

تعیین نیاز آبی، ضریب گیاهی و کارایی مصرف آب محصولات خیار و گوجه فرنگی در شرایط گلخانه (مطالعه موردی: منطقه ارومیه)

وحید رضاوردی نژاد^{۱*}، مریم شبانیان اصل^۱، سینا بشارت^۱ و عباس حسینی^۲

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۱۰/۱۵؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۷/۱۰)

چکیده

به منظور تعیین تبخیر-تعرق، ضرایب گیاهی و کارایی مصرف آب گوجه‌فرنگی و خیار، مطالعه‌ای به مدت شش ماه در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه ارومیه انجام گردید. تبخیر-تعرق گوجه‌فرنگی، خیار و گیاه مرجع چمن به صورت روزانه بر اساس روش لایسیمتری اندازه‌گیری گردید. بر اساس نتایج، تبخیر-تعرق خیار طی ۱۳۰ روز دوره رشد، ۲۷۲/۴ میلی‌متر و گوجه‌فرنگی طی ۱۸۰ روز دوره رشد، ۳۵۸/۶ میلی‌متر به دست آمد. بر اساس تبخیر-تعرق مرجع، متوسط ضریب گیاهی مراحل ابتدایی، توسعه، میانی و انتهایی برای گوجه‌فرنگی به ترتیب ۰/۲، ۰/۶۵، ۱/۲۹ و ۱/۰ و برای خیار به ترتیب ۰/۱۹، ۰/۶۴، ۰/۹۹ و ۰/۸۱ محاسبه گردید. به منظور بررسی اثر کم‌آبی بر عملکرد و کارایی مصرف آب، علاوه بر تیمار آبیاری کامل، دو سطح کم‌آبیاری شامل ۸۰ و ۹۰ درصد آبیاری کامل در نظر گرفته شد. حداکثر عملکرد گوجه‌فرنگی و خیار تحت آبیاری کامل به ترتیب ۱۹۷/۳ و ۱۴۴/۶ تن بر هکتار به دست آمد. بهره‌وری آب مصرفی گوجه‌فرنگی و خیار تحت آبیاری کامل به ترتیب ۵۳/۱ و ۵۵/۰۴ کیلوگرم بر متر مکعب محاسبه گردید. اعمال کم‌آبیاری در هر دو محصول باعث کاهش کارایی مصرف آب و عملکرد محصول گردید. کارایی مصرف آب گوجه‌فرنگی و خیار در تیمار ۸۰ درصد آبیاری کامل به ترتیب ۴۳/۷ و ۳۶/۲ کیلوگرم بر متر مکعب به دست آمد که نسبت به تیمار آبیاری کامل به ترتیب ۲۰ و ۳۱ درصد کاهش نشان داد.

کلمات کلیدی: تبخیر-تعرق، ضریب گیاهی، کارایی مصرف آب، گلخانه، لایسیمتر

مقدمه

سطح، متداول شده است. در محیط‌های کنترل شده مانند گلخانه‌ها، کلیه عوامل در رشد و نمو گیاه و تولید محصول تحت کنترل می‌باشند. امکان کنترل تابش آفتاب و کاهش میزان تبخیر از سطح، عدم وجود بادهای گرم و خشک در مجاورت گیاه و استفاده از روش‌های نوین آبیاری، میزان مصرف آب را

در دهه‌های اخیر، گلخانه‌ها در سطح وسیعی برای پرورش و تولید محصولات کشاورزی مورد استفاده قرار گرفته‌اند و کشت گیاهان گلخانه‌ای، به‌ویژه سبزی‌های پرمصرف مانند گوجه‌فرنگی و خیار، به دلیل امکان افزایش عملکرد در واحد

۱. گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه

۲. گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه

*مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: v.verdinejad@urmia.ac.ir

کردند. دهقانی و همکاران (۲) در مطالعه‌ای، کارایی مصرف آب خیار در گلخانه‌های مختلف را بررسی کردند. مطابق نتایج، در ۵۹٪ از گلخانه‌های منتخب، عملکرد بیش از ۲۰ کیلوگرم بر متر مربع و در ۳۸٪ از گلخانه‌ها، کارایی مصرف آب بیشتر از ۲۰ کیلوگرم بر متر مکعب به دست آمد. عابدی کوپایی و همکاران (۶)، به منظور تعیین میزان تبخیر-تعرق سه گیاه خیار، گوجه‌فرنگی و فلفل، مطالعه‌ای به مدت هفت ماه با استفاده از میکرو لایسیمتر انجام دادند. نتایج آنها نشان داد که مقدار کل تبخیر-تعرق مرجع در گلخانه طی دوره هفت ماهه رشد گیاه، ۸۲۴ میلی‌متر بود. همچنین، مقدار کل تبخیر-تعرق خیار طی ۱۱۰ روز دوره رشد حدود ۲۰۲ میلی‌متر، گوجه‌فرنگی طی ۱۸۰ روز دوره رشد ۵۲۴ میلی‌متر و برای فلفل طی هفت ماهه دوره رشد ۶۶۷ میلی‌متر به دست آمد (۶). هارمانتو و همکاران (۱۰)، نیار آبی و بهره‌وری آب گوجه‌فرنگی را در گلخانه و در شرایط آب و هوایی گرمسیری مورد بررسی و آزمایش قرار دادند. نتایج آنها نشان داد که مقدار بهینه نیاز آبی در گلخانه در حدود ۷۵٪ تبخیر-تعرق گیاه در محیط بیرون می‌باشد. مطابق نتایج چارتزولاکیس و دروسوس (۸)، آب مصرفی خیار ۲۹۰ میلی‌متر، در طول ۱۰۵ روز فصل رشد و ۲۶۰ میلی‌متر برای گوجه‌فرنگی به دست آمد. پرنگر و همکاران (۱۴)، چهار مدل متداول تخمین تبخیر-تعرق در گلخانه را بر اساس داده‌های اندازه‌گیری شده، ارزیابی و مقایسه کردند. بر اساس نتایج، کمترین ضریب همبستگی برای مدل پنمن-ماتیت و بیشترین ضریب همبستگی برای مدل پنمن به دست آمد. مائو و همکاران (۱۲)، رابطه میان میزان عملکرد محصول و حجم آب مصرفی در گلخانه را خطی، ولی رابطه میان تبخیر-تعرق و عملکرد را به شکل تابع درجه دوم معرفی نمودند. در یک مطالعه گلخانه‌ای توسط مجاهد (۱۳)، مقدار تبخیر-تعرق خیار در گلخانه در دامنه ۴/۵ تا ۹ میلی‌متر بر روز و مجموع تبخیر-تعرق در طول دوره رشد ۶۹۳ میلی‌متر گزارش شد. بهره‌وری آب، شاخص مناسبی برای

در گلخانه‌ها کاهش داده، به طوری که میزان کارایی مصرف آب در گلخانه حدود ۵ تا ۱۰ برابر کشت‌های فضای باز می‌باشد (۱). آگاهی از نیاز آبی که تابعی از نوع گیاه و پارامترهای هواشناسی در داخل محیط گلخانه می‌باشد، به منظور برنامه‌ریزی آبیاری، امری ضروری است. یکی از دقیق‌ترین روش‌ها جهت محاسبه میزان تبخیر-تعرق، استفاده از لایسیمترهای وزنی و حجمی می‌باشد که بر اساس معادله بیلان آب در خاک کار می‌کنند (۹). لایسیمترهای وزنی، به دلیل اندازه‌گیری مستقیم آب مصرفی، دقیق‌ترین روش برای محاسبه تبخیر-تعرق بوده و خطاهای ناشی از واسنجی نمودن وسایل اندازه‌گیری رطوبت خاک نظیر تانسومتر، TDR و سایر وسایل اندازه‌گیری رطوبت خاک را ندارند (۵). کریمی و همکاران (۵)، نیاز آبی و ضریب گیاهی خیار را در گلخانه‌ای در شرایط آب و هوایی گرم و خشک منطقه یزد مورد بررسی قرار داده و به منظور ارزیابی دقیق مؤلفه های بیلان آب، کشت گلدانی انتخاب گردید. بر اساس نتایج آنها، پوشش گلخانه با جلوگیری از باد و افزایش رطوبت داخل گلخانه، تبخیر را نسبت به بیرون گلخانه کاهش می‌دهد. با توجه به کمبود آب در منطقه مورد مطالعه، آنها توسعه کشت گلخانه‌ای را راهکار مناسبی برای کاهش نیاز آبی و صرفه‌جویی در مصرف آب پیشنهاد کردند. رزمی و قائمی (۳)، تبخیر-تعرق گیاه گوجه‌فرنگی را با استفاده از روش بیلان آب در خاک در پنج تیمار با دور آبیاری متفاوت اندازه‌گیری و ضرایب گیاهی و تنش آب در خاک را برای مراحل مختلف رشد به دست آوردند. بر اساس نتایج آنها، میزان تبخیر-تعرق گوجه‌فرنگی در طول دوره رشد ۵۹۱ میلی‌متر و مقادیر ضریب گیاهی برای مراحل توسعه، میانی و پایانی به ترتیب ۰/۸۵، ۱/۰ و ۰/۷۷ به دست آمد. فتحعلیان و همکاران (۴) به منظور تعیین تبخیر-تعرق و ضریب گیاهی خیار گلخانه‌ای از دو عدد میکرو لایسیمتر در داخل گلخانه استفاده کردند و میزان تبخیر-تعرق خیار گلخانه‌ای را در طول ۱۲۰ روز دوره رشد برابر ۲۷۳/۲ میلی‌متر گزارش

جدول ۱. تقویم زراعی محصولات مورد مطالعه

نوع رقم	تاریخ اتمام آزمایش	تاریخ کاشت	محصول
DF1	۹۲/۸/۲۰	۹۲/۴/۱۳	خیار
YF1	۹۲/۱۰/۱۰	۹۲/۴/۱۳	گوجه‌فرنگی

ارزیابی منابع آب به خصوص در مناطق خشک و نیمه‌خشک می‌باشد (۱۷). از اهداف کشت گلخانه‌ای، علاوه بر افزایش عملکرد محصول، افزایش بهره‌وری (WP) یا کارایی مصرف (WUE) می‌باشد. بهره‌وری یا کارایی مصرف آب، به مقدار عملکرد (یا ارزش عملکرد) گفته می‌شود که به ازای واحد حجم آب مصرفی به دست آمده و روابط آن به صورت به صورت زیر می‌باشند (۱۱ و ۱۷):

$$WP_T = \frac{Y}{T} \quad [1]$$

$$WP_{ET} = \frac{Y}{ET} \quad [2]$$

$$WP_{Irr} = CPD = \frac{Y}{I} \quad [3]$$

که در آنها پارامترهای WP_{Irr} ، WP_{ET} ، WP_T به ترتیب بهره‌وری تعرق، بهره‌وری تبخیر-تعرق و بهره‌وری آبیاری، Y وزن خشک اندام هوایی گیاه یا مقدار محصول قابل عرضه به بازار، T مقدار تعرق در طول فصل زراعی، ET مقدار تبخیر-تعرق واقعی طی فصل رشد و I مقدار آبیاری می‌باشد. به دلیل بحران زیست محیطی دریاچه ارومیه و کمبود آب در این حوضه، یکی از روش‌های اساسی در صرفه‌جویی منابع آب، توسعه کشت‌های گلخانه‌ای بوده که مورد تأکید دولت و ستاد احیای دریاچه ارومیه نیز می‌باشد. در این راستا، برآورد نیاز آبی محصولات گلخانه‌ای یکی از مطالعات مهم و پایه‌تلقی می‌گردد. با توجه به اثر اقلیم بر نیاز آبی محصولات، هدف از پژوهش حاضر اندازه‌گیری و ارزیابی میزان تبخیر-تعرق و ضریب گیاهی محصولات خیار و گوجه‌فرنگی طی مراحل مختلف رشد و نهایتاً ارزیابی کارایی مصرف آب در شرایط اقلیمی ارومیه می‌-

باشد.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، به مدت ۶ ماه از تاریخ ۹۲/۴/۱۳ تا تاریخ ۹۲/۱۰/۱۰ انجام گردید. گلخانه تحقیقاتی به صورت شمالی-جنوبی، در طول جغرافیایی ۴۴/۹۷ شرقی و عرض جغرافیایی ۳۷/۶۵ شمالی و ارتفاع ۱۳۶۵ متر از سطح واقع گردیده است. در جدول ۱، تاریخ کاشت، تاریخ اتمام آزمایش و رقم محصولات ارائه شده است.

برای کشت محصول، خاک مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه مد نظر قرار گرفت. بر اساس آزمایش هیدرومتری، بافت خاک مزرعه تحقیقاتی رسی به دست آمد. با توجه به سنگین بودن بافت، خاک مورد نظر با نسبت ۲۵، ۲۵ و ۵۰ درصد و به ترتیب با پیت ماس (ماده آلی)، شن دانه‌بندی شده و خاک مزرعه مخلوط گردید. این نسبت‌ها بر اساس آزمایش‌های صورت گرفته در گلخانه‌های دانشگاه ارومیه به دست آمده و نسبت‌های بهینه و توصیه شده می‌باشند. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک تحت آزمایش بعد از عملیات اصلاحی با نسبت‌های فوق در جدول ۲ ارائه شده است. در جدول ۳، پارامترهای اندازه‌گیری یا جمع‌آوری شده برای هر کدام از محصولات زراعی مورد مطالعه آورده شده است. با توجه به مهم بودن رطوبت حد ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی دائم، به چند روش از جمله به وسیله دستگاه صفحات فشاری و نیز روش گلدانی، اقدام به اندازه‌گیری آن شد. بر اساس روش صفحات فشاری، رطوبت FC و PWP به ترتیب

جدول ۲. نتایج تجزیه فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده

بافت خاک	رس (%)	سیلت (%)	شن (%)	pH	EC _e (dS/m)	جرم مخصوص (g/cm ³)	رطوبت حد FC (cm ³ /cm ³)	رطوبت حد PWP (cm ³ /cm ³)
رسی	۴۰/۰	۲۲/۰	۳۸	۶/۶۵	۱/۶۳	۱/۳۵	۳۳/۷	۱۵/۷

جدول ۳. پارامترهای اندازه‌گیری یا جمع‌آوری شده برای هر کدام از محصولات زراعی

پارامتر	روش اندازه‌گیری یا جمع‌آوری	تعداد نمونه برداری
بافت خاک	روش USDA	یکبار
چگالی ظاهری خاک	نمونه‌گیر مغزی	یکبار
وزن لایسیمتر	ترازوی دیجیتالی	روزانه
شوری عصاره اشباع	شوری سنج	یکبار
رطوبت FC و PWP	صفحات فشاری و گلدانی	یکبار
حجم (عمق) آب آبیاری	استوانه‌ی مدرج	هر آبیاری
پارامترهای گیاه	اندازه‌گیری گلخانه‌ای	هفتگی
بیوماس	برداشت بوته	۵-۶ بار
عملکرد میوه	برداشت میوه	دو روز یکبار

۱۰ روز به بوته‌ها اعمال شد. این عمل باعث باردهی زودتر در شرایط گلخانه می‌گردد (۸). برای کشت گوجه‌فرنگی، ابتدا بذرها در محیط خزانه کشت گردید و بعد از ۱۰ روز، نشاء آنها به داخل گلدان منتقل گردید. به منظور بررسی اثر کم‌آبی بر عملکرد و کارایی مصرف آب، علاوه بر تیمار آبیاری کامل (I₁)، دو سطح کم‌آبیاری شامل ۹۰ و ۸۰ درصد آبیاری کامل (به ترتیب I₂ و I₃) نیز در نظر گرفته شد. مبنای تعیین نیاز آبی محصولات، تیمار آبیاری کامل بوده و دو تیمار کم‌آبی، به منظور بررسی اثرهای آنها بر عملکرد در نظر گرفته شد. برای هر یک از تیمارهای تحت آزمایش، سه گلدان با شرایط مشابه در نظر گرفته شد. همچنین، به منظور برش و وزن بوته در مقاطعی از فصل رشد، تعدادی گلدان اضافی برای هر کدام از تیمارها در نظر گرفته شد. برای تعیین تبخیر- تعرق مرجع درون گلخانه، از گیاه مرجع چمن به صورت رول چمن، که در خارج از گلخانه کشت شده بود، استفاده گردید و با برش به

۳۲ و ۱۵/۷ درصد حجمی به دست آمد. مقدار رطوبت حد ظرفیت زراعی در روش گلدانی ۳۳/۷ درصد حجمی محاسبه گردید. بر اساس توابع انتقالی (نرم‌افزار RETC) مقادیر رطوبت FC و PWP به ترتیب ۳۱/۸ و ۱۵ درصد حجمی محاسبه گردید. نتایج روش گلدانی، مبنای محاسبات قرار گرفت. برای کشت محصول از گلدان‌های استوانه‌ای شکل به ارتفاع ۵۰ و قطر ۳۸ سانتی‌متر استفاده شد. کاشت بذر خیار مستقیماً در دو ردیف گلدان انجام شد. فاصله بین گیاهان روی ردیف کشت برابر ۵۰ سانتی‌متر و فاصله بین دو ردیف کشت ۷۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد؛ به طوری که تراکم کشت حدود ۲/۵ بوته در متر مربع به دست آید. در مراحل ابتدایی کاشت، در حد مرطوب شدن سطح خاک و به صورت روزانه، به گلدان‌ها آب داده شد و بذرها بعد از چهار روز جوانه زدند. بعد از ۱۰ روز که جوانه‌ها به مرحله سه الی چهار برگگی رسیدند، جهت عمیق شدن ریشه خیار، تنش خشکی به مدت

نیترژن، فسفر و پتاسیم به ترتیب ۲۴۰، ۱۶۰ و ۱۹۰ کیلوگرم در هکتار تعیین شد. بر اساس مقادیر موجود کود در خاک، برای گوجه‌فرنگی نیز مقادیر مورد نیاز نیترژن، فسفر و پتاسیم به ترتیب ۱۲۰، ۵۰ و ۲۱۰ کیلوگرم در هکتار تعیین شد. دور آبیاری ثابت و برابر دو روز اعمال شد تا اینکه شرایط مناسب و بدون تنش برای تبخیر- تعرق مهیا گردد. برای محاسبه میزان تبخیر- تعرق، از گلدان‌ها به عنوان یک لایسیمتر وزنی استفاده شد. به منظور سهولت اندازه‌گیری‌ها، وزن خاک خشک درون تمام گلدان‌ها (W_d)، یکسان در نظر گرفته شد. در چندین نوبت طی دوره رشد، بوته‌هایی به‌طور کامل بریده و وزن شدند که با لحاظ وزن بوته (W_B) در وزن گلدان در حد ظرفیت زراعی (W_{fc})، مقدار آب آبیاری طوری تنظیم گردید تا اینکه رطوبت خاک دقیقاً تا حد ظرفیت زراعی افزایش یابد و خروج آب مازاد برابر صفر گردد. این شرایط (اطمینان از عدم خروج آب زهکشی) همواره و طی دوره آزمایش بررسی گردید. در طول آزمایش، برداشت محصول، قبل از توزین گلدان‌ها و در هر دو روز یکبار انجام گرفت. توزین گلدان‌ها و محتویات آنها (W_t) به‌صورت روزانه انجام گرفت. در مواردی نیز وزن گلدان و محتویات آن بعد از آبیاری (خروج آب مازاد در صورت وجود) نیز اندازه‌گیری شد (W_{ty}). در صورت عدم خروج آب زهکشی، W_{ty} برابر با W_t به‌علاوه وزن آب آبیاری (W_w) فرض گردید و W_{ty} اندازه‌گیری نشد. میزان آب مصرفی (W_u) گیاه از رابطه زیر محاسبه گردید:

$$W_u = (W_{ty})_i - (W_t)_{i+1} \quad [4]$$

که در آن $(W_t)_{i+1}$ وزن گلدان و محتویات آن قبل از آبیاری $i+1$ و $(W_t)_i$ وزن گلدان و محتویات آن بعد از آبیاری i و W_u وزن آب مصرف شده در فاصله بین دو آبیاری (دو روز) می‌باشند. حجم آب موجود قبل از توزین، از رابطه زیر محاسبه و بر اساس آن آب مورد نیاز هر گلدان برای رساندن رطوبت خاک به حد ظرفیت زراعی در هر نوبت آبیاری، محاسبه گردید:

$$W_{AW} = W_d \left(\theta_{fc} - \frac{W_{ty} - W_t}{W_d} \right) \quad [5]$$

اندازه‌ی قطر گلدان، در گلدان‌ها کشت گردید. بر اساس تعریف، گیاه مرجع باید دارای پوشش یکنواخت، شاداب، تراکم خوب بوده و بدون محدودیت آب، تبخیر- تعرق کند (۷). به منظور ایجاد شرایط فوق و نیز توسعه کافی ریشه چمن، حدود یک ماه قبل از شروع اندازه‌گیری، چمن به داخل گلدان‌ها منتقل و با نگهداری مناسب به شرایط ایده‌آل جهت اندازه‌گیری تبخیر- تعرق گیاه مرجع رسانده شد. منبع آب آبیاری چاه شماره ۵ دانشگاه ارومیه با کاربری شرب بوده که در زمان انجام آزمایش، هدایت الکتریکی آن ۰/۲۱ دسی زیمنس بر متر اندازه‌گیری شد.

از ویژگی‌های کشت گلخانه‌ای، هدایت بوته به سمت بالا و استفاده از حجم گلخانه می‌باشد. بدین منظور، با حذف شاخه‌های اضافه، به بوته اجازه رشد طولی و تولید میوه‌های نزدیکتر به ساقه اصلی داده شد تا از کیفیت بهتر برخوردار شوند. این عمل، مسئله تهویه و برداشت را نیز تسهیل می‌نماید. برای این منظور، ساقه‌ها بعد از ظهور چهار برگ، به نخ‌هایی آویزان و به سمت بالا هدایت شدند. علاوه بر این، شاخه‌های فرعی گیاه نیز هرس و میوه‌های تولید شده تا ارتفاع ۳۰ سانتی متری حذف شدند. بوته‌ها از تمامی شرایط به‌کار رفته برای کشت گلخانه، شامل دوره تنش، کوددهی و سمپاشی برخوردار گردید تا شرایط تبخیر- تعرق اندازه‌گیری شده، مطابق با شرایط استاندارد باشد. در طول فصل رشد، کود (NPK(8-8-8 به‌صورت دستی و متناوب، همراه با آب آبیاری مورد استفاده قرار گرفت. در مواقع لازم برای مقابله با آفای از جمله مگس سفید گلخانه، سمپاشی انجام گرفت. در کشت خیار گلخانه‌ای و با فرض صفر بودن مقادیر کود در خاک، مقادیر مورد نیاز نیترژن، فسفر و پتاسیم به ترتیب ۳۰۰، ۲۱۰ و ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار توصیه شده است (۱). برای گوجه‌فرنگی، مقادیر مورد نیاز نیترژن، فسفر و پتاسیم به ترتیب ۱۸۰، ۱۰۰ و ۲۷۰ کیلوگرم در هکتار توصیه شده است (۱). در کشت خیار و به منظور تعیین مقدار کود مصرفی NPK، پس از آزمایش خاک و تعیین مقدار موجودی نیترژن، فسفر و پتاسیم، مقادیر مورد نیاز

دماسنج، رطوبت‌سنج، فشارسنج و لوکس‌متر بود که با استفاده از آنها پارامترهای دما، رطوبت، فشار هوا و کمبود فشار بخار اشباع و تشعشع داخل گلخانه اندازه‌گیری شد. پارامترهای مورد نظر با تنظیم فواصل زمانی هر ۱۰ دقیقه یکبار، در یک دیتالاگر ثبت گردید. گلخانه تحقیقاتی از نوع شیشه‌ای و مقدار تابش رسیده به داخل گلخانه، تابع ساعات آفتابی بود. دمای داخل گلخانه طی دوره رشد محصولات نیز توسط سیستم گرمایشی و سرمایشی موجود در گلخانه کنترل گردید.

نتایج و بحث

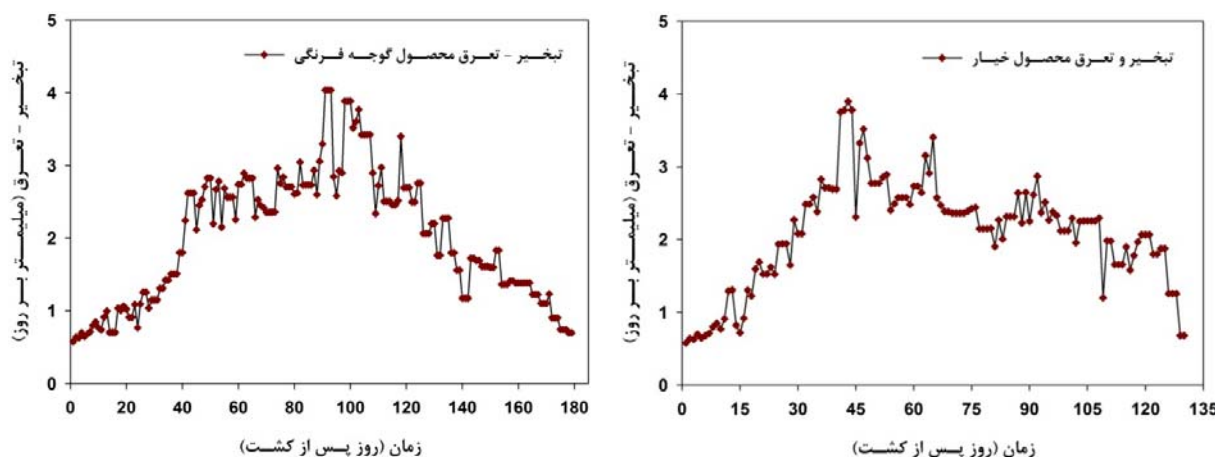
تبخیر- تعرق گیاهان

در این مطالعه، دوره رشد محصول خیار ۱۳۰ روز بوده که با جمع‌آوری داده‌ها، میزان تبخیر- تعرق به‌صورت روزانه محاسبه گردید. طی این دوره، تبخیر- تعرق مرجع نیز به‌صورت منظم و روزانه محاسبه شد. بیلان وزنی آب مصرفی برحسب کیلوگرم آب به دست آمد که بر اساس سطح در نظر گرفته شده برای هر بوته، به عمق آب مصرف شده در واحد زمان تبدیل گردید. روند تغییرات تبخیر- تعرق خیار طی دوره رشد، ابتدا صعودی، سپس تقریباً ثابت و در اواخر دوره رشد، یک روند نزولی را طی کرد. حداکثر مقدار تبخیر- تعرق خیار حدود ۳/۹ میلی‌متر بر روز به دست آمد. متوسط تبخیر- تعرق روزانه خیار در کل دوره رشد ۱۳۰ روز، برابر ۲/۰۹ میلی‌متر بر روز و مجموع آب مصرفی در طول دوره ۲۷۲/۴ میلی‌متر محاسبه گردید. دوره رشد محصول گوجه‌فرنگی ۱۸۰ روز و از اواسط تیر تا اواسط دی ماه سال ۱۳۹۲ به طول انجامید. حداکثر مقدار تبخیر- تعرق گوجه‌فرنگی برابر ۴/۰۴ میلی‌متر بر روز به دست آمد. متوسط تبخیر- تعرق روزانه آن در کل دوره رشد ۱۸۰ روز، برابر ۲/۰ میلی‌متر بر روز و مجموع آب مصرفی در طول دوره رشد، ۳۵۸/۶ میلی‌متر محاسبه گردید. روند تغییرات تبخیر- تعرق خیار و گوجه‌فرنگی طی دوره رشد محصول در شکل ۱ ارئه شده است. با توجه به نوسانات تبخیر- تعرق و عدم گویا بودن روند تبخیر- تعرق گیاه در

که در آن W_d وزن خاک خشک درون گلدان در ابتدای آزمایش (kg)، θ_r رطوبت وزنی خاک در حد ظرفیت زراعی (g/g)، W_t وزن گلدان و محتویات آن قبل از هر نوبت آبیاری (kg)، W_{ty} وزن گلدان و محتویات آن بعد از آبیاری (و احياناً خروج آب مازاد) پیشین (kg) و W_{AW} مقدار آب قابل استفاده می‌باشند. با هرس روزانه، ارتفاع چمن در حد ۱۲ سانتی‌متر حفظ و آبیاری با هدف افزایش رطوبت تا حد ظرفیت زراعی و با دور دو روز انجام گردید. با در نظر گرفتن گیاه چمن به عنوان مرجع و از طریق محاسبه نسبت آب مصرف شده برای تبخیر- تعرق محصولات خیار و گوجه‌فرنگی به آب مصرفی گیاه مرجع، ضرایب گیاهی در مراحل مختلف رشد برآورد گردید. توزین گلدان‌ها هر روز رأس ساعت ۸:۳۰ توسط ترازوی دیجیتالی با دقت ۱ گرم انجام شد. به منظور دقت بیشتر، برداشت محصول قبل از عملیات توزین گلدان‌ها انجام شد تا میزان محصول تأثیر کم بر مقادیر تبخیر- تعرق داشته باشد. همچنین، به منظور در نظر گرفتن وزن برگ و ساقه، بر اساس گلدان‌های اضافی در نظر گرفته شده، چهار بار طی دوره رشد محصول اقدام به برش بوته و اندازه‌گیری وزن آن شد. اختلاف وزن هر کدام از گلدان‌ها در دو مقطع زمانی متوالی بیانگر میزان آب مصرفی آن گیاه بوده و با استفاده از رابطه زیر، مقدار ضریب گیاهی در هر مقطع زمانی دلخواه محاسبه گردید:

$$K_c = \frac{ET_c}{ET_0} \quad [6]$$

که در آن، K_c ضریب گیاهی بین دو مقطع زمانی متوالی، ET_c و ET_0 به ترتیب میزان تبخیر- تعرق گیاه و مرجع در مقطع زمانی مورد نظر می‌باشند. بیان پارامترهای تبخیر- تعرق گیاه و ضریب گیاهی در مقیاس روزانه ممکن است دارای نوساناتی باشد که عمدتاً به علت نوسانات پارامترهای اقلیمی داخل گلخانه می‌باشد. لذا، برای گویا شدن تبخیر- تعرق گیاه و ضریب گیاهی، معمولاً در بازه‌های بزرگتر مثلاً هفتگی یا ده روزه بیان می‌گردد. قبل از کشت محصولات، گلخانه به ابزارهای لازم برای اندازه‌گیری داده‌های هواشناسی مجهز گردید. این ابزارها شامل



شکل ۱. روند تغییرات تبخیر- تعرق خیار و گوجه فرنگی طی دوره رشد

جدول ۴. متوسط تبخیر- تعرق ده روزه محصول خیار (بر حسب میلی متر بر روز)

دهه رشد محصول خیار												
۱۳	۱۲	۱۱	۱۰	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱
۵۱/	۱/۸	۲/۱	۴۲/	۳۲/	۳۲/	۲/۷	۲/۶	۳/۳	۶۲/	۱/۸	۲۱/	۰/۷۰

جدول ۵. متوسط تبخیر- تعرق ده روزه محصول گوجه فرنگی (بر حسب میلی متر بر روز)

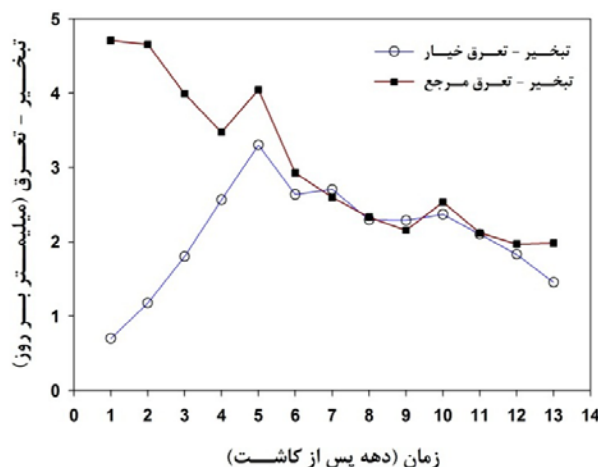
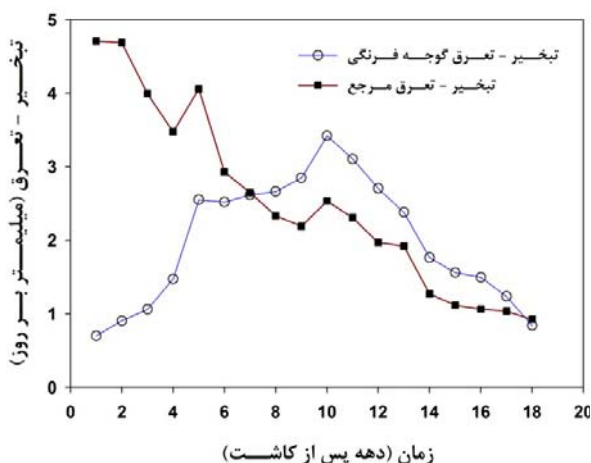
دهه رشد محصول گوجه فرنگی																	
۱۸	۱۷	۱۶	۱۵	۱۴	۱۳	۱۲	۱۱	۱۰	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱
۰/۸	۱/۲	۱/۵	۱/۶	۱/۸	۲/۴	۲/۷	۳/۱	۳/۴	۲/۸	۲/۷	۲/۶	۲/۵	۲/۶	۱/۵	۱/۱	۰/۹	۰/۷

گوجه فرنگی نیز مربوط به دهه دهم رشد محصول و برابر ۳۴/۲ میلی متر می باشد.

تبخیر- تعرق گیاه مرجع

میزان تبخیر- تعرق مرجع در درون گلخانه طی دوره کل رشد هر دو محصول و به صورت روزانه اندازه گیری شد. بیشترین مقدار تبخیر- تعرق مرجع در مردادماه و برابر ۵/۵۴ میلی متر بر روز و حداقل تبخیر- تعرق مرجع در دی ماه و برابر ۰/۹ میلی متر بر روز به دست آمد. مجموع تبخیر- تعرق مرجع طی ۱۸۰ روز اندازه گیری برابر ۴۵۱/۱ میلی متر و متوسط

برخی موارد و به منظور سهولت کاربرد، تبخیر- تعرق هر یک از محصولات با متوسط گیری مقادیر روزانه، در مقیاس دهه استخراج گردید که به ترتیب برای خیار و گوجه فرنگی در جداول ۴ و ۵ ارائه شده است. حداکثر تبخیر- تعرق ۱۰ روزه خیار و گوجه فرنگی به ترتیب ۳/۳ و ۳/۴ میلی متر بر روز محاسبه گردید. در دهه اول رشد، مجموع تبخیر- تعرق خیار ۷/۰۱ میلی متر، سپس روند افزایشی قابل توجهی داشته و در دهه پنجم به حداکثر مقدار خود یعنی ۳۳/۰۳ میلی متر رسیده است. سپس به تدریج کاهش یافته تا اینکه در دهه انتهایی رشد به ۱۴/۵۵ میلی متر رسیده است. حداکثر تبخیر- تعرق



شکل ۲. مقایسه متوسط تبخیر- تعرق ده روزه خیار و گوجه‌فرنگی با تبخیر- تعرق مرجع طی دوره رشد

پاره‌ای موارد دارای نوساناتی می‌باشد که برای حذف نوسانات و بیان واضح تغییرات آن، به صورت ده روزه استخراج گردید. نمودار تغییرات ضریب گیاهی خیار و گوجه‌فرنگی به ترتیب در شکل ۳ ارائه گردیده است. همانگونه که انتظار می‌رود، ضریب گیاهی یک روند صعودی، ثابت و سپس نزولی را طی می‌کند، که نشان‌دهنده مراحل مختلف رشد گیاه است. با توجه به شکل ۳ مشاهده می‌گردد که بیشتر نوسانات ضرایب گیاهی خیار و گوجه‌فرنگی مربوط به دوره میانی رشد آنها می‌باشد. عابدی کوپایی و همکاران (۶) علت نوسانات ضرایب گیاهی طی دوره رشد میانی را تکرار پدیده میوه‌دهی و برداشت محصول و تأثیر آن بر ضرایب گیاهی بیان نمودند. حداکثر ضرایب گیاهی متوسط ده روزه خیار و گوجه‌فرنگی به ترتیب $1/07$ و $1/4$ به دست آمد. حداکثر مقدار ضرایب گیاهی گوجه‌فرنگی در مقایسه با نتایج سایر تحقیقات، بیشتر به دست آمد. بر اساس نتایج عابدی کوپایی و همکاران (۶)، حداکثر مقدار ضریب گیاهی گوجه‌فرنگی حدود ۱۲۶ روز پس از کاشت و برابر $1/31$ به دست آمد. همچنین، حداکثر مقدار ضریب گیاهی خیار حدود ۸۵ روز پس از کاشت و برابر $1/09$ به دست آمده بود (۶).

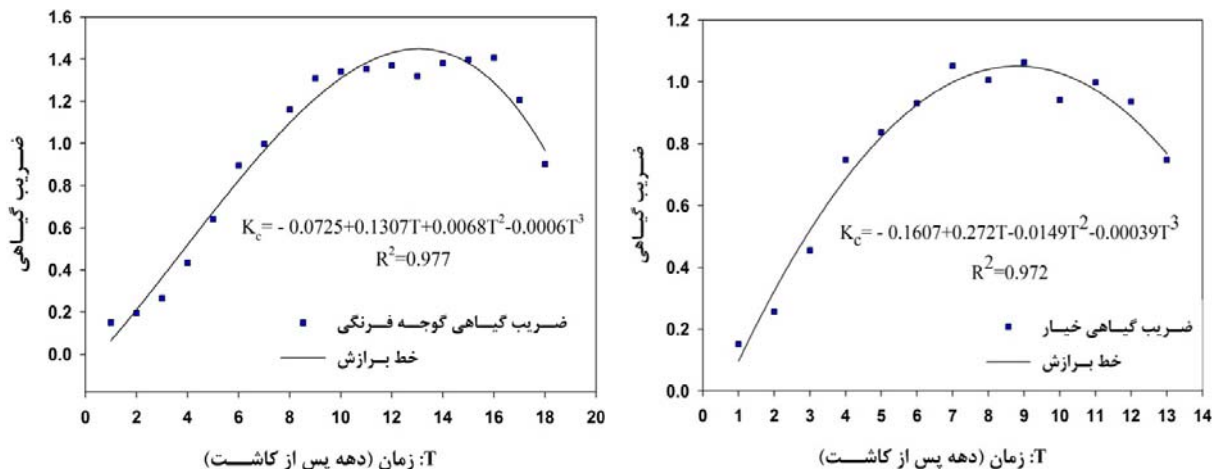
مطابق روند تغییرات ضریب گیاهی خیار و گوجه‌فرنگی، چهار مرحله دوره رشد محصولات در ارتباط با ضریب گیاهی تعیین گردید (شکل ۴). این چهار مرحله شامل مراحل ابتدایی،

تبخیر- تعرق مرجع طی این دوره $2/52$ میلی‌متر بر روز بود. مقایسه روند تغییرات تبخیر- تعرق گیاه مرجع با تبخیر- تعرق محصولات مورد مطالعه در مقیاس ۱۰ روزه در شکل ۲ ارائه شده است. میزان تبخیر- تعرق چمن در طول دوره رشد خیار $394/9$ میلی‌متری و طی دوره رشد گوجه‌فرنگی برابر $451/1$ میلی‌متر به دست آمد. به طور کلی، روند تغییرات تبخیر- تعرق مرجع از تیر تا دی ماه، کاهش می‌یابد.

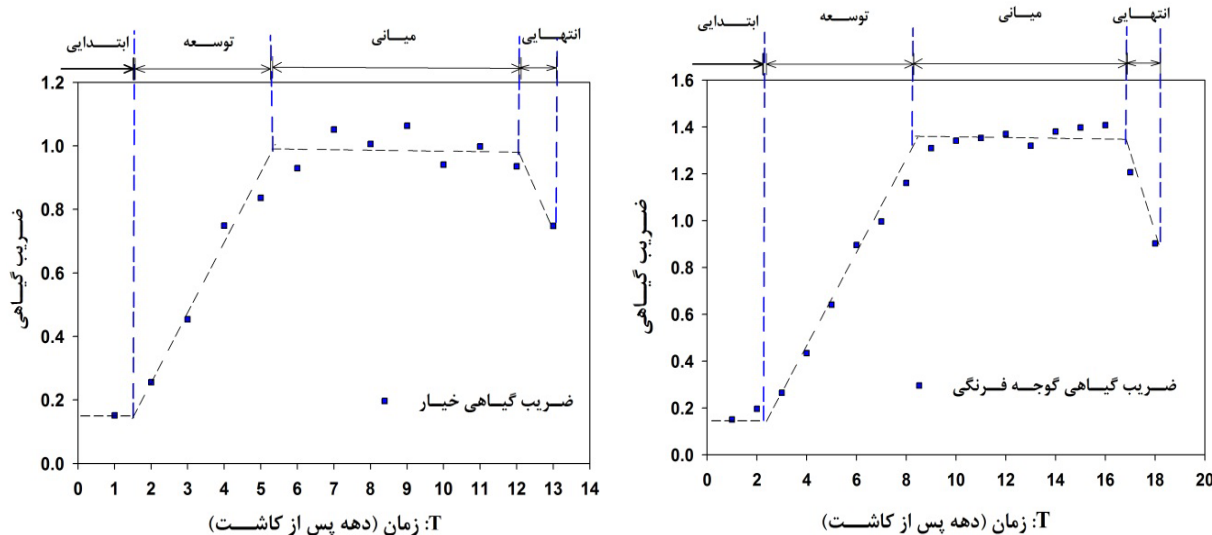
در تبخیر- تعرق مرجع، تغییرات خصوصیات گیاه و مرحله رشد آن، در فرایند تبخیر و تعرق حذف گردیده و این پارامتر نشان‌دهنده قدرت تبخیرکنندگی اتمسفر است. میانگین دما در طول دوره اندازه‌گیری $22/04$ درجه سلسیوس بود. با توجه به سیستم تهویه گلخانه، دامنه تغییرات دما قابل ملاحظه نبوده و حداقل و حداکثر دمای متوسط روزانه به ترتیب $28/05$ و $17/41$ درجه سلسیوس به دست آمد. به این ترتیب، با توجه به روند کاهش دما در این منطقه (از اواخر تیرماه تا دی‌ماه)، قدرت تبخیرکنندگی اتمسفر یک روند کاهش یافته داشته است.

ضرایب گیاهی محصول

بر اساس رابطه ۶، ضریب گیاهی خیار و گوجه‌فرنگی طی مراحل مختلف رشد و برای هر روز از دوره رشد محصولات محاسبه گردید. ضریب گیاهی محصولات در مقیاس روزانه در



شکل ۳. روند تغییرات ضریب گیاهی خیار و گوجه‌فرنگی طی دوره رشد آنها



شکل ۴. مراحل چهارگانه رشد خیار و گوجه‌فرنگی بر اساس تغییرات ضریب گیاهی

افقی) وجود داشت. اما در مرحله میانی چندین داده وجود داشت که متوسط آنها محاسبه و مقدار آن به صورت خط افقی ترسیم شد. مرز مرحله توسعه و میانی، مکانی می‌باشد که ضریب گیاهی به حالت تقریباً افقی می‌رسد و مرز بین دوره میانی و انتهایی جایی است که ضریب گیاهی از حالت افقی خارج می‌گردد (۷). با مشخص شدن این مرزها، از انتهای مرحله ابتدایی و انتهای مرحله انتهایی، خطوط مورب به نقاط

مرحله توسعه گیاه، مرحله میانی و مرحله پایانی رشد بوده که ضریب گیاهی در مرحله میانی به علت میوه‌دهی به حداکثر مقدار خود می‌رسد. جهت استخراج دوره‌های چهارگانه رشد، ابتدا ضریب گیاهی دوره‌های ابتدایی و میانی استخراج شد. با توجه به اینکه مقادیر ضریب گیاهی دوره‌های ابتدایی و میانی، ثابت و به صورت خطوط افقی (شیب صفر) می‌باشند (۷)، در دوره ابتدایی فقط یک داده برای ضریب گیاهی (با حفظ حالت

جدول ۶. مقادیر ضریب گیاهی و طول مراحل رشد هر یک از گیاهان طرح

گوجه‌فرنگی		خیار		مرحله رشد
ضریب گیاهی	طول دوره (روز)	ضریب گیاهی	طول دوره (روز)	
۰/۲	۲۵	۰/۱۹	۱۵	ابتدایی
۰/۶۵	۳۵	۰/۶۴	۵۰	توسعه
۱/۲۹	۶۵	۰/۹۹	۹۰	میانی
۱/۰	۱۵	۰/۸۱	۲۵	انتهای

۱/۰ محاسبه گردید. رزمی و قائمی (۳) متوسط ضرایب گیاهی مراحل توسعه، میانی و پایانی گوجه‌فرنگی را به ترتیب ۰/۸۵، ۱/۰ و ۰/۷۷ به دست آوردند. عابدی کوپایی و همکاران (۶) متوسط ضرایب گیاهی مراحل چهارگانه گوجه‌فرنگی را به ترتیب ۰/۴۴، ۰/۶۸، ۱/۱۵ و ۰/۶۸ گزارش کردند. در یک مطالعه گلخانه‌ای روی گوجه‌فرنگی توسط والدز و همکاران (۱۶) در شیلی، متوسط ضرایب گیاهی مراحل چهارگانه گوجه‌فرنگی طی دوره رشد ۱۷۶ روز، به ترتیب ۰/۹۵، ۰/۵۷، ۱/۲۵ و ۱/۰ گزارش گردید. مقایسه این ضرایب با ضرایب گیاهی گوجه‌فرنگی نشان می‌دهد که ضرایب مراحل میانی و انتهای این مطالعه با مقادیر والدز و همکاران (۱۶) نزدیک بوده ولی ضرایب مراحل ابتدایی و توسعه تحقیق حاضر از نتایج آنها کمتر می‌باشد.

کارایی مصرف آب

بر اساس روابط کارایی مصرف آب، بهره‌وری تبخیر-تعرق و بهره‌وری آبیاری محصولات خیار و گوجه‌فرنگی محاسبه گردید. با توجه به اینکه مقدار عمق آب آبیاری، دقیقاً به اندازه ی کمبود رطوبت خاک اعمال گردید، پیش‌بینی گردید که مقدار تبخیر-تعرق طی دوره رشد هر یک از محصولات معادل مجموع عمق آب آبیاری گردد. مقادیر عمق آب آبیاری، I_a عمق تبخیر-تعرق، ET_a و کارایی مصرف آب هر یک از تیمارها در جدول ۷ ارائه شده است. اختلاف بین مقادیر عمق آب آبیاری و تبخیر-تعرق در هر یک از تیمارها ناچیز و قابل اغماض

مورد نظر (مرزهای فوق‌الذکر) رسم شد (۷). بر اساس شکل ۴، طول دوره رشد هر یک از مراحل چهارگانه رشد و متوسط ضرایب گیاهی این مراحل استخراج گردید که در جدول ۶ ارائه شده است. طول دوره رشد مراحل ابتدایی، توسعه، میانی و انتهای خیار به ترتیب ۱۵، ۵۰، ۹۰ و ۲۵ روز به دست آمد. متوسط ضرایب گیاهی مراحل چهارگانه فوق به ترتیب ۰/۱۹، ۰/۶۴، ۰/۹۹ و ۰/۸۱ محاسبه گردید. بر اساس تحقیقات عابدی کوپایی و همکاران (۶) متوسط ضرایب گیاهی مراحل چهارگانه رشد خیار به ترتیب ۰/۴۱، ۰/۶۹، ۰/۹۸ و ۰/۷۷ به دست آمد. فتحعلیان و نوری امامزاده‌ئی (۴) مقدار متوسط ضریب گیاهی را برای مرحله ابتدایی رشد حدود ۰/۱۴، مرحله توسعه ۰/۷۸، مرحله میانی ۱/۳۷ و مرحله انتهای ۰/۸۶ به دست آوردند. همچنین کریمی و همکاران (۵) مقدار این ضریب را از ۰/۱ در مرحله ابتدایی رشد تا ۱/۴ در مرحله باردهی و ۱ در مرحله پایانی گزارش کردند. در مطالعه یانگ و همکاران (۱۸)، ضرایب گیاهی مراحل چهارگانه رشد خیار در گلخانه به ترتیب ۰/۴۵، ۰/۷۵، ۱/۱ و ۰/۹۵ به دست آمد. نتایج این مطالعه حاکی از آن است که ضرایب گیاهی مراحل توسعه، میانی و انتهای تا حدی به نتایج این مطالعه نزدیک بوده، ولی ضریب گیاهی مرحله ابتدایی این مطالعه در مقایسه با نتایج یانگ و همکاران (۱۸)، کمتر می‌باشد.

طول دوره رشد مراحل ابتدایی، توسعه، میانی و انتهای گوجه‌فرنگی به ترتیب ۲۵، ۳۵، ۶۵ و ۱۵ روز و متوسط ضرایب گیاهی مراحل چهارگانه آن نیز به ترتیب ۰/۲، ۰/۶۵، ۱/۲۹ و

جدول ۷. مقادیر عملکرد محصول، بهره‌وری تبخیر- تعرق و آبیاری هر یک از تیمارهای مورد مطالعه

گوجه‌فرنگی					خیار					تیمار
WP _{ET} (kg/m ³)	WP _{Irr} (kg/m ³)	Y (ton/ ha)	ET _a (mm)	I (mm)	WP _{ET} (kg/m ³)	WP _{Irr} (kg/m ³)	Y (ton/ ha)	ET _a (mm)	I (mm)	
۵۵/۰۴	۵۵/۰	۱۹۷/۳	۳۵۸/۶	۳۵۹	۵۳/۱	۵۳/۲	۱۴۴/۶	۲۷۲/۴	۲۷۱/۶	I ₁
۴۶/۴	۴۶/۴	۱۴۹/۷	۳۲۲/۸	۳۲۲/۵	۴۱/۰	۴۰/۹	۱۰۰/۷	۲۴۵/۷	۲۴۵/۱	I ₂
۴۳/۷	۴۳/۸	۱۲۵/۵	۲۸۶/۹	۲۸۷	۳۶/۲	۳۶/۴	۸۰/۴	۲۲۲/۰	۲۲۰/۸	I ₃

۴۳/۵ کیلوگرم بر متر مکعب گزارش گردیده است (۱). در یک مطالعه دیگر به منظور بررسی بهره‌وری آب در گلخانه‌های مناطق نیمه‌خشک مدیترانه‌ای توسط سانچز و همکاران (۱۵)، در یک دوره ۸ ساله از سال ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۳، متوسط عملکرد گوجه‌فرنگی ۶/۹۴ کیلوگرم بر متر مربع و بهره‌وری آب ۲۱/۸۵ کیلوگرم بر متر مکعب به دست آمد. عملکرد کارایی مصرف آب در گلخانه‌های ایران در مقایسه با مقادیر جهانی، به ویژه کشور هلند، کمتر است که مستلزم مدیریت دقیق محیط گلخانه می‌باشد.

نتیجه‌گیری

تبخیر- تعرق محاسبه شده خیار در این مطالعه با نتایج مطالعه فتحعلیان و همکاران (۴) یکسان بوده، اما با نتایج سایر تحقیقات تا حدی متفاوت می‌باشد. تبخیر- تعرق محاسبه شده گوجه‌فرنگی در این مطالعه کمتر از مقادیر گزارش شده توسط عابدی کوپایی و همکاران (۶) و رزمی و قائمی (۳) می‌باشد که دلیل عمده آن را می‌توان به کاهش دمای منطقه در مرحله انتهایی رشد گوجه‌فرنگی نسبت داد. متوسط ضریب گیاهی مراحل ابتدایی، توسعه، میانی و انتهایی گوجه‌فرنگی به ترتیب ۰/۲، ۰/۶۵، ۱/۲۹ و ۱/۰ و خیار به ترتیب ۰/۱۹، ۰/۶۴، ۰/۹۹ و ۰/۸۱ محاسبه گردید. ضریب گیاهی مراحل توسعه، میانی و انتهایی خیار و گوجه‌فرنگی با نتایج تحقیقات عابدی کوپایی و همکاران (۶) و رزمی و قائمی (۳) تا حدی مشابه بوده، اما ضریب گیاهی مرحله ابتدایی هر دو محصول خیار و

می‌باشد. عملکرد و کارایی مصرف آب خیار در تیمار آبیاری کامل به ترتیب ۱۴/۴۶ کیلوگرم بر متر مربع و ۵۳/۱ کیلوگرم بر متر مکعب به دست آمد. با کاهش آب مصرفی خیار، عملکرد و کارایی مصرف آب کاهش یافت. عملکرد تیمارهای I₂ و I₃ به ترتیب ۱۰/۰۷ و ۸/۰۴ کیلوگرم بر متر مربع و کارایی مصرف آب آنها به ترتیب ۴۱ و ۳۶/۲ کیلوگرم بر متر مکعب به دست آمد. عملکرد و کارایی مصرف آب گوجه‌فرنگی در تیمار آبیاری کامل به ترتیب ۱۹/۷۳ کیلوگرم بر متر مربع و ۵۵/۰۴ کیلوگرم بر متر مکعب محاسبه گردید. کارایی مصرف آب گوجه‌فرنگی در تیمارهای I₂ و I₃ به ترتیب ۴۶/۴ و ۴۳/۷ کیلوگرم بر متر مکعب به دست آمد که نسبت به شرایط آبیاری کامل به ترتیب ۱۵/۶ و ۲۰ درصد کاهش یافت. میانگین وزنی کارایی مصرف آب در ۵۷ درصد گلخانه‌های کشور (با کشت غالب خیار و گوجه‌فرنگی)، ۱۸/۷۵ کیلوگرم بر متر مکعب گزارش گردیده که حدود ۵ برابر شرایط مزرعه‌ای است (۱). در اسپانیا، میزان تولید خیار ۹-۸ کیلوگرم در متر مربع و گوجه‌فرنگی ۱۲-۱۰ کیلوگرم در مترمربع در شرایط گلخانه می‌باشد (۱). در گلخانه‌های کشور هلند، عملکرد خیار ۵۸ و گوجه‌فرنگی ۴۲ کیلوگرم در مترمربع و در فلوریدا کارایی تولید خیار ۲۸-۷ و گوجه‌فرنگی ۲۰-۸ کیلوگرم در متر مربع گزارش شده است (۱). در گلخانه‌های کشور عمان، متوسط عملکرد محصولات خیار و گوجه‌فرنگی به ترتیب ۲۶ و ۳۷ کیلوگرم بر متر مربع می‌باشد (۱). متوسط کارایی مصرف آب گوجه‌فرنگی و خیار در کشور یونان به ترتیب ۴۸/۵ و

در گلخانه است. کم‌آبایی هر دو محصول هم باعث کاهش کارایی مصرف آب و هم کاهش عملکرد محصول گردید. جهت بهبود عملکرد و کارایی مصرف آب در گلخانه، نیاز به مدیریت دقیق عوامل محیطی (از قبیل نور، رطوبت، باد، دما و غلظت CO₂)، گیاهی و مدیریتی می‌باشد.

گوجه‌فرنگی کمتر از مقادیر گزارش شده توسط عابدی کوپایی و همکاران (۶) و رزمی و قائمی (۳) می‌باشد که یکی از دلایل آن را می‌توان به اعمال تنش ده روزه در مرحله ابتدایی رشد نسبت داد. کارایی مصرف آب (بهره‌وری تبخیر- تعرق) گوجه‌فرنگی و خیار به ترتیب ۵۵/۰۴ و ۵۳/۱ کیلوگرم بر متر مکعب محاسبه گردید که نشان‌دهنده پتانسیل زیاد بهره‌وری آب

منابع مورد استفاده

۱. حیدری، ن.، م. ر. انتصاری، ج. خیرابی، ع. ا. فرشی، ژ. وزیری و م. علایی. ۱۳۸۶. کارایی مصرف آب در کشت گلخانه‌ای. کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران.
۲. دهقانی، ح.، ق. زارعی و ن. حیدری. ۱۳۸۶. بررسی مدیریت آبیاری و کارایی مصرف آب در گلخانه‌ها و مسائل و چالش‌ها. اولین کارگاه فنی ارتقاء کارایی مصرف آب با کشت محصولات گلخانه‌ای.
۳. رزمی، ز. و ع. ا. قائمی. ۱۳۹۰. تعیین ضرایب گیاهی و تنش آب خاک گوجه‌فرنگی در شرایط گلخانه شیشه‌ای. مجله علوم و فنون کشت‌های گلخانه‌ای ۲(۷): ۷۵-۸۶.
۴. فتحعلیان، ف. و م. ر. نوری امامزاده‌ئی. ۱۳۹۱. تعیین تبخیر- تعرق و ضریب گیاهی خیار با استفاده از میکروولایسیمتر در شرایط گلخانه. مجله علوم و فنون کشت‌های گلخانه‌ای ۳(۱۲): ۱۲۵-۱۳۳.
۵. کریمی، ن. و.، ا. ح. ناظمی، س. ع. ا. صدرالدینی، د. فرسادی زاده، ع. حسین زاده دلیر و ف. دهقانی. ۱۳۸۶. نیاز آبی خیار در کشت گلخانه‌ای در شرایط اقلیمی یزد. پژوهش کشاورزی: آب، خاک و گیاه در کشاورزی ۷(۴): ۱۵۱-۱۶۰.
۶. عابدی کوپایی، ج.، س. س. اسلامیان و م. ج. زارعیان. ۱۳۹۰. اندازه‌گیری و مدل‌سازی نیاز آبی و ضریب گیاهی خیار، گوجه فرنگی و فلفل با استفاده از میکروولایسیمتر در گلخانه. علوم و فنون کشت‌های گلخانه‌ای، ۲(۷): ۵۱-۶۳.
7. Allen, R.G., L.S. Pereira, D. Raes and M. Smith. 1998. Crop Evapotranspiration Guidelines for Computing Crop Water Requirement. FAO Irrigation and Drainage Paper, No. 56, Rome, Italy.
8. Chartzoulakis, K. and N. Drosos. 1995. Irrigation requirements of greenhouse vegetables in Crete. INRA-CIHEAM, Cahiers Options Mediterraneennes. 31: 215-221.
9. Fazilah, W.F. 2009. Evapotranspiration models in greenhouse. M.Sc. Thesis, Wageningen, the Netherlands.
10. Harmanto, V.M., M.S. Salokhe and H.J. Babel. 2005. Water requirement of drip irrigated tomatoes grown in greenhouse in tropical environment. Agric. Water Manage. 71: 225-245.
11. Kijne, J., R. Barker and D. Molden. 2003. Water productivity in agriculture: Limits and opportunities for improvement. Comprehensive Assessment of Water Management in Agriculture, Series No. 1, CABI Press, Wallingford, UK, 352 p.
12. Mao, X., M. Liu, X. Wang, C. Liu, Z. Hou and J. Shi. 2003. Effects of deficit irrigation on yield and water use of greenhouse grown cucumber in the North China Plain. Agric. Water Manage. 61: 219-228.
13. Mujahed, H. 2007. Estimation of crop water requirement for cucumber grown in greenhouses. M.Sc. Thesis, College of Graduate Studies and Academic Research, Hebron University, Palestine.
14. Prenger, J., R. Fynn and R. Hansen. 2002. A comparison of four evaporation models in a greenhouse environment. J. Trans. ASAE 36(6): 1907-1913.
15. Sanchez, J.A., J. Reza and J. Martinez. 2015. Water productivity in a Mediterranean semi-arid greenhouse district. Water Resour. Manage. 29 (14): 5395-5411.
16. Valdez, H.G., S.O. Farias and M. Argute. 2009. Evaluation of water requirements for a greenhouse tomato crop

- using the Priestley-Taylor method. Chilean J. Agric. Res. 69(1): 3-11.
17. Vazifedoust, M., J.C. Van Dam, R.A. Feddes and M. Feizi. 2008. Increasing water productivity of irrigated crops under limited water supply at field scale. Agric. Water Manage. 95:89-102.
18. Yang, X., T.H. Short, R.D. Fox and W.L. Bauerle. 1990. Transpiration, leaf temperature and stomatal resistance of a greenhouse cucumber crop. Agric. Forest Meteor. 51: 197-209.