وزارت جهاد کشاورزی
سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی
موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی

AERI

اصول سرمایشی در گلخانه

نگارش
پریسا شاهین رخسار

نشریه فنی، شماره ۳۶، سال ۱۳۸۹

بسم الله الرحمن الرحیم

مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی

اصول سرمایشی در گلخانه

تهیه و تدوین:

پریسا شاهین رخسار

سال انتشار:

زمستان ۱۳۸۹

وزارت جهاد کشاورزی
سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی
مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی

عنوان نشریه:	اصول سرمایشی در گلخانه
نگارش:	پریسا شاهین رخسار
ناشر:	مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی
سال انتشار:	۱۳۸۹
شمارگان:	۵۰۰
ویراستار:	قاسم زارعی
صفحه‌آرایی:	سمیه وطن‌دوست

آدرس: کرج ، بلوار شهید فهمیده، صندوق پستی: ۸۴۵-۳۱۵۸۵،
مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی
تلفن: ۲۷۰۵۳۲۰، ۲۷۰۵۲۴۲ و ۲۷۰۸۳۵۹ (۰۲۶۱)، دورنگار: ۲۷۰۶۲۷۷ (۰۲۶۱)

پایگاه اطلاعاتی مؤسسه: www.aeri.ir

مخاطبان نشریه:

تکنسین های فنی گلخانه ها، تولید کننـدگان محـصولات گلخانـه‌ای، شـرکت های طراح گلخانه

اهداف آموزشی:

شما خوانندگان گرامی در این نشریه با

- انواع سیستمهای سرمایش گلخانه‌ای
- انتخاب تجهیزات سرمایشی مناسب هر گلخانه
- طراحی سیستم سرمایشی
- نگهداری سیستم ها

آشنا خواهید شد.

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
مقدمه	۲
انواع سیستم‌های سرمایش گلخانه‌ای	۲
سرمایش غیر فعال	۳
تهویه و جابجایی هوا	۳
سایه انداز	٤
سرمایش مثبت یا کنشی	٥
سیستم پد و فن	٥
طراحی سیستم	۷
ارتفاع و طول پد	۹
حجم مخزن و ظرفیت پمپ	۱۰
نگهداری	۱۰
خنک کننده‌های مه‌پاش	۱۲
راندمان سیستم مه پاش	۱٤
نگهداری	۱٤
نتیجه‌گیری	۱٥
فهرست منابع	۱٥

مقدمه

در فصول گرم سال ممکن است درجه حرارت داخل گلخانه از درجه حرارت مطلوب برای گیاهان تجاوز نماید. بنابراین بر اساس شرایط اقلیمی منطقه مقتضی است سیستم مناسبی جهت کاهش درجه حرارت داخل گلخانه و تخلیه حرارت، طراحی و پیاده گردد. به طور کلی بسته به نوع گیاه و حداکثر درجه حرارت محیط، سیستم‌های سرمایش متنوعی در گلخانه‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند. انتخاب تجهیزات سرمایشی بستگی به اندازه، نوع عملکرد، ساختمان و نحوه دسترسی به سوخت و هزینه‌ی اجرای سیستم دارد. در این نشریه معایب و مزایای هر یک از این سیستم‌ها مورد بررسی قرار گرفته‌اند.

از دیر باز کنترل طبیعت یکی از آمال بشر بوده و انسان برای به تحقق رساندن این آرزو به ساختن محیط‌های تحت کنترل در کشاورزی دست زد که بعدها نام گلخانه به خود گرفت. یکی از راهکارهای مهم برای رسیدن به حداکثر محصول در حداقل زمان و با کیفیت عالی، کنترل دما در این محیط می‌باشد. اثرات زیانبار دماهای بالا به صور مختلفی از جمله عدم استحکام ساقه، کاهش اندازه گل، تأخیر گلدهی و حتی مرگ جوانه نمایان می‌شود. حتی زمانی که درجه حرارت بیرون کمتر از درجه حرارت داخل گلخانه است، جذب گرمای خورشید دمای گلخانه را تا حد زیانباری افزایش می‌دهد. در گلخانه‌ها عمل تهویه برای تأمین سه منظور اصلی یعنی کاهش درجه حرارت، تأمین گاز کربنیک و تنظیم رطوبت نسبی انجام می‌شود. سرعت جابجایی هوا

بر حسب متر مکعب هوا در دقیقه اندازه گیری می‌شود. سرمایش در گلخانه می‌تواند به صورت طبیعی و با استفاده از پنکه‌ها انجام گیرد. در این صورت بخش عمده‌ای از حرارت موجود در گلخانه تخلیه خواهد شد. ولی در فصول گرم سال ممکن است درجه حرارت داخل گلخانه از درجه حرارت مطلوب برای گیاهان تجاوز نماید. بنابراین بر اساس شرایط اقلیمی منطقه مقتضی است سیستم مناسبی جهت کاهش درجه حرارت داخل گلخانه و تخلیه حرارت، طراحی گردد. از آنجایی‌که در تابستان گرمای وارد شده به داخل گلخانه زیادتر بوده و از طرفی حتی محیط بیرون نیز ممکن است درجه حرارت آن از درجه حرارت مطلوب گیاهان گلخانه‌ای بیشتر باشد، روش‌های تخلیه طبیعی حرارت مثل هواکشی و تهویه، ممکن است نتواند درجه حرارت گلخانه را به حد مطلوب برساند. به همین دلیل نیاز به سیستمی خواهیم داشت تا در لحظات خاص، گرمای اضافی را از گلخانه خارج نماید.

انواع سیستم‌های سرمایش گلخانه‌ای

به طور کلی بسته به نوع گیاه و حداکثر درجه حرارت محیط سیستم‌های سرمایش به دو صورت سرمایش غیر فعال و سرمایش فعال تقسیم بندی می‌شوند.

سرمایش غیرفعال (Passive Cooling)

این روش عمدتاً متکی بر اختلاف درجه حرارت داخل و خارج گلخانه می‌باشد. بدین ترتیب با استفاده از دو روش تهویه - جابجایی هوا و

سایه اندازی روی سقف گلخانه عمل می‌کنند.

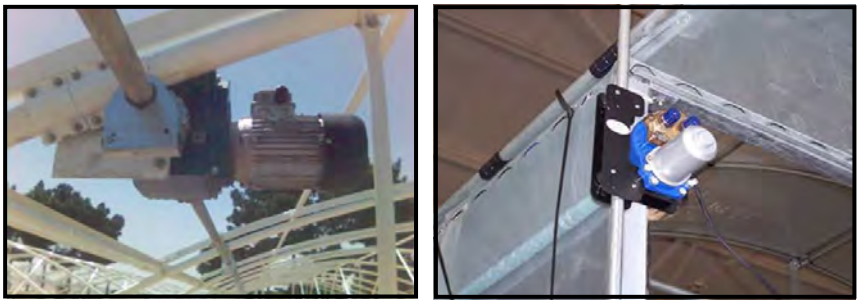
تهویه و جابجایی هوا (Ventilation)

تهویه و جابجایی هوا با استفاده از پنکه‌های دیواری و دریچه‌ها و یا پنکه‌های سقفی صورت می‌گیرد (شکل ۱). به طور مبنا، پنکه‌های دیواری و سقفی بایستی ظرفیت خروج هوای کل گلخانه در یک دقیقه را دارا باشند (Both *et al.*, 2008). محاسبه ظرفیت پنکه‌ها در بخش سیستم فن و پد به طور مفصل توضیح داده شده است.

شکل ۱- پنکه‌های دیواری به منظور تهویه هوا

در بسیاری از گلخانه‌های مکانیزه برای خروج گرما، از پنجره‌های سقفی قابل باز و بسته شدن نیز استفاده می‌شود. این پنجره‌ها در طول

تونل‌های گلخانه باز و بسته شده و یک مکانیزم شامل ریل، چرخ دنده و یک شاخه لوله انتقال دهنده قدرت که محرک آن یک موتور و گیربکس سه فاز بسیار قوی است، آن را باز و بسته می‌کند (شکل ۲).



شکل ۲- ریل، چرخ دنده و موتور برای باز و بسته کردن پنجره‌های سقفی

نکته مهم آن است که دریچه‌هایی که در جهت وزش باد قرار دارند، نسبت به دریچه‌های واقع در خلاف وزش باد، با زاویه کمتری باز می‌شوند تا مکش و تخلیه هوا به خوبی در گلخانه صورت گیرد (Hellickson *et al.*, 1983) (شکل ۳). از آنجایی که هوای گرم پیوسته در سطح بالای هوای سرد قرار می‌گیرد، به منظور ایجاد جریان هوای مطلوب در داخل گلخانه لازم است پنجره‌های سقفی همراه با پنکه‌های دیواری با ایجاد جریان مطلوبی از هوا، هوای بیرون را وارد و هوای گرم داخل را خارج گرداند.

شکل ۳- سرمایش غیر فعال گلخانه از طریق تهویه از سقف

سایه انداز (Shade Cloth)

پرده‌های سایه انداز عمدتاً برای جلوگیری از نفوذ بیش از اندازه نور خورشید و در نتیجه بالا رفتن دمای گلخانه بکار می‌رود (Cockshull *et al.*, 1992)، اما نوعی از آن که سایه‌انداز آلومینیومی دو منظوره نام دارد، علاوه بر سایه‌اندازی در روزهای گرم تابستان، در شب‌های زمستان به کمک سیستم گرمایشی آمده و از نفوذ گرما به فضای بالای گلخانه جلوگیری می‌کند تا گرما در سطح بسترها باقی بماند. سیستم باز و بسته کردن پرده سایه‌بان، یک مکانیزم رفت و برگشتی است که توسط یک موتور سه فاز و گیربکس نسبتاً قوی صورت می‌گیرد. انتقال قوای محرکه نیز توسط ریل‌های دندانه‌دار بلند و چرخ دنده‌ها و نیز لوله‌های کشنده انجام می‌پذیرد (شکل ۴). معمولاً برای یک گلخانه با مساحت حدود ۵۰۰۰ متر مربع، یک موتور و گیربکس کافی می‌باشد (Both *et al.*, 2008).

شکل ٤- پرده سایه انداز با مکانیزم رفت و برگشتی

برای جلوگیری از افتادگی پرده‌های سایه‌بان یا به اصطلاح شکم دادگی، از سیم‌های پلی اتیلنی که اخیراً جایگزین خوبی برای انواع گالوانیزه آن گردیده استفاده می‌شود، بطوریکه در طول حرکت سایه‌بان به فواصل منظم و به موازات یکدیگر، زیر و روی پرده نصب می‌شوند. در مواردی نیز می‌توان با اندود کردن و یا با پوشش شیری رنگ در گلخانه بخش زیادی از انرژی حرارتی خورشید که به گلخانه تابیده می‌شود را منعکس نمود (شکل ۵).

پوشش تیره خارج از گلخانه

پوشش روشن جهت انعکاس نور

شکل ۵- انواع سایه اندازهای گلخانه‌ای

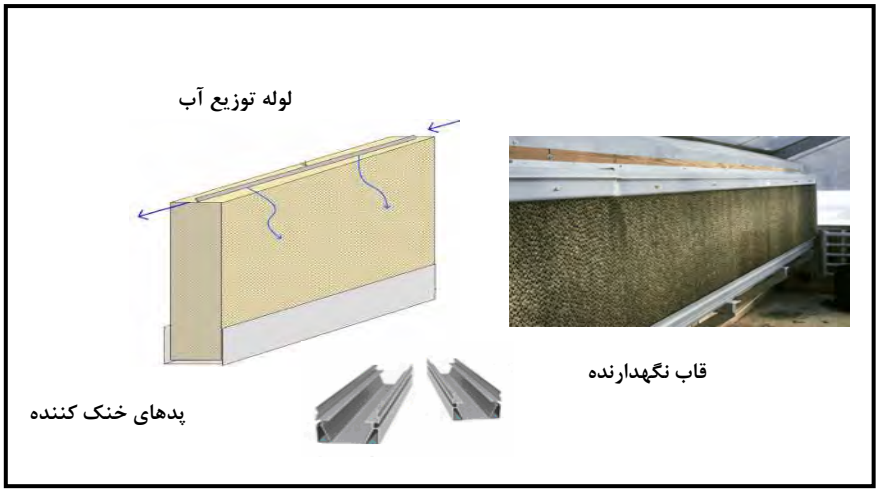
سرمایش فعال (Active Cooling)

این روش که تحت عنوان سرمایش تبخیری (Evaporating Cooling) نیز نامیده می‌شود، اصولاً بر اساس جذب حرارت موجود در هوا هنگام تبخیر رطوبت از سطوح مختلف استوار می‌باشد. بنابراین در این روش تبخیر آب از

سطوح مرطوب مصنوعی در گلخانه موجب کاهش درجه حرارت محیط گلخانه می‌گردد. همانطور که ملاحظه شد، سیستم‌های سرمایش غیر فعال عمدتاً بر سرعت جریان باد و جابجایی هوای داخل و خارج گلخانه متکی هستند، حال چنانچه حرارت محیط خارج نیز بالاتر از حد مطلوب گیاهان باشد، روش‌های سرمایش غیر فعال به منظور کاهش دما کفایت نخواهند کرد. ذکر این نکته ضروری است که سیستم‌های سرمایش فعال درجه حرارت را به نحو محسوس‌تری نسبت به روش‌های غیر فعال کاهش می‌دهند و بدین ترتیب قابل توصیه برای گیاهانی هستند که نیاز به دمای پایین برای رشد مطلوب خود دارند (Both *et al*., 2008). این سیستم‌ها بر اساس نحوه تبخیر آب به دو صورت سیستم پد و فن و خنک کننده مه‌پاش تقسیم می‌شوند.

سیستم پد و فن (Fan and Pad System)

سیستم سرمایش تبخیری با پد کارآترین روش برای خنک کردن سالن‌های گلخانه در مناطق خشک و نیمه خشک می‌باشد. اساس کار خنک کننده‌های رطوبتی بدین صورت است که پدها به صورت عمودی روی دیوار عرضی یا طولی گلخانه تعبیه شده و با ریختن مداوم آب روی آنها، بوسیله پمپ مرطوب می‌گردند. در زیر پدها قاب نگهدارنده پد قرار دارد که باعث می شود آب اضافی عبور کرده از پد را جمع آوری کرده و به مخزن آب هدایت کند و مجدداً به سیستم باز گرداند (شکل ۶).



شکل ٦-نحوه عملکرد و استقرار پوشال‌ها در گلخانه

در طرف مقابل این سطوح، پنکه‌هایی قرار دارند که به هنگام کارکردن موجب ایجاد خلاء نسبی در داخل گلخانه گشته و لذا سبب عبور هوا از داخل این صفحات متخلخل مرطوب می‌شوند. عبور جریان هوا از داخل این سطوح مرطوب باعث تبخیر رطوبت گردیده و حرارت هوا را جذب کرده، لذا هوای خروجی از این صفحات خنک‌تر خواهد شد. جنس پدها معمولاً از صفحات مشبک مقوایی (سلولزی)، پوشالی و گاهی از پوکه‌های صنعتی استفاده می‌گردد ولی امروزه استفاده از پد سلولزی به دلیل کارآیی بالای آن توصیه می‌شود (حسندوخت، ۱۳۸۴).

این روش خنک‌سازی اصولاً متکی بر اختلاف درجه حرارت خشک[1] و تر[2] می‌باشد. درجه حرارت تر همیشه کمتر از درجه حرارت خشک بوده و در

1- Dry bulb temperature 2- Wet bulb temperature

مواقعی که هوا صد در صد مرطوب باشد (اشباع)، با هم برابر می‌شوند. به عبارت دیگر، اگر سیستم سرما ساز راندمان صددرصد را داشته باشد، درجه حرارت هوا می‌تواند به اندازه اختلاف درجه حرارت خشک و تر کاهش یابد. در صورتی که راندمان سیستم سرمایشی را بدانیم، می‌توانیم دمای خروجی سرد شده از پد را با استفاده از رابطه زیر تخمین بزنیم (Bucklin *et al*., 2004):

$$T_{cool} = T_{out} - (\% EF)\ (T_{out} - T_{wb}) \qquad (۱)$$

که در آن، T_{cool}= دمای خروجی از پد، T_{out}= دمای خشک بیرون، T_{wb}= دمای تر بیرون و EF= راندمان سیستم (درصد) می‌باشند.

بهترین زمان برای اندازه‌گیری درجه حرارت تر، ظهر می‌باشد. چرا که میزان تابش خورشید و دمای هوا در این زمان به حداکثر مقدار خود می‌رسند و در نتیجه اختلاف درجه حرارت خشک و تر حداکثر است. به بیان دیگر در این زمان حداکثر پتانسیل سرد شوندگی توسط سیستم به خوبی نشان داده می‌شود. بطور کلی کارآیی پدها در شرایط گوناگون آب و هوایی مختلف متفاوت است (جدول ۱).

جدول ۱-کارایی پدها در شرایط گوناگون آب و هوایی

شرایط بیرونی		شرایط بعد از عبور		
رطوبت (درصد)	دما (^0C)	رطوبت (درصد)	دما (^0C)	Δt^0C
۱۰	۴۵	۶۰	۲۶/۵	۱۸/۵
۱۰	۴۰	۶۰	۲۳/۵	۱۶/۵
۱۰	۳۵	۶۲	۲۱	۱۴
۱۰	۳۰	۶۳	۱۷/۵	۱۲/۵
۲۰	۴۵	۶۷	۳۰	۱۵
۲۰	۴۰	۶۸	۲۶/۵	۱۳/۵
۲۰	۳۵	۷۰	۱۹/۵	۱۱/۵
۲۰	۳۰	۶۹	۲۳	۱۲
۳۰	۴۵	۷۴	۳۳	۱۲
۳۰	۴۰	۷۵	۲۹	۱۱
۳۰	۳۵	۷۸	۲۵	۱۰
۳۰	۳۰	۸۰	۲۱	۹
۴۰	۴۵	۷۶	۳۴	۱۱
۴۰	۴۰	۷۸	۳۰	۱۰
۴۰	۳۵	۸۰	۲۷	۸
۴۰	۳۰	۸۰	۲۳	۷

طراحی سیستم

در نصب اینگونه سیستم‌ها بایستی حجم هوای تبادلی یا شدت جریان هوا بر حسب متر مکعب بر دقیقه به ازاء واحد سطح گلخانه، درجه حرارت موجود و مطلوب گلخانه، محل استقرار هواسازها و پدها و فاصله بین پدها و هواسازها به دقت محاسبه شود. شدت جریان هوا (Fr) به پارامترهای؛ ارتفاع گلخانه از سطح دریا، شدت تابش نور، میزان یکنواختی دما و فاصله بین پد و فن بستگی دارد. شرایط استاندارد برای گلخانه‌ای که در ارتفاع کمتر از ۳۰۰ متر، شدت نور فضای داخل حداکثر ۵۳/۸ کیلو لوکس و افزایش دما از پدها تا

پنکه‌ها حدود ۴ درجه سانتی‌گراد است، به کار می‌رود. نکته مهم در انجام عمل تهویه این است که توانایی هوا برای کاستن از گرمای خورشید در گلخانه‌ها همیشه به وزن هوا مرتبط بوده و به حجم هوا بستگی ندارد. بنابراین در مناطقی که ارتفاع بالاتر از سطح دریا قرار می‌گیرند، به جهت رقت هوا در مقایسه با ارتفاعات پایین‌تر حجم بزرگتری از هوا بایستی از میان گلخانه جابجا شود تا اثر خنک کنندگی معادل ارتفاعات پایین بدست آید. از طرف دیگر با افزایش شدت نور گرمای حاصل از انرژی خورشید افزایش یافته و در نتیجه سرعت خروج هوا از گلخانه بایستی افزایش یابد. انرژی خورشیدی، هوا را در حین جابجا شدن از پد به پنکه‌های تهویه گرم می‌کند. معمولاً افزایش دمایی معادل ۴ درجه سانتی‌گراد قابل قبول است. اگر حفظ دمای ثابت در گلخانه ضرورت داشته باشد، می‌بایستی سرعت جابجایی هوا در میان گلخانه با استفاده از فاکتور تصحیح دما افزایش یابد. در صورتیکه شرایطی غیر از شرایط ذکر شده در گلخانه حکمفرما باشد، می‌توان سرعت جابجایی هوا را با استفاده از روابط زیر تصحیح کرد (Fang, 1994).

$$F_{elev} = 1.04 + \frac{0.04(E-300)}{300} \qquad \text{اگر } E > 300 \text{ m} \qquad (۲)$$

$$F_{light} = \frac{FC}{5000} \qquad \text{اگر } E \leq 300 \text{ m} \qquad (۳)$$

$$F_{temp} = \frac{4}{\Delta T} \qquad (۴)$$

$$F_{123} = F_{elev} \times F_{light} \times F_{temp} \qquad (۵)$$

$$F_{dist} = \frac{5.5}{\sqrt{D}} \qquad \text{اگر } D<30.5 \text{ m} \qquad (۶)$$

$$F_{dist} = 1 \qquad \text{اگر } D\geq 30.5 \text{ m}$$

که در آنها، F_{elev}= فاکتور تصحیح ارتفاع گلخانه از سطح دریا، F_{light}= فاکتور تصحیح شدت تابش، F_{temp}= فاکتور تصحیح دما، D= فاصله پد و فن (متر)، F_{dist}= فاکتور تصحیح فاصله پد و فن، FC= شدت تابش داخلی (فوت شمع)، ΔT= اختلاف دمای بین پد و فن (درجه سانتی‌گراد) و E= ارتفاع گلخانه از سطح دریا (متر) می‌باشند.

فاصله بین پدها و پنکه‌ها نبایستی کمتر از ۳۰ و بیشتر از ۶۰ متر باشد. فواصل بیش از ۶۰ متر منجر به افزایش دما و در صورتیکه فواصل کمتر از ۳۰ متر باشد، سرعت جابجایی هوا در بعد عرضی گلخانه کاهش می‌یابد و می‌بایستی با افزایش ظرفیت پنکه‌ها میزان تهویه هوا را افزایش داد. برای اصلاح این وضعیت مطابق رابطه ۶ از فاکتور (F_{dist}) استفاده می‌گردد (Fang, 1994). سرعت جابجایی هوا در شرایط استاندارد با استفاده از رابطه زیر محاسبه می‌شود (Snyder, 2003):

$$Fr = L \times W \times 2.5 \qquad (۷)$$

که در آن Fr؛ شدت جریان هوا یا سرعت جابجایی هوا (متر مکعب بر دقیقه)، L؛ طول گلخانه (متر)،W؛ عرض گلخانه (متر) و ۲/۵ متر عدد ثابت ارتفاع مفید گلخانه می‌باشند. این معادله نشان دهنده‌ی جابجایی هوا با سرعت ۲/۵ متر مکعب بر دقیقه در هر متر مربع از سطح کف گلخانه می‌باشد.

سرعت استاندارد جابجایی هوا معمولاً با ضرب در یکی از فاکتورهای زیر (فاکتور بزرگتر) اصلاح می‌شود.

$$F_{House} = \max(F_{123}, F_{dist}) \qquad (۸)$$

$$F_r(Corrected) = F_r \times F_{House} \qquad (۹)$$

پنکه‌ها بایستی به صورت یکنواخت و با فاصله‌ایی حدود ۷ الی ۸ متر از همدیگر در ارتفاعی هم ارتفاع با کانوپی گیاهی نصب گردند. بطور مثال اگر عرض گلخانه‌ای ۱۸ متر باشد، دو پنکه می‌بایستی مورد استفاده قرار گیرد (Bucklin *et al*., 2004). ظرفیت پنکه‌ها (متر مکعب بر دقیقه) برابر با تقسیم سرعت استاندارد جابجایی هوا بر تعداد پنکه‌های مورد استفاده در هر سالن گلخانه تعیین می‌شود (حسندوخت، ۱۳۸۴). سپس با استفاده از جداولی که معمولاً کارخانه‌های تولید کننده بر اساس ظرفیت پنکه تولیدی خود تهیه کرده اند، ظرفیت مورد نیاز انتخاب می‌شود. ظرفیت پنکه‌ها باید بر اساس فشار آب ۳۰ پاسکال (مقاومت پره‌ها در برابر هوا) کارآیی داشته باشد.

ارتفاع و طول پد

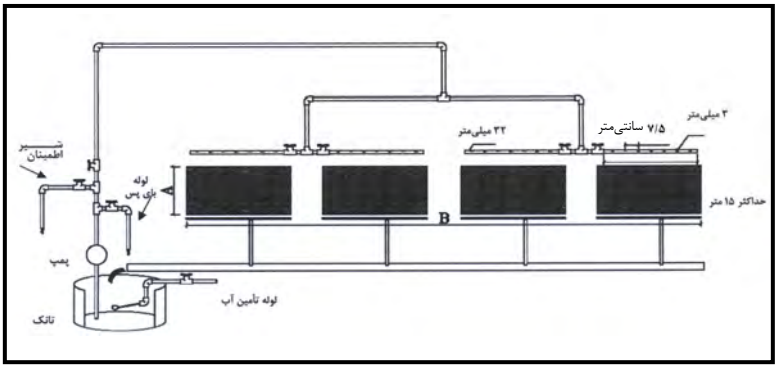
برای محاسبه ارتفاع پد از رابطه زیر استفاده می‌شود (Snyder, 2003):

$$Hp = (Fr) \div (Lp) \div (Vd) \qquad (۱۰)$$

که در آن، Hp= ارتفاع پد (متر)، Fr= شدت جریان هوا یا سرعت جابجایی هوا (متر مکعب بر دقیقه)، Lp= طول پد (متر) و Vd= سرعت طراحی (متر بر دقیقه) می‌باشند. طول پدها نیز در حدود ۶۰ سانتی‌متر کمتر از طول گلخانه در نظر می‌گیرند. امروزه پدهایی به ضخامت ۱۰ سانتی‌متر و پس از آن پدهای ۱۵ سانتی‌متری بیشترین کاربرد را دارند. ۹۰۰ سانتی‌متر مربع از پد ۴ اینچی (۱۰ سانتی‌متری) هوا را به میزان ۷۵ مترمربع بر دقیقه و پد ۶ اینچی (۱۵ سانتی متری) هوا را به میزان ۳۵۰ فوت مربع بر دقیقه (۱۰۵ متر مربع بر دقیقه) از خود عبور می‌دهد (حسندوخت، ۱۳۸۴).

برای پدهایی به ضخامت ۱۰ سانتی‌متری به طول ۹/۱ تا ۱۵/۲ متر، لوله آب ۳۲ میلیمتری و برای طول‌های ۱۵/۲ تا ۱۸/۳ متر لوله آب ۳۸ میلی‌متری مورد نیاز است. حداکثر طول لوله توصیه شده ۱۸/۳ متر می‌باشد. بر روی لوله به فواصل ۷/۶ سانتی‌متر، سوراخهایی به قطر ۳ میلی‌متر ایجاد می شود (شکل ۷). برای پدهایی به ضخامت ۱۰ سانتی‌متری به طول ۹/۱ متر و کوتاهتر، از لوله توزیع آب ۳۲ میلی‌متری استفاده می‌شود. در حالی که برای پدهایی به طول ۹/۱ تا ۱۵/۲ متر لوله ۳۸ میلی‌متری مورد استفاده قرار

گیـرد. حـداکثر طـولی کـه بـرای لولـه توصـیه مـی‌شـود ۱۵/۲ متـر اسـت (حسندوخت، ۱۳۸۴).



شکل ۷- طرح شماتیک از یک سیستم فن و پد

حجم مخزن و ظرفیت پمپ

حجم مخزن (لیتر) و ظرفیت پمپ (لیتر بر دقیقه) بر اساس روابط زیر محاسبه می‌گردند (حسندوخت، ۱۳۸۴).

$$Q_{(10)} = B \times 6.2 \qquad (۱۱)$$

$$V_{(10)} = A \times B \times 30.5 \qquad (۱۲)$$

$$Q_{(15)} = B \times 9.3 \qquad (۱۳)$$

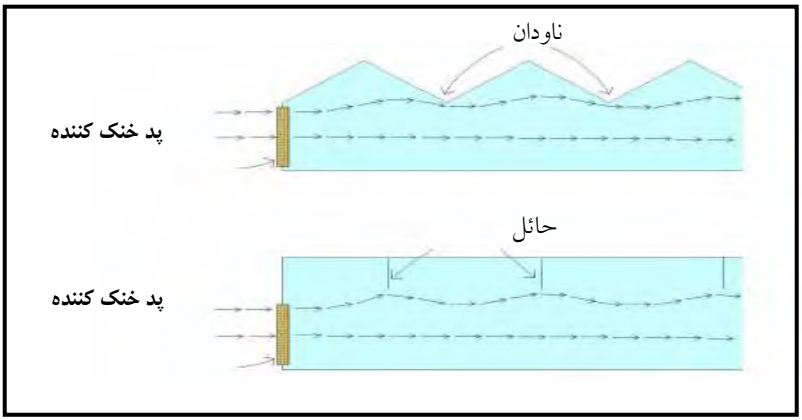
$$V_{(15)} = A \times B \times 40.7 \qquad (۱۴)$$

که در آنها، $Q_{(10)}$ = ظرفیت پمپ (لیتر بر دقیقه) و $V_{(10)}$ = حجم مخزن (لیتر) برای ضخامت پد ۱۰ سانتی‌متری، $Q_{(15)}$ = ظرفیت پمپ (لیتر بر دقیقه) و $V_{(15)}$ = حجم مخزن (لیتر) برای ضخامت پد ۱۵ سانتی متری، A= ارتفاع پد (متر) و B= طول پد (متر) می‌باشند. این حجم‌ها از آن جهت برای مخزن در نظر گرفته شده‌اند که سطح آب در نصف عمق مخزن نگاه داشته شود و فضای کافی برای جمع آوری آبی که از تشک به هنگام خاموش شدن سیستم بر می‌گردد، موجود باشد.

نگهداری

مسدود بودن تمامی جدار ساختمان گلخانه بسیار مهم است؛ زیرا در صورتیکه امکان ورود هوا به جز جدار پد وجود داشته باشد، ورود هوای گرم موجب کاهش کارآیی سیستم می‌شود (Snyder, 2003). حفظ فاصله و حریم لازم برای ردیف‌های کشت در ابتدا و انتهای خطوط کاشت نیز ضروری است تا گیاهان در طرفین ردیف‌های کشت دچار تنش سرمایی نشوند. توجه به این نکته ضروری است که می‌بایستی هوای مرطوب موجود توسط پنکه‌ها مرتب خارج گردد، چرا که در غیر این صورت هوای اطراف سطوح مرطوب به تدریج به حالت اشباع در آمده و اجازه تبخیر بیشتر را نخواهند داد و سیستم عملاً از کار خواهد افتاد. تخمین افزایش دما در طول گلخانه بسیار مشکل می‌باشد؛ چرا که تحت تأثیر پارامترهایی نظیر چیدمان سکوها، موانع فیزیکی در برابر

حرکت هوا در طول گلخانه، درصد سطح پوشش گیاهان نسبت به کف گلخانه و پوشش کف گلخانه از این نظر که خاکی است یا سیمانی و همچنین شکل سقف گلخانه قرار می‌گیرد. حرکت هوا در طول گلخانه معمولاً با زاویه ۷ درجه (۱ متر در هر ۸ متر) رو به بالا می‌باشد (Bucklin *et al.*, 2004) و به همین دلیل امکان دارد گیاهان انتهایی سرمای کمتری را دریافت دارندکه این مسئله در مورد گلخانه‌های قوسی بیشتر ملاحظه می‌شود. بدین منظور در این گلخانه‌ها توصیه می‌گردد تیغه‌ها یا حائل‌هایی[1] در سقف به فاصله‌ی ۱۰ متر از یکدیگر و رو به پایین نصب شوند (شکل ۸).

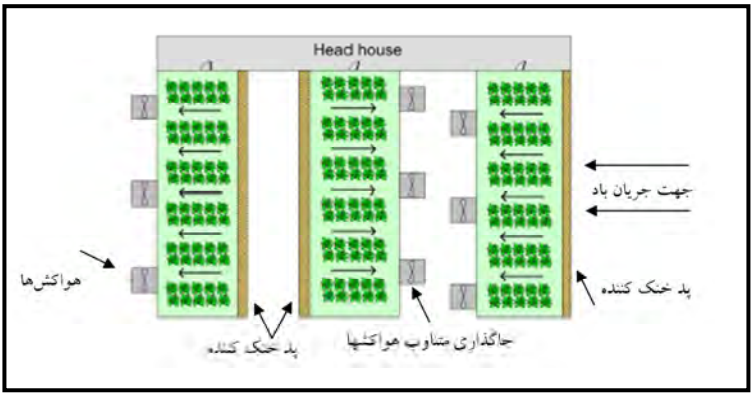


شکل ۸- نصب حائل در گلخانه‌هایی که سیستم جریان هوا به صورت طولی می‌باشد

انتهای تیغه‌ها باید از گیاهان فاصله کافی داشته باشند تا عبور هوا از روی گیاهان به راحتی صورت گیرد (Bucklin *et al.*, 2004). همچنین پدها

1- Baffle

بایستی در مقابل دیواری از گلخانه نصب شوند که جهت باد غالب به طرف آن باشد تا به جریان طبیعی هوا از داخل پدها کمک کند و در دیوار مقابل (دیوار پشت به باد) پنکه تعبیه گردند. ولی در شرایطی امکان دارد دو یا چند گلخانه در مجاورت هم قرار داشته باشند در آن صورت چیدمان پنکه‌ها و پدها تحت تأثیر فاکتور جهت باد قرار نمی‌گیرد و بهتر است به صورت شکل ۹ در نظر گرفته شود. ظرفیت پنکه‌هایی که در جهت باد قرار گرفته‌اند می‌بایستی ۱۰درصد افزایش داده شود. درصورتیکه فاصله دو گلخانه‌ی مجاور کمتر از ۴/۶ متر باشد، می‌بایستی پنکه‌ها مطابق شکل ۹ به صورت متناوب قرار گیرند تا گرمای گلخانه‌های مجاور وارد یکدیگر نشوند (Bucklin *et al*., 2004).



شکل ۹- جهت نصب پد و پنکه در گلخانه‌هایی مجاور یکدیگرند

سیستم‌های رطوبتی به دلیل اینکه مرتباً در تماس با آب می‌باشند، در اجزاء مختلف آن تجمع املاح را به صورت رسوب خواهیم داشت. بنابراین اگر

مقدور باشد از آبی استفاده شود که دارای املاح کمتری بوده و آب مخزن نیز به صورت هفتگی یا دو هفته‌ای تعویض گردد. بطورکلی در یک روز گرم و خشک آب با دبی ۰/۴ لیتر بر دقیقه می‌تواند از روی سطح پد تبخیر شود که منجر به تشکیل رسوب بر پد می‌گردد (Zulovich, 2009). بدین منظور معمولاً پیشنهاد می‌شود که ۱ الی ۲ درصد حجم آب مخزن دوباره به گردش در آمده و ضمن شستشوی نمک‌ها از طریق دریچه‌ای که روی لوله خروجی پمپ تعبیه شده خارج گردد. این دریچه همچنین با افزایش سرعت حرکت آب موجب شستشوی هرچه بهتر نمک‌ها می‌گردد (Zulovich, 2009).

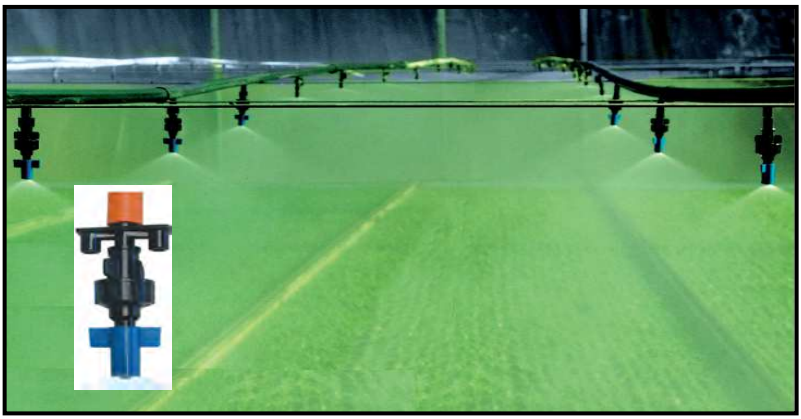
از آنجایی که پدها مرتب در تماس با آب هستند، امکان دارد پس از مدتی جلبک بر روی آنها مشاهده گردد. در این صورت می‌توان با اضافه کردن مواد ضد جلبک نظیر محلول ۱ درصد هیپوکلریت سدیم[1] به آب مخزن از رشد آنها جلوگیری کرد. البته کنترل pH آب مخزن نیز توصیه می‌شود چرا که pH بالای ۶ موجب نرم شدن پدهای سلولزی می‌شود. خشک کردن روزانه پدها به مدت حداقل ۴ ساعت و جلوگیری از ورود هر گونه کود شیمیایی به آب سیستم در کاهش رشد جلبک‌ها نیز مؤثر می‌باشد (Snyder, 2003).

خنک کننده‌های مه‌پاش (Fog Cooling System)

در این سیستم نیز اساس کار گرفتن حرارت هوا از طریق فرآیند تبخیر آب می‌باشد. در این روش آب با فشار زیاد و از طریق پمپ‌های فشار قوی

1- Sodium hypochlorite

(فشار بیشتر از ۵۰ اتمسفر) پمپاژ گردیده و از طریق نازل‌هایی[1] به صورت ذرات ریز مه مانند در هوا پاشیده می‌شوند. برای اینکه سیستم به نحو مطلوبی کار نماید، قطر قطرات ایجاد شده بایستی کمتر از ۴۰-۵۰ میکرون باشد (Arbel *et al*., 2000). چنانچه قطرات آب به این اندازه کوچک گردند، مدت نسبتاً طولانی در هوا معلق خواهند ماند. بطوریکه در مدت زمانی که در هوا معلق هستند با جذب حرارت محیط تبخیر خواهند شد (شکل ۱۰).



شکل ۱۰- ایجاد سرما با استفاده از سیستم مه پاشی

معمولاً نازل‌های موجود در بازار دارای قطر روزنه ۰/۲ تا ۰/۵ میلی متر با فشار کاری و زاویه پاشش متنوع می‌باشند. انتخاب نازل مورد نظر با استفاده از جداولی نظیر جدول (۲) انجام می‌شود. دبی جریان در این جدول بر حسب لیتر بر دقیقه (LPM) یا لیتر بر ساعت (LPH) نشان داده

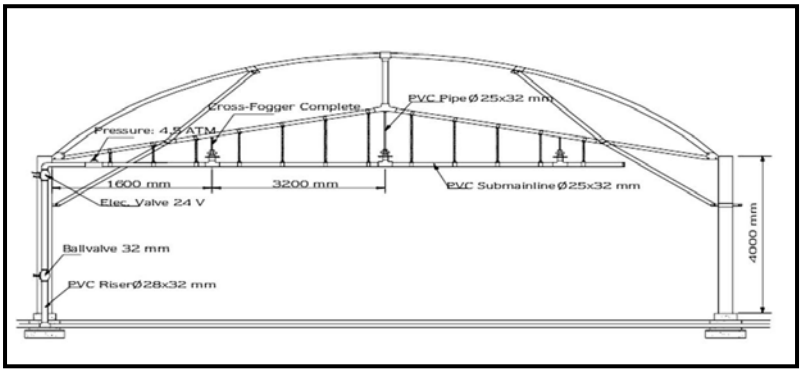
1- Nozzle

شده است. این دبی تحت شرایط کنترل شده آزمایشگاهی اندازه‌گیری شده و بر اساس شرایط محیط و کیفیت آب کمی تفاوت در مقدار آن دیده می‌شود. بطور کلی پیشنهاد می‌شود به ازای هر ۴/۵ تا ۹ متر مربع فضا، یک نازل در نظر گرفته شود (Fang, 1994).

جدول ۲- انتخاب نازل مه پاش بر اساس قطر روزنه و دبی

رنگ روزنه	قطر روزنه (میلی‌متر)	کیلوگرم بر سانتی‌متر پی اس آی	۴ ۶۰	۷ ۱۰۰	۱۰ ۱۵۰	۱۴ ۲۰۰	۲۵ ۳۵۰	۳۵ ۵۰۰	۴۵ ۶۵۰	۵۶ ۸۰۰	۷۰ ۱۰۰۰	۱۰۵ ۱۵۰۰
	۰/۱۵	لیتر بر دقیقه			۰/۰۲۳	۰/۰۲۶	۰/۰۳۳	۰/۰۳۶	۰/۰۴۳	۰/۰۴۶	۰/۰۵۰	۰/۰۷۶
		لیتر بر ساعت			۱/۴۰	۱/۱۶	۲/۰۰	۲/۲۰	۲/۶۰	۲/۸۰	۳/۰۳	۴/۶۰
	۰/۲	لیتر بر دقیقه			۰/۰۲۸	۰/۰۳۳	۰/۰۴۶	۰/۰۴۸	۰/۰۵۶	۰/۰۶۶	۰/۰۷۰	۰/۰۸۱
		لیتر بر ساعت			۱/۷۰	۲/۰۰	۲/۸۰	۲/۹۰	۳/۴۰	۴/۰۰	۴/۲۰	۴/۹۰
	۰/۳	لیتر بر دقیقه	۰/۰۲۸	۰/۰۳۶	۰/۰۴۵	۰/۰۴۸	۰/۰۶۳	۰/۰۶۸	۰/۰۷۸	۰/۰۸۸	۰/۰۹۳	۰/۱۱۶
		لیتر بر ساعت	۱/۷۰	۲/۲۰	۲/۷۰	۲/۹۰	۳/۷۹	۴/۱۰	۴/۷۰	۵/۳۰	۵/۶۰	۷/۰۰
	۰/۴	لیتر بر دقیقه	۰/۰۴۵	۰/۰۵۱	۰/۰۷۰	۰/۰۸۵	۰/۱۰۸	۰/۱۱۶	۰/۱۲۶	۰/۱۴۰	۰/۱۵۰	۰/۱۶۵
		لیتر بر ساعت	۲/۷۰	۳/۱۰	۴/۲۰	۵/۱۰	۶/۵۰	۷/۰۰	۷/۵۸	۸/۴۰	۸/۹۰	۹/۹۰
	۰/۵	لیتر بر دقیقه	۰/۰۵۶	۰/۰۷	۰/۰۸۳	۰/۰۸۸	۰/۱۱۳	۰/۱۳۳	۰/۱۵۰	۰/۱۵۸	۰/۱۶۵	۰/۱۶۶
		لیتر بر ساعت	۳/۴۰	۴/۲۰	۵/۰۰	۵/۳۰	۶/۸۰	۸/۰۰	۹/۰۰	۹/۵۰	۹/۹۰	۱۰/۰۰

گلخانه‌هایی که مجهز به پنکه هستند با سیستم خنک کننده‌ی مه پاش به خوبی تطابق دارند. پنکه‌ها رطوبت اضافی محیط را خارج می‌کنند و با ایجاد مکش هوای خارج را از میان مه به داخل می‌کشند. برای کنترل سیستم مه پاش از تایمرهای دوره‌ای استفاده می‌شود (Fang, 1994) و با استفاده از یک رطوبت سنج می‌توان به یک رطوبت نسبی ثابتی دست یافت. در صورتیکه از رطوبت سنج به عنوان کنترل کننده استفاده شود، زمان مه پاشی کمتر می‌شود. معمولاً درجه رطوبت نسبی بین ۸۰ تا ۹۰ درصد در نظر گرفته می‌شود. در شکل۱۱ طرح شماتیک سیستم خنک کننده مه‌پاش ارائه شده است.



شکل۱۱- طرح شماتیک سیستم خنک کننده مه پاش

از جمله ویژگی‌های این سیستم می‌توان به هزینه سرویس و نگهداری کم، کنترل بهتر درجه حرارت محیط از طریق کنترل میزان رطوبت، مناسب اتاق تکثیر و جوانه زنی، توزیع یکنواختی سرمایی مطلوب‌تر و مصرف انرژی

الکتریکی کمتر نسبت به سیستم پد و فن اشاره کرد. همچنین از معایب این سیستم هزینه اولیه نصب بالا نسبت به سیستم فن و پد می‌باشد.

راندمان سیستم مه پاش

راندمان سیستم مه پاش نسبت به سیستم فن و پد نسبتاً پایین است. مقادیر راندمان اشباع در محدوده‌ی ۱۰ الی ۳۷ درصد (میانگین ۲۳/۵ درصد) با فشار کاری ۲۷۵ الی ۱۳۸۰ کیلو پاسکال برای این سیستم گزارش شده است. در حالیکه راندمان سیستم پد و فن در همین محدوده فشار کاری در محدوده‌ی ۶۰ الی ۹۵ درصد (میانگین ۷۷/۵ درصد) مشاهده شده است (Critten, 1988). راندمان سیستم مه‌پاش با استفاده از رابطه زیر محاسبه می‌گردد (Gupta *et al*., 1995; Kittas *et al*., 2001):

$$FSE = \frac{DBT_o - DBT_g}{DBT_o - WBT_g} \times 100 \qquad (۱۵)$$

که در آن، FSE= راندمان سیستم (درصد)، DBT_o= دمای خشک بیرون گلخانه (درجه سانتی‌گراد)، WBT_o= دمای تر بیرون گلخانه (درجه سانتی‌گراد)، WBT_g= دمای تر داخل گلخانه (درجه سانتی‌گراد) و DBT_g= دمای خشک داخل گلخانه (درجه سانتی‌گراد) می‌باشند.

نگهداری

سیستم مه‌پاش بسته به نوع سیستم و کیفیت آب نیاز به کنترل و نگهداری روزانه دارد. بطورکلی سیستم‌های مه پاش فشار پایین (کمتر از ۵۰ پی اس آی[1]) نسبت به فشار بالا (بیشتر از ۲۰۰ پی اس آی) به نگهداری کمتری نیاز دارند. در این سیستم سرمایشی، کیفیت آب دارای اهمیت فوق العاده است. بعضی از املاح و ذرات شن و رس می‌توانند نازل‌های مه‌پاش را ببندند. به همین دلیل توصیه می‌شود فیلترهایی با توانایی جداسازی ذراتی تا حد ۵ میکرون مورد استفاده قرار گیرد. همچنین، کیفیت آب از نظر تشکیل رسوب کربنات‌ها نیز بایستی بررسی گردد. بررسی دوره‌ای (حداقل ماهی یک بار) فیلترها و شستشوی آنها به شدت توصیه می‌شود. فشار سنج و پمپ‌های تأمین کننده فشار لازم به طور هفتگی بازرسی گردند تا نازل‌ها در فشار توصیه شده کارخانه تولید کننده کار کنند. روزانه تمام نازل‌ها از لحاظ گرفتگی بررسی شود و در صورت لزوم نازل‌های مشکل دار تعویض گردد (Zulovich, 2009).

نتیجه‌گیری

به طور کلی تجهیزاتی که در گلخانه‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند، دستگاه‌ها و وسایلی هستند که قادرند شرایط اقلیمی خاصی را در داخل گلخانه به صورت مصنوعی ایجاد نمایند که بکلی با شرایط محیط خارج متفاوت و در عین حال بسیار مطلوب رشد گیاه باشد. سیستم‌های خنک

1- PSI

کننده به خوبی دمای هوای گلخانه را تا حدود ۱۴ درجه سانتی‌گراد یا بیشتر نسبت به دمای محیط بیرون کاهش می‌دهند. در مناطقی که اختلاف درجه حرارت بیرون و داخل گلخانه زیاد نیست، می‌توان با استفاده از پنکه‌ها و دریچه‌های سقفی و یا حتی سایه اندازها درجه حرارت گلخانه را به نحو مطلوبی کنترل کرد. از طرفی سیستم‌های خنک کننده‌ی تبخیری نظیر فن و پد و مه‌پاش در مناطق خشک و نیمه خشک بهترین کارآیی را دارند و درجه حرارت را به نحو محسوس‌تری نسبت به روش‌های دیگر کاهش می‌دهند و بدین ترتیب قابل توصیه برای گیاهانی هستند که نیاز به دمای پایین‌تری برای رشد مطلوب خود دارند. سیستم مه پاش دارای راندمان کمتری نسبت به سیستم فن و پد می‌باشد ولی این سیستم در شرایطی که یکنواختی توزیع دما و رطوبت مهم باشد، قابل توصیه است.

فهرست منابع مورد نیاز

حسندخت، م. ر. ۱۳۸۴. مدیریت گلخانه. انتشارات مرز دانش.

Arbel, A., Shklyar, A. and Barak, M. 2000. Bouyancy-Driven Ventilation in a Greenhouse Cooled by a Fogging System. Acta Horticulturae 534:327-334.

Both, A. J. 2008. Greenhouse Cooling Basics. CGGA Handout. Available in: http://aesop.rutgers.edu/~horteng.

Bucklin, R. A., Leary, J. D., McConnell, D. B. and Wilkerson E. G. 2004. Fan and Pad Greenhouse Evaporative Cooling Systems. Florida Cooperative Extension Service, CIR1135. Available in http:edis.ifas.ufl.edu.

Cockshull, K. E., Graves, C. J. and Cave, C. RJ. 1992. The Influence of Shading on Yield of Glasshouse Tomatoes. J. Hortic. Science, 67: 1-24.

Critten, D. L. 1988. Direct sunlight losses in North-South, Aligned Multispan Greenhouse with Symmetric Roofs at UK Latitudes. J. Agric. Eng. Res. 40 (1): 71-79.

Fang W., 1994. Greenhouse cooling in subtropical regions. Acta Horticulturae, 399: 37-48

Gupta, C. P., Abbas, A. and Bhutta, M. S. 1995. Thermal Comfort Inside a Tractor Cab by Evaporative Cooling System. Transactions of the ASAE, Vol. 38(6): 1667-1675.

Hellickson, M. A. and Walker, J. N. 1983. Ventilation of Agricultural Structures. ASAE, No: 216.

Kittas, C., Bartzanas, T. and Jaffrin, A. 2001. Greenhouse Evaporative Cooling: Measurement and Data Analysis. Transactions of the ASAE Vol. 44(3): 683-689.

Ozturk, H. H. 2003. Evaporative Cooling Efficiency of a Fogging System for Greenhouses. Turk J Agric. 27: 49-57.

Snyder, R. G. 2003. Environmental Control for Greenhouse Tomatoes, Extension Service of Mississippi State University, Cooperating with U.S. Publication 187.

Zulovich, J. M. 2009. Maintenance of Evaporative Cooling Systems. Extension Agricultural Engineer Commercial Agriculture Program of University of Missouri Cooperating with U.S. Publication 1453.