



استفاده از کمبود فشار بخار در مدیریت رطوبت گلخانه

سیدمعین‌الدین رضوانی^{*۱}

۱- استادیار پژوهش بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان همدان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، همدان، ایران

*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: m.rezvani@areeo.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۳/۰۵

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۵/۲۰

چکیده

رطوبت هوا جزء کلیدی کنترل محیطی در گلخانه‌ها است که به صورت رطوبت نسبی یا کمبود فشار بخار بیان می‌شود. ولی کمبود فشار بخار نه تنها وضعیت رطوبتی گلخانه را بهتر نشان می‌دهد، بلکه به طور موثری نشانگر اقلیم گلخانه نیز است. کمبود فشار بخار از اختلاف بین فشار بخار اشباع و فشار بخار واقعی هوا به دست می‌آید. کمبود فشار بخار را می‌توان برای ارزیابی تهدید بیماری، پتانسیل چگالش و نیاز آبیاری محصول گلخانه‌ای استفاده کرد. کمبود فشار بخار بر پنج مشخصه کلیدی بازشدگی روزنه‌ها، جذب دی‌اکسیدکربن، تعرق، جذب مواد مغذی و تنش گیاهی تأثیر می‌گذارد. به طور کلی دامنه بهینه کمبود فشار بخار برای یک محصول ۰/۶ تا ۱/۰ و مقادیر کمبود فشار بخار کمتر از ۰/۲ و بیشتر از ۱/۳۷ کیلوپاسکال برای محصول خطرناک است. کمبود فشار بخار مناسب در مرحله رشد ابتدایی ۰/۴ تا ۰/۸، مرحله رشد رویشی و ابتدایی گلدهی ۰/۸ تا ۱/۱ و در میانه و انتهای مرحله گلدهی ۱/۱ تا ۱/۴ کیلوپاسکال است. برای مدیریت رطوبت و کمبود فشار بخار مهم‌ترین اصل در کنار تهویه و گرمایش، جریان و چرخش هوا در گلخانه و پیرامون پوشش گیاهی است تا از تجمع رطوبت و چگالش آن روی برگ‌ها جلوگیری شود. برای مدیریت کمبود فشار بخار می‌بایست آبیاری منظم و مناسب، تراکم کشت و هرس مناسب، تهویه -گرمایش، گردش هوا، پرهیز از آب گرفتگی یا آب راکد در سطح گلخانه، از بین بردن علف‌ها هرز و بقایای گیاهی، استفاده از سامانه‌های سرمایشی را رعایت نمود.

کلیدواژه: بیماری گیاهی، تعرق، تهویه، چگالش، گرمایش

متن مقاله

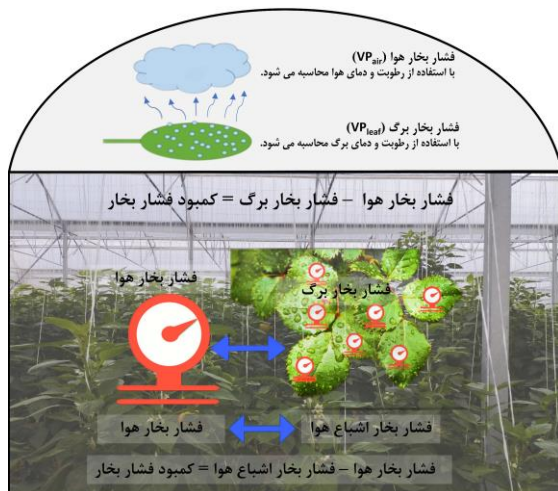
بیان مساله:

رطوبت هوا جزء کلیدی کنترل محیطی در گلخانه‌ها است، زیرا بر فرآیندهای تعرق و فتوسنتز تأثیر می‌گذارد (رضوانی و همکاران، ۱۳۹۸) و هنگامی که رطوبت بسیار زیاد می‌شود، به عنوان یکی از عوامل اصلی ظهور قارچ‌ها و همچنین سایر بیماری‌های جدی محصول در نظر گرفته می‌شود (رضوانی و همکاران، ۱۴۰۱). همانند رطوبت بالا، سطوح رطوبت کم نیز گیاهان گلخانه‌ای را تحت تأثیر قرار می‌دهد. هنگامی که رطوبت نسبی به زیر ۳۰ درصد می‌رسد، ممکن است سبب مشکلات جدی از جمله توقف رشد گیاه و کند شدن فتوسنتز شود.

پاییز و بهار زمان‌هایی هستند که بیماری‌های مربوط به رطوبت معمولاً در گلخانه‌ها به اوج خود می‌رسند. روزهای آفتابی باعث افزایش تعرق از سطح برگ و تبخیر از خاک می‌شود. هوای گرم (در طول روز) رطوبت را به شکل بخار نگه می‌دارد. اما در شب با خنک شدن هوا تا نقطه شبنم، چگالش اتفاق می‌افتد و قطرات آب روی سطوح خنک‌تر مانند برگ‌ها و پوشش گلخانه تشکیل می‌شوند. این رطوبت باعث جوانه‌زنی هاگ‌های پاتوژن قارچی مانند بوتریتیس^۱ و سفیدک پودری^۲ می‌شود. چکیدن آب حاصل از چگالش از روی پوشش گلخانه سطوح گیاه را خیس می‌کند و همچنین با پاشیدن بر روی خاک و بقایای گیاهی، عوامل بیماری‌زای گیاهی را از گیاهی به گیاه دیگر منتقل می‌کند. شناخت کمبود فشار بخار برای فراهم کردن بهترین شرایط برای رشد محصول، درک نیاز آبیاری با توجه به کودهای مورد استفاده و تنظیم صحیح آنها برای برآورده کردن نیازمندی‌های رشد ضروری است.

معرفی:

شرایط رطوبتی گلخانه با رطوبت نسبی یا کمبود فشار بخار بیان می‌شود. ولی کمبود فشار بخار نه تنها وضعیت رطوبتی گلخانه را بهتر نشان می‌دهد، بلکه به طور موثری نشانگر اقلیم گلخانه نیز است (رضوانی و همکاران، ۱۳۹۸؛ رضوانی، ۱۳۹۹). کمبود بخار^۳ و کمبود فشار بخار هر دو نشان دهنده "فضای خالی" (کمبود) برای بخار آب، و همچنین "اثر خشک کردن" هوا، یا نیروی محرکه تعرق هستند. کمبود فشار بخار اختلاف بین فشار بخار داخل حفره‌های برگ (که معمولاً رطوبت نسبی آن ۱۰۰ درصد در نظر گرفته می‌شود) و فشار بخار هوا (شکل ۷) است (وزارت کشاورزی بریتیش کلمبیا^۴؛ ۲۰۱۵). در عمل کمبود فشار بخار از اختلاف بین فشار بخار اشباع و فشار بخار واقعی هوا (شکل ۷) به دست می‌آید (رضوانی و همکاران، ۱۳۹۸). واحد کمبود فشار بخار اغلب در واحدهای فشار استاندارد مانند میلی‌بار، کیلوپاسکال یا پوند بر اینچ مربع و گاهی اوقات در واحد غلظت کمبود جرم مانند گرم آب در هر متر مکعب هوای خشک یا گرم آب به ازای هر کیلوگرم هوای خشک بیان می‌شود.



شکل ۱: مفهوم کمبود فشار بخار

³ - Vapor Deficit (VD)

⁴ - British Columbia Ministry of Agriculture

¹ - Botrytis

² - Powdery Mildew

جدول ۱: مقادیر کمبود فشار بخار در دماها و سطوح مختلف رطوبت نسبی

[illegible]

مرحله رویشی

در مرحله رویشی گیاهان بزرگتر شده و مقاومت آنها افزایش می‌یابد. در ابتدای رشد رویشی بهتر است مقدار کمبود فشار بخار، مانند مرحله ابتدایی رشد (۰/۴ تا ۰/۸ کیلوپاسکال) باشد. اما به تدریج کمبود فشار بخار افزایش یابد. برای افزایش کمبود فشار بخار می‌توان رطوبت محیط رشد گیاه را کاهش داد. افزایش کمبود فشار بخار باعث افزایش جذب آب و مواد مغذی می‌شود. کمبود فشار بخار نباید بیش از حد افزایش یابد، زیرا باعث بسته شدن روزنه‌های گیاه و جذب کمتر دی‌اکسیدکربن می‌شود. در مرحله رشد رویشی به دلیل استفاده گیاهان از دی‌اکسیدکربن برای رشد این مسئله بسیار مهم است. در اواخر مرحله رشد رویشی کمبود فشار بخار نزدیک به میانگین محدوده بهینه (۰/۸ تا ۱/۱ کیلوپاسکال) و حدود ۰/۹۵ کیلوپاسکال باشد (کووردا، ۲۰۲۰).

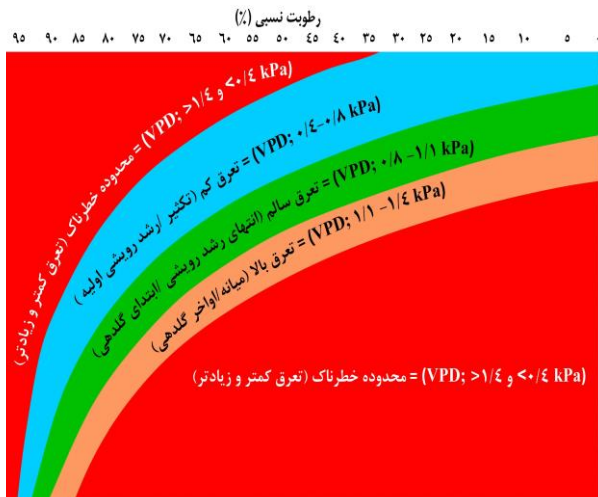
مرحله گلدهی

در مرحله گلدهی با وجود قوی بودن گیاهان، گل‌ها به مسائل مختلف حساس هستند. در این مرحله باید از افزایش یا کاهش رطوبت بیش از حد خودداری شود. کمبود فشار بخار بهینه در مرحله ابتدایی گلدهی مانند انتهای مرحله رشد رویشی (۰/۸ تا ۱/۱ کیلوپاسکال) و حدود ۰/۹۵ کیلوپاسکال باشد.

انتهای مرحله گلدهی و رسیدگی محصول

در میانه و انتهای مرحله گلدهی کمبود فشار بخار بهینه به انتهای بالای محدوده بهینه و مناسب یعنی ۱/۱ تا ۱/۴ کیلوپاسکال نزدیک باشد (دیمالوکس، ۲۰۲۴). در مراحل انتهایی گلدهی و رسیدگی محصول، به ویژه زمانی که تاج گیاهی متراکم است، کمبود فشار بخار بالا (بالتر از ۱/۰ کیلوپاسکال) مطلوب‌تر است. در این شرایط رطوبتی گیاهان می‌توانند با تعرق، خود را خنک کنند و تنش کمتری داشته باشند در حالی که شرایط محیطی کمتر برای بیماری مساعد است. در شکل (۲) دامنه بهینه کمبود فشار بخار به صورت کلی

در مراحل مختلف رشد محصولات نشان داده شده است.



شکل ۲: دامنه بهینه کمبود فشار بخار در مراحل مختلف رشد محصول

کمبود فشار بخار در شب

در شب، به دلیل عدم وجود نور، اکثر گیاهان روزنه‌های خود را بسته و فتوسنتز را متوقف می‌کنند. بسته شدن روزنه‌ها مانع از خروج آب از منافذ باز می‌شود و تعرق را به میزان زیادی کاهش می‌دهد. گیاهان در شب به جای فتوسنتز عمدتاً تنفس می‌کنند. این فرآیند سبب می‌شود گیاهان در طول شب دی‌اکسیدکربن تولید کنند. در زیر برخی از توصیه‌های کلی برای دامنه بهینه کمبود فشار بخار در مراحل مختلف رشد محصول در شب آورده شده است (کووردا، ۲۰۲۰):

الف) نشاءها و قلمه‌ها: رطوبت بالاتر و کمبود فشار بخار نزدیک به انتهای پایین دامنه کلی تعریف شده باشد. محدوده بهینه کمبود فشار بخار شبانه برای نشاءها و قلمه‌ها ۰/۴ تا ۰/۶ کیلوپاسکال (در حالت بهینه ۰/۵ کیلوپاسکال) است.

ب) مرحله رشد رویشی: کمبود فشار بخار شبانه بهینه برای مرحله رشد رویشی نزدیک به متوسط دامنه کلی

نسبی پایین می‌تواند منجر به غلتک (پیچیدگی یا قاشقی شدن) برگ، عدم رشد گیاهان^۳، پژمرده شدن یا ترد شدن برگ‌ها^۴ شود (شکل ۳)، همچنین می‌تواند سبب بدشکلی، موج‌دار یا ترک خوردگی، ایجاد نواحی مرده یا حتی سوختگی لبه در برگ‌های تازه رشد یافته شود. نوسانات شدید کمبود فشار بخار طی شبانه روز نیز به دلیل تغییرات در فشار آماس برگ می‌تواند سبب اعوجاج برگ شود (شکل ۴). اگر برگ‌های برخی از گیاهان دارای اعوجاج هستند، ابتدا کمبود فشار بخار بررسی شود. این شرایط کیفیت گیاهان گلدانی و برگی زینتی را کاهش می‌دهد و همچنین می‌تواند باعث کند شدن سرعت رشد و کیفیت سبزیجات شود.

دمای بالا و رطوبت نسبی به شدت پایین (کمبود فشار بخار بالا) باعث ریزش شکوفه گل در کشت گوجه‌فرنگی می‌شود (شکل ۴-ب) (ساقه گل‌ها قبل از ریزش شکوفه‌ها زرد می‌شوند). همچنین سبب می‌شود گرده به علت چسبیدن به پرچم گل نتواند مادگی را بارور کند و در نتیجه گوجه‌فرنگی تولید نمی‌شود (رضوانی و همکاران، ۲۰۲۰). اگر گیاهان خیلی خشک باشند، کنه‌های عنکبوتی می‌توانند در گلخانه با سرعت زیادی رشد کنند.



شکل ۳: (الف) پژمردگی محصول، (ب) پژمردگی برگ‌ها، (ج) پیچیدگی برگ‌ها



4 - Crispy leaves

(۱/۲ تا ۰/۸ کیلوپاسکال) در حالت بهینه ۱/۰ کیلوپاسکال است.

پ) مرحله گلدهی : دامنه بهینه کمبود فشار بخار شبانه برای مرحله گلدهی به انتهای بالای محدوده نزدیک‌تر (۱/۰ تا ۱/۴ کیلوپاسکال) و در حالت بهینه ۱/۲ کیلوپاسکال است.

کمبود فشار بخار بالا (رطوبت کم)

هنگامی که کمبود فشار بخار نسبتاً بالا است، بین ۰/۵ تا ۱/۲ کیلو پاسکال، تعرق گیاهان محرک رشد را با باز کردن روزنه‌ها و آزاد کردن مقدار قابل توجهی بخار آب در هوا افزایش می‌دهند. این افزایش در تعرق منجر به افزایش فعالیت فتوسنتزی گیاه می‌شود و گیاه برای رشد به مواد مغذی بیشتری نیاز پیدا می‌کند. اگر کمبود فشار بخار در حد بالای قابل قبول باشد، گیاه دارای نرخ تعرق بالایی خواهد بود که باعث جذب آب سنگین و همراه با این آب، جذب مواد مغذی بالاتری که منجر به سطوح سمی در گیاهان می‌شود که می‌تواند سبب سوختگی لبه برگ‌ها شبیه اثر سموم گیاهی شود. همچنین می‌تواند باعث عدم تعادل مواد مغذی در بافت برگ شود و چیزی شبیه به کمبود ایجاد کند، که در واقعیت تجمع بیش از حد عنصر خاصی به دلیل خشکی هوا است (تامس^۱، ۲۰۱۸). با این حال، گیاه در کمبود فشار بخار بالا (< ۱/۵ کیلوپاسکال) روزنه‌های خود را می‌بندد تا از انتشار بخار آب در هوا و کم آبی به دلیل تعرق زیاد جلوگیری کند. بسته شدن روزنه‌ها سبب کند یا متوقف شدن فتوسنتز می‌شود. در این شرایط به دلیل اینکه خنک شدن برگ‌ها از طریق تعرق کاهش می‌یابد، برگ‌ها در معرض خطر آسیب دمای بالا قرار می‌گیرند. برای جلوگیری از آسیب و مرگ ناشی از پژمردگی، بسیاری از گونه‌های گیاهی برگ-های خود را پیچ یا آنها را به سمت پایین جهت می‌دهند تا سطح کمتری را در معرض نور خورشید قرار دهند. در حالی که کمبود فشار بخار بالا و رطوبت

1 - Thomas

2 - Leaf roll

3 - Stunted plants

شکل ۴: (الف) اعوجاج برگ بر اثر کمبود فشار بخار
بالا؛ (ب) ریزش گل در گوجه‌فرنگی

به طور کلی کمبود رطوبت می‌تواند باعث پژمرده شدن، گیاهان کم رشد، اندازه برگ کوچک‌تر، سوختگی لبه برگ‌ها، پیچ خوردگی برگ، عدم باروری گل و افزایش هجوم کنه‌های عنکبوتی شود.

کمبود فشار بخار پایین (رطوبت زیاد)

کمبود فشار بخار پایین یا رطوبت نسبی بالا می‌تواند باعث کمبود مواد معدنی، بیماری، تعریق و رشد نرم^۱ شود. در شرایطی که کمبود فشار بخار خیلی کم است (> 0.5 کیلوپاسکال) یعنی رطوبت و فشار بخار محیط بالاست، گیاهان نمی‌توانند به راحتی بخار آب را از روزنه‌های خود رها کنند. در نتیجه تعریق مختل می‌شود و مانند هنگامی که رطوبت کم است و گیاهان روزنه‌های خود را می‌بندند، جذب مواد مغذی و آب به درستی صورت نمی‌گیرد که می‌تواند منجر به کمبود مواد معدنی و به طور کلی کاهش نرخ رشد شود. این شرایط تعریق، سرعت فتوسنتز و در نتیجه به میزان قابل توجهی عملکرد محصول را کاهش می‌دهد. در واقع در فرایند سوخت و ساز مواد مغذی، گیاهان با تعریق کردن آب به هوا می‌توانند دوباره آب و مواد مغذی بیشتری جذب کنند. اما زمانی که سطوح رطوبت نسبی بالا باشد، انجام این کار برای گیاهان مشکل‌تر می‌شود.

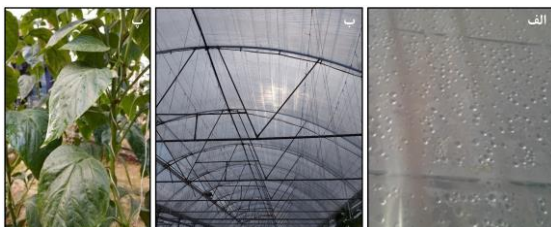
دامنه کمبود فشار بخار که پاتوژن‌های قارچی دوام می‌آورند $0.43 \leq VPD < 0.2$ کیلوپاسکال است. کمبود فشار بخار کمتر از حد پایینی ($0.2 \text{ kPa} \leq$) سبب کمبود کلسیم در برگ‌ها، کاهش سطح برگ، رشد بیماری‌های قارچی و صدمه به عملکرد کمی و کیفی محصول می‌شود (رضوانی و همکاران، ۱۳۹۸؛ رضوانی، ۱۳۹۹). در شرایط محیطی با رطوبت بالا،

کمبود فشار بخار پایین منجر به تعریق کم، توانایی گیاه برای خنک کردن خود یا انتقال مواد مغذی و مواد معدنی می‌تواند محدود شود. گیاهان قادر به تبخیر آب کافی برای انتقال مواد معدنی (کلسیم) به سلول‌های گیاهی در حال رشد نیستند، حتی اگر روزنه‌ها کاملاً باز باشند. همچنین رطوبت زیاد شب بر مواد مغذی اصلی گیاه گوجه‌فرنگی مانند محتوای کلسیم برگ‌های جوان‌تر گیاهان (شکل ۵-الف) و میوه محصولات (شکل ۵-ب و پ) تأثیر می‌گذارد.



شکل ۵: کمبود کلسیم در (الف) برگ‌های گوجه‌فرنگی، (ب) میوه گوجه‌فرنگی، (پ) میوه فلفل

در کمبود فشار بخار بسیار کم، آب ممکن است روی برگ‌ها، میوه‌ها و سایر قسمت‌های گیاه متراکم شده و بستری برای رشد قارچ و بیماری فراهم کند. هنگامی که رطوبت در هوا به قدری افزایش یابد که بر روی پوشش داخلی سقف متراکم و شروع به چکیدن کند، آب چکیده شده بر روی برگ‌های گیاه آلوده می‌تواند پس از پاشش مجدد بر روی سایر گیاهان، آنها را آلوده کرده و قارچ‌ها و بیماری‌ها با سرعت بسیار بالاتری گسترش یابند (شکل ۶).



شکل ۶: (الف و ب) تراکم آب روی پوشش گلخانه و کاهش ورود نور، (پ) چکیدن آب از روی پوشش سقف بر روی گیاهان

² - Metabolize (دیگرگشت شدن)

¹ - Soft growth

درستی از تغییرات زمانی و مکانی دما، رطوبت نسبی و کمبود فشار بخار در گلخانه دست پیدا می‌کنید.

۱- آبیاری منظم و مناسب: رطوبت گلخانه چه خیلی کم باشد یا زیاد، همیشه آبیاری به صورت منظم اعمال شود (شکل ۸-ب). به طور کلی، برای جلوگیری از رطوبت ناخواسته آبیاری، از آبیاری زیاد پرهیز و آبیاری در اوایل روز انجام شود تا زمان لازم برای خشک شدن وجود داشته باشد و سبب تجمع و آب راکد در گلخانه نشود. از طرفی تعرق گیاهان عامل اصلی مرطوب کننده/خنک کننده هوای گلخانه است. برای نیازهای تبخیر و تعرق در روزهای گرم از آبیاری کافی اطمینان حاصل کنید.

۲- تراکم کشت و هرس مناسب: پوشش گیاهی انبوه یکی از ویژگی‌های گیاهان سالم است، اما سبب محبوس شدن هوای مرطوب در شب می‌شود. رطوبت منطقه‌ای بالا در گلخانه، با پایین آوردن کمبود فشار بخار می‌تواند سبب کند شدن تبخیر آب از خاک یا بستر گیاه شود و به تشکیل جلبک در سطح خاک کمک کند. تراکم کشت توصیه شده و هرس صحیح بوته‌ها به گردش هوا در زیر پوشش گیاهی محصول کمک می‌کند و اجازه می‌دهد هوای تعرق شده به سمت فضای باز حرکت کند و زیر پوشش گیاهی متراکم حبس نشود (شکل ۸-پ).

۳- تهویه - گرمایش: تهویه یک عامل بسیار مهم در خارج کردن مقداری از هوای مرطوب از گلخانه است. تهویه و روش‌های گرمایش مناسب می‌تواند به کاهش سطح رطوبت در گلخانه کمک شایانی کند (شکل ۸-ت و ث). هوای گرم‌تر رطوبت بیشتری را در خود نگه می‌دارد و هنگامی که تخلیه می‌شود، می‌تواند رطوبت نسبی داخلی را با تخلیه هوای مملو از آب از گلخانه کاهش دهد.

۴- گردش هوا: حرکت هوا یکی دیگر از نکات مهم در مدیریت رطوبت در گلخانه است (شکل ۸-ج). حرکت هوای کافی در اطراف گیاه زمانی اتفاق می‌افتد که برگ‌ها کمی حرکت کنند. در این شرایط رطوبت فرصتی برای متراکم شدن روی سطوح برگ پیدا

بیماری‌های قارچی مانند بوتریتیس محیط‌های مرطوب را دوست دارند و به دلیل مرطوب بودن محیط گلخانه‌ها معمولاً در آنها یافت می‌شوند (شکل ۷-الف و ب). محیط‌های مرطوب می‌توانند زمینه‌ای برای رشد کپک پودری (سفیدک پودری) باشند (شکل ۷-ب، پ و ت)، که در صورت عدم توجه کافی امکان گسترش در سطح گلخانه را دارد و با صدمه به میوه عملکرد کمی و کیفی را کاهش می‌دهد.



شکل ۷: (الف) بوتریتیس: (ب) عفونت ساقه در گیاه گوجه فرنگی. گیاه گوجه فرنگی آلوده به بوتریتیس شدید؛ سفیدک پودری در: (پ) فلفل، (ت) گوجه فرنگی، (ث) خیار

نوسانات کمبود فشار بخار

برای کنترل اقلیم گلخانه‌ها سامانه‌های گرمایشی، سرمایش تبخیری، تهویه طبیعی و مکانیکی در موقعیت‌های و اشکال مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرند. کنترل اغلب این تجهیزات باروشن/خاموش کردن صورت می‌گیرد که باعث نوسانات رطوبت هوا می‌شود. بنابراین در محیط‌های گلخانه‌ای نوسانات کمبود فشار بخار را در طول روز مشاهده می‌شود. نوسانات مکرر کمبود فشار بخار بیشتر از ۰/۴ کیلوپاسکال می‌تواند عملکرد را تا ۲۰ درصد کاهش دهد (اینوای و همکاران، ۲۰۲۱).

توصیه ترویجی:

برای مدیریت رطوبت و کمبود فشار بخار مهم‌ترین اصل در کنار گرمایش، جریان و چرخش هوا در گلخانه و پیرامون پوشش گیاهی است تا از تجمع رطوبت و چگالش آن روی برگ‌ها جلوگیری شود. برای مدیریت رطوبت موارد زیر را می‌توان انجام داد:

۱- پایش دما و رطوبت: با اندازه‌گیری و پایش دما و رطوبت نسبی مقدار کمبود فشار بخار در گلخانه را به‌دست آورید (شکل ۸-الف). همچنین به درک

افزایش می‌دهد، بلکه بستری برای رشد پاتوژن‌های قارچی و آفات خاص ایجاد می‌کند (شکل ۸-ح و خ).
۶- از بین بردن علف‌ها هرز و بقایای گیاهی: علف‌های هرز را از بین ببرید. علف‌های هرز عاملی برای افزایش رطوبت در هوا هستند. علف‌های هرز رطوبت را در برگ نگه می‌دارند، سپس آن را به پوشش گیاهی منتقل می‌کنند و رطوبت ایجاد می‌کنند (شکل ۸-خ).
۷- در صورت بالا بودن کمبود فشار بخار بالا و کاهش رطوبت در گلخانه با استفاده از فن و پد یا سامانه مه‌پاش می‌توان به افزایش رطوبت و کاهش دما در گلخانه کمک کرد.

نمی‌کند زیرا عمل اختلاط ناشی از حرکت مانع از سرد شدن هوا در امتداد سطح برگ به زیر نقطه شبنم می‌شود. به ویژه در بهار یا پاییز نزدیک به سحر که دما کاهش و رطوبت در گلخانه به شدت افزایش می‌یابد با به هم زدن هوا می‌توان از تراکم رطوبت جلوگیری کرد. با استفاده از فن‌های چرخشی و حرکت مداوم هوا می‌توان مانع از تشکیل نواحی سرد و مرطوب یا تجمع رطوبت به ویژه در اطراف پوشش گیاهی شد. در صورت نداشتن فن چرخشی می‌توان از فن‌های کوره‌های هوای گرم بدون راه‌اندازی کوره آن استفاده کرد.
۵- پرهیز از آب گرفتگی یا آب راکد در سطح گلخانه: وجود آب راکد روی خاک یا محیط‌های رشد می‌تواند باعث تبخیر و افزایش رطوبت نسبی شود که منجر به تراکم و محیط مرطوب شود. از رها کردن آب گرفتگی یا آب راکد در گوشه‌ها و مناطقی که آفتاب مستقیم ندارند، جلوگیری شود. این شرایط نه تنها رطوبت را



شکل ۸: روش‌های مدیریت رطوبت و کمبود فشار بخار در گلخانه‌ها



منابع:

رضوانی، س.، زارع ابیانه، ح. و گودرزی، م. ۱۳۹۸. توزیع تعرق و کمبود فشار بخار در گلخانه‌ی تجاری. نشریه آبیاری و زهکشی ایران، ۱۳(۵): ۱۱۹۱-۱۲۰۳.

رضوانی، س.، زارعی، ق. و سالمی، ح. ر. ۱۴۰۱. تبخیر- تعرق و ضریب گیاهی خیار گلخانه‌ای در منطقه همدان. نشریه آبیاری و زهکشی ایران، ۱۶(۵): ۹۱۶-۹۰۴.

رضوانی، س. ۱۳۹۹. بهینه‌سازی تهویه و شبیه‌سازی تعرق در گلخانه‌های استان همدان با استفاده از دینامیک سیالات محاسباتی و تراز انرژی. پایان‌نامه دکتري. دانشکده کشاورزی. دانشگاه بوعلی سینا. ۱۲۷ صفحه.

Dimalux. 2024. Vapor Pressure Deficit: The ideal environment for your plants. <https://www.dimluxlighting.com/knowledge/blog/vapor-pressure-deficit-the-ultimate-guide-to-vpd/>

Inoue, T., Sunaga, M., Ito, M., Yuchen, Q., Matsushima, Y., Sakoda, K. and Yamori, W., 2021. Minimizing VPD fluctuations maintains higher stomatal conductance and photosynthesis, resulting in improvement of plant growth in lettuce. *Frontiers in Plant Science*, 12, p.646144.

Koverda, P., 2020. The ultimate vapor pressure deficit (VPD) guide. Pulse Labs, 1.

Ministry of Agriculture. 2015. Understanding Humidity Control in Greenhouses [Internet]. British Columbia; Available from: https://www2.gov.bc.ca/assets/gov/farming-natural-resources-and-industry/agriculture-and-seafood/animal-and-crops/crop-production/understanding_humidity_control.pdf

Rezvani, S.M.E., Abyaneh, H.Z., Shamshiri, R.R., Balasundram, S.K., Dworak, V., Goodarzi, M., Sultan, M. and Mahns, B. 2020. IoT-based sensor data fusion for determining optimality degrees of microclimate parameters in commercial greenhouse production of tomato. *Sensors*. 20(22): 6474.

Soussi, M., Chaibi, M.T., Buchholz, M. and Saghruni, Z., 2022. Comprehensive review on climate control and cooling systems in greenhouses under hot and arid conditions. *Agronomy*, 12(3), p.626.

Thomas P. 2018. Vapor Pressure Deficit? Why Should I Track That?. e-GRO (Electronic Grower Resources Online). https://www.e-gro.org/pdf/2018_724.pdf

Wollaeger, H. and Runkle, E., 2015. VPD vs. Relative Humidity. Vapor-pressure deficit is independent of temperature and is a more accurate measure to predict plant transpiration and water loss than relative humidity. *Insid Grow*, pp.28-29.

