اولین کارگاه فنی ارتقاء کارایی مصرف آب با کشت محصولات گلخانه‌ای
۲۶ مهرماه ۱۳۸۶

سیستم‌های گرمایش، برودتی و تهویه گلخانه

فرزاد آزاد شهرکی و نادر کوهی[1]

چکیده

گلخانه باید بتواند محیط کنترل شده ای برای نور، حرارت و رطوبت کافی جهت تولید گیاه فراهم کند.گلخانه نیاز به سیستمی جهت افزایش نور (به ویژه در ساعات اولیه صبح) دارد و به همین منظور هنگام بنای گلخانه باید ارتفاع ساختمانها و درختان اطراف بنا مد نظر گرفته شوند. آب،سوخت و الکتریسته می‌تواند شرایط محیطی مناسبی را جهت نتایج مطلوب ایجاد کنند. جهت انجام این امر استفاده از سیستم گرمایش و سرمایش مطمئن و هوادهی مناسب، مکانیزم‌های هشدار دهنده، حرارت و ... از نیازهای یک گلخانه هستند. نیاز حرارتی گلخانه به نوع محصولی که در گلخانه رشد می‌کند، وابسته است. اغلب گیاهان به حرارت روزانه ۷۰ تا ۸۰ درجه فارنهایت و نیاز حرارتی شبانه تا حدی کمتر از این نیاز دارند. گیاهان گلخانه‌های سرد به درجه حرارتی حدود ۵۰ درجه فارنهایت در شب نیاز دارند که از آن جمله می‌توان به گل میخک، ازالیه، گل مینا، هویج، کاهو، تربچه و... اشاره کرد.

کلمات کلیدی: گلخانه، شرایط محیطی، سیستم گرمایش و سرمایش

مقدمه

گیاهان گلخانه‌ای گرم به حرارت شبانه حدود ٦٥ درجه فارنهایت نیاز دارند که گل رز، گوجه‌فرنگی، سوسن، کاکتوس و... از این دسته گیاهان هستند. گیاهان مناطق استوایی به حرارت شبانه بالای ۷۰ درجه فارنهایت و درصد رطوبت بالا نیاز دارند. یک سیستم گلخانه‌ای مناسب در طول یکسال زراعی باید بتواند شرایط مناسب حرارتی برای گیاه را فراهم کند. در تولید محصولات گلخانه‌ای سیستم گرمایشی مورد قبول است که حرارت یکنواخت بدون ایجاد شرایط مضر برای گیاه تولید کند. منابع مناسب سوختی جهت تولید این حرارت عبارتند از: گازهای طبیعی، LPG، چوب، نفت و گازوئیل که وجود و هزینه هر کدام از این سوختها از محلی تا محل دیگر متفاوت هستند. علاوه بر این، راحتی کاربرد، هزینه‌های عملیاتی و کاهش هزینه‌های کارگری هر سیستم نیز در توجیه کاربرد هر

۱- اعضاء هیات علمی بخش فنی و مهندسی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی کرمان.

سیستم باید مورد توجه قرار گیرد. نیاز گرمایی گلخانه علاوه بر نوع گیاه به تلفات حرارتی سیستم گلخانه نیز وابسته است، که این امر به روش انتقال حرارت در گلخانه که یکی از روشهای هدایت، همرفت و تشعشع است ارتباط دارد. در این مقاله به تشریح انواع سیستمهای انتقال حرارت در گلخانه و پارامترهای موثر بر طراحی و افت حرارتی روشهای مختلف انتقال حرارت و تهویه و تاثیر رطوبت گلخانه بر آنها پرداخته شده است.

روشهای انتقال حرارت و فاکتورهای موثر بر افت حرارتی و ملاحظات طراحی٠

هدایت

در این روش گرما یا به وسیله ماده‌ای که بین دو جسم تولید کننده حرارت و مصرف کننده حرارت قرار دارد انتقال می‌یابد و یا به وسیله تماس فیزیکی دو جسم منتقل می‌شود. میزان گرمای جابجا شده در این روش بین دو جسم به سطوح دو جسم، طول مسیر انتقال حرارت، اختلاف درجه حرارت دو جسم و خواص فیزیکی دو جسم (چگالی، رنگ و...) وابسته است. افت حرارتی هدایتی با جایگزین ساختن مواد عایق در مسیر انتقال حرارت به جای موادی که گرما را سریعتر منتقل می‌کنند یا استفاده از عایق‌ها در مکانهای مشخص (تولید کننده گرما و مصرف کننده) می‌توان کاهش یابد. مثال ساده در این راستا می‌تواند جایگزین شدن دسته فلزی تابه آشپزخانه با دسته پلاستیکی یا چوبی یا پوشاندن دسته فلزی با چوب یا پلاستیک است. هوا هادی بسیار ضعیف و در نتیجه عایق مناسب حرارت است.

همرفت

روش انتقال حرارت همرفتی جابجایی فیزیکی یک گاز یا مایع گرم به محل سردتر است. افت حرارتی به بوسیله همرفت نه تنها شامل جابجایی هوا، بلکه شامل جابجایی بخار آب نیز می‌شود. وقتی که که آب در گلخانه بخار می‌شود، این بخار انرژی جذب می‌کند و وقتی که بخار آب منقبض شده و تغییر حالت داده و به حالت مایع برمی‌گردد، انرژی آزاد می‌شود. بنابراین وقتی بخار آب روی سطحی شروع به میعان می‌کند، انرژی در سطح بیرونی جسم آزاد می‌شود.

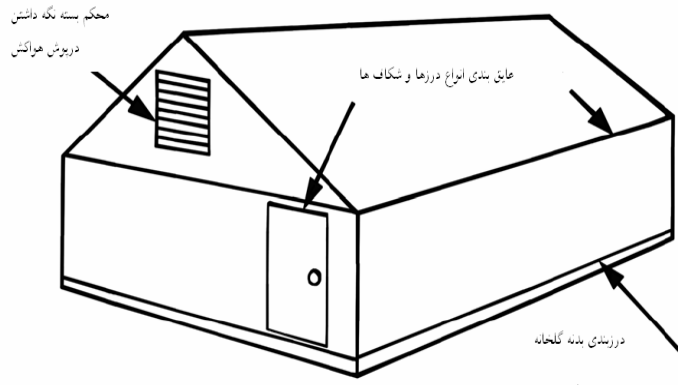
تشعشع

انتقال گرما به صورت تشعشع بین دو جسم بدون تماس مستقیم در دو جسم و یا با واسطه‌ای مثل هوا انجام می‌پذیرد. تشعشعات گرما مانند تشعشعات نور خطوط مستقیم را دنبال کرده و منکعس یا جابجا شده یا روی زبریهای سطوح جذب می‌شود. انرژی تشعشع باید جذب شده و به گرما تبدیل شود.

انرژی تشعشعی به وسیله منابع گرما در تمام جهات آزاد می‌شود. نرخ انتقال حرارت تشعشعی بواسطه سطح جسم، درجه حرارت و مشخصات سطح دو جسم تغییر می‌کند. افت حرارتی تشعشعی در یک جسم می‌تواند به وسیله احاطه کردن جسم با پوشش مات کاهش یابد. بعضی از اجسام مات انرژی تشعشعی را به منبع خود بر می‌گردانند و میزان کمی از تشعشع را جذب می‌کنند. بنابراین حرارت در این جسم زیاد بالا نمی‌رود و انرژی تشعشعی به بیرون جسم منتقل می‌شود.

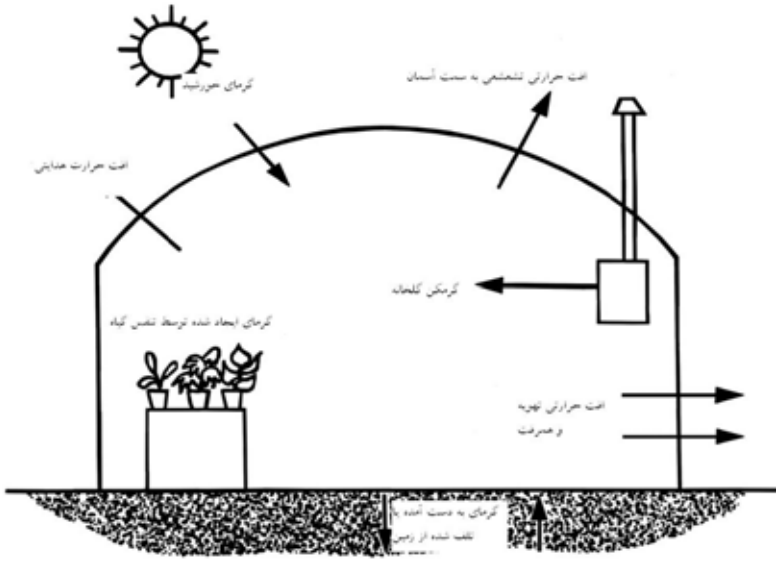
فاکتورهای موثر بر افت حرارتی

افت حرارتی به وسیله جابجایی هوا به نوع، سن و شرایط گلخانه وابسته است. گلخانه‌های قدیمی‌تر یا آنهایی که دارای شکافهایی در اطراف درب ها، ابزار پوششی و سوراخها هستند، منجر به ورود میزان زیادی هوای سرد می‌گردند. گلخانه‌های پوشیده شده به وسیله لعاب، فایبرگلاس و یک یا دو لایه پلاستیک تلفات حرارتی کمتری دارند. سیستم تهویه گلخانه نیز بر افت حرارتی تاثیر گذار است. عدم محکم بسته شدن درپوش دمنده‌های هوا، طراحی ضعیف، کثیفی، صدمه دیدگی یا عدم روغنکاری دمنده‌ها منجر به مبادله میزان قابل توجهی هوا با بیرون و تلفات حرارتی می‌گردد. پنجره‌های هواکشی نسبت به درپوش‌ها کار درزگیری را بهتر انجام می‌دهند ولی باید از بسته بودن این پنجره‌ها نیز مطمئن شد (شکل۱).



شکل ۱: *نمونه‌ای عایق‌بندی و درزبندی گلخانه*

تشعشع خورشیدی وارد گلخانه شده و بواسطه گیاه، خاک و تجهیزات گلخانه جذب و سپس بواسطه این ابزار گرم شده انرژی تشعشعی به بیرون منعکس می‌شود. میزان افت حرارتی به وسیله تشعشع به وجود یا عدم وجودپوشش روی گلخانه، درجه حرارت محیط و میزان ابری بودن هوا بستگی دارد. پلاستیک‌های ضخیم و مواد شیشه‌ای کمتر از ٤٪ از انرژی تشعشعی را به بیرون منتقل می‌کنند.



شکل ۲: *تبادلات حرارتی گلخانه با محیط خارج*

محاسبه افت حرارتی

میزان افت حرارتی هدایتی با معادله (۱) تخمین زده می‌شود:

$$Q= A (Ti- To)/R \qquad (۱)$$

که در این رابطه:

Q: میزان افت حرارتی BTU/hr

A: سطح گلخا نه ft^2

R: مقاومت هدایت حرارت (به جنس ماده وابسته است).

Ti-To: تفاوت درجه حرارت هوای بیرون و داخل.

جدول (۱) مواد رایج مورد استفاده در گلخانه و مقاومت هدایت حرارت آنها را نشان می‌دهد. این جدول همچنین میزان مقاومت حرارتی هدایتی (R) مواد مرکب را نیز نشان می‌دهد. توجه داشته باشید که میزان بالای R بیانگر جریان کمتر گرماست. مواد ساختمانی گلخانه که جاذب رطوبت هستند، گرما را از هنگامی که خشک هستند، بهتر منتقل می‌کنند. بنابراین باید از رسیدن بخار آب به این مواد جلوگیری کرد. گرما همچنین از اطراف کنارهای گلخانه تلف خواهد شد.

افت حرارتی بواسطه محیط گلخانه نیز باید به سایر تلفات اضافه شود. در جدول (۲) ثابت افت حرارتی میحط گلخانه‌های عایق‌بندی شده و عایق‌بندی نشده آورده شده است. این افت از رابطه (۲) محاسبه خواهد شد.

$$Q= PL (T_i-T_o) \qquad (۲)$$

در این رابطه:

P: ثابت افت حرارتی BTU

L: محیط دور تا دور گلخانه

جدول ۱: *میزان مقاومت حرارتی هدایتی (جریان گرما) در مواد مختلفی که در ساخت گلخانه کاربرد دارند.*

نوع مواد	R	نوع مواد دیواره و پوشش سقف و دیواره	R
صفحه فایبرگلاسی ۳/۵-۳ اینچی	٤	بلوکهای کانکریت ۸ اینچی	
پلی استارین ۱ اینچی	٥-٤	تخته چندلایه ۰/۵ اینچی	
صفحه فایبرگلاسی ۳/۵-۳ اینچی	۱۱	کانکریت یا تخته چندلایه پوشیده شده با فوم	
صفحه فایبرگلاسی ٦/۵-۵ اینچی	۱۹	پرده و پارچه	
نوع مواد پوششی سقف و دیواره		شیشه یک لایه	
شیشه دولایه با فاصله ۰/۲۵ اینچ		پوشش پلی اتیلن یک لایه	
پلی اتیلن دولایه‌ای جدا ازهم		شیشه با پوشش پلی اتیلن دو لایه	

با اضافه کردن افت حرارتی همرفتی به مجموع تلفات حرارتی، تلفات حرارتی کل محاسبه خواهد شد. افت حرارتی همرفتی از رابطه (۳) قابل محاسبه است.

$Q= ۰/۰۲VC (Ti-To$ (۳)

C: نسبت حجم هوای مبادله شده به حجم گلخانه بر ساعت.

V: حجم گلخانه ft^3.

در جدول (۳) میزان تخمینی تعداد حجم هوای مبادله شده از طریق انواع گلخانه‌ها آورده شده است. نسبت حجم هوای مبادله شده بر ساعت بسته به نوع و شرایط گلخانه و نیز سرعت باد تغییر می‌کند. سرعت باد کم و یا حفاظت در برابر باد، نرخ مبادله هوا را کاهش می‌دهد.

جدول ۲: *ثابت افت حرارتی محیطی*

نوع محیط	ثابت افت حرارتی
عایق بندی شده	۰/٤
عایق‌بندی نشده	۰/۸

جدول ۳: *میزان تبادل طبیعی هوا (نسبت حجم هوای مبادله شده) در انواع گلخانه‌ها*

نوع گلخانه	میزان هوای مبادله شده
ساختمان جدید شیشه‌ای یا فایبرگلاسی	۱- ۰/۷۵
ساختمان جدید با دولایه پلاستیک	۱-۰/۵
ساختمان شیشه‌ای قدیمی با وضعیت نگهداری خوب	۲-۱
ساختمان شیشه‌ای قدیمی با وضغیت ضعیف	٤-۲

طراحی جهت تعیین حداقل حرارت مورد نیاز

درجه حرارت مناسب بیرون گلخانه جهت استفاده در محاسبات اندازه گرمکن گلخانه می‌تواند به واسطه کاهش۱۵°F (جهت اطمینان) از متوسط کمترین میزان درجه حرارت در طول سردترین فصل سال بدست آید.

- مثال:

با در نظر گرفتن درجه حرارت ٦۵°F در داخل گلخانه‌ای به ابعاد شکل۳ که از دو لایه پلاستیک بدون عایق‌بندی ساخته شده است محاسبات به صورت زیر خواهد بود:

مساحت سطوح مختلف گلخانه:

دیوارهای طولی: ۷×۱۰۰×۲ =۱٤۰۰ft^2

سقف: ۱٦/۸٦×۱۰۰ ×۲ = ۳۳۷۲ft^2

دیوارهای عرضی: ۳۲×۷+۵/۳۳×۱٦×۲ = ٦۱۸/٦ ft^2

کل سطح جانبی گلخانه: ۵۳۹۰/٦ ft^2

اگر متوسط کمترین میزان درجه حرارت در طول سردترین فصل سال ۶۵°F باشد. درجه حرارت بیرون گلخانه جهت طراحی ۱۸/۶°F (۲۰°F) خواهد بود. در این صورت ما نیاز به افزایش حرارت ۴۵°F خواهیم داشت. اگر گلخانه از پلاستیک دو لایه ساخته شده باشد (R= ۱/۴۳) خواهیم داشت:

(افت حرارتی هدایتی) Q_c= Area × DT /R = ۱۶۹/۶۲۷B TU/hr

حجم گلخانه = (۷×۳×۱۰۰) + (۱۶×۵/۳۳×۱۰۰) =۲۲/۴+۸/۵۲۸ = ۳۰/۹۲۸ ft^3

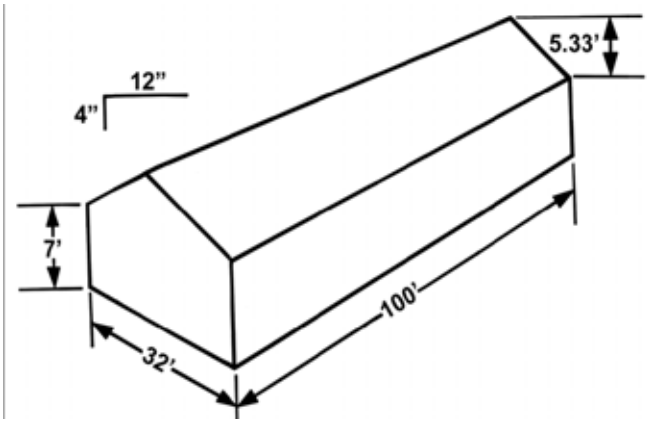
(افت حرارتی همرفتی) Q_A =۰/۰۲ ×V × C× DT =/۰۲×۳۰/۹۲۸×۱×۴۵ =۲۷/۸۳۵ B TU/hr

(افت حرارتی محیط) Q_P= P ×L × DT =۰/۸ ×۲۶۴×۴۵ =۹/۵۰۴ = Btu/hr

(کل تلفات حرارتی) Q_T= Q_C+ Q_A+ Q_P =۱۶۹/۶۴۷ +۲۷/۸۳۵ +۹/۵۰۴ =۲۰۶/۹۸۶ Btu/hr

(گرمای مورد نیاز) H.R = ۲۰۶/۹۸۶ Btu/hr

اگر گلخانه در روی تپه با وزش باد واقع باشد، بهتر است ۲۰ درصد به گرمای مورد نیاز اضافه شود.



شکل ۳: *گلخانه دو لایه پلاستیکی*

سایر ملاحظات طراحی

گلخانه‌های پلاستیکی اغلب دارای رطوبت بالایی هستند که به علت عدم وجود درز یا شکاف در حصار گلخانه هستند. رطوبت زیاد در گلخانه می‌تواند منجر به ایجاد امراض و بیماریها در برگها و گلهای گیاهان گلخانه‌ای شود.

یک سیستم گرمایشی هوای تحت فشار می‌تواند به مخلوط شدن هوای گرم داخل گلخانه کمک کرده و از تغیرات دمای داخل گلخانه جلوگیری کند. مطلوب این است که داخل گلخانه در طول دیواره‌های گلخانه هوای گرم و سرد در نزدیک دیواره‌های گلخانه با هم مخلوط شوند.

سیستمهای داکت (تونل هوا) جهت یکسان کردن توربولانس هوای گرم بدست آمده از گرمکن مناسب هستند. استفاده از تعداد دو یا بیشتر گرمکن نسبت به یک گرمکن بزرگ ارجح می‌باشد. این امر علاوه بر سایر مزایا، باعث می‌شود هنگامی خرابی یکی از گرمکن‌ها، دیگری به کار خود ادامه دهد. سیستم‌های هشدار دهنده خرابی یا قطع توان نیز جهت عملکرد بهتر گرمکن‌ها مناسب هستند. بسیاری از کشاورزان ترجیح می‌دهند که سیستم هشدار دهنده‌ای نیز جهت هشدار هنگامی که درجه حرارت از میزان مشخصی کمتر شد، داشته باشند.

تهویه

تهویه دمای داخل گلخانه را در روزهای آفتابی کاهش داده و Co_2 لازم را که جهت فتوسنتز گیاه ضروری است، فراهم می‌نماید. مزیت دیگر تهویه حذف گرما، هوای مرطوب و جایگزین کردن آن با هوای خشک است. رطوبت بالا وقتی که روی سطوح سردتر قرار گیرد تبدیل به مایع شده و منجر به ایجاد بیماری می‌شود. گلخانه‌هایی که پوشش پلاستیکی دارند، مناسب تهویه به وسیله سیستمهای بدون دمنده یا مکنده هوا نیستند، از این‌رو در این گلخانه‌ها از انواع دمنده یا مکنده جهت این کار استفاده می‌شود.

دمیدن هوا در طول زمستان نیز جهت جلوگیری از انتشار هوای سرد روی برگها باید در طراحی در نظر گرفته شود. جریان هوا در زمستان می‌تواند به وسیله استفاده از دمنده و مکنده‌هایی در قسمت سه گوش دیواره انتهایی گلخانه جهت ورود و خروج هوا ایجاد شود. این ورودی و خروجی هوا به وسیله تونل پلاستیکی نسبتاً نازکی که در طول گلخانه کشیده شده به هم متصل است. این تونل پلاستیکی در طول گلخانه دارای سوراخهایی است. مکنده هوا (خروجی) می‌تواند با حرارت کنترل شود.

مکنده هوا به میزان کمی افت فشار در داخل گلخانه ایجاد می‌کند و منجر به ایجاد هوای تازه داخل تونل و تخلیه شدن این هوا از سوراخهای تونل داخل گلخانه می‌شود. این سوراخها فواره‌هایی از هوا ایجاد می‌کنند که این هوا قبل از رسیدن هوای گرم به گیاه با آن مخلوط می‌شود.

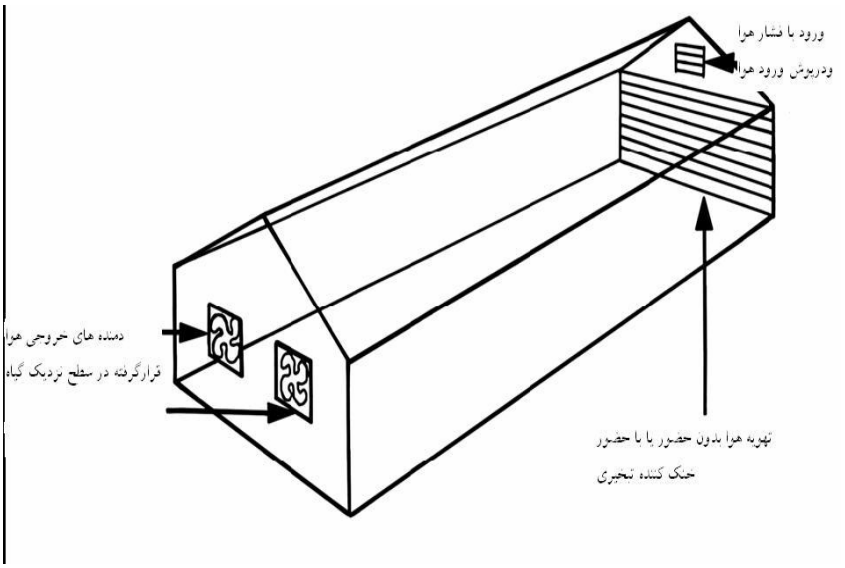
ترموسات مکنده و دمنده هوا جریان هوا را وقتی دمای هوا به میزان معینی رسید، متوقف می‌کند و تونل پلاستیکی جمع می‌شود. این نوع سیستم‌ها نسبت به سایر سیستمهای تهویه زمستانی به ظرفیت کمتر دمنده و مکنده نیاز دارند. وقتی دمای بیرون گلخانه بالا می‌رود هوای بیشتری نیاز است تا جایی که تونل هوا کاملاً از هوا پر شود. این امر بواسطه استفاده ازتعداد مکنده‌های بیشتر یا افزایش توان آنها انجام می‌شود.

مکنده‌های هوا می‌تواند با تشک‌های خنک کننده در سیستم‌های خنک کننده تبخیری ترکیب شوند. در حقیقت هوا می‌تواند از طریق تشک بدون حضور آب یا با حضور آب مکیده شود. در این سیستم نیز در زمانهای گرم هوای بیشتری از گلخانه جهت تبادل بهتر هوا باید در هر ساعت مکیده شود. علاوه بر این عملکرد مکنده‌ها به‌وسیله ترموستات‌ها یا حسگرهای رطوبت کنترل می‌شوند. سیستم‌های مجهز به تشک‌های خنک کننده دارای ۳ مکنده یا کمتر با موتورهای جداگانه جهت جلوگیری از تغییرات دمای زیاد هستند. حداقل مکش ایجاد شده در این سیستم‌ها حدود ۱/۸ اینچ آب است و در صورتیکه مکنده‌ها نتوانند این فشار منفی را ایجاد کنند تنها ٦۰ تا ۷۰ درصد هوا را به جریان خواهند انداخت.

مکنده‌های هوا در دیواره‌های انتهایی

نصب دمنده‌ها و مکنده‌های هوا در دیواره انتهایی متداولترین روش جهت ایجاد جریان هوای تحت فشار است. (شکل ٤). هوا از طریق درپوش یا دمنده وارد و به واسطه مکنده خارج می‌شود. مکنده‌های خروجی باید قادر به جابجایی حجم کم هوا در زمستان و مبادله حجم زیاد هوا در تابستان باشند. هر حجم تبادل هوا در دقیقه باید دما را حدود ۸ درجه فارنهایت بالاتر از دمای بیرون نگهدارد (بدون سیستم اضافی خنک کنندگی تبخیری) نیمی از این حجم هوا می‌تواند به افزایش ۱۵°F دما منجر گردد. در صورتیکه دو برابر کردن تبادل حجم هوا در دقیقه منجر به

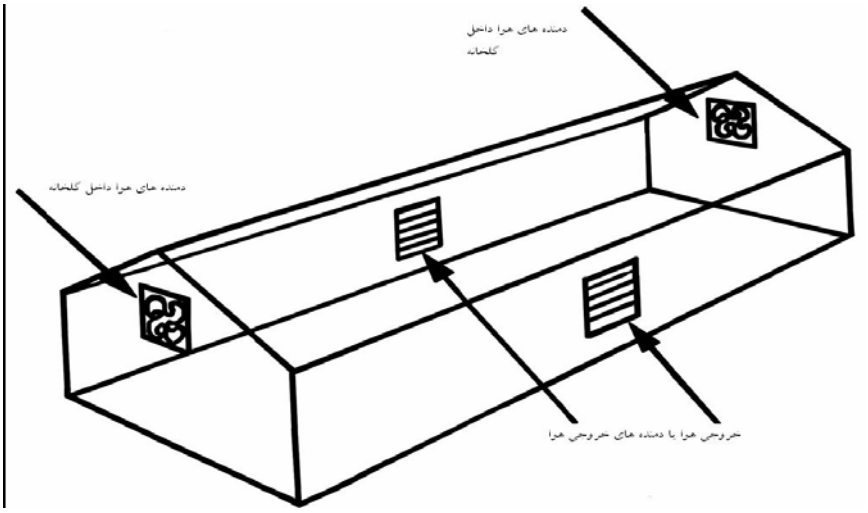
بالا بردن درجه حرارت به میزان ۵°F نسبت به بیرون می‌گردد. پیشنهاد می‌گردد در صورت استفاده از این روش طول گلخانه بیشتر از ۱۲۵ فوت نگردد، البته گلخانه‌های تا طول ۲۵۰ فوت نیز در این روش رضایت بخش هستند. تغییرات دما در گلخانه‌های طویل‌تر نسبت به گلخانه‌های کوچکتر بیشتر است. بنابراین، میزان جریان هوا در گلخانه‌های بزرگتر باید بیشتر باشد. هیچ هوایی نباید اجازه داشته باشد از کناره‌ها یا سایر درزهای گلخانه مکیده یا وارد شود. استفاده از اندود و لعاب در گلخانه‌های شیشه‌ای باید به خوبی اجرا شوند و گلخانه از نظر نشت هوا در شرایط مناسبی باشد. اگر در تابستان از تشک‌های خنک کننده استفاده شود، دمنده ورودی هوا را قطع یا درپوش آن را می‌اندازیم تا هوای گرم از بیرون وارد نشود. معمولاً در گلخانه‌های کوچکتر جهت مکش هوا از یک مکنده دو سرعته استفاده می‌شود. در تابستان باید تقریباً ft^3 ۱۰۰۰ هوا در ft^2 ۱/۵ سطح تشک در هر دقیقه به وسیله مکنده هوا جابجا شود.



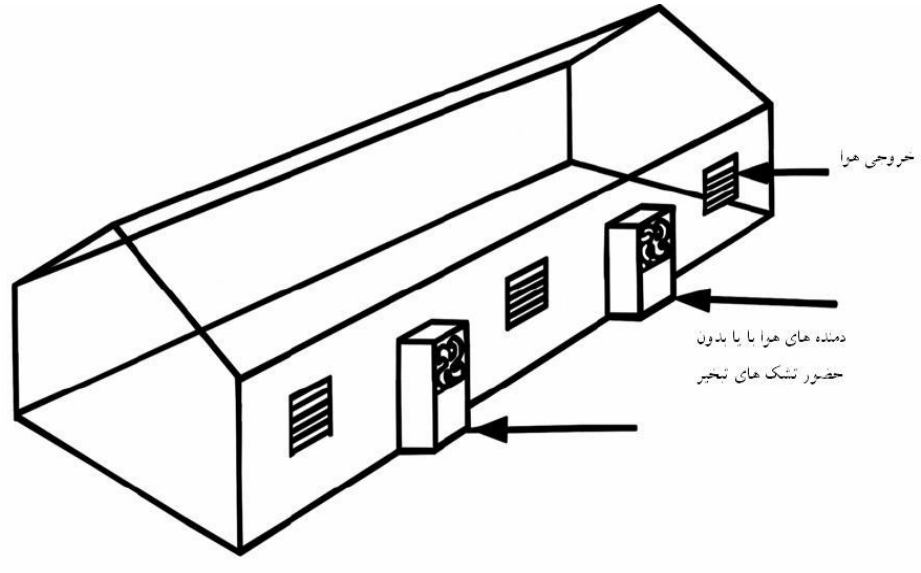
شکل ٤: *مکنده هوا و ورودی هوای تحت فشار در دیواره انتهایی*

دمنده‌های هوایی در دیواره‌های انتهایی

در گلخانه‌هایی که دارای طول ۱۰۰ فوت یا کمتر هستند، جریان هوا می‌تواند بواسطه دمیدن هوا بوسیله دمنده‌هایی که هوا را از ارتفاعات دیواره انتهایی، داخل گلخانه می‌دمند، تامین شوند. دمنده‌های دیواره‌های انتهایی معمولاً دو سرعته هستند و بوسیله ترموستاتهای جداگانه کنترل می‌شوند. جهت جلوگیری از رسیدن جریان هوا به گیاهان و آسیب رساندن به آنها، از موانعی در جلوی دمنده‌ها جهت منحرف کردن هوا در جهت دلخواه استفاده می‌شود. علاوه بر این، دمنده‌ها باید دارای محافظ‌هایی جهت جلوگیری از رسیدن باران به آنها و زنگ زدگی باشند. یک سیستم تهویه فشاری که می‌تواند مجهز به سیستم خنک کننده تبخیری باشد در شکل (٦) ارائه شده است. در این سیستم دمنده‌ها در دیواره‌های کناری جاسازی شده‌اند. در صورت تراکم بالا و به هم پیچیدگی و بلند بودن شاخ و برگ محصول، جاسازی دمنده‌ها در دیواره‌های کناری گلخانه مناسب نیستند. توجه داشته باشید هوای ورودی و خروجی در این روش در یک دیوار قرار دارند و جعبه‌ای دور دمنده، در مواردی که از تشک‌های تبخیری استفاده می‌شود به کار می‌رود.



شکل ۵: *دمنده هوا در دیواره انتهایی و خروجی هوا در دیواره کناری*



شکل ٦: *دمنده‌ها و خروجی در یک سمت قرار گرفته‌اند.*

خنک کننده‌های تبخیری

گرمای جذب‌شده در سطوح تاریک مقابل اشعه‌های خورشید می‌تواند تا BTU/hr ۳۰۰ برای هر فوت مربع از سطح مورد نظر باشد. بنابراین این امکان وجود دارد که به صورت تئوری برای یک گلخانه در هر فوت مربع BTU/hr ۳۰۰ انرژی جذب شود. این میزان انرژی زیاد می‌تواند باعث بالا رفتن گرمای گلخانه و پژمردگی گیاهان گلخانه در روزهای گرم شود. گرمای اضافی گلخانه اغلب بوسیله ابزاری جهت سایه انداختن مثل پرده‌های غلتکی چوبی، آلومنیومی یا سایر ابزاری که بتوانند در موقع لزوم باز و بسته شده و ایجاد سایه کنند، رفع می‌شود. این پرده‌ها در گلخانه‌های کوچک بسیار مناسب بوده و می‌توانند به واسطه تغییر درجه حرارت بیرون گلخانه تنظیم شوند. بدین ترتیب میزان تشعشع در این روش می‌تواند تا میزان۵۰٪ کاهش یافته و جهت کاهش درجه حرارت در مواقع لزوم به کار رود. البته استفاده از سایه جهت کاهش درجه حرارت می‌تواند منجر به محدودیت رشد گیاه به علت کاهش تابش نور به ویژه در زمانهایی که این نور جهت فتوسنتز ضروری‌تر به نظر می‌رسد، گردد. اگر درجه

حرارت تابستان به حدی رسید که به وسیله استفاده از پرده‌ها، دمنده‌ها و مکنده‌ها قادر به کنترل آن نشدیم، تنها جایگزین جهت کاهش درجه حرارت استفاده از خنک کننده‌های تبخیری است. استفاده از یک مکنده هوا و یک تشک در سیستم خنک کننده تبخیری منجر به کاهش حرارت اضافی و بالا بردن رطوبت می‌گردد. این روش منجر به کاهش افت رطوبت گیاه و در نتیجه کاهش پژمردگی گیاه می‌شود.

عمل تبخیر آب هنگامی که هوای ورودی به سیستم خشک است بیشتر خواهد بود (هنگام پایین بودن رطوبت نسبی هوا اجازه می‌دهد تا میزان آب زیادی تبخیر شود). به طور تئوری هوا می‌تواند تا زمانی که به صد در صد رطوبت نسبی برسد به صورت بخار خنک شود (به مایع تبدیل شود). عملاً یک خنک کننده خوب تبخیری می‌تواند درجه حرارت گلخانه را تا ۸۵٪ این درجه حرارت خنک کند (حرارت تبدیل بخار به مایع). اثر خنک کنندگی برای ۸۵٪ راندمان خنک کنندگی در جدول (٤) نشان داده شده است. خنک کننده‌های تبخیری هنگامی که رطوبت پایین‌تر هستند، بسیار موثرترند. خوشبختانه رطوبت نسبی معمولاً در گرمترین زمان طول روز پایین‌تر است. گرمای خورشید وارد شده داخل گلخانه میزانی از اثر خنک کنندگی گلخانه را از بین می‌برد. طراحی خوب تهویه گلخانه باید قادر به ایجاد یک حجم مناسب مبادله شده هوا در هر دقیقه که جهت یک سیستم خوب خنک کننده تبخیری لازم است، تهیه کند. معمولاً جهت تخمین درجه حرارت داخل گلخانه ۱۰°F– ۸ به درجه حرارت پیش‌بینی شده اضافه می‌شود (بدلیل گرمای ناشی از حرارت خورشیدی در هر حجم هوای مبادله شده). به طور مثال اگر درجه حرارت بیرون گلخانه ۹۰°F و رطوبت نسبی ۷۰٪ باشد، درجه حرارت داخل گلخانه به ازای هر حجم هوای مبادله شده در صورت استفاده از این سیستم °F ۹۳ خواهد بود. (با توجه به جدول ٤ درجه حرارت گلخانه °F ۸۳ خواهد بود که ۱۰°F به آن اضافه می‌شود).

جدول ٤: *تخمین درجه حرارت گلخانه در رطوبت‌های مختلف به ازای هر حجم هوای مبادله شده.*

رطوبت نسبی				
٪۳۰	٪۵۰	٪۷۰	٪۹۰	هوای بیرون
درجه حرارت داخل گلخانه خنک شده °F				درجه حرارت هوای بیرون گلخانه °F
۷۹	۸٦	۹۱	۹٦	۱۰۰
۷۰	۷۷	۸۳	۸۷	۹۰
٦۳	٦۹	۷٤	۷۷	۸۰
۵٤	٦۰	٦٤	٦۸	۷۰

اگر راندمان خنک کنندگی ۸۵٪ محقق گردد، حداقل ۱ فوت مربع از سطح تشک (از جنس فیبر) جهت هر ۱۵۰ CFM جریان هوا لازم است. در جدول (۵) بعضی از موادی که می‌توانند به عنوان تشک استفاده شوند به همراه میزان جریان هوای پیشنهادی برای آنها آورده شده است. تشک فیبری معمولاً در روی تورهای سیمی قرار گرفته و لوله‌ای با سوراخ‌های نزدیک به هم در روی تور اجازه می‌دهد تا آب بر روی صفحه نفوذ کند (شکل۷). آبی که تبخیر نمی‌شود و در جریان هوا قرار نمی‌گیرد بواسطه لوله برگشتی آب به مخزن برمی‌گردد. مخزن باید

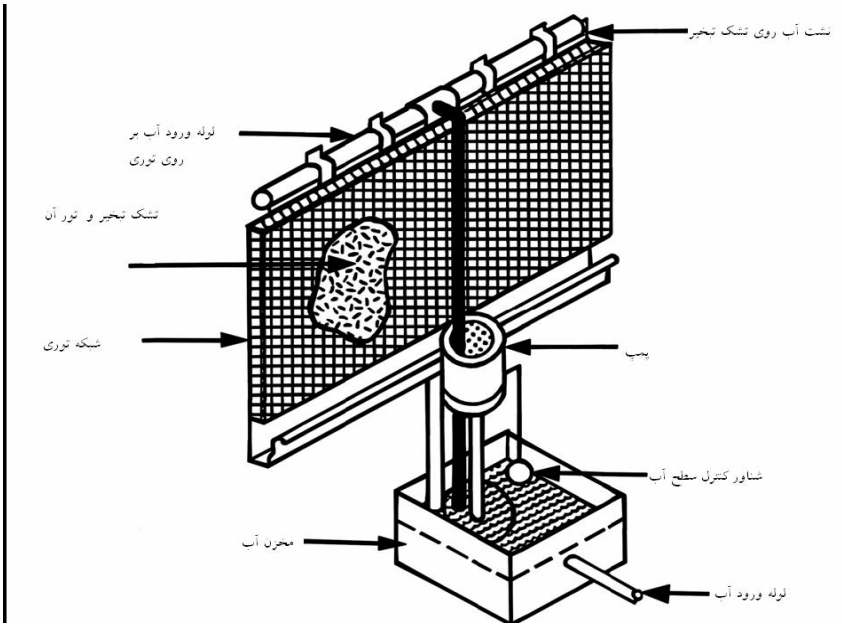
ظرفیت نگهداری آب برگشتی از تشک را هنگام خاموش بودن سیستم داشته باشد. در جدول (٦) میزان جریان آب لوله و ظرفیت مخزن برای انواع تشک‌ها آورده شده است.

جدول ۵: *جریان هوای پیشنهادی در واحد سطح انواع تشک در خنک کننده‌های تبخیری.*

جنس تشک	نرخ جریان هوا از تشک(CFM/ ft^2)
فیبر با ضخامت ٤-٢ اینچ	۱۵۰
سلولوز موج دار با ضخامت ٤ اینچ	۲۵۰
سلولوز موج دار با ضخامت ٦ اینچ	۳۵۰

جدول ٦: *جریان آب پیشنهادی و ظرفیت مخزن در انواع تشک‌ها در خنک کننده‌های تبخیری.*

نوع تشک	حداقل جریان آب در واحد طول تشک(gpm/ft)	حداقل ظرفیت مخزن در واحد سطح تشک(Gal/ ft^2)
فیبر با ضخامت ٤-٢ اینچ	۰/۳	۰/۵
سلولوز موج دار با ضخامت ٤ اینچ	۰/۵	۰/۸
سلولوز موج دار با ضخامت ٦ اینچ	۰/۸	۱



شکل ۷: *یک سیستم خنک کننده تبخیری نمونه*

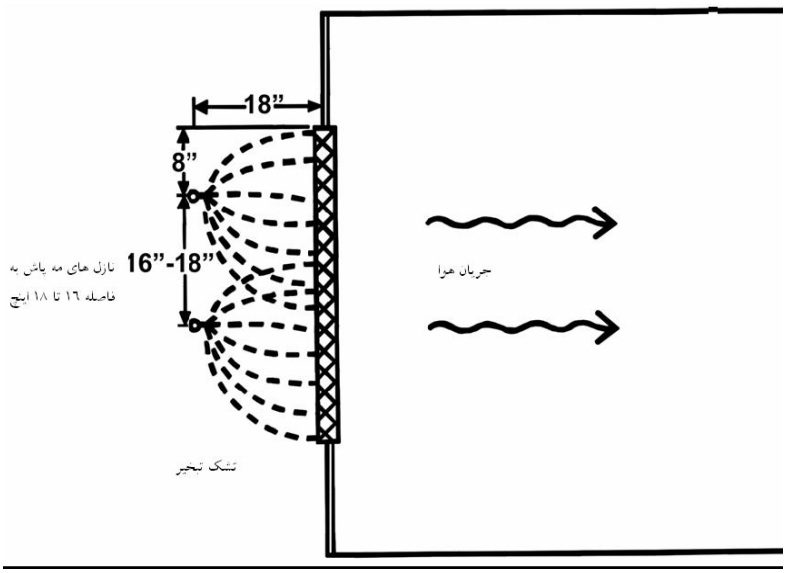
جهت از کار انداختن جریان هوا در هوای سرد، معمولا از یک پوشش استفاده می‌شود که این پوشش می‌تواند به صورت اتوماتیک یا دستی کار کند. از یک شناور نیز می‌توان جهت کنترل سطح آب استفاده کرد. از ورود آب باران به سیستم ورودی آب باید جلوگیری گردد زیرا آب باران باعث تسریع رشد جلبکها می‌گردد.

سیستم مه‌پاش

در این سیستم خنک‌کننده تبخیری از پاشش قطرات ریز آب داخل گلخانه استفاده می‌شود (شکل ۸). این سیستم دارای مزایای زیادی است که البته با محدودیتهایی نیز روبرو است. قطرات آب باید خیلی ریز باشند که این نیازمند آن است تا نازل‌های مه‌پاش نزدیک به هم و در فشار نسبی بالا کار کنند و این امر نیازمند هزینه بالاست. آب ورودی به این سیستم باید به خوبی تصفیه شود تا از گرفتگی نازل‌ها جلوگیری شود. پاشش یکنواخت قطرات آب در سراسر گلخانه مشکل است. اگر قطرات مه حاوی مواد معدنی باشند، این مواد بر روی شاخ و برگ گیاهان جمع خواهند شد که منجر به کاهش فتوسنتز و مسمومیت شوری گیاه می‌شود. سیستمهای مه‌پاش همچنین منجر به ایجاد بیماری در گیاه مخصوصاً اگر قطرات مه بزرگ باشند، می‌گردند. این سیستم نسبت به سیستمهای خنک کننده تبخیری دارای تشک کارآیی کمتر خنک کنندگی دارند اما از نظر هزینه ارزانتر هستند. با توجه به اینکه هوای گرم زودتر از هوای سرد آب را بخار می‌کند از این خاصیت می‌توان جهت زودتر باز شدن نازل‌ها در هوای گرمتر استفاده کرد و عملیات پاشش مه انجام شود.

سیستم تهویه طبیعی

بعضی گلخانه‌ها عملیات تهویه با استفاده از ایجاد دریچه در کنار و خرپشته گلخانه که در سرتاسر طول گلخانه وجود دارد انجام می‌شود. در این روش در طول گلخانه خرپشته و دریچه کنار گلخانه تا حد لازم جهت رسیدن به درجه حرارت مورد نظر، باز می‌شود. در این گلخانه‌ها میزان تهویه به باد بستگی دارد و چندان رضایت بخش نیست. معمولاً یک‌چهارم سطح سقف و دیواره گلخانه جهت این کار استفاده می‌شود.



شکل ۸: *سیستم مه پاش در خنک کننده تبخیری*

منابع

1- Heights, I.L. 1983. Air Movement and Control Association International, Inc. AMCA.
2- Joseph, St. 1993. Ventilating and Cooling Greenhouses. ASAE EP: 406.
3- Hellickson, M.A., and J. Walker. 1983. Ventilation of Agricultural Structures. American Society of Agricultural Engineers.