

## Venlo Tip Cam Serada Fan-ped Serinletme Sisteminin Etkinliği ile Duyulur ve Gizli Isı Transferi\*

H. Hüseyin ÖZTÜRK<sup>1</sup>

Geliş Tarihi: 27.01.2004

**Özet:** Bu araştırmada; Venlo tip cam seralarda fan-ped serinletme sisteminin duyulur ve gizli ısı transferine olan etkisinin belirlenmesi i amaçlanmıştır. Bu amaçla denemeler, boyutları 18 m (uzunluk)×6.4 m (genişlik)×3.9 m (yükseklik) olan Venlo tip bir cam serada yürütülmüştür. Serada duyulur ısı transferi, dış ortam ve sera ortamı arasındaki sıcaklık farkı artışına bağlı olarak artmıştır. Duyulur ısı transferi, 32.8-81 W/m<sup>2</sup> değerleri arasında değişmiştir. Serada günün ilk yarısında, ortalama özgül nem farkının düşük olması nedeniyle, gizli ısı transferi ortalama -135 W/m<sup>2</sup> olarak gerçekleşmiştir. Öğleden sonraki dönemlerde, buharlaşma oranı yüksek olduğundan, gizli ısı transferi ortalama -263 W/m<sup>2</sup> olarak belirlenmiştir. Serada Bowen oranı ( $\beta$ ), -0.17 ve -0.59 arasında değişmiştir. Günlük ortalama  $\beta$  değeri -0.29 olarak hesaplanmıştır.  $\beta$  değeri, özgül nem farkı artışına bağlı olarak artmıştır.  $\beta$  değerleri dikkate alındığında, fan-ped sisteminin buharlaştırma etkisi nedeniyle, deneme serasında gizli ısı transferi duyulur ısı transferinden daha fazladır.  $\beta$ 'nin negatif (-) değerinde olması, sera ortamındaki hava sıcaklığının dış ortamdaki daha düşük buna karşılık, özgül nemin dış ortamdaki daha yüksek olduğunu belirtir. Bu nedenle, seralar için tasarlanacak olan nemlendirmeli serinletme sistemlerinin negatif (-) değerinde  $\beta$  değerleri gerekir.

**Anahtar Kelimeler:** cam sera, Fan-ped serinletme, duyulur ısı, gizli ısı, Bowen oranı

### The Efficiency of Fan and Pad Cooling System, Sensible and Latent Heat Transfer in a Venlo Glasshouse

**Abstract:** This study deals with the determination of effects of fan and pad cooling system on sensible and latent heat transfer in a Venlo glasshouse. The greenhouse, 25.6 m wide and 18 m long, is made of four adjacent 6.4 m wide span covered with glass of 4 mm thick. The sensible heat transfer increased as the temperature difference between the outside and inside the glasshouse rose. Since the absolute humidity difference between the outside and inside the glasshouse was lower in the morning, the latent heat transfer was -135 W/m<sup>2</sup> in the glasshouse. The latent heat transfer was -263 W/m<sup>2</sup> in the afternoon due the evaporation rate was higher in the glasshouse. Bowen ratio ( $\beta$ ) changed between -0.17 and -0.59. It was found that the average value of the  $\beta$  was -0.29. The experimental data showed that the  $\beta$  increased as the absolute humidity difference rose.

**Key Words:** glasshouse, fan and pad cooling, sensible heat, latent heat, Bowen ratio

#### Giriş

Yaz mevsiminde sera iç ortamında aşırı sıcaklık artışını önlemek için serinletme uygulanması gerekir. Serada doğal havalandırmayla ulaşılabilen değerlerden daha düşük iç ortam sıcaklığı istenildiğinde, seraya giren hava sıcaklığını azaltmak ve bağıl nem oranını artırarak bitki su stresini önlemek için, nemlendirmeli serinletme sistemleri kullanılır. Serinletme uygulamaları için, iç ortam sıcaklığını azaltan ve bağıl nem oranını artıran su buharlaştırma sistemleri, mekanik (soğutucu) sistemlerden daha uygundur.

Sera iç ortam havasının bağıl nem oranı, bitkilerden oluşan su kaybında etkili olduğundan önemlidir. Bağıl nem oranının yüksek olması durumunda, bitkilerden daha az su kaybı oluşur ve solma olasılığı azalır. Normal bitki gelişmesi için en uygun bağıl nem oranı genellikle % 50-80 arasında değişir. Bağıl nem oranının çok düşük (% 20'den daha düşük) olması, özellikle güneş ışınımının yüksek olduğu koşullarda, buharlaşma kayıplarını bitkilerin dengeleyebileceği değerlerden daha fazla artırdığından, bitkilerin solmasına neden olur. Kontrollü ortamlarda

bitkisel üretim için, en düşük bağıl nem oranı % 60 olmalıdır. Bununla birlikte, bağıl nem oranının yüksek olması durumunda ise aşağıdaki olumsuzluklarla karşılaşılır: 1) Bitki üzerindeki yapraklar artar. 2) Ürün kalitesi azalır. 3) Bitkilerin hastalık ve zararlılara karşı duyarlılığı artar. Bağıl nem oranının yüksek olması, patojenik organizmalar için uygun koşulların oluşmasına neden olur. Patojenik sporların bir çoğu, bağıl nem oranı % 95 veya daha yüksek değerlerde olmadıkça çoğalamaz. Bu organizmalar bitki yaprakları üzerinde bir su filminin bulunmasına gereksinim duyar.

Bağıl nem oranının düşük olması, bazı süs bitkilerinin gelişmesini belirgin bir şekilde sınırlandırır. Bu nedenle, nemlendirmeli serinletme sistemleri, kurak iklimlerde süs bitkileri yetiştiriciliği için özel öneme sahiptir. Nemlendirmeli serinletme, hava akımı içerisinde suyun buharlaşmasıyla hava sıcaklığının azaltılması işlemidir. Nemlendirme sistemleri, özellikle sıcak mevsimlerde serada bitki yetiştirmek için uygun ortam koşullarının sağlanması için geliştirilmiştir. Bu sistemlerin esası,

\*Çukurova Üniv, Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından desteklenmiştir (ZF/2001/6).

<sup>1</sup>Çukurova Üniv, Ziraat Fak. Tarım Makinaları Bölümü - Adana

duyulur ısıнын buharlaşan suyun gizli ısısına dönüştürülmesi ilkesine dayanır (Yağcıoğlu 1999, Öztürk 2003a).

Nemlendirmeli serinletme uygulamalarında, sera içine giren havanın suyla doymuş bir ortamdan geçirilerek sera içine girmesi sağlanır. Bu amaçla, yaygın olarak fan-ped sistemleri kullanılır. Fan-ped sistemi, seralarda yaygın olarak kullanılan doğrudan nemlendirmeli serinletme sistemidir. Bu sistem ilk olarak 1950'li yılların başlangıcında Kaliforniya'da kullanılmaya başlanmıştır (Van de Muyzenberg 1980). Fan yardımıyla dış ortamdan çekilen hava, suyla doymuş durumdaki ped içerisinden geçerken ortamdaki su, havanın duyulur ısısının bir kısmını buharlaşma gizli ısısı şeklinde kullanarak buharlaşır. Nemli hava içerisindeki su buharlaştırıldığında, buharlaşma gizli ısısı kadar ısı soğurur ve havanın kuru termometre sıcaklığı azalır. Buharlaşma sırasında, sera ortamındaki havadan (yaklaşık 2260 kJ/kg su) ısı enerjisi alınır (Hellickson ve Walker 1983, Albright 1989, Bot 1993, Bot ve ark., 1995, Ciolkosz ve Albright 2000). Bu yöntemin başarısı, sera içerisine giren havanın taşıdığı ve buharlaştırdığı su miktarına bağlıdır. Bağıl nem oranı çok düşük olan bölgelerde, bu tip serinletme sistemleriyle dış ortam havasının sıcaklığı 5-10 °C kadar azaltılabilir (Öztürk ve Başçetinçelik 2002).

Seralarda nemlendirmeli serinletme sistemlerine ilişkin son yıllarda yapılan çalışmalar, serinletme etkinliği ve tasarım değişkenlerinin belirlenmesi için model geliştirilmesine yöneliktir. Ghosal ve ark. (2003) sera dış yüzeyindeki gölgeleme örtüsü üzerinde film şeklinde su akışıyla nemlendirmeli serinletme uygulamışlardır. Sistemin etkinliği matematiksel olarak modellenmiştir. Sayısal hesaplamalara bağlı olarak aşağıdaki önerilerde bulunulmuştur: (1) Gölgeleme uygulanmayan koşullarla karşılaştırıldığında seradaki hava sıcaklığı su filmi akışıyla 6 °C ve gölgeleme uygulamasıyla 2 °C azalmıştır. (2) Dış ortam sıcaklığıyla karşılaştırıldığında, gölgeleme uygulanan koşullarda su akışıyla 3 °C azalma sağlanmıştır. (3) İstenilen düzeyde serinletme etkisi sağlamayabilmek için, su filminin kütsel akış hızı için en uygun değer 0.25 kg/s olmalıdır. (4) Teorik ve deneysel sonuçlar birbiri ile uyum halindedir.

Kittas ve ark. (2003), fan-ped sistemi kullanılan bir serada sıcaklık dağılımının belirlenmesi için fiziksel bir model geliştirmişlerdir. Modelde; havalandırma hızı, çatıdaki gölgeleme perdeleri ve ürün transpirasyonunun etkileri de dikkate alınmıştır. Model, fan-ped sistemi bulunan ve kısmen gölgeleme uygulanan büyük bir ticari seradan elde edilen deneysel verilere bağlı olarak test edilmiştir. Sera uzunluğunun (60 m) fazla olması nedeniyle, fan ve ped arasında kalan ortamdaki sıcaklık farkı 8 °C gibi yüksek bir değerde belirlenmiştir. Serada havalandırma hızının yüksek olması ve gölgeleme uygulanması durumunda, fan-ped sisteminin neden olduğu sıcaklık farkı azalmıştır. Diğer taraftan havalandırma hızının artması, transpirasyon oranını artırdığından, bitkilerin su stresini artırabilir. Geliştirilen model, fan-ped serinletme sistemlerinin tasarım ve işletme değişkenlerinin belirlenmesi için kullanılabilir.

Willits (2003), fan yardımıyla havalandırılan seralarda, hava akımı doğrultusunda sıcaklık ve nem değişiminin belirlenmesi amacıyla bir havalandırma modeli geliştirmiştir. Modelin doğruluğu, 14 gün süreyle toplanılan verilerle test edilmiştir. Araştırma sonucunda belirlenen bulgular aşağıdaki gibi özetlenebilir: (1) Nemlendirme pedlerinin kullanılmaması durumunda, hava akış hızının 0.05 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> s değerinden daha yüksek bir değere yükseltilmesi çok fazla yarar sağlamaz. Dış ortamdaki nem oranının düşük olduğu koşullarda, hava sıcaklığı önemli düzeyde artabilir. Bununla birlikte, bitki örtüsü sıcaklığı hava akım hızından etkilenmeden kısmen sabit kalır. (2) Nemlendirme pedlerinin kullanılması durumunda, hava akış hızının 0.05 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> s değerinden daha yüksek bir değere yükseltilmesi yararlıdır. Hava akım hızının 0.13 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> s değerine kadar artması durumunda, hava ve bitki örtüsü sıcaklığı azalır. İç ortam havasının sıcaklığı, bitki örtüsü sıcaklığından daha hızlı azalır. (3) Nemlendirme pedlerinin kullanılmaması durumunda, hava ve bitki örtüsü sıcaklığı, bitki örtüsü boyutunun artmasına bağlı olarak azalır. Ped kullanılması durumunda sadece bitki örtüsü sıcaklığı azalır. (4) Evapotranspirasyon katsayısı, pedlerin bulunup-bulunmamasına kısmen bağlı değildir. Nemlendirme pedleri kullanıldığında, dış ortamdaki bağıl nem koşullarına bağlı olarak katsayı 0.8 değerinden 1.7 değerine yükselir.

Öztürk (2003b), sisteme ile serinletilen plastik bir serada nemlendirmeli serinletme sisteminin duyulur ve gizli ısı transferine olan etkilerini incelemiştir. Duyulur ve gizli ısı transferine bağlı olarak Bowen oranı ( $\beta$ ) hesaplanmıştır.  $\beta$ , serada bitki örtüsü içerisindeki mevcut koşulların bir göstergesi olarak değerlendirilebilir.  $\beta$  değerleri bitkisel ortamın enerji dengesinde etkili bileşenlerin belirlenmesi amacıyla yararlanılabilir. Denemeler, genişliği 105.6 m ve uzunluğu 205 m olan, 11 bölmeden oluşan büyük bir plastik serada yürütülmüştür. Kesme gül üretimi yapılan ticari serada nemlendirmeli serinletme sistemi olarak, sisteme sisteminden yararlanılmıştır. Seradaki sisteme sistemi, su yumuşatıcı, memelerin tıkanmasını önleyen filtreler, su kaynağı, pompalar ve basınç düzenleyici ve sisteme yapan memelerden oluşmaktadır. Denemenin yürütüldüğü plastik serada duyulur ısı transferi 7-476.5 W/m<sup>2</sup> arasında değişmesine karşın, gizli ısı transferi -88 W/m<sup>2</sup> ve -825.8 W/m<sup>2</sup> arasında değişmiştir. Deneme süresince  $\beta$ , -0.07 ve -0.72 değerleri arasında değişmiştir. Araştırma sonuçlarına bağlı olarak belirlenen  $\beta$  değerlerine göre, duyulur ısı transferi bitki örtüsüne doğru gerçekleşmiş, bitki örtüsünden ise gizli ısı transferi gerçekleşmiştir.

Bu çalışmada; Venlo tip cam serada fan-ped serinletme sisteminin duyulur ve gizli ısı transferine olan etkisinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Araştırma, 11 Temmuz-27 Ağustos 2003 tarihleri arasında, 115.2 m<sup>2</sup> taban alanındaki Venlo tip cam sera bölümünde yürütülmüştür. Deneme serasının güney kenarına, 12 cm kalınlığında özel mukavva malzemeden tasarlanmış olan, 7.2 m<sup>2</sup> alanında ped yerleştirilmiştir. Seranın üç farklı bölgesinde sıcaklık ve bağıl nem ölçümleri yapılmıştır. İklim etmenleri dakikada bir ölçülüp, 10 dakikalık ortalamalar şeklinde veri toplama ünitesinde kaydedilmiştir.

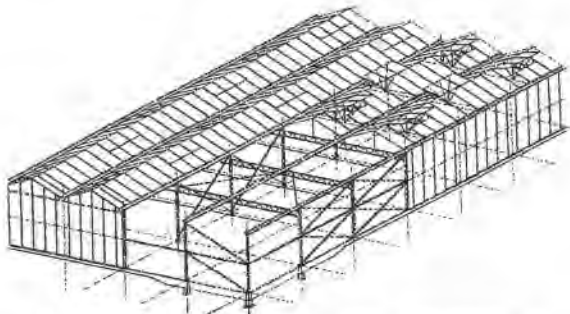
## Materyal ve Yöntem

**Deneme serası :** Araştırma, Tarım ve Köy İşleri Bakanlığı Alata Bahçe Kültürleri Araştırma Enstitüsü'nde bulunan cam seralarda yürütülmüştür. Fan-ped sisteminin serinletme etkinliğinin belirlenmesi amacıyla, boyutları 18 m (uzunluk)×6.4 m (genişlik)×3.9 m (yükseklik) olan Venlo tip bir cam sera bölümü kullanılmıştır (Şekil 1). Denemelerin yürütüldüğü Venlo tip cam seranın bazı özellikleri Çizelge 1'de verilmiştir. Venlo tip sera çatısında 0.73×1.65 m boyutlarında standart cam panelleri bulunmaktadır. Cam panelleri ve cam çerçeveleri kendi kendilerini desteklediklerinden, çatıyı desteklemek için ek kirişler yoktur. Birer enerji geçişi işlemi olan transpirasyon ve evaporasyon işlemlerinin, sistemin etkinliğine olan etkilerini göz ardı etmek ve sistemin net etkinliğini belirleyebilmek için, deneme bitkisiz koşullarda yürütülmüştür.

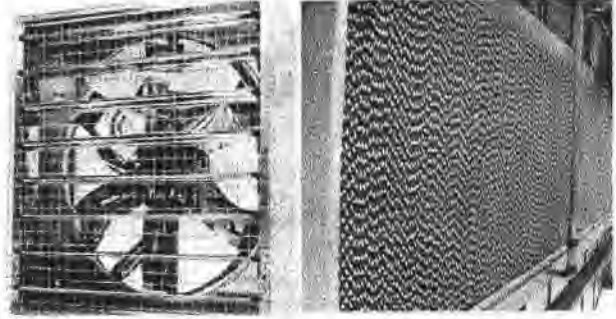
**Fan-ped serinletme sistemi :** Deneme serasında nemlendirmeli serinletme amacıyla; seranın bir kenarı boyunca nemlendirme pedi, pedlerin karşısındaki kenarda da hava hareketi sağlayan fan (fan-ped sistemi) bulunmaktadır. Sera bölümünün iki kısa kenarlarına yerleştirilen ped ve fan arasında 18 m açıklık bulunmaktadır.

Deneme serasına, tabandan 1.2 m yükseklikte 1.2×0.6×0.12 m boyutlarında, özel bir mukavva malzemeden oluklu olarak tasarlanmış nemlendirme pedleri yerleştirilmiştir. Deneme serasına toplam 7.2 m<sup>2</sup> (1.2 m x 6 m) alanında ped yerleştirilmiştir (Şekil 2). Sera dışında bulunan bir depodan, elektrik motorundan hareket alan bir santrifüj pompa yardımıyla, nemlendirme pedlerine su (21 °C sıcaklıkta) gönderilmektedir. Pedlere su pompası tarafından 15.18 L/s debi ile su akışı sağlanmaktadır. Pedlerden su deposuna dönen su miktarı 10.81 L/s olarak belirlenmiştir. Nemlendirme pedlerine su akışı Şekil 3'de verilmiştir. Nemlendirme pedlerinin üst kenarı boyunca, üzerinde 3 cm aralıklarla 2.5 mm çapındaki delikler bulunan bir boru yardımı ile su akışı sağlanmaktadır. Ped ünitesinin alt kısmında biriken su, tekrar depoya geri dönmektedir.

Sera bölümündeki nemlendirme pedlerinin karşısındaki kenara, tabandan 2 m yükseklikte bir adet fan yerleştirilmiştir. Ped ünitesinden hava emilmesi için kullanılan fana ilişkin, üretici firma tarafından bildirilen bazı teknik özellikler Çizelge 2'de verilmiştir.



Şekil 1. Araştırmanın yürütüldüğü Venlo tip cam sera



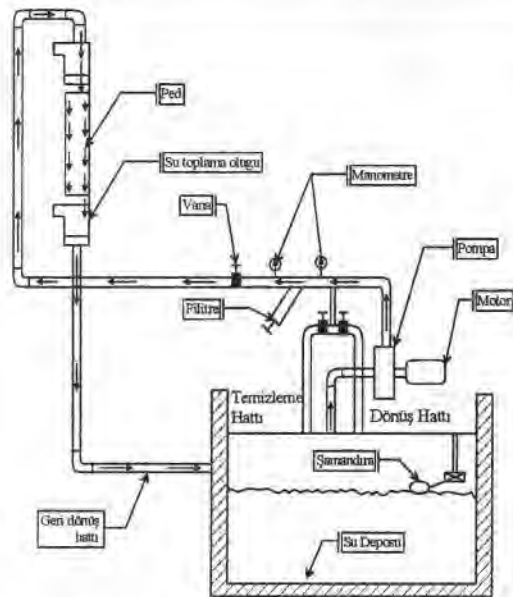
Şekil 2. Nemlendirme pedinin seradaki yerleşimi ve fan ünitesi

Çizelge 1. Venlo tip cam seranın özellikleri

Özellikler	Değerler
Sera konstrüksiyonu	Alüminyum profil
Yönlendirme	Kuzey-Güney
Örtü kalınlığı (mm)	4
Işık geçirgenliği (%)	89
Toplam uzunluk (m)	18
Toplam genişlik (m)	6.4
Toplam yükseklik (m)	3.9
Oluk yüksekliği (m)	3.2
Çatı eğim açısı (°)	26

Çizelge 2. Ped ünitesinden hava emilmesi için kullanılan fana ilişkin teknik özellikler

Teknik Özellikleri	Değeri
Güç (kW)	0.37
Toplam kütle (kg)	55
Pervane hızı (d/min)	590
Debi (m <sup>3</sup> /h) (0-20 Pa statik basınçta)	13.50-11.95
Pervane çapı (mm)	760
Kanat sayısı (adet)	6
Panjurdaki kanat sayısı (adet)	7
Çalışma sıcaklığı (°C)	50
Elektrik motoru korunma sınıfı	IP 55
Elektrik motoru yalıtım sınıfı	F



Şekil 3. Fan-ped sisteminde pedlere su akışı



**Veri toplama ünitesi ve algılayıcılar :** Serada nemlendirmeli serinletme sistemi etkinliğinin belirlenmesi için aşağıdaki ölçümler yapılmıştır.

- Ped giriş-çıkışındaki hava sıcaklığı
- Ped giriş-çıkışındaki hava hızı
- Fan giriş-çıkışındaki hava sıcaklığı
- Fan giriş-çıkışındaki hava hızı
- Sera iç ortamında hava sıcaklığı
- Sera iç ortamında hava bağıl nem oranı

Yukarıda belirtilen iklim etmenlerine ek olarak, dış ortam iklim etmenleri de (hava sıcaklığı, bağıl nem oranı, güneş ışınımı ve rüzgar hızı) ölçülerek veri toplama ünitesinde kaydedilmiştir.

Algılayıcıların yapmış olduğu okumaların alınması ve biriktirilmesi için 62 kanallı Delta Logger T marka veri kaydedici kullanılmıştır. Veri kaydedici voltaj, direnç, frekans ve sayısal durumlardaki girdileri kabul etmektedir. Verilerin kaydedilmesi tamamen otomatik olup, kaydedilen veri kaydedicinin RAM'ında (256 K) biriktirilmektedir. Biriktirilen veriler yazıcıdan alınabildiği gibi bir bilgisayar aracılığı ile diskete de aktarılabilir. Veriler kaydediciden izlenebilmekte ve algılayıcıların mevcut okumaları veri toplama işlemi kesilmeksizin incelenebilir. Sera iç ortamı ve dış ortamdaki iklim etmenleri, seraya yerleştirilen algılayıcılar tarafından birer dakikalık aralıklarla algılanmıştır. Dakikada bir algılanan değerler, veri kaydedicide onar dakikalık ortalamalar şeklinde biriktirilmiştir. Veri kaydediciden alınan veriler, kaydedicinin kendi programı ile gerçek değerlere dönüştürülerek ve hesaplamalarda kullanılmaya uygun duruma getirilmiştir.

Ortam havasının sıcaklığı, 2 k $\Omega$ 'luk termistör ile 0-80 °C aralığında  $\pm$  0.1 °C duyarlılıkta ölçülmüştür. Güç gereksinimi olmayan algılayıcı doğrudan güneş ışınımı ve yağmurdan korunan silindirik panjurlu ışınım perdesi içerisinde yerleştirilmiştir. Sera iç ortam sıcaklığının belirlenmesinde kullanılan sıcaklık algılayıcıları, iç ortamdaki yatay ve düşey sıcaklık dağılımını belirlemek amacıyla, 1.5 m ve 2.5 m olmak üzere iki farklı yüksekliğe yerleştirilmiştir. Seranın her iki ucu ve ortasında olmak üzere, üç farklı ölçüm noktasında toplam 6 adet algılayıcı ile hava sıcaklığı ölçümü yapılmıştır.

Bağıl nem oranı, algılayıcı elemanı krom oksit olan ile algılayıcı ölçülmüştür. Bağıl nem algılayıcısının kapasitansı bağıl nem değişimine bağlı olarak değişir. Algılayıcı (-10)-(+60) °C sıcaklık aralığında bağıl nem ölçümü yapabilmektedir. Algılayıcı eleman silindirik bir ünite içerisinde yerleştirilmiştir. Çalışma sınırları, % 0-100 olan algılayıcının doğruluğu % 0-95 bağıl nem aralığında  $\pm$  % 2'dir. Sera iç ortamında hava bağıl nem oranlarının belirlenmesinde kullanılan algılayıcılar, seranın ortasında 1.5 m yüksekliğe yerleştirilmiştir. Seranın her iki ucu ve ortasında olmak üzere, 3 farklı ölçüm noktasından toplam 3 adet algılayıcı ile bağıl nem ölçümü yapılmıştır.

Güneş ışınım enerjisi, güneş ışınımı spektrumundaki 400-1000 nm dalga boyları arasındaki ışınımına duyarlı

olan algılayıcı ile ölçülmüştür. Toplam güneş ışınımının her kW/m<sup>2</sup>'si için 10.8 mV üretmektedir. Güneş ışınım enerjisi, duyarlı elemanı mavi dalga boyundaki değeri arttırılmış silikon fotodiyot olan algılayıcı ile ölçülmüştür.

Nemlendirme pedi ve fan giriş ve çıkışlarındaki hava hızı değerleri, 0.5-3.5 m/s aralığında ve  $\pm$  1 doğrulukta ölçüm yapabilen bir anemometre (OMEGA HHF7-P1) ile ölçülmüştür.

**Duyulur ısı transferinin belirlenmesi :** Duyulur ısı şeklinde ısı transferi; malzeme ve ortamın (sıcaklık, hava hareketi ve yüzey sıcaklığı vb.) özelliklerine bağlıdır. Serada duyulur ısı transferine değişik faktörlerin etkisi önemlidir. Isı transferi yasalarına bağlı olarak, bitki örtüsü içerisinde sıcaklık farkı nedeniyle duyulur ısı transferi gerçekleşir. Serada iç ortamı ile dış ortam arasındaki sıcaklık farkına bağlı olarak, duyulur ısı transferi gerçekleşir. Duyulur ısı transferi, ısı taşıyıcı akışkan olan havanın yoğunluğu ve özgül ısısı ile ilişkilidir. Sera taban alanı başına duyulur ısı transferi aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır.

$$DIT = \left[ (HO / A_s) \rho c_p (T_a - T_i) \right] \dots \dots \dots (1)$$

Burada,

- DIT : duyulur ısı transferi (W/m<sup>2</sup>),
- HO : havalandırma verdisi (m<sup>3</sup>/s),
- A<sub>s</sub> : sera taban alanı (m<sup>2</sup>),
- $\rho$  : havanın yoğunluğu (kg/m<sup>3</sup>)
- c<sub>pa</sub> : sabit basınçta özgül ısı (J/kg °C),
- T<sub>i</sub> : sera havasının sıcaklığı (°C) ve
- T<sub>a</sub> : dış ortamdaki hava sıcaklığıdır (°C).

**Gizli ısı transferinin belirlenmesi :** Gizli ısı transferi, cisimlerin durum değiştirmeleri sırasında aldıkları veya verdikleri ısı miktarı olarak tanımlanır. Sera ortamında gizli ısı transferi gerçekleşen en önemli işlemler; transpirasyon, topraktan su buharlaşması ve örtü iç yüzeyinde su yoğunlaşmasıdır. Nemlendirmeli serinletme sistemlerinde, dikkate alınan gizli ısı buharlaşma gizli ısısıdır. Suyun buharlaşması sırasında ortamdaki soğutulan ısı miktarı, buharlaşma gizli ısısı olarak tanımlanabilir. Suyun buharlaşması için gerekli olan gizli ısı miktarı, sıcaklık artışı ile azalır. Sera ortamından uzaklaştırılması gereken gizli ısı miktarı (gizli ısı transferi); sıcaklık, havalandırma verdisi, bağıl nem oranı ve bitki örtüsü üzerindeki hava hareketine bağlı olarak değişir. Gizli ısı şeklinde ısı transferi, buharlaşma gizli ısısı ve havanın yoğunluğuna bağlıdır. Gizli ısı transferi, sera iç ortamı ve dış ortam arasındaki özgül nem farkına bağlı olarak aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

$$GIT = \left[ (HO / A_s) \rho h_{fg} (w_o - w_i) \right] \dots \dots \dots (2)$$

Burada,

- GIT : gizli ısı transferi (W/m<sup>2</sup>),
- h<sub>fg</sub> : buharlaşma gizli ısısı (J/kg),
- w<sub>i</sub> : sera havasının özgül nemi (kg/kg) ve
- w<sub>o</sub> : dış havanın özgül nemidir (kg/kg).

**Bowen oranının belirlenmesi:** Nemlendirmeli serinletme sistemleri, sera ortamında duyulur ve gizli ısı transferi arasındaki ilişkiye bağlı olarak değerlendirilebilir. Duyulur ısı transferinin gizli ısı transferine oranı, Bowen oranı ( $\beta$ ) olarak adlandırılır ve aşağıdaki gibi tanımlanır:

$$\beta = \frac{\text{Duyulur Isı Transferi}}{\text{Gizli Isı Transferi}} = \frac{DIT}{GIT} \quad (3)$$

$\beta$ , seralarda bitki örtüsü içerisinde var olan koşulların saptanması için bir gösterge olarak kullanılabilir.  $\beta$ , bitki örtüsünün enerji dengesinde etkili bileşenlerin belirlenmesini sağlar. Serada yatay olarak gerçekleşen ısı transferi,  $\beta$  değeri ve büyüklüğünü etkiler. Serada bitki örtüsü yüzeyinin ıslak olması durumunda, buharlaşma gerçekleşir. Bu koşullarda, iç ve dış ortam arasındaki özgül nem farkı fazladır. Bu durumda, bitki örtüsünden ısı taşınımı gizli ısı transferi şeklinde gerçekleşecektir. Bu koşullarda,  $\beta$  pozitif (+) değerdedir. Bitki örtüsünün kuru olduğu koşullarda, iç ve dış ortam hası arasındaki özgül nem farkı azdır. Bu koşullarda  $\beta$ 'nin gerçek değeri yüksek olacaktır. Bu durumda ısı transferi, duyulur ısı taşınımı şeklinde gerçekleşecektir.

**Serinletme etkinliğinin belirlenmesi:** Nemlendirmeli serinletme etkinliği, doyma etkinliğini belirten genel bir terimdir. Nemlendirmeli serinleştirme işlemi, ısı kazancı ve kaybı olmayan adyabatik bir işlem olduğundan, kJ veya kcal gibi ısı birimlerine bağlı olarak belirlenmesi uygun değildir. Bu nedenle, nemlendirmeli serinletme sisteminin etkinliği aşağıdaki eşitlikle belirlenmiştir (Gupta ve ark. 1995, Al-Amri 2000, Kittas ve ark. 2001, Öztürk 2003a).

$$\eta = \frac{T_a - T_i}{T_a - T_w} \quad (4)$$

Bu eşitlikte;

- $T_a$  : dış havanın kuru termometre sıcaklığı (°C),
- $T_i$  : iç havanın kuru termometre sıcaklığı (°C) ve
- $T_w$  : dış havanın yaş termometre sıcaklığıdır (°C).

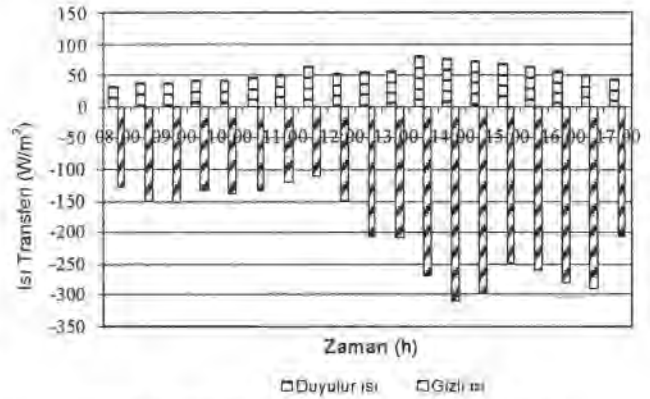
## Bulgular ve Tartışma

**Duyulur ve gizli ısı transferi :** Eşitlik (1) ve (2)'ye bağlı olarak belirlenen sera taban alanı başına duyulur ve gizli ısı transferinin zamana bağlı olarak değişimi Şekil 3'de verilmiştir. Deneme serasından fan-ped serinletme sistemi ile transfer edilen duyulur ve gizli ısı değerleri Çizelge 3'de verilmiştir.

Şekil 3'den de izlenebileceği gibi duyulur ısı transferi, dış ortam ve sera ortamı arasındaki sıcaklık farkı artışına bağlı olarak artmıştır. Duyulur ısı transferi, sıcaklık farkının 1.6 °C olduğu sabah saat 08:00'de 32.8 W/m<sup>2</sup> ile en düşük değerde iken, sıcaklık farkının 4 °C'ye yükseldiği saat 13:30'da 81 W/m<sup>2</sup> değerine yükselmiştir. Günün ilk yarısında (08:00-12:00), sıcaklık farkının düşük (2.2 °C) olması nedeniyle, belirtilen saatler arasındaki dönemde duyulur ısı transferi 45.5 W/m<sup>2</sup> olarak gerçekleşmiştir.

Öğleden sonraki dönemde (13:00-17:00), ortalama sıcaklık farkının 3.1 °C değerine ulaşması nedeniyle, bu dönemde duyulur ısı transferi de ortalama 64.4 W/m<sup>2</sup> olarak belirlenmiştir. Duyulur ısı transferi, sera ortamı ve dış ortam havası arasındaki özgül nem farkından da etkilenmiştir. Sabah saatlerinde özgül nem farkının düşük olması nedeniyle, seradaki bitki örtüsü yüzeyi kuru olduğundan, deneme serasındaki ısı enerjisinin önemli bir bölümü duyulur ısı akışı şeklinde transfer edilmiştir.

Serada gizli ısı transferi (Şekil 3), sera ortamı ve dış ortam havası arasındaki özgül nem farkı artışına bağlı olarak artmıştır. Gizli ısı transferi, özgül nem farkının 2.6 g/g<sub>kuru hava</sub> ile en düşük durumda olduğu sabah saat 08:00'de -138 W/m<sup>2</sup> olarak hesaplanmıştır. Deneme serasındaki gizli ısı transferi, özgül nem farkının 6.2 g/g<sub>kuru hava</sub> değerine yükseldiği saat 14:00'de -309 W/m<sup>2</sup> olarak belirlenmiştir. Günün ilk yarısında (08:00-12:00), ortalama özgül nem farkının düşük (2.7 g/g<sub>kuru hava</sub>) olması nedeniyle, belirtilen saatler arasındaki dönemde gizli ısı transferi ortalama -135 W/m<sup>2</sup> olarak gerçekleşmiştir. Öğleden sonraki dönemde (13:00-17:00), özgül nem farkı ortalama 5.3 g/g<sub>kuru hava</sub> değerine ulaşmıştır. Bu dönemde, buharlaşma oranı yüksek olduğundan seradaki bitki örtüsünden enerjisinin büyük bir gizli ısı şeklinde transfer edilmiştir. Bu dönemde gizli ısı transferi ortalama -263 W/m<sup>2</sup> olarak belirlenmiştir. Wang ve ark. (2000) tarafından yapılan bir araştırmada, seradaki bitki örtüsü ve ortam havası arasındaki duyulur ve gizli ısı transferinin, ürünün aerodinamik direncine bağlı olduğunu belirtilmiştir. Öztürk (2003b) Çukurova Bölgesinde ticari amaçla kesme gül üretimi yapılan ve sisleme ile serinletilen plastik bir serada, günlük ortalama duyulur ve gizli ısı transferini, 115.4 W/m<sup>2</sup> ve -326.2 W/m<sup>2</sup> olarak hesaplamıştır.



Şekil 3. Serada duyulur ve gizli ısı transferi değişimi

Çizelge 3. Serada duyulur ve gizli ısı transferi

Değişken	Değeri		
	En düşük	En yüksek	Ortalama
Duyulur ısı (W/m <sup>2</sup> )	32.8	81	55
Gizli ısı (W/m <sup>2</sup> )	-128	-309	-199.4
Bowen ratio (B)	-0.17	-0.59	-0.29
Sıcaklık farkı (°C)	1.6	4	2.7
Özgül nem farkı (g/g)	2.3	6.2	4

**Bowen oranının değişimi :** Eşitlik (3) kullanılarak belirlenen Bowen oranı ( $\beta$ ) değerleri ve sera ortamı ile dış ortam arasındaki özgül nem farkının zamana bağlı olarak değişimi Şekil 4'de verilmiştir. Deneme serasında  $\beta$  sıcaklık ve özgül nem farkı değerleri Çizelge 4'de verilmiştir.

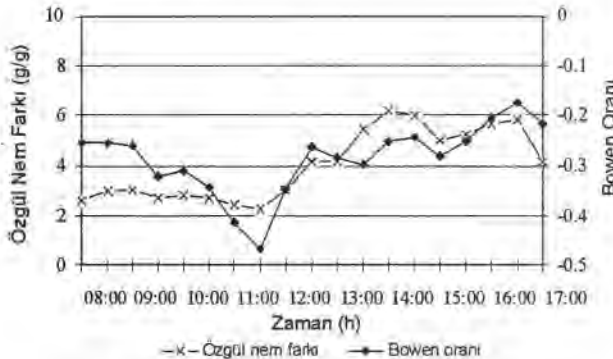
Şekil 4'den de izlenebileceği gibi, özgül nem farkı 2.6-6.2 g/g<sub>kuru hava</sub> arasında değişmiştir. Sera ortamı ile dış ortam arasındaki özgül nem farkı ortalama 4 g/g<sub>kuru hava</sub> olarak hesaplanmıştır. Şekil 4'de belirtilen saatler arasında  $\beta$  değeri, -0.17 ve -0.59 arasında değişmiştir. Günlük ortalama  $\beta$  değeri -0.29 olarak hesaplanmıştır.  $\beta$  değeri, özgül nem farkı artışına bağlı olarak artmıştır. Sabah saatlerinde (08:00-12:00)  $\beta$  değeri (-0.34), öğleden sonraki (13:00-17:00) değerlere (-0.24) kıyasla daha yüksektir. Bu durum, günün ilk yarısında ortalama sıcaklık farkının düşük (2.2 °C) olması nedeniyle, duyulur ısı transferinin de günün ikinci yarısına kıyasla daha düşük olduğu anlamına gelir.

$\beta$  değerleri dikkate alındığında, fan-ped sisteminin buharlaştırma etkisi nedeniyle, deneme serasında gizli ısı transferi duyulur ısı transferinden daha fazladır.  $\beta$ 'nin negatif (-) değerinde olması, sera ortamındaki hava sıcaklığının dış ortamdaki daha düşük buna karşılık, özgül nemin dış ortamdaki daha yüksek olduğunu belirtir. Bu koşullar altında, seradaki bitki örtüsüne doğru duyulur ısı transferi gerçekleşmesine karşın, bitki örtüsünden ise gizli ısı transferi gerçekleşmektedir.

$\beta$  değerlerinin, özgül nem farkı ile değişimi Şekil 5'de verilmiştir. Bowen oranı ( $\beta$ ) ve özgül nem farkı ( $\Delta W$ , g/g) arasındaki ilişkinin değişimi ve güvenilirlik değeri ( $R^2$ ) aşağıdaki gibi belirlenmiştir.

$$\beta = -0.4215 + 0.0336\Delta W \quad (R^2 = 0.44) \dots (5)$$

$\beta$  ile özgül nem farkı arasında belirlenen ilişkiye ait varyans analiz sonuçları Çizelge 5'de verilmiştir. Çizelge 5'den de izlenebileceği gibi;  $\beta$  ile özgül nem farkı arasında belirlenen ilişki, % 95 olasılık durumunda ( $P = 0.002114$ ) önemlidir. Bu nedenle, elde edilen regresyon eşitliği (eşitlik 5), değişkenler arasındaki ilişkiyi % 5 önem düzeyinde temsil etmektedir.



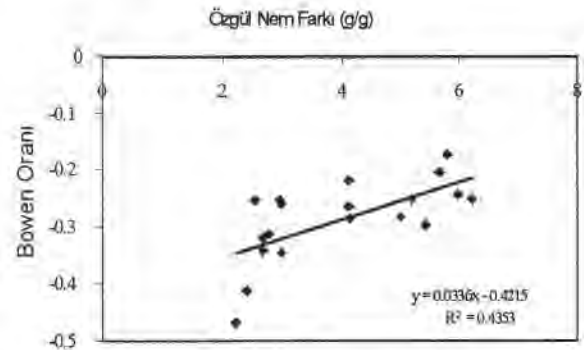
Şekil 4. Bowen oranı ( $\beta$ ) ve özgül nem farkının değişimi

**Serinletme etkinliğinin değişimi :** Denemenin yürütüldüğü serada, fan-ped serinletme sistemi etkinliğinin zamana bağlı olarak değişimi Şekil 6'da verilmiştir. Serinletme etkinliği, dış ortam havasının kuru ve yaş termometre sıcaklıkları arasındaki farka bağlı olarak değişmiştir. Sistemin etkinliği, dış ortam hava bağıl nem oranının azalmasına bağlı olarak artmıştır.

Serinletme etkinliği, saat 08:00'de % 32.4 ile en düşük ve saat 14:00'de % 76.6 ile en yüksek değere ulaşmıştır. Deneme süresince, fan-ped sisteminin etkinliği ortalama % 53.3 olarak hesaplanmıştır. Giacomelli (1993) nemlendirmeli serinletme sistemlerinin etkinliğinin % 40-70 arasında değiştiğini bildirmiştir. Arbel ve ark. (1999) aynı koşullar altında, sisleme sistemi ile fan-ped sistemini karşılaştırmışlardır. Sisleme sistemi bulunan serada sıcaklık ve bağıl nem dağılımı daha düzgündür. Fan-ped sisteminin etkinliği % 75 olarak belirlenmiştir. Al-Amri (2000) çift kat PE örtülü serada fan-ped sisteminin etkinliğini ortalama % 46.19 olarak belirlemiştir. Bu çalışmada fan-ped sisteminin ortalama etkinliği (% 53.3), Al-Amri (2000) tarafından belirlenen değerden (% 46.19) biraz daha yüksek olarak belirlenmiştir. Albright (1989) uygun olarak tasarlanmış olan bir nemlendirmeli serinletme sisteminin etkinliğinin % 80 değerine ulaşabileceğini bildirmiştir. Abdellatif (1993), Kittas ve ark. (2001) ve Öztürk (2003a) nemlendirmeli serinletme etkinliğinin en yüksek değerini sırasıyla, % 81.5, % 80 ve % 80 olarak belirlemişlerdir. Bu çalışmada fan-ped nemlendirmeli serinletme sisteminin etkinliği en yüksek % 76.6 olarak belirlenmiştir. Bu değer, daha önce farklı çalışmalarda belirlenen değerler ile uyum göstermektedir.

Çizelge 4. Serada Bowen oranı ( $\beta$ )

Değişken	Değeri		
	En düşük	En yüksek	Ortalama
Bowen ratio ( $\beta$ )	-0.17	-0.59	-0.29
Sıcaklık farkı (°C)	1.6	4	2.7
Özgül nem farkı (g/g)	2.3	6.2	4

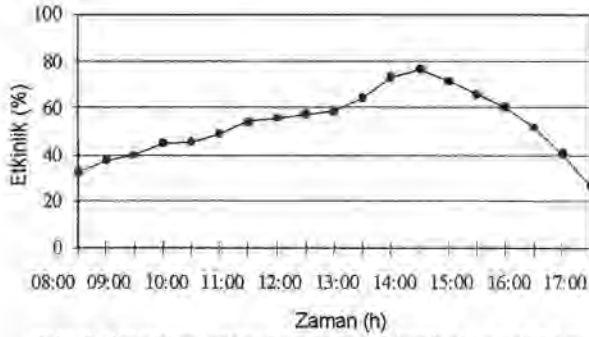


Şekil 5. Bowen oranının özgül nem farkı ile değişimi

Çizelge 5. Varyans analiz sonuçları

	df	SS	MS	F	P
Regresyon	1	0.03913	0.03913	13.10621	P=0.002114
Fark	17	0.050755	0.002986		
Toplam	18	0.089885			





Şekil 6. Serinletme etkinliğinin zamana bağlı olarak değişimi

### Sonuç ve Öneriler

1) Serada duyulur ısı transferi, dış ortam ve sera ortamı arasındaki sıcaklık farkı artışına bağlı olarak artmıştır. Duyulur ısı transferi, 32.8-81 W/m<sup>2</sup> değerleri arasında değişmiştir.

2) Serada günün ilk yarısında (08:00-12:00), ortalama özgül nem farkının düşük (2.7 g/g<sub>kuru hava</sub>) olması nedeniyle, gizli ısı transferi ortalama -135 W/m<sup>2</sup> olarak gerçekleşmiştir. Öğleden sonraki dönemde (13:00-17:00), özgül nem farkı ortalama 5.3 g/g<sub>kuru hava</sub> değerine ulaşmıştır. Bu dönemde, buharlaşma oranı yüksek olduğundan seradaki bitki örtüsünden enerjisinin büyük bir gizli ısı şeklinde transfer edilmiştir. Bu dönemde gizli ısı transferi ortalama -263 W/m<sup>2</sup> olarak belirlenmiştir. Serada duyur ısı transferi sıcaklık farkı ile, gizli ısı transferi de özgül nem farkı ile doğrusal olarak artmıştır.

3) Serada β değeri, -0.17 ve -0.59 arasında değişmiştir. Günlük ortalama β değeri -0.29 olarak hesaplanmıştır. β değeri, özgül nem farkı artışına bağlı olarak artmıştır. Sabah saatlerinde (08:00-12:00) β değeri (-0.34), öğleden sonraki (13:00-17:00) değerlere (-0.24) kıyasla daha yüksektir. Bu durum, günün ilk yarısında ortalama sıcaklık farkının düşük (2.2 °C) olması nedeniyle, duyulur ısı transferinin de günün ikinci yarısına kıyasla daha düşük olduğu anlamına gelir.

4) β değerleri dikkate alındığında, fan-ped sisteminin buharlaştırma etkisi nedeniyle, deneme serasında gizli ısı transferi duyulur ısı transferinden daha fazladır. β'nın negatif (-) değerde olması, sera ortamındaki hava sıcaklığının dış ortamdaki hava sıcaklığına göre daha düşük olduğunu gösterir. Bu koşullar altında, seradaki bitki örtüsüne doğru duyulur ısı transferi gerçekleşmesine karşın, bitki örtüsünden ise gizli ısı transferi gerçekleşmektedir.

5) Serinletme etkinliği, % 32.4-76.6 değerleri arasında değişmiştir. Deneme süresince, fan-ped sisteminin etkinliği ortalama % 53.3 olarak hesaplanmıştır.

### Öneriler

1) Seralarda serinletme sistemlerine ilişkin gelecekte yapılacak olan çalışmalar, sistem etkinliğinin modellenmesine ve bu tip sistemlerin doğal havalandırma sistemleri ile birlikte kullanılmasına yönlendirilmelidir. Bu tür çalışmalar, sıcak ve kurak iklimlerde nemlendirmeli serinletme sistemlerinin etkin bir şekilde kullanılması için yararlı olacaktır.

2) Fan-ped serinletme sistemlerinin en önemli olumsuzluğu; fan ve ped arasında çok fazla sıcaklık farkına neden olmasıdır. Seranın uzunluğu boyunca sıcaklık dağılımında esas olarak 5 faktör etkilidir; havalandırma hızı, ürün transpirasyonu, topraktan oluşan buharlaşma, gögeleme sistemi, pedden su buharlaşması ve örtü malzemesinin ısı kayıp katsayısıdır. Sera içerisinde bitki düzeyindeki sıcaklık değeri önemlidir. İç ortamdaki hava hızının düşük olması durumunda, hava sıcaklığı hızlı bir şekilde yükselir.

3) Serinletme pedlerinden sera içerisine yeterli miktarda hava girmelidir. Kapı ve diğer açıklıklardan sera içerisine hava girmemelidir. Serada kapıların açık tutulması veya başka açıklıkların bulunması durumunda, sera içerisine hava girişi pedden çok bu açıklıklardan olur. Sera içerisine giren hava ped içerisinden geçmez ise, serinletme etkinliği azalır.

4) Ped ve pedin yerleştirildiği destek elemanları kontrol edilerek, yeterli sızdırmazlık sağlanmalıdır. Pedin etrafındaki boşluklar kapatılmalı ve ped yüzeyinde büyük çaplı delikler varsa, ped onarılmalı veya yenisi yerleştirilmelidir.

5) Ped üzerinde yosun oluştuğunda, hava akımına karşı direnç oluşacağından, yosunlar temizlenmeli veya yeni ped kullanılmalıdır. Ped yüzeyinde yosun gelişmesini geciktirmek veya önlemek için, sistemde kullanılan suya fungusit eklenmelidir.

6) Fan, gerekli statik basınçta serinletme pedinden yeterli miktarda hava çekebilirdir. Serada yeterli miktarda hava değişimi sağlanması için, uygun kapasitede fan seçilmelidir.

7) Pedlere gelen su miktarı kontrol edilmelidir. Kullanılması gereken su miktarı ped materyaline bağlı olarak değiştiğinden, üretici firmanın önerileri dikkate alınmalıdır. Su deposundaki su miktarı kontrol edilmelidir.

### Kaynaklar

- Abdellatif, S. M. 1993. Air relative humidity affecting effectiveness of the evaporative cooling system under hot and humid conditions. Energy Conserving Engineering Conference, August 8-13, 1993, Atlanta, Georgia, USA.
- Al-Amri, A. M. S. 2000. Comparative use of greenhouse cover materials and their effectiveness in evaporative cooling systems under conditions in eastern province of Saudi Arabia. Agricultural Mechanization Asia, Africa and Latin America (AMA), 31(2) 61-66.
- Albright, L. D. 1989. Environment Control for Animal and Plants. Published by ASAE, 453 pp., American Society of Agricultural Engineers, 2950 Niles Road, St Joseph, Michigan 49085-9659 USA.
- Arbel, A., O. Yekutieli ve M. Barak, 1999. Performance of a fog system for cooling greenhouses. J. Agric. Engng. Res., 72: 129-136.
- Bot, G. P. A. 1993. Physical modelling of greenhouse climate. The computerized greenhouse: automatic control application in plant production: 51-73, (Edited by; Y. Hashimoto, G.P.A. Bot, W. Day, H.J. Tantau, H. Nonami), Academic Press, Inc.

- Bot, G. P. A., H. Challa and N. J. Van de Braak, 1995. Greenhouse Climate Control: An Integrated Approach. Wageningen Pers, ISBN 90-74134-17-3, 279 pp.
- Ciolkosz, D. E. and L. D. Albright, 2000. Use of small-scale evaporation pans for evaluation of whole plant evapotranspiration. Transactions of the ASAE, 43(2) 415-420.
- Ghosal, M. K., G. N. Tiwari, and N. S. L. Srivastava, 2003. Modeling and experimental validation of a greenhouse with evaporative cooling by moving water film over external shade cloth. Energy and Buildings, 35, 843-850.
- Giacomelli, G. A. 1993. Evaporative cooling for temperature control and uniformity. ISHS International Workshop on cooling systems for greenhouses, Israel.
- Gupta, C. P., A. Abbas and M. S. Bhutta, 1995. Thermal comfort inside a tractor cab by evaporative cooling system. Transactions of the ASAE, Vol. 38(6) 1667-1675.
- Hellickson, M. A. and J. N. Walker, 1983. Ventilation of Agricultural Structures. Published by: ASAE, 372 pp., American Society of Agricultural Engineers 2950 Niles Road, St. Joseph, Michigan, 49085-9659 USA.
- Kittas, C., T. Bartzanas and A. Jaffrin, 2001. Greenhouse evaporative cooling: measurement and data analysis. Transactions of the ASAE, 44(3) 683-689.
- Kittas, C., T. Bartzanas and A. Jaffrin, 2003. Temperature gradients in a partially shaded large greenhouse equipped with evaporative cooling pads. Biosystems Engineering, 85 (1) 87-94.
- Öztürk, H. H. ve A. Başçetinçelik, 2002. Seralarda Havalandırma. Türkiye Ziraat Odaları Birliği Yayınları, No: 227, 304 s., Ankara.
- Öztürk, H. H. 2003a. Evaporative cooling efficiency of a fogging system for greenhouses. Turk. J. Agric. For., 27(1) 49-57.
- Öztürk H. H. 2003b. Effect of a fogging system on sensible and latent heat transfer in a plastic greenhouse. Agricultural Mechanization Asia, Africa and Latin America (AMA) (Yayınlanmadı).
- Van de Muyzenberg, E. W. B., 1980. A History of Greenhouses. IMAG-DLO, Wageningen, pp. 291.
- Wang, S., T. Boulard and R. Haxaire, 2000. Measurement and analysis of air speed distribution in a naturally ventilated greenhouse. Acta Horticulturae, 534 277-283.
- Willits, D. H. 2003. Cooling fan-ventilated greenhouses: a modelling study. Biosystems Engineering, 84 (3) 315-329.
- Yağcıoğlu, A. 1999. Sera Mekanizasyonu. Ege Üniv., Ziraat Fak. Yayınları Ders Notları: 59/1, İzmir.

---

**İletişim adresi:**

H. Hüseyin ÖZTÜRK  
 Çukurova Üniversitesi, Ziraat Fakültesi  
 Tarım Makinaları Bölümü, 0133 Adana  
 Tel: 0 322 3387434  
 e-mail: hhozturk@cu.edu.tr