

**ANKARA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**DOKTORA TEZİ**

**FARKLI DALGA BOYLU LED AYDINLATMA UYGULAMALARININ  
DOMATES (*Lycopersicon esculentum* L.) FİDELERİNİN GELİŞİMİ, KALİTE  
ÖZELLİKLERİ VE MİNERAL ELEMENT İÇERİKLERİNE ETKİLERİ**

**Tuğba KAYA**

**BAHÇE BİTKİLERİ ANABİLİM DALI**

**ANKARA  
2022**

**Her hakkı saklıdır**

## ÖZET

Doktora Tezi

### FARKLI DALGA BOYLU LED AYDINLATMA UYGULAMALARININ DOMATES (*Lycopersicon esculentum* L.) FİDELERİNİN GELİŞİMİ, KALİTE ÖZELLİKLERİ VE MİNERAL ELEMENT İÇERİKLERİNE ETKİLERİ

Tuğba KAYA

Ankara Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Bahçe Bitkileri Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Köksal DEMİR

Bu çalışmanın amacı, farklı dalga boylu LED aydınlatma uygulamalarının, domates fidesinin gelişimine, kalitesine ve besin maddesi içeriklerine etkilerini belirlemektir. Bu amaçla; Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Bahçe Bitkileri Bölümündeki iklim kabininde, 2 aşamalı deneme yürütülmüştür. I. aşamada domates fidelerine beyaz (B), kırmızı (K), mavi (M), Far-Red (FR), K+FR, M+FR, K+M ve K+M+FR LED ışık kombinasyonları, 230  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  ışık şiddetinde uygulanmıştır. II. Aşamada ise daha iyi gelişimin sağlandığı B, K, M, K+M ve K+M+FR ışık uygulamaları, 230 ve 300  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  olmak üzere 2 farklı ışık şiddeti uygulanarak gelişim farklılıkları tespit edilmiştir. Ayrıca I. aşamada gece ve gündüzü temsil edecek şekilde 12 saat gece/12 saat gündüz, 2. aşamada ise 8 saat gece/16 saat gündüz olacak şekilde aydınlatma yapılarak aydınlatma sürelerinin etkinliği de tespit edilmiştir. Fidelerde hem sürgün hem de köklerin yaş ve kuru ağırlığı ile boyu, gövde çapı, yaprak sayısı ve alanı, stoma sayısı, SÇKM, L/a/b değerleri, nispi klorofil, makro (N, P, K, Ca ve Mg) ve mikro (Fe, Zn, Cu ve Mn) besin maddesi içerikleri belirlenmiştir. Ayrıca bu parametreler ile sürgün/kök kuru ağırlık oranı, Sağlık Katsayısı, Dickson Kalite İndeksi, Bitki Kompaktlık İndeksi ve yaprak kütle alanı hesaplanmıştır. Denemeden elde edilen verilere göre, farklı dalga boyu aralığında ışık kaynaklarının tek tek uygulanmasından ziyade karışımlar halinde uygulanmasının daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. Kırmızı ışığın bitki boyunu, yaş ve kuru ağırlığı, gövde çapını, P ve K içeriklerini önemli düzeyde artırdığı ancak fidelerde meydana gelen boyca aşırı gelişimin yatmaya neden olduğu görülmüştür. Mavi ışığın, tek başına uygulandığında bitki gelişimini baskıladığı ve daha kısa boylu, ağırlıkça düşük fide gelişimine neden olduğu görülmüştür. FR uygulamasında ise bitkilerde yetersiz ışık koşullarında ortaya çıkan etiyolleşmeler tespit edilmiştir. Sonuç olarak, K+M ve K+M+FR uygulamalarında, fideler çoğu gelişim parametreleri ve besin maddesi içerikleri yönüyle fide kalitesi üzerine olumlu etkiler gösteren sonuçları vermiştir.

Eylül 2022, 118 sayfa

**Anahtar Kelimeler:** Fide, LED, mineral, kalite, domates

## ABSTRACT

Ph.D. Thesis

### EFFECTS OF DIFFERENT WAVELENGTH LED ILLUMINATION ON GROWTH, QUALITY PROPERTIES AND MINERAL NUTRIENT CONCENTRATIONS OF TOMATO (*Lycopersicon esculentum* L.) SEEDLINGS

Tuğba KAYA

Ankara University  
Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Department of Horticulture

Supervisor: Prof. Dr. Köksal DEMİR

The aim of this study is to determine the effects of different wavelength LED lighting applications and light intensity on the development, quality and the nutrient content of tomato seedlings. For this purpose, a two-stage experiment was carried out in a climate chamber in the Department of Horticulture, Faculty of Agriculture, University of Ankara. In the first stage, white (B), red (K), blue (M), Far-Red (FR), K+FR, M+FR, K+M and K+M+FR LED light combinations were applied to tomato seedlings while the intensity as  $230 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ . In the second stage, the spectrum of light was selected as B, K, M, K+M and K+M+FR. When compared the light spectrum, the better results were obtained in the first stage for the light intensity as 230 and  $300 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  respectively. On the other hand, in the first experiment, in order to be able to simulate the daytime and nighttime, the lighting period was selected as 12 hours of dark/12 hours of light, and in the second experiment, 8 hours of dark/16 hours of light. Fresh and dry weight of both shoots and roots length, stem diameter, leaf number and area, stomata number, water soluble solids, L/a/b values, relative chlorophyll, macro (N, P, K, Ca and Mg) and micro (Fe, Zn, Cu and Mn) nutrient contents were determined. In addition, shoot/root dry weight ratio, coefficient of strength, Dickson Quality Index, Plant Compactness Index and leaf mass area were calculated with these parameters. According to the data obtained from the trials, it has been seen that the application of light sources in different wavelength ranges gives better results rather than applying them individually. It was observed that red light significantly increased plant height, fresh and dry weight, stem diameter, P and K contents, but excessive growth in seedling height caused lodging. It has been observed that blue light, when applied alone, suppresses plant growth and causes shorter and low-weight seedlings. In FR treatment, the plants developed etiolated as well as under insufficient light conditions. In conclusion, the seedlings gave the best results in terms of many growth parameters and nutrient contents in K+M and K+M+FR treatments.

**September 2022, 118 pages**

**Key Words:** Seedling, LED, mineral, quality, tomato

## TEŞEKKÜR

Bana bu konuda çalışma olanağı sağlayan, doktora eğitim hayatım boyunca bilgi ve yardımları ile yanımda olan ve desteğini hiçbir zaman esirgemeyen, başarı ve bilgisi ile örnek aldığım danışmanım Sayın Prof. Dr. Köksal DEMİR'e, değerli görüş ve önerileri ile çalışmanın tasarlanması ve sonuçların değerlendirilmesi sırasında yardımlarını esirgemeyen Prof. Dr. Gölge SARIKAMIŞ, Prof. Dr. Hasan Hüseyin SİLLELİ, Prof. Dr. Nuray ÇÖMLEKÇİOĞLU ve Doç. Dr. Hakan BAŞAK'a, analizlerin yapılmasında laboratuvar ve ekipmanlar için desteğini esirgemeyen Prof. Dr. Nurdan TUNA GÜNEŞ ve Prof. Dr. Birhan KUNTER'e, tohumların tedarik edilmesinde ve denemenin kurulmasında yardımcı olan Başaran Sera'dan Tayfun AYDOĞAN ve Can DADAŞ'a, tezimin arazi ve laboratuvar çalışmalarında bana yardımcı olan başta Araş. Gör. Gamze ÇAKIRER SEYREK olmak üzere Abdelbagi Omer Mohamedali MOHAMEDELNOUR'a, Moustapha Maman MOUNIROU'ya, Zeynep HAVABULUT'a ve Büşra TAŞKIRAN'a, araştırmanın gerçekleştirilmesinden tezin hazırlanmasına kadar geçen her aşamada bana yol gösteren ve her zaman desteğini esirgemeyen eşim Emre Can KAYA'ya şükranlarımı sunarım.

Ayrıca çalışmalarım ve ömrüm boyunca maddi ve manevi desteğini hiçbir zaman esirgemeyen babam Muammer İLHAN, annem Ayşe İLHAN ve kardeşlerim Fatmagül İLHAN ile Murat İLHAN'a, varlığıyla hayatıma anlam katan kızım Aydan KAYA'ya ve ismini zikredemediğim üzerimde emeği olan herkese sevgi, saygı ve şükranlarımı sunarım.

Tuğba KAYA  
Ankara, Eylül 2022

## İÇİNDEKİLER

### TEZ ONAY SAYFASI

ETİK.....	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.
ÖZET.....	ii
ABSTRACT .....	iii
TEŞEKKÜR .....	iv
SİMGELER DİZİNİ .....	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	xi
1. GİRİŞ.....	1
2. KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ÖZETLERİ.....	7
2.1 Işık Kaynakları.....	9
2.2 Bitkisel Üretimde Işığın Etkileri.....	12
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	21
3.1 Denemenin Gerçekleştirildiği Ortam .....	21
3.2 Denemede Kullanılan LED Lambalar ve Özellikleri.....	22
3.3 Bitki Materyali .....	30
3.4 Denemenin Kurulması ve Yürütülmesi.....	31
3.4.1 Denemenin I. aşamasının kurulması ve yürütülmesi.....	31
3.4.2 Denemenin II. aşamasının kurulması ve yürütülmesi .....	35
3.5 Hasat Öncesi ve Sonrası Yapılan Ölçüm ve Analizler .....	36
3.5.1 Nispi klorofil .....	36
3.5.2 Sürgün yaş ve kuru ağırlığı .....	37
3.5.3 Kök yaş ve kuru ağırlığı .....	38
3.5.4 Sürgün / Kök Kuru Ağırlık Oranı.....	39
3.5.5 Sürgün ve Kök Boyu .....	39
3.5.6 Gövde Çapı .....	39
3.5.7 Sağlık Katsayısı.....	40
3.5.8 Dickson Kalite İndeksi (DKİ).....	40
3.5.9 Bitki Kompaktlık İndeksi.....	40

3.5.10 Yaprak Sayısı ve Alanı.....	40
3.5.11 Yaprak Kütle Alanı (YKA) .....	41
3.5.12 Stoma Sayısı.....	41
3.5.13 SÇKM (%).....	42
3.5.14 Renk tayini.....	43
3.5.15 Bitki örneklerinin mineral element analizlerine hazırlanması .....	43
3.5.16 Bitkide toplam P analizi.....	44
3.5.17 Bitkide toplam K, Ca, Mg analizleri .....	44
3.5.18 Bitkide toplam Fe, Zn, Cu, Mn analizleri .....	45
3.5.19 Bitkide toplam N analizi .....	45
3.6 İstatistik Analizler .....	46
4. ARAŞTIRMA BULGULARI .....	47
4.1 Nispi Klorofil .....	47
4.2 Sürgün Yaş ve Kuru Ağırlığı .....	49
4.3 Kök Yaş ve Kuru Ağırlığı.....	52
4.4 Sürgün / Kök Kuru Ağırlık Oranı.....	55
4.5 Sürgün ve Kök Boyu .....	57
4.6 Gövde Çapı ve Sağlamlık Katsayısı.....	61
4.7 Dickson Kalite İndeksi (DKİ).....	65
4.8 Bitki Kompaklık İndeksi (BKİ).....	67
4.9 Yaprak Sayısı ve Alanı.....	69
4.10 Yaprak Kütle Alanı (YKA) .....	73
4.11 Stoma Sayısı.....	75
4.12 SÇKM (%) .....	77
4.13 Renk Tayini .....	79
4.14 Bitkinin Toplam N, P ve K İçerikleri .....	83
4.15 Bitkinin Toplam Ca ve Mg İçerikleri.....	87
4.16 Bitkinin Toplam Fe, Zn, Cu, Mn İçerikleri .....	89
5. TARTIŞMA ve SONUÇ .....	94
KAYNAKLAR .....	100
ÖZGEÇMİŞ.....	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.

## SİMGELER DİZİNİ

B	Beyaz
Ca	Kalsiyum
Cu	Bakır
CO <sub>2</sub>	Karbondioksit
Fe	Demir
HPS	Yüksek basınçlı sodyum
K	Potasyum
LED	Işık yayan diyot
K	Kırmızı
K+FR	Kırmızı ve Far-Red
K+M	Kırmızı ve mavi
K+M+FR	Kırmızı, mavi ve Far-Red
M	Mavi
M+FR	Mavi ve Far-Red
Mg	Magnezyum
Mn	Mangan
N	Azot
P	Fosfor
PAR	Fotosentetik aktif radyasyon
PPFD	Fotosentetik foton akı yoğunluğu
Zn	Çinko

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1 Kontrol ünitesi, klima ve nemlendirme cihazı .....	21
Şekil 3.2 Deneme kabınının genel görünümü .....	22
Şekil 3.3 Raflarda LED lambaların yerleşim düzeni .....	23
Şekil 3.4 Par ve spektrum ölçümleri .....	23
Şekil 3.5 LED lambaların ölçüleri .....	24
Şekil 3.6 LED lambaların bölme içerisindeki konumu .....	24
Şekil 3.7 Beyaz LED Lambanın CIE1976 ve CIE1931 Değerleri.....	25
Şekil 3.8 Beyaz LED Lambanın PPFd ve Orijinal Spektrumu .....	25
Şekil 3.9 Kırmızı LED Lambanın CIE1976 ve CIE1931 Değerleri .....	25
Şekil 3.10 Kırmızı LED Lambanın PPFd ve Orijinal Spektrumu.....	26
Şekil 3.11 Mavi LED Lambanın CIE1976 ve CIE1931 Değerleri .....	26
Şekil 3.12 Mavi LED Lambanın PPFd ve Orijinal Spektrumu.....	26
Şekil 3.13 Kırmızı Ötesi LED Lambanın CIE1976 ve CIE1931 Değerleri.....	27
Şekil 3.14 Kırmızı Ötesi LED Lambanın PPFd ve Orijinal Spektrumu .....	27
Şekil 3.15 Kırmızı + Kırmızı Ötesi LED Lambanın CIE1976 ve CIE1931 Değerleri ...	27
Şekil 3.16 Kırmızı + Kırmızı Ötesi LED Lambanın PPFd ve Orijinal Spektrumu.....	28
Şekil 3.17 Mavi + Kırmızı Ötesi LED Lambanın CIE1976 ve CIE1931 Değerleri .....	28
Şekil 3.18 Mavi + Kırmızı Ötesi LED Lambanın PPFd ve Orijinal Spektrumu.....	28
Şekil 3.19 Kırmızı + Mavi LED Lambanın CIE1976 ve CIE1931 Değerleri.....	29
Şekil 3.20 Kırmızı + Mavi LED Lambanın PPFd ve Orijinal Spektrumu .....	29
Şekil 3.21 Kırmızı + Mavi + Kırmızı Ötesi LED Lambanın CIE1976 ve CIE1931 Değerleri .....	29
Şekil 3.22 Kırmızı + Mavi + Kırmızı Ötesi LED Lambanın PPFd ve Orijinal Spektrumu.....	30
Şekil 3.23 Denemede kullanılan tohum materyali .....	30
Şekil 3.24 Denemenin I. aşamasının görünümü.....	31
Şekil 3.25 Denemenin II. aşamasının görünümü .....	32
Şekil 3.26 Viyollerin torfla doldurulması ve tohum ekimi .....	32
Şekil 3.27 Tohum ekimi sonrası zeolitle kapak yapılması.....	33
Şekil 3.28 Tepsinin içindeki viyollerin genel görünümü .....	34
Şekil 3.29 Yetiştirme ortamına ve yaprağa su ve besin çözeltisi uygulaması .....	35
Şekil 3.30 Farklı ışık şiddeti uygulamalarının ayarlanması .....	36

Şekil 3.31 Spad Metre ile nispi klorofil belirlemesi .....	37
Şekil 3.32 Fidelerin sürgün yaş ve kuru ağırlıklarının belirlenmesi .....	38
Şekil 3.33 Fidelerin kök yaş ve kuru ağırlıklarının belirlenmesi .....	38
Şekil 3.34 Fidelerin sürgün ve kök boylarının ölçülmesi .....	39
Şekil 3.35 Fidelerin gövde çapının kumpas ile ölçülmesi .....	40
Şekil 3.36 Stomlardan kalıp çıkarılması ve mikroskopta sayılması .....	42
Şekil 3.37 Bitki özsuyunun çıkarılması ve SÇKM'nin belirlenmesi.....	42
Şekil 3.38 L, a, b Değerlerinin Belirlenmesi.....	43
Şekil 3.39 Spektrofotometre ile bitkide toplam P belirlemesi .....	44
Şekil 3.40 AAS ile bitkide toplam K, Ca, Mg, Fe, Zn, Cu ve Mn belirlemesi .....	45
Şekil 3.41 Kjeldahl metodu ile bitkide toplam N belirlemesi.....	46
Şekil 4.1 I. aşamada farklı ışık uygulamalarının bitkilerin nispi klorofiline etkisi.....	48
Şekil 4.2 II. aşamada farklı ışık ve ışık şiddeti uygulamalarının bitkilerin nispi klorofiline etkisi.....	49
Şekil 4.3 I. aşamada farklı ışık uygulamalarının sürgün yaş ağırlığına etkisi .....	50
Şekil 4.4 I. aşamada farklı ışık uygulamalarının sürgün kuru ağırlığına etkisi .....	50
Şekil 4.5 II. aşamada farklı ışık ve ışık şiddeti uygulamalarının sürgün yaş ağırlığına etkisi .....	51
Şekil 4.6 II. aşamada farklı ışık ve ışık şiddeti uygulamalarının sürgün kuru ağırlığına etkisi .....	52
Şekil 4.7 I. aşamada farklı ışık uygulamalarının kök yaş ağırlığına etkisi .....	53
Şekil 4.8 I. aşamada farklı ışık uygulamalarının kök kuru ağırlığına etkisi .....	53
Şekil 4.9 II. aşamada farklı ışık ve ışık şiddeti uygulamalarının kök yaş ağırlığına etkisi .....	54
Şekil 4.10 II. aşamada farklı ışık ve ışık şiddeti uygulamalarının kök kuru ağırlığına etkisi .....	55
Şekil 4.11 I. aşamada farklı ışık uygulamalarının sürgün/kök kuru ağırlık oranına etkisi .....	56
Şekil 4.12 II. aşamada farklı ışık ve ışık şiddeti uygulamalarının sürgün/kök kuru ağırlık oranına etkisi .....	57
Şekil 4.13 I. aşamada farklı ışık uygulamalarının sürgün boyuna etkisi .....	58
Şekil 4.14 II. aşamada farklı ışık ve ışık şiddeti uygulamalarının sürgün boyuna etkisi .....	59
Şekil 4.15 I. aşamada farklı ışık uygulamalarının kök boyuna etkisi .....	60
Şekil 4.16 II. aşamada farklı ışık ve ışık şiddeti uygulamalarının kök boyuna etkisi.....	61
Şekil 4.17 I. aşamada farklı ışık uygulamalarının gövde çapına etkisi.....	62
Şekil 4.18 II. aşamada farklı ışık ve ışık şiddeti uygulamalarının gövde çapına etkisi ..	63

Şekil 4.19 I. aşamada farklı ışık uygulamalarının sağlamlık katsayısına etkisi.....	64
Şekil 4.20 II. aşamada farklı ışık ve ışık şiddeti uygulamalarının sağlamlık katsayısına etkisi .....	65
Şekil 4.21 I. aşamada farklı ışık uygulamalarının dickson kalite indeksi'ne etkisi .....	66
Şekil 4.22 II. aşamada farklı ışık ve ışık şiddeti uygulamalarının dickson kalite indeksi'ne etkisi.....	67
Şekil 4.23 I. aşamada farklı ışık uygulamalarının bitki kompaktlık indeksi'ne etkisi....	68
Şekil 4.24 II. aşamada farklı ışık ve ışık şiddeti uygulamalarının bitki kompaktlık indeksi'ne etkisi.....	69
Şekil 4.25 I. aşamada farklı ışık uygulamalarının yaprak sayısına etkisi .....	70
Şekil 4.26 II. aşamada farklı ışık ve ışık şiddeti uygulamalarının yaprak sayısına etkisi .....	71
Şekil 4.27 I. aşamada farklı ışık uygulamalarının yaprak alanına etkisi.....	72
Şekil 4.28 II. aşamada farklı ışık ve ışık şiddeti uygulamalarının yaprak alanına etkisi	73
Şekil 4.29 I. aşamada farklı ışık uygulamalarının yaprak kütle alanına etkisi.....	74
Şekil 4.30 II. aşamada farklı ışık ve ışık şiddeti uygulamalarının yaprak kütle alanına etkisi .....	75
Şekil 4.31 I. aşamada farklı ışık uygulamalarının stoma sayısına etkisi.....	76
Şekil 4.32 II. aşamada farklı ışık ve ışık şiddeti uygulamalarının stoma sayısına etkisi	77
Şekil 4.33 I. Aşamada farklı ışık uygulamalarının SÇKM'ye etkisi.....	78
Şekil 4.34 II. aşamada farklı ışık ve ışık şiddeti uygulamalarının SÇKM'ye etkisi .....	79
Şekil 4.35 I. aşamada farklı ışık uygulamalarının L, a, b değerlerine etkisi.....	80
Şekil 4.36 II. aşamada farklı ışık ve ışık şiddeti uygulamalarının L, a, b değerlerine etkisi .....	82
Şekil 4.37 I. aşamada farklı ışık uygulamalarının N, P ve K içeriklerine etkisi .....	84
Şekil 4.38 II. aşamada farklı ışık ve ışık şiddeti uygulamalarının N, P ve K içeriklerine etkisi .....	86
Şekil 4.39 I. aşamada farklı ışık uygulamalarının Ca ve Mg içeriklerine etkisi .....	88
Şekil 4.40 II. aşamada farklı ışık ve ışık şiddeti uygulamalarının Ca ve Mg içeriklerine etkisi .....	89
Şekil 4.41 I. aşamada farklı ışık uygulamalarının Fe, Zn, Cu ve Mn içeriklerine etkisi	91
Şekil 4.42 II. aşamada farklı ışık ve ışık şiddeti uygulamalarının Fe, Zn, Cu ve Mn içeriklerine etkisi .....	93

## ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 4.1 I. aşamada farklı ışık uygulamalarının bitkilerin nispi klorofiline etkisi.....	47
Çizelge 4.2 II. aşamada farklı ışık ve ışık şiddeti uygulamalarının bitkilerin nispi klorofiline etkisi .....	48
Çizelge 4.3 I. denemede farklı ışık uygulamalarının sürgün yaş ağırlığına etkisi .....	49
Çizelge 4.4 II. aşamada farklı ışık ve ışık şiddeti uygulamalarının sürgün yaş ve kuru ağırlığına etkisi .....	51
Çizelge 4.5 I. aşamada farklı ışık uygulamalarının kök yaş ve kuru ağırlığına etkisi ....	52
Çizelge 4.6 II. aşamada farklı ışık ve ışık şiddeti uygulamalarının kök yaş ve kuru ağırlığına etkisi .....	54
Çizelge 4.7 I. aşamada farklı ışık uygulamalarının sürgün/kök kuru ağırlık oranına etkisi .....	56
Çizelge 4.8 II. aşamada farklı ışık ve ışık şiddeti uygulamalarının sürgün/kök kuru ağırlık oranına etkisi .....	56
Çizelge 4.9 I. aşamada farklı ışık uygulamalarının sürgün boyuna etkisi .....	57
Çizelge 4.10 II. aşamada farklı ışık ve ışık şiddeti uygulamalarının sürgün boyuna etkisi .....	58
Çizelge 4.11 I. aşamada farklı ışık uygulamalarının kök boyuna etkisi .....	59
Çizelge 4.12 II. aşamada farklı ışık ve ışık şiddeti uygulamalarının kök boyuna etkisi ..	60
Çizelge 4.13 I. aşamada farklı ışık uygulamalarının gövde çapına etkisi .....	61
Çizelge 4.14 II. aşamada farklı ışık ve ışık şiddeti uygulamalarının gövde çapına etkisi ..	62
Çizelge 4.15 I. aşamada farklı ışık uygulamalarının sağlamlık katsayısına etkisi.....	63
Çizelge 4.16 II. aşamada farklı ışık ve ışık şiddeti uygulamalarının sağlamlık katsayısına etkisi .....	64
Çizelge 4.17 I. aşamada farklı ışık uygulamalarının Dickson Kalite İndeksi'ne etkisi ..	65
Çizelge 4.18 II. aşamada farklı ışık ve ışık şiddeti uygulamalarının Dickson Kalite İndeksi'ne etkisi .....	66
Çizelge 4.19 I. aşamada farklı ışık uygulamalarının Bitki Kompaktlık İndeksi'ne etkisi .....	67
Çizelge 4.20 II. aşamada farklı ışık ve ışık şiddeti uygulamalarının Bitki Kompaktlık İndeksi'ne etkisi .....	68
Çizelge 4.21 I. aşamada farklı ışık uygulamalarının yaprak sayısına etkisi .....	69
Çizelge 4.22 II. aşamada farklı ışık ve ışık şiddeti uygulamalarının yaprak sayısına etkisi.....	70

Çizelge 4.23 I. aşamada farklı ışık uygulamalarının yaprak alanına etkisi.....	71
Çizelge 4.24 II. aşamada farklı ışık ve ışık şiddeti uygulamalarının yaprak alanına etkisi.....	72
Çizelge 4.25 I. aşamada farklı ışık uygulamalarının yaprak kütle alanına etkisi.....	73
Çizelge 4.26 II. aşamada farklı ışık ve ışık şiddeti uygulamalarının yaprak kütle alanına etkisi.....	74
Çizelge 4.27 I. aşamada farklı ışık uygulamalarının stoma sayısına etkisi.....	75
Çizelge 4.28 II. aşamada farklı ışık ve ışık şiddeti uygulamalarının stoma sayısına etkisi .....	76
Çizelge 4.29 I. aşamada farklı ışık uygulamalarının SÇKM'ye etkisi.....	77
Çizelge 4.30 II. aşamada farklı ışık ve ışık şiddeti uygulamalarının SÇKM'ye etkisi ...	78
Çizelge 4.31 I. aşamada farklı ışık uygulamalarının L, a, b değerlerine etkisi .....	79
Çizelge 4.32 II. aşamada farklı ışık ve ışık şiddeti uygulamalarının L, a, b değerlerine etkisi.....	81
Çizelge 4.33 I. aşamada farklı ışık uygulamalarının N, P ve K içeriklerine etkisi .....	83
Çizelge 4.34 II. aşamada farklı ışık ve ışık şiddeti uygulamalarının N, P ve K içeriklerine etkisi.....	85
Çizelge 4.35 I. aşamada farklı ışık uygulamalarının Ca ve Mg içeriklerine etkisi .....	87
Çizelge 4.36 II. aşamada farklı ışık ve ışık şiddeti uygulamalarının Ca ve Mg içeriklerine etkisi.....	88
Çizelge 4.37 I. aşamada farklı ışık uygulamalarının Fe, Zn, Cu ve Mn içeriklerine etkisi .....	90
Çizelge 4.38 II. aşamada farklı ışık ve ışık şiddeti uygulamalarının Fe, Zn, Cu ve Mn içeriklerine etkisi.....	92

## 1. GİRİŞ

Dünya nüfusu son 50 yılda yaklaşık %120 artarken tarım alanları sadece %8 artış göstermiştir (Anonymous 2016a). Bu durum birim alandan daha fazla ürün alınması zorunluluğunu ortaya koymaktadır. Artan Dünya nüfusunun gıda ihtiyaçlarının karşılanması amacıyla her geçen gün daha ekonomik ve aynı zamanda çevreci yeni çözümler ve teknolojiler araştırılmaktadır. Kontrollü ortamlarda gerçekleştirilen yetiştiricilik bu konuda önde gelen yöntemlerden biridir.

Diğer taraftan tarımsal üretimde verim ve kaliteyi belirleyen en önemli değişkenlerden birisi de iklim koşullarının düzenlenebilmesidir. Kontrollü ortamlarda bitkilerin ihtiyaç duyduğu sıcaklık, nem, ışıklenme süresi ve ışık şiddeti gibi değişkenler verim ve kaliteye doğrudan etki etmektedir. O nedenler kontrollü ortamlarda üretimin önemi günden güne artmaktadır. Birim alandan yüksek verim alınması, uygun enerji kaynaklarının olduğu soğuk bölgelerde üretimin yapılabilmesi ve yılın her döneminde çiftçiler ve tarım işçileri için düzenli bir gelir kaynağı olması nedeniyle örtüaltı üretim alanları sürekli artmaktadır.

Dünya’da seracılığın ilk örneklerinin, Romalılar zamanında kazılan çukurların üzerine şeffaf örtülerin örtülmesi şeklinde olduğu bilinmektedir. Daha sonra Kuzey Avrupa ülkelerindeki insanların Akdeniz meyve ve sebzelerini tatması ve yetiştirmek istemesi sonucu İngiltere, Hollanda, Danimarka ve Almanya’da seracılık faaliyetleri görülmeye başlanmıştır. Modern seracılığın ise ilk olarak Amerika’da 18. yüzyılın sonlarına doğru görüldüğü rapor edilmiştir. Dünya’da seracılık anlamında 36-42. enlemler arasında yer alan ülkelerin iklim özellikleri nedeniyle daha avantajlı olduğu bilinmektedir. Daha sıcak bölgelerde soğutma sistemleri, daha soğuk bölgelerde ise ısıtma ve aydınlatma giderlerinin yüksek olması maliyeti artıran olumsuz faktörler olarak ortaya çıkmaktadır (Sevgican 1999). Hava sıcaklığının çok düştüğü bölgelerde seracılığın ekonomik olarak yapılabilirliği, %60’a varan ısıtma giderleri nedeniyle zorlaşmaktadır.

Jeolojik konumunun sağladığı avantajlar sonucunda Türkiye, seracılık bakımından Dünya’da 4., Akdeniz ülkeleri içerisinde ise İspanya’dan sonra 2. sırada yer almaktadır. Türkiye’de seracılık 1940’lı yıllarda Antalya yöresinde başlamış olup 1960’lı yıllara

kadar gelişimi oldukça yavaş seyretmiştir. Bundan sonra plastik örtü kullanımının yaygınlaşmasıyla seracılık sektöründeki gelişim önemli bir ivme kazanmıştır (Macit 1984, Ölez 1986). Türkiye’de 2011 yılında 51 ilde örtüaltı tarımı yapılırken 2016 yılında bu rakam 71’e yükselmiştir. Çoğunlukla aile işletmesi ve ortakçılık şeklinde yapılagelen ülkemiz örtüaltı tarım sektöründe alanların %76’lık bölümü 3 dekar ve altında kalan işletmelerden oluşmaktadır.

Ülkemizde ilk başlarda sadece Yalova’dan Mersin’e kadar olan sahil şeridinde seracılık yapılırken jeotermal enerji kaynaklarının kullanıma başlamasıyla Afyon, Ağrı, Aksaray, Aydın, Denizli, Manisa, Nevşehir, İzmir, Kütahya, Yozgat, Kırşehir ve Şanlıurfa gibi iç bölgelerde de örtüaltı üretim yaygınlaşmıştır (Sevgican 1999, Anonim 2017a). Jeotermal kaynaklar bakımından çok zengin olan ülkemiz, jeotermal enerji bakımından Dünya’da 7. sırada yer alırken Avrupa’da 1. sırada yer almaktadır. 2016 yılı itibariyle modern sera olarak adlandırılabilmiş 4000 da jeotermal ısıtmalı örtüaltı üretim alanının bulunduğu bildirilmiştir (Anonim 2017b).

Türkiye’de 2021 yılında toplam 824.600 dekar alanda örtüaltı üretim miktarı 9.7 milyon ton olmuştur. Bunun yaklaşık %90’ını sebzeler, %10’unu meyveler oluşturmaktadır. Toplam sebze üretiminin de yaklaşık %50’sini domates oluşturmaktadır (Anonim 2021).

Son yıllarda aşırı iklim koşulları ve küresel ısınmadaki artış eğilimi ile çiftçiler, dünyada ışık ve sıcaklık dahil çevresel koşulların düzenlenebildiği kontrollü ortamlarda yetiştiriciliği giderek daha fazla benimsemektedir. Güneş ışığının yapay aydınlatma ile değiştirildiği kontrollü kapalı alan yetiştiriciliği, modern tarımın geleceği olarak önerilmektedir. Kapalı alan yetiştiriciliğinin en önemli avantajları; arazi temizliğine gerek olmaması, bitki gelişim parametrelerinin kontrol altında olması ve yıl boyunca yetiştiricilik yapılabilmesidir. Ayrıca hassas koşullar nedeniyle ölçülebilirlik ve izlenebilirlik yönünden de avantaj sağlamaktadır. Koşulların kontrollü olması ve nitelikli personel gerektirmesi de verimliliğin yüksek olmasını sağlamaktadır. Günümüzde kapalı alanda genel olarak 5 çeşit yetiştiricilik yapılmaktadır. Bunlar,

yaprağı yenen sebzeler, domates, tıbbi ve aromatik bitkiler, çiçekler ve mikro yeşilliklerdir (Wong vd. 2020).

Kapalı alan yetiştiriciliğinin başarılı bir şekilde yapılabilmesi için temel bileşenlerinin tam olarak bilinmesi gerekmektedir. Bu bileşenlerden başlıcaları ışık, su, CO<sub>2</sub>, elektrik ve bitki beslemedir. Sera yetiştiriciliğiyle karşılaştırıldığında su, CO<sub>2</sub> ve ışık enerjisi kullanım etkinliği kapalı alan yetiştiricilik sistemlerinde oldukça yüksektir. Ayrıca yetiştiricilik seralar gibi sadece sınırlı bölgelere değil her yere uygulanabilir (Kozai and Niu 2016).

Bitkisel üretimde en önemli girdilerden birisi de nitelikli ve kaliteli fide kullanımınıdır. Doğru çeşit seçimi ve kaliteli fide kullanımı, ürün miktarı ve kalitesiyle birlikte ürünlerin pazarda rekabet şansını da artırmaktadır. Özellikle girdi maliyetinin yüksek olduğu örtüaltı üretim sistemlerinde, kaliteli tohum ve fide kullanmak daha fazla önem taşımaktadır. Domates, biber, patlıcan, pırasa, kereviz, lahana, karnabahar, brokoli, marul, kabak, kavun, karpuz, hıyar ve fasulye gibi türlerin yetiştiriciliğinde fide kullanımı önemli avantajlar sağlamaktadır. Sebze üreticiliğinde araziden, tohumdan, enerjiden tasarruf etmek ve homojen bir üretim yapmak için üreticiler tarafından tohum yerine fide kullanımı tercih edilmektedir (Demir 2007).

Ülkemizde 1990'lı yıllara kadar üreticiler kendi fidelerini kendileri üretmiş ve profesyonel anlamda fidecilik gelişmemiştir. O dönemlerde ortam koşullarının yeteri kadar kontrol edilememesi sonucu standart fideler kullanılmadığı için ürün miktarı ve kalitesinde kayıplar meydana gelmekteydi. Teknolojinin ilerlemeye başlamasıyla fideler tahta kasalar, polietilen plastik torbalar, tüpler ve köpük bardaklar yerine seralarda viyollerde üretilmeye başlanmıştır (Balkaya vd. 2015). Fide yetiştirme ortamının ve kullanılan harçların dezenfekte edilmesiyle toprak kaynaklı hastalıkların yayılmasının kısmen engellendiği belirtilmiştir (Uzun vd. 2007). Ayrıca hazır fide sektöründe hibrit tohumların kullanılmaya başlanmasıyla güçlü kök sistemine sahip fideler elde edilmiş ve araziye şaşırtılan bütün fidelerin tuttuğu görülmüştür. 1994 yılında ilk modern fide üretim işletmesi Antalya'da kurulmuş, 2000'li yıllarda ise yaygınlaşmıştır (Demir vd. 2010). Fidebirlik'in 2012 kayıtlarına göre ülkemizde fide üretiminin 3.2 milyar olduğu

(Yelboğa 2014), Yanmaz vd. (2015) tarafından ise 3.5 milyar olduğu belirtilmiştir. Aradaki farklılığın kayıtsız üretimden kaynaklandığı düşünülmektedir. 2013 yılı verilerine göre en fazla üretilen fide miktarlarımız sırasıyla domates (%43.6), marul (%12.3), biber (%10.4), lahanagiller (%8.8), hıyar (%5.9), patlıcan (%3.3), karpuz (%2.5), kavun (%1.7), kabak (%0.4) ve diğer (%11.1) fidelerden oluşmaktadır (Anonim 2015). Ülkemizde örtüaltı sebze üreticilerinin tamamı hazır fide kullanırken, açıkta sebze yetiştiren üreticilerin %30'u hala fidesini kendi üretmektedir (Yelboğa 2014). Modern seralarda ısıtma, sulama, havalandırma, bitki besleme, hastalık ve zararlılarla mücadelenin uygun şekilde yapılması, homojen ve kaliteli fide üretimini artırmıştır.

Günümüzde ileri teknolojiye sahip seralar ısıtma, çift havalandırma, soğutma, karbondioksit gübrelemesi, yapay aydınlatma, otomatik sulama sistemi, veri ve analiz yöntemi altyapıları bulunan işletmeler olarak tanımlanmaktadır (Anonim 2017b). Bu altyapıya sahip seralar sayesinde detaylı bir üretim planlaması yapılabilmekte ve maksimum ürün alınabilmektedir. Özellikle örtüaltı üretimde başı çeken domates yetiştiriciliğinin yılın her mevsiminde yapılması, bu ileri teknolojiye sahip seralarda uzun gün şartlarının gelişmiş aydınlatma ve ısıtma yöntemleriyle başarıyla oluşturularak gerçekleştirilmektedir.

Işık ve sıcaklık, bitkilerin gelişimi için hayati öneme sahip iki değişkendir. Bitkilerde biyokütle oluşumu ve ürün verimi için her iki koşul da son derece önemlidir (Janda vd. 2014, Zoratti vd. 2014). Bitkiler ışığın şiddetine ve kalitesine duyarlıdır. Enerji ve gıdaların elde edilmesinde temel mekanizma olan fotosentez, ışık tarafından gerçekleştirilmektedir. Klorofil molekülü temelde kırmızı, mavi ve yeşil dalga boylarında ışık ile az da olsa turuncu ve sarı ışığı absorbe edebilme özelliğindedir. Kırmızı ışığın fotosentetik organların gelişiminde ve fitokrom sistem tarafından düzenlenen morfolojik olaylar üzerinde etkili olduğu, mavi ışığın ise stomaların açılıp kapanma mekanizması, bitki boyu ve klorofil biyosentezi üzerine etkili olduğu bilinmektedir (Urbonaviciute vd. 2007, Jao vd. 2005, Heo vd. 2002). Folta (2004) ile Kim vd. (2004a), yeşil ışığın yalnızca bitki fizyolojisini ve morfolojisini etkilemediğini aynı zamanda stomatal iletkenlik ve bitki gelişimini de etkilediğini belirtmişlerdir.

Deitzer vd. (1979) ise Far-Red ışığın uzun gün bitkilerinde çiçeklenmeyi teşvik ettiğini ortaya koymuştur.

Örtüaltı üretimde yaygın olarak kullanılan aydınlatma kaynakları başlıca yüksek basınçlı sodyum lambaları (HPS), akkor lambalar, floresan lambalar ve metal halide lambalardır (Kim vd. 2004b). Ancak bu ışık kaynakları bitkilerin ihtiyaç duymadığı dalga boylarını da içermiş çok geniş bir spektrumda ışık vermekte ve enerji tüketimi yüksek olmaktadır (Gupta ve Jatothu 2013). Örneğin taşınabilir floresan lambalar çok düşük miktarda Far-Red ışık yaymakta ve bu durum bazı uzun gün bitkilerinde çiçeklenmeyi geciktirmektedir. HPS lambaları tüm görünür dalga boylarında ışık yaymasının yanında bir miktar kızılötesi ışık da yayar ancak enerji tüketimi çok fazladır. Ayrıca bu ışık kaynakları çok fazla sıcaklık ürettiği için bitkiler ışık kaynağına yakın olacak şekilde yerleştirilememektedir. Bu olumsuzluklar enerji kullanımını düşük, dalga boyu ve ışık şiddeti ayarlanabilen yeni nesil ışık kaynaklarının gerekliliğini ortaya koymaktadır. Bu sayede uygun aydınlatma ile ürün kalitesi ve miktarının artırılması, aynı zamanda üretim maliyetlerinin azaltılması sağlanmıştır (Rehman vd. 2017).

Işık yayan diyot (LED) lambalar, farklı fazda ve dar bir spektrumda ışık üretebilen, katı halde, yarı iletken ve enerji verimliliği yüksek lambalar olarak tanımlanmaktadır (Bourget 2008). Dar bir spektrumda aydınlatma yapabilen, küçük boyutlu, dayanıklı, uzun ömürlü ve daha az ısı yayan LED lambaların keşfiyle, seracılık sektöründe diğer ışık kaynaklarına önemli bir alternatif elde edilmiştir (Mitchell vd. 2012). LED lambalar 250-1000 nm arasında ışık yayabilmekte ve özellikle uzun ömürlü ve enerjiyi etkin kullanabilmesi yönüyle önem taşımaktadır (Bourget 2008). Bu ışık kaynağının kullanımıyla bitkilerin fotoreseptörleriyle eşleşen dalga boylarında aydınlatma yapılmakta ve böylece bitki morfolojisi ile ürün miktarı olumlu etkilenmektedir (Morrow 2008). LED lambalarla uygun dalga boyunda aydınlatma sağlanması, özellikle alan sıkıntısı olan yerlerde bitki yetiştiriciliği için büyük avantaj sağlamaktadır (Nhut ve Nam 2010).

Bu çalışmada, ülkemizde en fazla üretimi yapılan domates fidelerine LED aydınlatma teknolojisıyla farklı dalga boyu karışımlarının uygulanmasıyla domates fide kalitesi ve gelişim parametrelerinde meydana gelen değişimler belirlenmiştir.



## 2. KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ÖZETLERİ

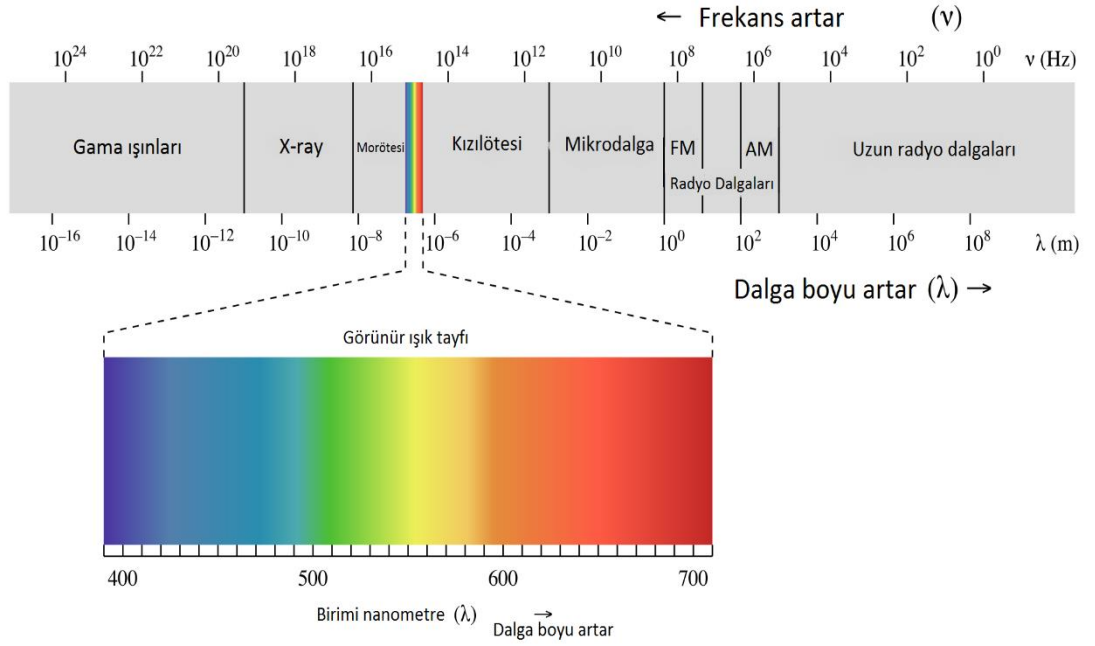
Bitki gelişimi için en önemli faktörlerden birisi ışıktır. Işığın bitki gelişimine etkisi yoğunluğuna ve şiddetine, ışıklanma süresine ve spektral özelliğine bağlıdır (Mawphlang ve Kharshiing 2017). Işık, bitkilerin hem farklı morfolojik özelliklerini etkiler hem de sinyal mekanizmaları üzerine farklı şekillerde harekete geçirici ya da durdurucu etkilere sahiptir (Jones 2017).

Görülebilir ışık dalga boylarına göre;

- Mor (380–440 nm),
- Mavi (440–485 nm),
- Camgöbeği (485–500 nm),
- Yeşil (500–565 nm)
- Sarı (565–590 nm),
- Turuncu (590–625 nm),
- Kırmızı (625–700 nm) ve
- Far-Red (700–750 nm) şeklinde sınıflandırılmaktadır (Mawphlang ve Kharshiing 2017, Şekil 2.1).

Diğer bir sınıflandırmada ise daha basit bir ayırım yapılmış ve ışık;

- Mor ötesi (320–400 nm),
- Mavi (400–500 nm),
- Yeşil (500–600 nm),
- Kırmızı (600–700 nm) ve
- Far-Red (700–800 nm) olarak sınıflandırılmıştır (Battle ve Jones 2019).



Şekil 2.1 Elektromanyetik ışık tayfi

Işığın bitki gelişimini ve morfolojisini önemli düzeyde etkilediği bilinmektedir (Avercheva vd. 2014, Lee vd. 2016, Rehman vd. 2017). Ancak doğal koşullar altında bulutlar, yağmur vb. hava koşulları nedeniyle bitkiler ihtiyaç duyduğu güneş ışığını yeteri kadar alamamaktadır. Bu nedenle yapay ışık kaynaklarıyla kontrollü koşullarda, yüksek verim ve kaliteye sahip ürünler elde edilmeye çalışılmaktadır (Manivannan vd. 2015, Wang vd. 2016a).

Dünya'da yaşamın temel süreçlerinden biri olan fotosentez, Güneş'ten gelen solar radyasyon ile gerçekleşir. Bu radyasyonun %26-64'ü görünür ışık spektrumuna düşmekte ve fotosentetik aktif radyasyon (PAR) olarak isimlendirilmektedir. Bitkilerin yeşil dokuları, PAR'ı yaşam için gerekli olan oksijen ve gıdaya dönüştürür (Trejo-Tellez vd. 2019). Günümüzde yapraklar, PAR'ı etkin şekilde kullanabilen karışık optik sistemler olarak tanımlanmaktadır (Olmos ve Kargul 2015).

Tek renkli LED ışıkların icadıyla bitkilerin farklı dalga boylarında ışığa verdiği tepkiler daha net anlaşılmaya başlamıştır. Teknolojinin gelişimine bağlı olarak çok renkli ışıkların kullanılması ve bu ışık kaynaklarının hem destekleyici hem de ana ışık kaynağı olarak kullanılması seracılık ve iklimlendirme kabininde yetiştiricilik için önemli

gelişmeler sağlamıştır. LED lambalar, hem ışığın dalga boyu ve farklı kombinasyonları ayarlanabildiği hem de enerji tüketimi yönünden oldukça başarılı olduğu için akkor lambalar, floresan lambalar ve yüksek basınçlı sodyum lambalarının yerini almaktadır (Gomez ve Izzo 2018).

## 2.1 Işık Kaynakları

Stomatal iletkenliğin, kırmızı ve mavi ışıkların beraber uygulandığı duruma kıyasla tek başına uygulandığı durumda daha fazla arttığı ortaya konulmuştur (Assmann 1988).

Yüksek frekansı ve düşük dalga boyu nedeniyle mavi ışığın enerjisinin kırmızı ışığa göre daha fazla olduğu bilinmektedir. Bu nedenle mavi ışığın üretimi kırmızı ışığa göre daha maliyetlidir. Üreticiler tarafından mavi ve kırmızı ışığın seçilmesinin temel nedeninin, bu renklerin bitki klorofilleri tarafından etkin bir şekilde absorbe edilmesi olduğu belirtilmiştir. Ayrıca kırmızı ışığın, LED üretim teknolojisinde enerji bakımından en etkin dalga boyu olduğu ortaya konulmuştur. Hem mavi (420-450 nm) hem kırmızı (600-700 nm) ışıkların klorofil a (430-665 nm) ve b (453-642 nm) tarafından önemli düzeyde absorbe edildiği bilinmektedir (Sager ve McFarlane 1997).

Kırmızı LED lambaların spektral bileşimi, yüksek bitkilerin kloroplastlarında bulunan klorofil a ve b'nin kırmızı soğurma alanıyla eşleşmektedir ancak mavi ışığın tamamlayıcı etkiye sahip olduğu da bilinmektedir (Schoefs 2002).

Bitkilerde mavi ışık reseptörleri olan phot1 ve phot2'nin bir fonksiyonu olarak mavi ışık uygulamasıyla stomatal iletkenliğin arttığı belirtilmiştir (Doi vd. 2004).

HPS lambaları hem uygun ışık spektrumunu elde etmek hem de enerji maliyeti yönünden olumsuzluk teşkil etmektedir. HPS lambaları ağırlıklı olarak sarı-turuncu bölgedeki dalga boyunda ışık yaymaktadır. Ayrıca bu lambalar çok az düzeyde kırmızı (550-650 nm) ve %5 düzeyinde mavi (400-500 nm) ışık içermektedir. Bu nedenle HPS lambalarının, mavi ışık dalga boylarını ve diğer bazı fotosentetik aktif dalga boylarını yeteri kadar içermediğinden ışık kalitesi olarak etkin bir ışık kaynağı olmadığı belirtilmiştir (Marcelis vd. 2006).

Kırmızı ışık tarafından stomaların açılma mekanizmasının 2 yolla gerçekleştiği belirtilmektedir. Bunlardan ilkinin hücreler arası CO<sub>2</sub> içeriğinin artmasına bağlı olarak bekçi hücrelerin devreye girmesi, ikincisinin ise bekçi hücre kloroplastlarının kırmızı ışığa direk tepki vermesi olduğu rapor edilmiştir (Roelfsema ve Hedrich 2005, Shimazaki vd. 2007).

Ticari uygulamalarda sera bitkilerine, günlük ışıklandırma süresi (fotoperiyod) 16-20 saat ve ışık yoğunluğu 100-200  $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$  olacak şekilde ışık uygulanmaktadır. Ancak ışıklandırmanın son derece kısıtlı olduğu İskandinav ülkelerinin kuzeyinde domates yetiştiriciliğinde 300-500  $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$  ışık yoğunluğu uygulanmaktadır. Seralarda yaygın olarak yüksek basınçlı sodyum (HPS) lambaları kullanılmaktadır. Bunun temel sebebi enerjiyi fotosentetik aktif radyasyona dönüştürme yani proton etkinliğinin (1.9  $\mu\text{mol m}^{-2}\text{W}^{-1}$ ) yüksek olmasıdır (van Ieperen ve Trouwborst 2008).

LED lambalar, ultraviyolede kızılötesine kadar değişen dalga boyunda, dar bir spektrumda aydınlatma yapabilen, dayanıklı ve uzun ömürlü ışık kaynakları olarak tanımlanmaktadır. Enerji tüketimi, ayarlanabilir dalga boyu ve ışık yoğunluğu gibi avantajları nedeniyle LED lambalar öne çıkmaktadır. LED lambaların ışık dağılımlarının HPS lambalara eşit ya da daha fazla ışık dağılımı göstermesi nedeniyle ticari olarak daha kullanışlı olduğu belirtilmiştir. Seralarda LED lambaların kullanımı arttıkça üretim maliyeti kademeli olarak düşmektedir. Bu da seralarda LED ışık kullanımının geliştirilmesini hedefleyen bilimsel araştırmaların yaygınlaşmasını sağlamaktadır (Folta ve Childers 2008).

Uzun süre mavi ışığa maruz kalan bitkilerin stomatal karakterinin değiştiği, stoma uzunluğu, genişliği ve yoğunluğunun artışına bağlı olarak stomatal iletkenliğin artış gösterdiği belirtilmiştir (Boccalandro vd. 2012, Savvides vd. 2012).

Stomaların açılmasının hem kırmızı hem de mavi ışık tarafından farklı mekanizmalarla uyarıldığı bilinmektedir. Fotosentetik foton akı yoğunluğu (PPFD), fotosentezde kullanılan 400-700 nm dalga boyundaki fotonların miktarını ifade etmektedir. Düşük PPFD seviyelerinde (15  $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ) mavi ışığın stomaların açılmasını sağladığı ancak kırmızı ışığın stomalar üzerine herhangi bir etkisinin olmadığı belirtilmiştir. Yüksek

PPFD seviyelerinde de benzer şekilde mavi ışığın kırmızıya göre nispeten stomaların açılmasını daha fazla uyardığı ve dolayısıyla bu mekanizmanın mavi ışığa daha hassas olduğu tespit edilmiştir (Ouzounis vd. 2014).

LED aydınlatma kaynakları, HPS lambalarla karşılaştırıldığında daha az ısı yaymaktadır. Seraların iç sıcaklığının kontrol altında tutulması, ısıtma sistemleri ve ısı radyasyonunun birlikte etkisine bağlı olarak değişmektedir. HPS lambaların kullanımı yaprak kanopi sıcaklığını artırması nedeniyle olumsuz etki yaratmaktadır. Ayrıca HPS lambalar ile aydınlatma yapılan seralarda ışıkların açılıp kapanması, yaprak sıcaklığının ani değişimlere uğramasına ve ısı radyasyonunda dalgalanma olmasına neden olmaktadır. Bu da sıcaklığın ayarlanması ve nem kontrolünde havalandırma, ısıtma gibi ilave uygulamaların yapılması gereksinimine yol açmaktadır. Düşük yaprak sıcaklığı gereksinimi duyan bitkilerin yetiştiriciliğinde, daha az ısı yayan, sıcaklık dalgalanmalarını azaltan ve daha iyi nem kontrolü sağlayan LED lambaların kullanımı önem teşkil etmektedir (Ouzounis vd. 2015).

Işık uygulamalarının farklı gelişim dönemlerinde farklı etkiler yarattığına işaret eden çalışmalar da mevcuttur (Hoffmann vd. 2015, Simlat vd. 2016). Bu çalışmada, kırmızı ve mavi ışık uygulamalarına, Far-Red ışık uygulamaları eklenerek tek tek ya da farklı kombinasyonlarda LED ışık uygulamalarının domates fidelerinin gelişimine etkileri araştırılmıştır.

Güneş ışığı spektrumu; ultraviyole, görünür ışık ve kızılötesi olmak üzere üç kısımdan oluşmaktadır. Ancak bu spektrumun yalnızca bir kısmı bitkiler tarafından fotosentezde kullanılabilen ve fotosentezde etkili olan bu spektrum "PAR-ışığı = Fotosentetik Aktif Radyasyon (400-700 nm)" olarak isimlendirilmektedir (Anonymous 2016).

Düşük güç tüketimi ve düşük ısı yayma özelliği ile yüksek ışık etkinliğine sahip çevre dostu LED lambaların kullanımı, tarımsal açıdan önemli gelişmelerden biridir (Gupta ve Sahoo 2015). Farklı renklerde kullanılan LED lambalar bitkilerde farklı morfolojik etkilere neden olmaktadır. Bu konuda yapılan çalışmaların çoğu mavi ve kırmızı ışıkla aydınlatmaya yönelmiştir (Li vd. 2017).

Tükenmez bir ışık kaynağı olan güneş ışığına ek olarak günümüzde yapay ışık kaynaklarının kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır. Güneş ışığı en ucuz enerji kaynağı olmasına rağmen özellikle tarımsal üretimde her zaman yeterli olmamaktadır. Bu nedenle ışık kaynağının yetersiz olduğu koşullarda ve yapay üretim yerlerinde yapay ışık kaynaklarının kullanımı büyük önem taşımaktadır. Örtü altı yetiştiriciliği, kapalı alanlarda yetiştiricilik ve doku kültürü çalışmalarında da yapay ışık kaynaklarının kullanımı giderek artmakta ve büyük önem arz etmektedir. Bu nedenle ek aydınlatma kaynaklarının kullanımı daha profesyonel yaklaşımları gerektirmektedir (Demir ve Çakırer 2017).

Farklı ışık kombinasyonunun kullanıldığı ışık uygulamalarında genellikle kırmızı ve mavi ışık tek tek ya da 1:1 oranında kullanılmıştır (Yuanchun vd. 2021).

## **2.2 Bitkisel Üretimde Işığın Etkileri**

Kırmızı LED ışıkla aydınlatılan marul fidelerine mavi ışığın etkisinin araştırıldığı bir çalışmada, marul fideleri kırmızı ve mavi ışık kaynaklarıyla aydınlatılmıştır. Marul fidelerinin hipokotil ve kotiledon gelişimi tek ışık kaynağı olarak kırmızı LED ışık uygulamasında yüksek bulunmuştur. Ancak 400-500 nm mavi ışık uygulamasıyla bu gelişim olumsuz etkilenmiştir. Mavi ışık etkisinin kırmızı ışığın foton seviyesinden bağımsız olduğu belirtilmiştir (Hoenecke vd. 1992).

Brown vd. (1995), biberde kırmızı ışık uygulamasına ek olarak yapılan mavi ışık uygulamasının toplam biyokütleyi önemli düzeyde artırdığı belirtmişlerdir. Ayrıca sürgün/kök kuru ağırlık oranının K, K+M ve K+FR uygulamalarında aynı olduğunu ancak K+FR uygulamasında metal halid lambaya göre daha yüksek olduğu belirtilmiştir.

Okamoto vd. (1997), marul bitkisine mavi ışık uygulamasıyla bitki boyunun kısaldığını belirlemişlerdir. Bunun sebebinin, Far-Red ışık yokluğunda sadece kırmızı ışık uygulamalarının fitokromları uyarması olduğu düşünülmektedir. Çünkü fitokromlar boğumların uzamasını (Schaer vd. 1983), çiçeklenme başlangıcını (Boss vd. 2004) ve

çiçeklenmeyi (Runkle ve Heins 2001) etkileyen önemli fotoresptörlerdir. Ayrıca mavi ışığın hücre bölünmesini engellediği ve mavi ışık reseptörlerinin gövde uzamasına neden olan gen ifadesini değiştirebildiği bilinmektedir (Lin 2000, Banerjee ve Batschauer 2005).

Brown vd. (2005), biber fidelerine kırmızı ışığın yanında mavi ışık uygulamasının kök kuru ağırlığını artırdığını belirtmişlerdir.

Johkan vd. (2010), kırmızı, mavi ve kırmızı+mavi LED ile aydınlatmanın marul fidesi gelişimine etkisini araştırmışlardır. Denemeden elde edilen sonuçlara göre 1 hafta boyunca kırmızı LED ışığa maruz bırakılan fidelerde yaprak alanı %33 ve sürgün yaş ağırlığı %25 artış göstermiştir. Mavi LED uygulanan fidelerde sürgün kuru ağırlığı %29, kök kuru ağırlığı %83 artış göstermiş ancak sürgün/kök oranı ve spesifik yaprak alanı azalmıştır. En yüksek yaprak alanı ve yaş ağırlık mavi LED ile aydınlatma uygulamalarından elde edilmiştir. Toplam klorofil içeriği her iki renk LED uygulamasında da kontrole (floresan) göre daha düşük bulunmuştur.

Fukuda vd. (2011) petunyada, Tran ve Jung (2017) çeltikte, Ma vd. (2021) yaptıkları meta analiz çalışmasında bitkilere 20 günden az kırmızı LED uygulamanın sürgün boyunu azalttığını belirtmişlerdir.

Brazaityte ve Kasiuleviciute (2013) tarafından yapılan bir çalışmada, domates fidelerine HPS lambalarına ilaveten 2 farklı dalga boyunda mavi LED (455-470 nm) ışık uygulanmıştır. Mavi ışık uygulamasıyla bitki gelişimi olumlu etkilenmiş ancak sonuçlar çeşitlere göre farklılık göstermiştir. Cunero F1 çeşidinde mavi ışık uygulaması bitki boyu, yaprak sayısı, yaprak alanı ve yaş ağırlığı artırmış ancak hipokotil uzunluğunu azaltmıştır. Her iki mavi ışık uygulaması da Magnus F1 çeşidinde yapraklardaki fotosentetik pigment içeriğini artırmıştır.

Kopsell ve Sams (2013), brokoli fidelerine 24 saatlik fotoperiyotta  $350 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$  ışık şiddetinde kırmızı ve mavi LED uygulamaları yapmışlardır. Hasat öncesi 5 gün

boyunca uygulanan mavi LED ile bitki P, K, Ca, Mg, Fe, Zn, Cu, Mn, B ve Mo içeriğinin önemli düzeyde arttığı belirtilmiştir.

*Brassica* familyasından bazı türlerin fidelerine 4 farklı dalga boyunda (455, 638, 665, 731 nm) ve 5 farklı ışık yoğunluğunda (545, 440, 330, 220, 110  $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ) LED aydınlatma uygulanmıştır. Düşük PPFD değerinde (110  $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ) bitki gelişimi gerilemiş ve mineral beslenme düzeyi zayıf bulunmuştur. Bitki gelişimi ve mineral element içeriği yönünden en uygun koşulların 330-440  $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$  olduğu belirtilmiştir (Samuoliene vd. 2013).

Mavi ışığa maruz kalan *Asteraceae* bitkilerinde sürgün kuru ağırlığı azalırken *Solanaceae* bitkilerinde artmıştır (Sabzalian vd. 2014, Vu vd. 2014). Kırmızı ışıkta fotosentezin mavi ışığa göre daha fazla gerçekleştiği ancak K+M ışık uygulamasının kuru ağırlığı bireysel uygulamaya göre artırdığı belirtilmiştir (Sabzalian vd. 2014).

Sabzalian vd. (2014), nanede mavi ve kırmızı LED uygulamalarının tek tek uygulanmasına kıyasla birlikte uygulandığı koşullarda yaş ağırlığı artırdığını belirtmişlerdir. Gün ışığı koşullarında ve beyaz LED uygulamasında da yaş ağırlık tek tek uygulamaya göre daha yüksek bulunmuştur.

Nanede en yüksek bitki boyu beyaz ve kırmızı LED uygulamalarında görülmüş, mavi ve K+M LED uygulamaları bitki boyunun kısılmasına neden olmuştur (Sabzalian vd. 2014).

Kim vd. (2014), cherry domatese beyaz LED uygulamasının sürgün boyunu önemli düzeyde artırdığını belirtmişlerdir.

Marul bitkisinin gelişimi ve kalitesi üzerine floresan lamba ile kırmızı ve mavi LED kombinasyonlarının etkilerinin araştırıldığı bir çalışmada marul fideleri sadece floresan lamba ile buna ilave kırmızı ve mavi LED lambalar ile 14 saatlik fotoperiyotta aydınlatılmıştır. Fide gelişimi, klorofil ve karotenoid içeriği floresan+mavi LED ve floresan+kırmızı LED uygulamalarında artış göstermiştir. Çözünbilir şeker ve nitrat

içeriği floresan aydınlatmada diğer uygulamalara göre daha yüksek bulunmuştur. En yüksek sürgün ve kök yaş ve kuru ağırlıkları floresan+kırmızı LED uygulamalarından elde edilmiştir. Hidroponik marul yetiştiriciliğinde floresan ışık ve kırmızı LED ışık uygulamalarının etkili bir ışık kaynağı olarak kullanılabilceği belirtilmiştir (Chena vd. 2014).

Kırmızı, yeşil ve mavi LED ışık altında yetiştirilen 2 marul çeşidinin gelişimi, fotosentez ve antioksidan parametrelerine etkisinin araştırıldığı bir çalışmada kırmızı yeşil ve mavi LED ışıklar kullanılarak 2 farklı marul fidesi yetiştirilmiştir. Çalışmada 6 farklı LED kombinasyonu kullanılmış olup bunlar; R9:B1, R8:B2, R7:B3; R9:G1, R8:G1:B1, R7:G1:B2 şeklindedir. Kırmızı-mavi LED uygulamalarıyla kök ve sürgünlerin yaş ve kuru ağırlığı ile yaprak alanı artış göstermiştir. Kırmızı ışıkla birlikte mavi yerine yeşil LED'in uygulanmasıyla da marulun gelişimi artış göstermiştir. Özellikle kırmızı yapraklı marul sürgünlerinin yaş ağırlığı R8:G1:B1 uygulamasında R8:B2 ye göre %61 daha fazla olmuştur (Son ve Oh 2015).

Kesme krizantem yetiştiriciliğinde en iyi LED sisteminin belirlenmesi amacıyla yapılan bir çalışmada Hong vd. (2015), krizantem fidelerini 4 farklı LED ışıklandırma uygulamasıyla aydınlatmışlardır. Uygulamalar sırasıyla sadece kırmızı, sadece mavi, 2:1 kırmızı:mavi ve 1:2 kırmızı:mavidir. Bu çalışmadan elde edilen sonuçlara göre mavi ışık gövde ve yaprak gelişimini teşvik etmiş, ancak fotosentezi olumsuz etkilemiştir. Kırmızı ışık köklenmeyi artırmış ancak toplam biyokütleyi olumsuz etkilemiştir. 2:1 kırmızı:mavi LED uygulamasının ise fotosentez oranını, transpirasyon oranını ve biyokütle oranını artırarak en iyi uygulama olduğu belirtilmiştir.

Randall ve Lopez (2015) tarafından yapılan bir çalışmada, 4 farklı bitki çeşidinin fidelerine serada doğal koşullarda ve bu koşullara ek olarak yüksek basınçlı sodyum lambası ve LED lamba (R87: B13) ile ilave aydınlatma yapılmıştır. Ayrıca diğer bir grup fide ise bitki büyütme kabinde 2 farklı LED lamba kombinasyonu (R87:B13 ve R70:B30) ile aydınlatılmıştır. Serada ekstra aydınlatma ve kabinde aydınlatma ile kök ve sürgün kuru ağırlığı, gövde çapı, nispi klorofil içeriği genellikle tüm bitkilerde artış göstermiştir. Kabinde yapılan yetiştiricilikte fide boylarının daha kısa olduğu

görülmüştür. Çiçeklenme süresi ışıklandırma uygulamalarında genellikle daha hızlı olmuştur. Sonuç olarak aydınlatma kabini LED kullanımının, geleneksel aydınlatma yerine kullanılabilmiş alternatif yöntemlerden biri olduğu görülmüştür.

Gerovac ve Craver (2016) tarafından yapılan bir çalışmada alabaş, turp ve hardal bitkileri yetiştirilmiş ve fidelere intensitesi 105, 210 ve 315  $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$  olan 3 farklı ışık şiddeti uygulanmıştır. Her bir ışık şiddetinde de 3 farklı LED kombinasyonu (R74:G18:B8, R87:B13, R84:FR7:B9) uygulanmıştır. Bitki örneklerinde hipokotil uzunluğu, yaprak alanı, yaş ağırlık, kuru ağırlık, makro ve mikro besin elementleri belirlenmiştir. Buna göre ışık kalitesine bakılmaksızın ışık intensitesi artırıldığında her 3 bitkide de hipokotil uzunluğu azalmış, kuru ağırlık artmıştır. Alabaşta artan ışık intensitesiyle yaprak alanı azalmış, nispi klorofil artmıştır. Ayrıca besin elementi içerikleri de ışık kalitesine bağlı olmaksızın düşük ışık intensitesinde yüksek bulunmuştur.

Kırmızı ve mavi LED lambaları ile aydınlatmanın hurma ağacında in vitro organogenesis üzerine etkisinin araştırıldığı bir çalışmada 2-3 yıllık hurma ağacı dip sürgünleri alınıp uç kısımlarından 4'er adet bitki parçacığı kesilmiş ve MS ortamında tomurcuk oluşumu teşvik edilmiştir. Bitki parçacıklarına kontrol grubu olarak beyaz floresan lamba ile ışıklandırma ve uygulama olarak 18:2 kırmızı:mavi LED ışık uygulaması yapılmıştır. Bitkilerde toplam sürgün sayısı, toplam suda çözünebilir karbonhidrat, nişasta, serbest amino asit ve makro bitki besin elementi miktarları belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre LED ışık uygulamasıyla toplam sürgün sayısı, toplam suda çözünebilir karbonhidrat, nişasta ve serbest amino asit miktarları önemli düzeyde artış göstermiştir. Ayrıca LED ışık uygulanan bitkilerin K, Mg ve Na içerikleri de önemli düzeyde artmıştır (Al-Mayahi 2016).

Fide dönemindeki çilek bitkisine kırmızı ve mavi LED ışık uygulamasının fotosentez, bitki gelişimi ve meyve verimine etkisinin araştırıldığı bir çalışmada, 2 farklı çeşit çilek bitkisi derin akan su kültüründe yetiştirilmiştir. Fidelere 80  $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$  şiddetinde 3 farklı dalga boyunda mavi (405, 450, 470 nm), 3 farklı dalga boyunda kırmızı (630, 660, 685) ve ilk 20 gün mavi sonrasında kırmızı ışık uygulanmıştır. Uygulamadan ilk

anter oluşumuna kadar geçen süre gözle belirlenmiş, 30 ve 40. günlerde yaprak sayısı, tomurcuk sayısı, yaprak alanı ve spesifik yaprak ağırlığı belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre tüm mavi ışık dalga boyları kırmızılara göre çiçeklenmeyi artırmıştır. Mavi ışıklandırma ile çiçeklenmeye kadar geçen gün sayısı arasında herhangi bir ilişki bulunamamıştır. Fakat kırmızı ışığın dalga boyuyla çiçeklenmeye kadar geçen gün sayısı arasında pozitif bir ilişki bulunmuştur. Fotosentez oranı kırmızı ışık altında maviye göre daha yüksek olmuştur. Günlük meyve üretim miktarında ışıklandırmanın herhangi bir önemli etkisi olmamasına rağmen, çiçeklenmeyi artırması nedeniyle mavi LED ışıkla aydınlatmanın daha avantajlı olduğu görülmüştür (Yoshida vd. 2016).

Hernandez vd. (2016), floresan lamba ile farklı oranlarda mavi ve kırmızı LED aydınlatmanın domates fidelerine etkisini karşılaştırdıkları çalışmalarında, uygulama olarak 100K,10M:90K, 20M:28Y:52K, 30M:70K, 50M:50K, 75M:25K ve 100M oranlarını kullanmışlardır. Mavi ışık uygulamasıyla hipokotil uzunluğunun azaldığını belirtmişlerdir. Tek başına kırmızı ışık uygulamasından ziyade ikisinin birlikte uygulanmasıyla yaş ağırlık, kuru ağırlık, yaprak sayısı, yaprak yüzey alanı ve klorofil içeriğinin arttığını belirtmişlerdir. Yeşil ışık eklemenin ise herhangi bir etki yapmadığı görülmüştür. En iyi uygulamaların 30M:70K ve 50M:50K olduğu ortaya konulmuştur.

Matsuda vd. (2016), 12 saat beyaz ışıkla aydınlatılan domates fidelerine, ayrıca 12 saat 150 ve 300  $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$  ışık şiddetlerinde mavi, kırmızı ve turuncu ışık uygulamışlardır. Aşırı ışığa maruz bırakılan bitkilerde en çok yaprak hasarı 150  $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$  ışık şiddetinde mavi ışık uygulamasında görülmüştür. Aynı ışık şiddetinde beyaz ışık uygulaması ise kontrole göre kuru madde içeriğini artırmıştır. Mavi ışık uygulanan bitkilerin kuru madde içeriğinin turuncu ışık uygulananlara göre daha düşük olduğu bulunmuştur. Işık şiddeti uygulamaları ise (150 ve 300  $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ) birçok parametre yönünden önemli bir fark yaratmamıştır.

Zhang vd. (2016), çeltik fidelerinde kırmızı ve mavi LED ışık kombinasyonlarına yeşil ışık ilave etmiş ve tarlaya şaşırtma işleminden sonra tane verimine etkilerini araştırmışlardır. Yapılan ışık uygulamaları sırasıyla 1)R75:B25, 2)R62.5:B25:G12.5 ve 3)R50:B25:G25 şeklindedir. Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar incelendiğinde, kırmızı

ve mavi LED ışık kaynaklarına yeşil ışık eklendiğinde fidelerin kök ve sürgün gelişimi artmış, ancak farklı organların gelişimi yeşil ışığın intensitesine göre değişiklik göstermiştir. Yüksek yeşil ışık intensitesinde kökün toplam yüzey alanı, çapı ve respirasyon aktivitesi artmıştır. Düşük yeşil ışık intensitesi ise bunlara ilaveten sürgün kuru ağırlığını ve gövde uzamasını artırmıştır. Ayrıca yüksek yeşil ışık intensitesi uygulamasında hasada gelme süresi, tane verimi, başaktaki başakçık sayısı ve tane doluluk oranı yüksek bulunmuştur.

Anuchai ve Hsieh (2017), ışık kalitesinin orkide fidelerinin fizyolojik değişimine etkilerini araştırdıkları çalışmalarında, bitkilere 2 farklı dalga boyunda kırmızı (610 ve 658 nm) ve mavi (440 nm) ışığı ayrı ayrı ve birlikte uygulamışlardır. % aylık uygulama sonunda mavi ışık uygulanan bitkilerin yaprak sayısının, klorofil a, klorofil b, toplam klorofil ve karotenoid içeriğinin daha yüksek olduğunu belirtmişlerdir. Kırmızı ışığın ise daha iri yaprak ve gövde boyu ile daha yüksek yaş ağırlığına neden olduğu görülmüştür. Yüksek dalgaboyunda uygulanan kırmızı ışık (658 nm), Rubisko ve PEP karboksilaz enzim aktivitesini artırmıştır.

Poel ve Runkle (2017), yaptıkları bir çalışmada domates, biber, petunya, geranyum ve aslanagzı bitkilerine yüksek basınçlı sodyum lambası (HPS) ve farklı kombinasyonlarda LED lambaları ile gün ışığına ilave ışıklandırma uygulamaları yapmışlardır. Kontrol grubu bitkilere  $10 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$  ışık uygulanmıştır. Uygulama olarak ise  $90 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$  aydınlatma yapan HPS lambası ile 4 farklı LED lamba kombinasyonu (B10:R90, B20:R80, B10:G5:R85, B15:G5:R80) seçilmiştir. Fidelerin bir kısmına 16 saat ek aydınlatma yapılmış, bir kısmına ise PPFD  $185 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 'nin altına düşüldüğünde uygulama yapılmış ve PPFD  $370 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 'nin üstüne çıkınca ışıklandırma sonlandırılmıştır. Bitki türüne bağlı olarak ışıklandırmadan 14 ve 40 gün sonra bitkilerde yaprak alanı, yaprak sayısı, çiçeklenmeye kadar geçen gün sayısı ve toplam çiçek sayısı belirlenmiştir.  $90 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$  ışıklandırmada tutulan fidelerin sürgün kuru ağırlığı ile biber hariç diğer bitkilerin bitki boyu, yaprak alanı ve yaprak sayısı önemli bir değişim göstermemiştir. Işıklandırmadan sonra normal ortama alınan geranyumun çiçeklenmesi  $90 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$  HPS lambasında 3 gün erken olmuştur. LED lambalarda ise kontrole göre sürede önemli bir değişim olmamıştır. LED ve HPS uygulamaları bitki

morfolojisinde önemli bir değişime neden olmamıştır. Bitki gelişiminde önemli bir fark görülmemesine rağmen LED aydınlatma ile ışıklandırmada HPS'ye göre önemli bir enerji tasarrufu sağlanmıştır. Bunun da LED aydınlatmaların geleceğin önemli ışık kaynaklarından olabileceği belirtilmiştir.

Çeltik fidelerinde LED ışıkla aydınlatmanın bitki gelişim parametrelerine ve porfirin biyosentezinin düzenlenmesine etkilerinin araştırıldığı bir çalışmada 5 günlük etiyole çeltik fideleri beyaz, mavi, yeşil ve kırmızı LED ışıklara tabii tutularak 14 saat gündüz 10 saat gece olmuş şekilde, bir kısım bitki ise tamamen karanlıkta yetiştirilmiştir. Farklı kombinasyonlarda ışığa maruz tutulan bitkilerde 5. ve 10. günlerde bazı bitki gelişim parametreleri belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre farklı dalga boyunda LED ışıkların uygulanmasıyla hem bitki gelişimi hem de morfolojisi önemli değişimler göstermiştir. Işıklıandırmadan 5 ve 10 gün sonra en kısa sürgün uzunluğunun mavi LED ışık uygulamasında olduğu görülmüştür. Yaprak boyu ve eni mavi ışık ile beyaz ışık uygulamalarında en yüksek değerlere ulaşmıştır. En yüksek bitki kuru ağırlığı da benzer şekilde beyaz ve mavi LED ışık uygulamalarında bulunmuştur (Tran ve Jung 2017).

Owen ve Lopez (2017), geranyum ve mor şemsiyeli çim bitkileri ile yaptıkları çalışmada, 3 haftalık fideleri topraksız yetiştirme ortamına almış ve besin çözeltisiyle beslemişlerdir. Yetiştiriciliğin yapıldığı sera gölgeleme örtüsüyle örtülerek ışık yoğunluğu  $10 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 'ye düşürülmüştür. Ortam sıcaklığı  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ 'de sabit tutulmuştur. Geranyum 14 gün, mor şemsiyeli çim ise 21 gün ışık uygulamalarına tabii tutulmuştur. Kontrol grubu bitkilerde hasat sonrası ışıklandırma yapılmazken ışık uygulamaları şu şekilde yapılmıştır: 1) Düşük intensiteli LED lamba (7:11:33:49 oranında mavi:yeşil:kırmızı:kızılötesi), 2)150 W HPS lamba, 3) 100:0 kırmızı:mavi LED, 4) 87:13 kırmızı:mavi LED, 5) 50:50 kırmızı:mavi LED, 6) 0:100 kırmızı:mavi LED. Ayrıca 6. uygulamada ışık şiddeti 25, 50 ve  $100 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$  olarak ayarlanmıştır. Bitkilerde 3, 5, 7, 14 ve 21. günlerde nispi klorofil içeriği ile hue, value ve chroma değerleri belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre genel olarak 0:100 kırmızı:mavi LED uygulamasının 50 ve  $100 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$  uygulamaları geranyumda nispi klorofil içeriğini azaltmıştır. Mor şemsiyeli çimde ise 100:0 kırmızı:mavi uygulaması nispi klorofil içeriğini azaltmıştır. İlerleyen güne bağlı olarak yapılan örneklemelerde nispi

klorofil içeriği artış göstermiştir. 14. günden sonra yapılan örneklemelede  $100 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$  100:0, 87:13, 50:50 ve 0:100 kırmızı:mavi uygulamalarında hue, value ve chroma değerleri düşük bulunmuştur.

Kowalczyk vd. (2020), hıyar fidelerine HPS, LED ve HPS+LED uygulamaları yaptıkları çalışmalarında ışık uygulamalarının bitki gelişimine etkilerini incelemiştir. En yüksek verimi LED uygulamalarından elde ederken, HPS uygulanan bitkilerde yaprak dökümünün en erken gerçekleştiği görülmüştür. HPS uygulanan bitkilerde Ca, Mg, S, Mn ve B içeriğinin daha yüksek, K içeriğinin ise daha düşük olduğu bulunmuştur. HPS+LED ve LED ışıklar altında yetiştirilen bitkilerin, HPS ışık altında yetiştirilenlere göre besin maddesi gereksiniminin daha yüksek olduğu bulunmuştur.

Li vd. (2021), beyaz, kırmızı ve mavi ışığın domates fidelerine tek tek ve birlikte uyguladıkları çalışmalarında (B, K, M, BKM), birçok morfolojik ve fizyolojik gelişim parametrelerini incelemiştir. Elde edilen sonuçlara göre,  $\text{CO}_2$  asimilasyonu ve toplam biyokütle K ve M'nin birlikte olduğu uygulamalarda daha yüksek bulunmuştur. Bu bitkilerin yaprak kalınlığı, stomatal iletkenliği, pigment miktarı ve fotosentez oranının daha yüksek olduğu görülmüştür. Kırmızı ve mavi ışık uygulanan bitkilerin kök ve sürgünlerinde gibberellik asit (GA) ve indol asetik asit (IAA) seviyeleri yüksek bulunmuştur. Yaprak anatomisi ve fotosentetik elektron transferi olumlu etkilenmiştir. Calvin döngüsü aktivitesinin artışına bağlı olarak karbonhidrat birikimi artmıştır.

### 3. MATERYAL ve YÖNTEM

#### 3.1 Denemenin Gerçekleştirildiği Ortam

Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Bahçe Bitkileri Bölümü'nde 3x7x2.3 m ölçülerinde, ısı yalıtımı bulunan konteyner oluşturulmuştur. Kabin içerisine raflar yerleştirilmiş ve Plantekno firmasından temin edilen LED lambalar (her bir bölmeye 2 adet) bu raflara monte edilmiştir. Konteyner içerisine sıcaklığı kontrol etmek amacıyla klima, nem için de sensöre bağlı termostatlı nemlendirme cihazı yerleştirilmiştir. LED lambalar, klima ve nemlendirme cihazı; konteyner dışına monte edilen kontrol ünitesine bağlanmıştır (Şekil 3.1). Ayrıca konteyner içerisindeki sıcaklık ve nem dengesini sağlayabilmek için fan yerleştirilmiştir. LED lambaların yerleri ve raf genişlikleri sabit olup ışık şiddetini ayarlamak için yetiştirme ortamının altına plastik tepsi konularak viyoller ışığa yaklaştırılmıştır (Şekil 3.2).



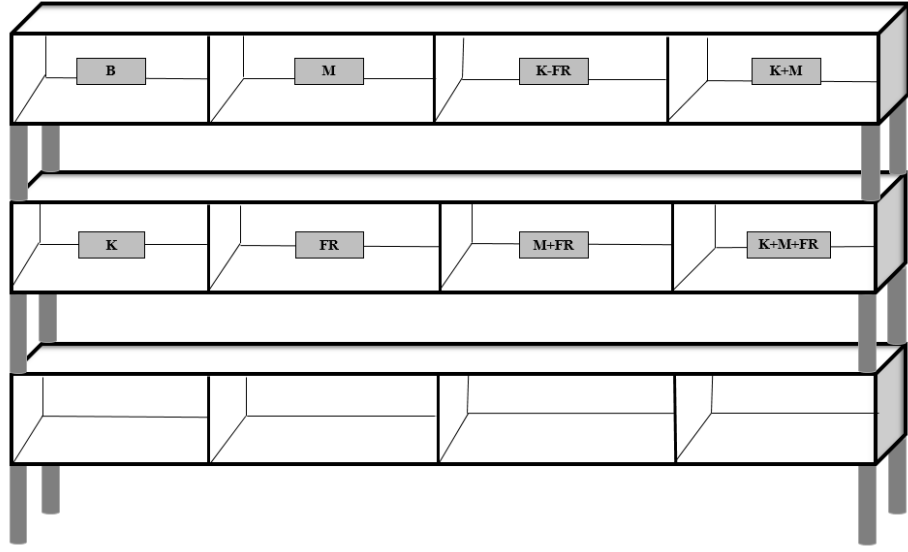
Şekil 3.1 Kontrol ünitesi, klima ve nemlendirme cihazı



Şekil 3.2 Deneme kabininin genel görünümü

### 3.2 Denemede Kullanılan LED Lambalar ve Özellikleri

Denemede kullanılan LED lambalar Plantekno firmasından temin edilmiştir. Denemede aydınlatma amaçlı beyaz (B), kırmızı (K), mavi (M) ve far-red (FR) LED modülleri ve bunların farklı kombinasyonları (K+FR, M+FR, K+M, K+M+FR) kullanılmıştır. Lambaların raflardaki yerleşimi şekil 3.3’de görülmektedir.



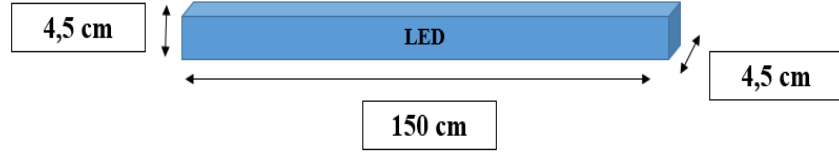
Şekil 3.3 Raflarda LED lambaların yerleşim düzeni

LED modüllerin PPFD değerleri LICOR 250A-Quantum sensör (400-700 nm) kullanılarak belirlenmiştir (Şekil 3.4). Ancak far-red ışığın spektrum aralığı 700 nm üzerinde olduğu için bu ışık uygulamalarının PPFD değerlerini belirlemek amacıyla ASENETEK spektrometre ile ölçümler yapılmıştır. Ölçülen ışık şiddeti değerleri PPFD ( $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ) cinsinden kaydedilmiştir.

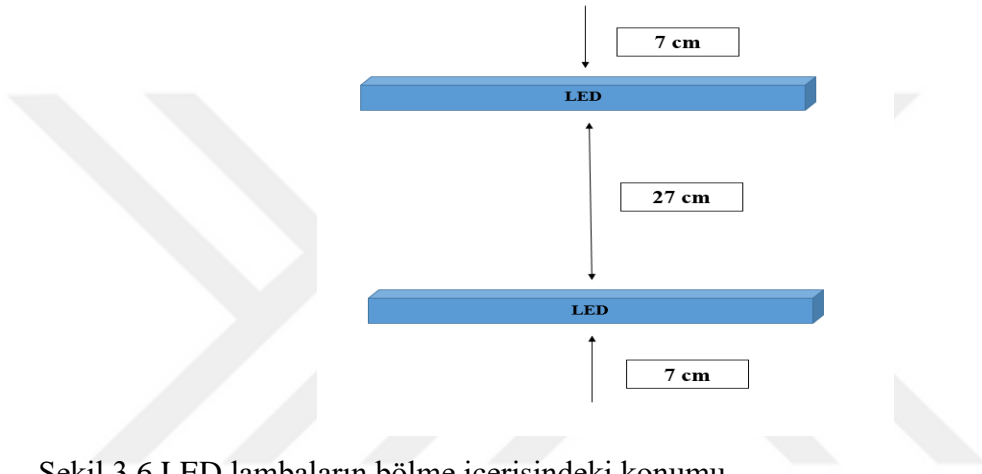


Şekil 3.4 PAR ve spektrum ölçümleri

Lambalar 2.1-2.2  $\mu\text{mol/J}$  PPF ışık çıkışlı, 60-80W enerji tüketimine sahip, 150 x 4.5 x 4.5 cm ölçülerindedir (Şekil 3.5). Lambaların raflara yerleştirilmesi Şekil 3.6' de görülmektedir.



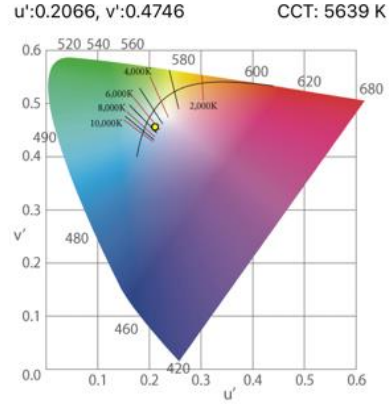
Şekil 3.5 LED lambaların ölçüleri



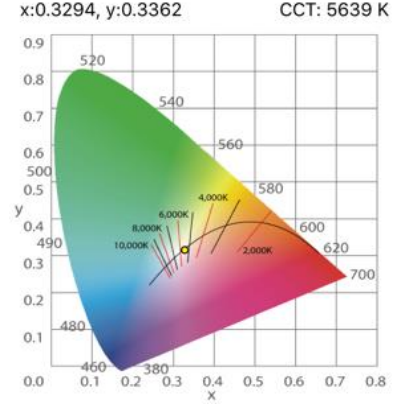
Şekil 3.6 LED lambaların bölme içerisindeki konumu

Şekil 3.7-3.21’de lambaların CIE1976 ve CIE1931 değerleri ile PPFD ve orijinal spektrumları görülmektedir.

CIE1976



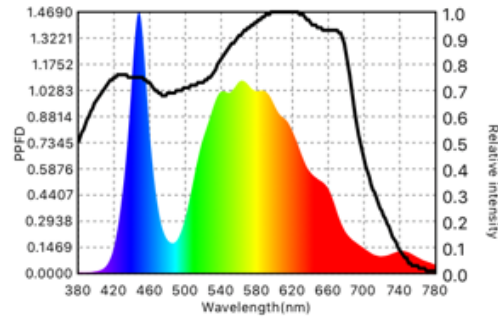
CIE1931



Şekil 3.7 Beyaz LED lambanın CIE1976 ve CIE1931 değerleri

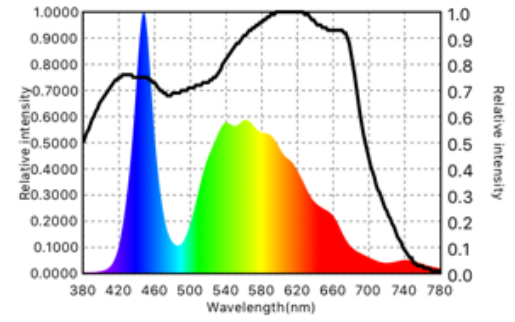
PPFD Spectrum

Ref.: McCREEs ACTION SPECTRUM



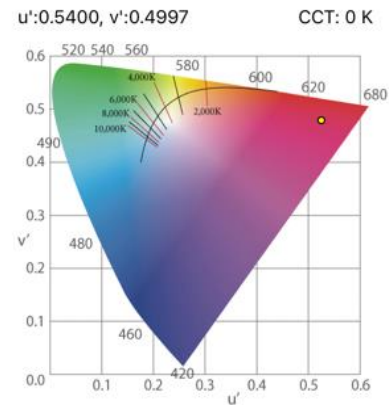
Original Spectrum

Ref.: McCREEs ACTION SPECTRUM

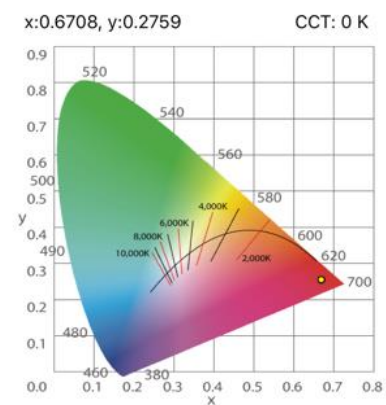


Şekil 3.8 Beyaz LED lambanın PPFD ve orijinal spektrumu

CIE1976



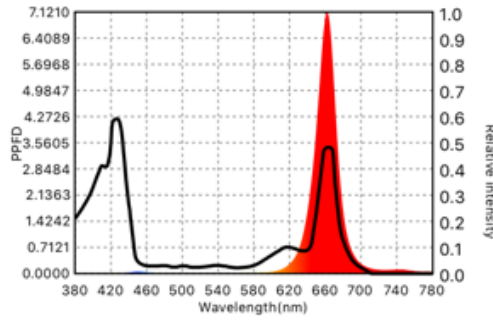
CIE1931



Şekil 3.9 Kırmızı LED lambanın CIE1976 ve CIE1931 değerleri

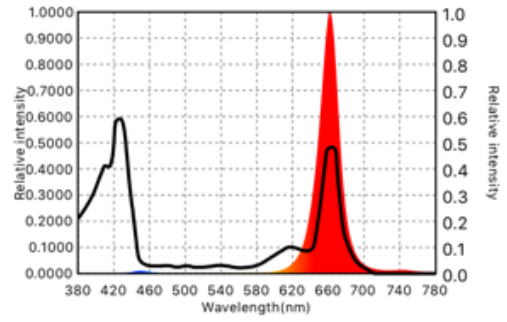
### PPFD Spectrum

Ref.: CHLOROPHYLL A



### Original Spectrum

Ref.: CHLOROPHYLL A

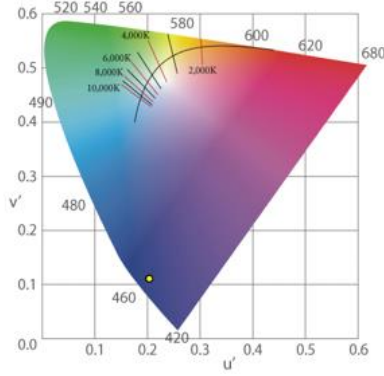


Şekil 3.10 Kırmızı LED lambanın PPFD ve orijinal spektrumu

### CIE1976

$u':0.1986, v':0.0951$

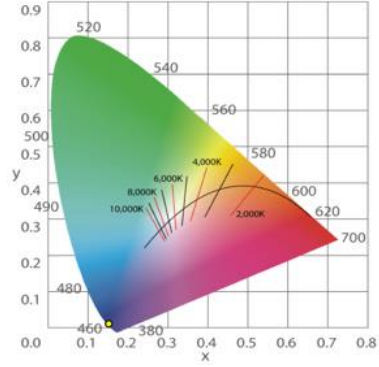
CCT: 0 K



### CIE1931

$x:0.1532, y:0.0326$

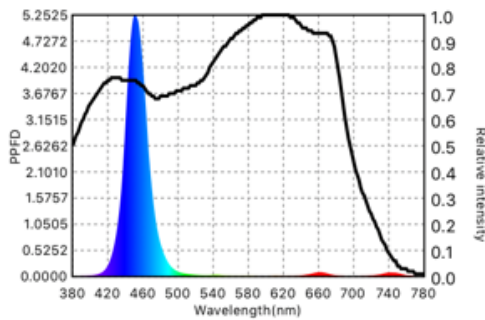
CCT: 0 K



Şekil 3.11 Mavi LED lambanın CIE1976 ve CIE1931 değerleri

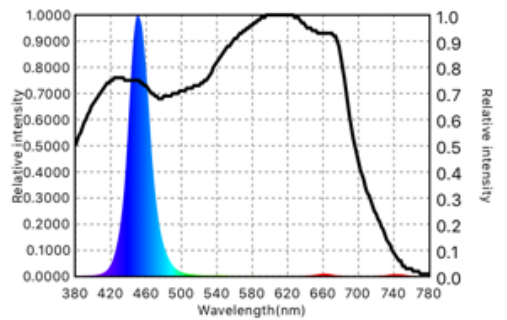
### PPFD Spectrum

Ref.: McCREEs ACTION SPECTRUM



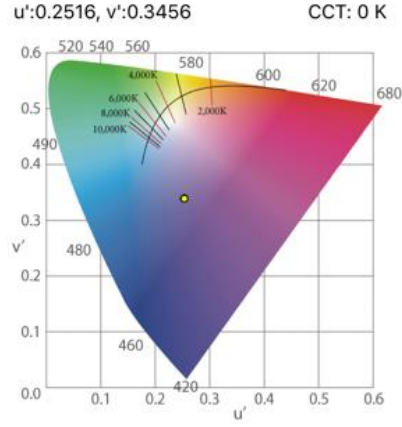
### Original Spectrum

Ref.: McCREEs ACTION SPECTRUM

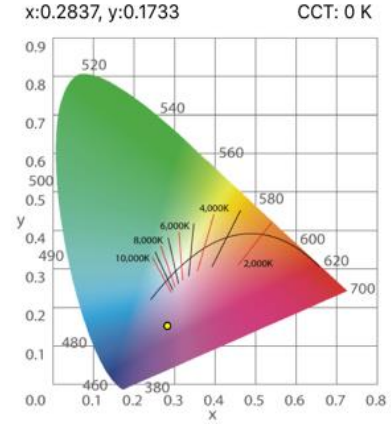


Şekil 3.12 Mavi LED lambanın PPFD ve orijinal spektrumu

CIE1976



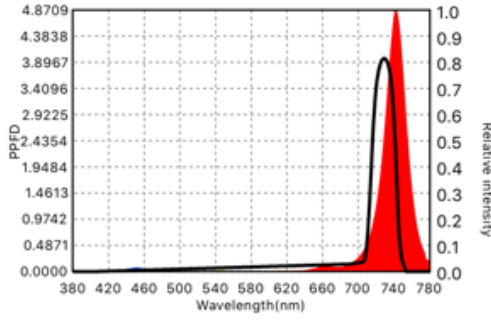
CIE1931



Şekil 3.13 Kırmızı ötesi LED lambanın CIE1976 ve CIE1931 değerleri

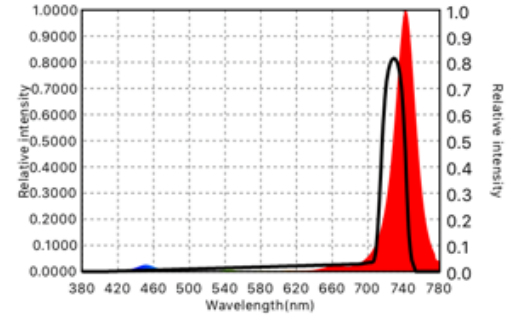
PPFD Spectrum

Ref.: Chlorophyll f



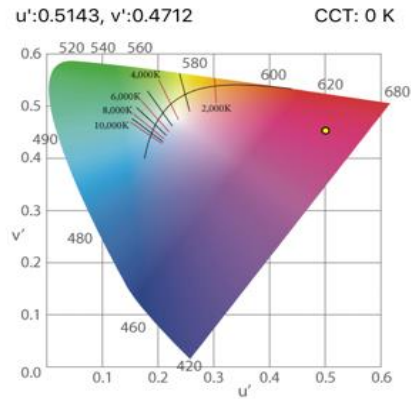
Original Spectrum

Ref.: Chlorophyll f

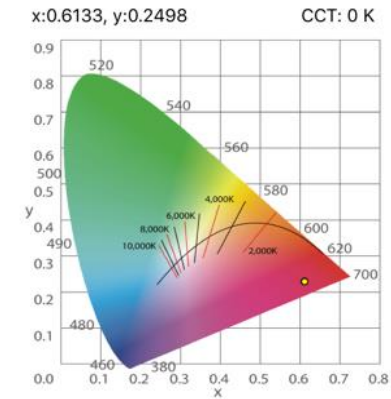


Şekil 3.14 Kırmızı ötesi LED lambanın PPFD ve orijinal spektrumu

CIE1976



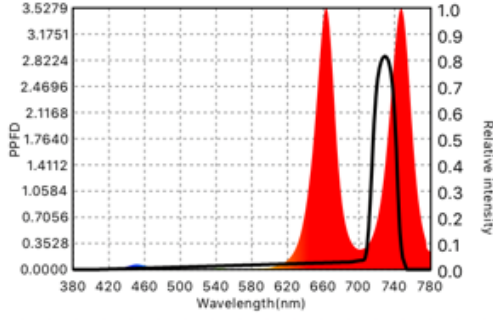
CIE1931



Şekil 3.15 Kırmızı + Kırmızı ötesi LED lambanın CIE1976 ve CIE1931 değerleri

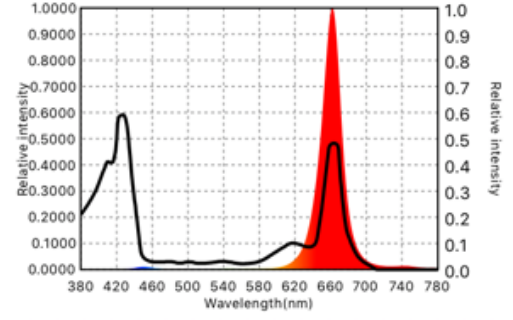
### PPFD Spectrum

Ref.: Chlorophyll f



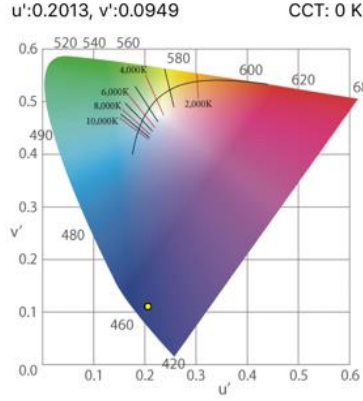
### Original Spectrum

Ref.: CHLOROPHYLL A

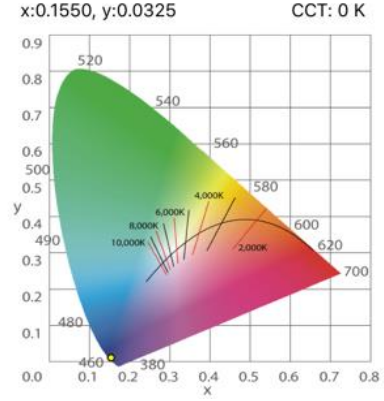


Şekil 3.16 Kırmızı + Kırmızı ötesi LED lambanın PPFD ve orijinal spektrumu

### CIE1976



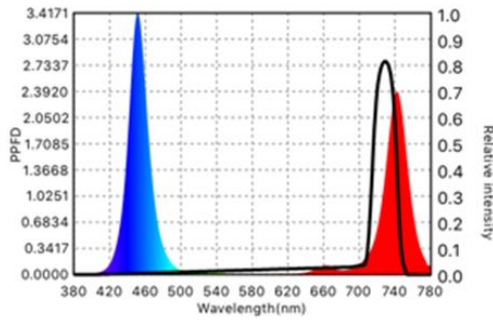
### CIE1931



Şekil 3.17 Mavi + Kırmızı ötesi LED lambanın CIE1976 ve CIE1931 değerleri

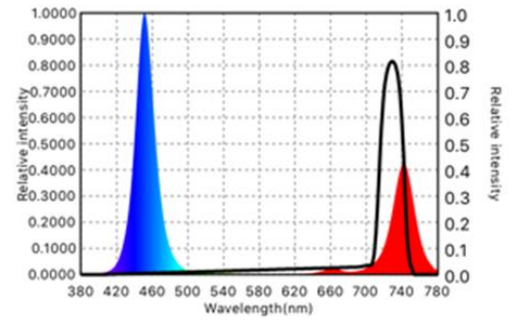
### PPFD Spectrum

Ref.: Chlorophyll f



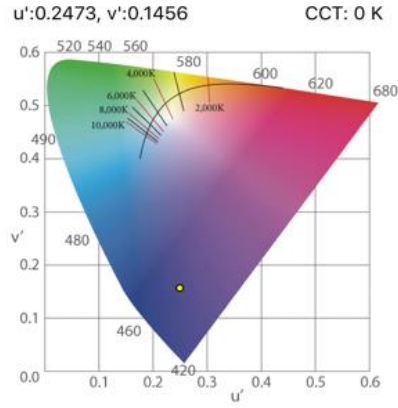
### Original Spectrum

Ref.: Chlorophyll f

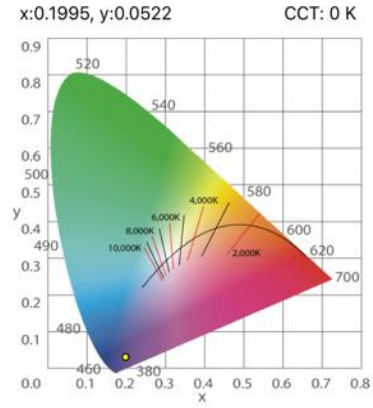


Şekil 3.18 Mavi + Kırmızı ötesi LED lambanın PPFD ve orijinal spektrumu

CIE1976



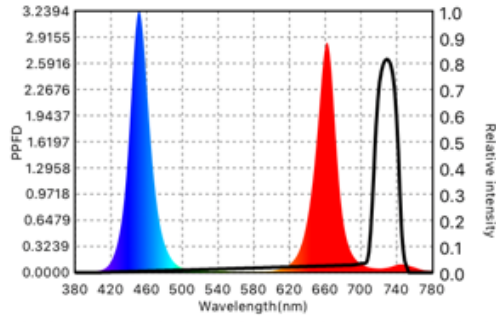
CIE1931



Şekil 3.19 Kırmızı + Mavi LED lambanın CIE1976 ve CIE1931 değerleri

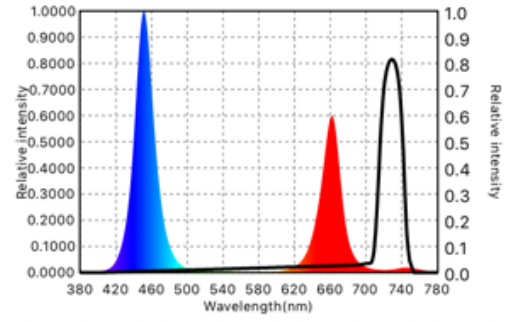
PPFD Spectrum

Ref.: Chlorophyll f



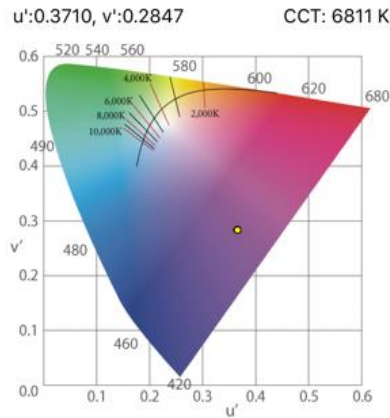
Original Spectrum

Ref.: Chlorophyll f

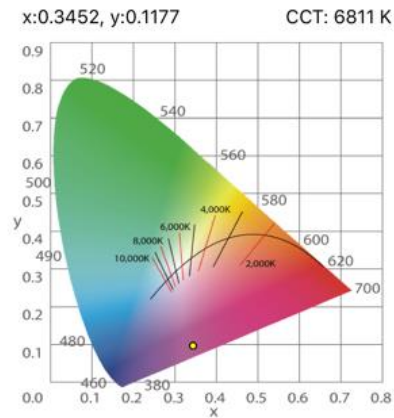


Şekil 3.20 Kırmızı + Mavi LED lambanın PPFD ve orijinal spektrumu

CIE1976



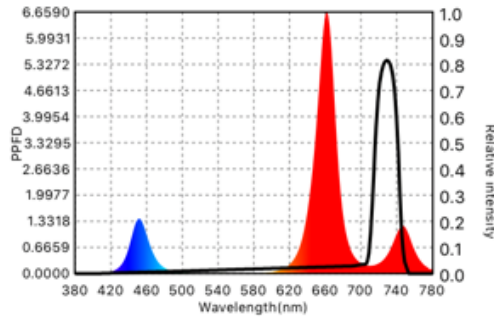
CIE1931



Şekil 3.21 Kırmızı + Mavi + Kırmızı ötesi LED lambanın CIE1976 ve CIE1931 değerleri

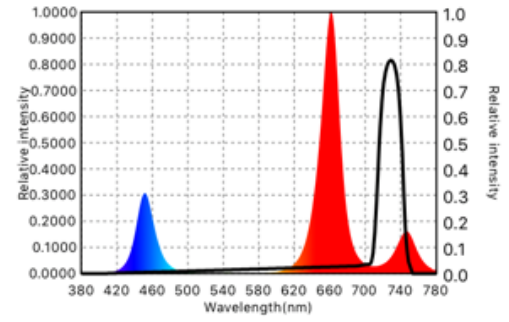
### PPFD Spectrum

Ref.: Chlorophyll f



### Original Spectrum

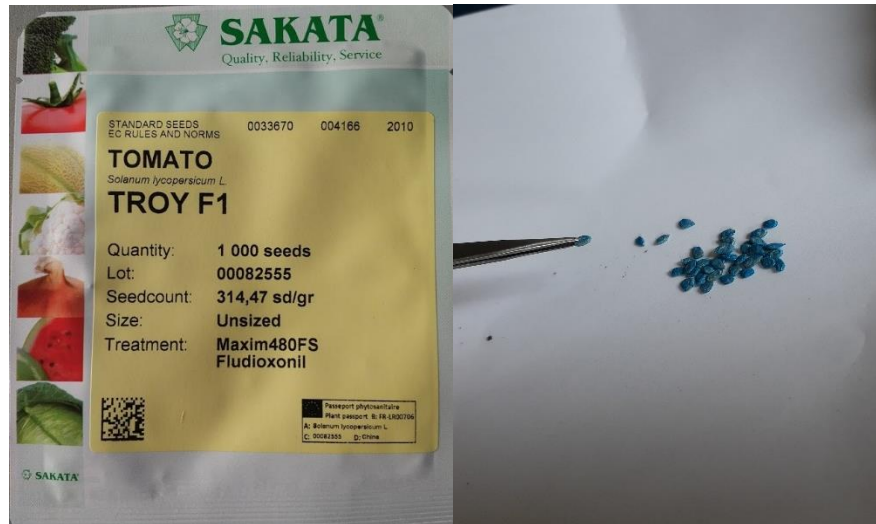
Ref.: Chlorophyll f



Şekil 3.22 Kırmızı + Mavi + Kırmızı ötesi LED lambanın PPFD ve orijinal spektrumu

### 3.3 Bitki Materyali

Denemede bitki materyali olarak domates (*Lycopersicon esculentum* L.) bitkisinin TROY F1 hibrit çeşidi kullanılmıştır. TROY F1, sofralık oturak bir çeşit olup meyveleri yuvarlak şekilli, parlak kırmızı ve 250-300 gram ağırlığındadır. Meyvelerin raf ömrü uzun olup lezzeti oldukça iyidir. Tohumlar ticari bir firmadan temin edilmiştir (Şekil 3.23). Paketlerin içerisinde 1000 adet tohum bulunmaktadır. Çimlenme gücünün oldukça yüksek olduğu denemede görülmüştür.



Şekil 3.23 Denemede kullanılan tohum materyali

### 3.4 Denemenin Kurulması ve Yürütülmesi

Tez çalışması kapsamında farklı zamanlarda 2 farklı aşamada yürütülmüştür (Şekil 3.24, Şekil 3.25). Denemelerde farklı fotoperiyodlarda domates fideleri yetiştirilmiştir. Ayrıca ilk aşamada bitki gelişiminin zayıf olduğu ışık uygulamaları ikinci aşamada kullanılmamıştır.



Şekil 3.24 Denemenin I. aşamasının görünümü

#### 3.4.1 Denemenin I. aşamasının kurulması ve yürütülmesi

Deneme Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Bahçe Bitkileri Bölümü iklimlendirme odasında yürütülmüştür. Viyollere tohum ekimi Ankara/Beypazarı Başaran Sera'da yapılmıştır. Viyollerin tohumun altında kalan kısmı ince torfla (Plug Mix marka) doldurulmuş olup, domates bitkisi tohumları (TROY F1) 09.02.2019'da ekilmiştir (Şekil 3.26). Ekim işleminden sonra kapak materyali olarak zeolitle örtülmüş ve sulanmıştır (Şekil 3.27). Her bir uygulama için 90 adet tohum ekilmiş olup, toplam 720 adet tohum ekimi gerçekleştirilmiştir. Viyollerin her bir gözüne 1 adet tohum ekilmiştir.



Şekil 3.25 Denemenin II. aşamasının görünümü



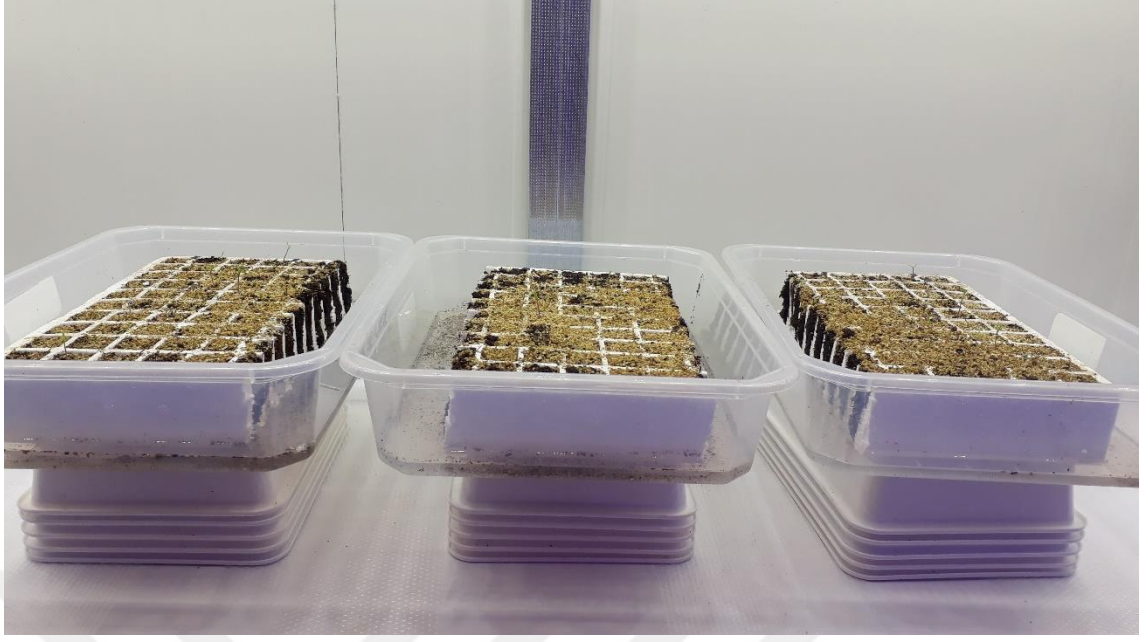
Şekil 3.26 Viyollerin torfla doldurulması ve tohum ekimi



Şekil 3.27 Tohum ekimi sonrası zeolitle kapak yapılması

Tohum ekiminden hemen sonra viyoller Başaran Sera'nın iklim odasında karanlık bir ortamda, 25 °C'de, %80 bağıl nem düzeyinde 6 gün süreyle bekletilmiştir. İlk tohum çıkışlarının gözlemlendiği 6. günün sonunda viyoller ticari firmanın iklimlendirme odasından alınıp Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Bahçe Bitkileri Bölümü iklimlendirme odasına konulmuş ve ışık uygulamaları aynı gün başlatılmıştır. Denemenin geri kalan kısmında odanın sıcaklığı  $24\pm 1$  °C ve bağıl nem içeriği %70 olacak şekilde ayarlanmıştır. Ayrıca sistemin düzgün çalışıp çalışmadığı bir veri kaydedici aracılığıyla kontrol edilmiştir.

Yetiştirme ortamı olarak plastik tepsiler kullanılmış, tohumlar çimlenmeye başladığı andan itibaren viyoller bu tepsilerin içerisine yerleştirilmiştir (Şekil 3.28). İlk çıkıştan hemen sonra, ışıkların altına yerleştirilen bitkilerin eşit ışık şiddetinde yetiştirmeleri amacıyla LED modüllerin PPFD değerleri LICOR 250A-Quantum sensör (400-700 nm) kullanılarak ölçülmüş ve tüm bitkiler  $230 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$  ışık şiddetinde yetiştirilmiştir. Bu amaçla viyollerin altına plastik kaplar konularak yükseltilmiş ve uygun ışık şiddeti elde edilmiştir.



Şekil 3.28 Tepsi içindeki viyollerin genel görünümü

Deneme tesadüf parselleri deneme desenine göre 3 tekerrürlü olarak yürütülmüştür. Işık uygulaması 12 saat aydınlık/12 saat karanlık olacak şekilde yapılmıştır (Sevgican 1999). Denemenin I. aşamasında LED ışık uygulamaları sırasıyla 1) Beyaz, 2) Kırmızı, 3) Mavi, 4) Far-Red, 5) Kırmızı+Mavi, 6) Kırmızı+Far-Red, 7) Mavi+Far-Red ve 8) Kırmızı+Mavi+Far-Red olarak seçilmiştir. Aydınlatma uygulamalarının birbirini etkilememesi amacıyla aralara bölge konulmuştur.

Sulama ve bitki besleme fide yetiştiriciliği standartlarına göre hem yapraktan spreyleme şeklinde hem de yetiştirme ortamına doğrudan olacak şekilde yapılmıştır (Şekil 3.29). Fidelerin sulanabilmesi amacıyla viyollerin altına plastik tabaklar yerleştirilmiş olup, her gün gerek duyulan miktarda sulama yapılmıştır. Fidelerin ilk gelişim döneminde plastik tabaklara 100 mL gün<sup>-1</sup> su verilirken, ileriki gelişme döneminde artan transpirasyona bağlı olarak 200 mL gün<sup>-1</sup> verilmiştir. Gübreleme amacıyla 20+20+20+ME (STAR GREEN marka) gübresi plastik kaplara çözelti olarak uygulanmıştır. Çözeltinin içeriği, EC'si 1.2 dS m<sup>-1</sup> olacak şekilde (0.4 g gübre L<sup>-1</sup>) ayarlanmış olup 3 günde bir sulama suyu yerine plastik kaplara besin çözeltisi uygulanmıştır. Ayrıca aynı çözelti her gün fidelere yapraktan spreyleme şeklinde uygulanmıştır.



Şekil 3.29 Yetiştirme ortamına ve yaprağa su ve besin çözeltisi uygulaması

Deneme ilk çıkışlardan 20 gün sonra 07.03.2019'da sonlandırılmış ve fidelerde ölçüm ve analizler yapılmıştır.

### 3.4.2 Denemenin II. aşamasının kurulması ve yürütülmesi

Deneme Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Bahçe Bitkileri Bölümü iklimlendirme odasında yürütülmüştür. Domates tohumları (TROY F1) 07.01.2020'de viyollere ekilmiştir. Denemede her bir uygulama için 90 adet tohum ekilmiş olup, toplam 900 adet tohum ekimi gerçekleştirilmiştir. Tohum ekimi ve viyollerin hazırlanması I. aşama ile aynı şekilde yapılmıştır.

Tohum ekiminden iklimlendirme odasına kadar olan süreç I. aşamayla aynı şekilde gerçekleştirilmiştir.

Deneme tesadüf parselleri deneme desenine göre 3 tekerrürlü olarak yürütülmüştür. Işık uygulaması ilk aşamadan farklı olarak 16 saat aydınlık/8 saat karanlık olacak şekilde yapılmıştır. İlk aşamadan elde verilere bakılarak, bitki gelişiminin zayıf olduğu ışık uygulamaları (FR, K+FR, M+FR) kullanılmamış olup aşağıda verilen 5 farklı ışık uygulamasıyla ve 2 farklı ışık şiddetiyle deneme kurulmuştur. II. aşamada kullanılan

LED ışık uygulamaları sırasıyla 1) Beyaz, 2) Kırmızı, 3) Mavi, 4) Kırmızı+Mavi ve 5) Kırmızı+Mavi+Far-Red'dir. Işık şiddeti ise LICOR 250A-Quantum sensör (400-700 nm) kullanılarak ölçülmüş olup 230 ve 300  $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$  olmak üzere 2 farklı ışık şiddetinde bitkiler yetiştirilmiştir (Şekil 3.30).



Şekil 3.30 Farklı ışık şiddeti uygulamalarının ayarlanması

Sulama ve bitki besleme uygulamaları I. aşama ile aynı şekilde gerçekleştirilmiştir. Deneme ilk çıkıştan 40 gün sonra 22.02.2020'de sonlandırılmış ve fidelerde ölçüm ve analizler yapılmıştır. I. aşamaya göre fotoperiyodun 12 saat gündüz/12 saat geceden, 16 saat gündüz/8 saat geceye uzatılması, fide gelişiminin oldukça yavaşlamasına neden olmuştur. İlk aşamada 20 günde dikim olgunluğuna ulaşan fideler, ikinci aşamada 40 günde ancak dikime hazır hale gelmiştir.

### 3.5 Hasat Öncesi ve Sonrası Yapılan Ölçüm ve Analizler

#### 3.5.1 Nispi klorofil

Hasat öncesi nispi klorofil okumaları (SPAD değerleri), hasattan 1 gün önce FieldScout Spektrum CM 1000 model SPAD metre cihazı ile yapılmıştır (Şekil 3.31). Bitkilerin bulunduğu tepsiler iklim kabininden açık alana çıkarılıp öğlen saatinde güneşli bir

ortamda nispi klorofil değerleri belirlenmiştir. Bu amaçla her bir tekerrürden (tepsiden) 10'ar adet okuma alınıp ortalamaları hesaplanmıştır (Khan vd. 2003).



şekil 3.31 SPAD metre ile nispi klorofil belirlemesi

Hasat sonrası ölçüm ve analizler Bahçe Bitkileri ile Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü laboratuvarında yapılmıştır. Denemelerin sonunda dikim aşamasına gelen fidelerin sökümü gerçekleştirilmiş, ölçüm ve analizlerde kullanılmak amacıyla her bir uygulamanın tekerrürlerinden 5'er adet fide alınıp bu fidelerde aşağıda belirtilen ölçüm ve analizler yapılmıştır.

### 3.5.2 Sürgün yaş ve kuru ağırlığı

Domates fideleri kökleri ile birlikte yetiştirme ortamından uzaklaştırıldıktan sonra kök boğazından kesilerek sürgün kısımlarının hassas terazide tartılması ile sürgün yaş ağırlıkları belirlenmiştir (şekil 3.32). Hassas terazide yaş ağırlıkları belirlenen sürgünler 65 °C'deki etüvde sabit ağırlığa gelene kadar tutulduktan sonra tartılarak sürgün kuru ağırlığı belirlenmiştir (Silva vd. 2016).



Şekil 3.32 Fidelerin sürgün yaş ve kuru ağırlıklarının belirlenmesi

### 3.5.3 Kök yaş ve kuru ağırlığı

Domates, fidelerinin kökleri yetiştirme ortamını temizlemek amacıyla su ile yıkanıp, kurulandıktan sonra hassas terazide tartılması ile kök yaş ağırlıkları belirlenmiştir (Şekil 3.33). Hassas terazide yaş ağırlıkları belirlenen kökler 65 °C'deki etüvde sabit ağırlığa gelene kadar kurutulduktan sonra tartılarak kök kuru ağırlığı belirlenmiştir (Silva vd. 2016).



Şekil 3.33 Fidelerin kök yaş ve kuru ağırlıklarının belirlenmesi

### 3.5.4 Sürgün / Kök Kuru Ağırlık Oranı

Sürgün kuru ağırlığı (g) / kök kuru ağırlığı (g) hesaplaması ile belirlenmiştir (Silva vd. 2016).

### 3.5.5 Sürgün ve Kök Boyu

Fidelerin kök boğazından en üstteki yaprağının uç noktasına kadar olan kısımları cetvel ile ölçülmüş (Şekil 3.34) ve sürgün boyu cm olarak ifade edilmiştir (Hernandez vd. 2016, Silva vd. 2016).

Fidelerin kök boyları, kök boğazı ile kökün en uç noktası arasındaki mesafeyi ifade etmekte olup bu uzunluk cetvel yardımıyla ölçülmüş (Şekil 3.34) ve cm cinsinden belirlenmiştir (Silva vd. 2016).



Şekil 3.34 Fidelerin sürgün ve kök boylarının ölçülmesi

### 3.5.6 Gövde Çapı

Fidelerin gövde çapı, gövdenin köke bağlandığı noktadan kumpas yardımıyla ölçülmüş (Şekil 3.35) ve mm cinsinden belirlenmiştir (Hernández ve Kubota 2016, Hernández vd. 2016, Silva vd. 2016).



Şekil 3.35 Fidelerin gövde çapının kumpas ile ölçülmesi

### 3.5.7 Sağlık Katsayısı

Sağlık katsayısı = Sürgün uzunluğu (cm) / Gövde çapı (mm) hesaplaması ile belirlenmiştir (Silva vd. 2016).

### 3.5.8 Dickson Kalite İndeksi (DKİ)

DKİ = Toplam kuru ağırlık / [(Sürgün kuru ağırlığı (g) / Kök kuru ağırlığı (g)) + Sağlık katsayısı] hesaplaması ile belirlenmiştir (Dickson vd. 1960).

### 3.5.9 Bitki Kompaktlık İndeksi

Bitki kompaktlık indeksi, toplam sürgün kuru ağırlığının, toplam bitki boyuna bölünmesiyle belirlenmiştir (Hernandez vd. 2016).

### 3.5.10 Yaprak Sayısı ve Alanı

Dikim aşamasına gelen fidelerde toplam gerçek yaprak sayısı belirlenmiştir (Hernández vd. 2016, Hernández ve Kubota 2016).

Yaprak alanının belirlenmesinde, her vejetasyon döneminde 2 cm'den daha fazla uzunluğa sahip yapraklar tarayıcıdan geçirilip bilgisayar programı aracılığı ile ölçülmüştür (Kraft 1995, Deveci vd. 2006, Deveci ve Uyan 2011, Deveci ve Bora 2016).

### **3.5.11 Yaprak Kütle Alanı (YKA)**

YKA ( $\text{g cm}^{-2}$ ) = Yaprak kuru ağırlığı (g) / Yaprak alanı ( $\text{cm}^2$ ) hesaplaması ile belirlenmiştir (Hernandez ve Kubota, 2016).

### **3.5.12 Stoma Sayısı**

Bitkiler gaz alışverişi ve su kayıplarını epidermis dokularında bulunan stomalar aracılığıyla gerçekleştirmektedir. Biyotik ve abiyotik uyaranlar ise stoma üzerinde etkili olabilmektedir (Islam vd. 2015). Stoma ölçümünde bilimsel çalışmalarda etkili olarak uygulanan şeffaf oje ile kalıp çıkarma tekniği kullanılmıştır. Böylece epidermal olarak elde edilmiş ve mikroskopta gözlenmiştir (Şekil 3.36). Stoma özelliklerine ve yapraktaki yoğunluğuna ilişkin ölçümler gerçekleştirilmiştir. Örneklenen 4 bitkinin 3'er yaprağında stoma sayısı  $0.25 \text{ mm}^2$ 'lik kareli okülerde sayılmış ve adet  $\text{mm}^{-2}$ 'ye dönüştürülmüştür.



Şekil 3.36 Stomlardan kalıp çıkarılması ve mikroskopta sayılması

### 3.5.13 SÇKM (%)

Bitki örneklerinin suyu çıkarıldıktan sonra Leica dijital refraktometrenin prizması üzerine 1-2 damla gelmiş şekilde damlatılmış ve suda çözünebilir kuru madde % olarak ifade edilmiştir (Şekil 3.37).



Şekil 3.37 Bitki özsuynun çıkarılması ve SÇKM'nin belirlenmesi

### 3.5.14 Renk tayini

Bitkilerin yapraklarından MINOLTA CR200 renk ölçer cihazı ile L\*, a\*, b\* değerleri okunarak belirlenmiştir (Şekil 3.38). L\*= Rengin parlaklığı (0: Siyah, 100: Beyaz), a\*= Kırmızılık-Yeşillik (-60: Yeşil, +60: Kırmızı), b\*= Sarılık-Mavilik (-60: Mavi, +60: Sarı) (Keskin vd. 2017).



Şekil 3.38 L, a, b değerlerinin belirlenmesi

### 3.5.15 Bitki örneklerinin mineral element analizlerine hazırlanması

Mineral element analizleri, 65 °C'de 72 saat kurutulduktan sonra öğütülen bitki örneklerinde yapılmıştır. Bu amaçla, öğütülen bitki örnekleri Jones (2001) tarafından belirtildiği şekilde HNO<sub>3</sub>-HClO<sub>4</sub> karışımıyla yaş yakılmış ve elde edilen ekstraktlarda makro ve mikro besin elementleri belirlemeleri yapılmıştır. 0.25 g bitki örneği 100 mL'lik erlenlere tartılmış ve üzerine 10 mL asit karışımı eklenerek hot plate üzerinde yaklaşık 1 mL çözelti kalıncaya kadar yakılmıştır. Bu çözeltiler 100 mL'lik balonjode son hacme tamamlanıp filtre kağıdıyla ekstrakt kaplarına süzölmüştür. Azot dışında çalışmada yer alan tüm mineral element analizleri bu ekstraktta yapılmıştır.

### 3.5.16 Bitkide toplam P analizi

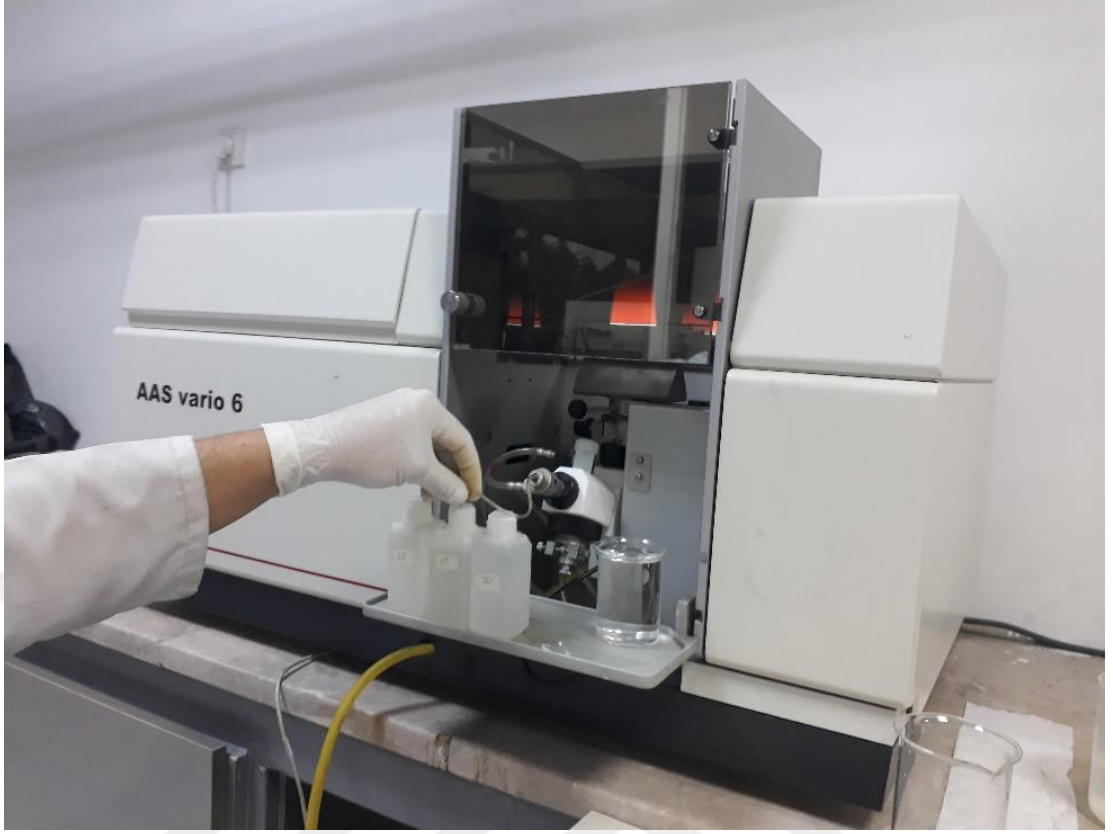
Bitkide toplam P analizi Barton (1948) tarafından belirtildiği şekilde vanadomolibdofosforik sarı renk yöntemiyle spektrofotometrik olarak yapılmıştır. Yaş yakılmış bitki ekstraktından cam tüplere 1 mL çekilmiş, üzerine 8 mL saf su ve 1 mL Barton çözeltisi eklenerek renklendirme işlemi yapılmıştır. Barton çözeltisi konulduktan sonra 10 dk renk oturması için beklenmiş ve spektrofotometrede 430 nm dalga boyunda toplam fosfor kurve yardımıyla belirlenmiştir.



Şekil 3.39 Spektrofotometre ile bitkide toplam P belirlemesi

### 3.5.17 Bitkide toplam K, Ca, Mg analizleri

Toplam K, Ca ve Mg analizi yaş yakılmış bitki ekstraktında Hanlon (1998) tarafından belirtildiği şekilde standart seriyle ayarlanmış atomik absorpsiyon spektrofotometresi (AAS) pipetinin bitki ekstraktına daldırılması şeklinde direkt olarak belirlenmiştir (Şekil 3.40).



Şekil 3.40 AAS ile bitkide toplam K, Ca, Mg, Fe, Zn, Cu ve Mn belirlenmesi

### 3.5.18 Bitkide toplam Fe, Zn, Cu, Mn analizleri

Toplam Fe, Zn, Cu ve Mn elementleri yaş yakılmış bitki ekstraktında Isaac ve Kerber (1971) tarafından belirtildiği şekilde standart seriyile ayarlanmış AAS pipetinin bitki ekstraktına daldırılması şeklinde direkt olarak belirlenmiştir (Şekil 3.40).

### 3.5.19 Bitkide toplam N analizi

Bitkide toplam N içeriği Nelson ve Sommers (1980) tarafından belirtildiği şekilde Kjeldahl yöntemiyle belirlenmiştir. 0.25 g bitki örneği tartılarak Kjeldahl tüplerine konulmuş ve üzerine 5 mL salisilik-sülfürik asit karışımı eklenerek 1 gece ön yakmaya tabii tutulmuştur. Ertesi gün tüpler yakma ünitesine yerleştirilerek artan sıcaklıklarda 8 saat süreyle yakılmıştır. Destilasyon ünitesinde NaOH ile muamele edilerek N'un önce  $\text{NH}_3$  formunda buharlaşması sonra da borik asit indikatörü içerisinde amonyum borat

şeklinde tutulması sağlanmıştır. Destilasyon sonunda rengi yeşile dönen borik asit çözeltisi, pembe renk oluşuncaya kadar 0.1 N H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ile titre edilmiş ve asit sarfiyatı miktarından bitkide toplam N miktarı % olarak hesaplanmıştır.



Şekil 3.41 Kjeldahl metodu ile bitkide toplam N belirlenmesi

### 3.6 İstatistik Analizler

Denemeden elde edilen verilerin varyans analizi Minitab 17 istatistik paket programı kullanılarak yapılmış ve uygulamalar arasındaki farklılıklar Duncan testi ile belirlenmiştir. Her iki deneme de tesadüf parselleri deneme desenine göre yürütülmüş, I. aşamada basit varyans, II. aşamada faktöriyel deneme düzeni uygulanmıştır.

#### 4. ARAŞTIRMA BULGULARI

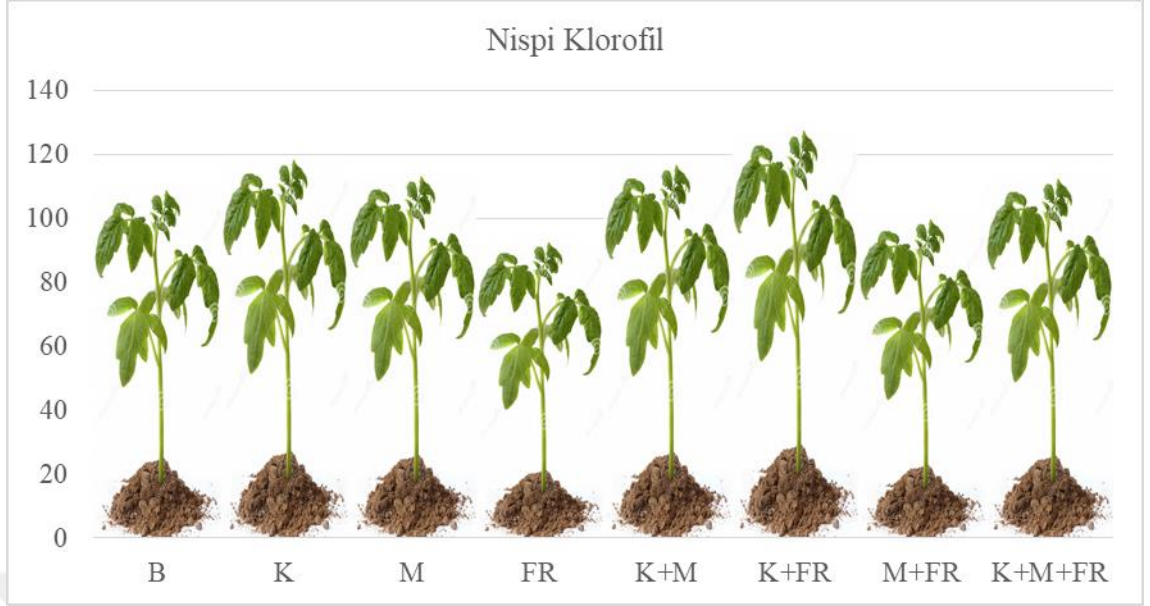
Bu çalışmada 2 farklı dönemde deneme kurulmuş olup her iki aşamada domates fidelerinde aynı kalite parametreleri belirlenmiştir. Ölçüm ve analizler sonucu elde edilen veriler, kalite parametrelerine göre gruplanmış olup her 2 aşamadan elde edilen veriler aynı parametrenin altında sunulmuştur.

##### 4.1 Nispi Klorofil

Domates fidelerinde, ışık uygulamalarının nispi klorofil üzerine etkisi istatistik olarak önemli bulunmuştur. I. aşama sonucunda elde edilen veriler değerlendirildiğinde, farklı ışık uygulamalarının nispi klorofile etkisi Çizelge 4.1'de görülmektedir. Elde edilen veriler ile deneme sürecindeki gözlemler örtüşmekte olup, nispi klorofilin en düşük olduğu bitkilerin (en açık renkli bitkilerin) Far-Red ışığa tabii tutulan bitkiler olduğu belirlenmiştir. Yalnızca K+FR uygulamasının beyaz ışığa göre istatistik olarak daha yüksek olduğu görülmüştür (Çizelge 4.1, Şekil 4.1).

Çizelge 4.1 I. aşamada farklı ışık uygulamalarının bitkilerin nispi klorofiline etkisi

Uygulama	Nispi Klorofil
Beyaz (B)	110 bc
Kırmızı (K)	119 ab
Mavi (M)	114 abc
Far Red (FR)	93.5 d
K+M	118 abc
K+FR	128 a
M+FR	101 cd
K+M+FR	114 abc
F Değeri	4.40**

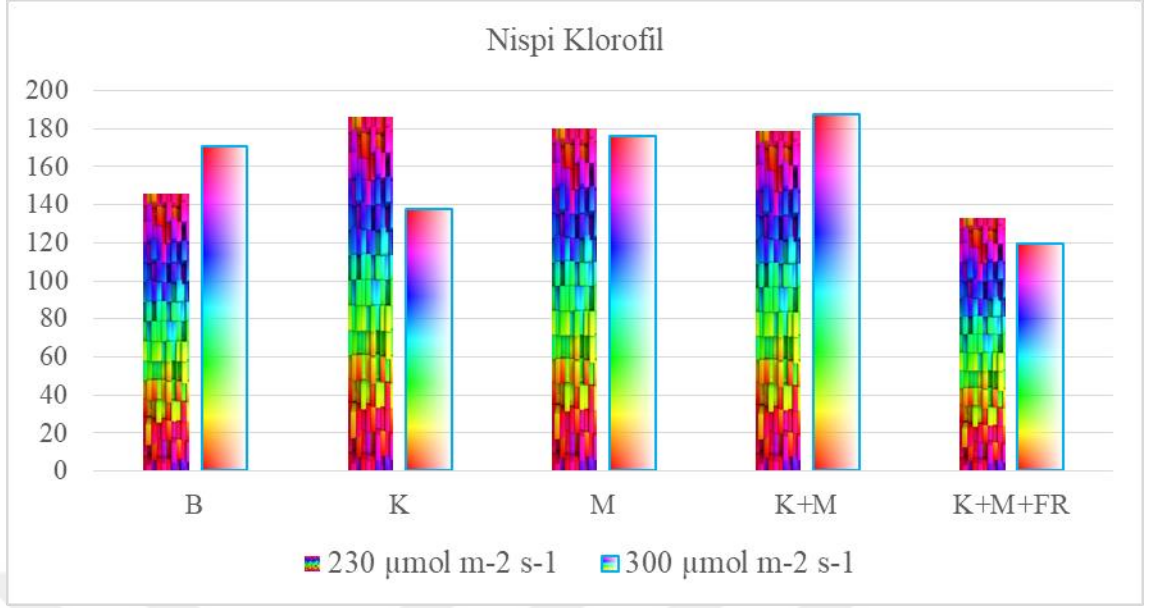


Şekil 4.1 I. aşamada farklı ışık uygulamalarının bitkilerin nispi klorofiline etkisi

Çizelge 4.2 (Şekil 4.2)'de ise II. aşamadan elde edilen veriler görülmekte olup, ışık rengi ve ışık şiddeti uygulamaları interaksiyonunun istatistik olarak önemli olduğu bulunmuştur. En düşük nispi klorofil K+M+FR uygulamalarında görülmüş ancak ışık şiddetinin nispi klorofil üzerine önemli bir etki yaratmadığı belirlenmiştir.

Çizelge 4.2 II. aşamada farklı ışık ve ışık şiddeti uygulamalarının bitkilerin nispi klorofiline etkisi

Işık Rengi	Işık Şiddeti ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )	
	230	300
Beyaz (B)	146 b	171 a
Kırmızı (K)	186 a	138 b
Mavi (M)	180 a	176 a
K+M	179 a	188 a
K+M+FR	133 bc	119 c
F Değeri		
Işık Rengi (R)	28.7 ***	
Işık Şiddeti (IŞ)	3.14 öd	
R x IŞ	11.1 ***	



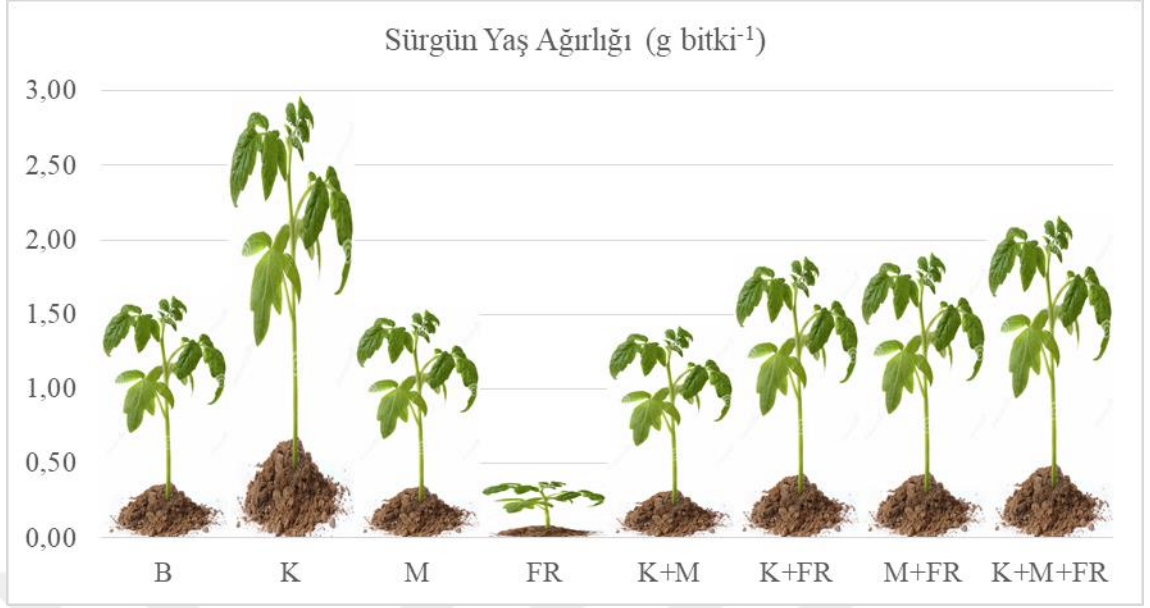
Şekil 4.2 II. aşamada farklı ışık ve ışık şiddeti uygulamalarının bitkilerin nispi klorofiline etkisi

#### 4.2 Sürgün Yaş ve Kuru Ağırlığı

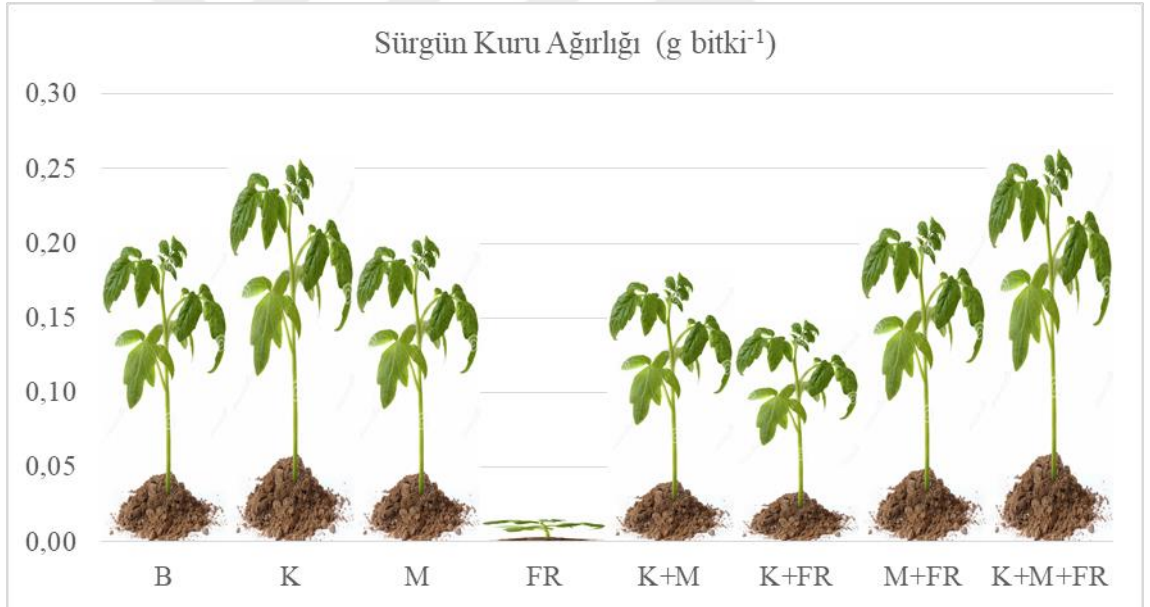
Domates fidelerinin sürgün yaş ve kuru ağırlığına farklı ışık uygulamalarının etkisi istatistik olarak önemli bulunmuştur (Çizelge 4.3, Şekil 4.3, 4.4). I. aşamada K ve K+M+FR uygulamaları sürgün yaş ve kuru ağırlığını beyaz ışığa göre önemli düzeyde artırırken FR uygulaması azaltmıştır.

Çizelge 4.3 I. denemede farklı ışık uygulamalarının sürgün yaş ağırlığına etkisi

Uygulama	Yaş Ağırlık (g bitki <sup>-1</sup> )	Kuru Ağırlık (g bitki <sup>-1</sup> )
Beyaz (B)	1.64 cd	0.207 c
Kırmızı (K)	2.99 a	0.258 ab
Mavi (M)	1.55 d	0.207 c
Far Red (FR)	0.39 e	0.015 e
K+M	1.43 d	0.182 cd
K+FR	1.91 bc	0.150 d
M+FR	1.93 bc	0.220 bc
K+M+FR	2.18 b	0.265 a
F Değeri	51.5***	41.1***



Şekil 4.3 I. aşamada farklı ışık uygulamalarının sürgün yaş ağırlığına etkisi

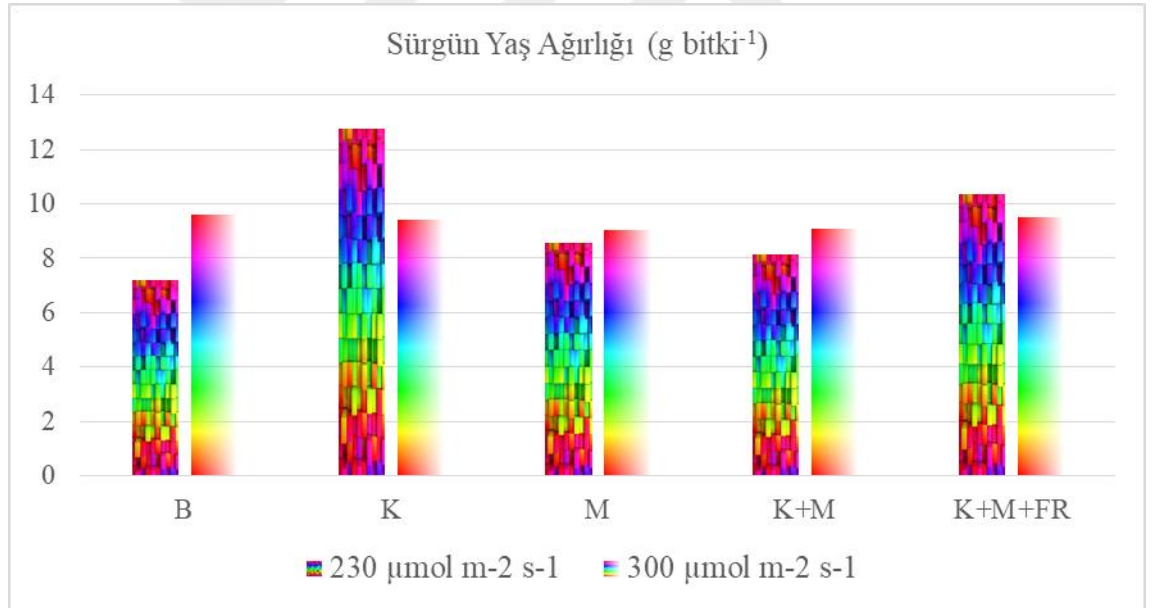


Şekil 4.4 I. aşamada farklı ışık uygulamalarının sürgün kuru ağırlığına etkisi

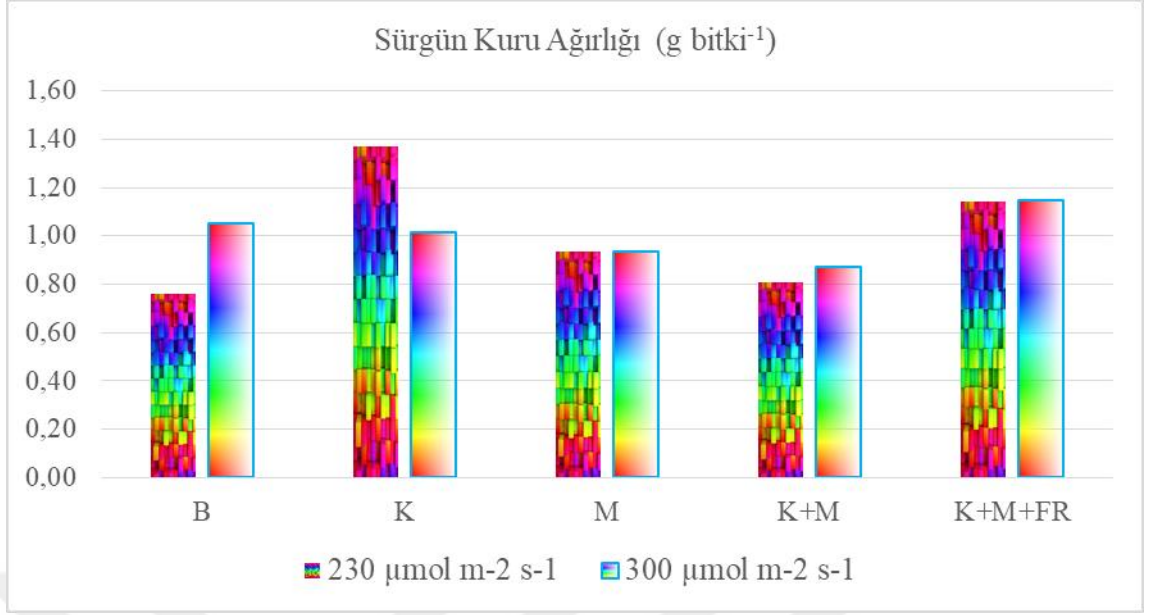
Çizelge 4.4 (Şekil 4.5, 4.6)'de II. aşamada farklı ışık ve ışık şiddeti uygulamaları interaksiyonunun domates fidelerinin sürgün yaş ve kuru ağırlığına etkileri görülmektedir. Sürgün yaş ağırlığı K uygulamasında  $230 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  ışık şiddetinde en yüksek bulunmuş, B uygulamasında  $230 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  ışık şiddetinde ise en düşük bulunmuştur.

Çizelge 4.4 II. aşamada farklı ışık ve ışık şiddeti uygulamalarının sürgün yaş ve kuru ağırlığına etkisi

Işık Rengi	Yaş Ağırlık (g bitki <sup>-1</sup> )		Kuru Ağırlık (g bitki <sup>-1</sup> )	
	Işık Şiddeti (μmol m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> )			
	230	300	230	300
Beyaz (B)	1.44 d	1.92 bc	0.15 g	0.21 c
Kırmızı (K)	2.55 a	1.89 bc	0.27 a	0.20 cd
Mavi (M)	1.71 bcd	1.80 bcd	0.19 e	0.18 de
K+M	1.63 cd	1.81 bcd	0.16 fg	0.17 ef
K+M+FR	2.07 b	1.90 bc	0.23 b	0.23 b
Ort.	1.88	1.87	0.20	0.20
F	Işık Rengi (R)	6.50 **		79.8 ***
Değeri	Işık Şiddeti (IŞ)	0.02 öd		0.03 öd
	R x IŞ	5.90 **		45.4 ***



Şekil 4.5 II. aşamada farklı ışık ve ışık şiddeti uygulamalarının sürgün yaş ağırlığına etkisi



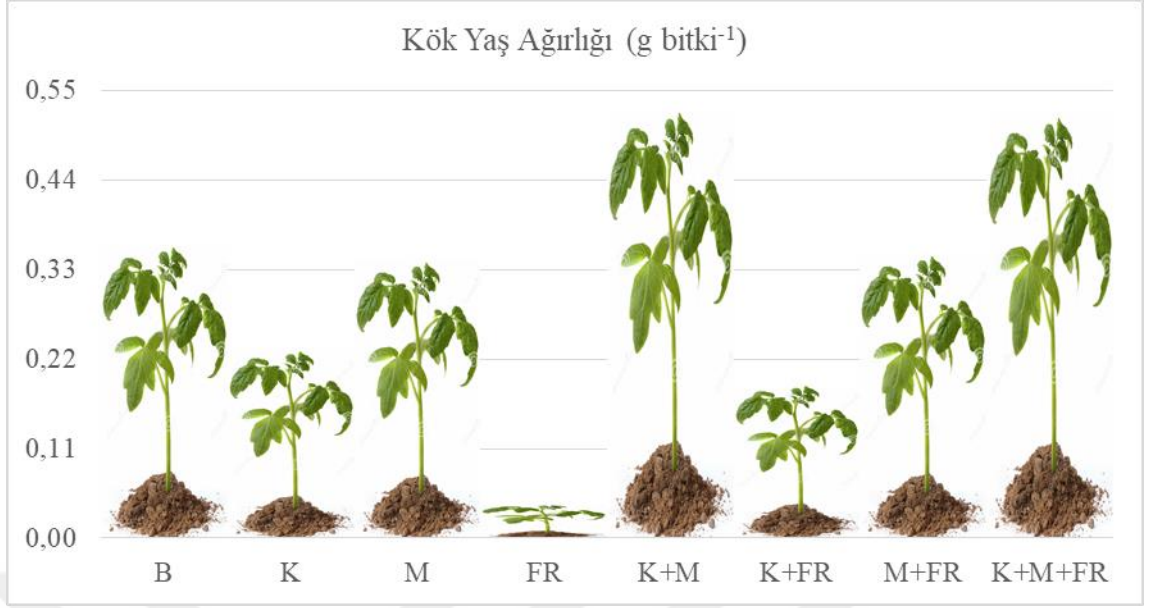
Şekil 4.6 II. aşamada farklı ışık ve ışık şiddeti uygulamalarının sürgün kuru ağırlığına etkisi

#### 4.3 Kök Yaş ve Kuru Ağırlığı

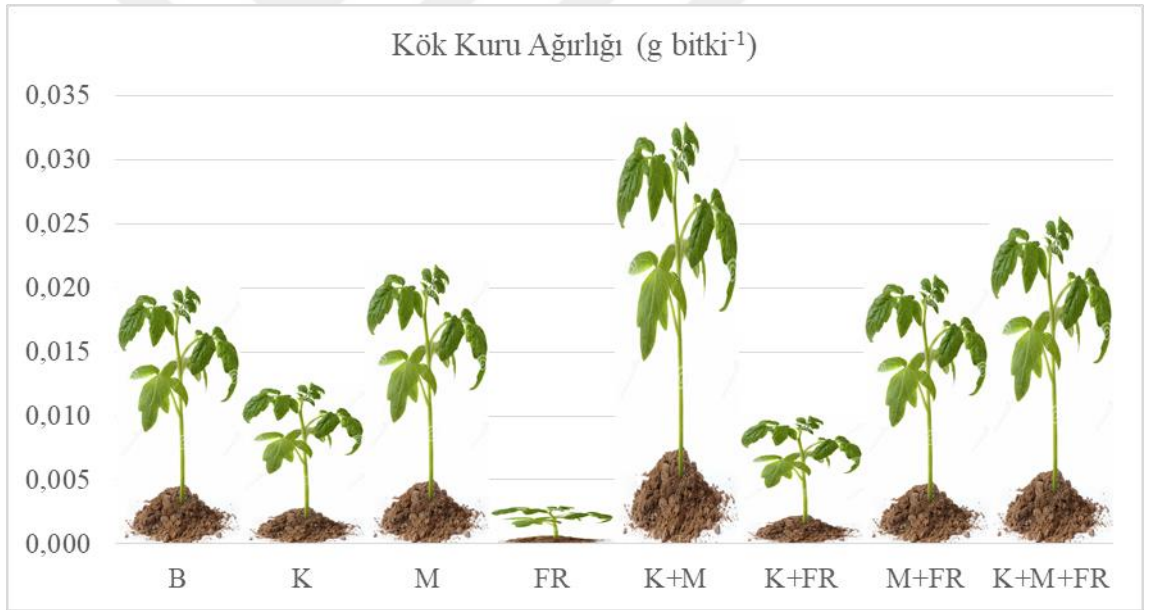
Domates fidelerinin kök yaş ve kuru ağırlığına farklı ışık uygulamalarının etkisi istatistik olarak önemli bulunmuştur (Çizelge 4.5, Şekil 4.7, 4.8). I. aşamada sürgün yaş ve kuru ağırlığı K +M uygulamasında en yüksek bulunmuş, FR uygulamasında ise azalmıştır.

Çizelge 4.5 I. aşamada farklı ışık uygulamalarının kök yaş ve kuru ağırlığına etkisi

Uygulama	Yaş Ağırlık (g bitki <sup>-1</sup> )	Kuru Ağırlık (g bitki <sup>-1</sup> )
Beyaz (B)	0.36 b	0.020 ab
Kırmızı (K)	0.23 c	0.013 b
Mavi (M)	0.34 b	0.022 b
Far Red (FR)	0.04 d	0.001 c
K+M	0.53 a	0.033 a
K+FR	0.19 c	0.010 b
M+FR	0.35 b	0.021 ab
K+M+FR	0.52 a	0.026 b
F Değeri	25.6***	9.32***



Şekil 4.7 I. aşamada farklı ışık uygulamalarının kök yaş ağırlığına etkisi

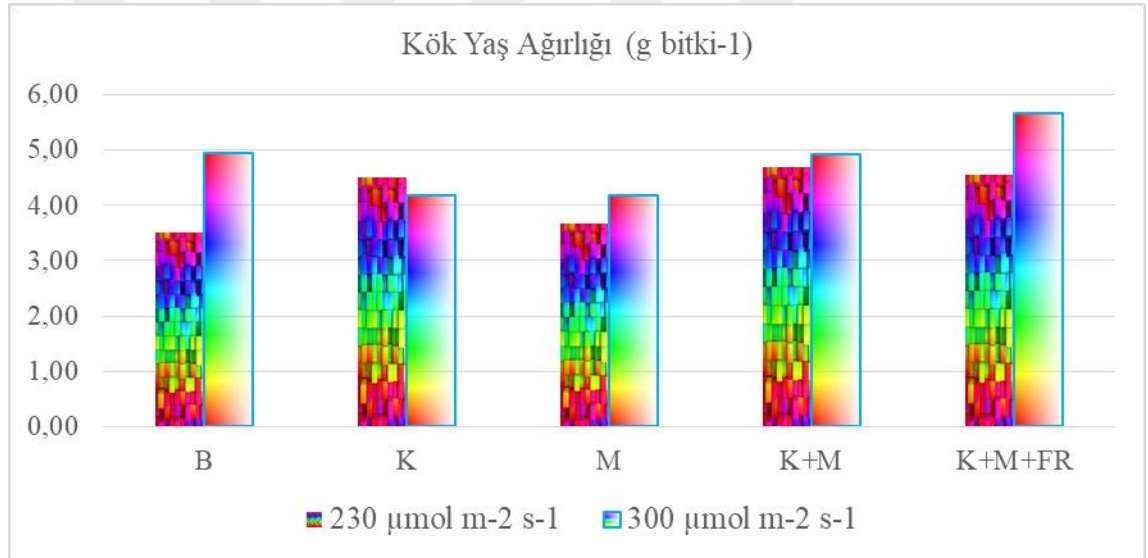


Şekil 4.8 I. aşamada farklı ışık uygulamalarının kök kuru ağırlığına etkisi

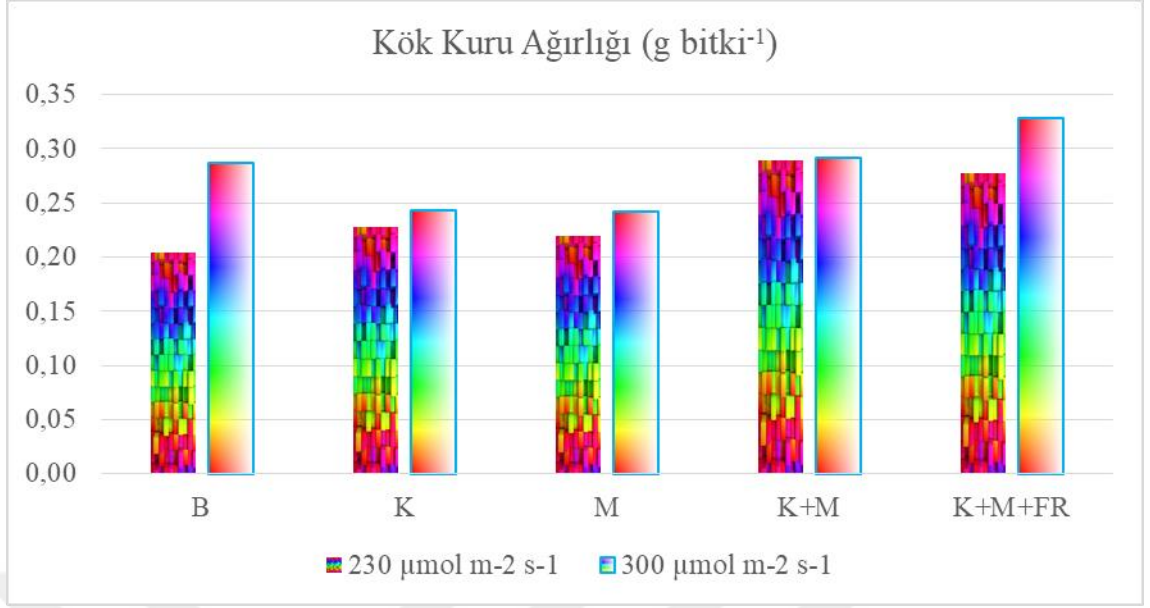
Çizelge 4.6 (Şekil 4.9, 4.10)'da II. aşamada farklı ışık ve ışık şiddeti uygulamalarının domates fidelerinin kök yaş ve kuru ağırlığına etkileri görülmektedir. Kök yaş ağırlığına sadece ışık şiddeti uygulamasının etkileri istatistik olarak önemli olurken kuru ağırlığına hem ışık rengi hem de şiddetinin etkileri önemli olmuştur. Artan ışık şiddetine bağlı olarak köklerin hem yaş hem de kuru ağırlığı artış göstermiş, en yüksek kök kuru ağırlığı ise K+M ve K+M+FR uygulamalarında görülmüştür.

Çizelge 4.6 II. aşamada farklı ışık ve ışık şiddeti uygulamalarının kök yaş ve kuru ağırlığına etkisi

Işık Rengi	Yaş Ağırlık (g bitki <sup>-1</sup> )		Kuru Ağırlık (g bitki <sup>-1</sup> )		
	Işık Şiddeti (μmol m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> )				
	230	300	230	300	Ort.
Beyaz (B)	0.70	0.99	0.041	0.057	0.25 b
Kırmızı (K)	0.90	0.84	0.046	0.049	0.24 b
Mavi (M)	0.74	0.83	0.044	0.048	0.23 b
K+M	0.94	0.98	0.058	0.058	0.29 a
K+M+FR	0.91	1.13	0.055	0.66	0.30 a
Ort.	0.84 b	0.96 a	0.049 b	0.056 a	
F	Işık Rengi (R)	2.58 öd		6.76 **	
Değeri	Işık Şiddeti (IŞ)	5.06 *		9.36 **	
	R x IŞ	1.43 öd		1.61 öd	



Şekil 4.9 II. aşamada farklı ışık ve ışık şiddeti uygulamalarının kök yaş ağırlığına etkisi



Şekil 4.10 II. aşamada farklı ışık ve ışık şiddeti uygulamalarının kök kuru ağırlığına etkisi

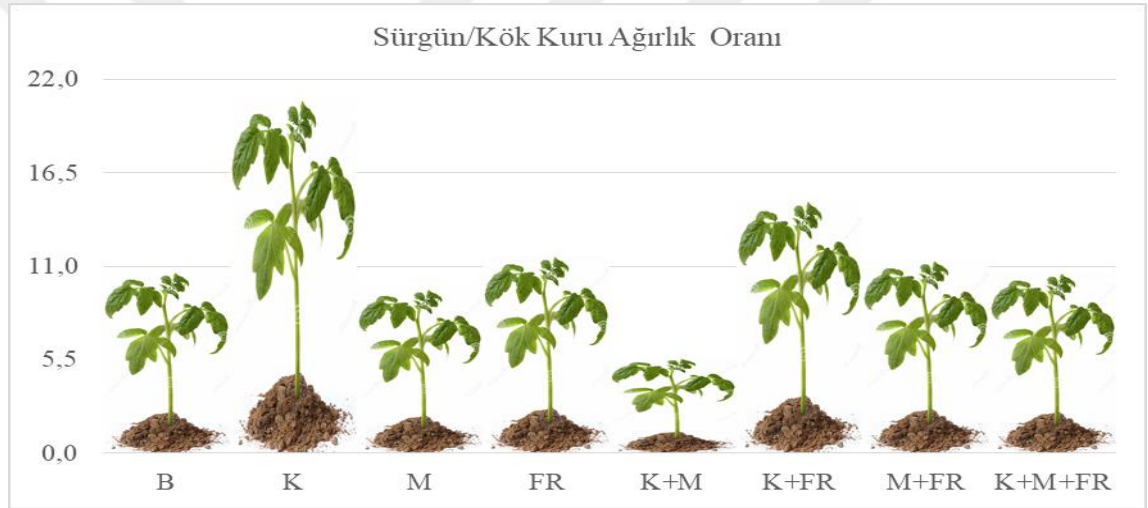
#### 4.4 Sürgün / Kök Kuru Ağırlık Oranı

İlk aşamada domates fidelerine farklı ışık uygulamalarının sürgün/kök kuru ağırlık oranına etkileri çizelge 4.7 (Şekil 4.11)'de görülmektedir. Uygulamaların sürgün/kök kuru ağırlık oranına etkileri istatistik olarak önemli bulunmuş olup K uygulamasında sürgün gelişiminin önemli düzeyde arttığı görülmektedir. Bu durum deneme yürütülürken de görsel olarak fark edilmiştir. Ancak fidelerde bu kadar fazla boylanma istenmeyen bir özellik olup yatmaya neden olmaktadır.

Farklı ışık rengi ve şiddeti uygulamalarının yer aldığı II. aşamada ise sürgün/kök kuru ağırlık oranına interaksyonun etkisi önemsiz olmuş ancak uygulamaların bireysel etkisi önemli olmuştur (Çizelge 4.8, Şekil 4.12). Yüksek ışık şiddeti uygulamasında sürgün/kök kuru ağırlık oranı düşük bulunmuştur. Farklı ışık renklerine bakıldığında ise K uygulaması bu oranı artırmış K+M ise beyaz ışığa göre azaltmıştır.

Çizelge 4.7 I. aşamada farklı ışık uygulamalarının sürgün/kök kuru ağırlık oranına etkisi

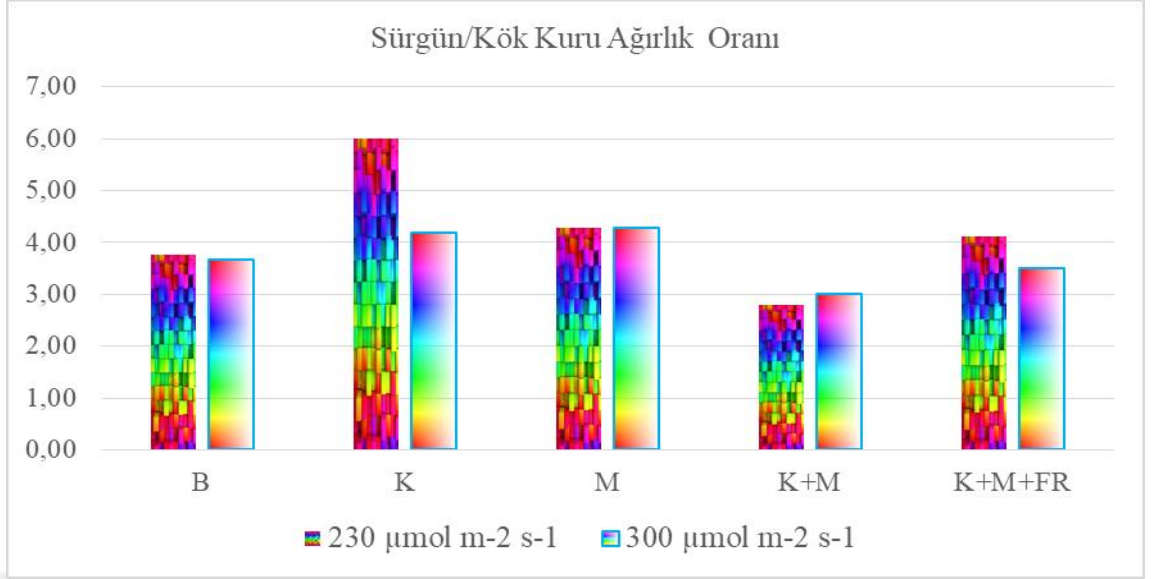
Uygulama	Sürgün/Kök Kuru Ağırlık Oranı
Beyaz (B)	10.7 bcd
Kırmızı (K)	20.9 a
Mavi (M)	9.70 cd
Far Red (FR)	15.5 b
K+M	5.57 d
K+FR	14.9 bc
M+FR	11.4 bc
K+M+FR	10.7 bcd
F Değeri	7.95***



Şekil 4.11 I. aşamada farklı ışık uygulamalarının sürgün/kök kuru ağırlık oranına etkisi

Çizelge 4.8 II. aşamada farklı ışık ve ışık şiddeti uygulamalarının sürgün/kök kuru ağırlık oranına etkisi

Işık Rengi	Işık Şiddeti ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )		
	230	300	Ort.
Beyaz (B)	3.76	3.67	3.71 b
Kırmızı (K)	5.99	4.18	5.09 a
Mavi (M)	4.28	4.27	4.27 ab
K+M	2.80	1.99	2.40 c
K+M+FR	4.11	3.50	3.81 b
Ort.	4.19 a	3.52 b	
F Değeri	Işık Rengi (R)	8.67 ***	
	Işık Şiddeti (IŞ)	4.98 *	
	R x IŞ	1.19 öd	



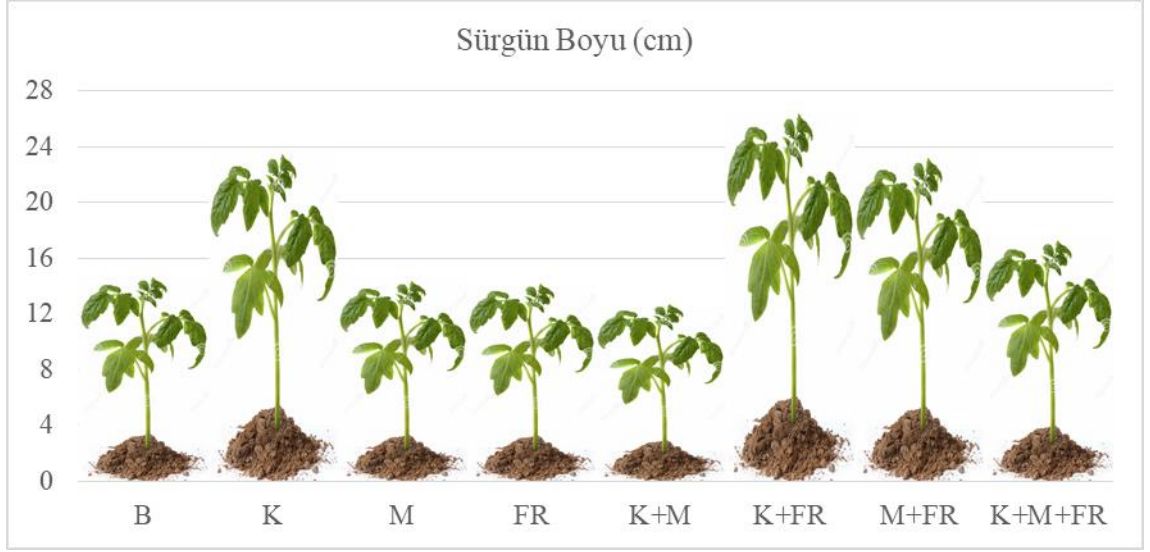
Şekil 4.12 II. aşamada farklı ışık ve ışık şiddeti uygulamalarının sürgün/kök kuru ağırlık oranına etkisi

#### 4.5 Sürgün ve Kök Boyu

I. aşamada domates fidelerinin sürgün boyuna farklı ışık uygulamalarının etkisi istatistik olarak önemli bulunmuştur. Kırmızı ışık içeren uygulamalarda bitki boyu genel olarak beyaz ışığa göre daha yüksek bulunmuş olup en yüksek bitki boyu K+FR uygulamasında görülmüştür. Mavi ışık uygulamaları ise boylanmayı baskılayıcı özelliği nedeniyle genel olarak bitki boyunu değiştirmemiş ya da azaltmıştır. En düşük bitki boyu K+M uygulamasında görülmüştür (Çizelge 4.9, Şekil 4.13)

Çizelge 4.9 I. aşamada farklı ışık uygulamalarının sürgün boyuna etkisi

Uygulama	Sürgün Boyu (cm)
Beyaz (B)	14.8 d
Kırmızı (K)	23.7 b
Mavi (M)	14.5 d
Far Red (FR)	14.3 d
K+M	12.8 e
K+FR	26.6 a
M+FR	23.4 b
K+M+FR	17.4 c
F Değeri	114***

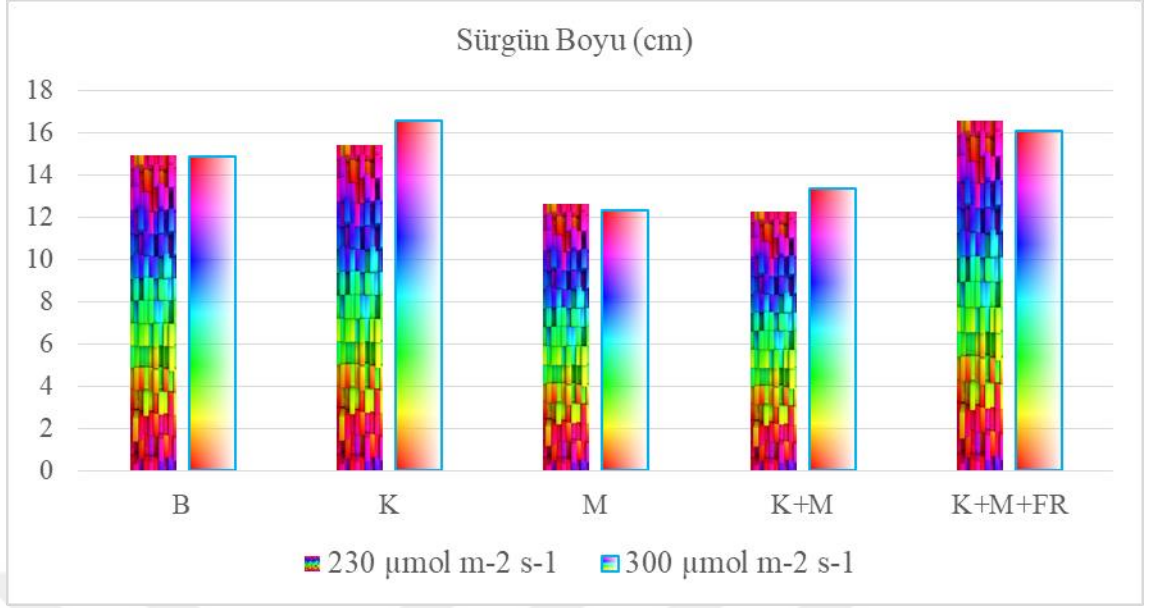


Şekil 4.13 I. aşamada farklı ışık uygulamalarının sürgün boyuna etkisi

Farklı ışık ve ışık şiddeti uygulamalarının sürgün boyuna etkisinin araştırıldığı II. aşamada ise ışık şiddeti ve rengi interaksiyonun istatistik olarak önemsiz olmuş ancak renk uygulamalarının etkisi önemli bulunmuştur. M ve K+M uygulamalarında bitki boyu B uygulamasına göre önemli düzeyde düşük bulunmuştur (Çizelge 4.10, Şekil 4.14).

Çizelge 4.10 II. aşamada farklı ışık ve ışık şiddeti uygulamalarının sürgün boyuna etkisi

Işık Rengi	Işık Şiddeti ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )		
	230	300	Ort.
Beyaz (B)	15.0	14.9	14.9 a
Kırmızı (K)	15.4	16.6	16.0 a
Mavi (M)	12.6	12.3	12.5 b
K+M	12.3	13.4	12.8 b
K+M+FR	16.6	16.1	16.3 a
F Değeri	Işık Rengi (R)	10.5 ***	
	Işık Şiddeti (IŞ)	0.30 öd	
	R x IŞ	0.51 öd	

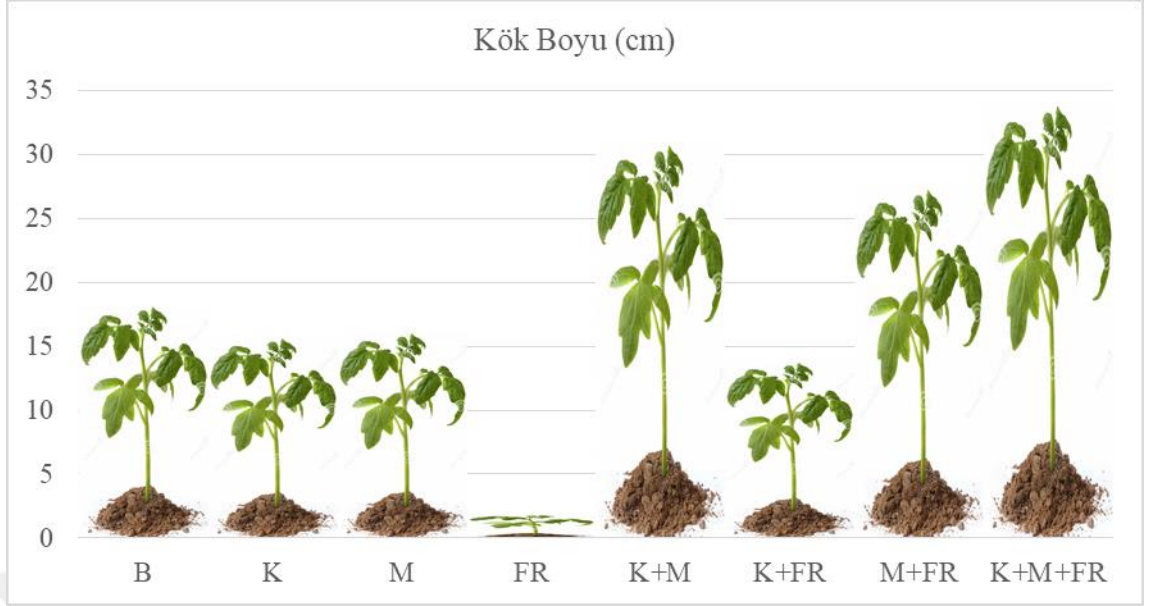


Şekil 4.14 II. aşamada farklı ışık ve ışık şiddeti uygulamalarının sürgün boyuna etkisi

Domates fidelerinin kök boyuna farklı ışık uygulamalarının etkisi istatistik olarak önemli bulunmuştur (Çizelge 4.11, Şekil 4.15). I. aşamada K+M, M+FR ve K+M+FR uygulamaları kök boyunu beyaz ışığa göre önemli düzeyde artırırken FR uygulaması azaltmıştır.

Çizelge 4.11 I. aşamada farklı ışık uygulamalarının kök boyuna etkisi

Uygulama	Kök Boyu (cm)
Beyaz (B)	18.2 c
Kırmızı (K)	15.7 c
Mavi (M)	16.1 c
Far Red (FR)	1.80 d
K+M	30.9 ab
K+FR	13.8 c
M+FR	27.5 b
K+M+FR	34.0 a
F Değeri	29.5***

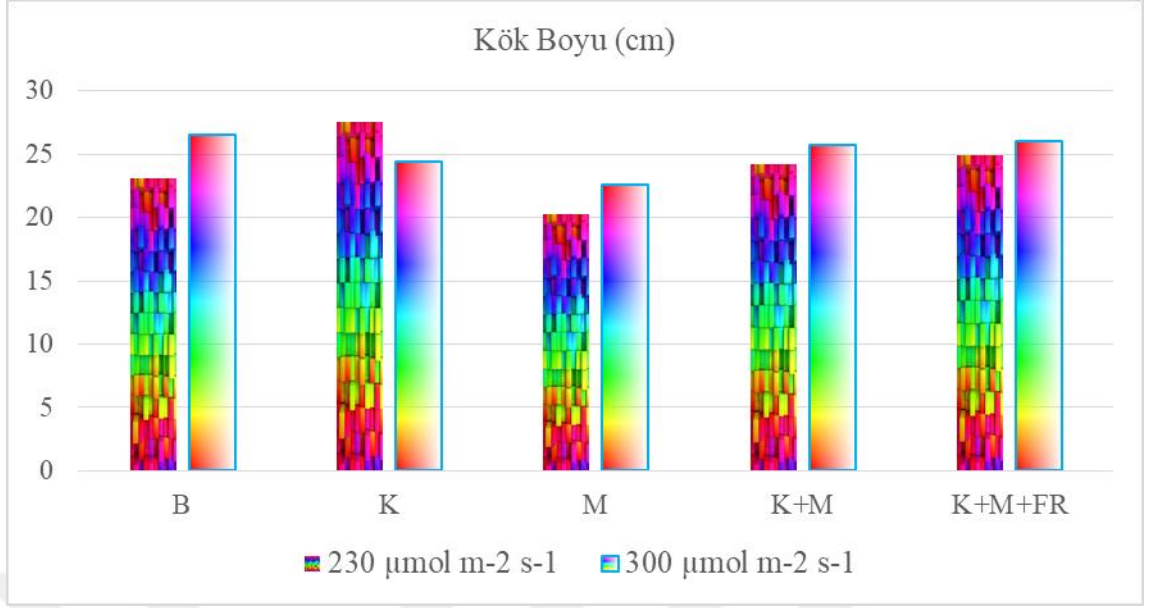


Şekil 4.15 I. aşamada farklı ışık uygulamalarının kök boyuna etkisi

Çizelge 4.12 (Şekil 4.16)'de II. aşamada farklı ışık ve ışık şiddeti uygulamalarının domates fidelerinin kök boyuna etkileri görülmektedir. Farklı ışık ve ışık şiddeti uygulamalarının kök boyuna etkileri istatistik olarak önemsiz bulunmuştur.

Çizelge 4.12 II. aşamada farklı ışık ve ışık şiddeti uygulamalarının kök boyuna etkisi

Işık Rengi	Işık Şiddeti ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )	
	230	300
Beyaz (B)	23.1	26.5
Kırmızı (K)	27.5	24.4
Mavi (M)	20.3	22.6
K+M	24.2	25.7
K+M+FR	24.9	26.1
F Değeri	Işık Rengi (R)	1.56 öd
	Işık Şiddeti (IŞ)	0.71 öd
	R x IŞ	0.77 öd



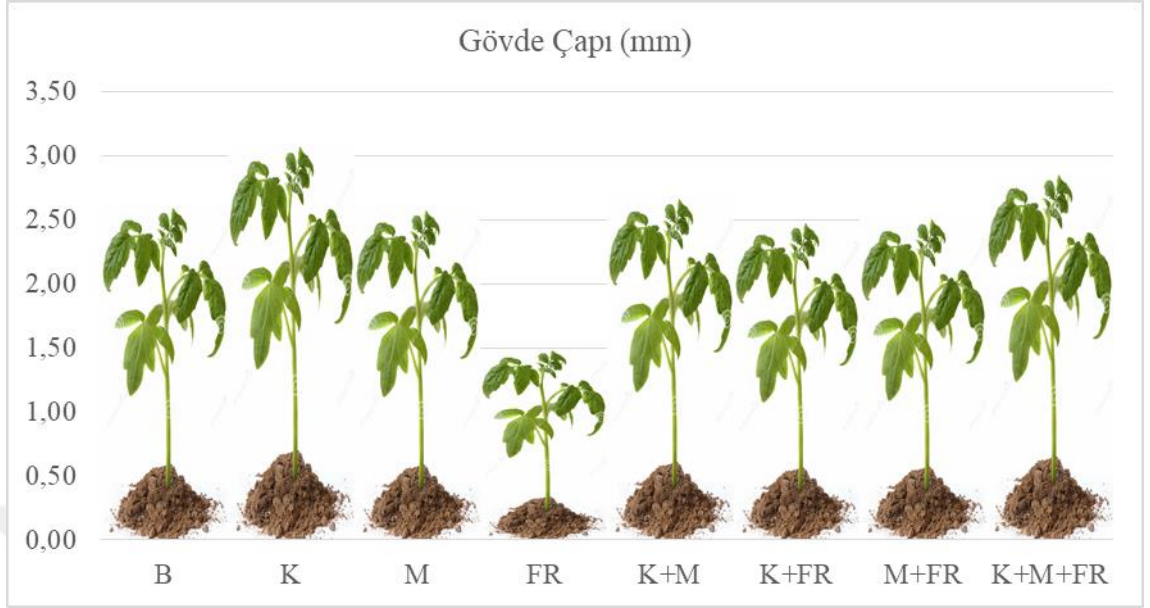
Şekil 4.16 II. aşamada farklı ışık ve ışık şiddeti uygulamalarının kök boyuna etkisi

#### 4.6 Gövde Çapı ve Sağlamlık Katsayısı

I. aşamada domates fidelerinin gövde çapına farklı ışık uygulamalarının etkisi istatistik olarak önemli bulunmuştur. K ve K+M+FR uygulamalarında gövde çapı beyaz ışığa göre daha yüksek bulunmuş olup en kalın gövde çapı K uygulamasında görülmüştür. FR uygulamasında ise gövde çapı, deneme sırasındaki gözlemleri doğrular nitelikte beyaz ışığa göre önemli düzeyde düşük bulunmuştur (Çizelge 4.13, Şekil 4.17).

Çizelge 4.13 I. aşamada farklı ışık uygulamalarının gövde çapına etkisi

Uygulama	Gövde Çapı (mm)
Beyaz (B)	2.62 c
Kırmızı (K)	3.10 a
Mavi (M)	2.60 c
Far Red (FR)	1.49 d
K+M	2.68 bc
K+FR	2.49 c
M+FR	2.52 c
K+M+FR	2.88 b
F Değeri	44.5***

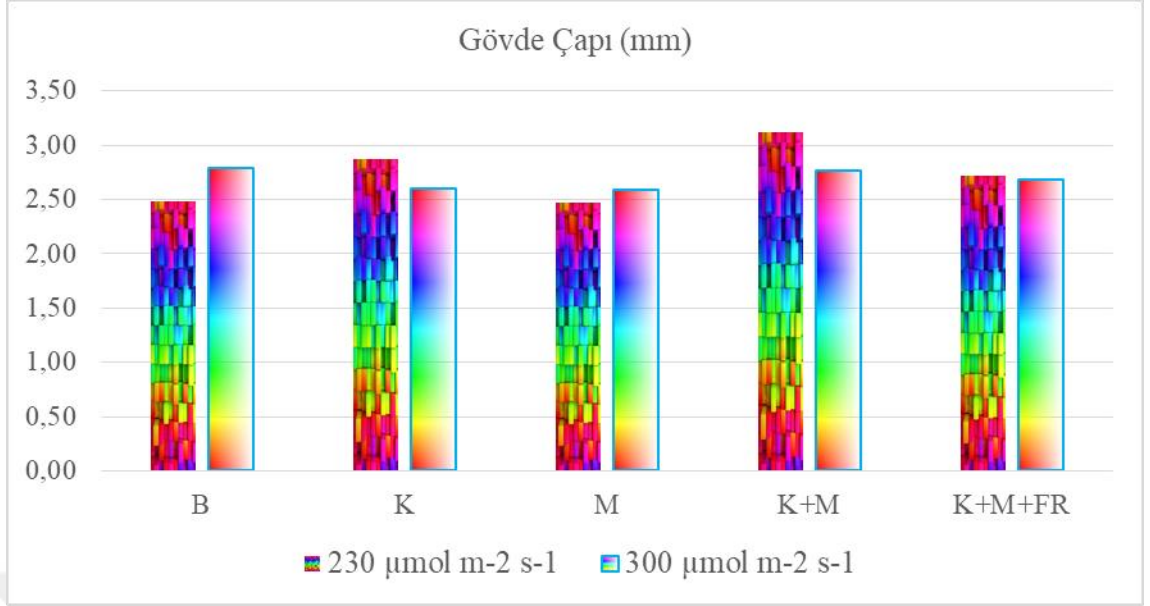


Şekil 4.17 I. aşamada farklı ışık uygulamalarının gövde çapına etkisi

Çizelge 4.14 (Şekil 4.18)'de II. aşamada farklı ışık ve ışık şiddeti uygulamalarının domates fidelerinin gövde çapına etkileri görülmektedir. Işık şiddeti ve rengi uygulamalarının interaksiyonun istatistik olarak önemli bulunmuştur. Düşük ışık şiddetinde renge bağlı farklılıklar daha bariz görülmüş, K, K+M ve K+M+FR uygulamalarında gövde çapı beyaz ışığa göre daha yüksek bulunmuştur.

Çizelge 4.14 II. aşamada farklı ışık ve ışık şiddeti uygulamalarının gövde çapına etkisi

Işık Rengi	Işık Şiddeti ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )	
	230	300
Beyaz (B)	24.8 d	27.8 bc
Kırmızı (K)	28.7 ab	26.0 cd
Mavi (M)	24.7 d	25.8 cd
K+M	31.2 a	27.7 bc
K+M+FR	27.7 bc	26.3 bcd
F Değeri	Işık Rengi (R)	7.65 **
	Işık Şiddeti (IŞ)	1.80 öd
	R x IŞ	5.93 **

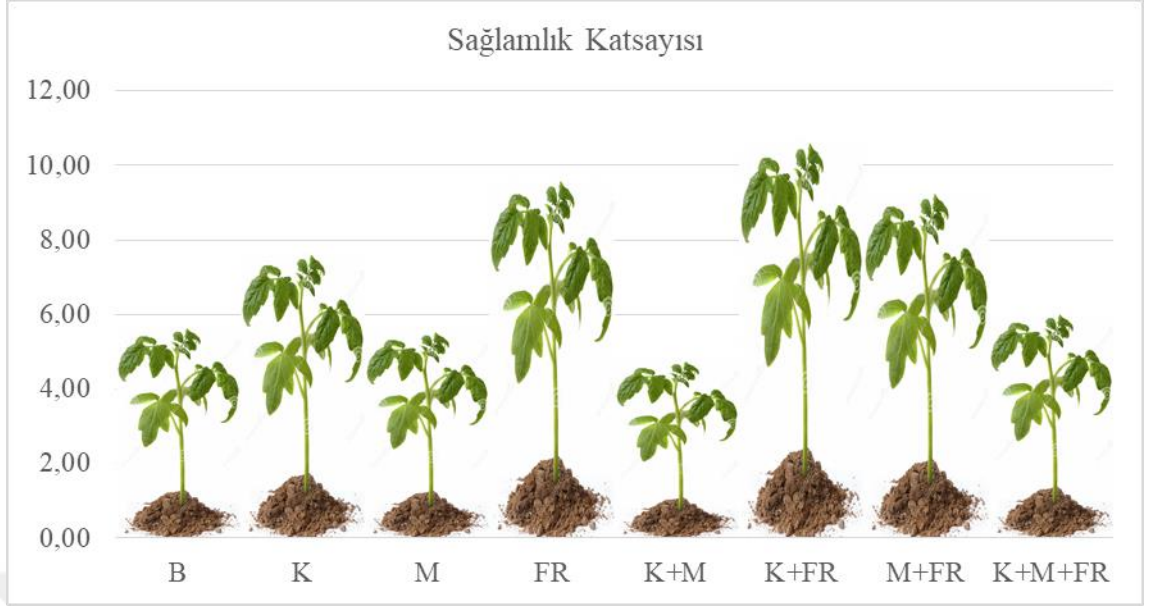


Şekil 4.18 II. aşamada farklı ışık ve ışık şiddeti uygulamalarının gövde çapına etkisi

Domates fidelerinin kök boyuna farklı ışık uygulamalarının etkisi istatistik olarak önemli bulunmuştur (Çizelge 4.15, Şekil 4.19). I. aşamada K, FR, K+FR ve M+FR uygulamaları sağlamlık katsayısını beyaz ışığa göre önemli düzeyde artırırken K+M uygulaması azaltmıştır. FR uygulaması ışık olarak yetersiz geldiği için fideler etiyole olarak gelişmiş ve bu nedenle buradaki sonuç iyi görülmüştür.

Çizelge 4.15 I. aşamada farklı ışık uygulamalarının sağlamlık katsayısına etkisi

Uygulama	Sağlamlık Katsayısı
Beyaz (B)	5.65 d
Kırmızı (K)	7.65 c
Mavi (M)	5.57 d
Far Red (FR)	9.64 b
K+M	4.77 e
K+FR	10.7 a
M+FR	9.29 b
K+M+FR	6.04 d
F Değeri	71.1***

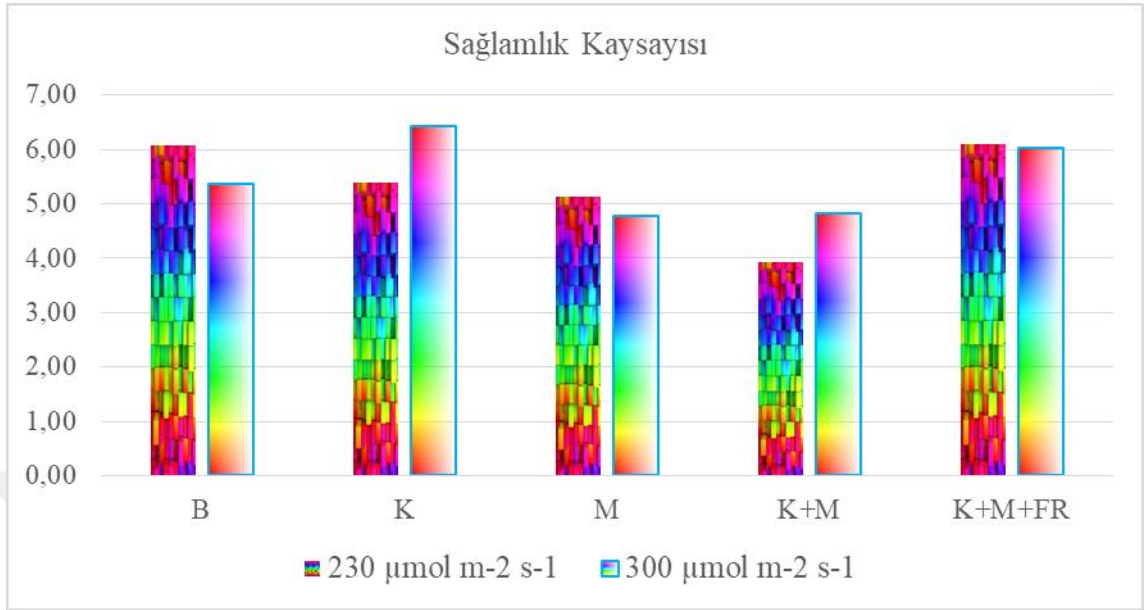


Şekil 4.19 I. aşamada farklı ışık uygulamalarının sağlamlık katsayısına etkisi

Farklı ışık ve ışık şiddeti uygulamalarının sürgün boyuna etkisinin araştırıldığı II. aşamada ise ışık şiddeti ve rengi interaksiyonun istatistik olarak önemsiz olmuş ancak renk uygulamalarının etkisi önemli bulunmuştur. K+M uygulamasında sağlamlık katsayısı B uygulamasına göre önemli düzeyde düşük bulunmuştur (Çizelge 4.16, Şekil 4.20).

Çizelge 4.16 II. aşamada farklı ışık ve ışık şiddeti uygulamalarının sağlamlık katsayısına etkisi

Işık Rengi	Işık Şiddeti ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )		
	230	300	Ort.
Beyaz (B)	6.07	5.35	5.71 ab
Kırmızı (K)	5.40	6.42	5.91 a
Mavi (M)	5.13	4.77	4.95 bc
K+M	3.94	4.83	4.38 c
K+M+FR	6.10	6.03	6.07 a
F Değeri	Işık Rengi (R)	7.21 **	
	Işık Şiddeti (IŞ)	0.42 öd	
	R x IŞ	2.10 öd	



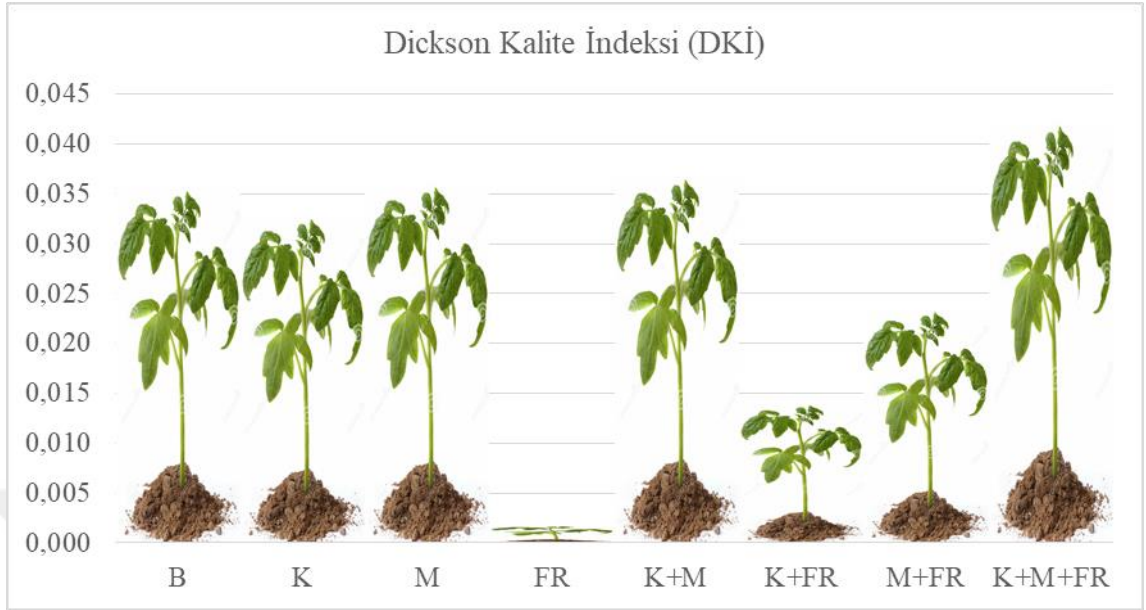
Şekil 4.20 II. aşamada farklı ışık ve ışık şiddeti uygulamalarının sağlamlık katsayısına etkisi

#### 4.7 Dickson Kalite İndeksi (DKİ)

I. aşamada domates fidelerinin DKİ'ne farklı ışık uygulamalarının etkisi istatistik olarak önemli bulunmuştur. K+M+FR uygulamalarında DKİ beyaz ışığa göre daha yüksek bulunmuş, FR ve ikili ışık kombinasyonlarında ise düşük bulunmuştur (Çizelge 4.17, Şekil 4.21).

Çizelge 4.17 I. aşamada farklı ışık uygulamalarının Dickson Kalite İndeksi'ne etkisi

Uygulama	Dickson Kalite İndeksi
Beyaz (B)	0.036 b
Kırmızı (K)	0.033 b
Mavi (M)	0.036 b
Far Red (FR)	0.002 e
K+M	0.037 e
K+FR	0.014 d
M+FR	0.023 c
K+M+FR	0.042 a
F Değeri	37.2***

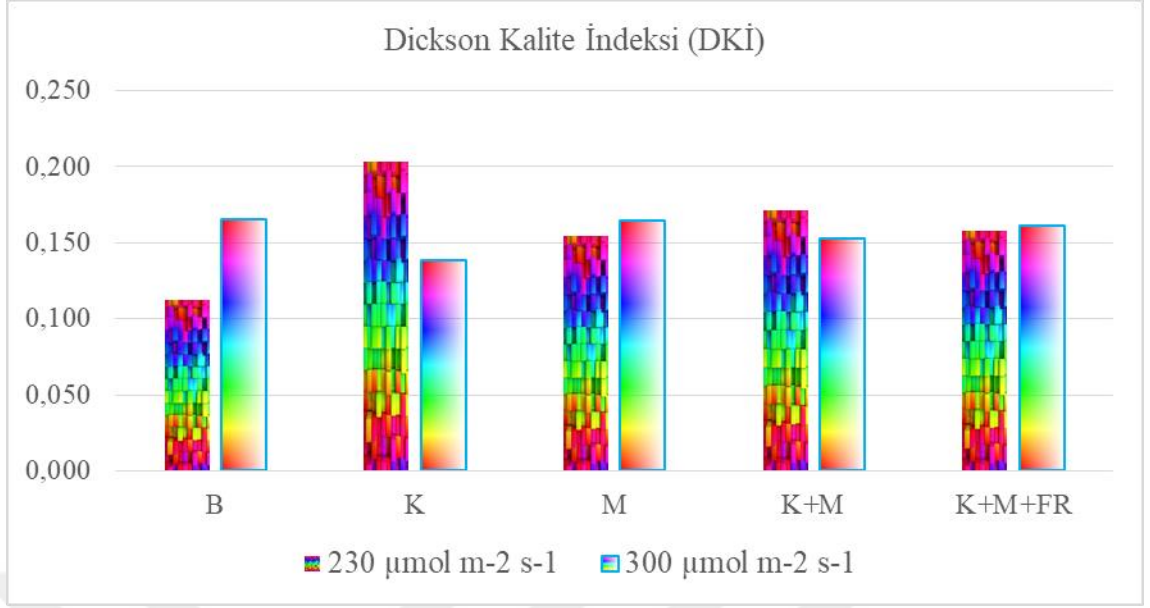


Şekil 4.21 I. aşamada farklı ışık uygulamalarının Dickson Kalite İndeksi'ne etkisi

Çizelge 4.18 (Şekil 4.22)'de ise II. aşamadan elde edilen veriler görülmekte olup, ışık rengi ve ışık şiddeti uygulamaları interaksiyonunun istatistik olarak önemli olduğu bulunmuştur. En düşük DKİ değeri düşük ışık şiddetinde B uygulamasında, en yüksek değer ise yine düşük ışık şiddetinde K uygulamasında elde edilmiştir. DKİ, yüksek ışık şiddetindeki tüm uygulamalarda, düşük ışık şiddetindeki B uygulamasına göre önemli düzeyde artış göstermiştir.

Çizelge 4.18 II. aşamada farklı ışık ve ışık şiddeti uygulamalarının Dickson Kalite İndeksi'ne etkisi

Işık Rengi	Işık Şiddeti ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )	
	230	300
Beyaz (B)	0.11 d	0.17 b
Kırmızı (K)	0.20 a	0.14 c
Mavi (M)	0.15 bc	0.16 bc
K+M	0.17 b	0.15 bc
K+M+FR	0.16 bc	0.16 bc
F Değeri	Işık Rengi (R)	4.01 *
	Işık Şiddeti (IŞ)	0.40 öd
	R x IŞ	13.6 ***



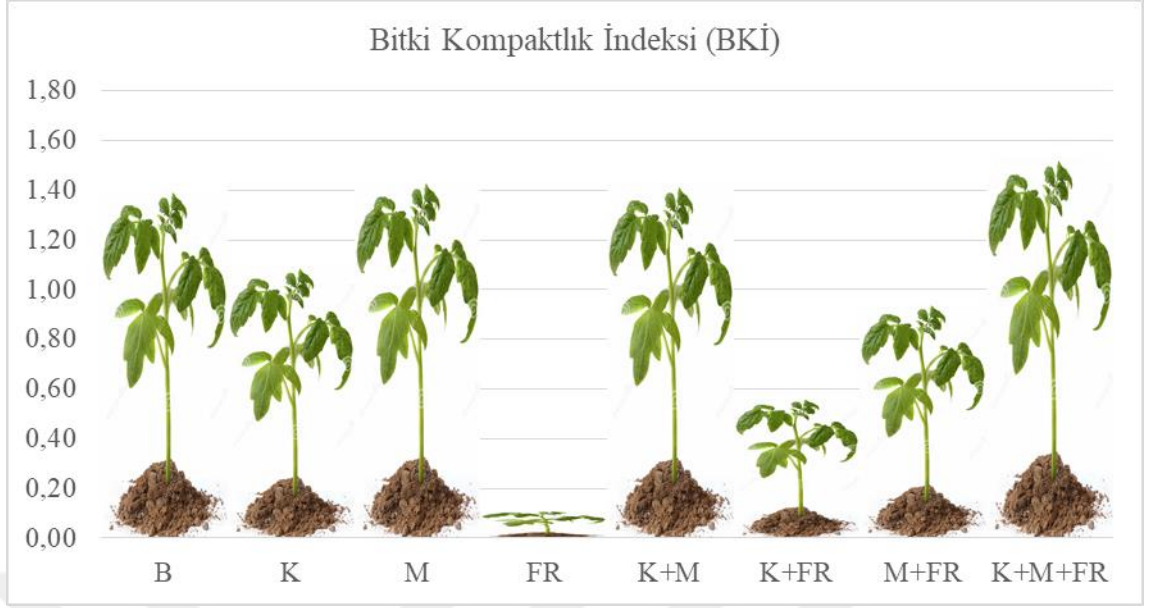
Şekil 4.22 II. aşamada farklı ışık ve ışık şiddeti uygulamalarının Dickson Kalite İndeksi'ne etkisi

#### 4.8 Bitki Kompaktlık İndeksi (BKİ)

I. aşamada domates fidelerinin sürgün boyuna farklı ışık uygulamalarının etkisi istatistik olarak önemli bulunmuştur. K, FR, K+FR, M+FR uygulamalarıyla BKİ beyaz ışığa göre önemli düzeyde azalmıştır. Mavi ışığın bitkide boylanmayı baskılaması nedeniyle genel olarak mavi ışık içeren uygulamalarda BKİ beyaz ışık uygulamasıyla aynı olmuştur (Çizelge 4.19, Şekil 4.23).

Çizelge 4.19 I. aşamada farklı ışık uygulamalarının Bitki Kompaktlık İndeksi'ne etkisi

Uygulama	Bitki Kompaktlık İndeksi
Beyaz (B)	1.40 a
Kırmızı (K)	1.09 b
Mavi (M)	1.44 a
Far Red (FR)	0.11 d
K+M	1.42 a
K+FR	0.56 c
M+FR	0.94 b
K+M+FR	1.53 a
F Değeri	49.3***

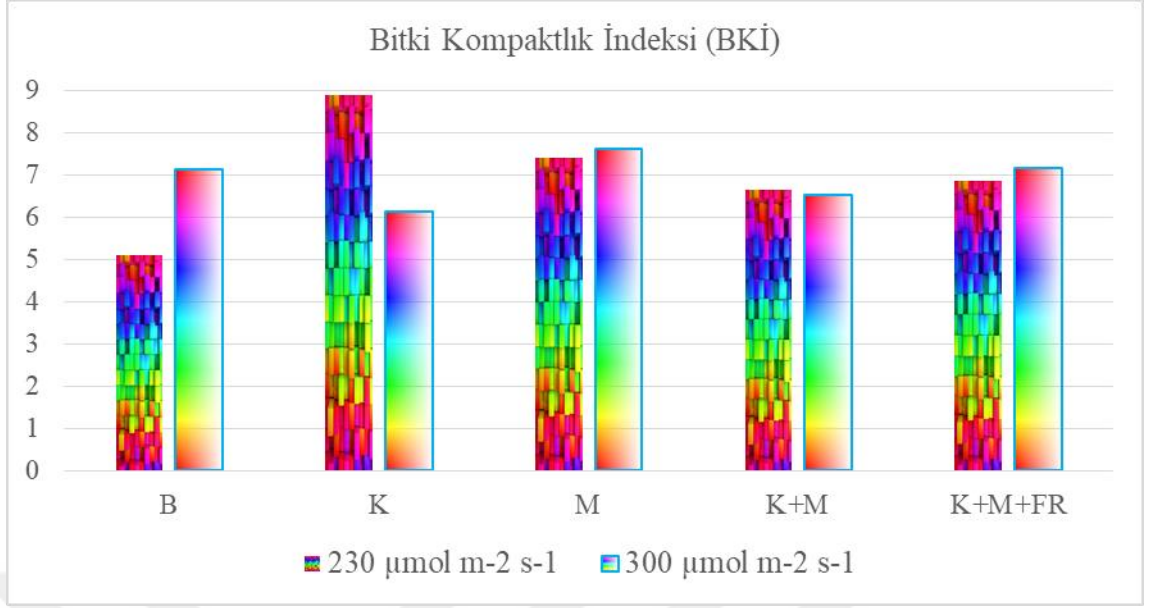


Şekil 4.23 I. aşamada farklı ışık uygulamalarının Bitki Kompaktlık İndeksi'ne etkisi

Çizelge 4.20 (Şekil 4.24)'de II. aşamada farklı ışık ve ışık şiddeti uygulamalarının domates fidelerinin Bitki Kompaktlık İndeksi'ne etkileri görülmektedir. Işık şiddeti ve rengi uygulamalarının interaksiyonu istatistik olarak önemli bulunmuştur. Düşük ışık şiddetinde renge bağlı farklılıklar daha bariz görülmüş, K, K+M ve K+M+FR uygulamalarında gövde çapı beyaz ışığa göre daha yüksek bulunmuştur.

Çizelge 4.20 II. aşamada farklı ışık ve ışık şiddeti uygulamalarının Bitki Kompaktlık İndeksi'ne etkisi

Işık Rengi	Işık Şiddeti ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )	
	230	300
Beyaz (B)	5.10 d	7.12 bc
Kırmızı (K)	8.90 a	6.15 c
Mavi (M)	7.41 b	7.62 b
K+M	6.65 bc	6.54 bc
K+M+FR	6.88 bc	7.18 bc
F Değeri	Işık Rengi (R)	7.02 **
	Işık Şiddeti (IŞ)	0.10 öd
	R x IŞ	14.0 ***



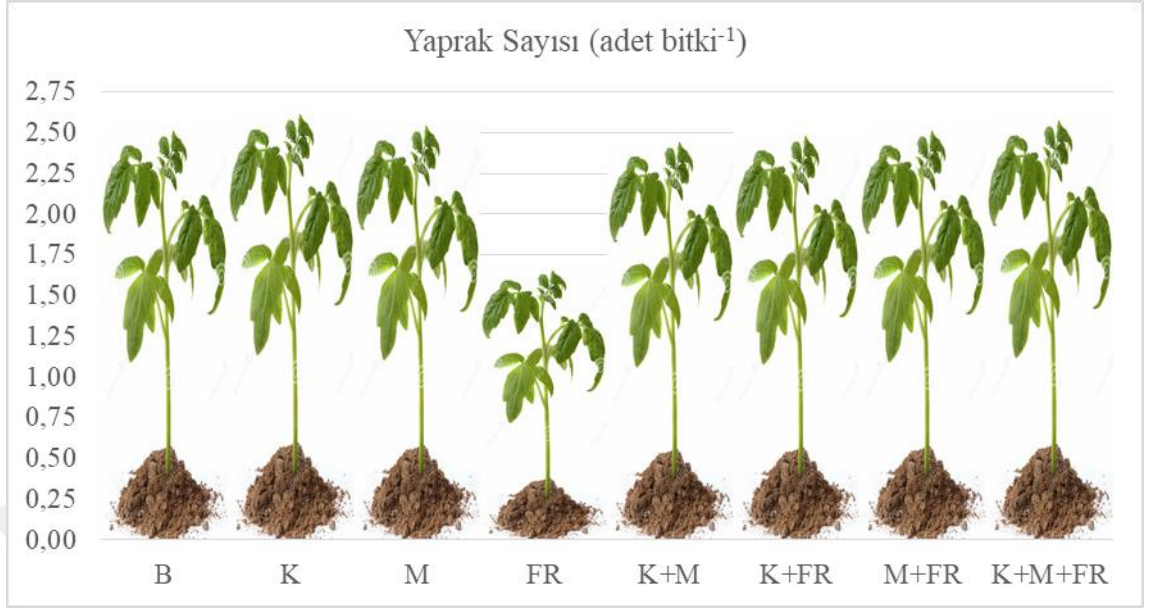
Şekil 4.24 II. aşamada farklı ışık ve ışık şiddeti uygulamalarının Bitki Kompaktlık İndeksi'ne etkisi

#### 4.9 Yaprak Sayısı ve Alanı

I. aşamada domates fidelerinin yaprak sayısına farklı ışık uygulamalarının etkisi istatistik olarak önemli bulunmuştur. FR uygulamalarında yaprak sayısı diğer tüm uygulamalara göre daha düşük bulunmuştur. Deneme sırasında yapılan gözlemlerde bu uygulamada bitki gelişimi oldukça zayıf olduğundan sonuçlar gözlemlerle örtüşmektedir (Çizelge 4.21, Şekil 4.25).

Çizelge 4.21 I. aşamada farklı ışık uygulamalarının yaprak sayısına etkisi

Uygulama	Yaprak Sayısı (adet)
Beyaz (B)	2.53 a
Kırmızı (K)	2.63 a
Mavi (M)	2.57 a
Far Red (FR)	1.67 b
K+M	2.47 a
K+FR	2.50 a
M+FR	2.53 a
K+M+FR	2.60 a
F Değeri	18.4***

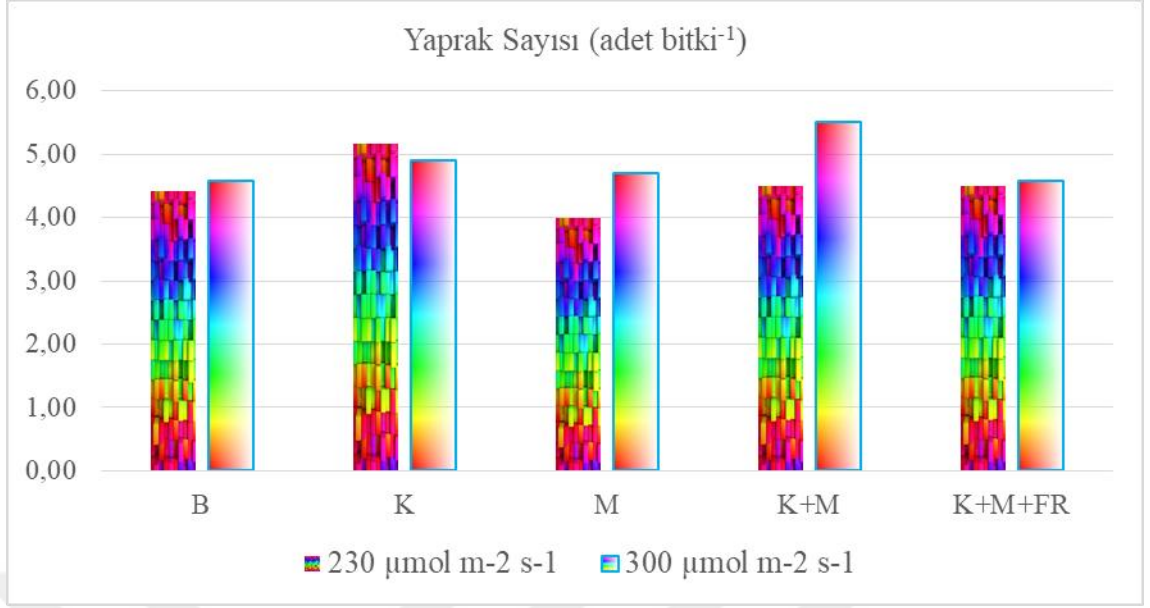


Şekil 4.25 I. aşamada farklı ışık uygulamalarının yaprak sayısına etkisi

Domates fidelerinin yaprak sayısına ışık şiddeti ve rengi uygulamalarının interaksiyonunun ile uygulamaların bireysel etkisi istatistik olarak önemsiz bulunmuştur (Çizelge 4.22, Şekil 4.26).

Çizelge 4.22 II. aşamada farklı ışık ve ışık şiddeti uygulamalarının yaprak sayısına etkisi

Işık Rengi	Işık Şiddeti ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )	
	230	300
Beyaz (B)	4.42	4.58
Kırmızı (K)	5.17	4.90
Mavi (M)	4.00	4.70
K+M	4.50	5.50
K+M+FR	4.50	4.58
F Değeri	Işık Rengi (R)	2.50 öd
	Işık Şiddeti (IŞ)	3.66 öd
	R x IŞ	1.66 öd

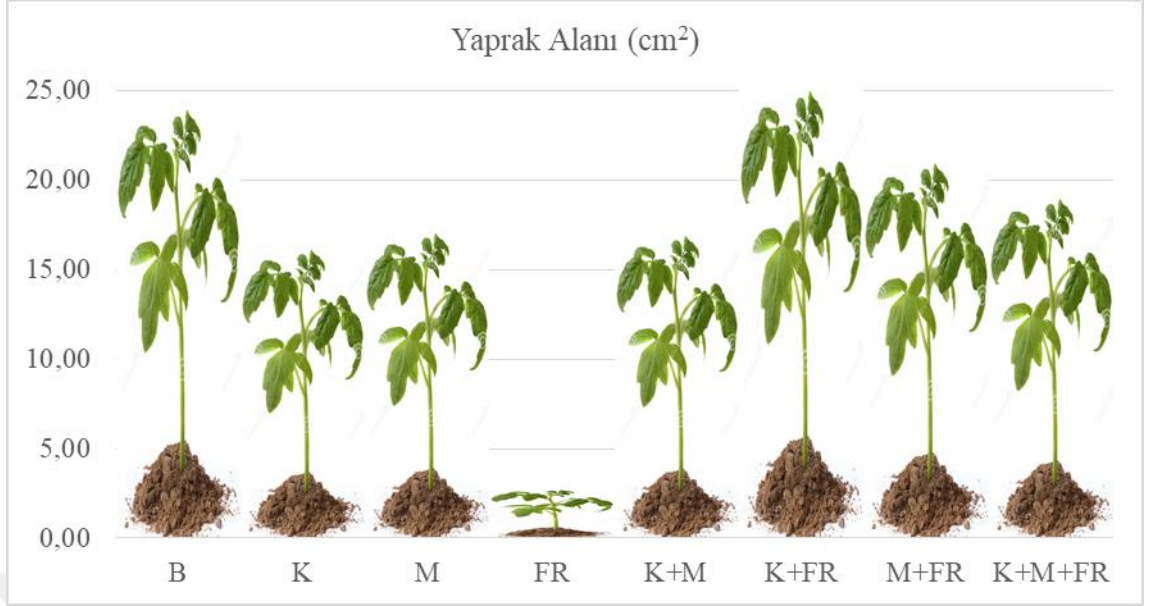


Şekil 4.26 II. aşamada farklı ışık ve ışık şiddeti uygulamalarının yaprak sayısına etkisi

Domates fidelerinin yaprak alanına, I. aşamada farklı ışık uygulamalarının etkisi istatistik olarak önemli bulunmuştur (Çizelge 4.23, Şekil 4.27). K+FR uygulaması dışındaki tüm uygulamalar bitki yaprak alanını beyaz ışığa göre önemli düzeyde azaltmıştır. En düşük yaprak alanı FR uygulamasında görülmüştür.

Çizelge 4.23 I. aşamada farklı ışık uygulamalarının yaprak alanına etkisi

Uygulama	Yaprak Alanı (cm <sup>2</sup> )
Beyaz (B)	24.1 a
Kırmızı (K)	16.3 c
Mavi (M)	17.2 c
Far Red (FR)	2.74 d
K+M	17.0 c
K+FR	25.2 a
M+FR	21.1 b
K+M+FR	19.1 bc
F Değeri	54.7***

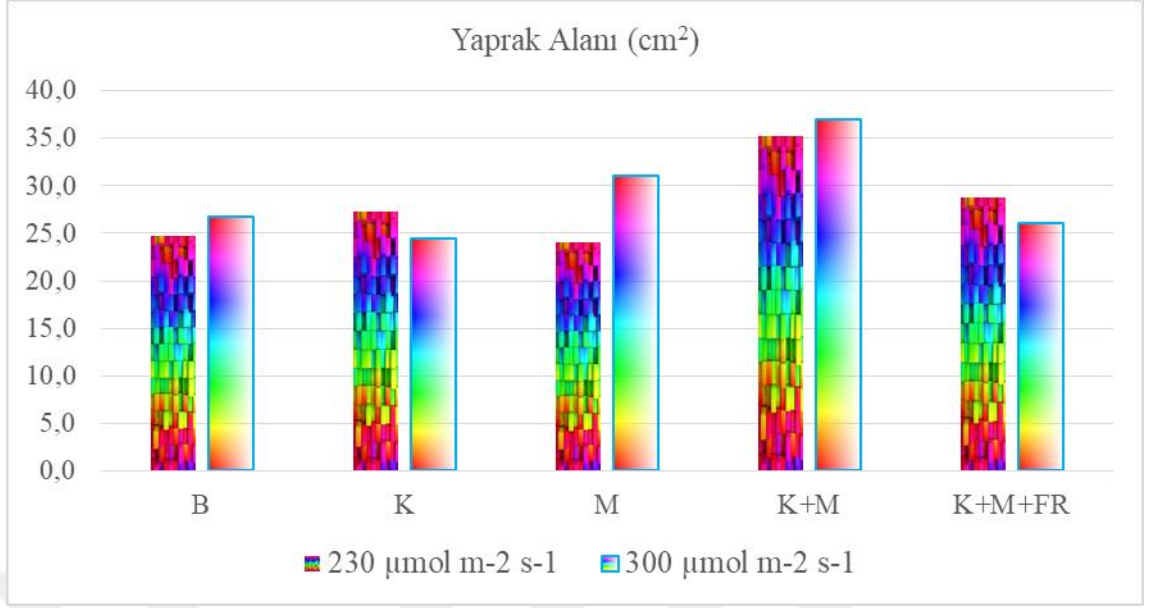


Şekil 4.27 I. aşamada farklı ışık uygulamalarının yaprak alanına etkisi

Çizelge 4.24 (Şekil 4.28)'de II. aşamada farklı ışık ve ışık şiddeti uygulamalarının domates fidelerinin yaprak alanına etkileri görülmektedir. Işık şiddeti ve rengi uygulamaları interaksiyonun istatistik olarak önemli bulunmuştur. En geniş yaprak alanı her iki ışık şiddetinde de K+M uygulamasında görülmüştür.

Çizelge 4.24 II. aşamada farklı ışık ve ışık şiddeti uygulamalarının yaprak alanına etkisi

Işık Rengi	Işık Şiddeti ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )	
	230	300
Beyaz (B)	24.7 d	26.7 cd
Kırmızı (K)	27.2 cd	24.5 d
Mavi (M)	24.0 d	31.0 b
K+M	35.2 a	37.0 a
K+M+FR	28.8 bc	26.0 cd
F Değeri	Işık Rengi (R)	25.6 ***
	Işık Şiddeti (IŞ)	2.02 öd
	R x IŞ	5.62 **



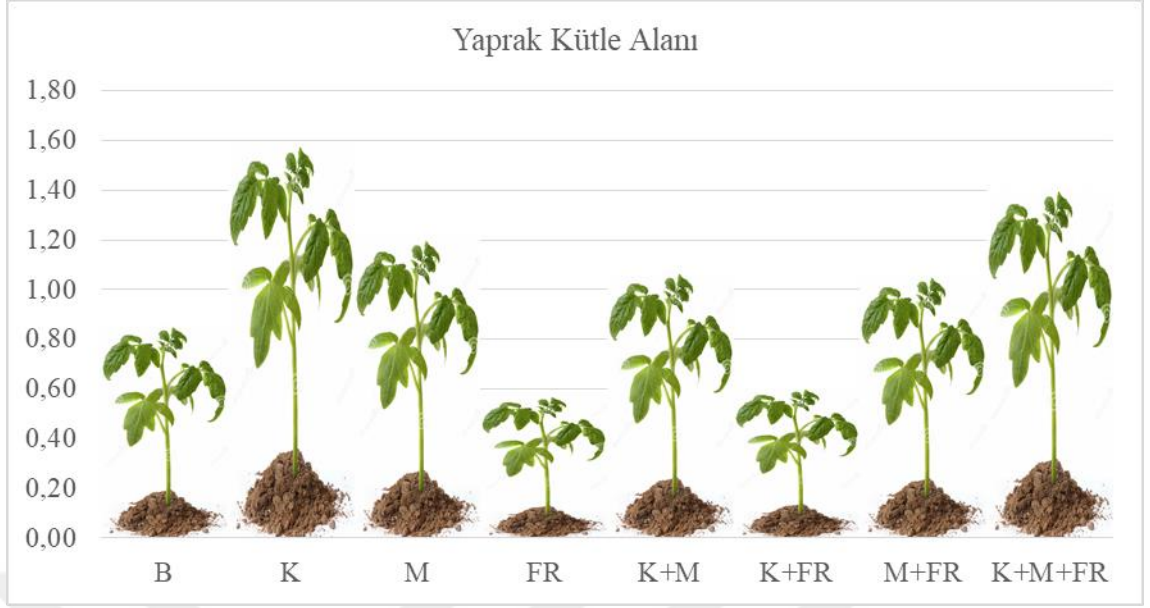
Şekil 4.28 II. aşamada farklı ışık ve ışık şiddeti uygulamalarının yaprak alanına etkisi

#### 4.10 Yaprak Kütle Alanı (YKA)

Domates fidelerinin yaprak kütle alanına farklı ışık uygulamalarının etkisi istatistik olarak önemli bulunmuştur (Çizelge 4.25, Şekil 4.29). I. denemede K, M ve K+M+FR uygulamaları yaprak kütle alanını beyaz ışığa göre önemli düzeyde artırırken FR ve K+FR uygulamaları önemli düzeyde azaltmıştır.

Çizelge 4.25 I. aşamada farklı ışık uygulamalarının yaprak kütle alanına etkisi

Uygulama	Yaprak Kütle Alanı (cm <sup>2</sup> )
Beyaz (B)	0.86 d
Kırmızı (K)	1.59 a
Mavi (M)	1.21 bc
Far Red (FR)	0.57 e
K+M	1.07 cd
K+FR	0.60 e
M+FR	1.05 cd
K+M+FR	1.41 ab
F Değeri	22.1***

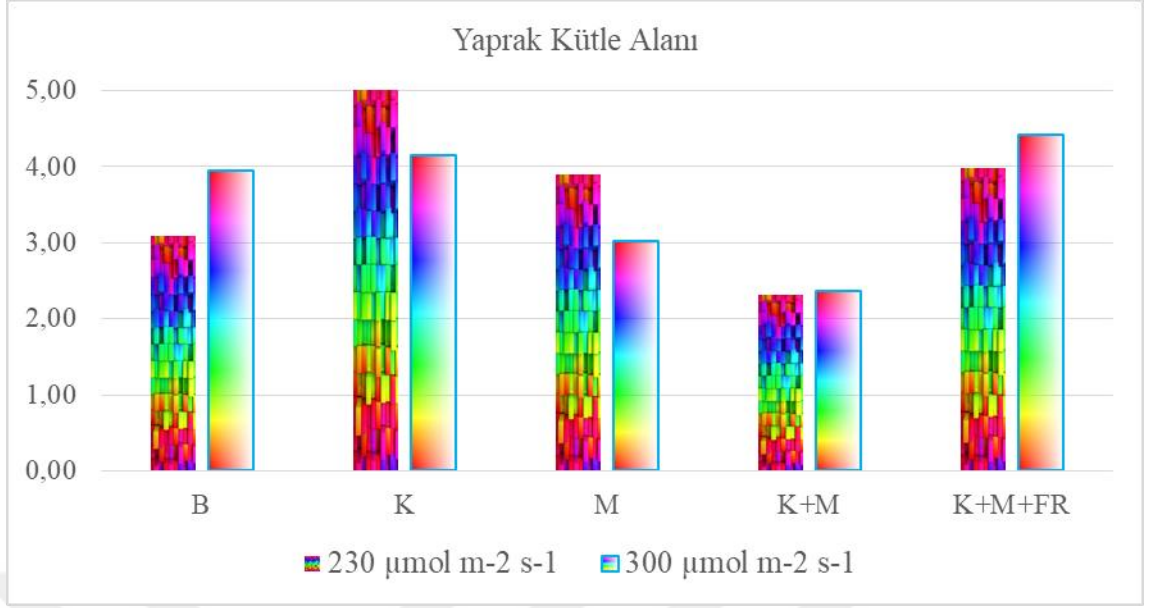


Şekil 4.29 I. aşamada farklı ışık uygulamalarının yaprak kütle alanına etkisi

II. aşamada farklı ışık ve ışık şiddeti uygulamalarının domates fidelerinin yaprak kütle alanına etkileri çizelge 4.26 (Şekil 4.30)'da görülmektedir. En yüksek YKA düşük ışık şiddetinde K uygulamasında, en düşük YKA ise yüksek ışık şiddetinde K+M uygulamasında görülmüştür.

Çizelge 4.26 II. aşamada farklı ışık ve ışık şiddeti uygulamalarının yaprak kütle alanına etkisi

Işık Rengi	Işık Şiddeti ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )	
	230	300
Beyaz (B)	3.09 c	3.94 b
Kırmızı (K)	5.03 a	4.16 b
Mavi (M)	3.90 b	3.02 c
K+M	2.31 d	2.37 d
K+M+FR	3.97 b	4.43 b
F Değeri	Işık Rengi (R)	50.22 ***
	Işık Şiddeti (IŞ)	0.52 öd
	R x IŞ	10.3 ***



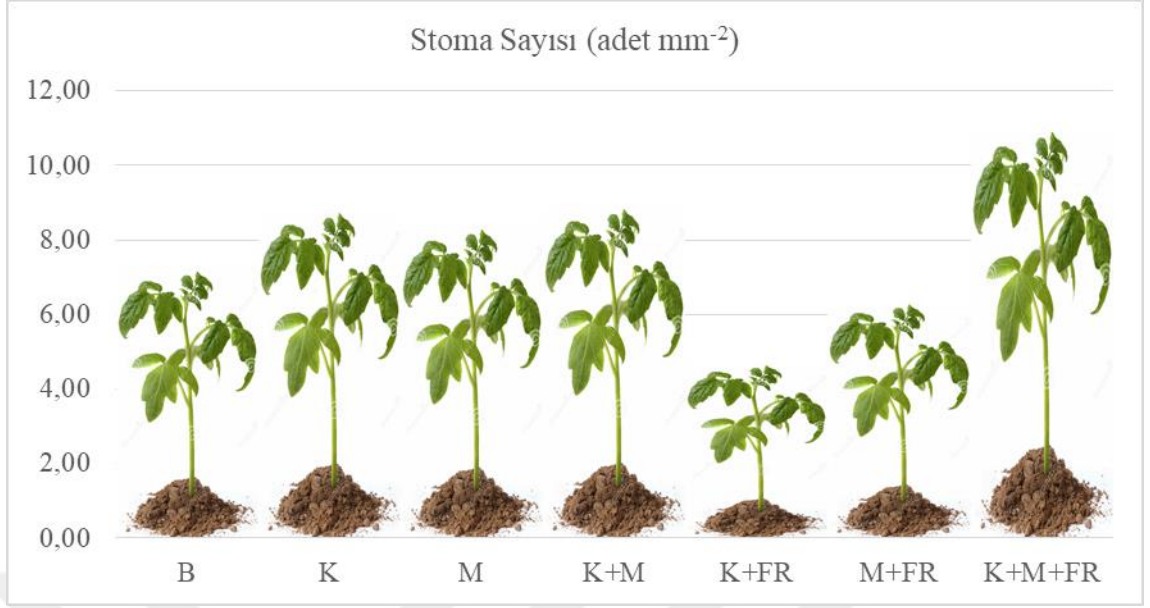
Şekil 4.30 II. aşamada farklı ışık ve ışık şiddeti uygulamalarının yaprak kütle alanına etkisi

#### 4.11 Stoma Sayısı

Domates fidelerinin stoma sayısına farklı ışık uygulamalarının etkisi istatistik olarak önemli bulunmuştur (Çizelge 4.27, Şekil 4.31). I. aşamada stoma sayısı K+M+FR uygulamasında en yüksek bulunmuş, K+FR uygulamasında ise beyaz ışığa göre daha düşük bulunmuştur.

Çizelge 4.27 I. aşamada farklı ışık uygulamalarının stoma sayısına etkisi

Uygulama	Stoma Sayısı (adet $\text{mm}^{-2}$ )
Beyaz (B)	7.22 bc
Kırmızı (K)	8.78 b
Mavi (M)	8.33 b
K+M	8.89 b
K+FR	4.67 d
M+FR	6.33 cd
K+M+FR	11.0 a
F Değeri	11.5***

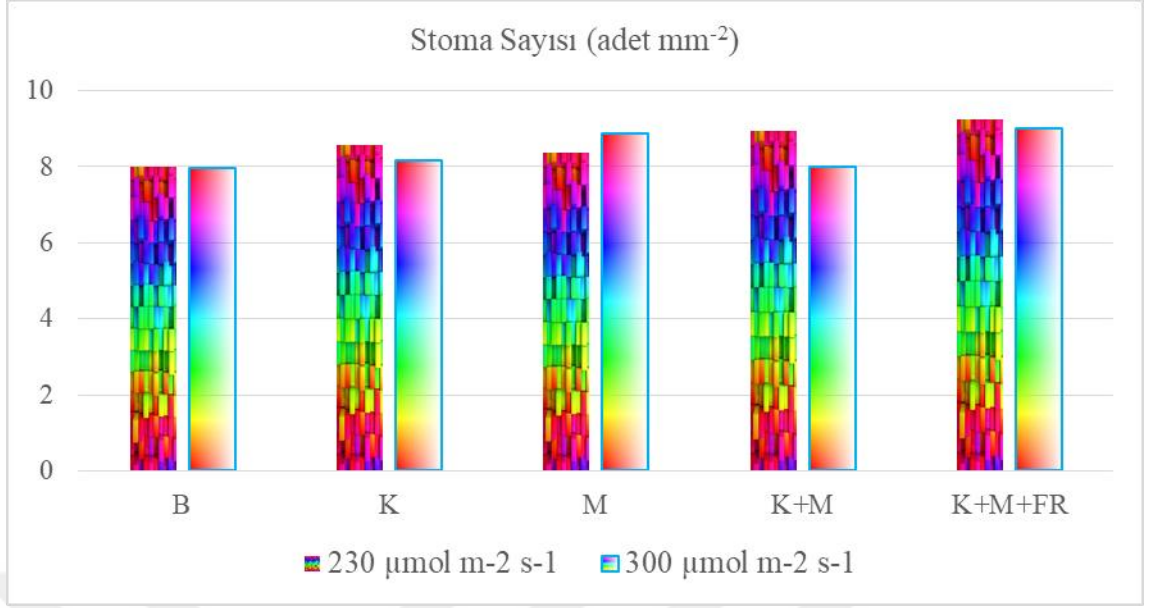


Şekil 4.31 I. aşamada farklı ışık uygulamalarının stoma sayısına etkisi

Çizelge 4.28 (Şekil 4.32)'de ise II. aşamadan elde edilen veriler görülmekte olup, ışık rengi ve ışık şiddeti uygulamaları interaksiyonunun istatistik olarak önemsiz olduğu bulunmuştur. Işık şiddeti uygulamaları da önemsiz bulunmuş ancak stoma sayısına farklı dalga boyunda ışık uygulamalarının etkisi önemli bulunmuştur. En fazla stoma sayısı K+M+FR uygulamalarından elde edilmiştir.

Çizelge 4.28 II. aşamada farklı ışık ve ışık şiddeti uygulamalarının stoma sayısına etkisi

Işık Rengi	Işık Şiddeti ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )		
	230	300	Ort.
Beyaz (B)	8.01	7.95	7.98 c
Kırmızı (K)	8.56	8.18	8.37 bc
Mavi (M)	8.36	8.86	8.61 b
K+M	8.95	8.01	8.48 b
K+M+FR	9.26	9.00	9.13 a
F Değeri	Işık Rengi (R)	12.8***	
	Işık Şiddeti (IŞ)	1.90 öd	
	R x IŞ	0.75 öd	



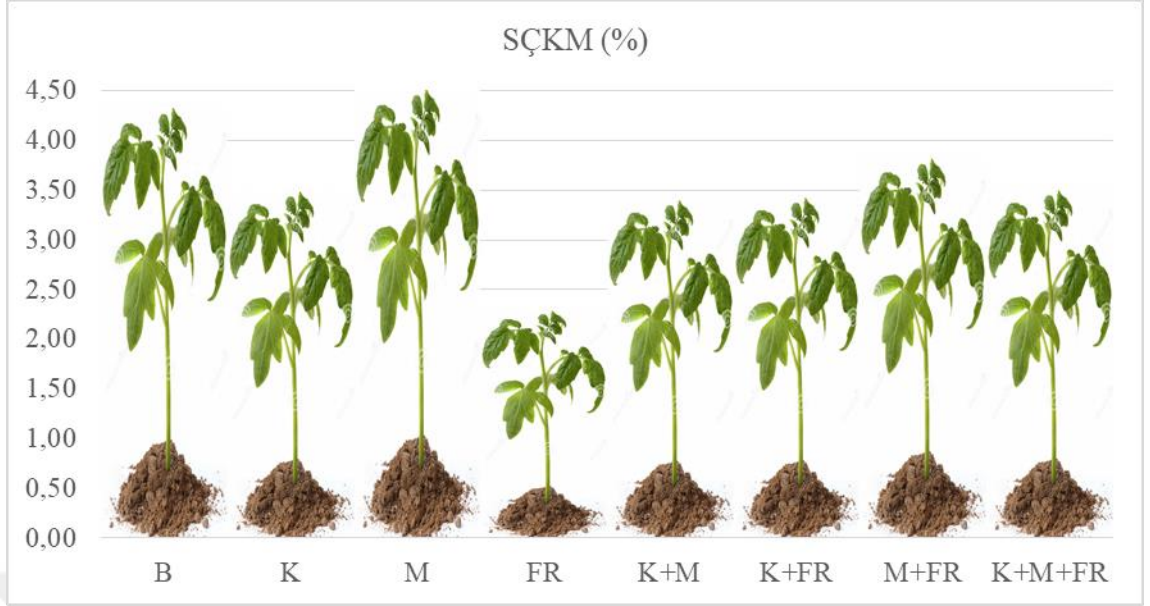
Şekil 4.32 II. aşamada farklı ışık ve ışık şiddeti uygulamalarının stoma sayısına etkisi

#### 4.12 SÇKM (%)

Çizelge 4.29 (Şekil 4.33)'da görüldüğü üzere I. aşamada farklı ışık uygulamalarının domates fideleri SÇKM değerlerine etkisi istatistik olarak önemli bulunmuştur. M uygulaması dışındaki tüm uygulamalar SÇKM'yi beyaz ışık uygulamasına göre önemli düzeyde azaltmıştır. En düşük SÇKM, FR uygulanan bitkilerde görülmüştür.

Çizelge 4.29 I. aşamada farklı ışık uygulamalarının SÇKM'ye etkisi

Uygulama	SÇKM
Beyaz (B)	4.37 a
Kırmızı (K)	3.51 b
Mavi (M)	4.56 a
Far Red (FR)	2.30 c
K+M	3.42 b
K+FR	3.46 b
M+FR	3.84 b
K+M+FR	3.53 b
F Değeri	24.8***

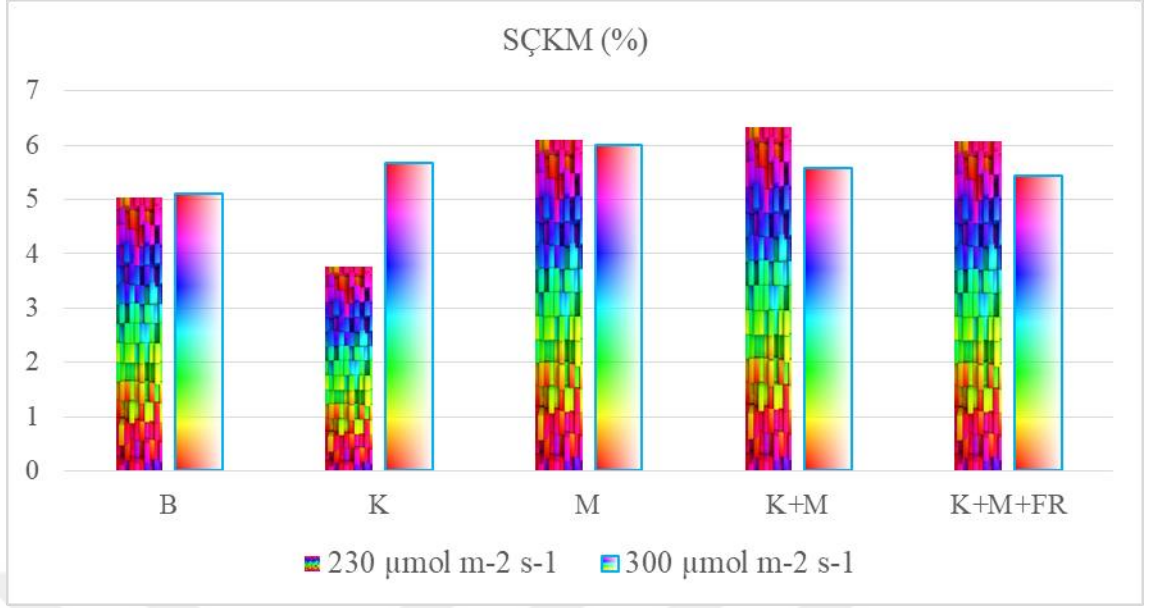


Şekil 4.33 I. aşamada farklı ışık uygulamalarının SÇKM'ye etkisi

II. aşamada farklı ışık ve ışık şiddeti uygulamalarının domates fidelerinin SÇKM içeriğine etkileri çizelge 4.30 (Şekil 4.34)'da görülmektedir. En yüksek SÇKM düşük ışık şiddetinde M, K+M ve K+M+FR ile yüksek ışık şiddetindeki M uygulamalarında, en düşük SÇKM ise düşük ışık şiddetinde K uygulamasında görülmüştür.

Çizelge 4.30 II. aşamada farklı ışık ve ışık şiddeti uygulamalarının SÇKM'ye etkisi

Işık Rengi	Işık Şiddeti ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )	
	230	300
Beyaz (B)	5.03 e	5.10 de
Kırmızı (K)	3.77 f	5.67 bc
Mavi (M)	6.10 ab	6.00 ab
K+M	6.33 a	5.57 bcd
K+M+FR	6.07 ab	5.43 cde
F Değeri	Işık Rengi (R)	24.9 ***
	Işık Şiddeti (IŞ)	0.79 öd
	R x IŞ	20.8 ***



Şekil 4.34 II. aşamada farklı ışık ve ışık şiddeti uygulamalarının SÇKM'ye etkisi

#### 4.13 Renk Tayini

Domates fidelerinin L, a, b değerlerine farklı ışık uygulamalarının etkisi istatistik olarak önemli bulunmuştur (Çizelge 4.31, Şekil 4.35). I. aşamada en düşük L, a ve b değerleri sırasıyla FR, K+M ve K+M uygulamalarında görülmüştür. M+FR uygulamasında ise her 3 renk parametresi açısından en yüksek değerler elde edilmiştir.

Çizelge 4.31 I. aşamada farklı ışık uygulamalarının L, a, b değerlerine etkisi

Uygulama	RENK TAYİNİ		
	L	-a	b
Beyaz (B)	51.9 a	18.1 d	23.6 e
Kırmızı (K)	53.1 a	20.9 b	29.4 b
Mavi (M)	52.3 a	19.9 c	25.3 de
Far Red (FR)	44.3 c	23.1 a	28.0 bc
K+M	50.8 a	15.5 e	19.7 f
K+FR	48.0 b	22.5 a	27.2 cd
M+FR	52.8 a	23.3 a	32.0 a
K+M+FR	53.2 a	19.1 c	26.7 cd
F Değeri	15.7***	98.9***	34.5***

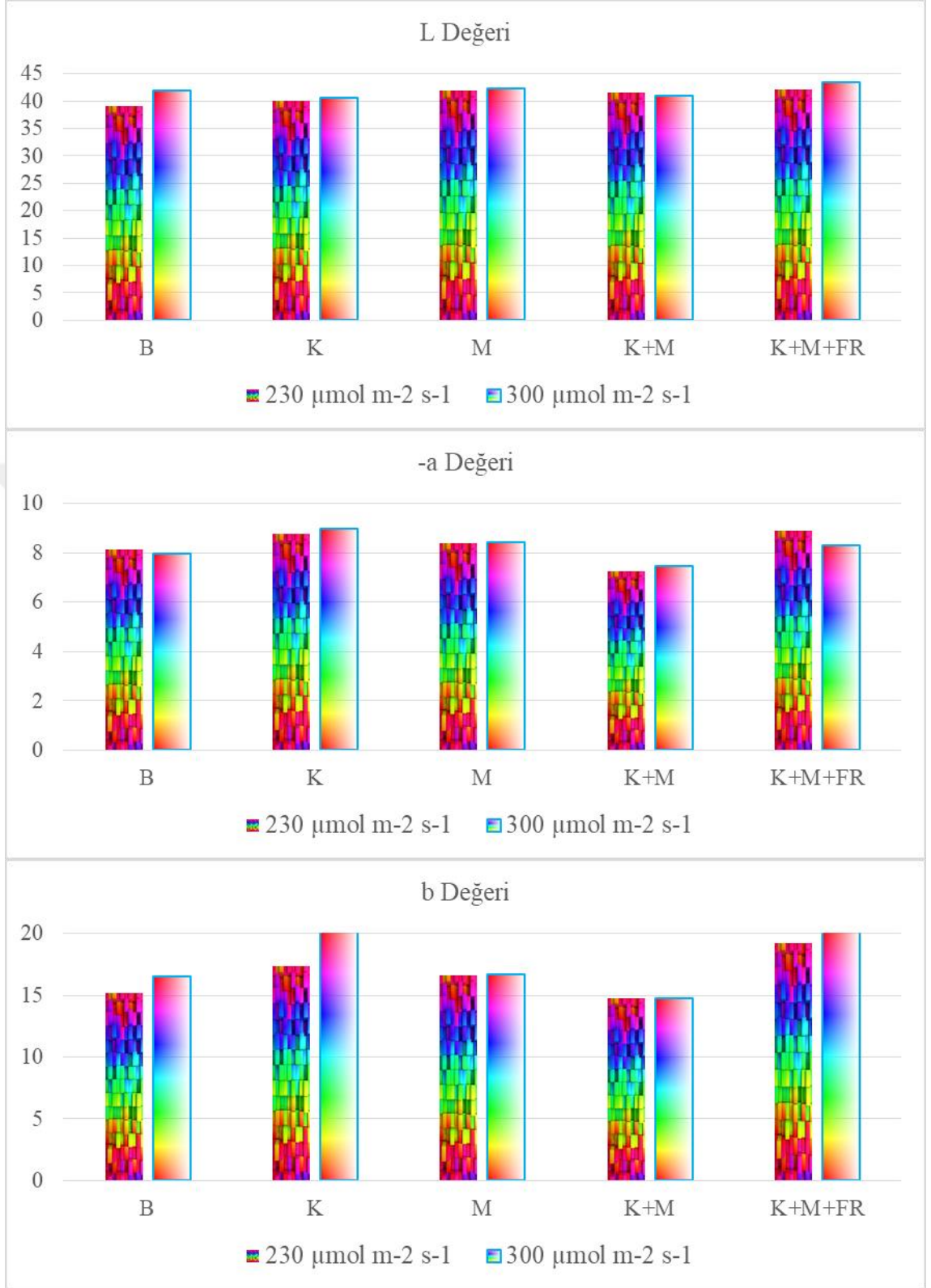


Şekil 4.35 I. aşamada farklı ışık uygulamalarının L, a, b değerlerine etkisi

Farklı ışık ve ışık şiddeti uygulamalarının L, a ve b değerlerine etkisinin belirlendiği II. aşamada ise L değerine ışık şiddeti ve rengi interaksyonunun etkisi, a değerine sadece farklı renk uygulamalarının etkisi, b değerine ise hem renk hem ışık şiddeti uygulamalarının etkisi istatistik olarak önemli olmuştur. En düşük L değeri düşük ışık şiddetinde B uygulamasında bulunurken, en yüksek değer ise yüksek ışık şiddetinde K+M+FR uygulamasından elde edilmiştir. En yüksek a ve b değerleri K ve K+M+FR uygulamalarında görülmüştür. M ve K+M uygulamalarında a değeri beyaz ışığa göre düşük olmuştur (Çizelge 4.32, Şekil 4.36).

Çizelge 4.32 II. aşamada farklı ışık ve ışık şiddeti uygulamalarının L, a, b değerlerine etkisi

Işık Rengi	RENK								
	L		-a			b			
	Işık Şiddeti ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )								
	230	300	230	300	Ort.	230	300	Ort.	
Beyaz (B)	39.0 e	41.9 abc	8.13	7.95	14.9 b	15.2	16.6	15.9 bc	
Kırmızı (K)	40.0 de	40.5 cde	8.75	8.98	16.0 a	17.4	20.1	18.8 a	
Mavi (M)	42.0 abc	42.3 ab	8.40	8.44	12.5 c	16.6	16.7	16.6 b	
K+M	41.5 bcd	40.9 bcd	7.26	7.44	12.8 c	14.8	14.7	14.8 c	
K+M+FR	42.0 abc	43.3 a	8.88	8.30	16.3 a	19.2	20.1	19.7 a	
Ortalama	40.9	41.8	8.28	8.22		16.6 b	17.6 a		
F	Işık Rengi (R)		8.75 ***			13.8 ***			24.4 ***
	Işık Şiddeti (IŞ)		8.11 *			0.19 öd			7.32 *
	R x IŞ		3.42 *			1.06 öd			1.97 öd



Şekil 4.36 II. aşamada farklı ışık ve ışık şiddeti uygulamalarının L, a, b değerlerine etkisi

#### 4.14 Bitkinin Toplam N, P ve K İçerikleri

Domates fidelerinde, ışık uygulamalarının bitki N, P ve K içerikleri üzerine etkisi istatistik olarak önemli bulunmuştur. I. aşama sonucunda elde edilen veriler değerlendirildiğinde, farklı ışık uygulamalarının bitki N, P ve K içeriklerine etkisi Çizelge 4.33 (Şekil 4.37)'de görülmektedir. FR, K+FR ve M+FR uygulanan bitkilerde N içeriği beyaz ışık uygulanan bitkilere göre daha yüksek olmuştur. Bitki P içeriği FR uygulamasıyla azalmış, K, K+M, K+FR, M+FR ve K+M+FR uygulamalarıyla beyaz ışığa göre önemli düzeyde artış göstermiştir. Potasyum içeriği ise K, K+FR, M+FR ve K+M+FR uygulamalarında artmış, M uygulamasında azalmıştır. Genel olarak N, P ve K içeriklerinin ikili ve üçlü ışık kombinasyonlarında daha iyi sonuç verdiği gözlenmiştir.

Çizelge 4.33 I. aşamada farklı ışık uygulamalarının N, P ve K içeriklerine etkisi

Uygulama	N (g kg <sup>-1</sup> )	P (g kg <sup>-1</sup> )	K (g kg <sup>-1</sup> )
Beyaz (B)	11.4 de	3.88 d	23.6 e
Kırmızı (K)	10.8 e	4.77 bc	31.8 b
Mavi (M)	11.5 de	3.81 d	19.9 f
Far Red (FR)	13.3 b	2.06 e	22.4 e
K+M	12.5 bcd	4.71 c	23.6 e
K+FR	15.4 a	5.11 ab	34.5 a
M+FR	12.9 bc	5.35 a	29.3 c
K+M+FR	12.0 cd	4.86 bc	26.3 d
F Değeri	16.9***	84.1***	53.8***

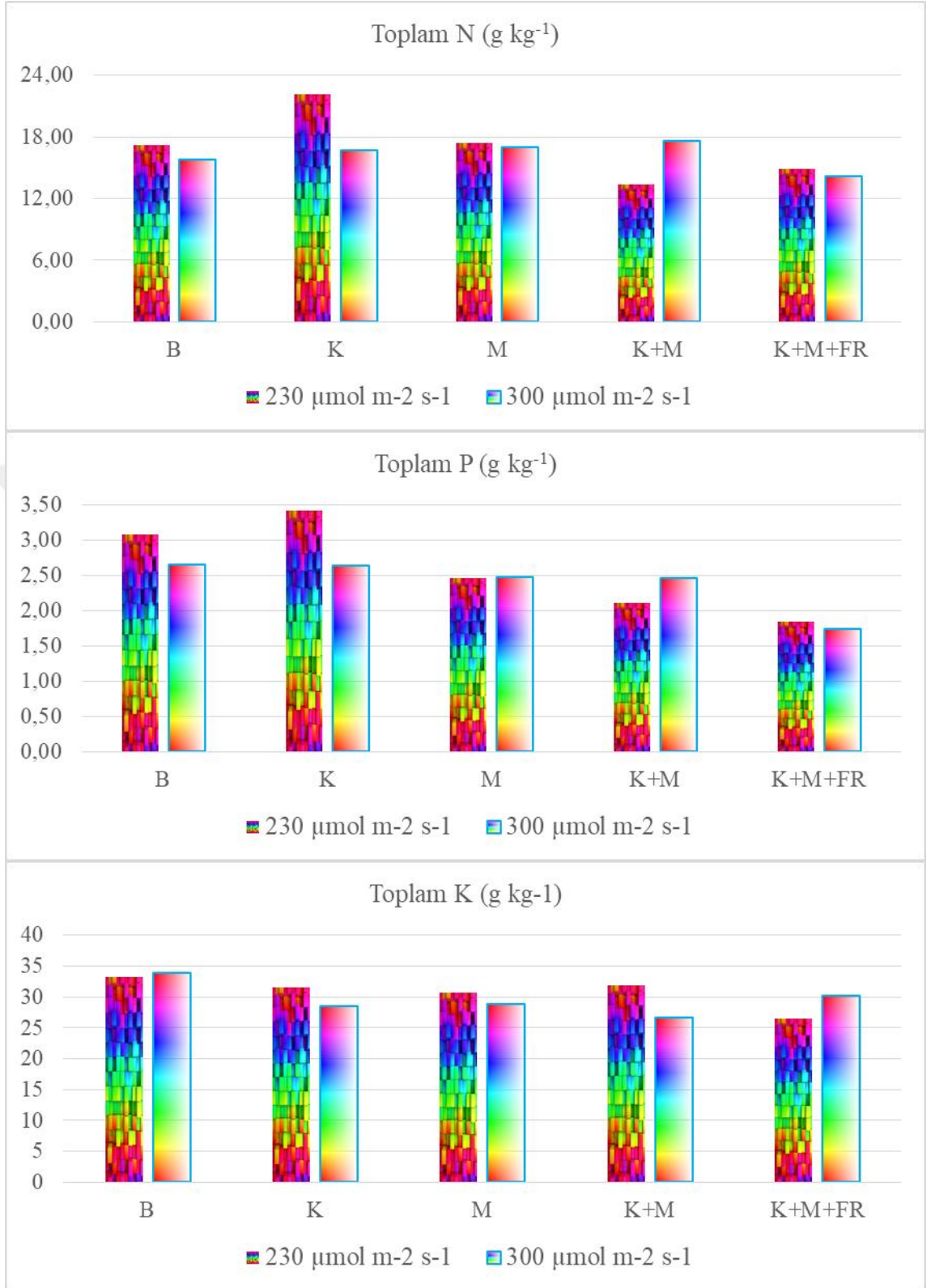
II. aşamada domates fidelerinin N, P ve K içeriklerine farklı ışık şiddeti ve rengi uygulamaları interaksiyonunun etkisi istatistik olarak önemli bulunmuştur. K+M ve K+M+FR uygulamalarında genel olarak N, P ve K içerikleri nispeten düşük bulunmuştur. N ve P içerikleri yönünden düşük ışık şiddetinde K uygulamasının diğer uygulamalara göre daha başarılı olduğu görülmektedir (Çizelge 4.34).



Şekil 4.37 I. aşamada farklı ışık uygulamalarının N, P ve K içeriklerine etkisi

Çizelge 4.34 II. aşamada farklı ışık ve ışık şiddeti uygulamalarının N, P ve K içeriklerine etkisi

Işık Rengi		N		P		K	
		Işık Şiddeti ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )					
		230	300	230	300	230	300
Beyaz (B)		1.72 b	1.58 cd	3.09 b	2.66 c	33.2 ab	33.9 a
Kırmızı (K)		2.21 a	1.67 bc	3.42 a	2.63 c	31.6 abc	28.5 de
Mavi (M)		1.74 b	1.70 b	2.46 c	2.48 c	30.7 bcd	28.8 cde
K+M		1.33 f	1.76 b	2.11 d	2.47 c	31.8 abc	26.6 e
K+M+FR		1.49 de	1.42 ef	1.85 e	1.75e	26.5 e	30.2 bcd
F Değeri	Işık Rengi (R)	42.7***		72.7 ***		9.29 ***	
	Işık Şiddeti (IŞ)	8.78**		13.2 **		3.85 öd	
	R x IŞ	35.7***		14.6 ***		7.20 **	



Şekil 4.38 II. aşamada farklı ışık ve ışık şiddeti uygulamalarının N, P ve K içeriklerine etkisi

#### 4.15 Bitkinin Toplam Ca ve Mg İçerikleri

Domates fidelerinin Ca ve Mg içeriklerine farklı ışık uygulamalarının etkisi istatistik olarak önemli bulunmuştur (Çizelge 4.35, ). I. aşamada Ca içeriği K+M ve K+M+FR uygulamalarında beyaz ışığa göre artmış, FR ve K+FR uygulamalarında ise daha düşük bulunmuştur. Mg içeriği ise FR uygulamasıyla azalmış, K+FR uygulamasıyla artmıştır.

Çizelge 4.35 I. aşamada farklı ışık uygulamalarının Ca ve Mg içeriklerine etkisi

Uygulama	Ca	Mg
Beyaz (B)	12.3 c	3.79 b
Kırmızı (K)	12.8 c	3.85 b
Mavi (M)	12.2 c	3.85 b
Far Red (FR)	6.48 e	3.09 c
K+M	15.8 a	3.88 b
K+FR	10.5 d	4.19 a
M+FR	13.6 bc	3.94 b
K+M+FR	14.2 b	3.95 b
F Değeri	41.0***	31.5***

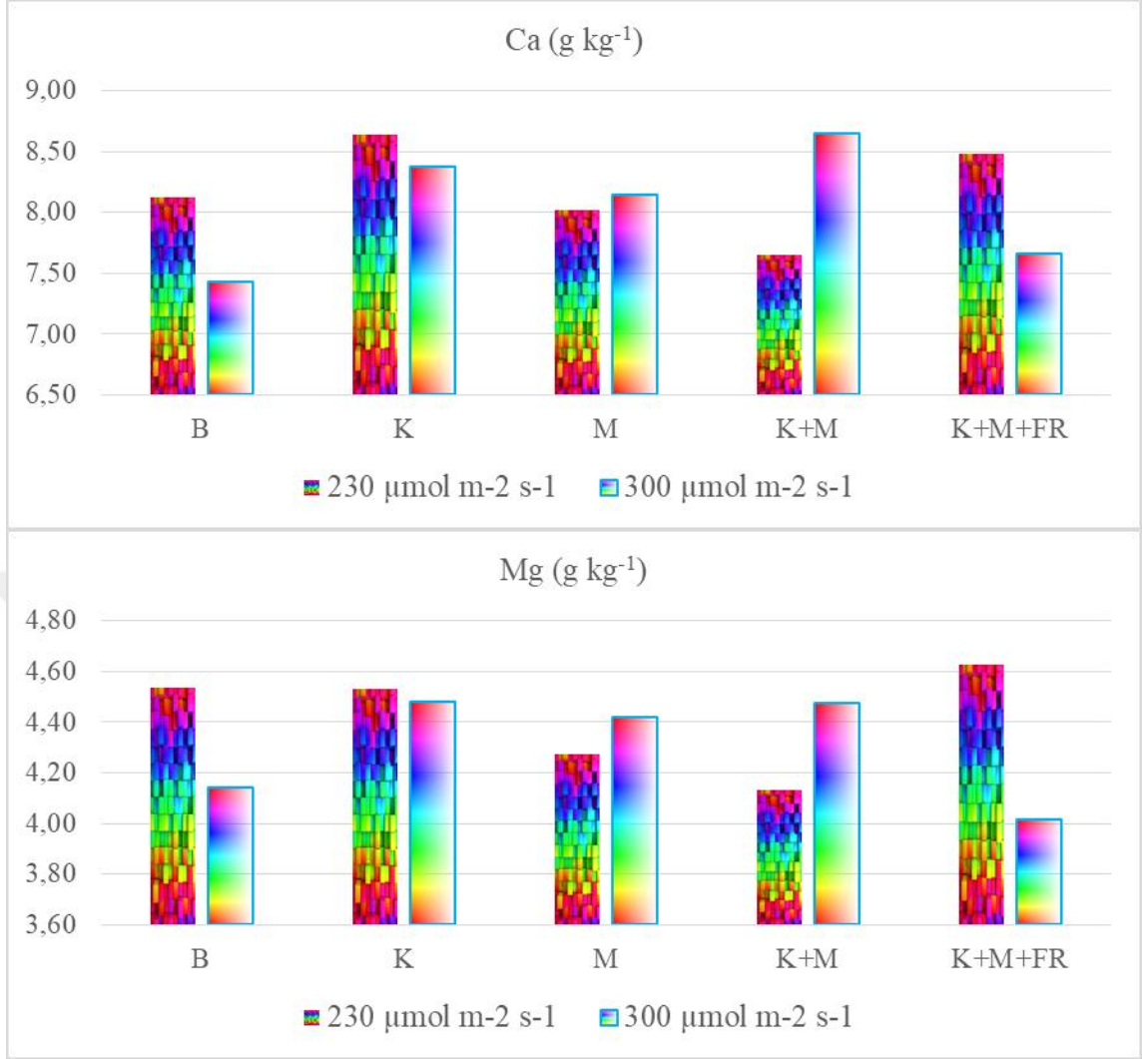
Çizelge 4.36 (Çizelge 4.36)'da II. aşamada farklı ışık ve ışık şiddeti uygulamalarının domates fidelerinin Ca ve Mg içeriklerine etkileri görülmektedir. Işık şiddeti ve rengi uygulamalarının etkisi istatistik olarak önemli bulunmuştur. Denemede en düşük Ca içeriği yüksek ışık şiddetinde B uygulamasında görülmüştür. Mg içeriği ise K+M+FR uygulamasının düşük ışık şiddetinde en yüksek görülmüş, aynı uygulamanın yüksek ışık şiddetinde ise en düşük bulunmuştur.



Şekil 4.39 I. aşamada farklı ışık uygulamalarının Ca ve Mg içeriklerine etkisi

Çizelge 4.36 II. aşamada farklı ışık ve ışık şiddeti uygulamalarının Ca ve Mg içeriklerine etkisi

Işık Rengi	Ca		Mg	
	Işık Şiddeti ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )			
	230	300	230	300
Beyaz (B)	8.12 c	7.42 e	4.53 ab	4.14 d
Kırmızı (K)	8.64 a	8.37 b	4.53 ab	4.48 b
Mavi (M)	8.02 c	8.15 c	4.28 c	4.42 b
K+M	7.65 d	8.65 a	4.13 de	4.48 b
K+M+FR	8.48 ab	7.66 d	4.63 a	4.02 e
F Değeri	Işık Rengi (R)	25.0 ***	8.92 ***	
	Işık Şiddeti (IŞ)	7.93 *	21.9 ***	
	R x IŞ	49.2 ***	50.9 ***	



Şekil 4.40 II. aşamada farklı ışık ve ışık şiddeti uygulamalarının Ca ve Mg içeriklerine etkisi

#### 4.16 Bitkinin Toplam Fe, Zn, Cu, Mn İçerikleri

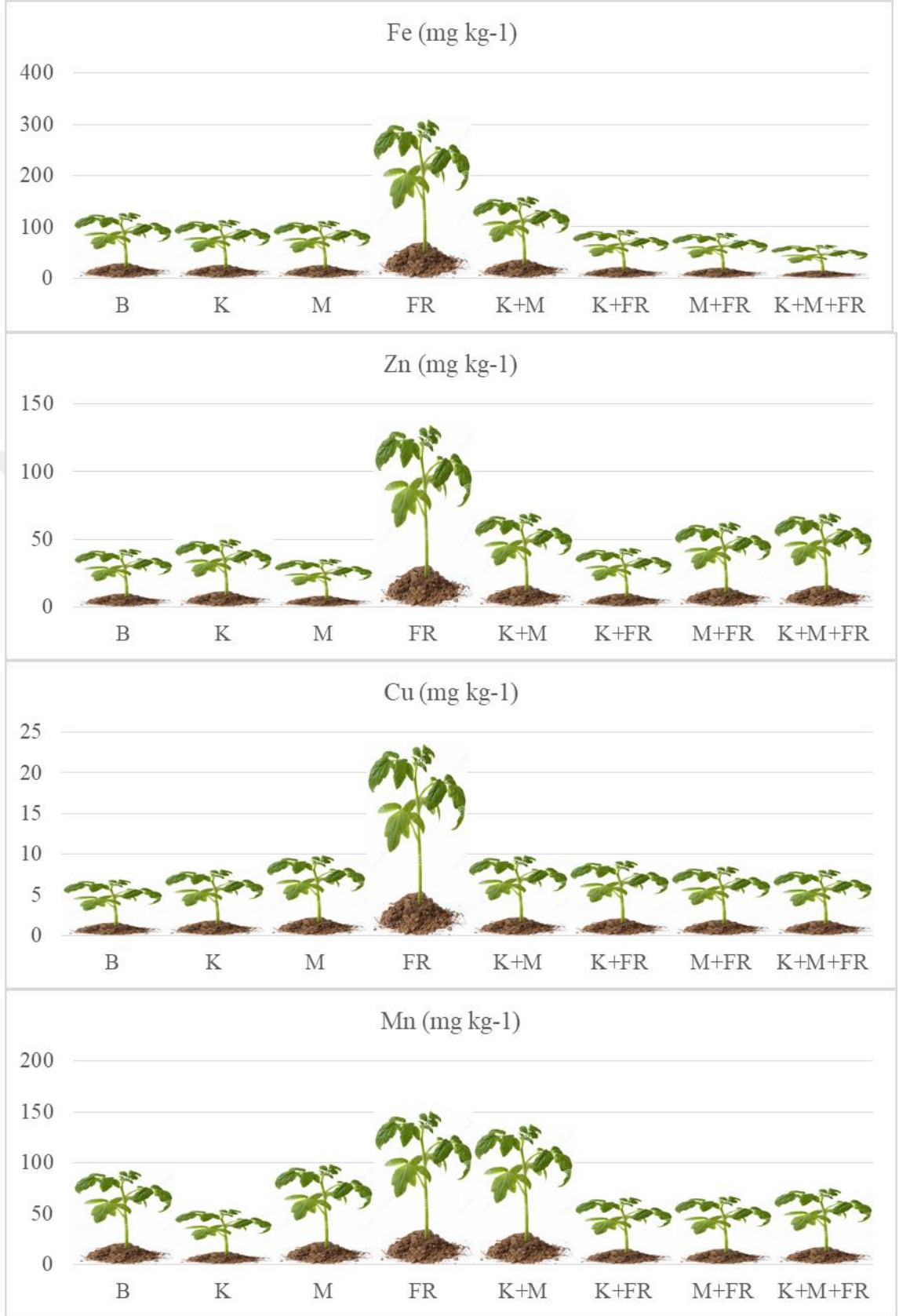
Domates fidelerinin Fe, Zn, Cu ve Mn içeriklerine farklı ışık uygulamalarının etkisi istatistik olarak önemli bulunmuştur (Çizelge 4.37, Şekil 4.40). I. aşamada en yüksek Fe, Zn, Cu ve Mn içerikleri FR uygulamasında görülmüştür. Bitki Fe, Zn, Cu ve Mn içerikleri K+M+FR uygulamasında beyaz ışığa göre önemli düzeyde azalmıştır. Zn içeriği K+M ve K+M+FR uygulamalarıyla azalmış, Mn içeriği ise FR dışında sadece K+M uygulamasıyla artmıştır. En düşük Mn içeriği K uygulamasında görülmüştür.

FR uygulamasında düzgün bir biyokütle elde edilemediği için besin elementi içerikleri yüksek görülsede de fide kalite parametreleri bakımından oldukça zayıf durumdadır.

Çizelge 4.37 I. aşamada farklı ışık uygulamalarının Fe, Zn, Cu ve Mn içeriklerine etkisi

Uygulama	Fe	Zn	Cu	Mn
Beyaz (B)	130 bc	43.0 d	6.93 b	93.7 c
Kırmızı (K)	115 c	51.0 cd	8.17 b	54.5 e
Mavi (M)	113 c	36.0 d	10.0 b	99.3 c
Far Red (FR)	312 a	135 a	23.8 a	152 a
K+M	161 b	70.3 b	9.97 b	139 b
K+FR	96.0 cd	44.3 d	9.37 b	66.4 d
M+FR	90.6 cd	63.7 bc	8.63 b	67.6 d
K+M+FR	66.3 d	70.3 b	8.23 b	75.3 d
F Değeri	31.1***	31.6***	18.4***	83.4***

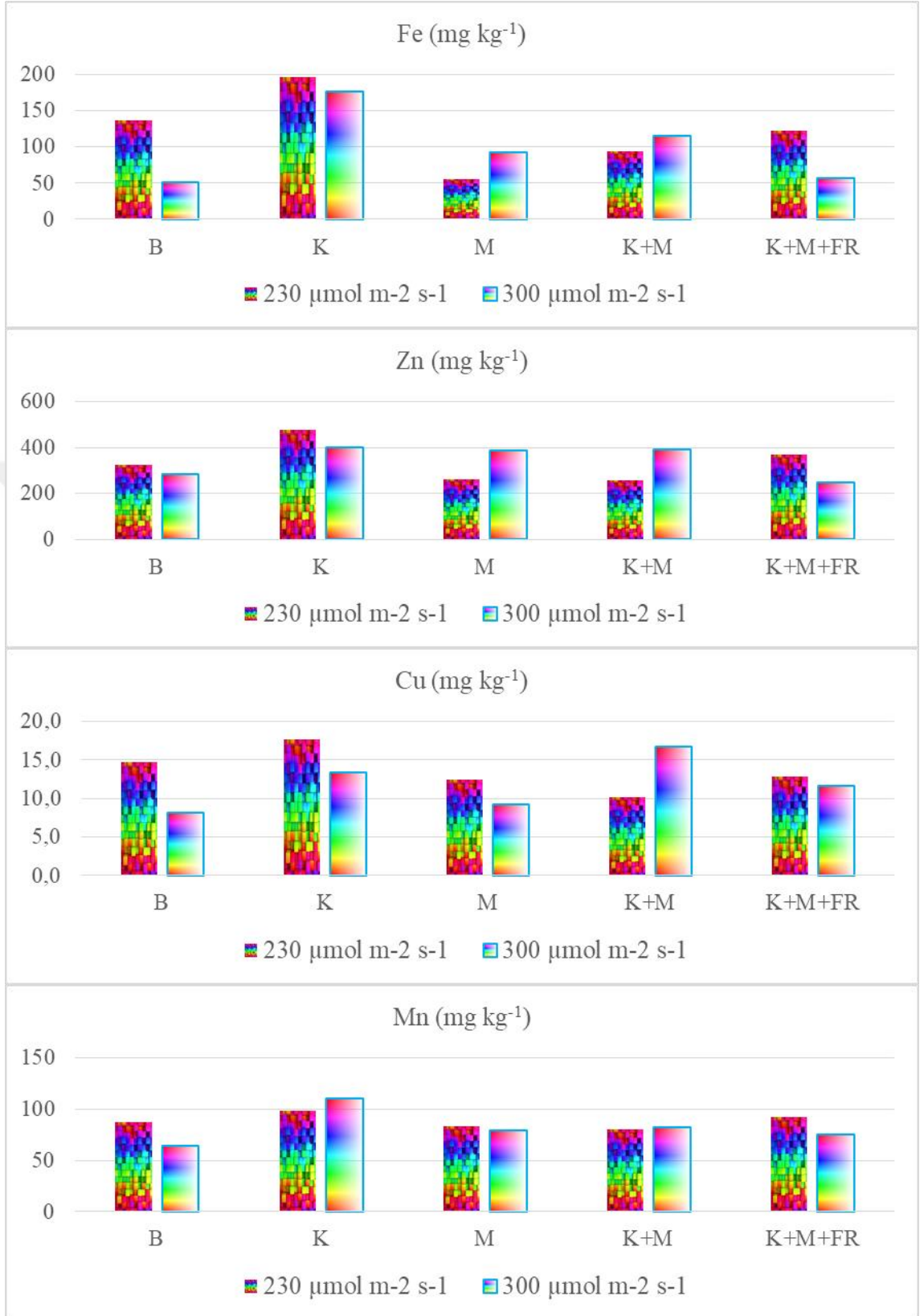
II. aşamada farklı ışık ve ışık şiddeti uygulamalarının domates fidelerinin Fe, Zn, Cu ve Mn içeriklerine etkileri çizelge 4.38 (Şekil 4.41)'de görülmektedir. En yüksek Fe içeriği her iki ışık şiddetinde de K uygulamasında, en düşük ise K+M+FR uygulamasında görülmüştür. Düşük ışık şiddetinde Zn ve Cu içeriklerinin en yüksek K uygulamasında olduğu, Mn içeriğinin ise yine K uygulamasında yüksek ışık şiddetinde olduğu görülmüştür. Genel olarak en düşük mikro element içerikleri B uygulamasında yüksek ışık şiddetinde elde edilmiştir.



Şekil 4.41 I. aşamada farklı ışık uygulamalarının Fe, Zn, Cu ve Mn içeriklerine etkisi

Çizelge 4.38 II. aşamada farklı ışık ve ışık şiddeti uygulamalarının Fe, Zn, Cu ve Mn içeriklerine etkisi

Işık Rengi		Fe		Zn		Cu		Mn	
		Işık Şiddeti ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )							
		230	300	230	300	230	300	230	300
Beyaz (B)		136 c	51.1 f	326 d	285 e	14.7 bc	8.17 g	87.3 cd	64.5 f
Kırmızı (K)		197 a	176 b	477 a	402 b	17.7 a	13.4 cd	98.5 b	110 a
Mavi (M)		54.9 f	91.9 e	263 ef	388 bc	12.5 cde	9.20 fg	83.1 de	79.5 de
K+M		93.7 cd	115 d	259 ef	389 bc	10.2 efg	16.8 ab	80.0 de	82.2 de
K+M+FR		123 f	56.7 f	367 c	246 f	12.8 cde	11.7 def	92.5 bc	74.9 e
F	Işık Rengi (R)	121 ***		59.5 ***		10.6 ***		38.5 ***	
	Işık Şiddeti (IŞ)	39.3 ***		0.33 öd		11.5 **		14.7 **	
	R x IŞ	43.4 ***		63.8 ***		19.1 ***		15.9 ***	



Şekil 4.42 II. aşamada farklı ışık ve ışık şiddeti uygulamalarının Fe, Zn, Cu ve Mn içeriklerine etkisi

## 5. TARTIŞMA ve SONUÇ

Tarımsal üretim sistemlerde aydınlatma uygulamaları genellikle gün ışığına ek olarak kullanılmaktadır. Özellikle ekvatora uzak olan bölgelerde solar radyasyon yetersiz olduğu için ilave aydınlatmaya gereksinim duyulmaktadır. Ancak yeni hassas tarım sistemlerinde, yetiştirme odalarında tek ışık kaynağı olarak da yapay aydınlatma kullanılmaktadır. Bu sayede bitkilerin istedikleri ışık miktarı, şiddeti ve dalga boyu en uygun şekilde uygulandığı için en iyi bitki gelişimi ve en kaliteli ürün elde edilebilmektedir. Bu konunun en önemli yanı ise yüksek düzeyde teknik bilgi ve tecrübe gerektirmesidir. Çünkü her bitkinin her gelişim döneminde ihtiyaç duyduğu aydınlatma ihtiyacı değişim göstermektedir.

Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Bahçe Bitkileri Bölümü'nde yürütülen bu çalışmada, fidencilik sektöründe önemli bir sorun olan ışık yetersizliği durumunda fidelerin istenilen zaman ve kalitede yetiştirilebilme olanakları araştırılmıştır. Bu amaçla denemede yaygın bir kullanıma sahip olan domates fidelerinin farklı dalga boyu, ışık şiddeti ve farklı fotoperiyottaki ışıklar altında gelişimi ortaya konulmaya çalışılmıştır.

Bu çalışmada sürgün yaş ve kuru ağırlığı özellikle K ve K+M+FR uygulamalarında yüksek bulunmuştur. Chena vd. (2014), floresan ışıkla birlikte kırmızı LED uygulamasının, Son ve Oh (2015), kırmızı ve mavi LED uygulamalarının marulda yaş ve kuru ağırlığı artırdığını belirtmişlerdir. Matsuda vd. (2016), sadece mavi ışık uygulamasının kuru ağırlığı azalttığını belirtmişlerdir. Kırmızı ve mavi ışığın klorofil reseptörlerince tutulması ve dolayısıyla fotosentezi teşvik ederek bitki gelişimini artırdığı düşünülmektedir.

Işık şiddetinin artırılmasıyla beyaz LED uygulamasında sürgün yaş ve kuru ağırlığı artarken kırmızı ışık uygulamasında azalmıştır. Gerovac ve Craver (2016) alabaş, turp ve hardal fidelerinde ışık şiddetiyle birlikte kuru ağırlığın arttığını rapor etmişlerdir. Hernandez vd. (2016), domates fidelerinde kırmızı ve mavi ışığın birlikte uygulanmasının tek tek uygulanmasına göre yaş ve kuru ağırlığı artırdığını belirtmişlerdir. Anuchai ve Hsieh (2017), kırmızı ve mavi ışık uygulanan bitkilerde yüksek yaş ve kuru ağırlığın, fotosentez enzimleri olan Rubisko ve PEP karboksilaz enzim aktivitelerinin artışına bağlı olarak kuru madde artışından kaynaklandığını belirtmişlerdir. Benzer şekilde Shin vd. (2008) ile Gao

vd. (2020), kırmızı ve mavi ışığın birlikte uygulandığı bitkilerde fotosentetik etkinliğin artmasına bağlı olarak fidelerde biyokütlenin arttığını ortaya koymuşlardır.

Domates fidelerinin kök yaş ve kuru ağırlıkları incelendiğinde ise K+M ile K+M+FR uygulamalarının en iyi sonuç verdiği görülmüştür. Kırmızı ışık uygulamasında diğer uygulamalara göre aşırı sürgün gelişimine bağlı olarak sürgün/kök kuru ağırlık oranı önemli bir artış göstermiştir ancak bu istenen bir durum değildir. Etkili bir kök sistemine sahip olan fidelerin yetiştiricilik alanına şaşırtıldıktan sonra daha kolay adapte olabileceği ve iyi gelişeceği bilinmektedir. Randall ve Lopez (2015), ağırlıklı olarak kırmızı içeren K+M (70:30 ve 87:13) LED uygulamalarının serada ve iklim kabininde sürgün ve köklerin yaş ve kuru ağırlığını artırdığını belirtmişlerdir. Li vd. (2021), domates fidelerine kırmızı ve mavi ışığın birlikte uygulanmasıyla kök ve sürgünlerde IAA ve GA içerikleri ile Calvin döngüsü aktivitesine bağlı olarak karbonhidrat birikiminin artmasıyla kuru ağırlığın arttığını belirtmişlerdir.

Domates fidelerinin sürgün boyunun, özellikle kırmızı renk içeren ışık kombinasyonlarında daha yüksek olduğu görülmüştür. Kırmızı ışık tek başına ve FR ile birlikte uygulandığında bitkilerde obur bir gelişme gözlenmiş ve aşırı boylanma nedeniyle fideler yatma eğiliminde olmuştur. Neff vd. (2000), ışığın kalitesine göre değişmekle birlikte kırmızı ışık uygulamasının hipokotil boyunu önemli düzeyde artırdığını ve bu durumun yüksek fitokrom miktarına bağlı olarak hücre bölünmesi ve uzamasıyla ilişkili olduğunu tespit etmişlerdir. K+M ve K+M+FR uygulamalarında fidelerin ideal boyda geliştiği gözlenmiştir. Tek başına mavi ışık uygulanan fidelerde ise bitkilerin boyca gelişimi baskılanmıştır. Bu durum kırmızı ve mavi ışığın birlikte uygulanması gerekliliğinin önemini ortaya koymuştur. Hernandez vd. (2016), sadece mavi ışık uygulamasının bitki boyunu kısalttığını tespit etmişlerdir. Kök boyunda da benzer sonuçlar görülmüş olup, bunun sebebinin kırmızı ve mavi ışığın birlikte uygulanmasıyla en yüksek fotosentez miktarına bağlı olduğu düşünülmektedir. Işık şiddetinin bitki boyu ve kök boyuna etkisi ise önemli olmamıştır.

Farklı dalga boylu ışık uygulamalarının gövde çapına etkisine bakıldığında bitki boyuyla benzer şekilde kırmızı ve K+M+FR uygulamalarında fidelerin gövde çapının en kalın olduğu görülmüştür.

Farklı kalite parametrelerinin birbirine oranını ifade eden Sağlamlık Katsayısı, Dickson Kalite İndeksi, Bitki Kompaktlık İndeksi gibi parametrelere incelendiğinde, K+M ve K+M+FR uygulamalarının en iyi sonuçları verdiği görülmüştür. Yani yukarıda açıklanan diğer kalite parametreleriyle paralel olarak kırmızı ve mavi ışığın birlikte uygulanmasının önemi ortaya konulmuştur. Hernandez vd. (2016), domates fidelerinde kırmızı ve mavi ışığın birlikte uygulanmasının tek tek uygulanmasına göre bitki kompaktlık indeksini artırdığını belirtmişlerdir. Işık şiddetinin bu parametreler üzerine önemli bir etkisinin olmadığı görülmüştür.

Yaprak sayısına farklı dalga boylu ve ışık şiddetinde aydınlatmanın herhangi bir etkisi görülmemiş ancak yaprak alanı B ve K+FR uygulamalarında diğer ışık uygulamalarına göre daha yüksek bulunmuştur. Hernandez vd. (2016), domates fidelerinde kırmızı ve mavi ışığın birlikte uygulanmasının tek tek uygulanmasına göre yaprak sayısını artırdığını belirtmişlerdir. Işık şiddetine göre yaprak alanı değişim göstermemiştir. Birim alandaki yaprak kuru ağırlığını ifade eden yaprak kütle alanı parametresi yönünden ise K ve K+M+FR uygulamaları en başarılı uygulamalar olmuştur. Li vd. (2021), K+M uygulamalarında yaprak kalınlığının arttığını ve buna bağlı olarak fotosentetik aktivitenin arttığını belirtmişlerdir. Yaprak kalınlığının artmasıyla mezofil hücreleri içinde yer alan palizat dokusu ve süngerimsi dokunun kalınlaşmasına bağlı olarak daha fazla ışığın absorbe edildiği belirlenmiştir.

Bitkilerde gaz alışverişini sağlayan açıklıklar olarak bilinen stomalar, deneme sonunda mikroskop altında sayılmış ve K+M+FR uygulamasında birim alanda en fazla stoma belirlenmiştir. Işık şiddeti diğer parametrelere benzer şekilde stoma sayısını etkilememiştir. Li vd. (2021), birlikte uygulanan kırmızı ve mavi ışığın, tek başına mavi ışığa göre stomatal iletkenliği ve stoma gelişimini artırdığını belirtmişlerdir. Yaprak yüzey alanı ve palizat dokusu hücreleri arttıkça bitkilerin ışık absorpsiyonunun arttığı görülmüştür. Ayrıca stoma yoğunluğu ve iletkenliğinin artışına bağlı olarak mesofil hücrelerinde daha fazla CO<sub>2</sub>'nin biriktiği ve bunun da fotosentezi artırdığı bilinmektedir. (Chartzoulakis vd, 2000; Fan vd., 2013). Benzer şekilde stoma sayısının azalmasına bağlı olarak CO<sub>2</sub> alımının azaldığı ve fotosentez organlarının aktivitesinin düştüğü belirtilmiştir (Lawson vd. 2011).

Domates fidelerinde suda çözünebilir kuru madde miktarı (SÇKM), beyaz ve mavi ışık dışındaki dalga boylarında daha düşük bulunmuştur. Elde edilen bulguların aksine Li vd. (2021), kırmızı ve mavi ışığın birlikte uygulanmasıyla suda çözünebilir toplam karbonhidratların, fruktozun ve sukrozun tek başına uygulanan beyaz ve kırmızı ışığa göre daha yüksek olduğunu belirtmişlerdir. Eckstein vd. (2012), çözünebilir karbonhidrat içeriğinin artmasıyla metabolik aktivite ile amino asit, selüloz ve lipitlerin üretiminin arttığını ortaya koymuşlardır. Metallo vd. (2018), domates yapraklarında sukroz ve fruktoz gibi çözünebilir karbonhidratların artmasına bağlı olarak fotosentetik aktivitenin daha yüksek olacağını belirtmişlerdir.

Hasat edilen domates fidelerinin yapraklarında renkölçer cihazıyla L, a, b değerleri belirlenmiştir. En düşük L değeri (en koyu), FR uygulaması göz ardı edildiğinde K+FR uygulamasında görülmüştür. Bitkilerin yeşillik/kırmızılık durumunu belirten a değerine bakıldığında, en yeşil bitkilerin K+FR ve M+FR uygulamaları olduğu görülmüştür. Bitkilerin sarılık/mavilik durumunu belirten b değerine bakıldığında ise K+M dışındaki uygulamaların bitkide sarılığı beyaz ışığa göre artırdığı görülmüştür. Işık şiddetinin artırılmasıyla L ve b değerleri artma eğilimi göstermiş, b değeri önemli düzeyde etkilenmemiştir. Deneme sırasında yapılan görsel incelemelerde mavi ışık içeren uygulamaların, bitkilerde haki yeşil benzeri bir renk oluşumuna neden olduğu gözlenmiştir.

Tüm bitkiler aynı besin çözültüsüyle beslenmesine rağmen farklı ışık uygulamaları nedeniyle fotosentezde meydana gelen farklılıklar, besin elementi kompozisyonunun değişmesine neden olmuştur. Besin elementlerince iyi durumda olan fidelerin şaşırtmadan sonra yeni ortama adapte olmak konusunda daha başarılı olacağı öngörülebilir bir durumdur (Wang vd. 2016b). Fidelerin N, P ve K içerikleri yönünden K+FR ve M+FR uygulamaları beyaz ışığa göre önemli düzeyde artış sağlamıştır. Azot yönünden önemli bir fark yaratmamakla birlikte K ve K+M+FR uygulamaları da P ve K içeriklerini artırmıştır. Işık şiddetinin etkisine bakıldığında ise genellikle artan ışık şiddetiyle besin elementi içerikleri azalma eğiliminde olmuştur. Bitki besin maddelerinin alınımıyla LED aydınlatma ilişkileri konusundaki çalışmalar henüz oldukça sınırlıdır. Ancak Zhang vd. (2017), alglerle yaptığı çalışmada en fazla N

alınımının K70:M30 ışık uygulamasıyla, en fazla P alınımının ise K50:M50 uygulamasıyla sağladığını belirtmiştir. Genel olarak her iki ışığın da 10:90 oranları en az N ve P alınımına neden olmuştur. Bu durum, diğer parametrelerde olduğu gibi kırmızı ve mavi ışığın birlikte uygulanması gerekliliğini desteklemektedir.

Fidelerin Ca içerikleri K+M ve K+M+FR uygulamalarında, Mg içerikleri K+FR uygulamasında yüksek bulunmuştur. Işık şiddetinin etkisi N, P, K ile benzer şekilde azalma eğiliminde olmuştur.

En yüksek mikro element içerikleri FR uygulamasında elde edilmiş gibi görülsede bu durumun FR uygulananan fidelerin düzgün bir biyokütle oluşturamamasından kaynaklandığı düşünülmektedir. M+FR ve K+M+FR uygulamaları bitkilerin Zn içeriklerini artırırken Mn içeriklerini azaltmıştır. K+M uygulaması hem Zn hem Mn içeriklerini artırmıştır. Işık şiddetinin etkisi uygulamalara göre farklılık göstermiştir.

Genel olarak tüm parametreler yönünden farklı dalga boyunda ve ışık şiddetinde aydınlatmanın etkileri özetlenecek olursa:

- Far Red LED ışık uygulamasında birçok gelişim parametresi olumsuz şekilde etkilenmiş, fidelerde etiyolleşme görülmüş ve bitki kuru ağırlığı düşük kalmıştır. Fidelerin kalitesi, ticari olarak pazarlanamayacak durumda olmuştur. Renkleri solgun, dik duramayan, cılız ve sağlıklı fideler elde edilmiştir. Far Red ışığın, aydınlatma uygulamalarında tek başına kullanılmayacağı görülmüştür.
- Kırmızı LED ışık uygulamasında bitkiler boy, ağırlık ve gövde çapı bakımında yüksek bulunmuştur. P ile K içerikleri yönünden de zengindir. Ancak aşırı boylanmaya bağlı olarak fidelerde yatma görülmüştür. Bu durum pazarlanabilirlik açısından uygun değildir.
- Mavi LED ışık uygulaması ise bitki gelişimini baskılamış, fideler daha kısa boylu gelişmiştir. Hemen hemen hiçbir kalite parametresi bakımından tek başına mavi ışık uygulaması öne çıkmamıştır.

- Kırmızı ve mavi LED ışığa, FR ilavesiyle bazı parametreler de iyileşme görülmüş, tek başına kırmızı ya da mavi uygulamasından ziyade bunların FR ile kombine edilmesi uygun bulunmuştur.
- Kırmızı ve mavi LED ışığı birlikte içeren K+M ve K+M+FR uygulamaları birçok gelişim parametresi bakımından en iyi uygulamalar olarak öne çıkmıştır.
- Farklı fotoperiyod uygulamaları fidelerin gelişim süresini önemli düzeyde etkilemiştir. Aynı sıcaklık ve nem koşullarında, 12 saat gece ve 12 saat gündüz koşullarında yetiştirilen fideler 20 günde, 8 saat gece ve 16 saat gündüz koşullarında yetiştirilen fideler ise 40 günde dikim olgunluğuna ulaşmıştır. Bu süre farkı erkencilik ve aynı sürede 2 kat daha fazla üretim yapabilmek anlamında oldukça önemli bir sonucu ortaya koymuştur. Fide-Bir tarafından 2017 yılında Türkiye’de yaklaşık 1.1 milyar domates fidesi üretilmiştir (Anonim 2017c). Yetiştiricilik süresini kısaltarak daha fazla üretim yapılması, hem yerli üretici ve tüketicilerimize faydalı olacak hem de ihracat potansiyelimizi artıracaktır.

Bu çalışma ile kırmızı ve mavi ışık uygulamalarının birlikte yapılması gerektiği ve bunlara ilaveten FR uygulamasının da fide kalitesini olumlu etkilediği görülmüştür. Kırmızı ışığın maviye göre daha fazla parametreyi olumlu etkilemesi ve FR ışığın bazı ölçütler yönüyle destek sağlaması ile FR’in daha düşük dozlarda ışık karışımlarına katılımının ve farklı oranların araştırılması, bu çalışmanın devamı niteliğinde çok daha önemli sonuçlara ulaşabileceğini göstermektedir.

## KAYNAKLAR

- Anonim 2015. Web Sitesi: [www.fidebirlik.org.tr](http://www.fidebirlik.org.tr). Erişim Tarihi: 05.05.2020.
- Anonim 2017a. Türkiye’de örtü altı üretim. 2. Ulusal Seracılık Çalıştayı. 20-21 Aralık 2016, Ankara.
- Anonim 2017b. Ülkemiz seracılığının dünyadaki yeri ve önemi. 2. Ulusal Seracılık Çalıştayı. 20-21 Aralık 2016, Ankara.
- Anonim 2017c. Türkiye fide üretim istatistikleri. Fide-Bir, TOB İl Müdürlükleri.
- Anonim 2021. Sebze ve Meyve Üretim İstatistikleri, Türkiye İstatistik Kurumu.
- Anonymous 2016a. Web sitesi: <http://www.fao.org/faostat/en/#data>. Erişim Tarihi: 21.04.2019.
- Anonymous 2016b. Web Sitesi: [http://www.esalq.usp.br/lepse/imgs/conteudo\\_thumb/Philips-LED-lighting-in-horticulture.pdf](http://www.esalq.usp.br/lepse/imgs/conteudo_thumb/Philips-LED-lighting-in-horticulture.pdf). Erişim Tarihi: 22.11.2019.
- Anuchai, J. and Hsieh, C.H. 2017. Effect of change in light quality on physiological transformation of in vitro *Phalaenopsis* ‘Fortune Saltzman’ seedlings during the growth period. *Hortic. J.*, 86(3), 395-402.
- Assmann, S.M. 1988. Enhancement of the stomatal response to blue light by red light, reduced intercellular concentrations of CO<sub>2</sub>, and low vapour pressure differences. *Plant Physiology*, 87, 226-231.
- Avercheva, O., Berkovich, Y.A., Smolyanina, S., Bassarskaya, E., Pogosyan, S., Ptushenko, V., Erokhin, T., Zhigalova, T. 2014. Biochemical, photosynthetic and productive parameters of Chinese cabbage grown under blue-red LED assembly designed for space agriculture. *Advances in Space Research*, 53, 1574-1581.
- Balkaya, A., Kandemir, D. ve Sarıbaş, Ş. 2015. Türkiye sebze fidesi üretimindeki son gelişmeler. *TÜRKTOB Türkiye Tohumcular Birliği Dergisi*, 4(13), 4-8.
- Banerjee, R. ve Batschauer, A. 2005. Plant blue-light receptors. *Planta* 20, 498-502.
- Battle, M.W. and Jones, M.A., Cryptochromes integrate green light signals into the circadian system, *Plant Cell Environ.*, 43, 16.
- Boccalandro, H.E., Giordano, C.V., Ploschuk, E.L., Piccoli, P.N., Bottini, R. ve Casal, J.J. 2012. Phototropins but not cryptochromes mediate the blue light-specific promotion of stomatal conductance, while both enhance photosynthesis and transpiration under full sunlight. *Plant Physiology*, 158, 1475-1484.
- Boss, P.K., Bastow, R.M., Mylne, J.S., Dean, C. 2004. Multiple pathways in the decision to flower: enabling, promoting, and resetting. *Plant Cell*, 16, 18-31.

- Bourget, C.M. 2008. An introduction to light-emitting diodes. *Hortscience*, 43, 1944-1946.
- Brazaityte, A. ve Kasiuleviciute, A. 2013. The effects of HPS lamp supplementation with blue light-emitting diodes on the growth of two tomato hybrid transplants. *Rural Development*, 6(2), 49-53.
- 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. *JAmSocHortic Sci.*, 120, 808-813.
- Chartzoulakis, K., Bosabalidis, A., Patakas, A., Vemmos, S.N. 2000. Effects of water stress on water relations, gas exchange and leaf structure of olive tree. *Acta Hortic*, 537(537), 241-247.
- Deitzer, G.F., Hayesi R. ve Jabbeni M. 1979. Kinetics and time dependence of the effect of far red light on the photoperiodic induction of flowering in Wintex barley. *Plant Physiology*, 64, 1015-1021.
- Demir, H. 2007. Ülkemizde Sebze Fideciliği, Sorunları ve Çözüm Önerileri. *Hasad Bitkisel Üretim Dergisi*, 263, 68-74.
- Demir, İ., Balkaya, A., Yılmaz, K., Onus, A.N., Uyanık, M., Kaycıoğlu, M. ve Bozkurt, B. 2010. Sebzelelerde Tohumluk ve Fide Üretimi. *TMMOB-TZMO, Türkiye Ziraat Mühendisliği VII. Teknik Kongresi*, 1, 315-346.
- Demir, K. ve Çakırer, G. 2017. Bitkilerde aydınlatma ve mavi LED. *Tarım Gündem*, 41, 36-39.
- Doi, M., Shigenaga, A., Emi, T., Kinoshita, T. ve Shimazaki, K. 2004. A transgene encoding a blue-light receptor, phot1, restores blue light responses in the *Arabidopsis phot1 phot2* double mutant. *Journal of Experimental Botany*, 55, 517-523.
- Eckstein, A., Zięba, P., Gabryś, H. 2012. Sugar and light effects on the condition of the photosynthetic apparatus of *Arabidopsis thaliana* cultured in vitro. *J. Plant Growth. Regul.*, 31(1), 90-101.
- Fan, X.X., Xu, Z.G., Liu, X.Y., Tang, C.M., Wang, L.W., Han, X. 2013. Effects of light intensity on the growth and leaf development of young tomato plants grown under a combination of red and blue light. *Sci. Hortic.*, 153, 50-55.
- Folta, K.M. 2004. Green light stimulates early stem elongation, antagonizing light-mediated growth inhibition. *Plant Physiology*, 135, 1407-1416.
- Folta, K.M. ve Childers, K.S. 2008. Light as a growth regulator: Controlling plant biology with narrow-bandwidth solid-state lighting systems. *HortScience*, 43, 1957-1964.

- Fukuda, N., Ishii, Y., Ezura, H., Olsen, J.E. 2011. Effects of light quality under red and blue light emitting diodes on growth and expression of FBP28 in petunia. *Acta Horticulturae*, 45, 41-25.
- Gao, S., Liu, X., Liu, Y., Cao, B., Chen, Z., Xu, K 2020. Photosynthetic characteristics and chloroplast ultrastructure of welsh onion (*Allium fistulosum* L.) grown under different LED wavelengths. *BMC Plant Biol.*, 20, 78.
- Gomez, C. ve Izzo, L.G., Increasing efficiency of crop production with LEDs, *AIMS Agric. Food*, 3(2), 135.
- Gupta, S.D. ve Jatothu, B. 2013. Fundamentals and applications of light emitting diodes (LEDs) in in vitro plant growth and morphogenesis. *Plant Biotechnology Reports*, 7, 211-220.
- Gupta, S.D. ve Sahoo, T.K. 2015. Light emitting diode (LED) induced alteration of oxidative events during in vitro shoot organogenesis of *Curculigo orchioides* Gaertn. *Acta Physiologiae Plantarum*, 37, 1-9.
- Heo, J., Lee, C., Chakrabarty, D. ve Paek, K. 2002. Growth responses of marigold and salvia bedding plants as affected by monochromic or mixture radiation provided by a light-emitting diode (LED). *Plant Growth Regulators*, 38, 225-230.
- Hoenecke, M.E., Bula, R.J. ve Tibbitts, T.W. 1992. Importance of 'blue' photon levels for lettuce seedlings grown under red-light-emitting diodes. *Hortscience*, 27(5), 427-430.
- Hoffmann, A.M., Noga, G., Hunsche, M. 2015. Acclimations to light quality on plant and leaf level affect the vulnerability of pepper (*Capsicum annuum* L.) to water deficit. *Journal of Plant Research*, 128, 295-306.
- Janda, T., Majláth, I. ve Szalai, G. 2014. Interaction of temperature and light in the development of freezing tolerance in plants. *Journal of Plant Growth Regulation*, 30, 460-469.
- Jao, R.C., Lai, C.C., Wei, F. ve Chang, S.F. 2005. Effects of red light on the growth of *Zantedeschia* plantlets in vitro and tuber formation using light-emitting diodes. *HortScience*, 40, 436-438.
- Johkan, M., Shoji, K., Goto, F., Hashida, S.N. ve Yoshihara, T. 2010. Blue light-emitting diode light irradiation of seedlings improves seedling quality and growth after transplanting in red leaf lettuce. *Hortscience*, 45(12), 1809-1814.
- Jones, M.A., Interplay of circadian rhythms and light in the regulation of photosynthesis-derived metabolism, *Prog. Bot.*, 79, 147.
- Kendrick, R.E. ve Kronenberg, G.H.M. 1994. *Photomorphogenesis in Plants*. Kluwer Academic Publishers, 827, Dordrecht.

- Khan, W., Prithiviraj, B, Smith, D.L. 2003. Photosynthetic responses of corn and soybean to foliar application of salicylates. *J. Plant Physiology*, 160, 485–492.
- Kim, E.Y., Park, S.A., Park, B.J., Yi, L., Oh, M.M. 2014. Growth and antioxidant phenolic compounds in cherry tomato seedlings grown under monochromatic light-emitting diodes. *Horticulture Environment Biotechnology*, 55, 506-513.
- Kim, H.H., Goins, G.D., Wheeler, R.M. ve Sager, J.C. 2004a. Green-light supplementation for enhanced lettuce growth under red and blue light emitting diodes. *Hortscience*, 39, 1617-1622.
- Kim, S.J., Hahn, E.J., Heo, J.W. ve Paek, K.Y. 2004b. Effects of LEDs on net photosynthetic rate, growth and leaf stomata of *chrysanthemum* plantlets in vitro. *Scientia Horticulturae*, 101, 143-151.
- Koç, C., Vatandaş, M. ve Koç, A.B. 2009. LED Aydınlatma Teknolojisi ve Tarımda Kullanımı. 25. Tarımsal Mekanizasyon Ulusal Kongresi, 01-03 Ekim, Isparta.
- Kopsell, D.A. ve Sams, C.E. 2013. Increases in shoot tissue pigments, glucosinolates, and mineral elements in sprouting broccoli after exposure to short-duration blue light from light emitting diodes. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 138(1), 31-37.
- Kowalczyk, K., Gajc-Wolska, J., Mirgos, M., Geszprych, A., Kowalczyk, W., Sieczko, L., Niedzińska, M., Gajewski, M. 2020. Mineral nutrients needs of cucumber and its yield in protected winter cultivation, with HPS and LED supplementary lighting, *Scientia Horticulturae*, 265, 109217.
- Kozai, T. and Niu, G. 2016. Plant Factory as a Resource-Efficient Closed Plant Production System, In: *Plant Factory*. Kozai, T., Niu, G., Takagaki, M. (eds), Academic Press, 69-90, USA.
- Lawson, T., von Caemmerer, S., Baroli, I. 2011. Photosynthesis and stomatal behaviour. *Prog. Bot.*, 72, 265-304.
- Lee, M.K., Arasu, M.V., Park, S., Byeon, D.H., Chung, S.O., Park, S.U., Yong, P., Sun, J. 2016. LED Lights enhance metabolites and antioxidants in Chinese cabbage and kale. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 59.
- Li, Y., Liu, Z., Shi, Q., Yang, F., Wei, M. 2021. Mixed red and blue light promotes tomato seedlings growth by influencing leaf anatomy, photosynthesis, CO<sub>2</sub> assimilation and endogenous hormones, *Scientia Horticulturae*, 290, 110500.
- Li, Y., Xin, G., Wei, M., Shi, Q., Yang, F., Wang, X. 2017. Carbohydrate accumulation and sucrose metabolism responses in tomato seedling leaves when subjected to different light qualities. *Scientia Horticulturae*, 225, 490-497.
- Lin, C. 2000. Plant blue-light receptors. *Trends Plant Sci.*, 5, 337-342.

- Ma, Y., Xu, A., Cheng, Z-M. 2021. Effects of Light Emitting Diode Lights on Plant Growth, Development and Traits A Meta-analysis. Horticultural Plant Journal, in press.
- Macit, F. 1984. Türkiye seracılığı ve uluslararası seracılıkta yeri. 1. Türkiye Seracılık Kongresi. Etibank Matbaası, Ankara.
- Manivannan, A., Soundararajan, P., Halimah, N., Ko, C.H., Jeong, B.R. 2015. Blue LED light enhances growth, phytochemical contents, and antioxidant enzyme activities of *Rehmannia glutinosa* cultured in vitro. Horticulture Environment Biotechnology, 56, 105-113.
- Marcelis, L.F.M., Elings, A., Bakker, M., Brajeul, E., Dieleman, J.A., de Visser, P.H.B. ve Heuvelink, E. 2006. Modelling dry matter production and partitioning in sweet pepper. Acta Horticulturae, 718, 121-128.
- Matsuda, R., Yamano, T., Murakami, K., Fujiwara, K. 2016. Effects of spectral distribution and photosynthetic photon flux density for overnight LED light irradiation on tomato seedling growth and leaf injury, Scientia Horticulturae, 198, 363-369.
- Mawphlang, O.I.L., Kharshiing, E.V. 2017. Photoreceptor mediated plant growth responses: implications for photoreceptor engineering toward improved performance in crops, Front. Plant Sci., 8, 1181.
- Metallo, R.M., Kopsell, D.A., Sams, C.E., Bumgarner, N.R. 2018. Influence of blue/red vs. white LED light treatments on biomass, shoot morphology, and quality parameters of hydroponically grown kale. Sci. Hortic., 235, 189-197.
- Mitchell, C.A., Both, A., Bourget, C.M., Kuboto, C., Lopez, R.G., Morrow, R.C. ve Runkle, S. 2012. LEDs: the future of greenhouse lighting. Chronica Horticulturae, 55, 6-12.
- Morrow, R.C. 2008. LED lighting in horticulture. Hortscience, 43, 1947-1950.
- Neff, M.M., Fankhauser, C., Chory, J. 2000. Light: an indicator of time and place. Genes Dev., 14(3), 257-271.
- Nhut, D.T. ve Nam, N.B. 2010. Light-Emitting Diodes (LEDs): An artificial lighting source for biological studies. In: Van Toi, V. ve Khoa, T.Q.D. (eds), The Third International Conference on the Development of Biomedical Engineering in Vietnam. IFMBE Proceedings, vol 27., Springer, Heidelberg.
- Okamoto, K., Yanagi, T., Kondo, S. 1997. Growth and morphogenesis of lettuce seedlings raised under different combinations of red and blue light. Acta Horticulture, 435, 149-157.
- Olmos, J.D. ve Kargul, J. 2015. A quest for the artificial leaf, Int. J. Biochem. Cell Biol., 66, 37.

- Ouzounis, T., Frett, X., Rosenqvist, E. ve Ottosen, C.O. 2014. Spectral effects of supplementary lighting on the secondary metabolites in roses, chrysanthemums, and campanulas. *Journal of Plant Physiology*, 171, 1491-1499.
- Ouzounis, T., Rosenqvist, E. ve Ottosen, C.O. 2015. Spectral Effects of Artificial Light on Plant Physiology and Secondary Metabolism: A Review. *HortScience*, 50(8), 1128-1135.
- Ölez, H. 1986. Türkiye’de sera tarımının genel görünümü. Türkiye 2. Seracılık Sempozyumu. Türkiye Şişe ve Cam Fabrikaları A.Ş. Yayın No:1, İstanbul.
- Rehman, M., Ullah, S., Bao, Y., Wang, B., Peng, D. ve Liu, L. 2017. Light-emitting diodes: whether an efficient source of light for indoor plants? *Environmental Science and Pollution Research*, 24, 1-10.
- Roelfsema, M.R. ve Hedrich, R. 2005. In the light of stomatal opening: New insights into ‘the Watergate’. *New Phytology*, 167, 665-691.
- Runkle, E.S. ve Heins, R.D. 2001. Specific functions of red, far red, and blue light in flowering and stem extension of long-day plants. *J. Am. Soc. Hortic Sci.*, 126, 275-282.
- Sabzalian, M.R., Heydarizadeh, P., Zahedi, M., Boroomand, A., Agharokh, M., Sahba, M.R., Schoefs, B. 2014. High performance of vegetables, flowers, and medicinal plants in a red-blue LED incubator for indoor plant production. *Agronomy for Sustainable Development*, 34, 879-886.
- Sager, J.C. ve McFarlane, J.C. 1997. Plant growth chamber handbook, Radiation, 1-29. In: R.W. Langhans and T.W. Tibbits (eds.). Iowa Agriculture and Home Economics Experimental Station Special Report no. 99. North Central Region Research Publication No. 340. Iowa State University Press, Ames, IA.
- Samuolienė, G., Brazaitytė, A., Jankauskienė, J., Viršilė, A., Sirtautas, R., Novičkovas, A., Sakalauskienė, S., Sakalauskaitė, J. ve Duchovskis, P. 2013. LED irradiance level affects growth and nutritional quality of *Brassica* microgreens. *Central European Journal of Biology*, 8(12), 1241-1249.
- Savvides, A., Fanourakis, D. ve van Ieperen, W. 2012. Co-ordination of hydraulic and stomatal conductances across light qualities in cucumber leaves. *Journal of Experimental Botany*, 63, 1135-1143.
- Schaer, J.A., Mandoli, D.F., Briggs, W.R. 1983. Phytochrome-mediated cellular photomorphogenesis. *Plant Physiology*, 72, 706-712.
- Schoefs, B. 2002. Chlorophyll and carotenoid analysis in food products. Properties of the pigments and methods of analysis. *Trends Food Sci Technol*, 13, 361-371.
- Sevgican, A. 1999. Örtüaltı Sebzeçiliği. Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayını, No: 528, 302 s., İzmir.

- Shimazaki, K., Doi, M., Assmann, S.M. ve Kinoshita, T. 2007. Light regulation of stomatal movement. *Annual Review of Plant Biology*, 58, 219-247.
- Shin, K.S., Murthy, H.N., Heo, J.W., Hahn, E.J., Paek K.Y. 2008. The effect of light quality on the growth and development of in vitro cultured *Doritaenopsis* plants. *Acta Physiol. Plant.*, 30(3), 339-343.
- Simlat, M., Ślęzak, P., Moś, M., Warchoń, M., Skrzypek, E., Ptak, A. 2016. The effect of light quality on seed germination, seedling growth and selected biochemical properties of *Stevia rebaudiana* Bertoni. *Scientia Horticulturae*, 211, 295-304.
- Tran, L.H. ve Jung, S. 2017. Effects of light-emitting diode irradiation on growth characteristics and regulation of porphyrin biosynthesis in rice seedlings. *Int J Mol Sci.*, 18, 641.
- Trejo-Tellez, L.I., Estrada-Ortiz, E., Gómez-Merino, F.C., Becker, C., Krumbein, A., Schwarz, D., Flavonoid, nitrate and glucosinolate concentrations in *Brassica* species are differentially affected by photosynthetically active radiation, phosphate and phosphite, *Front. Plant Sci.*, 10, 371.
- Urbonavičiūtė, A., Pinho, P., Samuolienė, G., Duchovskis, P., Vitta, P., Stonkus, A., Tamulaitis, G., Žukauskas, A., Halonen, L. 2007. Effect of shortwavelength light on lettuce growth and nutritional quality, *Scientific Works of the Lithuanian Institute of Horticulture and Lithuanian University of Agriculture - Sodrininkystė Ir Daržininkystė*, 26, 157-165.
- Uzun, S., Balkaya, A. ve Kandemir, D. 2007. The Effect of Organic and inorganic materials and growing positions and vegetative growth of aubergine (*Solanum melongena* L.) grown in bag culture in greenhouse. *O.M.Ü. Zir. Fak. Dergisi*, 22(2), 149-156.
- van Ieperen, W. ve Trouwborst, G. 2008. The application of LEDs as assimilation light source in greenhouse horticulture: A simulation study. *Acta Horticulturae*, 801, 1407-1414.
- Vu, N.T., Kim, Y.S., Kang, H.M., Kim, I.S. 2014. Influence of short-term irradiation during pre- and post-grafting period on the graft-take ratio and quality of tomato seedlings. *Horticulture Environment Biotechnology*, 55, 27-35.
- Wang, H., Gu, M., Cui, J., Shi, K., Zhou, Y., Yu, J. 2016b. Effects of light quality on CO<sub>2</sub> assimilation, chlorophyll-fluorescence quenching, expression of Calvin cycle genes and carbohydrate accumulation in *Cucumis sativus*. *J. Photoch. Photobio. B*, 96 (1), 30-37.
- Wang, S., Wang, X.D., Shi, X.B., Wang, B.L., Zheng, X.C., Wang, H.B., Liu, F.Z. 2016a. Red and blue lights significantly affect photosynthetic properties and ultrastructure of mesophyll cells in senescing grape leaves. *Hortic Plant Journal*, 2, 82-90.

- Wong, C.E., Teo, Z.W.N., Shen, L., Yu, H. 2020. Seeing the lights for leafy greens in indoor vertical farming. *Trends in Food Science & Technology*, 106, 48-63.
- Yelboğa, K. 2014. Tarımın Büyüyen Gücü: Fide Sektörü. *Bahçe Haber*, 3(2), 13-16.
- Zhang, Y., Bao, K., Wang, J., Zhao, Y., Hu, C. 2017. Performance of mixed LED light wavelengths on nutrient removal and biogas upgrading by different microalgal-based treatment technologies. *Energy*, 130, 392-401.
- Zoratti, L., Karppinen, K., Escobar, A.L., Häggman, H. ve Jaakola, L. 2014. Light-control LED flavonoid biosynthesis in fruits. *Frontiers in Plant Science*, 5, 1-16.

