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

دستنامه فنی:

شناخت و شرایط کاربرد پوشش‌های گلخانه‌ای

فرزاد آزادشهرکی، جلال جوادی‌مقدم و قاسم زارعی

سال انتشار: ۱۴۰۰

AERI

آدرس: کرج، بلوار شهید فهمیده، صندوق پستی: ۸۴۵ -۳۱۵۸۵، مؤسسه تحقیقات فنی ومهندسی کشاورزی
تلفن: ۳۲۷۰۵۳۲۰، ۳۲۷۰۵۲۴۲ و ۳۶۱۵۰۰۰۰(۰۲۶)
دورنگار: ۳۲۷۰۶۲۷۷ (۰۲۶)، پایگاه اطلاعاتی موسسه: www.aeri.ir

بسم الله الرحمن الرحیم

مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی

دستنامه فنی:
شناخت و شرایط کاربرد پوشش‌های گلخانه‌ای

تهیه و تدوین:
فرزاد آزادشهرکی، جلال جوادی‌مقدم و قاسم زارعی

اعضای هیئت علمی مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی

سال انتشار:
۱۴۰۰

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

نوع نوشتار: دستنامه فنی
عنوان نوشتار: شناخت و شرایط کاربرد پوشش‌های گلخانه‌ای
نگارنده: فرزاد آزادشهرکی، جلال جوادی‌مقدم و قاسم زارعی
ویراستار ادبی: فؤاد تاجیک
صفحه‌آرا: سمیه وطن دوست
ناشر: مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی
شمارگان: محدود
نوبت چاپ: اول
سال انتشار: ۱۴۰۰

مسئولیت صحت مطالب با نگارنده است.

شماره ثبت ۵۹۸۰۳ در مرکز فناوری اطلاعات و اطلاع‌رسانی کشاورزی
سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی به تاریخ ۱۴۰۰/۰۴/۰۵

مخاطبان نشریه:

شـرکت‌های گلخانه‌سـاز، گلخانه‌داران، تولیدکنندگان پوشـش‌های گلخانه‌ای، ناظران فنی گلخانه و کارشناسان فنی تولید در گلخانه

اهداف آموزشی:

شما خوانندگان گرامی در این نشریه با:

- اهمیت پوشش در گلخانه
- انواع پوشش‌های گلخانه‌ای
- ویژگی‌های فنی انواع پوشش‌های گلخانه‌ای
- نگهداری پوشش‌های گلخانه‌ای

آشنا خواهید شد.

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
مقدمه	۱
اهمیت و کارکردهای پوشش گلخانه	۲
– انتقال دادن نور مرئی و اهمیت آن	۲
– انتقال ندادن طول موج‌های بلند فروسرخ	۱۷
– چکه نکردن قطره‌های بخار آب سرد شده در زیر پوشش	۱۹
– طول عمر مناسب، پایداری در برابر تابش فرابنفش و کاهش ندادن گذر نور با گذشت زمان	۲۰
– تلفات گرمایی کم	۲۳
– پایداری در برابر عوامل محیطی (باد، برف و تگرگ) و نفوذناپذیری نسبت به بخار آب	۲۵
انواع و ویژگی‌های پوشش‌های گلخانه‌ای	۳۰
– شیشه	۳۰
– پلی‌اتیلن (PE)	۳۵
– پوشش‌های پلاستیکی دولایه با هوای فشرده	۴۱
– پلی‌وینیل فلوراید (PVF)	۴۵
– کوپلیمر اتیلن وینیل استات (EVA, PEVA)	۴۸
– پلی‌کربنات (PC)	۵۰
– اکریلیک (پلی‌متیل متاکریلات، PMMA)	۵۴
– فایبرگلاس (پلیمرهای تقویت شده با شیشه، GRP یا GFRP)	۵۷
توصیه‌های کاربردی برای افزایش طول عمر پوشش‌های نرم	۵۹
پسماند پوشش‌های گلخانه‌ای و مسائل محیط‌زیستی	۶۴
خلاصه و جمع بندی	۶۶
منابع	۶۹

مقدمه

شرایط آب و هوایی نامناسب در تمام یا قسمتی از سال، رشد محصولات کشاورزی را محدود می‌کند. برای غلبه بر این محدودیت ها، کنترل شرایط محیطی گیاهان کشت شده ضروری است. عوامل محیطی که می‌توان با کنترل آن‌ها رشد گیاه را به نحو دلخواه تغییر داد عبارتند از: شدت، کیفیت و طول مدت تابش نور؛ درجه حرارت هوا، عناصر غذایی، آب، رطوبت نسبی هوا، ترکیب هوا (درصد گازهای مختلف مانند کربن دی‌اکسید)، و آفت ها و بیماری‌های گیاهی. محدودیت در یک یا چند عامل یاد شده، می‌تواند به محدودیت رشد و نمو گیاه منجر شود. با تنظیم شرایط محیطی رشد و نمو گیاه، افزون بر افزایش تولید در واحد سطح و کیفیت محصول، زمان تولید و عرضه محصول به بازار تنظیم می‌شود. همچنین، در تمام طول سال، محصول تازه فصل یا محصول پیش‌رس را می توان روانه بازار کرد (کرمی و قاسمی قهساره، ۱۳۸۷).

گلخانه به‌عنوان متداول‌ترین محیط کنترل شده که امکان بیشترین تنظیم شرایط محیطی را فراهم می‌کند، به‌دلیل صرفه‌جویی در مصرف آب و کاهش تبخیر و تعرق و تولید بیشتر در واحد سطح، می‌تواند بهره‌وری استفاده از آب را افزایش دهد. در احداث گلخانه، عواملی از جمله محل احداث، نوع سازه و اندازه آن، طرح و جهت گلخانه، نوع پوشش و سایر عوامل تأثیرگذار بر شرایط و عوامل محیطی، باید در نظر گرفته شود (جوادی‌مقدم و همکاران، ۱۳۹۹). به دلیل اهمیت پوشش‌ها در کنترل عوامل محیطی در گلخانه‌ها، تنوع زیاد آن‌ها و نیز تفاوت شرایط کاربرد پوشش‌ها؛ در این نوشتار، انواع، ویژگی‌های فیزیکی، مزایا، معایب و شرایط استفاده پوشش های گلخانه، بررسی شده است.

اهمیت و کارکردهای پوشش گلخانه

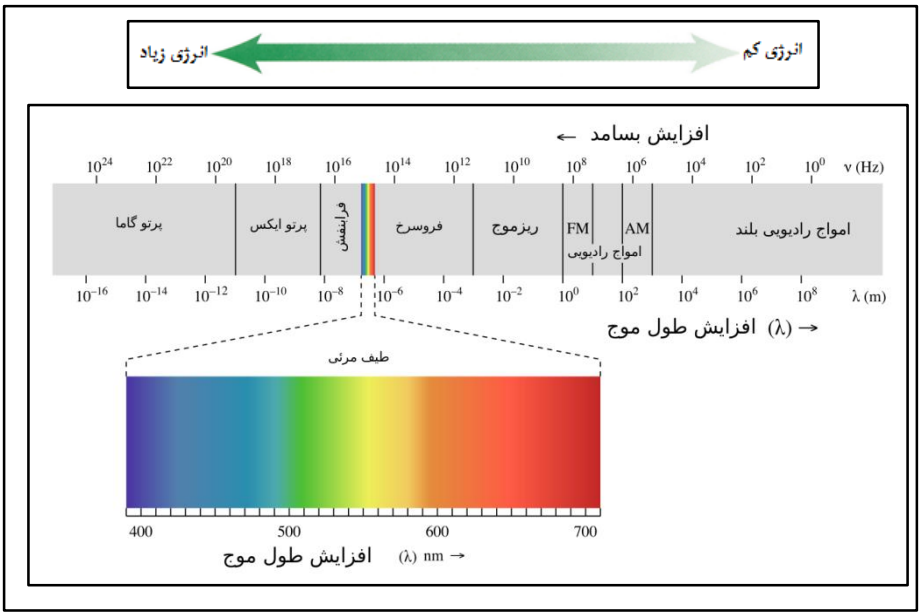
پوشش مناسب، از الزامات یک گلخانه است که در همان آغاز طراحی گلخانه باید به آن توجه شود. به دلیل اهمیت نور در رشد و نمو گیاهان، عبور پذیری بالای نور در گلخانه و انتخاب پوشش مناسب، بسیار مهم است. در پوشش‌های گلخانه، قابلیت انتقال نور مفید برای رشد و نمو گیاه اهمیت زیادی داردکه تابعی از سایر ویژگی‌های پوشش یا مدت زمان استفاده از آن است. پوشش های مختلف گلخانه از نظر دامنه عبور طیف نوری متفاوت است و متناسب با اهداف و نواحی اقلیمی گوناگون، استفاده می‌شود. در انتخاب نوع پوشش، افزون بر قابلیت انتقال نور مرئی، باید ویژگی‌هایی چون عبور ندادن طول موج‌های بلند فروسرخ[1]، چکه نکردن قطرات بخار آب سرد شده در زیر پوشش، طول عمر مناسب، پایداری در برابر تابش فرابنفش[2]،کاهش نیافتن انتقال نور در اثر گذشت زمان، تلفات گرمایی کم، پایداری در برابر عوامل محیطی باد، تگرگ و برف، و هزینه استفاده از پوشش را در نظر گرفت (کرمی و قاسمی قهساره، ۱۳۸۷؛ برزگر و یادگاری، ۱۳۸۹).

- انتقال دادن نور مرئی و اهمیت آن

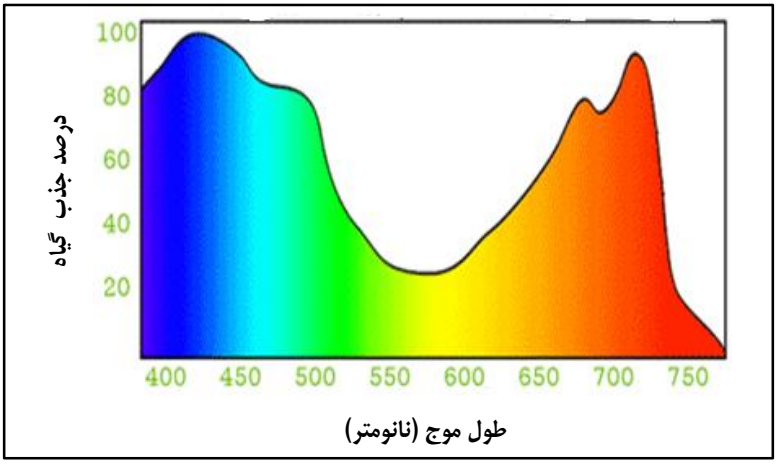
نور مرئی دامنه‌ای از امواج الکترومغناطیس است که با چشم غیرمسلح دیده می‌شود (شکل ۱) و شامل طول موج ۳۸۰ تا ۷۸۰ نانومتر (در بین دو نور نامرئی فرابنفش و فروسرخ) است(جوانبخت و نوروزی، ۱۳۸۶). محدوده ۴۰۰ تا ۷۰۰ نانومتر طیف نوری، تشعشع فعال فتوسنتزی[3] (PAR) نام دارد (شکل ۲).

1- Infrared
2- Ultraviolet
3- Photosynthetic Active Radiation

همچنین، هرچه طول موج طیف‌های نوری کمتر می‌شود، فرکانس (تواتر) و سطح انرژی آنها افزایش می‌یابد (شکل ۱). همان طور که در شکل ۲ دیده می شود، بخش آبی (۴۰۰–۵۰۰ نانومتر) و بخش قرمز (۶۰۰–۶۹۰ نانومتر) تشعشع فعال فتوسنتزی، بیشترین مقدار درصد جذب گیاه و بیشترین تأثیر را در فتوسنتز گیاه دارد (احمدی و جباری ۱۳۸۸).



شکل ۱- امواج الکترومغناطیس و دامنه طول موجی آن‌ها



شکل ۲- منحنی پاسخ فتوسنتز گیاه و مقدار جذب طول موج‌های مختلف در دامنه تشعشع فعال فتوسنتزی

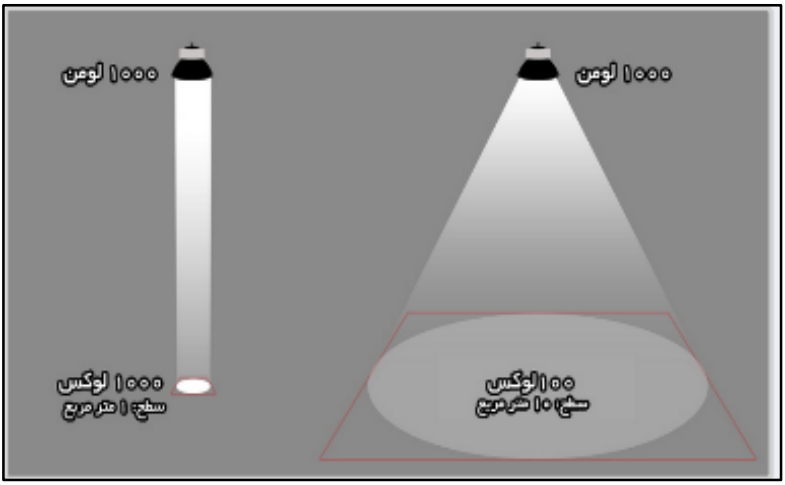
واحد اندازه‌گیری شدت روشنایی نور ساطع شده از یک منبع نور، لومن است و مقدار نور خروجی کل را توصیف می‌کند. برای سنجش شدت روشنایی نوری که بوسیله چشم انسان درک می‌شود از واحد لوکس[1] (lx) استفاده می‌شود. یک لوکس، معادل یک لومن نور است که به سطحی برابر یک مترمربع تابیده شود. برای مثال، اگر یک منبع نور با شدت روشنایی ۱۰۰۰ لومن به سطحی برابر یک مترمربع تابانده شود، شدت روشنایی ۱۰۰۰ لوکس و در صورت تاباندن همین منبع نور به سطحی برابر ۱۰ مترمربع، شدت نور ۱۰۰ لوکس خواهد بود (شکل ۳) (کرمی و قاسمی قهساره، ۱۳۸۷). برای اندازه‌گیری شدت نور مرئی معمولاً از لوکس‌متر استفاده می‌شود (شکل ۴) (جوانبخت و همکاران، ۱۳۸۶). لوکس واحد اصلی اندازه‌گیری شدت روشنایی است که به صورت شار نوری بر واحد سطح

1- Lux

بیان می‌شود و معادل وات بر مترمربع در سنجش سایر امواج الکترومغناطیس است. یک لوکس، شدت روشنایی است که سطح یک مترمربعی از یک شمع استاندارد در فاصله یک متری دریافت می‌کند. واحد دیگر شدت روشنایی، فوت کندل[1] است. یک فوت کندل شدت روشنایی است که سطح یک فوت‌مربعی از یک شمع استاندارد در فاصله یک فوتی، دریافت می‌کند. هر فوت کندل تقریباً برابر ۱۰/۷۴۶ لوکس است. برای درک بهتر شدت نور، می‌توان به اعداد تقریبی زیر توجه کرد (شمس‌کیا و کرمی، ۱۳۹۲):

- شدت روشنایی نور در یک روز آفتابی و گرم تابستان، تقریباً به ۱۵۰۰۰۰ لوکس می‌رسد.
- شدت روشنایی در تابستان، تقریباً به ۱۰۰۰۰۰ لوکس می‌رسد.
- شدت روشنایی در زمستان، تقریباً به ۱۰۰۰۰ لوکس می‌رسد.
- شدت روشنایی در دفتر کار، تقریباً به ۳۰۰ تا ۵۰۰ لوکس می‌رسد.
- شدت روشنایی نور در یک شب مهتابی، تقریباً به ۷ تا ۱۵ لوکس می‌رسد.

1- Foot Candel



شکل ۳- نحوهٔ تبدیل واحدهای اندازه‌گیری شدت نور لومن به لوکس

شکل ٤- لوکس‌متر برای اندازه‌گیری شدت نور

انرژی موجود در نور، توسط ذرات رنگی گیاه (رنگ‌دانه)[1] جذب می‌شود. انرژی نورانی جذب شده رنگ‌دانه‌ها یا به صورت حرارت ناپدید می‌شود یا به صورت نور دوباره ساطع می‌شود و یا در یک واکنش فتوشیمیایی[2]، مورد استفاده قرار می‌گیرد. آغاز و انجام تمام فرایندهای فیزیولوژیکی در گیاهان درحضور نور است. اثر شدت نور بر گیاهان به شرح زیر است (شمس‌کیا و کرمی، ۱۳۹۲):

شدت نور بالا:

- صدمه دیدن کلروپلاست‌های برگ
- کاهش فتوسنتز
- تولید گیاهانی با ساقه قطور و میان‌گره‌های کوتاه
- زبر شدن برگ‌های گیاه
- افزایش تعرق گیاه

شدت نور کم:

- کاهش فتوسنتز و سرعت رشد
- ایجاد رقابت بین اندام‌های گیاه بر سر جذب مواد غذایی و در نتیجه، ریزش گل و میوه درگیاهانی مانند گوجه‌فرنگی و خیار
- تولید گیاهانی ضعیف
- افزایش طول میان‌گره‌ها
- باریک شدن ساقه
- نازک شدن برگ‌ها

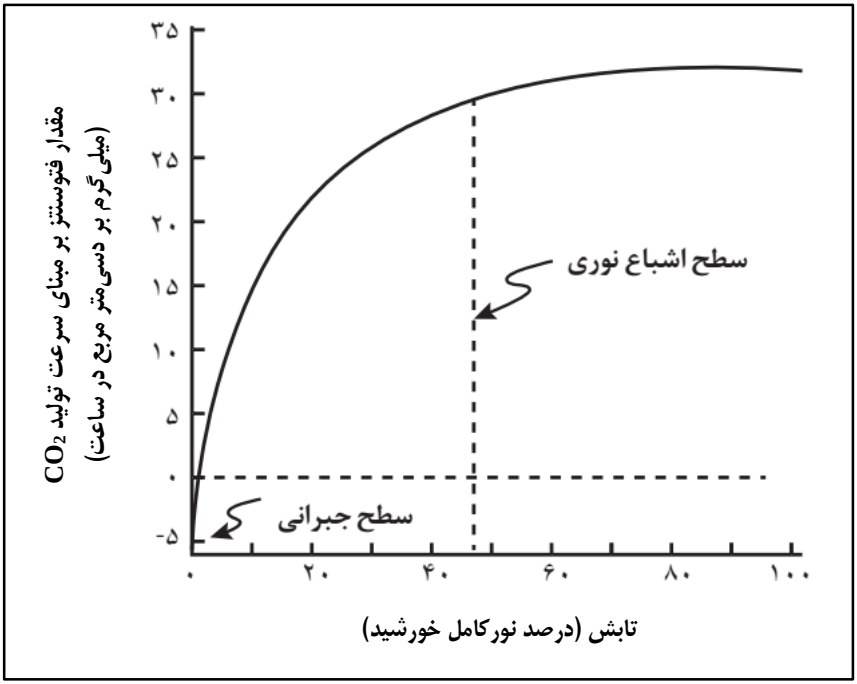
1- Pigment
2- Photochemical Reactions

- کاهش کیفیت محصول
- افزایش شیوع بیماری‌ها
- طولانی شدن دوره رشد و افزایش هزینه تولید

به‌طور کلی، شدت فتوسنتز با افزایش شدت نور، تا حدی که همه رنگ‌دانه‌ها مورد استفاده قرار گیرد، زیاد می‌شود؛ ولی رنگ‌دانه‌ها توانایی جذب مقدار معینی از نور دارند و هنگامی‌که نتوانند نور بیشتری جذب کنند، فتوسنتز به بیشترین مقدار خود می‌رسد. در شدت کم نور، رابطه ای خطی بین شدت نور و سرعت فتوسنتز (در تک برگ) وجود دارد. شدت نوری که در آن، مقدار فتوسنتز (CO_2 جذب شده) با مقدار تنفس (CO_2 تولید شده) برابر باشد، نقطه جبران نوری نام دارد. در شدت نور پایین‌تر از نقطه جبرانی، مقدار تنفس از فتوسنتز بیشتر می‌شود و گیاه با گرسنگی روبرو خواهد شد. با افزایش شدت نور، میزان فتوسنتز به‌صورت خطی افزایش می‌یابد ولی در نهایت، با افزایش بیشتر شدت نور، فتوسنتز دیگر افزایش نمی‌یابد (شکل ۵). به این نقطه، سطح اشباع نوری گفته می‌شود (احمدی و همکاران، ۱۳۸۸).

در شدت نور حدود ۳۲۰۰۰ لوکس، برگ‌های بیشتر گیاهان به اشباع نوری می‌رسند. حداقل و حداکثر شدت نور مورد نیاز در گونه‌های مختلف گیاهی، متفاوت است. نیاز نوری گل‌های شاخه بریده گلخانه‌ای و سبزی‌های گلخانه‌ای چنین است (احمدی و همکاران ۱۳۸۸؛ شمس‌کیا و کرمی، ۱۳۹۲):

۱. کیفیت نور ضعیف: بین ۸۶۰۰ تا ۲۸۰۰۰ لوکس
۲. کیفیت نور متوسط: بین ۲۸۰۰۰ تا ۳۶۵۰۰ لوکس
۳. کیفیت نور عالی: بین ۴۵۰۰۰ تا ۵۸۰۰۰ لوکس



شکل ۵- نمودار تغییرات مقدار فتوسنتز گیاه بر اثر تغییرات شدت نور

به طور کلی، عوامل مؤثر بر شدت نور رسیده به اندام‌های هوائی گیاهان در گلخانه‌ها عبارتند از:

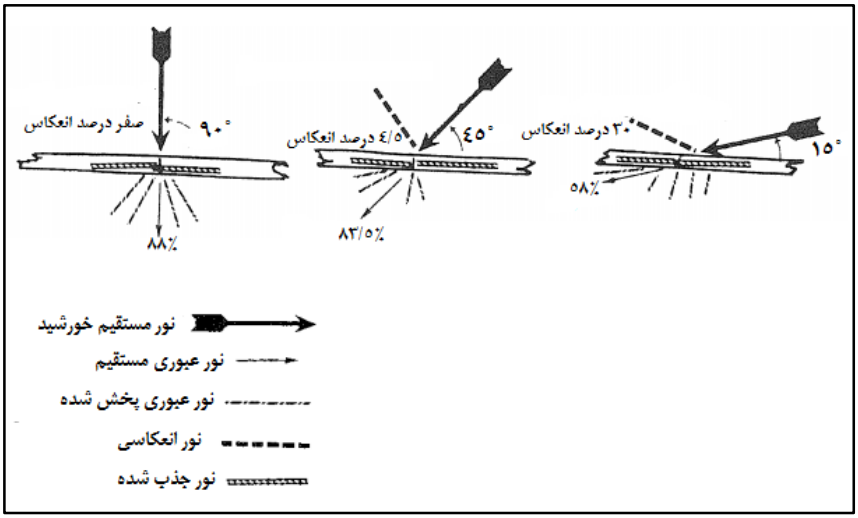
۱- عرض جغرافیایی منطقه،
۲- ارتفاع از سطح دریا،
۳- فصل سال،
۴- درصد ابرناکی آسمان،
۵- تراکم کشت گیاه،
۶- نوع سازه و جهت احداث آن و

۷- نوع پوشش انتخاب شده برای گلخانه (هانان، ۱۹۹۷).

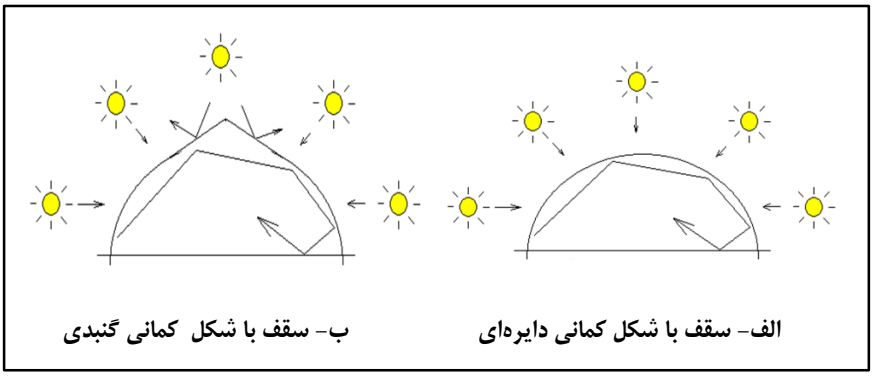
مقدار نفوذ نور از پوشش به داخل گلخانه، به موقعیت خورشید و زاویه برخورد نور با پوشش (عرض جغرافیائی، فصل و ماه سال و شکل و شیب سقف)، جهت احداث گلخانه، نوع پوشش گلخانه، تمیز بودن پوشش، اجزای سازه‌ای سقف گلخانه، و میعان بخار آب داخل پوشش گلخانه بستگی دارد. در شکل‌های ۶ تا ۸ به‌ترتیب تأثیر زاویه تابش، شکل سقف (سطح مقطع گلخانه) و شیب سقف بر میزان عبور نور از گلخانه و در شکل‌های ۹ و ۱۰ به ترتیب تأثیر فصل سال بر میزان تابش خورشیدی به یک منطقه و اثر جهت احداث گلخانه بر میزان نورگیری آن نشان داده شده است. در شکل ۶، اثر زاویه تابش نسبت به سطح پوشش بر میزان گذر نور به داخل گلخانه، دیده می شود. بیشترین گذر نور با زاویه تابش قائم (۹۰ درجه) واقع می شود و با کم شدن زاویه تابش، میزان گذر نور از پوشش، کم می‌شود. در شکل ۷، میزان گذر نور در نقاط مختلف سقف در گلخانه با سقف کمانی[1] در طول روز، یکنواخت‌تر از گذر نور از گلخانه‌ای با سقف گنبدی[2] است. در شکل ۸، مشاهده می‌شود با نزدیک‌تر شدن زاویه بین تابش خورشید و سقف گلخانه به ۹۰ درجه، مقدار گذر نور بیشتر و مقدار انعکاس نور، کم‌تر شده است. در شکل ۹، مشاهده می‌شودکه در زمستان، ساعت و زاویه تابش کمتر است و منجر به نورگیری کمتر در داخل گلخانه‌ها می‌شود و در فصل تابستان، این روند معکوس است. شکل ۱۰، نشان می‌دهد که در نیمکره شمالی و در عرض‌های جغرافیائی صفر تا ۴۰ درجه، احداث گلخانه به‌صورت شمالی- جنوبی باعث نورگیری بیشتر و یکنواخت‌تر گلخانه در فصل زمستان می-شود.

1- Arch
2- Qutic

بخشی از نور خورشید توسط پوشش گلخانه جذب یا منعکس می‌شود که در صورت کثیف بودن پوشش، وجود گرد و غبار روی پوشش، تراکم قطرات آب روی پوشش، کدر شدن پوشش در اثر گذشت زمان و سایه‌اندازی سازه روی پوشش، تشدید می‌شود (هانان، ۱۹۹۷؛ برزگر و یادگاری، ۱۳۸۹).

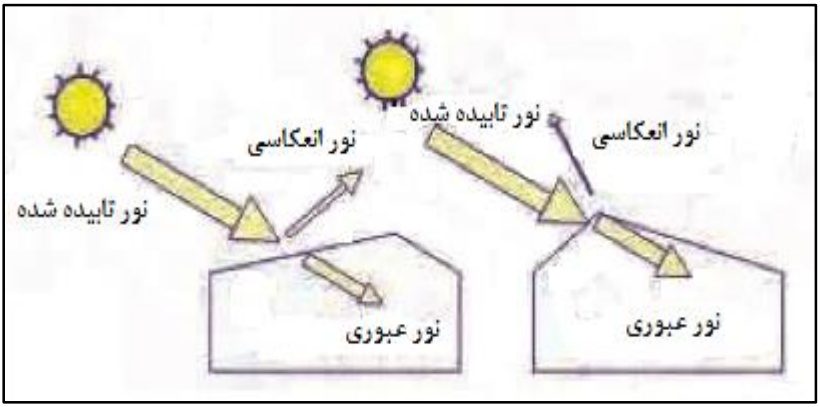


شکل ٦- اثر زاویه تابش بر مقدار گذر نور از پوشش گلخانه

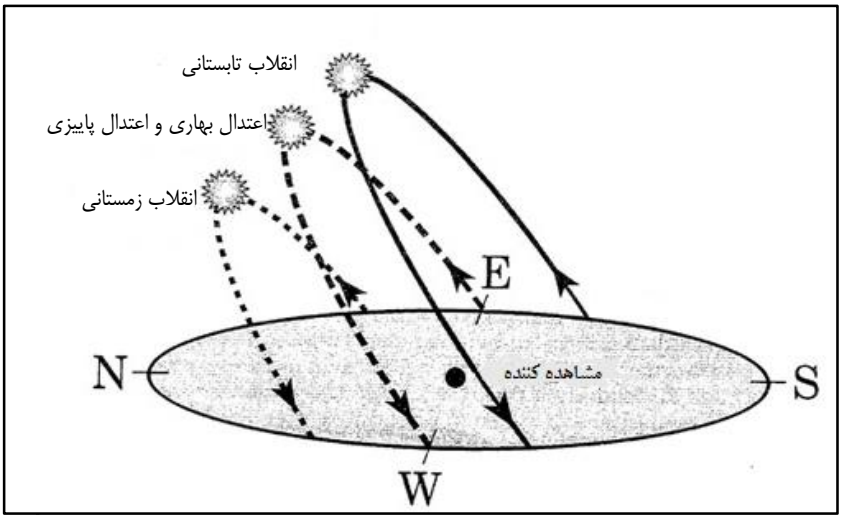


الف- سقف با شکل کمانی دایره‌ای ب- سقف با شکل کمانی گنبدی

شکل ۷- اثر شکل سقف (سطح مقطع گلخانه) بر میزان گذر نور

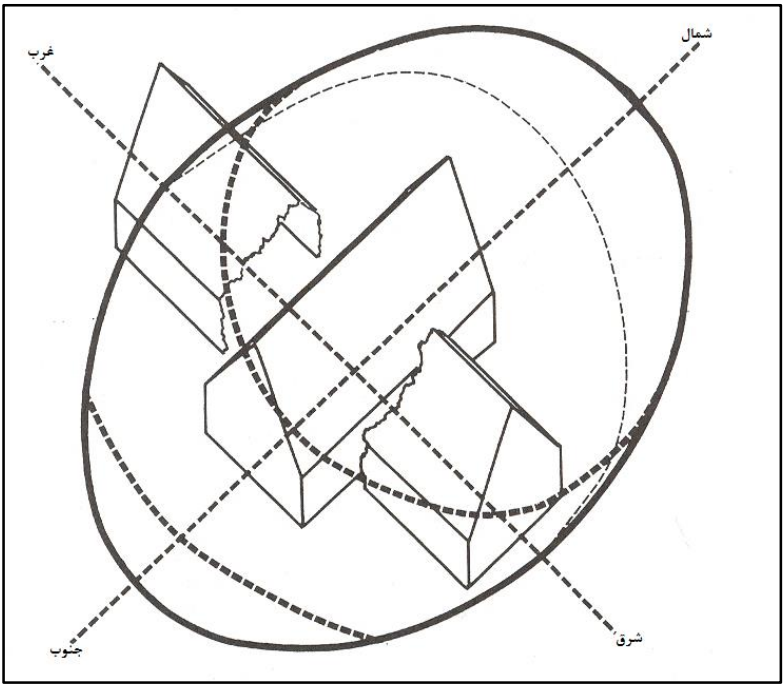


شکل ۸- شدت گذر نور از دو گلخانه با شیب سقف متفاوت



شکل ۹- تأثیر فصل سال در میزان تابش خورشیدی به یک منطقه[۱]

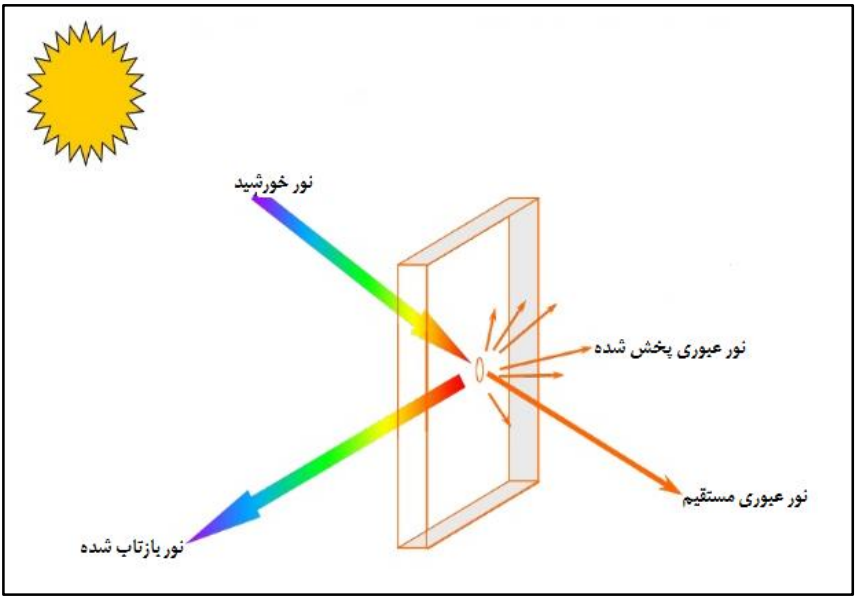
۱- شروع انقلاب تابستانی در اول تیرماه است که شروع شش ماه روز برای قطب شمال و ایجاد فصل تابستان برای نیمکره شمالی است، یعنی روزها بلند و شب‌ها کوتاه است و زاویه تابش خورشید به این نیمکره بیشتر است (در این زمان، در قطب جنوب شش ماه شب و شروع فصل زمستان برای نیمکره جنوبی است). شش ماه بعد، زمین در وضعیت مقابل نسبت به خورشید قرار می‌گیرد و وضعیت کاملاً معکوس می‌شود. در این حالت، شش ماه شب برای قطب شمال و شروع انقلاب زمستانی برای نیمکره شمالی است، یعنی روزها کوتاه و شب‌ها و طول شب‌ها بلند است (برخلاف آن‌چه که همزمان برای نیمکره جنوبی اتفاق می‌افتد). در نیمکره شمالی، شروع انقلاب تابستانی اول تیرماه و شروع انقلاب زمستانی اول دی‌ماه است. در این‌صورت، در نیمکره شمالی، شروع اعتدال بهاری و شروع اعتدال پاییزی که در آن‌ها طول روز و طول شب باهم برابر هستند، به‌ترتیب اول فروردین‌ماه و اول مهرماه خواهد بود.



شکل ۱۰- اثر جهت احداث گلخانه در میزان نورگیری آن

به‌طور کلی، با تابش نور خورشید به یک سطح شفاف[1](شکل ۱۱)، بخشی از نور، بازتاب (منعکس)[2] می‌شود، بخشی ضمن گذر از سطح شفاف پخش و پراکنده[3] می‌شود، و بخشی دیگر به‌صورت مستقیم از آن عبور می‌کند (جوانبخت و همکاران، ۱۳۸۶).

1- Transparent Material
2- Reflection
3- Diffusion

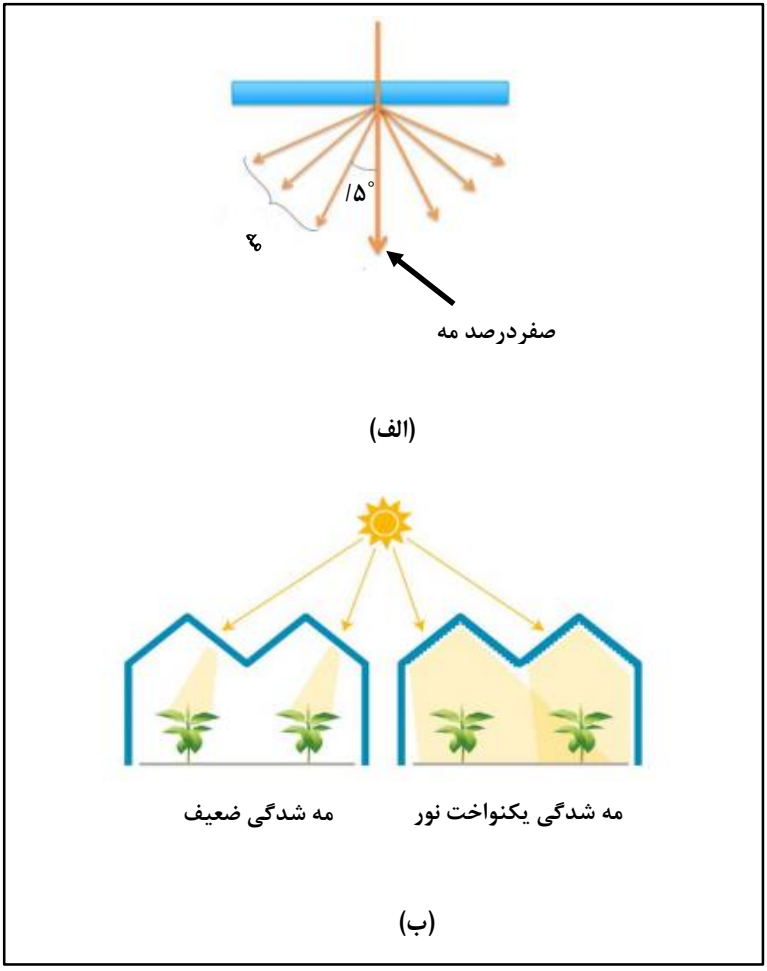


شکل ۱۱- نحوهٔ عبور نور خورشید از یک سطح شفاف

پوشش‌هایی که افزون بر عبور زیاد نور به داخل گلخانه، باعث پخش بیشتر نور یا مه‌شدگی نور[1] داخل گلخانه شود، می‌توانند تابش مستقیم نور را کاهش دهند و باعث توزیع یکنواخت‌تر نور در کل گلخانه و در نهایت، منجر به رشد یکنواخت‌تر گیاه، افزایش کیفیت و عملکرد محصول و کاهش سوختگی در گیاه شود. مه‌شدگی نور، درصدی از نور ورودی عمودی است که بیش از ۲/۵ درجه از خط مستقیم منحرف می‌شود (شکل ۱۱). برای نمونه، اگر ۵۰ درصد از نور مستقیم تابیده شده به پوشش، هنگام عبور از پوشش بیش از ۲/۵ درجه منحرف

1- Hazing

شده باشد، مقدار مه‌شدگی نور، ۵۰ درصد است (همینگ و همکاران، ۲۰۰۸؛ بائز و لوپز، ۲۰۱۲).



شکل ۱۲- پخش یا مه‌شدگی نور (الف) و نحوه تأثیر مه‌شدگی نور در توزیع یکنواخت نور در سراسر گلخانه (ب)

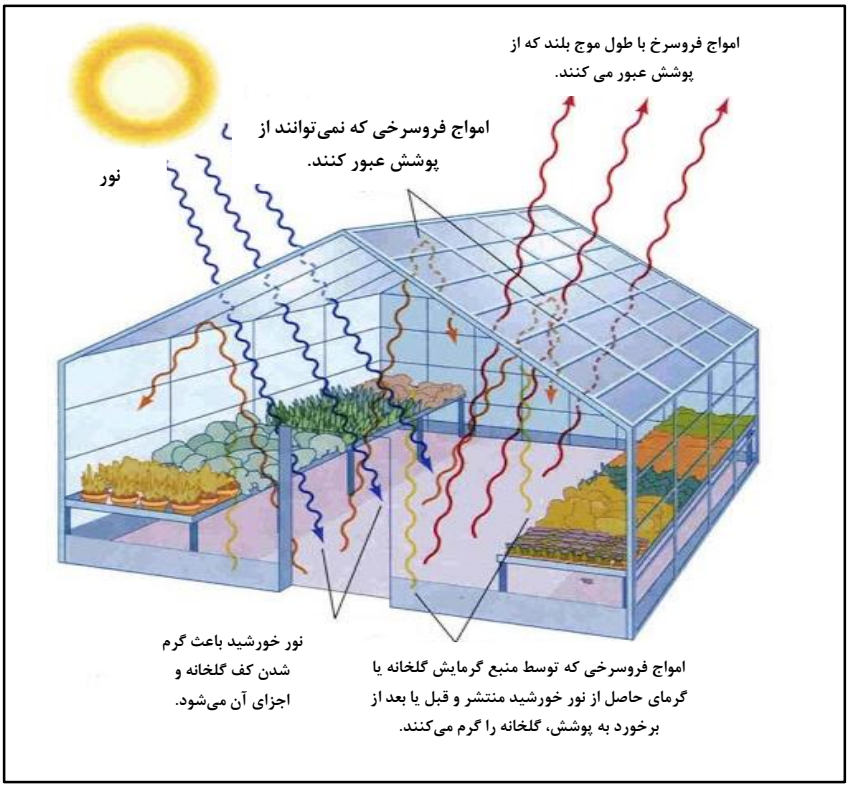
شاخص مه‌شدگی نور در شیشه کاملاً شفاف که مطلقاً نور را پخش نمی‌کند، صفر درصد است. مقدار عبور تشعشع فعال فتوسنتزی توسط پوشش‌هایی که شاخص مه‌شدگی نور زیاد دارند، ممکن است کاهش یابد و این امر به‌ویژه در مناطق سردسیر و فصل زمستان و هوای مه‌آلود با تابش حداقل نور، بسیار اهمیت دارد. ترکیب مقدار نور عبوری مستقیم و مه‌شده مورد نیاز از یک پوشش، بستگی به نوع محصول، شرایط آب و هوایی و مرحله رشد گیاه دارد (شمس‌کیا و کرمی، ۱۳۹۲).

- انتقال ندادن طول موج‌های بلند فروسرخ

تابش فروسرخ به قسمتی از امواج الکترومغناطیس گفته می‌شود که طول موج آن‌ها بلندتر از نور مرئی و کوتاه‌تر از امواج رادیویی است (شکل ۱). امواج فروسرخ در دامنه بالاتر از ۷۸۰ نانومتر قرار دارد و قسمتی که طول موج بلندتر از ۳۰۰۰ نانومتر دارد می‌تواند باعث گرم شدن گلخانه شود (شکل ۱۳). این امواج نامرئی، پس از برخورد با جسم، موجب گرم شدن آن می‌شود و برعکس، هر جسم داغ پرتوهای فروسرخ از خود ساطع می‌کند (شکل ۱۳). از این رو، در بسیاری از سامانه‌های گرمایشی تابشی، از تابش فروسرخ ساطع شده از منبع گرم تیره برای گرمایش محیط استفاده می‌شود (جوانبخت و همکاران ، ۱۳۸۶؛ مؤمنی و همکاران، ۱۳۹۹).

اگر انتقال امواج فروسرخ از پوشش گلخانه زیاد باشد، تلفات گرمایی گلخانه بیشتر می‌شود و دمای گیاه به‌ویژه در شب، در چنین گلخانه ای پایین می‌آید. در صورت قطع شدن ناخواسته سیستم گرمایش، تلفات زیاد گرما به شکل انتقال طول موج‌های بلند، موجب آسیب دیدن گیاه به ویژه در شب‌های سرد خواهد شد. همچنین، با سرد شدن محیط داخل گلخانه، رطوبت نسبی افزایش یافته و احتمال

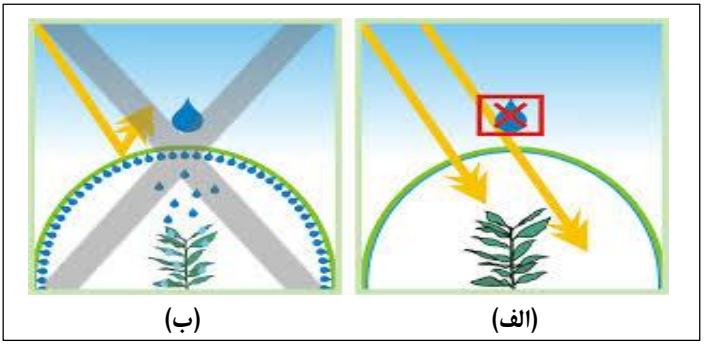
میعان آب بیشتر می‌شود و لذا احتمال بروز بیماری افزایش خواهد یافت. در نواحی نیمه‌گرمسیر و خشک، باید از پوشش‌هایی با قابلیت بیشتر جذب امواج فروسرخ استفاده کرد تا دما در حد ممکن و به‌ویژه در شب، بالا نگه داشته شود (حسندخت، ۱۳۸۷).



شکل ۱۳- تابش نور خورشید و امواج فروسرخ بر اثر گرم شدن گلخانه با نورخورشید یا منبع گرمایی دیگر

- چکه نکردن قطره‌های بخار آب سرد شده در زیر پوشش

فضای داخل گلخانه مرطوب است و رطوبت آن با تبخیر و تعرق گیاهان داخل گلخانه و تبخیر از سطح خاک، افزایش می‌یابد. هرگاه ذرات بخار آب موجود در گلخانه به جسم سردی برخورد کنند، به آب مایع تبدیل می‌شود. از سآن‌جا که معمولاً دمای بیرون گلخانه از دمای داخل گلخانه کمتر است، احتمال ایجاد قطره‌های آب در قسمت داخلی پوشش گلخانه زیاد است. این قطره های آب، علاوه بر افزایش بازتاب نور از سطح پوشش، منجر به کاهش نور منتقل شده به داخل گلخانه می‌شود. چکیدن آب روی گیاه، احتمال بروز بیماری‌ها را افزایش داده و یا با ایجاد لکه روی محصول، کیفیت آن را کاهش می دهد (شکل ۱۴). در صورت افزایش چکیدن قطره‌ها، رطوبت خاک گلخانه نیز افزایش یافته و احتمال خفگی گیاه و یا بروز بیماری‌های خاک‌زی وجود خواهد داشت (حسندخت، ۱۳۸۷؛ برزگر و یادگاری، ۱۳۸۹).



شکل ١٤- (الف) عبور نور از پوشش و (ب) بازتاب نور و چکیدن قطره های آب روی گیاه در اثر میعان بخار موجود در گلخانه در سطح داخلی پوشش

در پوشش‌های ضد قطره[1]، میعان آب به صورت یک لایه پیوسته، روی قسمت داخلی پوشش قرار می‌گیرد و به صورت جریانی باریک به کناره‌های گلخانه هدایت می‌شود. در پوشش‌های فاقد این ویژگی، قطره‌های ریز به یکدیگر پیوسته و قطره‌های بزرگ‌تر را تشکیل می‌دهد که به علت سنگینی، از روی پوشش به روی گیاه می‌چکند. در تمام انواع پوشش‌های گلخانه، چکیدن آب از سطح داخلی پوشش به شیب سقف گلخانه نیز وابسته است و به طور کلی با افزایش شیب سقف گلخانه، احتمال چکیدن قطره ها کمتر می‌شود. برای هر پوشش، یک زاویه بحرانی چکیدن از سقف وجود دارد که عبارت است از حداقل زاویه‌ای که در کمتر از آن، تشکیل قطره افزایش می‌یابد و در بیشتر از آن، آب متراکم شده جریان می‌یابد. توصیه می‌شود حتی در پوشش‌های ضد قطره نیز شیب سقف بیشتر از زاویه بحرانی چکیدن آب باشد (شمس‌کیا و کرمی، ۱۳۹۲).

- طول عمر مناسب، پایداری در برابر تابش فرابنفش و کاهش ندادن گذر نور با گذشت زمان

طول عمر انواع پوشش‌های گلخانه‌ای، بسیار متفاوت است. برای مثال، عمر پوشش شیشه‌ای به اندازه عمر گلخانه است. طول عمر مفید قراردادی پوشش، از سوی سازنده تعیین می‌شود. حداقل طول عمر مفید تضمین شده توسط سازنده، برحسب ماه، سال یا فصل بیان می‌شود. مصرف‌کنندگان پوشش به طور معمول، فاصله زمانی بین نصب پوشش تا زمان تضمین شده یا خرابی را به عنوان طول عمر مفید در نظر می‌گیرند که طول عمر حقیقی نام دارد. اگر زمان انبارمانی پوشش بیش از سه ماه شود، مدت آن از طول عمر مفید قراردادی پوشش کم می‌شود. به نسبت طول عمر مفید حقیقی به طول عمر مفید قراردادی نسبت

1 - Antifog / Antidrop

استفاده (برحسب درصد) و به تفاوت طول عمر مفید قراردادی و طول عمر حقیقی، پتانسیل باقیمانده برای استفاده (برحسب ماه) گفته می‌شود.

یکی از عوامل مهم کاهش طول عمر پوشش گلخانه‌ها، قرار گرفتن در برابر تابش امواج فرابنفش (UV)[1] است که به تدریج باعث کاهش کیفیت و در نهایت، از بین رفتن پوشش گلخانه‌ای می‌شود. امواج فرابنفش، شامل دامنه‌ای از امواج الکترومغناطیس است که طول موج ۱۰۰ تا ۳۸۰ نانومتر (کوتاه‌تر از نور مرئی و بلندتر از پرتو ایکس) دارد. امواج فرابنفش بسته به تأثیر این امواج بر سلامت انسان و محیط زیست، به سه ناحیه UVA (۳۱۵–۳۸۰ نانومتر)، UVB (۲۸۰–۳۱۵ نانومتر) و UVC (۱۰۰–۲۸۰ نانومتر) تقسیم می‌شود. امواج UVA توسط لایه ازون جذب نمی‌شود و در باغبانی، باعث رنگ‌گیری برگ‌ها و شکوفه‌ها، کاهش سطح برگ و طول ساقه، مقاوم شدن نشاء قبل از انتقال به فضای باز، و تأخیر در گلدهی می‌شود. در صورتی که گیاه در معرض تابش زیاد این پرتو قرار گیرد، خطر سوزش برگ وجود خواهد داشت. قسمتی از UVB و بیشتر UVC در لایه اوزن جذب می‌شود. تابش UVC برای سلامت انسان، بسیار خطرناک است ولی خاصیت گندزدایی داشته و از آن برای تصفیه زیستی آب، می‌توان استفاده کرد (شمس‌کیا و کرمی، ۱۳۹۲).

بسیاری از تولیدکنندگان پوشش‌های پلاستیکی گلخانه برای افزایش طول عمر پلاستیک در مقابل پرتو UV، از افزودنی‌های جاذب UV[2] استفاده می‌کنند. این افزودنی‌ها شامل موادی چون مشتقات بنزوفنن[3]، هیدروکسی فنیل[4]،

1 - Ultra Violet
2- UV Absorber
3- Benzophenone
4- Hydroxyphenyl

سالیسیلیک اسید[1]، هیندرد آمین[2]، بنزوتریازول[3]، هیدروکسی فنیل تریازین[4] و سایر ترکیب های دارای تریازین[5] ، بعضی رنگ‌دانه‌های معدنی (کربن بلک[6]، TiO_2 و ZnS) و ... است. این افزودنی‌ها بسته به نوع ماده، با درصدهای مختلف استفاده می‌شود، تأثیر کمی بر عبورپذیری نور مرئی دارد، و ممکن است در پوشش‌های پلی‌اتیلنی، رنگ‌های متفاوتی نظیر سبز روشن، شیری و ...، ایجاد کند (وکس و اسکتینی، ۲۰۱۳).

پرتو UV در جهت‌یابی حشرات نیز اهمیت دارد و بدون این پرتو، حشرات قادر به تشخیص گیاهان نخواهند شد. از این پدیده می‌توان در کنترل آفاتی مانند تریپس، مگس سفید و شته‌ها با استفاده از پوشش‌های جاذب UV یا افزودن مواد جاذب UV به پوشش، استفاده کرد تا سم کمتری در کنترل این آفات به‌کار رود. در استفاده از پوشش جاذب UV به عنوان ابزاری برای مبارزه با آفات، نباید نور طبیعی از دریچه‌های تهویه وارد گلخانه شود، زیرا با باز بودن دریچه‌های تهویه، امکان تابش UV به داخل گلخانه وجود دارد (شمس‌کیا و کرمی، ۱۳۹۲؛ بی‌نام، ۱۳۹۵).

استفاده از پوشش‌های جاذب UV، به ویژه در ابتدای زمان نصب می‌تواند باعث سردرگمی حشرات گرده‌افشان شود که این مشکل با گذشت زمان و کاهش ویژگی جذب UV توسط پوشش، مرتفع خواهد شد. فراهم کردن شرایط محیطی بهتر برای حشرات گرده‌افشان، مانند دما و تهویه مناسب و استفاده

1- Salicylic Acid
2- Hindered Amines
3- Benzotriazole
4- Hydroxyphenyltriazine
5- Triazine
6- Carbon Black

حداقلی از آفت‌کش‌ها نیز می‌تواند مشکلات ناشی از استفاده از پوشش‌های جاذب UV را کاهش دهد (بی‌نام. ۱۳۹۵).

نوع پوشش‌مورد استفاده در گلخانه و تغییر نکردن کیفیت پوشش، کیفیت نور عبوری به گلخانه را تعیین می‌کند. وجود گرد و غبار و آلودگی روی پوشش گلخانه، نور وارده به گلخانه را به میزان قابل توجهی کاهش می‌دهد. میزان کاهش نور به دلیل گرد و غبار و آلودگی، بستگی زیاد به منطقه‌ای دارد که گلخانه در آن احداث شده است. در مناطق شهری و صنعتی، افت تابش خورشید می‌تواند تا ۴۰ درصد نسبت به مناطق روستایی با دود و آلودگی کم، افزایش یابد که می‌تواند باعث کاهش عملکرد و کیفیت محصول شود. تجمع آلودگی و گرد و غبار روی پوشش‌های پلاستیکی، به دلیل توانایی بیشتر جذب ذرات گرد و غبار توسط بار الکتریکی، از پوشش‌های شیشه‌ای بیشتر است. افزون بر این، پوشش-های شیشه‌ای با باران، آسان‌تر شسته و تمیز می‌شوند. وجود قطره های تجمع یافته آب در بخش داخلی پوشش به‌همراه آلودگی و گرد و غبار روی پوشش، بخش قابل توجهی از نور تابیده شده به پوشش را منعکس می‌کند. وجود گرد و غبار و آلودگی روی پوشش همراه با تغییرات دمای محیط، به مرور زمان بر کیفیت پوشش تأثیر می گذارد. با کدر شدن دائمی پوشش، ممکن است طول عمر مفید آن کاهش یابد (شمس‌کیا و کرمی، ۱۳۹۲).

- تلفات گرمایی کم

یکی از اهداف مهم و تأثیرگذار در احداث گلخانه، ایجاد محیطی مناسب برای رشد گیاه است تا گرمای مورد نیاز گیاه را در تمامی مراحل رشد و نمو تأمین کند و همراه با تأمین بهینه سایر عوامل مورد نیاز، منجر به افزایش عملکرد و کیفیت محصول شود. تأمین نیاز گرمایی گیاه با تأثیر بر جوانه‌زنی، رشد رویشی،

شروع زمان گل‌دهی، و زمان رسیدن محصول، بر کمیت و کیفیت میوه، سبزی یا گل در گلخانه اثر می‌گذارد. با توجه به اهمیت این موضوع، علاوه بر به حداقل رساندن تلفات حرارتی در گلخانه، تدارک سیستم گرمایشی مناسب، ضروری است. به‌طور معمول، کاهش تلفات حرارتی با کاهش سطح تبادل حرارت و کاهش تلفات در واحد سطح، انجام‌پذیر است. به‌همین دلیل در هنگام احداث گلخانه، ساخت گلخانه‌ای با سطح تبادل کمتر نسبت به سطح زیر پوشش، تلفات گرما را کاهش می‌دهد. برای نمونه، ساخت گلخانه‌های چند دهانه[1] به ساخت چندین گلخانه تک دهانه با همان مساحت، برتری دارد. همچنین، گلخانه‌هایی که سقف آن‌ها شیب بیشتری دارد، به دلیل ایجاد سطح تماس بیشتر با محیط بیرون، تلفات بیشتری خواهد داشت. پوشش‌های موج‌دار نیز نسبت به پوشش‌های دارای سطح یکنواخت، تلفات حرارتی بیشتری دارد (برزگر و یادگاری، ۱۳۸۹).

میزان تلفات حرارتی در واحد سطح، که با ضریب انتقال حرارت بیان می‌شود، بیش از هر چیز به جنس پوشش وابسته است. پوشش‌های با جنس و ترکیبات مختلف، ضریب انتقال حرارت متفاوتی دارند. واحد ضریب انتقال حرارت در یک ماده $\frac{Kcal}{m^2 \times h \times ^\circ C}$ است. تلفات حرارتی پوشش در یک بازه زمانی مشخص (مثلاً یک ساعت) در واحد سطح (متر مربع) بر حسب کیلوکالری بیان می‌شود که از رابطه زیر به دست می‌آید (مؤمنی و همکاران، ۱۳۹۹):

اختلاف دمای داخل و بیرون گلخانه × ضریب انتقال حرارت پوشش = تلفات حرارتی پوشش در هر مترمربع

اختلاف دمای بیرون و داخل گلخانه بر حسب درجه سلسیوس، بیان می‌شود.

1- Multi Span Greenhouses

برای کاستن از تلفات گرما، راهکارهایی وجود دارد که علاوه بر انتخاب نوع پوشش مناسب، می‌تواند به‌کار رود، از جمله: ساخت گلخانه در جهت جغرافیایی مناسب؛ استفاده از بادشکن‌های طبیعی یا مصنوعی و کاهش افت گرما از طریق فرایند همرفت؛ استفاده از پنجره‌های مناسب با درزبندی صحیح برای کاهش ورود جریان هوا به داخل گلخانه و خروج گرما از پنجره‌ها و درزهای اسکلت گلخانه؛ استفاده از پوشش‌های دولایه دارای هوای فشرده؛ استفاده از پرده حرارتی در شب یا استفاده از پوشش‌های موقت. استفاده از پرده‌های حرارتی داخلی افزون بر جدا کردن دو سطح گلخانه و جلوگیری از انتقال هوای گرم از پایین به بالای آن، باعث کاهش میزان بازتاب امواج بلند در طول شب به محیط بیرون می‌شود. علاقمندان می‌توانند برای کسب اطلاعات بیشتر در این زمینه، به دستنامه مدیریت مصرف انرژی گرمایشی در گلخانه‌ها (مؤمنی و همکاران، ۱۳۹۹) مراجعه نمایند.

- پایداری در برابر عوامل محیطی (باد، برف و تگرگ) و نفوذناپذیری نسبت به بخار آب

پوشش گلخانه باید در برابر باد، برف و تگرگ مقاومت کافی داشته باشد و دچار خرابی زودهنگام نشود. به‌همین دلیل، نباید از پوشش‌هایی که در برابر هر کدام از عوامل یاد شده مقاومت کمی دارند، در مناطقی که شدت این عوامل بالاست استفاده شود. پوشش‌های پلاستیکی سبک در مقابل برف سنگین و باد شدید و پوشش‌های با جنس پلی‌کربنات و شیشه در مقابل ضربات تگرگ، حساس است. در شکل ۱۵، گلخانه‌های با پوشش پلاستیکی آسیب‌دیده در اثر بارش برف و وزش باد شدید و در شکل ۱۶ گلخانه‌های با پوشش پلی‌کربناتی آسیب‌دیده توسط تگرگ و باد شدید نشان داده شده‌است (حسندخت، ۱۳۸۷).

(ب) (الف)

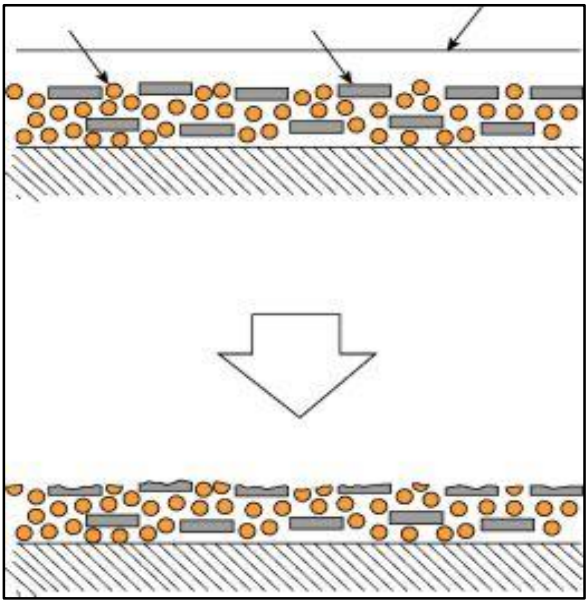
شکل ۱۵- پوشش‌های پلاستیکی آسیب‌دیده از بارش برف (الف) و وزش باد شدید (ب) در گلخانه‌ها

(ب) (الف)

شکل ۱٦- پوشش پلی‌کربناتی آسیب‌دیده از بارش تگرگ (الف) و وزش باد شدید (ب)

نکته مهم در مورد پایداری پوشش‌های گلخانه‌ای در مقابل بارش برف و باد این است که عواملی مانند تابش خورشید به ویژه پرتو فرابنفش؛ گرمای خورشید و گرم و سرد شدن مستمر پوشش‌ها بر اثر تغییر دمای بیرون و داخل گلخانه؛ وجود رطوبت و ذرات آلوده کننده هوا مانند گرد و غبار، گوگرد، دی‌اکسید گوگرد، ترکیبات دارای کلر، ازن؛ اسید سولفوریک موجود در باران اسیدی و غیره، ممکن است باعث تشدید اثر هوازدگی، خرابی زودرس، کاهش مقاومت پوشش در مقابل باد، برف و تگرگ و در نتیجه، کاهش طول عمر پوشش‌ها شود (بی‌نام. ۱۳۹۵).

به طور معمول، قرارگیری طولانی‌مدت پوشش‌ها در معرض عوامل یاد شده ، منجربه تغییر رنگ و تغییر خواص فیزیکی و مکانیکی مانند کاهش نورگذری، کاهش استحکام کششی، کاهش مقاومت در برابر ضربه، کاهش انعطاف‌پذیری، شکنندگی، ورقه‌ای شدن، و ایجاد ترک آن‌ها می‌شود. در اثر تابش بلندمدت آفتاب، به‌ویژه پرتو فرابنفش، با از بین رفتن مولکول‌های لایه سطحی و ذرات پرکننده در زیر سطح (شکل ۱۷) زنجیره‌های پلیمری و پیوندهای شیمیایی شکسته و رادیکال‌های آزاد ایجاد می شود. بنابراین، تضعیف خواص فیزیکی، تغییر رنگ و ورقه‌ای شدن سطوح واقع می‌شود؛ به‌طوری‌که در بدترین حالت، پوشش پلاستیکی شکننده شده و در برخی موارد بعد از مدتی کوتاه، تجزیه می‌شود (برزگر و یادگاری، ۱۳۸۹؛ شمس‌کیا و کرمی، ۱۳۹۲).



شکل ۱۷- تخریب مولکول‌های لایه سطحی و ذرات زیر سطح پوشش هنگام قرار گرفتن در معرض پرتو فرابنفش

هنگامی که پلاستیک‌ها یا مواد حاوی پلاستیک به مدت طولانی در معرض گرما و سرمای شدید یا دمای بالا قرار می‌گیرد، ممکن است ساختار پلیمری آنها آسیب ببیند. هم‌چنین، تغییرات زیاد دما منجر به تحریک واکنش‌های شیمیایی و تضعیف خواص مواد پلاستیکی می‌شود. آلودگی هوا نیز می‌تواند اثرات نامطلوبی بر ویژگی‌های پوشش داشته باشد؛ حتی اگر دمای کاربری پوشش در دامنه‌ای باشد که همچنان مقاومت خوبی در برابر ضربه و فشار داشته باشد. توجه به این نکته نیز مهم است که دمای سطوحی که به طور مستقیم در معرض تابش خورشید قرار دارند، نسبت به دمای محیط، بیشتر افزایش می‌یابد (هانان، ۱۹۹۷؛ کرمی و قاسمی قهساره، ۱۳۸۷).

تابش پرتو فرابنفش هنگام وجود آب یا بخار آب، منجر به تولید انواع مختلف رادیکال‌های آزاد می‌شود. این رادیکال‌ها، ممکن است باعث آغاز و ادامه فرایند تخریب پوشش شود. اکثر فرایندهای تخریب در آب و هوای خشک، بسیار آهسته‌تر از آب و هوای مرطوب پیش می رود. بنابراین، پوشش‌های با نفوذ-ناپذیری زیاد نسبت به بخار آب، کمتر در معرض تخریب و هوازدگی قرار دارد (حسندخت، ۱۳۸۷).

با توجه به ویژگی‌های مورد انتظار از یک پوشش گلخانه در اقلیم‌های مختلف با شرایط متفاوت رشد از نظر نور، حرارت و غیره و اثرات متفاوتی که اقلیم‌های مختلف روی پوشش گلخانه و ویژگی‌های آن دارد، سنجه های مهم پوشش ها برای مناطق اقلیمی مختلف، در جدول۱ ارائه شده است (شمس‌کیا و کرمی، ۱۳۹۲).

جدول ۱- سنجه‌های مهم انتخاب پوشش برای اقلیم‌های مختلف

ویژگی	اقلیم خشک	اقلیم نیمه‌گرمسیری	اقلیم گرمسیری
مقاومت به گرد و غبار	زیاد	زیاد	کم
پخش نور	زیاد	متوسط	کم
تشکیل نشدن قطره	کم	زیاد	متوسط
عبور تشعشع فعال فتوسنتزی	متوسط	زیاد	زیاد
انتقال ندادن طول موج‌های بلند فروسرخ	زیاد	زیاد	کم

انواع و ویژگی‌های پوشش‌های گلخانه‌ای

- شیشه

شیشه‌ها ماده ای است که در اثر سرد شدن سریع در حالت مذاب و رسیدن به دمای محیط متبلور نمی‌شود. به عبارت دیگر، شیشه به ماده جامدی گفته می‌شود که ساختار غیربلوری یا آمورف دارد. در ساخت شیشه به دلیل سرعت بالای سرد کردن در حالت مذاب، زمان لازم برای ایجاد ساختار منظم اتمی وجود ندارد. به طور معمول، برای ساخت شیشه از موادی استفاده می‌شود که در دمای ذوب، گرانروی بالایی دارد و هنگام سرد شدن، نمی تواند به ساختار منظم شبکه-های بلوری تغییر آرایش دهد (ضیاییان مفید و همکاران، ۱۳۹۷). شیشه‌ها مواد شفافی هستند که نور را به‌خوبی از خود عبور می‌دهند ولی در صورت تغییر ترکیب شیمیایی یا تغییر سطح (مشجر کردن) می‌توان قابلیت نوردهی و سایر ویژگی‌های آن‌ها را تغییر داد. رایج‌ترین ماده که به‌عنوان ماده پایه سازنده شیشه به‌کار می‌رود و بیشترین جزء وزنی آن را دارد، سیلیس یا سیلیسیم دی‌اکسید با فرمول شیمیایی SiO_2 است که فراوان‌ترین ترکیب اکسیدی موجود در پوسته کرهٔ زمین است. میزان سیلیس موجود در شیشه، به نوع استفاده از شیشه بستگی دارد. شیشه‌های ساختمانی و شیشه‌های معمولی مورد استفاده در پوشش گلخانه‌ها، حدود ۷۳-۷۱ درصد سیلیس دارد. در فرایند تولید شیشه سیلیسی، می توان مواد آن را مذاب کرد، در قالب ریخت و دوباره از قالب بیرون آورد و از هندسه صاف و ساده تا پیچیده، به آن شکل بخشید. محصول نهایی شیشه، شکننده و آسیب‌پذیر است مگر این‌که روی آن کارهای ویژه صورت گیرد. اما در بیشتر شرایط، ماندگاری شیشه بسیار زیاد است، بسیار آهسته دچار خوردگی و فرسایش می‌شود، و در واکنش با آب و مواد شیمیایی، پایدار است. به همین دلیل، شیشه مناسب‌ترین گزینه برای ظرف‌های حاوی مواد شیمیایی و خوراکی است.

افزودن برخی مواد، باعث تغییر ویژگی‌های شیشه می‌شود. برای مثال، افزودن آهن به شیشه، باعث می‌شود تا شیشه بتواند تابش فروسرخ را جذب کند ولی به علت تغییر رنگ به سبز و سبز مایل به زرد، مقدار انتقال نور در آن کاهش می‌یابد (ضیاییان مفید و همکاران، ۱۳۹۷).

شیشه به عنوان پوشش گلخانه دارای نورگذری، طول عمر و پایداری زیاد است به طوری که پرتوهای فرابنفش نور هم تأثیری بر پایداری و طول عمر آن ندارد. پوشش‌های شیشه‌ای در مقابل تگرگ و برف سنگین آسیب‌پذیر هستند. به علت طول عمر زیاد شیشه، با گذشت زمان و کثیف شدن آن‌ها، از میزان نورگذری آنها کاسته می‌شود و بنابراین، باید همیشه تمیز نگهداشته شود. ضخامت پوشش‌های شیشه‌ای در گلخانه‌ها ۵-۳ میلی‌متر با جرم ویژهٔ ۲/۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب است. برای کاربرد شیشه به‌عنوان پوشش، از قاب‌های فلزی یا چوبی استفاده می‌شود و شیشه روی این قاب‌ها سوار می‌شود. علاوه بر جنس و کیفیت شیشه، اندازه قاب نیز بر میزان گذر نور از پوشش شیشه‌ای مؤثر است و با کوچک شدن اندازه و افزایش تعداد قاب‌ها در واحد سطح، سایه‌اندازی بیشتر و درمجموع، گذر نور کاهش می‌یابد. در صورت استفاده از شیشه‌های حرارتی[1] با استحکام بیشتر، می‌توان ابعاد قاب را تا ۹۰ سانتی‌متر افزایش داد. در شیشه‌های تولید شده با تکنولوژی‌های خاص (برای مثال شیشه‌های آب داده با فلز) قاب‌ها با ابعاد بیشتر از دو متر نیز در دسترس است (ضیاییان مفید و همکاران، ۱۳۹۷؛ حسندخت، ۱۳۸۷). شیشه‌های معمولی با ابعاد بزرگ به‌آسانی توسط برف، تگرگ و باد آسیب می‌بینند ولی تلفات گرما و سایه‌اندازی قاب‌های بزرگ، کمتر است. طول قاب (به‌ویژه درگلخانه‌های شیشه‌ای عریض) در جهت شیب سقف است و

1- Tempered Glass

شیشه‌ها کمی روی هم قرار می‌گیرند تا از نفوذ آب بین دو لایه شیشه و یخ‌زدگی جلوگیری شود (برزگر و یادگاری، ۱۳۸۹).

شیشه‌های با ضخامت ۵-۳ میلی‌متر، پرتوهای ماوراء بنفش و فروسرخ را از خود عبور نمی‌دهد و از این نظر برای استفاده در گلخانه مناسب است. به‌عبارت دیگر، تلفات گرمای ناشی از تابش پرتوهای فروسرخ در گلخانه‌های با پوشش شیشه‌ای کم است و پرتوهای فرا بنفش نیز تأثیری بر طول عمر آن‌ها ندارد.

استفاده از شیشه‌های موج‌دار یا مشجر که سطح غیریکنواختی دارند، منجر به پخش بیشتر نور در گلخانه شده و همان‌طور که قبلاً اشاره شد، باعث رشد یکنواخت‌تر محصول می‌شود (حسندخت، ۱۳۸۷).

در جدول ۲ برخی ویژگی‌های شیشه به عنوان پوشش گلخانه آورده شده-است. نور مرئی مستقیم و نور مرئی مه‌شده عبوری از شیشه با ضخامت ذکر شده، به‌ترتیب ۹۱-۸۹ درصد و ۸۲ درصد است و مقدار کمی از نور جذب یا منعکس می‌شود. نصب شیشه به عنوان پوشش گلخانه، مشکل‌تر از سایر پوشش‌ها است. شکاف بین شیشه و قاب باید کاملاً با درزگیرهای پلاستیکی مسدود شود تا از نفوذ آب و سرما به داخل گلخانه جلوگیری شود و هدررفت گرمایی و هزینه گرم کردن گلخانه، افزایش نیابد. در مجموع، مقدار تبادل هوا در گلخانه‌های شیشه‌ای نسبت به گلخانه‌های دارای سایر پوشش‌ها، بیشتر است (کرمی و قاسمی قهساره، ۱۳۸۷). در شکل ۱۸ نمای داخلی و خارجی یک گلخانه با پوشش شیشه‌ای دیده می‌شود.

با افزایش عمر گلخانه شیشه‌ای، تبادل هوای گلخانه با محیط بیرون افزایش یافته و تلفات گرمایی گلخانه افزایش می‌یابد. در یک گلخانه شیشه‌ای نو، در هر ۴۰ دقیقه یک‌بار، حجم هوای گلخانه با بیرون مبادله می‌شود؛ در حالی‌که این پدیده در گلخانه‌های قدیمی‌تر و با شرایط نگهداری ضعیف، سریع‌تر است. در

گلخانه شیشه‌ای قدیمی با شرایط نگهداری خوب، تبادل هوا هر ۳۰ دقیقه یک‌بار و در گلخانه قدیمی با شرایط نگهداری ضعیف، تبادل هوا ممکن است هر ۱۵ دقیقه یک‌بار انجام شود (کرمی و قاسمی قهساره، ۱۳۸۷).

به علت سنگین بودن شیشه نسبت به سایر پوشش‌ها، در گلخانه با پوشش شیشه‌ای، سازه مقاوم‌تر و نیز تجهیزات محافظ و نگهدارنده بیشتری در مقایسه با دیگر پوشش‌ها، مورد نیاز است. بزرگ‌ترین مشکل پوشش‌های شیشه‌ای، هزینه اولیه سازه و تجهیزات و نصب آن‌ها است و به همین دلیل، به کار بردن پوشش شیشه‌ای گران‌تر از دیگر پوشش‌ها است. همچنین، هزینه گرم کردن گلخانه‌های شیشه‌ای بالاتر از گلخانه‌های با پوشش پلاستیکی بوده و احتمال شکستن آن با تگرگ زیاد است (برزگر و یادگاری، ۱۳۸۹).

جدول ۲- برخی ویژگی‌های شیشه‌های مورد استفاده برای پوشش گلخانه‌ها

ویژگی	تعداد جداره	دامنه
درصد انتقال نور مرئی مستقیم	تک جداره	۹۲-۸۸
	دو جداره	۸۵-۷۷
درصد انتقال نور مرئی پخش شده	تک جداره	۸۲-۸۰
درصد انتقال پرتو فرابنفش	-	۰
درصد انتقال امواج فروسرخ با طول موج‌های بلند	-	۰
ضریب انتقال حرارت $(\frac{Kcal}{m^2 \times h \times ^\circ C})$	تک جداره	۴/۴۸
	دو جداره	۲/۷۷

(ب) (الف)

شکل ۱۸- نمای گلخانه با پوشش شیشه‌ای از بیرون (الف) و از داخل (ب)

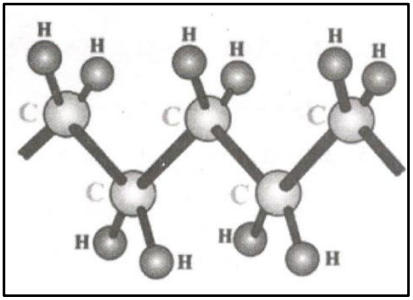
پوشش‌های غیرشیشه‌ای

پوشش‌های غیرشیشه‌ای را می‌توان به دو دسته پوشش‌های پلاستیکی نرم و پوشش‌های پلاستیکی سخت، طبقه‌بندی کرد. پلی‌اتیلن[۱]، پلی‌وینیل فلوراید[۲]، کوپلیمر اتیلن وینیل استات[۳]، از مهم‌ترین موادی هستند که به عنوان یک پلاستیک نرم، برای پوشش گلخانه به‌کار می‌رود. پلی‌کربنات[۴]، اکریلیک[۵] و فایبرگلاس[۶]، مواد پلاستیکی سخت و غیرقابل انعطافی هستند که می‌توانند در گلخانه به‌عنوان پوشش استفاده شود (گیاکوملی و رابرت، ۱۹۹۳؛ ماروائس، ۲۰۱۹).

1- Polyethylene
2- Polyvinyl Fluoride
3- Ethylene Vinyl Acetate Copolymer
4- Polycarbonate
5- Acrylic
6 - Fiberglass

- پلی‌اتیلن (PE)

پلی‌اتیلن با فرمول شیمیایی $(C_2H_4)_n$ با ساختار شیمیایی ارائه شده در شکل ۱۹، پلیمری گرمانرم یا ترموپلاستیک[1] (پلیمرهایی که با افزایش دما و بدون تغییر شیمیایی ذوب می‌شوند و می‌توان آنها را به دفعات، ذوب و دوباره جامد نمود) است که بسته به فرایند تولید، دامنه گوناگونی از پلی‌اتیلن با انعطاف‌پذیری‌های مختلف را در بر می‌گیرد. پلی‌اتیلن‌ها بر حسب چگالی، به پلی‌اتیلن‌های با دانسیته بالا[2] (HDPE) که صلب‌ترین و سخت‌ترین نوع پلی‌اتیلن هستند، پلی-اتیلن‌های با دانسیته پایین[3] (LDPE) و پلی‌اتیلن خطی با دانسیته پایین[4] (LLDPE) تقسیم می‌شود. برای استفاده از پلی‌اتیلن به‌عنوان پوشش، معمولاً از LDPE با وزن مولکولی بالا[5] (HMW-LDPE) که ویژه تولید فیلم‌های با شفافیت و توانایی درزبندی حرارتی بالا هستند، استفاده می‌شود (وطن‌خواه دولت-سرا، ج. ۱۳۹۰؛ رجبی و توکلی، ۱۳۹۵).



شکل ۱۹- ساختار شیمیایی پلی‌اتیلن

1- Thermoplastic
2- High Density Poly Ethylene
3- Low Density Poly Ethylene
4- Linear Low-Density Polyethylene
5- High Molecular Weight-LDPE

در جدول ۳ برخی ویژگی‌های فیزیکی پلاستیک از نوع پلی‌اتیلن با کاربرد پوشش در گلخانه‌ها و در جدول ۴ مقدار انتقال نور مرئی، پرتو فرابنفش و امواج فروسرخ و ضریب انتقال حرارت برای انواع پوشش‌های پلاستیکی پلی‌اتیلنی مورد استفاده در گلخانه‌ها ارائه شده است. با توجه به ویژگی‌های دمایی پلی‌اتیلن، این ماده به طور معمول در محدوده دمایی پایین کاربرد دارد. قیمت کم، مقاومت ضربه‌ای خوب در محدوده دمایی ۹۰-۴۰ درجه سیلسیوس، مقاومت نسبتاً بالا در برابر رطوبت و اکسیژن از مزایای پلی‌اتیلن محسوب می شود. مهم‌ترین معایب پلی‌اتیلن نیز ضریب انبساط حرارتی پایین، مقاومت پایین در برابر پرتو فرابنفش و تغییرات جوی، و قابلیت اشتعال آن است (برزگر و یادگاری، ۱۳۸۹؛ وطن‌خواه دولت‌سرا، ۱۳۹۰؛ ماروائس، ۲۰۱۹).

جدول ۳- برخی از ویژگی‌های پلاستیک پلی‌اتیلن با کاربرد پوشش در گلخانه‌ها

ویژگی	دامنه
جرم ویژه (g/cm^3)	۰/۹۱
استحکام کششی در نقطه تسلیم (MPa)	۱۵/۵
حداکثر دمای کاری ($^{\circ}C$)	۷۵-۶۰
دمای ذوب ($^{\circ}C$)	۱۱۰-۱۰۰

هزینه اولیه تهیه پلی‌اتیلن از سایر پوشش‌ها کمتر و به سادگی قابل استفاده است، و بنابراین، بیشترین کاربرد را برای پوشش گلخانه‌ها دارد. پوشش‌های پلی‌اتیلنی در عرض‌های متنوع عرضه می‌شود و طاقه‌های آن تا عرض ۱۵ متر نیز تولید می‌شود. ضخامت پوشش‌های پلی‌اتیلنی ۱۰-۱ میل[۱] (۲۵-۲۵۰

۱- برای بیان ضخامت پلاستیک علاوه بر میلی‌متر و میکرون از واحد میل (Mil) یا ثو (Thou) استفاده می‌شود. هر میل معادل ۰/۰۰۱ اینچ یا ۰/۰۲۵ میلی‌متر است.

میکرون) است (برزگر و یادگاری، ۱۳۸۹). پلی‌اتیلن با نام‌های تجاری Alathon, Alkathene, Hipack, Hitalex, Hostalen G, Marlex, Natene, Petrothene, Nipolon, Poly-Eth, Riblene, Trolen به بازار عرضه می‌شود (بلگار و همکاران، ۲۰۱۵؛ پتچاک و همکاران، ۲۰۱۹).

مقدار عبور نور مستقیم از پلی‌اتیلن کمتر از شیشه است. همچنین، پلی‌اتیلن‌های معمولی، پرتوهای فرابنفش را از خود عبور می‌دهند. پرتو فرابنفش با گذشت زمان باعث تیرگی، شکنندگی و در نهایت پارگی و از بین رفتن پوشش‌های پلی‌اتیلنی می‌شود. در صورتی که پلی‌اتیلن با مواد جاذب پرتو فرابنفش اصلاح شده باشد، در صورت آسیب ندیدن از سایر عوامل محیطی مانند باد، تگرگ، برف و غیره، طول عمر آن به چهار سال می‌رسد (حسندخت، ۱۳۸۷؛ برزگر و یادگاری، ۱۳۸۹).

پلی‌اتیلن معمولی در برابر گذر امواج فروسرخ با طول موج بلند، مانع ضعیفی است و در صورت استفاده از ترکیبات شیمیایی نگهدارنده این امواج در ساخت پلی‌اتیلن، تلفات انرژی گرمایی تا ۲۵ درصد کاهش می‌یابد. تبادل حرارتی و تبادل کربن دی‌اکسید و اکسیژن بین محیط داخل گلخانه با محیط بیرون، در گلخانه‌های دارای پوشش پلی‌اتیلن نسبتاً زیاد است ولی کم‌تر از گلخانه‌های دارای پوشش شیشه‌ای است. در صورت استفاده از پلاستیک‌های دولایه پلی‌اتیلن برای پوشش گلخانه، زمان تبادل هوای کل گلخانه با محیط بیرون، ۱/۵–۱ ساعت خواهد بود (کرمی و قاسمی قهساره، ۱۳۸۷).

رطوبت داخل گلخانه با پوشش پلی‌اتیلن زیاد و در نتیجه، میزان قطره های آب ایجاد شده از برخورد بخار هوا به لایه داخلی پوشش، نسبت به گلخانه‌های دارای سایر پوشش‌ها زیادتر است. برای کاهش این اثر، هنگام طراحی و ساخت گلخانه، باید شیب سقف مناسب انتخاب شود. کاهش ایجاد بخار هوا با تنظیم دما

و خارج کردن هوای مرطوب و جایگزینی با هوای بیرون توسط تهویه مناسب، شدت میعان بخار هوا و تشکیل قطره های آب را کاهش خواهد داد. استفاده از پوشش‌های دولایه با هوای فشرده بین آنها نیز باعث خواهد شد تا دمای لایه داخلی افزایش یافته و احتمال میعان بخار موجود در گلخانه هنگام برخورد به پوشش کاهش یابد. کاربرد پوشش‌های با خاصیت ضد تشکیل قطره نیز می‌تواند آسیب قطره های آب به گیاه را کاهش دهد. مواد ضد تشکیل قطره با کاهش اندازه قطره و ایجاد لایه نازک رطوبتی به‌جای قطره، باعث هدایت و جریان یافتن سریع آب به کناره‌های گلخانه می شود (برزگر و یادگاری، ۱۳۸۹).

در ساخت پوشش‌های پلی‌اتیلنی علاوه بر پوشش‌های تک‌لایه، از پوشش-های با تعداد لایه بیشتر نیز استفاده می‌شود که در بین آن‌ها پوشش‌های سه لایه به دلیل مزایای بیشتر و قیمت مناسب، کاربرد بیشتری دارد. این نوع پلاستیک، دارای سه لایه خارجی، میانی و درونی است و لایه درونی حاوی مواد ضد قطره و بازدارنده پرتو فرابنفش است. پلاستیک‌های ضدقطره به علت ناسازگاری افزودنی‌های ضدقطره با پلی‌اتیلن، ممکن است طول عمر کمتری داشته باشد. پلاستیک‌های سه لایه پلی‌اتیلنی دارای درصد زیاد وینیل استات[1] در لایه میانی هستند. وینیل استات افزون بر بالا بردن پایداری پلاستیک در برابر پرتو فرابنفش، باعث بهبود ویژگی‌های مکانیکی پلاستیک و مقاومت به کشش و خزش پلاستیک می‌شود (پتچاک و همکاران، ۲۰۱۹؛ دهبی و مراد، ۲۰۱۶).

1- Vinyl Acetate

جدول ٤- مقدار انتقال نور مرئی، پرتو فرابنفش و امواج فروسرخ، و ضریب انتقال حرارت برای انواع پوشش‌های پلاستیکی پلی‌اتیلنی در گلخانه

ویژگی	نوع پلی اتیلن	ضخامت (Mil)	تعداد لایه	دامنه
درصد انتقال نور مرئی مستقیم	پلی‌اتیلن جاذب UV	۶-۴	تک لایه	۹۱-۸۷
			دو لایه	۸۰-۷۵
	پلی‌اتیلن جاذب فروسرخ	۶-۴	تک لایه	۸۲-۸۰
			دو لایه	۶۸-۶۵
	پلی‌اتیلن ضد قطره	۸	تک لایه	۹۰
	پلی‌اتیلن سه لایه	–	–	۸۵
درصد انتقال نور مرئی پخش شده	پلی‌اتیلن جاذب UV	۸-۴	تک لایه	۸۰
درصد انتقال پرتوهای فرابنفش	پلی‌اتیلن معمولی	۶-۴	تک لایه	۹۰-۸۰
	پلی‌اتیلن معمولی	۶-۴	دو لایه	۵۰-۴۰
	پلی‌اتیلن سه لایه ضد UV	–	–	۸۵-۸۰
درصد انتقال امواج فروسرخ با طول موج‌های بلند	پلی‌اتیلن معمولی	۴	تک لایه	۷۲
	پلی‌اتیلن معمولی	۸	تک لایه	۵۵
	پلی‌اتیلن جاذب فروسرخ	۸	تک لایه	۳۰-۲۵
	پلی‌اتیلن ضد قطره	۸	تک لایه	۴۰-۳۵
	پلی‌اتیلن جاذب فروسرخ و پلی-اتیلن ضد قطره	۸	تک لایه	۲۵-۲۲
ضریب انتقال حرارت $(\frac{Kcal}{m^2 \times h \times ^\circ C})$	پلی‌اتیلن معمولی و پلی‌اتیلن جاذب UV	۶	یک لایه	۴/۷۶
	پلی‌اتیلن معمولی و پلی‌اتیلن جاذب UV	۶	دو لایه	۲/۷۷

یکی از راه‌های کاهش چکیدن قطره از سقف گلخانه، انتخاب شیب مناسب برای سقف است. در یک شیب سقف مشخص، میزان چکیدن قطره از پوشش

پلی‌اتیلن معمولی می‌تواند تا چند برابر پوشش ضد قطره باشد. برای مثال، در شیب ۱۵ درجه سقف گلخانه، چکیدن قطره های حاصل از میعان بخار در گلخانه با پوشش پلی‌اتیلن معمولی، پنج برابر گلخانه با پوشش پلی‌اتیلن ضدقطره است. زاویه بحرانی چکه‌کردن سقف بسته به نوع پوشش متفاوت است. در پوشش‌های ضد قطره و پوشش‌های سه لایه دارای وینیل استات، این زاویه ۱۵-۷ درجه است؛ در حالی که برای پوشش‌های پلی‌اتیلنی معمولی، زاویه شیب سقف باید از این مقدار بیشتر باشد (شمس‌کیا و کرمی، ۱۳۹۲).

باید توجه داشت که ویژگی‌های کیفی پوشش‌های پلی‌اتیلنی به‌ویژه مقدار انتقال نور، با گذشت زمان کاهش می‌یابد و این کاهش کیفیت در صورت کثیف شدن و وجود گرد و غبار، تشدید می‌شود. برای مثال، پوشش پلی‌اتیلنی دو لایه نو مورد استفاده در سقف دارای ۷۳ درصد انتقال نور مرئی است، ولی پس از گذشت چهار سال، مقدار انتقال نور مرئی آن به ۶۸ درصد کاهش می‌یابد. در برخی موارد بسته به نوع شرایط و کثیف شدن پوشش، کاهش تا ۳۰ درصد عبور نور از پلی-اتیلن نیز گزارش شده است (برزگر و یادگاری، ۱۳۸۹؛ شمس‌کیا و کرمی، ۱۳۹۲).

در شکل ۲۰، نمای داخلی یک گلخانه با پوشش پلی‌اتیلن و در شکل ۲۱ گلخانه‌ای چند دهانه با پوشش پلی‌اتیلن ارائه شده است.

شکل ۲۰- نمای داخلی گلخانه با پوشش پلی‌اتیلن

شکل ۲۱- گلخانه چند دهانه با پوشش پلی‌اتیلن

- پوشش‌های پلاستیکی دولایه با هوای فشرده[1]

یکی از روش‌های کاهش تلفات حرارتی و کاهش چکیدن قطره در گلخانه‌های با پوشش پلاستیکی نرم، استفاده از دو لایه پلاستیک و بالشتکی از هوای فشرده بین آن‌ها است. در این روش، لایه بیرونی دارای ماده بازدارنده پرتو فرابنفش و ضخامت بیشتر (معمولاً با ضخامت شش میل) و لایه درونی با ضخامت کمتر (معمولاً چهار میل) است . استفاده از پوشش پلاستیکی دو لایه با لایه هوای فشرده می‌تواند تلفات گرما و مصرف سوخت را تا ۴۰ درصد کاهش دهد. برای نصب چنین پوششی در گلخانه، طول لایه‌های پلاستیک برابر طول گلخانه و عرض آن به گونه ای است که یک قوس را به طور کامل بپوشاند. ضخامت مناسب لایه هوای فشرده ۱۵-۱۰سانتی‌متر و فشار مناسب

1- Double Inflated Plastic

۱-۰/۵سانتی‌متر جیوه (۱۳/۵-۶ میلی‌بار) است. برای تأمین چنین فشاری از یک دمنده پوشش دو لایه[1] همراه با یک فشارسنج استفاده می‌شود. در صورت افت فشار و کاهش ضخامت لایه هوا، خاصیت عایق بودن هوا کم می‌شود و در صورت چسبیدن دو لایه پلاستیک روی یکدیگر، خاصیت عایق بودن هوا کاملا از بین خواهد رفت. در صورتی‌که ضخامت لایه هوا از مقدار توصیه شده بیشتر شود، باعث ایجاد جریان هوا و کاهش خاصیت عایق لایه هوا خواهد شد. هوای تغذیه دمنده باید از بیرون گلخانه تأمین شود (هانان، ۱۹۹۷؛ برزگر و یادگاری، ۱۳۸۹). بنابراین، دمنده هوا در بیرون از گلخانه (شکل ۲۲)، یا روی دیوار انتهایی یا نزدیک دیوار انتهایی گلخانه نصب می شود. در صورت قرارگیری دمنده در دیوار انتهایی یا نزدیک آن، سوراخی در دیوار انتهایی ایجاد و این سوراخ به‌وسیله لوله قابل انعطافی به دمنده متصل می‌شود تا هوای سرد بیرون وارد دمنده شده و توسط دمنده به فضای بین پلاستیک دولایه منتقل شود (شکل ۲۳). در شکل ۲۴ یک دمنده مخصوص پوشش پلاستیکی دو لایه با دبی ۱۰۲ مترمکعب بر ساعت یا ۶۰ فوت مکعب بر دقیقه (CFM[2]) به همراه لوله‌های اتصالی آن ارائه شده است.

پوشش دو لایه منجر به کاهش مقدار نور رسیده به گیاه می‌شود که با توجه به صرفه‌جویی قابل ملاحظه در تلفات گرما، کاهش انتقال نور آن قابل چشم‌پوشی است. اگر به اشتباه، هوای گرم و مرطوب داخل گلخانه برای دمنده استفاده شود، این هوای گرم بین دو لایه پلاستیک تبدیل به مایع خواهد شد و علاوه بر کاهش خاصیت عایق هوای فشرده، باعث کاهش انتقال نور و آسیب به پلاستیک خواهد شد. هنگام بارش برف روی سقف گلخانه دارای پوشش دو لایه

1- Inflation Blower
2- Cubic Feet per Minute

و هـوای فشـرده، دمنـده بایـد خـاموش شـود تـا بـا خـارج شـدن هـوای بـین دو لایـه، لایه‌های پلاستیک بـه‌هـم چسـبیده و بـرف روی سـقف توسـط گرمـای داخـل گلخانـه ذوب شود و وزن برف روی سـقف کـاهش یابـد. نکـات قابـل توجـه بـرای دسـتیابی بـه عملکرد بهینـه چنـین پوششـی، عملکـرد مناسـب دمنـده، فاصـله بهینـه بـین دو لایـه و سوراخ نبودن لایه‌های پلاستیک است (حسندخت، ۱۳۸۷).

(ب) (الف)

شکل ۲۲– قرارگیری دمنده پوشش دو لایه در بیرون از گلخانه. تصویر دمنده روی دیوار کناری (الف) و نحوه انتقال هوای فشرده به سقف پلاستیکی دو لایه (ب)

شکل ۲۳– چگونگی قرارگیری دمنده پوشش دو لایه نزدیک دیوار انتهایی

شکل ٢٤ – دمنده مخصوص هوا بین پوشش دو لایه

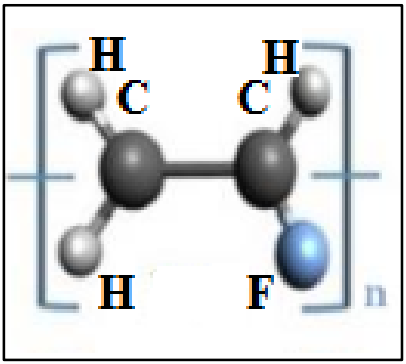
استفاده از پوشش دو لایه پلاستیک دارای هوای فشرده، علاوه بر کاهش تلفات گرمایی گلخانه، باعث افزایش عمر پوشش نیز خواهد شد زیرا بر خلاف پوشش‌های یک لایه، لایه خارجی مستقیماً با اجزای گلخانه در تماس نیست و هنگام وزش باد، با اسکلت گلخانه برخورد مکرر نخواهد داشت. استفاده از پوشش‌های پلاستیکی با لایه هوای فشرده، باعث می شود تا چکیدن قطره که

یکی از معایب پوشش‌های پلاستیکی نرم است، کاهش یابد. در این روش، دمای لایه داخلی پوشش افزایش می یابد و به‌گونه‌ای نیست که هنگام برخورد بخار آب با آن، منجربه سرد شدن بخار آب و میعان شود (برزگر و یادگاری، ۱۳۸۹).

- پلی‌وینیل فلوراید (PVF)

پلی‌وینیل فلوراید با فرمول شیمیایی $(C_2H_3F)_n$ و با ساختار شیمیایی شکل ۲۵، پلیمری گرمانرم است که به دلیل خواص عالی و عملکرد خوب مانند مقاومت

شیمیایی، مقاومت در برابر لکه، دوام زیاد در فضای باز، پایداری و عدم تغییر ویژگی‌های آن با گذشت زمان؛ به عنوان پلاستیکی ایده‌آل با خواص مکانیکی و شیمیایی منحصر به فرد، بسیار مورد توجه قرار گرفته است. سختی؛ سبکی؛ مقاومت به رطوبت، پرتو فرابنفش، تغییرات جوی و هوازدگی و ساییدگی؛ بی اثر بودن در برابر مواد شیمیایی، مواد رنگی و حلال‌ها؛ باعث شده است که این پلیمر در بسیاری از موارد، به عنوان محافظ سطوح به‌کار رود. ویژگی‌های ذکر شده و مقاومت کششی و پایداری ابعادی پلی‌وینیل فلوراید باعث شده است از این پلاستیک به‌عنوان پوشش در گلخانه نیز استفاده شود. در جدول ۵، برخی ویژگی‌های پلاستیک پلی‌وینیل فلوراید به عنوان پوشش گلخانه، ارائه شده است (ناکافوکا و یاسونیوا، ۱۹۸۷؛ برزگر و یادگاری، ۱۳۸۹؛ وطن‌خواه دولت‌سرا، ۱۳۹۰؛ علاءالدین و همکاران، ۲۰۱۹).



شکل ۲۵- ساختار شیمیایی پلی‌وینیل فلوراید

جدول ۵ - برخی ویژگی‌های فیلم‌های پلی‌وینیل فلوراید با کاربرد پوشش گلخانه

ویژگی	دامنه
جرم ویژه (g/cm^3)	۱/۷۲-۱/۳۸
استحکام کششی در نقطه تسلیم (MPa)	۵۰
حداکثر دمای کاری ($^{\circ}C$)	۱۰۵-۸۵
دمای ذوب ($^{\circ}C$)	۲۰۰-۱۸۵
درصد انتقال نور مرئی مستقیم برای ضخامت ۴ میل و یک لایه	۹۲
درصد انتقال نور مرئی مستقیم برای ضخامت ۴ میل و دو لایه	۸۵
درصد انتقال پرتوهای فرابنفش	۰
درصد انتقال امواج فروسرخ با طول موج‌های بلند برای ضخامت ۴ میل	۳۰
درصد انتقال امواج فروسرخ با طول موج‌های بلند برای ضخامت ۸ میل	۱۷
ضریب انتقال حرارت برای ضخامت ۴ میل و دو لایه $(\frac{Kcal}{m^2 \times h \times ^{\circ}C})$	۳/۰۳

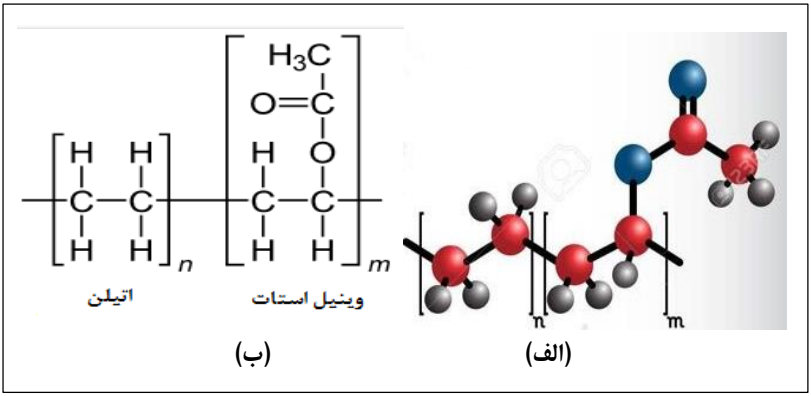
طول عمر پوشش‌های پلی‌وینیل فلوراید، ده سال یا بیشتر است ولی نسبت به پلی‌اتیلن گران‌تر است. این پوشش، پرتو فرابنفش را از خود عبور نمی‌دهد و این ویژگی باعث افزایش طول عمر آن است. پوشش پلی‌وینیل فلوراید همانند سایر پوشش‌های وینیلی، به علت قابلیت زیاد تجمع بار الکتریکی باعث جذب و نگهداری گرد و غبار می‌شود و درصورت کاهش انتقال نور، باید شسته شود.

کاربرد ورقه‌های پلی‌وینیل فلوراید به عنوان پوشش در گلخانه گران قیمت است ولی به دلیل طول عمر زیاد و لذا کمتر بودن هزینه نصب مجدد در یک دوره زمانی چند ساله (برای مثال ده سال) می‌تواند مقرون به‌صرفه باشد. ورقه‌های پلی‌وینیل فلوراید، در ضخامت‌های ۴- ۲ میل (۵۰-۱۰۰ میکرون) و عرض‌های ۲/۶، ۳ و ۳/۲ متر با نام‌های تجاری Tedlarو Teslar به بازار عرضه می‌شود. در شکل ۲۶، نمونه‌ای از گلخانه‌های با پوشش پلی‌وینیل فلوراید، ارائه شده است (برزگر و یادگاری، ۱۳۸۹؛ بلگار و همکاران، ۲۰۱۵).

شکل ۲۶- گلخانه‌ای با پوشش پلی‌وینیل فلوراید (PVF)

- کوپلیمر اتیلن وینیل استات (EVA, PEVA)

کوپلیمر اتیلن وینیل استات با فرمول شیمیایی $(C_2H_4)_n(C_4H_6O_2)_m$ و ساختار شیمیایی شکل ۲۷، پلیمری گرمانرم است که از پلیمریزاسیون اتیلن و وینیل استات به‌دست می‌آید. این پلاستیک، بسیار کشسان و انعطاف‌پذیر و دارای چغرمگی[۱]، شفافیت و چسبندگی بالایی است. این پلاستیک، مقاومت خوبی در برابر ترک خوردگی و سوراخ شدن دارد؛ از نظر شیمیایی بی اثر است؛ و قابلیت گرم شدن دارد که استفاده از آن را به عنوان پوشش، جذاب می‌کند. در جدول ۶ برخی از ویژگی‌های پلاستیک اتیلن وینیل استات با کاربرد پوشش در گلخانه ارائه شده است (پلاک و همکاران، ۱۹۷۶؛ برزگر و یادگاری، ۱۳۸۹؛ وطن‌خواه دولت‌سرا، ۱۳۹۰).



شکل ۲۷- ساختار شیمیایی (الف) و نحوه قرارگیری اتم‌ها (ب) در کوپلیمر پلی‌اتیلن وینیل استات

۱- به مقاومت یک ماده در برابر شکست در اثر اعمال تنش چغرمگی (Toughness) گفته می شود و به توانایی آن ماده در جذب انرژی و تغییر شکل قبل از وقوع شکست بستگی دارد. برای شکست ماده ای که دارای چغرمگی بیشتر است، نیاز به انرژی بیشتری است.

ویژگی‌های مکانیکی این پلاستیک به مقدار وینیل استات بستگی دارد و هرچه درصد آن بیشتر باشد، شفافیت پوشش بیشتر شده ولی نفوذپذیری آن نسبت به رطوبت و گازها، بیشتر می‌شود. مقدار وینیل استات در این کوپلیمر از ۵۰-۱ درصد متغیر است و در انواع تجاری آن ۲۰ درصد است. پوشش‌های EVA مورد استفاده در گلخانه درای ۴-۱ درصد وینیل استات می‌باشد. کوپلیمر EVA در برابر عبور پرتوهای فرابنفش و امواج فروسرخ با طول موج‌های بلند، نسبت به پلی‌اتیلن معمولی، مقاوم‌تر است و به‌علت وجود وینیل در آن، درصد عبور نور مستقیم از آن از انواع پلی‌اتیلن بیشتر است. این پوشش، همانند پلی‌اتیلن در عرض‌های زیاد در بازار یافت می‌شود. EVA با نام‌های تجاری Nipoflex, Ateva, Evateno, Elvax , Du Pont, Lanxess Levapren, Baymond, L and Levamelt به بازار عرضه می‌شود (بلگار و همکاران، ۲۰۱۵؛ وطن‌خواه دولت‌سرا، ۱۳۹۰).

جدول ٦ - برخی ویژگی‌های ورقه‌های کوپلیمر اتیلن وینیل استات با ضخامت ۸ میل برای کاربرد پوشش در گلخانه

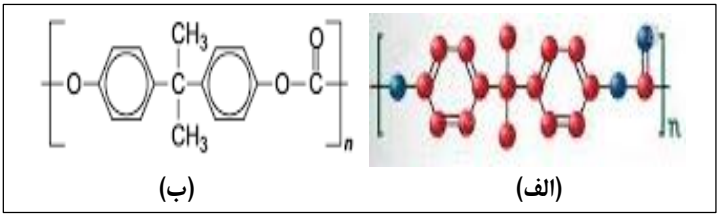
ویژگی	دامنه
جرم ویژه (g/cm^3)	۰/۹۳
استحکام کششی در نقطه تسلیم (MPa)	۱۷-۳/۵
دمای ذوب ($^{\circ}C$)	۱۰۶-۹۰
درصد انتقال نور مرئی مستقیم	۹۱-۹۰
درصد انتقال نور مرئی پخش شده	۸۲
درصد انتقال پرتوهای فرابنفش	۱۸-۴
درصد انتقال امواج فروسرخ با طول موج‌های بلند	۴۰-۳۰
ضریب انتقال حرارت ($\frac{Kcal}{m^2 \times h \times ^{\circ}C}$)	۵-۴

- پلی‌کربنات (PC)

پلی‌کربنات با فرمول شیمیایی $C_{15}H_{16}O_2$ از خانواده پلیمرهای گرمانرم و سخت‌ترین ماده شفافی است که به عنوان گزینه‌ای مناسب به‌جای شیشه در بخش‌های مختلف ساختمانی مورد استفاده قرار می‌گیرد. پلی‌کربنات در سال ۱۹۵۳ میلادی در کارخانه جنرال الکتریک پلاستیک ساخته و در سال ۱۹۶۸ انواع ورق‌های آن تولید و به‌صورت انبوه روانه بازار شد. در شکل ۲۸ ساختار شیمیایی و در جدول ۷ برخی ویژگی‌های ورقه‌های پلی‌کربنات مورد استفاده به عنوان پوشش ارائه شده است (وطن‌خواه دولت‌سرا، ۱۳۹۰؛ آنا و همکاران، ۲۰۱۷).

تنوع ساختاری ورق‌های پلی‌کربنات، امکان استفاده از آن را روی هر نوع سازه و در کنار هر نوع مصالح ساختمانی به راحتی فراهم و کاربردهای وسیعی را ایجاد می‌کند. به ورق‌های پلی‌کربنات می‌توان یک لایه ضد امواج فرابنفش اضافه کرد تا در برابر پرتوهای فرابنفش آسیب نبینند. ورقه‌های پلی‌کربنات با وجود سبک بودن، دارای مقدار ضربه‌پذیری، مقاومت سایشی و پایداری ابعادی زیاد هستند. تبادل حرارتی این پوشش‌ها کمتر از شیشه و پوشش‌های پلاستیکی است که در مناطق سردسیر اهمیت زیادی دارد. میزان تلفات گرمایی گلخانه با پوشش پلی‌کربنات، ممکن است تا نصف تلفات گرمایی گلخانه با پوشش شیشه کاهش یابد. تبادل هوا در گلخانه‌های با پوشش پلی‌کربنات هر ۶۰ دقیقه یک‌بار است (کرمی و قاسمی قهساره، ۱۳۸۷). جذب گرد و غبار و دوده معلق در هوا روی این پوشش‌ها به‌گونه‌ای است که با شستشوی ساده یا باران برطرف می‌شود. از جمله مزیت‌های پوشش پلی‌کربنات نسبت به شیشه، هزینه کمتر و وزن سبک‌تر آن است. هزینه این پوشش بیشتر از پوشش‌های پلاستیکی و مقاومت و طول عمر آن (بالای ۱۰- ۸ سال) نیز بیشتر از پوشش‌های پلاستیکی است (برزگر و یادگاری، ۱۳۸۹). از دیگر مزایای این پوشش‌ها نسبت به اکریلیک

(پوشش‌های مشابه پلی‌کربنات) اشتعال پذیری کمتر آنها است. میزان انتقال نور مرئی از این پوشش‌ها از شیشه کمتر و مقاومت آن‌ها در برابر تغییرات آب و هوایی از شیشه بیشتر است. وزن پوشش‌های پلی‌کربنات حدود یک ششم شیشه بوده و تحمل فشار بسیار بالاتری از شیشه (حدود ۲۰۰ برابر) دارند. مقدار چکیدن قطره های آب در اثر میعان بخار هنگام برخورد به پوشش، در پوشش پلی‌کربنات کمتر از شیشه و پوشش‌های پلی‌اتیلن ساده است. پوشش‌های پلی‌کربنات معمولاً به صورت دو لایه استفاده می‌شوند و با ضخامت‌های ۴، ۶، ۸، ۱۰ و ۱۶ میلی‌متر و طول حداکثر ۶ متر در بازار وجود دارد (شکل ۲۹). انواع نازک آن قابل خم شدن است و می‌تواند در سقف‌های قوسی به‌کار رود. پوشش‌های پلی‌کربنات قابلیت بریدن، سوراخ‌کردن، میخ‌کاری و پیچ‌کردن دارند. پلی‌کربنات، به طور معمول، برای پوشش قسمت‌های جلو، عقب و یا کناره‌های گلخانه‌ها به‌کار می‌رود. ورقه‌های پلی‌کربنات بعد از ۱۰- ۸ سال به دلیل تغییر رنگ ناشی از پرتو فرابنفش خورشید تعویض می‌شود (حسندخت، ۱۳۸۷). می‌توان از صفحه های اکریلیک برای رویه این پوشش‌ها و محافظت آن‌ها در برابر پرتو فرابنفش استفاده کرد. پلی‌کربنات با نام‌های تجاری Lexan, Makrolon, Polygal, TUFFAK, Hyzod, Unicar, Susta, Tecanat در بازار یافت می‌شود (شمس‌کیا و کرمی، ۱۳۹۲؛ بلگار و همکاران، ۲۰۱۵). در شکل ۳۰، گلخانه با پوشش پلی‌کربنات دیده می شود.

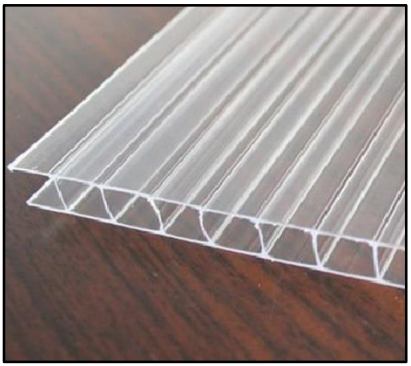


(ب) (الف)

شکل ۲۸- ساختار شیمیایی (الف) و نحوه قرارگیری اتم‌ها (ب) در پلی‌کربنات

جدول ۷ - برخی ویژگی‌های پلی‌کربنات با کاربرد پوشش در گلخانه

ویژگی	دامنه
جرم ویژه (g/cm^3)	۱/۲
استحکام کششی در نقطه تسلیم (MPa)	۶۵
حداکثر دمای کاری	۱۲۰-۱۰۵
دمای ذوب ($^{\circ}C$)	۳۲۰-۲۸۰
درصد انتقال نور مرئی مستقیم برای ضخامت ۸، ۱۰ یا ۱۶ میلی متر معمولی یک لایه	۸۶
درصد انتقال نور مرئی مستقیم برای ضخامت ۸، ۱۰ یا ۱۶ میلی متر دو لایه	۸۰-۷۹
درصدانتقال نور مرئی مستقیم برای ضخامت ۸ یا ۱۶ میلی متر جاذب UV یک لایه	۸۷
درصد انتقال نور مرئی پخش شده برای ضخامت ۸، ۱۰ یا ۱۶ میلی متر دو لایه	۶۱
درصدانتقال پرتوهای فرابنفش در پوشش‌های دو لایه	۱۸
درصد انتقال پرتوهای فرابنفش در پوشش‌های دارای جاذب UV	۱۰
درصد انتقال امواج فروسرخ با طول موج‌های بلند برای پوشش‌های دو لایه	۷۶
درصدانتقال امواج فروسرخ با طول موج‌های بلند در پوشش-های دارای جاذب UV	۸۵
ضریب انتقال حرارت برای ضخامت ۱۶-۶ میلی‌متر $(\frac{Kcal}{m^2 \times h \times ^{\circ}C})$	۳-۲



شکل ۲۹- نمونه‌ای از ورقه پلی‌کربنات دو لایه

شکل ۳۰- گلخانه چند دهانه با پوشش پلی‌کربنات

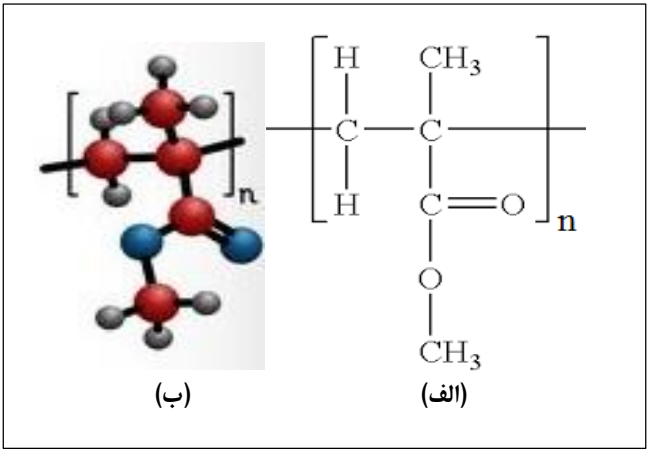
- اکریلیک (پلی‌متیل متاکریلات[1]، PMMA)

اکریلیک با ساختار شیمیایی شکل ۳۱ یک پلیمر سبک و مقاوم در برابر خرد شدن و جایگزین مناسبی برای شیشه است. اکریلیک می‌تواند هنگامی که به استحکام بالا نیاز نباشد، به عنوان یک جایگزین ارزان قیمت برای پلی کربنات در نظر گرفته شود (علی و همکاران، ۲۰۱۵).

عبورپذیری نور مرئی در اکریلیک زیاد است. این پلاستیک در برابر تغییرات آب و هوایی و شرایط جوی (دما، فشار، رطوبت و بخار آب) بسیار مقاوم، پایداری ابعادی آن نسبتاً خوب، و پایداری آن نسبت به پرتو فرابنفش زیاد است و تغییر رنگ نیز نمی‌دهد. پوشش‌های اکریلیک غیرشفاف بوده و به‌صورت دو یا سه لایه در بازار موجود است. ضخامت دو لایه آن ۱۶ میلی‌متر و ضخامت سه لایه آن ۳۲-۱۶ میلی‌متر است. اکریلیک‌های ضخیم را نمی‌توان برای سقف‌های منحنی به‌کار برد. مقدار عبور نور مرئی از آن ۸۶-۸۱ درصد است و گذشت زمان تأثیر قابل توجهی بر میزان انتقال نور مرئی آن ندارد (پس از گذشت هر ده سال، تقریباً یک در صد از مقدار انتقال نور مرئی کاسته می‌شود). یکی از معایب پوشش اکریلیک، ضریب انبساط زیاد آن است و در مقابل گرما و رطوبت منبسط می‌شود. نیاز انرژی گرمایی گلخانه با پوشش دو لایه اکریلیک ۴۵-۴۰ درصد از گلخانه با پوشش دو لایه شیشه‌ای کمتر است. طول عمر این پوشش بیش از ۲۰ سال است. تبادل هوا در گلخانه‌های با پوشش اکریلیک هر ۶۰ دقیقه یک بار، مانند پلی‌کربنات و کمتر از شیشه است و لذا تلفات گرمایی گلخانه با پوشش اکریلیک کمتر از گلخانه با پوشش شیشه است (کرمی و قاسمی قهساره، ۱۳۸۷).

1- Poly Methyl Methacrylate

اکریلیک، شکننده است، مقاومت کمی در برابر ضربه داشته و سختی کمتری نسبت به شیشه معمولی دارد. اکریلیک نسبت به بخار آب نفوذپذیر بوده، بر خلاف پلی‌کربنات به شدت قابل اشتعال و هزینه اولیه آن بالا است. همچنین، به راحتی خراشیده و سائیده می‌شود. اکریلیک در هیدروکربن‌های آروماتیک و کلردار محلول، و در برابر الکل‌ها آسیب‌پذیر است. بنابراین، هنگام استفاده از سموم شیمیایی در محیط‌های پوشیده شده با اکریلیک باید به این نکته توجه کرد. اکریلیک با نام‌های تجاری Plexiglas, ACRYLITE, Diakon, Colacryl, Elvacite, Perspex, Optix, ALTUGLAS, DELPET, SUMIPEX به بازار عرضه می‌شود (بلگار و همکاران، ۲۰۱۵).



شکل ۳۱- ساختار شیمیایی (الف) و نحوه قرارگیری اتم‌ها (ب) در اکریلیک

در جدول ۸ برخی ویژگی‌های پوشش اکریلیک مورد استفاده به عنوان پوشش گلخانه و در شکل ۳۲ گلخانه‌ای با پوشش اکریلیک ارائه شده است.

جدول ۸ - برخی ویژگی‌های اکریلیک با کاربرد پوشش در گلخانه

ویژگی	دامنه
جرم ویژه (g/cm^3)	۱/۱۷
استحکام کششی در نقطه تسلیم (MPa)	۵۰
حداکثر دمای کاری	۹۰-۶۵
دمای ذوب ($^{\circ}C$)	۲۴۰-۲۲۰
درصد انتقال نور مرئی مستقیم برای ضخامت ۸-۱۶ میلی‌متر	۸۶-۸۱
درصد انتقال نور مرئی پخش شده در پوشش دو لایه یا ضخامت ۱۶ میلی‌متر	۷۶
درصد انتقال پرتوهای فرابنفش در پوشش‌های دو لایه یا ضخامت ۱۶ میلی‌متر	۴۵
درصد انتقال امواج فروسرخ با طول موج‌های بلند برای پوشش‌های دو لایه	۷۴
ضریب انتقال حرارت برای ضخامت ۸ میلی‌متر ($\frac{Kcal}{m^2 \times h \times ^{\circ}C}$)	۲/۵۸
ضریب انتقال حرارت برای ضخامت ۱۶ میلی‌متر ($\frac{Kcal}{m^2 \times h \times ^{\circ}C}$)	۲/۳۰

شکل ۳۲- گلخانه‌ای با پوشش اکریلیک

- فایبرگلاس (پلیمرهای تقویت شده با شیشه[1]، GRP یا GFRP)

فایبرگلاس‌ها نوعی پلیمر تقویت شده با فیبر[2] (FRP) هستند که در آن‌ها از فیبرهای شیشه‌ای به‌عنوان تقویت کننده در دو یا سه بعد استفاده می‌شود. ماده زمینه پلیمرهای تقویت شده، رزین‌های اپوکسی[3]، وینیل استر[4]، پلی‌استر[5] یا هر پلیمر ترموپلاستیک است. پلیمرهای تقویت شده بسته به نوع ماده زمینه و فیبر تقویت کننده (کربن، شیشه، آرامید و بازالت) دامنه متنوعی از ویژگی‌ها را برای فایبرگلاس فراهم می‌کند. پلیمر زمینه فایبرگلاس، پلی‌استر است. در جدول ۹ برخی از ویژگی‌های فایبرگلاس شفاف به‌عنوان پوشش در گلخانه آورده شده است (هانان، ۱۹۹۷؛ کرمی و قاسمی قهساره، ۱۳۸۷؛ برزگر و یادگاری، ۱۳۸۹). از ویژگی‌های فایبرگلاس می‌توان به مقاومت کششی زیاد نسبت به وزن، تحمل دمای زیاد بدون کاهش خواص، پایداری زیاد، مقاومت زیاد به ضربه، پایداری ابعادی، نیاز به مراقبت کم در طول دوره استفاده، شستشوی راحت با استفاده از فشار آب، و مقاومت بیشتر در برابر مواد شیمیایی در مقایسه با پوشش‌های پلاستیکی اشاره کرد. به دلیل فیبر موجود در این پوشش‌ها، نور تابیده شده به پوشش، پخش و به صورت یکنواخت‌تری درگلخانه توزیع می‌شود. در صورت استفاده از صفحه های موج‌دار فایبرگلاس در سقف گلخانه، قطرات آب حاصل از میعان در فرورفتگی‌های صفحه جریان یافته و بدون ریزش روی گیاه یا کف گلخانه، به کناره‌های گلخانه جریان می‌یابد. این پوشش‌ها از شیشه ارزان‌تر و از

1- Glass Fiber Reinforced Plastic
2- Fiber Reinforced Plastic / Polymer
3- Epoxy
4- Vinylester
5- Polyester

پلی‌اتیلن گران‌تر است. خنک کردن گلخانه‌های با پوشش فایبرگلاس از گلخانه‌های شیشه‌ای آسان‌تر است و حدود ۱۹ درصد به انرژی کمتری برای خنک کردن احتیاج دارد (کرمی و قاسمی قهساره، ۱۳۸۷؛ برزگر و یادگاری، ۱۳۸۹).

جدول ۹ - برخی از ویژگی‌های فایبرگلاس شفاف به عنوان پوشش گلخانه

ویژگی	دامنه
جرم ویژه (g/cm^3)	۱/۴ -۱/۸
استحکام کششی در نقطه تسلیم (MPa)	۲۵۰-۱۰۰
حداکثر دمای کاری	۱۸۰
درصد انتقال نور مرئی مستقیم در صفحه با ضخامت ۰/۶۴ میلی‌متر	۹۰-۸۰
درصد انتقال نور مرئی مستقیم در صفحه های دو لایه شفاف	۸۰-۷۵
درصد انتقال پرتوهای فرابنفش در صفحه با ضخامت ۰/۶۴ میلی‌متر	۲۰-۱۵
درصد انتقال امواج فروسرخ با طول موج‌های بلند در صفحه با ضخامت ۰/۶۴ میلی‌متر	۹۰-۸۰
ضریب انتقال حرارت در صفحه با ضخامت ۰/۶۴ میلی‌متر $(\frac{Kcal}{m^2 \times h \times ^\circ C})$	۵-۴

پوشش‌های فایبرگلاس به طور معمول یک لایه و به‌صورت صفحه صاف یا موج‌دار است و عمر مفید آن‌ها می‌تواند تا ۲۰ سال برسد. صفحه‌های موج‌دار به طور معمول در سقف، و صفحه‌های مسطح در دیوارهای جانبی و انتهایی گلخانه به‌کار می‌رود. این پوشش‌ها علاوه بر نوع شفاف، دارای انواع رنگی نیز هستند که کاربردهای خاص در محیط‌های کنترل شده دارد. این پوشش‌ها در برابر تگرگ مقاومت زیاد دارد. صفحه‌های فایبرگلاس با عرض ۲-۱ متر و طول‌های تا ده متر برای استفاده به‌عنوان پوشش گلخانه موجود بوده و ضخامت‌های ۱-۰/۵

میلی‌متر برای پوشش گلخانه مناسب است (کرمی و قاسمی قهساره، ۱۳۸۷؛ برزگر و یادگاری، ۱۳۸۹). در شکل ۳۳ یک گلخانه با پوشش فایبرگلاس نشان داده شده است.

از معایب صفحه های فایبرگلاس می‌توان به اشتعال‌پذیر بودن آن‌ها و کاهش عبوردهی نور پس از چند شستشو اشاره کرد. همچنین، هنگامی که این صفحه ها در معرض ساییدگی و خراشیدگی قرار می‌گیرد، تجمع گرد و غبار روی آن‌ها به تدریج زیاد و درصد انتقال نور از آن‌ها کاسته می شود (حسندخت، ۱۳۸۷).

شکل ۳۳- گلخانه با پوشش فایبر گلاس

توصیه‌های کاربردی برای افزایش طول عمر پوشش‌های نرم

پلاستیک‌های نرم کاربرد زیادی برای پوشش گلخانه‌ها دارد و طول عمر مفید، میزان انتقال نور و تلفات گرمایی آن‌ها بستگی زیادی به چگونگی نصب و شرایط بهره‌برداری و نگهداری پوشش‌ها دارد. رعایت نکات کاربردی زیر می‌تواند

منجر به استفاده بهینه و افزایش طول عمر پوشش‌های گلخانه‌ای شود (بی‌نام. ۱۳۹۵؛ بی‌نام، ۲۰۱۶):

– در گلخانه‌های با قاب فلزی، لوله‌های فلزی باید عاری از هر نوع زاویه تیز باشد تا منجر به پاره شدن پوشش‌ها نشود.

– لوله‌ها با مواد شیمیایی که بر ویژگی‌های پوشش‌های گلخانه‌ای اثر می گذارد، پوشیده نشود.

– سیم‌ها یا مفتول‌های به‌کار رفته در سازه باید گالوانیزه باشد و هر سیمی که در آن آثار زنگ‌زدگی وجود دارد، تعویض شود.

– در صورت استفاده از سیم‌کشی در زیر پلاستیک‌ها با هدف ایجاد شبکه حمایتی، سیم‌ها مطابق دستورالعمل‌های تأمین‌کننده سازه مرتب شود و تعداد آنها کافی باشد؛ به نحوی که پوشش، به طور مناسب و تا حد امکان نزدیک به کمان سازه قرار گیرد (در سال‌های اخیر، برای ایجاد شبکه حمایتی از سیم‌های پلاستیکی یا دارای روکش پلاستیکی استفاده می‌شود).

– سیم‌ها به‌طور یکنواخت کشیده شود تا از ارتعاش آن‌ها مقابل پوشش جلوگیری شود و خطر سوراخ شدن یا پارگی پوشش کاهش یابد.

– تسمه‌ها یا کابل‌های سیاه یا تیره‌رنگ که موجب بالا رفتن دما و از بین رفتن پوشش می‌شود، به کار نرود.

– در گلخانه های مستقل و کنار هم، باید علاوه بر جلوگیری از سایه‌اندازی یکی بر دیگری، فضای کافی بین دو گلخانه برای نصب پوشش نیز پیش‌بینی شده باشد تا پوشش به‌طور مناسب و بدون مزاحمت کشیده شود (علاوه بر فاصله لازم برای جلوگیری از سایه‌اندازی، ۲–۱/۵ متر فاصله اضافه درنظر گرفته شود).

– پوشش در دمای توصیه شده سازنده (در صورت نبودن توصیه، ۱۵ تا ۳۰ درجه سلسیوس) نگهداری شود و در هوای آرام و دمای مذکور نصب شود.

کشیدگی پوشش تحت تأثیر دما قرار می‌گیرد، بنابراین، هنگام نصب پلاستیک در دماهای کمتر، پلاستیک باید بیشتر کشیده شود و هنگام نصب در دماهای بیشتر، پلاستیک باید کمتر کشیده شود.

– در صورت مشاهده اختلاف ظاهری و یا خواص بین سطح داخلی و بیرونی پوشش، توصیه سازنده در هنگام نصب باید در نظر گرفته شود.

– هنگام باز کردن طاقه پوشش، در محل باز شدن طاقه از نبودن اشیایی که موجب سوراخ شدن یا پارگی پوشش می‌شود ، اطمینان حاصل شود.

– هنگام نصب پوشش، از راه رفتن روی پوشش یا قرار دادن اشیاء روی آن خودداری شود.

– هنگام نصب پوشش، با به کار گیری افراد خبره، پوشش به اندازه کافی کشیده شود تا هنگام وزش باد، حرکت نکند. همچنین، کشیدگی بیش از حد یا نامناسب پوشش، باعث آسیب‌دیدگی، خرابی زودهنگام یا کاهش کیفیت و ویژگی‌های پوشش خواهد شد.

– در صورتی که پوشش به صورت طولی نصب می‌شود، باید کشیدگی پوشش به‌صورت یکنواخت پخش شود.

– هنگامی که پوشش به صورت عرضی نصب می‌شود (در سال‌های اخیر نصب پوشش به‌صورت عرضی به‌ندرت انجام می‌شود)، باید هم‌پوشانی حداقل ۵۰ سانتی‌متری بین لایه‌ها درنظر گرفته شود و جهت لایه پوشش نیز مخالف جهت وزش باد باشد.

– برای جلوگیری از خرابی یا پارگی پوشش، هیچ‌گونه تجهیزات داخل گلخانه مانند لوله‌ها و تجهیزات آبیاری یا گرمایشی نباید با پوشش تماس داشته باشد. همچنین، هیچ‌گونه سیم یا نقطه برجسته‌ای، نباید به پوشش آسیب برساند.

– برای آگاهی از عمر باقیمانده پوشش، تاریخ نصب پوشش ثبت شود.

– در صورت استفاده از مواد پاششی روی سطح خارجی پوشش پلاستیکی برای کاهش شدت نور خورشید و اثرات مخرب پرتوهای فرابنفش، باید از مواد طبیعی یا مصنوعی استفاده کرد که بر پایداری و طول عمر پوشش اثر نامطلوب نداشته باشد. همچنین، هنگام شستشوی این مواد، باید از آب غیر اسیدی استفاده کرد.

– سطح خارجی پوشش که در تماس با تکیه‌گاه است، باید مورد محافظت ویژه قرار گیرد. برای پوشش تکیه‌گاه از یک لایه رنگ سفید و مات وینیل اکریلیک[1] که در برابر پرتوهای فرابنفش و آب مقاوم است و چسبندگی خوبی به سطح دارد، استفاده شود. رنگ‌های امولسیون که در آن‌ها از یک یا چند حلال آلی استفاده شده‌است، نباید به‌کار برده شود. لایه رنگ، افزون بر محافظت پوشش، از بالا رفتن دمای چارچوب جلوگیری می کند و خرابی پوشش در اثر حرارت را نیز به تأخیر می‌اندازد.

– گرمای بیش از حد داخل گلخانه تأثیر منفی بر طول عمر پوشش دارد و به همین دلیل، تهویه و سرمایش مناسب گلخانه حتی هنگامی که محصولی داخل آن نیست، می‌تواند طول عمر واقعی پوشش را افزایش دهد.

– لازم است سازه و پوشش گلخانه به طور منظم مورد بازرسی قرار گیرد و هرگونه اقدام اصلاحی مورد نیاز، به موقع اعمال شود. پس از گذشت زمان و در صورت لزوم، پوشش کشیده شود تا حوضچه آب روی پوشش ایجاد نشود و از تکان خوردن و حرکت پوشش روی سازه جلوگیری شود.

– در صورت رنگ‌آمیزی سازه، باید بررسی شود که رنگ مورد استفاده، سالم و مات مانده باشد و در صورت افت کیفیت رنگ، سازه مجدد رنگ‌آمیزی شود.

1- Vinyl Acrylic

– در صورت کدر شدن پوشش با آلودگی و گرد و غبار و نیاز به شستشوی آن، بهتر است از آب معمولی برای شستشوی پوشش استفاده شود.

– از پاشیده شدن سم روی پوشش جلوگیری شود. همچنین در صورت استفاده از سم‌های تدخینی، تا حد امکان، سم در مجاورت پوشش قرار نگیرد. این مواد می‌تواند موجب کاهش ویژگی جذب پرتوهای فرابنفش در پوشش شده و حتی بر سایر ویژگی‌های پوشش از جمله طول عمر و میزان تلفات حرارتی آن تأثیر بگذارد. استفاده مکرر از سم های شیمیایی برای کنترل آفت‌ها و بیماری‌ها در گلخانه، حتی در صورت نداشتن تماس مستقیم با پوشش، به دلیل احتمال آزاد شدن ترکیبات شیمیایی مضر، می‌تواند بر کیفیت پوشش اثر بگذارد. بنابراین، توصیه می‌شود تا از سم‌های شیمیایی فقط به میزان مجاز استفاده شود و کاربرد سم‌های حاوی گوگرد و یا کلر، به حداقل ممکن برسد. برای کاهش اثر سم‌ها بر پوشش، پس از سمپاشی باید در اسرع وقت نسبت به تهویه گلخانه اقدام کرد.

– در صورتی‌که از مواد شیمیایی برای ضدعفونی کردن خاک استفاده می‌شود، بهتر است محل‌های ضدعفونی شده با پلاستیک‌های نفوذناپذیر پوشانده شود. در این صورت، افزون بر حصول نتیجه بهتر، از آسیب‌رسیدن به پوشش گلخانه با گازهای سمی آزاد شده، جلوگیری می‌شود. در زمان برداشتن پلاستیک‌های روی خاک، گلخانه باید به خوبی تهویه شود.

– در صورت استفاده از پوشش‌های پلیمری به عنوان تونل‌های کم ارتفاع (محیط نیمه کنترل شده)، پوشش باید به اندازه کافی در طول قوس کشیده شود؛ قوس‌ها دارای ارتفاع یکسان باشد، و حداکثر فاصله بین دو قوس متوالی بر اساس توصیه سازنده در نظر گرفته شود. هنگام بالا زدن پوشش برای تهویه تونل پلاستیکی، نباید تاخوردگی شدید یا پاره‌شدگی در پوشش ایجاد شود. تونل‌های پلاستیکی، پوشش موقت برای محصولات باغبانی فراهم می‌کند و امکان استفاده

مجـدد از آن‌هـا در زمـان دیگـر وجـود دارد. بنـابراین، بـرای جلـوگیری از افـت کیفیـت پوشش در زمـان انبـارداری، هنگـام جمع‌آوری، پوشـش بایـد کـاملاً خشـک بـوده و در محیط خنک، خشک و تاریک نگهداری شود.

پسماند پوشش‌های گلخانه‌ای و مسائل محیط‌زیستی

به دلیـل نـوع محـیط کشـت‌هـای گلخانـه‌ای، مقـدار پسـماند هـای غیرگیـاهی در ایـن نـوع کشـت‌هـا بیشـتر از کشـت‌هـای مزرعـه‌ای اسـت. ایـن پسـماند هـا شـامل پلاستیک‌ها و مواد مـورد اسـتفاده بـرای پوشـش گلخانـه، مـالچ، بسـترهای کشـت غیـر خاکی، ریسـمان‌هـای پلاسـتیکی هـدایت بوتـه‌هـا، سـیم‌هـای فلـزی داخـل گلخانـه، و لولـه‌هـا هـای آبیـاری اسـت. در شـکل ۳۴ نمونـه‌ای از حجـم پلاسـتیک‌هـای انباشـته شده در کنار گلخانه دیده می‌شود (مؤمنی، ۱۳۹۹ و ماروائس، ۲۰۱۹).

شیشـه‌هـا و پوشـش‌هـای پلاسـتیکی تولیـد شـده از پلیمرهـای نفتـی، مـواد زیست‌تخریب‌پـذیر[1] (مـوادی کـه پـس از اسـتفاده، توسـط میکروارگانیسـم‌هـای موجـود در طبیعت به واحدهای سازنده خـود تجزیـه شـده و بـه مـواد سـاده‌تـری ماننـد گازهـای کـربن دی‌اکسـید و ازت، آب، نمـک‌هـای معـدنی و زیسـت‌تـوده[2] تبـدیل مـی‌شـود) نیسـتند. سـالانه در جهـان، حـدود ۵/۳ میلیـون تـن پسـماند زیسـت‌تخریـب ناپـذیر در بخـش کشـاورزی تولیـد مـی‌شـود و از سـوی دیگـر، تقاضـای مصـرف پلاسـتیک در بخش کشاورزی هر ساله افزایش مـی‌یابـد. علاقـه مصـرف‌کننـدگان ایـن پلاسـتیک‌هـا بیشتر بـه پلاسـتیک‌هـایی اسـت کـه انـرژی کمـی بـرای تولیـد آن‌هـا مصـرف شـده و قابـل بازیافـت باشـد؛ پایـداری بـالایی در برابـر پرتوهـای فـرابنفش داشـته و ارزان نیـز باشد. با توجه به این‌کـه در حـال حاضـر کـاهش تقاضـا بـرای بسـیاری از پلاسـتیک‌هـا

1- Biodegradable
2- Biomass

ممکن یا چشم‌گیر نیست، بازیافت پلاستیک‌ها از اهمیت ویژه‌ای در حفاظت از محیط‌زیست برخوردار است (ماروائس، ۲۰۱۹).

شکل ۳٤- نمونه‌ای از پلاستیک‌های انباشته شده از گلخانه‌ها

تولید و تقاضای روزافزون پلاستیک، چالش‌های جدی محیط‌زیستی ایجاد کرده است و کربن زیادی تولید می کند. در جدول ۱۰، میزان انتشار کربن (معادل کربن دی‌اکسید) به ازای مصرف هر تن از مواد مورد استفاده در پوشش‌های گلخانه‌ای بر اساس استانداردهای بین‌المللی ارائه شده است. از میان انواع مواد مورد استفاده برای پوشش گلخانه، بازیافت پلی‌اتیلن کمترین انتشار کربن (kg CO_2 e/t ۲۹) را دارد و تأثیر بیشتری بر پایداری محیط زیست بر جای می گذارد. البته باید در نظر داشت که پلیمرهای بازیافت شده با اینکه قیمت کمتری نسبت به پلیمرهای اصلی دارند، کیفیت پایین‌تری نیز دارند. از پلاستیک های بازیافتی در تولید لوله‌های پلاستیکی، سینی نشاء، تخته پلاستیکی،گلدان، سطل زباله، بطری‌های مواد غیرخوراکی و غیره استفاده می شود (ماروائس، ۲۰۱۹؛ مومنی، ۱۳۹۹).

نکته مهم در بازیافت مواد مورد استفاده در پوشش گلخانه‌ای، افزون بر لزوم شکستن پیوندهای شیمیایی بین عناصر سازنده پلیمرها، وجود افزودنی‌ها در

پوشش‌های گلخانه‌ای است. با وجود این مشکلات، بازیافت این مواد با حجم زیاد، کمک بیشتری به پایداری محیط زیست، نسبت به رها کردن آن‌ها در طبیعت خواهد کرد. در مورد بازیافت PVC و PVF باید به این نکته توجه کرد که این پوشش‌ها به‌دلیل وجود عناصر سنگین پایدار کننده، ممکن است موجب انتشار عناصر سنگین در محیط زیست شود (ماروائس، ۲۰۱۹).

جدول ۱۰- مقدار انتشار کربن (معادل کربن دی‌اکسید) به ازای مصرف هر تن از مواد مورد استفاده در پوشش‌های گلخانه‌ای

نوع پوشش	مقدار کربن منتشر شده ($kg\ CO_2\ e/t$)
شیشه	۳۹۵
پلی‌اتیلن با دانسیته کم	۲۹
پلی‌وینیل فلوراید و پلی‌وینیل کلراید	۳۷۹
پلی‌کربنات و اکریلیک	۳۷۹

خلاصه و جمع‌بندی

امروزه یکی از چالش‌های بخش کشاورزی در جهان و کشور ما، افزایش بهره‌وری تولید و استفاده بهینه از نهاده‌های تولید با رویکردی پایدار است. استفاده مناسب از گلخانه به عنوان یک محیط کنترل شده، می‌تواند تا حدود زیادی منجر به افزایش بهره‌وری عوامل تولید، تولید خارج از فصل و افزایش کیفیت محصول شود. از میان عوامل تولید در گلخانه که با کنترل آن می‌توان عملکرد و حتی کیفیت محصول را افزایش داد، مقدار و کیفیت نور است. پوشش گلخانه یکی از اجزاء مهم گلخانه است که انتخاب و نصب صحیح آن می‌تواند تأثیر زیادی در فراهم کردن شرایط مناسب رشد و نمو گیاه، به ویژه نور داشته باشد. طیف نور تابیده شده از خورشید بسته به طول موج، شامل امواج فرابنفش،

نور مرئی و امواج فروسرخ است که ویژگی هرکدام ازآن‌ها در جدول ۱۱ خلاصه شده است.

پوشش‌های گلخانه‌ای دارای انواع مختلفند و به‌جز شیشه، سایر پوشش‌ها از جنس پلیمرهای نفتی است که بر اساس نوع اقلیم منطقه و توانایی اقتصادی کشاورز انتخاب می‌شود. از میان انواع پوشش‌های پلاستیکی، رایج‌ترین پوشش‌ها در ایران، پوشش‌های پلی‌اتیلن است که نسبت به سایر پوشش‌ها، هزینه تهیه و طول عمر کمتر دارد و احتمال آسیب دیدگی و خرابی زودرس آن‌ها بیشتر است. همچنین، استفاده از پوشش‌های پلی‌اتیلن پیامدهای محیط زیستی کمتری در واحد حجم پوشش دارد. توجه به این نکته ضروری است که در یک دوره زمانی طولانی(مثلا ده سال)، به دلیل بی نیازی از تعویض پوشش‌های شیشه‌ای، پلی-کربنات، اکریلیک و پلی‌وینیل فلوراید، ممکن است استفاده از پوشش‌های نامبرده مقرون به صرفه‌تر بوده و حتی پیامدهای محیط زیستی کمتری نیز به دنبال داشته باشد. بنابراین، در انتخاب نوع پوشش، توجه به نوع کشت، اقلیم منطقه، طول زمان بهره‌برداری و ویژگی‌های پوشش ضروری است. در جدول ۱۲، ویژگی‌های مهم پوشش‌های گلخانه‌ای به طور خلاصه با هم مقایسه شده است.

جدول ۱۱- ویژگی‌های طیف نور تابیده شده از خورشید

نوع طیف	طول موج (نانومتر)	ویژگی
فرابنفش (UV)	<۲۸۰	پر انرژی‌ترین قسمت نور خورشید که در لایه ازن جذب می‌شود.
	۲۸۰ -۳۱۵	سبب تخریب پوشش گلخانه‌ها می‌شود.
	۳۱۵ -۳۸۰	سبب رنگ پریدگی گل‌ها و کدر شدن رنگ پوشش گلخانه‌ها می‌شود.
نور مرئی	۳۸۰-۷۸۰	شامل نورهای آبی، سبز، زرد و قرمز است که محدوده تشعشع فعال فتوسنتزی (PAR) را شامل می شود و در فرایند فتوسنتز به کار می‌رود.
فروسرخ (IR)	>۷۸۰	در طول موج بیشتر از ۳۰۰۰ نانومتر اثر گرمایی دارد و مقدار آن بستگی به محل و فصل تابش دارد.

جدول ۱۲- مقایسه ویژگی‌های مهم پوشش‌های گلخانه‌ای

نوع پوشش	عبور نور (٪)	طول عمر	عایق‌بندی
شیشه تک جداره	۹۲-۸۸	نامحدود	ضعیف
شیشه دو جداره	۸۵-۷۷	نامحدود	خوب
پلی‌اتیلن جاذب UV	۹۱-۸۷	۴ سال	ضعیف
پلی‌اتیلن ضد قطره	۹۰	۳ سال	ضعیف
پلی‌وینیل فلوراید	۹۲	ده سال	متوسط
کوپلیمر اتیلن وینیل استات	۹۱-۹۰	۴ سال	ضعیف
پلی‌کربنات	۸۰-۷۹	ده سال	خیلی‌خوب
اکریلیک	۸۶-۸۱	نامحدود	خیلی‌خوب
فایبرگلاس	۹۰-۸۰	نامحدود	ضعیف

منابع

احمدی، ع.، احسان‌زاده، پ. و جباری، ف. ۱۳۸۸. مقدمه‌ای بر فیزیولوژی گیاهی. انتشارات دانشگاه تهران. ۶۵۳ صفحه.

برزگر، ر. و یادگاری، م. ۱۳۸۹. مدیریت تولید در گلخانه. انتشارات مؤسسه آموزش عالی علمی کاربردی جهاد کشاورزی. ۲۴۶ صفحه.

بی‌نام. ۱۳۹۵. پلاستیک‌ها- فیلم‌های چند لایه گرمانرم مورد استفاده در کشاورزی و باغبانی- الزامات و روش‌های آزمون، شرایط نصب، استفاده و جمع‌آوری فیلم. قسمت ۱: فیلم‌های پوششی گلخانه. انتشارات سازمان ملی استاندارد ایران. ۶۴ صفحه.

جوادی مقدم، ج.، عزلتی، س.، زارعی، ق.، مومنی و د. آزادشهرکی، ف. ۱۳۹۹. طراحی و شبیه سازی سازه گلخانه ای هشت وجهی در برابر انواع بارهای وارده. نشریه تحقیقات سامانه ها و مکانیزاسیون کشاورزی. جلد ۲۰ شماره ۷۴.

جوانبخت، م.، گنجعلی، م. و نوروزی، پ. ۱۳۸۶. طیف‌بینی مادون قرمز اصول و کاربرد. انتشارات دانشگاه تهران.۲۰۳ص.

حسندخت، م. ر. ۱۳۸۷. مدیریت گلخانه: تکنولوژی تولید محصولات گلخانه‌ای. انتشارات سلسله. ۳۷۶ صفحه.

رجبی، س. و توکلی، م. ۱۳۹۵. اثر نانو خاک رس اصلاح شده بر اکسایش نوری فیلم‌های کشاورزی پلی‌اتیلن کم‌چگالی (LDPE)-اتیلن وینیل استات (EVA) حاوی کلسیم استئارات به‌عنوان کمک‌اکسنده. مجله علوم و تکنولوژی پلیمر. جلد ۲۹، شماره ۱. ۵۴-۴۵.

شمس‌کیا، ف. و کرمی، ط. ۱۳۹۲. اصول و مبانی احداث و مدیریت گلخانه. انتشارات آموزش و ترویج کشاورزی. ۴۰۵ صفحه.

ضیاییان مفید، ن.، صمدبین، ا.، حائری، م. ا. ۱۳۹۷ تولید شیشه. انتشارات سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی، دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای و کاردانش. ۱۷۵ صفحه.

کرمی، ا. و قاسمی قهساره، م. ۱۳۸۷. گلخانه: فناوری و کاربردها. انتشارات کوشا مهر. ۳۱۷ صفحه.

مؤمنی، د.، رضوانی، س. و زارعی، ق. ۱۳۹۹. راهنمای جامع مدیریت مصرف انرژی گرمایشی در گلخانه‌ها. انتشارات سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی. ۹۱ صفحه.

مؤمنی، د. ۱۳۹۹. مدیریت ضایعات و بقایای محصولات گلخانه‌ای (مطالعه موردی: گلخانه خیار). مجله ترویجی مدیریت ضایعات و پسماندهای کشاورزی. جلد ۲، شماره ۲. ۳۹-۴۶.

وطن‌خواه دولت‌سرا، ج. ۱۳۹۰. پلاستیک‌های صنعتی: خواص و کاربرد. نشر دایره صنعت. ۲۳۶ صفحه.

Alaaeddin, M. H., Sapuan, S. M., Zuhri, M. Y. M., Zainudin, E. S., and AL-Oqla, F. M. 2019. Polyvinyl fluoride (PVF); its properties, applications, and manufacturing prospects. In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (Vol. 538, No. 1, p. 012010). IOP Publishing.

Ali, U., Karim, K. J. B. A., & Buang, N. A. 2015. A review of the properties and applications of poly (methyl methacrylate) (PMMA). Polymer Reviews, 55(4), 678-705.

Ana, L., Martínez-Barrera, G., Barrera-Diaz, C. E., Avila-Cordoba, L. I., & Urena-Nunez, F. 2017. Characterization of recycled polycarbonate from electronic waste and its use in hydraulic concrete: Improvement of compressive performance. Advances in concrete construction, 5(6), 563.

Anonymous. 2016. The US National Greenhouse Manufacturer's Association. Glazing standard guidelines & voluntary standard test methods. Available on: www.NGMA.com.

Bolgar, M., Hubball, J., Groeger, J., & Meronek, S. 2015. Handbook for the chemical analysis of plastic and polymer additives. CRC Press.

Baeza, E., & López, J. C. 2012. Light transmission through greenhouse covers. In VII International Symposium on Light in Horticultural Systems 956 (pp. 425-440).

Dehbi, A., & Mourad, A. H. I. 2016. Durability of mono-layer versus tri-layers LDPE films used as greenhouse cover: Comparative study. Arabian Journal of Chemistry, 9, S282-S289.

Giacomelli, G. A., & Roberts, W. J. 1993. Greenhouse covering systems. HortTechnology, 3(1), 50-58.

Hanan, J. J. 1997. Greenhouses: Advanced technology for protected horticulture. CRC press

Hemming, S., Mohammadkhani, V., & Dueck, T. 2008. Diffuse greenhouse covering materials-material technology, measurements and evaluation of optical properties. In International Workshop on Greenhouse Environmental Control and Crop Production in Semi-Arid Regions 797 (pp. 469-475).

Maraveas, C. 2019. Environmental Sustainability of Greenhouse Covering Materials. Sustainability, 11(21), 6129.

Nakafuku, C., & Yasuniwa, M. 1987. Melting and Crystallization of Poly (vinylidene fluoride) in the Blend with Poly (methyl methacrylate) under High Pressure. Polymer journal, 19(7), 845-853.

Pollák, V., Romanov, A., & Marcinčin, K. 1976. Study of thermoelastic properties of ethylene-vinyl acetate copolymers and their mixtures with ethylene-propylene copolymer,

polystyrene, and poly (vinyl chloride). Chemical Papers, 30(3), 273-280.

Petchsuk, A., Srinun, D., Buchatip, S., Supmak, W., & Sirikittikul, D. 2019. Development of Multifunctional Film for Greenhouse Applications in Tropical Regions. Advances in Materials Science and Engineering, 2019.

Vox, G., & Schettini, E. 2013. Effects of agrochemicals, ultra violet stabilisers and solar radiation on the radiometric properties of greenhouse films. Journal of Agricultural Engineering, 44(2), e11-e11.