

Sera Mikro-İklim Şartlarının Dinamik Modellenmesi

Gökhan ARSLAN*¹, Sinan DÖLEK¹

¹Mersin Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü, Mersin

Geliş tarihi: 17.01.2019

Kabul tarihi: 28.06.2019

Öz

Seracılığın her gün daha çok önem kazandığı ülkemizde sera içi mikro-iklim koşullarının tespit edilmesi ürün kalitesini artırmak amacıyla kurulan iklimlendirme sistemlerinin etkinliği açısından önemlidir. Saatlik meteoroloji verilerinin kullanıldığı dinamik bir matematik model oluşturularak Mersin ili Silifke ilçesinde yer alan bir seranın kışın en soğuk günleri olan 15-18 Ocak tarihlerinde mikro-iklim değerleri (iç ortam sıcaklık ve bağıl nem, toprak sıcaklığı) ısıtma olması ve olmaması durumuna göre tespit edilmiştir. 15 Ocak günü dış ortam ortalama sıcaklığı 10,8 °C iken sera içini 15 °C sıcaklığa çıkarmak için 0,796 kWh/m²gün ısıtma yüküne ihtiyaç duyulmuştur. 18 Ocak günü ise dış ortam ortalama sıcaklığı 5,3 °C iken 1,67 kWh/m²gün ısıtma yüküne ihtiyaç duyulmuştur. İdeal mikro iklim şartları ile kıyaslandığında ısıtma, havalandırma ve nemlendirme yapılması gereken zaman dilimleri ortaya konmuştur. Toprak yüzey sıcaklığının iç ortam sıcaklığına etkisinin yansırı bitki transpirasyonunun sera içi nem oranı değişiminde çok etkili olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Sera, Isı ve kütle denklemleri, Toprak sıcaklığı, Bitki transpirasyonu

Dynamic Modeling of Greenhouse Micro-Climate Conditions

Abstract

Determination of micro-climatic conditions in the greenhouse in our country where greenhouse is becoming more important day by day is important for the effectiveness of air-conditioning systems used to improve plant quality. By setting a dynamic mathematical model using hourly meteorology data, micro-climatic parameters (greenhouse dry-bulb temperature and relative humidity ratio, ground surface temperature) were determined by the presence and absence of heating load on the coldest days of winter, 15-18 January, in a greenhouse in the Silifke district of Mersin province. On January 15, the average temperature of the outdoor environment was 10.8°C and the heating load of 0.796 kWh/m²day was needed to increase the temperature inside the greenhouse to 15°C. On 18 January, the average outdoor temperature was 5.3 °C and the heating load of 1.67 kWh/m²day was needed. Compared to ideal microclimate conditions, the time periods for heating, ventilation and humidification of the greenhouse were determined. The effect of soil surface temperature on the inside temperature has been demonstrated. Plant transpiration has been found to be very effective in the change of greenhouse humidity.

Keywords: Greenhouse, Heat and mass balance equations, Ground temperature, Plant transpiration

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Gökhan ARSLAN, garslan@mersin.edu.tr

1. GİRİŞ

Doğal yetiştirme şartlarının bitki gelişimi için yeterli olmadığı durumlarda bitkinin yetiştirilmesi için uygun mikro-iklim şartlarını sağlamak amacıyla ışığı geçiren malzemeler ile kaplanan alanlara sera denir. Sera mikro-iklimi sıcaklık, bağıl nem, ışınım, karbondioksit (CO₂) ve hava hareketi etmenlerinden oluşur. Seradaki mikro-iklim kalitesini etkileyen en önemli etmenler ise dış ortam sıcaklığı, güneş ışınımı, toprak sıcaklığı ve rüzgâr hızıdır. Kış aylarında ısıtılmayan seralarda oluşan en önemli sorun sera sıcaklığının düşmesi ve hava nem taşıma kapasitesinin düşerek sera içi bağıl nemin artmasıdır. Zabeltitz [1] günlük ortalama dış ortam sıcaklığının 12 °C'nin altına düşmesi durumunda seraların ısıtılması gerektiğini belirtmiştir. Yıl boyunca en uygun düzeyde bitki gelişimi için uygun koşulların sağlanması için iklimlendirme sistemlerinin dış ortam iklim etmenlerine göre uygun seçilmesi gerekir. İklimlendirme sistemlerinin enerji maliyeti göz önüne alındığında sera içi mikro-iklim şartlarının hassas tahmin edilmesi önemli bir konudur.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Öztürk [2] sera mikro-ikliminin fiziksel modellenmesiyle ilgili bilimsel çalışmaların 1970'li yıllarda başladığını belirtmektedir. Kimball [3] seraya ait sıcaklıklar ve buhar basıncını tahmin edebilmek için ısı ışınım, duyulur, gizli ve iletim ısı akılarının matematik modelini oluşturmuş ve iteratif sayısal çözüm yöntemiyle denklemleri çözmüştür. Toprak katmanı, bitki yüzeyi, sera iç ortamı, örtü yüzeyi ve evaporatif soğutucu için ayrı enerji dengesi oluşturmuştur. Benzer bir dinamik model Fitz-Rodríguez ve arkadaşları [4] tarafından geliştirilmiştir. Bir önceki modelden farklı olarak örtü malzemesinin ısı depolamasının ihmal edildiği çalışmada sera içi genel kütle dengesi oluşturulmuştur ve mutlak nem miktarı da hesaplanmıştır. Reyas-Rosas ve arkadaşları [5] tabanı polipropilen mulç ile kaplı, doğal havalandırmalı bir sera için dinamik model oluşturmuştur. Bitki sıcaklığının ampirik bağıntıyla elde edildiği bu model ile sera iç sıcaklığı, örtü malzemesi sıcaklığı, mulç sıcaklığı ve toprak altı üç

katman sıcaklıkları elde edilmiştir. Konu ile ilgili literatürde bu çalışmalara benzer çok sayıda model bulunmaktadır. Sethi ve arkadaşları [6] sera mikro-ikliminin kontrolü için geliştirilen ısı modelleri ile ilgili kapsamlı bir literatür araştırması yapmışlardır. Buna göre ısı modelleri herhangi bir ısıtma veya ısı depolama sistemi içermeyen bağımsız model, aktif veya pasif ısıtma/ısı depolama sistemi içeren bağımlı model ve aktif soğutma sistemi içeren bağımlı model olarak üçe ayrılmıştır. Herhangi bir ısıtma veya ısı depolama sistemi içermeyen bağımsız modellerin statik ve dinamik olarak incelendiği belirtilmiştir. Statik modellemede aylık ve yıllık ortalama meteoroloji verileri kullanılmaktadır. Enerji ihtiyacı toplam ısı kaybından hesaplanmaktadır. Sethi ve arkadaşları [6] bu yöntemde ortalama değerlerin kullanılmasına bağlı olarak hata payının yüksek olduğunu belirtmişlerdir.

Dinamik modellerde ise saatlik meteoroloji verileri kullanılır. Dinamik modeller sera içi anlık değişimleri hesaba kattığından, statik modelleme yaklaşımına göre daha karmaşıktır. Sethi ve arkadaşları [6] bu yöntemin hata payının düşük olduğunu belirtmişlerdir.

Baytorun ve arkadaşları [7] günlük ortalama sıcaklık verilerinin kullanıldığı yaklaşımın sıcaklığın yüksek olduğu dönemlerde ve serada sıcaklığın düşük tutulduğu koşullarda hatalı sonuçlara yol açtığını, bu nedenle ısı gereksiniminin saatlik değerlere göre belirlenmesinin daha sağlıklı olacağını belirtmişlerdir. Ayrıca Kaya ve Baytorun [8] saatlik veriler kullanılarak elde edilen sera ısıtma yükünün ortalama veriler kullanılarak elde edilene göre düşük çıktığını ve Mersin ilinde yer alan bir seranın ısıtma yükünün yıl içerisinde 0-0,95 kWh/m²gün değerleri arasında değiştiği belirlemişlerdir.

Verlodt [9] serada bitkilerin dondan zarar görmemesi için sera içi sıcaklığın 0 °C'nin üzerinde olması gerektiğini belirtmektedir. Ayrıca ısıtma yapılmayan seralar için, dış ortamda istenilen günlük ortalama sıcaklık 12–22 °C aralığındadır. 12 °C'den daha düşük sıcaklıklarda seraların ısıtılması gerekir. 22 °C'den daha yüksek sıcaklıklarda ise sera içi serinletme yapılması

gerekmektedir. Seranın yer aldığı bölgede günlük toplam güneş ışınımı 1 kWh/m²gün'den az olamamak üzere 2,3 kWh/m²gün olmalıdır. Toprak sıcaklığı için en düşük değer 15 °C'dir ve bağıl nem %70–90 aralığında olmalıdır.

Literatür araştırması göstermektedir ki, başarılı bir modelin oluşturulabilmesi için hassas bir şekilde hesaplanması gereken parametreler;

- Anlık güneş ışınımı,
- Toplam ısı geçiş katsayısı,
- Bitki transpirasyonu,
- Toprakla olan ısı alış-verişi şeklinde sıralanabilir.

2.1. Anlık Güneş Işınımı

Seranın ısı gereksinimi bölgenin dış ortam sıcaklığı, bağıl nemi, rüzgâr hızı ve güneş ışınımı değerlerine ve seranın donanımına bağlıdır. Ölçüm kolaylığı açısından birçok meteoroloji istasyonunda sıcaklık, nem ve rüzgâr hızı verileri alınırken, güneş ışınımı ölçümleri daha az sayıda istasyonda yapılmaktadır. Literatürde bu konu ile ilgili çokça meteoroloji verilerine göre anlık güneş ışınımını tahmin eden modeller vardır. Özellikle seraların anlık ışınım ölçümü yapılmayan veya az sayıda veri olan kırsal kesimde yer almasından ötürü bu çalışma kapsamında meteoroloji verilerine göre güneş ışınımını tahmin eden model kullanılmıştır. Zhang ve Huang [10] yatay düzleme gelen anlık güneş ışınımını tahmin etmek için kuru termometre sıcaklığı, bağıl nem, rüzgâr hızı ve bulut kapallılığını kullanan bir bağıntı geliştirmişlerdir (Eşitlik 1).

$$I = [I_0 \sin(\omega) \{c_0 + c_1(CC) + c_2(CC)^2 + c_3(T_{o,i} - T_{o,i-3}) + c_4(RH_o) + c_5V_r\} + d] / k \quad (1)$$

Bu modelde dış ortam sıcaklığı olarak anlık değeri ile üç saat önceki değeri arasındaki fark ($T_{o,i} - T_{o,i-3}$) kullanılmıştır. c_0 , c_1 , c_2 , c_3 , c_4 , c_5 , d ve k model sabitleridir. Yaman ve Arslan [11] Türkiye'nin 12 bölgesi için bu modelin katsayılarını yeniden düzenlemişlerdir. Mersin-Silifke bölgesine ait korelasyon katsayıları $c_0 = 0,6848$, $c_1 = 0,0042$, $c_2 = -0,0032$, $c_3 = 0,0097$, $c_4 = -0,0021$, $c_5 = -0,0016$, $d = -1,649$, $k = 0,843$ olarak verilmiştir.

Sera çevresinde genelde gölgelemeler olmakta ve yan yüzeylere gelen ışınım ihmal edilmektedir. Bu çalışma kapsamında ise seranın güney cephesinin tamamen açık olduğu kabul edilmiştir. Bu nedenle yatay düzleme gelen ışınımın yanı sıra düşey düzleme gelen ışınımında hesaplanması gerekmektedir. Eğik yüzeylere gelen güneş ışınımı yatay düzleme gelen anlık ışınımın yayılı bileşeni kullanılarak hesaplanmıştır. Bunun için öncelikle saatlik berraklık indeksi bulunmuştur (Eşitlik 2 ve 3).

$$k_t = \frac{I}{I_{ext}} \quad (2)$$

$$I_{ext} = I_0 \left(1 + 0,034 \cos \left[\frac{360n}{365} \right] \right) \cos(\theta_z) \quad (3)$$

Erbs ve arkadaşları [12] saatlik berraklık indeksine bağlı olarak yayılı güneş ışınım miktarını hesaplayacak basit bir bağıntı geliştirmişlerdir (Eşitlik 4).

$$\begin{aligned} \frac{I_y}{I} &= 1 - 0,09k_t & k_t &\leq 0,22 \\ \frac{I_y}{I} &= 0,9511 - 0,1604k_t + 4,388k_t^2 & & \\ &- 16,638k_t^3 + 12,336k_t^4 & 0,22 < k_t \leq 0,8 \\ \frac{I_y}{I} &= 0,165 & k_t &> 0,8 \end{aligned} \quad (4)$$

Atmosfer dışında eğik düzleme gelen güneş ışınımının yatay düzleme gelen ışınım oranı, direkt güneş ışınımı için yeryüzünde de aynı kaldığı kabul edilmiştir. Buna göre eğik düzleme gelen direkt güneş ışınımı geometrik faktör ile bulunur. θ güneş geliş açısı olup güneş ışınlarının eğik düzlemin normali ile yaptığı açıdır. θ_z ise zenith açısı olup yatay düzlemin normali ile direkt güneş ışınlarının (güneş-yer doğrultusunun) yaptığı açıdır (Eşitlik 5-7).

$$R_d = \frac{I_{de}}{I_d} = \frac{\cos(\theta)}{\cos(\theta_z)} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} \cos(\theta) &= \sin(\delta) \sin(\varphi) \cos(s) \\ &- \cos(\gamma_{yüzey}) \sin(\delta) \cos(\varphi) \sin(s) \\ &+ \cos(\delta) \cos(\varphi) \cos(\omega) \cos(s) \\ &+ \cos(\delta) \sin(\varphi) \sin(s) \cos(\omega) \cos(\gamma_{yüzey}) \end{aligned} \quad (6)$$

$$\begin{aligned} & +\sin(\gamma_{\text{yüzey}})\cos(\delta)\sin(\omega)\sin(s) \\ \cos(\theta_z) & =\cos(\varphi)\cos(\delta)\cos(\omega)+\sin(\varphi)\sin(\delta) \end{aligned} \quad (7)$$

Eğik düzleme gelen güneş ışınımı hesaplanırken isotropik gökyüzü kabulü yapılmıştır. Buna göre anlık yayılı ışınım ile yansıyan ışınım (albedo) değerleri eğim açısından bağımsız şekilde hesaplanmıştır (Eşitlik 8).

$$I_e=I_{de}+I_y\left(\frac{1+\cos(s)}{2}\right)+I_{p_{yer}}\left(\frac{1-\cos(s)}{2}\right) \quad (8)$$

2.2. Toplam Isı Geçiş Katsayısı

Sera örtü malzemesinden çevreye olan kayıpların belirlenmesi için örtü malzemesinin ısı özelliklerine ek olarak iç ve dış ortam ısı taşınım katsayılarının hassas bir şekilde belirlenmesi gerekir. Dış ortam ısı taşınım katsayısı için birçok araştırmacı rüzgâr hızına bağlı bağıntılar geliştirmiştir. En yaygın kullanılan bağıntılardan biri McAdams [13] tarafından geliştirilmiştir. Bu bağıntı sadece taşınım etkisine göre oluşturulmuştur (Eşitlik 9).

$$h_o=5,7+3,8V_r \quad (9)$$

ASHRAE Temel el kitabında [14] cam gibi yüzeyler için yüzey pürüzlülüğünün yanı sıra gökyüzüne, toprağa ve çevreye olan ışınım etkisini içeren bir bağıntı verilmiştir. Daha güncel olması açısından bu çalışma kapsamında Eşitlik 10'da verilen bağıntı kullanılmıştır.

$$h_o=8,23+3,33V_r-0,036V_r^2 \quad (10)$$

İç ortam ısı taşınım katsayısı, ASHRAE el kitabına [15] göre düşey yüzeyler için $h_i=3,076$ W/m²K, yatay yüzeyler için ise $h_i=4,04$ W/m²K alınmıştır. İç ortam ısı taşınım katsayısını saatlik hava değişim oranına (ACH) göre elde eden bağıntılarda literatürde yer almıştır. Fisher ve Pedersen [16] 3-12 ACH hava değişim aralığı için duvar, tavan ve zemin için geçerli bağıntılar geliştirmiştir (Eşitlik 11-13).

$$h_i=3,873+0,082(ACH)^{0,98}(\text{zemin}) \quad (11)$$

$$h_i=2,234+4,099(ACH)^{0,503}(\text{tavan}) \quad (12)$$

$$h_i=1,208+1,012(ACH)^{0,604}(\text{duvar}) \quad (13)$$

3-12 ACH aralığında duvar ısı taşınım katsayısı 3,2-5,8 W/m²K aralığında, tavan ısı taşınım katsayısı 9,4-16,5 W/m²K aralığında ve zemin ısı taşınım katsayısı 4,1-4,8 W/m²K aralığında değişmektedir. Sera iklimlendirmesinde hava değişim oranının etkisini de matematik modelde göstermek için Eşitlik 11, 12, 13'de verilen bağıntılar tercih edilmiştir. Buna göre toplam ısı geçiş katsayısı Eşitlik 14'e göre hesaplanmıştır.

$$\frac{1}{UA}=\frac{1}{h_iA}+\frac{L_0}{k_0A}+\frac{1}{h_oA} \quad (14)$$

Eşitlik 14 duvar ve tavan için ısı taşınım katsayıları ile yüzey alanları değiştiği için ayrı ayrı yazılması gerekmektedir.

2.3. Bitki Transpirasyonu

Seralarda evapotranspirasyon bitki transpirasyonu ve topraktan buharlaşma ile gerçekleşir. Belirli bir sıcaklıktaki bitki, yaprağındaki stomalar aracılığıyla bünyesindeki suyu ortam havasına aktarır. Bitkilerin bu tür fizyolojik işlemlerinin tanımlanması çok karmaşıktır. Fitz-Rodríguez ve arkadaşları [4] bitki transpirasyonunun seraya ulaşan güneş ışınımı ile doğru orantılı kabul ederek farklı boylarda bitkiler için bağıntı geliştirmiştir. Bu bağıntı, referans bitki transpirasyon miktarı 0.103 g/m²s olacak şekilde oluşturulmuştur (Eşitlik 15).

$$\dot{E}_T=\begin{cases} 0,0003\tau_c\dot{Q}_{\text{rad}}+0,0021, & \text{Büyük bitki} \\ 0,00006\tau_c\dot{Q}_{\text{rad}}+0,0004, & \text{Küçük bitki} \end{cases} \quad (15)$$

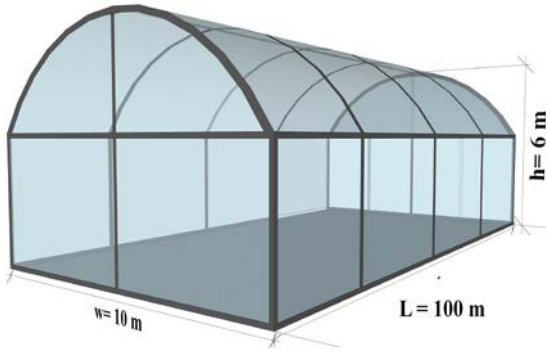
Bu çalışma kapsamında serada büyük bitki bulunduğu kabul edilmiştir. Bitki transpirasyonu bitki yüzey alanı ile doğru orantılıdır ve toplam bitki yüzey alanı 250 m² alınmıştır.

3. MATERYAL VE METOT

3.1. Materyal

Bu çalışma kapsamında seracılığın son yıllarda artış gösterdiği Mersin İli Silifke İlçesi'nde yer alan

(enlem=36,4°, boylam=33,9°, rakım=15 m) bir sera incelenmiştir. Şekil 1’de genel görünümü verilen sera 1000 m²’lik bir alan üzerine, direkli tünel sera modeli olarak inşa edilmiştir.



Şekil 1. Seranın genel görünümü

Sera IR katkı maddesine sahip PE plastik ile kaplanmıştır. Örtü malzemesinin özellikleri Çizelge 1’de verilmiştir.

Çizelge 1. Sera örtü malzemesi özellikleri

Özellikler	Çift katlı polietilen, IR Katkılı
Kalınlık	0,01 m
Isıl İletkenlik	0,06 W/mK
Yoğunluk	300 kg/m ³
Isıl Emilim ve Yayılım	%90
Özgül ısı	1220 J/kgK
Güneş geçirgenliği	%76
Güneş Yansımaları	%6
Görünür Geçirgenlik	%82
Görünür Yansıma	%13

Bu çalışma kapsamında, seranın bulunduğu bölgede yer alan meteoroloji istasyonunda 2012 yılında kaydedilmiş saatlik kuru termometre sıcaklığı, bağıl nem, bulut kapallığı, rüzgâr hızı ve yönü ile 1 metre derinlikte günlük ortalama toprak sıcaklığı verileri kullanılmıştır.

3.2. Matematik Model

Bu çalışma kapsamında seranın iç ortam sıcaklığı, nem miktarı ve toprak sıcaklığını tahmin etmek için enerji ve kütle denklemleri oluşturulmuştur. Aylık ortalama verilerin kullanıldığı statik çözümlerden farklı olarak saatlik meteoroloji verilerinin kullanıldığı, sera içi zamana bağlı değişimleri hesaba katan dinamik yaklaşım ortaya konmuştur. Matematik model saatlik veri girdileri, dış ortam kuru termometre sıcaklığı, bağıl nem, bulut kapallığı, yüzeylere gelen ışınım, rüzgâr hızı ve yönüdür. Ayrıca, 1 metre derinlikte günlük ortalama toprak sıcaklığı da kullanılmıştır. Sera iç ortam iklim şartlarını belirlemek için oluşturulan matematik modelde yapılan başlıca kabuller;

- Sera içi sıcaklık homojen dağılımlıdır.
- Sera içinde yoğuşma olmamaktadır.
- Sera açıklıklarından çıkan hava ortalama sera sıcaklığındadır.
- Seraya giren hava dış ortam sıcaklığındadır.
- Toprak yüzeyinde meydana gelen buharlaşma ihmal edilmiştir.
- Örtü malzemesinde enerji depolanmamaktadır.

3.2.1. Sera İç Ortam Havası İçin Enerji Dengesi

Örtü malzemesi ve toprak zemin ile çevrili sera iç ortam havası, çevre ($\dot{Q}_{\text{kayıp}}$) ve toprak ile ısı alış-verişindedir ($\dot{Q}_{\text{a-toprak}}$). Örtü malzemesinden seraya ulaşan güneş ışınımının belli bir kısmı hava tarafından soğurulmaktadır ($\alpha_a \tau_c \dot{Q}_{\text{rad}}$). Doğal olarak havalandırılan seranın sızıntılarda dâhil çevre ile hava değişimi sonucu ısı alış-verişi olmaktadır (\dot{Q}_{hava}). Bitki transpirasyonu sonucu ortama ısı aktarımı olmaktadır (\dot{Q}_{eva}). Sera sıcaklığını istenilen değere getirmek için gerekli olan ısıtma yükü de ($\dot{Q}_{\text{ısıtma}}$) enerji dengesinde belirtilmiştir. Eğer ısıtma yapılmayacaksa bu değer sıfır alınmaktadır (Eşitlik 16-21).

$$\rho_a c_{pa} V_a \frac{dT_a}{dt} = \alpha_a \tau_c \dot{Q}_{\text{rad}} - \dot{Q}_{\text{kayıp}} - \dot{Q}_{\text{hava}} - \dot{Q}_{\text{a-toprak}} - \dot{Q}_{\text{eva}} + \dot{Q}_{\text{ısıtma}} \quad (16)$$

$$\dot{Q}_{rad}=(A_{dik}I_{dik}+A_{yat}I) \quad (17)$$

$$\dot{Q}_{kayıp}=[(UA)_{duvar}+(UA)_{tavan}](T_a-T_o) \quad (18)$$

$$\dot{Q}_{a,toprak}=A_{toprak}h_{toprak}(T_a-T_t) \quad (19)$$

$$\dot{Q}_{hava}=\rho_a c_{pa} \frac{ACH \times V_a}{3600} (T_a-T_o) + h_{fg} \frac{ACH \times V_a}{3600} (W_a-W_o) \quad (20)$$

$$\dot{Q}_{eva}=h_{fg} \dot{E}_T A_{bitki} \quad (21)$$

Sera içi soğurma oranı (α_a) için Kıyan ve arkadaşları [17] ile Singh ve arkadaşları [18] yapmış oldukları kabuller kullanılmıştır ve 0,36 alınmıştır. Örtü malzemesi ışık geçirgenliği (τ_c) ise 0,76 alınmıştır [2].

3.2.2. Sera İç Ortam Havası için Kütle Dengesi

Sera içi nem oranı bitki gelişimi için önemli bir iklim parametresidir. Havalandırma, evapotranspirasyon ve yoğunlaşma hava nemini etkilemektedir. Yoğuşmanın ihmal edildiği bu matematik model için kütle dengesi oluşturulmuştur (Eşitlik 22).

$$\rho_a V_a \frac{dW_a}{dt} = \dot{E}_T A_{bitki} - \rho_a \frac{ACH \times V_a}{3600} (W_a - W_o) \quad (22)$$

3.2.3. Toprak için Enerji Dengesi

Toprak enerji depoladığı için gün içerisinde sera iklim şartlarına etki etmektedir. Toprak yüzeyi ile sera iç havası arasında taşınım ile ısı geçişi gerçekleşir ($\dot{Q}_{a-toprak}$). Sera içine giren güneş ışınımının belli bir kısmı toprak yüzeyine düşer. Bu güneş ışınımının bir kısmı toprak tarafından soğurulur ($\alpha_{toprak} \dot{Q}_{rad}$). Meteoroloji istasyonunda bir yıl boyunca ölçülen 1 metre derinlikteki günlük ortalama toprak sıcaklığı kullanılarak Xing [19] tarafından geliştirilen bağıntı ile toprak derinliği boyunca sıcaklık değişimi incelenmiştir (Eşitlik 23).

$$T(z, t_{gün}) = T_{t,ort} - \Delta T_{t,ort} e^{-z \sqrt{\frac{\pi}{a_t \tau}}} \cos \left(\frac{2\pi}{\tau} (t_{gün} - \theta_{gün}) - z \sqrt{\frac{\pi}{a_t \tau}} \right) \quad (23)$$

Buna göre gün içerisinde 1 metre derinlik boyunca sıcaklık değişiminin doğrusal olduğu tespit edilmiş ve toprak için enerji dengesi oluşturulmuştur. Bu yaklaşımda toprak ısı yayılım katsayısı (α_t) $9,72 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ ve ısı iletim katsayısı (k_{toprak}) 10 W/mK olarak alınmıştır (Eşitlik 24 ve 25).

$$\rho_{toprak} c_{ptoprak} V_{toprak} \frac{dT_t}{dt} = \alpha_{toprak} \tau_c \dot{Q}_{rad} + \dot{Q}_{toprak, iletim} + \dot{Q}_{a-toprak} \quad (24)$$

$$\dot{Q}_{toprak, iletim} = -k_{toprak} A_{toprak} \frac{T_{z=1m} - T_t}{L_t} \quad (25)$$

Toprak ısıtım soğurma oranı (α_{toprak}) Fitz-Rodríguez ve arkadaşları [4] yapmış olduğu çalışmada olduğu gibi 0,7 alınmıştır.

3.2.4. Çözüm Yöntemi

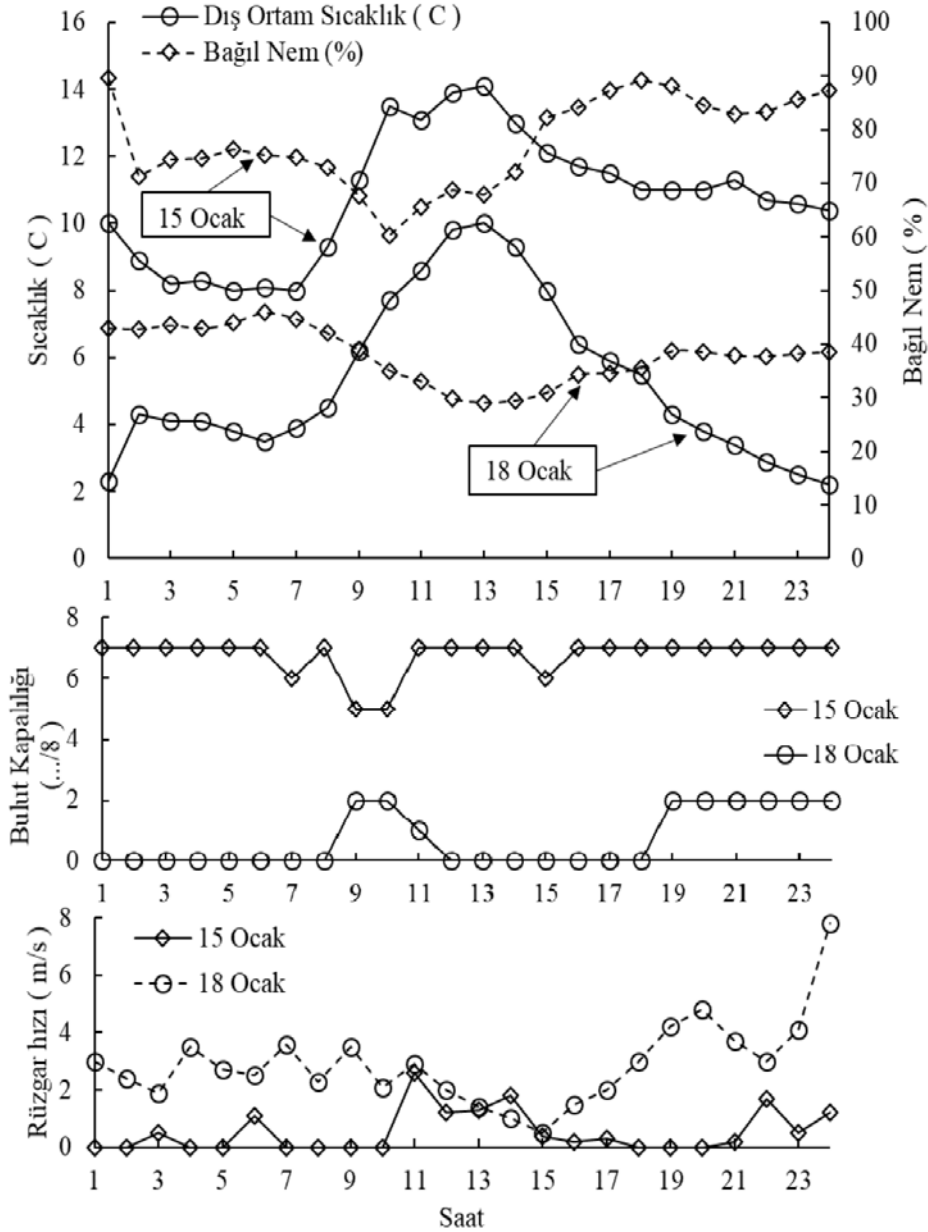
Sera iç ortam mikro iklim şartlarını belirlemek için oluşturulan matematik modelin sayısal çözümü Euler yaklaşımına göre yapılmıştır. Diferansiyel denklemler ileri sonlu fark yöntemi kullanılarak ayrıştırılmış ve Matlab® programında hazırlanan kod ile eş zamanlı çözülmüştür. Stabil çözüm elde edebilmek için zaman dilimi 1 saniye seçilmiştir.

İlk önce ısıtma yapılmadan ($\dot{Q}_{ısıtma}$) sera içi mikro iklim şartları belirlenmiştir. Daha sonra aynı şartlar altında sera içi sıcaklığı $15 \text{ }^\circ\text{C}$ yapmak için gerekli olan ısı yükü belirlenmiştir. Güneş ışınımı etkisi ile sera içi sıcaklık $15 \text{ }^\circ\text{C}$ 'nin üstünde olduğu zamanlarda ısıtma yapılmamıştır.

4. BULGULAR

Matematik model, kışın en soğuk dönemi olan Ocak ayı içerisinde farklı meteorolojik değerlere sahip 15 Ocak ve 18 Ocak için çözdürülmüştür. Devlet Meteoroloji İstasyonundan alınan verilere göre 15 Ocak gününün ortalama dış sıcaklığı $10,8 \text{ }^\circ\text{C}$, bağıl nemi %78 ve 18 Ocak için sırasıyla $5,3 \text{ }^\circ\text{C}$, %38 ölçülmüştür. Şekil 2'de bu tarihlere ait saatlik dış ortam kuru termometre sıcaklığı, bağıl nem, bulut kaplılığı ve rüzgâr hızı verilmiştir. 15 Ocakta

gökyüzü tamamen bulutla kapalı iken ortalama rüzgâr hızı 0,5 m/s'dir. 18 Ocakta ise tamamen açık bir gökyüzü vardır ve ortalama rüzgâr hızı 2,9 m/s'dir (Şekil 2).

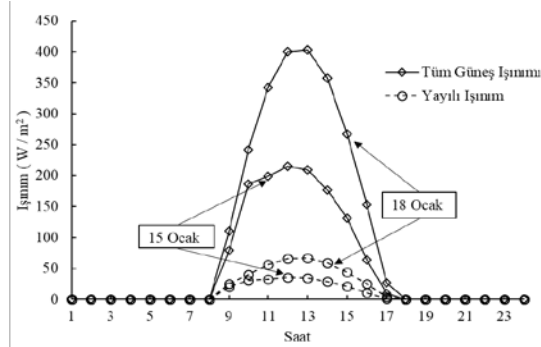


Şekil 2. 15 ve 18 Ocak günlerine ait saatlik meteoroloji verileri

Şekil 3'te Zhang ve Huang [10] modeline göre tahmin edilen saatlik güneş ışınımı ve hesaplanan yayılı ışınım değerleri verilmiştir. Bulut

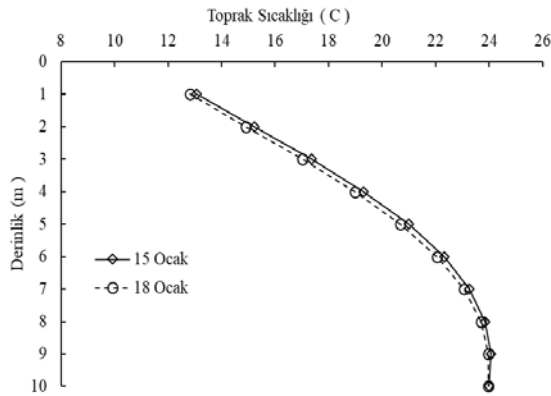
kapalılığının yoğun olduğu 15 Ocak günü ışınım değerlerinin az olduğu tespit edilmiştir. Günlük yatay düzleme gelen toplam ışınım 15 Ocak için

1,27 kWh/m²gün, 18 Ocak için 2,3 kWh/m²gün olarak hesaplanmıştır (Şekil 3).



Şekil 3. Zhang ve Huang [10] modeline göre tahmin edilen anlık tüm güneş ışınımı ve hesaplanan yayılı ışınım değerleri

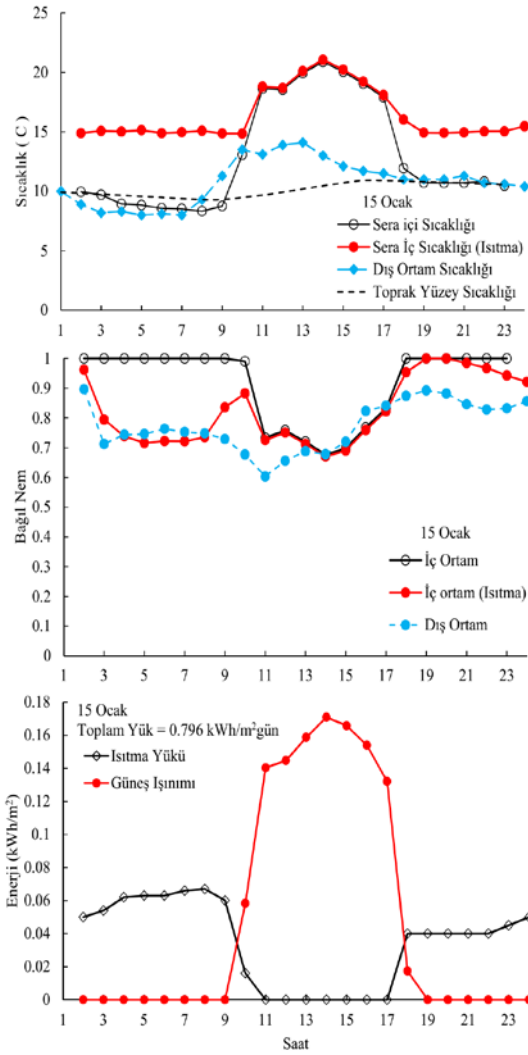
Devlet Meteoroloji İstasyonundan alınan 1 metre derinlikte toprak sıcaklık değerleri 15 Ocak için 13,3 °C ve 18 Ocak için 13,2 °C'dir. Xing [19] modeli kullanılarak toprak derinliği boyunca sıcaklık değişimi elde edilmiştir ve Şekil 4'te verilmiştir. Yaklaşık 8-9 metreye kadar sıcaklığın doğrusal bir şekilde arttığı ve sonrasında değişmediği tespit edilmiştir.



Şekil 4. Toprak sıcaklığının derinlik ile değişimi

Şekil 5'te 15 Ocak için serada ısıtmanın yapılması ve yapılmaması durumlarına göre matematik modelden elde edilen sera içi ortam ve toprak sıcaklıkları verilmiştir. Toprak yüzey sıcaklığının gün boyunca çok fazla değişmediği gözlemlenmiştir. Gün doğumu ile birlikte sera

ortam sıcaklığının arttığı ve yaklaşık 20-22 °C'ye ulaştırmıştır.



Şekil 5. Dinamik modelden elde edilen sera içi sıcaklık ve nem değerleri (15 Ocak)

ısıtmanın yapılması durumunda sera içi sıcaklığı 15 °C olarak alınmıştır. Bu değer üstünde, 11:00-17:00 saatleri aralığında, ısıtma yükü sıfır olarak hesaplanmıştır. Havalandırma ve istenmeyen açıklıklardan olan hava değişimi 1 ACH olarak alınmıştır ve bu değer tüm gün sabit olduğu kabul edilmiştir. Isıtmanın yapılmadığı ve güneş ışınımının olmadığı koşullarda toprak sıcaklığının etkisi ile iç

ortam sıcaklığının dış ortam sıcaklığına göre biraz yüksek olduğu görülmüştür. Isıtmanın yapılması durumunda gün doğumundan önceki ısıtma yükünün gün doğumundan sonraki değerlerden büyük olduğu görülmektedir. Gün batımından sonra gerekli olan ısıtma yükündeki azalma toprağın ısı depolamasına bağlıdır.

Yapılan hesaplamalarda sera içi sıcaklığının minimum 15 °C'de tutulmak istenmesi durumunda ısı gereksinimi 0,796 kWh/m²gün olarak hesaplanmıştır. Şekil 5'te ayrıca sera ve dış ortam bağıl nem değerleri verilmiştir. Isıtmanın yapılmadığı ve güneş ışınımının olmadığı koşullarda serada bağıl nemin doyma noktasına ulaştığı belirlenmiştir.

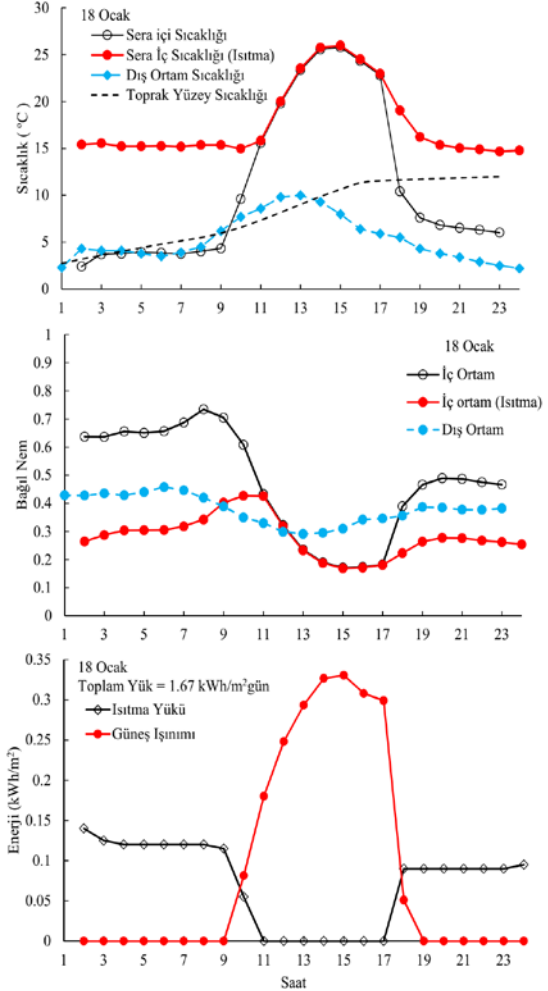
Fitz-Rodríguez ve arkadaşları [4] bitki transpirasyon modeline göre güneş ışınımının olmadığı koşullarda da bitkilerde transpirasyon gerçekleşmektedir.

15 Ocak gününde toplam bitki yüzey alanının 250 m² alındığı modelde bitki transpirasyonu ile sera nem oranı doyma noktasına gelmiştir. Isıtma olması durumunda artan sera sıcaklığına bağlı olarak havanın su tutma kapasitesi artmış ve sera içi bağıl nem değeri dış ortam değerlerine yakın çıkmıştır.

Şekil 6'da 18 Ocak gününe ait sera sıcaklık değerleri verilmiştir. 15 Ocaktan farklı olarak güneş ışınımının yüksek olmasından ötürü gün doğumundan batımına kadar sera içerisinde ortam sıcaklığının arttığı ve yaklaşık 24-26 °C olduğu tespit edilmiştir.

Güneş ışınımının yüksek olmasına bağlı olarak toprak yüzey sıcaklığı 10 °C'nin üstüne çıkmıştır. Bu durumda ısıtılmayan serada gün batımından sonra sera içi sıcaklığı dış ortam hava sıcaklığının yaklaşık 3 °C üstünde olduğu anlaşılmıştır.

Isıtılmayan serada sıcaklığı minimum 15 °C'de tutmak için 1,67 kWh/m²gün enerjiye ihtiyaç duyulduğu hesaplanmıştır. Anlık ısıtma yükü ihtiyacı incelendiğinde gün batımından sonra depolanan enerjinin etkisi ile ısıtma yükünde düşme meydana gelmiştir (Şekil 6).



Şekil 6. Dinamik modelden elde edilen sera içi sıcaklık ve nem değerleri (18 Ocak)

Şekil 6'da ayrıca 18 Ocak günü için serada ısıtma olması ve olmaması durumlarına göre sera içi ve dış ortam bağıl nem değerleri verilmiştir. Isıtılmayan serada bir önceki sonuçlara benzer olarak güneş ışınımının olmadığı vakitlerde sera içi sıcaklık dış ortama yakın iken, bağıl nem dış ortama göre yüksektir. Ancak dış ortam bağıl nemi %40 seviyesinde olduğu için bitki transpirasyonu sonucu nem miktarındaki artış doyma noktasına ulaşmamıştır. Isıtılan serada sıcaklık 15 °C'de tutulduğunda serada bağıl nem miktarında düşüş olmuştur. Bu zaman aralıklarında nemlendirme ihtiyacı oluşmuştur.

5. DEĞERLENDİRME

Mersin İli Silifke İlçesi'nde yer alan bir sera için dinamik yaklaşım ile matematik model oluşturulmuştur. Devlet Meteoroloji Genel Müdürlüğüne ait meteoroloji istasyonundan alınan kuru termometre sıcaklığı, bağıl nem, rüzgâr hızı ve yönü, bulut kapalılığı ve 1 metre derinlikte toprak sıcaklığı verileri kullanılarak sera içi ortam sıcaklığı, toprak yüzey sıcaklığı, nem oranı saatlik olarak tespit edilmiştir. Yatay ve dik yüzeylere gelen toplam ışınım değerleri hesaplanmıştır.

Hem 15 Ocak hem de 18 Ocak günlerinde dış sıcaklık geceleri 12 °C'nin altında olduğu için ısıtma ihtiyacı ortaya çıkmıştır. Serada sıcaklığı minimum 15°C'de tutabilmek için gerekli olan ısı yükü anlık olarak hesaplanarak 15 Ocak için 0,796 kWh/m²gün, 18 Ocak için 1,67 kWh/m²gün bulunmuştur.

15 Ocak gününde hesaplanan sera içi sıcaklık maksimum 22°C olduğu için havalandırmaya ihtiyaç duyulmamıştır. Ancak 18 Ocak günü saat 13.⁰⁰-15.⁰⁰ arası sıcaklık 22 °C'nin üzerine yükseldiğinden serada havalandırma ihtiyacı ortaya çıkmıştır.

15 Ocak günü ısıtılmayan serada nem oranı gece doyma noktasına ulaştığından havalandırma yapılarak nem oranı aşağıya çekilmelidir. Bu sayede sera içi yoğuşmanın önüne geçilecektir. Gündüz sera içi nem oranı %60-70 aralığında değiştiğinden serada havanın nemlendirilmesine gerek yoktur.

Isıtılan serada nem oranı düşmüştür. 18 Ocak günü ise hem gece hem de gündüz sera içi nem oranı %70'in altında olduğundan serada havanın nemlendirmesi gerekmektedir. Isıtmanın olması durumunda daha fazla nemlendirmeye ihtiyaç duyulacaktır.

15 Ocak günü yatay düzleme gelen toplam güneş ışınımı 1,27 kWh/m²gün iken 18 Ocakta bu değer 2,30 kWh/m²gün olmuştur.

Sonuç olarak sera içi mikro-iklim şartlarının belirlenmesi birçok parametrenin ölçümüne

bağlıdır. Bu çalışma ile bitki transpirasyonunun iç ortam nem miktarının belirlenmesinde etkili olduğu ortaya konmuştur. Toprak enerji depolama özelliğinden ötürü doğrudan sera içi sıcaklığı etkilemektedir. Anlık ısıtma yükü değişimi incelendiğinde ise bu yükün oluşumunda baskın olan parametrenin sera içi ile dış ortam arasında sıcaklık farkından dolayı oluşan ısı geçişi olduğu anlaşılmaktadır.

Semboller

A	: Alan (m ²)
ACH	: Hava değişim katsayısı (1/h)
A _{bitki}	: Bitki yüzey alanı (m ²)
A _{dik}	: Sera düşey yüzey alanı (m ²)
A _{toprak}	: Toprak yüzey alanı (m ²)
A _{yat}	: Sera yatay yüzey alanı (m ²)
CC	: Bulut kapalılığı
C _{pa}	: Hava özgül ısı (J/kgK)
C _{ptoprak}	: Toprak özgül ısı (j/kgK)
Ė _T	: Bitki transpirasyonu (gr/m ² s)
h _{fg}	: Su gizli ısı (j/kg)
h _i	: İç ortam ısı taşınım katsayısı (W/m ² K)
h _o	: Dış ortam ısı taşınım katsayısı (W/m ² K)
h _{toprak}	: Toprak yüzey ısı taşınım katsayısı (W/m ² K)
I	: Yatay düzleme gelen anlık ışınım (W/m ²)
I _d	: Yatay düzleme gelen anlık direkt ışınım (W/m ²)
I _{de}	: Eğik düzleme gelen anlık direkt ışınım (W/m ²)
I _{dik}	: Dik yüzeye gelen ışınım (W/m ²)
I _e	: Eğik düzleme gelen anlık ışınım (W/m ²)
I _{ext}	: Atmosfer dışı yatay düzleme gelen anlık ışınım (W/m ²)
I _o	: Işınım sabiti (1355 W/m ²)
I _y	: Yatay düzleme gelen anlık yayılı ışınım (W/m ²)
k _ö	: Örtü malzemesi ısı iletim katsayısı (W/mK)
k _{toprak}	: Toprak ısı iletim katsayısı (W/mK)
k _t	: Saatlik berraklık indeksi
L _ö	: Örtü malzemesi kalınlığı (m)
L _t	: Toprak kalınlığı (m)
n	: Gün sayısı
Q _{a-toprak}	: Sera iç havası ile toprak ısı alışverişi (W)

\dot{Q}_{eva}	: Evapotranspirasyon ısısı (W)
\dot{Q}_{hava}	: Havalandırma ile olan ısı kaybı (W)
$\dot{Q}_{kayıp}$: Sera iletim ve taşınım ısı kaybı (W)
\dot{Q}_{rad}	: Sera dış yüzeyin gelen toplam ışınlam (W)
$\dot{Q}_{ısıtma}$: Isı yükü (W)
$\dot{Q}_{toprak,iletim}$: Toprakta iletimle olan ısı geçişi (W)
R_d	: Işınlam geometrik faktörü
RH	: Bağıl nem (%)
RH_o	: Dış ortam Bağıl nemi (%)
s	: Yüzey eğimi (°)
T	: Sıcaklık (°C)
T_a	: Sera iç sıcaklığı (°C)
$t_{gün}$: Gün sayısı
T_o	: Dış ortam kuru termometre sıcaklığı (°C)
$T_{o,i}$: i saatinde dış ortam kuru termometre sıcaklığı (°C)
$T_{o,i-3}$: (i-3) saatinde dış ortam kuru termometre sıcaklığı (°C)
T_t	: Toprak yüzey sıcaklığı (°C)
$T_{t,ort}$: Yıllık ortalama toprak sıcaklığı (z=1m) (°C)
UA	: Toplam ısı geçiş katsayısı (W/K)
V_r	: Rüzgâr hızı (m/s)
W_a	: Sera içi nem miktarı (kg/kg kuru hava)
W_o	: Dış ortam nem miktarı (kg/kg kuru hava)
z	: Derinlik (m)
α_a	: Hava ışınlam soğurma oranı (0,36)
α_{toprak}	: Toprak ışınlam soğurma oranı (0,7)
α_t	: Toprak ısı yayılım katsayısı (m ² /s)
$\gamma_{yüzey}$: Yüzey azimut açısı (°)
δ	: Denklasyon açısı (°)
$\Delta T_{t,ort}$: Ortalama sıcaklık genliği (°C)
θ	: Güneş geliş açısı (°)
$\theta_{gün}$: En düşük sıcaklığın olduğu gün
θ_z	: Zenith açısı (°)
φ	: Enlem (°)
ω	: Saat açısı (°)
ρ_a	: Sera içi hava yoğunluğu (kg/m ³)
ρ_{yer}	: Yeryüzü ışınlam yansıtma oranı
ρ_{toprak}	: Toprak yoğunluğu (kg/m ³)
τ	: Zaman sabiti, 365
τ_c	: Örtü malzemesi ışık geçirgenliği (0,76)
V_a	: Sera iç hacmi (m ³)
V_{toprak}	: Toprak hacmi (m ³)

6. TEŞEKKÜR

Bu çalışma Mersin Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar Birimi tarafından 2018-1-TP2-2904 no'lu proje ile desteklenmiştir.

7. KAYNAKLAR

1. Zabeltitz, Chr. Von., 2011. Integrated Greenhouse Systems for Mild Climates: Climate Conditions, Design, Construction, Maintenance, Climate Control, Springer Heidelberg Dordrecht London New York.
2. Öztürk, H. H., 2008. Sera İklimlendirme Tekniği, Hasad Yayıncılık.
3. Kimball, B.A., 1973. Simulation of the Energy Balance of a Greenhouse, Agric. Meteorol., 11, 243-260.
4. Fitz-Rodríguez, E., Kubota, C., Giacomelli, G.A., Tignor, M.E., Wilson, S.B., McMahon, M., 2010. Dynamic Modeling and Simulation of Greenhouse Environments Under Several Scenarios: a Web-based Application. Computers and Electronics in Agriculture, 70, 105-116
5. Reyes-Rosas A., Molina-Aiz, F.D., Valera, D.L., López A., Khamkure, S., 2017. Development of a Single Energy Balance Model for Prediction of Temperatures Inside a Naturally Ventilated Greenhouse With Polypropylene Soil Mulch. Computers and Electronics in Agriculture, 142, 9-28.
6. Sethi, V.P., Sumathy, K., Lee, C., Pal, D.S., 2013. Thermal Modeling Aspects of Solar Greenhouse Micro Climate Control: A Review on Heating Technologies. Solar Energy, 96, 56-82.
7. Baytorun, A. N., Zaimoğlu, Z., Akyüz, A., Üstün, S., Çaylı, A., 2018. Comparison of Greenhouse Fuel Consumption Calculated Using Different Methods with Actual Fuel Consumption. Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology, 6(7), 850-857.
8. Kaya, B., Baytorun, A.N., 2017. Calculation of Greenhouse Heating Energy Requirements Under Mersin (Turkey) Climatic Conditions with Different Technical Approaches. Acta

- Hortic. 1170, 531-538. doi: 10.17660/Acta Hort. 2017.1170.66
9. Verloft, H., 1990. In Protected Cultivation in The Mediterranean Climate. Greenhouses in Cyprus, FAO.
 10. Zhang, Q.Y., Huang, Y.J., 2002. Development of Typical Year Weather Files for Chinese Locations, ASHRAE Transactions, 108, 1063-1075.
 11. Yaman, K., Arslan, G., 2018. The impact of Hourly Solar Radiation Model on Building Energy Analysis in Different Climatic Regions of Turkey. Build Simul, 11, 483-495.
 12. Erbs, D.G., Klein, S.A., Duffie, J.A., 1982. Estimation of the Diffuseradiation Fraction for Hourly, Daily and Monthly-average Global Radiation, Solar Energy, 28(4), 293-302.
 13. McAdams, W.H., 1954. Heat Transmission, New York, McHraw-Hill.
 14. ASHRAE Handbook: Fundamentals, 1989. American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers, Atlanta, GA.
 15. ASHRAE Handbook: Fundamentals, 1985. American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers, Atlanta, GA.
 16. Fisher, D.E., Pedersen, C.O., 1997. Convective Heat Transfer in Building Energy and Thermal Load Calculations. ASHRAE Transactions, 103, Pt. 2.
 17. Kıyan, M., Bingöl, E., Melikoglu, M., Albostan, A., 2013. Modelling and Simulation of a Hybrid Solar Heating System for Greenhouse Applications Using Matlab/Simulink. Energy Conversion and Management, 72, 147-155.
 18. Singh, R.D., Tiwari, G.N., 2010. Energy Conservation in the Greenhouse System: A Steady State Analysis. Energy, 35(6), 2367-2373.
 19. Xing, L., 2014. Estimations of Undisturbed Ground Temperatures using Numerical and Analytical Modeling. Ph.D. Diss. Oklahoma State University, Stillwater, OK.