum plantlets *in vitro*. *Scientia Horticulturae*, 101: 143-151.
- Li, H., Guo, Y., Zhao, H., Wang, Y., Chow, D., 2021. Towards automated greenhouse: A state of the art review on greenhouse monitoring methods and Technologies based on internet of things. *Computers and Electronics in Agriculture*, 191.
- Massa, G.D., Kim, H., Wheeler, R.M., Mitchell, C.A., 2008. Plant productivity in response to LED lighting. *American Society for Horticultural Science*, 43(7): 1952-1956.

- SPSS: IBM Corp. Released, 2023. IBM SPSS Statistics for Windows, Version 29.0.2.0 Armonk, NY: IBM Corp
- Tanaka, M., Takamura, T., Watanabe, H., Endo, M., Yanagi, T., Okamoto, K., 1998. In vitro growth of Cymbidium plantlets cultured under superbright red and blue light-emitting diodes LEDs. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 73(1): 39-44.
- Taulavuori, E., Taulavuori, K., Holopainen, J.K., Julkunen-Tiitto, R., Acar, C., Dincer, I., 2017. Targeted use of LEDs in improvement of production efficiency through phytochemical enrichment. *Journal of Food and Agriculture*, 97(15): 5059-5064.
- Tekin, İ., Bilek, S.E., 2019. Extraction and stabilization of chlorophyll from plants. In *International Conference on Agriculture, Food, Veterinary and Pharmacy Sciences*, Proceedings Book V2, 16-18 April, Trabzon, Türkiye, p,172-180.
- Tripathy, B.C., Brown, C.S., 1995. Root-Shoot interaction in the greening of wheat seedlings grown under red light. *Plant Physiology*, 107: 407-41.
- Tukey, J., 1953. Multiple comparisons. *Journal of the American Statistical Association*, 48(263): 624-625.
- Xiaoying, L., Mingjuan, Y., Xiaodong, X., Abm, K., Atak, A., Caihong, Z., Dawei, L., 2022. Effect of light on growth and chlorophyll development in kiwifruit *ex vitro* and *in vitro*. *Scientia Horticulturae*, 291: 110599.
- Wang, N., Zhang, N., Wang, M., 2006. Wireless sensors in agriculture and food industry Recent development and future perspective. *Computers and Electronics in Agriculture*, 50: 1–14.
- Zar, J.H., 1999. Biostatistical analysis. ed. Princeton-Hall, New Jersey.
- Zhu, J., Zhang, YC., Yang, L.Y., Zhou, L., 2022. Effect of different LED-lighting quality conditions on growth and photosynthetic characteristics of saffron plants (*Crocus sativus* L.). *Photosynthetica*, 60: 497-507.

Atıf Şekli	Ekicioğlu Kuzeci, Z., Ateş, M.A., 2025. Farklı Işık Dalga Boylarının Mikrodenetleyici Kontrollü Serada Bitki Besin Kalitesine Etkisi. <i>ISPEC Tarım Bilimleri Dergisi</i> , 9(2): 319-330. DOI: https://doi.org/10.5281/zenodo.14970105 .
To Cite	Ekicioğlu Kuzeci, Z., Ateş, M.A., 2025. The Effect of Different Light Wavelengths on Plant Nutrient Quality in a Microcontroller-Controlled Greenhouse. <i>ISPEC Journal of Agricultural Sciences</i> , 9(2): 319-330. DOI: https://doi.org/10.5281/zenodo.14970105 .