

ختم لعل فوج

مدیریت تولید در گلخانه

رحیم بزرگر

مربی مرکز آموزش علمی کاربردی جهاد کشاورزی شهرکرد

مهراب یادگاری

استادیار دانشگاه آزاد اسلامی واحد شهرکرد

سرشناسه	: برزگر، رحیم
عنوان و نام پدیدآور	: مدیریت تولید در گلخانه/ مؤلفان رحیم برزگر، مهراب یادگاری.
مشخصات نشر	: تهران: مؤسسه آموزش عالی علمی-کاربردی جهاد کشاورزی، ۱۳۸۹.
مشخصات ظاهری	: ۲۴۶ ص؛ مصور، نمودار.
فروست	: مؤسسه آموزش عالی علمی-کاربردی جهاد کشاورزی؛ ۹۳. گروه علوم باغی؛ ۱
شابک	: ۹۸۷۹۶۴۸۷۴۸۶۷۳
وضعیت فهرست‌نویسی	: فیپا
یادداشت	: عنوان به انگلیسی: Production management in greenhouse.
یادداشت	: واژه‌نامه.
موضوع	: گلخانه‌داری
شناسه افزوده	: یادگاری، مهراب، ۱۳۵۷ -
شناسه افزوده	: مؤسسه آموزش عالی علمی-کاربردی وزارت جهاد کشاورزی
رده‌بندی کنگره	: ۱۳۸۸ م۴ب/۴۱۵ SB
رده‌بندی دیویی	: ۶۳۵/۹۸۲۳
شماره کتابشناسی ملی	: ۱۹۵۴۳۷۸

عنوان: مدیریت تولید در گلخانه

مؤلف: رحیم برزگر

ناشر: انتشارات مؤسسه آموزش عالی علمی-کاربردی جهاد کشاورزی

ویراستار علمی: نادری

ویراستار ادبی - فنی: علی‌رضا فیضی

طراح جلد: محسن حاج‌براتی

صفحه‌آرایی، لیتوگرافی، چاپ و صحافی: انتشارات پیام‌رسان

نوبت چاپ: اول

تاریخ نشر: ۱۳۸۹

شمارگان: ۱۵۰۰

قیمت: ۴۰۰۰ تومان

شابک: ۳ - ۶۷ - ۸۷۴۸ - ۹۶۴ - ۹۷۸

تهران: صندوق پستی ۱۴۷۸-۱۳۱۴۵ تلفن ۶۶۴۹۸۹۴۶

تقديم به:

روان پاک پدر و مادرم

و

همسر و فرزند دلبندم

فهرست مطالب

فصل اول: محاسن کشت‌های گلخانه‌ای

۱-۱	تعریف مدیریت گلخانه	۵
۲-۱	محاسن کشت‌های گلخانه‌ای	۵
۳-۱	وضعیت تولید محصولات گلخانه‌ای در جهان و ایران	۷
۴-۱	وضعیت صادرات گل و گیاهان زینتی	۱۰
۵-۱	ویژگی‌های محل احداث گلخانه	۱۱
۶-۱	جهت گلخانه	۱۳
۱۴	خلاصه مطالب فصل اول	
۱۶	پرسش‌های فصل اول	

فصل دوم: انواع سازه‌های گلخانه‌ای

۱-۲	سازه گلخانه	۱۹
۲-۲	تطابق سازه گلخانه با نیازهای اقلیمی منطقه	۱۹
۳-۲	مشکلات اصلی تولید محصولات گلخانه‌ای در اقلیم‌های مختلف	۱۹
۱-۳-۲	گلخانه‌های اقلیم‌های معتدله (سردسیر)	۱۹
۲-۳-۲	گلخانه‌های مناطق مدیترانه‌ای (نیمه‌حاره‌ای)	۲۰
۳-۳-۲	گلخانه‌های نواحی خشک	۲۰
۴-۳-۲	گلخانه‌های نواحی حاره‌ای	۲۱
۴-۲	سازه گلخانه و بارهای وارد بر آن	۲۱
۱-۴-۲	بار غیرزنده	۲۱
۲-۴-۲	بار محصول	۲۱
۳-۴-۲	بار برف	۲۲
۴-۴-۲	بار باد	۲۲
۵-۲	پی گلخانه	۲۲
۶-۲	ارتفاع گلخانه	۲۳
۷-۲	معرفی برخی از استانداردهای سازه گلخانه	۲۴
۸-۲	شیب سقف گلخانه	۲۶
۹-۲	انواع گلخانه از نظر شکل	۲۶
۱-۹-۲	گلخانه A شکل	۲۷
۲-۹-۲	گلخانه نیم‌استوانه‌ای یا کوانست	۲۹
۳-۹-۲	گلخانه‌های قوسی نوک‌دار (گوتیک آرک)	۳۰
۱۰-۲	گلخانه‌ها از نظر متصل یا منفک بودن	۳۰

۳۳	۱۱-۲ معیارهای انتخاب پوشش گلخانه.....
۳۳	۱-۱۱-۲ میزان انتقال نور.....
۳۳	۲-۱۱-۲ میزان انتقال طول موجهای بلند مادون قرمز.....
۳۵	۳-۱۱-۲ میزان بخار آب در زیر پوشش گلخانه.....
۳۷	۴-۱۱-۲ طول عمر پوشش گلخانه.....
۳۷	۵-۱۱-۲ ضریب اتلاف گرمای پوشش گلخانه.....
۳۹	۶-۱۱-۲ پایداری در برابر باد، تگرگ و برف.....
۳۹	۱۲-۲ پوششهای گلخانه‌ای و خصوصیات آنها.....
۳۹	۱-۱۲-۲ شیشه.....
۳۹	۲-۱۲-۲ پلاستیک‌های سبک.....
۳۹	۱-۲-۱۲-۲ پلی‌اتیلن.....
۴۲	۲-۲-۱۲-۲ پلی‌وینیل فلوراید (PVF).....
۴۲	۳-۱۲-۲ پوششهای پلاستیکی سخت.....
۴۲	۱-۳-۱۲-۲ پلی‌وینیل کلراید (PVC).....
۴۲	۲-۳-۱۲-۲ فایبرگلاس (FRP).....
۴۳	۳-۳-۱۲-۲ پلی‌کربنات و اکریلیک.....
۴۴	۱۳-۲ پلی‌اتیلن دولایه و مزایای استفاده از آن.....
۴۶	۱۴-۲ جنس اسکلت گلخانه.....
۴۶	۱-۱۴-۲ چوب.....
۴۷	۲-۱۴-۲ آهن.....
۴۷	۳-۱۴-۲ آلومینیوم.....
۴۸	۱۵-۲ مراحل احداث گلخانه.....
۵۵	۱۶-۲ چند توصیه مفید برای ساخت گلخانه.....
۵۶	خلاصه مطالب فصل دوم.....
۵۸	پرسش‌های فصل دوم.....

فصل سوم: گرم کردن گلخانه

۶۱	۱-۳ آثار فیزیولوژیکی دما در گیاهان.....
۶۱	۲-۳ (DIF) و آثار آن.....
۶۲	۳-۳ واحدهای گرمایی و تبدیل واحدها.....
۶۳	۴-۳ اتلاف گرما در گلخانه و روش‌های جلوگیری از آن.....
۶۴	۵-۳ انواع سیستم‌های حرارتی.....
۶۴	۱-۵-۳ سیستم حرارت مرکزی.....
۶۵	۱-۱-۵-۳ سیستم آب گرم.....
۶۵	۲-۱-۵-۳ سیستم بخار آب داغ.....

۶۵	.....سیستم حرارتی موضعی ۲-۵-۳
۶۵	.....بخاری تراکمی ۱-۲-۵-۳
۶۸	.....(کنوکسیون) ۲-۲-۵-۳ بخاری های همرفتی
۶۹	.....بخاری تابشی مادون قرمز با انرژی پائین (گرماتاب) ۳-۲-۵-۳
۶۹	.....بخاری دوجداره هوای گرم ۴-۲-۵-۳
۷۰	.....۶-۳ توزیع حرارت در گلخانه
۷۱	.....۱-۶-۳ توزیع گرمای تولید شده توسط بخار آب و آب داغ
۷۴	.....۲-۶-۳ توزیع هوای گرم از بخاری های تراکمی و دوجداره
۷۵	.....۷-۳ محاسبه نیاز گرمایی گلخانه
۸۰	.....۸-۳ روش های حفظ گرما در داخل گلخانه و کاهش مصرف سوخت
۸۰	.....۱-۸-۳ طرح گلخانه ای
۸۰	.....۲-۸-۳ پوشش گلخانه ای
۸۰	.....۳-۸-۳ احداث بادشکن
۸۱	.....۴-۸-۳ استفاده از پرده های محافظ حرارتی
۸۲	.....۵-۸-۳ بستن کلیه منافذ و درزها
۸۲	.....۶-۸-۳ افزایش کارایی سیستم حرارتی
۸۳	.....۷-۸-۳ استفاده از ترموستات دقیق
۸۴	.....۸-۸-۳ متناسب بودن دمای گلخانه با شدت نور
۸۵	.....۹-۸-۳ استفاده از اتاقک تکثیر
۸۶	.....۱۰-۸-۳ برقراری جریان مداوم هوا در گلخانه
۸۸	.....۹-۳ تنظیم دمای بستر خاک
۹۲	.....خلاصه مطالب فصل سوم
۹۴	.....پرسش های فصل سوم

فصل چهارم: خنک کردن گلخانه

۹۷	.....۱-۴ خنک کردن گلخانه در تابستان
۹۷	.....۱-۱-۴ سایه دادن
۹۸	.....۲-۱-۴ تهویه طبیعی
۹۸	.....۳-۱-۴ خنک کننده تبخیری پنکه و پوشال
۹۹	.....۱-۳-۱-۴ اجزای تشکیل دهنده سیستم پنکه و پوشال
۱۰۴	.....۲-۳-۱-۴ محاسبه سیستم پنکه و پوشال
۱۰۴	.....۱-۲-۳-۱-۴ قدرت پنکه (سرعت جابه جایی هوا)
۱۰۸	.....۲-۲-۳-۱-۴ محاسبه مساحت پوشال مورد نیاز
۱۰۸	.....۳-۲-۳-۱-۴ محاسبه سیستم آبرسانی پوشال
۱۰۸	.....۴-۱-۴ خنک کننده تبخیری مه پاش

۱۱۱	۲-۴ سیستم خنک کننده زمستانی پنکه و تیوب
۱۱۷	خلاصه مطالب فصل چهارم
۱۱۹	پرسش‌های فصل چهارم

فصل پنجم: مدیریت نور در گلخانه

۱۲۳	۱-۵ کیفیت نور
۱۲۵	۲-۵ واحدهای اندازه‌گیری شدت نور و روابط آنها
۱۲۶	۳-۵ آثار کلی شدت نور بر رشد گیاهان
۱۲۹	۴-۵ رشد گیاهان در شرایط نوری مختلف
۱۲۹	۱-۴-۵ شرایط نوری خیلی کم
۱۳۰	۲-۴-۵ شرایط نوری کم
۱۳۰	۳-۴-۵ شرایط نوری متوسط
۱۳۰	۴-۴-۵ شرایط نوری زیاد
۱۳۱	۵-۴-۵ شرایط نوری خیلی زیاد
۱۳۳	۵-۵ عوامل مؤثر بر شدت نور گلخانه
۱۳۵	۶-۵ کاهش شدت نور گلخانه
۱۳۶	۷-۵ نور تکمیلی
۱۴۰	۸-۵ فتوپریودیسم و روش‌های کنترل آن
۱۴۱	۱-۸-۵ تیمار شب‌کوتاهی
۱۴۲	۲-۸-۵ تیمار شب‌بلندی
۱۴۳	خلاصه مطالب فصل پنجم
۱۴۶	پرسش‌های فصل پنجم

فصل ششم: غنی‌سازی گلخانه با دی‌اکسیدکربن

۱۴۹	۱-۶ CO_2 گلخانه و نقش آن در گیاه
۱۵۰	۲-۶ علت غنی‌سازی گلخانه با CO_2
۱۵۰	۳-۶ شرایط غنی‌سازی گلخانه با CO_2
۱۵۱	۴-۶ پاسخ گیاهان به تزریق CO_2
۱۵۲	۵-۶ منابع تأمین CO_2 برای گلخانه
۱۵۲	۱-۵-۶ تزریق دی‌اکسیدکربن با سوزاندن مواد نفتی
۱۵۳	۲-۵-۶ تجزیه مواد آلی
۱۵۳	۳-۵-۶ استفاده از کیسول خالص CO_2
۱۵۴	۶-۶ محاسبه دی‌اکسیدکربن مورد نیاز
۱۵۵	۷-۶ رابطه بین دما، نور و غنی‌سازی گلخانه با CO_2

۱۵۷	..... خلاصه مطالب فصل ششم
۱۵۸	..... پرسش‌های فصل ششم

فصل هفتم: کنترل رطوبت نسبی در گلخانه

۱۶۱	..... ۱-۷ رطوبت در گلخانه و رابطه آن با دما
۱۶۲	..... ۲-۷ سطح مطلوب رطوبت نسبی در گلخانه
۱۶۲	..... ۳-۷ نقش رطوبت نسبی در افزایش بیماری‌ها
۱۶۳	..... ۴-۷ روش‌های کاهش رطوبت نسبی گلخانه
۱۶۶	..... خلاصه مطالب فصل هفتم
۱۶۷	..... پرسش‌های فصل هفتم

فصل هشتم: تهویه گلخانه

۱۷۱	..... ۱-۸ تهویه گلخانه و اهداف آن
۱۷۲	..... ۲-۸ روش‌های انجام تهویه
۱۷۲	..... ۱-۲-۸ تهویه طبیعی (استفاده از پنجره‌ها)
۱۷۵	..... ۲-۲-۸ تهویه مصنوعی (استفاده از پنکه)
۱۷۸	..... خلاصه مطالب فصل هشتم
۱۷۹	..... پرسش‌های فصل هشتم

فصل نهم: ضدعفونی کردن بستر کشت و بهداشت گلخانه

۱۸۳	..... ۱-۹ شرایط گلخانه و لزوم ضدعفونی کردن بستر
۱۸۳	..... ۲-۹ ضدعفونی کردن گلخانه
۱۸۴	..... ۱-۲-۹ ضدعفونی کردن با بخار آب
۱۸۶	..... ۲-۲-۹ ضدعفونی کردن با مواد شیمیایی
۱۸۹	..... ۳-۲-۹ ضدعفونی کردن با استفاده از گرمای خورشید
۱۸۹	..... ۳-۹ اصول بهداشت گلخانه
۱۹۰	..... ۱-۳-۹ ساختار مناسب گلخانه
۱۹۰	..... ۲-۳-۹ جلوگیری از تشکیل قطرات آب بر سطوح پلاستیک
۱۹۱	..... ۳-۳-۹ قرار دادن محلول ضدعفونی کننده مقابل در ورودی گلخانه
۱۹۱	..... ۴-۳-۹ نصب توری محافظ
۱۹۲	..... ۵-۳-۹ پهن کردن مالچ پلاستیکی
۱۹۲	..... ۶-۳-۹ جمع‌آوری بقایای گیاهی
۱۹۲	..... ۷-۳-۹ زهکشی مناسب و عدم آبیاری بیش از حد
۱۹۳	..... ۸-۳-۹ دفع علف‌های هرز

۱۹۳	۹-۳-۹ ضدعفونی کردن کلیه ادوات و وسایل مورد استفاده در گلخانه.....
۱۹۴	۱۰-۳-۹ ضدعفونی کردن آب آبیاری.....
۱۹۴	۱۱-۳-۹ آموزش کارگران.....
۱۹۴	۱۲-۳-۹ استفاده از کارت‌های زرد و آبی چسبنده (تله).....
۱۹۴	۱۳-۳-۹ عدم کشت گونه گیاهی مشابه در داخل و خارج گلخانه.....
۱۹۵	۱۴-۳-۹ حذف شاخ و برگ‌های زائد.....
۱۹۶	۱۵-۳-۹ کاهش تراکم کشت.....
۱۹۶	۱۶-۳-۹ جلوگیری از سرد شدن خاک.....
۱۹۷	۱۷-۳-۹ قرنطینه گیاهان و قلمه‌های تازه خریداری شده.....
۱۹۷	۱۸-۳-۹ تناوب کشت.....
۱۹۷	۱۹-۳-۹ استفاده از دستگاه گوگردسوز.....
۱۹۷	۲۰-۳-۹ جلوگیری از نوسانات شدید دمایی.....
۱۹۹	خلاصه مطالب فصل نهم.....
۲۰۱	پرسش‌های فصل نهم.....

فصل دهم: بسترهای کشت گلخانه

۲۰۵	۱-۱۰ وظایف بستر کشت.....
۲۰۵	۱-۱-۱۰ تأمین مواد غذایی گیاه.....
۲۰۵	۲-۱-۱۰ تأمین رطوبت مورد نیاز ریشه.....
۲۰۵	۳-۱-۱۰ داشتن تهویه مناسب.....
۲۰۶	۴-۱-۱۰ ریشه به عنوان محل استقرار گیاه.....
۲۰۶	۲-۱۰ خصوصیات مطلوب محیط رشد ریشه.....
۲۰۶	۱-۲-۱۰ ثبات مواد آلی در خاک.....
۲۰۷	۲-۲-۱۰ نسبت کربن به نیتروژن.....
۲۰۷	۳-۲-۱۰ وزن مخصوص ظاهری.....
۲۰۸	۴-۲-۱۰ قابلیت نگهداری رطوبت و میزان تهویه.....
۲۰۹	۱-۴-۲-۱۰ نوع بستر کشت.....
۲۰۹	۲-۴-۲-۱۰ اندازه ظرف یا گلدان.....
۲۱۱	۳-۴-۲-۱۰ روش آبیاری (فواصل مناسب آبیاری و میزان آب در هر آبیاری).....
۲۱۱	۳-۱۰ خصوصیات شیمیایی بستر کشت.....
۲۱۱	۱-۳-۱۰ pH بستر کشت.....
۲۱۲	۲-۳-۱۰ ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC).....
۲۱۳	۳-۳-۱۰ شوری خاک (EC).....
۲۱۴	۴-۱۰ انواع بسترهای کشت گلخانه.....
۲۱۴	۱-۴-۱۰ پیت.....

۲۱۴	..... ۲-۴-۱۰ فیبر نارگیل (کوکویت)
۲۱۵	..... ۳-۴-۱۰ ورمی کمپوست
۲۱۵	..... ۴-۴-۱۰ کود دامی
۲۱۷	..... ۵-۴-۱۰ خاک برگ
۲۱۷	..... ۶-۴-۱۰ سایر مواد آلی
۲۱۷	..... ۷-۴-۱۰ ماسه
۲۱۸	..... ۸-۴-۱۰ پرلیت
۲۱۸	..... ۹-۴-۱۰ ورمیکولیت
۲۱۸	..... ۱۰-۴-۱۰ پشم سنگ (راک‌وول)
۲۱۹	..... ۱۱-۴-۱۰ مخلوط‌های خاکی آماده کشت
۲۲۱	..... خلاصه مطالب فصل دهم
۲۲۲	..... پرسش‌های فصل دهم

فصل یازدهم: آبیاری محصولات گلخانه‌ای

۲۲۵	..... ۱-۱۱ اهمیت آبیاری
۲۲۵	..... ۲-۱۱ اصول آبیاری
۲۲۵	..... ۱-۲-۱۱ اصل اول: استفاده از بستری با زهکشی مناسب و ظرفیت مناسب نگهداری آب
۲۲۵	..... ۲-۲-۱۱ اصل دوم: آبیاری مناسب در بار آبیاری
۲۲۶	..... ۳-۲-۱۱ اصل سوم: آبیاری در زمان مناسب و پیش از وقوع تنش رطوبتی
۲۲۷	..... ۳-۱۱ تانسومتر و نحوه کار با آن
۲۲۹	..... ۴-۱۱ کیفیت آب آبیاری
۲۳۱	..... ۵-۱۱ تجزیه آب و شاخص‌های آن
۲۳۱	..... ۱-۵-۱۱ شوری آب (EC آب)
۲۳۲	..... ۲-۵-۱۱ مجموع آنیون‌ها و کاتیون‌های کل
۲۳۲	..... ۳-۵-۱۱ قلیائیت آب (بیکربنات و کربنات آب آبیاری)
۲۳۴	..... ۴-۵-۱۱ آهن و منگنز آب
۲۳۴	..... ۵-۵-۱۱ سختی آب
۲۳۴	..... ۶-۵-۱۱ میزان فلوئور و بر آب
۲۳۵	..... ۷-۵-۱۱ نسبت جذب سدیمی
۲۳۵	..... ۶-۱۱ روش‌های آبیاری
۲۳۵	..... ۱-۶-۱۱ آبیاری دستی
۲۳۶	..... ۲-۶-۱۱ آبیاری قطره‌ای
۲۳۸	..... ۳-۶-۱۱ آبیاری بارانی
۲۳۸	..... ۴-۶-۱۱ آبیاری مه‌افشانی با میست
۲۳۹	..... ۵-۶-۱۱ سیستم‌های آبیاری زیرزمینی

۲۳۹	..... ۱-۵-۶-۱۱ کفپوش اسفنجی
۲۴۰	..... ۲-۵-۶-۱۱ سیستم جزر و مدی
۲۴۰	..... ۳-۵-۶-۱۱ سیستم آبیاری (NFT)
۲۴۲	..... خلاصه مطالب فصل یازدهم
۲۴۴	..... پرسش‌های فصل یازدهم
۲۴۵	..... فهرست منابع

فهرست جداول

جدول ۱ آمار سطح زیر کشت گلخانه‌های کشور به تفکیک استان و نوع محصول تا سال ۱۳۸۴	۹
(بر حسب هکتار).....	۹
جدول ۲ مقایسه درصد انتقال نور در دو گلخانه.....	۱۳
جدول ۳ ابعاد لوله‌ها (بر حسب میلی‌متر) در گلخانه‌های تونلی تک‌دهانه با توجه به فاصله کمان‌ها از یکدیگر و	
عرض هر کمان.....	۲۶
جدول ۴ میزان انتقال نور مرئی برای پوشش‌های مختلف گلخانه‌ای.....	۳۴
جدول ۵ درصد انتقال تشعشع نور مادون قرمز از پوشش‌های مختلف گلخانه.....	۳۵
جدول ۶ انتقال نور از شیشه و لایه پلی‌اتیلنی خشک و مرطوب.....	۳۶
جدول ۷ درصد انتقال اشعه ماورای بنفش توسط پوشش‌های مختلف گلخانه‌ای.....	۳۸
جدول ۸ ضریب انتقال گرما در پوشش‌های مختلف گلخانه در سرعت باد (۱۵ Km/h).....	۳۸
جدول ۹ گرمای آزاد شده از لوله‌هایی با قطرهای مختلف به وسیله بخار آب داغ و آب داغ.....	۷۲
جدول ۱۰ گرمای آزاد شده از واحد حجم سوخت‌ها و منابع انرژی‌زا.....	۷۸
جدول ۱۱ مشخصات پوشال، قدرت پمپ و لوله‌های انتقال در سیستم پنکه و پوشال.....	۱۰۳
جدول ۱۲ ضریب ارتفاع (F_{elv}) مورد استفاده به منظور اصلاح سرعت جابه‌جایی هوا در ارتفاعات مختلف بالاتر از	
سطح دریا.....	۱۰۵
جدول ۱۳ ضریب شدت نور (F_{light}) مورد استفاده به منظور اصلاح سرعت جابه‌جایی هوا در شدت نورهای مختلف گلخانه.....	۱۰۵
جدول ۱۴ ضریب دمای (F_{temp}) مورد استفاده به منظور اصلاح سرعت جابه‌جایی هوا برای افزایش دما از پوشال تا پنکه ...	۱۰۶
جدول ۱۵ ضریب فاصله (F_{vel}) مورد استفاده به منظور اصلاح سرعت جابه‌جایی هوا برای فاصله‌های مختلف پنکه	
تا پوشال.....	۱۰۶
جدول ۱۶ مقادیر خروج هوا و مساحت پوشال مورد نیاز برای اندازه‌های مختلف پنکه.....	۱۰۷
جدول ۱۷ ضریب (F_{winter}) به منظور اصلاح سرعت جابه‌جایی هوا در خنک‌کننده زمستانی پنکه و تیوب.....	۱۱۴
جدول ۱۸ تعداد (N) و قطر (D) لوله‌های توزیع مورد نیاز در سیستم خنک‌کننده زمستانی گلخانه‌هایی با طول و	
عرض مختلف.....	۱۱۴
جدول ۱۹ واحدهای مختلف نور، موارد استفاده و تبدیل آنها به یکدیگر در منابع نوری مختلف.....	۱۲۷
جدول ۲۰ دسته‌بندی گیاهان مختلف بر اساس واکنش آنها به مجموع نور روزانه (mol/day).....	۱۳۲
جدول ۲۱ خصوصیات لامپ‌های مختلف برای نوردهی مصنوعی در باغبانی.....	۱۳۹
جدول ۲۲ تعداد لامپ (HPS) مورد نیاز و انرژی مصرفی برای تولید نور تکمیلی گلخانه‌ای به مساحت ۴۰۰	
متر مربع.....	۱۳۹
جدول ۲۳ واکنش برخی از گیاهان گلخانه‌ای نسبت به افزایش غلظت CO_2	۱۵۱
جدول ۲۴ میزان مصرف منابع مختلف سوخت برای تأمین CO_2 گلخانه‌ای به مساحت ۱۰۰۰ مترمربع در حد	
۱۳۰۰ ppm.....	۱۵۳
جدول ۲۵ میزان دما و رطوبت نسبی مطلوب برای شیوع بیماری‌های گیاهی.....	۱۶۲
جدول ۲۶ نیاز به شستشو بعد از بخاردهی با توجه به مقدار نمک خاک.....	۱۸۶

جدول ۲۷ درصد حجم اشغال شده خاک توسط مواد جامد و آب و هوا در مکش‌های رطوبتی ظرفیت گلدان (cc) و نقطه پژمردگی (۱۵ بار) در بستر کشت‌های مختلف در گلدان (۱۷ سانتیمتر).....	۲۰۸
جدول ۲۸ تأثیر نحوه پر کردن گلدان بر منافذ آب و هوای داخل بستر در گلدان‌هایی با اندازه‌های مختلف	۲۱۰
جدول ۲۹ تغییرات درصد حجمی هوا و آب بستر کشت (مخلوط پیت ورمیکولیت) با توجه به ارتفاع گلدان	۲۱۰
جدول ۳۰ pH بسترهای مختلف و آثار آنها بر pH نهایی بستر رشد	۲۱۳
جدول ۳۱ مقدار آهک مورد نیاز (تن در هکتار) برای افزایش pH خاک تا ۵/۶ پیت‌لایت دانشگاه کرنل A	۲۱۴
جدول ۳۲ مخلوط	۲۱۹
جدول ۳۳ مخلوط پیت‌لایت دانشگاه کرنل B	۲۱۹
جدول ۳۴ مخلوط بستر برای گیاهان زینتی بدون گل	۲۲۰
جدول ۳۵ مخلوط D دانشگاه کالیفرنیا	۲۲۰
جدول ۳۶ مخلوط E دانشگاه کالیفرنیا	۲۲۰
جدول ۳۷ مقایسه نتایج آبیاری سنتی (تجربی) و آبیاری با تانسئومتر الکترونیکی	۲۲۸
جدول ۳۸ راهنمای کیفیت آب آبیاری	۲۳۰
جدول ۳۹ محدوده‌های قلیائیت پیشنهادی آب آبیاری در سیستم‌های مختلف کشت	۲۳۳
جدول ۴۰ کاهش میزان قلیائیت تا حد تقریبی $pH = 5/8$	۲۳۴

فهرست اشکال

- شکل ۱ ضریب فشار باد بر گلخانه ۲۳
- شکل ۲ بیشترین فشار باد به صورت موضعی بر سه‌گوش شیروانی و دیواره‌های کناری ۲۴
- شکل ۳ گلخانه پلاستیکی با ابعاد محاسبه شده مطابق با استاندارد ان ای ان ۳۸۵۹ هلند ۲۵
- شکل ۴ گلخانه با پوشش پلاستیکی، داربست نگهدارنده و تقویت‌کننده‌های اضافی ۲۵
- شکل ۵ شکل‌های موجود گلخانه‌ای: دوطرفه، تونلی و قوسی نوک‌دار ۲۷
- شکل ۶ گلخانه دوطرفه تک‌واحدی ساده ۲۷
- شکل ۷ گلخانه دوطرفه (A شکل) با دهانه پهن ۲۸
- شکل ۸ گلخانه به‌هم‌پیوسته دندان‌دار ۲۹
- شکل ۹ گلخانه تونلی (ابعاد، فاصله قوس‌ها و داربست‌های نگهدارنده آن) ۲۹
- شکل ۱۰ گلخانه‌های قوسی نوک‌دار (گوتیک آرک) با دیواره شیب‌دار ۳۰
- شکل ۱۱ گلخانه A شکل با طرح جوی پشته‌ای (نوع ونلو) ۳۲
- شکل ۱۲ گلخانه تونلی با طرح جوی پشته‌ای ۳۲
- شکل ۱۳ گلخانه قوسی نوک‌دار (گوتیک آرک) با طرح جوی و پشته‌ای ۳۲
- شکل ۱۴ پوشش سخت پلی‌کربنات برای دیواره ابتدایی و انتهایی گلخانه ۴۴
- شکل ۱۵ پمپ هوای (کمپرسور) مورد استفاده برای پوشش پلی‌اتیلن دولایه ۴۵
- شکل ۱۶ گلخانه با اسکلت چوبی ۴۷
- شکل ۱۷ فاصله پایه‌ها از یکدیگر در گلخانه نیم‌استوانه‌ای ۴۹
- شکل ۱۸ نحوه نصب پایه‌های گلخانه ۵۰
- شکل ۱۹ تراز بودن کمان‌ها در هنگام احداث گلخانه ۵۱
- شکل ۲۰ اتصالات استحکام‌دهنده گلخانه (شمع، وتر و لوله‌های مهارکننده طولی) ۵۲
- شکل ۲۱ پنجره‌های سقفی گلخانه تونلی ۵۲
- شکل ۲۲ مفتول‌کشی گلخانه و قرار دادن پلاستیک بر روی آن برای نصب ۵۳
- شکل ۲۳ در ورودی اولیه گلخانه به منظور جلوگیری از خروج گرما و ورود حشرات به گلخانه ۵۴
- شکل ۲۴ نمایی از بخاری تراکمی همراه با لوله پلی‌اتیلن توزیع‌کننده هوای گرم ۶۷
- شکل ۲۵ نمایی از یک بخاری همرفتی ۶۸
- شکل ۲۶ نوعی بخاری کوره دوجداره هوای گرم ۷۰
- شکل ۲۷ مشعل مورد استفاده در بخاری کوره دوجداره ۷۱
- شکل ۲۸ نوع پیشرفته‌تر بخاری دوجداره هوای گرم ۷۱
- شکل ۲۹ برش عرضی گلخانه و نحوه گردش هوای گرم با نصب لوله‌های آب گرم بر روی دیواره جانبی ۷۳
- شکل ۳۰ برش طولی گلخانه و نحوه گردش هوای گرم با نصب لوله‌های آب گرم بر روی کف گلخانه ۷۳
- شکل ۳۱ محاسبه نیاز گرمایی گلخانه دوطرفه ۷۶
- شکل ۳۲ محاسبه نیاز گرمایی گلخانه تونلی بدون دیواره جانبی ۷۶
- شکل ۳۳ محاسبه نیاز گرمایی گلخانه تونلی با دیواره جانبی ۷۷
- شکل ۳۴ محاسبه نیاز گرمایی گلخانه تونلی به هم‌پیوسته ۷۷

- شکل ۳۵ پرده محافظ حرارتی گلخانه ۸۱
- شکل ۳۶ نوعی پرده محافظ حرارتی از جنس پلی اتیلن که به صورت دائمی نصب می شود ۸۲
- شکل ۳۷ استفاده از یک اتاقک اولیه برای ورود غیرمستقیم به گلخانه ۸۳
- شکل ۳۸ بستن کامل دریچه های تهویه برای جلوگیری از خروج گرما ۸۳
- شکل ۳۹ ترموستات برای کنترل دمای گلخانه ۸۴
- شکل ۴۰ محفظه مورد استفاده ترموستات ۸۵
- شکل ۴۱ سیستم آژیر خطر برای گرمای بیش از حد و کاهش گرمای گلخانه ۸۵
- شکل ۴۲ دماسنج حداکثر - حداقل برای ثبت حداقل و حداکثر دمای شبانه روز ۸۶
- شکل ۴۳ پنکه های مورد استفاده در سیستم جریان افقی هوا (HAF) ۸۷
- شکل ۴۴ نحوه نصب پنکه های (HAF) در گلخانه های تک واحدی ۸۷
- شکل ۴۵ نحوه نصب پنکه های (HAF) در گلخانه های به هم پیوسته ۸۸
- شکل ۴۶ دماسنج مورد استفاده برای تعیین دمای خاک ۸۹
- شکل ۴۷ دماسنج خاکی نصب شده در بستر کشت گلخانه ۸۹
- شکل ۴۸ لوله های (PVC) نصب شده در زیر بستر برای گرم و خنک کردن خاک ۹۰
- شکل ۴۹ نحوه نصب سیستم پنکه و پوشال و تأثیر آن در خنک شدن گیاه ۹۹
- شکل ۵۰ پوشال های تراشه ای ۱۰۰
- شکل ۵۱ پوشال سلولزی ۱۰۰
- شکل ۵۲ نحوه نصب پنکه و پوشال در انواع مختلف گلخانه ۱۰۲
- شکل ۵۳ سیستم پنکه و تیوب در سیستم خنک کننده زمستانی ۱۱۲
- شکل ۵۴ سیستم ترکیبی خنک کننده و گرم کننده به منظور کاهش هزینه ۱۱۵
- شکل ۵۵ طول موج ها و رنگ نور خورشید و تأثیر آنها بر فتوسنتز ۱۲۴
- شکل ۵۶ تأثیر شدت نور روزانه بر رشد شاخه ۱۲۸
- شکل ۵۷ تأثیر شدت نور روزانه بر تولید شاخه های جانبی ۱۲۹
- شکل ۵۸ میانگین شدت نور روزانه خورشید در ماه های مختلف سال در گلخانه ۱۳۵
- شکل ۵۹ تأثیر شدت نور روزانه بر تعداد گل برداشتی از یک گلدان ۱۳۷
- شکل ۶۰ نمودار تأثیر دی اکسید کربن بر فتوسنتز و نقطه اشباع آن ۱۴۹
- شکل ۶۱ رابطه بین دی اکسید کربن و نور در افزایش فتوسنتز ۱۵۶
- شکل ۶۲ رطوبت سنج عقربه ای ۱۶۱
- شکل ۶۳ رطوبت سنج الکترونیکی ۱۶۲
- شکل ۶۴ تأثیر پنجره سقفی در کاهش گرمای گلخانه (اثر دودکش) ۱۷۲
- شکل ۶۵ باز کردن تدریجی پنجره های سقفی ۱۷۴
- شکل ۶۶ شوک رطوبتی (سوختگی حاشیه برگ ها) در اثر باز شدن ناگهانی پنجره سقفی ۱۷۵
- شکل ۶۷ پنکه های خارج کننده هوای گلخانه به منظور تهویه آن ۱۷۶
- شکل ۶۸ استفاده از حوضچه ضد عفونی آب آهک مقابل در ورودی گلخانه ۱۹۱
- شکل ۶۹ نصب توری ریز بافت بر روی پنجره های جانبی و سقفی برای جلوگیری از ورود حشرات ۱۹۲

شکل ۷۰	وجود زهکش در انتهای بستر برای خروج آب اضافی.....	۱۹۳
شکل ۷۱	نصب تله کارتی زردرنگ برای شکار مگس سفید گلخانه.....	۱۹۵
شکل ۷۲	نصب تله کارتی آبی‌رنگ برای شکار تریپس گلخانه.....	۱۹۵
شکل ۷۳	کاهش تراکم کشت در گلخانه گوجه‌فرنگی برای افزایش گردش هوای گلخانه.....	۱۹۶
شکل ۷۴	تهیه پشته‌هایی به صورت بلند برای گرم شدن بهتر بستر خاک.....	۱۹۷
شکل ۷۵	آلودگی بوته گوجه‌فرنگی به نماتد مولد گال.....	۱۹۸
شکل ۷۶	استفاده از دستگاه گوگردسوز برای جلوگیری از شیوع بیماری‌ها.....	۱۹۸
شکل ۷۷	نقش ارتفاع گلدان بر میزان درصد حجمی هوای بستر کشت گلدان.....	۲۱۱
شکل ۷۸	بستر کشت کوکوپیت.....	۲۱۶
شکل ۷۹	بستر کشت پرلیت.....	۲۱۶
شکل ۸۰	مخلوط بستر کشت کوکوپیت و پرلیت.....	۲۱۶
شکل ۸۱	تانسیومتر الکترونیکی برای تنظیم زمان آبیاری.....	۲۲۸
شکل ۸۲	نمودار مورد استفاده برای تخمین میزان تخلیه رطوبت خاک با تانسیومتر.....	۲۲۹
شکل ۸۳	دستگاه (EC) متر و (pH) متر قابل جابه‌جایی در گلخانه.....	۲۳۱
شکل ۸۴	سیستم آبیاری قطره‌ای با استفاده از لوله‌های اسپاگتی.....	۲۳۶
شکل ۸۵	سیستم آبیاری قطره‌ای با استفاده از لوله‌های پلی‌اتیلن با قطره‌چکان.....	۲۳۷
شکل ۸۶	سیستم آبیاری میست برای تغذیه گیاهان در کشت ایروپونیک.....	۲۳۹

پیشگفتار ناشر

کتاب و کتاب‌خوانی، یکی از معیارهای توسعه کشورها و جوامع گوناگون است. به این سبب، هر سال سازمان‌های جهانی، مانند یونسکو و ...، از آن به مثابه یکی از شاخص‌های توسعه‌یافتگی استفاده می‌کنند و به بررسی میزان انتشار کتاب، نشریه و سایر منابع علمی و اطلاعاتی سازمان‌های آموزشی و پژوهشی می‌پردازند.

تولید منابع علمی و اطلاعاتی، چنان اهمیتی دارد که مهم‌ترین شاخص ارزشیابی کار اعضای هیئت‌های علمی سازمان‌های آموزشی و پژوهشی نیز به‌شمار می‌آید. اما در این زمینه، نیاز مؤسسه‌های آموزشی علمی-کاربردی به متون آموزشی، بیش از دیگر سازمان‌های فرهنگی است؛ زیرا این مؤسسه‌ها، باید از این متون برای تدریس به دانشجویانی استفاده کنند که علاوه بر آموزش‌های رسمی و کلاسیک، به آموزش جنبه‌های کاربردی محتوا و روش‌ها نیز نیازمندند.

مؤسسه آموزش عالی علمی-کاربردی جهاد کشاورزی، با توجه به اهمیت تولید و انتشار منابع اطلاعاتی و به‌ویژه کتاب‌های آموزشی، این مهم را در رأس کارهای خود قرار داده است. شایان ذکر است که تألیف و چاپ بیش از ۱۰۰ عنوان کتاب مربوط به دروس دوره‌های علمی-کاربردی در بخش کشاورزی، در دستور کار این مؤسسه قرار دارد و مسئولان آن امیدوارند با همکاری مدرسان و اعضای هیئت‌های علمی دانشگاه‌ها و مؤسسات آموزشی و پژوهشی، در راه افزایش کیفیت این کتاب‌ها گامی اساسی بردارند.

از آن‌جا که انتشار چنین مجموعه‌ای، کاری سترگ و نیازمند توجه و دقت بسیار است. امیدواریم استادان، صاحب‌نظران و مدرسان این کتاب‌ها، ما را در راه ارتقای کیفیت علمی آن‌ها یاری دهند و از ارسال انتقادهای و پیشنهادهای خود دریغ نورزند. بدون شک، حمایت‌ها و هدایت‌های بی‌دریغ مسئولان آموزش و تحقیقات در سطح وزارت جهاد کشاورزی، اعضای محترم هیئت امنای مؤسسه آموزش عالی علمی-کاربردی و به‌ویژه مدیران عالی سازمان و آموزش کشاورزی، در شکل‌گیری و ادامه چاپ این کتاب‌ها نقش اساسی دارد و امیدواریم نظارت عالی آنان، تضمین‌کننده کیفیت کار ما باشد.

مجتبی رجب‌بیگی

مدیرمسئول و

رئیس مؤسسه آموزش عالی علمی-کاربردی جهاد کشاورزی

پیشگفتار مؤلف

در سال‌های اخیر کشت‌های گلخانه‌ای در کشور ما گسترش زیادی یافته است؛ به طوری که با احداث شهرک‌های گلخانه‌ای در استان‌های مختلف کشور، سطح زیر پوشش گلخانه‌ها به سرعت در حال افزایش است. هدف از تولید و کشت محصولات در گلخانه‌ها، افزایش تعداد دفعات کشت و حفاظت از محصولات در برابر شرایط نامساعد محیطی، از قبیل درجه حرارت بالا، سرما و آفات و بیماری‌های گیاهی است.

توسعه صنعت گلخانه‌داری بدون توجه به مسائل مدیریتی و عملیات به‌زراعی امکان‌پذیر نیست. اِعمال مدیریتی صحیح در این گلخانه‌ها، میزان بهره‌وری و عملکرد را افزایش خواهد داد. متأسفانه بسیاری از گلخانه‌های فعلی به صورت کاملاً سنتی ساخته و مدیریت می‌شوند. یکی از مشکلات صنعت گلخانه‌داری در ایران این است که اغلب کسانی مبادرت به احداث گلخانه می‌نمایند که تجربه علمی و عملی گلخانه‌داری را ندارند و صرفاً به قصد دریافت تسهیلات بانکی اقدام به احداث گلخانه می‌نمایند. به جرأت می‌توان گفت یکی از مهم‌ترین دلایل عدم موفقیت این افراد، عدم آشنایی آنها با اصول اولیه مدیریت گلخانه و نحوه کنترل عوامل محیطی است.

مدیریت صحیح گلخانه، از زمان انتخاب محل احداث گلخانه شروع می‌شود و سپس مسائلی مانند انتخاب نوع سازه گلخانه (تونل کوتاه یا بلند)، نوع محصول انتخابی برای پرورش در گلخانه، تجهیزات مورد نیاز و کنترل عوامل محیطی را در بر می‌گیرد. هر یک از موارد بالا می‌توانند به نحوی در تولید و افزایش بازده گلخانه مؤثر باشند. با داشتن گلخانه‌های مجهز مدرن یا نیمه مدرن، می‌توان تمام یا بخش مهمی از عوامل محیطی را به صورت خودکار یا نیمه خودکار کنترل نمود. بسیاری از گلخانه‌های موجود در کشور به علت نداشتن تجهیزات کافی، قادر به کنترل عوامل محیطی گلخانه نیستند و این امر سبب بروز مشکلاتی در آینده و نیز افزایش هزینه‌ها و خطرپذیری تولید خواهد شد. در این کتاب سعی می‌شود در هر بخش، مسائل و مشکلات موجود در گلخانه‌ها به صورت عملی مورد بحث قرار گیرد.

در طرح ارزیابی گلخانه‌های استان‌های گیلان و چهارمحال و بختیاری و بررسی بیش از ۱۳۰ گلخانه، که نتایج آن در اولین همایش ملی تکنولوژی تولیدات گلخانه‌ای نیز منتشر شد، مشخص گردید که برخلاف استقبال زیاد مردم برای احداث گلخانه و تشویق مسئولان و ارائه تسهیلات بانکی، صنعت گلخانه‌داری کشور با مشکلات عدیده‌ای مواجه است و هنوز درباره مسائل ساده ساخت گلخانه و مدیریت آن، آموزش کافی به گلخانه‌داران ارائه نشده است.

در این کتاب سعی می‌شود بیشتر به مسائل و مشکلاتی پرداخته شود که گلخانه‌داران با آن مواجه هستند. هدف این کتاب، تهیه یک مجموعه آموزشی برای علاقه‌مندان به رشته تولیدات گلخانه‌ای است تا بهتر با گلخانه، عوامل محیطی مؤثر بر رشد گیاهان و نحوه کنترل آنها آشنا شوند. به هر حال این کتاب خالی از اشکال نیست و اینجانب بسیار خوشحال خواهم شد که اساتید محترم، کارشناسان خبره و گلخانه‌دارن عزیز، نظرات و پیشنهادهای خود را درباره اشکالات و کمبودهای این کتاب، به نویسنده متذکر شوند.

در پایان برخود لازم می‌دانم که از مؤسسه آموزش عالی علمی کاربردی وزارت جهاد کشاورزی، به سبب همکاری صمیمانه در چاپ این کتاب، تشکر نمایم. همچنین از آقای دکتر علی باباگل‌زاده، سرکار خانم دکتر نادری و آقای مهندس شبستری به خاطر زحمت ویراستاری فنی کتاب تشکر می‌کنم و از زحمات همسرم سرکار خانم شکوفه یادگاری به دلیل همکاری در تایپ کتاب و فراهم نمودن فرصت و ایجاد آرامش فکری برای تالیف این کتاب کمال تشکر و امتنان را دارم.

رحیم برزگر

پاییز ۱۳۸۸

Barzegar56@yahoo.com

فصل اول

محاسن کشت‌های گلخانه‌ای

هدف‌های رفتاری

پس از مطالعه این فصل از خواننده انتظار می‌رود که:

- تعریف گلخانه و مدیریت آن را بداند.
- محاسن و کاربردهای گلخانه و نقش آن را در اقتصاد کشور توضیح بدهد.
- وضعیت فعلی صنعت گلخانه‌داری را در ایران بیان کند.
- ویژگی‌های انتخاب محل گلخانه و نحوه تعیین جهت گلخانه برای ساخت آن را بداند.

۱-۱. تعریف مدیریت گلخانه^۱

عوامل محیطی متعددی رشد و نمو گیاهان را تحت تأثیر قرار می‌دهند که مهم‌ترین آنها عبارتند از: نور، دما، عناصر غذایی، آب، دی‌اکسیدکربن، آفات و بیماری‌ها و رطوبت نسبی. بنابراین مدیریت گلخانه تنظیم و کنترل عوامل محیطی محدودکننده و تأمین بهترین شرایط برای رشد گیاهان است. گلخانه، محیطی است که در آن عوامل محدودکننده رشد، قابل کنترل باشد. در اغلب گلخانه‌های ایران، کلیه عوامل محیطی به طور دقیقی نظارت نمی‌شوند و فقط دما و یک یا دو عامل دیگر کنترل می‌شود. بنابراین توصیه می‌شود گلخانه‌ها به سمتی سوق داده شوند که قادر باشند کلیه عوامل محیطی را کنترل نمایند.

البته عوامل دیگری هم به طور مستقیم یا غیر مستقیم روی عوامل محیطی گلخانه تأثیر می‌گذارند؛ از جمله این عوامل می‌توان به محل احداث گلخانه، نوع سازه (کوتاه یا بلند)، طرح گلخانه، جهت گلخانه و غیره اشاره کرد. بنابراین مدیریت گلخانه باید از زمان احداث گلخانه شروع شود.

۲-۱. محاسن کشت‌های گلخانه‌ای

الف - استفاده از حداقل زمین برای تولید محصول و اشتغال‌زایی بیشتر

در کشت‌های گلخانه‌ای، می‌توان از حداقل زمین برای کسب درآمد و امرار معاش استفاده نمود؛ درحالی که در کشت‌های زراعی به زمین‌های وسیع و زیادی نیاز است. در حقیقت، کشت‌های گلخانه‌ای نوعی کشت متراکم^۲ هستند که با سرمایه‌گذاری زیادی در سطحی محدود، امکان کسب درآمد بالایی را فراهم می‌کنند. در حال حاضر حداقل زمین لازم برای صدور مجوز احداث گلخانه، ۴۰۰۰ متر مربع است که ۳۰۰۰ متر مربع آن زیر پوشش گلخانه قرار می‌گیرد. به طور متوسط، هر هکتار گلخانه برای دوازده نفر اشتغال ایجاد می‌کند؛ ولی در کشت‌های زراعی غیر متراکم، مانند زراعت گندم و جو، حداقل دو هکتار زمین برای امرار معاش یک خانواده لازم است. با توجه به افزایش جمعیت و کمبود زمین‌های زراعی مناسب برای کشت و کار، استفاده از کشت‌های گلخانه‌ای در سطوح کم زمین و حتی زمین‌های غیرقابل کشت نیز امکان‌پذیر است.

ب - تولید حداکثر محصول از واحد سطح

در کشت‌های گلخانه‌ای، همه عوامل محیطی مؤثر بر رشد گیاه تحت کنترل هستند. بنابراین می‌توان با ایجاد شرایط مناسب برای حداکثر فتوسنتز، رشد و عملکرد را برای گیاه فراهم نمود؛

1. Greenhouse management

2. Intensive culture

مثلاً عملکرد خیار و گوجه‌فرنگی گلخانه‌ای در واحد سطح، تا ۱۰ برابر عملکرد همین سبزی‌ها در شرایط فضای آزاد است.

ج- تولید محصول به صورت خارج از فصل

در مناطق سردسیر و نیمه‌گرمسیر، که امکان کشت زمستانه بعضی از محصولات گرمسیری مانند صیفی‌جات یا میوه‌های گرمسیری مثل موز وجود ندارد، می‌توان با کشت زمستانه این محصولات در گلخانه، آنها را خارج از فصل تولید نمود. معمولاً این محصولات دارای قیمت بالاتری نیز هستند و از این طریق سبب جبران هزینه‌های اضافی تولید و افزایش درآمد برای گلخانه‌دار می‌شوند.

د- پیش‌رسی محصول

پیش‌رس کردن به معنی فراهم نمودن شرایط محیطی برای گیاه است؛ به نحوی که محصول مورد نظر یک هفته تا یک ماه زودتر از محصول فضای آزاد، رسیده و قابل عرضه به بازار مصرف باشد. این محصولات به علت نوبرانه بودن معمولاً با قیمت بالاتری به فروش می‌رسند و درآمد بیشتری را عاید گلخانه‌دار می‌کنند. در این باره می‌توان به پرورش توت‌فرنگی بهاره در تونل‌های کوتاه در استان مازندران اشاره کرد که با پیش‌رس نمودن توت‌فرنگی، آنها را ۲-۳ هفته زودتر به بازار عرضه می‌کنند؛ همچنین در شهرستان جیرفت با کشت خیارهای هرمافرودیت^۱ (خیارهای فضای آزاد) در تونل‌های پلاستیکی و بدون گرم کردن گلخانه، اقدام به پیش‌رسی آنها می‌کنند.

ه- تنظیم برنامه کشت مطابق نیاز بازار

برخی از گل‌ها و گیاهان زینتی باید برای روزهای خاصی از سال، مانند اعیاد ملی گل داده و به بازار عرضه شوند. در این ایام، تعداد مشتری و میزان فروش به شدت افزایش می‌یابد. با کنترل عوامل محیطی می‌توان زمان گل‌دهی این گیاهان را تنظیم نمود؛ از جمله این گیاهان می‌توان به آزالیا اشاره کرد که در شرایط عادی، زمان گل‌دهی آن بعد از عید نوروز است؛ ولی با فراهم نمودن شرایط لازم می‌توان زمان گل‌دهی را به نحوی تنظیم نمود که در عید نوروز، گل داده و برای فروش آماده باشد. در مثالی دیگر می‌توان به گیاهان روز کوتاه، مانند گل داوودی اشاره کرد که با کنترل طول روز (طولانی کردن یا کوتاه نمودن) در گلخانه، به صورت مصنوعی می‌توان زمان گل‌دهی آنها را تسریع یا به تأخیر انداخت.

و- افزایش کیفیت محصولات در شرایط گلخانه

کنترل عوامل محیطی و مناسب بودن محیط داخل گلخانه، شرایط پرورش محصولات گران قیمتی مانند ارکیده، آنتوریم، رز، ژربرا و غیره را با کیفیتی بسیار بالا فراهم می‌کند؛ در حالی که حتی اگر شرایط محیطی فضای بیرون گلخانه نیز فراهم باشد، کیفیت محصولات تولید شده در فضای آزاد به کیفیت محصولات تولید شده در گلخانه نمی‌رسد.

ز- افزایش کارایی مصرف آب

در گلخانه‌ها از سیستم آبیاری تحت فشار استفاده می‌شود. از یک طرف به علت کاهش تبخیر و تعرق، در شرایط داخل گلخانه نسبت به فضای بیرون گلخانه، میزان مصرف آب کاهش می‌یابد و از سوی دیگر به علت تولید محصول بیشتر در واحد سطح، در شرایط گلخانه‌ای نسبت به فضای بیرون گلخانه، کارایی مصرف آب در گلخانه بیشتر است و این موضوع درباره کشور ایران، که از کشورهای کم آب جهان محسوب می‌شود، از اهمیت بالایی برخوردار است.

۱-۳. وضعیت تولید محصولات گلخانه‌ای در جهان و ایران

در سال ۱۹۸۰، حدود ۱۵۰ هزار هکتار گلخانه (با پوشش‌های مختلف) در سرتاسر دنیا زیر کشت بود. در سال ۱۹۹۵، این سطح به ۲۸۰ هزار هکتار افزایش یافت که این سطوح کشت جدید، بیشتر در آسیا و کشورهای مدیترانه‌ای بوده است و غالباً به کشت سبزیجات گلخانه‌ای اختصاص داشت. توسعه کشت‌های گلخانه‌ای، به‌خصوص در مناطق مدیترانه‌ای و کشورهای واقع در شمال آفریقا، به سرعت در حال گسترش است. سطح کل زیر کشت محصولات گلخانه‌ای تا پایان سال ۲۰۰۴ میلادی به ۳۰۷ هزار هکتار رسید که سبزیجات، ۶۵ درصد و گیاهان زینتی ۳۵ درصد این محصولات را تشکیل می‌داد.

گلخانه در ایران برای اولین بار، در سال ۱۳۳۲ و توسط آلمانی‌ها وارد کشور شد که از نوع گلخانه‌های شیشه‌ای با اسکلت فلزی بود و برای کارهای تحقیقاتی مورد استفاده قرار می‌گرفت. سپس با ورود پوشش‌های پلاستیکی، اغلب گلخانه‌ها با اسکلت چوبی و پوشش پلاستیکی ساخته شد. با توجه به عدم امکان کنترل همه عوامل محیطی در این نوع گلخانه‌ها، تمایل برای احداث گلخانه‌های مدرن و مکانیزه به شدت در حال افزایش است؛ هر چند گلخانه‌های سنتی به دلیل ارزان بودن آنها، هنوز هم استفاده می‌شود. افزایش سطح کشت‌های گلخانه‌ای در ایران با توجه به مزایای آن و به واسطه حمایت دولت از این تولید و استقبال فارغ‌التحصیلان کشاورزی از آن،

محسوس بوده است. اگرچه این افزایش سطح و تولید، در مقایسه با کشورهایمانند چین و ترکیه قابل مقایسه نیست، اما چشم‌انداز این بخش از تولیدات کشاورزی امیدوارکننده است.

جدول ۱، سطح زیر کشت محصولات گلخانه‌ای را در کل کشور، به تفکیک استان و نوع محصول کشت‌شده تا پایان سال ۱۳۸۴ نشان می‌دهد. مجموع مساحت گلخانه‌های ایران تا پایان سال ۱۳۸۴، بیش از ۶۱۰۰ هکتار بود که ۵۶/۵ درصد آن به کشت سبزی و صیفی گلخانه‌ای، ۴۱/۵ درصد به گل و گیاهان زینتی و بقیه به سایر محصولات، مانند توت‌فرنگی و موز اختصاص داشت. سطح زیر کشت گلخانه‌ها تا پایان سال ۱۳۸۶، به ۶۷۰۰ هکتار افزایش یافت.

میزان تولید در واحد سطح در شرایط فعلی گلخانه‌های ایران، پائین است؛ به نحوی که میزان تولید سبزی‌های گلخانه‌ای به طور میانگین ۱۸-۲۵ کیلوگرم در متر مربع است که در مقایسه با سایر کشورها (۷۰-۸۰ کیلوگرم در هر مترمربع) بسیار پائین است و این امر باعث کاهش بهره‌وری یا سوددهی گلخانه به ازای واحد سطح شده است.

جدول ۱: آمار سطح زیر کشت گلخانه‌های کشور به تفکیک استان و نوع محصول تا پایان سال ۱۳۸۴ (برحسب هکتار)

ردیف	نام استان	گل و گیاه زینتی	سبزی و صیفی	توت فرنگی و موز
۱	آذربایجان شرقی	۵	۸	-
۲	آذربایجان غربی	۲	۲	۰/۱
۳	اصفهان	۵۶	۸۴۲	۲
۴	ایلام	-	۱۶	۰/۲
۵	اردبیل	۰/۸	۶	-
۶	بوشهر	-	۸	-
۷	تهران	۱۵۸۶	۵۹۸	۷
۸	جیرفت	۳	۱۱۲۳	۸/۵
۹	خراسان رضوی	۸	۱۱	۰/۵
۱۰	خراسان شمالی	۱	۱	-
۱۱	خراسان جنوبی	۰/۴	۱۴	-
۱۲	خوزستان	۲۹۷	۱۵	-
۱۳	چهارمحال و بختیاری	۰/۹	۱۵/۵	-
۱۴	زنجان	۲	۴	-
۱۵	سمنان	۱	۴۸	-
۱۶	سیستان و بلوچستان	۰/۳	۱۱۶	۲/۱
۱۷	فارس	۱۰	۳۱	۰/۹
۱۸	قزوین	۲	۱۷	-
۱۹	قم	۰/۲	۱۶	۰/۲
۲۰	کردستان	۰/۷	۳	-
۲۱	کرمان	۳	۶۵	۲/۲
۲۲	کرمانشاه	۲	۳۰	-
۲۳	کهگیلویه و بویراحمد	۰/۳	۱۴	-
۲۴	گلستان	۳	۳	-
۲۵	گیلان	۱۸	۶	۱۲
۲۶	لرستان	۴	۸	۰/۰۵
۲۷	مازندران	۲/۴	۲۱	۵۵

ادامه جدول ۱

ردیف	نام استان	گل و گیاه زینتی	سبزی و صیفی	توت فرنگی و موز
۲۸	مرکزی	۳۴۲	۱۵/۵	۰/۲
۲۹	هرمزگان	۰/۴	۲۴/۵	-
۳۰	همدان	۲	۳۵	۰/۱۵
۳۱	یزد	۱/۵	۳۶۰	-
جمع کل		۲۵۵۶/۵	۳۴۷۶/۵	۹۱

برنامه توسعه کشور (در بخش کشاورزی) در راستای احداث مجتمع‌های گلخانه‌ای است. این مجتمع‌ها، در اکثر استان‌ها در دست مطالعه و یا احداث و راه‌اندازی است و پیش‌بینی می‌شود که سطح کل گلخانه تا پایان برنامه پنجم توسعه به ۱۵۰۰۰ هکتار برسد.

۴-۱. وضعیت صادرات گل و گیاهان زینتی

از آنجایی که دولت با تکیه بر ظرفیت‌ها و استعدادها موجود و با اعتقاد به گسترش توسعه صادرات محصولات کشاورزی، از جمله گل و گیاهان زینتی، تلاش می‌کند همه موانع موجود در مسیر توسعه پایدار را از میان بردارد و طرح‌های عظیم ملی را، که در شکوفایی اقتصادی و ارتقای سطح معیشتی جامعه نقش اساسی ایفا می‌کنند با سرعت و جدیت اجرا نماید، توجه و پرداختن به صادرات محصولات گلخانه‌ای در دستور کار وزارت جهاد کشاورزی قرار گرفته است. خوشبختانه با برنامه‌ریزی اصولی و حمایت از صادرات گل و گیاهان زینتی در سال‌های اخیر، شاهد جهش بسیار مثبت در زمینه صادرات گل و گیاه بوده‌ایم؛ به طوری که در سال ۱۳۸۶، صادرات گل و گیاه بالغ بر ۱۳ هزار تن بوده که نسبت به سال ۱۳۸۵، حدود ۵ هزار تن (معادل ۶۲/۵ درصد) افزایش نشان می‌دهد؛ همچنین ارزش صادرات گل و گیاهان زینتی در سال ۱۳۸۶، معادل ۱۱ میلیون دلار بوده که نسبت به سال ۱۳۸۵، ۴ میلیون دلار (۵۷ درصد) افزایش نشان می‌دهد.

قسمت اعظم گل ایران به کشورهای آذربایجان و ارمنستان صادر می‌شود. طبق آمار دفتر گل و گیاهان زینتی وزارت جهاد کشاورزی ایران، ارزش تولید گیاهان زینتی در کشور که شامل گیاهان زینتی فضای باز و گلخانه‌ای است، به بیش از ۳۲۰ میلیون دلار می‌رسد.

۱-۵. ویژگی‌های محل احداث گلخانه

الف - مسطح بودن زمین گلخانه

زمین مورد نظر برای احداث گلخانه باید مسطح باشد. احداث گلخانه در زمین شیب‌دار سبب بروز مشکلاتی در احداث و نگهداری گلخانه و نیز عدم کنترل مناسب عوامل محیطی آن خواهد شد؛ مثلاً احداث گلخانه در زمینی صاف، ولی شیب‌دار باعث می‌شود که گرما در قسمتی از گلخانه، که در ارتفاع بالاتری قرار دارد، متمرکز گردد و هوای سرد در قسمتی که در ارتفاع پایین‌تر قرار دارد، جمع شود و بدین ترتیب شیب حرارتی در داخل گلخانه ایجاد می‌شود.

ب - داشتن زهکشی مناسب

زمینی که گلخانه در آن احداث می‌شود باید از زهکشی مناسب برخوردار باشد؛ به‌خصوص در گلخانه‌هایی که کشت محصول بر روی بستر خاک گلخانه انجام می‌شود. بالا بودن سطح آب زیرزمینی و خیس بودن خاک به علت نداشتن زهکشی مناسب، باعث رشد ضعیف ریشه، سطحی شدن ریشه‌ها، کاهش جذب مواد غذایی، کندی رشد گیاه و افزایش برخی بیماری‌های قارچی مانند بوته‌میری (پی‌تیوم)^۱ در سبزی‌های گلخانه‌ای می‌شود. در این زمینه می‌توان به گلخانه‌های شهر بندرانزلی اشاره کرد که در بعضی مناطق سطح آب زیرزمینی فقط ۳۰ سانتیمتر پایین‌تر از سطح خاک است و حتی در برخی موارد به علت بارندگی، سطح خاک گلخانه خیس می‌شود. احداث گلخانه در این نوع زمین‌ها توصیه نمی‌شود و شاید بتوان یکی از مهم‌ترین دلایل عدم موفقیت گلخانه‌های سبزی و صیفی و موز در این مناطق را نداشتن زهکشی مناسب در گلخانه‌ها دانست. از جمله راهکارهای رفع این مشکل، خاکریزی کف گلخانه به ارتفاع ۳۰ سانتیمتر و بیشتر، یا کشت گیاهان در داخل گلدان متناسب با حجم ریشه گیاه (گلدان با حجم ۱۰-۱۵ لیتر برای پرورش گوجه‌فرنگی گلخانه‌ای) است. در این حالت، نبودن زهکشی در گلخانه تأثیری بر روی رشد ریشه گیاه نخواهد داشت.

ج - داشتن آب با کیفیت و کمیت مناسب

منبع آب مورد استفاده و کمیت و کیفیت آن، از اهمیت زیادی در انتخاب محل احداث گلخانه برخوردار است و عدم توجه به این موضوع ممکن است در آینده سبب بروز مشکلات متعددی گردد. آب مورد نیاز گلخانه می‌تواند از چاه، آب شهری، رودخانه و چشمه تأمین شود. آب چشمه و رودخانه معمولاً آلوده به عوامل بیماری‌زا هستند و ممکن است نیاز به ضدعفونی با کلر داشته

1. Pytium

باشند. آب شهر نیز گران بوده و ممکن است حاوی فلوراید و کلر باشد؛ بنابراین آب چاه بهترین گزینه خواهد بود. اما قبل از احداث گلخانه، کیفیت آب زمین انتخاب شده باید آزمایش شود و در صورت نداشتن مشکل خاص، اقدام به احداث گلخانه نمود. برای درک بهتر می‌توان به گلخانه منطقه خمام در شهر رشت، اشاره کرد؛ آب مورد استفاده در این گلخانه، حاوی مقدار زیادی آهن نامحلول است که پس از مدتی در اثر آب‌پاشی بر روی شاخ و برگ گیاهان آپارتمانی، به علت رسوب آهن نامحلول بر روی سطح برگ‌ها، رنگ آنها شبیه به آهن زنگ زده شده و از بازارپسندی این محصول به شدت کاسته می‌شود. در صورتی که آزمایش آب قبل از احداث گلخانه انجام می‌شد، از احداث گلخانه در این زمین خودداری، یا راهکار دیگری قبل از بروز مشکل ارائه می‌شد.

د- وجود امکانات اولیه زیربنایی

امکانات زیربنایی از قبیل راه، برق و در صورت امکان گاز و تلفن باید در محل مورد نظر برای احداث گلخانه وجود داشته باشد. نوع سوخت مورد استفاده برای گلخانه، نقش مهمی در میزان هزینه و احتمال خطر سرمازدگی دارد. گلخانه‌هایی که از لوله‌های گاز دورند مجبور به استفاده از سایر منابع انرژی (گازوئیل یا نفت) به جای گاز هستند که هم گران‌تر از گاز است و هم سبب افزایش آلودگی‌های زیست محیطی می‌شوند. در حالی که گاز به عنوان ارزان‌ترین و پاک‌ترین منبع انرژی به‌شمار می‌رود. در مناطق سردسیر مانند شهرکرد، استفاده از گازوئیل هزینه بیشتری را بر گلخانه‌دار تحمیل می‌کند و حتی در برخی از شب‌ها به علت سرمای شدید، احتمال یخ زدن مخزن گازوئیل نیز وجود دارد که سبب سرمازدگی گلخانه و ایجاد خسارت جبران‌ناپذیر بر گلخانه می‌شود؛ افزودن بلورهای نفتالین به مخزن گازوئیل موجب کاهش نقطه انجماد آن می‌گردد. در زمستان سال ۱۳۸۳، تعدادی از گلخانه‌های استان چهارمحال و بختیاری به علت یخ زدن گازوئیل و خاموشی سیستم گرمایی، دچار خسارت شدید شدند.

وجود ژنراتور برق اضطراری برای گلخانه‌ها ضروری است تا قطع برق، به‌خصوص در فصل زمستان، سبب خاموش شدن سیستم گرمایی گلخانه نگردد.

ه- نزدیکی به شهر و مراکز فروش

بهتر است گلخانه در زمین‌های کشاورزی احداث شود، که امکان دسترسی به شهر برای تأمین تجهیزات، نهاده‌ها و وسایل مورد نیاز گلخانه و نیز فروش محصول با هزینه کمتر فراهم باشد (البته قیمت زمین نیز باید در نظر گرفته شود).

۱-۶. جهت گلخانه

در تعیین جهت احداث گلخانه، دو عامل نور و شدت باد منطقه باید مورد توجه قرار گیرد؛ اگر منطقه بادخیز نباشد، جهت گلخانه از نظر کاهش سایه‌اندازی و برخورداری از حداکثر شدت نور خورشید، حائز اهمیت است؛ زیرا اسکلت گلخانه سایه‌ای را بر روی گیاهان داخل گلخانه ایجاد می‌کند که اندازه سایه‌ها به زاویه تابش نور خورشید و فصل سال بستگی دارد.

گلخانه‌های تک‌واحدی در عرض‌های پائین‌تر از ۴۰ درجه، در جهت شمالی- جنوبی و در عرض‌های بالاتر از ۴۰ درجه، در جهت شرقی- غربی احداث می‌شوند؛ زیرا در این جهت‌ها، زاویه تابش نور خورشید و میزان انتقال نور به داخل گلخانه بیشتر است. با احداث گلخانه در جهت مناسب، می‌توان در فصل زمستان (که شدت نور از اهمیت بیشتری برخوردار است)، درصد انتقال نور به داخل گلخانه را افزایش داد. گلخانه‌های به‌هم‌پیوسته در تمام عرض‌های جغرافیایی، در جهت شمالی- جنوبی احداث می‌شوند تا بتوانند اثر سایه را در قسمت شمالی گلخانه کاهش دهند. تأثیر تعیین جهت مناسب گلخانه با توجه به عرض جغرافیایی منطقه، بر کاهش سایه‌اندازی و برخورداری از حداکثر نور، در جدول ۲ نشان داده شده است.

جدول ۲: مقایسه درصد انتقال نور در دو گلخانه (واقع در عرض ۵۰ درجه شمالی) در جهات

مختلف در اواسط زمستان و تابستان

جهت گلخانه	وسط تابستان	وسط زمستان
شمالی- جنوبی	۶۴٪	۴۸٪
شرقی- غربی	۶۶٪	۷۸٪

اگر منطقه بادخیز باشد، جهت باد غالب در تعیین جهت گلخانه اهمیت بیشتری دارد؛ زیرا وزش باد شدید در منطقه و احداث گلخانه در جهت نامناسب، می‌تواند سبب بروز خسارات مکانیکی جبران ناپذیری به اسکلت گلخانه گردد. همچنین باد در زمستان، موجب افزایش اتلاف گرمای گلخانه شده و در تابستان، خنک کردن گلخانه را تحت‌تأثیر قرار می‌دهد. لذا در این مناطق، گلخانه‌ها به نحوی احداث می‌شوند که جهت گلخانه در جهت باد غالب منطقه باشد (دیواره انتهایی گلخانه رو به باد باشد) تا باد از روی گلخانه به راحتی عبور کند؛ به عبارت دیگر، امتداد گلخانه در امتداد باد غالب باشد؛ در این حالت، کمبود نور احتمالی را می‌توان با روشن نمودن چند لامپ فلورسنت جبران نمود؛ مثلاً در مناطق جنوب شرقی ایران (سیستان و بلوچستان و کرمان)، که شدت نور زیاد است ولی بادهای شدید می‌وزد، گلخانه باید در جهت باد احداث شود.

خلاصه مطالب

- ۱- مدیریت گلخانه، تنظیم و کنترل عوامل محیطی محدودکننده و تأمین بهترین شرایط برای رشد گیاهان است. گلخانه محیطی است که در آن عوامل محدودکننده رشد، قابل کنترل باشد.
- ۲- کشت‌های گلخانه‌ای دارای محاسن زیادی هستند که به طور خلاصه می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:
 - الف- افزایش تولید در واحد سطح (حداقل ۱۰ برابر فضای آزاد)؛
 - ب- کشت محصول بیش از یک دوره در طول سال؛
 - پ- افزایش کیفیت محصول تولیدی در گلخانه‌ها (با کنترل بهتر آفات و بیماری‌ها با اعمال روش‌های کنترل بیولوژیکی و کاهش مصرف سموم که در نهایت باعث افزایش کیفیت محصول و افزایش صادرات و حفظ محیط زیست می‌شود)؛
 - ت- صرفه‌جویی در مصرف آب با اعمال مصرف بهینه و با استفاده از روش‌های نوین آبیاری؛
 - ث- استفاده از اراضی غیرقابل کشت با سیستم کشت بدون خاک؛
 - ج- عدم وابستگی تولید به شرایط محیطی و امکان بازاریابی مناسب و تنظیم برنامه کشت مطابق نیاز بازار؛
 - چ- تداوم کار و تولید محصول در تمام فصول سال، با توجه به امکان کنترل عوامل محیطی و تنظیم شرایط مورد نیاز گیاه (استفاده از اوقات فراغت زارعان در پاییز و زمستان)؛
 - ح- آزادسازی اراضی برای تولید محصولات راهبردی، مانند گندم، ذرت، برنج و دانه‌های روغنی؛
 - خ- کاهش جذب عناصر سنگین توسط گیاهان و حفظ سلامت جامعه با سیستم کشت بدون خاک که امکان جذب و کنترل این عناصر را فراهم می‌سازد؛
 - د- جلوگیری از تغییر کاربری اراضی برای ساختمان به دلیل سودمند بودن تولیدات گلخانه‌ای در اغلب مناطق؛
 - ذ- جلوگیری از مهاجرت روستائیان به شهر با احداث واحدهای گلخانه‌ای؛
 - ر- ایجاد فرصت‌های شغلی برای جوانان، زنان روستایی و دانش‌آموختگان کشاورزی.
- ۳- مسطح بودن زمین، داشتن زهکش مناسب، داشتن آب با کمیت و کیفیت مناسب، دارا بودن امکانات زیربنایی و نزدیکی به مراکز فروش، از جمله عواملی است که در زمان انتخاب زمین برای احداث گلخانه باید مورد توجه قرار گیرند. در این صورت، از بسیاری از مشکلاتی که در آینده به‌وجود خواهد آمد، جلوگیری می‌شود.

۴- احداث گلخانه در جهت مناسب، در نفوذ نور به داخل گلخانه و افزایش پایداری گلخانه در برابر باد بسیار مهم است. جهت گلخانه، به عرض جغرافیایی منطقه، نوع ساختار گلخانه (تک‌واحدی یا به هم پیوسته بودن) و جهت باد غالب منطقه بستگی دارد. در مناطق بادخیز، گلخانه باید به نحوی احداث شود که جهت گلخانه در جهت باد غالب منطقه باشد (دیواره انتهایی گلخانه رو به باد باشد) تا باد از روی گلخانه به راحتی عبور کند و به عبارت دیگر، امتداد گلخانه در امتداد باد غالب باشد.

۵- در صورتی که باد، عامل محدود کننده نباشد، گلخانه را باید در جهتی احداث کرد که حداکثر شدت نور در نیمه دوم سال وارد گلخانه شود.

گلخانه‌های تک‌واحدی در عرض‌های پائین‌تر از ۴۰ درجه، در جهت شمالی- جنوبی و در عرض‌های بالاتر از ۴۰ درجه، در جهت شرقی- غربی احداث می‌شوند. گلخانه‌های به هم پیوسته، یا چندقلو، در تمام عرض‌ها در جهت شمالی- جنوبی احداث می‌شوند تا بتوانند اثر سایه را در قسمت شمالی گلخانه کاهش دهند.

پرسش‌های فصل اول

- ۱- مدیریت گلخانه را تعریف کنید.
- ۲- گلخانه به چه مکانی اطلاق می‌شود؟
- ۳- ویژگی‌های محل احداث گلخانه را نام ببرید و توضیح دهید. در صورت رعایت نکردن این ویژگی‌ها، چه مشکلاتی پیش خواهد آمد؟
- ۴- عوامل مؤثر در انتخاب جهت گلخانه را نام ببرید و هر یک را توضیح دهید.
- ۵- مزایا و کاربردهای گلخانه را با ذکر مثال توضیح دهید.
- ۶- چرا کمیت و کیفیت محصولات گلخانه‌ای بیشتر از محصولات فضای آزاد است؟
- ۷- چگونگی تنظیم عرضه محصول را با توجه به نیاز بازار و با استفاده از گلخانه شرح دهید.

فصل دوم

انواع سازه‌های گلخانه‌ای

هدف‌های رفتاری

پس از مطالعه این فصل از خواننده انتظار می‌رود که:

- ۱- انواع طرح‌ها و شکل‌های گلخانه‌ای را بداند.
- ۲- مشکلات اصلی تولید محصولات گلخانه‌ای را در اقلیم‌های مختلف توضیح دهد.
- ۳- بارهای وارد بر سازه گلخانه را بداند و درباره هر یک توضیح دهد.
- ۴- برخی از سازه‌های مختلف گلخانه‌ای و استانداردهای مربوط به آنها را فرا گیرد.
- ۵- تقسیم‌بندی گلخانه‌ها بر اساس شکل آنها، کاربردها و مشخصات هر یک را توضیح دهد.
- ۶- انواع پوشش‌های گلخانه‌ای و خصوصیات آنها را بداند.
- ۷- مراحل احداث گلخانه را توضیح دهد.

۱-۲. سازه گلخانه^۱

گلخانه‌ها، سازه‌هایی هستند که باید شرایط رشد مطلوب گیاه را در تمام سال فراهم نمایند. گلخانه‌های تونلی کوتاه و بلند، باید شرایط اقلیمی گیاه را در مقایسه با اقلیم بیرون گلخانه اصلاح کنند. عواملی مانند نور، دما، رطوبت، دی‌اکسیدکربن و ترکیب هوای گلخانه، باید در سطحی بهینه نگه داشته شوند تا بتوانند بهترین شرایط لازم را برای رشد و فتوسنتز گیاه ایجاد کنند. گلخانه مناسب، گلخانه‌ای است که استحکام کافی داشته باشد و امکان بیشترین نفوذ نور را به داخل گلخانه فراهم سازد و در عین حال، کمترین اتلاف گرمایی را داشته باشد. برای استحکام بیشتر گلخانه و محافظت انرژی، بهتر است ارتفاع گلخانه کم باشد؛ اما در مقابل، اگر حجم و ارتفاع گلخانه زیاد باشد، کنترل عوامل اقلیمی داخل گلخانه راحت‌تر است. برای آنکه نفوذ نور به داخل گلخانه، یا استحکام گلخانه، حداکثر باشد، به سازه با مشخصات خاصی نیازمند است که ممکن است با سایر عوامل اقلیمی داخل گلخانه در تضاد باشد؛ مثلاً در گلخانه‌های چوبی به منظور افزایش استحکام گلخانه، از تعداد زیادی چوب در سقف گلخانه استفاده می‌شود، ولی این تعداد چوب بر روی سقف، سبب کاهش نفوذ نور به داخل گلخانه می‌گردد. بنابراین به طور کلی می‌توان گفت بهترین طرح گلخانه طرحی است که تعادل بین این عوامل مغایر (نفوذ نور، مقاومت گرمایی، استحکام و ترکیب هوای گلخانه) را فراهم سازد.

۲-۲. تطابق سازه گلخانه با نیازهای اقلیمی منطقه

سازه گلخانه نباید صرفاً بر اساس عرف محلی احداث شود بلکه در طراحی سازه باید به نیازهای اصلی کشت هر گیاه و شرایط اقلیمی هر منطقه توجه شود. بیشتر گیاهانی که در گلخانه پرورش داده می‌شوند، به گونه‌های گرمادوست تعلق دارند. برای اقلیم‌های گوناگون (معتدل، حاره‌ای، نیمه‌حاره‌ای و خشک کم باران)، گلخانه‌های مختلفی نیز توسعه یافته‌اند تا بتوانند بر مشکلات اصلی آب و هوایی هر منطقه فائق آمده و کنترل عوامل محیطی داخلی گلخانه را تسهیل نمایند.

۳-۲. مشکلات اصلی تولید محصولات گلخانه‌ای در اقلیم‌های مختلف

تولید محصولات گلخانه‌ای در اقلیم‌های مختلف، با مشکلاتی همراه است که به برخی از آنها اشاره می‌شود:

۲-۳-۱. گلخانه‌های اقلیم‌های معتدله (سردسیر)

الف- دمای کم محیط بیرون گلخانه در زمستان؛

ب- بارش برف و وزش باد؛

ج- نور ناکافی زمستان.

بنابراین گلخانه‌های این مناطق، باید دارای استحکام کافی در برابر بار ناشی از برف و باد، سیستم گرمایی کارآمد، هدایت نوری بالا، آفتاب‌گیری زیاد، به‌خصوص در نیمه دوم سال، تهویه و سایه‌دهی کافی در تابستان باشند.

۲-۳-۲. گلخانه‌های مناطق مدیترانه‌ای (نیمه حاره‌ای)

الف- دمای پائین‌تر از حد بهینه زیستی^۱ در شب‌های زمستان که گرمادهی را ضروری می‌سازد؛

ب- دمای بالا در طول روز، حتی در بهار؛

ج- رطوبت بالای محیط در شب؛

د- وزش باد؛

ه- کمبود دی‌اکسیدکربن در گلخانه‌های بسته در طی روز؛

و- کیفیت پائین آب و منابع آبی.

بنابراین گلخانه‌های اقلیم‌های مدیترانه‌ای، باید دارای استحکام بالا در مقابل باد، تهویه کارآمد، سیستم گرمایی مناسب برای شب، هدایت نوری بالا از طریق سازه و پوشش گلخانه و ناودان‌هایی برای جمع‌آوری آب باران برای آبیاری باشند. در این مناطق، به علت بسته بودن گلخانه و کاهش غلظت دی‌اکسیدکربن، غنی‌سازی گلخانه با دی‌اکسیدکربن ضروری است.

۲-۳-۳. گلخانه‌های نواحی خشک

الف- دما در طول روز ممکن است در گلخانه بی‌نهایت بالا رود؛

ب- احتمال وزش بادهای قوی همراه با گرد و غبار و شن وجود دارد؛

ج- رطوبت بیرون گلخانه کم است؛

د- غالب شب‌ها سرد است؛

ه- ذخایر آب، اغلب بدمزه و شور هستند.

بنابراین گلخانه‌های نواحی خشک، باید دارای تهویه مؤثر، استحکام کافی در مقابل باد و گرد و خاک، سازه ضد باد، خنک‌کننده تبخیری (در صورت نیاز) برای خنک‌کردن هوا و افزایش رطوبت نسبی گلخانه، سیستم کاهش تلفات حرارتی در شب و سیستم شوری‌زدایی آب باشند.

۲-۳-۴. گلخانه‌های نواحی حاره‌ای

هرچند اغلب گیاهان گلخانه‌ای متعلق به مناطق گرمسیر و نیمه گرمسیر هستند، ولی در مناطق حاره‌ای نیز، تولید گیاه در گلخانه سودمند و امکان‌پذیر است؛ زیرا تولید در هوای باز، تحت‌تأثیر بارندگی شدید و باد قرار دارد و بنابراین، تولید محصولات گلخانه‌ای می‌تواند در طول سال انجام شود. گلخانه‌های این مناطق باید دارای ویژگی‌های زیر باشند:

الف- در برابر بادهای شدید و بارندگی سنگین و تشعشع بالا محافظت شوند؛

ب- دارای سیستم تهویه قوی با بازده بالا باشند؛

ج- به علت تشعشع بالا، پوشش پلاستیکی گلخانه‌ها دوام کافی داشته باشند (حداقل یک ساله)؛

د- آب باران برای فصول خشک سال جمع‌آوری شود.

۲-۴-۴. سازه گلخانه و بارهای وارد بر آن

در گلخانه‌هایی که سازه‌های سبکی دارند، انتقال نور زیاد است؛ همچنین سازه‌ها باید فشارهای آب و هوای بیرون مانند برف، باران، باد و تگرگ را تحمل کنند. در بیشتر اوقات، خسارات وارده به گلخانه‌های با پوشش پلاستیکی، به وسیله طوفان و ریزش برف سنگین ایجاد می‌شود. با توجه به ضعیف بودن سازه‌های لوله‌ای و برای جلوگیری از صدمات شدید، سازه گلخانه باید مطابق با استانداردهایی محاسبه و طراحی شود تا تحمل حداقل بارهای مختلف را داشته باشد. در طراحی گلخانه بارهای مختلفی بر گلخانه وارد می‌شود که به آنها اشاره می‌شود:

۲-۴-۱. بار غیرزنده^۱

بار غیرزنده باید از روی واحد وزن سازه و مواد پوشش‌دهنده محاسبه شود. در بعضی از استانداردهای گلخانه، وزن وسایل تثبیت شده (در صورتی که به سازه گلخانه متصل باشند)، مانند سیستم حرارتی، سیستم روشنایی، آبیاری، پرده‌های حرارتی و سایبان نیز، به عنوان بار غیرزنده محسوب می‌شوند و در برخی دیگر از استانداردهای گلخانه، وزن تاسیسات را، حتی اگر دائمی باشند، در نظر نمی‌گیرند.

۲-۴-۲. بار محصول

به بار ناشی از وزن محصول، که به سازه گلخانه وارد می‌شود، بار محصول گفته می‌شود. در گلخانه‌ای که سازه‌ها محصول را نگه می‌دارند، این بار باید مورد توجه قرار گیرد؛ مثلاً حداقل بار عمودی بوته‌های گوجه‌فرنگی و خیار، ۰/۱۵ کیلو نیوتن بر متر مربع (kNm^{-2}) و گیاهان گلدانی

1. Dead load

آویز شده از سازه ۱/۰ کیلو نیوتن بر مترمربع (kNm^{-2}) است. هنگامی که محصول بر روی سیم‌های افقی آویخته می‌شود، نیروی کششی پخش شده در سازه نیز باید مد نظر قرار گیرد؛ مثلاً برای پرورش گوجه‌فرنگی و خیار، معمولاً بار افقی ۱/۲ کیلو نیوتن بر هر متر سیم (kNm^{-1}) وارد می‌شود.

۲-۴-۳. بار برف

بار ناشی از برف بر روی سطح افقی سقف گلخانه، از بار نقشه‌های برف و با ضرایب چندگانه تنظیم و محاسبه می‌شود. در هلند و آلمان برای گلخانه‌هایی که گرمادهی می‌شوند، حداقل بار برف، ۰/۲۵ کیلو نیوتن بر متر مربع (kNm^{-2}) تعیین می‌شود. بارهای ناشی از برف در نواحی کوهستانی بیشتر است.

۲-۴-۴. بار باد

بار ناشی از باد بر گلخانه به دو عامل بستگی دارد: (۱) به سطحی از گلخانه که تحت تأثیر فشار باد یا مکش باد قرار دارد و (۲) به ضریب فشار پویای باد. نیروی باد به صورت نیروهای فشار و مکش بر سطح گلخانه پدیدار می‌شود. فشار پویای باد نیز به ارتفاع مؤثر گلخانه بستگی دارد. ارتفاع گلخانه به صورت فاصله بین سطح زمین و متوسط ارتفاع بین ناودان یا لبه‌های بام و بلندترین نقطه سقف تعریف می‌شود (استاندارد ان ای ان ۳۸۵۹، ۱۹۹۰)^۱. هر چه ارتفاع گلخانه بیشتر باشد، ضریب فشار پویای باد نیز بیشتر است. شکل ۱ ضریب فشار باد را در گلخانه‌های مختلف نشان می‌دهد. در شکل ۲ نیز، بخش‌هایی از گلخانه، که نیروی فشار بیشتری بر آن وارد می‌شود، دیده می‌شود.

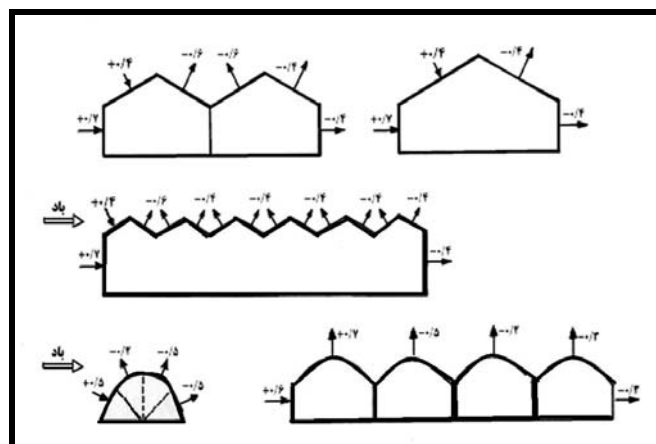
۲-۵. پی گلخانه

پی گلخانه باید تحمل حداکثر ترکیبی از بارهای وارده بر گلخانه را داشته باشد و آنها را به زمین انتقال دهد. به دلیل سبک بودن وزن اسکلت گلخانه، باید به قدرت پی گلخانه در برابر بلند شدن آن در اثر نیروی باد، توجه خاصی شود. لازم به ذکر است که پروفیل‌های (کمان‌های) استفاده شده در تونل‌های پلاستیکی، نباید خیلی سبک باشند؛ در غیر این صورت، کمان‌ها به وسیله نیروی باد از شکل طبیعی خارج می‌شوند.

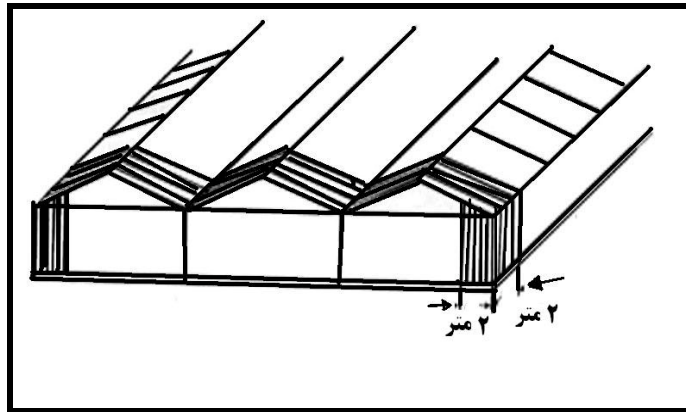
۲-۶. ارتفاع گلخانه

اگر دریچه‌های تهویه بر روی سقف و دیواره کناری گلخانه جاگذاری شوند، بازده تهویه از طریق تهویه طبیعی به ارتفاع گلخانه بستگی خواهد داشت. هر چه پنجره سقفی بلندتر و فاصله بین دریچه تهویه نصب شده در سقف و دیواره جانبی از یکدیگر بیشتر باشد، اختلاف فشار بیشتری ایجاد خواهد شد و بازده تهویه طبیعی افزایش خواهد یافت، زیرا بازده تهویه طبیعی، متناسب با اختلاف فشار است.

افزایش ارتفاع گلخانه، بار ناشی از باد را بر گلخانه افزایش می‌دهد و در نتیجه، قدرت اجزای سازه گلخانه کاهش می‌یابد. از آنجایی که نیاز حرارتی گلخانه به مساحت بیرونی آن بستگی دارد، با افزایش ارتفاع گلخانه، نیاز حرارتی آن افزایش می‌یابد. گلخانه‌های بلند با حجم زیاد، شرایط اقلیمی مناسبی را ایجاد می‌نمایند، ولی در این صورت نیاز گرمایی گلخانه نیز بیشتر می‌شود.



شکل ۱: ضریب فشار باد بر گلخانه

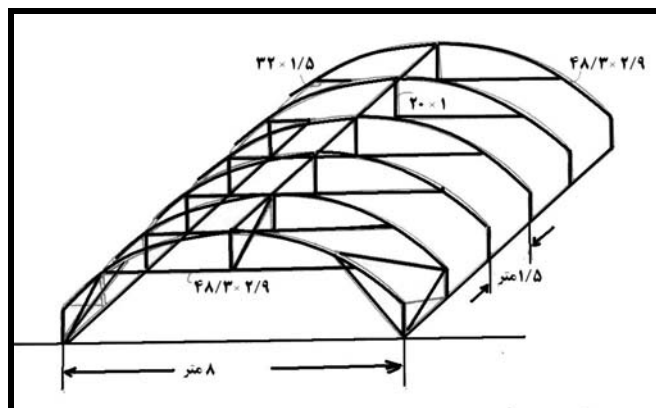


شکل ۲: بیشترین فشار باد به صورت موضعی بر سه گوش شیروانی و دیواره‌های کناری

۲-۷. معرفی برخی از استانداردهای سازه گلخانه

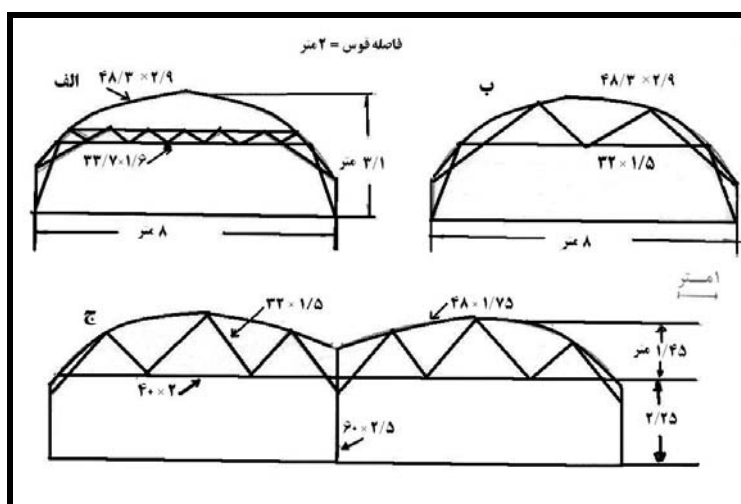
برخی از استانداردهای گلخانه‌های شیشه‌ای در چند کشور با اقلیم معتدل عبارتند از: فرانسه (افنور یو ۵۷-۰۶۰، ۱۹۸۹)^۱، آلمان (دی ای ان ۱۱۵۳۵، ۱۹۸۹)^۲، هلند (ان ای ان ۳۸۵۹، ۱۹۹۰)، آمریکا (ای اس ای ای-ای پی ۲۸۸-۴، ۱۹۹۰)^۳. در فرانسه از استاندارد (افنور یو ۵۷-۱۹۸۹، ۱۶۳) برای ساخت گلخانه‌های پلاستیکی و در انگلستان نیز استاندارد (سند بی اس آی شماره ۹۱، بی اس آی، ۱۹۹۱)^۴ استفاده می‌شود. اتحادیه اروپایی نیز استاندارد (سی ای ان، ۱۹۹۷)^۵ را برای همه کشورهای اروپایی طراحی کرده است. در تهیه استانداردهای گلخانه، بارهای اصلی (بار غیرزنده یا بار دائم، بار محصول، بار برف و بار باران)، باید مد نظر قرار گیرند.

-
1. Afnor u 57-060, 1989
 2. DIN 11535, 1982
 3. ASAE EP 288-4, 1990
 4. BSI Document No.91, BSI, 1991
 5. CEN, 1997



شکل ۳: گلخانه پلاستیکی با ابعاد محاسبه شده مطابق با استاندارد ان ای ان ۳۸۵۹

در شکل ۳، گلخانه‌ای پلاستیکی با ابعاد محاسبه شده و مطابق با استاندارد ان ای ان ۳۸۵۹ هلدن نشان داده شده است. جدول ۳ نیز، ابعاد لوله‌های مورد استفاده در گلخانه‌های تونلی تک‌دهانه (با، یا بدون دیواره جانبی عمودی ۱ متری) را با توجه به فواصل مختلف قوس‌ها (کمان‌ها) از یکدیگر نشان می‌دهد؛ مثلاً در صورتی که فاصله قوس‌ها از یکدیگر به جای ۲ متر، به ۱/۵ متر کاهش یابد، می‌توان ابعاد لوله‌های قوسی را کاهش داد. شکل ۴، سازه‌های مختلف گلخانه با تیرهای افقی داربستی و تقویت‌کننده‌های اضافی را نشان می‌دهد.



شکل ۴: گلخانه با پوشش پلاستیکی، داربست نگهدارنده و تقویت‌کننده‌های اضافی

جدول ۳: ابعاد لوله‌ها (برحسب میلیمتر) در گلخانه‌های تونلی تک‌دهانه با توجه به فاصله کمان‌ها از یکدیگر و عرض هر کمان

پهنا (عرض) کمان					فاصله قوس‌ها از یکدیگر (متر)
۸ متر		۶ متر		۴/۴ متر	
بدون دیواره کناری	با دیواره کناری	بدون دیواره کناری	با دیواره کناری	بدون دیواره کناری	
60×4	60×3	$60/3 \times 3$	60×2	$48/3 \times 2/9$	۲
$48/3 \times 2/9$	60×2	$48/3 \times 2/9$	$48/3 \times 2/9$	$42/2 \times 2/6$	۱/۵

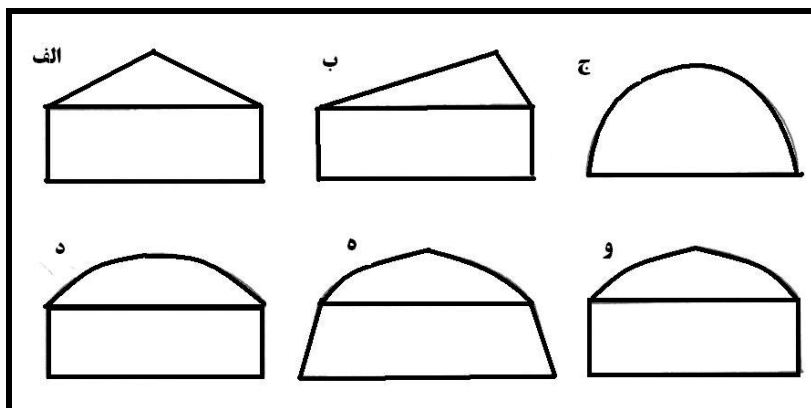
۲-۸. شیب سقف گلخانه

زاویه شیب سقف گلخانه، بستگی به شکل گلخانه و منطقه مورد استفاده دارد. شیب سقف گلخانه از دو نظر اهمیت دارد:

- الف- هر چه زاویه سقف گلخانه کمتر باشد، میزان نفوذ نور به داخل گلخانه بیشتر است؛
- ب- زاویه سقف گلخانه، در میزان ریزش قطرات ناشی از میعان بخار آب بر روی گیاهان داخل گلخانه مؤثر است؛ به طوری که هر چه این زاویه بیشتر باشد، میزان ریزش قطرات آب کمتر است.

۲-۹. گلخانه‌ها از نظر شکل

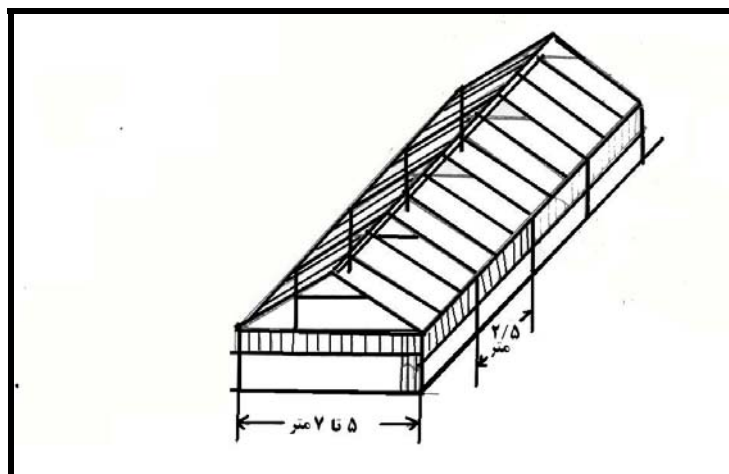
گلخانه باید شرایط اقلیمی مناسبی را برای رشد گیاه در داخل گلخانه فراهم نماید. شکل سازه گلخانه می‌تواند دمای داخل گلخانه، میزان رطوبت، انتقال نور و تهویه آن را تحت تأثیر قرار دهد. شکل‌های مختلف گلخانه‌های معمولی، در شکل ۵ نشان داده شده است.



شکل ۵: شکل‌های گلخانه‌ای موجود: دوطرفه، تونلی و قوسی نوک‌دار

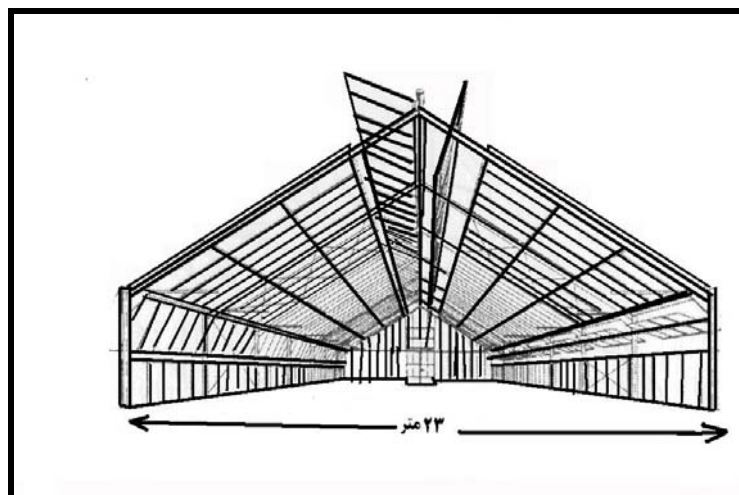
۲-۹-۱. گلخانه A شکل

در این نوع گلخانه، پهنای دو طرف سقف گلخانه یکسان است و به عبارت دیگر، شیب دو طرف سقف برابر است (شکل ۵ الف). معمولاً در این نوع گلخانه‌ها، شیب سقف ۳۵-۵۵ درجه است و به آنها، گلخانه‌های دوطرفه نیز گفته می‌شود. شکل ۶، گلخانه دوطرفه ساده^۱ و شکل ۷، گلخانه دوطرفه با دهانه پهن^۲ را نشان می‌دهد. این نوع گلخانه‌ها با مناطق سردسیر، که بارش برف زیاد است، سازگار هستند؛ زیرا برف به راحتی از روی آنها سر خورده و به پائین می‌ریزد.



شکل ۶: گلخانه دوطرفه تک واحدی ساده

1. Saddle roof construction
2. Wide span construction

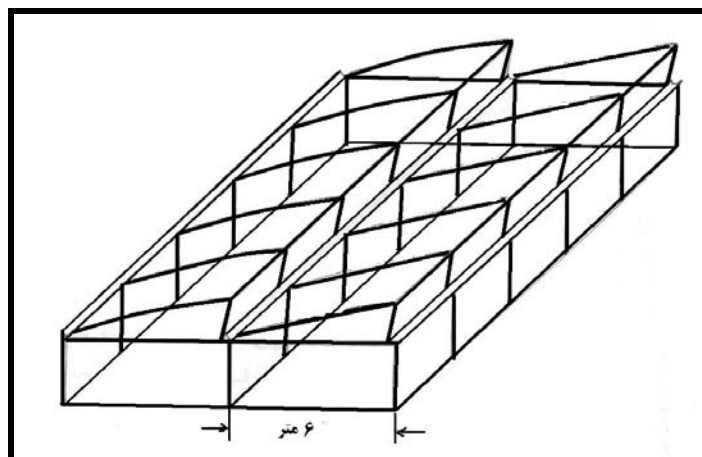


شکل ۷: گلخانه شیشه‌ای دوطرفه (A شکل) با دهانه پهن

نوع دیگری از این نوع گلخانه‌ها، گلخانه‌های نیمه‌دوطرفه هستند که شبیه گلخانه‌های دوطرفه می‌باشند، با این تفاوت که سقف آن از دو شیب نامساوی تشکیل شده است (شکل ۵ب). در این نوع گلخانه، از نور استفاده بهتری می‌شود.

در مناطقی که شدت نور در زمستان کم است، گلخانه با دو شیب نامساوی (نیمه‌دوطرفه) ساخته می‌شود که شیب سمت جنوبی آن، کمتر از شیب سمت شمالی است و در این حالت، نور بیشتری وارد گلخانه شده و از اتلاف گرما جلوگیری می‌شود؛ مثلاً اگر در گلخانه‌ای شیب سقف جنوبی و شمالی، به ترتیب ۲۵ و ۶۵ درجه باشد، مقدار نور وارد شده به گلخانه، بیشتر از گلخانه‌ای است که شیب سقف جنوبی و شمالی آن به ترتیب ۲۵ و ۵۵ درجه است.

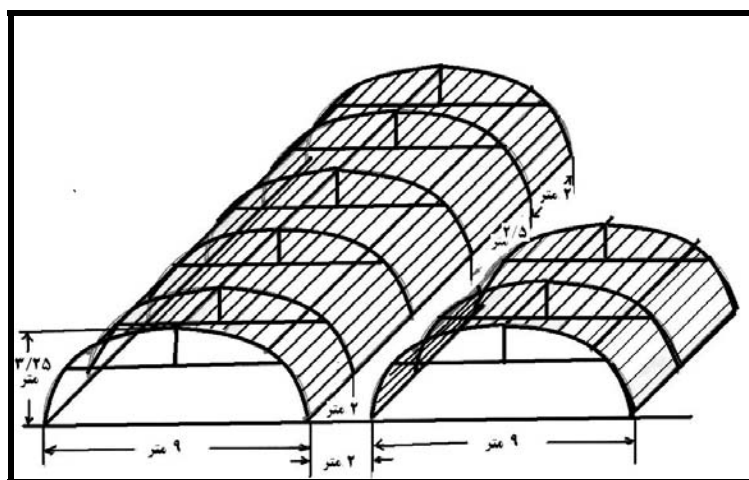
گلخانه‌های دوطرفه و نیمه‌دوطرفه را می‌توان به صورت تک‌واحدی یا به هم پیوسته (جوی و پشته‌ای) احداث نمود (شکل ۸). گلخانه‌های دوطرفه معمولاً با عرض ۶/۱-۹/۱ متر مورد استفاده قرار می‌گیرند.



شکل ۸: گلخانه به هم پیوسته دندان‌دار

۲-۹-۲. گلخانه نیم‌استوانه‌ای یا کوانست^۱

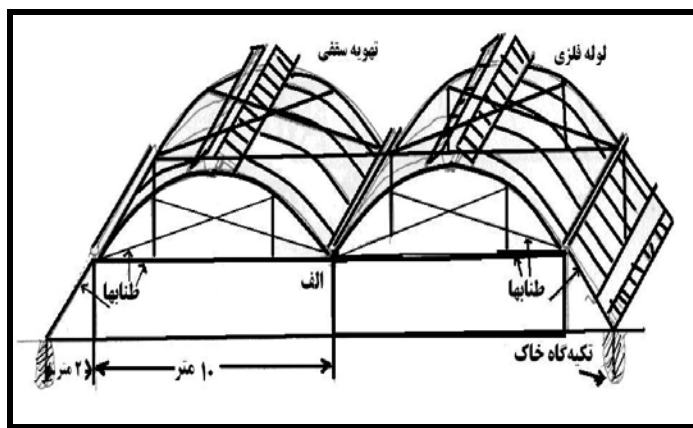
اسکلت این نوع گلخانه توسط لوله آب با قطرهای مختلف ساخته می‌شود و قوس ۱۸۰ درجه دارند (شکل ۵ج). این قوس‌ها توسط لوله‌های نگهدارنده، که در امتداد طولی گلخانه قرار گرفته‌اند، نگه داشته می‌شود (شکل ۹). نوع دیگری از این گلخانه‌ها، دیواره عمودی دارد و شیب قوس‌های آن، کمتر از گلخانه‌های بدون دیواره عمودی است (شکل ۵د).



شکل ۹: گلخانه نیم‌استوانه‌ای (ابعاد، فاصله قوس‌ها و داربست‌های نگهدارنده آن)

۲-۹-۳. گلخانه‌های قوسی نوک‌دار (گوتیک آرک)^۱

این نوع گلخانه‌ها در ابتدا، به عنوان جایگزین گلخانه‌های دوطرفه ساخته شدند؛ زیرا معمولاً گلخانه‌های دوطرفه دارای یک دسته ستون در زیر قسمت تاج گلخانه بودند که مشکلاتی را برای نصب پلاستیک دولایه به وجود می‌آورد. در این نوع گلخانه‌ها، کمان‌های دوطرف گلخانه در قسمت تاج گلخانه به یکدیگر متصل می‌شوند. گلخانه‌های مزبور، به دو شکل دارای دیواره عمودی (شکل ۵) و دارای دیواره شیب‌دار (شکل ۵) هستند. گلخانه‌های دارای دیواره شیب‌دار (شکل ۱۰)، نسبت به گلخانه‌های دارای دیواره عمودی، این مزیت را دارند که قطرات آب تشکیل شده بر روی پوشش پلاستیکی گلخانه به صورت آرام به سمت دو طرف گلخانه جریان می‌یابد و تا حدودی، از ریختن آنها بر روی سطح گیاهان داخل گلخانه جلوگیری می‌شود.



شکل ۱۰: گلخانه‌های قوسی نوک‌دار (گوتیک آرک) با دیواره شیب‌دار

۲-۱۰. گلخانه‌ها از نظر متصل یا منفک بودن

گلخانه‌هایی را که پیشتر به آنها اشاره شد (دوطرفه، تونلی و قوسی نوک‌دار)، می‌توان به صورت تک‌واحدی و به هم پیوسته^۲ (جوی و پشت‌های) احداث نمود. زمانی که دو یا چند گلخانه از طول به یکدیگر چسبیده باشند، به آن گلخانه به هم پیوسته یا جوی و پشت‌های گفته می‌شود. ناودان‌ها هم، مانند جوی یا زهکش، برای انتقال آب باران یا برف ذوب شده به کار می‌روند؛ در این حالت دیوار طولی بین گلخانه‌ها برداشته می‌شود و به این ترتیب ساختمانی به وجود می‌آید که دارای یک فضای داخلی بزرگ و واحد است.

1. Gothic arced

2. Multi span construction

در شکل ۱۱، یک گلخانه A شکل با طرح جوی پشت‌های (گلخانه نوع ونلو^۱)، در شکل ۱۲، یک گلخانه تونلی با طرح جوی پشت‌های و در شکل ۱۳ یک گلخانه گوتیک آرک با طرح جوی و پشت‌های نشان داده شده است.

حال با مقایسه این دو نوع گلخانه، به معایب و مزایا هر یک اشاره می‌شود:

الف- در گلخانه‌های تک‌واحدی، برف می‌تواند سر خورده و به پائین بریزد؛ اما در گلخانه‌های به‌هم‌پیوسته امکان سر خوردن و به پائین ریختن برف وجود ندارد، بلکه باید ذوب شود؛ بنابراین، این نوع گلخانه‌ها به اسکلت محکم‌تری نیاز دارند و در این حالت، وزن برف را در زمان طراحی گلخانه باید مد نظر داشت. به منظور ذوب کردن برف‌ها، لوله‌های حرارتی زیر ناودان‌ها قرار می‌گیرند.

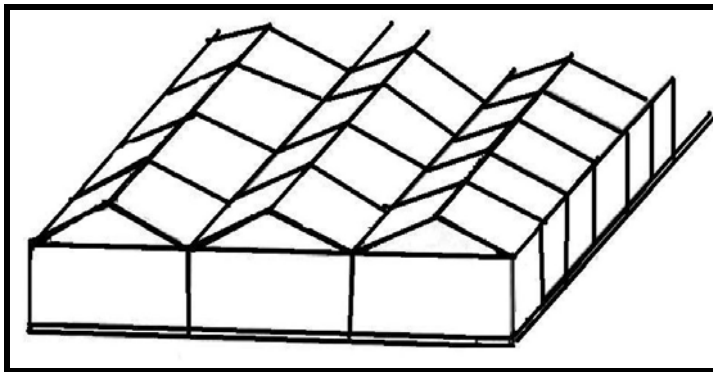
ب- در گلخانه‌های جوی پشت‌های، آب حاصل از باران یا ذوب شدن برف، قابل جمع‌آوری و استفاده برای گیاهان داخل گلخانه است؛ زیرا آب باران، آبی با کیفیت مناسب برای کشت‌های گلخانه‌ای محسوب می‌شود، اما در گلخانه‌های تک‌واحدی، انجام این عمل به سختی و با صرف هزینه زیاد امکان‌پذیر است.

ج- از آنجایی که در گلخانه‌های جوی پشت‌های دیواره میانی وجود ندارد، سطح تماس پوشش گلخانه‌ای با محیط بیرونی کم می‌شود و بنابراین، هم در مصرف پوشش گلخانه صرفه‌جویی شده و هم از اتلاف گرمای گلخانه جلوگیری می‌شود و در نتیجه تا ۲۷٪ می‌توان در مصرف سوخت صرفه‌جویی نمود.

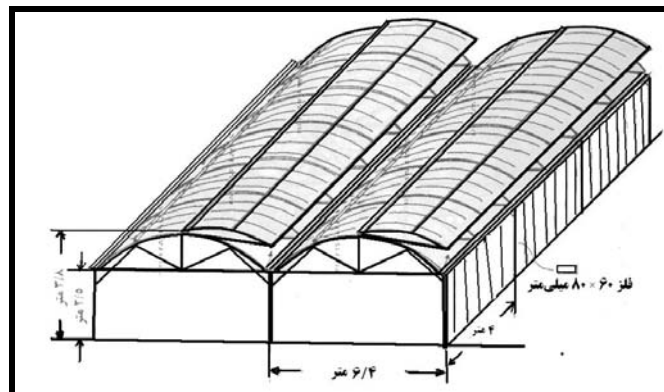
د- در گلخانه‌های تک‌واحدی، بین هر دو واحد مجزا باید ۲ متر فاصله گذاشت (شکل ۹) تا از سایه‌اندازی واحدها بر روی یکدیگر جلوگیری شود، اما در گلخانه‌های به‌هم‌پیوسته (جوی پشت‌های)، این اتلاف زمین وجود ندارد و به زمین کمتری نیاز است.

ه- گرم کردن گلخانه‌های تک‌واحدی آسان است اما به محض خاموش شدن منبع گرما (به هر دلیلی مانند قطعی برق)، این گلخانه گرمای خود را زود از دست می‌دهد؛ اما در گلخانه‌های به‌هم‌پیوسته، گرم کردن اولیه سخت است، ولی با خاموش شدن منبع گرما، حرارت خود را دیرتر از دست می‌دهند و کنترل عوامل اقلیمی در آنها راحت‌تر است.

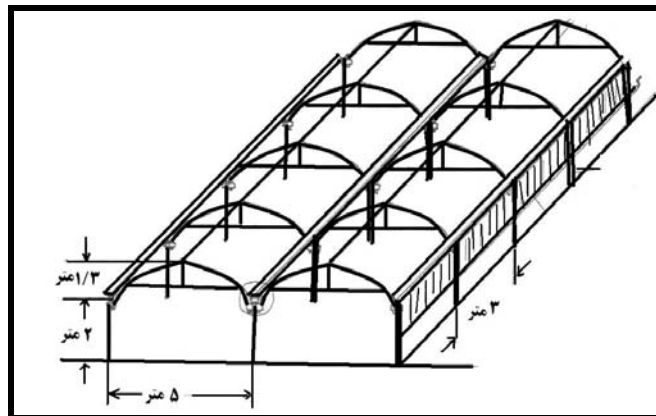
و- در گلخانه‌های به‌هم‌پیوسته به علت بزرگ بودن حجم گلخانه و داشتن یک فضای واحد، به نیروی کار کمتری نیاز است، هزینه اتوماسیون کاهش می‌یابد و مدیریت کارکنان و کنترل عوامل محیطی داخل گلخانه، راحت‌تر صورت می‌گیرد.



شکل ۱۱: گلخانه A شکل با طرح جوی پشته‌ای (نوع ونلو)



شکل ۱۲: گلخانه تونلی با طرح جوی پشته‌ای



شکل ۱۳: گلخانه قوسی نوک‌دار (گوتیک‌آرک) با طرح جوی و پشته‌ای

۲-۱۱. معیارهای انتخاب پوشش گلخانه

شیشه، پلاستیک‌های سخت و پلاستیک‌های سبک از جمله پوشش‌هایی هستند که برای گلخانه مورد استفاده قرار می‌گیرند. در تعیین نوع پوشش گلخانه باید به ویژگی‌های زیر توجه نمود:

- ۱- میزان انتقال نور، ۲- میزان انتقال طول موج‌های بلند مادون قرمز، ۳- میعان بخار آب در زیر پوشش گلخانه، ۴- طول عمر پوشش، ۵- ضریب اتلاف گرمای پوشش و ۶- پایداری در برابر باد، تگرگ و برف.

۲-۱۱-۱. میزان انتقال نور^۱

منظور از نور، دامنه‌ای از طول موج ماورای بنفش، نور مرئی و نزدیک به مادون قرمز (طول موج ۲۸۰ تا ۳۰۰۰ نانومتر) است. میزان نفوذ نور به داخل گلخانه، به موقعیت خورشید، جهت گلخانه، نوع پوشش گلخانه، میزان کثیف بودن پوشش گلخانه، اجزای سازه‌ای سقف گلخانه و میعان بخار آب در سطح داخلی پوشش گلخانه بستگی دارد. بخشی از نور مرئی خورشید از سطح پوشش گلخانه به داخل گلخانه نفوذ می‌کند و بخشی از انرژی تابشی خورشید، از طریق جذب یا انعکاس به وسیله پوشش گلخانه، سایه‌دهی سازه گلخانه، کثیف بودن مواد پوشش‌دهنده و میزان کدر شدن پوشش (در اثر افزایش سن مواد پوشش‌دهنده) از دست می‌رود و وارد گلخانه نمی‌شود. جدول ۴، میزان انتقال نور پوشش‌های مختلف را در حالت یک لایه و دولایه با یکدیگر مقایسه کرده است.

۲-۱۱-۲. میزان انتقال طول موج‌های بلند مادون قرمز (بیش از ۳۰۰۰ نانومتر)

انتقال تشعشع مادون قرمز (طول موج بلند ۳۰۰۰ نانومتر)، بر هدایت گرمایی مواد پوششی و دمای گیاه تأثیر می‌گذارد. اگر پوشش گلخانه، قابلیت انتقال اشعه مادون قرمز بالایی داشته باشد، تلفات گرمایی گلخانه بیشتر می‌شود و دمای گیاه در این گلخانه، کمتر از گلخانه‌هایی خواهد شد که پوشش آن، اشعه مادون قرمز کمتری را انتقال می‌دهد. در صورتی که سیستم گرمایی گلخانه به هر علتی قطع شود و پوشش گلخانه، انتقال دهنده نور مادون قرمز باشد، در شب‌های سرد که آسمان صاف است، گیاه صدمه می‌بیند. هر چه ضخامت پوشش گلخانه بیشتر باشد، انتقال طول موج‌های بلند مادون قرمز کاهش می‌یابد. پوشش‌های با لایه مرطوب، اشعه مادون قرمز را انتقال نمی‌دهند. جدول ۵، میزان انتقال نور مادون قرمز پوشش‌های مختلف را نشان می‌دهد.

جدول ۴: میزان انتقال نور مرئی برای پوشش‌های مختلف گلخانه‌ای

نوع پوشش	تعداد لایه	درصد انتقال
شیشه (حاوی فلز با دو برابر استحکام، ۳/۲ میلیمتر)	۱	۸۸
	۲	۷۷
شیشه (با درصد کم آهن، ۳/۲ میلیمتر)	۱	۹۰-۹۲
	۲	۸۱-۸۵
فایبرگلاس (FRP) (شفاف، ۰/۶۴ میلیمتر)	۱	۸۱
	۲	۷۷
پلی اتیلن (جاذب UV، ۴ تا ۶ میل)	۱	۸۷
	۲	۷۶
پلی اتیلن (جاذب IR، ۴ تا ۶ میل)	۱	۸۲
	۲	۶۷
پلی اتیلن (ضد قطره، ۸ میل)	۱	۹۰
وینیل شفاف	۱	۹۷
وینیل مات	۱	۸۹
پلی وینیل فلوراید PVF (۰/۱ میلیمتر)	۱	۹۲
	۲	۸۵
صفحات اکریلیک (۸ یا ۱۶ میلیمتر)	۱	۸۳
صفحات پلی کربنات (۸ یا ۱۶ میلیمتر)	۲	۷۹
پلی کربنات (جاذب اشعه UV)	۱	۸۶/۹
پلی استر	۰/۱۲	۹۴

جدول ۵: درصد انتقال تشعشع نور مادون قرمز از پوشش‌های مختلف گلخانه		
نوع پوشش	ضخامت (میلی‌متر)	درصد انتقال
پلی‌اتیلن	۰/۱	۷۲
پلی‌اتیلن	۰/۲	۵۵
پلی‌اتیلن (جاذب مادون قرمز)	۰/۲	۲۹
پلی‌اتیلن (ضد قطره)	۰/۱۸	۳۷
پلی‌اتیلن (جاذب مادون قرمز، ضد قطره)	۰/۱۸	۲۴
پلی‌اتیلن با لایه آب	-	۰
پلی‌اتیلن دولایه	۰/۱۵	۷۹/۶
پلی‌وینیل کلراید	۰/۱	۳۰
پلی‌وینیل کلراید	۰/۲	۱۷
آکرلیک دولایه	۸	۷۳/۹
پلی‌کربنات دولایه	۸	۷۶/۳
پلی‌کربنات دارای جاذب UV	۸	۸۵
فایبرگلاس (PFR)	۰/۶۴	۸۶/۶
شیشه	۳/۲	۰
پلی‌استر	۰/۱۲	۵

۲-۱۱-۳. میعان^۱ بخار آب در زیر پوشش گلخانه

فضای داخل گلخانه محیطی گرم و مرطوب است. هر گاه ذرات بخار آب داخل گلخانه به جسم سرد برخورد کنند، عمل میعان صورت می‌گیرد و ذرات بخار آب، به شکل قطره درمی‌آیند. از

1. Condensation

آنجا که پوشش گلخانه در تماس با فضای بیرون گلخانه است، ممکن است جسم سرد محسوب شود (با توجه به نوع پوشش) و قطرات آب بر روی سطح داخلی آن تشکیل گردد.

تشکیل قطره (میعان بخار آب) و چکیدن آب بر روی برگ گیاه یا روی خاک، سبب بروز مشکلاتی می‌شود: چکیدن قطرات آب بر روی سطح برگ‌ها، موجب افزایش رطوبت و شیوع بیماری‌های قارچی می‌گردد؛ از طرفی چکیدن آب بر روی سطح خاک، باعث اشباع شدن خاک آن قسمت از گلخانه خواهد شد که سبب خفگی ریشه و شروع فعالیت برخی عوامل بیماری‌زای خاکی می‌شود.

تشکیل قطرات آب، به طور قابل ملاحظه‌ای سبب افزایش انعکاس نور می‌شوند و انتقال نور را به گلخانه تونلی با پوشش پلاستیکی، ۱۵-۱۸ درصد کاهش می‌دهد (جدول ۶).

جدول ۶: انتقال نور از شیشه و لایه پلی اتیلنی خشک و مرطوب

درصد انتقال نور			
نوع پوشش	شیب سقف (درجه)	خشک	با میعان
شیشه	۱۵	۹۰/۸	۸۲/۷
	۳۰	۸۹/۹	۸۱/۹
لایه پلی اتیلنی	۱۵	۹۰/۸	۸۲/۷
	۳۰	۸۹/۹	۸۱/۹
لایه پلی اتیلنی (ضد قطره)	۱۵	۸۷/۱	۸۸/۱
	۳۰	۸۶/۴	۸۸/۳

میعان آب بر روی پوشش گلخانه به صورت ورقه‌ای است، اما در پوشش‌های پلاستیکی فراوری نشده، به علت نیروی کشش سطحی، چند قطره ریز به یکدیگر می‌پیوندند و قطرات آب بزرگ را تشکیل می‌دهند که به علت سنگینی، از سطح پوشش به سمت زمین می‌چکد؛ ولی در پلاستیک‌های فراوری شده (ضد قطره)، میعان به صورت ورقه‌ای است و به همین شکل و به تدریج، با جریانی باریک به سمت طرفین گلخانه هدایت می‌شوند. در صورتی که زاویه سقف خیلی کم باشد، قطرات از روی پلاستیک سر می‌خورد و گیاه را خیس می‌کنند و هر چه زاویه شیب کمتر باشد، قطرات آب بزرگتری تشکیل می‌شود. بر روی شیشه نیز، میعان آب به صورت ورقه‌ای تشکیل می‌شوند که دارای جریان آبروی بوده ولی به پائین نمی‌افتند.

در برخی موارد، برای جلوگیری از تشکیل قطرات بزرگ آب، با پاشیدن^۱ برخی مواد پاک‌کننده بر روی سطح داخلی پوشش پلاستیکی، کشش سطحی را کاهش می‌دهند، اما این مواد خیلی زود شسته شده و اثر خود را از دست می‌دهند.

راهکار دیگر برای جلوگیری از تشکیل قطرات آب بر روی پوشش گلخانه، استفاده از پوشش‌های پلی‌اتیلن دولایه است؛ در این حالت، پوشش داخلی گلخانه، جسم گرم محسوب می‌شود و با برخورد بخار آب به آن، میعان صورت نمی‌گیرد.

روش دیگر، افزایش تهویه و دمای گلخانه است؛ بدین صورت که با انجام تهویه و ورود هوای تازه به داخل گلخانه، مقداری از هوای مرطوب داخل گلخانه کاهش می‌یابد؛ همچنین گرم کردن گلخانه سبب می‌شود که هوای گرم، بخار آب بیشتری را در خود جای دهد و از میزان رطوبت نسبی گلخانه کاسته شود.

۲-۱۱-۴. طول عمر پوشش گلخانه

طول عمر پوشش‌های مختلف گلخانه‌ای بسیار متفاوت است؛ به نحوی که طول عمر شیشه به اندازه طول عمر گلخانه‌دار است ولی طول عمر پلی‌اتیلن‌های معمولی، کمتر از یک سال است. آنچه که سبب کاهش طول عمر پوشش گلخانه می‌شود، میزان اشعه ماورای بنفشی است که از پوشش گلخانه عبور می‌کند و وارد گلخانه می‌شود. اشعه ماورای بنفش، موجب از بین رفتن پلاستیک می‌شود؛ بنابراین با افزودن مواد جاذب اشعه ماورای بنفش (UV) به پلاستیک، میزان انتقال این اشعه را کاهش می‌دهند تا طول عمر پوشش گلخانه افزایش یابد. جدول ۷، میزان انتقال اشعه ماورای بنفش پوشش‌های مختلف گلخانه را نشان می‌دهد.

۲-۱۱-۵. ضریب اتلاف گرمای پوشش گلخانه

پوشش‌های مختلف، ضریب اتلاف گرمایی مختلفی دارند (جدول ۸) و هرچه این ضریب بیشتر باشد، اتلاف گرمای گلخانه و مصرف سوخت بیشتر است.

جدول ۷: درصد انتقال اشعه ماورای بنفش توسط پوشش‌های مختلف گلخانه‌ای

نوع پوشش	درصد انتقال
اتیل‌وینیل‌استات	۴-۱۸
پلی‌اتیلن دولایه	۴۷/۹
پلی‌وینیل‌کلراید	۰
آکریلیک دولایه	۴۴/۷
پلی‌کربنات دولایه	۱۸/۱
پلی‌کربنات دارای جاذب UV	۱۰
فایبرگلاس (PFR)	۱۹/۶
شیشه	۰

جدول ۸: ضریب انتقال گرما برای پوشش‌های مختلف گلخانه در سرعت باد (۱۵ Km/h)

نوع پوشش	^۱ W	^۲ Btu	^۳ Kcal
شیشه تک‌جداره	۶/۴	۱/۱۳	۴/۴۸
شیشه دوجداره	۳/۹۷	۰/۷	۲/۷۷
پلی‌وینیل‌کلراید (PVC) سخت	۵/۲۱	۰/۹۲۳	۳/۶۶
فایبرگلاس (FRP) موج‌دار	۶/۸	۱/۲	۴/۷۶
پلی‌کربنات (پانل ۶ میلیمتری)	۴/۰۸	۰/۷۲	۲/۸۵
اکریلیک یا پلی‌کربنات (۸ میلیمتری)	۳/۶۹	۰/۶۵	۲/۵۸
اکریلیک یا پلی‌کربنات (۱۶ میلیمتری)	۳/۲۹	۰/۵۸	۲/۳۰
پلی‌اتیلن یک‌لایه (۶ میل، جاذب UV)	۶/۸	۱/۲	۴/۷۶
پلی‌اتیلن یک‌لایه (۶ میل، جاذب UV)	۳/۹۷	۰/۷	۲/۷۷
پلی‌وینیل‌فلوراید (PVF) دولایه	۴/۳۱	۰/۷۶۶	۳/۰۳

۱- $W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$ (وات در هر متر مربع پوشش به‌ازای هر یک درجه کلون اختلاف دما)۲- $Btu \cdot ft^{-2} \cdot hr^{-1} \cdot ^\circ F^{-1}$ (بی‌تی‌یو در هر فوت مربع پوشش در هر ساعت به‌ازای هر یک درجه فارنهایت اختلاف دما)۳- $Kcal \cdot m^{-2} \cdot hr^{-1} \cdot ^\circ C^{-1}$ (کیلوکالری در هر متر مربع پوشش در هر ساعت به‌ازای هر یک درجه سانتیگراد اختلاف دما)

۲-۱۱-۶. پایداری در برابر باد، تگرگ و برف

پوشش‌هایی که مقاومت بیشتری در برابر وزش باد و بارش برف و تگرگ داشته باشند، بهتر هستند؛ مثلاً شیشه در مقابل باد، مقاوم ولی در برابر بارش تگرگ حساس است. در صورتی که پوشش‌های پلاستیکی سبک، مقاومت کمتری در برابر باد دارند.

۲-۱۲. پوشش‌های گلخانه‌ای و خصوصیات آنها

۲-۱۲-۱. شیشه

شیشه گران‌ترین پوشش مورد استفاده در گلخانه است که طول عمر آن بسیار بالاست، به شرطی که با طوفان یا تگرگ آسیب نبیند؛ نور هم تأثیری بر پایداری و طول عمر آن ندارد. معمولاً ضخامت شیشه‌های مورد استفاده، ۳-۵ میلیمتر و طول آن ۲۰-۵۰ سانتیمتر است. شیشه، نور ماورای بنفش و مادون قرمز را از خود عبور نمی‌دهد ولی می‌تواند نور مرئی را، در حالتی که کاملاً تمیز باشد، به میزان ۸۹-۹۲٪ عبور دهد و مقدار کمی از نور را جذب یا منعکس کند. شیشه‌های مشجر، که دارای سطح زمخت و ناهمواری هستند، نور را به صورت یکنواخت در تمام فضای گلخانه پخش می‌کنند و باعث رشد یکنواخت گیاهان می‌شوند. شیشه‌های دوجداره، دارای دو لایه شیشه به فاصله ۰/۰۶-۱/۲ سانتیمتر از یکدیگر هستند که در بین این فضا، هوا قرار داشته و به عنوان عایق حرارتی عمل می‌کند. نصب شیشه مشکل‌تر از سایر پوشش‌ها است، چون در مقابل ضربات احتمالی مقاوم نیست و بهتر است قطعات کوچک آن استفاده شود. شکاف بین شیشه‌ها و قاب‌ها، باید کاملاً مسدود شود تا از نفوذ سرما و آب به داخل گلخانه جلوگیری کند و هزینه گرم کردن گلخانه کاهش یابد. اگر شیشه دارای مقدار کمی آهن باشد، میزان انتقال نور آن، ۹۰-۹۲٪ اما در شیشه‌های بدون آهن، میزان انتقال نور کمتر (۸۸٪) است.

۲-۱۲-۲. پلاستیک‌های سبک

۲-۱۲-۲-۱. پلی‌اتیلن

پلی‌اتیلن بیشترین استفاده را در پوشش گلخانه دارد و میزان عبور نور آن ۸۸-۹۰٪ است که در مقایسه با شیشه کمتر است. پلی‌اتیلن‌های معمولی، نور ماورای بنفش را از خود عبور می‌دهند. این اشعه، به ویژه در فصل تابستان، باعث از بین رفتن پلاستیک و یکبار مصرف شدن آن می‌شود؛ همچنین باعث شکنندگی، تیرگی و در نهایت پارگی پلاستیک می‌گردد. با افزودن مواد جاذب اشعه ماورای بنفش، طول عمر پلاستیک به ۳-۴ سال افزایش می‌یابد، به شرطی که در این مدت، عواملی مانند باد و تگرگ سبب پاره شدن پلاستیک نشوند؛ این مواد، تثبیت‌کننده

اشعه ماورای بنفش بوده و با تغییر دادن طول موج این اشعه، آن را به طول موج‌های مفید برای رشد گیاه تبدیل می‌کنند. معمولاً پلاستیک‌ها، دارای ۳-۱۱ درصد مواد جاذب اشعه ماورای بنفش هستند. طول عمر پلاستیک جاذب اشعه ماورای بنفش، سه تابستان و دو زمستان است. پلی‌اتیلن معمولی در برابر اشعه مادون قرمز، مانع ضعیفی است. به کار بردن مواد نگهدارنده اشعه مادون قرمز در ساخت پلی‌اتیلن، باعث نگهداری حدود نصف گرمای تابشی در داخل گلخانه می‌شود و از خروج آن جلوگیری می‌کند؛ زیرا گیاهان، مانند هر جسم دیگری، در روز انرژی نورانی خورشید را جذب می‌کنند و در شب، به صورت اشعه مادون قرمز به اطراف می‌تابانند و در نتیجه، مقدار زیادی از گرما به هدر می‌رود؛ اما شیشه، مانع از خروج گرمای تابشی مادون قرمز از داخل گلخانه می‌شود و بنابراین، اتلاف گرما از طریق تابش در شیشه کم است. اشعه مادون قرمز تأثیری بر روی طول عمر پوشش گلخانه ندارد. با کمک مواد بازدارنده خروج اشعه مادون قرمز، می‌توان از خاصیت گرمایی آن استفاده کرد؛ این مواد مانع از خروج اشعه مادون قرمز از گلخانه و باعث حفظ حدود ۵۰ درصد گرمای تابشی می‌شود.

پلی‌اتیلن نسبت به شیشه، حرارت بیشتری را به داخل گلخانه منتقل می‌کند، هزینه اولیه آن کمتر از شیشه و در اسکلت‌های موقت و دائمی قابل استفاده است. پوشش پلی‌اتیلن، اجازه عبور دی‌اکسیدکربن و اکسیژن را می‌دهد ولی قابلیت عبور دی‌اکسیدکربن از پوشش پلی‌اتیلن سه برابر اکسیژن است. میزان اکسیژن و دی‌اکسیدکربن در گلخانه‌های پلی‌اتیلنی، کمتر از گلخانه‌های شیشه‌ای است.

رطوبت داخل گلخانه‌های با پوشش پلاستیکی زیاد است و برخورد هوای گرم و مرطوب داخل گلخانه با پلی‌اتیلن سرد، باعث تبدیل بخار به قطرات آب بر روی سطح داخلی پلی‌اتیلن می‌گردد (میعان بخار آب) که خود، سبب افزایش شیوع بیماری‌های قارچی، سوختگی سطح برگ به علت بروز حالت ذره‌بینی و کاهش انتقال نور به داخل گلخانه می‌شود. با روش‌های زیر می‌توان از میعان آب در سطح زیرین پوشش گلخانه جلوگیری نمود:

الف - تهویه مناسب و تنظیم گرمای گلخانه

هر چه دمای محیط بالاتر باشد، مقدار بخار آب بیشتری را در خود جای می‌دهد و با سرد شدن هوا، بخار آب اضافی به صورت قطرات آب و شبنم آزاد می‌شوند؛ همچنین با تهویه مناسب و خارج کردن هوای مرطوب داخل گلخانه و جایگزینی آن با هوای بیرون، می‌توان شدت میعان بخار آب را کاهش داد.

ب- استفاده از پوشش پلاستیکی دو لایه

در این حالت، پوشش بیرونی گلخانه جسم سرد و پوشش داخلی، جسم گرم محسوب می‌شود و بخار آب داخل گلخانه با برخورد به پوشش داخلی تبدیل به قطرات آب نخواهد شد. ج- پاشیدن مواد پاک‌کننده بر روی سقف داخلی پوشش گلخانه، باعث دفع سریع‌تر آب شده و قطرات آب به صورت ریزتر و سریع‌تر به سمت کناره‌ها جاری می‌شوند.

د- استفاده از پلاستیک‌های پلی‌اتیلن ضد قطره (آنتی‌فوگ)^۱

پلاستیک‌های پلی‌اتیلنی در عرض‌های ۳/۰-۴/۱۵ متر و ضخامت ۱-۱۰ میل (۲۵-۲۵۰ میکرون یا ۰/۲۵-۰/۲۵ میلیمتر) تولید می‌شوند و از واحدهای میل و میلیمتر، برای تعیین ضخامت این نوع پلاستیک‌ها استفاده می‌شود. هر میل، معادل ۰/۰۲۵ میلیمتر است.

طاقه‌های پلاستیک موجود در بازار، در عرض ۸ متر و طول ۵۰ متر (مساحت ۴۰۰ مترمربع و وزن طاقه ۸۰ کیلوگرم)، یا عرض ۱۴ متر و طول ۴۳ متر (مساحت ۶۰۰ مترمربع و وزن ۱۱۸ کیلوگرم) برای پوشش گلخانه در دسترس هستند.

اخیراً در فناوری ساخت پلی‌اتیلن، علاوه بر پلاستیک یک‌لایه، پلی‌اتیلن‌های سه، پنج و هفت لایه نیز تولید می‌شوند که در بین آنها، نوع سه‌لایه به دلیل کیفیت و قیمت مناسب، بیشتر استفاده می‌شود. این نوع پلاستیک، حاوی سه لایه خارجی، میانی و درونی است.

در ورقه‌های سه‌لایه، لایه درونی حاوی ماده ضدقطره است؛ این ماده شیمیایی، کاملاً با پلی‌اتیلن سازگار نیست و نیروهای دافع باعث می‌شوند که عامل مذکور از لایه درونی، که این عامل را نگه نمی‌دارند، به آسانی خارج شود و به همین دلیل این پلاستیک، فقط چند سال دوام دارد.

ماده شیمیایی بازدارنده مادون قرمز نیز، در لایه درونی قرار می‌گیرد و باعث کاهش دوام پلی‌اتیلن می‌شود؛ اگر پلی‌اتیلنی که حاوی این ماده است کشیده شود، تیره می‌گردد و با کم کردن عامل بازدارنده مادون قرمز در بخش درونی، می‌توان به پلاستیک سه‌لایه‌ای دست یافت که به طور عجیبی محکم و شفاف است و تا حد زیادی مشکل تیره شدن آن برطرف شده است؛ این عامل، استحکام ورقه‌های پلاستیکی را نیز افزایش می‌دهد.

در مواردی که از پلاستیک دولایه استفاده می‌شود، اگر پلاستیک لایه بیرونی (با ضخامت ۶ میل) حاوی ماده بازدارنده اشعه ماورای بنفش باشد، پوشش درونی، حتی با ضخامت کمتر (۴ میل) نیز، می‌تواند چند سال دوام داشته باشد. پلاستیک‌های سه‌لایه، با نام تجاری

کریتی فیل^۱، دارای ۱۲ درصد مواد بازدارنده اشعه ماورای بنفش و ضخامت ۱۰۰ میکرون (۰/۰۱ میلی متر) هستند.

۲-۱۲-۲. پلی وینیل فلوراید (PVF)

پلی وینیل فلوراید به دلیل عمر زیاد، به عنوان پوشش محافظ بر روی صفحات فایبرگلاس به کار می رود و طول عمر آن ۱۰ سال یا بیشتر، گران تر از پلی اتیلن و مقاوم به ساییدگی و طوفان است؛ این پوشش، اشعه ماورای بنفش را از خود عبور نمی دهد و به همین دلیل، عمر آن بیشتر از پلی اتیلن است. نام تجاری ورقه های (PVF)، تدلار^۲ و طول عمر آن حدود ۸ سال است که ۴ سال بیشتر از پلی اتیلن و ۲ سال بیشتر از پلی وینیل کلراید (PVC)، جاذب اشعه ماورای بنفش است. انتقال نور آن در ورقه ۴ میل (۰/۰۱ میلی متر)، حدود ۹۲٪ و مقاومت کششی آن، ۴ برابر پوشش های پلی اتیلنی به ضخامت ۶ میل (۰/۱۵ میلی متر) است.

پوشش های وینیلی قابلیت تجمع الکتریسته ساکن را دارند و باعث جذب و نگهداری غبار می شوند و در نتیجه، موجب کاهش انتقال نور شده و باید شسته شود.

قیمت این پوشش ها گران است، اما به علت طول عمر بیشتر، شاید از نظر اقتصادی مقرون به صرفه باشد. پوشش (PVF) در عرض ۳/۲-۲/۶ متری و طول ۶۷ متر و ضخامت ۰/۰۵-۰/۰۸ میلی متر عرضه می شود.

۲-۱۲-۳. پوشش های پلاستیکی سخت^۳

۲-۱۲-۳-۱. پلی وینیل کلراید (PVC)

در گلخانه ها از این پوشش تقریباً دیگر استفاده نمی شود؛ زیرا این پوشش، زمانی به بازار عرضه شد که پلی اتیلن فقط یک سال عمر داشت، ولی با عرضه پلی اتیلن هایی که تا ۴ سال عمر می کنند، استفاده از این پوشش مقرون به صرفه نیست؛ چون قیمت آن بسیار گران تر و نصب آن مشکل تر از پلی اتیلن است و در اثر اشعه ماورای بنفش، تخریب و سبب تیرگی و شکنندگی آن می شود؛ به طوری که در ابتدا، میزان عبور نور از آن کاهش می یابد و بعد از مدتی می شکنند.

۲-۱۲-۳-۲. فایبرگلاس (FRP)

فایبرگلاس پوشش مقاومی است که صفحات موج دار آن به دلیل استحکام و طول عمر بالا، در سقف گلخانه ها استفاده می شود و صفحات مسطح آن، در دیوارهای جانبی و انتهای گلخانه

-
1. Kraitiphyle
 2. Tedlar
 3. Rigid plastic film

(قسمت‌هایی که سنگینی بار نیروهای وارده به گلخانه مانند باد بیشتر است) به کار می‌رود. صفحات فایبرگلاس در پهنای ۱/۳ و طول ۷/۳ متر عرضه می‌شوند و به دلیل خاصیت انعطاف‌پذیری بالا، به راحتی بر روی گلخانه‌های نیم‌استوانه‌ای (کوانست) قابل نصب هستند. مزایای صفحات FRP عبارتند از:

الف- ورقه‌های فایبرگلاس در مقابل عوامل شکننده‌ای مانند تگرگ، یا عوامل مخرب دیگر، مقاوم هستند؛

ب- نور خورشید با عبور از صفحات فایبرگلاس توسط الیاف آن پخش می‌شود و در نتیجه باعث یکنواختی شدت نور در داخل گلخانه می‌شوند (همانند شیشه مشجر)؛

ج- این ورقه‌ها، انتقال نور بالایی دارند، تا حدی که صفحات شفاف فایبرگلاس به اندازه شیشه، نور را عبور می‌دهند؛

د- خنک کردن گلخانه با پوشش فایبرگلاس راحت‌تر از گلخانه شیشه‌ای است (حدوداً ۱۹ درصد به انرژی کمتری نیاز دارد)؛

ه- زمانی که از ورقه‌های فایبرگلاس موج‌دار استفاده می‌شود، قطرات آب حاصل از میعان، در طول فرورفتگی‌های ورقه‌های فایبرگلاس جریان می‌یابد و بدون ریزش بر روی سطح گیاهان، به سمت کناره‌های گلخانه جریان می‌یابند.

معایب صفحات فایبرگلاس عبارتند از:

۱- صفحات فایبرگلاس در برابر ساییدگی و خوردگی قرار می‌گیرند و به تدریج بر روی آنها، گرد و غبار جمع شده و مکان مناسبی برای رشد جلبک‌ها می‌شود و در نتیجه، میزان انتقال نور از آن کاهش می‌یابد؛

۲- استفاده از این صفحات، خطر آتش سوزی گلخانه را به دنبال دارد؛

۳- نسبت به پلی‌اتیلن بسیار گران‌تر هستند.

۲-۱۲-۳. پلی‌کربنات و اکریلیک

این صفحات به صورت دولایه‌ای و محکم، با طول عمر ۱۰ سال، برای استفاده در گلخانه عرضه می‌شوند که بیشتر در گلخانه‌های تحقیقاتی و کمتر در گلخانه‌های تجاری به کار می‌روند. این صفحات به خاطر سختی‌شان، بیشتر در دیواره‌های ابتدا و انتهای گلخانه استفاده می‌شوند (شکل ۱۴).

صفحات اکریلیک، برخلاف پلی‌کربنات‌ها، به شدت قابل اشتعال‌اند. این صفحات در ضخامت‌های مختلف ۸-۱۶ میلیمتر عرضه می‌شوند که صفحات ضخیم، قابل خم شدن نیستند اما صفحات نازک‌تر، خم می‌شوند و برای گلخانه‌های دارای سقف خمیده مناسب‌اند.

میزان اتلاف گرمای اکریلیک و پلی کربنات با توجه به ضخامتشان، تقریباً نصف اتلاف گرما از طریق شیشه و قابلیت انتقال نور این صفحات، کمتر از شیشه است ولی مقاومت آنها به شرایط آب و هوایی، بیشتر از شیشه است؛ لذا این نوع صفحات، مقاوم به فشار، ولی شکننده هستند.

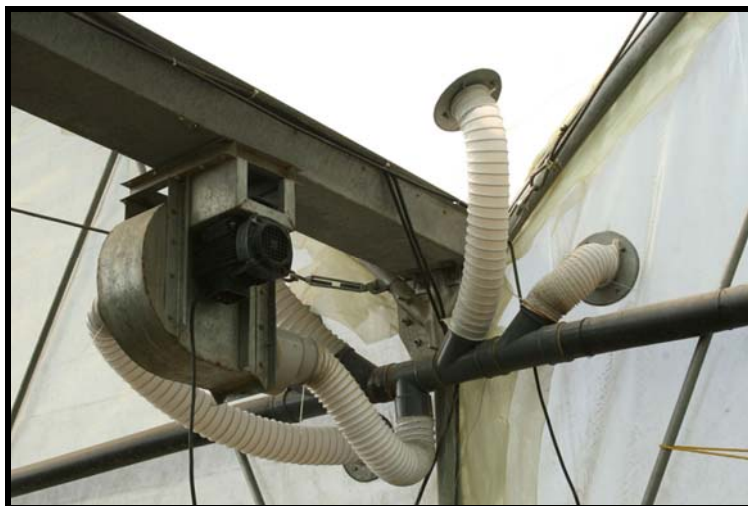


شکل ۱۴: پوشش سخت پلی کربنات برای دیواره ابتدایی و انتهایی گلخانه

۲-۱۳. پلی اتیلن دولایه و مزایای استفاده از آن

امروزه در اغلب گلخانه‌ها با استفاده از پوشش پلاستیکی دولایه، تا ۴۰٪ در مصرف سوخت صرفه‌جویی می‌شود. در این نوع پوشش، دو لایه پلاستیک بر روی یکدیگر قرار می‌گیرند و توسط بالشتکی از هوای فشرده از یکدیگر جدا می‌شوند. یکی از پوشش‌های پلاستیکی دولایه‌ای مناسب برای این کار، پلی اتیلن‌های هستند که طول آنها به اندازه طول گلخانه و عرض آنها به اندازه‌ای است که قوس هر واحد از گلخانه را، به صورت کامل تحت پوشش قرار دهد. این صفحات، در دو طرف جانبی گلخانه‌های تونلی، به زمین متصل می‌شوند اما نباید بر روی سقف گلخانه محکم شوند بلکه بایستی به طول چند سانتیمتر بر روی هم قرار بگیرند و در قسمت‌های انتهایی گلخانه محکم شوند. بسیاری از گلخانه‌ها، با بست‌های شیاردار پلاستیکی یا فلزی، پوشش‌های پلاستیکی را محکم به اسکلت گلخانه نگه می‌دارند. معمولاً لایه بیرونی پلاستیک، باید حاوی ماده جاذب اشعه ماورای بنفش (UV) و به ضخامت ۶ میل (۰/۱۵ میلیمتر) و ضخامت لایه داخلی ۴ میل (۰/۱ میلیمتر) باشد؛ زیرا میزان اشعه ماورای بنفش در این محل کمتر است. یک کمپرسور هوا در داخل گلخانه برای دمیدن هوا بین دو لایه پلاستیکی تعبیه می‌شود (شکل ۱۵). وجود یک

دستگاه فشارسنج، برای تعیین میزان فشار هوا در بین دولایه پلاستیک ضروری است و باید فشار هوا بین دو لایه پلاستیک، ۵/۱-۷/۶ بار (سانتیمتر ستون آب)، نگه داشته شود. فشارهای بالاتر از ۱۳ بار، هنگام وزش باد شدید استفاده می‌شود. به دلیل کشیده شدن زیاد دولایه، نباید از فشار زیادی استفاده گردد. کمپرسور باید دارای دریچه‌ای قابل تنظیم، برای کنترل فشار هوای بین دولایه باشد.



شکل ۱۵: پمپ هوای (کمپرسور) مورد استفاده برای پوشش پلی اتیلن دولایه

در زمان بارش برف، وقتی که برف بر روی سقف گلخانه می‌چسبد، باید کمپرسور خاموش شود؛ این کار باعث می‌شود که هوای بین دولایه خارج گردد و دولایه پلی اتیلن به هم چسبیده و تاثیر عایقی فضای هوای مرده از بین برود؛ در نتیجه، گرمای بیشتری از پوشش عبور می‌کند و سبب ذوب شدن برف و از بین رفتن فشار حاصل از وزن برف بر روی سقف می‌شود. معمولاً کمپرسور بر روی دیوار انتهایی گلخانه نصب می‌شود؛ بدین ترتیب که سوراخی بر روی دیوار انتهایی گلخانه تعبیه و لوله کمپرسور به آن متصل می‌گردد؛ به نحوی که هوای مورد نیاز کمپرسور، از هوای بیرون گلخانه تأمین شود. اگر برای تأمین هوای بین دو لایه، از هوای گرم و مرطوب داخل گلخانه استفاده شود، این هوا پس از ورود بین دو لایه، سرد شده و سپس بخار آب آن به مایع تبدیل خواهد شد. ولی در صورتی که از هوای بیرون گلخانه استفاده شود، چون هوای بیرون سردتر از هوای بین دو لایه پلاستیکی است، با ورود آن به فضای بین دو لایه، منبسط

می‌شود و این عمل، به کنترل تراکم بین دو لایه پلاستیک کمک می‌کند؛ اما ممکن است این تراکم، مقدار نور را کمی کاهش دهد.

مزیت دیگر استفاده از پوشش دولایه، افزایش طول عمر پلاستیک‌ها است؛ زیرا لایه خارجی پلاستیک، بر روی بالشتکی از هوا قرار می‌گیرد. پلاستیک‌های یک‌لایه به علت بلند شدن و افتادن در اثر وزش باد و برخورد مکرر به اسکلت گلخانه، فرسوده می‌شوند.

معمولاً فاصله بین دو لایه پلاستیک، ۲/۵ سانتیمتر (گاهی ۲/۵-۵) است؛ اگر فاصله بین دو لایه کمتر باشد (کمتر از ۱/۲۵ سانتیمتر) باعث کاهش خاصیت عایقی می‌شود و در صورت چسبیدن کامل دو لایه به یکدیگر، این خاصیت عایقی به طور کامل از بین می‌رود. اگر فاصله بین دو لایه، بیش از ۱۰ سانتیمتر باشد، سبب برقرار شدن جریان هوا در فاصله بین دو لایه و کاهش خاصیت عایقی می‌شود.

مزیت دیگر استفاده از پوشش دولایه، جلوگیری از میعان بخار آب بر روی پوشش داخلی گلخانه است؛ زیرا پوشش داخلی، جسم گرم محسوب می‌شود و بخار آب پس از برخورد با آن، تبدیل به قطره نخواهد شد.

۲-۱۴. جنس اسکلت گلخانه

برای ساخت اسکلت گلخانه می‌توان از چوب، آهن و آلومینیم استفاده نمود. در انتخاب نوع جنس اسکلت گلخانه، باید موارد زیر مورد توجه قرار گیرد:

الف- اسکلت گلخانه سبک و در عین حال محکم باشد (در برابر باد، فشار برف و...);

ب- هزینه اولیه احداث و نگهداری آن کم باشد؛

ج- دارای حداقل سایه‌اندازی باشد؛

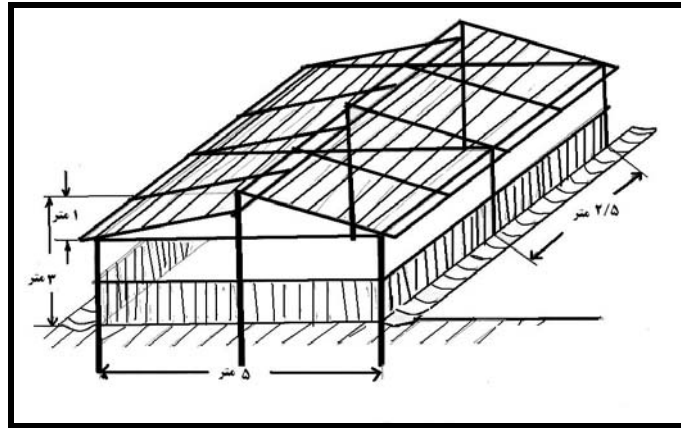
د- سازگار با شرایط آب و هوایی منطقه باشد؛

و - قیمت اسکلت ارزان و قابلیت دسترسی به آن آسان باشد.

۲-۱۴-۱. چوب

استحکام چوب و ضریب هدایت گرمایی آن از آهن و آلومینیم کمتر است. سایه‌اندازی زیاد اسکلت گلخانه‌های چوبی سبب می‌شود که نور کمتری به داخل گلخانه هدایت شود. از آنجایی که شرایط داخل گلخانه، گرم و مرطوب و مناسب برای رشد و فعالیت قارچ‌ها است، بنابراین چوب سریع‌تر پوسیده می‌شود و به همین دلیل برای افزایش دوام چوب، آن را با مواد نفتی از قبیل نفتنات مس ۲ درصد آغشته می‌کنند؛ حشراتی مانند موریه نیز با تغذیه از چوب، باعث از بین رفتن آن می‌شود. برای مبارزه با حشرات و قارچ‌ها می‌توان از سم بورات استفاده نمود؛ علاوه

بر مواد محافظت‌کننده و سموم قارچ‌کش، چوب را باید با رنگ سفید عاری از جیوه و گزیلول رنگ‌آمیزی نمود. برای ساخت اسکلت گلخانه، از چوب درختان سدر، کاج و سرو استفاده می‌شود (شکل ۱۶).



شکل ۱۶: گلخانه با اسکلت چوبی

۲-۱۴-۲. آهن

این فلز استحکام خوبی دارد و قابلیت انتقال حرارت در آن بیشتر از چوب است. از آهن سیاه و آهن گالوانیزه می‌توان برای احداث گلخانه استفاده نمود. آهن گالوانیزه زنگ نمی‌زند ولی آهن سیاه در شرایط گرم و مرطوب گلخانه زود زنگ می‌زند و بنابراین لازم است که ابتدا آن را با ضد زنگ و سپس رنگ (سفید) رنگ‌آمیزی کرد؛ در غیر این صورت هم زود می‌پوسد و هم در اثر گرمای آفتاب، زود داغ شده (جسم سیاه) و سبب ذوب‌شدن پوشش پلاستیکی روی اسکلت گلخانه می‌شود. بهتر است اجزای اسکلت گلخانه با پیچ و مهره به هم متصل شوند و از جوش دادن آنها به یکدیگر خودداری شود تا امکان جابه‌جایی آن وجود داشته باشد.

۲-۱۴-۳. آلومینیم

آلومینیم بیشتر در گلخانه‌های کوچک و فانتزی به کار می‌رود و هزینه احداث آن بیشتر از آهن و قابلیت انتقال حرارت آن نیز، بیشتر از چوب است؛ برای افزایش مقاومت، آن را با فلزاتی مانند آهن ترکیب کرده و آلیاژ آلومینیم تولید می‌کنند.

۲-۱۵. مراحل احداث گلخانه**الف - تهیه نقشه گلخانه با توجه به شرایط آب و هوایی منطقه و نوع محصول**

میانگین ده ساله حداقل دما در سردترین شب سال، گرم‌ترین روز سال، بارندگی، تعداد روزهای آفتابی و ابری، میانگین تعداد روزهای یخبندان، میانگین حداکثر سرعت باد، میانگین حداکثر بارش برف در یک بار و جهت باد غالب منطقه، از جمله آمارهای هواشناسی هستند که باید در تهیه نقشه گلخانه، میزان استحکام آن، تعیین قدرت سیستم گرمایی و خنک‌کننده و جهت گلخانه مد نظر قرار گیرند. هر نوع سهلانگاری در این زمینه می‌تواند در آینده سبب بروز مشکلات و خسارات جبران‌ناپذیری گردد.

ب - انتخاب زمین مناسب

در این مرحله، ویژگی‌های مربوط به انتخاب زمین (که پیشتر در فصل اول به آن اشاره شد) باید مد نظر قرار گیرد.

ج - تعیین جهت احداث گلخانه

احداث گلخانه در جهت مناسب، برای تأمین نور در نیمه دوم سال (در مناطقی که شدت نور کم است)، یا جلوگیری از خسارات مکانیکی بادهای شدید و غالب منطقه از اهمیت خاصی برخوردار است.

د - تسطیح زمین

زمین گلخانه باید مسطح باشد؛ زیرا داشتن شیب زیاد سبب بروز شیب گرمایی در داخل گلخانه می‌شود. در صورت نیاز به وجود شیب، می‌توان حداکثر شیب ۱٪ را برای گلخانه ایجاد نمود؛ وجود این شیب برای حرکت بهتر آب و محلول غذایی در طول گلخانه و نیز جمع‌آوری آب باران و برف و جریان یافتن آن بر روی ناودان گلخانه‌های به‌هم‌پیوسته مفید است.

هـ - گونیا کردن زمین گلخانه

هدف از گونیا کردن زمین آن است که زمین گلخانه به صورت یک مستطیل درآید و چهار گوشه آن، که در حقیقت محل نصب پایه‌های اول و آخر گلخانه است، دقیقاً مشخص شود.

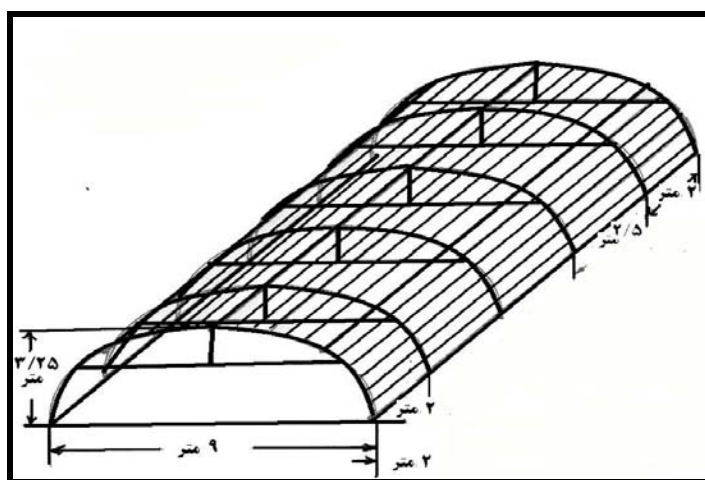
و - تعیین محل‌های نصب پایه و حفر گودال

محل نصب پایه‌ها با توجه به نقشه گلخانه و فاصله پایه‌ها از یکدیگر مشخص می‌شود. فاصله دو کمان اول و آخر گلخانه، کمتر از فاصله سایر پایه‌ها از یکدیگر است؛ زیرا فشاری که در اثر باد به

دو پایه اول و آخر گلخانه وارد می‌شود، بیشتر از فشاری است که به سایر پایه‌ها وارد می‌گردد، فاصله دو کمان اول و آخر را ۲ متر و فاصله سایر پایه‌ها از یکدیگر را، $\frac{2}{5}$ متر در نظر می‌گیرند (شکل ۱۷) و برای نصب پایه‌ها، گودال‌هایی به عمق ۵۰-۷۵ و قطر ۵۰ سانتیمتر حفر می‌شود.

ز- نصب پایه

پایه‌های نصب شده باید کاملاً در یک راستا و هم‌ارتفاع باشند (شکل ۱۸)؛ در غیر این صورت در زمان نصب کمان‌ها بر روی پایه، مشکل همتراز نشدن کمان‌ها (که بر روی پایه‌ها قرار می‌گیرند) پیش می‌آید.



شکل ۱۷: فاصله پایه‌ها از یکدیگر در گلخانه نیم‌استوانه‌ای



شکل ۱۸: نحوه نصب پایه‌های گلخانه

ح - نصب کمان‌ها بر روی پایه

مهم‌ترین نکته در نصب کمان‌ها، تراز بودن آنها با یکدیگر است؛ به نحوی که با یکدیگر اختلاف ارتفاع نداشته باشند (شکل ۱۹). در صورت تراز نبودن کمان‌ها با یکدیگر، مشکلاتی در پلاستیک‌کشی گلخانه به وجود می‌آید که به نوبه خود، مسائل دیگری را به همراه خواهد داشت. بهتر است پلاستیک‌کشی گلخانه به صورت طولی انجام شود تا هر واحد از گلخانه فقط با یک قطعه پلاستیک پوشانده شود؛ اما در صورتی که پلاستیک‌کشی طولی ممکن نباشد می‌توان پلاستیک‌کشی را به صورت عرضی انجام داد. در این حالت، قطعات پلاستیک با مقداری همپوشانی به صورت عرضی در کنار هم قرار گرفته و سقف گلخانه را می‌پوشانند. در صورت عدم همپوشانی کامل پلاستیک‌ها بر روی یکدیگر، بین دولایه پلاستیک، فاصله عمودی ایجاد می‌شود که سبب اتلاف گرما از طریق این درزها و نیز پاره شدن پلاستیک‌ها در اثر نفوذ باد در بین دولایه پلاستیک می‌گردد؛ همچنین به علت تراز نبودن کمان‌ها و وجود پستی و بلندی بر روی سقف گلخانه، در بخش‌هایی از سقف گلخانه، آب باران و برف جمع شده که نمی‌تواند به طرفین گلخانه یا ناودان‌ها حرکت کند و در نتیجه، کیسه‌های آب بر روی سقف گلخانه (به سمت داخل گلخانه) تشکیل می‌شود.

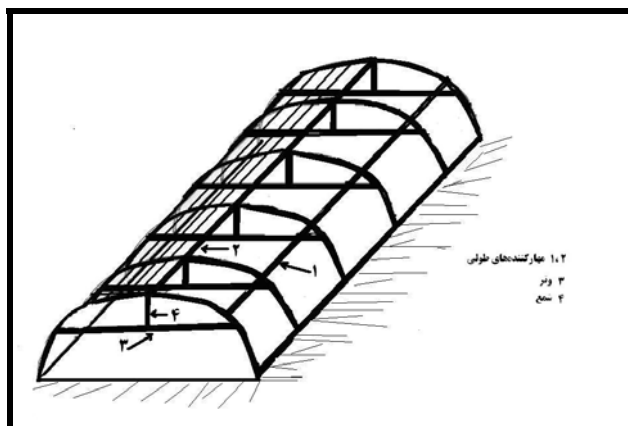


شکل ۱۹: تراز بودن کمان‌ها در هنگام احداث گلخانه

ط - نصب لوله‌های مهارکننده طولی و عرضی

پس از نصب کمان‌ها بر روی پایه، برای متصل نمودن کمان‌ها به یکدیگر و تشکیل اسکلتی یکپارچه و متصل و به منظور افزایش قدرت آن در برابر نیروها و فشارهای مکانیکی، از لوله‌های مهارکننده طولی استفاده می‌شود. این لوله‌ها به اندازه طول گلخانه بوده و همه کمان‌ها را به یکدیگر متصل می‌کنند.

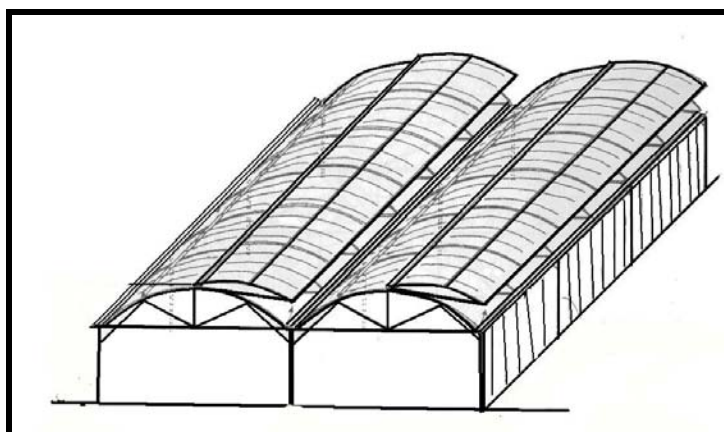
دو لوله مهارکننده طولی در طرفین گلخانه و یکی نیز زیر تاج گلخانه (زیر سقف گلخانه) نصب می‌شوند؛ همچنین بین دو کمان اول و دو کمان آخر دو لوله مهارکننده اضافی در طرفین گلخانه نصب می‌شوند؛ زیرا نیروی فشار وارده به کمان اول و آخر بیشتر است؛ بنابراین با نصب لوله‌های مهارکننده اضافی بین دو کمان اول و دو کمان آخر، مقاومت در برابر نیروی وارده افزایش می‌یابد و آن را به سایر کمان‌ها هدایت می‌کند. ضمناً برای استحکام بیشتر هر کمان در برابر فشارهای عمودی وارد بر آن (فشار بار محصول و برف)، و به منظور جلوگیری از شکسته شدن کمان، لوله‌ای به صورت وتر، دو طرف هر کمان را به یکدیگر متصل می‌کند و تعدادی لوله نیز از روی وتر به وسط و کناره‌های هر کمان متصل می‌شود که به آنها شمع گفته می‌شود. شمع و وتر، مقاومت هر کمان را در برابر فشار بار محصول و برف و باران افزایش می‌دهند (شکل ۲۰).



شکل ۲۰: اتصالات استحکام دهنده گلخانه (شمع، وتر و لوله‌های مهارکننده طولی)

ی - نصب پنجره‌های سقفی و جانبی برای تهویه طبیعی گلخانه

در دو طرف دیواره طولی گلخانه پنجره‌های جانبی نصب می‌شوند و معمولاً به صورت غلطان (رول)^۱ هستند تا در صورت عدم نیاز، با پلاستیک پوشانده شوند. پنجره‌های سقفی نیز برای خارج شدن هوای گرم زیر سقف گلخانه، لازم‌اند؛ این پنجره‌ها را می‌توان به صورت رول یا بال کبوتری، باز و بسته نمود که هم به صورت برقی و هم دستی امکان‌پذیر است (شکل ۲۱).



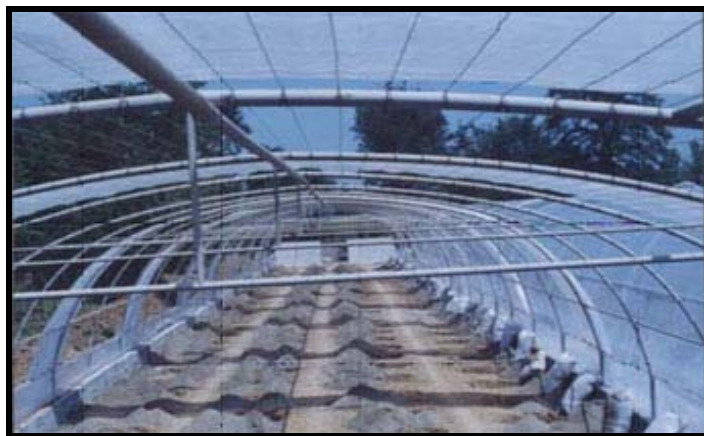
شکل ۲۱: پنجره‌های سقفی گلخانه تونلی

ظ - مفتول‌کشی سقف گلخانه

برای قرار دادن پلاستیک بر روی سطح کمان، مفتول‌کشی انجام می‌شود؛ در غیر این صورت، پلاستیک‌ها محکم به سقف گلخانه نمی‌چسبند. مفتول‌ها از جنس گالوانیزه و نمره ۲/۵ هستند و مفتول‌کشی به صورت طولی از قسمت تاج گلخانه شروع و به طرفین ختم می‌شود؛ فاصله بین مفتول‌ها در قسمت تاج (که شیب کم است)، ۱۰-۱۵ سانتیمتر است و با گسترش آن به سمت طرفین گلخانه (که شیب بیشتری دارد)، فاصله بین مفتول‌ها از یکدیگر افزایش می‌یابد. مفتول‌ها به کمان‌های اول و آخر بسته و با یک دستگاه مفتول‌کش، محکم کشیده می‌شوند. در مواردی نیز می‌توان به جای مفتول، از تور سیمی بر روی سقف گلخانه استفاده نمود و سپس پلاستیک را بر روی آن پهن کرد (شکل ۲۲).

س - نصب درهای ورود و خروج

در ورودی گلخانه دقیقاً زیر تاج آن نصب می‌شود. توصیه می‌شود درها به صورت کشویی و از جنس آلومینیم ساخته شوند. برای پوشش درهای ورودی گلخانه، بهتر است از پوشش‌های سخت، مانند پلی‌کربنات، استفاده شود، زیرا احتمال پارگی پلاستیک به علت برخورد باد به آن و عبور و مرور مکرر افراد و تجهیزات وجود دارد. بهتر است قبل از ورود به گلخانه، ابتدا وارد اتاقک اولیه و سپس به بخش اصلی گلخانه وارد شد؛ به عبارت دیگر برای ورود به گلخانه از دو در اولیه و ثانویه عبور کرد. این کار باعث جلوگیری از خروج گرمای گلخانه، به علت باز و بسته شدن مکرر در آن، می‌شود و نیز از ورود حشرات به گلخانه از طریق در ورودی، تا حد زیادی جلوگیری می‌کند (شکل ۲۳).



شکل ۲۲: مفتول‌کشی گلخانه و قرار دادن پلاستیک بر روی آن برای نصب



شکل ۲۳: در ورودی اولیه گلخانه به منظور جلوگیری از خروج گرما و ورود حشرات به گلخانه

ض - پلاستیک‌کشی

لایه‌های پلاستیک باید محکم روی سازه کشیده و چفت شوند تا در برابر وزش باد صدمه نبینند. پلاستیک‌کشی باید با سرعت انجام شود؛ زیرا ممکن است شرایط آب و هوایی به نحوی تغییر کند که برای پلاستیک‌کشی مناسب نباشد. در گلخانه‌های با پوشش پلی‌اتیلنی، جنس پلاستیک باید نرم و یک‌تکه باشد تا از نفوذ آب و سرما به داخل گلخانه جلوگیری نماید؛ چون پلاستیک در اثر سرما منقبض و کشیده و در اثر گرما، منبسط و شل می‌شود. در هنگام پلاستیک‌کشی در روزهای سرد، باید آن را محکم کشید و در روزهای گرم، با دمای ۲۷ درجه سانتیگراد، باید به اندازه ۵-۸ سانتیمتر در یک طرف، از سرتاسر طول گلخانه (با عرض ۶/۱ متر)، پلاستیک را آزاد گذاشت (کمتر کشیده شود) تا در هوای سرد (در اثر انقباض) پاره نشود؛ اگر در هوای گرم، پلاستیک محکم کشیده شود، در هوای سرد زمستان، پوشش پلاستیکی در نقطه اتصال به گیره‌ها پاره خواهد شد و در صورتی که در هوای سرد، پلاستیک محکم کشیده نشود، سبب شل شدن بیش از حد پلاستیک در هوای گرم می‌شود.

اگر عرض پلاستیک کوچک‌تر از طول قوس گلخانه باشد، نمی‌توان پلاستیک را به صورت طولی و یک تکه بر روی گلخانه نصب کرد؛ در این صورت پلاستیک‌کشی به صورت عرضی و تکه‌تکه انجام می‌شود؛ مثلاً گلخانه‌ای که طول آن ۵۴ متر و طول قوس آن گلخانه ۱۴ متر است و پلاستیک مورد استفاده با عرض ۸ متر باشد، پلاستیک‌کشی به صورت عرضی صورت می‌گیرد و این گلخانه نیاز به ۸ قطعه پلاستیک با عرض ۸ متر دارد که هر تکه با تکه قبلی یک متر همپوشانی دارد؛ در این حالت باید کاملاً دقت نمود تا پلاستیک‌ها محکم بر روی اسکلت گلخانه

نصب شوند و در محل همپوشانی پلاستیک‌ها برروی یکدیگر، هیچ فاصله یا شکافی وجود نداشته باشد؛ زیرا باعث اتلاف گرما و یا پاره‌شدن پلاستیک در اثر وزش باد می‌گردد. معمولاً برای سفت کردن پلاستیک از یک اهرم استفاده می‌شود؛ در زمانی که باد شدیدی می‌وزد، استفاده از این اهرم برای کشیدن پلاستیک و جلوگیری از پاره شدن آن بسیار مفید است. در صورتی که پلاستیک به طور مناسب و صحیح نصب شده باشد، دیگر نیازی به استفاده از تسمه‌های لاستیکی برای محکم نگه داشتن پلاستیک به اسکلت گلخانه نخواهد بود. توصیه می‌شود به جای استفاده از پلی‌اتیلن برای دهانه ابتدایی و انتهایی گلخانه، از ورقه‌های پلاستیکی سخت، مانند پلی‌کربنات استفاده شود، چون مقاومت آنها در برابر باد بیشتر است.

۲-۱۶: چند توصیه مفید برای ساخت گلخانه

الف- توصیه می‌شود که اسکلت گلخانه‌ها به صورت پین و بستی ساخته شود تا امکان جابه‌جایی اسکلت وجود داشته باشد؛

ب- بارها مشاهده شده است که گلخانه‌داران به منظور صرفه‌جویی در هزینه‌های احداث گلخانه، شخصاً اقدام به احداث اسکلت می‌نمایند که این کار، منجر به بروز مشکلاتی در آینده خواهد شد. پیشنهاد می‌شود برای احداث گلخانه، با شرکتی معتبر قراردادی تنظیم شود که در آن قرارداد، برای مقاومت اسکلت در برابر باد (حداقل با سرعت ۱۰۰ کیلومتر بر ساعت)، زلزله و سنگینی برف، ضمانت کافی پیش‌بینی گردد؛ ترجیحاً این قرارداد با شرکت‌هایی تنظیم شود که علاوه بر ساخت گلخانه، در کشت و پرورش محصولات، همچنین بازاریابی به گلخانه‌داران مشاوره بدهند؛

ج- بیمه گلخانه بسیار مهم است. بنابراین توصیه می‌شود هم اسکلت گلخانه و هم محصول در حال پرورش تحت پوشش بیمه قرار گیرد.

د- در ساخت گلخانه از پوشش‌هایی استفاده شود که اتلاف گرما در آن به حداقل برسد و در عین حال از نظر اقتصادی نیز، مقرون به صرفه باشند.

خلاصه مطالب

- ۱- سازه گلخانه نباید صرفاً بر اساس عرف ملی احداث شود بلکه در طراحی سازه باید به نیازهای اصلی کشت هر گیاه و شرایط اقلیمی هر منطقه توجه شود. در هر منطقه، مشکلات ویژه‌ای برای پرورش محصولات گلخانه‌ای وجود دارد که در ساخت سازه و شکل گلخانه باید به آن مشکلات توجه شود؛ ضمناً برای سازه گلخانه در هر نوع اقلیمی، استانداردهای خاصی تعریف شده است.
- ۲- در تهیه استانداردهای گلخانه، بارهای اصلی که شامل بار غیر زنده یا بار دائم، بار محصول، بار برف، بار باران و ترکیبی از بارهای مذکور هستند، باید مد نظر قرار گیرند. بار غیرزنده باید بر اساس واحد وزن سازه و مواد پوشش‌دهنده محاسبه شود. در بعضی استانداردهای گلخانه، وزن وسایل تثبیت‌شده‌ای (که به سازه گلخانه متصل باشند)، مانند سیستم‌های حرارتی، نوری و آبیاری و پرده‌های محافظ حرارتی و سایبان نیز به عنوان بار غیرزنده محسوب می‌شوند و در برخی دیگر از استانداردهای گلخانه، وزن تاسیسات را (حتی اگر دائمی باشند) در نظر نمی‌گیرند.
- ۳- گلخانه‌های بلند (ارتفاع زیاد گلخانه) با حجم زیاد، شرایط اقلیمی مناسبی را در گلخانه ایجاد می‌نمایند، ولی در این صورت، نیاز گرمایی گلخانه نیز افزایش می‌یابد. در این حالت تهویه گلخانه و گردش هوا بهتر انجام می‌شود اما بار ناشی از باد نیز با افزایش ارتفاع گلخانه، افزایش می‌یابد.
- ۴- گلخانه‌ها از نظر شکل به سه دسته گلخانه‌های دوطرفه (A شکل)، قوسی نوک‌دار و تونلی تقسیم می‌شوند. گلخانه‌ها را می‌توان به صورت تک‌واحدی یا به هم پیوسته (جوی و پشته‌ای) احداث نمود. زمانی که دو یا چند گلخانه از طول به یکدیگر چسبیده باشند، به آن گلخانه به هم پیوسته یا جوی پشته‌ای گفته می‌شود. گلخانه‌های به هم پیوسته، به علت اتلاف گرمای کمتر (تا ۲۷٪)، نیاز به زمین کمتر، یکنواخت‌تر شدن هوای داخل گلخانه و اتوماسیون بهتر، بر گلخانه‌های تک واحدی ترجیح داده می‌شوند.
- ۵- در انتخاب نوع پوشش گلخانه، عواملی از قبیل ضریب هدایت گرمایی پوشش گلخانه، طول عمر پوشش، میزان عبور اشعه ماورای بنفش، قابلیت نفوذ به بخار آب، پایداری در برابر باد، تگرگ و برف، میعان بخار آب در زیر پوشش گلخانه و میزان انتقال طول موج‌های بلند مادون قرمز مورد توجه قرار گیرد.
- ۶- پوشش‌های گلخانه به سه دسته اصلی شیشه، پوشش‌های پلاستیکی نازک (پلی‌اتیلن و پلی‌وینیل‌فلوراید) و پوشش‌های پلاستیکی سخت (پلی کربنات، فایبرگلاس و پلی‌وینیل کلراید) تقسیم می‌شوند.

۷- شیشه، گران‌ترین پوشش مورد استفاده برای گلخانه است اما دوام بسیار بالایی دارد؛ به شرطی که با طوفان یا تگرگ آسیب نبیند و نور، تأثیری بر پایداری و طول عمر آن ندارد. معمولاً ضخامت شیشه‌های مورد استفاده ۳-۵ میلیمتر و طول آن ۲۰-۵۰ سانتیمتر است. شیشه، نور ماورای بنفش و مادون قرمز را از خود عبور نمی‌دهد ولی می‌تواند نور مرئی را، در حالتی که کاملاً تمیز باشد، به میزان ۸۹-۹۲ درصد عبور بدهد و مقدار کمی از نور را جذب و منعکس کند.

۸- پلی‌اتیلن، بیشترین استفاده را در پوشش گلخانه دارد و میزان عبور نور آن ۸۸-۹۰ درصد است که در مقایسه با شیشه کمتر است. پلی‌اتیلن‌های معمولی، نور ماورای بنفش را از خود عبور می‌دهند. این اشعه، به ویژه در فصل تابستان، باعث از بین رفتن پلاستیک و یکبار مصرف شدن آن می‌شود.

۹- تشکیل قطرات آب در سطح زیرین پوشش گلخانه، سبب افزایش شیوع بیماری‌های قارچی می‌شود. با استفاده از تهویه مناسب و تنظیم گرما، کاربرد پلاستیک‌های پلی‌اتیلن ضدقطره (آنتی‌فوگ)، پاشیدن مواد پاک‌کننده بر روی سطح داخلی پوشش گلخانه و استفاده از پوشش پلاستیکی دولایه، می‌توان از میعان بخار آب در گلخانه جلوگیری کرد.

۱۰- امروزه در اغلب گلخانه‌ها با استفاده از پوشش پلاستیکی دولایه، تا ۴۰ درصد در مصرف سوخت صرفه‌جویی می‌شود؛ در این نوع پوشش، دولایه پلاستیک بر روی یکدیگر قرار می‌گیرند و توسط بالشتکی از هوای فشرده از یکدیگر جدا می‌شوند. استفاده از این نوع پوشش، سبب افزایش طول عمر پوشش گلخانه می‌شود و از تشکیل قطرات آب در زیر پوشش گلخانه نیز جلوگیری می‌کند.

پرسش‌های فصل دوم

- ۱- مزایا و معایب گلخانه‌های به هم پیوسته را نسبت به گلخانه‌های منفرد توضیح دهید.
- ۲- مزایای پلی‌اتیلن دولایه را بنویسید.
- ۳- مشکلات کنترل عوامل محیطی در گلخانه‌های مناطق حاره‌ای را نام ببرید.
- ۴- در صورت تراز نبودن کمان‌ها در هنگام نصب گلخانه، چه مشکلاتی پیش خواهد آمد؟
- ۵- خصوصیات گلخانه‌های دوطرفه و تونلی را بیان کنید.
- ۶- نحوه مفتول‌کشی گلخانه را توضیح دهید.
- ۷- شیوه مدیریت استفاده از پلاستیک‌های پلی‌اتیلن دولایه را تشریح کنید.
- ۸- معیارهای انتخاب پوشش مناسب را برای گلخانه نام ببرید و هر یک را به اختصار توضیح دهید.
- ۹- روش‌های جلوگیری از میعان بخار آب را بر روی پوشش گلخانه نام ببرید.
- ۱۰- بارهای وارد بر گلخانه، که در تپه استاندارد گلخانه باید محاسبه شوند، کدامند؟
- ۱۱- مزایا و معایب پوشش فایبرگلاس را نام ببرید.
- ۱۲- مشکلات اصلی در تولید محصولات گلخانه‌ای را در مناطق مدیترانه‌ای نام ببرید و توضیح دهید که گلخانه‌های این مناطق باید دارای چه خصوصیتی باشند؟
- ۱۳- نقش ارتفاع گلخانه را بر بار باد، تهویه طبیعی گلخانه، نیاز حرارتی گلخانه و کنترل عوامل محیطی آن توضیح دهد.

فصل سوم

گرم کردن گلخانه

هدفهای رفتاری

- پس از مطالعه این فصل از خواننده انتظار می‌رود که:
- ۱- انواع سیستم‌های حرارتی و مزایا و معایب آنها را فرا گیرد.
 - ۲- قادر به محاسبه نیاز گرمایی یک گلخانه باشد.
 - ۳- روش‌های حفظ گرما را در گلخانه بداند.
 - ۴- نحوه توزیع هوای گرم در گلخانه و مدیریت آن را فرا گیرد.

۳-۱. آثار فیزیولوژیکی دما در گیاهان

دما یکی از مهم‌ترین عوامل محیطی است که باید در شرایط گلخانه‌ای برای رشد گیاهان تأمین شود. نظارت گلخانه‌دار بر روی کنترل دمای گلخانه باید دقیق باشد؛ زیرا بیشتر گیاهانی که در گلخانه پرورش داده می‌شوند از گیاهان گرمسیری یا نیمه گرمسیری هستند. همه گیاهان دارای یک دامنه حرارتی هستند که می‌توانند در آن دامنه رشد کنند؛ در خارج از این دامنه حرارتی، گیاه در اثر سرمازدگی، یا گرمای بیش از حد، از بین خواهد رفت. همه فرایندهای بیوشیمیایی در گیاه توسط آنزیم‌ها کنترل می‌شوند و فعالیت آنزیم‌ها نیز به نوبه خود تحت تأثیر دما قرار دارد. با افزایش دما به میزان ۱۰ درجه سانتیگراد، فعالیت آنزیم‌ها دو برابر می‌شود، ولی اگر درجه حرارت بیش از اندازه افزایش یابد، عمل آنزیم‌ها مختل خواهد شد.

فتوسنتز و تنفس دو فرایندی هستند که شامل واکنش‌های شیمیایی مختلفی بوده و همه آنها تحت کنترل آنزیم‌ها انجام شده و تحت تأثیر دما قرار دارند. اگر میزان فتوسنتز بیشتر از تنفس باشد، گیاه رشد می‌کند و در صورتی که، مقدار فتوسنتز مساوی تنفس باشد، رشد متوقف می‌شود و اگر میزان تنفس بیشتر از فتوسنتز باشد، گیاه به تدریج ضعیف شده و سرانجام مرگ آن فرا خواهد رسید؛ بنابراین میزان دمای شبانه باید کمتر از دمای روزانه باشد تا میزان تنفس کمتری در طول شب صورت بگیرد. طبق یک قاعده کلی، گیاهان گلخانه‌ای را در شرایطی پرورش می‌دهند که در روزهای روشن و بدون ابر، درجه حرارت روز، ۸ درجه سانتیگراد و در روزهای ابری، ۳-۶ درجه سانتیگراد بیشتر از دمای شبانه باشد.

۳-۲. (DIF) و اثرات آن

(DIF) اصطلاحی است که از درجه حرارت روزانه منهای درجه حرارت شبانه به دست می‌آید. (DIF) ممکن است مثبت (دمای روز > دمای شب)، صفر (دمای روز = دمای شب) یا منفی (دمای روز < دمای شب) باشد. یک رابطه عملی بین ارتفاع گیاه و اختلاف درجه حرارت روزانه با شبانه (DIF) وجود دارد: اگر میزان (DIF) مثبت باشد، ارتفاع گیاه بلندتر می‌شود و در صورتی که میزان (DIF) از مثبت به صفر تنزل یابد، ارتفاع گیاه به طور قابل ملاحظه‌ای کاهش خواهد یافت و هرچه میزان (DIF) از صفر به طرف منفی تغییر یابد، باز هم ارتفاع گیاه کوتاه می‌شود. بنابراین با کاهش درجه حرارت روزانه و افزایش درجه حرارت شبانه، ارتفاع گیاه کاهش و با افزایش دمای روزانه و کاهش دمای شبانه، ارتفاع گیاه افزایش می‌یابد. از این روش برای کنترل ارتفاع گیاهانی مانند داودی، سوسن، رز، میخک، ژربرا و گوجه‌فرنگی استفاده می‌شود. تأثیر تغییرات (DIF) بر روی ارتفاع گیاه در مدت یکی دو روز، کاملاً مشهود است. (DIF) در برخی از گیاهان مانند لاله، سنبل، کدو، نرگس و همیشه بهار تأثیری بر روی ارتفاع گیاه ندارد.

زمان گل‌دهی و سرعت تکامل گیاهان عموماً تحت کنترل درجه حرارت قرار دارد. زمان گل‌دهی در گیاهان تحت‌تأثیر (DIF) نیست، بلکه عامل اصلی، میانگین دمای شبانه‌روز (۲۴ ساعت) است؛ بنابراین در صورتی که میانگین دمای شبانه‌روز ثابت باشد، کاهش یا افزایش مقدار (DIF)، هیچ تغییری در زمان و تاریخ گل‌دهی گیاهان ایجاد نخواهد کرد؛ به عبارت دیگر، زمان و تاریخ گل‌دهی به ارتفاع گیاه (میزان DIF) بستگی ندارد.

هرچند (DIF) بر روی زمان گل‌دهی تأثیری ندارد، ولی (DIF) کم یا منفی می‌تواند سبب بروز مشکلاتی در گل‌دهی گردد؛ مثلاً اگر درجه حرارت روزانه در یک گلخانه (پرورش گل داودی)، ۲۲ درجه سانتیگراد باشد و برای کاهش ارتفاع بوته، میزان (DIF) کاهش یابد و دمای شبانه به ۲۲-۲۴ درجه سانتیگراد رسانده شود، به علت بالا بودن درجه حرارت شبانه، گل‌دهی داودی با تأخیر انجام می‌شود؛ همچنین گل‌های داودی در دمای ۲۱ درجه سانتیگراد ریزش خواهند کرد و این موضوع از اهمیت خاصی برخوردار است؛ حساسیت آنها به این دما، در مرحله تشکیل جوانه‌های گل و رشد اولیه غنچه‌ها است و پس از ظهور و قابل رؤیت شدن غنچه‌ها، از شدت حساسیت گیاه به بالا بودن درجه حرارت شبانه، کاسته می‌شود.

از دیگر آثار سوء (DIF) کم یا منفی، پیچیدگی برگ‌ها به سمت پائین است؛ این حالت در گل سوسن کاملاً مشهود است، به طوری که اگر برگ‌های پیچیده نابالغ باشند، در صورت بازگشت (DIF) به حالت طبیعی و مثبت، این عارضه برطرف می‌شود؛ همچنین (DIF) در دامنه‌های منفی ممکن است سبب کلروزه شدن برگ‌ها گردد. کلروز، بیشتر در برگ‌های جوان و نابالغ ظاهر می‌شود.

۳-۳. واحدهای گرمایی و تبدیل واحدها

برای سنجش گرما می‌توان از واحدهای مختلفی استفاده کرد:

بی‌تی‌یو (BTU)^۱: مقدار گرمایی که لازم است تا دمای یک پوند آب، یک درجه فارنهایت افزایش یابد.

کالری: مقدار گرمایی که لازم است تا دمای یک گرم آب، یک درجه سانتیگراد افزایش یابد. یک کیلوکالری، معادل ۱۰۰۰ کالری است.

ژول: معادل مقدار انرژی لازم برای بالا بردن یک وزنه ۱۰۰ گرمی تا ارتفاع یک متر است.

وات: معادل یک ژول بر ثانیه است.

برای تبدیل واحدهای فوق به یکدیگر می‌توان از معادله‌های زیر استفاده نمود:

1. British Thermal Unit (BTU)

$$۱ \text{ اسب بخار (hp)} = ۳۳۴۷۵ \text{ Btu}$$

$$۱ \text{ ژول} = ۰/۲۵ \text{ کالری}$$

$$۱ \text{ اسب بخار} = ۷۴۶ \text{ وات}$$

$$۱ \text{ کیلو کالری} = ۳/۹۶ \text{ Btu}$$

$$۱ \text{ کیلو کالری} = ۱/۱۶ \text{ وات}$$

$$۱ \text{ Btu} = ۱۰۵۵ \text{ ژول}$$

۳-۴. اتلاف گرما در گلخانه و روش‌های جلوگیری از آن

به طور کلی حرارت لازم برای گرم کردن گلخانه، معادل گرمایی است که از گلخانه اتلاف می‌شود. بنابراین با محاسبه مقدار گرمایی که از گلخانه خارج می‌شود می‌توان گرمای مورد نیاز گلخانه، ظرفیت سیستم گرمایی و سوخت مورد نیاز آن را محاسبه نمود. اتلاف گرمای گلخانه به سه طریق انجام می‌شود:

الف- بخش اعظمی از گرمای گلخانه از طریق انتقال گرما (همرفت)^۱ از پوشش گلخانه‌ها از دست می‌رود. همان‌گونه که در فصل دوم، جدول ۸ اشاره شد، پوشش‌های مختلف گلخانه‌ای، ضریب اتلاف گرمایی^۲ متفاوتی دارند؛ آنها گرمای داخل گلخانه را با سرعت‌های گوناگونی به محیط سرد خارج گلخانه هدایت می‌کنند. هرچه ضریب هدایت گرمایی پوشش گلخانه بیشتر باشد، میزان اتلاف گرما نیز بیشتر است و بنابراین هزینه گرم کردن گلخانه افزایش می‌یابد؛ مثلاً پوشش پلی‌اتیلن دولایه نسبت به پلی‌اتیلن یک‌لایه، ۴۰٪ اتلاف گرما را کاهش می‌دهد، اما به شرطی که در فضای بین پلی‌اتیلن دولایه، هوای ساکن به عنوان عایق حرارتی وجود داشته باشد. میزان اتلاف گرما به سطح هادی پوشش گلخانه نیز بستگی دارد؛ هر چه سطح تماس پوشش گلخانه با هوای آزاد بیرون بیشتر باشد، میزان اتلاف گرمای آن نیز بیشتر خواهد بود؛ مثلاً صفحات فایبرگلاس موج‌دار، بیشتر از صفحات فایبرگلاس مسطح، گرما را از دست می‌دهند؛ بنابراین برای جلوگیری از اتلاف گرما در گلخانه بهتر است از پوشش‌هایی با ضریب هدایت گرمایی کوچک‌تر و سطح تماس کمتر استفاده شود.

ب- طریقه دیگر اتلاف گرما، نفوذ تدریجی هوای بیرون به داخل گلخانه است: شکاف موجود بین قطعات شیشه، درهای ورود و خروج، دریچه‌های تهویه، درزهای مربوط به پنجره‌های سقفی و جانبی و پارگی پلاستیک، از جمله راه‌های نفوذ تدریجی هوای سرد به داخل گلخانه است. در گلخانه‌های شیشه‌ای، حدود ۱۰٪ کل گرما از طریق نفوذ تدریجی هوا تلف می‌شود؛ بنابراین با درزگیری کامل شکاف‌ها، بستن کامل محل نصب پنکه‌ها، استفاده از پلاستیک‌های مقاوم در

1. Convection

2. Heat loss coefficient

برابر پارگی و جلوگیری از باز و بسته شدن مکرر در ورودی گلخانه، می‌توان از اتلاف گرما جلوگیری کرد.

ج- تابش، سومین روش اتلاف گرما در گلخانه است. اجسام گرم در طول روز، بخشی از انرژی نورانی خورشید را به صورت گرما جذب کرده و در شب، این گرما را به صورت انرژی تابشی مادون قرمز متصاعد می‌کنند و بدون اینکه سبب گرم شدن قابل توجه هوا شوند، از گلخانه خارج می‌شوند. پوشش‌هایی مانند شیشه، پلاستیک وینیل، فایبرگلاس و آب تقریباً مانع عبور اشعه مادون قرمز می‌شوند؛ درحالی‌که پلی‌اتیلن خشک این خاصیت را ندارد و مقدار قابل توجهی از گرما را به صورت تابشی از دست می‌دهد. اما تشکیل لایه‌ای مرطوب (در اثر میعان بخار آب) بر روی پلاستیک پلی‌اتیلن، تقریباً به صورت مانعی برای خروج اشعه مادون قرمز عمل می‌کند. استفاده از پوشش‌هایی که مانع از خروج اشعه گرمایی مادون قرمز می‌شوند، بهتر گرمای گلخانه را، به‌خصوص در شب، حفظ می‌نمایند.

۳-۵. انواع سیستم‌های حرارتی

برای جبران گرمای خارج شده از گلخانه، باید از یک منبع گرمایی به منظور تأمین گرمای مورد نیاز استفاده شود. منبع گرمایی گلخانه می‌تواند به صورت موضعی یا مرکزی باشد؛ به هر حال، سیستم حرارتی، از هر نوعی که باشد، باید دارای قدرتی باشد که حرارت مورد نیاز گلخانه را در سردترین شب‌ها تأمین و حرارت را در سرتاسر گلخانه به صورت یکنواخت پخش کند. در ادامه، انواع سیستم‌های حرارتی بررسی می‌شوند.

۳-۵-۱. سیستم حرارت مرکزی

در این سیستم، دو یا چند دیگ بخار در یک محل واقع‌اند و بخار آب داغ، یا آب داغ تولید شده، از طریق لوله‌هایی به نقاط مختلف گلخانه منتقل می‌شوند؛ از معایب این سیستم، بالا بودن هزینه اولیه آن است و صرفاً برای گلخانه‌های بزرگ با مساحت بیش از ۴۰۰۰ متر مربع، مناسب است؛ هر چه مساحت گلخانه بزرگتر باشد، توجیه اقتصادی استفاده از این سیستم بیشتر است. بین قدرت دیگ بخار و فضای گلخانه باید تناسبی وجود داشته باشد: نه آنقدر کوچک باشد که قادر به گرم کردن کافی گلخانه نباشد و نه آنقدر بزرگ که فقط بخشی از قدرت دیگ مورد استفاده قرار گیرد؛ زیرا در این صورت مقدار زیادی از گرما فقط صرف گرم کردن لوله‌ها و بدنه دیگ خواهد شد و به عبارت دیگر، کارایی دیگ بخاری که فقط بخشی از ظرفیت آن استفاده می‌شود، بسیار کم است.

۳-۵-۱-۱. سیستم آب گرم

اگر دمای یک گرم آب، یک درجه سانتیگراد کاهش یابد، یک کالری گرما آزاد می‌شود. در این سیستم، آب داغ ۸۲ درجه سانتیگراد داخل لوله‌های توزیع‌کننده حرارت جریان دارد (دمای آب در مدخل ورودی گلخانه ۹۵ درجه سانتیگراد است). این سیستم حرارتی، مناسب گلخانه‌هایی است که مساحت آنها بیش از ۱۸۰۰ متر باشند. در این سیستم، به مقدار زیادی آب و یک پمپ قوی برای جریان در آوردن آب، نیاز است. در مقایسه با سیستم بخار آب داغ، در سیستم آب گرم وجود لوله‌های توزیع‌کننده حرارت بیشتری لازم است، اما کارایی آن کمتر از سیستم بخار آب داغ بوده و حرارت کمتری تولید می‌کند. از آنجایی که آب گرم به کندی گرمای خود را از دست می‌دهد، اگر به هر علتی سیستم گرمایی از کار بیفتد، تا ساعت‌ها از یخ زدن گلخانه جلوگیری می‌شود.

۳-۵-۱-۲. سیستم بخار آب داغ

اگر یک گرم بخار آب جوش ۱۰۰ درجه سانتیگراد، به یک گرم آب جوش ۱۰۰ درجه سانتیگراد تبدیل شود، ۵۰۴ کالری گرما آزاد می‌کند و پس از آن با کاهش هر یک درجه سانتیگراد دمای آب، ۱ کالری گرما آزاد می‌شود. در این سیستم، بخار آب داغ با فشار وارد لوله‌های توزیع‌کننده حرارت می‌شود و نیازی به پمپ نیست اما برای بازگرداندن آب سرد لوله‌ها به مخزن، از یک پمپ استفاده می‌شود. سیستم بخار آب داغ، نسبت به آب داغ، به دیگ کوچک‌تر و لوله‌کشی کمتری نیاز دارد ولی در صورت قطع بخار، لوله‌ها فوراً سرد شده و دمای گلخانه به صورت ناگهانی کاهش می‌یابد.

۳-۵-۲. سیستم حرارتی موضعی

این نوع سیستم حرارتی به دلیل ارزان بودن، برای گلخانه‌هایی با مساحت کم یا گلخانه‌هایی که قادر به تأمین هزینه سنگین احداث سیستم حرارت مرکزی نیستند، مناسب است؛ در این سیستم حرارتی، چند بخاری در نقاط مختلف گلخانه قرار داده می‌شود و بدین ترتیب باعث گرم شدن محیط اطراف خود می‌شوند. بخاری‌های موضعی انواع مختلفی دارند و به چهار دسته تراکمی، همرفتی (کنوکسیون)، تابشی و دوجداره هوای گرم تقسیم می‌شوند.

۳-۵-۲-۱. بخاری تراکمی

بخاری تراکمی از سه بخش اصلی زیر تشکیل می‌شود:
۱- محفظه احتراق (برای احتراق سوخت و تولید گرما)؛

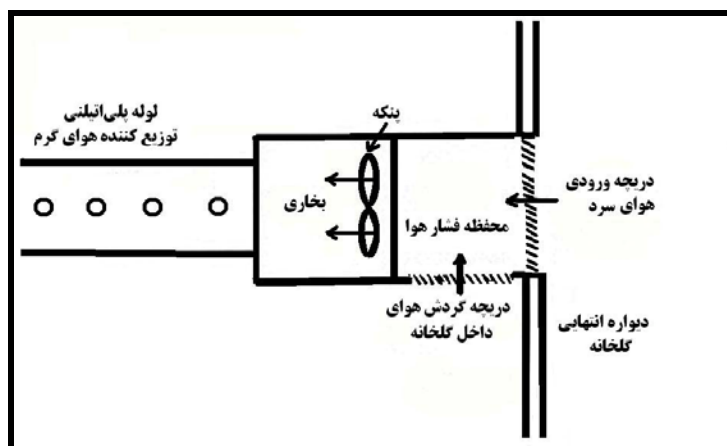
۲- لوله‌های فلزی نازک (به عنوان مبدل گرمایی) که در اثر عبور هوای گرم از داخل آنها، گرم شده و در قسمت بالا، دود از بخاری به محیط خارج گلخانه منتقل می‌شود؛

۳- پنکه که در قسمت پشت لوله‌ها قرار دارد و هوای گلخانه را به سمت داخل بخاری هدایت می‌کند، از روی لوله‌های گرم عبور می‌دهد و باعث گرم شدن هوا می‌شود. این هوای گرم با فشار وارد فضای گلخانه می‌شود.

در این نوع بخاری، مقدار زیادی از گرما از طریق دودکش به خارج گلخانه هدایت می‌شود. بخاری‌های تراکمی، بر اساس مسیری که هوای گرم شده از بخاری خارج می‌شود، به بخاری افقی و عمودی تقسیم می‌شوند؛ بخاری‌های عمودی، هوای گرم شده را به سمت پائین و کف گلخانه می‌رانند ولی بخاری‌های افقی، هوای گرم شده را به صورت افقی در گلخانه توزیع می‌کنند. استفاده از بخاری تراکمی افقی بهتر از نوع عمودی است؛ زیرا نوع عمودی با پرتاب هوای گرم به سمت پائین و کف گلخانه، سبب گرم شدن موضعی بخشی از گلخانه و خشکی خاک می‌شود. بخاری‌های تراکمی افقی بر روی وتر اسکلت گلخانه نصب می‌شوند.

بخاری‌های افقی با سیستم‌های تکمیل شده و جدیدتر، به عنوان خنک‌کننده نیز عمل می‌کنند و برای به جریان درآوردن هوای گلخانه هم مورد استفاده قرار می‌گیرند. بنابراین، زمانی که نیازی به گرم کردن گلخانه نباشد و سیستم گرمایی خاموش باشد، می‌توان از پنکه بخاری برای جابه‌جایی هوا در گلخانه استفاده نمود (شکل ۲۴).

سیستم گرمایی و پنکه به یک ترموستات، که در جای مناسبی از گلخانه واقع شده، متصل است و فقط در صورت لزوم و به صورت خودکار گرما تولید می‌کند. این بخاری به تعداد کافی در طول گلخانه و در ارتفاع مناسب از کف گلخانه نصب می‌شود. بخاری‌های تراکمی دارای دودکشی هستند که عموماً دود مستقیم از سقف بالای بخاری، به خارج هدایت می‌شود؛ ارتفاع این دودکش باید به اندازه‌ای باشد که دود به هنگام خروج، به درون گلخانه وارد نشود؛ بنابراین ارتفاع آن از محفظه احتراق، باید حداقل ۲۴-۳۷ سانتیمتر باشد تا جریان هوا به خوبی صورت گیرد.



شکل ۲۴: نمایی از سیستم بخاری تراکمی همراه با لوله پلی اتیلن توزیع کننده هوای گرم

یکی از معایب بخاری‌های تراکمی این است که به هنگام احتراق سوخت، اکسیژن داخل گلخانه مصرف می‌شود و از آنجایی که گلخانه‌های پلاستیکی به هوا غیر قابل نفوذ هستند، پس از مدتی با پایان یافتن اکسیژن موجود در محیط اطراف، بخاری خاموش شده و گیاهان یخ می‌زنند؛ از طرفی گیاهان داخل گلخانه نیز با کمبود اکسیژن مواجه می‌شوند. با کاهش اکسیژن داخل گلخانه، سوخت به شکل ناقص می‌سوزد و گاز مونوکسیدکربن تولید می‌کند که در صورت ورود به گلخانه، سبب بروز خسارات جبران‌ناپذیری می‌گردد؛ به همین دلیل اکسیژن لازم برای احتراق سوخت، باید از هوای بیرون گلخانه تأمین شود؛ برای این منظور معمولاً باید به ازای هر ۱۱۴ وات از قدرت سیستم حرارتی، دریچه‌ای به مساحت یک سانتیمتر مربع تعبیه گردد یا طبق قانون تامب^۱، به ازای هر ۲۵۰۰۰ کیلوکالری در ساعت از قدرت بخاری، دریچه‌ای به مساحت ۳۲۲/۶ سانتیمتر مربع نیاز است که برای تهیه آن از لوله (PVC) سیاه یا لوله بخاری استفاده می‌شود؛ ضمناً دهانه خروجی این لوله در بیرون گلخانه با یک توری فلزی پوشانده می‌شود تا از ورود حشرات و جانوران به داخل گلخانه جلوگیری شود.

مثال ۱: می‌خواهیم قطر لوله تأمین کننده اکسیژن را برای یک بخاری با ظرفیت گرمایی ۱۵۲۰۰۰ کیلوکالری در ساعت تعیین نماییم:

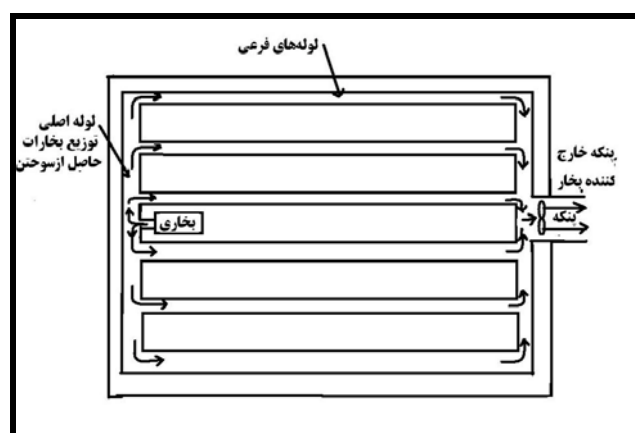
به ازای هر ۲۵۰۰۰ کیلو کالری از قدرت بخاری، دریچه‌ای به مساحت ۳۲۲/۶ سانتیمتر مربع و برای ۱۵۲۰۰۰ کیلوکالری، دریچه‌ای به مساحت ۱۹۶۱ سانتیمتر مربع نیاز است. از آنجایی که دریچه لوله، دایره شکل است، بنابراین $\pi r^2 = ۱۹۶۱$ است. با تقسیم عدد ۱۹۶۱ بر عدد ۳/۱۴،

1. Thumb

مجدور شعاع لوله به دست می آید که معادل ۶۲۵ سانتیمتر است. بنابراین شعاع لوله مورد نیاز باید ۲۵ سانتیمتر باشد تا اکسیژن مورد نیاز بخاری را تأمین کند.

۳-۲-۵-۲. بخاری های همرفتی (گنوکسیون)

این بخاری ها ارزان هستند و برای احتراق آنها از چوب، زغال سنگ، نفت و گاز استفاده می شود؛ در این نوع بخاری، دودکش همانند مبادله کننده هوا عمل کرده و گرما را از بخارهای داخل لوله به هوای گلخانه منتقل می کند و زانوهای استفاده شده در لوله دودکش، با نوار نسوز و ضدآتش پوشانده می شود تا دود وارد گلخانه نشود؛ طول لوله دودکش باید به اندازه ای باشد که بخارها پیش از خروج از گلخانه خنک شوند. در این روش، یک پنکه لازم است تا به وسیله آن، دود به بیرون رانده شود و مکش یا فشار منفی در داخل سیستم ایجاد گردد (شکل ۲۵).



شکل ۲۵: نمایی از یک بخاری همرفتی

سوخت کامل، آب و دی اکسید کربن تولید می کند، درحالی که سوخت ناقص باعث تولید منوکسید کربن و اتیلن می شود. اتیلن باعث کج شدن یا پیچیدگی ساقه، باریک شدن برگ ها و مرگ جوانه ها می شود. زغال، نفت و گاز دارای گوگرد هستند و در اثر سوختن، دی اکسید گوگرد تولید می کنند و با حل شدن این ماده در لایه نازک رطوبت موجود در سطح برگ، تبدیل به (H_2SO_3) شده و سپس در اثر اکسید شدن، اسید سولفوریک (H_2SO_4) تولید می کند که این اسید، موجب سوزاندن سلول ها، ایجاد نقاط زرد کوچک بر روی برگ ها و در شرایط حاد، منجر به مرگ کامل برگ می شود.

۳-۵-۲. بخاری تابشی مادون قرمز با انرژی پائین (کرماتاب)

هدف از استفاده این نوع بخاری آن است که با تولید اشعه گرمایی مادون قرمز، ابتدا گیاهان و اشیای داخل گلخانه (خاک، اسکلت گلخانه و ...) گرم شوند و سپس هوای گلخانه گرم شود. مزیت عمده این سیستم، مصرف کمتر انرژی (۳۰-۵۰٪ کاهش مصرف سوخت) است؛ این سیستم شامل چندین لوله تابش کننده است که در طول و زیر سقف گلخانه نصب می‌شوند و صفحات منعکس کننده آلومینیومی، کلیه اشعه‌ها را به سمت پائین و به طرف گیاهان هدایت کرده و گرمای یکنواختی در تمام فضا تولید می‌کند؛ اشعه‌های مادون قرمز تولید شده در مسیری مستقیم و با سرعت نور حرکت می‌کنند و این انرژی الکترومغناطیسی در مسیر خود، توسط اشیای موجود جذب و بی‌درنگ به گرما تبدیل می‌شود؛ این تابش در مسیر خود هوا را گرم نمی‌کند، بلکه پس از آن که اشیایی مانند گیاهان، خاک و سکوها کاشت گرم شدند، آنها هم به نوبه خود، هوای اطراف را گرم می‌کنند.

استفاده از این نوع بخاری مزایایی هم دارد: دمای هوا در این سیستم چهار درجه سانتیگراد خنک‌تر از گلخانه‌هایی است که ابتدا هوای گلخانه و سپس گیاهان گرم می‌شوند (با پوشش گیاهی یکسان)؛ به همین دلیل میزان اختلاف دمای داخل و خارج گلخانه کمتر می‌شود و گلخانه، گرمای کمتری را از دست می‌دهد.

در سیستم‌های گرمایی سنتی ابتدا هوا گرم می‌شود و سپس هوا، گیاه را گرم می‌کند و در نتیجه، دمای هوا در شب بیشتر از دمای گیاهان است و به همین دلیل، عمل میعان و ایجاد قطرات آب بر روی گیاهان صورت می‌گیرد (چون گیاه، جسم سرد محسوب می‌شود)؛ اما در سیستم بخاری تابشی مادون قرمز، چون دمای گیاه بیشتر از دمای هوا است، عمل میعان کمتر بر روی گیاه صورت می‌گیرد و شرایط برای رشد بیماری‌ها چندان مناسب نیست.

۳-۵-۴. بخاری دوجداره هوای گرم

این نوع بخاری‌ها، با قدرت حرارتی ۸۰۰۰-۳۰۰۰۰ کیلو کالری در ساعت، بازده حرارتی بالایی دارند و سوخت آنها گازوئیل یا گاز شهری است. این سیستم حرارتی، شامل یک عدد کوره حرارتی دوجداره به طول ۲/۵ متر با مشعل ۸۰۰۰ کیلو کالری، پنکه با قاب ۷۰ سانتیمتر، ترموستات و کانال انتقال هوای گرم است (شکل‌های ۲۶، ۲۷، ۲۸). البته انواع دیگری از این نوع بخاری با قدرت بالاتر نیز وجود دارد ولی اساس کار همه آنها یکسان است. با افزایش قدرت مشعل، حجم کوره دوجداره نیز باید افزایش یابد؛ اگر حجم کوره نسبت به قدرت مشعل، کوچک باشد، هوای خارج شده از کوره، داغ می‌شود و سبب سوختگی گیاهان و ذوب شدن کانال

پلاستیکی توزیع کننده گرما می گردد؛ حجم کوره و قطر دریچه خروجی هوای گرم باید به اندازه ای باشد که سبب ذوب شدن کانال پلاستیکی پلی اتیلن نگردد.

در صورت کشت بر روی سکو، می توان کانال های توزیع کننده حرارت را در زیر سکوهای کشت تعبیه کرد؛ ولی اگر کشت بر روی سطح خاک انجام شود، بهتر است کانال ها بالاتر از ارتفاع گیاه و بر روی وترهای گلخانه نصب شوند؛ به منظور توزیع حرارت در طول گلخانه، سوراخ هایی به صورت جفت در طرفین کانال (راست و چپ کانال) تعبیه می شود.

در این نوع سیستم حرارتی، مشکل کمبود اکسیژن و احتمال ورود گازهای سمی به داخل گلخانه نیز وجود دارد؛ بنابراین استفاده از دریچه تأمین اکسیژن الزامی است و توصیه می شود که دودکش مستقیماً به بیرون گلخانه هدایت شود.

۳-۶. توزیع حرارت در گلخانه

پس از تولید گرما در منبع حرارتی، گرمای تولید شده باید به تمام فضای گلخانه منتقل گردد؛ به نحوی که اولاً گرما به محض ورود به گلخانه به طور یکنواخت در اطراف گیاهان توزیع شود و ثانیاً به هنگام انتقال، اتلاف گرما به حداقل مقدار ممکن کاهش یابد.



شکل ۲۶: نوعی بخاری کوره دوجداره هوای گرم



شکل ۲۷: مشعل مورد استفاده در بخاری کوره دوجداره



شکل ۲۸: نوع پیشرفته‌تر بخاری دوجداره هوای گرم

۳-۶-۱. توزیع گرمای تولید شده توسط بخار آب و آب داغ

توزیع گرما در گلخانه، توسط لوله‌های حاوی بخار آب داغ و آب داغ، از مهم‌ترین روش‌های توزیع یکنواخت گرما در گلخانه است. معمولاً آب داغ با دمای ۸۲ درجه سانتیگراد (در مواردی ۹۵ درجه سانتیگراد) در لوله‌هایی به قطر ۵۱ میلیمتر (۲ اینچ) و بخار آب داغ، با دمای ۱۰۲ درجه سانتیگراد در لوله‌هایی با قطر ۳۲-۳۸ میلیمتر (۱/۵-۱/۲۵ اینچ) در گلخانه توزیع می‌شود. مقدار گرمای آزاد شده از هر متر لوله در جدول ۹ نشان داده شده است.

جدول ۹: گرمای آزاد شده از لوله‌هایی با قطرهای مختلف به وسیله بخار آب داغ و آب داغ

گرمای تولید شده				منبع گرما	قطر لوله
*** Kcal/hr/ m	** W/m	* BTU/hr/ft			
۱۷۵	۲۰۲	۲۱۰	۳۸ میلیمتر (۱/۵ اینچ)	بخار آب	
۱۵۰	۱۷۳	۱۸۰	۳۲ میلیمتر (۱/۲۵ اینچ)	بخار آب	
۱۳۴	۱۵۴	۱۶۰	۵۱ میلیمتر (۱/۵ اینچ)	آب داغ (۸۳°C)	
۱۶۷	۱۹۲	۲۰۰	۵۱ میلیمتر (۱/۵ اینچ)	آب داغ (۹۵°C)	

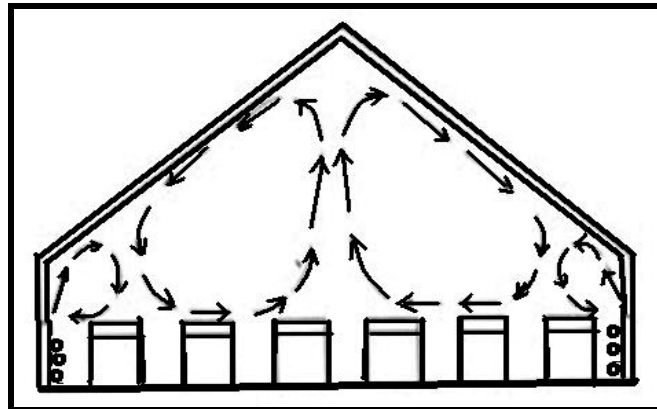
* BTU/hr/ft: بی‌تی‌یو، گرمای آزاد شده به ازای هر فوت از طول لوله در یک ساعت

** W/m: وات گرمای آزاد شده به ازای هر متر از طول لوله

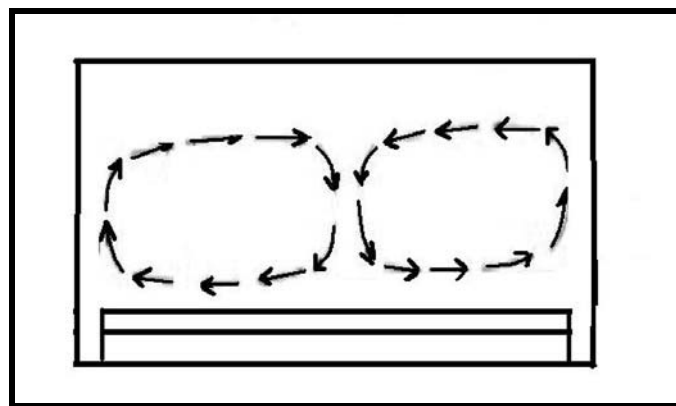
*** Kcal/hr/ m: کیلوکالری گرمای آزاد شده به ازای هر متر از طول لوله در یک ساعت

مثال ۲: در گلخانه‌ای که در هر ساعت به ۱۳۴۰۰۰ کیلو کالری گرما نیاز دارد و از سیستم آب داغ ۸۲ درجه سانتیگراد استفاده می‌کند، به ۱۰۰۰ متر لوله‌های ۲ اینچی نیاز است؛ زیرا هر متر لوله ۲ اینچی، ۱۳۴ کیلوکالری در ساعت گرما آزاد می‌کند. اگر از سیستم بخار آب داغ و لوله‌های ۳۸ میلیمتری استفاده شود، ۱۳۴۰۰۰ کیلو کالری در ساعت بر عدد ۱۷۵ تقسیم می‌شود تا متر از لوله مورد نیاز به دست آید که برابر ۷۶۵ متر خواهد بود.

نحوه استقرار لوله‌های گرم‌کننده بسیار مهم است؛ به‌طوری که اگر تمام لوله‌ها در دیواره جانبی و انتهای گلخانه قرار گیرند، جریان نامناسبی از هوا در داخل گلخانه به وجود خواهد آمد؛ نحوه گردش هوا در این حالت، در شکل ۲۹ نشان داده شده است. هوای گرم از لوله‌ها و در امتداد دیواره جانبی و بخشی از سقف گلخانه بالا رفته تا به جریان هوایی که بر اثر سرمای شیشه‌ها، یا پوشش‌های دیگر گلخانه، سرد شده و به سمت پائین در حال حرکت است، برخورد نماید؛ این دو جریان با هم می‌آمیزند و در این نقطه به سمت پائین سقوط می‌کنند؛ بخشی از این هوا به سمت لوله‌های آب گرم باز می‌گردد و بخش دیگر به سمت مرکز گلخانه و محل رویش گیاهان حرکت می‌کند و بدین ترتیب، نقطه سردی را در مرکز گلخانه ایجاد می‌کند. در مرکز گلخانه جریانات متعلق به دو سمت گلخانه با هم تماس پیدا کرده و صعود می‌کنند.



شکل ۲۹: برش عرضی گلخانه و نحوه گردش هوای گرم با نصب لوله‌های آب گرم بر روی دیواره جانبی



شکل ۳۰: برش طولی گلخانه و نحوه گردش هوای گرم با نصب لوله‌های آب گرم بر روی کف گلخانه

برش طولی گلخانه نشان می‌دهد که حرارت از لوله‌های آب گرم دیواره‌های انتهایی به سمت بالای گلخانه حرکت می‌کند و سپس در مسیر حرکت خود به سمت مرکز گلخانه، سرد شده و پس از آن، دو توده هوای سرد در مرکز گلخانه با یکدیگر برخورد کرده و به سمت پائین سقوط می‌کنند (شکل ۳۰)؛ بدین ترتیب این نقطه سرد می‌شود و رشد گیاهان موجود در این محل به تأخیر می‌افتد.

برای خنثی کردن این اثر، می‌توان لوله‌ها را در مناطقی قرار داد که جریان هوا به سمت پائین است؛ برای این منظور یک سوم لوله‌ها در عرض گلخانه و دو سوم باقیمانده در طول دیواره‌های جانبی نصب می‌شوند؛ تا حد امکان لوله‌های دیواره جانبی باید پائین نصب شوند تا مانعی در برابر ورود نور به گلخانه نباشند.

وقتی تعداد زیادی لوله بر روی هم انباشته می‌شوند (در دیواره جانبی)، کارایی آنها کاهش می‌یابد که برای جبران آن از لوله اضافی استفاده می‌شود. زمانی که دو لوله در کنار هم باشند این کاهش ناچیز است، اما هنگامی که ۵ لوله بر روی هم انباشته می‌شوند، کارایی آنها به اندازه ۴ لوله است.

۳-۶-۲. توزیع هوای گرم از بخاری‌های تراکمی و دو جداره

استفاده از این نوع بخاری‌ها در گلخانه‌های کوچک اهمیت بیشتری دارد. هوای گرم خارج شده از بخاری‌های تراکمی و دو جداره، به وسیله کانال‌های توزیع کننده در تمام فضای گلخانه توزیع می‌شوند؛ معمولاً جنس این کانال‌ها از پلاستیک‌های پلی اتیلن است و عمده‌تاً بر روی وترهای گلخانه نصب می‌شوند ولی در صورتی که گیاهان بر روی سکو پرورش داده شوند، می‌توان کانال‌های پلی اتیلن را در زیر سکوها قرار داد؛ بدین ترتیب که یک طرف این کانال به دهانه خروجی هوای گرم سیستم حرارتی متصل و طرف دیگر آن مسدود می‌شود و در نتیجه، با فشار پنکه، هوای گرم در طول کانال حرکت می‌کند تا به انتهای کانال برسد. در طول کانال و به فاصله هر ۵۰-۱۰۰ سانتیمتر، سوراخ‌هایی مدور به قطر ۵-۸ سانتیمتر به صورت جفت در دو طرف آن تعبیه و بدین ترتیب، توزیع گرما از یک سمت به سمت دیگر گلخانه تضمین می‌شود.

مجموع مساحت سوراخ‌های تعبیه شده در طول کانال، باید $2-1/5$ برابر مساحت دهانه کانال خروجی هوای گرم سیستم حرارتی باشد؛ اگر مجموع مساحت سوراخ‌ها، از مقدار فوق بیشتر باشد، مقدار زیادی از گرما در همان قسمت‌های ابتدایی کانال، از آن خارج شده و هوای گرم به قسمت‌های انتهایی آن نمی‌رسد و در صورتی که مجموع مساحت سوراخ‌ها کمتر باشد، هوای گرم به اندازه کافی از کانال خارج نمی‌شود.

مثال ۳: اگر قطر دهانه خروجی هوای گرم سیستم حرارتی، ۵۰ سانتیمتر و طول گلخانه ۴۰ متر باشد، چند سوراخ به قطر ۶ سانتی‌متر باید بر روی کانال تعبیه شود؟ فواصل آنها بر روی کانال باید چند سانتیمتر باشد؟

برای یافتن پاسخ فرض کنید که مجموعه مساحت سوراخ‌ها، دو برابر مساحت دهانه خروجی هوای گرم سیستم گرمایی باشد. در این مسئله، مساحت دهانه کانال (πr^2) برابر $1962/5$ سانتیمتر مربع است؛ بنابراین مجموعه مساحت سوراخ‌های بر روی کانال، باید ۳۹۲۵ سانتیمتر مربع باشد. از آنجایی که مساحت دهانه هر سوراخ بر روی کانال هدایت کننده، $28/26$ سانتیمتر مربع است، بنابراین تقریباً ۱۴۰ جفت سوراخ (مجموعاً ۲۸۰ سوراخ) باید بر روی کانال تعبیه شود. با توجه به اینکه طول گلخانه ۴۰ متر است، فاصله سوراخ‌ها از یکدیگر باید ۵۷ سانتیمتر باشد.

در صورتی که سیستم گرمایی در داخل گلخانه نصب شده باشد و نیازی به گرم یا سرد کردن گلخانه نباشد، می‌توان پنکه نصب شده بر روی سیستم گرمایی را روشن کرد تا هوای گلخانه دائماً در کانال‌های توزیع‌کننده هوا در جریان باشد.

۳-۷. محاسبه نیاز گرمایی گلخانه

مقدار گرمای لازم برای گرم کردن گلخانه، معادل گرمایی است که از سطح گلخانه اتلاف می‌شود و این گرما (گرمای مورد نیاز H) با استفاده از فرمول زیر به دست می‌آید:

$$H = A \times U \times (T_{in} - T_{out})$$

سه عامل اصلی در میزان اتلاف گرمای گلخانه مؤثر هستند:

الف- ضریب هدایت گرمایی پوشش گلخانه (U)

پوشش‌های مختلف گلخانه‌ای ضریب هدایت گرمایی متفاوتی دارند (فصل ۲، جدول ۸). هر چه ضریب هدایت گرمایی پوشش کمتر باشد، میزان اتلاف گرما نیز کمتر خواهد بود.

ب- اختلاف دمای داخل و خارج گلخانه ($T_{in} - T_{out}$)

هر چه اختلاف دمای داخل گلخانه با فضای خارج بیشتر باشد، میزان اتلاف گرما و نیز مصرف سوخت افزایش می‌یابد؛ به همین دلیل هزینه تولید در یک منطقه نیمه‌گرمسیری، مانند جیرفت (که شاید نیازی به سیستم گرمایی نداشته باشد) بسیار کمتر از یک منطقه سردسیری، مثل شهرکرد است که اختلاف دمای داخل و خارج گلخانه در سردترین شب‌های سال، شاید به ۵۰ درجه سانتیگراد نیز برسد.

در طراحی سیستم گرمایی باید به این نکته توجه داشت که قدرت سیستم گرمایی باید به اندازه‌ای باشد که بتواند گلخانه را در سردترین شب‌ها نیز به اندازه کافی گرم کند؛ بنابراین باید دمای سردترین شب‌ها طی ده سال گذشته در هر منطقه تعیین و سپس سیستم گرمایی بر مبنای آن طراحی گردد.

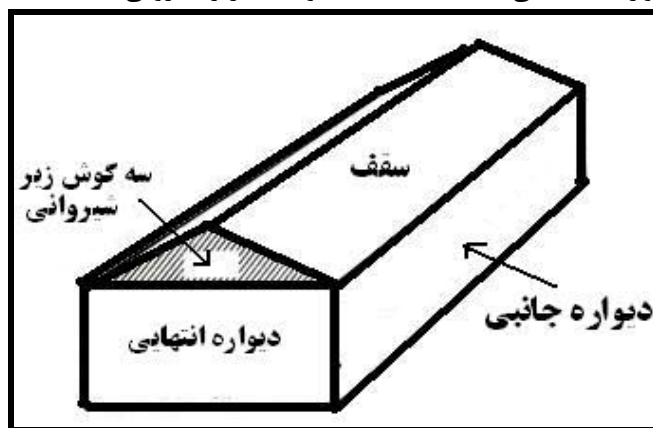
باد نیز با جابه‌جا کردن هوای تازه گرم شده بر روی پوشش گلخانه و جایگزینی هوای سرد به جای آن، سبب افزایش اتلاف گرمای گلخانه خواهد شد؛ مثلاً زمانی که اختلاف دمای داخل و خارج گلخانه، ۳۸ درجه سانتیگراد و سرعت باد ۲۴ کیلومتر بر ساعت باشد، اگر تأثیر باد بر اتلاف گرما از گلخانه، برابر ۱ فرض شود، با افزایش سرعت باد به بالاتر از ۴۰ کیلومتر در ساعت، تأثیر باد بر اتلاف گرما از گلخانه به ۱/۰۸ افزایش خواهد یافت و اتلاف گرمای گلخانه بیشتر خواهد شد. با احداث بادشکن می‌توان سرعت باد را تا حدی کاهش داد. بادشکن‌ها باید به نحوی احداث شوند که سبب سایه‌اندازی بر روی گلخانه نشوند.

ج- سطحی از گلخانه که با فضای بیرون مبادله حرارتی می‌کند (A)

این سطح شامل مجموع مساحت پوشش دهانه ابتدایی و انتهایی و دیواره جانبی گلخانه، بعلاوه مساحت پوشش سقف گلخانه است؛ هرچه این سطح بزرگتر باشد، میزان اتلاف گرما نیز بیشتر خواهد بود.

در گلخانه‌های دوطرفه (شکل ۳۱)، مساحت پوشش (A) برابر است با:

مساحت دیواره‌های جانبی گلخانه + مساحت دو مثلث زیر شیروانی + مساحت سقف = A

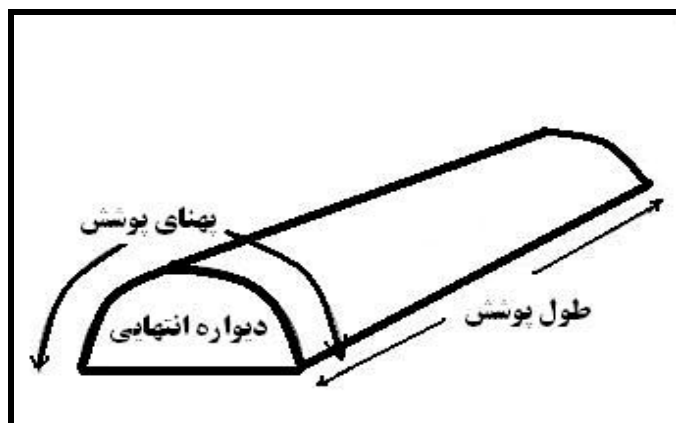


شکل ۳۱: محاسبه مساحت پوشش گلخانه دوطرفه

در گلخانه‌های کوانست بدون دیواره عمودی (شکل ۳۲)، مساحت پوشش برابر است با:

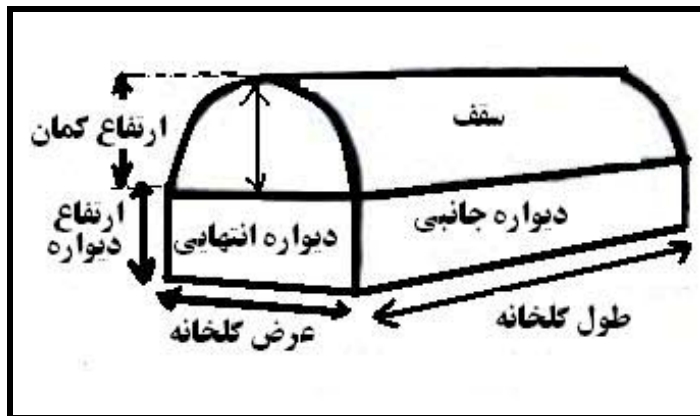
(پهنای پوشش گلخانه × طول گلخانه) + (مساحت دو نیم بیضی ابتدا و انتهایی) = A

۰/۵۵ × عرض گلخانه × ارتفاع کمان = مساحت نیم بیضی زیر قوس گلخانه



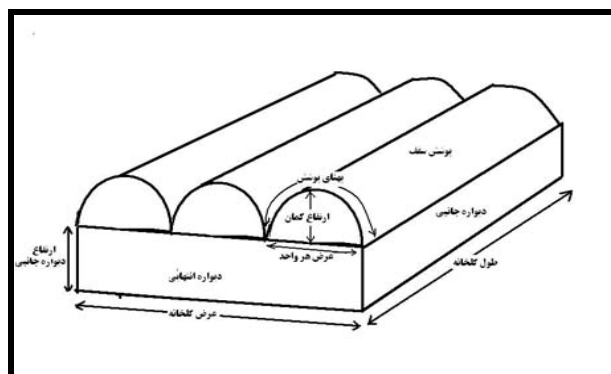
شکل ۳۲: محاسبه نیاز گرمایی گلخانه تونلی بدون دیواره جانبی

در گلخانه‌های کوانست با دیواره عمودی (شکل ۳۳)، مساحت پوشش برابر است با:
 + (مساحت دیواره‌های جانبی گلخانه) + (طول قوس گلخانه × طول گلخانه) = A
 (مساحت دو نیم بیضی ابتدا و انتهای گلخانه).



شکل ۳۳: محاسبه مساحت گلخانه تونلی با دیواره جانبی

در گلخانه‌های کوانست به هم پیوسته (شکل ۳۴)، مساحت پوشش برابر است با:
 + (تعداد واحدها × مساحت سقف یک واحد) + (مساحت دیواره‌های جانبی گلخانه) = A
 (تعداد واحدهای گلخانه × مساحت دو نیم بیضی یک واحد)



شکل ۳۴: محاسبه مساحت گلخانه تونلی به هم پیوسته

مقدار سوخت مصرفی یک ساعت را می‌توان به روش زیر محاسبه نمود:

مقدار کل گرمای مورد نیاز

مقدار سوخت مصرفی =

مقدار گرمای آزاد شده از واحد حجم سوخت

جدول ۱۰، مقدار گرمای آزاد شده را از واحد حجم منابع مختلف انرژی را نشان می‌دهد.

جدول ۱۰ مقدار گرمای آزاد شده از منابع و مواد مختلف انرژی را

نوع سوخت	واحد مصرف سوخت	گرمای تولید شده (Kcal)
الکتریسته	کیلو وات ساعت	۸۶۱
کک	تن	۶۰۶۰۶۰۶
نفت خام	لیتر	۹۲۰۶
گاز طبیعی	متر مکعب	۲۶۱
گاز طبیعی مایع	لیتر	۶۳۶۵
گازوئیل	لیتر	۸۷۰۰
بنزین	لیتر	۸۳۳۳

مثال ۴: گرمای مورد نیاز در یک گلخانه تونلی با پوشش پلی اتیلن یک لایه را با ابعاد زیر، در زمانی که اختلاف دمای داخل و خارج گلخانه ۳۳ درجه سانتیگراد است، محاسبه نمایید.

طول قوس گلخانه ۱۲ متر

ابعاد گلخانه ۵۰ × ۹ متر

ارتفاع دیواره عمودی ۲/۵ متر

ارتفاع گلخانه ۴ متر

اگر سوخت مصرفی از نوع گاز طبیعی باشد، مقدار مصرف آن را محاسبه نمایید.

مترمربع ۲۹۵ = $(۲ \times ۲/۵ \times ۵۰) + (۲ \times ۲/۵ \times ۹)$ = مساحت دیواره‌های جانبیمترمربع ۱۴/۸۵ = $(۹ \times ۱/۵ \times ۰/۵۵) \times ۲$ = مساحت دو نیم بیضی زیر قوسمترمربع ۴۵۰ = ۹×۵۰ = مساحت سقف

ضریب هدایت گرمایی U پوشش گلخانه طبق جدول ۸ برابر $۵/۷۹$ کیلوکالری بر ساعت در متر مربع است.

$$H = A \times U \times (T_{in} - T_{out})$$

$$H = ۷۵۹/۸۵ \times ۵/۷۹ \times ۳۳ = ۱۴۵۱۸۴/۵ \quad \text{کیلوکالری بر ساعت}$$

$$\text{فوت مکعب بر ساعت} = ۱۴۵۱۸۴/۵ \div ۲۶۱ = ۵۵۶ = \text{مقدار سوخت مصرفی}$$

در تأمین گرمای گلخانه، توجه به نکات زیر می‌تواند مفید باشد:

الف- مقدار گرمای مورد نیاز گلخانه، ۱۰-۱۵ درصد بیشتر از مقدار گرمای به دست آمده از طریق فرمول فوق است؛ زیرا همیشه سوخت به صورت کامل نمی‌سوزد تا ۱۰٪ انرژی آن به گرما تبدیل شود و بنابراین، مقداری از سوخت به علت کارایی کم دستگاه حرارتی و از طریق دودکش‌ها به هدر می‌رود و مقداری از گرما نیز از طریق نشت، از راه در و پنجره‌ها، دریچه‌های تهویه و غیره به خارج از گلخانه هدایت می‌شود؛ بنابراین به مقدار گرمای مورد نیاز، ۱۰-۱۵ درصد دیگر اضافه می‌شود.

ب - نکته مهم دیگر، ضرورت وجود یک دستگاه ژنراتور برق اضطراری در گلخانه است. زیرا قطعی برق برای چند ساعت و خاموش شدن سیستم حرارتی، سبب سرمازدگی گلخانه‌ها می‌گردد.

ج- همیشه یک دستگاه سیستم حرارتی اضافی در گلخانه وجود داشته باشد تا در صورت هر گونه خرابی سیستم حرارتی برای چند ساعت، بتوان از این دستگاه اضافی استفاده نمود.

د- گاز به عنوان سوختی ارزان و با آلودگی زیست محیطی کم، همیشه در دسترس است؛ بنابراین تا حد امکان گلخانه در جایی ساخته شود که امکان دسترسی به گاز وجود داشته باشد. استفاده از گازوئیل (غیر از مسئله آلودگی‌های زیست محیطی) در مناطق سردسیر، باعث مشکلاتی، از قبیل یخ‌زدن سوخت می‌شود. در برخی از مناطق سردسیر کشور، به علت کاهش شدید دما در بعضی از سال‌ها، منبع سوخت گازوئیل یا لوله‌های انتقال‌دهنده سوخت، از منبع به داخل گلخانه یخ می‌زند و سبب خاموش شدن سیستم گرمایی می‌گردد. برای جلوگیری از یخ‌زدن گازوئیل می‌توان اقدامات زیر را انجام داد:

- مقداری نفتالین به منبع سوخت اضافه شود تا گازوئیل در دماهای پایین‌تر یخ نزند؛
- منبع سوخت و لوله‌های انتقال‌دهنده سوخت به گلخانه با پشم شیشه پوشانیده شود؛
- گودالی به اندازه منبع سوخت حفر نموده و منبع در داخل آن قرار گیرد و با خاک پوشانده شود؛

- به جای چند منبع کوچک سوخت، از یک منبع بزرگ سوخت استفاده شود، زیرا منبع کوچک، زودتر یخ می‌زند.

۳-۸. روش‌های حفظ گرما در داخل گلخانه و کاهش مصرف سوخت

۳-۸-۱. طرح گلخانه‌ای

هر چه سطح مبادله‌کننده حرارتی گلخانه کمتر باشد، میزان اتلاف گرما و مصرف سوخت کمتر خواهد بود؛ به همین دلیل توصیه می‌شود که به جای ساخت چندین گلخانه به صورت تک‌واحدی، آنها را به صورت به هم پیوسته (چندقلو) طراحی نمود؛ در این حالت میزان اتلاف گرما، تا ۲۷٪ قابل کاهش است.

۳-۸-۲. پوشش گلخانه‌ای

بیشترین گرمای گلخانه از طریق رسانایی، یا هدایت پوشش‌ها و مقداری نیز از طریق نفوذ تدریجی هوا از درزها و شکاف‌ها تلف می‌شود. هر چه میزان هدایت گرمایی پوششی کمتر باشد، میزان اتلاف گرما نیز کمتر خواهد بود. ضریب هدایت گرمایی پلی‌اتیلن یک‌لایه و پلی‌اتیلن دولایه به ترتیب، ۴/۷۶ و ۲/۷۷ کیلوکالری بر ساعت است؛ بنابراین با مقایسه ضریب هدایت گرمایی پلی‌اتیلن یک‌لایه و پلی‌اتیلن دولایه مشاهده می‌شود که میزان اتلاف گرما از پوشش پلی‌اتیلن دولایه، ۴۰٪ کمتر از پلی‌اتیلن یک‌لایه است.

در برخی از مناطق سردسیر ایران، بعضی از گلخانه‌داران یک لایه پلاستیک در ارتفاع ۲-۳ متری از سطح زمین نصب و آن را به عنوان پوشش دولایه تلقی می‌کنند؛ در حقیقت این لایه نوعی پرده محافظ حرارتی است و با پوشش دولایه تفاوت دارد و اصولاً کارایی پوشش دولایه را در کاهش اتلاف گرما ندارد.

۳-۸-۳. احداث بادشکن

وجود بادشکن نقش مهمی در کاهش مصرف سوخت دارد. در احداث بادشکن باید از درختان سریع‌الرشد همیشه سبز استفاده کرد. با توجه به کاهش شدت نور خورشید در زمستان و برای جلوگیری از سایه‌اندازی درختان بر روی گلخانه، فاصله بادشکن از گلخانه باید ۲/۵ برابر ارتفاع بادشکن باشد. وجود بادشکن می‌تواند سبب ۵-۱۰ درصد کاهش مصرف سوخت گردد.

۳-۸-۴. استفاده از پرده‌های محافظ حرارتی^۱

پرده‌هایی از جنس پلاستیک‌های مختلف وجود دارد که متحرک‌اند و هر شب در ارتفاع ۲-۳ متری یا بیشتر (با توجه به ارتفاع گلخانه و نوع گیاه) نصب می‌شود که سبب کاهش اتلاف گرما و کم شدن حجم گلخانه می‌گردد. این روش بیشتر برای گلخانه‌های بزرگ و به‌هم‌پیوسته مورد استفاده قرار می‌گیرد (شکل ۳۵)؛ زمانی که این پرده‌ها در روز باز هستند، نور خورشید تقریباً بدون کاهش به داخل گلخانه وارد می‌شود. از مزایای این روش، گرم‌تر شدن گلخانه و جلوگیری از اختلاف شدید دمای شب و روز و همچنین جلوگیری از تشکیل قطرات آب بر روی سطح پلاستیک است. در برخی از گلخانه‌های سنتی نیز یک لایه پلاستیک پلی‌اتیلن در ارتفاع ۲-۳ متری نصب (شکل ۳۶) و یا پوشش دومی به صورت موازی با پوشش سقف گلخانه تعبیه می‌شود؛ هرچند این لایه مانع از میعان بخار آب و ریزش آن بر روی سطح گیاهان می‌شود، ولی در صورتی که این پرده به صورت صحیح نصب نشود، به دلیل تشکیل قطرات آب بر روی لایه خارجی و ریزش آن بر روی پرده محافظ حرارتی، سبب تشکیل کیسه‌های آب بر روی این پرده خواهد شد. پرده‌های حرارتی ممکن است به یکی از روش‌های زیر نصب شوند:

- الف- به صورت موازی با سقف گلخانه از ستونی به ستون دیگر؛
- ب- به صورت افقی در ارتفاع ناودان و متحرک بین ستون‌ها؛
- ج- به صورت افقی در ارتفاع ناودان و متحرک بین ناودان‌ها؛
- د- به صورت افقی در ارتفاع ناودان و متحرک به سمت پی گلخانه.



شکل ۳۵: پرده محافظ حرارتی گلخانه



شکل ۳۶: نوعی پرده محافظ حرارتی از جنس پلی اتیلن که به صورت دائمی نصب می شود

پرده های حرارتی باید کاملاً سفت و کشیده نصب شوند، زیرا پرده های شل در حفظ انرژی گرمایی گلخانه کارایی چندانی ندارند؛ کناره های پرده نباید باز و به سمت پایین آویزان باشد، چون امکان پائین آمدن هوای سرد سقف از طریق کناره های باز پرده وجود دارد؛ ضمناً کناره های پرده باید به داخل ناودان های خاصی هدایت شوند و در زمان بسته شدن، پرده ها کاملاً با یکدیگر همپوشانی داشته باشند.

۳-۸-۵. بستن کلیه منافذ و درزها

یکی از روش های مهم اتلاف گرما، خروج آن از طریق درزها و شکاف ها است؛ بنابراین باید کلیه منافذ، دریچه ها و پنجره ها بسته شود. باز و بسته شدن مکرر درهای ورودی نیز سبب هدر رفتن گرما می گردد؛ لذا توصیه می شود که جلوی در ورودی، اتاقکی احداث شود تا در ورودی گلخانه مستقیماً به فضای بیرون گلخانه باز نشود (شکل ۳۷). این عمل علاوه بر کاهش اتلاف گرما، تا حدودی نیز از ورود حشرات جلوگیری می نماید. در محل نصب پنکه ها نیز، مقداری از گرما خارج می گردد؛ بنابراین پنکه ها حتماً باید کرکره دار باشند (شکل ۳۸) تا در زمانی که خاموش هستند از خروج گرما جلوگیری شود. پنجره ها، سقف و دیوارهای جانبی نیز باید به طور کامل درزگیری شوند.

۳-۸-۶. افزایش کارایی سیستم حرارتی

یکی از روش های کاهش مصرف سوخت، بالا بردن کارایی سیستم حرارتی است؛ به همین منظور باید از خوب سوختن مواد سوختی اطمینان حاصل شود و با سرویس منظم سیستم حرارتی، از

دوده بستن آن جلوگیری شود؛ همچنین با به حداقل رساندن هدر رفتن گرما از طریق دودکش می‌توان از اتلاف آن جلوگیری کرد.

۳-۸-۷. استفاده از ترموستات دقیق

در گلخانه‌ها، از ترموستات برای کنترل دمای گلخانه استفاده می‌شود (شکل ۳۹) که باید دقیق و از حساسیت بالایی برخوردار باشد. برای تعیین میزان دقت ترموستات از اصطلاح بار مرده استفاده می‌شود. فرض کنید ترموستات گلخانه‌ای بر روی دمای ۲۵ درجه سانتیگراد تنظیم شده باشد. اگر این ترموستات به جای ۲۵ درجه سانتیگراد، در دمای ۲۸ درجه عمل کرده و سیستم حرارتی را خاموش نماید، در این صورت گفته می‌شود که بار مرده ترموستات، ۳ درجه سانتیگراد است.



شکل ۳۷: استفاده از یک اتاقک اولیه برای ورود غیر مستقیم به گلخانه



شکل ۳۸: بستن کامل دریچه‌های تهویه برای جلوگیری از خروج گرما



شکل ۳۹: ترموستات برای کنترل دمای گلخانه

حداکثر بار مرده ترموستات، باید ۱ درجه سانتیگراد باشد. اگر بار مرده ترموستات زیاد باشد سبب گرم شدن بیش از حد گلخانه و افزایش مصرف سوخت می‌گردد، در حالی که این افزایش دما هیچ تأثیر مثبتی در افزایش رشد و عملکرد بوته‌ها نخواهد داشت.

ترموستات باید در مرکز گلخانه و در ارتفاعی هم‌سطح گیاه قرار گیرد و با افزایش ارتفاع گیاهان، ترموستات نیز در ارتفاعی بالاتر و هم‌سطح با بوته‌ها نصب می‌شود. ترموستات باید در محفظه‌ای دریچه‌دار و دور از نور مستقیم خورشید قرار گیرد (شکل ۴۰). برخورد نور مستقیم خورشید به ترموستات، سبب خاموش شدن سیستم حرارتی در روزهای سرد، ولی آفتابی زمستان می‌گردد.

توصیه می‌شود که برای دمای بالاتر و پائین‌تر از دماهای بحرانی، از آژیر خطر استفاده شود (شکل ۴۱)، همچنین استفاده از یک دماسنج حداکثر- حداقل برای آگاهی از حداکثر و حداقل دمای روزانه و تعیین دقت ترموستات ضروری است (شکل ۴۲).

۳-۸-۸. متناسب بودن دمای گلخانه با شدت نور

نور، دما و دی‌اکسیدکربن سه عامل مهم در فتوسنتز هستند و برای آنکه فتوسنتز به حداکثر برسد، باید هر یک از این عوامل در حد بهینه باشد؛ بنابراین دمای گلخانه نیز باید متناسب با شدت نور تغییر یابد؛ مثلاً در روزهای ابری زمستان، که شدت نور گلخانه کاهش می‌یابد، دمای گلخانه نیز باید کمتر از روزهای آفتابی و پر نور باشد. لذا توصیه می‌شود که در روزهای ابری، دمای گلخانه ۲-۵ درجه کمتر از دمای گلخانه در روزهای آفتابی و پر نور باشد؛ زیرا در روزهای ابری، بالا بودن دمای گلخانه تأثیری در افزایش رشد و فتوسنتز گیاهان ندارد و فقط سبب افزایش مصرف سوخت می‌شود.

۳-۸-۹. استفاده از اتاقک نکثیر

برخی از گیاهان، مانند صیفی جات گلخانه‌ای، نیاز به پرورش نشا دارند. بعضی از گلخانه‌داران بذور گیاهان را به طور مستقیم در زمین اصلی کشت می‌کنند و یا اینکه پس از کشت بذور در جعبه‌های نشا، آنها را در گلخانه پرورش می‌دهند که عمل اشتباهی است؛



شکل ۴۰: محفظه مورد استفاده ترموستات



شکل ۴۱: سیستم آژیر خطر برای گرمای بیش از حد و کاهش گرمای گلخانه



شکل ۴۲: دماسنج حداکثر- حداقل برای ثبت حداقل و حداکثر دمای شبانه‌روز

زیرا در این روش، گلخانه‌دار مجبور است کل فضای گلخانه را به خاطر وجود چند جعبه نشا گرم نماید که مستلزم مصرف سوخت زیادی است. بنابراین توصیه می‌شود که گلخانه‌داران برای کاهش مصرف سوخت و نظارت بهتر بر پرورش نشا، اتاقک پرورش نشا احداث نمایند تا کلیه عملیات‌های نگهداری و مراقبت نشا در این اتاقک انجام شود و پس از رسیدن نشا به مرحله ۴-۵ برگ، آنها را به گلخانه و زمین اصلی انتقال داد. این روش سبب کاهش مصرف سوخت می‌گردد.

۳-۸-۱۰. برقراری جریان مداوم هوا در گلخانه

یکی از روش‌های مناسب برای برقراری جریان مداوم هوا در گلخانه، استفاده از پنکه‌های افقی برای تولید جریان افقی هوا (HAF)^۱ در گلخانه است؛ این عمل سبب یکنواخت‌تر شدن دمای گلخانه و مانع ایجاد شیب گرمایی می‌شود. از آنجایی که هوای گرم به سمت بالا حرکت می‌کند، گرمای زیادی در زیر تاج گلخانه تجمع می‌یابد. برقراری جریان هوا در داخل گلخانه باعث جلوگیری از تجمع گرما در زیر تاج و کاهش اتلاف گرما می‌شود؛ همچنین با کاهش تراکم رطوبت بر روی شاخ و برگ‌ها، سبب کاهش بروز بیماری‌ها می‌گردد؛ استفاده از این روش در جلوگیری از شیوع بیماری سفیدک سطحی بسیار مؤثر است.

حداقل سرعت جریان هوا، ۰/۲ و حداکثر آن ۱ متر بر ثانیه است. بنابراین، استفاده از پنکه‌هایی با قدرت ۷۵ وات و قطر ۴۰-۵۰ سانتیمتر کفایت می‌کند (شکل ۴۳).

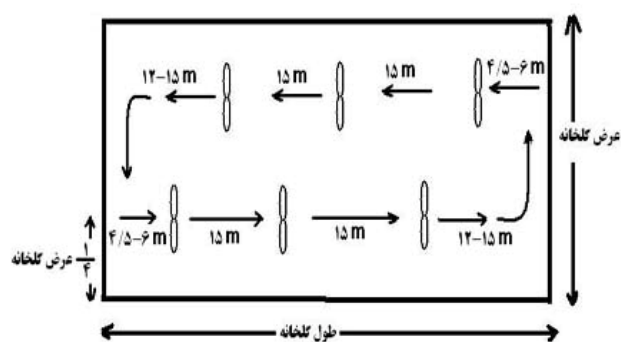
نحوه نصب و جهت قرار دادن پنکه‌ها در داخل گلخانه بسیار مهم است: در گلخانه‌های تک‌واحدی، پنکه‌ها در دو طرف طول گلخانه نصب می‌شود و فاصله آنها از دیواره جانبی به اندازه یک‌چهارم عرض گلخانه است؛ فاصله اولین پنکه تا دیواره پشتی آن ۴/۵-۶ متر، فاصله پنکه‌های

1. Horizontal Air Flow

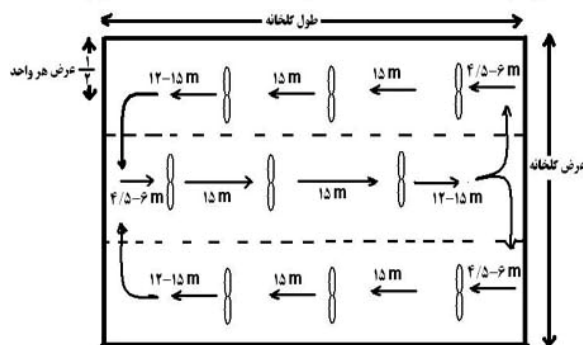
بعدی از یکدیگر، ۱۵ متر و فاصله آخرین پنکه از دیواره انتهایی روبروی آن، ۱۲-۱۵ متر است (شکل ۴۴). در گلخانه‌های به هم پیوسته، پنکه‌ها در زیر تاج گلخانه (یک‌دوم عرض هر واحد) نصب می‌شوند و فواصل پنکه‌ها از یکدیگر نیز، مانند گلخانه‌های تک‌واحدی است (شکل ۴۵).



شکل ۴۳: پنکه‌های مورد استفاده در سیستم جریان افقی هوا (HAF)



شکل ۴۴: نحوه نصب پنکه‌های (HAF) در گلخانه‌های تک‌واحدی



شکل ۴۵: نحوه نصب پنکه‌های (HAF) در گلخانه‌های به هم پیوسته

۳-۹. تنظیم دمای بستر خاک

گرم کردن محیط ریشه گیاه سبب دستیابی به محصولی با کیفیت بالاتر و زودرس می‌شود. کاهش دمای خاک به پائین‌تر از حد مطلوب، موجب کاهش رشد و گسترش ریشه، کاهش جذب آب و عناصر غذایی، و خاک سرد و مرطوب، باعث افزایش فعالیت موجودات ذره‌بینی مانند بوته‌میری^۱ می‌گردد. اگر دمای محیط ریشه در حد بهینه نگهداری شود، دمای محیط گلخانه را می‌توان ۳-۵/۵ درجه سانتیگراد کاهش داد؛ بنابراین با کاهش اتلاف گرما، در مصرف انرژی صرفه‌جویی می‌شود. برای دستیابی به رشد مطلوب گیاه، دمای محیط ریشه بسیار مهم‌تر از دمای برگ است.

برای طراحی سیستم گرمایی ریشه، نیاز به سیستم آب گرم شامل یک دیگ آب گرم، پمپ قوی، لوله‌ها و حسگرهای^۲ کنترل‌کننده دمای خاک است؛ برای این منظور می‌توان از لوله‌های پلی‌اتیلن، که به صورت غلطان هستند، استفاده نمود. این لوله‌ها باید حداقل فشار ۱۰۰ PSI را تحمل کنند. هرچند لوله‌های پلی‌اتیلن می‌توانند آب گرم ۵۵ درجه سانتیگراد را نیز منتقل کنند، اما این نوع لوله‌ها به آبی در دمای ۳۸ درجه سانتیگراد نیاز دارند تا دمای ۲۱-۲۴ درجه سانتیگراد را برای خاک فراهم کنند. یک سیستم برگشت آب نیز وجود دارد تا آب سرد شده را مجدداً به دیگ برگرداند. برای کنترل دمای خاک، از دماسنج خاکی نیز استفاده می‌شود. این دماسنج در عمق ریشه‌دوانی گیاه (۱۵-۲۰ سانتیمتر) قرار می‌گیرد (شکل‌های ۴۶ و ۴۷). لوله‌های دیگری نیز، از جنس فلز یا پلی‌وینیل کلراید (PVC) وجود دارند که برای گرم کردن

1. Damping off

2. Sensor

بستر خاک (پاگرما)^۱ قابل استفاده هستند، اما در سطوح تجاری از لوله‌های (PVC) استفاده می‌شود (شکل ۴۸).

برای گوجه‌فرنگی و خیار، که به صورت یک ردیف، داخل بستر خاکی یا به صورت کیسه‌ای پرورش داده می‌شود، یک لوله آب گرم در زیر هر ردیف قرار داده می‌شود. با تخمین اینکه هر متر از طول لوله (PVC) در یک ساعت می‌تواند $27/5 \text{ kcal}$ گرما آزاد کند ($27/5 \text{ kcal/hr/m}$)، برای گلخانه‌ای به ابعاد $10 \times 30/5$ متر و با ۱۰ ردیف گیاه، به 8387 kcal گرما در هر ساعت نیاز است:

$$8387 \text{ Kcal/hr} = (27/5 \times (\text{ردیف}) \times 10 \times (\text{متر}) \times 30/5)$$

۱۰ درصد نیز به عنوان پرت گرمایی و عدم کارایی صددرصد سیستم گرمایی به عدد فوق اضافه می‌شود. محاسبات فوق بر مبنای آب ۳۸ درجه سانتیگراد انجام شده است.



شکل ۴۶: دماسنج مورد استفاده برای تعیین دمای خاک



شکل ۴۷: دماسنج خاکی نصب شده در بستر کشت گلخانه



شکل ۴۸: لوله‌های (PVC) نصب شده در زیر بستر برای گرم و خنک کردن خاک

برخی کارخانجات تولیدکننده لوله، دمای لوله‌ها را ۶۰ درجه سانتیگراد تنظیم می‌کنند تا انتقال گرما افزایش یابد اما ممکن است سبب بروز خسارت به ریشه برخی از گونه‌های گیاهی شود.

یک سیستم گرمایی با قدرت ۳۰۰۰۰-۴۰۰۰۰ Btu در ساعت، می‌تواند گرمای مورد نیاز را برای گرم کردن محیط ریشه گلخانه‌ای به مساحت ۲۸۰-۵۶۰ متر مربع تأمین نماید؛ البته چون این سیستم قادر به گرم کردن محیط گلخانه در شب‌های سرد زمستان نیست، یک سیستم گرمایی دیگری نیز برای محیط گلخانه لازم است؛ بنابراین بهتر است با نصب یک سیستم گرمایی بزرگ‌تر، برای گرم کردن محیط گلخانه و بستر خاک گلخانه از این سیستم گرمایی استفاده شود. یک شیر فلکه^۱ حساس به گرما نیز در مسیر لوله اصلی آب گرم و لوله برگشت آب سرد تعبیه می‌شود تا دمای ۳۸ درجه سانتیگراد را برای سیستم تأمین کند. برای اینکه آب در طول لوله‌ها به صورت دائمی در حال گردش باشد، به یک پمپ نیاز است. برای لوله‌هایی به قطر ۱۲ میلیمتر (۱/۲ اینچ)، سرعت جریان آب به ازای هر فوت از طول لوله، باید ۷/۵ لیتر در دقیقه باشد؛ با نصب یک ترموستات در مخزن آب سیستم، می‌توان دمای آب را کنترل نمود؛ فعالیت پمپ نیز به وسیله یک ترموستات الکتریکی، که در عمق ۲۰ سانتیمتری خاک نصب می‌شود، کنترل می‌گردد؛ اختلاف بین دمای خاموش و روشن شدن پمپ ۱-۲ درجه سانتیگراد است.

گرم کردن منطقه ریشه خاک تا حدودی می‌تواند سبب گرم شدن محیط گلخانه نیز گردد. در شب‌های سرد زمستان، کمتر از ۲۵٪ دمای محیط گلخانه از طریق گرمای بستر خاک تأمین می‌شود؛ بنابراین برای گرم کردن محیط گلخانه به انرژی کمتری نیاز خواهد بود.

1. Valve

در برخی موارد نیز، دمای زیاد خاک مانع از عملکرد خوب در محصول شده و باید به نحوی دمای آن تعدیل شود. برخی از گیاهان، مانند آلتومریا^۱، به دمای محیط ریشه بسیار حساس هستند؛ بنابراین باید تا حد امکان، دمای بستر را برای این گیاه در حد ۱۷ درجه سانتیگراد ثابت نگه داشت. این موضوع در فصل تابستان، که دمای محیط ریشه به بیش از ۲۰ درجه سانتیگراد می‌رسد، از اهمیت بیشتری برخوردار است؛ لذا لازم است که به نحوی دمای محیط ریشه کاهش یابد. البته آبیاری بستر به نوبه خود باعث کاهش دمای محیط ریشه می‌شود، ولی کافی نیست. بنابراین در این موارد، به جای استفاده از لوله‌های آب گرم در زیر بستر کشت، از لوله‌های آب سرد استفاده می‌شود. نحوه نصب لوله‌های آب سرد نیز، مانند لوله‌های آب گرم است. وجود یک حسگر حرارتی حساس در داخل بستر کشت، موجب کنترل بهتر دمای محیط رشد ریشه می‌گردد.

خلاصه مطالب

- ۱- دما یکی از مهم‌ترین عوامل محیطی است که در شرایط گلخانه‌ای باید برای رشد گیاهان تأمین گردد. میزان دمای شبانه باید کمتر از دمای روزانه باشد تا میزان تنفس کمتری در طول شب انجام شود. طبق یک قاعده کلی، گیاهان گلخانه‌ای را در شرایطی پرورش می‌دهند که در روزهای روشن و بدون ابر، درجه حرارت روز، ۸ درجه و در روزهای ابری، ۳-۶ درجه سانتیگراد بیشتر از دمای شب باشد.
- ۲- (DIF) اصطلاحی است که از درجه حرارت روزانه منهای درجه حرارت شبانه به دست می‌آید. یک رابطه عملی بین ارتفاع گیاه و اختلاف درجه حرارت روزانه با شبانه (DIF) وجود دارد: اگر میزان (DIF) مثبت باشد، ارتفاع گیاه بلندتر می‌شود و در صورتی که میزان (DIF) از مثبت به صفر تنزل یابد، ارتفاع گیاه به طور قابل ملاحظه‌ای کاهش خواهد یافت و هرچه میزان (DIF) از صفر به طرف منفی تغییر یابد، باز هم ارتفاع گیاه کوتاه می‌شود.
- ۳- به طور کلی حرارت لازم برای گرم کردن گلخانه، معادل گرمای خارج شده از گلخانه است. بخش اعظمی از گرمای گلخانه از طریق انتقال گرما (همرفت) از پوشش گلخانه‌ها از دست می‌رود؛ مقداری از گرما نیز از طریق درزها و شکاف‌ها، درهای ورودی و بخشی نیز به صورت تابشی (اشعه مادون قرمز) از گلخانه خارج می‌شود.
- ۴- سیستم‌های حرارتی به دو نوع حرارت مرکزی و موضعی تقسیم می‌شوند.
- ۵- در سیستم حرارت مرکزی، دو یا چند دیگ بخار در یک محل نصب و بخار آب داغ، یا آب داغ تولید شده، از طریق لوله‌هایی به نقاط مختلف گلخانه منتقل می‌شود. از معایب این سیستم، بالا بودن هزینه اولیه آن است و صرفاً برای گلخانه‌های بزرگ با مساحت بیش از ۴۰۰۰ متر مربع مناسب است.
- ۶- سیستم حرارتی موضعی به دلیل ارزان بودن، برای گلخانه‌هایی با مساحت کم یا گلخانه‌هایی که قادر به تأمین هزینه سنگین احداث سیستم حرارت مرکزی نیستند، مناسب است. در این روش، چند بخاری در نقاط مختلف داخل گلخانه نصب شده و بدین ترتیب باعث گرم شدن محیط اطراف خود می‌شوند. بخاری‌های حرارت موضعی انواع مختلفی دارند و به چهار دسته تراکمی، کنوکسیون یا همرفتی، تابشی و دوجداره هوای گرم تقسیم می‌شوند.
- ۷- بخاری‌های موضعی به دلیل مصرف اکسیژن داخل گلخانه، و احتمال ورود دود و گازهای سمی به داخل آن ممکن است خطرناک باشند.
- ۸- برای توزیع گرمای تولید شده توسط سیستم حرارت مرکزی، از لوله‌های آب گرم یا یخار آب داغ استفاده می‌شود که دو سوم این لوله‌ها در دیواره‌های جانبی و یک سوم دیگر در کف گلخانه نصب می‌شوند.

۹- مقدار گرمای لازم برای گرم کردن گلخانه، معادل گرمایی است که از سطح گلخانه اتلاف می‌شود. سه عامل در اتلاف گرمای گلخانه دخالت دارند که عبارتند از: ۱- سطحی از گلخانه که با فضای بیرون مبادله حرارتی می‌کند (A)، ۲- ضریب هدایت گرمایی پوشش گلخانه (U)، ۳- اختلاف دمای داخل و خارج گلخانه ($T_{in}-T_{out}$)

$$H = A \times U \times (T_{in} - T_{out})$$

۱۰- روش‌های حفظ گرما در داخل گلخانه و کاهش مصرف سوخت در گلخانه عبارتند از: نوع طرح گلخانه، نوع پوشش گلخانه‌ای، احداث بادشکن، استفاده از پرده‌های محافظ حرارتی، بستن کلیه منافذ و درزها، استفاده از ترموستات دقیق، استفاده از اتاقک تکثیر و برقراری جریان مداوم هوا در گلخانه.

۱۱- گرم کردن محیط ریشه گیاه سبب دستیابی به محصولی با کیفیت بالاتر و زودرس می‌شود. کاهش دمای خاک به پائین‌تر از حد مطلوب، موجب کاهش رشد و گسترش ریشه، کاهش جذب آب و عناصر غذایی می‌گردد.

۱۲- برای طراحی سیستم گرمایی ریشه، به سیستم آب گرم نیاز است و لازم است که زیر بستر کشت، لوله‌گذاری شود؛ برای این منظور، معمولاً از لوله‌های (PVC) استفاده می‌شود. این نوع لوله‌ها، به آبی در دمای ۳۸ درجه سانتیگراد نیاز دارند تا دمای ۲۱-۲۴ درجه سانتیگراد را برای خاک فراهم کنند.

پرسش‌های فصل سوم:

- ۱- نیاز گرمایی گلخانه‌ای تونلی چهارواحدی و به‌هم‌پیوسته‌ای را با مشخصات ذیل تعیین کنید.
ابعاد گلخانه: 28×50 متر
عرض هر واحد: ۷ متر
ارتفاع دیواره جانبی: ۳ متر
ارتفاع کمان: ۲ متر
پهنای هر کمان: ۹ متر
دمای بیرون گلخانه: (-20) درجه سانتیگراد، دمای مطلوب داخل گلخانه: ۲۰ درجه سانتیگراد
نوع پوشش: پلی‌اتیلن دولایه
- ۲- در صورتی که بخواهیم در سیستم گرمایی گلخانه فوق، از سیستم حرارت مرکزی با آب داغ (با استفاده از لوله‌های ۳۲ میلی‌متری) استفاده نماییم، مقدار لوله مورد نیاز و نحوه جایگذاری آن را توضیح دهید.
- ۳- اگر قطر دهانه کانال توزیع هوای گرم، ۳۰ سانتی‌متر، طول گلخانه ۵۰ متر و قطر دریچه‌های روی کانال ۵ سانتی‌متر باشد، تعداد سوراخ‌های مورد نیاز و فواصل آنها را از یکدیگر بر روی کانال محاسبه نمایید.
- ۴- (DIF) چیست؟ نقش آن را در کنترل ارتفاع گیاه شرح دهید.
- ۵- نحوه نصب پنکه‌های (HAF) را برای گلخانه‌ای تونلی چهارواحدی به‌هم‌پیوسته به طول ۵۰ متر و عرض ۲۸ متر را، که عرض هر واحد ۷ متر است، مشخص نموده و جهت گردش هوا در گلخانه را دقیقاً تعیین نمایید.
- ۶- مدیریت دمای گلخانه را یا توجه به شدت نور گلخانه توضیح دهید.
- ۷- نحوه کار بخاری‌های تابشی با انرژی پائین را توضیح دهید و مزایای آن را بیان کنید.
- ۸- اتلاف گرمای گلخانه از طریق تابش را توضیح دهید. چگونه می‌توان از این اتلاف گرما جلوگیری کرد؟
- ۹- چگونه می‌توان از سیستم حرارتی گلخانه هم برای گرم کردن گلخانه و هم به گردش در آوردن هوای گلخانه استفاده نمود؟
- ۱۰- برخی از روش‌های حفظ گرما و کاهش مصرف سوخت گلخانه را بیان نمایید.
- ۱۱- اگر لوله‌های توزیع‌کننده آب گرم سیستم حرارت مرکزی را به طور کامل بر روی دیواره‌های جانبی یا کف گلخانه نصب کنیم، چه مشکلی پیش خواهد آمد؟
- ۱۲- بار مرده ترموستات چیست؟ نحوه نصب ترموستات را در گلخانه توضیح دهید.
- ۱۳- مزایای پرده محافظ حرارتی چیست؟ نحوه مدیریت آن را در گلخانه توضیح دهید.
- ۱۴- دمای خاک چه تأثیری در رشد و نمو گیاهان دارد؟
- ۱۵- مزایا و معایب بخاری‌های موضعی را در مقایسه با سیستم حرارت مرکزی بیان کنید.

فصل چهارم

خنک کردن گلخانه

هدفهای رفتاری

- پس از مطالعه این فصل از خواننده انتظار می‌رود که:
- ۱- روش‌های ساده و پیشرفته خنک کردن گلخانه را بداند.
 - ۲- سیستم‌های مختلف خنک‌کننده تابستانی و زمستانی را بشناسد.
 - ۳- بتواند سیستم پنکه و پوشال را برای یک گلخانه طراحی نماید.
 - ۴- بتواند سیستم خنک‌کننده زمستانی را برای یک گلخانه طراحی نماید.

۴-۱. خنک کردن گلخانه در تابستان

معمولاً در طول فصل گرم سال و در طول روز، دمای داخل گلخانه بسیار بیشتر از دمای مطلوب گیاهان و برای آنها مضر است؛ حتی اگر هواکش‌ها نیز باز باشند، هوای داخل گلخانه ۱۱ درجه سانتیگراد بیشتر از محیط بیرون گلخانه است. آثار زیان‌بار دمای بالا به اشکال مختلفی، از جمله کاهش اندازه گل، تأخیر گل‌دهی و مرگ جوانه بروز می‌کند. مقاومت گیاهان به گرما خیلی کمتر از مقاومت آنها به سرما است. در مواردی نیز در فصل زمستان، با آنکه هوای بیرون سرد است، به علت تابش نور خورشید، دمای داخل گلخانه به بالاتر از حد مطلوب گیاه می‌رسد. خنک کردن گلخانه بسیار سخت‌تر و پرهزینه‌تر از گرم کردن آن است.

روش‌های مختلفی برای کاهش گرمای گلخانه در تابستان وجود دارد که می‌توان به سایه دادن، تهویه طبیعی (باز کردن پنجره‌های سقفی و جانبی) و استفاده از خنک‌کننده‌های تبخیری پنکه - پوشال و مه‌پاش اشاره کرد.

۴-۱-۱. سایه دادن^۱

تابش مستقیم نور خورشید به گلخانه، حتی اگر پنجره‌های تهویه نیز باز باشند، سبب گرم شدن بیش از حد گلخانه می‌گردد. سایه دادن را می‌توان با استفاده از پرده‌های ساران نیز انجام داد. این پرده‌ها قادرند با کم کردن شدت نور، تا حدودی سبب کاهش گرمای گلخانه شوند؛ پرده‌های ساران در داخل گلخانه و در ارتفاع ۲-۳ متری نصب می‌شوند و اگر بر روی سطح خارجی گلخانه قرار گیرند، تأثیر آنها در کاهش گرمای گلخانه بیشتر از قرار دادن آنها در داخل گلخانه است.

پارچه ساران نام تجاری یک نوع توری پلاستیکی است که برای سایه دادن گلخانه به کار می‌رود. این پارچه سبک بوده، در رنگ‌های سبز و سیاه وجود دارد و قادر است شدت نور گلخانه را ۳۰-۹۴ درصد کاهش دهد. معمولاً پارچه‌ای که ۴۷-۵۰ درصد سایه ایجاد می‌کند برای کاهش دمای گلخانه توصیه می‌شود. پارچه‌هایی که تا ۹۴ درصد، شدت نور را کاهش می‌دهند برای تاریخ‌سازی (کاهش طول روز) در گیاهان حساس به مدت روشنایی روزانه (فتوپریود)^۲ برای تنظیم زمان گل‌دهی به کار می‌روند.

در شرکت‌های داخلی نیز، پارچه‌های ساران در دو نوع GS_{50} با کاهش ۵۰ درصدی شدت نور و GS_{35} با کاهش ۳۵ درصدی شدت نور و در ابعاد 1×3 متر تولید می‌شوند.

روش ساده دیگر برای سایه دادن و کاهش شدت نور داخل گلخانه، رنگ‌آمیزی پوشش گلخانه است؛ برای این منظور از رنگ‌های پلاستیکی به نسبت یک قسمت رنگ و پنج قسمت آب

1. Shading

2. Photoperiod

استفاده می‌شود؛ در مواردی نیز پودر میل ساختمانی و آب را مخلوط می‌کنند و به کار می‌برند؛ در مناطقی هم که بارندگی زیاد است، مقداری چسب چوب به محلول فوق اضافه می‌کنند تا مانع از شسته شدن رنگ شود. از آب آهک نیز برای سایه دادن استفاده می‌شود. رنگ‌های روی پوشش گلخانه باید تا قبل از پاییز و کاهش شدت نور محیط، از روی پوشش شسته شوند.

۴-۱-۲. تهویه طبیعی^۱

کاهش دمای گلخانه بدون استفاده از خنک‌کننده‌های تبخیری، یکی از مهم‌ترین اهداف انجام تهویه طبیعی است. در گلخانه‌ها معمولاً دو نوع پنجره سقفی و جانبی تعبیه می‌شود. وقتی که هوای داخل گلخانه گرم می‌شود، گرما به سمت بالا رفته و در زیر سقف گلخانه تجمع می‌کند؛ با باز شدن پنجره‌های سقفی، هوای گرم با سرعت از آن خارج می‌شود و اگر پنجره‌های جانبی نیز باز شوند، جریان خروج هوا از پنجره سقفی افزایش می‌یابد. در بیشتر گلخانه‌های سنتی، که خنک‌کننده‌های تبخیری وجود ندارد، با باز کردن پنجره‌های سقفی و جانبی همراه با سایه دادن گلخانه، تا حد زیادی گرمای گلخانه را کاهش می‌دهند، اما این عمل سبب خنک شدن گلخانه و کاهش دمای داخل آن، به کمتر از دمای محیط بیرون گلخانه، نمی‌شود.

۴-۱-۳. خنک‌کننده تبخیری پنکه و پوشال

سیستم پنکه و پوشال^۲ از جمله خنک‌کننده‌های تبخیری است که برای تابستان مناسب است. اساس کار این نوع خنک‌کننده به این صورت است که هنگام تبخیر آب، گرمای محیط جذب و سبب خنک شدن گلخانه می‌گردد.

با استفاده از سیستم پنکه و پوشال در روزهای گرم تابستان، می‌توان تا ۲۰-۳۰ درجه سانتیگراد دمای گلخانه را کاهش داد. این سیستم در مناطقی با رطوبت نسبی پائین، بهترین روش خنک کردن گلخانه است اما در مناطق مرطوب، مانند استان‌های شمالی کشور، قابل استفاده نیست؛ زیرا اثر خنک‌کنندگی این سیستم به علت اختلاف رطوبت نسبی کم هوای بیرون گلخانه با رطوبت نسبی هوای داخل پوشال (۱۰۰ درصد)، به شدت کاهش می‌یابد. هرچه اختلاف رطوبت نسبی بیرون گلخانه و پوشال بیشتر باشد، اثر خنک‌کنندگی آن نیز بیشتر است.

در این روش، در یک طرف گلخانه، پوشال و در طرف مقابل آن پنکه‌ها قرار داده می‌شوند؛ با روشن شدن پنکه‌ها، خلاء هوا در داخل گلخانه ایجاد می‌شود (به شرطی که کلیه پنجره‌ها، درها و دریچه‌ها بسته باشند)؛ این خلاء سبب می‌شود که هوای بیرون گلخانه از میان پوشال مرطوب

1. Natural ventilation

2. Fan and Pad

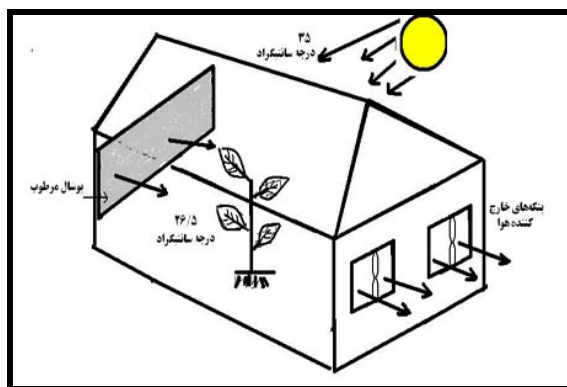
عبور کند و وارد گلخانه گردد؛ هوای گرم و خشک بیرون در حین عبور از پوشال، خنک و مرطوب شده و موجب کاهش دمای داخل گلخانه می‌شود. تبخیر هر یک لیتر آب باعث جذب ۴۵ کیلو کالری گرمای محیط می‌شود.

۱-۳-۱. اجزای تشکیل دهنده سیستم پنکه و پوشال

سیستم پنکه و پوشال از اجزای زیر تشکیل شده است:

الف - پنکه‌های خارج کننده هوا

پنکه‌ها در یک سمت دیواره (انتهایی یا جانبی) نصب شده و هوا را از داخل پوشال به داخل گلخانه می‌کشاند و سبب خنک شدن آن می‌شوند (شکل ۴۹). هوای خنک و مرطوب با جذب گرمای گیاهان و محیط گلخانه، گرم شده و توسط پنکه خارج می‌گردد. پنکه باید در خلاف جهت باد غالب منطقه نصب و به یک ترموستات وصل شود تا در صورت رسیدن دمای گلخانه به حد مشخص، شروع به کار کند.



شکل ۴۹: نحوه نصب سیستم پنکه و پوشال و تأثیر آن در خنک شدن گیاه

ب - پوشال مرطوب

پوشال مرطوب در دیواره مقابل پنکه‌ها (دیواره انتهایی یا جانبی) به صورت عمودی به ارتفاع ۱-۲ متر، به طول دیواره گلخانه و به ضخامت ۱۰-۳۰ سانتیمتر نصب می‌شود (شکل ۴۹) و آب به صورت عمودی از بالا به سمت پائین پوشال جریان پیدا می‌کند. فاصله بین پوشال تا پنکه، عامل مهمی برای تعیین دیواره مناسب برای نصب پنکه و پوشال است که معمولاً بهترین فاصله ۳۰-۶۰ متر است و این فاصله نباید بیش از ۷۷ متر باشد. فواصل بیشتر از ۶۰ متر، منجر به

افزایش دمای بالاتر از حد مطلوب در فاصله بین پنکه تا پوشال و سبب ایجاد شیب گرمایی در داخل گلخانه می‌شود که در نتیجه آن، نزدیک پوشال، هوا خنک است ولی تا به نزدیک پنکه می‌رسد، گرم می‌شود.

اگر فاصله پنکه تا پوشال کمتر از ۳۰ متر باشد، سرعت جابه‌جایی هوا در بعد عرضی کاهش می‌یابد و سرمای مرطوب در محیط گلخانه ایجاد می‌شود؛ این وضعیت با افزایش اندازه پنکه‌های تهویه، یا به عبارت دیگر، با افزایش سرعت جابه‌جایی هوا اصلاح می‌شود.

جنس پوشال‌های اولیه از جنس تراشه‌های چوب و به ضخامت ۲/۵-۴ سانتیمتر بود (شکل ۵۰) که هر سال می‌بایستی تراشه‌های جدید آنها تعویض می‌شد. امروزه اغلب از پوشال‌های سلولزی خاصی، که شیارهای عرضی دارند، استفاده می‌شود (شکل ۵۱). این پوشال‌ها ظاهری شبیه مقوا داشته، تا ۱۰ سال دوام دارند و به شکل قطعاتی در ضخامت‌های ۵، ۱۰، ۱۵ و ۳۰ سانتیمتر و عرض ۳۰ سانتیمتر و طول‌های مختلف عرضه می‌شوند. پوشال‌های با عرض ۳۰ سانتیمتر در کنار یکدیگر و به صورت عمودی قرار می‌گیرند تا طول یکی از دیواره‌های گلخانه را بپوشانند.



شکل ۵۰: پوشال‌های تراشه‌ای



شکل ۵۱: پوشال سلولزی

مشخصات انواع پوشال به شرح زیر است:

- نوع اول: ضخامت ۵ سانتیمتر، ارتفاع ۰/۶-۱/۵ متر، پهنا ۳۰ سانتیمتر؛
- نوع دوم: ضخامت ۱۰-۱۵ سانتیمتر، ارتفاع ۰/۶-۱/۸ متر، پهنا ۳۰ سانتیمتر (بیشترین کاربرد را دارد)؛
- نوع سوم: ضخامت ۳۰ سانتیمتر، ارتفاع ۰/۶-۱/۲ متر، پهنا ۳۰ سانتیمتر (بیشترین کاربرد را در مناطق گرم و مرطوب دارد).

این واحدهای سلولزی به صورت عمودی در کنار هم قرار می‌گیرند و هر یک ۳۰ سانتیمتر از طول پوشال سراسری گلخانه را تشکیل می‌دهند؛ طول پوشال باید برابر با طول دیواره‌ای باشد که بر روی آن نصب شده است تا هوای خنک به همه گیاهان برسد؛ ارتفاع پوشال نیز با تقسیم مساحت کل پوشال بر طول دیواره محاسبه می‌شود. پوشال در طول دیواره نباید منقطع باشد، بلکه باید بدون هیچ فاصله‌ای در کنار یکدیگر، بر روی دیوار نصب شود تا هوای خنک از تمام بخش‌های گلخانه عبور کند. ارتفاع پوشال‌ها و پنکه‌ها باید همسطح گیاهان باشد.

کارایی پوشال تراشه‌ای کمتر از پوشال سلولزی است. پوشال تراشه‌ای فقط ۶۰ درصد کارایی یک پوشال سلولزی به ضخامت ۱۰ سانتیمتر را دارد؛ بنابراین برای خنک کردن حجم معینی از گلخانه به پوشال تراشه‌ای بیشتری، در مقایسه با پوشال سلولزی، نیاز است. عمر پوشال تراشه‌ای یک سال است و برای نصب باید در داخل یک چهارچوب سیمی مشبک با شبکه‌هایی به ابعاد ۵×۲/۵ سانتیمتر قرار گیرد. از آنجایی که پوشال‌های سلولزی و تراشه‌ای محیط خوبی برای رشد جلبک‌ها، باکتری‌ها و قارچ‌ها هستند، بنابراین باید تمهیدات لازم برای جلوگیری از رشد آنها فراهم شود.

pH آب مورد استفاده در پوشال باید بین ۶-۹ باشد. pH بالا سبب نرمی پوشال می‌گردد. استفاده از حشره‌کش‌های غیرفرار در آب برای کنترل حشراتی از جمله تریپس، که وارد پوشال می‌شوند، بسیار مؤثر است.

پوشال باید در جهت باد غالب منطقه قرار گیرد تا جریان باد، به ورود هوا از بین پوشال به داخل گلخانه کمک کند. پلاستیک‌کشی گلخانه باید به نحوی باشد که هنگامی که از پوشال استفاده نمی‌شود، بتوان با استفاده از پلاستیک، دیواره را مسدود نمود؛ برای مسدود کردن پوشال می‌توان آن را کمی داخل یا خارج گلخانه نصب کرد.

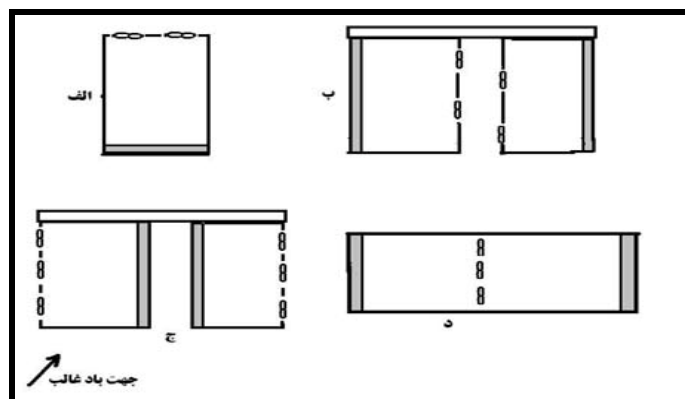
روش‌های مختلفی برای نصب سیستم پنکه و پوشال بر روی دیواره‌های گلخانه وجود دارد (شکل ۵۲) که عبارتند از:

الف- زمانی که مساحت پوشال از مساحت یک دیواره جانبی بیشتر باشد، می‌توان آن را به صورت متناوب (زیگزاگ) بر روی دیواره مورد نظر نصب کرد.

ب- در گلخانه‌هایی که طول آن بیش از ۶۰ و عرض آن کمتر از ۳۰ متر است، می‌توان با قرار دادن پوشال‌هایی در دو انتهای گلخانه و نصب پنکه در وسط سقف، اقدام به نصب سیستم خنک‌کننده نمود (شکل ۵۲-د). در این حالت، گلخانه به وسیله دو سیستم خنک‌کننده هم‌ارز، که هر یک نیمی از گلخانه را تحت تأثیر قرار می‌دهند، خنک می‌شود. هر گاه از پنکه سقفی و دو پوشال در دو دیواره روبروی هم استفاده می‌شود، یک تیغه پلی‌اتیلن باید در ارتفاع ۱/۵ متری زیر پنکه و کاملاً بالای گیاه (شبه پرده محافظ حرارتی) قرار گیرد تا هوای خنک به سمت پائین و بر روی گیاهان هدایت شود.

ج- بهتر است پنکه در سمت مخالف جهت باد و پوشال در جهت باد غالب منطقه نصب شود تا باد، سیستم خنک‌کننده را تقویت نماید. اگر پنکه در سمت مقابل باد قرار گیرد، ظرفیت آنها باید حداقل به میزان ۱۰ درصد افزایش داده شود.

- اگر دو یا چند گلخانه منفرد در کنار یکدیگر وجود داشته باشند، باید به عاملی مهم‌تر از جهت باد در تعیین محل نصب پنکه‌ها توجه نمود. پنکه‌های یک گلخانه نباید هوای گرم و مرطوب داخل را به سمت تشک‌های گلخانه مجاور هدایت کنند (شکل ۵۲ ج)، مگر اینکه حداقل ۱۵/۲ متر از یکدیگر فاصله داشته باشند.



شکل ۵۲: نحوه نصب پنکه و پوشال در انواع مختلف گلخانه

د- اگر پنکه‌ها در دیوارهای مجاور دو گلخانه، که در فاصله ۴/۶ متر از یکدیگر قرار دارند، نصب شوند، نباید دو گلخانه، روبروی هم قرار گیرند و بهتر است به صورت زیگزاگ نصب شوند تا باد پنکه‌ها به سمت یکدیگر نوزند (شکل ۵۲-ب).

ه- بهتر است پنکه‌ها کرکره‌دار باشند تا از ورود حشرات به داخل گلخانه جلوگیری شود؛ همچنین توصیه می‌شود که از طرف داخل گلخانه نیز، پنکه‌ها در داخل یک حفاظ سیمی مشبک قرار داده شود تا از کارگران و بازدیدکنندگان در برابر صدمات احتمالی محافظت شود.

ج- سیستم آبرسانی پوشال

سیستم آبرسانی پوشال، بخش مهمی از سیستم پنکه و پوشال است که با ریزش آب از بالا بر روی پوشال، سبب مرطوب شدن آن می‌شود. این قسمت، از یک مخزن آب، یک پمپ آب، لوله‌های انتقال‌دهنده آب در بالای پوشال و لوله‌های جمع‌کننده آب (که آن را به مخزن برمی‌گرداند) تشکیل شده است؛ آب از مخزن، پمپاژ شده و از طریق لوله‌های سوراخ‌دار بر روی سطح پوشال توزیع می‌شود؛ اندازه مخزن، قدرت پمپ و لوله‌های انتقال آب، بستگی به نوع پوشال دارد (جدول ۱۱).

جدول ۱۱: مشخصات پوشال، قدرت پمپ و لوله‌های انتقال در سیستم پنکه و پوشال

ضخامت پوشال (cm)	طول پوشال (m)	قدرت پمپ* Lit/min/m ²	قطر لوله‌های انتقال آب (mm)	حداکثر طول لوله‌ها (m)
۱۰	۹/۱-۱۵	۶/۲	۳۲	۱۸/۳
۱۰	-۱۸/۳ ۱۵/۲	۶/۲	۳۸	۱۸/۳
۱۵	<۹/۱	۹/۳	۳۲	۱۵/۲
۱۵	۹/۱-۱۵/۲	۹/۳	۳۸	۱۵/۲

* Lit/min/m² (برحسب لیتر در یک دقیقه به ازای هر متر مربع از مساحت پوشال)

بر روی لوله‌های انتقال آب پوشال، سوراخ‌هایی به قطر ۳ میلیمتر و به فاصله ۷/۶ سانتیمتر ایجاد می‌شود که جهت این سوراخ‌ها به سمت بالاست. یک لوله‌ای پلی‌اتیلنی سیاه و به قطر ۱۰ سانتیمتر را به صورت طولی برش داده و آن را بر روی لوله توزیع آب، به صورت U معکوس، قرار می‌دهند تا آب به صورت فوران به سطح داخلی این لوله برخورد کند و بر روی صفحه‌ای به شکل ناودان به ارتفاع ۵ سانتیمتر، به عرضی برابر ضخامت پوشال و با طولی به اندازه طول پوشال، ریخته شود تا آب به صورت یکنواخت بالا تا پائین پوشال را مرطوب نماید؛ حداکثر طول لوله‌ها، ۱۸/۳ متر برای پوشالی به ضخامت ۱۰ سانتیمتر و ۱۵/۲ متر برای پوشالی به ضخامت ۱۵ سانتیمتر است؛ بنابراین برای پوشالی به طول ۳۷ متر می‌توان یک پمپ را در وسط قرار داد و دو

لوله ۱۸/۳ متری را به دو طرف پوشال کشید؛ همه نقاط پوشال باید مرطوب شود؛ زیرا پوشال خشک مقاومت کمتری در برابر عبور جریان هوا دارد و با عبور هوا از نقاط خشک، کارایی آن کاهش می‌یابد.

۴-۱-۳-۲. محاسبه سیستم پنکه و پوشال

برای خنک کردن گلخانه، پنکه باید دارای قدرت کافی برای خروج هوای گرم داخل گلخانه باشد. در ادامه مطلب، ابتدا قدرت پنکه‌ها، سپس مساحت و ابعاد پوشال و بعد از آن قدرت پمپ و سیستم آبرسانی پوشال بررسی می‌شود.

۴-۱-۳-۱. قدرت پنکه (سرعت جابه‌جایی هوا)

برای تعیین قدرت پنکه از دو روش استفاده می‌شود:

الف- روش اول: در این روش، سرعت جابه‌جایی هوا در گلخانه باید به اندازه‌ای باشد که در هر دقیقه، یکبار هوای داخل گلخانه خارج و هوای تازه جایگزین آن شود. سرعت جابه‌جایی هوا بر حسب متر مکعب هوا در دقیقه (m^3/min) بیان می‌شود؛ بنابراین لازم است ابتدا حجم گلخانه محاسبه شود:

سرعت جابه‌جایی هوا = حجم گلخانه = مساحت دهانه ابتدایی گلخانه \times طول گلخانه

ب- روش دوم: در این روش، سرعت جابه‌جایی هوای گلخانه در شرایط استاندارد باید ۳-۲/۱ برابر مساحت گلخانه (به طور میانگین ۲/۵ برابر مساحت گلخانه) در هر دقیقه باشد. شرایط استاندارد گلخانه یعنی اینکه ارتفاع، ۳۰۰ متر بالاتر از سطح دریا، شدت نور، ۵۳/۸ کیلو لوکس و شیب دما از پوشال تا پنکه، ۴ درجه سانتیگراد باشد.

برخی از متخصصین معتقدند که هوای موجود در قسمت بالای گلخانه را نباید در محاسبات منظور کرد؛ به عبارت دیگر استفاده از روش اول در تعیین حجم هوایی که باید جابه‌جا شود، درست نیست. این گفته در صورتی صحیح است که گلخانه دارای پرده محافظ داخلی باشد، ولی در صورت نداشتن این پرده، این حجم هوا باید مد نظر قرار گیرد؛ چون هوای گرم قسمت بالای گلخانه، با هوای خنک مخلوط می‌شود و این امر فشاری را بر پنکه‌ها تحمیل می‌کند؛ همچنین توصیه می‌شود زمانی که نیاز به ظرفیت کامل پنکه نیست، بهتر است تعدادی از پنکه‌ها دارای دو سرعت متفاوت (دور کند و دور تند) باشند تا بتوان برای اهداف دیگری، مانند تهویه زمستانه، از آنها استفاده نمود.

سرعت جابه‌جایی هوا تحت تأثیر عواملی مانند ارتفاع از سطح دریا، شدت نور گلخانه و میزان افزایش دمای هوا از پوشال تا پنکه قرار دارد.

با افزایش ارتفاع گلخانه، سرعت خروج هوا نیز باید افزایش یابد. در ارتفاعات بالاتر، هوا رقیق تر و سبک تر می شود. توانایی هوا برای کاستن گرمای خورشید در گلخانه، به وزن آن بستگی دارد نه به حجم آن؛ بنابراین در ارتفاعات بالاتر، حجم هوای بیشتری باید از داخل گلخانه خارج شود تا اثر خنک کنندگی آن معادل ارتفاعات پائین باشد؛ لذا با افزایش ارتفاع از سطح دریا، سرعت جابه جایی هوا در شرایط استاندارد، در ضریب ارتفاع (F_{elv}) ضرب می شود (جدول ۱۲).

جدول ۱۲: ضریب ارتفاع (F_{elv}) مورد استفاده به منظور اصلاح سرعت جابه جایی هوا در

ارتفاعات مختلف بالاتر از سطح دریا

ارتفاع (بر حسب m)	<۳۰۰	۳۰۰	۶۰۰	۹۰۰	۱۲۰۰	۱۵۰۰	۱۸۰۰	۲۱۰۰	۲۴۰۰
F_{elv}	۱	۱/۰۴	۱/۰۸	۱/۱۲	۱/۱۶	۱/۲۰	۱/۲۵	۱/۳۰	۱/۳۶

سرعت جابه جایی هوا به شدت نور گلخانه نیز بستگی دارد؛ زیرا با افزایش شدت نور، گرمای داخل گلخانه نیز افزایش می یابد و در نتیجه برای خنک کردن گلخانه، سرعت جابه جایی هوا باید افزایش یابد؛ بنابراین سرعت جابه جایی هوا در شرایط استاندارد در ضریب شدت نور (F_{light}) ضرب می شود (جدول ۱۳). شدت نور در شرایط استاندارد، ۵۳/۸ کیلو لوکس است و با افزایش شدت نور، (F_{light}) بیشتر از یک خواهد بود. با سایه اندازی بر روی گلخانه، می توان شدت نور و در نتیجه گرمای داخل گلخانه را کاهش داد و به خنک شدن سریع تر گلخانه کمک کرد.

جدول ۱۳: ضریب شدت نور (F_{light}) مورد استفاده به منظور اصلاح سرعت جابه جایی هوا در

شدت نورهای مختلف گلخانه

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

زمانی که هوای خنک و مرطوب از طریق پوشال وارد گلخانه می شود، به تدریج تا زمان رسیدن به پنکه، گرم می شود و دمای آن افزایش می یابد؛ این افزایش دما تا ۴ درجه سانتیگراد قابل قبول است. هر چه سرعت جابه جایی هوا کندتر باشد، دمای هوا از محل پوشال تا پنکه،

افزایش بیشتری می‌یابد؛ بنابراین اگر قرار باشد این افزایش دما کمتر از ۴ درجه سانتیگراد باشد، سرعت جابه‌جایی هوای گلخانه باید افزایش پیدا کند و هوا با سرعت بیشتری از گلخانه خارج شود. لذا سرعت جابه‌جایی هوا در شرایط استاندارد، در ضریب دما (F_{temp}) ضرب می‌شود (جدول ۱۴).

جدول ۱۴: ضریب دمای (F_{temp}) مورد استفاده به منظور اصلاح سرعت جابه‌جایی هوا برای افزایش دما از پنکه تا پوشال

افزایش دما (برحسب درجه سانتیگراد)						
۲/۲	۲/۸	۳/۳	۳/۹	۴/۴	۵	۵/۶
۱/۷۵	۱/۴	۱/۱۸	۱	۰/۸۸	۰/۷۸	۰/۷
F_{temp}						

فاصله بین پوشال تا پنکه نیز، عامل مهمی در سرعت جابه‌جایی هوا است. مطلوب‌ترین فاصله بین پوشال تا پنکه، ۳۰-۶۰ متر است؛ اگر فاصله پنکه کمتر یا بیشتر از این محدوده باشد، سرعت جابه‌جایی هوا در شرایط استاندارد باید در ضریب فاصله (F_{vel}) ضرب شود (جدول ۱۵).

جدول ۱۵: ضریب فاصله (F_{vel}) مورد استفاده به منظور اصلاح سرعت جابه‌جایی هوا برای فاصله‌های مختلف پنکه تا پوشال

فاصله پنکه تا پوشال (برحسب متر)								
۱۸/۳	۱۶/۸	۱۵/۲	۱۳/۷	۱۲/۲	۱۰/۷	۹/۱	۷/۶	۶/۱
۱/۲۹	۱/۳۵	۱/۴۱	۱/۴۸	۱/۵۸	۱/۶۳	۱/۸۳	۲	۲/۲۴
F_{vel}								
فاصله پنکه تا پوشال (برحسب متر)								
۳۰/۵	۲۹	۲۷/۴	۲۵/۹	۲۴/۴	۲۲/۹	۲۱/۳	۱۹/۸	
۱	۱/۰۲	۱/۰۵	۱/۰۸	۱/۱۲	۱/۱۶	۱/۲۰	۱/۲۴	
F_{vel}								

حاصلضرب سه ضریب (F_{elv})، (F_{temp}) و (F_{light}) را (F_{house}) می‌نامند. برای اصلاح سرعت جابه‌جایی هوا در شرایط استاندارد، باید آن را در یکی از دو ضریب (F_{house}) یا (F_{vel}) ضرب نمود (هر کدام که از نظر عددی بزرگتر باشد). بنابراین سرعت (حجم) نهایی جابه‌جایی هوا در گلخانه یا ظرفیت نهایی پنکه‌ها، به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$(F_{vel} \text{ یا } F_{house}) \times \text{حجم جابه‌جایی هوا در شرایط استاندارد} = \text{حجم نهایی جابه‌جایی هوا}$$

از آنجایی که فاصله پنکه‌ها بر روی دیواره نباید بیش از ۷/۶ متر باشد، بنابراین با تقسیم طول دیواره بر عدد ۷ حداقل تعداد پنکه‌های مورد نیاز، مشخص می‌شود؛ مثلاً اگر طول دیواره، ۲۱ متر باشد می‌توان حداقل ۳ پنکه را بر روی دیواره نصب کرد.

با تقسیم سرعت نهایی جابه‌جایی هوا بر تعداد پنکه می‌توان قدرت هر پنکه را محاسبه کرد و مشخصات آن را از جدول ۱۶ به دست آورد. پنکه‌ها باید هم‌ارتفاع با گیاهان و در فاصله‌های مساوی در سرتاسر دیواره گلخانه، نصب شوند.

جدول ۱۶: مقادیر خروج هوا و مساحت پوشال مورد نیاز برای اندازه‌های مختلف پنکه

اندازه پنکه (cm)	قدرت پنکه (hp)	حجم خروج هوا در فشار ۰/۱ اینچ (m ³ /min)	سطح پوشال برای هر پنکه (برحسب متر مربع)		
			تراشه‌ای	سلولزی با قطر ۱۰cm	سلولزی با قطر ۱۵ cm
۶۰	۱/۴	۱۲۷/۵	۲/۸	۱/۷	۱/۲
۶۰	۱/۳	۱۶۱/۵	۳/۵	۲/۱	۱/۵
۶۰	۱/۲	۱۸۴	۴	۲/۴	۱/۸
۶۰	۳/۴	۲۱۵	۴/۷	۲/۸	۲
۷۵	۱/۲	۲۰۹	۴/۵	۲/۸	۱/۹۵
۷۵	۱/۲	۲۴۹	۵/۵	۳/۲۵	۲/۳
۷۵	۳/۴	۲۸۹	۶/۳	۳/۸	۲/۷
۹۰	۱/۳	۲۴۹	۵/۵	۳/۲۵	۲/۳
۹۰	۱/۲	۳۰۰	۶/۶	۴	۲/۹
۹۰	۳/۴	۳۶۰	۷/۸	۴/۷	۳/۴
۹۰	۱	۴۰۲	۸/۸	۵/۳	۳/۸
۱۰۵	۱/۲	۳۵۴	۷/۸	۴/۶	۳/۳
۱۰۵	۳/۴	۴۲۵	۹/۳	۵/۶	۴
۱۰۵	۱	۴۷۵	۱۰/۵	۶/۳	۴/۴۵
۱۲۰	۱ ۱/۲	۴۱۶	۹/۱	۵/۵	۳/۹
۱۲۰	۳/۴	۵۰۴	۱۱	۶/۷	۴/۷
۱۲۰	۱	۵۵۵	۱۲/۲	۷/۲	۵/۲
۱۳۵	۱	۶۴۸	۱۴/۲	۸/۵	۶/۱
۱۳۵	۱ ۱/۲	۷۳۰	۱۶	۹/۷	۶/۹

۴-۱-۳-۲. محاسبه مساحت پوشال مورد نیاز

برای خروج هر ۴۵/۶ متر مکعب هوا از گلخانه در هر دقیقه، به یک متر مربع پوشال نیاز است. بنابراین:

$۴۵/۶ \div \text{حجم نهایی جابه‌جایی هوا (مجموع ظرفیت پنکها)} = \text{مساحت پوشال (مترمربع)}$
 همچنین مساحت پوشال مورد نیاز برای هر پنکه را می‌توان با توجه به جدول ۱۶ به دست آورد. در جدول ۱۶، مساحت پوشال مورد نیاز با مشخصات مختلف ارائه شده است. ارتفاع پوشال نیز به روش زیر محاسبه می‌شود:

$\text{طول دیواره (متر)} \div \text{مساحت پوشال (مترمربع)} = \text{ارتفاع پوشال (متر)}$

۴-۱-۳-۳. محاسبه سیستم آبرسانی پوشال

مقدار آب مورد نیاز به ازای هر متر از طول پوشال (با توجه به ضخامت پوشال) در جدول ۱۱ ارائه شده است. برای هر متر پوشال به ضخامت ۱۰ و ۱۵ سانتیمتر به ترتیب به ۶/۲ و ۹/۳ لیتر آب در دقیقه نیاز است:

$۶/۲ \times \text{طول پوشال (متر)} = \text{قدرت پمپ آب (لیتر در دقیقه)}$
 اندازه مخزن آب باید به نحوی باشد که ۳۰/۵ لیتر آب را به ازای هر متر مربع از مساحت پوشال، فراهم کند:

$(۳۰/۵ \times \text{مساحت پوشال (مترمربع)}) = \text{اندازه مخزن آب مورد نیاز (لیتر)}$
 در یک روز گرم و خشک، آب با سرعت ۰/۴ لیتر در دقیقه از هر متر مربع پوشال تبخیر می‌شود. بنابراین این آب باید به تانک اضافه شود.

مثال ۵: اگر بخواهیم در گلخانه‌ای تونلی به هم‌پیوسته سه واحدی با مشخصات زیر سیستم پنکه و پوشال را طراحی نماییم. تعداد پنکه، قدرت آنها، ابعاد پوشال، قدرت پمپ و ظرفیت مخزن مورد نیاز را محاسبه نمایید.

ابعاد گلخانه = ۳۰ × ۶۰ متر،

عرض هر واحد ۱۰ متر،

ارتفاع دیواره جانبی ۲/۵ و ارتفاع کمان ۲ متر،

ارتفاع از سطح دریا = ۹۰۰ متر،

شدت نور داخل گلخانه = ۴۸ کیلو لوکس

حجم گلخانه = مساحت دهانه ابتدایی گلخانه × طول گلخانه

(متر مربع) $۱۰۸ = ۳ \times [(۱۰ \times ۲/۵) + (۱۰ \times ۲ \times ۰/۵۵)] = \text{مساحت دهانه ابتدایی گلخانه}$

(متر مکعب) $6480 = 10.8 \times 60$ = سرعت جابه‌جایی هوا در شرایط استاندارد به روش اول
 (متر مکعب) $4800 = 60 \times 30 \times 3$ = سرعت جابه‌جایی هوا در شرایط استاندارد به روش دوم)
 بنابراین با استفاده از روش اول که در آن سرعت جابه‌جایی هوا بیشتر است، سیستم پنکه و پوشال را طراحی می‌کنیم؛ سپس با استفاده از جدول، مقدار (F_{light}) و (F_{elv}) را به دست می‌آوریم.

$$(m^3/min) \quad 6531 = 6480 \times 0.9 \times 1/12$$

از آنجایی که پوشال بر روی دیواره ۶۰ متری نصب می‌شود؛ بنابراین:

$$(تعداد پنکه را نمی‌توان به صورت اعشار اعلام کرد) \quad 9 = 60 \div 7 = تعداد پنکه$$

$$(m^3/min) \quad 725 = 6531 \div 9 = قدرت هر پنکه$$

با توجه به جدول ۱۶، پنکه‌هایی را که دارای مشخصات فوق باشد انتخاب می‌کنیم. این پنکه‌ها ۱۳۵ سانتیمتر قطر و ۱/۵ اسب بخار قدرت دارند که ۷۳۰ متر مکعب هوا را در هر دقیقه خارج می‌کنند.

با توجه به جدول ۱۶، اگر قصد استفاده از پوشال سلولزی به قطر ۱۰ سانتیمتر داشته باشید، به ازای هر پنکه، به ۹/۷ متر مربع پوشال سلولزی نیاز است؛ بنابراین:

$$(متر مربع) \quad 87/3 = 9 \times 9/7 = مساحت پوشال مورد نیاز$$

$$(متر) \quad 1/45 = 87/3 \div 60 = ارتفاع پوشال$$

$$(لیتر در دقیقه) \quad 372 = 60 \times 6/2 = قدرت پمپ$$

$$(لیتر) \quad 2662 = 87/3 \times 30/5 = اندازه مخزن$$

از آنجایی که برای پوشالی به ضخامت ۱۰ سانتیمتر، حداکثر به ۱۸/۳ متر لوله آب‌رسان نیاز است، بنابراین باید از دو پمپ، هر کدام با نصف قدرت مورد نیاز (۱۸۶ لیتر در دقیقه)، استفاده شود و هر پمپ می‌تواند دو لوله آب‌رسانی به طول ۱۵ متر را از دو طرف تغذیه نماید؛ لذا یک پمپ در فاصله ۱۵ متری و پمپ دیگر در فاصله ۴۵ متری بر روی دیواره قرار می‌گیرد.

۴-۱-۴. خنک‌کننده تبخیری مه‌پاش^۱

در این نوع سیستم نیز، همانند سیستم خنک‌کننده پنکه و پوشال، تبخیر آب سبب خنک‌شدن گلخانه می‌گردد. در این سیستم، آب به صورت قطرات بسیار ریزی (کمتر از ۴۰ میکرون) در می‌آید. قطرات آب قبل از اینکه بر روی سطح گیاهان یا کف گلخانه بنشینند، به علت ریز بودن

سریعاً تبخیر می‌شوند و بدون خیس کردن گیاهان، شوند گرمای گلخانه را جذب و سبب خنک شدن آن می‌شوند؛ هر چه قطر ذرات آب کوچک‌تر باشد، تبخیر آنها سریع‌تر و کارایی سیستم برای خنک کردن گلخانه بیشتر خواهد بود.

فرق سیستم خنک‌کننده مه‌پاش با غبار آب یا میست^۱ (که در گلخانه‌های مخصوص ریشه‌زایی قلمه‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد) در قطر ذرات آب است؛ در سیستم میست، قطر ذرات آب ۱۰۰۰ میکرون بوده و بنابراین زود بخار نمی‌شوند و سبب خیس شدن سطح گیاهان می‌شوند؛ ولی در سیستم خنک‌کننده مه‌پاش، قطر ذرات آب کمتر از ۴۰ میکرون (در حد ۱۰ میکرون) است و به علت تبخیر سریع، سطح گیاهان خیس نمی‌شود و در نتیجه از گسترش بیماری‌های قارچی جلوگیری می‌گردد.

این سیستم، شامل یک پمپ قوی، آب تمیز و با کیفیت بالا، نازل‌های بسیار ریز و سیستم کنترل‌کننده فعال کردن پمپ است؛ وظیفه پمپ ایجاد فشار قوی و تولید مه است و فشاری معادل ۳۳/۳-۴۰ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع (یا ۶/۹ مگا پاسکال) را بر آب وارد می‌کند و آب با این فشار قوی، به صورت مه از نازل‌های ریز خارج می‌شود. نازل‌ها می‌توانند آب را با این فشار و با سرعت ۲/۲۵ لیتر در دقیقه، وارد محیط گلخانه کنند.

نازل‌ها به فاصله ۱/۵ متر از یکدیگر و بر روی لوله‌هایی سرتاسری در ارتفاع سه متری گلخانه قرار می‌گیرند. اگر عرض گلخانه تا ۶/۱ متر باشد، یک ردیف لوله، ۷/۶-۱۳/۶ متر، دو ردیف لوله و در صورتی که عرض گلخانه ۱۳/۶-۱۸ متر باشد، سه ردیف لوله لازم است.

سیستم خنک‌کننده مه‌پاش در گلخانه‌هایی که فقط با دستگاه‌های تهویه، خنک می‌شوند نیز به کار می‌رود. نازل‌های مه‌پاش در داخل دستگاه تهویه ورودی تعبیه می‌شوند. پنکه‌های هواکش (خارج‌کننده هوا)، که در دیوار مقابل قرار دارند، با ایجاد مکش، هوای خارج را از میان دستگاه‌های تهویه ورودی و سپس از میان مه به داخل می‌کشند. هوای خنک و مرطوب ضمن عبور از عرض گلخانه گرم می‌شود؛ برای جلوگیری از این امر، نازل‌های مه‌پاش دیگری در سرتاسر گلخانه نصب می‌شوند و همچنان که هوای مرطوب و خنک، شروع به گرم شدن می‌کند و از طریق پنکه‌های هواکش (پنکه‌های دمنده) خارج می‌شود، هوای بیشتری از خارج به داخل کشانده شده و توسط مه، خنک می‌شود.

در این نوع سیستم، ظرفیت پنکه هواکش مورد نیاز، فقط نصف ظرفیت سیستم پنکه و پوشال (۱/۲۵-۱/۵ مترمکعب هوا در دقیقه به ازای هر متر مربع از مساحت گلخانه) است.

در سیستم خنک‌کننده مه‌پاش، کیفیت آب خیلی مهم است؛ زیرا نازل‌های مورد استفاده بسیار ریز هستند و وجود کوچک‌ترین ذرات در آب، سبب گرفتگی نازل می‌شود؛ برای رفع این

مشکل از صافی‌هایی که توانایی جذب ذراتی تا حد ۵ میکرون را دارند، استفاده می‌گردد؛ بنابراین لازم است که با استفاده از صافی‌های مناسب، ذرات شن و ماسه جدا و برای جلوگیری از تشکیل رسوب، کربنات‌ها و بیکربنات‌ها حذف شوند و از رشد موجودات ذره‌بینی، که می‌توانند سبب گرفتگی نازل‌ها شوند، جلوگیری به عمل آید.

چندین روش برای کنترل سیستم مه‌پاش وجود دارد: استفاده از زمان‌سنج^۱ ساده‌ترین روش است. با استفاده از یک زمان‌سنج ۲۴ ساعته، زمان‌های مشخصی از طول روز، مه‌پاش شروع به فعالیت می‌کند و سبب خنک شدن گلخانه می‌گردد؛ این زمان‌سنج باید به نحوی تنظیم شود که در بازه‌های زمانی ۱-۲۰ دقیقه‌ای، به مدت ۳۰ ثانیه تا ۴ دقیقه مه تولید کند.

استفاده از (هیومیديستات)^۲ (دستگاهی که دارای حسگر حساس به رطوبت دارد) روش دیگری است که به کنترل بهتر دمای گلخانه کمک می‌کند. وقتی دمای گلخانه بالا می‌رود، رطوبت کاهش می‌یابد و با حفظ یک رطوبت نسبی ثابت، حداکثر خنکی به دست می‌آید. استفاده از یک رطوبت‌سنج به جای ترموستات، زمان واکنش سیستم خنک‌کننده را بسیار کوتاه‌تر می‌کند؛ زیرا هوا در مدت ۳۰ ثانیه، به میزان ۱۱ درجه یا بیشتر خنک می‌شود. غالباً رطوبت‌سنج بر روی رطوبت نسبی ۸۰-۹۰ درصد تنظیم می‌گردد. در این روش، مه قابل مشاهده‌ای که از نازل‌ها خارج می‌شود، معمولاً چند دقیقه پیش از شروع به کار مجدد مه‌پاش، ناپدید می‌شود. از مزیت‌های سیستم خنک‌کننده مه‌پاش می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- کارایی این سیستم تقریباً ۱۰۰ درصد است و هوا با سرعت خنک می‌شود؛
- افزایش دما در عرض گلخانه کنترل می‌شود و می‌توان به دماهای خنک‌تری دست یافت؛
- مصرف انرژی الکتریکی در این سیستم (توسط پمپ‌ها و پنکه‌های هواکش)، در مقایسه با سیستم خنک‌کننده پنکه و پوشال، کمتر است؛
- علاوه بر خنک کردن گلخانه، می‌تواند جایگزینی برای سیستم غبار آب (مست) باشد و برای بالا بردن رطوبت نسبی گلخانه و نگهداری آن، در حد ۱۰۰ درصد مورد استفاده قرار گیرد؛
- از طریق سیستم مه‌پاش، محلول غذایی و کودها از طریق محلول‌پاشی بر روی برگ‌ها در اختیار گیاه قرار می‌گیرند.

۴-۲. سیستم خنک‌کننده زمستانی پنکه و تیوب

در بعضی از روزهای آفتابی و سرد زمستان، دمای داخل گلخانه به بالاتر از حد مطلوب گیاه می‌رسد و بنابراین خنک کردن گلخانه ضروری است؛ در این حالت حجم کوچکی از هوای بیرون، به داخل

1. Timer

2. Humidstat

گلخانه وارد می‌شود و هوای سرد تازه وارد شده باید با جریان فورانی در بالای گلخانه منتشر و پیش از رسیدن به گیاهان، با هوای گرم موجود در بالای گلخانه مخلوط شود؛ در غیر این صورت نقاط سرد متمرکزی در گلخانه ایجاد خواهد شد؛ به همین دلیل در خنک‌کننده‌های زمستانی، از سیستم پنکه و تیوب استفاده می‌شود.

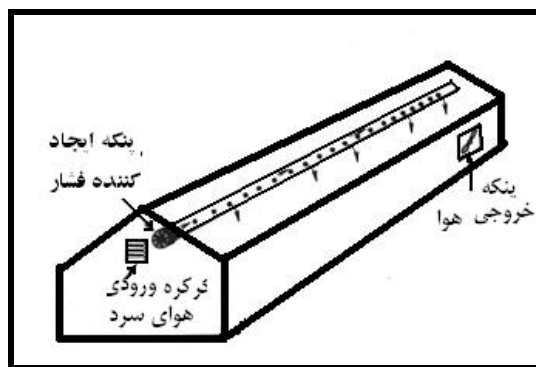
همان‌طور که در شکل ۵۳ نشان داده شده، سیستم پنکه و تیوب از قسمت‌های زیر تشکیل شده است:

الف- پنکه هواکش که در قسمتی از گلخانه بر روی دیوارهای جانبی تعبیه شده است و با خروج هوای داخل گلخانه، فشار منفی (خلأ) ایجاد می‌کند؛

ب- یک دریچه کرکره‌ای (ورودی هوا) که در دیواره انتهایی و زیر شیروانی گلخانه نصب می‌شود و به علت فشار منفی ایجاد شده در گلخانه، کرکره باز شده و هوای سرد از میان آن وارد گلخانه می‌شود؛

ج- یک پنکه ایجادکننده فشار که هوای سرد وارد شده از طریق کرکره را مکیده و با فشار وارد لوله پلی‌اتیلنی شفاف سوراخ‌دار می‌کند. قدرت این پنکه باید حداقل معادل پنکه هواکش (خارج کننده هوا) باشد؛

د- کانال پلی‌اتیلنی شفاف سوراخ‌دار که در طول گلخانه و بر روی وترهای اسکلت گلخانه نصب می‌شود؛ هوا توسط پنکه‌های ایجادکننده فشار، وارد این کانال شده و در سراسر طول گلخانه توزیع می‌شود؛ تعداد کانال‌ها و قطر آنها بستگی به عرض گلخانه دارد؛ قطر این سوراخ‌ها ۵-۸ سانتیمتر، فاصله آنها از یکدیگر ۶۰-۱۲۰ سانتیمتر و مجموع مساحت سوراخ‌ها ۱/۵-۲ برابر مساحت دهانه کانال است.



شکل ۵۳: سیستم پنکه و تیوب در سیستم خنک‌کننده زمستانی

وقتی نیاز به خنک کردن گلخانه باشد، ترموستات، پنکه هواکش (خروجی هوا) را به کار می‌اندازد، کرکره ورودی هوا باز می‌شود و پنکه ایجادکننده فشار را روشن می‌کند؛ سپس هوای سرد از طریق کرکره باز وارد و توسط پنکه ایجادکننده فشار، به لوله انتقال پلی‌اتیلنی شفاف هدایت می‌شود؛ هوای سرد از سوراخ‌هایی، که در طول دو طرف لوله قرار دارند، به بیرون فوران می‌کند و قبل از رسیدن به سطح گیاهان، با هوای گرم گلخانه مخلوط می‌شود. قدرت پنکه ایجادکننده فشار باید برابر قدرت پنکه خروجی باشد. اگر قدرت پنکه ایجادکننده فشار کمتر از قدرت پنکه خروجی باشد، مقداری از هوای سرد ورودی، در محل ورود به پائین می‌آید و نقطه سردی را ایجاد می‌کند.

زمانی که نیازی به خنک کردن گلخانه نباشد، کرکره ورودی بسته می‌شود تا از ورود هوای سرد به داخل گلخانه جلوگیری شود؛ در این زمان بهتر است پنکه تولیدکننده فشار به کار خود ادامه دهد و هوای داخل گلخانه را به گردش در آورد. این مرحله جایگزینی برای سیستم گردش افقی هوا (HAF) است.

خنک کننده زمستانی باید به نحوی طراحی شود که تحت شرایط استاندارد (شدت نور ۵۳/۸ کیلو لوکس، ارتفاع ۳۰۰ متر از سطح دریا، دمای داخل گلخانه ۸ درجه سانتیگراد خنک‌تر از دمای بیرون گلخانه)، بتواند به طور متوسط هوایی را به حجم ۰/۶۱ متر مکعب در دقیقه به ازای هر متر مربع از مساحت گلخانه خارج کند؛ برخی منابع، حداقل ۰/۴۶ و حداکثر ۱/۲ مترمکعب هوا را به ازای هر مترمربع از مساحت گلخانه پیشنهاد می‌کنند؛ اگر این سیستم با ظرفیت بالای خروج هوا طراحی شود، هرچند هزینه بیشتری دارد ولی می‌تواند نیاز به سیستم پنکه و پوشال را در نیمه دوم سال از بین ببرد.

وقتی سیستم خنک کننده پنکه و تیوب مورد استفاده قرار می‌گیرد، در شرایط استاندارد، دمای داخل گلخانه حداکثر ۸ درجه سانتیگراد بالاتر از دمای بیرون خواهد بود. اگر دمای کمتری برای محیط گلخانه مورد نظر باشد، باید هوای بیشتری وارد گلخانه گردد؛ به همین دلیل سرعت جابه‌جایی هوا در شرایط استاندارد باید در ضریب (F_{winter}) ضرب شود (جدول ۱۷). بنابراین سرعت جابه‌جایی هوا در خنک کننده زمستانی پنکه و تیوب به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$F_{light} \times (F_{elv}) \times (F_{winter}) \times (0.61) \times \text{مساحت گلخانه} = \text{سرعت جابه‌جایی هوا}$$

لوله‌های پلی‌اتیلنی انتقال هوا از ابتدا تا انتهای گلخانه امتداد می‌یابند؛ هرچند هر لوله قادر است حداکثر ۹/۱ متر از عرض گلخانه را خنک کند، ولی بهتر است در گلخانه‌ای به عرض ۹/۱ متر نیز، از دو لوله استفاده شود. برای گلخانه‌هایی که عرض آنها ۹/۱ تا ۱۸/۳ متر است از دو لوله با قطر یکسان و به فواصل مساوی در عرض گلخانه استفاده می‌شود و مجموع سوراخ‌های روی

لوله، باید ۱/۵-۲ برابر مساحت دهانه کانال باشد. جدول ۱۸، تعداد و قطر لوله‌های انتقال مورد نیاز را برای سیستم خنک‌کننده زمستانی نشان می‌دهد. اگر گلخانه وسیع بوده و نیاز به دو لوله داشته باشد، ولی امکان نصب دو لوله وجود نداشته باشد، می‌توان از یک لوله با دو ورودی هوا (یکی بر روی دهانه ابتدایی و دیگری بر روی دهانه انتهایی گلخانه) استفاده کرد؛ به این ترتیب مقدار هوای خنکی که از طریق یک لوله منفرد وارد می‌شود دو برابر خواهد شد.

جدول ۱۷: ضریب (F_{winter}) به منظور اصلاح سرعت جابه‌جایی هوا در خنک‌کننده زمستانی پنکه و تیوب

افزایش دمای گلخانه نسبت به محیط خارج										
دما (درجه سانتیگراد)	۱۰	۹/۴	۸/۹	۸/۳	۷/۸	۷/۲	۶/۷	۶/۱	۵/۶	۵
F_{winter}	۰/۸۳	۰/۸۸	۰/۹۴	۱	۱/۰۷	۱/۱۵	۱/۲۵	۱/۳۷	۱/۵	۱/۶۷

جدول ۱۸: تعداد (N) و قطر (D)* لوله‌های توزیع مورد نیاز در سیستم خنک‌کننده زمستانی گلخانه‌هایی با طول و عرض مختلف

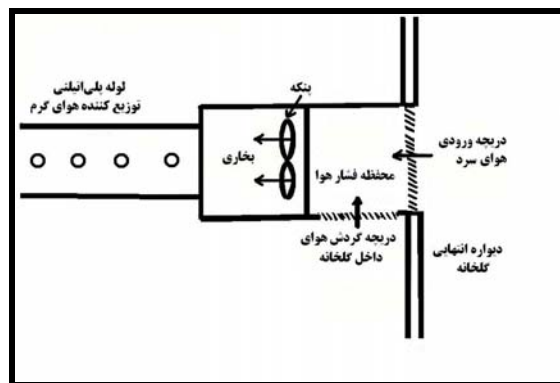
عرض گلخانه (متر)	طول گلخانه									
	۱۵ متر		۳۰ متر		۴۶ متر		۶۰ متر		۷۶ متر	
	D	N	D	N	D	N	D	N	D	N
۴/۶	۴۶	۱	۴۶	۱	۶۱	۱	۶۱	۱	۷۶	۱
۶/۱	۴۶	۱	۶۱	۱	۷۶	۱	۷۶	۱	۶۱	۲
۷/۶	۴۶	۱	۶۱	۱	۷۶	۱	۶۱	۲	۷۶	۲
۹/۱	۴۶	۲	۶۱	۲	۷۶	۲	۶۱	۲	۷۶	۲
۱۰/۷	۴۶	۲	۶۱	۲	۷۶	۲	۶۱	۲	۷۶	۲
۱۲/۲	۴۶	۲	۶۱	۲	۷۶	۲	۶۱	۲	۷۶	۲
۱۵/۲	۴۶	۲	۶۱	۲	۷۶	۲	۶۱	۲	۷۶	۲

* قطر لوله‌ها (D)، بر حسب سانتیمتر است.

از آنجایی که هم برای سیستم خنک‌کننده تابستانی و هم خنک‌کننده زمستانی به پنکه هواکش نیاز است، توصیه می‌شود از همان پنکه‌های خنک‌کننده تابستانی برای خنک‌کننده زمستانی نیز استفاده شود؛ در این صورت لازم است که پنکه‌های مورد استفاده تقریباً هم‌اندازه،

با قدرت یکسان و با دو سرعت موتور (دور کند و دور تند) خریداری شوند تا در سرعت کمتر، برای خنک‌کننده زمستانی هم مورد استفاده قرار گیرند.

برای صرفه‌جویی در هزینه‌ها توصیه می‌شود که از یک سیستم ترکیبی خنک‌کننده و گرم‌کننده زمستانی (شکل ۵۴) استفاده شود که در یکی از دیوارهای ابتدایی، یا انتهایی گلخانه نصب می‌شود. در این سیستم، پنکه بخاری به طور مداوم کار می‌کند و به عنوان یک پنکه ایجادکننده فشار برای لوله پلی‌اتیلنی توزیع هوا عمل می‌نماید و حین مرحله خنک‌کردن، فقط کرکره دریچه ورودی هوای سرد باز می‌ماند و دریچه ورودی هوای گرم گلخانه بسته می‌شود؛ اما در حین مرحله گرم کردن، کرکره دریچه ورودی هوای سرد، بسته می‌ماند و دریچه ورودی هوای گرم گلخانه باز می‌شود. وقتی نیازی به خنک‌کردن و گرم کردن نباشد، دریچه ورودی هوای سرد، بسته و دریچه ورودی هوای گلخانه، باز باقی می‌ماند تا هوای داخل گلخانه به طور مداوم به گردش درآید.



شکل ۵۴: سیستم ترکیبی خنک‌کننده و گرم‌کننده به منظور کاهش هزینه

مثال ۶: برای گلخانه سه واحدی به هم پیوسته، که عرض هر واحد ۸ متر و طول گلخانه ۶۰ متر است، سیستم خنک‌کننده زمستانی (پنکه و تیوب) را طراحی کنید. (ارتفاع از سطح دریا ۹۰۰ متر، شدت نور ۴۸ کیلو لوکس، اختلاف دمای داخل و خارج گلخانه ۹ درجه سانتیگراد، قطر سوراخ‌های روی لوله توزیع ۵ سانتیمتر و مجموع مساحت سوراخ‌ها روی لوله، دو برابر مساحت دهانه لوله در نظر گرفته شود).

$$(F_{\text{light}}) \times (F_{\text{elv}}) \times (F_{\text{winter}}) \times (0.61) \times \text{مساحت گلخانه} = \text{سرعت جابه‌جایی هوا}$$

$$(m^3/min) = 936/3 \times 0.94 \times 1/12 \times 0.9 \times 0.61 \times 27 \times 60 = 60$$

از آنجایی که گلخانه سه واحدی است، بهتر است که برای هر واحد یک پنکه هواکش داشته باشیم؛ بنابراین با تقسیم عدد ۹۳۶ بر ۳، قدرت هر پنکه برابر ۳۱۲ متر مکعب هوا در دقیقه باید

باشد؛ در نتیجه (با توجه به جدول ۱۶) به ۳ پنکه به قطر ۹۰ سانتیمتر و قدرت ۰/۵ اسب بخار نیاز است.

تعداد لوله‌های توزیع هوا با توجه به جدول ۱۸ به دست می‌آید؛ بنابراین برای هر واحد به دو لوله به قطر ۶۱ سانتیمتر نیاز است.

با توجه به اینکه برای هر واحد به دو کانال نیاز داریم، لذا به دو پنکه ایجادکننده فشار نیز نیاز است که قدرت هر یک از آنها باید نصف قدرت پنکه هواکش باشد و بتواند در هر دقیقه، ۱۸۰ متر مکعب هوا را وارد گلخانه کند. با توجه به جدول ۱۶، از پنکه‌ای به قطر ۶۰ سانتیمتر و قدرت ۰/۵ اسب بخار استفاده می‌کنیم.

(سانتیمتر مربع) $= \pi r^2 = ۸۹۰$ = مساحت دهانه کانال توزیع هوا

(سانتیمتر مربع) $= ۱۷۸۰ = ۸۹۰ \times ۲$ = مجموع مساحت سوراخ‌های روی کانال

(سانتیمتر مربع) $= \pi r^2 = ۱۹/۶۲$ = مساحت هر سوراخ روی کانال

$۹۰ = ۱۷۸۰ \div ۱۹/۶۲$ = تعداد سوراخ‌های مورد نیاز

بنابراین، ۹۰ سوراخ باید به صورت جفت در طرفین کانال (۴۵ جفت سوراخ) ایجاد شوند. فاصله سوراخ‌ها از یکدیگر، با تقسیم طول کانال بر تعداد جفت سوراخ‌ها به دست می‌آید:

$$۶۰ \div ۴۵ = ۱/۳۳$$

در نتیجه مشخصات خنک‌کننده زمستانی این گلخانه به شرح زیر خواهد بود:

- ۱- سه تا پنکه به عنوان هواکش هر یک به قطر ۹۰ سانتیمتر و قدرت ۰/۵ اسب بخار؛
- ۲- شش تا پنکه ایجادکننده فشار هر یک به قطر ۶۰ سانتیمتر و قدرت ۰/۵ اسب بخار؛
- ۳- شش کانال هر یک به قطر ۶۱ سانتیمتر که ۴۵ جفت سوراخ به فاصله ۱۳۳ سانتیمتر از یکدیگر بر روی آنها تعبیه شده است.

خلاصه مطالب

- ۱- معمولاً در طول فصل گرم سال و در طول روز، دمای داخل گلخانه بسیار بیشتر از دمای مطلوب گیاهان و برای آنها مضر است. در مواردی نیز در فصل زمستان، با آنکه هوای بیرون سرد است، به علت تابش نور خورشید، دمای داخل گلخانه به بالاتر از حد مطلوب گیاه می‌رسد؛ بنابراین ممکن است خنک کردن گلخانه هم در فصل تابستان و هم زمستان الزامی باشد.
- ۲- روش‌های مختلفی برای کاهش گرمای گلخانه در تابستان وجود دارد که از جمله آنها می‌توان به سایه دادن گلخانه، رنگ‌آمیزی پوشش گلخانه و استفاده از خنک‌کننده‌های تابستانی، مانند سیستم پنکه و پوشال و سیستم مه‌پاش اشاره کرد.
- ۳- تابش مستقیم نور خورشید به گلخانه سبب گرم شدن بیش از حد گلخانه می‌گردد. کاهش شدت نور گلخانه می‌تواند به کاهش گرمای گلخانه کمک نماید، برای این منظور از پارچه‌های ساران استفاده می‌شود که در ارتفاع ۲-۳ متری از زمین در سراسر گلخانه نصب می‌شود و می‌توانند ۳۰-۵۰٪ از شدت نور خورشید را کاهش دهند.
- ۴- رنگ‌آمیزی پوشش گلخانه با آب آهک، خاک، پودر میل ساختمانی و رنگ پلاستیک سفید نیز، سبب کاهش گرمای گلخانه می‌شود. این رنگ‌ها باید قبل از پاییز، از سطح پوشش برداشته و تمیز شوند.
- ۵- اساس کار سیستم‌های خنک‌کننده تبخیری، که برای تابستان مناسب‌اند، به این صورت است که هنگام تبخیر آب، گرمای محیط جذب و سبب خنک شدن گلخانه می‌گردد.
- ۶- با روش سیستم پنکه و پوشال در روزهای گرم تابستان می‌توان تا ۲۰-۳۰ درجه سانتیگراد دمای گلخانه را کاهش داد. این سیستم در مناطقی با رطوبت نسبی پائین، بهترین روش خنک کردن گلخانه است اما در مناطق مرطوب قابل استفاده نیست. پنکه در یک سمت دیواره انتهایی، یا جانبی، نصب می‌شود و هوا را از داخل پوشال به داخل گلخانه می‌کشد و سبب خنک شدن آن می‌گردد. پوشال مرطوب در دیواره مقابل پنکه‌ها (دیواره انتهایی یا جانبی) به صورت عمودی به ارتفاع ۱-۲ متر، به طول دیواره گلخانه و به ضخامت ۱۰-۳۰ سانتیمتر نصب می‌شود. پمپ آب سیستم آبرسانی بر روی پوشال نصب می‌شود و با ریزش آب از بالا بر روی پوشال، سبب مرطوب نگه داشتن آن می‌گردد.
- ۷- سرعت جابه‌جایی هوا در گلخانه باید به اندازه‌ای باشد که بتواند در شرایط استاندارد، در هر دقیقه یکبار، هوای داخل گلخانه را خارج کرده و هوای تازه جایگزین آن نماید. شرایط استاندارد گلخانه یعنی اینکه ارتفاع، ۳۰۰ متر بالاتر از سطح دریا، شدت نور، ۵۳/۸ کیلو لوکس و شیب دما از پوشال تا پنکه ۴ درجه سانتیگراد باشد. در خارج از شرایط استاندارد،

سرعت جابه‌جایی هوا باید در ضریب ارتفاع (F_{elv})، ضریب شدت نور (F_{light}) و ضریب دما (F_{temp}) ضرب شوند.

۸- مطلوب‌ترین فاصله بین پنکه تا پوشال ۳۰-۶۰ متر است. اگر فاصله پنکه کمتر یا بیشتر از این محدوده باشد، سرعت جابه‌جایی هوا در شرایط استاندارد، باید در ضریب فاصله (F_{vel}) ضرب شود.

۹- حاصلضرب سه ضریب (F_{temp} , F_{elv}) و (F_{light}) را (F_{house}) می‌نامند. برای اصلاح سرعت جابه‌جایی هوا در شرایط استاندارد باید آن را در یکی از دو ضریب (F_{house}) یا (F_{vel}) ضرب نمود (هر کدام که از نظر عددی بزرگ‌تر باشد).

۱۰- همانند سیستم خنک‌کننده پنکه و پوشال، تبخیر آب، گرمای گلخانه را جذب می‌کند. در این سیستم، آب به صورت قطرات بسیار ریزی (کمتر از ۴۰ میکرون) در می‌آید؛ این قطرات قبل از آنکه بر روی سطح گیاهان یا کف گلخانه بنشینند، به علت ریز بودن سریعاً تبخیر شده و بدون آن که گیاهان خیس شوند گرمای گلخانه را جذب و سبب خنک شدن آن می‌شوند.

۱۱- برای خنک کردن زمستانی گلخانه از سیستم پنکه و تیوب استفاده می‌شود. این سیستم از قسمت‌های زیر تشکیل شده است: پنکه هواکش، یک دریچه کرکره‌ای (ورودی هوا)، یک پنکه ایجادکننده فشار که هوای سرد وارد شده را با فشار وارد کانال توزیع هوا می‌کند و کانال پلی‌اتیلنی شفاف سوراخ‌دار که در طول گلخانه و بالای وترهای گلخانه نصب می‌شود.

۱۲- خنک‌کننده زمستانی باید به نحوی طراحی شود که تحت شرایط استاندارد (شدت نور، ۵۳/۸ کیلو لوکس، ارتفاع، ۳۰۰ متر از سطح دریا و دمای داخل گلخانه ۸ درجه سانتیگراد خنک‌تر از دمای بیرون گلخانه) بتواند به طور متوسط، هوایی را به حجم ۰/۶۱ متر مکعب در دقیقه به ازای هر متر مربع از مساحت گلخانه، خارج کند.

۱۳- به منظور صرفه‌جویی در هزینه‌ها توصیه می‌شود که از یک سیستم ترکیبی خنک‌کننده و گرم‌کننده زمستانی استفاده شود که در یکی از دیوارهای ابتدایی، یا انتهایی گلخانه، نصب می‌شود. در این سیستم، پنکه بخاری به طور مداوم کار می‌کند و به عنوان یک پنکه ایجادکننده فشار برای لوله پلی‌اتیلنی توزیع هوا عمل می‌نماید و حین مرحله خنک کردن، فقط کرکره دریچه ورودی هوای سرد، باز می‌ماند و دریچه ورودی هوای گرم گلخانه، بسته می‌شود؛ اما در مرحله گرم کردن، کرکره دریچه ورودی هوای سرد، بسته و دریچه ورودی هوای گلخانه باز می‌شود.

پرسش‌های فصل چهارم

- ۱- اساس کار خنک‌کننده‌های تبخیری را توضیح دهید و انواع آنها را نام ببرید.
- ۲- سیستم پنکه و پوشال را برای یک گلخانه تونلی دو واحدی به‌هم‌پیوسته با مشخصات زیر طراحی نمایید (طول گلخانه: ۵۰ متر، عرض گلخانه: ۲۵ متر، ارتفاع دیواره جانبی: ۳ متر، ارتفاع کمان: ۲ متر، ارتفاع از سطح دریا: ۱۲۰۰ متر، شدت نور: ۶۰ کیلو لوکس، افزایش دما از پنکه تا پوشال: ۴ درجه).
- ۳- نحوه کنترل سیستم مه‌پاش را برای خنک‌کردن گلخانه توضیح دهید.
- ۴- سیستم ترکیبی خنک‌کننده و گرم‌کننده را با رسم شکل توضیح دهید.
- ۵- سیستم پنکه و تیوب را برای گلخانه‌ای تونلی دو واحدی به‌هم‌پیوسته با مشخصات زیر طراحی نمایید (طول گلخانه: ۵۰ متر، عرض گلخانه: ۲۵ متر، ارتفاع دیواره جانبی: ۳ متر، ارتفاع کمان: ۲ متر، ارتفاع از سطح دریا: ۱۲۰۰ متر، شدت نور: ۶۰ کیلو لوکس، اختلاف دمای داخل و خارج گلخانه: ۱۰ درجه سانتیگراد).
- ۶- مزایای سیستم مه‌پاش را نسبت به سیستم پنکه و پوشال بیان کنید.
- ۷- عوامل مؤثر در اصلاح سرعت جابه‌جایی هوا را در شرایط استاندارد نام ببرید.
- ۸- (F_{vel}) در اصلاح سرعت جابه‌جایی هوا چیست؟ چه زمانی کاربرد دارد؟
- ۹- در صورتی که طول پوشال در سیستم پنکه و پوشال، بیشتر از طول دیواره باشد، چه راهکاری را پیشنهاد می‌کنید؟
- ۱۰- نحوه نصب سیستم پنکه و پوشال را در گلخانه توضیح دهید. این سیستم برای چه مناطقی قابل استفاده است؟

فصل پنجم

مدیریت نور در گلخانه

هدفهای رفتاری

پس از مطالعه این فصل از خواننده انتظار می‌رود که:

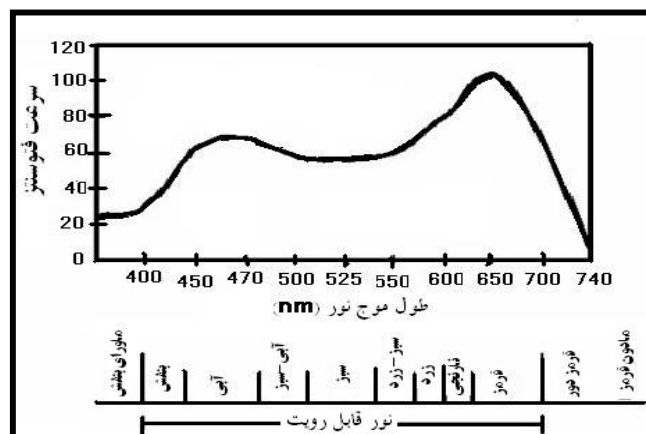
- ۱- نقش نور را در گیاهان بیان کند.
- ۲- عوامل مؤثر بر شدت نور گلخانه و روش‌های افزایش و کاهش شدت نور را بشناسد.
- ۳- فتوپریودیسم و نحوه کنترل آن را بداند.

مقدمه

نور خورشید به عنوان منبع تأمین انرژی برای گیاهان به شمار می‌آید. با وجود نور، آب و دی‌اکسیدکربن و طی عمل فتوسنتز، انرژی نورانی خورشید به صورت کربوهیدرات در گیاهان ذخیره می‌شود؛ این انرژی در جذب عناصر، تقسیم سلولی و سایر واکنش‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. سه فرایند مهم در گیاهان وجود دارد که به نور زیادی نیاز دارند: فتوسنتز مهم‌ترین آنهاست و برای رشد گیاه ضروری است. طی عمل فتوسنتز، انرژی تابشی به انرژی شیمیایی تبدیل می‌شود که برای تولید ترکیبات آلی در گیاه ضروری است. وجود نور علاوه بر فتوسنتز (تأمین انرژی مورد نیاز گیاهان)، بر روی واکنش‌های وابسته به طول دوره روشنایی روزانه گیاه (فتوپریودیسم) و فتومورفوز (اثر نور بر شکل گیاه) نیز مؤثر است. سه عامل مهم نور، یعنی شدت نور، کیفیت نور و طول دوره روشنایی، رشد و نمو گیاهان را تحت تأثیر قرار می‌دهند.

۵-۱. کیفیت نور

نور از طیف‌های مختلفی تشکیل شده است که بعضی از آنها در عمل فتوسنتز، لازم و مفید هستند. نورها بر مبنای طول موج‌شان و بر حسب نانومتر طبقه‌بندی می‌شوند. تشعشع فعال فتوسنتزی^۱ (PAR)، در طول موج بین ۴۰۰-۷۰۰ نانومتر (nm) قرار دارد که در عمل فتوسنتز نقش دارند. نور مرئی شامل طول موج‌هایی با رنگ آبی (۴۶۰ nm نانومتر)، سبز (۵۱۰ nm)، زرد (۵۷۰ nm)، نارنجی (۶۱۰ nm) و قرمز (۶۵۰ nm) است که در عمل فتوسنتز مؤثرند (شکل ۵۵). میزان فتوسنتز گیاهان در نور آبی (۴۶۰ nm)، و قرمز (۶۵۰ nm) بیشتر از سایر طول موج‌ها است (شکل ۵۵). ولی وجود نور آبی یا قرمز به تنهایی برای گیاهان مشکل‌ساز خواهد شد؛ بنابراین برای انجام فتوسنتز کامل، وجود تمام طول موج‌های نور مرئی لازم است. نور ماورای بنفش، دارای طول موج کمتر از ۴۰۰ نانومتر بوده، با چشم انسان قابل رؤیت نیست، برای گیاهان و انسان مضر است و باعث تخریب پوشش پلاستیک پلی‌اتیلن می‌گردد؛ به همین دلیل توصیه می‌شود از پلاستیک‌های جاذب UV برای پوشش گلخانه استفاده شود، زیرا هم مانع از ورود این اشعه به داخل گلخانه شده و هم طول عمر پلاستیک افزایش می‌یابد. طیف نور قرمز و قرمز دور (۷۵۰ nm) قابل مشاهده نیستند، اما وجود آنها برای رشد گیاه ضروری است.



شکل ۵۵: طول موج‌ها و رنگ نور خورشید و تأثیر آنها بر فتوستنز

رنگ پوشش گلخانه بر روی کیفیت نوری که وارد گلخانه می‌شود نیز تأثیر می‌گذارد. پلاستیک‌های شفاف تقریباً بیشتر نور را از خود عبور می‌دهند. پلاستیک‌های رنگی سبز، یا آبی، مقدار زیادی از نور را در طول موج‌های آبی تا آبی-سبز عبور می‌دهند ولی مقداری از نور را در طول موج‌های قرمز جذب کرده و مانع از ورود آن به داخل گلخانه می‌شوند. از آنجایی که نور قرمز مؤثرترین نور در رشد و فتوسنتز گیاهان است، بنابراین گیاهانی کوتاه‌تر، با میان‌گره‌های^۱ کوچک‌تر، برگ‌های سبز تیره و با رشد کند تولید خواهد شد.

به علت انعکاس و فیلتر شدن نور قرمز دور توسط برگ‌های سبز گیاهان سایه‌انداز، گیاهانی که در سایه این گیاهان قرار می‌گیرند، نور قرمز دور کمتری به آنها می‌رسد. کاهش جذب نور قرمز دور توسط برگ‌ها، حالت رقابت نوری در گیاه القاء می‌کند؛ در این حالت، گیاه انرژی کمی را برای رشد ریشه‌ها صرف می‌کند و بیشتر انرژی خود را به طرف اندام‌های هوایی هدایت کرده و در نهایت گیاهی با ساقه باریک، میان‌گره‌های بلند و رشد ضعیف تولید خواهد شد. بنابراین حتی وجود نور قرمز دور نیز برای رشد و نمو گیاه ضروری است.

اثر دیگر کیفیت نور را می‌توان در جوانه‌زنی بذور حساس به نور مشاهده کرد: در بذوری که برای جوانه‌زنی، نیاز به نور دارند، نور قرمز باعث جوانه‌زنی بذرها و نور قرمز دور مانع از جوانه‌زنی این بذور خواهد شد؛ در این حالت فیتوکروم‌های حساس به نور قرمز، یا قرمز دور، جوانه‌زنی بذر را کنترل می‌کنند.

گلخانه‌داران با تغییر کیفیت نور دریافت شده توسط گیاه و یا تغییر طول موج‌های مختلف نور (با استفاده از لامپ‌های مناسب برای نور تکمیلی یا کنترل فتوپریود)، رشد و نمو گیاه را به صورت مصنوعی تحت تأثیر قرار می‌دهند؛ مثلاً کاهش نور قرمز دور و افزایش نور آبی سبب تولید گیاهانی کوتاه‌تر، قوی‌تر و با برگ‌های سبز تیره خواهد شد.

۵-۲. واحدهای اندازه‌گیری شدت نور و روابط آنها

شدت نور محیط به روش‌های مختلف اندازه‌گیری و با واحدهای متفاوتی بیان می‌شود که در این قسمت، برخی از مهم‌ترین این واحدها توضیح داده می‌شود:

جریان تابشی^۱: مقدار انرژی (از همه طول موج‌های نور) که از یک منبع نوری منتشر و بر حسب وات (W) اندازه‌گیری می‌شود.

پرتوافشانی^۲: مقدار انرژی نور که به وسیله یک سطح دریافت و بر حسب وات بر متر مربع (w/m^2) بیان می‌شود.

جریان نورانی لومن^۳ (Lm): واحدی از بازده انرژی نورانی است که از یک منبع نوری ساطع شده است؛ مثلاً بازده انرژی نورانی یک لامپ تنگستن ۱۰۰ و یا ۱۵۰ وات، به ترتیب تقریباً ۱۷۴۰ و ۲۲۲۰ لومن تولید می‌کند.

بازده تابشی^۴: نسبت بین جریان تابشی ساطع شده از یک منبع طیف نوری (۴۰۰-۷۰۰ نانومتری) به انرژی مصرف شده است (تبدیل انرژی الکتریکی به انرژی تابشی به وسیله لامپ) که بر حسب (mW/W) بیان می‌شود.

فوت کندل^۵ (FC): معادل تراکم جریان نورانی دریافت شده به وسیله یک سطح است که معادل یک لومن بر فوت مربع (Lm/ft^2) بوده و بیشتر برای بیان شدت نور در گلخانه از آن استفاده می‌شود. دستگاه‌هایی که شدت نور را بر حسب فوت شمع نشان می‌دهند، بر اساس حساسیت چشم انسان طراحی شده‌اند؛ از آنجایی که چشم انسان به نور زرد و سبز حساس‌تر است، بنابراین این واحد نوری دقیقاً معادل انرژی نورانی استفاده شده توسط گیاه برای عمل فتوسنتز نیست.

لوکس^۶ (Lx): معادل تراکم جریان نورانی دریافت شده به وسیله یک سطح است که معادل یک لومن بر مترمربع (Lm/m^2) است. هر لوکس معادل ۱۰/۷۶ فوت شمع است.

1. Radiant flux

2. Irradiance

3. Flux luminous

4. Radiant efficiency

5. Foot candle

6. Lux

میکرومول بر متر مربع در ثانیه ($\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$): معادل تعداد فوتون‌های نوری مؤثر بر فتوسنتز (PAR) است که در هر ثانیه به یک متر مربع می‌رسد. این واحد، بیشتر توسط محققین باغبانی مورد استفاده قرار می‌گیرد، زیرا این واحد، مقدار انرژی نورانی استفاده شده در فتوسنتز را دقیقاً مشخص می‌کند؛ همچنین مقدار انرژی نورانی، که در طول یک شبانه روز (۲۴ ساعت) به یک متر مربع می‌رسد، از این طریق تعیین و با واحد مول بر متر مربع در روز ($\text{mol}/\text{m}^2/\text{day}$) نشان داده می‌شود. اندازه‌گیری شدت نور بر حسب میکرومول بر متر مربع در ثانیه ($\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$) را می‌توان به قطرات آب باران تشبیه کرد که در هر ثانیه، در یک متر مربع می‌ریزد و بنابراین مجموع انرژی روزانه^۱ (DLI)، معادل کل قطرات آب جمع شده در یک متر مربع در یک شبانه‌روز است. جدول ۱۹، واحدهای مختلف نور و موارد استفاده و تبدیل آنها به یکدیگر را در منابع نوری مختلف نشان می‌دهد.

شدت نور (FC) \times ضریب اصلاحی (جدول ۱۹) \times ساعات روشنایی لامپ = DLI

ضریب اصلاحی برای منابع نوری مختلف، متفاوت است. این ضریب برای نور خورشید، ۰/۰۰۰۷۱، برای لامپ‌های سدیمی فشار قوی (HPS)، ۰/۰۰۰۴۷ و برای لامپ متال‌هالید (MH)، ۰/۰۰۵۴ است؛ مثلاً مجموع نور روزانه تولید شده یک لامپ سدیمی فشار قوی با ۴۰۰ فوت شمع نور، که برای ۱۲ ساعت روشن باشد، برابر $2/3 \text{ mol}/\text{day}$ است.

۵-۳. آثار کلی شدت نور بر رشد گیاهان

در شرایطی که همه عوامل، از جمله دما، نور و CO_2 در حد مطلوب باشند، برای انجام فتوسنتز به شدت نور بهینه نیاز است؛ اگر شدت نور، کم و ضعیف باشد، سبب کاهش سرعت فتوسنتز و رشد، تولید گیاهانی ضعیف، ریزش جوانه‌های گل، افزایش طول میان‌گره‌ها، باریک شدن ساقه، کاهش کیفیت محصول و افزایش شیوع بیماری‌ها و هزینه تولید خواهد شد؛ در صورتی که شدت نور از حد مناسب بالاتر باشد، کلروپلاست‌های برگ صدمه دیده، میزان فتوسنتز کاهش می‌یابد و گیاهی با ساقه قطور و میان‌گره‌های کوتاه تولید می‌شود.

جدول ۱۹: واحدهای مختلف نور، موارد استفاده و تبدیل آنها به یکدیگر در منابع نوری مختلف

واحد	روش اندازه‌گیری	موارد استفاده:	درمقایسه با یک فوت شمع		
			نور خورشید	لامپ سدیمی فشار قوی ^۱	لامپ متال هالید ^۲
Foot Candle	نور قابل مشاهده	صنعت	۱	۱	۱
Lux	نور قابل مشاهده	صنعت	۱۰/۷۶	۱۰/۷۶	۱۰/۷۶
$\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}^1$ of PAR (۷۰۰-۷۰۰ nm)	فوتون‌های نور در محدوده (PAR)	تحقیقات باغبانی	۰/۲۰	۰/۱۳	۰/۱۵
Moles/day (PAR)	مجموع نور روزانه	تحقیقات باغبانی	FC× ۰/۰۰۰۷۱ ساعات روشنایی×	FC× ۰/۰۰۰۴۷ ساعات روشنایی×	FC× ۰/۰۰۰۵۴ ساعات روشنایی×
Watts/m ² (PAR)	میزان انرژی در محدوده (PAR)	تحقیقات باغبانی و مهندسی	۰/۰۴۳	۰/۰۲۶	۰/۰۳۳
Watts/m ² (total energy)	انرژی کل	تحقیقات باغبانی و مهندسی	۰/۱۰۱	۰/۰۷۴	۰/۰۸۹

تأثیر نور بر رشد گیاه به صورت‌های مختلفی قابل مشاهده است که به برخی از آنها اشاره می‌شود:

الف- در شرایط نور کم، گیاه سعی می‌کند که با افزایش سطح برگ، سطح جذب نور را افزایش دهد؛ بنابراین برگ‌های گیاه، نازک و انحنای پذیر می‌شوند؛ ولی در شرایط نور زیاد، اندازه برگ‌ها (سطح هر برگ) کاهش و ضخامت و تعداد آنها افزایش می‌یابد و در داخل آنها مقدار زیادی نشاسته جمع می‌شود. بنابراین در شرایطی که مجموع نور روزانه (DLI) زیاد است، هرچند سطح هر برگ کمتر از سطح هر برگ در شرایط نوری کم است، ولی به علت داشتن تعداد برگ بیشتر، مجموع سطح برگ گیاه افزایش می‌یابد.

ب - رشد ریشه متناسب با رشد شاخه‌ها است. ریشه‌ها از نظر دریافت کربوهیدرات به شاخه‌ها وابسته و شاخه‌ها نیز برای جذب آب و عناصر غذایی به ریشه‌ها وابسته هستند؛ بنابراین زمانی که مجموع نور روزانه (DLI) افزایش می‌یابد، با افزایش رشد شاخه‌ها، بر رشد ریشه‌های گیاه نیز افزوده می‌شود (شکل ۵۶).

1. High Pressure Sodium
2. Metal Halide



شکل ۵۶: تأثیر شدت نور روزانه بر رشد شاخه

ج - بیشتر گیاهان سایه‌پسند، در حقیقت شرایط نوری کم را بهتر تحمل می‌کنند ولی بیشترین سرعت رشد را در شدت نور متوسط و بالا دارند؛ مثلاً هرچند زمانی که مجموع نور روزانه کم است (5 mol/day)، گیاه بگونه‌ای محصول بازارپسند و قابل قبولی را تولید می‌کند، ولی بهترین کیفیت محصول، زمانی تولید می‌شود که مجموع نور روزانه 20 mol/day باشد.

د- با افزایش مجموع نور روزانه، میزان شاخه‌زایی گیاهان افزایش می‌یابد؛ زیرا در شرایط کمبود نور، فقط مقدار کمی انرژی برای رشد ساقه اصلی گیاه وجود دارد ولی با افزایش شدت نور، به علت وجود کربوهیدرات بیشتر، تولید شاخه‌های جانبی جدید افزایش می‌یابد (شکل ۵۷).

ه - اگرچه با افزایش مجموع نور روزانه، میزان رشد و کیفیت افزایش می‌یابد، ولی در مواردی نیز (مثلاً گل حنا^۱) قرار گرفتن گیاه در زیر نور کامل خورشید، سبب کاهش کیفیت ظاهری گیاه می‌شود؛ به طوری که برگ‌های آن ظاهری پژمرده و کمرنگ پیدا می‌کنند. بنابراین داشتن رشد بهینه و با حداکثر کیفیت، بهتر از داشتن حداکثر سرعت رشد ولی با کیفیت پایین است.

و- به طور کلی تحت شرایط نوری ضعیف، ممکن است گل‌آغازی^۲ و نمو جوانه گل متوقف شده، یا به کندی انجام شود و به همین دلیل در چنین شرایطی، گیاهان برای گل‌دهی به زمان بیشتری نیاز دارند؛ به عبارت دیگر این گیاهان در زمان گل‌دهی دارای ارتفاع بلندتری هستند.

ز - به طور کلی شدت نور بر روی رشد گیاه (وزن تر گیاه، وزن خشک گیاه، اندازه گیاه، تولید شاخ و برگ و تعداد گل و اندازه گل) تأثیر می‌گذارد، ولی بر روی سرعت نمو گیاه (سرعت باز

1. *Impatiens*

2. *Flower initiation*

شدن گل یا برگ در مناطق مریستم^۱ اثری ندارد (لازم به ذکر است که سرعت نمو گیاه تحت کنترل دمای محیط است).

برگ گیاهان در یک شدت نور معین به نقطه‌ای می‌رسد که با افزایش شدت نور، سرعت فتوسنتز افزایش نخواهد یافت، که به آن نقطه اشباع نوری^۲ گفته می‌شود. برگ بیشتر گیاهان در شدت نور ۳۲۰۰۰ لوکس، به نقطه اشباع نوری می‌رسد که البته این حالت به‌ندرت رخ می‌دهد؛ زیرا برگ‌های بالایی بر روی برگ‌های پائینی سایه‌اندازی می‌کنند و سبب کاهش شدت نور دریافتی توسط این برگ‌ها می‌شوند؛ بنابراین برای آنکه برگ‌های قسمت داخلی و پائین گیاه نیز به نقطه اشباع نوری برسند، کل گیاه به شدت نور بالاتری نیاز خواهد داشت.



شکل ۵۷: تأثیر شدت نور روزانه بر تولید شاخه‌های جانبی

گیاهان گلخانه‌ای ممکن است در یک روز آفتابی وسط تابستان در معرض ۱۲۹۰۰۰ لوکس نور قرار گیرند که این میزان نور، بسیار بالاست و یا اینکه در یک روز ابری تیره زمستان، فقط در معرض ۳۲۰۰ لوکس نور واقع شوند که بسیار کم است.

۴-۵. رشد گیاهان در شرایط نوری مختلف

برای انجام عمل فتوسنتز، نیاز نوری گیاهان با یکدیگر کاملاً متفاوت است. شدت نور موجود در محیط را می‌توان به پنج گروه زیر تقسیم کرد که رشد گیاهان در این شرایط تفاوت دارد:

۴-۵-۱. شرایط نوری خیلی کم

در این شرایط ($< 5 \text{ mol/day}$)، یا نور ۵۰۰-۱۰۰۰ فوت کندل)، معمولاً گیاهانی با رشد، گل‌دهی و کیفیت ضعیف تولید می‌شوند؛ ساقه اصلی گیاه باریک و ضعیف است و شاخه‌های جانبی زیادی

1. Meristem

2. Saturated light point

تولید می‌کنند؛ نور کافی برای گل‌دهی وجود ندارد و ممکن است گل‌دهی با تأخیر صورت گیرد و اندازه گل‌ها کوچک‌تر و تعداد آنها در بوته کمتر می‌شود و شاید به طور کامل، در مرحله رویشی باقی بمانند (هیچ گلی تولید نکنند). فقط تعداد محدودی از گیاهان، از قبیل بنفشه آفریقایی، می‌توانند در چنین شرایطی گیاهانی با کیفیت قابل قبول تولید کنند. تحت چنین شرایطی استفاده از نور تکمیلی سودمند است.

۵-۴-۲. شرایط نور کم

کیفیت رشدی که در شرایط نوری کم ($5-10 \text{ mol/day}$ یا $1000-2000$ فوت کندل) رخ می‌دهد تا حد زیادی به دمای گلخانه بستگی دارد. در دمای خنک (کمتر از 18 درجه سانتیگراد) کیفیت گیاه می‌تواند بسیار خوب باشد؛ مثلاً در شمال اروپا، گلخانه‌داران برای جبران شرایط نوری کم حاکم بر منطقه، اقدام به پرورش گیاهان فصل خنک در گلخانه می‌کنند، در این شرایط، طول دوره رشد افزایش می‌یابد، اما کیفیت محصول خوب است. دمای خنک سبب نمو کند برگ‌ها و گل‌ها می‌شود و بنابراین زمان بیشتری را برای ذخیره‌سازی انرژی و تولید گل‌ها و برگ‌های سالم در اختیار گیاه قرار می‌دهد. در مقابل، دمای بالای 24 درجه سانتیگراد در شرایط نور کم، منجر به کیفیت ضعیف رشد خواهد شد؛ در این شرایط، نمو برگ‌ها و گل‌های جدید به سرعت انجام می‌شود اما انرژی کافی برای تولید برگ‌ها و گل‌های جدید وجود ندارد. تحت چنین شرایطی استفاده از نور تکمیلی سودمند است.

۵-۴-۳. شرایط نور متوسط

تحت این شرایط، ($10-20 \text{ mol/day}$ یا $2000-4000$ فوت کندل)، رشد اغلب گیاهان در گلخانه‌ها از نظر تجاری قابل قبول است؛ گل‌دهی گیاهان به صورت طبیعی با شاخه‌زایی و تعداد گل قابل قبول صورت می‌گیرد و مدیریت آبیاری گلخانه در شرایط نور متوسط، در مقایسه با شرایط نوری زیاد، نسبتاً آسان‌تر است. از آنجایی که گیاهان دارای انرژی کافی برای گل‌دهی هستند، استفاده از نور تکمیلی تأثیر کمی بر روی زمان گل‌دهی دارد و بنابراین مزایای استفاده از نور تکمیلی در این شرایط محدود می‌شود.

۵-۴-۴. شرایط نوری زیاد

بالاترین کیفیت گیاهان علفی چندساله و گیاهان بستری در شرایط نوری زیاد (mol/day $20-30$ یا $4000-6000$ فوت کندل) به دست می‌آید و عملکرد محصول نیز، قابل قبول است. در چنین شرایط نوری، گیاهان به صورت بوته‌ای (دارای شاخه جانبی زیاد) رشد کرده و تعداد گل بیشتری تولید می‌کنند. از آنجایی که رشد ریشه متناسب با رشد شاخه‌ها است، بنابراین سیستم

ریشه‌ای گیاه نیز رشد بسیار خوبی خواهد داشت. بالاترین عملکرد گیاهان گل بریده^۱ گلخانه‌ای و سبزیجات گلخانه‌ای، در شرایط نوری زیاد به دست می‌آید. دمای بالای گلخانه می‌تواند باعث کاهش عملکرد شود، حتی اگر افزایش شدت نور برای گیاهان داخل گلخانه مطلوب باشد. بنابراین کنترل دمای گلخانه باید با دقت انجام شود.

۵-۴-۵. شرایط نوری خیلی زیاد

در چنین شرایط نوری، بسیاری از گونه‌های گیاهی بیرون از گلخانه، در مقایسه با داخل گلخانه، محصولی با کیفیت عالی تولید می‌کنند؛ زیرا در بیرون از گلخانه، شدت نور بیشتر (mol/day ۳۰-۶۰ یا ۶۰۰۰-۱۰۰۰۰ فوت کندل) اما دمای گیاه، خنک‌تر از داخل گلخانه است. دمای گیاه در بیرون از گلخانه، به علت جابه‌جایی بهتر هوا، رطوبت نسبی پایین‌تر و وجود آسمان صاف (عدم وجود اثر گلخانه‌ای) خنک‌تر است. در صورت وجود آب کافی و بالا نبودن دمای محیط، ممکن است گیاهان سایه‌پسند در بیرون از گلخانه و زیر نور کامل خورشید، رشد بسیار خوبی داشته باشند؛ مثلاً نگهداری تعداد بسیاری از واریته‌های گیاه هوستا^۲ در فصل تابستان در بیرون از گلخانه، سبب رشد بسیار خوب آنها می‌شود؛ به شرطی که آب کافی وجود داشته باشد و دمای برگ زیاد نباشد. واریته‌هایی از گیاه هوستا، که برگ‌های بزرگ دارند، به علت بالا رفتن دمای برگ در شرایط نوری خیلی زیاد، ممکن است به سایه‌اندازی نیاز داشته باشند تا از آفتاب سوختگی برگ آنها جلوگیری شود.

شدت نور بیش از حد، ممکن است سبب تغییراتی در شکل و جهت برگ‌های گیاه شود؛ در چنین شرایطی و به منظور کاهش سطح جذب نور، برگ‌ها به صورت عمودی و پهنک برگ به شکل خمیده درمی‌آیند؛ مثلاً برگ‌های گیاه پانسی^۳ در بیرون از گلخانه، در فصل تابستان و در زیر نور کامل خورشید (40 mol/day)، به شکل خمیده در می‌آیند، حتی اگر دمای برگ خنک باشد.

مدیریت آبیاری در شرایط نوری خیلی زیاد، مشکل‌تر است، زیرا گیاه، آب زیادی مصرف می‌کند و میزان تبخیر نیز به علت شدت نور زیاد خورشید افزایش می‌یابد.

به طور کلی می‌توان چنین نتیجه‌گیری کرد که حداقل و حداکثر شدت نور قابل قبول در گونه‌های مختلف گیاهی با یکدیگر متفاوت است. محدوده حداقل و حداکثر شدت نور قابل قبول برای هر گیاه، با توجه به میزان آب و دمای محیط تغییر می‌کند. دمای خنک امکان رشد را برای

1. Cut flower crops

2. Hossta

3. Pansy

گیاه در شدت نور پائین فراهم می‌کند و در دماهای بالا، حداقل شدت نور برای رشد قابل قبول گیاه، افزایش می‌یابد. به طور مشابه، دماهای بالا حداکثر مقدار نوری را که گیاهان فصل خنک می‌توانند جذب کنند، محدود می‌کند؛ مثلاً در صورتی که دمای محیط متوسط باشد، گیاهان لوبلیا^۱ و فوشیا^۲ می‌توانند نور کامل خورشید را تحمل کنند، اما با افزایش دما نیاز به سایه‌اندازی دارند.

آب نیز می‌تواند نیاز نوری گیاهان را تغییر دهد؛ مثلاً کالادیوم که گیاهی سایه‌پسند محسوب می‌شود، در صورت آبیاری مناسب، در بیرون از گلخانه و در زیر نور کامل خورشید نیز پرورش داده می‌شود. تنش خشکی در زیر نور کامل خورشید سبب ایجاد خسارت در بسیاری از گونه‌های گیاهی می‌شود. جدول ۲۰، کیفیت گیاهان مختلف را در شدت نورهای متفاوت نشان می‌دهد.

جدول ۲۰: دسته‌بندی گیاهان مختلف بر اساس واکنش آنها به مجموع نور روزانه (mol/day)

نام گیاه	کیفیت ضعیف	کیفیت خوب	کیفیت عالی
بنفشه آفریقایی، سرخس، مارانتا، اسپاتیفلوم، سرخس بوستون، گیاهان خانواده آناناس، کالادیوم، کالادیوم، هوستا	$x < 3$	$3 < x < 5$	$5 < x < 11$
کاکتوس کریسمس، گلوکسینا	$x < 5$	$5 < x < 7$	$7 < x < 21^*$
زنبق گل بریده، کالانکوه، لوبلیا، پریمولا	$x < 5$	$5 < x < 9$	$9 < x < 17$
آلیسوم، میخک، گازانیا، ژربرا، رز مینیاتور، داوودی گلدانی، سالویا	$5 < x < 9$	$9 < x < 13$	$13 < x < 27$
کلوزیا، کروتون، کوکب، فیکوس بنجامین، داودی باغی، ماری‌گلد، پتونیا، وربنا	$7 < x < 11$	$11 < x < 17$	$17 < x < 27^{**}$
گیاهان گل بریده گلخانه‌ای، سبزی‌ها گلخانه‌ای	$9 < x < 13$	$13 < x < 21$	$21 < x < 27$

*- به شرط آبیاری کافی می‌توانند در این شرایط نوری نگهداری شوند.

** - در شدت نور بالاتر باید به بیرون از گلخانه منتقل شوند.

1. Lobelia

2. Fotshia

۵-۵. عوامل مؤثر بر شدت نور گلخانه

الف- جهت گلخانه

همان گونه که در فصل اول اشاره شد، برای دریافت نور بیشتر، گلخانه‌ها باید در جهت صحیح احداث شوند تا حداقل سایه‌اندازی اسکلت گلخانه بر روی گیاهان انجام و بیشترین نور به گلخانه وارد شود. در عرض‌های بالاتر از ۴۰ درجه، گلخانه‌های تک‌واحدهی در جهت شرقی- غربی و در عرض‌های پائین‌تر از ۴۰ درجه، در جهت شمالی- جنوبی احداث شده و گلخانه به‌هم‌پیوسته نیز همیشه در جهت شمالی- جنوبی احداث می‌شود.

ب- شیب سقف

شیب سقف گلخانه باید با توجه به عرض گلخانه مورد توجه قرار گیرد: برای گلخانه‌های تا عرض ۸ متر، سقف گلخانه با شیب ۳۲ درجه و در گلخانه‌های با عرض بیش از ۸ متر، از شیب ۲۶ درجه استفاده می‌شود. در گلخانه‌های نیمه دوطرفه نیز، نیمه پهن‌تر سقف، در نیمکره شمالی به سمت جنوب و در نیمکره جنوبی به سمت شمال احداث می‌شود تا نور بیشتری را دریافت کند. مسطح بودن سقف گلخانه، سبب انعکاس بیشتر نور می‌شود.

ج- شکل و اسکلت گلخانه

هر چه ساختمان گلخانه به شکل کروی نزدیک‌تر باشد، میزان نور وارد شده به داخل گلخانه بیشتر خواهد بود؛ بنابراین گلخانه‌های تونلی بیشتر از گلخانه‌های دوطرفه و یک‌طرفه نور دریافت می‌کنند. همچنین میزان سایه‌اندازی اسکلت گلخانه در میزان نور رسیده به داخل گلخانه مؤثر است. تجهیزات نصب شده بر روی اسکلت گلخانه (لامپ برای ایجاد نور مصنوعی، پنکه‌های تولیدکننده جریان افقی هوا (HAF) و گلدان‌های آویزان از سقف) نیز، سبب افزایش سایه‌اندازی بر روی گیاهان می‌شوند.

د- نوع پوشش گلخانه

میزان عبور نور از پوشش‌های مختلف، متفاوت است؛ مثلاً شیشه، تقریباً ۹۰ درصد نور خورشید و پلی‌اتیلن دولایه، حدود ۷۶ درصد نور را از خود عبور می‌دهد.

ه- تمیز بودن سطح پوشش‌های گلخانه

سطح پوشش‌های گلخانه‌ای، به خصوص شیشه و فایبرگلاس، به مرور زمان در اثر گرد و خاک کثیف و سبب کاهش عبور نور می‌شوند؛ بنابراین، این پوشش‌ها باید به صورت مرتب شستشو و

تمیز شوند. وجود گرد و غبار بر روی سطح گلخانه‌های شیشه‌ای، تا ۲۰ درصد می‌تواند سبب کاهش انتقال نور شود.

و- رنگ اسکلت و اشیای داخل گلخانه

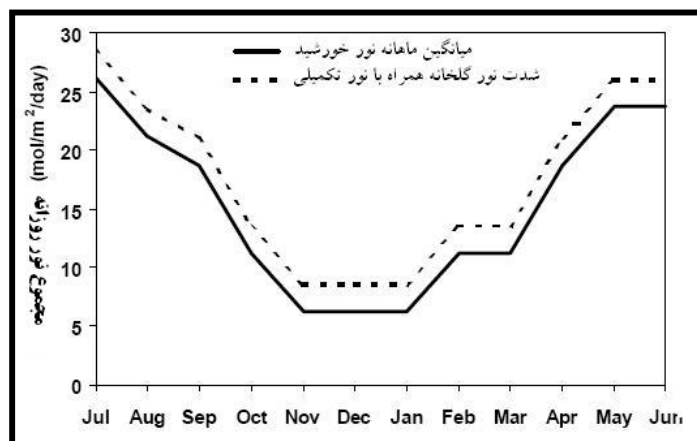
اشیای داخل گلخانه مقداری از نور وارد شده را جذب می‌کنند؛ بنابراین تا حد ممکن باید در گلخانه از اشیائی با رنگ سفید استفاده شود و به همین دلیل، رنگ اسکلت فلزی گلخانه باید از آهن گالوانیزه باشد و در صورت استفاده از آهن سیاه، باید آن را با رنگ سفید رنگ‌آمیزی کرد. سکوه‌های مورد استفاده در گلخانه نیز باید به رنگ سفید باشند. در مناطق کم نور اروپا، کف گلخانه یا راهروها با پلاستیک‌های دورنگ پوشیده می‌شود که رنگ سطح بالایی آن سفید و منعکس‌کننده نور است و رنگ سطح زیرین نیز، سیاه بوده و به عنوان مالچ پلاستیکی مانع از رشد علف‌های هرز در کف گلخانه و راهروها می‌شود.

ز- فواصل کشت گیاهان در گلخانه

در گلخانه، هر چه فواصل کشت گیاهان از یکدیگر بیشتر باشد، نور بیشتری در بین گیاهان نفوذ می‌کند و برگ‌های کناری و داخلی گیاه نیز از نور بهره‌مند خواهند شد؛ اما در صورتی که بوته‌ها به صورت متراکم کشت شوند، گیاه فقط از بالا نور دریافت می‌کند، ولی برگ‌های کناری و داخلی گیاه از نور کافی بهره‌مند نخواهند شد که این امر، سبب کاهش رشد و فتوسنتز گیاه می‌گردد.

ح- فصول مختلف سال

شکل ۵۸، مجموع نور روزانه یک گلخانه را در ماه‌های مختلف سال نشان می‌دهد. در فصل پاییز و زمستان به علت ابری بودن زیاد هوا، میانگین مجموع نور روزانه به شدت کاهش می‌یابد، اما در فصول بهار و تابستان، مجموع نور روزانه افزایش می‌یابد؛ مثلاً (طبق شکل ۵۸)، میانگین مجموع نور روزانه (DLI) در ماه‌های نوامبر تا ژانویه، به 6 mol/day و در اواسط تابستان، به 26 mol/day می‌رسد.



شکل ۵۸: میانگین شدت نور روزانه خورشید در ماه‌های مختلف سال در گلخانه

۵-۶. کاهش شدت نور گلخانه

در کشور ما، به جز در مناطق شمالی کشور، مشکلی از نظر کمبود شدت نور حتی در نیمه دوم سال نیز وجود ندارد. گلخانه‌ها در طول تابستان، با مشکل بیش‌بود نور مواجه‌اند و بنابراین باید شدت نور گلخانه کاهش یابد تا از بروز خسارت به کلروفیل‌های برگ و ایجاد گرمای بیش از حد در گلخانه‌ها جلوگیری شود. معمولاً از دو روش برای کاهش شدت نور گلخانه استفاده می‌شود:

الف- در روش اول، در نیمه اول سال عموماً از رنگ‌پاشی یا گل‌اندود کردن سطح خارجی پوشش گلخانه استفاده می‌شود و سپس در اوایل پاییز از روی پوشش گلخانه شسته می‌شود. در این روش، ۵-۱۰ کیلوگرم (با توجه به شدت سایه‌اندازی) رنگ سفید پلاستیک، گل آخرا یا آهک در ۱۰۰ لیتر آب حل می‌شود و سپس بر روی سطح پوشش گلخانه به صورت یکنواخت پمپاژ می‌شود. مزیت این روش ساده و ارزان بودن آن است، اما اشکال آن، دائمی بودن آن و کاهش شدت نور، حتی در روزهای ابری است؛

ب- در روش دوم از توری‌های سایه‌انداز (از جنس پلی‌استر یا پلی‌پروپیلن) برای کاهش شدت نور گلخانه استفاده می‌شود که ممکن است در داخل یا خارج گلخانه نصب شوند. امروزه در گلخانه‌های تجاری، پرده‌های ساران برای کاهش شدت نور گلخانه به کار می‌رود که در ارتفاعی بالاتر از قد انسان (موازی با ارتفاع نودان‌ها)، در داخل گلخانه کشیده می‌شود؛ در این روش، نور وارد فضای گلخانه می‌شود اما وجود پرده‌های سایه‌انداز داخلی (شکل ۳۵)، سبب سایه‌اندازی و کاهش شدت نور بر روی گیاهان داخل گلخانه می‌گردد ولی دما در فضای بالایی سطح سایه‌انداز زیاد است. در برخی از گلخانه‌ها، تورهای سایه‌انداز در خارج از گلخانه و در ارتفاعی بالاتر از ارتفاع گلخانه نصب می‌شوند؛ مزیت این نوع سایه‌انداز، جلوگیری از ورود نور به

داخل گلخانه است و سایه‌اندازی بر کل گلخانه انجام می‌شود. این پرده‌ها به وسیله سلول‌های نوری به طور خودکار قابل تنظیم‌اند که در صورت لزوم، به کار می‌افتند و مقدار نور را تنظیم می‌کنند؛ در صورتی که این پرده‌ها به صورت خودکار نباشند، این عمل باید به صورت دستی انجام شود که مستلزم وقت و کار بیشتری است.

۵-۷. نور تکمیلی

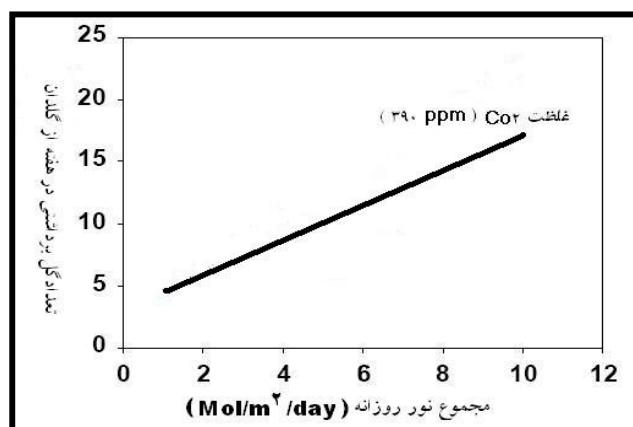
به دو دلیل از نور مصنوعی در گلخانه‌ها استفاده می‌شود:

- ۱- زیاد کردن شدت نور گلخانه و نیز افزایش رشد و فتوسنتز در روزهایی که شدت نور محیط به علت ابری بودن آسمان کمتر از حد بهینه است؛
 - ۲- کنترل طول دوره روشنایی روزانه (فتوپریود).
- برای افزایش رشد و فتوسنتز نیاز به شدت نور بیشتری در مقایسه با شدت نور لازم برای کنترل فتوپریود است.

در مناطق کم نور، مانند شمال کشور، در نیمه دوم سال به علت ابری بودن آسمان، شدت نور لازم برای رشد گیاهان گلخانه‌ای کم است؛ بنابراین با زیاد شدن شدت نور و نیز افزایش طول روزهای کوتاه زمستان، با استفاده از نورهای مصنوعی مکمل، می‌توان رشد و نمو گیاهان را سرعت بخشید و طول دوره پرورش محصول را کوتاه‌تر نمود. برای بالا بردن شدت نور گلخانه و افزایش رشد و فتوسنتز گیاهان، معمولاً به نور تکمیلی در محدوده $40-80 \mu\text{mol/m}^2/\text{s}$ (معادل $300-600$ فوت کندل) به مدت $6-12$ ساعت نیاز است که عمدتاً برای این منظور، از لامپ‌های سدیمی فشار قوی یا متال‌هالید استفاده می‌شود.

استفاده از نور مصنوعی، به منظور افزایش طول روز (نه افزایش شدت نور) و وادار کردن گیاه به انجام فتوسنتز، نیاز به بررسی‌های اقتصادی دارد تا مشخص شود که آیا هزینه تجهیزات و انرژی مصرفی با افزایش تولید، یا کوتاه شدن طول دوره پرورش محصول، قابل جبران است یا خیر؟ زیرا تجهیز یک گلخانه برای تأمین نور مصنوعی هزینه زیادی را در بر دارد. اما استفاده از نورهای مصنوعی در اتاق پرورش نشا (اتاقی که برای کشت بذر و تهیه نشاء مورد استفاده قرار می‌گیرد) بسیار مفید بوده و از نظر اقتصادی نیز توجیه‌پذیر است، زیرا اتاقک تکثیر نشاء، مساحت کمتری دارد و هزینه تجهیزات چندان زیاد نخواهد شد و از طرف دیگر، تولید نشاء در این اتاقک، هزینه کمتری نسبت به کشت مستقیم در زمین اصلی گلخانه دارد. در برخی از گیاهان گل بریده، یا سایر گیاهان، در مرحله پرورش نشاء، از نور تکمیلی استفاده می‌شود؛ زیرا سرعت رشد آنها افزایش می‌یابد و از نظر اقتصادی نیز بازدهی بیشتری دارد. استفاده از نور تکمیلی در

گیاهانی مانند ژربرا^۱، بگونیا، لیسیانтус^۲، پتونیا^۳ و شمعدانی، سبب کوتاه‌تر شدن طول دوره رشد آنها (از کشت تا گل‌دهی) شده و به تولید گیاهانی با میان‌گره‌های کوتاه‌تر و افزایش شاخه‌زایی منجر می‌شود. در گیاهان گل بریده نیز، استفاده از نور تکمیلی سبب افزایش تعداد ساقه‌ها، اندازه گل‌ها و طول آنها خواهد شد. شکل ۵۹، رابطه بین مجموع نور روزانه و تعداد گل‌های برداشت شده از یک گلدان *Scaevola* را در طول یک هفته نشان می‌دهد. بنابراین بازده عملکرد، به ازای هر میکرومول بر متر مربع در ثانیه ($\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$) نور تکمیلی، افزایش می‌یابد. برای تأمین نور مصنوعی گلخانه می‌توان از لامپ‌های مختلف، با خصوصیات متفاوت، استفاده نمود؛ لامپ‌های مورد استفاده به سه دسته لامپ‌های تنگستن، فلورسنت و لامپ‌های با تخلیه الکتریکی فشار قوی (سدیمی فشار قوی، جیوه‌ای فشار قوی و متال‌هالید) تقسیم می‌شوند. معمولاً تنها از لامپ‌های تنگستن برای تأمین نور مکمل استفاده نمی‌شود؛ زیرا این لامپ‌ها گرمای زیادی تولید می‌کنند و کیفیت نور تولید شده آنها ضعیف است. این نوع لامپ‌ها فقط ۷٪ انرژی الکتریکی را به نور مرئی تبدیل می‌کنند و بخش اعظم آن به گرما تبدیل می‌شود. به علت پائین بودن ارزش نور تکمیلی لامپ‌های تنگستن، از آنها فقط برای تیمارهای شب‌شکنی در گیاهان روز کوتاه (شب بلند) استفاده می‌شود؛ زیرا برای چنین کاربردی به نوری ضعیف (حدود ۱۰۸ لوکس)، برای مدت کوتاهی در اواسط شب در فصل زمستان نیاز است. این نوع لامپ‌ها بیشتر نور قرمز و مادون قرمز تولید می‌کنند که سبب نرم شدن بافت گیاهان و تغییراتی در شکل آنها می‌شود.



شکل ۵۹: تأثیر شدت نور روزانه بر تعداد گل برداشته از یک گلدان

1. *Gerbera*
2. *Licantus*
3. *Petonia*

از لامپ‌های فلورسنت معمولاً در اتاق‌های کشت و بخش‌های محدود گلخانه برای جوانه‌زنی بذور و تولید نشا استفاده می‌شود و به ندرت در تمام طول دوره رشد گیاه، به کار می‌روند؛ استفاده از این لامپ‌ها به عنوان مکمل نوری برای رشد گیاهان مناسب است، ولی از نظر اقتصادی باید بررسی گردد. لامپ‌های فلورسنت، تقریباً ۲۰٪ انرژی الکتریکی را به نور مرئی تبدیل می‌کنند و نور آنها نزدیک به طیف نور آبی (۴۶۰ nm) است که در فتوسنتز بسیار مؤثر است. معمولاً از لامپ تنگستن و لامپ فلورسنت به صورت توأم استفاده می‌شود، زیرا مخلوط نور آنها شبیه به نور خورشید است.

لامپ‌های تخلیه الکتریکی با شدت بالا، در گلخانه‌ها کاربرد گسترده‌ای دارند و شامل لامپ‌های جیوه‌ای فشار قوی، متال‌هالید و سدیمی فشار قوی و فشار پائین هستند. لامپ‌های جیوه‌ای فشار قوی دارای ۱۳٪ بازده بوده و طیف نوری حاصل از آنها، تا حدود زیادی شبیه لامپ‌های فلورسنت است و بخش بیشتر نور ماورای بنفش را به طول موج‌های قابل رؤیت، به‌خصوص نور قرمز، تبدیل می‌کنند.

لامپ‌های متال هالید، ۲۰٪ انرژی الکتریکی را به نور مرئی تبدیل می‌کنند؛ این نوع لامپ‌ها طول موج کوتاه‌تری نسبت به لامپ‌های جیوه‌ای تولید کرده و گران‌تر هستند ولی مصرف برق آنها کمتر است.

از لامپ‌های سدیمی فشار قوی بیشتر در گلخانه استفاده می‌شوند؛ زیرا ۲۵٪ انرژی الکتریکی را به نور مرئی تبدیل می‌کنند. این لامپ‌ها در اندازه‌های ۲۵۰، ۴۰۰ و ۱۰۰۰ وات وجود دارند و طول عمر مفید آنها، حدود ۲۴۰۰۰ ساعت است. جدول ۲۱ خصوصیات لامپ‌های مختلف را از نظر طول عمر، انرژی مصرفی، انرژی نورانی تولیدی و بازده آنها نشان می‌دهد.

جدول ۲۲، تعداد لامپ مورد نیاز را برای طراحی نور تکمیلی گلخانه‌ای به مساحت ۴۰۰ متر مربع با شدت نور ۳۵۰ و ۵۷۵ فوت کندل نشان می‌دهد. تعداد لامپ لازم برای هر واحد سطح گلخانه، بستگی به شدت نور مورد نیاز دارد؛ مثلاً طبق جدول ۲۲، برای تأمین شدت نور ۳۵۰ فوت کندل (۳۷۶۶ لوکس)، به ازای هر ۱۰ مترمربع، به یک لامپ سدیمی فشار قوی (HPS) ۴۰۰ وات نیاز است، اما برای تأمین شدت نور ۵۷۵ فوت کندل (۶۱۸۷ لوکس)، به ازای هر ۶ متر مربع، به یک لامپ نیاز است.

نوع لامپ‌های مورد استفاده، ارتفاع نصب لامپ‌ها، فاصله لامپ‌ها از یکدیگر و شدت نور لازم برای گلخانه با توجه به ساختمان، شکل گلخانه و نوع گیاه تعیین می‌شود.

معمولاً مدت زمان لازم برای تأمین و تابش نور به گیاهانی که نور مکمل دریافت می‌کنند، ۱۶-۱۸ ساعت است. در صورتی که طول روشنایی روز کم باشد، ساعتی قبل از غروب آفتاب، نورهای مکمل روشن می‌شوند تا طول روشنایی را به ۱۶ ساعت افزایش دهند. با افزایش طول

دوره روشنائی به ۱۶ ساعت (با شدت نور مناسب برای فتوسنتز)، میزان رشد و نمو گیاهان افزایش می‌یابد ولی در صورتی که روشنائی روز به ۲۴ ساعت افزایش یابد، سبب ضعیف شدن گیاهان خواهد شد.

جدول ۲۱: خصوصیات لامپ‌های مختلف برای نوردهی مصنوعی در باغبانی

نوع لامپ	توان برآورد شده (W) *	جریان نورانی (lm)	ضریب تبدیل (mW/lm)	جریان تابشی (mW)	بازده تابشی (mW/W)	طول عمر (ساعت)
تنگستن ۱۵۰ W	۱۵۰	۲۲۲۰	۴/۲	۹۳۲۰	۶۲	۱۰۰۰
فلورسنت ۵۸ W	۷۰	۵۴۰۰	۲/۹	۱۵۶۰۰	۲۱۶	۷۵۰۰
جیوه‌ای فشار قوی ۴۰۰ W	۴۲۳	۲۳۰۰۰	۲/۹	۶۶۷۰۰	۱۵۸	۱۲۰۰۰
متال هالید ۴۰۰ W	۴۱۳	۳۱۵۰۰	۲/۸	۸۸۲۰۰	۲۱۴	۸۰۰۰
سدیمی فشار قوی ۴۰۰ W	۴۳۶	۴۷۰۰۰	۲/۳	۱۰۸۱۰۰	۲۵۰	۱۲۰۰۰

* همراه با قطعه الکترونیکی متعادل‌کننده (Ballast)

جدول ۲۲: تعداد لامپ (HPS) مورد نیاز و انرژی مصرفی برای تولید نور تکمیلی گلخانه‌ای به

مساحت ۴۰۰ مترمربع

شدت نور تکمیلی در گلخانه		طراحی لامپ گلخانه
$75 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}^1$	$46 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$	
(۵۷۵ فوت کندل)	(۳۵۰ فوت کندل)	
۶۶	۴۰	تعداد لامپ‌های ۴۰۰ وات مورد نیاز
۳۰/۶	۱۸/۶	کیلو وات انرژی مصرفی در گلخانه *
۶	۱۰	مساحت تحت پوشش به وسیله هر لامپ (m^2)

* انرژی مصرفی توسط لامپ ۴۰۰ وات + قطعه الکترونیکی متعادل‌کننده ۶۴ وات

در استفاده از نور تکمیلی برای افزایش کارایی و کاهش هزینه لامپ‌ها، نکات زیر باید مورد توجه قرار گیرد:

الف- در طراحی نور تکمیلی (نحوه نصب لامپ‌ها و ترکیب نوری) باید دقت نمود که نور به صورت یکنواخت در تمام عرض گلخانه توزیع شود؛ این حالت تا حد زیادی بر روی یکنواختی رشد گیاه، ارتفاع و گل‌دهی گیاهان اثر گذاشته و امکان آبیاری یکنواخت را فراهم می‌کند.

ب- لامپ‌ها فقط در ساعاتی از روز روشن شوند که شدت نور خورشید کم باشد (خصوصاً در روزهای ابری زمستان). شدت نور پائین خورشید، اثر نسبی نور تکمیلی را بر مجموع نور روزانه افزایش می‌دهد و بنابراین بر روی رشد گیاه تاثیر بیشتری می‌گذارد. شکل ۵۸، میزان نور روزانه خورشید را به تنهایی و نیز با روشن شدن نور تکمیلی نشان می‌دهد. اگر یک لامپ (HPS) با ۴۰۰ فوت شمع نور به مدت ۱۲ ساعت روشن باشد، مجموع نور روزانه‌ای، برابر $2/3 \text{ mol/day}$ تولید می‌کند و در صورتی که از این لامپ در ماه‌های نوامبر تا ژانویه برای نور تکمیلی استفاده شود، $2/3 \text{ mol/day}$ نور اضافی به نور خورشید اضافه می‌شود؛ بنابراین در مقایسه با نور خورشید، تا ۳۷ درصد شدت نور گلخانه را افزایش می‌دهد. ولی استفاده از این لامپ‌ها در ماه‌های ژوئن تا آگوست، در مقایسه با نور خورشید، فقط ۱۰ درصد به افزایش نور گلخانه کمک می‌کند. بنابراین می‌توان دریافت که استفاده از نور تکمیلی در ماه‌های کم نور، بیشترین ارزش اقتصادی را دارد و تا ۳۷ درصد، افزایش عملکرد را به همراه خواهد داشت.

ج- برای خاموش و روشن شدن خودکار لامپ‌ها بهتر است از یک سیستم کنترل کامپیوتری استفاده شود تا در صورت رسیدن شدت نور به نقطه اشباع نوری، لامپ‌ها را خاموش نماید.

ه- برای استفاده از نور تکمیلی در گلخانه، حتماً باید قبلاً از نور تکمیلی در مقیاس کوچک استفاده شود و تأثیر آن بر عملکرد و کیفیت محصول، بازدهی و نیز برگشت سرمایه مورد بررسی قرار گیرد. ممکن است استفاده از نور تکمیلی باعث افزایش عملکرد و کیفیت گردد ولی جوابگوی سرمایه‌گذاری انجام شده نباشد.

و- با افزودن نور تکمیلی به گیاهان نشایی، لازم است که عملیات تغذیه، آبیاری و استفاده از تنظیم‌کننده‌های رشد به طور دقیق و صحیح انجام شود؛ زیرا دادن نور تکمیلی، سبب رشد سریع‌تر و تولید ماده خشک بیشتر شده که در نتیجه، به کوتاه‌تر شدن بیشتر میان‌گره‌ها و تولید شاخه‌های جانبی فراوان در مقایسه با شرایط نور طبیعی منجر می‌گردد.

۵-۸. فتوپریودیسم و روش‌های کنترل آن

نقش مهم دیگر نور در رشد و نمو گیاهان، تأثیر آن بر فتوپریودیسم است. در حقیقت گیاهان عکس‌العمل‌هایی نسبت به طول دوره روشنایی و تاریکی روزانه از خود نشان می‌دهند که فتوپریودیسم نامیده می‌شود. گیاهان بر اساس عکس‌العمل‌شان به فتوپریودیسم، به سه دسته روز کوتاه (شب بلند)، روز بلند (شب کوتاه) و روز خنثی تقسیم می‌شوند.

گیاهان روز کوتاه (شب بلند)، گیاهانی هستند که فقط زمانی به گل دهی می‌روند که طول دوره تاریکی از حد بحرانی بیشتر باشد؛ مثلاً داوودی، گیاهی روز کوتاه است، یعنی با طولانی شدن شب به مرحله گل‌دهی وارد می‌شود و تا زمانی که طول شب کمتر از حد بحرانی باشد، به رشد رویشی خود ادامه می‌دهد. گیاهان روز بلند (شب کوتاه)، گیاهانی هستند که زمانی به گل‌دهی می‌روند که طول شب از حد بحرانی کمتر باشد؛ این گیاهان با کوتاه شدن طول شب وارد مرحله گل‌دهی می‌شوند؛ از جمله این گیاهان می‌توان به گل سوسن اشاره کرد.

گیاهان روز خنثی، یا بی‌تفاوت، گیاهانی هستند که در برابر تغییرات طول روز و شب عکس‌العملی از خود نشان نمی‌دهند. هرچند در گیاهان روز خنثی، طول روز سبب گل‌دهی نمی‌شود، ولی ممکن است طول شب و روز در کیفیت گل، سرعت گل‌دهی و یا نوع جنسیت گل‌ها مؤثر باشد. گل‌های رز، ژربرا و میخک و صیفی جات گلخانه‌ای، از جمله این گیاهان هستند. در این گیاهان، عامل محرک گل‌دهی، عوامل دیگری غیر از طول شب یا روز هستند. برای جلوگیری از به گل رفتن یا تسریع در گل‌دهی گیاهان روز کوتاه و روز بلند، طول دوره روشنایی باید کنترل گردد در ادامه، به نحوه کوتاه کردن و بلند کردن طول شب در گلخانه اشاره می‌شود:

۵-۸-۱. تیمار شب‌کوتاهی

گیاهان روز کوتاه (شب بلند) برای گل‌دهی به شب‌های بلند نیاز دارند و در صورتی که این گیاهان در طول زمستان پرورش داده شوند، برای جلوگیری از گل‌دهی آنها و ادامه رشد رویشی، باید تحت تیمار شب‌کوتاهی قرار گیرند و یا به عبارت دیگر، شب‌های طولانی زمستان باید با روشن کردن چراغ، کوتاه شوند؛ برای این کار می‌توان در اواسط شب با روشن کردن چراغ‌ها به مدت چند ساعت از به گل رفتن گیاهان جلوگیری کرد. طول دوره روشنایی در اواسط شب، بستگی به عرض جغرافیایی و موقعیت منطقه دارد. به منظور افزایش دوره روشنایی، یا کاهش دوره تاریکی، از لامپ‌های تنگستن استفاده می‌شود؛ زیرا بخش بیشتر نور حاصل از آنها در حوالی نور قرمز قرار دارد. هرچند بسیاری از گیاهان به شدت نور کم ۱۱-۲۲ لوکس نیز واکنش نشان می‌دهند، اما حداقل شدت نور برای شب‌شکنی، ۱۰۸ لوکس است. طولانی کردن دوره روشنایی (شب‌شکنی) به سه روش انجام می‌شود:

- ۱- روشنایی از طلوع آفتاب آغاز شده ولی قبل از غروب آفتاب، لامپ‌ها روشن می‌شوند و تا ساعت ۱۰ شب، روشن باقی می‌مانند که به این روش، روشنایی ممتد گفته می‌شود؛
- ۲- لامپ‌ها از ساعت ۲ بعد از نیمه شب روشن و با طلوع خورشید، خاموش می‌شوند؛ بنابراین طول دوره روشنایی از ساعت ۲ بامداد آغاز و تا غروب آفتاب ادامه می‌یابد؛
- ۳- لامپ‌ها از ساعت ۱۰ شب تا ۲ بامداد روشن می‌شوند و بنابراین طول شب، شکسته می‌شود.

هر سه روش فوق مستلزم هزینه زیادی است. به منظور صرفه‌جویی در مصرف برق می‌توان به جای نوردهی ممتد در اواسط شب، از نوردهی گردشی استفاده کرد؛ مثلاً اگر برای شب‌شکنی به ۴ ساعت نوردهی ممتد نیاز باشد، می‌توان این مدت را تقسیم‌بندی کرد و از ساعت ۱۰ شب تا ۲ صبح به ازای هر ۳۰ دقیقه تاریکی، ۶ دقیقه لامپ‌ها را روشن کرد؛ در این حالت حدود ۷۰-۷۵ درصد در مصرف برق صرفه‌جویی می‌شود.

۵-۸-۲. تیمار شب‌بلندی

پس از فراهم شدن شرایط شب‌کوتاهی برای رشد اولیه گیاهان، به منظور تشکیل غنچه و ظهور گل‌ها، لازم است گیاهان را در معرض شب بلند قرار داد؛ از آنجایی که شب‌های زمستان به اندازه کافی بلند هستند، نیازی به این عمل نخواهد بود ولی زمانی که گیاه در فصل تابستان در چنین مرحله‌ای قرار گیرد، لازم است با استفاده از یک پرده مات در بعد از ظهر و صبح، گیاه را در شرایط تاریکی مصنوعی قرار داد؛ زمان استفاده از این پرده از ساعت ۷ بعدازظهر تا ۷ صبح روز بعد خواهد بود. برای تاریک کردن گلخانه می‌توان از پلاستیک‌های پلی‌اتیلن سیاه، یا پارچه‌های پلی‌استر که سبک هستند، استفاده نمود؛ این پرده‌ها باید قادر باشند جلوی تابش نوری را (که در خارج ۵۴۰۰۰ لوکس است) گرفته و آن را به کمتر از ۲۰ لوکس در داخل گلخانه برسانند و حتماً پرده‌ها پیش از غروب آفتاب و بعد از طلوع آفتاب برداشته شوند؛ حرارت تولید شده در زیر پرده ممکن است سبب تأخیر در زمان گل‌دهی و حتی ریزش غنچه‌ها شود؛ بنابراین توصیه می‌شود سطح بیرونی این نوع پرده‌ها به نحوی باشد که منعکس‌کننده نور باشد و مانع از گرم شدن گلخانه گردند. تیمار شب‌بلندی باید تا زمان ظهور رنگ جوانه‌ها ادامه یابد و بعد از آن نیازی به تاریک کردن گلخانه نیست.

خلاصه مطالب

- ۱- نور خورشید به عنوان منبع تأمین انرژی برای گیاهان به شمار می‌آید. با وجود نور، آب و دی‌اکسیدکربن و طی عمل فتوسنتز، انرژی نورانی خورشید به صورت کربوهیدرات در گیاهان ذخیره می‌شود. وجود نور علاوه بر فتوسنتز (تأمین انرژی مورد نیاز گیاهان)، بر روی واکنش‌های فتوپریودی گیاه (فتوپریودیسم) و فتومورفوژنز (اثر نور بر شکل گیاه) نیز مؤثر است.
- ۲- سه عامل مهم نور، یعنی شدت نور، کیفیت نور و طول دوره روشنایی، رشد و نمو گیاهان را تحت تأثیر قرار می‌دهند.
- ۳- نور از طیف‌های مختلفی تشکیل شده است که بعضی از آنها در عمل فتوسنتز، لازم و مفید هستند. نور قابل رؤیت، یا نور سفید، در بین طول موج‌های ۴۰۰-۷۰۰ نانومتر قرار دارد. میزان فتوسنتز گیاهان در نور آبی و قرمز بیشتر از سایر طول موج‌ها است. ولی وجود فقط نور آبی یا قرمز برای گیاهان مشکل‌ساز خواهد شد؛ بنابراین برای انجام فتوسنتز کامل، وجود تمام طول موج‌های نور مرئی لازم است.
- ۴- رنگ پوشش گلخانه بر روی کیفیت نوری که وارد گلخانه می‌شود نیز تأثیر می‌گذارد. پلاستیک‌های شفاف تقریباً بیشتر نور را از خود عبور می‌دهند. پلاستیک‌های رنگی سبز یا آبی، مقدار زیادی از نور را در طول موج‌های آبی تا آبی-سبز عبور می‌دهند ولی مقداری از نور در طول موج‌های قرمز را جذب کرده و مانع از ورود آن به داخل گلخانه می‌شوند. از آنجایی که نور قرمز مؤثرترین نور در رشد و فتوسنتز گیاهان است، بنابراین گیاهانی کوتاه‌تر، با میان‌گره‌های کوچک‌تر، برگ‌های سبز تیره و با رشد کند تولید خواهد شد.
- ۵- شدت نور محیط به روش‌های مختلف اندازه‌گیری و با واحدهای متفاوتی بیان می‌شود که مهم‌ترین آنها عبارتند از: فوت شمع، لوکس، انرژی نورانی (میلی‌مول بر مترمربع در ثانیه) و بازده تابشی (وات)؛ همچنین مقدار انرژی نورانی، که در طول یک شبانه‌روز به یک متر مربع می‌رسد، با واحد مول بر مترمربع در روز ($\text{mol/m}^2/\text{day}$) نشان داده می‌شود.
- ۶- برگ بیشتر گیاهان در شدت نور ۳۲۰۰۰ لوکس، به اشباع نوری می‌رسند. شدت نور کم و ضعیف سبب کاهش سرعت فتوسنتز و رشد، تولید گیاهانی ضعیف، ریزش جوانه‌های گل، افزایش طول میان‌گره‌ها، باریک شدن ساقه، کاهش کیفیت محصول و افزایش شیوع بیماری‌ها و هزینه تولید خواهد شد. اگر شدت نور از حد مناسب بالاتر باشد، کلروپلاست‌های برگ صدمه دیده و میزان فتوسنتز کاهش خواهد یافت و گیاهی با ساقه قطور و میان‌گره‌های کوتاه تولید خواهد شد. نیاز نوری گیاهان مختلف بین ۵۰۰۰-۴۰۰۰۰ لوکس متغیر است.

۷- شدت نور موجود در محیط را می‌توان به پنج گروه دسته‌بندی کرد که رشد گیاهان مختلف در این شرایط متفاوت است:

الف- شرایط نوری خیلی کم: شدت نور کمتر از 5 mol/day یا $500-1000$ فوت شمع؛

ب- شرایط نور کم: شدت نور $5-10 \text{ mol/day}$ یا $1000-2000$ فوت شمع؛

ج- شرایط نور متوسط: شدت نور $10-20 \text{ mol/day}$ یا $2000-4000$ فوت شمع؛

د- شرایط نوری زیاد: شدت نور $20-30 \text{ mol/day}$ یا $4000-6000$ فوت شمع؛

ه- شرایط نوری خیلی زیاد: شدت نور $30-60 \text{ mol/day}$ یا $6000-10000$ فوت شمع.

۸- از جمله عوامل مؤثر بر شدت نور گلخانه می‌توان به جهت گلخانه، شیب سقف، شکل گلخانه، نوع پوشش گلخانه، تمیز بودن سطح پوشش‌های گلخانه، رنگ اسکلت و اشیای داخل گلخانه، فواصل کشت گیاهان در گلخانه، فصل سال و ابری یا صاف بودن آسمان اشاره کرد.

۹- معمولاً از دو روش برای کاهش شدت نور گلخانه استفاده می‌شود: در روش اول عموماً سطح خارجی پوشش گلخانه، رنگ‌پاشی یا گل‌اندود می‌شود؛ مزیت این روش ساده و ارزان بودن آن است، اما اشکال آن، دائمی بودن آن و کاهش شدت نور حتی در روزهای ابری است؛ در روش دوم، از توری‌های سایه‌انداز از جنس پلی‌استر یا پلی‌پروپیلن برای کاهش شدت نور گلخانه استفاده می‌شود که ممکن است در داخل یا خارج گلخانه نصب شوند.

۱۰- به دو دلیل از نور مصنوعی استفاده می‌شود: ۱- افزایش شدت نور گلخانه و ازدیاد رشد و فتوسنتز در روزهایی که شدت نور محیط به علت ابری بودن آسمان کمتر از حد بهینه است؛ ۲- کنترل طول دوره روشنایی (فتوپریود). برای افزایش رشد و فتوسنتز، نیاز به شدت نور بیشتری در مقایسه با شدت نور لازم برای کنترل فتوپریود است.

۱۱- بهترین نوع لامپ، برای تأمین نور تکمیلی گلخانه، لامپ سدیمی فشار قوی است؛ زیرا 25% انرژی الکتریکی را به نور تبدیل می‌کند و نور تولید شده توسط آن شبیه به نور خورشید است. هر لامپ 400 وات از این نوع، می‌تواند شدت نوری معادل 3766 لوکس را در سطح 10 مترمربع تولید نماید. استفاده از نور مصنوعی، به منظور افزایش طول روز (نه افزایش شدت نور) و وادار کردن گیاه به انجام فتوسنتز، نیاز به بررسی‌های اقتصادی دارد تا مشخص شود که آیا هزینه تجهیزات و انرژی مصرفی با افزایش تولید، یا کوتاه شدن طول دوره پرورش محصول قابل جبران است یا خیر؟

۱۲- گیاهان عکس‌العمل‌هایی نسبت به طول دوره روشنایی و تاریکی روزانه از خود نشان می‌دهند که فتوپریودیسم نامیده می‌شود. گیاهان بر اساس عکس‌العمل‌شان به فتوپریودیسم به سه دسته روز کوتاه (شب بلند)، روز بلند (شب کوتاه) و روز خنثی تقسیم می‌شوند.

۱۳- برای جلوگیری از گل‌دهی گیاهان روزکوتاه و ادامه رشد رویشی، آنها باید تحت تیمار شب-کوتاهی قرار گیرند و یا به عبارت دیگر، شب‌های طولانی زمستان باید با روشن کردن چراغ، کوتاه شوند؛ برای این کار می‌توان در اواسط شب (از ساعت ۱۰ شب تا ۲ بامداد) به ازای هر ۳۰ دقیقه تاریکی، ۶ دقیقه با روشن کردن چراغ‌ها، از به گل رفتن آنها جلوگیری کرد.

۱۴- گیاهان روزبلند، برای تحریک گل‌دهی و تولید غنچه، باید در معرض شب‌بلند (تاریک‌سازی مصنوعی) قرار گیرند. زمانی که گیاه در تابستان در چنین مرحله‌ای قرار گیرد، لازم است با استفاده از یک پرده مات در بعد از ظهر و صبح، به گیاه تاریکی داده شود؛ زمان استفاده از این پرده از ساعت ۷ بعدازظهر تا ۷ صبح روز بعد خواهد بود. برای تاریک کردن گلخانه می‌توان از پلاستیک‌های پلی‌اتیلن سیاه یا پارچه‌های پلی‌استر، که سبک هستند، استفاده نمود.

پرسش‌های فصل پنجم

- ۱- نقطه اشباع نوری چیست؟
- ۲- چگونگی تیمار شب‌شکنی را در گیاهان روز کوتاه بیان کنید.
- ۳- چگونگی تیمار تاریک‌سازی را برای گیاهان روز بلند بیان کنید.
- ۴- خصوصیات لامپ‌های مختلف را برای استفاده در گلخانه به منظور تأمین نور تکمیلی نام ببرید. به نظر شما بهترین آنها کدام است؟
- ۵- رابطه بین شدت نور، دما و دی‌اکسیدکربن را در افزایش فتوسنتز توضیح دهید.
- ۶- در گلخانه‌ای به مساحت ۱۰۰۰ مترمربع، برای ایجاد نور مصنوعی با شدت ۵۷۵ و ۳۵۰ فوت شمع، به ترتیب به چند لامپ سدیمی فشار قوی نیاز است؟
- ۷- مجموع نور روزانه تولید شده توسط یک لامپ متال هالید، که ۱۲ ساعت روشن است و شدت نوری معادل ۴۵۰ فوت شمع را تولید می‌کند، محاسبه نمایید.
- ۸- یک گلخانه‌دار چگونه می‌تواند کیفیت نور وارد شده به گلخانه را کنترل نماید؟
- ۹- در شرایط نوری ضعیف، نحوه رشد گیاه چگونه است؟ چگونه می‌توان آثار منفی آن را تا حدی کاهش داد؟
- ۱۰- در شرایط نوری خیلی زیاد، نحوه رشد گیاه چگونه است؟ چگونه می‌توان آثار منفی آن را تا حدی کاهش داد؟
- ۱۱- کیفیت نور چه تأثیری بر رشد و نمو گیاه دارد؟ چگونه می‌توان از کیفیت نور به صورت عملی در پرورش گیاهان در گلخانه استفاده نمود؟
- ۱۲- فوت‌شمع، لوکس، انرژی نورانی و مجموع نور روزانه را تعریف کنید. بهترین واحد برای بیان شدت نور در تحقیقات باغبانی کدام است؟ چرا؟

فصل ششم

غنی سازی گلخانه با دی اکسید کربن

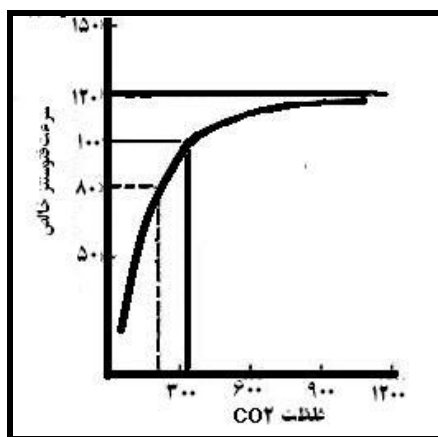
هدف های رفتاری

پس از مطالعه این فصل از خواننده انتظار می رود که:

- ۱- دلیل استفاده از گاز دی اکسید کربن در گلخانه و آثار مثبت و منفی آن را بداند.
- ۲- روش های مختلف غنی سازی گلخانه با دی اکسید کربن را فرا گیرد.
- ۳- بتواند میزان دی اکسید کربن مورد نیاز گلخانه را محاسبه نماید.

۶-۱. CO₂ گلخانه و نقش آن در گیاه

۹۰ درصد وزن گیاهان گلخانه‌ای را آب و حدود نیمی از ۱۰ درصد باقیمانده را، کربن تشکیل می‌دهد. دی‌اکسیدکربن هوا حین عمل فتوسنتز، با آب ترکیب و مواد لازم برای رشد گیاه را فراهم می‌سازد. کربن نقش مهمی در فتوسنتز و تولید ماده خشک در گیاهان دارد؛ غلظت این گاز در هوا حدود ۳۴۰ ppm است و غلظت کم آن در محیط گلخانه می‌تواند یکی از عوامل عمده‌ای محدودکننده فتوسنتز در گیاهان گلخانه‌ای باشد؛ زیرا محیط گلخانه بسته است و CO₂ موجود در آن توسط گیاهان برای عمل فتوسنتز مصرف می‌شود و غلظت آن کاهش می‌یابد و از طرفی، با توجه به هزینه بالای احداث گلخانه، لازم است که ترتیبی اتخاذ گردد تا حداکثر فتوسنتز و عملکرد به دست آید. بنابراین برای داشتن فتوسنتز مناسب در گلخانه، یا باید به نحوی با انجام تهویه، غلظت این گاز را در حد هوای بیرون از گلخانه نگه داشت و یا اینکه به طور مصنوعی CO₂ به فضای داخل گلخانه تزریق کرد. برای رسیدن به حداکثر عملکرد با تزریق CO₂ (در صورت مناسب بودن سایر عوامل محیطی)، غلظت آن باید به نقطه اشباع برسد. نقطه اشباع CO₂، غلظتی است که با افزایش غلظت آن، بر میزان فتوسنتز گیاه افزوده نشود. بیشتر گیاهان در غلظت ۱۳۰۰ ppm به نقطه اشباع می‌رسند (شکل ۶۰).



شکل ۶۰: نمودار تأثیر دی‌اکسید کربن بر فتوسنتز و نقطه اشباع آن

در بعضی از گلخانه‌های تجاری، از غلظت ۱۰۰۰ ppm استفاده می‌شود؛ برای رساندن غلظت تا این سطح، گلخانه باید کاملاً بسته باشد، زیرا با باز بودن دریچه‌ها یا انجام تهویه، امکان رساندن غلظت CO₂ به غلظت مورد نظر و ثابت نگه داشتن آن ممکن نیست. با توجه به مزایای مفید این روش و نیز ارزان بودن گاز و سوخت‌های نفتی دیگر در ایران، استفاده از این روش می‌تواند باعث افزایش عملکرد چشمگیری در بخش تولیدات گلخانه‌ای شود.

غلظت CO_2 در محیط، برحسب پاسکال، میکروبار و ppm بیان می‌گردد. غلظت CO_2 در محیط ۳۴۰ پاسکال، ۳۴۰ ppm یا ۰/۰۳ درصد است. هرچند تزریق CO_2 به هوای گلخانه ممکن است بدون اندازه‌گیری غلظت CO_2 هم موفقیت‌آمیز باشد، اما کنترل دقیق شرایط گلخانه، مستلزم اندازه‌گیری CO_2 است؛ بنابراین وجود یک دستگاه اندازه‌گیری CO_2 در گلخانه ضروری است؛ برای این منظور، از دستگاه IRGA (تجزیه‌کننده گازها با استفاده از اشعه مادون قرمز) برای تعیین حداقل و حداکثر غلظت دی‌اکسیدکربن در گلخانه استفاده می‌شود.

۶-۲. علت غنی‌سازی CO_2

پیچیدگی فرایند فتوسنتز باعث شده که نتایج مختلفی از تزریق CO_2 به‌دست آید. در زمستان به علت بسته بودن محیط گلخانه (مخصوصاً در گلخانه‌ای که حرکت هوا در آن کمتر از ۰/۱ متر بر ثانیه است) و مصرف CO_2 توسط گیاهان، غلظت آن در گلخانه کاهش می‌یابد. بنابراین برای جبران CO_2 از دست رفته، این گاز باید توسط گلخانه‌دار به گلخانه تزریق شود. البته ممکن است کمبود CO_2 ، حتی در محصولات بالغ، با تهویه کامل و خوب نیز دیده شود و غلظت آن کمتر از غلظت CO_2 بیرون گلخانه باشد؛ بنابراین با توجه به این وضعیت، دو راه وجود دارد:

- ۱- با محاسبه سرعت تهویه و تزریق مقداری از دی‌اکسیدکربن، غلظت آن در گلخانه در حد ۳۴۰ ppm حفظ و از کاهش غلظت دی‌اکسیدکربن گلخانه جلوگیری شود؛
 - ۲- فرض شود که غلظت دی‌اکسیدکربن داخل و خارج گلخانه، ثابت نگه داشته شده و بنابراین، غلظت دی‌اکسیدکربن را در گلخانه تا حدی بالا برد که فتوسنتز افزایش یابد.
- افزایش CO_2 گلخانه از ۳۴۰ به ۱۳۰۰ ppm، باعث ازدیاد فتوسنتز خالص در گیاهان سه‌کربنه می‌شود. غلظت بحرانی CO_2 در گلخانه، ۵۰-۱۲۵ ppm است.

۶-۳. شرایط غنی‌سازی گلخانه با CO_2

تزریق دی‌اکسیدکربن در تمام طول روز، از طلوع تا یک ساعت قبل از غروب، صورت می‌گیرد و از تزریق آن در طول شب باید خودداری شود؛ ضمناً زمان تزریق به موقعیت گلخانه و عرض جغرافیایی هم بستگی دارد؛ به طوری که این عمل بیشتر در فصل‌های پاییز و زمستان انجام می‌شود. در زمان تزریق، باید کلیه دستگاه‌های تهویه، هواساز و خنک‌کننده خاموش و دریچه تهویه کاملاً بسته باشد، در غیر این صورت، تزریق دی‌اکسیدکربن تأثیری ندارد. همزمان با افزایش CO_2 لازم است که میزان شدت نور نیز زیاد شود؛ زیرا در شدت نور پائین، غلظت کم CO_2

سبب افزایش فتوسنتز می گردد و به عبارت دیگر، نقطه اشباع CO_2 در شدت نور پائین، کمتر است.

۴-۶. پاسخ گیاهان به تزریق CO_2

پاسخ گیاهان مختلف گلخانه ای به غنی سازی گلخانه با CO_2 ، متفاوت است. در محصولات گلخانه ای، وزن تر محصول، تعداد میوه، اندازه گیاه، طول شاخه گل، کیفیت گل و میوه و تولید محصول قابل فروش در حداقل زمان ممکن و زمان رسیدن محصول، عوامل مهمی هستند که انتظار می رود با افزایش CO_2 گلخانه، تحت تأثیر قرار گیرند. پاسخ محصولات مختلف به افزایش CO_2 ، متفاوت و ممکن است پاسخ دریافتی با توجه به متنوع بودن شرایط محیطی هر گلخانه، از محصولی به محصول دیگر، از فصلی به فصل دیگر و از سالی به سال دیگر متفاوت باشد. پاسخ گیاه به افزایش غلظت CO_2 ، تابعی از روش غنی سازی گلخانه با CO_2 ، مرحله رشد گیاه، دمای بیرون گلخانه و دمای مطلوب برای رشد گیاه و شدت نور گلخانه است. میزان پاسخ گیاه در یک پارامتر خاص، متغیر بوده و از کمتر از ۱۰ درصد، تا بیش از ۱۰۰ درصد بهبود مشاهده شده است. از جمله محصولاتی که نسبت به افزایش CO_2 پاسخ مثبت داده اند، می توان به خیار، گوجه فرنگی، کاهو، توت فرنگی، فلفل، کلم و گل های بنفشه آفریقایی، داوودی، ژربرا، میخک، میمون و رز اشاره کرد. در گیاه گوجه فرنگی، غنی سازی گلخانه با CO_2 علاوه بر افزایش تعداد خوشه های گل، باعث زودگل دهی نیز می شود. جدول ۲۳، واکنش برخی از گیاهان گلخانه ای را نسبت به افزایش غلظت CO_2 نشان می دهد.

جدول ۲۳: واکنش برخی از گیاهان گلخانه ای نسبت به افزایش غلظت CO_2

نام محصول گلخانه ای	واکنش ها
رز	کاهش ترکیدگی جوانه گل، افزایش طول ساقه، افزایش وزن گل، افزایش تعداد گلبرگ ها، کاهش زمان گل دهی
میخک	افزایش تعداد گل ها، افزایش استحکام ساقه، افزایش وزن گل
داودی	کلفت تر شدن ساقه، افزایش طول ساقه، کاهش زمان گل دهی، افزایش تولید مواد ذخیره ای گیاه
گوجه فرنگی	افزایش رشد رویشی، افزایش وزن کل میوه ها
کاهو	کاهش زمان تولید محصول، افزایش وزن محصول

۶-۵. منابع تأمین CO_2 برای گلخانه

۶-۵-۱. تزریق دی اکسیدکربن با سوزاندن مواد نفتی

در نتیجه سوختن کامل هر ماده سوختی، CO_2 و آب تولید می شود. سوخت های اصلی شامل گاز طبیعی، گاز مایع پروپان یا بوتان (LPG) و نفت سفید می باشند. نکته قابل توجه درباره همه سوخت ها این است که میزان گوگرد آنها نباید بیش از ۲۰۰ میکروگرم در گرم باشد؛ در غیر این صورت، گیاه به خاطر SO_2 تولید شده صدمه خواهد دید. میزان گوگرد در گاز مایع بوتان، معمولاً کمتر از ۶۰ میکروگرم در گرم ولی در نفت سفید، بیش از ۶۰۰ میکروگرم در گرم (۰/۰۶ درصد) است، با این حال به طور موفقیت آمیزی به کار برده می شود. در این روش در اثر سوختن گاز یا مواد نفتی، گاز دی اکسیدکربن وارد گلخانه می شود؛ به همین منظور باید به ازای هر ۱۰۰ مترمربع گلخانه، ۰/۵ لیتر گاز مایع پروپان در ساعت، یا ۰/۲۵ لیتر نفت خالص در ساعت، سوزانده شود. باید توجه داشت که در هنگام سوختن چراغ نفتی، شعله به صورت آبی بسوزد؛ در صورتی که شعله به رنگ زرد باشد، به جای گاز دی اکسیدکربن، گاز مونوکسیدکربن تولید خواهد شد که گازی بسیار خطرناک است. تولید دی اکسیدکربن از طریق سوختن، دارای دو مزیت است: ۱- در مقایسه با دی اکسیدکربن خالص، ارزان تر است؛ ۲- به طور همزمان گرما نیز تولید می شود. این تولید گرما در روزهای گرم و آفتابی، که نیازی به گرم کردن گلخانه نیست، یک نقص محسوب می شود؛ نقص دیگر این روش، احتمال سوختن ناقص و تولید گازهای سمی، از قبیل مونوکسیدکربن، اتیلن، دی اکسیدگوگرد و آسیب دیدن گیاهان داخل گلخانه است. اگر سطح مونوکسید کربن کمتر از ۵۰ ppm باشد، مشکل جدی ایجاد نمی کند، اما غلظت ۱ ppm، یا حتی کمتر اتیلن، خطرناک است.

نوعی دستگاه تولیدکننده دی اکسیدکربن، که سوخت آن گاز است، در هر ساعت ۸ متر مکعب گاز مصرف می کند که برای رساندن غلظت دی اکسیدکربن به ۱۰۰۰ ppm، به ۱۲ عدد از این دستگاه، در سطح یک هکتار گلخانه نیاز است. زمانی که گاز طبیعی می سوزد به ازای سوختن هر یک متر مکعب گاز طبیعی، ۱۰۰۰ لیتر گاز دی اکسیدکربن (۱/۸ کیلوگرم) و ۱/۴ لیتر بخار آب تولید می کند (افزایش ۳ - ۶٪ رطوبت نسبی گلخانه)؛ از سوختن یک لیتر گاز مایع پروپان نیز همین مقدار دی اکسیدکربن تولید می شود. جدول ۲۴، میزان مصرف گاز طبیعی و بوتان را برای نگهداری غلظت دی اکسیدکربن در حد ۱۳۰۰ ppm نشان می دهد.

جدول ۲۴: میزان مصرف منابع سوخت برای تأمین CO_2 گلخانه ای به مساحت

۱۰۰۰ مترمربع در حد ۱۳۰۰ ppm

نوع گلخانه	گاز طبیعی (مترمکعب در ساعت)	پروپان (لیتر در ساعت)
شیشه ای	۲/۸-۳/۴	۲/۸-۳/۴
پلاستیکی	۱/۴-۱/۷	۱/۴-۱/۷

۶-۵-۲. تجزیه مواد آلی

در اثر تجزیه هر نوع ماده آلی، گاز دی اکسید کربن تولید می شود. هر نوع ماده آلی که به خاک اضافه یا در سطح خاک پهن شود، در معرض تجزیه قرار می گیرد. میانگین دی اکسید کربن تولید شده در خاک، حدود ۲ کیلوگرم در روز در یک هکتار است ولی با توسعه کشت های بدون خاک، مشکلات کمبود دی اکسید کربن، بویژه در گلخانه هایی که سطح خاک با مالچ پلاستیکی پوشانده شده، بیشتر مشهود خواهد بود.

کمپوست و کودهای دامی از جمله مواد آلی هستند که در صورتی که به نحو درستی تهیه شوند، می توان از آنها در گلخانه استفاده کرد. برای اینکه به طور متوسط ۵-۱۰ گرم دی اکسید کربن در هر مترمربع در یک ساعت به گلخانه اضافه شود، به ۷-۱۴ کیلوگرم کمپوست مرطوب نیاز است تا دی اکسید کربن مورد نیاز را برای مدت ۲۰ روز تأمین نماید. این روش بسیار ارزان است، اما استفاده از آن باعث می شود که مقدار تولید دی اکسید کربن به تدریج کاهش یابد و ممکن است همراه با کمپوست و سایر مواد آلی، برخی عوامل بیماری زای گیاهی نیز وارد گلخانه شوند.

پهن کردن کاه و کلش بر روی سطح راهروها و بین ردیف های کشت، به ارتفاع ۱۰-۱۵ سانتیمتر و با وجود رطوبت کافی، در هنگام پوسیده شدن، مقدار دی اکسید کربن را تا حد قابل توجهی افزایش می دهد.

۶-۵-۳. استفاده از کپسول CO_2 خالص

روش دیگر تأمین دی اکسید کربن مورد نیاز محصولات گلخانه ای، استفاده از کپسول حاوی دی اکسید کربن است. گاز CO_2 خالص، گران ترین منبع است ولی در عین حال، مناسب ترین روش بوده و کنترل آن آسان است. کپسول های حاوی CO_2 قابل وزن کردن می باشند و بنابراین میزان مصرف آن در دوره های زمانی کوتاه مدت، تعیین می شود. گاز دی اکسید کربن سنگین تر از هوا است و لذا در سطح خاک جمع می شود و برگ ها قادر به استفاده درست و کامل از آن نخواهند

بود؛ برای حل این مشکل، گاز دی اکسیدکربن باید از ارتفاع نزدیک به سقف و به طور مستقیم به بالای بخش رویشی گیاهان تزریق شود؛ در این روش، با اتصال نازل خروجی کپسول به ابتدای دهانه کانل توزیع کننده هوای گرم، می توان گاز دی اکسیدکربن را به صورت یکنواخت در سراسر گلخانه توزیع نمود. در روش دیگر، با استفاده از لوله های کوچک، که سوراخ های ریزی به اندازه ۰/۱ میلی متر و به فاصله ۳۰ سانتی متر بر روی آن تعبیه شده، دی اکسیدکربن در گلخانه توزیع می شود. در این روش تزریق، حدود ۰/۵-۰/۶ کیلوگرم گاز دی اکسیدکربن در ساعت، در ۱۰۰ مترمربع از گلخانه های شیشه ای، غلظت دی اکسیدکربن را به ۱۳۰۰ ppm می رساند. برای گلخانه های پلاستیکی دولایه، این مقدار با تزریق ۰/۲۵-۰/۳۵ کیلوگرم گاز دی اکسیدکربن تأمین می شود و برای گلخانه های پلاستیکی یک لایه، مقدار گاز دی اکسیدکربن مورد نیاز بیشتر خواهد بود. برای اطمینان بیشتر، حتماً باید یک حسگر کنترل کننده غلظت دی اکسیدکربن در گلخانه نصب شود تا غلظت دی اکسیدکربن از ۱۰۰۰-۱۴۰۰ ppm تجاوز نکند و باعث بروز مسمومیت نگردد.

۶-۶. محاسبه دی اکسیدکربن مورد نیاز

محاسباتی که در این بخش برای میزان غنی سازی دی اکسیدکربن انجام می شود، مربوط به گلخانه شیشه ای به مساحت ۱۰۰ مترمربع و در یک روز آفتابی با شدت نور متوسط است. فرض کنید غلظت دی اکسیدکربن گلخانه، ۳۰۰ ppm باشد و قرار است که غلظت آن به ۱۳۰۰ ppm افزایش یابد؛ بنابراین ۱۰۰۰ ppm (۰/۱٪) باید به غلظت دی اکسیدکربن موجود در گلخانه اضافه شود. در صورتی که حجم گلخانه ۴۰۰ متر مکعب باشد، به ۰/۴ متر مکعب (معادل ۰/۷۵ کیلوگرم) دی اکسیدکربن نیاز است (هر یک کیلوگرم دی اکسیدکربن، حجمی معادل ۵۷۰ لیتر دارد)؛ این عمل باید قبل از طلوع خورشید انجام شود، زیرا فعالیت فتوسنتزی در اوایل صبح به بیشترین مقدار می رسد و بعد از رساندن غلظت دی اکسیدکربن به ۱۳۰۰ ppm، در همین غلظت باید حفظ شود. غلظت دی اکسیدکربن با انجام فتوسنتز توسط گیاه و انجام تبادل هوا به صورت طبیعی کاهش می یابد. در یک گلخانه شیشه ای، در هر ساعت یک بار، کل هوای گلخانه (از طریق درزها، شکاف ها و ...) مبادله می شود؛ بنابراین در طول یک ساعت، باید ۰/۳۷ کیلوگرم دی اکسیدکربن به گلخانه اضافه شود تا غلظت آن در حد ۱۳۰۰ ppm حفظ شود. اما در یک گلخانه با پوشش پلی اتیلن دولایه یا پوشش اکریلیک، میزان تبادل هوا ۲۵-۳۳ درصد (گلخانه شیشه ای) است. متوسط مصرف دی اکسیدکربن توسط گیاهان داخل گلخانه ۰/۱۲-۰/۲۴ کیلوگرم در ساعت در هر ۱۰۰ مترمربع ($\text{Kg CO}_2/\text{hr}12/0-24/0/100\text{m}^2$) است که باید مجدداً به گلخانه اضافه شود؛ با ترکیب دو عامل فوق، که سبب کاهش غلظت دی اکسیدکربن گلخانه

می‌شوند، می‌توان به این نتیجه رسید که برای نگهداری غلظت دی‌اکسیدکربن در حد ۱۳۰۰ ppm، باید ۰/۵-۰/۶ کیلوگرم گاز دی‌اکسیدکربن در هر ساعت به ازای هر ۱۰۰ مترمربع ($\text{Kg CO}_2/\text{hr}5/0-6/0/100\text{m}^2$)، به گلخانه شیشه‌ای تزریق شود. میزان مصرف دی‌اکسیدکربن در گلخانه در ماه‌های مختلف سال نیز با یکدیگر متفاوت است؛ به نحوی که در روزهای آفتابی، گرم و بلند تابستان، میزان مصرف دی‌اکسیدکربن بیشتر از روزهای کوتاه و ابری زمستان است.

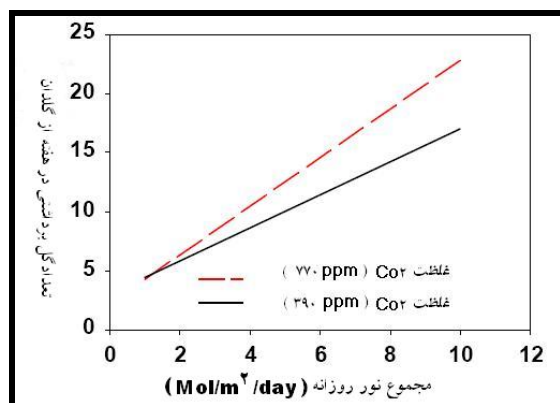
۶-۷. رابطه بین دما، نور و غنی‌سازی گلخانه با CO_2

فتوسنتز مهم‌ترین فعالیت در گیاهان است و توسط عواملی از قبیل نور، دما و دی‌اکسیدکربن کنترل می‌شود. طبق قانون حداقل لیبیگ^۱، هر گاه فرایندی از نظر سرعت، وابسته به چند عامل جداگانه باشد، کمترین عامل، شدت آن را کنترل می‌کند. در فرایند فتوسنتز در شرایط گلخانه‌ای، با توجه به بسته بودن محیط و کاهش غلظت دی‌اکسیدکربن، عامل حداقلی که باعث کاهش سرعت فتوسنتز می‌گردد، غلظت دی‌اکسیدکربن است. به پرورش‌دهندگان سبزی‌های گلخانه‌ای توصیه می‌شود که در یک روز آفتابی و گرم، که تهویه‌ها به طور کامل بسته هستند، غنی‌سازی دی‌اکسیدکربن را تا غلظت ۱۰۰۰ ppm انجام دهند؛ اما در یک روز ابری، که شدت نور کمتر از ۴۰۰ وات در مترمربع باشد، میزان غنی‌سازی دی‌اکسیدکربن را می‌توان فقط تا ۴۰۰ ppm انجام داد. هرچه شدت نور گلخانه بیشتر باشد، به غلظت بیشتری از دی‌اکسیدکربن در گلخانه نیاز است تا سرعت فتوسنتز افزایش یابد (شکل ۶۱)؛ در غیر این صورت، افزایش شدت نور به تنهایی تأثیر چندانی در افزایش فتوسنتز نخواهد داشت. استفاده از یک دستگاه کنترل‌کننده کامپیوتری، که میزان غنی‌سازی دی‌اکسیدکربن را متناسب با شدت نور گلخانه کنترل نماید، بسیار مفید خواهد بود. به محض آنکه پنجره‌های تهویه به میزان ۱۰٪ باز شوند، غلظت دی‌اکسیدکربن در سطح کانوپی^۲ گیاه، باید در حد ۴۰۰ ppm حفظ شود.

از طرف دیگر، با افزایش دمای گلخانه، به غلظت بیشتری از دی‌اکسیدکربن و با کاهش دما، به میزان کمتری از آن مورد نیاز خواهد بود؛ بنابراین سه عامل نور، دما و دی‌اکسیدکربن باید به صورت متناسب با یکدیگر افزایش یابند تا سرعت فتوسنتز افزایش یابد.

1. Liebig

2. Canopy



شکل ۶۱: رابطه بین دی اکسید کربن و نور در افزایش فتوسنتز

خلاصه مطالب

- ۱- دی‌اکسیدکربن نقش مهمی در فتوسنتز و تولید ماده خشک در گیاهان دارد. غلظت این گاز در هوا، حدود ۳۴۰ ppm است و غلظت کم این گاز در محیط گلخانه می‌تواند یکی از عوامل عمده محدودکننده فتوسنتز در گیاهان گلخانه‌ای باشد؛ زیرا محیط گلخانه بسته است و تهویه معمولی، جبران CO_2 مصرف شده توسط گیاه را نمی‌کند.
- ۲- هر گیاهی دارای یک نقطه اشباع دی‌اکسیدکربن است؛ یعنی با افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن بیشتر از نقطه اشباع، بر میزان فتوسنتز افزوده نخواهد شد. افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن در گلخانه تا ۱۳۰۰ ppm در اغلب گیاهان گلخانه‌ای، سبب افزایش فتوسنتز می‌شود. غلظت بحرانی CO_2 در گلخانه، ۵۰-۱۲۵ ppm است.
- ۳- تزریق دی‌اکسیدکربن در تمام طول روز، از طلوع تا یک ساعت قبل از غروب صورت می‌گیرد و از تزریق آن در طول شب باید خودداری شود؛ در حین تزریق، همه دریچه‌ها و درزها باید بسته باشند.
- ۴- پس از رسیدن غلظت دی‌اکسید کربن به ۱۳۰۰ ppm، همواره مقداری از دی‌اکسیدکربن از طریق تبادل هوا و نیز توسط گیاه (فتوسنتز) مصرف می‌شود که باید به نحوی جبران شوند؛ بنابراین باید دی‌اکسیدکربن به طور مداوم و در طول روز به گلخانه تزریق شود.
- ۵- برای غنی‌سازی گلخانه با دی‌اکسید کربن سه روش وجود دارد: ۱- افزودن مواد آلی به سطح خاک؛ ۲- سوزاندن مواد سوختی؛ ۳- استفاده از دی‌اکسیدکربن خالص (مایع) که به صورت کپسول موجود هستند.
- ۶- در نتیجه سوختن کامل هر ماده سوختی، CO_2 و آب تولید می‌شود. سوخت‌های اصلی شامل گاز طبیعی، پروپان یا بوتان (LPG) و نفت سفید می‌باشد. در صورتی که شعله به رنگ زرد باشد، به جای گاز دی‌اکسیدکربن، گاز مونوکسید کربن تولید خواهد شد که گازی بسیار خطرناک است.
- ۷- در اثر تجزیه هر نوع ماده آلی، گاز دی‌اکسیدکربن تولید می‌شود. هر نوع ماده آلی که به خاک اضافه و یا در سطح خاک پهن شود، در معرض تجزیه قرار می‌گیرد. پهن کردن کاه و کلش یا افزودن کود دامی به خاک، سبب تولید دی‌اکسیدکربن می‌شود.
- ۸- گاز CO_2 خالص، گران‌ترین منبع است ولی در عین حال، مناسب‌ترین روش برای تأمین دی‌اکسیدکربن محصولات گلخانه‌ای به شمار می‌رود و کنترل آن آسان است. کپسول‌های حاوی CO_2 ، قابل وزن کردن هستند و بنابراین میزان مصرف آن در دوره‌های زمانی کوتاه مدت، تعیین می‌شود. تزریق حدود ۵/۰-۶/۰ کیلوگرم گاز دی‌اکسیدکربن در ساعت در ۱۰۰ مترمربع از گلخانه‌های شیشه‌ای، مقدار غلظت دی‌اکسیدکربن را به ۱۳۰۰ ppm می‌رساند. برای گلخانه‌های پلاستیکی دولایه، این مقدار با تزریق ۲۵/۰-۳۵/۰ کیلوگرم گاز دی‌اکسیدکربن تأمین خواهد شد.

پرسش‌های فصل ششم

- ۱- علت غنی سازی گلخانه با دی‌اکسیدکربن را بیان کنید.
- ۲- در زمان تزریق دی‌اکسیدکربن چه شرایطی باید رعایت شود؟
- ۳- برای گلخانه‌ای به مساحت ۵۰۰ متر مربع و حجم ۱۶۰۰ متر مکعب، چه مقدار دی‌اکسیدکربن لازم است تا غلظت آن به ۱۵۰۰ ppm برسد؟
- ۴- مشکلات و معایب تزریق دی‌اکسیدکربن به روش سوزاندن مواد سوختی و دی‌اکسیدکربن خاص را بیان کنید.
- ۵- میزان پاسخ گیاه به افزایش دی‌اکسیدکربن به چه عواملی بستگی دارد؟
- ۶- مزایا و معایب تزریق دی‌اکسیدکربن با استفاده از دی‌اکسیدکربن خالص را توضیح دهید.

فصل هفتم

کنترل رطوبت در گلخانه

هدفهای رفتاری

پس از مطالعه این فصل از خواننده انتظار می رود که:

- ۱- مفهوم رطوبت نسبی و نقطه شبنم را بداند.
- ۲- رابطه بین دمای محیط و رطوبت نسبی گلخانه را فرا گیرد.
- ۳- بتواند رطوبت نسبی گلخانه را کاهش دهد.

۷-۱. رطوبت در گلخانه و رابطه آن با دما

معمولاً مقدار رطوبت موجود در هوا را به صورت رطوبت نسبی بیان می‌کنند که عبارت است از نسبت وزن رطوبت واقعی موجود در هوا، به کل وزن رطوبتی که در همان شرایط می‌تواند وجود داشته باشد. رطوبت نسبی وابسته به دمای محیط است. هوای گرم قابلیت نگهداری رطوبت بیشتری نسبت به هوای خنک دارد؛ بنابراین با افزایش دمای هوا، میزان رطوبت نسبی محیط کاهش می‌یابد؛ مثلاً مقدار رطوبت هوایی که در دمای ۲۱ درجه سانتیگراد جای می‌گیرد، دو برابر مقدار رطوبتی است که در دمای ۱۰ درجه سانتیگراد قابل نگهداری است. به عبارت دیگر مقدار رطوبت نسبی در دمای ۲۱ درجه سانتیگراد، نصف رطوبت نسبی هوا در دمای ۱۰ درجه سانتیگراد است. این موضوع در مدیریت رطوبت نسبی گلخانه، از اهمیت خاصی برخوردار است.

نقطه شبنم نشان‌دهنده دمایی است که بخار آب شروع به میعان و تولید شبنم می‌کند. تشکیل قطرات آب بر روی گیاه زمانی رخ می‌دهد که دمای سطح برگ‌ها، پائین‌تر از نقطه شبنم باشد؛ در این حالت مقدار زیادی رطوبت در هوا وجود دارد و هوا گنجایش رطوبت بیشتری را ندارد و بنابراین، رطوبت اضافی هوا به صورت شبنم در می‌آید. قطرات آب بر روی سطوحی تشکیل می‌گردد که دمای‌شان به اندازه دمای محیط یا سردتر از آن باشد؛ به عبارت دیگر شبنم ابتدا بر روی سردترین سطوح تشکیل می‌شود که این سطوح به ترتیب، پوشش گلخانه، اسکلت گلخانه و سطح برگ‌ها است؛ مثلاً زمانی که دمای گلخانه، ۱۵/۵ درجه سانتیگراد، رطوبت نسبی، ۸۵ درصد و دمای برگ کمتر از ۱۲/۵ درجه سانتیگراد باشد، تولید شبنم رخ می‌دهد. اما در دمای ۱۵/۵ درجه سانتیگراد و رطوبت نسبی ۹۵ درصد، تشکیل شبنم بر روی سطح برگ زمانی رخ می‌دهد که دمای برگ، ۱ درجه سانتیگراد کمتر از دمای هوا باشد.

میزان رطوبت نسبی گلخانه به وسیله دستگاه رطوبت‌سنج نشان داده می‌شود. شکل ۶۲، یک دستگاه رطوبت‌سنج عقربه‌ای و شکل ۶۳، یک دستگاه رطوبت‌سنج الکترونیکی را نشان می‌دهد.



شکل ۶۲: رطوبت سنج عقربه‌ای



شکل ۶۳: رطوبت‌سنج الکترونیکی

۷-۲. سطح مطلوب رطوبت نسبی در گلخانه

برای بازدهی بهتر انرژی در سیستم تهویه و گرما، گلخانه‌دار باید با خرید دستگاه رطوبت‌سنج دقیق، اقدام به کنترل رطوبت نسبی گلخانه نماید. میزان رطوبت نسبی مطلوب در گلخانه، بستگی به دمای گلخانه دارد. گیاهان در شرایط محیطی گرم‌تر، می‌توانند رطوبت نسبی بالاتری را تحمل نمایند. جدول ۲۵، میزان دما و رطوبت نسبی مطلوب برای شیوع بیماری‌ها را نشان می‌دهد؛ مثلاً زمانی که دمای گلخانه ۲۵ درجه سانتیگراد و رطوبت نسبی ۸۹ درصد باشد، برای شیوع بیماری مطلوب است و بنابراین در این دما، رطوبت نسبی گلخانه باید پائین‌تر از ۸۹ درصد حفظ شود.

جدول ۲۵: میزان دما و رطوبت نسبی مطلوب برای شیوع بیماری‌های گیاهی

۱۰	۱۶	۲۰	۳۰	دما (درجه سانتیگراد)
۹۵	۹۱	۸۹	۸۳	رطوبت نسبی (درصد)

۷-۳. نقش رطوبت نسبی در افزایش بیماری‌ها

میزان رطوبت نسبی گلخانه از مهم‌ترین عواملی است که با شیوع بیماری‌های قارچی در گلخانه ارتباط نزدیکی دارد. در روزهای آفتابی، میزان تعرق از سطح برگ و تبخیر از سطح خاک، افزایش می‌یابد. هوای گرم داخل گلخانه، رطوبت را به صورت بخار در خود حفظ می‌کند. در طول شب، با سرد شدن هوا تا نقطه شبنم، میعان بخار آب رخ می‌دهد و قطرات آب بر روی سطح داخلی پوشش گلخانه، شاخ و برگ گیاه و اسکلت گلخانه تشکیل می‌شود. مرطوب شدن سطح برگ، سبب جوانه‌زدن هاگ^۱ عوامل بیماری‌زای قارچی می‌گردد؛ همچنین چکه کردن قطرات آب از روی پوشش گلخانه بر روی سطح برگ‌ها و خاک، باعث انتشار هاگ‌ها و افزایش

1. Spore

آلودگی‌ها می‌شود؛ بنابراین تنها راه جلوگیری از بروز این بیماری، خشک نگه داشتن سطح برگ‌ها، به‌خصوص در طول شب (از هنگام غروب تا طلوع) است که با بکارگیری همزمان عملیات‌های زراعی (کاهش میزان آبیاری، استفاده از روش‌های مناسب آبیاری و ...) و کنترل عوامل محیطی (گرم نگه داشتن گلخانه، استفاده از پوشش دولایه و ...) امکان‌پذیر است.

۷-۴. روش‌های کاهش رطوبت نسبی گلخانه

الف - آبیاری مناسب

آبیاری به اندازه کافی و با دور مناسب و جلوگیری از آبیاری، اضافی، سبب خیس نشدن بیش از حد خاک گلخانه می‌شود؛ همچنین بهتر است آبیاری در اوایل روز انجام شود تا امکان خشک شدن سطح گیاه و خاک تا قبل از غروب آفتاب فراهم گردد. خاک گلخانه نیز باید از زهکشی مناسبی برخوردار باشد تا آب اضافی در بستر کشت گلخانه باقی نماند.

ب - از بین بردن علف‌های هرز

وجود علف‌های هرز به خاطر تعرق و نیز کاهش سرعت گردش هوا، سبب افزایش رطوبت نسبی می‌گردد. بنابراین از بین بردن علف‌های هرز به کنترل بهتر رطوبت کمک می‌کند.

ج - تراکم کشت مناسب

معمولاً بیشترین رطوبت نسبی گلخانه در داخل کانوپی گیاه وجود دارد که در اثر تعرق تولید می‌شود و به علت جابه‌جایی نامناسب هوا در داخل گلخانه، رطوبت در سطح برگ‌ها و بین شاخ و برگ‌ها افزایش می‌یابد. کشت گیاهان با فاصله مناسب (رعایت تراکم کشت)، یا استفاده از سکوهای شبکه‌ای (به منظور عبور هوا از زیر سکو به سمت بالا)، به گردش هوا در داخل کانوپی و سطح گیاه کمک خواهد کرد.

د - پاگرما

در فصل سوم، بند ۳-۹، درباره پاگرما و مزایای استفاده از آن توضیحاتی داده شد. وجود پاگرما به حرکت بهتر هوا در کانوپی گیاه و نیز خشک شدن سطح برگ‌ها کمک کرده و با گرم کردن سطح گیاه، از تشکیل قطرات آب بر روی آنها جلوگیری می‌کند.

ه - استفاده از پوشش دولایه یا پلاستیک‌های ضد قطره

استفاده از پلاستیک‌های ضد قطره، یا افشانه کردن یک عامل خیس‌کننده بر روی سطح داخلی پوشش گلخانه با کاهش نیروی کشش سطحی مولکول‌های آب، سبب می‌شود که حرکت

مولکول‌های آب بر روی پوشش گلخانه، به صورت جریانی نازک به سمت طرفین گلخانه هدایت شوند و از تشکیل قطرات آب و چکیدن آنها بر روی سطح گیاه و خاک گلخانه جلوگیری می‌کند. همچنین استفاده از شیشه یا پوشش پلی‌اتیلن دولایه، مانع از میعان بخار آب بر روی سطح پوشش گلخانه می‌شود؛ زیرا سطح داخلی پلاستیک مانند جسم گرم عمل کرده و از تشکیل قطره بر روی آن جلوگیری می‌کند.

و- تهویه و گرم کردن گلخانه به صورت توأم

استفاده ترکیبی از گرما و تهویه برای کاهش رطوبت گلخانه بسیار مهم است. تهویه، امکان تبادل هوای خشک‌تر بیرون گلخانه را با هوای مرطوب داخل گلخانه فراهم می‌کند.

گرم کردن گلخانه نیز برای بالا بردن دمای هوای وارد شده به گلخانه تا حد دمای مطلوب گیاه، ضروری است؛ همچنین گرم شدن هوا، میزان بخار آب قابل نگهداری در هوا را افزایش می‌دهد و به این ترتیب از تشکیل قطرات آب جلوگیری می‌کند؛ این دو عمل باید با هم و به صورت ترکیبی انجام شوند و هیچ‌کدام از آنها به تنهایی کارایی لازم را برای کاهش رطوبت داخل گلخانه ندارند. تهویه بدون گرم کردن گلخانه می‌تواند سبب سرد شدن گلخانه و گیاهان شود و گرم کردن گلخانه بدون تهویه گلخانه نیز، سبب گرم شدن بیش از حد گلخانه و افزایش هزینه گرمایی می‌شود.

مدت زمان لازم برای تهویه و گرم کردن گلخانه و روش آن بستگی به نوع تجهیزات و سیستم گرمایی و تهویه گلخانه دارد. در صورتی که تهویه با استفاده از پنجره‌ها انجام شود، سیستم گرمایی باید روشن و پنجره‌ها به اندازه ۲/۵ سانتیمتر باز شوند؛ با این کار هوای گرمی که رطوبت بیشتری را در خود نگه داشته، از طریق پنجره‌ها از گلخانه خارج و هوای بیرون که رطوبت کمتری دارد، جایگزین آن شده و منجر به کاهش رطوبت نسبی گلخانه می‌گردد.

در گلخانه‌هایی که از پنکه برای تهویه استفاده می‌شود، ابتدا باید پنکه‌ها برای چند دقیقه کار کنند و سپس سیستم گرمایی روشن شود تا دمای هوا را بالا ببرد؛ در این زمان پنکه‌ها باید خاموش شوند. با نصب یک زمان‌سنج می‌توان شروع و پایان فعالیت پنکه‌ها را کنترل نمود و تا زمانی که پنکه‌ها خاموش هستند، می‌توان سیستم گرمایی را روشن کرد؛ برای این کار به یک دستگاه تقویت‌کننده (رله)^۱ نیاز است تا مانع کار کردن همزمان پنکه‌ها و سیستم گرمایی شود. این چرخه (تهویه و گرم کردن) در زمان غروب و نیز هنگام طلوع باید ۲-۳ بار در هر ساعت انجام شود.

زمان لازم برای تبادل هوایی به اندازه حجم گلخانه، به عواملی مانند استفاده یا عدم استفاده از پنکه، اندازه پنکه‌ها و پنجره‌ها بستگی دارد؛ در بعضی از گلخانه‌ها، که از پنکه استفاده می‌کنند، این زمان کم و ۲-۳ دقیقه است و در برخی دیگر، که از تهویه طبیعی استفاده می‌کنند، به ۳۰ دقیقه یا بیشتر زمان نیاز است. سیستم گرما و تهویه، حتی در زمانی که هوای بیرون سرد و بارانی است، می‌تواند کارایی خوبی داشته باشد. مقدار بخار آب در دمای ۱۰ درجه سانتیگراد و رطوبت نسبی ۱۰۰ درصد (هنگام بارندگی)، نصف مقدار بخار آبی است که در دمای ۲۱ درجه سانتیگراد و رطوبت نسبی ۹۵ درصد وجود دارد.

ز- گردش مناسب هوا در گلخانه

گردش مناسب هوای گلخانه، راهکار مناسب دیگری است که برای کنترل رطوبت نسبی در سطح کانوپی گیاه و مدیریت بیماری‌ها در گلخانه مورد استفاده قرار می‌گیرد. هوایی که دائماً در حال گردش است با هوای قسمت‌های دیگر مخلوط و سبب یکنواختی بهتر هوای گلخانه می‌شود. نشانه گردش مناسب هوا در گلخانه، این است که برگ‌های گیاه حرکت اندکی داشته باشند. گردش هوا مانع از میعان بخار آب بر روی سطح برگ‌ها می‌شود و از سرد شدن هوا تا زیر نقطه شبنم جلوگیری می‌کند؛ استفاده از پنکه‌های ایجادکننده جریان افقی هوا در گلخانه (HAF) (پنکه‌هایی با قدرت ۷۵ وات و قطر ۴۰-۵۰ سانتیمتر) برای این کار بسیار مناسب است؛ این پنکه‌ها تا زمانی که پنکه‌های خروجی هوا شروع به کار نمایند، باید به طور مداوم کار کنند. هنگام استفاده از بخاری‌های موضعی برای گرم کردن گلخانه، روشن بودن دائم پنکه آن سبب گردش مداوم هوای داخل گلخانه می‌گردد؛ بنابراین توصیه می‌شود که پنکه سیستم گرمایی، دارای کلید جداگانه از بخاری باشد تا در صورت خاموش بودن بخاری، پنکه به فعالیت خود ادامه دهد.

اگر در گلخانه از دو بخاری استفاده می‌شود، بهتر است آنها را در گوشه‌های مخالف هم در گلخانه قرار دهند تا گرمای گلخانه در تمام قسمت‌ها یکنواخت باشد و گردش هوای گلخانه توسط پنکه سیستم‌های گرمایی، بهتر صورت گیرد؛ همچنین می‌توان از سیستم فن‌جت برای ایجاد جریان هوا در گلخانه استفاده نمود.

ح- استفاده از بخاری تابشی با انرژی پائین

همان‌طور که پیشتر نیز در باره بخاری‌های تابشی اشاره شد، در این نوع بخاری‌ها، ابتدا اجسام داخل گلخانه گرم شده، سپس این اجسام، سبب گرم شدن هوای محیط می‌شوند؛ بنابراین دمای اجسام داخل گلخانه (اسکلت و گیاهان داخل گلخانه) بیشتر از دمای هوای داخل گلخانه می‌شود و به همین دلیل، بر روی شاخ و برگ‌های گیاه، شبنم تشکیل نمی‌گردد.

خلاصه مطالب

- ۱- میزان رطوبت گلخانه از مهم‌ترین عواملی است که با شیوع بیماری‌های قارچی در گلخانه ارتباط نزدیکی دارد. مقدار رطوبت موجود در هوا را معمولاً به صورت رطوبت نسبی بیان می‌کنند که وابسته به دمای محیط است. هوای گرم، قابلیت نگهداری رطوبت بیشتری نسبت به هوای خنک دارد؛ بنابراین با افزایش دمای هوا، میزان رطوبت نسبی محیط کاهش می‌یابد.
- ۲- چکه کردن قطرات آب از روی پوشش گلخانه بر روی سطح برگ‌ها و خاک باعث انتشار هاگ قارچ‌های بیماری‌زا و افزایش آلودگی‌ها می‌شود؛ تنها راه برای جلوگیری از بروز این بیماری، خشک نگهداشتن سطح برگ‌ها به‌خصوص در طول شب (از هنگام غروب تا طلوع) است.
- ۳- برای کاهش رطوبت نسبی گلخانه می‌توان از روش‌های زیر استفاده نمود: ۱- آبیاری مناسب، ۲- گرم کردن گلخانه توأم با تهویه هوای مرطوب گلخانه، ۳- استفاده از پنکه‌های (HAF) برای گردش هوای گلخانه، ۴- از بین بردن علف‌های هرز، ۵- استفاده از پلاستیک‌های دولایه، ۶- استفاده از سیستم پاگرما، ۷- استفاده از بخاری‌های تابشی با انرژی پائین، ۸- رعایت تراکم کشت مناسب در گلخانه.

پرسش‌های فصل هفتم

- ۱- رطوبت نسبی را تعریف و تأثیر آن را در گلخانه بیان کنید.
- ۲- چه رابطه‌ای بین دما و رطوبت موجود در هوا وجود دارد؟ نقطه شبنم چیست؟
- ۳- رطوبت نسبی مطلوب برای شیوع بیماری‌های قارچی در دماهای مختلف کدام است؟
- ۴- روش‌های مختلف کاهش رطوبت نسبی گلخانه را نام ببرید.
- ۵- بخاری‌های تابشی با انرژی پائین چگونه می‌توانند از تشکیل شبنم بر روی برگ‌ها جلوگیری کنند؟
- ۶- روش تهویه توأم با گرما را برای کاهش رطوبت نسبی گلخانه توضیح دهید.

فصل هشتم

تهویه گلخانه

هدفهای رفتاری

- پس از مطالعه این فصل از خواننده انتظار می رود که:
- تعریف تهویه و اهداف اصلی آن را بداند.
 - روشهای مختلف تهویه را بداند.
 - چگونگی استفاده از پنجره ها را برای انجام تهویه فرا گیرد.

۸-۱. تهویه^۱ گلخانه و اهداف آن

تهویه، عملی است که طی آن هوای داخل و خارج گلخانه با یکدیگر ارتباط پیدا می‌کنند و ممکن است به صورت طبیعی یا با استفاده از پنکه‌های دمنده و مکنده انجام شود. تهویه گلخانه با اهداف زیر انجام می‌شود:

الف- کاهش دمای گلخانه

کاهش دمای گلخانه بدون استفاده از خنک‌کننده‌های تبخیری، یکی از مهم‌ترین اهداف انجام تهویه است. در بیشتر گلخانه‌های سنتی، که خنک‌کننده‌های تبخیری وجود ندارد، با باز کردن پنجره‌های سقفی و جانبی همراه با سایه دادن گلخانه، تا حد زیادی گرمای گلخانه را کاهش می‌دهند.

ب- جبران کمبود دی‌اکسید کربن لازم برای فتوسنتز

به علت بسته بودن فضای گلخانه، به‌خصوص در زمستان، دی‌اکسید کربن توسط گیاهان گلخانه‌ای مصرف می‌شود و برای ادامه فتوسنتز گیاه، کمبود دی‌اکسید کربن به‌وجود می‌آید. بنابراین حداقل اقدام لازم برای تأمین دی‌اکسید کربن گلخانه تا حد طبیعی آن (۳۴۰ ppm)، انجام تهویه است.

ج- کاهش رطوبت نسبی گلخانه

افزایش بیش از حد رطوبت نسبی در گلخانه، سبب افزایش تراکم بخار آب بر روی برگ‌های گیاه و تشکیل قطرات آب بر روی پوشش گلخانه می‌شود. با انجام تهویه، هوای خشک‌تر بیرون وارد گلخانه شده و تا حد زیادی از رطوبت نسبی گلخانه می‌کاهد.

د- خارج کردن گازهای سمی از گلخانه

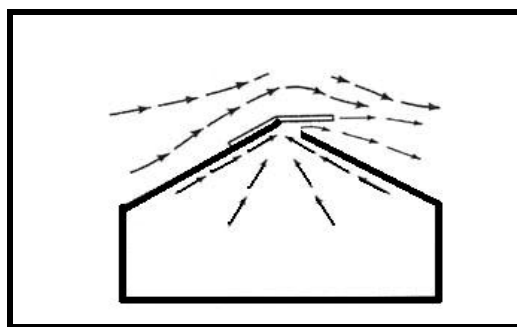
عمومی‌ترین و جدی‌ترین گازهای آلوده‌کننده در گلخانه، از مبادله‌کننده‌های حرارتی ناقص، احتراق سوخت به صورت ناقص و کثیف بودن سوخت، تولید می‌شوند و بسته بودن محیط گلخانه به منظور جلوگیری از اتلاف گرما، به بروز این مشکل کمک می‌کند. مونواکسیدکربن در غلظت کم، باعث سردرد و سرگیجه کارگران داخل گلخانه می‌شود و در غلظت بالاتر از ۵۰ ppm (۰/۰۵ درصد)، می‌تواند سبب صدمه جدی و مرگ شود. نشت گازهایی، مانند پروپان و متان، در غلظت بسیار بالا برای سلامتی انسان خطرناک است، اما نشت مقادیر کمی از این گازها باعث تأثیرات منفی در گیاهان می‌شود. گاز اتیلن نیز فقط در غلظت‌های زیاد برای انسان خطرناک است، اما در گیاه گوجه‌فرنگی، حتی غلظت‌های کمتر از ۰/۰۵ ppm، نیز سبب اپی‌ناستی

(خمیدگی برگ‌ها به سمت پائین) برگ‌ها می‌شود. مواجه شدن گیاه برای طولانی مدت با غلظت‌های بسیار کم اتیلن، ممکن است سبب ضخیم‌تر شدن ساقه، افزایش شاخه‌زایی و ریزش جوانه‌های گل یا توسعه میوه‌ها به صورت بدشکل شود. تشخیص علائم مسمومیت اتیلن در غلظت‌های خیلی کم، مشکل است و به علت طولانی بودن فاصله زمانی بین مواجه شدن با اتیلن و بروز خسارت، تشخیص آن سخت‌تر می‌شود. همچنین به علت مصرف اکسیژن برای احتراق سوخت، کمبود اکسیژن در گلخانه ایجاد و سبب سوختن ناقص سوخت می‌شود که به نوبه خود، موجب تولید بیشتر گاز مونواکسیدکربن می‌گردد. بهترین روش برای جلوگیری از بروز چنین مشکلاتی، انجام تهویه مناسب است تا هم اکسیژن مورد نیاز سیستم حرارتی تأمین گردد و هم گازهای آلوده‌کننده از گلخانه خارج شوند.

۸-۲. روش‌های انجام تهویه

۸-۲-۱. تهویه طبیعی^۱ (استفاده از پنجره‌ها)

معمولاً در گلخانه‌ها، دو نوع پنجره سقفی و جانبی تعبیه می‌شود. وقتی که هوای داخل گلخانه گرم می‌شود، هوا به سمت بالا رفته و در زیر سقف گلخانه تجمع می‌کند که با باز شدن پنجره‌های سقفی، هوای گرم با سرعت از آن خارج می‌شود و اگر پنجره‌های جانبی نیز باز شوند، جریان خروج هوا از پنجره سقفی افزایش می‌یابد؛ زیرا در اثر خروج هوای گرم از طریق پنجره سقفی، خلاء نسبی در گلخانه ایجاد شده و سبب کشیده شدن هوا به داخل گلخانه از طریق پنجره‌های جانبی می‌گردد. معمولاً پنجره‌های جانبی، در دو طرف دیواره طولی گلخانه نصب و به صورت غلطان^۲ به سمت بالا باز می‌شوند. پنجره‌های سقفی باید پشت به باد باز شوند تا جریان باد نیز به خروج هوای گرم از گلخانه کمک کند (شکل ۶۴) که به این حالت، اثر دودکش می‌شود.



شکل ۶۴: تأثیر پنجره سقفی در کاهش گرمای گلخانه (اثر دودکش)

1. Natural ventilation

2. Roll

در سیستم تهویه طبیعی، خارج شدن گرمای داخل گلخانه به علت اختلاف فشار تولیدشده در اثر وزش باد و شیب گرمایی بین داخل و خارج گلخانه صورت می‌گیرد و باد نقش اصلی را ایفا می‌کند. باد با سرعت ۳-۵ کیلومتر بر ساعت می‌تواند ۸۰٪ تهویه طبیعی یا بیشتر را انجام دهد. اگر پنجره‌های جانبی گلخانه باز باشند، هوای خنک بیرون، از این راه وارد گلخانه شده و جایگزین هوای گرم خارج شده، می‌گردد. در صورت بسته بودن پنجره‌های جانبی، هوای خنک بیرون، از طریق دریچه‌های موجود بر روی نیم‌بیزی‌های زیر کمان ابتدایی و انتهایی، وارد گلخانه می‌شود. هوای خنک و سنگین بر روی کف گلخانه مستقر و به تدریج گرم شده و به سمت سقف گلخانه بالا می‌رود. در روزهای خنک، اختلاف دمای زیاد داخل و خارج گلخانه، باعث تبادل بهتر هوا (تهویه) می‌شود. اما در روزهای گرم، اختلاف دمای داخل و خارج گلخانه، فقط ممکن است ۵-۱۰ درجه سانتی‌گراد باشد و بنابراین اثر دودکش کاهش می‌یابد. استفاده از گلخانه‌هایی با ارتفاع بلند، به تجمع حجم بیشتری از هوا در بالای سطح گیاهان کمک می‌کند؛ در این حالت پنکه‌های (HAF) باید خاموش شوند تا از مخلوط شدن هوای گرم زیر سقف با هوای خنک‌تر سطح گیاهان جلوگیری شود.

تهویه‌های جانبی و سقفی در گلخانه‌های سنتی باید به اندازه کافی بزرگ باشند تا جریان هوا و تهویه در آنها به خوبی صورت گیرد؛ بهتر است مجموع مساحت پنجره‌های جانبی، برابر با مجموع مساحت پنجره‌های سقفی بوده و مساحت هر کدام، ۱۵-۲۰ درصد مساحت کف گلخانه باشد. در تهویه تابستانه هم، بهتر است که همزمان با باز کردن پنجره جانبی رو به باد، معادل مساحت آن، پنجره سقفی نیز باز شود. در صورتی که فقط پنجره‌های سقفی بر روی گلخانه وجود داشته باشد، خروج هوای گرم و ورود هوای خنک از طریق پنجره سقفی، منجر به خنک شدن غیریکنواخت گلخانه می‌شود. اگر عرض گلخانه کمتر از ۷/۲ متر باشد، پنجره‌های سقفی به تنهایی قادر به کاهش دمای گلخانه هستند، ولی گلخانه‌هایی با عرض بیشتر، نیاز به پنجره‌های جانبی نیز دارند. گلخانه‌های به‌هم‌پیوسته نیاز به دو ردیف تهویه سقفی دارند تا هوا به اندازه کافی جابه‌جا شود.

در زمان بارندگی، یا وزش باد شدید، که امکان باز کردن پنجره سقفی وجود ندارد، وجود پنجره‌های جانبی، امکان تهویه گلخانه را امکان‌پذیر می‌سازد. در تهویه طبیعی، میزان مصرف انرژی برای خنک کردن گلخانه، در مقایسه با تهویه اجباری، بسیار کمتر است اما در تهویه اجباری با استفاده از پنکه‌ها، ۵-۱۰ کیلو وات ساعت انرژی به ازای هر مترمربع در سال مصرف می‌گردد. همچنین در زمان باز بودن پنجره‌های سقفی و جانبی، مقدار نور بیشتری وارد گلخانه می‌شود. اگر در روزهای گرم و آفتابی تابستان، همراه با تهویه طبیعی، از

سایه‌انداز نیز استفاده شود، گلخانه بهتر خنک می‌شود. کشت گیاهان به صورت متراکم در گلخانه و نیز وجود سبدهای آویزان از سقف گلخانه، کارایی تهویه طبیعی را کاهش می‌دهند. باز کردن پنجره‌های جانبی، باعث ورود هوا از طرفین به داخل گلخانه می‌شود. نصب پنجره در اطراف گلخانه سبب تماس مستقیم هوای سرد بیرون با گیاهان می‌شود؛ بنابراین بهتر است در فصل پاییز و زمستان، پنجره‌های جانبی بسته بماند و فقط از پنجره‌های سقفی و یا از سیستم پنکه و تیوب (فصل چهارم، بخش ۲) استفاده شود تا هوای سرد بیرون قبل از رسیدن به سطح گیاه، با هوای گرم داخل گلخانه به خوبی مخلوط شود؛ چون در پنجره‌های سقفی، هوای سرد از بالا وارد می‌شود و قبل از رسیدن به گیاهان، با هوای گرم داخل گلخانه مخلوط می‌شود اما در فصول گرم سال، باز کردن همزمان پنجره‌های سقفی و جانبی، باعث کارایی بهتر تهویه طبیعی می‌شود.

در زمان باز کردن پنجره‌ها، رعایت دو نکته دارای اهمیت است: ۱- پنجره‌ها دارای توری ریزبافت (۴۰۰ مش) باشند تا از ورود حشرات به داخل گلخانه جلوگیری شود، ۲- پنجره‌های سقفی به تدریج باز شوند (شکل ۶۵)؛ زیرا باز شدن ناگهانی پنجره سقفی (به‌خصوص در گلخانه‌هایی که ارتفاع کمتری دارند)، باعث می‌شود که مقدار زیادی از گرما و رطوبت از گلخانه خارج شود و گیاهانی که زیر پنجره سقفی واقع شده‌اند، دچار شوک حرارتی و رطوبتی شوند (شکل ۶۶). بنابراین توصیه می‌شود که پنجره‌ها به تدریج و طی چند مرحله باز شوند. باز و بسته شدن پنجره‌ها ممکن است به صورت دستی (توسط گلخانه‌دار) یا به وسیله دستگاه کنترل‌کننده مرکزی (کامپیوتری) انجام شود؛ ولی حتی در سیستم کامپیوتری نیز، پنجره‌ها به تدریج و طی چند مرحله (در صورت نیاز به باز شدن کامل) باز خواهند شد.



شکل ۶۵: باز کردن تدریجی پنجره‌های سقفی

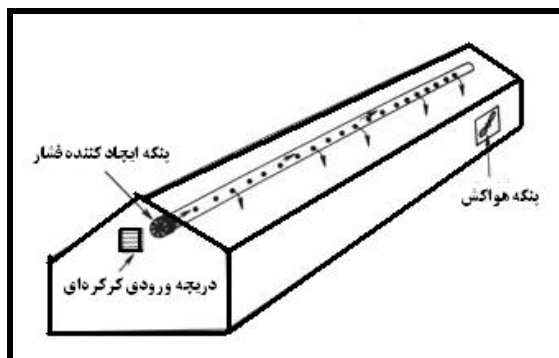


شکل ۶۶: شوک رطوبتی (سوختگی حاشیه برگ‌ها) در اثر باز شدن ناگهانی پنجره سقفی

۸-۲-۲. تهویه مصنوعی (استفاده از پنکه)^۱

در این روش، از پنکه‌های دمنده و مکنده برای انجام تهویه استفاده می‌شود. هوای خنک و با رطوبت کمتر بیرون گلخانه، توسط پنکه‌های مکنده وارد گلخانه شده و سپس توسط پنکه‌های دمنده (که در دیواره مقابل نصب شده است)، به بیرون گلخانه هدایت می‌شود. قدرت پنکه‌های دمنده و مکنده باید با یکدیگر برابر باشد (شکل ۶۷).

در روش دیگر، فقط از پنکه‌های دمنده برای خارج کردن هوای گرم و مرطوب داخل گلخانه استفاده می‌شود و هوای تازه از طریق پنجره‌ها وارد گلخانه می‌شود؛ این روش در فصول سرد سال قابل استفاده نیست و بنابراین در این فصول، از روش پنکه و تیوب (فن جت) برای انجام تهویه استفاده می‌شود (این روش، همان روش پنکه و تیوب است که برای خنک کردن زمستانه توضیح داده شد). در صورتی که نیاز به پنکه دمنده (خارج کننده هوای داخل گلخانه) نباشد، فن جت فقط عمل چرخش هوای داخل گلخانه را انجام می‌دهد.



شکل ۶۷: پنکه‌های خارج کننده هوای گلخانه به منظور تهویه آن

پنکه‌های تهویه، جریان هوایی را در گلخانه در تمام شرایط آب و هوایی به وجود می‌آورند؛ این پنکه‌ها با خارج کردن هوای گرم داخل گلخانه، فشار منفی در گلخانه ایجاد می‌کنند و بنابراین هوای خنک‌تر بیرون، از طریق پنجره‌ها، درزها و شکاف‌ها وارد گلخانه می‌شود. استفاده از پنکه‌ها برای تهویه تابستانه همراه با استفاده از سایه‌انداز خارجی، سبب کاهش مصرف انرژی می‌گردد.

اندازه نامناسب پنکه‌ها، عامل اصلی تهویه ضعیف در بسیاری از گلخانه‌ها است. ظرفیت پنکه‌های تهویه باید به اندازه‌ای باشد که بتواند در هر دقیقه، معادل حجم هوای گلخانه را جابه‌جا نمایند اما برای تهویه زمستانه، ظرفیت جابه‌جایی هوا توسط پنکه‌ها، باید ۲۵ درصد حجم هوای گلخانه در هر دقیقه باشد. از آنجایی که ظرفیت تهویه از فصلی به فصلی دیگر متفاوت است، بهتر است در گلخانه‌های کوچک، از پنکه‌های دو سرعت (سرعت کند برای تهویه زمستانه و سرعت تند برای تهویه تابستانه) و در گلخانه‌های بزرگ، از چند پنکه استفاده شود که در صورت نیاز، تعدادی از آنها خاموش و تعدادی روشن باشد. بهترین فعالیت سیستم پنکه زمانی صورت می‌گیرد که پنکه، هوا را از فاصله کمتر از ۵۰ متر به سمت خود بکشد (باید فاصله پنکه تا دیواره مقابل دریچه ورودی هوا، کمتر از ۵۰ متر باشد)؛ در غیر این صورت پنکه‌ها بر روی دیوارهای جانبی نصب می‌شوند و هوا از طریق دریچه‌های موجود بر روی دیوارهای ابتدایی و انتهایی گلخانه وارد می‌شود؛ ضمناً بهتر است پنکه‌ها بر روی دیواره پشت به باد نصب شوند، در غیر این صورت بازده پنکه، ۱۰٪ یا بیشتر کاهش می‌یابد.

برای تأمین هوای کافی و مورد نیاز پنکه‌ها، مساحت دریچه ورودی هوا باید حداقل ۱/۲۵ برابر مساحت دهانه پنکه‌ها باشد (به‌خصوص در گلخانه با پوشش دولایه). وجود یک دریچه ممتد (به اندازه طول دیواره) یا چندین دریچه کوچک، سبب یکنواخت‌تر شدن دما در گلخانه می‌شود. اگر زمانی که پنکه‌ها روشن هستند، پوشش پلاستیکی، محکم به اسکلت گلخانه بچسبد، یا اینکه

باز کردن در مشکل باشد، نشانه آن است که مساحت دریچه‌های ورودی هوا کمتر از ظرفیت پنکه‌ها است؛ باز و بسته شدن دریچه‌ها باید با همان ترموستاتی کنترل شود که فعالیت پنکه‌ها را کنترل می‌کند؛ پنکه‌ها باید حداقل ۱ متر بالاتر از سطح زمین بر روی دیواره‌ها نصب شوند تا هوا از میان کانوپی گیاهان حرکت کند و سبب جابه‌جایی هوا گردد. در اینجا نیز، ترموستاتی که فعالیت پنکه‌ها را کنترل می‌کند باید دقت بالایی و بار مرده کمتری داشته باشد، در غیر این‌صورت پنکه‌ها برای مدت طولانی‌تری روشن خواهند ماند که در نتیجه، سبب افزایش هزینه برق می‌شود. ترموستات باید در وسط گلخانه و در ارتفاعی همسطح با ارتفاع گیاهان نصب شود. در انتخاب پنکه‌های تهویه، از اصطلاح کارایی تهویه (VER)^۱ استفاده می‌شود که عبارت است از مقدار جابه‌جایی هوا به مقدار مصرف انرژی. مقدار عددی کارایی تهویه (VER) بین $(\text{ft}^2/\text{min}/\text{watt})$ ۲۰-۱۰ فوت مربع در دقیقه به ازای هر وات انرژی متغیر است. پنکه‌هایی که مقدار کارایی تهویه آنها بالاتر از $(\text{ft}^2/\text{min}/\text{watt})$ ۱۵ باشد، مطلوب هستند. پنکه‌های بزرگ‌تر با قدرت کمتر برای صرفه‌جویی در مصرف انرژی توصیه می‌شوند؛ مثلاً طبق جدول ۱۶ (ص ۱۱۷) پنکه‌ای با قطر ۹۰ سانتیمتر و قدرت موتور $\frac{1}{3}$ اسب بخار، همان بازده پنکه‌ای با قطر ۷۵ سانتیمتر و قدرت $\frac{1}{4}$ اسب بخار را دارد، اما میزان مصرف انرژی آن (watt/hr) ۱۸۰ وات بر ساعت کمتر است.

خلاصه مطالب

- ۱- تهویه عملی است که طی آن هوای داخل و خارج گلخانه با یکدیگر ارتباط پیدا می‌کنند و ممکن است به طور طبیعی یا با استفاده از پنکه‌های دمنده و مکنده انجام شود.
- ۲- هدف از انجام تهویه: کاهش دمای گلخانه، جبران کمبود دی‌اکسید کربن لازم برای فتوسنتز، کاهش رطوبت نسبی گلخانه و خارج کردن گازهای سمی تولید شده در گلخانه است.
- ۳- تهویه طبیعی گلخانه با استفاده از پنجره‌های سقفی و جانبی صورت می‌گیرد. با باز شدن پنجره‌های سقفی، هوای گرم با سرعت از آن خارج می‌شود و اگر پنجره‌های جانبی نیز باز شوند، جریان خروج هوا از پنجره سقفی افزایش می‌یابد.
- ۴- پنجره‌های سقفی باید پشت به باد باز شوند تا جریان باد نیز به خروج هوای گرم از گلخانه کمک کند که به این حالت، اثر دودکش گفته می‌شود. پنجره‌های سقفی باید به تدریج باز شوند؛ زیرا با باز شدن ناگهانی پنجره سقفی (به‌خصوص در گلخانه‌هایی که ارتفاع کمتری دارند)، مقدار زیادی از گرما و رطوبت از گلخانه خارج می‌شود و گیاهانی که زیر پنجره سقفی واقع شده‌اند، دچار شوک حرارتی و رطوبتی می‌شوند.
- ۵- از پنکه‌های دمنده و مکنده برای انجام تهویه استفاده می‌شود. این پنکه‌ها در فصول سرد سال قابل استفاده نیستند و بنابراین در این فصول از روش پنکه‌های جت و تیوب برای انجام تهویه استفاده می‌شود.

پرسش‌های فصل هشتم

- ۱- هدف از انجام تهویه چیست؟
- ۲- نحوه باز کردن پنجره‌های سقفی را توضیح دهید.
- ۳- نقش باز کردن همزمان پنجره‌های جانبی و سقفی را در کارایی تهویه بیان کنید.
- ۴- روش فن جت را برای انجام تهویه توضیح دهید.

فصل نهم

ضد عفونی کردن بستر کشت و بهداشت گلخانه

هدف های رفتاری

- پس از مطالعه این فصل از خواننده انتظار می رود که:
- ۱- نحوه ضد عفونی خاک گلخانه را با استفاده از مواد شیمیایی بداند.
 - ۲- ضد عفونی کردن خاک را با استفاده از روش های بدون آثار زیست محیطی بداند.
 - ۳- روش های مختلف بهداشت گلخانه برای جلوگیری از ورود آفات و بیماری ها به گلخانه بداند.

۹-۱. شرایط گلخانه و لزوم ضد عفونی کردن بستر

شرایط گرم و مرطوب داخل گلخانه، موجب رشد آفات و عوامل بیماری‌زای گیاهی می‌شود. کشت مداوم یک محصول، شیوع آفات و بیماری‌ها را تشدید می‌کند و خود موجب ضعیف شدن بوته‌ها، کاهش عملکرد و کیفیت محصول تولیدی می‌شود؛ بنابراین یکی از عوامل مهم در مدیریت گلخانه، کنترل آفات و بیماری‌ها است. تا قبل از سال ۱۹۵۰، برای مبارزه با بیماری‌های خاکری، بستر کشت گلخانه سالی یک بار تعویض و با کمپوست، یا بستر کشت جدید، جایگزین می‌شد. اما این روش بسیار پرهزینه و وقت‌گیر بود و بنابراین روش ضد عفونی کردن خاک، جایگزین آن شد. ضد عفونی کردن بستر کشت گلخانه‌ها، بعد از پایان هر کشت و قبل از شروع کشت جدید انجام می‌شود. بهترین زمان برای ضد عفونی کردن خاک، فصل تابستان است؛ زیرا بستر کشت گرم‌تر بوده و نیاز به مصرف انرژی برای ضد عفونی کردن با بخار کم می‌شود و کارایی ضد عفونی کردن خاک با مواد شیمیایی و نور خورشید، افزایش می‌یابد. ضد عفونی کردن بستر باید به نحوی باشد که عوامل بیماری‌زای خاکری، نماتدها، حشرات و علف‌های هرز از بین بروند.

هر چند ضد عفونی کردن خاک در شروع کار گلخانه می‌تواند عوامل بیماری‌زا، حشرات، نماتدها و علف‌های هرز را از بین ببرد، اما هیچ تضمینی وجود ندارد که بعد از ضد عفونی، گلخانه دوباره دچار آلودگی نشود؛ بنابراین باید نوعی راهبرد مدیریتی جامع را در پیش گرفت که شامل کلیه روش‌ها و اقداماتی باشد تا از آلوده شدن گلخانه جلوگیری نماید. در حقیقت، راهبرد مدیریت جامع حفاظت و تولید (IPP)، رعایت کلیه نکات فنی و بهداشتی از زمان ساخت گلخانه تا قبل از ایجاد بیماری است که حتی نوع سازه گلخانه و تجهیزات به کار رفته در آن را نیز، برای کنترل عوامل محیطی گلخانه شامل می‌شود. ضد عفونی کردن خاک، عملیات‌های ساده به‌زراعی و رعایت بهداشت گلخانه از اجزای مهم این راهبرد هستند.

اولین قدم در پیشگیری از حمله آفات و بیماری‌ها، ضد عفونی کردن خاک است؛ سپس باید مسائل مربوط به بهداشت گلخانه به طور کامل رعایت تا از آلودگی مجدد گلخانه جلوگیری شود و سرانجام در صورت حمله آفات و بیماری‌ها، می‌توان با استفاده از روش‌های زیستی، مکانیکی و شیمیایی، بر علیه آنها مبارزه کرد.

۹-۲. ضد عفونی کردن گلخانه

ضد عفونی کردن خاک گلخانه به سه روش استفاده از بخار آب با گازهای شیمیایی و استفاده از گرمای خورشید انجام می‌شود.

۹-۲-۱. ضد عفونی کردن با بخار آب

هر یک از عوامل زنده‌ای که به نحوی باعث ایجاد خسارت به گیاه می‌شوند، در شرایط دمایی خاصی از بین می‌روند. در این روش با بخار آب، دمای خاک را تا عمق ۳۰ سانتیمتر و تا دمای ۶۰-۷۱ درجه سانتیگراد بالا می‌برند؛ این عمل سبب سترون شدن^۱ خاک نمی‌گردد بلکه فقط موجب پاستوریزه شدن آن می‌شود؛ زیرا در خاک، موجودات ذره‌بینی مفید زیادی وجود دارند که از بین رفتن آنها، باعث خسارت به رشد و نمو گیاه می‌شود؛ این موجودات ذره‌بینی، به دلیل جایگاه مستحکمی که در خاک دارند، به صورت موفقیت‌آمیزی با موجودات ذره‌بینی مضر بر سر دریافت اکسیژن، مواد غذایی و فضا به رقابت می‌پردازند و در این رقابت، معمولاً موجودات ذره‌بینی مفید غالب می‌شوند. در دمای ۷۱ درجه سانتیگراد، اغلب عوامل مضر و فقط تعداد اندکی از موجودات ذره‌بینی مفید خاک از بین می‌روند.

برای انجام ضد عفونی، به یک دستگاه تولیدکننده بخار نیاز است که بخار ۱۰۰ درجه سانتیگراد تولید می‌کند و سپس با مقداری هوا مخلوط می‌شود تا دمای آن به ۶۰-۷۱ درجه سانتیگراد برسد؛ ابتدا بخار در دیگ تولید و سپس وارد انژکتور (پمپ هوادهنده) می‌شود و در داخل مخزنی با بخار هوا ترکیب و پس از آن از طریق لوله، به محفظه‌ای که محتوی بستر کشت است، انتقال می‌یابد؛ یک دماسنج نیز دمای داخل خاک را کنترل می‌کند؛ فشار بخار داخل دیگ ۷۰-۱۰۰ کیلو پاسکال است، اما پس از ورود به محفظه حاوی بستر کشت، به ۹/۶ پاسکال کاهش می‌یابد. برای توزیع بخار در بستر کشت از لوله‌هایی به قطر ۳۲ میلیمتر استفاده می‌شود که سوراخ‌هایی به قطر ۳-۶ میلیمتر به صورت جفت در طرفین لوله و در فواصل ۱۵ سانتیمتری از یکدیگر تعبیه شده‌اند.

در حین عمل ضد عفونی، یک پوشش نیز بر روی محیط کشت، کشیده می‌شود تا بخار را در سطح بستر حفظ کند و درجه حرارت بستر را افزایش دهد؛ در غیر این صورت بخار به سرعت بالا می‌رود و بالاتر از سطح بستر کشت قرار می‌گیرد و در نتیجه، تأثیر بخاردهی کاهش می‌یابد. برای آنکه بخاردهی به طور کامل و مؤثر انجام شود، ابتدا باید خاک گلخانه آبیاری شود و سپس آن را شخم زده و نرم کرد؛ هرچه خاک سبک‌تر باشد و دارای خلل و فرج بزرگ‌تری باشد، انتقال حرارت در آن بیشتر است؛ همچنین قبل از انجام ضد عفونی، رطوبت خاک باید در حد ظرفیت مزرعه باشد. خاک خشک مانند جسمی عایق عمل می‌کند و مانع از انتقال حرارت و موجب کندی افزایش دما می‌شود. اگر خاک بیش از حد خیس باشد، گرمای مورد نیاز برای ضد عفونی کردن خاک افزایش خواهد یافت، زیرا انرژی لازم برای گرم کردن یک گرم آب، ۵ برابر

بیشتر از انرژی مورد نیاز برای گرم کردن خاک است؛ در عین حال خیس بودن بستر کشت سبب کند شدن عملیات ضدعفونی و افزایش هزینه می‌گردد.

بدور برخی از علف‌های هرز، دمای ۱۰۰ درجه سانتیگراد را نیز تحمل می‌کنند؛ به همین دلیل توصیه می‌شود که دو هفته قبل از انجام ضدعفونی، خاک را آبیاری نمود تا این بذور آب را جذب و شروع به جوانه‌زنی کنند؛ در این حالت مقاومت آنها در برابر دمای بالا، بسیار کم خواهد شد. کلیه مواد آلی از قبیل پیت، کود دامی پوسیده و سایر مواد آلی باید قبل از عملیات ضدعفونی، به بستر کشت اضافه شوند.

برای اینکه دمای هر متر مکعب از خاک گلخانه ۱ درجه سانتیگراد افزایش یابد، به‌طورمتوسط به ۳۱۸ کیلو کالری انرژی گرمایی نیاز دارد. هر چه دمای اولیه خاک پایین‌تر باشد به انرژی گرمایی بیشتری نیاز دارد.

ضدعفونی کردن خاک با بخار آب، دارای معایب و مشکلاتی است که استفاده از آن را محدود می‌سازد: یکی از مهم‌ترین معایب آن، هزینه بالای تولید بخار است؛ همچنین در اثر گرمای تولید شده در خاک، مسمومیت منگنز و آمونیوم ایجاد می‌شود. در اثر افزایش دمای خاک، تجزیه ترکیبات دارای منگنز افزایش می‌یابد و سبب افزایش غلظت منگنز محلول خاک می‌گردد؛ مسمومیت منگنز نیز به نوبه خود، موجب کاهش جذب آهن توسط ریشه گیاهان می‌شود؛ همچنین در اثر بخاردهی، جمعیت موجودات ذره‌بینی نیتريت‌ساز و نیترات‌ساز در خاک کاهش یافته و در نتیجه غلظت آمونیوم در خاک افزایش می‌یابد و به حد مسمومیت می‌رسد. بروز این مشکل در خاک‌هایی که غنی از مواد آلی، مانند کود دامی، کمپوست و خاک‌برگ باشد، بیشتر است؛ برای برطرف شدن این مشکل، به ۲-۶ هفته زمان نیاز است تا جمعیت موجودات ذره‌بینی نیتريت‌ساز، و نیترات‌ساز افزایش یابد و با تبدیل آمونیوم به نیتريت و نیترات، باعث کاهش مسمومیت آمونیوم شوند. برای حل این مشکلات، باید بعد از پایان ضدعفونی کردن و خنک شدن خاک، آن را با یک آبیاری سنگین شستشو داد تا غلظت ترکیبات سمی در خاک کاهش یابد. جدول ۲۶، مقدار آب لازم را برای شستشوی خاک، با توجه به (EC) آن، بعد از ضدعفونی با بخار نشان می‌دهد؛ همچنین می‌توان با جایگزین کردن پیت به جای کود دامی و خاک‌برگ، از بروز این مشکل جلوگیری کرد، زیرا پیت ماده‌ای آلی است که تا حد ممکن تجزیه شده است ولی خاک‌برگ و کود دامی در اثر گرما سریع‌تر تجزیه و سبب مسمومیت آمونیوم می‌شوند.

جدول ۲۶: نیاز به شستشو بعد از بخاردهی با توجه به مقدار نمک خاک

مقدار آب مورد نیاز (لیتر بر مترمربع)**		هدایت الکتریکی ($\mu S/cm$) *	
سایر خاک‌ها	خاک ماسه‌ای	عصاره آبی ۱:۲	روش اشباع
۲۵	۱۵	تا ۰/۵	تا ۱/۵
۵۰	۳۰	۱-۰/۵	۱/۵-۳
۱۰۰	۷۰	۱-۱/۵	۳-۵
۱۵۰	۱۰۰	بیشتر از ۱/۵	بیشتر از ۵

* اگر (EC) خاک قبل از شستشو بیشتر از مقدار ارائه شده در این جدول باشد، بعد از شستشو حتماً باید (EC) خاک دوباره کنترل شود.

** مقادیر فوق برای شستشوی خاک بوده و مقدار آب مورد نیاز برای رساندن خاک به حد ظرفیت مزرعه (معمولاً ۲۰-۵۰ لیتر بر متر مربع) نیز، به این مقدار اضافه می‌شود. مقدار آب لازم باید به صورت متناوب در طول ۲-۵ روز از طریق آبیاری بارانی برای شستشوی خاک مصرف شود. غرقاب کردن به طور مشخصی مقدار (EC) و نیترات خاک را کاهش می‌دهد (شاید مقدار پتاسیم را نیز اندکی کاهش دهد)، ولی بر مقدار سایر عناصر تأثیر ناچیزی دارد.

۹-۲-۲. ضدعفونی کردن با مواد شیمیایی

یکی از روش‌های مؤثر، نسبتاً ارزان (در مقایسه با بخاردهی)، سریع و در عین حال خطرناک ضدعفونی کردن خاک، استفاده از ترکیبات شیمیایی از قبیل متیل‌بروماید، واپام^۱ (متامسدیم) و کلروپیکرین (گاز اشک‌آور) است.

متیل‌بروماید، پرمصرف‌ترین و در عین حال خطرناک‌ترین ترکیب شیمیایی مورد استفاده برای ضدعفونی کردن خاک است؛ چنانچه استفاده از این ماده از سال ۲۰۰۵ میلادی در برخی از کشورها، مانند آمریکا و اروپا، ممنوع شده است. این گاز برای بیشتر کشت‌های گلخانه‌ای (غیر از گیاهان حساس به بر، مانند میخک) قابل استفاده است.

گاز متیل‌بروماید در اثر فشار در داخل سیلندر، به صورت مایع وجود دارد که پس از خروج از سیلندر به صورت گاز منتشر می‌شود و در بین خلل و فرج خاک نفوذ می‌کند. در این روش، پس از آبیاری زمین (رطوبت خاک در حد ظرفیت زراعی)، شخم عمیق و خرد کردن کامل کلوخه‌ها، سطح خاک به طور کامل با پلاستیک پوشانده می‌شود. سیلندر گاز متیل‌بروماید بر روی ترازویی در بیرون گلخانه قرار می‌گیرد و به وسیله لوله‌های مخصوص به زیر پوشش پلاستیکی تزریق و با کاهش وزن سیلندر، میزان گاز تزریق شده محاسبه می‌شود؛ چون اطراف پلاستیک مسدود است،

گاز متیل بروماید به تدریج در عمق خاک نفوذ می کند و قسمت اعظم حشرات، عوامل بیماری زا، نماتدها و بذور علف های هرز را از بین می برد. مقدار مصرف متیل بروماید در خاک های سبک، ۴۰ گرم و در خاک های نسبتاً متوسط، ۴۵ گرم در هر مترمربع (تا عمق ۳۰ سانتیمتر) است. لازم به ذکر است که حداقل درجه حرارت خاک در عمق ۲۰ سانتیمتری خاک باید ۱۲ درجه سانتیگراد باشد؛ هرچه درجه حرارت خاک بالاتر باشد، نفوذ گاز در خاک و کارایی آن بهتر خواهد بود؛ دمای ۱۸-۲۱ درجه سانتیگراد برای ضد عفونی کردن ایده آل است. در صورت پائین بودن دما، زمان لازم برای انجام ضد عفونی افزایش و کارایی آن کاهش می یابد؛ رطوبت خاک نیز در هنگام عمل ضد عفونی، باید در حد ظرفیت مزرعه باشد. به هر حال به علت خطرناک بودن این روش، استفاده از آن حتماً باید با مشورت متخصصان اداره حفظ نباتات انجام شود.

پوشش پلاستیکی باید ۴۸ ساعت بر روی بستر باقی بماند و بعد از برداشتن پلاستیک و تهویه هوای گلخانه، می توان بعد از ۱۰ روز اقدام به کشت گیاه نمود. از بین بردن نماتدها از اهمیت فوق العاده ای برخوردار است. خاک باید به طور کامل و صحیح ضد عفونی شود، زیرا نماتدها به شدت باعث ضعیف شدن گیاه و کاهش عملکرد محصول می گردند.

قبل از کشت گیاهان در گلخانه، باید از کارایی عمل ضد عفونی اطمینان حاصل شود؛ برای این منظور می توان قبل از انجام ضد عفونی، یک میوه پرتقال پوسیده را، که کپک ها نیز بر روی آن رشد کرده اند، در زیر پلاستیک قرار داد؛ بعد از پایان عمل ضد عفونی و برداشتن پلاستیک، کپک های روی میوه باید از بین رفته باشند و هیچ علف هرزی نیز در زیر پلاستیک ها رشد نکرده باشد، در غیر این صورت باید در کارایی ضد عفونی شک کرد.

کلروپیکرین ماده شیمیایی دیگری است که با نام گاز اشک آور شناخته شده است و در پرورش میخک استفاده می شود (به علت حساسیت میخک به بر، استفاده از متیل بروماید امکان پذیر نیست). این ماده پس از ورود به بستر کشت، به صورت گاز در می آید و داخل خلل و فرج آن نفوذ می کند و میزان مصرف آن، ۱۴۸-۱۸۰ سانتیمتر مکعب به ازای هر متر مکعب از بستر کشت، یا ۵/۵ کیلوگرم به ازای هر ۱۰۰ مترمربع است. قبل از انجام ضد عفونی خاک باید آبیاری شده، سپس شخم زده و نرم شود و پس از مصرف کلروپیکرین، بستر کشت به مدت ۲۴ ساعت با پلاستیک پوشانده شود؛ دمای بستر در زمان عمل ضد عفونی، باید بالای ۱۵ درجه سانتیگراد باشد و پس از پایان ضد عفونی کردن خاک نیز، ۱۰-۲۱ روز زمان لازم است تا بتوان در آن کشت و کار نمود. این سم قادر است حشرات، عوامل بیماری زا، بذور علف های هرز و نماتدها را از بین ببرد.

چون متیل بروماید گازی بی رنگ و بی بو است، آن را با کلروپیکرین ترکیب می کنند (۹۸ درصد متیل بروماید و ۲ درصد کلروپیکرین)؛ مصرف مخلوط این دو گاز بهتر از مصرف هر یک از

آنها به تنهایی است؛ این ترکیب به میزان ۴/۵ کیلوگرم در ۱۰۰ متر مربع مورد استفاده قرار می‌گیرد.

واپام (متماسدیم) نیز، ترکیب شیمیایی دیگری است که در ضدعفونی کردن خاک به کار می‌رود؛ این ترکیب به صورت مایع و قابل حل در آب است و می‌تواند نماتدها، بیشتر قارچ‌ها و علف‌های هرز را کنترل نماید. ۱۰۰ میلی‌لیتر از سم واپام را در ۱۰ لیتر آب حل و بر روی ۱۰ متر مربع از خاک گلخانه پخش می‌کنند و پس از انجام ضدعفونی، تا عمق ۱۵ سانتیمتر از بستر کشت آبیاری می‌شود تا واپام در خاک محبوس شود؛ اگر پس از ضدعفونی کردن، سطح خاک با پلاستیک پوشانده شود و دمای خاک نیز بالا باشد، کارایی آن بسیار خوب خواهد بود. سه هفته بعد از عمل ضدعفونی، گلخانه قابل کشت است.

قبل از کشت بذر، قلمه، نشا یا گیاه در خاک ضدعفونی شده با ترکیبات شیمیایی، باید بقایای مواد شیمیایی در خاک آزمایش شود؛ برای این منظور مقداری از خاک ضدعفونی شده را داخل یک ظرف شیشه‌ای ریخته، سپس مقداری بذر شاهی یا کاهو را در یک پارچه مرطوب پیچیده و در داخل شیشه و بر روی سطح خاک ضدعفونی شده قرار می‌دهند و آن را محکم می‌بندند؛ در شرایط عادی، بذر سالم شاهی یا کاهو باید در مدت ۲۴ ساعت جوانه بزند، در غیر این صورت نشانه وجود مواد سمی در خاک است و برای از بین رفتن بقایای گاز متیل بروماید، باید بیشتر منتظر ماند.

زمانی که گیاهان به صورت گلدانی پرورش داده می‌شوند، برای انجام ضدعفونی، حجم خاک مورد نیاز گلخانه در اتاقکی جمع‌آوری می‌شود و پس از عمل پلاستیک‌کشی بر روی سطح خاک، ضدعفونی با گاز انجام خواهد شد؛ این عمل، به‌خصوص در پرورش صیفی‌جات گلخانه‌ای، توصیه می‌شود؛ زیرا در این حالت حجم بسیار کمتری از خاک (در مقایسه با ضدعفونی کل بستر گلخانه) ضدعفونی می‌شود و به علت کنترل بهتر رطوبت و دمای خاک، کارایی عمل ضدعفونی افزایش می‌یابد؛ از طرف دیگر میزان گاز مصرفی نیز کاهش می‌یابد. از دیگر مزایای این روش آن است که ۳ هفته قبل از پایان برداشت محصول، مقدار خاک مورد نیاز برای گلدان‌ها در این اتاقک، ضدعفونی می‌شود و به محض پایان برداشت محصول و خارج کردن بقایای گیاهی و ضدعفونی کردن گلدان‌ها با هیپوکلریت سدیم، خاک ضدعفونی شده موجود در انبار گلدان‌زنی^۱ و به داخل گلخانه منتقل می‌شود و می‌توان کشت جدید را آغاز کرد که این عمل باعث ۲-۳ هفته صرفه‌جویی در زمان خواهد شد. اگر همزمان با این عمل، نشاهای مورد نیاز نیز در داخل اتاقک پرورش نشاء آماده شده باشند (مرحله ۴-۵ برگی)، به میزان ۵-۶ هفته در زمان صرفه‌جویی خواهد شد.

۹-۲-۳. ضد عفونی کردن با استفاده از گرمای خورشید^۱

ضد عفونی کردن خاک با مواد شیمیایی، مانند متیل بروماید، باعث آلودگی زیست محیطی می شود و برای انسان بسیار خطرناک است و به همین دلیل، استفاده از این ترکیب در سال ۲۰۰۵ در ۱۱ کشور توسعه یافته ممنوع شد و تا سال ۲۰۱۵ میلادی در کشورهای در حال توسعه نیز ممنوع خواهد شد؛ بنابراین باید به دنبال روش هایی بود که آلودگی زیست محیطی نداشته باشند. ضد عفونی کردن خاک با بخار آب، به علت گران بودن برای همه گلخانه داران قابل استفاده نیست. روش ساده تر، ارزان تر و بدون آلودگی دیگری وجود دارد که کاملاً غیر شیمیایی است و به دلیل عدم آلودگی محیط زیست، طرفداران زیادی، به خصوص در کشت های ارگانیک^۲، پیدا کرده است. در این روش، که ضد عفونی با نور خورشید یا سولاریزیشن نامیده می شود، دمای خاک با استفاده از انرژی گرمایی خورشید تا حد کشنده افزایش می یابد و سبب از بین رفتن بذور علف های هرز، حشرات، عوامل بیماری زا و کاهش جمعیت نماتدها می شود. در روش مزبور، پس از آبیاری خاک تا حد اشباع و شخم زدن و نرم کردن آن، سطح خاک گلخانه با پلاستیک شفاف به ضخامت یک میل (۰/۲۵ میلیمتر) پوشانده می شود و سطح پلاستیک باید کاملاً به خاک چسبیده تا در اثر باد پاره نشود. وجود رطوبت، سبب هدایت گرمایی بهتر خاک می شود و حساسیت موجودات ذره بینی خاک به گرما را افزایش می دهد؛ زیرا وجود رطوبت، موجب فعال شدن موجودات زنده ای می شود که در حال رکود قرار دارند و در نتیجه، مقاومت آنها در برابر گرما کاهش می یابد.

سولاریزیشن باید در فصل تابستان (تیر و مرداد) انجام شود که گرمای خورشید بیشتر است و مدت آن ۶-۸ هفته است؛ کارایی این روش به شرایط اقلیمی هر منطقه بستگی دارد و به خصوص در مناطق گرمسیری و گرم و خشک، بسیار خوب جواب می دهد، ولی در مناطق سردسیر و مناطقی که بیشتر روزها هوا ابری است، کارایی زیادی ندارد.

تلفیق سولاریزیشن خاک با مقادیر کمی سموم شیمیایی، از قبیل علف کش ها، قارچ کش ها، نماتد کش ها یا تدخین کننده هایی مانند واپام، سبب افزایش کنترل موجودات ذره بینی مضر می شود.

۹-۳. اصول بهداشت گلخانه

ضد عفونی کردن خاک، موجودات ذره بینی مضر خاک را از بین می برد ولی در برابر آلودگی های بعدی، مصونیت ایجاد نمی کند. در حقیقت حتی اگر انجام ضد عفونی به طور کامل و صحیح انجام

1. Soil solarization

2. Organic culture

شود، ولی اصول اولیه بهداشت گلخانه رعایت نگردد، احتمال آلودگی مجدد گلخانه به آفات و بیماری‌ها وجود دارد؛ بنابراین رعایت اصول بهداشت گلخانه، دومین قدم برای پیشگیری از حمله آفات و بیماری‌ها است.

رعایت اصول بهداشتی گلخانه، مؤثرترین و ارزان‌ترین راه جلوگیری از بروز بیماری‌های همه‌گیر و هجوم آفات است و به کاهش استفاده از آفت‌کش‌ها و سموم شیمیایی نیز کمک می‌کند. اقدامات بهداشتی، در واقع شامل کلیه اعمالی است که منجر به کاهش یا محو استفاده از سموم می‌شود و از گسترش آفات و بیماری‌ها جلوگیری می‌کند. از جمله این اقدامات می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

۹-۳-۱. ساختار مناسب گلخانه

اولین اصل در کارهای گلخانه‌ای، داشتن سازه مناسب با طرحی کاملاً استاندارد است. طرح گلخانه، ارتفاع گلخانه، شکل گلخانه، نوع پوشش و غیره، از عواملی هستند که بر شرایط آب و هوایی درون گلخانه مؤثر هستند. اگر ارتفاع گلخانه زیاد باشد (۴/۵-۶ متر)، میزان رطوبت نسبی آن کمتر می‌شود و تهویه آن بهتر صورت می‌گیرد. پوشش‌هایی که اشعه UV را کمتر از خود عبور می‌دهند می‌توانند هاگ‌زایی قارچ‌های بیماری‌زا را بهتر کنترل نمایند و پوشش‌هایی که نور بیشتری را از خود عبور می‌دهند، از رشد عوامل بیماری‌زا جلوگیری می‌کنند. بنابراین اگر طراحی گلخانه و سیستم کنترل عوامل محیطی آن مناسب باشد، می‌توان با تنظیم شدت نور، حرارت و تهویه، تا حد زیادی از گسترش عوامل بیماری‌زا جلوگیری کرد.

تنظیم دمای گلخانه در روز و شب، جلوگیری از اختلاف شدید دمایی بین روز و شب (DIF زیاد) و نیز کنترل رطوبت نسبی، نقش مهمی در کنترل بیماری‌ها و آفات دارند و در صورتی که سیستم حرارتی گلخانه به طور مناسب طراحی نشده باشد، می‌تواند مشکل ساز باشد.

۹-۳-۲. جلوگیری از تشکیل قطرات آب بر روی سطوح پلاستیک

معمولاً گلخانه‌های پلاستیکی دارای رطوبت نسبی بالایی هستند؛ در اثر برخورد بخار آب با پوشش پلاستیکی، قطرات آب بر روی پلاستیک تشکیل شده و با ریزش آن بر روی برگ‌ها، سبب گسترش بیماری‌ها می‌شوند. استفاده از پلاستیک‌های دولایه، نصب پرده‌های محافظ حرارتی و یا استفاده از پلاستیک‌های ضد رطوبت^۱ می‌تواند از میعان بخار آب بر روی پلاستیک جلوگیری نماید؛ همچنین انجام آبیاری به میزان لازم و جلوگیری از آبیاری بیش از حد، در کاهش رطوبت نسبی گلخانه بسیار مؤثر است.

1. Antifog

۹-۳-۳. قرار دادن محلول ضد عفونی کننده مقابل در ورودی گلخانه

یکی از روش‌های انتقال آفات و بیماری‌ها به گلخانه، از طریق کفش کارگران، بازدیدکنندگان و چرخ ماشین‌آلات است؛ بنابراین، تا آنجا که می‌شود، باید از ورود و خروج بیش از حد افراد به گلخانه جلوگیری شود. با قرار دادن محلول ضد عفونی کننده در حوضچه ورودی گلخانه و فرو بردن ته کفش در آن، می‌توان از ورود برخی بیماری‌های خاکزی جلوگیری نمود (شکل ۶۸)؛ معمولاً برای این کار از آب آهک ۱۵-۲۰ درصد به عنوان محلول ضد عفونی کننده استفاده می‌شود؛ همچنین با قرار دادن دمپایی تمیز در ابتدای گلخانه، می‌توان از ورود بازدیدکنندگان و کارگران با کفش به داخل آن جلوگیری کرد.

۹-۳-۴. نصب توری محافظ

اختلاف فشار هوا بین داخل و خارج گلخانه منفی است؛ بنابراین با باز و بسته شدن درهای ورودی، دریچه‌های تهویه و پنجره‌های جانبی و سقفی، هوای بیرون با فشار وارد گلخانه شده و حشرات نیز به همراه آن وارد گلخانه می‌شوند. نصب توری ۴۰۰ مش در مقابل درهای ورودی، محل نصب پنکه‌ها و جلوی پنجره‌های سقفی و جانبی (شکل ۶۹) به عنوان یک سد مکانیکی مانع ورود حشرات ریزی، مثل مگس سفید (به ابعاد ۲ میلیمتر)، تریپس‌ها (به ابعاد ۱ میلیمتر) و کنه‌ها به داخل گلخانه می‌شود. جلوگیری از ورود تریپس‌ها و شته‌ها نیز، به نوبه خود مانع از انتقال بیماری‌های ویروسی به گلخانه می‌شوند. همان‌طوری که پیشتر نیز اشاره شد، درهای ورودی گلخانه نباید مستقیماً به فضای بیرون گلخانه باز شوند. توصیه می‌شود که مقابل در ورودی گلخانه، محفظه‌ای به ابعاد ۲ متر ساخته شود تا قبل از ورود به گلخانه، وارد این محفظه شد؛ حوضچه محلول ضد عفونی کننده را می‌توان در داخل این محفظه قرار داد.



شکل ۶۸: استفاده از حوضچه ضد عفونی آب آهک مقابل در ورودی گلخانه



شکل ۶۹: نصب توری ریز بافت بر روی پنجره‌های جانبی و سقفی برای جلوگیری از ورود حشرات

۹-۳-۵. پهن کردن مالچ پلاستیکی

پهن کردن مالچ پلاستیکی بر روی خاک گلخانه، یکی دیگر از روش‌هایی است که مانع از گسترش و شیوع بیمارها می‌شود. تماس برگ‌ها با خاک می‌تواند سبب گسترش بیماری شود و پهن کردن پلاستیک، موجب تمیز شدن کف گلخانه و نیز گرم‌تر شدن بستر خاک می‌گردد. این نوع مالچ پلاستیکی دورنگ است؛ رنگ قسمت بالایی آن شیری و رنگ قسمت زیرین آن سیاه است؛ رنگ شیری برای انعکاس بهتر نور در گلخانه و رنگ سیاه به عنوان مالچ، به منظور جلوگیری از ورود نور به خاک و جوانه‌زنی علف‌های هرز مورد استفاده قرار می‌گیرد.

۹-۳-۶. جمع‌آوری بقایای گیاهی

پس از پایان هر کشت، کلیه بقایای گیاهی باید از گلخانه خارج گردد و بدین ترتیب، هاگ قارچ‌ها و تخم و لارو حشرات از گلخانه خارج می‌شود. پس از جمع‌آوری، باید بقایای گیاهی در بیرون از گلخانه سوزانده شوند.

۹-۳-۷. زهکشی مناسب و عدم آبیاری بیش از حد

از انجام آبیاری بیش از حد باید خودداری شود؛ زیرا خاک‌های سرد و مرطوب، محیط بسیار مناسبی برای رشد و فعالیت قارچ‌های خاکزی، مانند پی‌تیوم است؛ همچنین در خاک‌های خیس، حرکت هاگ قارچ‌ها و نماتدها افزایش می‌یابد؛ بنابراین آبیاری مناسب و وجود زهکش (شکل ۷۰) و نیز بالا بردن دمای خاک، می‌تواند در جلوگیری از گسترش بیماری و رشد بهتر بوته‌ها و افزایش مقاومت آنها در برابر بیماری‌ها مفید باشد.

۹-۳-۸. دفع علف‌های هرز

کلیه علف‌های هرز داخل گلخانه باید از بین برده شوند؛ زیرا علف‌های هرز علاوه بر رقابت با گیاه اصلی بر سر مواد غذایی (برخی از آنها)، به عنوان میزبان ثانویه آفات و بیماری‌ها عمل می‌کنند و پناهگاه خوبی برای مخفی شدن حشرات و تغذیه آنها به شمار می‌روند. وجود علف‌های هرز در گلخانه سبب کندی گردش هوا هم می‌گردد. علاوه بر دفع علف‌های هرز داخل گلخانه، محیط اطراف گلخانه نیز باید عاری از علف‌های هرز باشد. تریپس‌ها بر روی گل‌های گیاهان باریک‌برگ توسعه می‌یابند، از این رو از بین بردن علف‌های هرز باریک‌برگ اهمیت فراوانی دارد. با استفاده از مالچ پلاستیکی، مالچ کاه و کلش و نیز علف‌کش‌های انتخابی، می‌توان از رشد علف‌های هرز در گلخانه جلوگیری نمود.



شکل ۷۰: وجود زهکش در انتهای بستر برای خروج آب اضافی

۹-۳-۹. ضد عفونی کردن کلیه ادوات و وسایل مورد استفاده در گلخانه

کلیه لوازم پلاستیکی مورد استفاده در گلخانه، مانند گلدان‌ها، زیرگلدانی، بیل، بیلچه، لوله‌های آبیاری و غیره با قرار دادن آنها در بشکه حاوی محلول هیپوکلریت سدیم ضد عفونی می‌شوند. برای تهیه محلول ضد عفونی کننده، یک لیتر از مایع سفیدکننده خانگی (محلول ۵ درصد هیپوکلریت سدیم) با ۹ لیتر آب رقیق می‌شود تا محلول ۰/۵ درصد هیپوکلریت سدیم به دست آید؛ سپس لوازم و ادوات به مدت یک دقیقه در این محلول قرار می‌گیرند و پس از پایان ضد عفونی، باید آنها را با آب تمیز شستشو داد.

۹-۳-۱۰. ضدعفونی کردن آب آبیاری

معمولاً برای ضدعفونی کردن آب آبیاری از کلر استفاده می‌شود تا از رشد جلبک‌ها جلوگیری کند و هاگ قارچ‌ها و نماتدها از بین برود. کلر مورد استفاده (در حد مجاز) ضرری برای گیاهان در کشت خاکی ندارد، ولی این غلظت در آبکشت (کشت بدون خاک)^۱، برای گیاهان مضر است.

۹-۳-۱۱. آموزش کارگران

از آنجایی که کارگران همیشه در گلخانه به‌سر می‌برند، آموزش آنها در زمینه نحوه کنترل عوامل محیطی، رعایت اصول بهداشت و شناسایی برخی از آفات و بیماری‌های مهم گلخانه، می‌تواند در مدیریت بهتر گلخانه بسیار مفید و مؤثر باشد. یکی از روش‌های مفید آموزش کارگران برای شناسایی آنها با برخی از آفات و بیماری‌ها، تهیه عکس‌های بزرگ و واضح از هر آفت یا بیماری و نحوه خسارت آنها و در اختیار گذاشتن عکس‌ها به کارگران است. کارگر با دیدن شکل آفات و بیماری‌ها و مشاهده آنها در حین کار، می‌تواند گلخانه‌دار را از وجود آفت یا بیماری آگاه کند تا اقدامات لازم صورت گیرد.

۹-۳-۱۲. استفاده از کارت‌های زرد و آبی چسبنده (تله)

کارت‌های زرد و آبی چسبنده، سبب جلب حشرات به سوی خود می‌شوند و حشرات پس از برخورد با این تله‌ها به آن چسبیده و از بین خواهند رفت؛ این روش یک تله است و نشان‌دهنده وجود یا عدم وجود هر نوع حشره در گلخانه است. معمولاً به ازای هر ۱۰۰ مترمربع از واحد سطح گلخانه، یک عدد کارت چسبنده در گلخانه نصب می‌شود: کارت‌های زرد، که بیشتر برای مگس سفید استفاده می‌شوند، به صورت عمودی (شکل ۷۱) و کارت‌های آبی‌رنگ (شکل ۷۲)، که برای شکار تریپس به کار می‌روند به صورت افقی از سقف آویزان می‌شوند.

۹-۳-۱۳. عدم کشت گونه گیاهی مشابه در داخل و خارج گلخانه

باید از کشت همزمان یک گونه گیاهی در داخل گلخانه و زمین‌های فضای آزاد اطراف گلخانه خودداری کرد؛ مثلاً کشت گوجه‌فرنگی در فضای آزاد اطراف گلخانه‌ای، که در آن گوجه‌فرنگی گلخانه‌ای پرورش داده می‌شود، سبب هجوم آفات و بیماری‌ها به گلخانه خواهد شد؛ زیرا گیاهان فضای آزاد، به عنوان مخزن تجمع آفات و بیماری‌ها عمل می‌کنند و باعث جلب توجه آفات از مناطق اطراف به سمت گلخانه خواهند شد.



شکل ۷۱: نصب تله کارتی زرد رنگ برای شکار مگس سفید گلخانه



شکل ۷۲: نصب تله کارتی آبی رنگ برای شکار تریپس گلخانه

۹-۳-۱۴. حذف شاخ و برگ‌های زائد

یکی از عملیات‌های مهم داشت (مخصوصاً در کشت صیفی‌جات)، که در کاهش میزان رطوبت نسبی گلخانه و افزایش نفوذ نور به داخل تاج گیاهان مؤثر است، انجام هرس و حذف شاخ و برگ‌های زائد می‌باشد. گوجه‌فرنگی، خیار و سایر صیفی‌جات گلخانه‌ای، تعداد زیادی شاخه جانبی تولید می‌کنند که در صورت هرس نشدن، سبب افزایش تراکم شاخ و برگ، رطوبت نسبی و سایه‌اندازی می‌شوند؛ حشرات و بیماری‌ها نیز در محل‌های مرطوب و سایه بیشتر فعالیت می‌کنند و گسترش خواهند یافت. در گوجه‌فرنگی گلخانه‌ای، حذف کامل شاخه‌های جانبی و در خیار گلخانه‌ای، سرزنی شاخه‌های جانبی بعد از تولید دو برگ و میوه و حذف برگ‌ها تا ارتفاع ۳۰ سانتیمتری، سبب کاهش تراکم شاخ و برگ و گردش بهتر هوا در گلخانه می‌شود. در پرورش گیاهان زینتی نیز، حذف برگ‌های پیر و پژمرده در کاهش تراکم شاخ و برگ‌ها مؤثر است.

۹-۳-۱۵. کاهش تراکم کشت

کاهش تراکم کشت در واحد سطح نیز، در افزایش گردش هوا در بین بوته‌ها و جلوگیری از رشد آفات و بیماری‌ها مؤثر است؛ به همین دلیل تراکم کشت گوجه فرنگی (شکل ۷۳) و خیار گلخانه‌ای از ۳ بوته در هر متر مربع، به $1/6 - 2$ بوته کاهش یافته است.



شکل ۷۳: کاهش تراکم کشت در گلخانه گوجه فرنگی برای افزایش گردش هوای گلخانه

۹-۳-۱۶. جلوگیری از سرد شدن خاک

یکی از عوامل مهم در شیوع و گسترش برخی از بیماری‌های مهم خاکزی، دمای خاک است. سرد و مرطوب بودن خاک، سبب شیوع بیماری بوته‌میری در اثر حمله قارچ‌های پی‌تیوم و فیتوفترا می‌شود؛ همچنین پایین بودن دمای خاک، موجب کاهش رشد ریشه و عدم جذب عناصری مانند فسفر و رشد بسیار ضعیف بوته‌ها می‌گردد؛ ضعیف بودن بوته نیز به نوبه خود، سبب بیشتر شدن خسارت آفات و بیماری‌ها می‌شود. بنابراین در کشت‌های بستری، مخصوصاً در پرورش صیفی‌جات گلخانه‌ای، برای گرم کردن خاک از سیستم پاگرما استفاده می‌شود. از روش‌های دیگر افزایش دمای خاک، می‌توان به پهن کردن مالچ پلاستیکی، استفاده از مواد آلی و ایجاد پشته‌های بلند (برای کشت سبزی‌های گلخانه‌ای) در بستر خاک اشاره نمود (شکل ۷۴).



شکل ۷۴: تهیه پشته‌های بلند و مرتفع برای گرم شدن بهتر بستر خاک

۹-۳-۱۷. قرنطینه گیاهان و قلمه‌های تازه خریداری شده

حشرات می‌توانند با نشا یا نهال تازه خریداری شده، وارد گلخانه شوند. نهال‌ها و قلمه‌های تازه باید از نظر آلودگی به آفات و بیماری‌ها به دقت بررسی شوند؛ اگر این گیاهان، آلوده باشند، باید آنها را برای مدتی در یک گلخانه انتظار نگهداری و با حشره‌کش‌ها، آفت‌زدایی نمود.

۹-۳-۱۸. تناوب کشت

کشت مداوم یک نوع محصول در خاک، سبب گسترش بیماری و آفات در کشت‌های بعدی می‌شود؛ این موضوع، به‌خصوص درباره سبزی‌های گلخانه‌ای، از اهمیت زیادی برخوردار است؛ مثلاً شکل ۷۵، بوته خیار آلوده به نماتد مولد گال را نشان می‌دهد که در اثر کشت مداوم آن در گلخانه به‌وجود آمده است. فقط در صورتی می‌توان اقدام به کشت مداوم یک محصول نمود که از نظر ضد عفونی کردن بستر کشت، رعایت اصول بهداشت و تغذیه گیاه، مدیریت بسیار مناسبی اعمال شود.

۹-۳-۱۹. استفاده از دستگاه گوگردسوز

این دستگاه از یک المنت برقی با یک جداره استوانه‌ای تشکیل شده است که با ریختن گوگرد در داخل آن و گرم شدنش به وسیله المنت، سبب بخار شدن گوگرد می‌شود؛ بخار گوگرد بر روی سطح برگ‌ها قرار می‌گیرد و از رشد عوامل بیماری‌زا جلوگیری می‌کند (شکل ۷۶).

۹-۳-۲۰. جلوگیری از نوسانات شدید دمایی

بالا رفتن دمای گلخانه سبب کاهش رطوبت نسبی گلخانه و کاهش شدید دما نیز، موجب افزایش رطوبت نسبی و میعان بخار آب بر روی پوشش پلاستیک و سطح شاخ و برگ گیاهان می‌شود که

در نتیجه، باعث جوانه‌زنی هاگ قارچ‌ها و شیوع بیماری‌های مختلف می‌گردد؛ بنابراین کنترل دمای گلخانه و جلوگیری از نوسانات شدید دمایی، به کنترل بهتر رطوبت نسبی گلخانه کمک می‌کند.



شکل ۷۵: آلودگی بوته گوجه‌فرنگی به نماتد مولد گال



شکل ۷۶: استفاده از دستگاه گوگرد سوز برای جلوگیری از شیوع بیماری‌ها

خلاصه مطالب

- ۱- شرایط گرم و مرطوب داخل گلخانه، موجب رشد آفات و عوامل بیماری‌زای گیاهی می‌شود. کشت مداوم یک یا چند محصول، بیماری‌ها را تشدید می‌کند و خود سبب ضعیف‌شدن بوته‌ها، کاهش عملکرد و کاهش کیفیت محصول تولیدی می‌شود؛ بنابراین یکی از عوامل مهم در مدیریت گلخانه، کنترل آفات و بیماری‌ها است.
- ۲- اولین قدم در پیشگیری از حمله آفات و بیماری‌ها، ضد عفونی کردن خاک است؛ سپس باید مسائل مربوط به بهداشت گلخانه به طور کامل رعایت تا از آلودگی مجدد گلخانه جلوگیری شود و سرانجام در صورت حمله آفات و بیماری‌ها، می‌توان با استفاده از روش‌های زیستی، مکانیکی و شیمیایی بر علیه آنها مبارزه کرد.
- ۳- ضد عفونی کردن خاک گلخانه به سه روش استفاده از بخار آب، با گازهای شیمیایی و استفاده از گرمای خورشید انجام می‌شود.
- ۴- در روش ضد عفونی کردن با بخار آب، دمای خاک را تا عمق ۳۰ سانتیمتر و تا دمای ۶۰-۷۱ درجه سانتیگراد بالا می‌برند؛ این عمل سبب سترون شدن خاک نمی‌گردد بلکه فقط موجب پاستوریزه شدن آن می‌شود. در حین عمل ضد عفونی، یک پوشش نیز بر روی محیط کشت، کشیده می‌شود تا بخار را در سطح بستر حفظ کند و درجه حرارت بستر را افزایش دهد؛ در غیر این صورت بخار به سرعت بالا می‌رود و بالاتر از سطح محیط کشت قرار می‌گیرد و در نتیجه، تأثیر بخاردهی کاهش می‌یابد.
- ۵- ضد عفونی کردن خاک با بخار آب، دارای معایب و مشکلاتی است که مهم‌ترین آنها هزینه بالای تولید بخار و مسمومیت منگنز و آمونیوم در خاک است و به همین دلیل باید بعد از انجام ضد عفونی، شستشوی سنگین خاک انجام شود.
- ۶- یکی از روش‌های مؤثر، نسبتاً ارزان (در مقایسه با بخاردهی) سریع و در عین حال خطرناک ضد عفونی کردن خاک، استفاده از ترکیبات شیمیایی، از قبیل متیل بروماید، واپام (متام سدیم) و کلروپیکرین است که آلودگی زیست‌محیطی دارد و برای انسان بسیار خطرناک است. در این روش پس از آبیاری زمین، شخم عمیق و خرد کردن کامل کلوخه‌ها، سطح خاک به طور کامل با پلاستیک پوشانده می‌شود. گاز متیل بروماید در داخل سیلندر به صورت فشرده وجود دارد و به وسیله لوله‌های مخصوص، به زیر پوشش پلاستیکی (که بر روی سطح خاک گلخانه کشیده شده)، تزریق و با کاهش وزن سیلندر، میزان گاز تزریق شده محاسبه می‌شود.
- ۷- دمای خاک با استفاده از انرژی گرمایی خورشید، تا حد کشنده‌ای افزایش می‌یابد و سبب از بین رفتن بذور علف‌های هرز، حشرات، عوامل بیماری‌زا و کاهش جمعیت نماتدها می‌شود. در

این روش، پس از آبیاری خاک تا حد اشباع، شخم زدن و نرم کردن آن، سطح خاک گلخانه با پلاستیک شفاف به ضخامت یک میل (۰/۲۵ میلیمتر) پوشانده می‌شود. سولاریزیشن باید در فصل تابستان (تیر و مرداد) انجام شود که گرمای خورشید بیشتر است و مدت آن ۶-۸ هفته است.

۸- هرچند ضدعفونی کردن خاک در شروع کار گلخانه می‌تواند عوامل بیماری‌زا، حشرات، نماتدها و علف‌های هرز را از بین ببرد، اما هیچ تضمینی وجود ندارد که بعد از انجام ضدعفونی، گلخانه دوباره دچار آلودگی نشود؛ بنابراین باید نوعی راهبرد مدیریتی در پیش گرفت که شامل کلیه روش‌ها و اقداماتی باشد تا از آلوده شدن مجدد گلخانه جلوگیری نماید.

۹- از جمله اقدامات بهداشتی برای جلوگیری از آلودگی گلخانه، می‌توان به مواردی مانند داشتن سازه مناسب با طرحی کاملاً استاندارد، جلوگیری از تشکیل قطرات آب بر روی سطح پلاستیک، قرار دادن محلول ضدعفونی‌کننده مقابل در ورودی گلخانه، نصب توری محافظ، پهن کردن مالچ پلاستیکی، جمع‌آوری بقایای گیاهی، زهکشی مناسب و عدم آبیاری بیش از حد، دفع علف‌های هرز، ضدعفونی کردن کلیه ادوات و وسایل مورد استفاده در گلخانه، ضدعفونی کردن آب آبیاری، آموزش کارگران، استفاده از تله‌های کارتی، عدم کشت گونه گیاهی مشابه در داخل و خارج گلخانه، حذف شاخ و برگ‌های زائد، کاهش تراکم کشت، جلوگیری از سرد شدن خاک، قرنطینه گیاهان و قلمه‌های تازه خریداری شده، استفاده از چراغ‌های گوگردسوز و رعایت تناوب کشت اشاره کرد.

پرسش‌های فصل نهم

- ۱- روش ضد عفونی کردن خاک را با استفاده از بخار آب توضیح دهید.
- ۲- روش ضد عفونی کردن خاک را با استفاده از متیل پروماید شرح دهید.
- ۳- مزایا و معایب ضد عفونی کردن خاک را با دو روش شیمیایی و بخار آب با یکدیگر مقایسه نمایید.
- ۴- نحوه ضد عفونی کردن خاک را به روش سولاریزیشن شرح دهید.
- ۵- راهبرد جامع مدیریت در کنترل آفات و بیماری‌ها به چه موضوعی می‌پردازد؟
- ۶- چند نوع از اقدامات بهداشتی و پیشگیرانه را که سبب جلوگیری از شیوع آفات و بیماری‌ها می‌شوند، نام ببرید.
- ۷- سازه گلخانه چه تأثیری در کنترل آفات و بیماری‌ها دارد؟
- ۸- کاربرد تله‌های کارتی چسبنده و نحوه نصب آنها را در گلخانه توضیح دهید.
- ۹- چگونه می‌توان از ورود نماتد به گلخانه جلوگیری کرد؟

فصل دهم

بسترهای کشت گلخانه

هدفهای رفتاری

پس از پایان این فصل از خواننده انتظار می رود که:

- ۱- وظایف بسترهای کشت را بداند.
- ۲- خصوصیات شیمیایی و فیزیکی بسترهای کشت را فرا گیرد.
- ۳- بسترهای کشت مختلف آلی و معدنی را بشناسد.
- ۴- مخلوطهای خاکی را برای کشتهای خاکی و بدون خاک تهیه نماید.

۱۰-۱. وظایف بستر کشت

بعد از احداث گلخانه و قبل از شروع کشت گیاهان، انتخاب و تهیه بستر کشت مناسب، گامی اساسی در تولید محصول است. از بسترهای مختلف می‌توان به عنوان محیط رشد ریشه استفاده نمود؛ این بسترها دارای خصوصیات متفاوتی هستند که گاهی به تنهایی و گاهی نیز به صورت مخلوط با سایر بسترها مورد استفاده قرار می‌گیرند. بسترهای کشت چهار وظیفه مهم را برای ریشه گیاهان بر عهده دارند:

۱۰-۱-۱. تأمین مواد غذایی گیاه

محیط رشد ریشه باید مواد غذایی را در اختیار ریشه‌های گیاه قرار دهد. برخی از بسترهای کشت، مانند خاک‌های زراعی، مواد غذایی کافی دارند که قادرند عناصر غذایی را در خود ذخیره کنند، به تدریج در اختیار گیاه قرار دهند و از شسته‌شدن کاتیون‌ها جلوگیری نمایند که به آن، ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC) اطلاق می‌شود. برخی از بسترها، مانند ورمیکولیت، ظرفیت تبادل کاتیونی بالایی دارند و بعضی دیگر، مثل پرلیت، فاقد ظرفیت تبادل کاتیونی هستند و نمی‌توانند عناصر غذایی را ذخیره‌سازی کنند؛ و در این نوع بستر، لازم است که محلول غذایی به طور مداوم در اختیار ریشه‌های گیاه قرار گیرد.

۱۰-۱-۲. تأمین رطوبت مورد نیاز ریشه

رطوبت باید همیشه به اندازه کافی در دسترس ریشه‌های گیاه باشد. قابلیت نگهداری رطوبت در بسترهای مختلف با یکدیگر متفاوت است: برخی از بسترهای کشت قادرند که رطوبت را برای مدت طولانی در خود نگه دارند و هر چه خاک سنگین‌تر و اندازه خلل و فرج آن ریزتر باشد، می‌تواند مقدار رطوبت بیشتری را در خود نگه دارد (مانند خاک رس). درحالی‌که برخی دیگر از بسترهای کشت، قادر به نگهداری آب برای مدت طولانی در خود نیستند و لازم است که حتی چندین بار در یک روز آبیاری شوند (مانند ماسه).

۱۰-۱-۳. داشتن تهویه مناسب

یکی از وظایف مهم بستر کشت، داشتن تهویه مناسب است تا بتواند تبادل گازی را بین محیط ریشه و اتمسفر بالای محیط ریشه فراهم کند. ریشه‌ها باید اکسیژن کافی دریافت کنند تا تنفس کنند و انرژی لازم را برای جذب عناصر غذایی تولید نمایند. هر چه خاک سبک‌تر باشد، قابلیت تبادل گازی آن بیشتر است. در خاک‌های سنگین رسی، دی‌اکسیدکربن تولید شده توسط ریشه‌های گیاه و موجودات ذره‌بینی، به خوبی از خاک خارج نمی‌شود، از طرفی اکسیژن نیز به

اندازه کافی در خاک رسی منتشر نمی‌شود. تراکم بالای دی‌اکسیدکربن و کمبود اکسیژن سبب کاهش تنفس می‌گردد و به همین دلیل، ریشه‌های گیاه در این نوع خاک‌ها سطحی می‌شوند.

۱۰-۱-۴. ریشه به عنوان محل استقرار گیاه

بسترهای کشت، تکیه‌گاهی برای گیاه و محل استقرار ریشه‌ها هستند. برخی از بسترهای کشت به علت سبک بودن، قدرت نگهداری گیاه را نداشته و نیاز به قیم دارند. در صورتی که ریشه در خاک استقرار خوبی نداشته باشد ممکن است که با تکان خوردن ریشه از خاک خارج گردد.

برخی از بسترهای کشت قادرند که فقط یک یا دو وظیفه فوق را انجام دهند و بعضی دیگر نیز، می‌توانند که به تنهایی چهار وظیفه یاد شده را به صورت نسبی (نه به صورت ایده‌آل) انجام دهند؛ مثلاً خاک شنی دارای تهویه مناسب و استقرار خوبی برای ریشه‌های گیاه است ولی قابلیت نگهداری رطوبت و تأمین مواد غذایی مورد نیاز گیاه را ندارد؛ در مقابل، خاک سنگین رسی، قابلیت نگهداری رطوبت را برای مدت طولانی دارد و می‌تواند مواد غذایی مورد نیاز گیاه را تأمین نماید و ریشه‌ها نیز در آن از استقرار خوبی برخوردارند؛ ولی به علت سنگین بودن خاک، میزان تهویه و تبادلات گازی، کم است و ریشه‌ها نمی‌توانند به اعماق خاک نفوذ کنند و در نتیجه، بستر مناسبی برای رشد گیاهان نیست؛ به همین دلیل معمولاً در کشت‌های خاکی، خاک زراعی را با ماسه و کود دامی مخلوط می‌کنند تا بستر کشتی فراهم شود که تقریباً همه خصوصیات خوب را تا حدی داشته باشد و به عنوان بستر کشت، مورد استفاده قرار گیرد.

تهیه چنین مخلوط‌های خاکی چندان هم آسان نیست و به همین دلیل از سه دهه گذشته، استفاده از روش‌های کشت بدون خاک رایج شده است. در این روش، از بسترهای کشت آلی، معدنی و یا مخلوطی از آنها (که اغلب فاقد ماده غذایی هستند) استفاده می‌شود؛ ولی در مقابل، از تهویه مناسب، استقرار خوب و قابلیت نگهداری رطوبت خوبی برخوردارند و بدین صورت مواد غذایی به صورت مصنوعی، از طریق محلول غذایی، در اختیار گیاه قرار می‌گیرد تا هم رطوبت و هم عناصر غذایی مورد نیاز ریشه‌ها تأمین شود.

۱۰-۲. خصوصیات مطلوب محیط رشد ریشه

۱۰-۲-۱. ثبات مواد آلی در خاک

خاک مورد استفاده برای کشت گیاهان باید دارای مقدار مناسبی مواد آلی باشد. این مواد سبب بهبود ساختمان خاک، افزایش قابلیت نگهداری رطوبت خاک، بهبود تهویه و افزایش حاصلخیزی خاک می‌شوند.

در صورتی که کشت گیاه در گلخانه به صورت گلدانی باشد، مواد آلی مورد استفاده باید به اندازه کافی تجزیه شده باشند، به نحوی که در زمان استفاده، تجزیه مواد آلی به حداقل کاهش یابد. اگر در کشت‌های گلدانی، مواد آلی استفاده شده، سرعت تجزیه‌پذیری بالایی داشته باشند، سبب ریزبافت شدن خاک گلدان و کاهش تهویه می‌شوند و از طرفی، پس از مدتی با تجزیه شدن این مواد، حجم خاک گلدان کم می‌شود و ممکن است بخشی از ریشه‌های گیاه بیرون از خاک قرار گیرند؛ بنابراین در خاک گلدان نباید از مواد آلی با سرعت تجزیه‌پذیری بالا، مثل کاه، استفاده شود.

اگر کشت گیاه در بستر گلخانه یا تراس‌ها صورت گیرد، چون حجم بستر کشت ریشه به اندازه کافی بزرگ است، موضوع ثبات مواد آلی خاک از اهمیت کمتری برخوردار است؛ زیرا با گذشت زمان، مواد آلی خاک به تدریج تجزیه شده و به جایگزین نیاز پیدا می‌کند؛ این امر بیشتر به صورت سالانه انجام می‌گیرد و مواد آلی، مانند خاک‌برگ، پیت‌ماس و کود دامی نسبتاً پوسیده به خاک افزوده می‌شود تا کاهش حجم محیط رشد ریشه را جبران نماید.

۱۰-۲-۲. نسبت کربن به نیتروژن

نسبت کربن به نیتروژن (C/N) در محیط رشد ریشه از اهمیت زیادی برخوردار است و نشان‌دهنده سرعت تجزیه بستر است. از آنجایی که تجزیه مواد آلی در خاک، توسط موجودات ذره‌بینی صورت می‌گیرد، در حالت عادی به‌ازای هر ۳۰ کیلوگرم مواد کربنی، یک کیلوگرم نیتروژن در بستر و در دسترس موجودات ذره‌بینی باشد تا بتوانند مواد آلی را با سرعت تجزیه کنند؛ در غیر این صورت، سرعت تجزیه کاهش می‌یابد و موجودات ذره‌بینی برای تجزیه مواد، نیتروژن موجود در خاک را جذب کرده و گیاهان دچار کمبود نیتروژن خواهند شد. بنابراین در صورتی که نسبت C/N بستری بالا باشد، باید مقداری کود ازته به بستر اضافه شود تا نیتروژن مورد نیاز موجودات ذره‌بینی تأمین گردد. نسبت C/N برای خاک‌اره حدوداً ۱۰۰ است؛ بنابراین باید ۱۲ کیلوگرم نیتروژن به هر تن خاک‌اره اضافه شود تا تجزیه آن توسط موجودات ذره‌بینی تسهیل شود. نسبت C/N برای سبوس، پوست درختان و کاه نیز ۳۰۰ است؛ پس به ازای هر تن آن، باید ۳/۵ کیلوگرم نیتروژن به خاک اضافه شود.

۱۰-۲-۳. وزن مخصوص ظاهری

وزن مخصوص ظاهری بستر مرطوب (در حد ظرفیت زراعی)، با میزان استقرار گیاه در آن مرتبط است: هر چه محیط کشت سنگین‌تر باشد، استقرار گیاه در آن بهتر است؛ مثلاً مخلوط پیت و پرلیت پس از آبیاری به علت سنگین شدن، دارای استقرار خوبی برای گیاه است اما پس از خشک شدن بستر، گیاه در آن استقرار خوبی ندارد و هنگام جابه‌جایی گلدان، به آسانی می‌افتد.

استفاده از بسترهایی با وزن مخصوص ظاهری بالا نیز، به علت سنگین بودن مقرون به صرفه نیست. وزن مخصوص ظاهری مطلوب برای بستر کشت گلدان، درست پس از آبیاری (رطوبت در حد ظرفیت گلدان) ۶۴۰-۱۲۰۰ گرم در هر لیتر است. ظرفیت گلدان، به مقدار آبی گفته می‌شود که یک بستر کشت داخل ظرف (گلدان)، می‌تواند درست پس از آبیاری نگه دارد که این مقدار، معادل رطوبت ظرفیت مزرعه است. جدول ۲۷، وزن مخصوص بسترهای مختلف کشت را (در رطوبت ظرفیت گلدان و نقطه پژمردگی) نشان می‌دهد. وزن مخصوص ظاهری در کشت گیاهان گلدانی، دارای اهمیت زیادی است ولی در کشت گیاهان در بستر گلخانه، یا سکوه‌های کشت خاکی، اهمیت چندانی ندارد.

۱۰-۲-۴. قابلیت نگهداری رطوبت و میزان تهویه

بستر کشت مرطوب از سه قسمت اصلی، مواد جامد، آب (که در سطح ذرات خاک و برخی از خلل و فرج خاک را پر کرده) و هوا (که در بین ذرات خاک وجود دارد) تشکیل شده است. با انتخاب بستر کشت مناسب، باید تعادلی بین آب و میزان هوای موجود در منافذ خاک ایجاد شود. بر اساس قوانین فیزیک خاک، تخمین میزان آب و میزان هوا در خاک گلخانه، بسیار مشکل است. به طور کلی سه عامل در مقدار آب قابل نگهداری توسط بستر و میزان هوای آن دخالت دارند:

جدول ۲۷: درصد حجم کل اشغال شده توسط مواد جامد و آب و هوا در مکش‌های رطوبتی ظرفیت

گلدان (CC) و نقطه پژمردگی (۱۵ بار) در محیط کشت‌های مختلف در گلدان (۱۷ سانتیمتر)

وزن مخصوص ظاهری (g/dm ³)		آب قابل دسترس (درصد)	هوا (درصد)		آب (درصد)		درصد مواد جامد	بستر کشت
۱۵ بار	CC		۱۵ بار	CC	۱۵ بار	CC		
۱۳۶۴	۱۶۹۸	۳۳/۴	۴۰/۳	۶/۹	۶/۴	۳۹/۸	۵۳/۳	خاک (رسی شنی)
۱۴۰۴	۱۷۱۴	۳۱	۳۶/۳	۵/۳	۴/۴	۳۵/۴	۵۹/۳	شن
۳۵۲	۸۵۹	۵۰/۷	۵۸/۸	۸/۱	۲۵/۸	۷۶/۵	۱۵/۴	پیت ماس
۴۹۷	۷۳۸	۲۴/۱	۴۳/۶	۱۹/۵	۲۹/۱	۵۳/۲	۱۷/۳	ورمیکولیت
۳۳۳	۵۱۴	۱۸/۱	۴۲/۹	۲۴/۸	۲۰/۲	۳۸/۳	۳۶/۹	پرلیت
۲۶۴	۸۷۰	۶۰/۶	۸۶/۷	۲۶/۱	۴/۴	۶۵	۸/۹	پشم سنگ دانه‌ای
۱۱۹۳	۱۵۹۵	۴۰/۲	۴۶/۱	۵/۹	۸/۵	۴۸/۷	۴۵/۴	اشن: اپیت ماس : ۱: خاک
۳۹۱	۸۵۳	۴۶/۲	۶۲/۸	۱۶/۶	۲۴/۱	۷۰/۳	۱۳/۱	اورمیکولیت: اپیت ماس
۲۳۳	۸۲۹	۵۹/۶	۸۰/۴	۲۰/۸	۱۱/۳	۷۰/۹	۸/۳	اپیت ماس: اراک وول

۱۰-۲-۴-۱. نوع بستر کشت (طرز تهیه بستر، طرز پر کردن گلدان، تراکم بستر)

این نکته قابل ذکر است که منظور از ظرفیت گلدان، حداکثر مقدار آبی است که توسط بستر کشت داخل گلدان، پس از آبیاری قابل نگهداری است و معمولاً به صورت درصد حجمی بیان می‌شود و منظور از منافذ هوای خاک، درصد حجمی از هوا است که پس از آبیاری، در بستر کشت گلدان باقی می‌ماند. درصد منافذ هوای خاک برابر است با مقدار کل منافذ خاک، منهای منافذ آب (درصد حجمی آب). جدول ۲۷، درصد مواد جامد، درصد حجمی رطوبت و درصد حجمی هوای بسترهای مختلف کشت را در رطوبت ظرفیت گلدان (CC) و رطوبت پژمردگی نشان می‌دهد.

در بسترهای کشت خاکی، معمولاً ۵۰٪ حجم خاک از مواد جامد و ۵۰٪ بقیه از منافذ (خلل و فرج) تشکیل شده‌اند. ولی بسترهای کشتی، که در کشت بدون خاک مورد استفاده قرار می‌گیرند، ۸۵٪ حجم بستر را منافذ تشکیل می‌دهند و به همین دلیل، میزان تهویه و قابلیت نگهداری رطوبت در آنها بهبود می‌یابد.

نحوه پر کردن گلدان نیز از عواملی است که روی درصد حجمی آب و مقدار هوای بستر مؤثر است (جدول ۲۸)؛ مثلاً در گلدان‌های ۱۵ سانتیمتری حاوی مخلوط پیت و ورمیکولیت، با افزایش تراکم و فشردگی بستر، درصد منافذ هوا از ۲۳٪ به ۹٪ کاهش می‌یابد. گلدان باید به طور کامل پر شده و سپس خاک اضافی از سطح گلدان برداشته شود. گلدان‌های پر شده نباید بر روی یکدیگر قرار گیرند. کاهش حجم بستر کشت داخل گلدان بعد از آبیاری اول، به علت پرس شدن بخشی از منافذ خالی توسط آب و خارج شدن هوا از داخل بستر است. اگر کاهش حجم خاک گلدان در حد بالا و مشکل‌ساز باشد، بهتر است که از یک شب قبل، بسترها را مرطوب کرد و سپس در گلدان ریخت؛ این عمل درباره بستر کشت کوکوپیت انجام می‌شود؛ بدین ترتیب که ابتدا بسته‌های خشک مکعبی شکل را در داخل تانک آب ریخته تا به اندازه کافی آب جذب نمایند و از یکدیگر باز شوند؛ سپس آنها را از تانک آب بیرون آورده تا آب اضافی خارج شود و آنگاه عمل پر کردن گلدان انجام می‌شود.

۱۰-۲-۴-۲. اندازه ظرف یا گلدان

عامل دیگری که بر روی درصد حجمی هوا و درصد حجمی آب بستر داخل گلدان مؤثر است، ارتفاع گلدان است. قاعده گلدان یا هر نوع ظرف دیگر (سینی پرورش نشاء، جعبه کشت بذر و ...)، به عنوان سطح ایستابی (سطح آب آزاد) در نظر گرفته می‌شود (شکل ۷۷)؛ بنابراین در قاعده گلدان، تمامی منافذ از آب اشباع شده‌اند (مقدار رطوبت ته گلدان در حد اشباع است). نیروی جاذبه با اضافه شدن ارتفاع گلدان، افزایش می‌یابد و بنابراین در گلدان‌های بلندتر، نیروی جاذبه

بیشتری وجود دارد و آب کمتری را در خود نگه می‌دارند و لذا در این نوع گلدان‌ها، درصد منافذی که توسط هوا پر شده‌اند، افزایش می‌یابد (جدول ۲۹). بنابراین هرچه از قاعده گلدان به سمت بالای آن حرکت کنیم، از درصد حجمی رطوبت کاسته و بر درصد حجمی هوای آن افزوده می‌شود.

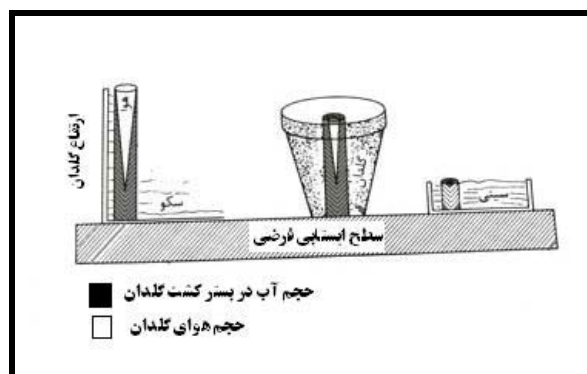
جدول ۲۸: تأثیر نحوه پر کردن گلدان بر منافذ آب و هوای داخل بستر در گلدان‌هایی با اندازه‌های مختلف

نحوه پر کردن گلدان	درصد منافذ	اندازه گلدان		سینی نشای حجره‌ای
		۱۵ cm	۱۰ cm	
گلدان پر شده و فقط مواد اضافی از سطح گلدان برداشت شده	آب قابل جذب	۴۳	۵۱	۵۸
گلدان پر شده و دو مرتبه بر روی میز کوبیده شده	آب غیر قابل جذب	۲۱	۲۱	۲۱
	منافذ هوا	۲۳	۱۵	۹
گلدان پر شده، فشار داده و مجدداً پر شده	آب قابل جذب	۴۴	۵۲	۵۶
	آب غیر قابل جذب	۲۶	۲۶	۲۶
منافذ هوا	منافذ هوا	۱۵	۹	۴
	آب قابل جذب	۴۵	۴۹	۵۲
آب غیر قابل جذب	آب غیر قابل جذب	۳۰	۳۰	۳۰
	منافذ هوا	۹	۴	۲

جدول ۲۹: تغییرات درصد حجمی هوا و آب بستر کشت (مخلوط پیت و ورمیکولیت) با توجه

به ارتفاع گلدان

ارتفاع گلدان	درصد حجمی هوا	درصد حجمی آب	درصد مواد جامد
۲۰ سانتیمتر	۲۳	۶۴	۱۳
۱۵ سانتیمتر	۱۹	۶۸	۱۳
۱۰ سانتیمتر	۱۲	۷۵	۱۳
سینی کشت ۴۸ حجره‌ای	۷	۸۰	۱۳
سینی کشت ۵۱۲ حجره‌ای	۲	۸۵	۱۳



شکل ۷۷: نقش ارتفاع گلدان بر میزان درصد حجمی هوای بستر کشت گلدان

۱۰-۲-۴-۳. نحوه آبیاری (فواصل مناسب آبیاری و میزان آب در هر بار آبیاری)

آبیاری بیش از حد سبب خارج شدن هوای بستر و پُر شدن منافذ با آب می‌شود. در حالت غرقاب، همه منافذ خاک با آب پُر می‌شود و با خارج شدن آب اضافی از خاک، بر میزان درصد حجمی هوای بستر افزوده می‌شود؛ بنابراین وجود زهکش در هر بستر کشتی لازم و ضروری است. در هر بار آبیاری گیاه یا گلدان، بستر کشت باید به طور کامل مرطوب شود، به نحوی که مقداری از آب اضافی از انتهای گلدان خارج شود.

۱۰-۱۰-۳. خصوصیات شیمیایی بستر کشت

۱۰-۳-۱. pH بستر کشت

pH بستر کشت، نشان‌دهنده غلظت یون‌های هیدروژن H^+ در محلول بستر کشت است. میزان حلالیت عناصر غذایی در محیط رشد ریشه و به تبع آن قابلیت جذب آنها توسط ریشه‌های گیاه، به شدت تحت تأثیر pH بستر کشت است. در کشت‌های خاکی، اکثر گیاهان در pH نسبتاً اسیدی (بین ۶/۲ تا ۶/۸) و در کشت‌های بدون خاک، در pH بین ۵/۴ تا ۶ رشد می‌کنند و فقط تعداد کمی از گیاهان، اسید دوست هستند. پیت‌ماس و بسیاری از کمپوست‌ها^۱ اسیدی‌اند؛ بنابراین پیش از کاشتن گیاه، کنترل سطح pH بستر کشت و تنظیم آن در سطح مناسب، اهمیت زیادی دارد. جدول ۳۰، pH بسترهای مختلف و آثار آنها را بر روی محیط رشد نشان می‌دهد. در pH پایین (۵/۵-۶)، حلالیت آهن، منگنز، مس، روی و بر بالا می‌رود و برای گیاه قابل جذب می‌شود؛ اگر pH خیلی پایین باشد (< 5)، این عناصر خیلی محلول شده، به طوری که سبب مسمومیت می‌شوند. در pH پایین، حلالیت مولیبدن کاهش یافته و قابل جذب توسط ریشه‌های

گیاه نیست. در pH بالای ۷، حلالیت آهن، منگنز، مس، روی و بر کم می‌شود و حلالیت مولیبدن افزایش می‌یابد؛ بنابراین ممکن است با وجود مقادیر زیاد این عناصر در محیط کشت، کمبود آنها در برگ‌های گیاه دیده شود. برای پایین آوردن pH خاک، می‌توان از کودهای دارای گوگرد، یا افزودن اسید به آب آبیاری، استفاده نمود. برای بالا بردن pH خاک، از سنگ آهک (بیشتر از سنگ آهک دولومیت که هم دارای کلسیم و هم منیزیم است)، استفاده می‌شود. مقدار مصرف آهک در خاک‌های مختلف به منظور بالا بردن pH، در جدول ۳۱ ارائه شده است.

هرچند میزان قلیائیت محلول محیط کشت، مهم‌ترین عاملی است که pH محیط کشت را تحت تأثیر قرار می‌دهد، ولی تنها عامل نیست. چهار عامل مهم دیگر نیز وجود دارند که محیط را تحت تأثیر قرار می‌دهند:

الف- ترکیبات استفاده شده برای درست کردن محیط کشت (جدول ۳۰)؛

ب- مواد آهکی اضافه شده به محیط کشت در هنگام تهیه بستر کشت؛

ج- کودهایی که هنگام رشد و نمو گیاهان استفاده شده‌اند (کودهای اسیدزا، کودهای بازی و کودهای خنثی)؛

د- کیفیت آب آبیاری (pH و قلیائیت آن).

۱۰-۳-۲. ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC)

ظرفیت تبادل کاتیونی، معیاری از ظرفیت نگهداری مواد غذایی توسط بستر کشت است و عبارت است از مجموع کاتیون‌های قابل تبادل که بستر کشت می‌تواند در واحد وزن در خود نگه دارد. در خاک‌های زراعی، ظرفیت تبادل کاتیونی با واحد میلی‌اکی‌والان در ۱۰۰ گرم خاک ($\text{meq}/100\text{ gr}$) بیان می‌شود؛ اما برای محیط کشت‌های بدون خاک، واحد آن میلی‌اکی‌والان در ۱۰۰ سانتیمتر مکعب ($\text{meq}/100\text{ cc}$) است. ظرفیت تبادل کاتیونی در خاک‌های رسی، بسیار بالا و در خاک‌های شنی ناچیز است. ظرفیت تبادل کاتیونی برای یک بستر کشت مناسب، در محدوده ۶-۱۵ ($\text{meq}/100\text{ cc}$) است تا بتواند مواد غذایی را نگه دارد. در صورتی که (CEC) ناچیز باشد، بستر کشت قادر به نگهداری عناصر غذایی داده شده به خاک (کودها) نیست و در اثر آب‌شویی، به سرعت از بستر خارج می‌شود.

جدول ۳۰: pH بسترهای مختلف و آثار آنها بر روی محیط رشد

ترکیبات	pH اولیه	تأثیر روی pH نهایی بستر
رس آهکی	۵-۹	کم
پرلیت	۷-۷/۵	کم
پلی‌استیرن	۷	بی‌اثر
پشم سنگ	۷-۷/۵	کم
شن	متغیر	متوسط
ورمیکولیت	۶-۶/۸	کم
کمپوست پوست درخت	۳/۵-۶/۵	زیاد
پیت خزه هیپتوم	۵-۵/۵	زیاد
پیت هوموس	۵-۷/۵	زیاد
پیت‌ماس جگن باتلاقی	۴-۷/۵	زیاد
پیت خزه اسفاگونوم	۳-۴	زیاد
خاک	متغیر	متوسط

۱۰-۳-۳. شوری خاک (EC)^۱

نمک‌های محلول خاک، حاصل حلالیت نمک‌های معدنی در بستر کشت‌اند و به کلیه عناصر غذایی قابل جذب در خاک نمک‌های محلول گفته می‌شود. وجود نمک‌های محلول زیاد در بستر، سبب شوری خاک و بروز برخی مشکلات، مانند عدم جذب آب می‌شود. هر گیاهی قدرت تحمل (EC) خاصی را دارد. برخی تا (EC) ۳۰۰۰ میکروزیمنس بر سانتیمتر ($\mu\text{S}/\text{cm}$) را تحمل

1. Electric Conductivity

می‌کنند و بعضی حتی قادر به تحمل ۱۵۰۰ میکرو زیمنس بر سانتیمتر نیستند. برای کاهش شوری خاک از روش آبشویی استفاده می‌شود.

جدول ۳۱: مقدار آهک مورد نیاز (تن در هکتار) برای افزایش pH خاک تا ۶/۵ *

pH خاک	لوم شنی	لوم یا لوم لای	لوم رسی
۶	۳	۴/۵	۶
۵/۵	۶	۹	۱۲
۵	۹	۱۲	۱۸
۴/۵	۱۲	۱۵	۲۴
۴	۱۵	۱۸	۳۰

* مقدار آهک فوق برای اصلاح pH خاک تا عمق ۱۵ سانتی‌متر است و اگر لازم باشد که عمق بیشتری از خاک اصلاح شود، باید به همان نسبت نیز، مقدار آهک افزایش یابد.

۱۰-۴. انواع بسترهای کشت گلخانه

انواع مختلف بستر کشت به دو دسته بسترهای کشت آلی و بسترهای کشت معدنی تقسیم می‌شوند. پیت، کوکوپیت، ورمی کمپوست، کود دامی، خاک‌برگ، کمپوست نیشکر و خاک اره از جمله بسترهای کشت آلی، و پرلیت، ورمیکولیت و ماسه نمونه‌هایی از بسترهای کشت معدنی هستند.

۱۰-۴-۱. پیت

پیت نوعی بستر کشت آلی است که برای اکثر گیاهان گلدانی یا بستری مورد استفاده قرار می‌گیرد و شامل بقایای مواد گیاهی است که در نبود اکسیژن، به صورت ناقص تجزیه شده‌اند. طبقه‌بندی پیت‌ها بر اساس مقدار پیت و منشأ آن است. پیت‌ماس (خزه) و پیت اسفاگونوم انواع مختلف پیت هستند. پیت‌ها دارای وزن مخصوص ظاهری کم، ظرفیت نگهداری آب بالا، ظرفیت تبادل کاتیونی بالا و pH اسیدی هستند. از پیت می‌توان به صورت مخلوط با مواد مختلف مانند پرلیت و ورمیکولیت استفاده نمود. مخلوط پیت و پرلیت یکی از کاربردی‌ترین بسترهای کشت است که مورد استفاده گلخانه‌داران قرار می‌گیرد.

۱۰-۴-۲. فیبر نارگیل (کوکوپیت)

در کارخانه‌های فراوری نارگیل، مقدار زیادی فیبر نارگیل تولید می‌شود که پس از کمپوست شدن، خشک و الک شده سپس به صورت فشرده درآمده و حمل می‌شوند؛ در زمان استفاده،

ابتدا آنها را آب‌پاشی نموده و یا در داخل مخزن آب قرار می‌دهند تا آب کافی جذب کرده، باز شوند و به حجم آنها افزوده شود؛ pH این ماده حدود ۷ است و تهویه آن کمتر از پیت است (شکل ۷۸).

۱۰-۴-۳. ورمی‌کمپوست

استفاده از مواد زائد آلی یکی از روش‌های حاصلخیز نمودن خاک است. ورمی‌کمپوست حاصل فعالیت کرم خاکی بر روی مواد زائد آلی است. در فرایند تولید ورمی‌کمپوست، کرم‌های خاکی و موجودات ریز برای تبدیل ضایعات آلی به ماده‌ای تیره‌رنگ و غنی از مواد غذایی استفاده می‌شود. ورمی‌کمپوست در حقیقت شامل فضولات کرم‌های خاکی، مواد آلی که به صورت جزئی تجزیه شده‌اند، کپسول‌های تخم کرم خاکی، کرم‌های کوچک و موجودات ریز است؛ این ماده دارای pH خنثی، ساختمان مناسب و اسفنجی، حاوی جمعیت بالایی از موجودات ذره‌بینی مفید، دارای تهویه مناسب و ظرفیت نگهداری آب بالایی است. سطح ویژه ورمی‌کمپوست بسیار زیاد است و بنابراین قابلیت جذب و نگهداری مواد غذایی آن بالاست. نیترات، فسفر قابل تبادل، پتاسیم، کلسیم و منیزیم موجود در ورمی‌کمپوست، به آسانی توسط ریشه‌های گیاه قابل جذب هستند.

۱۰-۴-۴. کود دامی

اضافه نمودن سالانه کود دامی پوسیده (عموماً کود پوسیده گاوی) به بستر خاک گلخانه، عملی متداول است. کودهای دامی به همراه خود، مقداری بذور علف هرز و عوامل بیماری‌زای خاکری را به گلخانه وارد می‌کنند؛ به همین دلیل ضدعفونی کردن دقیق و کامل بستر خاکی گلخانه بعد از افزودن کود دامی، ضروری است. زمانی که ضدعفونی کردن خاک با استفاده از بخار آب عمومیت یافت، مشکل مسمومیت آمونیم در خاک به وجود آمد که این امر، به علت تجزیه شدن کود دامی در اثر گرمای زیاد در حین عمل ضدعفونی است و به عنوان عاملی محدودکننده در استفاده از کود دامی در گلخانه‌ها محسوب می‌شود.



شکل ۷۸: بستر کشت کوکوپیت



شکل ۷۹: بستر کشت پرلیت



شکل ۸۰: مخلوط بستر کشت کوکوپیت و پرلیت

افزودن کود دامی به بستر خاک گلخانه دارای مزیت‌های زیادی است که به برخی از آنها اشاره می‌شود:

الف- کود دامی دارای ظرفیت تبادل کاتیونی بالایی است و قابلیت نگهداری عناصر غذایی خاک را افزایش می‌دهد؛

ب- کود دامی پوسیده منبع خوبی از مواد غذایی مورد نیاز گیاه است و در نتیجه استفاده از آن، کمبود عناصر کم مصرف بر طرف می‌شود؛ همچنین کود پوسیده دارای مقدار کمی نیتروژن، کلسیم و فسفر است؛

ج- کود دامی پوسیده سبب بهبود ساختمان خاک و دانه‌بندی بهتر ذرات خاک می‌شود و تهویه خاک را افزایش می‌دهد؛

د- کود دامی پوسیده، قدرت نگهداری آب توسط خاک را افزایش می‌دهد.

کود گاوی پوسیده، بهترین نوع کود دامی مورد استفاده در گلخانه است. سایر کودهای دامی، از جمله کود ماکیان، قوی‌تر بوده و باید با احتیاط و در مقادیر کم به کار برده شوند؛ مثلاً کود ماکیان دارای آمونیاک زیادی است و به ریشه و شاخ و برگ گیاه صدمه می‌زند.

۱۰-۴-۵. خاک برگ

خاک‌برگ، از پوسیده شدن موادی مانند برگ درختان، چمن‌های قیچی شده و غیره حاصل می‌شود. این ماده، مواد غذایی چندانی ندارد و تنها به منظور سبک نمودن و افزایش قابلیت نفوذ خاک‌های گلدانی استفاده می‌شود. برای تهیه خاک‌برگ، در فصل پاییز برگ‌های خشک درختانی را، که رگبرگ‌های ضخیم و خشن ندارند (برگ درختان میوه، افرا، نارون و غیره)، در محلی بر روی سطح زمین و یا در یک گودال به صورت یک لایه جمع‌آوری کرده، سپس رطوبت لازم را با آب‌پاشی تأمین می‌کنند و برای تسریع در پوسیده شدن آنها، مقداری کود ازته، مانند اوره نیز، به آن اضافه می‌کنند؛ آنگاه لایه‌های دیگری را بر روی لایه اول ریخته و عمل آبیاری و کوددهی، مجدداً بر روی هر لایه تکرار می‌شود؛ به منظور جلوگیری از ایجاد گرمای بیش از حد در درون توده و نیز هوارسانی به باکتری‌های تجزیه‌کننده، عمل زیر و روکردن توده انجام می‌شود. در شرایط عادی، خاک‌برگ بعد از ۸-۱۲ ماه قابل استفاده است. خاک‌برگ آماده شده را باید الک کرد تا چوب‌ها و قسمت‌های زائد آن جدا شود.

۱۰-۴-۶. سایر مواد آلی

کاه، الیاف نیشکر (باگاس)، پوسته برنج و پوسته بادام زمینی نیز، مواد آلی دیگری هستند که مورد استفاده قرار می‌گیرند؛ اما C/N بالایی دارند و قبل از استفاده باید با افزودن کود ازته و کمپوست نمودن، آنها را آماده استفاده نمود.

۱۰-۴-۷. ماسه

ماسه، از بسترهای کشت معدنی و سنگین است (با چگالی ظاهری ۱/۵ کیلوگرم بر لیتر) و برای تغییر وزن مخصوص ظاهری استفاده می‌شود. ماسه شسته‌شده تأثیری بر روی خواص شیمیایی

بستر کشت ندارد. افزودن ماسه سبب افزایش تهویه و بهبود زهکشی می‌شود؛ ولی مخلوط کردن ماسه با پیت، باعث کاهش تهویه و افزایش نگهداری آب بستر می‌شود. ماسه قابلیت تبادل کاتیونی و ذخیره غذایی ندارد.

۱۰-۴-۸. پرلیت

پرلیت، یک نوع سنگ آتشفشانی (سیلیکات آلومینیم) است که از معدن استخراج و خرد شده و سپس در کوره با دمای ۷۶۰ درجه سانتیگراد حرارت داده می‌شود؛ سنگ حرارت دیده، پف کرده و تشکیل ساختمانی سبک، سفید و بدون منفذ می‌دهد (شکل ۷۹)؛ آب بر روی ذرات یا در منافذ بین ذرات نگهداری می‌شود. پرلیت یک بستر ثابت، سترون، فاقد (CEC) و با pH تقریباً خنثی (۷/۵) است. پرلیت می‌تواند ۳-۴ برابر وزنش آب جذب نماید. بسترهای کشت با نسبت بالاتر از ۲۵٪ پرلیت، تهویه خوبی دارند و مخلوط کردن آن با ماسه، سبب سبک شدن وزن ماسه می‌گردد. پرلیت در برابر تغییرات pH مقاومت نمی‌کند.

۱۰-۴-۹. ورمیکولیت

ورمیکولیت یک نوع سنگ آتشفشانی با فرمول سیلیکات آلومینیم آهن منیزیم است که پس از استخراج و خرد کردن، در کوره با دمای ۱۰۹۰ درجه سانتیگراد حرارت داده می‌شود. بخار شدن آب از داخل ذرات سنگ، سبب ۱۵-۲۰ برابر شدن حجم آن و سترون شدن و ایجاد ساختمانی اسفنجی شکل می‌گردد. ورمیکولیت در اندازه‌های مختلف وجود دارد و دارای (CEC) بالا (۱/۹-۲/۷ meq/۱۰۰cc) و pH بین ۷/۸-۶/۳ و حاوی مقداری عناصر غذایی کلسیم، منیزیم و آهن است. این ماده، قدرت نگهداری آب بالایی دارد (۴۵۰-۶۰۰ سانتیمتر مکعب به ازای هر لیتر)؛ وزن مخصوص ظاهری آن پایین است و چون در حالت مرطوب در اثر فشرده شدن، ساختمان آن خرد شده و از بین می‌رود، بنابراین در هنگام کار با آن باید دقت نمود تا فشرده نشود. ورمیکولیت در برابر تغییرات pH، مقاومت فراوانی از خود نشان می‌دهد. ورمیکولیت‌های باغبانی به چهار دسته تقسیم‌بندی می‌شوند که به ترتیب عبارتند از: قطر ۵-۸ میلیمتر، قطر ۲-۳ میلیمتر (بیشترین مصارف باغبانی)، قطر ۱-۲ میلیمتر و قطر ۷۵/۰-۱ میلیمتر (مناسب برای کشت و جوانه‌زنی بذر).

۱۰-۴-۱۰. پشم سنگ (راک وول)

این ماده از منابع مختلف صخره‌ای تهیه و در دمای ۱۵۰۰ درجه سانتیگراد ذوب می‌شود و پس از سرد شدن به صورت رشته‌هایی در می‌آید (مانند تهیه پشمک از شکر)؛ سپس با اضافه نمودن مواد چسبنده به این رشته‌ها، آنها را به صورت بلوک‌های مکعبی در اندازه‌های مختلف

درمی‌آورند. پشم سنگ‌های باغبانی در اشکال مختلف خرد شده، قرص، مکعبی یا آمیخته با پیت وجود دارد. این ماده دارای تهویه خوب و قابلیت نگهداری رطوبت بالایی است، pH آن کمی قلیایی است و در برابر تغییرات pH، مقاومت خیلی کمی دارد؛ همچنین ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC) آن پایین بوده و عناصر غذایی کمی دارد. پشم سنگ‌های مکعبی شکل، برای تولید خیار، گوجه‌فرنگی، فلفل، ژربرا و گل‌های بریده استفاده می‌شوند.

۱۰-۴-۱۱. مخلوط‌های خاکی آماده کشت

تقریباً هیچ بستر کشتی به تنهایی ایده‌آل نیست و کلیه خصوصیات یک بستر خوب را ندارد؛ بنابراین باید به صورت مخلوط با سایر بسترها مورد استفاده قرار گیرد (شکل ۸۰). گلخانه‌داران می‌توانند یا خودشان بستر کشت مورد نیاز را تهیه کنند و یا به صورت آماده خریداری نمایند. در صورتی که تهیه بستر در گلخانه انجام شود، کلیه ابزارها و تجهیزات باید تمیز و عاری از علف‌های هرز باشند. بستر کشت تهیه شده باید به طور دقیق و کامل ضدعفونی شود. مخلوط کردن بسترهای مختلف، توسط بیل، یا یک دستگاه مخلوط‌کن، انجام می‌شود. بسترهای کشت مختلفی توسط شرکت‌ها یا مؤسسات تحقیقاتی مختلف ارائه شده است، که برخی از آنها در جداول ۳۲ تا ۳۶ ارائه شده است.

جدول ۳۲: مخلوط پیت‌لایت دانشگاه کرنل A

مواد تشکیل‌دهنده بستر	نسبت	* کودهای اضافه شده به بستر	مقدار (kg/m^3)
پیت ماس	۵۰٪	نیتрат پتاسیم	۰/۹
ورمیکولیت	۵۰٪	سوپرفسفات	۰/۶
		آهک خرد شده	۳
		عناصر کم مصرف پوشش دار	۰/۰۷

* این کودها شامل این مقادیر است: $\text{K}=340$ ، $\text{P}=48$ ، $\text{N}=117 \text{ mg/l}$

کود عناصر کم مصرف شامل این مقادیر است: $\text{Fe}=1.8$ ، $\text{Cu}=0.3$ ، $\text{B}=0.3$ ، $\text{Mn}=1.7$ ، $\text{Zn}=0.17$ ، $\text{Mo}=0.02$

جدول ۳۳: مخلوط پیت‌لایت دانشگاه کرنل B

مواد تشکیل‌دهنده بستر	نسبت	کودهای اضافه شده به بستر	مقدار (kg/m^3)
پیت ماس	۵۰٪	نیترات پتاسیم	۰/۹
پرلیت	۵۰٪	سوپرفسفات	۱/۲
		سنگ آهک گرانوله	۳
		عناصر کم مصرف پوشش دار	۰/۰۷

جدول ۳۴: مخلوط بستر برای گیاهان زینتی بدون گل

مواد تشکیل دهنده بستر	نسبت	کودهای اضافه شده به بستر	مقدار (kg/m^3)
پیت ماس	۵۰٪	نیتрат پتاسیم	۰/۶
پرلیت	۲۵٪	سوپرفسفات	۱/۲
ورمیکولیت	۲۵٪	کود ۱۰:۱۰:۱۰	۴/۹
		سنگ آهک دولومیتی	۰/۴
		سولفات آهن	۰/۰۷
		عناصر کم مصرف پوشش دار	۰/۰۷

جدول ۳۵: مخلوط D دانشگاه کالیفرنیا

مواد تشکیل دهنده بستر	نسبت	* کودهای اضافه شده به بستر	مقدار (kg/m^3)
پیت ماس	۷۵٪	نیترات پتاسیم	۰/۱۵
ماسه	۲۵٪	سوپرفسفات	۱/۲
		سولفات پتاسیم	۰/۱۵
		آهک دولومیتی	۳
		کربنات کلسیم	۲/۴

*این کودها شامل مقادیر زیر است: $\text{N}=20 \text{ mg/l}$ ، $\text{P}=95$ ، $\text{K}=123$

جدول ۳۶: مخلوط E دانشگاه کالیفرنیا

مواد تشکیل دهنده بستر	نسبت	کودهای اضافه شده به بستر	مقدار (kg/m^3)
پیت ماس	۱۰۰٪	نیترات پتاسیم	۰/۲
		سوپرفسفات	۰/۶
		سولفات پتاسیم	۰/۱۵
		آهک دولومیتی	۱/۵
		کربنات کلسیم	۳

خلاصه مطالب

- ۱- بسترهای کشت، چهار وظیفه مهم را برای ریشه گیاهان بر عهده دارند که عبارتند از: الف- بستر کشت به عنوان مخزن مواد غذایی، ب- تأمین رطوبت مورد نیاز ریشه، ج- تأمین اکسیژن مورد نیاز ریشه و د- ریشه به عنوان محل استقرار گیاه.
- ۲- برخی از بسترهای کشت قادرند که به تنهایی چهار وظیفه فوق را به صورت نسبی (نه به صورت ایده آل) انجام دهند. خاک شنی دارای تهویه مناسب و استقرار خوبی برای ریشه‌های گیاه است، ولی قابلیت نگهداری رطوبت و تأمین مواد غذایی مورد نیاز گیاه را ندارد؛ در مقابل، خاک سنگین رسی، قابلیت نگهداری رطوبت را برای مدت طولانی دارد و می‌تواند مواد غذایی مورد نیاز گیاه را تأمین نماید و ریشه‌ها نیز در آن از استقرار خوبی برخوردارند، ولی به علت سنگین بودن خاک، میزان تهویه و تبادلات گازی کم است.
- ۳- خصوصیات مطلوب محیط رشد ریشه شامل ثبات مواد آلی در خاک، قابلیت نگهداری رطوبت و میزان تهویه، وزن مخصوص ظاهری و نسبت کربن به نیتروژن مطلوب است.
- ۴- مواد آلی مورد استفاده در گلدان باید به اندازه کافی تجزیه شده باشند و گرنه سبب کاهش حجم گلدان و ریزافت شدن خاک گلدان می‌شوند. وزن مخصوص ظاهری خاک، نشان‌دهنده میزان سبکی، میزان استقرار گیاه در بستر و تهویه خاک است. نسبت کربن به نیتروژن نیز، نشان‌دهنده سرعت تجزیه بستر توسط موجودات ذره‌بینی خاک است که سطح مطلوب آن ۳۰ است.
- ۵- به طور کلی سه عامل در مقدار آب قابل نگهداری توسط بستر و میزان هوای آن دخالت دارند که عبارتند از: الف- نوع بستر کشت (طرز تهیه بستر، نحوه پر کردن گلدان، تراکم بستر)، ب- اندازه ظرف یا گلدانی که گیاه در آن کاشته شده است و ج- روش آبیاری (فواصل مناسب آبیاری، میزان آب در هر بار آبیاری).
- ۶- خصوصیات شیمیایی بستر کشت عبارتند از: pH بستر کشت، ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC) و شوری خاک (EC). pH مطلوب بسترهای کشت خاکی بین ۶/۲ تا ۶/۸ و در کشت‌های بدون خاک بین ۵/۴-۶ است. ظرفیت تبادل کاتیونی، معیاری از ظرفیت نگهداری مواد غذایی توسط بستر کشت است. ظرفیت تبادل کاتیونی مناسب باید در محدوده ۶-۱۵ meq/۱۰۰cc باشد.
- ۷- بسترهای کشت به دو دسته بسترهای کشت آلی و بسترهای کشت معدنی تقسیم می‌شوند. پیت، کوکوپیت، ورمی کمپوست، کود دامی، خاک‌برگ، کمپوست نیشکر و خاک اره، از جمله بسترهای کشت آلی، و پرلیت، ورمیکولیت و ماسه نمونه‌هایی از بسترهای کشت معدنی هستند.

پرسش‌های فصل دهم

- ۱- وظایف مهم بسترهای کشت را بیان کنید.
- ۲- نسبت کربن به نیتروژن چه تأثیری بر روی بستر کشت دارد؟
- ۳- خصوصیات خاک‌های رسی و ماسه‌ای را با یکدیگر مقایسه کنید.
- ۴- بسترهای کشت آلی را نام ببرید و خصوصیات یکی از آنها را بیان کنید.
- ۵- بسترهای کشت معدنی را نام ببرید و خصوصیات یکی از آنها را توضیح دهید.
- ۶- ظرفیت تبادل کاتیونی خاک چیست؟ سطح مطلوب آن در بستر کشت چه مقدار است؟
- ۷- میزان درصد هوا و آب موجود در گلدان به چه عواملی بستگی دارد؟
- ۸- مهم‌ترین عوامل مؤثر را در تنظیم pH محلول بستر کشت نام ببرید.

فصل یازدهم

اصول آبیاری محصولات گلخانه‌ای

هدف‌های رفتاری

پس از مطالعه این فصل از خواننده انتظار می‌رود که:

- ۱- اصول صحیح آبیاری را فرا گیرد.
- ۲- نحوه کار با تانسومتر را بداند.
- ۳- عوامل مهم کیفیت آب و روش‌های اصلاح آنها را بداند.
- ۴- روش‌های مختلف آبیاری محصولات گلخانه‌ای را بداند.

۱۱-۱. اهمیت آبیاری

آبیاری، یکی از مهم‌ترین عملیات‌ها در تولید محصولات گلخانه‌ای است که آب و کود مورد نیاز گیاه را تأمین می‌کند. آبیاری نامناسب در گلخانه غالباً سبب کاهش کیفیت محصول می‌گردد. در روش‌های سنتی، انجام آبیاری کاری ساده اما خسته‌کننده تلقی می‌شود و به همین دلیل، آن را به هر کارگر غیرماهری واگذار می‌کنند. آبیاری در زمان نامناسب و به مقدار نامعین می‌تواند سبب بروز مشکلاتی در گلخانه گردد. آبیاری زیاد باعث رشد علفی گیاه شده و در نتیجه ساقه‌های آن نرم، آبدار و شکننده می‌شوند. پرآبی محیط ریشه، سبب کمبود اکسیژن خاک، کاهش رشد ریشه، پوسیدگی ریشه، عدم جذب آب و مواد غذایی ریشه و در نتیجه باعث پژمرده شدن و توقف رشد گیاه می‌شود؛ آبیاری کم هم سبب کاهش فتوسنتز، پژمردگی برگ‌ها و کاهش رشد گیاه می‌گردد؛ کم‌آبی همچنین باعث توقف رشد، کوتاه شدن طول میان‌گره‌ها، کوچک و بدشکل شدن برگ‌ها، سوختگی حاشیه و ریزش بی‌موقع برگ‌ها در گیاهان حساس می‌شود. بنابراین استفاده از روش‌های جدید آبیاری موجب برطرف شدن مشکلات فوق شده و از نظر اقتصادی هم مقرون به صرفه هستند.

۱۱-۲. اصول آبیاری

در آبیاری گیاهان سه اصل اساسی وجود دارد که باید رعایت شوند:

۱۱-۲-۱. اصل اول: استفاده از بستری با زهکشی مناسب و ظرفیت بالای نگهداری آب

زهکشی نامناسب سبب خیس ماندن دائمی بستر می‌گردد و این ماندابی، موجب بروز مشکلاتی می‌شود که در فصل دهم نیز، به آنها اشاره شد. بستر مورد استفاده باید دارای ظرفیت بالایی برای نگهداری آب باشد؛ درغیراین صورت باید به صورت مکرر و مداوم آبیاری شود که این امر، سبب بالا رفتن هزینه تولید و افزایش مصرف آب می‌گردد.

۱۱-۲-۲. اصل دوم: آبیاری مناسب در هر بار آبیاری

در هر بار آبیاری گیاه یا گلدان، بستر کشت باید به طور کامل مرطوب شود؛ به نحوی که مقداری از آب اضافی از انتهای گلدان خارج شود. اگر آب داده شده به گلدان کمتر از ظرفیت مورد نیاز گلدان باشد، بخشی از خاک گلدان مرطوب شده و بخشی دیگر خشک می‌ماند؛ مثلاً اگر ظرفیت گلدانی ۲۰۰ میلی لیتر آب باشد و ما فقط ۱۰۰ میلی لیتر آب برای آبیاری استفاده نماییم، فقط نصف خاک گلدان مرطوب می‌شود و نصف دیگر آن خشک می‌ماند و در نتیجه، سبب صدمه دیدن ریشه گیاه می‌گردد و گیاه زودتر از زمان مقرر، به آبیاری مجدد نیازمند خواهد شد. نکته

دیگری که باید به آن اشاره کرد این است که آبیاری کم‌کم انجام شود و کل آب مورد نیاز گلدان، یک‌دفعه به گلدان داده نشود؛ زیرا در این حالت آب فقط خلل و فرج درشت خاک را پر می‌کند و فرصت کافی برای وارد شدن به خلل و فرج ریز خاک را پیدا نمی‌کند و به سرعت از انتهای گلدان خارج می‌شود؛ آب باقیمانده در بستر نیز در اثر تبخیر و تعرق به سرعت از دست می‌رود و نیاز به آبیاری مجدد خواهد بود. در صورتی که آبیاری به تدریج انجام شود، آب وارد خلل و فرج ریز خاک شده و برای مدت بیشتری خاک را مرطوب نگه می‌دارد و دور آبیاری طولانی‌تر می‌شود. بهتر است که در هر آبیاری، گلدان به نحوی آبیاری شود که علاوه بر مرطوب شدن کامل بستر، مقداری آب (در حدود ۱۰-۱۵٪) از انتهای گلدان به صورت زهکشی خارج شود تا املاح اضافی را از داخل بستر خارج نماید. بنابراین نتیجه دیگری که می‌توان از این اصل گرفت آن است که اگر گفته می‌شود که گیاه، نیاز آبی بالایی دارد به معنی آن نیست که هر روز یک استکان آب به گیاه دهیم، بلکه به این معنی است که دور آبیاری در این گیاه کم است، ولی در هر آبیاری، گلدان باید به طور کامل آبیاری شود.

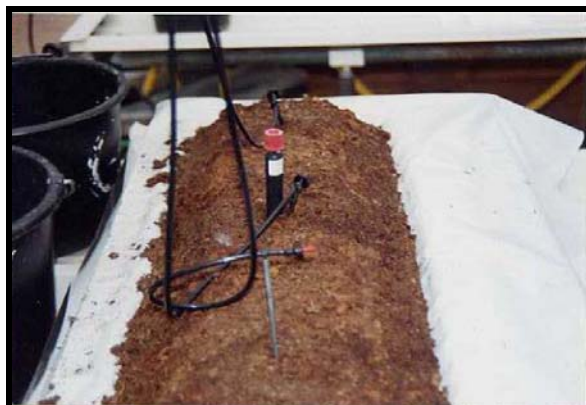
۱۱-۲-۳. اصل سوم: آبیاری در زمان مناسب و پیش از وقوع تنش رطوبتی

اطمینان از فواصل زمانی مناسب بین هر آبیاری و مقدار آب مصرفی در هر آبیاری، از اهمیت زیادی برخوردار است و عوامل متعددی، مانند نوع بستر کشت، تابش خورشید، دوره رشد گیاه، تهویه و نیاز آبی گیاه در آن دخالت دارند. در خاک‌های سنگین، دور آبیاری طولانی‌تر و میزان آب در هر آبیاری، بیشتر از بسترهای کشت سبک است؛ همچنین نیاز آبی گیاه بالغ، بیشتر از گیاهچه‌هایی است که تازه رشد کرده‌اند. در روزهای ابری، میزان تبخیر و تعرق کمتر است و در نتیجه نیاز آبی گیاه در روزهای ابری، کمتر از روزهای گرم و آفتابی است. میزان تعرق و مصرف آب در گلخانه‌هایی که عمل تهویه در آنها به طور مداوم انجام می‌شود (و هوای خشک بیرون، جایگزین هوای مرطوب داخل گلخانه می‌گردد)، بیشتر از گلخانه‌هایی است که تهویه نمی‌شوند. آبیاری هر نوع بستری باید پیش از خشک شدن خاک و رسیدن به نقطه پژمردگی موقت انجام شود. به طور کلی توصیه می‌شود قبل از آنکه ۵۰ درصد رطوبت سهل‌الوصول از خاک خارج شود، آبیاری مجدد شروع شود. در روش سنتی، زمان شروع و پایان آبیاری بر اساس تجربه گلخانه‌دار و با توجه به نوع گیاه و بستر تعیین می‌شود. اما در روش‌های جدید آبیاری، زمان شروع آبیاری به وسیله دستگاه‌های کنترل‌کننده رطوبت خاک مانند تانسومتر انجام می‌شود.

۱۱-۳. تانسومتر و نحوه کار با آن

تانسیومتر، دستگاهی است که میزان پتانسیل ماتریک^۱ رطوبت خاک را تعیین می‌کند. اگر میزان رطوبت خاک بیشتر باشد، ریشه‌ها به راحتی می‌توانند آنها را جذب نمایند و در صورتی که میزان رطوبت (تا حد رطوبت مزرعه) در خاک کاهش یابد، مولکول‌های آب با نیروی بیشتری به ذرات خاک می‌چسبند و ریشه، نیاز به نیروی بیشتری برای جذب این رطوبت دارد. زمانی که رطوبت خاک در حد ظرفیت مزرعه باشد، مولکول‌های آب با نیروی $0/3$ بار، و در نقطه پژمردگی، با نیروی 15 بار به ذرات خاک می‌چسبند. تانسومتر قادر است که مقدار این نیرو (پتانسیل ماتریک) را به صورت فشار مکش نشان دهد: اگر خاک خشک‌تر باشد، فشار مکش آن بیشتر و هر چه مرطوب‌تر باشد، فشار مکش خاک کمتر است و تانسومتر عدد کمتری را نشان می‌دهد (به سمت عدد صفر) و با کاهش رطوبت خاک، عقربه تانسومتر به سمت عدد 100 می‌رود.

تانسیومترها در سه نوع تانسومتر فلزی ثابت، فلزی متحرک و الکترونیکی موجود هستند. تانسومتر فلزی به صورت ثابت در یک نقطه نصب می‌شود، اما چون تانسومترهای متحرک حساس‌تر از تانسومترهای ثابت هستند و سریع عکس‌العمل نشان می‌دهند، بنابراین به صورت متحرک و در نقاط مختلف گلخانه از آنها استفاده می‌شود؛ در تانسومترهای الکترونیکی، که کارایی بالایی در گلخانه‌ها دارند (شکل ۸۱)، به جای خلاءسنج فلزی، از خلاءسنج الکترونیکی استفاده می‌شود؛ خلاءسنج الکترونیکی به یک سیستم کنترل‌کننده مرکزی متصل است که در آن، تمام داده‌های ورودی مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد و بر اساس برنامه‌ریزی قبلی، زمان شروع و پایان آبیاری را مشخص می‌کند. برای تنظیم زمان آبیاری توصیه می‌شود از دو تانسومتر استفاده شود؛ به این صورت که عمق ریشه گیاه به دو قسمت مساوی تقسیم شود و یکی در قسمت فوقانی خاک و دیگری در نیمه تحتانی آن قرار گیرد. اعدادی که توسط تانسومتر قرائت می‌شوند باید با دقت مورد تفسیر قرار گیرد. آبیاری زمانی آغاز شود که 50% رطوبت سهل الوصول (رطوبت بین ظرفیت گلدان و نقطه پژمردگی) از خاک تخلیه شود؛ بنابراین دور آبیاری و مقدار آب در هر آبیاری، بستگی به نوع خاک، مرحله رشد گیاه، آفتابی یا ابری بودن آسمان، تهویه گلخانه، اندازه گیاه و غیره دارد.

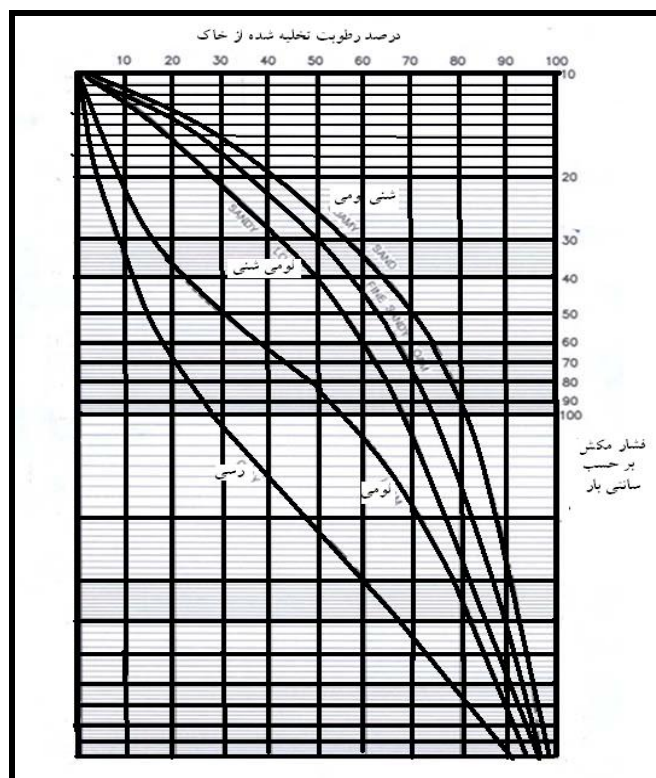


شکل ۸۱: تانسومتر الکترونیکی برای تنظیم زمان آبیاری

- مقایسه دو روش آبیاری (جدول ۳۷) به وسیله تانسومتر (آبیاری خودکار) و روش آبیاری سنتی (با توجه به ظاهر گیاه و خاک) نتایج زیر را نشان می‌دهد:
- ۱- در روش کنترل شده، مدیریت آبیاری دقیق‌تر انجام می‌شود؛ بنابراین نیاز به کارگر کمتری در محیط گلخانه است؛
 - ۲- گیاه و خاک همیشه در حالتی ایده‌آل از نظر رطوبت قرار دارند؛
 - ۳- در روش سنتی، دور آبیاری و مقدار هر آبیاری مساوی در نظر گرفته می‌شود، ولی در روش خودکار، آبیاری زمانی انجام می‌شود که گیاه به آب نیاز داشته باشد؛
 - ۴- کارایی مصرف آب در روش خودکار، بیشتر و میزان آب مصرفی، کمتر از روش سنتی است؛
 - ۵- انجام آبیاری (دور و میزان آبیاری) کاملاً قابل برنامه‌ریزی است.

جدول ۳۷: مقایسه نتایج آبیاری سنتی (تجربی) و آبیاری به وسیله تانسومتر الکترونیکی

شاخص‌ها	آبیاری توسط تانسومتر	آبیاری تجربی
آب مصرفی (گالن در فوت مربع)	۱۷/۹	۲۴/۴
کارایی مصرف آب (%)	۷۵	۳۳
بازده مصرف آب (%)	۸۶	۶۴



شکل ۸۲: نمودار مورد استفاده برای تخمین میزان تخلیه رطوبت خاک با استفاده از تانسومتر

منحنی رطوبتی خاک‌های مختلف در شکل ۸۲ نشان داده شده است. در شکل ۸۲، با توجه به عددی که از روی فشارسنج تانسومتر خوانده می‌شود، می‌توان میزان رطوبت تخلیه شده از خاک را مشخص و پس از انجام یک تناسب ساده، مقدار رطوبت از دست رفته خاک را در آبیاری بعدی به خاک داد؛ مثلاً اگر حداکثر ظرفیت گلدانی بستری با بافت شنی لومی، ۱۰۰۰ سانتیمتر مکعب باشد و تانسومتر عدد ۲۰ سانتی‌بار را نشان دهد، بدین معنی است که ۴۰٪ از رطوبت گلدان (۴۰۰ سانتیمتر مکعب) تخلیه شده است و باید در آبیاری بعدی، ۴۰۰ سانتیمتر مکعب آب به گلدان داده شود.

۴-۱۱. کیفیت آب آبیاری

آگاهی از میزان املاح و مواد شیمیایی آب مورد استفاده در گلخانه بسیار مهم است. در جدول ۳۸، راهنمای کیفیت آب آبیاری ارائه شده است. همان‌طور که در فصل اول درباره تعیین محل

احداث گلخانه گفته شد، کیفیت آب عاملی مهم و تعیین کننده برای محل احداث گلخانه، نوع آبیاری، برنامه کوددهی و نوع محصول است؛ مثلاً اگر آب دارای بر زیاد باشد باید با روش های اصلاحی، میزان بُر را کاهش یا آثار خسارت زای آن را به نحوی کاهش داد. بنابراین لازم است که قبل از احداث گلخانه، کیفیت آب مورد استفاده (چاه، چشمه، قنات، آب لوله کشی شهری) مورد بررسی قرار گیرد. با توجه به کیفیت آب می توان درباره برنامه کوددهی، روش های اصلاحی کیفیت آب و روش آبیاری تصمیم گیری درستی انجام داد تا از بروز مشکلات بعدی جلوگیری شود. درباره اهمیت مدیریت تجزیه آب و تعیین کیفیت آن لازم است به دو نکته توجه شود:

- ۱- اگر آب مورد استفاده دارای سدیم و کلر زیاد باشد، نمی توان آن را برای محلول پاشی روی برگ ها استفاده نمود؛ ولی اگر در بستر کشت خاکی به کار رود، از آثار سمی آن کاسته می شود؛
- ۲- آب هایی که حاوی آهن، کلسیم، منیزیم و بیکربنات زیاد هستند، در صورت محلول پاشی، سبب رسوب این مواد بر روی برگ ها می شود و بنابراین، باید در محیط ریشه مصرف شوند. این مشکل در برخی از گلخانه های استان گیلان وجود دارد که به علت داشتن آهن احیاء شده بالا، موجب رسوب آن بر روی برگ های برخی گیاهان برگ زینتی مانند، دیفن باخیا، آگلونما و سینگونیم می شود که در نتیجه، از زیبایی و بازاری پسندی آن به شدت کاسته می شود.

جدول ۳۸: راهنمای کیفیت آب آبیاری

درجه مشکلات			انواع مشکلات
زیاد	کم	بدون مشکل	
شوری			
>۳	۰/۷۵-۳	<۰/۷۵	EC (mmohs/cm)
>۱۹۲۰	۴۸۰-۱۶۲۰	<۴۸۰	TDS (mg/l)
مربوط به خاک			
>۳۴۵	۷۰-۳۴۵	<۷۰	کلر (mg/l)
۲-۱۰	۱-۲	۱	بور (mg/l)
مربوط به جذب از طریق برگ			
----	>۷۰	<۷۰	سدیم
----	>۱۰۰	<۱۰۰	کلر
متفرقه			
>۸/۵	۱/۵-۸/۵	<۱/۵	بیکربنات (meq/l)

۱۱-۵. تجزیه آب و شاخص‌های آن

۱۱-۵-۱. شوری آب (EC آب)

هر گلخانه‌دار به یک دستگاه (EC) متر (شکل ۸۳)، برای تعیین شوری آب و خاک نیاز دارد. (EC) آب باید به طور متناوب کنترل شود. شوری آب بر اساس واحد دسی‌زیمنس بر متر (ds/m)، میکروزیمنس بر سانتیمتر ($\mu\text{s/cm}$) و میلی موس بر سانتیمتر (mmhos/cm) بیان می‌شود. هر یک دسی‌زیمنس بر متر، برابر با یک میلی‌موس بر سانتیمتر (ds/m=mmhos/cm) است.

در شرایط معمولی، شوری خاک تقریباً $1/5$ برابر شوری آب است. اگر شوری آب ۲ دسی‌زیمنس بر متر (2 ds/m) باشد، مقدار (EC) خاک، حدود 3 ds/m خواهد بود. در گیاهان مقاوم به شوری، حداکثر (EC) باید کمتر از ۴ و در گیاهان زینتی حساس به شوری، کمتر از 2 ds/m باشد. شوری آب به علت وجود مواد جامد محلول (TDS)^۱ است. مجموع نمک‌های محلول در آب را (TDS) می‌نامند. هر ۷۰۰ میلی‌گرم بر لیتر از (TDS)، تقریباً برابر با یک میلی‌موس بر سانتیمتر است؛ بنابراین اگر مجموع کل یون‌های محلول در آب (TDS) برابر 1400 mg/l باشد، شوری آن تقریباً معادل 2 ds/m خواهد بود. با افزایش شوری، مقدار عملکرد کاهش می‌یابد. چون محصولات گلخانه‌ای تحت شرایط کوددهی مستمر رشد می‌کنند، بنابراین شوری آب آبیاری (آب معمولی یا زمانی که کود در آن حل شده) باید کنترل شود. برای برطرف کردن شوری آب می‌توان از روش‌هایی مانند اسمز معکوس (Ro)^۲ یا سیستم یون‌زدایی استفاده نمود.



شکل ۸۳: دستگاه (EC) متر (تصویر پائین) و (pH) متر (تصویر بالا) قابل جابجایی در گلخانه

1. Total dissolved solid
2. Reverse Osmose

روش اسمز معکوس یکی از عمده‌ترین روش‌های تصفیه آب در تولید محصولات گلخانه‌ای است؛ این روش از نظر هزینه نیز مقرون به صرفه است و یک سیستم آن با اندازه متوسط، حدود ۲۰۰۰۰-۶۰۰۰۰ لیتر آب را در روز تصفیه می‌کند. در این سیستم حدود ۹۵-۹۹٪ از کل (TDS) آب تصفیه و جذب می‌شود که برای استفاده در گلخانه مناسب است. در این روش، آب با فشاری معادل ۴۰۰-۱۵۰ psi، از یک غشای نیمه‌تراوا عبور داده می‌شود تا املاح آب در پشت غشاء باقی مانده و با عبور آب از غشاء، املاح آن گرفته شود.

در روش یون‌زدایی، کاتیون‌ها و آنیون‌های آب به وسیله رزین‌ها و براساس تبادل کاتیونی از آب گرفته می‌شود و به جای آنها، یون‌های (H^+) و (OH^-) از رزین^۱ وارد آب می‌شود؛ یون‌های (H^+) و (OH^-) نیز یکدیگر را خنثی کرده و بنابراین pH آب تغییر نمی‌کند. یون‌زدایی، آب بسیار خالصی را تهیه می‌کند که برای آبیاری گلخانه به چنین آبی نیاز نیست.

۱۱-۵-۲. مجموع آنیون‌ها و کاتیون‌های کل

یک تجزیه شیمیایی آب، باید مقدار آنیون‌ها و کاتیون‌های را برحسب میلی‌اکی‌والان بر لیتر (meq/l) نشان دهد. میلی‌اکی‌والان آنیون‌ها و کاتیون‌ها باید باهم مساوی باشد؛ در غیر این صورت نشان‌دهنده آن است که کاتیون‌ها و آنیون‌های موجود در آب، به طور کامل مشخص نشده و یا ممکن است تجزیه آب، اشکال داشته باشد.

۱۱-۵-۳. قلیائیت آب (بیکربنات و کربنات آب آبیاری)

قلیائیت عبارت از غلظت کربنات‌ها و بی‌کربنات‌های محلول در آب آبیاری است و به عنوان درجه ظرفیت آب در خنثی کردن اسید شناخته می‌شود. بیکربنات و کربنات عوامل عمده در قلیائیت آب هستند. به نظر می‌رسد که غلظت بیکربنات، کمتر از ۳ meq/l (۱۸۳ meq/l) مشکل‌زا نباشد. سیستم باف‌ری کربنات‌ها در یک محلول آبی، می‌تواند از تغییرات عمده pH محیط کشت جلوگیری نماید و به دنبال آن، از ایجاد تغییر در میزان مواد غذایی قابل دسترس، که به دلیل تغییر pH ایجاد می‌شود، ممانعت به عمل می‌آورد؛ بنابراین استفاده از آب خیلی خالص برای آبیاری ممکن است منجر به کاهش تدریجی pH محیط شود، بویژه زمانی که از کودهایی با بنیان اسیدی استفاده شده باشد. اگر آب آبیاری دارای غلظت بالایی از کربنات‌ها و بیکربنات‌ها باشد، pH محلول محیط کشت در طول دوره رشد گیاه، به مقدار زیادی افزایش می‌یابد. جدول ۳۹، حداقل و حداکثر قلیائیت پیشنهادی آب آبیاری را در سیستم‌های مختلف کشت نشان می‌دهد.

قلیائیت بالای آب مستقیماً بر روی گیاه تأثیر ندارد، بلکه غلظت بالای بیکربنات آب به صورت غیرمستقیم، مشکلات ثانویه زیر را به وجود می‌آورد:

الف- تجمع یا رسوب مواد بر روی گیاهان در آبیاری بارانی و گرفتگی قطره‌چکان‌ها؛

ب- رسوب عناصر غذایی در کوددهی مایع؛

ج- تحریک کمبود آهن و منگنز.

کربنات‌ها و بیکربنات‌ها در آب آبیاری، با تزریق اسید از بین می‌روند که برای انجام این کار می‌توان از اسیدسولفوریک، اسیدفسفریک و اسیدنیتریک استفاده نمود. مقدار اسید مورد نیاز برای کاهش یک میلی‌اکی‌والان از قلیائیت آب، در جدول ۴۰ ارائه شده است. توصیه می‌شود که به جای اسیدنیتریک و اسیدفسفریک، از اسیدسولفوریک استفاده شود؛ زیرا دارای کاربرد نسبتاً آسان، مطمئن، کم هزینه و در دسترس است. تزریق اسید، سبب تغییر کربنات‌ها و بیکربنات‌ها به دی‌اکسیدکربن محلول می‌شود که آن هم از آب خارج می‌شود. کربنات‌ها و بیکربنات‌ها، جایگزین آنیون‌های اسیدی (SO_4^{2-} , PO_4^{2-} , NO_3^-) می‌شوند. با تزریق اسید، (TDS) آب تغییری نمی‌کند.

جدول ۳۹: محدوده‌های قلیائیت آب آبیاری در سیستم‌های مختلف کشت

محصول/ اندازه ظرف	حداقل قلیائیت پیشنهادی (meq/l)	حداکثر قلیائیت پیشنهادی (meq/l)
نشاها یا گیاهان توبی	۰/۷۵	۱/۳
گلدان‌های کوچک و بسترهای کم عمق	۰/۷۵	۱/۷
گلدان‌های ۱۰-۱۲/۵ Cm و بسترهای عمیق	۰/۷۵	۲/۱
گلدان‌های ۱۵ Cm و گیاهانی با عمر زیاد	۱/۲۵	۲/۶

قلیائیت آب را باید تا حدی که در نهایت pH آب به ۵/۸ برسد، کاهش داد. با افزودن اسید به آب آبیاری، مقداری عناصر غذایی نیز به آب اضافه می‌شود (جدول ۴۰) و در نهایت بعد از ته‌نشین شدن محلول، می‌توان pH آب را اندازه‌گیری کرد؛ مثلاً اگر قلیائیت آب ۳ meq/l است و قرار باشد که قلیائیت آن ۲ واحد کاهش یابد، با توجه به جدول ۴۰، می‌توان دریافت که ۱۴۵ میلی‌لیتر اسیدسولفوریک ۳۵٪ باید به ۱۰۰۰ لیتر آب افزوده شود ($۱۴۵ = ۳ \text{ meq/l} \times ۷۲/۵$). با افزایش ۱۴۵ میلی‌لیتر اسیدسولفوریک به ۱۰۰۰ لیتر آب، مقدار ۰/۹۶ میلی‌گرم گوگرد نیز به آب اضافه می‌شود ($۰/۹۶ \text{ mg/l} = ۱۴۵ \times ۰/۶۶$).

کنترل قلیائیت آب برای جلوگیری از رسوب نمک‌های کودی موجود در تانک ذخیره، مسئله مهمی است. خنثی کردن قلیائیت و کاهش pH، تا حدود ۵/۸ برای آب تانک کود، باید قبل از افزودن نمک‌های کودی انجام گیرد.

جدول ۴۰: کاهش میزان قلیائیت تا حد تقریبی pH = ۵/۸

اسیدهای مورد استفاده	مقدار اسیدی که به ۱۰۰۰ لیتر آب اضافه می‌شود تا قلیائیت آب یک meq/l کاهش یابد *	غلظت عناصری که توسط ۱۰۰ گرم اسید به ۱۰۰۰ لیتر آب اضافه می‌شود **
اسید نیتریک ۶۷٪	۴۳/۸ ml	۰/۹ mg/kg N
اسید فسفریک ۷۵٪	۵۲/۷ ml	۱/۷ mg/kg P
اسید سولفوریک ۳۵٪	۷۲/۵ ml	۰/۶۶ mg/kg S

* اعداد نشان‌دهنده مقدار اسید مورد نیاز برای خنثی کردن ۸۰٪ از قلیائیت آب و کاهش pH آن به ۵/۸ هستند.

** در اثر اضافه نمودن اسید، مقداری مواد غذایی نیز به محلول اضافه می‌شود.

۱۱-۵-۴. آهن و منگنز آب

آهن و منگنز به دو شکل در آب وجود دارند: شکل احیا شده که حلالیت بالایی دارد و اکسید شده که حلالیت آن کمتر است. آب زیرزمینی به علت فقدان اکسیژن کافی، ممکن است حاوی شکل احیا شده آهن (Fe^{++}) و یا منگنز (Mn^{++}) باشد؛ وقتی آب به سطح زمین پمپاژ می‌شود، این دو عنصر اکسید شده و سبب تغییر رنگ آب (قهوه‌ای یا برنزی) می‌شوند و در صورت استفاده، بر روی برگ‌های گیاه رسوب می‌کنند؛ این مشکل را می‌توان با رسوب شکل احیا شده در یک تانک، یا استخر بزرگ، برطرف نمود، اما به زمان زیادی برای رسوب کردن نیاز دارد. صافی ماسه‌ای نیز این مواد را پاک می‌کند.

۱۱-۵-۵. سختی آب

سختی آب به دلیل دارا بودن مقدار زیاد منیزیم و کلسیم است. گیاهان به کلسیم و منیزیم مقاومت زیادی دارند؛ بنابراین آب سخت مستقیماً به گیاه صدمه نمی‌زند. دستگاه کاهنده سختی آب با پتاسیم، می‌تواند پتاسیم را جایگزین کلسیم و منیزیم نماید. از آنجایی که کلسیم و منیزیم آب، با پتاسیم جایگزین می‌شوند، (TDS) کل آب تغییر نمی‌کند. نکته قابل توجه این است که در سیستم‌های کشت بدون خاک، برای تهیه محلول غذایی گیاهان، مقدار کلسیم و منیزیم موجود در آب آبیاری باید محاسبه و از میزان کودهای کلسیمی و منیزیمی کاسته شود.

۱۱-۵-۶. میزان بر و فلوئور آب

بر در اغلب آب‌ها وجود دارد و مقدار کم آن (حدود ۰/۳-۱ mg/l) نیاز گیاه را برطرف می‌سازد، اما مقدار بالاتر از آن، مسمومیت ایجاد می‌کند. اگر میزان بر در آب زیاد باشد، با استفاده از

سیستم اسمز معکوس (RO)، حدود ۷۰-۷۵٪ آن کاهش می‌یابد. افزایش pH تا حد قابل قبول، می‌تواند آثار خسارت‌زای بر (که باعث سوختگی برگ‌ها می‌شود) را کاهش دهد. فلوئور زیاد در آب، سبب گیاه سوزی در برخی از گیاهان حساس می‌شود. در اکثر آب‌ها، غلظت فلوئور کمتر از ۱ mg/l است که مشکلی برای گیاه ایجاد نمی‌کند؛ ولی اگر غلظت آن بیش از ۶۷ mg/l باشد، باعث صدمه به گیاه می‌شود. از آلومینای فعال، یا کربن فعال، برای جذب فلوئور آب استفاده می‌شود. حفظ pH خاک در محدوده ۶-۶/۵، سمیت فلوئور را از بین می‌برد؛ زیرا فلوئور در pH بالا محلول نیست. گیاهانی مانند یوکا، دراسنا، اسپاتی فیلوم و مارانتا از جمله گیاهان حساس به فلوئور هستند.

۱۱-۵-۷. نسبت جذب سدیمی

وضعیت سدیم آب یکی از مهم‌ترین خصوصیات کیفی آب است. اگر غلظت سدیم کمتر از ۳ meq/l (۶۹ mg/l) باشد، آبیاری بارانی اشکالی ندارد، ولی غلظت بیش از این مقدار، سبب صدمه به بافت‌های هوایی گیاه می‌شود.

۱۱-۶. روش‌های آبیاری

۱۱-۶-۱. آبیاری دستی

این روش که ابتدایی‌ترین روش آبیاری به شمار می‌رود، میزان مصرف آب، بیشتر از سایر روش‌های آبیاری است؛ زیرا مقدار زیادی از آب به فضای بین گلدان‌ها ریخته می‌شود و به هدر می‌رود؛ از معایب دیگر این روش می‌توان به، وقت‌گیر بودن و سرعت کند آبیاری، زیاد بودن هزینه کارگری، شسته شدن خاک، پاشیدن گل بر روی شاخساره گیاه و فشردگی خاک به علت فشار آب اشاره کرد؛ پاشیدن گل بر روی شاخساره گیاه نیز به نوبه خود، سبب کثیف شدن سطح برگ‌ها و افزایش احتمال آلودگی به بیماری‌های قارچی می‌شود. از معایب دیگر این روش، احتمال آبیاری بیش از حد، یا کمتر از حد مورد نیاز، در هر بار آبیاری است؛ همچنین ممکن است در بین دو آبیاری، وقفه زیادی بیفتد و گیاهان دچار تنش شوند. به هر حال، آبیاری دستی کاری خسته‌کننده است و به همین دلیل آن را به کارگران غیر ماهر می‌سپارند که ممکن است آبیاری را به نحو مناسب انجام ندهند. از آنجایی که در بیشتر گلخانه‌ها، کود به صورت محلول در آب آبیاری به گیاهان داده می‌شود، در آبیاری به روش دستی، امکان استفاده از کود با مشکلات جدی همراه است (اتلاف کود، عدم توزیع یکنواخت کود و آب‌شویی کود). امروزه فقط در حالت خاص از روش آبیاری دستی استفاده می‌شود؛ مثلاً برای آبیاری سینی بذور و یا بوته‌های خاصی از گلخانه که به آبیاری ویژه، نسبت به سایر بوته‌ها، نیاز دارند. استفاده از سرشیلنگ (برای

شکستن فشار آب) در انتهای شیلنگ آبیاری، سبب کاهش فشار آب شده و از فرسایش و فشردگی خاک جلوگیری می‌کند.

۱۱-۶-۲. آبیاری قطره‌ای

آبیاری قطره‌ای یکی از مناسب‌ترین روش‌های آبیاری برای استفاده از کودهای محلول در گلخانه‌ها و خزانه‌ها است؛ از مزایای این روش می‌توان به افزایش کارایی استفاده از آب و کود، انجام کود آبیاری، توزیع یکنواخت آب از قطره‌چکان‌ها، افزایش سرعت در آبیاری، پخش مستقیم آب در اطراف ریشه و عدم نیاز به کارگر اشاره نمود. چون آبیاری قطره‌ای از بالای سطح خاک صورت می‌گیرد، اگر مدیریت مناسب اعمال نشود، ممکن است منجر به آب‌شویی شده و ۴۰-۵۰ درصد آب مصرفی، از گلدان یا از دسترس ریشه‌های گیاه خارج شود؛ اما در صورتی که حجم آب آبیاری به اندازه ظرفیت نگهداری آب گلدان باشد، آب‌شویی بسیار کم خواهد شد و در نتیجه، سبب صرفه‌جویی در مصرف آب می‌شود.

در این روش، از لوله‌های پلاستیکی و پلی‌وینیل کلراید (PVC) برای توزیع آب استفاده می‌شود؛ به این صورت که از لوله‌های اصلی به قطر ۱۳ میلیمتر، تعدادی لوله فرعی به قطر ۱/۵ میلیمتر (لوله‌های اسپاگتی) در فواصل معین و با اندازه مساوی منشعب می‌شود و آب را به بستر گلدان می‌رساند (شکل ۸۴). گلدان‌های بزرگ شاید به بیش از یک لوله اسپاگتی برای توزیع یکنواخت آب در تمام قسمت‌های گلدان نیاز داشته باشند. از آنجایی که هر گلدان حداقل به یک لوله اسپاگتی نیاز دارد، ممکن است سطح گلخانه پر از این لوله‌ها شود؛ همچنین با کاهش یا افزایش تعداد گلدان‌ها بر روی هر سکو، تعداد لوله‌های قطره‌چکان نیز باید افزایش یا کاهش یابد. نوع دیگر لوله‌های توزیع‌کننده آب، فاقد لوله اسپاگتی است که برای آبیاری بستر کشت بر روی سطح زمین، از آن استفاده می‌شود؛ در این روش، قطره‌چکان‌ها بر روی لوله قرار می‌گیرند (شکل ۸۵)؛ گرفتگی قطره‌چکان‌ها از معایب این سیستم است که گلخانه‌دار باید همیشه آنها را بررسی و به رفع گرفتگی لوله‌ها اقدام نماید.



شکل ۸۴: سیستم آبیاری قطره‌ای با استفاده از لوله‌های اسپاگتی



شکل ۸۵ سیستم آبیاری قطره‌ای با استفاده از لوله‌های پلی اتیلن با قطره‌چکان

در سیستم‌های جدید آبیاری قطره‌ای- که مقدار آب مصرفی به دقت با حسگرهای رطوبت‌سنج و کامپیوتر کنترل می‌شود و اتلاف آب و محلول غذایی به حداقل می‌رسد- سیستم قطره‌ای آبروی صفر نامیده می‌شود؛ در این روش به اندازه‌ای به گلدان آب داده می‌شود که بستر کشت گلدان را سیراب نماید و مانع از اتلاف آب (خروج زه‌آب) شود. این روش با استفاده از میکروتانسیومترهای متصل به کامپیوتر، که در داخل بعضی از گلدان‌ها تعبیه می‌شود، امکان‌پذیر است. با کاهش رطوبت بستر کشت، آبیاری شروع می‌شود و پس از سیراب شدن بستر، آبیاری متوقف می‌شود. موفقیت در این روش به سه عامل بستگی دارد:

۱- سیستم آبیاری خوب با آگاهی کامل از ظرفیت نگهداری آب بستر کشت؛

۲- مدت زمان لازم که بستر کشت به حد ظرفیت زراعی برسد؛

۳- دبی آب خروجی از قطره چکان‌ها.

سیستم قطره‌ای آبروی صفر، سبب افزایش نمک‌های محلول در بستر کشت می‌شود؛ بیشترین مقدار نمک‌ها در لایه بالایی بستر و بعد از آن، در دوسوم قسمت بالایی جمع می‌شود. کلیه سیستم‌های آبیاری، مقدار نمک‌های محلول را در قسمت سطحی بستر کشت افزایش می‌دهند، با این حال، افزایش غلظت نمک در قسمت فوقانی، صدمه‌ای به گیاه نمی‌زند؛ زیرا در این قسمت پراکنش ریشه کم است.

در نوع دیگری از آبیاری قطره‌ای، آبیاری بدون نیاز به جریان برق و فقط در اثر نیروی ثقل، از مخزن وارد قطره‌چکان شده و در اختیار گیاه قرار می‌گیرد و به همین دلیل، به آن آبیاری ثقلی گفته می‌شود؛ این سیستم با آبدی بسیار ملایم (با سرعت ۲۰۰-۵۰۰ میلی لیتر در ساعت)، سبب صرفه‌جویی در مصرف آب می‌شود. شرط موفقیت این روش، قرار گرفتن مخزن آب در ارتفاع بالاست.

۱۱-۶-۳. آبیاری بارانی

در این روش آبیاری، نازل‌های آب باید در ارتفاعی بالاتر از ارتفاع گیاه قرار بگیرند و آب به صورت قطرات باران در هوا پخش شده و یک نازل آب، چندین گیاه را همزمان آبیاری کند. بعضی از این قطرات به سطح زمین می‌رسند و به تدریج در داخل بستر کشت نفوذ می‌کنند و آب اضافی وارد شده به بستر، به صورت زه‌آب از انتهای گلدان خارج می‌شود و بخشی دیگر از قطرات آب نیز، در فضای بین گلدان‌ها، راهروها، بر روی شاخ و برگ و گل‌ها می‌ریزند و به صورت تبخیر به هدر می‌روند. در حقیقت آبیاری بارانی یکی از روش‌های پراتلاف آبیاری است. مساحتی که توسط هر آب‌فشان تحت پوشش قرار دارد، به آسانی قابل تنظیم است. این روش آبیاری در گیاهانی که مقاوم به بیماری هستند استفاده می‌شود.

۱۱-۶-۴. آبیاری مه‌افشانی یا میست^۱

در این روش، آب در اثر فشار زیاد و خروج از نازل‌های ریز به صورت مه درمی‌آید و بر روی سطح برگ و ریشه گیاهان قرار گرفته و سبب آبیاری و تغذیه آنها می‌شود. این سیستم در گلخانه‌های ویژه تکثیر قلمه، به منظور افزایش رطوبت نسبی و کاهش دمای گلخانه مورد استفاده قرار می‌گیرد تا از خشک شدن قلمه‌های فاقد ریشه جلوگیری نماید و سبب افزایش میزان ریشه‌زایی آنها شود؛ همچنین برای تغذیه گیاهانی که ریشه آنها در خارج از بستر و به صورت معلق در هوا قرار دارند (شکل ۸۶)، از روش میست استفاده می‌شود تا محلول غذایی بر روی سطح برگ‌ها و ریشه قرار گیرد و به آن سیستم هواکشت (آئروپونیک)^۲ می‌گویند. در این روش، برای کنترل سیستم آبیاری از دستگاه کنترل‌کننده رطوبت نسبی هوا (هیومیدستات) یا ترموستات استفاده می‌شود. با کاهش رطوبت نسبی محیط، هیومیدستات سبب فعال شدن سیستم آبیاری می‌شود و زمانی که رطوبت نسبی افزایش یافت، سیستم قطع خواهد شد؛ همچنین از برگ الکترونیکی نیز به منظور کنترل آبیاری استفاده می‌گردد. در روش مزبور، قطعه‌ای الکترونیکی در داخل گلخانه نصب می‌شود و تا زمانی که رطوبت کافی بر روی برگ الکترونیکی وجود داشته باشد، سیستم میست غیرفعال است ولی کاهش رطوبت بر روی برگ الکترونیکی، سبب فعال شدن سیستم میست خواهد شد.

1. Mist irrigation

2. Aeroponic



شکل ۸۶: سیستم آبیاری میست برای تغذیه گیاهان در کشت ابروپونیک

۱۱-۶-۵. سیستم‌های آبیاری زیرزمینی^۱

آبیاری زیرزمینی، رساندن آب به ریشه گیاه از قسمت زیر گلدان است. این سیستم‌ها شامل کفپوش اسفنجی، ناودانی و روش جزر و مدی است. در آبیاری زیرزمینی، قسمت زیرین گلدان با آب تماس پیدا می‌کند و خاصیت موینگی، سبب حرکت آب در داخل گلدان می‌شود؛ مهم‌ترین اشکال این نوع سیستم‌های آبیاری، تجمع نمک‌ها در قسمت بالایی گلدان است که در اثر حرکت آب و مواد به سمت بالا و تبخیر آب از سطح گلدان رخ می‌دهد. تجمع نمک در سطح خاک در آبیاری قطره‌ای نیز رخ می‌دهد، ولی در آبیاری زیرزمینی، تجمع نمک شدیدتر است؛ در این حالت باید آبیاری سنگین انجام شود تا نمک‌ها از خاک خارج شوند. اگر آب‌شویی کم باشد، به علت حرکت نمک‌ها از سطح به عمق خاک، خسارت آن شدیدتر خواهد بود.

۱۱-۶-۵-۱. کفپوش اسفنجی

برای آبیاری گلدان‌ها، با قرار دادن گلدان‌ها روی یک کفپوش اسفنجی، می‌توان از خاصیت موینگی استفاده کرد. کفپوش اسفنجی قابلیت نگهداری آب بالایی دارد؛ آب، یا محلول غذایی، به این کفپوش داده می‌شود، سپس از طریق منافذ موینه به داخل گلدان حرکت می‌کند؛ گلدان باید سوراخ داشته باشد تا آب وارد آن شود تا پس از ورود آب به داخل گلدان، رطوبت بستر کشت گلدان با رطوبت کفپوش به تعادل برسد.

شاسی^۲ که کفپوش بر روی آن پهن می‌شود، باید کاملاً مسطح و فاقد شیب باشد؛ در غیر این صورت آب در قسمتی از شاسی که ارتفاع کمتری دارد، بیشتر تجمع می‌یابد و ارتفاع آن بالاتر می‌آید، ولی به بخش بالاتر شاسی، آب کمتری می‌رسد، گلدان‌ها آب کمتری دریافت

1. Subirrigation

2. Bench

می‌کنند و در نتیجه، گلدان‌های بخش بالا و پائین شاسی، به‌طور یکنواخت آبیاری نخواهند شد؛ لبه‌های شاسی معمولاً ۲/۵ سانتیمتر بالاتر از کفپوش ساخته می‌شوند (دیواره ۲/۵ سانتیمتر در اطراف شاسی) تا آب از کفپوش خارج نشود؛ در انتهای شاسی، یک دریچه خروجی آب (زهکش) قرار دارد که در زمان آبیاری بسته است و بعد از پایان آبیاری با باز کردن دریچه زهکش، آب اضافی از کفپوش خارج می‌شود؛ آبیاری کفپوش باید به آرامی انجام شود تا کفپوش به تدریج اشباع شود، ولی وقتی که آب به سرعت داده شود، آب بر روی کفپوش بالا می‌آید و در نهایت به انتهای شاسی (سمت خروجی آب) حرکت می‌کند. یکی از مشکلات استفاده از کفپوش، رشد جلبک بر روی آن و نفوذ ریشه‌ها از گلدان به داخل کفپوش است و به همین دلیل برای رفع این مشکل، یک لایه پلاستیکی بر روی آن قرار می‌گیرد تا از نفوذ نور و ریشه گیاه به داخل کفپوش جلوگیری شود.

۱۱-۶-۵-۲. سیستم جزر و مدی^۱

سیستم جزر و مدی به گونه‌ای طراحی شده است که قسمت پائین گلدان، به مدت ۵-۲۰ دقیقه در داخل آب قرار می‌گیرد؛ در این روش، لبه‌های شاسی، یا بخشی از کف گلخانه، به ارتفاع چند سانتیمتر بالا آمده و در داخل آن نیز، به ارتفاع چند سانتیمتر آب بالا می‌آید (مد) و سپس از داخل شاسی، از طریق زهکش خارج می‌شود (جزر). در حالت مد، قسمت پائین گلدان در داخل آب قرار می‌گیرد و از طریق موینگی وارد بستر کشت داخل گلدان می‌شود و در حالت جزر، آب اضافی از داخل شاسی و گلدان خارج می‌شود. شاسی‌ها باید کاملاً مسطح باشند تا تمامی گلدان‌ها با یک عمق و برای مدت زمان مساوی در آب قرار گیرند. یک دوره آبیاری با غرقاب شدن شاسی شروع می‌شود. مدت این مرحله بستگی به مقدار آب ورودی و اندازه شاسی دارد. بهترین سطح آب زمانی است که تمامی سوراخ‌های زیرزمینی گلدان در آب قرار گرفته‌اند و تا آخر مرحله آبیاری، سطح آب کم نمی‌شود.

۱۱-۶-۵-۳. سیستم آبیاری (NFT)^۲

روش (NFT) نوعی سیستم آبکشت است که بر اساس اصول ساده گردش محلول غذایی در یک کانال باریک، با عبور لایه نازکی از محلول غذایی از روی ریشه‌های گیاه در حال رشد، طراحی شده است تا آب، مواد غذایی و اکسیژن کافی را برای گیاه تأمین نماید. اجزای اصلی سیستم (NFT) به شرح ذیل است:

1. Ebb and flow

2. Nutrient flow technique

کانال‌های آب موازی یکدیگر نصب می‌شوند، که ریشه گیاهان در حال رشد در داخل این کانال قرار می‌گیرند. این کانال‌ها با عرض ۲۵-۳۰ سانتیمتر، طول ۲۰ متر و با شیب ۱-۲ درصد بر روی سکوهایی مستقر می‌شوند؛ با توجه به شیب کانال، محلول غذایی از ابتدای کانال وارد شده و به سمت انتهای کانال حرکت می‌کند؛ سپس نوک ریشه‌های گیاه در داخل محلول غذایی قرار می‌گیرد و جذب آب و عناصر غذایی انجام می‌شود؛ آب خروجی از کانال دوباره جمع‌آوری شده، به مخزن برمی‌گردد و مجدداً مورد استفاده قرار می‌گیرد. محلول غذایی با دبی ۲ لیتر در دقیقه وارد هر کانال می‌شود و عمق محلول غذایی، نباید بیش از یک سانتیمتر باشد. در این سیستم، یک لوله اصلی از مخزن خارج می‌شود و به تعداد کانال‌ها، لوله‌های اسپاگتی (با دبی ۲ لیتر در دقیقه) از آن منشعب می‌شود؛ سطح داخلی کانال باید کاملاً مسطح باشد تا محلول غذایی در داخل آن جمع نشود و آب به راحتی در داخل کانال گردش داشته باشد. از معایب این سیستم، احتمال انتقال عوامل بیماری‌زای ریشه از یک گیاه به سایر گیاهان است؛ بنابراین ضدعفونی کردن محلول غذایی موجود در تانک، ضروری است.

خلاصه مطالب

- ۱- آبیاری یکی از مهم‌ترین عملیات‌ها در تولید محصولات گلخانه‌ای است که آب و کود مورد نیاز گیاه را تأمین می‌کند. آبیاری نامناسب در گلخانه، غالباً سبب کاهش کیفیت محصول می‌شود. آبیاری زیاد باعث رشد علفی گیاه شده و در نتیجه ساقه‌های آن نرم، آبدار و شکننده می‌شوند. پرآبی محیط ریشه، سبب کمبود اکسیژن خاک، کاهش رشد ریشه، پوسیدگی ریشه، عدم جذب آب و مواد غذایی ریشه و در نتیجه موجب پژمرده شدن و توقف رشد گیاه می‌شود. آبیاری کم هم، سبب کاهش فتوسنتز، پژمردگی برگ‌ها و کاهش رشد گیاه می‌گردد.
- ۲- در آبیاری گیاهان سه اصل اساسی باید رعایت شوند: اصل اول، استفاده از بستری با زهکشی مناسب و ظرفیت بالای نگهداری آب است؛ اصل دوم، آبیاری مناسب در هر بار آبیاری است، به نحوی که بستر کشت به طور کامل مرطوب شود و اصل سوم، آبیاری در زمان مناسب و پیش از وقوع تنش رطوبتی است. توصیه می‌شود قبل از آنکه ۵۰ درصد رطوبت سهل‌الوصول از خاک خارج شود، آبیاری مجدد شروع شود.
- ۳- تانسیومتر دستگاهی است که میزان پتانسیل ماتریک رطوبت خاک را تعیین می‌کند. زمانی که رطوبت خاک در حد ظرفیت مزرعه باشد، مولکول‌های آب با نیروی ۰/۳ بار و در نقطه پژمردگی، با نیروی ۱۵ بار به ذرات خاک می‌چسبند. تانسیومتر قادر است که مقدار این نیرو (پتانسیل ماتریک) را به صورت فشار مکش نشان دهد. هر چه خاک خشک‌تر باشد، فشار مکش آن بیشتر و هر چه مرطوب‌تر باشد، فشار مکش خاک کمتر است و تانسیومتر عدد کمتری را نشان می‌دهد (به سمت عدد صفر). با کاهش رطوبت خاک، عقربه تانسیومتر به سمت عدد ۱۰۰ می‌رود و بنابراین با توجه به پتانسیل مکش آب، می‌توان با تانسیومتر زمان شروع و پایان آبیاری را مشخص نمود.
- ۴- کیفیت آب، عاملی مهم و تعیین‌کننده برای محل احداث گلخانه، نوع آبیاری و برنامه کوددهی و نوع محصول است؛ بنابراین لازم است که قبل از احداث گلخانه، کیفیت آب مورد استفاده (چاه، چشمه، قنات، آب لوله‌کشی شهری) مورد بررسی قرار گیرد. با توجه به کیفیت آب، می‌توان درباره برنامه کوددهی، روش‌های اصلاحی کیفیت آب و روش آبیاری تصمیم‌گیری درستی انجام داد تا از بروز مشکلات بعدی جلوگیری شود.
- ۵- در تجزیه آب آبیاری، عوامل زیر باید بررسی شوند: شوری آب (EC آب)، مجموع آنیون‌ها و کاتیون‌های کل، قلیائیت آب (بیکربنات و کربنات آب آبیاری)، غلظت آهن و منگنز آب، سختی آب، میزان بر و فلوئور آب و نسبت جذب سدیمی.
- ۶- شوری آب به علت وجود مواد جامد محلول (TDS) است. با افزایش شوری، مقدار عملکرد کاهش می‌یابد. چون محصولات گلخانه‌ای تحت شرایط کوددهی مستمر رشد می‌کنند،

بنابراین شوری آب آبیاری (آب معمولی یا زمانی که کود در آن حل شده) باید کنترل شود. برای برطرف کردن شوری آب می‌توان از روش‌هایی، مانند اسمز معکوس (Ro) یا سیستم یون‌زدایی استفاده نمود.

۷- قلیائیت آب همان غلظت کربنات‌ها و بی‌کربنات‌های محلول در آب آبیاری است. سیستم بافری کربنات‌ها، در یک محلول آبی می‌تواند از تغییرات عمده pH محیط کشت جلوگیری نماید و به دنبال آن، از ایجاد تغییر در میزان مواد غذایی قابل دسترس، که به دلیل تغییر pH ایجاد می‌شود، ممانعت به عمل آورد. قلیائیت بالای آب مستقیماً بر روی گیاه تأثیر ندارد، بلکه غلظت بالای بیکربنات آب به صورت غیرمستقیم مشکلات ثانویه‌ای، مانند تجمع یا رسوب مواد بر روی گیاهان در آبیاری بارانی و گرفتگی قطره‌چکان‌ها، رسوب عناصر غذایی در کوددهی مایع و تحریک کمبود آهن و منگنز را سبب می‌شود. با افزودن اسید به آب آبیاری، می‌توان قلیائیت آب را تا حدی، که در نهایت pH آب به ۵/۸ برسد، کاهش داد.

۸- سختی آب به خاطر دارا بودن مقدار زیاد منیزیم و کلسیم است. گیاهان به کلسیم و منیزیم مقاومت زیادی دارند؛ بنابراین آب سخت، مستقیماً به گیاه صدمه نمی‌زند.

۹- روش‌های مختلفی برای آبیاری گیاهان گلخانه‌ای وجود دارد که می‌توان آنها را به دو گروه آبیاری از سطح خاک و آبیاری زیرزمینی تقسیم‌بندی کرد. آبیاری سطحی شامل آبیاری دستی، آبیاری قطره‌ای، آبیاری بارانی و آبیاری به روش میست است. آبیاری زیرزمینی، سیستم‌های کف‌پوش اسفنجی، ناودانی، روش جزر و مدی و (NFT) را شامل می‌شود.

۱۰- در آبیاری زیرزمینی، قسمت زیرین گلدان با آب تماس پیدا می‌کند و خاصیت موینگی، سبب حرکت آب در داخل گلدان می‌شود. مهم‌ترین اشکال این نوع سیستم‌های آبیاری، تجمع نمک‌ها در قسمت بالایی گلدان است که در اثر حرکت آب و مواد به سمت بالا و تبخیر آب از سطح گلدان رخ می‌دهد. تجمع نمک در سطح خاک، در آبیاری قطره‌ای نیز رخ می‌دهد ولی در آبیاری زیرزمینی، تجمع نمک شدیدتر است؛ در این حالت باید آبیاری سنگین انجام شود تا نمک‌ها از خاک خارج شوند.

۱۱- در بین سیستم‌های آبیاری سطحی، روش آبیاری دستی و بارانی دارای بیشترین اتلاف آب هستند، اما روش آبیاری قطره‌ای، آب را مستقیماً در اختیار ریشه گیاه قرار می‌دهد. سیستم میست برای گلخانه‌های تکثیر قلمه و نیز برای تغذیه گیاهانی که ریشه آنها به صورت معلق در هوا قرار دارد، مورد استفاده قرار می‌گیرد.

پرسش‌های فصل یازدهم

- ۱- کمبود و بیش‌بود آبیاری چه عوارضی را برای گیاه به دنبال خواهد داشت؟
- ۲- سه اصل اساسی در آبیاری گیاهان گلدانی را توضیح دهید.
- ۳- نحوه کار تانسئومتر را توضیح دهید.
- ۴- مراحل تعیین مقدار آب مصرفی را در هر بار آبیاری با استفاده از تانسئومتر شرح دهید.
- ۵- اگر بافت بستر کشت گلدانی از نوع لوم شنی و ظرفیت گلدانی آن نیز ۴ لیتر باشد و تانسئومتر ۶- فشار ۴۰ سانتی بار را نشان دهد، مقدار آب مورد نیاز برای این گلدان چند لیتر خواهد بود؟
- ۷- مهم‌ترین شاخص‌های کیفیت آب آبیاری را برای محصولات گلخانه‌ای نام ببرید.
- ۸- منظور از قلیائیت آب چیست؟ خاصیت بافری آن را توضیح دهید.
- ۹- قلیائیت بیش از حد آب آبیاری چه مشکلاتی را برای گیاه و سیستم آبیاری ایجاد می‌کند؟ نحوه کاهش قلیائیت خاک را شرح دهید.
- ۱۰- منظور از سختی آب چیست؟ و چه تأثیری در تغذیه گیاهان و کوددهی دارد؟
- ۱۱- انواع روش‌های آبیاری سطحی و زیرزمینی را نام ببرید.
- ۱۲- مزایا و معایب سیستم آبیاری قطره‌ای را توضیح دهید.
- ۱۳- مهم‌ترین اشکال سیستم آبیاری زیرزمینی و نحوه برطرف کردن آن را شرح دهید.
- ۱۴- موارد استفاده از سیستم آبیاری میست را توضیح دهید.

فهرست منابع

- ۱- ایده‌پردازان توسعه مهندسين مشاور. ۱۳۸۵. توانمندی‌های گروه باغبانی (اهمیت، ضرورت و شیوه مطالعات گلخانه‌ای). تهران.
- ۲- برزگر، رحیم. ۱۳۸۴. "ارزیابی گلخانه‌های استان چهارمحال و بختیاری و نحوه مدیریت آنها". در اولین همایش ملی تکنولوژی تولیدات گلخانه‌ای (رشت ۹-۱۰ شهریور ۱۳۸۴). رشت: جهاد دانشگاهی گیلان.
- ۳- برنا، فاطمه. حسندخت، محمدرضا. ۱۳۸۴. "استراتژی‌های مدیریت IPM در تولید گوجه‌فرنگی گلخانه‌ای". در اولین همایش ملی تکنولوژی تولیدات گلخانه‌ای (رشت ۹-۱۰ شهریور ۱۳۸۴). رشت: جهاد دانشگاهی گیلان.
- ۴- بشارت، سینا. ۱۳۸۴. "بهینه سازی مصرف آب در گلخانه جهت مدیریت بهتر و بهبود کیفیت با استفاده از تانسیمتر". در اولین همایش ملی تکنولوژی تولیدات گلخانه‌ای (رشت ۹-۱۰ شهریور ۱۳۸۴). رشت: جهاد دانشگاهی گیلان.
- ۵- پاول، وی نلسون. ۱۳۷۴. مدیریت گلخانه. تهران: انتشارات سازمان پارکها و فضای سبز شهرداری تهران.
- ۶- پیوست، غلامعلی و رحیم برزگر. ۱۳۸۶. پرورش سبزی‌های گلخانه‌ای به روش خاکی و بدون خاک. رشت: انتشارات دانش‌پذیر.
- ۷- تولایی، مجید. ۱۳۸۱. راهنمای کشت خاکی خیار و گوجه‌فرنگی گلخانه‌ای. کرج: نشر آموزش کشاورزی (دفتر خدمات تکنولوژی آموزشی وزارت جهاد کشاورزی).
- ۸- حسندخت، محمدرضا. ۱۳۸۴. مدیریت گلخانه (تکنولوژی تولید محصولات گلخانه‌ای). تهران: انتشارات مرز دانش.
- ۹- حنفی، الف. ۱۳۸۳. دستورالعمل فنی مدیریت متمرکز و قابل پشتیبانی گلخانه. تهران: وزارت جهاد کشاورزی؛ معاونت زراعت.
- ۱۰- خوشخوی، مرتضی (و دیگران). ۱۳۸۵. اصول باغبانی. شیراز: انتشارات دانشگاه شیراز.
- ۱۱- رئوف‌فرد، فاطمه و محمدرضا حسندخت. ۱۳۸۴. "ضدعفونی خاک با نور خورشید". در اولین همایش ملی تکنولوژی تولیدات گلخانه‌ای (رشت ۹-۱۰ شهریور ۱۳۸۴). رشت: جهاد دانشگاهی گیلان.
- ۱۲- رید، دیوید. ۱۳۸۴. تهیه بستر کشت، تغذیه و آبیاری در محصولات گلخانه‌ای. ترجمه جلال طباطبایی و محمد جعفر ملکوتی. تهران: انتشارات سنا.
- ۱۳- زابلتی‌تزه، کریستین وون. ۱۳۸۴. سازه‌های گلخانه‌ای. ترجمه علی محبوب خمami. رشت: انتشارات حق‌شناس.
- ۱۴- صبا، کوشش. کاظم ارزانی و جلال جلیلیان. ۱۳۸۴. "استراتژی کاربرد دی‌اکسید کربن در گلخانه‌های

- تجاری". در اولین همایش ملی تکنولوژی تولیدات گلخانه‌ای (رشت ۱۰-۹ شهریور ۱۳۸۴). رشت: جهاد دانشگاهی گیلان.
- ۱۵- نادی، ماریه و احمد گلچین. ۱۳۸۴. "استفاده از ورمی‌کمپوست به عنوان یک محیط کشت گلدانی و گلخانه‌ای". در اولین همایش ملی تکنولوژی تولیدات گلخانه‌ای (رشت ۱۰-۹ شهریور ۱۳۸۴). رشت: جهاد دانشگاهی گیلان.
- ۱۶- هارتمن، هادسون تی و دیل ای کستر. ۱۳۷۵. گیاه‌افزایی. ترجمه مرتضی خوشخوی. شیراز: انتشارات دانشگاه شیراز.
- 17- Bartok W. John, 2005. Root Zone Heating Systems [online]. University of Massachusetts Amherst. Available from: http://www.umass.edu/umext/floriculture/fact_sheets/greenhouse_management/jb_root_zone_heat.htm. [Accessed 23/09/2007]
- 18- Bartok W. John, Jr. 2005. Greenhouse Ventilation [online]. University of Massachusetts Amherst. Available from: http://www.umass.edu/umext/floriculture/fact_sheets/greenhouse_management/jb_ventilation.htm [Accessed 23/09/2007].
- 19- Blom T.J et al. 2005. Carbon Dioxide In Greenhouses [online]. Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs. Available from: <http://www.omafr.gov.on.ca/english/crops/facts/00-077.htm>. [Accessed 23/09/2007].
- 20- Elsner, B.V. et al. 2000. Review of Structural and Functional Characteristics of Greenhouse in European Union Countries, Part 2: Typical Designs. Agric. Engng Res. (2000) 75, 111-126.
- 21- Faust E. James. First Research Report: Light Management in Greenhouses II. Plant Growth Responses to Daily Light Integrals. Available from: <http://www.specmeters.com/pdf/articles/A052.pdf>.
- 22- Fisher, paul and Caroline Donnelly. 2001. Evaluation supplemental light for greenhouse. Dept of plant biology. University of New Hampshire cooperative extension.
- 23- Giacomelli, G. A and W. J. Roberts, 1993. Greenhouse covering systems. ASHS Hort Technology journal. January
- 24- Giacomelli, G.A. 2002. Considerations for Energy management of Greenhouse Heating and Cooling, Southern Greenhouse Vegetable Association Conference Shreveport. July 19-20 . 2002.
- 25- Thayer H. Roger, Eco Enterprises. 2007. Carbon Dioxide Enrichment Methods [online]. Available from: http://www.hydrofarm.com/articles/co2_enrichment.php. [Accessed 12/12/2006].