



وزارت جهاد کشاورزی  
سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی  
معاونت آموزش و ترویج کشاورزی

# راهنمای جامع اصول سرمایش در گلخانه ها

نویسندگان:

محمدحسین سعیدی راد، داود مؤمنی، سید معین الدین  
رضوانی و سعید ظریف نشاط

۱۳۹۹

عنوان و نام پدیدآور	: راهنمای جامع اصول سرمایه‌ش در گلخانه‌ها نویسندگان محمدحسین سعیدی‌راد... او دیگران؛ تهیه شده در معاونت آموزش و ترویج کشاورزی، دفتر شبکه دانش و رسانه‌های ترویجی.
مشخصات نشر	: تهران : سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، معاونت آموزش و ترویج کشاورزی، نشر آموزش کشاورزی، ۱۳۹۹.
مشخصات ظاهری	: ۱۲۰ص.
شابک	: ۹۷۸-۹۶۴-۵۲۰-۷۷۷-۷
وضعیت فهرست نویسی	: فیبا
یادداشت	: نویسندگان محمدحسین سعیدی‌راد، داود مؤمنی، سید معین‌الدین رضوانی و سعید ظریف‌نشاط.
موضوع	: گلخانه‌ها -- گرمایش و تهویه
موضوع	: Heating and ventilation -- Greenhouses
موضوع	: سردسازی تبخیری
موضوع	: Evaporative cooling
شناسه افزوده	: سعیدی راد، محمدحسین، ۱۳۵۲ -
شناسه افزوده	: سازمان ترویج، آموزش و تحقیقات کشاورزی. مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان. دفتر شبکه دانش و رسانه‌های ترویجی
شناسه افزوده	: سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی. معاونت آموزش و ترویج کشاورزی. نشر آموزش کشاورزی
رده بندی کنگره	: SB۴۱۶:
رده بندی دیویی	: ۶۳۱/۵۸۳:
شماره کتابشناسی ملی	: ۷۴۰۸۱۷۳:
وضعیت رکورد	: فیبا

ISBN: 978-964-520-777-7

شابک: ۹۷۸-۹۶۴-۵۲۰-۷۷۷-۷



نشر آموزش کشاورزی

**عنوان:** راهنمای جامع اصول سرمایه‌ش در گلخانه‌ها

**نویسندگان:** محمدحسین سعیدی‌راد، داود مؤمنی، سید معین‌الدین رضوانی و سعید ظریف‌نشاط

**مدیر داخلی:** شیوا پارسانیک

**ویراستاران ترویجی:** فرانک صحرایی، نصیبه پورفاتح

**ویراستار ادبی:** سمیرا میرنظامی

**تهیه شده در:** معاونت آموزش و ترویج کشاورزی، دفتر شبکه دانش و رسانه‌های ترویجی

**ناشر:** نشر آموزش کشاورزی

**صفحه آرا:** سبا سادات کرمانی پورقایی

**نمونه خوان:** افسانه شایسته

**شمارگان:** ۱۰۰۰ جلد

**نوبت چاپ:** اول، ۱۳۹۹

**قیمت:** رایگان

**مسئولیت درستی مطالب با نویسندگان است.**

شماره ثبت در مرکز فن آوری اطلاعات و اطلاع‌رسانی کشاورزی ۵۸۳۷۹ به تاریخ ۹۹/۰۹/۱۸ است.

نشانی: تهران، خیابان آزادی، بین نواب و رودکی، پلاک ۲۰۵، معاونت آموزش و ترویج کشاورزی، طبقه ۱۲ | تلفن: ۶۶۴۳۰۴۶۵ | تلفکس: ۶۶۴۳۰۴۶۴ | کد پستی: ۱۴۵۷۸۹۶۶۸

## **مخاطبان:**

♦ گلخانه‌داران، کارشناسان و مروجان پهنه‌های تولیدی

## **اهداف آموزشی:**

♦ شما پس از مطالعه این دستنامه با اصول و روش‌های  
خنک کردن گلخانه‌ها آشنا می‌شوید.



## فهرست

صفحه

عنوان

---

۷	مقدمه
۸	اهمیت کشت گلخانه ای
۱۰	شرایط دمایی برای استفاده از تهویه یا سرمایش تبخیری
۱۱	اهمیت نور در گلخانه
۱۳	شدت نور
۱۵	کیفیت نور
۱۵	کمیت نور
۱۷	روش های کاهش ورود نور به گلخانه
۱۷	استفاده از توری های سایه انداز
۲۶	کاهش شفافیت (قابلیت عبور نور) پوشش گلخانه
۲۹	اصول تهویه در گلخانه
۳۶	تهویه طبیعی
۳۷	عوامل مؤثر بر شدت تهویه
۴۱	ابعاد دریچه ها و محل قرارگیری آن ها
۴۸	تهویه کمکی
۴۹	انواع فن ها
۵۷	محل مناسب نصب فن های تهویه
۶۲	اصول کار سیستم سرمایش تبخیری

- ۶۳..... سرمایه‌ش تبخیری مستقیم
- ۶۶..... سرمایه‌ش تبخیری غیرمستقیم
- ۶۹..... سیستم سرمایه‌ش تبخیری گلخانه
- ۷۴..... تجهیزات سیستم سرمایه‌ش تبخیری
- ۷۵..... پد
- ۸۲..... سیستم آب‌رسانی
- ۹۲..... اصول انتخاب و نصب فن‌ها
- ۹۴..... یک نمونه طراحی فن و پد برای گلخانه
- ۹۷..... اصول کار مه‌پاش‌ها
- ۹۹..... اجزای سیستم مه‌پاش
- ۱۰۰..... نازل مه‌پاش
- ۱۰۳..... پمپ
- ۱۰۶..... فیلتر و لوله‌های انتقال آب
- ۱۰۸..... سیستم سرمایه‌ش پاششی (اسپری)
- ۱۱۴..... منابع
- ۱۱۸..... پیوست ۱: یکاهای اندازه‌گیری دما
- ۱۲۰..... پیوست ۲: روش‌های محاسبه حجم گلخانه

## مقدمه

گلخانه سازه‌ای با ابعاد مختلف است که هر جزء آن تأثیر مستقیم بر رشد کمی و کیفی محصول دارد؛ تأثیری که خود را در پایان فصل و در افزایش سود و کاهش هزینه‌ها نشان خواهد داد. بنابراین، مدیریت مناسب گلخانه باعث بهبود بهره‌وری سرمایه و امکانات می‌شود. گلخانه باید بتواند محیطی کنترل شده از لحاظ نور، حرارت و رطوبت نسبی برای تولید محصول فراهم کند. یکی از عواملی که برای تولید محصول کافی در گلخانه باید کنترل شود، درجه حرارت مطلوب گیاه است. هرچه هوای گلخانه از درجه هوای مطلوب محصول سردتر یا گرم‌تر شود، محصول تولیدی کاهش می‌یابد. دورشدن از دامنه مطلوب دمایی در گلخانه، علاوه بر کمیت بر کیفیت تولیدات گلخانه‌ای نیز اثر سوء دارد؛ بنابراین، سامانه‌های به‌کاررفته در گلخانه باید وضعیتی مطلوب در گلخانه ایجاد کنند. در این دستنامه به منظور تعدیل دمای بالای هوا در گلخانه، سه عملیات کاهش نور ورودی به گلخانه، تهویه گلخانه و استفاده از سامانه‌های خنک‌کننده بررسی شده است.

## اهمیت کشت گلخانه‌ای

رشد جمعیت و افزایش نیاز به مواد غذایی، دو مسئله مهم در تأمین نیازهای غذایی جوامع در حال پیشرفت از جمله ایران است. در این میان نقش بهره‌گیری مؤثر و بهینه از منابع محدود آب و خاک از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. روش‌های معمول کشت در هوای آزاد بر اساس مساعده بودن شرایط محیط انجام می‌شوند. در روش‌های معمول کشت، تمامی عملیات کاشت تا برداشت تابع شرایط محیطی است. ایجاد گلخانه برای تولید محصولات کشاورزی به دلیل امکان کنترل عوامل محیطی تأثیرگذار بر تولید امکان استفاده بهینه از منابع آب و خاک و نهاده‌ها در تولید محصول خارج از فصل جایگاه ویژه‌ای یافته و آن را به عنوان یک روش تولید با بهره‌وری بالا معرفی کرده است.

طی سال‌های اخیر احداث واحدهای گلخانه‌ای در کشور رشدی روزافزون داشته است. در واقع گلخانه مانند یک فناوری جدید مورد پذیرش کشاورزان قرار گرفته است. مزایای این روش کشت عبارت‌اند از تولید خارج از فصل، امکان کنترل عوامل محیطی، امکان کشت هر محصول در هر منطقه آب و هوایی، کنترل آفات و بیماری‌ها، مصرف کم‌تر آب، بازدهی بالای تولید، دوام محصول پس از برداشت، قیمت بالاتر محصول برای فروش در خارج از فصل کشت



در محیط آزاد و... مساحت کل گلخانه‌ها در دنیا در سال ۲۰۱۸ برابر ۴۹۷,۰۰۰ هکتار بوده است؛ این در حالی است که مساحت کشت زیر پوشش (کشت حفاظت شده) ۵,۶۳۰,۰۰۰ هکتار گزارش شده است. کشورهای چین، ژاپن، هند، اسپانیا، ایتالیا، ترکیه و هلند از بزرگ‌ترین تولیدکنندگان محصولات گلخانه‌ای هستند. بررسی آمار سطح زیر کشت محصولات گلخانه‌ای در کشور (جدول ۱) نشان می‌دهد از مجموع ۱۱,۹۴۱ هکتار گلخانه در پایان سال ۱۳۹۶، حدود ۸,۴۸۹ هکتار به محصولات سبزی و صیفی و ۳,۴۵۲ هکتار به گل و گیاهان زینتی، توت‌فرنگی و سایر محصولات گلخانه‌ای اختصاص یافته است.

جدول ۱- آمار سطح زیر کشت محصولات گلخانه‌ای در کشور

محصول	سطح (هکتار)	درصد
خیار	۶۵۳۴	۵۴/۷
گوجه‌فرنگی	۷۸۰	۶/۵
انواع فلفل	۵۰۸	۴/۳
بادمجان	۲۳۵	۲
سایر سبزیجات	۴۳۲	۳/۶
گل و گیاهان زینتی	۲۴۶۹	۲۰/۷
توت‌فرنگی	۴۸۸	۴/۱
گیاهان دارویی	۱۳۲	۱/۱
سایر محصولات	۳۶۳	۳
کل	۱۱۹۴۱	۱۰۰

## شرایط دمایی برای استفاده از تهویه یا سرمایش تبخیری

در ماه‌های گرم سال که درجه حرارت گلخانه از درجه حرارت مطلوب بالاتر می‌رود، با روش‌های مناسب باید درجه حرارت گلخانه را کاهش داد. به منظور تعدیل دمای بالای هوا در گلخانه، سه عملیات کاهش نور ورودی به گلخانه، تهویه گلخانه و استفاده از سامانه‌های خنک‌کننده به صورت انفرادی یا ترکیبی انجام می‌گیرد. شرایط دمایی پیشنهادی برای استفاده از تهویه یا سرمایش تبخیری به شرح زیر است:

الف) در صورتی که میانگین دمای هوا بالاتر از ۱۲ درجه سلسیوس باشد، دریچه‌های تهویه می‌توانند دائم باز باشند. تهویه اجباری وقتی ضروری می‌شود که دمای داخل گلخانه از ۱۸ تا ۲۰ درجه سلسیوس بیش‌تر شود.

ب) در اقلیم‌های گرم و مرطوب که میانگین بیشینه دما بالاتر از ۲۷ درجه سلسیوس است، نصب دریچه سقفی برای گلخانه‌های چنددهانه ضروری است.

ج) اگر میانگین بیشینه دمای بیرون گلخانه بالاتر از ۳۶ درجه سلسیوس است، در صورتی که رطوبت بیرونی به

اندازه کافی پایین باشد، استفاده از سامانه های سرمایش  
تبخیری ضروری است.

د) اگر رطوبت نسبی در طول روز کم تر از ۵۵ تا ۶۰ درصد  
است، رطوبت داخل گلخانه می بایست افزایش یابد.

به طور معمول، خنک کردن گلخانه بسیار سخت تر و  
پرهزینه تر از گرم کردن آن است. در شرایط تشعشع بالا در  
فصل گرم و در نواحی خشک حتی با تهویه مناسب، دمای  
گیاه در گلخانه می تواند ۵ تا ۱۰ درجه سلسیوس بالاتر  
از دمای هوا باشد و حتی انجام عملیات تهویه به تنهایی  
نمی تواند برای بسیاری از گیاهان خنکی کافی مهیا کند.  
در مناطق خشک و نیمه خشک با رطوبت بسیار پایین  
فضای بیرون و دمای بالای هوا، افزایش رطوبت داخل  
گلخانه برای رشد مناسب محصول ضروری است.

## اهمیت نور در گلخانه

نور یکی از عوامل مؤثر در رشد و نمو گیاه و انجام  
عملیات فتوسنتز است. انرژی خورشیدی مورد استفاده  
گیاهان بخش کوچکی از طیف نوری خورشید است. انرژی  
حرارتی خورشید از طریق تابش امواج الکترومغناطیسی  
منتشر می شود. میزان توان تابشی خارج از اتمسفر

زمین برابر با  $1/353$  کیلووات بر مترمربع است. این پارامتر به عنوان ثابت خورشیدی شناخته می‌شود. به عبارت دیگر، ثابت خورشیدی مقدار میانگین نور خورشید در بالای اتمسفر زمین است. برآورد می‌شود که میزان انرژی رسیده به سطح زمین حداقل ۱۵ درصد کم‌تر از انرژی خورشیدی موجود در بالای اتمسفر است. این امواج الکترومغناطیسی خورشید با عبور از پوشش گلخانه ضمن تأمین نور مورد نیاز گیاه، باعث افزایش دمای گلخانه می‌شوند. قابلیت عبور حداکثری نور در فصل زمستان برای تأمین نور مورد نیاز و جبران بخشی از انرژی گرمایی گلخانه اهمیت ویژه‌ای دارد؛ ولی در فصل تابستان برای جلوگیری از افزایش دمای ناشی از تابش اشعه‌های خورشید لازم است شفافیت و قابلیت عبور نور پوشش گلخانه کاهش یابد. این فرایند به عنوان بخشی از سیستم سرمایشی گلخانه شناخته می‌شود. برای این کار سطح پوشش گلخانه توسط مواد شیمیایی یا طبیعی یا با استفاده از پرده سایه بان کدر می‌شود.

نور با سه شاخص اصلی اندازه‌گیری می‌شود: شدت

نور، کیفیت نور و کمیت نور.

## شدت نور

واحد اندازه‌گیری شدت نور در سیستم بین‌المللی<sup>۱</sup> اندازه‌گیری «لوکس»<sup>۲</sup> است که به صورت شار نوری بر واحد سطح تعریف می‌شود. هر لوکس معادل یک لومن<sup>۳</sup> بر مترمربع است. در نورسنجی، لوکس به عنوان مقیاسی برای سنجش شدت نوری استفاده می‌شود که چشم انسان درک می‌کند. امروزه دستگاه‌های اندازه‌گیری نور در بازار موجود است که به عنوان لوکس متر شناخته می‌شوند. شکل ۱ یک نمونه دستگاه لوکس متر کاربردی برای اندازه‌گیری شدت نور در محیط را نشان می‌دهد.



شکل ۱- لوکس متر برای اندازه‌گیری شدت نور

- 
- 1- SI
  - 2- Lux
  - 3- Lumen

شدت نور از مکانی به مکان دیگر متغیر است و معمولاً از صفر در ابتدای روز شروع می‌شود و تا ۱۵۰,۰۰۰ لوکس (لومن بر مترمربع) در نیمروز می‌رسد. شدت نورهای کم‌تر از ۳,۲۰۰ لوکس یا بیش‌تر از ۱۲۹,۰۰۰ لوکس برای رشد گیاهان نامناسب است و مقدار بهینه آن برای بیش‌تر گیاهان در حدود ۳۲,۰۰۰ لوکس است. اهمیت شدت نور مناسب در تولید محصول انکارناشدنی است. میزان فتوسنتز تابع شدت نور است. اگر شدت نور کم و ضعیف باشد، فتوسنتز و در نتیجه رشد گیاه کاهش می‌یابد و در صورتی که شدت نور از حد مطلوب فراتر باشد، با کاهش فتوسنتز افت چشمگیری در عملکرد محصول رخ می‌دهد و به دلیل افزایش درجه حرارت، به خصوص در مرحله گل‌دهی محصول، باعث ریزش گل‌ها می‌شود. در واقع با افزایش شدت نور، فتوسنتز و تولید انجام نمی‌شود و این به دلیل خاصیت اشباع نوری گیاه است. به عبارت دیگر می‌توان گفت که بیشینه شدت نور مورد نیاز هر گیاه مقداری مشخص است که میزان بالاتر از آن نرخ فتوسنتز را افزایش نمی‌دهد. این مقدار را نقطه اشباع نور می‌نامند و تا زمانی که شدت نور از مقادیر پایین تا نقطه اشباع نور افزایش یابد، فتوسنتز نیز افزایش خواهد یافت.

## کیفیت نور

تمام نورهای ایجادشده از منابع نوری مانند خورشید دارای رنگ‌های بسیاری هستند که از طیف فرابنفش تا مادون قرمز را شامل می‌شوند و تمام جنبه‌های رشد گیاه را تحت تأثیر قرار می‌دهد. بیش‌ترین فعالیت مناسب فتوسنتز در طیف‌های نوری آبی و قرمز است و طیف‌های نوری زرد و سبز کم‌ترین تأثیر را در فتوسنتز دارند. رشد گیاه در نور فرابنفش (طول موج کم‌تر از ۴۰۰ نانومتر) متوقف می‌شود و نور مادون قرمز (طول موج بالاتر از ۸۰۰ نانومتر) گیاهانی ضعیف و طویل به وجود می‌آورد. نتیجه‌ای که از بررسی رفتار گیاهان در طول موج‌های مختلف حاصل می‌شود، نشان می‌دهد که فاصله طول موج آبی یعنی ۴۰۰ تا ۵۰۰ نانومتر بهترین نور برای گیاهان سبز و سبزیجاتی است که عملیات رشد برگ‌ها انجام می‌شود. طول موج نور قرمز یعنی محدوده ۶۱۰ تا ۷۲۰ نانومتر بهترین نور برای پرورش گل، گل‌دهی و عملیات فتوسنتز در گیاه است.

## کمیت نور

یکی از عوامل مهم در رشد، کمیت نور (طول دوره تابش نور) است. گیاهان از این نظر به سه دسته روز کوتاه،

روزبلند و روزخنثی (بی تفاوت) تقسیم می‌شوند. گیاهان روزبلند برای ورود به ریشه‌زایی و به گل رفتن بین ۱۰ تا ۱۴ ساعت نور در روز نیاز دارند. گیاهان روزکوتاه در نقطه مقابل گیاهان روزبلند قرار می‌گیرند و برای ورود به رشد‌زایشی و گل‌دهی به طول روز کم‌تر از ۱۲ ساعت نیاز دارند. در کشور ما با توجه اینکه روزهای آفتابی خیلی زیاد است، باید نیاز نوری گیاه شناخته شود تا گیاه در طی روزهای بلند از رشد رویشی و زایشی خوبی برخوردار باشد. بنابراین با پایین آوردن ساعات روشنایی و ایجاد سایه‌ها روی پوشش گلخانه، گیاهان روزکوتاه را وارد مرحله گل‌دهی می‌کنند. گیاهان بی تفاوت یا روزخنثی حساسیتی به طول روز ندارند و در تمام طول سال گل‌دهی می‌کنند.

در طول تابستان که حداکثر تابش نور خورشید وجود دارد، با توجه به نیاز نوری گیاهان لازم است تابش خورشید کنترل شود و سایه‌دهی یکی از روش‌های کنترل شدت نور ورودی به داخل گلخانه است؛ زیرا شدت بالای نور علاوه بر افزایش دمای گلخانه، باعث افزایش دمای برگ‌ها و در نتیجه آفتاب‌سوختگی گیاهان گلخانه‌ای می‌شود. این کار روشنایی گلخانه را کاهش می‌دهد، اما تا حدی باعث کاهش دمای هوای گلخانه می‌شود. سایه‌دهی به ویژه در

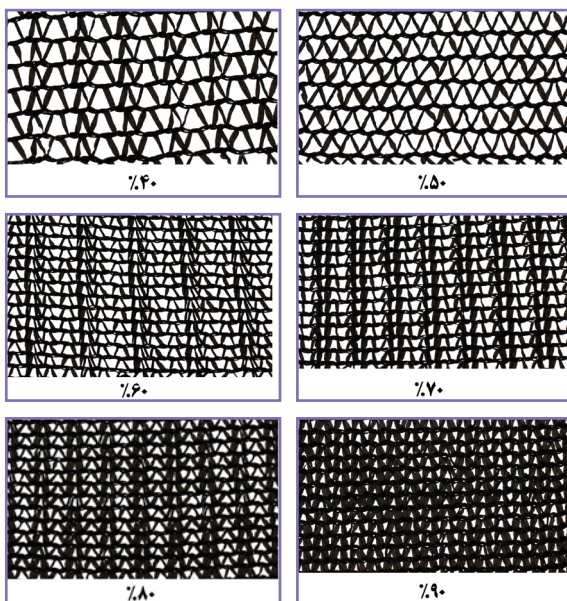


تابستان که عمل خنک کردن گلخانه ضروری است، گام اول برای خنک کردن گلخانه است.

## روش های کاهش ورود نور به گلخانه

### استفاده از توری های سایه انداز

استفاده از توری سایه انداز یکی از روش های کاهش دما در گلخانه در روزهای گرم سال است. این توری ها در رنگ های سفید، سبز تیره و مشکی وجود دارند و میزان سایه اندازی آن ها بین ۳۰ تا ۹۵ درصد است. توری هایی با رنگ سبز و مشکی بیش ترین استفاده را در سایه دهی دارند. این توری ها بخشی از اشعه تابشی خورشید را فیلتر می کنند و باعث کاهش دمای هوای درونی گلخانه از ۵ تا ۸ درجه سلسیوس می شوند. تراکم بافت و وزن توری در واحد سطح (گرم بر سانتی مترمربع) میزان سایه اندازی این توری ها را تعیین می کند. با افزایش تراکم بافت، درصد سایه اندازی آن ها نیز افزایش می یابد (شکل ۲). وزن این توری ها از ۴۰ تا ۱۵۰ گرم بر سانتی مترمربع برحسب میزان تراکم بافت متغیر است.



شکل ۲- انواع توری با تراکم بافت و درصد سایه اندازه‌ی مختلف

توری‌های گلخانه‌ای با طول استاندارد ۵۰متر و با عرض‌های مختلف به اندازه‌های ۲، ۴، ۶، ۸ و ۱۰ متر تولید می‌شوند. اغلب این توری‌ها به علت دارا بودن مواد افزودنی ضدفرابنفش، در برابر اشعه‌های مخرب خورشید دارای مقاومت هستند.

توری‌های سایه‌انداز را می‌توان در داخل یا خارج گلخانه نصب کرد، ولی نصب آن در خارج گلخانه باعث می‌شود تا اثر سایه ایجادشده در کاهش دمای گلخانه

به مراتب بیش‌تر از قراردادن توری در داخل گلخانه باشد (شکل ۳). نصب سایه‌انداز در داخل گلخانه تنها باعث کاهش برخورد اشعه‌های نوری به سطح گیاه می‌شود، ولی در کاهش درجه حرارت گلخانه تأثیر چندانی ندارد. این روش برای ذخیره انرژی در فصل زمستان استفاده می‌شود و اصطلاحاً به آن «پرده ذخیره انرژی» اطلاق می‌شود (شکل ۴).



شکل ۳- نصب توری سایه‌انداز در سطح بیرونی گلخانه



شکل ۴- نصب توری سایه‌انداز داخل گلخانه

### روش نصب توری سایه‌انداز

توری‌های سایه‌انداز به دو روش ثابت و متحرک در گلخانه‌ها نصب می‌شوند. در روش متحرک، امکان باز کردن و جمع کردن سایه‌انداز به وسیله موتور برقی وجود دارد.

در این روش امکان نصب روی سطوح منحنی بیرونی گلخانه وجود ندارد و اغلب برای نصب داخل گلخانه استفاده می‌شود. در این روش یک طرف توری ثابت می‌شود و طرف دیگر آن به سیستم ریلی متصل می‌شود که به وسیله یک موتور الکتریکی حرکت می‌کند (شکل ۵). چنانچه از این سیستم برای سایه‌اندازی سطح بیرونی گلخانه استفاده شود، باید از یک سازه جداگانه بالاتر از پوشش گلخانه استفاده کرد و سیستم سایه‌انداز خودکار بر روی این سازه نصب شود که پرهزینه‌تر است (شکل ۶). در روش نصب ثابت، توری به وسیله گیره‌های مخصوص به سازه گلخانه ثابت می‌شود (شکل‌های ۷، ۸ و ۹).



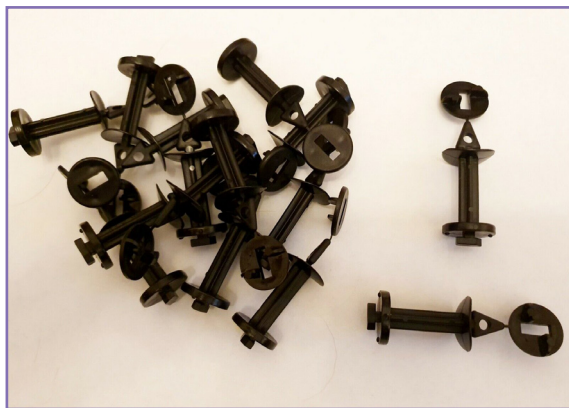
شکل ۵- سیستم برقی جمع‌کن و بازکن سایه‌انداز داخل گلخانه



شکل ۶- نصب توری سایه‌انداز خودکار سطح بیرونی گلخانه



شکل ۷- گیره‌های تاشو نگهدارنده توری‌ها



شکل ۸- گیره‌های پانچی نگهدارنده توری‌ها



شکل ۹- مکانیزم ریل و فنر قفلی برای نگهدارنده توری‌ها

### اصول نگهداری و مراقبت از توری‌های سایه‌انداز

- ◀ به دلیل آسیب پذیر بودن توری‌ها، باید در نگهداری و مراقبت از آن‌ها بسیار دقت کرد.
- ◀ با توجه به فضای مورد نیاز برای نصب توری‌ها، ابعاد آن دقیق انتخاب شود تا هنگام نصب و راه‌اندازی دچار کشیدگی، پارگی و تغییر اندازه نشود.
- ◀ قبل از استفاده از توری‌ها در گلخانه حتماً در فضایی سرپوشیده و دور از نور خورشید نگهداری شود.



◀ در هنگام نصب دقت شود که توری نباید با اجسام تیز و برنده در تماس باشد.

◀ کاربر برای راحتی نصب بهتر است از ابزارهای مناسب برای نصب توری استفاده کند.

◀ گاهی بنا به اقتضای محیط، کاربر مجبور است که از پایه و سازه‌های نگهدارنده برای نصب توری استفاده کند. در این مواقع الزامی است که برای اتصال سیم بکسل به توری، محل اتصال دو لایه شود و به وسیله نوارهای برزنتی تقویت شود تا در حین نصب و اعمال نیروهای کششی به توری صدمه‌ای وارد نشود (شکل ۱۰).



شکل ۱۰- تقویت محل اتصال توری به اتصالات نگهدارنده

## کاهش شفافیت (قابلیت عبور نور) پوشش گلخانه

یکی دیگر از روش‌های کاهش ورود نور به گلخانه، کاهش میزان شفافیت و قابلیت عبور نور از پوشش اصلی گلخانه است. برای پوشش گلخانه‌ها اغلب از مواد شفاف‌مانند شیشه، پلاستیک‌های انعطاف‌پذیر یا انعطاف‌ناپذیر استفاده می‌شود.

قابلیت عبور حداکثری نور در فصل زمستان برای تأمین نور مورد نیاز و جبران بخشی از انرژی گرمایی گلخانه اهمیت ویژه‌ای دارد، ولی در فصل تابستان برای جلوگیری از افزایش دمای ناشی از تابش اشعه‌های خورشید لازم است شفافیت و قابلیت عبور نور پوشش گلخانه کاهش یابد. برای این کار سطح پوشش گلخانه توسط مواد شیمیایی یا طبیعی و با استفاده از پرده سایه بان کدر می‌شود. موادی که به عنوان کدرکننده استفاده می‌شود باید قابل پاک شدن باشد تا در زمان نیاز به نور اضافی این کار انجام شود.

## استفاد از آب آهک

در این روش برای بهتر چسبیدن محلول آب و آهک آن را با یک قاشق روغن کتان محلول می‌کنند تا به خوبی روی پوشش گلخانه بچسبد. جوهرنمک نیز این محلول را

به سهولت پاک می‌کند. ولی جوهرنمک برای اسکلت‌های فلزی زیان‌آور است و باعث آسیب دیدگی سازه گلخانه می‌شود. پاشش محلول آب آهک را می‌توان با استفاده از دستگاه سم‌پاش انجام داد.

### استفاده از رنگ‌های شیمیایی

یکی دیگر از راه‌های کاهش شفافیت پوشش گلخانه‌ای، کاربرد رنگ‌های شیمیایی است. بدین منظور از رنگ‌های حلال در آب استفاده می‌شود که اصطلاحاً در بازار به رنگ‌های پلاستیکی معروف هستند. رنگ‌های پلاستیکی بر پایه رزین امولسیون‌ی پلی‌وینیل استات<sup>۱</sup> ساخته می‌شوند. این رنگ‌ها به سرعت خشک می‌شوند و با آب شسته و پاک می‌شوند. رنگ‌های پلاستیکی با نسبت‌های مختلف با آب مخلوط می‌شوند و در ساعات گرم روز و زمانی که هوا خشک است، روی پوشش گلخانه پاشیده می‌شوند. نسبت‌های مختلف اختلاط رنگ با آب، میزان سایه‌دهی را تغییر می‌دهد. این نسبت‌ها می‌تواند از ۱:۵ تا ۱:۲۰ متغیر باشد. در مناطقی که بارندگی زیاد است و امکان شسته شدن سریع رنگ وجود دارد، مقداری چسب چوب نیز می‌توان به محلول اضافه کرد. شکل‌های ۱۱، ۱۲ و

1- Polyvinyl acetate

۱۳ روش‌های مختلف پخش رنگ‌های شیمیایی روی پوشش گلخانه برای کاهش شفافیت را نشان می‌دهند.



شکل ۱۱- سایه‌دهی پوشش گلخانه با رنگ آمیزی به روش دستی



شکل ۱۲- رنگ آمیزی پوشش گلخانه با استفاده از هلیکوپتر



شکل ۱۳- رنگ پاشی پوشش گلخانه با استفاده از نازل سم پاش

## اصول تهویه در گلخانه

- تهویه عبارت است از تبادل و جابه جایی هوای داخل و خارج گلخانه و با اهداف زیر انجام می‌شود:
- ✓ تهیه دی اکسید کربن لازم برای فتوسنتز؛
  - ✓ کاهش دمای داخل گلخانه (کنترل دما)؛
  - ✓ متعادل کردن رطوبت داخل گلخانه (کاهش رطوبت).
- تهویه یکی از روش‌های خنک کردن گلخانه است که در آن هوای درون گلخانه با هوای محیط اطراف گلخانه جایگزین می‌شود. جریان هوای ایجادشده در اثر تهویه بر یکنواختی متغیرهای اقلیمی و در نتیجه بر رشد و کیفیت محصول مؤثر است. اصولاً گلخانه‌ها بر اساس روش تهویه

به دو گروه عمده گلخانه‌های فعال<sup>۱</sup> (تهویه اجباری) و گلخانه‌های انفعالی<sup>۲</sup> (تهویه طبیعی) تقسیم می‌شوند. تهویه طبیعی در گلخانه نیازمند ایجاد اختلاف فشار فیزیکی برای تبادل هوا (جابه‌جایی طبیعی) است. این اختلاف فشار از طریق اختلاف دما و رطوبت داخل و خارج گلخانه (اثر دودکش) یا از تأثیر باد روی سطوح مختلف گلخانه به دست می‌آید (اثر باد). در گلخانه‌های فعال برای سرمایش یا گرمایش گلخانه از انرژی الکتریکی، مکانیکی یا سوخت‌های فسیلی استفاده می‌شود. در حالی که در گلخانه‌های انفعالی از هیچ سیستم الکتریکی یا مکانیکی برای تهویه گلخانه استفاده نمی‌شود. سرمایش و گرمایش در این گلخانه‌ها بر اساس جذب حداقلی و حداکثری انرژی خورشیدی در فصول گرم و سرد سال است.

دبی تهویه نشان‌دهنده حجم هوای تبادل شده (ورودی به گلخانه یا خروجی از گلخانه) در واحد زمان است و اغلب به صورت مترمکعب بر ساعت ( $m^3 \cdot h^{-1}$ ) بیان می‌شود. دبی تهویه گلخانه (G) با مقیاس‌های سطح و حجم گلخانه قابل محاسبه است. بنابراین، شاخص‌های تهویه هوا در گلخانه عبارت‌اند از: نسبت تهویه به سطح گلخانه، نسبت

1- Active greenhouse

2- Passive greenhouse

تهویه به حجم گلخانه، و کارایی تهویه. نسبت تهویه به سطح گلخانه که به عنوان نرخ تهویه نیز معرفی می‌شود، از رابطه ۱ قابل محاسبه است.

$$R_e = \frac{G}{A_g} \quad (1)$$

نسبت تهویه به حجم گلخانه نشان دهنده تعداد دفعات تخلیه و پرشدن هوای کامل گلخانه در واحد زمان (ساعت) است که به عنوان نرخ تبادل هوا نیز معرفی می‌شود (رابطه ۲).

$$R_a = \frac{G}{V} \quad (2)$$

کارایی تهویه نیز عبارت است از نسبت دبی تهویه به سطح دریچه‌های تهویه (رابطه ۳):

$$R_{eff} = \frac{G}{A_v} \quad (3)$$

$R_e$ : نرخ تهویه ( $m^3 m^{-2}h^{-1}$ ) (مترمکعب هوا به ازای هر مترمربع مساحت گلخانه در مدت زمان یک ساعت)  
 $R_a$ : نرخ تبادل هوا ( $h^{-1}$ ) (دفعات جابه‌جایی کامل هوای گلخانه در هر ساعت)

$R_{\text{eff}}$ : کارایی تهویه ( $m^3 m^{-2} h^{-1}$ ) (مترمکعب هوا به ازای هر مترمربع مساحت گلخانه در مدت زمان یک ساعت)

$G$ : دبی تهویه ( $m^3 h^{-1}$ ) (مترمکعب بر ساعت)

$V$ : حجم گلخانه ( $m^3$ ) (مترمکعب)

$A_g$ : سطح گلخانه ( $m^2$ ) (مترمربع)

$A_v$ : سطح دریچه‌های تهویه ( $m^2$ ) (مترمربع)

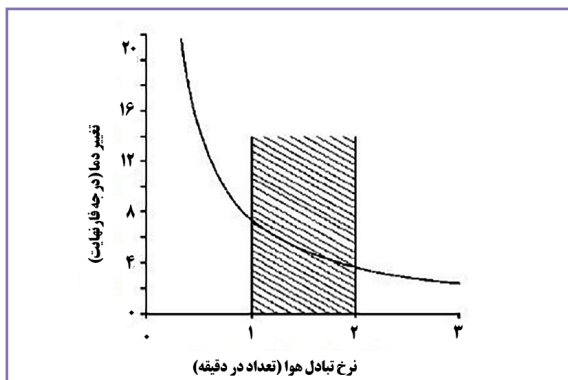
با متوسط ارتفاع گلخانه می‌توان رابطه بین نرخ تهویه و نرخ تبادل هوا را به شکل زیر بیان کرد (رابطه ۴):

$$R_e = h \times R_e \quad (۴)$$

که در آن  $h$  متوسط ارتفاع گلخانه بر حسب متر است. همان گونه که در شکل ۱۴ مشاهده می‌شود، با افزایش تعداد تبادل هوای گلخانه در واحد زمان، تغییرات دمایی گلخانه (اختلاف دمای بیرون و داخل گلخانه) نیز کاهش می‌یابد. مهم‌ترین معیارهای سیستم تهویه عبارت است از: نرخ تهویه، تفاوت دمای داخل و خارج گلخانه، همگنی توزیع دما در داخل گلخانه و سرعت هوای نزدیک و داخل پوشش گیاهی. شرایط بهینه برای رسیدن به کم‌ترین اختلاف دمایی، تبادل هوای گلخانه به میزان ۱ تا ۲ بار



در دقیقه است. نرخ تبادل هوای مورد نیاز برای گلخانه به منظور کاهش دما تحت تأثیر عواملی از قبیل ارتفاع از سطح دریا، شدت نور گلخانه و تفاوت دمای بیرون و داخل گلخانه قرار دارد. ولی به طور معمول و در شرایط معتدل بین ۲۰ تا ۳۰ بار در ساعت و در روزهای گرم ۵۰ تا ۶۰ بار در ساعت مورد نیاز است.



شکل ۱۴- تأثیر نرخ تبادل هوا بر تغییرات دمایی گلخانه

در مناطق گرمسیری که درجه حرارت محیط بالاست، استفاده از تهویه طبیعی برای کاهش دمای گلخانه کارایی چندانی ندارد.

با افزایش ارتفاع گلخانه از سطح دریا، هوا رقیق تر و سبک تر می شود. بنابراین به منظور حصول نتیجه مطلوب و

کارایی مناسب سیستم تهویه در کاهش دما، باید حجم هوای بیش‌تری از گلخانه خارج شود تا وزن هوای جابه‌جا شده در ارتفاعات مختلف از سطح دریا یکسان باشد. بدین منظور ضریب اصلاحی ارتفاع از سطح دریا ( $F_{air}$ ) در نرخ تبادل هوا ضرب می‌شود (جدول ۲).

جدول ۲- مقادیر ضریب اصلاحی ارتفاع از سطح دریا

ارتفاع از سطح دریا (متر)	<۳۰۰	۳۰۰	۶۰۰	۹۰۰	۱۲۰۰	۱۵۰۰	۱۸۰۰	۲۱۰۰	۲۴۰۰
$F_{air}$	۱	۱/۰۴	۱/۰۸	۱/۱۲	۱/۱۶	۱/۲۰	۱/۲۵	۱/۳۰	۱/۳۹

با افزایش شدت نور و ورود اشعه‌های خورشید به گلخانه، دمای داخل گلخانه نیز افزایش می‌یابد و در نتیجه برای خنک کردن به تبادل هوای بیش‌تری نیاز است. بدین منظور ضریب اصلاحی شدت نور مطابق جدول ۳ تعریف می‌شود که در نرخ تبادل هوای گلخانه ضرب می‌شود.

جدول ۳- مقادیر ضریب اصلاحی شدت نور

شدت نور بر حسب فوت کندل (FC) و کیلو لوکس (klux)									
۸۰۰۰	۷۵۰۰	۷۰۰۰	۶۵۰۰	۶۰۰۰	۵۵۰۰	۵۰۰۰	۴۵۰۰	۴۰۰۰	فوت کندل
۸۶/۱	۸۰/۱	۷۵/۳	۷۰	۶۴/۶	۵۹/۲	۵۳/۸	۴۸/۴	۴۳/۱	کیلو لوکس
۱/۶	۱/۵	۱/۴	۱/۳	۱/۲	۱/۱	۱	۰/۹	۰/۸	$F_{light}$

به منظور کاهش اختلاف دمای بیرون و داخل گلخانه باید نرخ تبادل هوا افزایش یابد که بدین منظور ضریب اصلاحی دما ( $F_{temp}$ ) در نرخ تبادل هوای گلخانه ضرب می شود. در جدول ۴ ضرایب اصلاحی گرمایی برای اختلاف دماهای مختلف ذکر شده است.

حاصل ضرب سه ضریب اصلاحی ( $F_{temp}$ ،  $F_{light}$ ،  $F_{air}$ ) به عنوان ضریب اصلاحی سازه شناخته می شود.

جدول ۴- مقادیر ضریب اصلاحی دما

۲/۳	۲/۸	۳/۳	۳/۹	۴/۴	۵	۵/۶	اختلاف دما (درجه سلسیوس) $F_{temp}$
۱/۷۵	۱/۴	۱/۱۸	۱	۰/۸۸	۰/۷۸	۰/۷	

## تهویه طبیعی

تهویه به روش طبیعی در اثر شیب دمایی و جریان هوای درون و بیرون ساختمان به وجود می‌آید. این خاصیت را اثر دود کشی<sup>۱</sup> نیز می‌نامند (شکل ۱۵). با خروج هوا از سقف، خلأ نسبی ایجاد می‌شود که موجب مکش هوا از محیط بیرون به داخل ساختمان می‌شود. در گلخانه‌ها زمانی که هوا گرم می‌شود، تراکم هوا کم می‌شود و به سمت بالا حرکت می‌کند و در صورت باز شدن دریچه‌های سقفی از گلخانه

1- Stack effect

خارج می‌شود. ورود هوا به داخل گلخانه از طریق دریچه‌های کناری انجام می‌شود. با تهویه طبیعی می‌توان اختلاف درجه حرارت داخل و خارج گلخانه را در طول روز از ۲۵ درجه سلسیوس به ۱۲ درجه سلسیوس کاهش داد.



شکل ۱۵- اثر دودکشی در گلخانه

## عوامل مؤثر بر شدت تهویه

### اختلاف درجه حرارت داخل و خارج گلخانه

افزایش اختلاف درجه حرارت داخل و خارج گلخانه باعث افزایش اثر دودکشی و بنابراین افزایش شدت تهویه و تبادل هوا می‌شود. در صورت کم بودن اختلاف درجه حرارت داخل و خارج گلخانه، تهویه به خوبی انجام نمی‌شود.

به منظور تبادل هوای بیرون و داخل گلخانه و برقراری جریان هوا، اختلاف دمای حداقلی ۶ درجه سلسیوس لازم است. بنابراین در مناطق گرمسیری که درجه حرارت محیط بالاست، تهویه طبیعی به منظور کنترل و کاهش دمای گلخانه کارایی چندانی ندارد.

دریچه سقفی به تهویه (با اثر دودکشی) کمک می‌کند (شکل ۱۵). کارایی تهویه سقفی به ارتفاع گلخانه بستگی دارد. به علت اثر دودکشی، گلخانه‌های بلندتر تهویه بهتری دارند. بنابراین حداقل ارتفاع گلخانه ۳ متر پیشنهاد می‌شود. اهمیت اثر شیب دما روی تهویه وقتی باد ضعیف، تشعشع بالا و دریچه‌ها محدود (کم) است، اهمیت دارد. وقتی سرعت باد بیش‌تر از ۱ تا ۲ متر بر ثانیه است، اثر حرارتی (شناوری) در تهویه گلخانه‌ها چندان اهمیتی ندارد. باین حال استفاده از توری محافظ حشرات با تخلخل کم باعث افزایش اهمیت اثر شناوری در تهویه می‌شود. همچنین در مناطقی که تراکم گلخانه‌ها بالاست، سازه‌ها به اندازه‌ای به هم نزدیک‌اند که اثر باد بسیار محدود می‌شود.

### اختلاف رطوبت نسبی داخل و خارج گلخانه

اختلاف رطوبت هوای داخل و خارج گلخانه از عوامل مؤثر بر تهویه است که هوای مرطوب داخل در هنگام تماس

با هوای خشک خارج مبادله می‌شود و این تبادل هوا تا زمان رسیدن به رطوبت تعادلی ادامه می‌یابد. با باز شدن دریچه‌های گلخانه، اختلاف رطوبت به سرعت کاهش می‌یابد و کارایی خود را در تهویه گلخانه از دست می‌دهد.

## وزش باد






بادهایی با سرعت بالاتر از  $0/5$  متر بر ثانیه می‌توانند باعث افزایش تهویه در گلخانه شوند. در شرایطی که سرعت باد کم‌تر از این میزان باشد، تنها عامل تهویه گلخانه اختلاف درجه حرارت بیرون و داخل گلخانه است. جدول ۵ اثر سرعت باد در تهویه گلخانه با پروفیل‌ها و دریچه‌های مختلف را نشان می‌دهد. بیش‌ترین میزان تهویه در گلخانه‌های دارای دریچه‌های سقفی دوطرفه و با سرعت باد  $2/5$  متر بر ثانیه مشاهده شد که به میزان  $10/2$  مترمکعب در دقیقه در هر مترمربع مساحت گلخانه است.

وقتی سرعت باد به بیش‌تر از  $2$  متر بر ثانیه می‌رسد، تعداد تبادل حجم هوای گلخانه متناسب با سرعت باد و بسته به تعداد دهانه‌های گلخانه، ابعاد دهانه‌ها (ضریب فشار دینامیک) و جهت باد متغیر است.

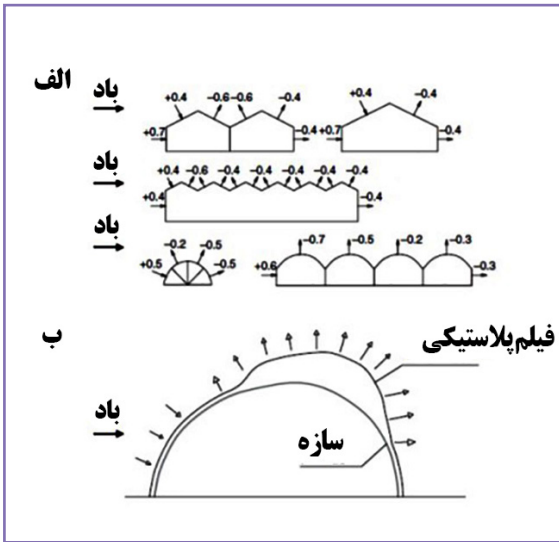
فشار تولید شده توسط باد روی دیواره‌ای که در معرض باد قرار دارد (رو به باد) مثبت است و روی سقف و دیواره‌ای

که از باد محفوظ است (پشت به باد) منفی است (شکل ۱۶). این توزیع فشار وقتی در بچه‌ها باز هستند، تغییر می‌کند. در صورتی که در بچه‌های سقفی با در بچه‌های جانبی همراه نباشند، اثر باد خیلی ناچیز خواهد بود.

جدول ۵- تغییرات شدت تهویه و تبادل هوا در گلخانه‌ها با سازه‌ها و در بچه‌های مختلف در سرعت‌های مختلف باد بر حسب (متر مکعب در دقیقه در هر متر مربع مساحت گلخانه)

					سرعت باد (متر بر ثانیه)
۱/۶۳	۱/۴۹	۰/۸۴	۱/۹۱	۱/۵۴	۰/۵
۳/۴۹	۳/۱۵	۱/۷۷	۳/۹۵	۳/۱۶	۱
۵/۳۸	۴/۸۳	۲/۷۲	۶/۰۳	۴/۷۸	۱/۵
۷/۲۹	۶/۵۳	۳/۶۸	۸/۱۱	۶/۴۰	۲
۹/۲۰	۸/۲۳	۴/۶۴	۱۰/۲۰	۸/۰۲	۲/۵





شکل ۱۶- (الف) ضرایب فشار باد بر سازه‌هایی با سقف گنبدی و قله‌ای، (ب) اثرات مکشی باد بر گلخانه تونلی

## ابعاد دریچه‌ها و محل قرارگیری آن‌ها

ابعاد دریچه‌ها و محل قرارگیری آن‌ها بر میزان تهویه مؤثر است. در تهویه طبیعی، دریچه‌های جانبی واقع در دیواره گلخانه به عنوان مجاری ورود هوا، و دریچه‌های سقفی واقع در بالاترین نقطه گلخانه برای خروج هوا تعبیه می‌شوند (شکل ۱۷).



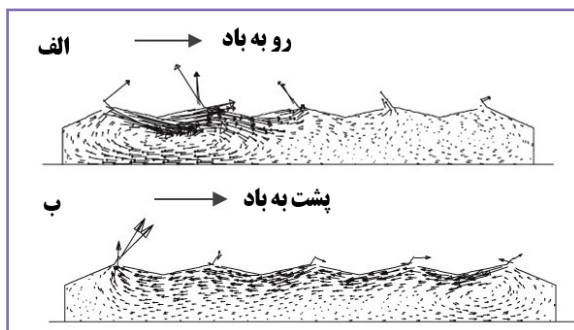
شکل ۱۷- دریچه‌های جانبی و سقفی گلخانه

ابعاد دریچه‌های سقفی و دریچه‌های جانبی بر اساس مساحت گلخانه و تفاوت درجه حرارت داخل و خارج گلخانه تعیین می‌شوند. شاخص تهویه که به صورت نسبت سطح کل دریچه‌های تهویه به سطح زمین گلخانه و به درصد تعریف می‌شود، امکان مقایسه بین گلخانه‌های مختلف را می‌دهد. یک مقدار بهینه برای این نسبت وجود دارد که بالاتر از آن کارایی تهویه کاهش می‌یابد. این مقدار بهینه معمولاً بین ۱۵ تا ۲۰ درصد مساحت گلخانه برای گلخانه‌های تونلی (با موقعیت خوب دریچه‌ها) و بین ۲۵ تا ۳۰ درصد برای گلخانه‌های چنددهانه در نظر گرفته می‌شود. در عرض‌های متوسط با شرایط تشعشعی بالا، معمولاً دریچه‌ها به صورت طولی در خط الرأس گلخانه

نصب می‌شوند و شاخص تهویه ۱۵ تا ۲۵ درصد پیشنهاد می‌شود. در مناسب‌ترین حالت، مساحت دریچه‌های سقفی و جانبی یکسان در نظر گرفته می‌شوند. دریچه‌های سقفی در مناطق بادخیز باید به گونه‌ای طراحی شوند که دریچه‌ها در خلاف جهت باد غالب منطقه باز شوند. جریان هوا از طریق این دریچه‌ها باعث مکش نسبی می‌شود که به خروج هوا از گلخانه کمک می‌کند. همچنین در این حالت مقاومت دریچه در مقابل باد افزایش می‌یابد. وقتی دریچه‌ها توری دارند، نسبت سطح باز باید افزایش یابد. دریچه‌هایی که رو به باد باز می‌شوند (رو به باد) نسبت به دریچه‌هایی که به طرف دیواره محفوظ از باد باز می‌شوند (پشت به باد) تهویه مناسب‌تری را در گلخانه ایجاد می‌کنند (شکل ۱۸). وقتی شدت باد زیاد می‌شود، دریچه سقفی که در جهت مخالف وزش باد قرار دارد، باید بیش‌تر باز شود تا مکش ناشی از نیروهای باد خارجی هوای داخل گلخانه را خارج کند. دقت کنید که باز کردن دریچه رو به باد ریسک زیادی دارد. اگر بادهای خیلی قوی باشند، برای جلوگیری از شکستگی باید دریچه‌ها بسته شوند.

در گلخانه‌های کم‌مساحت دریچه تهویه دیواره جانبی بسیار اهمیت دارد، ولی در گلخانه‌های وسیع (عرض بالای

۳۵ متر) دریچه‌های سقفی غالب هستند. در گلخانه‌های وسیع می‌بایست دریچه‌های سقفی در هر دو طرف دهانه‌های گلخانه قرار بگیرند تا بسته به جهت باد بتوان از آن‌ها استفاده کرد. تحلیل‌های دینامیک سیالات محاسباتی نشان داد که تهویه با استفاده از دریچه‌های رو به باد بسیار کاراتر از تهویه دریچه‌های پشت به باد است.



شکل ۱۸- نمودارهای حاصل از بررسی تهویه در حالت‌های مختلف وزش باد: (الف) رو به باد و (ب) پشت به باد.

یکی دیگر از عوامل مؤثر بر تهویه ناشی از همرفت، تراکم و آرایش کشت گیاهان در گلخانه است. تعرق گیاهان نیز بر این تراکم اثرگذار است. در این گلخانه‌ها، پوشش گیاهی شبیه یک توری عمل می‌کند و جابه‌جایی هوا را محدود می‌کند.

توری‌های محافظ حشرات نیز بر میزان تهویه اثرگذار هستند. نام‌گذاری توری‌ها مبتنی بر مقیاس مش و بر اساس تعداد نخ‌ها در اینچ در هر جهت است. به این ترتیب، توری مش ۶۴ دارای ۶۴ نخ در اینچ (۲/۵۴ سانتی‌متر) در دو جهت عمود بر هم است. ضخامت نخ‌ها معمولاً دامنه‌ای بین ۰/۲۳ تا ۰/۲۹ میلی‌متر دارد. تعریف دیگری از مش تعداد فضاهای باز (سوراخ‌ها) در اینچ در هر جهت است. از معایب توری محافظ حشرات کاهش بازدهی تهویه با تأثیر بر دما، رطوبت و نیز کاهش عبور نور است. وقتی دریچه‌ها با توری پوشیده می‌شوند، سطح مفید تهویه دریچه به ناحیه بدون نخ (مساحت شبکه سوراخ‌های توری) محدود می‌شود که باید هنگام محاسبه سطح مفید دریچه‌ها آن را در نظر گرفت و به عنوان تابعی از تخلخل توری آن را تصحیح کرد. برای نمونه، استفاده از توری‌های محافظ حشرات با تخلخل ۳۹ درصد که روی دریچه سقفی نصب می‌شوند، نرخ تهویه را در دریچه‌های مختلف از ۲۰ تا ۳۳ درصد کاهش می‌دهد. استفاده از توری ضدپروانه<sup>۱</sup> و توری ضدتریپس در گلخانه نرخ تهویه را به ترتیب در حدود ۴۰ درصد و ۷۰ درصد کاهش می‌دهد. هنگامی که سرعت باد در بیرون گلخانه کم باشد، این کاهش‌ها بیش‌تر است. در جدول ۶ معیارهای

---

1- Anti-bug

انتخاب توری محافظ حشره به عنوان تابعی از اندازه حشرات و اندازه سوراخ روی توری آمده است.

جدول ۶- معیارهای انتخاب توری محافظ حشره به عنوان تابعی از اندازه حشرات و اندازه سوراخ روی توری

اندازه سوراخ توری (میکرومتر)	اندازه حشره (میکرومتر)	حشره‌ای که باید جدا شود
۲۶۶×۸۱۸	۶۴۰	پروانه مینوز برگ
۲۶۶×۸۱۸	۳۴۰	سنگ خربزه
۲۶۶×۸۱۸	۴۶۲	مگس سفید
۱۵۰×۱۵۰	۱۹۲	تریپس

برای باز و بسته کردن دریچه‌های تهویه گلخانه که دور از دسترس و در سقف گلخانه نصب می‌شوند، سازوکارهای متفاوتی وجود دارد. استفاده از سیستم دستی که با دستگیره، زنجیر یا چرخ دنده کار می‌کند، نمونه‌هایی از این سازوکارهاست. این باز و بسته کردن هم به صورت دستی و هم به طور خودکار انجام می‌شود. در نوع خودکار، با استفاده از ریل، چرخ دنده، موتور الکتریکی، جعبه دنده و یک رابط انتقال قدرت، دریچه گلخانه باز و بسته می‌شود (شکل ۱۹). در این گلخانه‌ها دمای گلخانه توسط حسگر دما یا ترموستات اندازه‌گیری می‌شود و در صورت افزایش

یا کاهش دما نسبت به میزان تنظیمی، به موتور برقی برای باز و بسته کردن دریچه‌های سقفی فرمان داده می‌شود. شکل ۲۰ نمای بیرونی گلخانه را در حالتی نشان می‌دهد که دریچه‌های سقفی باز شده‌اند. در اکثر دستگاه‌های کنترل این توانایی وجود دارد تا در مواقع لزوم، به مقدار جزئی و در حدود ۵ سانتی‌متر دریچه‌ها باز شوند. اگر این مقدار باز شدن نتوانست دمای گلخانه را به حد مورد نظر برساند، پنجره بیش‌تر باز می‌شود تا اینکه بیشینه بازشدگی اتفاق افتد. اگر روش تهویه طوری باشد که پنجره کاملاً باز یا بسته شود، نوسان زیادی در دمای گلخانه رخ می‌دهد. بنابراین استفاده از روش‌های کنترلی از بروز چنین نوساناتی جلوگیری می‌کند.



شکل ۱۹- سیستم برقی باز و بسته کردن دریچه سقفی



شکل ۲۰- نمونه‌ای از نحوه قرارگیری دریچه‌های سقفی در گلخانه‌های به هم پیوسته

## تهویه کمکی

همان‌گونه که بیان شد، در مناطق گرمسیری و زمانی که اختلاف دمای بیرون و داخل گلخانه کم‌تر از ۵ درجه سلسیوس باشد، تهویه طبیعی درست عمل نمی‌کند و تنها راه ممکن برای خارج کردن هوای گرم درون گلخانه استفاده از یک سیستم تهویه کمکی است. در این روش با جایگزین کردن هوای درون گلخانه با هوای بیرون، دمای گلخانه را پایین می‌آورند. این کار به وسیله پنکه‌هایی<sup>۱</sup> انجام می‌شود که با انرژی الکتریکی کار می‌کنند. این پنکه‌ها (فن‌ها) بر اساس محل نصب و نحوه قرارگیری بر روی دیواره‌های گلخانه، تبادل هوای گلخانه را به دو روش

1- Fans



دمش (فشار مثبت) یا مکش (فشار منفی) انجام می‌دهند. در ماه‌های سرد سال نیز از سیستم تهویه مصنوعی برای کاهش رطوبت نسبی گلخانه و افزایش غلظت دی‌اکسید کربن استفاده می‌شود. مهم‌ترین مشخصه فن‌ها ظرفیت هوادهی آن‌هاست که برحسب مترمکعب بر ساعت<sup>۱</sup> یا فوت مکعب بر دقیقه<sup>۲</sup> بیان می‌شود. هر مترمکعب بر ساعت برابر با ۰/۵۸۸۵۷۵ فوت مکعب بر دقیقه است.

## انواع فن‌ها

فن‌های مورد استفاده در گلخانه‌ها به دو گروه فن‌های سیرکوله<sup>۳</sup> و فن‌های تخلیه<sup>۴</sup> تقسیم‌بندی می‌شوند. هر دو گروه این فن‌ها جزء فن‌های جریان محوری هستند. در تقسیم‌بندی کلی، فن‌ها بر اساس جهت جریان هوا نسبت به محور فن به دو گروه فن‌های محوری<sup>۵</sup> و شعاعی<sup>۶</sup> تقسیم می‌شوند (شکل ۲۱). در فن محوری، جهت جریان هوا موازی محور فن و در نوع جریان شعاعی عمود بر محور فن است. فن‌های محوری برای جابه‌جایی حجم

1- m3.h-1

2- cfm

3- Circulation fan

4- Exhaust fan

5- Axial fan

6- Centerifugal fan

بالای هوا در مقابل فشار استاتیک پایین استفاده می‌شود، درحالی‌که فن‌های شعاعی برای حرکت دادن هوا در مقابل فشار استاتیک بالا به کار می‌روند. به همین دلیل در گلخانه‌ها بیش‌تر از فن‌های محوری استفاده می‌شود.



شکل ۲۱- انواع فن‌ها: فن محوری (راست)، فن گریز از مرکز یا شعاعی (چپ)

## فن سیرکوله

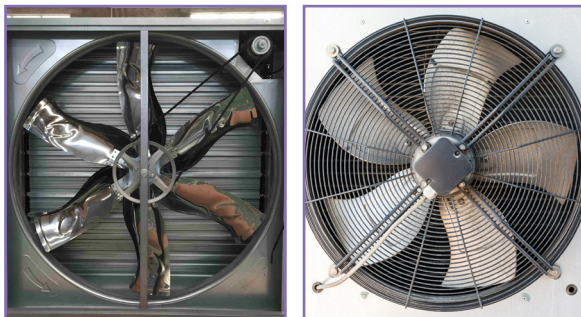
فن سیرکوله که به نام جت فن<sup>۱</sup> نیز شناخته می‌شود، برای جابه‌جایی هوا و یکنواخت‌سازی دما و رطوبت در گلخانه‌ها و همچنین مرغداری‌ها و سالن‌های پرورش قارچ استفاده می‌شود. استفاده از فن سیرکوله از تغییرات ناگهانی دما و رطوبت سالن‌ها جلوگیری می‌کند و با به‌گردش درآوردن دائمی هوا از رشد باکتری‌ها و قارچ‌های مضر

1- Jet fan

به میزان چشمگیری جلوگیری می‌کند. فن سیرکوله با جبران افت فشار باعث عملکرد بهتر تهویه‌های اصلی سالن و افزایش بازده سیستم‌های سرمایشی و گرمایشی می‌شود. نحوه انتقال قدرت از الکتروموتور به پروانه در فن‌های سیرکوله به روش اتصال مستقیم<sup>۱</sup> انجام می‌شود (شکل ۲۲). در این نوع انتقال قدرت، الکتروموتور مستقیماً به پروانه متصل می‌شود و این نوع اتصال دارای سرو صدا و لرزش کم تری است. بنابراین، در جاهایی که امکان تکیه‌گاه برای بدنه فن وجود ندارد، کاربرد فراوان دارد و قابل نصب در زیر سقف گلخانه است (شکل ۲۳). فن‌های سیرکوله برای استفاده در گلخانه‌ها با اندازه‌های مختلفی در بازار موجود هستند. این فن‌ها با قطرهای متفاوت ۴۰، ۵۰ و ۶۰ سانتی‌متر و همچنین تعداد پره‌های ۳، ۴، ۶ و ۹ تولید می‌شوند و دارای ظرفیت هوادهی ۴،۰۰۰ تا ۶،۰۰۰ مترمکعب بر ساعت (۲،۳۵۰ تا ۳،۵۰۰ فوت مکعب بر دقیقه) هستند. این فن‌ها با موتورهای الکتریکی تک فاز یا سه فاز با سرعت ۱،۴۰۰ دور در دقیقه در دسترس هستند.

---

1- Direct drive



شکل ۲۲- انواع انتقال قدرت در فن‌ها: تسمه و پولی (راست) و مستقیم (چپ)



شکل ۲۳- فن سیرکوله برای گردش هوا در گلخانه

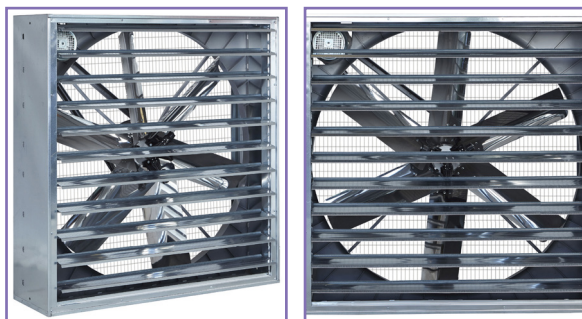
## فن تخلیه

فن‌های تخلیه وظیفه اصلی تبادل هوا و خنک کردن گلخانه را بر عهده دارند. این فن‌ها هوای درون گلخانه را می‌مکند و بیرون می‌رانند؛ به همین دلیل به عنوان

فن های تخلیه شناخته می شوند. این کار باعث افت فشار در داخل گلخانه می شود که به ورود هوای تازه از بیرون و از مجاری ورودی هوا منجر می شود. این نوع فن ها قابلیت تبادل هوای زیادی دارند و ظرفیت تبادل هوای آن ها بسته به اندازه پروانه و قدرت موتور متغیر است. انتقال قدرت از موتور به پروانه این فن ها به وسیله تسمه و پولی انجام می شود (شکل ۲۲). اجزای این فن ها عبارت اند از: پروانه، بدنه، الکتروموتور، پولی، تسمه، یاتاقان، شفت و دریچه تنظیم هوا<sup>۱</sup>. دمپر وظیفه بستن مسیر جریان هوا را در زمانی که فن خاموش است، بر عهده دارد. زمانی که فن خاموش است، دمپر کاملاً بسته می شود و هیچ گونه تبادل هوایی و انتقال حشرات انجام نمی گیرد. این فن ها دارای دو نمونه دمپر وزنه ای و دمپر کلاچ دار هستند. دمپر وزنه ای با فشار هوا باز می شود و زمانی که الکتروموتور خاموش شود، دمپر نیز بسته خواهد شد. اما در دمپر کلاچ دار، مکانیزم کلاچ به محض روشن شدن فن باعث باز شدن دمپر ها می شود (شکل ۲۴).

---

1- Damper



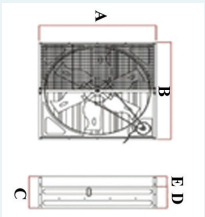
شکل ۲۴- فن تخلیه مجهز به دمپر

یکی از معایب دمپر کلاچ دار، وجود قطعه‌ای پلاستیکی برای بازکردن دمپرها توسط نیروی محرکه الکتروموتور است که به مرور زمان این قطعه پلاستیکی آسیب می‌بیند و از عملکرد استاندارد خارج می‌شود. از محاسن فن‌های گلخانه کلاچ دار می‌توان به بازبودن کامل خروجی دمپرها در زمان کارکردن فن اشاره کرد که در نتیجه هیچ‌گونه مقاومتی در مقابل تخلیه هوا از طریق دمپرها وجود ندارد. از فن کلاچ دار در فصل تابستان می‌توان به عنوان هواکش گلخانه استفاده کرد. با بازگذاشتن دمپره‌های فن گلخانه کلاچ دار در فصل تابستان می‌توان به جابه‌جایی هرچه بهتر هوای داخل گلخانه با هوای بیرون کمک کرد. فن‌های تخلیه با ابعاد و ظرفیت‌های متفاوتی در بازار موجود هستند که برحسب نوع کاربرد تعریف می‌شوند.

بیش‌ترین نوع کاربرد در گلخانه‌ها فن‌هایی با ابعاد ۷۵، ۱۰۰، ۱۲۰ و ۱۴۰ سانتی‌متر است. جدول ۷ مشخصات ابعادی انواع فن گلخانه و جدول ۸ مشخصات فنی آن‌ها را نشان می‌دهد. جنس پروانه فن از استیل ضدزنگ است و دارای ۳، ۵ یا ۶ پره هستند.

جدول ۷- مشخصات ابعادی فن‌های تخلیه مورد استفاده در گلخانه‌ها

اندازه فن (سانتی‌متر)	A (میلی‌متر)	B (میلی‌متر)	C (میلی‌متر)	D (میلی‌متر)	E (میلی‌متر)	F (میلی‌متر)
۷۵	۷۵۰	۷۵۰	۵۱۰	۳۷۰	۱۴۰	۶۲۰
۱۰۰	۱۰۰۰	۱۰۰۰	۴۵۰	۳۰۵	۱۴۵	۹۳۵
۱۲۰	۱۲۰۰	۱۲۰۰	۴۵۰	۳۰۵	۱۴۵	۱۰۵۰
۱۴۰	۱۳۸۰	۱۳۸۰	۴۵۰	۳۰۵	۱۴۵	۱۲۹۰



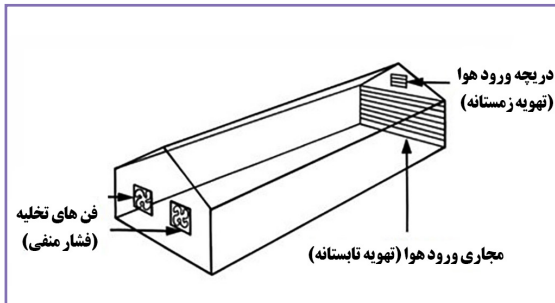
جدول ۸- مشخصات فن‌های تخلیه مورد استفاده در گلخانه‌ها

قدرت موتور (وات)	ظرفیت هوادهی		سرعت چرخش پروانه (دور در دقیقه)	سرعت چرخش موتور (دور در دقیقه)	قطر پروانه (سانتی‌متر)	اندازه فن (سانتی‌متر)
	فوت مکعب بر دقیقه	متر مکعب بر ساعت				
۴۵۰	۱۰۰۰۰	۱۷۰۰۰	۴۳۷	۱۴۰۰	۶۵	۷۵
۵۵۰	۱۲۳۵۰	۲۱۰۰۰	۴۳۷	۱۴۰۰	۹۰	۱۰۰
۷۵۰	۱۴۷۰۰	۲۵۰۰۰	۶۱۰	۱۴۰۰	۹۰	۱۰۰
۹۵۰	۲۰۵۰۰	۳۵۰۰۰	۴۳۷	۱۴۰۰	۱۱۰	۱۲۰
۱۱۰۰	۲۶۰۰۰	۴۴۰۰۰	۴۳۷	۱۴۰۰	۱۲۵	۱۴۰



## محل مناسب نصب فن های تهویه

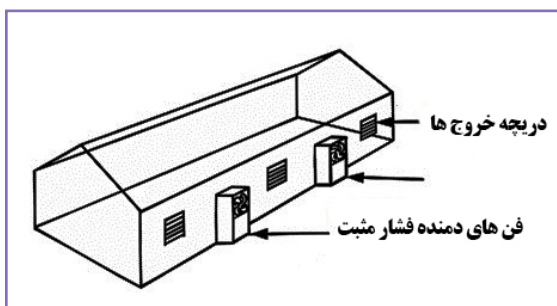
در حالتی که گلخانه فاقد سیستم خنک کننده تبخیری است و خنک کردن گلخانه تنها به وسیله تهویه انجام می گیرد، نصب فن ها در دیواره انتهایی یکی از رایج ترین روش های نصب فن در گلخانه است (شکل ۲۵). در این حالت، فن ها در دیواره انتهایی و در طرف مقابل دریچه های ورودی هوا نصب می شوند.



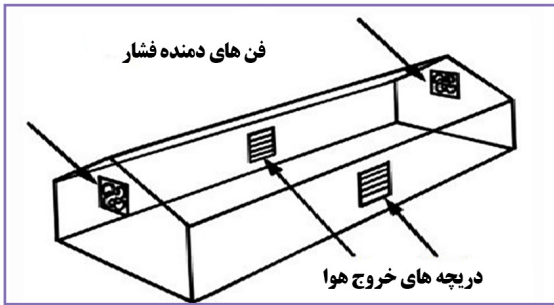
شکل ۲۵- نصب فن ها در دیواره انتهایی

فن های تخلیه باید قادر به تخلیه هوای اندک (تهویه حداقلی) برای زمستان و همچنین تهویه اصلی در تابستان باشند. البته در این حالت بهتر است طول سالن بیش تر از ۵۰ متر نباشد. در سالن های بزرگ تر اختلاف

دمای نقاط مختلف بیش تر است. در این سالن ها به تهویه بیش تری احتیاج است و مهم است هوا از منافذ دیگری به جز فن ها و دریچه های طراحی شده در سازه گلخانه تبادل نشود. سقف گلخانه باید به گونه ای باشد که از طریق منافذ آن هوایی وارد گلخانه نشود؛ بنابراین بازبینی و ترمیم دوره ای پوشش سقف و دریچه ها ضروری است. برای گلخانه هایی که طول آن ها کم تر از ۴۰ متر است می توان از فن های دمنده استفاده کرد. این فن ها به روش فشار مثبت عمل می کنند و هوا را با فشار وارد گلخانه می کنند. این فن ها را می توان روی دیواره های انتهایی یا دیواره جانبی گلخانه نصب کرد. در این روش دریچه های خروجی هوا روی دیواره های مقابل گلخانه نصب می شوند (شکل های ۲۶ و ۲۷).



شکل ۲۶- فن های فشار مثبت در گلخانه هایی با طول کم (نصب فن های دمنده روی دیواره جانبی)



شکل ۲۷- فن های فشار مثبت در گلخانه هایی با طول کم (نصب فن های دمنده روی دیواره های انتهایی)

توصیه می شود فن در ارتفاعی نصب شود که اختلاف سطح کافی با بلندترین گیاه داخل گلخانه داشته باشد تا گیاهان در معرض مستقیم جریان هوا قرار نگیرد. فن ها باید در خلاف جهت باد غالب نصب شوند. فاصله بین دو فن مجاور از یکدیگر نباید بیش از ۸ تا ۱۰ متر و کم تر از  $\frac{1}{5}$  تا ۲ برابر قطر آن ها باشد (شکل ۲۸). پنجره های روبه روی فن ها حداقل باید به اندازه  $\frac{1}{25}$  برابر مساحت فن ها باز باشند. همچنین سرعت جریان هوا بین فن ها و پنجره ها نباید خیلی زیاد باشد و توصیه می شود به دلیل اثری که بر گیاهان می گذارد، این سرعت بیش تر از یک متر بر ثانیه نباشد. فن ها باید مجهز به پنجره های خودکار باشند و به محض خاموش شدن فن ها بسته شوند.

کل ظرفیت جریان فن‌ها باید برای اطمینان از ۲۰ تا ۳۰ بار تهویه در ساعت برای پاییز و زمستان و ۴۰ تا ۸۰ بار تهویه در ساعت برای تابستان محاسبه شود.

روشن و خاموش شدن فن‌ها با فرمان ترموستات موجود در گلخانه انجام می‌گیرد که در صورت افزایش دمای داخل گلخانه از میزان تنظیمی، فن به صورت خودکار روشن می‌شود و تا زمان رسیدن به دمای مطلوب، هوای گرم را از گلخانه خارج می‌کند. بهتر است باز شدن پنجره واردکننده هوای تازه نیز توسط ترموستات انجام شود تا پنجره واردکننده هوا و فن هم‌زمان کار کنند.

همچنین برای جلوگیری از برخورد افراد با فن باید یک تور فلزی که سوراخ‌های آن کم‌تر از  $2/5$  سانتی‌متر باشد، در داخل گلخانه و در مقابل فن قرار داده شود.

تعداد و اندازه فن‌ها برای هر گلخانه بر اساس ابعاد گلخانه و نرخ تبادل هوای مورد نیاز گلخانه تعیین می‌شود. بدین منظور پس از محاسبه حجم گلخانه (برحسب مترمکعب) با استفاده از رابطه ۱، دبی تهویه (برحسب مترمکعب در ساعت) محاسبه می‌شود. دبی تهویه نشان‌دهنده دبی مورد نیاز برای کل گلخانه است که باید توسط فن‌ها تأمین شود.

با استفاده از مشخصات فنی فن‌های تخلیه (جدول ۷) می‌توان تعداد فن‌ها را بر اساس اندازه و ظرفیت هوادهی آن‌ها تعیین کرد.

وقتی از تهویه کمکی استفاده می‌شود و گلخانه توری محافظ حشرات نیز دارد، افزایش کارایی فن‌ها ضروری است. گلخانه‌هایی که در برابر ورود حشرات نفوذ ناپذیر هستند، به تهویه اجباری نیاز دارند. در این وضعیت بهتر است با کشیدن هوا از خارج به داخل گلخانه، فشار داخل نسبت به خارج افزایش یابد و در ورودی‌های هوا باید مانع ورود حشرات شد.

استفاده از چند فن کوچک به جای یک فن بزرگ، برای رسیدن به یکنواختی بهتر، ارجحیت دارد. قاعده عملی در گلخانه‌های پلاستیکی این است که حداکثر جریان فن استفاده شده باید ۲/۱ تا ۳ مترمکعب بر مترمربع از سطح زمین گلخانه باشد. بازدهی سیستم تهویه مکانیکی حدود ۸۰ درصد است. در محاسبه تهویه در مناطق با ارتفاع بالاتر از سطح دریا باید کاهش دانسیته هوا را که سبب کاهش بازدهی تهویه می‌شود، در نظر گرفت.



شکل ۲۸- نحوه قرارگیری فن‌های تخلیه روی دیواره عرضی گلخانه

## اصول کار سیستم سرمایش تبخیری

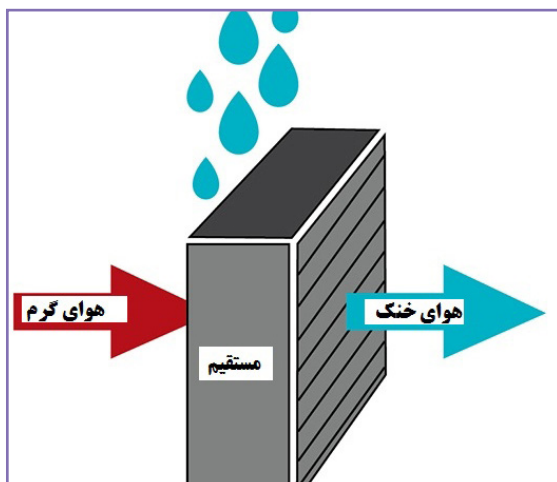
اگر درجه حرارت گلخانه به حدی رسید که به وسیله استفاده از سایه اندازها، دمنده‌ها و مکنده‌ها قادر به کنترل نباشد، استفاده از سامانه‌های کمکی خنک‌کننده در گلخانه ضرورت خواهد داشت. رایج‌ترین سامانه‌های خنک‌کننده در گلخانه از نوع تبخیری است. سیستم‌های سرمایش تبخیری از نظر نحوه خنک کردن هوا به دو دسته سرمایش تبخیری مستقیم و سرمایش تبخیری غیرمستقیم دسته‌بندی می‌شوند. سرمایش تبخیری برای کاربرد در مناطق با آب و هوای خشک و نیمه خشک بسیار مناسب است، ولی برای

مناطق با آب و هوای مرطوب مناسب نیست؛ زیرا این سیستم در شرایط آب و هوایی مرطوب نمی‌تواند دمای هوا را کاهش دهد و از طرفی در مناطق خشک باعث افزایش رطوبت هوا می‌شود که مزایای فراوانی به همراه دارد.

### سرمایش تبخیری مستقیم<sup>۱</sup>

اصول کار سیستم‌های سرمایش تبخیری مستقیم بر پایه تماس آب با هوای خشک است که در طی آن قطرات آب با هوا ترکیب می‌شود و گرمای نهان هوا توسط قطرات آب گرفته می‌شود تا دمای هوا کاهش یابد. قطرات آب نیز با گرفتن این گرما به بخار آب تبدیل می‌شوند و همراه هوا وارد محیط داخل گلخانه می‌شوند. هر گرم آب با تبدیل شدن به بخار، ۶۰۰ کالری برابر ۲,۵۰۰ ژول انرژی گرمایی جذب می‌کند. در این سیستم، آب روی شبکه‌های الیافی پاشیده می‌شود تا سطح تماس قطرات آب با هوایی که به وسیله فن جریان می‌یابد، افزایش یابد. مطابق شکل ۲۹ هوای تازه در اثر تماس با پوشال خیس خنک می‌شود و سپس وارد گلخانه می‌شود.

1- Direct evaporative cooling



شکل ۲۹- اصول کار سیستم های سرمایش تبخیری مستقیم

در سیستم سرمایش تبخیری مستقیم، رطوبت هوا تا حد اشباع (۱۰۰ درصد) می تواند بالا رود. در این حالت دمای حباب خشک<sup>۱</sup> کاهش می یابد، درحالی که دمای حباب مرطوب<sup>۲</sup> تغییر نمی کند. دمای حباب خشک دمایی است که با دماسنج اندازه گیری می شود. دمای حباب مرطوب دمایی است که هوا تا آن دما توسط تبخیر آب می تواند سرد شود و به اشباع برسد. در یک سیستم سرمایش تبخیری مستقیم، دمای حباب خشک خروجی با استفاده از رابطه ۵ محاسبه می شود.

1- Dry bulb temperature

2- Wet bulb temperature



$$T_{db0} = T_{dbi} - (T_{dbi} - T_{wbi}) \times \eta \quad (5)$$

$T_{db0}$ : دمای حباب خشک ورودی (درجه سلسیوس)

$T_{dbi}$ : دمای حباب خشک خروجی (درجه سلسیوس)

$T_{wbi}$ : دمای حباب مرطوب ورودی (درجه سلسیوس)

$\eta$ : بازده تبخیر سیستم سرمایشی (درصد)

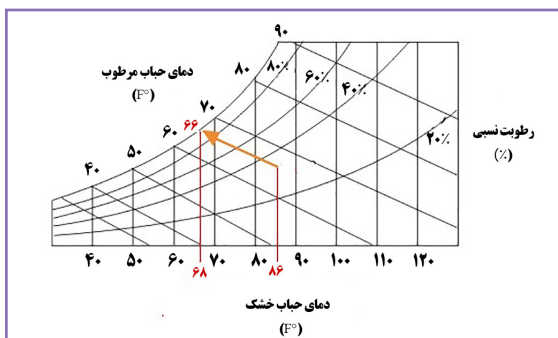
روش اندازه‌گیری رطوبت موجود در هوا را سایکرومتری<sup>۱</sup> یا نم‌شناسی می‌نامند. نمودارهای سایکرومتری<sup>۲</sup> داده‌های اطلاعاتی حاصل از اقلیم همچون دمای خشک، دمای مرطوب و فشار بخار در روی نمودار مشخص می‌شوند و سپس با استفاده از این داده‌ها به تحلیل آن‌ها پرداخته می‌شود و در نهایت شرایط اقلیمی و اصولی که برای طراحی باید استفاده شوند، مشخص می‌شود. باید توجه داشت که این نمودار را می‌توان به‌طور جداگانه برای هر شهر تنظیم کرد تا دقت اصول تعیین شده افزایش یابد.

شکل ۳۰ روند کاهش دما در یک سیستم سرمایش تبخیری را بر روی نمودار سایکرومتری همراه با یک مثال نشان می‌دهد. برای مثال چنانچه دمای حباب خشک و مرطوب ورودی به گلخانه به ترتیب ۸۶ و ۶۶ درجه فارنهایت (۳۰ و ۱۹ درجه سلسیوس) و بازده سیستم سرمایش تبخیری نیز ۹۰ درصد باشد، با استفاده از رابطه ۵ دمای حباب

1- Psychrometric

2- Psychrometric chart

خشک ورودی ۶۸ درجه فارنهایت (۲۰ درجه سلسیوس) به دست می‌آید، درحالی که دمای حباب مرطوب خروجی همان گونه که بر روی نمودار نشان داده شده است، تغییر نمی‌کند.



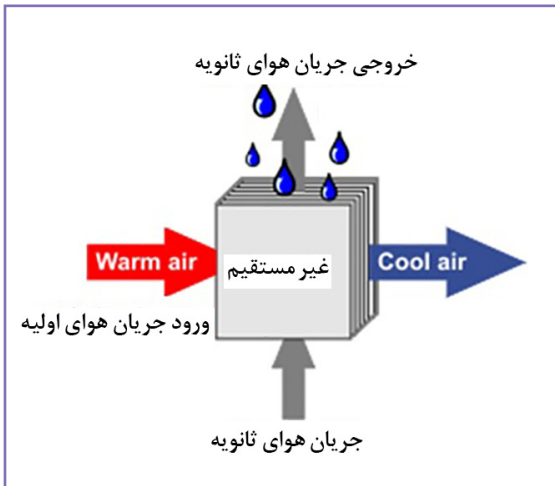
شکل ۳۰- نمایش کاهش دما در اثر سرمایش تبخیری مستقیم با استفاده از نمودار سایکرومتری

## سرمایش تبخیری غیرمستقیم<sup>۱</sup>

در سرمایش تبخیری غیرمستقیم، هوای گرم ورودی پس از برخورد با جریان هوای ثانویه خنک می‌شود. در این سیستم جریان هوای ثانویه با آب سرد می‌شود. این هوا در یک مبدل صفحه‌ای هوا به هوا با جریان هوای اولیه تبادل حرارتی می‌کند و باعث خنک شدن هوای اولیه به صورت غیرمستقیم می‌شود (شکل ۳۱). در این حالت دمای حباب

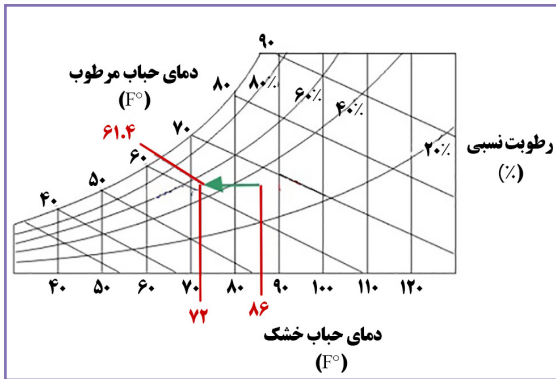
1- Indirect evaporative cooling

خشک و دمای حباب مرطوب هر دو کاهش می‌یابد. همچنین در فصل گرم می‌توان با عبور هوای تخلیه به عنوان هوای ثانویه از مبدل، هوای گرم بیرون را خنک کرد. معمولاً سرمایش تبخیری غیرمستقیم برای گلخانه‌ها در مناطق خشک و نیمه خشک کاربرد چندانی ندارد و با توجه به اینکه در شرایط هوایی مرطوب نمی‌تواند به خوبی دمای هوا را کاهش دهد، استفاده از آن در مناطق با رطوبت بالا نیز توصیه نمی‌شود. از این سیستم سرمایشی بیش‌تر در ساختمان‌های صنعتی یا مسکونی استفاده می‌شود که افزایش رطوبت مد نظر نیست.



شکل ۳۱- اصول کار سیستم‌های سرمایش تبخیری غیرمستقیم

شکل ۳۲ روند کاهش دما در یک سیستم سرمایش تبخیری را بر روی نمودار سایکرومتری همراه با یک مثال نشان می‌دهد. برای مثال چنانچه دمای حباب خشک و مرطوب ورودی به گلخانه به ترتیب ۸۶ و ۶۶ درجه فارنهایت (۳۰ و ۱۹ درجه سلسیوس) و بازده سیستم سرمایش تبخیری نیز ۷۰ درصد باشد، با استفاده از رابطه ۵ دمای حباب خشک ورودی ۷۲ درجه فارنهایت (۲۲ درجه سلسیوس) به دست می‌آید و با استفاده از نمودار سایکرومتری دمای حباب مرطوب خروجی ۶۱/۴ درجه فارنهایت (۱۶/۳ درجه سلسیوس) خواهد شد.



شکل ۳۲- نمایش کاهش دما در سرمایش تبخیری مستقیم با استفاده از نمودار سایکرومتری

## سیستم سرمایش تبخیری گلخانه

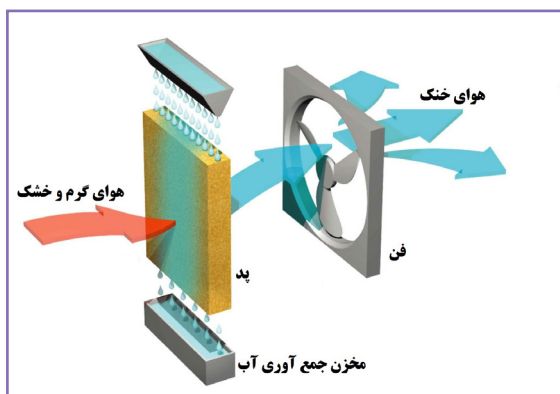
استفاده از سیستم سرمایش تبخیری مستقیم در مناطقی با رطوبت نسبی پایین بهترین روش خنک کردن گلخانه است. با استفاده از این سیستم در روزهای گرم تابستان می‌توان تا ۱۵ تا ۲۰ درجه سلسیوس دمای گلخانه را کاهش داد. در این سیستم، هنگامی که هوای ورودی به سیستم خشک است، عمل تبخیر آب بیش تر است و گرمای بیش تری را جذب می‌کند، بنابراین مصرف آب در گلخانه بسیار بالا خواهد رفت.

فاصله‌ای که هوا بین فن‌ها و پدها حرکت می‌کند، یک عامل محدودکننده است و برای پرهیز از اختلاف زیاد دما و رطوبت بین نواحی مختلف گلخانه این فاصله نباید بیش از ۴۰ متر باشد.

نحوه عمل سیستم سرمایش تبخیری مورد استفاده در گلخانه‌ها بدین صورت است که در یک طرف گلخانه چند فن تخلیه هوا را از داخل گلخانه بیرون می‌رانند و در طرف دیگر گلخانه (طرف مقابل فن‌ها) هوا از بین منافذ شبکه الیافی وارد گلخانه می‌شود. این شبکه الیافی که به پد<sup>۱</sup> معروف است، با جریان آب همواره مرطوب نگه داشته می‌شود.

هوای گرم و خشک بیرون گلخانه در حین عبور از بین منافذ پد باعث تبخیر آب می‌شود، درجه حرارتش کم می‌شود و وارد گلخانه می‌شود (شکل ۳۳).

استفاده از آب باکیفیت در این سیستم توصیه می‌شود، وگرنه نمک‌های آب خیلی سریع سبب مسدودشدن پدها می‌شوند و باید آن‌ها را عوض کرد که تأثیری معنادار بر هزینه‌ها دارد.



شکل ۳۳- اصول کار سیستم سرمایش تبخیری گلخانه

میزان کاهش درجه حرارت گلخانه توسط سیستم سرمایش تبخیری مستقیم، تابعی از درجه حرارت محیط بیرون و رطوبت نسبی هواست. تحقیقات نشان داده که

چنانچه رطوبت نسبی هوای بیرون بالاتر از ۶۰ درصد باشد، بازدهی این سیستم بسیار پایین است و هرچه درجه حرارت محیط بیرون بالاتر و رطوبت نسبی هوا پایین تر باشد، بازدهی خنک کنندگی سیستم سرمایش تبخیری افزایش خواهد یافت. بازدهی سیستم سرمایش تبخیری با استفاده از رابطه ۶ محاسبه می شود.

$$\eta = \frac{t_{dbi} - t_{dbo}}{t_{dbi} - t_{wbi}} \times 100 \quad (6)$$

$\eta$ : بازدهی سیستم سرمایشی (درصد)

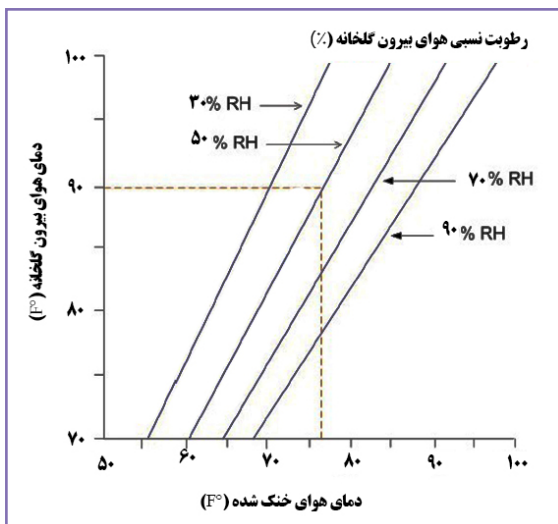
$t_{dbi}$ : دمای حباب خشک ورودی به پد (درجه سلسیوس)

$t_{dbo}$ : دمای حباب خشک خروجی از پد (درجه سلسیوس)

$T_{wbi}$ : دمای حباب مرطوب ورودی به پد (درجه سلسیوس)

شکل ۳۴ تغییرات دمایی گلخانه را در رطوبت های نسبی متفاوت نشان می دهد. همان گونه که مشاهده می شود، با افزایش رطوبت نسبی کارایی سیستم سرمایشی تبخیری نیز کاهش می یابد. برای مثال، در رطوبت نسبی ۵۰ درصد سیستم سرمایش تبخیری موجب کاهش دمای گلخانه از

۹۰ به ۷۶/۵ درجه فارنهایت (۳۲ به ۲۵ درجه سلسیوس) می‌شود که کارایی ۸۵ درصدی را نشان می‌دهد. مقادیر کمی دمای داخل و خارج گلخانه در رطوبت‌های نسبی متفاوت (در استفاده از سیستم سرمایش تبخیری) در جدول ۹ آورده شده است.



شکل ۳۴- تغییرات دمای گلخانه در رطوبت‌های نسبی (RH) متفاوت با استفاده از سیستم خنک‌کننده تبخیری



جدول ۹- تخمین درجه حرارت گلخانه در رطوبت‌های مختلف به ازای حجم هوای مبادله شده

رطوبت نسبی هوای بیرون گلخانه (درصد)				دمای بیرون گلخانه (درجه سلسیوس)
۹۰	۷۰	۵۰	۳۰	
دمای داخل گلخانه (درجه سلسیوس)				
۳۵/۵	۳۳	۳۰	۲۶	۳۸
۳۰/۵	۲۹	۲۵	۲۱	۳۲
۲۵	۲۳	۲۰/۵	۱۷/۵	۲۷
۲۰	۱۷/۵	۱۵/۵	۱۲/۵	۲۱

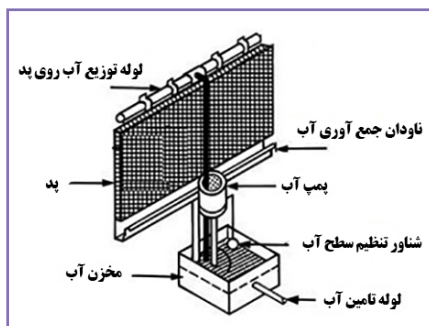
در سیستم‌های سرمایش تبخیری، دمای نقاط مختلف داخل گلخانه برحسب نزدیکی یا دوری از پد متفاوت است. با ورود هوای مرطوب به داخل گلخانه که از پد عبور کرده است، این هوا به تدریج با هوای گرم داخل گلخانه برخورد می‌کند و تبادل گرمایی انجام می‌گیرد و همان‌طور که به سمت فن‌ها حرکت می‌کند، دمای آن نیز افزایش می‌یابد. جدول ۱۰ نتایج یک تحقیق موردی در خصوص تغییرات دمایی و رطوبتی مکانی داخل گلخانه را نشان می‌دهد.

جدول ۱۰- تغییرات درجه حرارت و رطوبت گلخانه در سیستم سرمایش تبخیری

محل اندازه‌گیری					
نزدیک فن	وسط گلخانه	نزدیک پد	روی پد	بیرون گلخانه	
۲۶	۲۷	۲۴/۵	۲۰	۳۳	درجه حرارت (درجه سلسیوس)
۵۷	۵۰	۵۶/۵	۶۸	۲۳	رطوبت (درصد)

## تجهیزات سیستم سرمایش تبخیری

سیستم سرمایش تبخیری از سه بخش اصلی تشکیل شده است: پد (پوشال)، فن تخلیه، و سیستم آب‌رسانی (پمپ آب، مخزن آب، لوله‌های انتقال آب و فیلترها، ناودان‌ها و سیستم جمع‌آوری آب). شکل ۳۵ سیستم سرمایش تبخیری را به صورت شماتیک نشان می‌دهد.



شکل ۳۵- شماتیک سیستم سرمایش تبخیری

## پد

شبکه ای الیافی است که به عنوان پد یا بالشتک معرفی شده است. پد که مانند دیواره ای عمودی مقابل فن های تخلیه در طرف دیگر گلخانه نصب می شود، وظیفه اصلی جذب رطوبت و اجازه عبور هوا از بین شبکه های الیافی و برقرای تماس بین هوای خشک با قطرات آب را بر عهده دارد. امروزه دو نوع پد با نام های «پوشال سوزنی»<sup>۱</sup> و «پد سلولزی»<sup>۲</sup> در بازار موجود است.

## انواع پد

## پوشال سوزنی

جنس پوشال سوزنی از تراشه چوب نجاری است که به صورت بالشتکی مسطح با ابعاد و ضخامت های مختلف تولید می شوند. اجزاء اصلی پوشال سوزنی عبارت اند از: تراشه چوب صنوبر، نخ کنفی و توری نگهدارنده. تراشه های چوب توسط یک دستگاه نقاله ای ساده به صورت لایه ای مسطح بین توری قرار می گیرد و با نخ های کنفی در چند رشته مختلف به صورت عمودی و افقی توسط دستگاه دوخته می شوند (شکل ۳۶). این پوشال ها به دلیل ارزانی اغلب

1- Wood wool

2- Pulpy cellulose

به جای پدهای سلولزی در گلخانه‌ها استفاده می‌شوند و در ضخامت‌های ۳۰ و ۵۰ میلی‌متری در بازار موجود هستند. با توجه به اینکه پوشال‌ها پس از خیس شدن سنگین می‌شوند، برای جلوگیری از افتادگی تراشه‌های چوب داخل توری، هنگام نصب به‌طور کامل به دیواره گلخانه محکم بسته می‌شوند. همچنین به دلیل ورود گرد و غبار در منافذ تراشه‌های چوبی، در مناطقی که گرد و غبار هوا زیاد است استفاده از این نوع پدها توصیه نمی‌شود.

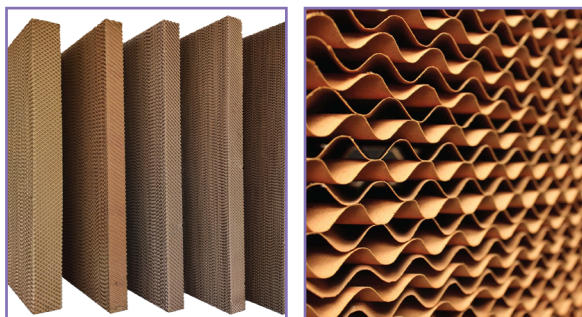


شکل ۳۶- پوشال سوزنی نصب شده در دیواره گلخانه

## پد سلولزی

پد سلولزی از ورقه‌های نازک منظم و موج‌دار از جنس سلولز با خاصیت جذب رطوبت زیاد ساخته شده است. همچنین به وسیله مواد شیمیایی ضدخوردگی اشباع شده‌اند که در مقابل تجزیه و فساد نیز محافظت می‌شوند. ساختار پد سلولزی به گونه‌ای است که شیارهایی با زوایای ۴۵ و ۶۰ درجه، شیارهای لایه مجاور را با زوایای ۱۵ و ۳۰ درجه قطع می‌کنند (شکل ۳۷).

پدهای سلولزی بر اساس طول موج لایه‌های کاغذی و زاویه قرارگیری این لایه‌ها روی یکدیگر شناخته می‌شوند و بر همین اساس نیز طبقه‌بندی و کدگذاری می‌شوند. برای مثال، پد سلولزی با کد ۷۰۹۰ دارای طول موج ۷۰ میلی‌متر و زاویه ۹۰ برای قرارگیری لایه‌ها بر روی یکدیگر است. این پدها در ضخامت‌های مختلف از ۵ تا ۳۰ سانتی‌متری و در قطعاتی با عرض ۲۰ تا ۶۰ و ارتفاع ۱۰۰ تا ۲۰۰ سانتی‌متر موجود است.



شکل ۳۷- پد سلولزی

### محاسبه ابعاد پد

به طور معمول، ارتفاع پد در اکثر گلخانه‌ها ۲ متر و طول آن برابر با طول گلخانه منظور می‌شود؛ زیرا پد روی دیواره طولی گلخانه نصب می‌شود. در طراحی ابعاد پد مورد نیاز برای گلخانه، ابتدا مساحت مورد نیاز محاسبه می‌شود و سپس مقدار به دست آمده بر عرض گلخانه تقسیم می‌شود و عدد به دست آمده نشانگر ارتفاع پد است. به منظور دستیابی به کارایی ۸۵ درصدی سیستم سرمایش تبخیری گلخانه، شدت جریان هوای عبور از میان پدهای مختلف در گلخانه مطابق جدول ۱۱ است. برای مثال، این بدین معناست که به ازای هر مترمربع پد سلولزی با ضخامت ۱۰ سانتی متر، ۹۰ مترمکعب هوا در دقیقه باید عبور کند. بنابراین، برای محاسبه مساحت پد مورد نیاز برای گلخانه از اطلاعات این جدول استفاده می‌شود. سیستم سرمایشی و

تهویه گلخانه باید توانایی تهویه هوای کل گلخانه را در مدت زمان یک دقیقه (۶۰ بار در ساعت) داشته باشد؛ بنابراین مساحت پد از رابطه ۷ محاسبه می‌شود.

$$A = \frac{V}{H} \quad (7)$$

A: مساحت پد (مترمربع)

V: حجم گلخانه (مترمربع) (برای محاسبه حجم گلخانه

به پیوست ۲ مراجعه شود)

H: دبی هوای عبوری از میان پد (مترمکعب بر دقیقه)

(با استفاده از جدول ۸)

جدول ۱۱- شدت جریان هوای پیشنهادی برای عبور از میان انواع پدها

شدت جریان هوا به ازای هر مترمربع مساحت پد		نوع پد
(مترمکعب بر دقیقه)	(مترمکعب بر ساعت)	
۴۵	۲۷۰۰	پوشال سوزنی نصب‌شده عمودی (با ضخامت ۵ تا ۱۰ سانتی‌متر)
۶۰	۳۶۰۰	پوشال سوزنی نصب‌شده افقی (با ضخامت ۵ تا ۱۰ سانتی‌متر)
۹۰	۴۵۰۰	پد سلولزی (ضخامت ۱۰ سانتی‌متر)
۱۱۰	۶۶۰۰	پد سلولزی (ضخامت ۱۵ سانتی‌متر)

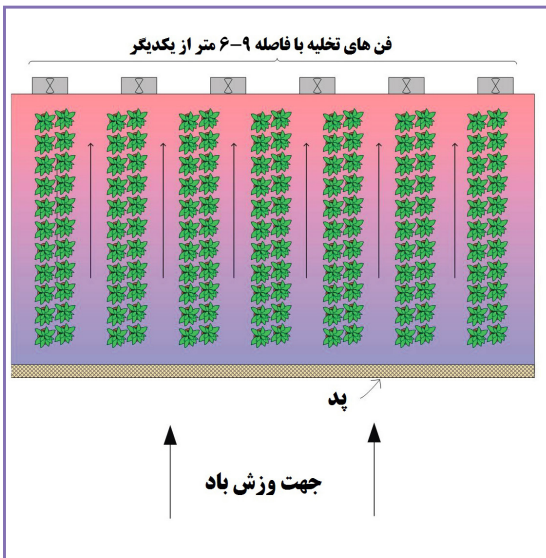
## اصول نصب پد

همان گونه که بیان شد، به طور معمول پد روی دیواره طولی گلخانه نصب می‌شود. بنابراین در طراحی گلخانه باید این موضوع مد نظر قرار گیرد که پد در سمت جریان باد غالب منطقه نصب شود تا جریان باد به عبور جریان هوا از بین شبکه‌های الیافی پد کمک کند (شکل‌های ۳۸ و ۳۹). اصولاً فن سمت جنوب و پد در شمال گلخانه نصب می‌شود تا پدها سایه اندازی به داخل گلخانه نداشته باشند و همچنین تابش آفتاب روی پدها باعث تبخیر سریع و رسوب املاح روی پد نشود. گیاهان داخل گلخانه نباید مانعی برای حرکت هوای سیستم سرمایش ایجاد کند و جریان هوا باید به راحتی از میان گیاهان عبور کند.

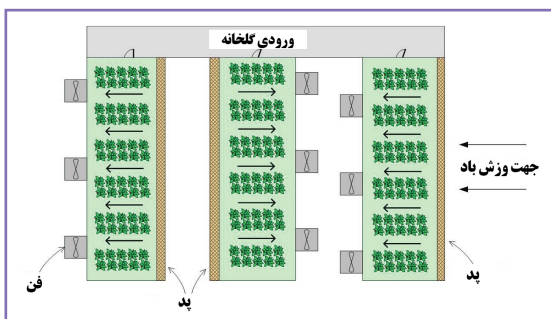
از مهم‌ترین مسائلی که در هنگام طراحی گلخانه باید در نظر گرفت، طول گلخانه است که تعیین کننده فاصله بین فن و پد است. بنابراین، در گلخانه‌هایی که طول آن‌ها کم‌تر از ۴۰ متر است، پد روی دیواره طولی گلخانه و در طرف مقابل فن‌ها نصب می‌شود. در گلخانه‌هایی که عرض آن‌ها بالاتر از ۴۰ متر است، به دلیل ناکارآمدی فن‌های



تخلیه، این الگو کاربرد ندارد و باید فن‌ها و پدها به صورت چند ردیف موازی در عرض گلخانه نصب شوند؛ به طوری که فاصله بین هر ردیف فن و پد از ۴۰ متر تجاوز نکند (شکل ۴۰). مناسب‌ترین فاصله بین فن و پد برای فن‌های تخلیه ۱۴۰ سانتی متری بین ۳۰ تا ۴۰ متر توصیه می‌شود که این فاصله متشکل از چهار دهانه با عرض ۷/۵ تا ۱۰ متر است.



شکل ۳۸- نصب پد در دیواره طولی گلخانه و طرف مقابل فن‌های تخلیه



شکل ۳۹- نصب چند ردیف فن و پد در گلخانه‌های عریض و به هم پیوسته



شکل ۴۰- نصب پد در دیواره طولی گلخانه

## سیستم آب‌رسانی

سیستم آب‌رسانی در سیستم سرمایش تبخیری وظیفه مرطوب نگه داشتن پدها را بر عهده دارد. این سیستم شامل

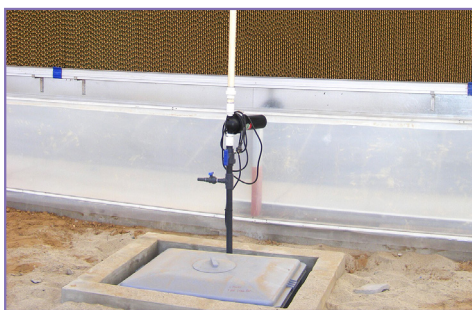
مخزن ذخیره آب، پمپ آب، صافی، لوله‌های انتقال، نازل‌های آب پاش و ناودانی جمع‌آوری آب است.

## مخزن آب

مخزن آب که می‌تواند از جنس ورق آهن گالوانیزه یا پلی‌اتیلن باشد، اغلب پایین‌تر از سطح گلخانه و درون خاک نصب می‌شود تا جریان آب برگشتی از پد توسط نیروی ثقل به مخزن وارد شود. چنانچه از مخزن فلزی استفاده شود، لازم است محفظه‌ای درون خاک توسط آجر و سیمان ایجاد شود تا از پوسیدگی مخزن جلوگیری شود (شکل ۴۱). در صورت استفاده از مخزن پلی‌اتیلن به محفظه مخصوص نیازی نیست و می‌توان اطراف مخزن را با خاک پر کرد. اندازه مخزن بر اساس نوع پد و مساحت پد به کاررفته در گلخانه انتخاب می‌شود. در جدول ۱۲ حجم مورد نیاز برای مخزن ذخیره آب برای انواع پدها آورده شده است. به طور کلی به ازای هر مترمربع مساحت پد بین ۲۰ تا ۴۰ لیتر حجم مخزن مورد نیاز است. برای مثال، در گلخانه‌ای که دارای پد سلولزی به طول ۴۰ و ارتفاع ۲ متر و ضخامت ۱۵ سانتی‌متر است، مخزنی با حجم ۳,۲۰۰ لیتر مورد نیاز است.

مخزن دارای یک ورودی آب است که به شناور تنظیم سطح آب مخزن مجهز است تا همواره سطح آب مخزن را در حد تنظیمی ثابت نگه دارد و از سرریز شدن مخزن

جلوگیری کند. خروجی مخزن نیز در قسمت پایین آن است و به پمپ وصل می‌شود.



شکل ۴۱- قرارگیری مخزن آب سیستم خنک کننده در پایین تر از سطح گلخانه

جدول ۱۲- حجم مخزن و دبی آب مورد نیاز در سیستم سرمایه‌ش تبخیری برای انواع پدها

ظرفیت مخزن ذخیره آب به‌ازای هر مترمربع پد (لیتر)	دبی آب به‌ازای هر متر طول پد (لیتر بر دقیقه)	نوع پد
۲۰	۳/۷۲	پوشال سوزنی (با ضخامت ۵ تا ۱۰ سانتی‌متر)
۲۰	۵/۰	پوشال سوزنی (با ضخامت ۵ تا ۱۰ سانتی‌متر)
۳۳	۶/۲۰	پد سلولزی (با ضخامت ۱۰ سانتی‌متر)
۴۰	۱۰	پد سلولزی (با ضخامت ۱۵ سانتی‌متر)

## پمپ آب

برای سیستم آب‌رسانی سرمایه‌ش تبخیری گلخانه‌ها از پمپ‌های غوطه‌ور در آب استفاده می‌شود که اصطلاحاً کف‌کش نامیده می‌شوند و در داخل و کف مخزن نصب می‌شوند. در پمپ‌های کف‌کش موتور به پروانه‌ای متصل می‌شود که داخل یک محفظه قرار دارد. با ورود مایعات به داخل پمپ، پروانه‌ها شروع به چرخش می‌کنند و ماده سیال را حرکت می‌دهند و باعث پمپاژ آن می‌شوند (شکل ۴۲). اصولاً پمپ‌ها دارای دو فشار استاتیکی و دینامیکی هستند که فشار استاتیکی مربوط به ارتفاع مکش و فشار دینامیکی مربوط به ارتفاع دهش پمپ است. با توجه به اینکه پمپ‌های کف‌کش داخل آب نصب می‌شوند، تنها فشار دینامیکی آن‌ها مدنظر است. مهم‌ترین پارامترهای انتخاب برای این پمپ‌ها شامل دبی پمپ و فشار دینامیکی پمپ (ارتفاع پمپاژ) است. بدین منظور لازم است میزان آبدهی و فشار کارکرد مورد نیاز پمپ را محاسبه کنید و از روی جدول مشخصات پمپ‌ها که توسط هر کارخانه تولید پمپ منتشر می‌شود، مدل پمپ موجود در بازار را انتخاب کنید.



شکل ۴۲- اجزا و مسیر ورود و خروج سیال در پمپ کف کش

### الف- محاسبه ظرفیت آبدهی پمپ

دبی آب مورد نیاز برای سیستم آب رسانی به نوع پد مورد استفاده و همچنین طول پد در گلخانه بستگی دارد. در جدول ۱۳، دبی‌های مورد نیاز به ازای هر متر طول پد آورده شده است. برای مثال، در گلخانه‌ای با طول ۴۰ متر (طول پد) و در صورت استفاده از پد سلولزی (ضخامت ۱۵ سانتی متر) به ۴۰۰ لیتر آب در دقیقه نیاز است که باید پمپ بر این اساس انتخاب شود. برای

توزیع یکنواخت آب بر روی پد، روی لوله فرعی نصب شده بالای پد سوراخ‌هایی به قطر ۳ و با فاصله ۷۰ میلی‌متر از یکدیگر ایجاد می‌کنند که نقش نازل یا قطره‌چکان را بر عهده دارند. این سوراخ‌ها هنگام نصب به سمت بالا قرار می‌گیرند تا نیاز به هواگیری نداشته باشند و ذرات معلق در آب باعث گرفتگی سوراخ‌ها نشوند.

برای محاسبه دبی هریک از نازل‌ها کافی است ظرفیت آبدهی پمپ بر تعداد نازل‌ها تقسیم شود (رابطه ۸). تعداد نازل‌ها از تقسیم طول پد بر فاصله نازل‌ها از یکدیگر به دست می‌آید (رابطه ۹).

$$Q_n = \frac{Q}{N} \quad (8)$$

$$N = \frac{L}{d} \quad (9)$$

Q: ظرفیت آبدهی پمپ (لیتر بر دقیقه)

Q<sub>n</sub>: دبی هر نازل (لیتر بر دقیقه)

N: تعداد نازل‌ها

L: طول پد گلخانه (متر)

d: فاصله بین نازل‌ها (متر)

**ب- محاسبه فشار دینامیکی یا ارتفاع دهش پمپ**  
میزان فشار دینامیکی یا ارتفاع پمپاژ از رابطه ۱۰ به دست می‌آید.

$$H = P_f + P_r + h_f + h \quad (10)$$

H: ارتفاع دهش (فشار) پمپ (متر)

$P_f$ : افت فشار ناشی از نازل آب پاش (متر)؛ اگر از نازل یا قطره چکان تنظیم کننده فشار استفاده شود ( $p_f = 10 \text{ m}$ )

$h_f$ : افت فشار ناشی از اصطکاک در لوله‌ها (متر)

h: فاصله عمودی (ارتفاع) بین خروجی پمپ تا بالای

پد (متر)

با توجه به محدود بودن لوله‌های انتقال آب در سیستم سرمایش تبخیری، افت فشار ناشی از اصطکاک داخل لوله‌ها ناچیز است و حداکثر ۱ متر در نظر گرفته می‌شود.

**ج- محاسبه توان پمپ**

توان مورد نیاز پمپ که اصطلاحاً قدرت موتور پمپ نیز نامیده می‌شود، با استفاده از رابطه ۱۱ محاسبه می‌شود.

$$P = \frac{Q \cdot H \cdot \rho \cdot g}{\eta \cdot 1000} \quad (11)$$



- P: توان پمپ بر حسب کیلووات (کیلووات)  
 Q: دبی پمپ بر حسب لیتر بر ثانیه (لیتر بر ثانیه)  
 H: فشار دینامیکی بر حسب متر (متر)  
 P: جرم مخصوص مایع (کیلوگرم بر دسی مترمکعب)  
 (که معمولاً برای آب ۱ در نظر گرفته می شود)  
 η: بازدهی پمپ

g: شتاب جاذبه زمین (متر بر مجذورثانیه).

پمپ‌های موجود در بازار دارای دبی و فشارهای مشخصی هستند و نمی‌توان دقیقاً پمپی را انتخاب کرد که دبی و فشار محاسبه شده را تأمین کند؛ بنابراین اغلب پمپ با ظرفیت آبدهی و فشار بالاتر از نیاز را انتخاب می‌کنند. به منظور کنترل فشار و دبی از شیر تنظیم فشار<sup>۱</sup> یا شیر برگشت<sup>۲</sup> استفاده می‌شود که باعث برگشت دبی اضافی آب به داخل مخزن می‌شود. این شیر دارای امکان کار در حالت بی‌باری برای مواقع بسته شدن راه خروجی است. از مزیت‌های این کار، خلاص کارکردن پمپ در حالت بسته بودن خروجی و مصرف کم تر برق است (شکل ۴۳).

1- Relief valve

2- Bypass valve

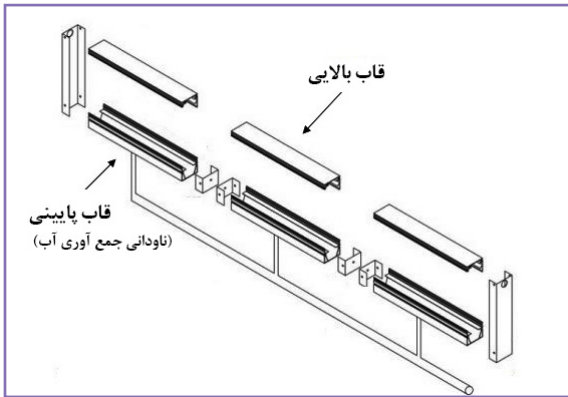


شکل ۴۳- شیر فشارشکن ( شیر برگشت )

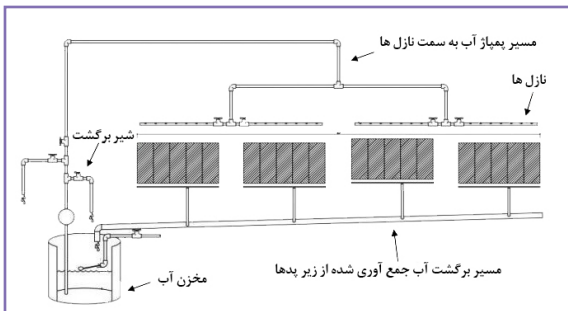
## ناودانی جمع آوری آب

پدها بر روی دیواره گلخانه دارای قاب بالایی و پایینی هستند که این دو قاب در طول پد امتداد یافته‌اند و پد را در بین خود نگه می‌دارند. در زیر قاب بالایی، لوله‌های فرعی سوراخ شده (نازل‌ها) نصب می‌شوند که از این طریق آب روی پد ریخته می‌شود. آب پس از عبور از شبکه‌های سلولزی پد و خیس کردن الیاف از پایین پد خارج می‌شود و روی ناودانی پایینی ریخته می‌شود (شکل‌های ۴۴ و ۴۵). اندازه و ابعاد این قاب‌ها بر اساس ضخامت پد انتخاب می‌شود. به‌طور معمول در طراحی و نصب قاب‌ها طول قاب‌ها در حدود ۱۰ تا ۱۵ سانتی‌متر از طول پد بزرگ‌تر در نظر گرفته می‌شود. پس از نصب قاب‌ها،

سرو ته ناودانی‌ها با ورق‌های گالوانیزه بسته می‌شود و با خمیر سیلیکون آب‌بندی می‌شود. همچنین باید قاب پد به صورت تراز نصب شود و شیب مورد نیاز برای حرکت آب در لوله‌های خروجی لحاظ شود.



شکل ۴۴- قاب‌ها (ناودانی‌های) بالا و پایین پد



شکل ۴۵- نمای شماتیک سیستم آب‌رسانی در سامانه سرمایش تبخیری

## اصول انتخاب و نصب فن‌ها

نکات فنی زیر در نصب و راه‌اندازی فن‌ها باید مدنظر قرار گیرند:

◀ تعداد و اندازه فن‌ها برای هر گلخانه بر اساس نرخ تهویه (نسبت تهویه به سطح گلخانه) یا نرخ تبادل هوا (نسبت تهویه به حجم گلخانه) که در روابط ۲ و ۳ شرح داده شده‌اند، تعیین می‌شود. فن‌ها باید روی دیواره طولی گلخانه و با فواصل منظم از یکدیگر و بالاتر از سطح کشت نصب شوند (شکل ۴۶).

◀ به‌طور کلی نرخ تهویه برای سیستم فن و پد گلخانه ۱۵۰ مترمکعب بر ساعت بر مترمربع (۲/۵ مترمکعب بر دقیقه بر مترمربع) در نظر گرفته می‌شود. بنابراین ابتدا لازم است سطح گلخانه محاسبه شود. پس از محاسبه سطح گلخانه برحسب مترمربع، دبی تهویه برحسب مترمکعب بر ساعت محاسبه می‌شود و با استفاده از داده‌های جدول ۷ (مشخصات فنی و ظرفیت هوادهی انواع فن‌های تخلیه) می‌توان تعداد فن‌های مورد نیاز گلخانه را تعیین کرد.

◀ قبل از راه‌اندازی فن‌ها باید از بازبودن پنجره پشت پد اطمینان حاصل شود.

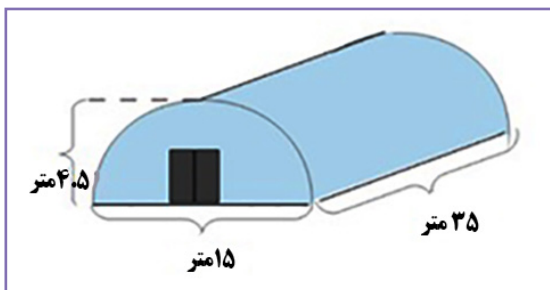
◀ در لحظه شروع به کار، فن‌ها جریان بالایی از انرژی الکتریکی لازم دارند؛ بنابراین باید در زمان نصب و برق‌کشی سیستم الکتریکی دقت شود تا تمامی فن‌ها با هم روشن نشوند و برای این کار از رله تأخیر زمانی یا کلیدهای مجزا استفاده شود. رله نوعی کلید الکتریکی سریع یا بی‌درنگ است که با هدایت یک مدار الکتریکی دیگر باز و بسته می‌شود. رله‌های تأخیر زمانی رله‌هایی کنترلی هستند که عملیات کنترل را بر اساس زمان انجام می‌دهند.

◀ برای صرفه‌جویی در مصرف انرژی و جلوگیری از تخلیه بی‌دلیل هوای گلخانه بهتر است سیم‌کشی فن‌ها به نحوی انجام شود که ابتدا نیمی از فن‌ها (ردیف‌های فرد) روشن شوند و در صورت نرسیدن به دمای مطلوب، نیمه دیگر (ردیف‌های زوج) وارد مدار شوند. این کار با استفاده از سیستم کنترل مرکزی انجام می‌گیرد که به وسیله حسگرهای دمایی داخل گلخانه، داده‌های مورد نیاز به سیستم کنترل مرکزی ارسال می‌شود و روشن و خاموش شدن فن‌ها بر اساس دمای تنظیمی داخل گلخانه انجام می‌گیرد.



شکل ۴۶- نصب فن‌های تخلیه با فواصل منظم از یکدیگر و بالاتر از سطح کشت

## یک نمونه طراحی فن و پد برای گلخانه



شکل ۴۷- مشخصات گلخانه

## مسئله

گلخانه تک دهانه مطابق شکل ۴۷ در ارتفاع ۹۱۵ متری از سطح دریا قرار گرفته است. گلخانه یک پوشش سایبان دارد

که حداکثر شدت نور ورودی به گلخانه را به  $53/8$  کیلولوکس می‌رساند. اختلاف دما در فاصله بین پد تا فن باید چهار درجه سلسیوس باشد. از پد سلولزی  $10$  سانتی متری برای سیستم سرمایشی گلخانه استفاده می‌شود. نرخ تهویه  $(R_c)$  معادل  $150$  مترمکعب بر ساعت بر مترمربع در نظر گرفته شود.

حل

۱. برای تعیین دبی تهویه از رابطه ۲ استفاده می‌کنیم.

$$R_c = \frac{G}{A_g}$$

$$A_g = 35 \times 15 = 525 \text{ m}^2$$

$$G = R_c \times A_g = 150 \times 525 = 78750 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$$

۲. با استفاده از جدول‌های ۲، ۳ و ۴ ضرایب اصلاحی دبی تهویه شامل ضریب اصلاحی ارتفاع از سطح دریا  $(1/2)$ ، ضریب اصلاحی شدت نور (۱) و ضریب اصلاحی دما (۱) را به دست آورید و در همدیگر ضرب کنید تا ضریب اصلاحی کل (ضریب اصلاحی سازه) به دست آید.

$$F = F_{clv} \times F_{light} \times F_{temp} = 1.12 \times 1 \times 1 = 1.12$$

۳. دبی تهویه در ضریب اصلاحی سازه ضرب می‌شود و حجم اصلاح شده هوای خارج شده از گلخانه در هر دقیقه محاسبه می‌شود:

$$G_{adj} = G \times F = 78750 \times 1.12 = 88200 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$$

۴. در این مرحله باید تعداد فن‌های مورد نیاز محاسبه شود. از آنجایی که فن‌ها نباید بیش‌تر از  $7/6$  متر فاصله داشته باشند، طول دیوار گلخانه را که فن‌ها روی آن نصب خواهند شد بر  $7/6$  تقسیم می‌کنیم:

$$\text{تعداد فن} \approx 7/6 \div 15 = 2$$

۵. برای تعیین ظرفیت فن‌ها باید «دبی تهویه» اصلاح شده ( $G_{adj}$ ) را بر تعداد فن‌ها تقسیم کنید تا مقدار هوایی که توسط هر فن باید جابه‌جا شود، به دست آید:

$$88200 \div 2 = 44100 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$$

۶. برای انتخاب فن‌هایی که تعداد آن‌ها تعیین شد، از جدول ۸ فن ۱۴۰ سانتی‌متری با توان  $1/1$  کیلووات انتخاب می‌شود.

۷. مساحت پد با استفاده از رابطه ۷ و داده‌های جدول ۱۱ به دست می‌آید. بر اساس جدول ۱۱ مقدار  $H$  برای پوشال سلولزی به ضخامت ۱۰ سانتی‌متر معادل ۹۰ مترمکعب بر دقیقه است.

حجم گلخانه نیز با استفاده از پیوست ۲ به صورت زیر محاسبه می‌شود.

$$V = \pi/4 H.W.L = 3.14/4 \times 4.5 \times 35 \times 15 = 1854.56 \text{ m}^3$$



مساحت پد:

$$A = \frac{V}{H} = \frac{1854.56}{90} = 20.60$$

پد باید عرضی برابر با دیواری داشته باشد که روی آن نصب می‌شود. در نتیجه ارتفاع پد به صورت زیر به دست می‌آید:

$$20.60 \div 15 = 1.37 \text{ m ارتفاع پد}$$

## اصول کار مه پاش‌ها

یکی دیگر از روش‌های کاهش دما و خنک کردن گلخانه، استفاده از سیستم مه پاشی است که علاوه بر تأمین رطوبت مورد نیاز داخل گلخانه، باعث پایین آمدن دمای محیط نیز می‌شود. مه پاشی را نیز می‌توان جزء سیستم‌های سرمایش تبخیری به حساب آورد. در این سیستم، با استفاده از پاشش قطرات ریز آب، دمای داخل گلخانه کاهش داده می‌شود. این توزیع و پاشش قطرات ریز آب به شکلی است که به تمامی نقاط گلخانه این رطوبت می‌رسد. سیستم‌های مه پاش در گلخانه به دو نوع میست<sup>۱</sup> و فوگر<sup>۲</sup> تقسیم می‌شوند. از این سیستم همچنین در مرغداری‌ها، رستوران‌ها و سوله‌های

1- Mist humidifier

2- Fogger

صنعتی برای خنک کردن محیط استفاده می‌شود. اما در گلخانه‌ها علاوه بر خنک کردن، تأمین رطوبت نیز از اهداف کاربرد آن است (شکل ۴۸).

استفاده از مه‌پاش در گلخانه محدودیت‌هایی نیز دارد که می‌توان به ضرورت وجود قطرات آب خیلی ریز اشاره کرد که مستلزم نزدیکی نازل‌های مه‌پاش به هم و داشتن فشار نسبی بالا اشاره کرد که هزینه‌های سیستم را بالا می‌برد. همچنین آب ورودی به این سیستم باید به خوبی تصفیه شود تا از گرفتگی نازل‌ها جلوگیری شود. چنانچه قطرات آب حاوی مواد معدنی باشند، این مواد روی شاخ و برگ گیاهان جمع خواهند شد که به کاهش فتوسنتز و مسمومیت ناشی از شوری در گیاه منجر می‌شود. همچنین سیستم‌های مه‌پاش باعث ایجاد بیماری در گیاه می‌شوند، مخصوصاً اگر قطرات آب بزرگ باشند. گاهی به منظور توزیع یکنواخت تر ذرات آب در محیط، پاشش نازل‌ها در جلوی سیستم جریان باد انجام می‌شود. در این موارد، نازل‌ها روی پنجره جلویی فن نصب می‌شوند (شکل ۴۹).



شکل ۴۸- سیستم مه پاش گلخانه‌ای



شکل ۴۹- توزیع یکنواخت ذرات آب با استفاده از جریان هوا

## اجزای سیستم مه پاش

در سیستم مه پاش، آب توسط یک پمپ فشار مثبت تحت فشار قرار می‌گیرد و به داخل لوله‌های انتقال پمپاژ می‌شود. در انتهای مسیر لوله‌ها نازل‌ها وجود دارند که

آب تحت فشار در زمان خروج از روزنه خروجی نازل به قطرات بسیار ریز تبدیل می‌شود و در بالای گیاه و داخل گلخانه پخش می‌شود.

تجهیزات مورد استفاده در سیستم مه پاش گلخانه‌ای عبارت‌اند از: نازل، پمپ، منبع آب، فیلتر و شلنگ انتقال آب.

## نازل مه پاش

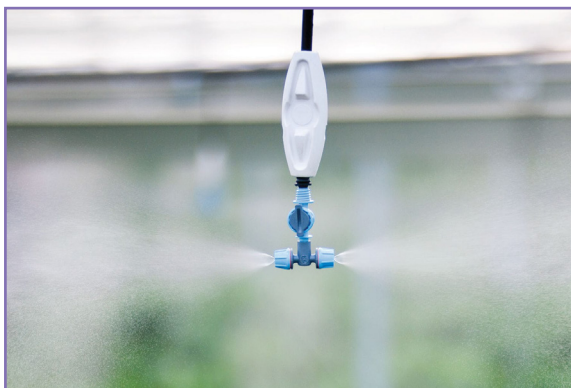
نازل‌های مه پاش در حقیقت دریچه‌های انتقال آب به محیط هستند. این نازل‌ها با توجه به اندازه سوراخ انتهایی خود آب را که با فشار بالا در سیستم حرکت می‌کند، به قطرات ریز معلق در هوا یا مه تبدیل می‌کنند. با توجه به اندازه این سوراخ، اندازه قطرات معلق در هوا تعیین می‌شود (شکل‌های ۵۰ و ۵۱).

نازل‌ها، بسته به نوعشان، سوراخ‌هایی در حد ۵ تا ۱۰۰ میکرون با توانایی تحمل فشار خاصی را دارند. معمولاً نازل‌ها در دو نوع پلاستیکی یا فلزی (آهنی یا برنجی) تولید می‌شوند (شکل ۵۲). نازل‌های پلاستیکی برای فشارهای کم طراحی می‌شوند. مهم‌ترین مزیت این نازل‌ها قیمت بسیار ارزان آن‌هاست. این نازل‌ها توانایی

حداکثر ۳ بار فشار آب را دارند. نازل‌های پلاستیکی برای محیط‌ها و سالن‌های کوچک مناسب است. نازل‌های برنجی نیز توانایی فشار زیادی دارند. نازل‌های برنجی دارای شیر ضدچکه هستند و برای محیط‌های بزرگ مناسب‌اند. بهترین نوع نازل‌ها از جنس استیل هستند. این نوع نازل‌ها بسیار باکیفیت‌اند و توانایی فشار آب زیادی را دارند. در برخی موارد در این نازل‌ها از روزنه‌های سرامیکی یا تماماً استیل استفاده می‌شود. این نازل‌ها برای محیط‌ها و سالن‌های بزرگ بسیار مناسب است.



شکل ۵۰- نازل مه پاش فلزی یک طرفه



شکل ۵۱- نازل مه پاش پلاستیکی دو طرفه



شکل ۵۲- انواع نازل‌ها

به طور کلی نازل‌های مه پاش مورد استفاده در گلخانه‌ها از سایز ۲۰ میکرون تا ۷۰ میکرون قابل تغییر است. ظرفیت آبدهی نازل‌ها بر اساس قطر سوراخ و همچنین فشار آب از ۰/۰۳۰ تا ۰/۱۷۵ لیتر در دقیقه متغیر است (جدول ۱۳). نازل‌های مه پاش گلخانه‌ای با توجه به

وجود پیستون داخلی فقط در صورتی عمل می‌کنند که فشار آب در پشت نازل‌ها به حد مطلوب برسد و دریچه پیستون به طور کامل باز شود. این نازل‌ها به نازل‌های ضدچکه معروف هستند. تعداد نازل‌ها با توجه به مساحت گلخانه و نوع کشت مشخص می‌شود.

جدول ۱۳- ظرفیت آبدهی نازل‌ها در فشارهای مختلف (لیتر در دقیقه)

فشار کاری (بار)				قطر روزنه نازل (میکرون)
۷۰	۵۰	۳۰	۲۰	
۰/۰۶۰	۰/۰۵۰	۰/۰۴۰	۰/۰۳۰	۱۰
۰/۰۷۹	۰/۰۶۷	۰/۰۵۲	۰/۰۴۲	۲۰
۰/۱۳	۰/۱۱۰	۰/۰۸۵	۰/۰۷۰	۳۰
۰/۱۷۵	۰/۱۴۸	۰/۱۱۵	۰/۰۹۴	۴۰

### پمپ

پمپ وسیله‌ای مکانیکی است که برای انتقال سیال (آب) به یک ارتفاع بالاتر یا حرکت سیال در مدارهای مختلف هیدرولیکی و سیستم‌های لوله‌کشی و به طور کلی انتقال سیال از نقطه‌ای به نقطه دیگر استفاده می‌شود. پمپ‌ها انرژی مورد نیاز خود را اغلب از انرژی الکتریکی و به وسیله یک الکتروموتور می‌گیرند که مجموعه آن‌ها با هم به عنوان الکتروپمپ شناخته می‌شود.

پمپ‌ها بر اساس نحوه انتقال انرژی به سیال و کارکردشان به دو دسته پمپ‌های دینامیکی<sup>۱</sup> و پمپ‌های جابه‌جایی مثبت<sup>۲</sup> تقسیم می‌شوند. پمپ‌های دینامیکی شامل پمپ‌های سانتریفیوژ، جریان محوری، جریان مختلط و جریان شعاعی هستند. در این نوع پمپ‌ها، انتقال انرژی به سیال و در نتیجه پمپاژ آن به طور یکنواخت انجام می‌گیرد و دارای ظرفیت آبدهی بالا و فشار کم هستند.

پمپ‌های جابه‌جایی مثبت شامل پمپ پیستونی، پلانجری، دیافراگمی پیستونی و دنده‌ای است و انتقال انرژی از آن‌ها به سیال به صورت متناوب است. از ویژگی‌های اصلی پمپ‌های جابه‌جایی مثبت می‌توان به ظرفیت آبدهی کم تا متوسط و فشار خروجی بالا اشاره کرد. از این پمپ‌ها معمولاً در جاهایی استفاده می‌شود که نیاز به فشار بالا دارند (۱۰۰ تا ۱,۰۰۰ بار)؛ به همین دلیل از این نوع پمپ‌ها برای سیستم‌های تحت فشار همانند سیستم مه‌پاش استفاده می‌شود.

الکتروپمپ‌های مورد استفاده در سیستم مه‌پاش گلخانه‌ای اغلب از نوع پیستونی است. از این نوع پمپ‌ها برای تولید فشار استفاده می‌شود. در این نوع پمپ‌ها،

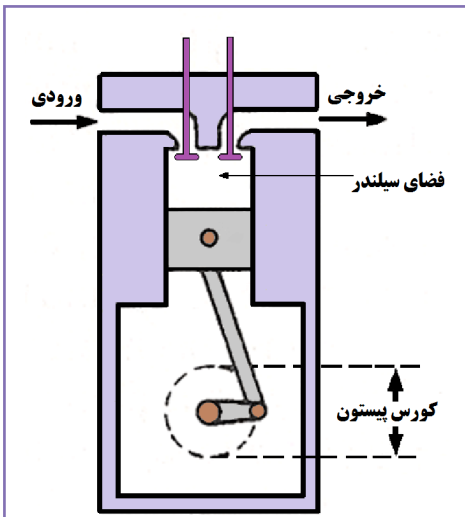
---

1- Dynamic pump

2- Displacement pump



حرکت چرخشی میل لنگ به حرکت رفت و برگشتی پیستون در سیلندر تبدیل می‌شود. با عقب رفتن پیستون در سیلندر مکش ایجاد می‌شود و در نتیجه مایع از طریق شیر ورودی وارد سیلندر می‌شود. با حرکت پیستون به طرف جلو، دریچه ورودی بسته می‌شود و سیال از طریق شیر خروجی به خارج هدایت می‌شود. شیرهای ورودی و خروجی یک طرفه هستند و در مراحل رفت و برگشت پیستون، از ورود آب داخل سیلندر به قسمت کم فشار و بالعکس ممانعت می‌کنند (شکل ۵۳).



شکل ۵۳- اجزاء پمپ پیستونی

پمپ‌های پیستونی متنوعی از نظر تعداد پیستون (۱ تا ۹ عدد)، فشار (۱ تا ۱,۰۰۰ بار) و ظرفیت آبدهی (۱ تا ۵۰۰ لیتر در دقیقه) در بازار موجود است. در سیستم‌های مه پاش اغلب از پمپ‌های با فشار ۷۰ تا ۱۵۰ بار استفاده می‌شود. به سیستم‌های مه پاش که برای فشار کم‌تر از ۷۰ بار طراحی می‌شوند، مه پاش فشار پایین گفته می‌شود. سیستم‌های مه پاش فشار پایین آب را به صورت کامل پودر نمی‌کنند و از خود خیسی به جای می‌گذارند؛ به همین دلیل، در باغچه‌ها و فضاهایی که خیسی به جامانده مطلوب باشد استفاده می‌شوند.

ظرفیت آبدهی پمپ نیز بر اساس تعداد نازل‌ها انتخاب می‌شود. دبی هر نازل بر اساس قطر روزنه نازل و همچنین فشار سیستم متغیر است (جدول ۱۳).

## فیلتر و لوله‌های انتقال آب

با توجه به کوچکی روزنه‌های خروجی نازل‌های مه پاش، ورود جرم و ذرات معلق در آب به داخل سیستم مه پاش موجب انسداد سیستم می‌شوند. به همین دلیل لازم است از سیستم فیلتراسیون در ابتدای مسیر سیستم مه پاش استفاده شود. معمولاً فیلترهای مورد استفاده در سیستم مه پاش گلخانه‌ای از دو نوع پلی فسفات و

نمدی است. فیلتر پلی فسفات برای بی بار کردن آب و ذرات معلق در آن و فیلتر نمدی برای حذف این ذرات از آب استفاده می شود.

با توجه به وجود فشار بالا در سیستم مه پاش گلخانه‌ای لازم است لوله‌های انتقال آب در محیط گلخانه قادر به تحمل فشار بالا تا ۲۰۰ بار باشند. لوله‌ها یا شلنگ‌های فشار قوی با دارا بودن یک یا دو لایه سیم در بافت داخلی خود به ترتیب قادر به تحمل ۲۲۰ و ۴۰۰ بار فشار هستند که برای سیستم مه پاش مناسب است.

بازدهی سیستم سرمایش مه پاش با استفاده از رابطه ۱۲ محاسبه می‌شود:

$$\eta_{\text{cool}} = \frac{t_{\text{unfog}} - t_{\text{fog}}}{t_{\text{unfog}} - t_{\text{wbfog}}} \times 100 \quad (12)$$

$\eta_{\text{cool}}$ : بازدهی سیستم سرمایشی مه پاش (درصد)

$t_{\text{unfog}}$ : دمای گلخانه بدون سیستم مه پاش (درجه سلسیوس)

$t_{\text{fog}}$ : دمای گلخانه با سیستم مه پاش (درجه سلسیوس)

$t_{\text{wbfog}}$ : دمای حباب مرطوب گلخانه با مه پاش (درجه سلسیوس)

شاخص بازدهی تبخیر مه ( $\eta_{\text{evap}}$ ) به صورت نسبت نرخ

تبخیر مه به نرخ پاشش تعریف می‌شود (رابطه ۱۳). این

نسبت مقدار مه‌ای را که در سرمایه‌ش مؤثر است، نشان می‌دهد. مقداری از مه پاشش شده با تهویه از گلخانه خارج می‌شود و مقداری روی زمین می‌ریزد.

$$\eta_{\text{evap}} = \frac{\dot{m}_c}{\dot{m}} \quad (۱۳)$$

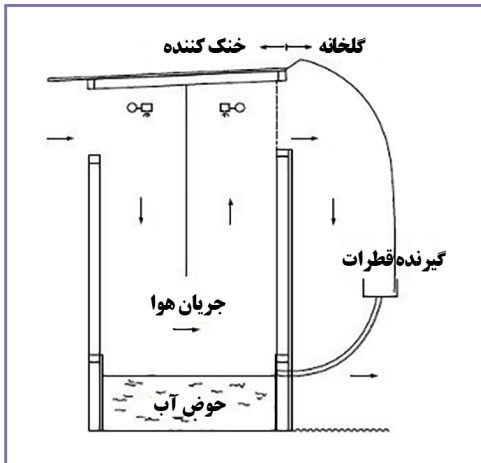
$\dot{m}_c$ : نرخ تبخیر مه به ازای هر مترمربع از سطح گلخانه

$\dot{m}$ : نرخ پاشش به ازای هر مترمربع از سطح گلخانه

## سیستم سرمایه‌ش پاششی (اسپری)

سیستم سرمایه‌ش فَن و پد به شن و گرد و غبار موجود در نواحی بیابانی حساس است، زیرا پدها راحت با مخلوط نمک و شن گرفته می‌شوند. این گرفتگی می‌تواند شبیه سیمان شود. سیستم مه پاش نیز به آب تمیز احتیاج دارد. بنابراین، ساخت سیستمی ساده و بدون اشکالات ذکر شده می‌تواند پیشنهادی جایگزین برای سیستم سرمایه‌ش فَن و پد باشد. در شکل ۵۴ مقطع عرضی اولین طراحی آزمایشی این سیستم نشان داده شده است. این سیستم شامل دو اتاقک (محفظه) برای جریان هوا در جهت و مقابل اسپری آب است. عرض کل قسمت سرمایه‌ش ۱ متر و عرض هر کدام از محفظه‌ها ۰/۵ متر است. یک شلنگ (لوله) با ۱۵ نازل

مخروطی در بالای هر محفظه نصب شده است. فاصله بین نازل‌ها ۰/۶ متر است. قسمت سرمایشی از تیر چوبی پوشیده شده با فیلم پلاستیک و عایق شده با مواد پلاستیکی بازتابنده نور ساخته شده است. این عایق بندی به دلیل کاهش اثرات منفی نفوذ مستقیم تشعشع خورشیدی بر بازدهی سرمایشی بسیار حائز اهمیت است. ارتفاع قسمت سرمایشی حدود ۲ متر است. هوا از میان گلخانه به وسیله فن‌های محوری مکیده می‌شود و هوای خنک را از دیواره بالایی وارد می‌کند. ابتدا هوا در جهت جریان آب اسپری می‌شود و سپس در جهت مخالف آن حرکت می‌کند.



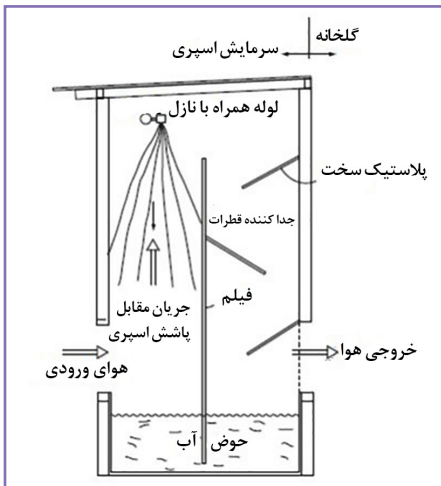
شکل ۵۴- طراحی اولیه سیستم سرمایش پاششی

طراحی جدیدتر این سیستم به گونه ای است که جریان هوای ورودی فقط در جهت عکس پاشش قطرات آب اتفاق می افتد. در اتاقک اول جریان هوا در جهت عکس پاشش قطرات اسپری شده است و در اتاقک دوم جداکننده قطرات آب بسیار ساده ای شامل ورق های پلاستیکی سفت و محکم که در یک جهت طولی کشیده شده اند، تعبیه شده است (شکل ۵۴). هدف اصلی بهبود جداسازی قطرات و ارزیابی خصوصیات نازل و بازدهی خنک کننده بوده است. قسمت سرمایشی در حالت عملکرد جریان هوا در جهت عکس پاشش قطرات اسپری شده کار می کرد. محفظه خنک کننده به سه لوله نازل با  $1/8$  متر عرض و  $2/8$  متر ارتفاع مجهز بود. جداکننده قطره بهبود یافته از ورق های پلاستیکی سخت موج دار با  $0/9$  متر عرض درست شده بود. نازل ها باید تا حد امکان در محفظه خنک کننده نصب شوند و از ورودی هوا جدا شوند. هرچه محل نصب بالاتر باشد، زمان تماس قطرات جریان هوا بیش تر است. قطرات بسیار کوچک بازدهی خنک کنندگی بهتری دارند، اما قطرات بزرگ در جداکننده قطره بهتر کنترل می شوند. عایق بندی واحد خنک کننده از اهمیت بالایی برخوردار است و باعث بهبود چشمگیر بازدهی می شود. این کولر توسط عایق های مخصوصی<sup>۱</sup> به ضخامت ۵۰ میلی متر و یک فیلم پلاستیکی بازتابنده پوشیده می شود.

---

1- Styrofoam

در این حالت سیستم تقریباً همان نتایج سیستم ترکیبی جریان هوا در جهت و مقابل اسپری آب (شکل ۵۵) را می‌دهد، درحالی‌که به منبع آب کم‌تری نیاز است. این روش تقریباً دما را به اندازه سیستم ترکیبی کاهش می‌دهد، اما برای نازل‌ها به آب و فشار کاری کم‌تری نیاز دارد. اگر مقدار بیش‌تری آب در سیستم جریان داشته باشد، دمای گلخانه توسط سیستم ترکیبی و با فشار کارکرد  $2 \times 10^5$  پاسکال (۲ اتمسفر) نسبت به سیستم جریان ورودی هوا فقط در جهت عکس پاشش قطرات آب کمی بیش‌تر کاهش می‌یابد.

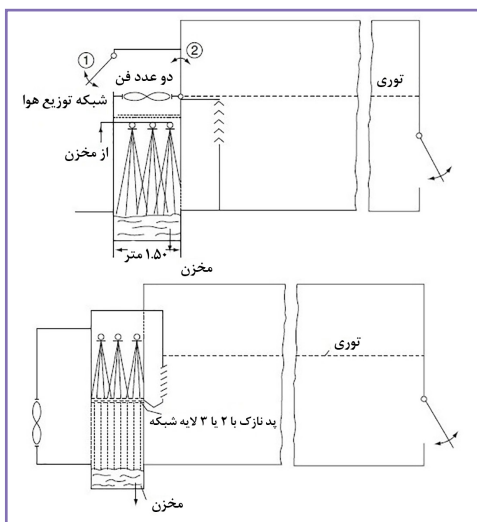


شکل ۵۵- سیستم اسپری با جریان هوا فقط در جهت عکس پاشش قطرات اسپری شده

هوای خنک شده اطراف ورق‌ها می‌چرخد و قطرات آب توسط نیروی گریز از مرکز بر سطح ورق‌های پلاستیکی می‌ریزند. به همین دلیل مقدار بسیار کمی آب وارد گلخانه می‌شود. ضریب مبادله به ۸۰ درصد می‌رسد. بسته به رطوبت خارجی دما ۵ تا ۶ درجه سلسیوس کاهش می‌یابد. نتایج با سیستم فن و پد قابل مقایسه است، در حالی که سیستم خنک‌کننده اسپری نسبت به گرفتگی حساس نیست.

شکل ۵۶ دو سیستم فشار مثبت را نشان می‌دهد، قسمت بالا جریان هوای موافق جریان پاشش اسپری و در قسمت پایین جریان هوای مخالف جریان پاشش اسپری است. دو لوله پلی‌وینیل کربن (PVC) با ۱۵ نازل با فاصله نازل‌های ۷۵ سانتی‌متر روی لوله‌ها و خروجی آب ۱۲۰ لیتر در ساعت نصب شده است.





شکل ۵۶- سیستم اسپری سرمایشی فشار مثبت با جریان هوای موافق (بالا) و

مخالف جریان پاشش اسپری (پایین)

## منابع

- ۱- افضل‌ی، م. ۱۳۷۸. انتقال گرما (ترجمه). مرکز نشر دانشگاهی، ۸۶۵ صفحه.
- ۲- بی‌نام. ۱۳۸۹. انواع نازل‌های مه‌پاش آذرتجهیز. <http://azar-tajhiz.com>.
- ۳- بی‌نام. ۱۳۹۷. آمارنامه کشاورزی سال ۱۳۹۶ (جلد دوم). وزارت جهاد کشاورزی، معاونت برنامه‌ریزی و اقتصادی، مرکز فناوری اطلاعات و ارتباطات.
- ۴- اقتداری نائینی، ع. ۱۳۹۱. فنون پیشرفته در مدیریت گلخانه. انتشارات دانشگاه آزاد اسلامی واحد خوراسگان، ۳۷۱ صفحه.
- ۵- برزگر، ر. و م. یادگاری. ۱۳۸۹. مدیریت تولید در گلخانه. انتشارات مؤسسه آموزش عالی علمی کاربردی جهاد کشاورزی. ۲۴۶ صفحه.
- ۶- جعفری، ا. طراحی و اجرای سیستم‌های سرمایه‌ش تبخیری در گلخانه (فن و پد). ۱۳۹۰. انتشارات آموزش و ترویج کشاورزی، ۱۶۴ صفحه.
- ۷- حسندخت، م. ۱۳۸۴. مدیریت گلخانه (تکنولوژی تولید محصولات گلخانه‌ای). انتشارات مرز دانش، ۳۱۳ صفحه.
- ۸- عباسپور فرد، م. و م. ابراهیمی نیک. ۱۳۸۷. مهندسی گلخانه (ترجمه). انتشارات بنفشه، ۳۱۶ صفحه.

۹- بی نام. ۱۳۹۶. انواع پمپ های شرکت فامکو (شرکت فناوران آریامحور).

<https://www.famcocorp.com/fa/product> .a

۱۰- گرامی، ش.، ا.، حیدری و ا. عاشوری. ۱۳۸۴. اصول گلخانه داری. انتشارات پژوهاک کیهان، ۱۹۸ صفحه.

۱۱- ملاحسنی، ح. و سیل پور، م. ۱۳۸۷. مدیریت تولید محصولات گلخانه ای، انتشارات سروا، ۱۸۰ صفحه.

۱۲- محبوب خمایی، ع. ۱۳۸۴. سازه های گلخانه ای (ترجمه). انتشارات حق شناس، ۱۵۰ صفحه.

۱۳- نوربخش، س. ا. ۱۳۷۳. پمپ و پمپاژ. انتشارات دانشگاه تهران. ۲۲۷ صفحه.

14- Anon, 2018. Global Greenhouse Vegetable Statistics gets 2018 update. Available from: <https://www.hortidaily.com/article/6040133/global-greenhouse-vegetable-statistics-gets-2018-update/>.

15- Bucklin, R. A., J. D. Leary, D. B. McConnell and E. G. Wilkerson. 2016. Fan and Pad Greenhouse Evaporative Cooling Systems. UF/IFAS Extension Service, University of Florida, CIR1135. Available from: <https://edis.ifas.ufl.edu/pdf/FILES/AE/AE06900.pdf>.

16- Castilla N .2013. Greenhouse technology and management. 2nd ed. CABI.

17- Dayiogl, M.A. and H.H. Silleli. 2015. Performance Analysis of a Greenhouse Fan-Pad Cooling System: Gradients of Horizontal temperature and relative humidity. Journal of Agricultural Sciences, 21, 132-143.

18- Flores-Velazquez, J., J.I. Montero, E. J. Baeza and J. C. Lopez. 2014. Mechanical and natural ventilation systems in a greenhouse designed using computational fluid dynamics. Int J Agric & Biol Eng, Vol. 7 No.1, 1-15.

19- Rico-Garcia, E., Rico-Garcia, I.L. Lopez-Cruz, G. Herrera-Ruiz, G.M. Soto-Zarazua and R. Castaneda-Miranda. 2008. Effect of temperature on greenhouse natural ventilation under hot conditions: computational fluid dynamics simulations. Journal of Applied Sciences, Volume 8 (24): 4543-4551.

20- Kacira, M., S. Sase and L. Okushim. 2004. Optimization of vent configuration by evaluating greenhouse and plant canopy ventilation rates under wind-induced ventilation. Transactions of the ASAE, Vol. 47(6): 2059–2067.

21- Ould Khaoual, S.A., P.E. Bournet, C. Migeon, T. Boulard and G. Chasse'riaux. 2006.

Analysis of greenhouse ventilation efficiency based on computational fluid dynamics. *Biosystems Engineering* (2006) 95 (1), 83–98.

22- Manohar, R., K, and C. Iगतidnathane. 2007. *Greenhouse Technology and Management*. Second edition. BS Publications. 228p.

23- Mashonjowa, E., F. Ronsse, J. R. Milford, R. Lemeur, J. G. Pieters. 2010. Measurement and simulation of the ventilation rates in a naturally ventilated azrom-type greenhouse in Zimbabwe. *Applied engineering in agriculture*, Vol. 26(3): 1-14.

24- VonZabeltitz C. 2011. *Integrated Greenhouse Systems for Mild Climates*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. 363 p.

25- Waleed, A. and S. A. Hassanein. 2012. Calculations of the outlet air conditions in the direct evaporative cooler. *Journal of Engineering Sciences*, Assiut University, Vol. 40, No 5, pp.1351-1358.

26- Worley, J. 2014. *Greenhouses, heating, cooling and ventilation*. UGA Extension, the University of Georgia, Bulletin 792.

## پیوست ۱: یکاهای اندازه‌گیری دما

دما کمیّتی فیزیکی و نسبی است که میزان گرمی و سردی را مشخص می‌کند و با دماسنج قابل اندازه‌گیری است. یکاهای گوناگونی برای دما تعریف شده‌اند. در دستگاه بین‌المللی از یکای کلوین استفاده می‌شود. ولی یکاهای دیگری مانند سلسیوس و فارنهایت نیز برای دما به کار می‌روند.

یکای سلسیوس که به افتخار آندرش سلسیوس نام‌گذاری شده است و با نماد °C نشان داده می‌شود، متداول‌ترین یکای مورد استفاده در حال حاضر است. این یکا پیش‌تر با نام سلسیوس شناخته می‌شد. مبنای این یکا، نقطه ذوب و جوش آب هستند. نقطه ذوب آب برابر دمای صفر درجه و نقطه جوش آن برابر دمای صد درجه سلسیوس تعریف شده است.

فارنهایت با نماد °F یکای دیگری برای دماست که در گذشته در بسیاری از کشورها به کار گرفته می‌شد و اکنون در کشورهای اندکی از جمله ایالات متحده آمریکا همچنان به عنوان یکای اصلی اندازه‌گیری دما به کار می‌رود. نقطه صفری که گابریل دنیل فارنهایت انتخاب کرد، عبارت بود از دمای تعادل گرمایی مخلوطی با نسبت برابر از یخ، آب و



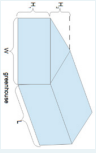
آمونیم کلرید (که مقدار آن برابر ۱۷,۷۸-درجه سلسیوس است). همچنین دو نقطه مرجع دیگر را دمای تعادل گرمایی مخلوط آب و یخ (دمای صفر درجه سلسیوس) به معادل ۳۲ درجه فارنهایت و دمای بدن انسان معادل ۹۶ درجه فارنهایت در نظر گرفت. فارنهایت دریافت که دمای جوش آب با این یکا برابر ۲۱۲ درجه است.

یکای اصلی دما در سیستم متریک «کلوین» با نماد K است و یکای مطلق دما نامیده می‌شود. زیرا نقطه صفر آن، صفر مطلق است و دمایی پایین‌تر از آن وجود ندارد. نرخ تغییرات کلوین معادل با درجه سلسیوس است و صفر آن برابر ۲۷۳,۱۵-درجه سلسیوس است. برخلاف دو یکای سلسیوس و فارنهایت که با درجه (°) مشخص می‌شوند، یکای کلوین فقط به صرف گفتن کلوین مشخص می‌شود. برای مثال ۲۷۳ «کلوین» معادل با ۰ «درجه سلسیوس» است.

جدول پیوست ۱- روابط ریاضی تبدیل واحدهای دما به یکدیگر

فرمول	به	تبدیل از
$^{\circ}\text{F} = ^{\circ}\text{C} \times 1.8 + 32$	فارنهایت	سانتی‌گراد
$^{\circ}\text{C} = (^{\circ}\text{F} - 32) / 1.8$	سانتی‌گراد	فارنهایت
$\text{K} = ^{\circ}\text{C} + 273.15$	کلوین	سانتی‌گراد
$^{\circ}\text{C} = \text{K} - 273.15$	سانتی‌گراد	کلوین

## پیوست ۲: روش‌های محاسبه حجم گلخانه

فرمول محاسبه حجم (مترمکعب)	بروفیل سازه گلخانه (ابعاد بر حسب متر)
$\left(\frac{\pi}{4} (W.H_2) + (W.H_1)\right).L$	
$\frac{\pi}{4} H.W.L$	
$\frac{W.H_2}{2} + (W.H_1).L$	
$\left(W.H_1 + \frac{W_1.H_2 + W_2.H_2}{2}\right).L$ $W = W_1 + W_2$	