



وزارت جهاد کشاورزی

سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی

مؤسسه آموزش و ترویج کشاورزی

# راهنمای جامع مدیریت مصرف انرژی گرمایشی در گلخانه‌ها



مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی

۱۳۹۹





وزارت جهاد كشاورزی  
سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج كشاورزی  
مؤسسه آموزش و ترویج كشاورزی

# راهنمای جامع مدیریت مصرف انرژی گرمایشی در گلخانه‌ها

نویسندگان:

داود مؤمنی، سیدمعین الدین رضوانی و قاسم زارعی

۱۳۹۹

|                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|---------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| سرشناسه             | مؤمنی، داود، ۱۳۵۵ -                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| عنوان و نام پدیدآور | راهنمای جامع مدیریت مصرف انرژی گرمایشی در گلخانه‌ها/ نویسندگان داود مؤمنی، سیدمعین‌الدین رضوانی، قاسم زارعی؛ ویراستاران ترویجی فرانک صحرایی، نصیبه پورفاتیخ؛ ویراستار ادبی سمیرا میرنظامی؛ تهیه‌شده در مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، دفتر شبکه دانش و رسانه‌های ترویجی. کرج: سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مؤسسه آموزش و ترویج کشاورزی، نشر آموزش کشاورزی، ۱۳۹۹. |
| مشخصات نشر          | ۹۰ ص: صورتی رنگی).                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| مشخصات ظاهری        | رایگان. ۳-۶۷۶-۵۲۰-۹۶۴-۹۷۸                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| شابک                | وضعیت فهرست نویسی: فیا                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| یادداشت             | راهنمای جامع مدیریت مصرف انرژی گرمایشی در گلخانه‌ها                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| موضوع               | گلخانه‌ها -- ایران -- گرمایش و تهویه                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| موضوع               | Greenhouses -- Heating and ventilation -- Iran                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| موضوع               | گلخانه‌ها -- ایران -- طرح و ساختمان                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| موضوع               | Greenhouses -- Iran -- Design and construction                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| شناسه افزوده        | رضوانی، سید معین‌الدین، ۱۳۴۸ -                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| شناسه افزوده        | زارعی، قاسم، ۱۳۴۵ -                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| شناسه افزوده        | مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، دفتر شبکه دانش و رسانه‌های ترویجی                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| شناسه افزوده        | سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مؤسسه آموزش و ترویج کشاورزی، نشر آموزش کشاورزی                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| رده بندی کنگره      | SB۴۱۶                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| رده بندی دیویی      | ۶۳۵/۹۸۲۳                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| شماره کتابشناسی ملی | ۶۱۸۸۳۵۹                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |

ISBN: 978-964-520-676-3

شابک: ۳-۶۷۶-۵۲۰-۹۶۴-۹۷۸



**عنوان:** راهنمای جامع مدیریت مصرف انرژی گرمایشی در گلخانه‌ها  
**نویسندگان:** داود مؤمنی، سیدمعین‌الدین رضوانی و قاسم زارعی  
**مدیر داخلی:** شیوا پارسانیک  
**ویراستاران ترویجی:** فرانک صحرایی، نصیبه پورفاتیخ  
**ویراستار ادبی:** سمیرا میرنظامی  
**تهیه شده در:** مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، دفتر شبکه دانش و رسانه‌های ترویجی  
**ناشر:** نشر آموزش کشاورزی  
**صفحه آرا:** نرگس بهادر  
**نمونه خوان:** حمیدرضا خاوری، فتح‌الله بهرامی  
**شمارگان:** ۱۰۰۰ جلد  
**نوبت چاپ:** اول، ۱۳۹۹  
**قیمت:** رایگان  
**مسئولیت درستی مطالب با نویسندگان است.**

شماره ثبت در مرکز فن آوری اطلاعات و اطلاع رسانی کشاورزی ۵۷۶۶۹ به تاریخ ۹۹/۰۲/۲۰ است.

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

## مخاطبان:

- ♦ کارشناسان و مروجان پهنه‌های تولیدی
- ♦ گلخانه‌داران

## اهداف آموزشی:

- ♦ شما پس از مطالعه این دستنامه با راهکارهای مدیریت مصرف انرژی گرمایشی در گلخانه‌ها آشنا می‌شوید.



## فهرست

### صفحه

### عنوان

|         |                                                         |
|---------|---------------------------------------------------------|
| ۷.....  | مقدمه                                                   |
| ۹.....  | بررسی روند توسعه گلخانه‌ها                              |
| ۱۴..... | راه‌های انتقال حرارت از گلخانه‌ها                       |
| ۲۳..... | محاسبه نیاز گرمایشی گلخانه                              |
| ۲۴..... | تلفات پوشش                                              |
| ۲۵..... | تلفات سازه                                              |
| ۲۶..... | تلفات ناشی از باد                                       |
| ۲۹..... | راهکارهای مدیریت مصرف انرژی گرمایشی در گلخانه‌ها        |
| ۲۹..... | ساخت گلخانه در جهت جغرافیایی مناسب                      |
| ۳۰..... | استفاده از بادشکن                                       |
| ۳۳..... | استفاده از پوشش گلخانه‌ای مناسب                         |
| ۳۶..... | اضافه کردن لایه پوشش داخلی                              |
| ۳۸..... | استفاده از پوشش موقت                                    |
| ۳۹..... | استفاده از پوشش دولایه                                  |
| ۴۳..... | استفاده از پوشش‌های با خاصیت نگهداری امواج مادون قرمز   |
| ۴۳..... | استفاده از پرده‌های محافظ انرژی                         |
| ۴۸..... | استفاده از سامانه‌های گرمایشی مناسب                     |
| ۴۹..... | انواع سامانه‌های گرمایشی گلخانه                         |
| ۵۷..... | منابع تأمین انرژی در گلخانه                             |
| ۶۰..... | استفاده از کوره‌های مناسب                               |
| ۶۶..... | استفاده از دودکش مناسب                                  |
| ۶۷..... | توزیع مناسب هوای گرم در گلخانه                          |
| ۷۳..... | عایق کاری دیواره‌ها                                     |
| ۷۴..... | بستن منافذ گلخانه برای کاهش تلفات ناشی از نشت           |
| ۷۹..... | توصیه‌های کاربردی برای کاهش مصرف انرژی در سیستم گرمایشی |
| ۸۲..... | پیشنهادهای                                              |
| ۸۴..... | منابع                                                   |



## مقدمه

آمارهای بین‌المللی نشان می‌دهند تا سال ۲۰۵۰ جمعیت کره زمین به حدود ۱۰ میلیارد نفر می‌رسد که بخش عمده آن، در کشورهای در حال توسعه خواهند بود. این رشد جمعیت باعث می‌شود تا نیاز به انرژی، آب، غذا و نیز تعامل و پیوند آن‌ها با محیط‌زیست، در صدر اولویت‌های بشر در دهه‌های آینده باشد؛ به همین دلیل توجه دانشمندان به این سمت معطوف شده است تا کمبود غذا را با افزایش تولید محصول در واحد سطح و با مصرف کم‌ترین نهاده‌ها، به‌طور پایدار جبران کنند. معرفی و استفاده از ارقام پرمحصول و خاص، استفاده از انواع کودها و سموم شیمیایی و نیز توسعه کشت‌های گلخانه‌ای، از جمله این راهکارها هستند.

بررسی ترازنامه انرژی دنیا نشان می‌دهد که مصرف تمام منابع انرژی شامل سوخت‌های فسیلی مایع، گاز طبیعی و زغال‌سنگ تا سال ۲۰۳۵ روند صعودی خواهند داشت. این نکته توجه بیش‌تر به افزایش بهره‌وری در مصرف سوخت، مطالعه در مورد منابع انرژی جایگزین و مسائل محیط‌زیستی در کنار این توسعه را ضروری می‌کند.

باتوجه به گستره ایران در محدوده عرض جغرافیایی ۲۵ تا ۴۰ درجه شمالی و نیز شرایط متنوع اقلیمی موجود در آن، به نظر می‌رسد یکی از مناطق مناسب برای توسعه کشت‌های گلخانه‌ای در غرب آسیاست. بنابراین تولید خوب

محصولات گلخانه‌ای در آن، علاوه بر تأمین نیازهای داخلی، نقش عمده‌ای در صادرات محصولات غیرنفتی، ارزآوری و مثبت کردن تراز تجاری بخش کشاورزی خواهد داشت. محاسن موجود در کشت‌های گلخانه‌ای باعث شده است تا توسعه این نوع کشت، بسیار مورد توجه قرار گیرد، به‌طوری که پیش‌بینی شده است سطح فعلی گلخانه‌ها در افق توسعه‌ای کشور تا پنج برابر افزایش پیدا کند. به سبب وابستگی این نوع تولید به انرژی‌های فسیلی، توسعه آن باعث خواهد شد تا مصرف انرژی فسیلی و متعاقب آن آلاینده‌های محیط‌زیستی نیز افزایش یابد و با توجه به قوانین بین‌المللی بازدارنده و سخت‌گیرانه موجود، مصرف این سوخت‌ها مستلزم پرداخت جریمه در سال‌های آتی خواهد شد. از طرف دیگر با توجه به محدود بودن عمر ذخایر سوخت‌های فسیلی، هم‌پوشانی با اوج مصرف خانگی، افزایش جمعیت و افزایش درخواست انرژی در سایر بخش‌ها، افزایش سطح زیر کشت گلخانه‌ها و درخواست انرژی بیش‌تر در این بخش و تلاش برای افزایش عملکرد محصول در واحد سطح که افزایش مصرف انرژی در این بخش را به دنبال خواهد داشت، ضروری است که در کنار توسعه گلخانه‌ها به کاهش روند مصرف انرژی‌های فسیلی و جایگزین کردن آن‌ها با سایر منابع انرژی، بیش از پیش توجه شود.

## بررسی روند توسعه گلخانه‌ها

بررسی آمار سطح زیر کشت محصولات گلخانه‌ای در کشور (جدول ۱) نشان می‌دهد از مجموع ۱۱,۹۴۱ هکتار گلخانه در پایان سال ۱۳۹۶، حدود ۶۵۳۴ هکتار به خیار، ۷۸۰ هکتار به گوجه‌فرنگی، ۵۰۸ هکتار به انواع فلفل و در مجموع ۸۴۸۹ هکتار به محصولات سبزی و صیفی و ۲۴۶۹ هکتار به گل و گیاهان زینتی، ۴۸۸ هکتار به توت‌فرنگی و ۱۳۲ هکتار به گیاهان دارویی و در مجموع ۳۴۵۲ هکتار به گل و گیاهان زینتی، توت‌فرنگی و سایر محصولات گلخانه‌ای اختصاص یافته است (شکل‌های ۱ و ۲).

جدول ۱- سطح زیر کشت محصولات گلخانه‌ای 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  |



شکل ۱- گلخانه تولید خیار



شکل ۲- گلخانه تولید گل

مطالعات صورت گرفته در گلخانه‌های ایران نیز نشان می‌دهند که مصرف انرژی در گلخانه‌های کشور در بخش‌های مختلفی مانند آبیاری، عملیات ماشینی، الکتریسته، بذر، کود مصرفی، حمل‌ونقل و سیستم‌های کنترل اقلیم گلخانه صورت می‌گیرد. باتوجه‌به تولید خارج از فصل، عمده مصرف انرژی در گلخانه‌های ایران، مربوط به سیستم‌های گرمایشی است. برای مثال سهم سوخت در هزینه جاری گلخانه‌های استان همدان از حدود ۱۴/۷ درصد در سال ۱۳۹۱ با افزایش قیمت حامل‌های انرژی به ۲۶ درصد در سال ۱۳۹۴ رسیده است. این موضوع باعث شده است تا قیمت تمام‌شده محصولات افزایش یابد و توان رقابت با تولیدات گلخانه‌ای دنیا را نداشته باشد.

در دهه‌های ابتدایی توسعه گلخانه‌ها در ایران، عمده گلخانه‌های سبزی و صیفی کشور به کشت خیار اختصاص داشت؛ ولی گسترش این نوع کشت، تنوع تولید و نیاز به محصولات مختلف باعث شد تا سهم تولید خیار در گلخانه‌ها از ۶۱ درصد در سال ۹۰ به ۵۵ درصد در سال ۱۳۹۶ برسد (جدول ۲). تغییرات رشد سایر محصولات نیز در این جدول بیان شده است. در ایران به‌طور متوسط از هر هکتار گلخانه خیار بین ۱۲۰ تا ۲۹۰، گوجه‌فرنگی ۳۰۰ تا ۴۰۰ و فلفل ۲۳۰ تا ۳۰۰ تن در هکتار برداشت می‌شود.

جدول ۲- مقایسه سطح زیر کشت محصولات گلخانه‌ای کشور  
در سال‌های ۱۳۹۶-۱۳۹۰

| شرح                  | ۱۳۹۰ |      | ۱۳۹۶  |      | درصد<br>رشد |
|----------------------|------|------|-------|------|-------------|
|                      | سطح  | درصد | سطح   | درصد |             |
| خیار                 | ۴۹۰۷ | ۶۰/۷ | ۶۵۳۴  | ۵۴/۷ | ۳۳/۲        |
| گوجه‌فرنگی           | ۳۸۶  | ۴/۸  | ۷۸۰   | ۶/۵  | ۱۰۲/۱       |
| انواع فلفل           | ۱۵۰  | ۱/۹  | ۵۰۸   | ۴/۳  | ۲۳۸/۷       |
| سایر سبزی‌ها         | ۲۴۷  | ۳/۱  | ۶۶۷   | ۵/۶  | ۱۷۰/۰       |
| گل و گیاهان<br>زینتی | ۲۱۳۷ | ۲۶/۴ | ۲۴۶۹  | ۲۰/۷ | ۱۵/۵        |
| توت‌فرنگی            | ۱۹۴  | ۲/۴  | ۴۸۸   | ۴/۱  | ۱۵۱/۵       |
| گیاهان دارویی        | ۵۵   | ۰/۷  | ۱۳۲   | ۱/۱  | ۱۴۰         |
| سایر                 | ۷    | ۰/۱  | ۳۶۳   | ۳    | ۵۰۸۵/۷      |
| جمع                  | ۸۰۸۳ | ۱۰۰  | ۱۱۹۴۱ | ۱۰۰  | ۴۷/۷        |

مطالعه روند توسعه گلخانه‌های با پوشش پلاستیکی در دنیا نیز در هشت منطقه شمال اروپا، جنوب اروپا، شرق اروپا، خاورمیانه، آسیا، آفریقا، آمریکا و استرالیا نشان می‌دهد که مهم‌ترین عوامل توسعه گلخانه‌ها در دنیا، عوامل اقتصادی مرتبط با کنترل اقلیم داخل گلخانه‌ها، مصرف انرژی

در آن‌ها و تصمیم‌گیری دولت‌مردان بوده است. با وجود تفاوت در علل توسعه گلخانه‌ها در کشورها، تنها نقطه مشترک آن‌ها، بهینه‌سازی مصرف انرژی در گلخانه‌ها بوده است.

به‌طور کلی تجربیات، مطالعات و اندازه‌گیری‌های جهانی مربوط به مصرف انرژی در گلخانه‌ها حاکی از چند نکته هستند:   
 ◀ حدود ۶۶/۶ درصد کل انرژی مصرفی در گلخانه‌ها به‌صورت مستقیم است که عمدتاً صرف گرمایش می‌شود و ۳۳/۳ درصد دیگر به‌صورت غیرمستقیم است و مربوط به استفاده از نهاده‌های تولید مانند کودهای شیمیایی، نیروی کارگری، بسته‌بندی و سایر موارد هستند.

◀ انرژی مصرفی ویژه در گلخانه‌های تونلی تک‌دهانه بیش‌تر از گلخانه‌های چنددهانه است. دلیل این موضوع، نسبت سطح کف گلخانه به سطوح سقف و دیواره‌های گلخانه است که در گلخانه‌های چنددهانه این نسبت در مقایسه با گلخانه‌های تونلی (تک‌دهانه) بیش‌تر است. کم بودن مساحت دیواره و سقف گلخانه نسبت به مساحت گلخانه به معنی کم‌تر شدن سطح انتقال (تبادل) حرارت و نیز کم‌تر شدن مصرف انرژی به‌منظور گرمایش گلخانه است.

◀ پایین بودن انرژی مصرفی ویژه در گلخانه‌های چنددهانه سبب بالارفتن بازدهی انرژی و بهره‌وری انرژی در این نوع

از گلخانه‌ها نسبت به گلخانه‌های تک‌دهانه (تونلی) می‌شود.   
 ► برای بهینه‌سازی مصرف انرژی توجه به فرم (سطح مقطع) هندسی گلخانه، مساحت گلخانه و نیز نوع و بازدهی سامانه‌های گرمایشی و توزیع حرارت به‌کار رفته در آن، از اهمیت خاصی برخوردار هستند.   
 ► گرمای اضافی موجود در تابستان تقریباً سه برابر نیاز گرمایشی سالانه گلخانه‌هاست. این مهم نشانگر اهمیت یافتن راهکارهای فنی و اقتصادی برای ذخیره گرمای اضافی در فصول گرم و استفاده از آن در فصول سرد است.

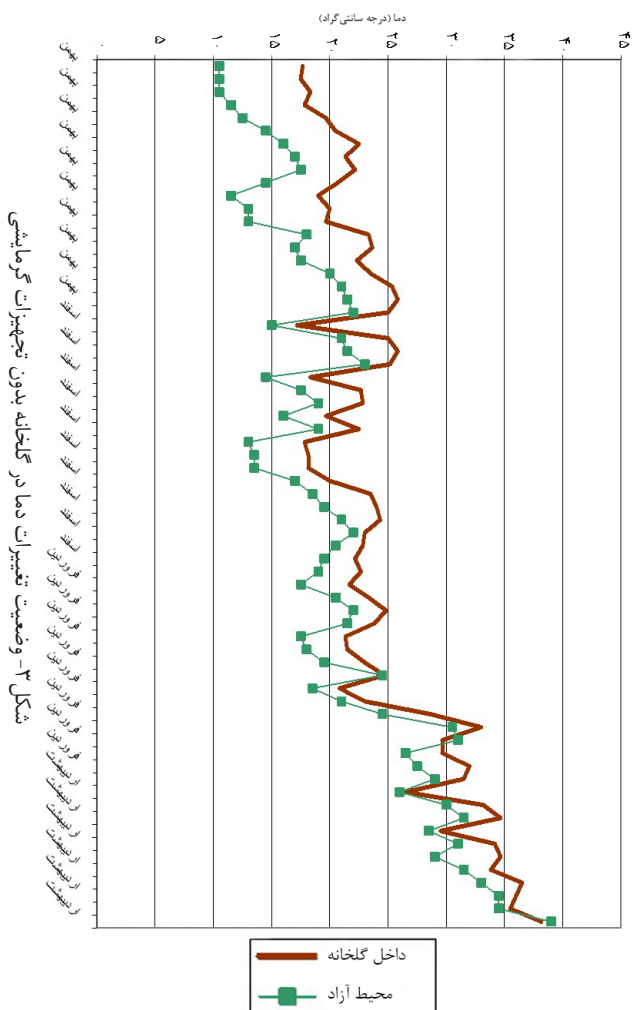
## راه‌های انتقال حرارت از گلخانه‌ها

طبق تعریف گلخانه محیط کشتی است که در آن تغییرات دما، رطوبت و نور در محدوده مورد نیاز گیاه کنترل می‌شود تا محصول مناسب از لحاظ کمی و کیفی تولید شود. در گلخانه‌های تجاری که هدف، تولید اقتصادی و بازگشت سرمایه است، یکی از عوامل اصلی در افزایش رشد رویشی گیاه، شروع گل‌دهی، رشد و کیفیت میوه، دمای مناسب محیط رشد است.

اطلاع از وضعیت دما و رطوبت داخل گلخانه و چگونگی تغییر آن‌ها به دلایل زیر ضروری و مهم است:

- ◀ نقاط بحرانی دما و رطوبت داخل گلخانه را مشخص می‌کند.
- ◀ امکان مقایسه فیزیولوژیکی گیاه از نظر تغییرات دما و رطوبت داخل گلخانه وجود دارد.
- ◀ با دانستن تغییرات دما و رطوبت، زمان و شدت هجوم آفات و بیماری‌ها پیش‌بینی‌پذیر است.

اگر هیچ سامانه گرمایشی و سرمایشی در گلخانه موجود نباشد: الف) در ماه‌های سرد که دریاچه‌های گلخانه بسته هستند، بر اثر محبوس شدن انرژی ناشی از تابش خورشید بر گلخانه، محیط داخل گلخانه تنها چند درجه گرم‌تر از محیط آزاد بوده و این وضعیت برای تولید در ماه‌هایی که دمای هوای محیط آزاد، بسیار کم‌تر از دمای مطلوب گیاه است، مناسب نیست. بنابراین، استفاده از سیستم‌های گرمایشی برای تعدیل دما در فصولی که هوا سرد است، ضروری به نظر می‌رسد (شکل ۳).

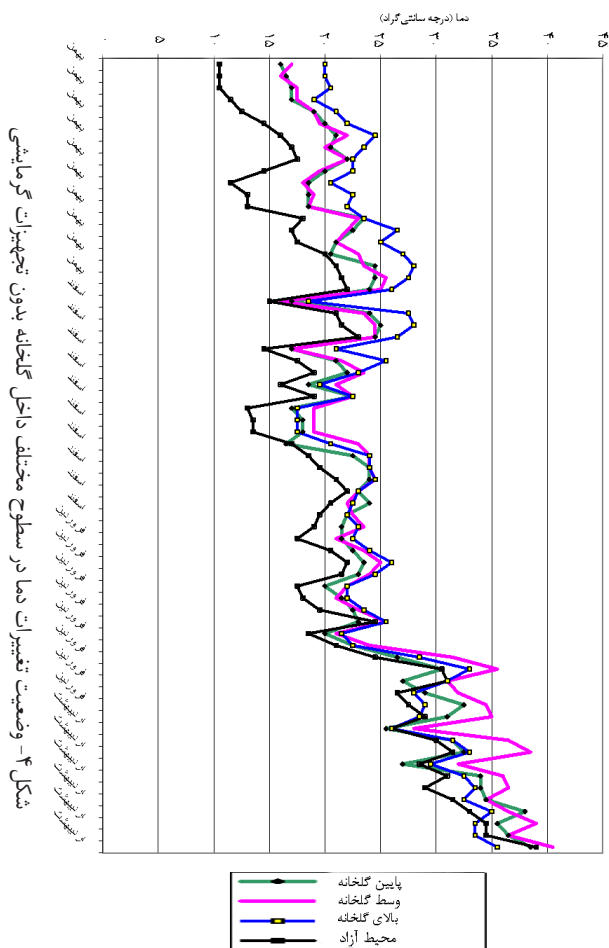


ب) در ماه‌هایی که مدت باز بودن دریچه‌ها زیاد می‌شود، دمای هوای منطقه بالای گلخانه<sup>۱</sup>، به دمای هوای محیط بیرون نزدیک‌تر می‌شود و هوای گرم‌تر در وسط گلخانه و در بین بوته‌ها محبوس می‌ماند (شکل ۴).

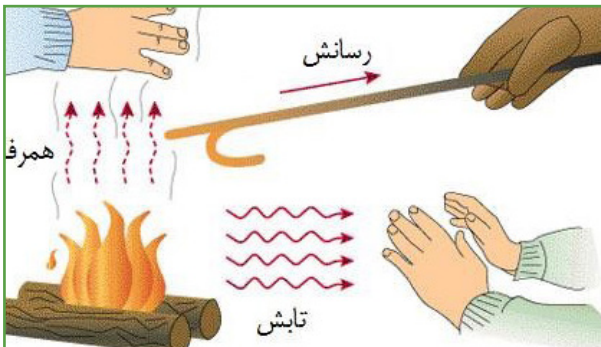
ج) در فصولی که معمولاً دریچه‌ها باز هستند، دمای منطقه بالای گلخانه، که فاقد پوشش گیاهی است، به دمای محیط بیرون نزدیک می‌شود. در این زمان، منطقه پایین گلخانه نسبت به سایر مناطق گلخانه کم‌تر گرم می‌شود و احتمالاً علت آن وجود سایه ناشی از کانوپی بوته گیاهان داربستی است که باعث می‌شود انرژی تابشی کم‌تری به سطح پایین برسد و این منطقه کم‌تر گرم شود. جابه‌جانشدن هوای داخل گلخانه، این مسئله را تشدید می‌کند (شکل ۴).

---

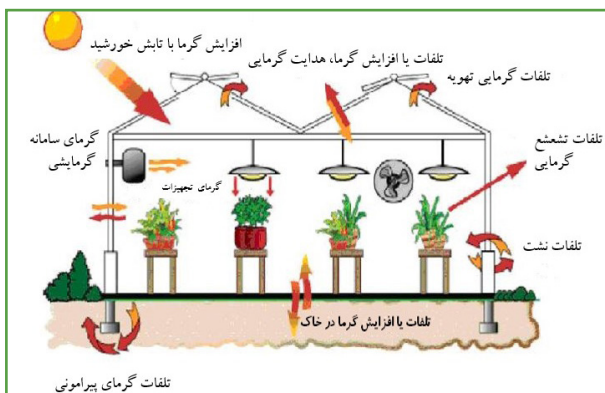
۱. از سطح زمین تا ارتفاع یک متر «طبقه پایین»، محدوده کانوپی گیاه «طبقه وسط» و ارتفاع بالای کانوپی تا سقف گلخانه «طبقه بالا» نامیده شدند.



به‌طور کلی انتقال حرارت در یک محیط از سه طریق هدایت (رسانش)، تابش (تشعشع) و همرفت انجام می‌شود (شکل ۵). در گلخانه‌ها نیز انتقال حرارت بر اثر عوامل فوق و از طریق تلفات پوشش، تلفات حرارت به‌واسطه وجود منفذ در گلخانه و از طریق دریچه‌های تهویه با سازه و درهای ورودی صورت می‌گیرد (شکل ۶).



شکل ۵- روش‌های انتقال حرارت در محیط



شکل ۶- طرق انتقال انرژی در گلخانه

اتلاف حرارت از طریق هدایت، با انتقال یا جریان گرما از میان یک ماده نظیر سازه یا پوشش گلخانه اتفاق می‌افتد. اتلاف حرارت از طریق همرفت، تبادل گرما بین یک سیال متحرک نظیر هوا در داخل گلخانه و یک سطح جامد است. همان‌طور که هوای داخل گلخانه گرم می‌شود، به بالا صعود می‌کند و مقداری از گرمای خودش را توسط پوشش سقف گلخانه از دست می‌دهد. پس از آن سردتر می‌شود و هوای سنگین‌تر به‌طرف کف گلخانه نشست می‌کند. نشست یا نفوذ هوا، از میان روزنه‌های کوچک موجود روی سازه و پوشش گلخانه رخ می‌دهد (شکل ۷). در صورت نیاز به تهویه طبیعی، در زمستان هوای ورودی به گلخانه احتیاج به گرم‌شدن دارد تا دمای آن به

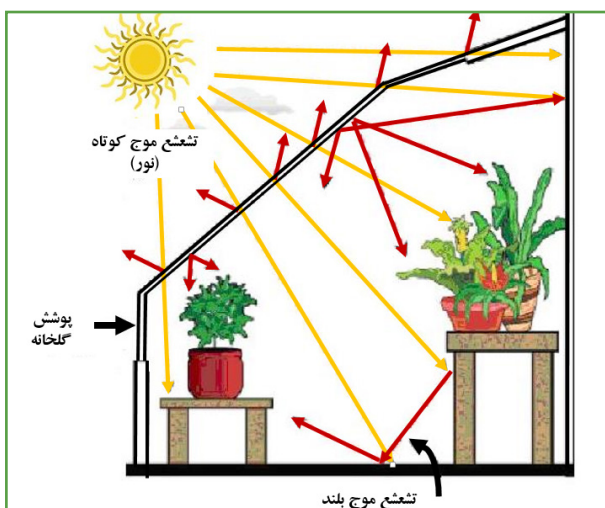
دمای تنظیمی گلخانه برسد و در تابستان نیز هوای ورودی به گلخانه نیاز به سرد شدن دارد.



شکل ۷- تلفات حرارتی ناشی از نشت هوا به داخل یا خارج گلخانه

تشعشع، انتقال حرارت بین دو جسم بدون تماس یا نیاز به یک ماده انتقال دهنده است. دو نوع تشعشع بر گلخانه اثرگذار است: تشعشع خورشیدی با طول موج کوتاه و تشعشع گرمایی با طول موج بلند که از گلخانه‌های گرم شده برگشت می‌شود. تشعشع بسته به شرایط می‌تواند نتیجه از دست دادن یا دریافت انرژی باشد. نور خورشید مثالی از گرمایش تشعشعی است؛ تشعشع موج کوتاه خورشید حتی وقتی بیرون گلخانه یخ‌بندان است، از پوشش گلخانه عبور می‌کند و سبب گرم کردن گیاهان، خاک و سازه گلخانه می‌شود.

سرد شدن ناشی از تشعشع در شب‌های سرد زمستانی نیز درخور توجه است. همان طور که گیاهان، خاک و سازه گلخانه از محیط پیرامون خود گرم‌تر می‌شوند، گرما را به شکل تشعشع گرمایی از خود ساطع می‌کنند. تشعشع گرمایی به سمت پوشش گلخانه می‌رود و بخشی از آن به داخل گلخانه بازتاب می‌شود، در حالی که قسمت دیگر آن از پوشش می‌گذرد و به سمت بیرون از گلخانه خارج می‌شود (شکل ۸).



شکل ۸- انتقال گرما از طریق تشعشع موج کوتاه و بلند در گلخانه

به‌طور کلی انتقال حرارت در گلخانه از سه طریق «هدایت، همرفت و تشعشع» انجام می‌شود.

## محاسبه نیاز گرمایشی گلخانه

برای محاسبه مقدار نیاز گرمایشی گلخانه، می‌توان از روش تراز انرژی و روابط ارائه‌شده در استانداردهای مربوطه استفاده کرد.

بر اساس تراز انرژی در گلخانه داریم:

$$Q_s + Q_h = Q_l \quad (1)$$

که در آن به‌ترتیب  $Q_s$  انرژی خورشیدی ورودی به گلخانه،  $Q_h$  انرژی اضافی مصرفی برای گرم کردن گلخانه،  $Q_l$  مجموع تلفات انرژی در گلخانه است.

پس مقدار انرژی حرارتی مورد نیاز در گلخانه عبارت است از:

$$Q_h = Q_l - Q_s \quad (2)$$

حال با اندازه‌گیری مقدار انرژی حاصل از تشعشع خورشیدی ورودی به گلخانه و محاسبه تلفات انرژی، می‌توان مقدار انرژی گرمایی مورد نیاز را به دست آورد. برای محاسبه تلفات انرژی از گلخانه، روش‌های مختلفی وجود دارد که یکی از جامع‌ترین آن‌ها استفاده از استاندارد انجمن ملی گلخانه‌سازان آمریکا<sup>۱</sup> است.

طبق این استاندارد، مقدار انرژی لازم برای گرم نگه‌داشتن گلخانه برابر با مقدار انرژی تلف‌شده از گلخانه

است. تلفات حرارتی از گلخانه نیز به عواملی مانند نوع پوشش گلخانه، سطح بیرونی گلخانه، سرعت باد، وضعیت سازه گلخانه، دمای بیرون گلخانه و دمای مطلوب درون گلخانه بستگی دارد.

$$L = L_{cover} + L_{frame} + L_{wind} \quad (۳)$$

$L$  = تلفات کل (کیلوکالری بر ساعت،  $\text{kcal.h}^{-1}$ )

$L_{cover}$  = تلفات پوشش (کیلوکالری بر ساعت،  $\text{kcal.h}^{-1}$ )

$L_{frame}$  = تلفات سازه (کیلوکالری بر ساعت،  $\text{kcal.h}^{-1}$ )

$L_{wind}$  = تلفات باد (کیلوکالری بر ساعت،  $\text{kcal.h}^{-1}$ )

نحوه محاسبه هر یک از این تلفات، در ادامه توضیح داده شده است.

### تلفات پوشش

این تلفات میزان گرمای ازدست‌رفته از سطح پوشش گلخانه را نشان می‌دهد و برای به‌دست‌آوردن آن از رابطه (۴) استفاده می‌شود.

$$L_{cover} = U.A.(T_{inside} - T_{outside}) \quad (۴)$$

$U$  = ضریب انتقال حرارت پوشش ( $\text{kcal}/(\text{h} \times \text{m}^2 \times ^\circ\text{C})$ )

$A$  = مساحت پوشش ( $\text{m}^2$ )

$T_{inside}$  = دمای داخل گلخانه ( $^\circ\text{C}$ )

$T_{outside}$  = کمینه دمای خارج گلخانه ( $^\circ\text{C}$ )

ضریب انتقال حرارت انواع پوشش‌های مورد استفاده در گلخانه‌ها (U) در جدول ۳ ارائه شده است.

جدول ۳- ضریب انتقال حرارت پوشش‌های مختلف

| نوع پوشش                 | ضریب انتقال حرارت |
|--------------------------|-------------------|
| شیشه ساده                | ۱/۱۳              |
| شیشه دولایه              | ۰/۷               |
| پلاستیک تک‌لایه          | ۱/۲               |
| پلاستیک دولایه           | ۰/۷               |
| پلاستیک تک‌لایه روی شیشه | ۰/۸۵              |
| پلاستیک دولایه روی شیشه  | ۰/۶۰              |
| پلی کربنات دو لایه       | ۰/۵۸-۰/۷۲         |

## تلفات سازه

علاوه بر تلفات حرارتی که از پوشش گلخانه خارج می‌شود، مقداری گرما هم بر اثر سایر اجزای گلخانه مانند قاب‌ها، شاسی، ناودانی‌ها، ستون‌ها، دریچه‌ها و سایر قسمت‌های سازه رخ می‌دهد که باید تلفات آن‌ها نیز محاسبه شوند. برای محاسبه آن‌ها، مقدار تلفات به‌دست‌آمده از رابطه (۴) در ضریب ساخت گلخانه، ضرب شده و مقدار تلفات سازه محاسبه می‌شود.

$$L_{frame} = C.L_{cover} \quad (۵)$$

C = ضریب ساخت گلخانه

ضریب ساخت گلخانه برای انواع سازه‌های گلخانه‌ای در جدول ۴ ارائه شده است.

جدول ۴- ضریب ساخت گلخانه‌های مختلف

| نوع سازه                    | ضریب ساخت |
|-----------------------------|-----------|
| سازه فلزی با پوشش شیشه      | ۱/۰۸      |
| سازه فلزی با پوشش فایبرگلاس | ۱/۰۳      |
| سازه فلزی با پوشش پلاستیکی  | ۱/۰۲      |
| سازه چوبی با پوشش پلاستیک   | ۱/۰۰      |

## تلفات ناشی از باد

برای محاسبه افت حرارتی ناشی از وزش باد و خروج هوای گرم از درز و شکاف‌های گلخانه، از رابطه (۶) استفاده می‌شود.

$$q_i = \rho_i \cdot N \cdot V \cdot [C_{pi} \cdot (t_i - t_o) + h_{fg} (W_i - W_o)] \quad (۶)$$

$q_i$  = افت حرارتی ناشی از تبادل هوای گلخانه (وات، W)

$\rho_i$  = چگالی هوای داخل گلخانه (کیلوگرم بر مترمکعب،  $\text{kg.m}^{-3}$ )

$C_{pi}$  = حرارت ویژه هوای داخل گلخانه (ژول بر کیلوگرم

بر درجه سلسیوس،  $(\text{J} \cdot (\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})^{-1})$ )

$N$  = تعداد تبادل هوای طبیعی در ثانیه  $s^{-1}$  یا  $h^{-1}$

$V$  = حجم داخل گلخانه به  $m^3$

$h_{fg}$  = گرمای نهان تبخیر آب در درجه حرارت  $t_i$  بر حسب  $J.kg^{-1}$

$W_i$  = رطوبت نسبی هوای داخل گلخانه بر حسب  $kg_{water}.kg_{air}^{-1}$

$W_o$  = رطوبت نسبی هوای خارج گلخانه بر حسب  $kg_{water}.kg_{air}^{-1}$

باتوجه به پیچیدگی رابطه (۶)، این معادله به صورت زیر ساده‌سازی شده است:

$$L_{wind} = 0.018.F_{wind}.N.V.(T_{inside} - T_{outside}) \quad (۷)$$

$F_{wind}$  = ضریب سرعت باد مستخرج از جدول ۵ (کیلوکالری بر مترمکعب درجه سلسیوس،  $^{\circ}C^{-1}.kcal.m^{-3}$ )

$N$  = تعداد دفعات تبادل هوای درون گلخانه بر ساعت

$V$  = حجم گلخانه ( $m^3$ )

هرچه سرعت وزش باد در محل احداث گلخانه بیش‌تر باشد، تلفات حرارتی گلخانه بیش‌تر می‌شود. به همین دلیل در جاهایی که سرعت باد از ۲۴ کیلومتر بر ساعت زیادتر باشد، مقدار تلفات به‌دست‌آمده باتوجه به ضریب باد، بیش‌تر از حالت عادی خواهد بود. ضریب سرعت باد و تعداد دفعات تبادل هوای طبیعی به کمک جداول ۵ و ۶ تعیین می‌شود.

جدول ۵- ضریب سرعت باد

| سرعت باد (کیلومتر بر ساعت $\text{km.h}^{-1}$ ) | ضریب سرعت باد |
|------------------------------------------------|---------------|
| ۲۴                                             | ۱/۰۰          |
| ۳۲                                             | ۱/۰۴          |
| ۴۰                                             | ۱/۰۸          |
| ۴۸                                             | ۱/۱۲          |
| ۵۶                                             | ۱/۱۶          |

جدول ۶- ضریب سرعت باد باتوجه به نوع و سازه گلخانه

| گلخانه نو    |                                             |
|--------------|---------------------------------------------|
| ۱/۲۵         | گلخانه شیشه‌ای تک لایه با عایق‌بندی نامناسب |
| ۱/۰۰         | گلخانه شیشه‌ای تک لایه با عایق‌بندی مناسب   |
| ۰/۶۰-۱/۰۰    | گلخانه پلاستیکی                             |
| ۰/۹          | گلخانه شیشه‌ای با یک لایه پلاستیک روی آن    |
| گلخانه قدیمی |                                             |
| ۲/۰۰-۴/۰۰    | گلخانه بازسازی نشده                         |
| ۱/۵          | گلخانه بازسازی شده                          |

## راهکارهای مدیریت مصرف انرژی گرمایشی در گلخانه‌ها

### ساخت گلخانه در جهت جغرافیایی مناسب

در عرض‌های شمالی، گلخانه‌های تک‌واحدی باید در جهت شرقی-غربی قرار بگیرند تا اجازه ورود حداکثر نور را در اواخر پاییز، زمستان و اوایل بهار بدهند. برای گلخانه‌های دو یا چند دهانه، اگر شرایط زمین اجازه دهد، توصیه می‌شود جهت گلخانه شمالی-جنوبی باشد تا مسیر سایه‌اندازی ناشی از ناودانی‌ها در کل روز در قسمت‌های یکسانی از گلخانه نباشد و باعث ضعیف‌شدن گیاه در این قسمت‌ها نشود. در هر دو حالت ردیف‌های محصول در داخل گلخانه باید در جهت شمالی-جنوبی کشت شوند تا نور مناسب در طول روز به محصولات برسد. باتوجه‌به اثر پخش‌کنندگی نور در پوشش‌های پلاستیکی، جهت ساخت گلخانه از منظر سایه‌اندازی در این نوع گلخانه‌ها کم‌اهمیت‌تر شده است؛ ولی برای دریافت مقدار تابش خورشیدی بیش‌تر از یک طرف و قرارنگرفتن ناودانی‌ها در سایه از طرف دیگر، جهت ساخت اهمیت دارد. در شکل ۹ شهرک گلخانه‌ای در اسپانیا نشان داده شده است.

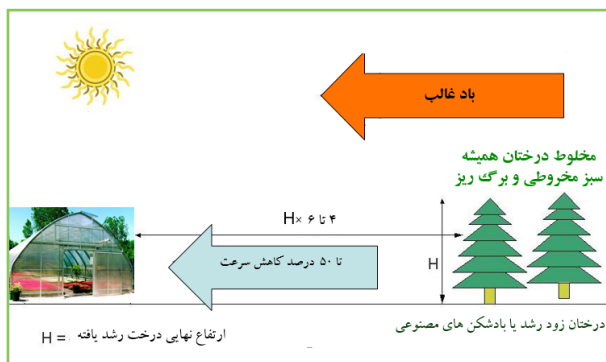


شکل ۹- شهرک گلخانه‌ای در اسپانیا

### استفاده از بادشکن

وزش باد در سرعت‌های پایین برای تهویه گلخانه ضروری است؛ ولی افزایش سرعت باد باعث افزایش تلفات گرما از گلخانه می‌شود. به همین دلیل، نصب یک بادشکن می‌تواند نفوذ هوای سرد و انتقال (همرفت) گرما را از گلخانه کاهش دهد. طراحی درست بادشکن نیز ضروری است؛ زیرا طراحی غلط می‌تواند ضمن تحمیل هزینه به گلخانه‌دار، تلفات حرارتی را افزایش دهد.

بادشکن‌ها به‌صورت طبیعی یا مصنوعی از حصارها، درختان، ساختمان‌ها و... ساخته می‌شوند و می‌توانند باعث کاهش سرعت باد و در نتیجه کاهش ۵ تا ۱۰ درصدی تلفات حرارتی گلخانه‌ها شوند (شکل ۱۰).



شکل ۱۰- ارتفاع و فاصله بادشکن از یک گلخانه

بادشکن‌ها در گلخانه‌های قدیمی یا مناطق بادخیز بسیار مؤثرترند (شکل ۱۱)؛ هرچند با نوسازی گلخانه‌های قدیمی مقدار بیش‌تری از هزینه‌های گرمایش نسبت به ساخت هر نوع بادشکن کاسته می‌شود. یک بادشکن موقتی را می‌توان با نصب حصاری به ارتفاع ۳ تا ۴ متر، در فاصله ۱۲ تا ۱۸ متری از گلخانه معمولی که ارتفاع ۳/۳ تا ۴/۷ متر دارد، ایجاد کرد. یک بادشکن دائمی‌تر نیاز به ۴ تا ۵ ردیف درخت برگ‌ریز و همیشه‌سبز دارد که ۴ تا ۶ درخت کاملاً رشد کرده، به ارتفاع گلخانه در آن وجود داشته باشند. به‌منظور جلوگیری از نابودی بادشکن طبیعی در اثر حمله آفات و بیماری‌ها توصیه می‌شود از گونه‌های مختلف درختان به‌عنوان بادشکن استفاده کرد (به‌دلیل مصرف آب زیاد برای درختان بادشکن و سایر

مشکلات ناشی از این روش، گرایش به استفاده از بادشکن‌های مصنوعی بیش‌تر شده است).



شکل ۱۱- نصب بادشکن در کنار گلخانه

در مناطقی با سرعت زیاد باد به‌ویژه در فصلی که نیاز به گرمایش است، احداث بادشکن (درختچه‌ها و درخت‌ها) اطراف گلخانه یا حداقل در خلاف جهت باد غالب پیشنهاد می‌شود (شکل ۱۲). باید دقت شود که این بادشکن‌ها مقدار نور ورودی به گلخانه‌ها، به‌ویژه در طول زمستان، را کاهش ندهند.



شکل ۱۲- کاهش تأثیرات منفی باد شدید با نصب بادشکن

### استفاده از پوشش گلخانه‌ای مناسب

مهم‌ترین وظیفه پوشش گلخانه این است که بیش‌ترین مقدار نور و حرارت را در اختیار گیاه قرار دهد. تاکنون ماده‌ای ساخته نشده است که تمام نور تابیده شده از آن عبور کند. مقدار عبور نور از یک پوشش در طول موج‌های مختلف به جنس مواد و زاویه برخورد نور به آن بستگی دارد. از مواد رایج برای ساخت پوشش گلخانه نیز به موارد زیر می‌توان اشاره کرد:

#### الف) شیشه

مواد تشکیل‌دهنده، کیفیت و ابعاد شیشه بر میزان عبور نور مؤثرند. درصد آهن موجود در شیشه، مقدار نور عبور یافته را تحت تأثیر قرار می‌دهد. با افزایش درصد آهن در شیشه، مقدار نور عبور یافته کاهش می‌یابد. به همین دلیل

برای پوشش دادن گلخانه‌ها باید از شیشه‌هایی بهره برد که میزان آهن در آن‌ها کم باشد. از لحاظ ابعاد نیز، هرچه قطعات شیشه بزرگ‌تر باشد سایه‌اندازی قاب‌ها کم‌تر و عبور نور بیش‌تر خواهد بود؛ ولی در مقابل تگرگ و بارش برف سنگین، شکننده‌تر هستند (شکل ۱۳). معمولاً در گلخانه‌های تجاری تولید سبزی و صیفی در ایران از شیشه برای پوشش گلخانه استفاده نمی‌شود.



شکل ۱۳- استفاده از شیشه به‌عنوان پوشش گلخانه

#### ب) پوشش‌های پلاستیکی

پلاستیکی که برای پوشش گلخانه استفاده می‌شود باید در دماهای مختلف انعطاف داشته باشد. درصد عبور نور آن در حد قابل قبول باشد و نیز از لحاظ شیمیایی، برای گیاه مضر نباشد (شکل ۱۴).

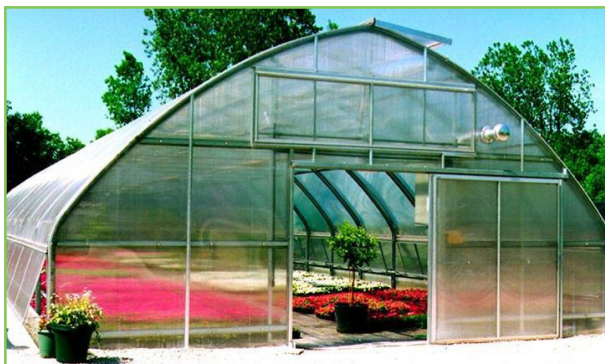


شکل ۱۴- گلخانه با پوشش پلاستیکی

### ج) پلی کربنات

از مزیت‌های پوشش پلی کربنات به جای شیشه می‌توان به وزن سبک‌تر آن و در نتیجه هزینه کم‌تر سازه گلخانه اشاره کرد. همچنین مقاومت آن نسبت به پلاستیک بسیار بیش‌تر است. به علت دوجداره بودن باعث صرفه‌جویی در مصرف انرژی می‌شود. قابلیت گذردهی نور مناسبی دارد. خاصیت خود خاموشی و اشتعال ناپذیری دارد، به‌طوری‌که شعله‌ور نمی‌شود و در دمای بالای حریق، به آرامی ذوب می‌شود و مانع گسترش آتش شده و خودبه‌خود خاموش می‌شود. در برابر اشعه ماوراءبنفش خورشید و سایر شرایط جوی مقاوم است و ویژگی شفافیت خود را در مدت زمان طولانی حفظ می‌کند. یکی از عیب‌های مهمی که می‌توان به

آن اشاره کرد این است که در هنگام آتش‌سوزی شعله‌ور نمی‌شود، ولی دودزا است. شفافیت این نوع پوشش مشابه شیشه است؛ اما خش‌پذیری سطح ورق باعث کدر شدن آن می‌شود و قیمت آن نیز زیاد است (شکل ۱۵).



شکل ۱۵- استفاده از پلی‌کربنات به‌عنوان پوشش گلخانه

### اضافه کردن لایه پوشش داخلی

اضافه کردن حجمی از هوا به‌عنوان عایق در دیوارها و سقف گلخانه‌ها، یکی از عملی‌ترین روش‌ها برای حفظ انرژی در گلخانه‌ها است. این کار با اضافه کردن یک آستر داخلی شفاف، با قابلیت عبور نور مانند پلی‌اتیلن شفاف یا دیگر فیلم‌ها یا پلاستیک حباب‌دار می‌تواند انجام گیرد (شکل ۱۶).

نتایج تحقیقات نشان داده‌اند که استفاده از پوشش‌های پلی‌اتیلن دولایه همراه با هوای فشرده بین آن‌ها، تا

۴۰ درصد و پوشش‌های پلی‌کربنات دولایه تا ۵۰ درصد در مصرف سوخت به‌منظور گرمایش گلخانه‌ها مؤثر هستند.



شکل ۱۶- اضافه کردن یک لایه پلی‌اتیلن شفاف زیر پوشش  
(استفاده از پلاستیک حباب‌دار)

این لایه عایق‌شده محکم، همچنین می‌تواند باعث کاهش نشت هوا شود. اگر از فیلم پلی‌اتیلن استفاده می‌شود، ضخامت ۱۵۰ میکرون پیشنهاد می‌شود، چرا که از نظر مکانیکی مقاوم‌تر از پوشش‌های نازک‌تر است و حداقل ۴ سال عمر می‌کند. باید یادآوری کرد که اضافه کردن یک لایه پوشش به گلخانه، میزان عبور نور ورودی به گلخانه را کاهش می‌دهد. اضافه کردن این لایه به سقف، افت حرارتی را حدود ۲۵ درصد کاهش می‌دهد و وقتی دیوارها به‌تنهایی

عایق‌بندی می‌شوند، این مقدار حدود ۱۰ درصد است. با اضافه کردن یک لایه به کل سطح درونی گلخانه مقدار کاهش افت حرارتی به حدود ۳۵ درصد خواهد رسید.

### استفاده از پوشش موقت

اجرای پوشش موقت در زیر سقف گلخانه با موادی که نور از آن‌ها عبور می‌کند، مانند پلی‌اتیلن شفاف، افت حرارتی را ۲۰ تا ۳۰ درصد کاهش می‌دهد. این کار با فراهم کردن یک لایه هوای راکد عایق زیر سقف، حجم سرمایش و گرمایش و همچنین تلفات حرارتی ناشی از نشت را کاهش می‌دهد. برای جلوگیری از جمع شدن قطرات آب، این پوشش موقت کمی شیب‌دار اجرا می‌شود. در گلخانه‌هایی که این روش در آن‌ها اجرا می‌شود، نباید از تهویه سقفی استفاده شود و هر نوع سیستم گرمایشی نیز باید پایین‌تر از پوشش موقت نصب شود. باید دقت کرد که پوشش موقت حدود ۱۰ درصد سطح نور رسیده به داخل گلخانه را کاهش می‌دهد، موضوعی که می‌تواند در برخی مناطق و برای بعضی از گیاهان، مشکل ایجاد کند.

اگر در گلخانه از تهویه سقفی استفاده می‌شود، قسمتی از پوشش موقت می‌تواند با یک تیوب پلی‌اتیلن قابل بادشدن که نزدیک زیرسقفی قرار می‌گیرد، ترکیب شود. در طول روز

وقتی در داخل این تیوب‌ها باد نیست، از تهویه سقفی می‌توان استفاده کرد. این روش انرژی مورد استفاده را حدود ۲۵ درصد کاهش می‌دهد. این نوع از پوشش زیرسقفی باعث می‌شود حدود ۱۰ درصد نور ورودی به گلخانه کاهش یابد.

### استفاده از پوشش دولایه

در یک فصل کشت که نیاز به گرمایش است، پوشش دولایه پلاستیکی یا حتی شیشه، تلفات حرارتی را تقریباً تا ۵۰ درصد در مقایسه با پوشش تک‌لایه کاهش می‌دهند (شکل‌های ۱۷ و ۱۸). با توجه به اینکه بسیاری از گلخانه‌های با پوشش شیشه‌ای تک‌لایه ساخته شده‌اند، اجرای یک پرده محافظ انرژی می‌تواند به صورت معنی‌داری باعث کاهش هزینه‌های گرمایش شود. برای کاهش تلفات گرمایی از سقف، بعضی اوقات به‌ویژه در نواحی سرد، گلخانه‌داران یک لایه موقت فیلم پلاستیکی را روی لایه تک‌پوش شیشه در طول فصلی که به گرمایش احتیاج است، اجرا می‌کنند.



شکل ۱۷- گلخانه کمانی با پوشش دولایه



شکل ۱۸- گلخانه گنبدی با پوشش دولایه

گلخانه‌های پوشش‌شده با پلاستیک دولایه که پوشش داخلی آن‌ها دارای مواد افزودنی برای بازتاب امواج مادون قرمز باشد، تلفات ناشی از تشعشع گرمایی را تا ۲۰ درصد کاهش می‌دهد. میعان روی پوشش داخلی پلاستیک گلخانه

می‌تواند افت تلفات گرمایی ناشی از تشعشع را تا ۵۰ درصد کم کند؛ ولی تجمع بخار آب روی پوشش گلخانه، مقدار نور رسیده به محصول را نیز کاهش می‌دهد و می‌تواند به کاهش کیفیت و کمیت محصول گلخانه منجر شود. بنابراین جلوگیری از میعان بخار آب روی پوشش‌های گلخانه مهم است. پوشش‌های حرارتی ضد میعان انرژی مصرفی را ۱۵ تا ۲۰ درصد کاهش می‌دهند.

استفاده از پوشش دو لایه، تلفات حرارتی از طریق همرفت را نیز کاهش می‌دهد. پوشش دولایه با حداقل ضخامت ۱۵۰ میکرون با لایه عایق هوا، بین آن‌ها می‌تواند افت حرارتی ناشی از همرفت را تا ۴۰ درصد بیش‌تر از پوشش تک‌لایه کاهش دهد. بادکردن اضافی دو لایه پلاستیکی باعث می‌شود تا انتقال حرارت به‌صورت همرفت بین لایه داخلی و خارجی ایجاد شود.

استفاده از پوشش سه‌لایه یا برای مثال یک پوشش دولایه پلی‌اتیلن روی پوشش شیشه‌ای می‌تواند به قطع تلفات حرارتی کمک کند؛ ولی چون باعث کاهش تشعشع خورشیدی ورودی نیز می‌شود، توصیه نمی‌شود.

با وجود اینکه استفاده از پوشش دوم باعث کاهش تلفات حرارتی می‌شود، کاهش حدود ۱۰ درصدی در انتقال نور

به داخل گلخانه را نیز به همراه دارد که این مقدار در سال‌های بعد با کدرشدن پوشش بیش‌تر می‌شود. بنابراین، استفاده از پرده‌های انرژی شفاف، که انحصاراً وظیفه حفظ انرژی را در زمستان بدون کاهش نور ورودی برعهده دارد، توصیه شده است.

برای مدیریت مصرف انرژی گرمایشی در گلخانه با پوشش‌های دو لایه، موارد زیر توصیه می‌شوند:

- ۱- تعویض پلاستیک قدیمی و تغییر رنگ یافته یا خراب‌شده.
- ۲- کنترل و تمیزکردن فن‌های دمنده هوا بین دو پوشش.
- ۳- تعمیر تمام پارگی‌ها، شکافتگی‌ها یا سوراخ‌های کوچک با نوارهای پلاستیکی.
- ۴- کاهش بخار آب تجمع‌یافته بین لایه‌های پلاستیکی با دمیدن هوای گرم و خشک.
- ۵- تمیزکردن پوشش گلخانه از تمام چیزهایی که باعث سایه‌اندازی می‌شوند.

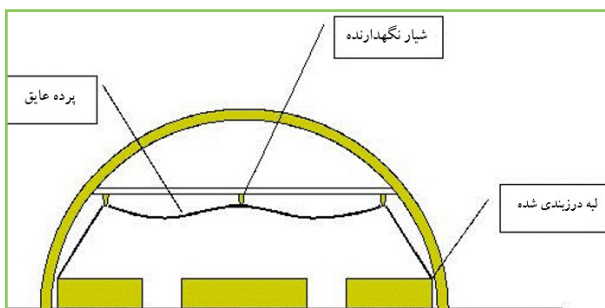
## استفاده از پوشش‌های با خاصیت نگهداری امواج مادون قرمز

این پوشش‌ها در طول روز اجازه ورود حرارت به داخل گلخانه را می‌دهند؛ اما در شب، افت حرارتی ناشی از خروج حرارت با طیف فروسرخ را ۳۰ درصد کاهش می‌دهند. شایان ذکر است که در گلخانه‌هایی که از این نوع پوشش‌ها استفاده می‌شود، میزان تهویه و سرمایش بیش‌تری مورد نیاز است.

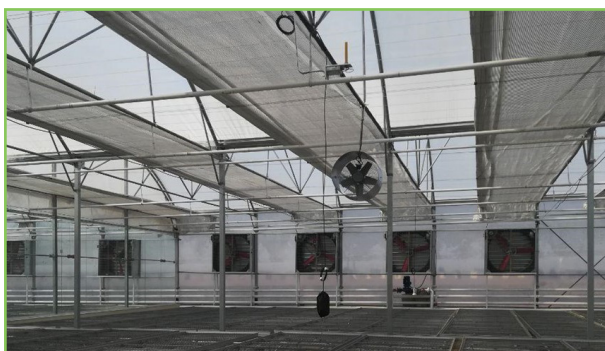
### استفاده از پرده‌های محافظ انرژی

تحقیقات نشان می‌دهند که ۸۰ درصد انرژی گرمایی که برای گرم کردن گلخانه‌ای با پوشش تک‌لایه در شب مورد نیاز است، سهم تلفات گرمایی است. یک پرده متحرک عایق‌شده وقتی بسته است، تا ۷۰ درصد تلفات گرمایی در شب را کاهش می‌دهد. اجرای پرده‌های محافظ گرما به‌طور متوسط باعث صرفه‌جویی ۲۰ تا ۵۰ درصد در مصرف انرژی می‌شوند. همچنین در تابستان به‌عنوان سایبان از آن‌ها می‌توان استفاده کرد. با استفاده از پرده‌های کاملاً مات، انرژی بیش‌تری را می‌توان صرفه‌جویی کرد. مواد بدون تخلخل با پوشش آلومینیومی باعث صرفه‌جویی انرژی تا ۷۰ درصد می‌شوند. نصب پرده‌های محافظ انرژی نسبتاً ساده است؛ به‌ویژه در گلخانه‌های جدید چنددهانه که فضای کافی برای نصب پرده‌ها بین سازه‌های سقف و ناودانی وجود دارد (شکل ۱۹). در جایی که پرده‌ها به

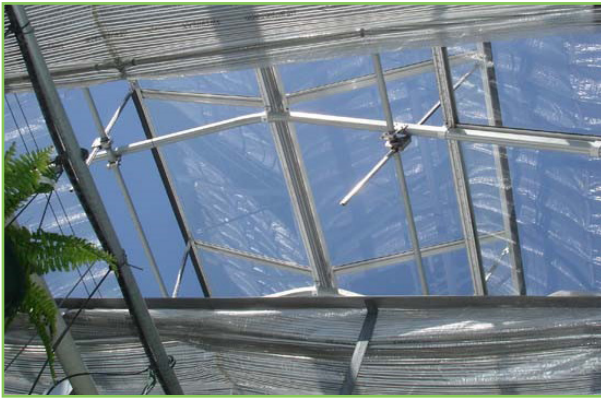
دیوارهای جانبی، قاب‌ها یا ناودان‌ها نزدیک می‌شوند، باید خیلی محکم نگهداری شوند. نتایج تحقیقات نشان می‌دهند که استفاده از پرده‌های حرارتی در طول شب باعث ۶۰ درصد صرفه‌جویی و در طول فصل زراعی، سبب ۲۵ تا ۳۰ درصد صرفه‌جویی در مصرف انرژی برای گرمایش گلخانه‌ها می‌شوند (شکل‌های ۲۰ و ۲۱).



شکل ۱۹- نصب پرده محافظ انرژی



شکل ۲۰- گلخانه با پرده ذخیره انرژی



شکل ۲۱- پرده ذخیره انرژی نصب‌شده در گلخانه

پرده‌های محافظ انرژی، تلفات گرمایی ناشی از تشعشع را کاهش می‌دهند. این پرده‌ها، انتقال حرارت همرفتی به سقف را نیز کاهش می‌دهند. در واقع فضای بین پرده و سقف شبیه یک اتاق زیرشیروانی با دمایی خنک‌تر از منطقه رشد محصول است که در نتیجه باعث کاهش اختلاف درجه حرارت می‌شود. اندازه پرده باید مناسب و نصب آن نیز محکم باشد تا هوای گرم در فضای رشد محصول به دام بیفتد. در غیر این صورت، هوای گرم صعود می‌کند و با داخل شدن به «اتاق زیرشیروانی» تأثیربخشی پرده را کاهش می‌دهد. اجرای مناسب یک سیستم پرده محافظ انرژی، می‌تواند صرفه‌جویی معنی‌داری در انرژی مصرفی در گلخانه داشته باشد. یکی از مزایای سیستم پرده‌های محافظ انرژی این است که در روزهایی که تشعشع خورشیدی

زیاد است، می‌توان از آن به‌عنوان سایبان استفاده کرد. برای صرفه‌جویی بیش‌تر در مصرف انرژی می‌توان از دو پرده محافظ انرژی استفاده کرد. یکی برای حداکثرکردن صرفه‌جویی انرژی گرمایی و دیگری برای سایبان (شکل‌های ۲۲ و ۲۳).



شکل ۲۲- گلخانه با پرده ذخیره انرژی



شکل ۲۳- گلخانه با پرده سایبان

در صورت استفاده از پرده‌های محافظ گرمای دولایه، یک لایه بدون روزنه و مات بالای یک لایه متخلخل قرار می‌گیرد. این پرده متخلخل قابلیت اجازه عبور شدت‌های مختلف نور را به داخل گلخانه می‌دهد. کاهش نور ورودی به گلخانه، جذب گرما به وسیله گیاهان، خاک و سازه گلخانه را که باعث افزایش دمای هوای داخل گلخانه می‌شود، کاهش می‌دهد و کمک می‌کند تا بازدهی سیستم سرمایشی گلخانه افزایش یابد.

یکی از مشکلات مرتبط با این موضوع، افزایش رطوبت نسبی داخل گلخانه به علت کاهش معنی‌دار شدت تبدلات هوایی است. بنابراین گلخانه‌داران باید توجه ویژه‌ای به کنترل رطوبت گلخانه داشته باشند. گلخانه‌داران باید هنگام جمع کردن پرده محافظ انرژی در صبح زود دقت کنند؛ زیرا در این هنگام حجم هوای بالای پرده هنوز سرد است و این هوای سرد به علت سنگین‌تر بودن از هوای گرم زیر پرده، روی محصولی که زیر پرده قرار دارد، فرود می‌آید و باعث مشکلاتی می‌شود. بنابراین بهره‌برداران معمولاً پرده محافظ انرژی را به تدریج باز می‌کنند تا اجازه داده شود هوای سرد بالای پرده نیز گرم شود.

برای مراقبت از پرده‌های محافظ گرما، موارد زیر توصیه می‌شود:

- ۱- تمامی مراحل باز و بسته شدن پرده کنترل شود که درست و کامل انجام شود.
- ۲- تمام آب‌بندی‌ها کنترل شود که به‌طور مناسب بسته باشند.
- ۳- تمام سیم‌ها و قرقره‌ها کنترل شود که تنظیم و محکم باشند.
- ۴- هر نوع سوراخ و پارگی تعمیر شود.
- ۵- تمام یاتاقان‌ها و بلبرینگ‌ها سرویس شوند.
- ۶- موتور محرک، جعبه‌دنده، اتصال کوپلینگ و سایر اجزای سیستم، بازدید و رفع عیب شوند.
- ۷- تمام آلودگی‌های روی پرده‌ها پاک شوند.

### استفاده از سامانه‌های گرمایشی مناسب

برای آنکه گلخانه دمای مطلوب داشته باشد، باید با همان سرعتی که گرما از دست می‌دهد، فضای آن را گرم کرد. معمولاً گلخانه‌ها به یکی از روش‌های زیر گرم می‌شوند:

استفاده از آب گرم؛  
 استفاده از هوای گرم؛  
 استفاده از سیستم تابشی؛  
 استفاده از گرم‌کن‌های برقی.

### انواع سامانه‌های گرمایشی گلخانه

#### استفاده از آب گرم

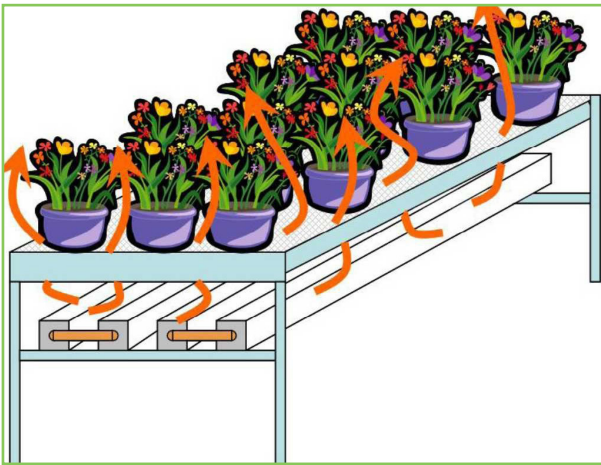
در این روش، یک دیگ آب گرم در بیرون گلخانه نصب می‌شود و آب گرم شده از آن، به داخل گلخانه منتقل می‌شود. در این روش برای گرم کردن سطح بستر، لوله‌های آب گرم در نزدیکی بستر کاشت نصب می‌شوند. نزدیکی لوله‌ها به سطح زمین، باعث گرم شدن بستر می‌شود که برای رشد ریشه و افزایش باردهی گیاه مفید است (شکل ۲۴).

سیستم‌های گرمایشی سکو و کف، حرارت را نزدیک محل رشد محصول فراهم می‌کنند (شکل ۲۵). بسیاری از گلخانه‌دارانی که از سیستم‌های گرمایش از کف و سکو استفاده کرده‌اند، گزارش داده‌اند با وجودی که دما را پایین‌تر نگه داشته‌اند، کشت محصول آن‌ها موفقیت‌آمیز بوده است. این کار مهم باعث صرفه‌جویی در مصرف انرژی می‌شود؛ هرچند باید اثر درجه حرارت پایین‌تر، بر کاهش رشد و سرعت توسعه محصول به‌خوبی ارزیابی شود. اجرای سیستم‌های

گرمایش از کف یا زیر سکو کاهش ۲/۵ تا ۵ درجه سلسیوس هوای داخل گلخانه را اجازه می‌دهند. در مطالعه‌ای افزایش ۷ درصدی میانگین تولید گوجه‌فرنگی گلخانه‌ای با افزایش ۴ درجه سلسیوس در دمای محیط ریشه، گزارش شده است. از محاسن دیگر این روش، می‌توان به گرم‌شدن یکنواخت‌تر محیط گلخانه و آلوده‌نکردن هوای آن اشاره کرد. از ایرادهای این روش نیز می‌توان به هزینه‌های زیاد لوله‌کشی داخل گلخانه، ساخت اتاقک دیگ آب‌گرم، خوردگی لوله‌های انتقال آب و دیگ اشاره کرد.



شکل ۲۴- استفاده از آب گرم در گرمایش گلخانه



شکل ۲۵- سیستم گرمایش از زیر سکو

### استفاده از کوره‌های هوای گرم

این کوره‌ها را می‌توان هم در داخل و هم در خارج گلخانه نصب کرد و هوای گرم را با استفاده از دمنده و لوله‌های پلاستیکی به داخل گلخانه فرستاد (شکل ۲۶). از مزایای آن نسبت به روش قبل، کم‌تر بودن هزینه اولیه اجرای آن است. در مقابل، از عیوب آن پایین‌تر بودن ضریب یکنواختی در گرم‌شدن داخل گلخانه و امکان آلوده‌شدن هوای داخل گلخانه نسبت به روش قبل است. در سال‌های اخیر نوع دیگری از این دمنده‌ها که بازده مصرف سوخت بالاتری دارند و به‌جای کف گلخانه بر روی سازه نصب می‌شوند نیز توسعه یافته‌اند (شکل ۲۷).



شکل ۲۶- استفاده از کوره هوای گرم در گرمایش گلخانه تولید خیار در جنوب استان کرمان



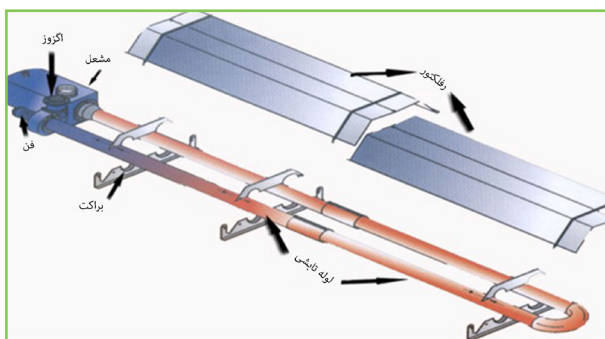
شکل ۲۷- کاربرد دمنده هوای گرم در گرمایش گلخانه تولید توت‌فرنگی در استان اصفهان

کوره‌های هوای گرم را می‌توان در داخل یا خارج گلخانه نصب کرد و هوای گرم را با استفاده از دمنده و لوله‌های پلاستیکی به داخل گلخانه فرستاد. با وجود کم‌هزینه‌تر بودن آن نسبت به روش استفاده از آب‌گرم، ضریب یکنواختی در گرم‌شدن داخل گلخانه کم‌تر است و در حالتی که سیستم داخل گلخانه نصب می‌شود، امکان آلوده‌شدن هوای داخل گلخانه وجود دارد.

### استفاده از سیستم تابشی

سیستم تابشی نیز شامل مشعل گازسوزی است که در امتداد یک لوله استیل (به قطر تقریبی ۱۰ سانتی‌متر) قرار گرفته و از سقف گلخانه آویزان است. یک بازتاب‌دهنده فلزی روی لوله طراحی و نصب می‌شود تا جهت گرما را به پایین هدایت کند (شکل‌های ۲۸، ۲۹ و ۳۰). با این روش گیاهان و خاک مستقیماً به وسیله تشعشع از یک جسم سیاه و داغ، گرم می‌شوند. گزارش شده است این سیستم بین ۱۰ تا ۳۰ درصد مقدار مصرف انرژی را به دلیل استفاده از مشعل‌های با بازدهی بالا، کاهش می‌دهد. سیستم گرمایش تابشی هنوز تحت آزمایش است؛ اما مشخص است که این نوع از گرمایش برای

محصولات کوتاه‌نظیر قلمه‌ها، نشاء، تکثیر قلمه و گیاهان گلدانی نظیر شمعدانی و بنت قنسول بهتر است. در سیستم گرمایش تابشی اگر برگ‌ها و خاک هر دو گرم شوند، بسیار مؤثرتر است. جایی که پوشش گیاهی انبوه است یا گیاهان بلند هستند (رز، خیار و...) اثربخشی گرمایش تابشی کاهش می‌یابد. از دیگر مواردی که هنگام استفاده از این روش باید بدان توجه کرد، امکان سوختگی برگ محصول است.



شکل ۲۸- سیستم گرمایش تابشی



شکل ۲۹- سیستم گرمایش تابشی در گلخانه توت‌فرنگی همدان



شکل ۳۰- به‌کارگیری گرم‌کن‌های تابشی برای گرمایش گلخانه در پاکدشت

## استفاده از گرم‌کن‌های برقی

استفاده از گرم‌کن‌های برقی در مناطقی مناسب است که هزینه الکتریسیته پایین باشد یا در کنار گلخانه مولد الکتریسیته مستقل موجود باشد (شکل ۳۱). از محاسن آن می‌توان به پایین‌بودن هزینه ثابت، آسان‌بودن کار با آن، قابلیت تنظیم دقیق دمای داخل گلخانه، پاک‌بودن و ایجاد نکردن آلودگی در هوای داخل گلخانه اشاره کرد. این سامانه‌ها مانند کوره‌های هوای گرم، هوای داخل گلخانه را به‌صورت غیریکنواخت گرم می‌کنند.



شکل ۳۱- کاربرد گرم‌کن‌های برقی در گرمایش گلخانه تولید گوجه‌فرنگی در منطقه کمر ترکیه

## منابع تأمین انرژی در گلخانه

برای تأمین انرژی مورد نیاز سامانه‌های گرمایشی گلخانه‌ها، انتخاب‌های متفاوتی وجود دارند: الکتریسیته، گاز طبیعی، گاز مایع، نفت، گازوئیل، سوخت‌های جامد مانند چوب، زغال و زغال سنگ (شکل ۳۲) و نیز منابع انرژی‌های تجدیدپذیر (شکل ۳۳).



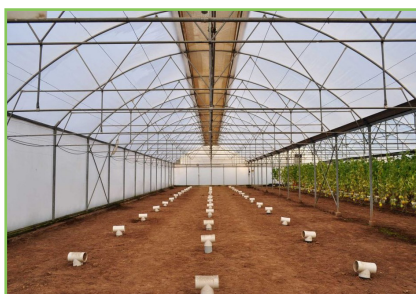
شکل ۳۲- استفاده از زغال سنگ به منظور گرمایش گلخانه تولید گل در استان شیان چین؛ تصویر بالا: نمای اتاق تأسیسات گرمایشی زغال سنگ‌سوز؛ تصویر پایین: نمای داخل گلخانه



لوله استخراج آب داغ از اعماق زمین



لوله انتقال آب گرم به داخل گلخانه



شکل ۳۳- استفاده از گرمایش زیرزمینی به‌منظور گرمایش  
تصویر بالا: استفاده از آب گرم زیرزمینی برای گرمایش گلخانه در تونس  
تصویر پایین: استفاده از گرمای زیرزمینی برای گرمایش گلخانه در ایران

کمیته بین‌المللی مصرف پوشش‌های پلاستیکی در دنیا<sup>۱</sup>، کشورهای چین، ژاپن، ایتالیا، اسپانیا، ترکیه، کره جنوبی، یونان و هلند را بزرگ‌ترین تولیدکنندگان محصولات گلخانه‌ای دانسته است. در ضمن چین، کره جنوبی و مکزیک را سه کشور با توسعه سریع در کشت‌های گلخانه‌ای معرفی کرده‌اند. آن‌ها در گزارش خود اشاره کرده‌اند که با وجود تفاوت در علل توسعه گلخانه در این کشورها، نقطه مشترک آن‌ها، بهینه‌سازی مصرف انرژی است تا بتوانند بدین ترتیب روند توسعه را ادامه دهند.

یکی از منابع انرژی که به کارگیری آن از دیرباز مورد توجه بشر بوده، انرژی خورشیدی است. ولی چگالی پایین انرژی خورشیدی و تغییرات آن نسبت به مکان جغرافیایی و زمان (ساعت، روز، ماه و فصل‌های مختلف) از چالش‌های عمده کاربرد انرژی خورشیدی هستند. به‌طور کلی فناوری‌های متعددی برای استفاده مناسب‌تر از انرژی خورشیدی در حال توسعه است. در حال حاضر استفاده از انرژی خورشیدی برای بسیاری از موارد عملیاتی شده است. کاربرد برای گرمایش آب، خشک‌کن‌های میوه‌ها و سبزیجات و سامانه‌های نمک‌زدایی آب، نمونه‌هایی از آن هستند (شکل‌های ۳۴ و ۳۵).



شکل ۳۴- استفاده مستقیم از انرژی خورشیدی در گلخانه‌های چین



شکل ۳۵- استفاده غیرمستقیم از انرژی خورشیدی در گلخانه

### استفاده از کوره‌های مناسب

دو نوع کوره وجود دارد که برای گرمایش فضای گلخانه به کار می‌روند: کوره‌های با تهویه و بدون تهویه. سیستم مرسوم با تهویه، کوره‌های هوای گرم هستند که گرمای

حاصل از احتراق گازها را با عبور از مبدل گرمایی به هوا منتقل می‌کنند و گازهای باقی‌مانده حاصل از احتراق را به‌وسیله یک دودکش به خارج از گلخانه منتقل می‌کنند. در یک کوره بدون تهویه، گازهای سوخته‌شده و نیز تمام گازهای باقی‌مانده حاصل از احتراق، مستقیماً به داخل گلخانه دمیده می‌شوند، پس به‌صورت مجازی تمام گرمای سوخت در گرم کردن هوا استفاده می‌شود.

به‌طور کلی چهار نوع کوره با تهویه موجود هستند:

(الف) تهویه طبیعی؛

(ب) تهویه اجباری؛

(ج) جداکننده احتراق - دمنده؛

(د) کوره‌های با بازدهی بالا.

در ادامه در خصوص این چهار نوع کوره، توضیحات مختصری ذکر می‌شود.

### **(الف) کوره با تهویه طبیعی**

در این نوع کوره‌ها، مکش طبیعی از فشار منفی تولیدشده به‌وسیله دودکش کوره برای خروج گازهای حاصل از احتراق و جذب هوای احتراق به داخل کوره، استفاده می‌کند. معایب متعددی در این نوع کوره وجود دارند؛ زیرا میزان هوای احتراق ارسال‌شده به داخل کوره نمی‌تواند به‌درستی

کنترل شود و مخلوط سوخت و هوای شعله با مکش طبیعی کامل نمی‌شود. در این حالت فشار کوره همیشه منفی است و اجازه می‌دهد هوا به داخل کوره نفوذ کند و همین امر باعث افزایش حجم گازهای احتراقی و تلفات بیش‌تر می‌شود.

### ب) کوره با تهویه اجباری

یک کوره با تهویه اجباری دمنده کوچکی دارد که مقدار صحیح هوا برای احتراق و خروجی گازها از دودکش را تنظیم می‌کند. در مشعل‌های فشار مثبت، برای تأمین هوای احتراق به داخل دستگاه از یک فن استفاده می‌شود. به این ترتیب که جریان هوا به وسیله دریچه تنظیم می‌شود. بنابراین کنترل صحیح نسبت هوا به سوخت برای حالات مختلف احتراق امکان‌پذیر است. همچنین فن مکانیکی هوای احتراق، اختلاط بهتری از سوخت و هوا را تأمین می‌کند. زیادبودن فشار داخل کوره کمی خطرناک بوده و فشاری در حدود ۱۰ پاسکال مطلوب است.

### ج) کوره‌های جداکننده - احتراق

این نوع کوره‌ها برای مناطقی طراحی شده‌اند که دارای فشار منفی، رطوبت بالا، غبار یا خورندگی محیط هستند. این کوره‌ها یک خروجی تهویه اجباری و یک کانال ورود هوای جداگانه برای هوای احتراق دارند.

### د) کوره‌های با بازدهی بالا

این کوره‌ها بازدهی بالای ۹۰ درصد دارند و مقداری از رطوبت خارج شده از گازهای دودکش را برای خارج کردن انرژی بیش‌تر فشرده می‌کنند.

بازده گرمایی و فصلی مورد انتظار انواع کوره‌ها در جدول ۷ آورده شده است.

جدول ۷- بازده گرمایی و فصلی مورد انتظار از انواع کوره‌ها

| کوره                              | بازده گرمایی<br>(درصد) | بازده فصلی*<br>(درصد) |
|-----------------------------------|------------------------|-----------------------|
| کوره با تهویه طبیعی               | ۸۰                     | ۶۵                    |
| کوره با تهویه اجباری              | ۸۰                     | ۷۸                    |
| کوره با سیستم جداکننده-<br>احتراق | ۸۰                     | ۸۰                    |
| کوره با بازده بالا                | ۹۳                     | ۹۳                    |

\* منظور از بازده فصلی، میانگین بازده در کل دوره‌ای است که از سامانه گرمایشی استفاده می‌شود.

مزیت اصلی کوره‌های هوای گرم، کارایی آن‌ها در کنترل فوری تغییرات دماست؛ عیب آن‌ها، افزایش مصرف انرژی الکتریکی است که احتمال دارد به ۱۰ درصد کل انرژی مورد نیاز گرمایش برسد که در نتیجه بازده انرژی را کاهش می‌دهد.

بازده احتراق در برخی تجهیزات گرمایشی توسط صنایع مهندسی برق و بخار محاسبه شده است که نمونه‌ای از آن‌ها در جدول ۸ ارائه شده است.

جدول ۸- بازده احتراق در برخی تجهیزات گرمایشی

| تجهیزات                                  | بازده (درصد) |
|------------------------------------------|--------------|
| کوره هوای گرم با مشعل اتمسفریک           | ۸۰           |
| مشعل گازوئیل سوز                         | ۸۰           |
| کوره گازسوز یا گازوئیل سوز با بازده بالا | ۸۵ - ۹۵      |

به دلیل رطوبت بالای محیط و استفاده از آفت‌کش‌های شیمیایی در بسیاری از گلخانه‌ها، جنس محفظه احتراق می‌تواند بر دوره عمر کوره مؤثر باشد. جنس استاندارد محفظه احتراق از فولاد است. در محیط‌های مرطوب نظیر گلخانه‌ها فولاد استفاده شده برای مبدل گرمایی طول عمر کوتاهی دارد. مبدل‌های گرمایی با فولاد ضدزنگ طول عمر بیشتری دارند.

سرد و گرم شدن ناگهانی محفظه احتراق ممکن است به خزش منجر شود که نتیجه آن ازدیاد قطر لوله است. در این صورت احتمال پارگی لوله و شکنندگی آن افزایش خواهد یافت. چنانچه در اثر خزش مقدار ازدیاد

قطر از ۲ درصد قطر خارجی بیش‌تر شود، لوله مزبور باید تعویض شود.

یکی دیگر از مشکلات پیش‌آمده برای لوله‌ها، برخورد شعله به لوله است که باعث گرم‌شدن بیش از حد کوره و در نهایت باعث به‌وجودآمدن نقاط داغ می‌شود. این امر می‌تواند باعث آسیب‌دیدگی محل برخورد شعله به لوله شود. مشکل دیگری که به‌علت دمای بالا برای لوله‌ها ایجاد می‌شود، خمیدگی در جهت‌های مختلف این لوله‌هاست.

هوای احتراق یا هوای استوکیومتریک معرف مقدار هوای مورد نیاز برای احتراق کامل با مخلوط کامل سوخت است که گاهی اوقات هوای نظری هم نامیده می‌شود. اگر هوا کم‌تر از حد لازم تأمین شود، عمل سوختن کامل انجام نمی‌گیرد و در نتیجه انرژی سوخت تلف می‌شود. هوای بیش از حد نیاز نیز باعث اتلاف انرژی می‌شود. به‌طور معمول عمل احتراق دارای دمای بالا و حاوی انرژی گرمایی زیادی است. اگر مقدار هوای ارسالی به کوره بیش از اندازه باشد، آن هوای اضافی نیز گرم خواهد شد که خود باعث اتلاف انرژی می‌شود. میزان استاندارد هوای اضافی برای گاز طبیعی بین ۱۰ تا ۱۵ درصد و در مورد گازوئیل بین ۱۲/۵ تا ۲۰ درصد است.

### استفاده از دودکش مناسب

باتوجه به اینکه حداکثر سرعت خروج گازهای حاصل از احتراق برای دودکش‌های کوچک ۲ متر بر ثانیه است، سطح مقطع دودکش از رابطه زیر قابل محاسبه است.

$$A = \frac{V}{S} \quad (۸)$$

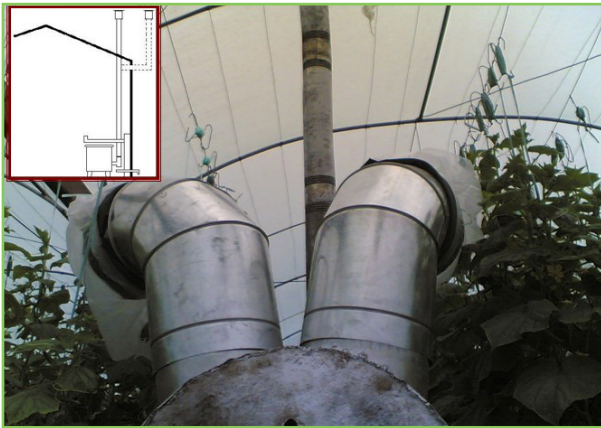
$A$  = سطح مقطع دودکش (مترمربع،  $m^2$ )

$V$  = حجم گاز حاصل از احتراق در دمای دودکش

(مترمکعب بر ثانیه،  $m^3/s$ )

$S$  = سرعت خروج گاز (متر بر ثانیه،  $m/s$ )

به صورت تقریبی، سطح مقطع دودکش به ازای هر کیلووات توان، ۴۰۰ میلی متر مربع است. همچنین دودکش باید عایق کاری شده باشد و قطر آن مشابه قطر اتصال کوره باشد، حداقل ۲/۵ متر بلندی داشته باشد و ۰/۶ متر بالاتر از خط الرأس گلخانه قرار گیرد. کلاhek مناسب دودکش علاوه بر بهبود احتراق، تنوره را از باران حفظ می کند (شکل ۳۶).

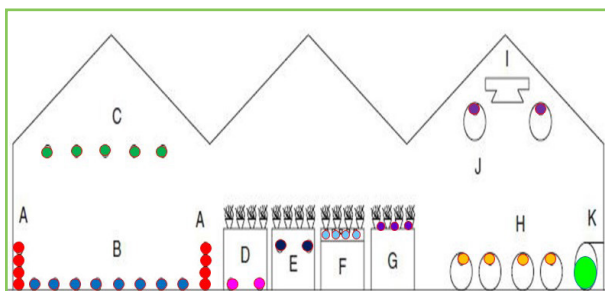


شکل ۳۶- طریقه نصب صحیح دودکش در گلخانه

### توزیع مناسب هوای گرم در گلخانه

اصولاً استفاده از یک سامانه گرمایش با بازده پایین و سیستم توزیع بازده بالا، بر یک سیستم گرمایش با بازده بالا و سیستم توزیع با بازده پایین ارجحیت دارد. برای نگهداری یکنواخت شرایط محیطی گلخانه و در نتیجه یکنواختی محصول تولیدی، درستی طراحی سامانه توزیع هوا مهم است. روش‌های مختلفی برای توزیع گرما در گلخانه وجود دارد. به‌عنوان نمونه می‌توان به توزیع گرما با استفاده از لوله‌های گرمایش جانبی، کاربرد کانال‌های انتقال هوا در گلخانه، استفاده از لوله‌های گرمایشی بالای خاک، کاربرد لوله‌های گرمایشی روی بستر یا سکوی کشت، استفاده از فن کوئل

یا مولد هوای گرم اشاره کرد. در شکل ۳۷ نمای تصویری روش‌های مختلف توزیع حرارت در گلخانه آورده شده است.



شکل ۳۷- روش‌های مختلف توزیع گرما در گلخانه: (A) لوله گرمایشی جانبی، (B) لوله گرمایشی بالای خاک، (C) لوله گرمایشی هوایی، (D) لوله گرمایشی روی خاک برای کشت روی سکو، (E) لوله گرمایشی زیر سکوی کشت، (F) لوله گرمایشی یکپارچه‌شده در سکوی کشت، (G) لوله گرمایشی روی سکوی کشت، (H) لوله سوراخ‌دار پلی‌اتیلن روی خاک، (I) فن کوئل با دمش عمودی، (J) لوله سوراخ‌دار پلی‌اتیلن هوایی، (K) مولد هوای گرم

چرخش هوا برای حداقل کردن میزان شیب تغییرات کربن دی‌اکسید ( $\text{CO}_2$ )، دما و رطوبت در گلخانه‌ها لازم است. مقدار جریان هوا در لوله‌های پلی‌اتیلن باید به‌اندازه یک‌چهارم تا یک‌سوم حجم گلخانه در دقیقه باشد. سطح کل سوراخ‌های خروج هوا روی لوله نباید از ۱/۵ برابر سطح مقطع لوله کمتر و از ۲ برابر آن بیش‌تر باشد. سوراخ‌های خروج هوا باید به‌گونه‌ای روی لوله تعبیه شوند که جریان هوا به‌طور مستقیم به گیاه نوزد. سوراخ‌های

خروج هوا عموماً در جهت‌های مخالف روی لوله تعبیه شده و فاصله آن‌ها نیز معمولاً  $0/3$  تا  $1/0$  متر در جهت محور است که بستگی به قطر و طول لوله دارد.

چرخش افقی جریان هوا شامل چرخش هوا در یک الگوی افقی بالای پوشش گیاهی، با استفاده از دمنده‌های پروانه‌ای با قطر بزرگ و توان کم است. کاهش قدرت دمنده، هزینه‌های اولیه و نگهداری را کاهش می‌دهد و در مقایسه با روش لوله‌های سوراخ‌دار، برای چرخش هوا یا توزیع حرارت بسیار کاراتر است.

سامانه‌های توزیع گرما که در سطح پایین و نزدیک به محصول در گلخانه‌ها قرار دارند، اثر قابل توجهی بر صرفه‌جویی انرژی دارند و بسیار کاراتر از تجهیزاتی هستند که پوشش گیاهی را گرم می‌کنند. همچنین نگهداری دمای سطح برگ بالاتر از نقطه شبنم، راه‌حلی برای پیشگیری از میعان است. بازده تخمینی سامانه‌های گرمایشی در جدول ۹ آورده شده است.

جدول ۹- بازده تخمینی سامانه‌های گرمایشی

| سامانه گرمایشی                        | بازده تخمینی سامانه گرمایشی (درصد) |
|---------------------------------------|------------------------------------|
| گرمایش از کف - عایق کاری شده          | ۹۰                                 |
| گرمایش از کف - عایق کاری نشده         | ۸۰                                 |
| لوله آب گرم - نزدیک کف                | ۸۵                                 |
| لوله بخار - نزدیک کف                  | ۸۰                                 |
| هوای گرم: کوره، دمنده، لوله پلی اتیلن | ۶۰                                 |

در صورتی که طراحی سیستم توزیع هوای گرم درست صورت نگرفته باشد، استفاده از لوله‌های سوراخ‌دار می‌تواند باعث غیریکنواختی توزیع درجه حرارت داخل گلخانه شود و با سکون هوای گرم در بالاترین قسمت سازه، گرمایش در ناحیه محصول را کاهش دهد. همچنین سوراخ‌هایی با قطر و فاصله ثابت، با کاهش درجه حرارت و جریان هوای خروجی در طول لوله، گرمای تأمین‌شده به وسیله سامانه را کاهش می‌دهند. موقعیت سوراخ‌های خروجی هوا می‌بایست در نیمه پایینی لوله توزیع هوا قرار گیرد تا از صدمه‌زدن به گیاه اطمینان حاصل شود. برای یکنواخت‌تر کردن حرارت خروجی، قطر سوراخ‌ها در

طول لوله برای جبران افت فشار و کاهش درجه حرارت افزایش یابد. راه‌حل دیگر، استفاده از دمنده‌هایی در قسمت بالایی گلخانه (روبه‌روی کوره‌ها در آن سوی گلخانه تا مستقیماً سبب گردش هوا به سمت پایین گلخانه شود) یا اضافه کردن لوله‌های توزیع هوا به صورت عرضی است. موقعیت و توان تجهیزات گرمایشی، الگوی جریان هوا و درجه حرارت را در داخل گلخانه تعیین می‌کنند. موقعیت بهینه لوله‌های گرمایشی در گلخانه با توزیع خرد اقلیم و فعالیت گیاه رابطه دارد. مواردی مانند تعداد کانال‌های مورد استفاده، موقعیت آن‌ها در داخل گلخانه نسبت به ردیف‌های محصولات، طول و قطر کانال، تعداد، اندازه، شکل و فاصله سوراخ‌های خروج هوا و فشار استاتیکی داخل کانال، از عوامل مؤثر در شکل‌گیری الگوی جریان هوا در گلخانه است. دیگر عواملی که می‌تواند بر انتخاب کانال مؤثر باشند، میزان چرخش هوای مورد نیاز و سرعت هوا در پوشش گیاهی برای افزایش انتقال حرارت و جرم بدون ایجاد خسارت و دمای هوای تحویل داده شده هستند.

مقایسه بین دو سیستم گرمادهی با لوله و تیوب‌های هوای گرم نشان داد که با سامانه هوای گرم محصول خنک‌تر از هوای داخل گلخانه است؛ ولی با سامانه

گرمایش با لوله محصول عموماً گرم‌تر از محیط پیرامون خود است. همچنین با بررسی سامانه‌ها و تجهیزات مورد نیاز برای گرمایش و تهویه با استفاده از لوله‌های پلی‌اتیلن سوراخ‌دار مشخص شده است اجرای مناسب لوله‌های سوراخ‌دار در گلخانه یا دیگر تأسیسات بستگی به طول لوله و اندازه سوراخ‌های روی آن با توجه به طول محل اجرا و ظرفیت دمنده دارد. لوله کوتاه یا سوراخ‌های بسیار کوچک در برابر جریان هوا مقاومت می‌کنند که ممکن است باعث تحمیل بار اضافی و خراب‌شدن دمنده شود یا حرکت هوا در محل مدنظر به‌اندازه کافی نباشد. برعکس، سوراخ‌های بزرگ یا لوله‌های طولانی روی دمنده‌های کوچک‌تر از ظرفیت لازم، توزیع هوا را به‌صورت رضایت‌بخشی انجام نمی‌دهند.

برای یکنواختی در توزیع هوا در گلخانه نیاز است تا قطر لوله، تعداد و ابعاد سوراخ‌های محاسبه‌شده بر روی آن با ظرفیت دمنده‌ها در فشار استاتیک تطبیق داده شده و از روی آن طراحی انجام شود. برخلاف تصور عامه یکنواختی اندازه و فاصله سوراخ‌ها، یکنواختی توزیع را در طول لوله فراهم نمی‌کند.

مطالعات نشان می‌دهد برای دستیابی به توزیع یکنواخت

هوا در گلخانه لازم است مواردی مانند مساحت سوراخ، چگالی هوای گلخانه، فشار داخل لوله، فشار خارج لوله، ضریب دبی، سرعت هوا و نیروی ثقل در نظر گرفته شود.

### عایق کاری دیوارها

در گلخانه‌هایی که از سیستم سکو استفاده می‌شود، می‌توان دیوارهای جانبی و انتهای گلخانه را با فوم تخته‌ای به ضخامت  $2/5$  تا  $5$  سانتی‌متر عایق کرد. عایق‌بندی می‌بایست تا عمق  $30$  تا  $60$  سانتی‌متری از سطح زمین قرار بگیرد. می‌توان آن را تا ارتفاع محصول ادامه داد؛ به گونه‌ای که جلو نور را نگیرد. فوم بایستی با ورقه آلومینیومی پوشش داده شود تا از تخریب توسط اشعه ماوراءبنفش و آتش‌گرفتگی مصون بماند. اجرای عایق‌بندی در پیرامون گلخانه (صفحه‌های پلی‌استیرن به ضخامت  $5$  سانتی‌متر که به صورت عمودی تا عمق  $0/6$  متر به طور کامل پیرامون گلخانه اجرا می‌شوند) افت حرارتی از کف گلخانه را کاهش می‌دهد.

برای نمونه قراردادن صفحه‌های پلی‌استیرن با ضخامت  $2/5$  تا  $5$  سانتی‌متر تا عمق  $45$  سانتی‌متری زیر زمین می‌تواند درجه حرارت نزدیک دیواره جانبی در طول زمستان را به اندازه  $10$  درجه سلسیوس افزایش دهد. برای عایق‌بندی گوشه‌ها یا دیوارهای جانبی تا ارتفاع سکو

از صفحه‌های عایق‌بندی با ضخامت  $2/5$  تا  $5$  سانتی‌متر استفاده شود. کاربرد فوم عایق‌بندی تا ارتفاع  $90$  سانتی‌متر در کنج دیوارها در گلخانه‌ای با ابعاد  $30 \times 8/5$  مترمربع باعث کاهش مصرف  $1500$  لیتر نفت (معادل  $2300$  لیتر پروپان یا  $1580$  مترمکعب گاز طبیعی) در سال می‌شود.

### بستن منافذ گلخانه برای کاهش تلفات ناشی از نشت

بسته به اختلاف درجه حرارت موجود بین هوای داخل و خارج گلخانه و نیز سرعت و جهت باد، هوا از میان شکاف‌ها یا دیگر روزنه‌ها، به داخل یا خارج گلخانه حرکت می‌کند. سرعت باد تأثیر مستقیمی بر شدت نشت دارد. بنابراین بستن این روزنه‌ها برای جلوگیری از جابه‌جایی ناخواسته (و متعاقب آن افت انرژی) مهم است. این روزنه‌ها به‌صورت ناخواسته در اطراف درها و دریچه‌های تهویه کناری و سقفی و جاهایی که پوشش به اسکلت گلخانه متصل می‌شود، ایجاد می‌شوند. به علاوه روزنه‌هایی که به‌صورت موقت استفاده نمی‌شوند (مانند فن‌های تهویه که خاموش می‌شوند یا پنجره‌های تهویه که در طول فصل زمستان بسته باقی می‌مانند) را باید در نظر گرفت. زمان بیش از حد نیاز برای باز و بسته کردن مکانیکی دریچه‌های تهویه یا قسمت‌هایی از

دریچه تهویه که کاملاً بسته نمی‌شوند (مانند قسمت‌های خم‌شده یا تاب‌برداشته) نیز در این افت دخیل هستند. بنابراین حتماً مطمئن شوید که این سیستم‌ها به‌طور مناسب و محکم بسته شده‌اند.

تعمیر، نگهداری مناسب، درزگیری و هوابندی ساده‌ترین راه‌حل‌ها برای کاهش نشت هوای مطلوب داخل گلخانه به خارج آن است.

برای جلوگیری یا کاهش نشت می‌توان موارد زیر را به کار برد:

۱- **درزبند:** درزبندی، تعویض واشرها و آب‌بندی نقاط اتصال شامل اطراف درها، دریچه‌های تهویه‌ها و محل‌هایی است که قطعات شیشه یا پوشش به سازه پشتیبانی‌کننده می‌رسند. برای به‌دست‌آوردن نتیجه بهتر، محل اتصال پوشش گلخانه به پی، دیوارهای جانبی، دیوارهای انتهایی و همچنین دریچه‌های تهویه، بررسی و رفع عیب شود. اگر پوشش گلخانه شکافته شده است (شکافتن پلی‌اتیلن، شکستن قطعات شیشه، پوشش یا ترک خوردن پلی‌آکرلیک یا کربنات) تعویض شوند. وجود یک شکاف به عرض ۳ میلی‌متر در اطراف در به عرض

۹۰ سانتی‌متر، باعث خروج  $14/2$  مترمکعب هوا در دقیقه در اثر نشت می‌شود که باعث افزایش  $25,000$  بی‌تی‌یو در ساعت (معادل  $0/7$  مترمکعب مصرف گاز طبیعی در ساعت) نیاز گرمایشی می‌شود.

**۲- روغن کاری تجهیزات مکانیکی:** بازماندن ناخواسته قسمتی از دریچه‌ها ممکن است اجازه چند بار تبادل هوا در ساعت را بدهند و بنابراین، به سوخت اضافی برای گرم کردن این هوا نیاز باشد. به همین دلیل ضروری است که بازدید و روغن کاری تجهیزات مکانیکی به صورت دوره‌ای انجام شود.

**۳- استفاده از فیلم پلاستیکی در گلخانه‌های شیشه‌ای:** گلخانه‌های شیشه‌ای به علت داشتن اجزاء بیش‌تر، اگر با دقت ساخته نشوند، نشت بیش‌تری دارند. با استفاده از یک یا دو لایه فیلم پلاستیکی بر روی شیشه، تلفات حرارتی و نشت کاهش می‌یابند. این پوشش می‌تواند به صورت موقت یا فقط در طی ماه‌های زمستان اجرا شود. اجرای دو لایه از فیلم پلی‌اتیلن روی پوشش شیشه یا پوشش تک‌لایه در صورتی که محصول تولیدی به نور کم احتیاج داشته باشد نیز انجام می‌شود. کاهش نشت می‌تواند باعث افزایش مقدار رطوبت نسبی و نقصان سریع در دی‌اکسیدکربن

شود. تهویه مکانیکی ممکن است برای کنترل رطوبت احتیاج باشد و می‌تواند در جایگزینی دی‌اکسیدکربن نیز استفاده شود. اگر دی‌اکسیدکربن اضافی مورد نیاز است، می‌توان با استفاده از کیپسول یا کمپرسور تزریق دی‌اکسیدکربن یا سوزاندن گاز، میزان دی‌اکسیدکربن گلخانه را افزایش داد. این کار باعث کاهش ۱۸ درصدی سطح نوری می‌شود؛ لذا می‌بایست افزایش یک یا دو لایه فیلم پلاستیکی، تحلیل اقتصادی شود.

انجام کارهای زیر نیز بر بهبود بازدهی مصرف انرژی حرارتی مؤثر هستند.

برای کاهش نشتی‌ها اقدامات زیر را انجام دهید:

(الف) کنترل بسته‌شدن تمام درها؛

(ب) درزبندی قاب‌ها و فریم‌ها؛

(ج) استفاده از فنرهای (جک‌های) پشت در برای بستن آن‌ها؛

(د) استفاده از درهای تو در تو؛

(ه) تعمیر و تنظیم تهویه‌ها برای کاهش درزها در

سطوح اتصال.

موارد زیر در پوشش‌های فایبرگلاس رعایت شود:

(الف) تعویض صفحات خراب یا به شدت تیره‌شده؛

(ب) تعمیر شکستگی‌ها یا سوراخ‌ها؛

- ج) نصب نوارهای آب‌بندی از بین رفته؛
- د) پاک کردن اتصالات سایه‌انداز غیر ضروری؛
- ه) تمیز کردن سطوح قطعات فایبر گلاس از جلبک‌ها و کثیفی‌ها؛
- و) اضافه کردن یک لایه داخلی پلی اتیلن در مکان‌هایی که شدت نور کم‌اهمیت است.
- موارد زیر در پوشش‌های شیشه‌ای رعایت شود:
- الف) تمیز کردن شیشه‌ها؛
- ب) تعویض قطعات شکسته؛
- ج) تنظیم هر قطعه‌ای که از جای خود خارج شده (لغزیده)؛
- د) درزبندی و آب‌بندی شیشه‌ها؛
- ه) خارج کردن اتصالات سایه‌انداز غیر ضروری برای نفوذ بیش‌تر نور به گلخانه؛
- و) تمیز کردن اجزا از جلبک و کثیفی؛
- ز) اضافه کردن یک لایه داخلی پلی اتیلن یا استفاده از یک پوشش دو لایه باد کرده به جای یک پوشش تک لایه در مکان‌هایی که کاهش شدت نور اهمیت ندارد.
- موارد زیر در پوشش‌های پلاستیکی رعایت شود:
- الف) تعویض پوشش‌های پلاستیکی کدر یا کثیف؛
- ب) تعمیر شکاف و پاره‌شدگی‌ها در پوشش؛
- ج) آب‌بندی اتصالات برای جلوگیری از خروج هوای گرم؛
- د) تمیز کردن پوشش از جلبک‌ها و سایر کثیفی‌ها.

## توصیه‌های کاربردی برای کاهش مصرف انرژی در سیستم گرمایشی

برای کارکرد صحیح و با بازدهی مطلوب موارد زیر را باید در مورد سیستم‌های گرمایشی در نظر گرفت:

**الف) ترموستات:** به‌طور منظم ترموستات‌ها بازبینی شوند. ترموستاتی که کثیف باشد، به تغییرات درجه حرارت حساس نیست. اگر دقت ترموستات نصب‌شده در گلخانه قابل تنظیم است، آن را برای دقت‌های کم‌تر از ۱ درجه سلسیوس تنظیم کنید و اگر ترموستات جدیدی خریداری می‌شود، مدل‌های الکترونیکی با دقت ۰/۵ درجه سلسیوس را انتخاب کنید. حسگرها یا ترموستات‌های دارای دمنده، دما را بسیار یکنواخت‌تر کنترل می‌کنند. ترموستات‌ها در نزدیکی‌های مرکز گلخانه و هم‌ارتفاع با پوشش گیاهی (کانوپی) نصب شوند. محل نصب حسگرها باید معرف فضایی باشد که گیاهان در آن قرار دارند و نباید تحت تأثیر مستقیم گرمایش، سرمایش یا تهویه قرار داشته باشند. همچنین نصب حسگرها پشت به آفتاب و درون یک جعبه مقوایی یا چوبی توصیه می‌شود.

**ب) بازرسی کوره:** کوره‌ها و واحدهای حرارتی باید به‌طور دوره‌ای بازدید و سرویس شوند، به‌طوری که کوره‌های ناکارآمد تعمیر یا تعویض شوند. افزایش ۲ درصد در بازدهی

کوره‌ها باعث صرفه‌جویی حدود ۴۴۰ لیتر نفت (معادل ۷۲۰ لیتر پروپان یا ۱۰۵۰ مترمکعب گاز طبیعی) در سال برای گلخانه‌ای با ابعاد  $۸/۵ \times ۳۰$  مترمربع در اقلیم سرد می‌شود.

توجه به نکات زیر در کوره‌های حرارتی مختلف نیز می‌تواند باعث بهبود بازدهی مصرف سوخت شود:

**کوره‌های گازی:** شعله باید تا حد ممکن آبی بسوزد. شعله زردرنگ، نشانگر هوای ناکافی برای احتراق است. در صورت زردسوزی، سریعاً فشار خط تأمین گاز و نشتی اتصالات کنترل شوند.

**کوره‌های نفتی:** استفاده از نازل استاندارد مطابق توصیه شرکت سازنده، تعویض به‌موقع فیلترها و کنترل فشار خروجی پمپ، از جمله مواردی هستند که می‌توانند باعث بهبود بازدهی مصرف سوخت شوند.

همچنین کنترل پرتاب جرقه بین اتصال‌های (الکترودهای) جرقه‌زن، تمیز کردن اتصالات و حسگرهای احتراق نیز می‌توانند به این امر کمک کنند. باتوجه‌به اینکه در دمای زیر ۷- درجه سلسیوس، لزجت نفت<sup>۱</sup> افزایش می‌یابد، قطرات ریز آب یخ می‌بندند و پارافین ته‌نشین می‌شود، آوردن مخزن ذخیره نفت به داخل گلخانه، اضافه کردن

۱. خاصیت مقاومت سیال در برابر نیروهای وارد بر آن و ایجاد تنش برشی است.

مکمل سوخت و بالابردن فشار پمپ، می‌توانند مشکلات را کاهش دهند.

استفاده از سیستم‌هایی که بازدهی بالاتری دارند، گران‌ترند؛ ولی با کاهش سوخت مصرفی در یک دوره زمانی به صرفه‌تر هستند.

همچنین استفاده از سیستم‌های احتراقی که هوای مورد نیاز خود را از بیرون گلخانه تأمین می‌کنند، بهتر است. استفاده از این گونه واحدهای احتراقی اطمینان می‌دهد که گازهای حاصل از احتراق به هوای درون گلخانه سرایت نمی‌کنند (برخی از تولیدات فرعی نظیر اتیلن به محصول، تنش وارد می‌کند).

اجرای سیستم دمنده‌هایی که باعث چرخش جریان هوا (دمنده‌های جریان هوای افقی) در داخل گلخانه‌ها می‌شوند، به توزیع یکنواخت‌تر درجه حرارت در محل رشد و بهبود بازدهی مصرف انرژی در گلخانه‌ها کمک می‌کنند (شکل ۳۸).



شکل ۳۸- دمنده‌های جریان هوای افقی

## پیشنهادهای

بخش کشاورزی و کشت‌های گلخانه‌ای در ایران، مصرف‌کننده بزرگی در بخش انرژی کشور نیستند. در نتیجه انتشار آلاینده‌ها از آن‌ها در حال حاضر در سطح بالایی قرار ندارد؛ ولی ضروری است که اقدامات زیر انجام شوند:

- ◀ استفاده از گلخانه‌هایی با شدت مصرف انرژی پایین‌تر،
- ◀ استفاده از سیستم‌های ذخیره انرژی (پوشش‌های دولایه، پرده‌های حرارتی و سیستم‌های غیرفعال ذخیره انرژی در گلخانه‌ها)،
- ◀ استفاده از تجهیزات گرمایشی با بازدهی بالاتر،

◀ بهبود کیفیت سوخت‌های مصرفی،  
◀ تغییر در حامل‌های انرژی مصرفی،  
◀ استفاده از ارقام و محصولات که نیاز گرمایی کم‌تری داشته باشند،

◀ و جایگزینی بخشی از سوخت مصرفی با منابع انرژی تجدیدپذیر (برای کم کردن نرخ رشد مصرف انرژی‌های فسیلی، کاستن از میزان آلاینده‌های ناشی از مصرف آن‌ها و نیز کاهش هزینه‌ها در این بخش از تولید محصولات کشاورزی).

مدیریت مصرف انرژی گرمایشی در گلخانه‌ها، بازدهی مصرف انرژی را افزایش می‌دهد.

## منابع

۱. امانی، س؛ زیاری، م. ت؛ توکلی، ا؛ باقری، م. و میری، م. ۱۳۸۸. صرفه‌جویی انرژی در سیستم‌های حرارتی. سازمان بهره‌وری انرژی ایران (سابا). ۲۵۲ صفحه.
۲. بی‌نام. ۱۳۹۱. استاندارد معیار مصرف انرژی در فرایندهای تولید گلخانه‌های تجاری ایران. مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران.
۳. بی‌نام. ب. ۱۳۹۲. احتراق. صنایع مهندسی برق و بخار.  
<http://www.steemboiler.com/fani/ehteragh.htm>
۴. بی‌نام. ج. ۱۳۹۲. مشعل. صنایع مهندسی برق و بخار.  
<http://www.steemboiler.com/maghale/burner.htm>
۵. بی‌نام. د. ۱۳۹۲. عوامل خوردگی دیگ بخار. صنایع مهندسی برق و بخار.  
[http://www.steemboiler.com/maghale/khordegiye\\_koore.htm](http://www.steemboiler.com/maghale/khordegiye_koore.htm)
۶. بی‌نام. ه. ۱۳۹۲. آگزوز دیگ-دو‌دهای حاصل از احتراق. صنایع مهندسی برق و بخار.  
[http://www.steemboiler.com/fani/egzoz\\_dod.htm](http://www.steemboiler.com/fani/egzoz_dod.htm)
۷. بی‌نام. 1397a. آمارنامه وزارت جهاد کشاورزی ایران،  
[www.maj.ir](http://www.maj.ir).
۸. بی‌نام. 1397b. ترازنامه انرژی جمهوری اسلامی ایران.

معاونت امور برق و انرژی، دفتر برنامه‌ریزی کلان برق و انرژی وزارت نیرو.

۹. حسندخت، م. ۱۳۹۰. مدیریت گلخانه، تکنولوژی تولید محصولات گلخانه‌ای. انتشارات مرز دانش. ۱۳۸۴ ص.

۱۰. خلجی اسدی، م.، ترابی‌ان اصفهانی، ف. و ریاحی، ا. ۱۳۸۹. مهندسی فرایندهای حرارتی خورشیدی. انتشارات دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات.

۱۱. رضوانی، س. م. و سلگی، م. ۱۳۹۴. ارزیابی فنی و اقتصادی مصرف و بازده انرژی در کشت خیار گلخانه‌های استان همدان. گزارش نهایی. شماره ثبت: ۴۸۴۴۷. مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی. سازمان تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی. ۱۵۲ صفحه.

۱۲. فروزانفر، ب. ۱۳۹۵. بررسی عوامل مؤثر بر مدیریت بهینه گلخانه‌های تولید خیار با تأکید بر تاریخ کشت (مطالعه موردی مجتمع گلخانه‌ای امزاجرد شهرستان همدان). پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشکده فنی و مهندسی. دانشگاه آزاد اسلامی. ۱۸۰ صفحه.

۱۳. عباسپور فرد، ح. و م. ع. ابراهیمی‌نیک. ۱۳۸۷. مهندسی گلخانه. انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد.

۱۴. مؤمنی، د. ۱۳۸۵. سیستم‌های مناسب در طراحی و

ساخت گلخانه‌های گل و گیاهان زینتی. سمپوزیوم ملی راهکارهای بهبود تولید و توسعه صادرات گل و گیاهان زینتی. مرکز ملی تحقیقات گل و گیاهان زینتی ایران. محلات، استان مرکزی، ایران.

۱۵. مؤمنی، د. ۱۳۹۰. بررسی شاخص‌های مصرف انرژی تولید خیار در گلخانه‌های منطقه جیرفت و کهنوج. گزارش نهایی پروژه تحقیقاتی مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی.

۱۶. مؤمنی، د.، بناکار، ا.، قبادیان، ب. و مینایی، س. ۱۳۹۲. بهینه‌سازی مصرف سوخت‌های فسیلی در گلخانه با استفاده از سیستم ذخیره حرارت و جمع‌کننده خورشیدی. سومین کنفرانس ملی رویکردهای نوین در نگهداشت انرژی. دانشگاه تهران. اسفند ۱۳۹۲.

۱۷. مؤمنی، د.، ا. بناکار، ب. قبادیان و س. مینایی. ۱۳۹۵. طراحی، ساخت و ارزیابی سامانه گرمایش خورشیدی با عدسی فرسnel خطی برای گلخانه. مجله علوم و فنون کشت‌های گلخانه‌ای، سال هفتم، شماره بیست و پنجم، صفحات ۷۰-۵۹.

۱۸. مؤمنی، د. و گرامی، ک. ۱۳۹۳. روش‌های کاهش مصرف انرژی در گلخانه‌های تجاری. سومین کنگره ملی

هیدروپونیک و تولیدات گلخانه‌ای. کرج، مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی. ۱۸ تا ۲۰ شهریور ۱۳۹۳.

19. Aldrich, R.A., and Bartok, J.W. 1989. Greenhouse Engineering. NRAES-33. Northeast Regional Agricultural Engineering Service, Cornell University. 216 p.

20. Anonymous. 1998a. Heating, Ventilating and cooling greenhouses. ANSI/ASAE: P406.3.

21. Anonymous. 2007. International Training workshop on protected Agriculture. Department of International cooperation. Ministry of science and technology. China. 15-28 Nov, China.

22. Anonymous. 2016. The US National greenhouse manufacturer's association standard for heat loss in greenhouse structure. Available on: [www.NGMA.com](http://www.NGMA.com).

23. Anonymous. 2018. World energy outlook.

24. Bond, T.E., Thompson, J.F. and Hasek, R.F. 1985. Reducing energy costs in California greenhouse. Leaflet 21411. Cooperative Extension University of California. 24 p.

25. Djelic, M. and A. Dimitrijevic. 2009. Energy Consumption for Plastic Covered Greenhouse Structures. Energy, 34, 1325-1331.

26. Duncan, G.A., Walker, J.N. and L. W. Turner. 1997.

Poly-tube heating-ventilation systems and equipment. Kentucky College of Agriculture Cooperative Extension Service (AEN-7): 9p.

27. Hanan, J.J. 1998. Greenhouses. Advanced Technology for Protected Cultivation, CRC Press.

28. Momeni, D. 2009a. Investigation of Temperature and Humidity Variations within a Commercial Vegetables Greenhouse in IRAN. 10th international congress on mechanization and energy in agriculture. 14-17 October, Antalya-Turkey.

29. Latimer, J.G. 2001. Dealing with the high cost of energy for greenhouse operations. Virginia cooperative extension: Publication No: 430-101. 8 p.

30. Lopez A., Valera D. L., Molina-A.F. and Pena. A. 2012. Thermography and sonic anemometry to analyze air heaters in Mediterranean greenhouse Sensors, Vol. 12: 13852-13870.

31. Nelson, P. 2003. Greenhouse Operation and Management, 6<sup>th</sup> edition.

32. Pimentel, D. and Pimentel, M. 2006. Global environmental resources versus world population growth. Ecological economics. 59: 195-198.

33. Prenger J. J., Ling P. P. 2010. Greenhouse Condensation Control: Bottom heating and Between-

row Heating, Bulletin: AEX-801-00, Ohio State University Extension. Available on: <http://ohioline.osu.edu/aex-fact/0801.html>.

34. Sanford, S. 2011. Greenhouse unit heaters: types, placement, and efficiency (A3907-02). University of Wisconsin-Extension, Cooperative Extension. 6p.

35. Tadj N., Bartzanas T., Fidaros D., Draoui B., Kittas C. 2010. Influence of heating system on greenhouse microclimate distribution. Trans. ASABE, 53: 225–238.

36. Teitel, M., I. Segal, A. Shkylar, and M. Barak. 1999. A comparison between pipe and air heating methods for greenhouses. J. Agric. Eng. Res. 72(3): 259-273.

37. Vadiée, A. and M. Viktoria. 2012. Energy management in horticultural applications through the closed greenhouse concept: State of the art. Renewable and Sustainable Energy Reviews 16: 5087–5100.

## یادداشت





# مدیریت دانش در راستای نظام نوین ترویج

ISBN: 978-964-520-676-3



978 964 520 676 3



نشر آموزش کشاورزی