مجله پژوهش‌های راهبردی در علوم کشاورزی و منابع طبیعی جلد ۶ شماره ۲ صفحه‌های ۱۲۳ تا ۱۳۸ (۱۴۰۰)

# اهمیت کنترل عامل‌های مؤثر در شرایط محیطی گلخانه‌های تجاری[1]

**قاسم زارعی[2]، جلال جوادی‌مقدم و حمیده فریدی[3]**

## چکیده

تعیین و بهره‌گیری از شرایط محیطی بهینه شده برای تولید محصول‌های گلخانه‌ای ضروری است. این شرایط اولیه برای تحقق تولید، توسط گلخانه‌داران تعریف و در پی آن رشد گیاه منتخب توسط کنترل‌کننده‌های گلخانه‌ای مطابق با شرایط محیطی مرتبط با آن، دنبال و عملیاتی می‌شوند. افزون بر این، شناسایی بسترهای‌کشت و موادغذایی که امکان رشد محصول های گلخانه‌ای را در شرایط بهینه فراهم می‌آورند، اهمیت زیادی دارد. تکامل چرخهٔ کشت و تولید، به‌طور مستقیم وابسته به تعریف و پیاده‌سازی مناسب و دقیق شرایط محیطی و شرایط محیط‌کشت است. نحوه کنترل شرایط محیطی ساخته شده در حد بهینه و مناسب برای رشد گیاهان، از اصلی‌ترین چالش‌ها در مکان‌یابی، طراحی، ساخت و بهره‌برداری از گلخانه‌هاست. برای این‌کار لازم است پیش از آغاز کار برای حل مشکل، خرداقلیم و محیط‌رشد ایده‌آل گیاه مورد نظر، به خوبی شناخته شود. در این باره، پنج عامل اقلیمی و محیطی مهم شامل دما، رطوبت نسبی، شدت روشنایی، دی اکسید کربن و محیط ریشه (بستر کشت) وجود دارند. در این نوشتار برای تحقق تولید پایدار و تجاری محصول‌های گلخانه‌ای در کشور، نقش و ضرورت کنترل هر یک از عامل‌های اقلیمی و محیطی فوق به تفصیل واکاوی شده‌است.

**واژه‌های کلیدی:** اقلیم گلخانه، بستر کشت، عامل‌های کنترلی، محیط کنترل‌شده.

## مقدمه

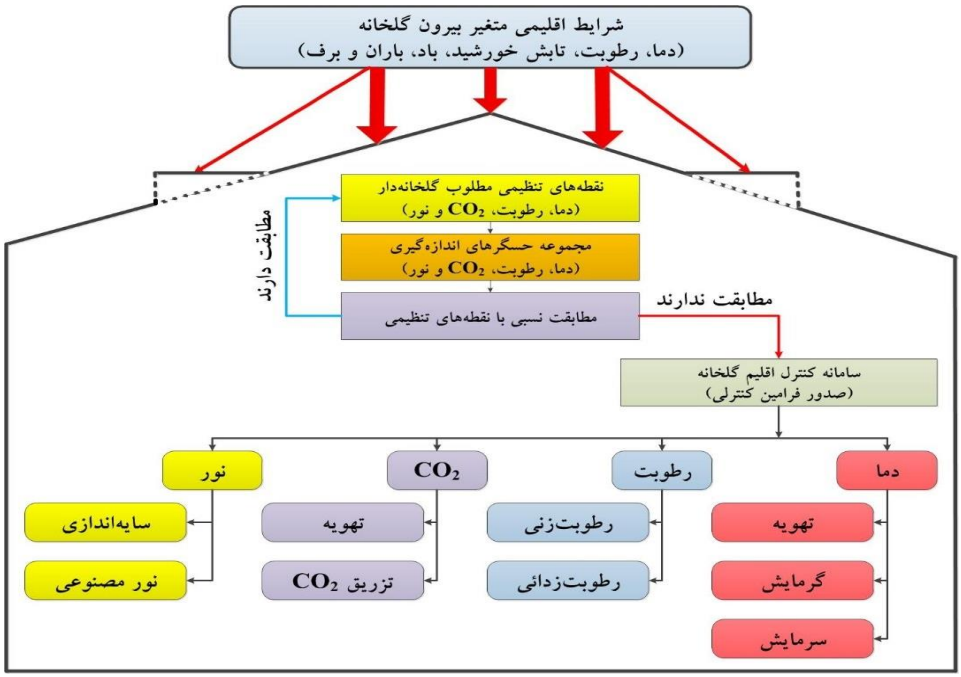
برای استفاده از گلخانه‌ها به منظور تولید محصول‌های مختلف، لازم است شرایط محیطی بهینه شده‌ای برای هر محصول تعیین و به کارگرفته شود. این شرایط را گلخانه‌داران به عنوان شرایط اولیه برای تحقق تولید تعریف و کنترل‌کننده‌های گلخانه مطابق با شرایط محیطی مرتبط با آن گیاه، مرحله رشد آن محصول را دنبال و پیاده‌سازی می‌کنند (شکل ۱). شناسایی بسترهای کشت و ماده‌های غذایی که امکان رشد محصول‌های گلخانه‌ای را در شرایط بهینه و مطلوب فراهم می‌آورند، با اهمیت هستند. هنگامی که شرایط محیطی و شرایط محیط کشت به خوبی تعریف و پیاده شوند، چرخهٔ کامل کشت و فرایند تولید تکمیل و محصول بهینه به‌دست می‌آید.

---

۱- تاریخ دریافت: ۹۹/۱۱/۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۶/۱۷

۲- نویسندهٔ مسئول، پست الکترونیک: gh.zarei@areeo.ac.ir

۳- به‌ترتیب، دانشیار و استادیار پژوهش مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، و دانش‌آموخته مقطع دکتری رشته مهندسی مکانیک بیوسیستم پردیس ابوریحان دانشگاه تهران.




شکل ۱- عامل‌های اقلیمی مؤثر بر چرخه کامل کشت و تولید گیاهان گلخانه‌ای.

یکی از اصلی‌ترین چالش‌ها در مکان‌یابی، طراحی، ساخت و بهره‌برداری از گلخانه‌ها، نحوه کنترل محیط ساخته‌شده در حد بهینه و مناسب برای رشد گیاهان کاشته شده است. بدین منظور باید پیش از شروع به حل مشکل، خرد اقلیم و محیط رشد ایده‌آل برای گیاهان را به خوبی بشناسیم. در این باره، پنج عامل اقلیمی و محیطی دما، رطوبت نسبی، شدت روشنایی، دی‌اکسیدکربن و محیط ریشه (بستر کشت) وجود دارند که به ترتیب ویژگی‌های هر یک از آن‌ها مرور و واکاوی می‌شود.

## دما

تغییرهای دمایی در هر منطقه به عامل‌های زیادی مانند عرض‌جغرافیایی، مقدار تابش خورشید، فصل سال، ارتفاع از سطح دریا، فاصله از دریا، وزش باد، ابرناکی و مه آلودگی منطقه بستگی دارد (۱). دما شاخصی برای اندازه‌گیری سطح گرمای موجود در محیط رشد است. همه گیاهان، دامنه دمایی مشخص شده‌ای دارند که در آن محدوده می‌توانند رشد کنند و محصول بدهند. در زیر این محدوده دمایی (کمینه دمای زیستی[1])، فرایندهای لازم برای زندگی متوقف می‌شوند، درون بافت گیاهان یخ تشکیل می‌شود، راه انتقال آب برای ادامه فرایندهای زندگی گیاه مسدود و یاخته‌ها با تشکیل بلورهای یخ، متلاشی می‌شوند. در بالای محدوده دمایی، آنزیم‌های گیاهی غیرفعال و فرایندهای اساسی رشد متوقف می‌شوند (۱۳). به‌همین دلیل، کنترل دما در گلخانه‌ها به‌طور مستقیم بر روند رشد گیاهان و دیگر فرایندها مانند جذب موادغذایی، مقاومت در برابر بیماری‌ها و رشد و فعالیت آفت ها تأثیر می‌گذارد. دمای هوا با کمک به‌رشد سریع‌تر برگ‌ها، موجب به‌وجود آمدن برگ‌های باریک‌تر می‌گردد.

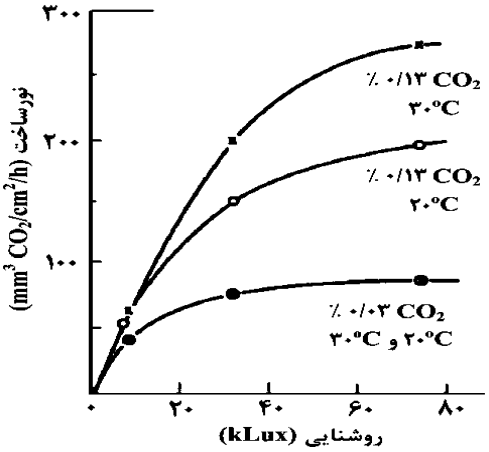
اگر پوشش‌گیاهی کامل نشده باشد، به‌طور معمول برگ‌های بزرگ‌تر به‌صورت انفرادی جلو عبور نور را می‌گیرند و رشد آن‌ها سریع‌تر می‌شود. در این حالت و برای نمونه، مشخص شده است وقتی که دمای هوای محیط از ۲۴ به ۲۷ درجه

1. Minimum biological temperature

سلسیوس افزایش می‌یابد، گسترش برگ‌ها به اندازه‌ای زیاد می‌شود که نورگیری و نورساخت[1] را زیر تأثیر قرار می‌دهد و در نتیجه آهنگ رشد گیاه، برای نمونه کاهو، به تقریب ۵٪ بیشتر می‌شود (۴).

برای حصول اطمینان از این‌که سرعت نورساخت همواره از سرعت تنفس بیشتر باشد، گیاهان در شب در دمای خنک نگه‌داشته می‌شوند تا سرعت تنفس پایین قراربگیرد؛ در حالی که در روز، در دمای گرم‌تری هستند تا سرعت نورساخت بیشتر شود. در روزهای ابری، گیاهان گلخانه‌ای در دمای روز ۳ تا ۶ درجه سلسیوس بیشتر (گرم‌تر) از دمای شب و در روزهای غیر ابری، ۸ درجه سلسیوس بیشتر از دمای شب نگه‌داشته می‌شوند. به طور کلی، دمای شب برای نگهداری گیاهان گلخانه‌ای ۷ تا ۲۱ درجه سلسیوس توصیه شده است.

قانونی که برای اولین بار بلک‌من[2] مطرح کرده، بیان می‌کند که آهنگ هر فرایندی که با دو یا چند عامل کنترل می‌شود، بر اثر عاملی محدود خواهد شد که کم‌ترین سطح را دارد (۱۶). نورساخت نشانگر خوبی از این قانون است. این فرایند به گرما (دمای مناسب)، نور، دی‌اکسیدکربن و عامل‌های دیگر وابسته است. مفهوم قانون بلک‌من برای گیاه خیار به‌خوبی در شکل ۲ نشان داده شده است. در پایین‌ترین منحنی این شکل، میزان نورساخت با رسیدن به شدت نور حدود ۴۰ کیلولوکس، شروع به ثابت ماندن کرده است، صرف‌نظر از این‌که دمای محیط ۲۰ درجه سلسیوس است یا ۳۰ درجه سلسیوس. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، غلظت ۳۰۰ قسمت در میلیون دی‌اکسیدکربن (۰/۰۳٪) در این مرحله به‌عامل محدودکننده تبدیل شده است. هنگامی‌که دما در ۲۰ درجه سلسیوس ثابت نگه‌داشته می‌شود و غلظت دی‌اکسیدکربن به ۱۳۰۰ قسمت در میلیون افزایش می‌یابد (۰/۱۳٪)، شدت نورساخت بیش‌تر می‌شود (منحنی میانی). پس از آن دمای ۲۰ درجه سلسیوس به عامل محدودکننده تبدیل شده‌است زیرا افزایش دما به ۳۰ درجه سلسیوس در همان غلظت ۱۳۰۰ قسمت در میلیون دی‌اکسیدکربن، موجب افزایش دیگری در شدت نورساخت شده است (۱۳).




شکل ۲- اثر همزمان دی‌اکسیدکربن، نور و دما روی نورساخت گیاه خیار (۱۳).

برای مدیریت دمای محیط، شناختن نیازها و محدودیت‌های گونه‌های گیاهی مورد نظر برای کشت، اهمیت بسیاری دارد. باید مفاهیم مورد نیاز برای دما را روشن ساخت تا هدف و عملکرد درست در کاشت و محدودیت‌های آن در نظر گرفته شوند (۸). جدول ۱ نیازهای دمایی بهینه را برای برخی از گیاهان گلخانه‌ای نشان می‌دهد. لازم است گفته شود که دماهای نشان

1. Photosynthesis
2. Blackman

داده‌شده در جدول ۱ دامنه وسیعی دارند در حالی‌که محصول‌های زراعی بسته به مرحله پدیده‌شناسی[1]آن‌ها، گاهی به محدوده دمایی کمتر یا به مقدارهایی ویژه، نیاز دارند. برای نمونه، جدول ۲ محدوده‌های دمایی ویژه و متناسب با مرحله‌های پدیده‌شناسی گوجه‌فرنگی، مدت‌زمان نیاز به این دماها و نیز تفاوت دمای مورد نیاز در روز و شب از دوره کشت را برای این گیاه، نشان می‌دهد (۱۶).

جدول ۱- نیازهای دمایی بهینه برخی از گیاهان گلخانه‌ای برحسب درجه سلسیوس (۱۶).

| محصول | روز | شب |
|---|---|---|
| گوجه‌فرنگی | ۲۷-۲۱ | ۱۶-۱۳ |
| فلفل | ۲۷-۲۳ | ۱۸-۱۶ |
| بادمجان | ۲۷-۲۲ | ۲۲-۱۷ |
| خیار | ۲۵-۲۰ | ۱۸-۱۶ |
| خربزه | ۳۰-۲۵ | ۲۱-۱۸ |
| هندوانه | ۲۸-۲۳ | ۲۰-۱۷ |

جدول ۲- نیازهای دمایی بهینه گیاه گوجه‌فرنگی در مرحله‌های مختلف پدیده‌شناسی آن برحسب درجه سلسیوس (۱۶).

| مرحله پدیده‌شناسی | | | زمان | روز | شب |
|---|---|---|---|---|---|
| اولیه | کاشت نشا | جذب‌سریع | ۱۲ ساعت | ۲۹-۲۵ | |
| | | استقرار | ۴۰ ساعت | | |
| | جوانه‌زنی | رشد | ۲۷-۲۰ روز | ۱۸ | |
| | | ریشه‌زایی | | ۲۵-۲۲ | |
| | | تشکیل برگ‌های اولیه | | ۱۲ | |
| رویشی | انتقال نشا | | | | |
| | رشد و نمو | | ۳۰-۲۵ روز | ۲۳-۱۸ | ۱۸-۱۶ |
| | گل‌دهی | | ۶۰-۳۰ روز | | |
| زایشی | تشکیل دانه‌گرده | | ۱۲-۸ روز | ۲۰ | |
| | گرده‌افشانی | | | ۱۵/۳۲-۵ | ۲۴-۱۳ |
| | لقاح و باروری | جوانه‌زنی گرده | ۶۳-۴۹ روز | ۲۱ | |
| | | رشد لوله گرده | | ۲۵-۲۰ | |
| | | تولید بذر | | ۲۵-۲۰ | |
| | تشکیل میوه | | | ۲۶-۲۳ | ۱۷-۱۴ |
| | رسیدن میوه | | | ۲۲-۱۵ | |
| | برداشت | | | | |

1. Phenological

برای گرم‌کردن گلخانه‌ها روش‌های مختلفی از جمله جابه‌جایی آب‌گرم، دمیدن هوای‌گرم، تابش از منبع داغ تیره، استفاده از مبدل گرمایی هوا - زمین و مانند این‌ها، وجود دارند. برای خنک‌کردن گلخانه‌ها، روش‌های مختلفی از جمله پوشال و هواکش، مه‌پاشی، آب‌پاشی روی سقف، استفاده از مبدل گرمایی هوا - زمین، سایه‌اندازی و غیره وجود دارند. روش‌های یاد شده از نظر مصرف انرژی، مصرف آب، هزینه‌های سرمایه‌گذاری اولیه، هزینه‌های جاری، راندمان سرمایش یا گرمایش و نیز یکنواختی پخش گرما و سرما در طول‌گلخانه، دارای سودمندی‌ها و کاستی‌هایی هستند که هنگام طراحی گلخانه باید به‌طور ویژه به آن‌ها توجه شود (۱، ۲).

## رطوبت‌نسبی

رطوبت‌نسبی داخل گلخانه‌ها با فرایندهای گوناگونی مانند تغییرهای دما، افزایش یا کاهش تعرق، رشد بافت‌های گیاهی، زنده‌ماندن گرده برای بالابردن درصد بیش‌تر باروری تخمدان گل‌ها و ایجاد بیماری و آفت ارتباط دارد. رطوبت‌نسبی تابعی از مقدار آب موجود در هوا و دماست در صورتی‌که رطوبت‌مطلق، نسبت مقدار رطوبت موجود در یک کیلوگرم هواست (گرم بر کیلوگرم). رطوبت‌های مطلق و نسبی به‌طور معمول بیانگر ویژگی هواست و با قانون‌های ترمودینامیک غیرخطی (سایکرومتری) به‌شدت به‌هم پیوسته هستند (۱۴).

از سوی دیگر، دما به‌طور واژگون با رطوبت‌نسبی مرتبط است به‌طوری‌که در دماهای بیشتر، ظرفیت نگهداری بخار آب در هوا افزایش و در نتیجه رطوبت‌نسبی کاهش می‌یابد و در دماهای اندک، رطوبت‌نسبی افزایش می‌یابد (۸). به‌طور معمول برهمکنش‌های هوای مرطوب روی محیط‌های گیاهی بسیار پیچیده هستند، اما خوشبختانه به‌نظر می‌رسد تغییر رطوبت‌نسبی مجاز (یا کمبود فشار بخار) که در دامنهٔ آستانه گیاهی انجام شود ، تأثیر زیانبار کمی به‌وجود می‌آورد. رطوبت‌نسبی داخل گلخانه‌ها افزون بر فعالیت گیاهان و تغییرهای دمایی محیط، به فعالیت سامانه‌های سرمایش تبخیری (مانند پوشال و هواکش و مه‌پاش‌ها) و سامانه‌های آبیاری قطره‌ای نیز وابسته هستند (۱).

رطوبت‌نسبی محیط، عامل اقلیمی مهمی است که می‌تواند در انتخاب محل ساخت گلخانه مؤثر باشد. فراهم کردن رطوبت مناسب برای گیاهان در جاهایی که رطوبت‌نسبی کم‌تر و یا بیش‌تر از حد مورد نیاز است، به‌طور معمول هزینه‌بر و دشوار است (۲). در رطوبت‌نسبی کم (کمبود فشار بخار بالا، برای نمونه بیش از ۱ تا ۲ کیلوپاسکال) به‌علت بسته‌شدن روزنه‌ها برای ذخیره‌سازی آب، رشد گیاه کاهش می‌یابد. از سوی دیگر، رطوبت نسبی زیاد (کمبود فشار بخار، برای نمونه ۰/۳ کیلوپاسکال) می‌تواند تعرق را کاهش دهد، جذب کلسیم را محدود کند، موجب ایجاد اختلال‌های فیزیولوژیک در برخی از گونه‌های گیاهی شود و نیز گسترش بیماری‌های قارچی و آلودگی ناشی از فعالیت حشره‌ها را بیشتر کند (۴). هر گونه گیاهی برای رشد در شرایط آیده‌آل، به‌محدوده رطوبت‌محیطی معینی نیاز دارد. در جدول ۳، برخی از این محدوده‌ها برای برخی گیاهان گلخانه‌ای بیان شده است (۱۶).

## شدت نور

گیاهان هم به شدت نور و هم به کیفیت (طیف) آن واکنش نشان می‌دهند. شدت نورساخت و در نتیجه سرعت رشد گیاهان به‌طور مستقیم به مقدار تشعشع فعال خورشید[1] وابسته است (۳). اشباع نوری شرایطی است که فرایندهای گیاهی در استفاده از پرتوهای خورشید به‌طرز چشمگیری کمتر در تأثیر آن قرار می‌گیرند و به‌طور معمول این حالت در شدت نور نسبی زیاد، رخ می‌دهد. گلخانه‌ها اغلب بیش از نیمی از تابش خورشید را که روی سطوح بیرونی خود دریافت می‌کنند، به

1. Photosynthetically active radiation (PAR, 400–700 nm)

داخل منتقل می‌کنند. بنابراین به احتمال، اشباع نوری در گلخانه‌ها نسبت به فضای باز کمتر پیش می‌آید. پیش از آن‌که اشباع نوری در گلخانه‌های قابل توجه شود، پاسخ نورساختی گیاهان به نور به‌طور نسبی خطی است. بنابراین، می‌توان انتظار داشت که آهنگ رشد گیاهان در طول روز به طورتقریب رابطه خطی با نور رسیده به آن‌ها داشته باشد.

جدول ۳- دامنه رطوبتی لازم برای برخی گیاهان گلخانه‌ای (۱۶).

| محصول | محدوده رطوبت‌نسبی بهینه (٪) |
|---|---|
| گوجه‌فرنگی | ۸۰-۶۰ |
| فلفل | ۶۰-۵۰ |
| بادمجان | ۶۰-۵۰ |
| خیار | ۹۰-۷۰ |
| کدو سبز | ۸۰-۶۵ |
| کاهو | ۸۰-۶۰ |
| خربزه و هندوانه | ۷۵-۶۵ |
| گل وَرد (رز) | ۱۶-۱۴ |
| گل داودی | ۲۵-۲۰ |

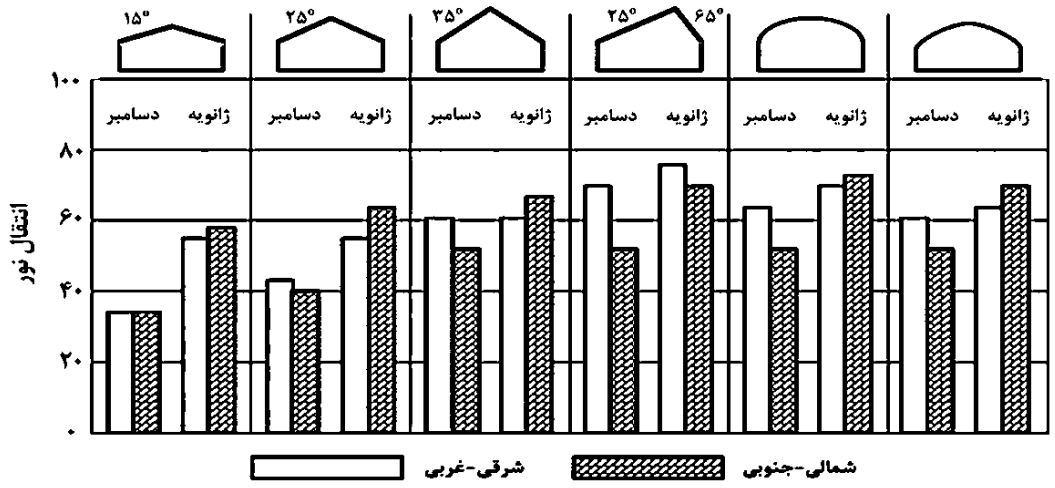
نور تنها منبع انرژی برای رشد گیاهان و تأثیر عمده آن روی گیاهان از راه نورساخت است (۴). شدت نور از مکانی به مکان دیگر و نیز از فصلی به فصل دیگر، متفاوت است، اما به‌طورکلی از صفر در ابتدای روز تا حدود ۱۰۰ تا ۱۵۰ کیلولوکس (۱۰۰۰ تا ۱۵۰۰ لومن در مترمربع) در میانه روز (حدود ظهر)، متغیر است. شدت نور در روزهای ابری بسیار کم است که منجر به فرایند نورساختی ضعیف می‌شود. شدت نور بهینه برای گیاهان حدود ۳۲ کیلولوکس است، اما شدت نورهای کم‌تر از ۳/۲ کیلولوکس و بالاتر از ۱۲۹ کیلولوکس، برای گیاهان، مناسب نیستند (۱۸).

هنگامی‌که گلخانه‌ای در حال طراحی و ساخت است، توجه به انتقال پرتوهای خورشید به داخل آن ضرورت بیشتری دارد. در شکل ۳، انتقال نور طرح‌های مختلف گلخانه با آرایش (جهت‌گیری) شرقی-غربی و شمالی- جنوبی در ماه‌های دسامبر و ژوئن، نشان داده شده‌است. روشن است که انتقال نور در آرایش شرقی- غربی در زمستان بیشتر و در تابستان کمتر از آرایش شمالی - جنوبی است. گلخانه‌هایی با سقف قوسی[1] دارای انتقال نور بهتری نسبت به گلخانه‌هایی با سقف شیب‌دار[2] ۲۵ ° هستند (۱۸).

در اوج تابستان، به برخی از محافظت‌ها (سایه‌اندازی) در برابر شدت زیاد نور خورشید نیاز است زیرا تابش اضافی موجب افزایش دمای برگ و ایجاد آفتاب سوختگی گیاهان می‌شود. از این‌رو، امکان استقاده از انواع توری‌های سایه‌انداز[3]، چه در خارج از گلخانه و چه در داخل گلخانه، فراهم شده‌اند. توری‌های مورد استفاده در داخل گلخانه‌ها، به‌طور معمول دو منظوره هستند. یعنی افزون بر سایه‌اندازی در تابستان از ۲۰ تا ۹۰٪، استفاده از این پرده‌های گرمایی[4] در طول شب موجب ۶۰٪ و در طول فصل زراعی، ۲۵ تا ۳۰٪ کاهش در مصرف انرژی برای گرمایش گلخانه‌ها می‌شوند (۵). این‌گونه نیست که همه طیف‌های نوری خورشید در نورساخت سودمند باشند. طیف‌های نوری را می‌توان بر اساس طوج موج آن‌ها (به نانومتر)

1. Arched roofs 2. Pitched roofs 3. Shading screen 4. Thermal screens

طبقه‌بندی کرد. این طبقه‌بندی کیفیت نور شناخته می‌شود. گیاهان از نورهای مرئی استفاده می‌کنند که طول موج آن‌ها در محدوده ۴۰۰ تا ۷۰۰ نانومتر است. این محدوده بیشتر به تشعشع فعال خورشید شناخته می‌شود. نور فرابنفش[1] برای گیاهان زیانبار است، درحالی‌که طیف‌های سرخ دور و فروسرخ[2]، تاثیری در نورساخت ندارند (۱۳).

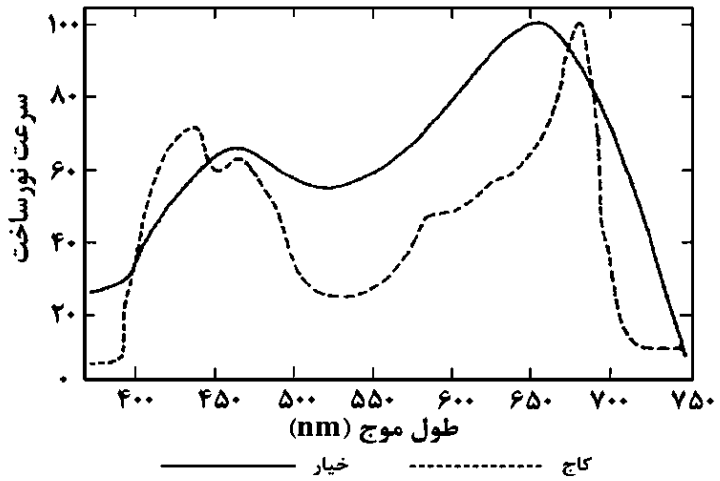



شکل ۳- تابش خورشید برای طرح‌ها و آرایش‌های مختلف گلخانه‌ای در ماه‌های مختلف سال (۱۸).

در شکل ۴ میزان فعالیت نورساختی در کیفیت‌های مختلف نور برای دو گیاه خیار و کاج نشان داده شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، در باندهای آبی و قرمز قله‌هایی وجود دارند که فعالیت نورساختی در آن‌ها بیشتر هستند. هنگامی‌که نور آبی شدید و نور قرمز کمی برای گیاهان تأمین می‌شود، رشد آن‌ها کوتاه و سخت می‌شود و به‌رنگ تیره در می‌آیند. هنگامی‌که گیاهان زیر نور قرمز شدیدتر از نور آبی رشد می‌کنند، رشد آن‌ها نرم و فاصله میان‌گره‌ها طولانی می‌شود و در نتیجه گیاهان بلند و باریک می‌گردند. برای نمونه بوته‌های گوجه‌فرنگی در گلخانه شیشه‌ای، بلند و به‌رنگ سبز روشن در می‌آیند در حالی‌که بوته‌هایی که در گلخانه پوشیده از فایبرگلاس رشد می‌کنند، کوتاه و به‌رنگ سبز تیره در می‌آیند. این تفاوت در شکل ظاهری گیاهان تا حدودی به فیلتر شدن طول موج (طیف) نور توسط پوشش گلخانه مربوط می‌شود. در شکل ۴ به‌روشنی دیده می‌شود که از تمام طیف‌های نور مرئی به‌آسانی در نورساخت استفاده می‌شود (۱۳).

در فصل‌های کم‌تابش سال، شدت نور برای بیشتر محصول‌های زیرکشت در بیشتر منطقه‌های تولید گلخانه‌ای جهان، زیر حد مطلوب است. این وضعیت با استفاده از روشنایی تکمیلی[3] در گلخانه‌ها می‌تواند اصلاح شود تا سرعت نورساخت افزایش یابد. پیشرفت‌های این صنعت، نقش مهمی در افزایش بهره‌وری تولیدهای گیاهی در محیط‌های کنترل شده در ۳۰ سال اخیر داشته است (۱۱). افزون بر افزایش عملکرد، کاربرد روشنایی تکمیلی مدیریت شده در بهبود گلدهی، وضعیت ظاهری، کیفیت محصول، کاهش عامل‌های بیماریزا، افزایش دوره رشد به تمام طول سال و نیز پایداری اشتغال نیروهای کارگری، کمک می‌کند (۶).

1. Ultraviolet
2. Far-red and infrared
3. Supplemental lighting




شکل ۴- شدت فعالیت نورساختی گیاهان مختلف در طیف‌های نوری متفاوت (۱۳).

در استفاده از روشنایی تکمیلی در گلخانه‌ها، چهار دسته لامپ‌ی زیر وجود دارند (۱۱، ۱۲، ۱۵):

**لامپ‌های رشته‌ای**[1]- این لامپ‌ها به‌طور معمول در گلخانه‌ها مورد استفاده قرار نمی‌گیرند زیرا منجربه ایجاد گرمای بیش از حد، تابش ضعیف و تولید طول موج‌های مربوط به سرخ دور و فرو سرخ می‌شوند که برای گیاهان مطلوب نیستند. لامپ‌های رشته‌ای از نظر مصرف انرژی بسیار ناکارآمد بوده ولی کم‌هزینه هستند. نوردهی یک لامپ رشته‌ای معمولی حدود ۱۶ لومن به ازای مصرف هر وات[2] است.

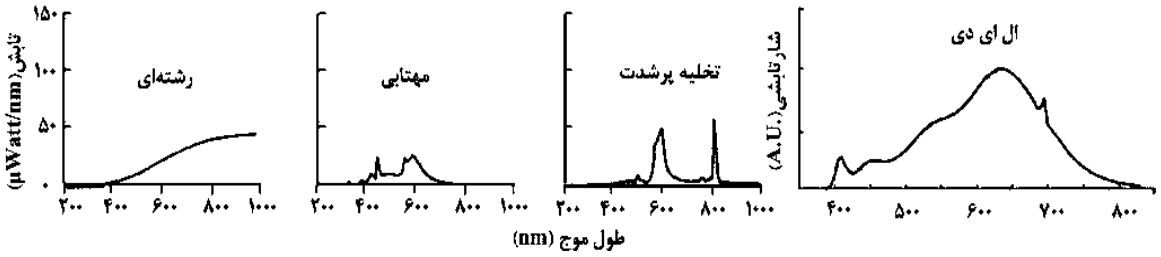
**لامپ‌های مهتابی**[3]- این لامپ‌ها رایج‌ترین لامپ‌هایی هستند که برای کشت در محیط‌های کنترل شده استفاده می‌شوند، زیرا طول موج‌های متنوعی را ارائه می‌دهند که می‌توانند در موقعیت‌ها و شرایط مختلف، مورد استفاده گیاهان قرار گیرند. برعکس لامپ‌های رشته‌ای، لامپ‌های مهتابی کارآمد هستند و گرمای چندانی تولید نمی‌کنند. همچنین نوردهی لامپ‌های مهتابی حدود ۴۰ تا ۶۰ لومن در هر وات است.

**لامپ‌های تخلیه پرشدت**[4]- این لامپ‌ها انرژی الکتریکی را به‌صورت بسیار مؤثرتری به تابش (نور) تبدیل می‌کنند. لامپ‌های HID در اروپا بیشتر به‌کار می‌روند تا در آمریکا. این لامپ‌ها هزینه بالاتری نسبت به لامپ‌های مهتابی دارند، اما به جای آن، نگهداری کم‌تری نیاز دارند. این لامپ‌های سنتی و مرسوم برای پرورش گل و گیاهان زینتی هستند که به دو دسته HPS و MH تقسیم می‌شوند. لامپ‌های HPS (بخار سدیم) بیشتر دارای طیف نوری سرخ هستند که آن‌ها را گزینه‌ای عالی برای گل‌دهی و میوه‌دهی گیاهان می‌کند، درحالی‌که لامپ‌های MH (متال‌هالید) بیشتر نور آبی از خود منتشر می‌کنند که این ویژگی، آن‌ها را برای رشد و نمو گیاهان مناسب می‌سازد. لامپ‌های HID، بسیار کم‌مصرف‌اند، اما از آن‌جا که بسیار قوی هستند، مقدار زیادی برق مصرف و گرمای قابل توجهی نیز تولید می‌کنند. این لامپ‌ها به اجزای اضافه‌ای چون «بالاست» نیاز دارند. از آن‌جا که این چراغ‌ها نور زیادی تولید می‌کنند که برای گلدهی هر نوع گیاهی کافی است، لامپ‌های HID هم‌چنان گزینه مورد علاقه بسیاری از تولیدکنندگان تجاری گل و گیاه هستند. هرچند چراغ‌های LED به مرور دارند این جایگاه را تصاحب می‌کنند.

1. Incandescent lamps 2. Lumen/watt 3. Fluorescent lamps 4. High intensity discharge lamps

**لامپ‌های ال ای دی**[1]- استفاده از دیودهای منتشرکننده نور (LEDs) به‌دلیل عملکرد مناسب از نظر هزینه‌ها، ضریب تبدیل انرژی به نور زیاد، داشتن طیف‌های نوری متنوع، تولید دمای کم، طول عمر طولانی، ساخت از مواد جامد (بدون گاز) و غیره، در بسیاری از زمینه‌ها به‌طور فزاینده‌ای متداول شده‌اند. فناوری تولید این لامپ‌ها در حال پیشرفت است به‌طوری‌که ضریب تبدیل انرژی به روشنایی[2] (تولید نور) لامپ‌های LED سفید در سال‌های ۲۰۱۰، ۲۰۱۶ و ۲۰۲۰ به‌ترتیب ۷۵، ۱۵۰ و ۲۰۰ لومن در مصرف هر وات شده‌اند و پیش‌بینی می‌شود در سال ۲۰۲۵ به حدود ۲۴۰ لومن در مصرف هر وات، برسد. گرچه کاربرد این نوع لامپ‌ها در گلخانه‌های پژوهشی از دهه ۱۹۹۰ شروع شد، اما استفاده تجاری از آن‌ها در گلخانه‌ها از سال ۲۰۰۵ شروع شده‌است.

در شکل ۵ محدوده طیف نوری ایجاد شده در لامپ‌های یاد شده در شدت‌های تابش مختلف، با هم مقایسه شده‌اند (۱۰، ۱۶).




شکل ۵- طیف نوری منتشر شده از انواع لامپ‌های گلخانه‌ای در شدت‌های تابش مختلف (۱۰).

## دی اکسید کربن

کربن ماده‌ای مغذی و ضروری برای گیاهان است و نسبت‌به هر ماده غذایی دیگری، به‌مقدار بیشتری در گیاهان وجود دارد. حدود ۴۰٪ ماده خشک گیاهان از کربن تشکیل شده است. گیاهان کربن را از دی‌اکسیدکربن موجود در هوا به‌دست می‌آورند. در بیشتر موردها این گاز در صورت باز بودن روزنه‌ها، از اتمسفر به برگ‌ها وارد و در گیاهان پخش می‌شود. با حضور کربن در یاخته‌های گیاهی و در صورت وجود نور و آب در محیط، از آن برای ساخت کربوهیدرات‌ها (قندها) و اکسیژن استفاده می‌شود. فرایند شیمیایی که در آن دی‌اکسیدکربن توسط گیاهان استفاده می‌شود، نورساخت است و این واکنش در کلروپلاست‌های سبز درون یاخته‌های برگ رخ می‌دهد. نورساخت شامل یک‌سری واکنش‌هائی فتو- شیمیایی است که در آن‌ها دی‌اکسیدکربن با استفاده از انرژی نورانی برای ساخت کربوهیدرات‌ها استفاده می‌شود و بنابراین فرایند فیزیولوژیک مهمی است که به‌طور مستقیم بر رشد و عملکرد گیاهان تأثیر می‌گذارد. این فرایند به‌صورت معادله زیر خلاصه می‌شود (۱۱):

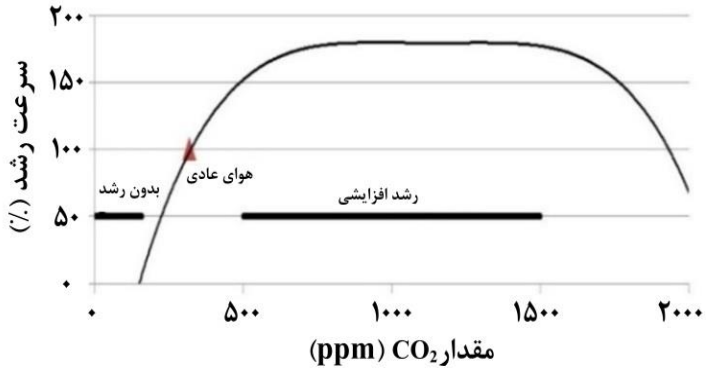
(۱) اکسیژن + کربوهیدرات ⟵ انرژی (نور خورشید) + آب + دی‌اکسیدکربن

هوای محیط باز در میانگین حاوی اندکی بیش از ۰/۰۳٪ دی‌اکسیدکربن است. غلظت میانگین این گاز در حال حاضر، حدود ۳۴۵ قسمت در میلیون است در صورتی‌که در گذشته، میانگین غلظت آن در حدود ۲۹۴ قسمت در میلیون بوده است.

1. Light-emitting diodes (LEDs) 2. Luminous efficacy (Lumen per watt)

به دلیل احتراق سوخت‌های فسیلی، صنعتی شدن جامعه و جنگل‌زدایی، غلظت دی‌اکسیدکربن از سال ۱۸۸۰ میلادی به‌تدریج درحال افزایش بوده است به‌طوری‌که در سال‌های اخیر، سالانه ۱ تا ۲ قسمت در میلیون به غلظت آن افزوده می‌شود. غلظت دی‌اکسیدکربن در منطقه‌هایی مانند مرداب‌ها و بستر رودخانه‌ها نیز به‌دلیل تجزیه مداوم مواد و باقی مانده‌های گیاهان، بیشتر از حد معمول است. مانند انسان، میکروارگانیسم‌هایی که از باقی مانده‌های گیاهان یا جانوران تغذیه می‌کنند، در فرایند تنفس گاز دی‌اکسیدکربن تولید می‌کنند که برعکس نورساخت است.

غلظت ۳۰۰ قسمت در میلیون دی‌اکسیدکربن برای فراهم‌شدن رشد گیاهان، به‌طور معمول کافی است. با این همه، برابر شکل ۶، بیشتر گیاهان ظرفیت استفاده از غلظت‌های بالاتری از دی‌اکسیدکربن را دارند که به نوبه خود رشد سریع‌تری برای آن‌ها فراهم می‌سازد (۱۳). غلظت‌های بیشینه سه تا پنج برابر غلظت محیط برای گیاهان دارای مزیت هستند، اما در غلظت‌های زیاد موجب کاهش بازده عملکرد گیاهان می‌شود (۴). این توانایی ژنتیکی گیاهان به ظاهر به زمان‌های ابتدایی تکامل گیاهان برمی‌گردد، زمان‌هایی که آن‌ها به‌غلظت ۱۰ تا ۱۰۰ برابری دی‌اکسیدکربن حال حاضر عادت داشتند (۱۳). افزون بر این، مزیت‌های واقعی غنی‌سازی دی‌اکسیدکربن ممکن است در صورت وجود محدودکننده دیگر عامل‌ها (مانند شدت نور) غیر اقتصادی باشد. مطابق جدول ۴، غلظت‌های مناسب برای بسیاری از گیاهان تعیین و پیشنهادی شده‌اند، اما پویایی موقت جذب دی‌اکسیدکربن هنوز به‌خوبی اندازه‌گیری و کمی نشده است (۴).

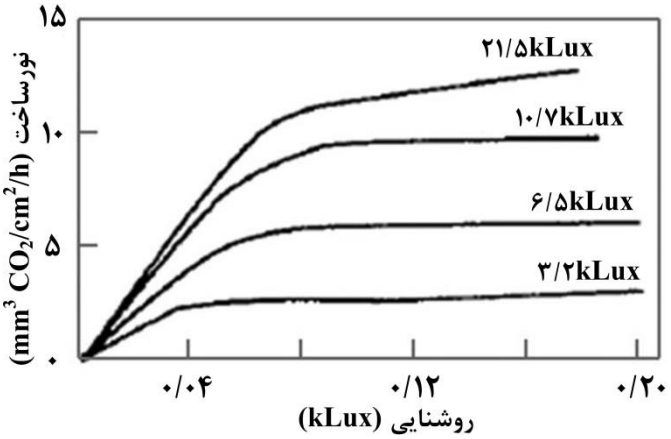



شکل ۶- رابطه بین غلظت دی‌اکسیدکربن و سرعت رشد گیاهان (۱۳).

جدول ۴- غلظت‌های دی‌اکسیدکربن لازم برای رشد برخی از گیاهان گلخانه‌ای (۴).

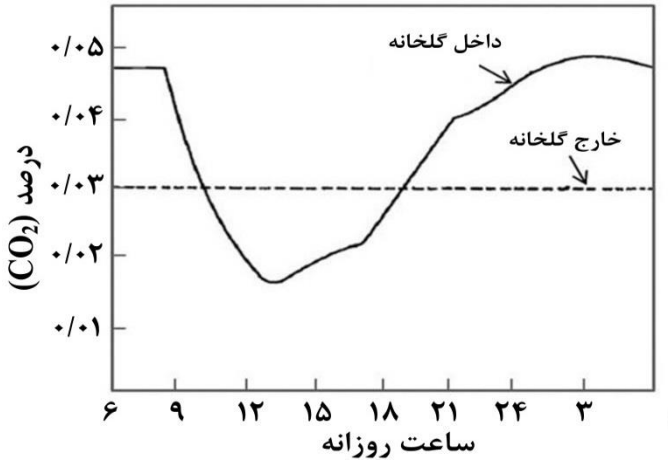
| محصول | بازهٔ بهینهٔ دی‌اکسیدکربن (قسمت در میلیون) |
|---|---|
| گوجه‌فرنگی | ۲۰۰۰-۱۰۰۰ |
| خیار | ۳۰۰۰-۱۰۰۰ |
| کاهو | ۲۰۰۰-۱۰۰۰ |
| گل وَرد | ۲۰۰۰-۱۰۰۰ |
| گل داودی | ۱۲۰۰-۴۰۰ |

با افزایش مقدار انرژی ناشی از نور خورشید و در صورت محدود نشدن فرایند نورساخت با دیگر عامل‌ها، باید غلظت دی‌اکسیدکربن برای گیاهان افزایش یابد. برای نمونه، رابطه کلی بین غلظت دی‌اکسیدکربن، شدت نور و مقدار نورساخت برای گیاه گندم در شکل ۷ نشان داده شده است (۱۸).




شکل ۷- رابطه بین غلظت دی‌اکسیدکربن، شدت نور و میزان نورساخت برای گیاه گندم (۱۸).

در محیط‌های بسته، مانند گلخانه‌ها، هوای محصور ممکن است دی‌اکسیدکربن با غلظت ۱۰۰۰ قسمت در میلیون داشته باشد، زیرا دی‌اکسیدکربن حاصل از تنفس در طول شب می‌تواند در محیط باقی بماند. با سرزدن خورشید نور آن در دسترس گیاهان قرار می‌گیرد و فرایند نورساخت آغاز می‌شود، به‌همین دلیل غلظت دی‌اکسیدکربن در هوای دورن گلخانه کاهش می‌یابد. به‌همین ترتیب، غلظت دی‌اکسیدکربن در گلخانه‌ها پیش از ظهرها ممکن است پایین‌تر از ۳۰۰ قسمت در میلیون برود. روشن است در چنین شرایطی اگر هوای گلخانه‌ای دی‌اکسیدکربن اضافی از برخی منابع دیگر دریافت نکند، گیاهان کشت شده، دچار کمبود دی‌اکسیدکربن می‌شوند. نمودار متداول تغییرهای روزانه دی‌اکسیدکربن در گلخانه‌ها در شکل ۸ نشان داده شده است (۱۸).




شکل ۸- روند معمول تغییرهای غلظت دی‌اکسیدکربن در گلخانه‌ها (۱۸).

غنی‌سازی دی‌اکسیدکربن در صورت لزوم باید در مدت زمان روشنایی باشد. غنی‌سازی با این گاز به ندرت در خلال تهویه گلخانه‌ها صورت می‌گیرد زیرا در فناوری‌های متعارف کشت‌های گلخانه‌ای، به واسطه وجود سیستم تهویه، در عمل بخش عمده‌ای از دی‌اکسیدکربن تزریق شده از راه سیستم تهویه (دریچه‌ها و هواکش‌های تخلیه هوا) از دست می‌رود و در سطح غلظت ۷۵۰ قسمت در میلیون، در عمل بازدهی این غنی‌سازی به بیش از ۹ تا ۱۲٪ نخواهد رسید. بر این اساس، غنی‌سازی دی‌اکسیدکربن در تابستان دنبال نمی‌شود مگر این‌که گلخانه با یک سیستم گردش هوای به‌طورکامل حلقه بسته

خنک شود. بسته به شرایط اقلیمی محلی، به‌طور معمول دوره غنی‌سازی دی‌اکسیدکربن به مهر تا اسفند ماه محدود می‌شود. روش‌های مختلف غنی‌سازی گاز دی‌اکسیدکربن عبارت‌اند از (۱۸):

**احتراق**[1]- سوختن یک هیدروکربن مانند گاز طبیعی، روغن پارافین یا نفت سفید، در صورت وجود اکسیژن کافی، منجر به تولید دو ماده دی‌اکسیدکربن و آب می‌شود.

**دی‌اکسیدکربن مایع**[2]- هنگامی‌که دی‌اکسیدکربن خشک در بطری‌ها یا مخزن‌های با فشار زیاد پر شود، مایع می‌شود. در این شرایط، گاز دی‌اکسیدکربن از این مخازن زیر فشار با کمک مجموعه‌ای از شیرهای تنظیم‌کننده به‌تدریج آزاد می‌شود تا گاز فشرده، اندک اندک در داخل گلخانه پخش و استفاده شود.

**دی‌اکسیدکربن جامد**[3]- دی‌اکسیدکربن در فشار زیاد و دمای اندک، استحکام می‌یابد و به‌طور خاص به عنوان «یخ خشک[4]» شناخته می‌شود. در صورتی که مقدار مورد نیاز آن برای گلخانه مشخص باشد، می‌توان از آن برای غنی‌سازی دی‌اکسیدکربن در داخل گلخانه استفاده کرد. برای این‌کار سیستم گردش هوا برای پخش یکنواخت‌تر دی‌اکسیدکربن مورد نیاز خواهد بود.

به‌طورکلی میزان جذب دی‌اکسیدکربن توسط برگ‌ها به چندین عامل از جمله: نوع و گونه گیاهی، دمای محیط، شدت تابش خورشید، سرعت وزش باد، تنش آبی موجود در داخل گیاه، غلظت دی‌اکسیدکربن در هوا، مقاومت در برابر انتشار دی‌اکسیدکربن در روزنه‌ها و همچنین سطح برگ، بستگی خواهد داشت.

## محیط کشت ریشه[5]

به تقریب تمام سبزی‌های موجود در بازار به‌صورت مستقیم یا غیرمستقیم در فضای آزاد و در بستر خاک تولید می‌شوند. با این‌حال، وجود خود خاک برای رشد گیاه ضروری نیست و فقط برخی از اجزای تشکیل دهنده آن مورد نیاز هستند. خاک به‌طورکلی در مزرعه‌ها و باغ‌ها دو نقش اساسی زیر را دارند:

۱- به‌عنوان یک مخزن برای حفظ ماده‌های مغذی و آب عمل می‌کنند.

۲- به‌کمک سیستم ریشه‌ای گیاهان، به‌عنوان نگهدارنده گیاهان عمل می‌کنند.

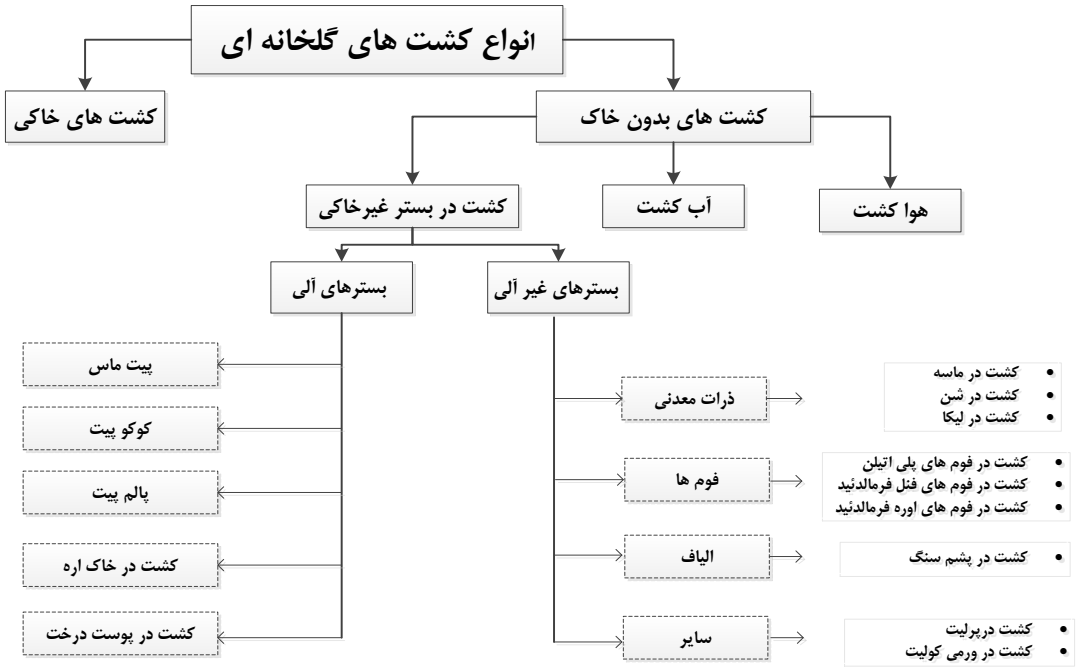
ماده‌های مصنوعی می‌توانند این نیازهای مهم را برای گیاهان با رشدی برابر (و حتی گاهی بهتر)، در مقایسه با خاک مزرعه‌ها و باغ‌ها، فراهم کنند اگرچه در اصل با هزینه چشم‌گیر و بیشتری همراه باشند. خاک‌های زراعی با قابلیت زهکشی و ساختار مناسب، عاری از بیماری‌ها و دارای بافت یکنواخت، محیط رشد ارزانی برای گیاهان هستند، اما خاک‌ها همیشه این شرایط کامل را ندارند. برخی از خاک‌ها از نظر بافت و ساختار ضعیف یا کم‌عمق هستند و به همین دلیل نمی‌توانند محیط رشد رضایت بخشی از نظر تهویه و سرعت زهکشی آهسته برای ریشه گیاهان فراهم کنند. میکروارگانیسم‌های بیماریزا مانند نماتودها، مشکل شایع در اغلب خاک‌های زراعی هستند. هنگامی‌که خاک شرایط نامطلوب داشته باشد و احیای آن غیرعملی و یا غیراقتصادی باشد، ممکن است کاربرد انواع کشت‌های بدون خاک قابل توجیه باشد (۹).

کشت‌های بدون خاک، روش‌هایی از کشت هستند که با استفاده از آن‌ها، گیاهان خارج از محیط خاک کشت داده می‌شوند. در این روش‌ها، گیاهان در ظرف‌هایی پر از یک یا چند نوع بسترکشت مصنوعی رشد می‌یابند. اگر این بسترها جامد باشند، به این روش به اصطلاح کشت در بستر جامد گفته می‌شود. اگر هیچ واسطه‌ای (محیطی) برای کشت وجود نداشته

1. Combustion 2. Liquid $CO_2$ 3. Solid $CO_2$ 4. Dry ice 5. Root medium

باشد و ریشه گیاهان تنها در محلول مغذی غوطه‌ور شود، این روش آبکشت[1] نامیده می‌شود. اگر هیچ محیط‌کشتی وجود نداشته باشد و ریشه گیاه تنها با پاشش‌های مکرر محلول مواد غذایی خود را دریافت کند، به این روش هوا کشت[2] گفته می‌شود (۱۷).

مشکل اصلی موجود در استفاده از بسترهای آلی مناسب در کشت‌های بدون خاک، واردات آن از خارج (به عنوان نمونه بستر کوکو پیت نشان داده شده در شکل ۹) و گران بودن آن است. بدیهی است اگر بتوان از سایر مواد آلی موجود در کشور، جایگزینی برای آن ساخت (به عنوان نمونه بستر پالم پیت)، کمک زیادی به توسعه کشت‌های بدون خاک و نیز پایین آوردن هزینه‌های تولید محصول‌های گلخانه‌ای خواهد شد.




شکل ۹- طبقه‌بندی انواع روش‌های کشت در گلخانه‌ها.

حجم محدود دسترسی به محیط کشت و آب به‌طورکلی موجبب ایجاد تغییرهای سریع در وضعیت آب و ماده‌های مغذی در کشت‌های بدون خاک می‌شود. به‌همین دلیل و برای استفاده مؤثرتر از آب و ماده‌های غذایی، باید تغییرپذیری عامل‌هایی مانند pH، هدایت الکتریکی (EC) و غلظت مواد غذایی این‌گونه کشت‌ها به‌طور مستمر کنترل و تعدیل شود (۷).

زهاب‌های خروجی از بسترهای کشت بدون خاک اهمیت زیادی دارند. تفاوت‌های EC و pH زهاب خروجی از بسترکشت با محلول کودآبیاری، نشانگر مقدار جذب عنصرهای غذایی محلول توسط ریشه یا تجمع بخشی از نمک‌های محلول در محیط توسعه ریشه گیاهان است. تفاوت بیش از ۰/۴ تا ۰/۵ دسی زیمنس بر متر بین شوری زهاب خروجی و محلول کود آبیاری، نشانگر لزوم آبشویی بسترکشت است. pH مناسب محلول کود آبیاری ۵/۸ تا ۶/۵ است. pH>8.5 موجب کاهش قابلیت جذب فسفر و عنصرهای ریزمغذی می‌شود. pH زیاد زهاب را می‌توان با تزریق تدریجی اسیدهایی مانند فسفریک اسید، نیتریک

1. Hydroponics 2. Aeroponics

اسید و سولفوریک اسید، کاهش داد. غلظت بیش از ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر یون کلر در زهاب خروجی نشانگر احتمال تجمع آن در محیط ریشه و لزوم آبشویی (بدون محلول کود) است.

غلظت عنصرها در زهاب بستگی به غلظت اولیه محلول کود آبیاری، مقدرا مصرف گیاهان، نوع بسترکاشت و برنامه آبیاری اعمال شده دارد. بسترهای‌کشت خنثی قابلیت نگهداری آب و عنصرهای غذایی در محیط ریشه را ندارند، هدر روی و آبشویی عنصرهای غذایی در آن‌ها بیشتر است و نیز زهاب خروجی از آن‌ها غلیظ و یا EC و pH زیادی دارند.

نبود سیستم زهکشی برای محلول غذایی خارج شده از بسترکشت و نفوذ آن به خاک گلخانه و پیرامون آن، سبب تجمع بعضی از عنصرهای کم‌متحرک یا غیر متحرک (فسفر) و انتقال بعضی از عنصرهای متحرک (نیتروژن) به عمق‌های پایین خاک (پیوستن به آب‌های زیرزمینی) و ایجاد آلودگی سفره‌های آب زیرزمینی می‌شود. دفع محلول خروجی از بسترهای کشت به آب‌های سطحی منطقه نیز باعث آلودگی آن‌ها می‌شود و از این‌رو خلاف قانون و آیین نامه‌های حفاظت از محیط‌زیست است.

استفاده مجدد از زهاب حاصل از کود آبیاری (سیستم کشت آبکشت بسته) موجب افزایش کارآیی مصرف آب و کود و نیز کاهش زیان به محیط‌زیست می‌شود. تجهیزات خاصی برای جمع‌آوری، گندزدایی و بهره‌گیری مجدد از زهاب خروجی از بسترهای‌کاشت لازم هستند. صرفه‌جویی حاصل از مصرف کمتر کود، آب و انرژی و بی‌نیازی از سیستم دفع زهاب از گلخانه‌ها، هزینه ایجاد سیستم‌های کشت آبکشت به‌روش بسته را توجیه‌پذیر می‌کند.

## نتیجه‌گیری و پیشنهادها

به‌طور خلاصه اهمیت و اثر عامل‌های دما، رطوبت‌نسبی، شدت‌نور، غلظت گاز دی‌اکسیدکربن و نوع محیط‌ریشه (بستر کشت) روی انواع گیاهان گلخانه‌ای، به‌شرح زیر هستند:

**دما:** تغییرهای دما بر نورساخت، تنفس، موقعیت، تعرق، تشکیل رنگ‌دانه، تولید مثل و کلیه فرایندهای اساسی فیزیولوژیک گیاهان تأثیر می‌گذارد. این امر به نیازهای نوسانی روزانه، فصل و موقعیت جغرافیایی، سن گیاهان و نیز مرحله رشد آن‌ها بستگی دارد.

**رطوبت‌نسبی:** رطوبت‌نسبی بر رشد سطح برگ و هدایت روزنه‌ای آن تأثیر می‌گذارد و باعث تداخل در فرایند نورساخت می‌شود. رطوبت‌نسبی زیاد باعث از بین رفتن عملکرد (برای نمونه محصول گوجه‌فرنگی) و نیز موجب شیوع بیماری‌های قارچی می‌شود. عملکرد بهینه رطوبت باعث فراهم شدن شیب فشار بخار در گلخانه‌ها می‌شود.

**شدت‌نور:** شدت‌روشنایی فرایند نورساخت را زیر تأثیر قرار می‌دهد. اگر شدت‌نور زیاد باشد، نورساخت بهتر خواهد بود. اگر طیف نوری در محدوده فروسرخ باشد، گیاهان ضعیف و پا بلند تولید می‌شوند. در این باره، دوره نوری مناسب (ساعت‌های روشنایی) نیز لازم است. اگر یک دوره نوری ۱۲ تا ۱۸ ساعت در روز باشد، رشد گیاهان افزایش می‌یابد. برای جذب و انتقال ماده‌های ساخته شده در فرایند نورساخت، به‌کارگیری دوره تاریکی نیز لازم است.

**دی‌اکسیدکربن:** در برگ گیاهان با ترکیب مولکول‌های دی‌اکسیدکربن با آب در حضور نور خورشید به عنوان منبع تأمین انرژی، کربوهیدرات‌ها و اکسیژن تولید می‌شوند. تزریق دی‌اکسیدکربن در صورت لزوم، در مدت زمان روشنایی صورت می‌گیرد. تأمین دی‌اکسیدکربن با غلظت بهینه، در نهایت می‌تواند از نظر رشد، عملکرد و کیفیت در گیاهان تغییر ایجاد کند.

**محیط ریشه:** بسترکشت به‌طور مستقیم بر رفتار و رشد گیاهان تأثیر می‌گذارد. بسترکشت دارای ماده‌های شیمیایی (ماده‌های مغذی) مورد نیاز برای تغذیه گیاهان است. بسته به مرحله رشد، غلظت و نوع ماده مغذی بهینه، متفاوت هستند. اگر ماده مغذی کافی وجود نداشته باشد، گیاهان ضعیف و ناسالم تولید می‌شوند و عملکردهای کمی و کیفی هدف‌گذاری شده ممکن نمی‌شوند. موفقیت هر سیستم کاشت مبتنی بر توانایی پرورش‌دهنده برای حفظ وضعیت و تعادل عنصر غذایی مورد نیاز گیاهان بدون تحمیل کمبودهاست. این‌کار به‌ویژه هنگام کاشت در خاک مزرعه ساده نیست. حتی کاشت موفقیت‌آمیز گیاهان به‌صورت آبکشت در گلخانه نیز می‌تواند کاری دشوار و حساس باشد.

## منابع


۱- اعتمادی، ن.، ر. محمدی‌نژاد و ا. شیخ‌علیان. ۱۳۹۸. ارزیابی وضعیت شرایط جوی برای گلخانه‌ها در برخی از منطقه‌های ایران، مجله پژوهش‌های راهبردی در علوم کشاورزی و منابع طبیعی ۱۸۱-۱۹۸: (۲)۴.

۲- مومنی، د.، س.م. رضوانی و ق. زارعی. ۱۳۹۹. راهنمای جامع مصرف انرژی در گلخانه‌ها، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، نشریه شماره ۴۷۲، ۹۴ صفحه.

3. Abdel-Ghany, A.M. and I.M. Al-Helal. 2010. Characterization of solar radiation transmission through plastic shading nets. Solar Energy Materials Solar Cells 94: 1371–1378.
4. Albright, L., K. Arvanitis and A. Drysdale. 2001. Environmental control for plants on earth and in space. IEEE Control Systems 21(5): 28–47.
5. Djevic, M. and A. Dimitrijevic. 2009. Energy consumption for plastic covered greenhouse structures. Energy 34:1325-1331.
6. Heuvelink, E., M.J. Bakker, L. Hogendonk, J. Janse, R.C. Kaarsemaker and R.H.M. Maaswinkel .2006. Horticultural lighting in the Netherlands: new developments. Acta Hortic 711:25–33.
7. Ikeda, H. 2011. Soilless Culture in Japan. College of Agriculture, University of Osaka Prefecture http://www.hydrofarm.com/ articles/soilless.japan.php.
8. InfoAgro. 2010. Conductividad Electrica. Retrieved from http://www.infoagro.com/instrumentos medida/doc conductividad electrica.asp?k=53.
9. Johnson, H. 2013. Soilless Culture of Greenhouse Vegetables. UC Davis, Vegetable Research and Information Center.
10. Kondo, H. and H. Ishikawa. 2018. Formation of Coated Phosphor Layers by Rotation–Revolution for Remote-Phosphor LED Bulbs and Characterization of LED Light Bulb With Super High Color Rendition. IEEE Transactions on Components, Packaging and Manufacturing Technology.
11. Kozai, T., K. Fujiwara and E.S. Runkle. 2016. LED Lighting for Urban Agriculture. Springer, 435 pp.
12. Massa, G and J. Norrie. 2015. LEDs electrifying horticultural science: Proceedings from the 2014 Colloquium and Workshop. HortScience 50(9):1272–1273.
13. Nelson, P.1998. Greenhouse Operation and Management (fifth ed.). Prentice Hall, Upper Saddle River, United States.
14. Pasgianos, G., K. Arvanitis, P. Polycarpou and N. Sigrimis. N. 2003. A nonlinear feedback technique for greenhouse environmental control. Computers and Electronics in Agriculture 40 (1–3):153–177.
15. Ponce, H. 2009. Intelligent Control System for a Sustainable Portable Greenhouse using LabVIEW. Tecnologico de Monterrey Campus Ciudad de Mexico.
16. Ponce, P., A. Molina, P. Cepeda, E. Lugo, and B. MacCleery. 2015. Greenhouse Design and Control. CRC Press. 378 p.
17. Ronen, E. 2013. Managing the Root Zone in Soilless Culture. Haifa Chemicals Company. 6 p.
18. Tiwari, G. 2003. Greenhouse Technology for Controlled Environment. Alpha Science International Ltd., Pangbourne, England.

Strategic Research Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources 6(2): 123-138 (2021)

# Controlling Significance of the Effective Parameters in Environmental Conditions of Commercial Greenhouses

**G. Zarei[1], J. Javadi Moghaddam and H. Faridi[2]**

Determining and using optimized environmental conditions for each crop is required to use greenhouses to produce different crops. These conditions are defined as the initial conditions for the realization of production by growers and the growth stage of the selected plant is followed by the greenhouse controllers in accordance with the environmental conditions associated with the desired plant. Moreover, it is important to identify the nutrient and culture media that allow greenhouse crops to grow under optimal conditions. The evolution of the cultivation and production process cycle depends on the proper and accurate definition and implementation of environmental conditions as well as cultivation conditions. One of the main challenges in locating, designing, building, and operation of greenhouses is the method of controlling the conditions of the environment made in an optimal and suitable level for the growth and development of plants. This study aims to discuss and analyzed in detail the role and necessity of controlling each of the climatic and environmental parameters including temperature, relative humidity, light intensity, carbon dioxide root environment (culture medium).

**Key words:** Control parameters, Controlled environment, Culture medium, Greenhouse climate.

1. Corresponding author, Email: gh.zarei@areeo.ac.ir

2. Research Associate and Assistant Professor, Agricultural Engineering Research Institute, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, and Ph.D. of mechanics of Biosystems Engineering, College of Abouraihan, University of Tehran, Tehran, respectively.