

Seralarda Latent Isının Isı Gereksinim Katsayısına Etkisinin Belirlenmesi

A. Nafi BAYTORUN^{*1}, Zeynep ZAIMOĞLU², Özkan GÜĞERCİN¹

¹Çukurova Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü, Adana

²Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü, Adana

Geliş tarihi: 12.02.2018

Kabul tarihi: 25.12.2018

Öz

Seralarda ısı kayıpları örtü malzemesinin özelliğine bağlı transmisyon ve istenmeyen açıklıklardan infiltrasyon ile meydana gelen ısı kayıplarından oluşmaktadır. Seralarda kullanılan örtü malzemelerinin ısı gereksinim katsayıları örtü iç yüzeyindeki konveksiyon ve radyasyon ısı iletim dirençleri dikkate alınarak belirlenmektedir. Oya bitkisel üretimin yapıldığı seralarda örtü iç yüzeyinde ortaya çıkan yoğunlaşma önemli miktarda latent ısının dış ortama taşınmasına neden olur.

Yapılan bu çalışmada bitkisel üretimin yapıldığı seralarda örtü iç yüzeyinde ortaya çıkan yoğunlaşma dikkate alınarak farklı örtü ve sera donanımlarında ortaya çıkan dirençler dikkate alınarak basit bir yöntemle ısı gereksinim katsayısının hesaplanması amaçlanmıştır.

Yapılan çalışmada direnç modeliyle hesaplanan ısı geçirgenlik katsayıları uygulamada yapılan ölçümlerle elde edilen sonuçlarla uyum göstermiştir. Türkiye'deki tüm plastik seralarda kullanılan katkılı PE plastik sera için uygulamadaki ölçümlerle $4.08 \text{ W.m}^{-2}\text{K}^{-1}$ belirlenmiş olan transmisyon ısı iletim katsayısı, direnç metoduyla örtü iç yüzey ısı iletim katsayısının $h_t = 15 \text{ W.m}^{-2}\text{K}^{-1}$ olduğu koşullarda $4.23 \text{ W.m}^{-2}\text{K}^{-1}$ olarak belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar direnç modelinin, yalıtımı iyi seralarda infiltrasyon ısı kayıplarının çok küçük olması nedeniyle ısı gereksinim katsayısının hesaplanmasında kolaylıkla kullanılabileceğini göstermektedir.

Anahtar kelime: Isı tüketim katsayısı, Isı iletim katsayısı, Latent ısı, Isı perdesi

Determination of the Effect of Latent Heat on the Heat Requirement Coefficient in Greenhouses

Abstract

The heat losses in greenhouses due to the characteristics of the cover material consist of transmission and cause of infiltration from undesired openings. Heat requirement coefficients of the covering materials that it is used in greenhouses are determined by indicating the convection and radiation heat conduction resistances on the inner surface of the covering. However, condensation on the inner surface of the cover in greenhouses where vegetative production is carried out causes a significant amount of latent heat to be transported to the external environment.

*Sorumlu yazar (Corresponding author): A. Nafi BAYTORUN, baytorun@cu.edu.tr

In this study, it is aimed to examine the heat requirement coefficient in a basic way by taking into consideration the resistances occurring in different covering and greenhouse equipment by taking into account the concentration occurring in the inner surface of the cover in the greenhouses where vegetative production is made.

According to the study, the heat permeability coefficients calculated by the resistance model were in the same direction with the results obtained in the application. All additives used in plastic greenhouse PE with practical measurements for plastic greenhouses $4.08 \text{ W.m}^{-2}\text{K}^{-1}$ of the determined transmission heat transfer coefficient in Turkey resistance method with the shroud inner surface heat transfer coefficient $h_i = 15 \text{ W.m}^{-2}\text{K}^{-1}$ with the condition that $4.23 \text{ W.m}^{-2}\text{K}^{-1}$ has been determined. According to the results, the resistance model can be used easily in the calculation of the heat requirement coefficient due to the fact that the infiltration heat losses are very small in the insulating greenhouses.

Keywords: Heat consumption coefficient, Heat conductivity coefficient, Latent heat, Energie screen

1. GİRİŞ

Seralar bitkiler için gerekli olan büyüme etmenlerini (sıcaklık, nem, ışık, CO₂) optimum düzeyde tutabildiklerinden açık alanda yapılan üretime göre oldukça yüksek verim sağlayan teknik donanımına sahip yapılardır. Buna ek olarak uygun yetiştirme koşullarının sağlanması nedeniyle üretim periyodunun uzaması verimi artırıcı etki yaratmaktadır. Ancak modern seracılığa yapılan yatırım yüksek kapital gerektirmektedir. Özellikle seranın kurulduğu yerdeki iklim koşullarına bağlı olarak ortaya çıkan ısıtma giderleri, üretimin sürdürülebilirliğini zorlamaktadır. Sürekli artan enerji fiyatları ısıtmanın üretim giderleri içindeki payını yükseltmektedir. Akdeniz iklim koşullarında ısıtma giderleri üretim giderlerinin %20-25'ini kapsamaktadır [1]. Günümüzde yapılan üretimin ekonomikliğini sorgulamak için düşük enerji gereksinimi gösteren üretim programlarına veya üretim yöntemlerine ihtiyaç duyulmaktadır.

Seralarda enerji gereksinimini hesaplayan yeterli sayıda model bulunmaktadır. Kullanılan model ne kadar fazla parametre gerektiriyorsa o derece karmaşıktır. Modellerde kullanılan parametreler kabaca tahmin ediliyor veya varsayılıyor, elde edilen sonuçlardan yüksek güvenilirlik beklenemez. Belirtilen nedenle kullanılacak modeller mümkün olduğunca az parametre gerektirmeli ve uygulamadaki sonuçlarla uyummalıdır. Almanya'daki seralar için oluşturulmuş HORTEX ve Türkiye'deki farklı iklim bölgeleri için ısıtma sistemi parametrelerini ve ısı gereksinimini

hesaplayan ISIGER-SERA bu modellere örnek verilebilir [2, 3].

Seralarda ısı gereksinimi Eşitlik 1 temel ilişkisi ile belirlenmektedir [2, 4, 5].

$$\Phi = \sum_{n=1}^{8760} U_{cs} * A_c * (\theta_i - \theta_e) - q_s * A_G * \tau * \eta \quad (1)$$

Eşitlikte;

Φ : Isı gereksinimi (W)

U_{cs} : Isı gereksinim katsayısı (W/m²K)

A_c : Sera örtü yüzey alanı (m²)

$\theta_i - \theta_e$: İç ve dış ortam sıcaklık farkı (K)

q_s : Güneş ışınımı (W/m²)

A_G : Sera taban alanı (m²)

τ : Örtü malzemesinin geçirgenliği (-)

η : Işınımın duyulur ısıya dönüşüm faktörü (-)

Eşitlik 1'in birinci bölümü seradan meydana gelen ısı kayıplarını tanımlamaktadır. Eşitliğin bu bölümündeki ısı gereksinim katsayısı (U_{cs}) farklı etmenler tarafından etkilenmektedir. Bunlar sırasıyla örtü malzemesinin özelliği, sera donanımı, rüzgar hızı, gökyüzü koşulları (bulut, gökyüzü sıcaklığı) ısıtma sistemi ve evapotranspirasyondur. Eşitlik 1'in ikinci bölümü güneşten kazanılan enerjiyi tanımlamaktadır. η üretimin yapılmadığı boş sera için 1.0 olarak kabul edilirken, yaprak/alan

indeksi (LAI) yüksek olan domates veya hıyar gibi bitkilerin yetiştirildiği sera için koşullara bağlı olarak 0'a yaklaşmaktadır [2].

Eşitlik 1'den görüleceği gibi serada ısı gereksiniminin hesaplanmasında çok az parametreye ihtiyaç duyulmaktadır. Ancak hesaplama için gerekli olan bu parametreler seranın sahip olduğu donanım ve serada üretilen bitki çeşidine göre doğru olarak belirlenmelidir. Isı gereksinim katsayısı (U_{cs}), örtü malzemesine ve sera donanımına bağlı ısı geçirgenlik katsayısının (U) ve serada istenmeyen açıklıklardan meydana gelen hava değişimine bağlı geçirgenlik katsayısının (U_L) toplamına eşittir [2, 4].

$$U_{cs} = U + U_L \quad (\text{W.m}^{-2}\text{K}^{-1}) \quad (2)$$

Eşitlikte;

U : Örtü malzemesinin sera donanımına bağlı ısı geçirgenlik katsayısı ($\text{W.m}^{-2}\text{K}^{-1}$)

U_L : Örtü malzemesindeki istenmeyen açıklıklara bağlı ısı geçirgenlik katsayısı ($\text{W.m}^{-2}\text{K}^{-1}$)

Son yıllarda kurulan modern seralar oldukça yalıtkan bir şekilde inşa edilmektedirler. Belirtilen nedenle iyi yalıtılmış seralarda istenmeyen açıklıklardan meydana gelen ısı kayıplarının ihmal edilmesi, hesaplama sonuçlarını pek etkilememektedir. İyi yalıtılmış serada ortaya çıkan ısı akılarının analizi konusunda yapılan çalışmada, örtü iç yüzey ısı iletimi (h_i) ile rüzgar hızı arasında anlamlı bir ilişki belirlenmemiştir [6]. Bu nedenle literatürde verilen ısı geçirgenlik katsayısına (U) göre iyi yalıtılmış seralarda ısı gereksiniminin hesaplanması büyük anlam kazanmaktadır. Ancak ısı gereksiniminin hesaplanmasında kullanılan bu katsayı (U) koşullu olarak bitkisel üretimin yapılmadığı boş seralar için uygundur. Bunun da nedeni malzemenin özelliklerine göre belirlenmiş olan bu katsayının, örtü iç yüzeyinde oluşan yoğunlaşma sonucu duyulur ısıya dönüşen gizli ısı akısını kapsamamasıdır. Bitkisel üretimin yapıldığı serada örtü iç yüzeyindeki konvektif (Φ_{ik}) ve radyasyon (ışınım) ısı akısına (Φ_{ir}) ek olarak örtü yüzeyinde ortaya çıkan yoğunlaşmaya bağlı ısı akısı da (Φ_{ic}) ortaya çıkmaktadır. Bu yüzden bitkisel

üretimin yapıldığı serada örtü iç yüzeyinde ortaya çıkan ısı akısı eşitlik 3 yardımı ile hesaplanmaktadır [2].

$$\Phi_i = \Phi_{ik} + \Phi_{ic} + \Phi_{ir} \quad (\text{W}) \quad (3)$$

Eşitlikte;

Φ_i : Örtü iç yüzeyindeki ısı akısı (W)

Φ_{ik} : Örtü iç yüzey konvektif ısı akısı (W)

Φ_{ic} : Örtü iç yüzey kondensasyon ısı akısı (W)

Φ_{ir} : Örtü iç yüzey radyasyon (ışınım) ısı akısı (W)

Eşitlik 3'te belirtilen ısı akıları için aşağıdaki ısı iletim ilişkisi yazılabilir.

$$h_i = h_{ik} + h_{ic} + h_{ir} \quad (\text{W m}^{-2}\text{K}^{-1}) \quad (4)$$

Eşitlikte;

h_i : Örtü iç yüzey ısı iletim katsayısı ($\text{W m}^{-2}\text{K}^{-1}$)

h_{ik} : Örtü iç yüzey konvektif ısı iletim katsayısı

h_{ic} : Örtü iç yüzey kondensasyon ısı iletim katsayısı

h_{ir} : Örtü iç yüzey ışıma ısı iletim katsayısı

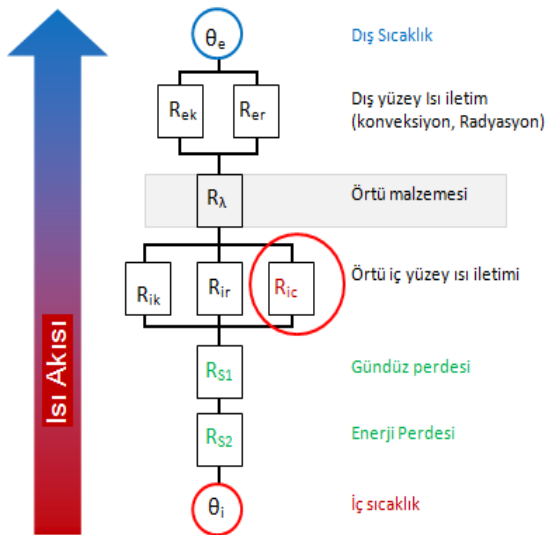
Konvektif ısı iletimi, örtü malzemesinin iç yüzeyinde ortaya çıkan hava akımına (laminar, türbülans), ısıtma sistemine (borulu ısıtma, üfleli ısıtma), serbest konveksiyon koşullarında seranın yüksekliğine ve hava ile çatı yüzey sıcaklığı arasındaki farka bağlıdır [7]. Serada ışıma ile ortaya çıkan ısı akısı ise, ısıtma sistemine ve radyasyon yoluyla ısı değişiminin meydana geldiği yüzeylerin sıcaklığına bağlıdır. Radyasyon ve konveksiyon ısı akısı hatasız hesaplanabilmektedir [7]. Ancak örtü iç yüzeyinde yoğunlaşma sonucu ortaya çıkan ısı akısı (Φ_{ic}) veya kondensasyon ısı iletiminin (h_{ic}) belirlenmesi oldukça zordur. Bunun nedeni serada ortaya çıkan transpirasyonun Yaprak/Alan İndeksine (LAI) ve bitkilerin stoma açıklıklarına bağlı olarak değişim göstermesidir. Bu da ısı gereksinim katsayısını (U_{cs}) ve dolayısı ile seranın ısı gereksinimini etkilemektedir. Isı gereksinimi

hesaplamalarında kullanılan ısı gereksinim katsayısının (U_{cs}) hangi koşullar için kullanılabileceği konusunda, özellikle hangi bitki olduğu ile ilgili, yeterli açıklama bulunmadığından U_{cs} katsayısına bağlı olarak elde edilen sonuçların hata içermesine neden olmaktadır.

Yapılan bu çalışmada; farklı örtü malzemeleri için malzemenin özelliğine göre belirlenmiş ısı geçirgenlik katsayısı dikkate alınarak, sera donanımına ve örtü iç yüzeyindeki yoğunlaşmaya bağlı ısı gereksinim katsayısının belirlenmesi amaçlanmıştır.

2. METOT

Yapılan çalışmada, sıcak sera ortamından soğuk dış ortama doğru oluşan ısı akılarının, sera donanımına ve örtü malzemesinin özelliğine bağlı dirençleri esas alınarak ısı geçirgenlik katsayısı hesaplanmıştır. Sera örtü malzemesine ve seradaki donanıma bağlı ortaya çıkan dirençler Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Isı geçirgenlik katsayısının belirlenmesinde kullanılan direnç modeli

Bu yönetime göre, serada kullanılan ısıtma sistemi ve ısı korunumu amacıyla kullanılan farklı donanımların (ısı perdesi, çok katlı örtü malzemesi) dikkate alınması.

Yapılan çalışmada Türkiye'de sera örtü malzemesi olarak en fazla kullanılan PE plastik, PC plakalar ve cam için ısı iletim katsayıları hesaplanmıştır. Serada ısı koruma amacıyla ısı perdeleri esas alınmıştır. Farklı örtü malzemelerinin ve serada ısı perdesinin kullanılması durumunda ısı geçirgenlik dirençleri Şekil 1'de verildiği gibi toplanarak belirlenmiş ve Eşitlik 5'te verilmiştir.

$$R = (R_i + R_\lambda + R_e + R_{s1}) \quad (\text{m}^2\text{K}\cdot\text{W}^{-1}) \quad (5)$$

Eşitlikte;

R : Isı iletim direnci ($\text{m}^2\text{K}\cdot\text{W}^{-1}$)

R_i : Örtü iç yüzey ısı iletim direnci ($\text{m}^2\text{K}\cdot\text{W}^{-1}$)

R_λ : Örtü malzemesi ısı iletim direnci ($\text{m}^2\text{K}\cdot\text{W}^{-1}$)

R_e : Örtü dış yüzey ısı iletim direnci ($\text{m}^2\text{K}\cdot\text{W}^{-1}$)

R_{s1} : Isı perdesi ısı iletim direnci ($\text{m}^2\text{K}\cdot\text{W}^{-1}$)

Farklı örtü malzemelerinin ısı geçirgenlik katsayısı (U) örtü iç, dış yüzeyinde ve örtü malzemesinde ortaya çıkan dirençlerin toplamından gidilerek Eşitlik 6 yardımı ile belirlenmiştir.

$$U = (R_i + R_\lambda + R_e)^{-1} \quad (\text{W}\cdot\text{m}^2\text{K}^{-1}) \quad (6)$$

Bitkisel üretimin yapılmadığı seralarda örtü iç yüzeyinde ortaya çıkan ısı iletimi ($h_i = 9$) ve dış yüzey ısı iletimi ($h_e = 25 \text{ W}\cdot\text{m}^2\text{K}^{-1}$) alınmıştır [2, 4, 6, 8]. Bu durumda örtü iç yüzey ısı iletim direnci $R_i = 0,111 \text{ m}^2\text{K}\cdot\text{W}^{-1}$ ve örtü dış yüzey ısı iletim direnci $R_e = 0,04 \text{ m}^2\text{K}\cdot\text{W}^{-1}$ olmaktadır. Örtü iç ve dış yüzey ısı iletim dirençleri dikkate alınarak farklı malzemelerin laboratuvar koşullarında belirlenmiş ısı geçirgenlik katsayılarından (U) gidilerek Eşitlik 7 yardımıyla örtü malzemesinin ısı iletim dirençleri (R_λ) hesaplanmıştır.

$$R_\lambda = U^{-1} - R_i - R_e \quad (\text{m}^2\text{K}\cdot\text{W}^{-1}) \quad (7)$$

Örtü malzemesinin dış yüzey ısı iletimi (h_e), rüzgar hızına (v_w) (konveksiyon) ve gökyüzü koşullarına göre (bulut, gökyüzü sıcaklığı θ_{sk}) ortaya çıkan ısınma bağlıdır.

$$h_e = \frac{1}{R_e} = f(v_w, \theta_{sk}) \quad (8)$$

Tek kat örtü malzemesi ile kaplı seralarda h_e değerinin rüzgar hızına göre değişimi konusunda yeterli sayıda çalışma sonuçları vardır [7]. Serada çift veya çok katlı örtü malzemesinin kullanılması ve gökyüzünün açık olması durumunda, örtü malzemesinin dış yüzeyinde ışıma ile ortaya çıkan ısı akısı, sera içinden dışarıya olan ısı akısından büyüktür. Bu durumda çatı örtü malzemesinin dış yüzey sıcaklığı dış hava sıcaklığının altına düşmektedir. Bu koşullarda h_e değeri negatif bir değere ulaştığından pek anlamı kalmamaktadır. Böyle durumlarda R_e değeri R_λ değerine göre çok küçük olduğundan ihmal edilebilmektedir [2].

Genelde sera örtü iç yüzeyindeki ısı iletim direncinin hesaplanmasında, örtü iç yüzeyindeki konveksiyon ve radyasyon ısı akısı direnci dikkate alınmaktadır. Ancak bu hesaplama yöntemi bitkisel üretimin yapılmadığı seralar için uygundur. Serada bitkisel üretim yapılması durumunda ortaya çıkan evapotranspirasyona ve örtü iç yüzeyindeki yoğunlaşmanın da dikkate alınması zorunludur. Bitkisel üretimin yapıldığı serada örtü iç yüzey ısı iletim direnci Eşitlik 9 yardımı ile hesaplanmaktadır [2].

$$R_i = R_{ik} + R_{ir} + R_{ic} \quad (m^2K.W^{-1}) \quad (9)$$

Eşitlikte;

R_{ik} : Örtü iç yüzey konveksiyon ısı iletim direnci ($m^2K.W^{-1}$)

R_{ir} : Örtü iç yüzey radyasyon ısı iletim direnci ($m^2K.W^{-1}$)

R_{ic} : Örtü iç yüzey kondensasyon ısı iletim direnci ($m^2K.W^{-1}$)

Sera örtüsünde ortaya çıkan ısı iletiminde önemli olan, örtü iç yüzeyindeki ısı iletim direncidir (R_i). Örtü iç yüzeyinde ortaya çıkan ısı akısı Eşitlik 3'te verilmiştir. Örtü iç yüzeyindeki yoğunlaşmaya bağlı ısı akısı, konveksiyon ve radyasyon ısı akısına paralel olarak ortaya çıkmaktadır. Bu durumda örtü iç yüzey ısı iletimi Eşitlik 4'e göre toplanarak belirlenmektedir.

Bitkisel üretimin yapıldığı serada örtü malzemesinde ortaya çıkan toplam ısı akısının ne kadarının latent ısı akısıyla meydana geldiği, hesaplamalarda büyük önem arz etmektedir.

$$P_{lat} = \left(\frac{h_{ic}}{h_i} \right) \quad (-) \quad (10)$$

Eşitlikte;

P_{lat} : Örtü malzemesinde ortaya çıkan latent ısı akısının toplam ısı akısına oranı (-)

h_{ic} : Örtü iç yüzey kondensasyon ısı iletim katsayısı ($W m^{-2}K^{-1}$)

Örtü malzemesinde ortaya çıkan latent ısı akısının toplam ısı akısına oranı (P_{lat}) örtü iç yüzeyinde ortaya çıkan ısı iletim (h_i) değerine bağlı olarak değişmektedir. Tantau [2] iyi yalıtılmış serada saksıda süs bitkisi üretiminin yapıldığı koşullarda latent ısı akısının toplam ısı akısına oranını %25-40 arasında belirlemiştir. Araştırmacı yaptığı çalışmalara dayanarak domates ve hıyar gibi büyük Yaprak/Alan İndeksine sahip bitkilerin yetiştirildiği seralarda latent ısı akısının toplam ısı akısına oranının %50-60 arasında alınabileceğini ifade etmektedir [2]. Yapılan bu çalışmada örtü malzemesinden oluşan toplam ısı akısının %25, %40 ve %50'sinin latent ısı olarak ortaya çıktığı kabul edilmiş ve buna bağlı olarak hesaplamalarda örtü iç yüzey ısı iletimleri $h_i=12$, $h_i=15$ ve $h_i=18 W.m^{-2}K^{-1}$ olarak alınmıştır.

Serada ısı koruma amacıyla kullanılan farklı perdelerin ısı iletim dirençleri (R_s) Çizelge 1'de verilmiştir [6].

Çizelge 1. Seralarda kullanılan farklı perdelerin ısı geçirgenlik dirençleri [6]

Perde	R_s ($m^2K.W^{-1}$)
Gündüz perdesi	0,08
Enerji perdesi	0,14
Gölgeleme perdesi	0,36

Serada kullanılan ısı perdelerine bağlı olarak hesaplanan ısı geçirgenlik katsayılarında Çizelge 1'de verilen direnç değerleri esas alınmıştır. Serada farklı örtü malzemesi ve ısı koruma amacıyla farklı perdelerin kullanılması durumunda

Şekil 1’de verilen direnç modelinde görüldüğü gibi kullanılan örtü malzemesi ve perdelerin ısı geçirgenlik dirençleri toplanarak U katsayıları hesaplanmıştır.

$$U = (R_i + R_\lambda + R_e + R_{s1} + R_{s2})^{-1} \quad (\text{W.m}^{-2}\text{K}^{-1}) \quad (11)$$

Serada çatı iç yüzeyinde ortaya çıkan yoğunlaşma miktarının belirlenmesi için çatı iç yüzey sıcaklığının bilinmesi gereklidir. Çatı iç yüzey sıcaklığının hesaplanması Eşitlik 12 yardımı ile yapılmıştır [2].

$$\theta_{si} = (R_\lambda + R_e) * U * (\theta_i - \theta_e) + \theta_e \quad (^\circ\text{C}) \quad (12)$$

Eşitlikte;

$$\theta_{si}: \text{Örtü iç yüzey sıcaklığı } (^\circ\text{C})$$

Örtü iç yüzeyinde ortaya çıkan yoğunlaşma serada nem miktarını etkilemektedir. Örtü iç yüzeyinde yoğunlaşan su miktarı (Co) Eşitlik 13 yardımı ile hesaplanmıştır [2].

$$Co = \frac{h_{ic} * (\theta_i - \theta_e)}{r_0 * 3600} \quad (\text{g.m}^{-2}\text{h}^{-1}) \quad (13)$$

Eşitlik 13’te;

Co : Örtü iç yüzeyinde yoğunlaşan su ($\text{g.m}^{-2}\text{h}^{-1}$)

r_0 : Buharlaşma ısısı (J.kg^{-1})

3. BULGULAR

Serada farklı örtü malzemesi ve ısı koruma amacıyla farklı perdelerin kullanılması durumunda Şekil 1’de verilen direnç modelinden gidilerek Eşitlik 11’e göre farklı donanımlar için hesaplanan ısı geçirgenlik katsayıları Çizelge 2’de verilmiştir. PE plastiğin ısı iletim direncinin (R_λ) negatif çıkması PE’nin uzun dalgalı ısı ışınlarını geçirmesinden kaynaklanmaktadır [2]. Çizelge 2’den de görüleceği gibi bitkisel üretimin yapıldığı seralarda artan örtü iç yüzey ısı iletimine bağlı olarak ısı geçirgenlik katsayısı da artmaktadır. Tek kat PE plastik kaplı boş sera için hesaplanan ısı geçirgenlik katsayısı $7 \text{ W.m}^{-2}\text{K}^{-1}$ iken, domates ve hıyar gibi büyük Yaprak/Alan İndeksine (LAI) sahip bitkilerin yetiştirildiği seralarda ($h_i = 18 \text{ W.m}^{-2}\text{K}^{-1}$) U değeri %64 artarak $11,5 \text{ W.m}^{-2}\text{K}^{-1}$ değerine yükselmektedir.

Çizelge 2. Sera iç yüzey ısı iletimine (h_i) bağlı hesaplanmış ısı tüketim katsayıları

$R_e = 0,04 \text{ m}^2\text{K.W}^{-1}$	$h_i = 9$	R_λ	$h_i = 12$	$h_i = 15$	$h_i = 18$
$R_i \text{ m}^2\text{K.W}^{-1}$	0,11111		0,08333	0,06666	0,05555
	U		U	U	U
Plastik örtü malzemeleri	$\text{W.m}^{-2}\text{K}^{-1}$	$\text{m}^2\text{K.W}^{-1}$	$\text{W.m}^{-2}\text{K}^{-1}$	$\text{W.m}^{-2}\text{K}^{-1}$	$\text{W.m}^{-2}\text{K}^{-1}$
Tek kat PE UV katkılı	7,0	-0,01	8,7	10,2	11,5
Çift kat PE UV katkılı	3,4	0,14	3,8	4,0	4,2
Cam ve sert örtü malzemeleri					
Tek kat cam	6,0	0,02	7,2	8,2	9,0
Çift kat cam	3,0	0,18	3,3	3,5	3,6
PC 6 mm aralıklı	3,6	0,13	4,0	4,3	4,5
PC 10 mm aralıklı	3,2	0,16	3,5	3,7	3,9
PC 16 mm aralıklı	1,8	0,40	1,9	2,0	2,0
Farklı örtü malzemeleri + Farklı perdeler					
Tek kat cam + Enerji perdesi	3,26	0,14	3,59	3,81	3,98
Tek kat cam + Gündüz + Enerji perdesi	2,59	0,22	2,75	2,88	2,98
Tek kat cam + 2 enerji + Gölgeleme perdesi	1,34	0,58	1,38	1,42	1,44
PE Plastik + Enerji perdesi	3,54	0,14	3,95	4,23	4,43
PE Plastik + Gündüz + Enerji perdesi	2,76	0,22	3,00	3,16	3,27

Çizelge 2’de görüleceği gibi serada üretimin yapılmadığı koşullarda ($h_i = 9 \text{ W.m}^{-2}\text{K}^{-1}$) artan ısı koruma önlemlerine (çift katlı örtü, ısı perdesi) bağlı ısı geçirgenlik katsayısı (U) ile serada üretimin yapıldığı koşullardaki ($h_i = 12, h_i = 15$ ve

$h_i = 18 \text{ W.m}^{-2}\text{K}^{-1}$) U değerleri arasındaki fark azalmaktadır. Serada ısı koruma amacıyla farklı sayıda perdenin kullanılması durumunda U katsayısı, kullanılan her perdenin ısı geçirgenlik direnci (R_s) eklenerek belirlenmelidir. Çizelge 2’de

hesaplanan U değerleri serada üretilen bitkinin transpirasyonuna bağlı ortaya çıkan örtü iç yüzey ısı iletim katsayıları için geçerlidirler.

Tek kat örtü malzemesi ile kaplı seralarda örtü yüzey sıcaklığına bağlı olarak ortaya çıkan yoğunlaşma çift kat örtü ile kaplı seralara göre daha fazadır. Örtü iç yüzeyindeki yoğunlaşmaya aynı zamanda dış sıcaklıkta etki etmektedir. Isı perdelerinin kullanıldığı serada yoğunlaşmanın sadece örtü iç yüzeyinde olduğu ve ısı perdelerinde yoğunlaşmanın meydana gelmediği kabul edilmiştir.

Örtü iç yüzey ısı iletimlerinin latent ısı iletimine oranı %25-40 ve 50 olduğunda, kondensasyon ısı iletimi $h_{ic} = 3$, $h_{ic} = 6$ ve $h_{ic} = 9 \text{ W.m}^{-2}\text{K}^{-1}$ olarak alınabilmektedir [2]. Serada sıcaklığın $\theta_i = 20 \text{ }^\circ\text{C}$,

dış sıcaklığın $\theta_e = -5 \text{ }^\circ\text{C}$ ve $\theta_e = 5 \text{ }^\circ\text{C}$ olarak kabul edildiği koşullarda sera örtüsü iç yüzeyinde ortaya çıkan yoğunlaşma miktarı hesaplanarak Çizelge 3'te verilmiştir. Çizelge 3'te görüldüğü gibi örtü iç yüzeyindeki yoğunlaşma miktarı örtü iç yüzeyi sıcaklığına bağlı olarak değişmektedir

Serada alınan ısı koruma önlemlerine bağlı olarak azalan çatı iç yüzey sıcaklığına ve azalan U değerlerine veya artan dış sıcaklık değerlerine bağlı olarak örtü iç yüzeyinde ortaya çıkan yoğunlaşma azalmaktadır. Bu da sera yalıtımının iyileştirilmesi durumunda perde altındaki nem değerlerinin yükselmesi anlamına gelmektedir. Isı perdeli modern seralarda sıkça ortaya çıkan bu durum, bitkiler için önemli olan Ca gibi besin maddelerinin alınmasını azalttığı gibi, mantar hastalıklarının ortaya çıkma riskini artırmaktadır.

Çizelge 3. Farklı örtü malzemelerinin iç yüzey ısı iletimlerine ve sera iç-dış sıcaklıklarına göre örtü iç yüzey sıcaklıkları ve yoğunlaşan su miktarı

$R_e = 0,04 \text{ m}^2\text{K.W}^{-1}$	$h_i=9$	$h_i=12$	$h_i=15$	$h_i=18$	$h_i=12$	$h_i=15$	$h_i=18$	$h_i=9$	$h_i=12$	$h_i=15$	$h_i=18$	$h_i=9$	$h_i=12$	$h_i=15$	$h_i=18$	
Dış Sıcaklık	$\theta_e = -5 \text{ }^\circ\text{C}$				$\theta_e = -5 \text{ }^\circ\text{C}$				$\theta_e = 5 \text{ }^\circ\text{C}$				$\theta_e = 5 \text{ }^\circ\text{C}$			
	Örtü iç yüzey sıcaklığı (θ_{si})				Yoğunlaşma (Co)				Örtü iç yüzey sıcaklığı (θ_{si})				Yoğunlaşma (Co)			
Plastik örtü malzemeleri	$^\circ\text{C}$				$\text{g.m}^{-2}\text{h}^{-1}$				$^\circ\text{C}$				$\text{g.m}^{-2}\text{h}^{-1}$			
Tek kat PE UV katkılı	0,6	1,9	3,1	4,1	87	162	228	8,3	9,1	9,8	10,5	52	97	137		
Çift kat PE UV katkılı	10,6	12,2	13,3	14,2	37	64	84	14,3	15,3	16,0	16,5	22	38	50		
Cam ve sert örtü malzemeleri																
Tek kat cam	3,3	5,0	6,4	7,5	72	131	179	10,0	11,0	11,8	12,5	43	78	108		
Çift kat cam	11,7	13,2	14,2	15,0	33	55	72	15,0	15,9	16,5	17,0	20	33	43		
PC 6 mm aralıklı	10,0	11,7	12,9	13,8	40	68	90	14,0	15,0	15,7	16,3	24	41	54		
PC 10 mm aralıklı	11,1	12,7	13,8	14,6	35	60	78	14,7	15,6	16,3	16,8	21	36	47		
PC 16 mm aralıklı	15,0	16,1	16,7	17,2	19	31	40	17,0	17,6	18,0	18,3	11	19	24		
Farklı örtü malzemeleri + Farklı perdeler																
Tek kat cam + Enerji perdesi	-0,5	0,0	0,3	0,5	38	63	93	7,7	8,0	8,2	8,3	23	38	56		
Tek kat cam + Gündüz + Enerji perdesi	-1,4	-1,2	-1,0	-0,9	28	47	66	7,2	7,3	7,4	7,5	17	28	40		
Tek kat cam + 2 enerji + Gölgeleme per.	-3,1	-3,1	-3,0	-3,0	14	23	32	6,1	6,2	6,2	6,2	8	14	19		
PE Plastik + Enerji perdesi	-2,2	-1,9	-1,6	-1,5	42	69	103	6,7	6,9	7,0	7,1	25	41	62		
PE Plastik + Gündüz + Enerji perdesi	-2,8	-2,6	-2,5	-2,4	29	50	71	6,3	6,4	6,5	6,6	18	30	43		

4. SONUÇ VE TARTIŞMA

Serada ısı akılarına bağlı dirençlerin toplamından gidilerek belirlenen ısı iletim katsayısı ile uygulamada yapılan denemelerden elde edilen sonuçlar uyum göstermektedir. Doğan ve Baytorun [9] üretici koşullarında ısı perdeli PE plastik serada

yaptıkları ölçümlerde örtü malzemesinden transmisyonla ortaya çıkan ısı iletimini $4,08 \text{ W.m}^{-2}\text{K}^{-1}$ olarak bulmuşlardır. Yapılan bu çalışmada PE plastik kaplı ısı perdeli serada dirençlerin toplamından gidilerek örtü malzemesinden transmisyonla ortaya çıkan ısı iletim katsayısı $h_i=15 \text{ W.m}^{-2}\text{K}^{-1}$ için $4,23 \text{ W.m}^{-2}\text{K}^{-1}$

olarak belirlenmiştir. Elde edilen bu sonuçlar yalıtımı iyi seralarda direnç değerlerinden gidilerek hesaplanan ısı iletim katsayılarının ısı gereksinimi hesaplamalarında kolaylıkla kullanılabilceğini göstermektedir. Nitekim dirençlerden gidilerek hesaplanan ısı iletim katsayıları uygulamadan elde edilen sonuçlarla iyi uyum gösterdiği Tantau [6] tarafından da belirlenmiştir.

Çift veya çok katlı örtü malzemesi ile kaplı seralarda direnç yöntemine göre yapılan hesaplama sonucunda ortaya çıkan hatalar, tek kat örtü malzemesi ile kaplı seralarda ortaya çıkacak hatalardan daha küçüktür [2]. Bu durumu kullanılan yöntemdeki direnç metoduyla açıklamak mümkündür. Seralarda kullanılan tek katlı örtü malzemesinin ısı geçirgenlik direnci oldukça küçüktür. Tek kat örtü ile kaplı seralarda $R_{\lambda} = 0 \text{ m}^2\text{K.W}^{-1}$ 'a yakın olduğundan, örtünün iç ve dış yüzeyinde ortaya çıkan ısı iletim dirençleri, toplam direnci, dolayısı ile ısı geçirgenlik katsayısını (U) belirlemektedir. Sera iç ve dış yüzey ısı iletim dirençleri de farklı faktörlere bağlı olarak değişim gösterdiklerinden tek kat örtü malzemesi için hesaplanan U değeri büyük sapmalar göstermektedir. Çift veya çok katlı örtü ile kaplı seralarda ise örtü malzemesinin ısı geçirgenlik direnci (R_{λ}) yüksek olduğundan ısı geçirgenlik katsayısında etkili olmaktadır.

Örtü malzemesinin iç yüzey sıcaklığı örtü iç yüzeyinde yoğunlaşan su miktarını belirlemektedir. Seranın iyi yalıtılması, örtü malzemesinin ısı geçirgenlik katsayısının (U) küçük olması ve dış sıcaklığın yükselmesi, örtü iç yüzeyi sıcaklığının yükselmesine neden olmaktadır. Bu koşullarda yüksek sıcaklığa sahip bitki yaprakları ve örtü malzemesi arasında ışıma ile ortaya çıkan ısı akısı azalmakta ve bitki yaprak sıcaklığı yükselmektedir. Bu durum hava neminin bitki yaprakları üzerinde yoğunlaşma tehlikesini ortadan kaldırmaktadır.

Örtü iç yüzey sıcaklığı yoğunlaşmaya önemli derecede etki etmektedir. Çift katlı örtü malzemesi ile kaplı serada örtü iç yüzey sıcaklığı yüksek olduğundan yoğunlaşma olmamaktadır. Yoğunlaşma nemin aşırı yükseldiği koşullarda ortaya çıkmaktadır. Çok katlı örtü malzemesinin iç yüzeyinde ortaya çıkan yoğunlaşma tek kat örtü

malzemesi ile kaplı seraya göre oldukça azdır. Serada kullanılan perdelerin hava nemine etkileri ilginçtir. Serada kullanılan perdeler kapalı tutulduklarında hava neminin çatı bölgesine geçmesini engellerler. Perdeler aynı zamanda çatı örtü yüzeyi sıcaklığının düşmesine de neden olurlar. Bu durumda bitki sıra aralarındaki havanın nem içeriği ile çatı bölgesindeki havanın doyum değerleri arasında büyük bir fark ortaya çıkmaktadır.

Sonuç olarak seralarda ısı koruma amacıyla alınan tüm önlemlerde hava neminin yükselmesi kaçınılmazdır. Serada ortaya çıkan yüksek nemin uzaklaştırılması amacıyla alınacak önlemler enerji gerektirmektedir. Ayrıca havalandırma ile dışarı atılan hava neminin içerisinde azımsanmayacak derecede yüksek ısı enerjisinin bulunduğu unutulmamalıdır [3]. Serada yüksek nemin ortaya çıkmaması amacıyla uygun sulama sisteminin seçilmesi en ucuz ve en basit önlemlerden bir tanesidir. Aynı zamanda serada yapılan dikimde yeterli bir bitki sıra arası ve sıra üstü açıklığının bırakılması da bitki aralarındaki nemin kontrolü açısından önemlidir. Sık dikilmiş bitki aralarında yüksek nemin yaratacağı tehlikeler oldukça büyüktür. Serada aynı zamanda yatay ve dikey eksen boyunca ortaya çıkan sıcaklık değişimleri nem değişimlerine neden olacağı için düşük sıcaklıkların ortaya çıktığı kenar ve köşelerde yoğunlaşmanın ortaya çıkma tehlikesi bulunmaktadır. Bu durum hastalıkların ortaya çıkması açısından oldukça tehlikelidir. Böyle durumlarda serada havanın vantilatörlerle karıştırılması en uygun çözümdür. Serada havanın karıştırılması durumunda hava neminin %90'lara yükselmesi herhangi bir sorun yaratmamaktadır [2].

5. KAYNAKLAR

1. Baytorun, A.N., Üstün, S., Akyüz, A., Çaylı, A., 2017. Antalya İklim Koşullarında Farklı Donanımlara Sahip Seraların Isı Enerjisi Gereksiniminin Belirlenmesi. Türk Tarım-Gıda Bilim ve Teknoloji Dergisi, 5(2), 144-152.
2. Tantau, H.J., 2013. Wärmebedarf Von Gewächshäusern Unter Berücksichtigung des Latenten Wärmetransportes. Landtechnik 68(1), 43-49.

3. Baytorun, A.N., Akyüz, A., Üstün, S., 2016. Seralarda Isıtma Sistemlerinin Modellemesi ve Karar Verme Aşamasında Bilimsel Verilere Dayalı Uzman Sistemin Geliştirilmesi. TÜBİTAK Proje No: 114O533
4. Von Zabeltitz, C., 1986. Gewächshäuser. Verlag Eugen Ulmer. Stuttgart
5. Meyer, J., 2008. Nomenklatur und Definitionen Bericht zur Bestimmung und Bewertung des Energiebedarfs von Gewächshäusern. KTBL Workshop. 17 September 2008, 14-22.
6. Tantau, H.J., 2012. Das Niedrigenergie Gewächshaus-Methode zur Analyse der Wärmeströme und der PAR-Durchlässigkeit. Landtechnik 67(3), 196-204.
7. Tantau, H.J., 1975. Der Einfluss von Einfach- und Doppelbedachungen auf das Klima und den Wärmehaushalt von Gewächshäusern. Gartenbautechnische Informationen Heft 4. Institut für Technik in Gartenbau und Landwirtschaft, Universität Hannover.
8. Olgun, M., 2011. Tarımsal Yapılar. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi. Yayın No: 1577, Ders Kitabı: 529, 445.
9. Doğan, G.Ç., Baytorun, A.N., 2018. Isı Korumalı Modern Seralarda Üretici Koşullarında Toplam Isı Gereksinim Katsayısının Belirlenmesi. Ç.Ü. Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 35-8, 20-29.

