

مقاله علمی-پژوهشی

تبخیر- تعرق و ضریب گیاهی خیار گلخانه‌ای در منطقه همدان

سید معین‌الدین رضوانی^{۱*}، قاسم زارعی^۲، حمیدرضا سالمی^۳

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۲/۱۶ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۴/۲۶

چکیده

برای تعیین تبخیر- تعرق و ضریب گیاهی خیار گلخانه‌ای (رقم نگین) آزمایشی در گلخانه‌ای تجاری در دو فصل کشت زمستانه و بهاره در استان همدان انجام شد. هدف از این تحقیق محاسبه تبخیر- تعرق با استفاده از مدل‌های پنمن-مانتیت فائو و پنمن-مانتیت اصلاح شده در گلخانه توسط استانگلینی و تخمین مقادیر ضرایب گیاهی خیار گلخانه‌ای در مراحل مختلف رشد در منطقه همدان و مقایسه آن با سایر مطالعات بود. سطوح آبیاری اعمال شده سه مقدار جبران رطوبت خاک تا رسیدن به ۸۰، ۱۰۰ و ۱۲۰ درصد ظرفیت مزرعه بودند. از بیلان آب خاک برای تخمین تبخیر- تعرق گیاهی در گلخانه استفاده شد. مقادیر تبخیر- تعرق به روش استانگلینی و پنمن-مانتیت فائو به ترتیب در کشت زمستانه ۲۱۴/۲ و ۱۸۱/۵ میلی‌متر و در کشت بهاره ۲۲۲/۳ و ۲۲۷/۶ میلی‌متر به دست آمدند. نسبت تبخیر- تعرق به روش پنمن-مانتیت در داخل و خارج گلخانه در کشت زمستانه و بهاره به ترتیب ۰/۸ و ۰/۸۱ بود. مقادیر تبخیر- تعرق واقعی حاصل از بیلان آب خاک در کشت زمستانه و بهاره به ترتیب ۱۴۸/۲ و ۲۱۰/۴ میلی‌متر بودند. نتایج نشان داد میانگین ضریب گیاهی در مرحله ابتدایی، میانی و انتهایی فصل رشد در کشت زمستانه به ترتیب ۰/۶۹، ۰/۴۳ و ۱/۰۵ و در کشت بهاره به ترتیب ۰/۶۳، ۱/۱۵ و ۰/۹ بود. نتایج این مطالعه می‌تواند مبنای علمی لازم برای بهینه‌سازی آبیاری و صرفه‌جویی در مصرف آب، ایجاد برنامه‌ریزی مناسب آبیاری و بهبود کارایی مصرف آب در گلخانه و نیز کاهش مصرف انرژی با اجتناب از مصرف بیش از حد آب و در نهایت افزایش بازدهی تولید محصول و بازده اقتصادی را فراهم کند. بررسی تبخیر- تعرق و رشد پوشش گیاهی و تغییرات رطوبت در طول فصل رشد نیز نشان داد برای جلوگیری از توسعه بیماری‌های گیاهی استفاده از سطح تهویه‌ای بیشتر و یا تهویه اجباری در گلخانه‌ها ضروری است.

واژه‌های کلیدی: بیلان آب خاک، پنمن-مانتیت فائو، ضریب گیاهی، کشت محافظت شده، مدل استانگلینی

مقدمه

بخش کشاورزی همانند سایر جهان عمده‌ترین مصرف کننده آب در کشور است. با توجه به افزایش سطح زیرکشت، و خشکسالی‌های اخیر، این بخش با کمبود منابع آب روبرو است که باعث گسترش استفاده از فن‌آوری‌های جدید برای استفاده بهینه از منابع آب شده است. در سال‌های اخیر کشت‌های گلخانه‌ای که استفاده از منابع آب

و خاک را با کارایی بالا در شرایط آب و هوایی متنوع در محیط تقریباً کنترل شده مقدر می‌سازند، مورد توجه جدی قرار گرفته‌اند. از این رو، کشت‌های گلخانه‌ای در کشور با سرعت در حال گسترش هستند و لذا سرمایه‌گذاری‌های زیادی در این زمینه انجام شده‌اند.

سرانه زمین‌های زراعی ایران از سال ۱۳۳۹ تا ۱۳۹۶ با کاهش ۲۷۲ درصدی از ۰/۶۶۶ به ۰/۱۷۹ هکتار رسیده است (World Bank, 2022a). در استان همدان مساحت زمین‌های زراعی آبی از ۲۶۵۰۲۱ هکتار در سال ۸۵-۱۳۸۴ به ۱۸۸۸۲۵ هکتار در سال ۹۹-۱۳۸۹ رسیده‌اند که کاهش ۲۸/۸ درصدی را نشان می‌دهد. همچنین طی سال‌های ۱۳۸۴-۱۳۸۳ تا ۹۹-۱۳۹۸، سالانه به‌طور میانگین ۷۱۲۰ هکتار از اراضی آبی کاسته و ۴۴۱۶ هکتار به اراضی دیم افزوده شده است به طوری که سرانه زمین‌های آبی استان همدان طی ده سال ۱۳۹۵-۱۳۸۵ با کاهش ۳۳/۳۳ درصدی از ۰/۱۵۳ به ۰/۱۰۲ هکتار رسیده است. از سوی دیگر، سرانه آب تجدیدپذیر در ایران از سال ۱۳۴۰ تا ۱۳۹۵ از ۵۵۷۰ مترمکعب با کاهش ۲۵۰ درصدی، به ۱۵۹۳ مترمکعب رسیده است (World Bank, 2022b). در استان

- 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
- ۲- دانشیار پژوهش موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران
- ۳- استادیار پژوهش بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اصفهان، ایران

(Email: m.rezvani@areo.ac.ir

*) مسئول نویسنده :

DOR: 20.1001.1.20087942.1401.16.5.2.7

آوردن تبخیر و تعرق گیاه مرجع استفاده می‌شود (Baille, 1994). در شرایط گلخانه سرعت باد کمتر از ۱ متر در ثانیه است به این دلیل روش پنمن مانیتیت به منظور استفاده در گلخانه اصلاح شده است (Baille, 1994; Mpusia, 2006). در سال ۱۹۸۷ استان‌گلینی معادله پنمن-مانیتیت را برای شرایط گلخانه اصلاح کرد (Stanghellini, 1987). استان‌گلینی برای تخمین ET_0 ساعتی، یک پوشش گیاهی چند لایه را فرض کرد و برای اینکار از محصول گوجه‌فرنگی کاملاً رشد یافته در یک گلخانه شیشه‌ای، تیپ ونلو^۱، که سیستم گرمایشی آن با لوله آب گرم بود، استفاده کرد. مدل استان‌گلینی شامل محاسبه شدت جریان گرمایی تشعشع خورشیدی که از خصوصیات تجربی جذب تشعشع کوتاه و بلند توسط پوشش گیاهی چند لایه است، استنتاج شده است. در مدل استان‌گلینی از شاخص سطح برگ برای توضیح تبادل انرژی از برگ‌های پوشش گیاهی چند لایه محصول گلخانه‌ای استفاده شد. همچنین در مدل استان‌گلینی مقاومت روزنه‌ای و مقاومت آئرو‌دینامیکی محصول استفاده می‌شود (Stanghellini, 1987).

عابدی کوهپایی و همکاران (۱۳۹۰) در گلخانه‌ای شیشه‌ای در اصفهان ضریب گیاهی خیار گلخانه‌ای را در مرحله ابتدایی، توسعه گیاه، میانی و پایانی به ترتیب ۰/۴۱، ۰/۶۹، ۰/۹۸ و ۰/۷۷ به دست آوردند. فتحعلیان و همکاران (۱۳۹۱) برای تعیین تبخیر- تعرق و ضریب گیاهی خیار گلخانه‌ای، دو میکرو لایسیومتر برای کشت خیار و چمن در گلخانه تحقیقاتی در شمال تهران تهیه کردند. مساحت گلخانه ۲۰۰ مترمربع با سقف قوسی و دارای ۴ سالن به هم پیوسته و مجهز به سامانه آبیاری قطره‌ای بود. با استفاده از داده‌های هواشناسی ثبت شده داخل گلخانه، تبخیر- تعرق گیاه مرجع با سه روش پنمن مانیتیت فائو، هارگریوز سامانی و ماکینک محاسبه شد. فاصله کشت بوته‌های خیار ۷۰×۴۰ سانتی‌متر بود. تبخیر- تعرق خیار در طول دوره رشد چهار ماهه برابر ۲۷۳/۲ میلی‌متر بود. میانگین مقادیر ضریب گیاهی در مرحله ابتدایی، توسعه، میانی و انتهای رشد به ترتیب ۰/۱۴، ۰/۷۸، ۱/۰ و ۰/۸۶ به دست آمد. مقادیر ضریب گیاهی وقتی تبخیر- تعرق گیاه مرجع از روش‌های هارگریوز- سامانی و ماکینک به دست آمدند، به مقادیر واقعی نزدیک‌تر بودند تا وقتی که از معادله پنمن مانیتیت فائو استفاده شد.

آلن و همکاران در فائو-۵۶ ضریب گیاهی خیار را در مرحله اولیه (رشد ابتدایی و رویشی)، میانی و پایانی رشد برای تازه خوری به ترتیب ۰/۶، ۱/۰ و ۰/۷۵ گزارش دادند و تذکر دادند برای بوته‌هایی که به صورت ایستاده کشت و ارتفاع ۲۰/۵-۱/۵ متر دارند، ضریب گیاهی مرحله میانی رشد تا ۱/۱۵ می‌تواند افزایش یابد. ایشان برای برداشت ماشینی، ضریب گیاهی خیار را در مرحله اولیه، میانی و

همدان طی دهه ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۵ میزان تخلیه و مصرف سرانه آب زیرزمینی به ترتیب از ۱۴۸۲ و ۱۲۷۶ به ۱۱۷۸ و ۱۰۰۸ مترمکعب رسیده است که به ترتیب کاهش ۲۵/۸ و ۲۶/۶ درصدی میزان تخلیه و مصرف سرانه آب زیرزمینی را نشان می‌دهد. همچنین در سال ۱۳۹۸ مجموع تخلیه منابع آب زیرزمینی و سطحی در استان همدان ۲۴۷۴ میلیون مترمکعب بوده است که سهم آب‌های زیرزمینی و سطحی به ترتیب ۸۶ و ۱۴ درصد بوده‌اند. کاهش منابع آب و خاک کشور در کنار نیاز به تولید محصولات کشاورزی بیشتر برای تغذیه جمعیت رو به رشد جامعه، استفاده از کشت‌های گلخانه‌ای را الزامی کرده است.

در دهه ۹۹-۱۳۹۰ به طور میانگین سالانه ۸۳۱/۵ هکتار به سطح گلخانه‌های کشور افزوده شده است به طوری که در انتهای سال ۱۳۹۹ سطح گلخانه‌های ایران به حدود ۱۳۳۹۵ هکتار رسید (احمدی و همکاران، ۱۴۰۰). در همین مدت رشد سالانه سطح گلخانه‌های استان همدان به طور میانگین ۹/۵ هکتار بوده است. رشد مساحت گلخانه‌ها در استان همدان ۱/۱۵ درصد رشد سطح گلخانه‌ها در کشور است که با نسبت مساحت استان همدان (۱۹۴۹۰ کیلومتر مربع) به مساحت کل ایران (۱۶۳۰۸۴۸ کیلومتر مربع) به مقدار ۱/۲ درصد تناسب دارد. در سه ماه سوم سال ۱۴۰۰، سطح گلخانه‌های استان همدان به ۱۹۴ هکتار رسید (دفتر گلخانه‌های استان همدان، ۱۴۰۰). از آنجایی که یکی از ضرورت‌های توسعه کشت‌های گلخانه‌ای در کشور ارتقای بهره‌وری آب است، لذا انجام تحقیقاتی که به نوعی سبب مصرف دقیق‌تر و پایدارتر آب و هم زمان افزایش عملکرد در گلخانه‌ها شود، می‌بایست مورد توجه محققین بخش کشاورزی قرار گیرد. با توجه به برنامه‌های مرتبط با گسترش سطح زیرکشت محصولات گلخانه‌ای، اعمال روش‌های مدیریت صحیح آبیاری و استفاده از تمامی ظرفیت سیستم‌های آبیاری برای استفاده بهینه از منابع آب و خاک و سایر نهاده‌ها نظیر کود در پرورش محصولات با کمیت و کیفیت بالا ضروری است.

برای به دست آوردن Kc محاسبه یا اندازه‌گیری ET_0 و ETC ضروری است. مطالعات نشان داده است مفهوم گیاه مرجع در فضای باز (تعریف فائو) برای استفاده در شرایط گلخانه مشکل و شکننده است. دلیل این مسئله نیز نخست اینکه دو گیاه مرجع (چمن و یونجه) عموماً در گلخانه‌ها کشت نمی‌شوند (Baille, 1994). دیگر اینکه با مطالعه گوجه‌فرنگی گلخانه‌ای نشان دادند ضریب گیاهی در گلخانه تابعی از عوامل گیاهی، سطح برگ و شرایط آب و هوایی موجود در گلخانه است (Stanghellini et al., 1990). به این دلیل استفاده از یک فرمول با پایه فیزیکی بر اساس عوامل گیاهی و شرایط آب و هوایی گلخانه نسبت به روش‌های تجربی ترجیح داده می‌شود. اما به دلیل اینکه متغیرهای مورد نیاز برای گونه‌های اصلی در کشت گلخانه‌ای موجود نیست اغلب از روش‌های کلاسیک برای بدست

پایانی به ترتیب ۰/۵، ۱/۰ و ۰/۹ ذکر کردند (Allen et al., 1998). بلنکو و فلوگاتی مقدار ضریب گیاهی خیار گلخانه‌ای را ۵، ۴۵، ۱۰۵ و ۱۱۵ روز پس از کشت به ترتیب ۰/۱۹، ۱/۴۹، ۱/۴۹ و ۰/۷۳ به دست آوردند. در این آزمایش شوری آب $1/5 \text{ dS.m}^{-1}$ بود. مقدار ET_c با استفاده از تشتک تبخیر کوچک که در وسط گلخانه نصب شده بود محاسبه شد و ET_c از موازنه آب خاک به دست آمد (Blanco and folegatti, 2003).

کفاجه و همکاران در تحقیقی نشان دادند مدل AquaCrop تبخیر- تعرق را با کمترین خطا در محیط گلخانه که توسط منطق فازی کنترل می‌شود، تخمین می‌زند. نتایج نشان داد مقدار تبخیر در مرحله آغازین رشد سهم بیشتری از تبخیر- تعرق را دارد. میانگین تعرق در چهار مرحله آغازین، توسعه، میانی و انتهایی رشد به ترتیب ۱/۲۴، ۲/۱۱، ۲/۱۵ و ۲/۰۵ میلی‌متر بر روز بود. با استفاده از مدل AquaCrop عمق آب آبیاری در کل دوره رشد ۱۷۷۶ میلی‌متر به دست آمد (Khafajeh et al., 2021).

یان و همکاران در گلخانه تیپ ونلو با طول، عرض و ارتفاع $3/8 \times 20 \times 32$ متر، جهت شرقی- غربی، بدون سامانه گرمایشی و دارای تهویه طبیعی با دریچه‌های جانبی و سقفی واقع در دانشگاه جانگ سی^۱ چین، مطالعه‌ای برای محاسبه تعرق خیار گلخانه‌ای به دو روش پنمن مانیتیت و انتقال انبوه^۲ انجام دادند. مقدار چگالی شار گرمای نهان را به روش پنمن مانیتیت و انتقال انبوه در کشت بهاره و زمستانه به ترتیب $267/03$ ، $158/38$ و $266/66$ ، $140/42$ وات بر مترمربع (معادل $9/41$ ، $5/58$ و $9/40$ و $4/95$ میلی‌متر در روز) به دست آمد. مقادیر اندازه‌گیری شده چگالی شار گرمای نهان در کشت بهاره و زمستانه به ترتیب $259/87$ و $143/80$ وات بر مترمربع (معادل $9/2$ و $5/1$ میلی‌متر در روز) بود. با توجه به بررسی توزیع تعرق در طول فصل رشد، نتایج نشان داد در روش پنمن مانیتیت برآورد چگالی شار گرمای نهان خطای کمتری دارد (Yan et al., 2019).

در همین گلخانه هوانگ و همکاران در مطالعه‌ای تبخیر- تعرق خیار را سه مرحله رشد ابتدایی، گلدهی، میوه‌دهی و کل دوره رشد در کشت بهاره به ترتیب $46/56$ ، $64/25$ ، $70/37$ و $64/25$ وات بر مترمربع ($1/6$ ، $2/3$ ، $2/5$ و $2/3$ میلی‌متر در روز) و در کشت پاییزه به ترتیب $56/13$ ، $43/05$ ، $36/97$ و $41/60$ وات بر مترمربع ($1/98$ ، $1/52$ ، $1/30$ و $1/47$ میلی‌متر در روز) به دست آوردند. نسبت تبخیر به تبخیر- تعرق در سه مرحله رشد ابتدایی، گلدهی، میوه‌دهی و کل دوره رشد در کشت بهاره به ترتیب $20/88$ ، $6/20$ ، $4/97$ و $7/75$ درصد و در کشت پاییزه به ترتیب $44/27$ ، $18/64$ ، $11/60$ و $21/87$ درصد بود (Huang et al., 2020).

لیو و همکاران در یک گلخانه خورشیدی در چین با ابعادی به عرض ۱۲ متر و طول ۷۰ متر که دیوار انتهایی شش متری آن ضخامتی بین شش متر در کف و دو متر نزدیک سقف با پوشش پلی- اتیلن با ضخامت ۰/۱ میلی‌متر داشت، آزمایشی برای تعیین مقدار آب مصرفی خیار گلخانه‌ای در سه تیمار مکش آب خاک ($T3 = -20 \text{ kPa}$; $T1 = -10 \text{ kPa}$; $T2 = -15 \text{ kPa}$) با سامانه آبیاری قطره‌ای انجام دادند. آبیاری شیاری نیز به عنوان تیمار شاهد در نظر گرفته شد. نتایج نشان داد میانگین تبخیر- تعرق پتانسیل و تبخیر- تعرق گیاهی در سه فصل کشت به ترتیب 1038 و 1142 میلی‌متر بود. میانگین عمق آب آبیاری در سه تیمار $T1$ ، $T2$ و $T3$ به ترتیب 1109 ، 870 و 825 میلی‌متر و در روش شیاری 2505 میلی‌متر بود (Liu et al., 2021).

سان و همکاران ضریب گیاهی خیار گلخانه‌ای در کشت بهاره را در مرحله آغازین، میانی و انتهایی رشد به ترتیب $0/4$ ، $1/1$ و $1/0$ گزارش کردند (Sun et al., 2019). نیکولائو و همکاران نیاز تبخیر- تعرق خیار گلخانه‌ای را در قبرس طی ماه‌های نوامبر تا می (آبان تا اردیبهشت)، به ترتیب 40 ، 36 ، 42 ، 48 ، 72 ، 120 ، 208 میلی‌متر و برای کل سال 566 میلی‌متر برآورد کردند. در این تحقیق مقدار تبخیر- تعرق سالانه در گلخانه‌های تونلی بلند و کشت باز به ترتیب 290 و 476 میلی‌متر گزارش شد (Nikolaou et al., 2021).

مشاب در گلخانه‌ای تحقیقاتی با طول 10 ، عرض 9 و ارتفاع 3 متر، با جهت شمالی- غربی و پوشش پلی‌اتیلن 200 میکرون در دانشگاه بغداد، ضریب گیاهی خیار گلخانه‌ای را در مراحل آغازین، میانی و انتهایی فصل رشد به ترتیب $0/1$ ، $1/29$ و $0/9$ به دست آورد. تبخیر- تعرق در کل دوره رشد از اول اکتبر (۹ مهر ماه) تا ۳۱ دسامبر (۱۰ دی ماه) 94 میلی‌متر به دست آمد (Mushab, 2020). ایشان گزارش داده‌اند حمزه در تحقیقی در سال 2015 در دانشگاه بغداد، مقدار تبخیر- تعرق خیار گلخانه‌ای را $218/2$ میلی‌متر و ضریب گیاهی خیار گلخانه‌ای را در مراحل آغازین، میانی و انتهایی فصل رشد به ترتیب $0/16$ ، $1/23$ و $0/87$ به دست آورده است (Mushab, 2020). اینکروچی و همکاران در مقاله‌ای به تحلیل مدیریت آبیاری محصولات گلخانه‌ای در اروپا پرداختند. ایشان ضریب گیاهی خیار گلخانه‌ای در اسپانیا را برای مرحله آغازین و میانی رشد را به ترتیب $0/2$ و $1/2$ گزارش نمودند (Incrocci et al., 2020).

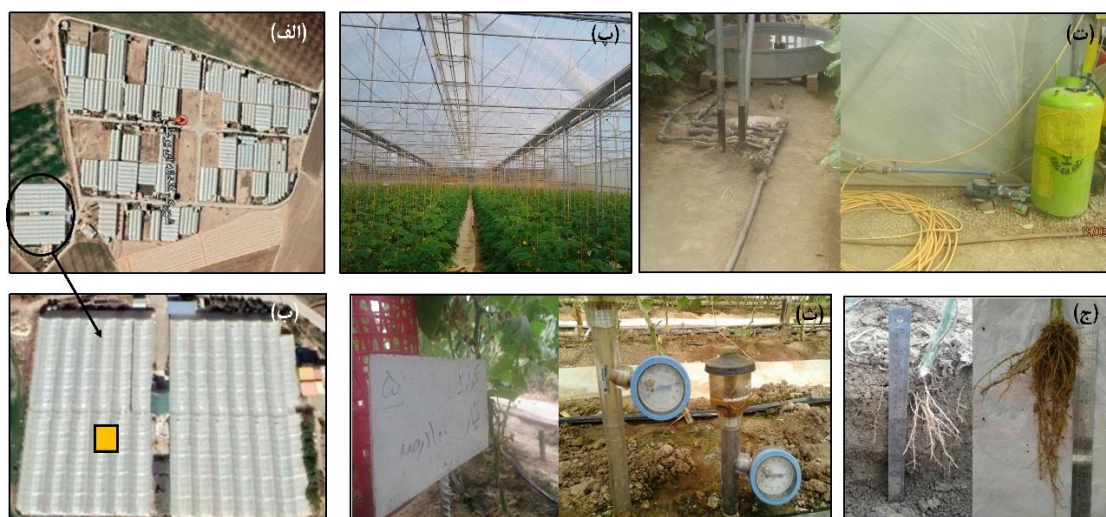
اورگاز و همکاران مقدار ضریب گیاهی چهار محصول خربزه، لوبیا سبز، هندوانه و فلفل را در گلخانه‌ای با پوشش پلاستیکی بدون سیستم گرمایشی در منطقه المیرا اسپانیا به دست آوردند. نتایج نشان داد در محصول‌های هندوانه و خربزه وقتی پوشش گیاهی به صورت خوابیده قرار گرفت، مقدار حداکثر ضریب گیاهی بین 1 و $1/1$ بود و با مقدار آن در شرایط کشت در فضای آزاد برابر بود. در مورد محصولات خربزه، لوبیا سبز و فلفل وقتی که با بندکشی پوشش گیاهی به صورت عمودی قرار گرفت، حداکثر ضریب گیاهی بین $1/3$ و $1/4$ بدست

مواد و روش‌ها

این تحقیق در دو فصل کشت برای تعیین نیاز آبی و ضرایب گیاهی خیار گلخانه‌ای در سال ۹۵-۱۳۹۴ انجام شد. محل آزمایش گلخانه‌ای تجاری واقع در شهرک گلخانه‌ای بوعلی (امزاجرد) در فاصله ۱۰ کیلومتری از شمال شهر همدان قرار داشت. سطح گلخانه ۱۰۰۰۰ مترمربع و پوشش آن پلی اتیلن دو لایه و جهت کشت نیز شمالی-جنوبی بود. آزمایش در قسمتی از این گلخانه شامل ۹ کرت آزمایشی به ابعاد ۱/۵×۳/۱ متر و با سه سطح آبیاری در سه تکرار و در قالب طرح بلوک‌های کاملاً تصادفی اجراء شد. سطح آزمایش حدود ۶۰ مترمربع از سطح گلخانه را در بر می‌گرفت. برای تعیین نیاز آبی و ضریب گیاهی خیار گلخانه‌ای، سطوح مختلف آبیاری با استفاده از سامانه آبیاری قطره‌ای نواری (تیپ) اعمال شد (شکل ۱).

آمده که بیشتر از مقادیر به‌دست آمده در فضای آزاد است (Orgaz et al., 2005).

روش‌های برآورد نیاز آبی کشت‌های گلخانه‌ای همگام با توسعه روزافزون این کشت‌ها، گسترش نیافته‌اند و لذا امکان برآورد نیاز آبی دقیق برای ادامه توسعه این کشت‌ها اجتناب‌ناپذیر است. از سوی دیگر برای تعیین آب مصرفی گیاه، ضریب گیاهی باید معلوم باشد. هدف از این تحقیق بررسی نیاز آبی خیار در گلخانه با استفاده از مدل‌های پنمن-مانتیث فائو و پنمن-مانتیث اصلاح شده در گلخانه توسط استانگلینی و تخمین مقادیر ضرایب گیاهی خیار گلخانه‌ای در مراحل مختلف رشد در منطقه همدان و مقایسه آن با سایر مطالعات بود.



شکل ۱- (الف) موقعیت گلخانه در شهرک گلخانه‌ای بوعلی (امزاجرد)؛ (ب) گلخانه انجام آزمایش و محل اجرای آزمایش (مربع سبز رنگ)؛ (پ) نمایی از داخل گلخانه؛ (ت) تانک آب و کود و پمپ سامانه آبیاری مستقل از سامانه آبیاری گلخانه؛ (ث) تانسیموترهای نصب شده و تیمار آبیاری؛ (ج) اندازه‌گیری عمق ریشه

رسیدن رطوبت به تانسیموتر دوم (در عمق ۳۰ سانتی‌متری) و در نتیجه کاهش مکش آب خاک در محدوده آن، آبیاری قطع شد. بدین صورت می‌توان هر کدام از این کرت‌ها را به عنوان یک لایسیمتر در نظر گرفت که با تعیین بیلان آب ورودی و خروجی در آنها، نیاز آبی واقعی گیاه کشت شده در طول فصل رشد محاسبه شود. دوره کشت زمستانه از ۱۳۹۴/۰۵/۲۶ تا ۱۳۹۴/۰۸/۲۹ به مدت ۹۶ روز (از زمان انتقال نشاء به گلخانه) و کشت بهاره از تاریخ ۱۳۹۴/۱۱/۱۱ تا ۱۳۹۵/۰۲/۲۵ به مدت ۱۰۵ روز (از زمان انتقال نشاء به گلخانه) بود. برای محاسبه میزان تبخیر- تعرق گیاه مرجع در داخل گلخانه از روش پنمن-مانتیث فائو (Allen et al., 1998) و اصلاح شده آن توسط استانگلینی که برای شرایط محیطی حاکم بر گلخانه (سرعت

بوته‌های خیار (رقم نگین) در کرت‌های با فاصله ۱/۵ متر و فاصله روی پشته ۱۸ سانتی‌متر کشت شدند و آبیاری در سه سطح مختلف شامل تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی و دو سطح دیگر مقدار آب مصرفی به ترتیب ۲۰ درصد بیشتر (۱۲۰ درصد نیاز آبی) و ۲۰ درصد کمتر (۸۰ درصد نیاز آبی) از مقدار آب سطح اول بود. برای آبیاری ۱۰۰ درصد نیاز آبی دو تانسیموتر در عمق ۱۵ و ۳۰ سانتی‌متری در کرت میانی کشت شده، نصب شدند. با کاربرد ترکیبی این دو سنجده رطوبت خاک، مقدار آب آبیاری اعمال شده به قدری بود که تلفات عمقی آب در ناحیه زیر ریشه گیاه وجود نداشت. به این منظور با رسیدن مکش آب خاک به حدود ۰/۵-۰/۴ بار در محدوده تانسیموتر نصب شده در عمق ۱۵ سانتی‌متری، آبیاری گیاه کشت شده، شروع شد و به محض

باد کمتر از ۱ متر بر ثانیه)، به صورت زیر توسعه یافته است، استفاده - شد (Stanghellini, 1987):

$$ET_0 = 2LAI \frac{1}{\lambda} \frac{s(R_n - G) + K_t \frac{VPD \rho C_p}{r_R}}{s + (1 + \frac{r_c}{r_a})} \quad (1)$$

که در آن ET_0 تبخیر- تعرق گیاه مرجع برحسب میلی-متر در ساعت، $\lambda =$ گرمای نهان تبخیر، $MJ \text{ kg}^{-1}$; R_n = تشعشع خالص روزانه یا ساعتی، $MJ \text{ m}^{-2} \text{ day}^{-1}$ یا $MJ \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$; C_p = ضریب ترمایی هوا، $MJ \text{ kg}^{-1} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$; $K_t = 3600 \text{ s h}^{-1}$ ضریب تبدیل برای تبخیر- تعرق گیاه مرجع (R_n); (mm) = تشعشع خالص روزانه یا ساعتی، $MJ \text{ m}^{-2}$; ρ = میانگین چگالی هوا، kg m^{-3} ; γ = ثابت سایکومتریک، $^\circ\text{C}^{-1} \text{ kPa}$; r_a = مقاومت آئروپونامیکی، s m^{-1} ; r_c = مقاومت پوشش گیاهی، s m^{-1} ; r_R = مقاومت تابشی، s m^{-1} ; LAI = شاخص سطح برگ، $\text{m}^2 \text{ m}^{-2}$. برای محاسبه متغیرهای به کار رفته در معادله (۱) از مقالات رضوانی و همکاران، کرناک و همکاران، پرنگر و همکاران، دوناتلی و همکاران، پامنگس و همکاران استفاده شد (رضوانی و همکاران، ۱۳۹۸؛ Kirnak et al., 2002؛ Prenger et al., 2002؛ Pamungkas et al., 2014؛ Donatelli et al., 2002).

مقاومت روزنه‌ای و تابشی خیار گلخانه‌ای از روابط ۲ و ۳ به دست می‌آیند:

$$r_s = 142.7 + 953.9 \times e^{(-0.0081 \times R_s)} \quad (2)$$

r_s = مقاومت روزنه‌ای خیار گلخانه‌ای به s m^{-1} ; R_s = تابش خورشیدی بالای پوشش گیاهی Wm^{-2} (Yang et al., 1990).

$$r_c = \frac{r_s}{LAI}$$

r_c = مقاومت پوشش گیاهی، s m^{-1} .

$$r_R = \frac{\rho C_p}{4\sigma(T+273.15)^3} \quad (3)$$

r_R = مقاومت تابشی، s m^{-1} ; ρ = میانگین چگالی هوا، kg m^{-3} ; C_p = ظرفیت گرمایی ویژه هوا معادل $1013 \text{ MJ kg}^{-1} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$; T = درجه حرارت روزانه یا ساعتی هوا، $^\circ\text{C}$.

$$r_a = \frac{665}{1+0.54U_2} \quad (4)$$

r_a = مقاومت آئروپونامیکی، s m^{-1} ; U_2 = سرعت باد در ۲ متری m s^{-1} .

برای محاسبه تبخیر- تعرق مرجع به روش استانگلینی، داده‌های اقلیمی دما و رطوبت نسبی داخل گلخانه و نیز تشعشع خورشید بالای پوشش گیاهی هر ۱۰ دقیقه برداشت شدند و سپس داده‌های ساعتی از آنها محاسبه گردیدند. حسگر دما و رطوبت نسبی دستگاه دیتالاگر testo 175H2 ساخت شرکت تستو آگ^۱ کشور آلمان بود. محدوده کاری حسگر دما 20°C - تا 70°C و دقت آن 0.1°C و میزان خطای اندازه‌گیری دما $0.5^\circ\text{C} \pm$ بود. محدوده رطوبت نسبی 0% تا

100% و دقت حسگر رطوبت سنس نیز 0.1% درصد بود. نور ورودی به گلخانه با دیتالاگر لوکس متر YK-2005LX با محدوده کاری ۰ تا 100000 لوکس و به دقت 0.1% تا 100 لوکس بسته به مقدار لوکس محیط با دامنه خطای 4% ساخت شرکت لوترون^۲، کشور تایوان اندازه‌گیری می‌شد. گلخانه همچنین مجهز به اتوماسیون و سرعت سنس باد بود (شکل ۲). به این منظور برنامه‌ای با استفاده از زبان برنامه نویسی VBA^۳ در صفحه گسترده اکسل تهیه شد.

برای محاسبه تبخیر- تعرق واقعی رابطه زیر استفاده شد (Allen et al., 1998):

$$ET_{c,adj} = K_s \times K_c \times ET_0 \quad (5)$$

$$ET_{c,adj} = K_s \times ET_c \quad (6)$$

که در آن $ET_{c,adj}$ تبخیر- تعرق تصحیح شده یا واقعی، K_c ضریب گیاهی و K_s ضریب تنش آبی است. با توجه به این که در رابطه استانگلینی پوشش گیاهی و ضرایب مربوط به هر محصول در نظر گرفته می‌شود، می‌توان تبخیر- تعرق به دست آمده از این رابطه را تقریباً معادل ET_c در نظر گرفت (Acquah et al., 2018). ضریب تنش آبی از رابطه (۷) به دست آمد (Allen et al., 1998):

$$K_s = \frac{TAW - D_r}{TAW - RAW} \quad (7)$$

که در آن TAW کل آب قابل استفاده خاک (میلی‌متر) است و از رابطه (۸) محاسبه می‌شود:

$$TAW = 1000(\theta_{FC} - \theta_p) \times Z_r \quad (8)$$

θ_{FC} رطوبت حجمی خاک در ظرفیت مزرعه (۲۸/۵ درصد)، θ_p رطوبت حجمی خاک در نقطه پژمردگی (۱۴/۰ درصد) و Z_r عمق ریشه گیاه به متر است. آب سهل الوصول یا RAW از رابطه زیر حاصل شد:

$$RAW = p \times TAW \quad (9)$$

p بخشی از آب قابل استفاده خاک است که بدون ایجاد تنش یا کاهش تبخیر- تعرق می‌تواند از محیط ریشه خارج شود و مقدار آن بین صفر تا ۱ است. مقادیر p داده شده در نشریه فائو ۵۶ (۰/۵) مربوط به حالتی است که تبخیر- تعرق گیاهی برابر ۵ میلی‌متر در روز است. برای مقادیر دیگر تبخیر- تعرق گیاهی مقدار p به شکل زیر تصحیح می‌شود (Allen et al., 1998):

$$p = p_{5mm} + 0.04(5 - ET_c) \quad (10)$$

D_r ، کمبود رطوبت خاک برحسب (mm)، با استفاده از بیلان آب خاک (رابطه ۱۱) به دست آمد:

$$D_{r,i} = D_{r,i-1} - (P - RO)_i - I_i - CR_i + ET_{c,i} + DP_i \quad (11)$$

که در آن $D_{r,i}$ کمبود رطوبت خاک منطقه ریشه در انتهای روز

2- Lutron

3- Visual basic for application

1- Testo AG

در روز t ام، DP_i ؛ (mm) آب خارج شده از منطقه ریشه به وسیله نفوذ عمقی در روز t ام، $D_{r,i-1}$ و (mm) کمبود رطوبت خاک منطقه ریشه در انتهای روز قبل ($t-1$ ام) است و از رابطه (۱۲) به دست آمد (Allen et al., 1998):

ام، $D_{r,i-1}$ ؛ (mm) کمبود رطوبت خاک منطقه ریشه در انتهای روز قبل $t-1$ ام، P_i ؛ (mm) بارندگی در روز t ام، RO_i ؛ (mm) رواناب سطحی در روز t ام، I_i ؛ (mm) عمق خالص آبیاری که به داخل خاک در روز t ام نفوذ کرده است، CR_i ؛ (mm) صعود موئینه از سطح ایستایی آب زیرزمینی در روز t ام، $ET_{c,i}$ ؛ (mm) تبخیر- تعرق گیاهی



شکل ۲- (الف) دیتالاگر دما و رطوبت نسبی testo 175 H2؛ (ب) لوکس متر YK-2005LX؛ (پ) قرارگیری دیتالاگرهای دما و رطوبت نسبی و لوکس متر در مرکز محل آزمایش؛ (ت) سامانه اتوماسیون گلخانه؛ (ث) بادسنج

برسد، ۳۵ روز پس از کاشت در نظر گرفته شد. محاسبه تبخیر- تعرق واقعی با استفاده از بیلان آب خاک با فرمول نویسی در صفحه گسترده اکسل، انجام شد.

ضریب گیاهی (K_c) خیار گلخانه‌ای، در طول فصل رشد، از نسبت بین تبخیر- تعرق گیاهی (ET_c) به تبخیر و تعرق گیاه مرجع (ET_0) به دست آمد (Allen et al., 1998):

$$K_c = \frac{ET_c}{ET_0} \quad (15)$$

تبخیر و تعرق گیاه مرجع در رابطه ۱۵ از روش پنمن مانیتیت در داخل گلخانه (رابطه ۱) به دست آمد.

با توجه به این که در گلخانه‌های همدان کشت اغلب به صورت خاکی صورت می‌گیرد، کاشت در خاکی با ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی مطابق جدول ۱ انجام شد. سطح برگ و ارتفاع بوته در طول دوره رشد در ۹ بوته در سطح گلخانه در طی دو فصل کشت اندازه‌گیری شدند. برای اندازه‌گیری شاخص سطح برگ، طول و عرض تمامی برگ‌های هر بوته در ۵ مرحله اندازه‌گیری شدند و از روابط زیر سطح برگ (Salcedo et al., 2016) و سپس شاخص سطح برگ برای خیار گلخانه‌ای، محاسبه شدند:

$$LA = 0.8405 \times L \times W \quad (16)$$

$$D_{r,i-1} = 1000(\theta_{FC} - \theta_{i-1}) \times Z_r \quad (12)$$

θ_{i-1} میانگین رطوبت حجمی خاک در عمق موثر ریشه در انتهای روز قبل $t-1$ ام است. نفوذ عمقی بعد از بارندگی سنگین یا آبیاری از معادله زیر محاسبه شد (Allen et al., 1998):

$$DP_i = (P_i - RO_i) - I_i - ET_{c,i} - D_{r,i-1} \quad (13)$$

اجزای معادله فوق، قبلاً توضیح داده شده‌اند. مقدار Z_r عمق ریشه از رابطه ۱۴ (Borg and Grimes, 1986; Merrill et al., 2002; Hornbuckle et al., 2005) به دست آمد:

$$Z_r = Z_{r-m}(0.5 + 0.5 \times \sin[3.03(DAP/DTM) - 1.47]) \quad (14)$$

که در آن؛ Z_r عمق ریشه، Z_{r-m} حداکثر عمق ریشه، DAP روزهای بعد از کشت، DTM تعداد روزهایی که بعد از آن ریشه به عمق حداکثر می‌رسد. براساس منابع مطالعه شده، عمق ریشه خیار گلخانه‌ای تا یک متر هم می‌رسد ولی عمق ریشه عموماً کمتر از ۳۵ سانتی‌متر است. براساس اندازه‌گیری‌های انجام شده در این تحقیق، عمق ریشه حدود ۳۲ تا ۳۵ سانتی‌متر بود که احتمال کنده شدن ریشه هم وجود داشت. به این دلیل در این تحقیق عمق ریشه ۴۵ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. تعداد روزهای که طول می‌کشد ریشه به این عمق

$$U_{2i} = 0.0085 \times U_{20}^2 - 0.0055 \times U_{20} + 0.0403$$

(۱۸) پنجره‌های تهویه باز

$$U_{2i} = 0.0038 \times U_{20}^2 - 0.009 \times U_{20} + 0.0055$$

(۱۹) پنجره‌های تهویه بسته

در گلخانه محل انجام آزمایش، از دستگاه آب شیرین کن استفاده شد و EC آب آبیاری بین ۶۰۰ تا ۸۰۰ میکرو موس بر سانتی‌متر تنظیم گردید. عملیات آبیاری در این پژوهش با سامانه آبیاری قطره‌ای و از طریق قطره چکان‌های با آبدهی ۴ لیتر در ساعت انجام شد. برای اندازه‌گیری آب آبیاری از ۳ کنتور ۰/۵ اینچ کلاس C استفاده شد که تا دهم لیتر را اندازه‌گیری می‌کردند.

که در آن، L و W به ترتیب طول و عرض برگ به متر و LA سطح برگ به مترمربع هستند. برای محاسبه تغییرات شاخص سطح برگ در روزهای پس از کاشت، از رابطه زیر استفاده شد (Medrano et al., 2005):

$$LAI = 2.7 \left[1 + \exp \left(-\frac{DAS-43.2}{8} \right) \right]^{-1} \quad (17)$$

که در آن DAS روزهای پس از کاشت است. مقدار $2/7$ حداکثر شاخص سطح برگ است که در تحقیق حاضر بر اساس اندازه‌گیری‌های مقدار آن در کشت زمستانه و بهاره استفاده می‌شود. سرعت باد داخل گلخانه در ارتفاع ۲ متری نیز از روابط زیر براساس سرعت باد در ارتفاع ۲ متری وزش باد خارج از گلخانه، به‌دست آمد (Fernández et al., 2010):

جدول ۱- مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک محل انجام آزمایش

تیما	عمق (cm)	هدایت الکتریکی $EC * 10^3$ (dS/m)	واکنش گل اشباع pH of paste	کربن آلی O.C%	فسفر قابل جذب (ppm)	پتاسیم قابل جذب (ppm)	درصد رس clay%	درصد لای Silt%	درصد شن Sand %	بافت خاک Texture
۸۰درصد	۰-۱۵	۹/۱۵	۷/۳	۱/۳۱	۲۷۹/۹	۷۲۰/۰	۲۶/۲	۴۴/۳	۲۹/۵	L
۸۰درصد	۱۵-۳۰	۶/۲۲	۷/۴۷	۱/۰۲	۲۱۵/۰	۶۳۴/۰	۲۷/۱	۴۴/۵	۳۰/۴	CL
۱۰۰درصد	۰-۱۵	۷/۲۲	۷/۱۹	۱/۳۷	۳۲۸/۰	۵۴۷/۰	۲۱/۸	۴۱/۶	۳۶/۶	L
۱۰۰درصد	۱۵-۳۰	۵/۸۷	۷/۶۳	۱/۰۵	۲۱۹/۰	۴۹۹/۰	۲۴/۴	۴۲/۵	۳۳/۱	L
۱۲۰درصد	۰-۱۵	۳/۴۹	۷/۵	۱/۱۸	۳۰۶/۰	۳۴۶/۰	۲۰/۰	۳۹/۰	۴۱/۰	L
۱۲۰درصد	۱۵-۳۰	۳/۰۰	۷/۷۱	۰/۸۳	۱۶۸/۶	۳۲۶/۰	۲۳/۵	۴۱/۷	۳۴/۸	L
بین کرت‌ها	۲۵	۳/۲۳	۸/۰۵	۰/۷۴	۳۱/۴	۳۷۴/۰	۳۲/۴	۴۶/۱	۲۱/۵	CL

نتایج و بحث

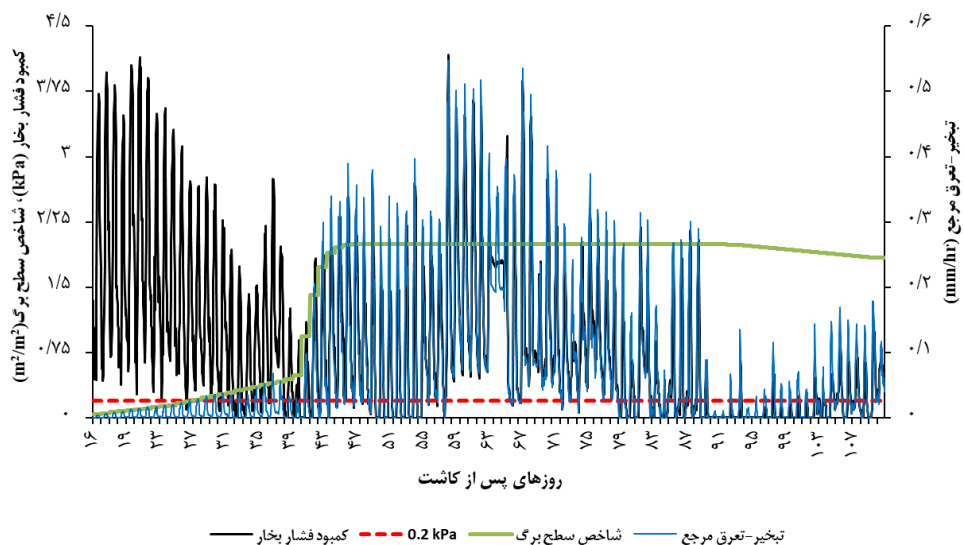
شاخص سطح برگ خیار گلخانه‌ای

اندازه‌گیری‌ها نشان داد حداکثر شاخص سطح برگ در کشت زمستانه $2/0 \text{ m}^2/\text{m}^2$ و در کشت بهاره $2/8 \text{ m}^2/\text{m}^2$ به‌دست آمد. برای انطباق رابطه (۱۸) که به‌صورت روزانه شاخص برگ را محاسبه می‌کند، از مقادیر اندازه‌گیری شده شاخص سطح برگ در برنامه نوشته شده در VBA استفاده شد.

تبخیر- تعرق

در کشت زمستانه تبخیر- تعرق ساعتی از تاریخ ۱۳۹۴/۰۵/۲۶ تا ۱۳۹۴/۰۸/۲۹ به مدت ۹۶ روز (از زمان انتقال نشاء به گلخانه) به‌روش استانگلینی محاسبه و برابر $2/14 \text{ m}^2/\text{m}^2$ میلی‌متر به‌دست آمد. تبخیر- تعرق به‌روش پنمن - مانتیث فائو داخل و خارج گلخانه به‌ترتیب $1/81$ و $2/27$ میلی‌متر به‌دست آمد که نسبت تبخیر- تعرق داخل

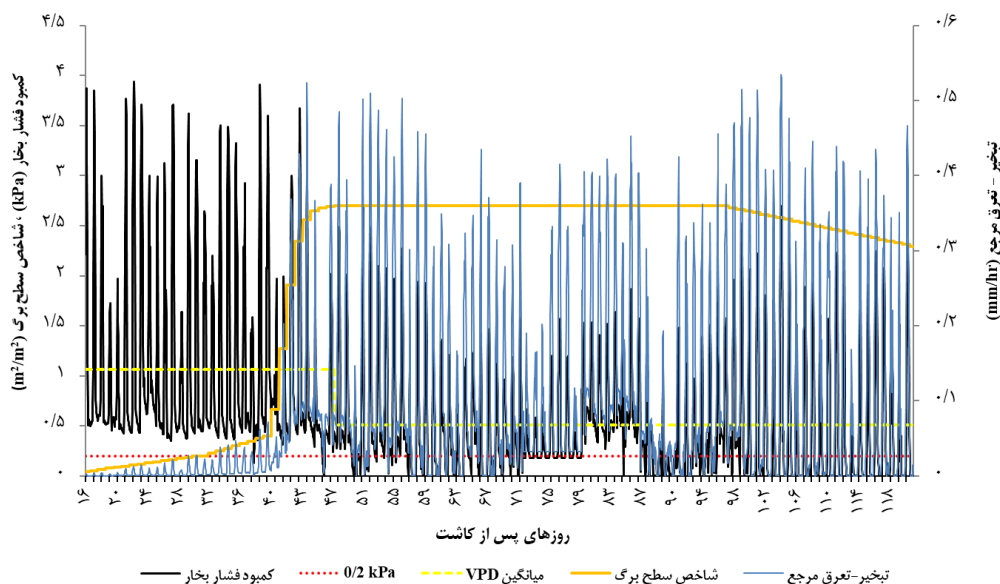
به خارج گلخانه $0/80$ بود. تغییرات مقدار VPD، تبخیر- تعرق گیاه مرجع و شاخص سطح برگ نشان می‌دهند که با افزایش شاخص سطح برگ و به حداکثر رسیدن آن، مقدار VPD در بسیاری از ساعات به کمتر از $0/20 \text{ kPa}$ کاهش می‌یابد (شکل ۳) که باعث خسارت ناشی از توسعه بیماری‌های قارچی می‌شود (رضوانی و همکاران، ۱۳۹۸؛ Rezvani et al., 2020). علت را می‌توان افزایش رطوبت ناشی از افزایش تعرق محصول و کاهش سرعت تبادل هوا (تهویه) و تخلیه رطوبت ناشی از افزایش ارتفاع و پوشش گیاهی دانست. از طرفی در ساعاتی با افزایش مقدار VPD به بالاتر از $1/0 \text{ kPa}$ ، احتمال تنش خشکی در گلخانه وجود دارد. در نتیجه اصلاح تهویه طبیعی با افزایش سطح دریچه‌های تهویه یا استفاده از تهویه مکانیکی برای بهبود شرایط اقلیمی گلخانه، ضروری است.



شکل ۳- تغییرات کمبود فشار بخار داخل گلخانه، شاخص سطح برگ و تبخیر- تعرق گیاه مرجع در طول کشت زمستانه

سطح برگ و به حداکثر رسیدن آن، متوسط VPD از ۱/۰۷ به ۰/۵۱ کیلوپاسکال کاهش یافته که کمی بالاتر از ۰/۴۳ kPa (شرایط رطوبتی مناسب برای توسعه بیماری‌های گیاهی و قارچ‌های بیماری-زا) است. نتایج نشان می‌دهند در ساعاتی از روز VPD به کمتر از ۰/۲۰ kPa کاهش می‌یابد که باعث توسعه خسارت ناشی از توسعه بیماری‌های قارچی می‌شود.

در کشت بهاره تبخیر- تعرق ساعتی از تاریخ ۱۳۹۴/۱۱/۱۱ تا ۱۳۹۵/۰۲/۲۵ به مدت ۱۰۵ روز (از زمان انتقال نشاء به گلخانه) به روش استانگلینی محاسبه و مقدار آن ۲۲۲/۳ میلی‌متر به دست آمد. تبخیر- تعرق به روش پنمن - مانیتث فائو داخل و خارج گلخانه به- ترتیب ۲۲۷/۶ و ۲۸۲/۵ میلی‌متر و نسبت آنها ۰/۸۱ به دست آمد. همان‌گونه که در شکل ۴ مشاهده می‌شود، با افزایش شاخص



شکل ۴- تغییرات کمبود فشار بخار و تبخیر- تعرق گیاه مرجع داخل گلخانه و نیز شاخص سطح برگ خیار گلخانه‌ای در طی کشت تابستانه

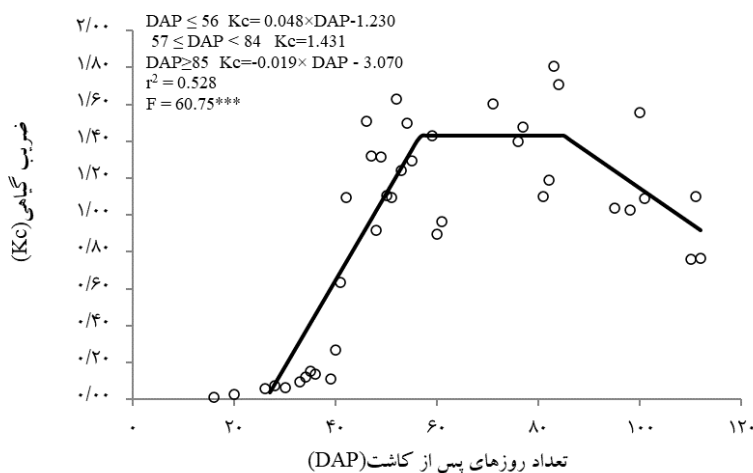
al., 2021). در تحقیق حاضر مجموع تبخیر- تعرق گیاه مرجع در کشت زمستانه و بهاره که تقریباً برابر هفت ماه بود، به‌روش‌های

نیکولائو و همکاران مقدار تبخیر- تعرق خیار گلخانه‌ای را برای دوره کشت هفت ماهه، ۵۶۶ میلی‌متر برآورد کردند (Nikolaou et

تجهیزات کنترل اقلیمی موجود در گلخانه، می‌تواند متفاوت باشد.

ضریب گیاهی

ضریب گیاهی در دو کشت زمستانه و بهاره بر اساس تقسیم‌بندی فائو ۵۶ (Allen et al., 1998) در سه مرحله رشد اولیه (رشد ابتدایی و توسعه)، میانی و پایانی به‌دست آمد. در کشت زمستانه ضریب گیاهی در فصل رشد به‌صورت روزانه محاسبه و بهترین معادله از میان نقاط به‌دست آمده برازش داده شد (شکل ۵). تا حدود روز پنجاه و ششم پس از کاشت (رشد اولیه) ضریب گیاهی افزایش یافت و پس از آن تا ۸۴ روز پس از کاشت (مرحله میانی)، در حدود ۱/۴۳ ماند و سپس مقدار آن در مرحله انتهایی تا اتمام کشت (جمع کردن بوته‌ها) در روز صد و دوازدهم، کاهش یافت. متوسط ضریب گیاهی در مرحله اولیه، میانی و انتهایی فصل رشد به‌ترتیب ۰/۶۹، ۱/۴۳ و ۱/۰۵ (حداقل) انتهایی فصل رشد ۰/۷۶) به‌دست آمد.



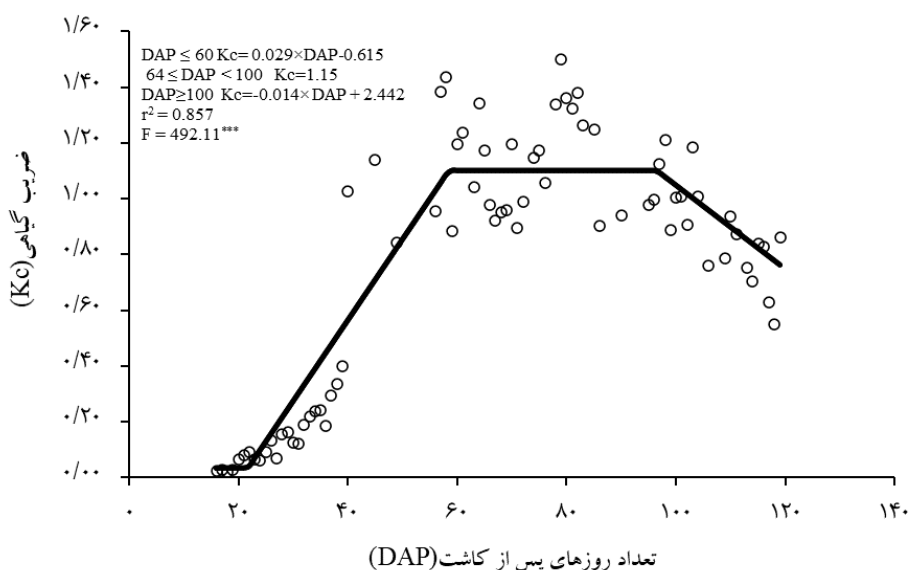
شکل ۵ - ضریب گیاهی خیار گلخانه‌ای در دوره کشت زمستانه

خیار گلخانه‌ای با مقادیر ارائه شده توسط فائو (Allen et al., 1998) برای مرحله‌های ابتدایی ۰/۵ تا ۰/۶، میانی ۱/۱۵ (بوته خیار ایستاده با ارتفاع ۱/۵-۲/۰ متر) و پایانی ۰/۹-۰/۷۵ هم‌خوانی دارد. ضرایب گیاهی کشت بهاره به‌دست آمده در این تحقیق در مرحله اول و دوم رشد خیار گلخانه‌ای با مقادیر به‌دست آمده توسط سان و همکاران (Sun et al., 2019) هماهنگی دارد ولی ضریب گیاهی مرحله انتهایی رشد محصول در تحقیق حاضر کمتر از مقدار گزارش شده توسط ایشان است.

استانگلینی و پنمن ماتنیث فائو به‌ترتیب ۴۳۶/۵ و ۴۰۹/۱ میلی‌متر به دست آمد که از مقدار گزارش شده توسط نیکولائو و همکاران کمتر است. تفاوت در شرایط اقلیمی پیرامونی گلخانه، سازه گلخانه‌ای و استفاده یا عدم استفاده از تجهیزات کنترل اقلیم می‌تواند سبب این اختلاف شده باشند، به‌طوری‌که نیکولائو و همکاران در گلخانه‌های تونلی بلند که تجهیزات کنترل اقلیمی ندارند در یک دوره شش ماهه تبخیر- تعرق را ۲۹۰ میلی‌متر برآورد کرده‌اند. نتایج مقادیر تبخیر- تعرق به‌روش استانگلینی در تحقیق حاضر با مقدار تبخیر- تعرق گیاهی خیار گلخانه‌ای توسط مشاب (Mushab, 2020) که ۹۴ میلی‌متر گزارش شده است، متفاوت می‌باشد اما با مقدار ۲۱۸/۲ میلی‌متر به‌دست آمده توسط حمزه (Mushab, 2020) هم‌خوانی دارد. مقدار تبخیر- تعرق گیاه مرجع یا تبخیر- تعرق گیاهی در گلخانه با توجه به نوع سازه، نوع و سن پوشش که بر میزان تشعشع ورودی به گلخانه موثر است، مدیریت و فصل کشت، شرایط اقلیمی منطقه و

رابطه ضریب گیاهی در فصل رشد بهاره در شکل ۶ آمده است. این ضریب تا حدود روز شصت‌ام پس از کاشت (رشد اولیه)، افزایش یافته و پس از آن، تا روز ۹۱ پس از کاشت (مرحله میانی) با متوسط ۱/۱۵ ادامه می‌یابد، سپس تا مرحله پایانی فصل رشد (روز صد و نوزدهم)، روند کاهشی دارد. متوسط ضریب گیاهی کشت بهاره در مرحله اولیه، میانی و پایانی فصل رشد به‌ترتیب ۰/۴۱، ۱/۱۵ و ۰/۸۷ (حداقل) انتهایی فصل رشد ۰/۵۵) بود.

مقادیر ضریب گیاهی به‌دست آمده در این تحقیق در کشت بهاره



شکل ۶- ضریب گیاهی خیار گلخانه‌ای در دوره کشت تابستانه

فصل رشد به ترتیب ۰/۱۶ - ۰/۱ - ۰/۲۹ - ۱/۲۳ و ۰/۹ - ۰/۸۷ گزارش شده است که مقادیر مرحله ابتدایی آن کمتر از مقادیر تحقیق حاضر است و در مرحله انتهایی، هم‌خوانی دارند. در مرحله میانی ضرایب گیاهی گزارش شده در مطالعه (Mushab, 2020) از مقادیر ارائه شده در گزارش حاضر برای فصل زمستان کمتر ولی به مقدار کشت بهاره، نزدیک هستند.

ضریب گیاهی خیار گلخانه‌ای در منطقه المیرای اسپانیا در مرحله اولیه ۰/۲ و در مرحله میانی، ۱/۲ گزارش شده است. برای مرحله پایانی رشد خیار گلخانه‌ای مقداری ذکر نشده است و علت را جمع-آوری کشت در برخی از محصولات (نظیر خیار گلخانه‌ای)، به دلیل شرایط فصلی بازار و قیمت‌های پایین، قبل از این که مقدار ضریب گیاهی کاهش پیدا کند عنوان نموده‌اند (Gallardo et al., 2020). در واقع یکی دیگر از دلیل بالا بودن مقدار ضریب گیاهی در مرحله آخر رشد خیار گلخانه‌ای در مطالعه حاضر و مطالعات مشابه، جمع‌آوری کشت قبل از رسیدن محصول به انتهای رشد است. از طرفی با توجه به زمان کشت، طول دوره رشد، تقسیم‌بندی مراحل رشد محصول، نوع سازه گلخانه‌ای، مدیریت کشت و اقلیم منطقه تفاوت‌هایی در ضریب گیاهی خیار گلخانه‌ای مشاهده می‌شود ولی در مجموع روندهای مقادیر ارائه شده تقریباً یکسان هستند. همچنین نتایج تحقیق حاضر به دلیل انجام در یک گلخانه تجاری یک هکتاری نسبت به سایر مطالعات که در گلخانه‌های تحقیقاتی کوچک بوده‌اند، به شرایط واقعی گلخانه‌ها نزدیک‌تر است.

در کشت زمستانه مقدار به‌دست آمده در مرحله میانی نیز از مقدار ارائه شده توسط فائو بالاتر است. مقادیر ضریب گیاهی در گلخانه معمولاً به جهت تراکم بالاتر و نیز حجم فتوسنتز بیشتر، بالاتر از مقادیر مشابه در فضای باز هستند (Gallardo et al., 2013). نتایج تحقیق اورگاز و همکاران نیز نشان داد وقتی پوشش گیاهی به صورت خوابیده قرار دارد، مقدار حداکثر ضریب گیاهی داخل گلخانه با مقدار آن در شرایط کشت در فضای آزاد برابر و وقتی که پوشش گیاهی به صورت عمودی قرار می‌گیرد، حداکثر ضریب گیاهی بیشتر از مقادیر به‌دست آمده در فضای آزاد است (Orgaz et al., 2005).

فتحعلیان و نوری امامزاده‌ئی (۱۳۹۱) میانگین مقادیر ضریب گیاهی در مرحله ابتدایی، توسعه، میانی و انتهایی رشد را به ترتیب ۰/۱۴، ۱/۳۷، ۱/۱ و ۰/۸۶ به‌دست آوردند که در مرحله توسعه، میانی و انتهایی مشابه مقادیر به‌دست آمده در این تحقیق است. مقدار حداکثر آن با مقدار به دست آمده در کشت زمستانه تقریباً برابر و از مقدار به‌دست آمده در کشت تابستانه در این تحقیق بالاتر است. نتایج این تحقیق با ضریب گیاهی خیار گلخانه‌ای به‌دست آمده توسط عابدی کوهپایی و همکاران (۱۳۹۰) در مراحل ابتدایی (۰/۴۱) و پایانی (۰/۷۷) با کشت بهاره تحقیق حاضر، هم‌خوانی دارد ولی در کشت زمستانه با مقادیر ارائه شده توسط ایشان در مرحله توسعه گیاه (۰/۶۹) و مرحله میانی آن (۰/۹۸) هماهنگی دارد. در کشت‌های گلخانه‌ای ضرایب گیاهی معمولاً بالاتر از کشت باز هستند ولی مقدار به‌دست آمده توسط عابدی کوهپایی و همکاران (۱۳۹۰) در مرحله میانی تقریباً برابر فضای باز (Allen et al., 1998) به‌دست آمده است. مقادیر ضریب گیاهی خیار گلخانه‌ای در مطالعات انجام شده در دانشگاه بغداد (Mushab, 2020) در مراحل آغازین، میانی و انتهایی

نتیجه گیری

در این تحقیق از روش استانگلینی که برای تخمین تبخیر- تعرق در محصولات گلخانه‌ای توسعه داده شده است و روش پنمن-مانتیث فائو برای محاسبه تبخیر- تعرق گیاه مرجع استفاده شد. مقدار تبخیر- تعرق گیاه مرجع در کشت زمستانه و بهاره به روش استانگلینی به- ترتیب ۲۱۴/۲ و ۲۲۲/۳ میلی‌متر و در روش پنمن مانتیث فائو به- ترتیب ۱۸۱/۵ و ۲۲۷/۶ میلی‌متر به‌دست آمد. همچنین نسبت تبخیر- تعرق پنمن-مانتیث داخل به خارج گلخانه در کشت زمستانه و بهاره به‌ترتیب ۰/۸ و ۰/۸۱ حاصل شد. تبخیر- تعرق واقعی گیاه با استفاده از بیلان آب خاک تخمین زده شد و میانگین ضریب گیاهی در مراحل ابتدایی، میانی و انتهایی فصل رشد در کشت زمستانه به‌ترتیب ۰/۶۹، ۰/۴۳۱ و ۱/۰۵ و در کشت بهاره به‌ترتیب ۰/۶۳، ۱/۱۵ و ۰/۹ به- دست آمد. نتایج نشان دادند در گلخانه مورد مطالعه که از تهویه طبیعی استفاده می‌شود، با کامل شدن پوشش گیاهی به‌دلیل تعرق گیاه و ایجاد مقاومت در مقابل تبادل آزاد هوا، میزان رطوبت در داخل گلخانه افزایش یافت به‌طوری‌که این پدیده منجر به ایجاد شرایط مناسب محیطی برای توسعه بیماری‌های گیاهی شد. این شرایط در گلخانه‌های دیگر استان همدان نیز مشاهده می‌شود، در نتیجه استفاده از سطح تهویه‌ای بیشتر و یا تهویه اجباری در گلخانه‌ها، توصیه می‌گردد.

منابع

- احمدی، ک.، عبادزاده، ح.، حاتمی، ف.، محمدنیا افروزی، ش.، عباس طاقانی، ر.، یاری، ش. و کلانتری، م. ۱۴۰۰. آمارنامه کشاورزی سال ۱۳۹۹، جلد سوم: محصولات باغبانی. وزارت جهادکشاورزی، معاونت برنامه‌ریزی و اقتصادی، مرکز فناوری اطلاعات و ارتباطات. ۱۵۷ صفحه.
- دفتر گلخانه‌های استان همدان. ۱۴۰۰. آمار منتشر نشده. سازمان جهاد کشاورزی استان همدان.
- رضوانی، س.، زارع ایبانه، ح. و گودرزی، م. ۱۳۹۸. توزیع تعرق و کمبود فشار بخار در گلخانه‌ی تجاری. نشریه آبیاری و زهکشی ایران. ۱۱۳(۵): ۱۱۹۱-۱۲۰۳.
- فتحعلیان، ف. و نوری امامزاده‌ئی، م. ۱۳۹۱. تعیین تبخیر- تعرق و ضریب گیاهی خیار با استفاده از میکروولایسیمتر در شرایط گلخانه. علوم و فنون کشت‌های گلخانه‌ای. ۳(۴): ۱۳۴-۱۲۵.
- عابدی کوپایی، ج.، اسلامیان، س. و زارعیان، م. ۱۳۹۰. اندازه‌گیری و مدل‌سازی نیاز آبی و ضریب گیاهی خیار، گوجه‌فرنگی و فلفل با استفاده از میکروولایسیمتر در گلخانه. مجله علوم و فنون کشت‌های گلخانه‌ای. ۲(۳): ۶۴-۵۱.
- Acquah, S. J., Yan, H., Zhang, C., Wang, G., Zhao, B., Wu, H. and Zhang, H. 2018. Application and evaluation of Stanghellini model in the determination of crop evapotranspiration in a naturally ventilated greenhouse. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*. 11(6): 95-103 .
- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D. and Smith, M., 1998. *FAO Irrigation and drainage paper No. 56*. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations. 56(97): p.e156.
- Baille, A. 1994. Principles and methods for predicting crop water requirement in greenhouse environments. *INRA-CIHEAM, Cahiers Options Mediterraneennes*. 31: 177-180.
- Blanco, F. F. and Marcos, V. Folegatti. 2003. Evapotranspiration and crop coefficient of cucumber in greenhouse. *Revista Brasileira de Engenharia Agricola e Ambiental*. 7(2): 285-291.
- Borg, H. and Grimes, D. 1986. Depth development of roots with time: An empirical description. *Transactions of the ASAE*. 29(1): 194-0197 .
- Donatelli, M., Bellocchi, G. and Carlini, L. 2006. Sharing knowledge via software components: models on reference evapotranspiration. *European Journal of Agronomy*. 24(2): 186-192 .
- Fernández, M., Bonachela, S., Orgaz, F., Thompson, R., López, J., Granados, M. and Fereres, E. 2010. Measurement and estimation of plastic greenhouse reference evapotranspiration in a Mediterranean climate. *Irrigation science*. 28(6): 497-509 .
- Gallardo, M., Thompson, R. B. and Fernández, M. D. 2013. Water requirements and irrigation management in Mediterranean greenhouses: the case of the southeast coast of Spain. *Good Agricultural Practices for Greenhouse Vegetable Crops; Plant Production and Protection Paper*. 217: 109-136.
- Hornbuckle, J., Christen, E., Podger, G., White, R., Seaton, S., Perraud, J. and Rahman, J. 2005. Tiddalik : an irrigation area model for predicting and managing drainage return flows.
- Huang, S., Yan, H., Zhang, C., Wang, G., Acquah, S. J., Yu, J. and Darko, R. O. 2020. Modeling evapotranspiration for cucumber plants based on the Shuttleworth-Wallace model in a Venlo-type greenhouse. *Agricultural Water Management*. 228: 105861 .
- Incrocchi, L., Thompson, R. B., Fernandez-Fernandez, M. D., De Pascale, S., Pardossi, A., Stanghellini, C. and Gallardo, M. 2020. Irrigation management of European greenhouse vegetable crops. *Agricultural Water Management*. 242: 106393 .
- Khafajeh, H., Banakar, A., Minaei, S. and Delavar, M. 2020. Evaluation of AquaCrop model of cucumber

- 45(6): 1779 .
- 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.
- World Bank. 2022a. Arable land (hectares per person) - Iran, Islamic Rep. <https://data.worldbank.org/indicator/ER.H2O.INTR.PC?locations=IR>.
- World Bank. 2022b. Arable land (hectares per person) - Iran, Islamic Rep. <https://data.worldbank.org/indicator/AG.LND.ARB.LHA.PC?locations=IR>.
- Salcedo, G. A., Reca, J., Pérez-Sáiz, M. and Lao, M. T. 2016. Irrigation water consumption modelling of a soilless cucumber crop under specific greenhouse conditions in a humid tropical climate. *Ciência Rural*. 47.
- Stanghellini, C. 1987. Transpiration of greenhouse crops: an aid to climate management. Wageningen University and Research. 150 pp. <https://library.wur.nl/WebQuery/wurpubs/fulltext/202121>.
- Stanghellini, C., Bosma A. H., Gabriels P. C. J. and Werkhoven, C. 1990. The water consumption of agricultural crops: how coefficients are affected by crop geometry and microclimate. *Acta Horticulturariae*. 278: 509-515.
- Sun, Y., Zhang, J., Wang, H., Wang, L. and Li, H. 2019. Identifying optimal water and nitrogen inputs for high efficiency and low environment impacts of a greenhouse summer cucumber with a model method. *Agricultural Water Management*. 212: 23-34 .
- Yan, H., Acquah, S. J., Zhang, C., Wang, G., Huang, S., Zhang, H. and Wu, H. 2019. Energy partitioning of greenhouse cucumber based on the application of Penman-Monteith and Bulk Transfer models. *Agricultural Water Management*. 217: 201-211 .
- Yang, X., Short, T. H., Fox, R. D. and Bauerle, W. L. 1990. Transpiration, leaf temperature and stomatal resistance of a greenhouse cucumber crop. *Agricultural and Forest Meteorology*. 51(3-4): 197-209.
- under greenhouse cultivation. *The Journal of Agricultural Science*. 158(10): 845-854 .
- Kirnak, H., Hansen, R., Keener, H. and Short, T. H. 2002. An evaluation of physically based and empirically determined evapotranspiration models for nursery plants. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*. 26(6): 355-362 .
- Liu, H., Yin, C., Gao, Z. and Hou, L. 2021. Evaluation of cucumber yield, economic benefit and water productivity under different soil matric potentials in solar greenhouses in North China. *Agricultural Water Management*. 243: 106442 .
- Medrano, E., Lorenzo, P., Sánchez-Guerrero, M. C. and Montero, J. I. 2005. Evaluation and modelling of greenhouse cucumber-crop transpiration under high and low radiation conditions. *Scientia Horticulturariae*. 105(2): 163-175 .
- Merrill, S. D., Tanaka, D. L. and Hanson, J. D. 2002. Root length growth of eight crop species in Haplustoll soils. *Soil Science Society of America Journal*. 66(3): 913-923 .
- Mpusia, P. T. O. 2006. Comparison of water consumption between greenhouse and outdoor cultivation. M. S. Thesis. International institute for geo-information science and earth observation, Enschede, Netherlands. 75p.
- Mushab, F. 2020. Forecasting Crop Coefficient Values for Cucumber Plant (*Cucumis sativus*). *Solid State Technology*. 63(6): 9085-9092 .
- Nikolaou, G., Neocleous, D., Christou, A., Polycarpou, P., Kitta, E. and Katsoulas, N. 2021. Energy and Water Related Parameters in Tomato and Cucumber Greenhouse Crops in Semiarid Mediterranean Regions. A Review, Part I: Increasing Energy Efficiency. *Horticulturariae*. 7(12): 521 .
- Orgaz F., Fernández M. D., Bonachela S., Gallardo M. and Fereres, E. 2005. Evapotranspiration of horticultural crops in an unheated plastic greenhouse. *Agricultural Water Management*. Vol. 72, No. 2: 81-96.
- Pamungkas, A. P., Hatou, K. and Morimoto, T. 2014. Evapotranspiration model analysis of crop water use in plant factory system. *Environmental Control in Biology*. 52(3): 183-188 .
- Prenger, J., Fynn, R. and Hansen, R. 2002. A comparison of four evapotranspiration models in a greenhouse environment. *Transactions of the ASAE*.

Evapotranspiration and Crop Coefficient of Greenhouse Cucumber in the Hamedan Region

S. Rezvani^{1*}, G. Zarei², H. Salemi³

Received: Jul.17, 2021

Accepted: May.06, 2022

Abstract

An experiment was conducted in a commercial greenhouse to determine cucumber (Negin cultivar) evapotranspiration and crop coefficient in two seasons of winter and spring cultivation in Hamedan province. Irrigation was done to meet 100% of the water requirement based on reaching the suction tensiometer to the field capacity (40 to 50 cm). The soil water balance was used to estimate plant evapotranspiration in the greenhouse. Stanghellini and FAO Penman-Monteith evapotranspiration methods were 214.2 and 181.5 mm in winter and 222.3 and 227.6 mm in spring, respectively. The evapotranspiration ratio by the FAO Penman-Monteith method inside and outside the greenhouse in winter and spring cultivation was 0.8 and 0.81, respectively. The actual evapotranspiration from soil water balance in winter and spring cultivation were 148.2 and 210.4 mm, respectively. The results showed that the average crop coefficient in the initial, middle, and final stages of the growing season in winter planting was 0.69, 1.43, and 1.05, and in spring planting were 0.63, 1.15, and 0.9, respectively. The results of this study showed the necessary scientific basis for optimizing irrigation and saving water consumption, creating appropriate irrigation planning, and improving the crop water use efficiency in the greenhouse. Also, by reducing excessive water consumption, it can reduce energy consumption and provide a maximum increase in product production efficiency and economic efficiency. The investigation of evapotranspiration, crop canopy growth, and humidity changes during the growing season also showed that it is necessary to prevent the development of plant diseases, to use a higher ventilation level or forced ventilation in greenhouses.

Keywords: Crop coefficient, FAO Penman-Monteith, Protected culture, Soil water balance, Stanghellini model

1 - Assistant Professor of Research, Agricultural Engineering Research Department, Hamedan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Hamedan, Iran.

2 - Associate Professor of Research, Agricultural Engineering Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran.

3 - Assistant Professor of Research, Agricultural Engineering Research Department, Isfahan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Isfahan, Iran.

(* -Corresponding Author Email: m.rezvani@areeo.ac.ir)