۴۷۲

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 کشاورزی
سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی
مؤسسه آموزش و ترویج کشاورزی

راهنمای جامع مدیریت مصرف انرژی گرمایشی در گلخانه‌ها

نویسندگان:
داود مؤمنی، سیدمعین‌الدین 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 پورفاتح؛ ویراستار ادبی سمیرا میرنظامی؛ تهیه شده در مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، دفتر شبکه دانش و رسانه‌های ترویجی.
مشخصات نشر	: کرج: سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مؤسسه آموزش و ترویج کشاورزی، نشر آموزش کشاورزی، ۱۳۹۹.
مشخصات ظاهری	: ۹۰ ص.: مصور(رنگی).
شابک	: رایگان. : ۳-۶۷۶-۵۲۰-۹۶۴-۹۷۸
وضعیت فهرست نویسی	: فیپا
یادداشت	: راهنمای جامع مدیریت مصرف انرژی گرمایشی در گلخانه ها
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: ۹۷۸-۹۶۴-۵۲۰-۶۷۶-۳

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 پورفاتح
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 ۹۹/۰۳/۲۰ 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

عنوان صفحه

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

مقدمه

آمارهـای بین‌المللـی نشـان می‌دهنـد تـا سـال ۲۰۵۰ جمعیـت کـره زمین بـه حدود ۱۰ میلیـارد نفر می‌رسـد که بخـش عمده آن، در کشـورهای در حال توسـعه خواهند بود. ایـن رشـد جمعیـت باعـث می‌شـود تـا نیاز بـه انـرژی، آب، غـذا و نیـز تعامـل و پیونـد آن‌هـا بـا محیط‌زیسـت، در صدر اولویت‌هـای بشـر در دهه‌هـای آینده باشـد؛ بـه همین دلیل توجـه دانشـمندان بـه ایـن سـمت معطـوف شده‌است تـا کمبـود غـذا را بـا افزایـش تولیـد محصول در واحد سـطح و بـا مصـرف کم‌تریـن نهاده‌هـا، به‌طـور پایـدار جبـران کنند. معرفـی و اسـتفاده‌از ارقـام پرمحصـول و خاص، اسـتفاده از انـواع کودهـا و سـموم شـیمیایی و نیـز توسـعه کشـت‌های گلخانـه‌ای، از جملـه ایـن راهکارها هسـتند.

بررسی ترازنامه انرژی دنیا نشان می‌دهد که مصرف تمام منابع انرژی شـامل سـوخت‌های فسـیلی مایع، گاز طبیعی و زغال‌سـنگ تـا سـال ۲۰۳۵ رونـد صعـودی خواهند داشـت. ایـن نکتـه توجـه بیش‌تـر بـه افزایـش بهـره‌وری در مصرف سـوخت، مطالعـه در مـورد منابـع انرژی جایگزین و مسـائل محیط‌زیسـتی در کنـار ایـن توسـعه را ضـروری می‌کنـد.

باتوجه‌بـه گسـتره ایـران در محـدوده عـرض جغرافیایی ۲۵ تا ۴۰ درجه شـمالی و نیز شـرایط متنـوع اقلیمی موجود در آن، به‌نظر می‌رسـد یکی از مناطق مناسـب برای توسـعه کشـت‌های گلخانه‌ای در غرب آسیاست. بنابراین تولید خوب

محصولات گلخانه‌ای در آن، علاوه بر تأمین نیازهای داخلی، نقش عمده‌ای در صادرات محصولات غیرنفتی، ارزآوری و مثبت‌کردن 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. به‌سبب 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 باتوجه به قوانین بین‌المللی بازدارنده و سخت‌گیرانه موجود، مصرف این سوخت‌ها مستلزم پرداخت جریمه در سال‌های آتی خواهد شد. از طرف دیگر باتوجه‌به محدودبودن 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 جایگزین‌کردن 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 صورت‌گرفته در گلخانه‌های ایران نیز نشـان می‌دهند که مصرف انرژی در گلخانه‌های کشـور در بخش‌های مختلفی مانند آبیاری، عملیات ماشـینی، الکتریسته، بذر، کود مصرفی، حمل‌ونقل و سیستم‌های کنترل اقلیم گلخانه صورت می‌گیرد. باتوجه‌بـه تولیـد خـارج از فصـل، عمـده مصـرف انـرژی در گلخانه‌های ایران، مربوط به سیستم‌های گرمایشی است. برای مثال سـهم سوخت در هزینه جاری گلخانه‌های استان همدان از حدود ۱۴/۷درصد در سال ۱۳۹۱ با افزایش قیمت حامل‌های انـرژی به ۲۶درصد در سـال ۱۳۹۴ رسیده‌اسـت. این موضوع باعث شده‌اسـت تا قیمت تمام‌شـده محصولات افزایش یابد و توان رقابت با تولیدات گلخانه‌ای دنیا را نداشته باشد.

در دهه‌هـای ابتدایـی توسـعه گلخانه‌هـا در ایـران، عمده گلخانه‌های سبزی و صیفی کشور به کشت خیار اختصاص داشت؛ ولی گسترش این نوع کشت، تنوع تولید و نیاز به محصولات مختلـف باعـث شـد تـا سـهم تولیـد خیـار در گلخانه‌هـا از ۶۱درصـد در سـال ۹۰ بـه ۵۵درصد در سـال ۱۳۹۶ برسـد (جدول ۲). تغییرات رشـد سایر محصولات نیز در این جدول بیـان شده‌اسـت. در ایـران به‌طـور متوسـط از هـر هکتـار گلخانـه خیار بیـن ۱۲۰ تا ۲۹۰، گوجه‌فرنگی ۳۰۰ تا ۴۰۰ و فلفل ۲۳۰ تا ۳۰۰ تن در هکتار برداشت می‌شود.

جدول۲- مقایسه سطح زیر کشت محصولات گلخانه‌ای کشور در سال‌های ۱۳۹۶-۱۳۹۰

شرح	۱۳۹۰		۱۳۹۶		درصد 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 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 توسعهٔ 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 ۶۶/۶درصد کل انرژی مصرفی در گلخانه‌ها به‌صورت مستقیم است که عمدتاً صرف گرمایش می‌شود و ۳۳/۳درصد 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. کم‌بودن مساحت دیواره و سقف گلخانه نسبت به مساحت گلخانه به معنی کم‌ترشدن سطح انتقال (تبادل) حرارت و نیز کم‌ترشدن مصرف انرژی به‌منظور گرمایش گلخانه است.
- پایین‌بودن 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 اهمیت‌یافتن راهکارهای فنی و اقتصادی برای ذخیره گرمای اضافی در فصول گرم و استفاده از آن در فصول سرد است.

راه‌های انتقال حرارت از گلخانه‌ها

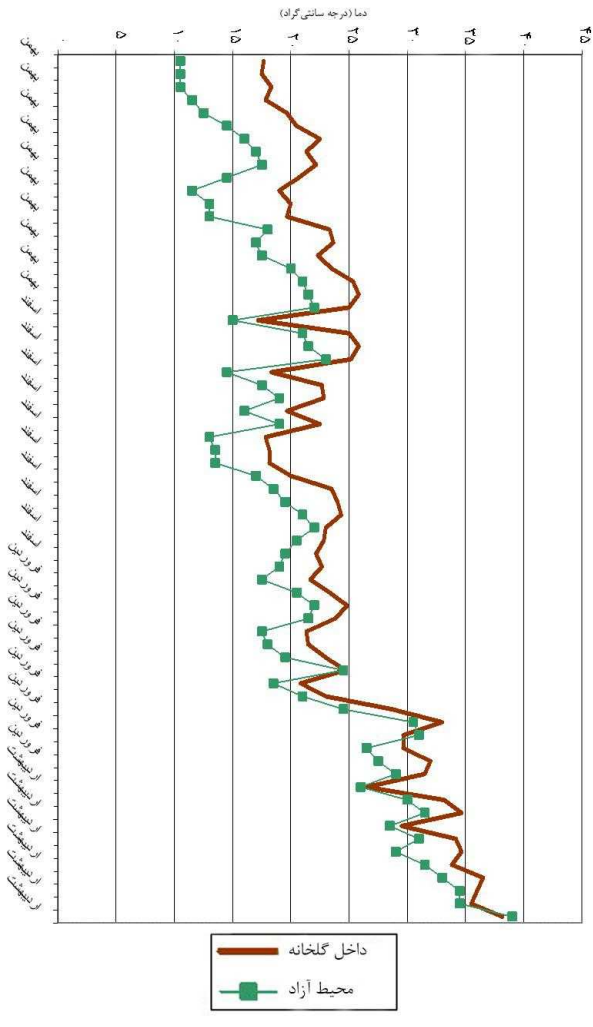
طبق تعریف گلخانه محیط کشتی است که در آن تغییرات دما، رطوبت و نور در محدوده مورد نیاز گیاه کنترل می‌شود تا محصول مناسب از لحاظ کمی و کیفی تولید شود. در گلخانه‌های تجاری که هدف، تولید اقتصادی و بازگشت سرمایه است، یکی از عوامل اصلی در افزایش رشد رویشی گیاه، شروع گل‌دهی، رشد و کیفیت میوه، دمای مناسب محیط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

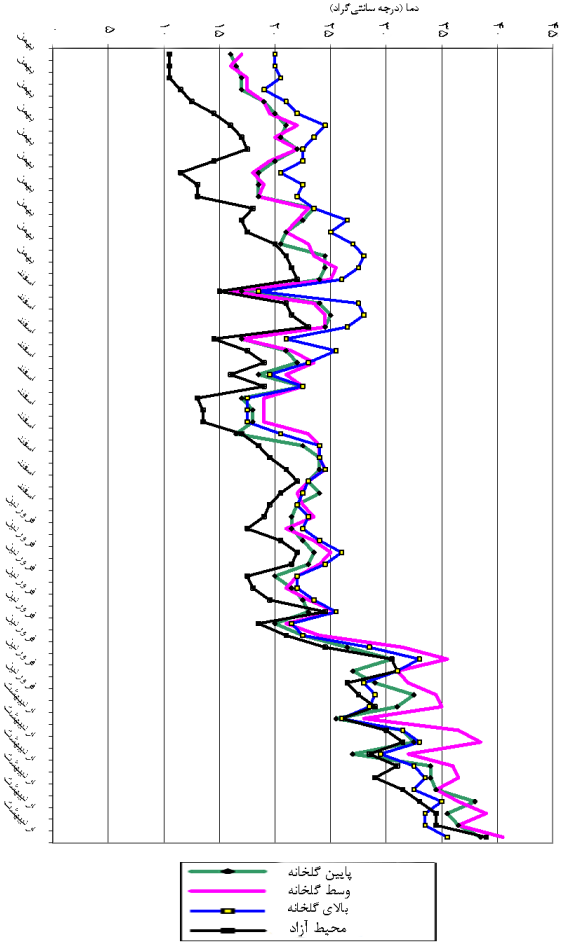


شکل ۳- وضعیت تغییرات دما در گلخانه بدون تجهیزات گرمایشی

ب) در ماه‌هایی که مدت باز بودن دریچه‌ها زیاد می‌شود، دمـای هـوای منطقه بـالای گلخانه[۱]، به دمای هـوای محیط بیـرون نزدیک‌تـر می‌شـود و هوای گرم‌تر در وسـط گلخانه و در بین بوته‌ها محبوس می‌ماند (شکل۴).

ج) در فصولـی کـه معمـولاً دریچه‌هـا باز هسـتند، دمای منطقه بالای گلخانه، که فاقد پوشـش گیاهی است، به دمای محیـط بیـرون نزدیک می‌شـود. در این زمـان، منطقه پایین گلخانه نسـبت به سـایر مناطق گلخانه کم‌تر گرم می‌شـود و احتمـالاً علت آن وجود سـایه ناشـی از کانوپـی بوته گیاهان داربسـتی اسـت که باعث می‌شـود انرژی تابشـی کم‌تری به سطح پایین برسد و این منطقه کم‌تر گرم شود. جابه‌جانشدن هوای داخل گلخانه، این مسئله را تشدید می‌کند (شکل۴).

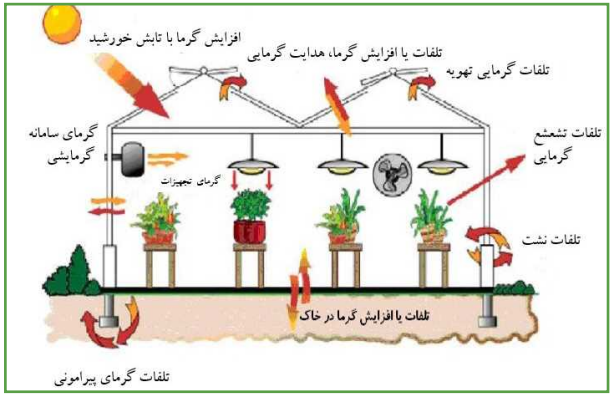
۱. از سطح زمین تا ارتفاع یک متر «طبقه پایین»، محدوده کانوپی گیاه «طبقه وسط» و ارتفاع بالای کانوپی تا سقف گلخانه «طبقه بالا» نامیده شدند.



شکل ۴- وضعیت تغییرات دما در سطوح مختلف داخل گلخانه بدون تجهیزات گرمایشی

به‌طـور کلـی انتقال حـرارت در یک محیط از سـه طریق هدایت (رسـانش)، تابش (تشعشـع) و همرفت انجام می‌شود (شـکل۵). در گلخانه‌هـا نیـز انتقـال حـرارت بـر اثـر عوامل فـوق و از طریـق تلفـات پوشـش، تلفـات حـرارت به‌واسـطه وجـود منفـذ در گلخانـه و از طریـق دریچه‌هـای تهویـه بـا سـازه و درهـای ورودی صـورت می‌گیـرد (شـکل۶).

شکل۵- روش‌های انتقال حرارت در محیط



شکل۶- 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. همان طور 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. نشت یا نفوذ هوا، از میان روزنه‌های کوچک موجود روی سازه و پوشش گلخانه رخ می‌دهد (شکل۷).

در صورت نیاز به تهویه طبیعی، در زمستان هوای ورودی به گلخانه احتیاج به گرم‌شدن دارد تا دمای آن به

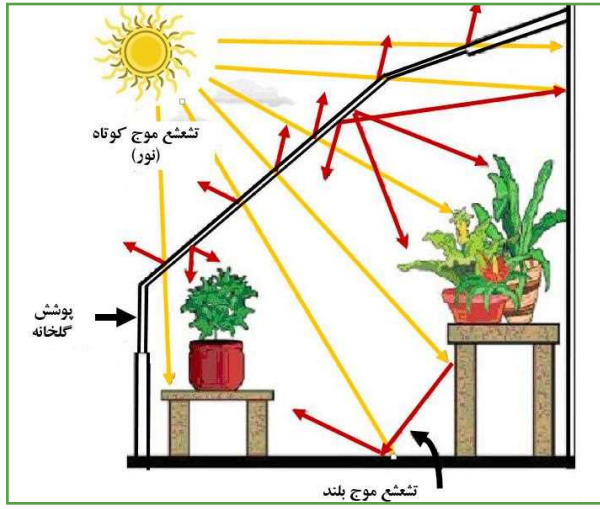
دمای تنظیمی گلخانه برسد و در تابستان نیز هوای ورودی به گلخانه نیاز به سردشدن دارد.

شکل۷- تلفات حرارتی ناشی از نشت هوا به داخل یا خارج گلخانه

تشعشع، انتقال حرارت بین دو جسم بدون تماس یا نیاز به یک ماده انتقال‌دهنده است. دو نوع تشعشع بر گلخانه اثرگذار است: تشعشع خورشیدی با طول موج کوتاه و تشعشع گرمایی با طول موج بلند که از گلخانه‌های گرم‌شده برگشت می‌شود.

تشعشع بسته به شرایط می‌تواند نتیجه ازدست‌دادن 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 گرم‌کردن گیاهان، خاک و سازه گلخانه می‌شود.

سردشـدن ناشـی از تشعشع در شب‌های سـرد زمستانی نیز درخور توجه اسـت. همان طور که گیاهان، خاک و سـازه گلخانـه از محیـط پیرامون خـود گرم‌تر می‌شـوند، گرما را به شکل تشعشع گرمایی از خود ساطع می‌کنند. تشعشع گرمایی به‌سمت پوشش گلخانه می‌رود و بخشی از آن به داخل گلخانه بازتـاب می‌شـود، در حالـی کـه قسـمت دیگر آن از پوشـش می‌گذرد و به‌سمت بیرون از گلخانه خارج می‌شود(شکل۸).



شکل۸- انتقال گرما از طریق تشعشع موج کوتاه و بلند در گلخانه

به‌طـور کلی انتقال حرارت در گلخانه از سـه 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:

$$Q_s + Q_h = Q_l \quad (۱)$$

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

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

$$Q_h = Q_l - Q_s \quad (۲)$$

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[1] است.

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

1- NGMA

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، $kcal.h^{-1}$)

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

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

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

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 $kcal/(h\times m^2\times °C)$

A= مساحت پوشش (m^2)

T_{inside}= دمای داخل گلخانه (°C)

$T_{outside}$= کمینه دمای خارج گلخانه (°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
پلی‌کربنات 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.

$$qi=\rho_i.N.V.[C_{pi}.(t_i-t_o)+h_{fg}(W_i-W_O)] \quad (۶)$$

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

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

C_{pi}= حرارت ویژه هوای داخل گلخانه (ژول بر کیلوگرم بر درجه سلسیوس، $(J.(kg.°C)^{-1})$

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 برحسب $J.kg^{-1}$

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

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

باتوجه‌به 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، $kcal.m^{-3}.°C^{-1}$

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 باتوجه‌به 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.

جدول۵- ضریب سرعت باد

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

جدول۶- ضریب سرعت باد باتوجه‌به نوع و سازه گلخانه

گلخانه نو	
گلخانه شیشه‌ای تک‌لایه با عایق‌بندی نامناسب	۱/۲۵
گلخانه شیشه‌ای تک‌لایه با عایق‌بندی مناسب	۱/۰۰
گلخانه پلاستیکی	۰/۶۰-۱/۰۰
گلخانه شیشه‌ای با یک لایه پلاستیک روی آن	۰/۹
گلخانه قدیمی	
گلخانه بازسازی‌نشده	۲/۰۰-۴/۰۰
گلخانه بازسازی‌شده	۱/۵

راهکارهای مدیریت مصرف انرژی گرمایشی در گلخانه‌ها

ساخت گلخانه در جهت جغرافیایی مناسب

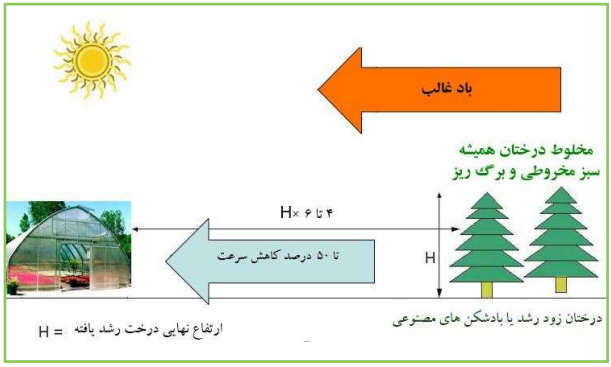
در عرض‌های شمالی، گلخانه‌های تک‌واحدی باید در جهت شرقی-غربی قرار بگیرند تا اجازه ورود حداکثر نور را در اواخر پاییز، زمستان و اوایل بهار بدهند. برای گلخانه‌های دو یا چند دهانه، اگر شرایط زمین اجازه دهد، توصیه می‌شود جهت گلخانه شمالی- جنوبی باشد تا مسیر سایه‌اندازی ناشی از ناودانی‌ها در کل روز در قسمت‌های 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.

شکل۹- 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 ۱۰درصدی تلفات حرارتی گلخانه‌ها شوند (شکل۱۰).



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 رشدکرده، 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 عبوریافته را تحت تأثیر قرار می‌دهد. با افزایش درصد آهن در شیشه، مقدار نور عبوریافته کاهش می‌یابد. به همین دلیل

برای پوشش‌دادن 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 قابل‌قبول باشد و نیز از لحاظ شیمیایی، برای گیاه مضر نباشد (شکل ۱۴).

شکل۱۴- گلخانه با پوشش پلاستیکی

ج) پلی‌کربنات

از مزیت‌های پوشش پلی‌کربنات به‌جای شیشه می‌توان به وزن سبک‌تر آن و در نتیجه هزینه کم‌تر سازه گلخانه اشاره کرد. همچنین مقاومت آن نسبت به پلاستیک بسیار بیش‌تر است. به‌علت دوجداره بودن باعث صرفه‌جویی در مصرف انرژی می‌شود. قابلیت گذردهی نور مناسبی دارد. خاصیت خود خاموشی و اشتعال ناپذیری دارد، به‌طوری که شعله‌ور نمی‌شود و در دمای بالای حریق، به‌آرامی 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 دودزاست. شفافیت این نوع پوشش مشابه شیشه است؛ اما خش‌پذیری سطح ورق باعث کدرشدن آن می‌شود و قیمت آن نیز زیاد است (شکل ۱۵).

شکل ۱۵- استفاده از پلی‌کربنات به‌عنوان پوشش گلخانه

اضافه‌کردن لایه پوشش داخلی

اضافه‌کردن حجمی از هوا به‌عنوان عایق در دیوارها و سقف گلخانه‌ها، یکی از عملی‌ترین روش‌ها برای حفظ انرژی در گلخانه‌ها است. این کار با اضافه‌کردن 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

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

شکل۱۶- اضافه‌کردن 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 اضافه‌کردن یک لایه پوشش به گلخانه، میزان عبور نور ورودی به گلخانه را کاهش می‌دهد. اضافه‌کردن این لایه به سقف، افت حرارتی را حدود ۲۵درصد کاهش می‌دهد و وقتی دیوارها به‌تنهایی

عایق‌بندی می‌شوند، این مقدار حدود ۱۰درصد است. با اضافه‌کردن یک لایه به کل سطح درونی گلخانه مقدار کاهش افت حرارتی به حدود ۳۵درصد 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 ۳۰درصد کاهش می‌دهد. این کار با فراهم‌کردن یک لایه هوای راکد عایق زیر سقف، حجم سرمایش و گرمایش و همچنین تلفات حرارتی ناشی از نشت را کاهش می‌دهد. برای جلوگیری از جمع‌شدن 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 ۱۰درصد سطح نور رسیده به داخل گلخانه را کاهش می‌دهد، موضوعی که می‌تواند در برخی مناطق و برای بعضی از گیاهان، مشکل‌ایجاد کند.

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

وقتـی در داخـل ایـن تیوب‌هـا بـاد نیسـت، از تهویه سـقفی می‌توان استفاده کرد. این روش انرژی مورد استفاده را حدود ۲۵درصد کاهش می‌دهد. این نوع از پوشش زیرسقفی باعث می‌شود حدود ۱۰درصد نور ورودی به گلخانه کاهش یابد.

استفاده از پوشش دولایه

در یک فصل کشـت که نیاز به گرمایش اسـت، پوشـش دو لایه پلاسـتیکی یا حتی شیشـه، تلفـات حرارتی را تقریباً تا ۵۰درصد در مقایسـه با پوشـش تک‌لایه کاهش می‌دهند (شکل‌های ۱۷ و ۱۸). باتوجه به اینکه بسیاری از گلخانه‌های بـا پوشـش شیشـه‌ای تک‌لایه سـاخته شـده‌اند، اجـرای یک پـرده محافـظ انـرژی می‌توانـد به‌صـورت معنـی‌داری باعث کاهش هزینه‌های گرمایش شود. برای کاهش تلفات گرمایی از سـقف، بعضی اوقـات به‌ویژه در نواحی سـرد، گلخانه‌داران یک لایه موقت فیلم پلاسـتیکی را روی لایه تک‌پوش شیشه در طول فصلی که به گرمایش احتیاج است، اجرا می‌کنند.

شکل۱۷- گلخانه کمانی با پوشش دولایه

شکل۱۸- 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 ۲۰درصد کاهش می‌دهد. میعان روی پوشش داخلی پلاستیک گلخانه

می‌تواند افت تلفات گرمایی ناشی از تشعشع را تا ۵۰درصد 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 ۲۰درصد 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 ۴۰درصد 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 ۱۰درصدی در انتقال نور

بـه داخـل گلخانـه را نیـز بـه همـراه دارد کـه ایـن مقـدار در سـال‌های بعـد بـا کدرشـدن پوشـش بیش‌تـر می‌شـود. بنابرایـن، اسـتفاده از پرده‌هـای انـرژی شـفاف، کـه انحصاراً وظیفـه حفظ انرژی را در زمسـتان بـدون کاهش نور ورودی برعهـده دارد، توصیـه شده است.

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

۱- تعویـض پلاسـتیک قدیمـی و تغییـر رنـگ یافته یـا خراب‌شـده.

۲- کنتـرل و تمیزکـردن فن‌هـای دمنـده هـوا بیـن دو پوشش.

۳- تعمیـر تمام پارگی‌ها، شـکافتگی‌ها یا سـوراخ‌های کوچک با نوارهای پلاسـتیکی.

۴- کاهش بخار آب تجمع‌یافته بین لایه‌های پلاستیکی با دمیدن هوای گرم و خشک.

۵- تمیزکـردن پوشـش گلخانـه از تمـام چیزهایی که باعث سـایه‌اندازی می‌شـوند.

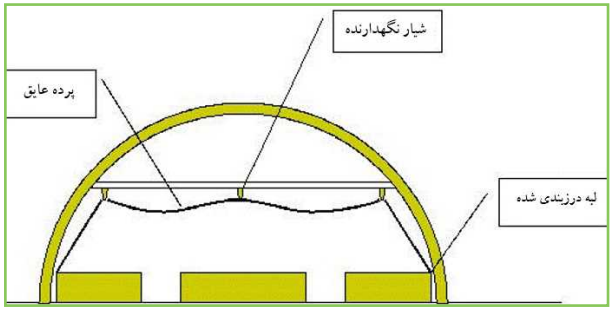
استفاده از پوشش‌های با خاصیت نگهداری امواج مادون قرمز

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 ۳۰درصد 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 ۸۰درصد انرژی گرمایی که برای گرم‌کردن گلخانه‌ای با پوشش تک‌لایه در شب مورد نیاز است، سهم تلفات گرمایی است. یک پرده متحرک عایق‌شده وقتی بسته است، تا ۷۰درصد تلفات گرمایی در شب را کاهش می‌دهد. اجرای پرده‌های محافظ گرما به‌طور متوسط باعث صرفه‌جویی ۲۰ تا ۵۰درصد 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 ۷۰درصد 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 (شکل۱۹). در جایی که پرده‌ها به

دیوارهـای جانبـی، قاب‌هـا یـا ناودان‌هـا نزدیـک می‌شـوند، بایـد خیلـی محکم نگهـداری شـوند. نتایج تحقیقات نشـان می‌دهنـد کـه اسـتفاده از پرده‌هـای حرارتـی در طول شـب باعـث ۶۰درصـد صرفه‌جویـی و در طـول فصـل زراعـی، سـبب ۲۵ تـا ۳۰درصد صرفه‌جویـی در مصرف انـرژی برای گرمایـش گلخانه‌هـا می‌شـوند (شـکل‌های ۲۰ و ۲۱).



شکل۱۹- نصب پرده محافظ انرژی

شکل۲۰- 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 داخل‌شدن 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 به‌وسیله 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 به‌علت کاهش معنی‌دار شدت تبادلات هوایی است. بنابراین گلخانه‌داران باید توجه ویژه‌ای به کنترل رطوبت گلخانه داشته باشند.

گلخانه‌داران باید هنگام جمع‌کردن پرده محافظ انرژی در صبح زود دقت کنند؛ زیرا در این هنگام حجم هوای بالای پرده هنوز سرد است و این هوای سرد به‌علت سنگین‌تربودن 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 به‌تدریج 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 آب‌گرم؛

استفاده از هوای گرم؛

استفاده از سیستم تابشی؛

استفاده از گرم‌کن‌های برقی.

انواع سامانه‌های گرمایشی گلخانه

استفاده از آب‌گرم

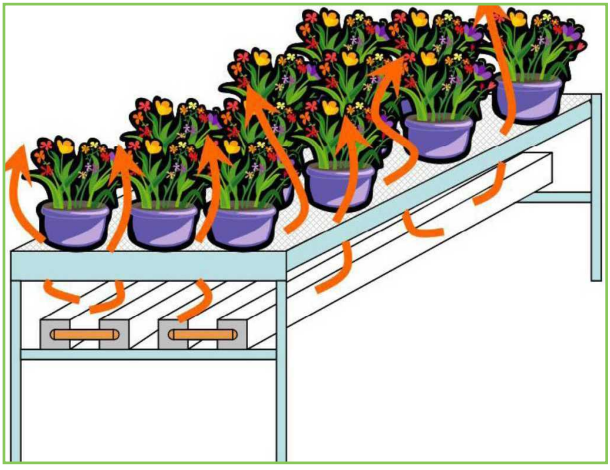
در ایـن روش، یک دیگ آب‌گـرم در بیرون گلخانه نصب می‌شـود و آب گرم‌شـده از آن، بـه داخـل گلخانـه منتقـل می‌شـود. در این روش برای گرم کردن سطح بستر، لوله‌های آب گـرم در نزدیکی بسـتر کاشـت نصب می‌شـوند. نزدیکی لوله‌ها به سطح زمین، باعث گرم‌شدن بستر می‌شود که برای رشد ریشه و افزایش باردهی گیاه مفید است (شکل ۲۴).

سیسـتم‌های گرمایشـی سـکو و کف، حـرارت را نزدیک محـل رشـد محصول فراهـم می‌کنند (شـکل۲۵). بسـیاری از گلخانه‌دارانـی کـه از سیسـتم‌های گرمایش از کف و سـکو اسـتفاده کرده‌انـد، گـزارش داده‌انـد بـا وجـودی کـه دمـا را پایین‌تر نگه داشـته‌اند، کشـت محصـول آن‌هـا موفقیت‌آمیز بوده‌اسـت. این کار مهم باعث صرفه‌جویـی 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 هـوای داخل گلخانـه را اجازه می‌دهند. در مطالعه‌ای افزایش ۷درصـدی میانگین تولید گوجه‌فرنگی گلخانـه‌ای 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 ایـن روش نیـز می‌توان بـه هزینه‌های زیاد لوله‌کشـی داخل گلخانـه، سـاخت اتاقـک دیـگ آب‌گـرم، خوردگـی لوله‌های انتقـال آب و دیـگ اشـاره کرد.

شکل ۲۴- استفاده از آب گرم در گرمایش گلخانه



شکل۲۵- 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، کم‌تربودن هزینه اولیه اجرای آن است. در مقابل، از عیوب آن پایین‌تربودن 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 (شکل۲۷).

شکل۲۶- استفاده از کوره هوای گرم در گرمایش گلخانه تولید خیار در جنوب استان کرمان

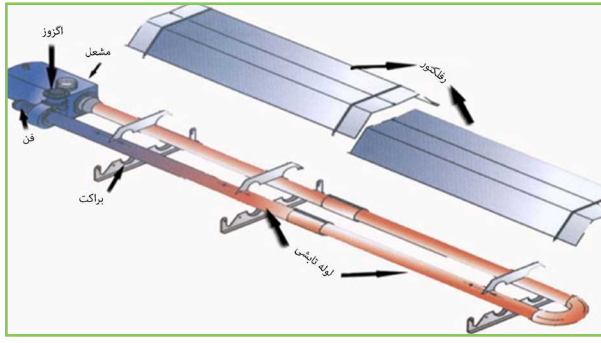
شکل۲۷- کاربرد دمنده هوای گرم در گرمایش گلخانه تولید توت‌فرنگی در استان اصفهان

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 ۱۰سانتی‌متر) قرارگرفته 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 به‌وسیله تشعشع از یک جسم سیاه و داغ، گرم می‌شوند. گزارش شده است این سیستم بین ۱۰ تا ۳۰درصد مقدار مصرف انرژی را به‌دلیل استفاده از مشعل‌های با بازدهی بالا، کاهش می‌دهد. سیستم گرمایش تابشی هنوز تحت آزمایش است؛ اما مشخص است که این نوع از گرمایش برای

محصـولات کوتـاه نظیر قلمه‌ها، نشـا، تکثیر قلمـه و گیاهان گلدانـی نظیـر شـمعدانی و بنـت قنسـول بهتـر اسـت. در سیسـتم گرمایـش تابشـی اگـر برگ‌هـا و خاک هـر دو گرم شـوند، بسـیار مؤثرتر اسـت. جایی که پوشـش گیاهـی انبوه اسـت یـا گیاهـان بلنـد هسـتند (رز، خیـار و...) اثربخشـی گرمایـش تابشـی کاهش می‌یابد. از دیگر مـواردی که هنگام اسـتفاده از این روش باید بدان توجه کرد، امکان سـوختگی برگ محصول اسـت.



شکل۲۸- سیستم گرمایش تابشی

شکل۲۹- سیستم گرمایش تابشی در گلخانه توت‌فرنگی همدان

شکل۳۰- 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 ایجادنکردن 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 کِمر 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 زغال‌سنگ (شکل ۳۲) و نیز منابع انرژی‌های تجدیدپذیر (شکل ۳۳).

شکل ۳۲- استفاده از زغال‌سنگ به‌منظور 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 آب‌گرم زیرزمینی برای گرمایش گلخانه در تونس
تصویر پایین: استفاده از گرمای زیرزمینی برای گرمایش گلخانه در ایران

کمیته بین‌المللی مصرف پوشش‌های پلاستیکی در دنیا[1]، کشورهای چین، ژاپن، ایتالیا، اسپانیا، ترکیه، کره‌جنوبی، یونان و هلند را بزرگ‌ترین تولیدکنندگان محصولات گلخانه‌ای دانسته است. در ضمن چین، کره‌جنوبی 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 به‌کارگیری 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).

1. CIPA

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 گرم‌کردن 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 به‌وسیله 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

ایـن کوره‌ها بازدهـی بالای ۹۰درصد دارنـد و مقداری از رطوبت خارج‌شـده از گازهـای دودکش را بـرای خارج‌کردن انـرژی بیش‌تر فشـرده می‌کنند.

بـازده گرمایـی و فصلـی مـورد انتظـار انـواع کوره‌هـا در جـدول ۷ آورده شده‌اسـت.

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

کوره	بازده گرمایی (درصد)	بازده فصلی* (درصد)
کوره با تهویه طبیعی	۸۰	۶۵
کوره با تهویه اجباری	۸۰	۷۸
کوره با سیستم جداکننده- 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.

مزیـت اصلـی کوره‌هـای هـوای گـرم، کارایـی آن‌هـا در کنترل فوری تغییرات دماسـت؛ عیب آن‌هـا، افزایش مصرف انـرژی الکتریکـی اسـت کـه احتمـال دارد بـه ۱۰درصد کل انـرژی مـورد نیاز گرمایش برسـد کـه در نتیجه بـازده انرژی را کاهـش می‌دهد.

بازده احتراق در برخی تجهیزات گرمایشی توسط صنایع مهندسی برق و بخار محاسبه شده‌است که نمونه‌ای از آن‌ها در جدول۸ ارائه شده است.

جدول۸- بازده احتراق در برخی تجهیزات گرمایشی

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

به‌دلیل 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 استفاده‌شده 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

قطـر از ۲درصـد قطـر خارجـی بیش‌تـر شـود، لولـه مزبـور بایـد تعویض شـود.

یکـی دیگر از مشـکلات پیش‌آمده برای لوله‌هـا، برخورد شـعله به لوله اسـت که باعث گرم‌شـدن بیش از حد کوره و در نهایـت باعـث به‌وجودآمـدن نقـاط داغ می‌شـود. این امر می‌توانـد باعـث آسـیب‌دیدگی محل برخورد شـعله بـه لوله شـود. مشـکل‌دیگری کـه به‌علـت دمـای بـالا بـرای لوله‌هـا ایجاد می‌شود، خمیدگی در جهت‌های مختلف این لوله‌هاست.

هـوای احتـراق یـا هـوای اسـتوکیومتریک معـرف مقدار هـوای مورد نیاز برای احتراق کامل با مخلوط کامل سـوخت اسـت کـه گاهـی اوقـات هوای نظـری هـم نامیده می‌شـود. اگـر هـوا کم‌تر از حد لازم تأمین شـود، عمل سـوختن کامل انجـام نمی‌گیـرد و در نتیجـه انرژی سـوخت تلف می‌شـود. هـوای بیـش از حـد نیـاز نیـز باعـث اتـلاف انرژی می‌شـود. به‌طـور معمـول عمـل احتـراق دارای دمـای بـالا و حـاوی انـرژی گرمایـی زیـادی اسـت. اگـر مقدار هـوای ارسـالی به کوره بیش از اندازه باشد، آن هوای اضافی نیز گرم خواهد شد کـه خـود باعـث اتـلاف انـرژی می‌شـود. میـزان اسـتاندارد هـوای اضافـی بـرای گاز طبیعی بیـن ۱۰ تـا ۱۵درصد و در مـورد گازوئیـل بیـن ۱۲/۵ تـا ۲۰درصد اسـت.

استفاده از دودکش مناسب

باتوجه‌به اینکه حداکثر سرعت خروج گازهای حاصل از احتراق برای دودکش‌های کوچک ۲ متر بر ثانیه است، سطح مقطع دودکش از رابطه زیر قابل‌محاسبه 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)

به‌صورت تقریبی، سطح مقطع دودکش به‌ازای هر کیلووات توان، ۴۰۰ میلی‌متر مربع است. همچنین دودکش باید عایق‌کاری شده باشد و قطر آن مشابه قطر اتصال کوره باشد، حداقل ۲/۵ متر بلندی داشته باشد و ۰/۶ متر بالاتر از خط‌الرأس گلخانه قرار گیرد. کلاهک مناسب دودکش علاوه بر بهبود احتراق، تنوره را از باران حفظ می‌کند (شکل ۳۶).

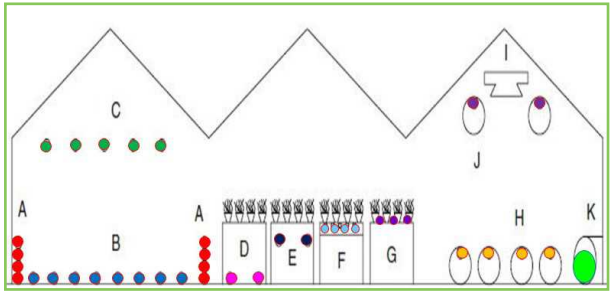
شکل۳۶- طریقه نصب صحیح دودکش در گلخانه

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 فن‌کوئل

یـا مولد هوای گرم اشـاره کرد. در شـکل ۳۷ نمـای تصویری روش‌هـای مختلف توزیع حرارت در گلخانه آورده شده اسـت.



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) فن‌کوئل با دمش عمودی، (J) لوله سوراخدار پلی‌اتیلن هوایی، (K) مولد هوای گرم

چرخـش هوا بـرای حداقل‌کـردن میزان شـیب تغییرات کربـن دی‌اکسـید (CO_2)، دمـا و رطوبـت در گلخانه‌هـا لازم اسـت. مقدار جریان هـوا در لوله‌های پلی‌اتیلـن باید به‌اندازه یک‌چهارم تا یک‌سـوم حجم گلخانه در دقیقه باشـد. سـطح کل سـوراخ‌های خـروج هـوا روی لولـه نبایـد از ۱/۵ برابـر سـطح مقطـع لولـه کم‌تـر و از ۲ برابـر آن بیش‌تـر باشـد. سـوراخ‌های خروج هوا باید به‌گونه‌ای روی لوله تعبیه شـوند کـه جریـان هـوا به‌طور مسـتقیم به گیـاه نوزد. سـوراخ‌های

خروج هوا عموماً در جهت‌های مخالف روی لوله تعبیه شده و فاصله آن‌ها نیز معمولاً ۰/۳ تا ۱/۰ 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 قابل‌توجهی 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.

جدول۹- بازده تخمینی سامانه‌های گرمایشی

سامانه گرمایشی	بازده تخمینی سامانه گرمایشی (درصد)
گرمایش از کف- عایق‌کاری‌شده	۹۰
گرمایش از کف- عایق‌کاری‌نشده	۸۰
لوله آب گرم- نزدیک کف	۸۵
لوله بخار- نزدیک کف	۸۰
هوای گرم: کوره، دمنده، لوله پلی‌اتیلن	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 به‌وسیله سامانه را کاهش می‌دهند. موقعیت سوراخ‌های خروجی هوا می‌بایست در نیمه پایینی لوله توزیع هوا قرار گیرد تا از صدمه‌نزدن به گیاه اطمینان حاصل شود. برای یکنواخت‌ترکردن حرارت خروجی، قطر سوراخ‌ها در

طـول لولـه برای جبـران افت فشـار و کاهش درجـه حرارت افزایش یابد. راه‌حل دیگر، اسـتفاده از دمنده‌هایی در قسمت بالایـی گلخانـه (روبـه‌روی کوره‌هـا در آن سـوی گلخانـه تـا مسـتقیماً سـبب گردش هـوا به‌سـمت پایین گلخانه شـود) یـا اضافه‌کـردن لوله‌هـای توزیع هـوا به‌صورت عرضی اسـت.

موقعیـت و تـوان تجهیـزات گرمایشـی، الگـوی جریـان هـوا و درجـه حـرارت را در داخـل گلخانـه تعییـن می‌کنند. موقعیـت بهینـه لوله‌هـای گرمایشـی در گلخانـه بـا توزیـع خـرد اقلیـم و فعالیت گیـاه رابطه دارد. مـواردی مانند تعداد کانال‌هـای مـورد اسـتفاده، موقعیـت آن‌ها در داخـل گلخانه نسـبت بـه ردیف‌هـای محصـولات، طـول و قطـر کانـال، تعـداد، اندازه، شـکل‌و فاصله سـوراخ‌های خروج هوا و فشـار اسـتاتیکی داخل کانال، از عوامل مؤثر در شـکل‌گیری الگوی جریـان هـوا در گلخانـه اسـت. دیگـر عواملـی کـه می‌توانـد 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 داده‌شده هستند.

مقایسـه بیـن دو سیسـتم گرمادهی با لولـه و تیوب‌های هـوای گـرم نشـان داد کـه بـا سـامانه هـوای گـرم محصول خنک‌تـر از هـوای داخـل گلخانـه اسـت؛ ولـی بـا سـامانه

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

هـوا در گلخانـه لازم اسـت مواردی مانند مسـاحت سـوراخ، چگالـی هـوای گلخانه، فشـار داخل لوله، فشـار خـارج لوله، ضریـب دبی، سـرعت هـوا و نیروی ثقل در نظر گرفته شـود.

عایق‌کاری دیواره‌ها

در گلخانه‌هایـی که از سیسـتم سـکو اسـتفاده می‌شـود، می‌تـوان دیوارهای جانبی و انتهایی گلخانه را با فوم تخته‌ای بـه ضخامـت ۲/۵ تـا ۵سـانتی‌متر عایـق کـرد. عایق‌بنـدی می‌بایسـت تـا عمـق ۳۰ تـا ۶۰سـانتی‌متری از سـطح زمین قرار بگیرد. می‌توان آن را تا ارتفاع محصول ادامه داد؛ به‌گونه‌ای کـه جلـو نـور را نگیـرد. فـوم بایسـتی بـا ورقـه آلومینیومی پوشـش داده شـود تا از تخریب توسـط اشـعه ماوراءبنفش و آتش‌گرفتگـی مصـون بماند. اجـرای عایق‌بنـدی در پیرامون گلخانه (صفحه‌های پلی‌اسـتیرن به ضخامت ۵سـانتی‌متر که به‌صـورت عمودی تـا عمق ۰/۶ متر به‌طور کامل پیرامون گلخانه اجرا می‌شوند) افت حرارتی از کف گلخانه را کاهش می‌دهد.

بـرای نمونه قراردادن صفحه‌های پلی‌اسـتیرن با ضخامت ۲/۵ تـا ۵سـانتی‌متر تـا عمـق ۴۵سـانتی‌متری زیـر زمیـن می‌توانـد درجـه حـرارت نزدیـک دیـواره جانبـی در طـول زمسـتان را به‌اندازه ۱۰ درجه سلسـیوس افزایش دهد. برای عایق‌بنـدی گوشـه‌ها یـا دیوارهـای جانبـی تـا ارتفـاع سـکو

از صفحه‌های عایق‌بندی با ضخامت ۲/۵ تا ۵سانتی‌متر استفاده شود. کاربرد فوم عایق‌بندی تا ارتفاع ۹۰سانتی‌متر در کنج دیوارها در گلخانه‌ای با ابعاد ۳۰× ۸/۵ مترمربع باعث کاهش مصرف ۱۵۰۰ لیتر نفت (معادل ۲۳۰۰ لیتر پروپان یا ۱۵۸۰ 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 بسته‌کردن 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 به‌دست‌آمدن 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 ترک‌خوردن پلی‌آکریلیک یا کربنات) تعویض شوند. وجود یک شکاف به عرض ۳ میلی‌متر در اطراف در به عرض

۹۰سانتی‌متر، باعث خروج ۱۴/۲مترمکعب هوا در دقیقه در اثر نشت می‌شود که باعث افزایش ۲۵،۰۰۰ بی‌تی‌یو در ساعت (معادل ۰/۷ مترمکعب مصرف گاز طبیعی در ساعت) نیاز گرمایشی می‌شود.

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

۳- **استفاده از فیلم پلاستیکی در گلخانه‌های شیشه‌ای:** گلخانه‌های شیشه‌ای به‌علت 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 به‌صورت 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

شـود. تهویـه مکانیکـی ممکـن اسـت بـرای کنتـرل رطوبت احتیـاج باشـد و می‌توانـد در جایگزینـی دی‌اکسـیدکربن نیـز اسـتفاده شـود. اگـر دی‌اکسـیدکربن اضافـی مـورد نیاز اسـت، می‌تـوان با اسـتفاده از کپسـول یـا کمپرسـور تزریق دی‌اکسـیدکربن یـا سـوزاندن گاز، میـزان دی‌اکسـیدکربن گلخانـه را افزایـش داد. ایـن کار باعـث کاهـش ۱۸درصدی سـطح نوری می‌شـود؛ لذا می‌بایسـت افزایش یک یا دو لایه فیلم پلاستیکی، تحلیل اقتصادی شود.

انجـام کارهـای زیـر نیز بر بهبـود بازدهی مصـرف انرژی حرارتی مؤثر هسـتند.

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) تعمیـر و تنظیـم تهویه‌هـا بـرای کاهـش درزهـا در سـطوح اتصـال.

موارد زیر در پوشش‌های فایبرگلاس رعایت شود:

الف) تعویض صفحات خراب یا به شدت تیره‌شده؛

ب) تعمیر شکستگی‌ها یا سوراخ‌ها؛

ج) نصب نوارهای آب‌بندی ازبین‌رفته؛

د) پاک‌کردن اتصالات سایه‌انداز غیرضروری؛

ه) تمیزکردن سطوح قطعات فایبرگلاس از جلبک‌ها و کثیفی‌ها؛

و) اضافه‌کردن یک لایه داخلی پلی‌اتیلن در مکان‌هایی که شدت نور کم‌اهمیت است.

موارد زیر در پوشش‌های شیشه‌ای رعایت شود:

الف) تمیزکردن شیشه‌ها؛

ب) تعویض قطعات شکسته؛

ج) تنظیم هر قطعه‌ای که از جای خود خارج شده (لغزیده)؛

د) درزبندی و آب‌بندی شیشه‌ها؛

ه) خارج‌کردن اتصالات سایه‌انداز غیرضروری برای نفوذ بیش‌تر نور به گلخانه؛

و) تمیزکردن اجزا از جلبک و کثیفی؛

ز) اضافه‌کردن یک لایه داخلی پلی‌اتیلن یا استفاده از یک پوشش دو لایه بادکرده به‌جای یک پوشش تک‌لایه 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) تمیزکردن 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 قابل‌تنظیم 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 ۲درصد در بازدهی

کوره‌ها باعث صرفه‌جویی حدود ۴۴۰ لیتر نفت (معادل ۷۲۰ لیتر پروپان یا ۱۰۵۰ مترمکعب گاز طبیعی) در سال برای گلخانه‌ای با ابعاد ۳۰× ۸/۵ 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، تمیزکردن اتصالات و حسگرهای احتراق نیز می‌توانند به این امر کمک کنند. باتوجه‌به اینکه در دمای زیر ۷- درجه سلسیوس، لزجت نفت[1] افزایش می‌یابد، قطرات ریز آب یخ می‌بندند و پارافین ته‌نشین می‌شود، آوردن مخزن ذخیره نفت به داخل گلخانه، اضافه‌کردن

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 به‌صرفه‌تر 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

پیشنهادها

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 محصولاتی که نیاز گرمایی کم‌تری داشته باشند،
- و جایگزینی بخشی از سوخت مصرفی با منابع انرژی تجدیدپذیر (برای کم‌کردن 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.

۶. بی‌نام. ه. ۱۳۹۲. اگزوز دیگ- دودهای حاصل از احتراق. صنایع مهندسی برق و بخار. http://www.steemboiler.com/fani/egzoz_dod.htm

۷. بی‌نام. 1397a. آمارنامه وزارت جهاد کشاورزی ایران، 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. ۱۳۸۴ص.

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. ابراهیمی نیک. 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 فرسنل 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.

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. Coperative Extension University of California. 24 p.

25. Djevic, 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, 6thedition.

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. Vadiee, A. and M. Viktoria. 2012. Energy managment 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