

**T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ**



**ÖRTÜALTINDA YAYGIN OLARAK YETİŞTİRİLEN BİTKİLERİN SU
TÜKETİMLERİNİN ENERJİ DENGESİ YÖNTEMİ İLE BELİRLENMESİ**

Cihan KARACA

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

OCAK 2020

ANTALYA

**T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ**



**ÖRTÜALTINDA YAYGIN OLARAK YETİŞTİRİLEN BİTKİLERİN SU
TÜKETİMLERİNİN ENERJİ DENGESİ YÖNTEMİ İLE BELİRLENMESİ**

Cihan KARACA

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

OCAK 2020

ANTALYA

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

**ÖRTÜALTINDA YAYGIN OLARAK YETİŞTİRİLEN BİTKİLERİN SU
TÜKETİMLERİNİN ENERJİ DENGESİ YÖNTEMİ İLE BELİRLENMESİ**

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

**Bu tez Akdeniz Üniversitesi Rektörlüğü Bilimsel Araştırma Projeleri
Koordinasyon Birimi tarafından FDK-2018-2966 ve TUBİTAK tarafından
117O071 nolu projeler ile desteklenmiştir.**

OCAK 2020

T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ÖRTÜALTINDA YAYGIN OLARAK YETİŞTİRİLEN BİTKİLERİN SU
TÜKETİMLERİNİN ENERJİ DENGESİ YÖNTEMİ İLE BELİRLENMESİ**

Cihan KARACA
TARIMSAL YAPILAR VE SULAMA
ANABİLİM DALI
DOKTORA TEZİ

Bu tez 24/01/2020 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.

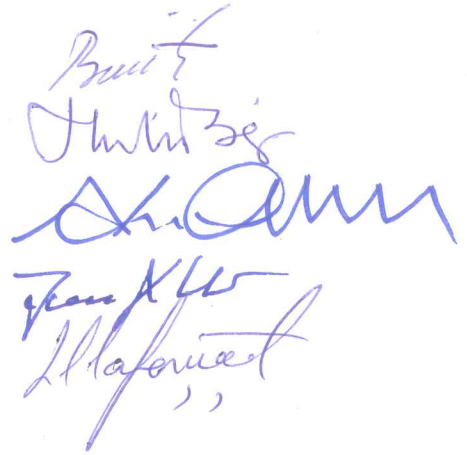
Prof. Dr. Dursun BÜYÜKTAŞ (Danışman)

Prof. Dr. Ruhi BAŞTUĞ

Prof. Dr. Naci ONUS

Prof. Dr. Yusuf UÇAR

Prof. Dr. Ulaş ŞENYİĞİT



ÖZET

ÖRTÜALTINDA YAYGIN OLARAK YETİŞTİRİLEN BİTKİLERİN SU TÜKETİMLERİNİN ENERJİ DENGESİ YÖNTEMİ İLE BELİRLENMESİ

Cihan KARACA

Doktora Tezi, Tarımsal Yapılar ve Sulama Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Dursun BÜYÜKTAŞ

Ocak 2020; 182 sayfa

Bu çalışmada Akdeniz Bölgesinde düşük teknolojiye sahip polietilen kaplı seralarda üretim ve ticari potansiyeli en yüksek olan domates, patlıcan, biber ve hıyar bitkilerinin bitki su tüketimlerinin (ET) enerji dengesi yöntemiyle tahmin edilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla enerji dengesi eşitliğinin en önemli parametresi olan aerodinamik direnç değeri literatürde önerilen farklı yöntemlerle hesaplanmasının yanında sera içi rüzgar hızı, bitki boyu ve taç örtüsü-hava sıcaklığı farkına dayalı olarak geliştirilen yeni model ile tahmin edilerek belirlenmiştir. Farklı yöntemlerle belirlenen aerodinamik direnç değerlerinin enerji dengesi eşitliğinde kullanılmasıyla tahmin edilen ET değerleri, lizimetrelerden doğrudan ölçülen ET değerleri ile karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar literatürde önerilen aerodinamik direnç eşitliklerinin kullanılmasıyla tahmin edilen ET değerlerinin düşük teknolojiye sahip Akdeniz tipi PE seralarda ölçülen değerlerle uyumlu olmadığını göstermiştir. Bu çalışmada geliştirilen aerodinamik dirence ilişkin yaklaşım kullanılarak elde edilen ET değerleri ile gerçek ET değerleri karşılaştırıldığında domates bitkisinde R^2 , 0.96; RMSE, 12.11; RE, 0.15; MBE, -3.19; d_w , 0.99 patlıcan bitkisinde R^2 , 0.95; RMSE, 12.09; RE, 0.19; MBE, -5.04; d_w , 0.98 biber bitkisinde R^2 , 0.93; RMSE, 10.90; RE, 0.20; MBE, -4.95; d_w , 0.97 ve hıyar bitkisinde R^2 , 0.94; RMSE, 13.25; RE, 0.20; MBE, -4.95; d_w , 0.97 performans kriterleri elde edilerek çok kuvvetli ilişki belirlenmiştir. Elde edilen yöntemin çiftçi koşullarında uygulanmasını kolaylaştırmak amacıyla, enerji dengesi eşitliğinin net radyasyon (R_n) ve toprak ısı akısı (G) parametrelerinin tahmini ve ihmal edilmesini içeren çeşitli senaryolara dayalı olarak ET değerleri belirlenmiş ve ölçülen değerlerle karşılaştırılmıştır. Akdeniz tipi sera koşullarında yürütülen bu çalışmada elde edilen sonuçlar sera içi bitki su kullanımının optimizasyonu, sulama otomasyonu ve bununla ilgili bilgisayar yazılımlarına entegre edilerek kullanılabileceği gibi daha sonra yürütülecek çalışmalara da temel oluşturacaktır.

AHTAR KELİMELEER: Aerodinamik direnç, İnfrared termometre, Net radyasyon, Taç sıcaklığı, Akdeniz iklimi, Lizimetre.

JÜRİ: Prof. Dr. Dursun BÜYÜKTAŞ

Prof. Dr. Ruhi BAŞTUĞ

Prof. Dr. Naci ONUS

Prof. Dr. Yusuf UÇAR

Prof. Dr. Ulaş ŞENYİĞİT

ABSTRACT

EVAPOTRANSPIRATION OF CROPS WIDELY GROWN IN GREENHOUSES USING THE ENERGY BALANCE METHOD

Cihan KARACA

PhD Thesis in Department of Agricultural Structures and Irrigation

Supervisor: Prof. Dr. Dursun BÜYÜKTAŞ

January 2020; 182 pages

In this study, it was aimed to estimate the evapotranspiration (ET) of tomato, eggplant, pepper and cucumber plants that have the highest production and commercial potential in low-tech polyethylene (PE) greenhouses in the Mediterranean Region by energy balance method. For this purpose, aerodynamic resistance value, which is the most important parameter of the energy balance equation, was calculated by different methods proposed in the literature and estimated by the new model developed based wind speed, plant height, and on the difference of crop canopy-air temperature. The ET values estimated by using aerodynamic resistance values determined by different methods in the energy balance equation were compared with the ET values measured directly from the lysimeters. The obtained results showed that the ET values predicted by using the aerodynamic resistance equations suggested in the literature are not compatible with the values measured in low-tech Mediterranean type PE greenhouses. When the ET values obtained by using the approach related to aerodynamic resistance developed in this study were compared with the actual ET values, in tomato plant R^2 , 0.96; RMSE, 12.11; RE, 0.15; MBE, -3.19; d_w , 0.99; in eggplant plant R^2 , 0.95; RMSE, 12.09; RE, 0.19; MBE, -5.04; d_w , 0.98; in pepper plant R^2 , 0.93; RMSE, 10.90; RE, 0.20; MBE, -4.95; d_w , 0.97 and in cucumber plant R^2 , 0.94; RMSE, 13.25; RE, 0.20; MBE, -4.95; d_w , 0.97 performance criteria were obtained and very strong relationship was determined. In order to facilitate the application of the obtained method under farmer conditions, ET values were determined based on various scenarios including estimating and neglecting net radiation (R_n) and soil heat flux (G) parameters of energy balance equation and compared with measured values. The results obtained in this study conducted in Mediterranean greenhouse conditions can be used in the optimization of plant water use in greenhouse, irrigation automation, and related computer software, as well as the basis for future studies.

KEYWORDS: Aerodynamic resistance, Infrared thermometer, Net radiation, Canopy temperature, Mediterranean climate, Lysimeter.

COMMITTEE: Prof. Dr. Dursun BÜYÜKTAŞ

Prof. Dr. Ruhi BAŞTUĞ

Prof. Dr. Naci ONUS

Prof. Dr. Yusuf UÇAR

Prof. Dr. Ulaş ŞENYİĞİT

ÖNSÖZ

İnsanoğlu tarımla ilgilenmeye başladıktan sonra mı yerleşik hayata geçti, yoksa yerleşik hayatla birlikte mi tarımla ilgilenmeye başladı? Günümüze kadar yapılan arkeolojik kazılar her ne kadar bunun cevabını tam olarak veremese de, MÖ 10000’li yıllara kadar avcı toplayıcı olan insanlar, neolitik çağla birlikte yerleşik hayata geçerek tarımsal faaliyetlerle ilgilenmeye başlamışlardır. M.Ö. 10000’li yıllarda 5 milyon olarak tahmin edilen dünya nüfusu, 0 yılında yaklaşık olarak 200 milyona ve yeşil devrimin yapıldığı 1940’lı yıllarda ise 2.3 milyara kadar çıkmıştır. Tarımsal faaliyetlerin başladığı günden, günümüze kadar olan süreçte ilkel tarım teknikleri, yerini modern tarım tekniklerine bırakmıştır. Kısa ve uzun vadeli nüfus projeksiyonları dünya nüfusunun katlanarak arttığını göstermektedir. Bu nedenle mevcut refah seviyesinin korunabilmesi için tarımsal üretimin de artırılması gerekmektedir. Bu amaçla tarımsal üretim alanlarının çoğaltılması ve mevcut tarım arazilerinde daha verimli yetiştiriciliğin yapılması zorunludur. Bu soruna çözüm sunabilen örtüaltı yetiştiriciliğine olan talep, açıkta yapılan yetiştiriciliğe kıyasla birim alandan daha fazla ürün elde edilmesi, üretimin daha kontrollü koşullar altında yapılması ve karlılığının daha fazla olması sebebiyle sürekli artmaktadır. Mevcut olan örtüaltı alanlarında verimliliğin artırılması amacıyla, içinde sulamanın da bulunduğu kültürel uygulamalar sürekli gelişmektedir. Sulama, verimliliği artıran önemli parametrelerden biridir. Bitkiye verilecek sulama suyu miktarını belirlemek amacıyla bitki su tüketiminin (ET) belirlenmesi, sulama programlamasında en önemli aşamadır. Lizimetreler, ET değerinin belirlenmesi amacıyla kullanılan en doğru ve güvenilir yöntem olmakla birlikte, deneyimli iş gücü gerektirmesi ve uygulamasının pahalı olması nedenleriyle her zaman kullanılamamaktadır. Bu nedenle geçmişten günümüze kadar çok sayıda araştırmacı iklimsel veriler yardımıyla bitki su tüketimini tahmin etmek amacıyla çalışmalar yürütmüş ve yürütmeye de devam etmektedirler. Tarla koşullarında ET’nin belirlenmesi amacıyla içinde ülkemizin de bulunduğu çok sayıda ülkede standart yöntem olan FAO metodolojisine dayanan Penman-Monteith modeli kullanılırken, örtüaltı koşullarında standart bir yöntem bulunmamaktadır. Bu durum, sera içi ikliminin, seranın sahip olduğu teknoloji durumuna göre ve sera tipine göre farklılık göstermesinden kaynaklanmaktadır. Sera içi iklim kontrolüne sahip olan yüksek teknoloji seralarda ET’yi yüksek doğrulukta belirleyen eşitlikler mevcut olmakla birlikte ısıtma ve havalandırma sistemine sahip olmayan düşük teknoloji Akdeniz tipi bir PE serada yürütülen bu çalışmada daha önce farklı koşullar altında enerji dengesi eşitliği kullanılarak geliştirilmiş modeller ve çalışma sırasında geliştirilmiş olan yeni bir model kullanılarak dört farklı bitkinin ET değeri tahminlerinin lizimetrelerde ölçülmüş gerçek değerlerle karşılaştırılması amaçlanmıştır.

Doktora tezimin planlanmasında, araştırılmasında, yürütülmesinde ve oluşumunda bilgi, birikim ve tecrübeleriyle bana yol gösterici olan; yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle çalışmamı bilimsel temeller ışığında şekillendiren ve öğrencisi olmaktan daima gurur duyduğum değerli danışman hocam Prof. Dr. Dursun BÜYÜKTAŞ’a, yürütücüsü olduğu TUBİTAK projesinde araştırma yapmama olanak sağlayan Prof. Dr. Ruhi BAŞTUĞ’a, proje kapsamında araştırmacı olan ve desteklerini benden esirgemeyen Prof. Dr. Naci ONUS, Doç. Dr. Kenan BÜYÜKTAŞ ve Dr. Köksal AYDINŞAKİR’e, akademik yaşam sürecimde bilgilerinden ve geniş deneyimlerinden yararlandığım kıymetli bölüm hocalarıma sonsuz saygı ve şükranlarımı sunuyorum.

Arazi çalışmalarında elinden gelenin fazlasını yaparak büyük bir özveri ile çalışan ve tüm bu zorlu süreçte en az benim kadar emek veren Yüksek Lisans öğrencisi Süleyman ŞEHİR'e; tez çalışmam sırasında beni cesaretlendirerek hiçbir desteği benden esirgemeyen dostlarım, Dr. Öğr. Üyesi Gülçin Ece ASLAN, Dr. Ahmet TEZCAN, Arş. Gör. Begüm POLAT, Dr. Mehmet Ali SARIDAŞ, Mehmet KIYAR, Rabia ÇALIŞKAN, Mehmet CAN ve Muhammed Ali KARADAĞ'a; çalışmamın uygulama kısmında önemli yer tutan net radyasyon sensörünün temini ve kullanımında desteklerini esirgemeyen Nil ÖZYİLMAZ ve Kelly DALU-KARLAS'a; bu zorlu süreçte beni hiç yalnız bırakmayan, her türlü fedakârlık ve özveriyle araştırmama teknik destek sunan Caner KÜÇÜKBİÇAK, Yakup KOCAKAYA, Veli BOZKURT ve Zafer KILIÇ'a; karşılaştığım her sorun karşısında bir çözüm yolu sunan ve her zaman arkamda olduklarını hissettiğim abim Vasıf CİRMİK, ablam Deniz CİRMİK, kayınpederim Balı DURSUN, kayıinvalidem Bahar DURSUN, baldızım Sinem DURSUN ve kardeşim İsmail E. DURSUN'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Hayatımın her aşamasında beni sevgi ve sabırla destekleyip yol gösteren, engeller karşısında asla vazgeçmememi öğütleyen ve hiçbir zaman bana olan inançlarını ve güvenlerini kaybetmeyen babam Hasan KARACA, annem Yeşim KARACA ve ablam Elif KARACA'ya her zaman yanımda oldukları için şükranlarımı sunarım.

Bu tezin oluşumu ve yazımı sırasında beni daima koşulsuz, çıkarsız ve sonsuz sevgisiyle saran, anlayışıyla destekleyen, uzun ve yorucu tez sürecimde sabır göstererek hep yanımda olan, hayat arkadaşım, sırdaşım ve eşim Didem KARACA'ya teşekkürü bir borç bilirim.

Bu doktora tezimi, araştırma konumun seçilmesi aşamasından itibaren önerileriyle tezimin oluşmasında büyük katkısı olan merhum Prof. Dr. İsmail Hakkı TÜZEL'e ve üniversiteye başladığım günden bugüne maddi manevi hiçbir desteği benden esirgemeyen, beni kendi oğlundan ayırt etmeyen, yeri asla doldurulamayacak olan manevi babam merhum Ali KÜÇÜKBİÇAK'a ithaf ediyorum.

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
ÖNSÖZ	iii
AKADEMİK BEYAN	ix
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xix
ÇİZELGELER DİZİNİ	xxix
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK TARAMASI.....	5
2.1. Bitki Su Tüketimi (Evapotranspirasyon (ET))	5
2.1.1. Doğrudan yöntemlerle bitki su tüketiminin (ET) belirlenmesi.....	5
2.1.2. Dolaylı yöntemlerle bitki su tüketiminin (ET) belirlenmesi.....	6
2.1.3. Aerodinamik direncin (r_a) belirlenmesi	14
2.1.4. Eşitlikler için gerekli olan iklime ve bitkiye dayalı bazı parametrelerin tahmin edilmesi.....	18
2.2. Örtüaltı Koşullarında Bitki Su Tüketiminin (ET) Belirlenmesine Yönelik Önceki Çalışmalar	22
3. MATERYAL VE METOT.....	27
3.1. Araştırma Alanı	27
3.2. Deneme Düzeni	27
3.3. Toprak Özellikleri	28
3.4. Araştırmada Kullanılan Sulama Suyunun Özellikleri	29
3.5. Bitkisel Materyal	29
3.6. Sera Tipi ve Lizimetre Sistemi	29
3.7. İklimsel Verilerin Elde Edilmesi.....	30
3.8. Toprak Su İçeriğinin İzlenmesi	33
3.9. Tarım Tekniği, Kültürel İşlemler ve Tarımsal Mücadele	34
3.10. Sulama.....	35
3.11. Bitkiye Dayalı Ölçümler	36
3.11.1. Bitki taç sıcaklığının (T_c) belirlenmesi.....	36
3.11.2. Stoma iletkenliği değerlerinin belirlenmesi.....	36
3.11.3. Klorofil indeks içeriği (CCI) değerlerinin belirlenmesi	36
3.11.4. Yaprak alanı (LA), yaprak alan indeksinin (LAI) ve bitki boyunun belirlenmesi.....	37

3.11.5. Karakteristik yaprak boyutunun (d_y) belirlenmesi.....	38
3.11.6. Verim	39
3.12. Bitki Su tüketiminin (ET) Belirlenmesi	39
3.12.1. Doğrudan ölçüm yöntemi ile bitki su tüketiminin (ET) belirlenmesi	39
3.12.2. Dolaylı yöntemler ile bitki su tüketiminin (ET) belirlenmesi	40
3.13. Bitki Su Tüketiminin (ET) Tahmin Edilmesinde R_n ve G 'nin Tahmin ve İhmal Edilmesi Durumlarını İçeren Çeşitli Senaryolar.....	43
3.14. İstatistiksel Analizler	47
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	49
4.1. İklimsel Değerlere İlişkin Bulgular.....	49
4.1.1. Minimum sıcaklık (T_{min}).....	49
4.1.2. Maksimum sıcaklık (T_{mak}).....	51
4.1.3. Ortalama sıcaklık (T_{ort}).....	53
4.1.4. Bağıl nem (RH)	55
4.1.5. Ortalama rüzgar hızı (u)	57
4.1.6. Ortalama solar radyasyon (R_s).....	59
4.1.7. Ortalama toprak ısı akısı (G)	61
4.1.8. Sera içi günlük ortalama enerji bütçesi.....	62
4.1.9. Sera içinde tahmin edilen net radyasyon (R_n) değerleri	63
4.2. Bitkilere İlişkin Bulgular.....	67
4.2.1. Stoma iletkenliği.....	67
4.2.2. Klorofil içeriği indeksi (CCI)	74
4.2.3. Ortalama yaprak alanının (LA) belirlenmesi	76
4.2.4. Yaprak alanı indeksi (LAI).....	81
4.2.5. Bitki boy gelişimi	83
4.2.6. Karakteristik yaprak boyutları (d_y)	86
4.2.7. Bitki taç sıcaklığı (T_c) ölçümleri	88
4.2.8. Gün doğumu ile gün batımı arasındaki ortalama taç sıcaklığı T_c (gün) ile hava sıcaklığı T_a (gün) arasındaki farkın zamanla değişimi	100
4.2.9. Verim	102
4.3. Bitki Su Tüketimine (ET) İlişkin Bulgular	105
4.3.1. Lizimetrelerden doğrudan ölçüm yoluyla elde edilen bitki su tüketimine (ET) ilişkin bulgular	105
4.3.2. Enerji dengesi eşitliği yardımıyla dolaylı olarak belirlenen bitki su tüketimi (ET) tahminine ilişkin bulgular	112

4.4. Enerji Dengesi Eşitliğindeki Net Radyasyon (R_n) ve Toprak Isı Akısı (G) Parametrelerinin Farklı Senaryolarla Hesaplanması Yoluyla Bitki Su Tüketimi (ET) Tahminine İlişkin Bulgular.....	137
4.4.1. Enerji dengesi eşitliğinde hesaplanmış net radyasyon (R_n) değerlerinin kullanılmasıyla bitki su tüketimi (ET) tahminine ilişkin bulgular.....	137
4.4.2. Enerji dengesi eşitliğinde toprak ısı akısının (G) net radyasyonun (R_n) %10'u olarak kabul edilmesi durumunda bitki su tüketimi (ET) tahminlerine ilişkin bulgular.....	140
4.4.3. Enerji dengesi eşitliğinde toprak ısı akısının (G) ihmal edilmesi durumunda tahmin edilen ET değerlerine ilişkin bulgular.....	143
4.4.4. Enerji dengesi eşitliğinde net radyasyonun (R_n) tahmin edilmesi ve toprak ısı akısının (G) net radyasyon (R_n) değerinin %10'u olarak kabul edilmesi durumunda bitki su tüketimi (ET) tahminlerine ilişkin bulgular.....	146
5. SONUÇLAR	151
6. KAYNAKLAR.....	155
7. EKLER	175
ÖZGEÇMİŞ	



AKADEMİK BEYAN

Doktora Tezi olarak sunduğum “Örtüaltında Yaygın Olarak Yetiştirilen Bitkilerin Su Tüketimlerinin Enerji Dengesi Yöntemi İle 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.

24/01/2020

Cihan KARACA



SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

ΔS	: Birim zamanda topraktaki nem miktarının değişimi
ΔT_2	: Maksimum sıcaklık ile birbirini takip eden iki günün minimum sıcaklıklarının ortalamasının farkı
ΔT_m	: Aylık ortalama ΔT_2 değeri
A	: Alan
a_1	: Islatılan alan yüzdesi
a_2	: Kuru alan yüzdesi
B	: Aerodinamik terim için model katsayı
boy	: Bitki boyu
Ca^{++}	: Kalsiyum
CAI	: Bitki taç alanı indeksi
Cl	: Klorür
CO_2	: Karbondioksit
$CO_3^{=}$	: Karbonat
c_p	: Havanın özgül ısısı
d_y	: Karakteristik yaprak boyutu
d_w	: Willmott indeksi
D	: Islatılacak toprak derinliği
da	: Dekar
d_u	: Ortalama hızın sıfır olduğu yükseklik
D_r	: Drene olan su miktarı
d_r	: Dünya ile güneşin ters bağlı mesafesi
d_{vap}	: Su buharının yayılımı

e_a	: Gerçek buhar basıncı
E_a	: İzotermal koşullar altında buhar taşınım akısı
E_o	: Açık su yüzeyi buharlaşması
E_{pan}	: A sınıfı buharlaşma kabından meydana gelen buharlaşma
e_s	: Doygun buhar basıncı
ET	: Bitki su tüketimi
ET_o	: Kıyas bitki su tüketimi
E_{wet}	: Islak bitki yüzeyindeki evapotranspirasyon miktarı
G	: Topraktan olan ısı akısı
g	: Yer çekimi ivmesi
Gr	: Grashof sayısı
g_s	: Stoma iletkenliği
G_{sc}	: Güneş sabiti
H	: Duyulur ısı akısı
h	: Konvektif ısı transfer katsayısı
h_c	: Bitki yüksekliği
$HCO_3^{=}$	: Bikarbonat
h_{vap}	: Havanın konvektif ısı transfer katsayısı
I	: Uygulanan sulama suyu miktarı
J	: Yılın günü
K	: Potasyum
K^{-1}	: Kelvin
k	: Von Karman sabiti
k_a	: Yaprakların açısal dağılımı
k_c	: Havanın termal iletkenliği
k_{crop}	: FAO metodolojisindeki bitkiye özel geliştirilen katsayı

k_{pan}	: Pan katsayısı
L	: Yaprak uzunluğu
$L\uparrow$	: Yüzeyden yansıyan uzun dalga boylu radyasyonu
$L\downarrow$	: Yüzeyde emilen uzun dalga boylu radyasyon
LA	: Yaprak alanı
LAI	: Yaprak alan indeksi
Le	: Lewis sayısı
MBE	: Ortalama taraflı hata
Mg^{++}	: Magnezyum
N	: Azot
n	: Birim alandaki yaprak sayısı
Na^+	: Sodyum
NSE	: Nash-Sutcliffe etkinlik katsayısı
Nu	: Nusselt sayısı
P	: Islatılan alan oranı
$P>F$	: Önem seviyesi
p_a	: Atmosferik basınç
Pr	: Prandtl sayısı
$P_{v(MN)}$	: Hacim yüzdesi cinsinden toprakta ölçülen nem
$P_{v(TK)}$	: Hacim yüzdesi cinsinden toprağın tarla kapasitesi
P_w	: Kuru ağırlık yüzdesi cinsinden tarla kapasitesi ve solma noktası
R^2	: Determinasyon katsayısı
r_a	: Aerodinamik difüzyon direnci
R_a	: Atmosfer üstü radyasyon
Ra	: Rayleigh sayısı
r_{aH}	: Duyulur ısı akısına karşı olan direnç

r_{aV}	: Buhar transferine karşı aerodinamik direnç
RE	: Göreli hata
Re	: Reynolds sayısı
RH	: Bağıl nem
Ri	: Richardson sayısı
$R_{l(gelen)}$	: Gelen uzun dalga boylu radyasyon
$R_{l(giden)}$	: Yansıyan uzun dalga boylu radyasyonu
$RMSE$	: Ortalama hatanın karesi
$R_{n(gd-gb)}$	: Gün doğumu ve batımı arasındaki ortalama net radyasyon değeri
R_n	: Net radyasyonu
$R_{n(14:00)}$	: Saat 14:00'da ölçülen net radyasyon değeri
r_R	: Işınım direnci
R_s	: Gelen kısa dalga boylu solar radyasyon
r_s	: Bitki taç direnci
$R_{s(gelen)}$	: Gelen kısa dalga boylu radyasyon
$R_{s(giden)}$	: Yansıyan kısa dalga boylu radyasyon
R_{sd}	: Sera dışı solar radyasyon değeri
Sc	: Schmidt sayısı
SD	: Serbestlik derecesi
Sf	: Küllemeye dayanıklı çeşit
Sh	: Sherwood sayısı
$SO_4^{=}$	: Sülfat
SWC	: Toprak su içeriği
T_a	: Hava sıcaklığı
$T_{a(gün)}$	: Gün doğumu ile gün batımı arasındaki ortalama hava sıcaklığı değeri

$T_{c(ort)}$	: Gün doğumu ile gün batımı arasında ölçülen taç sıcaklığı değerlerinin ortalaması
$T_{c(14:00)}$	: Saat 14:00'da ölçülen taç sıcaklığı değerleri
T_c	: Bitki taç sıcaklığı
$T_{c(gün)}$	: Gün doğumu ile gün batımı arasındaki ortalama taç sıcaklığı değeri
T_{mak}	: Maksimum sıcaklık
T_{min}	: Minimum sıcaklık
T_{ort}	: Ortalama sıcaklık
T_s	: Yüzey sıcaklığı
u	: Karakteristik rüzgar hızı
u_z	: z yüksekliğinde ölçülen rüzgar hızı
ν	: Havanın kinematik viskozitesi
VPD	: Buhar basıncı açığı
W	: Yaprak genişliği
$W_{çıkan}$	: Birim zamanda topraktan çıkan su miktarı
W_{giren}	: Birim zamanda toprağa giren su miktarı
X_i	: İstatistik analizde kullanılan tahmini değeri
$\bar{X}_i$	: İstatistik analizde kullanılan tahmini değerlerin ortalaması
Y_a	: Ortalama yaprak alanı
Y_i	: İstatistik analizde kullanılan ölçülmüş değeri
z_h	: Bağıl nemin ölçüldüğü yüksekliği
z_{oh}	: Isı ve buhar transferini yöneten pürüzlülük uzunluğu
z_{om}	: Momentum transferini yöneten pürüzlülük uzunluğu
z_r	: Bitki tacı üzerindeki rüzgar hızının ölçüldüğü yüksekliği
α	: Havanın ısıl yayılımı
β	: Havanın ısıl genleşme katsayısı

γ	: Psikrometrik sabit
Δ	: Doygun buhar basıncı eğrisinin eğimi
δ	: Güneşin sapma açısı
ε	: Su buharı ve kuru hava molekül kütlelerinin oranı
ε_a	: Atmosferik emissivite değeri
ε_c	: Bitki emissivite değeri
ε_{cv}	: Termal radyasyon için bitki soğurma katsayısı
θ_1	: Islak alandaki nem miktarı
θ_2	: Kuru alandaki nem miktarı
λ	: Buharlaşma gizli ısı akısı
λE	: Gizli ısı akısı (evapotranspirasyon)
π	: pi sayısı
ρ_a	: Nemli havanın yoğunluğu
σ	: Stefan-Boltzman sabiti
τ	: Sera örtü malzemesinin geçirgenlik katsayısı
$\bar{Y}_i$	: İstatistik analizde kullanılan ölçülmüş değerlerin ortalamasını
φ	: Enlem
ω_s	: Gün batımı saat açısı

Tezde ondalık ayıraç olarak nokta (.) kullanılmıştır.

Kısaltmalar

ABA	: Absisik asit
AD	: Damlama önleyicisi

AÜ	: Akdeniz Üniversitesi
CCI	: Klorofil indeks içeriği
CHTC	: Konvektif ısı transfer katsayısı yöntemi
CMV	: Hıyar mozaik virüsü
CVYV	: Hıyar sarı damar virüsü
DSGS	: Dikimden sonraki gün sayısı
EC	: Elektriksel iletkenlik
EVA	: Etilen-vinil asetat kopolimeri
FAO	: Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü
FDR	: Elektromanyetik yansıma frekansı
IBTE	: Ters enerji dengesi eşitliği yöntemi
IR	: Kızılötesi
MGM	: Meteoroloji Genel Müdürlüğü
PAR	: Fotosentetik aktif radyasyon
PE	: Polietilen
SAR	: Sodyum Adsorbsiyon Oranı
ToMV	: Domates mozaik virüsü
TSWV	: Domates lekeli solgunluk virüsü
TUBİTAK	: Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu
TUİK	: Türkiye İstatistik Kurumu
TYLCV	: Domates sarı yaprak kıvrıklılığı virüsü
UN	: Birleşmiş Milletler
UV	: Ultraviyole



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Yaprak etrafındaki havanın buharlaşmaya karşı direnci	6
Şekil 2.2. ‘Büyük Yaprak’ (Big Leaf) modelinin şematik gösterimi ve ısı akılarına karşı direnci (Alves vd. 1998)	10
Şekil 3.1. Araştırmada kullanılan deneme deseni	28
Şekil 3.2. Araştırmanın yürütüldüğü seranın; (a) önden görünümü (b) arkadan görünümü	30
Şekil 3.3. Araştırmanın yürütüldüğü lizimetreler	30
Şekil 3.4. Sera içi iklimsel verilerini kayıt eden meteoroloji istasyonu.....	31
Şekil 3.5. Araştırmada kullanılan CNR4 net radyometre sensörü	32
Şekil 3.6. Araştırmada kullanılan toprak nem sensörlerinin konumlandırılması.....	33
Şekil 3.7. Drill&Drop sensörlerinin parseldeki konumu	33
Şekil 3.8. Stoma iletkenliği (a) ve klorofil indeks içeriği (b) ölçümlerinde kullanılan aletler.....	37
Şekil 3.9. İmageJ yazılımı yardımıyla yaprak alanının belirlenmesi örneği.....	38
Şekil 3.10. Araştırmada yetiştirilen bitkilerin hasat anındaki görüntüsü.....	39
Şekil 3.11. Enerji dengesine dayalı eşitlik ile ET’nin tahmin edilmesi amacıyla denenen eşitlikler	
Şekil 4.1. Sera içi ve dışında güz ve bahar döneminde ölçülen minimum sıcaklık (T_{min}) değerleri	49
Şekil 4.2. Sera içi ve dışında güz (a) ve bahar (b) döneminde ölçülen minimum sıcaklık (T_{min}) değerleri arasındaki ilişki	50
Şekil 4.3. Sera içi ve dışında güz ve bahar döneminde ölçülen maksimum sıcaklık (T_{mak}) değerleri.....	51
Şekil 4.4. Sera içi ve dışında güz (a) ve bahar (b) döneminde ölçülen maksimum sıcaklık (T_{mak}) değerleri arasındaki ilişki	52
Şekil 4.5. Sera içi ve dışında güz ve bahar döneminde ölçülen ortalama sıcaklık (T_{ort}) değerleri.....	53
Şekil 4.6. Sera içi ve dışında güz (a) ve bahar (b) döneminde ölçülen ortalama sıcaklık (T_{ort}) değerleri arasındaki ilişki.....	54

Şekil 4.7. Sera içi ve dışında güz ve bahar döneminde ölçülen ortalama bağıl nem (RH) değerleri	55
Şekil 4.8. Sera içi ve dışında güz (a) ve bahar (b) döneminde ölçülen ortalama bağıl nem (RH) değerleri arasındaki ilişki	56
Şekil 4.9. Sera içi ve dışında güz ve bahar döneminde ölçülen ortalama rüzgar hızı (u) değerleri.....	57
Şekil 4.10. Sera içi ve dışında güz (a) ve bahar (b) döneminde ölçülen ortalama rüzgar hızı (u) değerleri arasındaki ilişki	58
Şekil 4.11. Sera içi ve dışında güz ve bahar döneminde ölçülen ortalama solar radyasyon (R_s) değerleri.....	59
Şekil 4.12. Sera içi ve dışında bahar döneminde ölçülen ortalama solar radyasyon (R_s) değerleri arasındaki ilişki.....	60
Şekil 4.13. Sera içinde güz ve bahar dönemlerinde ölçülen ortalama toprak ısı akısı (G) değerleri	61
Şekil 4.14. Güz ve bahar döneminde sera içi enerji bütçesi unsurlarının değişimi ($R_{s(gelen)}$, gelen kısa dalga boylu radyasyon; $R_{s(giden)}$, yansıyan kısa dalga boylu radyasyon; $R_{l(gelen)}$, gelen uzun dalga boylu radyasyon; $R_{l(giden)}$, yansıyan uzun dalga boylu radyasyon ve R_n , net radyasyon).....	62
Şekil 4.15. Ölçülen ve tahmin edilen R_n değerlerinin zamana bağlı değişimi.....	64
Şekil 4.16. Ölçülen ve tahmin edilen R_n değerlerinin 1:1 çizgisindeki dağılımları.....	65
Şekil 4.17. Günlük ortalama net radyasyon (R_n) ile gün doğumu ve batımı arasındaki ortalama net radyasyon ($R_{n(gd-gb)}$) değerleri arasındaki ilişki	66
Şekil 4.18. Domates bitkisinde stoma iletkenliği değerlerinin güz ve bahar dönemlerindeki değişimi.....	67
Şekil 4.19. Patlıcan bitkisinde stoma iletkenliği değerlerinin güz ve bahar dönemlerindeki değişimi.....	67
Şekil 4.20. Biber bitkisinde stoma iletkenliği değerlerinin güz ve bahar dönemlerindeki değişimi.....	68
Şekil 4.21. Hıyar bitkisinde stoma iletkenliği değerlerinin güz ve bahar dönemlerindeki değişimi.....	68
Şekil 4.22. Güz dönemindeki 3 farklı günde domates bitkisinin stoma iletkenliği değerlerinin saatlik değişimi	71
Şekil 4.23. Güz dönemindeki 3 farklı günde patlıcan bitkisinin stoma iletkenliği değerlerinin saatlik değişimi	71

Şekil 4.24. Güz dönemindeki 3 farklı günde biber bitkisinin stoma iletkenliği değerlerinin saatlik değişimi	71
Şekil 4.25. Güz dönemindeki 3 farklı günde hıyar bitkisinin stoma iletkenliği değerlerinin saatlik değişimi	72
Şekil 4.26. Bahar dönemindeki 4 farklı günde domates bitkisinin stoma iletkenliği değerlerinin saatlik değişimi	72
Şekil 4.27. Bahar dönemindeki 4 farklı günde patlıcan bitkisinin stoma iletkenliği değerlerinin saatlik değişimi	72
Şekil 4.28. Bahar dönemindeki 4 farklı günde biber bitkisinin stoma iletkenliği değerlerinin saatlik değişimi	73
Şekil 4.29. Bahar dönemindeki 4 farklı günde hıyar bitkisinin stoma iletkenliği değerlerinin saatlik değişimi	73
Şekil 4.30. Domates bitkisine ait klorofil içeriği indeksi değerlerinin güz ve bahar dönemi boyunca değişimi	74
Şekil 4.31. Patlıcan bitkisine ait klorofil içeriği indeksi değerinin güz ve bahar dönemi boyunca değişimi	74
Şekil 4.32. Biber bitkisine ait klorofil içeriği indeksi değerinin güz ve bahar dönemi boyunca değişimi	75
Şekil 4.33. Hıyar bitkisine ait klorofil içeriği indeksi değerinin güz ve bahar dönemi boyunca değişimi	75
Şekil 4.34. Domates, patlıcan, biber ve hıyar bitkilerinin her iki yetiştirme dönemindeki LAI değerlerinin sezonluk değişimi	81
Şekil 4.35. Güz ve bahar dönemlerinde domates, patlıcan, biber ve hıyar bitkilerinin boy gelişimleri.....	84
Şekil 4.36. Güz ve bahar dönemlerinde domates, patlıcan, biber ve hıyar bitkilerinin karakteristik yaprak boyutları (d_y) değerleri	86
Şekil 4.37. Güz ve bahar dönemlerinde domates bitkisinin günlük T_c (14:00), T_a (14:00) ve R_n (14:00) değerlerinin değişimi	88
Şekil 4.38 Güz ve bahar dönemlerinde patlıcan bitkisinin günlük T_c (14:00), T_a (14:00) ve R_n (14:00) değerlerinin değişimi	88
Şekil 4.39. Güz ve bahar dönemlerinde biber bitkisinin günlük T_c (14:00), T_a (14:00) ve R_n (14:00) değerlerinin değişimi	89
Şekil 4.40. Güz ve bahar dönemlerinde hıyar bitkisinin günlük T_c (14:00), T_a (14:00) ve R_n (14:00) değerlerinin değişimi	89

Şekil 4.41. Güz dönemi içindeki farklı günlerde, domates bitkisinin bitki taç sıcaklığı değerlerinin gün içindeki değişimi.....	91
Şekil 4.42. Güz dönemi içindeki farklı günlerde, patlıcan bitkisinin bitki taç sıcaklığı değerlerinin gün içindeki değişimi.....	92
Şekil 4.43. Güz dönemi içindeki farklı günlerde, biber bitkisinin bitki taç sıcaklığı değerlerinin gün içindeki değişimi.....	92
Şekil 4.44. Güz dönemi içindeki farklı günlerde, hıyar bitkisinin bitki taç sıcaklığı değerlerinin gün içindeki değişimi.....	92
Şekil 4.45. Bahar dönemi içindeki farklı günlerde, domates bitkisinin bitki taç sıcaklığı değerlerinin gün içindeki değişimi	93
Şekil 4.46. Bahar dönemi içindeki farklı günlerde, patlıcan bitkisinin bitki taç sıcaklığı değerlerinin gün içindeki değişimi	93
Şekil 4.47. Bahar dönemi içindeki farklı günlerde, biber bitkisinin bitki taç sıcaklığı değerlerinin gün içindeki değişimi.....	93
Şekil 4.48. Bahar dönemi içindeki farklı günlerde, hıyar bitkisinin bitki taç sıcaklığı değerlerinin gün içindeki değişimi.....	94
Şekil 4.49. Domates bitkisinin 24 saat içindeki saatlik taç sıcaklığı değişimi	95
Şekil 4.50. Patlıcan bitkisinin 24 saat içindeki saatlik taç sıcaklığı değişimi.....	95
Şekil 4.51. Biber bitkisinin 24 saat içindeki saatlik taç sıcaklığı değişimi.....	95
Şekil 4.52. Hıyar bitkisinin 24 saat içindeki saatlik taç sıcaklığı değişimi	96
Şekil 4.53. Güz ve bahar dönemindeki farklı günlerde domates (a) , patlıcan (b) , biber (c) ve hıyar (d) bitkilerinden elde edilen $T_c (14:00)$ ile $(T_c (gün))$ değerleri arasındaki doğrusal ilişkiler.....	97
Şekil 4.54. Güz ve bahar dönemlerinde domates bitkisinin eşitlik yardımıyla hesaplanan $T_c (gün)$ değeri ile ölçülen $T_a (gün)$ ve $R_n (gün)$ değerlerinin günlük değişimi.....	98
Şekil 4.55. Güz ve bahar dönemlerinde patlıcan bitkisinin eşitlik yardımıyla hesaplanan $T_c (gün)$ değeri ile ölçülen $T_a (gün)$ ve $R_n (gün)$ değerlerinin günlük değişimi.....	98
Şekil 4.56. Güz ve bahar dönemlerinde biber bitkisinin eşitlik yardımıyla hesaplanan $T_c (gün)$ değeri ile ölçülen $T_a (gün)$ ve $R_n (gün)$ değerlerinin günlük değişimi	98
Şekil 4.57. Güz ve bahar dönemlerinde hıyar bitkisinin eşitlik yardımıyla hesaplanan $T_c (gün)$ değeri ile ölçülen $T_a (gün)$ ve $R_n (gün)$ değerlerinin günlük değişimi	99
Şekil 4.58. Güz ve bahar dönemlerinde domates bitkisinin $T_{c(gün)} - T_{a(gün)}$ değerlerinin değişimi.....	100

Şekil 4.59. Güz ve bahar dönemlerinde patlıcan bitkisinin $T_{c(gün)} - T_{a(gün)}$ değerlerinin değişimi	100
Şekil 4.60. Güz ve bahar dönemlerinde biber bitkisinin $T_{c(gün)} - T_{a(gün)}$ değerlerinin değişimi	101
Şekil 4.61. Güz ve bahar dönemlerinde hıyar bitkisinin $T_{c(gün)} - T_{a(gün)}$ değerlerinin değişimi	101
Şekil 4.62. Güz ve bahar dönemlerinde yetiştirilen domates, patlıcan, biber ve hıyar bitkilerinin toplam verim değerleri	103
Şekil 4.63. Güz ve bahar dönemlerinde, domates bitkisinde Brutsaert ve Stricker (1979) yöntemi ile hesaplanan r_a değerinin enerji dengesi eşitliğinde kullanılmasıyla elde edilen ET değerleri ile lizimetreden doğrudan ölçülen ET değerlerinin değişimi	112
Şekil 4.64. Güz ve bahar dönemlerinde, patlıcan bitkisinde Brutsaert ve Stricker (1979) yöntemi ile hesaplanan r_a değerinin enerji dengesi eşitliğinde kullanılmasıyla elde edilen ET değerleri ile lizimetreden doğrudan ölçülen ET değerlerinin değişimi	113
Şekil 4.65. Güz ve bahar dönemlerinde, biber bitkisinde Brutsaert ve Stricker (1979) yöntemi ile hesaplanan r_a değerinin enerji dengesi eşitliğinde kullanılmasıyla elde edilen ET değerleri ile lizimetreden doğrudan ölçülen ET değerlerinin değişimi	113
Şekil 4.66. Güz ve bahar dönemlerinde, hıyar bitkisinde Brutsaert ve Stricker (1979) yöntemi ile hesaplanan r_a değerinin enerji dengesi eşitliğinde kullanılmasıyla elde edilen ET değerleri ile lizimetreden doğrudan ölçülen ET değerlerinin değişimi	113
Şekil 4.67. Güz ve bahar dönemlerinde, domates bitkisinde Perrier (1975) yöntemi ile hesaplanan r_a değerinin enerji dengesi eşitliğinde kullanılmasıyla elde edilen ET değerleri ile lizimetreden doğrudan ölçülen ET değerlerinin değişimi.....	114
Şekil 4.68. Güz ve bahar dönemlerinde, patlıcan bitkisinde Perrier (1975) yöntemi ile hesaplanan r_a değerinin enerji dengesi eşitliğinde kullanılmasıyla elde edilen ET değerleri ile lizimetreden doğrudan ölçülen ET değerlerinin değişimi.....	114
Şekil 4.69. Güz ve bahar dönemlerinde, biber bitkisinde Perrier (1975) yöntemi ile hesaplanan r_a değerinin enerji dengesi eşitliğinde kullanılmasıyla elde edilen ET değerleri ile lizimetreden doğrudan ölçülen ET değerlerinin değişimi.....	114
Şekil 4.70. Güz ve bahar dönemlerinde, hıyar bitkisinde Perrier (1975) yöntemi ile hesaplanan r_a değerinin enerji dengesi eşitliğinde kullanılmasıyla elde edilen ET değerleri ile lizimetreden doğrudan ölçülen ET değerlerinin değişimi.....	115
Şekil 4.71. Domates bitkisinde doğal konveksiyona dayalı CHTC yöntemi ile hesaplanan r_a değerinin enerji dengesi eşitliğinde kullanılmasıyla elde edilen ET ve lizimetrelerden ölçülen ET değerlerinin güz ve bahar dönemlerindeki değişimi	117

- Şekil 4.72.** Patlıcan bitkisinde doğal konveksiyona dayalı CHTC yöntemi ile hesaplanan r_a değerinin enerji dengesi eşitliğinde kullanılmasıyla elde edilen ET ve lizimetrelerden ölçülen ET değerlerinin güz ve bahar dönemlerindeki değişimi 117
- Şekil 4.73.** Biber bitkisinde doğal konveksiyona dayalı CHTC yöntemi ile hesaplanan r_a değerinin enerji dengesi eşitliğinde kullanılmasıyla elde edilen ET ve lizimetrelerden ölçülen ET değerlerinin güz ve bahar dönemlerindeki değişimi 117
- Şekil 4.74.** Hıyar bitkisinde doğal konveksiyona dayalı CHTC yöntemi ile hesaplanan r_a değerinin enerji dengesi eşitliğinde kullanılmasıyla elde edilen ET ve lizimetrelerden ölçülen ET değerlerinin güz ve bahar dönemlerindeki değişimi 118
- Şekil 4.75.** Domates bitkisinde zorlamalı konveksiyona dayalı CHTC yöntemi ile hesaplanan r_a değerinin enerji dengesi eşitliğinde kullanılmasıyla elde edilen ET ve lizimetrelerden ölçülen ET değerlerinin güz ve bahar dönemlerindeki değişimi 118
- Şekil 4.76.** Patlıcan bitkisinde zorlamalı konveksiyona dayalı CHTC yöntemi ile hesaplanan r_a değerinin enerji dengesi eşitliğinde kullanılmasıyla elde edilen ET ve lizimetrelerden ölçülen ET değerlerinin güz ve bahar dönemlerindeki değişimi 118
- Şekil 4.77.** Biber bitkisinde zorlamalı konveksiyona dayalı CHTC yöntemi ile hesaplanan r_a değerinin enerji dengesi eşitliğinde kullanılmasıyla elde edilen ET ve lizimetrelerden ölçülen ET değerlerinin güz ve bahar dönemlerindeki değişimi 119
- Şekil 4.78.** Hıyar bitkisinde zorlamalı konveksiyona dayalı CHTC yöntemi ile hesaplanan r_a değerinin enerji dengesi eşitliğinde kullanılmasıyla elde edilen ET ve lizimetrelerden ölçülen ET değerlerinin güz ve bahar dönemlerindeki değişimi 119
- Şekil 4.79.** Domates bitkisinde bileşik konveksiyona dayalı CHTC yöntemi ile hesaplanan r_a değerinin enerji dengesi eşitliğinde kullanılmasıyla elde edilen ET ve lizimetrelerden ölçülen ET değerlerinin güz ve bahar dönemlerindeki değişimi 119
- Şekil 4.80.** Patlıcan bitkisinde bileşik konveksiyona dayalı CHTC yöntemi ile hesaplanan r_a değerinin enerji dengesi eşitliğinde kullanılmasıyla elde edilen ET ve lizimetrelerden ölçülen ET değerlerinin güz ve bahar dönemlerindeki değişimi 120
- Şekil 4.81.** Biber bitkisinde bileşik konveksiyona dayalı CHTC yöntemi ile hesaplanan r_a değerinin enerji dengesi eşitliğinde kullanılmasıyla elde edilen ET ve lizimetrelerden ölçülen ET değerlerinin güz ve bahar dönemlerindeki değişimi 120
- Şekil 4.82.** Hıyar bitkisinde bileşik konveksiyona dayalı CHTC yöntemi ile hesaplanan r_a değerinin enerji dengesi eşitliğinde kullanılmasıyla elde edilen ET ve lizimetrelerden ölçülen ET değerlerinin güz ve bahar dönemlerindeki değişimi 120
- Şekil 4.83.** Domates bitkisinde sabit r_a değerinin (150 s m^{-1}) enerji dengesi eşitliğinde kullanılmasıyla elde edilen ET değerleri 122
- Şekil 4.84.** Patlıcan bitkisinde sabit r_a değerinin (150 s m^{-1}) enerji dengesi eşitliğinde kullanılmasıyla elde edilen ET değerleri 122

Şekil 4.85. Biber bitkisinde sabit r_a değerinin (150 s m^{-1}) enerji dengesi eşitliğinde kullanılmasıyla elde edilen ET değerleri.....	123
Şekil 4.86. Hıyar bitkisinde sabit r_a değerinin (150 s m^{-1}) enerji dengesi eşitliğinde kullanılmasıyla elde edilen ET değerleri.....	123
Şekil 4.87. Güz ve bahar dönemlerinde, domates bitkisinde net radyasyon (R_n), toprak ısı akısı (G), duyulur ısı akısı (H) ile IBTE yöntemi ile tahmin edilen ET ve lizimetrelerden doğrudan ölçülen ET değerlerinin değişimi.....	124
Şekil 4.88. Güz ve bahar dönemlerinde, patlıcan bitkisinde net radyasyon (R_n), toprak ısı akısı (G), duyulur ısı akısı (H) ile IBTE yöntemi ile tahmin edilen ET ve lizimetrelerden doğrudan ölçülen ET değerlerinin değişimi.....	125
Şekil 4.89. Güz ve bahar dönemlerinde, biber bitkisinde net radyasyon (R_n), toprak ısı akısı (G), duyulur ısı akısı (H) ile IBTE yöntemi ile tahmin edilen ET ve lizimetrelerden doğrudan ölçülen ET değerlerinin değişimi.....	125
Şekil 4.90. Güz ve bahar dönemlerinde, hıyar bitkisinde net radyasyon (R_n), toprak ısı akısı (G), duyulur ısı akısı (H) ile IBTE yöntemi ile tahmin edilen ET ve lizimetrelerden doğrudan ölçülen ET değerlerinin değişimi.....	126
Şekil 4.91. Domates bitkisinde yeni yöntem ile hesaplanan r_a değerinin enerji dengesi eşitliğinde kullanılmasıyla elde edilen ET ve lizimetrelerden ölçülen ET değerlerinin güz ve bahar dönemlerindeki değişimi	133
Şekil 4.92. Patlıcan bitkisinde yeni yöntem ile hesaplanan r_a değerinin enerji dengesi eşitliğinde kullanılmasıyla elde edilen ET ve lizimetrelerden ölçülen ET değerlerinin güz ve bahar dönemlerindeki değişimi	134
Şekil 4.93. Biber bitkisinde yeni yöntem ile hesaplanan r_a değerinin enerji dengesi eşitliğinde kullanılmasıyla elde edilen ET ve lizimetrelerden ölçülen ET değerlerinin güz ve bahar dönemlerindeki değişimi	134
Şekil 4.94. Hıyar bitkisinde yeni yöntem ile hesaplanan r_a değerinin enerji dengesi eşitliğinde kullanılmasıyla elde edilen ET ve lizimetrelerden ölçülen ET değerlerinin güz ve bahar dönemlerindeki değişimi	134
Şekil 4.95. Domates, patlıcan, biber ve hıyar bitkilerinde yeni model ile belirlenen r_a değerlerinin enerji dengesi eşitliğinde kullanılmasıyla elde edilen haftalık toplam tahmini ET değerleri ile gerçek ET değerlerinin 1:1 çizgisindeki dağılımları.....	135
Şekil 4.96. Güz ve bahar dönemlerinde domates için hesaplanmış R_n değerlerinin enerji dengesi eşitliğinde kullanılmasıyla tahmin edilen ve lizimetrelerde ölçülen ET değerlerinin değişimi.....	137
Şekil 4.97. Güz ve bahar dönemlerinde patlıcan için hesaplanmış R_n değerlerinin enerji dengesi eşitliğinde kullanılmasıyla tahmin edilen ve lizimetrelerde ölçülen ET değerlerinin değişimi.....	138

Şekil 4.98. Güz ve bahar dönemlerinde biber için hesaplanmış R_n değerlerinin enerji dengesi eşitliğinde kullanılmasıyla tahmin edilen ve lizimetrelerde ölçülen ET değerlerinin değişimi.....	138
Şekil 4.99. Güz ve bahar dönemlerinde hıyar için hesaplanmış R_n değerlerinin enerji dengesi eşitliğinde kullanılmasıyla tahmin edilen ve lizimetrelerde ölçülen ET değerlerinin değişimi.....	138
Şekil 4.100. Domates, patlıcan, biber ve hıyar bitkilerde hesaplanmış net radyasyon (R_n) değerlerinin enerji dengesi eşitliğinde kullanılmasıyla tahmin edilen ve lizimetrelerde ölçülen ET değerlerinin 1:1 çizgisi etrafındaki dağılımı	139
Şekil 4.101. Güz ve bahar dönemlerinde domates için enerji dengesi eşitliğinde G 'nin $0.1R_n$ olarak kabul edilmesi durumunda tahmin edilen ve lizimetrelerde ölçülen ET değerlerinin değişimi	140
Şekil 4.102. Güz ve bahar dönemlerinde patlıcan için enerji dengesi eşitliğinde G 'nin $0.1R_n$ olarak kabul edilmesi durumunda tahmin edilen ve lizimetrelerde ölçülen ET değerlerinin değişimi.....	141
Şekil 4.103. Güz ve bahar dönemlerinde biber için enerji dengesi eşitliğinde G 'nin $0.1R_n$ olarak kabul edilmesi durumunda tahmin edilen ve lizimetrelerde ölçülen ET değerlerinin değişimi.....	141
Şekil 4.104. Güz ve bahar dönemlerinde hıyar için enerji dengesi eşitliğinde G 'nin $0.1R_n$ olarak kabul edilmesi durumunda tahmin edilen ve lizimetrelerde ölçülen ET değerlerinin değişimi.....	141
Şekil 4.105. Domates, patlıcan, biber ve hıyar bitkilerde G 'nin $0.1R_n$ alınarak enerji dengesi eşitliğinde kullanılmasıyla tahmin edilen ve lizimetrelerde ölçülen ET değerlerinin 1:1 çizgisi etrafındaki dağılımı	142
Şekil 4.106. Güz ve bahar dönemlerinde domates için enerji dengesi eşitliğinde G 'nin ihmal edilmesi durumunda tahmin edilen ve lizimetrelerde ölçülen ET değerlerinin değişimi.....	143
Şekil 4.107. Güz ve bahar dönemlerinde patlıcan için enerji dengesi eşitliğinde G 'nin ihmal edilmesi durumunda tahmin edilen ve lizimetrelerde ölçülen ET değerlerinin değişimi.....	144
Şekil 4.108. Güz ve bahar dönemlerinde biber için enerji dengesi eşitliğinde G 'nin ihmal edilmesi durumunda tahmin edilen ve lizimetrelerde ölçülen ET değerlerinin değişimi.....	144
Şekil 4.109. Güz ve bahar dönemlerinde hıyar için enerji dengesi eşitliğinde G 'nin ihmal edilmesi durumunda tahmin edilen ve lizimetrelerde ölçülen ET değerlerinin değişimi.....	144

Şekil 4.110. Domates, patlıcan, biber ve hıyar bitkilerde G 'nin ihmal edilmesi durumunda enerji dengesi eşitliğinin kullanılmasıyla tahmin edilen ve lizimetrelerde ölçülen ET değerlerinin 1:1 çizgisi etrafındaki dağılımı.....	145
Şekil 4.111. Güz ve bahar dönemlerinde domates için R_n 'nin hesaplanması ve G 'nin $0.1R_n$ alınması durumunda enerji dengesi eşitliği ile tahmin edilen ve lizimetrelerde ölçülen ET değerlerinin değişimi	146
Şekil 4.112. Güz ve bahar dönemlerinde patlıcan için R_n 'nin hesaplanması ve G 'nin $0.1R_n$ alınması durumunda enerji dengesi eşitliği ile tahmin edilen ve lizimetrelerde ölçülen ET değerlerinin değişimi	147
Şekil 4.113. Güz ve bahar dönemlerinde biber için R_n 'nin hesaplanması ve G 'nin $0.1R_n$ alınması durumunda enerji dengesi eşitliği ile tahmin edilen ve lizimetrelerde ölçülen ET değerlerinin değişimi	147
Şekil 4.114. Güz ve bahar dönemlerinde hıyar için R_n 'nin hesaplanması ve G 'nin $0.1R_n$ alınması durumunda enerji dengesi eşitliği ile tahmin edilen ve lizimetrelerde ölçülen ET değerlerinin değişimi	147
Şekil 4.115. Domates, patlıcan, biber ve hıyar bitkilerinde R_n 'nin hesaplanması ve G 'nin $0.1R_n$ alınması durumunda enerji dengesi eşitliğinin kullanılmasıyla tahmin edilen ve lizimetrelerde ölçülen ET değerlerinin 1:1 çizgisi etrafındaki dağılımı.....	148



ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Sera içerisine uyarlanmış boyutsuz sayılar	15
Çizelge 2.2. Farklı bitki türlerinin yaprak alanlarını tahmin etmek için kullanılan modeller.....	19
Çizelge 3.1. Antalya iline ilişkin uzun yıllık ortalama iklimsel değerler	27
Çizelge 3.2. Araştırmada kullanılan toprağın fiziksel özellikleri	28
Çizelge 3.3. Araştırmada kullanılan toprağın kimyasal özellikleri.....	28
Çizelge 3.4. Araştırmada kullanılacak sulama suyunun bazı özellikleri	29
Çizelge 3.5. Sera içinde ölçülen iklimsel parametreler ve ölçüm sensörleri	31
Çizelge 3.6. Araştırmada bitkilerin fide dikim aralıkları ve parseldeki bitki sayıları.....	34
Çizelge 3.7. ET'nin belirlenmesinde net radyasyon (R_n) ve toprak ısı akısı (G) değerlerinin tahmin yada ihmal edilmesine bağlı olarak geliştirilen senaryolar.....	44
Çizelge 3.8. Farklı yöntemlere göre aerodinamik direncin (r_a) belirlenmesi.....	45
Çizelge 4.1. Sera içi ve dışında güz ve bahar döneminde ölçülen minimum sıcaklık (T_{min}) değerlerine ilişkin tanımlayıcı istatistik verileri	49
Çizelge 4.2. Sera içi ve dışında güz ve bahar döneminde ölçülen, minimum sıcaklık (T_{min}) değerleri arasındaki ilişki ile ilgili istatistiksel bilgiler.....	50
Çizelge 4.3. Sera içi ve dışında güz ve bahar döneminde ölçülen maksimum sıcaklık (T_{mak}) değerlerine ilişkin tanımlayıcı istatistik verileri	51
Çizelge 4.4. Sera içi ve dışında güz ve bahar döneminde ölçülen, maksimum sıcaklık (T_{mak}) değerleri arasındaki ilişki ile ilgili istatistiksel bilgiler	52
Çizelge 4.5. Sera içi ve dışında güz ve bahar döneminde ölçülen ortalama sıcaklık (T_{ort}) değerlerine ilişkin tanımlayıcı istatistik verileri.....	53
Çizelge 4.6. Sera içi ve dışında güz ve bahar döneminde ölçülen, ortalama sıcaklık (T_{ort}) değerleri arasındaki ilişki ile ilgili istatistiksel bilgiler	54
Çizelge 4.7. Sera içi ve dışında güz ve bahar döneminde ölçülen ortalama bağıl nem (RH) değerlerine ilişkin tanımlayıcı istatistik verileri	55
Çizelge 4.8. Sera içi ve dışında güz ve bahar döneminde ölçülen, ortalama bağıl nem (RH) değerleri arasındaki ilişki ile ilgili istatistiksel bilgiler.....	57
Çizelge 4.9. Sera içi ve dışında güz ve bahar döneminde ölçülen ortalama rüzgar hızı (u) değerlerine ilişkin tanımlayıcı istatistik verileri	58

Çizelge 4.10. Sera içi ve dışında güz ve bahar döneminde ölçülen, ortalama rüzgar hızı (u) değerleri arasındaki ilişki ile ilgili istatistiksel bilgiler	58
Çizelge 4.11. Sera içi ve dışında güz ve bahar döneminde ölçülen ortalama solar radyasyon (R_s) değerlerine ilişkin tanımlayıcı istatistik verileri	60
Çizelge 4.12. Sera içi ve dışında bahar döneminde ölçülen, ortalama solar radyasyon (R_s) değerleri arasındaki ilişki ile ilgili istatistiksel bilgiler	60
Çizelge 4.13. Sera içinde güz ve bahar dönemlerinde ölçülen ortalama toprak ısı akısı (G) değerlerine ilişkin tanımlayıcı istatistik verileri	61
Çizelge 4.14. Sera içi enerji bütçesi unsurlarını oluşturan parametrelere ait tanımlayıcı istatistik verileri ($R_{s(gelen)}$, gelen kısa dalga boylu radyasyon; $R_{s(giden)}$, yansıyan kısa dalga boylu radyasyon; $R_{l(gelen)}$, gelen uzun dalga boylu radyasyon; $R_{l(giden)}$, yansıyan uzun dalga boylu radyasyon ve R_n , net radyasyon)	63
Çizelge 4.15. Akdeniz tipi plastik serada net radyasyonun tahmin edilmesi için optimize edilmiş Donatelli ve Campbell modeli katsayıları	64
Çizelge 4.16. Ölçülen ve tahmin edilen R_n değerleri arasındaki ilişki ile ilgili istatistiksel bilgiler	65
Çizelge 4.17. Domates, patlıcan, biber ve hıyar bitkilerinden elde edilen stoma iletkenliği değerlerine ilişkin tanımlayıcı istatistiksel bilgiler	68
Çizelge 4.18. Domates, patlıcan, biber ve hıyar bitkilerinden elde edilen klorofil içeriği indeksi (CCI) değerlerine ait tanımlayıcı istatistiksel bilgiler	75
Çizelge 4.19. İmageJ® yazılımı ile seçilmiş yapraklara ait en, boy ve alan ile ilgili veriler	77
Çizelge 4.20. Yaprak alanını tahribatsız belirlemede kullanılabilecek eşitlikler, katsayıları ve performans kriterleri	78
Çizelge 4.21. Araştırmada yetiştirilen bitkilere ait hesaplanan karakteristik yaprak boyutu (d_y) değerlerine ait tanımlayıcı istatistiksel bilgiler	86
Çizelge 4.22. Hıyar bitkisinin $T_c(14:00)$ değerlerine ait tanımlayıcı istatistiksel bilgiler	90
Çizelge 4.23. Domates, patlıcan, biber ve hıyar bitkilerinde saat 14:00'de ölçülen taç sıcaklığından ($T_c(14:00)$) gündüz saatleri ortalama taç sıcaklığını($T_c(gün)$) hesaplamaya yarayan eşitlikler	97
Çizelge 4.24. Domates, patlıcan, biber ve hıyar bitkilerinin gün doğumu ile gün batımı arasındaki taç sıcaklığı ($T_c(gün)$) değerlerine ait tanımlayıcı istatistiksel bilgiler	99

Çizelge 4.25. Domates bitkisinin $T_{c(gün)} - T_{a(gün)}$ değerlerine ait tanımlayıcı istatistiksel bilgiler	101
Çizelge 4.26. Güz yetiştirme dönemi domates bitkisinin su tüketim bileşenleri.....	106
Çizelge 4.27. Bahar yetiştirme dönemi domates bitkisinin su tüketim bileşenleri.....	106
Çizelge 4.28. Güz yetiştirme dönemi patlıcan bitkisinin su tüketim bileşenleri	107
Çizelge 4.29. Bahar yetiştirme dönemi patlıcan bitkisinin su tüketim bileşenleri.....	107
Çizelge 4.30. Güz yetiştirme dönemi biber bitkisinin su tüketim bileşenleri.....	108
Çizelge 4.31. Bahar yetiştirme dönemi biber bitkisinin su tüketim bileşenleri.....	108
Çizelge 4.32. Güz yetiştirme dönemi hıyar bitkisinin su tüketim bileşenleri.....	109
Çizelge 4.33. Bahar yetiştirme dönemi hıyar bitkisinin su tüketim bileşenleri	109
Çizelge 4.34. Domates bitkisinin r_a değerlerinin tahmin etmek amacıyla geliştirilen eşitlikler ve bu eşitliklerin performansları	128
Çizelge 4.35. Patlıcan bitkisinin r_a değerlerinin tahmin etmek amacıyla geliştirilen eşitlikler ve bu eşitliklerin performansları	129
Çizelge 4.36. Biber bitkisinin r_a değerlerinin tahmin etmek amacıyla geliştirilen eşitlikler ve bu eşitliklerin performansları	130
Çizelge 4.37. Hıyar bitkisinin r_a değerlerinin tahmin etmek amacıyla geliştirilen eşitlikler ve bu eşitliklerin performansları	131
Çizelge 4.38. Domates, patlıcan, biber ve hıyar bitkilerinde yeni model ile belirlenen r_a değerlerinin enerji dengesi eşitliğinde kullanılmasıyla elde edilen haftalık ortalama tahmini ET değerleri ile gerçek ET değerleri arasındaki istatistiksel ilişki	135
Çizelge 4.39. Domates, patlıcan, biber ve hıyar bitkilerinde hesaplanmış net radyasyon (R_n) değerlerinin enerji dengesi eşitliğinde kullanılmasıyla tahmin edilen ve lizimetrelerde ölçülen ET değerleri arasındaki ilişkiye ilişkin istatistiksel değerler	139
Çizelge 4.40. Domates, patlıcan, biber ve hıyar bitkilerinde G değerinin $0.1R_n$ alınarak enerji dengesi eşitliğinde kullanılmasıyla tahmin edilen ve lizimetrelerde ölçülen ET değeri arasındaki ilişkinin performansına ilişkin istatistiksel değerler	142
Çizelge 4.41. Domates, patlıcan, biber ve hıyar bitkilerinde G 'nin ihmal edilmesi durumunda enerji dengesi eşitliği kullanılarak tahmin edilen ve lizimetrelerde ölçülen ET değeri arasındaki ilişkinin performansına ilişkin istatistiksel değerler	145

Çizelge 4.42. Domates, patlıcan, biber ve hıyar bitkilerinde R_n 'nin hesaplanması ve G 'nin $0.1R_n$ alınması durumunda enerji dengesi eşitliği kullanılarak tahmin edilen ve lizimetrelerde ölçülen ET değeri arasındaki ilişkinin performansına ilişkin istatistiksel değerler..... 148



1. GİRİŞ

Nüfus ve gelir artışından kaynaklanan küresel tarımsal üretim talepleri 1960'dan günümüze neredeyse üç katına çıkmıştır (Wik vd. 2008). Buna paralel olarak yeşil devrim ile birlikte su ve diğer doğal kaynakların kullanımı sonucunda tarımsal üretim de 1960'dan günümüze üç kat artmıştır (FAO 2017). Birleşmiş milletler, dünya nüfusunun 2030 yılında 8.6 milyara, 2050'de ise 9.8 milyara çıkacağını öngörmektedir (United Nations 2017). Bu nüfus artışına bağlı olarak 2050 yılına kadar gıda ve diğer tarımsal ürünlere olan talep artışının %70'den daha fazla olabileceği bildirilmiştir. Buna karşın, tarımsal üretimdeki yıllık artış 1960-2007 yılları arasında yıllık %2.2 olarak gerçekleşirken, 2007-2030 yılları arasında söz konusu artışın yıllık %1.3 ve 2030-2050 yılları arasında ise yıllık %0.8 olması beklenmektedir (Alexandratos ve Bruinsma 2012). Bu nedenle artan nüfusun beslenme sorunu günümüzün en büyük sorunlarından birisidir (Karaca vd. 2019). Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü (FAO), artan gıda talebinin karşılanabilmesi için, 2030 yılına kadar 81-147 milyon hektar daha fazla tarımsal üretim alanına ihtiyaç olacağını tahmin etmektedir (FAO 2002). Fakat yapılan çalışmalar her yıl 2-5 milyon ha tarımsal alanın toprak erozyonu, tuzlanma ve asitlenme gibi nedenlerden dolayı yok olduğunu göstermiştir (Alexandratos ve Bruinsma 2012). Bu sorun gelişmekte olan ülkelerde daha ciddi bir ölçekte gerçekleşmekte ve bazı önlemlerin alınmasını gerektirmektedir (Güllüler 2007).

Tarım alanlarının nüfus artışıyla orantılı olarak artırılmasının olanaklı olmaması sebebiyle, mevcut tarım arazilerinden daha yüksek verim elde etmek gerekmektedir. Bu verim artışı, yeni teknoloji ve tarımsal uygulamaların doğru ve etkin bir şekilde uygulanması ile sağlanabilir (Altıntaş ve Akçay 2009). Bu uygulamaların başında mevcut haliyle tarıma elverişli olmayan yerlerde ve dış iklim koşullarına tamamen bağlı olmadan yapılacak yetiştiricilik gelmektedir. İklim koşullarının verimli bir yetiştiricilik için yeterli olmadığı bölgelerde ve hatta hiçbir ürünün yetiştirilemediği bazı mevsimlerde, yüksek değerli ürün elde etmeye yarayan 'sera teknolojisi' olarak adlandırılan yetiştirme yöntemleri geliştirilmiştir (Pandey ve Pandey 2015). Dolayısıyla, sera teknolojisi, verimli bir tarımsal üretim için elverişli çevre koşulu sağlama tekniğidir. Sera teknolojisi bitkilerin, rüzgâr, soğuk, aşırı radyasyon, aşırı sıcak gibi olumsuz iklim koşullarından ve zararlı ve hastalıklardan korunması için kullanılmaktadır.

İklim daha az bağımlı olarak yetiştiricilik yapılmasına olanak vermesi ve birim alandan elde edilen gelirin artması nedeniyle bugün dünya genelinde 1.2 milyon hektar alanda seracılık faaliyeti sürdürülmektedir. Dünyada en çok seracılık alanı ise Akdeniz havzasındaki ülkelerde bulunmaktadır. Türkiye, sera alanı varlığında dünyada dördüncü, Akdeniz ülkeleri arasında ise İspanya ve İtalya'dan sonra üçüncü, sebze yetiştirilen sera alanı bakımından ise İspanya'dan sonra ikinci sıradadır. Türkiye diğer Akdeniz ülkelerine göre daha büyük bir seracılık potansiyeline sahiptir (İlbay 2015). Öyle ki Türkiye'de son yirmi yılda %197 artarak 772091 da'a ulaşan alanda örtüaltı yetiştiriciliği yapılmaktadır (TUİK 2019a).

Dünyada farklı çevresel ve iklimsel koşullar altında örtüaltı yetiştiriciliği yapılmaktadır. Yıllık ortalama sıcaklığı 10 °C'den düşük olan Hollanda gibi Kuzey Avrupa ülkelerinde örtüaltı yetiştiriciliği yüksek teknolojiye sahip ve ısıtma sistemine ihtiyaç duyan genellikle cam seralarda yapılmaktadır. Yıllık ortalama sıcaklığı 10-20 °C

olan Türkiye gibi Akdeniz ikliminin görüldüğü ülkelerde örtüaltı tarımı genellikle düşük maliyetli, ısıtmasız, doğal havalandırılmalı, plastik örtülü seralarda gerçekleştirilmektedir.

Akdeniz ikliminin egemen olduğu ülkelerde tahmini 220000 ha seranın %90'ında örtü malzemesi olarak plastik, %10'unda cam kullanılmaktadır. Bu nedenle plastik sera örtüsü, Akdeniz ikliminin görüldüğü bölgelerinde yaygın olarak kullanılan malzemedir (Baudoin vd. 2013).

Birim alandan daha fazla ürün alınması, üreticinin daha küçük alanlardan geçimini sağlayabilmesi, üretimin tarımın çok zor olduğu kış aylarında yapılabilmesi nedeniyle, Türkiye'de son yıllarda örtüaltı yetiştiriciliği hızla gelişmektedir. Türkiye'de 2011 yılında 51 ilde örtüaltı tarımı yapılırken 2014 yılında 70 ilde örtü altı tarımı yapıldığı belirtilmiştir (İlbay 2015). Ülkemizde 2018 yılı itibarı ile %47.73'ü plastik sera, %27.36'sı alçak tünel, %14.80'i yüksek tünel ve %10.12'si cam sera olmak üzere toplamda 772090.9 da alanda örtü altı tarımı yapılmaktadır. Bu alanın %99'luk kısmı Akdeniz'e kıyısı olan illerde olmakla birlikte %39'luk kısmı Antalya ilinde bulunmaktadır (TUİK 2019a). 2018 yılı itibarı ile Antalya örtü altı tarım alanlarının % 57.84'ünde domates, %12.40'ında hıyar, %12.08'inde biber, %5.02'sinde patlıcan ve %12.67'sinde diğer sebze, meyve ve süs bitkileri yetiştirilmektedir (TUİK 2019b). Bu alanlardaki üretim sonucunda, Antalya ilinin Türkiye ihracatına katkısı %25 gibi ciddi bir rakama ulaşmıştır (TUİK 2016).

Su kullanımının sektörel analizi yapıldığında dünyada mevcut suyun %70'inin tarımsal amaçlı kullanıldığı görülmektedir (Cosgrove ve Rijsberman 2000). Bu rakam Akdeniz'e kıyısı olan ülkelerde ise %72'ye kadar çıkmaktadır (Katerji vd. 2008). Bu değer yüksek olmasının ana sebeplerinden biri çiftçilerin %30-49 daha fazla sulama yapmasıdır (Katerji vd. 2008).

Gelecekte dünya nüfus hızındaki öngörülen artış ve yüksek gıda talebi, tarımsal su kullanımına doğrudan etki edeceğini göstermektedir. Ek olarak, iklim değişikliğine bağlı artan su kıtlığı ve kuraklığın bir sonucu olarak, tarımsal amaçlı sulama uygulamaları ile ekonominin diğer sektörleri arasındaki rekabetin artması beklenmektedir. Tarımsal yetiştiricilik için gerekli olan büyük miktarda su ihtiyacı nedeniyle, gelecekteki su kıtlığı tahminleriyle başa çıkabilmek için, tarım sektöründe su tüketiminin verimliliğini artırmayı ve optimize etmeyi amaçlayan önlemler, tarımsal yetiştiricilik için gerekli olan büyük miktarda su ihtiyacı nedeniyle kritik öneme sahiptir. Tarımda kullanılan suyun etkinliği, bitki yetiştirme ortamına su sağlayan sulama sistemlerinin performansının iyileştirilmesi, yetiştirilen bitki çeşitlerinin su kullanım etkinliğinin artırılması, bitki su gereksinimini daha iyi belirleyerek sulama zamanının kesin olarak belirlenmesi gibi üç farklı strateji ile sağlanabilir.

Bitki büyümesi, bitkiden transpirasyon yoluyla kaybolan suyun miktarıyla doğrusal olarak ilişkilidir (Tanner ve Sinclair 1983). Bu nedenle, yetersiz sulama, verim ve biyokütle miktarında azalmalara neden olur (Quemada ve Gabriel 2016). Ülkemizde seraların düşük teknolojiye sahip olmaları nedeniyle, sulamanın da içinde olduğu yetiştiricilik uygulamalarının büyük çoğunluğu çiftçilerin gözlemleri sonucu elde ettiği bilgilere dayanılarak ya da deneme yanılma yöntemiyle yapılmaktadır. Bundan dolayı yetiştiriciler, her yıl üretimde tarımsal girdilerin fazla kullanılması sonucunda artan maliyetler ya da az kullanılması sonucunda elde edilen verim düşüklüğü nedeniyle gelir kaybı yaşamaktadırlar. Yetiştiriciler özellikle sulama zamanının belirlenmesinde

yaşadıkları zorluklardan dolayı aşırı sulama yapma eğilimindedirler. Bunun bir sonucu olarak, su ile beraber aşırı gübre uygulamaları nedeniyle yüksek tuz konsantrasyonuna sahip atık sular yer altı sularını kirletmektedir. Aşırı sulama uygulamalarının çevresel zararlarından kaçınmak, uygun bir sulama yönetimi sağlayarak optimal üretime ve ekonomik gelire ulaşmak için su kaynakları üzerinde önemli düzeyde ve giderek artan bir baskı vardır. Bu nedenle su kaynaklarının tarımsal uygulamalarda daha etkin kullanımının sağlanması için bitkilerin su ihtiyacının veya bitki su tüketiminin (ET) belirlenmesi önem arz etmektedir. ET doğrudan lizimetreler ile belirlenebilir ya da iklimsel veriler ile tahmin edilebilir. Günümüzde ET tahmini için enerji dengesi ve kütlenin korunumu yasasından yola çıkılarak iklimsel parametrelere dayanan çok sayıda eşitlik geliştirilmiştir. Bu eşitliklerin çoğu tarla koşullarına uygun olarak geliştirilmiştir. Buna karşı örtüaltı bitkilerinin ET değerinin belirlenmesi amacıyla az sayıda model geliştirilmiştir. Fakat bu eşitliklerin kullanılabilmesi için tam donanımlı bir seraya ve çok sayıda iklimsel veriye ihtiyaç vardır. ET değerinin enerji dengesine dayalı olarak tahmin edilmesi amacıyla yapılan çalışmalar mevcuttur. Bu yöntemin kullanımını sınırlayan en önemli parametre aerodinamik dirençtir. Aerodinamik direncin belirlenmesi amacıyla çok sayıda çalışma yapılmıştır ve yapılmaya da devam edilmektedir.

Bu çalışmada örtü altı tarımında yetiştirilen bitkilerin %90'nını oluşturan dört farklı bitki türünün (domates, patlıcan, biber ve hıyar) bitki su tüketimi değerleri enerji dengesi yöntemiyle tahmin edilmesi amaçlanmıştır. Enerji dengesi eşitliğinin en önemli parametresinden biri olan ve doğrudan ölçülemeyen aerodinamik direnç değerinin bölgedeki kültürel uygulamalara ve bitki gelişimine bağlı olarak belirlenmesi amacıyla yeni bir model geliştirilmiştir. Geliştirilen bu model yardımıyla tahmin edilen ET değerleri ile doğrudan yöntemlerle belirlenmiş ET değerleri karşılaştırılmıştır. Ayrıca, aerodinamik direncin belirlenmesine yönelik farklı yöntemler kullanılarak ET belirlenmiş ve ölçülen ET ile karşılaştırılarak doğrulukları test edilmiştir. Enerji dengesi eşitliğinin bir diğer önemli parametresi olan net radyasyon değerinin ölçülememesi durumunda kullanılması amacıyla yeni bir tahmin modeli geliştirilmiştir. Yeni geliştirilen modelle tahmin edilen net radyasyon değerinin kullanılmasıyla bitkilerin ET değerleri tahmin edilmiş ve doğrudan ölçülen ET değerleriyle karşılaştırılmıştır. Topraktan olan ısı akısı değerinin doğrudan kullanılması, net radyasyon değerinin %10'u olarak kabul edilmesi ve ihmal edilmesi durumuna göre 4 farklı senaryo ile ET değerleri tahmin edilmiş ve doğrudan ölçülen ET değerleriyle karşılaştırılmıştır. Çalışma sonucunda, geliştirilen modeller literatürdeki önemli açığı gidermeye katkı sağlayarak su kaynakları planlamasından sorumlu çeşitli kamu kuruluşlarının ve karar vericilerin planlamalarında kullanabilecektir. Ayrıca geliştirilen modeller, sulama otomasyonu ve bilgisayar yazılımlarında kullanılabilecek olup yetiştiricilerin de bireysel olarak pratik sulama uygulamalarında kullanabilmesine olanak sağlayacaktır. Tüm bunların yanında örtüaltı koşullarında yetiştirilen bitkilerin ET değerlerini belirlemek amacıyla daha sonra yürütülecek çalışmalara da temel oluşturacaktır.



2. KAYNAK TARAMASI

2.1. Bitki Su Tüketimi (Evapotranspirasyon (ET))

Bitkiler topraktan aldıkları suyun yalnızca % 0.1’ni bitki dokusunun oluşumu ve gelişiminde kullanır. Kalan suyun hepsi terleme ile atmosfere aktarılır. Bu nedenle tüm büyüme dönemi için bitki su tüketimi değeri ile bitki su gereksiniminin eşit olduğu kabul edilir. Birim alandan elde edilen ürün miktarını arttırmak amacıyla, içinde sulama ve gübrelemenin de olduğu kültürel işlemler büyük önem arz etmektedir. Su kullanım etkinliği, sınırlı su kaynakları olan Akdeniz’e kıyısı olan ülkeler için önemli bir tarımsal göstergedir (Fernández vd. 2007). Akdeniz bölgesinde sürdürülebilir bir gelişme ve çevreye duyarlı bir su yönetimi için gerçek bitki su tüketimi (evapotranspirasyon (ET)) bilgisi gereklidir (Lazzara ve Rana 2010). ET bitki, toprak, iklim ve işletme biçimi gibi çok sayıda etmenin etkisiyle meydana gelir. Bu nedenle ET doğadaki en karmaşık olaylardan birisi olarak kabul edilmektedir (Kanber 2006). Akdeniz’e kıyısı olan ülkelerde bitki su tüketiminin gereğinden fazla tahmin edilmesi çok sık karşılaşılan bir uygulama olup, hem su israfına hem de ekonomik, sosyal ve çevresel açıdan olumsuz etkilere yol açar (Rana ve Katerji 2000). Uygun sulama programlaması hazırlamak için, dünyanın farklı bölgelerinde bilim adamları, yetiştirme ortamındaki nem değişimlerini takip ederek ya da iklimsel parametreleri kullanarak bitki su tüketim değerini (ET) belirlemeye çalışmaktadır. ET lizimetre sistemleri yardımıyla doğrudan ve iklimsel veriler yardımıyla dolaylı olmak üzere iki farklı biçimde belirlenir (Karaca vd. 2017a).

2.1.1. Doğrudan yöntemlerle bitki su tüketiminin (ET) belirlenmesi

Doğrudan ölçme yöntemleri kütlenin korunumu prensibine dayalı su bütçesi eşitliğini esas almaktadır (Eşitlik 2.1). Yani belirli bir alana birim zamanda giren ve çıkan su miktarına göre topraktaki su miktarının değişmesine dayanır. Böylece birim zaman aralığında toprakta eksilen su miktarı evapotranspirasyon miktarını vermektedir.

$$\Delta S = W_{giren} - W_{çıkan} \quad (2.1)$$

Eşitlikte ΔS , birim zamanda topraktaki su miktarının değişimini (mm); W_{giren} , birim zamanda toprağa giren su miktarını (mm); $W_{çıkan}$, birim zamanda topraktan çıkan su miktarını (mm) ifade etmektedir.

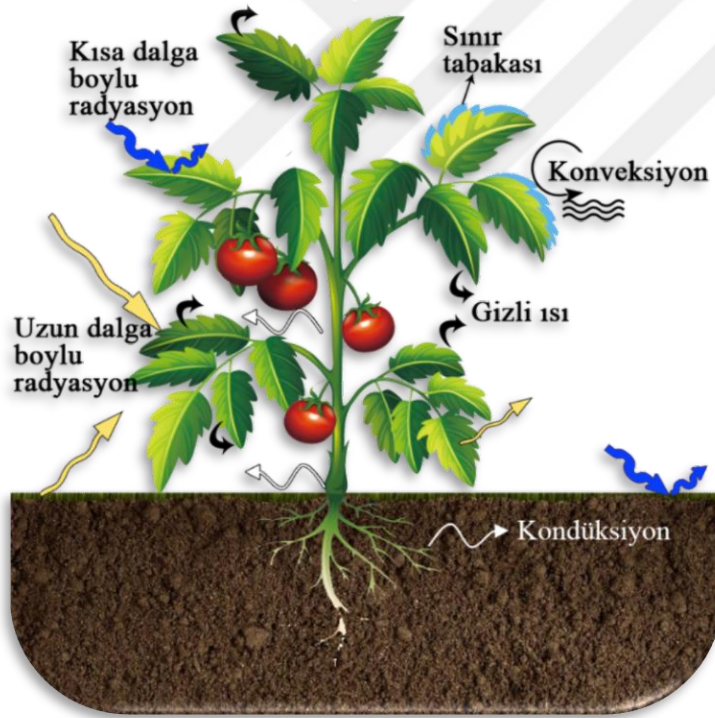
Bu amaçla lizimetreler yaygın olarak kullanılmaktadır. Lizimetreler ile ilgili ilk çalışmalar 1688 yılında matematik ve iklim bilimcisi olan de La Hare tarafından Paris’te yapılmıştır (Aydınşakir ve Büyüktaş 2005). Lizimetrelerin tipleri, kullanım alanları ve kullanımında dikkat edilecek noktalar Howell (2005) tarafından detaylı olarak sunulmuştur.

Lizimetreler, sadece ET değerlerinin belirlenmesinde değil, aynı zamanda, mikrometeorolojik yöntemlerin uygunluğunun saptanması ve ET kestiriminde kullanılan ampirik eşitliklerin kalibrasyonunda başlı başına bir denetim yöntemi olarak oldukça büyük önem taşımaktadırlar (Akpolat 2011). ET’nin belirlenmesinde lizimetre yöntemi en doğru sonucu veren güvenilir bir yöntem olmasına karşı, ölçüm işlemi zor, pahalı ve uzun zaman gerektirmektedir (Irmak vd. 2003). Lizimetrelerin sahip olduğu dezavantajlar

nedeniyle son yıllarda yapılan araştırmalar, ET değerinin mikrometeorolojik yöntemlerle dolaylı olarak tahmin edilmesine yönelik yapılmaktadır.

2.1.2. Dolaylı yöntemlerle bitki su tüketiminin (ET) belirlenmesi

ET'nin belirlenmesi, ET'yi bir biyofiziksel süreç olarak simüle eden veya ampirik yöntemlerle doğrudan ya da dolaylı olarak hesaplayan çeşitli ölçüm ve modelleme tekniklerini içermektedir (Rana ve Katerji 2000). Anılan tekniklerin veya modellemelerin karmaşıklık düzeyi değişkenlik göstermektedir. Mikrometeorolojik yöntem olan bu teknikler, fiziksel tabanlıdır ve termodinamiğin yasalarını kullanmaktadır (Lazzara ve Rana 2010). Suyun buharlaşması için görece olarak büyük miktarlarda duyulur ısı ya da radyant enerjiye ihtiyaç vardır. Bu nedenle buharlaşma süreci bitki yüzeyinde enerjinin değişimi ile yönetilir ve kullanılabilir enerji miktarıyla sınırlıdır. Bu sınırlama nedeniyle, enerjinin korunumu ilkesini uygulayarak buharlaşma oranını tahmin etmek mümkündür. Aynı süre içerisinde yüzeye gelen enerji ile yüzeyden ayrılan enerji eşit olmalıdır (Allen vd. 1998). Bu açıdan bakıldığında, buharlaşma miktarının topraktan, yapraklardan ve bitki organlarının iç hücrelerinden atmosfere su taşımak için kullanılan enerjiye denk olduğu kabul edilmektedir. Yaprak etrafındaki havanın buharlaşmaya karşı direnci, radyasyonla kazanılan enerjinin, konveksiyon (taşınım) ve kondüksiyon (iletim) ile ne kadar hızlı kaybedileceğini belirlemektedir (Şekil 2.1) (Parlange vd. 1971).



Şekil 2.1. Yaprak etrafındaki havanın buharlaşmaya karşı direnci

Duyulur ısı akısının (H) ve gizli ısı akısının (λE) bir hava tabakası boyunca transferi kondüksiyon (iletim) ya da konveksiyon (taşınım) ile gerçekleşmektedir. Buhar basıncı eğiminin olduğu ve kullanılmaya hazır suyun bulunduğu koşullarda bitki su tüketimi, doğrudan suyun buharlaşmasında kullanılan enerji tarafından

denetlenmektedir. Değinilen enerji, bitki, toprak ve su yüzeylerinden suyun buharlaşmasında kullanılmaktadır (Kanber 2006). Bu durum λE olarak adlandırılır ve enerji akı yoğunluğu ($W m^{-2}$) olarak ifade edilir. H ve λE 'nin belirlenmesi için akı eğim yaklaşımı kullanılmaktadır. Enerji dengesi yöntemiyle, ET olarak kabul edilen gizli ısı akısını (λE) belirlemede kullanılan eşitlik aşağıda verilmiştir (Eşitlik 2.2).

$$\lambda E = R_n - G - H \quad (2.2)$$

Eşitlikteki λE , evapotranspirasyon olarak kabul edilen gizli ısı akısını ($W m^{-2}$); R_n , net radyasyonu ($W m^{-2}$); G , topraktan olan ısı akısını ($W m^{-2}$) ve H , duyulur ısı akısını ($W m^{-2}$) göstermektedir.

ET 'yi tahmin etmeye yönelik enerji dengesine dayalı fiziksel temelli modeller son yarım yüzyıl boyunca geliştirilmiş ve modifiye edilmiştir. Bu modellerin ilki Penman (1948) tarafından enerji dengesi yöntemi ve aerodinamik yöntemi kombine edilerek, açık su yüzeyindeki buharlaşmayı tahmin etmek amacıyla geliştirilmiş olup enerji (radyasyon) ve aerodinamik (rüzgar ve nem) olmak üzere iki terimden oluşmaktadır (Eşitlik 2.3).

$$\lambda E_o = \underbrace{\left(\frac{\Delta}{\Delta + \gamma} \right) (R_n - G)}_{\text{radyasyon terimi}} + \underbrace{\left(\frac{\gamma}{\Delta + \gamma} \right) \lambda E_a}_{\text{aerodinamik terim}} \quad (2.3)$$

$$\lambda E_o = \frac{\Delta(R_n - G) + \gamma \lambda E_a}{\Delta + \gamma}$$

Eşitliklerdeki E_o , açık su yüzeyi buharlaşmasını ($kg m^{-2} s^{-1}$); λ , buharlaşma gizli ısı akısını ($J kg^{-1}$); Δ , doymuş buhar basıncı eğrisinin eğimini ($kPa ^\circ C^{-1}$); γ , psikrometrik sabiti ($kPa ^\circ C^{-1}$); R_n , net radyasyonu ($W m^{-2}$); G , topraktan olan ısı akısını ($W m^{-2}$) ve E_a , izotermal koşullar altında buhar taşınım akısını ($kg m^{-2} s^{-1}$) ifade etmektedir. E_o değeri 86400 ile çarpılarak birim $mm gün^{-1}$ 'e dönüştürülebilmektedir.

Eşitlikteki aerodinamik terim izotermal koşullar altında belirlenmektedir. İzotermal (sisteme ısı eklenmediği ya da sistemden ısı kaybolmadığı) koşullar altında yüzey sıcaklığının (T_s) hava sıcaklığına (T_a) eşit olduğu varsayılmaktadır. Bu koşulda doymuş buhar basıncının (e_s) gerçek buhar basıncına (e_a) eşit olduğu da kabul edilmektedir. İzotermal koşullardaki buharlaşma Eşitlik 2.4 ile hesaplanmaktadır (Feddes ve Lenselink 2006).

$$E_a = c \frac{e_s - e_a}{r_a} / \lambda \quad (2.4)$$

Eşitlikte E_a , izotermal koşullar altında buhar taşınım akısını ($kg m^{-2} s^{-1}$); c , eşitlikle ilgili sabiti; e_s , doymuş buhar basıncını ($kPa ^\circ C^{-1}$); e_a atmosferdeki buhar basıncını ($kPa ^\circ C^{-1}$); r_a , ısı ve su buharı için aynı olduğu varsayılan aerodinamik difüzyon direncini ($s m^{-1}$) ve λ , buharlaşma gizli ısı akısını ($J kg^{-1}$) ifade etmektedir.

Penman yöntemi açık su yüzeylerinden meydana gelen buharlaşmayı büyük doğrulukla tahmin etmesine karşın ET'yi belirlemede yeterli değildir. ET'yi belirlemek için toprak, bitki ve atmosfer ilişkisini dikkate almak gerekmektedir. Ayrıca açık su yüzeyi ve bitki yüzeyindeki güneş ışıması için kullanılan yansımaya katsayısı (albedo) ile bitki yüzeyinin pürüzlülüğüne bağlı olan aerodinamik direnç gibi farklılıkların dikkate alınması gerekmektedir. Bu farklılıklar göz önüne alınarak Eşitlik 2.4 modifiye edilmiş ve Eşitlik 2.5 elde edilmiştir (Feddes and Lenselink, 2006).

$$E_a = \frac{\varepsilon \rho_a}{p_a} \frac{e_s - e_a}{r_a} \quad (2.5)$$

Eşitlikte E_a , izotermal koşullar altında buhar taşınım akısını ($\text{kg m}^{-2} \text{s}^{-1}$); ε , su buharı ve kuru hava molekül kütlelerinin oranını (-); ρ_a , nemli havanın yoğunluğunu (kg m^{-3}), p_a , atmosferik basıncı (kPa); e_a atmosferdeki buhar basıncını ($\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$); e_s , doymuş buhar basıncını ($\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$) ve r_a , aerodinamik difüzyon direncini (s m^{-1}) göstermektedir.

Monteith (1965) Eşitlik 2.5'in Eşitlik 2.3'de yerine konulmasıyla ıslak bitki yüzeyindeki buharlaşmanın Eşitlik 2.6 ile belirlenebileceğini bildirmiştir.

$$ET_{wet} = \frac{\Delta(R_n - G)/\lambda + \gamma \frac{\varepsilon \rho_a}{p_a} \frac{e_s - e_a}{r_a} 86400}{\Delta + \gamma} \quad (2.6)$$

Eşitlikteki E_{wet} , ıslak bitki yüzeyindeki ET miktarını (mm gün^{-1}); R_n , net radyasyonu (W m^{-2}); G , topraktaki ısı akısını (W m^{-2}); λ , buharlaşma gizli ısısını (J kg^{-1}); γ , psikrometrik sabiti ($\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$); Δ , doymuş buhar basıncı eğrisinin eğimini ($\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$); ε , su buharı ve kuru hava molekül kütlelerinin oranını (-); ρ_a , nemli havanın yoğunluğunu (kg m^{-3}), p_a , atmosferik basıncı (kPa); e_a atmosferdeki buhar basıncını ($\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$); e_s , doymuş buhar basıncını ($\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$) ve r_a , aerodinamik difüzyon direncini (s m^{-1}) ifade etmektedir.

Sıcaklığa ve atmosfer basıncına bağlı olan Psikrometrik sabit Eşitlik 2.7 ile belirlenmektedir.

$$\gamma = \frac{\rho_a c_p}{\varepsilon \lambda} \quad (2.7)$$

Eşitlikteki γ , psikrometrik sabiti ($\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$); ρ_a , nemli havanın yoğunluğunu (kg m^{-3}); c_p , havanın özgül ısısını ($\text{J kg}^{-1} \text{C}^{-1}$); ε , su buharı ve kuru hava molekül kütlelerinin oranını (-) ve λ , buharlaşma gizli ısısını (J kg^{-1}) göstermektedir.

Eşitlik 2.6'nin Eşitlik 2.7 yardımıyla tekrar düzenlenmesi sonucunda elde edilen Eşitlik 2.8 yalnızca bitki yüzeyinin su ile kaplı olması koşulunda doğru sonuç vermektedir.

$$ET_{wet} = \frac{\frac{\Delta(R_n - G)}{\lambda} + \frac{\rho_a c_p}{\lambda} \frac{e_s - e_a}{r_a} 86400}{(\Delta + \gamma)} \quad (2.8)$$

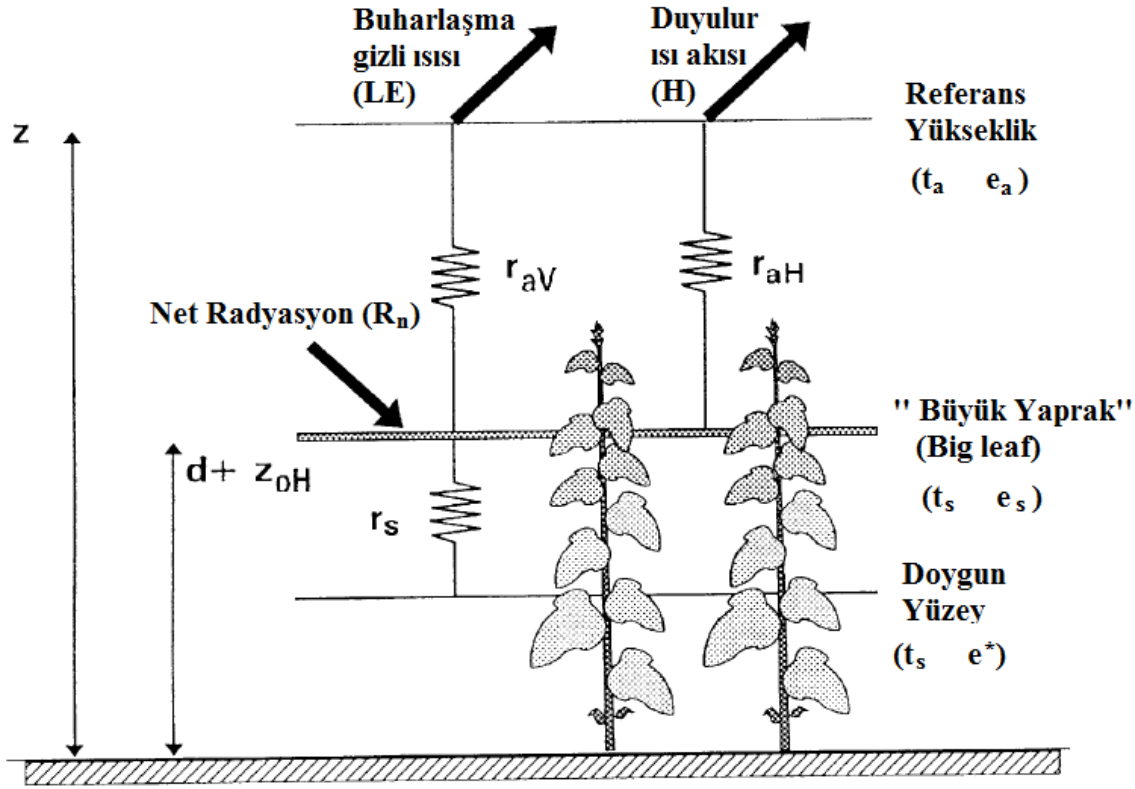
Eşitlikteki E_{wet} , ıslak bitki yüzeyindeki ET miktarını (mm gün^{-1}); Δ , doymun buhar basıncı eğrisinin eğimini ($\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$); R_n , net radyasyonu (W m^{-2}); G , topraktan olan ısı akısını (W m^{-2}); λ , buharlaşma gizli ısısını (J kg^{-1}); c_p , havanın özgül ısısını ($\text{J kg}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$); ρ_a , nemli havanın yoğunluğunu (kg m^{-3}); e_s , doymun buhar basıncını ($\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$); e_a atmosferdeki buhar basıncını ($\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$); γ , psikrometrik sabiti ($\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$) ve r_a , aerodinamik difüzyon direncini (s m^{-1}) ifade etmektedir.

Terleme ile su kaybı yapraklarda bulunan stoma denilen boşluklarda meydana gelmektedir. Bu nedenle ET'nin belirlenebilmesi çeşitli direnç değerlerinin elde edilmesine bağlıdır. Direnç terminolojisi aerodinamik direnç ve yüzey direnci olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Yüzey direnci parametreleri genellikle aerodinamik dirençle seri halde etki yapan tek, bütünleşik (bulk) bir parametre (bitki yüzey direnci) olarak ele alınmaktadır. Yüzey direnci (r_s), stoma açıklıkları, toplam yaprak alanı ve toprak yüzeyi boyunca buhar akışına olan direnci belirtmektedir. Aerodinamik direnç (r_a) ise, bitki örtüsünün yukarısındaki direnci belirtmekte ve bitki yüzeyi üzerindeki hava akımının sürtünmesini de içermektedir (Allen vd. 1998). Eşitlik 2.8'e yüzey direnç faktörlerinin eklenmesiyle elde edilen Eşitlik 2.9 kullanılmasıyla bitkiden meydana gelen buharlaşmanın hesaplanabileceği bildirilmiştir (Monteith 1965). Direnç faktörlerinin eklendiği ve Penman-Monteith olarak adlandırılan bu eşitlik aşağıda verilmiştir (Eşitlik 2.9).

$$ET = \frac{\frac{\Delta(R_n - G)}{\lambda} + \frac{\rho_a c_p}{\lambda} \frac{e_s - e_a}{r_a} 86400}{\Delta + \gamma \left(1 + \frac{r_s}{r_a}\right)} \quad (2.9)$$

Eşitlikteki ET, bitkiden meydana gelen ET miktarını (mm gün^{-1}); Δ , doymun buhar basıncı eğrisinin eğimini ($\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$); R_n , net radyasyonu (W m^{-2}); G , topraktaki ısı akısını (W m^{-2}); λ , buharlaşma gizli ısısını (J kg^{-1}); c_p , havanın özgül ısısını ($\text{J kg}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$); ρ_a , nemli havanın yoğunluğunu (kg m^{-3}); e_s , doymun buhar basıncını ($\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$); e_a atmosferdeki buhar basıncını ($\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$); r_a , aerodinamik difüzyon direncini (s m^{-1}); γ , psikrometrik sabiti ($\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$) ve r_s bitki taç direncini (s m^{-1}) göstermektedir.

Penman-Monteith eşitliği, bitki tacının (bitki örtü yüzeyinin) büyük bir yaprağa (Big Leaf) indirgenebileceği varsayımına dayanmaktadır (Alves vd. 1998). Anılan eşitlik ET tahminleri için bitkideki fiziksel ve biyofiziksel kısıtlamaları tek bir basit denklemde mükemmel bir şekilde birleştirmiştir (Monteith ve Unsworth 2013). Modele göre asıl terleme işlemi 'büyük yaprağın' altındaki stoma boşluklarında gerçekleşmektedir (Şekil 2.2).



Şekil 2.2. 'Büyük Yaprak' (Big Leaf) modelinin şematik gösterimi ve ısı akılarına karşı direnci (Alves vd. 1998)

Büyük yaprak modelinde, ısı akısını yalnızca ısı taşınımına olan aerodinamik direnç yönetirken (r_{aH}), buhar akısı seri olarak, yüzey direnci (r_s) ve buhar taşınımına olan aerodinamik direnç (r_{aV}) olmak üzere iki dirençle karşılaşmaktadır. Ayrıca bu modelde $r_{aH} = r_{aV} = r_a$ olduğu kabul edilmektedir.

Açıktaki yetiştiricilikte ET tahmini için toprak, bitki ve atmosfer arasındaki ilişkiyi bilmek yeterli iken örtüaltı yetiştiriciliğinde sera tipi, sera örtüsü, sera içi atmosferi, havalandırma koşulları, bitki ve toprak ilişkisinin iyi irdelenmesi gereklidir. Çünkü tüm bu değişiklikler sera içi sıcaklık, nem, rüzgar ve radyasyon dağılımında etkili olduğundan ET ile doğrudan ilişkilidir. Nitekim Joliet ve Bailey (1992) genç bir bitkiye gelen güneş radyasyonu miktarındaki $1 \text{ MJ m}^{-2} \text{ gün}^{-1}$ 'lük artışın, ET'yi 0.09 mm gün^{-1} ; buhar basıncı açığındaki 0.1 kPa 'lık artışın, ET'yi $0.013 \text{ mm gün}^{-1}$ ve hava hareketindeki 1 m s^{-1} 'lik artışın ET'yi 0.13 mm gün^{-1} artırdığını bildirmişlerdir. Bu nedenle çok sayıda araştırmacı tarla koşulları için geliştirilen Penman-Monteith eşitliğinin üzerinde çeşitli değişiklikler yaparak bu eşitliğin sera koşullarında da kullanılabildiğini amaçlamışlardır. Bunlardan en çok bilineni Stanghellini (1987), Fynn (Fynn vd. 1993), basitleştirilmiş model (simplified model) (Baille vd. 1994), ve Takakura (Takakura vd. 2005) modelleridir.

Stanghellini (1987) sera koşullarında rüzgar hızının 1.0 m s^{-1} 'den düşük olması nedeniyle ve sera ve bitki sistemini daha iyi temsil etmesi amacıyla Penman-Monteith modelini revize etmiştir (Eşitlik 2.10). Bu eşitlikte aerodinamik direnç, boyutsuz gruplar

yardımıyla belirlenmiştir. Ayrıca bitki taç örtüsü, birim alan başına düşen yaprak alanı olarak tanımlanan ve yaprak alan indeksi (LAI) olarak adlandırılan yeni bir terimin eklenmesiyle, yaprağın alt ve üst yüzeyleri ile çok katmanlı olarak tanımlanmıştır. Böylece ET'nin belirlenmesi aşamasında yaprakların her iki yüzünden meydana gelen enerji değişimi kullanılmıştır.

$$ET = 2LAI \frac{1}{\lambda} \left[\frac{\Delta(R_n - G) + 86400\rho_a c_p \frac{e_s - e_a}{r_a}}{(\Delta + \gamma) \left(1 + \frac{r_s}{r_a}\right)} \right] \quad (2.10)$$

Eşitlikteki, ET, bitki su tüketimini (mm gün⁻¹); LAI, yaprak alan indeksini (m² m⁻²); λ , buharlaşma gizli ısı akısını (J kg⁻¹); Δ , doymuş buhar basıncı eğrisinin eğimini (kPa °C⁻¹); R_n , net radyasyonu (W m⁻²); G , topraktan olan ısı akısını (W m⁻²); ρ_a , nemli havanın yoğunluğunu (kg m⁻³); c_p , havanın özgül ısısını (J kg⁻¹ C⁻¹); e_s , doymuş buhar basıncını (kPa °C⁻¹); e_a atmosferdeki buhar basıncını (kPa °C⁻¹); r_a , aerodinamik direncini (s m⁻¹); γ , psikrometrik sabiti (kPa °C⁻¹) ve r_s bitki taç direncini (s m⁻¹) ifade etmektedir.

Fynn vd. (1993) serada ET'yi belirlemek için Stanghellini gibi eşitliğe LAI parametresini eklemişlerdir (Eşitlik 2.11). Fakat farklı olarak bu parametreyi yalnızca aerodinamik terime eklemişlerdir. Çünkü, araştırmacılar, su buharı değişiminin bitki tacının tüm katmanlarında meydana geldiğini, buna karşın genel radyasyondan kaynaklı enerji değişiminin ise yalnızca bitki tacının en üst katmanında meydana geldiğini belirtmişlerdir. Bu nedenle radyasyon teriminin bulunduğu kısma, bitki taç alanının sera taban alanına oranı olan CAI (bitki taç alan indeksi) parametresini eklemişlerdir. Ayrıca araştırmacılar gerekli ölçümleri basitleştirmek amacıyla yaprak ve hava sıcaklığının eşit olduğunu varsaymıştır.

$$ET = \frac{1}{\lambda} \left[\frac{\Delta(R_n - G)CAI + 86400\rho_a c_p 2LAI \frac{e_s - e_a}{r_a}}{\gamma r_s} \right] \quad (2.11)$$

Eşitlikteki, ET, bitki su tüketimini (mm gün⁻¹); λ , buharlaşma gizli ısısını (J kg⁻¹); Δ , doymuş buhar basıncı eğrisinin eğimini (kPa °C⁻¹); R_n , net radyasyonu (W m⁻²); G , topraktan olan ısı akısını (W m⁻²); CAI, bitki taç alanı indeksi (m² m⁻²); c_p , havanın özgül ısısını (J kg⁻¹ C⁻¹); ρ_a , nemli havanın yoğunluğunu (kg m⁻³); LAI, yaprak alan indeksini (m² m⁻²); e_s , doymuş buhar basıncını (kPa °C⁻¹); e_a atmosferdeki buhar basıncını (kPa °C⁻¹); r_a , aerodinamik difüzyon direncini (s m⁻¹); γ , psikrometrik sabiti (kPa °C⁻¹) ve r_s , bitki taç direncini (s m⁻¹) göstermektedir.

Baille vd. (1994) Penman-Monteith eşitliğini, formülasyona bağlı kalarak basitleştirmişlerdir. Bu nedenle anılan eşitliğin bu biçimi basitleştirilmiş model (simplified model) olarak da adlandırılmaktadır (Eşitlik 2.12). Söz konusu yaklaşımda araştırmacılar ET değerini solar radyasyon (R_s), buhar basıncı açığı (VPD) ve yaprak alan indeksi (LAI) değerleri ile ilişkilendirmişler, ayrıca, sera koşullarında R_s 'nin R_n 'ye yakın olduğunu varsayarak bitki tarafından emilen net radyasyonu tahmin etmek amacıyla R_s

ve LAI değerini kullanmışlardır. Penman-Monteith eşitliğindeki 'radyasyon terimi' bileşenini A ile 'aerodinamik terim' bileşenini ise B ile gösteren araştırmacılar, Penman-Monteith eşitliğinde hesaplaması zor olan A ve B terimlerini, R_s ve VPD'ye ($e_s - e_a$) bağlı olarak çoklu regresyon modeli ile hesaplamışlardır.

$$ET = A (1 - e^{(-k_a LAI)}) R_s + 86400 B (LAI) VPD \quad (2.12)$$

Eşitlikteki ET, bitki su tüketimini (mm gün⁻¹); A, radyasyon terimi için model katsayısını (boyutsuz); k_a , yaprakların açılma dağılımını (0.64 (Stanghellini, 1987)); LAI, yaprak alan indeksi değerini (m² m⁻²); R_s , örtüaltındaki solar radyasyon değerini (W m⁻²); B, aerodinamik terim için model katsayısını (kg m⁻² h⁻¹ kPa⁻¹) ve VPD, örtü altındaki buhar basıncı açığını (kPa) ifade etmektedir.

Örtü altı koşullarında Penman-Monteith temelli modellerin yanında yaprak ve hava arasındaki taşınım transferlerini tanımlayan Enerji Dengesi Yöntemi de kullanılmaktadır (Eşitlik 2.13).

$$\lambda ET = R_n - G - \rho_a c_p \frac{T_s - T_a}{r_a} \quad (2.13)$$

Eşitlikteki, λET , bitki su tüketimini (mm gün⁻¹); R_n , net radyasyonu (W m⁻²); G, topraktan olan ısı akısını (W m⁻²); ρ_a , havanın yoğunluğunu (kg m⁻³), c_p , havanın özgül ısısını (J kg⁻¹ °C⁻¹); T_s , bitkinin yüzeyi sıcaklığını (°C); T_a , hava sıcaklığını (°C) ve r_a , aerodinamik difüzyon direncini (s m⁻¹) ifade etmektedir.

Taç sıcaklığının bitki su stresinin göstergesi olarak kullanılması, 50 yılı aşkın bir süredir araştırma konusu olmuştur (Jackson 1982; Sezen vd. 2014; Çolak vd. 2015). Bitki su tüketimi (ET) çalışmalarının yoğun yapıldığı ilk yıllarda enerji denkleminin Eşitlik 2.13'de verilen formatından sıklıkla bahsedilmesine karşı bitki taç sıcaklığının ölçümündeki zorluklar nedeniyle araştırmacılar bu yöntem yerine buhar basıncı açığının kullanıldığı yaklaşımlara yönelmişlerdir (Hatfield vd. 1984). Son yıllarda yüzey ile hava arasındaki sıcaklık farkını kullanarak ET'yi belirlemek amacıyla çok sayıda araştırma yapılmıştır.

Takakura vd. (2005) tarafından, bitki sıcaklığına bağlı olarak ET modeli sunulmuştur (Eşitlik 2.14). Araştırmacılar, Penman-Monteith eşitliğindeki aerodinamik terimi oluşturan buhar taşınım akısı parametresi (E_a) yerine bitki yüzeyi ile hava sıcaklığı arasındaki farkı kullanarak duyulu ısı akısını (H) doğrudan belirlemişlerdir. Buna neden olarak da, son yıllarda kızılötesi radyasyon sensörü (infrared termometre (IRT)) kullanımının ucuz ve basit olmasını göstermişlerdir. Araştırmacılar örtüaltı koşulları için önerdikleri ısı dengesi yönteminin, Penman-Monteith eşitliğine kıyasla daha kolay uygulandığı ve doğruluğunun daha yüksek olduğu sonucuna ulaşmışlardır.

$$ET = \frac{R_n - h(T_a - T_s) - G}{\lambda} \quad (2.14)$$

Eşitlikteki ET, bitki su tüketimini (kg m⁻² h⁻¹); R_n , kanopi üzerine gelen radyasyona bağlı olarak net radyasyonu (kJ m⁻² s⁻¹); h, konvektif ısı transfer katsayısını

(kJ m⁻² s⁻¹ K⁻¹); T_a, hava sıcaklığını (°C); T_s yüzey sıcaklığını (°C); G, topraktan olan ısı akısını (kJ m⁻² s⁻¹) ve λ, buharlaşma gizli ısı akısını (kJ kg⁻¹) göstermektedir.

Zhang ve Lemeur (1992) Enerji Bütçesi Yöntemi'yle ET'nin belirlenebilmesi için bitki ile hava sıcaklığının ölçülmesine ve aerodinamik direnç değerlerinin hesaplanması gerektiğini bildirmişlerdir. Duyulur ısı akısının hesaplanmasında akı eğimi yaklaşımının kullanılmasında en önemli soru yaprak sıcaklığının mı yoksa taç sıcaklığının mı ölçüleceğidir. Zhang ve Lemeur (1992) tek bir yaprağın ve bitki taç sıcaklığının ölçülmesi durumları için duyulur ısı akısı (H) değerlerinin sırasıyla Eşitlik 2.15 ve Eşitlik 2.16 ile hesaplanabileceğini ortaya koymuşlardır.

$$H = \rho_a c_p \frac{T_s - T_a}{r_H} \quad (2.15)$$

$$H = \rho_a c_p \frac{T_c - T_a}{r_a} \quad (2.16)$$

Eşitlikteki H, duyulur ısı akısını (W m⁻²); ρ_a, havanın yoğunluğunu (kg m⁻³); c_p, havanın özgül ısısını (J kg⁻¹ K⁻¹); T_s, bitkinin yaprak sıcaklığını (K); T_a, hava sıcaklığını (K); T_c, bitki taç sıcaklığını (K); r_H, yaprak ile hava arasındaki aerodinamik direnci (s m⁻¹) ve r_a, bitki tacı ile hava arasındaki aerodinamik direnci (s m⁻¹) göstermektedir.

Yaprak sıcaklığı, ilke olarak, bitki su stresinin iyi bir göstergesi olsa bile, tek bir yaprak üzerindeki ölçümlerin bitkiyi tam olarak temsil etmediği bilinmektedir. Jackson (1982) yaprak ve bitki taç sıcaklığı ölçümleri ile ilgili çok kapsamlı bir çalışma yapmıştır. Bu çalışmada geçmişten itibaren yapılan çalışmaların özeti bulunmaktadır. Önceki çalışmaların bir kısmında yaprak sıcaklığının hava sıcaklığından fazla olduğu belirtilirken (Ehlers 1915; Clum 1926; Waggoner ve Shaw 1952; Sandhu ve Horton 1978) bir kısmında da tam tersi belirtilmektedir (Miller ve Saunders 1923; Eaton ve Belden 1929; Raymond ve Harold 1938; Stevenson ve Shaw 1971; Clark ve Hiler 1973; Qiu vd. 2013). Bu farklılığın başlıca nedeninin ölçümlerden kaynaklı olduğu belirlenmiştir (Jackson 1982). Bazı çalışmalarda hava sıcaklığı ölçümleri bitkinin gövdesine yakın bölgede yapılırken bazı çalışmalarda ise bitkiye en az bir metre uzaklıkta yapılmıştır. Ayrıca bazı çalışmalarda doğrudan güneşe maruz kalan bitkinin tepe bölgesinde kalan yaprakların sıcaklıkları ölçülürken, bazı çalışmalarda da gölgede kalan yaprakların sıcaklıkları ölçülmüştür. Nitekim Waggoner ve Shaw (1952) bitki üst yaprakları ile alt yaprakları arasında sıcaklık farklılıklarının olduğunu bildirmişlerdir. Clum (1926), yaprak sıcaklığı ile ET arasında kesin bir ilişki bulamamıştır. Bitkinin yeteri kadar temsil edilebilmesi için de çok sayıda yapraktan ölçüm alınması gerekmektedir. IR termometresindeki son gelişmeler, sıcaklık ölçümlerini tek bir yaprak yerine, bitkiyi temsil eden bitki tacından elde etmeyi olanaklı kılmıştır. Doğru ve kullanımı kolay infrared termometrelerin gelişmesiyle birlikte, çok sayıda araştırmacı ET'yi tahmin etmek için enerji dengesi modellerinde bitki yüzey sıcaklığı yerine bitki taç sıcaklığının kullanılmasını önermiştir (Jackson vd. 1977; Hatfield vd. 1984). Gates (1964) tek bir yaprak yerine, bitki tacından elde edilen sıcaklık ölçümleri ile ET'nin daha doğru belirlenebileceğini bildirmiştir. Naeem vd. (2014) salatalık, domates, biber ve çilek bitkileri için serada kontrollü koşullarda yürüttükleri çalışmalarında T_a ve T_c arasındaki farkın köklerden su alımına ve yaprak transpirasyon hızına bağlı olduğunu ve sulama zamanını belirlemek için iyi bir gösterge olarak kullanılabileceği sonucuna ulaşmışlardır.

Bitki ta ve hava sıcaklığının sensörler ile kolayca ölçülebilmesi nedeniyle Enerji Bütçesi Yöntemiyle ET'yi tahminde en önemli sorun aerodinamik direncin belirlenmesidir. Bu nedenle son yıllarda yapılan çalışmaların önemli bir kısmı bu konu üzerinde yoğunlaşmıştır.

2.1.3. Aerodinamik direncin (r_a) belirlenmesi

Bitki yüzeyi ile hava akımı arasındaki bitki örtüsünün sebep olduğu sürtünmeye bağlı olarak yukarı doğru su buharı akışına karşı olan dirence aerodinamik direnç (r_a) denilmektedir (Monteith 1965). ET'nin iklimsel verilerle belirlenebilmesi amacıyla kullanılan Penman-Monteith yaklaşımına dayalı eşitliklerde ve Enerji Bütçesi Yöntemi'nde r_a değerinin hesaplanması gerekmektedir (Morille vd. 2013). r_a 'nın hesaplanabilmesi için çok sayıda yaklaşım geliştirilmiştir. Bunlardan ilki rüzgar hızına, bitki yüksekliğine ve bitki örtüsü dağılımına bağlı olarak geliştirilen eşitliklerdir. İkinci yöntemde r_a , boyutsuz gruplar yardımıyla ısı transfer katsayısına bağlı olarak hesaplanmaktadır. Üçüncü yöntemde ise enerji dengesi eşitliği tersten çözölerek r_a değeri elde edilebilmektedir. Bu yöntemlerin yanında, bazı araştırmacılar (Bailey vd. 1993; Baille vd. 1994; Gong vd. 2017) ise ET'nin belirlenmesinde sabit r_a değeri kullanılabileceğini öne sürmüşlerdir.

2.1.3.1. Rüzgar hızı, bitki boyu ve bitki örtüsüne bağlı olarak aerodinamik direncin (r_a) belirlenmesi

Tarla koşullarında aerodinamik direnç değeri, su buharının yaprak ve atmosfer arasındaki türbülanslı taşınımını tanımlayan bir model ile hesaplanmaktadır. Aerodinamik direncin rüzgar hızı ve bitki pürüzlülüğünün bir fonksiyonu olduğu çok sayıda araştırmacı tarafından da belirtilmiştir (Allen vd. 1998; Alves vd. 1998; Kjelgaard ve Stockle 2001). Bu kabule dayanarak aerodinamik direnci Brutsaert ve Stricker (1979) Eşitlik 2.17 ile hesaplariken Perrier (1975) Eşitlik 2.18 ile hesaplamışlardır.

$$r_a = \frac{\ln \left[\frac{z_r - d_u}{z_{om}} \right] \ln \left[\frac{z_h - d_u}{z_{oh}} \right]}{k^2 u_z} \quad (2.17)$$

$$r_a = \frac{\ln \left[\frac{z_r - d_u}{h_c - d_u} \right] \ln \left[\frac{z_h - d_u}{z_{om}} \right]}{k^2 u_z}$$

$$d_u = 0.67 h_c \quad (2.18)$$

$$z_{om} = 0.13 h_c$$

$$z_{oh} = 0.1 z_{om}$$

Eşitliklerdeki r_a , aerodinamik direnci ($s \cdot m^{-1}$); z_r , bitki tacı üzerindeki rüzgar hızının ölçüldüğü yüksekliği (m); d_u , sıfır düzlem yer değiştirmesini (ortalama hızın sıfır olduğu yükseklik olarak tanımlanır) (m); z_{om} , momentum transferini yöneten pürüzlülük yüksekliğini (m); z_h , bağlı nemin ölçüldüğü yüksekliği (m); z_{oh} , ısı ve buhar transferi yöneten pürüzlülük yüksekliğini (m); h_c , bitki yüksekliğini (m); k , von Karman sabitini (0.41) ve u_z , z yüksekliğinde ölçülen rüzgar hızını ($m \cdot s^{-1}$) belirtmektedir.

Çok sayıda araştırmacı (Fernández vd. 2010; Qiu vd. 2013; Gong vd. 2017; Yan vd. 2018) rüzgar hızının sıfıra yakın olması durumunda bu yöntem ile hesaplanan r_a değerinin sonsuz değere yaklaşacağını bildirmiştir. Fernández vd. (2010) sera içindeki ölçülen günlük rüzgar hızı değerlerinin çoğunlukla 0.01 ile 0.2 m s⁻¹ arasında değiştiğini, bu nedenle de çim bitkisinin sera için hesaplanan r_a değerlerinin 2.080 ile 20.800 s m⁻¹ arasında salınım yaptığını bildirmişlerdir. Bu nedenle örtüaltı koşullarında bu yöntemin kullanılmasıyla hatalı sonuçlar elde edilebilmektedir. Bununla birlikte, bazı araştırmacılar (Gong vd. 2017) havalandırma sistemine sahip bazı seralarda rüzgar hızının doğal havalandırılmalı seralara kıyasla daha fazla olduğunu ve bu nedenle bu seralarda yöntemin geliştirilerek kullanılabileceğini ifade etmişlerdir.

2.1.3.2. Konvektif ısı transfer katsayısı (CHTC) yöntemi ile aerodinamik direncin (r_a) belirlenmesi

Hissedilebilir ısı (ısı enerjisinin) hava ile yayılması konveksiyon yoluyla meydana gelmektedir (İlahi 2009). Zhang ve Lemeur (1992), bitki tacı ve atmosfer arasındaki ısı transferinin konvektif olduğunu bildirirken Yang vd. (1995) bitki yüzeyindeki ısı ve kütle değişimlerinin Reynolds (Re), Grashof (Gr) vb. gibi boyutsuz sayıları ile hesaplanabileceğini belirtmişlerdir. Boyutsuz grup sayılarının örtüaltı koşulları için uyarlanmış eşitlikleri Çizelge 2.1’de gösterilmiştir (Roy vd. 2002).

Çizelge 2.1. Sera içerisine uyarlanmış boyutsuz sayılar

Reynolds sayısı (Re)	Zorlamalı konveksiyon	$Re = \frac{u d_y}{\nu}$	(2.19)
Grashof sayısı (Gr)	Doğal konveksiyon	$Gr = \frac{\beta g d^3 T_s - T_a }{\nu^2}$	(2.20)
Rayleigh sayısı (Ra)	Doğal konveksiyon	$Ra = \frac{\beta g d^3 T_s - T_a }{\nu \alpha} = Gr Pr$	(2.21)
Richardson sayısı (Ri)	Bileşik konveksiyon	$Ri = \frac{\beta g d^3 T_s - T_a }{u^2} = \frac{Gr}{Re^2}$	(2.22)
Prandtl sayısı (Pr)	Isı transferi	$Pr = \frac{\nu}{\alpha}$	(2.23)
Nusselt sayısı (Nu)	Isı transferi	$Nu = \frac{h d_y}{k_c}$	(2.24)
Schmidt sayısı (Sc)	Kütle transferi	$Sc = \frac{\nu}{d_{vap}}$	(2.25)
Sherwood sayısı (Sh)	Kütle transferi	$Sh = \frac{h_{vap} d_y}{d_{vap}}$	(2.26)
Lewis sayısı (Le)	Isı ve kütle transferi	$Le = \frac{\alpha}{d_{vap}}$	(2.27)

Eşitliklerdeki u , karakteristik rüzgar hızını (m s⁻¹); d_y karakteristik yaprak

boyutunu (m); ν , havanın kinematik viskozitesini ($\text{m}^2 \text{s}^{-1}$); β , havanın ısı genleşme katsayısını (K^{-1}); g , yer çekimi ivmesini (m s^{-2}); T_s , yüzey sıcaklığını (K^{-1}); T_a , hava sıcaklığını (K^{-1}); α , havanın ısı yayılımını ($\text{m}^2 \text{s}^{-1}$); h , havanın konvektif ısı transfer katsayısını ($\text{W m}^{-2} \text{K}^{-1}$); k_c , havanın termal iletkenliğini ($\text{W m}^{-2} \text{K}^{-1}$); d_{vap} , su buharının yayılımını ($\text{m}^2 \text{s}^{-1}$); ve h_{vap} , havanın konvektif ısı transfer katsayısını ($\text{W m}^{-2} \text{K}^{-1}$) belirtmektedir.

Konveksiyon doğal, zorlamalı ya da bileşik olmak üzere üç şekilde meydana gelmektedir. Yüzey etrafındaki akışkanın hareketliliği, salt yüzey ve akışkan arasındaki sıcaklık farkından kaynaklanan kaldırma kuvvetleri nedeniyle oluyorsa, meydana gelen ısı geçişine doğal konveksiyon denir. Bu durumda herhangi bir dış etmenin zorlaması söz konusu değildir. Katı yüzey üzerinde akışkan hareketi bir dış etmen ile sağlanıyorsa (rüzgar, havalandırma) bu duruma zorlamalı konveksiyon denmektedir. Bu iki konveksiyonun da aynı anda meydana gelmesiyle bileşik konveksiyon oluşmaktadır.

Yukarıda bahsedilen farklı konveksiyon koşullarındaki ilişkilerin göz önünde bulundurulmasıyla aerodinamik direnç Eşitlik 2.28 ile hesaplanabilmektedir (Zhang ve Lemeur 1992; Bailey vd. 1993; Qiu vd. 2013).

$$r_a = \frac{\rho_a c_p}{h 2 LAI} \quad (2.28)$$

Eşitlikteki r_a , aerodinamik direncini (s m^{-1}); ρ_a , nemli havanın yoğunluğunu (kg m^{-3}); c_p , havanın özgül ısısını ($\text{J kg}^{-1} \text{K}^{-1}$); h , konvektif ısı transfer katsayısını ($\text{W m}^{-2} \text{K}^{-1}$) ve LAI , yaprak alan indeksini ($\text{m}^2 \text{m}^{-2}$) ifade etmektedir.

Eşitlik 2.28'den de görüleceği üzere r_a 'nın belirlenebilmesi için yüzey ile hava arasındaki konvektif ısı transferi ilişkisinin bilinmesi gerekmektedir. Isı transfer katsayısı (h), konveksiyonun tipine göre farklı yöntemler kullanılarak tahmin edilebilir (Qiu vd. 2013). Bazı durumlarda yaprakların ince olduğu ve bu nedenle yaprağın alt ve üst yüzeylerinin sıcaklıklarının aynı olduğu varsayılır. Bu varsayımlara göre bir yaprak için doğal konveksiyondan kaynaklanan ortalama ısı transfer katsayısı Eşitlik 2.29 ile hesaplanabilmektedir (Rouphael ve Colla 2004; Qiu vd. 2013).

$$h_1 = a \left(\frac{k_c}{d_y} \right) Gr^b \quad (2.29)$$

Eşitlikteki h_1 , doğal konveksiyondan kaynaklanan ortalama ısı transfer katsayısını ($\text{W m}^{-2} \text{K}^{-1}$); a ve b , yüzeyin geometrisine ve konveksiyonun tipine bağlı katsayıyı; k_c , havanın termal iletkenliği ($\text{W m}^{-2} \text{K}^{-1}$); d_y , yaprağın karakteristik boyutunu (m); ve Gr , Grashof sayısını (Eşitlik 2.20) belirtmektedir.

Hareket halindeki hava sıcak bir cisimle etkileşime girdiğinde ısı zorlamalı konveksiyonla kaybolur. Zorlamalı konveksiyonun neden olduğu ortalama ısı transfer katsayısı (h_2) Eşitlik 2.30 ile hesaplanabilmektedir (Rouphael ve Colla 2004; Qiu vd. 2013).

$$h_2 = a \left(\frac{k_c}{d_y} \right) Re^b \quad (2.30)$$

Eşitlikteki h_2 , zorlamalı konveksiyondan kaynaklanan ortalama ısı transfer katsayısını ($W m^{-2} K^{-1}$); a ve b , yüzeyin geometrisine ve konveksiyonun tipine bağlı katsayıyı; k_c , havanın termal iletkenliğini ($W m^{-2} K^{-1}$); d_y , yaprağın karakteristik boyutunu (m) ve Re , Reynolds (Eşitlik 2.19) sayısını belirtmektedir.

Örtüaltı koşullarında rüzgar hızı ne kadar düşük olursa olsun hava sabit kalmaz. Havanın düşük de olsa hareket halinde olduğu bilinmektedir. Bu durum için Stanghellini (1987), ortalama ısı transfer katsayısının bileşik konveksiyondan kaynaklandığını bildirmiştir ve Eşitlik 2.31'nin kullanılmasını önermiştir.

$$h_3 = a \left(\frac{k_c}{d_y} \right) (Gr + bRe^2)^c \quad (2.31)$$

Eşitlikteki h_3 , bileşik konveksiyondan kaynaklanan ortalama ısı transfer katsayısını ($W m^{-2} K^{-1}$); a , b ve c , yüzeyin geometrisine ve konveksiyonun tipine bağlı katsayıyı; k_c , havanın termal iletkenliğini ($W m^{-2} K^{-1}$); d_y , yaprağın karakteristik boyutunu (m); Gr , Grashof sayısını (Eşitlik 2.20) ve Re , Reynolds sayısını (Eşitlik 2.19) göstermektedir.

Örtü altı koşullarında hangi konveksiyon tipinin baskın olduğunu belirlemek aerodinamik direnç hesaplanırken CHTC yönteminin uygulanmasında karşılaşılan önemli zorluklardan biridir (Gong vd. 2017). Zhang ve Lemeur (1992) eşitlik seçimine bağlı olarak, sera koşullarında H değerinin doğruluğunun da etkileneceğini bildirmişlerdir. Boyutsuz sayılar ile r_a 'nın belirlenmesi için gerekli iklimsel parametrelerin bitki tacı içinden elde edilmesi gerekmektedir. Bu verilerin bitki tacının üstünden elde edilmesi durumunda hatalı sonuçlara varılacağı bildirilmiştir (Morille vd. 2013). Ayrıca önceki araştırmalarda CHTC yönteminin uygulanmasında karşılaşılan zorluklar nedeniyle benzer koşullar altında dahi farklı sonuçlar elde edildiği belirtilmiştir (Yan vd. 2018).

2.1.3.3. Ters enerji dengesi eşitliği (IBTE) yöntemiyle aerodinamik direncin (r_a) belirlenmesi

ET'nin tahmini amacıyla kullanılan enerji dengesi eşitliğinde (Eşitlik 2.13), r_a değeri hariç tüm parametreler sensörler yardımıyla belirlenebilmektedir. Eşitlikte ET ve r_a olmak üzere iki bilinmeyen vardır. Bazı araştırmacılar lizimetre yöntemi yardımıyla elde ettikleri ET değerini Eşitlik 2.13'e ekleyerek eşitlikteki tek bilinmeyen parametre olarak r_a 'nın kalmasını sağlamışlardır. Böylece enerji dengesi eşitliğinin (Eşitlik 2.13) tersinin alınmasıyla r_a değerini aşağıdaki biçimde belirlemişlerdir (Baille vd. 1994; Yang 1995; Yan vd. 2018) (Eşitlik 2.32).

$$r_a = \frac{\rho_a c_p (T_c - T_a)}{R_n - G - \lambda E} \quad (2.32)$$

Eşitlikteki r_a , aerodinamik direnci ($s m^{-1}$); ρ_a , havanın yoğunluğunu ($kg m^{-3}$); c_p , havanın özgül ısısını ($J kg^{-1} K^{-1}$); T_c , bitki taç sıcaklığını (K); T_a , hava sıcaklığını (K) R_n ,

net radyasyonunu ($W m^{-2}$); G , topraktaki ısı akısını ($W m^{-2}$) ve λE , gizli ısı akısını ($W m^{-2}$) ifade etmektedir.

2.1.3.4. Aerodinamik direncin (r_a) sabit bir değer olarak kullanılması

ET değerini belirlemek için kullanılan modellerin uygulanmasını kolaylaştırmak amacıyla, bazı araştırmacılar, r_a yı sabit bir değer olarak kullanmışlardır (Baille vd. 1994; López-Cruz vd. 2008; Villarreal-Guerrero vd. 2012b; Yan vd. 2018). Söz konusu araştırmacılar bu yöntemle ihtiyaç duyulan iklim parametrelerinin sayısının azaldığını ve böylece modellerin kullanımının daha kolaylaştığını ileri sürmüşlerdir. Ancak bu yöntem, konvektif rejimin, hesaplamanın yapıldığı süre boyunca aynı olması (rüzgar hızının ve hava ile bitki sıcaklığı arasındaki farkın aynı olması) durumunda ya da r_a değerinin stoma direnci değerine karşı önemsiz olduğu durumlarda uygun sonuçlar vermektedir (Villarreal-Guerrero vd. 2012b; Morille vd. 2013). Ne var ki, düşük teknoloji seralarda yetiştirme dönemi boyunca sabit bir konvektif rejimin oluşturulması mümkün değildir.

2.1.4. Eşitlikler için gerekli olan iklime ve bitkiye dayalı bazı parametrelerin tahmin edilmesi

Yaprak Alan İndeksi (LAI) değeri aerodinamik direncin hesaplanmasında ve iklimsel veriler yardımıyla bitki su tüketiminin belirlenmesinde ihtiyaç duyulan önemli bir parametredir. LAI'nın belirlenmesi için öncelikle bitkinin toplam yaprak alanının (LA) bilinmesi gerekmektedir. Bu nedenle yaprak alanının belirlenmesi en önemli aşamadır. Bununla birlikte, özellikle tarlada, çok sayıda yaprağın yüzey alanını ölçmek pahalı, zaman alıcı ve zahmetlidir (Beerling ve Fry 1990; Khan vd. 2016).

Yaprak alanını belirlemek amacıyla milimetrik grafik kâğıdına kareler sayma, kutupsal planimetre, gravimetrik yöntem, nokta sayma, dijital planimetre, yaprak tartma, sayma, puanlama ve hava akımı yöntemini içeren tahrip edici ve tahrip edici olmayan çok sayıda yöntem geliştirilmiştir (Pandey ve Singh 2011). Tahrip edici yöntemlerde yapraklar bitki gövdesinden ayrılır ve çeşitli tarama cihazları (planimetre) yardımı ile yaprak alanı belirlenebilir. Fakat bu cihazlar yüksek maliyetlerinin yanında zaman alıcı ve uzman işgücü gerektirmektedir. Son yıllarda, taşınabilir tipte aletler geliştirilmiştir ve yaprak alanı, bitki tahrip edilmeden ölçülebilmektedir. Buna karşı, bu yöntemde, yaprak büyüklüğü, şekli ve dokusu sınırlayıcı olmaktadır ve bu cihazların her bitki yaprağı için uygun olmadığı bildirilmiştir (Rouphael vd. 2010). Tahribatsız yöntemler, yaprakların kopartılmasını gerektirmemesi, dolayısıyla bitkinin gelişiminde değişikliğe neden olmaması ve bitkinin gelişimi boyunca ölçümlerin tekrarlanmasına izin vermesi nedeniyle yaygın olarak kullanılmaktadır. Pahalı ölçüm cihazlarına olan bağımlılığını kaldırması, zamandan tasarruf edilmesi ve tahribatsız olması nedeniyle çok sayıda bitki türü için yaprak alanı ile yaprak boyutları (en ve boy) arasındaki ilişkiyi ortaya koyan basit ve kolay modeller geliştirilmiştir (Carmassi vd. 2007). Bu nedenle çok sayıda bitki türü için yaprak en ve boy ölçümleri ile yaprak alanını belirleyen farklı ayrıntı düzeylerinde eşitlikler mevcuttur.

Çevresel koşullara ve farklı kültürel uygulamalara ilişkin değişikliklerin, yaprak genişliğini ve boyunu, yaprak sayısını, verimi ve kaliteyi etkilediği kabul edilmiştir (Baudoin vd. 2013). Buna karşın, yaprak genişliği ve uzunluğu arasındaki oranın bu değişikliklerden etkilenmediği belirlenmiştir (Rolland-Lagan vd. 2014). Bu nedenle, her

bitki türünün yaprakları karakteristik bir boyuta sahiptir. Ayrıca, yaprağın genişliği, uzunluğu ve alanı arasında doğrudan bir ilişki vardır (Ray ve Singh 1989; Hinnah vd. 2014; Al Mamun Hossain vd. 2017). Bu özelliğe bağlı olarak, yaprak genişliğini ve uzunluk değerlerini kullanarak yaprak alanını tahmin etmek için çok sayıda eşitlik geliştirilmiştir. Çizelge 2.2, farklı yetiştirme ortamlarındaki farklı bitki türlerinin yaprak alanlarını tahmin etmek için kullanılan modelleri göstermektedir. Karakteristik yaprak boyutu aynı bitki türlerinin farklı çeşitlerinde bile değişkenlik gösterebildiğinden, aynı bitki türünün farklı çeşitleri için farklı eşitlikler söz konusu olabilmektedir (Çizelge 2.2).

Çizelge 2.2. Farklı bitki türlerinin yaprak alanlarını tahmin etmek için kullanılan modeller

Ortam	Bitki	Model	Kaynak
Açık	Patlıcan	$LA = 0.66LW - 0.00008LW^2$	(Rivera vd. 2007)
Açık	Patlıcan	$LA = 0.6537LW + 3.14$	(Ogoke vd. 2015)
Sera	Patlıcan	$LA = 0.4395LW^{1.0055}$	(Hinnah vd. 2014)
Sera	Hıyar	$LA = 0.859LW + 2.7$	(Blanco ve Folegatti 2004)
Açık	Hıyar	$LA = 210.61 + 13.358W + 0.5356LW$	(Cho vd. 2007)
Sera	Domates	$LA = 0.347LW - 10.7$	(Blanco ve Folegatti 2003)
Sera	Domates	$LA = 0.2695L^{0.4759} W^{1.4184}$	(Schwarz ve Kläring 2001)
Sera	Domates	$LA = 0.2633LW^{1.1175}$	(Dumas 1990)
Açık	Biber	$LA = 0.604LW$	(Ray ve Singh 1989)
Açık	Biber	$LA = 0.57LW$	(Padrón vd. 2016)
Sera	Biber	$LA = -8.28 + 1.89L + 2.5W + 0.0028LW$	(Cemek vd. 2011)
Sera	Biber	$LA = 0.498LW + 0.054$	(Aminifard vd. 2017)

Yaprak alan indeksi (LAI); bitki besleme, bitkiler arası rekabet, bitki-toprak-su ilişkileri, bitki su tüketimi, fotosentez, bitki koruma önlemleri, solunum, bitkilerin ışığı yansıtma özellikleri ve bitkilerde ısı transferi gibi çalışmalarda gerek duyulan önemli bir parametredir. Watson (1947), bir bitkinin LAI değerini, bitkinin kapladığı arazinin birim alanı başına düşen tek taraflı yeşil yaprak dokusu alanı olarak tanımlanmıştır. LAI, bitki-atmosfer ara yüzünün büyüklüğünü belirler ve böylece bitki ile atmosfer arasındaki enerji ve kütle değişiminde kilit bir rol oynar (Weiss vd. 2004; Aydınsakir ve Buyuktas 2009). LAI, bitki örtüsünün kompozisyonuna, gelişme aşamasına ve mevsimlere göre farklılık göstermektedir. Bunların yanında yetiştirme koşullarındaki farklılıklardan ve farklı kültürel uygulamalara bağlı olarak da önemli düzeyde değişkenlik göstermektedir (Zhao vd. 2012). Örneğin Antalya bölgesinde yapılan seracılık faaliyetlerinde kalıplaşmış kültürel uygulamalar vardır. Bu bölgede yetiştirilen domates bitkilerinde, meyvenin daha hızlı kızarmasını sağlamak için, meyvenin altındaki yapraklar koparılır. Bu uygulama bitkinin kök boğazından başlar ve bitkinin tepesine ulaşana kadar devam eder. Bu nedenle, bitkinin sökülmesine yakın bitkide çok az yaprak kalır. Benzer uygulama hıyarda da görülmektedir. Patlıcan ve biberde LAI'yı etkileyen en önemli kültürel uygulamaların başında bitkiyi askıya alma aşamasında bırakılan dal sayısı ve yapılan

yaprak budamaları gelmektedir. Dolayısıyla kültürel uygulamaların çeşitliliği nedeni ile LAI değerleri bölgesel olarak değişebilmektedir.

Ortalama ısı transfer katsayısını belirlemek için geliştirilen tüm yöntemlerde yaprağın karakteristik boyutunun (d_y) belirlenmesi gerekmektedir. Bu amaçla Eşitlik 2.33 kullanılmaktadır (Montero vd. 2001; Qiu vd. 2013).

$$d_y = \frac{2}{\frac{1}{L} + \frac{1}{W}} \quad (2.33)$$

Eşitlikteki d_y , yaprağın karakteristik boyutunu (m); L, yaprak uzunluğunu (m) ve W, yaprak genişliğini (m) ifade etmektedir.

Enerji dengesi yöntemlerindeki en önemli öge net radyasyondur (R_n). Net radyasyon, kısa dalga boylu radyasyonunun emilimiyle yansımaları içerdiği gibi gelen ve giden uzun dalga boylu radyasyonları da içerir. Net radyasyon aşağıdaki gibi ifade edilebilmektedir (An vd. 2017) (Eşitlik 2.34).

$$R_n = (1 - \alpha)R_s - L_{\downarrow} + L_{\uparrow} \quad (2.34)$$

Eşitlikte R_n , net radyasyonu; R_s , gelen kısa dalga boylu solar radyasyonu; α , yüzey yansıtma katsayısını; $L_{\downarrow}$, yüzeyde emilen uzun dalga boylu radyasyonu ve $L_{\uparrow}$, yüzeyden yansıyan uzun dalga boylu radyasyonu ifade etmektedir.

Stanghellini (1987) gelen ve giden kısa ve uzun dalga boylu radyasyon arasındaki ilişkiler yardımıyla net radyasyonu tahmin etmiştir (Villarreal-Guerrero vd. 2012b) (Eşitlik 2.35).

$$R_n = 0.07 \frac{0.77R_s - 252 \rho_a c_p (T_a - T_s)}{r_R} \quad (2.35)$$

$$r_R = \frac{\rho_a c_p}{4\sigma(T_a + 273.15)^3} \quad (2.36)$$

Eşitlikteki R_n , net radyasyonu ($\text{MJ m}^{-2} \text{g}^{-1}$); R_s , kısa dalga boylu radyasyonu ($\text{MJ m}^{-2} \text{g}^{-1}$); ρ_a , havanın yoğunluğunu (kg m^{-3}); c_p , havanın özgül ısısını ($\text{MJ kg}^{-1} \text{°C}^{-1}$); T_a , hava sıcaklığını (°C); T_s , yaprak sıcaklığını (°C); r_R , ışıyım direncini (s m^{-1}); ve σ , Stefan-Boltzman sabitini ($\text{MJ m}^{-2} \text{K}^{-4} \text{g}^{-1}$) ifade etmektedir.

Bontsema vd. (2007) Stanghellini tarafından verilen net radyasyon tahmin eşitliğini basitleştirmişlerdir (Eşitlik 2.37).

$$R_n = 0.86 R_s (1 - e^{0.7LAI}) \quad (2.37)$$

Eşitlikteki R_n , net radyasyonu ($\text{MJ m}^{-2} \text{g}^{-1}$); R_s , kısa dalga boylu radyasyonu ($\text{MJ m}^{-2} \text{g}^{-1}$) ve LAI, yaprak alan indeksini (m m^{-2}) ifade etmektedir.

Ortega-Farias vd. (2000) Akdeniz koşullarında tarla koşulları için R_n değerini tahmin eden eşitlik geliştirmişlerdir (Eşitlik 2.38).

$$R_n = \frac{(1 - \alpha)R_s + \varepsilon_{cv}(\varepsilon_a \sigma T_a^4 - \sigma T_{cv}^4)}{2.45} \quad (2.38)$$

$$\varepsilon_a = 0.179(e_a)^{1/7} e^{(350/T_a)}$$

Eşitlikteki R_n , net radyasyonu (mm gün^{-1}); α , yansımaya katsayısını; R_s , solar radyasyonu (W m^{-2}); ε_{cv} , termal radyasyon için bitki soğurma katsayısını; ε_a , havanın emisivite değerini; σ , Stefan-Boltzman sabitini ($5.67 \times 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$); T_a , havanın sıcaklığını (K); T_{cv} , bitki sıcaklığını (K) ve e_a , havanın buhar basıncını belirtmektedir.

Valdés-Gómez vd. (2009) Eşitlik 2.38'i modifiye ederek örtüaltı koşullarında R_n değerini tahmin etmişlerdir. Geliştirdikleri eşitlikte R_n değerini belirlemek amacıyla sera dışına gelen kısa dalga boylu radyasyon değerini kullanmışlardır (Eşitlik 2.39).

$$R_n = \frac{0.79\tau R_{sd} + \sigma T_a^4(\varepsilon_a - 0.92)}{2.45} \quad (2.39)$$

Eşitlikteki R_n , net radyasyonu (mm gün^{-1}); τ , sera örtüsünün geçirgenlik katsayısını; R_{sd} , sera dışında ölçülen solar radyasyonu (W m^{-2}); σ , Stefan-Boltzman sabitini ($5.67 \times 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$); T_a , havanın sıcaklığını (K); ε_a , havanın emisivite değerini belirtmektedir.

İklimsel verilere dayalı eşitliklerin önemli bir kısmında R_n parametresi kullanılmaktadır. Fakat bu verinin ölçülmesi için pahalı ölçüm cihazlarına ihtiyaç vardır. Özellikle Akdeniz'e kıyısı olan ülkelerde örtüaltı yetiştiriciliğinde düşük teknoloji seralar kullanıldığından anılan sensörleri kullanım oranı oldukça düşüktür. O nedenle düşük teknoloji bu seralarda kullanım için düşük maliyetli, uygulaması kolay R_n tahmin eşitliklerine ihtiyaç duyulmaktadır.

Son yıllarda, açık (tarla) koşulları için atmosferüstü radyasyon (R_a)'dan yararlanılarak kısa dalga boylu radyasyonun (R_s) tahmin edilmesi yoluyla çok sayıda model geliştirilmiştir (da Silva vd. 2016). Donatelli ve Campbell (1998) eşitliği (Eşitlik 2.40) tarla koşullarındaki solar radyasyon R_s değerini tahmin etmede kullanılan güvenli bir tahmin eşitliği olarak kabul edilmekle birlikte, önceki çalışmalar bu eşitliğin yüksek düzeyde doğru sonuç verdiğini göstermektedir (da Silva vd. 2016).

$$R_s = a \left(1 - \exp \left(-b \frac{\Delta T_2^c}{\Delta T_m} \right) \right) R_a \quad (2.40)$$

Eşitliklerdeki R_s , solar radyasyon değerini ($\text{MJ m}^{-2} \text{ g}^{-1}$); R_a , atmosfer üstü radyasyon değerini ($\text{MJ m}^{-2} \text{ g}^{-1}$); ΔT_2 , maksimum sıcaklık ile birbirini takip eden iki günün minimum sıcaklıklarının ortalamasının farkını ($^{\circ}\text{C}$); ΔT_m , aylık ortalama ΔT_2 değerini ve a , b ve c , eşitlik katsayısını göstermektedir.

Son yıllarda, açık (tarla) koşulları için atmosferüstü radyasyon (R_a)'dan yararlanılarak kısa dalga boylu radyasyonun (R_s) tahmin edilmesi yoluyla net radyasyonun tahmini için birçok model geliştirilmiş olmasına rağmen sera koşulları için geliştirilmiş R_s ve R_n tahmin modeli mevcut değildir. Buna karşın sera koşullarında R_s 'nin

R_n 'ye yakın olduğu kabul edilerek doğal havalandırmalı, ısıtma sistemine sahip olmayan Akdeniz tipi plastik örtülü serada gölge tozu uygulanması ve uygulanmaması koşullarında net radyasyonunun bu eşitliğin optimize edilmesiyle tahmin edilebileceği düşünülmektedir.

2.2. Örtüaltı Koşullarında Bitki Su Tüketiminin (ET) Belirlenmesine Yönelik Önceki Çalışmalar

Tarla koşullarında iklime dayalı modellerin kullanıldığı çok sayıda çalışma yapılmasına karşı örtü altı koşullarında sınırlı sayıda çalışma mevcuttur. Orgaz vd. (2005) Akdeniz'e kıyısı olan ülkelerde yaygın olarak kullanılan düşük teknolojiye sahip seraların sulama suyu gereksinimini belirlemek amacıyla yapılan araştırmaların yetersiz olduğunu ve su kıtlığının yaşandığı ya da ileride yaşanmasının olası olduğu bu bölgelerde sulamaların yetiştiricilerin deneyimlerine göre planlandığını belirtmişlerdir.

Yapılan literatür taramalarında örtüaltı koşullarında yapılan çok fazla çalışma olmamakla birlikte ET'yi belirlemede en doğru sonucu veren yöntemin, toprak su dengesi yaklaşımına dayanan lizimetreler yöntemi olduğu görülmüştür (Stanghellini 1987; Fynn vd. 1993; Möller ve Assouline 2007; López-Cruz vd. 2008; Fernández vd. 2010). Ancak İrmak vd. (2003), ET'nin lizimetre yöntemi ile ölçüm işleminin zor, pahalı ve uzun zaman gerektirdiğini de belirtmişlerdir.

Tarla koşullarında, önce iklimsel veriler yardımıyla bir kıyas bitki (çim) için su tüketimini (ET_o) tahmin etmek, sonrada bu değeri bitkinin yetiştirildiği bölge için geliştirilmiş bir bitki katsayısı (k_c) ile düzeltmek yoluyla bitki su tüketimini belirleme yaklaşımı (Eşitlik 2.41) yaygın olarak kullanılmaktadır (Doorenboos ve Pruitt 1977; Aydınşakir vd. 2003; Karaca vd. 2017b).

$$ET_c = k_c * ET_o \quad (2.41)$$

Kıyas bitki su tüketimini (ET_o 'yu) belirlemek amacıyla yüze yakın eşitlik geliştirilmiş ya da geliştirilmiş eşitliklerde değişiklikler (modifikasyonlar) yapılmıştır (Karaca vd. 2017a). Söz konusu eşitlikleri pan katsayına, sıcaklığa, radyasyona, kütle transferine ve tüm bunların kombinasyonuna dayalı olmak üzere beş grup altında toplamak mümkündür (Tabari vd. 2013; Pandey vd. 2016; Karaca vd. 2018a). Anılan eşitliklerin bir kısmı, farklı bölgelerde, örtü altında yetişen bitkilerin su tüketimini tahmin amacıyla da kullanılmıştır. Ancak, örtüaltı koşulları için yaygın kullanılan ET_o eşitlikleri; FAO24-Pan Evaporation, Hargreaves, FAO24-Radiation, Priestley-Taylor, Penman, FAO56-Penman-Monteith eşitlikleridir.

Doorenboos ve Pruitt (1977), bitkilerden olan buharlaşmaya etki eden radyasyon, sıcaklık, rüzgar ve hava nemi gibi etkenlerin açık su yüzeyinden olan buharlaşmaya da etki ettiğini belirtmişlerdir ve FAO24-Pan eşitliğini kullanarak kıyas bitki su tüketiminin (ET_o) belirlenebileceğini bildirmişlerdir. Bu yöntemde ET_o , A sınıfı buharlaşma kabından meydana gelen buharlaşma (E_{pan}) ile çevre koşullarına bağlı bir kap (pan) katsayısının (k_{pan}) çarpılmasıyla elde edilebilmektedir. FAO24-Pan eşitliği örtüaltı koşullarında sulama programlanması amacıyla kullanılan eşitliklerin başında gelmektedir. Chartzoulakis ve Drosos (1995) Akdeniz havzasındaki seralarda bitki su tüketimi

değerlerinin tahmini için FAO-24 Pan modelini önermişlerdir. Zeng vd. (2009) sera içi bitki su tüketiminin pan buharlaşmasına dayalı yöntemler ile yapılabileceğini ve pan katsayısının 1.0 alınabileceğini bildirmişlerdir. Blanco ve Folegatti (2004) A sınıfı buharlaşma kabının büyük alana ihtiyaç duyması nedeniyle örtüaltında kullanımının sınırlı olduğunu bildirmişlerdir. Fakat kullanımın kolay olması nedeniyle bazı araştırmacılar (Fernandes vd. 2003; Blanco ve Folegatti 2004; Gleason vd. 2013; Arévalo vd. 2014; Al-shaikh ve Almasraf 2015) ET_o değerini belirlemek için, A sınıfı buharlaşma kabı ve azalan pan buharlaşması yöntemini kullanmışlardır. Cemek vd. (2004) sera koşullarında yetiştirilen bitkilerin su tüketiminde küçük buharlaşma kaplarından yararlanabilme koşullarını araştırmış ve seraların havalandırma durumlarına göre kaplardaki buharlaşma miktarının değiştiğini belirlemişlerdir. Araştırmacılar ayrıca bu yöntemle örtüaltı koşullarında ET_o miktarının belirleyebileceğini ifade etmişlerdir.

Hargreaves ve Samani (1985) çeşitli iklimsel verileri kombine ederek solar radyasyonun ölçülemediği yerler için atmosferüstü radyasyondan yararlanarak bitki su tüketimini belirlemeye yarayan eşitlik geliştirmişlerdir. Anılan eşitlik, diğer eşitliklere kıyasla daha az iklimsel parametreye ihtiyaç duyduğu için tarla koşullarında olduğu gibi örtü altı koşullarında da yaygın olarak kullanılmıştır.

Valdés-Gómez vd. (2009) örtü altı koşullarında ET değerine bağlı olarak domates bitkisinin sulama programlamasını yapmak amacıyla Priestley Taylor modelini kullanmışlardır. Araştırmacılar anılan modelin, gerçek ET 'yi % 6.1 hata ile tahmin ettiğini bildirmişlerdir.

FAO56-Penman-Monteith (FAO-PM) açıkta yetiştirilen çim bitkisinin ET tahmini için en yaygın kullanılan ve standart olarak kabul edilen bir yöntemdir. Fakat çok sayıda araştırmacı (Prenger vd. 2002; López-Cruz vd. 2008; Fernández vd. 2010) bu yöntemin örtü altı koşullarında lizimetreler ile belirlenen değerlerden daha fazla tahmin etme eğiliminde olduğunu bildirmişlerdir. Fernández vd. (2010), yaptıkları çalışmada sera içi ve sera dışındaki iklimsel faktörleri karşılaştırmanın yanında seralara uygulanan gölge tozunun sera içi iklimine olan etkisini de araştırmışlar, solar radyasyonu geçirme oranlarını gölge tozu uygulanmayan seralarda %60.9, gölge tozu uygulanan seralarda ise %53.4 olarak saptamışlardır. Araştırmacılar, sera içi ortalama sıcaklığın dış koşullara kıyasla 1.0 ile 1.4 C° daha fazla olmasına karşın gölge tozu uygulanan seralarda ise 0.5 C° daha fazla olduğunu, yine sera içi ortalama bağıl nem değerlerinin sera dışına kıyasla daha fazla olduğunu, gölge tozu uygulaması sonrasında ise bu farkın daha da arttığını bildirmişlerdir. Buhar basıncı açığının, gölge tozu uygulanan seralar ile uygulanmayan seralarda aynı (1.2 kPa) olduğunu fakat bu değerlerin açık tarla koşullarından (1.0 kPa) daha fazla olduğunu belirtmişlerdir. Gölge tozu uygulaması ile ET_o değerinin mart-eylül ayları arasında % 21.4 azaldığını saptayan araştırmacılar, sera içinde ET_o 'nun daha fazla tahmin edilmesinin ana sebebinin düşük rüzgar hızı olduğunu ileri sürmüşlerdir. Yine araştırmacılar, FAO56-PM eşitliğinin gölge tozu uygulanan ya da uygulanmayan seralarda hesaplanan ET_o değerlerini açık bir şekilde daha fazla tahmin ettiğini, bununla rüzgar hızı ile ilişkili olarak taç aerodinamik direncinden ileri geldiğini bildirmişlerdir. Ayrıca araştırmacılar, r_a değerinin mevsim boyunca sabit 150 s m⁻¹ alınması durumunda sera içinde tahmin edilen ET_o değerinin gerçeğe yakın olarak hesaplanabildiği sonucuna ulaşmışlardır. Son olarak araştırmacılar düşük maliyetli seralarda; sera örtüsünün geçirgenlik katsayısı ve sıcaklık değerleri ya da sera içi günlük solar radyasyon değerleri yardımıyla ET_o değerinin hesaplanabileceğini bildirmişlerdir.

Möller ve Assouline (2007), örtüaltı koşullarında FAO56-P.M. yöntemini kullanarak hesapladıkları ET değerlerinin, tarla koşullarında tahmin edilen ET değerlerine kıyasla daha düşük olduğunu belirlemişlerdir. Bunun sera içi koşullardaki rüzgar hızının yanı sıra sera içine gelen radyasyonun değerinin önemli düzeyde azalmasından kaynaklı olduğunu bildirmişlerdir.

Bitki su tüketiminin hesaplanması için yaygın olarak kullanılan FAO56-PM yöntemi FAO56 k_c -ET_o metodolojisi olarak bilinir ve bu yöntemde uzman araştırmacılarca, çoğunlukla lizimetre koşullarında uzun süreli araştırmalarla elde edilmiş bitki katsayısı (k_c) değerlerine gereksinim vardır. Ancak, daha önce bir bölge için geliştirilen k_c değeri, LAI değerinden yararlanılarak bölgesel kalibrasyon yapılması koşulu ile başka bir bölgede kullanılabilir. Orgaz vd. (2005) İspanya'nın güney kıyılarında birçok bitki türü için k_c değerlerinin belirlendiğini ve k_c -ET_o metodolojisine dayanan, içinde günlük bitki su tüketimlerinin yer aldığı basit bir tablonun hazırlandığını ve bu tablonun çiftçiler için kolay ulaşılabilir olduğunu belirtmişlerdir.

Gleason vd. (2013) ET'ye dayalı sulama programlamasını hazırlamak için ET_o değerlerini doğru ölçülmesinin gerekli olduğunu ve iklimsel parametrelerin olmadığı bölgelerde atmometre cihazı ile evapotranspirasyon değerinin ölçülebileceğini belirtmişlerdir. Fakat yaptıkları çalışmanın sonucuna göre atmometrelerin, iklimsel parametreler ile hesaplanan referans evapotranspirasyon değerlerine kıyasla daha az ölçmeye eğilimli olduğunu bildirmişlerdir.

Liu vd. (2008) Muz (*Musa* sp.) yetiştiriciliği yapılan 20 m uzunluğunda, her biri 10 m genişliğine sahip iki açıklıklı ve 6 m yüksekliğindeki doğal havalandırmalı cam serada farklı yöntemler ile bitki su tüketim miktarlarını belirleyerek, yöntemler arasındaki ilişkiyi incelemişlerdir. Çalışmada muz bitkilerini tartmak suretiyle belirlenmiş olan transpirasyon değerleri ile en çok kullanılan 5 farklı kıyas bitki su tüketimi (ET_o) eşitliği (Priestley-Taylor, FAO Radyasyon, Hargreaves, FAO Penman ve FAO Penman-Monteith eşitlikleri) ve 20 cm çapında 11 cm yüksekliğindeki Çin tipi pan buharlaşma kabından meydana gelen buharlaşma (E_{pan}) arasındaki ilişki yardımıyla belirlenen transpirasyon değerleri arasındaki doğrusal ilişki araştırılmıştır. Araştırmacılar, söz konusu ilişkilerin determinasyon katsayısı (R²) değerlerini sırasıyla FAO Penman, FAO Penman-Monteith, FAO Radyasyon, Hargreaves ve Priestley-Taylor eşitlikleri için sırasıyla 0.67, 0.63, 0.52, 0.49 ve 0.47 olarak belirlerken, en yüksek determinasyon katsayısını (0.83) ise pan buharlaşması yöntemi ile elde etmişlerdir. Sonuç olarak araştırmacılar seralarda muz yetiştiriciliğinde Çin tipi pan kabının transpirasyonu belirlemede kullanılabileceği sonucuna varmışlar ayrıca, seralarda ET_o değerinin daha çok buhar basıncı açığına ve hava sıcaklığına bağlı olduğunu ve dolayısı ile doğal havalandırmalı seralarda sıcaklığa ve nem ölçümüne dayalı ET_o eşitliklerinin daha iyi sonuç vereceğini bildirmişlerdir.

Seralar için ET modelleri ilk olarak Avrupa ve Kuzey Amerika ve Çin'de domates (Stanghellini 1987; Joliet ve Bailey 1992), salatalık (Yang vd. 1990), marul (Pollet vd. 1999) gibi bazı sebze çeşitleri için geliştirilmiştir. Bu bölgelerde, yetiştirme sezonunun büyük kısmında cam seraların havalandırmasına çok az ihtiyaç duyulmaktadır. Bu nedenle cam seralarda yetişen bitkilerin sınır katmanı iletkenliği, açık havada yetişen benzer bitkiler için beklenenden çok daha küçük olma eğilimindedir. Bitkiler, camın varlığı ile dış atmosferden çok güçlü bir şekilde ayrılır ve bitki yüzeyinden havaya

aktarılan su buharı ve ısı, seranın içinde birikir (Jarvis 1985). Bunun aksine, Akdeniz iklimine sahip ya da benzeri sıcak bölgelerdeki seralarda bitki transpirasyonu, konveksiyona çok daha bağımlıdır. Havalandırma ve türbülans kuvvetli olduğu için yaprak yüzeyindeki doygunluk açığı, ortamdaki havanın doygunluk açığına yakından bağlıdır ve son olarak sera dışındaki doygunluk açığından doğrudan etkilenmektedir (Boulard ve Wang 2000).

Prenger vd. (2002) sera içi ET tahmini için Penman, P-M, Stanghellini ve Fynn modellerini lizimetre ölçümleriyle karşılaştırmışlardır. Araştırmacılar, Stanghellini modelinin en yüksek korelasyona ($R^2=0.872$) sahip olduğunu bildirmişlerdir. FAO Penman-Monteith modeli ($R^2=0.481$), Penman modeli ($R^2=0.214$) ve Fynn modelinin ($R^2=-0.848$) performanslarının iyi olmadığını belirlemişlerdir. Stanghellini eşitliği, yüksek teknolojiye sahip seralarda ET'yi doğru tahmin etmesine karşın ülkemizde de yaygın olarak bulunan düşük teknolojiye sahip seralardaki performansları denenmemiştir.

Pamungkas vd. (2014) Japonya'da Stanghellini modelini, örtüaltı topraksız kültür koşullarında yetiştirilen domates bitkisinin ET'sini tahmin etmek amacıyla kullanmışlar ve tahmin edilen ET değerleri ile gerçek ET değerlerinin uyumlu olduğunu bildirmişlerdir.

Yan vd. (2018) IBTE yöntemiyle örtü altı koşullarında yetiştirilen hıyar bitkisinin r_a değerini belirlemişlerdir. Bu r_a değerini, net radyasyon ve dikimden sonraki gün sayılarına bağlı olarak simule ederek ikinci derece polinom denklemi elde etmişlerdir. Daha sonra bu denklemi kullanarak ET değerlerini tahmin etmek amacıyla kullanmışlardır.

Qiu vd. (2013) örtü altı koşullarında yetiştirilen acı biberin ET tahmininde farklı ısı transfer katsayıları (h) ile tahmin edilen aerodinamik direnç değerlerini kullanılarak Penman-Monteith modelinin performansını değerlendirmişlerdir. Doğal konveksiyona dayalı ısı transfer katsayısının kullanılması durumunda Penman-Monteith eşitliğinin ET değerini düşük tahmin etme eğiliminde olduğunu buna karşı bileşik konveksiyona dayalı ısı transfer katsayısının kullanılması durumunda ise ET değerinin doğru tahmin edildiğini bildirilmişlerdir. Atarassi vd. (2006) ise tatlı biberin yetiştirildiği doğal havalandırmalı serada bileşik ve zorlamalı konveksiyona dayalı ısı transfer katsayısının daha uygun olduğunu belirtmişlerdir.

Bazı araştırmacılar (Stanghellini 1987; Allen vd. 1998) iklimsel veriler yardımıyla ET tahmininde toprak ısı akısının (G 'nin) ihmal edilebileceğini bildirmişlerdir. Öte yandan Jackson vd. (1988) ise açıkta yetiştiricilikte G 'nin, net radyasyon değerinin %10'u olarak alınabileceğini ve bunun da bitki su tüketimini önemli derecede etkilemeyeceğini belirtmişlerdir.

Orgaz vd. (2005) sera içindeki evapotranspirasyon miktarının sera dışına kıyasla daha az olmasının nedenini bahar ve yaz aylarında uygulanan gölge tozunun sera içine geçen solar radyasyon değerinin azalması olarak açıklamışlardır. Araştırmacılar ayrıca, serada yetiştirilen tek yıllık bitkilerin askıya alma işlemi sonucunda bitkilerin k_c değerlerinin değiştiğini belirtmişlerdir.

Son yıllarda, su stresi nedeniyle bitkilerin tepkilerine bağlı olarak yapılan sulama programlaması önem kazanmaktadır. Bitki taç sıcaklığı, bitki-çevre etkileşimleri ile ilgili birçok araştırmada kullanılmaktadır ve temassız bitki taç sıcaklığı ölçümü çoğunlukla kızılötesi termometreler olarak adlandırılan radyometrik yüzey termometreleri (IRT) ile yapılmaktadır (Mahan ve Yeater 2008). IRT'ler, bitkiye dayalı sulama programlaması hazırlamada taç sıcaklıklarını ölçmek için uygun ekipmanlardır. Farklı araştırmacılar tarafından, seralarda yetiştirilen domates (Naeenı vd. 2014; Zhang vd. 2017), biber (Aladenola ve Madramootoo 2014; Bo vd. 2014; Naeenı vd. 2014) ve salatalık (Yang vd. 1990; Naeenı vd. 2014) için bitki su stres indeks değerlerini belirlemek amacıyla IRT'lerin kullanılabileceği bildirilmektedir. Bu termometreler yukarıda daha önce bahsedilen ısı transfer katsayısını belirlemek için kullanılan boyutsuz gruplardaki Grashof, Rayleigh ve Richardson sayısını belirlemek amacıyla da kullanılabilmektedir.

Yang vd. (1990) serada yetiştirilen salatalık bitkisinin transpirasyon, yaprak sıcaklığı ve stoma direncini belirlemek amacıyla sera içi güneş radyasyonunu, rüzgar hızı, transpirasyon hızı, çiğlenme noktası, hava sıcaklığı ve yaprak sıcaklığı profillerini aynı anda ölçmüşlerdir. Araştırmacılar çalışma yaptıkları dönem boyunca yaprak sıcaklığının hava sıcaklığından düşük olduğunu saptamışlar ve bu sıcaklıkların arasındaki farkın solar radyasyonun en yüksek seviyede olduğu saatlerde meydana geldiğini bildirmişlerdir.

Yukarıdaki literatür taramasından da anlaşılacağı üzere ET'yi belirlemeye yönelik çok sayıda yöntem olmasına karşı örtüaltı koşullarında standart bir yöntem bulunmamaktadır. Kuzey Avrupa ülkelerinde tam donanımlı seralarda Stanghellini ve Fynn gibi eşitliklerin anlamlı sonuçlar verdiği belirtilse de Akdeniz'e kıyısı olan ülkelerde yaygın olarak kullanılan düşük maliyetli seralarda anılan eşitliklerin geçerliliği test edilmemiştir. Yine örtüaltı koşullarında ET tahmini için ihtiyaç duyulan aerodinamik direncin belirlenmesinde çeşitli güçlüklerin bulunduğu görülmüştür. Ayrıca düşük teknolojiye sahip Akdeniz tipi seralarda ölçülemeyen bazı gerekli iklimsel parametrelerin tahmin edilmesi önem arz etmektedir.

3. MATERYAL VE METOT

3.1. Araştırma Alanı

Araştırma, 30° 38' 30"-30° 39' 45" doğu boylamları ve 36 ° 53' 15"-36° 54' 15" kuzey enlemleri arasında yer alan ve denizden yüksekliği 54 m olan Antalya'da Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Araştırma ve Uygulama Alanında inşa edilmiş 12×36 m boyutlu plastik sera içindeki lizimetre sisteminde yürütülmüştür. Akdeniz ikliminin hüküm sürdüğü araştırma alanında yazlar sıcak ve kurak, kışlar ılık ve yağışlıdır. Antalya'da yıllık ortalama sıcaklık 18.8 °C, en soğuk ay 10.0 °C ile ocak ve en sıcak ay ise 28.4 °C ile temmuz ayıdır. Yıllık ortalama bağıl nem %63.2, toplam yağış 1058.3 mm ve toplam buharlaşma 1826.5 mm'dir (MGM 2019). Araştırma alanına ilişkin uzun yıllık ortalama iklimsel değerler Çizelge 3.1'de verilmiştir.

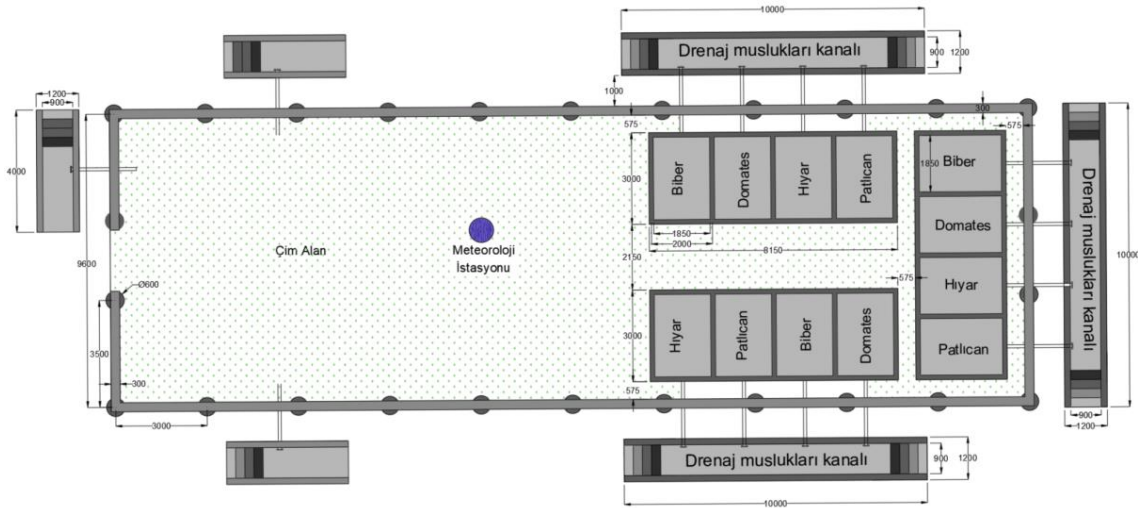
Çizelge 3.1. Antalya iline ilişkin uzun yıllık ortalama iklimsel değerler

İklim Öğeleri									
Aylar	Ort. Sıcaklık (°C)	Min. Sıcaklık (°C)	Mak. Sıcaklık (°C)	Rüzgar Hızı (m sn ⁻¹)	Bağıl Nem (%)	Toplam Yağış (mm)	Buharlaşma (mm)	Güneşlenme Süresi (sa dak ⁻¹ gün ⁻¹)	Güneşlenme Şiddeti (cal cm ⁻² gün ⁻¹)
Ocak	10.0	6.0	14.9	3.5	65.5	234.2	70.7	5.2	195.4
Şubat	10.7	6.4	15.6	3.6	65.3	154.5	73.6	5.6	265.7
Mart	12.9	8.0	18	3.3	66.2	97	105.1	6.5	367.5
Nisan	16.4	11.2	21.4	3.0	67.6	51.8	127.9	8.1	449.4
Mayıs	20.6	15.2	25.6	2.6	66.6	31.9	172.9	10.6	531.1
Haziran	25.3	19.6	30.7	2.9	59.3	10.0	243.2	11.4	590.0
Temmuz	28.4	22.7	34.1	2.8	57.1	2.5	280.3	12.1	581.2
Ağustos	28.4	22.7	34	2.7	59.3	2.6	253.5	11.4	529.0
Eylül	25.2	19.4	31.1	2.8	59.1	14.3	203.4	10.0	450.7
Ekim	20.5	15.2	26.5	2.8	60.6	71.3	142.3	8.1	326.9
Kasım	15.4	10.8	21.2	2.9	64.6	129.7	85.3	6.3	224.9
Aralık	11.6	7.6	16.7	3.3	67.0	258.5	68.3	5.0	170.6
Ort./Top.	18.8	13.7	24.2	3.0	63.2	1058.3	1826.5	8.4	390.2

Araştırma alanının yer aldığı bölge hemen hemen düz ve düze yakın bir topografyada yer almaktadır.

3.2. Deneme Düzeni

Araştırmada materyal olarak kullanılan bitkilerinin yetiştirildiği lizimetreler, seranın farklı yönleri doğrultusunda üç tekerrürlü olarak tesadüf blokları deneme desenine göre konumlandırılmıştır (Şekil 3.1).



Şekil 3.1. Araştırmada kullanılan deneme deseni

3.3. Toprak Özellikleri

Lizimetrelerin içindeki toprakların tekstür sınıfı, tekstür bileşenlerinin (% kum, % kil ve % silt) Bouyoucus hidrometre yöntemi ile hesaplanmasından sonra tekstür üçgeninden belirlenmiştir (Gee ve Bauder 1986). Tarla kapasitesi su içeriği laboratuvarında basınç tablasında toprağın 1/3 atmosfer basınç altında tutabildiği su miktarı, solma noktası su içeriği ise 15 atmosfer basınç altında tutabildiği su miktarı olarak belirlenmiştir (Klute 1986). Toprağın elektriksel iletkenlik (EC_e) ve pH değerleri, saturasyon ekstraktında Richards (1954)'ın belirttiği esaslara göre Hach HQ serisi pH ve elektriksel iletkenlik aleti ile belirlenmiştir. Hacim ağırlığı, Blake ve Hartge (1965)'nin belirttiği esaslara göre silindir yöntemi ile belirlenmiştir. Kireç (kalsimetrik), organik madde (modifiye Walkley Black-TS 8336), N (Kjeldahl), P (Olsen), K (A. Asetat-ICP), Ca ve Mg analizleri hizmet alım yoluyla gerçekleştirilmiştir. Araştırmada kullanılan toprağın fiziksel özellikleri Çizelge 3.2'de kimyasal özellikleri ise Çizelge 3.3'de verilmiştir.

Çizelge 3.2. Araştırmada kullanılan toprağın fiziksel özellikleri

Dane büyüklük dağılımı			Bünye	Tarla kapasitesi %P _w	Solma noktası %P _w	Hacim ağırlığı (g cm ⁻³)
% Kum	% Silt	%Kil				
20.58	51.55	27.88	SCL	30.8	14.1	1.38

Çizelge 3.3. Araştırmada kullanılan toprağın kimyasal özellikleri

pH	Kireç (%)	Tuz (dS m ⁻¹)	Org. Mad (%)	N (%)	P (ppm)	K (ppm)	Ca (ppm)	Mg (ppm)
8.1	31.4	0.137	0.9	0.192	3	91	3284	454

3.4. Araştırmada Kullanılan Sulama Suyunun Özellikleri

Sulama suyu Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Araştırma ve Uygulama Arazi'sinde bulunan pompaj sisteminden sağlanmıştır. Sulama suyunun özellikleri Çizelge 3.4'de verilmiş olup, kalite sınıfının sulamaya uygun (C₂S₁) olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 3.4. Araştırmada kullanılacak sulama suyunun bazı özellikleri

E.C. (dS m ⁻¹)	pH	SAR	Katyonlar (me l ⁻¹)				Anyonlar (me l ⁻¹)				Kalite Sınıfı
			Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	CO ₃ ⁼	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ⁼	
0.443	7.35	0.55	0.87	0.05	2.85	2.07	0	4.91	0.52	0.41	C ₂ S ₁

3.5. Bitkisel Materyal

Araştırmada bitki materyali olarak Antalya ili ve çevresinde yetiştiriciliği yaygın olarak yapılan, hem sonbahar hem de ilkbahar yetiştiriciliğine uygun çeşitler seçilmiştir. Domateste Anıt F1, hıyarda Ayda F1, patlıcanda Corsica ve biberde Buket çeşitleri bitkisel materyal olarak kullanılmıştır.

Anıt F1, domates mozaik virüsü (ToMV), domates sarı yaprak kıvrıklığı virüsü (TYLCV) ve fusaryum solgunluğu (For-F. radici) gibi virüslere ve hastalıklara dayanımı yüksek olan, 200-220 gram meyve ağırlığına sahip, meyveleri sert ve kaliteli, salkımda ortalama 5-6 adet mükemmel bir kırmızı renge sahip meyve veren yüksek verimli bir domates çeşididir.

Ayda F1 hıyar çeşidi sağlıklı ve küçük yapraklara sahip güçlü ve açık yapılı badem tip hıyar çeşididir. İlkbahar, sonbahar ve yaz yetiştiriciliğine uygun olmakla birlikte geç güz ve erken baharda (soğukta) performansı çok yüksektir. Meyve sapı kalın ve uzun ayrıca kuru madde oranı fazla olduğundan raf ömrü uzundur. Meyvelerinin uzunluğu 11-13 cm olup çatlamaya toleranslıdır. Meyveleri parlak koyu yeşil renklidir. Ayda F1, hıyar mozaik virüsü (CMV), hıyar sarı damar virüsü (CVYV) ve küllemeye (Sf) dayanıklı normal dayanıma sahip (IR) bir çeşittir.

Corsica F1, çok güçlü bitki ve kök yapısına sahip yüksek verimli, soğukta mükemmel performans veren kışlık ve baharlık bir patlıcan çeşididir. Parlak ve siyaha yakın koyu renge sahip meyvelerinin ağırlığı 250-280 gr arasında değişmektedir.

Buket F1 biber çeşidi, güçlü, erkenci ve soğuk toleransı yüksek Türk tipi kahvaltılık bir çeşittir. Domates lekeli solgunluk virüsüne (TSWV) karşı dayanıklıdır. Kaliteli meyveye sahip olan Buket F1 tatlı, gevrek olup 17 cm x 2.5 cm boyutlarındadır.

3.6. Sera Tipi ve Lizimetre Sistemi

Araştırmanın yürütüldüğü sera TÜBİTAK destekli (Proje No: 117O017) bir proje kapsamında inşa edilmiş, içerisinde drenaj tipi 12 adet lizimetre sistemi bulunmaktadır (Şekil 3.1 ve 3.2).



(a)



(b)

Şekil 3.2. Araştırmanın yürütüldüğü seranın; (a) önden görünümü (b) arkadan görünümü

Çalışmanın yürütüldüğü sera, yörede yaygın sera tipini temsil edecek niteliklere sahip gotik çatılı plastik (PE) örtülü sera olup 9.6 m genişliğe, 25 m uzunluğa, 4 m yan duvar yüksekliğine ve 6 m mahya yüksekliğine sahiptir. Sera, bölgede yaygın kullanılan 36 ay dayanımlı 175 µm şeffaf UV + IR + EVA + AD katkı polietilen (PE) film örtü malzemesi ile kaplıdır. Yandan ve çatıdan doğal havalandırılmalı olan sera, çelik konstrüksiyonlu ve kuzey-güney yöneyidir. Serada kurulu ısıtma sistemi bulunmamaktadır.

Sera içerisinde yetiştiricilik yalnızca drenaj tipi lizimetrelerde yapılmıştır. Bu drenaj tipi lizimetrelerin her biri 1.85×2.70 m boyutlarında ve 0.6 m derinliğindedir (Şekil 3.3). Lizimetrelerin duvar ve taban beton kalınlıkları 15 cm'dir



Şekil 3.3. Araştırmanın yürütüldüğü lizimetreler

3.7. İklimsel Verilerin Elde Edilmesi

Araştırma süresince gerekli tüm iklimsel parametreler sera içi ve dışı olmak üzere iki adet otomatik meteoroloji istasyonu ile ölçülmüştür. Söz konusu meteoroloji istasyonlarından sera içinde olanı TÜBİTAK destekli proje kapsamında (Proje No: 117O017) temin edilmiştir. Sera dışındaki meteoroloji istasyonu ise Meteoroloji 4. Bölge Müdürlüğü tarafından seranın yapıldığı alanın 200 m yakınına kurulmuştur. Sera içinde ve dışındaki meteoroloji istasyonları hava sıcaklığını, bağıl nemi, rüzgar hızını, basıncı

ve solar radyasyonu, ölçen sensörleri içermektedir. Çizelge 3.5’de sera içinde ölçülen iklimsel parametreler ve bu parametreleri ölçmek için kullanılan sensörler verilmiştir.

Çizelge 3.5. Sera içinde ölçülen iklimsel parametreler ve ölçüm sensörleri

İklimsel Parametre	Ölçüm Aletinin Genel İsmi	Sensör Adı
Sıcaklık	Sıcaklık Ölçer	PT100 1/3 Class B (Pessl Instruments)
Bağıl Nem	Higrometre	ROTRONIC IN-1 (Pessl Instruments)
Rüzgar	Sonik anemometre	DS-2 (Decagon)
Barometre	Basınç Ölçer	MD514D (Pessl Instruments)
Solar Radyasyon	Piranometre	IM506D (Pessl Instruments)
Toprak Isı Akısı	Toprak Isı Akısı Ölçer	LP02 (Hukseflux)
Net Radyasyon	Net Radyometre	CNR4 (Kipp&Zonen)

İklimsel verilerin alındığı meteoroloji istasyonu yatay doğrultuda seranın merkezine monte edilmiştir (Şekil 3.4). Sera ortasında konumlandırılmış olan sera içindeki otomatik meteoroloji istasyonunda ilave olarak net radyasyonu ve toprak ısı akısını ölçen sensörler yer almaktadır. Tüm iklimsel parametreler her 10 dakikada bir olmak üzere 24 saat boyunca kayıt altına alınmıştır.



Şekil 3.4. Sera içi iklimsel verilerini kayıt eden meteoroloji istasyonu

Mekanik anemometrelerin başlangıç eşiği ve eksik yönsel tepkiler gibi olumsuz yönlerinden dolayı, sera içi hava hareketinin ölçülmesi için en iyi cihazların sonik anemometreler olduğu kabul edilmektedir (Wang vd. 1999b). Bu nedenle sera içinde rüzgar hızını ölçmek için sonik anemometre kullanılmıştır. DS-2 ultrasonik rüzgar sensörü tarım, ormancılık ve çevre araştırma uygulamaları için özel olarak tasarlanmış, araştırma sınıfı iki boyutlu bir sensördür. 0.01 m s^{-1} hassasiyete sahiptir. Sera ve bitki tacı çevresi gibi rüzgar hızının daha düşük olduğu ve mekanik rüzgar sensörleri (cup anemometre) ile rüzgar hızının ölçülemeyeceği yerlerde kullanıma uygundur.

MD514D basınçölçer sensörü, mutlak basınç tespiti için temperlenmiş piezoseramik sensör kullanmaktadır. Termal ve mekanik kararlılık ile tasarlanan sensör yüksek hassasiyete sahiptir.

IM506D piranometresi tarımsal, meteorolojik ve güneş enerjisi çalışmalarında global solar radyasyon ölçümlerini yapmak için tasarlanmıştır. Sensör 300–1100 nm dalga boyları arasındaki gelen radyasyon miktarını belirlemektedir.

Topraktan olan ısı akısı (G) detayları Sauer ve Horton (2005) tarafından verilen HFP01- Soil Heat Flux Plate (Hukseflux) ile ölçülmüştür. HFP01, topraktan olan -2000 ile + 2000 ($W m^{-2}$) arasındaki ısı akısını ölçmek için kullanılan ısı enerjisini elektrik enerjisine dönüştüren bir sensördür. Islak koşullar ve kuru koşullardaki farkın belirlenmesi amacıyla bu sensörlerden biri damlatıcı altındaki ıslak bölgeye diğeri ise laterallerin arasındaki kuru bölgeye yerleştirilmiştir.

CNR4 net radyometresi (Şekil 3.5), biri yukarı bakacak ve biri aşağı bakacak şekilde bir piranometre (pyranometer) çiftinden ve aynı konfigürasyonda pirogeometre (pyrgeometer) çiftinden oluşmaktadır ve Pirradiometre (pyrradiometer) olarak da adlandırılmaktadır.



Şekil 3.5. Araştırmada kullanılan CNR4 net radyometre sensörü

Piranometre çifti kısa dalga boylu radyasyonunu ölçerken pirogeometre çifti uzun dalga boylu radyasyonunu ölçmektedirler. Bu nedenle bu sensör dört farklı sensörü tek bir kompakt cihazda birleştiren güvenilir ve ileri sınıf bir sensördür. Her bir sensör optimum doğruluk için ayrı ayrı kalibre edilmiştir. CNR4 net radyometresi uzun dalga boylu radyasyonun ölçüm kalitesinin artırılması ve okumaların doğruluğunu yükseltmek amacıyla sıcaklık sensörüne de sahiptir. Sensörün bir diğeri özelliği de bitki su tüketimi çalışmalarında önemli olan yansıma katsayısını (albedo) hesaplayabilmesidir. Sensör ile

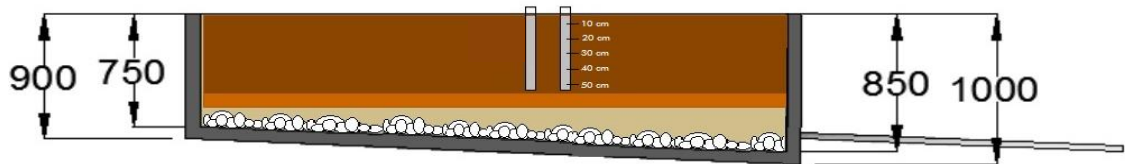
300 ile 2800 nm arasındaki kısa dalga boylu radyasyon ile 4500 ile 42000 nm arasındaki uzun dalga boylu radyasyon değeri belirlenebilmektedir.

Sera içinde ve dışında ölçülen her bir iklim parametresi ayrı ayrı değerlendirilmiş ve büyüme mevsimi içindeki günlük değişimleri grafiklerle gösterilmiştir. Ayrıca her bir iklimsel parametrenin sera iç ve dış değerleri arasındaki ilişkiyi belirlemek amacıyla, hem çeşitli istatistiksel kriterler (R^2 , NSE, d_w) altında incelenmiş hem de bu ölçülen verilerin 1:1 çizgisi etrafındaki dağılımını göstermek amacıyla grafikler hazırlanmıştır. Her bir iklim parametresi için hazırlanan 1:1 çizgi grafiklerinin üstünde sera içi ve dışında ölçülen değerler arasındaki doğrusal eşitlikler verilmiştir.

3.8. Toprak Su İçeriğinin İzlenmesi

Suyun yalıtkanlık (dielektrik) sabiti, hava veya toprak minerallerininkinden daha yüksektir. Buna bağlı olarak toprağın yalıtkanlık sabiti, hacimsel su içeriğinin duyarlı bir ölçüsü olarak kabul edilmektedir. Bu nedenle toprak neminin ölçülmesinde yalıtkanlık sabitini temel alan FDR (elektromanyetik yansıma frekansı) yöntemine dayalı Drill&Drop (Sentek) sensörü kullanılmıştır. Bu sensör kullanılmadan önce kalibre edilmiştir. Kalibrasyon doğal hacim ağırlığına getirilmiş büyük saksılarda yapılan ölçümlere göre gerçekleştirilmiştir.

Lizimetre nem okumaları 5, 15, 25, 35, 45 ve 55 cm derinliklerde yapılmıştır (Şekil 3.6). Ayrıca, toprak nem içeriği kontrol amaçlı olarak haftada bir defa olmak üzere gravimetrik yöntem ile de belirlenmiştir.



Şekil 3.6. Araştırmada kullanılan toprak nem sensörlerinin konumlandırılması

Drill&Drop okuma tüpleri her bir parselde damlatıcıların ıslattığı bölge içine (lateral yanında damlatıcıdan 10 cm uzağa) ve bitki sıra aralarındaki kuru alana (iki lateral arasındaki orta noktaya) yerleştirilmiştir (Şekil 3.7).



Şekil 3.7. Drill&Drop sensörlerinin parseldeki konumu

3.9. Tarım Tekniği, Kültürel İşlemler ve Tarımsal Mücadele

Araştırma 14.09.2018-22.02.2019 tarihleri arasında geç sonbahar yetiştiriciliği (Güz dönemi) ve 01.03.2019-15.07.2019 tarihleri arasında orta ilkbahar (Bahar dönemi) yetiştiriciliğinin yapıldığı iki farklı dönemde yürütülmüştür. Güz döneminde 14 Eylül ve bahar döneminde 1 Mart tarihinde lizimetre parsellerindeki toprak hazırlıkları tamamlanmış ve fide dikim işlemi gerçekleştirilmiştir. Araştırmada bitkilerin sıra arası, sıra üzeri olmak üzere fide dikim aralıkları ve bir parseldeki bitki sayıları Çizelge 3.6'da verilmiştir.

Çizelge 3.6. Araştırmada bitkilerin fide dikim aralıkları ve parseldeki bitki sayıları

Bitki	Sıra arası (cm)	Sıra üzeri (cm)	Parseldeki bitki sayısı (adet)
Domates	50	60	15
Patlıcan	50	100	10
Biber	50	60	15
Hıyar	50	60	15

Yüksek ışık yoğunluğuna maruz kalan bitkilerde verim ve meyve kalitesinin düşük olduğu bilinmektedir. Ayrıca özellikle yaz aylarında yüksek ışık yoğunluğuna bağlı olarak yüksek sıcaklık nedeniyle de bitkilerin doğrudan zarar görülebileceği de bildirilmiştir (Ferrante ve Mariani 2018). Bu nedenle araştırmada bitkileri güneş zararından korumak amaçlı 27.05.2019 tarihinde sera gölgeleme tozu uygulanmıştır. Düşük maliyeti ve yüksek verimliliği nedeniyle, sera içindeki sıcaklığı düşürmek için plastik sera örtüsünün gölge tozu uygulanarak beyazlatılması çiftçiler tarafından yaygın olarak uygulanmaktadır. Fernández vd. (2010) Akdeniz iklimi koşullarındaki üreticilerin % 97'sinin gölge tozu uygulaması yaptığını bildirmiştir.

Örtüaltı yetiştiriciliğinde birim alandan daha yüksek verim ve kalite elde etmek amacıyla ipe alma, gövde sarılması, koltuk alma, yaprak budaması, çiçek budaması, meyve budaması ve tepe alma gibi kültürel işlemler yapılmıştır. Bitkilerin gelişimini sürdüreceği ana dal sayısının belirlenmesi ve gelişiminin bu ana dallar üzerinde sürdürülmesinin sağlanması, verimi arttırmak ve bitkilerin güneş ışığından daha fazla yararlanabilmesi için en çok önerilen tarımsal uygulamalardandır. Bu uygulama ile bitki; ışık, su ve besin kaynaklarından daha iyi yararlanmaktadır (Mendoza-Pérez vd. 2017).

Araştırmada tek gövde üzerinde yetiştirilen domates bitkisi 40 cm boyuna ulaştığında ipe alınmış, bitki gövdesi yetiştirme döneminin sonuna kadar bu ipe sarılmıştır. Ayrıca düzenli aralıklara bitki kontrol edilerek koltuk sürgünleri alınmış, 8. dölden itibaren bitkide tepe alma işlemi yapılmıştır.

Yine biber ve patlıcan bitkilerinde bitki boyu 40 cm'ye ulaşınca ipe alma işlemi yapılmıştır. Her iki bitkide de 3 tane kuvvetli dal seçilerek, ipe alma işlemi bu üç dal üzerinden devam etmiştir. Seçilen 3 dalın altında kalan tüm yapraklar ve bu dallara rakip olacak sürgünler alınmıştır.

Hıyar bitkisi ise 30 cm boya ulaştığında ipe alınarak bitkinin tek gövde üzerinde büyümesi sağlanmıştır. Bitki boyunun ilk 30 cm'sinde çıkan tüm meyve ve sürgünler

kesilmiştir. Bitkilerin gövdeleri askı teline ulaşana kadar iplere sarılmıştır. Tele ulaşan bitkilerin gövdeleri başka bir ip yardımıyla tekrar askı telinden toprağa doğru sarılmıştır.

Yaprak budaması uygulaması, örtüaltı koşullarında yapılan önemli kültürel işlemlerden biri olarak kabul edilmekte ve hemen hemen tüm örtüaltı üreticileri tarafından yapılmaktadır (Ildır ve Aktaş 2018). Fakat bu uygulama, bitki su tüketimi tahmin eşitliklerinin birçoğunda kullanılan LAI değerlerinin ani olarak azalmasına neden olmaktadır.

Domateste yaprak budaması Ildır ve Aktaş (2018) tarafından belirtildiği şekilde; birinci salkım kızarmaya başladığında üçüncü salkıma kadarki iki ara yapraktan üstte olanı alınıp, salkımların karşısındaki yapraklar bırakılarak gerçekleştirilmiştir. İkinci salkım kızardığında ise dördüncü salkıma kadar aynı uygulama yapılmış ve uygulama üst salkımlar için de bu şekilde devam ettirilmiştir. Hıyar bitkisinde, ışıklanma ve havalandırmadan daha iyi yararlanma sağlamak için görevini bitirmiş, yaşlı ve hastalıklı yapraklar ile alt yan dallar budanmıştır (MEGEP 2007). Biber bitkisinde ise; cılız, içe bakan, havalanmayı ve ışıklanmayı engelleyen yan sürgünler budanmıştır. Ayrıca iyi bir havalanma ve hastalık mücadelesi için alttan itibaren yaşlı yapraklar alınmıştır (MEGEP 2008a).

Bitkiler, hastalık ve zararlılardan korumak amacıyla günlük olarak kontrol edilmiş ve hastalık veya zararlı görülmesi durumunda gerekli ilaçlamalar yapılmıştır.

Gübreleme programının daha iyi planlanması amacıyla araştırma başlamadan önce toprak analiz edilmiştir. Gübreleme, toprak analizleri ve bitkilerin gelişme durumu dikkate alınarak fertigasyon yolu ile gerçekleştirilmiştir.

Sera içine, bitki çiçeklerinde tozlaşma ve dölleme işlemini kolaylaştırmak için Bombus arısı kovanı (NATUPOL Beehive Koppert) yerleştirilmiştir.

3.10. Sulama

Bitkiler damla sulama sistemi ile sulanmıştır. Damla sulama sistemi kontrol birimi, yan boru hattı, su dağıtım boruları ve lateraller üzerindeki damlatıcılardan oluşmaktadır. Her bir lizimetreye giden damla sulama hattı ayrı vanalar ile kontrol edilmiştir. Her bitki sırasına bir lateral hattı yerleştirilmiştir. Lateral damlatıcı aralıkları, ıslatma çapı ve infiltrasyon testleri sonucu belirlenmiş olup ıslatılan alan oranı en az %35 olacak biçimde 2 L h^{-1} debili, kendinden basınç düzenleyicili damlatıcılar kullanılmıştır (Goldberg vd. 1976; Keller ve Bliesner 1990; Yıldırım 2003). Islatılan alan değeri, tekil damlatıcının oluşturduğu ıslak toprak hacminin yatay düzlemdeki (toprağa bağlı olarak genellikle yüzeyin 20-30 cm kadar altındaki) ıslatma çapının en yüksek değeri olan damlatıcı ıslatma çapından yararlanılarak belirlenmiştir. Damlatıcı aralığı, ıslatma çapının %80'i kadar alınarak lateral boyunca ıslak bir şerit elde edilmiştir. Islatılan alan oranı ise ıslak şerit genişliği, lateral aralığına bölünerek belirlenmiştir (Yıldırım, 2003). Dikimden önce 0-60 cm'lik profildeki toprak nemi tarla kapasitesine getirilmiş ve drenaj musluğundan çıkış sağlanana kadar lizimetrelere eş miktarda su uygulanmıştır. Sulamalar, 60 cm'lik profil derinliğindeki kullanılabilir suyun %20'si tüketildiğinde gerçekleştirilmiştir.

Lizimetrelere uygulanan sulama suyu miktarının belirlenmesinde Eşitlik 3.1'den yararlanılmıştır.

$$I = \frac{P_{v(TK)} - P_{v(MN)}}{100} D x A x P \quad (3.1)$$

Eşitlikteki I, uygulanacak su miktarını (L); $P_{v(TK)}$, hacim yüzdesi cinsinden toprağın tarla kapasitesi değerini (%); $P_{v(MN)}$, hacim yüzdesi cinsinde toprağın mevcut nem değerini (%); D, ıslatılacak toprağın derinliğini (mm), A, sulanan alanı (m^2) ve P, ıslatılan alan oranını (%) ifade etmektedir.

3.11. Bitkiye Dayalı Ölçümler

3.11.1. Bitki taç sıcaklığının (T_c) belirlenmesi

Bitki taç sıcaklığını belirlemek amacıyla -40 ve 100 °C arasında çalışabilen, emisivite değerinin ayarlanabildiği, %1 hata payına sahip olan infrared termometre (Fluke) kullanılmıştır. Araştırmada bitki sıcaklıkları bitkiye özel emisivite değerinin ayarlanmasından sonra ölçülmüştür. Bu amaçla bitki emisivite değerleri López vd. (2012) tarafından yapılan çalışmadan alınmıştır. İlgili çalışmada emisivite değerleri domates için 0.983, biber için 0.978, hıyar için 0.983 ve patlıcan için 0.973 olarak belirlenmiştir. Bu nedenle infrared termometrenin emisivite değeri 0.98 olarak ayarlanmıştır. Bitki taç örtüsü sıcaklığı araştırma süresi boyunca her gün üç tekerrürden ve her tekerrürün dört farklı yönünde saat 14:00'da ölçülmüştür. Ayrıca her iki yetiştirme döneminde de dörder defa gün doğumu ile gün batımı arasında her yarım saatte bir olacak şekilde bitki taç sıcaklıkları ölçülmüştür. Tüm bu ölçümlerin yanında bahar döneminde bir kez olmak üzere bitki taç sıcaklıkları 24 saat içinde her yarım saate bir belirlenmiştir. Ayrıca, saat 14:00'da ölçülen taç sıcaklığı ($T_{c(14:00)}$) değerinden, gün doğumu ile gün batımı arasında ortalama taç sıcaklığı ($T_{c(gün)}$) değerini tahmin eden doğrusal model geliştirilmiştir.

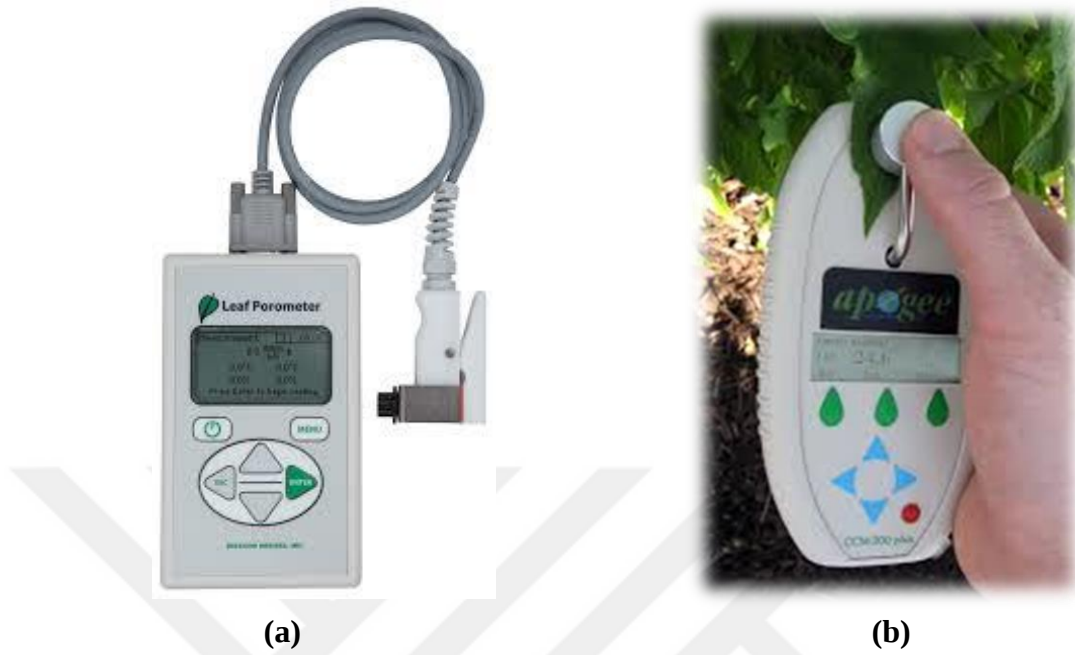
3.11.2. Stoma iletkenliği değerlerinin belirlenmesi

Stoma iletkenliği, stomanın yoğunluğunun, boyutunun ve açılma derecesinin bir fonksiyonu olarak kabul edilmektedir Stoma iletkenliği ve direncinin belirlenmesinde Şekil 3.8 (a)'da gösterilen SC-1 (Decagon Devices Inc) taşınabilir porometre aleti kullanılmıştır. Alet okuma verilerini üç farklı birimde ($mmol m^{-2} s^{-1}$, $m^2 s mol^{-1}$ ve $s m^{-1}$) gösterme özelliğine sahiptir. Porometre ölçümlerine fide dikim tarihinden 15 gün sonra başlanmıştır ve araştırma süresince okumalar her gün saat 13:00'da gerçekleştirilmiştir. Stoma verileri olgunlaşmasını tamamlamış genç yaprakların ortasından yapılan ölçümlerle elde edilmiştir. Her okumada her bir bitki türü için 9 okuma yapılmıştır ve bu değerlerin ortalaması kullanılmıştır.

3.11.3. Klorofil indeks içeriği (CCI) değerlerinin belirlenmesi

Bitki yapraklarındaki klorofil indeks içeriği (CCI) değerleri bitkiye zarar vermeden okuma yapan ve Şekil 3.8 (b)'de gösterilen taşınabilir klorofilmetre aleti (Apogee CCM-200 Plus) ile ölçülmüştür. Her bir lizimetre parselinden 3 bitki seçilmiştir. Seçilen bitkilerin CCI değerleri 10-14 gün de bir bitkinin orta yapraklarının yaprak

damarı ile yaprak kenarı arasında kalan bölgesinde yapılan okumaların ortalaması olarak belirlenmiştir.



Şekil 3.8. Stoma iletkenliği (a) ve klorofil indeks içeriği (b) ölçümlerinde kullanılan aletler

3.11.4. Yaprak alanı (LA), yaprak alan indeksinin (LAI) ve bitki boyunun belirlenmesi

Bitkilerin yaprak alanlarının tahribatsız olarak belirlenmesi amacıyla yaprak budaması uygulaması sonucu bitkiden kopartılan yapraklar kullanılmıştır. Budanan yaprakların boyu (L), eni (W) ve gerçek yaprak alanları (LA) ImageJ yazılımı (Ferreira ve Rasband 2012) ile elde edilmiştir (Şekil 3.9). Yaprak uzunluğu (L), sap göz ardı edilerek, yaprak genişliği (W) ise enin en uzun olduğu bölgede orta noktaya dik olarak cetvelle ölçülmesiyle belirlenmiştir. Her bir yaprağın en (W) ve boy (L) ölçümleri yaprağın ImageJ yazılımı ile elde edilen gerçek alanıyla (LA) ilişkilendirilerek araştırmada kullanılan her bir bitki türü için 7 farklı özel eşitlik (1, $LA=a+bL^2+cL^2W^2+dW^2+eLW$; 2, $LA=a+bL^2+cW^2+dLW$; 3, $LA=a+bL^2+cW^2$; 4, $LA=aL^2+bW^2$; 5, $LA=aL^b+cW^d+e$; 6, $LA=a+bLW$; 7, $LA=aLW$) geliştirilmiştir. Modellerdeki a, b, c, d, e katsayıları her bitki türü için ayrı ayrı belirlenmiştir.



Şekil 3.9. İmageJ yazılımı yardımıyla yaprak alanının belirlenmesi örneği

LAI birim alandaki yaprak alanını ifade etmektedir ve en basit biçimde Eşitlik 3.2'deki gibi hesaplanmıştır.

$$LAI = \frac{n Y_a}{A} \quad (3.2)$$

Eşitlikteki LAI, yaprak alan indeksi değerini; n, birim alandaki yaprak sayısını; Y_a , ortalama yaprak alanını (m^2) ve A, birim alanı (m^2) ifade etmektedir.

Yaprak alanı (LA), yaprak alan indeksi (LAI) ve karakteristik yaprak uzunluğunun (d_y) sezonluk değişimini belirlemek için her bir bitki parselinden 3 bitki seçilerek işaretlenmiştir. Araştırma boyunca yaklaşık olarak her 10 günde bir, işaretlenen bitkilerin toplam yaprak sayısı (n), yaprak uzunluğu (L) ve yaprak genişliği (W) ölçülmüştür. Yaprak eni ve boyunun işaretlenen bitkiyi temsil etmesi amacıyla her bir bitkiden genç, orta ve yaşlı yaprak olmak üç adet yaprak seçilerek bu yaprakların eni ve boyu metre yardımıyla ölçülmüştür. Ölçülen L ve W değerleri kullanılarak önce, yeni geliştirilen en yüksek performanslı model ile ortalama yaprak alanı (Y_a) sonra da, Eşitlik 3.2 yardımıyla LAI değeri belirlenmiştir.

Bitki boyunun takip edilmesi amacıyla her bir lizimetre parselinden, üçer bitki işaretlenmiş ve söz konusu bitkilerde bitki boyu ölçümleri, yaklaşık olarak her 10 günde bir, fide dikim tarihinden hasada kadar yapılmıştır. Bitki boyu ölçümü, bitki kök boğazından tepe noktasına kadar mesafe (cm) cep şerit metresi veya ölçme latası ile kullanılarak yapılmıştır (Tan 2011).

3.11.5. Karakteristik yaprak boyutunun (d_y) belirlenmesi

Ortalama ısı transfer katsayısını belirlemek için ihtiyaç duyulan karakteristik

yaprak boyutu (d_y) Montero vd. (2001) ve Qiu vd. (2013) tarafından verilen eşitlikle (Eşitlik 2.33) belirlenmiştir.

3.11.6. Verim

Tüm yetiştirme dönemi boyunca standart bir hasat tarihi belirlenmemiştir. Bunun yerine bitkiler günlük gözlemlenerek hasada gelen meyveler bitkiden koparılmıştır. Her bir bitki türüne ait meyvelerin hasat anındaki görüntüsü Şekil 3.10’da verilmiştir.



Domates



Patlıcan



Biber



Hıyar

Şekil 3.10. Araştırmada yetiştirilen bitkilerin hasat anındaki görüntüsü

Tüm yetiştirme dönemlerinde yapılan hasat tarihleri kayıt altına alınmıştır. Tüm bitki türleri için elde edilmiş toplam verim miktarı ve toplam meyve sayıları bulgular bölümünde verilmiştir

3.12. Bitki Su tüketiminin (ET) Belirlenmesi

Bitkilerin su tüketimi değeri drenaj tipi lizimetrelerde doğrudan ölçülerek ve iklimsel parametreler yardımı ile dolaylı olarak olmak üzere iki şekilde belirlenmiştir.

3.12.1. Doğrudan ölçüm yöntemi ile bitki su tüketiminin (ET) belirlenmesi

Bitkilerin yetiştirildiği lizimetrelerdeki ET değerleri, aşağıdaki su bütçesi eşitliği (Eşitlik 3.3) ile haftalık olarak belirlenmiştir (Orgaz vd. 2005; Fernández vd. 2010).

$$ET = (SWC_{t0} - SWC_{t1}) + IR - D_r \quad (3.3)$$

Eşitlikteki ET, iki ölçüm tarihi arasında ölçülen bitki su tüketimi değerini (mm); SWC_{t0} - SWC_{t1} , iki ölçüm tarihi arasında toprağın su içeriğindeki değişimini (mm); IR, uygulanan sulama suyu miktarını (mm) ve D_r , drene olan su miktarını (mm) ifade etmektedir.

Lizimetre parsellerinde toprak su içeriği (SWC) değerleri nem sensörleriyle elde edilen veriler kullanılarak Eşitlik 3.4 yardımıyla (Çetin vd. 2013) belirlenmiştir.

$$SWC = (\theta_1 \times a_1) + (\theta_2 \times a_2) \quad (3.4)$$

Eşitlikteki SWC, topraktaki su içeriğini (mm); θ_1 , ıslak alandaki nem miktarını (mm); θ_2 , kuru alandaki nem miktarını (mm); a_1 , ıslatılan alan yüzdesini (%) ve a_2 kuru alan yüzdesini (%) ifade etmektedir.

Lizimetrelere oluşturulacak drenaj suyu günlük olarak ölçülmüştür. Sulama suyu, hacme dönüştürüldükten sonra su sayacından geçirilerek ölçülü biçimde uygulanmıştır. Her bitki için, seranın farklı yönlerine yerleştirilmiş lizimetrelerde ölçülen ET değerleri ile elde edilen verim miktarlarının ortalamaları kullanılmıştır. Ortalama günlük ET değerleri haftalık ölçümlerden hesaplanmıştır.

3.12.2. Dolaylı yöntemler ile bitki su tüketiminin (ET) belirlenmesi

Eşitlik 2.2’de verilen enerji dengesi ile ET tahmini için net radyasyon (R_n), topraktan olan ısı akısı (G) ve duyulur ısı akısı (H) değerlerine ihtiyaç vardır. Söz konusu eşitliğin, Eşitlik 2.13’deki yazılım formunda H yerine Eşitlik 2.16 konulduğunda aşağıdaki eşitlik (Eşitlik 3.5) elde edilir:

$$\lambda E = R_n - G - \frac{\rho_a c_p (T_c - T_a)}{r_a} \quad (3.5)$$

Eşitlikteki λE , gizli ısı akısını ($W m^{-2}$); R_n , net radyasyonunu ($W m^{-2}$); G , topraktaki ısı akısını ($W m^{-2}$); ρ_a , havanın yoğunluğunu ($kg m^{-3}$); c_p , havanın özgül ısısını ($J kg^{-1} K^{-1}$); T_c , bitki taç sıcaklığını (K); T_a , hava sıcaklığını (K) ve r_a , aerodinamik direnci ($s m^{-1}$) ifade etmektedir.

λE evapotranspirasyon olarak da kabul edilen gizli ısı akısı diğer tüm bileşenlerin bulunduğu durumda enerji dengesi denkleminde elde edilmektedir. Araştırmada R_n doğrudan sensörle elde edilmiştir. Buna karşı R_n değerinin doğrudan ölçülebilmesi durumu için bölgeye özel bir model geliştirilmiştir. Bu amaçla tarla koşullarında solar radyasyonu (R_s) hesaplamak için geliştirilmiş Donatelli ve Campbell (1998) modeli (Eşitlik 2.40) R_n ’nin tahmin edilmesi için optimize edilmiştir (Eşitlik 3.6). Optimize edilen model yardımıyla R_n değeri, daha kolay ölçülebilen maksimum, minimum sıcaklık ve seranın konumuna özel atmosferüstü radyasyon (Extraterrestrial radiation) parametreleri kullanılarak tahmin edilmiştir.

$$R_n = a \left(1 - \exp \left(-b \frac{\Delta T_2^c}{\Delta T_m} \right) \right) R_a \quad (3.6)$$

Eşitliklerdeki R_n net radyasyon değerini ($\text{MJ m}^{-2} \text{g}^{-1}$); R_a , atmosfer üstü radyasyon değerini ($\text{MJ m}^{-2} \text{g}^{-1}$); ΔT_2 , maksimum sıcaklık ile birbirini takip eden iki günün minimum sıcaklıklarının ortalamasının farkını ($^{\circ}\text{C}$); ΔT_m , aylık ortalama ΔT_2 değerini ve a, b ve c, eşitlik katsayısını göstermektedir.

R_a , 14.09.2018 ve 15.07.2019 tarihleri arasındaki her gün için seranın bulunduğu konuma bağlı olarak güneş sabitinden hesaplanmıştır (Allen vd. 1998). Eşitlik 3.7’de R_a ’yı hesaplamak için kullanılan eşitlik verilirken bu eşitliğin bileşenleri Eşitlik 3.8, 3.9, 3.10 ve 3.11’de verilmiştir.

$$R_a = \left(\frac{24 \times 60}{\pi} \right) G_{sc} d_r [\omega_s \sin(\varphi) \sin(\delta) + \cos(\varphi) \cos(\delta) \sin(\omega_s)] \quad (3.7)$$

$$d_r = 1 + 0.033 \cos \left(\frac{2\pi}{365} J \right) \quad (3.8)$$

$$\omega_s = \arccos[-\tan(\varphi) \tan(\delta)] \quad (3.9)$$

$$\varphi = [\text{Radians}] = \frac{\pi}{180} [\text{decimal degrees}] \quad (3.10)$$

$$\delta = 0.409 \sin \left(\frac{2\pi}{365} J - 1.39 \right) \quad (3.11)$$

Eşitlikteki R_a , atmosfer üstü radyasyon değerini ($\text{MJ m}^{-2} \text{g}^{-1}$); π , pi sayısını; G_{sc} , güneş sabitini (0.082); d_r , dünya ile güneşin ters bağıl mesafesini; ω_s , gün batımı saat açısını (rad); φ , enlemi (rad); δ , güneşin sapma açısını (rad); J, yılın gününü ve ifade etmektedir.

R_n ’nin tahmininde kullanılan sera içi sıcaklık ölçümleri ile gerçek R_n ölçümleri seranın ortasındaki iklim istasyonunda gerçekleştirilmiştir. Ölçülen ve tahmin edilen R_n değerlerinin karşılaştırılmasında 14.09.2018 ve 15.07.2019 tarihleri arasında ölçülen günlük ortalama değerler kullanılmıştır. Eşitlik 3.6’da bilinmeyen uygunluk parametreleri (a, b ve c), MS Excel Çözücü eklentisi ile yapılan bir optimizasyon prosedürü uygulanarak tahmin edilmiştir (Walsh ve Diamond 1995). Böylece sera içi koşulları için uyarlanmış a, b, c katsayılarını içeren tahmin eşitliği ile elde edilen ve ölçülen R_n değerleri karşılaştırılarak modelin performansı istatistiksel analiz yapılarak belirlenmiştir.

Toprak ısı akısı (G) değeri sensör yardımıyla doğrudan ölçülmüştür.

Duyulur ısı akısı (H) değeri ise sensörle ölçülemeyen, hesaplanması gereken bir

parametredir. Duyulur ısı akısının (H) belirlenmesi için akı eğim yaklaşımı (Eşitlik 2.16) kullanılmıştır. H değerinin hesaplanması için bitki yüzeyi ile hava sıcaklığının farkı ($T_c - T_a$) ve aerodinamik direnç (r_a) değerlerinin belirlenmesi gerekmektedir. Eşitlikteki T_c değeri el tipi infrared termometre ile belirlenirken T_a değeri sera içine konumlandırılan sensör yardımıyla belirlenmiştir. ρ ve c_p değerleri ise havanın sıcaklık değerleri kullanılarak elde edilmiştir (EK:1). Bu eşitlikte hesaplanması en zor parametre aerodinamik direnç (r_a) değeridir. Çalışmada r_a 'nın belirlenmesi amacıyla kullanılan eşitlikler alt başlıklar halinde aşağıda verilmiştir.

3.12.2.1. Aerodinamik direncin (r_a) Brutsaert ve Stricker (1979) ve Perrier (1975) yöntemi ile belirlenmesi

Aerodinamik direncin rüzgar hızı ve bitki pürüzlülüğünün fonksiyonu olarak kabul edilmesinden dolayı tarla koşullarında ET'nin tahmin edilmesi amacıyla geliştirilen yöntemlerin büyük bir kısmında, rüzgar hızı, bitki yüksekliği ve bitki örtüsüne bağlı olarak elde edilen r_a eşitlikleri kullanılmaktadır. Bu amaçla en yaygın olarak kullanılan Brutsaert ve Stricker (1979) (Eşitlik 2.17) ve Perrier (1975) (Eşitlik 2.18) eşitliklerinden yararlanılmıştır.

3.12.2.2. Aerodinamik direncin (r_a) doğal, zorlamalı ve bileşik konveksiyona dayalı olarak konvektif ısı transfer katsayısı (CHTC) yöntemiyle belirlenmesi

Sera koşullarında r_a değerinin hesaplanması amacıyla çok sayıda araştırmacı bireysel yapraklar için geliştirilmiş konvektif ısı transfer katsayısı (CHTC) yöntemini kullanmışlardır (Yan vd. 2018). Zhang ve Lemeur (1992), bitki tacı ve atmosfer arasındaki ısı transferinin konvektif olduğunu ve r_a 'nın ısı transfer katsayısı kullanılarak hesaplanabileceğini belirtmişlerdir. Çalışmada CHTC yöntemi ile r_a 'nın hesaplanmasında Eşitlik 2.28'den yararlanılmıştır. Eşitlikteki konvektif ısı transfer katsayısı (h) değeri, örtüaltında doğal, zorlamalı ve bileşik konveksiyon koşulları için değiştiğinden farklı h değerleri sırasıyla Eşitlik 2.29, 2.30 ve 2.31 yardımıyla hesaplanarak her üç koşulu için de r_a değeri belirlenmiştir.

3.12.2.3. Aerodinamik direncin (r_a) sabit kabul edilmesi koşulu

Bazı araştırmacılar ET'nin belirlenmesi amacıyla sezon boyu sabit r_a değeri kullanmışlardır. Bu amaçla Fernández vd. (2010) çim bitkisi için r_a değerini 100, 150, 200 ve 250 s m⁻¹ sabitleyerek FAO56-P.M modeliyle ET değerini belirlemiştir. Bu çalışmada da r_a değeri sezon boyu sabit tutularak (150 s m⁻¹) tüm bitkilerin ET değeri hesaplanmıştır.

3.12.2.4. Aerodinamik direncin (r_a) ters enerji dengesi eşitliği (IBTE) yöntemiyle belirlenmesi

Bazı araştırmacılar enerji dengesi eşitliğinden yararlanarak r_a değerini doğrudan hesaplamışlardır. Bu yöntem ters enerji dengesi eşitliği (IBTE) olarak da adlandırılmaktadır (Yan vd. 2018). Benzer şekilde bu çalışmada bitkilerin ET değeri doğrudan lizimetre ile haftalık olarak belirlendiği ve diğer tüm parametreler de sensörlerle ölçüldüğü için enerji dengesi eşitliğinde bilinmeyen yüzey direncinin (r_a 'nın) değeri ters enerji dengesi eşitliği olarak bilinen Eşitlik 2.32 (Baille vd. 1994; Yang 1995;

Yan vd. 2018) yardımı ile hesaplanmıştır. Tarla koşullarında referans bir bitkide yaptıkları çalışmada gece meydana gelen ET değerinin, gün boyu ET değerinin yalnızca %1.7'si olduğunu bildirmiştir. Ancak rüzgar hızının fazla olmasıyla bu değer artabileceğini ifade etmişlerdir. Sera içi rüzgar hızının çok düşük olması, karanlık zaman diliminde taç sıcaklığı ile yaprak sıcaklığı arasındaki farkın sıfır olması ve stoma iletkenliğinin ölçülememesinden dolayı enerji dengesinde kullanılan tüm parametreler gün doğumu ile gün batımı arasındaki değerlerin ortalamasından elde edilmiştir. Ancak, gözlem süresi boyunca gün doğumu ile gün batımı arasındaki bitki taç sıcaklığı değerlerinin el tipi infrared termometreyle ölçülmesinin çok fazla iş gücü gerektirmesi nedeniyle güz ve bahar döneminde toplam sekiz defa elde edilen gün doğumu ile gün batımı arasında ölçülen taç sıcaklığı değerlerinin ortalaması ($T_{c(ort)}$) ile saat 14:00'da ölçülen taç sıcaklığı değerleri ($T_{c(14:00)}$) arasındaki doğrusal bir ilişki elde edilmiş ve ortalama taç sıcaklığı değerlerinin bu ilişki yardımıyla tahmin edilmesi yoluna gidilmiştir.

3.12.2.5. Aerodinamik direncin (r_a) geliştirilen yeni bir model ile belirlenmesi

IBTE (Eşitlik 2.32) yöntemiyle her bir bitkide her hafta için hesaplanan r_a değerleri; farklı yaprak alan indeksi (LAI) ve gölge tozu kriterleri altında her bitkinin taç-hava sıcaklığı farkı ($T_c - T_a$), boyu ve sera içi rüzgar hızı değerleriyle ilişkilendirilerek, r_a 'nın tahmininde kullanılmak üzere Eşitlik 3.12'de gösterilen model geliştirilmiştir.

$$r_a = a \text{boy}^b + c u^d + e(T_c - T_a)^f \quad (3.12)$$

Modelde; r_a , aerodinamik direnci ($s \text{ m}^{-1}$) boy, bitki boyunu (m); u, sera içi hava hızını ($m \text{ s}^{-1}$); T_c , bitki taç sıcaklığını ($^{\circ}\text{C}$); T_a , sera içi hava sıcaklığını ($^{\circ}\text{C}$) göstermektedir. a, b, c, d, e ve f ise empirik eşitlik katsayıları olup değerleri bitki türü, LAI ve gölge tozu uygulama durumuna bağlı olarak değişmektedir.

Araştırmada, Çizelge 3.8'de gösterilen sekiz farklı yöntemle belirlenen aerodinamik direnç (r_a) değerleri, dört farklı bitki türünde, bitki su tüketiminin enerji dengesi yöntemiyle hesaplanmasında kullanılmıştır. Ayrıca bitki sıcaklığı ve sera içi iklimsel verilerin kullanılmasına dayalı çok sayıda senaryo için de ET hesaplaması yapılmıştır. Şekil 3.11'de enerji dengesi yöntemi kullanılarak ET'nin belirlenmesinde kullanılan, farklı senaryoları da içeren alternatif hesaplama yöntemlerine ilişkin hiyerarşik tablo verilmiştir. Daha sonra da her bir bitki türü için hesaplama yolu ile bulunan alternatif ET tahmin değerleri, her bir bitki için lizimetrelerden ölçülen gerçek ET değerleri ile kıyaslanmıştır.

3.13. Bitki Su Tüketiminin (ET) Tahmin Edilmesinde R_n ve G 'nin Tahmin ve İhmal Edilmesi Durumlarını İçeren Çeşitli Senaryolar

ET'nin enerji dengesi eşitliği (Eşitlik 3.5) yardımıyla hesaplanarak tahmin edilmesinde gerekli olan R_n ve G değerini ölçmek için kullanılan sensörlerin, çiftçi koşullarındaki düşük teknoloji seralarda kullanımı ekonomik olmayacağından, R_n ve G değerlerinin eşitliklerle hesaplanması önemli bir konudur. Bu nedenle R_n ve G değerlerinin hesaplama yoluyla tahmin edilmesi ya da ihmal edilmesi durumlarını içeren çeşitli senaryolar oluşturulmuştur (Çizelge 3.7).

Çizelge 3.7. ET'nin belirlenmesinde net radyasyon (R_n) ve toprak ısı akısı (G) değerlerinin tahmin yada ihmal edilmesine bağlı olarak geliştirilen senaryolar

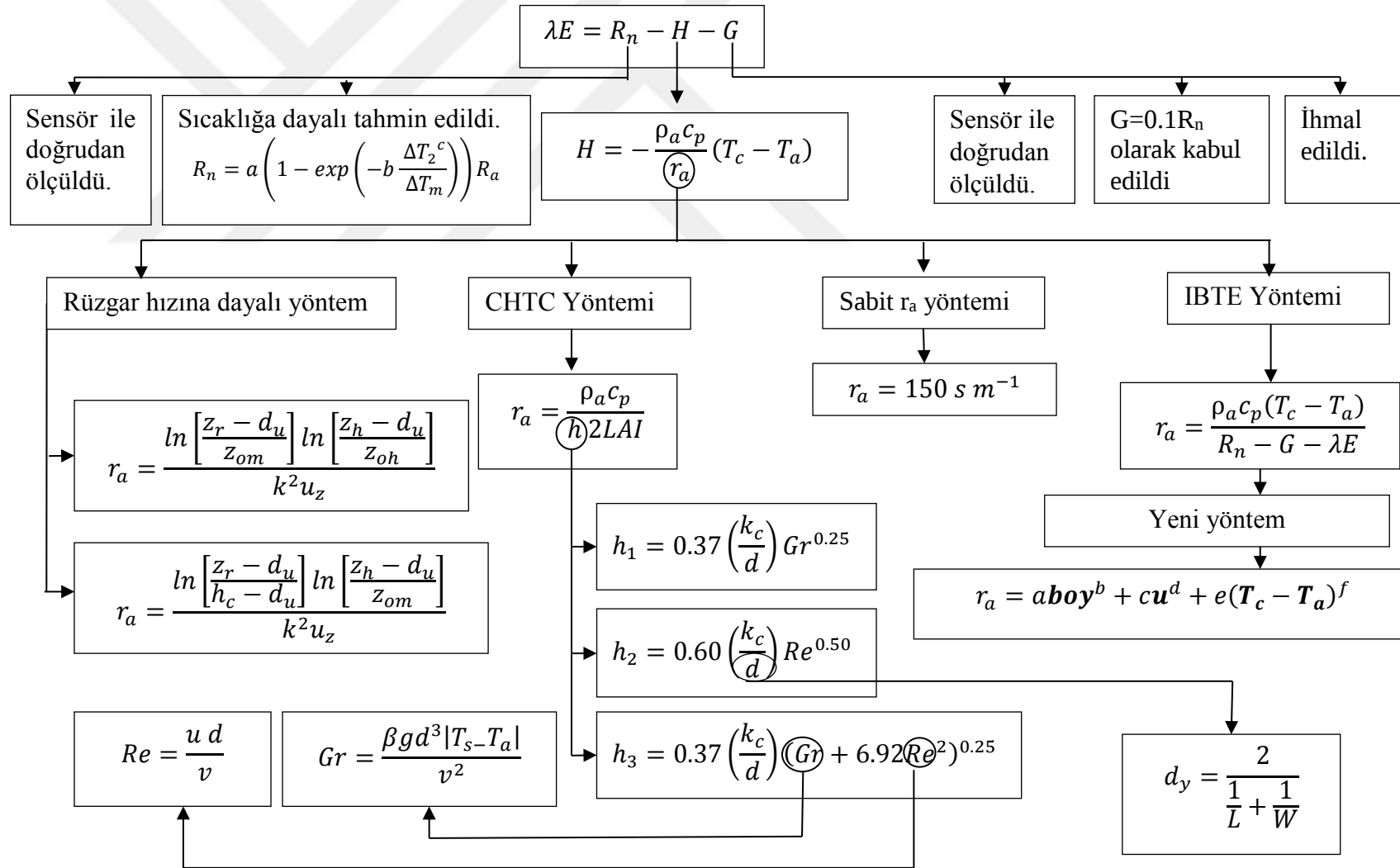
Senaryo No	ET'nin Belirlenmesi Amacıyla R_n ve G 'ye Dayalı Senaryolar
1	Tahmin edilen net radyasyon değerine bağlı olarak ET değerinin belirlenmesi
2	Toprak ısı akısının (G) net radyasyon değerinin %10'u olarak kabul edilmesi durumunda ($G=0.1R_n$) ET değerinin belirlenmesi
3	Toprak ısı akısının (G) ihmal edilmesi durumunda ET değerinin belirlenmesi
4	Net radyasyonun tahmin edilmesi ve toprak ısı akısının net radyasyon değerinin %10'u olarak kabul edilmesi durumunda ET değerinin belirlenmesi

Bu amaçla (S1) R_n 'nin tahmin edilmesi; (S2) G 'nin R_n değerinin % 10'u ($G=0.1R_n$) olarak kabul edilmesi, (S3) G 'nin ihmal edilmesi ve (S4) hem R_n değerinin tahmin edilmesi ve hem de $G=0.1R_n$ olarak kabul edilmesi durumlarını içeren dört farklı senaryo kurgulanmıştır. Bu senaryolara dayalı olarak ET değerlerinin tahmin edilmesinde IBTE yöntemiyle hesaplanan r_a değerleri kullanılmıştır. Tahmini ET değerlerinin performansının belirlenmesi için, günlük olarak hesaplanan tahmini ET değerleri haftalık ortalama ET değerlerine dönüştürülmüş ve lizimetrelerden elde edilen haftalık ortalama ET değerleri ile karşılaştırılmıştır.

Çizelge 3.8. Farklı yöntemlere göre aerodinamik direncin (r_a) belirlenmesi

No	Yöntemin Adı	Eşitlik	Kaynak	Eşitlik
1	Rüzgar hızı, bitki yüksekliği ve bitki örtüsüne dayalı yöntem	$r_a = \frac{\ln \left[\frac{z_r - d_u}{z_{om}} \right] \ln \left[\frac{z_h - d_u}{z_{oh}} \right]}{k^2 u_z}$	(Brutsaert and Stricker, 1979)	(2.17)
2		$r_a = \frac{\ln \left[\frac{z_r - d_u}{h_c - d_u} \right] \ln \left[\frac{z_h - d_u}{z_{om}} \right]}{k^2 u_z}$	(Perrier, 1975)	(2.18)
3	Doğal konveksiyon-CHTC yöntemi	$h_1 = 0.37 \left(\frac{k_c}{d} \right) Gr^{0.25}$	(Rouphael ve Colla, 2004; Qiu vd. 2013)	(2.29)
4	Zorlamalı konveksiyon-CHTC yöntemi	$h_2 = 0.60 \left(\frac{k_c}{d} \right) Re^{0.50}$	(Rouphael ve Colla, 2004; Qiu vd. 2013)	(2.30)
5	Bileşik konveksiyon -CHTC yöntemi	$h_3 = 0.37 \left(\frac{k_c}{d} \right) (Gr + 6.92 Re^2)^{0.25}$	(Stanghellini, 1987)	(2.31)
6	Sabit r_a değeri	$r_a = 150 \text{ s m}^{-1}$		
7	IBTE yöntemi	$r_a = \frac{\rho_a c_p (T_c - T_a)}{R_n - G - \lambda E}$	(Yan vd. 2018)	(2.32)
8	Yeni Yöntem	$r_a = a \text{boy}^b + c u^d + e(T_c - T_a)^f$		(3.12)

Eşitliklerdeki r_a , aerodinamik direnci (s m^{-1}) ifade etmektedir. 1 ve 2 nolu eşitliklerdeki h_c , bitki yüksekliğini (m); z_r , bitki tacı üzerindeki rüzgar hızının ölçüldüğü yüksekliği (m); z_h , bağıl nemin ölçüldüğü yüksekliği (m); d_u , Sıfır düzlem yer değiştirmesini (ortalama hızın sıfır olduğu yükseklik olarak tanımlanır) ($d_u=0.67h_c$) (m); z_{om} , momentum transferini yöneten pürüzlülük uzunluğunu ($z_{om}=0.13h_c$) (m); z_{oh} , ısı ve buhar transferi yöneten pürüzlülük uzunluğunu ($z_{oh}=0.1z_m$) (m); k , von Karman sabitini (0.41) ve u_z , z yüksekliğinde ölçülen rüzgar hızını (m s^{-1}) ifade etmektedir. 3, 4 ve 5 nolu eşitliklerdeki h_1 , doğal konveksiyondan kaynaklanan ortalama ısı transfer katsayısı ($\text{W m}^{-2} \text{K}^{-1}$); h_2 , zorlamalı konveksiyondan kaynaklanan ortalama ısı transfer katsayısı ($\text{W m}^{-2} \text{K}^{-1}$); h_3 , bileşik konveksiyondan kaynaklanan ortalama ısı transfer katsayısı ($\text{W m}^{-2} \text{K}^{-1}$); k_c , havanın termal iletkenliği ($\text{W m}^{-2} \text{K}^{-1}$); d_y , yaprağın karakteristik boyutu (m) ve Gr , Grashof sayısını (Eşitlik 2.20); Re , Reynolds (Eşitlik 2.19) sayısını belirtmektedir. 7 nolu eşitlikteki ρ_a , havanın yoğunluğunu (kg m^{-3}); c_p , havanın özgül ısısını ($\text{J kg}^{-1} \text{K}^{-1}$); T_c , bitki taç sıcaklığı (K); T_a , hava sıcaklığını (K) R_n , net radyasyonu (W m^{-2}); G , topraktaki ısı akısını (W m^{-2}) ve λE , gizli ısı akısını (W m^{-2}) ifade etmektedir. 8 sayılı eşitlikteki boy , bitki boyunu (m); u , rüzgar hızını, T_c , bitki taç sıcaklığını ($^{\circ}\text{C}$), T_a , hava sıcaklığını ($^{\circ}\text{C}$) ve a , b , c , d , e ve f ise model katsayılarını ifade etmektedir.



Şekil 3.11. Enerji dengesine dayalı eşitlik ile ET'nin tahmin edilmesi amacıyla denenen eşitlikler

3.14. İstatistiksel Analizler

Modellerin ya da eşitliklerin performanslarının belirlenmesinde kriter olarak determinasyon katsayısı (R^2) kullanılmıştır. Her ne kadar R^2 değeri tahmin denkleminin performansını belirlemede doğruluk ölçüsü olarak görülse de yeterli değildir. R^2 değerinin yüksek olmasının yanında düşük hataya sahip modeller daha doğru kabul edilmektedir (Cemek vd. 2011). Bu nedenle model performanslarını belirlemek amacıyla R^2 'ye ek olarak; ortalama hata kareleri kökü (RMSE), göreceli hata (RE), ortalama taraflı hata (MBE) ve Willmott indeksi (d_w) gibi istatistiksel performans kriterleride (Eşitlik 3.13, 3.14, 3.15, 3.16 ve 3.17) kullanılmıştır. RMSE, RE ile MBE'nin 0 olması ve R^2 ile d_w 'nin 1'e eşit olması mükemmel tahmin doğruluğunu ya da ilişkinin kusursuz olduğunu tanımlamaktadır (Karaca vd. 2018a). R^2 değeri çeşitli araştırma disiplinlerinde kullanıldığından dolayı, en iyi ilişkiyi ifade etmek için standart bir aralık bulunmamaktadır. Cohen (1988) kabul edilebilir R^2 değerini ifade ederken 0 ile 0.02 arasını çok zayıf, 0.02 ile 0.16 arasını zayıf, 0.16 ile 0.26 arasını normal ve 0.26 ile 1.00 arasını ise önemli ilişki olarak tanımlarken, Evans (1996) 0 ile 0.04 arasını çok zayıf, 0.04 ile 0.16 arasını zayıf, 0.16 ile 0.36 arasını normal, 0.36 ile 0.64 arasını kuvvetli ve 0.64 ile 1.00 arasını çok kuvvetli ilişki olarak tanımlamıştır. Ayrıca çok sayıda araştırmacı (Falk ve Miller 1992; Chin 1998; Henseler vd. 2009; Hair vd. 2010, 2011) çalıştıkları konulara bağlı olarak R^2 değerinin ilişki seviyesini farklı aralıklarla tanımlamıştır. Bu nedenle yaptığımız çalışmada modellerin performanslarını belirlemede R^2 değerinin ilişki seviyesi ifade edilirken, 0 ile 0.25 arası çok zayıf, 0.25 ile 0.50 arası zayıf, 0.50 ile 0.75 arası normal 0.75 ile 0.90 arası kuvvetli ve 0.90 ile 1.00 arası ise çok kuvvetli ilişki olarak ifade edilmiştir.

Bu çalışmada sera içi ve dışından ölçülen aynı iklimsel parametreye ait verilerinin karşılaştırılmasında ilişki düzeyinin performans kriterleri olarak determinasyon katsayısı R^2 (Eşitlik 3.13), Willmott indeksi (d_w) (Eşitlik 3.17) ve Nash-Sutcliffe etkinlik katsayısı (NSE) (Eşitlik 3.18) kullanılmıştır. Sera içi ve dışı iklimsel parametreler arasında elde edilen ilişkinin R^2 , d_w ve NSE değerlerinin 1.0 olması, sera içi ve dışı iklimsel verilerin birebir aynı olmasını ifade etmektedir. Yine bu çalışmada R^2 değeri değerlendirilirken daha önce tanımlanan şekilde kriterlere ayrılarak sera içi ve dışı arasındaki verilerin ilişki kuvvetini belirlemek amacıyla kullanılmıştır.

$$R^2 = \frac{[\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X}_i) (Y_i - \bar{Y}_i)]}{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X}_i)^2 \sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y}_i)^2} \quad (3.13)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - Y_i)^2}{n}} \quad (3.14)$$

$$RE = \frac{RMSE}{\bar{Y}_i} \quad (3.15)$$

$$MBE = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - Y_i)}{n} \quad (3.16)$$

$$d_w = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - Y_i)^2}{\sum_{i=1}^n (|X_i - \bar{Y}_i| + |Y_i - \bar{Y}_i|)^2} \quad (3.17)$$

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - Y_i)^2}{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X}_i)^2} \quad (3.18)$$

Model performansları kullanılırken eşitliklerdeki n, gözlem sayısını; X_i , tahmini değeri; Y_i , ölçülmüş değeri; $\bar{Y}_i$, ölçülmüş değerlerin ortalamasını ve $\bar{X}_i$ tahmini değerlerin ortalamasını ifade etmektedir. Aynı iklimsel parametrenin sera dışı ve sera içi değerleri arasındaki ilişki belirlenirken eşitliklerdeki X_i , sera dışı değeri; Y_i , sera içi değeri; $\bar{X}_i$ sera dışından elde edilen değerlerin ortalamasını ve $\bar{Y}_i$, sera içinden elde edilen değerlerin ortalamasını ifade etmektedir.

Araştırmada elde edilen verim değerlerinin tekerrürleri arasındaki farklılıklarını belirlemek amacıyla tek yönlü varyans analizi (Anova) yapılmıştır.

Çalışmada, istatistiksel analizler yapmak ve geliştirilen modellerin katsayılarını hesaplamak için Microsoft Excel programına ait olan ‘veri çözümleme’ ve ‘çözücü’ eklentileri kullanılmıştır.

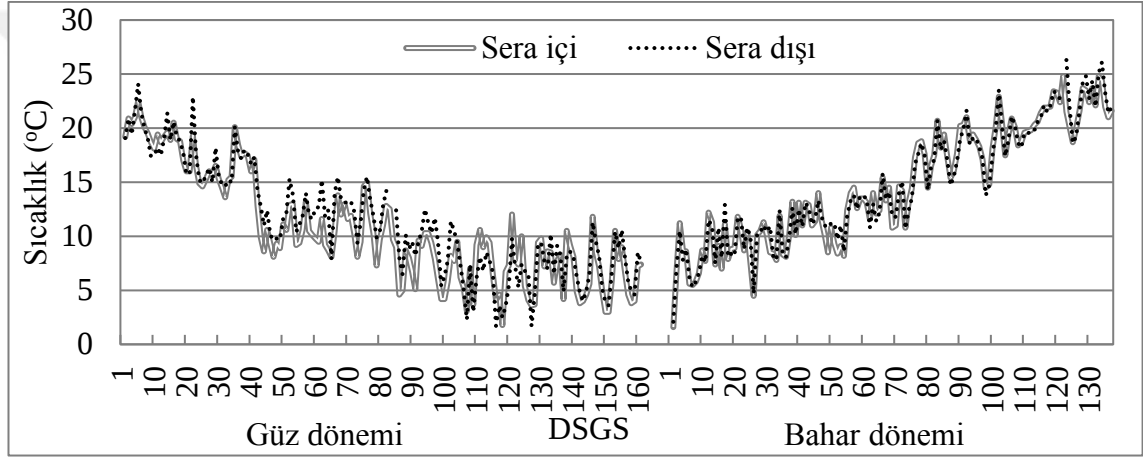
4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. İklimsel Değerlere İlişkin Bulgular

Sera içinde ve dışında ölçülen her bir iklim parametresi ayrı ayrı değerlendirilmiş ve büyüme mevsimi içindeki günlük değişimleri grafiklerle gösterilmiştir. Grafiklerin ordinat ekseninde iklimsel parametre apsis ekseninde ise dikimden sonraki gün sayısı (DSGS) gösterilmiştir. Grafiklerde DSGS-1, güz yetiştirme döneminde 14.09.2018 tarihine, bahar yetiştirme döneminde ise 01.03.2019 tarihine karşılık gelmektedir.

4.1.1. Minimum sıcaklık (T_{min})

Sera içi ve dışında güz ve bahar yetiştirme dönemleri boyunca ölçülen minimum sıcaklık (T_{min}) değerleri Şekil 4.1’de, bu söz konusu değerlere ilişkin tanımlayıcı istatistiksel bilgiler ise Çizelge 4.1’de verilmiştir.



Şekil 4.1. Sera içi ve dışında güz ve bahar döneminde ölçülen minimum sıcaklık (T_{min}) değerleri

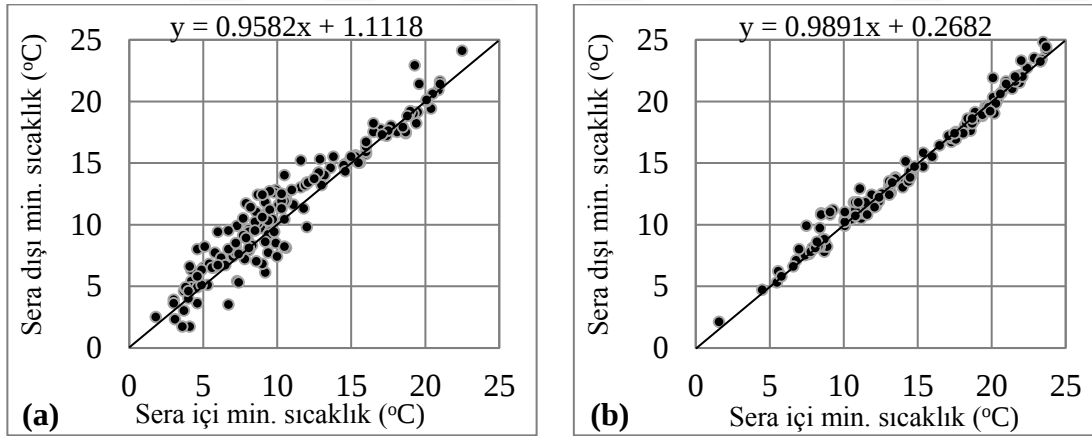
Çizelge 4.1. Sera içi ve dışında güz ve bahar döneminde ölçülen minimum sıcaklık (T_{min}) değerlerine ilişkin tanımlayıcı istatistik verileri

Tanımlayıcı istatistik verileri	Güz dönemi		Bahar dönemi	
	Sera içi	Sera dışı	Sera içi	Sera dışı
Ortalama (°C)	10.7	11.4	14.7	14.8
En büyük değer (°C)	22.5	24.1	24.8	26.3
En küçük değer (°C)	1.8	1.7	1.6	2.1

Şekil 4.1 ve Çizelge 4.1’den de anlaşılacağı üzere sera içi ve sera dışı minimum sıcaklıkları (T_{min}) birbirine yakındır. Güz döneminde sera içi günlük ortalama minimum sıcaklık 10.7 °C iken bahar döneminde 14.7 olarak ölçülmüştür. Güz döneminde sera içi sıcaklığı en az 1.8 °C’ye kadar düşerken bahar döneminde 1.6 °C’ye kadar düşmüştür. Kısa süreler için gerçekleşen bu sıcaklık düşüşleri bitkilere zarar vermemiştir. Nitekim sera içi sıcaklığının domates bitkisinde -2,-3 °C’ye, patlıcan bitkisinde -1, -2 °C’ye, biber bitkisinde -2,-3 °C’ye ve hıyar bitkisinde 0 °C’ye kadar düşmesi sonucunda bitkilerin

donarak ölebileceği bildirilmiştir (MEGEP 2007, 2008a, 2008b, 2008c). Çok düşük sıcaklıkların Calvin-Benson fotosentez döngüsünü engelleyerek radyasyon Emilimini bozduğu bilinmektedir (Rabbi vd. 2019). Sıcaklığın 15 °C'nin altına düşmesi durumunda, bitkide gelişim yavaşlar, meyvenin olgunlaşması gecikir ve verim önemli düzeyde azalır (MEGEP 2007, 2008a, 2008b, 2008c). Baytorun ve Zaimoglu (2018) Akdeniz kıyı şeridinde günlük ortalama sıcaklığın 7 °C'nin altına düşmemesinden dolayı düşük teknoloji seraların düzenli olarak ısıtılmadığını, sıcaklığın çok düşük olması durumunda, serada bulunan bitkilerin basit yöntemler kullanılarak dona karşı korunduğunu ifade etmişlerdir. Ayrıca ölçüm aldıkları süre boyunca sera içi minimum sıcaklığının sera dışına kıyasla daha fazla olduğu görülmektedir. Düşük teknoloji ısıtma sistemi olmayan bu serada yaptığımız çalışmada ise güz döneminin 45. ile 105. günü arasında sera içi minimum sıcaklığının sera dışı minimum sıcaklığından daha az olduğu belirlenmiştir. Benzer olarak Boulard vd. (2004) özellikle gece sera içi sıcaklığının sera dışına kıyasla 3.1 °C daha düşük olduğunu saptamışlardır. Baytorun ve Zaimoglu (2018) özellikle geceleri sera içi sıcaklığının sera dışı sıcaklığın altına düşmesinin Akdeniz bölgesinde ısıtma sistemine sahip olmayan plastik örtülü seraların ana sorunlardan biri olduğunu söylemişlerdir. Her iki çalışmada da plastik sera örtüsünün belirli bir bant üzerindeki uzun dalga boylu ışınları yüksek oranda iletmesini bu duruma neden olarak göstermişlerdir. Nitekim yaptığımız çalışmada minimum sıcaklık değerleri gün doğumundan hemen önce elde edilmiştir. Hita vd. (2007) benzer iklime sahip İspanya'nın Granada ilinde yaptıkları çalışmada düşük teknoloji fakat ısıtma sistemine sahip serada sera içi sıcaklığının 8.7 °C'ye kadar düştüğünü bildirmişlerdir.

Sera içi ve dışında güz ve bahar döneminde ölçülen minimum sıcaklıklar (T_{min}) arasındaki ilişki Şekil 4.2'de ve ilişkinin performans kriterleri Çizelge 4.2'de verilmiştir.



Şekil 4.2. Sera içi ve dışında güz (a) ve bahar (b) döneminde ölçülen minimum sıcaklık (T_{min}) değerleri arasındaki ilişki

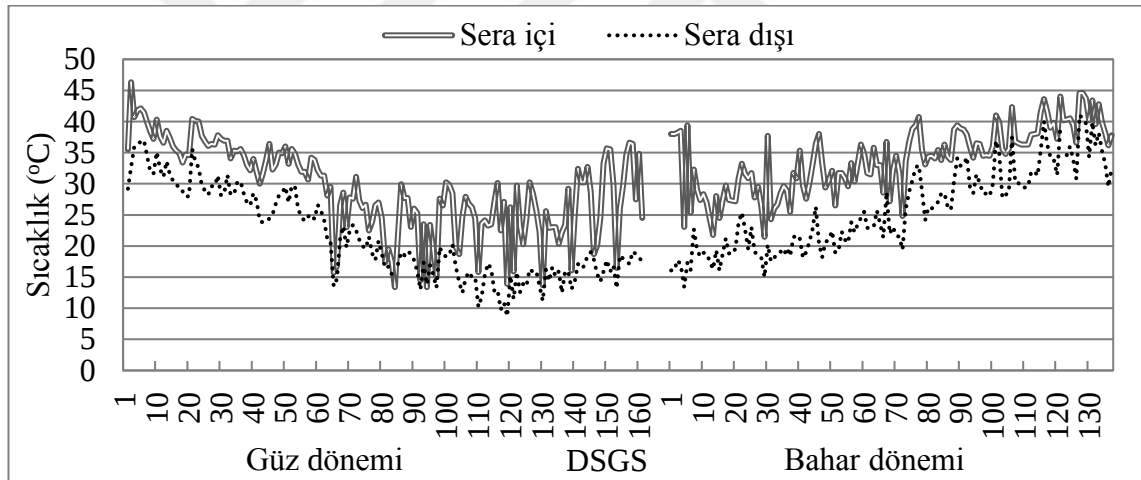
Çizelge 4.2. Sera içi ve dışında güz ve bahar döneminde ölçülen, minimum sıcaklık (T_{min}) değerleri arasındaki ilişki ile ilgili istatistiksel bilgiler

Parametre	R^2	NSE	d_w
Güz dönemi	0.92	0.90	0.97
Bahar dönemi	0.98	0.98	0.99

Çizelge 4.2’den de anlaşılacağı üzere bu çalışmada hem güz hem de bahar yetiştirme döneminde sera içi ve dışında ölçülen günlük minimum sıcaklıkları arasında çok kuvvetli bir ilişki (R^2 , NSE ve d_w değerleri ‘1’ değerine çok yakın) vardır. Gavilán vd. (2015)’de benzer koşullarda yaptıkları çalışmada sera içi ve dışı minimum sıcaklıkları arasında yüksek ilişki ($R^2=0.95$) belirlemişlerdir. Yine Çizelge 4.2’den görüleceği gibi, havalandırma pencerelerinin bahar dönemine kıyasla daha çok kapatıldığı güz döneminde sera içi ve dışı minimum sıcaklık değerleri arasında daha zayıf bir ilişki elde edilmiştir. Bu durum sera içi minimum sıcaklığının sera dışına kıyasla daha düşük olmasından kaynaklanmaktadır. Bu durum sera içi minimum sıcaklığının sera dışına kıyasla daha düşük olmasından kaynaklanmaktadır. Yüksek tünel tipi serada benzer sonuçlara ulaşan Boulard vd. (2004), havalandırması kapalı seranın iç sıcaklığının dış sıcaklığa kıyasla ortalama 1.7 °C daha düşük olduğunu belirlerken, havalandırması açık serada ise 0.8 °C daha düşük olduğunu belirlemişlerdir. Araştırmacılar, bu durumu, havalandırması kapalı serada, sera içi ve dışı arasındaki konvektif ısı transferinin azalmasıyla açıklamışlardır.

4.1.2. Maksimum sıcaklık (T_{mak})

Sera içi ve dışında güz ve bahar yetiştirme dönemleri boyunca ölçülen maksimum sıcaklık (T_{mak}) değerleri Şekil 4.3’de, bu söz konusu değerlere ilişkin tanımlayıcı istatistiksel bilgiler ise Çizelge 4.3’de verilmiştir.



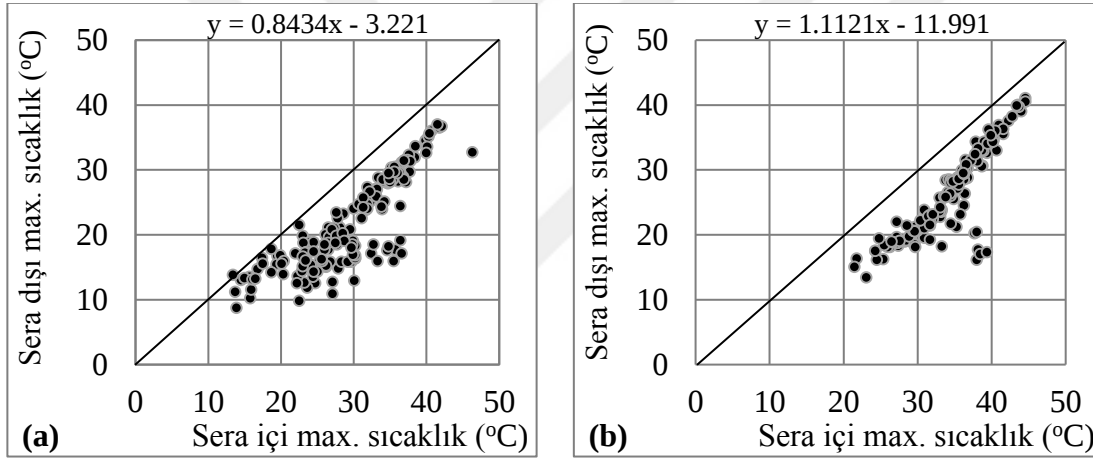
Şekil 4.3. Sera içi ve dışında güz ve bahar döneminde ölçülen maksimum sıcaklık (T_{mak}) değerleri

Çizelge 4.3. Sera içi ve dışında güz ve bahar döneminde ölçülen maksimum sıcaklık (T_{mak}) değerlerine ilişkin tanımlayıcı istatistik verileri

Tanımlayıcı istatistik verileri	Güz dönemi		Bahar dönemi	
	Sera içi	Sera dışı	Sera içi	Sera dışı
Ortalama (°C)	29.1	21.4	34.0	25.8
En büyük değer (°C)	46.3	37.0	44.6	41.0
En küçük değer (°C)	13.4	8.7	21.5	13.4

Şekil 4.3 ve Çizelge 4.3 incelendiğinde sera içinde kaydedilen maksimum sıcaklıkların (T_{mak}) sera dışına kıyasla çok daha fazla olduğu görülmektedir. Güz döneminde sera içi sıcaklığının en fazla 46.3 °C'ye bahar döneminde ise 41.0 °C'ye kadar çıktığı belirlenmiştir. Benzer bulguya ulaşan Pires vd. (2011) sera içi sıcaklığının maksimum 41.3 °C'ye kadar çıktığını saptamışlardır. Şekil 4.3'de açıkça görülmese de maksimum sıcaklıkların gündüz 10:00-14:00 saatleri arasında meydana geldiği gözlemlenmiştir. Nitekim Omid ve Shafaei (2005), 7 Aralık 2003 günü saat 10:00-12:00 arasında Akdeniz iklimine sahip Karaj şehrinde yaptıkları araştırmada, sera dış sıcaklığının sera iç sıcaklığına kıyasla daha az olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Roupheal vd. (2010) benzer iklim koşullarında fakat havalandırma sistemine sahip plastik serada maksimum hava sıcaklığını 37.5 °C olarak belirlemişlerdir. Güney Afrika'da güneşli bir kış gününde sera içi ve sera dışı sıcaklıkları karşılaştıran Smith vd. (1984), gündüz 07:00-16:00 saatleri arasında sera içinin sera dışına kıyasla daha sıcak olduğunu gece 24:00 ile sabah 07:00 arasında ise daha soğuk olduğunu bildirmişlerdir.

Sera içi ve dışında güz ve bahar döneminde ölçülen maksimum sıcaklıklar arasındaki ilişki Şekil 4.4'de ve ilişkinin performans kriterleri Çizelge 4.4'de verilmiştir.



Şekil 4.4. Sera içi ve dışında güz (a) ve bahar (b) döneminde ölçülen maksimum sıcaklık (T_{mak}) değerleri arasındaki ilişki

Çizelge 4.4. Sera içi ve dışında güz ve bahar döneminde ölçülen, maksimum sıcaklık (T_{mak}) değerleri arasındaki ilişki ile ilgili istatistiksel bilgiler

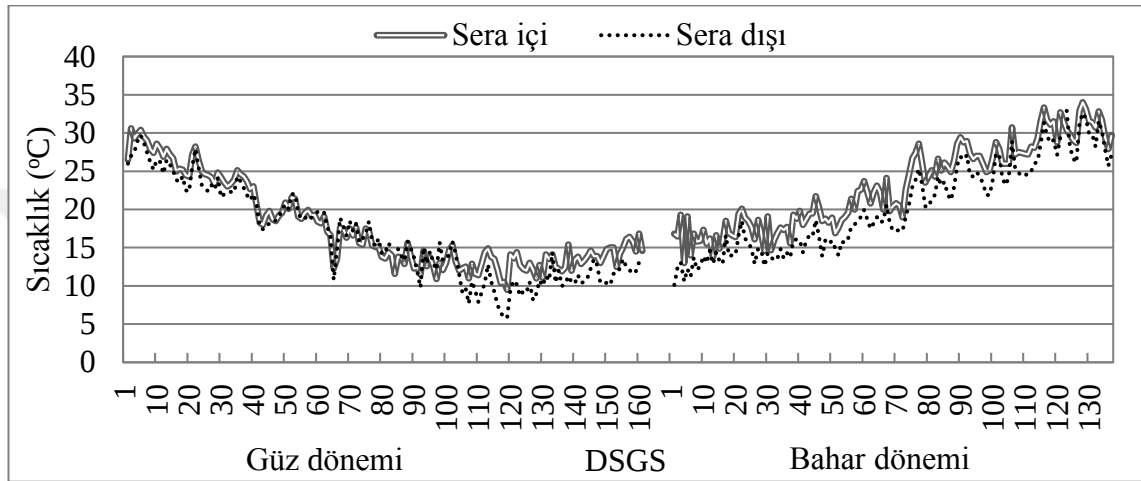
Parametre	R^2	NSE	d_w
Güz Dönemi	0.71	-0.557	0.71
Bahar Dönemi	0.75	-0.735	0.65

Sera içi ve dışı maksimum sıcaklıkları (T_{mak}) arasında R^2 değerleri incelendiğinde güz döneminde normal, bahar döneminde ise kuvvetli bir ilişki belirlenmiştir (Şekil 4.4 ve Çizelge 4.4). Buna karşı hesaplanan d_w ve NSE değerleri ise güz döneminde ölçülen maksimum sıcaklıklar arasındaki ilişkinin daha iyi olduğunu göstermektedir. Sera içi ve dışı maksimum sıcaklıkları arasındaki ilişkiye benzer bir sonuç ($R^2=0.74$) Gavilán vd. (2015) tarafından yapılan çalışmada da elde edilmiştir.

4.1.3. Ortalama sıcaklık (T_{ort})

Sıcaklık, çimlenme, vejetatif büyüme, çiçeklenme ve meyve olgunlaşması gibi bitki büyüme döngülerinin tüm aşamalarını etkileyen başlıca çevresel faktördür. Ayrıca fotosentez, terleme ve enzimatik aktiviteler de dahil olmak üzere birçok biyokimyasal ve fizyolojik işlevi de etkilemektedir (Rabbi vd. 2019).

Sera içi ve dışında güz ve bahar yetiştirme dönemleri boyunca ölçülen ortalama sıcaklık (T_{ort}) değerleri Şekil 4.5’de, bu söz konusu değerlere ilişkin tanımlayıcı istatistiksel bilgiler ise Çizelge 4.5’de verilmiştir.



Şekil 4.5. Sera içi ve dışında güz ve bahar döneminde ölçülen ortalama sıcaklık (T_{ort}) değerleri

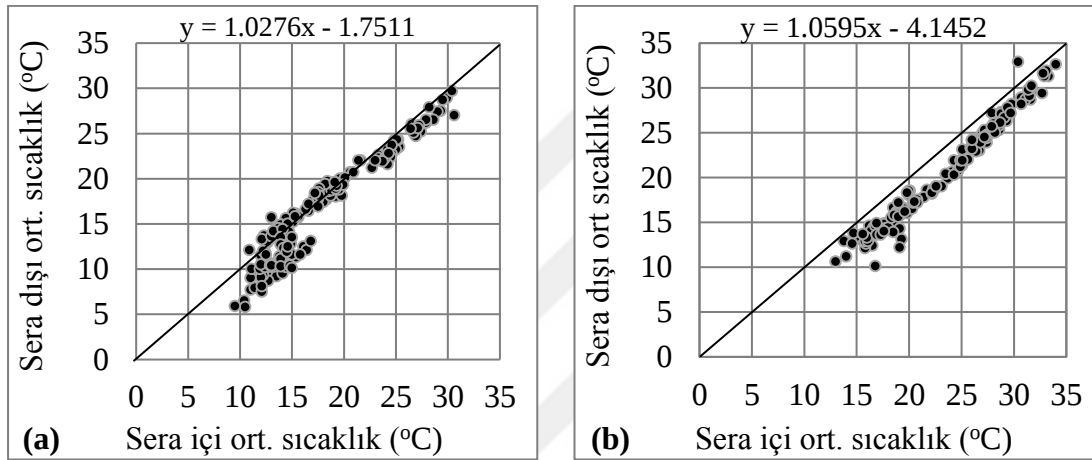
Çizelge 4.5. Sera içi ve dışında güz ve bahar döneminde ölçülen ortalama sıcaklık (T_{ort}) değerlerine ilişkin tanımlayıcı istatistik verileri

Tanımlayıcı istatistik verileri	Güz dönemi		Bahar dönemi	
	Sera içi	Sera dışı	Sera içi	Sera dışı
Ortalama (°C)	17.6	16.3	23.1	20.3
En büyük değer (°C)	30.6	29.7	34.0	32.9
En küçük değer (°C)	9.5	5.8	13.0	10.1

Havanın nispeten daha soğuk olduğu güz döneminin sonunda ve bahar döneminin başında sera içi ve sera dışı ortalama sıcaklıkları arasında farklılık meydana gelmiştir (Şekil 4.5). Güz ve bahar döneminde sera içi ortalama sıcaklıklar sırasıyla 17.6 ve 23.1 °C olarak ölçülmüştür (Çizelge 4.5). Baytorun ve Zaimoglu (2018) seralarda yetiştirilen ürünlerin 32 °C'nin üzerindeki sıcaklıklarda strese maruz kaldığını bildirmişlerdir. Bu çalışmada farklı günlerde sera içinde kaydedilen maksimum sıcaklıklar 32 °C üstüne çıksa da (Şekil 4.3 ve Çizelge 4.3), ortalama sıcaklıkların bahar döneminin son bölümündeki 2 gün hariç 32 °C üstüne çıkmadığı belirlenmiştir. Sera dışına kıyasla sera içi ortalama sıcaklığı güz döneminde 1.3 °C, bahar döneminde ise 2.8 °C daha fazladır (Çizelge 4.5). Harmanto vd. (2005) sera koşullarında yaptıkları çalışmada seranın içindeki ortalama hava sıcaklığının sera dışından 2-3 °C daha serin olduğunu belirterek

sera içi ve dışı ortalama sıcaklığın neredeyse aynı olduğunu yorumunu yapmışlardır. Güz döneminde sera içi ortalama sıcaklığı en küçük 9.5 °C ölçülürken bahar döneminde bu değer 13.0 °C olarak ölçülmüştür. Domates, patlıcan, biber ve hıyar bitkilerinde 15 °C'nin altı ve 35 °C'nin üzerindeki sıcaklıklarda büyümenin yavaşlaması, çiçek ve meyve teşekkülünde aksamalar oluşması, polen ve yumurta çekirdeklerindeki bölünme aksaklıkları sonucu cansız polen ve yumurta oluşumunun artması gibi nedenlerle verimde azalmalar meydana geldiği bildirilmiştir (Şalk vd. 2008). Nitekim ısıtmasız ve doğal havalandırılmalı serada yürütülen bu araştırmada literatür bulgularıyla uyumlu olarak güz ve bahar döneminde farklı düzeyde verim değerleri elde edilmiştir.

Sera içi ve dışında güz ve bahar döneminde ölçülen ortalama sıcaklıklar (T_{ort}) arasındaki ilişki Şekil 4.6'da ve ilişkinin performans kriterleri Çizelge 4.6'da verilmiştir.



Şekil 4.6. Sera içi ve dışında güz (a) ve bahar (b) döneminde ölçülen ortalama sıcaklık (T_{ort}) değerleri arasındaki ilişki

Çizelge 4.6. Sera içi ve dışında güz ve bahar döneminde ölçülen, ortalama sıcaklık (T_{ort}) değerleri arasındaki ilişki ile ilgili istatistiksel bilgiler

Parametre	R^2	NSE	d_w
Güz Dönemi	0.92	0.88	0.97
Bahar Dönemi	0.97	0.75	0.94

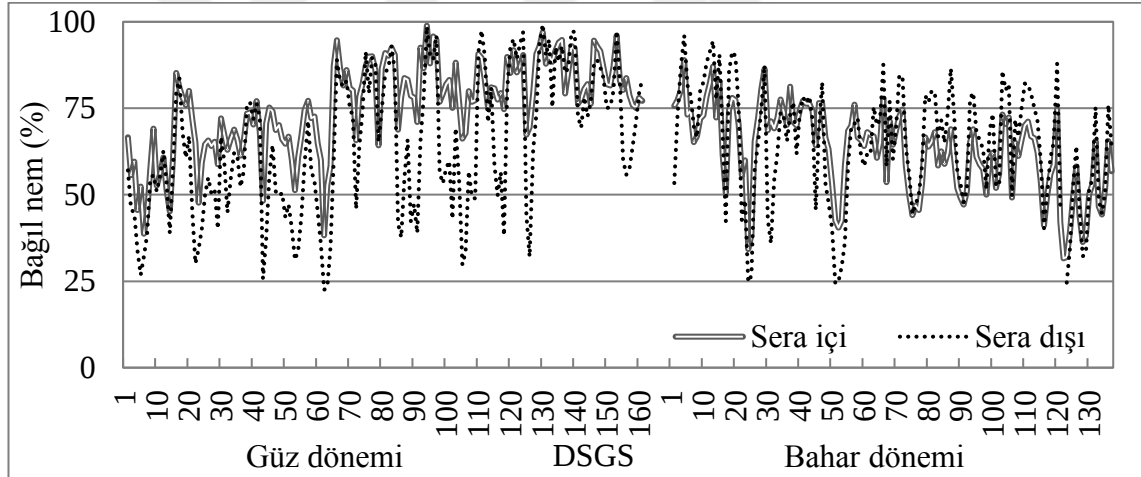
Şekil 4.6 ve Çizelge 4.6'daki R^2 değerleri incelendiğinde hem güz ve hem de bahar yetiştirme döneminde sera içi ve dışında ölçülen ortalama sıcaklık değerleri arasında çok kuvvetli bir ilişki belirlenmiştir. Fakat NSE ve d_w değerlerinin 1.0 değerine daha yakın olmasından dolayı güz dönemindeki sera içi ve dışında ölçülen ortalama sıcaklık değerleri arasında daha iyi bir ilişki olduğu görülmektedir. Benzer koşullarda yapılan başka bir çalışmada Gavilán vd. (2015), sera içi ve dışında ölçülen ortalama sıcaklık değerleri arasında çok kuvvetli bir ilişki ($R^2=0.96$) belirtmişlerdir. Nemli subtropikal iklimli Ludhiana şehrinde 1 Kasım ile 31 Mayıs arasında Mahajan ve Singh (2006) tarafından yapılan çalışmada sera içi ve sera dışı ortalama sıcaklıkların arasında çok kuvvetli ilişki ($R^2=0.98$) olduğu görülmüştür. Ayrıca araştırmacılar sonbahar ve kış mevsiminde sera dışına kıyasla sera içi sıcaklığının 2.9 ile 4.4 °C, ilkbahar mevsiminde ise 1.1 ile 2.2 °C daha sıcak olduğunu belirlemişlerdir. Çizelge 4.6'dan görüleceği gibi bu

çalışmada da hem güz ve hem de bahar yetiştirme dönemlerinde sera içi ortalama sıcaklığının daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Ortalama sıcaklıkların gece ve gündüz sıcaklık değerlerinin tümünü kapsaması nedeniyle Şekil 4.6'dan anlaşılmamakla birlikte, gün doğumu ile gün batımı arasında sera içi ve dışı sıcaklıkları arasında daha büyük farklılıklar bulunmaktadır. Sera içi ve sera dışı maksimum sıcaklık değerleri incelendiğinde bu bulgu doğrulanabilmektedir (Şekil 4.3 ve Çizelge 4.3). Bölgedeki genel uygulamaya paralel olarak, sera içi sıcaklığını düşürmek amacıyla solar radyasyonun artmaya başladığı dönemde (DSGS 88. günde) gölge tozu uygulaması yapılmıştır. Nitekim Eliades (1988), ortalama sera içi sıcaklığının rüzgar hızı ve solar radyasyon ile doğrudan ilişkili olduğunu bildirmiştir.

4.1.4. Bağıl nem (RH)

Buhar basıncı açığı (VPD), bitkilerde terleme için itici güçtür ve ortam sıcaklığındaki değişimle üssel olarak değişmektedir. Düşük bağıl nem (RH) ve yüksek sıcaklık VPD'nin ve ET'nin artmasına neden olmaktadır (Rabbi vd. 2019).

Sera içi ve dışında güz ve bahar yetiştirme dönemleri boyunca ölçülen ortalama bağıl nem (RH) değerleri Şekil 4.7'de, bu söz konusu değerlere ilişkin tanımlayıcı istatistiksel bilgiler ise Çizelge 4.7'de verilmiştir.



Şekil 4.7. Sera içi ve dışında güz ve bahar döneminde ölçülen ortalama bağıl nem (RH) değerleri

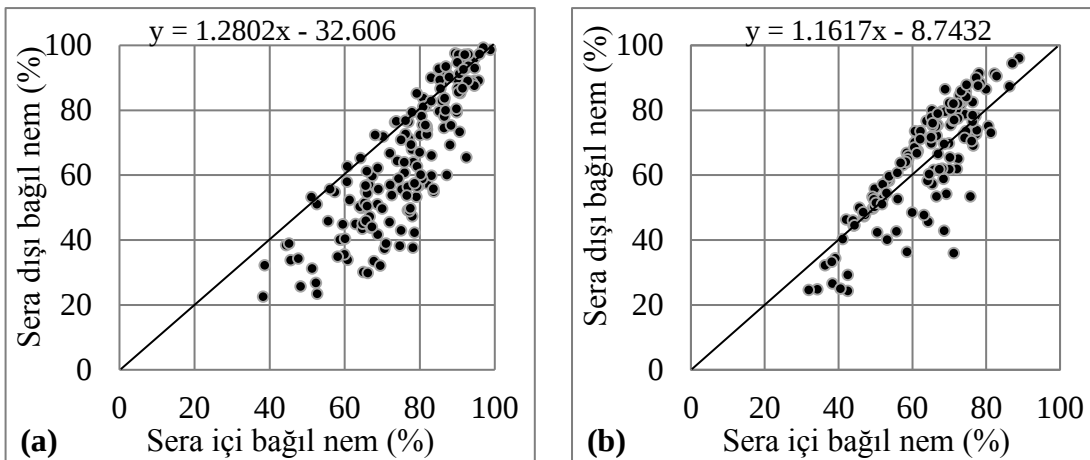
Çizelge 4.7. Sera içi ve dışında güz ve bahar döneminde ölçülen ortalama bağıl nem (RH) değerlerine ilişkin tanımlayıcı istatistik verileri

Tanımlayıcı istatistik verileri	Güz dönemi		Bahar dönemi	
	Sera içi	Sera dışı	Sera içi	Sera dışı
Ortalama (%)	75.8	64.5	62.9	64.6
En büyük değer (%)	98.9	99.3	88.9	96.0
En küçük değer (%)	38.3	22.5	31.6	24.3

Sera içi ve dışında ölçülen bağıl nem değerleri arasında farklılıklar olduğu görüldü de ölçülen değerlerin benzer eğilime sahip olduğu belirlenmiştir (Şekil 4.7). Sera içi rüzgar hızı ve seranın havalandırma koşulları, sera içindeki bağıl nem dahil bütün iklimsel parametreleri etkilemektedir (Ould Khaoua vd. 2006). Çizelge 4.7’den da görüleceği üzere güz döneminde sera içinde ölçülen bağıl nem daha fazla iken bahar döneminde sera dışındaki bağıl nem daha fazladır. Bu durum güz döneminin ortalarından itibaren (DSGS 70. gün) düşük seyreden hava sıcaklıkları nedeniyle havalandırma pencerelerinin kapatılması sonucu sera içi bağıl neminin yükselmesinden kaynaklanmaktadır. Her ne kadar çizelgede verilme de gün batımından sonra sıcaklığın aniden düşmesiyle bağıl nemin arttığı gözlemlenmiştir. Benzer bulgulara ulaşan Taki vd. (2018)’de gün batımı ile beraber güneşten gelen enerjinin kesilmesine bağlı olarak azalan sıcaklık nedeniyle sera içi bağıl nemin artacağını bildirmişlerdir. Isıtma sistemine sahip olan seralarda bu durum yaşanmamaktadır. Çok sayıda araştırmacı ısıtma sisteminin çalıştırılmasıyla gece boyunca sera içi bağıl nemin sera dışına kıyasla %10 ile %20 daha az olduğunu bildirmişlerdir (Kindelan 1980; Berroug vd. 2011; Taki vd. 2018). Harmanto vd. (2005) ise, havalandırma sistemi olan bir serada yürüttükleri çalışmada sera içi bağıl nemin sera dışına kıyasla %5 daha düşük olduğunu ve sera içi bağıl nem değerlerinin yaklaşık olarak %50 ile %95 arasında değiştiğini belirtmişlerdir.

Örtü altı yetiştiriciliğinde yüksek nemden dolayı mantari hastalık riski bulunmaktadır. Aşırı nemin neden olduğu hastalıklardan korumak amacıyla yetiştiriciler tarafından yaprak budaması uygulaması yaygın olarak yapılmaktadır (İldır ve Aktaş 2018). Bu nedenle, bu çalışmada da bölge yetiştiricilerinin yaptığı biçimde yaprak budama uygulaması yapılmıştır. Bitkilerin yüksek bağıl neme ve sürekli ışığa maruz kalması durumunda önemli bir bitki hormonu olan absisik asit (ABA) miktarının değiştiği ve bundan dolayı da bitkilerin stoma fonksiyonlarında azalma meydana geldiği bilinmektedir (Rabbi vd. 2019). Bu çalışmada sera içi nem kontrolü, havalandırma pencerelerinin açılması ve kapatılması suretiyle ayarlanmıştır. Havalandırmaların açılması, kapatılması ve açıklıklarının ayarlanması bölge yetiştiricilerinin uygulamalarıyla uyumlu olarak yapılmıştır.

Sera içi ve dışında güz ve bahar döneminde ölçülen ortalama bağıl nem değerleri arasındaki ilişki Şekil 4.8’de ve ilişkinin performans kriterleri Çizelge 4.8’de verilmiştir.



Şekil 4.8. Sera içi ve dışında güz (a) ve bahar (b) döneminde ölçülen ortalama bağıl nem (RH) değerleri arasındaki ilişki

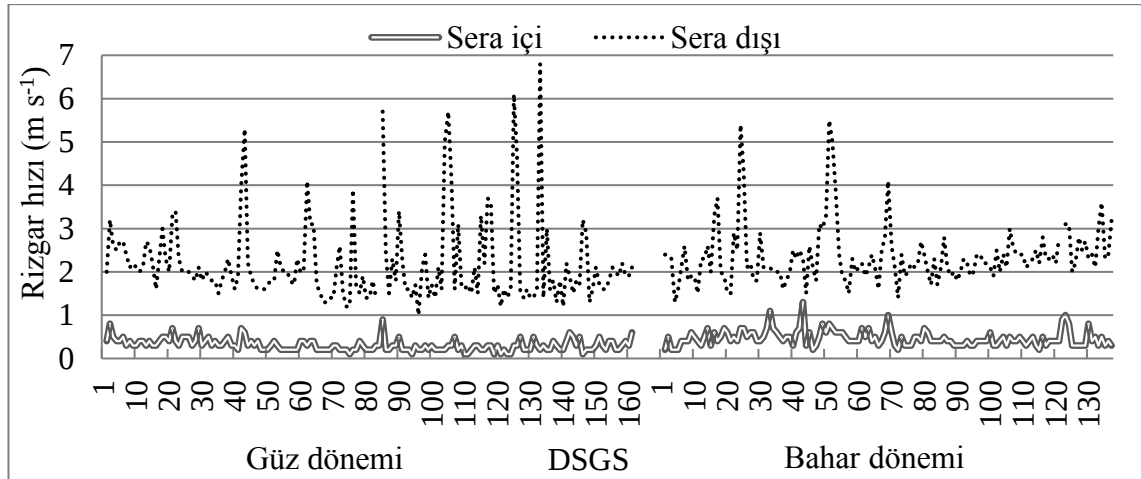
Çizelge 4.8. Sera içi ve dışında güz ve bahar döneminde ölçülen, ortalama bağıl nem (RH) değerleri arasındaki ilişki ile ilgili istatistiksel bilgiler

Parametre	R ²	NSE	d _w
Güz Dönemi	0.69	0.35	0.78
Bahar Dönemi	0.71	0.69	0.89

Çizelge 4.8’de verilen R² değerlerinden anlaşılacağı üzere sera içi ve dışından elde edilen bağıl nem değerleri arasında normal kuvvet derecesine sahip bir ilişki mevcuttur. NSE ve d_w değerleri açısından ise bahar döneminde elde edilen sera içi ve dışı bağıl nem değerleri arasında daha kuvvetli bir ilişki görülmektedir. Çünkü, daha önce bahsedildiği gibi, güz döneminde havalandırma pencerelerinin daha fazla süre kapalı kalması, sera içi bağıl neminin artmasına neden olmuştur. Bağıl nem, bitki verimi için önemli bir çevresel değişkendir. Çünkü yapraklarda meydana gelen terlemeye bağlı olarak bitki su dengesini etkilemektedir. Yüksek bağıl nem, terlemeyi sınırlandırarak bitkinin büyümesini ve bitki besin asimilasyonunun azalmasına neden olmaktadır (Ferrante ve Mariani 2018). Rabbi vd. (2019) serada yetiştirilen domates, patlıcan, biber ve hıyar bitkilerinin optimum nem isteklerinin, sırasıyla %50-%60, %65-%75, %60-%65 ve %80-%90 arasında değiştiğinin bildirmişlerdir. Önceki çalışmalardan da görüleceği üzere yaptığımız araştırmada yetiştirilen domates, patlıcan, biber ve hıyar bitkilerinin farklı bağıl nem istekleri bulunmaktadır. Ancak araştırmanın, havalandırma ve ısıtma sistemine sahip olmayan düşük teknoloji bir serada yürütülmesi bağıl nemin bitkilere göre ayrı ayrı ayarlanmasına olanak vermemiştir.

4.1.5. Ortalama rüzgar hızı (u)

Sera içi ve dışında güz ve bahar yetiştirme dönemleri boyunca ölçülen ortalama rüzgar hızı (u) değerleri Şekil 4.9’da, bu söz konusu değerlere ilişkin tanımlayıcı istatistiksel bilgiler ise Çizelge 4.9’da verilmiştir.



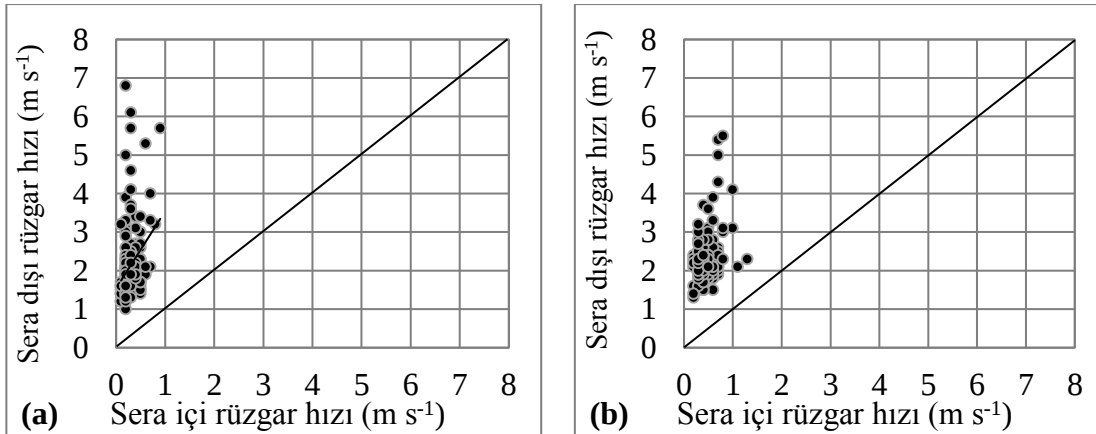
Şekil 4.9. Sera içi ve dışında güz ve bahar döneminde ölçülen ortalama rüzgar hızı (u) değerleri

Çizelge 4.9. Sera içi ve dışında güz ve bahar döneminde ölçülen ortalama rüzgar hızı (u) değerlerine ilişkin tanımlayıcı istatistik verileri

Tanımlayıcı istatistik verileri	Güz dönemi		Bahar dönemi	
	Sera içi	Sera dışı	Sera içi	Sera dışı
Ortalama (m s^{-1})	0.3	2.2	0.5	2.4
En büyük değer (m s^{-1})	0.9	6.8	1.3	5.5
En küçük değer (m s^{-1})	0.1	1.0	0.2	1.3

Şekil 4.9 ve Çizelge 4.9 incelendiğinde sera içi ortalama rüzgar hızının sera dışına kıyasla çok düşük olduğu görülmektedir. Güz döneminde sera içi ortalama rüzgar hızının 0.9 ile 0.1 m s^{-1} , bahar döneminde ise 1.3 ile 0.2 m s^{-1} arasında değiştiği belirlenmiştir. Zhang ve Lemeur (1992) Belçika’da yürüttükleri çalışmada sera içi ortalama rüzgar hızının 0.02 m s^{-1} olduğunu, Yan vd. (2018) ise, sera dışı rüzgar hızının 0.2 ile 7.7 m s^{-1} arasında değişirken, aynı zaman diliminde sera içi rüzgar hızının 0’a yakın olduğunu bildirmişlerdir. Güz ve bahar yetiştirme dönemleri kıyaslandığında, ortalama, en büyük ve en küçük rüzgar hızı değerlerinin bahar döneminde yüksek olduğu belirlenmiştir (Çizelge 4.9). Söz konusu durum, bahar döneminde artan sera içi sıcaklık nedeniyle havalandırma pencerelerinin açık tutulmasından kaynaklanmaktadır. Nitekim Lee ve Short (2001) sera dışı rüzgar hızı, rüzgar yönü ve seranın havalandırma açıklığının sera içi rüzgar hızını etkilediğini bildirmişlerdir.

Sera içi ve dışında güz ve bahar döneminde ölçülen ortalama rüzgar hızı (u) değerleri arasındaki ilişki Şekil 4.10’da ve ilişkinin performans kriterleri Çizelge 4.10’da verilmiştir.



Şekil 4.10. Sera içi ve dışında güz (a) ve bahar (b) döneminde ölçülen ortalama rüzgar hızı (u) değerleri arasındaki ilişki

Çizelge 4.10. Sera içi ve dışında güz ve bahar döneminde ölçülen, ortalama rüzgar hızı (u) değerleri arasındaki ilişki ile ilgili istatistiksel bilgiler

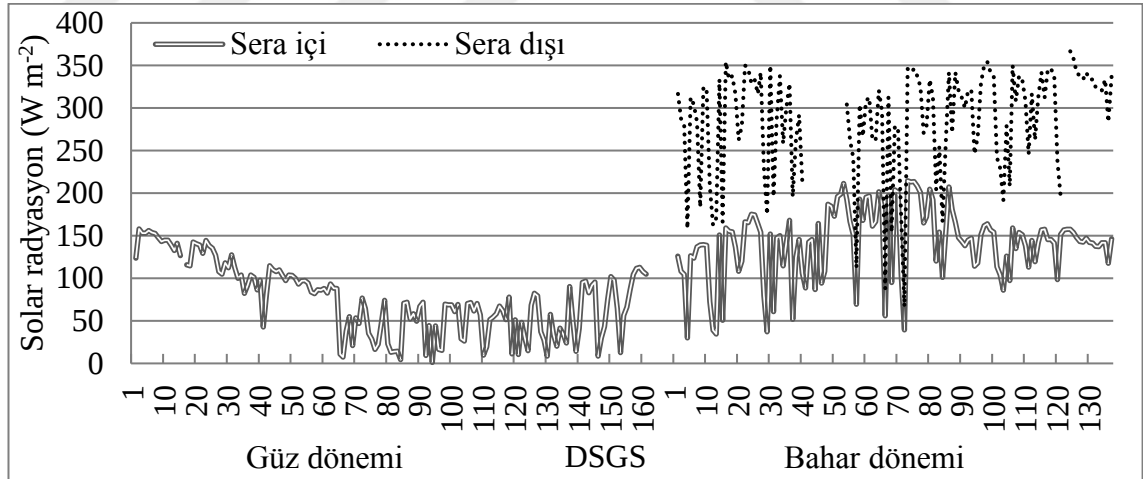
Parametre	R^2	NSE	d_w
Güz Dönemi	0.08	-3.62	0.10
Bahar Dönemi	0.14	-7.77	0.14

Şekil 4.10 ve Çizelge 4.10 incelendiğinde, beklenildiği gibi sera içi ve dışındaki rüzgar hızları (u) arasında anlamlı olmayan çok zayıf ilişki belirlenmiştir. Wang vd. (1999a) havalandırmanın kapalı olması durumunda sera içi rüzgar hızının 0.1 m s^{-1} 'den daha küçük olduğunu ve sera dışı rüzgar hızı ile ilişkisi olmadığını belirtirlerken, havalandırmanın açık olması durumunda ise sera içi rüzgar hızının sera dışı rüzgar hızı ve çatı havalandırma açıklığı ile kuvvetli bir ilişkiye sahip olduğunu ileri sürmüşlerdir. Araştırmacılar ayrıca, rüzgar hızının seralarda ısı ve kütle transferini etkileyen önemli iklimsel parametrelerden biri olduğunu bildirmişlerdir. Bu nedenle örtü altı koşullarında ET tahmini için geliştirilen eşitliklerde rüzgar hızı parametresi kullanılmaktadır. Özellikle r_a değerinin belirlenmesinde kullanılan tüm yöntemlerde rüzgar hızı değerine ihtiyaç vardır. Nitekim bazı araştırmacılar rüzgar hızı ve bitki yüzey pürüzlülüğünün aerodinamik direnci etkilediğini bildirmişlerdir (Allen vd. 1998; Alves vd. 1998; Kjelgaard ve Stockle 2001). Ayrıca bazı boyutsuz grup sayılarının belirlenmesi içinde rüzgar hızı değerlerine ihtiyaç duyulmaktadır (Roy vd. 2002).

4.1.6. Ortalama solar radyasyon (R_s)

Güneş enerjisi, bitkinin metabolizması, büyümesi ve gelişmesi için hayati öneme sahiptir. Düşük güneş radyasyonu seviyeleri bitki fotosentezini ve solunumunu azaltır, bu da çeşitli bitki patojenlerine duyarlılığı artırabilir (Rabbi vd. 2019).

Sera içi ve sera dışından ölçülen solar radyasyon (R_s) değerleri Şekil 4.11'de verilmiştir. Güz döneminde ve bahar döneminin bazı günlerinde sera dışındaki MGM'ye ait iklim istasyonundan veri elde edilememiştir (Şekil 4.11). Bu nedenle tanımlayıcı istatistik bilgilerin verildiği Çizelge 4.11 mevcut verilerden elde edilmiştir.



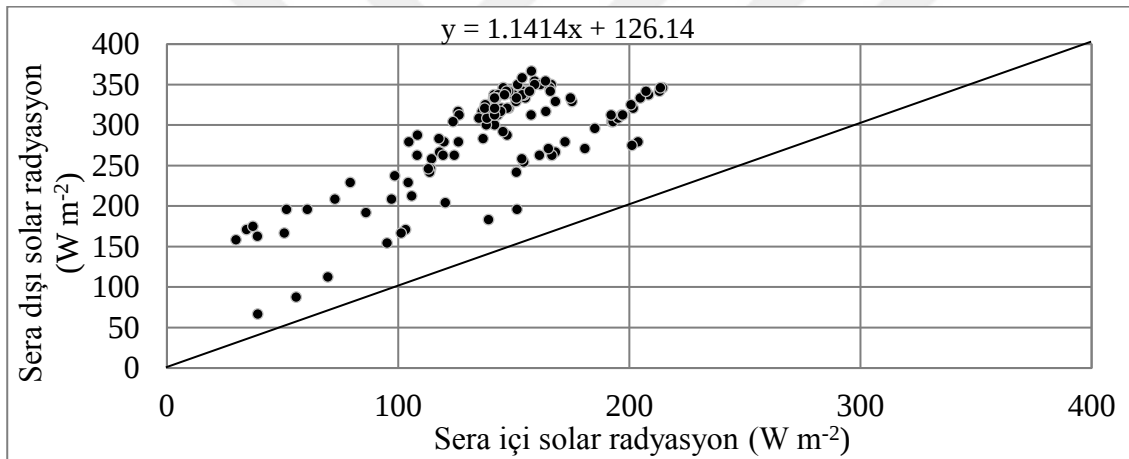
Şekil 4.11. Sera içi ve dışı güz ve bahar döneminde ölçülen ortalama solar radyasyon (R_s) değerleri

Çizelge 4.11. Sera içi ve dışında güz ve bahar döneminde ölçülen ortalama solar radyasyon (R_s) değerlerine ilişkin tanımlayıcı istatistik verileri

Tanımlayıcı istatistik verileri	Güz dönemi		Bahar dönemi	
	Sera içi	Sera dışı	Sera İçi	Sera dışı
Ortalama ($W m^{-2}$)	75.3	-	142.0	286.7
En büyük değer ($W m^{-2}$)	157.9	-	214.5	366.7
En küçük değer ($W m^{-2}$)	1.2	-	29.9	66.7

Sera içinde ortalama solar radyasyon değerleri güz döneminde $75.3 W m^{-2}$ ve bahar döneminde $142.0 W m^{-2}$ olarak belirlenmiştir (Şekil 4.11 ve Çizelge 4.11). Bahar döneminde sera dışında ölçülen en yüksek solar radyasyon $366.7 W m^{-2}$ sera içinde ise $214.5 W m^{-2}$ olmuştur.

Sera içi ve dışında ölçülen ortalama solar radyasyon (R_s) değerleri arasındaki ilişki Şekil 4.12’de gösterilmiş, söz konusu ilişkiye ilişkin istatistiki bilgi ise Çizelge 4.12’de verilmiştir.



Şekil 4.12. Sera içi ve dışında bahar döneminde ölçülen ortalama solar radyasyon (R_s) değerleri arasındaki ilişki

Çizelge 4.12. Sera içi ve dışında bahar döneminde ölçülen, ortalama solar radyasyon (R_s) değerleri arasındaki ilişki ile ilgili istatistiksel bilgiler

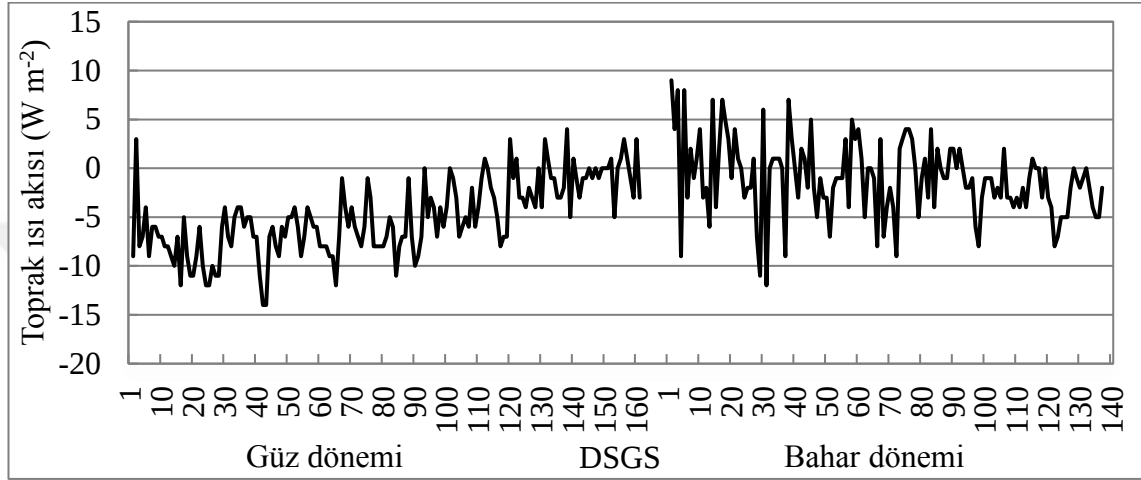
Parametre	R^2	NSE	d_w
Bahar Dönemi	0.55	-4.911	0.32

Şekil 4.12 ve Çizelge 4.12 incelendiğinde görüleceği gibi sera içinde ve dışında ölçülen solar radyasyon değerleri arasında normal kuvvet derecesine sahip bir ilişki vardır. Bunun nedenlerinden birinin gölge tozu uygulaması olduğu düşünülmektedir. Ölçülen verilerden sera örtüsünün ortalama ışık geçirgenliğinin %51 olduğu belirlenmiştir. Yan vd. (2018) de serada yetiştirilen hıyar bitkisinin ET değerini belirlemek amacıyla yaptıkları çalışmada benzer sonuca (sera örtüsü ışık geçirgenliği %50) ulaşmışlardır. Fernández vd. (2010) yine Akdeniz iklim koşullarında benzer bir

serada ışık geçirgenliğini ortalama %56 olarak belirlemişlerdir. Al Mamun Hossain vd. (2017) ise bulutsuz günlerde yaptıkları ölçümlerde sera örtüsünün ışık geçirgenliğini %75 olarak saptamışlardır.

4.1.7. Ortalama toprak ısı akısı (G)

Sera içinde enerji dengesinin parametrelerinden bir olan toprak ısı akısının (G) güz ve bahar yetiştirme dönemlerindeki günlük değişimleri Şekil 4.13’de, bu verilere ilişkin tanımlayıcı istatistiksel bilgiler ise Çizelge 4.13’de gösterilmiştir.



Şekil 4.13. Sera içinde güz ve bahar dönemlerinde ölçülen ortalama toprak ısı akısı (G) değerleri

Çizelge 4.13. Sera içinde güz ve bahar dönemlerinde ölçülen ortalama toprak ısı akısı (G) değerlerine ilişkin tanımlayıcı istatistik verileri

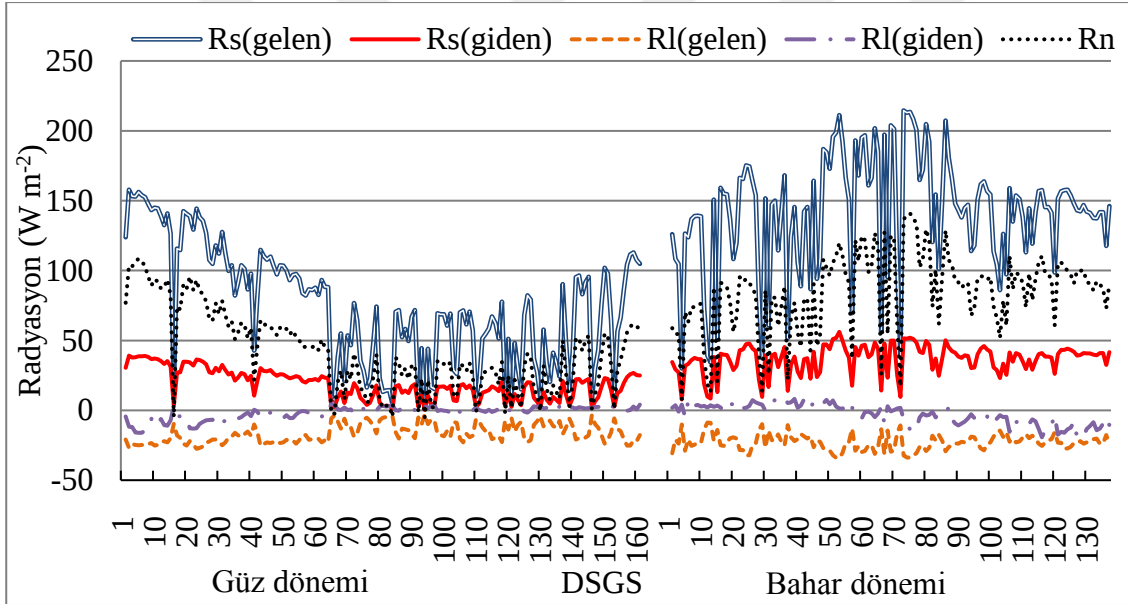
Tanımlayıcı istatistik verileri	Güz dönemi	Bahar dönemi
Ortalama ($W m^{-2}$)	-5.0	-1.0
En büyük değer ($W m^{-2}$)	4.0	9.0
En küçük değer ($W m^{-2}$)	-14.0	-12.0

Şekil 4.13 ve Çizelge 4.13 incelendiğinde güz ve bahar döneminde meydana gelen ortalama toprak ısı akısı değerleri arasında önemli bir farklılık bulunmamaktadır. Güz döneminde elde edilen toprak ısı akısı (G) değerleri $4 W m^{-2}$ ile $-14 W m^{-2}$ arasında değişirken, bahar döneminde $9 W m^{-2}$ ile $-12 W m^{-2}$ arasında değişmiştir. Sonuçlardan da görüleceği üzere toprak ısı akısı (G) enerji dengesinin diğer parametrelerine kıyasla küçük değerlere sahiptir. Nitekim Stanghellini (1987) ve Allen vd. (1998) topraktan olan ısı akısını ihmal edilebileceğini bildirirken Jackson vd. (1988) ise açıkta yetiştiricilik durumunda G’nin net radyasyon değerinin %10’u olarak alınabileceğini ve bunun da bitki su tüketimini önemli derecede etkilemeyeceğini bildirmişlerdir. Takakura vd. (2009) ise G’nin ihmal edilebileceğini, ancak enerji dengesindeki diğer parametrelerin ise ihmal edilemeyeceği sonucuna ulaşmışlardır. Sauer ve Horton (2005) ise enerji dengesi eşitliğinde G değerinin kullanılmamasının ET’nin belirlenmesinde hatalara neden olduğunu ileri sürmüşlerdir. G değerinin, yoğun bitki örtüsü ve ıslak alanlarda küçük,

seyrek bitki örtüsü ve kurak alanlarda ise büyük miktarlara ulaştığı bilinmektedir (Purdy vd. 2016). Öte yandan, Idso vd. (1975) R_n ile G arasında kuvvetli ilişki olduğunu saptamışlardır. Bu çalışmada ise R_n ile G arasındaki ilişki incelenmese de gün doğumu ve gün batımı arasında G değerinin pozitif olduğu (toprağın ısındığı), gece ise G değerinin negatif olduğu (toprağın ısı kaybettiği) belirlenmiştir. Yine burada verilmeyen saatlik G 'nin değişimi incelendiğinde, en yüksek değer 12:00 ile 14:00 saatleri arasında, en düşük değer ise gün doğumundan hemen önce elde edilmiştir. Ayrıca güz dönemi boyunca ortalama G 'nin bahar dönemine kıyasla 4 W m^{-2} daha az olduğu belirlenmiştir. Ayrıca DSGS 88. günde yapılan gölge tozu uygulaması sonrası G değerinin azaldığı gözlemlenmiştir.

4.1.8. Sera içi günlük ortalama enerji bütçesi

Serada bulunan net radyometre sensörü ile ölçülen değerlerin kullanılmasıyla oluşturulan günlük ortalama enerji bütçesinin unsurları Şekil 4.14'de verilmiştir. Enerji bütçesini oluşturan tüm parametrelerin tanımlayıcı istatistik bilgileri ise Çizelge 4.14'de gösterilmiştir.



Şekil 4.14. Güz ve bahar döneminde sera içi enerji bütçesi unsurlarının değişimi ($R_{s(gelen)}$, gelen kısa dalga boylu radyasyon; $R_{s(giden)}$, yansıyan kısa dalga boylu radyasyon; $R_{l(gelen)}$, gelen uzun dalga boylu radyasyon; $R_{l(giden)}$, yansıyan uzun dalga boylu radyasyon ve R_n , net radyasyon)

Çizelge 4.14. Sera içi enerji bütçesi unsurlarını oluşturan parametrelere ait tanımlayıcı istatistik verileri ($R_{s(gelen)}$, gelen kısa dalga boylu radyasyon; $R_{s(giden)}$, yansıyan kısa dalga boylu radyasyon; $R_{l(gelen)}$, gelen uzun dalga boylu radyasyon; $R_{l(giden)}$, yansıyan uzun dalga boylu radyasyon ve R_n , net radyasyon)

Tanımlayıcı istatistik verileri		Ortalama ($W m^{-2}$)	En büyük değer ($W m^{-2}$)	En küçük değer ($W m^{-2}$)
$R_{s(gelen)}$ ($W m^{-2}$)	Güz dönemi	75.3	157.9	1.2
	Bahar dönemi	142.0	214.5	29.9
$R_{s(giden)}$ ($W m^{-2}$)	Güz dönemi	18.6	39.1	0.3
	Bahar dönemi	36.9	56.2	7.8
$R_{l(gelen)}$ ($W m^{-2}$)	Güz dönemi	-16.7	-2.8	-27.6
	Bahar dönemi	-22.9	-8.7	-34.1
$R_{l(giden)}$ ($W m^{-2}$)	Güz dönemi	-1.7	4.8	-16.2
	Bahar dönemi	-2.9	8.5	-19.3
R_n ($W m^{-2}$)	Güz dönemi	41.8	108.6	-5.0
	Bahar dönemi	85.1	141.0	7.8

Pozitif (+) ve negatif (-) işaretler enerji bütçesi hesaplamalarında, yüzeye gelen (+) veya yüzeyden yansıyan (-) enerji akısının yönünü belirtmek için kullanılmaktadır. Örneğin, güneşten yüzeye gelen $R_{s(gelen)}$ pozitif (+) iken, yüzeyden atmosfere $R_{s(giden)}$ giden negatif (-) kabul edilmektedir. Aynı şekilde atmosferden yüzeye gelen $R_{l(gelen)}$ yüzeye enerji kattığı için pozitif (+) işaret alırken, atmosfere giden $R_{l(giden)}$ negatif (-) işaret almaktadır (Snyder ve de Melo-Abreu 2005).

Güz dönemindeki ölçülen günlük ortalama net radyasyon (R_n) değeri $41.8 W m^{-2}$ iken bahar döneminde $85.1 W m^{-2}$ olarak belirlenmiştir. Yan vd. (2018) serada -39.9 ile $586.6 W m^{-2}$ arasında ölçtükleri net radyasyon (R_n) değerinin günlük ortalamasının $42.9 W m^{-2}$ 'ye eşit olduğunu bildirmişlerdir.

Şekil 4.14'de bahar dönemi yetiştiriciliğine ilişkin ölçüm değerleri incelendiğinde gölge tozu uygulamasının enerji bütçesine olan etkisi görülmektedir. Bahar döneminin başından itibaren artma eğilimi gösteren $R_{s(gelen)}$ ve R_n ölçüm değerleri DSGS 88. günde gölge tozu uygulamasından itibaren aniden azalma göstermiştir. Beklenildiği gibi bahar dönemindeki $R_{s(gelen)}$, $R_{s(giden)}$ ve R_n ölçüm değerleri güz dönemine kıyasla daha yüksektir. Gece boyunca sera içinden atmosfere doğru ısı kaybı gerçekleşmesi nedeniyle ortalama $R_{l(gelen)}$ değerleri negatiftir. Nitekim Ronoh ve Rath (2015) yüzey ve atmosfer arasındaki R_l değişiminin yüzey sıcaklığına ve yüzeylerin özelliklerine bağlı olduğunu bildirmişlerdir.

4.1.9. Sera içinde tahmin edilen net radyasyon (R_n) değerleri

Net radyasyon (R_n) bitki su tüketimi çalışmalarında en önemli parametrelerden biri olarak kabul edilmektedir. Ancak pahalı ölçüm aletleri gerektirdiğinden R_n 'nin bilimsel çalışmalar dışında seralarda ölçülmediği de bilinen bir gerçektir. Bu nedenle R_n 'nin ölçülmediği durumlarda, tahmin (dolaylı verilerde hesaplama) yoluyla belirlenmesi oldukça önemlidir. Son yıllarda, açık (tarla) koşulları için atmosferüstü

radyasyon (R_a)’dan yararlanılarak kısa dalga boylu radyasyonun (R_s) tahmin edilmesi yoluyla net radyasyonun tahmini için birçok model geliştirilmiş olmasına rağmen sera koşulları için geliştirilmiş R_s ve R_n tahmin modeli mevcut değildir.

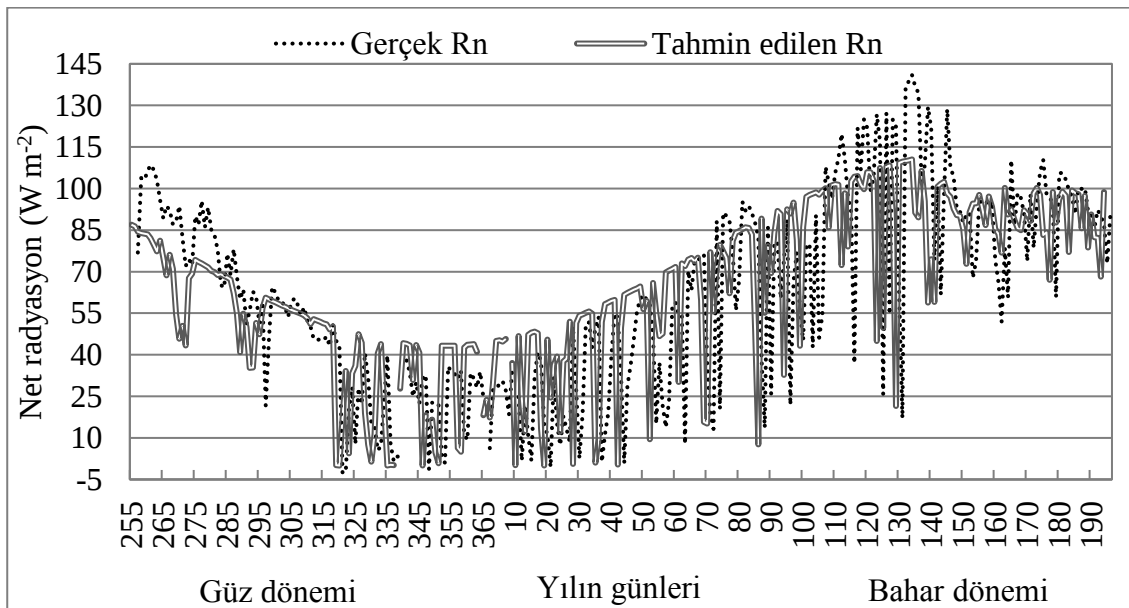
Bu çalışmada, tarla koşullarında solar radyasyonu tahmin etmek için geliştirilmiş sıcaklık değerlerine dayalı Donatelli ve Campbell (1998) (Eşitlik 2.40) modeli, sera koşullarında R_s ’nin R_n ’ye yakın olduğu kabul edilerek (Baille vd. (1994) doğal havalandırma, ısıtma sistemine sahip olmayan Akdeniz tipi plastik örtülü serada gölge tozu uygulanması ve uygulanmaması koşullarında net radyasyonunun tahmin edilmesi amacıyla optimize edilmiştir (Eşitlik 3.6). Optimize edilen model ve modele ilişkin katsayılar Çizelge 4.15’de verilmiştir.

Çizelge 4.15. Akdeniz tipi plastik serada net radyasyonun tahmin edilmesi için optimize edilmiş Donatelli ve Campbell modeli katsayıları

Model ($\text{Mj m}^{-2} \text{gün}^{-1}$)	Gölge tozu uygulaması	a	b	c
$R_n = a \left(1 - \exp \left(-b \frac{\Delta T_2^c}{\Delta T_m} \right) \right) R_a$	Yok	0.2380	8.2×10^{-7}	6.1522
	Var	0.2085	11.5×10^{-4}	3.6560

Modeldeki R_n , net radyasyonu ($\text{MJ m}^{-2} \text{gün}^{-1}$); R_a , atmosfer üstü radyasyonu ($\text{MJ m}^{-2} \text{gün}^{-1}$); ΔT_2 , maksimum sıcaklık ile birbirini takip eden iki günün minimum sıcaklık değerinin ortalamasının farkını ($^{\circ}\text{C}$); ΔT_m , aylık ortalama ΔT_2 değerini ve a, b ve c, eşitlik katsayısını göstermektedir.

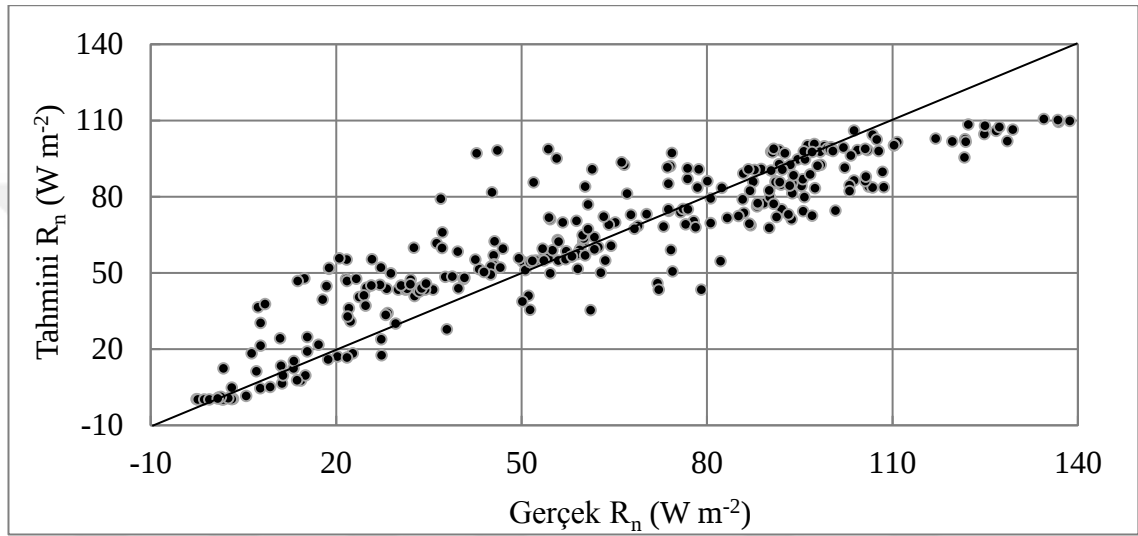
Doğrudan net radyometre aleti ile ölçülen ve geliştirilen modelle tahmin edilen R_n değerlerinin yılın günlerine göre değişimini gösteren grafik Şekil 4.15’de verilmiştir.



Şekil 4.15. Ölçülen ve tahmin edilen R_n değerlerinin zamana bağlı değişimi

Şekil 4.15 incelendiğinde, ölçülen ve geliştirilen model ile tahmin edilen R_n değerlerinin arasında genel olarak yakın doğrusal ilişki olduğu, ancak güz döneminin başında ve bahar döneminin ortalarında modelin tahmin ettiği R_n değerlerinin ölçülen R_n değerlerine kıyasla daha az olduğu, güz döneminin son kısmında ise modelin R_n 'yi ölçülenden daha fazla tahmin ettiği görülmektedir. Bu durum sera içinde diğer dönemlere kıyasla meydana gelen aşırı sıcak ve soğuk hava neticesinde modelin performansının olumsuz olarak etkilendiği biçiminde yorumlanabilir.

Doğrudan ölçülen ve modelle tahmin edilen R_n değerleri arasındaki ilişki Şekil 4.16'da ilişkinin düzeyini gösteren performans kriterleri Çizelge 4.16'da verilmiştir.



Şekil 4.16. Ölçülen ve tahmin edilen R_n değerlerinin 1:1 çizgisindeki dağılımları

Çizelge 4.16. Ölçülen ve tahmin edilen R_n değerleri arasındaki ilişki ile ilgili istatistiksel bilgiler

R^2	RMSE	RE	MBE	d_w
0.82	15.39	0.25	-1.26	0.94

Model ile elde edilen ve doğrudan ölçülen R_n değerlerinin 1:1 çizgisine yakın dağıldığı görülmüştür (Şekil 4.16). Modelin, R_n değerini, sera içine gelen R_n miktarının görece olarak daha fazla olduğu dönemlerde, daha düşük tahmin ettiği belirlenmiştir. Çizelge 4.16'dan ölçülen ve tahmin edilen R_n değerleri arasında kuvvetli bir ilişki olduğu görülmektedir. Gerek bitki su tüketim hesaplamalarında gerekse diğer uygulamalarda R_n değerinin doğrudan ölçülmesi önemlidir. Fakat R_n değerinin ölçülemediği durumlarda optimize edilen bu modelin Akdeniz koşullarındaki plastik örtülü seralarda kullanılabileceği belirlenmiştir.

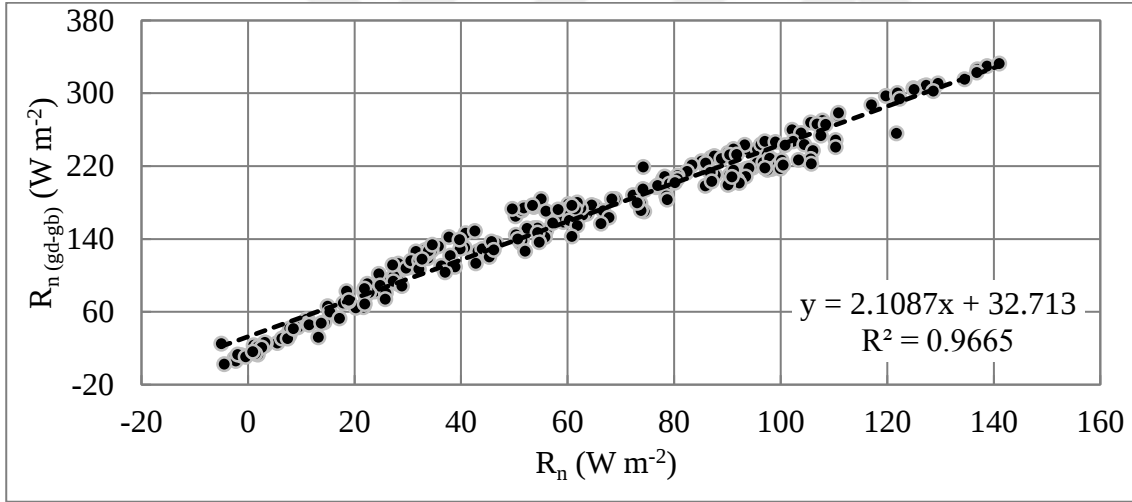
Sera içi R_n değerinin tahmin edilmesi amacıyla literatürde az sayıda çalışma vardır. Stanghellini (1987) gelen ve giden kısa ve uzun dalga boylu radyasyon arasındaki ilişki yardımıyla R_n değerini tahmin etmiştir (Villarreal-Guerrero vd. 2012b). Valdés-Gómez vd. (2009) yaptıkları çalışmada Ortega-Farias vd. (2000) tarafından açık koşullar

için geliştirilen R_n tahmin eşitliğini sera koşulları için modifiye etmişlerdir. Araştırmacılar R_n değerini tahminde sera dışından elde edilen kısa dalga boylu radyasyon, sera örtü malzemesinin geçirgenlik katsayısı, hava ve bitki tacı sıcaklıkları ve sera içindeki bitkiye ilişkin emisivite değerlerini kullanmışlardır. Ancak anılan araştırmacıların yaklaşımlarını kullanmak için çeşitli sensörlere ve deneyimli personele ihtiyaç vardır. Bontsema vd. (2007) ise, Stanghellini tarafından verilen net radyasyon tahmin eşitliğini basitleştirmişler, R_n 'nin tahmini için R_s ve LAI değerini kullanmışlardır.

Bu çalışmada R_n 'yi tahmin etmek amacıyla geliştirilen eşitlik düşük teknoloji Akdeniz tipi seralar için uygun olsa da, ısıtma sistemine sahip yüksek teknoloji seralar içi uygun değildir. Çünkü, ısıtma sistemi olan seralarda çok sayıda enerji kaynağı olduğu için tek bir noktaya gelen R_n değerinin belirlenmesi yaklaşımının kullanılması doğru olmayacaktır (Katsoulas ve Stanghellini, 2019). Anılan araştırmacılar, bu durumlar için bitkiye dayalı tahmin modellerinin kullanılmasını önermişlerdir.

4.1.9.1. Sera içinde günlük ortalama net radyasyondan (R_n) gün doğumu ve batımı arasındaki net radyasyonun ($R_{n(gd-gb)}$) tahmin edilmesi

Günlük ortalama net radyasyon (R_n) ile gün doğumu ve batımı arasındaki ortalama net radyasyon ($R_{n(gd-gb)}$) değerleri arasındaki ilişki Şekil 4.17'de verilmiştir.



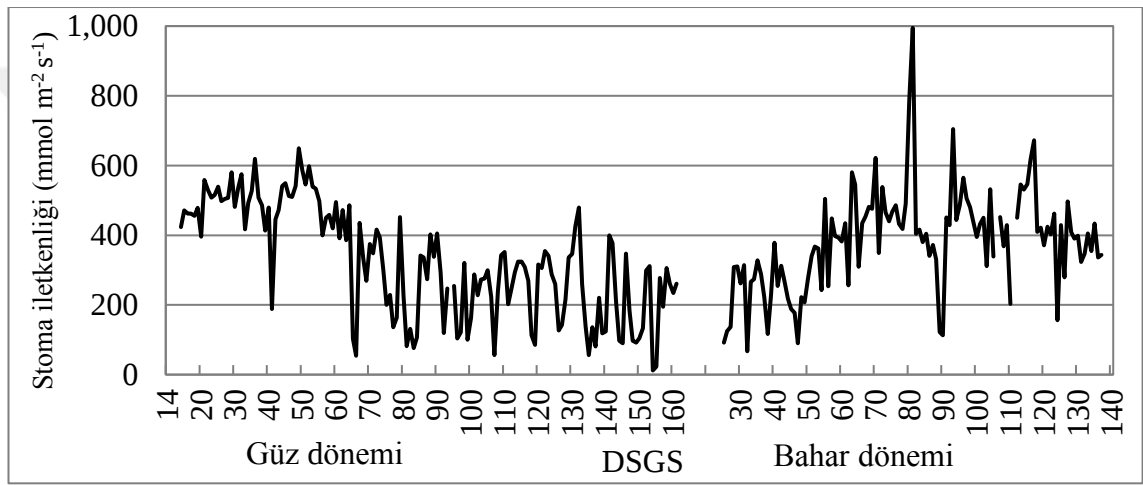
Şekil 4.17. Günlük ortalama net radyasyon (R_n) ile gün doğumu ve batımı arasındaki ortalama net radyasyon ($R_{n(gd-gb)}$) değerleri arasındaki ilişki

Şekil 4.17 incelendiğinde beklenildiği üzere R_n ile $R_{n(gd-gb)}$ değerleri arasında çok kuvvetli ilişki bulunmaktadır. Bu nedenle regresyon analizinden elde edilen doğrusal denklem yardımıyla günlük ortalama R_n değerlerinden yararlanılarak sera içi $R_{n(gd-gb)}$ değerleri hesaplanabilmektedir. Bu doğrusal denklem (Şekil 4.7), Eşitlik 3.6 yardımıyla tahmin edilen günlük ortalama net radyasyon (R_n) değerini, gün doğumu ve batımı arasındaki ortalama net radyasyon ($R_{n(gd-gb)}$) değerlerine dönüştürmek amacıyla kullanılmıştır.

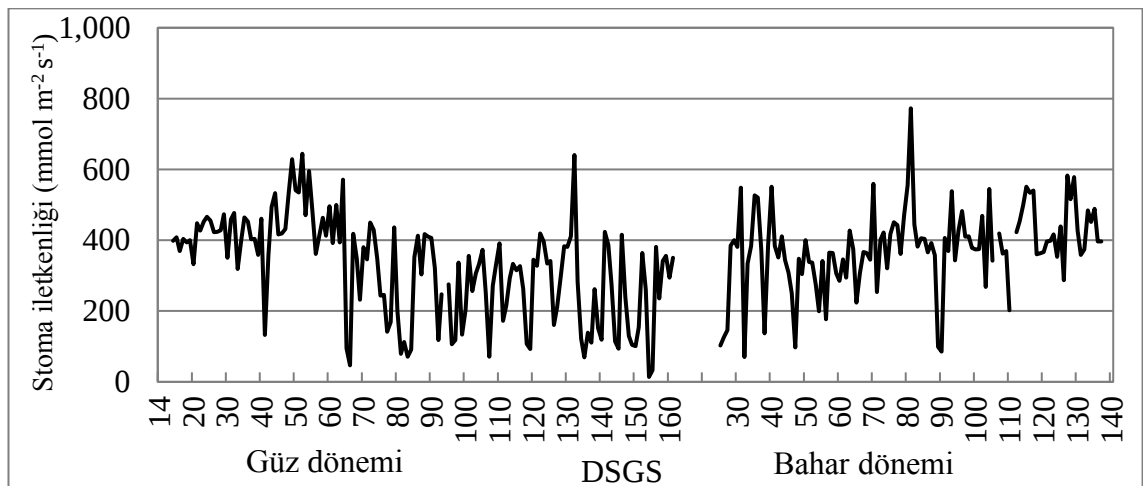
4.2. Bitkilere İlişkin Bulgular

4.2.1. Stoma iletkenliği

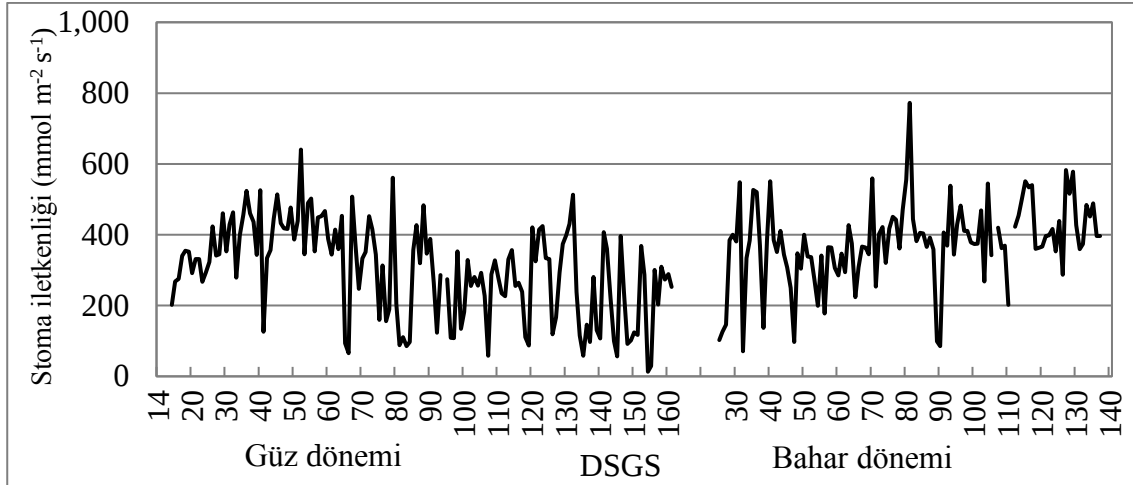
Güz ve bahar yetiştirme döneminde günlük olarak ölçülen stoma iletkenliği değerlerinin sezonluk değişimlerini görsel olarak ortaya koymak amacıyla grafikler hazırlanmıştır. Hazırlanan grafiklerde x ekseninde iki farklı yetiştirme dönemi için dikimden sonra geçen gün (DSGG), y ekseninde ise stoma iletkenliği değerleri verilmiştir. Domates, patlıcan, biber ve hıyar bitkilerinde ölçülen stoma iletkenliği değerlerinin güz ve bahar dönemlerindeki değişimlerini gösteren grafikler sırasıyla Şekil 4.18, 4.19, 4.20 ve 4.21’de, güz ve bahar dönemleri boyunca söz konusu bitkilerde ölçülen stoma iletkenliği değerlerine ilişkin tanımlayıcı istatistikler ise Çizelge 4.17’de verilmiştir.



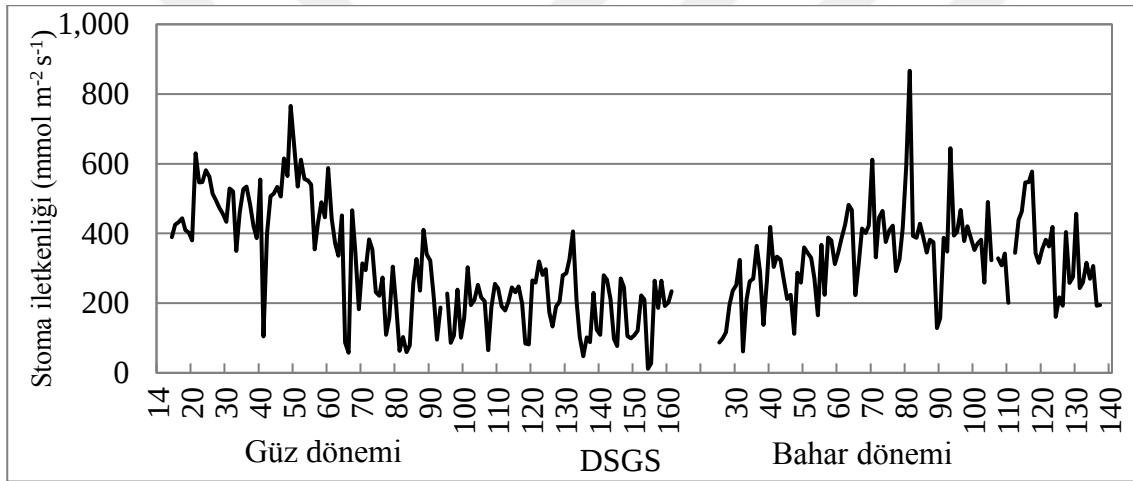
Şekil 4.18. Domates bitkisinde stoma iletkenliği değerlerinin güz ve bahar dönemlerindeki değişimi



Şekil 4.19. Patlıcan bitkisinde stoma iletkenliği değerlerinin güz ve bahar dönemlerindeki değişimi



Şekil 4.20. Biber bitkisinde stoma iletkenliği değerlerinin güz ve bahar dönemlerindeki değişimi



Şekil 4.21. Hıyar bitkisinde stoma iletkenliği değerlerinin güz ve bahar dönemlerindeki değişimi

Çizelge 4.17. Domates, patlıcan, biber ve hıyar bitkilerinden elde edilen stoma iletkenliği değerlerine ilişkin tanımlayıcı istatistiksel bilgiler

Tanımlayıcı istatistik verileri	Yetiştirme dönemi	Domates	Patlıcan	Biber	Hıyar
Ortalama (mmol m ⁻² sn ⁻¹)	Güz dönemi	325.6	323.3	300.3	301.1
	Bahar dönemi	381.4	377.4	335.9	337.8
En büyük değer (mmol m ⁻² sn ⁻¹)	Güz dönemi	649.2	644.6	640.1	765.4
	Bahar dönemi	990.0	772.5	660.5	866.7
En küçük değer (mmol m ⁻² sn ⁻¹)	Güz dönemi	12.0	13.8	13.1	11.7
	Bahar dönemi	67.1	70.5	69.4	61.1

Şekil 4.18 ve Çizelge 4.17 incelendiğinde, domates bitkisinin stoma iletkenliği değerleri güz döneminde $12.0 \text{ mmol m}^{-2} \text{ sn}^{-1}$ ile $649.2 \text{ mmol m}^{-2} \text{ sn}^{-1}$ arasında değişirken bahar döneminde $990.0 \text{ mmol m}^{-2} \text{ sn}^{-1}$ ile $67.1 \text{ mmol m}^{-2} \text{ sn}^{-1}$ arasında değişmiştir. Güz dönemi ve bahar dönemi ortalama stoma iletkenliği değerleri sırasıyla $325.6 \text{ mmol m}^{-2} \text{ sn}^{-1}$ ve $381.4 \text{ mmol m}^{-2} \text{ sn}^{-1}$ olarak belirlenmiştir.

Venlo tipi serada şubat ayında 6 ve mart ayında 5 farklı günde domates bitkisinin ortalama stoma iletkenliğini değerlerini ölçen Nederhoff ve de Graaf (1993), şubat ve mart ayında ortalama stoma iletkenliği değerini sırasıyla 565 ve $687 \text{ mmol m}^{-2} \text{ sn}^{-1}$ olduğunu bildirmişlerdir. Fide dikim tarihleri arasında farklılık olduğundan aynı süredeki stoma iletkenliği değerleri karşılaştırılmasa da domates için bahar döneminde söz konusu çalışmadakine benzer stoma iletkenliği değerleri ölçüldüğü söylenebilir. Rodríguez-Ortega vd. (2019) Akdeniz ikliminin görüldüğü Murcia ilinde mart ile temmuz ayı arasında örtüaltı koşullarında, dikimden sonraki 90. günde hidroponik, NFT, perlit ortamlarında yetiştirilen domates bitkisinin stoma iletkenliği değerlerini sırasıyla yaklaşık 300 , 380 ve $400 \text{ mmol m}^{-2} \text{ sn}^{-1}$ olarak belirlemişlerdir. Bu sonuçlar domates bitkisinin stoma iletkenliği değerlerinin farklı yetiştirme ortamlarına kıyasla sera içi iklimsel faktörlerinden daha fazla etkilendiğini göstermiştir. Bu çalışmada da 20.05.2019 ile 10.06.2019 tarihleri arasındaki günlük ortalama stoma iletkenliği değeri $412.6 \text{ mmol m}^{-2} \text{ sn}^{-1}$ olarak ölçülmüştür. Pires vd. (2011) sera koşullarında farklı hacimlerdeki kokopit yetiştirme ortamında domates bitkisinin sezon boyunca ortalama stoma iletkenliği değerlerini yaklaşık olarak 45 ile $150 \text{ mmol m}^{-2} \text{ sn}^{-1}$ arasında değiştiğini ve yetiştirme ortamının hacminin artmasıyla da bu değerin azaldığını belirtmişlerdir. Ozer (2017) sera koşullarında farklı malç uygulamalarının stoma iletkenliği değerlerini etkilediğini belirtirken, nisan ayının ortasında dikilen domates bitkisinin stoma iletkenliği değerlerinin 128.7 ve $72 \text{ mmol m}^{-2} \text{ sn}^{-1}$ arasında değiştiğini bildirmiştir. Li vd. (2019) yarı kurak bir bölgede sera koşullarında yaptıkları çalışmada domates bitkisinin meyvelerin olgunlaştığı dönemde stoma iletkenliği değerlerinin gelişme ve hasat dönemlerine kıyasla daha fazla olduğunu bildirmişlerdir. Zhang vd. (2017) sera koşullarında yetişen domates bitkisinin stoma iletkenliği değerlerinin VPD ile doğrudan ilişkili olduğunu ve yüksek VPD koşullarında stoma iletkenliğini düşük olduğunun bildirmişlerdir.

Çizelge 4.17 ve Şekil 4.19'dan anlaşılabacağı üzere, patlıcan bitkisinde güz döneminde ortalama stoma iletkenliği değeri $323.3 \text{ mmol m}^{-2} \text{ sn}^{-1}$ olarak ölçülürken bahar döneminde $377.4 \text{ mmol m}^{-2} \text{ sn}^{-1}$ olarak ölçülmüştür. Sarker ve Hara (2011) iklimsel değişkenlerin ayarlanabildiği ve kontrollü koşulların sağlandığı bir yetiştirme odasında patlıcan bitkisinin ortalama stoma iletkenliğinin 369 ile $660 \text{ mmol m}^{-2} \text{ sn}^{-1}$ arasında değiştiğini ve patlıcan bitkisinin yaşadığı stres düzeyine bağlı olarak $34 \text{ mmol m}^{-2} \text{ sn}^{-1}$ 'ye kadar düştüğünü belirlemişlerdir. Yine Nederhoff (1992), Hollanda'da, iklim kontrollü bir serada patlıcan bitkisinin dikimden sonraki 171. gününde stoma iletkenliğinin 450 - $700 \text{ mmol m}^{-2} \text{ sn}^{-1}$ arasında değiştiğini saptamıştır. Díaz-Pérez ve Eaton (2015) ise, tarla koşullarında üç farklı günde patlıcan bitkisinin stoma iletkenliği değerlerinin ortalama 233 ile $377 \text{ mmol m}^{-2} \text{ sn}^{-1}$ arasında değiştiği sonucuna ulaşmışlardır. Elde edilen sonuçlar patlıcan bitkisinde ölçülen stoma iletkenliği değerlerinin literatür bulguları ile uyumlu olduğunu göstermektedir.

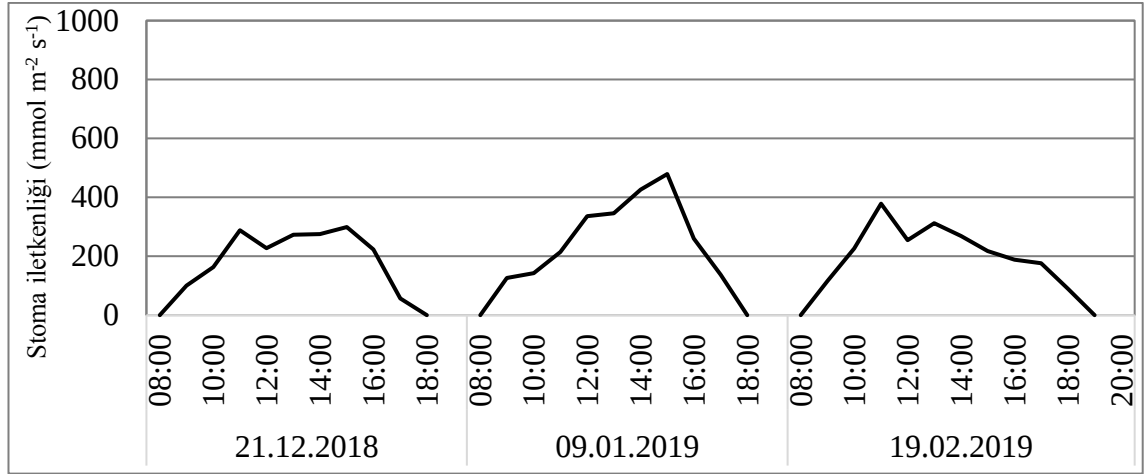
Biber bitkisinde ise, güz ve bahar yetiştirme dönemlerinde ortalama stoma iletkenliği değerleri sırasıyla $300.3 \text{ mmol m}^{-2} \text{ sn}^{-1}$ ile $335.9 \text{ mmol m}^{-2} \text{ sn}^{-1}$ olarak ölçülmüştür (Şekil 4.20 ve Çizelge 4.17). Güz döneminde en yüksek stoma iletkenliği

640.1 mmol m⁻² sn⁻¹, bahar döneminde ise 660.5 mmol m⁻² sn⁻¹ olmuştur. López-Serrano vd. (2017), Akdeniz iklimine sahip Valencia’da örtüaltı kokopit yetiştirme ortamında yetiştirilen 7 farklı biber çeşidinin stoma iletkenliği değerlerinin 480-942 mmol m⁻² sn⁻¹ arasında değiştiğini, bitkinin su stresi ve tuz stresi yaşaması durumunda ise stoma iletkenliği değerlerinin kontrol koşullarına kıyasla önemli ölçüde azaldığını bildirmişlerdir. Campos vd. (2014) biber bitkisinin stoma iletkenliği değerlerinin su stresinin yaşanmadığı zamanlarda yaklaşık 280 mmol m⁻² sn⁻¹ olduğunu, su stresinin yaşanması durumunda ise bu değerin 20 mmol m⁻² sn⁻¹’ye kadar düştüğünü belirlemişlerdir. Görüldüğü üzere araştırmamızda biber bitkisinde ölçülen stoma iletkenliği değerleri de literatürdeki değerlere benzer bulunmuştur.

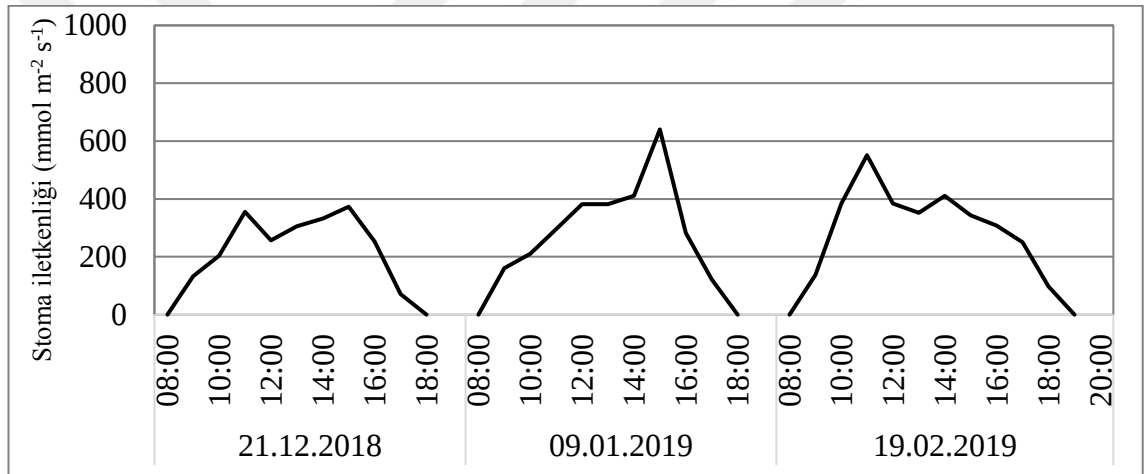
Hıyar bitkisinde ortalama stoma iletkenliği değerleri güz döneminde 301.1 mmol m⁻² sn⁻¹, bahar döneminde ise 337.8 mmol m⁻² sn⁻¹ olarak belirlenmiştir (Şekil 4.21 ve Çizelge 4.17). Güz ve bahar döneminde en büyük stoma iletkenliği değerleri sırasıyla 765.4 mmol m⁻² sn⁻¹ ve 866.7 mmol m⁻² sn⁻¹, en küçük stoma iletkenliği değerleri ise sırasıyla 11.7 mmol m⁻² sn⁻¹ ve 61.1 mmol m⁻² sn⁻¹ olmuştur. Nederhoff ve De Graaf (1993) eylül ile ekim ayları arasında 8 farklı günde Venlo tipi bir serada hıyarın stoma iletkenliği değerlerinin ortalama 497 mmol m⁻² sn⁻¹ olduğunu bildirmişlerdir. Bu çalışmada söz konusu tarihler arasında ölçülen ortalama stoma iletkenliği değeri (468.3 mmol m⁻² sn⁻¹) benzerdir. Bu nedenle elde edilen değerlerin literatürle uyumlu olduğu belirlenmiştir.

Araştırmada yetiştirilen tüm bitkiler için yukarıda hazırlanan şekiller genel olarak değerlendirildiğinde günlük stoma iletkenliği değerlerinde dalgalanmalar bulunmaktadır. Bu günlük sera içi ikliminin de sürekli olarak değişmesinden kaynaklanmaktadır. Stoma iletkenliğinin hava sıcaklığı, ortamdaki CO₂ seviyesi, VPD, G ve yaprak su potansiyeli ile ilişkili olduğunu açıklayan Katsoulas ve Kittas (2011) bununla birlikte bu parametreyi etkileyen en önemli etmenin radyasyon olduğu bildirmişlerdir. Stanghellini (1987) ise stoma iletkenliğinin, solar radyasyon, VPD, yaprak sıcaklığı ve CO₂ konsantrasyonunun bir fonksiyonu olduğunu belirtmiştir. Urban vd. (2017) ise, sıcaklık arttıkça stoma iletkenliğinin de artacağını bildirmişlerdir. Bu bulgulara dayanılarak, bu çalışmada bahar döneminde ölçülen stoma iletkenliği değerlerinin güz dönemine göre daha yüksek olmasının bahar dönemindeki ortalama sıcaklık ve solar radyasyon değerlerinin güz dönemine göre yüksek olmasından kaynaklandığı sonucuna ulaşılabilir. Yine, domates, patlıcan, biber ve hıyar bitkilerinin stoma iletkenliği değerlerine ilişkin şekillerin (Şekil 4.18-4.21) günlük gelen solar radyasyon değerlerine ilişkin grafik (Şekil 4.11) ile birlikte incelenmesi durumunda benzer bir değişim eğilimi ve havanın kapalı olduğu günlerde stoma iletkenliği değerlerinde azalma olduğu görülebilir. Bu da yukarıda yorumu destekleyici bir sonucu ortaya koymaktadır.

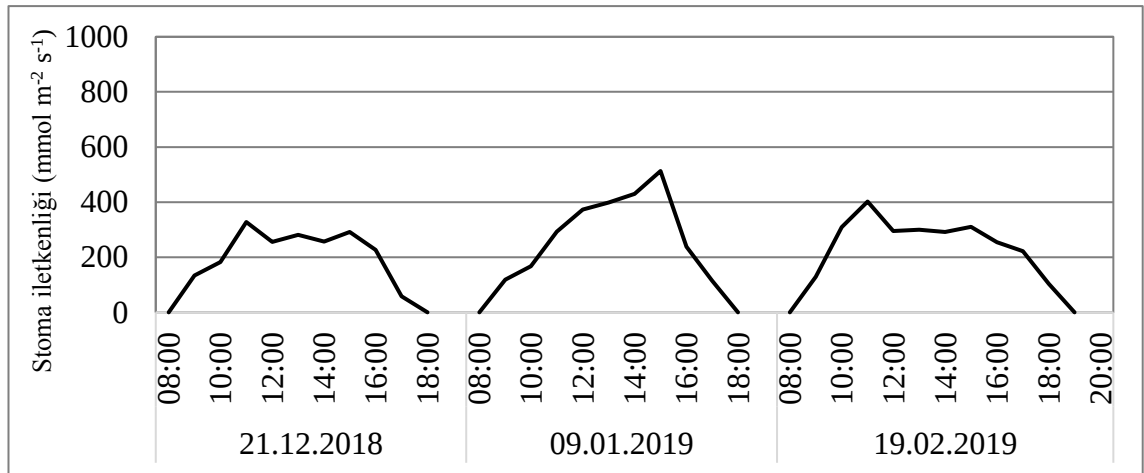
Stoma iletkenliği değerlerinin gün içinde değişimini belirlemek amacıyla güz dönemi içinde üç defa bahar dönemi içinde dört defa olmak üzere gün doğumu ile gün batımı arasında her yarım saatte bir stoma iletkenliği ölçümleri yapılmıştır. Belirlenen günlerdeki her yarım saatte bir yapılan ölçümlerden elde edilen grafikler domates patlıcan biber ve hıyar bitkisinde güz dönemi için sırasıyla Şekil 4.22, 4.23, 4.24 ve 4.25’de verilirken bahar dönemi için sırasıyla Şekil 4.26, 4.27, 4.28 ve 4.29’da verilmiştir.



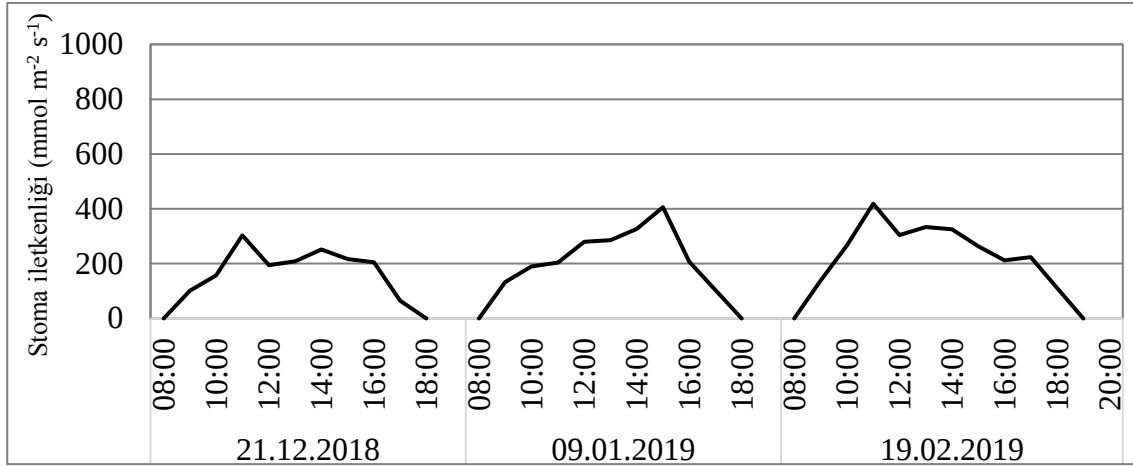
Şekil 4.22. Güz dönemindeki 3 farklı günde domates bitkisinin stoma iletkenliği değerlerinin saatlik değişimi



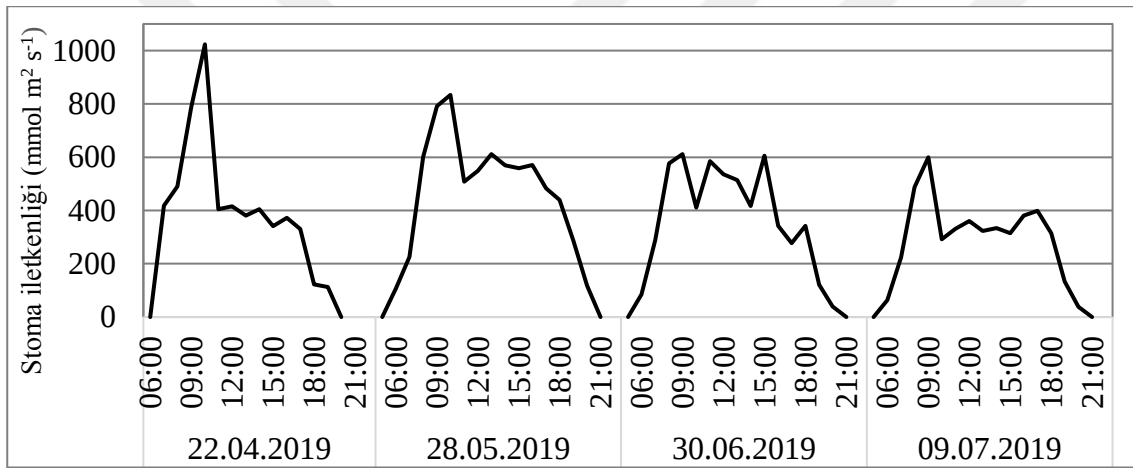
Şekil 4.23. Güz dönemindeki 3 farklı günde patlıcan bitkisinin stoma iletkenliği değerlerinin saatlik değişimi



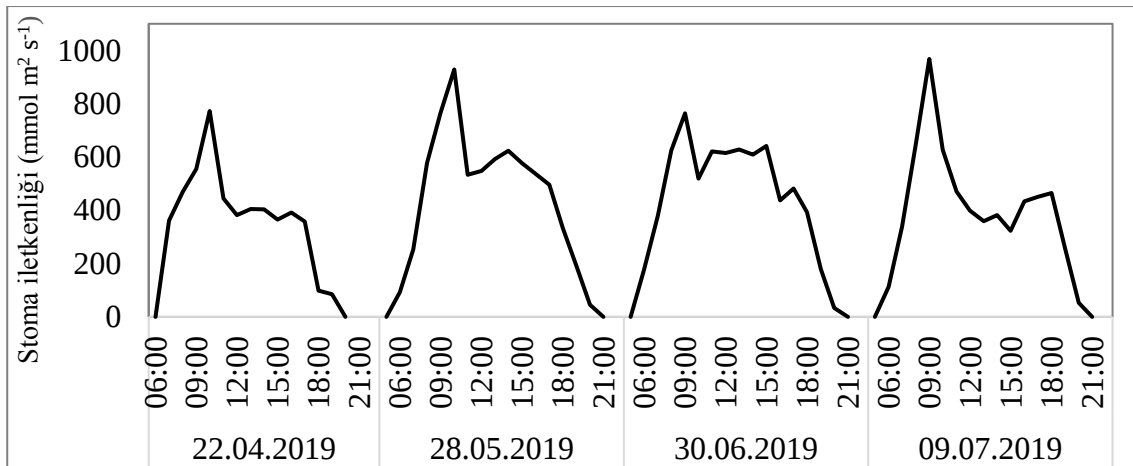
Şekil 4.24. Güz dönemindeki 3 farklı günde biber bitkisinin stoma iletkenliği değerlerinin saatlik değişimi



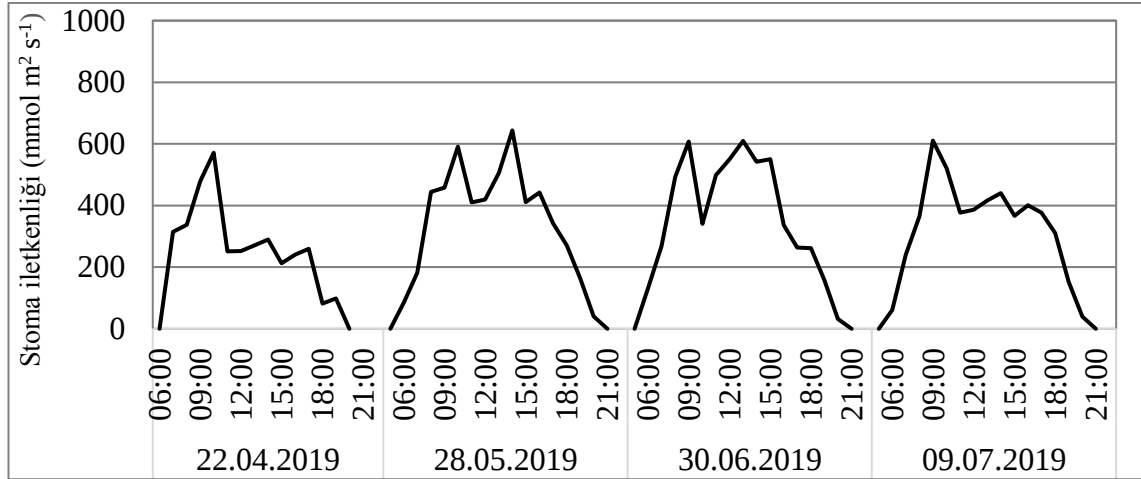
Şekil 4.25. Güz dönemindeki 3 farklı günde hıyar bitkisinin stoma iletkenliği değerlerinin saatlik değişimi



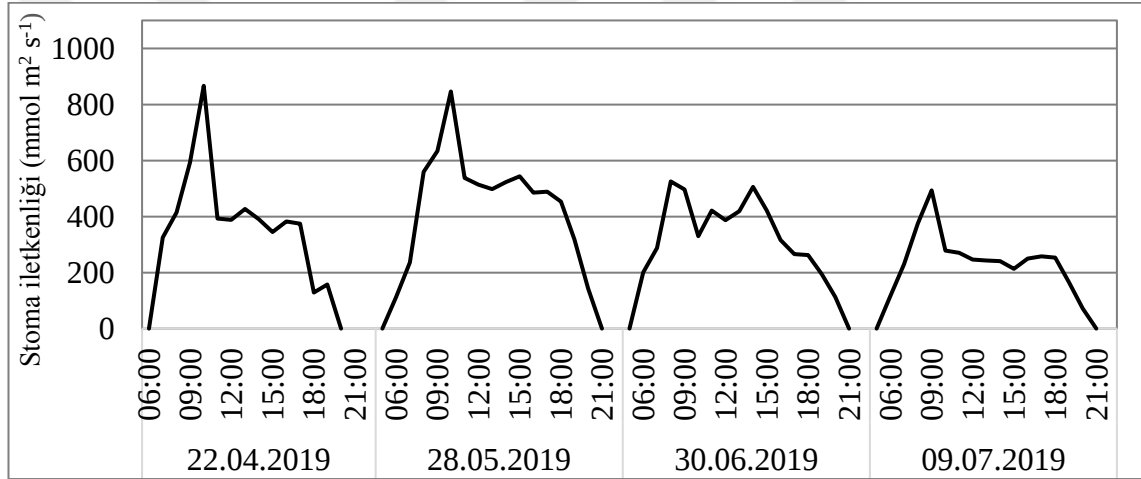
Şekil 4.26. Bahar dönemindeki 4 farklı günde domates bitkisinin stoma iletkenliği değerlerinin saatlik değişimi



Şekil 4.27. Bahar dönemindeki 4 farklı günde patlıcan bitkisinin stoma iletkenliği değerlerinin saatlik değişimi



Şekil 4.28. Bahar dönemindeki 4 farklı günde biber bitkisinin stoma iletkenliği değerlerinin saatlik değişimi



Şekil 4.29. Bahar dönemindeki 4 farklı günde hıyar bitkisinin stoma iletkenliği değerlerinin saatlik değişimi

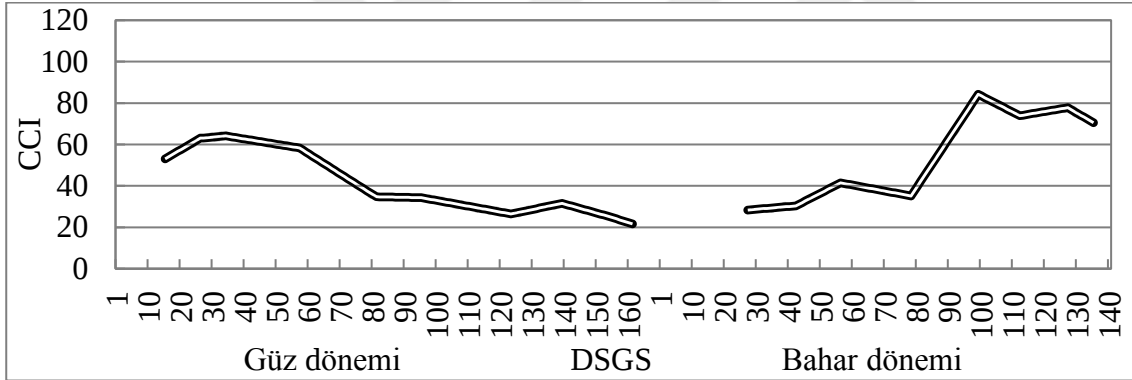
Gece periyodunda bitkiler fotosentez yapmadığı gibi stoma iletkenliği sıfır olduğundan (Wei vd. 2018; Violet-Chabrand ve Lawson, 2019) stoma iletkenliği gün doğumu ile gün batımı arasındaki sürede ölçülmüştür. Şekil 4.22-4.29'dan, güz döneminde, gün içinde en yüksek stoma iletkenliği değerlerinin mevsim başı ve sonunda saat 11:00'da, mevsim ortasında ise saat 15:00 civarında gerçekleştiği; bitkilerin stoma iletkenlikleri düzeyi ve değişim eğilimlerinin benzerlik gösterdiği belirlenmiştir. Bahar döneminde ise, çalışmada incelenen tüm bitkilerde pik stoma iletkenliğinin genel olarak sabah saat 10:00'da gerçekleştiği, öğleden sonra saat 14:00'de ise ikinci, ancak daha küçük bir pik oluştuğu; mevsim boyunca, gün içindeki stoma iletkenliği değişim eğiliminin benzer olduğu; ancak çalışmada incelenen tüm bitkilerde güz dönemine kıyasla bahar döneminde daha yüksek düzeyde bir stoma iletkenliği gerçekleştiği belirlenmiştir.

Genel olarak gün içindeki en yüksek stoma iletkenliği değerinin gün doğumundan 3-4 saat sonra elde edildiği görülmektedir (Şekil 4.22-4.29). Stoma iletkenliği bitkilerin

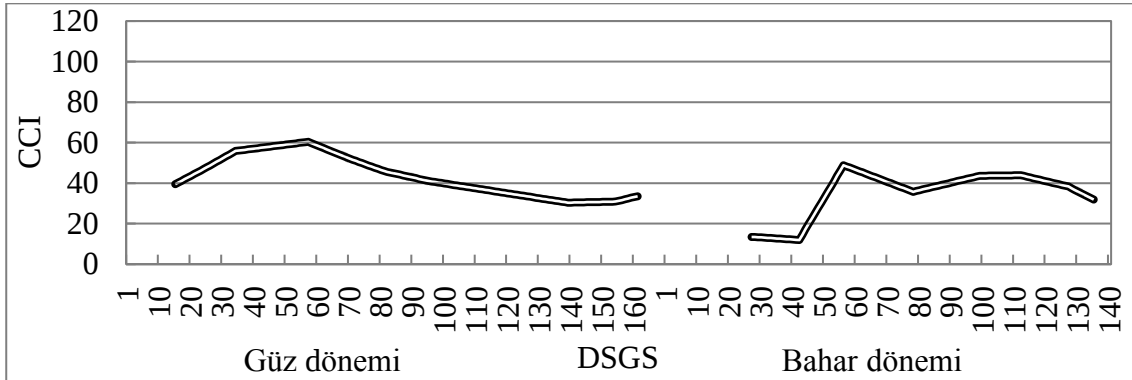
fotosentez yapma hızı ile doğrudan ilişkilidir. Çalışmada, gün doğumundan itibaren ışık ve sıcaklığın paralel olarak artması sonucunda stoma iletkenliğinin ani olarak yükseldiği, sera içinde sıcaklığın pik yaptığı 12:00 ile 14:00 saatleri arasında stoma iletkenliği değerlerinin gün içinde elde edilen maksimum değerlerin altında kaldığı saptanmıştır. Nederhoff (1992) patlıcan bitkisinde benzer bulgulara ulaşmıştır. Ullah vd. (2019) domates bitkisinin diğer saatlere kıyasla daha sıcak olan öğlen saatlerinde stoma gözeneklerini kapatarak su kaybını önlediğini, bunun sonucunda ise bitki sıcaklığının arttığını gözlemlemişlerdir. Yaptığımız çalışmada aynı bitkinin farklı yetiştirme dönemlerinde ve farklı günlerde yapılan ölçümleri incelendiğinde, gün içindeki eğilimin benzer olduğu görülmüştür. Ayrıca, aynı günde farklı bitkilerden elde edilen stoma iletkenliği değerleri incelendiğinde, değerler farklı olsa da ölçüm eğiliminin aynı olduğu belirlenmiştir. Yukarıdaki bulgulardan, çalışmada incelenen domates, patlıcan, biber ve hıyar bitkilerinin çevresel etkilere (ışık, sıcaklık, rüzgar) karşı benzer tepki verdiği sonucuna ulaşılabilir.

4.2.2. Klorofil içeriği indeksi (CCI)

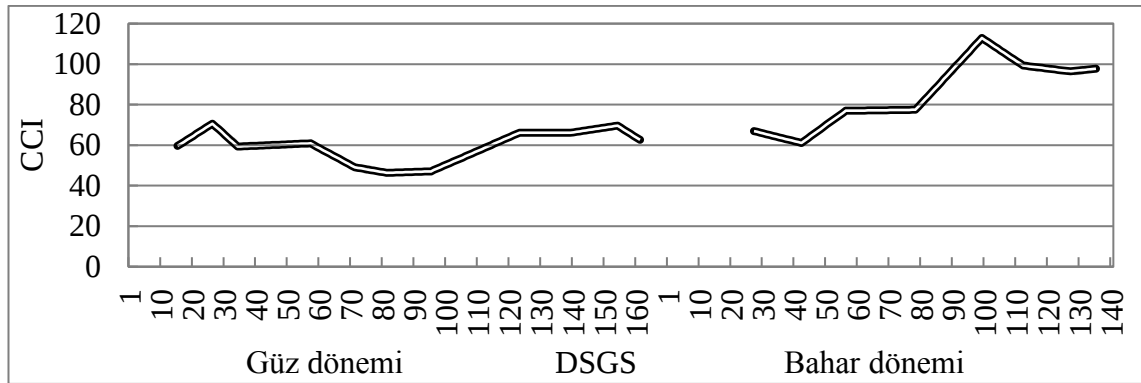
Güz ve bahar dönemi boyunca CCI değerlerinin değişimi domates, patlıcan, biber ve hıyar bitkileri için sırasıyla Şekil 4.30-4.33’de, söz konusu bitkilerin CCI değerlerine ilişkin tanımlayıcı istatistiksel bilgiler de Çizelge 4.18’de verilmiştir.



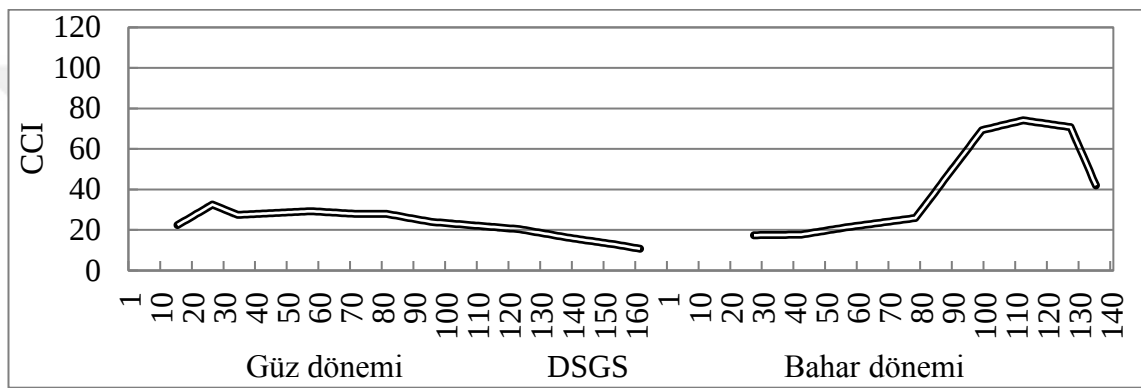
Şekil 4.30. Domates bitkisine ait klorofil içeriği indeksi değerlerinin güz ve bahar dönemi boyunca değişimi



Şekil 4.31. Patlıcan bitkisine ait klorofil içeriği indeksi değerlerinin güz ve bahar dönemi boyunca değişimi



Şekil 4.32. Biber bitkisine ait klorofil içeriği indeksi değerinin güz ve bahar dönemi boyunca değişimi



Şekil 4.33. Hıyar bitkisine ait klorofil içeriği indeksi değerinin güz ve bahar dönemi boyunca değişimi

Çizelge 4.18. Domates, patlıcan, biber ve hıyar bitkilerinden elde edilen klorofil içeriği indeksi (CCI) değerlerine ait tanımlayıcı istatistiksel bilgiler

Tanımlayıcı istatistik verileri	Yetiştirme dönemi	Domates	Patlıcan	Biber	Hıyar
Ortalama (CCI)	Güz dönemi	41.5	42.9	59.8	22.9
	Bahar dönemi	51.5	34.0	84.1	39.3
En büyük değer (CCI)	Güz dönemi	64.1	60.4	70.6	32.5
	Bahar dönemi	84.2	48.8	112.9	74.1
En küçük değer (CCI)	Güz dönemi	21.6	30.3	46.4	10.8
	Bahar dönemi	21.8	11.9	61.1	15.1

Domates bitkisinde ortalama CCI değeri güz döneminde 41.5 ve bahar döneminde 51.5 olarak belirlenmiştir (Şekil 4.30 ve Çizelge 4.18). En büyük CCI değeri bahar döneminde 84.2, en küçük CCI değerleri ise güz döneminin sonunda 21.6 olarak belirlenmiştir. Sera koşullarında farklı malç uygulamalarının çeşitli bitki parametrelerine olan etkisini araştıran Ozer (2017), nisan ayının ortasında dikilen domates bitkisinde ortalama CCI değerlerinin farklı malç uygulamaları ile değiştiğini ve bu değerlerin 43.9 ve 23.0 arasında değiştiğini bildirmiştir.

Patlıcan bitkisinde ortalama CCI değeri güz döneminde ve bahar döneminde sırasıyla 42.9 ve 34.0 olarak belirlenmiştir (Şekil 4.31 ve Çizelge 4.18). En büyük CCI değeri güz döneminde 60.4 bahar döneminde 48.8; en küçük CCI değeri ise güz döneminde 30.3, bahar döneminde 11.9 olarak belirlenmiştir. CCI değeri domates bitkisine benzer olarak yetiştirme döneminin sonuna doğru azalma göstermiştir.

Şekil 4.32 ve Çizelge 4.18 incelendiğinde bahar döneminde biber bitkisinin ortalama CCI değerinin (84.1) güz dönemine (59.8) kıyasla daha fazla olduğu görülmüştür. Özellikle haziran ayının ortasında en yüksek CCI değeri (112.9) elde edilmiştir. Güz dönemindeki en büyük değer (70.6) ile bahar dönemindeki en küçük değerler (61.1) arasında büyük fark olmadığı görülmüştür. Bu açıdan bakıldığında biber bitkisi patlıcan bitkisi ile tamamen zıt davranış göstermiştir. de Souza vd. (2019) benzer iklimsel koşullar altında örtüaltında güz döneminde yetiştirdikleri biber bitkisinin CCI değerlerini vejetatif, çiçeklenme, meyve tutumu ve hasat dönemlerinde sırasıyla ortalama 44.8, 49.2, 69.7 ve 50.2 olarak belirlemişlerdir. Araştırmacılar uygulanan azot seviyesinin artmasıyla CCI değerlerinin artacağını bildirmişlerdir. Benzer olarak Padilla vd. (2019) biber bitkisinin CCI değerlerinin 30 ile 71 arasında değiştiğini ve farklı azot seviyelerinin CCI değerlerini etkilediğini bildirmişlerdir.

Şekil 4.33 ve Çizelge 4.18 incelendiğinde domates ve biber bitkisi gibi hıyar bitkisinin de ortalama CCI değerinin güz döneminde daha az (22.9) olduğu belirlenmiştir. Yine domates ve biber bitkisi gibi bahar dönemindeki ortalama CCI değeri (39.3) ile güz dönemindeki en büyük değer (32.5) yakın olduğu gözlemlenmiştir. Güz döneminde CCI değeri bitki boyunun da hızlı olarak arttığı gelişme döneminde artmıştır ve en yüksek CCI değerleri elde edilmiştir. CCI değeri en yüksek olduğu tarihten itibaren güz döneminin sonuna kadar azalma trendi göstermiştir.

Çalışmada incelenen tüm bitkiler birlikte ele alındığında, CCI değerlerinin güz dönemine oranla bahar döneminde ortalama olarak daha yüksek düzeyde olduğu yorumu yapılabilir. Ayrıca, bahar döneminde DSGS 88. günündeki gölge tozu uygulaması sonucunda CCI değerinin ani olarak yükseldiği söylenebilir. Nitekim çok sayıda araştırmacı Alvarenga vd. (2003), bitkilere yapılan gölgeleme uygulamasının yapraklarda kuru madde birikimini, bitki boyunu, yaprak alanını ve klorofil miktarını arttığını bildirmişlerdir. Yine, Kramer ve Koslowski (1979) yaprak klorofil seviyelerinin ışıkla kontrol edildiğini ve yüksek radyasyon yoğunluklarında, klorofil moleküllerinin foto oksidasyona karşı hassas olduğunu bildirmişlerdir.

4.2.3. Ortalama yaprak alanının (LA) belirlenmesi

Domates, patlıcan, biber, hıyar bitkilerinde seçilmiş yapraklarda ImageJ® yazılımı ile elde edilen yaprak uzunluğu (L), genişliği (W) ve alanı (LA) ile ilgili veriler Çizelge 4.19'da verilmiştir.

Çizelge 4.19. İmageJ® yazılımı ile seçilmiş yapraklara ait en, boy ve alan ile ilgili veriler

Bitki	Boyut	Ortalama	SD	Min.	Mak.
Domates	Uzunluk (cm)	23.6	7.4	11.9	39.0
	Genişlik (cm)	27.5	8.0	11.2	42.6
	Alan (cm ²)	315.6	187.2	44.8	885.2
Patlıcan	Uzunluk (cm)	17.7	5.7	8.9	28.5
	Genişlik (cm)	11.0	4.1	5.2	19.4
	Alan (cm ²)	138.5	83.2	35.7	305.2
Biber	Uzunluk (cm)	7.8	2.5	4.1	11.8
	Genişlik (cm)	3.9	1.2	1.9	6.3
	Alan (cm ²)	20.4	11.4	5.8	46.3
Hıyar	Uzunluk (cm)	13.1	3.2	7.6	18.0
	Genişlik (cm)	16.7	4.9	9.2	23.6
	Alan (cm ²)	191.4	98.1	62.6	359.6

Yaprak alanı (LA) ile yaprağın en (W) ve boy (L) ölçümleri arasında ilişki olduğu bilinmektedir. Daha önce yapılan çok sayıda çalışmada; kolay olması ve daha az zaman gerektirmesi nedeniyle bir yaprağın gerçek alanıyla, yaprağın en (W) ve boyu (L) ilişkilendirilerek yaprak alanını (LA) tahmin eden özel eşitlikler geliştirilmiştir (Blanco ve Folegatti 2003). Benzer şekilde bu çalışmada da her bir bitki türü için yaprak alanı (LA) ImageJ® yazılımı yardımıyla en (W) ve boy (L) ile ilişkilendirilerek yedi farklı model geliştirilmiştir. Geliştirilen bu modellerin katsayıları ile modellerin performansları Çizelge 4.20'de verilmiştir.

Çizelge 4.20. Yaprak alanını tahribatsız belirlemede kullanılabilecek eşitlikler, katsayıları ve performans kriterleri

No	Model	Bitki	Eşitlik katsayıları					Performans kriterleri				
			a	b	c	d	e	R ²	RMSE	RE	MBE	d _w
1	$LA = a + bL^2 + cL^2W^2 + dW^2 + eLW$	Domates	-42.46	-0.48	6.48	-0.41	1.31	0.96	37.67	0.1194	0.0041	0.99
		Patlıcan	31.53	1.26	-9.51	2.75	-3.15	0.99	8.88	0.0643	0.0048	1.00
		Biber	4.72	-0.37	-0.91	-1.69	2.19	0.99	1.07	0.0525	0.0000	1.00
		Hıyar	-38.56	-2.35	50.75	-1.18	4.20	0.99	10.92	0.0570	-0.0027	1.00
2	$LA = a + bL^2 + cW^2 + dLW$	Domates	-35.98	-0.38	-0.33	1.13	-	0.96	37.69	0.1194	0.0034	0.99
		Patlıcan	3.00	0.86	2.04	-2.05	-	0.99	9.53	0.0690	0.00002	1.00
		Biber	0.97	-0.47	-1.76	2.42	-	0.99	1.13	0.0555	0.00001	1.00
		Hıyar	-3.81	-0.52	-0.22	1.53	-	0.99	11.09	0.05791	0.00003	1.00
3	$LA = a + bL^2 + cW^2$	Domates	-46.04	0.15	0.28	-	-	0.96	38.61	0.1223	0.00006	0.99
		Patlıcan	4.22	0.19	0.50	-	-	0.98	10.47	0.0758	0.00000	1.00
		Biber	0.98	0.15	0.57	-	-	0.99	1.28	0.0626	0.00000	1.00
		Hıyar	-3.96	0.43	0.39	-	-	0.99	11.11	0.0580	0.00001	1.00
4	$LA = aL^2 + bW^2$	Domates	0.11	0.28	-	-	-	0.96	43.53	0.1379	-8.7819	0.98
		Patlıcan	0.20	0.50	-	-	-	0.98	10.67	0.0773	1.0774	1.00
		Biber	0.16	0.59	-	-	-	0.99	1.37	0.0669	0.2397	1.00
		Hıyar	0.38	0.41	-	-	-	0.99	11.21	0.0586	-0.5644	1.00
5	$LA = aL^b + cW^d + e$	Domates	-19.17	-317.04	0.10	2.39	5.00	0.95	41.83	0.1325	2.6158	0.99
		Patlıcan	-19.17	-317.04	6.06	1.36	-25.41	0.94	19.34	0.1401	0.0015	0.99
		Biber	-19.17	-317.04	2.87	1.52	-3.19	0.94	2.68	0.1309	0.0000	0.99
		Hıyar	-19.17	-317.04	0.43	2.10	15.17	0.98	13.53	0.0707	0.0149	0.99
6	$LA = a + bLW$	Domates	-45.08	0.42	-	-	-	0.96	38.82	0.1230	0.0001	0.99
		Patlıcan	3.99	0.62	-	-	-	0.98	11.17	0.0810	0.0000	1.00
		Biber	0.96	0.59	-	-	-	0.99	1.22	0.0597	0.0000	1.00
		Hıyar	-6.29	0.85	-	-	-	0.99	11.24	0.0587	0.0000	1.00
7	$LA = aLW$	Domates	0.38	-	-	-	-	0.96	43.71	0.1385	-8.9499	0.98
		Patlıcan	0.64	-	-	-	-	0.98	11.36	0.0823	1.0953	1.00
		Biber	0.61	-	-	-	-	0.99	1.31	0.0641	0.2364	1.00
		Hıyar	0.83	-	-	-	-	0.99	11.57	0.0604	-1.192	1.00

Tüm bitkiler için elde edilen modellerin performans kriterlerinin birbirlerine yakın olduğu görülmektedir (Çizelge 4.20).

Domates bitkisinde model 5 hariç tüm modellerin R^2 değerleri 0.96 olarak belirlenmiştir. Domateste en düşük RMSE değeri (37.67) Model 1 de belirlenmiştir. Model 2, 3 ve 6'nın RMSE değerlerinin Model 1'e yakın olduğu görülmektedir. Fakat Model 4, 5 ve 7'nin RMSE performansları diğer modellere göre düşük elde edilmiştir. MBE değeri incelendiğinde Model 6'nın en iyi sonucu verdiği görülmektedir. Model 4, 5 ve 7 ise diğer modellere kıyasla daha düşük performans göstermiştir. d_w performans kriteri incelendiğinde, sonuçlar birbirine çok yakın olmakla birlikte Model 4 ve 7'nin diğer modellere kıyasla daha düşük performansa sahip olduğu görülmektedir (Çizelge 4.20). Blanco ve Folegatti (2003) üç farklı tahribatsız model ile domates bitkisinin LA değerlerinin tahmin performanslarının (R^2) 0.95 ile 0.98 arasında olduğunu bildirmişlerdir. Schwarz ve Kläring (2001) ise on farklı tahribatsız model ile domates bitkisinin LA değerlerini tahmin etmek için, yaprak uzunluğu ölçümlerini gövdeden ve ilk yaprakçıktan itibaren olmak üzere iki farklı yöntem ile belirlemişler, bu modellerin R^2 tahmin performanslarının 0.73 ile 0.91 arasında olduğunu ve yaprak uzunluğunu ölçerken gövdeden itibaren ölçülmesini tavsiye etmişlerdir. Nitekim yaptığımız bu çalışmada da yaprak uzunluğu ölçümlerinde gövde ile son yaprakçık arasında kalan kısım ölçülmüştür. Ayrıca modellerden elde edilen performans literatürdeki gibi yüksek performansa sahiptir.

Patlıcan bitkisinde R^2 değerleri 0.99 ile 0.94 arasında değişmiştir. Model 5, 0.94 ile diğerlerine kıyasla en düşük performans gösteren model olurken diğer modeller birbirlerine çok yakın sonuç göstermiştir. En düşük RMSE değeri Model 1'de (8.88) elde edilmiştir. En yüksek RMSE değeri ise Model 5'de (19.34) elde edilmiştir. R^2 'ye benzer olarak RMSE değerinde de diğer modellerin performansları Model 1'e yakın sonuçlar göstermiştir. MBE değerleri incelendiğinde en yüksek performans -0.000002 ile Model 6'ya aittir. Model 1, 4 ve 7'de ise göreceli olarak daha kötü performans göstermişlerdir. Tüm modellerin d_w performans kriteri 1.00 olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.26). Rivera vd. (2007) patlıcan bitkisinin LA değerini tahmin etmek amacıyla altı farklı model kullanmış ve bu modellerin R^2 değerlerini 0.73 ile 0.97 arasında, MSE değerlerinin ise 725 ile 88 cm^2 arasında olduğunu belirlemişlerdir. Hinnah vd. (2014) patlıcan bitkisinin LA değerlerini on iki farklı model ile tahmin etmiş ve kullanılan modellerin R^2 değerlerinin 0.92 ile 0.98 arasında, RMSE değerlerinin 33.2 ile 77.8 cm^2 arasında ve MAE değerlerinin 23.36 ile 68.59 cm^2 arasında olduğunu saptamışlardır. Yaptığımız bu çalışmada, patlıcan bitkisinin LA değerini tahmin etmek için kullandığımız modellerin performansının önceki çalışmalarla benzer olduğu belirlenmiştir.

Biber bitkisinde Model 5 hariç tüm modellerin R^2 değerleri 0.99 olarak belirlenmiştir. Model 5, 0.94 değeri ile diğer modellere kıyasla en düşük performansı gösteren model olmuştur. En yüksek RMSE değerinin elde edildiği Model 5 diğer modellere kıyasla daha düşük performans gösteren model olmuştur. Diğer modellerin RMSE değerlerinin birbirine yakın olduğu görülmüştür. MBE değerleri incelendiğinde ise diğer bitkilerde olduğu gibi en yüksek performans Model 6'da (-0.000004) elde edilmiştir. d_w kriterleri tüm modellerde 1.00 olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.26). Cemek vd (2011) farklı tuz ve su stresi altında biber bitkisinin LA tahmin modellerinin R^2 değerlerini 0.985 ile 0.987 arasında, MBE değerlerini, -0.11 ile 0.61 cm^2 arasında, MAE değerlerini 0.60 ile 0.83 cm^2 arasında ve RMSE değerlerini 0.78 ile 1.01 cm^2 arasında

olduğunu, farklı su stresi altında ise modellerinin R^2 değerlerini 0.990 ile 0.980 arasında, MBE değerlerini, -0.34 ile 0.61 cm^2 arasında, MAE değerlerini 0.78 ile 1.08 cm^2 arasında ve RMSE değerlerini 0.88 ile 1.24 cm^2 arasında olduğunu belirlemişlerdir. Aminifard vd. (2017) ise LA değerini tahmin etmek amacıyla, literatürdeki diğer çalışmalardan farklı olarak bu modellerin bazılarını yaprak taze ve kuru ağırlık parametrelerini eklemişler ve söz konusu modellerin R^2 değerlerinin 0.038 ile 0.855 arasında, RMSE değerlerini 1.28 ile 17.70 cm^2 arasında değiştiğini bildirirken, yaprak ağırlıklarına dayalı yeni parametrelerin LA değerini tahmin etmede iyi sonuç vermediğini bildirmişlerdir. Çalışmamızda, biber bitkisinin LA değerleri tahmin etmek için kullanılan modellerin de literatürle benzer olarak yüksek performansa sahip olduğu belirlenmiştir.

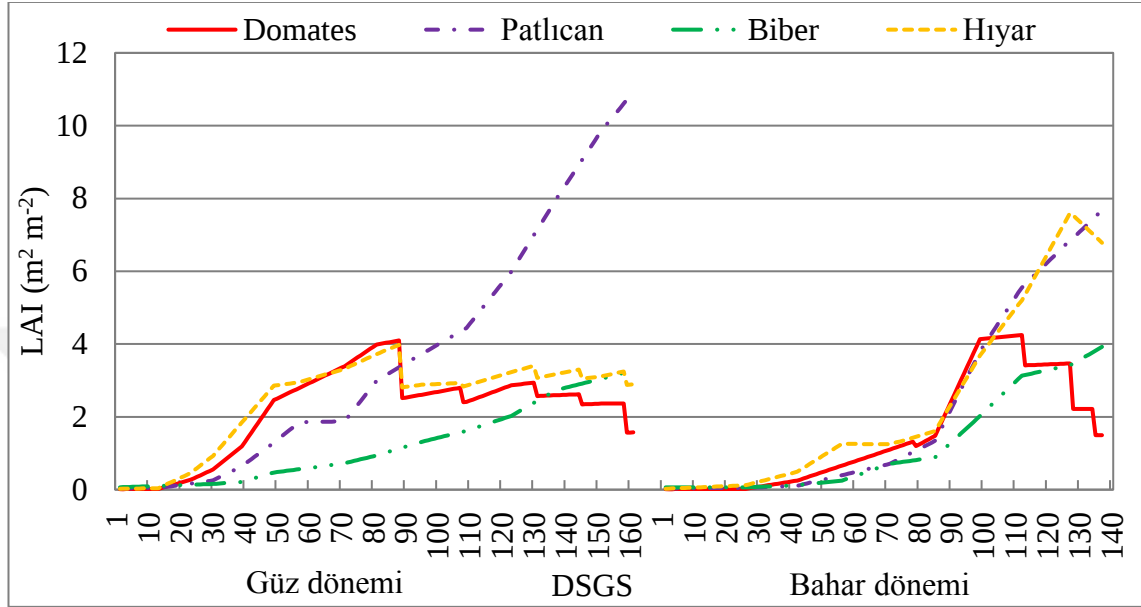
Hıyar bitkisinde tüm modellerden elde edilen R^2 değerleri 0.98 ile 0.99 arasında değişmesinden dolayı modeller arasında önemli bir farklılık bulunmamıştır. RMSE değerleri incelendiğinde en iyi performans Model 1'de (10.92) elde edilmiştir. Model 5 (13.53) hariç diğer modellerin performansları Model 1'e yakın bulunmuştur. Modellerin d_w değerleri 0.99 ile 1.00 arasında değişmesinden dolayı bu performans kriterine göre modeller arasında farklılık belirlenmemiştir (Çizelge 4.26). Blanco ve Folegatti (2003) iki farklı yetiştirme dönemi boyunca hıyar bitkisinin LA değerlerini tahmin eden modellerin R^2 değerlerinin 0.91 ile 0.99 arasında değiştiğini bildirmişlerdir. Cho vd. (2007) tarla koşullarında yetiştirdikleri hıyar bitkisinin LA değerlerini, içinde yaprak klorofil içeriğini dolaylı olarak belirleyen SPAD parametresinin de bulunduğu sekiz farklı model kullanarak tahmin etmişler ve en iyi üç LAI tahmin modelinin R^2 değerlerinin 0.976 ile 0.980 arasında, RMSE değerlerinin ise 25.31 ile 27.32 cm^2 arasında değiştiğini bildirmişlerdir.

Patlıcan için Hinnah vd. (2014) ve Rouphael ve Colla (2004) tarafından geliştirilen modellerin performansları bu Model 6'ya kıyasla düşük performansa sahiptir. Yine bu çalışmada domates için geliştirilen Model 6'nın performansı Schwarz ve Kläring (2001) tarafından geliştirilen modelin performansından daha iyi olduğu belirlenmiştir. Biber için geliştirilen Model 6'nın performansı ise Cemek vd. (2011) tarafından geliştirilen model arasında benzerlik görülmektedir. Hıyar bitkisi için geliştirilen Model 6'nın performansı ile Cho vd. (2007) ve Blanco ve Folegatti (2003) tarafından geliştirilen modellerin performanslarından daha iyi olduğu belirlenmiştir.

Çalışmada yetiştirilen bitkilerin yaprak alanlarını, yaprak boyu ve yaprak genişliği ölçümlerinden yararlanarak (tahribatsız) hesaplamak için geliştirilen modellerin genel performansları incelendiğinde, tüm modellerin kabul edilebilir olduğu, ancak tüm bitki türlerinde 5 numaralı modelin en küçük R^2 ve d_w değerine ve en büyük RMSE, RE ve MBE değerine sahip olması nedeniyle en düşük performansa sahip olduğu belirlenmiştir. Genel olarak Model 1 ve 6 diğer modellere kıyasla en yüksek performansı gösteren modeller olmuştur (Çizelge 4.20). Daha basit olması, hesaplamaların kolay yapılabilmesi ve yüksek performansa sahip olması nedenleriyle Model 6'nın yaprak alanının belirlenmesinde kullanılmasının önerilebileceği sonucuna varılabilir. Bu nedenle bu çalışmanın sonraki aşamalarında da yaprak alanı Model 6'dan yararlanılarak belirlenmiştir.

4.2.4. Yaprak alanı indeksi (LAI)

Bitkilerin Model 6 ile hesaplanan yaprak alanı (LA) değerleri kullanılarak Eşitlik 3.2 yardımıyla bitkilerin yaprak alanı indeksi (LAI) değerleri belirlenmiştir. Domates, patlıcan, biber ve hıyar bitkilerinin her iki yetiştirme dönemindeki günlük LAI değerlerinin değişimi Şekil 4.34’de verilmiştir.



Şekil 4.34. Domates, patlıcan, biber ve hıyar bitkilerinin her iki yetiştirme dönemindeki LAI değerlerinin sezonluk değişimi

Domates bitkisinde her iki yetiştirme döneminde de LAI değerleri yaklaşık olarak DSGS 90. güne kadar artmıştır. Daha sonraki günlerde LAI değeri bölgede yaygın kültürel uygulamaların başında gelen yaprak budaması yapılmasından sonra kademeli olarak azalmıştır. Domates bitkisinin LAI değerinin her iki yetiştirme döneminin sonunda yaklaşık olarak $1.5 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$ olduğu görülmektedir (Şekil 4.34). Güz ve bahar döneminde en yüksek LAI değerleri sırasıyla 4.1 ve $4.3 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$ olarak saptanmıştır. Serada yetiştirilen domates bitkisinin maksimum LAI değerlerinin 3.3 ile $4.1 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$ olduğunu ve yaprak budaması uygulaması nedeniyle mevsim içinde sürekli değiştiğini bildiren Heuvelink vd. (2005) ile LAI değerinin yaprak budaması uygulamasına bağlı olarak değiştiğini belirten Ambroszczyk vd. (2008)'in bulguları bu çalışmada elde edilen sonuçları desteklemektedir. Harmanto vd. (2005) tropikal iklime sahip bir bölgede sera koşullarında su kısıtı çekmeyen çeri domatesinin LAI değerini $4.0 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$, Al Mamun Hossain vd. (2017) ise $4.62 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$ olarak elde etmişlerdir. Araştırmacılar, ayrıca belirli bir seviyeye kadar yapılan su kısıtı uygulamalarının LAI değerini arttırdığını da ileri sürmüşlerdir. Öte yandan Pires vd. (2011) sera koşullarında farklı hacimlerdeki kokopit yetiştirme ortamında domatesin LAI değerlerinin yetiştirme döneminin ortasına kadar artarak maksimum seviye yükseldiğini ($3.25 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$), yetiştirme döneminin sonuna doğru azaldığını ($3.15 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$) ve yetiştirme ortamının hacminin artmasıyla da LAI değerlerinin arttığını belirtmişlerdir.

Patlıcan bitkisinin LAI değerleri güz ve bahar dönemleri boyunca sürekli artarak yetiştirme dönemlerinin sonunda sırasıyla 10.9 ve 7.7 m² m⁻² olarak belirlenmiştir (Şekil 4.34). Tripathi vd. (2015) atık sularda 120 gün boyunca yürüttükleri çalışmada LAI değerini 100. güne kadar olan süre boyunca sürekli artarak 4.23 m² m⁻² kadar çıktığını daha sonra ise bitkilerin gelişmediğini bildirmişlerdir. Yıldırım (2015) çalışmamıza benzer iklimin görüldüğü bölgede, fakat tarla koşullarında yaptığı çalışmada patlıcan bitkisinin dikimden sonraki 88. gününde LAI değerinin en yüksek seviyeye (2.85 m² m⁻²) ulaştığı ve bitkilerin sökülmesine yakın 113.'cü güne kadar (2.07 m² m⁻²) devamlı azaldığını bildirmiştir. Karam vd. (2011) iki yetiştirme döneminde yetiştirdikleri patlıcan bitkisinin maksimum LAI değerlerinin yaklaşık olarak 6 ile 7 m² m⁻² arasında değiştiğini ve bitki sökülmesine yakın LAI değerinin sürekli azaldığını bildirmiştir. Literatürdeki çalışmaların aksine bu çalışmada patlıcan bitkisinin LAI değerleri sürekli artma eğilimi göstermiştir (Şekil 4.34). Su stresine maruz kalan sebzelerde yaşam döngülerinin kısalmakta ve fizyolojik yaşlanma hızlanmaktadır (Passioura ve Angus, 2010). Ayrıca patlıcan bitkisinin çok yıllık bir bitki olması ve bu çalışmada bitkinin su stresi yaşamaması gelişimini sürekli sürdürmesine yol açmıştır. Bu nedenle de yetiştirme periyodunun daha uzun olduğu güz döneminde daha yüksek LAI değerlerine ulaşılmıştır.

Biber bitkisinin LAI değerleri de patlıcan bitkisine benzer biçimde yetiştirme dönemi boyunca sürekli artarak güz döneminde 3.27 m² m⁻², bahar döneminde 3.92 m² m⁻² değerine ulaşmıştır (Şekil 4.34). Ta vd. (2011) cam serada kaya yünü yetiştirme ortamında biber bitkisinin LAI değerlerinin fide dikiminden bitki sökülmesine kadar sürekli artarak yaklaşık 3 m² m⁻² değerine ulaştığını bildirirken, Moreno vd. (2003) tarla koşullarında farklı sulama seviyelerinin uygulandığı araştırmada en yüksek LAI değerini (3.5 m² m⁻²) tam sulama konusundan elde etmişlerdir. Öte yandan Mendoza-Pérez vd. (2017) bitkide bırakılan ana dal sayısının da LAI değerini etkilediğini saptamışlar ve en yüksek LAI değerini (2.78 m² m⁻²) ikiden fazla ana dalın üstünde gelişen bitkiden elde etmişlerdir. Rubio vd. (2011) farklı tuzluluk seviyelerinde farklı besin çözeltilerinde ve ana dal sayısına bağlı terbiye sistemi ile yetiştirilen biber bitkisinin en yüksek LAI değerini (3.2 m² m⁻²) üç adet ana dalın üstünde gelişen bitkiden elde etmişlerdir. Bu çalışmada da biber bitkisi üç ana dalın üzerinde yetiştirilecek şekilde terbiye edilmiş olup elde edilen sonuçlar literatürle uyumludur.

Hıyar bitkisinin her iki yetiştirme dönemindeki LAI değerleri incelendiğinde, güz döneminde DSGS 90. güne kadar artarak 3.98 m² m⁻² değerine ulaşırken bahar döneminde DSGS 120. güne kadar artarak 7.53 m² m⁻² değerine ulaştığı görülmektedir (Şekil 4.34). Güz ve bahar dönemindeki farklılıklar sera içi ikliminden ve bitkiye yapılan kültürel uygulamalardan kaynaklanmaktadır. Bölgede güz döneminde yaprak budaması bahar dönemine kıyasla daha fazla yapılmaktadır. Bunun en önemli nedeni bitkiyi artan nemden kaynaklanan mantari hastalılardan korumak ve havadar bir kök bölgesi oluşturmak istenmesidir (MEGEP 2007). Ayrıca yağışlı günlerde çatı havalandırmasının kapatılmasıyla sera içi nemi önemli düzeyde artmaktadır. Sera içindeki bu aşırı nemin bitkilere zarar vermesini önlemek amacıyla bahar dönemine kıyasla güz döneminde daha fazla yaprak budaması yapılmıştır. Bunun sonucu olarak güz döneminde elde edilen LAI değerlerinin bahar dönemine kıyasla daha az olduğu belirlenmiştir. Al Mamun Hossain vd. (2017) su kısıtı çekmeyen hıyar bitkisinin 70 günlük yetiştirme süresinde maksimum LAI değerini 3.01 m² m⁻² olarak belirlerken, Nederhoff vd. (1988) yaklaşık aynı yetiştirme periyodunda sezon boyunca iniş ve çıkışlar olmakla birlikte maksimum LAI

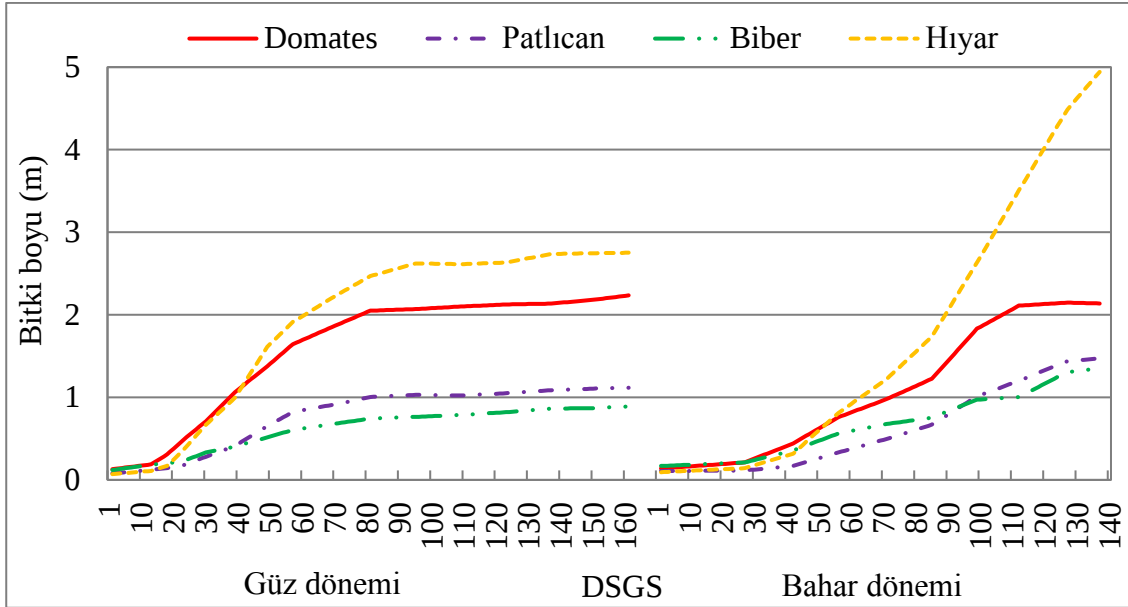
değerinin $3.5 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$ olduğunu bildirmişlerdir. Bu çalışmada da, benzer olarak güz döneminde hıyar bitkisinin LAI değerlerinin iniş ve çıkış yaptığı, maksimum LAI değerinin $3.98 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$ olduğu saptanmıştır (Şekil 4.34). Bahar döneminde belirlenen LAI değerleri ile literatürde bulunan LAI değerleri arasında önemli farklılıklar bulunmaktadır. Bu farklılıkların, sera içi iklimi farklılığı ve yetiştirme döneminin uzunluğu nedeniyle meydana geldiği düşünülmektedir.

Yıldız (2018) Akdeniz Bölgesindeki sera bitkilerinin LAI değerlerini Allen vd. (1998) tarafından bildirilen bitki gelişme dönemlerini (başlangıç (1), gelişme (2), orta (3) ve son (4) dönem) baz alarak belirlemiştir. Yaptığımız araştırmanın güz dönemine karşılık gelen periyodunda, bitkilerin 3. ve 4. gelişme dönemlerindeki LAI değerleri, domates bitkisinde sırasıyla 3.19 ve $2.90 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$; hıyar bitkisinde 3.31 ve $3.06 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$ olduğunu bildirmiştir. Yaptığımız araştırmanın bahar dönemine karşılık gelen periyodunda ise, bitkilerin 3. ve 4. gelişme dönemlerindeki LAI değerlerini domates bitkisinde 3.53 ve $3.34 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$; patlıcan bitkisinde 3.24 ve $3.09 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$; biber bitkisinde 3.14 ve $3.02 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$; hıyar bitkisinde 3.60 ve $3.43 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$ olarak hesaplamıştır. Bu çalışmadan elde edilen ve Yıldız (2018) tarafından belirlenen LAI değerleri arasında farklılıklar olduğu görülmektedir. Bu farklılıkların en önemli nedenlerinden biri, Yıldız (2018)'de LAI değerlerinin yaprak budaması uygulaması yapılmadığı varsayılarak hesaplamasıdır. Hâlbuki Akdeniz bölgesinde yaprak budaması yetiştiriciler tarafından yaygın olarak uygulanmaktadır. Diğer bir neden de bu çalışmada yaprak alanı (LA) değerleri bölgeye ve yetiştirilen bitkiye özgü geliştirilen bir model kullanılarak hesaplanmışken Yıldız (2018)'de yaprak alanı LA değerlerinin başka çalışmalarda geliştirilen modellerden yararlanılarak hesaplanmış olmasıdır. Bu nedenlerden dolayı, tarafımızdan belirlenen LAI değerleri ile araştırmacı tarafından belirlenen LAI değerleri arasında farklılıklar meydana gelmiştir.

Tüm bitkilerinin LAI değerlerinin sezonluk değişimlerini genel olarak değerlendirecek olursak, bahar döneminin başında fide dikiminden hemen sonraki bitki gelişiminin güz dönemine kıyasla daha yavaş olduğu belirlenmiştir. Bunun nedeni bu zaman aralığındaki daha düşük sıcaklık ve daha düşük güneş enerjisi olarak açıklanabilir. Ayrıca tüm bitkilerde en yüksek LAI değeri iklimden kaynaklı olarak bahar döneminde görülmüştür. Araştırmada elde edilen tüm bulgular ve yukarıda konu edilen tüm çalışmalar genel olarak değerlendirildiğinde, bitkilerin LAI değerinin iklim ve çeşitli kültürel uygulamalardan etkilendiği sonucuna ulaşılabilir.

4.2.5. Bitki boy gelişimi

Güz ve bahar yetiştirme dönemlerinde domates, patlıcan, biber ve hıyar bitkilerinin boy gelişimleri Şekil 4.35'te verilmiştir.



Şekil 4.35. Güz ve bahar dönemlerinde domates, patlıcan, biber ve hıyar bitkilerinin boy gelişimleri

Işık, sıcaklık, CO₂, nem, rüzgar, su ve mineral madde gibi çevresel faktörlerin uygun olması durumunda bitkinin gelişimi en yüksek düzeyde olmaktadır. Ancak, bu çevresel faktörlerin bitki isteğinden az ya da çok olması, bitkilerin abiyotik strese girmesine neden olmakta ve bitki gelişimini yavaşlatmaktadır (Manske 2000; Ferrante ve Mariani 2018). Bitkinin boy gelişimi de abiyotik stres faktörlerinden etkilenmektedir. Farklı gübre uygulamalarının (Etissa vd. 2013), sıcaklığın (Hatfield and Prueger, 2015), bağıl nemin (Ferrante ve Mariani 2018), solar radyasyonun (Rylski ve Spigelman 1986), CO₂ seviyesinin (Prior vd. 2011) kök bölgesindeki nem miktarının (Zhai vd. 2010) sulama suyu kalitesinin (Takase vd. 2010) ve farklı sulama sistemlerinin (Ragab vd. 2019) bitkilerin boy gelişimini doğrudan etkilediği bilinmektedir. Ayrıca bitki boyu aynı türün farklı çeşitlerinde dahi değişebilmektedir. Bu nedenle önceki çalışmalarda ve bu denemede elde edilen, domates, patlıcan, biber ve hıyar bitkilerinin bitki boylarında anlamlı farklılıklar belirlenmiştir.

Şekil 4.35 incelendiğinde domates bitkisinin boyu, güz döneminde DSGS 90. güne kadar hızla artmış sonraki günlerde ise boy gelişimi yavaşlamıştır. Bahar döneminde ise bitki boyu DSGS 30. güne kadar düşük oranda artmakla birlikte en yüksek büyüme hızı DSGS 90-120. gün arasında meydana gelmiştir. Domates bitkisinde her iki yetiştirme döneminde de bitki boyu yaklaşık olarak 2.2 m'ye kadar ulaşmıştır. Güz ve bahar yetiştirme döneminde domates bitki boyunun sırasıyla, fide dikiminden sonraki 0-30. gün arasında günlük 2.0 ve 0.41 cm, 30-60. gün arasında günlük 3.28 ve 1.86 cm, 60-90. gün arasında günlük 1.21 ve 2.15 cm ve 90. gün ile bitki sökümü arasında 0.24 ve 1.42 cm uzadığı belirlenmiştir. Li vd. (2019) yarı kurak bir bölgede sera koşullarında yürüttükleri çalışmada domates bitki boyunun fide dikiminden sonraki 0-30. gün arasında günlük 0.99 cm, 30-50. gün arasında günlük 1.26 cm, 50-70. gün arasında günlük 1.80 cm ve 70 ile 90. gün arasında 0.84 cm uzadığını bildirmişlerdir. Yeshiwas vd. (2016) domates bitki boylarının örtü altı koşullarında 1.03-2.65 m arasında ve tarla koşullarında 0.6-1.02 m arasında değiştiğini Ozer ve Kandemir (2016) ise, toprakta ve yüzer sistemde yetiştirilen

domates bitkisinin boylarını sırasıyla 1.35 m ve 1.58 m olarak saptamışlardır. Bu bulgulardan bitki boylarının sera koşullarında, tarla koşullarına kıyasla daha fazla olduğu anlaşılmaktadır.

Patlıcan bitkisinde güz döneminde DSGS 20. güne kadar ve bahar döneminde DSGS 40. güne kadar bitki boyu gelişimi yavaş olmuştur. Güz döneminde bitki boyu gelişimi DSGS 20-80. gün arasında en yüksek gelişim hızını gösterirken, bahar döneminde DSGS 40. günden bitki sökümüne kadar olan sürede bitki boyu yüksek gelişim hızı göstermiştir (Şekil 4.35). Patlıcan bitkisinin bitki boyunun güz dönemin sonunda 1.12 m'ye, bahar döneminin sonunda ise 1.47 m'ye kadar çıktığı belirlenmiştir. Abney ve Russo (1997), çalışmalarında 15 Mart-21 Temmuz arasında yetiştirilen patlıcan bitkisinin boyunun 1.2 m'ye ulaştığını bildirmişlerdir. Patlıcan bitkisinin ılıman iklim bölgelerinde tek yıllık olarak yetiştirilse de aslında çok yıllık bir bitkidir ve bitki boyu 2.25 m'ye kadar çıkabilmektedir (Kipchirchir, 2016). Granberry (1990) araştırmasını yaptığı dönemde yaygın olarak sekiz farklı patlıcan çeşidinin yetiştirildiğini ve bu çeşitlerin boylarının 0.64 m ile 0.91 m arasında değiştiğini bildirmiştir. Arias (2009) sera koşullarındaki organik substrat yetiştirme ortamında yetiştirilen patlıcan bitkisinin kış döneminde bitki boylarının 0.78 ile 0.90 m arasında, yaz döneminde ise 0.95 ile 1.2 m arasında değiştiği sonucuna ulaşmışlardır. Nitekim bu çalışmada da güz dönemine kıyasla daha sıcak olan bahar döneminde bitki boylarının daha fazla olduğu belirlenmiştir.

Biber bitkisinde en yüksek bitki boy gelişim hızı, güz döneminde DSGS 1-80. gün arasında, bahar döneminde ise DSGS 30. gün ile bitki sökümü arasında meydana gelmiştir (Şekil 4.35). Güz döneminin sonunda biberin bitki boyu 0.89 m, bahar döneminin sonunda ise 1.35 m olarak tespit edilmiştir. Trajkova ve Gudeva (2017) sera koşullarında yetiştirme döneminin bitki boyunu istatistiksel anlamda etkilediğini ve bitki boylarının 0.63-1.08 m arasında değiştiğini bildirmiştir. Islam vd. (2011) dikim sıklığının, bitkiler arasındaki boşluğun azalmasından dolayı, biber bitkisinin boyunu istatistiksel anlamda arttırdığını saptamışlar ve tarla koşullarında yaptıkları çalışmada bitki boyunu en yüksek 0.43 m olarak belirlemişlerdir. Gomez-Guillamon ve Cuarterro (1987) sera koşullarında bitki boyuna çeşitlerin de etki ettiğini ve bitki boylarının 0.32-1.59 m arasında değiştiğini bildirmişlerdir.

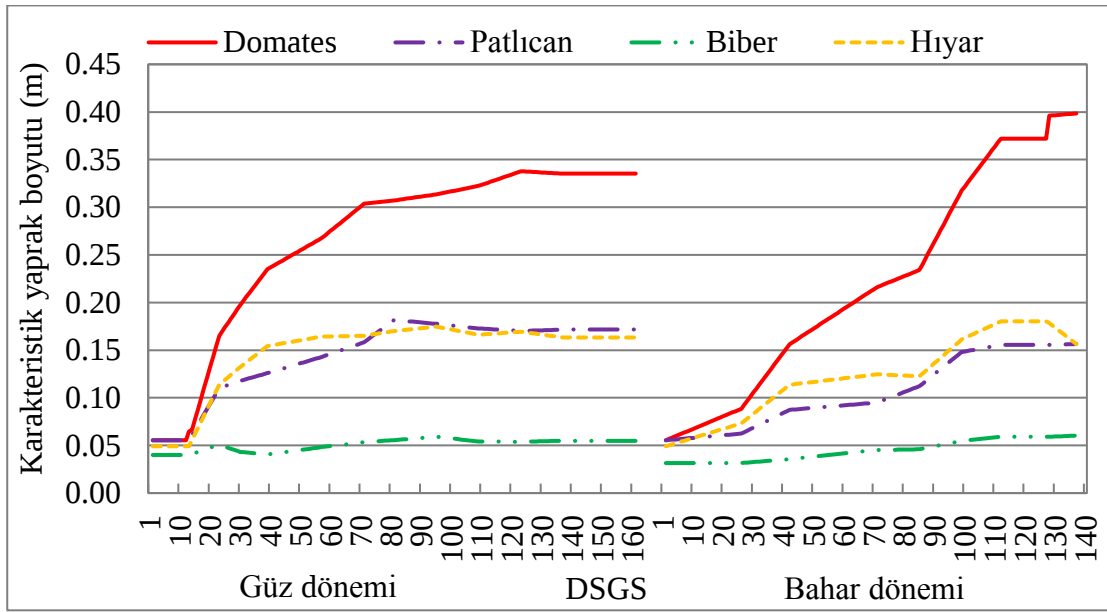
Şekil 4.35'den de anlaşılabacağı üzere hıyar bitkisinin güz ve bahar dönemindeki bitki boyları arasında yaklaşık iki kat fark oluşmuştur. Bahar döneminde askı teline ulaşan bitki ters çevrilerek zemine doğru yönlendirilmiştir. Bu nedenle hıyar bitkisinin bahar dönemindeki LAI değerleri de güz dönemine kıyasla daha büyük olmuştur (Şekil 4.34). Güz döneminde DSGS 20. güne kadar yavaş gelişen bitki boyu DSGS 20-90. gün arasında hızlanmış ve DSGS 90. günden itibaren en yüksek boy gelişimi yavaşlamıştır. Bahar döneminde ise DSGS 40. güne kadar boy gelişimi yavaş olan hıyar bitkisi bu tarihten bitki sökümüne kadar hızlı oranda gelişmeye devam etmiştir. Alsadon vd. (2005) sera koşullarında hıyar bitki boyunun 3.50 ile 3.67 m arasında değiştiğini bildirmişlerdir. Gölge tozunun uygulandığı DSGS 88. günden sonra hıyar bitki boyunun daha hızlı uzadığı belirlenmiştir. Nitekim Abu-Zahra ve Ateyyat (2016) yeşil gölgeleme perdesi yapılması durumunda bitkilerin yaklaşık 80 cm daha uzun olabileceğini bildirmiştir.

Denemede yetiştirilen tüm bitki türlerinde bitki boyu, güz döneminin başında hızlı olarak artmıştır ancak fide dikiminden iki ay sonra bitki boyu gelişim hızı azalmıştır. Bahar döneminde ise fide dikiminden sonraki ilk otuz günde bitki boyu gelişim hızının

diğer günlere kıyasla düşük olduğu görülmüştür. Tüm bitkilerde sera içindeki iklimsel değişiklikler bitki gelişimini doğrudan etkilemiştir. Yetiştirme sezonundaki diğer günlere kıyasla sıcaklığın daha fazla, bağıl nemin daha düşük ve güneşten gelen enerjinin daha yüksek olduğu zaman aralıklarında bitki boyunun gelişimi de hızlı olmuştur.

4.2.6. Karakteristik yaprak boyutları (d_y)

Aerodinamik direncin hesaplanmasında gerekli parametrelerden biri olan bitkilerin karakteristik yaprak boyutlarının (d_y) değişimi Şekil 4.36'da, d_y değerlerine ilişkin tanımlayıcı istatistiksel bilgiler Çizelge 4.21'de verilmiştir.



Şekil 4.36. Güz ve bahar dönemlerinde domates, patlıcan, biber ve hıyar bitkilerinin karakteristik yaprak boyutları (d_y) değerleri

Çizelge 4.21. Araştırmada yetiştirilen bitkilere ait hesaplanan karakteristik yaprak boyutu (d_y) değerlerine ait tanımlayıcı istatistiksel bilgiler

Tanımlayıcı istatistik verileri	Yetiştirme dönemi	Domates	Patlıcan	Biber	Hıyar
Ortalama (m)	Güz dönemi	0.267	0.147	0.051	0.149
	Bahar dönemi	0.222	0.106	0.045	0.123
En büyük değer (m)	Güz dönemi	0.338	0.182	0.059	0.175
	Bahar dönemi	0.398	0.157	0.060	0.180
En küçük değer (m)	Güz Dönemi	0.055	0.055	0.040	0.049
	Bahar dönemi	0.055	0.055	0.032	0.049

Domates bitkisinin fide dikim zamanında karakteristik yaprak boyutu (d_y) 0.06 m iken, güz döneminde en fazla 0.34 m ve bahar döneminde ise en fazla 0.40 m değerine kadar çıkmıştır. Güz döneminin başında d_y değeri hızlı bir şekilde büyümeye başlamış ve DSGS 120. güne kadar bu yükselme hızı kademeli olarak düşmüştür. Bu tarihten itibaren

ise 'd_y' değerinde büyük değişkenlik gözlemlenmemiştir. Bahar döneminde sürekli büyüme gösteren 'd_y' değerinin büyüme hızının özellikle gölgeleme tozunun atıldığı DSGS 88. gününden itibaren arttığı belirlenmiştir (Şekil 4.36). Yetiştirme dönemleri içinde belirli aralıklarda yapılan yaprak budaması uygulaması 'd_y' değerinin sürekli değişmesine neden olmuştur. Domates bitkisinin hesaplanan ortalama 'd_y' değeri güz döneminde 0.267 m ve bahar döneminde 0.222 m olarak hesaplanmıştır (Çizelge 4.21).

Patlıcan bitkisinin her iki yetiştirme sezonunda da fide dönemindeki 'd_y' değerinin 0.055 m olduğu görülürken bitkilerin sökümünden hemen önce hesaplanan 'd_y' değerinin güz döneminde 0.163 m ve bahar döneminde 0.157 m olduğu görülmüştür. Güz döneminde en yüksek 'd_y' değeri DSGS 83. günde (0.182 m) hesaplanırken bahar döneminde yetiştirme sezonunun sonunda hesaplanmıştır (0.157 m). DSGS 88. günde uygulanan gölge tozu uygulaması neticesinde 'd_y' değerinin büyüme hızı ani olarak artmış ve DSGS 109. günde bu artış sonlanarak dönem sonuna kadar sabit kalmıştır (Şekil 4.36). Her iki yetiştirme dönemi boyunca hesaplanan 'd_y' değerindeki farklılıklar sezonluk ortalama 'd_y' değerlerini etkileyerek güz (0.147 m) ve bahar döneminde (0.106 m) hesaplanan değerlerin birbirlerinden farklı olmasına sebep olmuştur (Çizelge 4.21).

Biber bitkisinde fide dönemindeki 'd_y' değerleri güz döneminde 0.040 m ve bahar döneminde 0.032 m olarak hesaplanmıştır. Her iki yetiştirme döneminde de bu değerler küçük oranda artmıştır ve yetiştirme dönemlerinin sonunda 0.06 m olarak hesaplanmıştır (Şekil 4.36). DSGS 88. günde uygulanan gölge tozunun çok azda olsa 'd_y' değerini arttırdığı belirlenmiştir. Ortalama 'd_y' değeri güz döneminde 0.051 m ve bahar döneminde ise 0.045 m olarak hesaplanmıştır (Çizelge 4.21).

Hıyar bitkisinde her iki yetiştirme döneminde de 'd_y' değeri 0.049 m olarak hesaplanmıştır. Güz döneminde hesaplanan 'd_y' değerleri DSGS 40. güne kadar hızlı artmasına rağmen, bu günden itibaren 'd_y' değerlerinde büyük bir değişiklik görülmemiştir. Bahar döneminde 'd_y' değeri DSGS 40. güne kadar güz dönemine benzer olarak hızlı artmıştır. Fakat DSGS 40. gün ile gölge tozunun uygulandığı DSGS 88. gün arasında önemli bir farklılık belirlenmemiştir. Fakat gölgeleme tozunun yapıldığı günden DSGS 110. güne kadar tekrar hızla artmış ve bu günden bitki sökümüne kadar azalma göstermiştir (Şekil 4.36). Güz döneminde ortalama 'd_y' değeri 0.149 m ve bahar döneminde ise 0.123 m olarak hesaplanmıştır (Çizelge 4.21).

Daha önce yapılan çeşitli çalışmalarda domates (Stanghellini, 1987; Kimura vd. 2020), patlıcan, biber (Qiu vd. 2013) ve hıyar (Yan vd. 2018) bitkisi için 'd_y' değeri hesaplanmasına rağmen sayısal değerleri verilmemiştir. Qiu vd. (2013) biber bitkisinin 'd_y' değerlerini seçtikleri iki farklı bitkinin tüm yapraklarını bir defa ölçerek belirlemişlerdir. Fakat yaptığımız çalışmada 'd_y' değerlerinin bitkinin farklı gelişim günlerinde değiştiği belirlenmiştir. Villarreal-Guerrero vd. (2012a) iki farklı sera soğutma stratejisi altında üç farklı ET yöntemini karşılaştırdıkları çalışmalarında biber bitkilerinin 'd_y' değerlerinin 0.051 m olduğunu bildirmişlerdir. Yaptığımız çalışmada biber bitkisinin güz dönemindeki ortalama 'd_y' değeri de 0.051 m olarak belirlense de bu değer yetiştirme dönemi içinde 0.040 ile 0.059 m arasında değişmiştir.

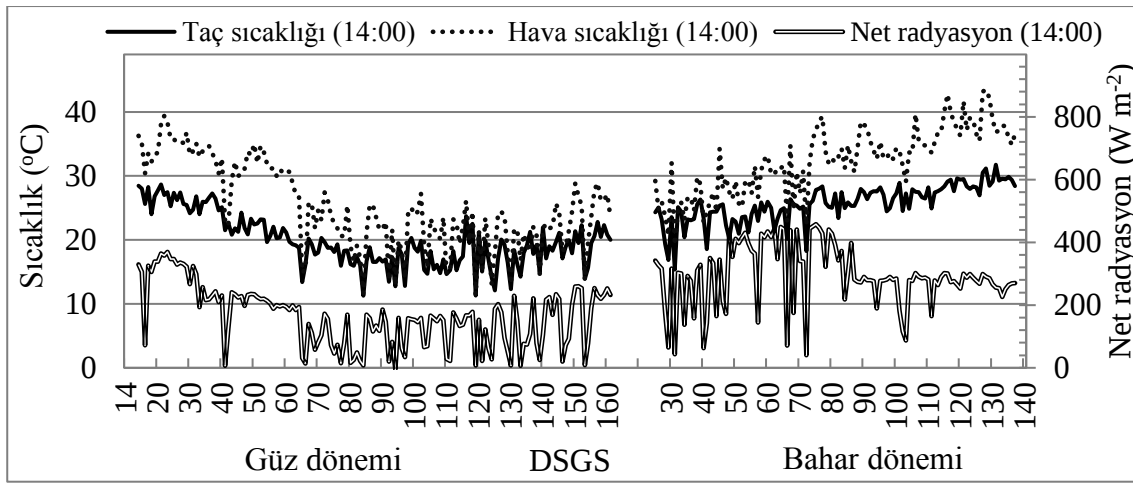
Tüm bitkiler genel olarak değerlendirildiğinde yapılan kültürel uygulamalar ve sera içi iklimsel verilerin 'd_y' değerini etkilediği belirlenmiştir.

4.2.7. Bitki taç sıcaklığı (T_c) ölçümleri

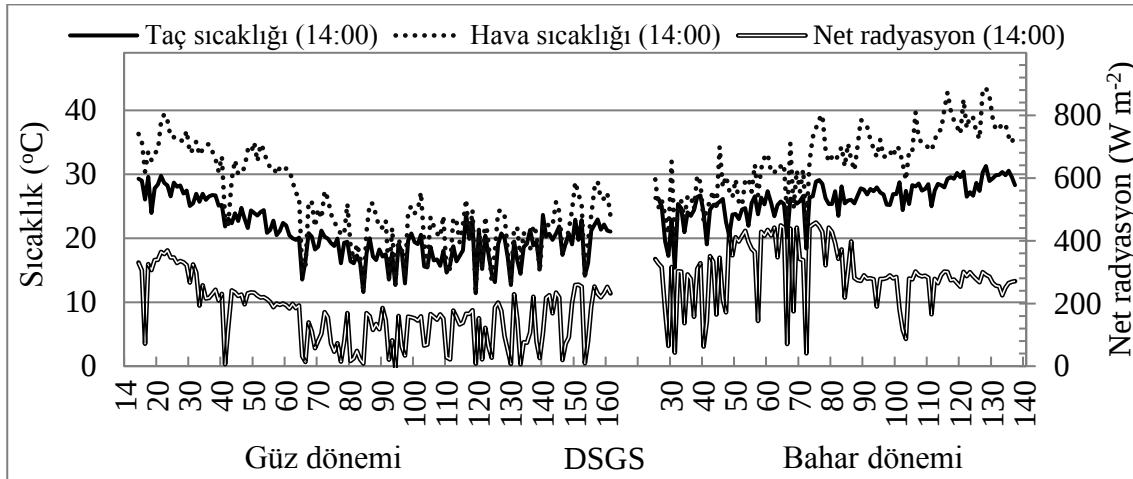
Bitki taç sıcaklığı değerlerinin günlük değişimlerinin daha iyi irdelenebilmesi amacıyla hazırlanan grafiklerde x ekseninde iki farklı yetiştirme dönemi için dikimden sonra geçen gün (DSGS), y ekseninde ise sıcaklık değerleri gösterilmiştir.

4.2.7.1. Bitkilerin saat 14:00'da ölçülen günlük taç sıcaklığı ($T_{c(14:00)}$) değişimleri

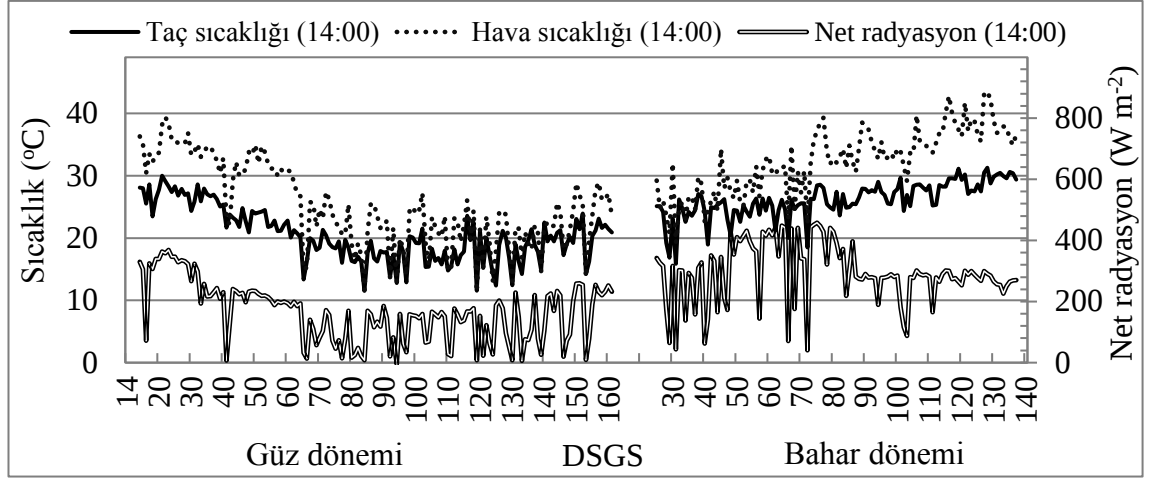
Bitki taç sıcaklığının günlük değişimini belirlemek amacıyla her gün saat 14:00'da ölçümler yapılmıştır. Her gün saat 14:00'de ölçülen bitkilerin taç sıcaklığı değerlerinin ($T_{c(14:00)}$) değişimi, aynı saatteki hava sıcaklığı ($T_{a(14:00)}$) ve net radyasyon ($R_{n(14:00)}$) değerleri ile birlikte grafiklenerek Şekil 4.37-4.40'da, bitkilerin $T_{c(14:00)}$ değerlerine ilişkin tanımlayıcı istatistiksel bilgileri ise Çizelge 4.22'de verilmiştir.



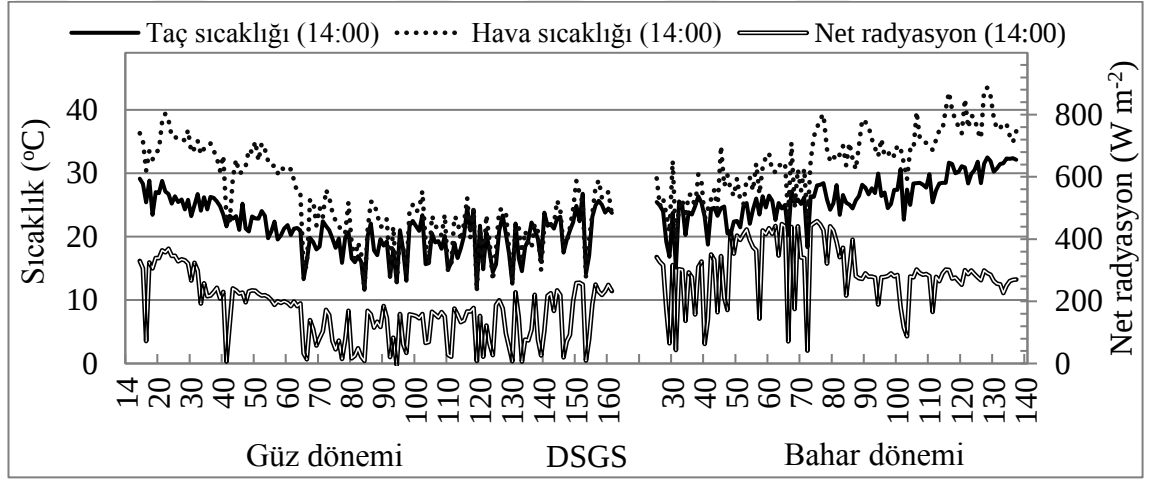
Şekil 4.37. Güz ve bahar dönemlerinde domates bitkisinin günlük $T_{c(14:00)}$, $T_{a(14:00)}$ ve $R_{n(14:00)}$ değerlerinin değişimi



Şekil 4.38 Güz ve bahar dönemlerinde patlıcan bitkisinin günlük $T_{c(14:00)}$, $T_{a(14:00)}$ ve $R_{n(14:00)}$ değerlerinin değişimi



Şekil 4.39. Güz ve bahar dönemlerinde biber bitkisinin günlük T_c (14:00), T_a (14:00) ve R_n (14:00) değerlerinin değişimi



Şekil 4.40. Güz ve bahar dönemlerinde hıyar bitkisinin günlük T_c (14:00), T_a (14:00) ve R_n (14:00) değerlerinin değişimi

Çizelge 4.22. Hıyar bitkisinin $T_{c(14:00)}$ değerlerine ait tanımlayıcı istatistiksel bilgiler

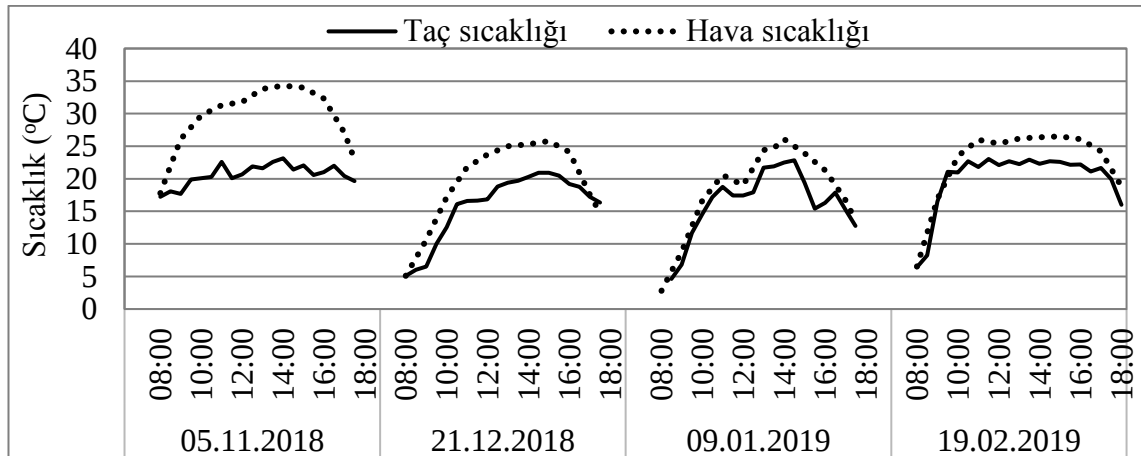
Tanımlayıcı istatistik verileri	Yetiştirme dönemi	Domates	Patlıcan	Biber	Hıyar
Ortalama (°C)	Güz dönemi	19.9	20.6	20.5	21.0
	Bahar dönemi	25.7	26.1	26.1	26.3
En büyük değer (°C)	Güz dönemi	28.7	29.8	30.0	29.1
	Bahar dönemi	31.8	31.3	31.3	32.5
En küçük değer (°C)	Güz Dönemi	11.3	11.4	11.5	11.6
	Bahar dönemi	15.4	15.4	15.9	15.1

Domates bitkisinin ortalama $T_{c(14:00)}$ değerleri güz döneminde 19.9 °C ve bahar döneminde 25.7 °C olarak ölçülürken, güz ve bahar dönemindeki en düşük taç sıcaklığı değerleri sırasıyla 11.3 °C ve 15.4 °C olarak ölçülmüştür (Şekil 4.37 ve Çizelge 4.22). Domates ve patlıcan bitkisinin $T_{c(14:00)}$ değerlerinin benzer eğilime sahip olduğu görülse de patlıcan bitkisinin her iki yetiştirme döneminde de $T_{c(14:00)}$ değerinin domates bitkisine kıyasla daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Bu nedenle patlıcan bitkisinin $T_{c(14:00)}$ ile $T_{a(14:00)}$ arasında daha düşük bir sıcaklık farkı elde edilmiştir. Patlıcan bitkisinin en yüksek $T_{c(14:00)}$ değeri bahar döneminde 31.3 °C olarak ölçülürken en düşük değeri ise güz döneminde 11.4 °C olarak ölçülmüştür (Şekil 4.38 ve Çizelge 4.22). Biber ve patlıcan bitkilerinin her iki yetiştirme döneminde de $T_{c(14:00)}$ değerlerinin birbirlerine çok yakın olduğu görülmektedir (Şekil 4.39 ve Çizelge 4.22). Biber ve patlıcan bitkilerinin ortalama taç sıcaklıkları arasındaki farkın güz ve bahar döneminde sırasıyla 0.1 °C ve 0 °C olduğu belirlenmiştir (Çizelge 4.22). Hava sıcaklığının ve güneşten gelen enerjinin nispeten daha fazla olduğu güz döneminin başında ve bahar döneminin sonunda $T_{c(14:00)}$ ile $T_{a(14:00)}$ değerleri arasındaki farkın diğer günlere kıyasla daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Yukarıdaki şekillerden (Şekil 4.37, 4.38, 4.39 ve 4.40) sera içi net radyasyon değeri azaldıkça tüm bitkilere ait $T_{c(14:00)}$ ile $T_{a(14:00)}$ değerleri arasındaki farkında azaldığı görülmektedir. Nitekim Jones ve Rotenberg (2011) yaprak ve bitki taç sıcaklığının, radyant değişimlerin hakim olduğu yapraktaki enerji dengesine bağlı olduğunu bildirmiştir. Tüm bitkiler arasında en yüksek $T_{c(14:00)}$ değerine sahip bitki, her iki yetiştirme döneminde de hıyar bitkisidir (Şekil 4.40 ve Çizelge 4.22). Bu nedenle hıyar bitkisinin $T_{c(14:00)}$ ile $T_{a(14:00)}$ değerleri arasındaki sıcaklık farkının diğer bitkilere kıyasla daha küçük olduğu belirlenmiştir. Roupheal ve Colla (2004) benzer iklim koşullarında fakat havalandırma sistemine sahip plastik serada hıyar bitkisi ile aynı aileden olan kabak bitlisinden elde edilen en yüksek taç sıcaklığının 33.8 °C olduğunu bildirmiştir. Yaptığımız bu çalışmada hıyar bitkisinden elde edilen en yüksek $T_{c(14:00)}$ değeri bahar döneminde 32.5 °C olarak ölçülmüştür. İsmail vd. (2014) tarla koşullarında yaptıkları çalışmada hava sıcaklığı ile stres altında olmayan domates bitkilerinin taç sıcaklığı arasındaki farkın 6.8 °C ye kadar çıktığını, stres koşulları altında ise taç sıcaklığının yaklaşık 4 °C daha fazla olduğunu belirlemişlerdir. Yaptığımız çalışmada $T_{a(14:00)}$ ile $T_{c(14:00)}$ sıcaklıkları arasındaki en büyük fark, domates, patlıcan, biber ve hıyar bitkisinde sırasıyla 13.7, 13.5, 13.5 ve 11.7 °C olarak belirlenirken, ortalama fark sırasıyla 5.9, 5.3, 5.4 ve 5.0 olarak belirlenmiştir. Nicacias (2009) sera koşullarında kasım ile ocak ayı arasında yürüttükleri çalışmada iki farklı domates çeşidinin taç sıcaklığı değerlerini ölçmüşlerdir. Araştırmacı çiçeklenme ve meyve tutumu dönemlerinde 09:00 ile 11:00 saatleri arasında bu iki çeşidin taç sıcaklığını 20.0 °C olarak ölçerken, 12:00 ile 14:00

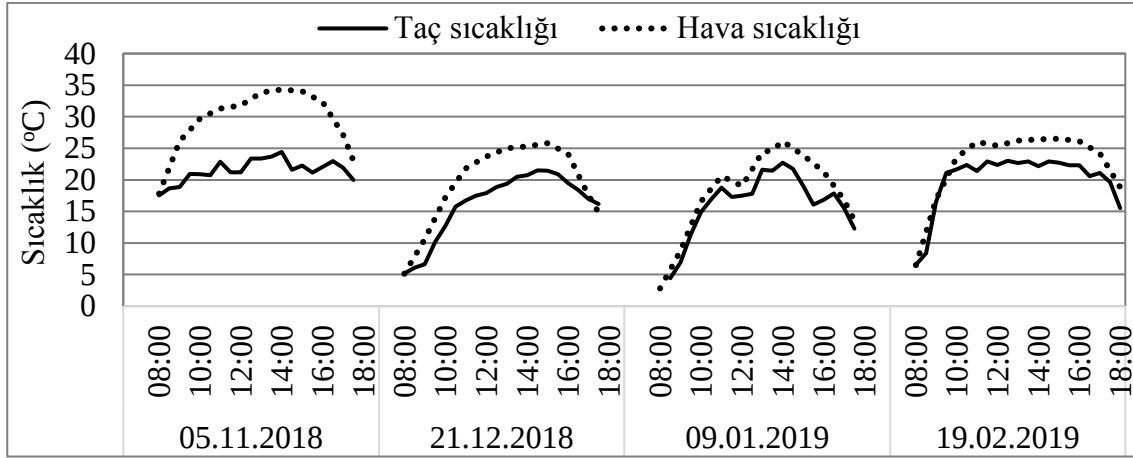
saatleri arasında 22.0 ve 21.00 °C olarak ölçmüştür. Ayrıca, araştırmacı domates bitkisinin stres koşulları altında bitki taç sıcaklığı değerlerinin ortalama 7 °C'ye kadar daha sıcak olduğunu belirtmiştir. Nikolaou vd. (2017) Akdeniz iklimi koşullarında serada topraksız ortamda yetiştirilen hıyar bitkisinin yaprak sıcaklığı ile ET değeri arasında önemli ilişki ($R^2=0.93$) olduğunu bildirmişlerdir. Yang vd. (1990) hava sıcaklığı ile sera koşullarında yetiştirilen hıyar bitkisinin yaprak sıcaklığı arasındaki farkın yaklaşık 5 °C olduğunu belirtmişlerdir. Araştırmacı tarafından verilen birbirini takip eden iki gün boyunca ölçülmüş iklimsel verilerin verildiği grafikten (Fig 4) saat 14:00'da yaprak sıcaklığının yaklaşık olarak 27 ve 30 °C olduğu anlaşılmaktadır. Farklı yüksekliklerdeki hava ve yaprak sıcaklığını da ölçen araştırmacılar saat 12:00-16:00 arasında bitkinin üst kısmındaki sıcaklık farkının, alt kısmına kıyasla daha fazla olduğunu göstermektedir. Bu nedenle özellikle ET'yi hesaplamada bitki sıcaklığı olarak bitkiyi daha iyi temsil eden taç sıcaklığının kullanılması gerekmektedir. Kirnak vd. (2001) tarla koşullarında tam sulama konusunda (stresiz koşulda) patlıcan bitkisinin taç sıcaklığı mevsimlik ortalamasının 35 °C ve hava sıcaklığı ile taç sıcaklığı arasındaki farkın ise 3-4 °C olduğunu, ayrıca bitkinin su stresi yaşaması durumunda taç sıcaklığının arttığını belirtmişlerdir. Díaz-Pérez (2013) biber yetiştirilen seralarda yapılan gölgeleme uygulamasının fotosentetik aktif radyasyon (PAR) düzeyinin yanı sıra hava, kök bölgesi ve yaprak sıcaklığını düşürdüğünü bildirmiştir. Bu çalışmada DSGS 88. günde gölge tozu uygulanmasıyla sera içi hava ve yaprak sıcaklıkları azalsa da $T_c(14:00)$ ile $T_a(14:00)$ değerleri arasındaki farkın arttığı gözlemlenmiştir (Şekil 4.37-4.40).

4.2.7.2. Bitki gün doğumu ve batımı arasındaki taç sıcaklıklarının (T_c) değişimleri

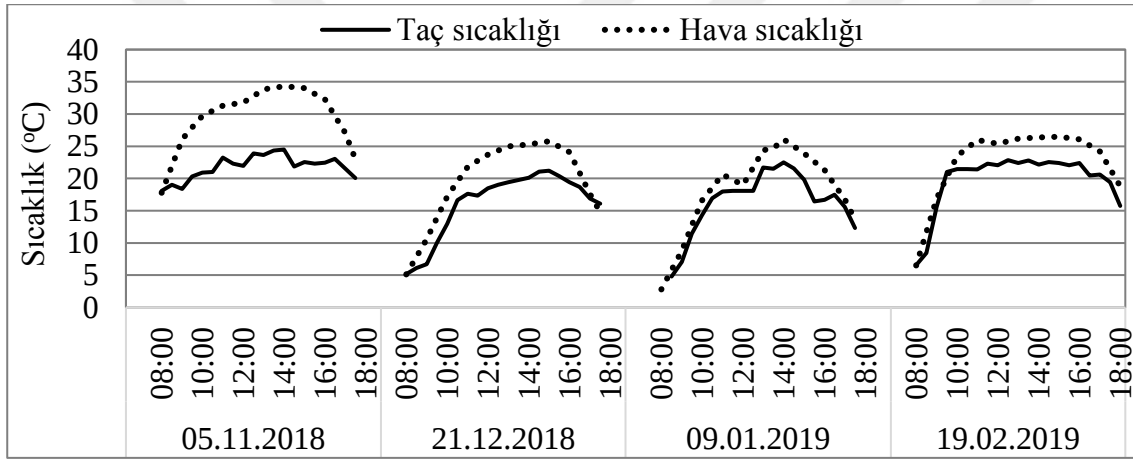
Güz döneminde 05.11.2018, 21.12.2018, 09.01.2019 ve 19.02.2019 (DSGS 53, 99, 118 ve 159) günlerinde ve bahar döneminde ise 22.04.2019, 28.05.2019 ve 30.06.2019 (DSGS 53, 89 ve 122) günlerinde gün doğumu ile gün batımı arasında her yarım saatte bir ölçülen domates patlıcan biber ve hıyar bitkilerinin taç sıcaklıklarının değişimi sırasıyla Şekil, 4.41-4.44'de ve Şekil 4.45-4.48'de verilmiştir.



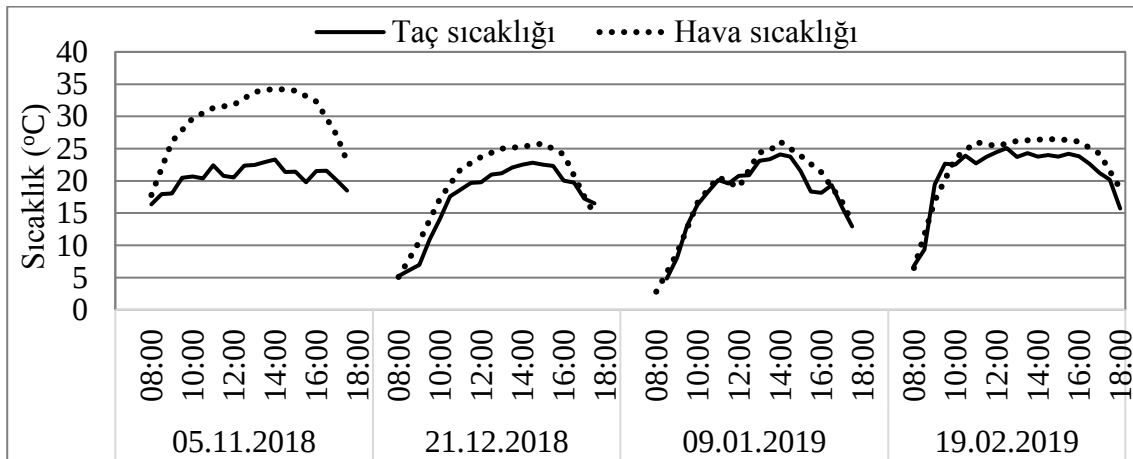
Şekil 4.41. Güz dönemi içindeki farklı günlerde, domates bitkisinin bitki taç sıcaklığı değerlerinin gün içindeki değişimi



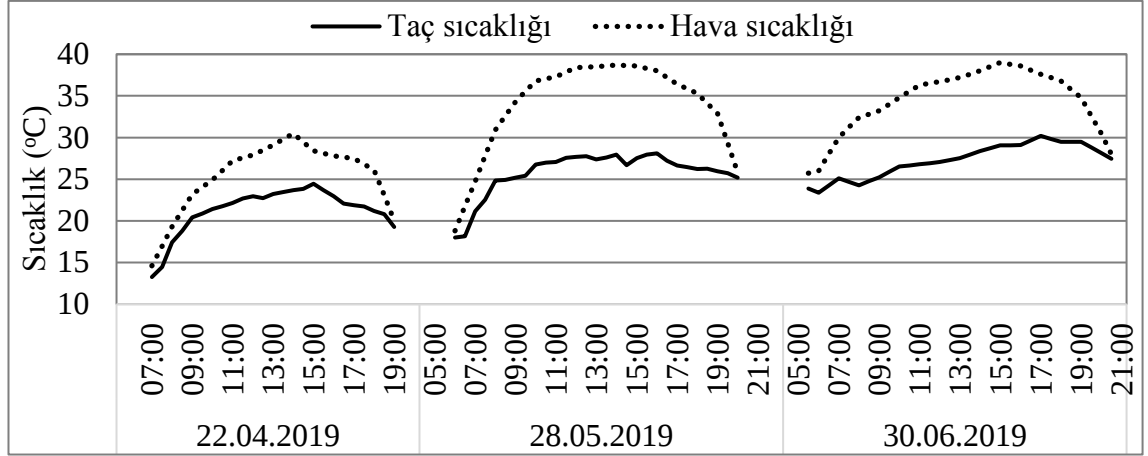
Şekil 4.42. Güz dönemi içindeki farklı günlerde, patlıcan bitkisinin bitki taç sıcaklığı değerlerinin gün içindeki değişimi



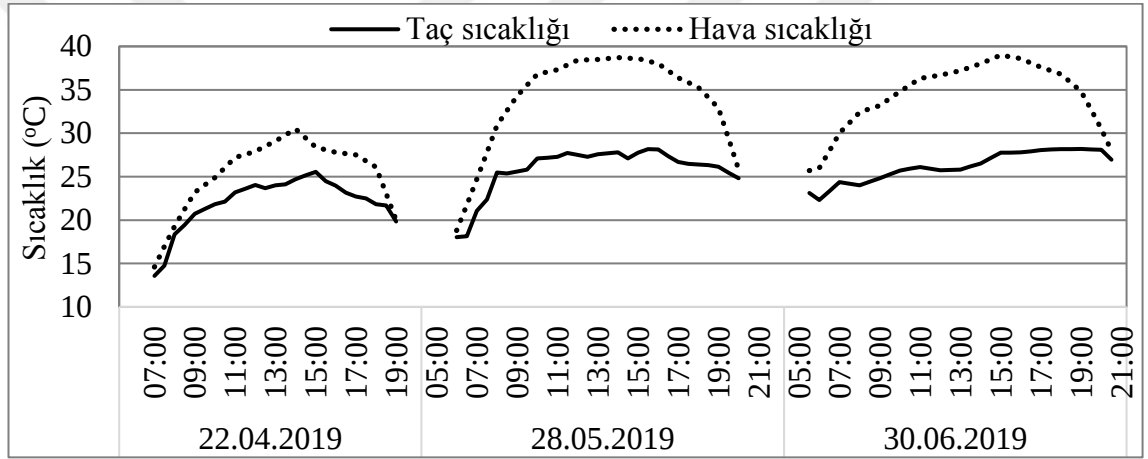
Şekil 4.43. Güz dönemi içindeki farklı günlerde, biber bitkisinin bitki taç sıcaklığı değerlerinin gün içindeki değişimi



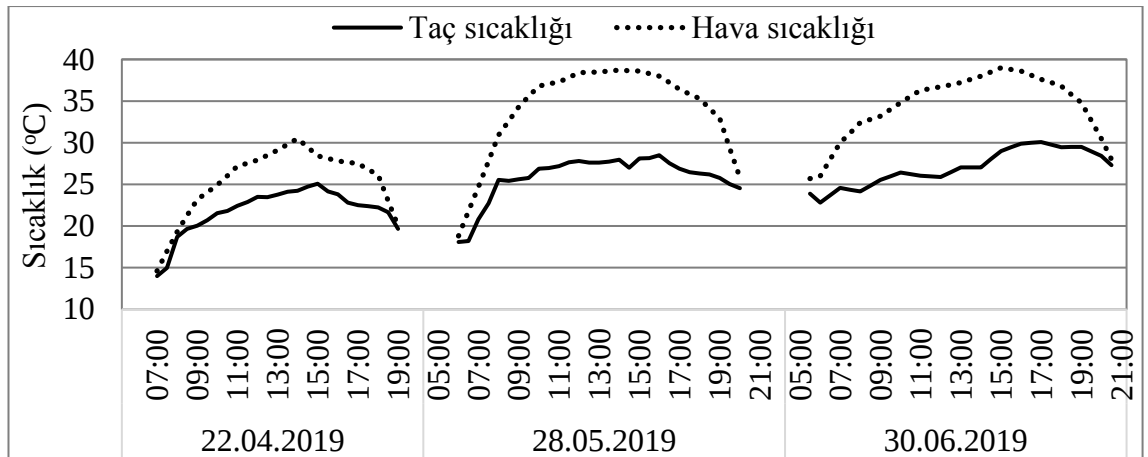
Şekil 4.44. Güz dönemi içindeki farklı günlerde, hıyar bitkisinin bitki taç sıcaklığı değerlerinin gün içindeki değişimi



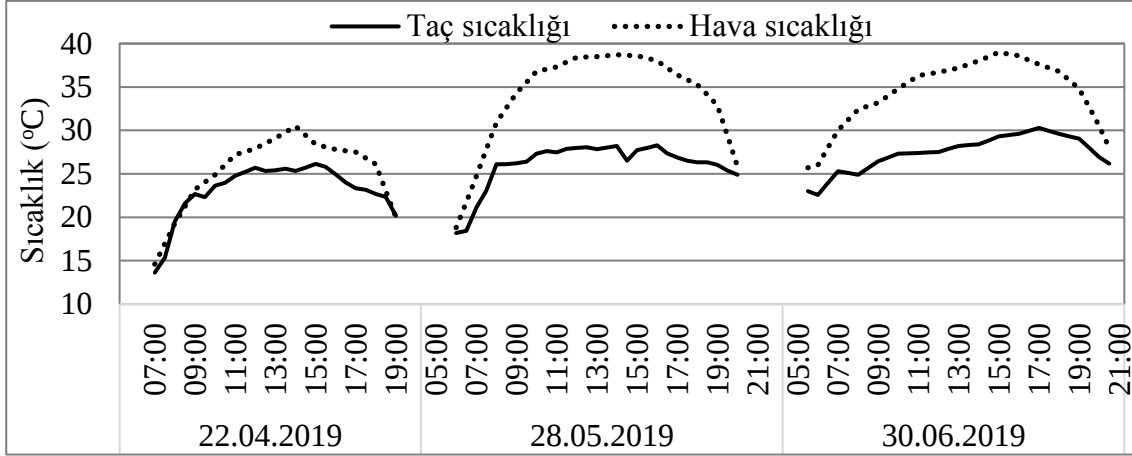
Şekil 4.45. Bahar dönemi içindeki farklı günlerde, domates bitkisinin bitki taç sıcaklığı değerlerinin gün içindeki değişimi



Şekil 4.46. Bahar dönemi içindeki farklı günlerde, patlıcan bitkisinin bitki taç sıcaklığı değerlerinin gün içindeki değişimi



Şekil 4.47. Bahar dönemi içindeki farklı günlerde, biber bitkisinin bitki taç sıcaklığı değerlerinin gün içindeki değişimi

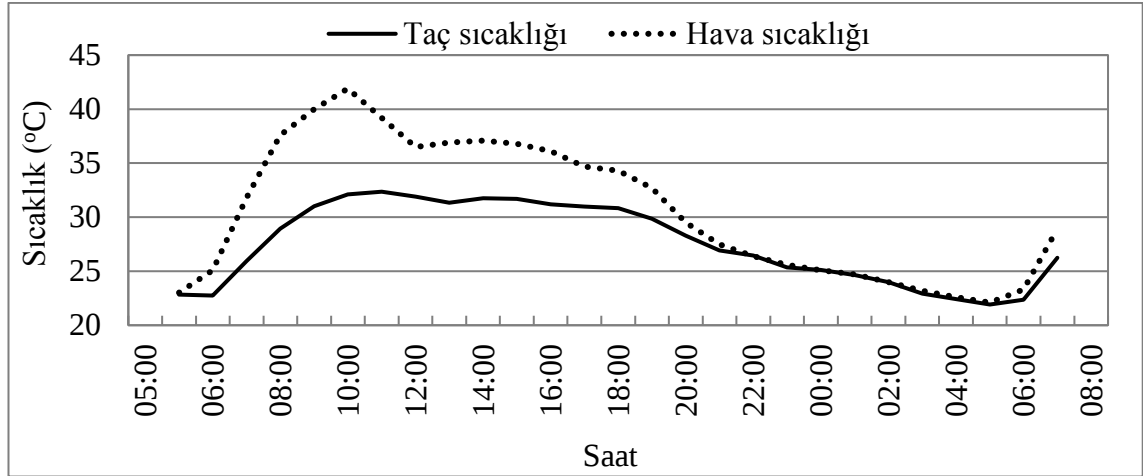


Şekil 4.48. Bahar dönemi içindeki farklı günlerde, hıyar bitkisinin bitki taç sıcaklığı değerlerinin gün içindeki değişimi

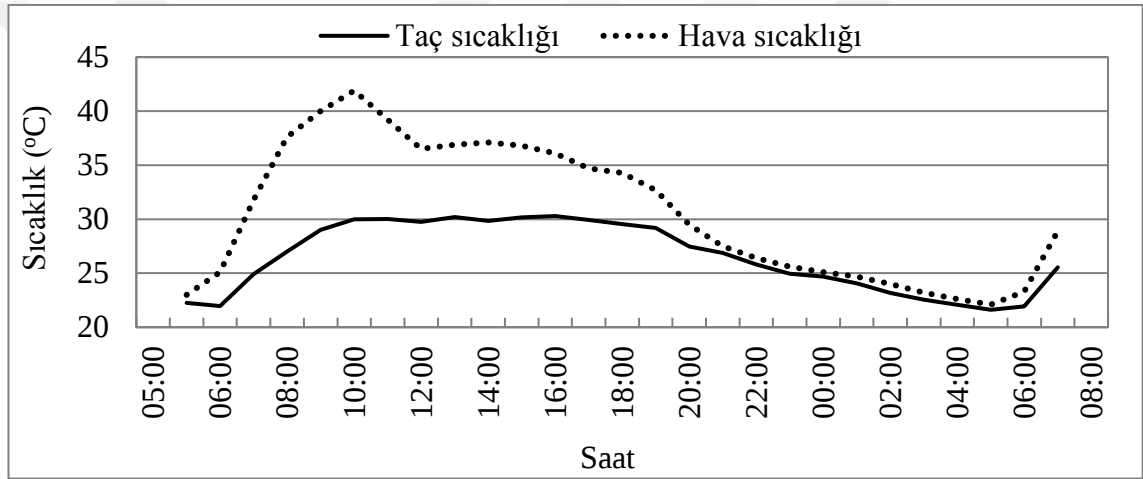
Şekil 4.41-4.48'den izleneceği gibi, hava sıcaklığının düşük olduğu güz döneminde gün doğumundaki taç sıcaklığı ile gün ortasındaki taç sıcaklığı arasında fark büyükken, havaların ısınmasıyla bu farklılık önemli düzeyde azalmaktadır. Her iki yetiştirme döneminde de gün doğumu ile gün batımı arasında bitki taç sıcaklığı değerleri hava sıcaklığından düşük ölçülmüştür. Nitekim Rouphael vd. (2010) havalandırma sistemine sahip plastik serada yaptıkları çalışmada, gün içinde yaprak sıcaklığının hava sıcaklığından daima düşük olduğunu bildirmiştir. Gil vd. (2015) sera koşullarında yetiştirilen domates bitkisinin hava sıcaklığı ile yaprak sıcaklığı arasındaki farkın en fazla öğlen saatlerinde olduğu ve havanın kararmasından gün doğumuna olan zaman aralığında bu farkın çok az olduğunu bildirmiştir. Benzer sonuç bu araştırmada da elde edilmiştir. Her iki yetiştirme döneminde de tüm bitkilerin taç ile hava sıcaklığı değerleri arasındaki farkın en fazla olduğu zaman dilimi, solar radyasyon ve hava sıcaklığının daha yüksek düzeyde olduğu öğle saatleridir. Yine, aralık, ocak ve şubat ayında bitki taç ile hava sıcaklığı arasında farkın en az olduğu görülürken, mayıs ve haziran ayında farkın en fazla olduğu saptanmıştır. Bu sonuçlar, stres koşulları altında olmayan bitkilerin taç ve hava sıcaklığı farkının sera içi ikliminden etkilendiğini göstermektedir. Saatlik stoma iletkenliği ve taç sıcaklığı değerleri beraber incelendiğinde, bitkiler günün en sıcak saatlerine denk gelen öğle saatlerinde stomalarını kısmi kapatmasından dolayı potansiyel düzeyde transpirasyon yapamadıkları ve bu durumun ise bitki taç sıcaklıklarının arttırmasına neden olduğu belirlenmiştir. Ullah vd. (2019) günün diğer saatlere kıyasla daha sıcak olan öğlen saatlerinde domates bitkisinin su kaybını önlemek için stoma gözeneklerini kapattığını ve bunun sonucu olarak bitki sıcaklığının arttığını bildirmişlerdir. Bu çalışmada elde edilen bulguların literatür bulgularıyla benzer olduğu söylenebilir.

4.2.7.3. Bitki taç sıcaklıklarının (T_c) 24 saat içindeki değişimleri

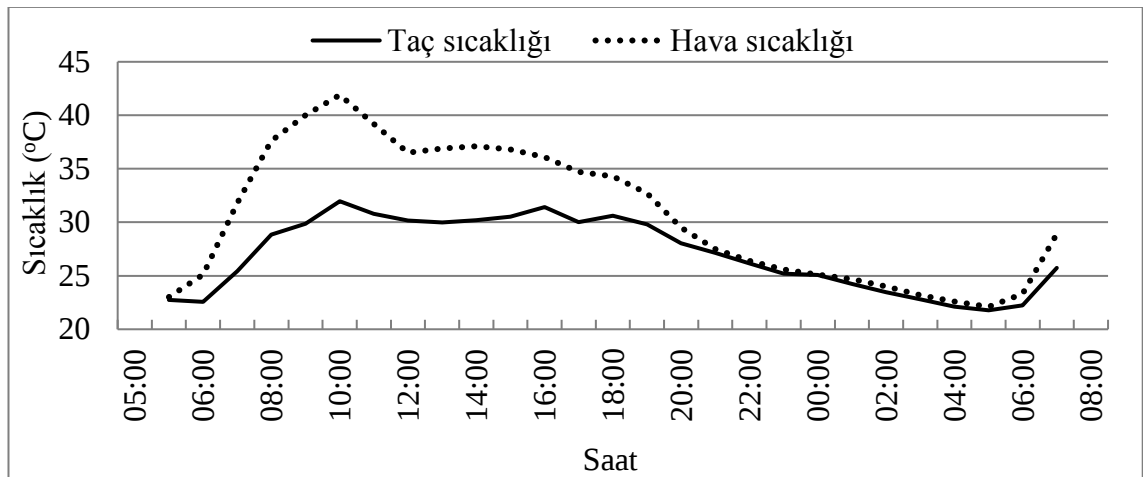
Bahar döneminde 09.07.2019 günü olmak üzere bir defa araştırmada yetiştirilen bitkilerin taç sıcaklıkları, 24 saat boyunca izlenmiş ve ölçülen değerler Şekil 4.49-4.52'de verilmiştir.



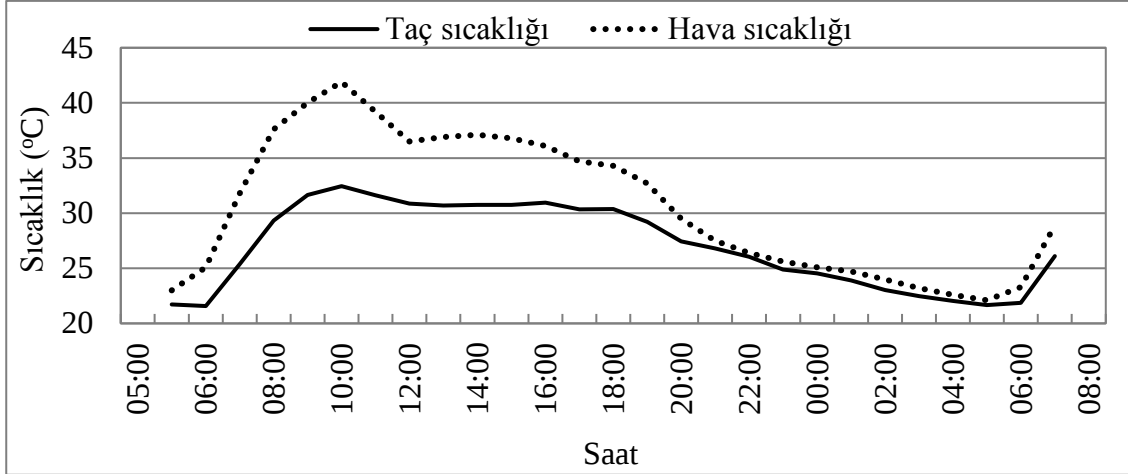
Şekil 4.49. Domates bitkisinin 24 saat içindeki saatlik taç sıcaklığı değişimi



Şekil 4.50. Patlıcan bitkisinin 24 saat içindeki saatlik taç sıcaklığı değişimi



Şekil 4.51. Biber bitkisinin 24 saat içindeki saatlik taç sıcaklığı değişimi

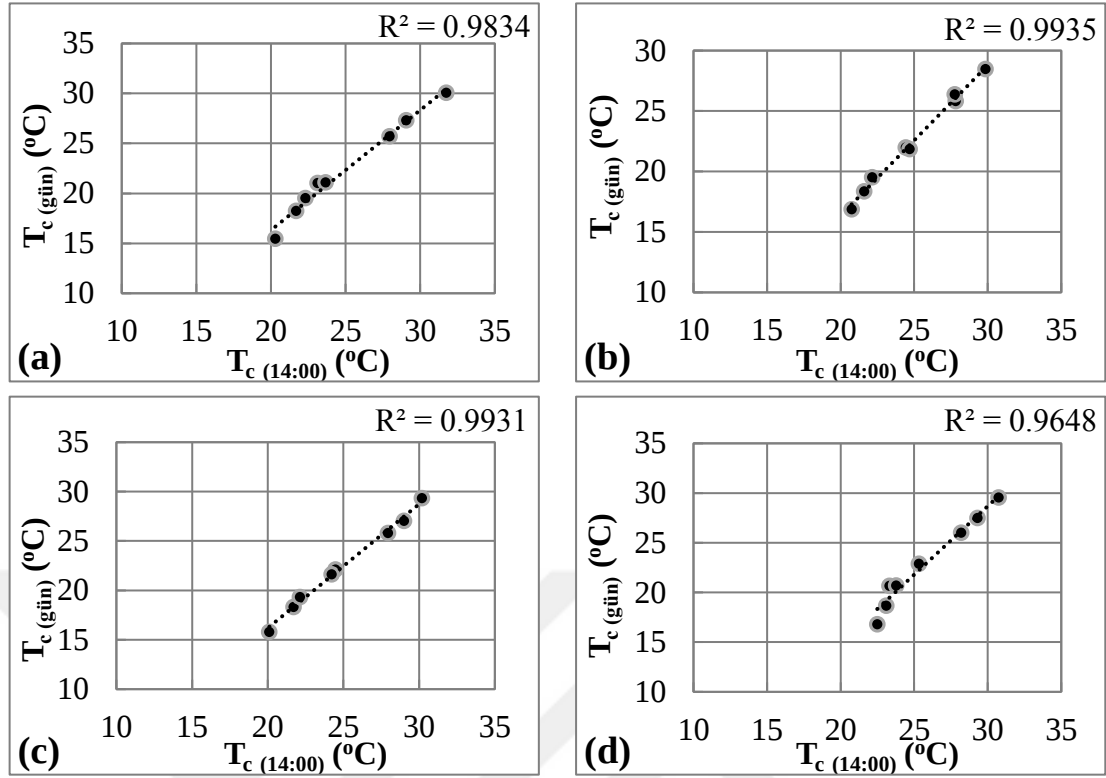


Şekil 4.52. Hıyar bitkisinin 24 saat içindeki saatlik taç sıcaklığı değişimi

Tam gün ölçümünün yapıldığı 09.07.2019 tarihinde gün doğumu 05:46'da, gün batımı ise 20:19'da gerçekleşmiştir (Şekil 4.49, 4.50 4.51 ve 4.52). Araştırmada yetiştirilen tüm bitkilerde taç sıcaklıklarının en düşük olduğu zaman dilimi gün doğumuna yakın saatlerde (05:30 ile 06:00 saat aralığında) gerçekleşmiştir. Gün doğumundan başlayarak incelenen tüm bitkilerin taç sıcaklığı değerleri saat 10:00'a kadar hızla yükselmiştir. Tüm bitkilerde en yüksek taç sıcaklığı değerleri saat 10:00 ile 16:00 arasında belirlenmiştir. Saat 18:30'dan itibaren sera için hava sıcaklığı tekrar düşmeye başlamıştır. Güneş radyasyonunun olmadığı gün batımından gün doğumuna kadar olan süre içerisinde bitki tacı ve hava sıcaklıklarının birbirlerine çok yakın değerlerde olduğu saptanmıştır (Şekil 4.49-4.52). Bitki tacı ve hava sıcaklıkları arasındaki en büyük farklılık öğlen saatlerinde meydana gelmiştir. Yang vd. (1990) gün batımıyla gün doğumu arasındaki karanlık saatlerde hıyar bitkisinin yaprağı ile sera içi hava sıcaklığı arasında farkın olmadığını, 12:00 ile 16:00 saatleri arasındaki aydınlık saatlerde ise hava sıcaklığı ile yaprak sıcaklığı arasında yaklaşık 5 °C'lik farkın olduğunu saptamışlardır. Bu çalışmaya benzer sonuçlar araştırmada yürütülen tüm bitkilerde de elde edilmiştir. Bu açıdan elde edilen sonuçların az sayıdaki literatürle uyumlu olduğu belirlenmiştir.

4.2.7.4. Saat 14:00'da ölçülen taç sıcaklığı ($T_{c(14:00)}$) değerini kullanarak gün doğumu ile gün batımı arasındaki ortalama taç sıcaklığı ($T_{c(gün)}$) değerinin tahmin edilmesi

Güz ve bahar dönemindeki toplam 8 farklı günde domates, patlıcan, biber ve hıyar bitkilerinden elde edilen saatlik taç sıcaklığı ölçümlerinin (Şekil 4.41-4.52) gün doğumu ile gün batımı arasındaki ortalamaları alınarak elde edilen taç sıcaklığı değerleri ($T_{c(gün)}$) ile aynı günlerde saat 14:00'da ölçülen $T_{c(14:00)}$ değerleri arasındaki doğrusal ilişkiler Şekil 4.53'de, elde edilen doğrusal eşitlikler ise Çizelge 4.23'de gösterilmiştir.



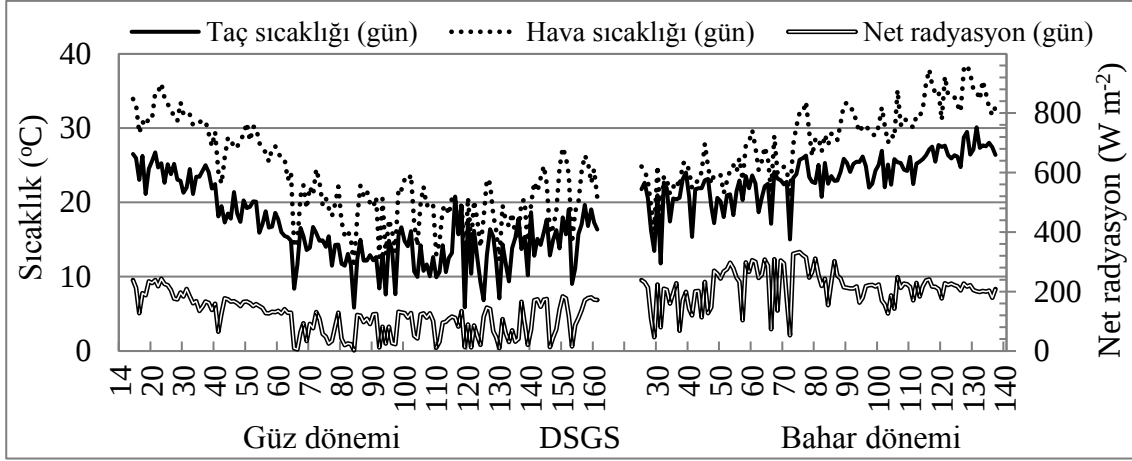
Şekil 4.53. Güz ve bahar dönemindeki farklı günlerde domates (a), patlıcan (b), biber (c) ve hıyar (d) bitkilerinden elde edilen $T_c(14:00)$ ile ($T_c(gün)$) değerleri arasındaki doğrusal ilişkiler

Çizelge 4.23. Domates, patlıcan, biber ve hıyar bitkilerinde saat 14:00’de ölçülen taç sıcaklığından ($T_c(14:00)$) gündüz saatleri ortalama taç sıcaklığını ($T_c(gün)$) hesaplamaya yarayan eşitlikler

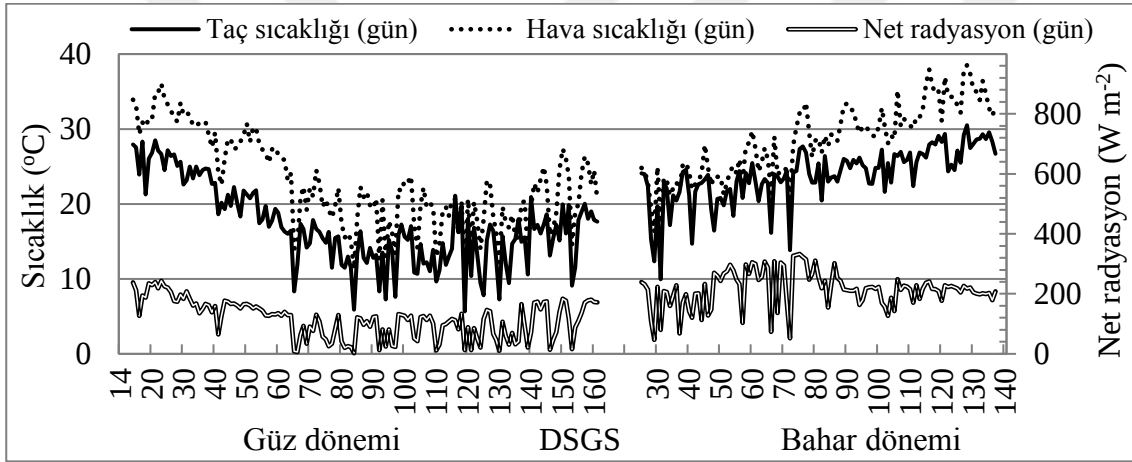
Bitki	Model
Domates	$T_c(gün) = 1.2011xT_c(14:00) - 7.7024$
Patlıcan	$T_c(gün) = 1.2437xT_c(14:00) - 8.5224$
Biber	$T_c(gün) = 1.2548xT_c(14:00) - 8.9074$
Hıyar	$T_c(gün) = 1.3778xT_c(14:00) - 12.656$

Yapılan regresyon analizi sonucunda $T_{c(gün)}$ ve $T_{c(14:00)}$ değerleri arasında domates ($R^2=0.98$), patlıcan ($R^2=0.99$), biber ($R^2=0.99$) ve hıyar ($R^2=0.97$) bitkisinde yüksek önem seviyesinde doğrusal ilişki olduğunu saptanmıştır (Şekil 4.53). Dolayısıyla, Çizelge 4.23’deki eşitlikler yardımıyla, herhangi bir günde saat 14:00’da ölçülen bitki taç sıcaklığı değeri kullanarak, gün doğumu ile gün batımı arasındaki ortalama bitki taç sıcaklığı değerinin ($T_{c(gün)}$) yüksek doğrulukta tahmin edilebileceği sonucuna varılabilir.

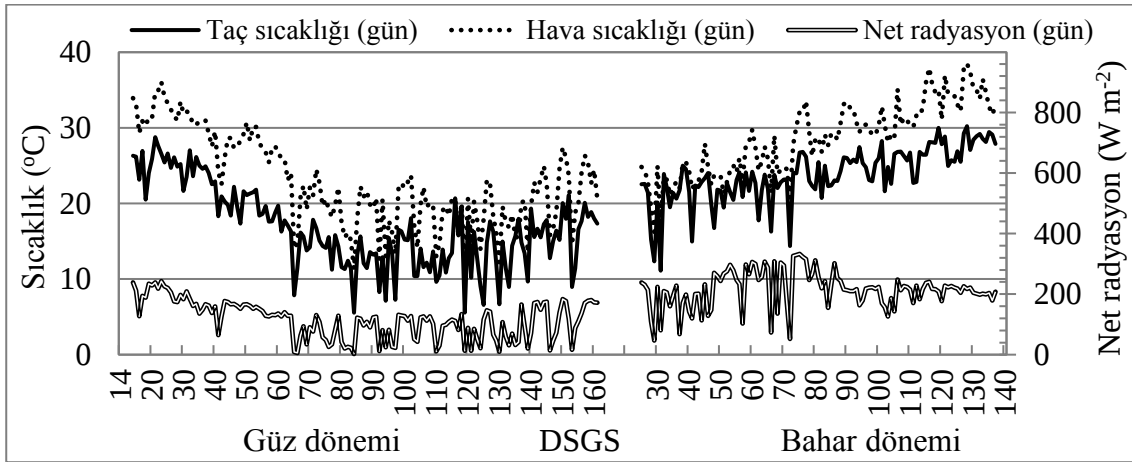
Çizelge 4.23’deki eşitliklerin kullanılmasıyla domates, patlıcan, biber ve hıyar bitkisine ait tahmin edilen $T_{c(gün)}$ değerleri ile gün doğumu ve gün batımı arasındaki sera içi ortalama hava sıcaklığı $T_a(gün)$ ve ortalama net radyasyon $R_n(gün)$ değerleri sırasıyla Şekil 4.54, 4.55, 4.56 ve 4.57’de verilirken, $T_{c(gün)}$ değerlerine ait tanımlayıcı istatistiksel bilgiler Çizelge 4.24’de verilmiştir.



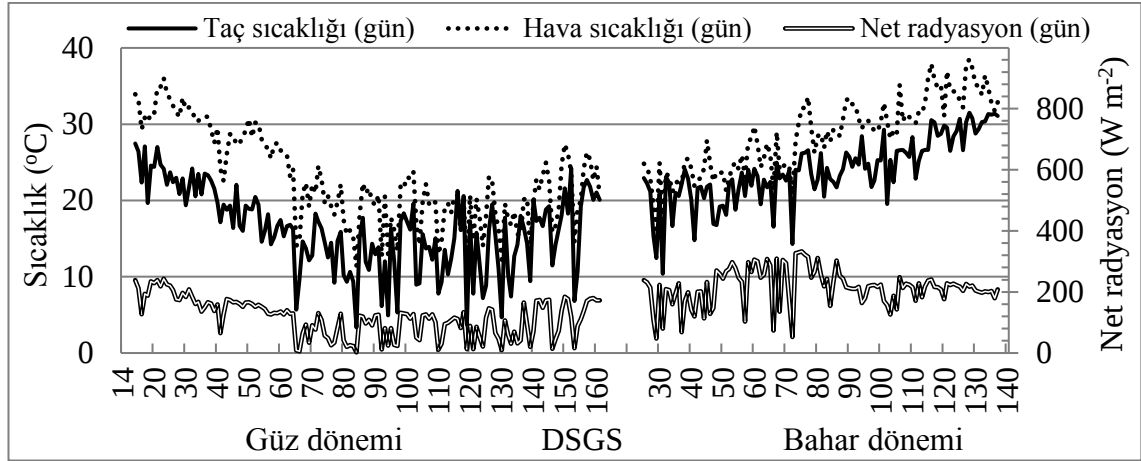
Şekil 4.54. Güz ve bahar dönemlerinde domates bitkisinin eşitlik yardımıyla hesaplanan $T_c(gün)$ değeri ile ölçülen $T_a(gün)$ ve $R_n(gün)$ değerlerinin günlük değişimi



Şekil 4.55. Güz ve bahar dönemlerinde patlıcan bitkisinin eşitlik yardımıyla hesaplanan $T_c(gün)$ değeri ile ölçülen $T_a(gün)$ ve $R_n(gün)$ değerlerinin günlük değişimi



Şekil 4.56. Güz ve bahar dönemlerinde biber bitkisinin eşitlik yardımıyla hesaplanan $T_c(gün)$ değeri ile ölçülen $T_a(gün)$ ve $R_n(gün)$ değerlerinin günlük değişimi



Şekil 4.57. Güz ve bahar dönemlerinde hıyar bitkisinin eşitlik yardımıyla hesaplanan T_c (gün) değeri ile ölçülen T_a (gün) ve R_n (gün) değerlerinin günlük değişimi

Çizelge 4.24. Domates, patlıcan, biber ve hıyar bitkilerinin gün doğumu ile gün batımı arasındaki taç sıcaklığı (T_c (gün)) değerlerine ait tanımlayıcı istatistiksel bilgiler

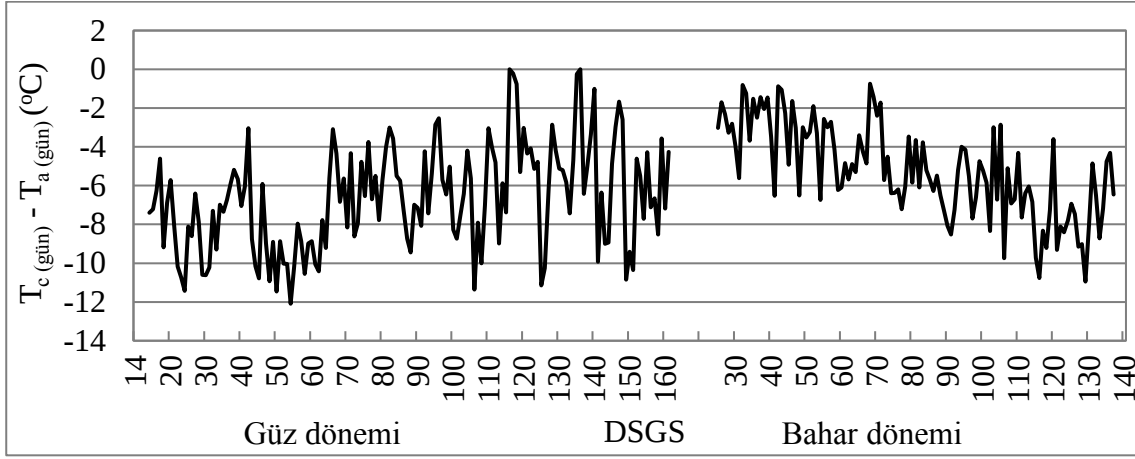
Tanımlayıcı istatistik verileri	Yetiştirme Dönemi	Domates	Patlıcan	Biber	Hıyar
Ortalama (°C)	Güz dönemi	16.2	17.1	16.8	16.2
	Bahar dönemi	23.4	23.9	23.8	24.0
En büyük değer (°C)	Güz dönemi	26.8	28.5	28.7	27.5
	Bahar dönemi	30.1	30.5	30.2	31.5
En küçük değer (°C)	Güz dönemi	5.8	5.7	5.6	3.3
	Bahar dönemi	11.8	10.0	11.1	10.4

T_c (14:00) değerlerine ait tanımlayıcı istatistiksel bilgilerin verildiği Çizelge 4.22 ile T_c (gün) değerlerine ait tanımlayıcı istatistiksel bilgilerin verildiği Çizelge 4.24 beraber incelendiğinde, domates, patlıcan, biber ve hıyar bitkisinde ortalama T_c (gün) değerlerinin güz döneminde sırasıyla 3.7, 3.5, 3.7 ve 4.8 °C ve bahar döneminde sırasıyla 2.3, 2.2, 2.3 ve 2.3 °C daha düşük olduğu görülmektedir. Bu nedenle genellikle günün en sıcak saati olan saat 14:00'deki taç sıcaklığı değerinin kullanılmasıyla yapılan hesaplama sonucunda günlük ET değerinin fazla tahmin edilmesi muhtemeldir. Araştırmada güz ve bahar yetiştirme dönemindeki domates, patlıcan, biber ve hıyar bitkilerinin ortalama T_c (gün) değerleri arasında sırasıyla 7.2, 6.8, 7 ve 7.8 (°C) fark bulunmaktadır. Elde edilen bulgulardan, farklı yetiştirme dönemlerindeki sera içi ikliminin bitki taç sıcaklığını doğrudan etkilediğini sonucuna varılabilir. İncelenen tüm bitkilerde güz döneminin başında yaklaşık 25 °C olan T_c (gün) değerleri, sera içine gelen radyasyonun ve hava sıcaklığının azalmasıyla DSGS 90. güne kadar azalma eğilimi göstermiştir (Şekil 4.54-4.57). Sera içi sıcaklığının ve net radyasyon miktarının güz döneminin sonuna doğru artmasıyla da T_c (gün) değerleri artma eğilimi göstermiştir. Bahar döneminde ise fide dikiminden söküm tarihine kadar T_c (gün) ve T_a (gün) değerlerinin kademeli olarak arttığı gözlemlenmiştir. Bu artış DSGS 88. gündeki gölge tozu uygulamasıyla yavaşlamıştır. Nitekim elde edilen bulgulardan, gölge tozu uygulamasından sonra sera içi ortalama net

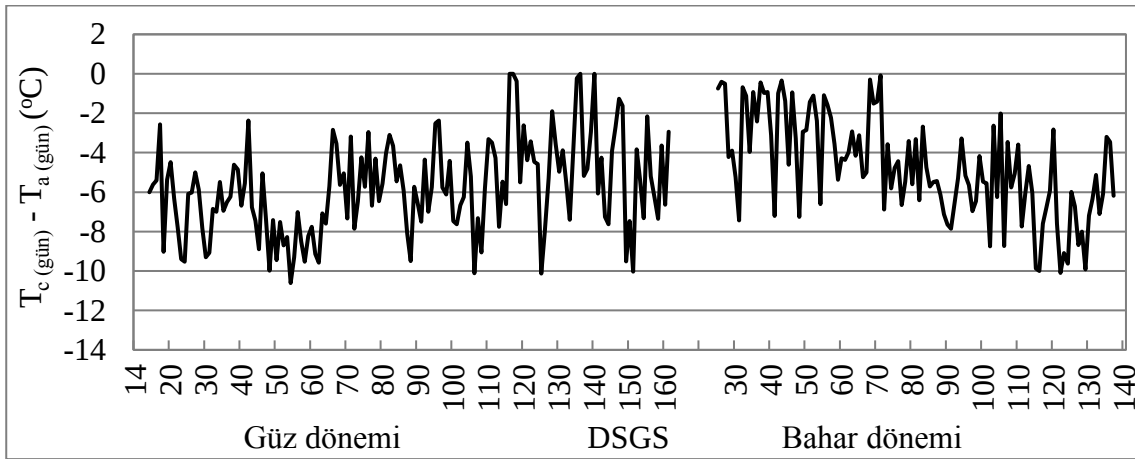
radyasyon miktarının azalarak ortalama 200 W m^{-2} civarında sabitlendiği görülmektedir. Ayrıca sera içi net radyasyon değerinin sıfıra yakın olduğu zamanlarda $T_{c(gün)}$ ve $T_{a(gün)}$ değerleri arasındaki farkın da sıfıra yakın olduğu belirlenmiştir.

4.2.8. Gün doğumu ile gün batımı arasındaki ortalama taç sıcaklığı $T_{c(gün)}$ ile hava sıcaklığı $T_{a(gün)}$ arasındaki farkın zamanla değişimi

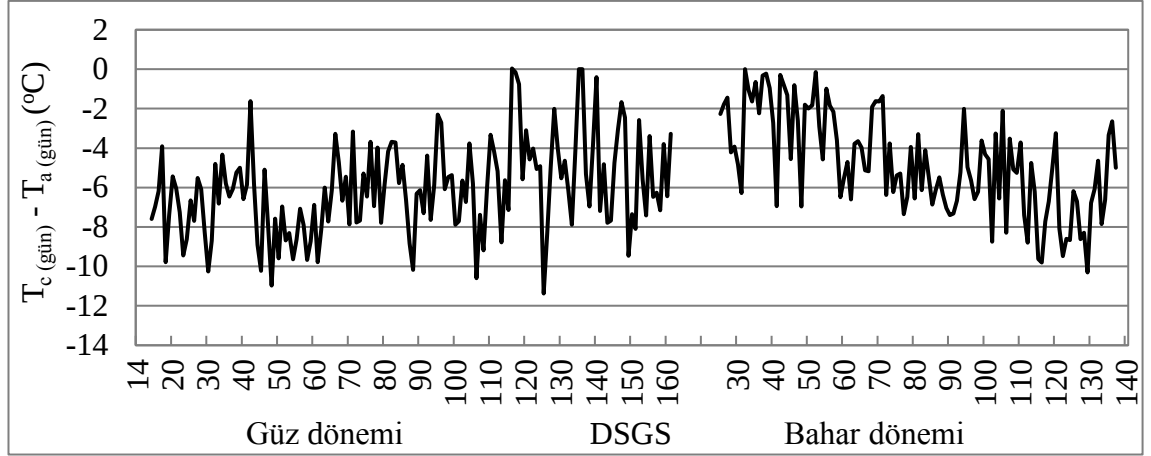
Bu çalışmada ET tahmini için geliştirilen modelde hava sıcaklığı ile bitki taç sıcaklığı değerlerinin farkına ($T_c - T_a$) gereksinim vardır. Modeldeki hava sıcaklığı ($T_{a(gün)}$) ve bitki taç sıcaklığı ($T_{c(gün)}$) değerleri, gündüz saatlerindeki (gün doğumu ile gün batımı arasındaki) sıcaklıkların ortalamasını göstermektedir. Domates, patlıcan, biber ve hıyar bitkilerinin taç sıcaklığı ile hava sıcaklığı farkının ($T_{c(gün)} - T_{a(gün)}$) günlük değişimi sırasıyla Şekil 4.58-4.61’de, bu verilere ilişkin tanımlayıcı istatistiksel bilgiler ise Çizelge 4.25’de verilmiştir.



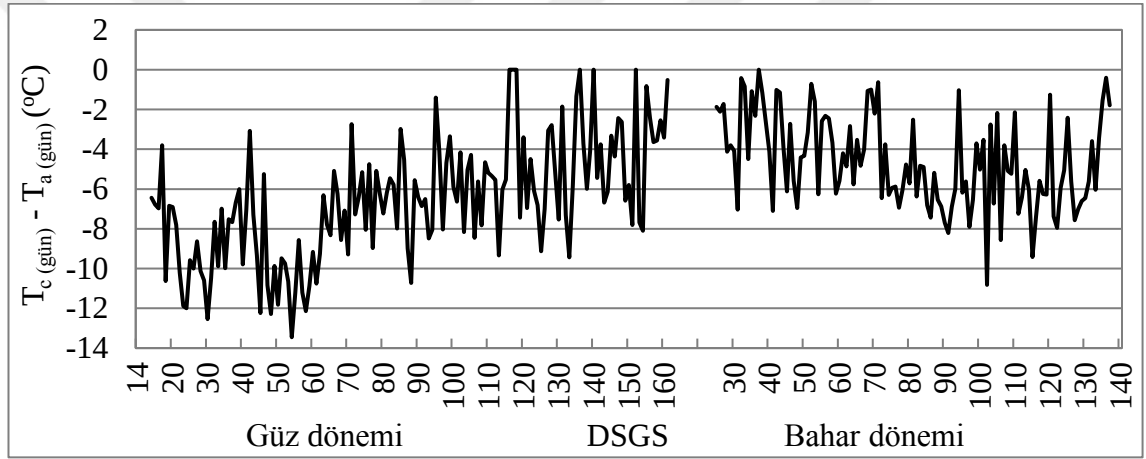
Şekil 4.58. Güz ve bahar dönemlerinde domates bitkisinin $T_{c(gün)} - T_{a(gün)}$ değerlerinin değişimi



Şekil 4.59. Güz ve bahar dönemlerinde patlıcan bitkisinin $T_{c(gün)} - T_{a(gün)}$ değerlerinin değişimi



Şekil 4.60. Güz ve bahar dönemlerinde biber bitkisinin $T_{c(gün)} - T_{a(gün)}$ değerlerinin değişimi



Şekil 4.61. Güz ve bahar dönemlerinde hıyar bitkisinin $T_{c(gün)} - T_{a(gün)}$ değerlerinin değişimi

Çizelge 4.25. Domates bitkisinin $T_{c(gün)} - T_{a(gün)}$ değerlerine ait tanımlayıcı istatistiksel bilgiler

Tanımlayıcı istatistik verileri	Yetiştirme Dönemi	Domates	Patlıcan	Biber	Hıyar
Ortalama (°C)	Güz dönemi	-6.7	-5.8	-6.1	-6.6
	Bahar dönemi	-5.2	-4.7	-4.7	-4.6
En büyük değer (°C)	Güz dönemi	-12.1	-10.6	-11.4	-13.5
	Bahar dönemi	-10.9	-10.1	-10.3	-10.8
En küçük değer (°C)	Güz dönemi	0.0	0.0	0.0	0.0
	Bahar dönemi	0.0	0.0	0.0	0.0

Bitki taç sıcaklığı ile hava sıcaklığı arasındaki farkların belirlendiği önceki çalışmalara ait bulgular, '4.2.7. Bitki taç sıcaklığı ölçümleri' başlığın altında verildiği için

Şekil 4.58, 4.59, 4.60, 4.61 ve Çizgeler 4.25'deki veriler incelenirken daha önce verilen bu literatürler göz önünde bulundurulmalıdır.

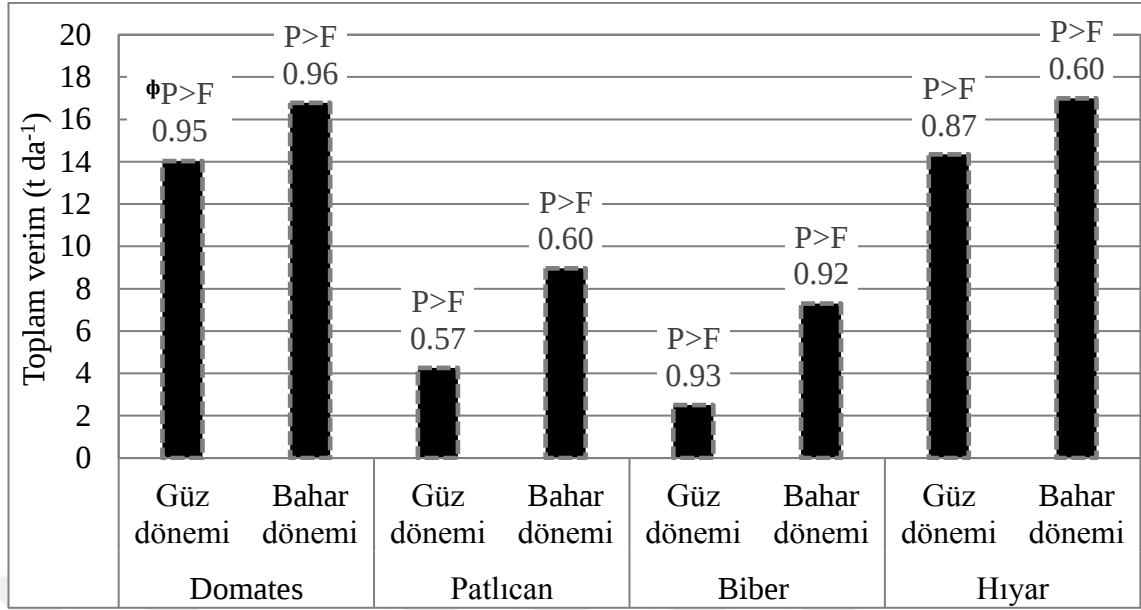
Şekil 4.58-4.61'den anlaşılabacağı üzere güz döneminde $T_{c(gün)}-T_{a(gün)}$ farkı bahar dönemine kıyasla daha fazladır. Yine, bahar döneminin başında nispeten daha az olan sıcaklık farklılığı dönem sonuna doğru kademeli olarak artmıştır. Domates, patlıcan, biber ve hıyar bitkisi için $T_{c(gün)}-T_{a(gün)}$ farklılıkları güz döneminde sırasıyla -6.7, -5.8, -6.1 ve -6.6 °C, bahar döneminde ise -5.2, -4.7, -4.7 ve -4.6 °C olarak belirlenmiştir. Çalışmada, $T_{c(gün)}$ ve $T_{a(gün)}$ değerleri arasındaki sıcaklık farkı en fazla güz döneminin başında ve bahar döneminin sonunda elde edilmiştir. Papadakis vd. (1994) genç yaprakların sıcaklıklarının gün boyunca sera içi sıcaklığından düşük olduğunu, yaşlı yaprakların birkaç derece fazla olduğunu bildirmiştir. Fakat yaptığımız çalışmada yaprak budaması uygulaması sonucunda yaşlı yapraklar bitkiden uzaklaştırıldığı için böyle bir veri elde edilmemiştir. Bu nedenle bitkilerin gelişim dönemleri ile bitki taç sıcaklığı ve hava sıcaklığı arasında bir ilişkinin olup olmadığı belirlenememiştir.

Her iki yetiştirme döneminde de birkaç gün dışında çalışmada yetiştirilen bitkilerin taç sıcaklıkları sera içi hava sıcaklığından daima düşük olmuştur. Daha önce yapılan çok sayıda çalışmada stres koşulları altında olmayan bitkilerin yaprak ve taç sıcaklıklarının hava sıcaklığından daha düşük olduğu belirlenmiştir (Miller ve Saunders 1923; Eaton ve Belden 1929; Raymond ve Harold 1938; Stevenson ve Shaw 1971; Clark ve Hiler 1973; Yang vd. 1990; Qiu vd. 2013). Yaptığımız çalışmada güz ve bahar döneminde sadece birkaç günde taç ve hava sıcaklıklarının birbirine eşit olduğu görülmektedir (Şekil 4.58, 4.59, 4.60 ve 4.61). Bu durum sera içi bağıl neminin ve sera içine gelen güneş enerjisinin çok düşük olduğu günlerde meydana gelmiştir. Bu veriler detaylı olarak incelendiğinde, güz döneminde domates, patlıcan, biber ve hıyar bitkileri için sırasıyla 2, 4, 3 ve 5 farklı günde, bahar döneminde ise sırasıyla 0, 1, 2 ve 1 farklı günde $T_{c(gün)}$ ve $T_{a(gün)}$ değerleri arasındaki sıcaklık farkı sıfır olmuştur. Daha önce yapılan çok sayıda çalışmada, bitki taç ile hava sıcaklığı arasındaki farkın bağıl nemden etkilendiği belirlenmiştir (Jackson vd. 1988; Sezen vd. 2014; Tekelioğlu vd. 2017). Ayrıca, Karaca vd. (2018b) bitki stoma iletkenliğinin bitki taç sıcaklığı ile hava sıcaklığı arasındaki farkı etkilediğini bildirmiştir. Daha önceki bölümlerde bitki stoma iletkenliğinin sera içi sıcaklık ve radyasyondan doğrudan etkilendiği belirtilmiştir. Tüm bu etkenler göz önüne alındığında taç sıcaklığı ile hava sıcaklığı arasındaki farklılıkların literatürle uyumlu olduğunu ve bitkilerin sulama ya da diğer çevresel etkenlerden kaynaklı stres yaşamadığını sonucuna ulaşılabilir.

Genel değerlendirme yapıldığında, bitki taç sıcaklığı ile hava sıcaklığı farkı bitkilerdeki stresin uzaktan algılanması için yaygın olarak kullanılan bir yöntem olarak kabul edilmektedir (Jackson 1982; Çolak vd. 2015; Karaca vd. 2017d). Bunun yanında Jackson vd. (1977) bu sıcaklık farklılıklarından ve net radyasyon değerlerinden yararlanarak ET değerlerini tahmin etmiştir. Bu çalışmada da $T_{c(gün)}$ ve $T_{a(gün)}$ değerleri arasındaki sıcaklık farkı kullanılarak enerji dengesi yöntemi ile ET değerleri belirlenmiştir.

4.2.9. Verim

Güz ve bahar dönemlerinde yetiştirilen domates, patlıcan, biber ve hıyar bitkilerinin toplam verim değerleri Şekil 4.62'de verilmiştir.



$\Phi P > F$; Tekerrürler arasındaki farklılığın belirlenmesi amacıyla verilmiştir. $P > F$ değeri 0.05 den küçük olduğunda tekerrürler arasında farklılığı ifade eder.

Şekil 4.62. Güz ve bahar dönemlerinde yetiştirilen domates, patlıcan, biber ve hıyar bitkilerinin toplam verim değerleri

Domates bitkisinden güz ve bahar döneminde sırasıyla 14.0 ve 16.8 t da⁻¹ toplam verim elde edilmiştir. Her iki yetiştirme döneminde de tekerrürler arası farklılık belirlenmemiştir (Şekil 4.62). Kirda vd. (2004) benzer iklim ve sera koşullarında yaptıkları çalışmada domates bitkisinin ortalama veriminin bahar döneminde (153 gün) 11.09 t da⁻¹ ve sonbahar döneminde (259 gün) 20.52 t da⁻¹ olduğunu, yarı ıslatmalı sulama ve kısıntılı sulama uygulanması durumunda ise verimin düştüğünü bildirmişlerdir. Cui vd. (2020) subtropikal nemli iklimde yüksek tünel yetiştiriciliğinde iki farklı yetiştirme döneminde sırasıyla 14.6 t da⁻¹ ve 17.1 t da⁻¹ domates verimi elde etmişlerdir. Montesano ve Parente (2015) benzer iklim koşullarındaki serada yetiştirilen domates bitkisinin veriminin güz (ağustos-şubat) döneminde ortalama 10.7 t da⁻¹ iken bahar (şubat-temmuz) döneminde 12.4 t da⁻¹ ile 20.1 t da⁻¹ arasında değiştiğini saptamışlardır. Abdel-Razzak vd. (2016) fiberglas serada domates veriminin 6.8 t da⁻¹ olduğunu, Boyacı ve Akyüz (2018) ise Akdeniz iklimindeki üç farklı sera tipinde ve üç farklı yetiştirme sezonunda (Mayıs-Ağustos; Mart-Temmuz; Ağustos-Kasım) domates veriminin 2.03 t da⁻¹-9.61 t da⁻¹ arasında değiştiğini belirlemişlerdir. Wang vd. (2015) sera koşullarında domates verimini kış – ilkbahar yetiştirme döneminde (2 Kasım-10 Mayıs) 18.7 t da⁻¹, ilkbahar-yaz döneminde (28 Şubat-10 Temmuz) ise 15.5 t da⁻¹ olarak tespit etmişlerdir. Zhang vd. (2015) yaz sezonunda PE serada domatesten 3.03 t da⁻¹ verim elde etmişlerdir. Tuzel (2013) sera koşullarında domates bitkisi veriminin Akdeniz ikliminin görüldüğü Almeria bölgesinde (Ağustos-Haziran dönemi) 15 t da⁻¹, Ragusa bölgesinde (Ekim-Mart dönemi) 8-10 t da⁻¹ olduğunu belirtirken, yıl boyunca yüksek teknoloji seralarda üretimin yapıldığı Hollanda’da ise domatesin veriminin yaklaşık 60 t da⁻¹ olduğunu bildirmiştir. Engindeniz vd. (2007) Türkiye’de domates bitki veriminin çeşide, yetiştirme dönemine, seranın teknoloji durumuna, birim alandaki bitki sayısına ve uygulanan kültürel işlemlere göre 12-30 t da⁻¹ arasında değiştiğini belirtmişlerdir.

Patlıcan bitkisinin verim değerleri incelendiğinde her iki yetiştirme döneminde de tekerrürler arası farklılık saptanmamıştır. Güz döneminde 4.3 t da^{-1} , bahar döneminde 9.0 t da^{-1} verim elde edilmiştir (Şekil 4.62). Bahar dönemi ile güz döneminde elde edilen verim değerleri arasında farklılığın olduğu belirlenmiştir. Ertek vd. (2002) sera koşullarında patlıcan bitkisinin veriminin 5.1 ve 6.5 t da^{-1} arasında değiştiğini bildirmişlerdir. Fakat bu çalışma ile araştırmacıların çalışmaları arasında önemli çevresel farklılıklar bulunmaktadır. Khah (2011) Akdeniz iklim koşullarında yetiştirdikleri patlıcan bitkisinin sera koşullarındaki (193 gün) verimini yaklaşık 7.7 t da^{-1} olarak elde ederken tarla koşullarda (132 gün) yaklaşık 3.6 t da^{-1} olarak elde etmiş ve patlıcan bitkisinin veriminin aşılı fide kullanımıyla artacağını bildirmiştir. Ayas (2017) sera koşullarında patlıcan bitkisi veriminin 6.2 t da^{-1} olduğunu, su kısıntısı uygulamasıyla verimin düştüğünü belirlemiştir. Bobadi ve Van Damme (2003) sera koşullarında sekiz farklı azot (N) uygulamasının ($0, 50, 75, 100, 125, 150, 175$ ve 200 kg ha^{-1}) patlıcan verimine olan etkisini incelemişler ve en yüksek patlıcan bitkisi verimini 3.2 t da^{-1} ile 200 kg ha^{-1} N uygulanan konudan elde etmişlerdir. Özbek ve Kaman (2018) yaptığımız çalışmaya ile aynı bölgede cam sera koşullarında yetiştirdikleri patlıcan bitkisi (191 gün) verimini 8.3 t da^{-1} olduğunu belirtmişlerdir.

Biber veriminin güz ve bahar döneminde sırasıyla 2.5 ve 7.3 t da^{-1} olduğu, her iki yetiştirme döneminde de tekerrürler arasında farklılık olmadığı belirlenmiştir. Biberde de patlıcanda olduğu gibi iki yetiştirme dönemindeki verimde farklılıkların olduğu görülmektedir (Çizelge 4.62). . Ferrara vd. (2011) Akdeniz ikliminde ve benzer sera koşullarında mart ve ağustos ayı arasında yürüttükleri çalışmada biber bitkisinin verimini 5.64 t da^{-1} olarak belirlemişlerdir. Elizondo-Cabalceta ve Monge-Pérez (2017) sera koşullarında temmuz ve nisan ayları arasında yetiştirilen on iki farklı biber çeşidinin verimlerinin 5.78 ve 8.88 t da^{-1} arasında değiştiğini bildirmişlerdir. Tuzel (2013) sera koşullarında biber bitkisi veriminin Akdeniz ikliminin görüldüğü Almeria bölgesinde (Temmuz-Mart dönemi) 7 t da^{-1} , Ragusa bölgesinde (Temmuz-Aralık dönemi) $4-5 \text{ t da}^{-1}$ olduğunu belirtirken, yıl boyunca yüksek teknoloji seralarda üretimin yapıldığı Hollanda’da ise yaklaşık olarak 32 t da^{-1} olduğunu belirtmişlerdir. Tezcan ve Kaman (2018), Antalya’da eylül-haziran arası 300 günlük büyüme periyodunda, çiftçi koşullarındaki bir serada yetiştirilen iki farklı biber çeşidinde verimin 5.9 ve 5.0 t da^{-1} olduğunu bildirmişlerdir. Kurunc vd. (2011) örtüaltı koşullarında yetiştirilen biber bitkisinin veriminin, sulama suyu kalitesinden etkilendiğini saptamışlardır. Yüksek teknoloji seralarda yapılan çalışmalarda ise, Bar-Tal vd. (2006) on ay boyunca yetiştirilen biberin ortalama verimini 17.5 t da^{-1} , Camposeco-Montejo vd. (2018) bahar-yaz yetiştirme döneminde, toprakta ve kokopit yetiştirme ortamında biber bitkisinin verimlerini sırasıyla 7.4 ve 13.7 t da^{-1} olarak saptamışlar, ayrıca yetiştirme ortamının bitki verimini etkilediğini belirtmişlerdir.

Hıyar bitkisinin güz ve bahar döneminde elde edilen verim değerleri sırasıyla 14.3 t da^{-1} ve 17.0 t da^{-1} olmuş, her iki yetiştirme döneminde de tekerrürler arasında farklılık belirlenmemiştir (Şekil 4.62). Türkiye’de geleneksel yetiştiriciliğin yapıldığı Akdeniz tipi seralarda hıyar veriminin kısa dönemli yetiştiricilikte $10-20 \text{ t da}^{-1}$ olduğu bildirilirken (Engindeniz vd. 2007; Tüzel vd. 2013), yetiştirme ortamına (topraklı-topraksız) göre $10-45 \text{ t da}^{-1}$ arasında (Engindeniz vd. 2007) değişebileceği bildirilmiştir. Yine Engindeniz (2004) topraksız koşullarda hıyar verimini 24.5 t da^{-1} , Engindeniz ve Gül (2009) 31.3 t da^{-1} olarak belirlemişlerdir. Benzer iklim ve çevre koşulları altında yetiştirilen hıyar

bitkisinin verimi, Güncan vd. (2006) tarafından sonbahar yetiştirme döneminde (10 Eylül-24 Kasım) 4.6 t da^{-1} , bahar yetiştirme döneminde 16.89 t da^{-1} (25 Şubat-12 Temmuz) olarak belirlenirken Tüzel vd. (2013) tarafından 9.7 ve 16.3 t da^{-1} arasında olduğu belirlenmiştir. Tüzel (2013) sera koşullarında hıyar bitkisi veriminin Akdeniz ikliminin görüldüğü Almeria bölgesinde ise (Ekim-Mart dönemi) 10 t da^{-1} olduğunu belirtmiştir. Ayan vd. (2019) yaptığımız bu araştırma ile aynı bölgede cam serada yürüttükleri çalışmada ise hıyar bitkisi verimini 15.1 ile 16.7 t da^{-1} arasında olduğunu bildirmişlerdir.

Seralar teknoloji kullanım durumlarına göre yüksek ve düşük teknoloji seralar olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Yüksek teknoloji seralarda sera içi ikliminin bitki istekleri doğrultusunda ayarlanabilmesi nedeniyle yıl boyunca yüksek kalitede tarımsal yetiştiricilik yapılabilirken, düşük teknoloji seralarda sera içi ikliminin sera dışına bağımlı olması nedeniyle sınırlı yetiştirme periyotlarında düzensiz bir tarımsal üretim yapılabilmektedir. Bu nedenle yüksek teknoloji seralardan elde edilen verim, düşük teknoloji seralara kıyasla daha fazladır (Montero vd. 2013).

Bitki verimi, genotip, agronomik yönetim ve çevresel koşullar gibi çoklu faktörlerin toplu etkisiyle meydana gelmektedir. Farklı genotipler, adapte olma yeteneklerine bağlı olarak farklı verim yeteneklerine sahiptir. Tarımsal yetiştiricilik, geleneksel veya genetiğe bağlı biyoteknolojik gelişmeler neticesinde yüksek performanslı çeşitlerin elde edilmesiyle sürekli gelişmektedir. Ayrıca tarımsal amaçlı kullanılan araç ve cihazlardaki yenilikler de tarımsal yetiştiriciliği geliştirmektedir. Bununla birlikte, tarımsal üretim kayıplarının ana nedenleri, sulama olanaklarının azlığı, yüksek tuzluluk oranı, yüksek veya düşük sıcaklıklar ve besin eksikliği gibi abiyotik streslerden kaynaklanmaktadır (Ferrante ve Mariani 2018). Bitkinin ihtiyaç duyduğu temel besin maddelerinin yeterli oranda verilmesi, bitki büyümesini, kalitesini ve besin içeriği değerlerini önemli ölçüde iyileştirmektedir (Marschner 2011; Sourı ve Dehnavard 2018). Özellikle azot (N), bitkilerin vejetatif ve generatif özelliklerini doğrudan etkilemektedir (Sourı ve Roemheld 2009). Bu nedenle belirli bir bölgede yetiştirilen bir bitkiden farklı yetiştirme sezonlarında elde edilen verim değerleri yapılan kültürel uygulamalar ve çevresel faktörlere bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Bu nedenle tüm bu değerlendirmeler altında çalışmamızda elde edilen verim değerlerinin daha önce yapılan çalışmalarla uyumlu olduğu belirlenmiştir.

4.3. Bitki Su Tüketimine (ET) İlişkin Bulgular

Araştırmada bitkilerin ET değerleri lizimetreler ile doğrudan ve iklimsel veriler yardımıyla dolaylı olmak üzere iki şekilde belirlenmiştir.

4.3.1. Lizimetrelerden doğrudan ölçüm yoluyla elde edilen bitki su tüketimine (ET) ilişkin bulgular

Güz ve bahar dönemlerinde, sera içinde kurulu drenaj tipi lizimetrelerde doğrudan ölçüm yoluyla domates, patlıcan, biber ve hıyar bitkisi için belirlenen ET değerleri Çizelge 4.26-4.33’de verilmiştir. Anılan çizelgelerde (I), sulama suyu miktarını (mm); (ΔS), topraktaki nem değişimini (mm); (D), derine süzülme; (ET), bitki su tüketimini (mm) göstermektedir

Çizelge 4.26. Güz yetiştirme dönemi domates bitkisinin su tüketim bileşenleri

Tarih	I (mm)	ΔS (mm)	D (mm)	Toplam ET (mm)	ET (mm gün ⁻¹)
14.09.2018-20.09.2018	21.67	-18.01		3.66	0.61
21.09.2018-26.09.2018	18.77	-13.66		5.11	0.73
27.09.2018-04.10.2018	18.55	-11.69		6.86	0.98
05.10.2018-11.10.2018		7.21		7.21	1.03
12.10.2018-18.10.2018	5.02	2.68		7.70	1.10
19.10.2018-25.10.2018	8.57	0.53		9.10	1.30
26.10.2018-01.11.2018	16.43	-3.83		12.60	1.80
02.11.2018-08.11.2018	17.80	1.94		19.74	2.82
09.11.2018-15.11.2018	19.83	-0.16		19.67	2.81
16.11.2018-22.11.2018	10.48	6.88		17.36	2.48
23.11.2018-29.11.2018	12.53	0.07		12.60	1.80
30.11.2018-06.12.2018		9.38		9.38	1.34
07.12.2018-13.12.2018	15.27	-6.52		8.75	1.25
14.12.2018-20.12.2018		8.40		8.40	1.20
21.12.2018-27.12.2018	19.52	-11.19		8.33	1.19
28.12.2018-03.01.2019		8.19		8.19	1.17
04.01.2019-10.01.2019	20.13	-11.73		8.40	1.20
11.01.2019-17.01.2019		8.33		8.33	1.19
18.01.2019-24.01.2019	21.89	-13.77		8.12	1.16
25.01.2019-31.01.2019		8.37		8.37	1.20
01.02.2019-07.02.2019	22.28	-14.16		8.12	1.16
08.02.2019-14.02.2019		7.00		7.00	1.00
15.02.2019-21.02.2019		5.60		5.60	0.80
Toplam	248.74	-30.14	0	218.6	Ort: 1.36

Çizelge 4.27. Bahar yetiştirme dönemi domates bitkisinin su tüketim bileşenleri

Tarih	I (mm)	ΔS (mm)	D (mm)	Toplam ET (mm)	ET (mm gün ⁻¹)
01.03.2019-11.03.2019	18.00	-11.97		6.03	0.60
12.03.2019-18.03.2019	10.00	-2.56		7.44	1.06
19.03.2019-25.03.2019	9.90	-0.42		9.48	1.35
26.03.2019-01.04.2019	23.07	-5.85		17.22	2.46
02.04.2019-08.04.2019	20.12	-5.21		14.91	2.13
09.04.2019-15.04.2019	18.41	-4.17		14.24	2.03
16.04.2019-22.04.2019	14.54	5.16		19.70	2.81
23.04.2019-29.04.2019	24.52	-1.50		23.02	3.29
30.04.2019-06.05.2019	20.61	0.41		21.02	3.00
07.05.2019-13.05.2019	28.00	-4.63		23.37	3.34
14.05.2019-20.05.2019	32.49	-1.35		31.14	4.45
21.05.2019-27.05.2019	42.94	-11.39		31.55	4.51
28.05.2019-03.06.2019	39.73	-2.12		37.61	5.37
04.06.2019-10.06.2019	37.71	9.06		46.77	6.68
11.06.2019-17.06.2019	42.24	-6.08		36.16	5.17
18.06.2019-24.06.2019	37.88	12.65		50.53	7.22
25.06.2019-01.07.2019	53.36	2.75		56.11	8.02
02.07.2019-08.07.2019	65.77	-16.58		49.12	7.02
09.07.2019-15.07.2019	38.05	-4.13		33.92	4.85
Toplam	577.34	-47.93	0	529.34	Ort: 3.97

Çizelge 4.28. Güz yetiştirme dönemi patlıcan bitkisinin su tüketim bileşenleri

Tarih	I (mm)	ΔS (mm)	D (mm)	Toplam ET (mm)	ET (mm gün ⁻¹)
14.09.2018-20.09.2018	15.06	-11.52		3.54	0.59
21.09.2018-26.09.2018	12.51	-7.26		5.25	0.75
27.09.2018-04.10.2018	12.36	-5.12		7.25	1.04
05.10.2018-11.10.2018		7.28		7.28	1.04
12.10.2018-18.10.2018	31.02	-23.32		7.70	1.10
19.10.2018-25.10.2018		10.36		10.36	1.48
26.10.2018-01.11.2018	25.04	-7.54		17.50	2.50
02.11.2018-08.11.2018	19.64	-0.04		19.60	2.80
09.11.2018-15.11.2018	20.09	-0.84		19.25	2.75
16.11.2018-22.11.2018	8.22	9.28		17.50	2.50
23.11.2018-29.11.2018	9.30	1.83		11.13	1.59
30.11.2018-06.12.2018		9.17		9.17	1.31
07.12.2018-13.12.2018	10.90	-2.82		8.09	1.16
14.12.2018-20.12.2018		8.12		8.12	1.16
21.12.2018-27.12.2018	13.95	-5.76		8.19	1.17
28.12.2018-03.01.2019		8.10		8.10	1.16
04.01.2019-10.01.2019	13.64	-5.80		7.84	1.12
11.01.2019-17.01.2019		7.21		7.21	1.03
18.01.2019-24.01.2019	15.32	-8.60		6.72	0.96
25.01.2019-31.01.2019		5.88		5.88	0.84
01.02.2019-07.02.2019	15.21	-9.26		5.95	0.85
08.02.2019-14.02.2019		6.02		6.02	0.86
15.02.2019-21.02.2019		3.92		3.92	0.56
Toplam	222.26	-10.71	0	211.57	Ort: 1.32

Çizelge 4.29. Bahar yetiştirme dönemi patlıcan bitkisinin su tüketim bileşenleri

Tarih	I (mm)	ΔS (mm)	D (mm)	Toplam ET (mm)	ET (mm gün ⁻¹)
01.03.2019-11.03.2019	14.00	-9.01		4.99	0.50
12.03.2019-18.03.2019	4.00	0.65		4.65	0.66
19.03.2019-25.03.2019	6.25	0.56		6.81	0.97
26.03.2019-01.04.2019	14.58	-1.06		13.52	1.93
02.04.2019-08.04.2019	10.55	-3.49		7.06	1.01
09.04.2019-15.04.2019	12.94	-4.08		8.86	1.27
16.04.2019-22.04.2019	8.10	3.35		11.45	1.64
23.04.2019-29.04.2019	14.70	-2.38		12.32	1.76
30.04.2019-06.05.2019	13.98	-0.80		13.18	1.88
07.05.2019-13.05.2019	15.02	-1.09		13.93	1.99
14.05.2019-20.05.2019	20.21	-3.00		17.21	2.46
21.05.2019-27.05.2019	23.46	-3.36		20.10	2.87
28.05.2019-03.06.2019	20.25	1.96		22.21	3.17
04.06.2019-10.06.2019	24.5	6.43		30.93	4.42
11.06.2019-17.06.2019	27.67	-4.66		23.01	3.29
18.06.2019-24.06.2019	23.15	9.79		32.94	4.71
25.06.2019-01.07.2019	34.95	10.93		45.88	6.55
02.07.2019-08.07.2019	52.11	-1.95		50.16	7.17
09.07.2019-15.07.2015	20.47	23.79		44.26	6.32
Toplam	360.89	22.58	0	383.47	Ort: 2.87

Çizelge 4.30. Güz yetiştirme dönemi biber bitkisinin su tüketim bileşenleri

Tarih	I (mm)	ΔS (mm)	D (mm)	Toplam ET (mm)	ET (mm gün ⁻¹)
14.09.2018-20.09.2018	25.01	-22.61		2.40	0.40
21.09.2018-26.09.2018	18.77	-15.20		3.57	0.51
27.09.2018-04.10.2018	18.55	-14.35		4.20	0.60
05.10.2018-11.10.2018		4.41		4.41	0.63
12.10.2018-18.10.2018	4.96	-0.41		4.55	0.65
19.10.2018-25.10.2018	6.40	-0.80		5.60	0.80
26.10.2018-01.11.2018	20.77	-6.77		14.00	2.00
02.11.2018-08.11.2018	12.76	10.34		23.10	3.30
09.11.2018-15.11.2018	13.08	9.32		22.40	3.20
16.11.2018-22.11.2018	7.65	7.05		14.70	2.10
23.11.2018-29.11.2018	8.02	1.08		9.10	1.30
30.11.2018-06.12.2018		7.14		7.14	1.02
07.12.2018-13.12.2018	8.42	-2.05		6.37	0.91
14.12.2018-20.12.2018		6.02		6.02	0.86
21.12.2018-27.12.2018	10.20	-4.32		5.88	0.84
28.12.2018-03.01.2019		6.44		6.44	0.92
04.01.2019-10.01.2019	10.79	-4.21		6.58	0.94
11.01.2019-17.01.2019		5.46		5.46	0.78
18.01.2019-24.01.2019	12.08	-7.25		4.83	0.69
25.01.2019-31.01.2019		4.69		4.69	0.67
01.02.2019-07.02.2019	12.27	-7.09		5.18	0.74
08.02.2019-14.02.2019		3.78		3.78	0.54
15.02.2019-21.02.2019		2.94		2.94	0.42
Toplam	189.73	-16.39	0	173.34	Ort: 1.08

Çizelge 4.31. Bahar yetiştirme dönemi biber bitkisinin su tüketim bileşenleri

Tarih	I (mm)	ΔS (mm)	D (mm)	Toplam ET (mm)	ET (mm gün ⁻¹)
01.03.2019-11.03.2019	14.00	-2.10		3.8	0.38
12.03.2019-18.03.2019	8.00	-1.38		6.62	0.95
19.03.2019-25.03.2019		9.60		9.60	1.37
26.03.2019-01.04.2019	20.65	-4.03		16.62	2.37
02.04.2019-08.04.2019	10.86	-1.95		8.91	1.27
09.04.2019-15.04.2019	18.87	-4.80		14.07	2.01
16.04.2019-22.04.2019	11.52	3.50		15.02	2.15
23.04.2019-29.04.2019	15.13	-2.95		12.18	1.74
30.04.2019-06.05.2019	14.09	0.02		14.11	2.02
07.05.2019-13.05.2019	17.82	-0.93		16.89	2.41
14.05.2019-20.05.2019	28.16	-4.51		23.65	3.38
21.05.2019-27.05.2019	24.97	-2.50		22.47	3.21
28.05.2019-03.06.2019	22.71	-1.38		21.33	3.05
04.06.2019-10.06.2019	28.07	2.39		30.46	4.35
11.06.2019-17.06.2019	29.82	-2.80		27.02	3.86
18.06.2019-24.06.2019	25.13	0.43		25.56	3.65
25.06.2019-01.07.2019	27.41	2.63		30.04	4.29
02.07.2019-08.07.2019	38.20	-5.62		32.58	4.65
09.07.2019-15.07.2019	20.91	1.80		22.70	3.24
Toplam	376.32	-14.58	0	353.63	Ort: 2.65

Çizelge 4.32. Güz yetiştirme dönemi hıyar bitkisinin su tüketim bileşenleri

Tarih	I (mm)	ΔS (mm)	D (mm)	Toplam ET (mm)	ET (mm gün ⁻¹)
14.09.2018-20.09.2018	21.67	-19.57		2.10	0.35
21.09.2018-26.09.2018	18.77	-15.76		3.01	0.43
27.09.2018-04.10.2018	18.55	-14.91		3.64	0.52
05.10.2018-11.10.2018		8.05		8.05	1.15
12.10.2018-18.10.2018	8.09	1.01		9.10	1.30
19.10.2018-25.10.2018	17.55	-7.61		9.94	1.42
26.10.2018-01.11.2018	26.98	-15.78		11.20	1.60
02.11.2018-08.11.2018	15.80	5.90		21.70	3.10
09.11.2018-15.11.2018	10.05	20.05		30.10	4.30
16.11.2018-22.11.2018	11.61	11.84		23.45	3.35
23.11.2018-29.11.2018	12.55	2.99		15.54	2.22
30.11.2018-06.12.2018		13.16		13.16	1.88
07.12.2018-13.12.2018	14.30	-2.96		11.34	1.62
14.12.2018-20.12.2018		10.01		10.01	1.43
21.12.2018-27.12.2018	18.72	-9.83		8.89	1.27
28.12.2018-03.01.2019		9.03		9.03	1.29
04.01.2019-10.01.2019	18.84	-7.99		10.85	1.55
11.01.2019-17.01.2019		9.66		9.66	1.38
18.01.2019-24.01.2019	19.82	-12.12		7.70	1.10
25.01.2019-31.01.2019		7.00		7.00	1.00
01.02.2019-07.02.2019	19.42	-13.19		6.23	0.89
08.02.2019-14.02.2019		4.90		4.90	0.70
15.02.2019-21.02.2019		3.92		3.92	0.56
Toplam	252.72	-12.2	0	240.52	Ort: 1.50

Çizelge 4.33. Bahar yetiştirme dönemi hıyar bitkisinin su tüketim bileşenleri

Tarih	I (mm)	ΔS (mm)	D (mm)	Toplam ET (mm)	ET (mm gün ⁻¹)
01.03.2019-11.03.2019	15.00	-11.2		3.80	0.38
12.03.2019-18.03.2019	5.70	-2.01		3.69	0.53
19.03.2019-25.03.2019	8.70	-0.27		8.43	1.20
26.03.2019-01.04.2019	20.91	-6.16		14.75	2.11
02.04.2019-08.04.2019	14.93	-1.41		13.51	1.93
09.04.2019-15.04.2019	17.59	-4.19		13.40	1.91
16.04.2019-22.04.2019	13.15	5.61		18.76	2.68
23.04.2019-29.04.2019	16.77	-1.00		15.77	2.25
30.04.2019-06.05.2019	19.98	-2.57		17.41	2.49
07.05.2019-13.05.2019	25.63	-3.79		21.84	3.12
14.05.2019-20.05.2019	30.00	-3.24		26.76	3.82
21.05.2019-27.05.2019	29.71	-3.76		25.95	3.71
28.05.2019-03.06.2019	33.00	0.74		33.74	4.82
04.06.2019-10.06.2019	36.70	3.85		40.55	5.79
11.06.2019-17.06.2019	37.88	1.56		39.44	5.63
18.06.2019-24.06.2019	36.7	9.70		46.40	6.63
25.06.2019-01.07.2019	55.5	-0.01		55.49	7.93
02.07.2019-08.07.2019	68.95	-8.78		60.17	8.60
09.07.2019-15.07.2019	26.03	15.39		41.42	5.92
Toplam	512.83	-11.54	0	501.28	Ort: 3.76

Domates bitkisine güz dönemi boyunca toplam 248.74 mm sulama suyu uygulanmış, toplam ET değeri 218.60 mm, günlük ortalama ET değeri ise 1.36 mm gün⁻¹ olarak belirlenmiştir. Bahar döneminde ise domates bitkisine uygulanan sulama suyu, toplam ET ve günlük ortalama ET değerleri sırasıyla 577.32, 529.34 ve 3.97 mm olmuştur (Çizelge 4.26 ve 4.27). Dolayısıyla, bahar döneminde uygulanan sulama suyu, toplam ET ve günlük ortalama ET miktarlarının güz dönemine kıyasla sırasıyla 2.32, 2.42 ve 2.92 kat daha fazla olduğu sonucuna ulaşılabilir. Soto vd. (2014) bu çalışmadakine benzer iklim ve sera koşullarında yürüttükleri çalışmada domates bitkisine birinci yetiştirme döneminde (10 Ocak-21 Haziran) 418 mm, ikinci yetiştirme döneminde (16 Eylül-15 Mart) 255 mm, üçüncü yetiştirme döneminde (5 Ağustos -25 Ocak) 285 mm ve dördüncü yetiştirme döneminde (14 Mart-14 Temmuz) 174 mm sulama suyu uygulamışlardır. Ayas (2015) ısıtmasız serada, domatesin toplam ET değerini 542 mm olarak belirlerken yetiştirme mevsimi boyunca toplam 564 mm sulama suyu uygulamıştır. Kirda vd. (2004) benzer iklim ve sera koşullarında domates bitkisine uygulanacak sulama suyu miktarını A sınıfı buharlaşma kabının verisini kullanarak belirlemişler ve ET ile I değerinin bahar döneminde (153 gün) sırasıyla 375 mm ve 345 mm ve sonbahar döneminde (259 gün) sırasıyla 447 mm ve 456 mm olduğunu belirtmişlerdir. Araştırmacılar yarı ıslatmalı sulama ve kısıntılı sulama uygulanması durumunda sezon boyunca elde edilen toplam ET ve I değerinin düştüğünü bildirmişlerdir. Gallardo vd. (2013) Akdeniz ikliminin görüldüğü İspanya’da farklı kültürel uygulamalara ve yetiştirme dönemlerine bağlı olarak sera koşullarında yetiştirilen domates bitkisi ET değerinin 177 - 276 mm arasında değiştiğini bildirirken Almeria bölgesinde uygulanan toplam sulama suyu miktarının 558 mm’ye kadar çıktığını bildirmişlerdir. Yıldız (2018) Akdeniz ikliminin yaşandığı bölgelerde PE seralarda yetiştirilen domates bitkisinin toplam ET değerinin güz (Ağustos-Şubat) ve bahar (Mart-Ağustos) yetiştirme dönemlerinde sırasıyla 262 mm ve 509 mm olduğunu bildirmiştir. Araştırmacı güz ve bahar döneminde ortalama günlük ET değerinin ise sırasıyla 1.03 mm gün⁻¹ ve 4.17 mm gün⁻¹ olduğunu saptamıştır. Bu bulgulara dayanılarak, yetiştirme döneminin ve süresinin, uygulanan sulama suyu miktarını etkileyen en önemli faktörlerden biri olduğu söylenebilir.

Çizelge 4.28 incelendiğinde güz dönemi boyunca patlıcan bitkisine 222.26 mm sulama suyu uygulanırken, 211.57 mm toplam ET değeri elde edilmiştir. Güz dönemi boyunca günlük ortalama ET değerinin 1.32 mm olduğu görülmüştür. Bahar döneminde patlıcan bitkisine toplam 360.89 mm sulama suyu uygulanırken, dönem boyunca toplam 383.47 mm ET meydana gelmiş ve günlük ortalama ET miktarı ise 2.87 mm gün⁻¹ olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.29). Ghaemi ve Rafiee (2016) Akdeniz ikliminin yaşandığı Shiraz/İran bölgesinde saksı koşullarında yürüttükleri çalışmada patlıcan bitkisinin sera içi ve dışı ET değerlerinin, birinci yetiştirme döneminde (19 Mayıs-5 Eylül) sırasıyla 598.5 mm ve 846.6 mm, ikinci yetiştirme döneminde (1 Haziran -22 Eylül) sırasıyla 657.2 mm ve 954.6 mm olduğunu belirlemişlerdir. Araştırmacılar patlıcan bitkisine birinci yetiştirme döneminde sera içi ve dışına sırasıyla 676.2 mm ve 924.3 mm sulama suyu uygularken ikinci yetiştirme döneminde sırasıyla 738.9 mm ve 924.3 mm sulama suyu uygulamışlardır. Özbek ve Kaman (2018) Antalya’da cam sera koşullarında yetiştirdikleri patlıcan bitkisine (191 gün) uygulanan toplam sulama suyu miktarının 427 mm ve ET değerinin 440 mm olduğunu belirtmişlerdir. Yıldız (2018) Akdeniz ikliminin yaşandığı bölgelerde PE seralarda bahar yetiştirme döneminde (Mart-Ağustos) yetiştirilen patlıcan bitkisinin toplam ET değerinin 468 mm olduğunu belirlerken günlük ortalama ET değerinin ise 3.53 mm gün⁻¹ olduğunu belirtmiştir.

Çizelge 4.30'dan da görüleceği üzere biber bitkisine güz dönemi boyunca 189.73 mm sulama suyu uygulanmış, toplam ET 173.34 mm, günlük ortalama ET ise 1.08 mm olarak belirlenmiştir. Biber bitkisine bahar döneminde güz dönemine kıyasla yaklaşık iki kat daha fazla (376.32 mm) sulama suyu uygulanmış, toplam ET değeri 353.63 mm ve günlük ortalama ET değeri ise 2.65 mm gün⁻¹ olarak belirlenmiştir. Gallardo vd. (2013) Akdeniz ikliminde sera koşullarında yetiştirilen biberin ET değerinin kültürel uygulamalara ve yetiştirme dönemine bağlı olarak 218-371, uygulanan toplam sulama suyu miktarının 311-502 mm arasında değiştiğini bildirmiştir. Tezcan ve Kaman (2018), Antalya'da çiftçi koşullarında 300 günlük (Eylül-Haziran) periyotta serada yetiştirilen bibere toplam 927.18 mm sulama suyu uygulamışlardır. Fernández vd. (2005) benzer iklim ve sera koşullarında eylül-Mayıs arası 258 günlük periyotta iki farklı yetiştirme döneminde biber ET'sini 362 ve 346, uygulanan toplam sulama suyu miktarını 385 ve 393 mm olarak belirlemişlerdir. Yıldız (2018) Akdeniz iklim koşulunda, PE seralarda bahar (Şubat-Temmuz) yetiştirme döneminde biberin toplam ET değerini 432 mm ve günlük ortalama ET değerini 4.38 mm gün⁻¹ olarak saptamışlardır.

Hıyar bitkisine güz dönemi boyunca toplam 252.72 mm sulama suyu uygulaması yapılmış, toplam ET 240.52 mm ve günlük ortalama ET ise 1.50 mm gün⁻¹ olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.32). Bahar döneminde ise hıyar bitkisine uygulanan toplam sulama suyu, toplam ET ve ortalama günlük ET miktarları sırasıyla miktarı 512.83 mm, 501.28 mm ve 3.76 mm gün⁻¹ olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.33). Görüldüğü üzere, bahar döneminde uygulanan sulama suyu miktarı ve ET miktarı güz dönemine kıyasla yaklaşık iki kat daha fazladır. Gallardo vd. (2013) Akdeniz ikliminin görüldüğü İspanya'da farklı kültürel uygulamalara ve yetiştirme dönemlerine bağlı olarak sera koşullarında yetiştirilen hıyar bitkisine uygulanan toplam sulama suyu miktarının 270-486 mm arasında değiştiğini bildirmişlerdir. Tuzel vd. (2017) bu çalışmadakine benzer iklim ve sera koşullarında iki farklı yetiştirme döneminde (güz ve bahar) hıyar bitkisine uygulanan sulama suyu miktarının hesaplanması amacıyla, A sınıfı buharlaşma kabı ve düşük maliyetli toprak nem sensörü kullanmışlardır. Araştırmacılar ET ve I değerinin yetiştirme dönemine bağlı olduğunu ve toplam I miktarının 141-353 mm arasında, ET değerinin ise 147-356 mm arasında değiştiğini, ayrıca uygulanan sulama suyu miktarının güz dönemine kıyasla 2.4 kat daha fazla olduğunu ifade etmişlerdir. Ayan vd. (2019), yürütülen çalışma ile aynı bölgedeki cam sera koşullarında güz (5 Eylül- 20 Aralık) döneminde hıyarın ET'sini 270, I'yı 310 mm olarak saptamışlardır. Yıldız (2018) ise, yine aynı bölgede PE örtülü hıyar bitkisinin toplam ET'sini güz (Ağustos-Şubat) ve bahar (Mart-Ağustos) yetiştirme dönemlerinde sırasıyla 200 mm ve 481 mm, ortalama günlük ET değerinin ise sırasıyla 1.08 mm gün⁻¹ ve 4.09 mm gün⁻¹ olarak saptamıştır.

Tüm bitkilerin bitki su tüketimi bileşenleri ile ilgili veriler değerlendirildiğinde bu çalışmada ölçülen ET ve I değerlerine ilişkin bulguların literatürle uyumlu olduğu, ancak farklı yetiştirme koşullarında yapılan çalışmalar arasında anlaşılabilir farklılıklar bulunduğu, bölgede yapılan diğer çalışmalara benzer olarak güz dönemine kıyasla bahar döneminde daha yüksek düzeyde ET ve sulama suyu uygulaması (I) söz konusu olduğu sonucuna varılabilir.

Yapılan literatür araştırmaları ve araştırmamızdan elde edilen sonuçlarda görüldüğü gibi bitkilerin sera koşullarındaki ET değerleri, yetiştirildikleri ortamın iklim (sıcaklık, radyasyon, bağıl nem, rüzgar hızı, VPD) koşullarına, yetiştirme ortamının (bünye ve yapı, su tutma vb.) özelliklerine, bitkilerin fizyolojik (türü, çeşit, gelişme

dönemi, kök yapısı vb.) özelliklerine ve sera tipine (örtü, çatı tipi, teknoloji durumu vb.) bağlı olarak değişiklik göstermektedir.

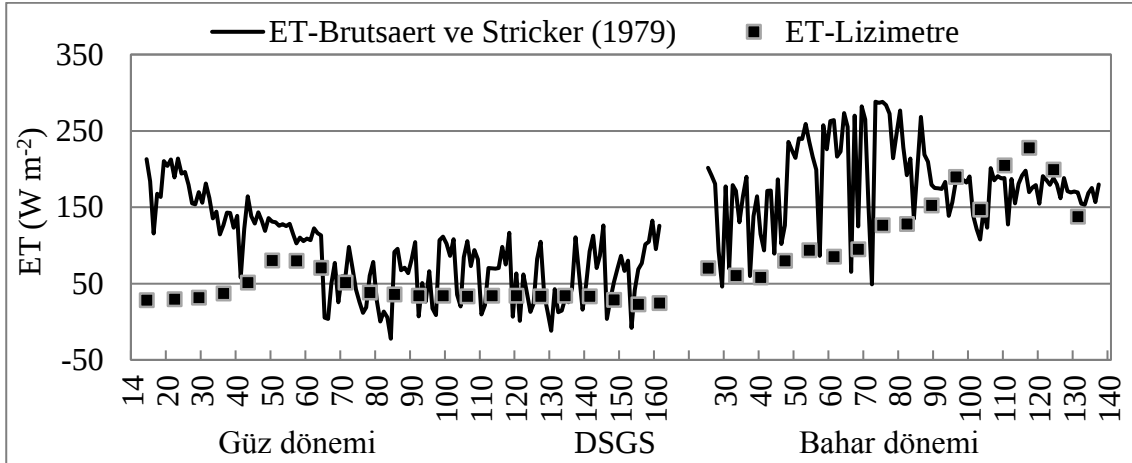
4.3.2. Enerji dengesi eşitliği yardımıyla dolaylı olarak belirlenen bitki su tüketimi (ET) tahminine ilişkin bulgular

Bu bölümde enerji dengesi modelinde (Eşitlik 3.5) belirlenmesi en zor parametre olan r_a değeri farklı yöntemlerle hesaplanmış ve bu değerlerin enerji dengesi eşitliğinde kullanılmasıyla tahmin edilen bitki su tüketimi (ET) değerlerine ilişkin bulgular alt başlıklar halinde verilmiştir.

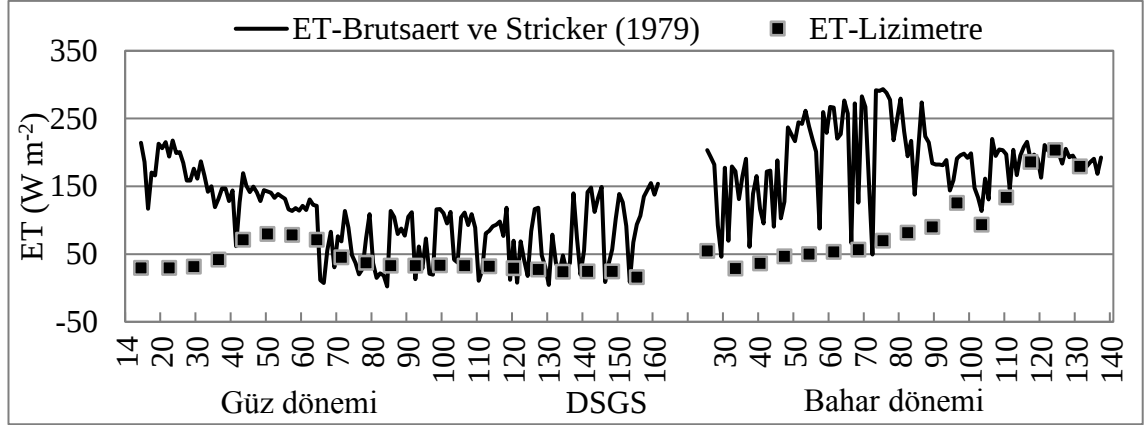
4.3.2.1. Rüzgar hızı, bitki boyu ve bitki örtüsüne bağlı olan Brutsaert ve Stricker (1979) ve Perrier (1975) yöntemi ile hesaplanmış aerodinamik direncin (r_a) enerji dengesi eşitliğinde kullanılmasıyla bitki su tüketimi (ET) tahminine ilişkin bulgular

Brutsaert ve Stricker (1979) (Eşitlik 2.17) ve Perrier (1975) (Eşitlik 2.18) yöntemleri ET'nin tahmin edilmesi amacıyla gerekli olan r_a değerini, rüzgar hızı, bitki yüksekliği ve bitki örtüsüne bağlı olarak hesaplamaktadır. Bu iki yöntem, esas olarak kıyas bitki su tüketimini belirlemede gerekli r_a parametresinin hesabı için geliştirilmiş olup, tarla koşullarında (Allen vd. 1998; Fernández vd. 2010) kullanılmıştır. Ancak bazı araştırmacılar (Qiu vd. 2013; Gong vd. 2017; Yan vd. 2018) bu iki yöntemi sera koşullarında doğrudan bazı sebzelerin su tüketimlerini hesaplamada kullanmışlardır.

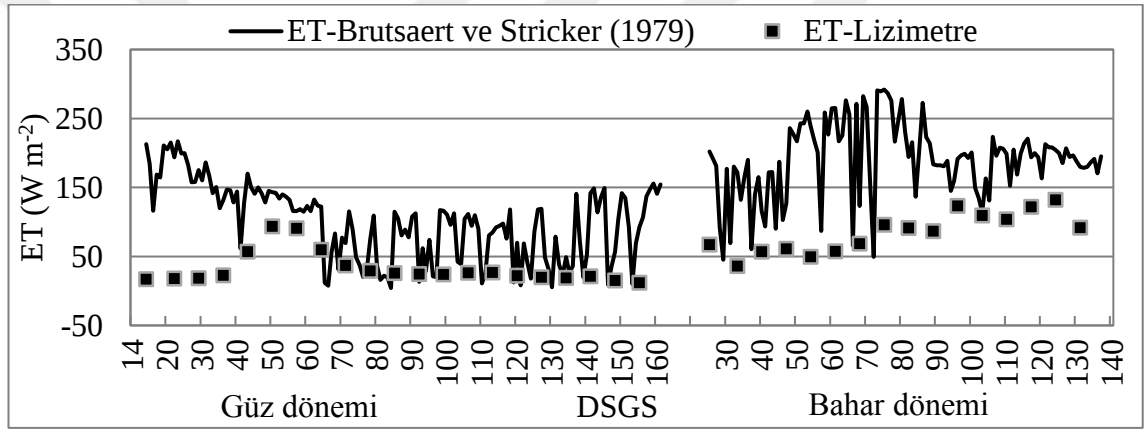
Brutsaert ve Stricker (1979) ve Perrier (1975) yöntemi ile hesaplanan r_a değerlerinin enerji dengesi eşitliğinde kullanılmasıyla elde edilen ET değerleri sırasıyla domates bitkisi için Şekil 4.63 ve 4.67'de, patlıcan bitkisi için Şekil 4.64 ve 4.68'de, biber bitkisi için Şekil 4.65 ve 4.69'de ve hıyar bitkisi için Şekil 4.66 ve 4.70'de gösterilmiştir.



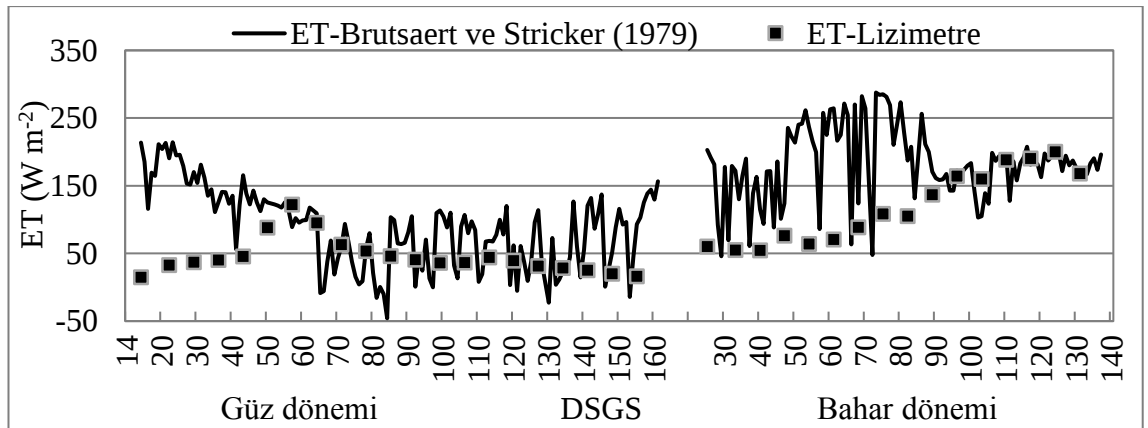
Şekil 4.63. Güz ve bahar dönemlerinde, domates bitkisinde Brutsaert ve Stricker (1979) yöntemi ile hesaplanan r_a değerinin enerji dengesi eşitliğinde kullanılmasıyla elde edilen ET değerleri ile lizimetreden doğrudan ölçülen ET değerlerinin değişimi



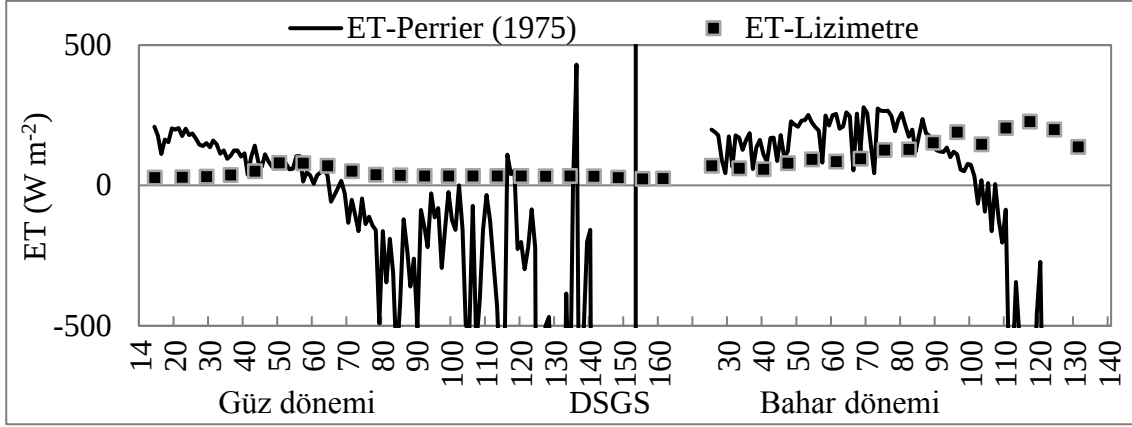
Şekil 4.64. Güz ve bahar dönemlerinde, patlıcan bitkisinde Brutsaert ve Stricker (1979) yöntemi ile hesaplanan r_a değerinin enerji dengesi eşitliğinde kullanılmasıyla elde edilen ET değerleri ile lizimetreden doğrudan ölçülen ET değerlerinin değişimi



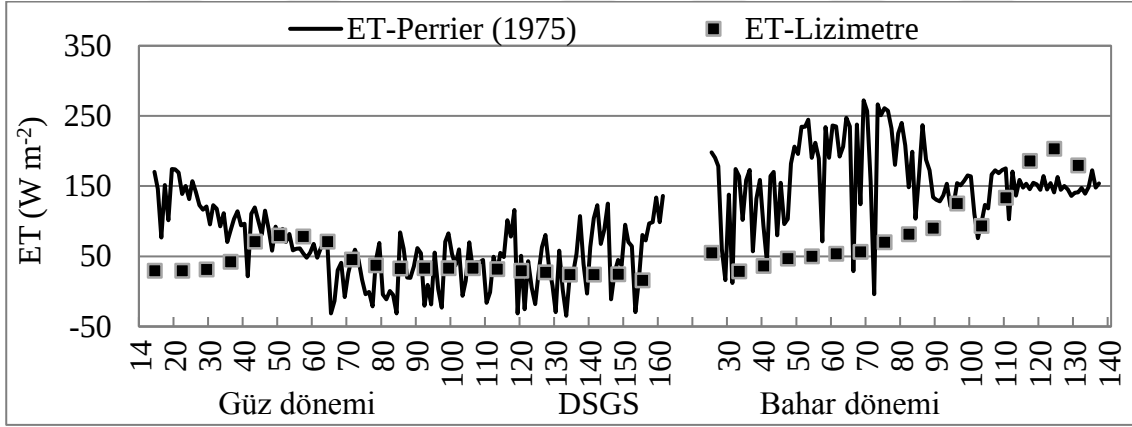
Şekil 4.65. Güz ve bahar dönemlerinde, biber bitkisinde Brutsaert ve Stricker (1979) yöntemi ile hesaplanan r_a değerinin enerji dengesi eşitliğinde kullanılmasıyla elde edilen ET değerleri ile lizimetreden doğrudan ölçülen ET değerlerinin değişimi



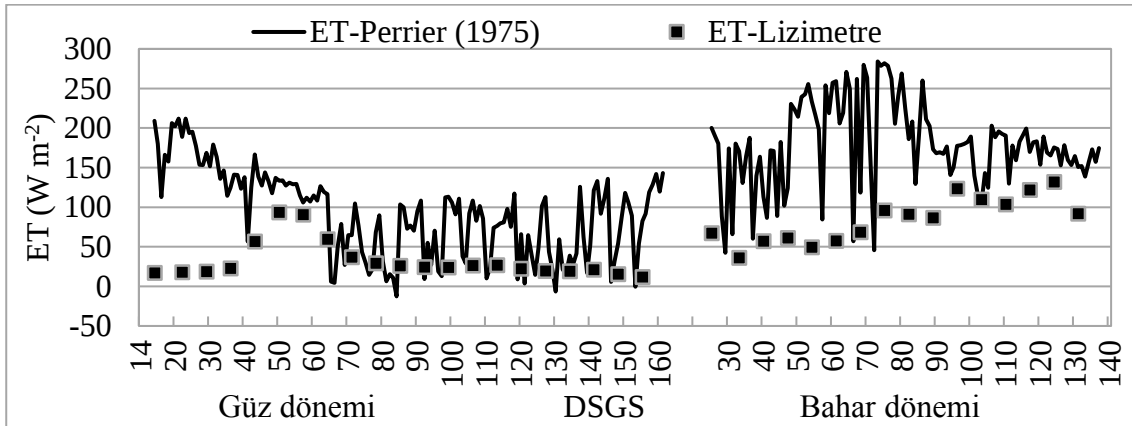
Şekil 4.66. Güz ve bahar dönemlerinde, hıyar bitkisinde Brutsaert ve Stricker (1979) yöntemi ile hesaplanan r_a değerinin enerji dengesi eşitliğinde kullanılmasıyla elde edilen ET değerleri ile lizimetreden doğrudan ölçülen ET değerlerinin değişimi



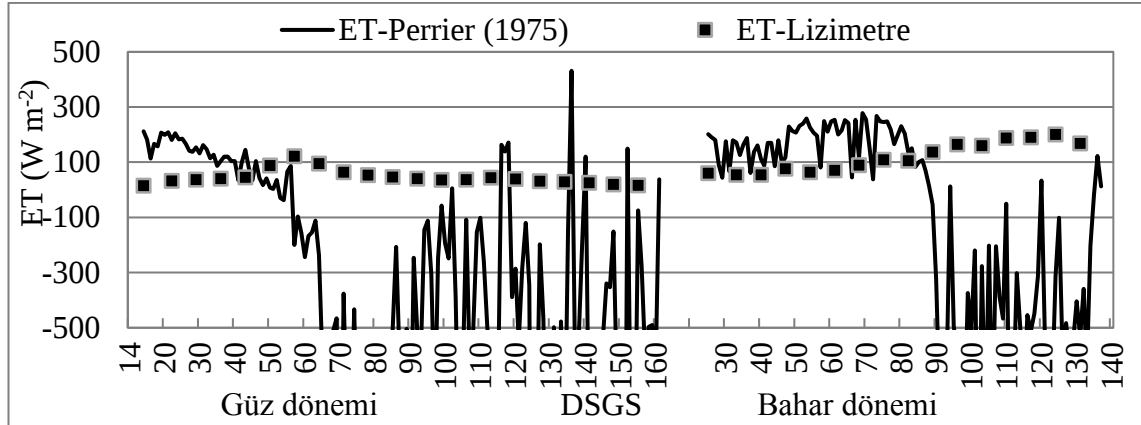
Şekil 4.67. Güz ve bahar dönemlerinde, domates bitkisinde Perrier (1975) yöntemi ile hesaplanan r_a değerinin enerji dengesi eşitliğinde kullanılmasıyla elde edilen ET değerleri ile lizimetreden doğrudan ölçülen ET değerlerinin değişimi



Şekil 4.68. Güz ve bahar dönemlerinde, patlıcan bitkisinde Perrier (1975) yöntemi ile hesaplanan r_a değerinin enerji dengesi eşitliğinde kullanılmasıyla elde edilen ET değerleri ile lizimetreden doğrudan ölçülen ET değerlerinin değişimi



Şekil 4.69. Güz ve bahar dönemlerinde, biber bitkisinde Perrier (1975) yöntemi ile hesaplanan r_a değerinin enerji dengesi eşitliğinde kullanılmasıyla elde edilen ET değerleri ile lizimetreden doğrudan ölçülen ET değerlerinin değişimi



Şekil 4.70. Güz ve bahar dönemlerinde, hıyar bitkisinde Perrier (1975) yöntemi ile hesaplanan r_a değerinin enerji dengesi eşitliğinde kullanılmasıyla elde edilen ET değerleri ile lizimetreden doğrudan ölçülen ET değerlerinin değişimi

Domatesin ET tahmininde Brutsaert ve Stricker (1979) yöntemi ile hesaplanan r_a 'nın kullanılması durumunda hem güz hem de bahar başında da tahmin edilen ET değerlerinin doğrudan belirlenen ET değerlerine kıyasla çok fazla olduğu saptanmıştır. Bu yöntem domates bitkisinde en iyi performansını güz döneminin ortası ve sonu arasındaki zaman diliminde göstermiştir. Bahar döneminde ise doğrudan ölçülen değeri tahmin etmede başarılı olmamıştır. Brutsaert ve Stricker (1979) yöntemi patlıcan bitkisinin ET değerini olması gerektiğinden fazla tahmin etme eğilimi göstermiştir (Şekil 4.64). Tahmini ET değerleri sadece bahar döneminin son bölümünde iyi performans göstermiştir. Domates bitkisine benzer olarak her iki yetiştirme döneminin başında doğrudan ölçümlere kıyasla tahmini ET değerlerinin çok fazla olduğu belirlenmiştir. Patlıcan bitkisine benzer olarak biber bitkisinde de bu yöntem, tahmini ET değerlerini fazla tahmin etme eğilimindedir (Şekil 4.65). Tahmin edilen ET değerleri ile doğrudan ölçülen ET değerleri arasında yaklaşık beş kat farkın olduğu belirlenmiştir. Buna karşı Brutsaert ve Stricker (1979) yönteminin kullanılmasıyla diğer bitkilere kıyasla hıyar bitkisinde daha iyi sonuç elde edilmiştir (Şekil 4.66). Özellikle güz döneminin ortasıyla bahar döneminin sonunda, gerçek ET değerlerine yakın sonuçlar elde edilmiştir. Yine de yetiştirme sezonu boyunca tahmin edilen ET değerleri ile doğrudan elde edilen ET değerleri karşılaştırıldığında yöntemin yeterli olmadığı görülmektedir.

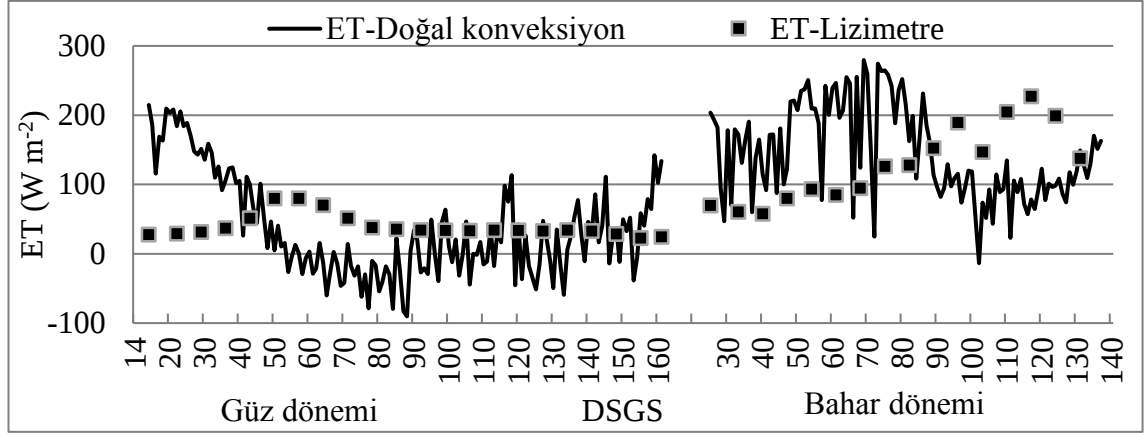
Bu çalışmada yetiştirilen domates ve hıyar bitkisi r_a değerinin Perrier (1975) yöntemi ile hesaplanması ve bu değerin kullanılmasıyla elde edilen ET değerlerinin -13555 ($W m^{-2}$) ile 148121 ($W m^{-2}$) arasında değiştiği belirlenmiştir. Bu nedenle elde edilen sonuçların daha iyi analiz edilebilmesi amacıyla Şekil 4.67 ve Şekil 4.70'de ET değerlerinin gösterildiği y eksenini -500 ile 500 arasında sabitlemiştir. Perrier (1975) yönteminin enerji dengesi eşitliğinde kullanılmasıyla domates bitkisinden elde edilen ET değerleri Şekil 4.67'de incelenmiştir. Tahmini ET değerleri ile ölçülen ET değerleri arasındaki ilişki her iki yetiştirme döneminde de bitki gelişimine paralel olarak kötüleşmiştir. Özellikle her iki yetiştirme döneminin sonunda ET değerlerinin negatif olduğu görülmüştür. Bu yöntem yardımıyla patlıcan bitkisinin tahmin edilen ET değerlerinin domates bitkisine kıyasla ölçülen ET değerlerine daha yakın olduğu belirlenmiştir (Şekil 4.68). Buna karşı özellikle güz döneminin ortasında negatif ET değerleri elde edilirken bahar dönemin başında ise ölçülen ET değerine kıyasla daha fazla

tahmini ET değerleri elde edilmiştir. Diğer bitkilerin aksine biber bitkisinde Perrier (1975) yönteminin enerji dengesi eşitliğinde kullanılmasıyla negatif ET değerleri elde edilmemiştir (Şekil 4.69). Fakat her iki yetiştirme döneminde de tahmin edilen ET değerini de çok fazla tahmin etme eğilimine sahip olduğu belirlenmiştir.

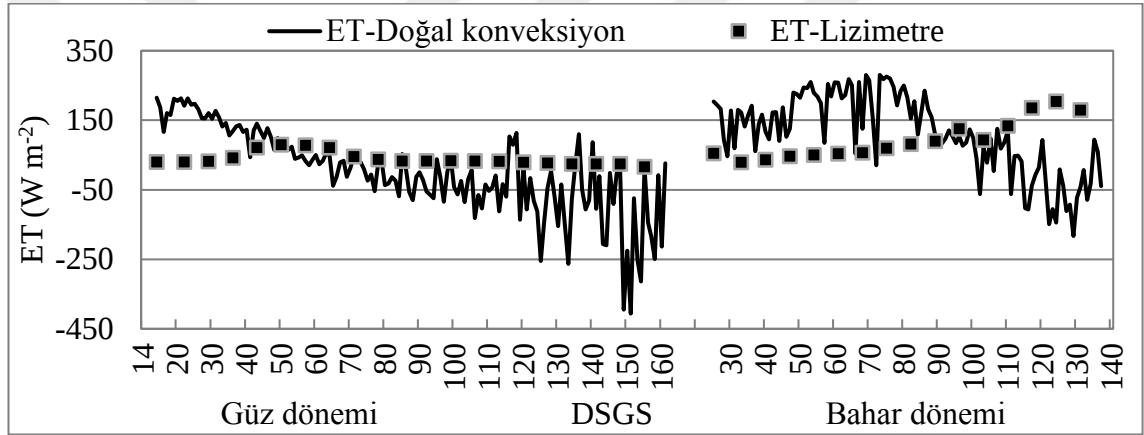
Brutsaert ve Stricker (1979) ve Perrier (1975) eşitliklerinde r_a , bitki taç yüzeyi ile atmosfer arasındaki su buharının türbülanslı transferini tarif eden logaritmik bir rüzgar hızı profili ile belirlenerek elde edilmektedir (Brutsaert ve Stricker 1979; Yan vd. 2018). Fakat rüzgar hızı bitkinin içlerine girdikçe üssel olarak azalmaktadır (Alves vd. 1998). Ayrıca doğal havalandırmalı seralarda rüzgar hızının doğal havalandırma altında genellikle küçük olduğu bilinmektedir. Nitekim Fernández vd. (2010) sera içindeki ölçülen günlük rüzgar hızı değerlerinin çoğunlukla 0.01 ile 0.2 m s⁻¹ arasında değiştiğini bildirmişlerdir. Bu nedenle bazı araştırmacılar (Qiu vd. 2013; Gong vd. 2017; Yan vd. 2018) rüzgar hızının sifıra yakın olduğunda aerodinamik direncin sonsuz olabileceğini bundan dolayı da bu eşitliklerin seralar için uygun olmayabileceğini bildirilmişlerdir. Fernández vd. (2010) sera koşullarında çim bitkisi için hesaplanan r_a değerlerinin 2.080 ile 20.800 s m⁻¹ arasında salınım yaptığını bildirmiştir. Dolayısıyla, sera koşullarında ET tahmin eşitliğinde Brutsaert ve Stricker (1979) ve Perrier (1975) eşitlikleri ile hesaplanmış r_a 'nın kullanılması bu yöntemin kullanılmasıyla hatalı sonuçlara yol açabilmektedir. Nitekim bu çalışmadan elde edilen bulgular bu bilgiyi doğrulamaktadır. Bu çalışmada, Brutsaert ve Stricker (1979) ve Perrier (1975) yönteminin her iki yetiştirme döneminde de Akdeniz tipi PE seralarda domates, patlıcan, biber ve hıyar bitkisi ET değerlerini doğru tahmin etmek için uygun olmadığı belirlenmiştir. Bu nedenle bu yöntemlerin benzer koşullardaki seralarda ET tahmini için gerekli olan r_a hesaplanmasında kullanılması önerilmemektedir. Bununla birlikte, bazı araştırmacılar (Gong vd. 2017) havalandırma sistemine sahip bazı seralarda rüzgar hızının doğal havalandırmalı seralara kıyasla daha fazla olduğunu, bu nedenle bu seralarda yöntemin geliştirilerek kullanılabileceğini ifade etmişlerdir.

4.3.2.2. Enerji dengesi eşitliğinde doğal, zorlamalı ve bileşik konveksiyona dayalı konvektif ısı transfer katsayısı (CHTC) yöntemi ile hesaplanmış aerodinamik direncin (r_a) kullanılmasıyla bitki su tüketimi (ET) tahminine ilişkin bulgular

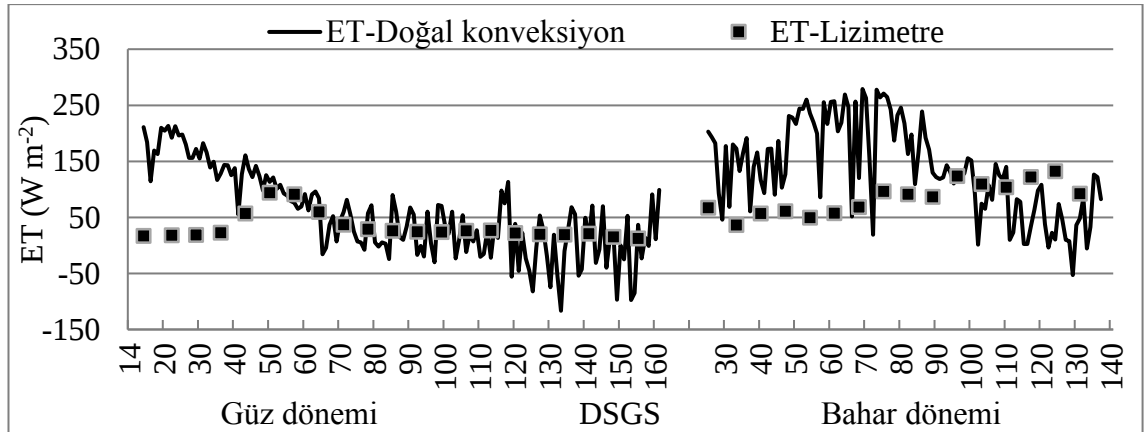
Sera koşullarında rüzgar hızının çok düşük olması nedeniyle, r_a değerinin hesaplanması amacıyla çok sayıda araştırmacı bireysel yapraklar için geliştirilmiş konvektif ısı transfer katsayısı (CHTC) yöntemini (Fujii vd. 1973; Stanghellini 1987; Yan vd. 2018) kullanmıştır. Nitekim Zhang ve Lemeur (1992) sera koşullarında, bitki tacı ve atmosfer arasındaki ısı transferinin konvektif olduğunu ve r_a 'nın ısı transfer katsayısı kullanılarak hesaplanabileceğini belirtmişlerdir. Bu çalışmada da her iki yetiştirme döneminde domates, patlıcan, biber ve hıyar bitkisinin r_a değerleri Eşitlik 2.28 ile hesaplanmıştır. Eşitlik 2.28'in hesaplanabilmesi için önce konvektif ısı transfer katsayısının belirlenmesi gerekmektedir. r_a değerini hesaplamak için gerekli olan konvektif ısı transfer katsayısı (h), doğal (Eşitlik 2.29), zorlamalı (Eşitlik 2.30), ve bileşik (Eşitlik 2.31), olmak üzere üç farklı yöntem ile belirlenmiştir. **Doğal, Zorlamalı ve Bileşik konveksiyona dayalı CHTC yöntemi** hesaplanan r_a değerinin enerji dengesi eşitliğinde kullanılmasıyla elde edilen ET ve lizimetrelerden ölçülen ET değerlerinin güz ve bahar dönemlerindeki değişimi, sırasıyla domates bitkisi için Şekil 4.71, 7.75 ve 4.79'da, patlıcan bitkisi için Şekil 4.72, 4.76 ve 4.80'de, biber bitkisi için Şekil 4.73, 4.77 ve 4.81'de ve hıyar bitkisi için Şekil 4.74, 4.78 ve 4.82'de verilmiştir.



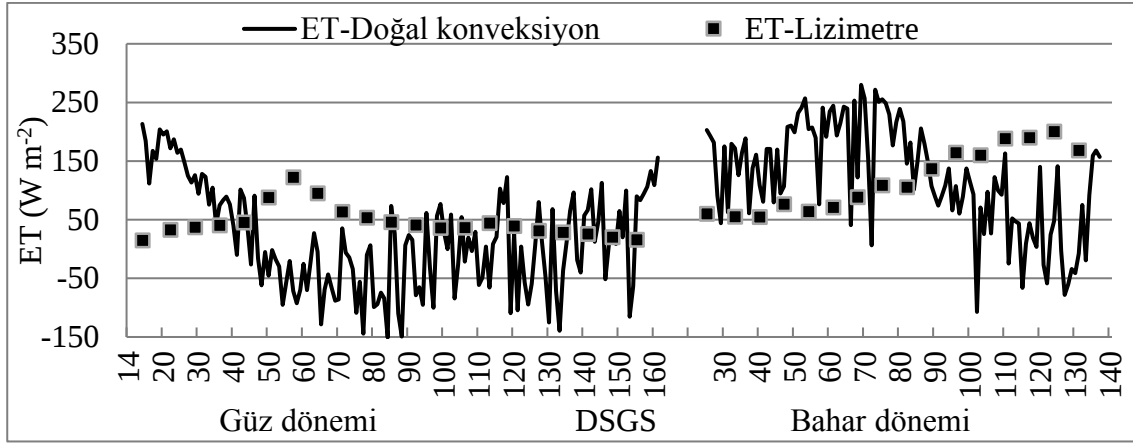
Şekil 4.71. Domates bitkisinde doğal konveksiyona dayalı CHTC yöntemi ile hesaplanan r_a değerinin enerji dengesi eşitliğinde kullanılmasıyla elde edilen ET ve lizimetrelerden ölçülen ET değerlerinin güz ve bahar dönemlerindeki değişimi



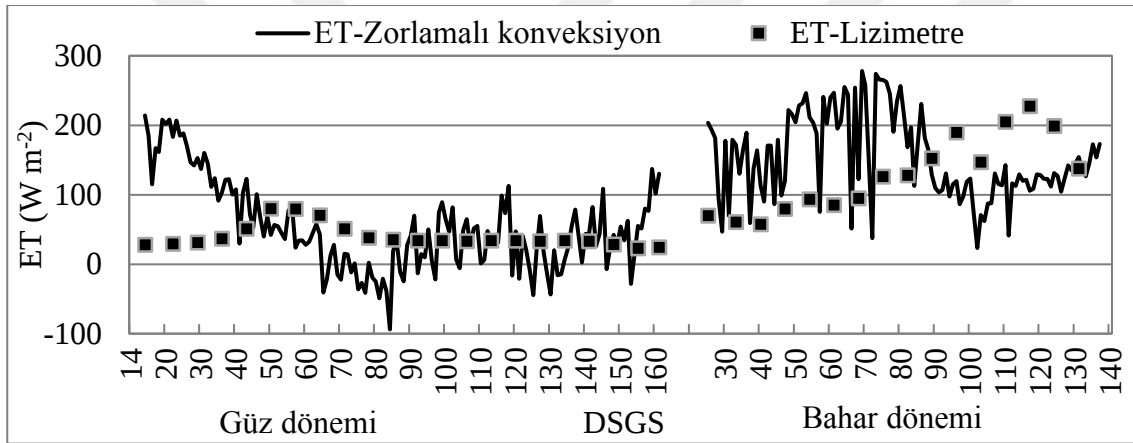
Şekil 4.72. Patlıcan bitkisinde doğal konveksiyona dayalı CHTC yöntemi ile hesaplanan r_a değerinin enerji dengesi eşitliğinde kullanılmasıyla elde edilen ET ve lizimetrelerden ölçülen ET değerlerinin güz ve bahar dönemlerindeki değişimi



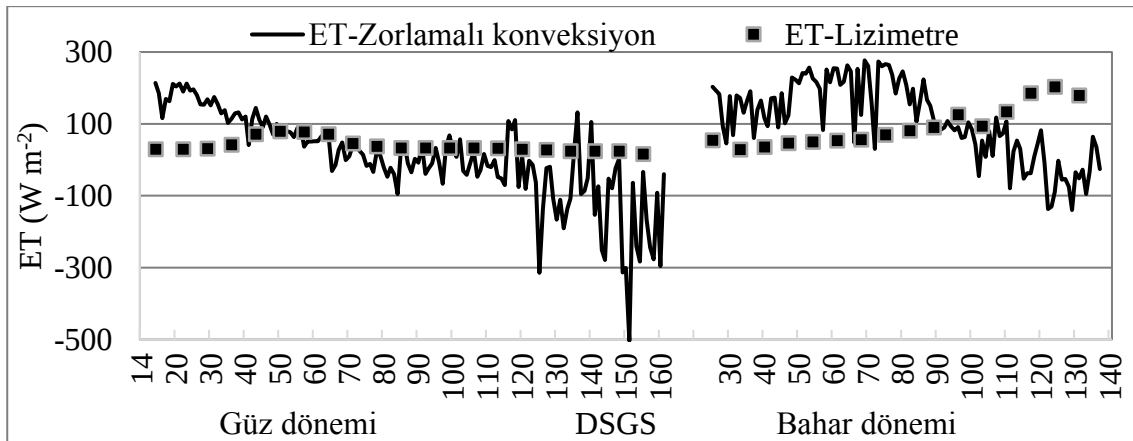
Şekil 4.73. Biber bitkisinde doğal konveksiyona dayalı CHTC yöntemi ile hesaplanan r_a değerinin enerji dengesi eşitliğinde kullanılmasıyla elde edilen ET ve lizimetrelerden ölçülen ET değerlerinin güz ve bahar dönemlerindeki değişimi



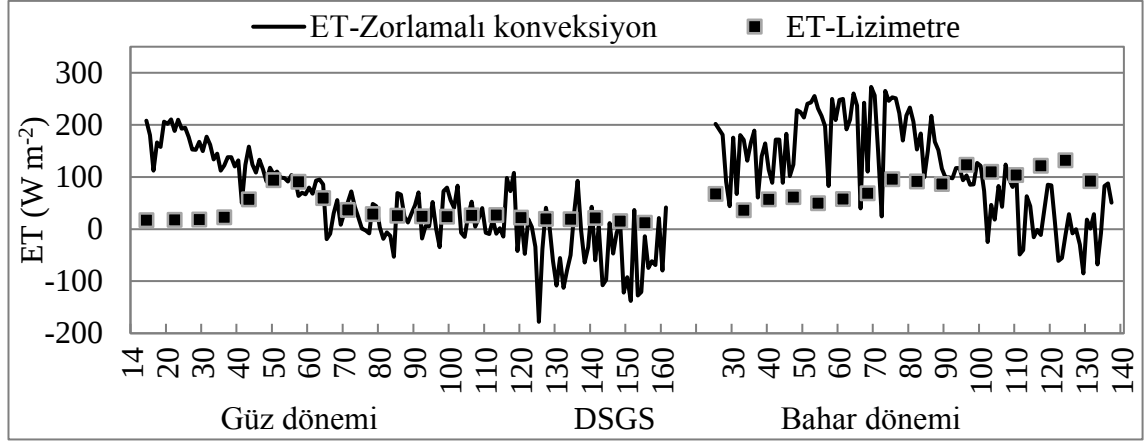
Şekil 4.74. Hıyar bitkisinde doğal konveksiyona dayalı CHTC yöntemi ile hesaplanan r_a değerinin enerji dengesi eşitliğinde kullanılmasıyla elde edilen ET ve lizimetrelerden ölçülen ET değerlerinin güz ve bahar dönemlerindeki değişimi



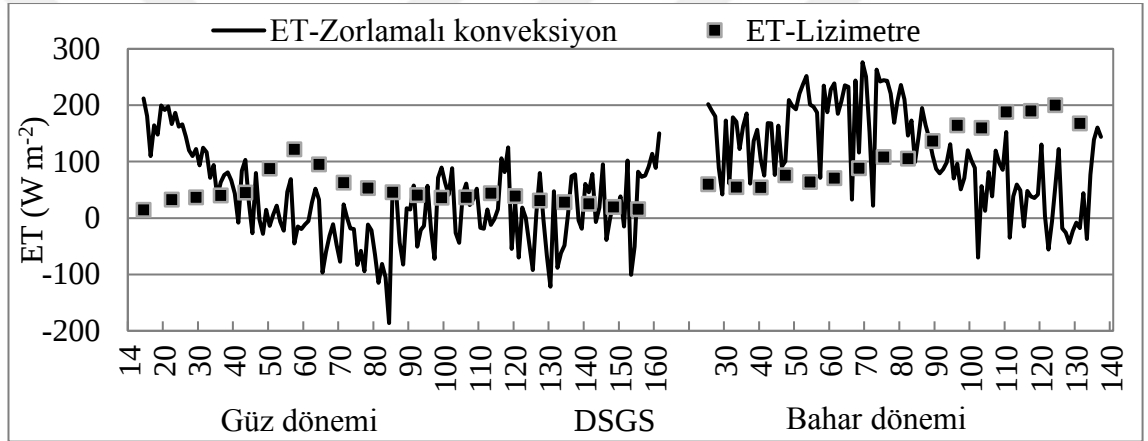
Şekil 4.75. Domates bitkisinde zorlamalı konveksiyona dayalı CHTC yöntemi ile hesaplanan r_a değerinin enerji dengesi eşitliğinde kullanılmasıyla elde edilen ET ve lizimetrelerden ölçülen ET değerlerinin güz ve bahar dönemlerindeki değişimi



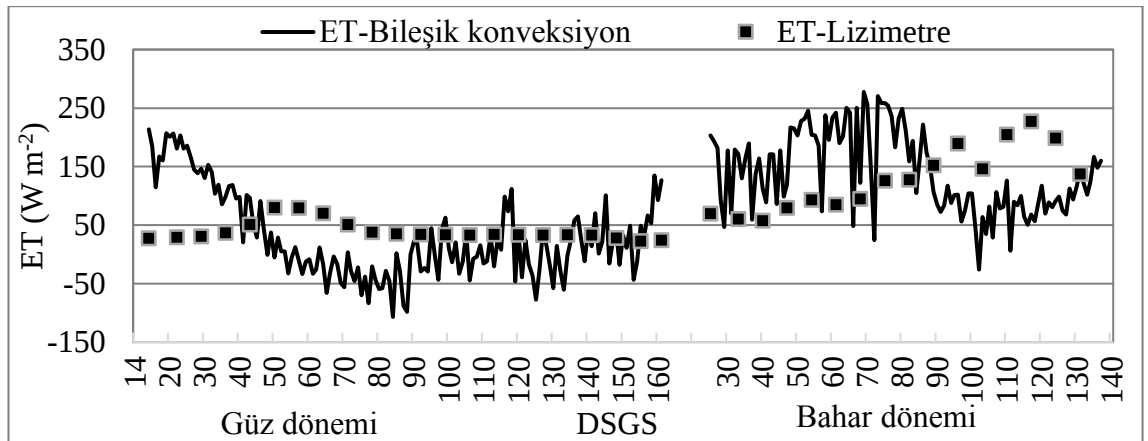
Şekil 4.76. Patlıcan bitkisinde zorlamalı konveksiyona dayalı CHTC yöntemi ile hesaplanan r_a değerinin enerji dengesi eşitliğinde kullanılmasıyla elde edilen ET ve lizimetrelerden ölçülen ET değerlerinin güz ve bahar dönemlerindeki değişimi



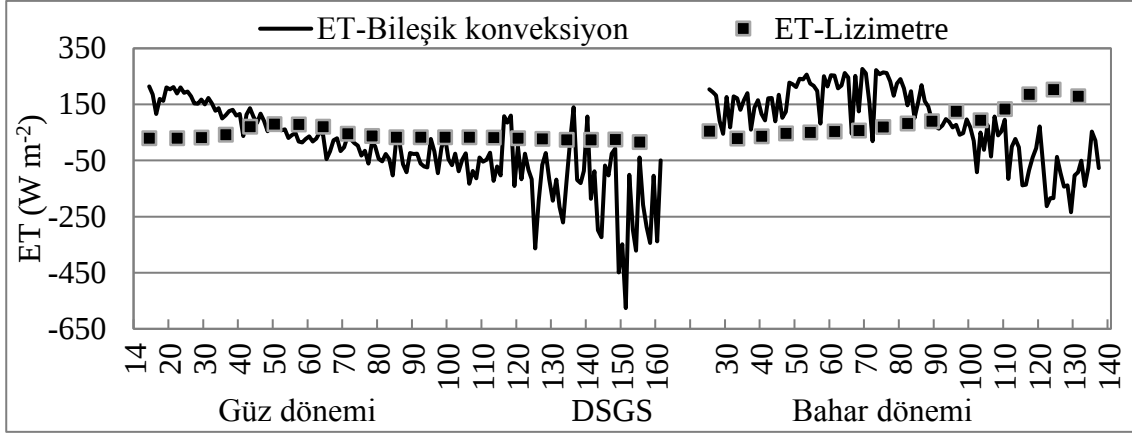
Şekil 4.77. Biber bitkisinde zorlamalı konveksiyona dayalı CHTC yöntemi ile hesaplanan r_a değerinin enerji dengesi eşitliğinde kullanılmasıyla elde edilen ET ve lizimetrelerden ölçülen ET değerlerinin güz ve bahar dönemlerindeki değişimi



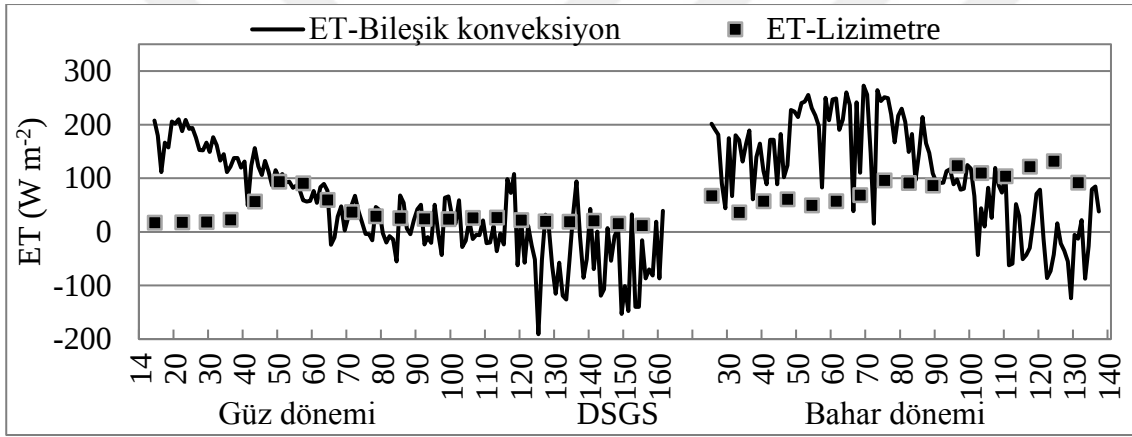
Şekil 4.78. Hıyar bitkisinde zorlamalı konveksiyona dayalı CHTC yöntemi ile hesaplanan r_a değerinin enerji dengesi eşitliğinde kullanılmasıyla elde edilen ET ve lizimetrelerden ölçülen ET değerlerinin güz ve bahar dönemlerindeki değişimi



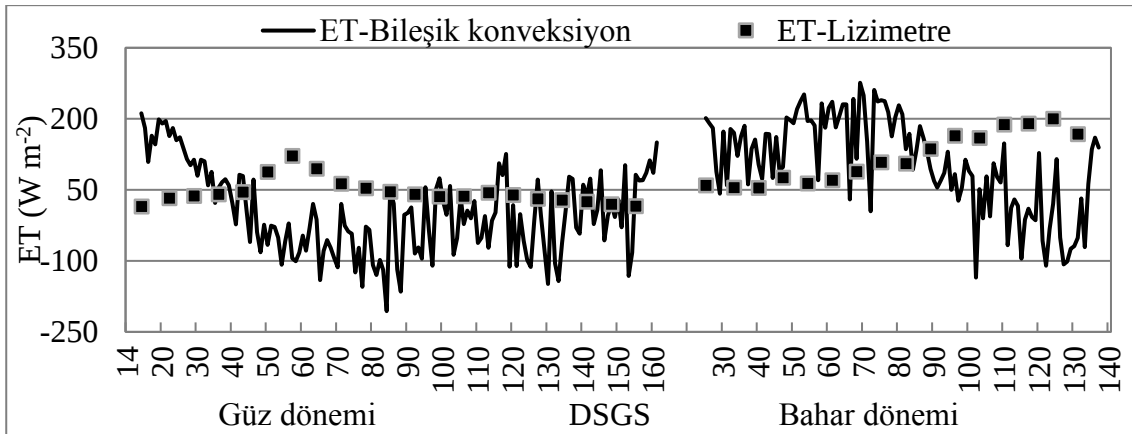
Şekil 4.79. Domates bitkisinde bileşik konveksiyona dayalı CHTC yöntemi ile hesaplanan r_a değerinin enerji dengesi eşitliğinde kullanılmasıyla elde edilen ET ve lizimetrelerden ölçülen ET değerlerinin güz ve bahar dönemlerindeki değişimi



Şekil 4.80. Patlıcan bitkisinde bileşik konveksiyona dayalı CHTC yöntemi ile hesaplanan r_a değerinin enerji dengesi eşitliğinde kullanılmasıyla elde edilen ET ve lizimetrelerden ölçülen ET değerlerinin güz ve bahar dönemlerindeki değişimi



Şekil 4.81. Biber bitkisinde bileşik konveksiyona dayalı CHTC yöntemi ile hesaplanan r_a değerinin enerji dengesi eşitliğinde kullanılmasıyla elde edilen ET ve lizimetrelerden ölçülen ET değerlerinin güz ve bahar dönemlerindeki değişimi



Şekil 4.82. Hıyar bitkisinde bileşik konveksiyona dayalı CHTC yöntemi ile hesaplanan r_a değerinin enerji dengesi eşitliğinde kullanılmasıyla elde edilen ET ve lizimetrelerden ölçülen ET değerlerinin güz ve bahar dönemlerindeki değişimi

Doğal, zorlamalı ve bileşik konveksiyona dayalı CHTC yöntemleri ile hesaplanan r_a değerlerinin enerji dengesi eşitliğinde kullanılmasıyla domates, patlıcan, biber ve hıyar bitkilerinden tahmin edilen ET değerleri, lizimetrelerde ölçülen ET değerlerine kıyasla güz ve bahar dönemlerinin başında daha fazla tahmin etme eğilimi göstermiştir (Şekil 4.71-4.82). Bu yöntemde r_a , LAI'nin bir fonksiyonu (Eşitlik 2.28) olduğundan, yetiştirme dönemlerinin başındaki düşük LAI değerlerinin küçük olması ET'nin yüksek tahmin edilmesine yol açmıştır. Bitkilerin LAI değerleri arttıkça tahmini ET değerlerinde azalmış yine tüm bitkilerde bu yöntemler ile hesaplanan r_a değerlerinin enerji dengesi eşitliğinde kullanılmasıyla negatif ET değerleri elde edilmiştir ve bahar döneminde tüm bitkilerin tahmini ET ile ölçülen ET değerleri arasında ters ilişki belirlenmiştir. Ayrıca birbirini takip eden iki gün arasında tahmini ET değerleri farkı 600 W m^{-2} 'ye kadar çıkmıştır. Güz döneminin son kısmında tahmini ET değerlerinin üst ve alt pikleri arasında önemli farklar meydana gelmiş ve bunun neticesinde büyük dalgalanmalar oluşmuştur. Bu yöntemlerle tahmin edilen ET değerleri incelendiğinde diğer bitkilere kıyasla domates bitkisinde daha iyi sonuçlar elde edilmiştir. Gong vd. (2017) domates bitkisinin ET değerinin belirlenmesi amacıyla bileşik konveksiyonla hesaplanan aerodinamik direncin serada uygulanabilir olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Ancak araştırmacılar, birleşik konveksiyonla hesaplanan aerodinamik direncin yanında yüzey direnci diye adlandırılan ikinci bir direnç değeri de kullanılmışlardır. Bu nedenle hem topraktan olan hem de bitki yüzeyinden meydana gelen dirençleri aynı anda hesaplayarak Penman-Monteith eşitliği ile domates bitkisinden meydana gelen ET değerini yüksek doğrulukta tahmin etmişlerdir. Ayrıca yaptıkları bu çalışma Akdeniz iklimine kıyasla çevresel farklılığın bulunduğu kuzey Çin'de ısıtma ve havalandırma sistemine sahip olan tam donanımlı bir serada yürütülmüştür. Bileşik konveksiyona dayalı CHTC yöntemi domates bitkisi için ilk olarak Stanghellini (1987) tarafından geliştirilmiştir. Fakat bu yöntem ısıtmalı ve tam donanımlı bir cam serada, mikro düzeyde yürütülmüştür. Araştırmacı konvektif ısı transfer katsayısı belirlemek amacıyla bitki içine yerleştirdikleri bakır bobinler içeren sentetik yapraklar kullanmışlardır. Ayrıca yetiştirme ortamı beyaz plastik örtüyle kaplanarak toprak yüzeyinden olan buharlaşma önlenmiştir.

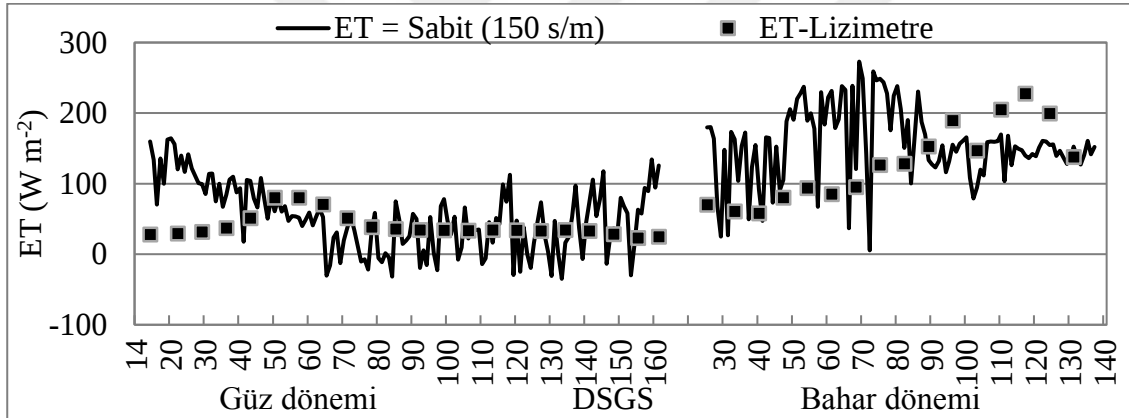
Çok sayıda tarla veya sera çalışmasında, CHTC yönteminde ihtiyaç duyulan Reynolds (Re) ve Grashof (Gr) boyutsuz sayıları, laboratuvar koşullarında gerçek ya da yapay yaprak kullanılarak belirlenmekle birlikte elde edilen veriler ortalama yaprak büyüklüğünü ve bitki tacı içindeki iklimi yansıtmaktadır (Yang vd. 1995). CHTC yöntemlerinde, bitki tacının içi ile üstü arasındaki termal koşullar homojen olarak kabul edilmektedir. Fakat yapılan kültürel işlemlere bağlı olarak bitki tacı içi ile üstü arasındaki sıcaklık ve hava hızları farklıdır. Bitki tacı içindeki hava sıcaklığı, dikey sıcaklık profiline bağlı olarak bitki tacı üzerindeki sıcaklıktan birkaç santigrat dereceye ($^{\circ}\text{C}$) kadar farklılık göstermektedir. Benzer şekilde bitki tacı içindeki rüzgar hızı da havalandırma sistemine bağlı olarak bitki tacının üzerindeki rüzgar hızından farklıdır. Morille vd. (2013) r_a değerini belirlemek amacıyla yapılan önceki çalışmaları incelemişler ve iklimsel verilerin ölçüldüğü sensörlerin konumlarının farklı olduğunu belirtmişlerdir.

Düşük teknolojili Akdeniz tipi PE serada ve makro düzeyde yürütülen bu çalışmada konvektif ısı transfer katsayısının hesabında kullanılan iklimsel veriler seranın ortasında yer alan meteoroloji istasyonundaki standart yükseklikte bulunan sensörlerinden elde edilmiştir. Ayrıca bu çalışmada bitkilere yapılan yaprak budaması transpirasyon ile evaporasyon arasındaki oranı etkilemiştir. Yetiştirme dönemlerinin

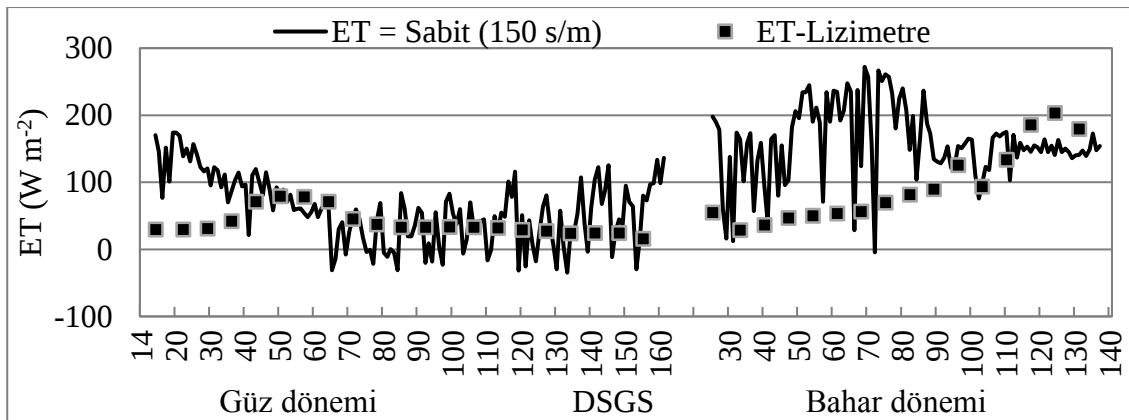
başında küçük olan LAI değeri ve yetiştirme dönemlerinin ortasından itibaren yapılan yaprak budaması sonucunda azalan LAI değeri r_a değerinin artmasına sebep olmuştur. Bu nedenle konveksiyona bağlı bu yöntemler düşük teknolojiye sahip seralarda makro düzeyde yapılan yetiştiricilikte iyi performans göstermemiştir. Nitekim bazı yazarlar CHTC yönteminin kullanımından kaynaklanan zorluklar nedeniyle aynı koşullar altında bile farklı r_a değerlerinin elde edilebileceğini bildirmişlerdir (Fujii vd. 1973; Stanghellini 1987; Yan vd. 2018). Yan vd. (2018), r_a değerinin sera havalandırma tipindeki farklılıklar ve serada yetiştirilen bitkilerin çeşidinden kaynaklı olarak da değişebileceğini bildirmişlerdir. Bu nedenle araştırmacılar sera koşullarında r_a değerini, konvektif bir ısı transfer katsayısı yöntemi (CHTC) ve ters enerji dengesi eşitliği (IBTE) olmak üzere iki yöntemle belirlemişlerdir.

4.3.2.3. Enerji dengesi eşitliğinde sabit aerodinamik direnç (r_a) (150 s m^{-1}) değeri kullanılmasıyla elde edilen ET değerleri

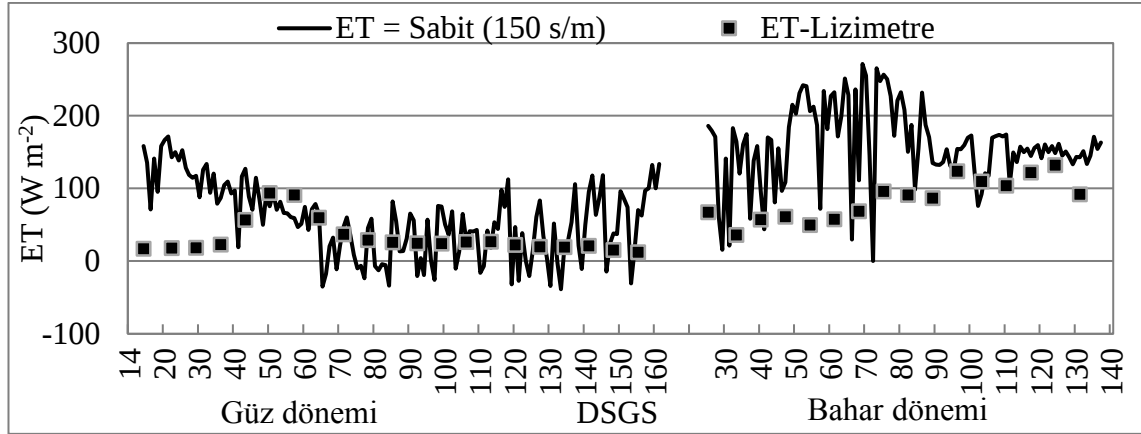
Enerji dengesi eşitliğinde ihtiyaç duyulan r_a değerinin güz ve bahar yetiştirme dönemleri boyunca sabitleyerek (150 s m^{-1}) kullanılmasıyla domates patlıcan biber ve hıyar bitkisi için elde edilen ET değerleri ile lizimetrelerden ölçülen ET değerlerinin değişimleri sırasıyla Şekil 4.83, 4.84, 4.85 ve 4.86'da gösterilmiştir.



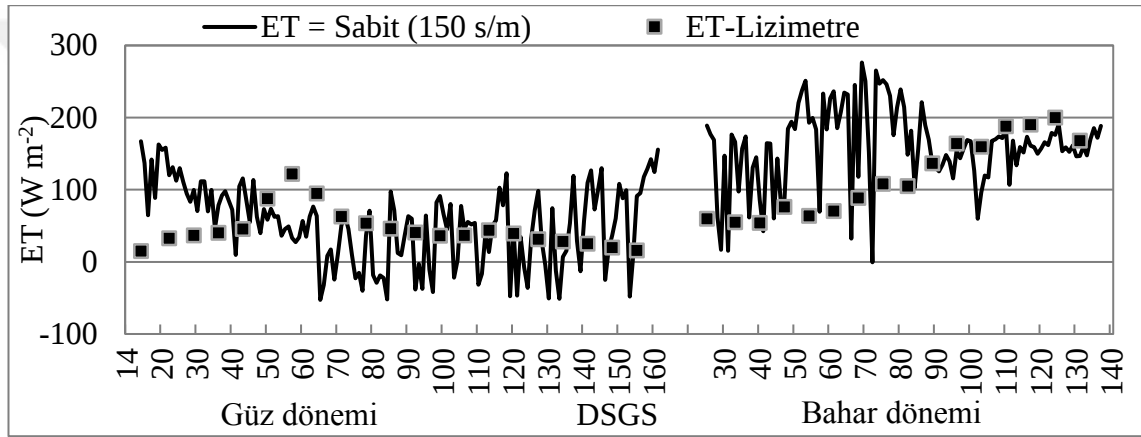
Şekil 4.83. Domates bitkisinde sabit r_a değerinin (150 s m^{-1}) enerji dengesi eşitliğinde kullanılmasıyla elde edilen ET değerleri



Şekil 4.84. Patlıcan bitkisinde sabit r_a değerinin (150 s m^{-1}) enerji dengesi eşitliğinde kullanılmasıyla elde edilen ET değerleri



Şekil 4.85. Biber bitkisinde sabit r_a değerinin (150 s m^{-1}) enerji dengesi eşitliğinde kullanılmasıyla elde edilen ET değerleri



Şekil 4.86. Hıyar bitkisinde sabit r_a değerinin (150 s m^{-1}) enerji dengesi eşitliğinde kullanılmasıyla elde edilen ET değerleri

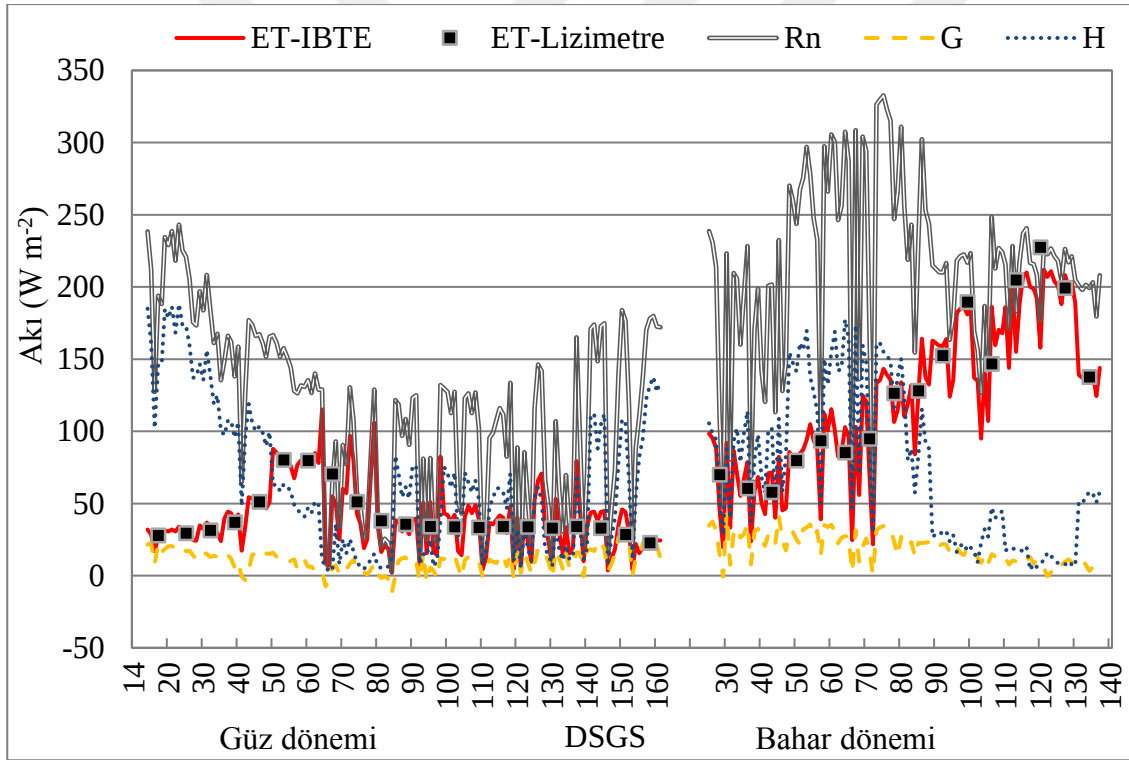
Sabit r_a değerinin (150 s m^{-1}) enerji dengesi eşitliğinde kullanılmasıyla domates, patlıcan, biber ve hıyar bitkilerinden tahmin edilen ET değerleri, daha önce bahsedilen diğer yöntemlere kıyasla başarı elde ettiği belirlenmiştir. Buna karşı diğer yöntemlere kıyasla daha az da olsa negatif tahmini ET değerleri de elde edilmiştir. Bu yöntem ile elde edilen tahmini ET değerlerinde, bahar dönemin başından DSGS 110. güne kadar gün aşırı yüksek ve düşük değerlere bağlı olarak dalgalanmalar meydana gelmiştir. DSGS 110. günden bitki sökümüne kadar bu dalgalanmaların daha az olduğu belirlenmiştir. Bu yöntemle tahmin edilen patlıcan ve biber bitkisinin ET değerlerinin benzer olduğu görülmüştür. Bunun nedeninin, LAI ve $T_c - T_a$ değerlerinin benzer olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

r_a değerinin ölçümündeki zorluklar nedeniyle çok sayıda araştırmacı bu değer için sabit bir değer olarak kullanılmasını önermişlerdir (Baille vd. 1994; López-Cruz vd. 2008; Villarreal-Guerrero vd. 2012a). Örneğin Villarreal-Guerrero vd. (2012b) serada r_a değerini 70 s m^{-1} olarak kullanılmasını önermişlerdir. Stanghellini (1987) domates için bu değeri ortalama 185 s m^{-1} olduğunu ifade etmiştir. Yapılan bu çalışmada domates, patlıcan, biber ve hıyar bitkisinde IBTE yöntemiyle hesaplanan ortalama r_a değerlerinin güz döneminde sırasıyla 272.8, 209.3, 101.3 ve 246.6 s m^{-1} ; bahar döneminde sırasıyla

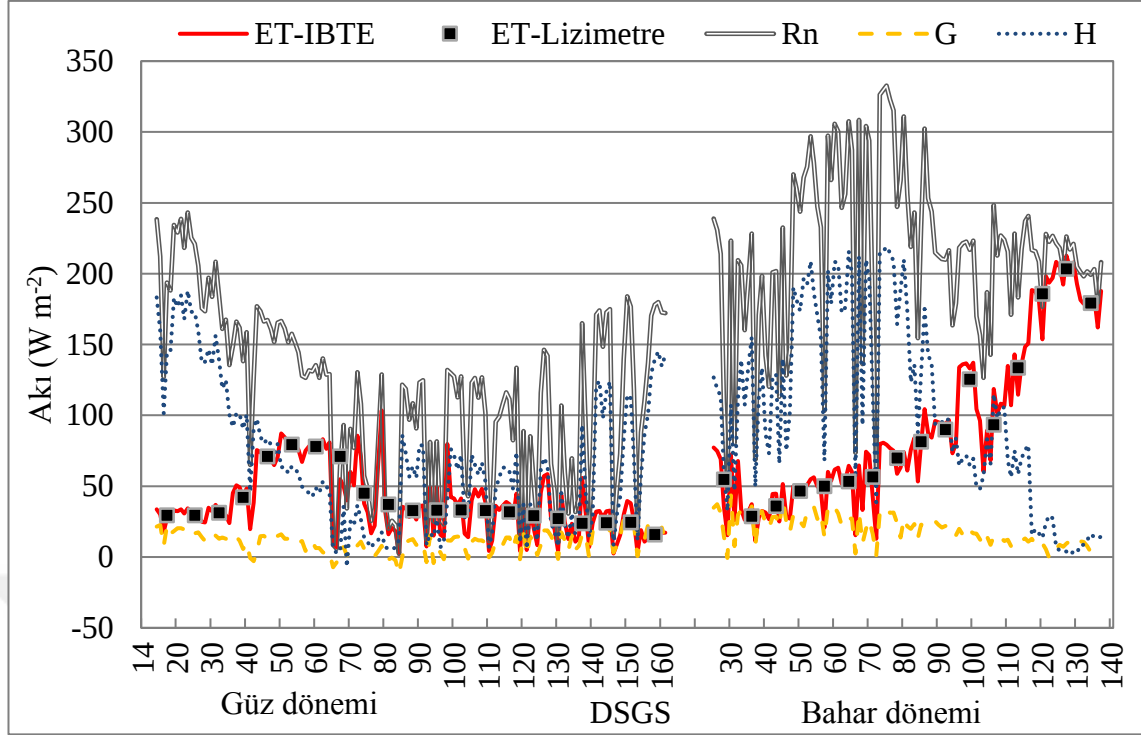
268.4, 268.3, 60.6 ve 198.5 s m⁻¹ olarak elde edilmiştir. Fakat r_a çevresel faktörlerden önemli ölçüde etkilenmesinden dolayı gün içerisinde ve farklı günlerde önemli ölçüde değişmektedir. Nitekim çok sayıda araştırmacı (Bailey vd. 1993; Baille vd. 1994; Gong vd. 2017) sera bitkilerinin r_a değerlerinin 100 ila 500 s m⁻¹ arasında salınım yaptığını söylemişlerdir. Bu nedenle ET değerinin enerji dengesi eşitliği ile tahmin etmek amacıyla sezon boyunca sabit r_a değerinin kullanılması önerilmemektedir.

4.3.2.4. Ters enerji dengesi eşitliği yöntemi (IBTE) ile elde edilen aerodinamik direnç (r_a) değerinin kullanılması ile bitki su tüketimi (ET) tahminine ilişkin bulgular

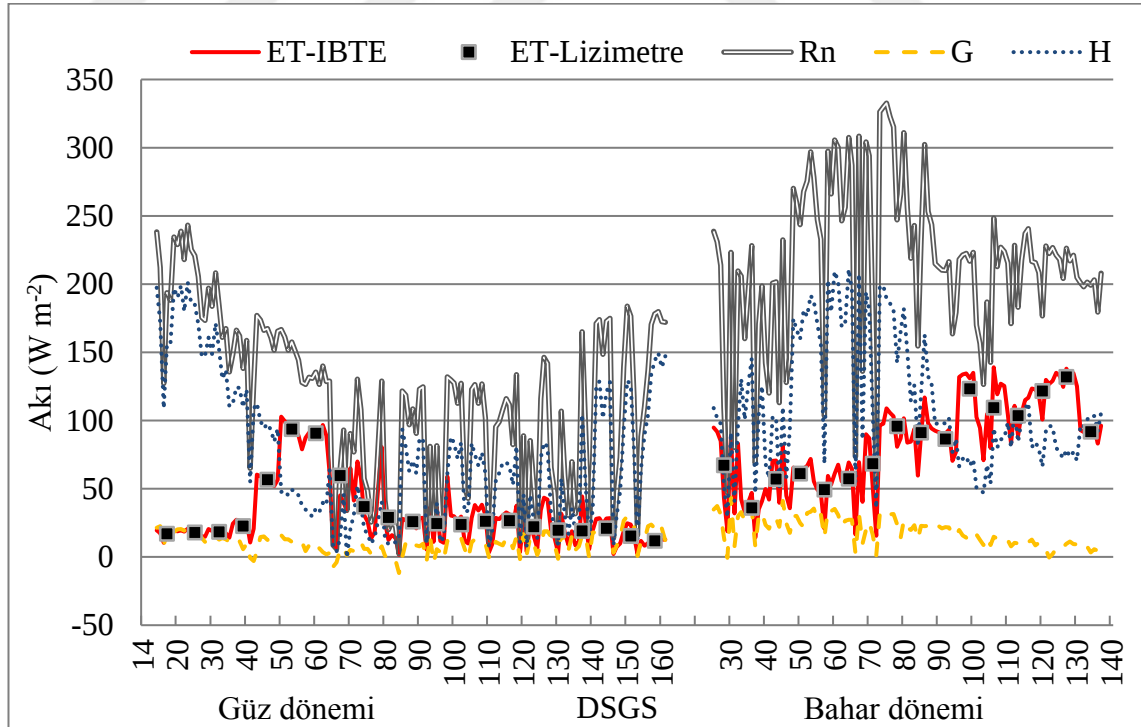
Çok sayıda araştırmacı bitkiye ve iklime dayalı yöntemlerle r_a değerinin belirlenmesindeki zorluklar nedeniyle bu değeri enerji dengesi eşitliğinin tersinin alınmasıyla belirlemişlerdir (Baille vd. 1994; Yang 1995; Yan vd. 2018) (Eşitlik 2.32). Güz ve bahar dönemlerinde, enerji dengesi eşitliğinde bulunan R_n , G, H ve doğrudan ölçülen ve IBTE yöntemiyle tahmin edilen ET değerleri domates, patlıcan, biber ve hıyar bitkisi için sırasıyla Şekil 4.87-4.90'da verilmiştir.



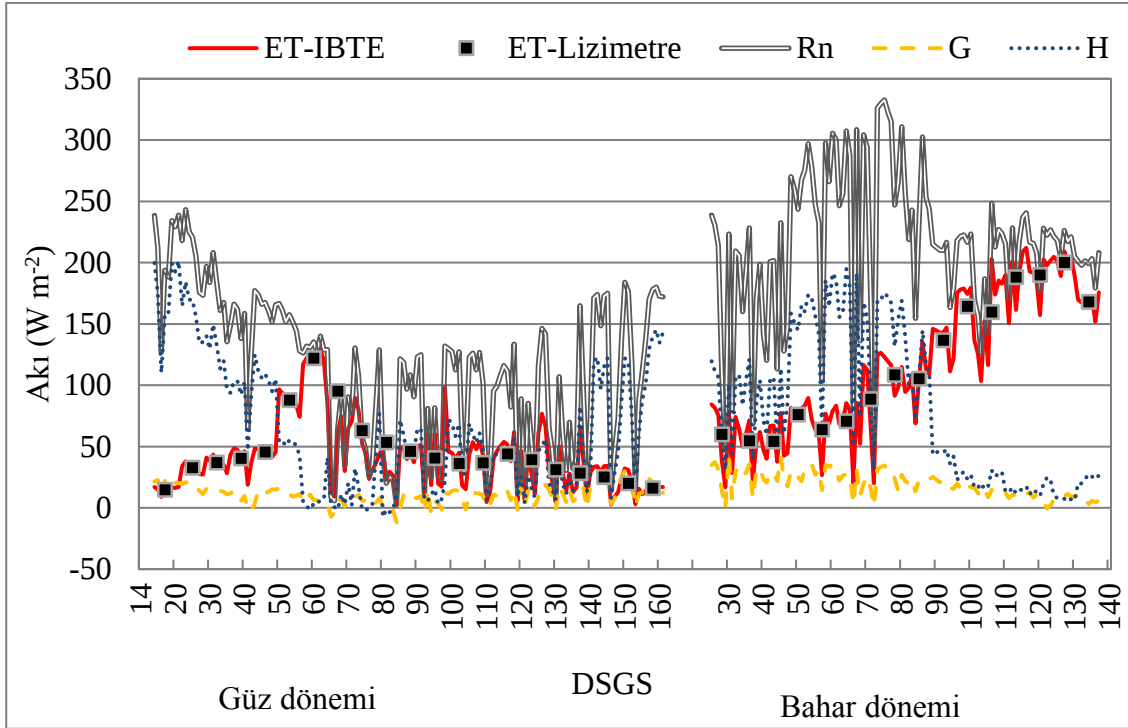
Şekil 4.87. Güz ve bahar dönemlerinde, domates bitkisinde net radyasyon (R_n), toprak ısı akısı (G), duyulur ısı akısı (H) ile IBTE yöntemi ile tahmin edilen ET ve lizimetrelerden doğrudan ölçülen ET değerlerinin değişimi



Şekil 4.88. Güz ve bahar dönemlerinde, patlıcan bitkisinde net radyasyon (R_n), toprak ısı akısı (G), duyulur ısı akısı (H) ile IBTE yöntemi ile tahmin edilen ET ve lizimetrelerden doğrudan ölçülen ET değerlerinin değişimi



Şekil 4.89. Güz ve bahar dönemlerinde, biber bitkisinde net radyasyon (R_n), toprak ısı akısı (G), duyulur ısı akısı (H) ile IBTE yöntemi ile tahmin edilen ET ve lizimetrelerden doğrudan ölçülen ET değerlerinin değişimi



Şekil 4.90. Güz ve bahar dönemlerinde, hıyar bitkisinde net radyasyon (R_n), toprak ısı akısı (G), duyulur ısı akısı (H) ile IBTE yöntemi ile tahmin edilen ET ve lizimetrelerden doğrudan ölçülen ET değerlerinin değişimi

Şekil 4.87-4.90’de incelendiğinde görüleceği üzere, sera içinde R_n , güz döneminde DSGS. 60. güne kadar azalmış, DSGS 110. günden itibaren ise artma eğilimi göstermiştir. Bahar döneminde DSGS 88. günde uygulanan gölge tozu R_n düzeyini etkileyerek sera içi enerji dengesini değiştirmiştir. Gölge tozunun uygulandığı tarihe kadar artma eğilimi gösteren R_n , bu tarihten itibaren ani olarak azalmış ve sezon sonuna doğru 235 ile 175 $W m^{-2}$ arasında fazla değişmeyen bir aralıkta kalmıştır. Dolayısıyla gölge tozu uygulamasının ET düzeyini etkilediği söylenebilir. Nitekim Fernández vd. (2010) mart ve eylül ayları arasında gölge tozu uygulamasıyla kıyas bitki su tüketiminin % 21.4 oranında düştüğünü bildirmişlerdir. Yine bu çalışmada gölge tozunun uygulandığı tarihten itibaren H ’nin önemli oranda azaldığı belirlenmiştir. Bunda, yaprak budaması gibi kültürel işlemlerin etkili olduğu söylenebilir. LAI’nın diğerlerine kıyasla daha düşük olduğu günlerde daha yüksek H değerleri elde edilmiştir. Her iki yetiştirme döneminde de G ’nin diğer tüm parametrelerden düşük değerlerde olduğu görülmüştür. Benzer sonuç çok sayıda araştırmacı tarafından da bildirilmiştir (Allen vd. 1998; Takakura vd. 2009; Colaizzi vd. 2014). Bu çalışmada G değeri yaklaşık $0.1R_n$ olarak hesaplanmıştır. Nitekim literatürde kabul edilen en basit yaklaşımda önerilen de G ’nin bu düzeyde kabul edilebileceğidir (Bertoldi vd. 2012). Enerji dengesini oluşturan diğer parametreler yanında G değerinin düşük olması nedeniyle bazı araştırmalarda ise bu değer ihmal edilmiştir (Stanghellini, 1987; Allen vd. 1998; Takakura vd. 2009).

Morille vd. (2013) IBTE yöntemi ile elde edilen r_a değerinin yalnızca hesaplandığı bölgeyi temsil edeceğini ve farklı iklim koşullarında ciddi farklılıklar oluşabileceğini belirtmekle birlikte elde edilen r_a değerlerinin sensörlerin konumuyla da doğrudan ilişkili olduğunu bildirmişlerdir. Yang (1995) ise IBTE yönteminin belirli bir yerde ölçülen iklim

parametrelerine sahip model sabitlerini kalibre etmek için yararlı olduğunu ifade etmişlerdir.

4.3.2.5. Aerodinamik direncin (r_a) sera içi rüzgar hızı, bitki boyu ve taç örtüsü-hava sıcaklığı farkına dayalı olarak belirlenmesi için geliştirilen yeni model ve bu modelin denklem katsayıları ile istatistiksel performansları

Akdeniz tipi basit sera koşullarında yapılan bu çalışmada r_a değerleri IBTE (Eşitlik 2.32) yöntemiyle belirlenen r_a değerlerinin tahmin edilmesi amacıyla sera içi rüzgar hızı, bitki boyu ve taç örtüsü-hava sıcaklığı farkına dayalı model geliştirilmiştir. Bu model (Eşitlik 3.12) materyal ve metot kısmında detaylı olarak açıklanmıştır. Modeldeki eşitliğe ait katsayılar çevreye ve bitkiye dayalı olarak değişmektedir. Domates, patlıcan, biber ve hıyar bitkilerine ait model katsayıları ve modelin performansları sırasıyla Çizelge 4.34, 4.35, 4.36 ve 4.37 de verilmiştir.



Çizelge 4.34. Domates bitkisinin r_a değerlerinin tahmin etmek amacıyla geliştirilen eşitlikler ve bu eşitliklerin performansları

Yetiştirme Dönemi	LAI	Gölge Tozu Uygulaması	Eşitlik Katsayıları						Performans Kriterleri				
			Boy (h)		Rüzgar Hızı (u_2)		Sıcaklık farkı ($T_c - T_a$)		R^2	RMSE	RE	MBE	d_w
			a	b	c	d	e	f					
Güz	$0 < LAI \leq 1$	Yok	43.3	3.4	49.2	0.6	3.8	1.1	0.92	6.39	0.10	0.04	0.98
	$1 < LAI \leq 2$	Yok	29.4	-1.1	11.2	0.6	1.6	1.7	0.98	4.17	0.05	0.15	0.99
	$2 < LAI \leq 4$	Yok	219.7	-1.94	-5566	339.1	9.8	1.07	0.67	30.42	0.22	-3.84	0.89
Bahar	$0 < LAI \leq 1$	Yok	2.2	-1.5	0.0	-4.9	0.9	2.6	0.91	11.43	0.27	-0.09	0.97
	$1 < LAI \leq 2$	Yok	7.1	5.9	4.0	-0.2	2.4	1.4	0.86	6.30	0.16	2.66	0.95
	$1 < LAI \leq 3$	Var	608.7	-2.5	1.9	6.8	0.1	3.2	0.98	11.28	0.06	0.34	1.00
	$3 < LAI \leq 4$	Var	0.00002	22.2	-783	2866	10.4	1.4	0.74	137.43	0.33	39.76	0.92

Çizelge 4.35. Patlıcan bitkisinin r_a değerlerinin tahmin etmek amacıyla geliştirilen eşitlikler ve bu eşitliklerin performansları

Yetiştirme Dönemi	LAI	Gölge Tozu Uygulaması	Eşitlik Katsayıları						Performans Kriterleri				
			Boy (h)		Rüzgar Hızı (u_2)		Sıcaklık farkı ($T_c - T_a$)		R^2	RMSE	RE	MBE	d_w
			a	b	c	d	e	f					
Güz	$0 < LAI \leq 1$	Yok	184.4	2.0	-12.7	25.8	5.0	1.1	0.93	4.72	0.08	0.02	0.98
	$1 < LAI \leq 2$	Yok	282.5	7.1	-21.2	77.7	7.3	1.3	0.88	17.17	0.1	-4.56	0.96
	$2 < LAI \leq 3$	Yok	33.9	1.2	0.01	-3.4	594.1	-0.4	0.84	80.98	0.14	0.27	0.96
	$3 < LAI \leq 4$	Yok	1.2	1.0	1.0	1.0	2.8	1.9	0.91	12.05	0.10	0.11	0.98
	$4 < LAI \leq 8$	Yok	6.4	1.4	1.4	0.4	31.0	0.7	0.88	17.92	0.15	6.39	0.96
	$8 < LAI \leq 10$	Yok	4.2	1.6	1.5	-1.2	0.4	2.3	0.93	7.55	0.12	-0.10	0.98
Bahar	$0 < LAI \leq 1$	Yok	0.2	-1.8	0.001	-3.2	5.8	1.0	0.95	7.00	0.29	-0.84	0.99
	$1 < LAI \leq 2$	Yok	35.0	1.2	7.8	0.7	0.004	5.0	0.90	4.30	0.11	0.08	0.97
	$2 < LAI \leq 4$	Var	50.5	3.4	1.0	5.4	1.8	1.8	0.92	5.15	0.06	-0.05	0.98
	$4 < LAI \leq 6$	Var	227	-14.7	-1.9	15.6	10.9	1.2	0.84	19.77	0.20	-0.12	0.95
	$6 < LAI \leq 8$	Var	9.8	8.5	3.5	8.4	0.001	5.3	0.96	23.75	0.06	1.13	0.99

Çizelge 4.36. Biber bitkisinin r_a değerlerinin tahmin etmek amacıyla geliştirilen eşitlikler ve bu eşitliklerin performansları

Yetiştirme Dönemi	LAI	Gölge Tozu Uygulaması	Eşitlik Katsayıları						Performans Kriterleri				
			Boy (h)		Rüzgar Hızı (u_2)		Sıcaklık farkı ($T_c - T_a$)		R^2	RMSE	RE	MBE	d_w
			a	b	c	d	e	f					
Güz	$0 < LAI \leq 1$	Yok	1688.4	3.8	221.0	0.9	16608.8	-42.4	0.95	33.24	0.20	0.49	0.99
	$1 < LAI \leq 3$	Yok	3.5	-0.03	1.3	-0.2	14.3	1.0	0.85	16.70	0.16	3.35	0.96
	$2 < LAI \leq 3$	Yok	13.0	-5.7	30.6	-0.01	0.00014	5.6	0.86	14.72	0.18	4.59	0.96
	$3 < LAI \leq 4$	Yok	14.7	-5.3	-9.6	11.4	0.5	2.3	0.89	10.35	0.17	-5.53	0.96
Bahar	$0 < LAI \leq 1.5$	Yok	0.3	-2.3	0.9	1.2	6.6	1.1	0.82	7.27	0.27	-0.08	0.93
	$1.5 < LAI \leq 3$	Yok	59.5	4.7	84.2	15.3	0.1	3.5	0.87	13.16	0.16	-0.37	0.96
	$3 < LAI \leq 4$	Var	4.9	1.1	-0.7	13.6	10.4	1.1	0.83	11.90	0.13	-0.23	0.95

Çizelge 4.37. Hıyar bitkisinin r_a değerlerinin tahmin etmek amacıyla geliştirilen eşitlikler ve bu eşitliklerin performansları

Yetiştirme Dönemi	LAI	Gölge Tozu Uygulaması	Eşitlik Katsayıları						Performans Kriterleri				
			Boy (h)		Rüzgar Hızı (u_2)		Sıcaklık farkı (T_c-T_a)		R^2	RMSE	RE	MBE	d_w
			a	b	c	d	e	f					
Güz	$0 < LAI \leq 1$	Yok	145.5	3.4	6.7	-0.3	1.5	1.5	0.97	3.92	0.06	0.50	0.99
	$1 < LAI \leq 2$	Yok	6.5	10.3	1.0	0.8	16.3	0.8	0.86	5.41	0.06	-0.03	0.96
	$2 < LAI \leq 3$	Yok	2.4	3.0	1.0	1.1	4.6	1.6	0.78	35.84	0.25	-1.74	0.93
	$3 < LAI \leq 4$	Yok	3501	4.0	-143.7	574	0.5	2.5	0.51	55.28	0.47	3.5	0.81
Bahar	$0 < LAI \leq 1$	Yok	19.4	11.8	0.014	-3.1	1.5	2.3	0.91	13.88	0.29	0.71	0.98
	$1 < LAI \leq 2$	Yok	0.8	5.2	1.3	0.5	6.8	1.0	0.93	5.55	0.16	0.12	0.98
	$2 < LAI \leq 4$	Var	0.0	8.5	1.0	1.1	3.6	2.0	0.92	20.98	0.11	-1.57	0.97
	$4 < LAI \leq 6$	Var	0.1	6.3	1.0	1.0	0.00005	6.9	0.92	64.37	0.17	30.52	0.97
	$6 < LAI \leq 8$	Var	1.7	2.7	1.0	1.0	0.0	9.0	0.93	116.01	0.29	8.21	0.98

Çizelge 4.34-4.37'den görüleceği üzere, modele ilişkin katsayılar sera içindeki hava hızına, bitki boyuna, bitki taç örtüsü-hava sıcaklığı farkına, bitkinin yaprak alan indeksi değerine, serada gölge tozu uygulamasına ve bitki yetiştirme dönemine bağlı olarak değişmektedir.

Çizelge 4.34'de domates bitkisinin sera içi rüzgar hızı, bitki boyu ve taç örtüsü-hava sıcaklığı farkına dayalı olarak yeni modelle tahmin edilen r_a değerlerinin katsayıları verilmiştir. Yetiştirme dönemlerindeki vejetasyon süreleri ve bitki gelişimleri farklı olduğu için LAI kıstasları bitki gelişimine bağlı olarak belirlenmiştir ve güz döneminde 3 ve bahar döneminde 4 farklı LAI kıstası kullanılmıştır. Ayrıca bahar döneminde gölge tozunu uygulandığı DSGS 88. günden itibaren model katsayıları tekrar hesaplanmıştır. Bu nedenle bahar döneminde LAI değerinin 1.5 olması durumunda, gölge tozu uygulama durumuna göre r_a tahmini için iki farklı seçenek bulunmaktadır. Domates bitkisinin r_a değerini tahmin eden modelin performansları incelendiğinde yüksek oranda ilişki belirlenmiştir. Güz döneminde elde edilen en iyi ilişki LAI değerinin 1 ile 2 arasında olduğu dönemde elde edilmiştir (R^2 , 0.98; RMSE, 4.17; RE, 0.05; MBE, 0.15 ve d_w , 0.99). Bahar döneminde de benzer olarak gölge tozu uygulamasından sonra LAI değerinin 1 ile 3 arasında olduğu dönemde en yüksek ilişki elde edilmiştir (R^2 , 0.98; RMSE, 11.28; RE, 0.06; MBE, 0.34 ve d_w , 1.0). Güz ve bahar yetiştirme dönemlerinin son bölümlerinde model performanslarının diğer dönemlere kıyasla daha düşük olduğu belirlenmiştir. Bunun en önemli nedeni, ilgili dönemlerdeki bitki boyu değişimlerinin çok küçük olması ve yaprak budamasının taç örtüsü-hava sıcaklığı arasındaki farklılıkları etkilemesidir.

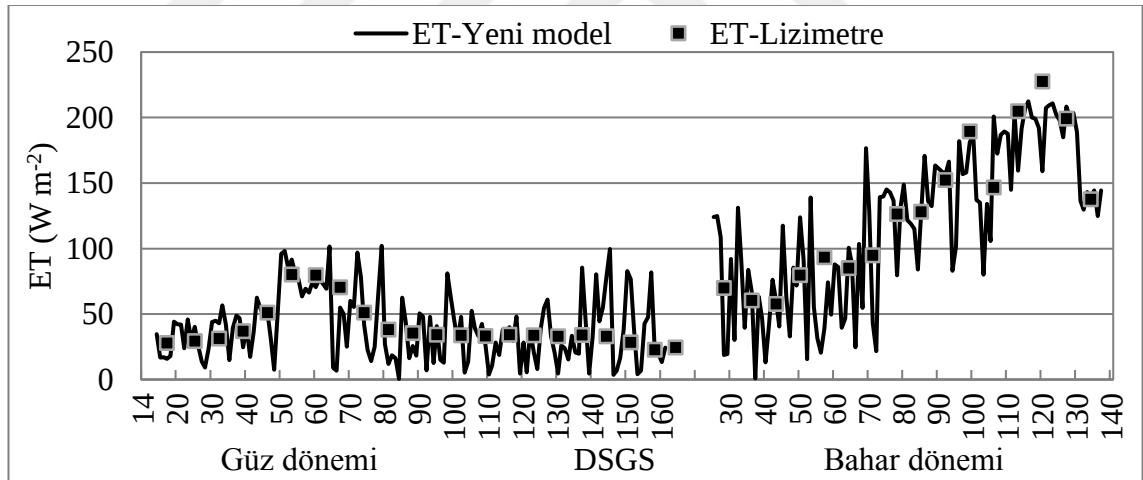
Yeni geliştirilen modelin patlıcan bitkisine uygulanmasıyla modele ait katsayılar ve modelin istatistiksel performansı Çizelge 4.35'de gösterilmiştir. Patlıcan bitkisi için güz döneminde LAI'ye bağlı 6 farklı kıstas uygulanırken bahar döneminde 5 farklı kıstas uygulanmıştır. Güz döneminde daha fazla kıstas olmasının nedeni uzun süren vejetasyon süresi ve LAI değerinin bu dönemde daha fazla olmasıdır. Model performansları incelendiğinde güz döneminde en iyi performans LAI değerinin 0 ile 1 arasında olduğu dönemde elde edilmiştir (R^2 , 0.93; RMSE, 4.72; RE, 0.08; MBE, 0.02 ve d_w , 0.98). Bahar döneminde ise bu değer hem 0 ile 1 arasında olduğu dönemde (R^2 , 0.95; RMSE, 7.00; RE, 0.29; MBE, -0.84 ve d_w , 0.99) hem de 6 ile 8 arasında olduğu dönemde (R^2 , 0.96; RMSE, 23.75; RE, 0.06; MBE, 1.13 ve d_w , 0.99) en yüksek performans elde edilmiştir. Her iki yetiştirme döneminde de R^2 değerleri 0.84'ün altına düşmemiştir.

Biber bitkisine ait Çizelge 4.36'da yeni geliştirilen modele ait katsayılar ve bu modelin istatistiksel performansları verilmiştir. Yeni geliştirilen modelde biber bitkisi için güz döneminde LAI değerine bağlı 3 farklı kıstas bulunurken, bahar döneminde 4 farklı kıstas bulunmaktadır. Yeni modelin uygulanmasıyla güz döneminde en yüksek performans LAI değerinin 0 ile 1 arasında olduğu dönemde (R^2 , 0.95; RMSE, 33.24; RE, 0.20; MBE, 0.49 ve d_w , 0.99) elde edilirken, bahar döneminde LAI değerinin 1.5 ile 3 arasında olduğu dönemde (R^2 , 0.87; RMSE, 13.16; RE, 0.16; MBE, 0.37 ve d_w , 0.96) belirlenmiştir.

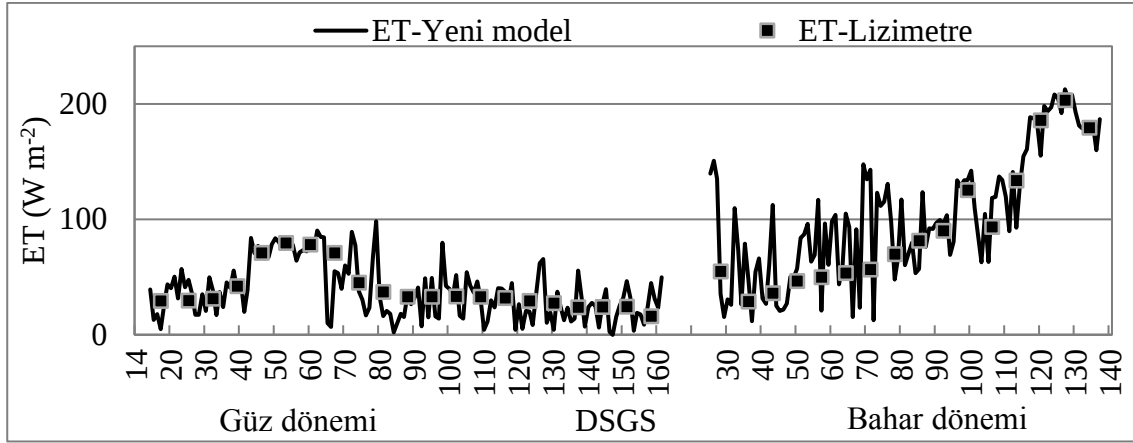
Hıyar bitkisi r_a değerinin yeni modelle tahmin edilmesi amacıyla kullanılması önerilen eşitlik katsayıları ve bu modele ait istatistiksel performans sonuçları Çizelge 4.37'de verilmiştir. Yeni geliştirilen bu modelde hıyar bitkisine ait LAI değerine bağlı 3 farklı kıstas bulunurken bahar döneminde 5 farklı kıstas bulunmaktadır. Bu durum güz ve bahar döneminde elde edilen LAI değerleri arasındaki farklılıklardan kaynaklanmaktadır.

Güz döneminde en yüksek performans LAI değerinin 0 ile 1 değeri arasında olduğu dönemde (R^2 , 0.97; RMSE, 3.92; RE, 0.06; MBE, 0.50 ve d_w , 0.99) elde edilirken, bahar döneminde LAI değerinin 1 ile 2 değeri arasında olduğu dönemde (R^2 , 0.93; RMSE, 5.55; RE, 0.16; MBE, 0.12 ve d_w , 0.98) saptanmıştır. Bahar döneminde model performanslarının birbirine çok yakın olduğu belirlenmiştir. Güz döneminde LAI değerinin 3 ile 4 arasında olduğu dönemde diğer dönemlere kıyasla daha düşük performans göstermiştir. Bu durum domates bitkisinde olduğu gibi bitki boyu değişiminin az olması ve yaprak budamasının taç örtüsü-hava sıcaklığı arasındaki farklılıkları etkilemesi nedeniyle meydana gelmiştir.

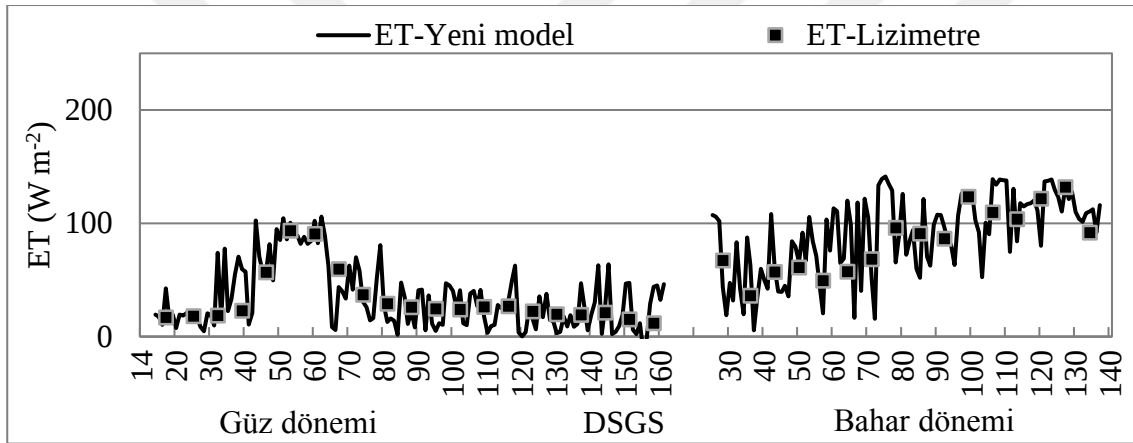
Model performansları genel olarak incelendiğinde yüksek oranda uyum elde edilmiştir. Bu nedenle Akdeniz iklim koşullarının hüküm sürdüğü, düşük teknolojiye sahip plastik seralarda benzer kültürel uygulamaların yapıldığı Antalya bölgesinde r_a değerinin tahmin edilmesi amacıyla geliştirilen bu yeni modelin kullanılması önerilmektedir. Geliştirilen bu model farklı koşullar altında optimize edilerek kullanılabilir. Sera içi rüzgar hızı, bitki boyu ve taç örtüsü-hava sıcaklığı farkına dayalı olarak geliştirilen yeni model ile elde edilen r_a değerlerinin enerji dengesi eşitliğinde kullanılmasıyla elde edilen ET değerleri domates, patlıcan, biber ve hıyar bitkisi için sırasıyla Şekil 4.91, 4.92, 4.93 ve 4.94 de verilirken, lizimetreden ölçülen ve modelle tahmin edilen haftalık ET değerlerinin 1:1 çizgisinde dağılımı Şekil 4.95’de verilmiştir. Lizimetreden ölçülen ve modelle tahmin edilen haftalık ET değerleri arasında istatistiksel performans ise Çizelge 4.38. de gösterilmiştir.



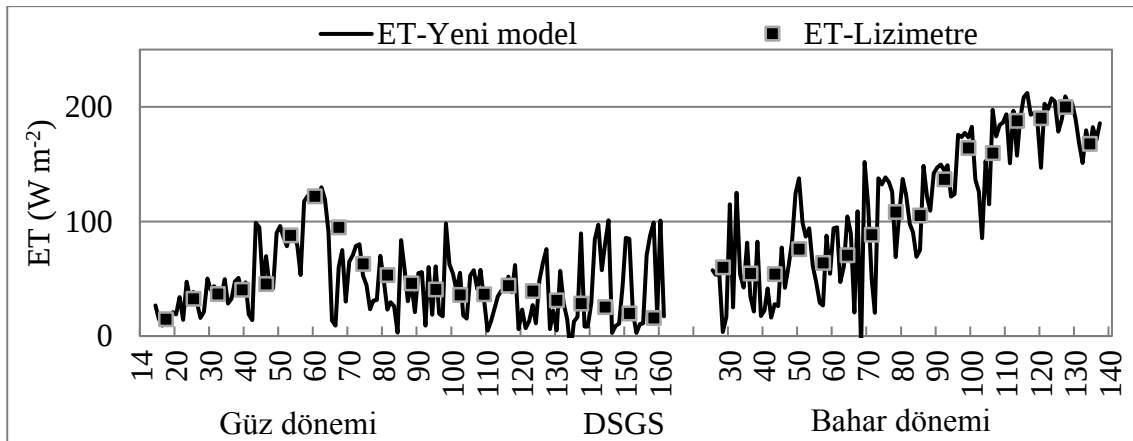
Şekil 4.91. Domates bitkisinde yeni yöntem ile hesaplanan r_a değerinin enerji dengesi eşitliğinde kullanılmasıyla elde edilen ET ve lizimetrelerden ölçülen ET değerlerinin güz ve bahar dönemlerindeki değişimi



Şekil 4.92. Patlıcan bitkisinde yeni yöntem ile hesaplanan r_a değerinin enerji dengesi eşitliğinde kullanılmasıyla elde edilen ET ve lizimetrelerden ölçülen ET değerlerinin güz ve bahar dönemlerindeki değişimi



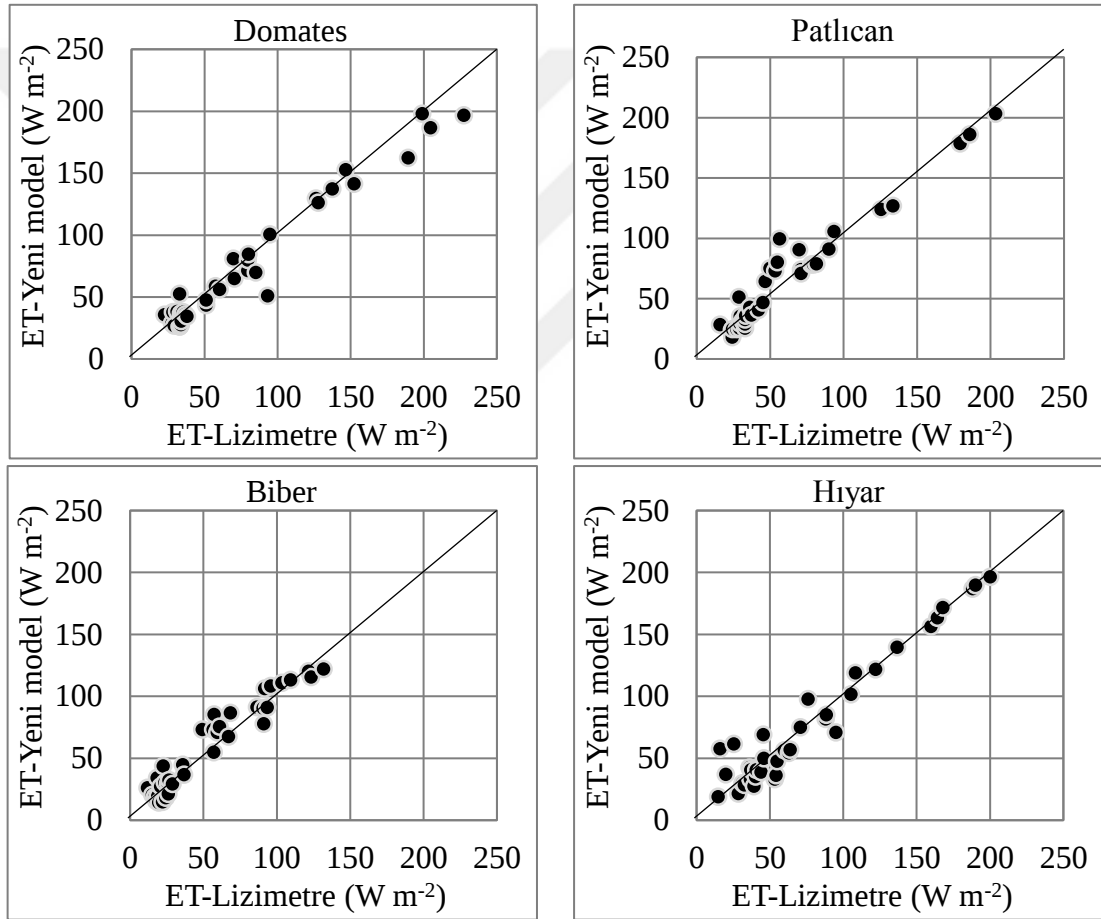
Şekil 4.93. Biber bitkisinde yeni yöntem ile hesaplanan r_a değerinin enerji dengesi eşitliğinde kullanılmasıyla elde edilen ET ve lizimetrelerden ölçülen ET değerlerinin güz ve bahar dönemlerindeki değişimi



Şekil 4.94. Hıyar bitkisinde yeni yöntem ile hesaplanan r_a değerinin enerji dengesi eşitliğinde kullanılmasıyla elde edilen ET ve lizimetrelerden ölçülen ET değerlerinin güz ve bahar dönemlerindeki değişimi

Çizelge 4.38. Domates, patlıcan, biber ve hıyar bitkilerinde yeni model ile belirlenen r_a değerlerinin enerji dengesi eşitliğinde kullanılmasıyla elde edilen haftalık ortalama tahmini ET değerleri ile gerçek ET değerleri arasındaki istatistiksel ilişki

Bitki	R^2	RMSE	RE	MBE	d_w
Domates	0.96	12.11	0.15	3.19	0.99
Patlıcan	0.95	12.09	0.19	-5.04	0.98
Biber	0.93	10.90	0.20	-4.95	0.97
Hıyar	0.94	13.25	0.17	-0.91	0.98



Şekil 4.95. Domates, patlıcan, biber ve hıyar bitkilerinde yeni model ile belirlenen r_a değerlerinin enerji dengesi eşitliğinde kullanılmasıyla elde edilen haftalık toplam tahmini ET değerleri ile gerçek ET değerlerinin 1:1 çizgisindeki dağılımları

Sera içi rüzgar hızı, bitki boyu ve taç örtüsü-hava sıcaklığı farkına dayalı olarak geliştirilen yeni model ile belirlenen r_a değerinin enerji dengesi eşitliğinde kullanılmasıyla domates bitkisinin ET değerlerinin güz döneminde DSGS 135. gün ile DSGS 156. gün arasında fazla tahmin edildiği belirlenirken bahar döneminde DSGS 115.

gün ile DSGS. 130. gün arasında ise daha az tahmin edildiği belirlenmiştir (Şekil 4.91). Domates bitkisinin güz ve bahar dönemi boyunca tahmin edilen haftalık ortalama ET değerleri ile gerçek ET değerleri arasında çok kuvvetli ilişki belirlenmiştir (Şekil 4.95 ve Çizelge 4.38). Çizelge 4.38'deki domates bitkisine ait MBE değerinden, yeni model ile elde edilen ET değerlerinin her iki sezon boyunca toplam 3.19 W m^{-2} az tahmin edildiği anlaşılmaktadır.

Bitkiye ve iklime bağlı olarak geliştirilen bu model ile patlıcan bitkisinin hesaplanan r_a değerlerinin enerji dengesi eşitliğinde kullanılmasıyla güz döneminde tahmin edilen ve gerçek ET değerlerinin birbirine çok yakın olduğu belirlenirken bahar dönemin başından DSGS 90. güne kadar tahmini ET değerlerinin fazla olduğu belirlenmiştir (Şekil 4.92). Buna rağmen her iki yetiştirme döneminde elde edilen haftalık ortalama gerçek ve tahmini ET değerleri arasında çok kuvvetli ilişki belirlenmiştir. Patlıcan bitkisine ait MBE değerleri incelendiğinde domates bitkisinin aksine tahmini ET değerlerinin her iki yetiştirme sezonu boyunca toplam 0.91 W m^{-2} daha azdır (Şekil 4.95 ve Çizelge 4.38).

Biber bitkisinden elde edilen tahmini ve gerçek ET değerleri arasındaki ilişki diğer bitkilere kıyasla daha düşük olsa da bu değerler arasında kuvvetli ilişki belirlenmiştir (Çizelge 4.38). Şekil 4.93'den biber bitkisinin tahmin edilen ET değerlerinin diğer günlere kıyasla güz dönemindeki DSGS 35. gün ile DSGS 55. gün arasında ve bahar döneminin başından DSGS 95. güne kadar daha fazla olduğu anlaşılmaktadır. Ayrıca patlıcan bitkisine benzer olarak tahmini ET değerlerinin her iki yetiştirme sezonu boyunca toplam 5.04 W m^{-2} daha az hesaplanmıştır.

Geliştirilen model ile elde edilen r_a değerlerinin enerji dengesi eşitliğinde kullanılmasıyla hıyar bitkisinden elde edilen tahmini ET değerlerinin güz döneminin DSGS 63. gün ile DSGS 87. günü arasında az tahmin edildiği belirlenirken, DSGS 135. günden bitki sökülüne kadar değerler fazla tahmin edildiği belirlenmiştir (Şekil 4.94). Bahar döneminin de DSGS 80. güne kadar günlük tahmini ET değerlerinin salınım yaptığı belirlenmiştir. Buna rağmen hıyar bitkisinin haftalık ortalama gerçek ve tahmini ET değerleri arasında çok kuvvetli ilişki belirlenmiştir (Çizelge 4.38). Hıyar bitkisi için hesaplanan tahmini ET değerlerinin de patlıcan ve biber bitkilerine benzer olarak her iki yetiştirme sezonu boyunca toplam 0.91 W m^{-2} daha az hesaplanmıştır.

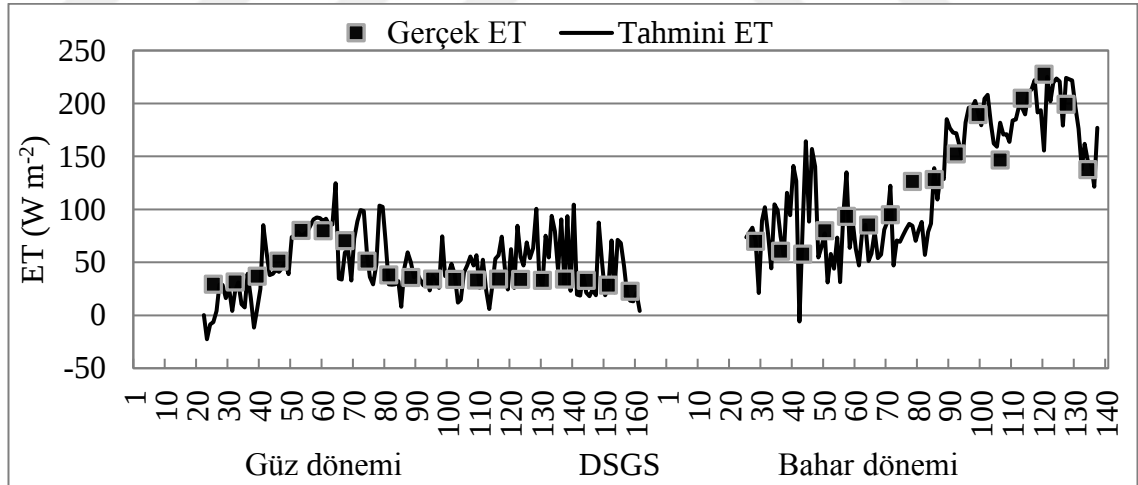
Sera içi rüzgar hızı, bitki boyu ve taç örtüsü-hava sıcaklığı farkına dayalı olarak geliştirilen yeni model ile belirlenen r_a değerinin enerji dengesi eşitliğinde kullanılmasıyla domates, patlıcan, biber ve hıyar bitkileri tahmini ET değerleri ile gerçek ET değerleri arasında çok kuvvetli ilişki saptanmıştır. Bu nedenle geliştirilen bu modelin ısıtma ve havalandırma sistemi bulunmayan düşük teknoloji PE seralarda kullanılabileceği belirlenmiştir. Bununla birlikte bitkiye ve iklime dayalı olan bu model farklı iklim ve çevre koşullarında bölge kalibrasyonunun yapılmasıyla kullanılabileceği düşünülmektedir. Buna karşı ısıtmalı seralarda bu yöntemin kullanılması önerilmemektedir.

4.4. Enerji Dengesi Eşitliğindeki Net Radyasyon (R_n) ve Toprak Isı Akısı (G) Parametrelerinin Farklı Senaryolarla Hesaplanması Yoluyla Bitki Su Tüketimi (ET) Tahminine İlişkin Bulgular

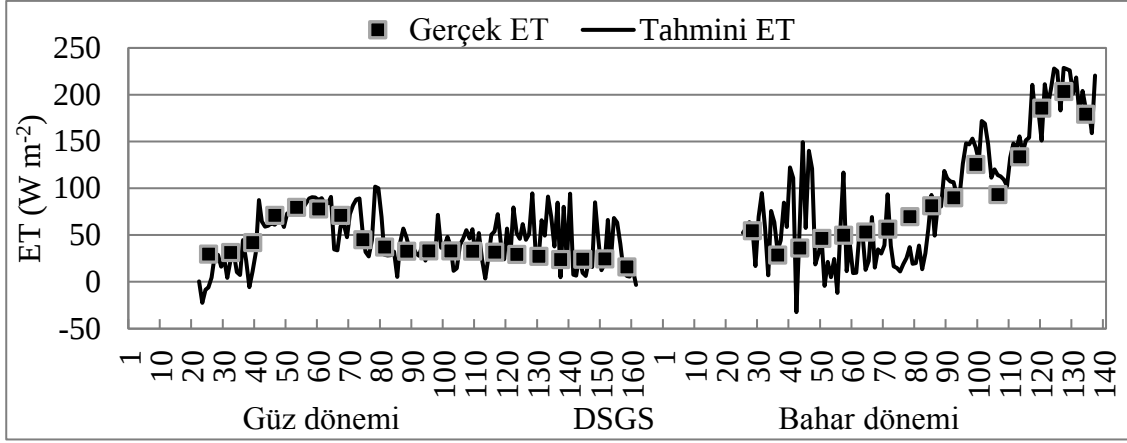
R_n ve G değerini ölçmek için kullanılan sensörlerin, düşük teknoloji seralarda kullanımının ekonomik olmaması nedeniyle, enerji dengesi eşitliğinde kullanılarak ET değerinin belirlenmesi çiftçi koşullarında maliyetli olabilir. Bundan dolayı, R_n ve G değerinin tahmin edilmesi, bu yöntemin kullanımı açısından önem arz etmektedir. Bu nedenle R_n ve G değerlerinin tahmin ya da ihmal edilmesi durumlarını içeren çeşitli senaryolar oluşturulmuştur. Bu senaryolara dayalı olarak ET değerlerinin elde edilmesi amacıyla IBTE yöntemiyle hesaplanan r_a değerleri kullanılmıştır. Tahmini ET değerlerinin performansının belirlenmesi amacıyla günlük hesaplanan tahmini ET değerleri haftalık ortalama ET değerlerine dönüştürülmüştür ve lizimetrelerden elde edilen haftalık ortalama ET değerleri ile karşılaştırılmıştır.

4.4.1. Enerji dengesi eşitliğinde hesaplanmış net radyasyon (R_n) değerlerinin kullanılmasıyla bitki su tüketimi (ET) tahminine ilişkin bulgular

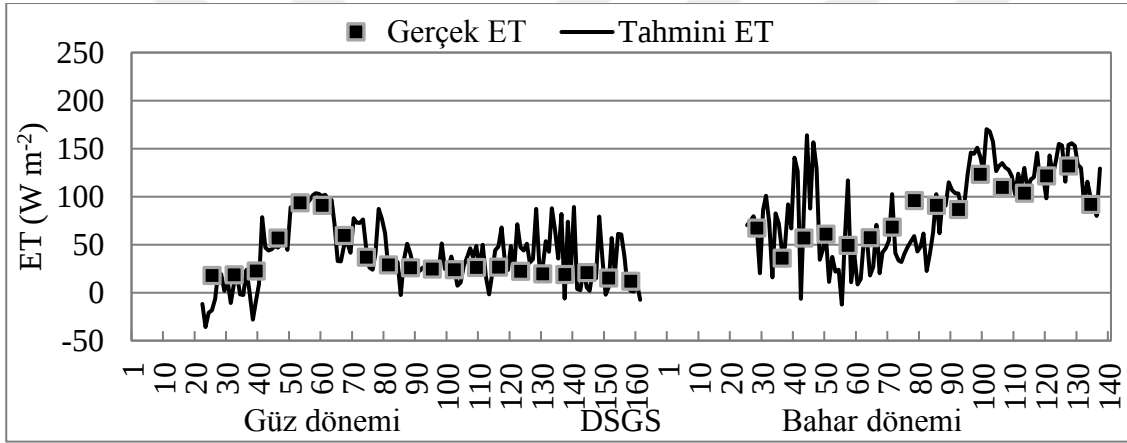
Sera içi koşulları için optimize edilen Donatelli Campbell Eşitliği (Eşitlik 3.6) ile hesaplanan R_n değerinin enerji dengesi eşitliğinde kullanılmasıyla güz ve bahar dönemleri için tahmin edilen domates, patlıcan, biber ve hıyar bitkilerine ilişkin ET değerlerinin lizimetrelerde ölçülen ET değerleriyle birlikte değişimleri sırasıyla Şekil 4.96-4.99'da verilmiştir. Ayrıca, haftalık ortalama tahmini ve gerçek ET değerlerinin 1:1 çizgisinde ki dağılımları Şekil 4.100'de, ilişkinin performansına ilişkin istatistiksel değerlendirme sonuçları Çizelge 4.39'da gösterilmiştir.



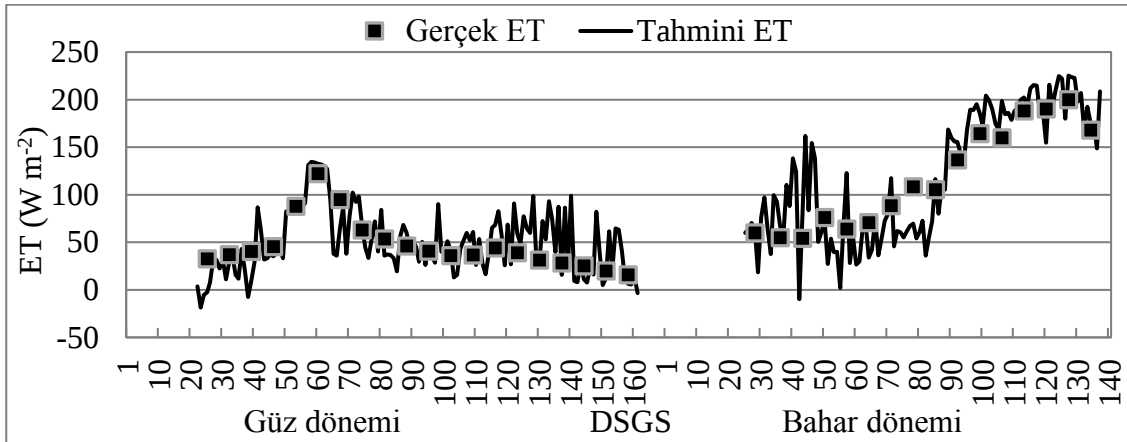
Şekil 4.96. Güz ve bahar dönemlerinde domates için hesaplanmış R_n değerlerinin enerji dengesi eşitliğinde kullanılmasıyla tahmin edilen ve lizimetrelerde ölçülen ET değerlerinin değişimi



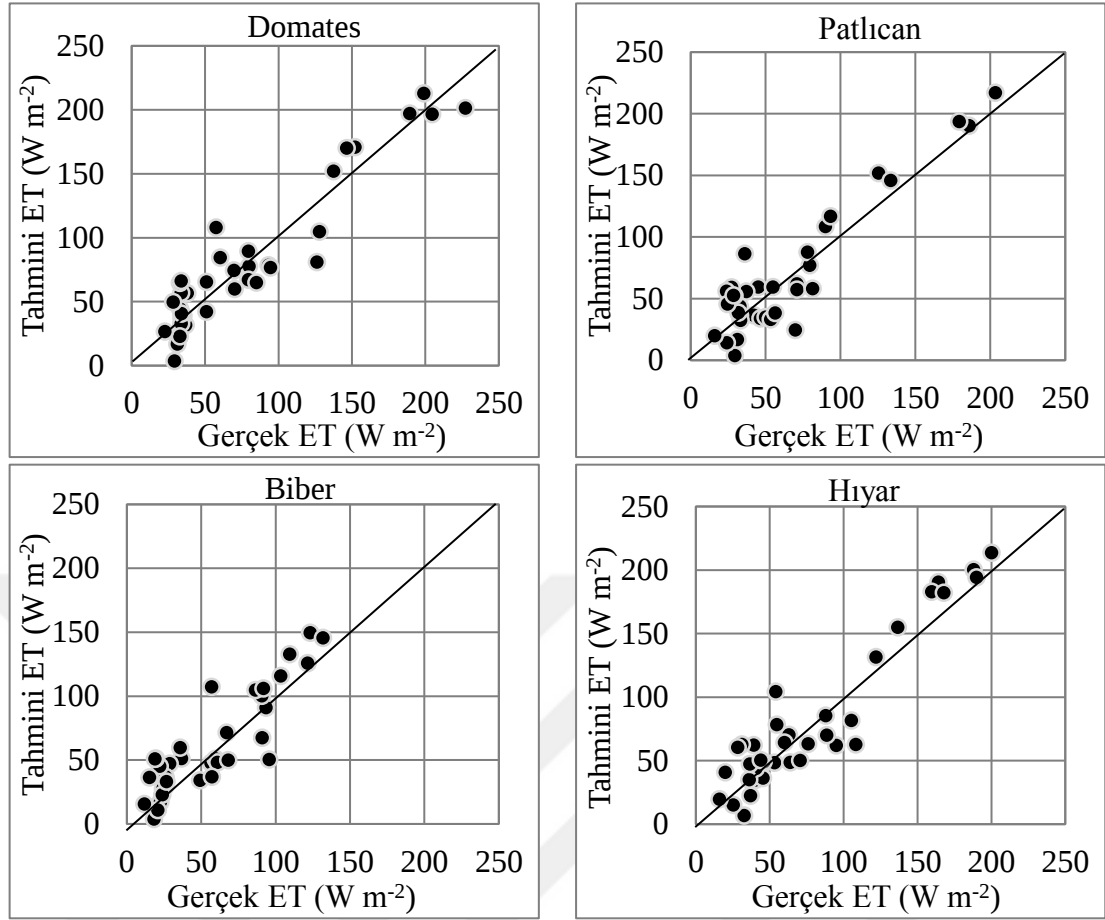
Şekil 4.97. Güz ve bahar dönemlerinde patlıcan için hesaplanmış R_n değerlerinin enerji dengesi eşitliğinde kullanılmasıyla tahmin edilen ve lizimetrelerde ölçülen ET değerlerinin değişimi



Şekil 4.98. Güz ve bahar dönemlerinde biber için hesaplanmış R_n değerlerinin enerji dengesi eşitliğinde kullanılmasıyla tahmin edilen ve lizimetrelerde ölçülen ET değerlerinin değişimi



Şekil 4.99. Güz ve bahar dönemlerinde hıyar için hesaplanmış R_n değerlerinin enerji dengesi eşitliğinde kullanılmasıyla tahmin edilen ve lizimetrelerde ölçülen ET değerlerinin değişimi



Şekil 4.100. Domates, patlıcan, biber ve hıyar bitkilerde hesaplanmış net radyasyon (R_n) değerlerinin enerji dengesi eşitliğinde kullanılmasıyla tahmin edilen ve lizimetrelerde ölçülen ET değerlerinin 1:1 çizgisi etrafındaki dağılımı

Çizelge 4.39. Domates, patlıcan, biber ve hıyar bitkilerinde hesaplanmış net radyasyon (R_n) değerlerinin enerji dengesi eşitliğinde kullanılmasıyla tahmin edilen ve lizimetrelerde ölçülen ET değerleri arasındaki ilişkiye ilişkin istatistiksel değerler

Bitki	R^2	RMSE	RE	MBE	d_w
Domates	0.88	19.72	0.25	-2.43	0.97
Patlıcan	0.86	19.82	0.31	-4.29	0.96
Biber	0.77	19.61	0.35	-4.05	0.92
Hıyar	0.88	20.12	0.26	-2.92	0.97

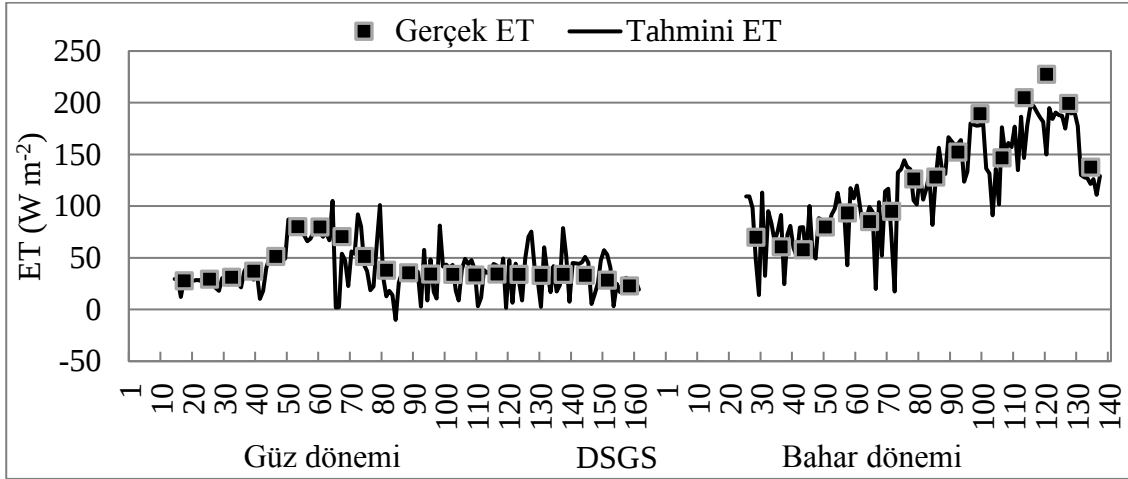
Tüm bitkilerde tahmin edilen ve lizimetrelerde ölçülen ET değerlerinin birbirine yakın olduğu, ancak güz döneminin başında, tahmini ET değerlerinin gerçek ET değerlerine kıyasla daha düşük, aynı dönemin DSGS 120-140. günleri arasında ise daha yüksek olduğu belirlenmiştir (Şekil 4.96-4.99). Diğer bitkilere kıyasla biber bitkisinin tahmini ve ölçülen ET değerleri arasında daha az uyum bulunmaktadır. Nitekim Çizelge

4.39 incelendiğinde en düşük ilişki performansının biber bitkisinde olduğu görülmektedir. Tüm bitkilerde tahmini ET değerleri ile ölçülen ET değerlerinin 1:1 çizgisi etrafındaki dağılımlarında yüksek oranda uyum gözlenmiş, kuvvetli ilişki elde edilmiştir (Şekil 4.100). İstatistiksel sonuçlar, en yüksek ET tahmin performansının (R^2 , 0.88; RMSE, 19.72; RE, 0.25; MBE, -2.43 ve d_w , 0.97) domates bitkisinde meydana geldiğini göstermektedir (Çizelge 4.39). MBE değerleri incelendiğinde ise, çalışmada yetiştirilen tüm bitkilerin ET değerlerinin gerçek ET değerlerine kıyasla daha az tahmin edildiği anlaşılmaktadır.

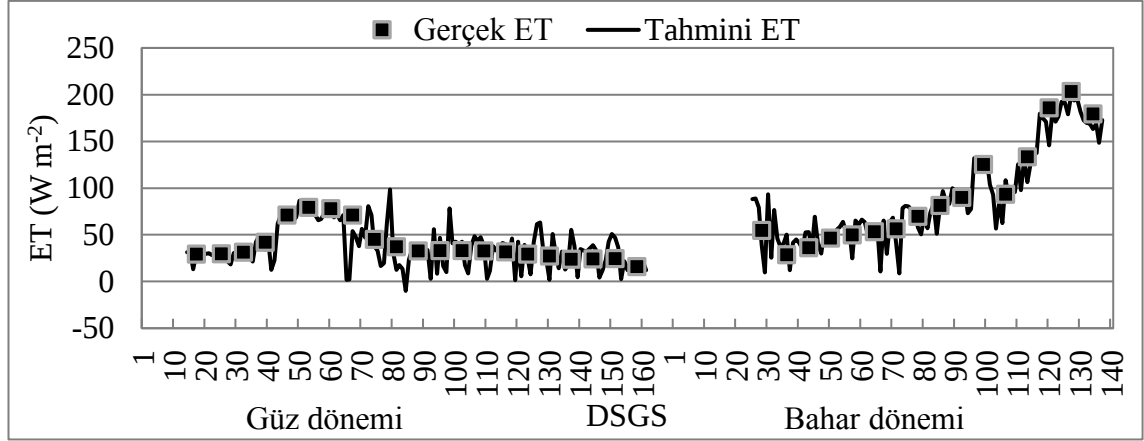
Elde edilen bu sonuçlar domates, patlıcan, biber ve hıyar bitkilerinin yetiştirildiği Akdeniz tipi düşük teknoloji seralarda ET'nin belirlenmesi için R_n 'nin ölçülemediği durumunda, Eşitlik 3.6 yardımıyla tahmin edilen R_n değerinin kullanılabileceğini göstermektedir.

4.4.2. Enerji dengesi eşitliğinde toprak ısı akısının (G) net radyasyonun (R_n) %10'u olarak kabul edilmesi durumunda bitki su tüketimi (ET) tahminlerine ilişkin bulgular

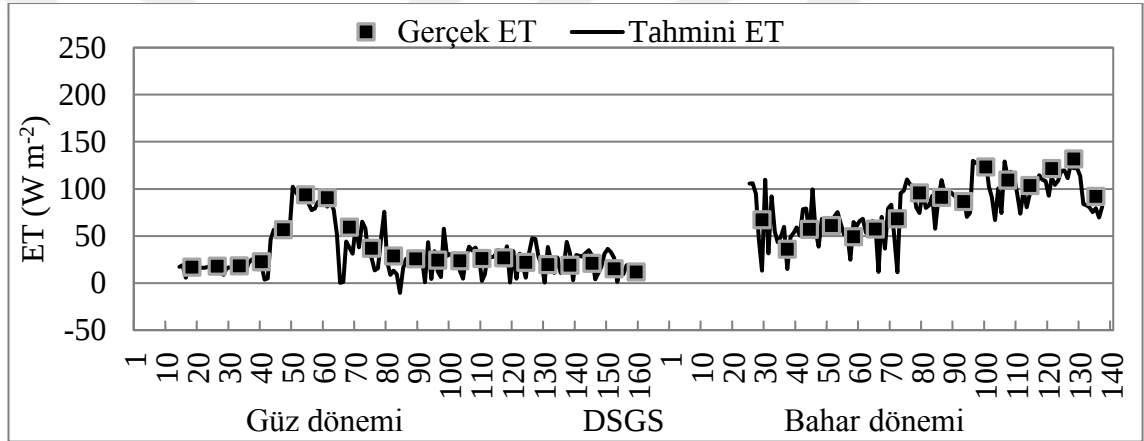
G değerinin net radyasyona dayalı olarak hesaplanması ve ET değerinin tahmin edilmesi amacıyla geliştirilen eşitliklerde kullanılması yaygın bir uygulamadır (Jackson vd. 1988; Bertoldi vd. 2012). G değerinin $0.1R_n$ olarak kabul edilmesi durumunda enerji dengesi eşitliği ile elde edilen ve gerçek ET değerlerinin zamana göre değişimi domates, patlıcan, biber ve hıyar bitkisi için sırasıyla Şekil 4.101, 4.102, 4.103 ve 4.104'de verilmiştir. Ayrıca, haftalık ortalama tahmini ve gerçek ET değerlerinin 1:1 çizgisinde ki dağılımları Şekil 4.105'de gösterilirken bu değerlere ait istatistiksel analiz sonuçları Çizelge 4.40'da gösterilmiştir.



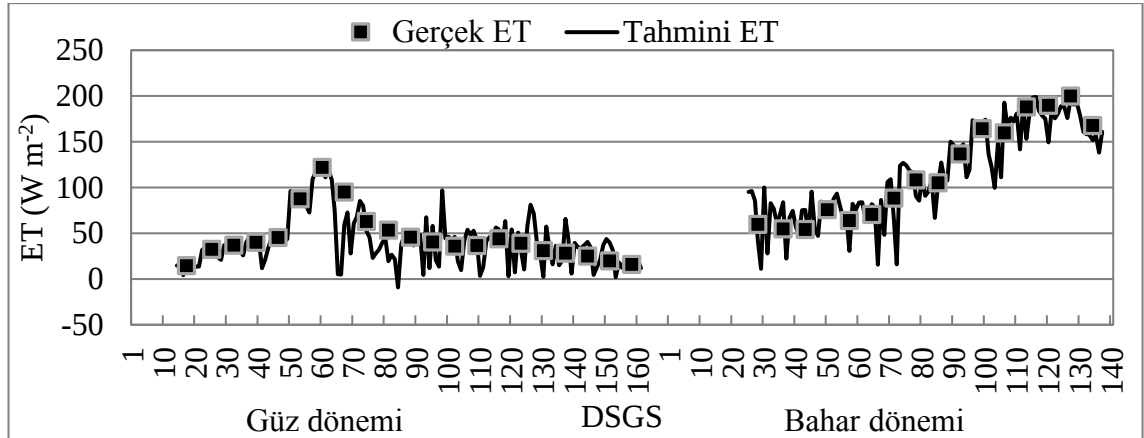
Şekil 4.101. Güz ve bahar dönemlerinde domates için enerji dengesi eşitliğinde G'nin $0.1R_n$ olarak kabul edilmesi durumunda tahmin edilen ve lizimetrelerde ölçülen ET değerlerinin değişimi



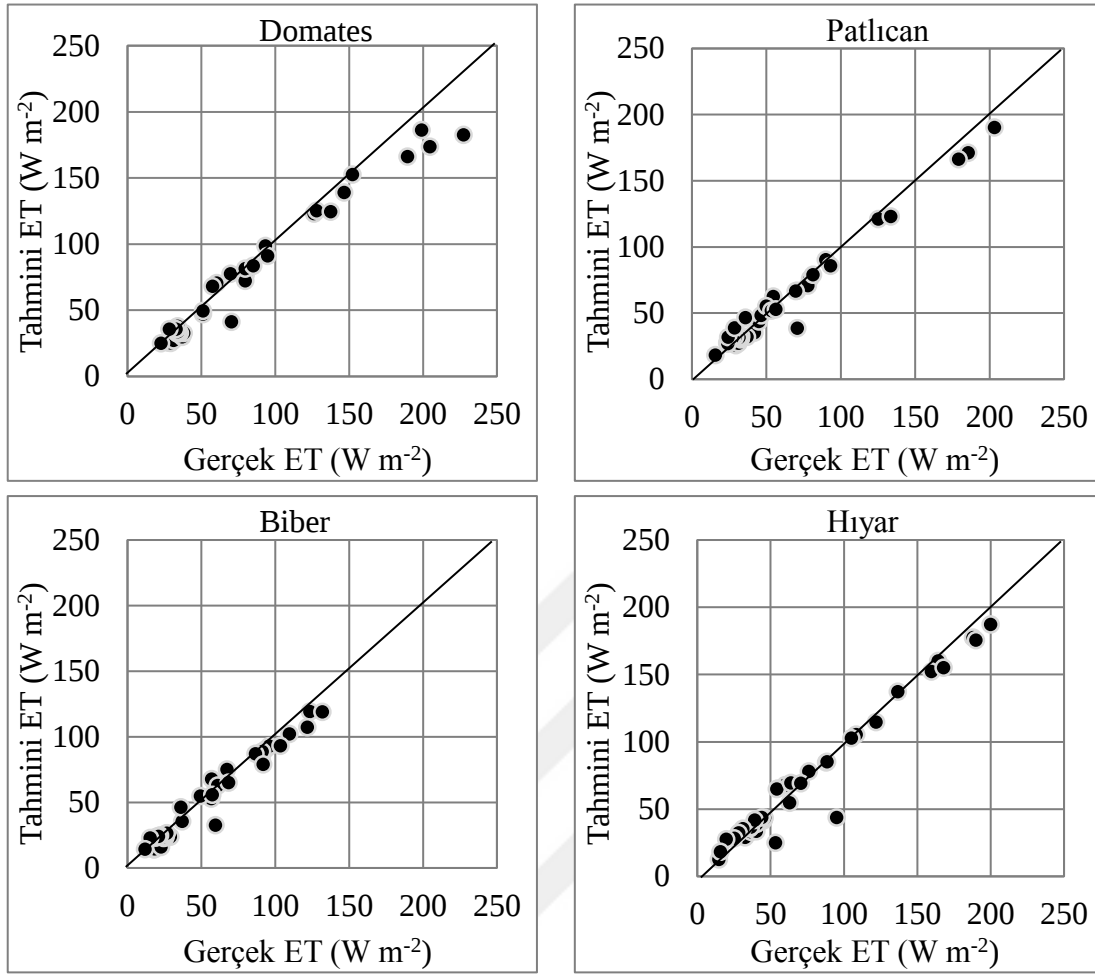
Şekil 4.102. Güz ve bahar dönemlerinde patlıcan için enerji dengesi eşitliğinde G 'nin $0.1R_n$ olarak kabul edilmesi durumunda tahmin edilen ve lizimetrelerde ölçülen ET değerlerinin değişimi



Şekil 4.103. Güz ve bahar dönemlerinde biber için enerji dengesi eşitliğinde G 'nin $0.1R_n$ olarak kabul edilmesi durumunda tahmin edilen ve lizimetrelerde ölçülen ET değerlerinin değişimi



Şekil 4.104. Güz ve bahar dönemlerinde hıyar için enerji dengesi eşitliğinde G 'nin $0.1R_n$ olarak kabul edilmesi durumunda tahmin edilen ve lizimetrelerde ölçülen ET değerlerinin değişimi



Şekil 4.105. Domates, patlıcan, biber ve hıyar bitkilerde G 'nin $0.1R_n$ alınarak enerji dengesi eşitliğinde kullanılmasıyla tahmin edilen ve lizimetrelerde ölçülen ET değerlerinin 1:1 çizgisi etrafındaki dağılımı

Çizelge 4.40. Domates, patlıcan, biber ve hıyar bitkilerinde G değerinin $0.1R_n$ alınarak enerji dengesi eşitliğinde kullanılmasıyla tahmin edilen ve lizimetrelerde ölçülen ET değeri arasındaki ilişkinin performansına ilişkin istatistiksel değerler

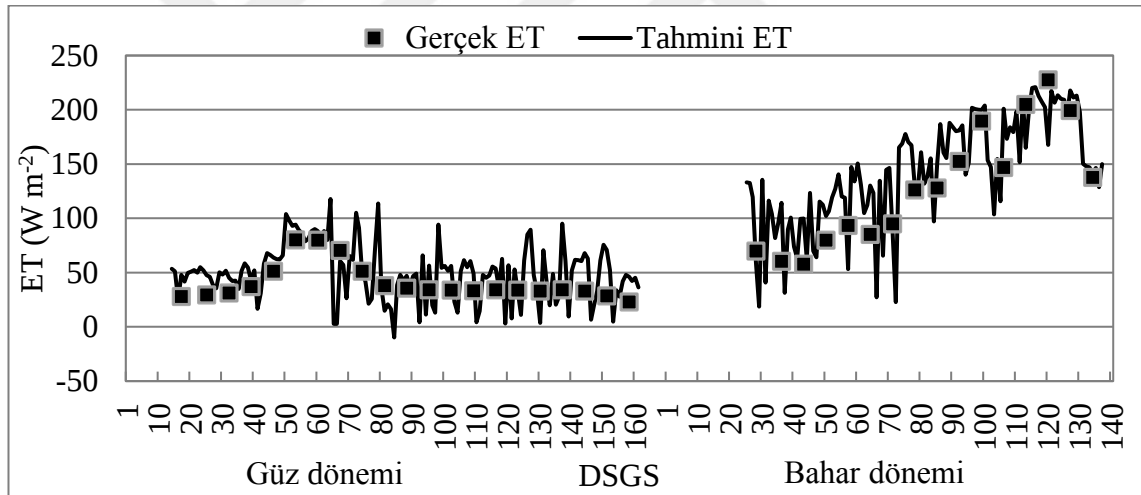
Bitki	R^2	RMSE	RE	MBE	d_w
Domates	0.97	12.05	0.15	4.10	0.99
Patlıcan	0.98	8.06	0.13	2.30	0.99
Biber	0.96	7.53	0.14	2.16	0.99
Hıyar	0.96	11.45	0.15	3.64	0.99

Her iki yetiştirme mevsiminde, G 'nin $0.1R_n$ olarak kabul edilmesi durumunda yetiştirilen tüm bitkilerin enerji dengesi eşitliği kullanılarak tahmin edilen ET değerleri ile gerçek ET değerlerinin zamanla değişiminin uyumlu olduğu (Şekil 4.101-4.104)

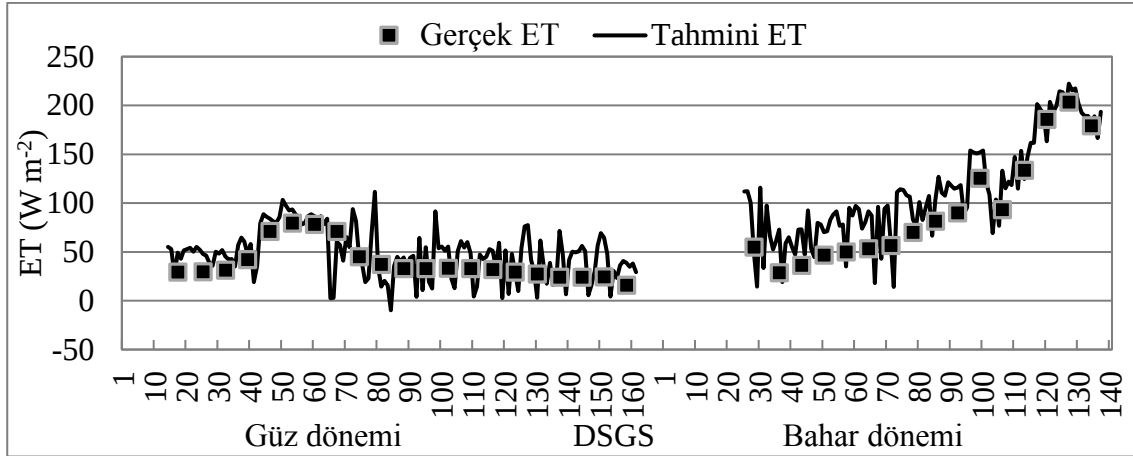
belirlenmiştir. Nitekim tahmini ve gerçek haftalık ortalama ET değerlerinin 1:1 çizgisi etrafındaki dağılımları ve bu değerler arasındaki istatistiksel ilişkinin verildiği Çizelge 4.40’da da bu uyum saptanmıştır. Şekil 4.105’den ET değerlerinin 1:1 çizgisine çok yakın dağıldığı görülmektedir. G değerinin 0.1Rn olarak kullanılması durumunda domates, patlıcan, biber ve hıyar bitkilerinden elde edilen haftalık ortalama tahmini ET ve gerçek ET değerleri arasında çok kuvvetli ilişki belirlenmiştir (Çizelge 4.40). Bu nedenle G değerinin ölçülemediği durumlarda düşük teknoloji Akdeniz tipi PE seralarda bu değerin 0.1Rn olarak kullanılabileceği belirlenmiştir.

4.4.3. Enerji dengesi eşitliğinde toprak ısı akısının (G) ihmal edilmesi durumunda tahmin edilen ET değerlerine ilişkin bulgular

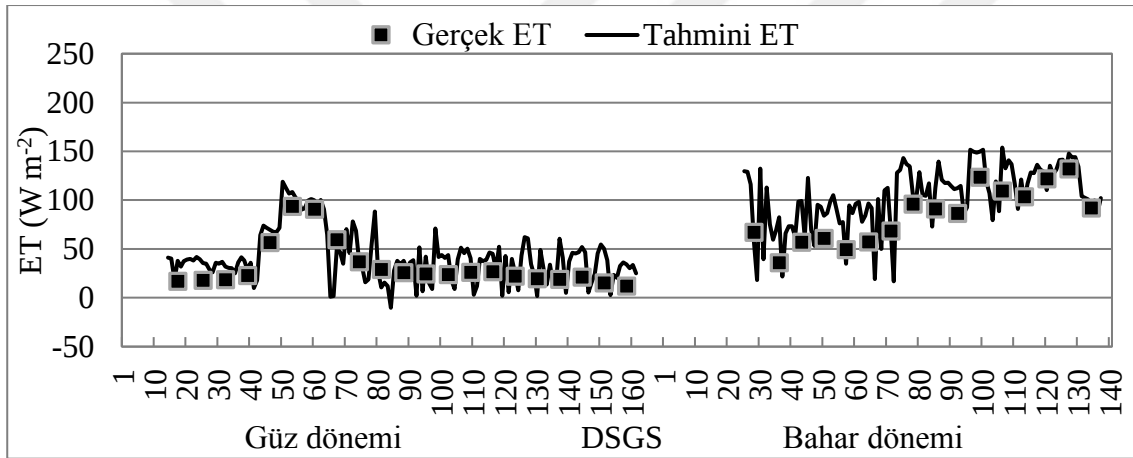
G değerinin enerji dengesi eşitliğindeki diğer tüm parametrelerden önemli düzeyde küçük olması nedeniyle bazı araştırmalarda ihmal edilmiştir (Stanghellini 1987; Allen vd. 1998; Takakura vd. 2009). G değerinin ihmal edilmesi durumunda domates, patlıcan, biber ve hıyar bitkilerinde enerji dengesi eşitliği ile elde edilen ET değerlerinin zamana göre değişimi sırasıyla Şekil 4.106, 4.107, 4.108 ve 4.109’da verilmiştir. Ayrıca, haftalık ortalama tahmini ve gerçek ET değerlerinin 1:1 çizgisinde ki dağılımları Şekil 4.110’da gösterilirken bu değerlere ait istatistiksel analiz sonuçları Çizelge 4.41’de gösterilmiştir.



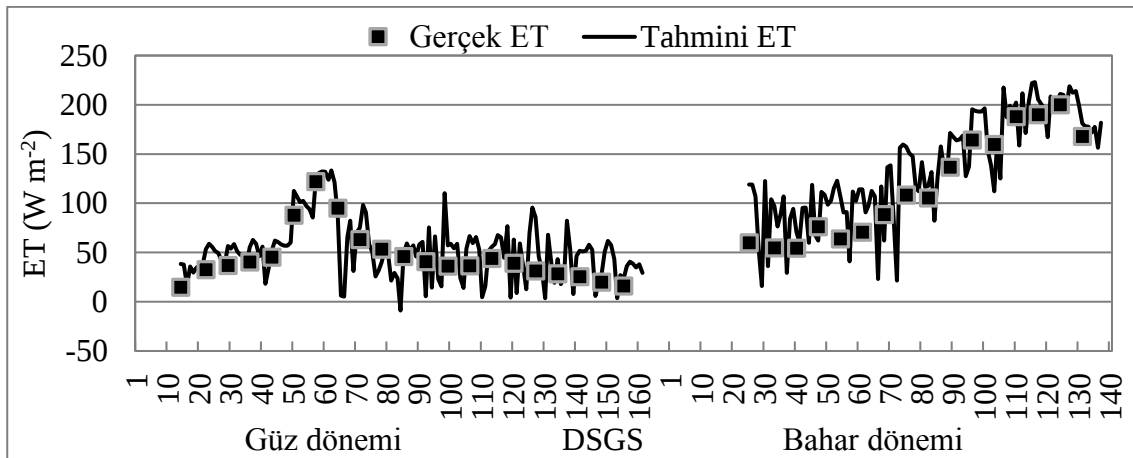
Şekil 4.106. Güz ve bahar dönemlerinde domates için enerji dengesi eşitliğinde G’nin ihmal edilmesi durumunda tahmin edilen ve lizimetrelerde ölçülen ET değerlerinin değişimi



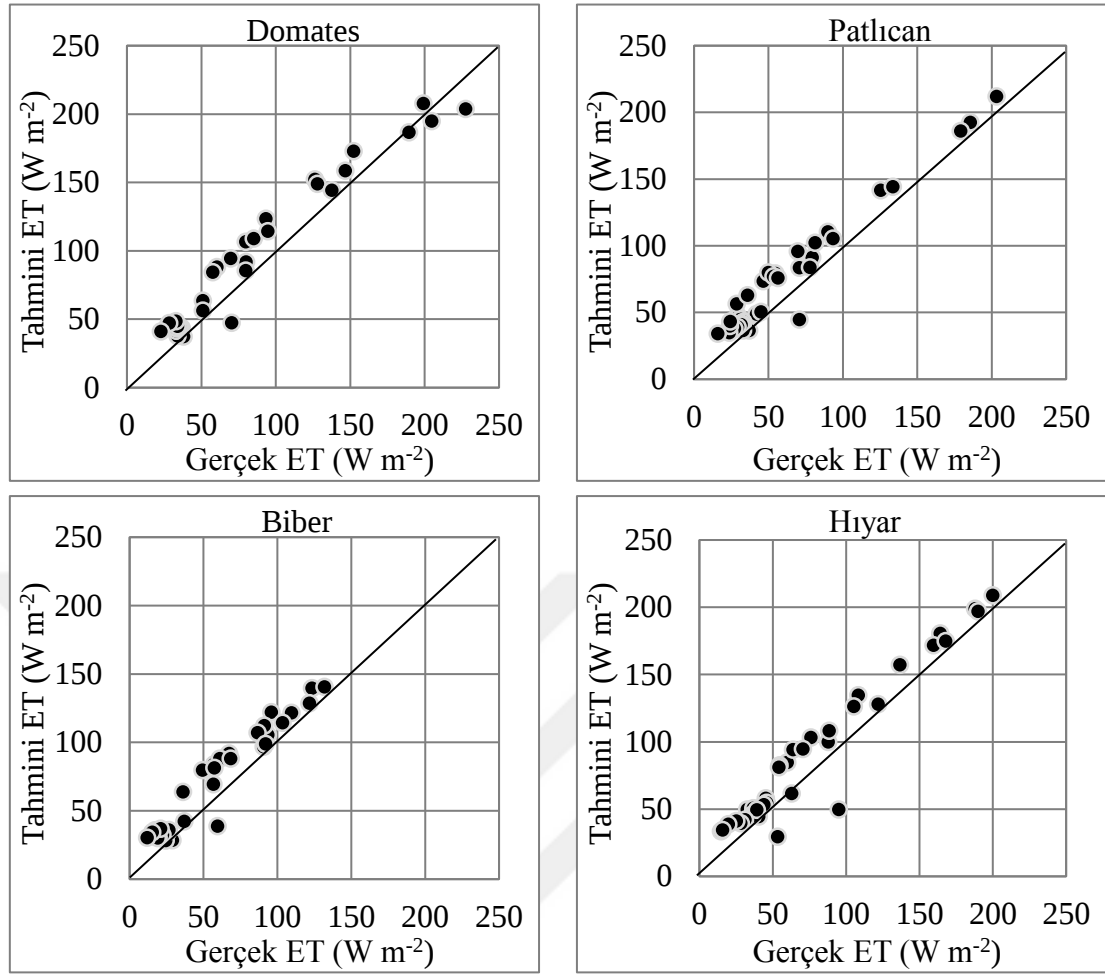
Şekil 4.107. Güz ve bahar dönemlerinde patlıcan için enerji dengesi eşitliğinde G'nin ihmal edilmesi durumunda tahmin edilen ve lizimetrelerde ölçülen ET değerlerinin değişimi



Şekil 4.108. Güz ve bahar dönemlerinde biber için enerji dengesi eşitliğinde G'nin ihmal edilmesi durumunda tahmin edilen ve lizimetrelerde ölçülen ET değerlerinin değişimi



Şekil 4.109. Güz ve bahar dönemlerinde hıyar için enerji dengesi eşitliğinde G'nin ihmal edilmesi durumunda tahmin edilen ve lizimetrelerde ölçülen ET değerlerinin değişimi



Şekil 4.110. Domates, patlıcan, biber ve hıyar bitkilerde G'nin ihmal edilmesi durumunda enerji dengesi eşitliğinin kullanılmasıyla tahmin edilen ve lizimetrelerde ölçülen ET değerlerinin 1:1 çizgisi etrafındaki dağılımı

Çizelge 4.41. Domates, patlıcan, biber ve hıyar bitkilerinde G'nin ihmal edilmesi durumunda enerji dengesi eşitliği kullanılarak tahmin edilen ve lizimetrelerde ölçülen ET değeri arasındaki ilişkinin performansına ilişkin istatistiksel değerler

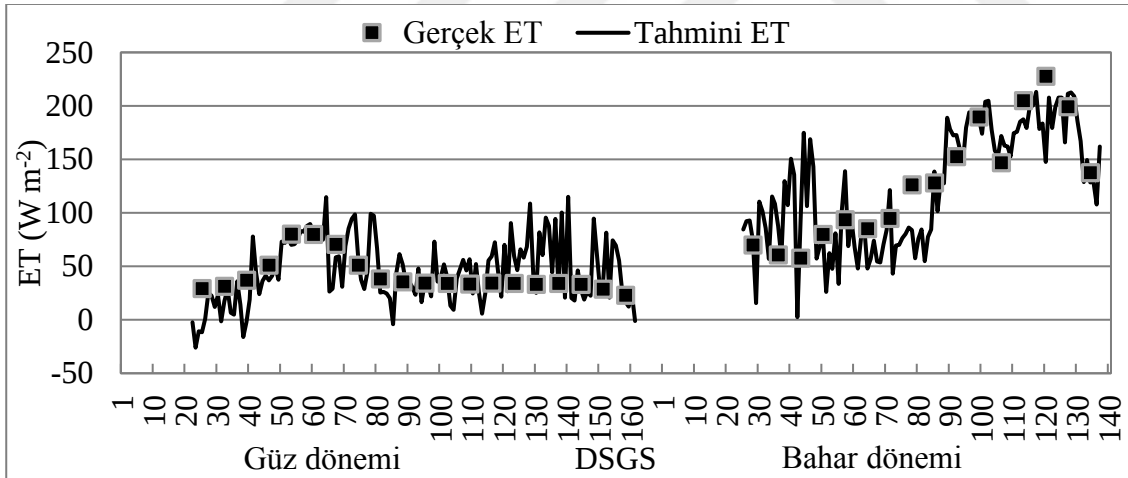
Bitki	R ²	RMSE	RE	MBE	d _w
Domates	0.95	16.69	0.22	-11.79	0.98
Patlıcan	0.95	16.91	0.27	-13.59	0.97
Biber	0.94	16.71	0.30	-13.73	0.95
Hıyar	0.94	18.37	0.24	-12.26	0.97

Her iki yetiştirme döneminde G değerinin ihmal edilmesi durumunda tahmini ET ve gerçek ET değerlerinin uyumlu olduğu belirlenmiştir (Şekil 4.106, 4.107, 4.108 ve 4.109). Şekil 4.110'dan haftalık ortalama tahmini ve gerçek ET değerlerinin 1:1 çizgisine yakın dağılım gösterdiği görülmektedir. MBE değerlerinden, Çalışmada yetiştirilen

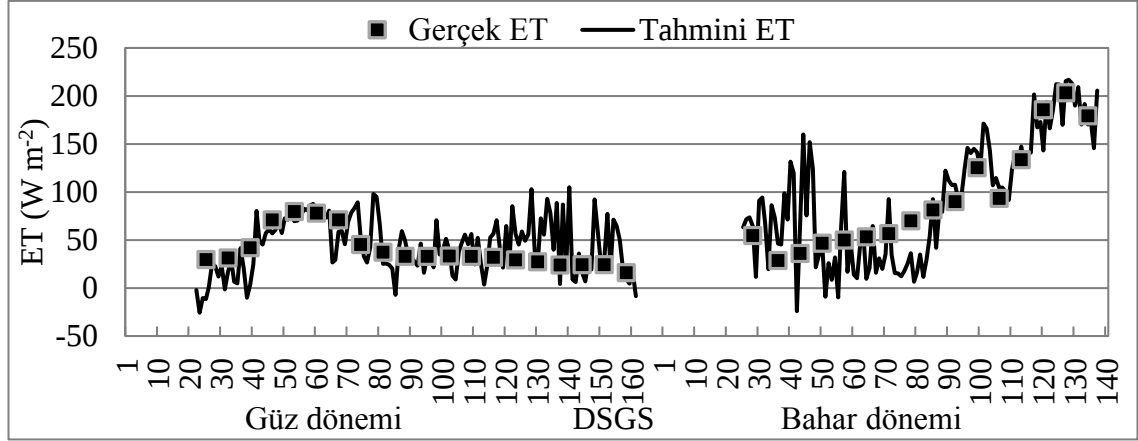
bitkiler için G değerinin ihmal edilmesi durumunda, tahmin edilen ET değerlerinin gerçeğe kıyasla daha fazla tahminde bulunduğu saptanmıştır. Tahmini ve gerçek ET değerlerinin karşılaştırılmasıyla çalışmada yetiştirilen farklı bitkilere ait olan hata değerlerinin (RMSE, RE, MBE) ve diğer performans kriterlerinin birbirlerine çok yakın olmasının yanında, bu bitkilerin gerçek ve tahmini ET değerleri arasında çok kuvvetli bir ilişki belirlenmiştir (Çizelge 4.41). Buna karşı G değerinin $0.1R_n$ olarak kabul edilmesi durumunda tahmini ve gerçek ET değerleri arasında daha yüksek düzeyde bir ilişki belirlenmiştir (Çizelge 4.40). Bu nedenle G değerinin ihmal edilmesi yerine $G=0.1R_n$ olarak kullanılması önerilmektedir.

4.4.4. Enerji dengesi eşitliğinde net radyasyonun (R_n) tahmin edilmesi ve toprak ısı akısının (G) net radyasyon (R_n) değerinin %10'u olarak kabul edilmesi durumunda bitki su tüketimi (ET) tahminlerine ilişkin bulgular

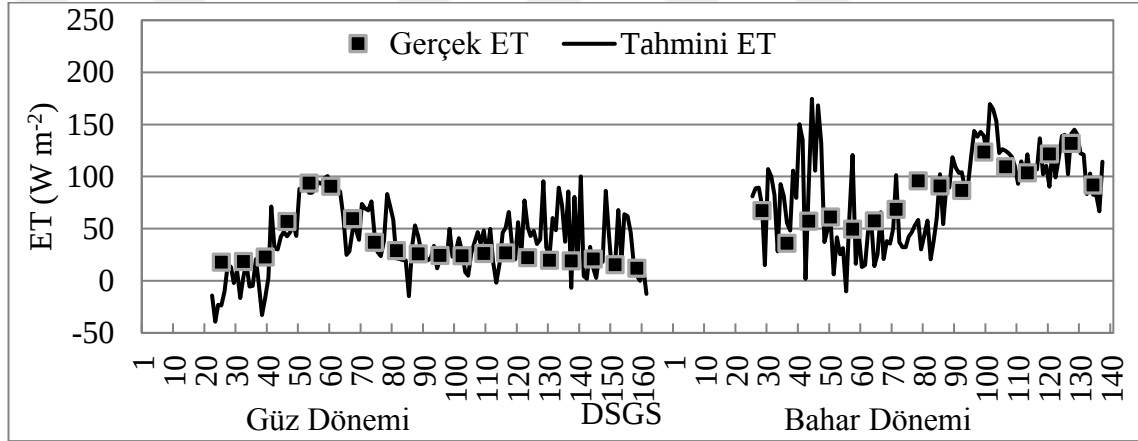
Düşük teknoloji seraların bulunduğu ve Akdeniz ikliminin görüldüğü bölgelerdeki yetiştiricilerin büyük bir kısmı, R_n 'yi ve G 'yi ölçebilecek sensöre sahip değildirler. Bu nedenle R_n değerinin Eşitlik 3.6 ile tahmin edilmesi ve G değerinin de $0.1R_n$ olarak kullanılması durumunda domates, patlıcan, biber ve hıyar bitkilerinde enerji dengesi eşitliği ile elde edilen ve lizimetrelerde ölçülen ET değerlerinin zamana göre değişimi belirlenmiş ve sırasıyla Şekil 4.111, 4.112, 4.113 ve 4.114'de gösterilmiştir. Ayrıca, haftalık ortalama tahmini ve gerçek ET değerlerinin 1:1 çizgisindeki dağılımları Şekil 4.115'de gösterilirken, bu değerlere ait istatistiksel analiz sonuçları Çizelge 4.42'de gösterilmiştir.



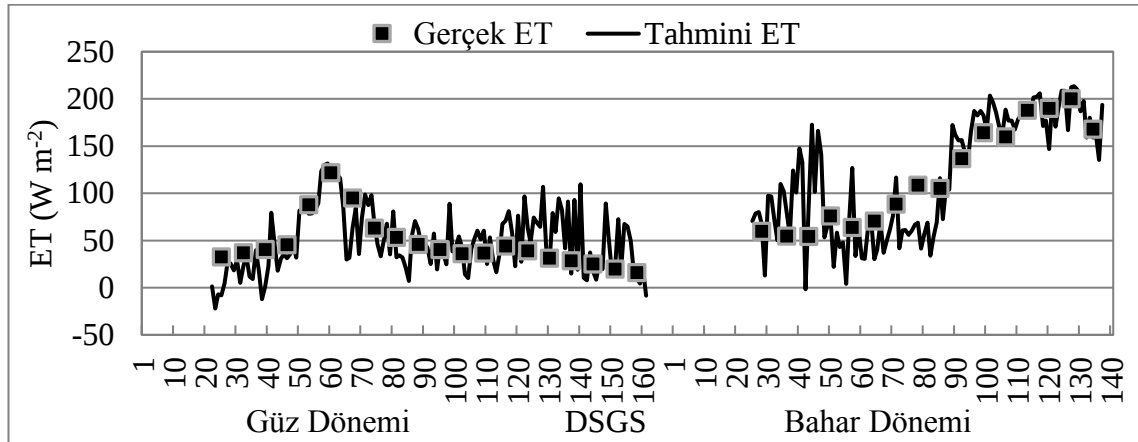
Şekil 4.111. Güz ve bahar dönemlerinde domates için R_n 'nin hesaplanması ve G 'nin $0.1R_n$ alınması durumunda enerji dengesi eşitliği ile tahmin edilen ve lizimetrelerde ölçülen ET değerlerinin değişimi



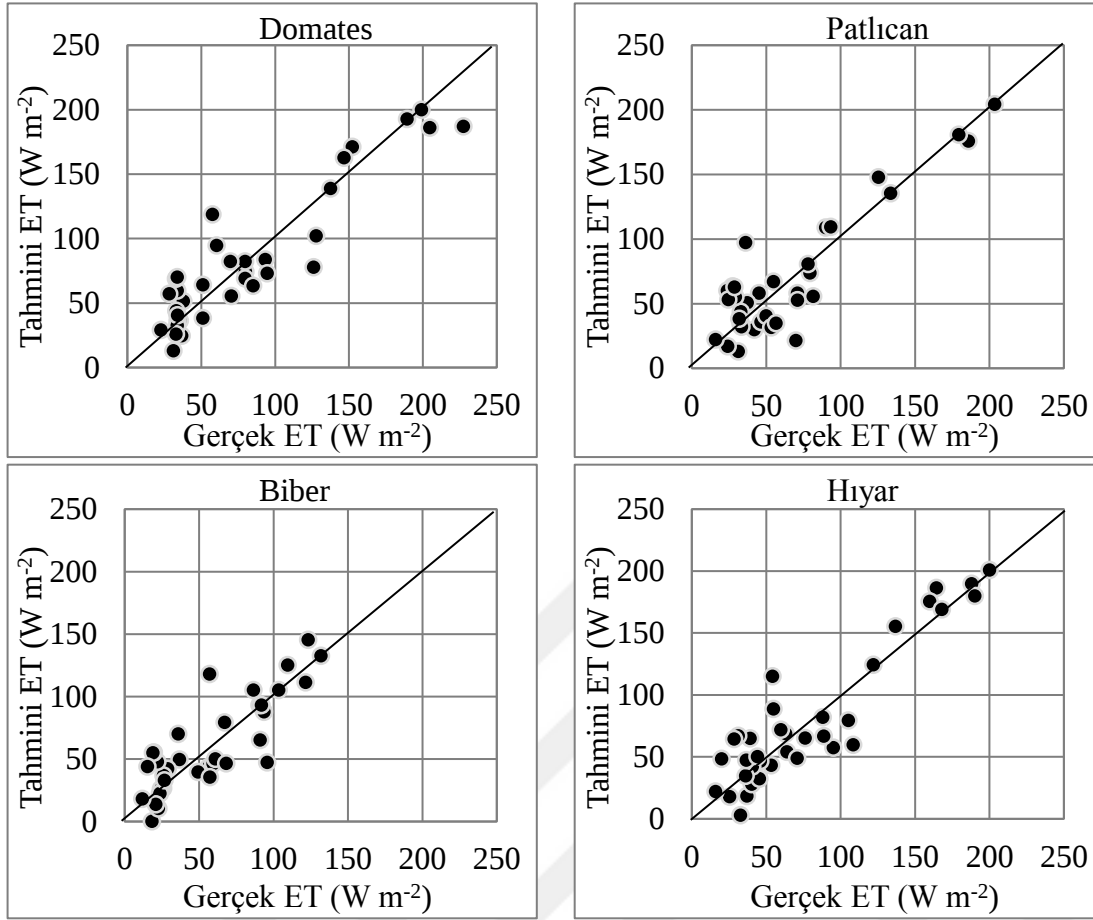
Şekil 4.112. Güz ve bahar dönemlerinde patlıcan için R_n 'nin hesaplanması ve G 'nin $0.1R_n$ alınması durumunda enerji dengesi eşitliği ile tahmin edilen ve lizimetrelerde ölçülen ET değerlerinin değişimi



Şekil 4.113. Güz ve bahar dönemlerinde biber için R_n 'nin hesaplanması ve G 'nin $0.1R_n$ alınması durumunda enerji dengesi eşitliği ile tahmin edilen ve lizimetrelerde ölçülen ET değerlerinin değişimi



Şekil 4.114. Güz ve bahar dönemlerinde hıyar için R_n 'nin hesaplanması ve G 'nin $0.1R_n$ alınması durumunda enerji dengesi eşitliği ile tahmin edilen ve lizimetrelerde ölçülen ET değerlerinin değişimi



Şekil 4.115. Domates, patlıcan, biber ve hıyar bitkilerinde R_n 'nin hesaplanması ve G 'nin $0.1R_n$ alınması durumunda enerji dengesi eşitliğinin kullanılmasıyla tahmin edilen ve lizimetrelerde ölçülen ET değerlerinin 1:1 çizgisi etrafındaki dağılımı

Çizelge 4.42. Domates, patlıcan, biber ve hıyar bitkilerinde R_n 'nin hesaplanması ve G 'nin $0.1R_n$ alınması durumunda enerji dengesi eşitliği kullanılarak tahmin edilen ve lizimetrelerde ölçülen ET değeri arasındaki ilişkinin performansına ilişkin istatistiksel değerler

Bitki	R^2	RMSE	RE	MBE	d_w
Domates	0.85	22.55	0.28	-0.89	0.96
Patlıcan	0.81	21.74	0.34	-2.75	0.95
Biber	0.70	21.64	0.39	-2.89	0.91
Hıyar	0.84	22.28	0.28	-1.38	0.96

R_n değerinin tahmin edilmesi ve G değerinin de $0.1R_n$ olarak kullanılması durumunda domates, patlıcan, biber ve hıyar bitkilerinin enerji dengesi eşitliği ile tahmin edilen ET değerlerinin gerçek ET değerlerine kıyasla güz döneminde fide dikim ile DSGS 35. güne kadar daha az olduğu belirlenirken, DSGS 120. günden güz döneminin sonuna

kadar ise daha fazla olduğu görülmektedir (Şekil 4.11-4.114). Bahar yetiştirme dönemi boyunca ise tahmini ET değerlerinin düzensiz değişimler (salınımlar yaptığı) gösterdiği saptanmıştır. Bu salınımları ise en fazla biber bitkisinde meydana gelmiştir Nitekim bitkilerin tahmini ve gerçek ET değerleri arasındaki ilişkinin performansını gösteren kriterleri (Çizelge 4.42) ve 1:1 çizgisi etrafındaki dağılımları (Şekil 4.115) incelendiğinde biber bitkisinin diğer bitkilere kıyasla daha düşük performans gösterdiği belirlenmiştir (R^2 , 0.70; RMSE, 21.64; RE, 0.39; MBE, -2.89 ve d_w , 0.91). Diğer bitkilere kıyasla en yüksek performans ise domates bitkisinden elde edilmiştir (R^2 , 0.85; RMSE, 22.55; RE, 0.28; MBE, -0.89 ve d_w , 0.96).

Çizelge 4.42 genel olarak incelendiğinde R_n değerinin tahmin edilmesi ve G değerinin $0.1R_n$ olarak kullanılması durumunda domates, patlıcan ve hıyar bitkisinde elde edilen ET değerleri ile gerçek ET değerleri arasında kuvvetli bir ilişki belirlenirken, biber bitkisinde normal seviyede bir ilişki elde edilmiştir.



5. SONUÇLAR

Bu araştırmada Antalya bölgesinde örtü altı yetiştiriciliği yapılan alanlarda yaygın olarak üretimi yapılan domates, patlıcan, biber ve hıyar bitkilerinin, önemli bir parametre olan aerodinamik direncin (r_a) alternatif yöntemlerle hesaplanması, net radyasyonun (R_n) hesap yoluyla belirlenmesi ve toprak ısı akısının (G) hesaplanmasına ilişkin çeşitli senaryoları da içine alan farklı yaklaşımlarla tahmin edilen bitki su tüketimi (ET) değerlerinin, yörede yaygın düşük teknoloji PE bir serada kurulu lizimetre sistemi ile ölçülen gerçek su tüketimleri ile karşılaştırılması ve düşük teknoloji Akdeniz tipi PE seralar için yeni bir bitki su tüketimi hesaplama yaklaşımı geliştirilmesi amaçlanmıştır. Bu kapsamda sera içi ve dışında kurulu otomatik meteoroloji istasyonlarında ölçülen maksimum sıcaklık (T_{mak}), minimum sıcaklık (T_{min}), ortalama sıcaklık (T_{ort}), oransal nem (RH), toprak ısı akısı (G), solar radyasyon (R_s) ve net radyasyon (R_n) gibi iklimsel veriler ile bitkide meydana gelen günlük değişimlerin belirlenmesi amacıyla ölçülen stoma iletkenliği, klorofil içeriği indeksi (CCI), ortalama yaprak alanı, yaprak alan indeksi (LAI), bitki boyu, bitki taç sıcaklığı (T_c) ve verim değerlerinden ve bitkilerin yetiştirildiği serada kurulu lizimetre sisteminde doğrudan ölçülen ET değerlerinden yararlanılmıştır. Çalışmada sera içi koşullara ve yetiştiriciliğe ilişkin uygulamalar (ipe alma, yaprak budaması, sera örtüsüne gölge tozu uygulaması vb.) yörede yaygın çiftçi uygulamaları esas alınarak yürütülmüştür.

T_{min} ve T_{ort} sıcaklık parametrelerinin sera içi ve sera dışından elde edilen verileri arasında çok kuvvetli ilişki belirlenirken, T_{mak} , RH ve R_s parametrelerinin sera içi ve sera dışından elde edilen verileri arasında normal düzeyde ilişki elde edilmiştir.

Çalışmada sera koşullarında yetiştirilen domates, patlıcan, biber ve hıyar bitkilerinin, stoma iletkenliği değerleri güz ve bahar yetiştirme dönemleri boyunca günlük olarak, belirlenen günlerde ise gün doğumu ile gün batımı arasında saatlik olarak ölçülmüş ve grafiklerle değerlendirilmiştir.

Bitki yapraklarının en ve boylarının yaprak alanlarıyla ilişkilendirilmesi yoluyla çalışmada yetiştirilen bitkilerin yaprak alanlarını tahribatsız olarak belirlemede kullanmak amacıyla yedi farklı eşitlik geliştirilmiş ve farklı bitkiler için değişen eşitlik katsayıları verilmiştir. Anılan eşitlikler yardımıyla hesaplanan yaprak alanı ile gerçek yaprak alanı değerleri arasında çok kuvvetli ilişki elde edilmiştir. Araştırmada yetiştirilen bitkilerin LAI değerleri hesaplanmıştır ve bu değerlerin sera içi iklimi ve özellikle Antalya bölgesinde yapılan yaprak budaması gibi çeşitli kültürel uygulamalardan etkilendiği belirlenmiştir.

Serada yetiştirilen domates, patlıcan, biber ve hıyar bitkilerinin bitki taç sıcaklığı değerleri günlük olarak saat 14:00'de ölçülmüş ve bitki taç sıcaklığının güz ve bahar dönemi boyunca değişimi belirlenmiştir. Her iki yetiştirme döneminde sekiz farklı günde; gün doğumu ile gün batımı arasında bitki taç sıcaklığı değerlerinin saatlik değişimleri belirlenerek, bu değerler yardımıyla saat 14:00'da ölçülen taç sıcaklığından gün doğumu ve batımı arasındaki taç sıcaklığı değerlerini tahmin eden doğrusal bir eşitlik geliştirilmiştir. Bu eşitliğin determinasyon katsayısı domates, patlıcan, biber ve hıyar bitkileri için sırasıyla 0.98, 0.99, 0.99 ve 0.97 olarak elde edilmiştir.

Araştırmada güz yetiştirme döneminde domates, patlıcan, biber ve hıyar bitkilerinden sırasıyla 14.0, 4.3, 2.5, 14.3 t da⁻¹ verim alınırken, bahar döneminde sırasıyla 16.8, 9.0, 7.3 ve 17.0 t da⁻¹ verim elde edilmiştir. Verim değerlerinin önceki çalışmalarla uyumlu olduğu anlaşılmıştır.

Araştırmada bitkilerin gerçek su tüketimleri, lizimetreler yardımıyla su dengesi denklemi bileşenleri doğrudan ölçülerek belirlenmiştir. Güz yetiştirme döneminde domates, patlıcan, biber ve hıyar bitkilerine sırasıyla 248.78, 222.26, 189.73, 252.72 mm sulama suyu uygulanmış, 218.60, 211.57, 173.34 ve 240.52 mm bitki su tüketimi (ET) meydana gelmiştir. Bahar yetiştirme döneminde ise sırasıyla 577.32, 360.89, 376.32 ve 512.83 mm sulama suyu uygulanırken, bitki su tüketimi (ET) 529.34, 383.47, 353.63 ve 501.28 mm olarak gerçekleşmiştir.

Bitki su tüketiminin dolaylı yoldan hesaplanarak tahminini ise enerji dengesi denklemine dayalı olarak yapılmıştır. Çalışmada, anılan denklemin en önemli parametresi olan ve doğrudan ölçülemeyen aerodinamik direnç (r_a) değerleri (1) rüzgar hızı, bitki boyu ve bitki örtüsüne bağlı olarak geliştirilmiş yöntemlerle (Brutsaert ve Stricker eşitliği ve Perrier eşitliği); (2) konvektif ısı transfer katsayısı (doğal, zorlamalı ve bileşik CHTC) yöntemleriyle; (3) sabit bir değer (150 s m⁻¹) kabul edilerek; (4) ters enerji dengesi (IBTE) eşitliğiyle ve (5) sera içi hava hızı, bitki boyu ve bitki tacı-hava sıcaklığı farkına dayalı, bu çalışmada geliştirilen yeni model ile tahmin edilerek belirlenmiştir.

Araştırmada, IBTE yöntemi ile hesaplanan aerodinamik direnç (r_a) değerlerinden yararlanılarak, bitki boyu (boy), sera içi rüzgar hızı (u) ve bitki tacı-hava sıcaklığı ($T_c - T_a$) farkına dayalı, Akdeniz tipi PE sera koşullarında aerodinamik direnci hesaplamada kullanılabilecek olan yeni model $r_a = a \text{boy}^b + cu^d + e(T_c - T_a)^f$ olarak belirlenmiştir. Domates, patlıcan, biber ve hıyar bitkilerine, güz ve bahar yetiştiriciliği dönemlerine, bitkilerin yaprak alanı indeksi (LAI) düzeyine ve sera gölge tozu uygulaması yapıp yapılmamasına bağlı olarak modele ilişkin a, b, c, d, e, f katsayıları sunulmuştur.

Farklı yöntemlerle belirlenen aerodinamik direnç değerlerinin enerji dengesi eşitliğinde yerine konulmasıyla tahmin edilen ET değerleri, lizimetrelerden doğrudan ölçülen ET değerleri ile karşılaştırılmıştır. Orijinalinde tarla koşulları için geliştirilmiş rüzgara ve bitki örtüsüne dayalı modellerin, çalışmanın yürütüldüğü sera koşullarında gerçek değerlerle uyumlu sonuç vermediği belirlenmiştir. Bu durum daha önceki çalışmalarda da belirtildiği gibi sera içindeki düşük rüzgar hızının sıfıra yakın olması sebebiyle r_a değerinin çok büyük değerlere ulaşması ve buna bağlı olarak ET değerlerinin de gerçek ET değerleriyle uyumlu olmamasına neden olmuştur. Daha önceki çalışmalarda konveksiyona dayalı modeller yardımıyla r_a değerlerinin belirlenmesi için çok sayıda araştırma yapılarak, bu parametre serbest, zorlamalı ve bileşik konveksiyon şartlarında tahmin edilmesiyle sera içi ET değerleri belirlenmiştir. Önceki çalışmaların bir kısmında bu yöntemin kullanılması sonucunda ET değerleri yüksek başarı ile tahmin edilmiştir. Fakat bu araştırmaların önemli bir kısmı mikro ölçekte yürütülmüştür ve gerekli iklimsel parametreler bitki içinden ve yapay yaprak kullanılarak elde edilmiştir. Ayrıca araştırmalar, genellikle yüksek teknoloji içeren, havalandırma ve ısıtma sistemine sahip seralarda topraksız yetiştirme ortamlarında yürütülmüştür. Bu nedenle evaporasyon ile su kaybı da ihmal edilmiştir. Bu çalışma ise düşük teknolojili Akdeniz tipi PE serada ve makro düzeyde yürütülmüştür. Konvektif ısı transfer katsayısının belirlenmesi için

gerekli olan iklimsel veriler seranın ortasına kurulan meteoroloji istasyonundaki standart yükseklikte bulunan sensörlerinden elde edilmiştir. Ayrıca bu araştırma çiftçi koşullarında yapılmış olup yetiştiricilerin yaptıkları kültürel uygulamaların taklit edilmesiyle yürütülmüştür. Özellikle yetiştirme dönemlerinin ortasında yaprak budaması uygulamasından kaynaklı olarak toprak yüzeyinin aldığı enerji miktarı artmıştır. Bu nedenle, araştırmada serbest, zorlamalı bileşik konveksiyon yöntemiyle sera içi ET değerleri gerçek ET değerlerine kıyasla daha düşük elde edilmiştir. Ayrıca bu yöntemlerle negatif ET değerleri de elde edilmiştir. Bitkilerin r_a değerinin çok sayıda iklimsel ve çevresel faktörlerin etkisiyle gün içinde salınım yaptığı önceki çalışmalarda bildirilmiştir. Nitekim bu çalışmada da r_a değerinin salınım yaptığı belirlenmiştir. Bu nedenle yaptığımız bu çalışmada r_a değerinin sabit değer olarak kullanılmasıyla tahmin edilen ET değerleri iyi bir performans göstermemiştir. Araştırmada ET değeri lizimetre ile doğrudan ölçüldüğü için enerji dengesi eşitliğinden yola çıkılarak r_a değerleri doğrudan hesaplanmıştır (IBTE yöntemi). Elde edilen r_a değerleri kullanılarak LAI ve sera gölge tozu uygulaması kıstaslarına bağlı olarak sera içi rüzgar hızı, bitki boyu ve taç örtüsü-hava sıcaklığı farkına dayalı yeni bir yöntem geliştirilmiştir. Yeni model ile tahmin edilen ET ile gerçek ET değerleri karşılaştırıldığında domates bitkisinde R^2 0.96; RMSE 12.11; RE 0.15; MBE -3.19 ve d_w 0.99; patlıcan bitkisinde R^2 0.95; RMSE 12.09; RE 0.19; MBE -5.04 ve d_w 0.98; biber bitkisinde R^2 0.93; RMSE 10.90; RE 0.20; MBE -4.95 ve d_w 0.97 ve hıyar bitkisinde R^2 0.94; RMSE 13.25; RE 0.20; MBE -4.95 ve d_w 0.97 performans kriterleri elde edilerek çok kuvvetli ilişki belirlenmiştir.

Çalışmada enerji dengesi eşitliğinin bir diğer önemli parametresi olan net radyasyon (R_n) güz ve bahar dönemi boyunca sera içinde ölçülmüştür. Sera içi R_n değerinin ölçülemediği durumda atmosfer üstü radyasyon (R_a) ve sera içi sıcaklık (T_{mak} ve T_{min}) verilerine bağlı olarak yeni yöntem geliştirilmiştir. Bu yöntemle tahmin edilen ve ölçülen net radyasyon değerleri arasında kuvvetli ilişki (R^2 0.82; RMSE 15.39; RE 0.25; MBE -1.26 ve d_w 0.94) olduğu belirlenmiştir.

Çalışmada ayrıca, ET tahmininde kullanılabilecek yeni geliştirilen yöntemin, iklimsel parametrelerin ölçüm olanağının olmadığı çiftçi koşullarında uygulanmasını kolaylaştırmak amacıyla, (S1) R_n 'nin hesap yoluyla tahmini; (S2) G 'nin R_n nin % 10'u ($G=0.1R_n$) olarak kabul edilmesi; (S3) G 'nin ihmal edilmesi ve (S4) hem R_n 'nin hesap yoluyla tahmini ve hem de $G=0.1R_n$ olarak kabul edilmesi durumlarını içeren dört farklı senaryoya göre tahmin edilen ET değerleri, lizimetrelere ölçülen (gerçek) ET değerleri ile karşılaştırılmıştır. Çalışmada yetiştirilen tüm bitkilerde, R_n değerinin tahmin edilmesi ve enerji dengesinde kullanılması ile elde edilen tahmini ET değerleri ile gerçek ET değerleri arasında kuvvetli ilişkiler belirlenmiştir. En yüksek ilişki domates bitkisinde (R^2 0.88; RMSE 19.72; RE 0.25; MBE -2.43 ve d_w 0.97) belirlenirken, en düşük ilişki biber bitkisinde (R^2 0.77; RMSE 19.61; RE 0.35 MBE -4.05 ve d_w 0.92) elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar R_n değerinin ölçülemediği durumda geliştirilen eşitlik yardımıyla Akdeniz koşullarında doğal havalandırılmalı ve ısıtma sistemi bulunmayan seralarda ET değerinin gerçek değerlere uyumlu olarak belirlenebileceği göstermektedir. Enerji dengesi yönteminin parametrelerinden biri olan G parametresinin enerji dengesi eşitliğinin diğer parametrelerine kıyasla çok daha küçük olduğu bilinmektedir. Bu nedenle ET değerlerinin tahmini için geliştirilen çok sayıda yöntemde, bu değer ya ihmal edilmiştir ya da R_n değerinin % 10'u ($G=0.1R_n$) olarak kullanılmıştır. Bu nedenle bu çalışmada da G değerinin ihmal edilmesiyle ve $0.1R_n$ olarak kullanılmasıyla ET değerleri

belirlenerek gerçek ET değerleri arasındaki ilişki incelenmiştir. G değerlerinin $0.1R_n$ olarak kullanılması durumunda elde edilen tahmini ET değerlerinin, G'nin ihmal edilmesi durumunda elde edilen tahmini ET değerlerine kıyasla gerçek ET değerleri ile daha uyumlu olduğu belirlenmiştir. R_n ve G değerlerinin ölçülemediği durumlarda ise R_n değerinin tahmin edilmesi ve G'nin $0.1R_n$ olarak kullanılmasıyla tüm bitkilerin ET değerleri tahmin edilmiştir. Bu senaryo ile domates, patlıcan ve hıyar bitkilerinin tahmin edilen ET değerleri ile gerçek ET değerleri arasında kuvvetli bir ilişki bulunmasına karşı biber bitkisinde normal seviye bir ilişki belirlenmiştir.

Araştırmada elde edilen veriler ve bu verilerden elde edilen sonuçlar literatürdeki önemli açığı gidermeye katkı sağlayarak su kaynakları planlamasından sorumlu çeşitli kamu kuruluşlarının ve karar vericilerin planlamalarında kullanılabileceği düşünülmektedir. Yeni geliştirilen modeller, sulama otomasyonu ve bilgisayar yazılımlarında da kullanılabileceği gibi sulama uygulamalarında da kolaylık sağlayacaktır. Tüm bunların yanında çalışmadan elde edilen sonuçlar örtüaltı ET değerini belirlemek amacıyla daha sonra yürütülecek çalışmalara da temel oluşturacaktır.

6. KAYNAKLAR

- Abdel-Razzak, H. Wahb-Allah, M. Ibrahim, A. Alenazi, M. and Alsadon, A. 2016. Response of cherry tomato to irrigation levels and fruit pruning under greenhouse conditions. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 18: 1091–1103.
- Abney, T.D. and Russo, V.M. 1997. Factors affecting plant height and yield of eggplant. *Journal of Sustainable Agriculture*, 10(4): 37–48.
- Abu-Zahra, T.R. and Ateyyat, M.A. 2016. Effect of various shading methods on cucumber (*Cucumis sativus* L.) growth and yield production. *International Journal of Environment and Sustainability*, 5(1): 10–17.
- Akpolat, A. 2011. Mikrometeorolojik ve lizimetre yöntemleriyle belirlenen buğday bitki su tüketimlerinin karşılaştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Tarımsal Yapılar ve Sulama Anabilim Dalı, Adana, 73 s.
- Al-shaikh, R.Z.D. and Almasraf, S.A.D. 2015. Applying Penman-Monteith equation to evaluate the performance of atmometer apparatus in greenhouse for estimating reference evapotranspiration. *Journal of Engineering*, 21(8): 160–173.
- Aladenola, O. and Madramootoo, C. 2014. Response of greenhouse-grown bell pepper (*Capsicum annuum* L.) to variable irrigation. *Canadian Journal of Plant Science*, 94(2): 303–310.
- Alexandratos, N. and Bruinsma, J. 2012. World agriculture towards 2030/2050: the 2012 revision. *ESA Working paper* No: 12-03.
- Allen, R.G. Pereira, L.S. Raes, D. and Smith, M. 1998. Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper 56. Roma, pp. 300.
- Alsadon, A. Wahb-Allah, M.A. and Khalil, S.O. 2005. Growth, yield and quality of three greenhouse cucumber cultivars in relation two types of water applied at different Growth Stages. *Journal of King Saud University*, 18(2): 59–102.
- Altıntaş, G. ve Akçay, Y. 2009. Arazi toplulaştırması uygulamalarında üreticilerin toplulaştırmaya bakış açılarını etkileyen faktörler. *Tarım Ekonomisi Dergisi*, 15(1): 35–43.
- Alvarenga, A.A. de Castro, E.M. de Castro Lima Junior, E. and Magalhães, M.M. 2003. Effects of different light levels on the initial growth and photosynthesis of *Croton urucurana* Baill. in southeastern Brazil. *Revista Árvore*, 27(1): 53–57.
- Alves, I. Perrier, A. and S.P. 1998. Aerodynamic and surface resistances of complete cover crops: how good is the “BIG LEAF”. *Transactions of the ASAE*, 41(2): 345–351.
- Ambroszczyk, A.M. Cebula, S. and Sekara, A. 2008. The effect of plant pruning on the light conditions and vegetative development of eggplant (*Solanum melongena* L.) in greenhouse cultivation. *Vegetable Crops Research Bulletin*, 68: 57–70.
- Aminifard, M.H. Khayyat, M. and Bayat, H. 2017. Individual leaf area modelling of Chili pepper (*Capsicum frutescens*) using leaf dimensions and weight. *Agricultural Communications*, 5(1): 1–6.

- An, N. Hemmati, S. and Cui, Y.J. 2017. Assessment of the methods for determining net radiation at different time-scales of meteorological variables. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, 9(2): 239–246
- Arévalo, J.J. Vélez, S. J.E. and Intrigliolo, D.S. 2014. Determination of an efficient irrigation schedule for the cultivation of rose cv. Freedom under greenhouse conditions in Colombia. *Agronomía Colombiana*, 32(1): 95–102.
- Arias, I.C. 2009. Selection of new eggplant (*Solanum melongena*, L.) lines. PhD Thesis, University of Berlin Agricultural Faculty, Humboldt, pp. 132.
- Atarassi, R.T. Folegatti, M.V. and Camponez Do Brasil, R.P. 2006. Convection regime between canopy and air in a greenhouse. *Scientia Agricola*, 63(1): 77–81.
- Ayan, N. Büyüktaş, D. Karaca, C. and Baştuğ, R. 2019. The effects of fertigation strategies on nitrate-nitrogen leaching, yield parameters of cucumber grown in glasshouse. *Fresenius Environmental Bulletin*, 28(5): 3876–3885.
- Ayas, S. 2015. The effects of different regimes on tomato (*Lycopersicon lycopersicum* L. var. Hazal) yield and quality characteristics under unheated greenhouse conditions. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 21(6): 1235–1241.
- Ayas, S. 2017. The effects of irrigation regimes on the yield and water use of eggplant (*Solanum melongena* L.). *Toprak Su Dergisi*, 6(2): 49–58.
- Aydınsakir, K. and Buyuktas, D. 2009. Non-destructive leaf area estimation in carnation plants. *Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 22(1): 83–89.
- Aydınsakir, K. ve Büyüktaş, D. 2005. Lizimetreler ve bitki su tüketimi çalışmalarında kullanımı. *Derim*, 22(1): 49–58.
- Aydınsakir, K. Baştuğ, R. and Büyüktaş, D. 2003. Antalya yöresinde çim kıyas bitki su tüketimini veren bazı ampirik eşitliklerin tarla ve lizimetre koşullarında kalibrasyonu. *Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 16(1): 107–119.
- Bailey, B.J. Montero, J.I. Biel, C. Wilkinson, D.J. Anton, A. and Jolliet, O. 1993. Transpiration of *Ficus benjamina*: comparison of measurements with predictions of the Penman-Monteith model and a simplified version. *Agricultural and Forest Meteorology*, 65(3–4): 229–243.
- Baille, M. Baille, A. and Laury, J.C. 1994. A simplified model for predicting evapotranspiration rate of nine ornamental species vs. climate factors and leaf area. *Scientia Horticulturae*, 59(3–4): 217–232.
- Bar-Tal, A. Aloni, B. Arbel, A. Barak, M. Karni, L. Oserovitz, J. Hazan, A. Gantz, S. Avidan, A. Posalski, I. and Keinan, M. 2006. Effects of an evaporative cooling system on greenhouse climate, fruit disorders and yield in bell pepper (*Capsicum annuum* L.). *Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 81(4): 599–606.
- Baudoin, W. Nono-Womdim, R. Litaladio, N. Hodder, A. Castilla, N. Leonardi, C. Pascale, S. De and Qaryouti, M. 2013. Good Agricultural Practices for greenhouse vegetable crops - Principles for Mediterranean climate areas. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome, pp. 640.

- Baytorun, A.N. and Zaimoglu, Z. 2018. Climate control in mediterranean greenhouses. In Rao, C.S. Shanker, A.K. and Shanker, C. (Ed.), *Climate Resilient Agriculture - Strategies and Perspectives*, Intechopen, pp. 167–181.
- Beerling, D.J. and Fry, J.C. 1990. A comparison of the accuracy, variability and speed of five different methods for estimating leaf area. *Annals of Botany*, 65: 483–488.
- Berroug, F. Lakhal, E.K. El Omari, M. Faraji, M. and El Qarnia, H. 2011. Thermal performance of a greenhouse with a phase change material north wall. *Energy and Buildings*, 43: 3027–3035.
- Bertoldi, G. Rigon, R. and Tappeiner, U. 2012. Modelling Evapotranspiration and the Surface Energy Budget in Alpine Catchments, Evapotranspiration. Evapotranspiration - Remote Sensing and Modeling. InTech, pp. 372–402.
- Blake, G.R. and Hartge, K.H. 1965. Bulk density. In *Methods of Soil Analysis, Part 1 Physical and Mineralogical Methods*. In Klute, A. (Ed.), Agronomy Monograph 9, American Society of Agronomy, Soil Science Society of America, Madison, pp. 363–382.
- Blanco, F.F. and Folegatti, M. V. 2004. Evaluation of evaporation-measuring equipments for estimating evapotranspiration within a greenhouse. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 8(2–3): 184–188
- Blanco, F.F. and Folegatti, M.V. 2003. A new method for estimating the leaf area index of cucumber and tomato plants. *Horticultura Brasileira*, 21(4): 666–669.
- Bo, L. Tieliang, W. and Jian, S. 2014. Crop water stress index for off-season greenhouse green peppers in Liaoning, China. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 7(3): 28–35.
- Bobadi, S. and Van Damme, P. 2003. Effect of nitrogen application on flowering and yield of eggplant (*Solanum melongena* L.). *Communications in Agricultural and applied Biological Sciences*, 68(1): 5–13.
- Bontsema, J. Hemming, J. Stanghellini, C. de Visser, P. van Henten, E. Budding, J. Rieswijk, T. Nieboer, S. and Lier, D. 2007. On-line estimation of the transpiration in greenhouse horticulture. *Proceedings Agricontrol*, 2nd IFAC I: 29–34.
- Boulard, T. Fatnassi, H. Roy, J.C. Lagier, J. Fargues, J. Smits, N. Rougier, M. and Jeannequin, B. 2004. Effect of greenhouse ventilation on humidity of inside air and in leaf boundary-layer. *Agricultural and Forest Meteorology*, 125(3–4): 225–239.
- Boulard, T. and Wang, S. 2000. Greenhouse crop transpiration simulation from external climate conditions. *Agricultural and Forest Meteorology*, 100(1): 25–34.
- Boyaci, S. and Akyüz, A. 2018. Effect of greenhouse cooling methods on the growth and yield of tomato in a Mediterranean climate (December). *International journal of Horticulture, Agriculture and Food science*, 2(6): 199–207.
- Brutsaert, W. and Stricker, H. 1979. An advection-aridity approach to estimate actual regional evapotranspiration. *Water Resources Research*, 15: 443–450.

- Campos, H. Trejo, C. Peña-Valdivia, C.B. García-Nava, R. Conde-Martínez, F.V. and Cruz-Ortega, M.R. 2014. Stomatal and non-stomatal limitations of bell pepper (*Capsicum annuum* L.) plants under water stress and re-watering: Delayed restoration of photosynthesis during recovery. *Environmental and Experimental Botany*, 98: 56–64.
- Camposeco-Montejo, N. Robledo-Torres, V. Ramírez-Godina, F. Mendoza-Villarreal, R. Pérez-Rodríguez, M.Á. and Fuente, M.C. la. 2018. Response of bell pepper to rootstock and greenhouse cultivation in coconut fiber or soil. *Agronomy*, 8(111): 1–12.
- Carmassi, G. Incrocci, L. Incrocci, G. and Pardossi, A. 2007. Non-destructive estimation of leaf area in tomato (*Solanum lycopersicum* L.) and gerbera (*Gerbera jamesonii* H. Bolus). *Agricoltura Mediterranea*, 137: 172–176.
- Cemek, B. Kara, T. Apan, M. and Taşan, M. 2004. Sera koşullarında A-sınıfı buharlaşma kabı ve küçük buharlaşma kaplarından buharlaşan su miktarı arasındaki ilişki. *U.Ü. Ziraat Fakültesi Dergisi*, 18(2): 13–24.
- Cemek, B. Unlukara, A. and Kurunc, A. 2011. Nondestructive leaf-area estimation and validation for green pepper (*Capsicum annuum* L.) grown under different stress conditions. *Photosynthetica*, 49(1): 98–106.
- Çetin, Ö. Köksal, E.S. ve Tarı, A. 2013. Damla sulamada bitki su tüketimi ve sulama suyu hesabına ilişkin temel yaklaşımlar. Tarım ve Hay. Bak. Tar. Araş. ve Pol. Gen. Müd. Toprak ve Su Kay. Araş. Daire Başk, *TAGEM* Yayın No: 2013-22, Ankara, 43 s.
- Chartzoulakis, K. and Drosos, N. 1995. Water use and yield of greenhouse grown eggplant under drip irrigation. *Agricultural Water Management*, 28(2): 113–120.
- Chin, W.W. 1998. The partial least squares approach to structural equation modelling. *Modern Methods for Business Research*, 295(2): 295–336.
- Cho, Y.Y. Oh, S. Oh, M.M. and Son, J.E. 2007. Estimation of individual leaf area, fresh weight, and dry weight of hydroponically grown cucumbers (*Cucumis sativus* L.) using leaf length, width, and SPAD value. *Scientia Horticulturae*, 111(4): 330–334.
- Clark, R.N. and Hiler, E.A. 1973. Plant measurements as indicators of crop Water deficit. *Crop Science*, 13(4): 466–469.
- Clum, H.H. 1926. The effect of transpiration and environmental factors on leaf temperatures transpiration. *American Journal of Botany*, 13(3): 194–216.
- Cohen, J. 1988. Statistical power analsis of the behavioral Sciences. 2nd edition. Lawrence Earlbaum Associates, pp. 590.
- Colaizzi, P.D. Agam, N. Tolk, J.A. Evett, S.R. Howell, T.A. Gowda, P.H. O'Shaughnessy, S.A. Kustas, W.P. and Anderson, M.C. 2014. Two-source energy balance model to calculate E, T, and ET: Comparison of priestley-taylor and penman-monteith formulations and two time scaling methods. *Transactions of the ASABE*, 57(2): 479–498.

- Çolak, Y.B. Yazar, A. Çolak, İ. Akça, H. and Duraktekin, G. 2015. Evaluation of crop water stress index (CWSI) for Eggplant under varying irrigation regimes using surface and subsurface drip systems. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, 4: 372–382.
- Cosgrove, W.J. and Rijsberman, F.R. 2000. World water vision. Earthscan Publications Ltd. World Water Council, London, pp. 108.
- Cui, J. Shao, G. Lu, J. Keabetswe, L. and Hoogenboom, G. 2020. Yield, quality and drought sensitivity of tomato to water deficit during different growth stages. *Scientia Agricola*, 77(2): 1–9.
- Decagon Incorporated. 2008. Leaf Porometer. *Decagon devices, Inc.* 2365 NE Hopkins Court Pullman WA 99163.
- Díaz-Pérez, J.C. 2013. Bell pepper (*Capsicum annum L.*) crop as affected by shade level: microenvironment, plant growth, leaf gas exchange, and leaf mineral nutrient concentration. *HortScience*, 48(2): 175–182.
- Díaz-Pérez, J.C. and Eaton, T.E. 2015. Eggplant (*Solanum melongena L.*) plant growth and fruit yield as affected by drip irrigation rate. *HortScience*, 50(11): 1709–1714.
- Donatelli, M. and Campbell, G. 1998. A simple model to estimate global solar radiation. In The 5th European Society of Agronomy Congress, Nitra, pp. 133–144.
- Doorenbos, J. and Pruitt, W.O. 1977. Guidelines for predicting crop water requirements, irrigation and drainage paper 24. *Land and Water Development Division FAO 24, Rome*, pp. 144.
- Dumas, Y. 1990. Interrelation of linear measurements and total leaf area or dry matter production in young tomato plants. *Advances in Horticultural Science*, 4(3): 172–176.
- Eaton, F.M. and Belden, G.O. 1929. Leaf temperatures of cotton and their relation to transpiration, varietal differences and yields. *Technical Bulletins, United States Department of Agriculture, Economic Research Service*, 156675: 1–37.
- Ehlers, J.H. 1915. The temperature of leaves of Pinus in winter. *American Journal of Botany*, 2(1): 32–70.
- Eliades, G. 1988. Irrigation of greenhouse-grown cucumbers. *Journal of Horticultural Science*, 63(2): 235–239.
- Elizondo-Cabalceta, E. and Monge-Pérez, J.E. 2017. Quality and yield evaluation of 12 sweet pepper (*Capsicum annum L.*) genotypes grown under greenhouse conditions in Costa Rica. *Revista Tecnología en Marcha*, 30(2): 36–47.
- Engindeniz, E. Durmuşoğlu, E. Eltez, R. Yağmur, B. Yılmaz, I. Demirtaş, B. ve Yücel-Engindeniz, D Tatarhan, A. 2007. Seralarda güvenli sebze üretimi ve pazarlaması. Bilkom Fotokopi ve Ofset Yayıncılık, İzmir, 134 s.
- Engindeniz, S. 2004. The economic analysis of growing greenhouse cucumber with soilless culture system: The case of Turkey. *Journal of Sustainable Agriculture*, 23(3): 5–19.
- Engindeniz, S. and Gül, A. 2009. Economic analysis of soilless and soil-based greenhouse cucumber production in Turkey. *Scientia Agricola*, 66(5): 606–614.

- Ertek, A. Şensoy, S. Yıldız, M. ve Kabay, T. 2002. Açık su yüzeyi buharlaşmasından yararlanarak sera koşullarında patlıcan bitkisi için en uygun su miktarı ve sulama aralığının belirlenmesi. *KSÜ Fen ve Mühendislik Dergisi*, 5(2): 57–67.
- Etissa, E. Dechassa, N. Alamirew, T. Alemayehu, Y. and Desalegn, L. 2013. Growth and yield components of tomato as influenced by nitrogen and phosphorus fertilizer applications in different growing seasons. *Ethiopian Journal of Agricultural Sciences*, 23: 57–77.
- Evans, J.D. 1996. Straightforward statistics for the behavioral sciences. Brooks/Cole Publishing Company, pp. 600.
- Falk, R. and Miller, N.B. 1992. A primer for soft modeling. University of Akron Press, Ohio, pp. 103.
- FAO. 2002. World agriculture: towards 2015/2030 Summary report. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, pp. 106.
- FAO. 2017. The future of food and agriculture. Trends and challenges, Rome, pp 480.
- Feddes, R.A. and Lenselink, K.J. 2006. Evapotranspiration. In Ritzema, H. (Ed.), Drainage Principles and Applications, Wageningen pp. 1125.
- Fernandes, C. Corá, J. and Araújo, J. 2003. Reference evapotranspiration estimation inside greenhouses. *Scientia Agricola*, 60(3): 591–594
- Fernández, M.D. Bonachela, S. Orgaz, F. Thompson, R. López, J.C. Granados, M.R. Gallardo, M. and Fereres, E. 2010. Measurement and estimation of plastic greenhouse reference evapotranspiration in a Mediterranean climate. *Irrigation Science*, 28(6): 497–509.
- Fernández, M.D. Gallardo, M. Bonachela, S. Orgaz, F. Thompson, R.B. and Fereres, E. 2005. Water use and production of a greenhouse pepper crop under optimum and limited water supply. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 80(1): 87–96.
- Fernández, M.D. González, A.M. Carreño, J. Pérez, C. and Bonachela, S. 2007. Analysis of on-farm irrigation performance in Mediterranean greenhouses. *Agricultural Water Management*, 89(3): 251–260.
- Ferrante, A. and Mariani, L. 2018. Agronomic management for enhancing plant tolerance to abiotic stresses: High and low values of temperature, light intensity, and relative humidity. *Horticulturae*, 4(3): 1–19.
- Ferrara, A. Lovelli, S. Di Tommaso, T. and Perniola, M. 2011. Flowering, growth and fruit setting in greenhouse bell pepper under water stress. *Journal of Agronomy*, 10(1): 12–19.
- Ferreira, T. and Rasband, W. 2012. ImageJ User Guide User Guide ImageJ. *Image J user Guide-IJ* 1.46r, pp. 185.
- Fujii, T. Honda, H. and Morioka, I. 1973. A theoretical study of natural convection heat transfer from downward-facing horizontal surfaces with uniform heat flux. *International Journal Heat Mass Transfer*, 16: 611–627.

- Fynn, R.P. Alshooshan, A. Short, T.H. and McMahon, R.W. 1993. Evapotranspiration measurement and modeling for a potted chrysanthemum crop. *Transactions of the ASAE*, 36(6): 1907–1913.
- Gallardo, M. Thompson, R.B. and Fernández, M.D. 2013. Water requirements and irrigation management in Mediterranean greenhouses: the case of the southeast coast of Spain. In Baudoin, W. Nono-Womdim, R. Litaladio, N. and Hodder, A. (Ed.), Good agricultural practices for greenhouse vegetable crops-Principles for Mediterranean climate areas, FAO, Rome, pp. 109–136.
- Gates, D.M. 1964. Leaf Temperature and transpiration. *Agronomy Journal*, 56(3): 273–277.
- Gavilán, P. Ruiz, N. and Lozano, D. 2015. Daily forecasting of reference and strawberry crop evapotranspiration in greenhouses in a Mediterranean climate based on solar radiation estimates. *Agricultural Water Management*, 159: 307–317
- Gee, G.W. and Bauder, J.W. 1986. Particle-size analysis in methods of soil analysis, Part 1. Physical and mineralogical methods. In American Society of Agronomy/Soil Science Society of America, Madison, pp. 383–411.
- Ghaemi, A.A. and Rafiee, M.R. 2016. Evapotranspiration and yield of eggplant under salinity and water deficit: A comparison between greenhouse and outdoor cultivation. *Modern Applied Science*, 10(11): 8–18.
- 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.
- Gleason, D.J. Andales, A.A. Bauder, T.A. and Chávez, J.L. 2013. Performance of atmometers in estimating reference evapotranspiration in a semi-arid environment. *Agricultural Water Management*, 130: 27–35.
- Goldberg, D. Gornat, B. and Rimon, D. 1976. Drip irrigation principles, design and agricultural practices. Drip irrigation scientific publications, Kfar Shmaryahu, pp. 296.
- Gomez-Guillamon, M.L. and Cuartero, J. 1987. Inheritance of vegetative characters in pepper (*Capsicum annuum* L.). *Agronomie*, 7(4): 271–277.
- Gong, X. Liu, H. Sun, J. Gao, Y. Zhang, X. Jha, S.K. Zhang, H. Ma, X. and Wang, W. 2017. A proposed surface resistance model for the Penman-Monteith formula to estimate evapotranspiration in a solar greenhouse. *Journal of Arid Land*, 9(4): 530–546.
- Granberry, D.M. 1990. Commercial vegetable production: Eggplant. Cooperative Extension Service: University of Georgia, College of Agriculture, Environmental Science, Cooperative Extension Service, Athens, pp. 812.
- Güllüler, F. 2007. Adana ili ve ilçelerindeki seraların yapısal özelliklerinin incelenmesi ve T.S.E standartlarına uygunluğunun araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarımsal Yapılar ve Sulama Anabilim Dalı, Adana, 86 s.

- Güncan, A. Madanlar, N. Yoldaş, Z. Ersin, F. and Tüzel, Y. 2006. Pest status of organic cucumber production under greenhouse conditions in İzmir (Turkey). *Türkiye Entomoloji Dergisi*, 30(3): 183–193.
- Hair, J. Black, W. Babin, B. and Anderson, R. 2010. Multivariate data analysis: A global perspective. Pearson Education, London, pp. 740.
- Hair, J.F. Ringle, C.M. and Sarstedt, M. 2011. PLS-SEM: Indeed a silver bullet. *Journal of Marketing Theory and Practice*, 19(2): 139–52.
- Hargreaves, G. and Samani, Z. 1985. Reference crop evapotranspiration from temperature. *Applied Engineering in Agriculture*, 1(2): 96–99.
- Harmanto, H. Salokhe, V.M. Babel, M.S. and Tantau, H.J. 2005. Water requirement of drip irrigated tomatoes grown in greenhouse in tropical environment. *Agricultural Water Management*, 71(3): 225–242.
- Hatfield, J.L. and Prueger, J.H. 2015. Temperature extremes: Effect on plant growth and development. *Weather and Climate Extremes*, 10(A): 4–10.
- Hatfield, J.L. Reginato, R.J. and Idso, S.B. 1984. Evaluation of canopy temperature-evapotranspiration models over various crops. *Agricultural and Forest Meteorology*, 32(1): 41–53.
- Henseler, J. Ringle, C.M. and Sinkovics, R.R. 2009. The use of partial least squares path modeling in international marketing. *Advances in International Marketing*, 20: 277–30.
- Heuvelink, E. Bakker, M.J. Elings, A. Kaarsemaker, R. and Marcelis, L.F.M. 2005. Effect of leaf area on tomato yield. *Acta Horticulturae*, 691: 43–50.
- Hinnah, F.D. Heldwein, A.B. Loose, L.H. Lucas, D.D.P. Bortoluzzi, M.P. and Maldaner, I.C. 2014. Estimation of eggplant leaf area from leaf dimensions. *Bragantia*, 73(3): 213–218.
- Hita, O. Romacho, I. Soriano, T. Morales, M.I. Escobar, I. Suárez-Rey E. Hernández, J. and Castilla, N. 2007. Comparison of two mediterranean greenhouses “technological packets” with cherry tomato. *Acta Horticulturae*, 747: 309–313.
- Howell, T.A. 2005. Lysimetry. In Hillel, D. (Ed.), *Encyclopedia of Soils in the Environment*, New York, pp. 379–386.
- Idso, S.B. Aase, J.K. and Jackson, R.D. 1975. Net radiation - soil heat flux relations as influenced by soil water content variations. *Boundary-Layer Meteorology*, 9(1): 113–122.
- Ilahi, W.F.F. 2009. Evapotranspiration models in greenhouse. Master thesis, Wageningen University, Agricultural and BioResearch Engineering, Wageningen, pp. 52.
- İlbay, E. 2015. Seracılık (örtüaltı bitki yetiştiriciliği) sektör raporu. Doğu Akdeniz Kalkınma Ajansı, 31 s.
- İldır, M.İ. ve Aktaş, H. 2018. Sera domatesi yetiştiriciliğinde farklı yaprak budama tekniklerinin verim ve meyve kalitesi üzerine etkisi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 22(3): 1241–1248.

- Irmak, S. Irmak, A. Allen, R.G. and Jones, J.W. 2003. Solar and net radiation-based equations to estimate reference evapotranspiration in humid Climates. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 129(5): 336–347.
- Islam, M. Saha, S. Akand, H. and Rahim, M.A. 2011. Effect of spacing on the growth and yield of sweet pepper (*Capsicum annuum* L.). *Journal of Central European Agriculture*, 12(2): 328–335.
- Ismail, H. Abubakar, S.Z. Oyeboode, M.A. Shanono, N.J. and Dalhat, M.K. 2014. Crop water stress of tomato as affected by irrigation regimes. *Arid Zone Journal of Engineering, Technology and Environment*, 10: 25–39.
- Jackson, R.D. 1982. Canopy temperature and crop water stress. In Hillel, D. (Ed.), *Advances in irrigation*, Academic Press, Cambridge, pp. 43–85.
- Jackson, R.D. Kustas, W.P. and Choudhury, B.J. 1988. A reexamination of the crop water stress index. *Irrigation Science*, 9(4): 309–317.
- 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.
- Jarvis, P.G. 1985. Transpiration and assimilation of tree and agricultural crops: The “omega factor.” *Institute of Terrestrial Ecology*, 460–480.
- Jolliet, O. and Bailey, B.J. 1992. The effect of climate on tomato transpiration in greenhouses: measurements and models comparison. *Agricultural and Forest Meteorology*, 58(1–2): 43–62.
- Jones, H.G. and Rotenberg, E. 2011. *Energy, radiation and temperature regulation in plants*. John Wiley & Sons, L., eLS, Chichester, pp. 1–9.
- Kanber, R. 2006. Sulama. Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Adana, 530 s.
- Karaca, C. Büyüктаş, D. Baştuğ, R. Aydınşakir, K. ve Tekelioğlu, B. 2017. Antalya koşullarında kıyas bitki su tüketiminin alansal ve zamansal dağılımının belirlenmesi. *Derim*, 2017(34): 158–171.
- Karaca, C. Buyuktas, D. Ruhi, B. Aydingsaki, K. and Buyuktas, K. 2018. Comparing seven different reference evapotranspiration equations with Penman-Monteith for Antalya. *Fresenius Environmental Bulletin*, 27(12B): 9500–9508.
- Karaca, C. Tekelioğlu, B. Buyuktas, D. and Bastug, R. 2018. Relations between crop water stress index and stomatal conductance of soybean depending on cultivars. *Fresenius Environmental Bulletin*, 27(6): 4212–4219.
- Karaca, C. Tekelioğlu, B. Büyüктаş, D. ve Baştuğ, R. 2017a. Kıyas bitki su tüketiminin hesaplanmasında kullanılan eşitliklerin değerlendirilmesi. *Akademia Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, (ICAE-IWCB 2017 Özel Sayı): 144–161.
- Karaca, C. Tekelioğlu, B. Büyüктаş, D. and Baştuğ, R. 2017b. Assessment of the equations computing reference crop evapotranspiration. *Academia Journal of Engineering and Applied Sciences*, ICAE-IWC(Special Issue): 144–161.
- Karaca, C. Tezcan, A. Büyüктаş, K. Büyüктаş, D. ve Baştuğ, R. 2019. Seralarda evapotranspirasyon tahmini için geliştirilen denklemler. *Yüzyüncü Yıl Üniversitesi Tarım Bilimleri Dergisi*, 28(4): 482–489.

- Karam, F. Saliba, R. Skaf, S. Breidy, J. Rouphael, Y. and Balendonck, J. 2011. Yield and water use of eggplants (*Solanum melongena* L.) under full and deficit irrigation regimes. *Agricultural Water Management*, 98(8): 1307–1316.
- Katerji, N. Mastrorilli, M. and Rana, G. 2008. Water use efficiency of crops cultivated in the Mediterranean region: Review and analysis. *European Journal of Agronomy*, 28(4): 493–507.
- Katsoulas, N. and Kittas, C. 2011. Greenhouse crop transpiration modelling. *Evapotranspiration - From Measurements to Agricultural and Environmental Applications*, pp. 312–328.
- Katsoulas, N. and Stanghellini, C. 2019. Modelling crop transpiration in greenhouses: different models for different applications. *Agronomy*, 9(7): 392.
- Keller, J. and Bliesner, R.D. 1990. Sprinkle and Trickle Irrigation. *Climate Change 2013 - The Physical Science Basis*, 1: 1-30.
- Khah, E.M. 2011. Effect of grafting on growth, performance and yield of aubergine (*Solanum melongena* L.) in greenhouse and open-field. *International Journal of Plant Production*, 5(4): 359–366.
- Khan, F.A. Banday, F.A. Narayan, S. Khan, F.U. and Bhat, S.A. 2016. Use of models as non-destructive method for Leaf Area estimation in horticultural crops. *IRA-International Journal of Applied Sciences*, 4(1): 162–180.
- Kimura, K. Yasutake, D. Yamanami, A. and Kitano, M. 2020. Spatial examination of leaf-boundary-layer conductance using artificial leaves for assessment of light airflow within a plant canopy under different controlled greenhouse conditions. *Agricultural and Forest Meteorology*, 280: 1–11.
- Kindelan, M. 1980. Dynamic modeling of greenhouse environment. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers*, 23(5): 1232–1236.
- Kipchirchir, L.S. 2016. Evaluation of African eggplant accessions for phenotypic traits and adaptation to water stress. Master Thesis, University of Nairobi, Nairobi, pp.159.
- Kirda, C. Cetin, M. Dasgan, Y. Topcu, S. Kaman, H. Ekici, B. Derici, M.R. and Ozguven, A.I. 2004. Yield response of greenhouse grown tomato to partial root drying and conventional deficit irrigation, *Agricultural Water Management*, 69(3): 191–201.
- Kirnak, H. Kaya, C. TAS, I. and Higgs, D. 2001. The influence of water deficit on vegetative growth, physiology, fruit yield and quality in eggplants. *Bulgarian Journal of Plant Physiology*, 27(3–4): 34–46.
- Kjelgaard, J.F. and Stockle, C.O. 2001. Evaluating surface resistance for estimating corn and potato evapotranspiration with the Penman–Monteith model. *Transactions of the ASAE*, 44(4): 797–805.
- Klute, A. 1986. Water retention: Laboratory methods. In Klute, A. (Ed.), *Methods of Soil Analysis, Part 1, Physical and Mineralogical Methods*, ASA and SSSA, Madison, pp. 635–662.
- Kramer, P.J. and Koslowski, T. 1979. *Physiology of wood plants*. Academic Press, Michigan, pp. 811.

- Kurunc, A. Unlukara, A. and Cemek, B. 2011. Salinity and drought affect yield response of bell pepper similarly. *Acta Agriculturae Scandinavica Section B: Soil and Plant Science*, 61(6): 514–522.
- Lazzara, P. and Rana, G. 2010. The use of crop coefficient approach to estimate actual evapotranspiration: A critical review for major crops under Mediterranean climate. *Italian Journal of Agrometeorology-Rivista Italiana Di Agrometeorologia*, 15(2): 25–39.
- Lee, I.B. and Short, T.H. 2001. Verification of computational fluid dynamic temperature simulations in a full-scale naturally ventilated greenhouse. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers*, 44(1): 19–127.
- Li, Y. Niu, W. Cao, X. Wang, J. Zhang, M. Duan, X. and Zhang, Z. 2019. Effect of soil aeration on root morphology and photosynthetic characteristics of potted tomato plants (*Solanum lycopersicum*) at different NaCl salinity levels. *BMC Plant Biology*, 19(331): 1–15.
- Liu, H.J. Cohen, S. Tanny, J. Lemcoff, J.H. and Huang, G. 2008. Estimation of banana (*Musa sp.*) plant transpiration using a standard 20 cm pan in a greenhouse. *Irrigation and Drainage Systems*, 22(3–4): 311–323.
- López-Cruz, I.L. Olivera-López, M. and Herrera-Ruiz, G. 2008. Simulation of greenhouse tomato crop transpiration by two theoretical models. *Acta Horticulturae*, (797): 145–150.
- López-Serrano, L. Penella, C. Bautista, A.S. López-Galarza, S. and Calatayud, A. 2017. Physiological changes of pepper accessions in response to salinity and water stress. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 15(3): 1–10.
- López, A. Molina-Aiz, F.D. Valera, D.L. and Peña, A. 2012. Determining the emissivity of the leaves of nine horticultural crops by means of infrared thermography. *Scientia Horticulturae*, 137: 49–58.
- Mahajan, G. and Singh, K.G. 2006. Response of greenhouse tomato to irrigation and fertigation. *Agricultural Water Management*, 84(1–2): 202–206.
- Mahan, J.R. and Yeater, K.M. 2008. Agricultural applications of a low-cost infrared thermometer. *Computers and Electronics in Agriculture*, 64(2): 262–267.
- Malek, E. 1992. Night-time evapotranspiration vs. daytime and 24h evapotranspiration. *Journal of Hydrology*, 138(1–2): 119–129.
- Al Mamun Hossain, S.A. Wang, L. Chen, T. and Li, Z. 2017. Leaf area index assessment for tomato and cucumber growing period under different water treatments. *Plant, Soil and Environment*, 63(10): 461–467.
- Manske, L.L. 2005. Environmental factors that affect range 1892-2004 Plant growth. Dickinson Research Extension Center, 2005 Annual Report, pp. 1.
- Marschner, P. 2011. Mineral nutrition of higher plants. Marschner's mineral nutrition of higher plants, Third edition, Academic Press, London, pp. 676.
- MEGEP. 2007. Hıyar yetiştiriciliği. Mesleki eğitim ve öğretim sisteminin güçlendirilmesi projesi, T.C. Milli Eğitim Bakanlığı, Ankara, 50 s.

- MEGEP. 2008a. Biber yetiştiriciliği. Mesleki eğitim ve öğretim sisteminin güçlendirilmesi projesi, T.C. Milli Eğitim Bakanlığı, Ankara, 47 s.
- MEGEP. 2008b. Domates yetiştiriciliği. Mesleki eğitim ve öğretim sisteminin güçlendirilmesi projesi, T.C. Milli Eğitim Bakanlığı, Ankara, 63 s.
- Mendoza-Pérez, C. Ramírez-Ayala, C. Ojeda-Bustamante, W. and Flores-Magdaleno, H. 2017. Estimation of leaf area index and yield of greenhouse-grown poblano pepper. *Ingeniería Agrícola y Biosistemas*, 9(1): 37–50.
- MGM. 2019. İllerimize ait genel istatistik verileri. T.C Orman ve Su İşleri Bakanlığı, <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?m=ANTALYA> [Son erişim tarihi: 21.12.2019].
- Miller, E. and Saunders, A.R. 1923. Some observation on the temperature of the leaves of crop plants. *Journal of agricultural research*, 26: 15–43.
- Möller, M. and Assouline, S. 2007. Effects of a shading screen on microclimate and crop water requirements. *Irrigation Science*, 25(2): 171–181.
- Monteith, J. and Unsworth, M. 2013. Principles of environmental physics: Plants, Animals, and the Atmosphere (4. Ed.), Academic Press, Cambridge, pp. 422.
- Monteith, J.L. 1965. Evaporation and Environment. *Symposia of the Society for Experimental Biology*, 19: 205–234.
- Montero, J.I. Antón, A. Muñoz, P. and Lorenzo, P. 2001. Transpiration from geranium grown under high temperatures and low humidities in greenhouses. *Agricultural and Forest Meteorology*, 107(4): 323–332.
- Montero, J.I. Teitel, M. Baeza, E. Lopez, J.C. and Kacira, M. 2013. Greenhouse design and covering materials. In Baudoin, W. Nono-Womdim, R. Lutaladio, N. and Hodder, A. (Ed.), Good agricultural practices for greenhouse vegetable crops, FAO, Rome, pp. 35–62.
- Montesano, F. and Parente, A. 2015. Irrigation nanagement of greenhouse tomato and cucumber Using Tensiometer: Effects on yield, quality and water use. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, 4: 440–444.
- Moreno, M.M. Ribas, F. Moreno, A. and Cabello, M.J. 2003. Physiological response of a pepper (*Capsicum annuum* L.) crop to different trickle irrigation rates. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 1(2): 65–74.
- Morille, B. Migeon, C. and Bournet, P.E. 2013. Is the Penman-Monteith model adapted to predict crop transpiration under greenhouse conditions?. Application to a New Guinea impatiens crop. *Scientia Horticulturae*, 152: 80–91.
- Naeeni, A.E. Esfahani, E.M. Harchegani, M.B. Jafarpour, M. and Golabadi, M. 2014. Leaf Temperature as an Index to determine the irrigation interval. *Reserarch on Crop Ecophysiology*, 9/1(2): 89–95.
- Nederhoff, E.M. 1992. Effects of CO₂ on greenhouse grown eggplant (*Solanum melongena* L.) I. Leaf conductance. *Journal of Horticultural Science*, 67(6): 795–803.

- Nederhoff, E.M. Gijzen, J.G. and Vegter, J. 1988. Measurement and simulation of crop photosynthesis of cucumber (*Cucumis sativus* L.) in greenhouses. *Netherlands Journal of Agricultural Science*, 36: 253–264.
- Nederhoff, E.M. and De Graaf, R. 1993. Effects of CO₂ on leaf conductance and canopy transpiration of greenhouse grown cucumber and tomato. *Journal of Horticultural Science*, 68(6): 925–937.
- Nicacias, M.M. 2009. Evaluating the effect of moisture stress on tomato using non-destructive remote sensing techniques. Master Thesis, University of Limpopo, Faculty of Science and Agriculture, School of Agricultural and Environmental Science, Limpopo, pp. 76.
- Nikolaou, G. Neocleous, D. Katsoulas, N. and Kittas, C. 2017. Modelling transpiration of soilless greenhouse cucumber and its relationship with leaf temperature in a Mediterranean climate. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 29(12): 911–920.
- Ogoke, I.J. Ike, G.A. Echereobia, C.O. and Ngwuta, A.A. 2015. Non-destructive leaf area determination in African eggplant. *Agrosearch*, 15(2): 13–20.
- Omid, M. and Shafaei, A. 2005. Temperature and relative humidity changes inside greenhouse. *International Agrophysics*, 19: 153–158.
- Orgaz, F. Fernández, M.D. Bonachela, S. Gallardo, M. and Fereres, E. 2005. Evapotranspiration of horticultural crops in an unheated plastic greenhouse. *Agricultural Water Management*, 72(2): 81–96.
- Ortega-Farias, S. Antonioletti, R. and Olioso, A. 2000. Net radiation model evaluation at an hourly time step for mediterranean conditions. *Agronomie*, 20: 157–164.
- Ould Khaoua, S.A. Bournet, P.E. Migeon, C. Boulard, T. and Chassériaux, G. 2006. Analysis of greenhouse ventilation efficiency based on computational fluid dynamics. *Biosystems Engineering*, 95(1): 83–98.
- Özbek, Ö. and Kaman, H. 2018. Effects of different irrigation regimes on eggplant yield in greenhouse conditions. *Bangladesh Journal of Botany*, 47(2): 173–179.
- Ozer, H. 2017. Organic tomato (*Solanum lycopersicum* L.) production under different mulches in greenhouse. *Journal of Animal and Plant Sciences*, 27(5): 1565–1572.
- Ozer, H. and Kandemir, D. 2016. Evaluation of the performance of greenhouse tomato seedlings grown with different cultivation techniques. *Bangladesh Journal of Botany*, 45(1): 230–209.
- Padilla, F.M. de Souza, R. Peña-Fleitas, M.T. Grasso, R. Gallardo, M. and Thompson, R.B. 2019. Influence of time of day on measurement with chlorophyll meters and canopy reflectance sensors of different crop N status. *Precision Agriculture*, 20(6): 1087–1106.
- Padrón, R.A.R. Lopes, S.J. Swarowsky, A. Cerquera, R.R. Nogueira, C.U. and Maffei, M. 2016. Non-destructive models to estimate leaf area on bell pepper crop. *Ciência Rural*, 46(11): 1938–1944.

- Pamungkas, A.P. Hatou, K. and Morimoto, T. 2014. Evapotranspiration model analysis of crop water use in plant factory system. *Environmental Control in Biology*, 52(3): 183–188.
- Pandey, P.K. Dabral, P.P. and Pandey, V. 2016. Evaluation of reference evapotranspiration methods for the northeastern region of India. *International Soil and Water Conservation Research*, 4(1): 52–63.
- Pandey, S. and Pandey, A. 2015. Greenhouse technology. *Social Issues and Environmental Problems*, 3(9): 1–3.
- Pandey, S.K. and Singh, H. 2011. A simple, cost-effective method for Leaf area estimation. *Journal of Botany*, Article ID(658240): 1–6.
- Papadakis, G. Frangoudakis, A. and Kyritsis, S. 1994. Experimental investigation and modelling of heat and mass transfer between a tomato crop and the greenhouse environment. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 57(4): 217–227.
- Parlange, J.Y. Waggoner, P.E. and Heichel, G.H. 1971. Boundary layer resistance and temperature distribution on still and flapping leaves: I. Theory and laboratory experiments. *Plant Physiology*, 48: 437–442.
- Passioura, J.B. and Angus, J.F. 2010. Improving productivity of crops in water-limited environments. In Passioura, J.B. Angus, J.F. and Sparks, D.L. (Ed.), *Advances in Agronomy*, Academic Press, Burlington, pp. 37–75.
- Perrier, A. 1975. Etude de l'évapotranspiration dans les conditions naturelles. I-Evaporation et bilan d'énergie des surface naturelles. *Annales Agronomiques*, 26: 1–18.
- Pires, R.C. de M. Furlani, P.R. Ribeiro, R.V. Bodine Junior, D. Sakai, E. Lourenção, A.L. and Neto, A.T. 2011. Irrigation frequency and substrate volume effects in the growth and yield of tomato plants under greenhouse conditions. *Scientia Agricola*, 68(4): 400–405.
- Pollet, S. Bleyaert, P. and Lemeur, R. 1999. Calculating the evapotranspiration of head lettuce by means of the Penman-Monteith model. 3rd international workshop: Model for Plant Growth and Control of the Shoot and Root Environment in Greenhouses, Bet Dagan.
- Prenger, J.J. Fynn, R.P. and Hansen, R.C. 2002. A Comparison of four evapotranspiration models in a greenhouse environment. *Transactions of the ASAE*, 45(6): 1779–1788.
- Prior, S.A. Brett Runion, G. Christopher Marble, S. Rogers, H.H. Gilliam, C.H. and Allen Torbert, H. 2011. A review of elevated atmospheric CO₂ effects on plant growth and water relations: Implications for horticulture. *HortScience*, 46(2): 158–162.
- Purdy, A.J. Fisher, J.B. Goulden, M.L. and Famiglietti, J.S. 2016. Ground heat flux: An analytical review of 6 models evaluated at 88 sites and globally. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, 121(12): 3045–3059.
- Qiu, R. Kang, S. Du, T. Tong, L. Hao, X. Chen, R. Chen, J. and Li, F. 2013. Effect of convection on the Penman-Monteith model estimates of transpiration of hot pepper grown in solar greenhouse. *Scientia Horticulturae*, 160: 163–171.

- Quemada, M. and Gabriel, J.L. 2016. Approaches for increasing nitrogen and water use efficiency simultaneously. *Global Food Security*, 9: 29–35.
- Rabbi, B. Chen, Z.H. and Sethuvenkatraman, S. 2019. Protected cropping in warm climates: A review of humidity control and cooling methods. *Energies*, 12: 1–24.
- Ragab, M.E. Arafa, Y.E. Sawan, O.M. Fawzy, Z.F. and El-Sawy, S.M. 2019. Effect of irrigation systems on vegetative growth, fruit yield, quality and irrigation water use efficiency of tomato plants (*Solanum lycopersicum* L.) grown under water stress conditions. *Acta Scientific Agriculture*, 3(4): 172–183.
- Rana, G. and Katerji, N. 2000. Measurement and estimation of actual evapotranspiration in the field under Mediterranean climate: A review. *European Journal of Agronomy*, 13(2–3): 125–153.
- Ray, R.C. and Singh, R.P. 1989. Leaf area estimation in capsicum (*Capsicum annuum* L.). *Scientia Horticulturae*, 39(3): 181–188.
- Raymond, H.W. and Harold, H.C. 1938. Leaf temperatures. *American Journal of Botany*, 25(2): 83–97.
- Richards, L.A. 1954. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. United States Department of Agriculture, Washington, pp. 159.
- Rivera, C.M. Roupheal, Y. Cardarelli, M. and Colla, G. 2007. A simple and accurate equation for estimating individual leaf area of eggplant from linear measurements. *European Journal of Horticultural Science*, 72(5): 228–230.
- Rodríguez-Ortega, W.M. Martínez, V. Nieves, M. Simón, I. Lidón, V. Fernandez-Zapata, J.C. Martinez-Nicolas, J.J. Cámara-Zapata, J.M. and García-Sánchez, F. 2019. Agricultural and physiological responses of tomato plants grown in different soilless culture systems with saline water under greenhouse conditions. *Scientific Reports*, 9(6733): 1–13.
- Rolland-Lagan, A.G. Remmler, L. and Girard-Bock, C. 2014. Quantifying shape changes and tissue deformation in leaf development. *Plant Physiology*, 165(June): 496–505.
- Ronoh, E.K. and Rath, T. 2015. Modelling of longwave radiation exchange at greenhouse surfaces under all-sky conditions. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*, 17(4): 23–35.
- Roupheal, Y. and Colla, G. 2004. Modelling the transpiration of a greenhouse zucchini crop grown under a Mediterranean climate using the Penman-Monteith equation and its simplified version. *Australian Journal of Agricultural Research*, 55(9): 931–937.
- Roupheal, Y. Mouneimne, A.H. Ismail, A. Mendoza-De Gyves, E. Rivera, C.M. and Colla, G. 2010. Modeling individual leaf area of rose (*Rosa hybrida* L.) based on leaf length and width measurement. *Photosynthetica*, 48(1): 9–15.
- Roy, J.C. Boulard, T. Kittas, C. and Wang, S. 2002. Convective and ventilation transfers in greenhouses, part 1: The greenhouse considered as a perfectly stirred tank. *Biosystems Engineering*, 83(1): 1–20.

- Rubio, J.S. Pereira, W.E. Garcia-Sanchez, F. Murillo, L. García, A.L. and Martínez, V. 2011. Sweet pepper production in substrate in response to salinity, nutrient solution management and training system. *Horticultura Brasileira*, 29(3): 275–281.
- Rylski, I. and Spigelman, M. 1986. Effect of shading on plant development, yield and fruit quality of sweet pepper grown under conditions of high temperature and radlation. *Scientia Horticulturae*, 29(1–2): 31–35.
- Şalk, A. Arın, L. Deveci, M. ve Polat, S. 2008. Özel Sebzecilik. Namık Kemal Üniversitesi, Sevil Cilt Evi ve Matbaası, Tekirdağ, 488 s.
- Sandhu, B.S. and Horton, M.L. 1978. Temperature response of oats to water stress in the field. *Agricultural Meteorology*, 19(4): 329–336.
- Sarker, B.C. and Hara, M. 2011. Effects of elevated CO₂ and water stress on the adaptation of stomata and gas exchange in leaves of eggplants (*Solanum melongena* L.). *Bangladesh Journal of Botany*, 40(1): 1–8.
- Sauer, T.J. and Horton, R. 2005. Soil heat flux. USDA-ARS /UNL Faculty, pp. 1402.
- Schwarz, D. and Kläring, H.P. 2001. Allometry to estimate leaf area of tomato. *Journal of Plant Nutrition*, 24(8): 1291–1309.
- Sezen, S.M. Yazar, A. Daşgan, Y. Yucel, S. Akyildiz, A. Tekin, S. and Akhoundnejad, Y. 2014. Evaluation of crop water stress index (CWSI) for red pepper with drip and furrow irrigation under varying irrigation regimes. *Agricultural Water Management*, 143: 59–70.
- da Silva, V.J. da Silva, C.R. Almorox, J. and Júnior, J.A. 2016. Temperature-based solar radiation models for use in simulated soybean potential yield. *Australian Journal of Crop Science*, 10(7): 926–932.
- Smith, I.E. Savage, M.J. and Mills, P. 1984. Shading effects on greenhouse tomatoes and cucumbers. *Acta Horticulturae*, 148: 491–500.
- Snyder, R.L. and de Melo-Abreu, J.P. 2005. Mechanisms of energy transfer. Frost Protection: fundamentals, practice, and economics, pp. 241
- Soto, F. Gallardo, M. Giménez, C. Peña-Fleitas, T. and Thompson, R.B. 2014. Simulation of tomato growth, water and N dynamics using the EU-Rotate_N model in Mediterranean greenhouses with drip irrigation and fertigation. *Agricultural Water Management*, 132: 46–59.
- Souri, M.K. and Dehnavard, S. 2018. Tomato plant growth, leaf nutrient concentrations and fruit quality under nitrogen foliar applications. *Advances in Horticultural Science*, 32(1): 41–47.
- Souri, M.K. and Roemheld, V. 2009. Split daily application of ammonium cannot ameliorate ammonium toxicity in tomato plants. *Horticulture Environment and Biotechnology*, 50: 384–391.
- de Souza, R. Peña-Fleitas, M.T. Thompson, R.B. Gallardo, M. Grasso, R. and Padilla, F.M. 2019. The use of chlorophyll meters to assess crop N status and derivation of sufficiency values for sweet pepper. *Sensors (Switzerland)*, 19(2946): 1–20.

- Stanghellini, C. 1987. Transpiration of greenhouse crops an aid to climate management. PhD Thesis, Institute of Agricultural Engineering, *Agricultural Engineering*, Wageningen University, Wageningen, pp. 150.
- Stevenson, K.R. and Shaw, R.H. 1971. Effects of leaf orientation on leaf resistance to water vapor diffusion in Soybean (*Glycine max* L. Merr) leaves. *Agronomy Journal*, 63(2): 327–329.
- Ta, T.H. Shin, J.H. Ahn, T.I. and Son, J.E. 2011. Modeling of transpiration of paprika (*Capsicum annuum* L.) plants based on radiation and leaf area index in soilless culture. *Horticulture Environment and Biotechnology*, 52(3): 265–269.
- Tabari, H. Grismer, M.E. and Trajkovic, S. 2013. Comparative analysis of 31 reference evapotranspiration methods under humid conditions. *Irrigation Science*, 31(2): 107–117.
- Takakura, T. Kubota, C. Sase, S. Hayashi, M. Ishii, M. Takayama, K. Nishina, H. Kurata, K. and Giacomelli, G.A. 2009. Measurement of evapotranspiration rate in a single-span greenhouse using the energy-balance equation. *Biosystems Engineering*, 102(3): 298–304.
- Takakura, T. Takayama, K. Nishina, H. Tamura, K. and Shinji, M. 2005. Evapotranspiration estimate by heat balance equation. *ASAE Annual International Meeting*, 1–9.
- Takase, M. Owusu-Sekyere, J.D. and Sam-Amoah, L.K. 2010. Effects of water of different quality on tomato growth and development. *Asian Journal of Plant Sciences*, 9(6): 380–384.
- Taki, M. Rohani, A. and Rahmati-Joneidabad, M. 2018. Solar thermal simulation and applications in greenhouse. *Information Processing in Agriculture*, 5(1): 83–113.
- Tanner, C.B. and Sinclair, T.R. 1983. Efficient water use in crop production: Research or re-research?, *Limitations to Efficient Water Use in Crop Production*, 1–27.
- Tekelioğlu, B. Büyüktaş, D. Baştuğ, R. Karaca, C. Aydınşakir, K. and Dinç, N. 2017. Use of crop water stress index for irrigation scheduling of soybean in Mediterranean conditions. *Journal of Experimental Agriculture International*, 18(6): 1–8.
- Tezcan, A. ve Kaman, H. 2018. Türkiye’de çiftçi koşullarında örtü altında tetiştirilen iki farklı biber çeşidinin su-verim ilişkisi. *Çukurova Tarım Gıda Bilimleri Dergisi*, 33(2): 73–82.
- Trajkova, F. and Gudeva, L. 2017. Evaluation and agronomic potential of androgenic pepper genotypes derived from Piran (*Capsicum annuum* L. cv. Piran). *Journal of Experimental Agriculture International*, 16(4): 1–12.
- Tripathi, V.K. Rajput, T.B.S. Patel, N. and Kumar, P. 2015. Biometric response of eggplant under sustainable micro irrigation with municipal wastewater. In Goyal, M.R. (Ed.), *Sustainable Practices in Surface and Subsurface Micro Irrigation*, Apple Academic Press, pp. 319–331.
- TÜİK. 2016. Dış ticaret istatistikleri. Türkiye İstatistik Kurumu. http://www.tuik.gov.tr/PreTablo.do?alt_id=1046 [Son erişim tarihi: 26.12.2016].

- TÜİK. 2019a. Bitkisel üretim istatistikleri. Türkiye İstatistik Kurumu. <https://biruni.tuik.gov.tr/medas/?kn=92&locale=tr> [Son erişim tarihi: 21.12.2019].
- TÜİK. 2019b. Bitkisel üretim istatistikleri. Türkiye İstatistik Kurumu. <https://biruni.tuik.gov.tr/medas/?kn=92&locale=tr> [Son erişim tarihi: 21.12.2019].
- Tuzel, I.H. Tüzel, Y. Oztekin, G.B. and Tunalı, U. 2017. Irrigation of organic greenhouse cucumber with a low cost wireless soil moisture sensor. *Acta Horticulturae*, 1164: 305–310.
- Tuzel, Y. 2013. Cultural practices. In Baudoin, W. Nono-Womdim, R. Lualadio, N. and Hodder, A. (Ed.), Good Agricultural Practices for greenhouse vegetable crops - Principles for Mediterranean climate areas, FAO, Rome, pp. 379–397.
- Tüzel, Y. Duyar, H. Öztekin, G.B.I. Gürbüz Kiliç, Ö. Anaç, D. Madanlar, N. and Yoldaş, Z. 2013. Effects of winter green manuring on organic cucumber production in unheated greenhouse conditions. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 37: 315–325.
- Ullah, I. Hanping, , M. Yang, , N. Yazhou, W. Azeem, F.A. and Buttar, N.A. 2019. Assessing the canopy temperature of tomato plants under deficit irrigation through infrared thermal imaging. *An ASABE Meeting Presentation*, (1901619): 1–7.
- United Nations. 2017. World population prospects: The 2017 revision, key findings and advance tables. Department of Economic and Social Affairs Population Division, New York, pp. 46.
- Urban, J. Ingwers, M. McGuire, M.A. and Teskey, R.O. 2017. Stomatal conductance increases with rising temperature. *Plant Signaling and Behavior*, 12(8): 1–4.
- Valdés-Gómez, H. Ortega-Farías, S. and Argote, M. 2009. Evaluation of the water requirements for a greenhouse tomato crop using the Priestley-Taylor method. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 69(1): 3–11.
- Violet-Chabrand, S. and Lawson, T. 2019. Dynamic leaf energy balance: Deriving stomatal conductance from thermal imaging in a dynamic environment. *Journal of Experimental Botany*, 70(10): 2839–2855.
- Villarreal-Guerrero, F. Kacira, M. Fitz-Rodríguez, E. Kubota, C. Giacomelli, G.A. Linker, R. and Arbel, A. 2012. Comparison of three evapotranspiration models for a greenhouse cooling strategy with natural ventilation and variable high pressure fogging. *Scientia Horticulturae*, 134: 210–221.
- Villarreal-Guerrero, F. Kacira, M. Fitz-Rodríguez, E. Linker, R. Kubota, C. Giacomelli, G.A. and Arbel, A. 2012. Simulated performance of a greenhouse cooling control strategy with natural ventilation and fog cooling. *Biosystems Engineering*, 111(2): 217–228.
- Waggoner, P.E. and Shaw, R.H. 1952. Temperature of potato and tomato leaves. *Plant Physiology*, 27(4): 710–724.
- Walsh, S. and Diamond, D. 1995. Non-linear curve fitting using microsoft excel solver. *Talanta*, 42(4): 561–572.

- Wang, C. Gu, F. Chen, J. Yang, H. Jiang, J. Du, T. and Zhang, J. 2015. Assessing the response of yield and comprehensive fruit quality of tomato grown in greenhouse to deficit irrigation and nitrogen application strategies. *Agricultural Water Management*, 161: 9–19.
- Wang, S. Boulard, T. and Haxaire, R. 1999. Air speed profiles in a naturally ventilated greenhouse with a tomato crop. *Agricultural and Forest Meteorology*, 96(4): 181–188.
- Wang, S. Yernaux, M. and Deltour, J. 1999. A networked two-dimensional Sonic anemometer system for the measurement of air velocity in greenhouses. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 73(2): 189–197.
- Watson, D.J. 1947. Comparative physiological studies on the growth of field crops: I. variation in net assimilation rate and leaf area between species and varieties, and within and between years. *Annals of Botany*, 11: 41–76.
- Wei, Z. Du, T. Li, X. Fang, L. and Liu, F. 2018. Simulation of stomatal conductance and water use efficiency of tomato leaves exposed to different irrigation regimes and air CO₂ concentrations by a modified “Ball-Berry” model. *Frontiers in Plant Science*, 9: 1–13.
- Weiss, M. Baret, F. Smith, G.J. Jonckheere, I. and Coppin, P. 2004. Review of methods for in situ leaf area index (LAI) determination Part II. Estimation of LAI, errors and sampling. *Agricultural and Forest Meteorology*, 121(1–2): 37–53.
- Wik, M. Pingali, P. and Broca, S. 2008. Global Agricultural performance: Past trends and future prospects. Background Paper for the World Development Report 2008, World Bank, pp. 39.
- Yan, H. Zhang, C. Coenders Gerrits, M. Acquah, S.J. Zhang, H. Wu, H. Zhao, B. Huang, S. and Fu, H. 2018. Parametrization of aerodynamic and canopy resistances for modeling evapotranspiration of greenhouse cucumber. *Agricultural and Forest Meteorology*, 262: 370–378.
- Yang, X. 1995. Greenhouse micrometeorology and estimation of heat and water vapour fluxes. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 61: 227–238.
- Yang, X. Ducharme, K.M. McAvoy, R.J. Elliott, G. and Miller, D.R. 1995. Effect of aerial conditions on heat and mass exchange between plants and air in greenhouses. *Transactions of the ASAE*, 38(1): 225–229.
- Yang, X. Short, T.H. Fox, R.D. and Bauerle, W.L. 1990. Transpiration, leaf temperature and stomatal resistance of a greenhouse cucumber crop. *Agricultural and Forest Meteorology*, 51(3–4): 197–209.
- Yeshiwas, Y. Belew, D. and Tolessa, K. 2016. Growth and physiological responses of different tomato (*Solanum lycopersicum*) varieties in relation to growth conditions. *Middle-East Journal of Scientific Research*, 24(9): 2904–2908.
- Yıldırım, M. 2015. Water and radiation use efficiency of eggplant under none water stress condition in semi-arid region. *ÇOMÜ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 3(2): 71–77.
- Yıldırım, O. 2003. Sulama Sistemlerinin Tasarımı. Ankara Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Ankara, 148 s.

- Yıldız, Ö. 2018. Batı Akdeniz havzasında sera ortamında yetiştirilen ürünlerin bitki su tüketimi değerlerinin hesaplanması. Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi, Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü, Ankara, 174 s.
- Zeng, C.Z. Bie, Z.L. and Yuan, B.Z. 2009. Determination of optimum irrigation water amount for drip-irrigated muskmelon (*Cucumis melo* L.) in plastic greenhouse. *Agricultural Water Management*, 96(4): 595–602.
- Zhai, Y.M. Shao, X.H. Xing, W.G. Wang, Y. Hung, T.T. and Xu, H.L. 2010. Effects of drip irrigation regimes on tomato fruit yield and water use efficiency. *Journal of Food, Agriculture & Environment*, 8(3–4): 709–713.
- Zhang, D. Du, Q. Zhang, Z. Jiao, X. Song, X. and Li, J. 2017. Vapour pressure deficit control in relation to water transport and water productivity in greenhouse tomato production during summer. *Scientific Reports*, 7: 1-11.
- Zhang, D. Zhang, Z. Li, J. Chang, Y. Du, Q. and Pan, T. 2015. Regulation of vapor pressure deficit by greenhouse micro-fog systems improved growth and productivity of tomato via enhancing photosynthesis during summer season. *PLoS ONE*, 10(7): 1–16.
- Zhang, L. and Lemeur, R. 1992. Effect of aerodynamic resistance on energy balance and Penman-Monteith estimates of evapotranspiration in greenhouse conditions. *Agricultural and Forest Meteorology*, 58(3–4): 209–228.
- Zhao, D. Xie, D. Zhou, H. Jiang, H. and An, S. 2012. Estimation of Leaf area index and plant area index of a submerged macrophyte canopy using digital photography. *PLoS ONE*, 7(12): 1-10.

7. EKLER

Ek.1. Deneme süresince sera içindeki sıcaklığa bağlı olarak değişen havanın bazı özellikleri

Tarih	T (°C)	ρ (kg m ³)	C _p (J kg ⁻¹ C ⁻¹)	k (W m ⁻² K ⁻¹)	α (m ² s ⁻¹)	μ (k m ⁻¹ s ⁻¹)	ν (m ² s ⁻¹)	β (K ⁻¹)
27.09.2018	33.9	1.15	1007.0	0.0261	0.000022	0.0000189	0.0000164	0.00329
28.09.2018	33.2	1.15	1007.0	0.0261	0.000022	0.0000189	0.0000164	0.00329
29.09.2018	29.3	1.17	1007.0	0.0258	0.000022	0.0000187	0.0000160	0.00333
30.09.2018	30.9	1.16	1007.0	0.0259	0.000022	0.0000187	0.0000161	0.00332
01.10.2018	30.3	1.16	1007.0	0.0259	0.000022	0.0000187	0.0000161	0.00332
02.10.2018	31.4	1.16	1007.0	0.0260	0.000022	0.0000188	0.0000162	0.00331
03.10.2018	31.3	1.16	1007.0	0.0260	0.000022	0.0000188	0.0000162	0.00331
04.10.2018	34.8	1.15	1007.0	0.0262	0.000023	0.0000189	0.0000165	0.00328
05.10.2018	34.9	1.15	1007.0	0.0262	0.000023	0.0000189	0.0000165	0.00328
06.10.2018	36.0	1.14	1007.0	0.0263	0.000023	0.0000190	0.0000166	0.00325
07.10.2018	34.1	1.15	1007.0	0.0262	0.000023	0.0000189	0.0000165	0.00328
08.10.2018	33.3	1.15	1007.0	0.0261	0.000022	0.0000189	0.0000164	0.00329
09.10.2018	32.4	1.16	1007.0	0.0260	0.000022	0.0000188	0.0000163	0.00330
10.10.2018	31.6	1.16	1007.0	0.0260	0.000022	0.0000188	0.0000162	0.00331
11.10.2018	31.0	1.16	1007.0	0.0259	0.000022	0.0000187	0.0000161	0.00332
12.10.2018	33.5	1.15	1007.0	0.0261	0.000022	0.0000189	0.0000164	0.00329
13.10.2018	31.9	1.16	1007.0	0.0260	0.000022	0.0000188	0.0000162	0.00331
14.10.2018	32.2	1.16	1007.0	0.0260	0.000022	0.0000188	0.0000163	0.00330
15.10.2018	31.8	1.16	1007.0	0.0260	0.000022	0.0000188	0.0000162	0.00331
16.10.2018	30.4	1.16	1007.0	0.0259	0.000022	0.0000187	0.0000161	0.00332
17.10.2018	30.5	1.16	1007.0	0.0259	0.000022	0.0000187	0.0000161	0.00332
18.10.2018	30.8	1.16	1007.0	0.0259	0.000022	0.0000187	0.0000161	0.00332
19.10.2018	31.0	1.16	1007.0	0.0260	0.000022	0.0000188	0.0000162	0.00331
20.10.2018	31.0	1.16	1007.0	0.0259	0.000022	0.0000187	0.0000161	0.00332
21.10.2018	29.3	1.17	1007.0	0.0258	0.000022	0.0000187	0.0000160	0.00333
22.10.2018	27.6	1.18	1007.0	0.0257	0.000022	0.0000186	0.0000158	0.00336
23.10.2018	29.5	1.17	1007.0	0.0258	0.000022	0.0000187	0.0000160	0.00333
24.10.2018	24.2	1.19	1007.0	0.0254	0.000021	0.0000184	0.0000155	0.00339
25.10.2018	22.5	1.20	1007.0	0.0253	0.000021	0.0000183	0.0000153	0.00341
26.10.2018	26.1	1.18	1007.0	0.0256	0.000022	0.0000185	0.0000157	0.00337
27.10.2018	28.7	1.17	1007.0	0.0257	0.000022	0.0000186	0.0000159	0.00334
28.10.2018	28.6	1.17	1007.0	0.0257	0.000022	0.0000186	0.0000159	0.00334
29.10.2018	27.3	1.18	1007.0	0.0257	0.000022	0.0000186	0.0000158	0.00336
30.10.2018	27.5	1.18	1007.0	0.0257	0.000022	0.0000186	0.0000158	0.00336
31.10.2018	28.3	1.17	1007.0	0.0257	0.000022	0.0000186	0.0000159	0.00334

Ek.1'in devamı.

Tarih	T (°C)	ρ (kg m ³)	Cp (J kg ⁻¹ C ⁻¹)	k (W m ⁻² K ⁻¹)	α (m ² s ⁻¹)	μ (k m ⁻¹ s ⁻¹)	ν (m ² s ⁻¹)	β (K ⁻¹)
01.11.2018	29.2	1.17	1007.0	0.0258	0.000022	0.0000187	0.0000160	0.00333
02.11.2018	30.7	1.16	1007.0	0.0259	0.000022	0.0000187	0.0000161	0.00332
03.11.2018	28.3	1.17	1007.0	0.0257	0.000022	0.0000186	0.0000159	0.00334
04.11.2018	30.2	1.16	1007.0	0.0259	0.000022	0.0000187	0.0000161	0.00332
05.11.2018	30.1	1.16	1007.0	0.0259	0.000022	0.0000187	0.0000161	0.00332
06.11.2018	28.0	1.17	1007.0	0.0257	0.000022	0.0000186	0.0000159	0.00334
07.11.2018	27.3	1.18	1007.0	0.0257	0.000022	0.0000186	0.0000158	0.00336
08.11.2018	26.8	1.18	1007.0	0.0256	0.000022	0.0000185	0.0000157	0.00337
09.11.2018	25.5	1.18	1007.0	0.0255	0.000021	0.0000185	0.0000156	0.00338
10.11.2018	27.3	1.18	1007.0	0.0257	0.000022	0.0000186	0.0000158	0.00336
11.11.2018	27.6	1.18	1007.0	0.0257	0.000022	0.0000186	0.0000158	0.00336
12.11.2018	26.6	1.18	1007.0	0.0256	0.000022	0.0000185	0.0000157	0.00337
13.11.2018	26.1	1.18	1007.0	0.0256	0.000022	0.0000185	0.0000157	0.00337
14.11.2018	25.9	1.18	1007.0	0.0255	0.000021	0.0000185	0.0000156	0.00338
15.11.2018	23.1	1.19	1007.0	0.0254	0.000021	0.0000184	0.0000154	0.00340
16.11.2018	24.1	1.19	1007.0	0.0254	0.000021	0.0000184	0.0000155	0.00339
17.11.2018	14.0	1.23	1006.9	0.0247	0.000020	0.0000180	0.0000146	0.00351
18.11.2018	14.7	1.23	1006.9	0.0247	0.000020	0.0000180	0.0000146	0.00351
19.11.2018	20.9	1.20	1007.0	0.0251	0.000021	0.0000183	0.0000152	0.00343
20.11.2018	22.3	1.20	1007.0	0.0253	0.000021	0.0000183	0.0000153	0.00341
21.11.2018	19.2	1.21	1007.0	0.0251	0.000021	0.0000182	0.0000151	0.00344
22.11.2018	22.1	1.20	1007.0	0.0253	0.000021	0.0000183	0.0000153	0.00341
23.11.2018	21.0	1.20	1007.0	0.0252	0.000021	0.0000183	0.0000153	0.00342
24.11.2018	24.5	1.19	1007.0	0.0254	0.000021	0.0000184	0.0000155	0.00339
25.11.2018	22.8	1.20	1007.0	0.0253	0.000021	0.0000183	0.0000153	0.00341
26.11.2018	19.7	1.21	1007.0	0.0251	0.000021	0.0000182	0.0000151	0.00344
27.11.2018	20.6	1.20	1007.0	0.0251	0.000021	0.0000183	0.0000152	0.00343
28.11.2018	19.2	1.21	1007.0	0.0251	0.000021	0.0000182	0.0000151	0.00344
29.11.2018	18.2	1.21	1007.0	0.0250	0.000020	0.0000182	0.0000150	0.00346
30.11.2018	19.8	1.21	1007.0	0.0251	0.000021	0.0000182	0.0000151	0.00344
01.12.2018	22.1	1.20	1007.0	0.0253	0.000021	0.0000183	0.0000153	0.00341
02.12.2018	17.4	1.22	1007.0	0.0249	0.000020	0.0000181	0.0000149	0.00347
03.12.2018	15.5	1.23	1007.0	0.0248	0.000020	0.0000180	0.0000147	0.00350
04.12.2018	16.1	1.22	1007.0	0.0248	0.000020	0.0000181	0.0000148	0.00349
05.12.2018	15.2	1.23	1007.0	0.0248	0.000020	0.0000180	0.0000147	0.00350
06.12.2018	11.3	1.24	1006.1	0.0245	0.000020	0.0000178	0.0000143	0.00355
07.12.2018	18.1	1.21	1007.0	0.0250	0.000020	0.0000182	0.0000150	0.00346
08.12.2018	22.3	1.20	1007.0	0.0253	0.000021	0.0000183	0.0000153	0.00341
09.12.2018	20.9	1.20	1007.0	0.0251	0.000021	0.0000183	0.0000152	0.00343

Ek.1'in devamı.

Tarih	T (°C)	ρ (kg m ³)	Cp (J kg ⁻¹ C ⁻¹)	k (W m ⁻² K ⁻¹)	α (m ² s ⁻¹)	μ (k m ⁻¹ s ⁻¹)	ν (m ² s ⁻¹)	β (K ⁻¹)
10.12.2018	21.6	1.20	1007.0	0.0252	0.000021	0.0000183	0.0000153	0.00342
11.12.2018	19.9	1.21	1007.0	0.0251	0.000021	0.0000182	0.0000151	0.00344
12.12.2018	19.4	1.21	1007.0	0.0251	0.000021	0.0000182	0.0000151	0.00344
13.12.2018	20.7	1.20	1007.0	0.0251	0.000021	0.0000183	0.0000152	0.00343
14.12.2018	12.7	1.24	1006.4	0.0245	0.000020	0.0000179	0.0000144	0.00354
15.12.2018	20.5	1.20	1007.0	0.0251	0.000021	0.0000183	0.0000152	0.00343
16.12.2018	13.0	1.24	1006.4	0.0245	0.000020	0.0000179	0.0000144	0.00354
17.12.2018	17.7	1.22	1007.0	0.0249	0.000020	0.0000181	0.0000149	0.00347
18.12.2018	16.2	1.22	1007.0	0.0248	0.000020	0.0000181	0.0000148	0.00349
19.12.2018	13.4	1.23	1006.6	0.0246	0.000020	0.0000179	0.0000145	0.00352
20.12.2018	22.0	1.20	1007.0	0.0253	0.000021	0.0000183	0.0000153	0.00341
21.12.2018	21.7	1.20	1007.0	0.0252	0.000021	0.0000183	0.0000153	0.00342
22.12.2018	23.1	1.19	1007.0	0.0254	0.000021	0.0000184	0.0000154	0.00340
23.12.2018	22.8	1.20	1007.0	0.0253	0.000021	0.0000183	0.0000153	0.00341
24.12.2018	23.7	1.19	1007.0	0.0254	0.000021	0.0000184	0.0000154	0.00340
25.12.2018	17.1	1.22	1007.0	0.0249	0.000020	0.0000181	0.0000149	0.00347
26.12.2018	14.2	1.23	1006.9	0.0247	0.000020	0.0000180	0.0000146	0.00351
27.12.2018	19.9	1.21	1007.0	0.0251	0.000021	0.0000182	0.0000151	0.00344
28.12.2018	22.2	1.20	1007.0	0.0253	0.000021	0.0000183	0.0000153	0.00341
29.12.2018	19.6	1.21	1007.0	0.0251	0.000021	0.0000182	0.0000151	0.00344
30.12.2018	20.1	1.20	1007.0	0.0251	0.000021	0.0000183	0.0000152	0.00343
31.12.2018	19.7	1.21	1007.0	0.0251	0.000021	0.0000182	0.0000151	0.00344
01.01.2019	13.0	1.24	1006.4	0.0245	0.000020	0.0000179	0.0000144	0.00354
02.01.2019	14.7	1.23	1006.9	0.0247	0.000020	0.0000180	0.0000146	0.00351
03.01.2019	19.1	1.21	1007.0	0.0251	0.000021	0.0000182	0.0000151	0.00344
04.01.2019	19.6	1.21	1007.0	0.0251	0.000021	0.0000182	0.0000151	0.00344
05.01.2019	18.4	1.21	1007.0	0.0250	0.000020	0.0000182	0.0000150	0.00346
06.01.2019	20.6	1.20	1007.0	0.0251	0.000021	0.0000183	0.0000152	0.00343
07.01.2019	20.7	1.20	1007.0	0.0251	0.000021	0.0000183	0.0000152	0.00343
08.01.2019	15.9	1.23	1007.0	0.0248	0.000020	0.0000180	0.0000147	0.00350
09.01.2019	20.1	1.20	1007.0	0.0251	0.000021	0.0000183	0.0000152	0.00343
10.01.2019	11.2	1.24	1006.1	0.0245	0.000020	0.0000178	0.0000143	0.00355
11.01.2019	20.7	1.20	1007.0	0.0251	0.000021	0.0000183	0.0000152	0.00343
12.01.2019	14.8	1.23	1006.9	0.0247	0.000020	0.0000180	0.0000146	0.00351
13.01.2019	20.3	1.20	1007.0	0.0251	0.000021	0.0000183	0.0000152	0.00343
14.01.2019	17.7	1.22	1007.0	0.0249	0.000020	0.0000181	0.0000149	0.00347
15.01.2019	14.0	1.23	1006.9	0.0247	0.000020	0.0000180	0.0000146	0.00351
16.01.2019	18.0	1.22	1007.0	0.0249	0.000020	0.0000181	0.0000149	0.00347
17.01.2019	23.2	1.19	1007.0	0.0254	0.000021	0.0000184	0.0000154	0.00340

Ek.1'in devamı.

Tarih	T (°C)	ρ (kg m ³)	Cp (J kg ⁻¹ C ⁻¹)	k (W m ⁻² K ⁻¹)	α (m ² s ⁻¹)	μ (k m ⁻¹ s ⁻¹)	ν (m ² s ⁻¹)	β (K ⁻¹)
18.01.2019	22.6	1.20	1007.0	0.0253	0.000021	0.0000183	0.0000153	0.00341
19.01.2019	18.3	1.21	1007.0	0.0250	0.000020	0.0000182	0.0000150	0.00346
20.01.2019	16.3	1.22	1007.0	0.0248	0.000020	0.0000181	0.0000148	0.00349
21.01.2019	12.2	1.24	1006.4	0.0245	0.000020	0.0000179	0.0000144	0.00354
22.01.2019	19.6	1.21	1007.0	0.0251	0.000021	0.0000182	0.0000151	0.00344
23.01.2019	17.6	1.22	1007.0	0.0249	0.000020	0.0000181	0.0000149	0.00347
24.01.2019	16.8	1.22	1007.0	0.0248	0.000020	0.0000181	0.0000148	0.00349
25.01.2019	18.5	1.21	1007.0	0.0250	0.000020	0.0000182	0.0000150	0.00346
26.01.2019	15.5	1.23	1007.0	0.0248	0.000020	0.0000180	0.0000147	0.00350
27.01.2019	15.5	1.23	1007.0	0.0248	0.000020	0.0000180	0.0000147	0.00350
28.01.2019	20.1	1.20	1007.0	0.0251	0.000021	0.0000183	0.0000152	0.00343
29.01.2019	20.4	1.20	1007.0	0.0251	0.000021	0.0000183	0.0000152	0.00343
30.01.2019	13.5	1.23	1006.6	0.0246	0.000020	0.0000179	0.0000145	0.00352
31.01.2019	19.7	1.21	1007.0	0.0251	0.000021	0.0000182	0.0000151	0.00344
01.02.2019	22.7	1.20	1007.0	0.0253	0.000021	0.0000183	0.0000153	0.00341
02.02.2019	21.5	1.20	1007.0	0.0252	0.000021	0.0000183	0.0000153	0.00342
03.02.2019	23.3	1.19	1007.0	0.0254	0.000021	0.0000184	0.0000154	0.00340
04.02.2019	24.9	1.19	1007.0	0.0254	0.000021	0.0000184	0.0000155	0.00339
05.02.2019	22.6	1.20	1007.0	0.0253	0.000021	0.0000183	0.0000153	0.00341
06.02.2019	15.8	1.23	1007.0	0.0248	0.000020	0.0000180	0.0000147	0.00350
07.02.2019	16.7	1.22	1007.0	0.0248	0.000020	0.0000181	0.0000148	0.00349
08.02.2019	18.9	1.21	1007.0	0.0250	0.000020	0.0000182	0.0000150	0.00346
09.02.2019	24.7	1.19	1007.0	0.0254	0.000021	0.0000184	0.0000155	0.00339
10.02.2019	27.4	1.18	1007.0	0.0257	0.000022	0.0000186	0.0000158	0.00336
11.02.2019	26.1	1.18	1007.0	0.0256	0.000022	0.0000185	0.0000157	0.00337
12.02.2019	23.7	1.19	1007.0	0.0254	0.000021	0.0000184	0.0000154	0.00340
13.02.2019	14.5	1.23	1006.9	0.0247	0.000020	0.0000180	0.0000146	0.00351
14.02.2019	18.8	1.21	1007.0	0.0250	0.000020	0.0000182	0.0000150	0.00346
15.02.2019	20.0	1.20	1007.0	0.0251	0.000021	0.0000183	0.0000152	0.00343
16.02.2019	24.2	1.19	1007.0	0.0254	0.000021	0.0000184	0.0000155	0.00339
17.02.2019	26.3	1.18	1007.0	0.0256	0.000022	0.0000185	0.0000157	0.00337
18.02.2019	25.4	1.18	1007.0	0.0255	0.000021	0.0000185	0.0000156	0.00338
19.02.2019	22.7	1.20	1007.0	0.0253	0.000021	0.0000183	0.0000153	0.00341
20.02.2019	24.5	1.19	1007.0	0.0254	0.000021	0.0000184	0.0000155	0.00339
21.02.2019	20.6	1.20	1007.0	0.0251	0.000021	0.0000183	0.0000152	0.00343
25.03.2019	24.8	1.19	1007.0	0.0254	0.000021	0.0000184	0.0000155	0.00339
26.03.2019	24.4	1.19	1007.0	0.0254	0.000021	0.0000184	0.0000155	0.00339
27.03.2019	22.9	1.20	1007.0	0.0253	0.000021	0.0000183	0.0000153	0.00341
28.03.2019	19.5	1.21	1007.0	0.0251	0.000021	0.0000182	0.0000151	0.00344

Ek.1'in devamı.

Tarih	T (°C)	ρ (kg m ³)	Cp (J kg ⁻¹ C ⁻¹)	k (W m ⁻² K ⁻¹)	α (m ² s ⁻¹)	μ (k m ⁻¹ s ⁻¹)	ν (m ² s ⁻¹)	β (K ⁻¹)
29.03.2019	16.3	1.22	1007.0	0.0248	0.000020	0.0000181	0.0000148	0.00349
30.03.2019	24.9	1.19	1007.0	0.0254	0.000021	0.0000184	0.0000155	0.00339
31.03.2019	17.4	1.22	1007.0	0.0249	0.000020	0.0000181	0.0000149	0.00347
01.04.2019	23.5	1.19	1007.0	0.0254	0.000021	0.0000184	0.0000154	0.00340
02.04.2019	23.2	1.19	1007.0	0.0254	0.000021	0.0000184	0.0000154	0.00340
03.04.2019	21.1	1.20	1007.0	0.0252	0.000021	0.0000183	0.0000153	0.00342
04.04.2019	22.1	1.20	1007.0	0.0253	0.000021	0.0000183	0.0000153	0.00341
05.04.2019	22.9	1.20	1007.0	0.0253	0.000021	0.0000183	0.0000153	0.00341
06.04.2019	22.0	1.20	1007.0	0.0253	0.000021	0.0000183	0.0000153	0.00341
07.04.2019	25.2	1.18	1007.0	0.0255	0.000021	0.0000185	0.0000156	0.00338
08.04.2019	25.5	1.18	1007.0	0.0255	0.000021	0.0000185	0.0000156	0.00338
09.04.2019	24.3	1.19	1007.0	0.0254	0.000021	0.0000184	0.0000155	0.00339
10.04.2019	21.9	1.20	1007.0	0.0252	0.000021	0.0000183	0.0000153	0.00342
11.04.2019	22.7	1.20	1007.0	0.0253	0.000021	0.0000183	0.0000153	0.00341
12.04.2019	23.0	1.20	1007.0	0.0253	0.000021	0.0000183	0.0000153	0.00341
13.04.2019	24.2	1.19	1007.0	0.0254	0.000021	0.0000184	0.0000155	0.00339
14.04.2019	27.9	1.18	1007.0	0.0257	0.000022	0.0000186	0.0000158	0.00336
15.04.2019	24.8	1.19	1007.0	0.0254	0.000021	0.0000184	0.0000155	0.00339
16.04.2019	22.5	1.20	1007.0	0.0253	0.000021	0.0000183	0.0000153	0.00341
17.04.2019	23.7	1.19	1007.0	0.0254	0.000021	0.0000184	0.0000154	0.00340
18.04.2019	23.6	1.19	1007.0	0.0254	0.000021	0.0000184	0.0000154	0.00340
19.04.2019	23.7	1.19	1007.0	0.0254	0.000021	0.0000184	0.0000154	0.00340
20.04.2019	21.3	1.20	1007.0	0.0252	0.000021	0.0000183	0.0000153	0.00342
21.04.2019	22.8	1.20	1007.0	0.0253	0.000021	0.0000183	0.0000153	0.00341
22.04.2019	24.4	1.19	1007.0	0.0254	0.000021	0.0000184	0.0000155	0.00339
23.04.2019	25.0	1.18	1007.0	0.0255	0.000021	0.0000185	0.0000156	0.00338
24.04.2019	24.1	1.19	1007.0	0.0254	0.000021	0.0000184	0.0000155	0.00339
25.04.2019	26.0	1.18	1007.0	0.0255	0.000021	0.0000185	0.0000156	0.00338
26.04.2019	23.0	1.19	1007.0	0.0254	0.000021	0.0000184	0.0000154	0.00340
27.04.2019	27.7	1.18	1007.0	0.0257	0.000022	0.0000186	0.0000158	0.00336
28.04.2019	28.1	1.17	1007.0	0.0257	0.000022	0.0000186	0.0000159	0.00334
29.04.2019	29.7	1.17	1007.0	0.0258	0.000022	0.0000187	0.0000160	0.00333
30.04.2019	27.4	1.18	1007.0	0.0257	0.000022	0.0000186	0.0000158	0.00336
01.05.2019	24.4	1.19	1007.0	0.0254	0.000021	0.0000184	0.0000155	0.00339
02.05.2019	25.6	1.18	1007.0	0.0255	0.000021	0.0000185	0.0000156	0.00338
03.05.2019	27.5	1.18	1007.0	0.0257	0.000022	0.0000186	0.0000158	0.00336
04.05.2019	25.9	1.18	1007.0	0.0255	0.000021	0.0000185	0.0000156	0.00338

Ek.1'in devamı.

Tarih	T (°C)	ρ (kg m ³)	Cp (J kg ⁻¹ C ⁻¹)	k (W m ⁻² K ⁻¹)	α (m ² s ⁻¹)	μ (k m ⁻¹ s ⁻¹)	ν (m ² s ⁻¹)	β (K ⁻¹)
05.05.2019	21.4	1.20	1007.0	0.0252	0.000021	0.0000183	0.0000153	0.00342
06.05.2019	29.0	1.17	1007.0	0.0257	0.000022	0.0000186	0.0000159	0.00334
07.05.2019	23.9	1.19	1007.0	0.0254	0.000021	0.0000184	0.0000154	0.00340
08.05.2019	24.4	1.19	1007.0	0.0254	0.000021	0.0000184	0.0000155	0.00339
09.05.2019	24.8	1.19	1007.0	0.0254	0.000021	0.0000184	0.0000155	0.00339
10.05.2019	24.5	1.19	1007.0	0.0254	0.000021	0.0000184	0.0000155	0.00339
11.05.2019	20.7	1.20	1007.0	0.0251	0.000021	0.0000183	0.0000152	0.00343
12.05.2019	27.8	1.18	1007.0	0.0257	0.000022	0.0000186	0.0000158	0.00336
13.05.2019	30.2	1.16	1007.0	0.0259	0.000022	0.0000187	0.0000161	0.00332
14.05.2019	32.1	1.16	1007.0	0.0260	0.000022	0.0000188	0.0000163	0.00330
15.05.2019	32.1	1.16	1007.0	0.0260	0.000022	0.0000188	0.0000163	0.00330
16.05.2019	33.5	1.15	1007.0	0.0261	0.000022	0.0000189	0.0000164	0.00329
17.05.2019	29.5	1.17	1007.0	0.0258	0.000022	0.0000187	0.0000160	0.00333
18.05.2019	26.3	1.18	1007.0	0.0256	0.000022	0.0000185	0.0000157	0.00337
19.05.2019	28.4	1.17	1007.0	0.0257	0.000022	0.0000186	0.0000159	0.00334
20.05.2019	28.7	1.17	1007.0	0.0257	0.000022	0.0000186	0.0000159	0.00334
21.05.2019	26.9	1.18	1007.0	0.0256	0.000022	0.0000185	0.0000157	0.00337
22.05.2019	29.1	1.17	1007.0	0.0258	0.000022	0.0000187	0.0000160	0.00333
23.05.2019	27.7	1.18	1007.0	0.0257	0.000022	0.0000186	0.0000158	0.00336
24.05.2019	29.3	1.17	1007.0	0.0258	0.000022	0.0000187	0.0000160	0.00333
25.05.2019	29.2	1.17	1007.0	0.0258	0.000022	0.0000187	0.0000160	0.00333
26.05.2019	28.4	1.17	1007.0	0.0257	0.000022	0.0000186	0.0000159	0.00334
27.05.2019	30.6	1.16	1007.0	0.0259	0.000022	0.0000187	0.0000161	0.00332
28.05.2019	33.1	1.15	1007.0	0.0261	0.000022	0.0000189	0.0000164	0.00329
29.05.2019	33.4	1.15	1007.0	0.0261	0.000022	0.0000189	0.0000164	0.00329
30.05.2019	32.6	1.16	1007.0	0.0260	0.000022	0.0000188	0.0000163	0.00330
31.05.2019	32.4	1.16	1007.0	0.0260	0.000022	0.0000188	0.0000163	0.00330
01.06.2019	30.7	1.16	1007.0	0.0259	0.000022	0.0000187	0.0000161	0.00332
02.06.2019	29.5	1.17	1007.0	0.0258	0.000022	0.0000187	0.0000160	0.00333
03.06.2019	30.3	1.16	1007.0	0.0259	0.000022	0.0000187	0.0000161	0.00332
04.06.2019	30.4	1.16	1007.0	0.0259	0.000022	0.0000187	0.0000161	0.00332
05.06.2019	29.7	1.17	1007.0	0.0258	0.000022	0.0000187	0.0000160	0.00333
06.06.2019	29.1	1.17	1007.0	0.0258	0.000022	0.0000187	0.0000160	0.00333
07.06.2019	29.0	1.17	1007.0	0.0258	0.000022	0.0000187	0.0000160	0.00333
08.06.2019	30.3	1.16	1007.0	0.0259	0.000022	0.0000187	0.0000161	0.00332
09.06.2019	32.8	1.16	1007.0	0.0260	0.000022	0.0000188	0.0000163	0.00330
10.06.2019	30.4	1.16	1007.0	0.0259	0.000022	0.0000187	0.0000161	0.00332

Ek.1'in devamı.

Tarih	T (°C)	ρ (kg m ³)	C _p (J kg ⁻¹ C ⁻¹)	k (W m ⁻² K ⁻¹)	α (m ² s ⁻¹)	μ (k m ⁻¹ s ⁻¹)	ν (m ² s ⁻¹)	β (K ⁻¹)
11.06.2019	28.1	1.17	1007.0	0.0257	0.000022	0.0000186	0.0000159	0.00334
12.06.2019	29.1	1.17	1007.0	0.0258	0.000022	0.0000187	0.0000160	0.00333
13.06.2019	28.7	1.17	1007.0	0.0257	0.000022	0.0000186	0.0000159	0.00334
14.06.2019	35.1	1.15	1007.0	0.0263	0.000023	0.0000190	0.0000166	0.00327
15.06.2019	30.4	1.16	1007.0	0.0259	0.000022	0.0000187	0.0000161	0.00332
16.06.2019	31.3	1.16	1007.0	0.0260	0.000022	0.0000188	0.0000162	0.00331
17.06.2019	30.9	1.16	1007.0	0.0259	0.000022	0.0000187	0.0000161	0.00332
18.06.2019	30.4	1.16	1007.0	0.0259	0.000022	0.0000187	0.0000161	0.00332
19.06.2019	30.1	1.16	1007.0	0.0259	0.000022	0.0000187	0.0000161	0.00332
20.06.2019	31.6	1.16	1007.0	0.0260	0.000022	0.0000188	0.0000162	0.00331
21.06.2019	31.6	1.16	1007.0	0.0260	0.000022	0.0000188	0.0000162	0.00331
22.06.2019	32.7	1.16	1007.0	0.0260	0.000022	0.0000188	0.0000163	0.00330
23.06.2019	36.1	1.14	1007.0	0.0263	0.000023	0.0000190	0.0000166	0.00325
24.06.2019	37.9	1.14	1007.0	0.0264	0.000023	0.0000190	0.0000167	0.00324
25.06.2019	35.8	1.15	1007.0	0.0263	0.000023	0.0000190	0.0000166	0.00327
26.06.2019	34.7	1.15	1007.0	0.0262	0.000023	0.0000189	0.0000165	0.00328
27.06.2019	35.0	1.15	1007.0	0.0263	0.000023	0.0000190	0.0000166	0.00327
28.06.2019	31.1	1.16	1007.0	0.0260	0.000022	0.0000188	0.0000162	0.00331
29.06.2019	36.9	1.14	1007.0	0.0263	0.000023	0.0000190	0.0000166	0.00325
30.06.2019	34.4	1.15	1007.0	0.0262	0.000023	0.0000189	0.0000165	0.00328
01.07.2019	34.3	1.15	1007.0	0.0262	0.000023	0.0000189	0.0000165	0.00328
02.07.2019	34.2	1.15	1007.0	0.0262	0.000023	0.0000189	0.0000165	0.00328
03.07.2019	33.1	1.15	1007.0	0.0261	0.000022	0.0000189	0.0000164	0.00329
04.07.2019	32.2	1.16	1007.0	0.0260	0.000022	0.0000188	0.0000163	0.00330
05.07.2019	37.9	1.14	1007.0	0.0264	0.000023	0.0000190	0.0000167	0.00324
06.07.2019	38.5	1.13	1007.0	0.0265	0.000023	0.0000191	0.0000168	0.00323
07.07.2019	37.4	1.14	1007.0	0.0264	0.000023	0.0000190	0.0000167	0.00324
08.07.2019	35.2	1.15	1007.0	0.0263	0.000023	0.0000190	0.0000166	0.00327
09.07.2019	35.0	1.15	1007.0	0.0262	0.000023	0.0000189	0.0000165	0.00328

Ek.1'in devamı.

Tarih	T (°C)	ρ (kg m ³)	C _p (J kg ⁻¹ C ⁻¹)	k (W m ⁻² K ⁻¹)	α (m ² s ⁻¹)	μ (kg m ⁻¹ s ⁻¹)	ν (m ² s ⁻¹)	β (K ⁻¹)
10.07.2019	33.9	1.15	1007.0	0.0261	0.000022	0.0000189	0.0000164	0.00329
11.07.2019	36.4	1.14	1007.0	0.0263	0.000023	0.0000190	0.0000166	0.00325
12.07.2019	34.7	1.15	1007.0	0.0262	0.000023	0.0000189	0.0000165	0.00328
13.07.2019	32.8	1.16	1007.0	0.0260	0.000022	0.0000188	0.0000163	0.00330
14.07.2019	31.8	1.16	1007.0	0.0260	0.000022	0.0000188	0.0000162	0.00331
15.07.2019	32.9	1.16	1007.0	0.0260	0.000022	0.0000188	0.0000163	0.00330

Çizelgede ρ , havanın yoğunluğunu (kg m³); c_p , sabit basınçta kuru havanın özgül ısısını (J kg⁻¹ K⁻¹); k , havanın termal iletkenliği (W m⁻² K⁻¹); α , havanın ısı yayılımını (m² s⁻¹); μ akışkanın dinamik viskozitesini (kg m⁻¹ s⁻¹); ν , akışkanın kinematik viskozitesini (m² s⁻¹) ve β , ısı genleşme sayısını (K⁻¹) ifade etmektedir.

ÖZGEÇMİŞ

Cihan KARACA

cihankaraca@yaani.com

cihankaraca@akdeniz.edu.tr



ÖĞRENİM BİLGİLERİ

Doktora 2013-2020	Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarımsal Yapılar ve Sulama Anabilim Dalı, Antalya, TÜRKİYE
Yüksek Lisans (Tezsiz) 2015-2015	International Centre for Advanced Mediterranean Agronomic Studies (CIHEAM) The Mediterranean Agronomic Institute of Bari, Land and Water Resources Management: Irrigated Agriculture, Bari, ITALY
Yüksek Lisans 2010-2013	Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarımsal Yapılar ve Sulama Anabilim Dalı, Antalya, TÜRKİYE
Lisans 2005-2010	Süleyman Demirel Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü, Isparta, TÜRKİYE
Lisans (Yandal) 2007-2010	Süleyman Demirel Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü, Isparta, TÜRKİYE

MESLEKİ VE İDARİ GÖREVLER

Araştırma Görevlisi 2012-2019	Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Tarımsal Yapılar ve Sulama Anabilim Dalı, Antalya, TÜRKİYE
Mühendis 2011-2012	T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı Eğirdir - Isparta İl Tarım ve Orman Müdürlüğü
Stajyer 2009-2009	Universita Degli Studi Di Bari Faculty of Agricultural Science - Universita Degli Studi di Bari

ESERLER

Uluslararası hakemli dergilerde yayımlanan makaleler

1. Aydınşakir K. **Karaca C.** Ozkan C.F. Dinç N. Büyüktaş D. and Isik M. 2019. Excess nitrogen exceeds the European standards in lettuce grown under greenhouse conditions, *Agronomy Journal*, 111(2): 764-769.
2. Ayan N. Büyüktaş D. **Karaca C.** and Baştuğ R. 2019. Effects of fertigation strategies on nitrate-nitrogen leaching and yield parameters of cucumber grown in glasshouse, *Fresenius Environmental Bulletin*, 28(5): 3876-3885.
3. Büyükkök S. Büyüktaş K. Tezcan A. and **Karaca C.** 2019. The effect of different bedding materials used on free-stalls on dairy cows' preferences, *Large Animal Review*, 25(4): 119-126
4. **Karaca C.** Tekelioğlu B. Büyüktaş D. and Baştuğ R. 2018. Relations between Crop Water Stress Index and stomatal conductance of Soybean depending on cultivars, *Fresenius Environmental Bulletin*, 27(6): 4212-4219.
5. **Karaca C.** Büyüktaş D. Baştuğ R. Aydınşakir K. and Büyüktaş K. 2018. Comparing seven different reference evapotranspiration equations with Penman Monteith for Antalya, Turkey, *Fresenius Environmental Bulletin*, 27(12B): 9500-9508.
6. Büyüktaş K. Tezcan A. **Karaca C.** and Çalışkan R. 2019. Determination of greenhouses and its insurance conditions damaging from natural disasters occurred in districts of eastern Antalya region, *Mustafa Kemal University Journal of Agricultural Sciences, Special Issue: 1st Int. Congress on Biosystems Engineering 2019*: 128-134.
7. Büyüktaş K. Tezcan A. **Karaca C.** Gümüş Z. ve Çalışkan R. 2019. Akdeniz bölgesindeki polietilen örtülü seraların dolu hasar yoğunluğunun termal kamera ile belirlenmesi, *Mustafa Kemal University Journal of Agricultural Sciences, Special Issue: 1st Int. Congress on Biosystems Engineering 2019*: 135-141.

8. **Karaca C.** Tezcan A. Büyüктаş K. Büyüктаş D. and Baştuğ R. 2018. Equations developed to estimate evapotranspiration in greenhouses, *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Tarım Bilimleri Dergisi*, 28(4): 482-489.
9. **Karaca C.** Aydınşakir K. Dinç N. Büyüктаş D. Baştuğ R. and Polat B. 2018. Comparison of measured and estimated evapotranspiration of pomegranate grown under Mediterranean conditions, *Süleyman Demirel Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 1. Uluslararası Tarımsal Yapılar ve Sulama Kongresi Özel Sayısı: 140-150.
10. **Karaca C.** Tekelioğlu B. ve Büyüктаş D. 2017. Sürdürülebilir tarımsal üretim için toprak nem sensörlerinin etkin kullanımı, *Academia Journal of Engineering and Applied Sciences*, 2(3): pp.33-41.
11. Aslan G.E. **Karaca C.** Kurunç A. and Kaman H. 2017. Effects of Water Stress on Daily Stomatal Conductivity of *Stevia rebaudiana*, *International Journal of Plant Soil Science*, 19(4): 1-8.
12. **Karaca C.** Büyüктаş D. ve Tekelioğlu B. 2017. Kıyas bitki su tüketiminin (ET_o) hesaplanması amacıyla kullanılan bilgisayar yazılımlarının karşılaştırması, *Gaziosmanpaşa Bilimsel Araştırma Dergisi*, 6(SM-2017): 118-128.
13. Büyüктаş K. Tezcan A. **Karaca C.** ve Büyükkök S. 2017. Sığır barınaklarında kullanılan altlık materyallerin tercih sürelerinin belirlenmesi, *Academia Journal of Engineering and Applied Sciences*, IWCB 2017 Özel Sayı: 135-143.
14. **Karaca C.** Tekelioğlu B. Büyüктаş D. ve Baştuğ R. 2017. Kıyas bitki su tüketiminin hesaplanmasında kullanılan eşitliklerin değerlendirilmesi, *Academia Journal of Engineering and Applied Sciences*, IWCB 2017 Özel Sayı: 144-161.
15. Tekelioğlu B. Büyüктаş D. Baştuğ R. **Karaca C.** Aydınşakir K. and Dinç N. 2017. Use of crop water stress index for irrigation scheduling of soybean in Mediterranean conditions, *Journal of Experimental Agriculture International*, 18(6): 1- 8.
16. **Karaca C.** Büyüктаş D. Baştuğ R. Aydınşakir K. ve Tekelioğlu B. 2017. Antalya koşullarında kıyas bitki su tüketiminin alansal ve zamansal dağılımının belirlenmesi, *DERİM*, 34(2): 158-171.
17. Tekelioğlu B. Büyüктаş D. **Karaca C.** Baştuğ R. ve Dinç N. Aydınşakir K. 2017. Infrared termometre tekniğinin nar (*Punica granatum L.*) ağaçlarında sulama programlaması amacıyla kullanım olanakları, *DERİM*, 34(1): 61-71.
18. Aydınşakir K. Büyüктаş D. Dinç N. and **Karaca C.** 2015. Impact of salinity stress on growing, seedling development and water consumption of peanut (*Arachis hypogea* cv. NC-7), *Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 28(2):77-84.

Ulusal bilimsel toplantılarda sunulan ve bildiri kitaplarında basılan bildiriler

1. Büyükkekiç-Küfüdür G. Büyüктаş D. **Karaca C.** ve Baştuğ R. 2019. Toprakaltı drenaj sistemlerinde ömrünü tamamlamış lastiklerin zarf malzemesi olarak kullanım olanaklarının araştırılması, 6. Uluslararası Katılımlı Toprak ve Su Kaynakları Kongresi UTAEM, 12-14 Kasım 2019, Menemen, İzmir, 1-10.

2. Şehir S. **Karaca C.** Büyüктаş D. ve Baştuğ R. 2019. Domates bitkisinde sulama ve su-verim ilişkileri, 6. Uluslararası Multidisipliner Çalışmaları Kongresi, Gaziantep, Nisan, pp. 253-253.
3. **Karaca C.** Büyüктаş D. ve Baştuğ R. Aydınşakir K. 2019. Akdeniz tipi plastik seralarda kısa dalga boylu radyasyonun sıcaklığa dayalı olarak tahmin edilmesi, 6. Uluslararası Multidisipliner Çalışmaları Kongresi, Gaziantep, pp. 201-201.
4. **Karaca C.** Tezcan A. Büyüктаş K. Büyüктаş D. and Baştuğ R. 2018. Equations developed to estimate evapotranspiration in greenhouses, XIX. World Congress of the International Commission of Agriculture and Biosystems Engineering (CIGR), Antalya, pp. 1-1
5. Polat B. Büyüктаş D. Baştuğ R. Aydınşakir K. **Karaca C.** ve Dinç N. 2018. bitki su stresi indeksini (CWSI) belirlemede kullanılan yöntemlerin nar ağacı ve soya bitkisinde karşılaştırılması, 1st International Congress on Agricultural Structures and Irrigations, Antalya, pp. 395-409.
6. **Karaca C.** Polat B. Baştuğ R. and Büyüктаş D. 2018. Comparison of measured soil water content with three different soil moisture sensor, 4th International Congress on Water, Waste and Energy Management Madrid. pp. 1.
7. **Karaca C.** Köksal A. Dinç N. Büyüктаş D. Baştuğ R. and Polat B. 2018. Comparison of measured and estimated evapotranspiration of pomegranate grown under Mediterranean conditions, 1st International, 14th National Congress on Agricultural Structures and Irrigation, Antalya, pp. 642-642
8. Polat B. Büyüктаş D. Baştuğ R. Köksal A. **Karaca C.** and Dinç N. 2018. Comparing canopy temperature of soybean irrigated by surface and subsurface drip irrigation method under Mediterranean conditions, 4th International Congress on Water, Waste and Energy Management (WWEM-18), Madrid, pp. 1.
9. Aslan G.E. Kurunç A. Tezcan A. **Karaca C.** Turgut K. Tütüncü B. ve Ekizoğlu, H. 2017. Farklı tuzluluk düzeyine sahip sulama sularının şeker otunda (*Stevia rebaudiana*) bitki gelişim ve verim parametrelerine etkisi, 2.Ulusal Biyosistem Mühendisliği Kongresi, Tokat, 37-37 s.
10. **Karaca C.** Büyüктаş D. ve Tekelioğlu B. 2017. Kıyas bitki su tüketiminin (ET_o) hesaplanması amacıyla kullanılan bilgisayar yazılımlarının karşılaştırması, 2.Ulusal Biyosistem Mühendisliği Kongresi, Tokat, 23-23 s.
11. Aslan G.E. **Karaca C.** Kurunç A. and Kaman H. 2017. Effects on water stress on daily stomatal conductivity of *Stevia rebaudiana* Bertoni, International Conference on Agriculture, Forest, Food Sciences and Technologies, Nevşehir, pp. 198-198.
12. Aslan G.E. Kurunç A. Turgut K. Kaman H. **Karaca C.** Tütüncü B. Ekizoğlu, H. and Karakaş, M.C. 2017. Effects of different irrigation regimes on quality parameters of *Stevia Rebaudiana* bertoni, MESMAP-3, Girne, 13-16 Nisan, pp.138-138.
13. **Karaca C.** Tekelioğlu B. Büyüктаş D. and Baştuğ R. 2017. Relations between crop water stress index (CWSI) and stomatal conductance of soybean depending on cultivars, 2nd International Balkan Agriculture Congress, Tekirdağ, pp. 640-640

14. Tezcan A. **Karaca C.** Büyüктаş K. ve Büyüктаş D. 2017. Hesaplı akışkanlar dinamiği yöntemi kullanılarak sera içinde farklı noktalardaki ETo değerlerinin Penman eşitliği ile belirlenmesi, 3rd ASM International Congress of Agriculture and Environment, Antalya, 102-102 s.
15. **Karaca C.** Tekelioğlu B. Büyüктаş D. and Baştuğ R. 2017. Assessment of the equations computing reference crop evapotranspiration, 3rd International Congress of Agriculture and Environment, Antalya, pp. 101-101.
16. Büyüктаş K. Tezcan A. **Karaca C.** and Büyükkök S. 2017. Determination of preference time of base materials used in cattle shelters, 3rd ASM International Congress of Agriculture and Environment, Antalya, pp. 91-91
17. Büyükçekiç G. Büyüктаş D. **Karaca C.** Baştuğ R. Aydınşakir K. ve Büyüктаş K. 2017. Laboratuvar koşullarında farklı toprak bünyesi ve tuzluluğuna göre 10HS toprak nem sensörünün kalibrasyon eğrilerinin belirlenmesi, 5th International Participation Soil and Water Resources Congress, Kırklareli, 1067-1074 s.
18. Tekelioğlu B. Büyüктаş D. Baştuğ R. Aydınşakir K. Dinç N. and **Karaca C.** 2017. Use of Crop Water Stress Index for Irrigation Scheduling of Soybean, International Conference on Agriculture, Forest, Food Sciences and Technologies, Nevşehir, pp. 619-619.
19. **Karaca C.** Büyüктаş D. Baştuğ R. Aydınşakir K. and Büyüктаş K. 2017. Comparing eight different ETo equations with Penman Monteith for Antalya, Turkey. 2nd International Conference on Advances in Natural And Applied Sciences, Antalya, pp.189-189
20. **Karaca C.** Tekelioğlu B. Ve Büyüктаş D. 2017. Sürdürülebilir tarımsal üretim için toprak nem sensörlerinin etkin kullanımı, International Congress of the New Approaches and Technologies for Sustainable Development, Isparta, pp.206-207
21. Baştuğ R. Dursun B. **Karaca C.** Aydınşakir K. ve Dinç N. 2016. Lizimetre koşullarında yetiştirilen susamda (*Sesamum indicum L.*) kısıntılı sulama uygulamalarının bitki su tüketimi, verim ve kalite özelliklerine etkileri, 13. Ulusal Kültürteknik Kongresi, ANTALYA, 256-266 s.
22. Baştuğ R. Dursun B. **Karaca C.** Aydınşakir K. Dinç N. ve Tekelioğlu B. 2016. Soya fasulyesinde taç örtüsü sıcaklığı ve bitki su stresi indeksi (CWSI) değerlerinin çeşitlere bağlı olarak değişiminin irdelenmesi, 13. Ulusal Kültürteknik Kongresi, Antalya, 302-309 s.
23. **Karaca C.** Büyüктаş D. Aydınşakir K. ve Baştuğ R. 2014. Farklı fertigasyon stratejileri ve damlatıcı debilerinin kumlu topraklarda nitrat yıkanması üzerine etkilerinin incelenmesi, 12. Ulusal Kültürteknik Sempozyumu, Tekirdağ, 34-39 s.
24. Tezcan A. Büyüктаş K. Aslan G.E. ve **Karaca C.** 2014. Venlo çatılı modern sera projelendirmesi (Antalya Örneği), 12. Ulusal Kültürteknik Sempozyumu, Tekirdağ, 638-641 s.

25. Dinç N. Aydınşakir K. Büyüктаş D. ve **Karaca C.** 2014. Tuzluluk Stresinin Yerfıstığı (*Arachis hypogea* cv. NC-07)'nda Bitki Büyüme ve Gelişme Parametreleri Üzerine Etkileri, 12. Ulusal Kültürteknik Sempozyumu, Tekirdağ, 194-194 s.
26. Aslan G.E. Kurunç A. Toker C. Onur I. Ceylan-Baloğlu F. . **Karaca C.** ve Tezcan, A. 2014. Farklı tuzluluk düzeylerinin nohut çeşitlerinde fide çıkış oranları ve bazı gelişme parametreleri üzerine etkilerinin belirlenmesi, 12. Ulusal Kültürteknik Sempozyumu, Tekirdağ, 188-188 s.
27. Atılğan A.  z, H. **Karaca C.** ve Erkan-Can, M. 2012. Hayvan barınaklarında oluşan gübrenin işletimi ve depolanması için mevcut yasal düzenlemeler, II. Ulusal Sulama ve Tarımsal Yapılar Sempozyumu, İzmir, 891-899 s.

AKADEMİK PROJE BİLGİLERİ

- 1- 2020-Innovative Greenhouse Support System in the Mediterranean Region: Efficient Fertigation and Pest Management Through IoT Based Climate Control, iGUESS-MED EU Project, The Partnership for Research and Innovation in the Mediterranean Area (PRIMA). (Devam Ediyor).
- 2- 2020-Akdeniz Tipi Plastik Seralarda Kısa Dalga Boylu Radyasyonun Tahmin Edilmesi, BAP FBG-2020-5171, Antalya, TURKEY. (Devam Ediyor).
- 3- 2018-Örtüaltında Yetiştirilen Bazı Bitkilerin Gerçek Su Tüketimlerinin (ET_c) ve Bitki Katsayılarının (K_c) Belirlenmesi. TÜBİTAK Projesi, 117O071. (Devam Ediyor).
- 4- 2018-Örtüaltında Yaygın Olarak Yetiştirilen Bitkilerin Su Tüketimlerinin Enerji Dengesi Yöntemi ile Belirlenmesi ", BAP Doktora, FDK-2018-2966. (Devam Ediyor).
- 5- 2017-Kısıntılı sulama uygulamalarının lizimetre koşullarında yetiştirilen susamda bitki su tüketimi, verim ve kalite özelliklerine etkileri, BAP Arastırma Projesi, 2013.02.0121.020,
- 6- 2016-Farklı sulama suyu tuzluluğu ve sulama düzeylerinin gelişme periyodu boyunca şeker otu (*Stevia rebaudiana*) bitkisinde büyüme, verim, kalite ve enerji kullanımına etkisinin araştırılması, BAP Arastırma Projesi,2014.01.0104.002.
- 7- 2013-Farklı fertigasyon stratejileri ve damlatıcı debilerinin kumlu ve tınlı toraklarda nitrat yıkanması üzerine etkilerinin incelenmesi, BAP Y.Lisans, 2013.02.0121.014.
- 8- 2010-M9 bodur anacı üzerinde yetiştirilen Mondial Gala elma çeşidinde farklı ürün yükü uygulamalarının meyve verim ve kalitesi ile meyvede Ca (Kalsiyum) içeriği üzerine etkisinin belirlenmesi, TÜBİTAK Projesi, 2209.

BURSLAR

- 1- 2015- Land and Water Resources Management Master Course, Centre International de Hautes Etudes Agronomiques M diterran ennes (CIHEAM), ITALY