

radyasyon (ışınım) yoluyla ısı kazanç ve kayıpları sera yapı malzemesinin ısı özellikleri, bitkinin sıcaklık isteği ve dış ortamın iklim şartları dikkate alınarak, bilinen ısı iletimi hesaplama yöntemleri yardımıyla bulunabilir. Bu yöntemlerden yararlanılarak hazırlanan çözümlü ve açıklamalı bir örnek EK-1.A'da verilmiştir.

Bu bölümde ayrıca, seranın ısı gereksinimi hesaplanırken yapılması gereken karmaşık hesaplama işlemlerini kolaylaştırmak amacıyla hazırlanmış bir başka yöntem daha tanıtılacaktır⁷. Bu yöntemde, hazırlanmış standart ısı kayıp çizelgelerinden yararlanılır. Bu çizelgeler, iç-dış sıcaklık farkı 39 °C ve dış ortamdaki rüzgar hızı 7 ms⁻¹ şartları standart olarak kabul edilip, çeşitli boyutlardaki seralar için yapılmış hesaplamaların sonuçlarını içerir. Isı gereksinimini bulmak istediğimiz gerçek seranın bulunduğu yöredeki şartlar, standart koşullardan farklıysa, çizelgelerden okunan değerler, bulunduğumuz ortamın ve seranın koşullarına uydurulmak üzere bazı düzeltme katsayılarıyla çarpılarak gerçek değerler bulunur. Bu yöntemden yararlanılarak hazırlanan çözümlü ve açıklamalı bir örnek EK-1.B'de verilmiştir.

Seraların ısı gereksinimlerinin belirlenmesi ve ısıtma tesisinin kuruluş karakteristikleriyle ilgili değerlerin yer aldığı şekil ve çizelgeler, bu bölümün sonunda yer alan EK-1.C'de verilmiştir.

2.1.3.1 Isı İletimiyle İlgili Temel Bilgiler

Seraların ısı kayıp ve kazançlarının belirlenmesinde ısı iletimi hesaplama yöntemlerinden yararlanarak yapılacak olan özel işlemlerle ilgili bilgilerin ele alınmasından önce, konunun anlaşılmasını kolaylaştırmak amacıyla, ısı iletimiyle ilgili temel bilgilerin hatırlanması yararlı olacaktır.

Isı bir ortamdan bir başka ortama **kondüksiyon**, **konveksiyon** ve **radyasyon** (ışınım) yollarıyla iletilir. Bu bilinen ısı iletim şekillerine ek olarak seralarda bitki ve toprak yüzeylerinden meydana gelen buharlaşma ve örtü elemanları üzerinde oluşan yoğunlaşmalara bağlı olarak önemli ölçüde ısı enerjisi, gizli ısı şeklinde bir ortamdan bir başkasına iletilmektedir.

Isı iletimi sürecinde yukarıda sıralanan ısı iletim yollarının biri, birkaçı ya da hepsi birden yer alabilir.

⁷ The National Greenhouse Manufacturers' Association,

Kondüksiyon

Bir malzemenin iç katmanları arasında sıcaklık farklılaşması meydana gelmişse, ısı, daha sıcak olan katmandan soğuk olan tarafa doğru moleküler titreşim yoluyla (kondüksiyon) iletilir. İletilen ısı miktarı Fourier eşitliğiyle belirlenebilir:

$$Q_{kd} = \frac{\lambda}{\delta} A (T_1 - T_2) \quad 2.3$$

2.3 numaralı eşitlikte yer alan Q, iletilen ısı miktarını (W); λ , kondüksiyonla ısı iletim katsayısını ($W m^{-1}K^{-1}$), δ , malzemenin kalınlığını (m); A, ısının iletildiği yüzeyin alanını (m^2); T_1 ve T_2 , ısının iletildiği iki katmanın veya ortamın sıcaklıklarını (K) belirtmektedir.

Kondüksiyonla ısı iletimine ilişkin olarak yukarıda belirtilen bir boyutlu eşitlik, iletilen ısı miktarının, sıcaklık farkı, yüzey ve kondüktivite arttıkça büyüdüğünü, malzeme kalınlığının artmasıyla da küçüldüğünü göstermektedir. Bu eşitlik seralarda çatı ve yan duvar malzemelerinden meydana gelen ısı iletiminin belirlenmesi amacıyla kullanılabilir. Aynı eşitlik, büyük seralarda toprağa geçen ısının belirlenmesi amacıyla da kullanılabilir. Ancak özel olarak, sera duvarları yakınındaki kenar bölgelerde toprağa geçen ısı belirlenmek istenirse, bu eşitlik yerine iki boyutlu ısı geçişini dikkate alan bir başka çözüm uygulanmalıdır.

Konveksiyon

Konveksiyon yoluyla (serbest moleküler hareket) ısı iletimi birbirine değen bir akışkan ile bir katı cisim arasında gerçekleşir. Akışkan hareketinin, bu akışkan içindeki farklı katmanlar arasındaki sıcaklık farkından kaynaklanan yoğunluk farklılığına dayanması durumuna, "serbest" veya "doğal" konveksiyon; bir dış kaynak tarafından oluşturulan basınç farkına bağlı olması durumuna ise "zorlanmış konveksiyon" adları verilir. Her iki durumda da katı cismin yüzeyi ile ona değen akışkan arasında iletilen ısı miktarı Newton soğuma eşitliği yardımıyla belirlenir:

$$Q_{kv} = A \alpha (T_k - T_a) \quad 2.4$$

2.4 numaralı eşitlikte Q, konveksiyonla iletilen ısı miktarını (W); A, katı cisim ile akışkanın değme yüzeyini (m^2); α , konveksiyonla ısı iletim katsayısını ($W m^{-2}K^{-1}$); T_k ve T_a , sırasıyla katı cismin ve akışkanın değme yüzeyindeki

sıcaklıklarını (K) belirtmektedir. Bu eşitlik basit gözükmeyle birlikte, α 'nın belirlenmesi oldukça karmaşıktır. Bu katsayının değeri, katı cismin yüzeyi ile akışkana bağlı bir çok unsurdan etkilenmektedir. Genellikle Nusselt sayısı (Nu) kullanılarak hesaplanmaya çalışılır. Nu sayısı konveksiyonla iletilen ısının kondüksiyonla iletilene oranı olarak tarif edilebilir.

Nu sayısı, serbest ve zorlanmış konveksiyon şartları için farklı şekillerde belirlenir.

Serbest konveksiyon şartları için Nu sayısı aşağıdaki eşitlik yardımıyla bulunur:

$$Nu = \frac{\alpha l}{\lambda} = C Gr^r Pr^n \quad 2.5$$

2.5 numaralı eşitlikte yer alan α , konveksiyonla ısı iletim katsayısını; l, akışkanın ısıyı ilettiği uzunluğu (m); λ , kondüksiyonla ısı geçiş katsayısını; Gr, Grashof; Pr, Prandtl sayılarını; C, r ve n deneysel sabitleri göstermektedir.

Grashof sayısı, kaldırma kuvvetleri ile viskozite kuvvetleri arasındaki oran olup, konveksiyon akımının doğrusal veya girdaplı olma durumlarının belirlenmesini sağlar. Grashof sayısı aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanabilir.

$$Gr = \frac{l^3 \rho^2 g \beta \Delta T}{\eta^2} \quad 2.6$$

2.6 numaralı eşitlikte yer alan Gr, Grashof sayısını; l, sistemin karakteristik boyutunu (m); ρ , akışkanın yoğunluğunu (kg m^{-3}); g, yerçekimi ivmesini ($9,81 \text{ ms}^{-2}$); β , kübik genleşme katsayısını (K^{-1}); η ; akışkanın dinamik viskozitesini ($\text{kg m}^{-1}\text{s}^{-1}$) (mutlak viskozite) belirtmektedir. Belirli şartlardaki su ve hava için ρ , β ve η değerleri Ek Çizelge I-5 ve I-6'dan bulunabilir.

Prandtl sayısı, momentum difüzivitesi ile ısı difüzivite arasındaki orandır. Belirli şartlardaki su ve hava için Pr sayısının değerleri Ek Çizelge I-5 ve I-6'dan bulunabilir.

Serbest konveksiyon şartları için konveksiyonla ısı iletim katsayısının bulunmasında kullanılabilecek basitleştirilmiş eşitlikler ve bu eşitliklerin Gr ve Pr sayılarının çarpımlarıyla elde edilen geçerlilik şartları Ek Çizelge I-3'de verilmiştir.

Zorlanmış konveksiyon şartları için 2.5 numaralı Nu sayısı eşitliğinde Gr sayısının yerini Reynold sayısı (Re) alır.

$$Nu = C Re^m Pr^n \quad 2.7$$

Seraların ısıtılması

2.7 numaralı eşitlikte yer alan C, m ve n katsayılarının değerleri Re sayısına bağlı olarak aşağıda belirtilmiştir:

Re	C	m	n
$10^{-5} <$	0,664	1/2	1/3
$10^{-5} >$	0,037	4/5	1/3

Re sayısı, akışkanın dinamik ve viskoz çekim kuvvetleri arasındaki oran olup, akımın doğrusal veya girdaplı olma durumunun belirlenmesini sağlar. Re sayısı aşağıda verilen eşitlik yardımıyla bulunabilir.

$$Re = \frac{u l}{\eta} \quad 2.8$$

2.8 numaralı eşitlikte yer alan u, akışkanın hareket hızını (ms^{-1}); l, akışkanın aldığı yolu (m); η , akışkanın dinamik viskozitesini ($\text{kgm}^{-1}\text{s}^{-1}$) belirtmektedir.

Sera çatılarından rüzgara bağlı olarak oluşan konveksiyon yoluyla ısı iletimi oldukça önemli büyüklüktedir. Sera çatılarının rüzgar hızına bağlı olarak konveksiyonla ısı iletimi için deneysel veriler birbirlerine göre farklılık göstermektedir. Bailey çeşitli araştırmacıların önerdiği verilerden yararlanarak farklı rüzgar hızı sınırları için, sera çatısından konveksiyonla ısı iletim katsayılarının aşağıda verilen eşitliklerle bulunabileceğini belirtmektedir.

Rüzgar hızı sınırı (ms^{-1})	Çatının konveksiyonla ısı iletim katsayısı ($\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$)
$0 < u < 4$	$2.8 + 1,2 u$
$4 < u < 18$	$17,9 u^{0,576}$

Radyasyon

Isıl radyasyon (ısı ışınım) yoluyla ısı iletimi için herhangi bir taşıyıcı ortama gerek yoktur. Tüm cisimler mutlak sıcaklıklarının dördüncü katıyla orantılı olarak elektromanyetik ışınım enerjisi yayarlar. Elektromanyetik ışınımın, kütlesi tamamen enerjiye dönüşmüş sinüzoidal dalga hareketi yaparak her yöne

doğru yayılan fotonlardan oluştuğu kabul edilir. Sıcak bir cisimden yayımlanan ışınım enerjisi aşağıdaki eşitlikle belirtilebilir:

$$E = \sigma T^4 \quad 2.9$$

2.9 numaralı eşitlikte yer alan E, cisimden yayımlanan ışınım enerjisi (Wm^{-2}); σ , Stefan-Boltzmann sabitini ($5,67 \cdot 10^{-8} Wm^{-2}K^{-4}$); T, cismin mutlak sıcaklığını (K) belirtmektedir.

Elektromanyetik ışınların 760 - 100000 nm dalga boyu sınırları arasında dalga boyuna sahip olanlarına kızıl ötesi ışınlar adı verilir. Bu ışınlar, kendilerini soğuran cisimleri ısıtırlar. Bu ışınların elektromanyetik tayf içinde kapsadıkları bölge, yakın, orta ve uzak kırmızı ötesi olmak üzere üç bölgeye ayrılır. Söz konusu tayfın "yakın kırmızı ötesi bölge" olarak adlandırılan 760-3800 nm dalga boyu aralığında yer alan ışınlar, cisimler tarafından daha iyi soğurulabildikleri için ısı ışınları olarak adlandırılırlar.

Tam siyah cisimler ısı ışınlarını soğurma ve yayımlama açısından ideal kabul edilir. Bu cisimler üzerlerine gelen ısı ışınlarının tümünü soğurur ve yeniden yayımlayabilir. Tam siyah olmayan cisimler ise, üzerlerine çarpan ısı ışınlarının bir bölümünü soğurur (α , absorpsiyon), bir bölümünü yansıtır (Γ , refleksiyon), bir bölümünü de içinden geçirir (τ , transmisyon). Enerjinin sakınımı kuralı gereğince soğurulan, yansıtılan ve geçirilen ışınların toplamı cisme çarpan ısı ışını enerjisine eşittir:

$$\alpha + \Gamma + \tau = 1$$

Cismin üzerine düşen ışınım içinden soğurduğu, yansıttığı ve geçirdiği enerji miktarları, cismin yapısına ve ışınım dalga boyuna bağlıdır. Örneğin cam, fotosentetik aktif ışınımın (400 - 700 nm) %90'ını geçirirken, ısı ışınlarını hemen hemen hiç geçirmez.

Cismin geri yayımladığı ışınım enerjisi, sıcaklığına ve yüzey düzgünlüğüne bağlıdır. Tam siyah olmayan cisimlerin (gri cisimler olarak adlandırılır) yayımladığı ışınım, aynı sıcaklıktaki tam siyah cisimlerin yayımladığından daima daha azdır. Bir gri cismin yayımladığı enerjinin, aynı sıcaklıktaki siyah cismin yayımladığı enerjiye oranı bir gösterge olarak ele alınır ve bu orana emissivite (ϵ) adı verilir. Siyah cisimlerin ϵ değerleri 1, gri cisimlerin ise ϵ değerleri daima 1'den küçüktür.

Farklı sıcaklıklardaki iki siyah cisim karşılıklı olarak bir araya geldiklerinde, her ikisi de birbirine karşı ışınım yayarak enerji alışverişinde bulunurlar. Ancak cisimlerden birinin yayımladığı enerjinin tümünün, mutlaka

Seraların ısıtılması

diğeri tarafından soğurulması şart değildir. 1 numaralı cismin sıcaklığı, 2 numaralı cismin sıcaklığından daha yüksekse, 1 numaralıdan 2 numaralıya iletilen net ısı enerjisi aşağıda belirtilen eşitlikle bulunabilir:

$$Q_{1,2} = A_1 F_{1,2} \varepsilon_{1,2} \sigma (T_1^4 - T_2^4) \quad 2.10$$
$$\frac{1}{\varepsilon_{1,2}} = \frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{\varepsilon_2} - 1$$

2.10 numaralı eşitlikte yer alan $Q_{1,2}$, sıcaklığı yüksek bir numaralı cisimden 2 numaralı cisme iletilen net enerjiyi (W); A_1 , 1 numaralı cismin 2 numaralı cisme bakan yüzey alanı (m^2); $F_{1,2}$, 1 numaralı cisimden yayılan enerjinin 2 numaralı cisme ulaşan bölümünü ($0 \leq F_{1,2} \leq 1$); $\varepsilon_{1,2}$, iki yüzeyin emissivitelere bağlı değişim faktörünü; σ , Stefan-Boltzmann sabitini belirtmektedir. Bu eşitlikte yer alan F , şekil faktörü olarak tanımlanır. Işınım yoluyla iletilen ısı miktarının belirlenmesine yönelik işlemlerde öncelikle bu faktörün belirlenmesi gerekir. Uygulamada çok rastlanan bazı geometrik durumlar için şekil faktörünün bulunmasına ilişkin bilgiler ısı iletimiyle ilgili kitaplarda verilmektedir.

Siyah olmayan cisimler arasında ışınım yoluyla enerji alış veriş belirlenirken, iki yüzey arasında yansımalar da olacağı için 2.10 numaralı eşitlik kullanılamaz. Bu tür durumlar için yüzeyler arasında ışınım yoluyla iletilen net ısı enerjisi aşağıda verilen eşitlik yardımıyla hesaplanabilir:

$$Q_{1,2} = \frac{\sigma (T_1^4 - T_2^4)}{\frac{1-\varepsilon_1}{\varepsilon_1 A_1} + \frac{1}{A_1 F_{1,2}} + \frac{1-\varepsilon_2}{\varepsilon_2 A_2}} \quad 2.11$$

Sera içi havasında bulunan su buharı ve CO_2 'de ısı ışınlarını soğurur ve yayımlar. Sera içi ısı dengenin hesaplanmasında bu unsurların söz konusu etkileri çok küçük kaldığından dikkate alınmazlar.

Herhangi bir cisim ile gökyüzü arasındaki ışınım yoluyla ısı iletiminde gök yüzünün sıcaklığı ve rengi önem kazanır. Seralarla ilgili bu gibi işlemlerde gökyüzü, sıcaklığı dış ortam sıcaklığından 0 -20 K daha düşük tam siyah bir yüzey olarak kabul edilebilir.

Gizli Isı

Bitkilerden meydana gelen transpirasyon, toprak yüzeyinden buharlaşma ve sera havasındaki su buharının sera iç yüzeyleri üzerinde yoğuşması vb. sırasında, önemli ölçüde ısı, bir ortamdan diğerine gizli ısı şeklinde iletilir. Transpirasyon ve topraktan buharlaşma sırasında, suyun buharlaşma gizli ısısı kadar enerji, suyun buharlaştığı bünyeden alınır. Yoğuşma sırasında ise bunun tersine olarak, suyun buharlaşırken aldığı ısı, yoğuştuğu yüzeye iletilmiş olur. Sera içinde suyun buharlaşırken veya yoğuşurken bir ortamdan diğerine ilettiği ısı, aşağıda verilen eşitlik yardımıyla hesaplanabilir:

$$Q_g = q \frac{\lambda}{C_p} A (\omega_y - \omega_h) \quad 2.12$$

2.12 numaralı eşitlikte yer alan Q , gizli ısı şeklinde iletilen ısıyı (W); q , sera içi şartlarında suyun buharlaşma gizli ısısını ($J \text{ kg}^{-1}$); λ , kondüksiyonla ısı iletim katsayısını ($W \text{ m}^{-2} \text{ K}^{-1}$); C_p , sabit basınç şartlarında havanın özgül ısısını ($J \text{ kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$); A , buharlaşma veya yoğuşmanın olduğu yüzeyi (m^2); ω_y , buharlaşma veya yoğuşmanın meydana geldiği yüzey sıcaklığındaki doymuş havanın mutlak nemini (kg su.bh/kg kr.hv); ω_h , sera havasının mutlak nemini belirtmektedir.

2.1.3.2 Seralarda Isı Enerjisi Dengesi

Sera içinde ısı iletimiyle ilgili enerji akışında yer alan başlıca unsurlar sera havası, bitki örtüsü, toprak yüzeyi, sera örtüsü ve dış ortam havası olarak sayılabilir. Bu unsurlar arasındaki ısı enerjisi akışları şematik olarak Şekil 2.1'de gösterilmişti. Aynı ilişkiler aşağıda verilen Çizelge 2.8'de daha detaylı olarak belirtilmiştir. Çizelge 2.8'den yararlanarak, seranın ısıl dengesinde yer alan çeşitli unsurlar arasında ısının hangi yollarla iletiliği belirlenebilir. Örneğin, bu çizelge yardımıyla, ısının, sera havasıyla toprak arasında konveksiyon ve gizli ısı taşınımı yollarıyla; toprak ile örtü iç yüzeyi arasında ise yalnızca ışınım yoluyla iletilmekte olduğu anlaşılmaktadır.

Seraların ısıtılması

Çizelge 2.8 Seralarda ısı enerjisi dengesinde rol alan unsurlar arasında ısı akışında etkili olan ısı iletim yolları (Bailey)

Isı akışında etkili unsurlar	h	b	t	ö	ly	gn	dh	gk
Sera havası (h)	-	kv, g	kv, g	kv, g	kv	-	s	-
Bitki örtüsü (b)	kv, g	-	i	i	i	gi	-	i
Toprak yüzeyi (t)	kv, g	i	kd	i	i	gi	-	i
Örtü (ö)	kv, g	i	i	-	i	gi	kv	i

ly- Isıtıcı yüzey ; gn- güneş ; dh- dış ortam havası ; gk- gök ; kv- konveksiyon ;
kd- kondüksiyon ; g- gizli ısı ; i- ısıtma ; gi- güneş ışınımı ; s-hava sızması

Seralarda ısı enerjisi akışında önemli rol oynadığı belirtilen dört unsur için düzenli akış durumunda ısı enerjisi denge eşitlikleri, Çizelge 2.8'de belirtilen simgeler yardımıyla, aşağıda belirtilen şekilde yazılabilir.

Sera havası :

$$kvQ_b + kvQ_t + kvQ_{\bar{o}} + kvQ_{ly} + sQ = 0$$

Bitki örtüsü :

$$kvQ_h + gQ_h + iQ_t + iQ_{\bar{o}} + iQ_{ly} + giQ + iQ_{gk} = 0$$

Toprak yüzeyi :

$$kvQ_h + gQ_h + iQ_b + kdQ_t + iQ_{\bar{o}} + iQ_{ly} + giQ + iQ_{gk} = 0$$

Sera örtüsü :

$$kvQ_h + gQ_h + iQ_b + iQ_t + iQ_{ly} + giQ + kvQ_{dh} + iQ_{gk} = 0$$

Yukarda sıralanan eşitlikler, ısı iletim katsayıları, ışınım ile ısı iletim şartları için şekil faktörü, örtü malzemesine ilişkin ışınım geçirgenliği, soğurma ve yansıtma katsayıları, toprağın kondüktivitesi, sera içi ve dışı sıcaklıklar, rüzgar hızı, güneş ışınımı vb. unsurların bilinmesi durumunda sayısal olarak çözülebilir.