

Farklı İklim Bölgelerindeki Seralarda Evaporatif Soğutma Olanaklarının Belirlenmesi

A. Nafi BAYTORUN*¹, Abbas Mahamed Abdalla MAKAY¹

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

Geliş tarihi: 23.07.2019

Kabul tarihi: 20.12.2019

Öz

Seralarda yetiştirilen bitkiler 17-27 °C'ye adapte olmuşlardır. Günlük ortalama sıcaklığın 22 °C'nin üstüne yükselmesi durumunda seralarda soğutma önlemlerinin alınması zorunludur. Seralarda yapılan evaporatif soğutmanın etkinliği dış iklim koşullarına ve sistemin randımına bağlı olarak değişmektedir.

Seralarda yapılan evaporatif soğutma duyulur ısının gizli ısıya transferi ile havanın soğutulması esasına dayanır. Havaya eklenen su, havanın tüm fiziksel özelliklerinin değişmesine neden olmaktadır. Oluşan havanın yeni özellikleri psikrometrik eşitliklerden gidilerek belirlenmelidir.

Yapılan bu çalışmada Türkiye'de seracılığın yoğun olarak yapıldığı farklı iklim bölgelerindeki yüksek teknolojiye sahip seralarda yapılacak evaporatif soğutma ile bölge iklimine ve kullanılan pedlerin randımanlarına bağlı olarak ulaşılabilen sıcaklık değerleri teorik olarak hesaplanmıştır.

Elde edilen sonuçlardan Adana iklim koşullarında %90 ped randımında bile serada sıcaklığın 27 °C'ye çekilemediği, Mersin'de %90, Şanlıurfa'da %70 ped randımının yeterli olabileceği, Afyonkarahisar koşullarında evaporatif soğutma yerine, serada öğlen saatlerinde çok kısa aralıklarla suyun yüksek basınçla püskürtülmesi ile sıcaklığın bitkilerin arzuladıkları değerlerde tutulabileceği belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Sera soğutma, Evaporatif soğutma, Gölgeleme, Soğutma etkinliği

Determination of Evaporative Cooling Possibilities in Greenhouses in Different Climate Regions

Abstract

Plants grown in greenhouses were adapted to 17-27 °C. If the daily average temperature rises above 22 °C, cooling measures must be taken in greenhouses. The efficiency of evaporative cooling in greenhouses varies depending on the external climatic conditions and the efficiency of the system.

Evaporative cooling in greenhouses is based on cooling of air by transfer of sensible heat to latent heat. water added to the air causes all physical properties of the air to change. The new characteristics of the resulting air should be determined from psychrometric equations.

Made of greenhouses in Turkey in this study with intensive structures that will be held in greenhouses with high technology in different climatic zones evaporative cooling of the climate and temperature can be reached depending airports in efficiency of pads used values are calculated theoretically.

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

In the climatic conditions of Adana, 90% pad efficiency cannot be drawn to 27 °C in the greenhouse, 90% pad efficiency in Mersin, 70% pad efficiency in Şanlıurfa, and evaporative cooling in Afyonkarahisar conditions. It was determined that the temperature can be kept at the desired values of the plants.

Keywords: Greenhouse cooling, Evaporative cooling, Shading, Cooling efficiency

1. GİRİŞ

Sıcaklık, örtü altı tarımında bitki gelişimini etkileyen en önemli çevresel faktörlerden biridir. Seralarda en fazla üretilen domates (*Solanum lycopersicum* L.) maksimum büyümesini 24 °C'lik gündüz ve gece sıcaklığında gerçekleştirir [1]. Serada hava sıcaklığının bu değerin üzerine çıkması durumunda optimum bir gelişim için seranın soğutulması gereklidir. Seralarda sıcaklığın düzenlenmesi havalandırma, gölgeleme ve evaporatif soğutma ile yapılmaktadır. Doğal havalandırma ile seralarda sıcaklık en iyi koşullarda dış sıcaklık değerlerinin 1-2 °C üzerine kadar çekilebilmektedir [2-5], Doğal havalandırmanın etkinliği rüzgâr hızına, havalandırma kapaklarının konumlarına ve büyüklüklerine bağlı olarak değişmektedir [6,7]. Son yıllarda kurulan seralarda havalandırma açıklıklarına yerleştirilen böcek tülleri hava girişlerinde direncin yükselmesine, dolayısı ile havalandırma etkinliğinin azalmasına neden olmaktadır [8-11].

Serada sıcaklığın düzenlenmesinde en fazla kullanılan iklimlendirme önlemi havalandırma dır. İyi bir havalandırma ile sera sıcaklığını dış sıcaklığın 1-2 °C üstüne kadar düşürebilmek mümkündür [2]. Ancak bu koşullarda direk güneş ışınımı etkisiyle bitki sıcaklığı çok yüksek değerlere ulaşabilmektedir.

Gölgeleme, seraya ulaşan güneş ışınımını azaltarak bitki yaprak sıcaklığını düşürür. Gölgeleme sistemleri hava değişimini olumsuz etkilediğinde sera sıcaklığı gölgeleme sistemi olmayan, ancak havalandırılan seradan daha yüksek olmaktadır. Sera içi ve bitki yaprak sıcaklığının havalandırma ve gölgeleme ile birlikte dış sıcaklığın altına düşürülmesi mümkün değildir. Bu durumda başka iklimlendirme önlemlerine başvurmak gereklidir.

Yazın güneş ışınımının yüksek olduğu günlerde iyi bir havalandırma sistemine sahip seralarda bile bitki yaprak sıcaklıkları sera sıcaklığının 5-15 °C üstüne kadar çıkabilmektedir [2]. Bu durum iyi bir havalandırmanın bile bitki sıcaklığını düşürmede yeterli soğutmayı sağlamadığını göstermektedir. Serada sıcaklığın ve su bütçesinin optimum veya optimuma yakın bir değerde tutulabilmesi için seranın soğutulması gereklidir.

Sıcak dönemlerde serada sıcaklığın düzenlenmesi soğutma makineleri ile gerçekleştirilebilir. Güneş ışınımının yüksek olduğu dönemlerde serada ortaya çıkan yüksek sıcaklığın soğutucu makinelerle düzenlenmesi, güneş enerjisinin geniş bir yüzeyden seraya girmesi nedeniyle, üretim seralarında kullanılmaz. Bu sistemler çoğunlukla araştırma seralarında kullanılırlar. Makineli soğutma sistemleri gölgelenen ve çift kat örtü ile kaplı araştırma seraları için uygundur [2].

Sıcak dönemlerde havalandırma ve gölgeleme ile serada sıcaklığın denetlenemediği koşullarda evaporatif soğutma ile sıcaklığın düzenlenmesi mümkündür. Evaporatif soğutma seralarda ışık miktarını azaltmadan, hava ve bitki yaprak sıcaklığını düşürmek amacıyla, havalandırma girişinde havanın nemlendirilmesi, serada suyun doğrudan püskürtülmesi veya bitkilerin doğrudan ıslatılması ile sağlanır. Evaporatif soğutma, havadaki duyulur ısının gizli ısıya dönüştürülmesi esasına dayanmaktadır [2,5,7,12].

Seralarda sıcaklığın dış sıcaklık değerinin altına düşürülmesi, havadan duyulur ısı çekme veya doymayan sera havasına su ekleme ile gerçekleştirilir [2,5]. Havadan ısı enerjisinin çekilmesi zordur. Belirtilen nedenle seralarda havanın soğutulması, tercihen havaya su eklenerek yapılmaktadır.

Günlük ortalama sıcaklığın 22 °C'nin veya maksimum sıcaklığın 27 °C'nin üstüne çıkması

durumunda, seralarda aktif soğutma yapılmalıdır [13]. Türkiye’de seracılığın yaygın olarak yapıldığı Akdeniz iklim kuşağında ve seracılığın yapıldığı jeotermal alanlarda yılın belirli dönemlerinde günlük maksimum sıcaklık 27 °C’nin üstüne yükselmektedir [5]. Bu illerde yapılacak seracılıkta üretimin sıcak dönemlerde sürdürülebilmesi için seraların soğutulması gereklidir.

Seralarda evaporatif soğutmanın etkinliği, dış hava nemine, hava değişim sayısına, soğutmada kullanılan sistemin randımanına ve seraya ulaşan güneş ışınımına bağlıdır [2,5,14]. Dış ortam havasının doyum açığı evaporatif soğutmaya etkileyen en önemli faktördür. Dış hava neminin düşük olması diğer bir ifade ile havanın doyum açığının büyük olması evaporatif soğutmanın etkinlik derecesini yükseltmektedir.

Tekinel ve arkadaşları [14] Akdeniz iklim koşullarında (Adana) evaporatif sistemle soğutulan içten gölgelemeli cam serada yaptıkları ölçümlerde, dış sıcaklığın 35,2 °C olduğu koşullarda serada sıcaklığın 29,1 °C’ye düşürülebileceğini ve artan hava değişimine bağlı olarak ulaşılan sıcaklık farkının arttığını belirlemiştir.

Evaporatif soğutma sistemlerinin etkinliği kullanılan pedlerin randımanına bağlı olarak değişir. Ped randımanının yükselmesi ulaşılabilecek sıcaklık farkını artırır [5]. Jamal ve arkadaşları [15] Kuveyt iklim koşullarında serada yaptıkları soğutma çalışmalarında, soğutma odacığında yüksek basınç altında püskürtülen su damlacıklarına paralel ve karşı yöndeki hava akımı koşullarında sistem randımanını belirlemiştir. Soğutma odasında püskürtülen suya karşı oluşturdukları hava akımında sistemin randımanını %75 olarak belirlerken su damlacıklarına paralel hava akımında sistem randımanını %61 olarak belirlemiştir.

Seralarda yapılan evaporatif soğutmada kullanılan su ve elektrik enerjisi tüketimi üretim maliyetini etkiler. Evaporatif soğutmada kullanılan su miktarı pedin randımanına ve birim alana tekabül eden hava değişim katsayısının büyüklüğüne bağlıdır [5].

Yapılan bu çalışmada; Türkiye’de seracılığın yaygın olarak yapıldığı Adana, Mersin ve jeotermal seracılığın artış gösterdiği Afyonkarahisar ve Şanlıurfa illerinin günlük maksimum sıcaklık ve minimum nem değerlerinden gidilerek farklı ped randımanlarında ulaşılabilecek sıcaklık değerlerinin belirlenmesi ve üretim periyodu boyunca gerekli olan soğutma süresinin ve gerekli su miktarının belirlenmesi amaçlanmıştır.

2. MATERYAL VE METOT

Yapılan çalışmada çatısı tek kat PE plastik, yan duvarları çift kat PC ile kaplı yüksek hacimli sera esas alınmıştır. Seranın yan duvar yüksekliği 5 m, mahya yüksekliği 7,5 m’dir. Sera 21 bölmeden oluşup, bölme genişliği 9,6 m ve bölme uzunluğu 50 m’dir. Seranın havalandırması çatı bölgesinde kelebek kanatlı olup havalandırma açıklığının sera taban alanına oranı %40 olarak alınmıştır.

Hesaplamalarda serada %50 oranında gölgelemenin yapıldığı kabul edilerek, birim alana tekabül eden hava değişim katsayısı $200 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ ($Z=30 \text{ h}^{-1}$) olarak alınmıştır [2].

Çalışmada hesaplama yapılan Adana, Mersin, Afyonkarahisar ve Şanlıurfa illerinin saatlik ortalama sıcaklık, oransal nem, güneş ışınımı ve günlük maksimum sıcaklık ve minimum nem değerleri Meteoroloji Genel Müdürlüğünden sağlanmıştır. Bu illerin günlük maksimum sıcaklık ve minimum nem değerlerinden gidilerek farklı ped randımanlarında evaporatif soğutma ile ulaşılabilecek sıcaklık değerleri psikrometrik eşitliklerden yararlanılarak hesaplanmıştır [16,17].

Hesaplamalarda hava basıncı her ilin deniz seviyesinden yüksekliğine bağlı olarak Eşitlik 1’den yararlanılarak hesaplanmıştır [16,17].

$$P=101,325 * \left(1 - 2,25577 * 10^{-5} * h\right)^{5,2559} \quad (1)$$

Eşitlikte; P Atmosfer basıncı (kPa), h yerin denizden olan yüksekliğidir (m).

Dış ortam havasının sıcaklık ve nem değerlerinden gidilerek havanın doymuş buhar basıncı, nem

içeriği ve entalpi değerleri aşağıdaki eşitliklerden yararlanılarak hesaplanmıştır [18].

Havanın doymuş buhar basıncı;

$$p_{ws} = 1,4097 \cdot 10^7 \cdot e^{(-3928,5/(\theta+231,6))} \quad (2)$$

Eşitlikte; p_{ws} doymuş buhar basıncı (kPa), θ kuru termometre sıcaklığıdır (°C).

Havanın nem İçeriği;

$$x = 0,622 \cdot \frac{\varphi \cdot p_{ws}}{P - (\varphi \cdot p_{ws})} \quad (3)$$

Eşitlikte; x havanın nem içeriği (kg.kg⁻¹KH), φ havanın oransal nemidir (%).

Havanın entalpi değeri;

$$h = c_{pL} \cdot \theta + x \cdot (r_0 + (c_{pd} \cdot \theta)) \quad (4)$$

Eşitlikte; h havanın entalpisi (kJ.kg⁻¹), c_{pL} havanın özgül ısı (kJ.kg⁻¹K⁻¹), c_{pd} su buharı özgül ısı (kJ.kg⁻¹K⁻¹), r_0 buharlaşma ısıdır (kJ.kg⁻¹).

Havanın yaş termometre sıcaklığı iterasyonla belirlenmiştir. Soğutmada kullanılan pedlerin randımanı %60-90 kabul edilmiştir. Evaporatif soğutmada pedlerin hemen çıkışında ulaşılabilecek sıcaklık değeri Eşitlik 5'ten hesaplanmıştır [2].

$$\theta_L = \theta - \eta \cdot (\theta - \theta_{FK}) \quad (5)$$

Eşitlikte; θ_L ped çıkışında kuru termometre sıcaklığı (°C), η ped randımanı (%), θ_{FK} ıslak termometre sıcaklığıdır (°C).

Evaporatif soğutmada havaya herhangi bir ısı eklenip çekilmediği için seraya giren havanın entalpi değeri sabit kalır. Sabit entalpi değerinde seraya nemlendirilerek giren havanın yeni nem içeriği (x_i) Eşitlik 4'ten x 'in çekilmesiyle elde edilen Eşitlik 6'dan hesaplanmıştır.

$$x_i = \frac{h - (c_{pL} \cdot \theta_L^*)}{r_0 + (c_{pd} \cdot \theta_L^*)} \quad (6)$$

Seraya giren yeni havanın sıcaklığına (θ_L^*) ve nem içeriğine (x_i) bağlı oransal nem, Eşitlik 3'ten φ 'nin çekilmesiyle elde edilen Eşitlik 7'den hesaplanmıştır. Hesaplama gerekliliği olan doymuş buhar basıncı pedin hemen çıkışındaki sıcaklık (θ_L^*) esas alınarak Eşitlik 2'den hesaplanmıştır.

$$\varphi_i = \frac{P \cdot x_i}{(0,622 + x_i) \cdot p_{ws}} \quad (7)$$

Serada yeni özelliklere sahip olan havanın yoğunluğu havanın nem içeriğine, sıcaklığına bağlı olarak Eşitlik 8'den hesaplanmıştır [18].

$$\rho_i = \frac{1 + x_i}{0,622 + x_i} \cdot \frac{P}{R_w \cdot (\theta_L^* + 273,15)} \quad (8)$$

Eşitlikte; havanın yoğunluğu (kg.m⁻³), R_w havanın gaz sabitesidir (kJ.kg⁻¹K⁻¹)

Hesaplamalarda PE plastik örtü malzemesinin geçirgenliği %60 olarak kabul edilmiştir [2]. Seraya ulaşan güneş ışınımı, örtü malzemesinin geçirgenliğine bağlı Eşitlik 9'dan hesaplanmıştır [2].

$$q_{s,i} = q_{s,o} \cdot \tau \quad (9)$$

Eşitlikte; $q_{s,i}$ seraya ulaşan güneş ışınımı (W.m⁻²), $q_{s,o}$ dış ortam güneş ışınımı (W.m⁻²), τ örtü malzemesinin geçirgenliği (%)

Yapılan hesaplamalarda seraya ulaşan güneş ışınımının %35'inin transmisyon ve transpirasyonda kullanıldığı kabul edilmiştir [2]. Havalandırma ile dışarı atılması gereken atık ısı Eşitlik 10'dan hesaplanmıştır.

$$q_{s,v} = q_{s,i} \cdot \Psi \quad (10)$$

Eşitlikte; $q_{s,v}$ havalandırma ile dışarı atılacak ısı (W.m⁻²), Ψ ışınımın transmisyon ve transpirasyonda kullanılma oranı (%).

Seradan vantilatörlerle atılan ısının geri kalan kısmı havanın entalpi değerinin yükselmesine neden olmaktadır. Seradaki havanın yeni entalpi değeri Eşitlik 11 ile hesaplanmıştır [2].

$$h_i = h_o + \frac{q_{s,v}}{V_A \cdot \rho_i} \quad (11)$$

Eşitlik 11’de, V_A birim alana tekabül eden hava değişim sayısı ($m^3 \cdot m^{-2} \cdot h^{-1}$)

Seradaki havanın yeni entalpi değerine ve nem içeriğine bağlı olarak serada ulaşılan sıcaklık değeri Eşitlik 12 ile belirlenmiştir.

$$\theta_i = \frac{h_i - x_i \cdot r_0}{c_{pL} + c_{pw} \cdot x_i} \quad (12)$$

3. BULGULAR

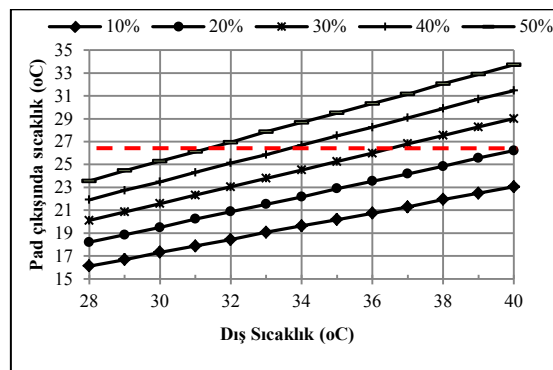
Seralarda evaporatif soğutmada ped çıkışında ulaşılabilir sıcaklık değerleri, birim alana tekabül

eden hava değişim katsayısına, güneş ışınımına ve sistemde kullanılan pedin randımına bağlı olarak değişir. Çizelge 1’de birim alana tekabül eden hava değişim sayısının $200 m^3 \cdot m^{-2} \cdot h^{-1}$, güneş ışınımının gölgeleme ile $450 W \cdot m^{-2}$ ’ye düşürüldüğü ve ped randımının %90 olduğu koşullarda, farklı dış sıcaklık ve oransal nem değerlerine bağlı olarak ped çıkışında ulaşılabilen sıcaklık değerleri verilmiştir. Çizelgeden de görüleceği gibi dış ortam sıcaklığının $35^\circ C$ ve oransal nemin %20 olduğu koşullarda serada ulaşılan sıcaklık $22,9^\circ C$ olmaktadır. Bu değer serada bitkisel üretime olanak sağlarken, aynı koşullarda dış ortam neminin %40’a ulaşması durumunda serada üretim, sıcaklık açısından riske girmektedir.

Çizelge 1. Dış sıcaklık ve bağıl neme bağlı serada ulaşılabilen sıcaklık değerleri

Nem %	Dış ortam hava sıcaklığı ($^\circ C$)												
	28,0	29,0	30,0	31,0	32,0	33,0	34,0	35,0	36,0	37,0	38,0	39,0	40,0
	Serada ulaşılabilir sıcaklık değerleri ($^\circ C$)												
10	16,1	16,7	17,3	17,9	18,4	19,1	19,6	20,2	20,7	21,3	21,9	22,5	23,0
15	17,1	17,8	18,4	19,1	19,7	20,3	20,9	21,5	22,2	22,8	23,4	24,0	24,7
20	18,2	18,9	19,5	20,2	20,9	21,5	22,2	22,9	23,5	24,2	24,8	25,6	26,2
25	19,2	19,8	20,6	21,3	22,0	22,7	23,4	24,1	24,8	25,5	26,2	26,9	27,7
30	20,1	20,8	21,6	22,3	23,0	23,8	24,5	25,3	26,0	26,8	27,5	28,3	29,0
35	21,0	21,8	22,6	23,3	24,1	24,9	25,6	26,4	27,2	28,0	28,7	29,5	30,3
40	21,9	22,7	23,5	24,3	25,1	25,9	26,7	27,5	28,2	29,1	29,9	30,7	31,5
45	22,7	23,6	24,4	25,2	26,0	26,9	27,7	28,5	29,3	30,2	31,0	31,8	32,6
50	23,5	24,5	25,3	26,1	26,9	27,9	28,7	29,5	30,3	31,1	32,1	32,9	33,7

($I=450 Wm^{-2}$, $V_A=200 m^3 \cdot m^{-2} \cdot h^{-1}$, $\eta = \%90$)

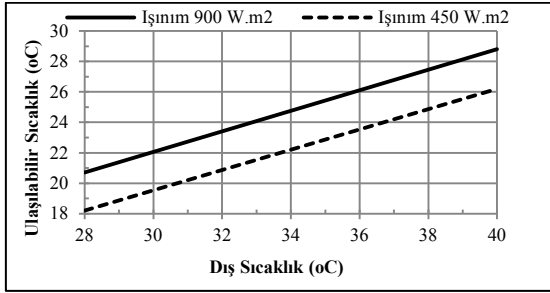


Şekil 1. Dış ortam sıcaklığı ve oransal neme bağlı serada ulaşılabilir sıcaklık (V_A $200 m^3 \cdot m^{-2} \cdot h^{-1}$, ışınım $450 W \cdot m^{-2}$, Ped randımını %90)

Güneş ışınımının gölgeleme ile $450 W \cdot m^{-2}$, ped randımının %90 ve birim alana tekabül eden hava değişim katsayısının $200 m^3 \cdot m^{-2} \cdot h^{-1}$ olduğu koşullarda farklı dış sıcaklık ve oransal nem değerlerine bağlı olarak serada ulaşılan sıcaklık değerleri Şekil 1’de verilmiştir. Şekilden de görüleceği gibi dış ortam sıcaklığının $35^\circ C$ olduğu koşullarda serada sıcaklığın $27^\circ C$ ’de tutulabilmesi için müsaade edilebilir dış ortam hava nemi en fazla %37 olmalıdır. Hava neminin %40 olması durumunda serada ulaşılacak sıcaklık $27,5^\circ C$ ’ye yükselecektir.

Evaporatif olarak soğutulan seraya ulaşan güneş ışınımının azaltılması serada ulaşılan sıcaklık değerine olumlu yönde etki eder. Şekil 2’de ped randımının %90 ve oransal nemin %20 olduğu

koşullarda gölgelemeye bağlı serada ulaşılan sıcaklık değerleri verilmiştir. Şekilden de görüleceği gibi dış sıcaklığın 35 °C olduğu koşullarda, gölgelemenin yapılmadığı (900 W.m⁻²) serada ulaşılan sıcaklık 25,5 °C olurken gölgelenen serada bu değer 22,9 °C'ye düşmektedir.



Şekil 2. Gölgeleme ve dış ortam sıcaklığına bağlı ped çıkışında ulaşılabilir sıcaklık (V_A 200 m³.m⁻².h⁻¹, Nem %20, Pad randımanı %90)

Evaporatif soğutmada serada ulaşılabilen sıcaklık kullanılan pedin randımına bağlı olarak değişir. Ped randımanı, pedin ıslanma oranına, pedte ortaya çıkan sürtünme kayıplarına ve pedlerde kullanılan malzemeye bağlı olarak değişir. Çizelge 2'de gölgeleme ile dış ışınımın %50 oranında azaltıldığı ve ped randımının %70 olduğu soğutma sisteminde dış ortam sıcaklığı ve oransal neme bağlı ped çıkışında ulaşılan sıcaklıklar verilmiştir.

Dış sıcaklığın 35 °C, oransal nemin %20 ve ped randımının %90 olduğu koşullarda gölgelenen serada ulaşılan sıcaklık 22,9 °C olurken (Çizelge 1), aynı koşullarda ped randımının %70 olması durumunda serada ulaşılan sıcaklık 26,2 °C'ye yükselmektedir (Çizelge 2).

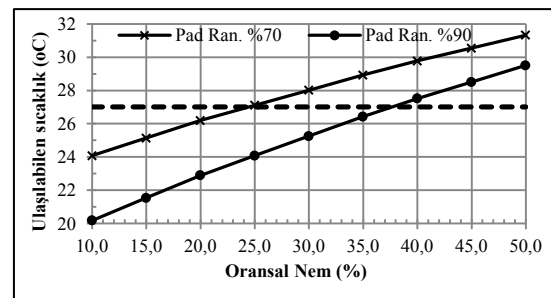
Çizelge 2. Dış sıcaklık ve bağlı neme bağlı serada ulaşılabilen sıcaklık değerleri

Nem %	Dış ortam hava sıcaklığı (°C)												
	28,0	29,0	30,0	31,0	32,0	33,0	34,0	35,0	36,0	37,0	38,0	39,0	40,0
	Serada ulaşılabilir sıcaklık değerleri (°C)												
10	19,4	20,0	20,7	21,4	22,0	22,8	23,4	24,1	24,7	25,4	26,1	26,8	27,4
15	20,1	20,9	21,6	22,3	23,0	23,8	24,4	25,1	25,9	26,6	27,2	28,0	28,7
20	21,0	21,7	22,4	23,2	23,9	24,7	25,4	26,2	26,9	27,6	28,4	29,2	29,9
25	21,8	22,5	23,3	24,1	24,8	25,6	26,4	27,1	27,9	28,7	29,4	30,2	31,0
30	22,5	23,2	24,0	24,8	25,6	26,4	27,2	28,0	28,8	29,7	30,5	31,3	32,1
35	23,2	24,0	24,8	25,6	26,5	27,3	28,1	28,9	29,7	30,6	31,4	32,3	33,0
40	23,9	24,7	25,5	26,4	27,3	28,0	28,9	29,8	30,6	31,4	32,3	33,2	34,0
45	24,5	25,4	26,2	27,1	28,0	28,8	29,7	30,5	31,4	32,3	33,1	34,0	34,9
50	25,1	26,1	26,9	27,8	28,7	29,6	30,5	31,3	32,2	33,0	34,0	34,8	35,7

($I=450 \text{ Wm}^{-2}$, $V_A=200 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$, $\eta = \%70$)

Güneş ışınımının %50 oranında azaltıldığı ve dış sıcaklığın 35 °C olduğu koşullarda farklı ped randımanlarında dış havanın oransal nemine bağlı olarak serada ulaşılan sıcaklık değerleri Şekil 3'te verilmiştir.

Şekilden de görüleceği gibi dış sıcaklığın 35 °C olduğu koşullarda serada sıcaklığın 27 °C'de tutulabilmesi için, ped randımının %90 olduğu sistemde, dış nem değeri %38'den, ped randımanı %70 olduğunda %25'ten büyük olmamalıdır.



Şekil 3. Ped randımanı ve dış ortam nemine bağlı ulaşılabilir sıcaklık değerleri (V_A 200 m³.m⁻².h⁻¹, Sıcaklık 35 °C, Işınım 450 W.m⁻²)

Türkiye’de seracılığın yaygın olarak yapıldığı Adana, Mersin, Şanlıurfa ve Afyonkarahisar illerinin aylara bağlı maksimum sıcaklık ve minimum oransal nem değerleri Çizelge 3’te verilmiştir. Çizelgeden de görüleceği gibi Adana ve Şanlıurfa illerinde günlük maksimum sıcaklık

Mayıs-Ekim döneminde 27 °C’nin üzerinde seyrederken, Mersin ilinde Haziran–Eylül, Afyonkarahisar’da ise sadece Temmuz ve Ağustos aylarında 27 °C’ye geçmektedir. Bu illerimizde belirtilen aylarda üretimin devam edebilmesi için seraların soğutulması zorunlu olmaktadır.

Çizelge 3. Farklı illerin aylara bağlı maksimum sıcaklık ve minimum nem değerleri (°C)

Yer	AYLAR											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Maksimum Sıcaklık (°C)												
Adana	14,8	16,1	19,4	23,7	28,2	31,7	33,9	34,7	33,1	29,0	22,6	16,7
Mersin	14,6	15,5	18,1	21,6	24,9	28,1	30,7	31,5	30,0	26,7	21,5	16,5
Ş. Urfa	9,9	11,9	16,4	22,3	28,6	34,6	38,7	38,3	33,9	27,0	18,7	12,0
Afyon	4,5	6,4	10,9	16,4	21,3	25,7	29,5	29,6	25,3	19,3	12,7	6,5
Minimum Oransal Nem (%)												
Adana	43	37	34	34	39	41	42	41	35	31	30	38
Mersin	42	39	39	43	49	51	51	48	43	36	31	41
Ş. Urfa	48	40	31	23	21	14	11	15	17	27	34	48
Afyon	60	51	40	33	33	30	22	22	26	39	45	57

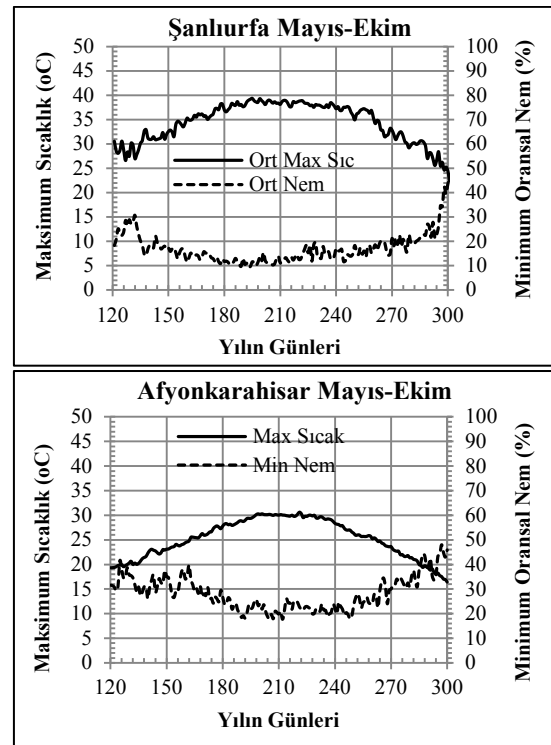
Seralarda evaporatif soğutmanın etkinliği dış hava nemine bağlıdır. Çizelge 3’ten de görüleceği gibi en düşük oransal nem değerlerine sahip il Şanlıurfa olup, bunu Afyon, Adana ve Mersin takip etmektedir.

Şanlıurfa’da soğutmaya ihtiyaç duyulan aylarda hava nemi %11-27 arasında değişirken, Afyon’da %22 olmaktadır.

Akdeniz iklim kuşağında yer alan Adana ilinde soğutma ihtiyacının ortaya çıktığı dönemlerde minimum nem değerleri %31-42 arasında değişirken, denize daha yakın olan Mersin’de %43-51 arasındadır.

Türkiye’nin farklı iklim bölgelerinde yer alan Afyonkarahisar ve Şanlıurfa illerinin günlük maksimum sıcaklık ve minimum nem değerleri Şekil 4’te verilmiştir.

Şekilden de görüleceği gibi Afyonkarahisar’da günlük maksimum sıcaklık 30 °C’ye kadar yükselirken günlük minimum oransal nem değerleri %12’ye kadar düşmektedir. Şanlıurfa’da günlük maksimum sıcaklık 39 °C’ye yükselirken minimum nem %10’a kadar düşmektedir.



Şekil 4. Şanlıurfa ve Afyonkarahisar’ın maksimum sıcaklık ve minimum oransal nem değerleri

İklim özellikleri bakımından birbirinden farklı dört ilimizde sıcaklığın 27 °C'nin üzerinde seyrettiği süreler saat olarak Çizelge 4'te verilmiştir. Çizelgeden de görüleceği gibi Adana'da Mayıs ayında 27 °C'den yüksek sıcaklık 77 saat olurken, Ağustos ayında 419 saat ile en yüksek değere

ulaşmaktadır. Diğer bir ifade ile Ağustos ayının %56'sında soğutma ihtiyacı ortaya çıkmaktadır. Adana'da yılın 1579 saatinde sıcaklık 27 °C'nin üzerinde seyrederken, bu değer Mersin'de 1380 saat'tir.

Çizelge 4. Farklı illerde dış sıcaklığın 27 °C'nin üzerinde seyrettiği süreler (h)

Şehir	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Toplam
Adana	77	276	402	419	280	125	1579
Mersin	0	121	459	480	299	21	1380
Afyon	0	0	151	153	0	0	304
Şanlıurfa	115	392	605	577	338	65	2092

Şanlıurfa İli'nde sıcaklık değerleri Adana İli'ne göre daha yüksektir. Çizelge 4'ten görüleceği gibi Mayıs ayının 115 saatinde sıcaklık 27 °C'nin üzerinde seyrederken, Temmuz ayında 605 saat ile en yüksek değere ulaşmaktadır. Bu süre Temmuz ayının %81'ini oluşturmaktadır. Diğer bir ifade ile Şanlıurfa koşullarında serada sıcaklığın 27 °C'de tutulmak istenmesi durumunda tüm gündüz saatlerinde seranın soğutulması zorunlu hale gelmektedir.

değerleri incelendiğinde yılın sadece 26 saatinde sıcaklık 29 °C'nin üzerine yükselmektedir. Bu ilimizde gölgelemeyle birlikte yapılacak iyi bir havalandırma, serada sıcaklığın bitkilerin dayanabileceği bir değere çekilmesini mümkün kılabilen gibi, serada sisteme sisteminin kurulması durumunda kısa aralıklarla yapılacak sisleme ile sıcaklık bitkilerin arzu ettiği sınırlarda tutulabilecektir [2].

Batı bölgemizde bulunan Afyonkarahisar soğutma açısından Şanlıurfa, Adana ve Mersin'e göre daha şanslıdır. Çizelge 4'ten görüleceği gibi bu ilimizde yılın sadece 304 saatinde dış sıcaklık 27 °C'nin üzerindedir. Afyonkarahisar'ın saatlik sıcaklık

Farklı iklim özelliklerine sahip Adana, Mersin, Şanlıurfa ve Afyonkarahisar illerinde evaporatif olarak soğutulan seralarda ulaşılabilir sıcaklık değerleri Eşitlik 12'ye göre hesaplanarak Çizelge 5'te verilmiştir.

Çizelge 5. Farklı ped randımanlarında maksimum sıcaklık ve minimum nem değerlerine bağlı olarak %50 oranında gölgelenen serada 200 m³.m⁻².h⁻¹ hava değişiminin sağlandığı sıcaklık değerleri (°C)

Şehir	Randıman (%)	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim
Adana	90	21,9	25,0	27,0	27,5	25,0	21,0
	80	22,9	26,0	28,1	28,6	26,2	22,2
	70	23,9	27,1	29,2	29,7	27,4	23,4
	60	24,9	28,1	30,2	30,8	28,6	24,6
Mersin	90	-	23,8	26,1	26,2	24,0	20,2
	80	-	24,6	26,9	27,1	25,0	21,2
	70	-	25,4	27,7	27,9	25,9	22,2
	60	-	26,1	28,5	28,8	26,9	23,2
Afyon	90	-	-	19,6	19,7	-	-
	80	-	-	21,0	21,1	-	-
	70	-	-	22,4	22,5	-	-
	60	-	-	23,8	23,9	-	-
Şanlıurfa	90	18,8	21,0	22,6	23,6	21,3	18,8
	80	20,2	22,9	24,7	25,5	23,0	20,0
	70	21,6	24,7	26,8	27,5	24,7	21,2
	60	23,0	26,5	28,9	29,4	26,4	22,4

Buna göre Adana iklim koşullarında gölgelendirilmiş seralarda yapılacak evaporatif soğutmada Temmuz ve Ağustos aylarında serada sıcaklığın 27 °C ve altında tutulabilmesi ped randımanının %90 olması bile yeterli olmamaktadır.

Mersin iklim koşullarında maksimum sıcaklık değerleri Adana İli'ne göre daha düşük, ancak minimum nem değerleri daha yüksektir. Mersin'de gölgelendirilen seralarda yapılacak evaporatif soğutmada sıcaklığın 27 °C ve altında tutulabilmesi için ped randımanı en az %90 olması gereklidir.

Şanlıurfa'da maksimum sıcaklık 40 °C'ye yaklaşırken, minimum hava nemi %10'lara kadar düşmektedir. Şanlıurfa'da hava neminin düşük olması evaporatif soğutmanın etkinliğini yükseltmektedir. Çizelge 5'ten de görüleceği gibi Şanlıurfa'da serada sıcaklığın 27 °C ve altında tutulabilmesi için ped randımanının %70 olması yeterlidir.

Karasal iklime sahip Afyonkarahisar iklim koşullarında serada evaporatif soğutmaya ihtiyaç duyulan süre Temmuz ve Ağustos aylarında toplam 304 saattir. Bu ilimizdeki seralarda sıcaklık saat 11.00-16.00 arasında maksimum 29 °C'ye ulaşmaktadır. Afyonkarahisar koşullarında evaporatif soğutma yerine serada öğlen saatlerinde çok kısa aralıklarla suyun yüksek basınçla püskürtülmesi sıcaklığı bitkilerin arzuladıkları değerlere ulaştıracaktır.

4. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Seralarda tüm yıl üretimin yapılabilmesi için bölge iklimine bağlı olarak yılın belli dönemlerinde soğutma önleminin alınması gerekli olabilmektedir. Günlük ortalama sıcaklığın 22 °C'nin üzerine yükselmesi durumunda seralarda soğutma önlemlerinin alınması zorunlu olmaktadır.

Seralarda soğutma amacıyla alınabilecek en ucuz iklimlendirme önlemi havalandırma ve gölgelemenin birlikte yapılmasıdır. Ancak bu iklimlendirme önlemi ile sera ortam sıcaklığı dış sıcaklık değerinin 1-2 °C üstüne çekilebilmektedir.

Serada sıcaklığın dış sıcaklık değerinin altında tutulabilmesi evaporatif soğutma ile mümkün olmaktadır. Ancak evaporatif soğutmanın etkinliği dış iklim koşullarına ve sistemde kullanılan pedlerin randımanına bağlı olarak değişmektedir.

Seralarda evaporatif soğutmanın etkinliğini arttırmak için seraya ulaşan güneş ışınımı gölgeleme ile azaltılmalıdır. Güneş ışınımının gölgeleme ile %50 azaltılması soğutma sisteminin etkinliğini %23 oranında arttırılabilmektedir.

Hava neminin evaporatif soğutma ile ulaşılabilen sıcaklık farkına etkisi büyüktür. Dış sıcaklığın 35 °C'den yüksek olduğu koşullarda, serada sıcaklığın 27 °C'de tutulabilmesi için hava neminin %20'lerde olması gereklidir.

İklim etmenleri yanında evaporatif soğutmada kullanılan pedlerin randımanı serada ulaşılan sıcaklık farkına etki eder. Sistemde kullanılan pedlerin randımanı pedin ıslanma düzeyine ve pedlerde ortaya çıkan dirence bağlı olarak değişmektedir. Uygulamada kullanılan pedlerin dirençleri %60-80 arasında değişmektedir. Yapılan çalışmada bölge iklimine bağlı olarak serada sıcaklığın 27 °C'de tutulabilmesi için gerekli ped randımanları farklı iklim koşulları için hesaplanmıştır.

Yapılan çalışmada evaporatif soğutmanın Adana, Mersin illerinde etkili bir soğutma sağlamayacağı, Şanlıurfa'da kurulacak sistemde %70 ped randımanının yeterli olabileceği, Afyonkarahisar'da üretimin kısa bir dönemde sisleme ile bitkiler için uygun yetiştirme ortamının sağlanabileceği belirlenmiştir.

5. KAYNAKLAR

1. Krug, H., Lederle, E., Liebig, H.P., 1985. Modelle zur Kultur und Kostengünstigen Temperaturführung Während der Aufbauphase. Gartenbauwissenschaft, 50, 54-59.
2. von Zabeltitz, Chr., 1986. Gewächshäuser. Verlag Eugen-Ulmer 1986.
3. Baytorun, N.A., Abak, K., Tokgöz, H., Güler, Y., Üstün, S. 1995. Seraların Kışın

- İklimlendirilmesi ve Denetimi Üzerinde Araştırmalar. Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu. Proje No TOAG-993.
4. Baytorun, N.A., Abak, K., Daşgan, H.Y., Topçu, S., 1997. Climatic Problems of the Plastic Greenhouses in Turkey. CIPA Proceedings. International Congress for Plastics in Agriculture.
 5. Baytorun, A.N., 2016. Seralar, Nobel Yayınevi.
 6. Baytorun, A.N., 1986. Bestimmung des Luftwechsels bei Gelüfteten Gewächshäusern. Diss. Universität Hannover. ITG Hannover Heft 27.
 7. Kittas, C., Draoui, B., Boulard, T., 1995. Quantification of the Ventilation of a Greenhouse With a Roof Oppening. *Agric for Meteorol*, 77, 95-111.
 8. Bethke, J.A., Redak, A., Paine, T.D., 1994. Screens Deny Specific Pests Entry to Greenhouses. *Calif Agric* 48(3), 37-40.
 9. Antignus, Y., Lapidat, M., Hadar, D., Messika, Y., Cohen, S.H., 1998. UV-absorbing Screens Serve as Optical Barriers to Protect Crops from Virus and Insect Pests. *J Econ Entomol*, 91(6), 1401-1403.
 10. Harmanto, M., Tantau, H.J., Salokhe, V.M. 2006a. Optimization of Ventilation Opening Area of Naturally Ventilated Net Greenhouse in Humid Tropical Environment. *Acta Hortic*, 717, 165-171.
 11. Harmanto, M., Tantau, H.J., Salokhe, V.M. 2006b. Microclimate and Air Exchange Rates in Greenhouses Covered With Different Nets in the Humid Tropics. *Biosystems Eng.*, 94(2), 239-253.
 12. Zabeltitz, Chr.von. 2011. *Integrated Greenhouse Systems for Mild Climates*. Springer -Verlag Berlin Heidelberg.
 13. Kittas, C., Katsoulas, N., Bartzanas, T., Bakker, S., 2013. Greenhouse Climate Control and Energy Use. *Good Agricultural Practices for Greenhouse Vegetable Crops. Principles for Mediterranean Climate Areas* FAO, Rome.
 14. Tekinel, O., Baytorun, A.N., Demir, Y., 1989. Çukurova Koşullarında Seralarda Islak Yastıklarla Soğutma Olanakları. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*. 13(3b), 1284-1293.
 15. Jamal, M., Al-Harbi, M., Fouad, J., 2002. Comparison of Different New Cooling Systems in Greenhouses of Kuwait. *ICARDA-APRP Annual Report 2001-2002*, 50-54.
 16. ASHRAE 1981a. *Fundamentals Handbook, Psychrometrics*, Chapter 5, 1-10.
 17. ASHRAE 1981b. *Fundamentals Handbook, Psychrometric tables*, Chapter 6, 1-16.
 18. Müller, K., 1989. *Die Gesetze der Feuchten Luft und Ihre Anwendung. Handbuch der Klimatechnik. Band 1: Grundlagen*. Verlag C.F.Müller GmbH Karlsruhe, 567.