

Seralarda Doğal Havalandırma Açıklıklarının Belirlenmesi

A. Nafi BAYTORUN*¹ ORCID 000-0002-5971-6893

Mahamed Abdalla MAKAY ABASS¹ ORCID 0000-0002-6614-1784

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

Geliş tarihi: 04.05.2021

Kabul tarihi: 21.03.2022

Atıf şekli/ How to cite: BAYTRUN, A.N., MAKAY ABASS, M.A., (2022). Seralarda Doğal Havalandırma Açıklıklarının Belirlenmesi. Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Dergisi, 37(1), 67-78.

Öz

Güneş ışınımı şiddetinin yüksek olduğu dönemlerde seralarda bitkilerin arzu ettiği konfor ortamı en ucuz olarak doğal havalandırma ile sağlanabilmektedir. Bitkisel üretimin yapıldığı serada iyi bir havalandırma ile hava sıcaklığı dış sıcaklığın 1-2 °C üzerine çekilirken, bitki sıcaklığı hava sıcaklığının 5-15 °C üzerine yükselmektedir. Belirtilen nedenle havalandırma ile gölgelemenin birlikte yapılması sıcak dönemlerde bitki konfor ortamının sağlanmasında etkili bir iklimlendirme yöntemi olarak kabul edilmektedir. Hava değişim sayısı seralarda havalandırma etkinliğinin belirlenmesinde kullanılan önemli bir parametredir. Hava değişim sayısı havalandırma açıklıklarının büyüklüğüne, konumuna ve havalandırma açıklıklarında kullanılan böcek tüllerinin porozitelerine bağlı olarak değişmektedir.

Yapılan çalışmada havalandırma açıklıklarının büyüklüğüne, kullanılan böcek tülünün porozite katsayısına ve rüzgâr hızına bağlı olarak hava değişim sayısı ve ulaşılabilen sıcaklık farkı hesaplanmıştır. Yapılan hesaplamalar sonucunda %50 oranında gölgelendirilen, sera taban alanına göre çatısında %40 oranında havalandırma açıklığı bulunan ve havalandırma açıklıklarına böcek tülünün gerildiği seralarda ulaşılan hava değişim katsayısı 30 h⁻¹ olurken sıcaklık farkı 1,6 °C olarak belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Sera, İklimlendirme, Havalandırma

Determination of Natural Ventilation Openings in Greenhouses

Abstract

During periods when the intensity of solar radiation is high, it is possible to provide the comfortable environment desired by plants in greenhouses with natural ventilation as the cheapest method. In the greenhouse where plant production is carried out, with good ventilation, the air temperature is become above the external temperature by 1-2 °C, while the plant temperature can rise above the air temperature by 5-15 °C. For this reason, ventilation and shading together are considered an effective method of air conditioning in providing a plant comfortable environment during hot periods. The ventilation rate of air is an important parameter used to determine the ventilation efficiency in greenhouses. The number of air

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

changes (ventilation rate) varies depending on the size, location of the ventilation openings, and the porosity of the insect tulle used in the ventilation openings.

In this study, depending on the size of the ventilation openings and the porosity coefficient of the insect tulle used, and the wind speed, the ventilation rate, and the temperature difference that could be reached were determined. As a result of the calculations, in 50% shaded greenhouse and when the ventilation openings area on the roof to the greenhouses floor area was 40% while the insect tulle were used on the ventilation openings, the temperature difference was determined as 1.6 °C according to the air change coefficient of 30 h⁻¹ that was achieved in the greenhouses.

Keywords: Greenhouse, Climatization, Ventilation

1. GİRİŞ

Sıcak dönemlerde seraya ulaşan güneş ışınımına bağlı olarak artan sıcaklığın düzenlenmesi için seralar iklimlendirilmelidir. Seralarda yetiştirilen bitkilerin çoğu, 10 °C ve 35 °C'lik alt ve üst sınırlar ile 17 °C–27 °C aralığında ortalama sıcaklıklara adapte olmuş sıcak iklim türleridir. Günlük minimum sıcaklık <10 °C olduğunda, seralarda gece saatlerinde ısıtma yapılmalıdır. Maksimum sıcaklık <27 °C olduğunda, havalandırma ve gölgeleme yeterli olabilirken, sıcaklık 27 °C'nin üzerine yükselince serada soğutma gereklidir. Seralarda maksimum sıcaklık uzun süreli olarak 30-35 °C'yi geçmemelidir [1].

Günlük ortalama sıcaklığın 12-22 °C arasında olması durumunda, seralarda bitkiler için konfor ortamının sağlanması havalandırma ile mümkündür. Günlük ortalama sıcaklığın 22 °C'nin üzerine çıkması durumunda havalandırma ile birlikte gölgeleme ve aktif soğutma önlemlerinin alınması üretimin devamı için gereklidir [2-4].

Kuzey Avrupa ülkelerinde, ısıtma ve havalandırma, seralarda sıcaklığın yıl boyunca kontrol edilmesine olanak sağlarken, Türkiye, Yunanistan ve güney İspanya gibi daha düşük enlemlerde yer alan ülkelerde, yaz aylarında yeterli bir serinletme için gündüz saatlerindeki sıcaklıklar havalandırma için çok yüksek olabilmektedir. Bu ülkelerde üretimin seralarda devamı için aktif soğutma gereklidir [5].

Seralarda en ucuz iklimlendirme yöntemi doğal havalandırmadır. Havalandırma, sıcaklığın, nemin

ve CO₂ konsantrasyonunun düzenlenmesine olanak sağlar. Serada bağıl nemin gece saatlerinde uzun süre %95'i aşması ve sıcaklığın çiğ noktasına ulaşması sonucunda, Botrytis cinerea ve küllenme gibi mantar hastalıklarının hızlı gelişimi gibi ciddi sorunlar ortaya çıkabilir. Ayrıca bitkilerde kalsiyum eksikliği ile ilgili problemlerden kaçınmak için yeterli terlemeyi sağlayan buhar basıncı açığı (VPD) nem kontrolü yapılarak uygun aralıklarda tutulmalıdır [1]. Seralarda yapılan domates üretiminde VPD 0,8-0,9 kPa olmalıdır. Bu da sıcaklığın 24 °C olduğu koşullarda %70 bağıl neme eşdeğerdir [6]. Seralarda nem düzenlenmesi genellikle havalandırma ile yapıldığından, havalandırma sadece sıcak dönemlerde değil tüm üretim periyodu boyunca bitkiler için gerekli olan konfor ortamının sağlanmasına hizmet eder.

Seralarda iyi bir havalandırma ile ulaşılan sıcaklık farkı 2-3 °C arasında değişir [4]. Akdeniz bölgesinde %40 havalandırma açıklığına böcek tülü gerilmiş üretici seralarında yapılan ölçümlerde Ekim ayında ulaşılan sıcaklık farkı 1-2 °C arasında değişmektedir [7].

Seralarda havalandırma ile ulaşılan sıcaklık, havalandırma açıklıklarının boyutlarına, konumlarına, rüzgâr etkisine bağlı olarak değişmektedir. Böcek tüllerinin kullanılmadığı seralarda, iyi bir havalandırma için, havalandırma açıklıklarının sera taban alanına oranı %20-25 arasında olması yeterlidir [8].

Seralarda havalandırmanın etkinliği üç farklı değişkenle belirlenir. Bunlar; hava değişim

katsayısı (N), birim alana tekabül eden hava değişim sayısı (V_A) ve havalandırma etkinliğidir (V_{eff}) [4,9,10]. Hava değişim katsayısı, havalandırma açıklıklarından ortaya çıkan hava akış debisinin sera hacmine oranı olup sera tipine bağlı bir katsayıdır. Bu katsayı sera tipine bağlı olduğundan, havalandırma etkinliğinin belirlenmesinde birim alana tekabül eden hava değişim sayısı daha fazla kullanılmaktadır [10]. Birim alana tekabül eden hava değişim sayısı, havalandırma açıklıklarından ortaya çıkan hava akış debisinin sera taban alanına oranıdır.

Seralarda iyi bir havalandırma için hava değişim katsayısının 30 h^{-1} , çok iyi bir havalandırma için 50 h^{-1} olması istenir. Bu değer ortalama yüksekliği 6 m olan serada $300 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ hava değişim sayısına eşdeğerdir [10,11].

Seralarda hava değişimi iç ve dış ortam arasındaki basınç farkından ortaya çıkar. Ortaya çıkan basınç farkı, iç ve dış ortam arasındaki sıcaklık, nem farkına ve rüzgârın sera yüzeyinde yarattığı etkiye bağlıdır. Rüzgâr havalandırma açıklıklarında bir basınç alanı oluşturarak hava akımının meydana gelmesini sağlar. Ortaya çıkan basınç, seraya hava girdiğinde pozitif, hava çıktığında negatif olmaktadır. Rüzgârın sera üzerindeki etkisi, ortalama rüzgâr hızına bağlı statik basınç tarafından tetiklenen ve Bernoulli denklemi ile açıklanabilen sabit etki ve rüzgârın türbülans özelliklerine bağlı etki olmak üzere iki bileşene ayrılır [12-13].

Seralarda doğal havalandırmanın etkinliğini belirlemek amacıyla birçok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmaların çoğu, indikatör gaz ölçümlerini kullanarak hava değişim katsayısı tahminlerine [10,14-16] ve enerji dengesi modellerinden homojen hava sıcaklığının simülasyonlarına [17,18] dayanmaktadır. Von Zabeltitz, enerji dengesi yöntemine göre hava değişim sayısını hesaplayarak, Baytorun [10] tarafından indikatör gaz yöntemine göre belirlenen hava değişim sayıları ile karşılaştırmıştır. Enerji dengesine göre hesaplanan değerler, Baytorun'un indikatör gaz yöntemine göre belirlediği sonuçlarla çok iyi bir uyum göstermiştir [9]. Baptista ve arkadaşları [14] yaptıkları çalışmada büyük havalandırma

açıklıklarına sahip seralarda her iki yöntemle göre belirlenen hava değişim katsayıları arasında çok iyi bir uyumun bulunduğunu belirlemişlerdir. Havalandırma açıklıklarından ortaya çıkan hava akışının doğrudan tahmini, değişik seralarda basınç farkının ölçülmesi ile de belirlenmiştir [13,19].

Doğal havalandırmada, genellikle hem rüzgâr hem de sıcaklık farkının yarattığı etki söz konusudur. Rüzgâr hızının yüksek olduğu bölgelerde bu etki, sıcaklık farkına baskındır. Rüzgâr zayıfladığında sıcaklık farkının yarattığı kuvvet ön plana çıkar. Meneses ve Raposo [20], çatıda ve yan duvarlarda havalandırma açıklıkları bulunan seralarda, $0,5-1,5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ rüzgâr hızlarında, sıcaklık farkının rüzgâr etkisine göre baskın olduğunu, daha yüksek rüzgâr hızlarında bunun tersi olup sıcaklık farkı etkisinin göz ardı edilebileceğini belirlemişlerdir. Ancak bu sınır, sera geometrisine, havalandırma açıklıkları konumuna ve iç-dış sıcaklık farklılıklarına bağlı olarak değişebilmektedir.

Sıcaklık farkının hava değişimine etkisi, yan duvar ve çatı havalandırmasına sahip seralarda sıcaklık farkının büyük olduğu koşullarda önemlidir [21]. Sadece çatı havalandırmasına sahip blok seralarda şömine etkisi yaratan yan duvar ve çatı havalandırma açıklıkları arasındaki yükseklik (h) oluşmadığından sıcaklık farkının hava değişimine etkisi ihmal edilecek düzeyde küçüktür. Rüzgâr hızı $> 1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ olduğunda [14], rüzgâr hızı $> 2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 'den [22] veya $v_w / \Delta T^{0,5} > 1$ olduğunda [23,24] Sıcaklık farkının hava değişimine etkisi ihmal edilmektedir.

Havalandırma açıklıklarında ortaya çıkandeşarj katsayısı (C_d) havalandırma kapaklarının konumlarına, rüzgâr yönüne ve havalandırma açıklıkları boyutlarına bağlı olarak değişir. Bot [12] yaptığı çalışmada C_d 'yi 0,65-0,7 arasında belirlerken, De Jong [25] 0,65-0,75, Boulard ve Baille [13] 0,644 olarak bulmuşlardır.

Boulard ve Baille [13] havalandırma açıklıkları boyut oranlarının (L_o/H_o) 32 olduğu serada C_d 'nin 0,705 alınabileceğini belirlemişlerdir. Aynı şekilde Papadakis ve arkadaşları [22] yaptıkları çalışmada (L_o/H_o) 33 için C_d 'yi 0,707,

havalandırma kapaklarının seranın yan duvarında bulunması durumunda L_o/H_o 37 için C_d 'yi 0,712 olarak belirlemişlerdir. Von Zabeltitz [4] rüzgâr yönü dikkate alınmadan havalandırma kapaklarının sadece çatıda bulunması durumunda C_d 'nin 0,649, yan duvarda bulunması durumunda 0,666 alınabileceğini ifade etmiştir.

Blok olarak inşa edilen seralarda dış tüneldeki havalandırma açıklıklarında ortaya çıkan deşarj katsayısı, ara tünellerde ortaya çıkan deşarj katsayısına göre farklılıklar göstermektedir. Munoz [11] tarafından yapılan araştırmalarda havalandırma kapaklarının boyut oranlarına bağlı olarak dış tünellerde ortaya çıkan deşarj katsayısı 0,681-0,815 arasında değişirken, ara tünellerde 0,518-0,621 arasında belirlenmiştir. Farklı araştırmacılar tarafından yapılan çalışmalar sonucunda deşarj katsayısını 0,6-0,8 arasında belirlemiştir.

Seralarda havalandırma açıklıklarında ortaya çıkan hava akış debisinin belirlenmesinde gerekli olan rüzgâr basınç katsayısı (C_w), farklı araştırmacılar tarafından yapılan çalışmalarla belirlenmiştir. Küçük boyutlu seralar üzerinde yapılan çalışmalarda C_w katsayısı, Baptista ve arkadaşları, [14] 0,09, Boulard ve Bailie [13] 0,10, Kittas ve arkadaşları, [19] 0,14 ve Papadakis ve arkadaşları, [22] tarafından 0,13 olarak bulunmuştur. Munoz, [11] yaptığı çalışmada rüzgâr basınç katsayısının rüzgârın esiş yönüne bağlı olarak değiştiğini, basma yönündeki havalandırma kapaklarının açık olması durumunda C_w katsayısının 0,430, emme yönündeki havalandırma kapaklarının açık olması durumunda C_w katsayısının 0,079 alınabileceğini belirlemiştir.

Baptista ve arkadaşları [14] yaptıkları çalışmada $C_d * C_w^{0,5}$ 'i rüzgâr etki katsayısı olarak tanımlayarak hesaplamalarda bu değer 0,20 olarak alınabileceğini belirlemişlerdir. Von Zabeltitz [4] $C_d * C_w^{0,5}$ 0,22 olarak alınabileceğini ifade etmektedir.

Yapılan bu çalışmada sera donanımına (örtü malzemesi, gölgeleme, havalandırma açıklık boyutları, böcek tülü) ve bölgenin iklim

koşullarına (güneş ışınımı şiddeti, rüzgâr hızı) bağlı olarak enerji dengesi yöntemi ve Bernoulli eşitlikleri kullanılarak hava değişim sayılarının belirlenmesi ve belirlenen hava değişim sayılarına bağlı olarak serada ulaşılan sıcaklık farklarının hesaplanması amaçlanmıştır.

2. MATERYAL VE METOT

Seralarda enerji dengesi yöntemine göre güneşten kazanılan ve örtü yüzeyinden kaybedilen ısı enerjileri eşittir. Seralarda enerji dengesi, toprağa olan ısı akışı ve fotosentezde kullanılan ısı enerjisi (%2-3) ihmal edildiğinde Eşitlik 1 ile ifade edilir [9,26-28].

$$\tau \cdot I_o = U \cdot \frac{A_C}{A_G} \cdot \Delta T + V_A \cdot c_p \cdot \rho \cdot \Delta T + E \cdot f \cdot \tau \cdot I_o \quad (1)$$

Eşitlikte;

τ : Örtü malzemesinin geçirgenliği (-),

I_o : Güneş ışınımı şiddeti ($W m^{-2}$),

c_p : Havanın özgül ısısı ($Wh kg^{-1}K^{-1}$),

ρ : Havanın yoğunluğu ($kg m^{-3}$),

ΔT : İç-dış sıcaklık farkı ($^{\circ}C$),

U : Örtü malzemesinin ısı iletim katsayısı ($W m^{-2}K^{-1}$),

A_C : Örtü yüzey alanı (m^2),

E : Seraya ulaşan güneş ışınımının buharlaşmada kullanılan oranı (-),

f : Bitki örtü faktörü (-).

Eşitlik 1'de ($\tau \cdot I_o$) güneşten kazanılan, ($U \cdot \frac{A_C}{A_G} \cdot \Delta T$) örtü malzemesinden sıcaklık farkına bağlı transmisyonla kaybedilen, ($V_A \cdot c_p \cdot \rho$) hava değişimi ile kaybedilen ve ($E \cdot f \cdot \tau \cdot I_o$) serada bitkilerin transpirasyonuna bağlı buharlaşmada kullanılan ısı enerjisidir. Eşitlik 1'den V_A çekildiğinde serada istenen sıcaklık farkına bağlı gereksinilen hava değişim sayısının hesaplanmasında kullanılan Eşitlik 2 elde edilir.

$$V_A = \frac{\tau \cdot I_o \cdot (1 - E \cdot f)}{c_p \cdot \rho \cdot \Delta T} - \frac{U \cdot A_C}{c_p \cdot \rho \cdot A_G} \quad (2)$$

Eşitlik 2'deki E katsayısının belirlenmesi zordur [28]. Seraya ulaşan hava, bitkide terlemeye etki etmediği sürece, E katsayısı 0 ile 1 arasında değişir. Ancak, kurak iklim bölgelerinde seraya

ulaşan kuru hava çok düşük neme sahipse, buharlaşmaya ve seradaki ısı enerjisine katkı sağlayarak E katsayısının 1'den büyük olmasına neden olabilir. $E > 1$ ise, transpirasyon bitkiye ulaşan net radyasyondan daha fazla enerji gerektirir. Bu durumda hava sıcaklığı hava girişinden hava çıkışına doğru azalır [28-29]. Ilıman iklim koşullarında havalandırma hesaplamaları için dış nemin çok düşük olmadığı ve üretimin yapılmadığı boş seralarda $E=0$, bitkiyle yarı örtülmüş seralarda $E = 0,5$ ve bitkiyle tamamen kaplı seralarda için $E = 0,8-1,0$ alınır [4].

Eşitlik 2'deki bitki örtü faktörü (f) serada üretilen bitki çeşidine göre, toprakta doğrudan üretimin yapıldığı sera için 0,8, kesme çiçek için 0,8 ve masada saksı bitkileri üretimi yapılan seralar için 0,6-0,8 alınır [4].

Havalandırma açıklığı çevresinde rüzgâr hızının sabit olduğu varsayıldığında ortaya çıkan hava akış hızı Eşitlik 3 ile ifade edilir [13].

$$v = C_d \cdot \sqrt{\frac{2}{\rho} \Delta P} \quad (3)$$

Havalandırma açıklığından ortaya çıkan hava akış debisi Eşitlik 4 ile belirlenir.

$$V_v = \frac{A_v}{2} \cdot C_d \cdot \sqrt{\frac{2}{\rho} \Delta P} \quad (4)$$

Eşitlikte; A_v : Havalandırma açıklığının toplam alanıdır. Havalandırma alanının 2'ye bölünmesi, alanın yarısının hava girişi ve yarısının hava çıkışı için kullanılmasından kaynaklanmaktadır.

Havalandırma açıklıklarında rüzgârın yarattığı basınç farkı Eşitlik 5 ile hesaplanır.

$$\Delta P_w = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot C_w \cdot v_w^2 \quad (5)$$

Baca etkisine bağlı ortaya çıkan basınç farkı (ΔP_T), iç ve dış ortam hava yoğunluğunun farkından kaynaklanan dikey basınç farkına bağlı olup, Eşitlik 6 ile ifade edilir.

$$\Delta P_T = \rho \cdot g \cdot H \cdot \frac{\Delta T}{T_o} \quad (6)$$

Seralarda hava değişimine neden olan basınç farkı, sıcaklık farkı ve rüzgar etkisinden ortaya çıkan basınç farkı toplamına eşit olup Eşitlik 7 ile ifade edilmektedir.

$$\Delta P = \Delta P_w + \Delta P_T \quad (7)$$

Havalandırma açıklıklarında ortaya çıkan basınç farkı Eşitlik 4'te yerine konulduğunda, çatı havalandırma açıklıklarından sıcaklık farkı ve rüzgar hızına bağlı olarak ortaya çıkan havalandırma debisi Eşitlik 8 ile hesaplanabilmektedir [23,24,30].

$$V_v = \frac{A_v}{2} \cdot C_d \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot g \cdot (h/4) \Delta T}{T_o} + C_w \cdot v_w^2} \quad (8)$$

Eşitlikte;

V_v : Hava akış debisi ($m^3 s^{-1}$)

A_v : Havalandırma açıklık alanı (m^2),

g : Yerçekimi ivmesi ($m s^{-2}$),

h : Hava girişi ve çıkışı merkezleri arasındaki dikey mesafe (m),

θ_m : Ortalama dış sıcaklık ($^{\circ}C$),

v_w : Rüzgâr hızı ($m s^{-1}$),

C_w : Rüzgar basınç katsayısı (-)

C_d : Deşarj katsayısıdır (-).

Sıcaklık farkının hava değişimine etkisi, yan duvar ve çatı havalandırmasına sahip seralarda sıcaklık farkının büyük olduğu koşullarda önemlidir [30]. Sadece çatı havalandırmasına sahip blok seralarda sıcaklık farkının hava değişimine etkisi ihmal edilecek düzeyde küçüktür. Sıcaklık farkının hava değişimine etkisi ihmal edildiğinde çatı havalandırma açıklığından ortaya çıkan hava debisi Eşitlik 9'dan yararlanılarak hesaplanır.

$$V_v = \frac{A_v}{2} \cdot C_d \cdot v_w \cdot \sqrt{C_w} \quad (9)$$

Havalandırma açıklıklarına böcek tülünün gerilmesi durumunda tülün porozitesine bağlı olarak ortaya çıkan hava akış debisi Eşitlik 10 ile hesaplanır [11,31].

$$V_{VS}=V_V \cdot (\varepsilon \cdot (2-\varepsilon)) \quad (10)$$

Eşitlik 9 ve Eşitlik 10'da Eşitlik 11 elde edilir.

$$V_{VS}=\frac{A_V}{2} \cdot C_d \cdot v_w \cdot \sqrt{C_w} \cdot (\varepsilon \cdot (2-\varepsilon)) \quad (11)$$

Eşitlikte; ε porozite katsayısıdır.

Havalandırma açıklıklarında ortaya çıkan hava akış debisinin sera taban alanına bölünmesi ile birim alana tekabül eden hava değişim sayısı (V_A) elde edilir. Eşitlik 11'in her iki tarafı sera taban alanına bölündüğünde Eşitlik 13 elde edilir.

$$\frac{V_{VS}}{A_G}=\frac{A_V}{2 \cdot A_G} \cdot C_d \cdot v_w \cdot \sqrt{C_w} \cdot (\varepsilon \cdot (2-\varepsilon)) \quad (12)$$

$$\frac{V_{VS}}{A_G}=V_A \text{ Olduğundan}$$

$$V_A=\frac{A_V}{2 \cdot A_G} \cdot C_d \cdot v_w \cdot \sqrt{C_w} \cdot (\varepsilon \cdot (2-\varepsilon)) \quad (13)$$

Yapılan çalışmada havalandırma açıklıklarının büyüklüğüne ve rüzgarın etkisine bağlı olarak birim alana tekabül eden hava değişim sayısının hesaplanmasında gerekli olan deşarj katsayısı (C_d) Eşitlik 14 yardımı ile hesaplanmıştır [4].

$$C_d=\frac{1}{\sqrt{1,9+0,7 \cdot \exp\{-L_0/[32,5 \cdot H_0 \cdot \sin \alpha]\}}} \quad (14)$$

Eşitlikte; L_0 ve H_0 Havalandırma açıklığının uzunluğu ve genişliği, α ise kapakların açıklık açısıdır.

Rüzgâr etkisine bağlı birim alana tekabül eden hava değişim sayısının Eşitlik 13'e göre hesaplanmasında gerekli olan rüzgâr basınç katsayısı (C_w) rüzgârın farklı yönlerden estiği kabul edilerek 0,12 alınmıştır.

Yapılan çalışmada son yıllarda kurulan ileri teknoloji seralarının boyutları esas alınmıştır. Hesaplama kullanılan seranın teknik özellikleri Çizelge 1'de verilmiştir.

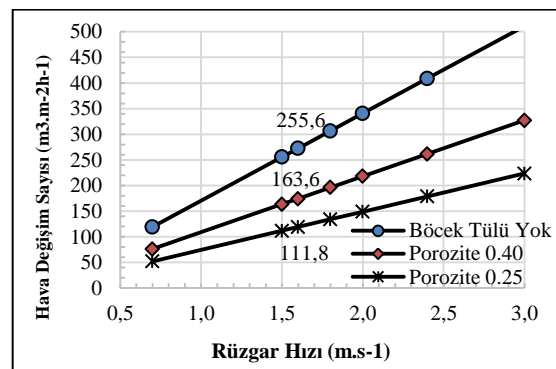
Çizelge 1. Seranın teknik özellikleri

Tünel sayısı (Adet)	10
Tünel uzunluğu (m)	100
Tünel genişliği (m)	9,6
Yan duvar yüksekliği (m)	5
Mahya yüksekliği (m)	7
Havalandırma uzunluğu (m)	100
Havalandırma genişliği (m)	2
Sera alanı (m ²)	9600
Örtü alanı (m ²)	12552
Sera hacmi (m ³)	57600
Örtü geçirgenliği (%)	60
Gölgeleme (%)	50
Çatı örtü malzemesi	Polietilen
Yan duvar örtü malzemesi	Polikarbon (8 mm)

Yapılan çalışmada, Eşitlik 13'e göre farklı havalandırma açıklıklarına bağlı hesaplanan hava değişim sayısı Eşitlik 2'de yerine konularak serada ulaşılabilir sıcaklık farkı belirlenmiştir.

3. BULGULAR

Sera havalandırma açıklıklarından ortaya çıkan hava değişimi, havalandırma kapaklarının konumuna, büyüklüğüne, böcek tülünün porozitesine ve rüzgâr hızına bağlı olarak değişir. Güneş ışınımı şiddetinin 800 W m², gölgeleme oranının %50 ve çatıda havalandırma açıklığının sera taban alanına oranının %40,4 olduğu serada, farklı porozitelere sahip böcek tülleri ve rüzgâr hızlarına bağlı olarak ulaşılan hava değişim sayıları Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Havalandırma açıklığı %40,4 olan serada farklı rüzgâr hızlarına ve böcek tülü porozite katsayılarına bağlı hava değişim sayıları

Havalandırma açıklığında böcek tülünün kullanılmadığı serada 1,5 m s⁻¹ rüzgar hızında 256 m³ m⁻²h⁻¹ hava değişim sayısına ulaşılırken, porozite katsayısı 0,4 olan böcek tülünün kullanıldığı serada 164 m³ m⁻²h⁻¹ ve porozite katsayısı 0,25 olan serada ise 112 m³ m⁻²h⁻¹ olmaktadır. Artan rüzgar hızı, hava değişim sayısının büyümesine neden olurken, havalandırma açıklıklarında kullanılan böcek tülleri hava değişim sayısının küçülmesine neden olur.

Seralarda iyi bir havalandırma için hava değişim katsayısının 30 h⁻¹'ten, çok iyi bir havalandırma için 50 h⁻¹'den büyük olmalıdır [9]. Çizelge 2'de farklı porozitelere sahip böcek tüllerinin kullanıldığı seralarda, farklı havalandırma açıklıkları ve rüzgâr hızlarına bağlı olarak ulaşılan hava değişim sayısı ve hava değişim katsayıları verilmiştir. Çizelgeden de görüleceği gibi havalandırma açıklığının sera taban alanına oranının %21,4 olduğu koşullarda, havalandırma açıklıklarında böcek tülünün kullanılmaması durumunda iyi bir havalandırma için rüzgâr hızı en az 2 m s⁻¹ olmalıdır.

Rüzgâr hızının 2 m s⁻¹'den düşük olduğu yerlerde iyi bir havalandırma için açıklıkların büyütülmesi

gereklidir. Çizelge 2'den görüleceği gibi havalandırma açıklığının %21,4'ten, %25,7'ye büyütülmesi durumunda böcek tülünün kullanılmadığı seralarda iyi bir havalandırma için 1,6 m.s⁻¹ rüzgar hızı yeterli olmaktadır.

Sera havalandırma açıklıklarında böcek tülünün kullanılması, havalandırma etkinliğini olumsuz etkilediğinden havalandırma açıklık alanı büyütülmelidir. Çizelge 2'de havalandırma açıklık alanının sera taban alanına oranının %25,7 olduğu koşullarda porozite katsayısı 0,4 olan böcek tülünün kullanılması durumunda 2 m s⁻¹ rüzgâr hızında bile yeterli bir havalandırma sağlanamamaktadır.

Böcek tülünün kullanıldığı seralarda böcek tülü porozite katsayısına bağlı olarak havalandırma açıklık alanları büyütülmelidir. Çatıda havalandırma açıklık alanının sera taban alanına oranının %40,4'e yükseltildiği serada, porozite katsayısı 0,40 olan böcek tülünün kullanılması durumunda iyi bir havalandırma için bölgedeki rüzgâr hızının 1,6 m s⁻¹'den büyük olmalıdır. Beyaz sineğe karşı böcek tülünün kullanılması durumunda iyi bir havalandırma için rüzgâr hızı en az 2,4 m s⁻¹ olmalıdır.

Çizelge 2. Farklı havalandırma açıklıklarında ve farklı porozitelere sahip böcek tülünün kullanıldığı seralarda rüzgar hızına bağlı olarak ulaşılan hava değişim katsayıları

A _v /A _G (%)	V _w (m s ⁻¹)	Böcek tülü yok		Porozite 0,40		Porozite 0,25	
		V _A (m ³ m ⁻² h ⁻¹)	N (h ⁻¹)	V _A (m ³ m ⁻² h ⁻¹)	N (h ⁻¹)	V _A (m ³ m ⁻² h ⁻¹)	N (h ⁻¹)
21,4	0,7	65,3	10,9	41,8	7,0	28,6	4,8
	1,5	139,9	23,3	89,5	14,9	61,2	10,2
	1,6	149,2	24,9	95,5	15,9	65,3	10,9
	2,0	186,6	31,1	119,4	19,9	81,6	13,6
25,7	0,7	77,5	12,9	49,6	8,3	33,9	5,7
	1,5	166,1	27,7	106,3	17,7	72,7	12,1
	1,6	177,2	29,5	113,4	18,9	77,5	12,9
	2,0	221,5	36,9	141,8	23,6	96,9	16,2
40,4	0,7	119,3	19,9	76,3	12,7	52,2	8,7
	1,5	255,6	42,6	163,6	27,3	111,8	18,6
	1,6	272,6	45,4	174,5	29,1	119,3	19,9
	1,8	306,7	51,1	196,3	32,7	134,2	22,4
	2,0	340,8	56,8	218,1	36,3	149,1	24,8
	2,4	408,9	68,2	261,7	43,6	178,9	29,8

Akdeniz iklim koşullarında Mayıs ayında ortaya çıkan maksimum güneş ışınımı şiddeti yaklaşık

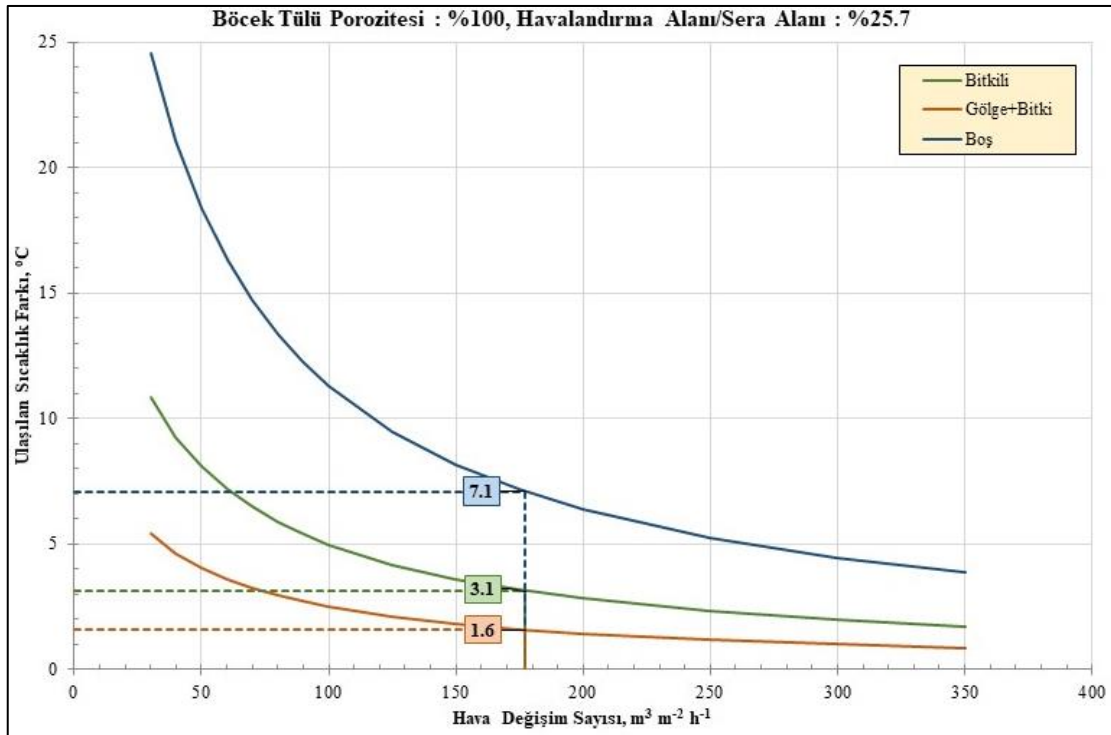
800 W m⁻² civarındadır. Yapılan çalışmada Çizelge 1'de verilen seranın teknik özellikleri esas

Seralarda Doğal Havalandırma Açıklıklarının Belirlenmesi

alınarak serada ulaşılan sıcaklık farkları hesaplanmıştır. Şekil 2’de güneş ışınımının 800 W m^{-2} , rüzgâr hızının $1,6 \text{ m s}^{-1}$, havalandırma açıklık alanının sera taban alanına oranının %25,7, böcek tülünün kullanılmadığı koşullarda, boş ve üretiminin yapıldığı gölgelenmemiş ve %50 oranında gölgelendirilmiş serada birim alana tekabül eden hava değişim sayılarına bağlı ulaşılan sıcaklık farkları verilmiştir.

Şekil 2’den görüleceği gibi havalandırma açıklıklarına böcek tülü gerilmemiş serada rüzgâr hızı $1,6 \text{ m s}^{-1}$ olduğunda ulaşılan hava değişim sayısı $177,2 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ (hava değişim katsayısı

$29,5 \text{ h}^{-1}$) olmaktadır. Hava değişim katsayısı iyi bir havalandırma için sınırda bulunmaktadır. Çatıdaki havalandırma açıklığının sera taban alanına oranının %25,7, havalandırma açıklıklarında böcek tülünün kullanılmadığı ve bitkisel üretimin yapılmadığı serada ulaşılan sıcaklık farkı $7,1 \text{ }^\circ\text{C}$ olmaktadır. Aynı koşullarda bitkisel üretimin yapıldığı serada duyulur ısının bir kısmı transpirasyonda kullanıldığından ulaşılan sıcaklık farkı $3,1 \text{ }^\circ\text{C}$ olmaktadır. Yapılan çalışmada güneş ışınımının gölgeleme ile %50 oranında azaltıldığı ve bitkisel üretimin yapıldığı koşullarda ulaşılan sıcak farkı ise $1,6 \text{ }^\circ\text{C}$ olarak hesaplanmıştır.



Şekil 2. Güneş ışınımının 800 W m^{-2} , örtü geçirgenliğinin %60 olan, boş ve bitkisel üretimin yapıldığı PE plastik serada hava değişim sayısına bağlı ulaşılan sıcaklık farkı

Hava değişim sayısı ile serada ulaşılan sıcaklık farkı arasında doğrusal olmayan azalan bir ilişki bulunmaktadır (Şekil 2). Bu durum önemli miktarda ısı enerjisinin kapakların ilk açıldığı anlarda serayı terk ettiği anlamına gelmektedir. Schmidt [32] yaptığı çalışmada havalandırma kapaklarının çok az açıldığı koşullarda gizli ısı

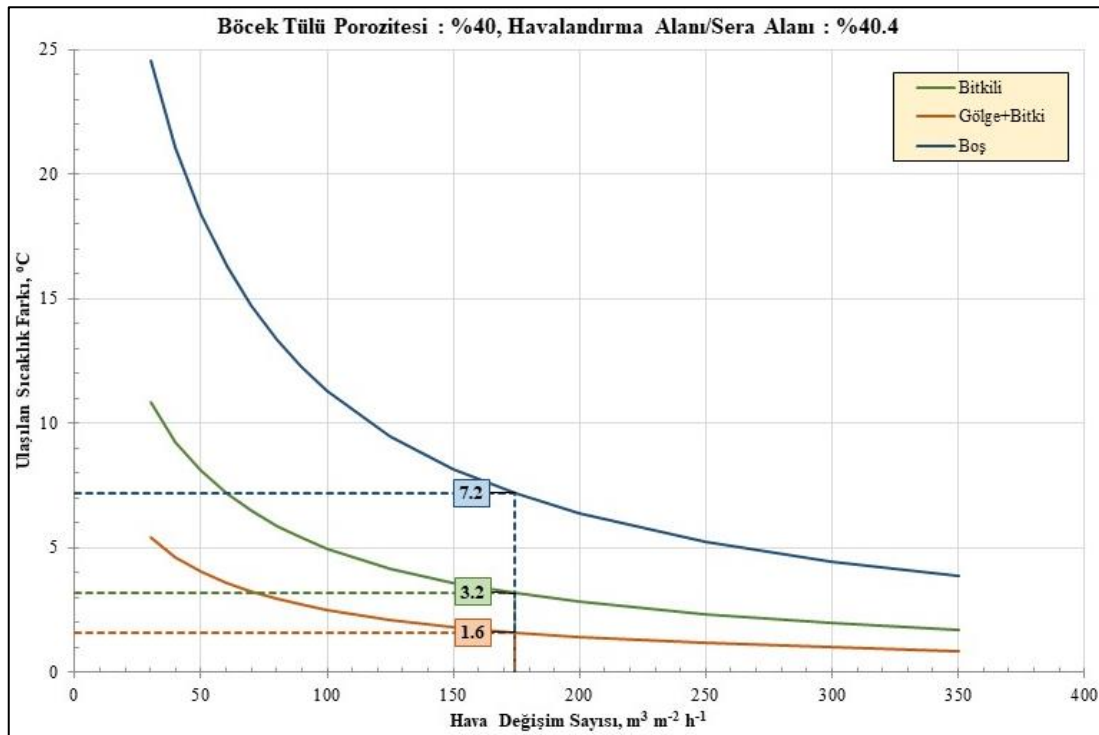
kaybının duyulur ısı kaybına göre çok daha fazla olduğunu belirlemiştir. Havalandırma kapaklarının daha fazla açılması durumunda toplam ısı kaybı içinde gizli ısının oranı azalır. Bu durum sera örtü yüzeyinde bulunan istenmeyen açıklıklardan öncelikli olarak nemli havayla birlikte gizli ısının kaybolduğu anlamına gelmektedir [32].

Seralarda havalandırma açıklıklarına gerilen böcek tülleri serada ortaya çıkan hava değişimini kısmen de olsa engellemektedir. Böcek tülleri hava girişlerinde direncin yükselmesine, dolayısı ile havalandırma etkinliğinin azalmasına neden olurlar [33-35]. Belirtilen nedenle havalandırma açıklıklarına böcek tülü gerilmiş seralarda havalandırma açıklıklarının belirli oranlarda büyütülmesi zorunludur. Teitel [36], Bailey ve arkadaşları, [37] böcek tülü kullanılan seralarda havalandırma açıklıklarının kullanılan tüllerin porozite katsayılarına göre iki katına kadar artırılmasını önermektedirler.

Güneş ışınımının 800 W m^{-2} , rüzgâr hızının $1,6 \text{ m s}^{-1}$, A_V/A_G oranı %40,4 olan ve havalandırma açıklığına porozite katsayısı 0,4'lık böcek tülü gerilmiş serada ulaşılan sıcaklık farkı Şekil 3'te verilmiştir. Şekilden de görüleceği gibi böcek tülünün kullanılması durumunda havalandırma açıklık alanının %25,7'den %40,4'e yükseltilmesi durumunda ulaşılan sıcaklık farkları

hemen hemen eşit olmaktadır. Diğer bir ifade ile havalandırma açıklık alanı yaklaşık %57 oranında büyütülen serada hava değişim sayısı gerilen böcek tülünden dolayı sadece %1,5 oranında azalmaktadır. Bu koşullarda bitkisel üretimin yapıldığı %50 oranında gölgelendirilmiş serada ulaşılan sıcaklık farkı ise $1,6 \text{ }^\circ\text{C}$ olmaktadır.

Havalandırma açıklıklarına gerilen böcek tüllerinin porozite katsayısı küçüldükçe havalandırma açıklıklarında ortaya çıkan basınç kaybı artmakta, buna bağlı olarak ulaşılan sıcaklık farkı büyümektedir. Dış ışınımın 800 W m^{-2} ve rüzgâr hızının $1,6-2,0 \text{ m s}^{-1}$ olduğu koşullarda, havalandırma açıklıklarında farklı porozite katsayılarına sahip böcek tülünün kullanılması durumunda gölgelendirilmiş ve gölgelendirilmemiş seralarda ulaşılan hava değişim sayısı (V_A), hava değişim katsayısı (N) ve sıcaklık farkı (ΔT) Çizelge 3'te verilmiştir.



Şekil 3. Güneş ışınımının 800 W.m^{-2} , örtü geçirgenliği %60, A_V/A_G oranı %40,4 ve böcek tülü porozite katsayısı 0,40 olan PE plastik serada hava değişim sayısına bağlı ulaşılan sıcaklık farkı

Seralarda Doğal Havalandırma Açıklıklarının Belirlenmesi

Çizelge 3'ten görüleceği gibi çatıda havalandırma açıklık alanının sera taban alanına oranı %25,7 olduğu koşullarda $1,6 \text{ m s}^{-1}$ rüzgar hızında yeterli bir havalandırma sağlanarak gölgelendirilen serada sıcaklık farkı $1,6 \text{ }^\circ\text{C}$ olmaktadır. Aynı özelliklere sahip serada havalandırma açıklığına porozite katsayısı 0,4 olan böcek tülünün gerilmesi durumunda hesaplanan hava değişim katsayısı

$18,9 \text{ h}^{-1}$ 'a düşerken gölgelendirilen serada ulaşılan sıcaklık farkı $2,3 \text{ }^\circ\text{C}$ 'ye yükselmektedir. Rüzgâr hızının $1,6 \text{ m s}^{-1}$ olduğu koşullarda havalandırma açıklığına 0,4 porozite katsayısına sahip böcek tülünün gerildiği serada havalandırma açıklığının %40,4'e yükseltilmesi durumunda serada iyi bir havalandırma sağlanırken, ulaşılan sıcaklık farkı $1,6 \text{ }^\circ\text{C}$ olmaktadır.

Çizelge 3. Farklı havalandırma açıklıklarına sahip seralarda farklı porozite katsayılarına sahip böcek tülünün kullanılması durumunda rüzgar hızına bağlı hesaplanan hava değişim katsayıları ve ulaşılan sıcaklık farkları

A_v/A_G (%)	V_w (m.s^{-1})	Böcek tülü porozite	V_A ($\text{m}^3.\text{m}^{-2}.\text{h}^{-1}$)	N (h^{-1})	ΔT Gölge ($^\circ\text{C}$)	ΔT Gölgesiz ($^\circ\text{C}$)
25,7	1,6	Yok	177,2	29,5	1,6	3,1
		0,40	113,4	18,9	2,3	4,6
		0,25	77,5	12,9	3,0	6,0
	2,0	Yok	221,5	36,9	1,3	2,6
		0,40	141,8	23,6	1,9	3,8
		0,25	96,9	16,2	2,5	5,1
40,4	1,6	Yok	272,6	45,4	1,1	2,1
		0,40	174,5	29,1	1,6	3,2
		0,25	119,3	19,9	2,2	4,3
	2,0	Yok	340,8	56,8	0,9	1,7
		0,40	218,1	36,3	1,3	2,6
		0,25	149,1	24,8	1,8	3,6

4. SONUÇ VE TARTIŞMA

Sıcak dönemlerde seralarda bitkiler için konfor ortamının sağlanması doğru bir iklimlendirme ile mümkündür. Günlük ortalama sıcaklığın $12-22 \text{ }^\circ\text{C}$ arasında bulunması durumunda seralarda havalandırma ile bitkiler için gerekli olan konfor ortamının sağlanması mümkündür. Seralarda havalandırma açıklıkları çatı ve/veya yan duvarlarda bulunmaktadır. Teksel olarak inşa edilen seralarda çatı ve yan duvarlarda havalandırma açıklıklarının bulunması etkili bir havalandırma için en uygun olanıdır. Ancak seraların teksel olarak kurulması alan ve iş gücü kaybı yanında örtü yüzeyinin artması nedeniyle soğuk dönemlerde enerji kayıplarına neden olmaktadır. Belirtilen nedenle son yıllarda kurulan seraların tamamı blok olarak inşa edilmektedir. Küçük işletmeler halinde kurulan blok seralarda hava giriş ve çıkışı arasındaki açıklık 30 m'den küçük olduğunda, çatı havalandırmasına gerek

duyulmadan stor tipi yan duvar havalandırması ile etkili bir hava değişimi elde etmek mümkündür. Ancak seraların büyük bloklar halinde inşa edilmesi durumunda yan duvar havalandırmasından vazgeçilerek sadece çatı havalandırması yapılmalıdır [4,5].

Havalandırma açıklıklarının büyüklüğü serada ortaya çıkan sıcaklık farkına etki eder. Serada ulaşılan sıcaklık farkı artan havalandırma açıklık alanlarına göre azalmaktadır. Bunun da anlamı seradaki ısının büyük kısmı havalandırma açıklıklarının ilk %10'luk açıklığında sera ortamını terk etmektedir.

Seralara ulaşan güneş ışınımının yaklaşık %35'i transpirasyon, fotosentez ve transmisyonla kullanılmakta, geri kalan kısmı duyulur ısıya dönüşerek ortam sıcaklığının yükselmesine neden olmaktadır. Belirtilen nedenle bitkisel üretimin yapıldığı seralarda ortaya çıkan sıcaklık farkı,

üretim yapılmadığı boş seralara göre daha küçüktür. Aynı şekilde seraya ulaşan güneş ışınımı şiddeti serada ortaya çıkan sıcaklığa etki etmektedir. Güneş ışınımının gölgeleme ile kısmen engellenmesi serada sıcaklık farkının azalmasına neden olur. Belirtilen nedenle sıcak dönemlerde havalandırılan seralarda yapılacak ek gölgeleme, bitki konfor ortamının sağlanmasına yardımcı olacaktır.

Seralarda havalandırma sistemlerinin etkinliği basınç farkına bağlı ortaya çıkan hava değişim katsayısına göre değerlendirilmektedir. Seralarda iyi bir havalandırma için hava değişim katsayısı 30 h^{-1} 'den büyük olmalıdır. Akdeniz bölgesinde mayıs ayında ortaya çıkan güneş ışınımı şiddetinin 800 W m^{-2} , gölgeleme oranının %50 ve ortalama rüzgâr hızının $1,6 \text{ m s}^{-1}$ olduğu koşullarda, sera çatısında %25 oranındaki havalandırma açıklığıyla ulaşılan hava değişim katsayısı 30 h^{-1} olurken, ulaşılan sıcaklık farkı $1,6 \text{ }^{\circ}\text{C}$ olmaktadır. Bu da yeterli bir havalandırmanın olduğunu göstermektedir.

Havalandırma açıklıklarına gerilen böcek tüllerini porozite katsayılarına bağlı olarak hava değişimini kısmen engellenmektedir. Belirtilen nedenle böcek tüllerinin kullanıldığı seralarda havalandırma açıklıkları mutlaka büyütülmelidir. Havalandırma açıklıklarına böcek tülünün gerildiği seralarda havalandırma açıklığının %25'ten %40'a çıkarılması durumunda ulaşılan hava değişim sayısı 29 h^{-1} olurken sıcaklık farkı $1,6 \text{ }^{\circ}\text{C}$ olmaktadır.

5. KAYNAKLAR

1. 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 Plant Production and Protection Paper, 21. 63–96
2. Nisen, A., Grafiadellis, M., Jiménez, R., La Malfa, G., Martiez-Garcia, P.F., Monteiro, A., Verlodt, H., Villele, O., Zabeltitz, C.V., Denis, J.C., Boudoin, W., Garnaud, J.C., 1988. Cultures Protégées en Climat Méditerranéen, FAO, Rome.
3. Baytorun, A.N., 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. Von Zabeltitz, C., 2011. Integrated Greenhouse Systems for Mild Climates. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
5. Baytorun, A.N., 2016. Seralar. Nobel Yayınevi.
6. Goldammer, T., 2019. Greenhouse Management. A Guide to Operations and Technology. Apex Publishers, ISBN-10: 0-9675212-9-7
7. Baytorun, A.N., Üstün, S., Akyüz, A., Önder, D., 2017. Akdeniz İklim Koşullarında Seralarda Havalandırma Açıklık Oranlarının Belirlenmesi. Türk Tarım–Gıda Bilim ve Teknoloji Dergisi, 5(4), 409-415.
8. Baytorun, A.N., Von Zabeltitz, C., 1987. Die Wirkung Bautechnischer Einflussgrößen Auf den Luftwechsel Gelüfteter Gewächshäusern. Horticultural Science, ISSN 0016-478 Band 52 Heft 5.
9. Von Zabeltitz, Chr. 1986. Gewächshäuser. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart.
10. Baytorun, A.N., 1986. Bestimmung des Luftwechsels bei Gelüfteten Gewächshäusern. Diss, Universität Hannover.
11. Muñoz, P., 1998. Ventilación Natural de Invernaderos Multitúnel. Ph. D. Universitat de Lleida, 145.
12. Bot, G.P.A., 1983. Greenhouse Climate: from Physical Processes to a Dynamic Model. Ph.D. Thesis, Agricultural University, Wageningen, 1983, 239.
13. Boulard, T., Baille, A., 1995. Modeling of the Air Exchange Rate in a Greenhouse Equipped with Continuous Roof Vents. J Agric Eng Res., 61, 37-48.
14. Baptista, F.J., Bailey, B.J., Randall, J.M., Meneses, J.F., 1999. Greenhouse Ventilation Rate: Theory and Measurement with Tracer Gas Techniques. J. Agric. Eng Res., (1999) 72, 363-374.
15. Perez-Parra, J., Baeza, E., Montero J. I., Bailey, B.J., 2004. Natural Ventilation of Greenhouses. Biosystems Eng., 87(3), 355–360.
16. Katsoulas, N., Bartzanas, T., Boulard, T., Mermier, M., Kittas, C. 2006. Effect of Vent

- Openings and Insect Screens on Greenhouse Ventilation. *Biosyst. Eng.*, 93(4), 427–436.
17. Wang, S., Deltour, J.M., 1996. Experimental Ventilation Function for Large Greenhouses Based on a Dynamic Energy Balance Model. *International Agricultural Engineering Journal*, 5(3), 103–112.
 18. Demrati, H., Boulard, T., Bekkaoui, A., Birden, L. 2001. Natural Ventilation and Microclimate Performance of a Large-scale Banana Greenhouse. *J Agric Eng Res.*, 80(3), 261–271.
 19. Kittas, C., Boulard, T., Mermier, M., Papadakis, G., 1996. Wind-induced Air Exchange Rates in a Greenhouse Tunnel with Continuous Side Openings. *J Agric Eng Res.*, 65, 37-49.
 20. Meneses, J.F., Raposo, J.R., 1987. Natural Ventilation of Animal Housings: Theory and Methods of Calculation. *Anais do Instituto Superior de Agronomia*, 249-265.
 21. Bailey, B.J., 2000. Wind-driven Ventilation in a Large Greenhouse. *Acta Horti* 534, 309-317.
 22. Papadakis, G., Mermier, M., Meneses, J., Boulard, T., 1996. Measurement and Analysis of Air Exchange Rates in a Greenhouse with Continuous of an Side Openings. *J Agric Eng Res.*, 63, 219-228.
 23. Perez-Parra, J., Montero, J.I., Baeza, E.J., Lopez Hernandez, J.C., 2006. Determination of Global Wind Coefficients for the Development of Ventilation Rate Calculation Models for a Parral Multi-span Greenhouse. *Acta Horti*, 710, 143–150.
 24. Boulard, T., 2006. Greenhouse Natural Ventilation Modeling: a Survey of the Different Approaches. *Acta Horti*, 719, 29–40
 25. De Jong, T., 1990. Natural Ventilation of Large Multispan Greenhouses. PhD Thesis Landbouw. Universiteit Wageningen, Nederlands.
 26. Bailey, B., 1998. Principals of Environmental Control, Chapter 3. In: von Zabeltitz (ed) *Energy Conservation and Renewable Energies for Greenhouse Heating*. 2. FAO Regional Office for Europe.
 27. Willits, D.H., 2006. Fan Ventilated Greenhouse Cooling: Some Considerations for Design. *Acta Horti*, 719, 83–95.
 28. ANSI/ASAE EP 406.4 (2003) Standard: Heating, Ventilation and Cooling Greenhouses. American Society of Agricultural Engineers, MI, USA.
 29. Willits, D.H., 2003. Cooling fan Ventilated Greenhouses. A Modeling Study. *Biosystems Eng.*, 84(3), 315–329.
 30. Bailey, B.J., 2000. Constraints, Limitations, and Achievements in Greenhouse Natural Ventilation. *Acta Horti*, 534, 21–30.
 31. Pérez-Parra, J., 2002. Ventilación Natural en Invernaderosparal. PhD Universidad de Córdoba.
 32. Schmidt, U., 2008. Das Besondere Problem der Feuchte. Bericht zur Bestimmung und Bewertung des Energiebedarfs von Gewächshäuser. KTBL-Workshop. 17. September 2008 in Worms, 53–60.
 33. Bethke, J.A., 1994. Considering Installing Screening? This is What You Need to Know. *Greenhouse Manager*, 13(1), 34–37.
 34. Antignus, Y., Mor, N., Ben Joseph, R., Lapidat, M., Cohen, S.H., 1996. UV-absorbing Plastic Sheets Protect Crops from Insect Pests and from Virus Diseases Vectedored by Insects. *Environ Entomol*, 25(5), 919–924.
 35. Harmanto, M., Tantau, H.J., Salokhe, V.M., 2006. Microclimate and Air Exchange Rates in Greenhouses Covered with Different Nets in the Humid Tropics. *Biosystems Eng.*, 94(2), 239-253.
 36. Teitel, M., 2006. The Effect of Screens on the Micro Climate of Greenhouses and Screen Houses-a Review. *Acta Horti*, 719, 575–586.
 37. Bailey, B.J., Montero, J.J., Peres Parra, J., Robertson, A.P., Baeza, E., Kamaruddin, R., 2003. Air Flow Resistance of Greenhouse Ventilators with and Without Screen. *Biosystems Eng.*, 86(2), 217–229.