

T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ



**FARKLI POLİKARBONAT SERA ÖRTÜ MALZEMELERİNİN ORTAM
MİKROKLİMASI VE BİTKİ GELİŞİMİ ÜZERİNE ETKİSİNİN TERMAL
KAMERALARLA BELİRLENMESİ**

Candan KORKMAZ

**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
TARIMSAL YAPILAR VE SULAMA ANABİLİM DALI
DOKTORA TEZİ**

ARALIK 2021

ANTALYA

T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ



**FARKLI POLİKARBONAT SERA ÖRTÜ MALZEMELERİNİN ORTAM
MİKROKLİMASI VE BİTKİ GELİŞİMİ ÜZERİNE ETKİSİNİN TERMAL
KAMERALARLA BELİRLENMESİ**

Candan KORKMAZ

**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
TARIMSAL YAPILAR VE SULAMA ANABİLİM DALI
DOKTORA TEZİ**

ARALIK 2021

ANTALYA

**T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**FARKLI POLİKARBONAT SERA ÖRTÜ MALZEMELERİNİN ORTAM
MİKROKLİMASI VE BİTKİ GELİŞİMİ ÜZERİNE ETKİSİNİN TERMAL
KAMERALARLA BELİRLENMESİ**

Candan KORKMAZ

**TARIMSAL YAPILAR VE SULAMA ANABİLİM DALI
DOKTORA TEZİ**

**Bu tez FDK-2019-5042 proje numarası ile Akdeniz Üniversitesi Bilimsel Araştırma
Projeleri Yönetim Birimi ve Işık Plastik A.Ş. tarafından desteklenmiştir.**

ARALIK 2021

T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

FARKLI POLİKARBONAT SERA ÖRTÜ MALZEMELERİNİN ORTAM
MİKROKLİMASI VE BİTKİ GELİŞİMİ ÜZERİNE ETKİSİNİN TERMAL
KAMERALARLA BELİRLENMESİ

Candan KORKMAZ
TARIMSAL YAPILAR VE SULAMA ANABİLİM DALI
DOKTORA TEZİ

Bu tez 24/12/2021 tarihinde jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.

Dr. Öğr. Üyesi Nefise Yasemin TEZCAN (Danışman)
Prof. Dr. Ahmet KURUNÇ
Prof. Dr. Ünal KIZIL
Doç. Dr. Sedat BOYACI
Doç. Dr. Bekir Sıtkı KARATAŞ

ÖZET

FARKLI POLİKARBONAT SERA ÖRTÜ MALZEMELERİNİN ORTAM MİKROKLİMASI VE BİTKİ GELİŞİMİ ÜZERİNE ETKİSİNİN TERMAL KAMERALARLA BELİRLENMESİ

Candan KORKMAZ

Doktora Tezi, Tarımsal Yapılar ve Sulama Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Nefise Yasemin TEZCAN

Aralık 2021; 154 Sayfa

Bu çalışmada, farklı polikarbonat (PC) sera örtü malzemelerinin ortam mikrokliması üzerine etkilerinin araştırılması ile malzemelerin bazı mekanik özelliklerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bununla birlikte, örtü malzemelerinin mekanik özellikleri ile ortam mikroklimasının termal kameralarla görüntülenmesi ve bitki gelişimi üzerine etkileri de araştırılmıştır. Araştırmada, sera örtü malzemelerinin ortam mikroklimasına ait özelliklerden toplam ışıınım geçirgenliği, fotosentetik aktif radyasyon (PAR) geçirgenliği, sera içi ve dış ortam sıcaklık ile sera içi ve dış ortam bağıl nem ölçüm değerleri belirlenmiştir. Çalışmada kullanılan sera örtü malzemelerinin mekanik özellikleri olarak, sararma indisi ve darbe dayanımı belirlenmiş ve test numunelerinden deneme süresince üç ayda bir termal kamera ile ölçüm alınmıştır. Farklı sera örtü malzemelerinin ışıınım geçirgenliğinin bitki büyüme, gelişme, verim ve meyve kalitesi üzerine etkilerini belirlemek ve bu etkileri termal kamera ile tespit etmek amacıyla 2019-2020 ve 2020-2021 yılları bahar döneminde Mart-Haziran ayları arasında serada domates yetiştirilmiştir. Farklı sera örtü malzemelerinin ortam mikroklimasının termal kameralarla görüntülenmesi amacıyla kanopi ve çatı sıcaklıkları termal kamera ile izlenmiştir. Çalışmada ultraviyole (UV) katkılı PC (UV PC), ultraviyole ve infrared (UV+IR) katkılı PC (UV+IR PC) ve yan duvar UV katkılı PC çatı polietilen (PE) (UV PC+PE) başlangıç toplam ışıınım geçirgenliğinin sırasıyla; %49.4, %49.2 ve %62.6 olduğu ve çalışma süresinin sonunda sırasıyla, %25.1, %28.9 ve %10.7 oranında azaldığı saptanmıştır. UV PC, UV+IR PC ve UV PC+PE sera örtü malzemelerinde başlangıç PAR geçirgenliğinin %54.7, %49.3 ve %54.1 olduğu ve çalışma süresi sonunda sırasıyla, %27.2, %25.6 ve %9.4 oranında azaldığı belirlenmiştir. Araştırmada UV PC, UV+IR PC ve UV PC+PE sera örtü malzemelerinin başlangıç sararma indisi değerleri sırasıyla -1.46, 4.41 ve -1.28 olduğu, 21. ay itibarıyla sararma indisi değerlerinin sırasıyla 18.4, 14.5 ve 18.7 olduğu belirlenmiştir. UV PC ve UV+IR PC sera örtü malzemelerinde başlangıç darbe dayanım değerlerinin 1203.4 ve 1162.5 g olduğu, çalışmanın sonunda darbe dayanımlarının UV PC malzemedeki %20.3 oranında azaldığı, UV+IR PC malzemedeki ise %6.3 oranında arttığı saptanmıştır. Farklı sera örtü malzemelerinin ayrıca, bitki gelişimi üzerine etkisinin incelendiği bu çalışmada toplam verim dikkate alındığında her iki yetiştirme döneminde de en yüksek verim UV+IR PC sera örtü malzemesinde elde edilmiştir. Sonuç olarak bu çalışmayla, hem ülkemiz hem de dünyada benzer özelliğe sahip bölgeler için PC sera örtü

malzemesinin ortam mikrokliması üzerine etkileri, örtü malzemelerinin mekanik özelliklerinin ve ortam mikroklimasının termal kameralarla görüntülenmesi ve bitki gelişimine etkisi ile ilgili birçok temel altlık bilgi ortaya konulmuştur. Ayrıca, gelişen teknolojiyle hasarsız ve temassız tespiti imkan veren termal kameraların tarımda kullanıma gerekliliği de ortaya konulmuştur.

ANAHTAR KELİMELEER: Bitki gelişimi, Fiziksel özellikler, Mekanik özellikler, Ortam mikrokliması, Termal Görüntüleme.

JÜRİ: Dr. Öğr. Üyesi Nefise Yasemin TEZCAN

Prof. Dr. Ahmet KURUNÇ

Prof. Dr. Ünal KIZIL

Doç. Dr. Sedat BOYACI

Doç. Dr. Bekir Sıtkı KARATAŞ

ABSTRACT

DETERMINATION OF THE EFFECT OF DIFFERENT POLYCARBONATE GREENHOUSE COVER MATERIALS ON ENVIRONMENTAL MICROCLIMATE AND PLANT DEVELOPMENT WITH THERMAL CAMERAS

Candan KORKMAZ

PhD Thesis in Agricultural Structures and Irrigation

Supervisors: Assist. Prof. Dr. Nefise Yasemin TEZCAN

December 2021; 154 pages

In this study, it was aimed to determine some physical and mechanical properties of different Polycarbonate (PC) greenhouse cover materials and to investigate the effects of these materials on the indoor environmental conditions. In addition, the mechanical properties of the cover materials and the imaging of the ambient microclimate via thermal cameras and their effects on plant growth were investigated. In the study, the total radiation transmittance and photosynthetic effective radiation (PAR) transmittance were determined as the physical properties of greenhouse cover materials. The yellowing index and impact strength were determined as the mechanical properties of the greenhouse cover materials used in the study and measurements were taken from the test samples with a thermal camera every three months during the trial period. Tomato cultivation was carried out in the greenhouse between 2019-2020 and 2020-2021 spring terms to determine the effects of radiation permeability of different greenhouse cover materials on the plant growth, development, yield and fruit quality and to determine this effect via a thermal camera. In the study, the greenhouse indoor and outdoor temperature and relative humidity values were monitored in order to determine the greenhouse indoor environmental conditions under different greenhouse cover materials. Therefore, the canopy temperatures and roof temperatures were monitored via the thermal camera. In the study, the initial total radiation transmittance of UV protected PC (UV PC), UV+IR protected PC (UV+IR PC) and sidewall UV protected PC roof PE (UV PC+PE) was determined as 49.4%, 49.2% and 62.6%, and decreased by 25.1%, 28.9% and 10.7%, respectively at the end of the study period. It was determined that the initial PAR permeability of UV PC, UV+IR PC and UV PC+PE greenhouse cover materials was 54.7%, 49.3% and 54.1%, and decreased by 27.2%, 25.6% and 9.4%, respectively at the end of the study period. In the study, the initial yellowing index values of UV PC, UV+IR PC and UV PC+PE greenhouse cover materials were determined as -1.46, 4.41 and -1.28, respectively. As of the 21th month, the yellowing index values were determined as 18.4, 14.5 and 18.7 for UV PC, UV+IR PC and UV PC+PE, respectively. The initial impact strength values of UV PC and UV+IR PC greenhouse cover materials were 1203.4 and 1162.5 g, and the initial impact strengths decreased by 20.3% in the UV PC material, and increased by 6.3% in the UV+IR PC material, at the end of the study. In this study, in which the effects of different greenhouse cover materials on plant growth were examined, the highest yield

was obtained from UV+IR PC greenhouse cover material in both years of cultivation when the total yield is taken into consideration. As a result, in this study, valuable information related the effects of PC greenhouse cover material on the indoor environmental conditions, the visualization of the mechanical properties of the cover materials and the ambient microclimate with thermal cameras, and the effect on plant growth have been revealed both in Turkey and in the regions with similar features across the world. Moreover, the necessity of using thermal cameras, enabling damage-free and contactless detection with the rise of technology, in many fields of agriculture has also been put forth.

KEYWORDS: Crop growing, Physical properties, Mechanical properties, The ambient microclimate, Thermal imaging.

COMMITTEE : Asst. Prof. Dr. Nefise Yasemin TEZCAN

Prof. Dr. Ahmet KURUNÇ

Prof. Dr. Ünal KIZIL

Assoc. Prof. Dr. Sedat BOYACI

Assoc. Prof. Dr. Bekir Sıtkı KARATAŞ

ÖNSÖZ

Doktora tezimin planlanmasında, araştırılmasında, yürütülmesinde ve oluşumunda bilgi, birikim ve tecrübeleriyle bana yol gösterici olan; yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle çalışmamı bilimsel temeller ışığında şekillendiren değerli danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Nefise Yasemin TEZCAN'a, değerli görüşlerinden yararlandığım tez izleme komitesi üyelerim Prof. Dr. Ahmet KURUNÇ ve Doç. Dr. Sedat BOYACI'ya teşekkürlerimi sunarım.

Doktora eğitimim süresince bana pek çok şey öğreten, her daim bilgi birikimlerinden ve tecrübelerinden yararlandığım Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarımsal Yapılar ve Sulama bölümü hocalarıma teşekkürü bir borç bilirim.

Araştırmanın her aşamasında yakın ilgi ve yardımlarını gördüğüm yetiştiricilik konusunda bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım Doç. Dr. Halil DEMİR'e, istatistik konusunda Dr. Ebru KAYA BAŞAR'a ve arazi denemelerindeki yardım ve desteklerinden dolayı Ziraat Yüksek Mühendisi Mehmet CAN'a ve Mehmet KOÇSOY'a teşekkürlerimi sunarım.

Hayatım boyunca karşılaştığım her zorlukta yanımda olduklarını hissettiğim, iyiliğin daima kazanacağı düşüncesiyle yetişmemi sağlayan aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Bu konuda yapılacak çalışmalara katkı sağlaması dileğiyle çalışmamı hayatım boyunca her zaman her koşulda yanımda olup, hiçbir fedakarlıktan kaçınmayan sevgili eşim Hüseyin KORKMAZ ve enerjisiyle, neşesiyle beni her daim motive edip mutlu kılan oğlum Hüsnü KORKMAZ'a armağan ediyorum.

AKADEMİK BEYAN

Doktora Tezi olarak sunduğum “Farklı Polikarbonat Sera Örtü Malzemelerinin Ortam Mikrokliması ve Bitki Gelişimi Üzerine Etkisinin Termal Kameralarla Belirlenmesi” adlı bu çalışmanın, akademik kurallar ve etik değerlere uygun olarak yazıldığını belirtir, bu tez çalışmasında bana ait olmayan tüm bilgilerin kaynağını gösterdiğimi beyan ederim.

24/12/2021

Candan KORKMAZ

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	iii
ÖNSÖZ	v
AKADEMİK BEYAN	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	x
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xiii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xvii
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK TARAMASI	9
2.1. Sera Örtü Malzemelerinin Ortam Mikrokliması Üzerine Etkisi	9
2.2. Sera Örtü Malzemelerinin Mekanik Özellikleri	17
2.3. Termal Kamera.....	27
2.4. Sera Örtü Malzemelerinin Bitki Gelişimi Üzerine Etkisi	41
3. MATERYAL VE METOT	47
3.1. Araştırma Alanı	47
3.2. Araştırma Alanı İklim Özellikleri	47
3.3. Araştırmada Kullanılan Seraların Teknik Özellikleri	49
3.4. Araştırmada Kullanılan Sera Örtü Malzemesi	50
3.5. Sera Örtü Malzemelerinde Ortam Mikroklimasının Belirlenmesinde Kullanılan Ölçüm Aletleri	51
3.5.1. Toplam ışıınım ve PAR ölçümünde kullanılan aletler.....	51
3.5.2. Veri kayıt cihazı.....	53
3.5.3. Sıcaklık ve bağıl nem ölçümünde kullanılan aletler	54
3.5.4. Ortam mikro klimasının belirlenmesinde kullanılan aletler	55
3.5.4.1. Kanopi sıcaklıklarının belirlenmesinde kullanılan aletler	55
3.5.4.2. Çatı sıcaklıklarının belirlenmesinde kullanılan aletler	57
3.6. Sera Örtü Malzemelerinin Bazı Mekanik Özelliklerinin Belirlenmesinde Kullanılan Ölçüm Aletleri	58
3.6.1. Sararma indisi test cihazı	59
3.6.2. Darbe mukavemeti test cihazı.....	61
3.6.3. Malzemede oluşan yaşlanmanın belirlenmesinde kullanılan aletler.....	61
3.7. Serada Bitkisel Üretim	63
3.7.1. Araştırma alanı toprak özellikleri	63

3.7.2. Deneme deseni	64
3.7.3. Bitki materyali	65
3.7.4. Sulama ve gübreleme	66
3.7.5. Kültürel işlemler ve tarımsal mücadele	67
3.7.6. Bitkide yapılan fiziksel ölçüm ve analizler.....	68
3.8. İstatistiksel yöntem.....	72
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	73
4.1. Farklı Sera Örtü Malzemelerinin Ortam Mikroklimasına Etkisi.....	73
4.1.1. Toplam ışıınım geçirgenliğinin zamana bağlı değişimi.....	73
4.1.2. Fotosentetik aktif radyasyon (PAR) geçirgenliğinin zamana bağlı değişimi.....	79
4.1.3. Farklı sera örtü malzemeleri altındaki sera iç ve dış ortam sıcaklıkları.....	85
4.1.4. Farklı sera örtü malzemeleri altındaki sera iç ve dış ortam bağıl nem değerleri	88
4.1.5. Ortam mikroklimasının termal kamera ile izlenmesi	93
4.1.5.1. Kanopi sıcaklıkları	93
4.1.5.2. Çatı sıcaklıkları	95
4.2. Farklı Sera Örtü Malzemelerinin Bazı Mekanik Özelliklerinin Zamana Bağılı Değişimi.....	97
4.2.1. Sararma indisinin zamana bağlı değişimi	97
4.2.2. Darbe dayanımının zamana bağlı değişimi.....	101
4.2.3. Malzemede oluşan yaşlanmanın termal kamera ile izlenmesi.....	103
4.3. Farklı Sera Örtü Malzemelerinin Işıınım Geçirgenliğinin Bitki Gelişimi Üzerine Etkisi	112
4.3.1. Bitki boyu	112
4.3.2. Kök boğazı kalınlığı.....	114
4.3.3. Yaprak sayısı.....	116
4.3.4. Verim	118
4.3.5. Ortalama meyve ağırlığı	121
4.3.6. Meyve çapı.....	122
4.3.7. Suda çözünebilir kuru madde (SÇKM)	123
4.3.8. Meyve suyunda EC ve pH	124
4.3.9. Likopen tayini	127
5. SONUÇLAR	129

6. KAYNAKLAR	143
ÖZGEÇMİŞ	



SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

B	: Bor
CIE	: Tristimulus değerleri
CO ₂	: Karbondioksit
Cu	: Bakır
CWSI	: Bitki su stresi indeksi
E	: Bir cisim tarafından yayılan toplam radyasyon miktarı (W/m ²)
Fe	: Demir
I _g	: Stoma iletkenliği
K	: Isı transfer katsayısı
K ₂ O	: Potasyum oksit
L	: Tın
MgO	: Magnezyum oksit
Mn	: Mangan
N	: Azot
P>F	: Önem seviyesi
P ₂ O ₅	: Fosfor pentaoksit
Pi	: Sera içinde ölçülen PAR (mmol/m ² s)
Po	: Sera dışında ölçülen PAR (mmol/m ² s)
SL	: Kumlu Tın
SO ₃	: Kükürt trioksit
T	: Belli bir zaman periyodundan sonraki örtünün ışıınım geçirgenliği (%)
T _g	: Camsı geçiş sıcaklığı
Ti	: Sera içinde ölçülen toplam ışıınım (W/m ²)
Tm	: Kristal ergime noktası
To	: Sera dışında ölçülen toplam ışıınım (W/m ²)
TP	: Seranın PAR geçirgenliği (%)
T _T	: Seranın toplam ışıınım geçirgenliği (%)
Tyeni	: Yeni örtü malzemesinin ışıınım geçirgenliği (%),
VW	: Verticillium Solgunluğu
Wd	: Kuru biyokütle

WR	: Yaprak oransal su içeriği
YAI	: Yaprak alan indeksi
YI	: Sararma indisi
Zn	: Çinko
α	: Emme
ρ	: Yansıtma
σ	: Stefan-Boltzman sabiti
τ	: Geçirgenlik
ϵ	: Emissivite değeri

Tezde ondalık ayıraç olarak nokta (.) kullanılmıştır.

Kısaltmalar

AD	: Anti-drop katkısı
AF	: Anti-fog katkısı
AO	: Anti-oksidan katkısı
AT	: Anti-toz katkısı
AV	: Anti-virüs katkısı
BPA-PC	: Bisfenol A Polikarbonat
CO-EX	: Çok katlı
CTP	: Cam elyaflı polyester
DİF	: Geçirgenlik katkısı
DSC	: Diferansiyel taramalı kalorimetre
EVA	: Etilen-vinil asetat kopolimer
FIR	: Uzak kızılötesi
FTIR	: Fourier dönüşümlü kızılötesi spektrometresi
HDPE	: Yüksek yoğunluklu polietilen
IR	: İnfrared katkısı
LDPE	: Düşük yoğunluklu polietilen
LTEC	: Doğrusal termal genleşme katsayısı
LWIR	: Uzun dalga boylu kızılötesi
MALDI-TOF	: Matris destekli lazer
MSX	: Çoklu spektral dinamik görüntüleme

MWIR	: Orta dalga boylu kızılötesi
NIR	: Yakın kızılötesi
PAR	: Fotosentetik aktif radyasyon
PC	: Polikarbonat
PE	: Polietilen
PET	: Polietilenteraftalat
PMMA	: Polimetilmetaakrilat
PP	: Polipropilen
PS	: Polistiren
PVC	: Polivinilklorür
PVF	: Polivinilflorid
SÇKM	: Suda çözünebilir kuru madde
SEM	: Taramalı elektron mikroskobu
Solar Konstant:	Güneş sabiti
SWIR	: Kısa dalga boylu kızılötesi
Tekstür	: Bünye
TSE	: Türk Standartları Enstitüsü
TÜBİTAK	: Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu
UV	: Ultraviyole
UV PC	: UV katkılı polikarbonat
UV+IR PC	: UV ve IR katkılı polikarbonat
UV PC+PE	: Yan duvar UV katkılı polikarbonat ve çatı tek kat PE
VPD	: Buhar basıncı açığı
WIPS	: Su enjekte edilmiş PC gölgelendirme

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Polimer zinciri üzerindeki kristal ve amorf bölgeler (Meyers ve Chawla 2009)	2
Şekil 2.1. Elektromanyetik spektrum ve UV ışınları (Anonymous 2019)	10
Şekil 2.2. Doğrudan ve yaygın ışınım (Özgün 2018)	11
Şekil 2.3. Bazı sera örtü malzemelerinin toplam ışınım geçirgenliklerinin minimum ve maksimum değerleri (Papadakis vd. 2000)	13
Şekil 2.4. Çeşitli yaşlanma süreleri için yaşlandırılmış PC örneklerinin çekme testi anında SEM (taramalı elektron mikroskobu) fotomikroagrafları: (a) 0 saat; (b) 150 saat; (c) 350 saat; (d) 450 saat; (e) 550 saat; (f) 650 saat; (g) 750 saat; (h) 950 saat; (i) 1000 saat (Jiang vd. 2018)	21
Şekil 2.5. Yapay olarak hızlandırılmış koşullar altında PC yüzeylerinin SEM (taramalı elektron mikroskobu) fotomikroagrafları: (a) 0 saat; (b) 350 saat; (c) 450 saat; (d) 550 saat; (e) 850 saat; (f) 1000 saat (Jiang vd. 2018)	22
Şekil 2.6. 20 °C hava sıcaklığında, test edilen PC malzemenin çekme dayanımı diyagramı (Fuinaa vd. 2019)	23
Şekil 2.7. 20 °C, 40 °C, 60 °C ve 80 °C sıcaklıkta test edilen PC malzemenin (3 numune) çekme dayanımı diyagramı (Fuinaa vd. 2019)	23
Şekil 2.8. a) PC malzemede 1 cm'lik örnekte çatlak oluşumunun termal görüntüsü; b) PC malzemede moleküler zincir dizilimi ve çatlak oluşmaya başladığı andaki termal görüntüsü (Meyers ve Chawla 2009)	24
Şekil 2.9. HDPE malzemenin 50 mm/dak çekme testi sırasında sıcaklık değişimine göre elde edilen termal görüntüler (Wang vd. 2013)	25
Şekil 2.10. HDPE malzeme için farklı hızlarda çekme testi sırasında; elastik ve plastik bölgedeki değişimi gösteren grafikler (Wang vd. 2013)	26
Şekil 2.11. BPA-PC malzeme yüzeyinden çoklu açılardan spektoradyometre ile ölçümler: a) foto-ışınlanmamış BPA-PC malzeme; b) 24 saat foto-ışınlanmış BPA-PC malzeme; c) 72 saat foto-ışınlanmış BPA-PC malzeme (Nagai vd. 2003)	27
Şekil 2.12. Farklı materyaller için emissivite değeri (22.5 °C oda sıcaklığında) (Hellebrand vd. 2001)	31
Şekil 2.13. a) Hastalıklı bitki yapraklarının termal görüntüsü; b) Hastalıklı bitki yapraklarının görünür ışık görüntüsü; c) Görünür ışık görüntüsünün üzerine termal görüntünün işlenmiş hali (kırmızı renkler sıcak bölgeleri, mavi renkler soğuk bölgeleri temsil etmektedir) (Raza vd. 2015)	32
Şekil 2.14. Sera örtü yüzeyinden ısı kaybına ilişkin termal görüntü (Mercan vd. 2016)	34
Şekil 2.15. a) t = 0 dk; b) t = 0.5 dk; c) t = 1.5 dk; d) t = 2 dk; e) t = 2.5 dk; f) t = 3 dk; g) t = 4.5 dk; h) t = 6 dk sonra yulaf yapraklarının 2 cm yükseklikten elde edilen termal görüntüsü (Prytz vd. 2003)	36

Şekil 2.16. Termal görüntünün ilk çekildiği hali ve emissivite değeri girilerek düzeltilmiş termal görüntü (Stajenko vd. 2004)	37
Şekil 2.17. a) Termal görüntü; b) Kırmızı bant görüntüsü; c) Yeşil bant görüntüsü; d) Mavi bant görüntüsü; e) Histogramda (NDI) düzeltilmiş görüntü; f) Meyve ve yaprak birlikte histogram (NDI) görüntüsü; g) Meyve ve yaprakların birbirinden ayrıldığı görüntü; h) Meyve tespiti (Stajenko vd. 2004)	37
Şekil 2.18. FLIR Tools yazılımı ile kanopi sıcaklıklarının analizi (ıslak yüzey, kuru yüzey, bitki yüzeyi) (Tüne 2016).....	39
Şekil 2.19. a) Sera çatılarında cam ve metal konstrüksiyonun birleşme noktalarındaki termal görüntüleme; b) Termostatik odada PC malzeme çekme testi sırasında termal görüntüleme (Fuinaa vd. 2019).....	39
Şekil 2.20. Çekme testi boyunca PC malzemede elde edilen termografik görüntüler a) 20 °C; b) 40 °C; c) 60 °C; d) 80 °C sıcaklıkta (Fuinaa vd. 2019).....	40
Şekil 3.1. Çalışmada kullanılan araştırma seraları.....	49
Şekil 3.2. Araştırma seralarının zamana bağlı gölgelenme durumu	50
Şekil 3.3. Piranometre (a) ve quantum algılayıcıların (b) sera içi konumları	51
Şekil 3.4. Veri kayıt cihazı ve araştırma alanındaki konumu	53
Şekil 3.5. Sıcaklık ve bağıl nem veri kayıt cihazı ile sera içindeki konumu	54
Şekil 3.6. Termal kamera görüntü modları a) Görünür fotoğraf; b) Görünür fotoğraf içinde kızılötesi; c) Kızılötesi; d) MSX (Çoklu Spektral Dinamik Görüntüleme).	56
Şekil 3.7. Kanopi sıcaklıklarına ilişkin termal görüntülerin FLIR Tools yazılımı ile analizi.	57
Şekil 3.8. Sera çatı sıcaklığının termal görüntülenmesi.....	58
Şekil 3.9. Sera örtü malzemelerinin bazı mekanik özelliklerinin belirlenmesinde kullanılan konstrüksiyon	58
Şekil 3.10. Farklı sera örtü malzemelerinin sararma indisinin ortaya konulmasında kullanılan yöntemin akış şeması	60
Şekil 3.11. Sararma indisi test cihazı (spektrofotometre).....	60
Şekil 3.12. Darbe dayanım testi cihazı.....	61
Şekil 3.13. Araştırmada kullanılan termal kamera.....	55
Şekil 3.14. Termal görüntülerin FLIR Tools yazılımı ile analizi	62
Şekil 3.15. Yetiştirme ortamının hazırlanma aşamaları.....	63
Şekil 3.16. Deneme deseni a) UV PC+PE; b) UV PC; c) UV+IR PC	64
Şekil 3.17. Domates bitkilerinin farklı gelişim dönemleri, a) fide dönemi; b) çiçeklenme ve meyve tutumu dönemi; c) meyve olgunlaşması dönemi	65
Şekil 3.18. Araştırma alanında kullanılan tansiyometre ve kalibrasyon eğrisi.....	66

Şekil 3.19. a) Boğaz doldurma işlemi için yapılan çapalama;	
b) Bitkilerin ipe alınması; c) Hastalık ve zararlı kontrolü için yapılan ilaçlama	68
Şekil 3.20. Kök boğazı kalınlığını ölçmede kullanılan dijital kumpas	69
Şekil 3.21. Domates meyvelerinin ağırlığını ölçmede kullanılan dijital terazi.....	69
Şekil 3.22. SÇKM miktarını belirlemede kullanılan dijital refraktometre	70
Şekil 3.23. Elde edilen örneklerden EC-pH ölçümü.....	70
Şekil 3.24. Meyveden elde edilen likopen tayini aşamaları.....	71
Şekil 4.1. Farklı sera örtü malzemelerinin zamana bağlı toplam ışıyım geçirgenliği (%).....	75
Şekil 4.2. Sera örtü malzemelerinin tipik bir sonbahar, kış, ilkbahar ve yaz günlerinde günlük saatlik ortalama toplam ışıyım geçirgenliğinin zamana bağlı değişimi	78
Şekil 4.3. Farklı sera örtü malzemelerinin zamana bağlı PAR geçirgenliği (%).....	81
Şekil 4.4. Sera örtü malzemelerinin tipik bir sonbahar, kış, ilkbahar ve yaz günlerinde günlük saatlik ortalama PAR geçirgenliğinin zamana bağlı değişimi	84
Şekil 4.5. Araştırma seralarında incelenen aylar itibarıyla sera iç ortam minimum, maksimum ve ortalama sıcaklık değerleri.....	86
Şekil 4.6. Araştırma seralarında incelenen aylar itibarıyla sera iç ortam minimum, maksimum ve ortalama bağıl nem değerleri	89
Şekil 4.7. Sera örtü malzemelerinin tipik bir sonbahar, kış, ilkbahar ve yaz gününde günlük saatlik ortalama sıcaklık ve nem değerlerinin zamana bağlı değişimi	92
Şekil 4.8. Araştırma seralarında termal kamera ile elde edilen kanopi sıcaklıkları.....	93
Şekil 4.9. Araştırma seralarında birinci yıl termal kamera ile elde edilen kanopi sıcaklık değerleri ile dış ortam sıcaklık değerleri arasındaki ilişki	94
Şekil 4.10. Araştırma seralarında ikinci yıl termal kamera ile elde edilen kanopi sıcaklık değerleri ile dış ortam sıcaklık değerleri arasındaki ilişki	94
Şekil 4.11. Araştırma seralarında incelenen aylar itibarıyla termal kamera ile elde edilen çatı sıcaklıkları	96
Şekil 4.12. Araştırma seralarında incelenen aylar itibarıyla termal kamera ile elde edilen çatı sıcaklık değerleri ile dış ortam sıcaklık değerleri arasındaki ilişki	96
Şekil 4.13. Farklı sera örtü malzemelerinin sararma indisi değerlerinin zamana bağlı değişim değerleri.....	98
Şekil 4.14. Farklı sera örtü malzemelerinin darbe dayanım değerlerinin zamana bağlı değişim değerleri	103
Şekil 4.15. FLIR Tools Yazılımı ile başlangıç (0. ay) örneklerinin sıcaklık analizi	104
Şekil 4.16. FLIR Tools Yazılımı ile 3. ay örneklerinin sıcaklık analizi	104
Şekil 4.17. FLIR Tools Yazılımı ile 6. ay örneklerinin sıcaklık analizi	104

Şekil 4.18. FLIR Tools Yazılımı ile 9. ay örneklerinin sıcaklık analizi	105
Şekil 4.19. FLIR Tools Yazılımı ile 12. ay örneklerinin sıcaklık analizi	105
Şekil 4.20. FLIR Tools Yazılımı ile 15. ay örneklerinin sıcaklık analizi	105
Şekil 4.21. FLIR Tools Yazılımı ile 18. ay örneklerinin sıcaklık analizi	106
Şekil 4.22. FLIR Tools Yazılımı ile 21. ay örneklerinin sıcaklık analizi	106
Şekil 4.23. Farklı sera örtü malzemelerinin sıcaklık değerlerinin zamana bağlı değişimi	106
Şekil 4.24. Farklı sera örtü malzemelerinin ısı yalıtım oranının zamana bağlı değişimi	109
Şekil 4.25. Farklı örtü malzemeleri altında bitki boyu gelişimi	112
Şekil 4.26. Farklı örtü malzemeleri altında kök boğazı kalınlığı gelişimi.....	115
Şekil 4.27. Farklı örtü malzemeleri altında yaprak sayısı gelişimi.....	117
Şekil 4.28. Farklı örtü malzemeleri altında elde edilen toplam verim.....	119
Şekil 4.29. Farklı sera örtü malzemeleri altında birinci yıl elde edilen toplam verim kalite sınıflarına göre gösterilişi	120
Şekil 4.30. Farklı sera örtü malzemeleri altında ikinci yıl elde edilen toplam verim kalite sınıflarına göre gösterilişi	120
Şekil 4.31. Farklı örtü malzemeleri altında elde edilen ortalama meyve ağırlığı	121
Şekil 4.32. Farklı örtü malzemeleri altında elde edilen meyve çapı.....	122
Şekil 4.33. Farklı örtü malzemeleri altında elde edilen suda çözünebilir kuru madde (SÇKM)	124
Şekil 4.34. Farklı örtü malzemeleri altında elde edilen meyve suyunda EC miktarı....	125
Şekil 4.35. Farklı örtü malzemeleri altında elde edilen meyve suyunda pH miktarı....	126
Şekil 4.36. Farklı örtü malzemeleri altında elde edilen likopen miktarı.....	127

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1.1. Türkiye’de örtüaltı alanlarının yıllara göre gelişimi (Anonim 2020a)	6
Çizelge 2.1. Cam ve polikarbonat örtü malzemelerinin ultraviyole (UV, 330-400 nm), fotosentetik aktif radyasyon (PAR, 400-700 nm) ve yakın kızılötesi (NIR, 700-1100 nm) aralıkları için ışıınım geçirgenliği, soğurma ve yansıma değerleri (Kwon vd. 2017).....	14
Çizelge 2.2. Bitkilerin fizyolojik tepkilerine bağlı olarak ışıınım dalga boyu (Başçetinçelik 1977).....	41
Çizelge 2.3. Domates bitkisinde likopen içeriği, pH ve SÇKM (Suda çözünür kuru madde) değerleri (Panthee vd. 2013)	44
Çizelge 3.1. Antalya iline ait uzun yıllık ortalama iklim verileri (Anonim 2020b).....	48
Çizelge 3.2. Antalya iline ait çalışma periyodu boyunca aylık ortalama iklim verileri (Anonim 2021)	48
Çizelge 3.3. Araştırma alanı topraklarının bazı fiziksel özellikleri	64
Çizelge 3.4. Araştırma alanı topraklarının bazı kimyasal özellikleri.....	64
Çizelge 3.5. Domates fidelerinin seraya dikim ve söküm tarihleri.....	65
Çizelge 4.1. Sera örtü malzemelerine göre aylık ortalama toplam ışıınım değerleri.....	73
Çizelge 4.2. Farklı sera örtü malzemelerinin zamana bağlı toplam ışıınım geçirgenliği (%).....	74
Çizelge 4.3. Sera örtü malzemelerine göre aylık ortalama PAR değerleri	79
Çizelge 4.4. Farklı sera örtü malzemelerinin zamana bağlı PAR geçirgenliği (%).....	80
Çizelge 4.5. Araştırma seralarında sera iç ve dış ortam sıcaklık değerleri (°C)	86
Çizelge 4.6. Araştırma seralarında sera iç ve dış ortam bağıl nem değerleri (%).....	89
Çizelge 4.7. Farklı sera örtü malzemelerinin sararma indisi değerlerinin zamana bağlı değişim değerleri	98
Çizelge 4.8. Farklı sera örtü malzemelerinin darbe dayanım değerlerinin zamana bağlı değişim değerleri	101
Çizelge 4.9. Farklı sera örtü malzemelerinin zamana bağlı malzeme sıcaklığı ve dış ortam sıcaklığı arasında oluşan farklar	110
Çizelge 4.10. Denemenin birinci yılında farklı örtü malzemelerinin domates bitki boyuna (cm) etkisi.....	113
Çizelge 4.11. Denemenin ikinci yılında farklı örtü malzemelerinin domates bitki boyuna (cm) etkisi.....	113
Çizelge 4.12. Denemenin birinci yılında farklı örtü malzemelerinin domates bitkisi kök boğazı kalınlığına (mm) etkisi	115
Çizelge 4.13. Denemenin ikinci yılında farklı örtü malzemelerinin domates bitkisi kök boğazı kalınlığına (mm) etkisi	116

Çizelge 4.14. Denemenin birinci yılında farklı örtü malzemelerinin domates bitkisi yaprak sayısına (yaprak/adet) etkisi	117
Çizelge 4.15. Denemenin ikinci yılında farklı örtü malzemelerinin domates bitkisi yaprak sayısına (yaprak/adet) etkisi	118
Çizelge 4.16. Çalışmanın birinci yılında farklı örtü malzemeleri altında elde edilen toplam verim.....	119
Çizelge 4.17. Çalışmanın ikinci yılında farklı örtü malzemeleri altında elde edilen toplam verim.....	119



1. GİRİŞ

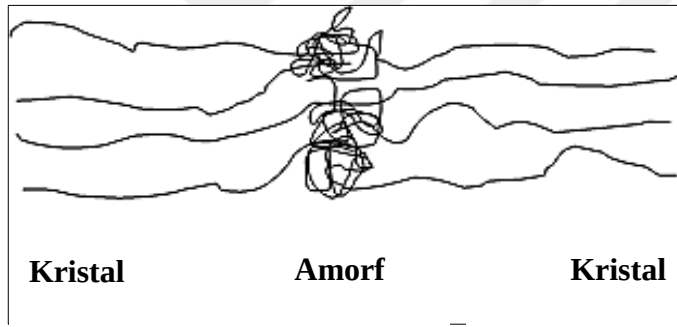
Plastikler, petrol, doğal gaz gibi doğal kaynaklardan üretilen malzemelerdir. Plastikler, monomerlerin kimyasal bağlar aracılığıyla polimere dönüşmesi ile oluşur. Plastiklerin özelliklerini, yapılarındaki polimer molekülünün büyüklüğü ve şekli belirler. Plastikler, termoplastik ve termoset olmak üzere iki temel tipten oluşmaktadır. Polikarbonat (PC) düşük özgül ağırlığa sahip yüksek darbelere dayanıklı bir termoplastiktir. Düşük nem yoğunlaşması oranına, iyi ısı yalıtımına, ısıya karşı kararlılığa ve eriyik halde oksidatif kararlılığa sahiptir. Aynı zamanda kolay işlenebilir olması sebebiyle ticari polimerler arasındadır. Polimerik malzemelerin kullanımı mimarlık, makine mühendisliği ve ziraat mühendisliği gibi farklı alanlardaki mühendislik uygulamalarında sürekli olarak artmaktadır (Fuinaa vd. 2019).

Polimerler, günümüzde laboratuvar ortamında istenilen özellikte malzeme geliştirilebilmesi, farklı dolgu ve katkı maddeleri ile sınırsız mekanik özellik elde edilebilmesi sebebiyle; otomotiv, havacılık, makine, tekstil, paketlenme, elektrik, inşaat mühendisliği, kompozit malzeme üretimi, biyomühendislik ve tarım gibi alanlarda kullanılmaktadır (Karagöz 2019). Dünya nüfusunun artması ile birlikte artan gıda ihtiyacının karşılanması için tarım sektöründe polimer malzemelerinin kullanımı giderek artmış ve önem kazanmaya başlamıştır (Ekebafe vd. 2011). Tarımda polimerlerin kullanım amacı, kullanım yeri, kullanım ömrü ve ekonomik uygulanabilirliklerine göre seçilmektedir (Milani vd. 2017).

Termoplastik bir polimer olan PC levhalar, hafif, mükemmel ışık geçirgenliği ve kristal saydamlıkta üretilebilir olmaları, yüksek mekanik, darbe ve ultraviyole (UV) dayanımları nedeniyle tercih edilmektedir (Erdem 2008). PC, cama yakın ışınlam geçirgenliğine rağmen cama göre daha yüksek darbe dayanımı ile gelen darbeleri absorbe edip, kırılmaması sebebiyle, sera örtü malzemesi olarak kullanılmaktadır. PC levhalar cama göre daha hafif olması nedeniyle konstrüksiyon maliyetini önemli ölçüde etkilemektedir. Yoğun bitkisel üretimin yapıldığı seralarda örtü malzemesi olarak PC kullanımı son yıllarda yaygınlaşmaya başlamıştır. Sert plastik grubunda yer alan ve sera örtü malzemesi olarak kullanılan PC malzeme kalınlıkları; 4-16 mm (çift katlı), 10-16 mm (üç katlı) arasında değişmektedir. Düşük ısı iletim katsayısı ile sera içinden dışarıya

olan ısı kayıplarında iyi bir bariyer görevi görmektedir. Bu durum seraların ısıtma giderlerini azaltmaktadır (Fuinaa vd. 2019).

Polimerlerin termal davranışları amorf, kristal ve yarı kristal halleri ile ilişkilidir. Kristal özelliğe sahip bir polimer sağlam yapıda ve şekil değiştirmesi zordur. Kolay şekil alabilen ve şekil değiştirebilen polimerler ise amorf özelliğe sahiptir. Genelde kristal yapıda olan polimerler basit yapılıdır. Amorf özellik taşıyan polimerler ise karmaşık yapılıdır. Polimerler çoğu zaman, viskozitesi çok yüksek amorf ve kristal düzeninde bir katı halinin karışımı şeklindedir. Amorf ve kristal bölgelerin birlikte bulunduğu polimerler ise yarı kristal polimerlerdir. Amorf ve kristal bölgeler birbirlerinden farklı özellik gösterir. Zincirleri birbiri içine geçerek yumak görünümü alan doğrusal yapıda olan bir polimer, yüksek sıcaklıkta amorf halde, kauçuksu özellik gösteren bir eriyiktir (Şekil 1.1). Yapısında bulundurduğu moleküller rastgele dönme ve eğilme hareketleri yapar (Meyers ve Chawla 2009).



Şekil 1.1. Polimer zinciri üzerindeki kristal ve amorf bölgeler (Meyers ve Chawla 2009)

Polimerler düşük sıcaklıklarda sert katı şeklindedir. Polimer soğutulduğunda kristallenmesi iki şekilde olur. Bunlardan biri kristallenme, diğeri ise camsılaşmadır. Polimerik malzemenin ne tür pratik uygulamaya elverişli olduğunu belirleyen faktörlerden biri kristal ergime noktası (T_m), diğeri ise camsı geçiş sıcaklığı (T_g)'dır (Meyers ve Chawla 2009).

Amorf polimerler: Polivinilklorür (PVC), Polikarbonat (PC), Polistiren (PS)

Düşük sıcaklıklarda sert ve kırılgan yapıda bulunan amorf polimer ısıtıldığında camsı geçiş sıcaklığında yumuşayarak kauçuğa benzer özellik gösterir. Polimerin

ısıtılması devam ederse, Tg sıcaklığını geçtiğinde, kauçuğa benzer davranışı değişir zamksı hal alır, daha da ısıtılırsa polimer sıvılaşır (Meyers ve Chawla 2009).

Yarı kristal polimerler: Polipropilen (PP), Polietilen (PE), Polietilenteraftalat (PET)

Yarı kristal polimerler yapılarında amorf ve kristal bölgeleri bir arada bulundurulur. Camsı geçiş sıcaklıkları altında yarı kristal polimerler kırılındır. Kırılmalıklarını camsı geçiş sıcaklığına kadar korurlar. Camsı geçiş sıcaklığı üzerinde belli bir derecede yumuşaklık kazanırlar. Polimerler yapıları sebebiyle esnek termoplastik özellik gösterir. Ergime sıcaklıklarına kadar termoplastik özelliklerini kaybetmez ve ergime sıcaklığında kristal yapıları viskoz bir sıvı haline gelir. Tam kristal polimerler ise serttirler ve camsı geçiş göstermezler. Belirli bir ergime sıcaklığına ulaştıklarında erirler (Meyers ve Chawla 2009).

Tarımda 1948'lerden bu yana polimer kullanılmaktadır. Dünyada ilk kez Prof. E.M. Emmert tarafından cama alternatif olarak polietilen (PE)'den geliştirilen sera örtü malzemesi kullanılmıştır (Emmert 1954; Meng 2021). Plastiklerin optik özellikleri ile ilgili yapılan çalışmalar, polimer filmlerin cam malzeme yerine alternatif olarak kullanılabileceğini ortaya koymuştur (Brown 2004). O yıllarda hem plastik sektörü gelişiminin başında olduğundan hem de tarımsal uygulamalardan daha fazla pay elde edebilmek adına tarım sektörüyle iş birliği yapmıştır. Bu sayede, tarımsal uygulamalarda plastiklerin kullanım potansiyeli keşfedilmiştir (Garnaud 1988; Brown 2004).

Tarımsal uygulamalarda polimerlerin kullanılması ile;

- ✓ Suyun taşınması, dağıtımı ve sulama sistemlerinin etkin kullanımı ile su israfı önlenir.
- ✓ Tarıma elverişli olmayan arazilerde topraksız tarım yapılabilir.
- ✓ Bitki besin elementleri doğru ve etkin bir şekilde kullanılabilir.
- ✓ Tarımsal üretimde daha az bitki koruma ürünü kullanımına imkan sağlanabilir.
- ✓ Yetiştirilen bitkilerden daha fazla ve daha sağlıklı meyve elde edilmesi sağlanabilir.

- ✓ Sebzelerin ucuzlamasına, yetiştirilmesinin zor olduğu yerlerde bile ürün alınmasına olanak sağlanabilir.
- ✓ Nakliye aşamasında bitkiler uzun süre canlı tutulabilir (Garnaud 1988; Ekebafe vd. 2011; Madakbaş vd. 2014).

Tarım sektöründe giderek yaygınlaşan plastik malzeme kullanımı, verim ve kalitenin artmasına sebep olmuştur. Tarımda kullanılan plastikler, hem sebze ve meyvelerin dört mevsim yetiştirilmesine hem de yetiştirilen ürünlerin açık tarlada yetiştirilen ürünlere göre daha kaliteli olmasına olanak sağlar (Karagöz 2019).

Tarımda kullanılan plastikler polyolefin, polietilen (PE), polipropilen (PP), etilenvinilasetat kopolimer (EVA), polivinilklorür (PVC) ve diğerlerine kıyasla çok az miktarda polikarbonat (PC) ve polimetilmetakrilat (PMMA) şeklindedir. Bu plastiklerin sağladığı yararlar şunlardır:

Yenilikçi ve sürdürülebilir çözümler: Plastik malzemelerin tarımsal üretimde kullanılması ile su tasarrufu yapılır ve kurak arazilerde dahi bitki yetiştirilmesi mümkün hale gelir. Plastik sulama boruları sayesinde su ve bitki besin elementlerinin kaybı önlenir. Plastiklerin, örtü altı yetiştiricilikte veya malçlamada kullanılmasıyla tarım ilaçlarının kullanımı azaltılır. Ayrıca tarım ilaçlarının atmosfere salınımı, plastik malzemeyi geçemeyeceğinden, azalır.

Geri dönüşüm ve geri kazanım olanakları: Kullanım ömürlerinin sonunda sera örtüleri gibi tarımsal plastikler de geri dönüştürülür. Tarımsal üretimde plastikler genellikle, kum, bitki ve tarım ilacı kalıntılarından yıkanarak arındırılır, daha sonra öğütülerek ekstrüzyonla pelet haline getirilir. Bu sayede geri dönüştürülen malzeme, dış mekan mobilyaları gibi ürünlerin üretiminde tekrar kullanılma imkanı bulur. Geri dönüşümün mümkün olmadığı durumlarda, tarımsal plastik atıklardan yanma olarak bilinen bir süreçte enerji elde edilir (Anonim 2004; Anonim 2016).

Tüm dünyada ve ülkemizde tarımsal üretimde son yıllarda gelişen teknoloji ile ürün kalitesini iyileştirmeye yönelik uygulamalar hız kazanmaktadır. Bu uygulamalardan birisi de bitkileri güneş ışınlarının zararlı etkilerinden korumak için üretim süresini uzatarak meyve kalitesi ve içeriğini arttırma amacıyla seralarda örtü

malzemesi olarak kullanılan PC'dir. PC malzemenin hafif, kurulumunun kolay olduğu ve iç mekanlara bol miktarda doğal ışık sağladığı bilinmektedir. Ayrıca PC'nin plastik ürünler arasında yangına en dayanıklı malzeme olmasının yanında; tamamen güvenli, enerji verimli tarımsal binaların tasarım ve yapımında mükemmel yalıtım özelliklerine sahip olduğu bildirilmiştir (Esen ve Yüksel 2014).

Avrupa'da tarım sektöründe her yıl yaklaşık 2-3 milyon ton plastik kullanılmaktadır (Kyriko ve Briassoulis 2007). Tarımda kullanılan malçlama filmleri bu rakamın %50'sini oluşturmaktadır. Avrupa'da yaygın olarak kullanılan sera örtü malzemeleri (PE, LDPE, LLDPE, PP, EVA, PVC ve PC) verimi arttırmak, üretim periyodunu uzatmak, insektisit ve herbisit kullanımını ve suyun buharlaşmasını azaltmak amacıyla tercih edilmektedir (Glenn vd. 2014).

Türkiye'de örtü altı yetiştiriciliğinde kullanılan plastiklerin yıllara göre değişimi Çizelge 1.1'de verilmektedir. Çizelge 1.1'de görüldüğü gibi plastik seralar tıpkı diğer ülkelerde olduğu gibi ülkemizde de cam seralara göre daha fazla tercih edilmektedir. Gün geçtikçe artan bu duruma; plastik sera örtü malzemesinin daha büyük alanların kaplanmasına olanak sağlaması, plastik seraların konstrüksiyonlarında cam seralara kıyasla daha az desteğe ihtiyaç duyması nedeniyle ilk yatırım masraflarının düşük olması, plastik malzeme özelliklerinin teknoloji ile günden güne iyileştirilmesi ve daha ekonomik olması gibi faktörler sebep olmaktadır (Emekli 2014).

Çizelge 1.1. Türkiye’de örtüaltı alanlarının yıllara göre gelişimi (Anonim 2020a)

YILLAR	Cam Sera Alanı (km ²)	Plastik Sera Alanı (km ²)	Yüksek Tünel (km ²)	Alçak Tünel (km ²)	Toplam (km ²)
2005	65	171	66	164	467
2006	68	182	69	148	469
2007	75	195	65	157	494
2008	82	211	66	181	542
2009	82	220	77	187	567
2010	80	230	81	170	563
2011	78	247	108	175	611
2012	80	278	95	163	617
2013	80	278	97	157	615
2014	81	299	113	157	649
2015	80	309	113	162	664
2016	80	329	113	170	692
2017	86	355	120	191	752
2018	78	369	114	211	772
2019	75	379	111	224	790

Sera alanlarının büyük çoğunluğunda genelde örtü malzemesi olarak PE’den üretilen plastik film kullanılmaktadır (Briassoulis vd. 1997). Düşük yoğunluklu polietilen (LDPE), iyi mekanik ve optik özelliklere sahip olması ve rekabetçi pazar fiyatı nedeniyle en çok tercih edilen PE grubu haline gelmiştir. Ancak bu malzeme kullanım süresi boyunca çevre koşullarından kolayca etkilenebilmektedir. Tüm polimer malzemelerde olduğu gibi, PE’nin de kullanım ömrünü sınırlandıran temel sorun UV ışınlarla fiziksel özelliklerinin azalmasıdır. Tarımda kullanılan sera örtü malzemelerinin kullanım ömrünü arttırmak için üretim aşamasında UV ışınlarına karşı dayanımını artırıcı katkı maddelerinin eklenmesi gerekir. PE malzemenin diğer plastiklere kıyasla dış koşullar karşısında dayanımı azdır. Kolayca yırtılabilen ve çabuk kirlenen bir malzeme olduğundan ışık geçirgenliği de zamanla azalır (Giacomelli 1999). Bu nedenle, çoğu zaman üretim aşamasında malzeme mukavemeti ve esnekliğini arttırmak amacıyla özel katkı maddeleri ilave edilir (Dilara ve Briassoulis 2000). PE malzeme üretimi esnasında ilave edilen katkı maddeleri sayesinde;

- ✓ Infrared (IR) katkısı ile ısı korunumu,
- ✓ Ultraviyole (UV) katkısı ile kullanım ömrü,
- ✓ Etilvinilasetat (EVA) katkısı ile esneklik ve rüzgara karşı dayanım,
- ✓ Anti-virüs (AV) katkısı ile virütik böceklere yönelik optik özellikler verme,
- ✓ Anti-Fog (AF) katkısı ile yoğunlaşma,

- ✓ Anti-toz (AT) katkısı ile elektrostatik özellikler verme,
- ✓ Mineral katkıları ile ışığı yayma ve
- ✓ Fluor ısıt özellik konularında oldukça ileri düzeydedir.

Seralarda örtü malzemesinin seçiminde dikkat edilecek kriterler şunlardır (Baytorun ve Başçetinçelik 1993):

- ✓ Toplam ışınlam ve fotosentetik aktif radyasyon (PAR) geçirgenliği
- ✓ Uzun dalga boylu ışınları geçirgenlik yüzdesi
- ✓ Zamana bağlı ışınlam geçirgenliği (yaşlanma özellikleri)
- ✓ Oransal nemin malzemenin iç yüzeyinde yoğunlaşma durumu
- ✓ Mekanik özellikleri
- ✓ Toplam ısı transferi katsayısı
- ✓ Malzeme boyutları ve fiyatı

Sera örtü malzemesi seçiminde dikkat edilmesi gereken birçok kriter vardır. Bu kriterlerin en önemlisi, bitki gelişimini direkt olarak etkileyen solar radyasyonun tipi ve miktarıdır. Ayrıca hava nemi, karbondioksit (CO₂) konsantrasyonu gibi mikro klimatolojik faktörler de örtü malzemesine dolaylı da olsa etki etmektedir (Giacomelli 1999). Sert plastikler içerisinde PC'nin gerek sera örtü malzemesi olarak kullanımı gerekse diğer farklı amaçlar için kullanımı son zamanlarda yaygınlaşmıştır. Sera örtü malzemesi olarak kullanımda, malzemenin ısı iletim katsayısı (0.19-0.21 W/m²⁰K) önem arz etmektedir (Chen vd. 2016). Nitekim seraların yıllık işletme giderleri arasında ısıtma önemli bir paya sahip olup, malzemenin bu özelliği ısıtma giderlerinde ciddi tasarruf sağlamaktadır (Çaylı vd. 2016).

Örtü altı yetiştiricilikte ilk yatırım masrafları arasında örtü malzemesinin maliyeti önemlidir. Ülkemizin coğrafik koşullarının sağladığı üstünlükler nedeniyle bazı bölgelerde uygun sera içi çevre koşullarının sağlanması için ısıtmaya ihtiyaç duyulmadığı dikkate alındığında sera örtü malzemelerinin kullanım ömrü süresince gösterdiği performans önem taşımaktadır. Sera örtü malzemelerinin en önemli fiziksel özellikleri; üç dalga bandındaki (güneş spektrumu, PAR ve uzun dalga bandı) geçirgenlik değeridir. Sera örtü malzemelerinin PAR spektrumunda en yüksek geçirgenliğe, uzun dalga boyu bandında ise en düşük geçirgenliğe sahip olması gerektiği yaygın olarak kabul görmektedir. Bunun yanında, sera içinde ışınlamın daha

homojen dağılması ve bitki yeşil aksamına ışınının daha iyi nüfuz etmesi için sera örtü malzemesinin ışınım difüzyon özelliklerine sahip olması gerekir. Ayrıca güneş spektrumunda geçirgenliğin zamana bağlı değişimi de önemli bir husustur. Işınım geçirgenliğindeki küçük farklılıkların bile bitki gelişimi üzerindeki önemli etkisi nedeniyle ışınım geçirgenliği özelliklerine ilişkin veriler sera örtü malzemesinin potansiyel faydalarını değerlendirmede önemlidir. Örtü malzemesinin geçirgenliğini etkileyen faktörler kirlilik, yaşlanma ve yoğunlaşmadır (Papadakis vd. 2000).

Polimerik malzemelerin kullanımı mimarlık, makine mühendisliği ve ziraat mühendisliği gibi farklı uygulama alanlarında sürekli olarak artmaktadır. Polimer malzemeler metaller ile karşılaştırıldığında; daha düşük mukavemete sahip olmalarına rağmen, hafif ve kolay kurulumları sebebiyle tercih sebebi olmuşlardır. Tarımda polimer kullanımının gün geçtikçe artması ile malzemelerin mekanik özelliklerinin araştırılması gereksinimi de giderek artmıştır (Toussaint vd. 2012; Wang vd. 2013; Sica vd. 2015; Leveuf vd. 2018). Tarımsal üretimde sera örtü malzemesi olarak kullanılan PC malzemenin mekanik özellikleri çekme dayanımı, darbe dayanımı, malzeme yoğunluğu ve sararma indisi şeklinde sıralanabilir (Fuinaa 2019). PC malzemenin en büyük dezavantajı olan sararma bir ultraviyole bozunması olarak tanımlanmaktadır. Sararma, malzemenin kısa dalga boylu ışığa, sıcaklığa ve fosfora uzun süre maruz kalması sonucunda oluşur (Mehr vd. 2014).

Tarımda yersel uzaktan algılama tekniklerinden olan termal kamera birçok alanda kullanılmaktadır. Termal kamera tarımda hasat öncesi arazi uygulamalarında, toprağın dikime hazır olup olmadığının tespitinde, sulama uygulamalarında sulama modelinin oluşturulması ve stoma iletkenliğinin belirlenmesinde, verim tahmininde, olgunlaşan meyve tespitinde, seralarda, hastalık zararlı tespitinde; tarımsal mekanizasyonda, hasat sonrası meyvelerin olgunlaşma tespitinde ve gıdalardaki yabancı madde tespitinde kullanılmaktadır (Manickavasagan vd. 2005).

Türkiye'de özellikle PC malzemenin sera örtü malzemesi olarak kullanımına yönelik yeterince bilimsel çalışma bulunmamaktadır. Bu çalışmada, farklı katkı maddeli PC malzemenin ortam mikro iklimi ve bitki gelişimine üzerine etkisinin termal kameralarla belirlenmesi amaçlanmıştır.

2. KAYNAK TARAMASI

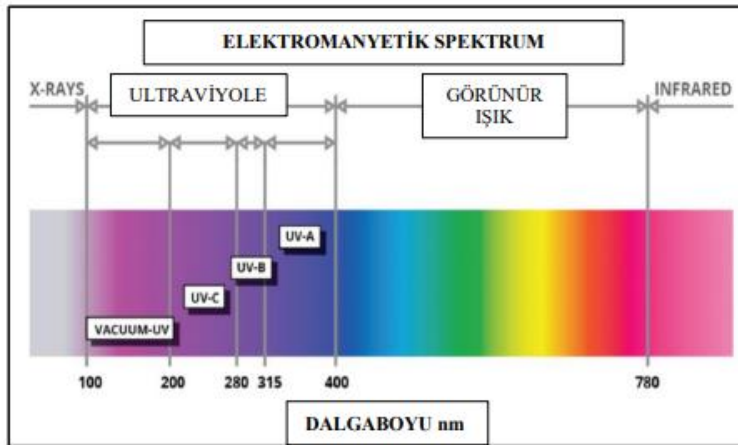
Araştırma konusu ile ilgili kuramsal bilgiler ve kaynak taramaları dört alt bölümde incelenmiştir. İlk bölümde sera örtü malzemelerinin ortam mikrokliması üzerine etkileri, ikinci bölümde sera örtü malzemelerinin mekanik özellikleri, üçüncü bölümde termal kamera ve dördüncü bölümde sera örtü malzemelerinin bitki gelişimi üzerine etkisi ile ilgili konular ele alınmıştır.

2.1. Sera Örtü Malzemelerinin Ortam Mikrokliması Üzerine Etkisi

Sera ışıklandırmasında doğal ışık kaynağı güneştir. Güneş 1.39×10^9 m çapında yoğun sıcak gazlar içeren bir küre olup, dünyaya uzaklığı yaklaşık 1.5×10^{11} m'dir. Yüzey sıcaklığı 5777°K 'dir. Bu sıcaklık merkeze doğru 4×10^6 ila 8×10^6 °K arasında değişim gösterir. Yoğunluğu, suyun yoğunluğunun 100 katıdır. Güneşten gelen enerji çeşitli kimyasal reaksiyonlara uğramaktadır. Güneşin yapısında bulunan yüksek sıcaklık sebebiyle elektronlar atom çekirdeklerine ayrılır. Bu nedenle güneş bünyesinde serbest halde elektron ve atom çekirdekleri bulundurulur. Bir helyum çekirdeği, dört hidrojen çekirdeğinin birleşmesiyle oluşur. Yüksek sıcaklıklarda oluşan bu reaksiyona füzyon denir. Bu reaksiyon sayesinde oluşan helyum miktarı, harcanan hidrojen miktarından daha azdır. Harcanan hidrojen miktarı ile oluşan helyum miktarı arasındaki fark güneş ışıınımı ile ortaya çıkan enerjiyi verir. Bu enerji yeryüzüne 32° açı ile gelen çeşitli dalga boylarındaki ışınlar halinde ulaşır (Rosenberg vd. 1983).

Güneşten gelen ışınlar dalga boylarına göre sınıflandırılırlar. Buna elektromanyetik spektrum denir (Şekil 2.1). Dalga boyları 400 nm'den küçük (<400 nm) ışınlar UV ışınlar olarak adlandırılır. UV ışınlar, elektromanyetik spektrumun iyonlaşmayan kısmında bulunmakta ve toplam güneş ışığının %8-9'luk kısmını oluşturmaktadır (Coohill 1989; Frederick 1993). UV radyasyonu, elektromanyetik radyasyon spektrumunun bölümlerinden birisi olup, X ışınları ile görünür bölge ışınları arasında yer almaktadır. UV ışınları farklı dalga boylarına göre UV-A, UV-B ve UV-C olmak üzere 3 gruba ayrılmaktadır (Sarı 2019). UV-C (200-280 nm) tüm canlılar için oldukça zararlı yapıda olup doğal güneş ışığında bulunmamaktadır. UV-C hasat sonrasında ürünlerin yüzey dezenfeksiyonu için kullanılmaktadır. UV-B (280-315 nm), toplam spektrumun %1.5'ini oluşturmaya rağmen canlı organizmalarda farklı zararlı

etkilere neden olabilmektedir. UV-B ışınları bitki yapraklarında küçülmeye ve böylece fotosentezde azalmaya sebep olmaktadır. Bunun yanında toprakta da mikroorganizmaların ölmesine ve toprağın verimsiz olmasına sebep olmaktadır (Aldrich ve Bartok 1989; Yüksel 2004; Öztürk 2008a; Emekli 2014). UV-A (315-400 nm) UV içerisinde en az zararlı etki yaratan ışınım olarak değerlendirilmekte ve dünya üzerine gelen güneş ışınımının %6-7'sini oluşturmaktadır (Hollósy 2002; Koutchma 2009). Dünyaya ulaşan UV-A ve UV-B miktarları güneş zenit açısı, enlem, rakım, bulutluluk, mevsim ve gün içerisindeki saate göre değişebilmektedir (Seckmeyer vd. 2008). Güneşten gelen 400-700 nm ışınlar orta dalga boylu ışınlar olarak bilinmektedir. Dalga boylarına göre mor, mavi, yeşil, sarı, turuncu, kırmızı renklerde görünürler. Görünür ışık enerjisi orta dalga boylu ışınlar tarafından oluşturulur. Bu ışınlar fotosentez için gerekli enerjiyi sağlar. Bitkiyi direkt olarak etkileyen, ışınların yoğunluğu, dağılımı ve süresidir. Kızılötesi ışınların dalga boyları 700 nm'den büyüktür (>700 nm). Gözle görülemeyen bu ışınların etkisi ısıtma şeklindedir. Kızılötesi ışınlar dalga boylarına göre 5 gruba ayrılır. Bunlar, yakın kızılötesi (NIR), kısa dalga boylu kızılötesi (SWIR), orta dalga boylu kızılötesi (MWIR), uzun dalga boylu kızılötesi (LWIR) ve uzak kızılötesi (FIR) şeklindedir (Aldrich ve Bartok 1989; Yüksel 2004; Öztürk 2008a; Emekli 2014).



Şekil 2.1. Elektromanyetik spektrum ve UV ışınları (Anonymous 2019)

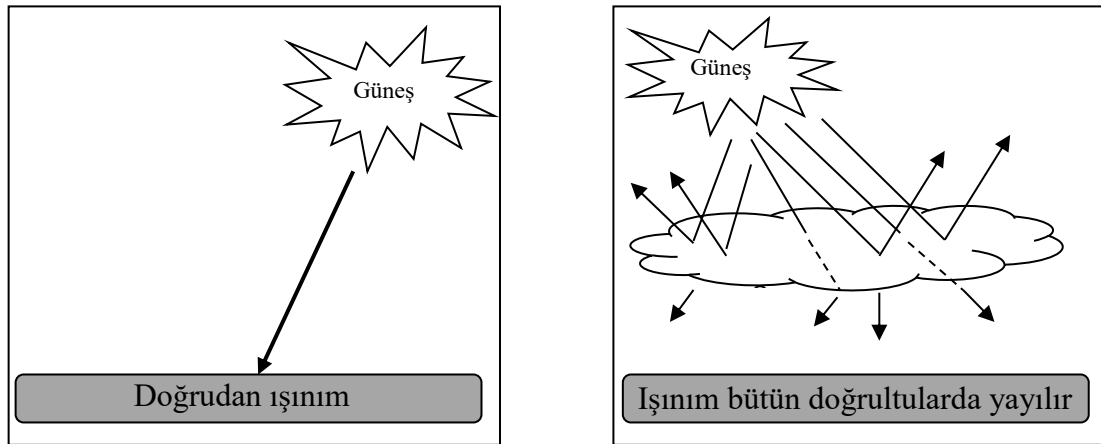
Atmosfer dışında, birim alanda güneş ışınlarına dik gelen güneş ışınımının değeri, dünya ve güneş arasındaki mesafenin sabit olmaması sebebiyle değişmektedir. Bu nedenle hesaplamalarda ortalama dünya güneş uzaklığındaki güneş ışınımı değeri kullanılmaktadır. Atmosferin üst sınırında 1 cm²'ye 1 dakikada gelen kalori miktarı olan bu değere solar konstant (güneş sabiti) denir. Yapılan ölçümler ve hesaplamalar

sonucunda 1367 W/m^2 olarak kabul edilmiştir. Ancak yeryüzünde güneş ışıını 0-1100 W/m^2 değeri arasında değışmektedir (Johnson 1954).

Yeryüzüne ulaşan toplam güneş ışıını, doğrudan ışıını ve yaygın ışıını olarak iki bölümden oluşmaktadır (Şekil 2.2). Doğrudan ışıını, herhangi bir yüzeye dik olarak ve yön değıştirmeden gelen ışıını şeklinde tanımlanır. Açık (bulutsuz) gökyüzü koşullarında yeryüzüne ulaşan toplam ışıının %75-85'i doğrudan ışıındır. Yaygın ışıını, yeryüzüne gelen güneş ışıınlarının atmosferdeki su buharı, mikroskobik katı cisimler ve havadaki partiküllere çarparak dağınık şekilde gelmesiyle oluşur. Doğrudan ışıını vektörel bir büyüklük iken; yaygın ışıını vektörel bir büyüklük değildir (Emekli 2014).

Özgün (2018), yeryüzüne gelen güneş radyasyonunun bazı etkenler sebebiyle önemli değışimler gösterdiğini bildirmiştir. Bu etkenler şöyle sıralanmıştır;

- ✓ Atmosferdeki soğrulma ve dağılmalar,
- ✓ Atmosferde bulunan su buharı, bulutlar ve meydana gelen hava kirliliğı,
- ✓ Enlem ve boylam değışimleri,
- ✓ Yıl içindeki mevsimsel değışimler ile gün içindeki saatlerdir.



Şekil 2.2. Doğrudan ve yaygın ışıını (Özgün 2018)

Öztürk (2008a), sera iç ortamındaki yataylığı sağlanmış bir yüzeye gelen güneş ışıınının, sera dış ortamındaki yataylığı sağlanmış bir yüzeye gelen güneş ışıınına oranını seranın ışıını geçirgenliği şeklinde tanımlamıştır.

Sıcaklığın yetersiz kaldığı, don tehlikesinin bulunduğu dönemlerde, bitki büyüme ve gelişme süreci için gereksinim duyulan enerjiyi sağlayan ışığın sera içine ulaşabilmesi, bitki isteklerine uygun atmosfer sağlanabilmesi için seraların cam veya plastik bir materyal ile kaplanması gerekir. Sera örtü malzemeleri üç grupta incelenebilir (Günay 1985; Baytorun 1995; Al-Helal ve Alhamdan 2009; Emekli 2014).

• **Cam**

• **Filmler (Yumuşak plastikler)**

• **Sert plastikler**

• Polietilen (PE)

• Cam elyafı polyester (CTP)

• Polivinilklorür (PVC)

• Polivinilklorür (PVC)

• Polivinilflorid (PVF veya Tedlar)

• Polimetilmetaakrilat (PMMA)

• Polyester (Mylar)

• Polikarbonat (PC)

• Etilvinilasetat (EVA)

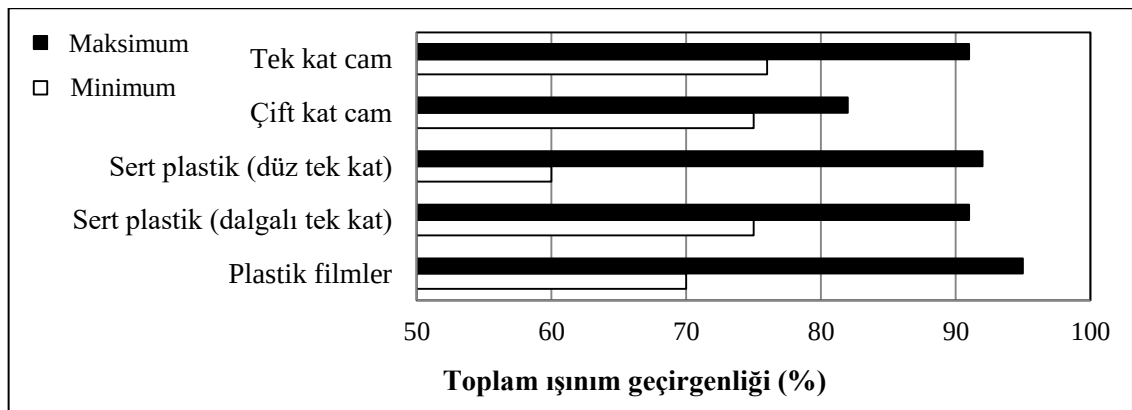
Sera örtü malzemesi seçiminde malzemenin plastik özelliği önemlidir (Baytorun ve Başçetinçelik 1993).

Choab vd. (2019), sera örtü malzemelerinde kullanılan plastiklerin birkaçını karşılaştırdıkları çalışmalarında; malzeme seçiminde etkili kriterleri aşağıdaki gibi sıralamışlardır.

- Toplam ışıınım geçirgenliği
- Uzun dalga boylu ışıınların geçirgenlik yüzdesi
- UV ışıınlarının geçirgenliği
- Işıınım geçirgenliğinin zamana bağlı değişimi (yaşlanma özellikleri)
- Malzeme iç yüzeyinde yoğunlaşan oransal nem miktarı
- Su buharı geçirgenlik özelliği
- Fırtına, dolu ve kar yağışına karşı dayanımı
- Mekanik özellikleri
- Toplam ısı transferi katsayısı
- Kimyasal etkisi
- İmalat boyutları ve fiyatları

Araştırmacılar tarafından, iyi bir sera örtü malzemesinin PAR spektrumunda en yüksek, uzun dalga boyu bandında ise en düşük geçirgenliğe sahip olması gerektiği bildirilmiştir.

Papadakis vd. (2000) yaptıkları çalışmada örtü malzemesi seçiminin serada enerji tüketimini ve dolaylı olarak işletme ekonomisini etkileyen bir faktör olduğundan bahsetmişlerdir. Sera örtü materyalinde en önemli fiziksel özelliklerin geçirgenlik, yansıtıcılık, emicilik ve ısı transfer katsayısı (K değeri) olduğunu bildirmişlerdir. Sera örtü malzemelerinin radyometrik veya ısı özelliklerinde meydana gelen değişimlerin temel olarak örtü yüzeyinde bulunan pestisit, toz ve kirden kaynaklandığını belirtmişlerdir. Çalışmada plastik malzemelerin yanı sıra sert plastik malzemelerden PC malzemeyi “Sert polikarbonat (PC), aralarında hava boşluğu olan ve toplam kalınlığı 4 ila 16 mm arasında değişen çift cidarlı şeffaf tabakalar” şeklinde tanımlamışlardır. PC malzemenin geçirgenliği (güneş ışınımına etki eden) camdan %7-14 daha az, fakat camdan 10 kat daha hafif olduğundan daha çok tercih edilen sera örtü malzemesi olduğu belirtilmiştir. Ayrıca araştırmacılar tarafından sera içi sıcaklığının (örtü malzemesinin K değeri hariç) bağlı olduğu etmenler; sera şekli, seranın büyüklüğü ve türü, dış hava sıcaklığı, rüzgar hızı ve gökyüzü koşulları şeklinde sıralanmıştır. Çalışma sonucunda, sera örtü malzemelerinin toplam ışıınım geçirgenlik değerlerini imalatçı firma laboratuvar sonuçları ve kamu araştırma enstitülerinden elde ettikleri sonuçlara göre aşağıdaki gibi bildirmişlerdir (Şekil 2.3).



Şekil 2.3. Bazı sera örtü malzemelerinin toplam ışıınım geçirgenliklerinin minimum ve maksimum değerleri (Papadakis vd. 2000)

Kwon vd. (2017), Kore ekolojik koşullarında 2 farklı model seranın (4 mm cam ve 3 mm PC sera) farklı dalga bantlarında ışınım geçirgenliği ile domates ve salatalık bitkilerinin büyümesine olan etkilerini incelemiştir. Araştırmadan elde edilen sonuçlara göre, PC sera örtü malzemesinin UV-B (300-320 nm) ve UV-A (320-400 nm) bandında radyasyonu tamamen bloke ettiğini camın ise UV-A bandını ilettiğini, UV-B bandında ise opak olduğunu belirlemiştir (Çizelge 2.1). Bunun yanında, araştırmacılar tarafından PC sera örtü malzemesinde PAR (400-700 nm) geçirgenliğinin camdan yüksek olduğu bildirilmiştir.

Çizelge 2.1. Cam ve polikarbonat örtü malzemelerinin ultraviyole (UV, 330-400 nm), fotosentetik aktif radyasyon (PAR, 400-700 nm) ve yakın kızılötesi (NIR, 700-1100 nm) aralıkları için ışınım geçirgenliği, soğurma ve yansımaya değerleri (Kwon vd. 2017)

Örtü Malzemesi	Kalınlık (mm)	Işınım Geçirgenliği (%)			Soğurma (%)			Yansımaya (%)		
		UV	PAR	NIR	UV	PAR	NIR	UV	PAR	NIR
Polikarbonat	3.0	2.7	85.6	87.7	92.6	6.5	4.4	4.7	7.9	7.9
Cam	4.0	75.8	83.8	72.0	17.5	9.0	21.5	6.7	7.5	6.5

Geoola vd. (2004), 3 aylık bir çalışma süresinde anti-drop katkılı PE sera örtü malzemelerinin güneş ışınım geçirgenlikleri ve yaşlanmalarını, çatı eğim açısı 30° olan ve dokuz özdeş bölmeden oluşan model bir araştırma serasında incelemiştir. Çalışmada model seranın dokuz özdeş bölmesinden altısı kullanım ömrü 1 yıl olan UV, UV+IR, UV+IR+AD katkılı düşük yoğunluklu PE malzeme ile 2 tekerrürlü olmak üzere kaplanmıştır. Araştırmacılar UV, UV+IR, UV+IR+AD katkılı PE sera örtü malzemelerinin ışınım geçirgenliklerini bir haftalık sürede sırasıyla %83.6, %80.5, %80.4 olarak belirlemiştir. Ayrıca iki aylık bir sürede sera örtü malzemelerinin ışınım geçirgenliği kayıplarının yaklaşık %5 olduğunu, üç aylık bir sürede bahsedilen kaybın yaklaşık %8 olduğunu ve oluşan bu kayıpların malzemenin dış yüzeyindeki toz ve kir birikimi sebebiyle meydana geldiğini bildirmişlerdir. Bununla birlikte sera örtü malzemelerinin üç aylık süre zarfında anti-drop katkısız PE malzemenin kuru koşullarda ışınım geçirgenliklerinin ıslak koşullardan daha yüksek olduğu belirtilmiştir. Anti-drop katkılı PE malzemenin ise başlangıçta ışınım geçirgenliğinin ıslak koşullarda kuru koşullara göre daha yüksek (%4.2) olduğu ancak zamanla malzemenin yapısında bulunan anti-drop katkı maddesini kaybetmesi sebebiyle 3 aylık periyodun sonunda bu değerlerin daha düşük (%15) olduğu araştırmacılar tarafından saptanmıştır.

Sangpradit (2014), İsrail’de toz ve kirlerin seralarda ışınlam geçirgenliğine etkisini incelediği çalışmasında, 12 ay ömürlü UV katkılı PE sera örtü malzemesinin yaşlanmasını termal görüntüleme yöntemiyle araştırmıştır. Araştırmacı ilk 6 ay PE malzemenin kirlenmeden dolayı %40’a kadar ışınlam geçirgenliğinin azaldığını bildirmiştir. Çalışmanın son 6 aylık periyodunda araştırmacı UV katkılı PE sera örtü malzemesini temizlemiş ve bu malzemeyi yeni serilmiş bir sera örtü malzemesiyle kıyaslamıştır. Yeni serilen örtü malzemesinin ışınlam geçirgenliği %86 iken; 6 ayın sonunda temizlenip tekrar kullanılan örtü malzemesinin ışınlam geçirgenliğini %85 olarak belirlenmiştir. Son 6 aylık kullanım sonucunda yeni malzemeye göre ışınlam geçirgenliği kaybı sadece %1 olarak saptanmıştır. Araştırmada UV katkılı PE malzemenin farklı temizlik şekillerini de kıyaslayan araştırmacı; malzemenin hava ile temizlenmesi sonucunda sadece yüzey temizliğinin sağlanabildiğini suyla temizlenmesi durumunda ise ışınlam geçirgenliğine de katkısının bulunduğunu bildirmiştir.

Mariz-Ponte vd. (2019), yaptıkları çalışmada domates bitkisinde UV-A/UV-B ışınlamasının meyve kalitesi ve antioksidan içeriğine etkisini incelemişlerdir. Bu amaç için PC örtülü serada bitkilerin tepesinden 15 cm yükseğe Floresan Blacklight lambaları yerleştirilmiştir. Bu lambalardan UV-A 1 veya 4 saat ve UV-B 2 veya 5 dakika uygulama süresi ile 30 gün boyunca bitkilere uygulanmış ve değişimler gözlemlenmiştir. UV-A ve UV-B yoğunluğunu sırasıyla Logbook Ultraviolet sensörmetre, Philip Harris (B8H29036, UK) ve International Light INC UV-radyometre ile ölçmüşlerdir. Bitki başına düşen meyve sayısı, kuru madde içeriği, meyve ağırlığı, meyve çapı, şeker içeriği, renk ve meyve de sıklık parametrelerine bakılmıştır. UV-A ilavesinin olgunlaşma süresini kısaltma ve meyvenin besin özelliklerini arttırmada özellikle etkili olduğu, dolayısıyla bu meyveleri tüketicilere daha çekici hale getirdiği vurgulanmıştır. Bunun yanında meyvenin sıklığını arttırmak için UV-A (4 saat) kontrollü takviyesinin kullanılabileceğini ve meyve sıklığının artmasının gıdaların raf ömrünün artmasına, fungal hastalıklara karşı direncin artmasına neden olduğunu tespit etmişlerdir. Ayrıca en önemli parametrelerden olan verimin UV-A (1 saat) ve UV-B (2 dak) takviyesi ile domates bitkisinde bitki başına verimin arttığını bildirmişlerdir. Aynı zamanda meyve renginde de UV takviyesi ile (UV-A için), sarımsı tonda gözle görülür bir artış olduğunu saptamışlardır. Çalışmada kontrollü UV-A ışınlamasının; meyvenin

işlevsel özelliklerini, yani polifenollerdeki antioksidan özellikleri ve zenginliğini arttırmak için kullanılabileceğini bildirmişlerdir.

Mogharreb ve Abbaspour-Fard (2019), su enjekte edilmiş PC gölgelendirme (WIPS) olarak adlandırılan yeni bir gölgelendirme tekniğinin ortam mikrokliması üzerine etkisini araştırmışlardır. Çalışmada bu amaç için üç adet 12 m² (3x4 m) taban alanlı deney seraları ve 4 mm kalınlıklı PC sera örtü malzemesi kullanmışlardır. Araştırma seralarını üç gün normal (kontrol konusu), devam eden diğer üç gün ise gölgeleme sisteminin aktif olacağı şekilde oluşturmuşlardır. Gölgeleme oluşturmak için, iki katmanlı PC tabaka arasındaki kanalları (sadece çatı duvarları) su ile doldurulmuştur. Ortam sıcaklığının en yüksek olduğu noktada, su gölgelemesi olan seranın sıcaklığının gölgesiz ortama göre 3-4 °C azaldığı bildirilmiştir. Su ile gölgelendirme yapılmayan günlerde PC model seralarda (kontrol konusu) gün içinde dış sıcaklık 35 °C, ortam sıcaklığı ise 45 °C'lere kadar ulaştığı belirlenmiştir. Araştırmacılar kontrol konusu ile su gölgelemesi yapılan sera arasında PAR açısından kayda değer bir farklılık gözlenmediğini bildirmiştir. PC malzemedeki sık karşılaşılan problemlerden olan yosunlaşmanın önüne geçmek için su yerine başka sıvıların kullanılarak çalışmanın tekrarlanması önerilmiştir.

Peretz vd. (2019), fotovoltaiik modüllerin sera örtüsü veya gölgeleme elemanı olarak kullanılmasını test ettikleri çalışmalarında, hali hazırda sera olarak kullanılan alanların elektrik üretimi için kullanılmasının mümkün olabileceğini ortaya koymuşlardır. Çalışmada kullanılan modülün geçirgenliği dış mekan koşullarında dört farklı radyasyon insidans açısında (0°, 21°, 41° ve 46°) ölçülmüştür. İncelenen modülün, fotosentetik aktif radyasyon (PAR) aralığında yaklaşık %20 geçirgenliğe, %15 yansıtma ve %65 emiciliğe sahip olduğu bildirilmiştir. Modülün günlük ortalama enerji dönüşüm verimi yaklaşık %0.8 ve toplam ısı transfer katsayısını K, yaklaşık 6.0 W/m²K olarak bulunmuştur. Modülün termal görüntüleri homojen olmayan bir ısı dağılımını ortaya koymuş ve bölgeler arasındaki sıcaklık farklılıkları 7.5 °C'ye ulaştığını belirlemişlerdir. Çalışmanın sonucunda; seraları gölgelendirmek ve aşırı güneş enerjisini azaltmak için organik fotovoltaiik modüllerin kullanılmasının, hem mahsulde ısı yükünün azalmasına hem de yenilenebilir enerjinin kullanılmasına neden olduğu bildirilmiştir.

Emekli vd. (2012) Türkiye'nin güneyindeki modern seraların yapısal özelliklerini ve ısı gereksinimlerini araştırdıkları çalışmalarında, modern seralarda ısıtma gereksiniminin Kasım, Aralık, Ocak, Şubat, Mart ve Nisan aylarında oluştuğunu saptamışlardır. Çalışmada ısı gereksiniminin 925-2484 kW/ha arasında değiştiğini belirtilmiştir. Ayrıca en yüksek ısı gereksinimi PE serada oluşurken; yan duvar PC çatı çift kat PE malzeme ve ısı perdesinin kullanıldığı seralarda en az ısı gereksiniminin gerçekleştiği bildirilmiştir.

2.2. Sera Örtü Malzemelerinin Mekanik Özellikleri

Polimer malzemeler son otuz yıl içerisinde giderek daha önemli bir hale gelmiştir. Polimer malzemeler daha çok metallerin yerine kullanılmaları ve metallerden farklı özelliklere sahip olmaları sebebiyle, polimerlerin nerede kullanılabileceğinin belirlenmesi açısından mekanik özelliklerinin tespit edilmesi önemlidir. Polimerik materyallerde, önemli parametrelerden biri çizilmedir. Çizilmiş bölgeler ayrıntılı optik ve elektron mikroskobu ile incelendiğinde çiziklerde boşluk olmadığı ve yük iletebilecekleri bildirilmiştir (Meyers ve Chawla 2009).

PC malzemenin hafif, kurulumu kolay, ucuz bir malzeme olması sera örtü malzemesi olarak tercih edilmesine sebep olmuştur. Diğer örtü malzemeleri ile kıyaslandığı çalışmalarda; PC örtü malzemesi altında yetiştirilen ürünlerde hem verim olarak hem de meyve antioksidan içeriği açısından belirgin fark görüldüğü belirtilmiştir (Papadakis vd. 2000; Kwon vd. 2017; Ahmadi ve Tsao 2018; Choab vd. 2019). Malzemelerin seçiminde önemli olan özellikler (toplam ışınım geçirgenliği, uzun dalga boylu ışınların geçirgenliği, UV ışınlarının geçirgenliği, fırtına, dolu ve kar yağışına karşı dayanımı, mekanik özellikleri, ısı transferi katsayısı) zamanla yani yaşlanmanın etkisiyle azalmaktadır (Mehr vd. 2014).

Papadakis vd. (2000), PC malzemenin ışınım geçirgenliğinin yaşlanma nedeniyle yılda yaklaşık %1 oranında azalmasının malzemenin dezavantajlarından biri olduğunu bildirmiştir. PC malzemenin iç kısmındaki hava boşluğunda meydana gelen yoğunlaşmanın ve toz birikintilerinin yaşlanmayı etkileyen faktörler olduğu belirtilmiştir. Çalışmada sera örtü malzemelerinin kullanım ömrünün esas olarak

radiyometrik veya termal özellikler yerine mekanik özelliklerin korunmasına bağlı olduğu vurgulanmıştır.

Mehr vd. (2013), mavi ışık radyasyonu altında bisfenol A polikarbonatın (BPA-PC) foto parçalanması ve optik özelliklere etkisini inceledikleri çalışmalarında; BPA-PC plakalarını 1920 saat 140 °C sıcaklıkta mavi ışık altında tutarak yaşlandırmışlardır. Çalışmanın sonucunda maruz kalma süresinin arttırılmasının renk bozulmasına, optik özelliklerin kaybına, ışık iletiminin azalmasına, nispi radyan güç değerinde düşüşe ve BPA-PC plakalarının sararma indisinde (YI) artışa yol açtığı bildirilmiştir. Ayrıca PC plakaların sararmasında iki aşama olduğunu ortaya konmuştur. İlk aşamanın, sararma oranının çok yavaş olduğu indüksiyon dönemi, ardından sararmanın hızlandırıldığı ve sararma oranının nispeten daha hızlı olduğu sararma dönemi olduğu bildirilmiştir.

Shivanna vd. (2019), UV dayanımı ve görünür spektral aralığı geliştirilmiş yeşil renk ışık yayan PC malzemeleri inceledikleri çalışmalarında; üretim aşamasında PC malzeme yapısına sezyum çinkoat (Cs_2ZnO_2) nanopartikülleri ilave edilerek sararma indisini incelemişlerdir. Araştırmalarında; PC'nin üstün dayanıklılığı, yüksek ısıl kararlılığı ve mükemmel gerilme davranışı ile bilinen köklü bir mühendislik termoplastik olduğunu belirtmişlerdir. Araştırmacılar PC'nin zorunlu mühendislik termoplastiklerinden biri olmasına rağmen, optik uygulama penceresi UV kaynaklı foto-yaşlanma etkileri veya foto-kızartma reaksiyonu nedeniyle nispeten kullanımının daralmış olduğunu bildirmiştir. Ayrıca yüksek enerjili UV fotonlarının daha uzun dalga boylu görünür ışığa başarılı bir şekilde dağılmasıyla foto-yaşlanma ve foto-kızartma reaksiyonlarında azalmanın UV direnç mekanizmasından (Cs_2ZnO_2) kaynaklandığı araştırmacılar tarafından belirtilmiştir.

Gandhi vd. (2019), mavi led ışığı altındaki PC levhaların yaşlanma parametrelerini, diğer adıyla termal sararmalarını incelemişlerdir. Araştırmacılar tarafından, PC levhalar 90-120 °C sıcaklığa maruz bırakılmış, ardından spektrodüymetre ile ölçümler yapılmış ve ölçümler ASTM E-313'e göre sararma indisine dönüştürülmüştür. Çalışmanın sonucunda; mavi led ışığı altındaki sararmanın dış ortam havasına göre 2 kat daha fazla gerçekleştiği ve bunun nedeninin ise, mavi ışığın yüksek oranda emilmemiş olmasından kaynaklandığı bildirilmiştir. Böylece

bozunmanın tüm kalınlıkları etkilediği fakat düşük sararmalara neden olduğunu belirtilmiştir.

Montaudo vd. (2002), BPA-PC’da termal ve termoksidatif ayrışma işlemlerinin incelendiği çalışmalarında, bozunma süreci Matris destekli lazer (MALDI-TOF) ve FAB kütle spektroskopik teknikleri ile gözlemlenmiştir. Bahsi geçen PC malzemeleri, 300, 350, 400 ve 450 °C’da ısıtarak termal bozunmaya maruz bırakmışlardır. Çalışmada 300 °C’da PC örneğinin molar kütlelerinde bir artış ve döngüsel oligomerlerde azalma olduğu, 350 °C’da fenol grupları üreten geniş bir hidroliz reaksiyonunun meydana geldiği, 400 °C’da fenol grupları ile birlikte fenil ve izopropenil zincirleriyle sonlandığı, 450 °C’da ksanfonlar gibi yoğunlaştırılmış aromatik bileşikler meydana geldiği saptanmıştır. Araştırmada; PC’nin termal bozulmasının ilk aşamasında (400-500 °C), bir molekül içi değişim reaksiyonu ile oligomerler üretildiği, fenolik gruplar ve CO₂ üreten hidroliz reaksiyonlarının bu sıcaklık aralığında aktif olduğu vurgulanmıştır. Bununla birlikte, PC numuneler 300 °C’da 1 saat ısıtıldıktan sonra elde edilen kalıntı miktarının, ilk numune ağırlığına göre yaklaşık %100, 350 °C’da %95 ve 400 °C’da %70 iken, 450 °C’da 1/2 saat ısıtıldıktan sonra kalıntı miktarının yaklaşık %36 olduğu bildirilmiştir. Araştırmacılar PC malzeme zincirlerinin 300 °C’da kapsamlı bozunma reaksiyonları geçirdiğini ve bozunma işlemlerinin PC numunelerinin molar kütlelerinde bir azalmanın yanı sıra malzemenin sararmasından da sorumlu olduğunu ortaya koymuşlardır. Yapılan çalışma sonucunda ticari açıdan da önemli, PC malzemede en büyük sorun olan sararmanın sıcaklıkla doğrusal olarak arttığı belirtilmiştir.

Mehr vd. (2014), çalışmalarında BPA-PC plakaların yüksek sıcaklık (100-140 °C arasındaki) stresi altında hızlandırılmış optik bozunmasını incelemişlerdir. Sıcaklığa maruz kalma süresinin arttırılmasının BPA-PC optik özelliklerinin bozunmasına, dolayısıyla ışık iletiminin azalmasına ve sararma indisinin (YI) artmasına neden olduğu bildirilmiştir. Çalışmada sararma indisi ASTM D1925 standardında aşağıda verilen Eşitlik 2.1 ile hesaplanmıştır.

$$YI = \frac{100(1.28 X CIE - 1.6 Z CIE)}{Y CIE} \quad (2.1)$$

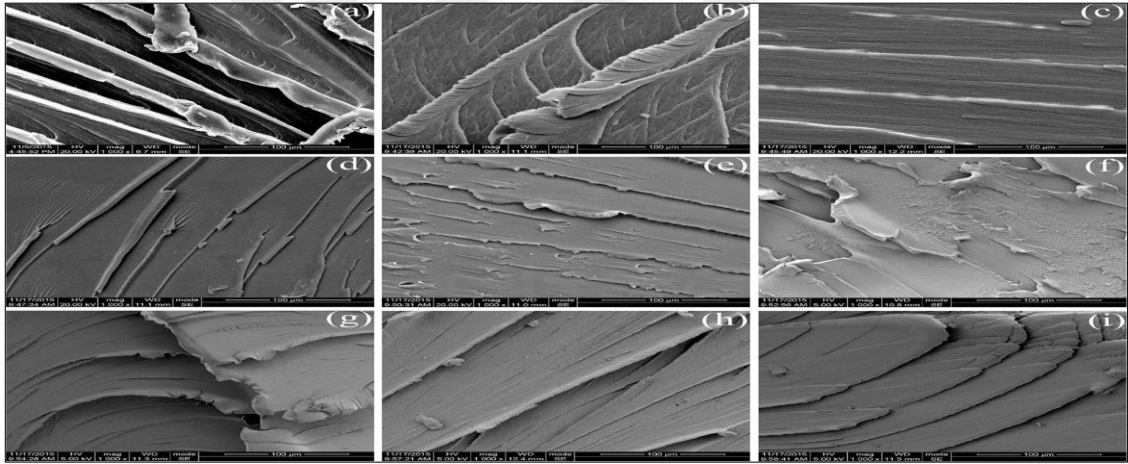
Formülde; CIE XYZ renk alanı, ortalama görme yeteneği olan insan gözünün gördüğü tüm renk algılarını kapsar. İyi aydınlatılmış durumlarda farklı

renklerin göreceli parlaklığını değerlendirirken, insanlar spektrumun yeşil bölümlerindeki ışığı, eşit güçteki kırmızı veya mavi ışıktan daha parlak olarak algırlar. YI; kromatik tepkisinin sayısal açıklamasıdır. YI değeri parlaklık olarak bilinir. Işık kaynağından (doğal ya da yapay) gelen ışık; kırmızı, yeşil, mavi filtrelerin bulunduğu fotodedektörde toplanarak sararma indisi hesaplanır. Burada bir üçgen görüntüsü elde edildiğinden buna “CIE tristimulus değerleri” denir ve X, Y, Z üç lineer ışık dedektörünün spektral hassasiyet eğrileri olarak düşünülebilir. Yani; X, Y ve Z parametrelerine renk değerleri (kırmızı, mavi, yeşil) verilir (Gardner 2007).

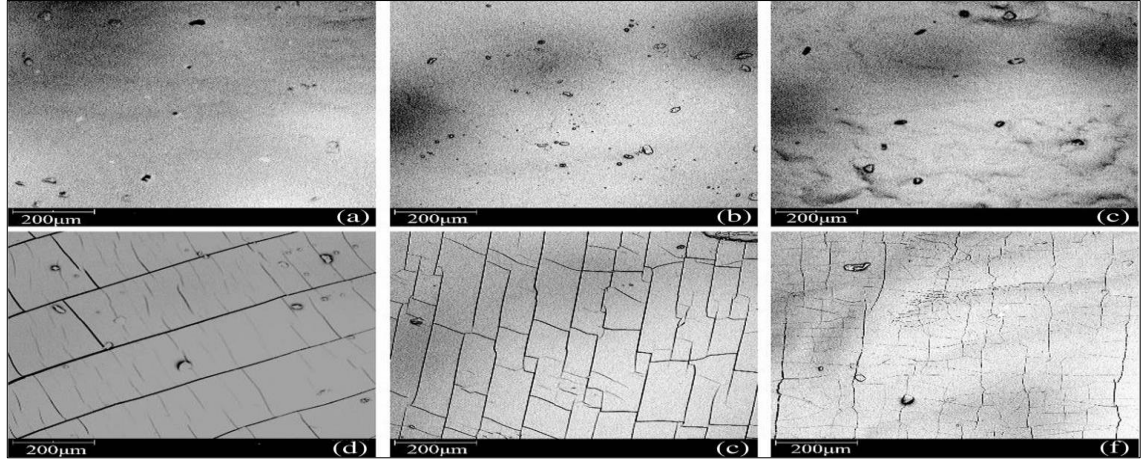
Mehr vd. (2014), sararmanın kısa dalga boylu ışığa (mavi/UV radyasyonu) ve sıcaklığa uzun süre maruz kalmaya bağlı olduğunu bildirmişlerdir. Çalışmada yüksek sıcaklık seviyelerindeki (140 °C) stresin, termal yaşlanmaya ve güçlü optik azalmaya neden olabileceği vurgulanmıştır. Bunun yanında, sararma indisinin (YI) iki aşamadan oluştuğu ve bunların ilk aşamasının indüksiyon aşaması (ilk 500 saat), ikinci aşamasının sararma aşaması (1000 saat sonrası) olduğu belirtilmiştir. İndüksiyon aşamasında YI değerinde ve oranında büyük bir değişiklik olmadığı, sararmanın çok yavaş olduğu, sararma aşamasında ise sararmanın hızlandığı ve sararma oranının daha hızlı gerçekleştiği bildirilmiştir. Sararmanın asıl sebebinin yüksek sıcaklık olduğu vurgulanmıştır. Ayrıca sıcaklığa maruz kalma süresi arttıkça renk solmasının arttığını, YI’nin arttığını, malzeme dayanıklılığının azaldığını belirtmişlerdir. Ayrıca, PC malzemenin kullanım ömrünün 100000 saat olduğu sıcaklıkla bu ömrün %30’a kadar azaldığı bildirilmiştir. Yapılan bu çalışmadan, PC malzemenin ömrünün yaklaşık 12 yıl olduğu çıkarımı yapılmıştır.

Jiang vd. (2018), çalışmalarında BPA-PC’nin, foto ve ısı ışınlamasının, nem ve oksijen etkisi altında bozulması, çekme deneyi ve fiziko-kimyasal değişimini incelemişlerdir. Oksidasyona bağlı zincir kesimi ve çapraz bağlanma arasındaki rekabeti, FTIR ve DSC cihazları ile kaydedilmiştir. Çalışmada, sünek kırılğan geçişin ardından artan yaşlanma süresi (en fazla 650 saat), sürekli bozulmadan ziyade süneklerde gençleşmeye neden olduğu belirlenmiştir (Şekil 2.4). Bu nedenle, çalışmada yaşlanma kaynaklı sünek-kırılğan-sünek geçiş, oksidasyona bağlı zincir kesimi ve zincir çapraz bağlama arasındaki rekabetten kaynaklanabileceği belirtilmiştir. Bununla birlikte, çalışmada PC omurgasındaki ester grupları UV veya termal ışınlama, nem,

hava kirleticileri ve oksijen konsantrasyonları nedeniyle, PC'nin doğal yaşlanmaya sadece birkaç yıl maruz kalması, mekanik özelliklerinin ve gevrekliğinin kaybedilmesine yol açacağı vurgulanmıştır. Ayrıca bir yıl dış ortam koşullarına maruz kalan PC numunesinin kırılmasındaki uzama net bir sünek kırılma geçişi gösteren %34'ten %1'e düştüğünden, iki yıl maruz kalma sonrasında, kopma uzamasında yaklaşık 7.5 kat artış gözlemlendiği bildirilmiştir. PC örneklerinin ilk yaşlanma döneminde (450 saatten daha az) morfolojisini koruduğunu ve daha sonra yaşlanma süresiyle sürekli olarak çatladığını ve hasar gördüğü de bildirilmiştir (Şekil 2.5). Ayrıca yaşlanma süresi ile kopmada uzama arasında (450 saat yaşlanma (%3)-650 saat yaşlanma (%10)) doğrusal bir ilişki olduğu vurgulanmıştır. Bunun yanında, çalışmada PC örneklerinin 1000 saat yaşlanma sonrasında, halen %10'a kadar uzama ile plastik deformasyonun sabit kaldığı ve artmadığı bildirilmiştir.

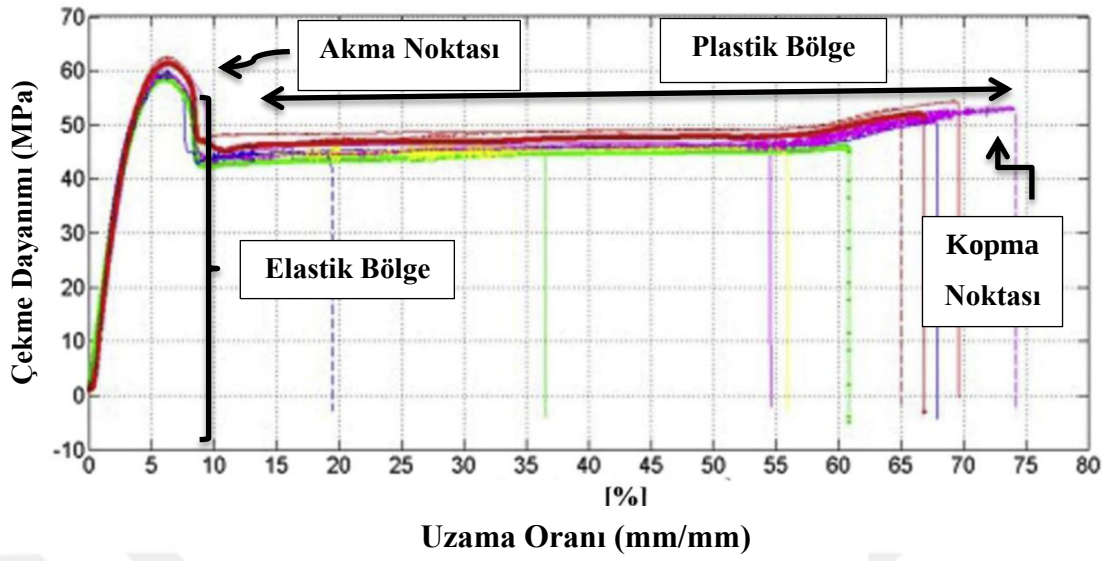


Şekil 2.4. Çeşitli yaşlanma süreleri için yaşlandırılmış PC örneklerinin çekme testi anında SEM (taramalı elektron mikroskobu) fotomikrografları: **(a)** 0 saat; **(b)** 150 saat; **(c)** 350 saat; **(d)** 450 saat; **(e)** 550 saat; **(f)** 650 saat; **(g)** 750 saat; **(h)** 950 saat; **(i)** 1000 saat (Jiang vd. 2018)

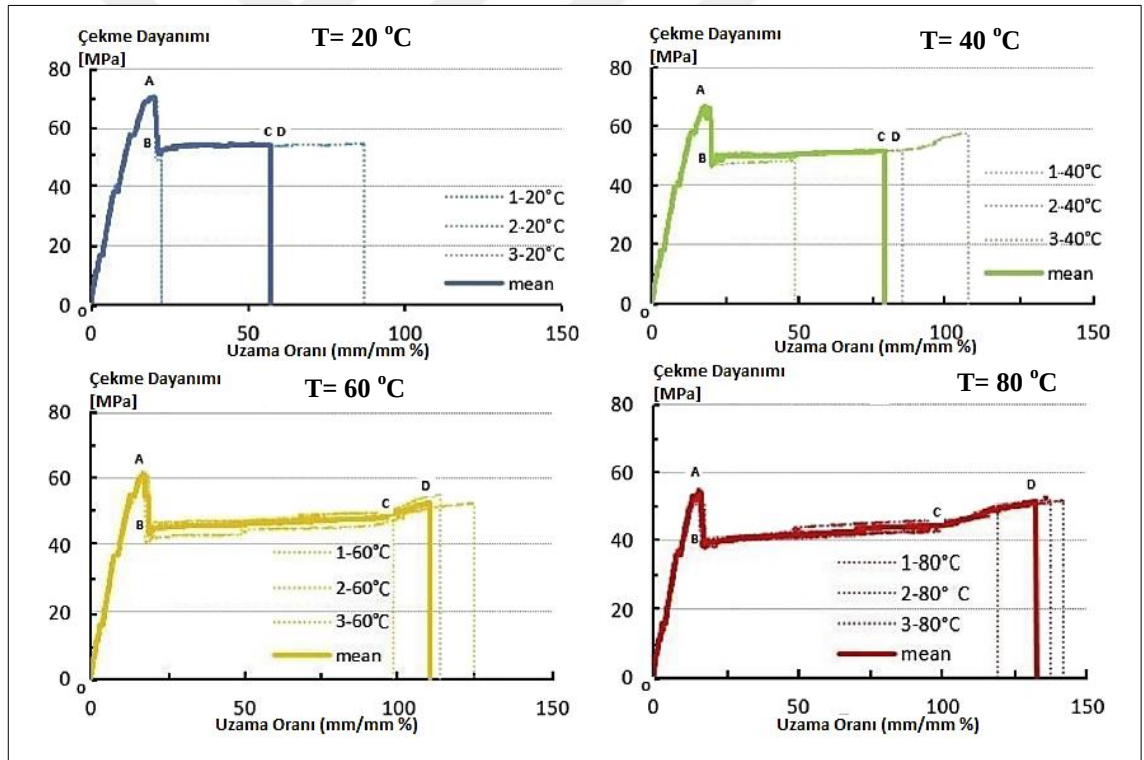


Şekil 2.5. Yapay olarak hızlandırılmış koşullar altında PC yüzeylerinin SEM (taramalı elektron mikroskobu) fotomikrografları: (a) 0 saat; (b) 350 saat; (c) 450 saat; (d) 550 saat; (e) 850 saat; (f) 1000 saat (Jiang vd. 2018)

Fuinaa vd. (2019), PC levhaların farklı sıcaklıklardaki mekanik davranışlarını incelediği çalışmada, 20-80 °C arasında değişen sıcaklıklarda malzemenin çekme dayanımını belirlemesinin yanı sıra, yüzey sıcaklığını kızılötesi termografi yöntemiyle ölçmüşlerdir. Çalışmanın yapıldığı İtalya'nın Bari bölgesinde yaz ayları tercih edilerek, PC levhaları taşıyan metal konstrüksiyon da kızılötesi termografi ile incelenmiştir. Sonuç olarak, PC malzemelerin 20-80 °C arasında çekme testleri yapılmış ve bahsedilen bölge için PC levhaları taşıyan metal konstrüksiyonun dayanımının 60 °C'a kadar olduğu bildirilmiştir. Çalışmada, oda sıcaklığında teste maruz bırakılmış örneklerde, ortalama değerlerin; çekme dayanımının 60.35 N/mm², kopmada çekme dayanımının 79.36 N/mm², kopma dayanımının 46.80 N/mm², kopma uzamasının %57.03 şeklinde saptanmıştır (Şekil 2.6). Grafiklere bakıldığında; O noktasından A noktasına, başlangıçta sıcaklık arttıkça azalan gerilme eşiği ile doğrusal, B noktasından C noktasına stres sıcaklıkla azalmış; çalışma sıcaklığından 20 °C'tan 40 °C'a geçiş sırasında çekme dayanımı %94'e düşmüş, 60 °C'ta %85'e düşmüş ve 80 °C'ta %76'ya düştüğü görülmektedir. Ayrıca çalışmada sıcaklık arttıkça, kopmadaki gerilimin (D noktası) da arttığı bildirilmiştir (Şekil 2.7). Araştırmada, daha yüksek sıcaklıklarda polimerik malzeme zincirlerinin daha fazla sarıldığı ve dolayısıyla zincirlerin daha yavaş yırtılmaya başladığı belirtilmiştir. Ayrıca, kızılötesi termografi, çekme dayanımı testlerine tabi tutulmuş malzemelerin yüzey sıcaklığını görüntüleme imkanı vererek, malzemenin termal mekanik davranışının daha eksiksiz bir resmini sunduğu vurgulanmıştır.



Şekil 2.6. 20 °C hava sıcaklığında, test edilen PC malzemenin çekme dayanımı diyagramı (Fuinaa vd. 2019)

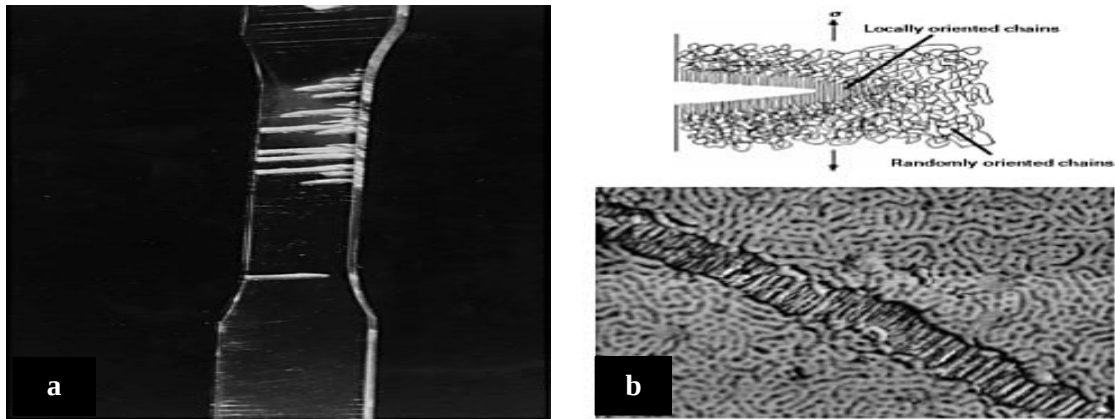


Şekil 2.7. 20 °C, 40 °C, 60 °C ve 80 °C sıcaklıkta test edilen PC malzemenin (3 numune) çekme dayanımı diyagramı (Fuinaa vd. 2019)

Akbay (2014), çalışmasında PC malzemenin atmosferik ve sulu ortamdaki bozunma mekanizmaları arasındaki farklılıkları incelemiştir. Çalışma kapsamında; sulu ve atmosferik ortamlarda farklı sürelerde UV ışınları ile ışınlanan PC örneklerinin

mekanik, morfolojik ve ısı analizlerinin yapıldığı bildirilmiştir. Araştırmacı tarafından her iki ortamda UV ışınları ile ışınlanan PC örneklerinde zincir kesilmesi sonucunda yüzeyde bozunmalar gözlenmiş ve morfolojik özelliklerde değişiklikler görülmüştür.

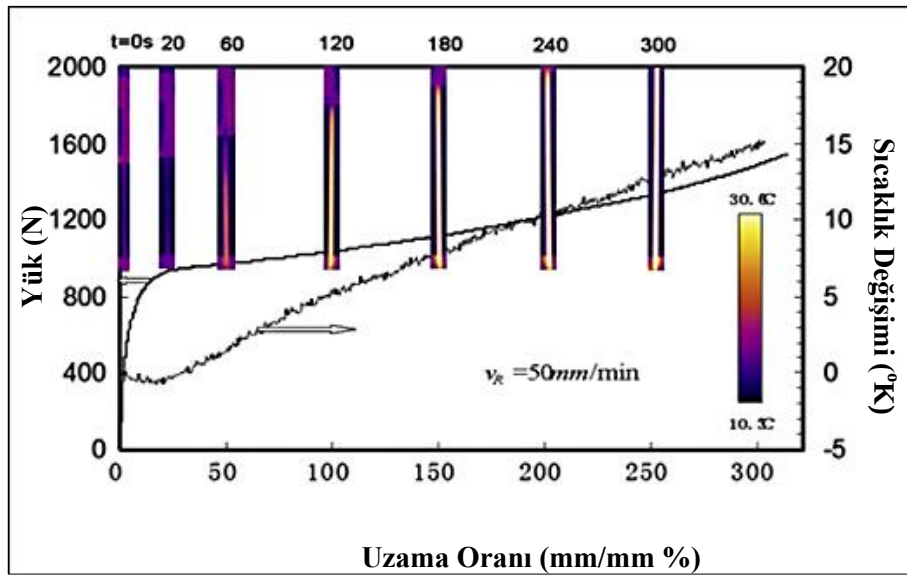
Meyers ve Chawla (2009), plastik malzemelerin mekanik davranışlarını inceledikleri çalışmalarında; PC gibi bir polimerin, kuru halde etanolün içine batırdıktan sonraki halinde yaptıkları ölçümlerle, çiziklerin hacimce %50-55 oranında boş alan içerdiği; yani, çizik bölgedeki malzeme yoğunluğunun dökme polimerinkinden daha düşük olduğunu tespit etmişlerdir. Düşük yoğunluktaki çatlak, bölgenin kırılma indisini azalttığını ve karakteristik etkinliğini arttırdığını bildirmişlerdir. Şekil 2.8(a)'da, bu çalışmadan PC örneğinde gerilme testi ile çoğaltılmış bir dizi çatlak gösterilmiştir. Numunede tüm çapraz kesit boyunca hatasız bir şekilde birkaç çatlak geçtiği görülmüştür. Bölgedeki çatlak polimerik zincirlere uygulanan stres yönünde olduğu vurgulanmıştır. Moleküler zincir diziliminin, çatlak geometrisi kontrolünde önemli bir rol oynadığı bildirilmiştir. Şekil 2.8(b)'de bu çalışmadan şematik olarak PC malzemede moleküler zincir dizilimi ve çatlak oluşmaya başladığı andaki termal görüntüsü gösterilmiştir. Çatlakların genellikle yüzey sertliğinde (çizik, oyuk işaretleri ve çatlaklar) veya iç sertlikte (toz parçacıkları ve gözenekleri) oluştuğu bildirilmiştir. Bunun yanında, çatlak oluşumunun bir dilasyon işlemi olduğu ve hidrostatik gerginlik ile desteklendiği, hidrostatik sıkıştırma ile geciktirildiği belirtilmiştir.



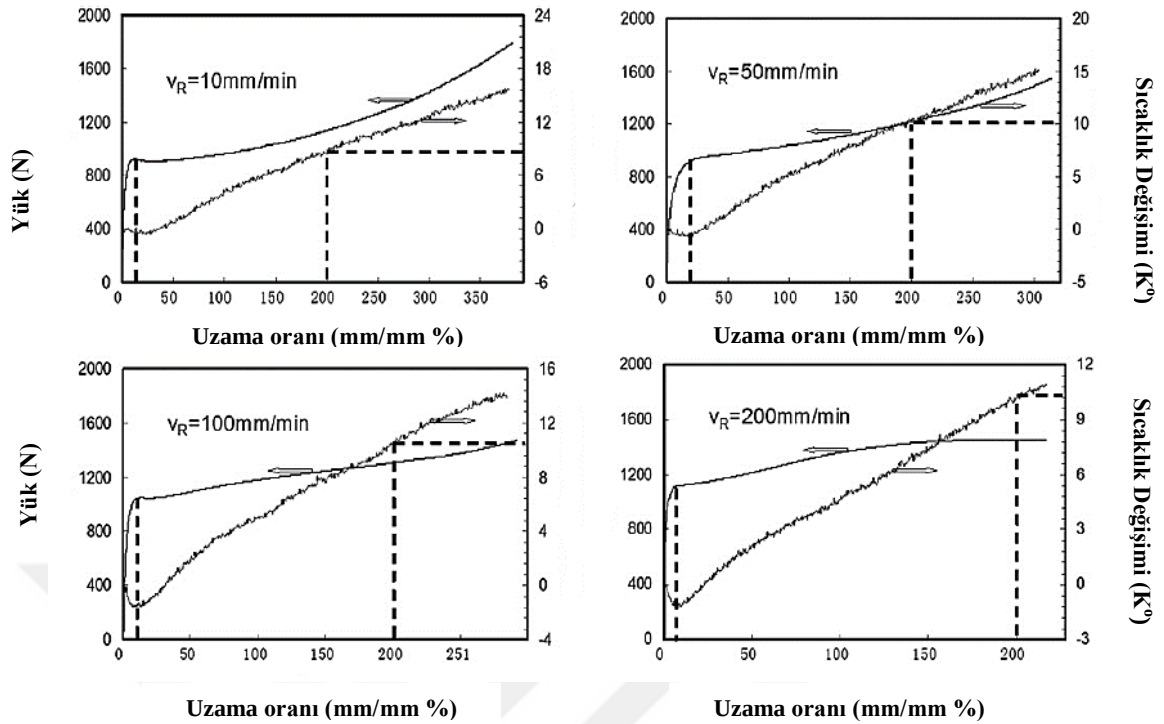
Şekil 2.8. a) PC malzemede 1 cm'lik örnekte çatlak oluşumunun termal görüntüsü; **b)** PC malzemede moleküler zincir dizilimi ve çatlak oluşmaya başladığı andaki termal görüntüsü (Meyers ve Chawla 2009)

Wang vd. (2013), çok yüksek moleküler ağırlıklı polietilen (HDPE) malzemenin doğrusal termal genleşme katsayısının (LTEC) kızılötesi termografi ile belirlenmesi için termo-elastik etkiye dayanan yeni bir yöntem sunmuşlardır. Araştırmacılar bu metodun, sadece polimerik malzemenin herhangi bir boyutu ve şekli için değil, aynı zamanda hem şekilsiz hem de kristal yapıdaki polimerler için de uygun olduğunu bildirmişlerdir. Çalışmada LTEC'yi belirlemek için, çekme testi sırasında numunede iki fiziksel miktarın (yer değiştirme ve sıcaklık) ölçülmesi gerektiği belirtilmiştir. Çalışmada denklemde (2.2); adyabatik koşullar (yalıtılmış ortam) oluşursa, sıcaklıktaki değişikliğin stres değişmesi ile orantılı olacağı vurgulanmıştır. Doğrusal genleşme katsayısı değerlerinin, sıcaklık değerleri ile hesaplanabilir olduğu belirlenmiştir. Farklı hızlarda çekme testi sırasında; elastik ve plastik bölgedeki değişimi gösteren grafik (Şekil 2.9) ile test anında elde edilen termal görüntülerin (Şekil 2.10) birbirini desteklediği bildirilmiştir. Çalışmada elastik bölgeden plastik bölgeye geçişte 20 °C sıcaklıkta bu değer termal kamera görüntüsünde koyu (mavi/mor) renk ile; kopma anında ise strese bağlı olarak (sıcaklığın da kamedeli olarak artmasıyla) daha parlak bir renge (kırmızı) dönüştüğü görüntülenmiştir. Bu durumda çekme testi ile termal görüntülemenin uyumlu sonuç verdiği belirtilmiştir.

$$\frac{L_f - L_o}{L_o} = \alpha(T_f - T_o) \quad \text{veya} \quad \alpha = \frac{1}{L_o \left(\frac{dL}{dT} \right)} \quad (2.2)$$



Şekil 2.9. HDPE malzemenin 50 mm/dak çekme testi sırasında sıcaklık değişimine göre elde edilen termal görüntüler (Wang vd. 2013)

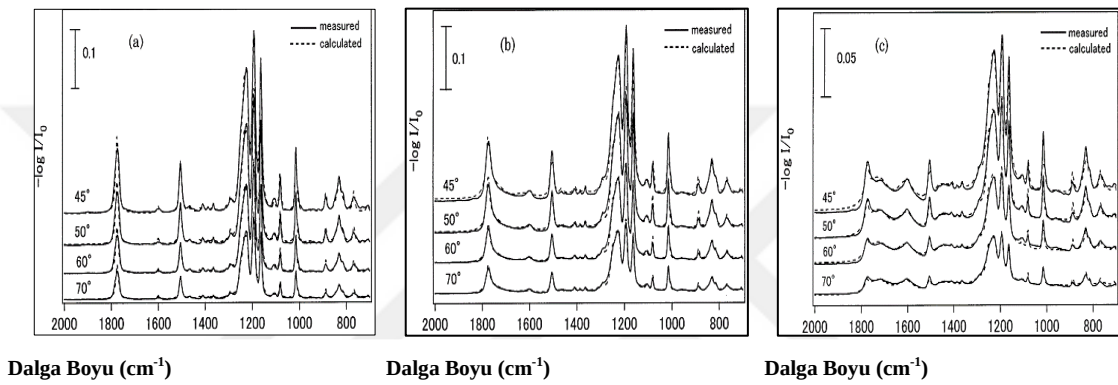


Şekil 2.10. HDPE malzeme için farklı hızlarda çekme testi sırasında; elastik ve plastik bölgedeki değişimi gösteren grafikler (Wang vd. 2013)

Emekli (2014), CO-EX teknolojisiyle üretilen iki farklı (CO-EX UV+IR+EVA ve CO-EX UV+IR+EVA+AF) PE sera örtü malzemesinin 24 ay çalışma süresince fiziksel ve mekanik özelliklerinin zamana bağlı değişimini incelemiştir. PE malzemede başlangıç darbe dayanımı değerleri sırasıyla 1161.4 g ve 1164.1 g iken, bahsedilen değerlerin çalışma süresi sonunda 632.5 g ve 713.0 g olduğu ve başlangıç darbe dayanımlarının sırasıyla %45.5 ve %38.8 oranında azaldığı bildirilmiştir. Çalışmada kullanılan sera örtü malzemelerinin başlangıç çekme dayanımları makine işleniş yönünde (MD) sırasıyla 21.2 N/mm² ve 18.9 N/mm² iken, bu değerlerin çalışma süresi sonunda 20.5 N/mm² ve 17.3 N/mm² olduğu ve başlangıç çekme dayanımlarının %3.3 ve %8.5 oranında azaldığı bildirilmiştir. Ayrıca, malzemede oluşan esneme ve gerilme ile çekme değerlerinin zamana bağlı dalgalı (bazı aylar geri dönüşümler) biçimde değişmesinin sebebi radyasyon düzeylerinin ve dış ortam sıcaklığının farklılık göstermesi olarak açıklanmıştır.

Nagai vd. (2003), çalışmalarında 5 mm BPA-PC malzemenin fotokimyasal bozunma sonrası kimyasal değişimini ve derinlik profilini kızılötesi termografi ile incelemişlerdir. Bu amaçla, araştırmacılar BPA-PC plakaları 24 ve 72 saat boyunca

ışığa mağruz bırakmıştır (Şekil 2.11). Çalışmada plakalara uygulanan bu ışığın malzeme yüzeyinde en azı 0.5 mm derinlikten başlayan çizikler meydana getirdiği ve 72 saatlik uygulamada yüzey bozulma oranının 0-0.2 mm derinlik bölgesinde çok fazla olduğu vurgulanmıştır. BPA-PC malzemenin saydamlık, yüksek gerilme direnci, darbe dayanımı ve sertlik gibi fiziksel özelliklerinin, malzemenin güneş ışığına maruz kalmasıyla kaybedildiğini bildirmişlerdir. Bununla birlikte, PC malzemenin ilk bozunmasının fenilsalisilat ve benzofenon halka yer değiştirme tepkimesiyle olduğu belirtilmiştir.



Şekil 2.11. BPA-PC malzeme yüzeyinden çoklu açılardan spektrometre ile ölçümler: **a)** foto-ışınlanmamış BPA-PC malzeme; **b)** 24 saat foto-ışınlanmış BPA-PC malzeme; **c)** 72 saat foto-ışınlanmış BPA-PC malzeme (Nagai vd. 2003)

2.3. Termal Kamera

Sıcaklık ölçümü hemen hemen tüm endüstriyel ve tarımsal sektörlerde önemli bir olgudur. Nesnelerin sıcaklığını ölçmek için çeşitli aletler ve yöntemler geliştirilmiştir. Tarım ve gıda endüstrilerindeki sıcaklık ölçümleri çoğunlukla sınırlı bilgi sağlayan termokupl, termometre ve termistör gibi geleneksel temas yöntemlerine dayanmaktadır (Nott ve Hall 1999). Kızılötesi radyasyon 1800'de astronom Sir William Herschel tarafından keşfedilmiştir (Manickavasagan vd. 2005). Isıtmadan sorumlu rengi belirlemek için güneş ışığındaki farklı renklerin sıcaklığını ölçmüştür. Herschel, en yüksek sıcaklığın kırmızı bölgenin ötesinde olduğunu ve görünmediğini keşfetmiştir. Bu radyasyonu “kalorifik ışınlar” olarak adlandırmış ve bu ışınlar günümüzde “kızılötesi radyasyon” olarak bilinmektedir.

Termal görüntüleme, bir nesnenin radyasyon desenini termogram veya termal görüntü adı verilen görünür bir görüntüye dönüştürmek için kullanılan temassız bir

tekniktir (Agerskans 1975). Termal görüntülemde, bir nesnenin görünmez radyasyon modeli görünür bir görüntüye dönüştürülür. Bu iki boyutlu sıcaklık haritalama tekniği, tarım ve gıda endüstrilerinin çeşitli işlemleri sırasında ürünleri karakterize etme potansiyeline sahiptir. Buna bağlı olarak araştırmacılar, uzaktan algılama yöntemlerini kullanarak tarımda birçok çalışma yapmışlardır (Jones 2009; Falkenberg vd. 2007; Köksal 2006; Çamoğlu ve Genç 2013; Li vd. 2014; Tüne 2016). Bu çalışmalar temelde toprak-bitki-atmosfer-su ilişkilerine dayanmaktadır. Bitkilerin yaprak sıcaklıkları, hava sıcaklığına göre değerlendirildiğinde, terleme seviyelerine bağlı olarak değişmektedir. Bir bitkinin toprak üstü aksamı hava sıcaklığı referans alındığında, yeteri kadar terleme gerçekleştirebildiğinde daha soğuk ve stres (besin elementi eksikliği, su eksikliği vb.) yaşadığında daha sıcaktır. Bunlara ek olarak hava sıcaklığı ve oransal neme dayanan, havanın doygun ve gerçek buhar basıncı açığının farkı olan buhar basıncı açığı (VPD) da ölçüm anında çok düşük veya çok yüksek değerler arasında olabilmektedir (Jackson vd. 1981; Idso vd. 1981).

Ölçülen malzeme yüzeyinde meydana gelen sıcaklık dağılımının algılanmasını sağlayan görüntüleme tekniğine “termografi” adı verilir. Bu ölçüm tekniğinde, her 0.1 °C sıcaklık artışı farklı bir renk ile gösterilir. Mavi renk soğuk alanları, kırmızı renk sıcak alanları temsil eder. 1970-1980 yılları arasında, gece görüşüne destek olmak için askeri amaçla geliştirilen bu teknik; günümüzde çok farklı alanlarda kullanılmaktadır (Çalışan ve Türkoğlu 2011).

Uzaktan algılama tekniklerinin, zamansal ve konumsal boyutta farklılık gösteren özelliklerin belirlenmesi ve izlenmesinde kullanılma potansiyeli bulunmaktadır. Nokta bazlı gerçekleştirilen lokal ölçümler ile dünya yüzeyinde geniş alanlarda yüzey sıcaklıklarının tespit edilmesi çalışma alanındaki sıcaklık değerleri tam olarak temsil edilememesine sebep olmaktadır. Uzaktan algılama uyduları aracılığıyla yeryüzünde birçok noktada yüksek çözünürlüklü sıcaklık dağılımını belirlemek mümkün hale gelmiş ve buzul kalınlığı, bitki hastalıkları, orman yangınları ve jeotermal alanların tespiti gibi çeşitli alanlarda kullanılma imkanı bulmuştur (Ndossi ve Avdan 2016).

Termal görüntülemde elde edilen sıcaklık; bitki örtüsü, solunum, fotosentez ve stoma iletkenliği dahil bitkinin tüm fizyolojik durumu hakkında bilgi verir (Jones vd.

2002). Bir bitkinin kanopi sıcaklığını tespit etmek için termal kamera kullanılır (Çamoğlu vd. 2018).

Mutlak sıfırdan (-273 °C) daha yüksek bir sıcaklığa sahip tüm nesneler kızılötesi radyasyon yayar (Manickavasagan vd. 2005). Kızılötesi radyasyonun yayılımı (emissivity), emiciliği (absorptivity), geçirgenliği (transmissivity) ve yansıtıcılığı (reflectivity) farklı malzemeler için değişiklik gösterir (Li vd. 2019).

Termal görüntülemeye elde edilen sıcaklık dağılımı, malzemenin yaydığı kızılötesi ışıma miktarıdır. Malzemenin yaydığı bu kızılötesi ışıma miktarı fiziksel sıcaklığı ile ilişkilidir. Ancak fiziksel sıcaklık, kızılötesi ışıma miktarını (yansıtıcılığını) belirleyen tek unsur değildir. Kızılötesi ışıma miktarını belirleyen başka bir değişken ise malzemenin “elektromanyetik dalga yayma kapasitesi” (emissivite) özelliğidir. Aynı sıcaklıktaki iki malzemenin elektromanyetik dalga yayma kapasitesi değeri daha büyük olan daha fazla kızılötesi ışıma yayar. Diğer yandan, yüksek sıcaklıklı ancak çok düşük elektromanyetik dalga yayma kapasitesi değerine sahip bir malzeme, nispeten daha düşük sıcaklıklı ancak yüksek emissivite değerine sahip bir malzemenin daha az miktarda kızılötesi ışıma yayabilir.

Bir nesnenin emme (α), yansıtma (ρ) ve geçirgenlik (τ) arasındaki ilişki Kirchhoff yasası (Eşitlik 2.3) ile şöyle ifade edilir:

$$\alpha + \rho + \tau = 1 \quad (2.3)$$

Manickavasagan vd. (2005)'e göre bir nesnenin ısı dengesinde emilim, emisyonu eşittir. Bu durumda birçok termografik uygulamada, opak nesneler için kanun (Eşitlik 2.4 ve 2.5) daha da basitleştirilebilir ($\tau = 0$):

$$\alpha + \rho = 1 \quad (2.4)$$

yada;

$$\varepsilon + \rho = 1 \quad (2.5)$$

(ε = Emissivite değeridir.)

Termal kameradaki kızılötesi sensörler, nesnelerin yüzeyinden yayılan toplam kızılötesi radyasyonu alır. Stefan-Boltzmann kanununa (Eşitlik 2.6) göre, birim alan başına bir cisim tarafından yayılan toplam radyasyon miktarı cismin emissivite değeri ve sıcaklığı ile doğrudan ilgilidir:

$$E = \sigma \epsilon T^4 \quad (2.6)$$

Eşitlikte;

E = Cisim tarafından yayılan toplam radyasyon miktarı (W/m^2)

σ = Stefan-Boltzman sabiti = 5.67×10^{-8} (W/m^2K^4)

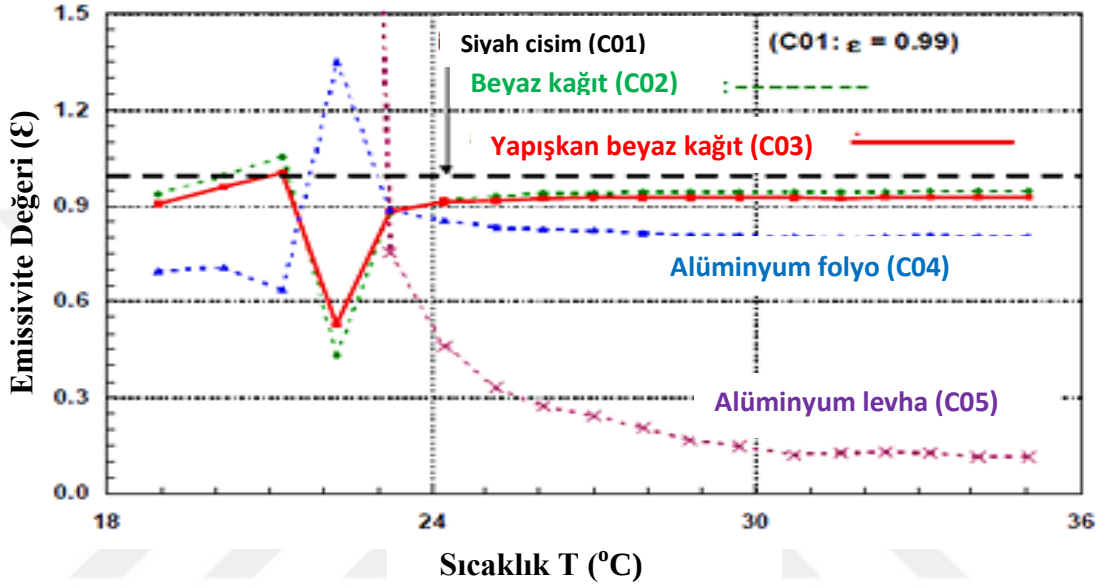
ϵ = Emissivite değeri, ($0 < \epsilon < 1$)

T = Nesnenin sıcaklığı ($^{\circ}K$)

Eşitlik 2.6 sayesinde, yayılan toplam radyasyon ve bir malzemenin emissivite değeri biliniyorsa, sıcaklığı hesaplanabilir. Termal kameradaki kızılötesi dedektörler, nesnenin yüzeyinden 3-5 μm (kısa dalga) veya 8-12 μm (uzun dalga) spektral aralığında yayılan radyasyonu algılar. Emissivite (yayınım) (ϵ) değeri teorik olarak 0-1 arasında değişmektedir. Emissivite cisim üzerinde meydana gelen elektromanyetik enerji transferinin ölçüsüdür. “Mutlak siyah” cisimlerin emissivite değeri 1’dir. Düşük emissivite değeri daha iyi yalıtım anlamına gelmektedir. Yapılan çalışmalarda emissivite değeri, cam malzeme (Felekoğlu 2019), PE malzeme (Chen ve Chen 2016) ve PC malzeme için (Sarma ve Joshi 2020) 0.95 olarak bulunmuştur.

Hellebrand vd. (2001), tüm yüzeylerin termal görüntü analizi için gerekli olan emissivite değerini elma için tespit etmiştir. Termal radyasyonun yoğunluğunun doğrudan emissivite değeri ile orantılı olduğu vurgulanmıştır (Şekil 2.12). Bu amaçla araştırmacılar, meyveleri 32 $^{\circ}C$ 'ta birkaç saat (alüminyum folyolara kapatmış) ısıtmış, daha sonra bir desteğe yerleştirmiş ve her 30 saniyede bir termal görüntü almışlardır. Çalışmada termal görüntü alma işlemi 270. saniyeye kadar devam etmiş fakat 120 saniyeden sonra sıcaklıkta artış yaşanmıştır. Bunun nedeninin, terleme (alüminyum folyo çıkartıldıktan sonra terlemenin durduğu) ve meyvelerin yuvarlak olmasından kaynaklı ölçüm noktaları arasında sıcaklık farklılıkları olduğunu belirtmişlerdir.

Araştırmacılar tarafından, meyvede koruyucu folyo çıkartıldıktan sonra terlemenin durduğu, sıcaklığın arttığı ve gerçek salınımın ölçülebildiği bildirilmiştir. Meyve ve sebzelerde 0.1 °C'lık bir değişimin bile termal kameralar yardımıyla saptanabildiği belirtilmiştir. Sonuç olarak, bu çalışmada ölçülen emissivite değerlerinin 0.90-0.97 (elma: 0.94-0.97; armut: 0.95-0.96; nektarin: 0.93-0.95; domates: 0.90-0.95) aralığında değiştiği bildirilmiştir.

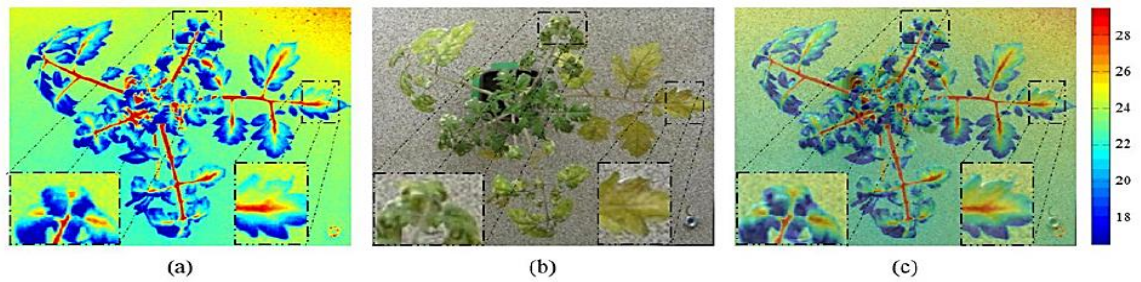


Şekil 2.12. Farklı materyaller için emissivite değeri (22.5 °C oda sıcaklığında) (Hellebrand vd. 2001)

Termal görüntüleme, bugüne kadar tarımsal açıdan birçok alanda kullanılmıştır. Manickavasagan vd. (2005) bildirdiklerine göre; tarımsal alanlarda bitki fizyolojisi, sulama planlaması ve verim tahmini çalışmalarında termal görüntüleme başarıyla uygulanmıştır. Çalışmada termal kameranın bitkilerde morfolojik, fizyolojik ve patolojik değerlendirmenin yanında hastalıkların erken tespiti açısından hızlı ve güvenilir bir ekipman olduğu vurgulanmıştır. Araştırmacılar kızılötesi termal görüntülemenin temelleri konusunda ve hasat öncesi, hasat esnasında ve hasat sonrası termal görüntüleme uygulamalarını inceleme fırsatı bulmuşlardır. Termal kameranın hasat öncesi, arazi uygulamalarında (toprağın dikime hazır olup olmadığının tespiti), sulama uygulamalarında (sulama modelinin oluşturulması, stoma iletkenliğinin belirlenmesi), verim tahmini (bitki örtüsü-ortam sıcaklığı yoluyla), hasat sırasında; olgunlaşan meyvelerin tespitinde (uzaktan algılama yoluyla), seralarda (farklı büyüme sıcaklıklarıyla büyüme aşamalarının gösterilmesi ve ısı kayıplarının belirlenmesi),

hastalık zararlı tespitinde; tarımsal mekanizasyonda; hasat sonrasında; meyvelerin olgunlaşma tespitinde, çürük tespitinde, gıdalardaki yabancı madde tespitinde kullanıldığı bildirilmiştir.

Raza vd. (2015) domates bitkisi zararlısı küf mantarı *Oidium neolycopersici* ile enfekte olmuş bitkileri uzaktan ve önceden tespit etmede, hastalıklı bölgeler için hızlı ve tahribatsız bir tarama yapmak amacıyla termal kamera ile görüntülemeyi tercih etmiştir (Şekil 2.13). Çalışmada termal profilin veya hastalığın başlangıcı ile görünür görüntüsü arasındaki zaman aralığının hastalığın türüne ve bitkiye bağlı olarak değiştiği bildirilmiştir. Burada, araştırmacılar tarafından termal ve görünür ışık görüntüsü verilerine derinlik bilgileri eklenerek hastalıklı bitkilerin otomatik tespiti için yeni bir yaklaşım sunulmuştur. Araştırmada başlangıçta orijinal olarak mantarla aşılanmamış, ancak daha sonra doğal geçiş yoluyla hastalık geliştiren bitkilerin belirlenebildiği gösterilmiştir. Hastalık bitkide doğrudan terleme oranını etkilediğinden, yaprak sıcaklığında terleme aracılığıyla değişim olmuş, bu sayede termal kamerayla hastalıklı bitkiler kanopi sıcaklıkları sayesinde önceden tespit edilebilmiştir. Çalışmanın sonucunda; *Oidium neolycopersici* ile enfekte olmuş domates bitkilerinin yüksek doğrulukta (%90'dan fazla) tespit edilebildiği ve bu sayede bitkilere erken müdahale edilebildiği bildirilmiştir.



Şekil 2.13. a) Hastalıklı bitki yapraklarının termal görüntüsü; **b)** Hastalıklı bitki yapraklarının görünür ışık görüntüsü; **c)** Görünür ışık görüntüsünün üzerine termal görüntünün işlenmiş hali (kırmızı renkler sıcak bölgeleri, mavi renkler soğuk bölgeleri temsil etmektedir) (Raza vd. 2015)

Ryu vd. (2000) çalışmalarında, tam otomasyonlu bir serada marul, salatalık, çin lahanası ve biberde bitki besin istekleri açısından 3 tekekerrürlü (aşırı gübreleme, kontrol, eksik gübreleme) denemede termal kameranın bir sistem üzerine monte edilmesiyle bitki stresini tespit etmişlerdir. Araştırmacılar, bitki yaprak sıcaklığını;

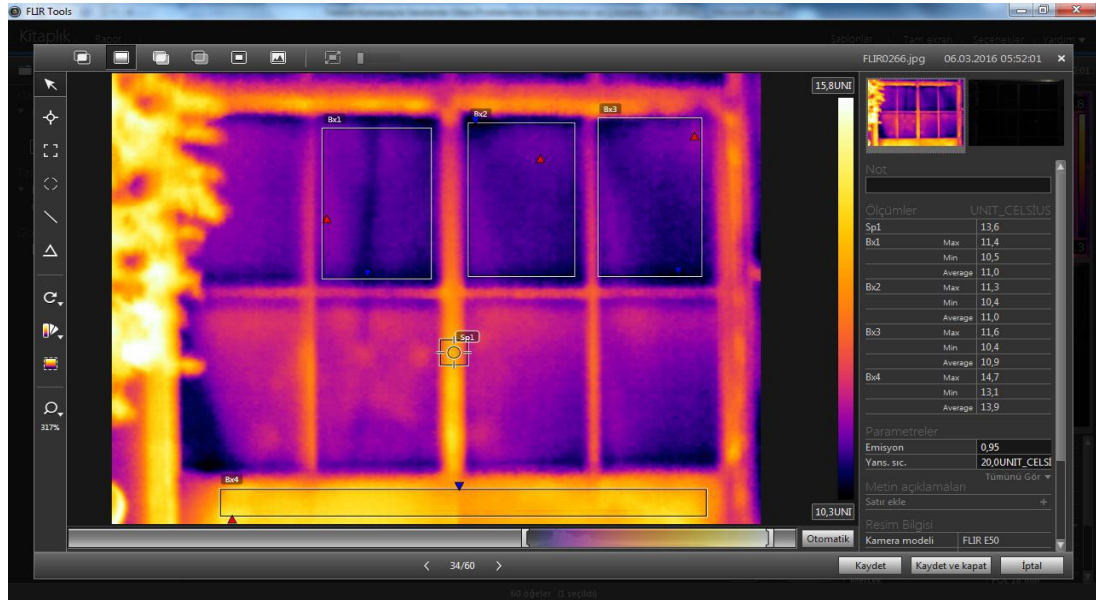
bitkideki su miktarının etkilediğini, su eksikliğinde yaprak sıcaklığının arttığını bitkinin strese girdiğini bildirmişlerdir. Çalışmada yapraklara giden yetersiz suyun stomatal aktiviteyi etkilediği ve fotosentezi azalttığı belirtilmiştir. Çalışmada, termal kameranın, stres altındaki ürünlerin fizyolojik özelliklerinin değişiminde hızlı ve doğru ölçümler yapabildiği vurgulanmıştır. Ayrıca bitkilerde bitki besin elementi kaynaklı stresin termal görüntüleme sistemi kullanılarak erken teşhis edilebileceği de belirtilmiştir.

Woods (2012), bir sigorta şirketinin termal kamerayı kullanarak nasıl giderlerini azalttığını anlatmıştır. 2009 yılında Hortica Sigorta, seralarda özel mülkiyet sigorta ödemelerinin %48'inin yangına bağlı olduğunu belirtmiştir. Yangın sigortası ödeme taleplerini azaltmak için bir çözüm bulma çabasında olan şirket, Termografik görüntüleme programını test etmeye başlamıştır. Şirket, bu programın yangın öncesinde sıcaklık farkıyla oluşabilecek yangınları önceden tespit ettiğini ve yangından dolayı ödenen sigorta primlerini %43 düşürdüğünü tespit etmiştir. Böylece Termografi, Hortica'nın tüm müşterilerine sunduğu bir hizmet haline gelmiştir. Çalışmada termal görüntüleme ile saptanan yaygın sorunlar; aşırı yüklenilmiş, yıpranmış ve kopuk elektrik devreleri, aşırı ısınmış sirkülasyon fanları, arızalanan sigortalar ve kontaklar, gevşek bağlantılar ve enerji kaybı şeklinde olduğu bildirilmiştir. Ayrıca araştırmacı, termal görüntüleme aracılığıyla cihazları, ekipmanı veya ana işletim sistemini kapatmadan, gözle görünmeyen olası sorunları hızlı ve temassız tespit ettiğini belirtmiştir. Sonuç olarak, termal kameranın seralarda sadece sulama, bitki besin elementleri, bitki izlemi gibi parametreler için değil, oluşabilecek afetler için de önceden bilgi sahibi olma amacıyla kullanılabilir olduğu ortaya çıkmıştır.

Termal kamera ile seralarda ısı kayıplarını izlemek mümkündür. Bu amaçla Çaylı vd. (2016) tek kat PE, çift kat PE ve PC (4 mm) örtü malzemeli 3 farklı serada ısı kayıplarını termal kamera ile izlemiştir. Çalışmada termal kamera ile elde edilen görüntülerde koyu renklerin soğuk bölgeleri, açık renklerin sıcak bölgeleri gösterdiği ve bu nedenle görüntü üzerinden bölgeler arasında hangilerinin daha sıcak hangilerinin daha soğuk olduğunun belirlenebildiğinden bahsetmişlerdir. Ayrıca, araştırmacılar tarafından sıcak hava üfleme ısıtıcı ile ısıtılan bir serada, alınan termal görüntüler aracılığıyla ısı yalıtım durumunun ve ısı kaybının belirlenmesinin mümkün olduğu vurgulanmıştır. Bunun yanında seralarda ısı kaybının en fazla olduğu bölgeler; kapı

altları, kenar boşlukları, havalandırma penceresi kenarlarındaki açıklıklar, örtü malzemesinin çatı-ön duvar ve çatı yan duvar birleşim noktalarında olduğunu belirtmişlerdir.

Mercan vd. (2016) çalışmalarında, Aydın ilinde yer alan jeotermal ısıtmalı bir serada termal görüntüleme ile birlikte ısı farklılıklarının yaşandığı noktaları tespit ederek, sorunlu bölgeleri tanımlamaya çalışmışlardır. Termal kamera ile sera yüzeyinden ve sızmalardan oluşan enerji kayıplarının kapsamlı analizi (Şekil 2.14), yapısal kusurların ortaya çıkarılması, ısıtma tesisatının kontrolü, elektrik sisteminin incelenmesi, sulama sisteminde sızıntı ve kaçak tespiti ve sulama borularında tıkanıklık vb. gibi termal enerji analizleri, arıza tespitleri araştırmacılar tarafından yapılmış ve çözüm önerilerinde bulunulmuştur. Araştırmacılar, temassız ölçüm sistemlerinden olan termal kameranın; önleyici bakımda önemli unsurlardan biri haline geldiğini, birçok bakım çalışması için sistemi durdurarak bakım yapılabilirken termal kameralarda sistemin çalışması herhangi bir kesintiye uğramadan tespit imkanı sağladığını belirtmişlerdir. Ayrıca; çalışmada termal kameralarla, elektrik sebebiyle çıkabilecek yangın veya arıza noktalarının önceden tespit edilebildiği ve işletmenin enerji tüketiminin düşürülebildiği ifade edilmiştir.



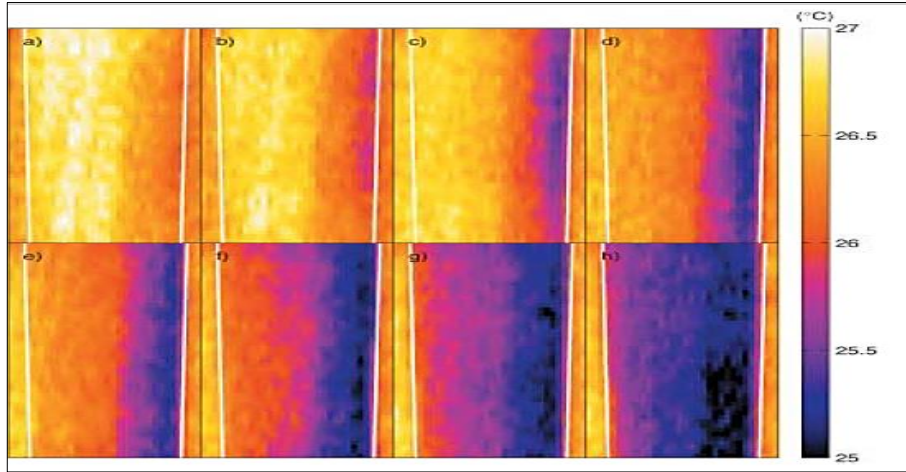
Şekil 2.14. Sera örtü yüzeyinden ısı kaybına ilişkin termal görüntü (Mercan vd. 2016)

Hellebrand vd. (2002) sıcaklığın olduğu tüm tarımsal işlemlerde sıcaklık gradyanlarına dayanarak, termografi ile analizin mümkün olduğunu belirtmişlerdir. Araştırmacılar hayvancılıkta hastalık tespiti ve doğurganlık teşhisinde, hayvan barınakları ve yem depolarında ısı yalıtımı ve yapılardaki elektrik tesisatlarındaki aşırı ısınmanın tespitinde kullanılabildiğini vurgulamışlardır. Bunlar dışında termografinin tarımdaki kullanımının;

- ✓ Motor, pompa, fan, yatak ve kompresörlerin termal muayenesi,
- ✓ Isıtma elemanları, nemlendiriciler ve benzeri bileşenlerin arızalara karşı analizi,
- ✓ Binalarda ve depolanan malzemelerde (örneğin, tahıl, saman) nem değerlendirmesi,
- ✓ Toprağın nem içeriğinin horizonlarına göre sınıflandırılması,
- ✓ Bitki su stresi ve hastalıklarının alana özel değerlendirilmesi,
- ✓ Bitki kurutma işlemlerinde ürünlerin nem içeriğinin tespiti

şeklinde sıralamışlardır. Çalışma sonucunda, termal görüntülemenin, yerel yüzey sıcaklık değişikliklerini ölçebildiğinden, tüm yüzeylerde kullanılabilir olduğunu ve gelecek kuşaklarda uzaktan algılama alanına artan bir ilgi duyulacağı bildirilmiştir.

Prytz vd. (2003), Yulaf (*Avena sativa* cv.) yaprak sıcaklığı ile stoma iletkenliğinin mekansal ve zamansal dağılımını incelemişlerdir. Çalışmada 7.5-13 µm aralığında kızılötesi radyasyon tespit eden bir kamera, transpirasyonun dolaylı bir ölçümünü temsil eden yaprak sıcaklık görüntülerini elde etmek için kullanılmıştır. Yulaf yaprakları için elde edilen sonuçlar, düzensiz stoma iletkenliğinin monokotil yapraklarda meydana gelebileceğini göstermiştir. Ayrıca çalışmada, düzensiz stoma iletkenliğinin, yaprağın farklı kısımlarındaki heterojen su durumunun bir sonucu olabileceği öne sürülmüştür. Bahsi geçen bu heterojen su durumunun, alınan termal görüntülerle birebir uyduğu bildirilmiştir. Yaprakta su içeriğinin yüksek olduğu noktalarda termal görüntüler koyu renk (soğuk), düşük olduğu noktalarda açık renk (sıcak) elde edildiği belirtilmiştir (Şekil 2.15). Araştırmacılar, kızılötesi termografinin, yaprak yüzey sıcaklığının uzamsal dağılımını ve dolaylı olarak yulaftaki stoma iletkenliğini araştırmak için uygun bir yöntem olduğunu vurgulamıştır.

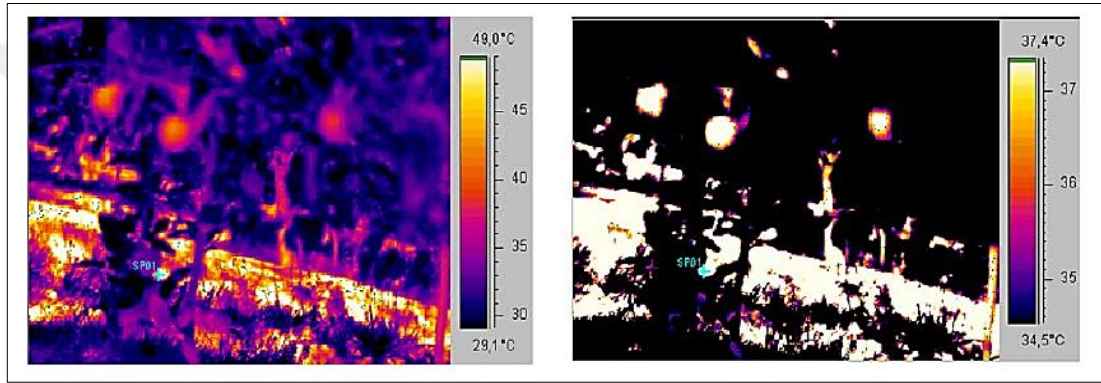


Şekil 2.15. a) $t = 0$ dk; b) $t = 0.5$ dk; c) $t = 1.5$ dk; d) $t = 2$ dk; e) $t = 2.5$ dk; f) $t = 3$ dk; g) $t = 4.5$ dk; h) $t = 6$ dk sonra yulaf yapraklarının 2 cm yükseklikten elde edilen termal görüntüsü (Prytz vd. 2003)

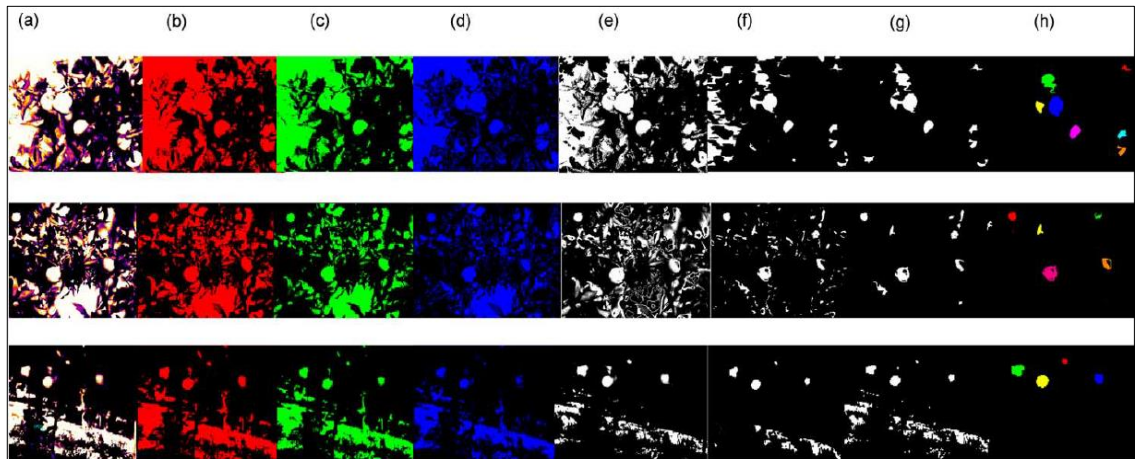
Smith vd. (1985) buğday verimi ile kanopi-ortam sıcaklığı farkının ($T_f - T_a$) günlük ölçümleri arasındaki ilişkiyi incelemişlerdir. Bu çalışma için 26 parselde 2 farklı ekim (Haziran-Ağustos) gerçekleştirmişlerdir. Verilerin (kanopi sıcaklığı, ortam sıcaklığı vb.) öğle saatlerinde alındığı bildirilmiştir. Araştırmacılar elde ettikleri veriler ile; transpirasyon, CO_2 asimilasyonu, bitki su stresi indeksi (CWSI) ve stoma iletkenliklerine ilişkin tahminlerde bulunmuşlardır. Kanopi-ortam sıcaklığı farkı ile verim arasında ters bir ilişki olduğu bildirilmiştir. Bu ilişki, buğday bitkisinin Haziran ayında ekildiğinde 1.7-8.3 ton/ha arasında, Ağustos ayında ekildiğinde ise 2.2-5.5 ton/ha¹ arasında değişmesi ile açıklanmıştır. Çalışmada kanopi-ortam sıcaklığı farkının Ağustos ayında Haziran ayında ölçülen değerlerden daha büyük olduğu belirtilmiştir. Bunun yanında, buğday bitkisinde önemli bir parametre olan CO_2 asimilasyon oranı ile CWSI arasında güçlü bir kolerasyon tespit edilmiştir. Sonuç olarak termografinin, CWSI, stoma iletkenliği, CO_2 asimilasyonu gibi parametrelerin agronomik deneylerde verim değişimlerini incelemek için yararlı bir teknik olduğu belirtilmiştir.

Stajanko vd. (2004) elma ağaçlarında geliştirdikleri bir algoritma sayesinde termal kamera ile meyve sayısı tahmini yapmışlardır. Meyve algılama algoritmasını, meyveler ve arka plan arasındaki sıcaklık farkını değerlendirmeye dayandırmışlardır (Şekil 2.16). Araştırmacılar; doğrudan güneş ışığından gelen ısının büyük bir kısmının meyvelerde biriktiğini ve daha sonra çevreye yayıldığını, ancak meyvelerin aksine, yapraklar da daha az ısı biriktiğini ve meyvelere göre daha kısa süre içinde ısının

yayıldığını saptamışlardır (Şekil 2.16). Bu amaçla, her ağacın 4 bir tarafından ve 2 metre yükseklikten termal görüntü elde edilmiştir. Termal kameranın mevcut manuel örnek sayma yöntemiyle karşılaştırıldığında, daha büyük bahçelerin daha hızlı araştırılmasına olanak sağladığı bildirilmiştir. Bunun yanında; termal kamera ile meyve tespitinin, tüm vejetatif dönem boyunca, elmanın sadece küçük bir kısmının tespit edildiği durumlarda bile başarıyla kullanıldığı belirtilmiştir (Şekil 2.17). Bu yöntemde ağacın iç kısımda ve yaprak altında kalan meyvelerin tespitinin zor olduğu fakat yöntemin tamamen geliştirildiğinde, gerçek zamanlı bir meyve bahçesi işletimi için bir mekanizasyon sistemi olarak kullanılabileceği bildirilmiştir.



Şekil 2.16. Termal görüntünün ilk çekildiği hali ve emissivite değeri girilerek düzeltilmiş termal görüntü (Stajanko vd. 2004)

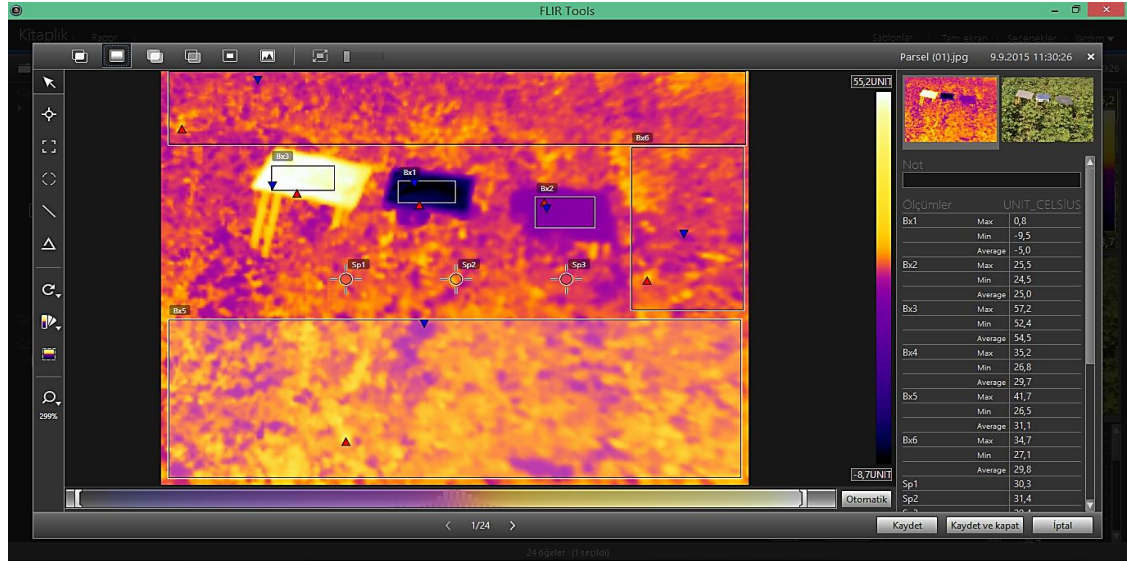


Şekil 2.17. a) Termal görüntü; **b)** Kırmızı bant görüntüsü; **c)** Yeşil bant görüntüsü; **d)** Mavi bant görüntüsü; **e)** Histogramda (NDI) düzeltilmiş görüntü; **f)** Meyve ve yaprak birlikte histogram (NDI) görüntüsü; **g)** Meyve ve yaprakların birbirinden ayrıldığı görüntü; **h)** Meyve tespiti (Stajanko vd. 2004)

Möller vd. (2007), asmada bitki su stresinin izlenmesinde termal görüntüleme tekniğini kullanmışlardır. Görüntülerin elde edilmesinde; 15 metre yükseklikteki bir vinç üzerine monte edilen FLIR marka bir termal kamera ve dijital görüntüleme aracı kullanılmıştır. Görüntüler öğle saatlerinde elde edilmiştir. Ayrıca ıslak referans yüzey sıcaklıklarının hesaplanmasında alüminyum yüzeyler kullanmışlardır. Çalışma sonucunda, bitki su stresinin izlenmesinde termal kameranın kullanılabileceği bildirilmiştir.

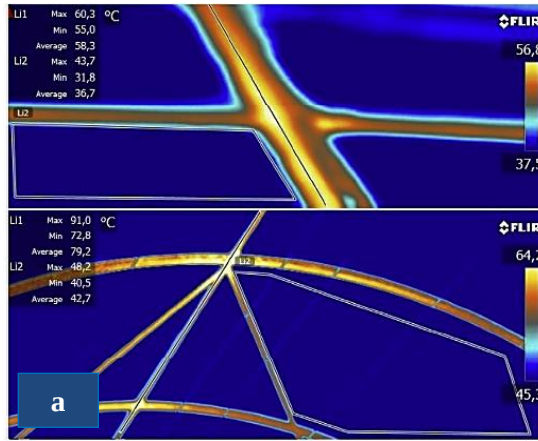
Calderon vd. (2013), zeytin yetiştiriciliğini kısıtlayan hastalıklardan biri olan *Verticillium solgunluğu* (VW) hastalığına toprak kaynaklı funguslardan *Verticillium Kleb*'in sebep olduğunu belirterek; bu patojenin bitki vasküler sistemini sömürdüğü, bitkide su akışını kestiği ve dolaylı olarak su stresi yarattığını belirtmişlerdir. Yapılan çalışmada doğal yollarla enfekte olmuş iki zeytin bahçesinde havadan; termal, multispektral ve hiperspektral görüntüleme tekniği ile üç yıl boyunca alınan görüntüler VW şiddetiyle ilişkilendirilmiştir. Çalışma sonucunda yüksek $T_c - T_a$ farkı, I_g (stoma iletkenliği) ile VW şiddeti arasında kolerasyon olduğu belirtilmiştir. Ayrıca uzaktan algılama ile VW enfeksiyonunun erken tanımlanması ve şiddet düzeyinin belirlenmesinin de mümkün olduğu bildirilmiştir.

Tüne (2016), pamuk bitkisinde farklı sulama yönetim sistemi (sensörlü sulama-klasik sulama), su (%100-%50) ve azot (%100-%50) dozu koşulları altında bitki su stresine bağlı olarak bitkide meydana gelen değişimleri termal görüntüleme kullanarak incelemiştir. Araştırmada FLIR marka termal kamera kullanılmıştır. Çalışma kapsamında ölçümlerin öğle saatlerinde (11:00-14:00) alındığı ve elde edilen ölçümlerin FLIR Tools yazılımıyla analiz edilmiştir (Şekil 2.18). Yüzeylerden elde edilen kanopi sıcaklık ölçümleri (T_c) ve referans yüzeylerden alınan sıcaklık ölçümleri ($T_{\text{ıslak}}$ ve T_{kuru}) kullanılarak modifiye bitki su stresi indeksi (CWSI) ve stoma iletkenliği indeksinin (I_g) hesaplandığı belirtilmiştir. Çalışmanın sonucunda, uzaktan algılama yöntemlerinin bitki su stresi izleme konusunda temassız, tahribatsız ve hızlı bir yöntem olduğu, pamukta bitki su stresinin daha fazla sayıda farklı su düzeyi ve azot dozu uygulaması ile daha hassas sonuçlar elde edilebileceği ifade edilmiştir.

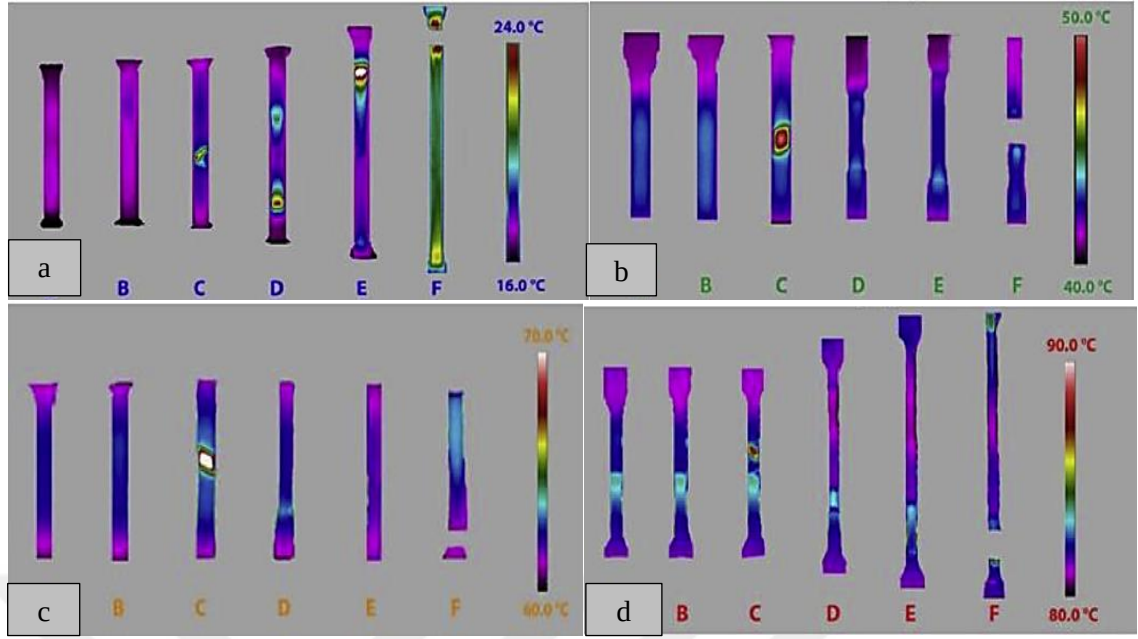


Şekil 2.18. FLIR Tools yazılımı ile kanopi sıcaklıklarının analizi (ıslak yüzey, kuru yüzey, bitki yüzeyi) (Tüne 2016)

Fuinaa vd. (2019), PC levhaların farklı sıcaklıklardaki mekanik davranışlarını incelediği çalışmalarında, yüzey sıcaklığını kızılötesi termografi yöntemiyle ölçmüşlerdir (Şekil 2.19). Araştırmacılar kızılötesi termografinin, çekme dayanımı testlerine tabi tutulmuş PC malzemelerin yüzey sıcaklığını araştırma imkanı vererek, malzemenin termal mekanik davranışının daha eksiksiz bir resmini sunduğunu bildirmişlerdir (Şekil 2.19 ve Şekil 2.20).



Şekil 2.19. a) Sera çatılarında cam ve metal konstrüksiyonun birleşme noktalarındaki termal görüntüleme; **b)** Termostatik odada PC malzeme çekme testi sırasında termal görüntüleme (Fuinaa vd. 2019)



Şekil 2.20. Çekme testi boyunca PC malzemede elde edilen termografik görüntüler **a)** 20 °C; **b)** 40 °C; **c)** 60 °C; **d)** 80 °C sıcaklıkta (Fuinaa vd. 2019)

Çamoğlu ve Genç (2013), taze fasulyede su stresine bağlı olarak verimin, su kullanımının ve bazı morfo-fizyolojik özelliklerin değişimini kızılötesi termal görüntüleme tekniği ile izlemişlerdir. Yapılan ölçümlerle eş zamanlı olarak, bitkilerde meydana gelen stresin etkisini belirlemek amacıyla yaprak alan indeksi (YAI), kuru biyokütle (Wd), yaprak oransal su içeriği (WR) ve klorofil okumaları da yapılmıştır. Çalışmada verim değerlerinin hesaplanması için, tüm sulama konularından farklı zamanlarda taze fasulyeler toplanmıştır. Bu çalışma sonucunda, yapay referanslar baz alınarak termal indekslerden hesaplanan CWSI ile bitki su stresinin önemli düzeyde ayırt edildiğini bildirmişlerdir.

Tarımsal açıdan termal kameranın daha çok bitki-toprak-su ilişkisi ya da bitki hastalık zararlıları irdelenmiş; diğer konularda gerek termal kamera gerek diğer uzaktan algılama cihazlarıyla araştırma yapılmadığı söylenebilir. Gelişen teknolojiyle hızlı, hasarsız ve temassız tespiti imkan veren termal kameraların birçok alanda kullanılması gerekmektedir. Birim alandan daha fazla verimin alınmasına olanak veren seralarda yalnızca konstrüksiyon kaynaklı ısı kayıpları termal kameralar ile incelenmiş bitki ya da örtü malzemesi ile ilgili bir çalışma literatürde bulunamamıştır.

2.4. Sera Örtü Malzemelerinin Bitki Gelişimi Üzerine Etkisi

Bitki gelişimini etkileyen faktörlerin başında ışık gelmektedir. Bitkiler ışığa farklı şekillerde tepki verirler. Bitkilerde, gerçekleşmesi ve düzenlenmesinden ışığın sorumlu olduğu işlemler aşağıda sıralanmıştır (Jensen ve Malter 1994; Öztürk 2008b).

- Fotosentez
- Klorofil sentezi
- Tohum çimlenmesi
- Fide çıkışı
- Vejetatif gelişme
- Çiçeklenme
- Fototropizm
- Fotoplazmik yoğunluk
- Fotoperiyodizm

Başçetinçelik (1977), güneşten gelen ışıma karşı bitkilerin gösterdikleri tepkilerin 8 enerji dalga boyu bandından oluştuğunu bildirmiştir. Araştırmacı bu dalga boyu bantlarını bitkilerin fizyolojik tepkilerine bağlı olarak seçmiş ve Çizelge 2.2' de belirtildiği gibi sınıflandırmıştır.

Çizelge 2.2. Bitkilerin fizyolojik tepkilerine bağlı olarak ışıma dalga boyu (Başçetinçelik 1977)

Dalgaboyu (nm)	Bitkilere etkisi
> 1000	Yalnızca ısıtma etkili
700-1000	Bitki boyu uzamasında etkili
610-700	Fotosentez için en yüksek etki düzeyi, klorofil sentezi ve fotoperiyodizm
510-610	En düşük fizyolojik etkili
400-510	Şekillenme etkisi kuvvetli, Fotosentez ve klorofil sentezinin en yüksek olduğu ikinci bölge, Sarı pigmentler tarafından yutma
315-400	Azalan şekillenme etkisi
280-315	Çoğu bitki türü için zararlı etki
< 280	Bitki yaşamı için öldürücü etkiler

Fizyolojik etkinliğin en yüksek olduğu dalga boyu bantlarının 700-1000 nm, 610-700 nm ve 400-500 nm olduğu belirtilmiştir. Bahsedilen bu dalga boylu ışınların bitkilerde temel fotokimyasal olayların başlatılması ve emme spektrumları ile ilgili olduğunu bildirmiştir. Bunun yanında, fotosentez işleminde 580 nm dalga boyunda ise

%20 gibi en düşük bağıl tepki oluşurken, 435 nm dalga boyunda %100 ve 675 nm dalga boyunda %60 olmak üzere en yüksek iki bağıl tepkinin meydana geldiğini bildirmiştir.

Zabeltitz (1992), Baudoin ve Zabeltitz (2002), aralık, ocak, şubat aylarında serada bitkisel üretim için günlük minimum ışınlam toplamının ise 2.3 kWh/m^2 gün, toplam güneşlenme süresinin minimum 500-550 saat arasında olması gerektiğini bildirmişlerdir. Bunun yanında bitkisel üretim için en etkili faktörün ışık olması sebebiyle Antalya ili koşullarında kış mevsiminde mümkün olan en yüksek ışığın sera içerisine girmesi gerektiğini bildirmişlerdir. Seralarda ışınlam geçirgenliğinin artması için alınması gereken tedbirleri aşağıdaki gibi sıralanmıştır:

- Bireysel seralar doğu-batı yönünde kurulmalıdır.
- Sera konstrüksiyonunu oluşturan yapı elemanları hafif, az ve ince kesit yüzeyli olmalıdır.
- Sera örtü malzemesi olarak ışık geçirgenliği yüksek ve anti-drop katkılı malzeme kullanılmalıdır.
- Termal perdelerin taşınabilir olmasına özen gösterilmelidir.

Hao vd. (2017), 2013 yılında yeni geliştirilen plastik sera örtü malzemelerinin enerji kullanımı, mikro iklimlendirme, bitki gelişimi, meyve verimi ve kalitesi üzerine etkisini değerlendirmek amacıyla laboratuvar koşullarında yaptıkları çalışmada, 6 adet model sera kullanmıştır. Bu seraların 2'sinin standart PE (180 μm) , diğer 2'sinin yeni geliştirilen çift kat hava şişirilmiş PE (360 μm), diğerlerinin ise çift kat PC (8 mm) olduğu bildirilmiştir. Başlangıçta ve aylık periyotta spektoradyometre ile 200-800 nm aralığında ölçüm alınmıştır. Başlangıçta bu değer çift kat PC sera içerisinde 400 nm olarak ölçülmüştür. Çalışmanın sonucunda, tüm seralar %79 güneş ışığı alırken, sera içine ışığın yayılımı PE için %50, çift katlı PE için %75, çift kat PC için %100 olarak bulunmuştur. Çalışmada çift katlı PE ve çift katlı PC örtü malzemelerinin ışığı dağıtarak kullanım etkinliğini ve meyve kalitesini arttırdığı belirtilmiştir.

Esen ve Yüksel (2014), Elazığ bölgesinde seraların ısıtılmasında yenilenebilir enerji kaynakları ile fosil yakıtların kullanımını karşılaştırmışlardır. Çalışma kapsamında kurulan serada örtü malzemesi olarak PC kullanmışlardır. Araştırmada; PC'nin hafif, kurulumunun kolay olduğu ve iç mekanlara bol miktarda doğal ışık

sağladığı belirtilmiştir. Ayrıca, PC'nin, plastik ürünler arasında yangına en dayanıklı malzeme olup, tamamen güvenli, enerji verimli tarımsal binaların tasarım ve yapımında mükemmel yalıtım özelliklerine sahip olduğunu bildirmiştir. Ayrıca daha iyi termal verimler ve doğal güneş ışığının daha fazla yayılması nedeniyle, çift cidarlı PC levhaların tercih edilen ürün olduğu vurgulanmıştır.

Kentselleşmenin artmasıyla oluşan nüfus yoğunluğu nedeniyle, su kaynakları ve arazi varlığının azalması, gıda israfı, erozyon, çevre kirliliği gibi birçok neden artan nüfusu beslemek için gerekli olan tarıma elverişli alanların genişletilmesini zorlaştırmaktadır. Bu sebeplerle üreticiler elde edilen ürün miktarını arttırmak ve yüksek üretim değeri bulunan tarım ürünlerinde üretimi arttırmak amacıyla örtü altı üretime yönelmişlerdir. Bundan dolayı günümüzde tükettiğimiz sebze ve meyveler hem besin ihtiyacını karşılaması yönünden hemde içerdiği vitamin, mineral maddeler ve antioksidan özellikler bakımından değerlendirmeye başlanmıştır. Sebzeler içerisinde bulundukları antioksidan maddeler aracılığıyla insan sağlığını koruyan ve birçok hastalığı iyileştiren etkilere sahiptir. Domates antioksidan özelliğe sahip sebzelerin başında gelmektedir. Genellikle taze olarak tüketilen domates, ketçap, salça ve sos gibi işlenmiş hali de yaygın olarak kullanılmaktadır. Bunlara ilave olarak kurutulmuş domates, domates suyu, püresi ve domatesin doğranmış hali de günümüzde kolaylıkla bulunabilir, tüketilebilir hale gelmiştir. Artan gıda arzı ile birlikte domatesin değeri de gün geçtikçe artmıştır (Durmuş vd. 2018).

Bitkisel ve hayvansal ürünlere sarı-kırmızı tondaki doğal rengini veren, yağda çözünebilir maddeler “karotenoid bileşikler” olarak adlandırılmaktadır. Havuç, domates, kırmızıbiber gibi sebze ve kayısı, şeftali, portakal gibi meyvelerin veya yumurta sarısının kendine has renkleri, yapılarında bulundukları karotenoid bileşiklerden kaynaklanmaktadır (Cemeroğlu 2011).

Durmuş vd. (2018) domatesin yapısında bulundurduğu karotenoidlerden özellikle likopen sayesinde kırmızı renge sahip olduğunu bildirmiştir. Çalışmada domatesin yapısında bulundurduğu tüm metabolitlerin miktarının bağlı olduğu etkenlerin, tür, olgunluk, iklim koşulları, sıcaklık, ışık, toprak, gübreleme, sulama ve yetiştiricilik sırasında yapılan kültürel işlemler, hasat ve hasat sonrası depolama koşullarına bağlı olduğu belirtilmiştir. Literatürde likopen, beta karoten, flavanoidler

içeren domates kendine özgü besin değeri sebebiyle koruyucu bir sebze olarak görülür. Likopenin son yıllarda daha fazla araştırmaya konu olmasının nedeni anti-oksidatif faaliyetleri ve anti-kanser fonksiyonlarıdır. Bu yüzden üretim ve tüketimi sürekli artmaktadır.

Ahmadi ve Tsao (2018), beş farklı domates çeşidinde örtü malzemesinin meyvenin antioksidan içeriğine etkisini incelemişlerdir. Kanada’da yaptıkları çalışmada; üç model serada, standart PE (180 µm), çift kat PE (iç 180 µm, dış 180 µm) ve çift kat PC (8 mm) örtü malzemesi kullanmışlardır. Düzenli olarak her örtü malzemesi ve domates çeşidi için ayrı ayrı fotokimyasal incelemeler yapılmıştır. Böylece çalışmada hangi çeşit domatesteki hangi örtü malzemesiyle daha iyi verim alındığı, hangi örtü malzemesinin güneş ışınlamını daha iyi yaydığını saptamışlardır. Çalışma, güneş enerjisi iletiminin verimli kullanılmasının, sağlık açısından yararlı olan bazı fitokimyasalların biyosentezini olumlu yönde değiştirebileceğini göstermiştir. Bu çalışmada seralarda doğru örtü malzemesi seçimi ile sadece yüksek verim almayı değil sera içi ışınlam yayılımıyla sağlık açısından önemli olan domatesteki antioksidan içeriğine de olumlu katkılar sağlanabildiğini belirtmişlerdir.

Panthee vd. (2013), Kuzey Karolina bölgesinde gerçekleştirdikleri çalışmalarında 12 farklı domates çeşidini (Crimson, Grape, HI7998, L.Hirsutum, L. Pimpinellifolium, Large-fruited, Miniroma-tangarin, Orange-cherry, Pink, Plum, Red-cherry, Red-pear) likopen ve katı madde içeriği bakımından incelemiştir. Araştırmacılar domatesin rengini belirleyen, şeker hastalığına, kardiyovasküler hastalıklara ve bazı kanserlere karşı koruyucu etkileri olan likopen miktarını farklı yöntemlerle belirlemişlerdir. Çalışmada; domatesin likopen içeriğinin, 28-133 mg/kg arasında çeşide göre değiştiği bildirilmiştir (Çizelge 2.3). Bunun yanında taze domateslerde pişirilmiş domateslerden daha az likopen elde edildiği vurgulanmıştır.

Çizelge 2.3. Domates bitkisinde likopen içeriği, pH ve SÇKM (Suda çözünür kuru madde) değerleri (Panthee vd. 2013)

Değişken	Minimum	Maksimum	Ortalama
pH	4.0	4.6	4.3
SÇKM (Suda Çözünür Kuru Madde) (%)	2.7	7.9	5.3
Likopen içeriği (mg/kg)	27.9	133.1	64.3

Thies vd. (2017), İngiltere’de 800 000 deney hayvanını kullandıkları çalışmada likopenin kalp hastalıkları ve kansere karşı koruyucu etkisini araştırmışlardır. Çalışmada, insan kanı serumunda bulunan karotenoidlerin (likopen, α ve β -karotenler, β -kriptoksantin, zeaksantin ve lutein), kan serumunun %95’ini oluşturduğu ve dolaşımdan sorumlu olduğu vurgulanmıştır. Sebze ve meyveler arasında en yüksek likopen konsantrasyonuna sahip türün domates olduğu bildirilmiştir. Çalışma kapsamında deneklere günde beş porsiyon meyve/sebze tüketimi içeren diyet uygulanmış ve kalp hastalıklarına bağlı ölüm riskinin %30 azaldığı bildirilmiştir. Bunun yanında uygulanan diyetin yüksek likopen içeriği sayesinde, kolesterolün düşürülmesi, oksidasyon işlemlerinin inhibisyonu, enflamatuar belirteçlerin modülasyonu, gelişmiş hücre içi iletişim, tümör oluşumunun engellenmesi gibi yararlı etkiler çalışmadan elde edilmiştir. Ayrıca daha önce yapılan çalışmalarda; domates içeriğinde bulunan yüksek konsantrasyondaki likopenin prostat kanseri riskinde azalma gösterdiğinden bahsedilmiştir (Zu vd. 2014; Giovannucci vd. 2002). Sonuç olarak, yapılan çalışmada; likopenin kalp sağlığına karşı koruyuculuğu araştırılmış ve bazı kanser türleri risklerinde azaltıcı etkisinin diyetlerde daha yoğun domates kullanımına yönelteceği vurgulanmıştır.



3. MATERYAL VE METOT

3.1. Araştırma Alanı

Araştırma Antalya il merkezindeki Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Araştırma ve Uygulama Alanında bulunan 3 adet araştırma serasında gerçekleştirilmiştir. Türkiye'nin Akdeniz kıyısında bulunan Antalya ili; 36° 07'-37° 02' kuzey enlemleri ile 29° 20'-32° 35' doğu boylamları arasında olup, denizden yüksekliği 54 m'dir. Türkiye'nin 5. büyükşehri olan Antalya ili, 20874 km² yüz ölçümüyle ülkenin yüzölçümünün %2.6'sını kapsamaktadır. Antalya ili; Burdur, Isparta ve Konya illerinin güneyinde; Karaman ve Mersin illerinin batısında; Muğla ilinin doğusundadır. Güneyi Akdeniz ile çevrelenen Antalya ili yaklaşık 630 km'lik kıyı şeridinde sahip olup, topoğrafik yönden gösterdiği bu değişkenliği, iklim, nüfus, tarım ve yerleşim yönünden de göstermektedir. Antalya ili toplam 19 ilçeden oluşmaktadır (Anonim 2011).

3.2. Araştırma Alanı İklim Özellikleri

Araştırma alanı “Mutedil Deniz ve Sıcak Deniz İklim Sınıfı”ndan Akdeniz iklimi etkisi altındadır. Akdeniz ikliminde, yazları sıcak ve kurak, kışları ılık ve yağışlıdır. Bölgenin iç kesimlerinde “Soğuk Yarı-Karasal İklim” tipi görülmektedir. Yazın ortalama sıcaklık 28-36 °C arasındadır. Ocak ayı sıcaklık ortalaması 10-20 °C arasında değişmektedir. Kar yağışı ve don olayı kıyı kesimlerde çok ender görülür. Yağışın olmadığı günler hava açık ve güneşlidir. İlde yıllık ortalama nispi nem %60 civarındadır (Anonim 2020b). Antalya Meteoroloji Bölge İstasyonundan elde edilen; bazı iklimsel verilerin uzun yıllık ortalamaları (1960-2021) Çizelge 3.1’de verilmiştir (Anonim 2020b). Bunun yanında, çalışma süresi boyunca bazı iklimsel verilerin aylık ortalamaları da (2020 Ocak- 2021 Ağustos) Çizelge 3.2’de verilmiştir (Anonim 2021).

Çizelge 3.1. Antalya iline ait uzun yıllık ortalama iklim verileri (Anonim 2020b)

Aylar	Ort. Sıcaklık (°C)	Max. Sıcaklık (°C)	Min. Sıcaklık (°C)	Ort. Bağıl Nem (%)	Rüzgar Hızı (m/sn)	Ort. Toplam Yağış Miktarı (mm)	Ort. Güneş. süresi (saat)	Günlük Ort. Güneşlenme Şiddeti (cal/cm ² /dk)	Bulutluluk (0-10)
Ocak	10.75	15.7	7.2	55.1	2.5	150.9	5.44	221.9	3.95
Şubat	11.30	15.9	7.8	63.1	2.8	130.7	5.245	267.05	4.45
Mart	13.75	18.4	9.8	61.3	2.5	79.3	6.505	385.05	3.95
Nisan	16.70	21.2	12.8	65.5	2.2	37.6	7.115	468.0	3.8
Mayıs	21.20	26.0	16.8	61.5	2.1	44.1	7.975	514.4	2.95
Haziran	24.60	29.3	20.2	59.9	2.2	5.6	9.2	563.8	1.95
Temmuz	28.75	33.9	24.2	58.8	2.1	2.7	9.82	585.1	0.95
Ağustos	28.85	34.0	24.3	55.6	2.0	1.8	9.565	544.65	1.0
Eylül	26.65	31.9	22.3	55.5	2.0	6.4	9.49	469.1	1.15
Ekim	21.95	27.4	17.9	57.2	1.9	48.4	7.525	358.9	2.65
Kasım	16.60	22.3	12.8	51.0	2.0	91.8	6.8	259.6	2.9
Aralık	12.90	17.7	9.7	67.5	2.2	245.4	5.045	181.5	4.3
Yıllık	19.50	24.5	15.5	59.3	2.2	70.4	7.48	401.59	2.83

Çizelge 3.2. Antalya iline ait çalışma periyodu boyunca aylık ortalama iklim verileri (Anonim 2021)

Yıl	Aylar	Ort. Sıcaklık (°C)	Max. Sıcaklık (°C)	Min. Sıcaklık (°C)	Ort. Bağıl Nem (%)	Rüzgar Hızı (m/sn)	Ort. Toplam Yağış Miktarı (mm)	Ort. Güneş. Süresi (saat)	Günlük Ort. Güneş. Şiddeti (cal/cm ² /dk)	Bulutluluk (0-10)
2020	Ocak	11.7	16.5	8.5	44.6	1.5	87.3	5.7	248.4	2.8
	Şubat	12.3	16.4	9.4	60.9	1.9	105.6	5	268.4	3.8
	Mart	14.9	18.9	11.7	56.3	1.6	60.6	6.5	402.6	3.1
	Nisan	17.4	21.2	14.5	63.3	1.3	21	6.2	486.6	2.9
	Mayıs	22	26.4	18.6	56.4	1.6	57.6	6.4	497.7	2.1
	Haziran	23.9	27.7	20.8	60.4	1.4	3.9	7	537.6	1.7
	Temmuz	29.2	33.8	25.8	60.4	1.4	-	7.6	589	0.5
	Ağustos	29.7	34.1	26.2	51.9	1.3	-	7.8	560.3	0.7
	Eylül	28.7	32.8	25.4	51.8	1.2	0.2	8.4	487.5	0.7
	Ekim	24	28.1	20.7	53.7	0.9	25.9	7	390.9	2.2
	Kasım	18.5	23.5	15	37.3	1.1	39.4	7.3	294.3	1.7
	Aralık	14.5	18.8	12	67.9	1	239.6	4.5	192.4	3.6
2021	Ocak	12.7	16.7	9.9	62.9	1.5	176.9	3.9	198.5	4
	Şubat	13.9	18.4	10.6	53.5	1.7	34.7	6.5	330	2.5
	Mart	13.9	18.2	10.4	46	1.4	69.3	6.3	395.7	2.7
	Nisan	17.4	21.1	14.2	55.3	1.3	5.6	6.2	477.9	2.7
	Mayıs	22.9	27.2	19.2	58.6	1.4	-	7.2	555.4	1.2
	Haziran	25.2	30	21.8	53.7	1.3	14.2	6.9	559.6	1.5
	Temmuz	30.7	36.2	27.3	40.2	1.3	-	7.6	587.2	0.7
	Ağustos	35.3	43.2	30.2	18.1	1.2	-	8.2	572.4	0.2

3.3. Araştırmada Kullanılan Seraların Teknik Özellikleri

Araştırma Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Araştırma ve Uygulama Alanında bulunan her biri yaklaşık 28 m² taban alanlı 3 adet model PC örtü malzemeli serada yürütülmüştür. Araştırma seraları çatı şekline göre ikisi beşik çatılı, diğeri gotik çatılı sera olup, gotik çatılı sera ülkemizde PC sera örtü malzemesinin yaygın bir şekilde uygulandığı sera tipi olduğu için inşa edilmiştir.

Araştırmada kullanılan seraların genişliği 4.0 m, uzunluğu 7.0 m, yan duvar yüksekliği 2.5 m, toplam mahya yüksekliği 3.5 m'dir. Model PC seraların uzun kenarı doğu-batı yönünde konumlandırılmıştır. Sera konstrüksiyon malzemesi olarak galvanizli çelik ve alüminyum profiller kullanılmıştır. Bahsedilen seralarda yalnızca çatı havalandırması mevcuttur. Model seraların çatı havalandırma açıklığının sera taban alanına oranı %26'dır (Şekil 3.1).



Şekil 3.1. Çalışmada kullanılan araştırma seraları

Araştırma seralarının konumlarının birbirlerine herhangi bir gölge etkisi yaratmadığı, gün içinde belli saatlerde fotoğraflanarak gösterilmiştir (Şekil 3.2).



Şekil 3.2. Araştırma seralarının zamana bağlı gölgelenme durumu

3.4. Araştırmada Kullanılan Sera Örtü Malzemesi

Araştırma seralarında örtü malzemesi olarak; Işık Plastik A.Ş. tarafından üretilen iki farklı PC malzeme kullanılmıştır. Biri 8 mm kalınlıklı UV katkılı PC, diğeri ise 8 mm kalınlıklı UV+IR katkılı PC malzemedir. Çalışmada beşik çatılı seralardan biri hem yan duvar hem çatı UV katkılı PC (UV PC) malzeme ile diğeri beşik çatılı sera hem yan duvar hem çatı UV+IR katkılı PC (UV+IR PC) malzeme ile kaplanmıştır. Gotik çatılı sera ise yan duvarlar UV katkılı PC ile çatı ise tek kat PE (UV PC+PE) malzeme ile kaplanmıştır. Gotik çatılı seranın çatısında CO-EX (çok katlı) teknoloji ile üretilen UV+IR+EVA+AB+AO+DİF katkılı PE kullanılmıştır. Bahsedilen PE malzemenin kalınlığı 0.180 mm (180 μ m), kullanım süresi 36 aydır. Böylece inşa edilen sera iskeletinin tamamen PC ve sadece yan duvarlarda PC çatı tek kat PE malzeme ile kaplanmasına bağlı değişim de ortaya konmuştur.

3.5. Sera Örtü Malzemelerinde Ortam Mikroklimasının Belirlenmesinde Kullanılan Ölçüm Aletleri

3.5.1. Toplam ışıınım ve PAR ölçümünde kullanılan aletler

Araştırma kapsamında sera örtü malzemelerinin toplam ışıınım ve PAR gibi bazı fiziksel özellikleri belirlenmiştir. Sera örtü malzemelerinin toplam ışıınım geçirgenliği, 300-2800 nm dalga boyuna duyarlı Kipp&Zonen marka 4 adet piranometre ile belirlenmiştir. Piranometrelerin 3 tanesi seraların içerisine diğeri ise dış ortam koşullarına yerleştirilmiştir. Çalışmada kullanılan piranometrelerin hassasiyeti 5-20 $\mu\text{V}/\text{W}/\text{m}^2$ arasında değişmektedir.

Araştırmada sera örtü malzemelerinin fotosentetik aktif radyasyon (PAR) geçirgenliği, 400-700 nm dalga boyuna duyarlı 4 adet Kipp&Zonen ve Delta-T Marka quantum algılayıcı ile belirlenmiştir. Quantum algılayıcıların 3 tanesi seraların içerisine diğeri ise dış ortam koşullarına yerleştirilmiştir. Bahsedilen algılayıcıların hassasiyeti 4-10 $\mu\text{V}/\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ arasında değişmektedir.

Piranometreler ve quantum algılayıcılar sera çatı elemanlarının gölgelemesinden etkilenmeyecek şekilde ve konuların orta kısmında toprak seviyesi ile yataylığı sağlanan 2.0 m yüksekliğindeki sehpalara üzerine konumlandırılmıştır (Şekil 3.3) (Kittas vd. 2006).



Şekil 3.3. Piranometre (a) ve quantum algılayıcıların (b) sera içi konumları

Toplam ışınlm ve PAR geçirgenlikleri sırasıyla aşağıda verilen Eşitlik 3.1 ve 3.2 yardımıyla belirlenmiştir (Kittas vd. 1999).

$$T_T = (T_i / T_o) \times 100 \quad (3.1)$$

Eşitlikte;

T_T : Seranın toplam ışınlm geçirgenliği (%)

T_i : Sera içinde ölçülen toplam ışınlm (W/m^2)

T_o : Sera dışında ölçülen toplam ışınlm (W/m^2)

$$T_P = (P_i / P_o) \times 100 \quad (3.2)$$

Eşitlikte;

T_P : Seranın PAR geçirgenliği (%)

P_i : Sera içinde llen PAR ($mmol/m^2s$)

P_o : Sera dışında llen PAR ($mmol/m^2s$)

Çalışmada kullanılan sera örtü malzemelerinin toplam ışınlm ve PAR geçirgenlikleri belirlenirken açık (bulutsuz) gökyüzü koşulları tercih edilmiş ve zaman aralığı olarak 06:00-18:00 saatleri arası dikkate alınmıştır (Geoola vd. 1998; Geoola vd. 2004; Kittas vd. 2006). Deneme süresince incelenen her ay için belirtilen koşulları sağlayan (algılayıcılardan sağlıklı verilerin alındığı), ay ortalamasını temsil eden 5 açık gün seçilerek, belirlenen geçirgenlik değerlerinin ortalaması bahsedilen ay için geçirgenlik değeri olarak kabul edilmiştir (Cemek vd. 2006; Emekli vd. 2016).

Çalışma süresi boyunca sera örtü malzemelerinde meydana gelen zamana bağlı toplam ışınlm ve PAR geçirgenlik kayıpları aşağıda verilen Eşitlik 3.3 yardımı ile belirlenmiştir (Geoola vd. 1994; Geoola vd. 2004; Emekli vd. 2016).

$$\text{Geçirgenlik kaybı} = \left(\frac{T_{\text{yeni}} - T}{T_{\text{yeni}}} \right) \times 100 \quad (3.3)$$

Eşitlikte;

T_{yeni} : Yeni örtü malzemesinin ışınlım geçirgenliği (%),

T: Belli bir zaman periyodundan sonraki örtünün ışınlım geçirgenliği (%).

3.5.2. Veri kayıt cihazı

Araştırmada piranometre ve quantum (PAR) algılayıcılarından gelen sayısal verilerin toplanması ve bilgisayar ortamına aktarılması için veri kayıt cihazı olarak 15/60 analog kanal ve 128000 okuma hafızasına sahip, Delta-T Devices marka cihaz kullanılmıştır. Bahsedilen veri kayıt cihazının dış ortam koşullarından etkilenmemesi amacıyla meteorolojik alet siperinin içerisine yerleştirilmiş ve piranometre ve quantum (PAR) algılayıcılarının veri kayıt cihazı ile bağlantısı sağlanmıştır (Şekil 3.4).



Şekil 3.4. Veri kayıt cihazı ve araştırma alanındaki konumu

Araştırmada hem veri kayıt cihazı hem de sıcaklık nem algılayıcıları her 10 dakikada bir veri alınmasını sağlayacak şekilde programlanmıştır. Çalışma süresi boyunca kaydedilen veriler değerlendirilmek üzere veri kayıt cihazından bilgisayar ortamına aktarılmıştır. Bilgisayar ortamında ise her on dakikada bir kaydedilen verilerin saatlik, günlük ve aylık ortalamaları belirlenmiştir.

Çalışmanın deneme düzeni aynı zaman diliminde hem sera iç ortam hem de dış ortam koşullarından veri alımı gerçekleştirilecek şekilde oluşturulmuştur. Çalışmada veri alımı 11 Şubat 2020 tarihinde başlamış ve 31 Ağustos 2021 tarihine kadar devam etmiştir.

3.5.3. Sıcaklık ve bağıl nem ölçümünde kullanılan aletler

Araştırmada sıcaklık ve bağıl nem ölçümleri, programlanabilir ve veri kayıt özelliği bulunan, -10-50 °C arası sıcaklıkta ve %0 ile %100 arası bağıl nemde ölçüme imkan veren 4 adet Testo marka cihaz aracılığıyla yapılmıştır. Sıcaklık ve nem veri kayıt cihazının 3 tanesi seraların içerisine, diğeri ise dış ortama yerleştirilmiştir. Sıcaklık ve bağıl nem ölçümünde kullanılan cihazlar, sera çatı elemanlarının gölgelemesinden etkilenmeyecek şekilde ve konuların orta kısmında toprak seviyesi ile yataylığı sağlanan 2.0 m yüksekliğindeki sehpaların ayağına yerleştirilmiştir (Şekil 3.5) (Barroso vd. 1999).



Şekil 3.5. Sıcaklık ve bağıl nem veri kayıt cihazı ile sera içindeki konumu

Farklı sera örtü malzemelerinin aylık ortalama, minimum ve maksimum sıcaklık ile bağıl nem değerleri, sera örtü malzemelerinin toplam ışınlam ve PAR geçirgenlik

değerlerinin saptandığı açık günler (açık gökyüzü koşulları) tercih edilerek gün boyunca 24 saatlik zaman aralığına göre kaydedilmiştir.

3.5.4. Ortam mikro iklimasının belirlenmesinde kullanılan aletler

3.5.4.1. Kanopi sıcaklıklarının belirlenmesinde kullanılan aletler

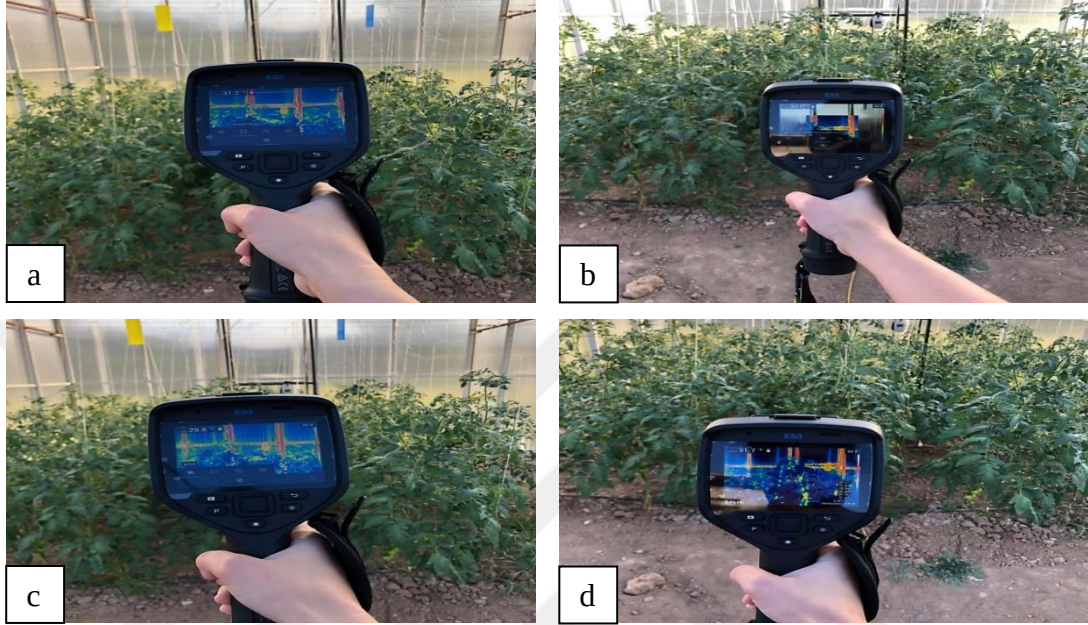
Çalışmada, farklı örtü malzemelerine sahip seralarda yetiştirilen bitkilerin kanopi sıcaklıkları termal kameralarla görüntülenmiştir. Elde edilen yüksek çözünürlükteki termal görüntüler FLIR Tools yazılımı ile analiz edilmiştir. Termal görüntü alımı bitki kanopi sıcaklığı için ölçüm alınan ay itibarıyla açık (bulutsuz) gün tercih edilmiş en yüksek yansıtıcılığın görüldüğü 10:00-14:00 saatleri arasında yapılmıştır.

Kızılötesi termal görüntüler FLIR E53 model termal kamera yardımıyla elde edilmiştir. Çalışmada kullanılan termal kamera; 30 Hz çerçeve oranında, -20-650 °C arasında sıcaklığı algılama, 7.5-14.0 µm spektral aralığında, %2 doğruluk oranında, 30 °C'ta 0.04 °C çalışma hassasiyetinde, 240x180 piksel boyutlarında ve toplam 43200 piksel fotoğraf çekme kapasitesine sahiptir. Görüş alanı açısı 24x18°/0.4 m'dir (Şekil 3.6).



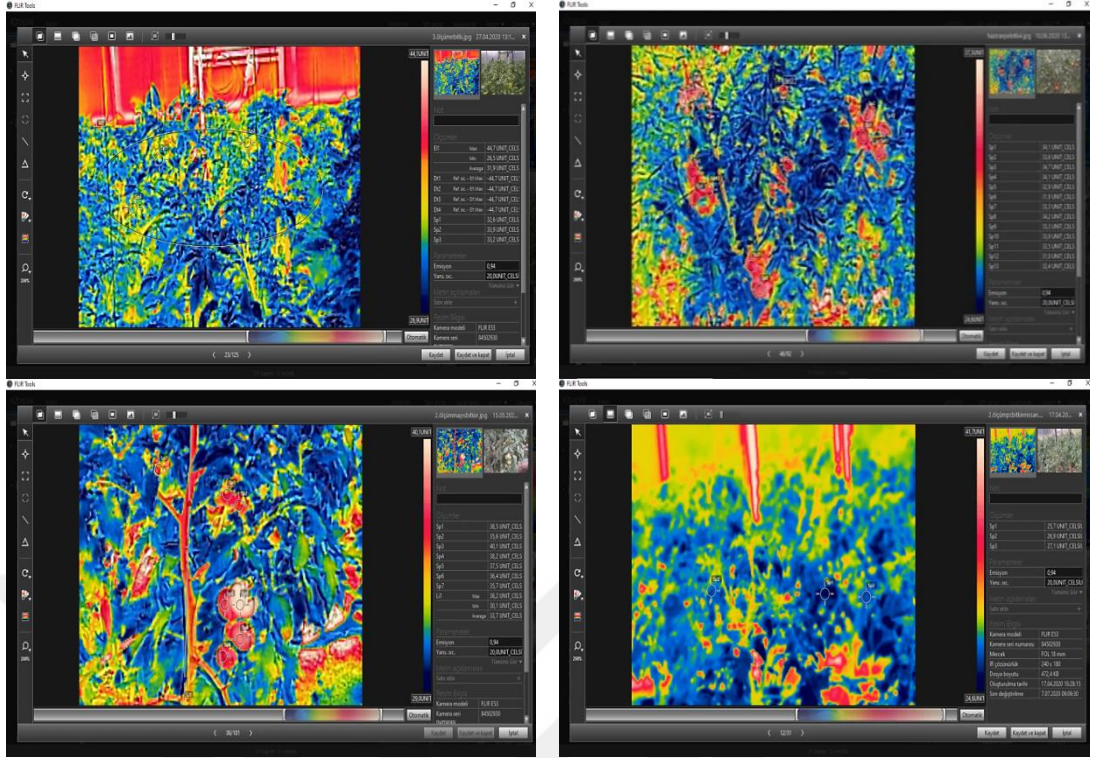
Şekil 3.6. Araştırmada kullanılan termal kamera

Termal kamera ölçümleri sırasında çekilen görüntüler Şekil 3.6’da verilmiştir. Ayrıca kullanılan termal kameranın kızılötesi, görünür fotoğraf, MSX (çoklu spektral dinamik görüntüleme) ve görünür fotoğraf içinde kızılötesi şeklinde 4 ayrı görüntü modu bulunmaktadır. Termal kameraya ait bu özellik Şekil 3.7’de gösterilmiştir.



Şekil 3.7. Termal kamera görüntü modları **a)** Görünür fotoğraf; **b)** Görünür fotoğraf içinde kızılötesi; **c)** Kızılötesi; **d)** MSX (Çoklu Spektral Dinamik Görüntüleme)

Termal kamera ile elde edilen yüksek çözünürlükteki termal görüntülerin analizi için, FLIR Tools yazılımı kullanılmıştır. FLIR Tools yazılımında elde edilen termal görüntülerin analizi sırasında eşit alan tercih edilmeye çalışılmış ve seçilen alanlar $0.009-0.015 \text{ m}^2$ arasında değişmiştir. Kanopi sıcaklıklarının FLIR Tools yazılımı ile analizine ilişkin görüntü Şekil 3.8’de verilmiştir.



Şekil 3.8. Kanopi sıcaklıklarına ilişkin termal görüntülerin FLIR Tools yazılımı ile analizi

Ölçümler esnasında emissivite değeri bitki yüzeyi için 0.95 (Jones vd. 2002) alınmıştır. Ölçüm zamanı olarak, Allen vd. (2005) tarafından bitki katsayısı yaklaşımı dikkate alındığında saat 10:45-11:15 arası, Jackson vd. (1977) ile Ehrler vd. (1978) tarafından ise bitki yüzey sıcaklıklarının ölçümünde standart zaman 13:00-14:00 arası olarak önerilmiştir. Termal görüntüler ile elde edilen kanopi sıcaklıkları hem güneşin geliş açısı hem de yoğunluğu dikkate alınarak, sıcaklığın en yüksek ölçüldüğü 10:00-14:00 saatleri arasında gerçekleştirilmiştir.

3.5.4.2. Çatı sıcaklıklarının belirlenmesinde kullanılan aletler

Çalışmada farklı sera örtü malzemelerinde oluşan çatı sıcaklıkları termal kameralarla görüntülenmiştir (Şekil 3.9). Elde edilen yüksek çözünürlükteki termal görüntüler FLIR Tools yazılımı ile analiz edilmiştir. Termal görüntü alımı ölçüm alınan ay itibarıyla açık (bulutsuz) gün tercih edilmiş ve 10:00-14:00 saatleri arasında yapılmıştır.



Şekil 3.9. Sera çatı sıcaklığının termal görüntülenmesi

3.6. Sera Örtü Malzemelerinin Bazı Mekanik Özelliklerinin Belirlenmesinde Kullanılan Ölçüm Aletleri

Araştırmada kullanılan farklı sera örtü malzemelerinin sararma indisi ve darbe dayanımı gibi mekanik özelliklerinin zamana bağlı değişimini doğal çevre koşullarında belirleyebilmek amacıyla bir konstrüksiyon kullanılmıştır (Şekil 3.10) (Emekli 2014).



Şekil 3.10. Sera örtü malzemelerinin bazı mekanik özelliklerinin belirlenmesinde kullanılan konstrüksiyon

Çalışmada kullanılan konstrüksiyon çatı şekline göre tek meyilli (sundurma çatılı), çatı eğim açısı 26.5° , kısa ayak yüksekliği toprak yüzeyinden 110 cm, uzun ayak yüksekliği 160 cm, ön ve arka ayak arası mesafe 100 cm, yapının ön genişliği 210 cm'dir. Konstrüksiyon, üzerinde çıkartılabilir şekilde olan 50×50 cm boyutlarında çerçeveleri bulundurmaktadır (Emekli 2014). Çalışma boyunca mekanik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla bahsedilen konstrüksiyondan 2 adet kullanılmıştır. Biri UV PC,

diğeri UV+IR PC sera örtü malzemesi ile kaplanmıştır. Aynı zamanda araştırmada kullanılan bir diğer malzeme olan PE malzeme iki konstrüksiyon arasına monte edilmiştir (Şekil 3.10).

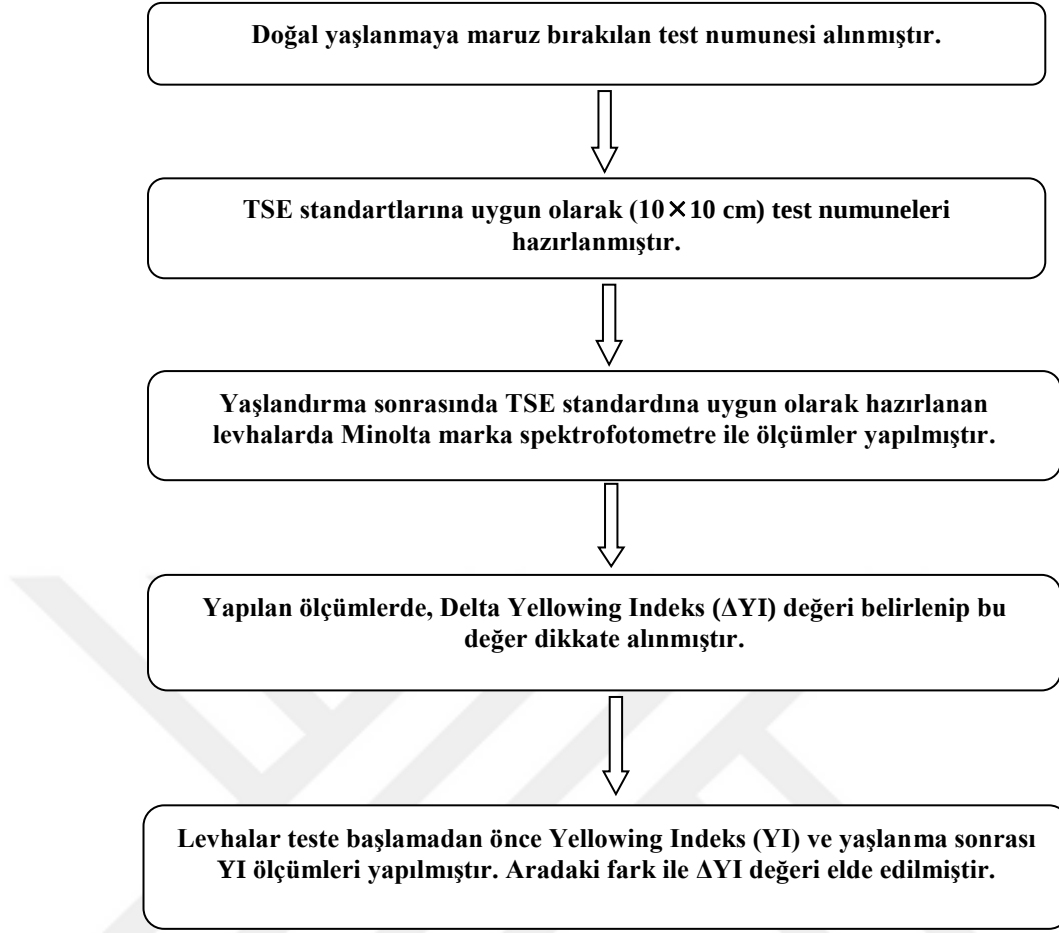
Farklı örtü malzemelerinin mekanik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla malzemeler, 2020 yılının Ocak ayından 2021 yılının Ekim ayına kadar her üç ayda bir Işık Plastik A.Ş.'nin test laboratuvarına gönderilmiştir.

Romero-Gámez vd. (2012), Emekli (2014) yaptıkları çalışmalarda yukarıda tanımlanan konstrüksiyona benzer özelliklere sahip bir konstrüksiyon kullanmışlardır.

3.6.1. Sararma indisi test cihazı

PC malzemenin en büyük dezavantajı sararmadır. Sararmanın temel nedenleri, kısa dalga boylu ışınım (mavi/UV radyasyonu), sıcaklık ve fosfor gibi kimyasala uzun süre maruz kalmasıdır. Sararma bir diğer deyişle ultraviyole bozunmasıdır (Mehr vd. 2013).

Çalışmada kullanılan farklı sera örtü malzemeleri için sararma indisi ölçümleri yapılmıştır. Laboratuvar koşullarında düzenli olarak üç ayda bir test edilen örnek boyutları; 10x10 cm ölçülerinde kesilmiş ve ölçümler 3 tekerrürlü olarak gerçekleştirilmiştir. Sararma indisi ölçümleri TSE 2015 “TS EN 16153+A1 Polikarbonat (PC) Düz Levhalar- Şeffaf- Kapalı Oluklu (Odacıklı)-İç ve Dış Mekanlardaki Çatı, Duvar ve Tavanlarda Kullanılan- Gereker ve Deney Yöntemleri” başlıklı standardına göre belirlenmiştir. Farklı sera örtü malzemelerinin sararma indisinin ortaya konulmasında kullanılan sistemin akış şeması Şekil 3.11’de ve kullanılan test cihazı Şekil 3.12’de verilmiştir.



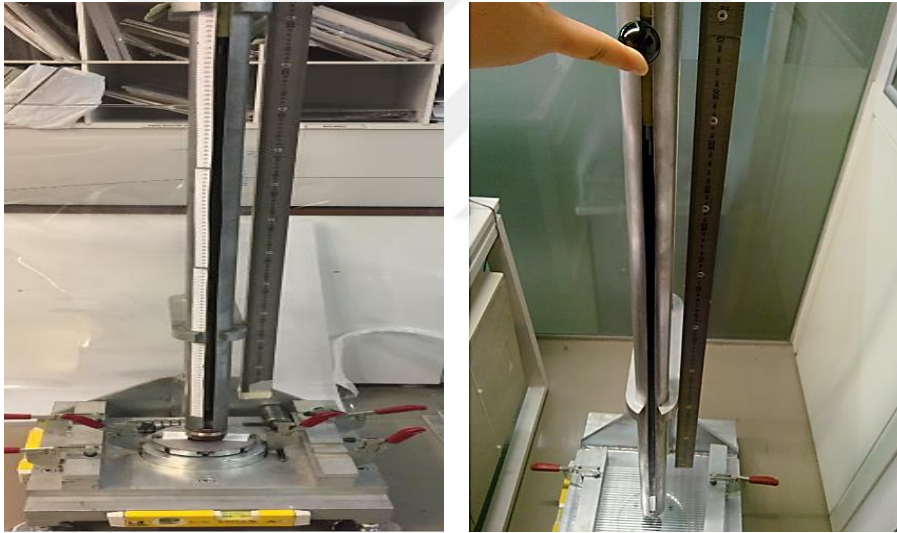
Şekil 3.11. Farklı sera örtü malzemelerinin sararma indisinin ortaya konulmasında kullanılan yöntemin akış şeması



Şekil 3.12. Sararma indisi test cihazı (spektrofotometre)

3.6.2. Darbe mukavemeti test cihazı

Çalışmada kullanılan UV PC ve UV+IR PC sera örtü malzemelerinin sararma indisi değerlerinin yanı sıra darbe dayanım değerleri de üç ayda bir yapılan testler ile saptanmıştır. Darbe dayanım deneyi için teste gönderilen numunelerden her bir örnek 10x10 cm olacak şekilde kesilmiş ve toplam 15 örnek test edilip ortalaması alınmıştır. Bu deneyin amacı, plastik levhaların bir cisim tarafından numune düzlemine dik olarak uygulanan bir darbeye karşı davranışını incelemektir. TSE 2021 “TS EN 13497+A1 Isıl Yalıtım Ürünleri-Yapılarda Kullanılan- Harici Kompozit Isıl Yalıtım Sistemlerinin Darbe Mukavemeti Tayini” başlıklı standardına göre ölçüm yapılmıştır. Bu metotta deney süresince enerji değişim miktarı sabit tutulmuş ve enerji her deney numunesi darbeye maruz kaldıktan sonra ayarlanmıştır. Darbe anındaki enerji sabit kütlede yükseklik değiştirilerek ayarlanmıştır (Şekil 3.13).



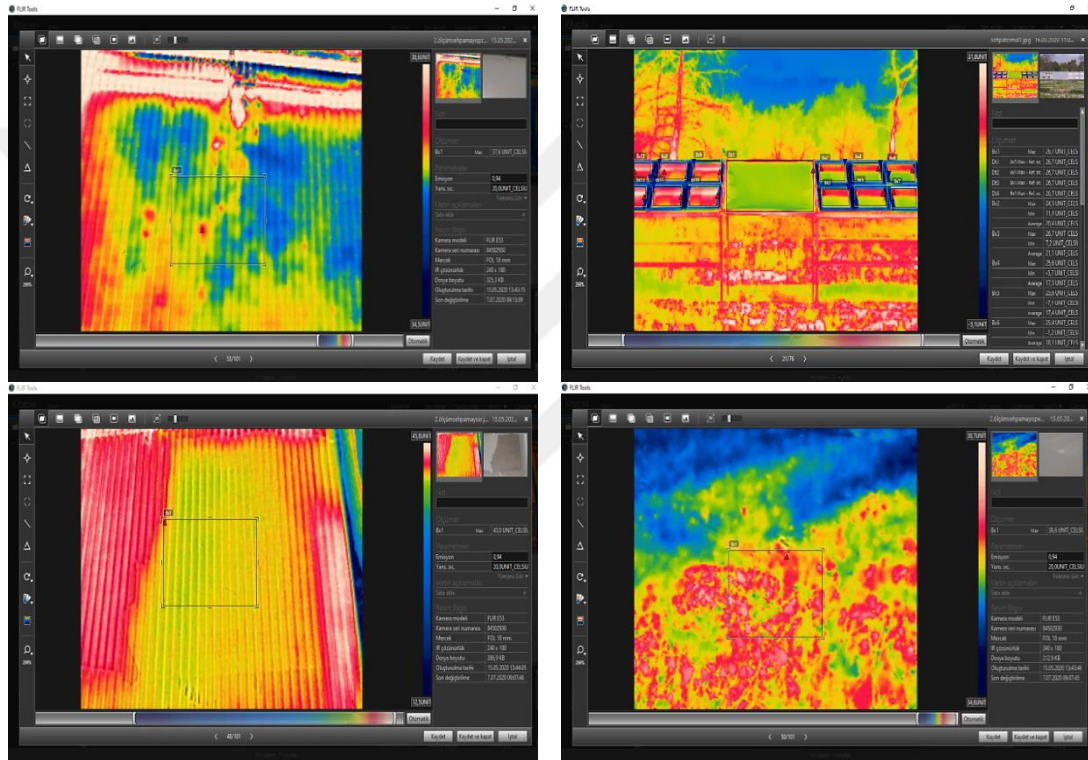
Şekil 3.13. Darbe dayanım testi cihazı

3.6.3. Malzemede oluşan yaşlanmanın belirlenmesinde kullanılan aletler

Çalışmada sera örtü malzemelerinin yaşlanmasını belirlemek amacıyla; 50x50 cm dış ortam koşullarında bulunan test numunelerinden deneme süresince üç ayda bir termal kamera ile ölçüm alınmıştır. Sera örtü malzemelerinden alınan örneklerin termal görüntüleri FLIR Tools yazılımı ile analiz edilmiştir. Termal görüntü alımı açık (bulutsuz) gökyüzü koşullarında ve 10:00-14:00 saatleri arasında yapılmıştır. Farklı örtü

malzemesinde yaşlanmanın termal kamera ile belirlenmesi amacıyla, 2020 yılının Ocak ayından 2021 yılının Ekim ayına kadar her üç ayda bir termal görüntü alınmıştır.

Termal kamera ile elde edilen yüksek çözünürlükteki termal görüntülerin analizi için, FLIR Tools yazılımı kullanılmıştır. FLIR Tools yazılımında elde edilen termal görüntülerin analizi sırasında eşit alan tercih edilmeye çalışılmış ve seçilen alanlar 0.009-0.015 m² arasında değişmiştir. FLIR Tools yazılımı ile malzeme yüzey sıcaklıklarının analizine ilişkin görüntü Şekil 3.14'te verilmiştir.



Şekil 3.14. Termal görüntülerin FLIR Tools yazılımı ile analizi

Termal ölçümler elde edilirken, yükseklik, mikro meteorolojik koşullar açısından, kamerada görünen malzeme sıcaklığını değiştireceğinden (Thomson vd. 2012), tüm görüntüler homojen bir biçimde 1 m mesafeden elde edilmiştir. Bunun yanında, ölçüm anındaki sıcaklık, bağıl nem, emissivite değeri ve mesafe bilgisi kameraya girilerek görüntüleme gerçekleştirilmiştir. Ölçümler esnasında emissivite değeri hem PE malzeme yüzeyi için 0.95 (Chen ve Chen 2016) hem de PC malzeme yüzeyi için 0.95 (Sarma ve Joshi 2020) alınmıştır. Termal görüntülerin oluşturulma aşamaları aşağıda sıralanmıştır.

- ✓ Arazi koşullarında termal görüntüler açık (bulutsuz) gün koşullarında gerçekleştirilmiştir.
- ✓ Elde edilen termal görüntüler FLIR Tools yazılımına aktarılmıştır.
- ✓ Görüntü iyileştirmesi (görüntüde gözle ayırt edilemeyecek kısımların incelenebilir hale getirilmesi) yapılmıştır.
- ✓ Görüntüde kenarlar tespit edilmiştir.
- ✓ Her piksel için görüntünün parlaklığı örneklenmiş ve sayısal olarak değerlendirilmiştir. Elde edilen termal görüntülerden birbirine yakın büyüklükteki dikdörtgen alanlar değerlendirmeye alınmıştır.

3.7. Serada Bitkisel Üretim

Çalışmada farklı sera örtü malzemelerinin ısınım geçirgenliğinin bitki büyüme ve gelişme parametreleri, verim ve meyve kalitesi üzerine etkilerini belirlemek amacıyla 2019-2020 ve 2020-2021 yılı bahar döneminde (Mart ve Haziran ayları arasında) serada domates (*Solanum lycopersicum L.*) yetiştiriciliği yapılmıştır.

3.7.1. Araştırma alanı toprak özellikleri

Araştırma alanında, sera toprağı yetiştirme ortamı olarak kullanılmıştır. Serada bitkisel üretime uygun bir yetiştirme ortamı sağlamak amacıyla sera içinde bulunan toprak derinliği 60 cm'ye kadar işlenmiş ve taşıma toprak sera içerisine serilmiştir (Şekil 3.15).



Şekil 3.15. Yetiştirme ortamının hazırlanma aşamaları

Bitki gelişimi için gereken su ve gübrenin kontrollü bir şekilde ve yeterli miktarlarda verilebilmesi için alınan bozulmuş ve bozulmamış toprak örnekleri ile

araştırma alanı topraklarının bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri belirlenmiştir (Çizelge 3.3, Çizelge 3.4)

Çizelge 3.3. Araştırma alanı topraklarının bazı fiziksel özellikleri

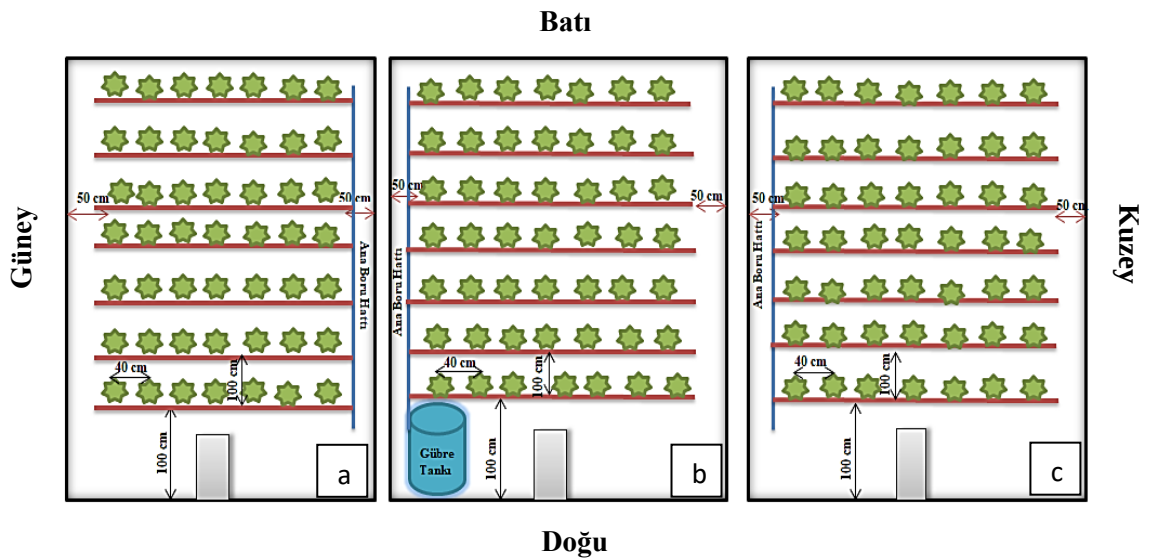
Derinlik (cm)	Tekstür	Tarla Kapasitesi (%)	Solma Noktası (%)	Hacim Ağırlığı (g/cm ³)	pH	EC (ds/m)
0-15	L	24.52	11.16	1.49	7.13	0.11
15-30	SL	24.56	11.49	1.57	7.28	0.10
L: Tın, SL: Kumlu Tın						

Çizelge 3.4. Araştırma alanı topraklarının bazı kimyasal özellikleri

Parametre	Derinlik (cm)	
	0-15	15-30
Mg (me/100 g)	6.069	5.978
Ca (me/100 g)	10.134	10.503
Na (me/100 g)	0.621	0.595
K (me/100 g)	0.143	0.128

3.7.2. Deneme deseni

Araştırma her biri yaklaşık 28 m² taban alanlı 3 adet model PC serada yürütülmüştür. Yürütülen araştırmanın deneme deseni Şekil 3.16'da verilmiştir.



Şekil 3.16. Deneme deseni a) UV PC+PE; b) UV PC; c) UV+IR PC

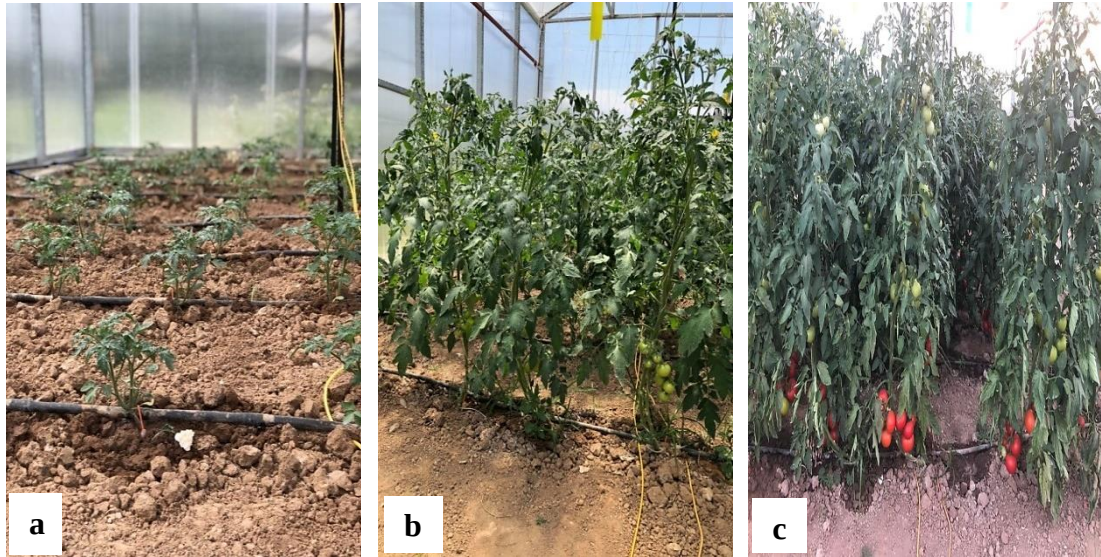
3.7.3. Bitki materyali

Çalışma alanına bitki materyali olarak, AGRİKONT Tarım Kimya San. Tic. Ltd. Şti. tarafından sağlanan sera yetiştiriciliğine uygun sağlam ve dayanıklı bir çeşit olan Seyran F1 domates çeşidi dikilmiştir. Fide olarak temin edilen domateslerin seraya şaşırtılma (dikim) ve söküm tarihleri Çizelge 3.5’te verilmiştir.

Çizelge 3.5. Domates fidelerinin seraya dikim ve söküm tarihleri

Yetiştirme Dönemi		Dikim Tarihi	Söküm Tarihi
Birinci Yıl (2019-2020)	Bahar Dönemi (Mart- Haziran)	11.03.2020	07.07.2020
İkinci Yıl (2020-2021)	Bahar Dönemi (Mart- Haziran)	12.03.2021	04.07.2021

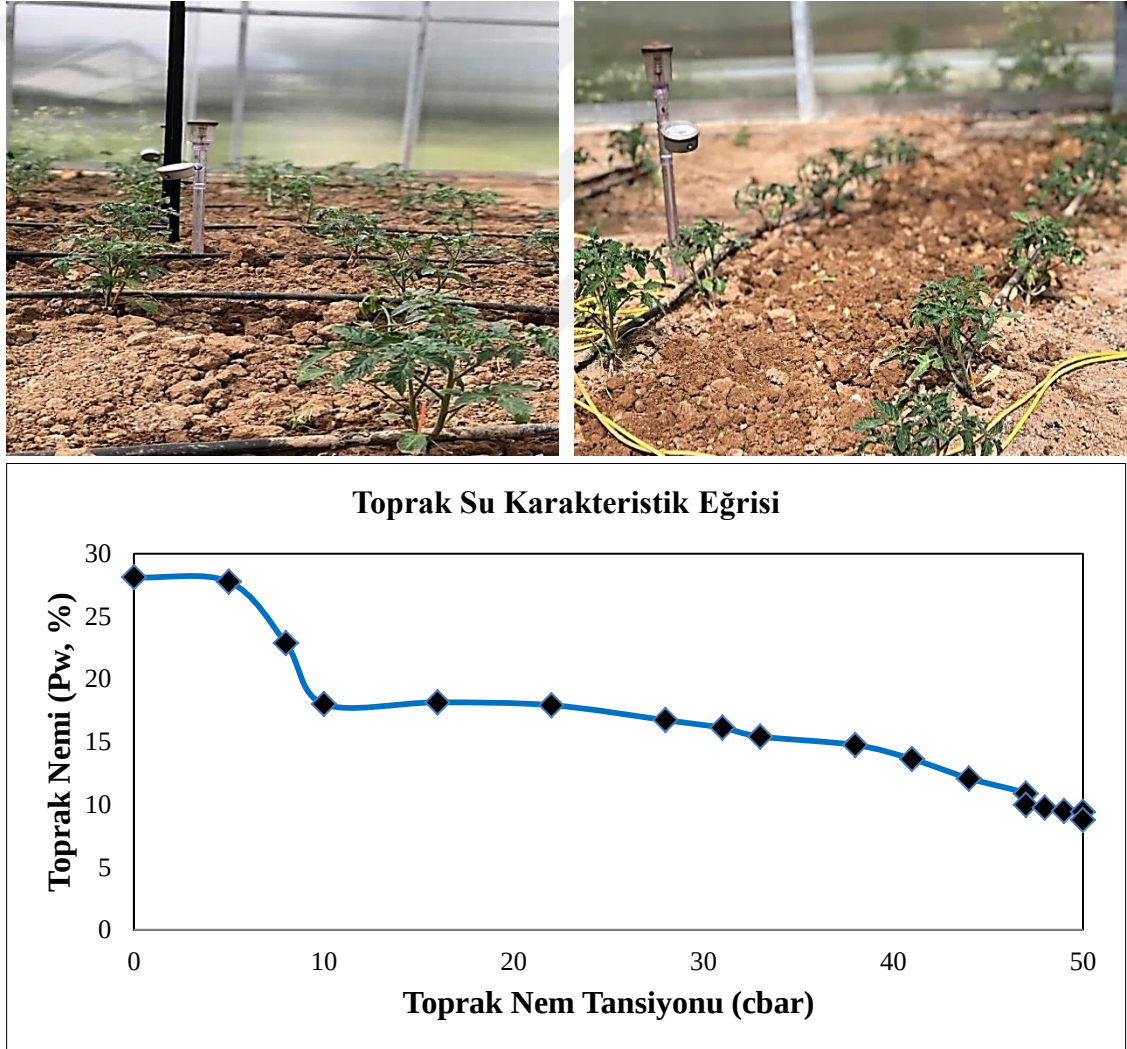
Araştırmada domates fideleri tek sıraya dikilmiştir. Sera ortamı fidelerin sıra üzeri mesafesi 40 cm, sıra arası 100 cm olacak şekilde düzenlenmiştir. Domates bitkilerinin farklı gelişim dönemleri için görünümleri Şekil 3.17’de verilmiştir.



Şekil 3.17. Domates bitkilerinin farklı gelişim dönemleri, **a)** fide dönemi; **b)** çiçeklenme ve meyve tutumu dönemi; **c)** meyve olgunlaşması dönemi

3.7.4. Sulama ve gübreleme

Çalışmada sulama zamanının belirlenebilmesi için, bitki kök bölgesindeki nem değişimi incelenmiştir. Bu amaçla öncesinde kalibrasyonları yapılmış olan tansiyometreler, 3 araştırma serasında yetiştirme ortamına yerleştirilmiştir (Şekil 3.18). Tansiyometreler yaklaşık 20 cm derinlikte, araştırma seralarının orta kısmında yer alan sıra üzerine 2 damlatıcının ortasına gelecek şekilde konumlandırılmıştır (Şahin vd. 1998; Kırdı vd. 2003). Sulamalar vejetasyon dönemi boyunca tarla kapasitesine (%24.52) tamamlanacak şekilde gerçekleştirilmiştir. Tansiyometreler bu amaçla yaklaşık 11 cb'da tutulmuştur (Şekil 3.18).



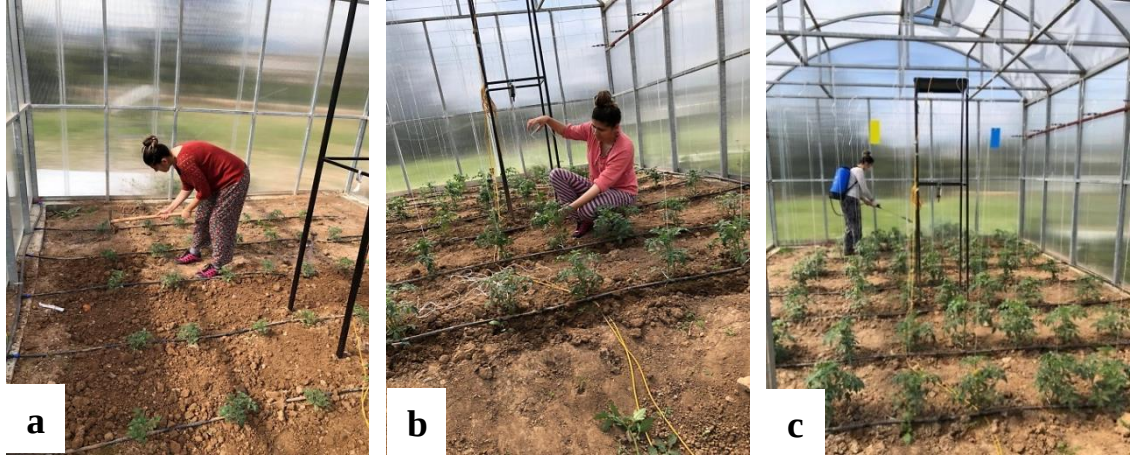
Şekil 3.18. Araştırma alanında kullanılan tansiyometre ve kalibrasyon eğrisi

Araştırmanın bitki yetiştirme dönemlerinde, vejetasyon süresi boyunca 1 atm işletme basıncında, 4 L/h damlatıcı debisine sahip damla sulama sistemi ile gerçekleştirilen sulamalar tansiyometre okumalarına bağlı olarak yapılmıştır. Çalışmada vejetasyon süresince ortalama sulama aralığı 2 gün ve sulama süresi 15-20 dakika düzeylerinde tutulmuştur.

Çalışma alanı toprak analizine uygun bir gübreleme programı uygulanmıştır. Çalışmada fide dikiminden 10 gün önce taban gübresi olarak, fosfor ve azot içeren diamonyum fosfat gübresi uygulanmıştır. Gübreleme programında vejetasyon dönemi boyunca, kimyasal gübre olarak N (azot grubu; amonyum azotu, nitrat azotu, üre azotu), P_2O_5 (fosfor pentaoksit), K_2O (potasyum oksit), MgO (magnezyum oksit), SO_3 (kükürt trioksit) uygulanmıştır. Gübreleme programında mikro element olarak, Fe (demir), Zn (çinko), B (bor), Mn (mangan), Cu (bakır) uygulanmıştır. Çalışmada damla sulama sistemi ile gübreleme, makro elementler için 2 günde bir, mikro elementler için haftada bir yapılmıştır.

3.7.5. Kültürel işlemler ve tarımsal mücadele

Araştırma seralarında deneme süresince gereken bitki koruma işlemleri, bakım ve diğer kültürel işlemler bitki yetiştirme dönemine uygun şekilde yürütülmüştür. Seralarda yabancı ot kontrolü genel olarak el ile, gerekli olduğunda çapa ile yapılmıştır. Çapalama işlemi, her üretim sezonunda bir kez olmak üzere bitkilerin fide döneminde boğaz doldurma amacıyla yapılmıştır (Şekil 3.19a). Bitkilerin boyu yaklaşık 25 cm olduğunda, bitkilerin ipe alma işlemi gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.19b). Bitkilerin yetiştirme periyodu boyunca yaklaşık iki güne bir düzenli olarak koltuk sürgünleri alınmıştır. Meyve tutumu döneminden hemen önce, domates bitkisinde meyve salkımının homojen büyüklükte meyvelere sahip olması amacıyla her meyve beşli salkım olacak şekilde düzenli olarak çiçek budaması yapılmıştır. Domates bitkisinde büyümenin durması ve bitkinin oluşan salkımları beslemesi amacıyla tepe (uç) alma işlemi 6 salkım oluşunca gerçekleştirilmiştir. Yetiştirme periyodu boyunca bitki hastalık ve zararlılarının kontrolü için ilaçlama yapılmıştır (Şekil 3.19c)



Şekil 3.19. a) Boğaz doldurma işlemi için yapılan çapalama; b) Bitkilerin ipe alınması; c) Hastalık ve zararlı kontrolü için yapılan ilaçlama

3.7.6. Bitkide yapılan fiziksel ölçüm ve analizler

Araştırmada domates bitkisinin farklı sera örtü malzemeleri toplam ışınım geçirgenliğine verdiği tepkiyi belirlemek için araştırma seralarının hepsinde eşit sulama ve gübreleme uygulanmıştır. Bu amaç doğrultusunda, her araştırma serasından 6 gözlem bitkisi seçilmiştir. Seçilen 6 bitki fide dikiminden hasada kadar olan sürede, 15 gün aralıklarla bitki boyu, kök boğazı kalınlığı, yaprak sayısı gibi ölçümler alınarak gözlemlenmiştir. Hasat sırasında ise; ölçülen bu parametrelerin yanı sıra verim ve bazı meyve kalite parametreleri (kalite sınıflarına göre meyve iriliği, ortalama meyve ağırlığı, meyve çapı, suda çözünabilir kuru madde (SÇKM), meyve suyunda EC-pH, likopen miktarı) belirlenmiştir.

1. Bitki Boyu (cm): Gözlem bitkilerinde bitki kök boğazından itibaren tepe (uç) kısmının bitimine kadar olan mesafe çelik şerit metre ile ölçülmüştür. Ölçüm yapılan 6 gözlem bitkisinin ortalama bitki boyu belirlenmiştir. Bitki boyu ölçümleri bitkide tepe kesme işlemi yapılana kadar devam etmiştir (Bozkurt ve Sayılıkan 2004; Karakaş Dikilitaş 2013; Emekli 2014).

2. Kök Boğazı Kalınlığı (mm): Gözlem bitkilerinde bitki kök boğazı ± 0.01 mm ölçüm hassasiyetinde dijital kumpas yardımıyla ölçülmüştür. Ölçüm yapılan 6 gözlem bitkisinin ortalama kök boğazı kalınlığı belirlenmiştir (Şekil 3.20) (Bozkurt ve Sayılıkan 2004; Karakaş Dikilitaş 2013; Emekli 2014).



Şekil 3.20. Kök boğazı kalınlığını ölçmede kullanılan dijital kumpas

3. Yaprak Sayısı (adet/bitki): Gözlem bitkilerinde kotiledon yapraklardan sonra oluşan gerçek yapraklar sayılarak ortalama yaprak sayısı belirlenmiştir. Bu ölçüm bitkilerde tepe kesme işlemi yapılana kadar devam etmiştir (Bozkurt ve Sayılıkan 2004; Emekli 2014).

4. Toplam Verim (kg/ha): Hasat gerçekleştikten sonra, domates meyvelerinin her birinin ağırlığı dijital bir terazi ile ölçülmüştür. Elde edilen verimlerin toplamı belirlenip kg/ha birimine dönüştürülmüştür (Şekil 3.21) (Demir 2002; Bozkurt ve Sayılıkan 2004; Karakaş Dikilitaş 2013; Emekli 2014).



Şekil 3.21. Domates meyvelerinin ağırlığını ölçmede kullanılan dijital terazi

5. Kalite Sınıflarına Göre Meyve İriliği (kg/ha): Hasat edilen domates meyvelerinin kalite sınıflarına göre gruplandırılması; TSE domates standartlarına (TSE 1980) uygun olacak biçimde yapılmıştır. I. kalite, II. kalite ve ıskarta meyve verimleri kg ha^{-1} çevrilerek kalite sınıflarına göre meyve dağılımları tespit edilmiştir.

I. Kalite: Enine çapı 56 mm ve daha büyük olanlar,

II. Kalite: Enine çapı 46-55 mm arasında olanlar,

Iskarta: Enine çapı 45 mm ve daha küçük olanlar şeklinde gruplandırılmıştır.

6. Ortalama Meyve Ağırlığı (g/adet): Hasat sonrası meyvelerin her biri ± 0.5 g duyarlılıkta dijital terazi ile tartılıp ortalamaları alınmıştır (Şekil 3.21) (Evcı 2002; Emekli 2014; Çetin 2020; Birgin 2021).

7. Meyve Çapı (mm): Hasat edilen domateslerin her birinin en geniş çapı ± 0.01 mm ölçüm hassasiyetinde dijital kumpas yardımıyla mm olarak ölçülmüş ve ortalamaları alınmıştır (Kutlar Yaylalı 2007; Emekli 2014; Çetin 2020; Birgin 2021).

8. Suda Çözünebilir Kuru Madde (SÇKM): SÇKM miktarı dijital refraktometre ile ölçülmüştür (Şekil 3.22). Bu amaç için, hasat sonrası domates meyveleri doğrayıcıdan geçirilmiş ve tülbent yardımıyla süzülerek domates suları elde edilmiştir. Domates meyvelerinden elde edilen meyve suyundan Milwaukee marka dijital refraktometre ile SÇKM oranı yüzde olarak ölçülmüştür (Cemeroğlu 1992; Emekli 2014; Gök 2018; Birgin 2021).



Şekil 3.22. SÇKM miktarını belirlemede kullanılan dijital refraktometre

9. Meyve Suyunda EC-pH: Domates meyvelerinden elde edilen meyve suyundan WTW İmolab marka EC-pH metre ile okumalar yapılmıştır (Şekil 3.23) (Cemeroğlu 1992; Emekli 2014; Gök 2018; Birgin 2021).



Şekil 3.23. Elde edilen örneklerden EC-pH ölçümü

10. Likopen Tayini (mg/kg): Domates meyvelerinden elde edilen örneklerdeki likopen tayini spektrofotometrik yöntem ile yapılmıştır. Absorbanslar, 503 nm’de spektrofotometrede (Varian Inc., Carry 50 Scan, Australia) okunmuştur. Spektrofotometre ile yapılan ölçümlerde örnekler beşte bir oranında seyreltildikten sonra, 503 nm’de okunan absorbans 0.2-0.6 aralığında olacak şekilde saf hegzan çözeltilisinde absorbans değerleri yeniden okunmuştur. Tüm likopen çözeltileri için 3 tekerrürlü okuma yapılmış ve elde edilen sonuçların ortalamaları dikkate alınmıştır (Şekil 3.24). Likopen miktarı, hegzan içindeki çözünme katsayısı kullanılarak aşağıda verilen Eşitlik 3.4 ile hesaplanmıştır (Zechmeister vd.1943; Perkins-Veazie vd. 2001; Kumcuoğlu vd. 2011).

$$\text{Likopen (mg/kg)} = \frac{\text{Absorbans (503nm)}}{17.2 \times 10^4 / \text{Mxcm}} \times \frac{536.9 \text{g}}{\text{mol}} \times \frac{1 \text{L}}{10^3 \text{mL}} \times \frac{10^6 \text{g}}{1 \text{kg}} \times \frac{\text{Çözücü (mL)}}{\text{Örnek (g)}} \quad (3.4)$$



Şekil 3.24. Meyveden elde edilen likopen tayini aşamaları

3.8. İstatistiksel yöntem

Çalışmada kullanılan değişkenlere ait tanımlayıcı istatistikler hesaplanmıştır. Normallik varsayımı Shapiro-Wilks Testi ile kontrol edilmiştir. İlgilenilen değişkenlerin zamana ve örtü türüne bağlı değişimi tekrarlanan ölçümlerde ANOVA yöntemi ile analiz edilmiştir. Anlamli çıkan durumlarda ikili karşılaştırmalar Bonferroni düzeltmesi ile yapılmıştır. EC-pH, SÇKM, likopen parametrelerinin türler arasındaki farkının analizinde Tek Yönlü Varyans Analizi (ANOVA) yapılmıştır. Anlamli çıkan durumlarda ikili karşılaştırmalar Duncan Testi ile yapılmıştır. Sayısal veriler arasındaki ilişkiler Pearson Korelasyon Testi ile değerlendirilmiştir. Analizler SPSS 23.0 programı ile yapılmıştır. Aksi belirtilmedikçe, $p < 0.05$ istatistiksel olarak anlamli kabul edilmiştir.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Çalışmadan elde edilen araştırma bulguları; farklı sera örtü malzemelerinin ortam mikroklimasının zamana bağlı değişimi, farklı sera örtü malzemelerinin bazı mekanik özelliklerinin zamana bağlı değişimi, farklı sera örtü malzemelerinin mekanik özellikleri ile ortam mikroklimasının termal kameralarla görüntülenmesi ve farklı sera örtü malzemelerinin ısıtım geçirgenliğinin bitki gelişimi üzerine etkisi başlıkları altında değerlendirilmiştir.

4.1. Farklı Sera Örtü Malzemelerinin Ortam Mikroklimasına Etkisi

Farklı sera örtü malzemelerinin ortam mikroklimasına ait özelliklerden toplam ısıtım geçirgenliği, fotosentetik aktif radyasyon (PAR) geçirgenliği, sera içi ve dış ortam sıcaklık ile sera içi ve dış ortam bağıl nem ölçüm değerleri çalışma süresi boyunca günlük ve aylık olarak belirlenmiş ve yaşanmayla ilişkisi aşağıda verilmiştir.

4.1.1. Toplam ısıtım geçirgenliğinin zamana bağlı değişimi

Çalışmada kullanılan UV PC, UV+IR PC ve UV PC+PE sera örtü malzemelerinin toplam ısıtım değerlerinin (300-2800 nm) (W/m^2) çalışma süresi boyunca zamana bağlı aylık (Şubat 2020-Ağustos 2021) değişim ortalamaları Çizelge 4.1’de sunulmuştur.

Çizelge 4.1. Sera örtü malzemelerine göre aylık ortalama toplam ısıtım değerleri

Yıl	Ay	Sera içi ısıtım değerleri (W/m^2)			Dış ortam ısıtım değerleri (W/m^2)
		UV PC+PE	UV PC	UV+IR PC	
2020	Şubat	257.1	203.0	202.2	410.6
	Mart	328.7	237.9	242.8	537.4
	Nisan	362.8	250.9	276.8	608.1
	Mayıs	412.0	277.5	277.6	733.6
	Haziran	383.3	252.1	264.6	695.4
	Temmuz	358.5	260.8	268.6	673.8
	Ağustos	356.8	228.8	230.2	601.6
	Eylül	301.0	197.9	197.0	504.5
	Ekim	232.7	171.5	166.1	383.6
	Kasım	162.4	116.9	119.8	254.1
	Aralık	95.9	67.6	67.0	160.5
	Ocak	119.3	68.5	73.0	197.1
2021	Şubat	194.3	136.9	140.8	296.0
	Mart	256.1	174.3	177.6	407.0
	Nisan	328.0	200.9	240.7	579.1
	Mayıs	339.9	227.4	227.8	649.8
	Haziran	376.1	264.7	273.4	713.3
	Temmuz	364.2	262.4	266.8	707.5
	Ağustos	353.8	234.2	221.9	633.4

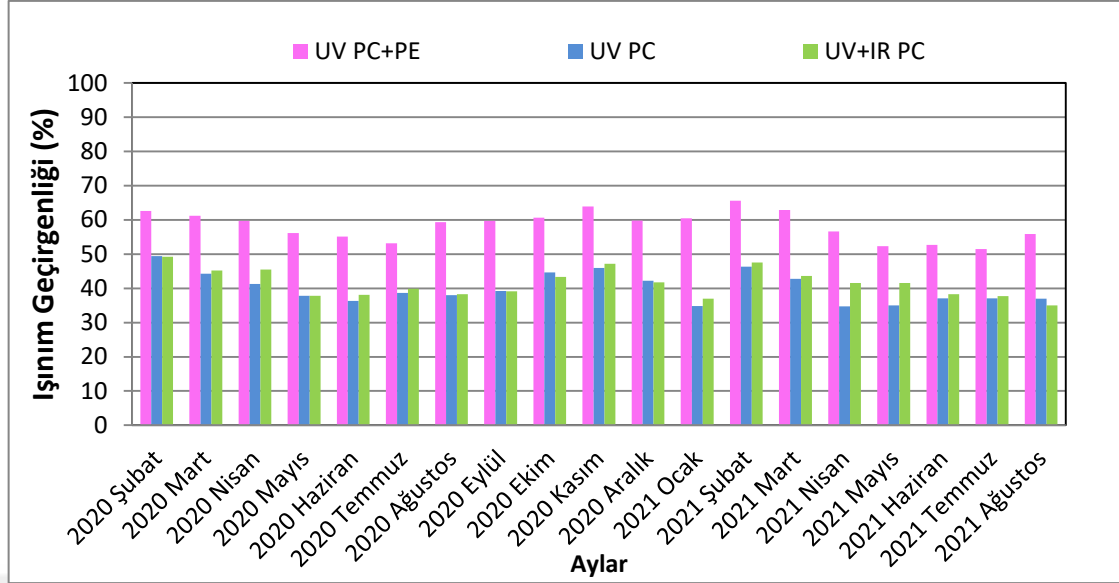
Çizelge 4.1 incelendiğinde; farklı sera örtü malzemelerine bağlı olarak aylar itibarıyla toplam ışıınım değerleri güneş ışıınlarının geliş açısına bağlı olarak değişim göstermiştir. Çalışma süresi boyunca (2020 yılı Şubat-2021 yılı Ağustos) UV PC sera örtüsünün toplam ışıınım değerinin $67.6-277.5 \text{ W/m}^2$, UV+IR PC sera örtüsünün toplam ışıınım değerinin $67.0-277.6 \text{ W/m}^2$ ve UV PC+PE sera örtüsünün toplam ışıınım değerinin $95.9-412 \text{ W/m}^2$ arasında değiştiği belirlenmiştir. Bahsi geçen aylarda dış ortam toplam ışıınım değerinin ise; $160.5-733.6 \text{ W/m}^2$ arasında değiştiği belirlenmiştir. Çalışma süresi boyunca en düşük dış ortam toplam ışıınım değerinin 2020 yılı Aralık ayında, en yüksek dış ortam toplam ışıınım değerinin ise 2020 yılı Mayıs ayında gerçekleştiği belirlenmiştir. Çizelge 4.1’de görüldüğü gibi en yüksek ışıınım değeri, çalışmada kullanılan diğer sera örtü malzemelerine kıyasla, UV PC+PE sera örtü malzemesi altında ölçülmüştür.

Çalışmada kullanılan UV PC, UV+IR PC ve UV PC+PE sera örtü malzemelerinin toplam ışıınım geçirgenliği (%) ile zamana bağlı olarak toplam ışıınım geçirgenliğinde meydana gelen kayıplar (%) Çizelge 4.2 ve Şekil 4.1’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.2. Farklı sera örtü malzemelerinin zamana bağlı toplam ışıınım geçirgenliği (%)

Yıl	Ay	Doğal Yaşlandırma Süresi (ay)	UV PC+PE		UV PC		UV+IR PC	
			İşınım Geçirgenliği (%)	İşınım Geçirgenlik Kaybı (%)	İşınım Geçirgenliği (%)	İşınım Geçirgenlik Kaybı (%)	İşınım Geçirgenliği (%)	İşınım Geçirgenlik Kaybı (%)
2020	Şubat	1	62.6	-	49.4	-	49.2	-
	Mart	2	61.2	2.2	44.3	10.3	45.2	8.1
	Nisan	3	59.7	4.6	41.3	16.4	45.5	7.5
	Mayıs	4	56.2	10.2	37.8	23.5	37.8	23.2
	Haziran	5	55.1	12.0	36.3	26.5	38.1	22.6
	Temmuz	6	53.2	15.0	38.7	21.7	39.9	18.9
	Ağustos	7	59.3	5.3	38.0	23.1	38.3	22.2
	Eylül	8	59.7	4.6	39.2	20.6	39.1	20.5
	Ekim	9	60.7	3.0	44.7	9.5	43.3	12.0
	Kasım	10	63.9	*	46.0	6.9	47.2	4.1
	Aralık	11	59.8	4.5	42.2	14.6	41.8	15.1
2021	Ocak	12	60.5	3.4	34.8	29.6	37.0	24.8
	Şubat	13	65.6	*	46.3	6.3	47.6	3.3
	Mart	14	62.9	*	42.8	13.4	43.6	11.4
	Nisan	15	56.6	9.6	34.7	29.8	41.6	15.4
	Mayıs	16	52.3	16.5	35.0	29.1	41.6	15.4
	Haziran	17	52.7	15.8	37.1	24.9	38.3	22.2
	Temmuz	18	51.5	17.7	37.1	24.9	37.7	23.4
	Ağustos	19	55.9	10.7	37.0	25.1	35.0	28.9

*: Sera örtü malzemesinin ışıınım geçirgenlik kaybı bulunmamaktadır.



Şekil 4.1. Farklı sera örtü malzemelerinin zamana bağlı toplam ışıınım geçirgenliği (%)

Çizelge 4.2 incelendiğinde UV PC, UV+IR PC ve UV PC+PE sera örtü malzemelerinin başlangıç toplam ışıınım geçirgenlik değerlerinin sırasıyla; %49.4, %49.2 ve %62.6 olduğu görülmektedir. Başlangıç ışıınım geçirgenlik değerleri incelendiğinde; UV PC+PE sera örtü malzemesinin ışıınım geçirgenlik değerinin (%62.6), diğer sera örtü malzemeleri (UV PC ve UV+IR PC) ışıınım geçirgenlik değerinden yüksek olmasının sebebinin malzeme kalınlığı olduğu düşünülmektedir. Nitekim tek kat PE malzemenin kalınlığı 0.180 mm iken; UV PC ve UV+IR PC malzemelerin kalınlıkları 8 mm'dir. Malzeme yüzeyine gelen güneş ışıınımı; tek kat PE sera örtüsünde 0.180 mm yol alırken; UV PC ve UV+IR PC sera örtü malzemelerinde 8 mm (yaklaşık 44.4 kat daha uzun) bir yol almaktadır. Bahsedilen sera örtü malzemelerinin toplam ışıınım geçirgenliğinin, örtü dış yüzeyinde biriken toz ve oluşan kirlilik nedeniyle 2020 yılının Temmuz ayına kadar zamanla azaldığı (Çizelge 4.2 ve Şekil 4.1) ve bu azalmanın 6 aylık bir periyodun sonunda (2020 yılı Temmuz ayı) UV PC malzeme için %21.7, UV+IR PC malzeme için %18.9 ve UV PC+PE malzeme için %15 olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 4.2'de görüldüğü gibi UV PC, UV+IR PC ve UV PC+PE sera örtü malzemelerinin toplam ışıınım geçirgenliğinin 2020 yılı Ağustos (26 Ağustos) ayında gerçekleşen ancak ölçülebilir seviyede olmayan yağış ile örtü malzemesi üzerinde biriken toz ve kirliliğin yınanmasına bağlı olarak geçirgenlik değerlerinin 2020 yılı

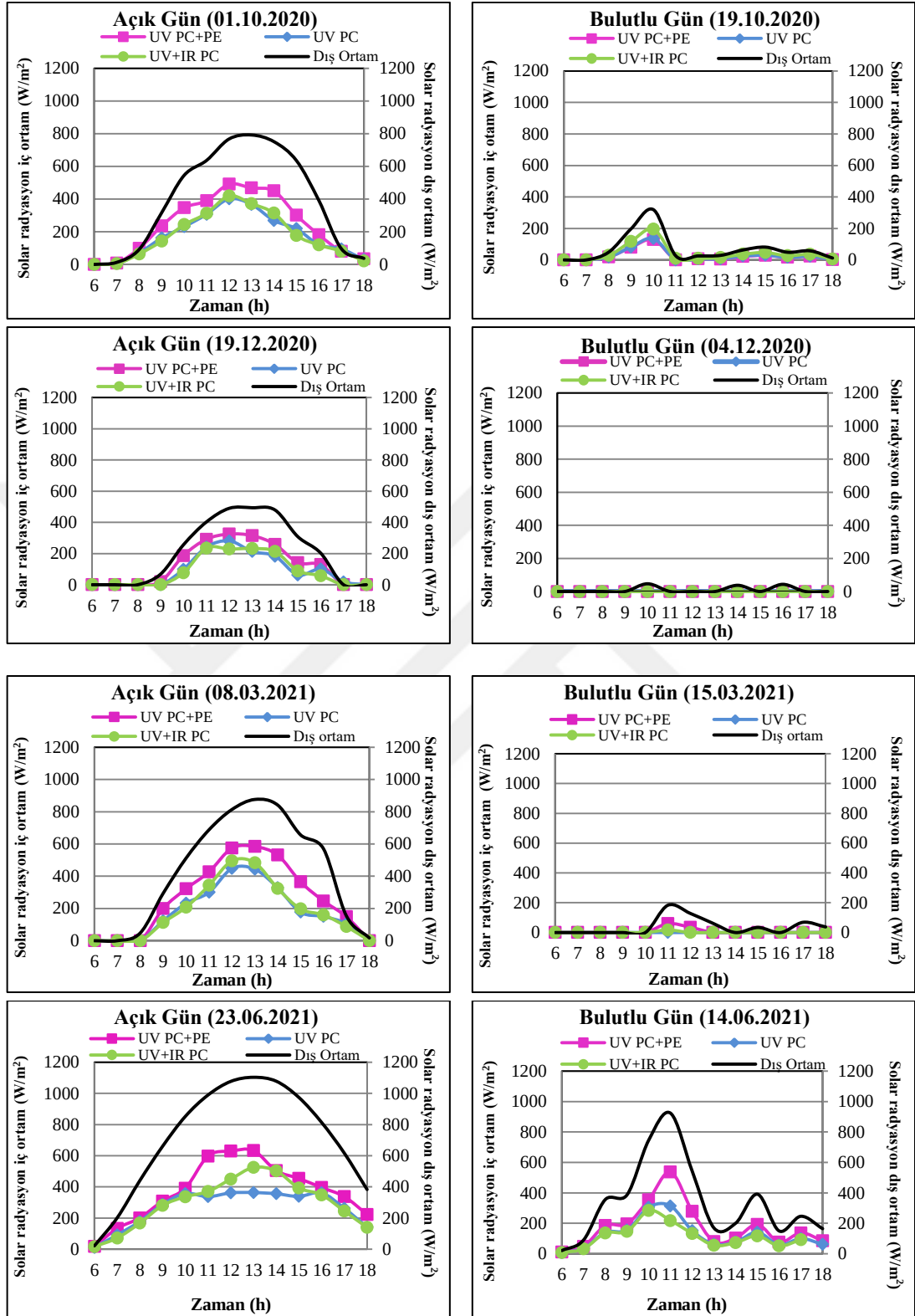
Ağustos ayından itibaren yeniden artmaya başladığı ve bu artışın 2020 yılı Kasım ayına kadar devam ettiği belirlenmiştir (Şekil 4.1). Nitekim, 2020 yılı Ağustos ayında gerçekleşen yağış ölçülebilir seviyede olmamasına rağmen çalışmada piranometre ile Ağustos ayında dış ortam günlük ortalama toplam ışıınım değerlerinin 591-632 W/m² arasında değiştiği, 26 Ağustos günü ise bahsedilen değerin 417.9 W/m² olduğu saptanmıştır. Çizelge 4.2'de görüldüğü gibi yağışlarla meydana gelen yıkanmaya bağlı olarak UV PC+PE sera örtü malzemesinin ışıınım geçirgenlik değerinin 10. ayda (2020 yılı Kasım ayı) başlangıç geçirgenlik değerine ulaştığı ve geçirgenlik kaybının olmadığı, buna karşın UV PC ve UV+IR PC sera örtü malzemelerinin ise ışıınım geçirgenlik değerinin başlangıç geçirgenlik değerine kısmen yaklaştığı geçirgenlik kaybının ise sırasıyla %6.9 ve %4.1 olduğu belirlenmiştir.

Tuchinda vd. (2006) normal cam (3 mm), renkli cam (3 mm) ve konutlarda kullanılan çift cam (6 mm) malzemelerin ışıınım geçirgenliklerini sırasıyla %90, %40-62 ve %20-57 arasında olduğunu bildirmişlerdir. Mastekbayeva ve Kumar (2000), PE (0.2 mm) sera örtü malzemesinde ışıınım geçirgenliğinin başlangıçta (Nisan ayı) %87.9 olup, 30 günün sonunda tozlanmanın etkisiyle bu değerin %75.8 olduğunu belirtmişlerdir. Emekli (2014), CO-EX UV+IR+EVA ve CO-EX UV+IR+EVA+AF katkılı PE (0.175 mm) malzemelerin toplam ışıınım geçirgenlik değerleri başlangıçta sırasıyla %92.7 ve %83.6 iken, çalışma süresi (24 ay) sonunda çevre koşulları ve yaşlanmaya bağlı olarak bu değerlerin sırasıyla %7.3 ve %13.2 oranında azaldığını bildirmiştir. Mashonjowa vd. (2010), Zimbabwe'de LDPE (0.25 mm) malzemede 6 aylık bir sürede toplam ışıınım geçirgenliğinin %55-74 arasında değiştiği ve gölgeleme tozu atılmadığı dönemde kir ve toz birikimiyle ışıınım geçirgenliğinin yaklaşık %15 azaldığını saptamışlardır. Papadakis vd. (2000) sera örtü malzemelerinin farklı çeşitlerinin toplam ışıınım geçirgenlik değerlerinin; tek kat cam için %75-92, çift kat cam için %75-82, PC (4 mm) için %60-92, PE için %70-95 olduğunu belirtmişlerdir. Araştırmacılar elde ettikleri sonuçlara göre en düşük geçirgenlik değerinin PC malzemeye ait olduğunu bildirmişlerdir. Ayrıca araştırmacılar PC malzemede ışıınım geçirgenliğinin, nem yoğunlaşması ve toz birikmesi gibi faktörler sebebiyle yılda %1 oranında azalma gösterdiğini saptamışlardır. Mintorogo (2007), Endonezya'da PC (6 mm) ile arasına su enjekte edilmiş PC (6 mm) örtü malzemelerinde, Temmuz ayında ışıınım geçirgenliklerinin sırasıyla %43 ve %40 olduğu bildirmiştir. Serrano ve Monero (2020), farklı plastik malzemelerin ışıınım

geçirgenliklerini Ocak ve Temmuz aylarında, tek kat PC (4 mm) malzeme için %38-63, polimetil metakrilat (PMMA) malzeme için %95 olduğunu bildirmişlerdir.

UV PC, UV+IR PC ve UV PC+PE sera örtü malzemelerinin toplam ışıınım geçirgenliğinin çalışma süresi boyunca çevre koşulları ve yaşlanmaya bağlı olarak sırasıyla, %25.1, %28.9 ve %10.7 oranında azaldığı saptanmıştır. UV PC ve UV+IR PC sera örtü malzemelerinde UV PC+PE sera örtü malzemesine göre daha fazla ışıınım geçirgenliği kaybının saptanma nedeninin, bahsedilen malzemelerin çevre koşullarından daha fazla etkilenmesi olduğu değerlendirilmiştir. Çalışma süresince tüm aylar itibarıyla UV PC+PE sera örtü malzemesinin çalışmada kullanılan diğer sera örtü malzemelerine kıyasla daha yüksek toplam ışıınım değeri gösterdiği belirlenmiştir. Toplam ışıınım değerlerine bakıldığında; UV PC+PE sera örtü malzemesini, UV+IR PC malzemesinin takip ettiği, en düşük toplam ışıınım değerini ise UV PC malzemenin gösterdiği belirlenmiştir. Elde edilen verilerin literatürle uyumlu olduğu görülmektedir.

Çalışmada kullanılan UV PC, UV+IR PC ve UV PC+PE sera örtü malzemelerinin sonbahar, kış, ilkbahar ve yaz mevsimlerini temsil edeceği günler seçilmiş, açık ve bulutlu gökyüzü koşulları için toplam ışıınım geçirgenliğinin günün saatine bağlı değişimi Şekil 4.2'de sunulmuştur.



Şekil 4.2. Sera örtü malzemelerinin tipik bir sonbahar, kış, ilkbahar ve yaz günlerinde günlük saatlik ortalama toplam ışınlam geçirgenliğinin zamana bağlı değişimi

Şekil 4.2'de görüldüğü gibi günün farklı saatlerine ve örtü malzemesine bağlı olarak sera iç ortamına ulaşan ışıınım değeri değişmektedir. Açık (bulutsuz) gökyüzü koşullarında ışıınım değerinin günün saatine bağlı değişimi incelendiğinde, ışıınım eğrisinin sabah saatlerinden öğle saatlerine doğru artan yönde doğrusal bir grafik çizdiği görülmektedir. Grafiğin tepe noktasının (en yüksek değerin) öğle saatlerinde (12:00) olduğu, öğle saatlerinden akşam saatlerine doğru ise azalan yönde doğrusal bir grafik çizdiği görülmektedir. Ayrıca, kış mevsiminde ölçüm yapılan aylarda sabah erken saatler ile akşam saatlerinde dış ortam ve araştırma seralarına güneş enerjisinin ulaşmadığı belirlenmiştir. Ancak ilkbahar, sonbahar ve yaz mevsiminde ölçüm yapılan aylarda ise bahsedilen saatlerde dış ortam ve seralara güneş enerjisinin ulaştığı görülmektedir. Bulutlu gökyüzü koşullarında ise dalgalı bir değişim gösteren, doğrusal olmayan bir grafik olduğu görülmektedir.

4.1.2. Fotosentetik aktif radyasyon (PAR) geçirgenliğinin zamana bağlı değişimi

Çalışmada kullanılan UV PC, UV+IR PC ve UV PC+PE sera örtü malzemelerinin PAR (400-700 nm) değerlerinin ($\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$) çalışma süresi boyunca zamana bağlı aylık (Şubat 2020-Ağustos 2021) değişim ortalamaları Çizelge 4.3'te sunulmuştur.

Çizelge 4.3. Sera örtü malzemelerine göre aylık ortalama PAR değerleri

Yıl	Ay	Sera içi PAR değerleri ($\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$)			Dış ortam PAR değerleri ($\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$)
		UV PC+PE	UV PC	UV+IR PC	
2020	Şubat	209.1	211.4	190.6	386.6
	Mart	255.1	240.1	220.5	471.4
	Nisan	279.1	255.0	237.8	550.6
	Mayıs	326.4	288.7	266.0	660.3
	Haziran	310.6	275.4	253.9	627.9
	Temmuz	284.1	241.7	228.1	568.7
	Ağustos	272.5	236.2	222.6	571.2
	Eylül	239.1	202.1	189.6	480.1
	Ekim	188.7	163.2	148.5	360.7
	Kasım	142.9	124.9	117.6	266.0
	Aralık	104.7	92.5	87.5	196.5
2021	Ocak	105.2	92.9	88.2	200.5
	Şubat	145.6	138.3	129.2	268.0
	Mart	182.8	166.1	167.2	376.9
	Nisan	226.6	222.0	212.8	504.3
	Mayıs	272.4	220.6	207.6	556.7
	Haziran	301.4	243.3	227.6	603.3
	Temmuz	292.4	244.3	228.1	596.7
	Ağustos	278.3	226.0	208.3	567.6

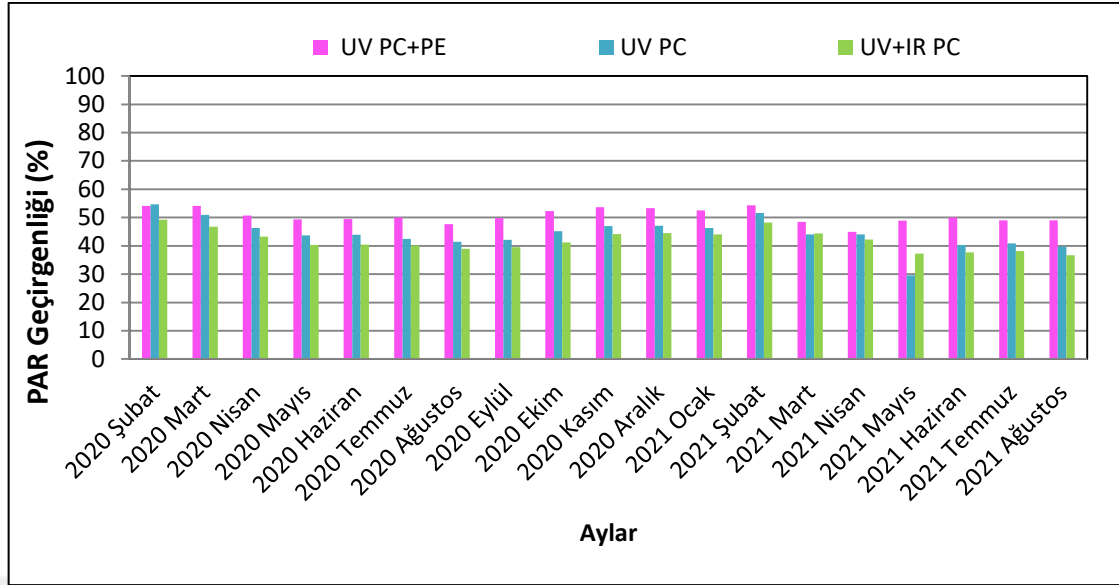
Çizelge 4.3'te görüldüğü gibi; çalışmada kullanılan farklı sera örtü malzemelerine bağlı olarak aylara göre PAR değerleri güneş ışınlarının geliş açısına bağlı olarak değişim göstermiştir. Çizelge 4.3'te görüldüğü gibi çalışma süresi boyunca (2020 yılı Şubat-2021 yılı Ağustos) UV PC sera örtü malzemesinin PAR değerinin 92.5-288.7 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$, UV+IR PC sera örtü malzemesinin PAR değerinin 87.5-266.0 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ ve UV PC+PE sera örtü malzemesinin PAR değerinin 104.7-326.4 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$, arasında değiştiği belirlenmiştir. Bahsi geçen aylarda dış ortam PAR değerinin ise; 196.5-660.3 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ arasında değiştiği belirlenmiştir. Çalışma süresi boyunca en düşük dış ortam PAR değerinin 2020 yılı Aralık ayında, en yüksek dış ortam PAR değerinin ise 2020 yılı Mayıs ayında gerçekleştiği belirlenmiştir. Çizelge 4.3'te görüldüğü gibi en yüksek PAR değeri çalışmada kullanılan diğer sera örtü malzemelerine kıyasla UV PC+PE sera örtü malzemesi altında ölçülmüştür.

UV PC, UV+IR PC ve UV PC+PE sera örtü malzemelerinin PAR geçirgenliği (%) ile zamana bağlı olarak PAR geçirgenliğinde meydana gelen kayıplar (%) Çizelge 4.4 ve Şekil 4.3'te gösterilmiştir.

Çizelge 4.4. Farklı sera örtü malzemelerinin zamana bağlı PAR geçirgenliği (%)

Yıl	Ay	Doğal Yaşlandırma Süresi (ay)	UV PC+PE		UV PC		UV+IR PC	
			PAR Geçirgenliği (%)	PAR Geçirgenlik Kaybı (%)	PAR Geçirgenliği (%)	PAR Geçirgenlik Kaybı (%)	PAR Geçirgenliği (%)	PAR Geçirgenlik Kaybı (%)
2020	Şubat	1	54.1	-	54.7	-	49.3	-
	Mart	2	54.1	*	50.9	6.9	46.8	5.1
	Nisan	3	50.7	6.3	46.3	15.4	43.2	12.4
	Mayıs	4	49.4	8.7	43.7	20.1	40.3	18.3
	Haziran	5	49.5	8.5	43.9	19.7	40.4	18.1
	Temmuz	6	50.0	7.6	42.5	22.3	40.1	18.7
	Ağustos	7	47.7	11.8	41.4	24.3	39.0	20.9
	Eylül	8	49.8	7.9	42.1	23.0	39.5	19.9
	Ekim	9	52.3	3.3	45.2	17.4	41.2	16.4
	Kasım	10	53.7	0.7	47.0	14.1	44.2	10.3
	Aralık	11	53.3	1.5	47.1	13.9	44.5	9.7
2021	Ocak	12	52.5	3.0	46.3	15.4	44.0	10.8
	Şubat	13	54.3	*	51.6	5.7	48.2	2.2
	Mart	14	48.5	10.4	44.1	19.4	44.4	9.9
	Nisan	15	44.9	17.0	44.0	19.6	42.2	14.4
	Mayıs	16	48.9	9.6	29.6	45.9	37.3	24.3
	Haziran	17	50.0	7.6	40.3	26.3	37.7	23.5
	Temmuz	18	49.0	9.4	40.9	25.2	38.2	22.5
	Ağustos	19	49.0	9.4	39.8	27.2	36.7	25.6

*: Sera örtü malzemesinin PAR geçirgenlik kaybı bulunmamaktadır.



Şekil 4.3. Farklı sera örtü malzemelerinin zamana bağlı PAR geçirgenliği (%)

Çizelge 4.4 incelendiğinde, UV PC, UV+IR PC ve UV PC+PE sera örtü malzemelerinde başlangıç PAR geçirgenlik değerlerinin sırasıyla %54.7, %49.3 ve %54.1 olduğu görülmektedir. Bahsedilen sera örtü malzemelerinin PAR geçirgenliği değerlerinin, örtü dış yüzeyinde biriken toz ve oluşan kirlilik nedeniyle zamanla azaldığı görülmektedir (Çizelge 4.4 ve Şekil 4.3). Bahsedilen azalmanın 2020 yılı Ağustos ayına kadar devam ettiği ve bu azalmanın 7 aylık bir periyodun sonunda (2020 yılı Ağustos ayı) UV PC malzeme için %24.3, UV+IR PC malzeme için %20.9 ve UV PC+PE malzeme için %11.8 olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 4.4'te görüldüğü gibi UV PC, UV+IR PC ve UV PC+PE sera örtü malzemelerinin PAR geçirgenliğinin 2020 yılı Ağustos (26 Ağustos) ayında gerçekleşen ancak ölçülebilir seviyede olmayan yağış ile örtü malzemesi üzerinde biriken toz ve kirliliğin yıkanmasına bağlı olarak geçirgenlik değerlerinin çalışmanın 8. ayından (2020 yılı Eylül ayı) itibaren yeniden artmaya başladığı ve bu artışın 13. ayına (2021 yılı Şubat ayı) kadar devam ettiği belirlenmiştir (Şekil 4.3). Nitekim, 7. ayında (2020 yılı Ağustos ayı) gerçekleşen yağış ölçülebilir düzeyde olmamasına rağmen çalışmada quantum algılayıcısı ile 2020 yılı Ağustos ayında dış ortam günlük ortalama PAR değerlerinin $470\text{--}558 \mu\text{mol/m}^2\text{s}$ arasında değiştiği, 26 Ağustos günü ise bahsedilen değerin $404 \mu\text{mol/m}^2\text{s}$ olduğu saptanmıştır. Çizelge 4.4'te görüldüğü gibi yağışlarla meydana gelen yıkanmaya bağlı olarak UV PC+PE sera örtü malzemesinin çalışmanın 13. ayında (2021

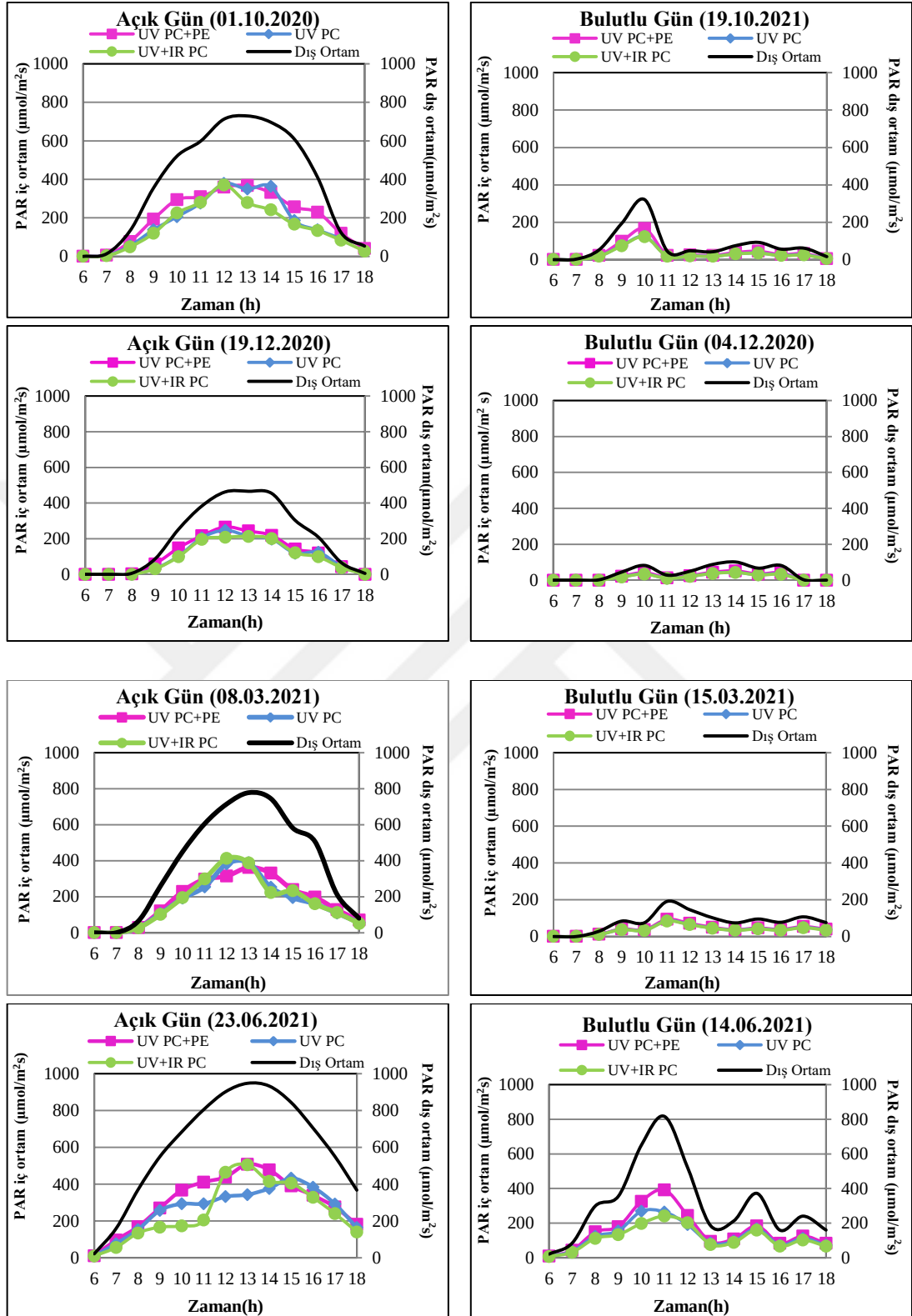
yılı Şubat ayı) başlangıç PAR geçirgenlik değerine ulaştığı ve geçirgenlik kaybının olmadığı, buna karşın UV PC ve UV+IR PC sera örtü malzemelerinin ise PAR geçirgenlik değerinin başlangıç değerine kısmen yaklaştığı, meydana gelen geçirgenlik kaybının ise sırasıyla %5.7 ve %2.2 olduğu belirlenmiştir.

Kwon vd. (2017), Kore’de 2 farklı model serada cam (4 mm) ve PC (3 mm) örtü malzemesi altında PAR geçirgenliklerinin sırasıyla, %85.6 ve %83.8 olduğunu bildirmişlerdir. Al-Helal ve Alhamdan (2009), Suudi Arabistan’ın Riyad bölgesinde PE (2 mm) sera örtü malzemesinin PAR geçirgenlik değerinin Nisan ayında (başlangıç) %84.3 olarak ölçmüşlerdir. Araştırmacılar, PE sera örtü malzemesinde PAR geçirgenlik değerini en düşük Temmuz ayında %69 olarak ölçmüşlerdir. Ayrıca çalışmada PE sera örtü malzemesinin PAR geçirgenlik kaybının en yüksek olduğu dönem örtünün başlangıcından itibaren 3 ay olduğu vurgulanmıştır. Bahsedilen bu 3 aylık sürede PAR geçirgenlik kaybının %15.3 olduğunu saptamışlardır. Mashonjowa vd. (2010), Zimbabwe’de LDPE (0.25mm) malzemede 6 aylık bir periyotta PAR geçirgenliğinin %53-75 arasında değiştiği ve gölgeleme tozu atılmadığı dönemde kir toz birikimiyle PAR geçirgenliğinin yaklaşık %16 azaldığını bildirmişlerdir. Emekli (2014), CO-EX UV+IR+EVA ve CO-EX UV+IR+EVA+AF katkılı PE (0.175 mm) sera örtü malzemelerinin PAR geçirgenlik değerlerinin çalışmanın başlangıcında sırasıyla, %80.1 ve %83.0 olarak ölçüldüğünü belirtmiştir. Araştırmacı çalışma süresi (24 ay) boyunca çevre koşulları, yoğunlaşma ve yaşlanma sebebiyle bu değerlerin sırasıyla %6.2 ve %4.9 oranında azaldığını bildirmiştir.

Çalışmada UV PC, UV+IR PC ve UV PC+PE sera örtü malzemelerinin; PAR geçirgenliğinin çalışma süresi boyunca çevre koşulları yoğunlaşma ve yaşlanmaya bağlı olarak sırasıyla, %27.2, %25.6 ve %9.4 oranında azaldığı saptanmıştır. Ayrıca incelenen tüm aylar itibarıyla PE sera örtü malzemesinin çalışmada kullanılan diğer örtü malzemelerine (UV PC ve UV+IR PC) kıyasla toplam ışınlam değerlerinde olduğu gibi daha yüksek PAR değeri gösterdiği belirlenmiştir. PAR değerlerine bakıldığında; UV PC+PE sera örtü malzemesini, UV PC sera örtü malzemesinin takip ettiği, en düşük PAR değerini ise UV+IR PC sera örtü malzemesinin gösterdiği belirlenmiştir.

Çalışmada kullanılan UV PC, UV+IR PC ve UV PC+PE sera örtü malzemelerinin sonbahar, kış, ilkbahar ve yaz mevsimlerini temsil edeceği günler seçilmiş, açık ve bulutlu gökyüzü koşulları için PAR geçirgenliğinin günün saatine bağlı değişimi Şekil 4.4'te sırasıyla sunulmuştur.





Şekil 4.4. Sera örtü malzemelerinin tipik bir sonbahar, kış, ilkbahar ve yaz günlerinde günlük saatlik ortalama PAR geçirgenliğinin zamana bağlı değişimi

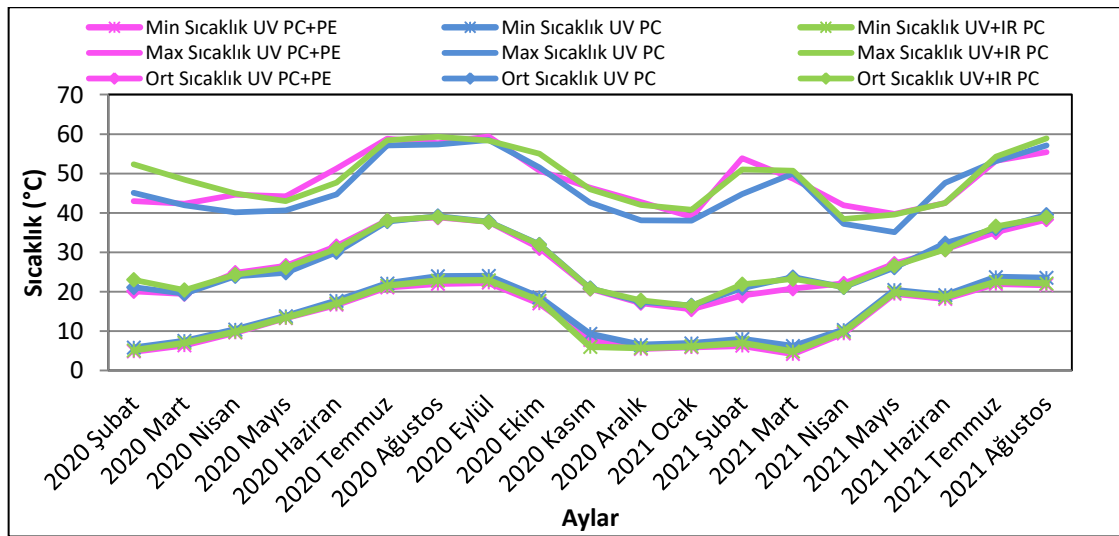
Şekil 4.4'te günün saatine bağlı olarak sera örtü malzemelerinin PAR geçirgenliği değişmektedir. Açık (bulutsuz) gökyüzü koşullarında PAR geçirgenliğinin günün saatine bağlı değişim grafiği incelendiğinde, eğrisinin sabah saatlerinden öğle saatlerine doğru bir artış olduğu görülmektedir. Grafiğin tepe noktasının (en yüksek değerin) öğle saatlerinde (12:00) olduğu, öğle saatlerinden akşam saatlerine doğru ise azalan yönde doğrusal bir grafik çizdiği görülmektedir. Ayrıca, kış mevsiminde ölçüm yapılan aylarda sabah erken saatler ile akşam saatlerinde dış ortam ve araştırma seralarına PAR ışınımının ulaşmadığı belirlenmiştir. Ancak ilkbahar, sonbahar ve yaz mevsiminde ölçüm yapılan aylarda ise bahsedilen saatlerde dış ortam ve seralara PAR ışınımının ulaştığı görülmektedir. Bulutlu gökyüzü koşullarında ise dalgalı bir değişim gösteren, doğrusal olmayan bir grafik olduğu görülmektedir.

4.1.3. Farklı sera örtü malzemeleri altındaki sera iç ve dış ortam sıcaklıkları

Çalışmada kullanılan UV PC, UV+IR PC ve UV PC+PE malzeme ile kaplı araştırma seralarından elde edilen sera içi ve dış ortam sıcaklık ölçüm değerlerinin çalışma süresi boyunca zamana bağlı aylık (Şubat 2020-Ağustos 2021) değişimi Çizelge 4.5 ve Şekil 4.5'te sunulmuştur.

Çizelge 4.5. Araştırma seralarında sera iç ve dış ortam sıcaklık değerleri (°C)

Yıl	Ay	Sera iç ortam sıcaklık (°C)									Dış ortam sıcaklık (°C)		
		UV PC+PE			UV PC			UV+IR PC			Min	Max	Ort
		Min	Max	Ort	Min	Max	Ort	Min	Max	Ort			
2020	Şubat	4.8	43.0	20.1	5.8	45.1	21.1	5.1	52.3	23.0	4.1	21.1	12.5
	Mart	6.4	42.3	19.4	7.5	41.9	19.5	7.0	48.4	20.4	6.6	19.6	12.6
	Nisan	9.6	44.6	24.8	10.4	40.1	23.9	9.8	44.9	24.3	9.2	25.8	18.1
	Mayıs	13.3	44.2	26.6	13.8	40.6	24.8	13.4	43.0	26.1	13.3	30.9	21.6
	Haziran	16.7	51.3	31.6	17.7	44.7	30.0	17.0	47.7	30.9	17.0	38.8	26.5
	Temmuz	21.1	58.8	38.1	22.1	57.1	37.8	21.5	58.4	38.1	21.5	40.8	30.7
	Ağustos	22.0	57.7	38.8	23.9	57.4	39.2	22.8	59.3	39.0	21.3	39.6	30.7
	Eylül	22.3	59.4	37.7	24.0	58.5	37.8	22.9	58.3	37.7	21.6	40.8	30.1
	Ekim	17.0	50.7	31.0	18.6	51.5	32.0	17.7	55.0	31.9	16.7	35.4	24.9
	Kasım	7.8	46.4	20.7	9.3	42.6	20.9	6.0	46.0	20.8	7.5	23.8	14.7
	Aralık	5.5	42.7	17.1	6.5	38.1	17.4	5.7	42.0	17.8	5.9	20.3	12.9
2021	Ocak	5.9	39.0	15.5	6.9	38.0	16.5	6.1	40.8	16.4	6.2	17.1	10.9
	Şubat	6.3	53.9	19.0	8.0	44.8	20.9	7.0	51.0	21.9	6.6	22.7	13.4
	Mart	4.2	48.7	20.8	6.2	50.0	23.7	4.8	50.7	23.2	4.4	21.6	13.7
	Nisan	9.4	41.9	22.1	10.3	37.2	21.1	9.8	38.4	21.2	10.0	23.7	15.3
	Mayıs	19.5	39.7	27.1	20.4	35.1	26.1	19.8	39.6	26.6	22.4	36.0	24.7
	Haziran	18.2	42.5	30.7	19.1	47.6	32.3	18.6	42.5	30.7	18.2	40.3	30.3
	Temmuz	22.0	53.2	35.1	23.7	53.1	36.0	22.5	54.3	36.6	22.9	43.3	32.4
	Ağustos	21.7	55.4	38.3	23.5	57.1	39.5	22.1	58.9	38.9	21.4	38.2	31.2



Şekil 4.5. Araştırma seralarında incelenen aylar itibarıyla sera iç ortam minimum, maksimum ve ortalama sıcaklık değerleri

Çizelge 4.5 ve Şekil 4.5 incelendiğinde; araştırma seralarında tüm aylarda sera iç ortamında ölçülen sıcaklığın, dış ortamda ölçülen sıcaklıktan daha yüksek olduğu görülmektedir. UV PC örtü malzemesi ile kaplı serada, sera iç ortam ortalama sıcaklık değerlerinin 16.5-39.5 °C arasında değiştiği görülmektedir. UV+IR PC örtü malzemesi ile kaplı serada, sera iç ortam ortalama sıcaklık değerlerinin 16.4-39.0 °C arasında değiştiği belirlenmiştir. UV PC+PE malzeme ile kaplı serada ise sera iç ortam ortalama sıcaklık değerlerinin 15.5-38.8 °C arasında değiştiği görülmektedir. Dış ortam ortalama sıcaklık değerlerinin 10.9-32.4 °C arasında değiştiği saptanmıştır. İncelenen aylar itibarıyla; en düşük sera iç ortam ortalama sıcaklık değerleri üç sera örtü malzemesi için de 2021 yılı Ocak ayında kaydedilmiştir. Bununla birlikte, en yüksek sera iç ortam ortalama sıcaklık değerleri UV PC+PE ve UV+IR PC sera örtü malzemesi için 2020 yılı Ağustos ayında, UV PC sera örtü malzemesi için ise 2021 yılı Ağustos ayında kaydedilmiştir.

Zabeltitz (1992), Baudoin ve Zabeltitz (2002) bitkilerin kontrollü ortamda 17-27 °C sıcaklıkları arasında uygun bir şekilde yetiştirilebileceğini belirtmişlerdir. Fakat sera iç ortamına giren solar radyasyonun ısıtma etkisiyle; ısıtılmayan seralar için günlük ortalama dış sıcaklık değerinin 12-22 °C olmasının uygun olduğunu bildirmişlerdir. Buradan, farklı sera örtü malzemeleri ile kaplı araştırma seralarında yapılan yetiştiricilik dikkate alındığında; 2021 yılı Ocak ayı dışındaki aylar itibarıyla sera iç ortam ortalama sıcaklık değerlerinin 17 °C'nin üzerinde olduğu bununla birlikte sera iç ortam minimum, maksimum ve ortalama sıcaklık değerlerinin birbirine paralellik gösterdiği (Şekil 4.5) belirlenmiştir. Ocak ayında ise yöredeki seraların ısıtılması gerektiği söylenebilir.

Mogharreb ve Abbaspour-Fard (2019), PC (4 mm) serada Haziran-Temmuz ayları için İran'da en yüksek dış sıcaklık 35 °C iken sera iç ortam sıcaklığı 45 °C'lere kadar ulaştığını bildirmişlerdir. Buradan, UV PC ve UV+IR PC malzeme ile kaplı seralarda yapılan yetiştiricilik dikkate alındığında; sera iç ortam ortalama sıcaklık değerinin dış ortam sıcaklığına göre 10.5 °C kadar yüksek ölçüldüğü görülmektedir.

İkizler (2019), seralarda kullanılan IR katkılı örtü malzemelerini incelemiş, bu örtülerin topraktan yansıyan kızılötesi (IR) ışınları sera içerisinde tutacak ve seranın iç sıcaklığının dış ortama göre çok daha yüksek ve dengeli olmasını sağlayacak nitelikte imal edildiklerini bildirmiştir. Genel olarak bu örtülerin imalatında ince Kaolin (Çin

kili) taneciklerin (1 mikron boyutunda) kullanıldığını ve bu taneciklerin kızılötesi ışınları yansıtarak seranın geç ısınıp geç soğumasını sağladığını belirtmiştir. Araştırmacı böylece sera içerisinde bulunan bitkilerin gece ve gündüz arasındaki sıcaklık farklılıklarından en alt seviyede etkilenmesinin sağlandığını bildirmiştir.

Çalışmada, UV+IR PC malzeme kaplı serada sera iç ortam sıcaklığı değerlerinin diğer araştırma seraları (UV PC+PE ve UV PC) sera iç ortam ortalama sıcaklık değerlerine göre, incelenen aylar ve günün saatleri itibarıyla daha yüksek ve dengeli olduğu görülmektedir. Ayrıca, UV PC ve UV+IR PC sera örtü malzemeleri ile yetiştiricilik yapılan seralarda ölçülen sera iç ortam ortalama sıcaklık değerlerinin literatürle uyumlu olduğu görülmektedir.

Emekli (2014), CO-EX UV+IR+EVA ve CO-EX UV+IR+EVA+AF katkı malzemeli PE sera örtü malzemelerinde sera iç ortam ortalama sıcaklığını sırasıyla; 10.9-37.9 °C ve 10.9-38.2 °C arasında değiştiğini bildirmiştir.

Çalışmada, UV PC+PE sera örtü malzemesi ile yetiştiricilik yapılan serada ölçülen sera iç ortam ortalama sıcaklık değerlerinin literatürle uyumlu olduğu görülmektedir.

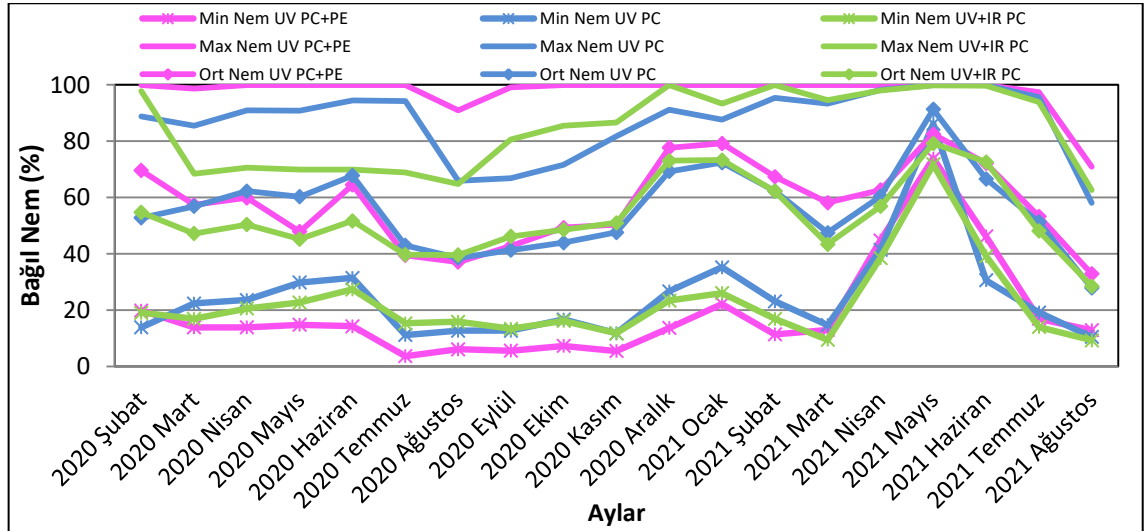
Şekil 4.5 incelendiğinde çalışmada kullanılan üç sera örtü malzemesinde de ölçülen sera iç ortam minimum, maksimum ve ortalama değerlerinin birbirine paralellik gösterdiği söylenebilir.

4.1.4. Farklı sera örtü malzemeleri altındaki sera iç ve dış ortam bağıl nem değerleri

Çalışmada kullanılan UV PC, UV+IR PC ve UV PC+PE malzeme ile kaplı araştırma seralarından elde edilen sera içi ve dış ortam bağıl nem ölçüm değerlerinin çalışma süresi boyunca zamana bağlı aylık (Şubat 2020-Ağustos 2021) değişimi Çizelge 4.6 ve Şekil 4.6'da verilmiştir.

Çizelge 4.6. Araştırma seralarında sera iç ve dış ortam bağıl nem değerleri (%)

Yıl	Ay	Sera iç ortam nem (%)									Dış ortam nem (%)		
		UV PC+PE			UV PC			UV+IR PC			Min	Max	Ort
		Min	Max	Ort	Min	Max	Ort	Min	Max	Ort			
2020	Şubat	19.9	99.9	69.6	13.9	88.8	52.8	19.1	97.8	54.7	25.3	99.6	61.9
	Mart	13.9	98.7	57.4	22.4	85.5	56.9	16.9	68.5	47.2	16.2	94.0	45.6
	Nisan	13.9	99.9	59.9	23.6	91.0	62.3	20.6	70.6	50.4	22.3	96.4	68.1
	Mayıs	14.8	99.9	47.9	29.8	90.8	60.3	22.7	69.9	45.2	14.5	91.4	51.0
	Haziran	14.3	99.9	64.5	31.5	94.5	67.8	27.4	69.9	51.7	22.9	94.7	64.7
	Temmuz	3.7	99.9	39.5	11.2	94.2	43.0	15.3	68.9	39.7	15.9	96.3	52.8
	Ağustos	6.1	91.0	37.1	12.7	66.0	38.6	15.9	64.8	39.6	21.1	82.6	55.0
	Eylül	5.6	99.1	42.7	12.7	66.8	41.3	13.4	80.6	46.2	20.8	82.5	57.5
	Ekim	7.3	99.9	49.3	16.7	71.6	44.0	16.2	85.5	48.6	23.0	89.6	60.1
	Kasım	5.5	99.9	50.4	11.8	81.7	47.6	11.8	86.6	51.0	18.6	95.3	60.7
2021	Aralık	13.7	99.9	77.7	26.7	91.2	69.3	23.4	99.9	73.1	50.0	99.9	88.2
	Ocak	22.2	99.9	79.2	35.2	87.7	72.4	26.1	93.3	73.3	71.6	99.9	90.9
	Şubat	11.4	99.9	67.4	23.2	95.4	62.3	16.9	99.9	62.2	31.7	99.9	82.1
	Mart	13.0	99.9	58.2	14.7	93.4	47.5	9.5	94.6	43.4	21.3	99.9	63.5
	Nisan	44.8	99.9	62.7	41.5	98.2	60.4	38.5	98.0	56.9	36.0	99.9	60.7
	Mayıs	73.9	99.9	82.5	86.2	99.9	91.3	71.8	99.8	79.2	39.8	99.9	65.8
	Haziran	46.2	99.9	72.1	30.6	99.9	66.6	39.2	99.7	72.6	22.0	99.9	52.3
	Temmuz	17.0	97.4	53.3	19.2	95.6	51.3	14.0	93.9	48.1	15.1	89.9	41.2
	Ağustos	12.9	70.9	32.9	10.5	58.1	27.9	9.3	62.6	28.5	13.6	76.1	36.3



Şekil 4.6. Araştırma seralarında incelenen aylar itibarıyla sera iç ortam minimum, maksimum ve ortalama bağıl nem değerleri

Çizelge 4.6 ve Şekil 4.6'da görüldüğü gibi sera iç ortam ortalama bağıl nem değerlerinin UV PC örtü malzemesiyle kaplı serada %27.9-91.3 arasında değiştiği görülmektedir. UV+IR PC örtü malzemesiyle kaplı serada, iç ortam ortalama bağıl nem değerlerinin %28.5-79.2 arasında değiştiği görülmektedir. Sera iç ortam ortalama bağıl nem değerlerinin UV PC+PE malzeme ile kaplı serada ise, %32.9-82.5 arasında değiştiği görülmektedir. İncelenen aylar itibarıyla; en düşük sera iç ortam ortalama bağıl nem değerleri üç sera örtü malzemesi için de 2021 yılı Ağustos ayında, en yüksek sera iç ortam ortalama bağıl nem değerleri ise 2021 yılı Mayıs ayında kaydedilmiştir. Çalışma süresi boyunca dış ortam ortalama bağıl nem değerleri, %36.3-90.9 arasında değişmiştir.

Öztürk (2008b), bitkisel üretim için en uygun bağıl nem değerinin %50-80 arasında olması gerektiğini, kontrollü ortamlarda ise bağıl nem değerinin en düşük %60 olması gerektiğini belirtmiştir. Dayıoğlu (2013), çift kat PC (4 mm) ile kaplı serada yaz mevsiminde kablosuz olarak kaydedilen verilere göre bitkinin tepe ve alt taraflarındaki bağıl nem değerlerinin sırasıyla; %19.9-67.3 ve %25.9-72.1 arasında değiştiğini bildirmiştir.

Çalışmada UV PC ve UV+IR PC sera örtü malzemeleri ile yetiştiricilik yapılan seralarda ölçülen sera iç ortam bağıl nem değerlerinin literatürle uyumlu olduğu görülmektedir.

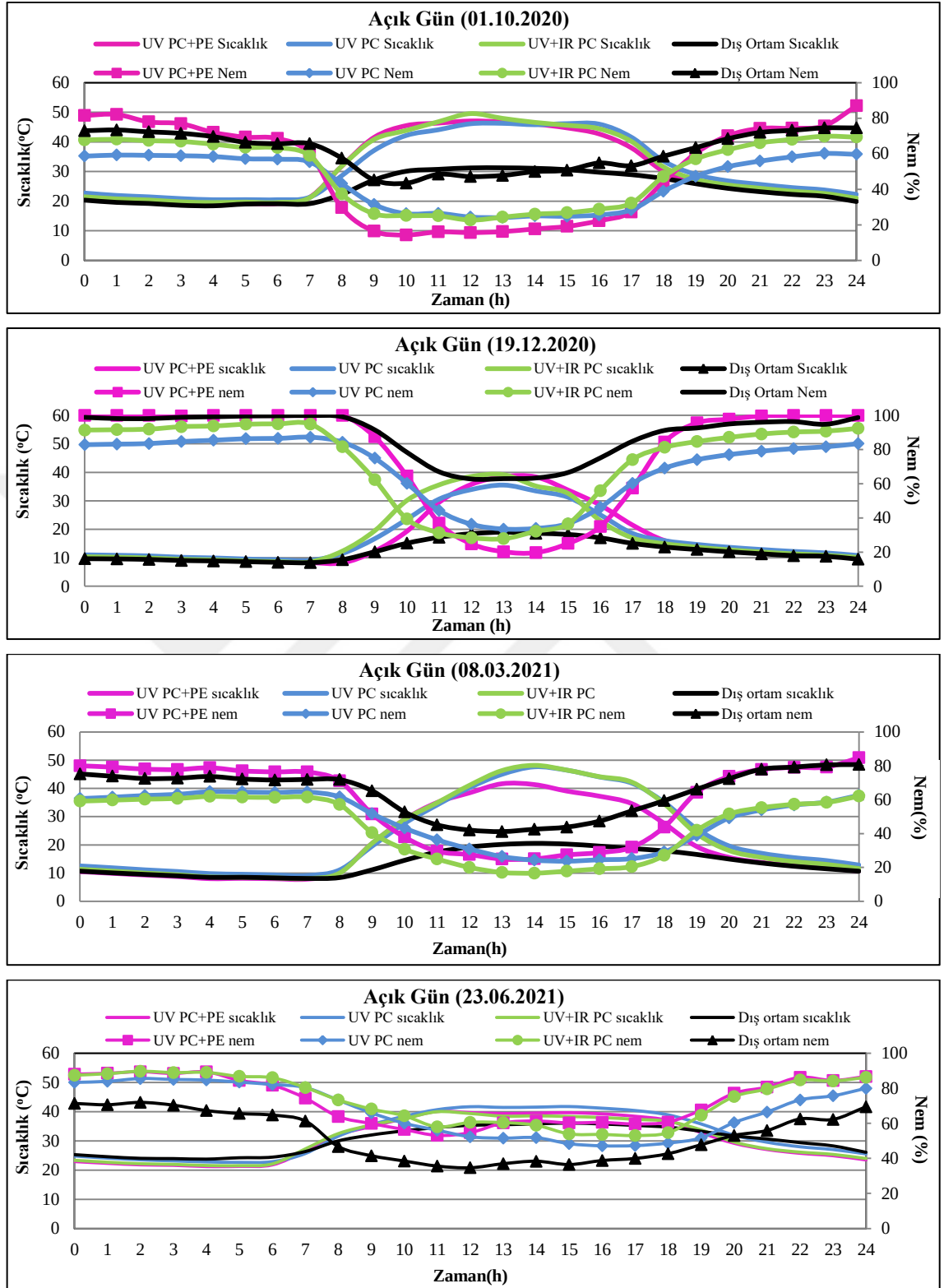
Emekli (2014), CO-EX UV+IR+EVA ve CO-EX UV+IR+EVA+AF katkı malzemeli PE sera örtü malzemelerinde sera iç ortam bağıl nem değerleri sırasıyla; %27.4-77.6 ve %26.0-78.2 arasında değiştiğini belirtmiştir.

Çalışmada UV PC+PE sera örtü malzemesi altında elde edilen sera içi bağıl nem değerlerinin literatürle uyumlu olduğu görülmektedir.

Araştırmada kullanılan UV PC, UV+IR PC ve UV PC+PE sera örtü malzemelerinin sonbahar, kış, ilkbahar ve yaz mevsimlerini temsil edeceği günler seçilmiş, açık ve bulutlu gökyüzü koşulları için sera iç ortam sıcaklık ve bağıl nem değerlerinin günün saatine bağlı değişimleri Şekil 4.7'de sırasıyla sunulmuştur. Şekil 4.7'de görüldüğü gibi günün saatine bağlı olarak sera örtü malzemelerinin sera iç ortam

sıcaklık ve nem değerleri değişmektedir. Açık (bulutsuz) gökyüzü koşullarında sera iç ortam sıcaklık ve nem değerlerinin günün saatine bağlı değişimi incelendiğinde, iç ortam sıcaklık eğrisinin sabah saatlerinden öğle saatlerine doğru artan yönde doğrusal bir grafik çizdiği görülmektedir. Grafiğin tepe noktasının (en yüksek değerin) ğle saatlerinde (12:00) oluştuğu, öğle saatlerinden akşam saatlerine doğru ise azalan yönde değiştiği görülmektedir. şekil 4.7'de görüldüğü gibi sera iç ortam nem eğrisinin ise sıcaklıkla ters orantılı olduğu, iç ortam nem eğrisinin sabah saatlerinden öğle saatlerine doğru azalan yönde doğrusal bir grafik çizdiği görülmektedir. Grafiğin dip noktasının (en düşük değerin) ğle saatlerinde (12:00) oluştuğu, öğle saatlerinden akşam saatlerine doğru ise artan yönde doğrusal bir grafik çizdiği görülmektedir.





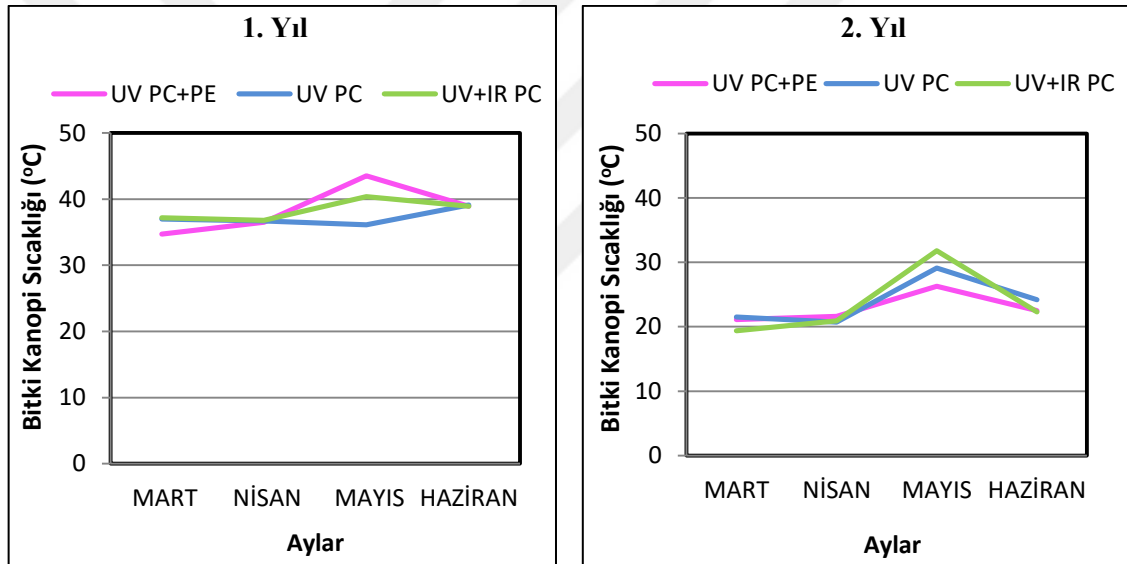
Şekil 4.7. Sera örtü malzemelerinin tipik bir sonbahar, kış, ilkbahar ve yaz gününde günlük saatlik ortalama sıcaklık ve nem değerlerinin zamana bağlı değişimi

4.1.5. Ortam mikroklimasının termal kamera ile izlenmesi

Farklı sera örtü malzemeleri ile kaplı seralarda kanopi ve çatı sıcaklıkları termal kamera ile izlenmiştir. Termal kamera ile elde edilen ölçüm değerleri ve algılayıcıdan alınan dış ortam sıcaklığı ile kolerasyonları aşağıda sırasıyla sunulmuştur.

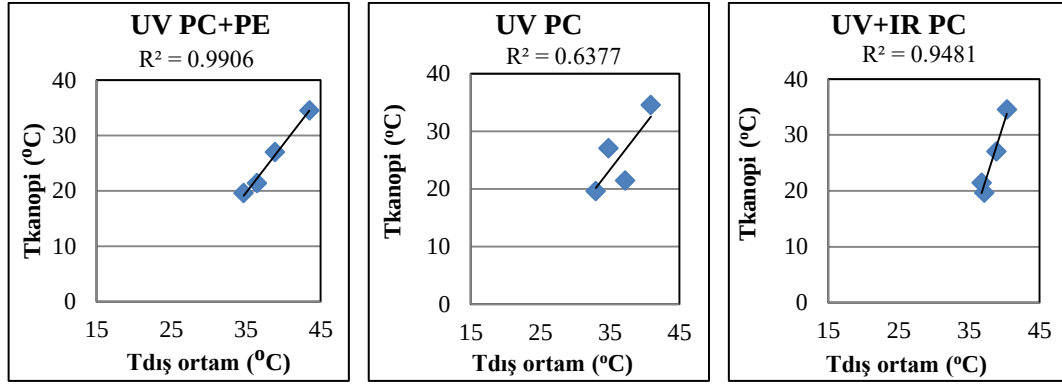
4.1.5.1. Kanopi sıcaklıkları

UV PC, UV+IR PC ve UV PC+PE sera örtü malzemeleri altında elde edilen kanopi sıcaklıklarının her iki yetiştirme yılında da bitki yetiştirme süresi boyunca zamana bağlı aylık (Mart 2020-Haziran 2020, Mart 2021-Haziran 2021) değişimi Şekil 4.8’de verilmiştir.

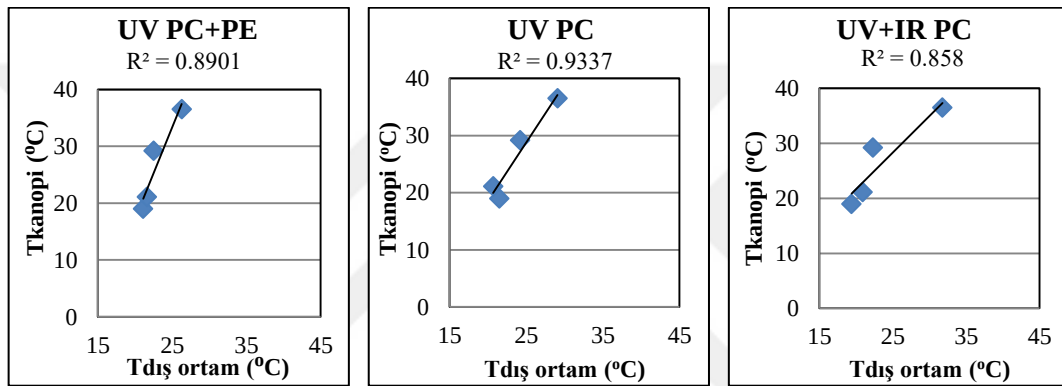


Şekil 4.8. Araştırma seralarında termal kamera ile elde edilen kanopi sıcaklıkları

Şekil 4.8 incelendiğinde, termal kamera ile elde edilen sıcaklıklarda UV PC sera örtü malzemesinde, kanopi sıcaklıklarının birinci yıl 36.1-39.1 °C, ikinci yıl 20.7-29.1 °C arasında olduğu görülmektedir. UV+IR PC sera örtü malzemesinde ise; kanopi sıcaklıklarının birinci yıl 36.8-40.4 °C, ikinci yıl 19.4-31.8 °C arasında değiştiği görülmektedir. UV PC+PE sera örtü malzemesi için; bitki yetiştirme periyodu olan Mart-Haziran aylarında ölçülen kanopi sıcaklığının birinci yıl 34.7-43.5 °C, ikinci yıl 21.1-26.3 °C arasında değiştiği görülmektedir.



Şekil 4.9. Araştırma seralarında birinci yıl termal kamera ile elde edilen kanopi sıcaklık değerleri ile dış ortam sıcaklık değerleri arasındaki ilişki



Şekil 4.10. Araştırma seralarında ikinci yıl termal kamera ile elde edilen kanopi sıcaklık değerleri ile dış ortam sıcaklık değerleri arasındaki ilişki

Ölçüm yapılan aylar itibarıyla farklı örtü malzemeleri altında her iki yetiştirme yılında da elde edilen kanopi sıcaklıklarına ait varyans analiz sonuçlarının istatistiksel anlamda önemli farklılıklar göstermediği belirlenmiştir ($p < 0.05$).

Saka (2012), dikim sıklıkları ile kanopiye giren ışık arasında bir ilişki bulunduğunu bildirmiştir. Araştırmacı tarafından bitki kanopisine giren ışığın alt yapraklar tarafından kullanılması ile bitki büyüme süresini, fotosentetik kapasiteyi ve dolayısıyla verimi etkilediğini belirtilmiştir. Çalışmada kullandıkları domates ve hıyar bitkilerinde fungal ve bakteriyel hastalıkların ortaya çıkmasının, sera içi oransal nem ve bitki kanopisi içerisine yeterli ışığın ulaşp ulaşamaması durumuna bağlı olduğunu ve bu durumun verim ve kaliteyi önemli derecede azalttığını bildirmiştir.

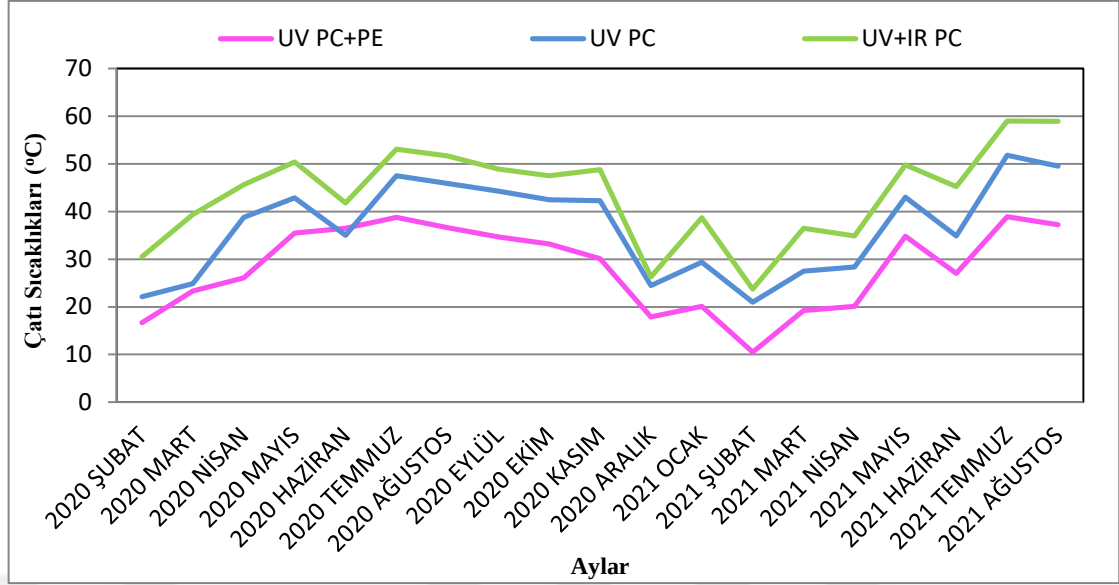
Karaca (2020), aynı bölgede yaptığı çalışmada PE serada bahar dönemi domates taç sıcaklığını infrared termometre ile ortalama 23.4 °C olarak bildirmiştir. Bunun yanında araştırmacı herhangi bir günde saat 14.00'da ölçülen bitki taç sıcaklığı değeri kullanarak, gün doğumu ile gün batımı arasındaki ortalama bitki taç sıcaklığı değerinin (Tc(gün)) yüksek doğrulukta tahmin edilebileceği sonucuna varılabileceğini belirtmiştir.

Nicacias (2009) sera koşullarında Kasım-Ocak ayları arasında, iki farklı domates çeşidinin kanopi sıcaklığı değerlerini ölçmüşlerdir. Araştırmacı çiçeklenme ve meyve tutumu dönemlerinde 09:00-11:00 saatleri arasında bu iki çeşidin kanopi sıcaklığını 20.0 °C olarak ölçerken, 12:00-14:00 saatleri arasında 22.0 ve 21.00 °C olarak ölçmüştür. Ayrıca, araştırmacı domates bitkisinin stres koşulları altında bitki kanopi sıcaklığı değerlerinin ortalama 7 °C'ye kadar daha sıcak olduğunu belirtmiştir. Gil vd. (2015) sera koşullarında yetiştirilen domates bitkisinin hava sıcaklığı ile kanopi sıcaklığı arasındaki farkın en fazla öğlen saatlerinde olduğu ve havanın kararmasından gün doğumuna olan zaman aralığında bu farkın çok az olduğunu bildirmiştir.

Ayrıca ölçüm yapılan günler için, kanopi sıcaklığı ve dış sıcaklık arasındaki ilişkiyi belirlemek amacıyla Pearson Korelasyon Testi yapılmıştır. Yapılan korelasyon testi sonucunda kanopi sıcaklığı ile dış sıcaklık arasında her iki yetiştirme yılında da kuvvetli bir ilişki olduğu saptanmıştır (Şekil 4.9, Şekil 4.10).

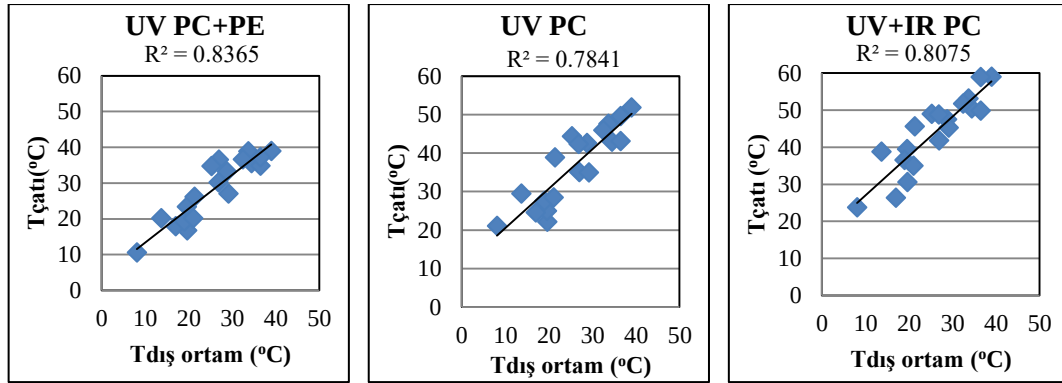
4.1.5.2. Çatı sıcaklıkları

UV PC, UV+IR PC ve UV PC+PE sera örtü malzemelerinden elde edilen çatı sıcaklıklarının çalışma süresi boyunca zamana bağlı aylık (Şubat 2020-Ağustos 2021) değişimi Şekil 4.11'de verilmiştir.



Şekil 4.11. Araştırma seralarında incelenen aylar itibarıyla termal kamera ile elde edilen çatı sıcaklıkları

Şekil 4.11 incelendiğinde, termal kamera ile elde edilen sıcaklıklarda incelenen aylar itibarıyla UV PC, UV+IR PC ve UV PC+PE sera örtü malzemeleri için çatı sıcaklık değerlerinin sırasıyla, 21.0-51.8 °C, 23.7-59.0 °C ve 10.5-38.9 °C arasında değiştiği görülmüştür. Termal kamera ile yapılan ölçüm sonucunda elde edilen çatı sıcaklıkları açısından en düşük sıcaklıklar her üç araştırma serasında da 2021 yılı Şubat ayında, en yüksek sıcaklıklar ise 2021 yılı Temmuz ayında elde edilmiştir.



Şekil 4.12. Araştırma seralarında incelenen aylar itibarıyla termal kamera ile elde edilen çatı sıcaklık değerleri ile dış ortam sıcaklık değerleri arasındaki ilişki

Ölçüm yapılan aylar itibarıyla çalışma süresi boyunca farklı örtü malzemeleri altında elde edilen çatı sıcaklıklarına ait varyans analiz sonuçlarının istatistiksel anlamda önemli farklılıklar gösterdiği belirlenmiştir ($p < 0.05$). Ayrıca ölçüm yapılan

günler için, çatı sıcaklığı ve dış sıcaklık arasındaki ilişkiyi belirlemek amacıyla Pearson Korelasyon Testi yapılmıştır. Yapılan kolerasyon testi sonucunda çatı sıcaklığı ile dış sıcaklık arasında kuvvetli bir ilişki olduğu saptanmıştır (Şekil 4.12).

Araştırmada çatı örtü malzemesi olarak kullanılan UV PC, UV+IR PC ve UV PC+PE malzemeler göz önüne alındığında; UV+IR PC sera örtü malzemesi IR katkısından dolayı yüzeye gelen sıcaklığı malzeme içinde tutabilmektedir. Bu da, malzemenin termal iletkenlik (ısı iletim katsayısı) değerinin düşük olduğunu göstermektedir. UV+IR PC malzemenin daha düşük termal iletkenlikte fakat yüksek sıcaklıkta olması nedeniyle görünür sıcaklığının diğer iki malzemeye göre daha yüksek olduğu saptanmıştır. Termal görüntüleme ile yapılan sıcaklık ölçümlerinde, ölçüm yeri dikkate alındığında çatı sıcaklığının her üç sera örtü malzemesinde de en yüksek sıcaklık olduğu görülmektedir. Sera içerisindeki sıcaklık; ısınarak genişleşip hafifleşir ve yükselerek çatıda birikir. Bu sebeple termal kamera ile yapılan ölçümlerden en yüksek sıcaklık çatı yüzeyinden elde edilmiştir.

Chen vd. (2016) termal iletkenlik değerinin PE malzeme için 0.30-0.34 W/m⁰K, PC (4 mm) malzeme için 0.19-0.21 W/m⁰K olduğunu bildirmiştir. Şekil 4.12 incelendiğinde; UV PC+PE sera örtü malzemesinden elde edilen çatı sıcaklık değerleri ile dış ortam sıcaklığı arasındaki kolerasyonun (R²: 0.8365) diğer sera örtü malzemelerine (UV PC ve UV+IR PC) kıyasla daha kuvvetli olduğu görülmektedir. Buradan, elde edilen sonucun literatürle uyumlu olduğu görülmektedir.

4.2. Farklı Sera Örtü Malzemelerinin Bazı Mekanik Özelliklerinin Zamana Bağlı Değişimi

Materyal olarak kullanılan farklı sera örtü malzemelerinin mekanik özelliklerinden “sararma indisi (YI)”, “darbe dayanımı” belirlenmiş ve malzemede oluşan yaşlanma termal kamera ile izlenmiştir. UV PC, UV+IR PC ve UV PC+PE sera örtü malzemelerine ilişkin mekanik özellikler aşağıda verilmiştir.

4.2.1. Sararma indisinin zamana bağlı değişimi

UV PC, UV+IR PC ve UV PC+PE sera örtü malzemelerinin sararma indisi (YI) değerleri TSE 2015 standartlarına göre üç ayda bir test edilmiştir. Elde edilen YI

değerlerinin 21 aylık zamana bağlı değişim ortalamaları Çizelge 4.7 ve Şekil 4.13'te sunulmuştur.

Çizelge 4.7. Farklı sera örtü malzemelerinin sararma indisi değerlerinin zamana bağlı değişim değerleri

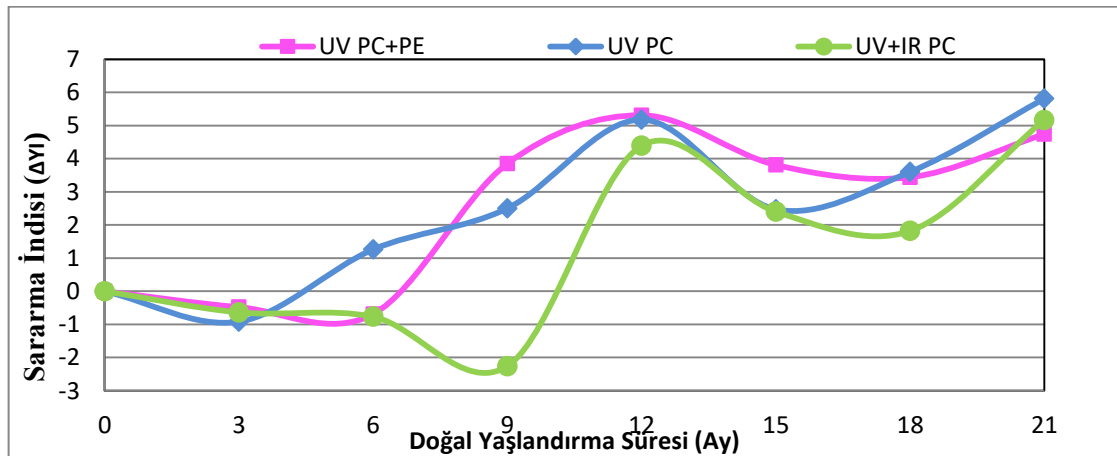
Sararma İndisi (YI)						
Doğal Yaşlandırma Süresi (ay)	UV PC+PE		UV PC		UV+IR PC	
	Sararma İndisi (YI)	ΔYI	Sararma İndisi (YI)	ΔYI	Sararma İndisi (YI)	ΔYI
Başlangıç (Ocak 2020)	-1.28 ^t	0	-1.46 ^t	0	4.41 ^t	0
3. ay (Ocak-Mart 2020)	-1.76	-0.48	-2.38	-0.92	3.77	-0.64
6. ay (Nisan-Haziran 2020)	-2.45	-0.69	-1.12	1.26	3.00	-0.77
9. ay (Temmuz-Eylül 2020)	1.40	3.85	1.38	2.50	0.74	-2.26
12. ay (Ekim-Aralık 2020)	6.71	5.31	6.56	5.18	5.13	4.39
15. ay (Ocak-Mart 2021)	10.52	3.81	9.03	2.47	7.53	2.40
18. ay (Nisan-Haziran 2021)	13.96	3.44	12.63	3.60	9.35	1.82
21. ay (Temmuz-Eylül 2021)	18.70	4.74	18.44	5.81	14.52	5.17
P > F	öd	öd	öd	öd	öd	öd

Önemlilik:

Örtü Malzemesi Etkisi: ö.d.

t: Tabloda verilen değerler aynı örtünün 3 tekrerrüt ortalamasıdır.

öd: istatistiksel olarak önemsiz.



Şekil 4.13. Farklı sera örtü malzemelerinin sararma indisi değerlerinin zamana bağlı değişim değerleri

Gandhi vd. (2019) yapay koşullarda 4 farklı kalınlıktaki (0.18 mm, 3.2 mm, 4.8 mm, 6.3 mm) PC levhaların yaşlanma parametrelerini (termal sararmalarını) incelemiştir. Çalışmada Delta YI (ΔYI) değeri, malzemenin sararma indisinin zamana bağlı değişimi olarak tanımlanmıştır. Araştırmacılar, başlangıç ΔYI değerini tüm örnekleri için 0 olarak bildirmiştir. Ayrıca araştırmada kullanılan malzeme kalınlığı ile ΔYI değeri arasında güçlü bir korelasyon olduğunu saptamışlardır. Çalışma sonucunda ΔYI değerinin başlangıçtan 500. saate kadar azalış ($\Delta YI < -1$) 500 saatten sonra artış gösterdiğini fakat kayda değer artışın (sararmanın) 1000 saatten sonra gerçekleştiğini bildirmişlerdir.

Mehr vd. (2014) PC malzemenin en büyük dezavantajı olan sararmanın temel nedenlerinin, kısa dalga boylu ışıma (mavi/UV radyasyonu), sıcaklığa ve fosfora uzun süre maruz kalması olduğunu belirtmiştir. Ayrıca araştırmacılar sararmayı ultraviyole bozunması olarak tanımlamışlardır. PC malzemenin sararma indisinin zamana bağlı değişimini inceleyen araştırmacılar doğal yaşlanmayla oluşacak sararma indisinin 1000 saatten sonra artış gösterdiğini, sararma indisindeki kayda değer artışın ($YI > 20$) 2000 saatten sonra meydana geldiğini belirtmişlerdir. Buna ek olarak araştırmada, PC malzemenin kullanım ömrünün 100000 saat olduğundan ve sıcaklıkla bu ömrün %30 azaldığı belirtilmiştir. Ayrıca sararmanın asıl sebebinin yüksek sıcaklık olduğunu ve malzemenin belirli bir yaşlanmaya geldikten sonra sıcaklığa maruz kalma süresi arttıkça renk solmasının arttığını, ΔYI değerinin arttığını, malzeme dayanıklılığının daha da azaldığını bildirmişlerdir.

Çizelge 4.7’de görüldüğü gibi çalışmanın başlangıcında ΔYI değeri 0 alınmıştır. Şekil 4.13’te görüldüğü gibi araştırma kapsamında incelenen sera örtü malzemeleri için; UV PC sera örtü malzemesinde 6. ay (4320. saat) ölçümlerinden itibaren, UV+ IR PC sera örtü malzemesinde ise 12. ay (8640. saat) ölçümlerinden itibaren, UV PC+PE sera örtü malzemesinde 9. ay (6480. saat) ölçümlerinden itibaren, ΔYI değerinde kayda değer bir artış olduğu gözlemlenmiştir. Çalışmada kullanılan sera örtü malzemelerinde en yüksek ΔYI değeri, UV PC ve UV+IR PC sera örtü malzemeleri için 21. ayda (15120. saat) ve UV PC+PE sera örtü malzemesi için 12. ayda (8640. saat) elde edilmiştir. Araştırma kapsamında incelenen malzemelerinin YI değerleri artmasına rağmen ΔYI değerlerinin 12. aydan 15. aya (10800. saat) kadar azalış gösterdiği

saptanmıştır. ΔYI değeri YI 'deki artış ya da azalışı temsil ettiğinden, YI 'deki artışın azaldığı belirlenmiştir. Nitekim, üç sera örtü malzemesinde de belirli bir yaşlanmaya ulaştıktan sonra (12.ay) literatür ile uyumlu olarak dış sıcaklığın azalışıyla ΔYI değerleri 12. aydan 18. aya kadar azalmış, dış sıcaklığın artışıyla 18. aydan 21. aya kadar artmıştır.

Durak Akkoyun (2017) termoplastik malzemeler için YI değeri 13'ten az ise, söz konusu malzemelerin henüz sararma olmadığını ve berrak sayılabileceği bildirmiştir. Ayrıca araştırmacı tarafından termoplastik malzemelerde sararmaya ısı, oksijen ve ışık gibi çevresel faktörlerin neden olduğu belirtilmiştir. Mehr vd. (2014) ise PC malzeme için yaşlanmayla oluşacak YI değerinin 20'nin üzerine çıktığı durumlarda artışın kayda değer olduğunu ve malzemenin yaşlanmaya başladığını bildirmiştir.

Literatür taramasından PC malzemenin yaşlanmasında en önemli parametrenin YI olduğu anlaşılmaktadır. PC malzemenin kullanım ömrünün yaklaşık 12 yıl olduğu söylenebilir. Buradan UV PC, UV+IR PC ve UV PC+PE sera örtü malzemeleri için YI değerleri incelendiğinde ΔYI değerlerinin literatür ile uyumlu olduğu görülmektedir (Çizelge 4.5).

Çizelge 4.7 incelendiğinde; UV PC, UV+IR PC ve UV PC+PE sera örtü malzemelerinin başlangıç YI değerleri sırasıyla; -1.46, 4.41 ve -1.28 şeklindedir. Başlangıç YI değerleri incelendiğinde; UV+IR PC sera örtü malzemesinin YI değerinin (4.41), diğer sera örtü malzemeleri (UV PC ve UV PC+PE) YI değerinden yüksek olmasının sebebinin IR katkısı olduğu söylenebilir. Nitekim yapılan literatür taramasından da IR katkı malzemesinin malzemeye sarı renk verdiği bilinmektedir. Çalışmada kullanılan diğer örtü malzemelerinin (UV PC ve UV PC+PE) YI değerlerinin 0'dan küçük çıkması, renklerin sarı renkten uzak, beyaz renge yakın olmasından kaynaklanmaktadır. UV PC, UV+IR PC ve UV PC+PE sera örtü malzemelerinde 18. ay (12960. saat) itibarıyla YI değerlerinin sırasıyla 12.63, 9.35 ve 13.96 olduğu görülmektedir. Bahsedilen sera örtü malzemelerinin 21. ay (15120. saat) YI değerlerinin sırasıyla 18.4, 14.5 ve 18.7 olduğu görülmektedir. UV PC+PE serada kullanılan PE sera örtü malzemesinin kullanım süresi 36 aydır. Buradan, PE sera örtü malzemesinin 18. ay itibarıyla belirgin olarak yaşlanmaya başladığı söylenebilir. Ancak, kullanım ömrünün

yaklaşık 12 yıl olduğu UV PC ve UV+IR PC sera örtü malzemelerinin YI değerleri dikkate alındığında, henüz kullanım ömürlerinin sonuna gelinmediği söylenebilir.

4.2.2. Darbe dayanımının zamana bağlı değişimi

UV PC ve UV+IR PC sera örtü malzemelerinin serbest düşen kütle metodu ile TSE (2021) standartlarına göre belirlenen darbe dayanım değerlerinin 21 aylık zamana bağlı değişim ortalamaları Çizelge 4.8 ve Şekil 4.14’te sunulmuştur.

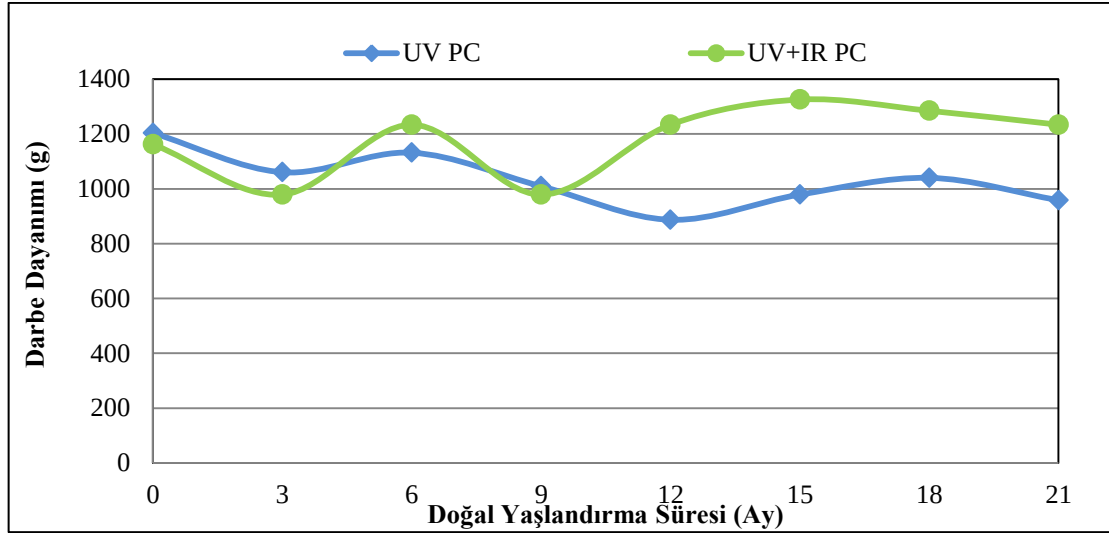
Çizelge 4.8. Farklı sera örtü malzemelerinin darbe dayanım değerlerinin zamana bağlı değişim değerleri

Darbe Dayanımı (g)		
Doğal Yaşlandırma Süresi (ay)	UV PC	UV+IR PC
Başlangıç (Ocak 2020)	1203.4 ^t	1162.5 ^t
3. ay (Ocak-Mart 2020)	1060.5	978.9
6. ay (Nisan-Haziran 2020)	1131.8	1233.8
9. ay (Temmuz-Eylül 2020)	1009.5	978.9
12. ay (Ekim-Aralık 2020)	887.1	1233.8
15. ay (Ocak-Mart 2021)	978.9	1325.6
18. ay (Nisan-Haziran 2021)	1040.1	1284.8
21. ay (Temmuz- Eylül 2021)	958.5	1233.8
P > F	öd	öd
Önemlilik:		
Örtü Malzemesi Etkisi: öd		
t :Tabloda verilen değerler test edilen 15 örneğin ortalamasıdır.		
öd: istatistiksel olarak önemsiz.		

Emekli (2014), CO-EX teknolojisiyle üretilen iki farklı (CO-EX UV+IR+EVA ve CO-EX UV+IR+EVA+AF) PE sera örtü malzemesi için başlangıç darbe dayanım değerlerini sırasıyla 1161.4 ve 1164.1 g olarak saptamıştır. Araştırmacı PE sera örtü malzemeleri başlangıç darbe dayanım mukavemetlerinin 24 ay kullanım süresi sonunda sırasıyla %45.5 ve %38.8 azaldığını bildirmiştir. Nagai vd. (2003), BPA-PC (5 mm) malzemenin güneş ışığına maruz kalmasıyla saydamlık, yüksek gerilme direnci, darbe dayanımı ve sertlik gibi fiziksel özelliklerin, kaybedilmesine neden olduğunu bildirmişlerdir. Araştırmacılar PC malzemenin ilk bozunmasının fenilsalisilat ve benzofenon halka yer değiştirme tepkimesiyle olduğunu belirtmişlerdir. Fuinaa vd.

(2019) oda sıcaklığında darbe dayanımı ve çekme dayanımı testi yaptıkları PC örneklerindeki ortalama değerlerin çekme dayanımı 60.35 N/mm^2 , kopmada çekme dayanımı 79.36 N/mm^2 , darbe dayanımı 46.80 N/mm^2 , kopma uzaması %57.03 şeklinde olduğunu bildirmişlerdir. Briassoulis vd. (1997) plastik malzemenin başlangıç mekanik direnci %50 oranında azaldığında, bahsedilen malzemenin kullanım ömrünün tamamlandığını bildirmişlerdir.

Çizelge 4.8 incelendiğinde, UV PC ve UV+IR PC sera örtü malzemelerinde başlangıç darbe dayanım değerlerinin sırasıyla 1203.4 ve 1162.5 g olduğu görülmektedir. Literatürde, yapısında katkı malzemesi içermeyen PC (4 mm) levhanın darbe dayanımı 7.5 j (764.8 g) olarak bildirilmiştir (Anonymous 2021). Buradan, UV PC ve UV+IR PC sera örtü malzemelerinin başlangıç darbe dayanımlarının literatürle uyumlu ve birbirine yakın olduğu görülmektedir (Çizelge 4.8). UV PC sera örtü malzemesinde en düşük darbe dayanımı 12. ay sonunda 887.1 g (%26.3 azalma), UV+IR PC sera örtü malzemesinde en düşük darbe dayanımı 9. ay sonunda 978.9 g (%15.8 azalma) gerçekleşmiştir. Bununla birlikte, genel olarak darbe dayanımlarının zamana bağlı olarak azaldığı 21 aylık çalışma süresi sonunda UV PC sera örtü malzemesinin başlangıç darbe dayanımının %20.3 oranında azaldığı (958.5 g), UV+IR PC sera örtü malzemesinin ise %6.3 oranında arttığı (1233.8 g) saptanmıştır. PC malzemelerin (UV PC ve UV+IR PC) darbe dayanım değerlerindeki değişim incelendiğinde; yaşlanmanın henüz başlamadığı söylenebilir. UV+IR PC sera örtü malzemesinin bünyesinde bulundurduğu IR katkı maddesi sayesinde, UV PC malzemeye göre ani sıcaklık değişimlerine karşı daha dayanıklı bir yapıda olduğu belirlenmiştir. Malzemede oluşan ani sıcaklık değişimlerinin UV PC sera örtü malzemesinde kristal bölgeleri aktive ettiği ve böylece UV+IR PC malzemenin darbe dayanımı artarken, UV PC malzemenin darbe dayanımının azaldığı belirlenmiştir.

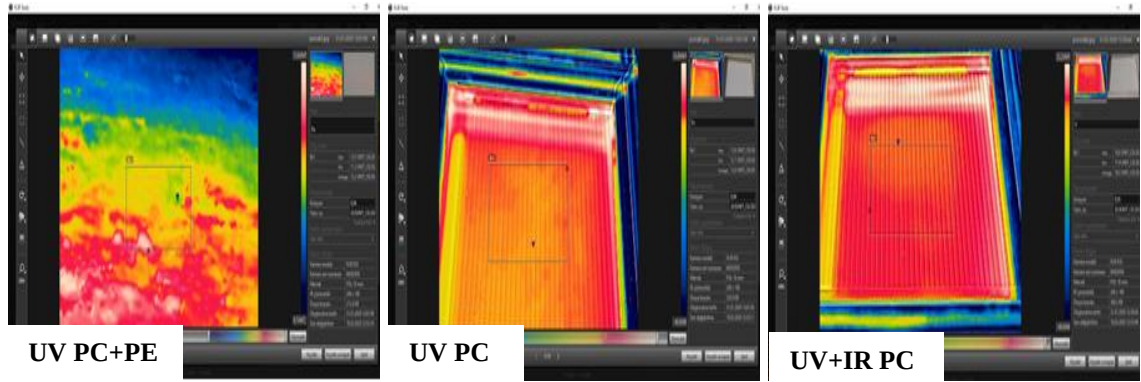


Şekil 4.14. Farklı sera örtü malzemelerinin darbe dayanım değerlerinin zamana bağlı değişim değerleri

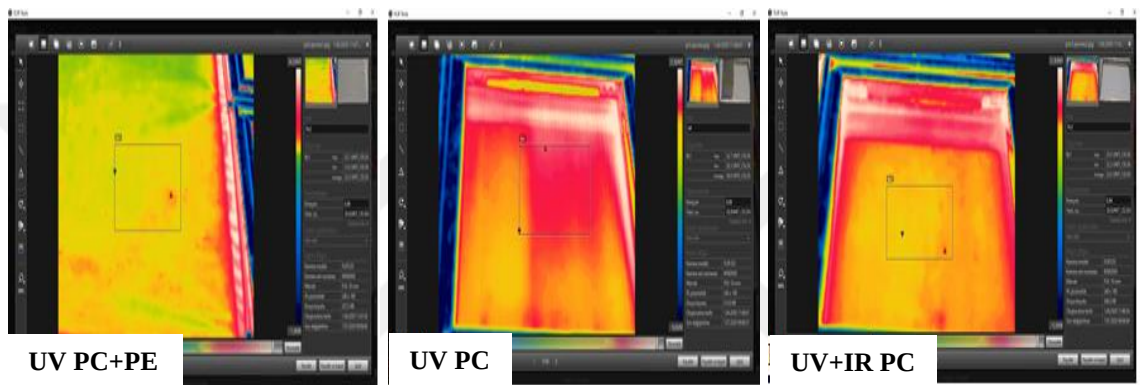
Şekil 4.14 incelendiğinde araştırma kapsamında incelenen UV PC ve UV+IR PC malzemelerin darbe dayanım değerlerinin zamana bağlı dalgalı bir değişim gösterdiği görülmektedir. Malzemelerin bazı aylarda darbe dayanım değerlerinde azalma gösterdiği bazı aylarda geri kazanım gerçekleştiği saptanmıştır. Nitekim, doğal yaşlanma koşullarında sera örtü malzemesi üzerine araştırma süresi boyunca hem güneş ışınlarının geliş açısı hem de dış ortam sıcaklık ve nem düzeyleri değişmektedir. Bu koşullar altında malzemede meydana gelen büzülme ve genleşmeden dolayı darbe dayanım değerlerinin zamana bağlı dalgalı bir değişim gösterdiği söylenebilir.

4.2.3. Malzemede oluşan yaşlanmanın termal kamera ile izlenmesi

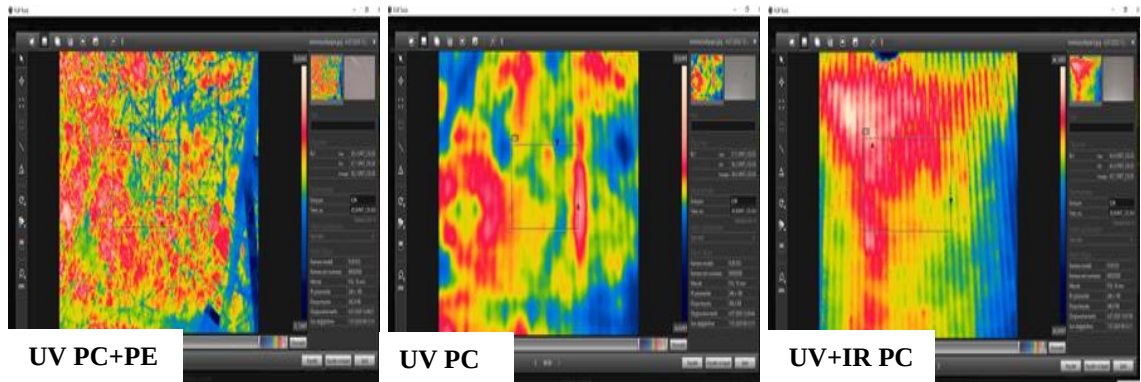
UV PC, UV+IR PC ve UV PC+PE sera örtü malzemelerinin yaşlanmasını belirlemek amacıyla; çalışma süresi boyunca 50x50 cm boyutlarında dış ortam koşullarında bulunan test numunelerinden üç ayda bir alınan termal görüntü elde edilmiştir. Elde edilen termal görüntüler Flir Tools yazılımı ile analiz edilmiştir. Analizi yapılan başlangıç (0. ay) (Şekil 4.15), 3. ay (Şekil 4.16), 6. ay (Şekil 4.17), 9. ay (Şekil 4.18), 12. ay (Şekil 4.19), 15. ay (Şekil 4.20), 18. ay (Şekil 4.21) ve 21. ay (Şekil 4.22) termal görüntülemeleri aşağıda gösterilmiştir.



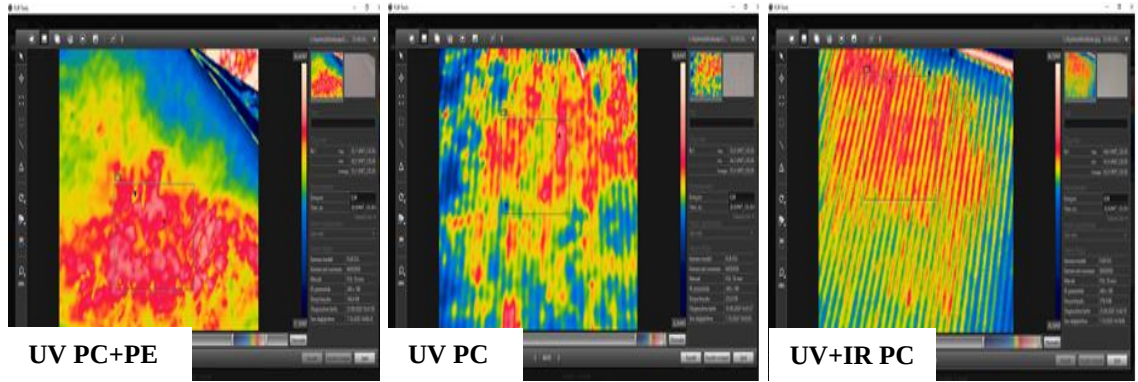
Şekil 4.15. FLIR Tools Yazılımı ile başlangıç (0. ay) örneklerinin sıcaklık analizi



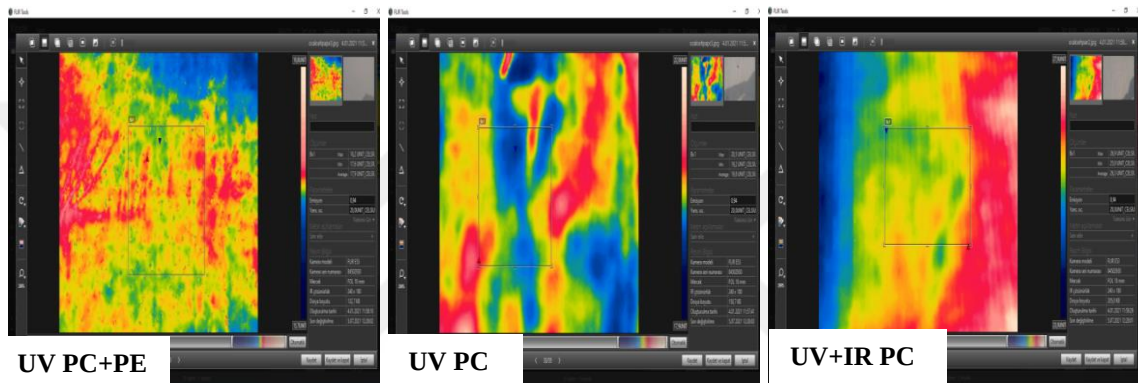
Şekil 4.16. FLIR Tools Yazılımı ile 3. ay örneklerinin sıcaklık analizi



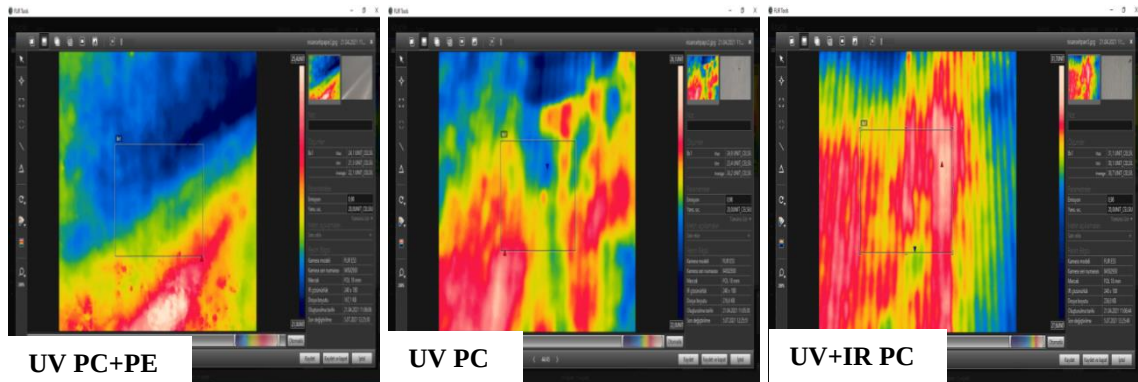
Şekil 4.17. FLIR Tools Yazılımı ile 6. ay örneklerinin sıcaklık analizi



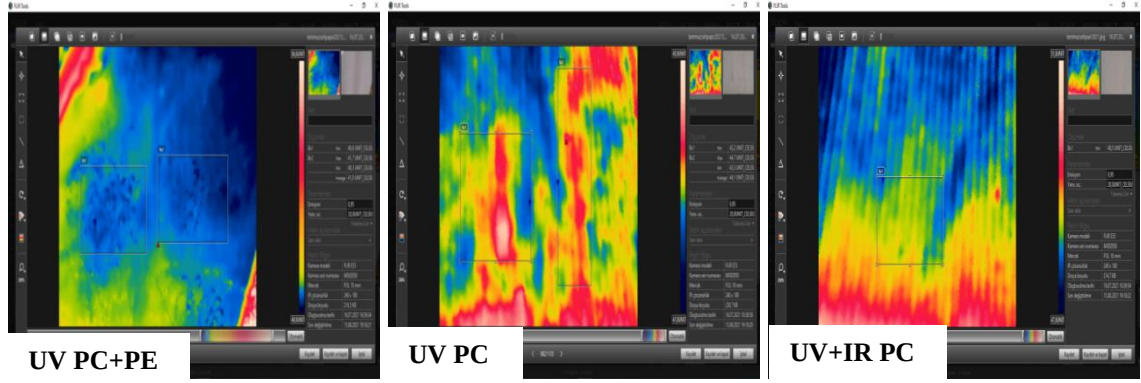
Şekil 4.18. FLIR Tools Yazılımı ile 9. ay örneklerinin sıcaklık analizi



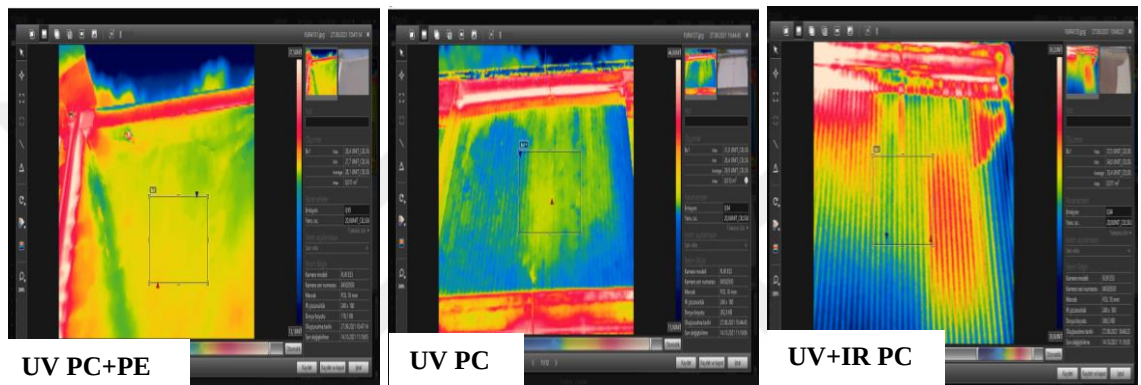
Şekil 4.19. FLIR Tools Yazılımı ile 12. ay örneklerinin sıcaklık analizi



Şekil 4.20. FLIR Tools Yazılımı ile 15. ay örneklerinin sıcaklık analizi

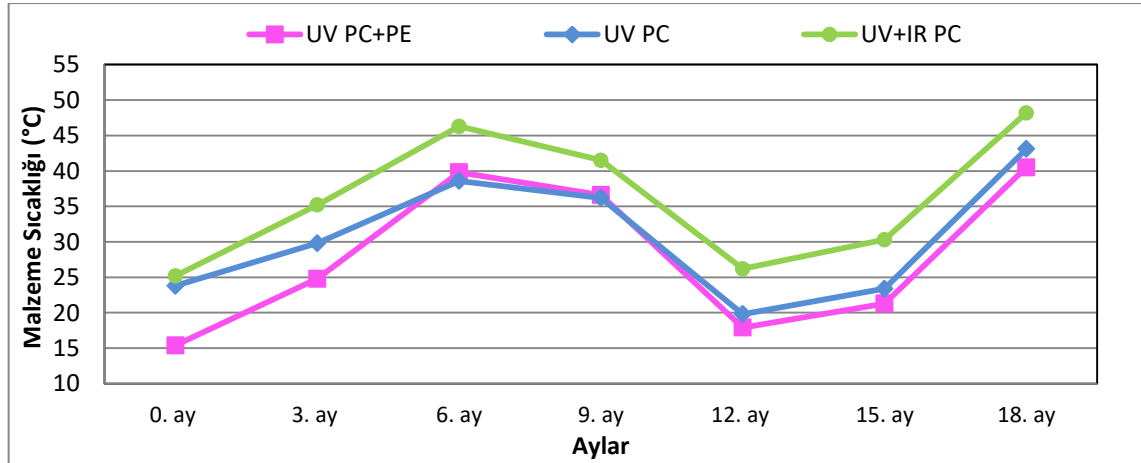


Şekil 4.21. FLIR Tools Yazılımı ile 18. ay örneklerinin sıcaklık analizi



Şekil 4.22. FLIR Tools Yazılımı ile 21. ay örneklerinin sıcaklık analizi

Termal görüntülerin işlenmesinden elde edilen malzeme yüzey sıcaklık değerleri Şekil 4:23'te verilmiştir.



Şekil 4.23. Farklı sera örtü malzemelerinin sıcaklık değerlerinin zamana bağlı değişimi

Şekil 4.23 incelendiğinde; başlangıç (2020 yılı Ocak ayı) ortalama malzeme sıcaklıklarının UV PC, UV+IR PC ve UV PC+PE sera örtü malzemeleri için sırasıyla,

23.8, 25.2 ve 15.4 °C olduğu belirlenmiştir. 3. ay (2020 yılı Nisan ayı) ortalama malzeme sıcaklıkları UV PC, UV+IR PC ve UV PC+PE sera örtü malzemeleri için sırasıyla 29.8, 35.2 ve 24.8 °C elde edilmiştir. Sera örtü malzemelerinden termal görüntüleme ile elde edilen 6. ay (2020 yılı Temmuz ayı) ortalama malzeme sıcaklıkları UV PC, UV+IR PC ve UV PC+PE sera örtü malzemeleri için sırasıyla 38.6, 46.3 ve 39.8 °C olduğu belirlenmiştir. UV PC, UV+IR PC ve UV PC+PE sera örtü malzemeleri için 9. ay (2020 yılı Ekim ayı) ortalama malzeme sıcaklıkları sırasıyla 36.2, 41.5 ve 36.6 °C olduğu belirlenmiştir. 12. ay (2021 yılı Ocak ayı) ortalama malzeme sıcaklıkları ise, UV PC, UV+IR PC ve UV PC+PE sera örtü malzemeleri için sırasıyla 19.8, 26.2 ve 17.9 °C elde edilmiştir. 15. ay (2021 yılı Nisan ayı) ortalama malzeme sıcaklıkları UV PC, UV+IR PC ve UV PC+PE sera örtü malzemeleri için sırasıyla 23.4, 30.3 ve 21.3 °C elde edilmiştir. UV PC, UV+IR PC ve UV PC+PE sera örtü malzemeleri için 18. ay (2021 yılı Temmuz ayı) ortalama malzeme sıcaklıkları sırasıyla 43.1, 48.2 ve 40.5 °C olduğu belirlenmiştir. UV PC, UV+IR PC ve UV PC+PE sera örtü malzemeleri için 21. ay (2021 yılı Ekim ayı) ortalama malzeme sıcaklıkları sırasıyla 29.9, 35.4 ve 28.1 °C olduğu belirlenmiştir. Farklı sera örtü malzemelerinden aylar itibarıyla elde edilen malzeme sıcaklığının (°C) en düşük 2020 yılının Ocak ayında, en yüksek ise 2021 yılının Temmuz ayında elde edildiği görülmüştür.

Araştırmada kullanılan üç sera örtü malzemesinde de termal görüntüleme ile elde edilen sıcaklık değerlerinin birbirine paralellik gösterdiği söylenebilir. Ayrıca incelenen aylar itibarıyla malzemelerin termal kamera ile izlenen sıcaklık değerlerinin bazı aylarda arttığı bazı aylarda azaldığı görülmüştür. Bu durumun sebebinin malzemelerin absorbe edip yansıttığı sıcaklıklar olduğu, dış ortam koşullarına bağlı olarak azalış ve artış gösterdiği belirlenmiştir. Dolayısıyla başlangıçtan (2020 yılı Ocak ayı) çalışmanın 6. ayına (2020 yılı Temmuz ayı) kadar elde edilen ölçümlerde artan dış sıcaklığa paralel olarak malzeme yüzey sıcaklığının da arttığı gözlemlenmiştir. Bunun yanında, çalışmanın 6. ayından (2020 yılı Temmuz ayı) 12. ayına (2021 yılı Ocak ayı) kadar elde edilen ölçümlerde dış sıcaklığın azalışına bağlı olarak termal görüntüleme ile elde edilen sıcaklıklarda da azalış gerçekleşmiştir. Çalışmanın 12. ayından (2021 yılı Ocak ayı) 18. ayına (2021 yılı Temmuz ayı) kadar elde edilen ölçümlerde artan dış sıcaklığa oranla malzeme yüzey sıcaklığının arttığı gözlemlenmiştir. Yine çalışmanın 18. ayından (2021 yılı Temmuz ayı) 21. ayına (2021 yılı Ekim ayı) kadar elde edilen

ölçümlerde dış sıcaklığın azalışına bağlı olarak termal görüntüleme ile elde edilen sıcaklıklarda da azalış gerçekleşmiştir.

Elde edilen termal görüntüler incelendiğinde; sera örtü malzemesi olarak kullanılan üç örtü tipinde de çalışma süresi boyunca termal kamera ile yaşlanma olup olmadığı belirlenebilmiştir (Şekil 4.20). Görüntülerde UV+IR PC malzemenin diğer iki sera örtü malzemesine göre daha kırmızı (sıcak) olduğu saptanmıştır. Bu durum 15. ay (Şekil 4.20) örnekleri sıcaklık analizinde de görülmektedir. IR katkılı malzemenin, absorbe ettiği sıcaklığı diğer malzemelere göre daha geç yaydığı dolayısıyla daha geç soğuduğu gözlemlenmiştir. UV PC+PE malzemenin termal görüntüleri incelendiğinde ise; ölçüm alınan tüm aylarda malzeme yüzeyinde oluşan nem yoğunlaşması sebebiyle sıcak renklerden uzaklaştığı saptanmıştır. Bu durum 18. ay (Şekil 4.21) örnekleri sıcaklık analizinde de görülmektedir.

Çalışma süresi sonunda elde edilen termal görüntüler incelendiğinde; UV PC+PE sera örtü malzemesi için yaşlanmanın 9. ayda (Şekil 4.18) ve 12. ayda (Şekil 4.19) elde edilen termal görüntüde belirgin olarak başladığı belirlenmiştir. Çalışmada kullanılan diğer örtü malzemelerinde (UV PC ve UV+IR PC) ise tıpkı sararma indisi değerlerinde olduğu gibi incelenen termal görüntülerde de yaşlanmanın henüz başlamadığı ve kullanım ömürlerinin sonuna gelinmediği söylenebilir.

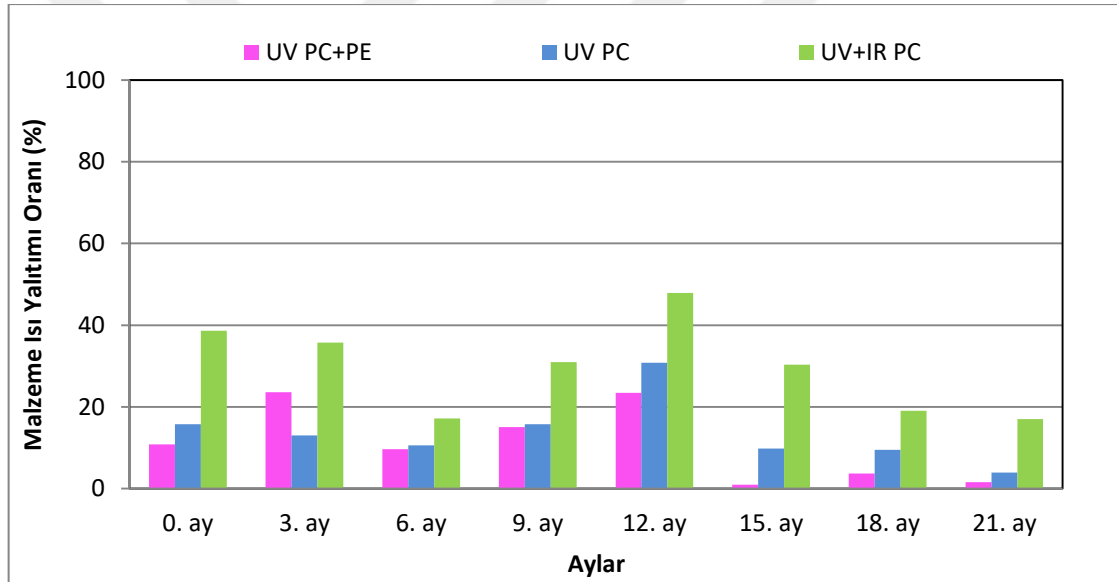
Örtü altı yetiştiriciliğinde hem ilk yatırım giderlerinin fazla olması hem de ülkemizin sağladığı üstün ekolojik koşullar sebebiyle bazı bölgelerde ısıtma yapılmadan sera içi çevre koşulları sağlanmaktadır. Bu nedenle sera örtü malzemelerinin ısı yalıtımı özelliği önem taşımaktadır. Seracılıkta en büyük işletme giderini oluşturan ısıtma giderlerinin azaltılması ya da ısıtma yapılmayan seralarda sera içi sıcaklığın dengede tutulması yetiştiricilik için ısı yalıtımı iyi olan sera örtü malzemelerinin seçilmesi gerekmektedir.

Saçak (2005) tarafından termal iletkenlik malzeme içerisindeki ısı enerjisinin hareket yeteneği olarak adlandırılmıştır. Malzemedeki bu hareketliliğin enerjinin bir yerden diğerine taşınmasını içerdiği belirtilmiştir. Malzeme türünün termal iletkenlikte oldukça önemli olduğu bildirilmiştir. Araştırmacı tarafından malzemenin termal iletkenlik değerinin ısıyı absorblamasıyla ilgili olduğu saptanmıştır. Polimer malzemeler

fazla miktarda ısıyı bünyelerinde tutabildiklerinden termal iletkenliklerinin düşük olduğu belirtilmiştir.

Chen vd. (2016) termal iletkenlik değerinin PE malzeme için 0.30-0.34 W/m⁰K, PC (4 mm) malzeme için 0.19-0.21 W/m⁰K olduğunu bildirmiştir. Polimerlerde termal iletkenlik, kristallik derecesi, sıcaklık, makro moleküllerin dizilimi gibi birçok parametreden etkilenmektedir (Li vd. 2017). Bir malzemenin termal iletkenliğinin düşük olması yalıtımının iyi olduğu anlamına gelmektedir.

Şekil 4.24'te malzeme ısı yalıtım oranı çalışma süresince malzemede oluşan yaşlanmanın termal kamera ile tespit edilmesi amacıyla konstrüksiyonda bulunan malzemelerden elde edilen sıcaklık ile dış sıcaklık arasındaki ısı yalıtımı verilmiştir.



Şekil 4.24. Farklı sera örtü malzemelerinin ısı yalıtım oranının zamana bağlı değişimi

Çalışma süresince malzemede oluşan yaşlanmanın termal kamera ile tespit edilmesi amacıyla konstrüksiyonda bulunan malzemelerden elde edilen sıcaklık ve dış sıcaklık arasındaki fark incelenen aylar itibarıyla Çizelge 4.9'da verilmiştir.

Çizelge 4.9. Farklı sera örtü malzemelerinin zamana bağlı malzeme sıcaklığı ve dış ortam sıcaklığı arasında oluşan farklar

Malzeme Sıcaklığı ve Dış Ortam Sıcaklığı Arasında Oluşan Sıcaklık Farkları (°C)				
Doğal Yaşlandırma Süresi (ay)	UV PC+PE	UV PC	UV+IR PC	P > F
Başlangıç (Ocak 2020)	2.4 ^t	3.7 ^t	12.4 ^t	***
3. ay (Ocak-Mart 2020)	3.7	3.0	8.5	***
6. ay (Nisan-Haziran 2020)	5.5	6.0	9.7	***
9. ay (Temmuz-Eylül 2020)	5.1	5.4	12.9	***
12. ay (Ekim-Aralık 2020)	4.2	6.1	12.6	***
15. ay (Ocak-Mart 2021)	0.2	2.3	9.2	***
18. ay (Nisan-Haziran 2021)	1.5	4.1	9.2	***
21. ay (Temmuz- Eylül 2021)	0.6	1.5	7.5	***
P > F	***	***	***	
Ortalama	2.9	4.0	10.3	
Önemlilik:				
Örtü Malzemesi Etkisi : ***				
Aylar : ***				
Örtü Malzemesi x Aylar : ***				
t :Tabloda verilen değerler ölçüm anında elde edilen 3 görüntünün sıcaklık ortalamasıdır.				
***: % 5 olasılık seviyesinde önemlidir.				

Bektaş vd. (2017) kullanılan malzemenin kalınlığı arttıkça, ısı kaybının azaldığını ve enerji verimliliğinin arttığını bildirmişlerdir. Çaylı vd. (2016) tek kat PE, çift kat PE ve PC (4 mm) örtü malzemeli 3 farklı serada ısı kayıplarını termal kamera ile belirlemişlerdir. Araştırmacılar tarafından sıcak hava üfleme ısıtıcı ile ısıtılan bir serada, elde edilen termal görüntüler aracılığıyla ısı yalıtım durumunun ve ısı kaybının belirlenmesinin mümkün olduğu vurgulanmıştır.

Şekil 4.24 incelendiğinde, malzemelerin başlangıç ısı yalıtımı UV PC için %15.8, UV+IR PC için %38.6 ve UV PC+PE için %10.9 olarak tespit edilmiştir. Isı yalıtım değerleri tıpkı darbe dayanımı gibi zamana bağlı dalgalı bir değişim göstermiştir. Malzemelerin bazı aylarda ısı yalıtımında azalma gösterdiği bazı aylarda geri kazanım gerçekleştirdiği saptanmıştır. Çalışmanın sonunda sera örtü malzemeleri için ısı yalıtımının zamana bağlı olarak azaldığı ve UV PC için %3.9, UV+IR PC için %17.0 ve UV PC+PE için %1.6 olduğu tespit edilmiştir. Araştırmada kullanılan sera örtü malzemeleri içerisinde incelenen aylar itibarıyla en yüksek ısı yalıtımının UV+IR PC malzeme de gerçekleşmesinin sebebinin, hem malzeme kalınlığı hem de yapısında

bulundurduğu IR katkısı olduğu söylenebilir. Çalışmada kullanılan örtü malzemelerinde ısı yalıtım oranları ile ΔYI arasında ters bir ilişki olduğu belirlenmiştir. Nitekim ΔYI 'de en yüksek değer 12. ayda ölçülmüştür. Isı yalıtım oranındaki kayda değer düşüş sararma indisi ile ilişkili olarak 12. aydan sonra gerçekleşmiştir. UV PC+PE sera örtü malzemesinde ise yaşlanmanın başlaması ile birlikte ısı yalıtımının da zamanla (12. ay itibarıyla) giderek azaldığı ve neredeyse ısı yalıtımı gerçekleştirmediği aylar (15. ay ve 21. ay) olduğu söylenebilir. Buradan diğer sera örtü malzemeleri ile kıyaslandığında PE malzemenin yaşlandığı, diğer sera örtü malzemelerinde (UV PC ve UV+IR PC) ise yaşlanmanın henüz başlamadığı belirlenmiştir. Oluşan bu fark istatistiksel olarak da ortaya konmuştur. Farklı sera örtü malzemeleri ısı yalıtım değerlerinin hem incelenen aylar, hem örtü tipleri, hem de ay*örtü interaksyonu açısından istatistiksel anlamda önemli farklılıklar gösterdiği belirlenmiştir ($p<0.05$).

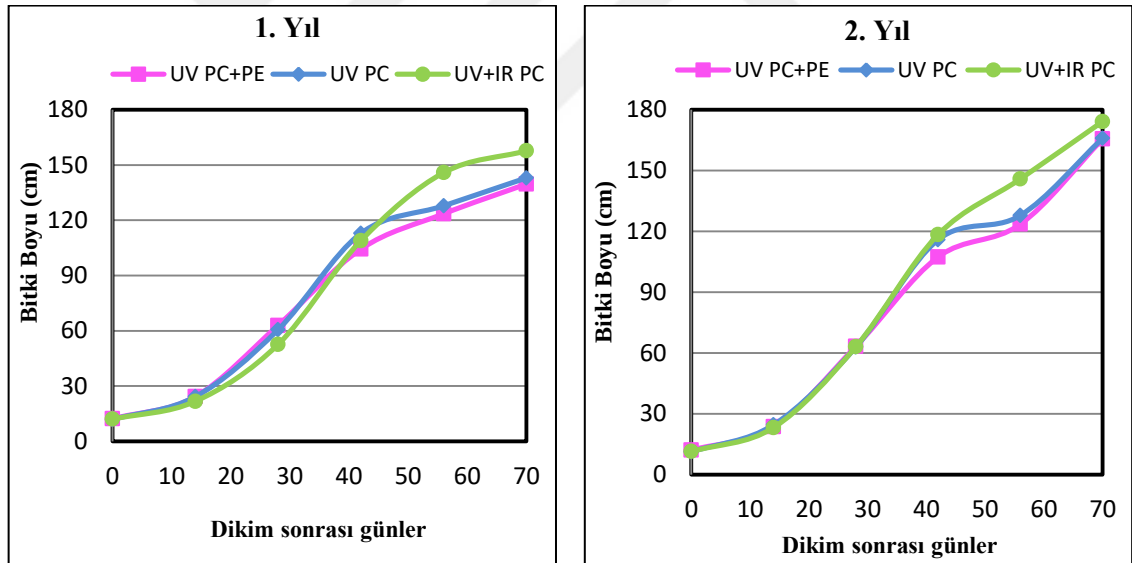
Wang vd. (2017), çalışmalarında PC ve polyester malzemelerin belirli sıcaklık ve sürelerde termal yaşlanma mekanizmasını incelemiştir. Araştırmada yaşlandırma süresi arttıkça, yaşlanmanın hızlandığı ve malzemenin termal stabilitesinin azaldığını, hatta yok olduğunu bildirilmiştir. Çalışma sonucunda, malzemede ortaya çıkan yalıtım özelliğinin bozunma değerinin yaşlanma derecesinin bir göstergesi olarak kullanılabileceğini vurgulamışlardır. Araştırmacılar tarafından malzemelerde termal yaşlanmanın ilk olarak amorf bölgelerde başladığı, moleküler zincir kırılımı ile yüzeyde boşluklar oluştuğu ve polimerizasyon derecesinin azalması sebebiyle yüzey pürüzlülüğünün yanında entalpinin yükseldiği bildirilmiştir. Ancak yaşlandırma işlemi sırasında malzeme yapısındaki kristal bölgelerin önemli ölçüde zarar gördüğü ve aktivasyon enerjisinin azaldığı belirlenmiştir. Buradan çalışmada elde edilen bulguların literatür ile uyumlu olduğu ve malzeme yapısındaki kristal bölgeler ile malzemenin yansıtıcılığı arasında ters yönlü bir ilişki olduğu söylenebilir.

4.3. Farklı Sera Örtü Malzemelerinin Işınım Geçirgenliğinin Bitki Gelişimi Üzerine Etkisi

Farklı sera örtü malzemeleri ile kaplı seralarda elde edilen bazı bitki büyüme ve gelişme (bitki boy, kök boğazı kalınlığı, yaprak sayısı), verim ve meyve kalite parametreleri (ortalama meyve ağırlığı, meyve çapı, suda çözünabilir kuru madde (SÇKM), meyve suyunda EC ve pH, likopen miktarı) aşağıda sırasıyla sunulmuştur.

4.3.1. Bitki boyu

Domates bitkilerinin boyları her iki yetiştirme yılında da fideler sera yetiştirme ortamına şaşırtılmasından, tepe (uç) alma işlemi yapılanaya kadar düzenli olarak 14 günde gerçekleştirilmiştir. Şekil 4.25'te görüldüğü gibi her iki yetiştirme yılında da UV+IR PC serada yetiştirilen bitkilerde, diğer iki sera örtü malzemesi altında yetiştirilen bitkilere kıyasla daha yüksek bitki boyu ölçülmüştür.



Şekil 4.25. Farklı örtü malzemeleri altında bitki boyu gelişimi

Çalışmanın gerek birinci gerekse ikinci yılı sonunda farklı örtü malzemelerinin domates bitki boylarına ait varyans analiz sonuçlarının istatistiksel anlamda önemli farklılıklar gösterdiği belirlenmiştir (Çizelge 4.10 ve Çizelge 4.11). Belirlenen bu farkı hangi örtü tipinin oluşturduğu Duncan testi ile tespit edilmiştir. Duncan test sonuçlarına göre UV PC, UV+IR PC ve UV PC+PE malzeme ile kaplı seralarda yetiştirilen domates bitki boyları 70. gün ölçümlerinde, birinci yıl sırasıyla 143.0, 157.7 ve 139.7 cm

(Çizelge 4.10), ikinci yıl ise 165.8, 174.2 ve 165.5 cm (Çizelge 4.11) arasında değişim göstermiştir.

Çizelge 4.10. Denemenin birinci yılında farklı örtü malzemelerinin domates bitki boyuna (cm) etkisi

1. Yıl	Örtü Malzemesi		
	UV PC+PE	UV PC	UV+IR PC
Dikim sonrası günler	Ort±Std sapma(n=6)	Ort±Std sapma (n=6)	Ort±Std sapma (n=6)
0. gün	12.17 ^t ±0.75	11.83±0.75	12.00±0.63
14. gün	24.17±2.63	24.17±0.98	24.67±4.08
28. gün	62.83±2.48	60.50±3.39	52.50±2.25
42. gün	104.33±5.68	112.83±4.40	108.83±3.76
56. gün	123.50±4.37	127.83±2.04	145.83±4.44
70. gün	139.67±10.5	143.00±9.05	157.67±7.94
P > F	***	***	***
Ortalama	77.77±0.972b [£]	80.02±0.972b	83.08±0.972a
Önemlilik:			
Örtü Malzemesi etkisi: ***			
t: İtalik yazılmış bölümde; her bir değer 6 bitkinin ortalamasıdır.			
£: İtalik yazılmış bölümde; küçük harfler Duncan Testine göre %5 önem seviyesinde yatay (sıra boyunca) verilen ortalamaların karşılaştırmasını göstermektedir.			
Farklı harfler istatistiksel olarak birbirinden farklılığı gösterir. (p<0.05).			
***: % 5 olasılık seviyesinde önemlidir.			

Çizelge 4.11. Denemenin ikinci yılında farklı örtü malzemelerinin domates bitki boyuna (cm) etkisi

2. Yıl	Örtü Malzemesi		
	UV PC+PE	UV PC	UV+IR PC
Dikim sonrası günler	Ort±Std sapma (n=6)	Ort±Std sapma(n=6)	Ort±Std sapma(n=6)
0. gün	12.00 ^t ±0.89	11.17±0.75	11.33±0.82
14. gün	24.50±1.87	24.50±2.59	23.17±1.17
28. gün	63.17±2.14	62.83±2.48	63.00±2.68
42. gün	107.33±2.66	115.83±4.58	118.33±2.88
56. gün	123.50±4.37	127.83±2.04	145.83±4.45
70. gün	165.50±3.94	165.83±5.85	174.17±3.76
P > F	***	***	***
Ortalama	82.50±3.47c [£]	84.67±3.47b	89.31±3.47a
Önemlilik:			
Örtü Malzemesi etkisi: ***			
t: İtalik yazılmış bölümde; her bir değer 6 bitkinin ortalamasıdır.			
£: İtalik yazılmış bölümde; küçük harfler Duncan Testine göre %5 önem seviyesinde yatay (sıra boyunca) verilen ortalamaların karşılaştırmasını göstermektedir.			
Farklı harfler istatistiksel olarak birbirinden farklılığı gösterir. (p<0.05).			
***: % 5 olasılık seviyesinde önemlidir.			

Külcü ve Özay (2015) IR katkısı sera ısısının sera içinde tutulmasını sağladığından, gece ile gündüz arasındaki sıcaklık farkını 2-5 °C azalttığını bildirmişlerdir. Araştırmacılar IR katkısı sayesinde sera ısıtmasında enerji tasarrufu sağlandığını ve sera içindeki don riskinin azaldığını bildirmiştir. Böylece bitkilerin strese girmesi önlenerek bitki gelişiminin hızlandığını bildirmişlerdir.

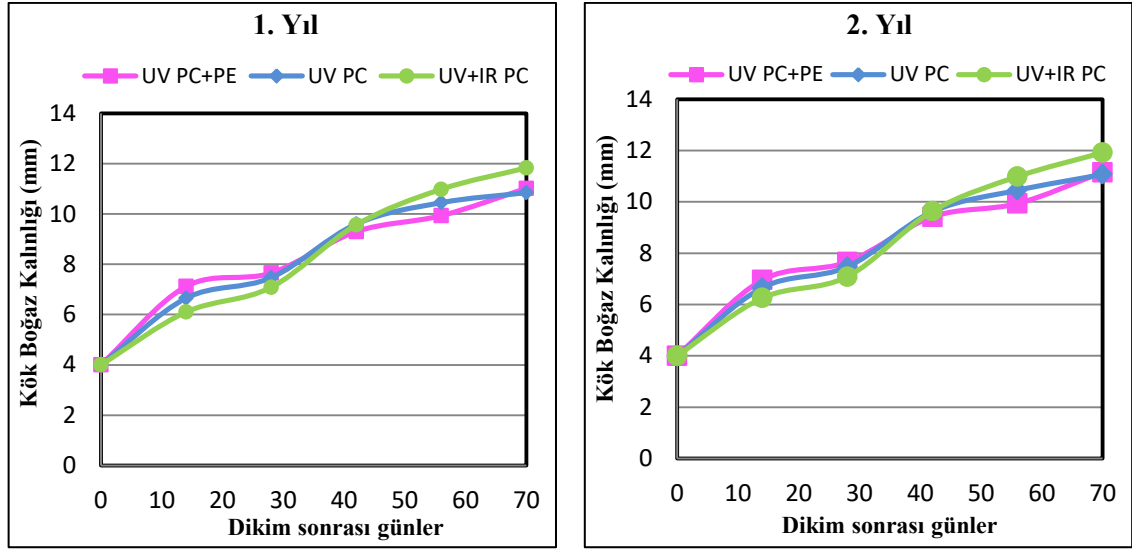
Çalışmada UV+IR PC sera örtü malzemesi ile yetiştiricilik yapılan serada ölçülen bitki boyunun diğer seralara (UV PC ve UV PC+PE) göre daha yüksek olmasının literatürle uyumlu olduğu görülmektedir.

Emekli (2014) yaptığı çalışmada, CO-EX UV+IR+EVA ve CO-EX UV+IR+EVA+AF katkılı PE (0.175 mm) malzeme altında domates bitki boyunun 57. gün ölçümünde sırasıyla 143.3 ve 141.8 cm olduğunu bildirmiştir. Çetin (2020), yaptığı çalışmada PE serada yetiştirdikleri domates bitkisinin kontrol grubu bitki boyunun çalışma sonunda 173.98 cm olduğunu bildirmiştir. Öztekin vd. (2015), yaptıkları çalışmada PE serada yetiştirdikleri domates bitkisi kontrol grubu bitki boyunun çalışma sonunda 174.8 cm olduğunu bildirmiştir.

Çalışmada kullanılan UV PC+PE malzeme ile kaplı serada, elde edilen veriler incelendiğinde literatürle uyumlu olduğu görülmektedir.

4.3.2. Kök boğazı kalınlığı

Domates bitkilerinin kök boğazı kalınlıkları sera yetiştirme ortamına şaşırtılmadan önce fide döneminde 4.0 mm olarak belirlenmiştir. Domates bitkilerinin kök boğazı kalınlıkları her iki yetiştirme yılında da fidelerin sera yetiştirme ortamına şaşırtıldığı günden itibaren düzenli olarak 14 günde bir ölçülmüştür. Şekil 4.26'da görüldüğü gibi dikim sonrası 70. günde yapılan ölçümde kök boğazı kalınlıkları UV PC, UV+IR PC ve UV PC+PE sera örtü malzemeleri ile kaplı seralarda birinci yıl sırasıyla; 10.85, 11.83 ve 11.01 mm, ikinci yıl ise 11.07, 11.92 ve 11.15 mm elde edilmiştir.



Şekil 4.26. Farklı örtü malzemeleri altında kök boğazı kalınlığı gelişimi

Farklı sera örtü malzemelerinin domates bitkisi kök boğazı kalınlıkları üzerine etkisi birinci yıl istatistiksel anlamda önemli farklılıklar göstermediği, ikinci yıl ise istatistiksel anlamda önemli farklılıklar gösterdiği belirlenmiştir (Çizelge 4.12 ve Çizelge 4.13). Belirlenen bu farkı hangi örtü tipinin oluşturduğu Duncan testi ile tespit edilmiştir. Duncan test sonuçlarına göre UV PC, UV+IR PC, ve UV PC+PE malzeme ile kaplı seralarda yetiştirilen domates bitkisi kök boğazı kalınlığı ortalamaları, birinci yıl sırasıyla 8.16, 8.26 ve 8.16 mm (Çizelge 4.12), ikinci yıl ise 8.21, 8.31 ve 8.18 mm (Çizelge 4.13) olarak elde edilmiştir.

Çizelge 4.12. Denemenin birinci yılında farklı örtü malzemelerinin domates bitkisi kök boğazı kalınlığına (mm) etkisi

1. Yıl	Örtü Malzemesi		
	UV PC+PE	UV PC	UV+IR PC
Dikim sonrası günler	Ort±Std sapma(n=6)	Ort±Std sapma(n=6)	Ort±Std sapma(n=6)
0. gün	4.00 ^t ±0.00	4.00±0.00	4.00±0.00
14. gün	7.11±0.21	6.65±0.12	6.10±0.08
28. gün	7.65±0.16	7.46±0.13	7.08±0.98
42. gün	9.30±0.2	9.60±0.17	9.56±0.18
56. gün	9.93±0.19	10.45±0.10	10.98±0.14
70. gün	11.01±0.14	10.85±0.16	11.83±0.41
P > F	öd	öd	öd
Ortalama	8.16±0.028a [£]	8.16±0.028a	8.26±0.028a
Önemlilik:			
Örtü Malzemesi etkisi: ö.d.			
t: İtalic yazılmış bölümde; her bir değer 6 bitkinin ortalamasıdır.			
£: İtalic yazılmış bölümde; küçük harfler Duncan Testine göre %5 önem seviyesinde yatay (satır boyunca) verilen ortalamaların karşılaştırmasını göstermektedir.			
Farklı harfler istatistiksel olarak birbirinden farklılığı gösterir. (p<0.05).			
öd: istatistiksel olarak önemsiz.			

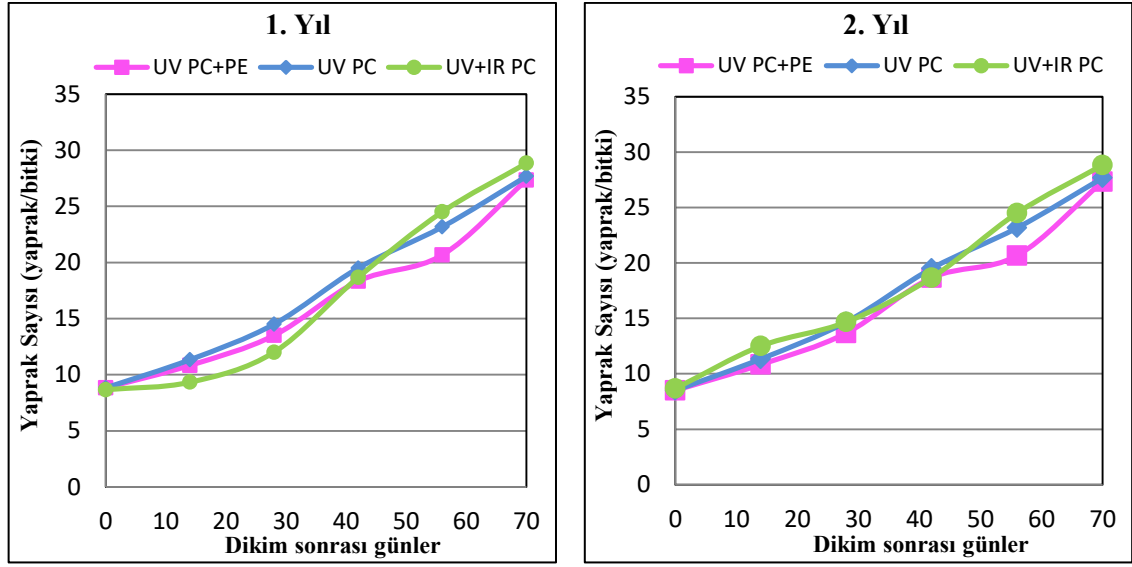
Çizelge 4.13. Denemenin ikinci yılında farklı örtü malzemelerinin domates bitkisi kök boğazı kalınlığına (mm) etkisi

2. Yıl	Örtü Malzemesi		
	UV PC+PE	UV PC	UV+IR PC
Dikim sonrası günler	Ort±Std sapma(n=6)	Ort±Std sapma(n=6)	Ort±Std sapma(n=6)
0. gün	4.00 ^t ±0.00	4.00±0.00	4.00±0.00
14. gün	6.95±0.15	6.65±0.12	6.25±0.10
28. gün	7.65±0.16	7.47±0.14	7.08±0.10
42. gün	9.42±0.12	9.62±0.16	9.63±0.15
56. gün	9.93±0.20	10.45±0.10	10.98±0.15
70. gün	11.15±0.44	11.07±0.48	11.92±0.38
P > F	***	***	***
Ortalama	8.18±0.067b [£]	8.21±0.067b	8.31±0.067a
Önemlilik:			
Örtü Malzemesi etkisi: ***			
t: İtalik yazılmış bölümde; her bir değer 6 bitkinin ortalamasıdır.			
£: İtalik yazılmış bölümde; küçük harfler Duncan Testine göre %5 önem seviyesinde yatay (satır boyunca) verilen ortalamaların karşılaştırmasını göstermektedir.			
Farklı harfler istatistiksel olarak birbirinden farklılığı gösterir. (p<0.05).			
***: %5 olasılık seviyesinde önemlidir.			

Karakaş Dikilitaş (2013), açık tarla koşullarında farklı tuz seviyelerinin domates gelişimine etkisini incelediği çalışmada kontrol grubu domates bitkilerinin ortalama kök boğazı kalınlığının 11.80 mm olduğunu bildirmiştir. Akdağ (2020) yaptığı çalışmada, domates bitkisinde PC sera örtü malzemesi altında yetiştirme dönemi boyunca elde edilen ortalama kök boğazı kalınlığının 8.17 mm olduğunu bildirmiştir. Buradan; farklı örtü malzemeleri altında yetiştirilen bitkilerde elde edilen kök boğazı kalınlığı verilerinin literatürle uyumlu olduğu görülmektedir.

4.3.3. Yaprak sayısı

Domates bitkilerinin yaprak sayısı her iki yetiştirme yılında da sera yetiştirme ortamına şaşırtıldığı günden itibaren düzenli olarak 14 günde bir ölçülmüştür. Şekil 4.27’de görüldüğü gibi dikim sonrası 70. günde yapılan ölçümde yaprak sayısı UV PC, UV+IR PC ve UV PC+PE sera örtü malzemeleri ile kaplı seralarda birinci yıl sırasıyla; 27, 28 ve 27 yaprak/bitki, ikinci yıl 27, 28 ve 27 yaprak/bitki elde edilmiştir.



Şekil 4.27. Farklı örtü malzemeleri altında yaprak sayısı gelişimi

Farklı sera örtü malzemelerinin domates bitkisi yaprak sayısı üzerine etkisi istatistiksel olarak birinci yıl anlamlı bulunmamış, ikinci yıl ise anlamlı bulunmuştur (Çizelge 4.14 ve Çizelge 4.15). Duncan test sonuçlarına göre UV PC, UV+IR PC ve UV PC+PE malzeme ile kaplanmış 3 araştırma serasında yetiştirilen domates bitkisi yaprak sayısı ortalamaları, birinci yıl sırasıyla 17, 17 ve 16 yaprak/bitki (Çizelge 4.14), ikinci yıl ise 17, 17 ve 16 yaprak/bitki (Çizelge 4.15) olarak elde edilmiştir.

Çizelge 4.14. Denemenin birinci yılında farklı örtü malzemelerinin domates bitkisi yaprak sayısına (yaprak/adet) etkisi

1. Yıl	Örtü Malzemesi		
	UV PC+PE	UV PC	UV+IR PC
Dikim sonrası günler	Ort±Std sapma(n=6)	Ort±Std sapma(n=6)	Ort±Std sapma(n=6)
0. gün	8.83 ^t ±0.75	8.83±0.75	8.66±0.81
14. gün	10.83±1.47	11.33±1.50	9.33±0.81
28. gün	13.50±0.54	15.50±0.54	12.00±0.89
42. gün	18.33±1.36	19.50±1.04	18.66±1.21
56. gün	20.66±1.21	23.16±0.75	24.5±1.04
70. gün	27.33±1.75	27.66±1.86	28.83±0.98
P > F	öd	öd	öd
Ortalama	16.58±0.281a [£]	17.50±0.281a	17.00±0.281a
Önemlilik:			
Örtü Malzemesi etkisi: ö.d.			
t: İtalik yazılmış bölümde; her bir değer 6 bitkinin ortalamasıdır.			
£: İtalik yazılmış bölümde; küçük harfler Duncan Testine göre %5 önem seviyesinde yatay (satır boyunca) verilen ortalamaların karşılaştırmasını göstermektedir.			
Farklı harfler istatistiksel olarak birbirinden farklılığı gösterir. (p<0.05).			
öd: istatistiksel olarak önemsiz.			

Çizelge 4.15. Denemenin ikinci yılında farklı örtü malzemelerinin domates bitkisi yaprak sayısına (yaprak/adet) etkisi

2. Yıl	Örtü Malzemesi		
	UV PC+PE	UV PC	UV+IR PC
Dikim sonrası günler	Ort±Std sapma(n=6)	Ort±Std sapma(n=6)	Ort±Std sapma(n=6)
0. gün	8.50 ^t ±0.55	8.50±0.55	8.67±1.03
14. gün	10.83±1.47	11.33±1.51	12.50±1.05
28. gün	13.67±0.82	14.67±0.52	14.67±1.03
42. gün	18.67±0.82	19.50±1.05	18.67±1.21
56. gün	20.67±1.21	23.17±0.75	24.50±1.05
70. gün	27.33±1.75	27.67±1.86	28.83±0.98
P > F	***	***	***
Ortalama	16.61±0.688b [£]	17.47±0.688a	17.97±0.688a
Önemlilik:			
Örtü Malzemesi etkisi: ***			
t: İtalik yazılmış bölümde; her bir değer 6 bitkinin ortalamasıdır.			
£: İtalik yazılmış bölümde; küçük harfler Duncan Testine göre %5 önem seviyesinde yatay (satır boyunca) verilen ortalamaların karşılaştırmasını göstermektedir.			
Farklı harfler istatistiksel olarak birbirinden farklılığı gösterir. (p<0.05).			
***: %5 olasılık seviyesinde önemlidir.			

Emekli (2014) yaptığı çalışmada, CO-EX UV+IR+EVA ve CO-EX UV+IR+EVA+AF katkılı PE (0.175 mm) malzeme altında domates bitkisi yaprak sayısını 57. gün ölçümlerinde; 17 ve 18 yaprak/bitki olarak bildirmiştir. Akdağ (2020) yaptığı çalışmada, PC sera örtü malzemesi altında yetiştirilen domates bitkisinin yetiştirme dönemi boyunca elde edilen ortalama yaprak sayısının 18 yaprak/bitki olduğunu bildirmiştir. Buradan; elde edilen veriler incelendiğinde literatürle uyumlu olduğu görülmektedir.

4.3.4. Verim

Farklı örtü malzemelerinin domates bitkisinde toplam verim ile kalite sınıflarına göre verim üzerine etkisi t ha⁻¹ olarak belirlenmiş ve Çizelge 4.16, Çizelge 4.17 ile Şekil 4.28'de gösterilmiştir.

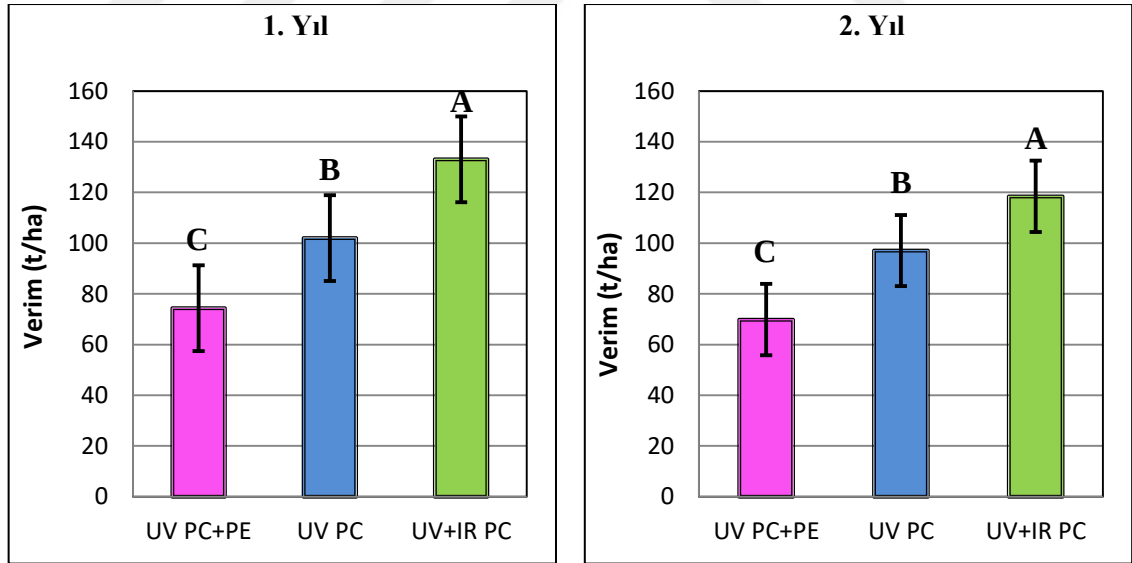
Çizelge 4.16. Çalışmanın birinci yılında farklı örtü malzemeleri altında elde edilen toplam verim

Örtü Malzemesi	Toplam verim t/ha	I. Kalite (t/ha)		II. Kalite (t/ha)		Iskarta (t/ha)	
		(t/ha)	%	(t/ha)	%	(t/ha)	%
UV PC+PE	74.4	28.1	37.7	24.5	32.9	21.8	29.3
UV PC	102.6	39.1	38.1	38.6	37.6	24.9	24.3
UV+IR PC	134.3	109.5	81.5	15.7	11.7	9.1	6.8

Çizelge 4.17. Çalışmanın ikinci yılında farklı örtü malzemeleri altında elde edilen toplam verim

Örtü Malzemesi	Toplam verim t/ha	I. Kalite (t/ha)		II. Kalite (t/ha)		Iskarta (t/ha)	
		(t/ha)	%	(t/ha)	%	(t/ha)	%
UV PC+PE	69.9	25.4	36.3	23.4	33.5	21.1	30.2
UV PC	97.4	37.1	38.1	36.3	37.3	24.0	24.6
UV+IR PC	119.7	97.0	81.0	14.2	11.9	8.5	7.1

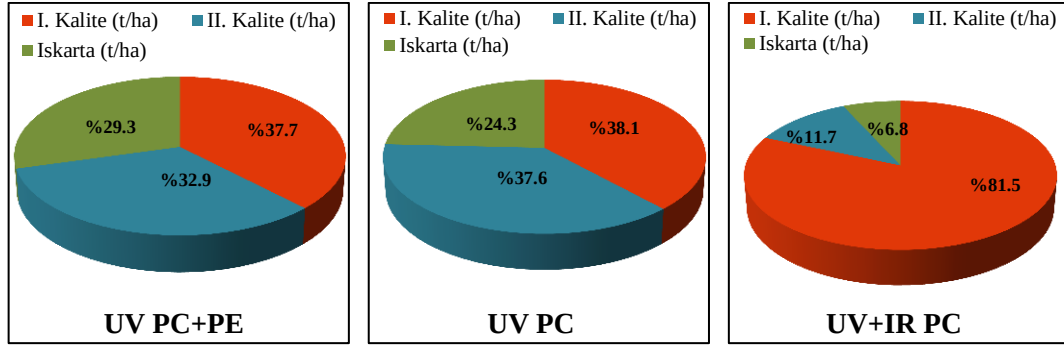
Çizelge 4.16 ve Çizelge 4.17’de görüldüğü gibi, UV PC, UV+IR PC ve UV PC+PE sera örtü malzemeleri altında toplam verim sırasıyla; birinci yıl 102.6, 134.3 ve 74.4 t/ha, ikinci yıl ise 97.4, 119.7 ve 69.9 t/ha elde edilmiştir.



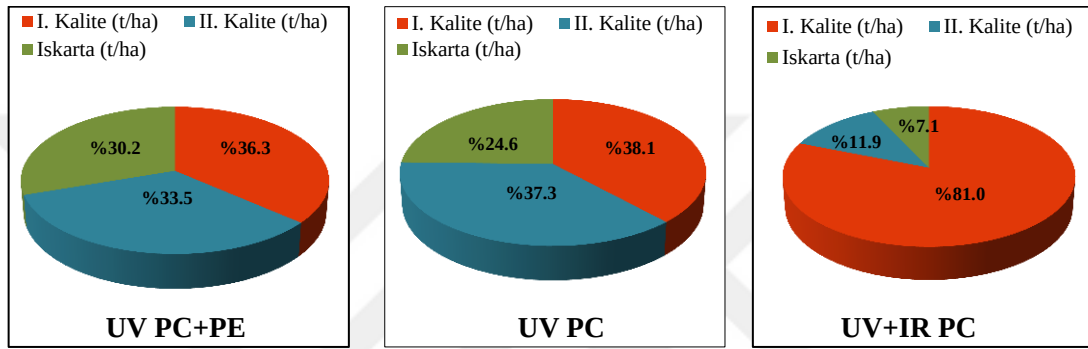
* Farklı harfler istatistiksel olarak birbirinden farklılığı gösterir ($p < 0.05$).

Şekil 4.28. Farklı örtü malzemeleri altında elde edilen toplam verim

Ayrıca farklı sera örtü malzemeleri altında birinci yıl (Şekil 4.29) ve ikinci yıl (Şekil 4.30) elde edilen toplam verim kalite sınıflarına göre; I. kalite, II. kalite ve Iskarta, yüzdelik dilim ile gösterilmiştir.



Şekil 4.29. Farklı sera örtü malzemeleri altında birinci yıl elde edilen toplam verim kalite sınıflarına göre gösterilişi



Şekil 4.30. Farklı sera örtü malzemeleri altında ikinci yıl elde edilen toplam verim kalite sınıflarına göre gösterilişi

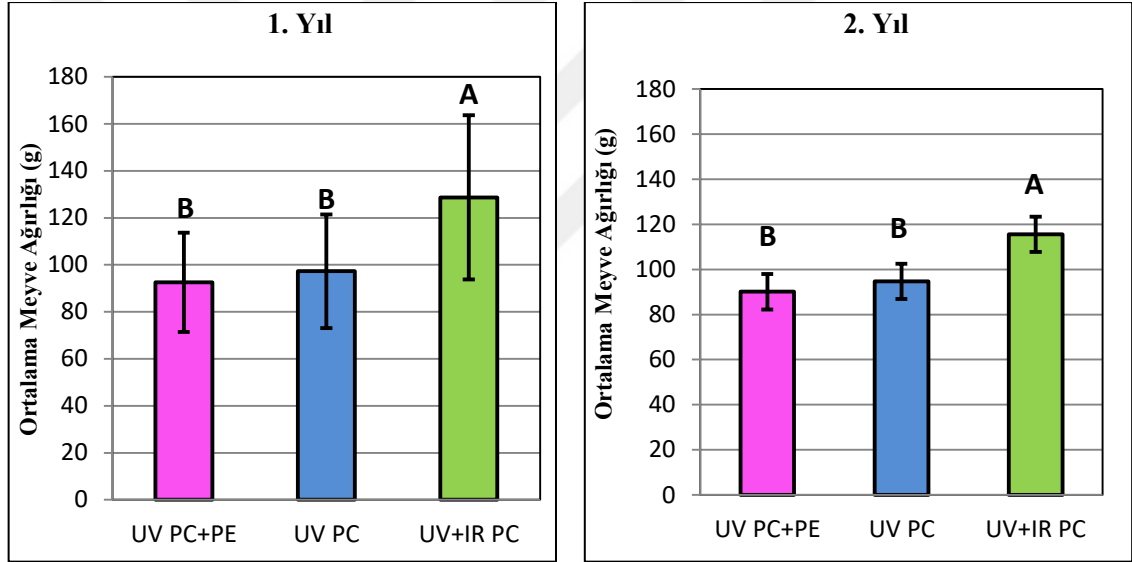
Şekil 4.28’de görüldüğü gibi farklı sera örtü malzemelerinin her iki yetiştirme yılında da verim üzerine etkisi istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur. Bunun yanında, Şekil 4.29 ve Şekil 4.30 incelendiğinde; verim ile kalite sınıflarına göre, en yüksek I. kalitenin yüzde olarak birinci yıl %81.5, ikinci yıl ise %81.0 UV+IR PC sera örtü malzemesinde elde edildiği belirlenmiştir.

Külcü ve Özay (2015) IR katkısı sera ısısının sera içinde tutulmasını sağladığından, gece ile gündüz arasındaki sıcaklık farkını 2-5 °C azalttığını bildirmişlerdir. Böylece bitkilerin strese girmesi önlenerek bitki gelişiminin hızlanarak verimin arttığını bildirmişlerdir. Buradan, UV+IR PC sera örtü malzemesi ile yetiştiricilik yapılan serada elde edilen verimin diğer seralara (UV PC ve UV PC+PE) göre daha yüksek olmasının literatürle uyumlu olduğu görülmektedir. Emekli (2014) yaptığı çalışmada, CO-EX UV+IR+EVA ve CO-EX UV+IR+EVA+AF katkılı PE (0.175 mm) malzeme altında domates bitkisi verim değerini; birinci yıl 109.4 ve 104.1 t/ha, ikinci yıl ise 134.4 ve 106.9 t/ha olarak bildirmiştir. Öztekin vd. (2015) PE malzeme ile kaplanmış serada yaptığı çalışmada domates bitkisi verim değerini; 105.8

t/ha olarak bildirmiştir. Birgin (2021), serada PE malzeme altında çalışma sonunda domates bitkisi kontrol grubu verim değerini 78.3 t/ha olduğunu bildirmiştir. Özdemir ve Özer (2015) PE malzeme ile kaplanmış serada yaptıkları çalışmada; domates bitkisi verim değerini 94 ve 104 t/ha olarak bildirmiştir. Buradan; elde edilen veriler incelendiğinde; literatürle uyumlu olduğu, hatta UV PC ve UV+IR PC seralarda UV PC+PE seraya kıyasla verimin her iki yetiştirme yılında da daha yüksek olduğu anlaşılmaktadır.

4.3.5. Ortalama meyve ağırlığı

Farklı örtü malzemelerinin domates bitkisinde ortalama meyve ağırlığı üzerine etkisi Şekil 4.31’de gösterilmiştir.



* Farklı harfler istatistiksel olarak birbirinden farklılığı gösterir ($p < 0,05$).

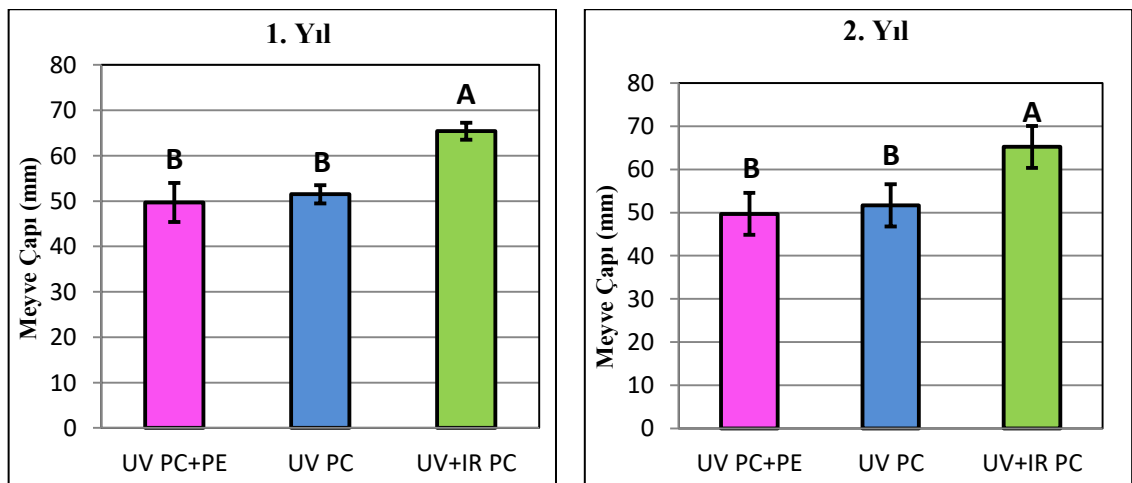
Şekil 4.31. Farklı örtü malzemeleri altında elde edilen ortalama meyve ağırlığı

Şekil 4.31’de görüldüğü gibi, ortalama meyve ağırlığı bakımından her iki yetiştirme yılında da araştırma seralarından elde edilen veriler arasındaki fark istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. UV PC, UV+IR PC ve UV PC+PE malzeme ile kaplanmış 3 araştırma serasında yetiştirilen domates bitkisi ortalama meyve ağırlığı, birinci yıl sırasıyla 99.5, 129.8 ve 95.9 g, ikinci yıl ise 94.7, 115.6 ve 90.1 g elde edilmiştir.

Emekli (2014) yaptığı çalışmada, CO-EX UV+IR+EVA ve CO-EX UV+IR+EVA+AF katkılı PE (0.175 mm) malzeme altında domates bitkisi ortalama meyve ağırlığını 127.6 ve 121.5 g bildirmiştir. Öztekin vd. (2015) PE malzeme ile kaplanmış serada yaptığı çalışmada, domates bitkisi ortalama meyve ağırlığını I. kalitede 123.7 g, II. kalitede ise 78.5 g bildirmiştir. Küçük (2020), açık tarla koşullarında fosfor ve bor uygulamalarının verim ve kalite üzerine etkilerini inceledikleri çalışmada domates bitkisi kontrol grubu ortalama meyve ağırlığının 112.05 g olduğunu bildirmiştir. Karakaş Dikilitaş (2013), açık tarla koşullarında farklı tuz seviyelerinin domates gelişimine etkisini incelediği çalışmada, domates bitkisi kontrol grubu ortalama meyve ağırlığının 137.49 g olduğunu bildirmiştir. Gök (2018), Antalya’da yaptığı çalışmada PE sera örtüsü altında yetiştirdiği domateste bahar dönemi ortalama meyve ağırlığını 108.02 g olarak bildirmiştir. Birgin (2021), serada PE malzeme altında yetiştirilen, domates bitkisi kontrol grubu ortalama meyve ağırlığının 167.14 g olduğunu bildirmiştir. Eltez ve Koçer (2006) ilkbahar döneminde cam serada yaptıkları bir çalışmada domates bitkisi ortalama meyve ağırlığını 96-104 g arasında değiştiğini bildirmişlerdir. Buradan; elde edilen veriler incelendiğinde literatürle uyumlu olduğu görülmektedir.

4.3.6. Meyve çapı

Farklı örtü malzemelerinin domates bitkisinde meyve çapı üzerine etkisi Şekil 4.32’de gösterilmiştir.



*Farklı harfler istatistiksel olarak birbirinden farklılığı gösterir ($p < 0.05$).

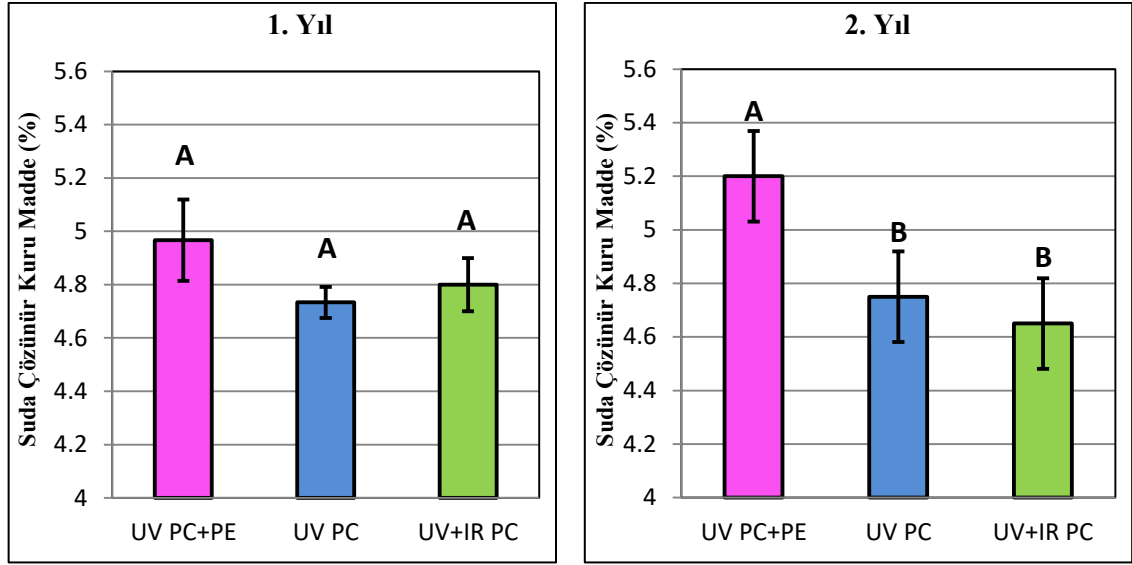
Şekil 4.32. Farklı örtü malzemeleri altında elde edilen meyve çapı

Şekil 4.32’de görüldüğü gibi, meyve çapı bakımından her iki yetiştirme yılında da araştırma seralarından elde edilen veriler arasındaki fark istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. UV PC, UV+IR PC ve UV PC+PE malzeme ile kaplanmış 3 araştırma serasında yetiştirilen domates bitkisi meyve çapı, birinci yıl sırasıyla 51.5, 65.4 ve 49.7 mm, ikinci yıl ise 51.7, 65.2 ve 49.7 mm elde edilmiştir.

Küçük (2020), açık tarla koşullarında fosfor ve bor uygulamalarının verim ve kalite üzerine etkilerini inceledikleri çalışmada domates bitkisi kontrol grubu meyve çapının 49.13 mm olduğunu bildirmiştir. Birgin (2021), serada PE malzeme altında yetiştirilen domates bitkisi kontrol grubu meyve çapının 71.62 mm olduğunu bildirmiştir. Gök (2018) yaptığı çalışmada, bahar dönemi PE sera örtüsü altında yetiştirilen domates bitkisi ortalama meyve çapını 57.8 mm olarak bildirmiştir. Emekli (2014) yaptığı çalışmada, CO-EX UV+IR+EVA ve CO-EX UV+IR+EVA+AF katkılı PE (0.175 mm) malzeme altında domates bitkisi meyve çapını 65-66 mm arasında değiştiğini bildirmiştir. Buradan; elde edilen veriler incelendiğinde literatürle uyumlu olduğu görülmektedir.

4.3.7. Suda çözünebilir kuru madde (SÇKM)

Meyve suyunda çözünebilir kuru madde içeriği dijital refraktometre ile ölçülmüştür. Farklı örtü malzemeleri altında yetiştirilen domates bitkisinde suda çözünebilir kuru madde miktarı (SÇKM) ile ilgili analizler her iki yetiştirme yılında da birinci, ikinci ve üçüncü hasatlardan elde edilen meyve suyunda yapılmıştır. Bu değerlerin ortalaması Şekil 4.33’te verilmiştir.



* Farklı harfler istatistiksel olarak birbirinden farklılığı gösterir ($p < 0.05$).

Şekil 4.33. Farklı örtü malzemeleri altında elde edilen suda çözünebilir kuru madde (SÇKM)

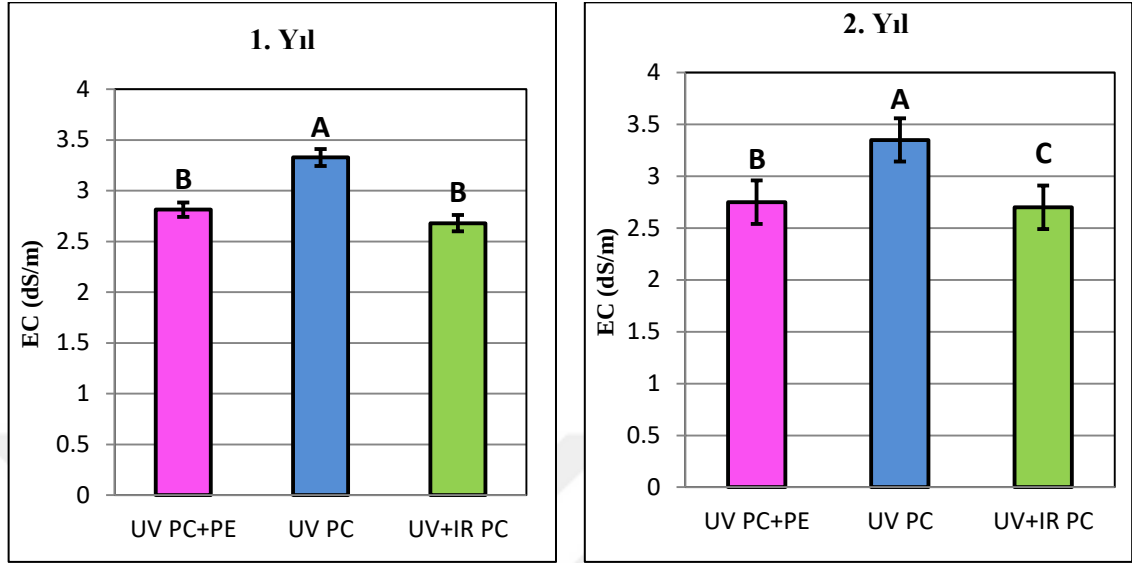
Şekil 4.33'te görüldüğü gibi, farklı sera örtü malzemelerinin domates bitkisinde suda çözünebilir kuru madde üzerine etkisi istatistiksel olarak birinci yıl anlamlı bulunmamış, ikinci yıl ise anlamlı bulunmuştur. UV PC, UV+IR PC ve UV PC+PE malzeme ile kaplanmış 3 araştırma serasında yetiştirilen domates bitkisi suda çözünebilir kuru madde miktarları, birinci yıl sırasıyla %4.7, %4.8 ve %5.0, ikinci yıl ise %4.8, %4.7 ve %5.2 elde edilmiştir.

Birgin (2021), serada PE malzeme altında yetiştirilen domates bitkisi kontrol grubu suda çözünebilir kuru madde miktarını %4.57 olarak bildirmiştir. Gök (2018), Antalya'da yaptığı çalışmada PE sera örtüsü altında yetiştirdiği domateste bahar dönemi suda çözünebilir kuru madde miktarının %3.8-6.4 arasında değiştiğini bildirmiştir. Emekli (2014) yaptığı çalışmada, CO-EX UV+IR+EVA ve CO-EX UV+IR+EVA+AF katkılı PE (0.175 mm) malzeme altında yetiştirilen domates bitkisi suda çözünebilir kuru madde miktarını %4.4 ve %4.3 olarak bildirmiştir. Buradan; elde edilen veriler incelendiğinde literatürle uyumlu olduğu görülmektedir.

4.3.8. Meyve suyunda EC ve pH

Meyve suyunda EC ve pH değerleri EC-pH metre ile ölçülmüştür. Farklı örtü malzemeleri altında yetiştirilen domates bitkisinde EC ve pH değerleri ile ilgili analizler

her iki yetiştirme yılında da birinci, ikinci ve üçüncü hasatlardan elde edilen meyve suyunda yapılmıştır. Bu değerlerin ortalaması 4.34'te verilmiştir.

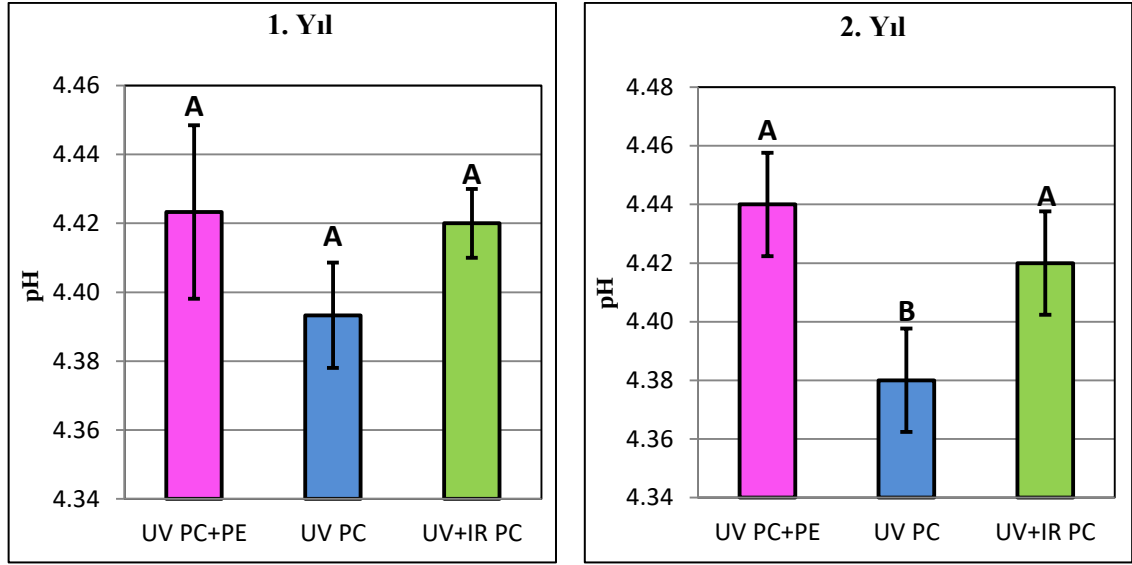


* Farklı harfler istatistiksel olarak birbirinden farklılığı gösterir ($p < 0.05$).

Şekil 4.34. Farklı örtü malzemeleri altında elde edilen meyve suyunda EC miktarı

Şekil 4.34'te görüldüğü gibi, EC bakımından araştırma seralarından her iki yetiştirme yılında da elde edilen veriler arasındaki fark istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. UV PC, UV+IR PC ve UV PC+PE malzeme ile kaplanmış 3 araştırma serasında yetiştirilen domates bitkisi EC değerleri, birinci yıl sırasıyla 3.3, 2.8 ve 2.7 dS/m, ikinci yıl ise 3.4, 2.8 ve 2.7 dS/m elde edilmiştir.

Emekli (2014) yaptığı çalışmada, CO-EX UV+IR+EVA ve CO-EX UV+IR+EVA+AF katkılı PE (0.175 mm) malzeme altında yetiştirilen domates bitkisi EC değerini 4.3 ve 4.5 dS/m olarak bildirilmiştir. Karakaş Dikilitaş (2013), yaptığı çalışmada açık tarlada kontrol grubu domates bitkilerinin EC değerinin 5.18-6.35 dS/m arasında değiştiğini bildirmiştir. Birgin (2021), serada PE malzeme altında yetiştirilen domates bitkisi kontrol grubu EC değerinin 5.43 dS/m olduğunu bildirmiştir. Öztekin vd. (2015) PE malzeme ile kaplanmış serada yaptığı çalışmada domates bitkisi kontrol grubu EC değerini 4.21 dS/m olarak bildirmiştir. Buradan; elde edilen veriler incelendiğinde literatürle uyumlu olduğu görülmektedir.



* Farklı harfler istatistiksel olarak birbirinden farklılığı gösterir ($p < 0.05$).

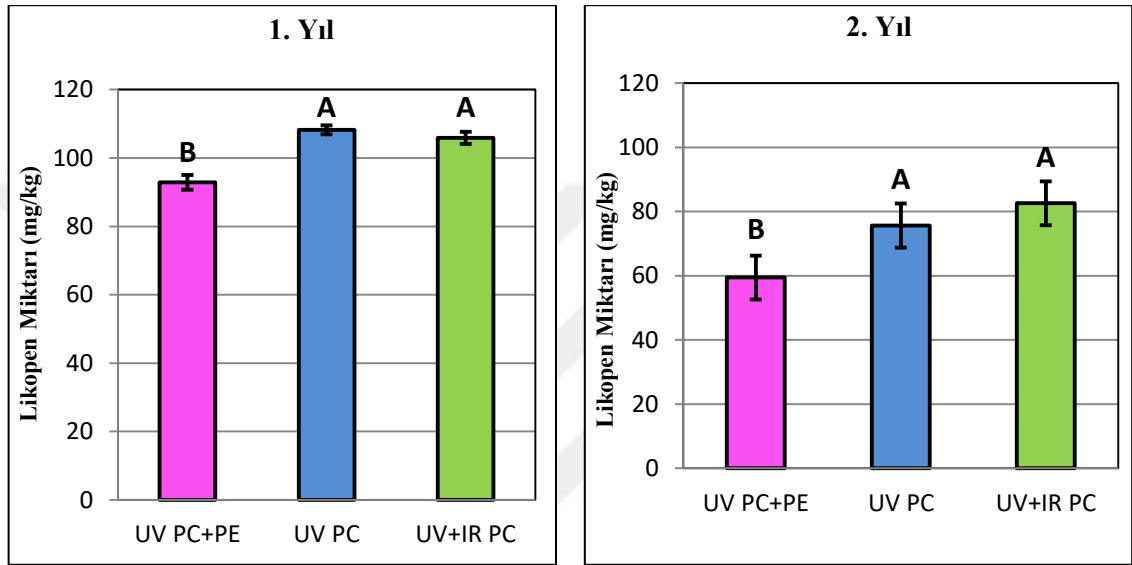
Şekil 4.35. Farklı örtü malzemeleri altında elde edilen meyve suyunda pH miktarı

Şekil 4.35'te görüldüğü gibi, farklı sera örtü malzemelerinin domates meyvesinde pH üzerine etkisi istatistiksel olarak birinci yıl anlamlı bulunmamış, ikinci yıl ise anlamlı bulunmuştur. UV PC, UV+IR PC ve UV PC+PE malzeme ile kaplanmış 3 araştırma serasında yetiştirilen domates bitkisi pH değerleri sırasıyla, birinci yıl 4.39, 4.42 ve 4.42; ikinci yıl ise 4.38, 4.42 ve 4.44 olarak elde edilmiştir.

Emekli (2014) yaptığı çalışmada, CO-EX UV+IR+EVA ve CO-EX UV+IR+EVA+AF katkılı PE (0.175 mm) malzeme altında yetiştirilen domates bitkisi pH değerini 4.4 ve 4.5 olarak bildirmiştir. Küçük (2020), Şırnak ekolojik koşullarında, açık tarlada yetiştirdiği domates bitkisine farklı gelişme zamanlarında bor ve fosfor uygulamasının, verim ve kalite parametreleri üzerine etkilerini incelediği çalışmasında kontrol grubu pH değerinin 4.26 olduğunu bildirmiştir. Karakaş Dikilitaş (2013), yaptığı çalışmada açık tarlada kontrol grubu domates bitkilerinin pH değerinin 4.22-4.50 arasında değiştiğini bildirmiştir. Birgin (2021), serada PE malzeme altında yetiştirilen domates bitkisi kontrol grubu pH değerinin 4.25 olduğunu bildirmiştir. Gök (2018), Antalya'da yaptığı çalışmada bahar dönemi PE sera örtüsü altında yetiştirdiği domates meyve suyunda pH miktarının 4.7-5.2 arasında değiştiğini bildirmiştir. Öztekin vd. (2015) PE malzeme ile kaplanmış serada yaptığı çalışmada domates bitkisi kontrol grubu pH değerini 4.84 olarak bildirmiştir. Buradan; elde edilen veriler incelendiğinde literatürle uyumlu olduğu görülmektedir.

4.3.9. Likopen tayini

Domates meyvelerinden elde edilen örneklerdeki likopen tayini spektrofotometrik yöntem ile yapılmıştır. Tüm likopen çözeltileri için 3 tekerrürlü okuma yapılmış ve sonuçların ortalamaları dikkate alınmıştır. Farklı örtü malzemeleri altında yetiştirilen domates meyvelerinden elde edilen ekstraktlardaki likopen tayini ortalamaları Şekil 4.36'da gösterilmiştir.



*Farklı harfler istatistiksel olarak birbirinden farklılığı gösterir ($p<0.05$).

Şekil 4.36. Farklı örtü malzemeleri altında elde edilen likopen miktarı

Araştırmada UV PC, UV+IR PC ve UV PC+PE malzeme kaplanmış araştırma seralarında yetiştirilen domates meyvelerinden elde edilen likopen miktarları sırasıyla birinci yıl 108.2, 105.9 ve 92.9 mg/kg, ikinci yıl ise 91.9, 94.3 ve 76.1 mg/kg bulunmuştur. Şekil 4.36'da görüldüğü gibi, likopen bakımından araştırma seralarından her iki yetiştirme yılında da elde edilen veriler arasındaki fark istatistiksel olarak önemli bulunmuştur.

Gök (2018), Antalya'da yaptığı çalışmada PE sera örtüsü altında yetiştirdiği domateste bahar dönemi likopen miktarının 48.2-85.9 mg/kg arasında değiştiğini bildirmiştir. Kumcuoğlu vd. (2011), domates salçasında farklı sıcaklıklarda likopen miktarını ultrason uygulamasıyla incelemiş ve 0, 15, 30, 60 dakikada elde ettikleri en yüksek likopen miktarı 87.33 mg/kg olarak bildirmişlerdir. Türüt (2016) yaptığı çalışmada domatesin tüm ürünlerindeki likopen içeriklerine bakmış ve likopen

değerlerinin 88.56-550.30 mg/kg aralığında olduğunu tespit etmiştir. Araştırmacı, incelenen tüm ürünlerde likopen değerlerinin büyükten küçüğe sıralamasının; salça, %50 kurutulmuş domates, %70 kurutulmuş domates, ketçap, taze domates, domates suyu şeklinde olduğunu bildirmiştir.

Kuti ve Konuru (2005) likopen değerinin çeşit ve çevre koşullarına göre değiştiğini inceledikleri çalışmalarında, likopen değerinin 25.2-91.9 mg/kg arasında değiştiğini bildirmişlerdir. Araştırmacılar en yüksek likopen değerini tarlada yetiştirilen kiraz domates çeşidinde (91.9 mg/kg) elde ettiklerini bildirmişlerdir. Bu değeri PE serada yetiştirilen kiraz domates çeşidinin takip ettiği (56.1 mg/kg) araştırmacılar tarafından belirtilmiştir. PE serada yetiştirilen salkım ve yuvarlak domates çeşidinin likopen değerini (30.3 mg/kg) ise tarlada yetiştirilen salkım ve yuvarlak domates çeşidinin likopen değerinin (25.2 mg/kg) takip ettiğini bildirmişlerdir. Sonuç olarak, genotipin domateste likopen değerine kuvvetli etkisi olduğunu, çevre koşullarının bunu artı veya eksi yönde etkilediğini vurgulamışlardır.

Toor vd. (2006) güneş ışınımı, sera iç ortam sıcaklığı ve meyve yükündeki değişimin domatesin antioksidan bileşenlerini etkilediğini belirledikleri bir çalışmada, toplam fenoliklerin ve antioksidan aktivitenin yaz mevsiminde (%62) bahar mevsimine (%39) göre daha yüksek olduğu saptanmıştır. Araştırmacılar tarafından PE serada likopen içeriğinin 19-73 mg/kg arasında değiştiği bildirilmiştir.

Literatür incelendiğinde PC sera örtü malzemeleri altında likopen içeriğine ilişkin bir çalışmaya rastlanmamıştır. Ancak PE sera örtü malzemesi altında yapılan çalışmalarda (Kuti ve Konuru 2005; Toor vd. 2006; Gök 2018) bulunan likopen miktarı, bu çalışmada bulunan likopen miktarının çok altındadır. Bunun sebebinin yapılan bu çalışmada UV PC+PE sera örtü malzemesiyle kaplı seranın yan duvarlarının PC malzeme olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Yüksek likopen miktarının başlıca sebebinin seçilen sera örtü malzemesi olan PC malzeme olduğu, daha sonra model seraların bulunduğu yerin konumu ve iklim özellikleri, bitkinin çeşidi kaynaklı da olabileceği düşünülmektedir.

5. SONUÇLAR

Bu çalışma ile düşük özgül ağırlığa, düşük nem yoğunlaşması oranına, iyi ısı yalıtımına sahip, yüksek darbelere dayanıklı bir termoplastik olan PC (UV PC ve UV+IR PC) ve CO-EX (çok katlı) teknoloji ile üretilen UV+IR+EVA+AB+AO+DİF katkılı PE sera örtü malzemelerinin ortam mikroklimasına etkisi (toplam ışıınım ve PAR geçirgenliği, sera içi ve dış ortam sıcaklık ile sera içi ve dış ortam bağıl nem ölçüm değerleri) ve mekanik (darbe dayanımı ve sararma indisi) özelliklerinin zamana bağlı değişimi ile sera örtü malzemelerinin mekanik özellikleri ile ortam mikroklimasının termal kameralarla belirlenmesi ve bitki gelişimi üzerine etkisinin araştırılması amaçlanmıştır. Çalışma kapsamında elde edilen sonuçlar ve öneriler aşağıda özetlenmiştir.

Farklı sera örtü malzemelerinin aylar itibarıyla toplam ışıınım değerleri güneş ışıınlarının geliş açısına bağlı olarak değişim göstermiştir. Çalışma süresi (19 ay) boyunca (2020 yılı Şubat-2021 yılı Ağustos) UV PC sera örtüsünün toplam ışıınım değerinin 67.6-277.5 W/m², UV+IR PC sera örtüsünün toplam ışıınım değerinin 67.0-277.6 W/m² ve UV PC+PE sera örtüsünün toplam ışıınım değerinin 95.9-412 W/m² arasında değiştiği belirlenmiştir. Bahsi geçen aylarda dış ortam toplam ışıınım değerinin ise; 160.5-733.6 W/m² arasında değiştiği belirlenmiştir.

UV PC, UV+IR PC ve UV PC+PE sera örtü malzemelerinin başlangıç toplam ışıınım geçirgenlik değerlerinin sırasıyla; %49.4, %49.2 ve %62.6 olduğu saptanmıştır. Başlangıç ışıınım geçirgenlik değerleri incelendiğinde; UV PC+PE sera örtü malzemesinin ışıınım geçirgenlik değerinin (%62.6), diğer sera örtü malzemeleri (UV PC ve UV+IR PC) ışıınım geçirgenlik değerinden yüksek olmasının sebebinin malzeme kalınlığı olduğu belirlenmiştir. Nitekim UV PC+PE serada kullanılan PE malzemenin kalınlığı 0.180 mm iken; UV PC ve UV+IR PC malzemelerin kalınlıkları 8 mm'dir. Malzeme yüzeyine gelen güneş ışıınımı; PE sera örtüsünde 0.180 mm yol alırken; UV PC ve UV+IR PC sera örtü malzemelerinde 8 mm (yaklaşık 44.4 kat daha uzun) bir yol almaktadır. Bahsedilen sera örtü malzemelerinin toplam ışıınım geçirgenliğinin, örtü dış yüzeyinde biriken toz ve oluşan kirlilik nedeniyle 2020 yılının Temmuz ayına kadar zamanla azaldığı ve bu azalmanın 6 aylık bir süre sonunda (2020 yılı Temmuz ayı) UV PC malzeme için %21.7, UV+IR PC malzeme için %18.9 ve UV PC+PE malzeme için

%15 olduğu belirlenmiştir. Ancak UV PC, UV+IR PC ve UV PC+PE sera örtü malzemelerinin toplam ışıyım geçirgenliğinin 2020 yılı Ağustos (26 Ağustos) ayında gerçekteşen, ölçülebilir seviyede olmayan yağış ile örtü malzemesi üzerinde biriken toz ve kirliliğin yıkanmasına bağlı olarak geçirgenlik değerlerinin 2020 yılı Ağustos ayından itibaren yeniden artmaya başladığı ve bu artışın 2020 yılı Kasım ayına kadar devam ettiği belirlenmiştir. Yağışlarla meydana gelen yıkamaya bağlı olarak UV PC+PE sera örtü malzemesinin ışıyım geçirgenlik değerinin 10. ayda (2020 yılı Kasım ayı) başlangıç geçirgenlik değerine ulaştığı ve geçirgenlik kaybının olmadığı, buna karşın UV PC ve UV+IR PC sera örtü malzemelerinin ise ışıyım geçirgenlik değerinin başlangıç geçirgenlik değerine kısmen yaklaştığı geçirgenlik kaybının ise sırasıyla %6.9 ve %4.1 olduğu belirlenmiştir. Farklı sera örtü malzemelerinin ışıyım geçirgenliği değerlerinin başlangıç değerlerine yaklaştıktan sonra çevre koşulları ve yaşlanmaya bağlı olarak yeniden azaldığı ve çalışma süresi (19 ay) sonunda bu azalmanın çevre koşulları ve yaşlanmaya bağlı olarak, UV PC malzemede %25.1, UV+IR PC malzemede %28.9 ve UV PC+PE malzemede %10.7 oranında azaldığı saptanmıştır.

Farklı sera örtü malzemelerinin aylar itibarıyla PAR değerleri güneş ışıınlarının geliş açısına bağlı olarak değişim göstermiştir. Çalışma süresi boyunca (2020 yılı şubat-2021 yılı Ağustos) UV PC sera örtü malzemesinin PAR değerinin 92.5-288.7 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$, UV+IR PC sera örtü malzemesinin PAR değerinin 87.5-266.0 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ ve UV PC+PE sera örtü malzemesinin PAR değerinin 104.7-326.4 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ arasında değiştiği belirlenmiştir. Bahsi geçen aylarda dış ortam PAR değerinin ise; 196.5-660.3 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ arasında değiştiği belirlenmiştir.

UV PC, UV+IR PC ve UV PC+PE sera örtü malzemelerinde başlangıç PAR geçirgenlik değerlerinin sırasıyla %54.7, %49.3 ve %54.1 olduğu saptanmıştır. Bahsedilen sera örtü malzemelerinin PAR geçirgenliğinin, örtü dış yüzeyinde biriken toz ve oluşan kirlilik nedeniyle 7 aylık bir periyodun sonunda (2020 yılı Ağustos ayı) UV PC malzeme için %24.3, UV+IR PC malzeme için %20.9 ve UV PC+PE malzeme için %11.8 olduğu belirlenmiştir. Ancak UV PC, UV+IR PC ve UV PC+PE sera örtü malzemelerinin PAR geçirgenliğinin 2020 yılı Ağustos (26 Ağustos) ayında gerçekteşen, ölçülebilir seviyede olmayan yağış ile örtü malzemesi üzerinde biriken toz ve kirliliğin yıkanmasına bağlı olarak PAR geçirgenliği değerlerinin çalışmanın 8.

ayından (2020 yılı Eylül ayı) itibaren yeniden artmaya başladığı ve bu artışın çalışmanın 13. ayına (2021 yılı Şubat ayı) kadar devam ettiği belirlenmiştir. Yağışlarla meydana gelen yıkamaya bağlı olarak UV PC+PE sera örtü malzemesinin çalışmanın 13. ayında (2021 yılı Şubat ayı) başlangıç PAR geçirgenlik değerine ulaştığı ve geçirgenlik kaybının olmadığı, buna karşın UV PC ve UV+IR PC sera örtü malzemelerinin ise PAR geçirgenlik değerinin başlangıç değerine kısmen yaklaştığı geçirgenlik kaybının ise sırasıyla %5.7 ve %2.2 olduğu belirlenmiştir. Farklı sera örtü malzemelerinin PAR geçirgenlik değerlerinin başlangıç değerlerine yaklaştıktan sonra çevre koşulları ve yaşlanmaya bağlı olarak yeniden azaldığı ve çalışma süresi (19 ay) sonunda bu azalmanın çevre koşulları ve yaşlanmaya bağlı olarak, UV PC malzemede %27.2, UV+IR PC malzemede %25.6 ve UV PC+PE malzemede %9.4 oranında azaldığı saptanmıştır.

UV PC, UV+IR PC ve UV PC+PE sera örtü malzemelerinin sonbahar, kış, ilkbahar ve yaz mevsimlerini temsil edeceği günler seçilmiş, açık ve bulutlu gökyüzü koşulları için toplam ışıınım ve PAR geçirgenliğinin günün saatine bağlı değişimi incelendiğinde açık (bulutsuz) gökyüzü koşullarında, eğrinin sabah saatlerinden öğle saatlerine doğru artan yönde doğrusal bir grafik çizdiği görülmektedir. Grafiğin tepe noktasının (en yüksek değer) öğle saatlerinde (12:00) olduğu, öğle saatlerinden akşam saatlerine doğru ise azalan yönde doğrusal bir grafik çizdiği görülmektedir. Bulutlu gökyüzü koşullarında ise dalgalı bir değişim gösteren, doğrusal olmayan bir grafik olduğu görülmektedir.

UV PC, UV+IR PC ve UV PC+PE sera örtü malzemelerinin sararma indisinin zamana bağlı değişimi incelendiğinde başlangıç sararma indisi değerlerinin sırasıyla; -1.46, 4.41 ve -1.28 olduğu görülmektedir. Başlangıç sararma indisi değerleri incelendiğinde; UV+IR PC sera örtü malzemesinin sararma indisi değerinin (4.41), diğer sera örtü malzemeleri (UV PC ve UV PC+PE) sararma indisinden yüksek olmasının sebebinin IR katkısı olduğu belirlenmiştir. UV PC, UV+IR PC ve UV PC+PE sera örtü malzemelerinde 18. ay (12960. saat) itibarıyla sararma indisleri sırasıyla 12.63, 9.35 ve 13.96 saptanmıştır. Bahsedilen sera örtü malzemelerinin 21. ay (15120. saat) sararma indisleri sırasıyla 14.5, 18.7 ve 18.4 olduğu belirlenmiştir. UV PC+PE serada kullanılan PE örtü malzemesinin kullanım süresi 36 aydır. Buradan, PE sera örtü

malzemesinin 18. ay itibarıyla yaşlanmaya başladığı söylenebilir. Ancak, kullanım ömrünün yaklaşık 12 yıl olduğu UV PC ve UV+IR PC sera örtü malzemelerinin sararma indisi değerleri dikkate alındığında, henüz kullanım ömürlerinin sonuna gelinmediği söylenebilir.

UV PC ve UV+IR PC sera örtü malzemelerinin serbest düşen kütle metodu ile belirlenen darbe dayanım değerlerinin zamana bağlı değişimi incelendiğinde başlangıç darbe dayanımlarının sırasıyla 1203.4 ve 1162.5 g olduğu belirlenmiştir. Çalışma süresi boyunca incelenen aylar itibarıyla malzemelerin bazı aylarda darbe dayanım değerlerinde azalma gösterdiği bazı aylarda geri kazanım gerçekleştiği saptanmıştır. Doğal yaşlanma koşullarında araştırma süresi boyunca hem güneş ışınlarının sera örtü malzemesi üzerine geliş açısı, hem de dış ortam sıcaklık ve nem düzeylerinin değişmesiyle, malzemede meydana gelen büzülme ve genleşmeden dolayı darbe dayanım değerlerinin zamana bağlı dalgalı bir değişim gösterdiği belirlenmiştir. UV PC sera örtü malzemesinde en düşük darbe dayanımı 12. ay sonunda (%26.3 azalma), UV+IR PC sera örtü malzemesinde en düşük darbe dayanımı 9. ay sonunda (%15.8 azalma) gerçekleşmiştir. Bahsedilen sera örtü malzemelerinin darbe dayanımlarının zamana bağlı olarak azaldığı 21 aylık çalışma süresi sonunda UV PC sera örtü malzemesinin başlangıç darbe dayanımının %20.3 oranında azaldığı, UV+IR PC sera örtü malzemesinin ise %6.3 oranında arttığı saptanmıştır. PC malzemelerin (UV PC ve UV+IR PC) darbe dayanım değerlerindeki değişim incelendiğinde yaşlanmanın henüz başlamadığı söylenebilir. UV+IR PC sera örtü malzemesinin bünyesinde bulundurduğu IR katkı maddesi sayesinde, UV PC malzemeye göre ani sıcaklık değişimlerine karşı daha dayanıklı bir yapıda olduğu belirlenmiştir. Malzemede oluşan ani sıcaklık değişimlerinin UV PC sera örtü malzemesinde kristal bölgeleri aktive ettiği ve böylece UV+IR PC malzemenin darbe dayanımı artarken, UV PC malzemenin darbe dayanımının azaldığı belirlenmiştir.

UV PC, UV+IR PC ve UV PC+PE sera örtü malzemelerinin yaşlanmasını belirlemek amacıyla üç ayda bir termal kamera ile izlenen malzemelerde başlangıç sıcaklıklarının sırasıyla, 23.8, 25.2 ve 15.4 °C olduğu belirlenmiştir. Çalışma süresi boyunca incelenen aylar itibarıyla malzemelerin termal kamera ile izlenen sıcaklık değerlerinin bazı aylarda arttığı bazı aylarda azaldığı belirlenmiştir. Bu durumun

sebebinin malzemelerin absorbe edip yansıttığı sıcaklıklar olduğu dış ortam koşullarına bağlı olarak azalış ve artış gösterdiği saptanmıştır. Elde edilen termal görüntüler incelendiğinde; sera örtü malzemesi olarak kullanılan üç örtü tipinde de çalışma süresi boyunca termal kamera ile yaşlanma olup olmadığı belirlenebilmiştir. Termal görüntülerde UV+IR PC malzemenin diğer iki sera örtü malzemesine göre daha kırmızı (sıcak) (15. ay) olduğu belirlenmiştir. IR katkılı malzemenin, absorbe ettiği sıcaklığı diğer malzemelere göre daha geç yaydığı dolayısıyla daha geç soğuduğu saptanmıştır. UV PC+PE malzemenin termal görüntüleri incelendiğinde ise; ölçüm alınan tüm aylarda malzeme yüzeyinde oluşan nem yoğunlaşması sebebiyle sıcak renklerden uzaklaştığı (18. ay) saptanmıştır. Çalışma süresi sonunda elde edilen termal görüntüler incelendiğinde; UV PC+PE serada kullanılan PE sera örtü malzemesi için yaşlanmanın 9. ayda ve 12. ayda elde edilen termal görüntüde belirgin olarak başladığı belirlenmiştir. Çalışmada kullanılan diğer örtü malzemelerinde UV PC ve UV+IR PC ise tıpkı sararma indisi değerlerinde olduğu gibi incelenen termal görüntülerde de yaşlanmanın henüz başlamadığı ve kullanım ömürlerinin sonuna gelinmediği söylenebilir.

UV PC, UV+IR PC ve UV PC+PE ile kaplı araştırma seralarından elde edilen sera içi ve dış ortam sıcaklık ölçüm değerlerinin çalışma süresi (19 ay) boyunca ortalama sıcaklıklar dikkate alındığında araştırma seralarında sera iç ortam sıcaklığının dış ortam sıcaklığından yüksek olduğu belirlenmiştir. Sera iç ortam ortalama sıcaklık değerlerinin aylar itibarıyla UV PC örtü malzemesi ile kaplı serada, 16.5-39.5 °C arasında değiştiği, UV+IR PC örtü malzemesi ile kaplı serada, 16.4-39 °C arasında değiştiğinde, UV PC+PE malzeme ile kaplı serada ise sera iç ortam ortalama sıcaklık değerlerinin 15.5-38.8 °C arasında değiştiği görülmektedir. Bununla birlikte araştırma seralarında en düşük sera iç sıcaklığının 2021 yılı Ocak ayında en yüksek sera iç sıcaklığının ise UV+IR PC ve UV PC+PE sera örtü malzemesi için 2020 yılı Ağustos ayında UV PC sera örtü malzemesi için ise 2021 yılı Ağustos ayında gerçekleştiği belirlenmiştir.

Araştırma kapsamında incelenen farklı sera örtü malzemelerinin minimum, maksimum ve ortalama sıcaklık değerlerinin aylar itibarıyla değişimi incelendiğinde farklı sera örtü malzemeleri ile kaplı araştırma seralarında bahsedilen değerlerin, UV+IR PC malzeme kaplı serada sera iç ortam sıcaklığı değerlerinin diğer araştırma

seraları (UV PC+PE ve UV PC) sera iç ortam ortalama sıcaklık değerlerine göre, incelenen aylar ve günün saatleri itibarıyla daha yüksek ve dengeli olduğu görülmektedir. Bu durum çalışmada incelenen sera örtü malzemelerinden UV+IR PC sera örtü malzemesinin bünyesinde bulundurduğu IR katkı maddesi ile topraktan yansıyan kızılötesi ışınları sera içerisinde tutarak seranın iç sıcaklığının hem diğer sera örtü malzemelerine hem de dış ortama göre çok daha yüksek ve dengeli olmasını sağladığı saptanmıştır.

UV PC, UV+IR PC ve UV PC+PE malzeme ile kaplı araştırma seralarından elde edilen sera içi ve dış ortam bağıl nem değerlerinin çalışma süresi (19 ay) boyunca sırasıyla, %27.9-91.3, %28.5-79.2 ve %32.9-82.5 arasında değiştiği belirlenmiştir. Bununla birlikte, araştırma seralarında en düşük sera iç ortam ortalama bağıl nem değerlerinin 2021 yılı Ağustos ayında, en yüksek sera iç ortam ortalama bağıl nem değerleri ise 2021 yılı Mayıs ayında gerçekleştiği belirlenmiştir.

Çalışmada kullanılan UV PC, UV+IR PC ve UV PC+PE sera örtü malzemelerinin sonbahar, kış, ilkbahar ve yaz mevsimlerini temsil edeceği günler seçilmiş, açık ve bulutlu gökyüzü koşulları için sera iç ortam sıcaklık ve nem değerlerinin günün saatine bağlı olarak değiştiği belirlenmiştir. Açık (bulutsuz) gökyüzü koşullarında sera iç ortam sıcaklık ve nem değerlerinin günün saatine bağlı değişimi incelendiğinde, iç ortam sıcaklık eğrisinin sabah saatlerinden öğle saatlerine doğru artan yönde doğrusal bir grafik çizdiği görülmektedir. Grafiğin tepe noktasının (en yüksek değerin) öğle saatlerinde (12:00) olduğu, öğle saatlerinden akşam saatlerine doğru ise azalan yönde doğrusal bir grafik çizdiği görülmektedir. Sera iç ortam bağıl nem eğrisinin ise sıcaklıkla ters orantılı olduğu, iç ortam nem eğrisinin sabah saatlerinden öğle saatlerine doğru azalan yönde doğrusal bir grafik çizdiği görülmektedir. Grafiğin dip noktasının (en düşük değerin) öğle saatlerinde (12:00) olduğu, öğle saatlerinden akşam saatlerine doğru ise artan yönde doğrusal bir grafik çizdiği görülmektedir.

UV PC, UV+IR PC ve UV PC+PE sera örtü malzemeleri ile kaplı araştırma seralarında kanopi sıcaklıkları termal kamera ile izlenmiştir. Termal kamera ile elde edilen ölçüm sıcaklıkları ve algılayıcıdan alınan dış ortam sıcaklığı ile kolerasyonları belirlenmiştir. Çalışmanın ilk yılında bitki yetiştirme periyodu olan Mart-Haziran aylarında termal kamera ile ölçülen kanopi sıcaklıkları, UV PC serada 36.1-39.1 °C,

UV+IR PC serada 36.8-40.4 °C ve UV PC+PE serada 34.7-43.5 °C arasında değiştiği görülmektedir. Ayrıca yapılan kolerasyon testi sonucunda kanopi sıcaklığı ile dış sıcaklık arasında kuvvetli bir ilişki olduğu saptanmıştır.

Çalışmanın ikinci yılında bitki yetiştirme periyodu olan Mart- Haziran aylarında termal kamera ile ölçülen kanopi sıcaklıkları, UV PC serada 20.7-29.1 °C, UV+IR PC serada 19.4-31.8 °C ve UV PC+PE serada 21.1-26.3 °C arasında değiştiği görülmektedir. Ayrıca yapılan kolerasyon testi sonucunda tıpkı çalışmanın ilk yılında olduğu gibi, kanopi sıcaklığı ile dış sıcaklık arasında kuvvetli bir ilişki olduğu saptanmıştır.

UV PC, UV+IR PC ve UV PC+PE sera örtü malzemeleri ile kaplı araştırma seralarında çatı sıcaklıkları termal kamera ile izlenmiştir. Termal kamera aracılığıyla elde edilen veriler ile algılayıcıdan alınan dış ortam sıcaklık verileri arasındaki kolerasyon araştırılmıştır. Çalışma süresi (19 ay) boyunca sera örtü malzemeleri için çatı sıcaklık değerlerinin, UV PC serada 21.0-51.8 °C, UV+IR PC serada 23.7-59.0 °C ve UV PC+PE serada 10.5-38.9 °C arasında değiştiği görülmüştür. Termal kamera ile yapılan ölçüm sonucunda elde edilen çatı sıcaklıkları açısından en düşük sıcaklıklar her üç araştırma serasında da 2021 yılı Şubat ayında, en yüksek sıcaklıklar ise 2021 yılı Temmuz ayında elde edilmiştir. Termal görüntüleme ile yapılan sıcaklık ölçümlerinde, ölçüm yeri dikkate alındığında çatı sıcaklığının her üç sera örtü malzemesinde de en yüksek sıcaklık olduğu belirlenmiştir. En yüksek sıcaklık değerinin çatı yüzeyinden elde edilmesi, sera içerisindeki sıcak havanın ısınarak genişip hafifleşmesi ve yükselerek çatıda birikmesi ile ilişkilendirilmiştir. Ayrıca yapılan kolerasyon testi sonucunda çatı sıcaklığı ile dış sıcaklık arasında kuvvetli bir ilişki olduğu saptanmıştır.

UV PC, UV+IR PC ve UV PC+PE malzeme ile kaplı seralarda yetiştirilen domates bitki boyları 70. gün ölçümlerinde, birinci yıl sırasıyla 143.0, 157.7 ve 139.7 cm, ikinci yıl ise 165.8, 174.2 ve 165.5 cm arasında değişim göstermiştir. Bitki boyunun örtü türüne bağlı değişimi ANOVA yöntemi ile analiz edilmiştir. Çalışmanın gerek birinci gerekse ikinci yılı sonunda farklı örtü malzemelerinin domates bitki boylarına ait varyans analiz sonuçlarının istatistiksel anlamda önemli farklılıklar gösterdiği belirlenmiştir. Belirlenen bu farkı hangi örtü tipinin oluşturduğu Duncan testi ile tespit edilmiştir. Sonuç olarak çalışmanın her iki yılında da UV+IR PC sera örtü malzemesi

ile yetiştiricilik yapılan serada ölçülen bitki boyunun diğer seralara (UV PC ve UV PC+PE) göre daha yüksek olduğu saptanmıştır. UV+IR PC sera örtü malzemesi altında yetiştirilen bitkilerde tıpkı sera iç ortam ortalama sıcaklık değerlerinde olduğu gibi malzemenin bünyesinde bulundurduğu IR katkı maddesi sayesinde sera içi çevre koşullarının daha dengeli olmasıyla bitkilerin strese girmesi önlenerek bitki gelişiminin hızlandığı saptanmıştır.

Farklı sera örtü malzemelerinin bitki gelişimi üzerine etkisi incelendiğinde kök boğazı kalınlığı 70. günde, UV PC, UV+IR PC ve UV PC+PE sera örtü malzemeleri ile kaplı seralarda birinci yıl sırasıyla; 10.85, 11.83 ve 11.01 mm, ikinci yıl ise 11.07, 11.92 ve 11.15 mm elde edilmiştir. Kök boğazı kalınlığının örtü türüne bağlı değişimi ANOVA yöntemi ile analiz edilmiştir. Farklı örtü malzemelerinin domates bitkisi kök boğazı kalınlığına ait varyans analiz sonuçlarının birinci yılın sonunda istatistiksel anlamda önemli farklılıklar göstermediği, ikinci yılın sonunda ise önemli farklılıklar gösterdiği belirlenmiştir. Belirlenen bu farkı hangi örtü tipinin oluşturduğu Duncan testi ile tespit edilmiştir. Sonuç olarak UV+IR PC sera örtü malzemesi ile yetiştiricilik yapılan serada ölçülen kök boğazı kalınlığının diğer seralara (UV PC ve UV PC+PE) göre daha yüksek olduğu saptanmıştır.

UV PC, UV+IR PC ve UV PC+PE sera örtü malzemeleri ile kaplı seralarda yetiştirilen domates bitkisi yaprak sayıları sırasıyla, birinci yıl 27, 28 ve 27 yaprak/bitki, ikinci yıl 27, 28 ve 27 yaprak/bitki elde edilmiştir. Yaprak sayısının örtü türüne bağlı değişimi ANOVA yöntemi ile analiz edilmiştir. Farklı örtü malzemelerinin domates bitkisi yaprak sayısına ait varyans analiz sonuçlarının birinci yılın sonunda istatistiksel anlamda önemli farklılıklar göstermediği, ikinci yılın sonunda ise önemli farklılıklar gösterdiği belirlenmiştir. Belirlenen bu farkı hangi örtü tipinin oluşturduğu Duncan testi ile tespit edilmiştir. Sonuç olarak UV+IR PC sera örtü malzemesi ile yetiştiricilik yapılan serada ölçülen yaprak sayısının diğer seralara (UV PC ve UV PC+PE) göre daha yüksek olduğu saptanmıştır.

Farklı sera örtü malzemeleri altında toplam verim; çalışmanın ilk yılında UV PC serada 102.6 t/ha, UV+IR PC serada 134.3 t/ha ve UV PC+PE serada 74.4 t/ha, çalışmanın ikinci yılında ise, UV PC serada 97.4 t/ha, UV+IR PC serada 119.7 t/ha ve UV PC+PE serada 69.9 t/ha elde edilmiştir. Farklı sera örtü malzemelerinin verim

üzerine etkisi ANOVA yöntemi ile analiz edilmiştir. Çalışmanın gerek birinci gerekse ikinci yılı sonunda farklı sera örtü malzemelerinin her iki yetiştirme yılında da verim değerlerine ait varyans analiz sonuçlarının istatistiksel anlamda önemli farklılıklar gösterdiği belirlenmiştir. Belirlenen bu farkı hangi örtü tipinin oluşturduğu Duncan testi ile tespit edilmiştir. UV+IR PC sera örtü malzemesi ile yetiştiricilik yapılan serada ölçülen verim değerinin diğer seralara (UV PC ve UV PC+PE) göre daha yüksek olduğu saptanmıştır. Sonuç olarak farklı sera örtü malzemeleri altında yetiştirilen domates verimi dikkate alındığında üreticilere sera örtü malzemesi olarak UV+IR PC malzemenin tercih edilmesi önerilir.

UV PC, UV+IR PC ve UV PC+PE sera örtü malzemelerinin ortalama meyve ağırlığı üzerine etkisi incelendiğinde, sırasıyla birinci yıl 99.5, 129.8 ve 95.9 g, ikinci yıl ise 94.7, 115.6 ve 90.1 g elde edilmiştir. Ortalama meyve ağırlığı bakımından her iki yetiştirme yılında da araştırma seralarından elde edilen veriler arasındaki fark istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. Belirlenen bu farkı hangi örtü tipinin oluşturduğu Duncan testi ile tespit edilmiştir. UV+IR PC sera örtü malzemesi ile yetiştiricilik yapılan serada ölçülen ortalama meyve ağırlığının diğer seralara (UV PC ve UV PC+PE) göre daha yüksek olduğu saptanmıştır. Bu nedenle üreticiler sera örtü malzemesi olarak UV+IR PC malzemesini tercih etmelidir.

UV PC, UV+IR PC ve UV PC+PE sera örtü malzemelerinin meyve çapı üzerine etkisi incelendiğinde, sırasıyla birinci yıl 51.5, 65.4 ve 49.7 mm, ikinci yıl ise 51.7, 65.2 ve 49.7 mm elde edilmiştir. Meyve çapı bakımından her iki yetiştirme yılında da araştırma seralarından elde edilen veriler arasındaki fark istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. Belirlenen bu farkı hangi örtü tipinin oluşturduğu Duncan testi ile tespit edilmiştir. UV+IR PC sera örtü malzemesi ile yetiştiricilik yapılan serada ölçülen meyve çapının diğer seralara (UV PC ve UV PC+PE) göre daha yüksek olduğu saptanmıştır. Bu nedenle üreticilere sera örtü malzemesi olarak UV+IR PC malzemenin tercih edilmesi önerilir.

UV PC, UV+IR PC ve UV PC+PE malzeme ile kaplanmış 3 araştırma serasında yetiştirilen domates bitkisi suda çözünebilir kuru madde miktarları, birinci yıl sırasıyla %4.7, %4.8 ve %5.0, ikinci yıl ise %4.8, %4.7 ve %5.2 elde edilmiştir. Suda çözünür kuru madde içeriği açısından araştırma seralarından elde edilen veriler arasındaki fark

istatistiksel olarak birinci yıl önemli bulunmamış, ikinci yıl ise önemli bulunmuştur. Belirlenen bu farkı hangi örtü tipinin oluşturduğu Duncan testi ile tespit edilmiştir. UV PC+PE sera örtü malzemesi ile yetiştiricilik yapılan serada ölçülen suda çözünür kuru madde miktarının diğer seralara (UV PC ve UV+IR PC) göre daha yüksek olduğu saptanmıştır.

UV PC, UV+IR PC ve UV PC+PE malzeme ile kaplanmış 3 araştırma serasında yetiştirilen domates bitkisi EC değerleri, birinci yıl sırasıyla 3.3, 2.7 ve 2.8 dS/m, ikinci yıl ise 3.4, 2.7 ve 2.8 dS/m elde edilmiştir. EC bakımından araştırma seralarından her iki yetiştirme yılında da elde edilen veriler arasındaki fark istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. Belirlenen bu farkı hangi örtü tipinin oluşturduğu Duncan testi ile tespit edilmiştir. UV PC sera örtü malzemesi ile yetiştiricilik yapılan serada ölçülen EC değerinin diğer seralara (UV+IR PC ve UV PC+PE) göre daha yüksek olduğu saptanmıştır.

UV PC, UV+IR PC ve UV PC+PE malzeme ile kaplanmış 3 araştırma serasında yetiştirilen domates bitkisi pH değerleri, birinci yıl sırasıyla 4.39, 4.42 ve 4.42, ikinci yıl ise 4.38, 4.42 ve 4.44 elde edilmiştir. Farklı sera örtü malzemelerinin domates meyvesinde pH üzerine etkisi fark istatistiksel olarak birinci yıl önemli bulunmamış, ikinci yıl ise önemli bulunmuştur. Belirlenen bu farkı hangi örtü tipinin oluşturduğu Duncan testi ile tespit edilmiştir. UV PC sera örtü malzemesi ile yetiştiricilik yapılan serada ölçülen pH miktarının diğer seralara (UV+IR PC ve UV PC+PE) göre daha yüksek olduğu saptanmıştır.

UV PC, UV+IR PC ve UV PC+PE malzeme kaplanmış araştırma seralarında yetiştirilen domates meyvelerinden elde edilen likopen miktarları sırasıyla birinci yıl, 108.2, 105.9 ve 92.9 (mg/kg) ikinci yıl ise 91.9, 94.3 ve 76.1 (mg/kg) bulunmuştur. Likopen bakımından araştırma seralarından her iki yetiştirme yılında da elde edilen veriler arasındaki fark istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. Belirlenen bu farkı hangi örtü tipinin oluşturduğu Duncan testi ile tespit edilmiştir. PC (UV PC ve UV+IR PC) sera örtü malzemeleri ile yetiştiricilik yapılan seralarda ölçülen likopen miktarının UV PC+PE sera örtü malzemesi ile yetiştiricilik yapılan serada ölçülen likopen miktarına göre daha yüksek olduğu saptanmıştır. Yüksek likopen miktarlarının, seçilen sera örtü malzemesi olan PC malzeme, model seraların bulunduğu yerin konumu ve iklim

özellikleri, bitki çeşidi ile ilişkili olduğu saptanmıştır. Bu nedenle üreticilere sera örtü malzemesi olarak PC (UV PC ve UV+IR PC) malzemenin tercih edilmesi önerilir. Ayrıca daha sonra gerçekleştirilecek çalışmalarda farklı katkı malzemeli PC sera örtüsü altında farklı sebze ve meyve türlerinin verim, ortalama meyve ağırlığı, meyve çapı, suda çözünür kuru madde, likopen ve diğer karotenoid madde miktarı, fenolik madde içeriği ve antioksidan aktivitesine etkisinin araştırılması önerilebilir.

Araştırmada, UV PC+PE örtü malzemeli serada ışınlam ve PAR geçirgenliğinin diğer araştırma seralarına (UV PC ve UV+IR PC) kıyasla daha yüksek olmasına rağmen verim değerlerinin daha düşük olduğu saptanmıştır. Ayrıca her iki yetiştirme yılında da UV PC+PE sera örtü malzemesi ile kaplı araştırma serasında hastalık ve zararlı gelişimi gözlemlenmiştir. Çalışmada kullanılan PE malzemede AF (anti-fog) katkısı bulunmamaktadır. Örtüaltı yetiştiricilikte en çok tercih edilen malzeme olan, PE sera örtü malzemesinde en sık karşılaşılan problem malzemenin iç yüzeyinde oluşan nem yoğunlaşmasıdır. Nem yoğunlaşmasının etkisiyle meydana gelen damlacıklar bitkilerin üzerine damlar. Bu durum bitkilerde birçok fungal hastalığın ortaya çıkış sebebi haline gelmektedir. Üreticiler bu şekilde oluşan fungal hastalıklarla mücadele için yoğun fungusit kullanımına yönelmektedir. Bu durum ise hem toprak hem de çevre kirliliğine sebep olmaktadır. Ancak çalışmada kullanılan diğer sera örtü malzemeleri (UV PC ve UV+IR PC) ile kaplı araştırma seralarında nem yoğunlaşması gerçekleşmemiştir. Bu nedenle çalışmadan elde edilen verilere göre verim ve fungal hastalık gelişimi göz önüne alındığında üreticilerin PC (UV PC ve UV+IR PC) sera örtü malzemelerini tercih etmeleri önerilebilir.

Ülkemizde daha önce PC sera örtü malzemelerinin mekanik özellikleri ile ilgili bilimsel bir çalışma gerçekleştirilmemiştir. Bu durum dikkate alındığında, PC sera örtü malzemelerinin mekanik özellikleri ile ilgili verilerin bu çalışmanın önemli bir çıktısı olduğu söylenebilir. Kullanım ömrünün yaklaşık 12 yıl olduğu UV PC ve UV+IR PC sera örtü malzemelerinin sararma indisi bakımından çalışma süresi sonunda, henüz kullanım ömürlerinin sonuna gelinmediği söylenebilir. Ancak UV PC+PE serada kullanılan ve 36 aylık kullanım ömrü bulunan PE sera örtü malzemesinde sararma indisi bakımından yaşlanmanın başladığı söylenebilir. Bu nedenle çalışmadan elde edilen

verilere göre malzemenin mekanik yapısının bozulmadığı dikkate alınırsa üreticilere uzun yıllar kullanım imkanı sunan PC sera örtü malzemeleri önerilebilir.

Sera örtü malzemelerinde oluşan yaşlanmanın termal kamera ile belirlenmesinin ülkemizde daha önce bilimsel bir çalışma kapsamında araştırılmamış olması dikkate alındığında; malzemelerin termal görüntüleri ile ilgili verilerin bu çalışmanın önemli bir çıktısı olduğu söylenebilir. Araştırmada kullanılan sera örtü malzemeleri içerisinde incelenen aylar itibarıyla en yüksek ısı yalıtımının UV+IR PC malzemede gerçekleşmesinin sebebinin, hem malzeme kalınlığı hemde yapısında bulundurduğu IR katkısı olduğu saptanmıştır. UV PC+PE serada ise PE sera örtü malzemesinde yaşlanmanın başlaması ile birlikte ısı yalıtımının da zamanla (12. ay itibarıyla) giderek azaldığı ve neredeyse ısı yalıtımı gerçekleştirmediği belirlenmiştir. Buradan diğer sera örtü malzemeleri ile kıyaslandığında PE malzemenin yaşlandığı, diğer sera örtü malzemelerinde (UV PC ve UV+IR PC) ise yaşlanmanın henüz başlamadığı belirlenmiştir. Çalışmada termal kamera ile elde edilen görüntüler sayesinde malzeme yüzeyinde oluşan yaşlanma PE malzemede tespit edilebilmiş, UV PC ve UV+IR PC malzemelerde ise henüz yaşlanma gerçekleşmediği için tespit edilememiştir. Herhangi bir malzemenin termal özelliklerini belirlemek için kullanılan temassız ve tahribatsız bir teknik olan termal kameraların birçok malzemede mekanik ve fiziksel bozunma tespitinde de kullanılması önerilebilir. Daha sonra gerçekleştirilecek çalışmalarda PC malzemenin yaşlanmasında sararma indisi, darbe dayanımının yanı sıra, çekme dayanımı ve FTIR analizinin de yapılması önerilebilir.

Çalışmanın gerçekleştirildiği Antalya iline ait toplam ışınlam, PAR, sıcaklık ve bağıl nem gibi parametreler, çalışma süresi (21 ay) boyunca ölçülmüştür. Elde edilen bu verilerin birçok çalışmaya kaynak olabilecek nitelikte veriler olduğu söylenebilir. Daha ileriki çalışmalarda örtü altı yetiştiriciliğinde farklı örtü kombinasyonları (yan duvar PE çatı UV PC, yan duvar UV PC çatı UV+IR PC vb.) altında gerçekleşecek toplam ışınlam, PAR, sıcaklık ve bağıl nem gibi parametrelerin incelenmesi de önerilebilir.

Sera içi çevre koşullarının termal kameralar ile izlenmesi konusunda elde edilen veriler ülkemizde daha önce bilimsel bir çalışma kapsamında araştırılmamış olması dikkate alındığında, sera içi termal görüntüler ile ilgili verilerin bu çalışmanın önemli bir çıktısı olduğu söylenebilir. Daha ileriki çalışmalarda örtü altı yetiştiriciliğinde farklı

örtü kombinasyonları (yan duvar PE çatı UV PC, yan duvar UV PC çatı UV+IR PC vb.) altında gerçekleşecek sera içi çevre koşullarının incelenmesi de önerilebilir. Sera içi çevre koşullarının izlenmesinde etkin araçlar olan kızılötesi termal kameralarla yapılan çalışmalar, uzaktan algılama teknolojisinin giderek geliştiği günümüzde daha fazla çalışma yapılması ve daha ayrıntılı sonuçlar elde edilmesine olanak sağlayacaktır. Çalışmada elde edilen termal görüntülerin bu konuda yapılacak birçok çalışma için kaynak olabilecek termal görüntü veri tabanı oluşturduğu söylenebilir. Ayrıca termal görüntüleme, yüzey sıcaklığı değişikliklerini ölçebildiğinden akla gelen tüm yüzeylerde kullanılabilir ve gelecek kuşaklarda uzaktan algılama alanına artan bir ilgi duyulacağı öngörülmektedir. Bu tez kapsamında oluşturulan termal ve meteorolojik veri tabanları, benzer nitelikli inovatif projelerin yapılması açısından gelecekteki çalışmalara öncülük edecektir.



6. KAYNAKLAR

- Agerskans, J. 1975. Thermal imaging: a technical review. In: Proceedings of Temperature Measurement. London, pp. 375-388.
- Ahmadi, L. and Tsao, R. 2018. *The effect of greenhouse covering materials on phytochemical composition and antioxidant capacity of tomato cultivars. J Sci Food Agric*, 98: 4427-4435.
- Akbay, İ.K. 2014. Polikarbonat'ın atmosferik ve sulu ortamlarda uv ışınları ile bozunumu. Yüksek lisans tezi, Mersin Üniversitesi, Mersin, 104s.
- Akdağ, Z.M. 2020. Tuz stresinde tolerant ve duyarlı domates genotiplerinde farklı jasmonik asit dozlarının bitki büyümesi ve bazı fizyolojik parametreler üzerine etkisi. Yüksek lisans tezi, Malatya Turgut Özal Üniversitesi, Malatya, 78 s.
- Aldrich, R.A. and Bartok, J.W. 1989. Northeast regional agricultural engineering service, Cooperative extension. New York, pp 203.
- Al-Helal, I.M. and Alhamdan, A.M. 2009. *Effect of arid environment on radiative properties of greenhouse polyethylene cover. Solar Energy*, 83 (6): 790-798.
- Allen, R.G., Tasumi, M., Morse, A. and Trezza, R. 2005. *A Landsat-based energy balance and evapotranspiration model in Western US water rights regulation and planning. Irrigation and Drainage Systems*, 19 (3-4): 251-268.
- Anonim 2004. TÜBİTAK Ulusal Bilim ve Teknoloji Politikaları 2003-2023 Strateji Belgesi, www.tubitak.gov.tr [Son Erişim Tarihi:23/12/2021]
- Anonim 2011. Antalya Tarım Master Planı. Antalya İl Tarım Müdürlüğü. Antalya, 703 s. <https://antalya.tarimorman.gov.tr> [Son Erişim Tarihi: 23/12/2021]
- Anonim 2016. PAGEV Dünya ve Türkiye plastik ambalaj malzemeleri sektör izleme raporu. www.pagev.org [Son Erişim Tarihi: 23/12/2021]
- Anonim 2020a. Bitkisel üretim istatistikleri, TÜİK. data.tuik.gov.tr [Son Erişim Tarihi: 23/12/2021].
- Anonim 2020b. Meteoroloji Genel Müdürlüğü Kayıtları, Ankara.
- Anonim 2021. Meteoroloji Genel Müdürlüğü Kayıtları, Ankara.
- Anonymous 2019. Applications of ultra-violet LEDs and safety considerations. Web sitesi: <https://www.azooptics.com/Article.aspx?ArticleID=1087>. [Son Erişim Tarihi: 23/12/2021].
- Anonymous 2021. TECANAT Natural PC material catalog. www.ensingerplastic.com. [Son Erişim Tarihi: 23/12/2021].
- Barroso, M.R., Meneses, J.F. and Mexia, J.T. 1999. *Comparison between greenhouse type and their effects on two lettuce cultivars yield and botrytis incidence. Acta Horticulturae*, 491: 137-142.
- Başçetinçelik, A. 1977. Türkiye'de yerli olarak yapılan elektriksel ışık kaynaklarının tarımsal amaçlarla ilgili aydınlatma karakteristikleri üzerinde bir araştırma. Doktora tezi, Çukurova Üniversitesi, Adana, 119s.

- Baudoin, W.O. and Zalbetitz, C. 2002. *Greenhouse constructions for small scale farmers in tropical regions. Acta Horticulturae*, 578: 171-179.
- Baytorun, N.A. 1995. Seralar. Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları:110, Ders Kitabı, Adana, 402 s.
- Baytorun, N.A. ve Başçetinçelik, A. 1993. Seralarda kullanılan plastik örtü malzemeleri. Tarımda plastik kullanımı konulu panel, 2 Nisan, Antalya.
- Bektaş, V., Çerçevik, A. ve Kandemir Yerel, S. 2017. *Binalarda ısı yalıtımının önemi ve ısı yalıtım malzemesi kalınlığının yalıtıma etkisi. Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 4 (1): 36-42.
- Birgin, Ö. 2021. Sera koşullarında kuraklık stresi altında yetiştirilen domates bitkisinde yaprakdan kalsiyum uygulamasının etkisi. Yüksek lisans tezi, Şırnak Üniversitesi, Şırnak, 87 s.
- Bozkurt, S. ve Sayılıkan, G. 2004. *Sera domates (Lycopersicon esculentum) yetiştiriciliğinde uygulanan farklı NH₄/NO₃ azot oranlarının verim ve bitki gelişimine etkileri. MKU Ziraat Fakültesi Dergisi*, 9 (1-2): 9-22.
- Briassoulis, D., Waaijenberg, D., Gratraud, J. and von Elsner, B. 1997. *Mechical properties of covering materials for greenhouses, part I: A general overview. Journal of Agricultural Engineering Research*, 67 (2): 1-81.
- Brown, R. 2004. Polymers in agriculture and horticulture applications of polymer, Rapra review reports, Rapra Technology Limited, U.K.
- Calderon, R., Navas-Cortes, J.A., Lucena, C. and Zarco-Tejada, P.J. 2013. *High resolution airborne hyperspektral and thermal imagery for early detection of verticilliumwilt of olive using flourescence, temperature and narrow-band spectral indices. Remote Sensing of Environment*, 139: 231-245.
- Cemek, B., Demir, Y., Uzun, S. and Ceyhan, V. 2006. *The effects of different greenhouse covering materials on energy requirement, growth and yield of aubergine. Energy*, 31 (12): 1780–1788.
- Cemeroğlu, B.S. 1992. Meyve ve sebze işleme endüstrisinde temel analiz metotları. Biltav Yayınları, Üniversite Kitaplar Serisi No:02-2, Ankara, 381s.
- Cemeroğlu, B.S. 2011. Meyve ve sebze işleme teknolojisi 1. Cilt. Nobel Akademik Yayıncılık, Ankara, 725 s.
- Chen, H., Ginzburg, V.V., Yang, J., Yang, Y., Liu, W., Huang, Y., Du, L. and Chen, B. 2016. *Thermal conductivity of polymer-based composites: fundamentals and applications. Progress in Polymer Science*, 59: 41-85.
- Chen, H. and Chen C. 2016. *Determining the emissivity and temperature of building materials by infrared thermometer. Construction and Building Materials*, 126 : 130-137.
- Choab, N., Allouhi, A., El Maakoul, A., Kousksou, T., Saadeddine, S. and Jamil, A. 2019. *Review on greenhouse microclimate and application: Design parameters, thermal modeling and simulation, climate controlling technologies. Solar Energy*, 191: 109-137.

- Coohill, T. P. 1989. *Ultraviolet action spectra (280 to 380 nm) and solar effectiveness spectra for higher plants. Photochemistry and Photobiology*, 50 (4): 451-457.
- Çalışan, M. ve Türkoğlu, İ. 2011. Termal kameralar ve uygulamaları. Elektrik-Elektronik-Bilgisayar Sempozyumu, 05-07 Ekim, Fırat Üniversitesi, Elazığ.
- Çamoglu, G., Demirel, K. and Genç, L. 2018. *Use of infrared thermography and hyperspectral data to detect effects of water stress on pepper. Quantitative InfraRed Thermography Journal*, 15 (1): 81-94.
- Çamoglu, G. ve Genç, L. 2013. Kızılötesi termal görüntüleri ve hiperspektral yansıma verilerini kullanarak taze fasulyede su stresinin belirlenmesi. TÜBİTAK Proje Sonuç Raporu, Proje No:111O874, Ankara, 64s.
- Çaylı, A., Akyüz, A., Baytorun, A.N., Üstün, Ü. ve Boyacı, S. 2016. *Seralarda ısı kaybına neden olan yapısal sorunların termal kamera ile belirlenmesi. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi*, Cilt 19 (1): 5-14.
- Çetin, E. 2020. Sera yetiştiriciliğinde led aydınlatma ve renkli örtü malzemelerinin bitki gelişimine etkileri: domates (*Solanum Lycopersium*) örneği. Yüksek lisans tezi, Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Isparta, 52 s.
- Dayıoğlu, M.A. 2013. *Seralar için bluetooth tabanlı kablosuz ölçüm sisteminin tasarımı: prototip geliştirme ve uygulama. Tarım Makinaları Bilimi Dergisi (Journal of Agricultural Machinery Science)*, 9 (2): 117-125.
- Demir, H. 2002. Organik ve geleneksel tarım yöntemleri ile yetiştirilen bazı sebzelerin kimi kalite kriterleri bakımından karşılaştırılması. Yüksek lisans tezi, Akdeniz Üniversitesi, Antalya, 134 s.
- Dilara, P.A. and Briassoulis, D. 2000. *Degradation and stabilization of lowdensity polyethylene films used as greenhouse covering materials. Journal of Agricultural Engineering Research*, 76 (4): 309-321.
- Durak Akkoyun, B. 2017. Farklı plastifiyan tiplerinin, polyester polyol bazlı termoplastik poliüretan üzerindeki etkilerinin araştırılması. Yüksek lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 95 s.
- Durmuş, M., Yetgin, O., Abed, M.M., Haji, E.K. and Akçay, K. 2018. *Domates bitkisi besin içeriği ve sağlık açısından değerlendirilmesi. International Journal of Life Sciences and Biotechnology*, 1 (2): 59-74.
- Ehrler, W.L., Idso, S.B., Jackson, R.D. and Reginato, R.J. 1978. *Diurnal changes in plant water potential and canopy temperature of wheat as affected by drought. Agronomy J.*, 70: 999-1009.
- Ekebaf, L.O., Ogbeifun, D.E. and Okieimen, F.E. 2011. *Polymer applications in agriculture. Biokemistri*, 23 (2): 81-89.
- Eltez, S. ve Koçer, G. 2006. *Sera domates yetiştiriciliğinde sarı renkli malç kullanımının sera beyaz sineği [trialeurodes vaporariorum (westwood) (homoptera: aleyrodidae)] popülasyonuna ve verime etkileri. Anadolu Ege Tarımsal Araştırma Enstitüsü Dergisi*, 16 (1): 83-92.

- Emekli, N.Y., Çağlayan, N., Ozmerzi, A. ve Çanakcı, M. 2012. *Structural characteristics and heat requirements of modern greenhouses in southern of Turkey. Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 25 (2): 93-101.
- Emekli, N.Y., Büyüktaş, K. and Başçetinçelik, A. 2016. *Changes of the light transmittance of the LDPE films during the service life for greenhouse application. Journal of Building Engineering*, 6: 126-132.
- Emekli, N.Y. 2014. Antalya koşullarında sera örtü malzemesi olarak kullanılan polietilen örtülerin bazı fiziksel ve mekanik özelliklerinin zamana bağlı değişimi ile ısıtım geçirgenliğinin bitki gelişimi üzerine etkisi. Doktora tezi, Akdeniz Üniversitesi, Antalya, 146 s.
- Emmert, E.M. 1954. University of Kentucky builds a greenhouse covered with polyethylene. *Ag News Letter*, 22: 2.
- Erdem, S. 2008. Çatıda kullanılan polimer kökenli levhaların karşılaştırmalı analizi. Yüksek lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 171 s.
- Esen, M. ve Yuksel, T. 2014. Experimental evaluation of using various renewable energy sources for heating a greenhouse. *Energy Build*, 65: 340-351.
- Evci, Y. 2002. Farklı potasyum dozlarının serada yetiştirilen domateste verim ve kaliteye etkileri. Yüksek lisans tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, 41s.
- Falkenberg, N.R., Piccini, G., Cothren, J.T., Leskovar, D.I. and Rush, C.M. 2007. *Remote sensing of biotic and abiotic stress for irrigation management of cotton. Agricultural Water Management*, 87: 23-31.
- Felekoğlu, B. 2019. Alternatif Yapı Malzemeleri Ders Notu. Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Kimya Mühendisliği Bölümü, İzmir, 100 s.
- Frederick, J.E. 1993. *Ultraviolet sunlight reaching the earth's surface: a review of recent research. Photochemistry and Photobiology*, 57 (1): 175-178.
- Fuinaa, S., Marano, G.C. and Scarascia-Mugnozza, G. 2019. *Polycarbonate laminates thermo-mechanical behaviour under different operating temperatures. Polymer Testing*, 76: 344-349.
- Gandhi, K., Hein, C.L., Heerbeek, R.V. and Pickett, J.E. 2019. *Acceleration parameters for polycarbonate under blue LED photo-thermal aging conditions. Polymer Degradation and Stability*, 164: 69-74.
- Gardner, J.L. 2007. *Comparison of calibration methods for tristimulus colorimeters. Journal of Research of the National Institute of Standards and Technology*, 112 (3): 129-138. doi:10.6028/jres.112.010.
- Garnaud, J.C. 1988. Agricultural and horticultural applications of polymer. A report. Pergamon Press, Oxford, U.K., 2: (2).
- Geoola, F., Kashti, Y. and Peiper, U.M. 1998. *A model greenhouse for testing the role of condensation, dust and dirt on the solar radiation transmissivity of greenhouse cladding materials. Journal of Agricultural Engineering Research*, 71 (4): 339-346.

- Geoola, F., Kashti, Y., Levi, A. and Brickman, R. 2004. *Quality evaluation of anti-drop properties of greenhouse cladding materials*. *Polymer Testing*, 23: 755-761.
- Geoola, F., Peiper, U.M. and Geoola, F. 1994. *Outdoor testing of the condensation characteristics of plastic film covering materials using a model greenhouse*. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 57 (3): 167-172.
- Giacomelli, G.A. 1999. Greenhouse glazings: Alternatives under the sun. Department of Bioresource Engineering, Cook College, Rutgers University, New Brunswick, New Jersey.
- Gil, R., Bojacá, C.R. and Rodríguez, M.Á. 2015. *Adaptation of a leaf wetness duration model for tomato under Colombian greenhouse conditions*. *Agronomía Colombiana*, 33 (1): 11-19.
- Giovannucci, E., Rimm, E.B., Liu, Y., Stamper, M.J. and Willett, W.C. 2002. *A prospective study of tomato products, lycopene, and prostate cancer risk*. *Journal of the National Cancer Institute*, 94 (5): 391-398.
- Glenn, G.M., Orts, W., Imam, S., Chiou, B.S. and Wood, D.F. 2014. *Starch plastic packaging and agriculture applications*. *Starch Polymers*, 15: 421-452.
- Gök, A. 2018. Domates (*Solanum lycopersicum*)'de likopen seviyesini belirleyen genlerin kalıtımı ve çevre varyansının etkisi. Yüksek lisans tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, 54 s.
- Günay, A. 1985. Seracılıkta kullanılan örtü malzemeleri ve karşılaştırılması. Türkiye Seracılık Sempozyumu Bildirileri, Cam Pazarlama A.Ş. Yayın No:1985/2, s:33-46, Ankara,
- Hao, X., Zheng, J.M., Zhang, Y., Little, C. and Khosla, S. 2017. *Effects of diffused plastic cover materials on greenhouse microclimate, plant growth, fruit yield and quality, and energy use in greenhouse fruit vegetable production*. *Acta Horti*, 1182: 73-78.
- Hellebrand, H.J., Beuche, H. and Linke, M. 2002. Thermal imaging: A promising high-tech method in agriculture and horticulture. In: J. Blahovec and M. Kutilek (Eds.), *Physical Methods in Agriculture: Approach to Precision and Quality*, 411-427.
- Hellebrand, H.J., Beuche, H. and Linke, M. 2001. Determination of thermal emissivity and surface temperature distribution of horticultural products, in fruit, nut, and vegetable production engineering. *Proceedings of the 6th International Symposium held in Potsdam*, pp.363-368, ATB Potsdam.
- Hollósy, F. 2002. *Effects of ultraviolet radiation on plant cells*. *Micron*, 33 (2): 179-197.
- Idso, S.B., Jackson, R.D., Pinter, P.J., Reginato, R.J. and Hatfield, J.L. 1981. *Normalizing the stress-degree-day parameter for environmental variability*. *Agricultural Meteorology*, 24: 45-55.
- İkizler, C. 2019. Katkılı sera örtü malzemelerinin seracılıkta kullanım olanakları Bursa örneği. Yüksek lisans tezi, Bursa Uludağ Üniversitesi, Bursa, 67 s.
- Jackson, R.D., Idso, S.B., Reginato, R.J. and Pinter, P.J. 1981. *Canopy temperature as a crop water stress indicator*. *Water Resources Research*, 17 (4): 1133-1138.

- Jackson, R.D., Reginato, R.J. and Idso, S.B. 1977. *Wheat canopy temperature: A practical tool for evaluating water requirements*. *Water Resources Research*, 13 (3): 651-656.
- Jensen, M.H. and Malter, A.J. 1994. *Protected agriculture a global review*. *World Bank Technical*, 253: 76.
- Jiang, L., Zhou, M., Ding, Y., Zhou, Y. and Dan, Y. 2018. *Aging induced ductile-brittle-ductile transition in bisphenol a polycarbonate*. *Journal of Polymer Research*, 25: 39.
- Johnson, F.S. 1954. *The solar constant*. *Journal of Atmospheric Sciences*, 11 (6): 431-439.
- Jones, H.G., Stoll, M., Santos, T., De Saousa, C., Chaves, M.M. and Grant, O. 2002. *Use of infrared thermography for monitoring stomatal closure in the field: Application to grapevine*. *Journal of Experimental Botany*, 53: 2249-2260.
- Jones, H.G., Serraj, R., Wheaton, A. and Price, A. 2009. *Thermal infrared imaging of crop canopies for remote diagnosis and quantification of plant responses to water stress in the field*. *Functional Plant Biology*, 36 (11): 978-989.
- Karaca, C. 2020. Örtüaltında yaygın olarak yetiştirilen bitkilerin su tüketimlerinin enerji dengesi yöntemi ile belirlenmesi. Doktora tezi. Akdeniz Üniversitesi, Antalya, 228 s.
- Karagöz, İ. 2019. *Tarımda polimer malzemelerin kullanımı*. *Mühendislik Bilimlerinde Akademik Çalışmalar*, 14: 208-213.
- Karakaş Dikilitaş, S. 2013. Farklı tuz seviyelerindeki topraklarda yetiştirilen domatesin gelişimi ve bazı fizyolojik özellikleri ile toprak iyileştirilmesi üzerine arkadaş bitkilerin etkileri. Doktora tezi, Harran Üniversitesi, Şanlıurfa, 343s.
- Kırda, C., Baytorun, N., Derici, M.R. ve Daşgan, H.Y. 2003. *Nitrogen fertiliser recovery and yield response of greenhouse grown and fertigated tomato to root-zone soil water tension*. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 27 (6): 323-328.
- Kittas, C., Tchamitchian, M., Katsoulas, N., Karaïskou, P. and Papaioannou, C. 2006. *Effect of two UV absorbing greenhouse covering films on growth and yield of an eggplant soilless crop*. *Scientia Horticulturae*, 110 (1): 30-37.
- Kittas, C., Baille, A. and Giaglaras, P. 1999. *Influence of covering material and shading on the spectral distribution of light in greenhouses*. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 73 (4): 341-351.
- Koutchma, T. 2009. *Advances in ultraviolet light technology for non-thermal processing of liquid foods*. *Food and Bioprocess Technology*, 2 (2): 138-155.
- Köksal, E.S. 2006. Sulama suyu düzeylerinin şeker pancarının verim, kalite ve fizyolojik özellikleri üzerindeki etkisinin, infrared radyometre ve spekteroradyometre ile belirlenmesi. Doktora tezi, Ankara Üniversitesi, Ankara, 101 s.

- Kumcuoğlu, S., Yılmaz, T. ve Tavman, Ş. 2011. *Salça üretim atıklarından ultrason destekli ekstraksiyon işlemiyle likopen ekstraksiyonu. Akademik Gıda*, 9 (6): 23-28.
- Kuti, J.O. and Konuru, H.B. 2005. *Effects of genotype and cultivation environment on lycopene content in red-ripe tomatoes. Journal of the Science of Food and Agriculture*, 85: 2021-2026.
- Kutlar Yaylalı, İ. 2007. Değişik tuz konsantrasyonuna sahip farklı sulama suyu uygulamalarının domateste verim ve kalite üzerine etkileri. Doktora tezi, Selçuk Üniversitesi, Konya, 264 s.
- Küçük, R. 2020. Domateste farklı gelişme zamanlarında bor ve fosfor uygulamasının verim ve kalite üzerindeki etkileri. Yüksek lisans tezi, Şırnak Üniversitesi, Şırnak, 103 s.
- Külcü, R. ve Özey, Y.E. 2015. *Antalya ilinde kullanılan sera plastik örtülerinin ekonomik ömürlerinin ve değiştirilme sıklıklarının değerlendirilmesi. Akademia Disiplinlerarası Bilimsel Araştırmalar Dergisi*, 1 (1): 21-26.
- Kwon, J.K., Khoshimkhujaev, B., Lee, J.H., Yu, I.H., Park, K.S. and Choi, H.G. 2017. *Growth and yield of tomato and cucumber plants in polycarbonate or glass greenhouses. Hortic. Sci. Technol.*, 35: 79-87.
- Kyrikou, I. and Briassoulis, D. 2007. *Biodegradation of agricultural plastic films: A critical review. Journal of Polymers and the Environment*, 15: 125-150.
- Leveuf, L., Marco, Y., Le Saux, V., Navrátil, L., Leclercq, S. and Olhagaray, J. 2018. *Fast screening of the fatigue properties of thermoplastics reinforced with short carbon fibers based on thermal measurements. Polymer Testing*, 68: 19-26.
- Li, A., Zhang, C. and Zhang, Y.F. 2017. *Thermal conductivity of graphene-polymer composites: mechanisms, properties and applications. Polymers*, 9 (9): 437.
- Li, L., Zhang, Q. and Huang, D. 2014. *A review of imaging techniques for plant phenotyping. Sensors*, 14: 20078-20111.
- Li, T., Gao, Y., Zheng, K., Ma, Y., Ding, D. and Zhang, H. 2019. *Achieving better greenhouse effect than glass: visibly transparent and low emissivity metal-polymer hybrid metamaterials. ES Energy & Environment*, 5 (13): 102-107.
- Madakbaş, S.Y., Önal, M.S., DüNDAR, B. and Başak, H. 2014. *Soil and plant functions of water holding polymers, environmental impact and possibilities of their use in vegetable. Turkish Journal of Agricultural and Natural Sci.*, 1 (2): 173-179.
- Manickavasagan, A., Jayas, D.S., White, N.D.G. and Paliwal, J. 2005. *Applications of thermal imaging in agriculture: A Review. Canadian Society For Engineering in Agriculture Food And Biological Systems*, 5 (2).
- Mariz-Ponte, N., Martins, S., Gonçalves, A., Correia, C.M., Ribeiro, C., Dias, M.C., et al. 2019. *The potential use of the UV-A and UV-B to improve tomato quality and preference for consumers. Sci. Hortic.* 246: 777-784.

- Mashonjowa, E., Ronsse, F., Mhizha, T., Milford, J.R., Lemeur, R. and Pieters, J.G. 2010. *The effects of whitening and dust accumulation on the microclimate and canopy behaviour of rose plants (rosa hybrida) in a greenhouse in zimbabwe.* *Solar Energy*, 84 (1): 10-23.
- Mastekbayeva, G.A. and Kumar, S. 2000. *Effect of dust on the transmittance of low density polyethylene glazing in a tropical climate.* *Solar Energy*, 68 (2): 135-141.
- Mehr, Y.M., Driel, W.D.V., Jansen, K.M.B., Deeben, P., Boutelje, M. and Zhang, G.Q. 2013. *Photodegradation of bisphenol a polycarbonate under blue light radiation and its effect on optical properties.* *Optical Materials*, 35: 504-508.
- Mehr, Y.M., Driel, W.D.V., Jansen, K.M.B., Deeben, P. and Zhang, G.Q. 2014. *Lifetime assessment of bisphenol-a polycarbonate (BPA-PC) plastic lens, used in LED-based products.* *Microelectronics Reliability*, 54 (1): 138-142.
- Meng, F. 2021. From plastic mulching to microplastic pollution: An effect assessment of microplastics in the soil-plant system. Doctoral dissertation, Wageningen University, Wageningen, 194 p.
- Mercan, Y., Karataş, B.S. ve Tüne, C. 2016. Termal kamerayla seralarda olası problemlerin belirlenmesi ve çözümü. 13. Ulusal Kültürteknik Kongresi, 12-15 Nisan 2016, Antalya.
- Meyers, M.A. and Chawla, K.K. 2009. Mechanical behavior of materials. Cambridge University Press: 2 edition, 882 p.
- Milani, P., França, D., Balieiro, A.G. and Faez, R. 2017. *Polymers and its applications in agriculture.* *Polímeros*, 27 (3): 256-266.
- Mintorogo, D.S. 2007. *The aquatic-polycarbonate skylight for surabaya indonesia.* *DIMENSI J. Archit. Built Environ.*, 35 (1): 100.
- Mogharreb, M.M. and Abbaspour-Fard, M.H. 2019. *Experimental study on the effect of a novel water injected polycarbonate shading on light transmittance and greenhouse interior conditions.* *Energy for Sustainable Development*, 52: 26.
- Montaudo, G., Carroccio, S. and Puglisi, C. 2002. *Thermal and themoxidative degradation processes in poly (bisphenol a carbonate).* *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 64 (2): 229-247.
- Möller, M., Alchanatis, V., Cohen, Y., Meron, M., Tsipris, J., Naor, A., Ostrovsky, V., Sprintsin, M. and Cohen, S. 2007. *Use of thermal and visible imagery for estimating crop water status of irrigated grapevine.* *J. Exp. Bot.*, 58 (4): 827-883.
- Nagai, N., Okumura, H., Imai, T. and Nishiyama, I. 2003. *Depth profile analysis of the photochemical degradation of polycarbonate by infrared spectroscopy.* *Polymer Degradation and Stability*, 81 (3): 491-496.
- Ndossi, I.M. and Avdan, U. 2016. *Application of open source coding technologies in the production of land surface temperature (LST) maps from Landsat: a PyQGIS plugin.* *Remote Sensing*, 8 (5): 413.

- Nicacias, M.M. 2009. Evaluating the effect of moisture stress on tomato using nondestructive remote sensing techniques. Master Thesis, University of Limpopo, Limpopo, 76 p.
- Nott, K.P. and Hall, L.D. 1999. *Advances in temperature validation of foods. Trends in Food Science and Technology*, 10: 366-374.
- Özdemir, A. ve Özer, H. 2015. *Organik olarak yetiştirilen salkım domatesin (Solanum lycopersicum L.) verim ve kalitesi üzerine yaprak budamasının etkisi. Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi*, 30 (1): 1-6.
- Özgün, H. 2018. Fotovoltaik enerji sistemleri: Temel kavramlar ve örnek projelerle fotovoltaik güneş enerji sistemleri. Günder Yayınları.
- Öztekin, G.B., Tüzel, Y. ve Ece, M. 2015. *Azot tutucu bakteri kullanımının sera domates yetiştiriciliğinde bitki gelişimi, verim ve meyve kalitesi üzerine etkileri. Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 5 (1): 21-27.
- Öztürk, H.H. 2008a. Güneş enerjisi ve uygulamaları. Birsan Yayınevi Ltd. Şti., İstanbul, 277s.
- Öztürk, H.H. 2008b. Sera İklimlendirme Tekniği. Hasad Yayıncılık Ltd. Şti., İstanbul, 305 s.
- Panthee, D.R., Perkins-Veazie, P., Randall, D. and Brown, A.F. 2013. *Lycopene estimation in tomato lines using infrared absorbance and tomato analyzer. Int. J. Veg. Sci.*, 19: 240-255.
- Papadakis, G., Briassoulis, D., Scarascia Mugnozza, G., Vox, G., Feuilloley, P. and Stoffers, J.A. 2000. *Radiometric and thermal properties of, and testing methods for, greenhouse covering materials. Journal of Agricultural Engineering Research*, 77 (1): 7-38.
- Peretz, M.F., Farhad, G., Yehia, I., Ozer, S., Levi, A., Magadley, E., Brikman, R., Rosenfeld, L., Levy, A., Kacira, M. and Teitel, M. 2019. *Testing organic photovoltaic modules for application as greenhouse cover or shading element. Biosystems Engineering*, 184: 24-36.
- Perkins-Veazie, P., Collins, J.K., Pair, S.D. and Roberts, W. 2001. *Lycopene content differs among red-fleshed watermelon cultivars. Journal of the Science of Food and Agriculture*, 81 (10): 983-987.
- Prytz, G., Cecilia, M.F. and Anders, J. 2003. *Thermography studies of the spatial and temporal variability in stomatal conductance of Avena leaves during stable and oscillatory transpiration. New Phytologist*, 158: 249-258.
- Raza, S.A., Prince, G., Clarkson, J.P. and Rajpoot N.M. 2015. *Automatic detection of diseased tomato plants using thermal and stereo visible light images. Journal Plos one.*, 10 (4): <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0123262>.
- Romero-Gómez, M., Suárez-Rey, E.M., Castilla, N. and Soriano, T. 2012. *Evaluation of global, photosynthetically active radiation and diffuse radiation transmission of agricultural screens. Spanish Journal of Agricultural Research*, 10 (2): 306-313.
- Rosenberg, N.J., Blad, B.L. and Verma, S.B. 1983. *Microclimate: The Biological Environment. Second Edition*, A Wiley-Interscience Publication, 495 p.

- Ryu, K.H., Kim, G.Y. and Chae, H.Y. 2000. *Monitoring greenhouse plants using thermal imaging. IFAC Proceedings*, 33 (29): 181-186.
- Saçak, M. 2005. *Polimer Teknolojisi*, Gazi Kitap Evi, Ankara, 461s.
- Saka, A.K. 2012. Serada ilk turfanda organik domates (*Solanum lycopersicum L.*) ve hıyar (*Cucumis sativus L.*) yetiştiriciliğinde farklı dikim sistemleri ve mesafelerinin büyüme, gelişme, verim ve kaliteye etkileri. Yüksek lisans tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Samsun, 70s.
- Sangpradit, K. 2014. *Study of the solar transmissivity of plastic cladding materials and influence of dust and dirt on greenhouse cultivations. Energy Procedia*, 56: 566-573.
- Sarı, M.E. 2019. Ultraviyole (UV), manyetik alan (Maa) ve hidropriming (HP) uygulamalarının biber, lahana, marul ve soğan tohumlarında kalitenin iyileştirilmesinde kullanımı. Doktora tezi, Ankara Üniversitesi, Ankara, 137s.
- Sarma, U. and Joshi, S.N. 2020. *Numerical modelling and simulation of microchannel fabrication on polycarbonate using Laser-Induced Plasma Assisted Ablation (LIPAA). Optik*, 223: 165379
- Seckmeyer, G., Pissulla, D., Glandorf, M., Henriques, D., Johnsen, B., Webb, A., ... and Lenoble, J. 2008. *Variability of UV irradiance in Europe. Photochemistry and photobiology*, 84 (1): 172-179.
- Serrano, M.A. and Moreno, J.C. 2020. *Spectral transmission of solar radiation by plastic and glass materials. Journal of Photochemistry & Photobiology*, 208: 111894.
- Shivanna, S., Subramani, N.K., Nagaraj, S.K., Mutturaj, J.R.B. and Basavaraj, S. 2019. *Patina-green coloured light emitting polycarbonate films: A synergistic extraction of improved UV endurance and considerate spectral down-conversion. Journal of Luminescence*, 210: 276-284.
- Sica, C., Dimitrijević, A., Scarascia-Mugnozza, G. and Picuno, P. 2015. *Technical properties of regenerated plastic material bars produced from recycled agricultural plastic film. Polymer-Plastics Technology and Engineering*, 54 (12): 1207-1214.
- Smith, R.C.G., Barrs, H.D., Steiner, J.L. and Stapper, M. 1985. *Relationship between wheat yield and foliage temperature: Theory and its application to infrared measurements. Agricultural and Forest Meteorology*, 36: 129-143.
- Stajnko, D., Lakota, M. and Hocevar, M. 2004. *Estimation of number and diameter of apple fruits in an orchard during the growing season by thermal imaging. Computer and Electronics in Agriculture*, 42 (1): 31-42.
- Şahin, Ü., Özdeniz, A., Zülkadir, A. ve Alan, R. 1998. *Sera kosullarında damla sulama yöntemi ile sulanan domates (*Lycopersicon esculentum Mill.*) bitkisinde farklı yetistirme ortamlarının verim, kalite ve bitki gelişmesine olan etkileri. Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 22: 71-79.
- Thies, F., Mills, L.M., Moir, S. and Masson, L.F. 2017. *Cardiovascular benefits of lycopene: Fantasy or reality?. Proceedings of the Nutrition Society*, 76: 122-129.

- Thomson, S.J., Ouellet, C.M., Defauw, S.L., Huang, Y., Fisher, D.K. and English P.J. 2012. *Potential and challenges in use of thermal imaging for humid region irrigation system management. Journal of Agricultural Science*, 4: 4.
- Toor, R.K., Savage, G.P. and Lister, C.E. 2006. *Seasonal variations in the antioxidant composition of greenhouse grown tomatoes. Journal of Food Composition and Analysis*, 19: 1-10.
- Toussaint, E., Balandraud, X., Le Cam, J.B. and Grediac, M. 2012. *Combining displacement, strain, temperature and heat source fields to investigate the thermomechanical response of an elastomeric specimen subjected to large deformations. Polymer testing*, 31 (7): 916-925.
- TSE 1980. TS 794 Domates. Türk Standartları Enstitüsü, ICS 67.080.20, Ankara, 7 s.
- TSE 2015. TS EN 16153+A1 Polikarbonat (PC) Düz Levhalar- Şeffaf- Kapalı Oluklu (Odacıklı)-İç ve Dış Mekanlardaki Çatı, Duvar ve Tavanlarda Kullanılan- Gereklere ve Deney Yöntemleri, ICS 83.140.10;91.060.20, Ankara, 107 s.
- TSE 2021. TS EN 13497+A1 Isıl Yalıtım Ürünleri- Yapılarda Kullanılan- Harici Kompozit Isıl Yalıtım Sistemlerinin Darbe Mukavemeti Tayini, ICS 91.100.60, Ankara, 15s.
- Tuchinda, C., Srivannaboon, S. and Lim, H.W. 2006. *Photoprotection by window glass, automobile glass, and sunglasses. J Am Acad Dermatol.*, 54 (5): 845- 854.
- Tüne, C. 2016. Farklı sulama yönetim sistemi koşullarında pamuk bitkisinde su stresinin kızılötesi termal görüntüler kullanılarak belirlenmesi. Yüksek lisans tezi, Adnan Menderes Üniversitesi, Aydın, 70s.
- Türüt, N. 2016. Domates işleme teknolojilerinin likopen üzerine etkisinin araştırılması. Yüksek lisans tezi, İstanbul Aydın Üniversitesi, İstanbul, 211s.
- Wang, M., Liao, Y. and Chen, D. 2013. *Determination of linear thermal expansion coefficient of polymeric materials by infrared thermography. Polym Test*, 32: 175-178.
- Wang, W., He, K., Liu, S. and Yi, D. 2017. *Research of the thermal aging mechanism of polycarbonate and polyester film. e-Polymers*, 17 (1): 45-56.
- Woods, S. 2012. Greenhouse thermal imaging. Greenhouse Manufacturers Association Winter, p. 5-6.
- Yüksel, A.N. 2004. Sera Yapım Tekniği. Hasad Yayıncılık Ltd. Şti., İstanbul, 287 s.
- Zabeltitz, C. 1992. Technologies for climate control in greenhouses. Expert Consultation Workshop on Greenhouses in the Antalya Region, p.10-22, 13-17 Ocak, Antalya.
- Zechmeister, L., Le Rosen, A.L., Schroeder, W.A., Polgar, A. and Pauling, L. 1943. *Spectral characteristics and configuration of some stereoisomeric carotenoids including prolycopene and provitamin-a or antioxidant properties. Cancer Research*, 52: 5707-5712.

- Zu, K., Mucci, L., Rosner, B.A., Clinton, S.K., Loda, M., Stamper, M.J. and Giovannucci, E. 2014. *Dietary lycopene, angiogenesis, and prostate cancer: a prospective study in the prostate-specific antigen era. Journal of the National Cancer Institute*, 106 (2): 430.



ÖZGEÇMİŞ

CANDAN KORKMAZ

ÖĞRENİM BİLGİLERİ

Doktora 2016-2022	Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarımsal Yapılar ve Sulama Ana Bilim Dalı, Antalya
Yüksek Lisans 2013-2016	Adnan Menderes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarımsal Yapılar ve Sulama Ana Bilim Dalı, Aydın
Lisans 2008-2013	Adnan Menderes Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü, Aydın

MESLEKİ VE İDARİ GÖREVLER

Bilimsel Programlar Uzmanı 2021-devam ediyor	TÜBİTAK, Ankara
Araştırma Görevlisi 2016-2021	Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü, Antalya
Araştırma Görevlisi 2014-2016	Harran Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü, Şanlıurfa

KAMU DIŞI DENEYİM

Ziraat Mühendisi 2013	BM Holding, BM Agro Seracılık Ltd. Şti.,Aydın
--------------------------	--