تعیین ضرایب گیاهی و تنش آب خاک گوجه‌فرنگی در شرایط گلخانه شیشه‌ای

زهرا رزمی و علی‌اصغر قائمی [۱*]

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۵/۲۸ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۰/۸/۲۳)

چکیده

به منظور تعیین دقیق تبخیر- تعرق واقعی گوجه‌فرنگی در گلخانه، به بررسی ضریب گیاهی و ضریب تنش آب خاک پرداخته شد. تبخیر- تعرق واقعی این گیاه در پنج تیمار با دور آبیاری متفاوت (۱، ۲، ۴، ۶ و ۸ روزه) و با ۴ تکرار در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی تعیین و با هم مقایسه شد. این تحقیق در داخل گلخانه دو طرفه با پوشش شیشه‌ای به ضخامت ۴ میلی‌متر انجام شد. هر ۲۴ ساعت یکبار در داخل گلخانه، دمای حداقل و حداکثر و تشعشع خورشیدی و هر دو ساعت یکبار، رطوبت نسبی اندازه‌گیری و ثبت شد. اطلاعات هواشناسی در خارج گلخانه نیز به طور هم‌زمان در ایستگاه هواشناسی نصب شده در فاصله ۱۰۰ متری گلخانه برداشت گردید. تبخیر- تعرق گیاه مرجع در داخل و خارج گلخانه با استفاده از روش فائو- پنمن- مانتیث محاسبه شد. نتایج نشان داد که تبخیر- تعرق گیاه مرجع داخل گلخانه ۷۳٪ خارج گلخانه می‌باشد. به منظور تعیین تبخیر- تعرق واقعی گوجه‌فرنگی در داخل گلخانه، از روش بیلان آب استفاده شد. ضریب گیاهی در داخل گلخانه با اعمال اطلاعات به دست آمده از پرژئومتر و آلبیدومتر برای مراحل توسعه، میانی و پایانی رشد به ترتیب ۰/۸۵، ۱/۰ و ۰/۷۷ به دست آمد. ضریب تنش آب خاک با ضریب سهل‌الوصول ۰/۷ برای همه تیمارها در دامنه ۰/۵۳ تا ۰/۹۸ تعیین شد و برای تیمار با دور آبیاری ۴ روزه، که طبق نتایج عملکرد دچار تنش شده بود، به طور متوسط برابر ۰/۸۸ به دست آمد. این ضریب برای تیمار با دور آبیاری ۸ روزه به طور متوسط به ۰/۷۲ تقلیل یافت.

واژه‌های کلیدی: گوجه‌فرنگی، تبخیر- تعرق، فائو- پنمن- مانتیث، گلخانه

مقدمه

در حال حاضر حدود ۴۰٪ سطح گلخانه‌های کشور به کشت گوجه‌فرنگی اختصاص دارد. این در حالی است که در ایجاد گلخانه‌های جدید، تولید گوجه‌فرنگی و سایر محصولات سبزی و صیفی مورد توجه جدی قرار دارد. گوجه‌فرنگی در گلخانه و هم در محیط آزاد کشت می‌شود که این دو روش به دو نوع بذر مختلف نیاز دارند. قنادها و همکاران (۲) گزارش نمودند که در کشورهای دارای آب و هوای معتدل، اکثر کشت گوجه‌فرنگی در گلخانه و یا زیر پلاستیک انجام می‌شود. امروزه کشت گلخانه‌ای نقش مهمی در تولید سبزی‌ها ایفا می‌کند و مدیریت آبیاری مناسب در گلخانه احتیاج به تخمین تبخیر- تعرق دارد. بلانکو و فولگاتی (۵) بیان کردند که تبخیر- تعرق به عنوان معیاری برای محاسبه نیاز آبی گیاه بوده و باعث جلوگیری از مصرف زیاد آب و استفاده بهینه از مواد آلی و کاهش شوری خاک و آلودگی آب‌های زیرزمینی می‌شود.

ارگاز و همکاران (۱۰) در رابطه با تعیین تبخیر- تعرق گلخانه‌ای، چهار گلخانه برای کشت خربزه، فلفل، هندوانه و لوبیا سبز بنا نموده و در داخل هر یک از گلخانه‌ها یک تشت

۱. به ترتیب دانشجوی سابق کارشناسی ارشد و دانشیار بخش مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز

* : مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: ghaemi@shirazu.ac.ir

تبخیر، لایسیمتر زهکش‌دار و هیدروترموگراف برای اندازه‌گیری دمای هوا و رطوبت نسبی نصب کردند. نتایج نشان داد که تبخیر- تعرق در داخل گلخانه به نسبت کمتر از محیط بیرون گلخانه است. آنها بیان کردند که در داخل گلخانه، تبخیر و انتقال تشعشع خورشیدی کمتر می‌باشد. اما این نسبت کاهش تعیین نگردید. لذا آنها نشان دادند که آب مورد نیاز گیاه در گلخانه کمتر از فضای بیرون گلخانه می‌باشد. بلانکو و فولگاتی (۶) تبخیر- تعرق و ضریب گیاهی (K_c) خیارسبز در گلخانه تحت شوری‌های مختلف را بررسی کردند. آنها نشان دادند که مقدار K_c در ابتدا ۰/۸ و در مرحله توسعه به ۱/۶ رسید و تا انتها ادامه داشت.

کریمی و همکاران (۳) در تحقیقی که روی کشت خیار گلخانه‌ای انجام دادند، بیان کردند که ضریب گیاهی خیار در شرایط گلخانه در ابتدای فصل رشد ۰/۳ و در مرحله توسعه به ۱/۴ رسید. آنها هم‌چنین گزارش کردند که این ضریب در انتهای فصل رشد به ۰/۹۳ کاهش یافت. پرچین و همکاران (۱) میزان تبخیردر فضای آزاد و درون گلخانه را با استفاده از تشت تبخیر استاندارد کلاس A، تشت تبخیر با قطر کاهش یافته (۶۰ و ۲۰ سانتی‌متر) و نیز آتمومتر اندازه‌گیری کردند. هم‌چنین با استفاده از میکرولایسیمتر حاوی چمن مقدار تبخیر- تعرق پتانسیل در مقیاس روزانه به روش وزنی تعیین شد. میزان نیاز آبی توت فرنگی به روش بیلان آبی بر اساس مقدار آبیاری انجام شده (به روش قطره‌ای) و زه‌آب خروجی از انتهای گلدان‌ها محاسبه گردید. هم‌چنین با اندازه‌گیری داده‌های هواشناسی مورد نیاز، تبخیر- تعرق پتانسیل به روش پنمن- مانتیث در مقیاس روزانه محاسبه و ضریب گیاهی از تقسیم تبخیر- تعرق پتانسیل بر نیازآبی گیاه برآورد شد. در این پژوهش، مقدار متوسط تبخیر- تعرق واقعی گیاه توت فرنگی ۳/۴۷ میلی‌متر در روز به دست آمد. مقادیر ضریب تشت‌ها (K_p) برای تشت تبخیر کلاسA، تشت تبخیر با قطر ۶۰ سانتی‌متر و تشت تبخیر با قطر ۲۰ سانتی‌متر در داخل گلخانه به ترتیب برابر ۱/۱۳، ۰/۹۹ و ۱/۴۵ محاسبه شد. ضریب گیاهی توت فرنگی (K_c) برابر با ۰/۶۸ به دست آمد. نتایج حاصل، تفاوت معنی‌داری بین تبخیر از دو نوع تشت ۲۰ و۶۰ سانتی‌متری نشان نداد که نشانگر امکان استفاده از تشت با اقطار کوچکتر در فضای محدود داخل گلخانه‌هاست.

روسدی افندی و همکاران (۱۱) ضریب تنش (K_s) را برای گیاه سویا در گلخانه با تیمارهای صفر تا ۲۰ ، ۲۰ تا ۴۰، ۴۰ تا ۶۰، ۶۰ تا ۸۰ و ۸۰ تا ۱۰۰ درصد آب قابل دسترس بررسی کردند. نتایج نشان داد که گیاه سویا در تیمار ۴۰ تا ۶۰ درصد بعد از هفته چهارم دچار تنش شد. هم‌چنین متوسط ضریب تنش ۰/۷۸ تعیین شد.

مدیریت صحیح آبیاری در گلخانه به برآورد صحیح تبخیر- تعرق در آن وابسته است. با توجه به کاربرد آبیاری تحت فشار در گلخانه، محاسبه دقیق تبخیر- تعرق واقعی در گلخانه امری لازم و ضروری است. لازم به ذکر است که تحقیقات زیادی، بخصوص در ایران، برای تعیین تبخیر- تعرق واقعی گیاهان گلخانه‌ای صورت نگرفته و آبیاری گیاهان گلخانه‌ای بیشتر بر اساس تجربه انجام می‌گیرد و در بیشتر موارد بیش از میزان مورد نیاز گیاه، به گیاه آب داده می‌شود. با توجه به موارد فوق و کشت بسیار متداول و وسیع گلخانه‌ای گوجه‌فرنگی در کشور، تعیین تبخیر- تعرق گوجه‌فرنگی گلخانه‌ای و برآورد پارامترهای مهمی که در تبخیر- تعرق واقعی در گلخانه دخالت دارند از اهداف این تحقیق می‌باشد.

برای تعیین تبخیر- تعرق واقعی، برآورد ضریب گیاهی و ضریب تنش آب خاک از اهمیت زیادی برخوردار است. لذا در این تحقیق به بررسی ضریب گیاهی و تنش آب در خاک گیاه گوجه‌فرنگی پرداخته شد. تا آنجایی که نویسندگان این مقاله اطلاع دارند این تحقیق با استفاده از ابزار و روش دقیق انجام شده که در هیچ گلخانه‌ای در ایران تعیین نگردیده است.

مواد و روش‌ها

پژوهش حاضر در یک گلخانه دو طرفه به ارتفاع ۳/۵، طول ۹/۴ و عرض ۵/۷ متر با پوشش شیشه‌ای به ضخامت ۴ میلی‌متر انجام

جدول ۱. برخی مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده

pH	(EC_e) (dS/m)	N_{total} (٪)	K (mg/kg_{soil})	P (mg/kg_{soil})	ماده آلی (٪)	بافت خاک	درصد وزنی رطوبت در حد گنجایش زراعی	درصد وزنی رطوبت در حد نقطه پژمردگی	چگالی ظاهری خاک (g/cm^3)
۷/۷۲	۰/۵۵	۰/۲	۶۰۰	۱۲/۵	۱/۶۵	لوم	۲۸	۱۰	۱/۰۳

شده است. گلخانه مذکور در ۱۶ کیلومتری شمال شرقی شیراز در دشت باجگاه، با عرض جغرافیایی ′۳۶ °۲۹ شمالی، طول جغرافیایی ′۳۲ °۵۲ شرقی و ارتفاع ۱۸۱۰ متر از سطح دریا واقع شده است. به منظور مقایسه تبخیر- تعرق واقعی گوجه‌فرنگی در گلخانه، تیمارهای مختلف در ۵ سطح دور آبیاری: I_1 (تیمار با دور آبیاری روزانه (شاهد)، I_2 (تیمار با دور آبیاری ۲ روزه)، I_3 (تیمار با دور آبیاری ۴ روزه)، I_4 (تیمار با دور آبیاری ۶ روزه) و I_5 (تیمار با دور آبیاری ۸ روزه) و با ۴ تکرار در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی اجرا شد. برای تعیین دور آبیاری با اعمال تنش‌های رطوبتی، قبل از انجام آزمایش تعداد سه گلدان مشابه گلدان‌های کشت در گلخانه به حد اشباع و سپس به حد گنجایش زراعی رسید (رطوبت در حد گنجایش زراعی خاک توسط دستگاه صفحه فشاری قبلاً اندازه‌گیری شده بود). سپس روزانه درصد وزنی رطوبت خاک تعیین می‌گردید. با این روش تعداد روزهای لازم برای رسیدن رطوبت خاک به حد صفر تا ۲۵، ۲۵ تا ۵۰، ۵۰ تا ۷۵، و ۷۵ تا ۹۰ درصد گنجایش زراعی تعیین و دورهای آبیاری براساس نسبت آب از دست داده شده از حالت گنجایش زراعی به رطوبت‌های فوق در نظر گرفته شد.

دوره رشد گوجه‌فرنگی از اواسط اردیبهشت ماه ۱۳۸۸ تا اوایل دی ماه ۱۳۸۸ در نظر گرفته شد. بذر F_1 رقم یاقوت تهیه شد. تعداد ۱۶ عدد گلدان به قطر ۲۲ و ارتفاع ۲۲ سانتی‌متر تهیه و وزن شدند (در کشت گوجه‌فرنگی معمولاً از گلدان‌هایی با ابعاد ذکر شده استفاده می‌گردد و مبنای انتخاب بر این اساس می‌باشد که وزن گلدان با خاک داخل آن باید به طور تقریب ۷ کیلوگرم باشد). فواصل کشت طبق الگوی معمول گلخانه‌های کشت گوجه‌فرنگی ۴۵ × ۸۰ سانتی‌متردر نظر گرفته شد. گلدان‌های مربوطه با خاک (خاک سری دانشکده) پر گردید و بذرها در عمق ۵ میلی‌متری از سطح خاک گلدان به صورت کشت مستقیم کاشته شدند. به دلیل کشت مستقیم، در ابتدای کشت در هر گلدان ۴ عدد بذر کاشته و با اعمال تیمار و در مرحله ۴ برگه شدن گیاه، یک گیاه از ۴ گیاه سبز شده با رعایت وضعیت ظاهری مشابه گیاه (تعداد برگ، طول و قطر ساقه) در تمام گلدان‌ها انتخاب گردید.

قبل از کشت، مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده در گلدان‌ها در آزمایشگاه تجزیه شد و براساس عناصر شیمیایی موجود در خاک، میزان کود طی مراحل رشد تعیین گردید (جدول ۱). با توجه به آزمایش‌های انجام شده، خاک مورد نظر به کودهای فسفاته و نیترات نیاز داشت. کود فسفات آمونیوم در ابتدای کشت به میزان یک گرم برای هر گلدان، با خاک هر گلدان مخلوط شد. کود نیترات به مقدار ۲ گرم به هر گلدان طبق الگوی معمول مصرف، به صورت ۵۰، ۲۵، ۲۵ درصد طی سه مرحله (ابتدای کشت، ابتدای مرحله گل‌دهی و طی مرحله میوه-دهی) به هر گلدان داده شد.

پارامترهای هواشناسی

دمای حداکثر و حداقل داخل گلخانه در هر ۲۴ ساعت یکبار توسط دماسنج‌های حداکثر و حداقل اندازه‌گیری و ثبت می‌گردید. هر ۲ ساعت یکبار نیز رطوبت نسبی توسط رطوبت-نگار ثبت می‌شد. علاوه بر این، یک دماسنج نیز برای اندازه‌گیری دمای لحظه‌ای در گلخانه نصب و در موارد ضروری قرائت می-گردید. در داخل گلخانه مورد تحقیق، یک دستگاه پرژئومتر CG1/2، یک دستگاه آلبیدومتر CM7B برای اندازه‌گیری و ثبت

طول موج‌های بلند، کوتاه و خالص تابش خورشیدی، یکبار در هر ۲۴ ساعت از ابتدای شروع کشت، مورد استفاده قرار گرفت. هر یک از این دو دستگاه به طور مجزا به دو دستگاه اینتگراتور متصل بود و اطلاعات تشعشع سنج با استفاده از آنها قرائت می‌گردید. دستگاه‌های مورد نظر به طور دائم روشن و با وجود باطری‌های قابل شارژ اطلاعات در زمان قطع برق احتمالی نیز توسط دستگاه اندازه‌گیری و ذخیره می‌گردید. گلخانه دارای دو سیستم خنک کننده بود که ساعات کارکرد این سیستم‌ها با استفاده از تایمر تنظیم می‌شد. برای جلوگیری از اثر نامناسب جریان مستقیم سیستم خنک کننده بر گیاهان، دریچه سیستم توسط پوششی منفذدار گرفته شد و لذا هوای خروجی از سیستم فقط جهت تهویه محیط گلخانه استفاده گردید. به منظور تعیین میزان آب تبخیر شده از گلدان‌ها در طول فصل کشت، سطح سایه اندازه گیاه اندازه‌گیری و محاسبه شد. در هر آبیاری، مقدار آب آبیاری گلدان‌های کشت تا رسیدن به حد رطوبت گنجایش زراعی با ترازوی دیجیتالی دقیق تعیین می‌گردید. قرائت زمانی اطلاعات ثبت شده توسط دستگاه‌های پرژئومتر و آلبیدومتر برای ساعت ۱۰ صبح تنظیم و سایر اطلاعات مورد نیاز هواشناسی و آبیاری که می‌بایست به طور هم‌زمان نیز انجام شود هر روز رأس ساعت ۱۰ صبح برداشت می‌گردید. آبیاری نیز در دوره‌های مختلف تیمارهای مورد نظر در آن ساعت انجام می‌گرفت. دماسنج حداکثر و حداقل هر روز پس از ثبت داده‌ها تکان داده می‌شد تا به حالت طبیعی رسیده و مجدداً حداکثر و حداقل دما در ساعت ۱۰ صبح روز بعد یادداشت می‌گردید.

اطلاعات هواشناسی خارج از گلخانه به منظور مقایسه با پارامترهای هواشناسی داخل گلخانه، از یک ایستگاه هواشناسی که به فاصله حدود ۱۰۰ متری در مجاورت گلخانه مذکور بود برداشت می‌گردید.

آبیاری

برای تعیین میزان آب آبیاری، ابتدا هر گلدان را جداگانه با ترازوی دیجیتال وزن کرده و درصد وزنی رطوبت خاک قبل از هر آبیاری محاسبه شد. همه گلدان‌ها در ابتدای کشت با مقدار خاک مساوی پر شده بودند. بعد از تعیین کمبود رطوبت خاک در هر گلدان، با اضافه نمودن آب، هر گلدان به طور مجزا به رطوبت حد گنجایش زراعی رسانیده می‌شد.

تخمین تبخیر- تعرق گیاه مرجع

گرچه روش‌های مختلفی برای تعیین تبخیر- تعرق گیاه مرجع مورد استفاده و مقایسه قرار گرفت، اما از توضیح سایر روش‌ها خودداری می‌شود و فقط به روش فائو- پنمن- مانتیث اشاره می‌گردد. هارمانتو و همکاران (۸) نیز از این روش برای اندازه‌گیری تبخیر- تعرق در گلخانه استفاده کردند. معادله پنمن- مانتیث ارائه شده توسط FAO برای تخمین تبخیر- تعرق گیاه مرجع به صورت زیر می‌باشد (۴):

$$ET_O = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma[900/(T+273)]U_2(e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34U_2)} \quad [۱]$$

که:

ET_o = تبخیر- تعرق گیاه مرجع، میلی‌متر بر روز

R_n = تشعشع خالص دریافتی در سطح گیاه که توسط دستگاه‌های آلبیدومتر، پرژئومتر و اینتگراتور در داخل گلخانه اندازه‌گیری و ذخیره شد، مگاژول بر متر مربع بر روز

G = شار گرمایی خاک، مگاژول بر متر مربع بر روز (ارزش این پارامتر نسبت به انرژی تابش خالص خیلی ناچیز می‌باشد و بر اساس پیشنهاد فائو ۵۶ برای فواصل روزانه، صفر در نظر گرفته شد)

Δ = شیب نمودار فشار بخار اشباع نسبت به دما، کیلو پاسکال بر درجه سلسیوس

γ = ثابت سایکرومتری، کیلو پاسکال بر درجه سلسیوس

e_s-e_a = کمبود فشار بخار در ارتفاع ۲ متری، کیلو پاسکال

U_2 = میانگین روزانه سرعت باد در ارتفاع ۲ متری از سطح زمین، متر بر ثانیه (در شرایط گلخانه باد وجود نداشت. اما طبق پیشنهاد فائو ۵۶ سرعت باد در گلخانه ۰/۵ متر بر ثانیه در نظر گرفته می‌شود).

T = میانگین روزانه دمای هوا در ارتفاع ۲ متری از سطح زمین، درجه سلسیوس

تبخیر- تعرق گیاه مرجع در خارج از گلخانه نیز با استفاده از داده‌های هواشناسی خارج از گلخانه و از معادله فائو- پنمن- مانتیث محاسبه گردید.

تخمین تبخیر- تعرق واقعی گوجه‌فرنگی

هر گلدان در گلخانه به عنوان یک لایسیمتر وزنی در نظر گرفته شد. بدین ترتیب که با اندازه‌گیری مقادیر رطوبت خاک قبل از آبیاری و میزان آب آبیاری در طول دوره رشد در هر لایسیمتر، تبخیر- تعرق واقعی گیاه با توجه به بیلان آب خاک طبق معادله زیر محاسبه شد:

$$ET_c = I + R \pm \Delta S - D_p \qquad [۲]$$

که:

ET_c = تبخیر- تعرق واقعی گیاه در شرایط گلخانه، میلی‌متر بر روز

I= میزان آب آبیاری، میلی‌متر

R= مقدار بارندگی، میلی‌متر (در گلخانه بارندگی وجود ندارد و در این معادله صفر در نظر گرفته می‌شود)

ΔS= تغییرات ذخیره آب خاک، (برای محاسبه این پارامتر، وزن گلدان‌ها قبل از هر آبیاری با استفاده از ترازوی دقیق دیجیتال تعیین گردید و با توجه به وزن خاک خشک هر گلدان، درصد رطوبت وزنی تعیین و از اختلاف درصد رطوبت بین دو آبیاری متوالی این پارامتر محاسبه شد).

D_p = مقدار نفوذ عمقی، میلی‌متر (چون گلدان‌ها به رطوبت حد گنجایش زراعی رسانیده می‌شد از نفوذ عمقی نیز صرف‌نظر و معادل صفر در نظر گرفته شد)

ضریب گیاهی

مدیریت صحیح آبیاری در گلخانه به برآورد صحیح تبخیر- تعرق در گلخانه وابسته است. برای تخمین تبخیر- تعرق واقعی هر گیاه خاص از معادله زیر استفاده می‌شود:

$$ET_c = K_c \times ET_o \qquad [۳]$$

که:

ET_c = تبخیر- تعرق گیاه، میلی‌متر بر روز

K_c = ضریب گیاهی

ET_o = تبخیر تعرق گیاه مرجع، میلی‌متر بر روز

در این پژوهش ضریب گیاهی از نسبت تبخیر- تعرق گیاه گوجه‌فرنگی در داخل گلخانه به تبخیر- تعرق گیاه مرجع محاسبه شده از معادله فائو پنمن– مانتیث که بر اساس پارامترهای اندازه‌گیری شده در داخل گلخانه به دست آمده بود تعیین گردید.

ضریب تنش آب خاک (K_s)

هنگامی که در خاک تنش آبی وجود داشته باشد، ضریب تنش بین صفر و یک، و در شرایط بدون تنش آبی، این ضریب یک می‌باشد. ضریب تنش آبی، اثر تنش آبی بر تعرق گیاه را توصیف می‌کند. این ضریب به صورت زیر تبخیر – تعرق واقعی گیاه را تعدیل می‌نماید:

$$ET_{cadj} = K_s \,.\, K_c \,.\, ET_o \qquad [۴]$$

که:

ET_{cadj} = تبخیر- تعرق گیاه در شرایط تنش آبی، میلی‌متر در طول فصل رشد (در این تحقیق، تبخیر- تعرق اندازه‌گیری شده در تیمارهای تنش رطوبتی در دورهای مختلف آبیاری).

لذا در این مطالعه، ضریب تنش آب خاک از نسبت ET_{cadj} به ET_c شاهد برای تیمارهای مختلف آبیاری به دست آمد. برای بررسی صحت و سقم مقادیر اندازه‌گیری شده، ضریب تنش آب خاک با استفاده از فرمول زیر نیز محاسبه گردید (۴) :

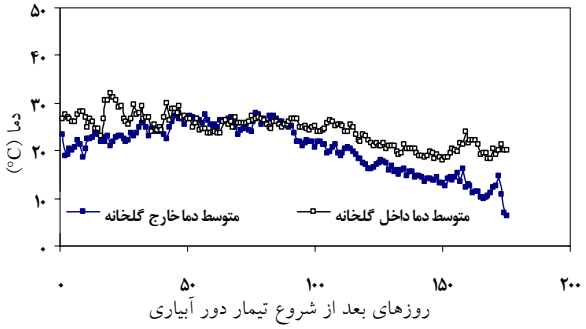
$$K_s = \frac{TAW - D_r}{TAW - RAW} = \frac{TAW - D_r}{(1-p)TAW} \qquad [۵]$$

که:

K_s = ضریب تنش آب خاک یا کاهش تعرق (بین صفر و یک)

D_r = مقدار تخلیه رطوبت از محدوده توسعه ریشه گیاه، میلی‌متر

TAW = کل آب قابل استفاده محدوده توسعه ریشه گیاه، میلی‌متر



شکل ۱. متوسط دما در داخل و خارج گلخانه

p = نسبتی از کل آب قابل استفاده که گیاه بدون تحمل تنش آبی از محدوده توسعه ریشه جذب می‌نماید (درصد)

در این پژوهش، ضریب p از تقسیم میزان آب سهل‌الوصول به آب قابل استفاده برای گیاه گوجه‌فرنگی در تیمار شاهد (بدون تنش) برابر با ۰/۷ به دست آمد. برای برآورد ضریب تنش آب خاک نیاز به محاسبه بیلان روزانه آب در محدوده توسعه ریشه گیاه به صورت زیراست:

$$D_{r,i}=D_{r,i-1}-(P-RO)_i - I_i - CR_i+ET_{c,i}+DP_i \qquad [۶]$$

که:

$D_{r,i}$ = تخلیه رطوبت از محدوده توسعه ریشه گیاه در پایان روز، میلی‌متر

$D_{r,i-1}$ = مقدار آب در محدوده توسعه ریشه گیاه در پایان روز قبل، میلی‌متر

P_i = بارندگی در پایان روز (میلی‌متر)

RO_i = رواناب سطحی در پایان روز (میلی‌متر)

I_i = عمق خالص آبیاری نفوذ یافته در خاک (میلی‌متر)

CR_i = صعود موئینه آب از سفره آب زیرزمینی (میلی‌متر)

$ET_{c,i}$ = تبخیر- تعرق گیاه در پایان روز (میلی‌متر)

Dp_i = آب تلف شده به زیر محدوده توسعه ریشه گیاه به صورت نفوذ عمقی (میلی‌متر)

چون در آبیاری‌ها رطوبت گلدان‌ها به گنجایش زراعی رسانیده می‌شد، از نفوذ عمقی و رواناب صرف‌نظر گردید و میزان بارندگی نیز صفر در نظر گرفته شد.

برای انجام محاسبات آماری از نرم‌افزار MSTATC تحت DOS و F-test و برای انجام سایر محاسبات و رسم شکل‌ها و رسم خطوط رگرسیونی از نرم‌افزار EXCEL تحت Windows استفاده شد.

نتایج و بحث

درصد وزنی رطوبت در حد گنجایش زراعی ۰/۲۸ و چگالی ظاهری خاک ۱/۰۳ g/cm^3 تعیین گردید. دمای داخل گلخانه که به صورت ۲۴ ساعته در طول دوره رشد اندازه‌گیری شده بود با دمای خارج گلخانه مقایسه شد. نتایج نشان داد که در داخل گلخانه متوسط دمای روزانه بین ۱۳/۷ تا ۳۲ درجه سلسیوس متغیر بود. متوسط دما در طول فصل رشد، در داخل و خارج گلخانه به ترتیب ۲۴/۵۲ و ۲۰/۴۲ سلسیوس بود. لذا به طور متوسط دمای داخل گلخانه تقریباً ۴ درجه سلسیوس بیشتر از دمای خارج گلخانه اندازه‌گیری شد.

شکل ۱ دمای متوسط داخل و خارج گلخانه را بعد از شروع تیمارهای دور آبیاری در طول دوره رشد نشان می‌دهد.

طبق پیشنهاد فائو، سرعت باد در گلخانه ۰/۵ متر بر ثانیه در نظر گرفته شد. سرعت کم باد در گلخانه از مزایای گلخانه بود که باعث کاهش تبخیر - تعرق شده و در نتیجه گیاه برای رشد خود، به آب کمتری احتیاج دارد.

تخمین تبخیر- تعرق گیاه مرجع

میزان حداقل و حداکثر تبخیر- تعرق برای گیاه مرجع در داخل گلخانه به ترتیب ۱/۲۸ و ۴/۶۳ میلی‌متر بر ۲۴ ساعت برآورد شد. این میزان پس از شروع تیمارهای دور آبیاری در داخل و خارج گلخانه به ترتیب ۵۹۸ و ۸۰۶ میلی‌متر در طول فصل رشد برآورد شد. با توجه به این‌که دما در طول دوره رشد در محیط گلخانه کنترل می‌شد، اختلاف حداکثر و حداقل تبخیر- تعرق گیاه مرجع برابر با ۳ میلی‌مترو در خارج گلخانه ۵ میلی‌متر ثبت گردید. با تعیین تبخیر- تعرق در طول فصل رشد و رسم منحنی تبخیر- تعرق گیاه مرجع داخل و خارج گلخانه، رابطه ۷ ازطریق رگرسیون‌گیری به دست آمد.

جدول ۲. مقایسه میانگین شاخص‌های عملکرد گیاه گوجه‌فرنگی

تیمار دور آبیاری	طول ساقه (سانتی‌متر)	وزن خشک ریشه (گرم)	وزن تر میوه (گرم)	وزن تر اندام هوایی (گرم)	وزن خشک اندام هوایی (گرم)
I_1	۱۵۲/۵ a	۵۶/۵ a	۲۱۵/۱۵ b	۱۱۳/۳۶۵ a	۲۴/۱۲ a
I_2	۱۵۰/۳ a	۴۴/۰۲ b	۲۴۷/۹۰ a	۱۰۴/۳۸ ab	۲۰/۶۷ b
I_3	۱۲۸/۳ b	۲۵/۸۳ c	۱۲۶/۹۱ c	۸۵/۴۱ bc	۱۹/۱۸ b
I_4	۱۱۹/۳ bc	۱۹/۵۴ cd	۲۹/۱۷۰ d	۷۶/۵۲ c	۱۵/۰۰ c
I_5	۱۰۴/۰ c	۱۳/۴۸ d	۲۵/۷۲۰ d	۷۳/۴۱ c	۱۴/۱۰ c

میانگین‌هایی که در هر ستون دارای حروف مشابه هستند از لحاظ آماری طبق آزمون دانکن در سطح ۵٪ معنی‌دار نیستند. پارامتر طول ساقه در جدول بالا مربوط به مرحله برداشت گیاه می‌باشد.

$$ET_{oinside}=0.73\ ET_{ooutside} \quad [۷]$$

$$R^2=0.97,\ SE=0.53,\ n=175\ ,\ P<0.05$$

که:

$ET_{oinside}$ = تبخیر- تعرق محاسبه شده در داخل گلخانه، میلی‌متر بر ۲۴ ساعت

$ET_{ooutside}$= تبخیر- تعرق محاسبه شده در خارج گلخانه، میلی‌متر بر ۲۴ ساعت

رابطه به دست آمده از برازش تبخیر- تعرق مرجع در داخل و خارج گلخانه مورد مطالعه نشان می‌دهد که تبخیر- تعرق مرجع داخل گلخانه مورد تحقیق ۷۳٪ خارج گلخانه می‌باشد.

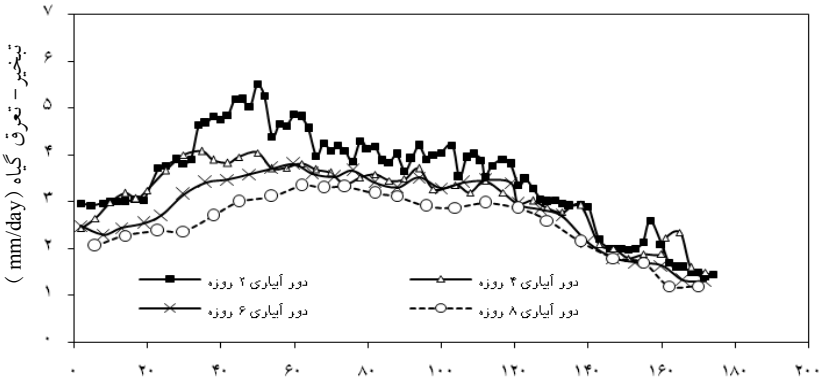
مونترو و همکاران (۹) و روزنبرگ و همکاران (۱۲) گزارش کردند که تبخیر- تعرق درون گلخانه تقریباً ۶۰ تا ۸۰ درصد خارج گلخانه می‌باشد. فاریس و برگاماسچی (۷) مشاهده کردند که تبخیر- تعرق مرجع در گلخانه تقریباً ۴۵ تا ۷۷ درصد تبخیر- تعرق خارج از گلخانه می‌باشد. نتایج به دست آمده از این تحقیق در خصوص مقادیر تبخیر- تعرق داخل گلخانه در مقایسه با خارج از گلخانه با نتایج تحقیقات گذشته همخوانی داشت.

عملکرد ماده تر و خشک

بعد از برداشت محصول، وزن تر و خشک اندام هوایی و ریشه، هم‌چنین وزن تر میوه اندازه‌گیری شد که نتایج در جدول ۲ ارائه شده است. همان گونه که در جدول ۲ مشاهده می‌شود، وزن تر میوه در تیمار I_2، ۱۵/۲ درصد بیشتر از تیمار شاهد می‌باشد. اما در بقیه پارامترها، میزان آن کمتر شده است. قابل ذکر است که در اندازه طول ساقه و وزن تر اندام هوایی تیمار I_2 نسبت به شاهد اختلاف معنی‌دار در سطح ۵٪ دیده نمی‌شود. در تیمار I_2 دوره گل‌دهی و میوه‌دهی نسبت به تیمار شاهد زودتر شروع شد. با توجه به تحلیل آماری بین تیمارهای I_2 و شاهد (I_1) و هم‌چنین زود رس بودن شروع دوره گل‌دهی و میوه‌دهی، گیاه گوجه‌فرنگی در این شرایط به آبیاری هر روز نیاز ندارد. با توجه به اهمیت وزن محصول در گلخانه به عنوان شاخص اصلی، تیمار I_2 به عنوان تیمار شاهد منظور گردید.

تبخیر- تعرق واقعی گوجه‌فرنگی

تبخیر- تعرق واقعی گیاه گوجه‌فرنگی (ET_c) در طول فصل رشد در گلخانه از طریق بیلان آب خاک محاسبه گردید. رطوبت خاک قبل از هر آبیاری با استفاده از وزن کردن گلدان تعیین شد. نتایج نشان داد که اگرچه تغییرات ذخیره آب در بعضی موارد خیلی ناچیز بود اما در رابطه بیلان آب در خاک در نظر گرفته شد. میزان تبخیر- تعرق گوجه‌فرنگی در طول دوره رشد برای تیمارهای I_1 تا I_5 به ترتیب ۶۷۹، ۵۹۱، ۵۳۸، ۵۱۹ و ۴۶۶ میلی‌متر می‌باشد (طبق عملکرد گیاه، تیمار I_2 به‌عنوان شاهد انتخاب گردید). میزان حداقل و حداکثر تبخیر-



شکل ۲. تغییرات تبخیر- تعرق گوجه‌فرنگی در طول فصل رشد برای تیمارهای مختلف در داخل گلخانه

تعرق این گیاه برای تیمار I_2 به ترتیب ۳/۴۳ و ۱۱/۰۲ میلی‌متر در ۲۴ ساعت اندازه‌گیری شد. شکل ۲ تغییرات تبخیر- تعرق در طول فصل رشد برای تیمارهای مختلف را نشان می‌دهد. همان گونه که در شکل ۲ نشان داده شده است با افزایش دور آبیاری، تبخیر- تعرق گیاه گوجه‌فرنگی کاهش یافته است. در دوره توسعه گیاه، تبخیر- تعرق در تیمارهای با دور آبیاری ۲ روزه و ۴ روزه تقریباً مانند هم بوده ولی با ادامه آزمایش در دوره میانی تبخیر- تعرق گیاه با دور آبیاری ۴ روزه در مقایسه با ۲ روزه کاهش داشته است. در دوره توسعه گیاه، تبخیر- تعرق برای تیمارهای با دور آبیاری ۶ و ۸ روزه نسبت به تیما ۴ روزه کاهش دارد. در دوره میانی، تبخیر- تعرق گیاه با دور آبیاری ۶ روزه در مقایسه با تبخیر- تعرق گیاه با دور آبیاری ۴ روزه کاهش نداشته است. در دوره پایانی، به دلیل این‌که کلیه گیاهان با تیمارهای مختلف ۱۶ برگه بودند و ارتفاع گیاهان در تیمارهای روزانه و دور آبیاری ۲ روزه همانند بود، دارای تبخیر- تعرق مشابهی بودند. تبخیر- تعرق گیاه در تیمارهای I_3، I_4 و I_5 نسبت به تیمار I_2 به ترتیب ۸، ۱۲ و ۲۱ درصد کاهش داشته است. نتایج نشان داد که مقدار تبخیر- تعرق واقعی گوجه‌فرنگی بین تیمارهای I_2 و I_3 و نیز بین تیمارهای I_4 و I_5 اختلاف معنی‌دار در سطح ۵٪ دارد. شکل ۳ تغییرات تبخیر- تعرق مرجع محاسبه شده از روش فائو- پنمن- مانتیث و تبخیر- تعرق واقعی گوجه‌فرنگی اندازه‌گیری شده با استفاده از روش بیلان آبی در داخل گلخانه را برای تیمارهای مختلف نشان می‌دهد.

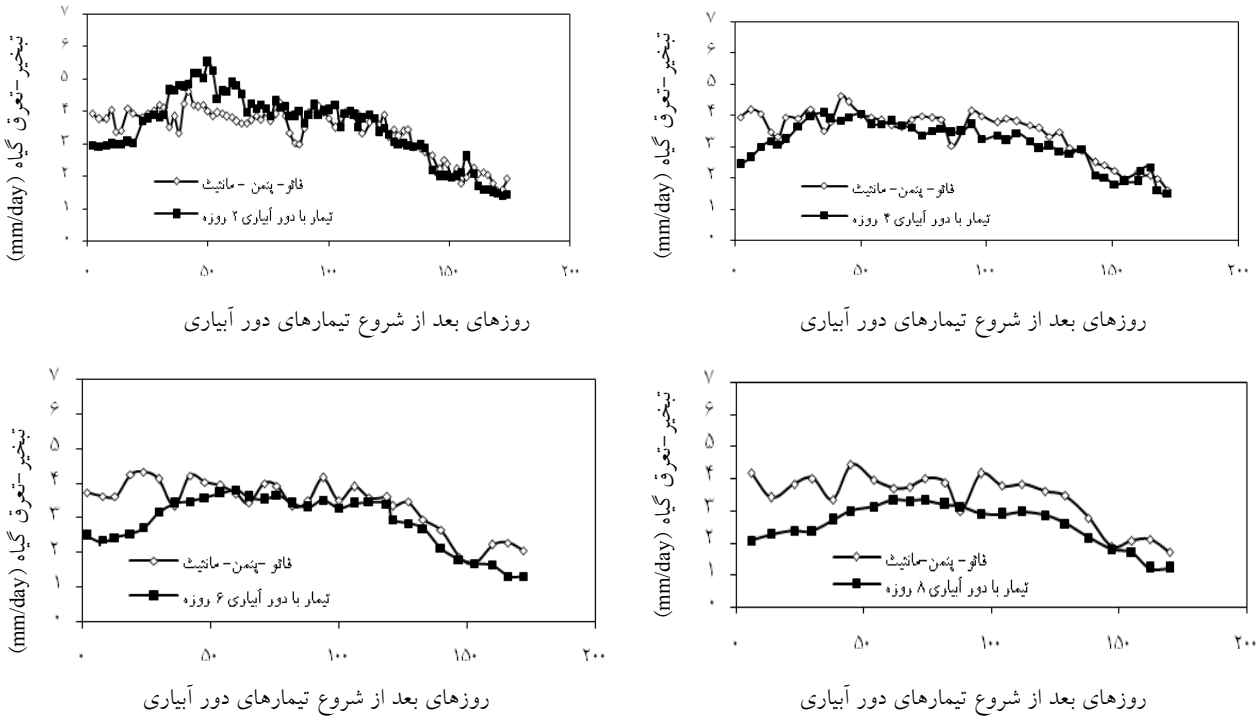
ضریب گیاهی

ضریب گیاهی با استفاده از نسبت مقادیر تبخیر- تعرق گیاه تیمار شاهد (I_2) به مقادیر تبخیر- تعرق مرجع که از روش فائو- پنمن- مانتیث محاسبه شده است، تخمین زده شد.

حداقل و حداکثر ضریب گیاهی گوجه‌فرنگی تیمار شاهد به ترتیب ۰/۷ و ۱/۴۵ می‌باشد. ضریب گیاهی تیمار شاهد در مرحله توسعه (Kc-dep) بین ۰/۷۴ تا ۰/۹۷ و در مرحله میانی (Kc-mid) ۰/۷۸ تا ۱/۴۵ و در مرحله انتهایی (Kc-end) ۰/۷ تا ۰/۸۳ متغیر بود. هارمانتو و همکاران (۸) گزارش کردند که ضریب گیاهی گوجه‌فرنگی در گلخانه ۰/۴۵ تا ۱/۰۵ متغیر می‌باشد. آنها هم‌چنین بیان کردند که پارامترهای نوع گیاه، آلبیدو، سطح خاک، ویژگی‌های روزنه‌ها و برگ‌ها، مراحل رشد، کمبود فشار بخار و پارامترهای مدیریتی آئرودینامیک مانند فاصله بین گیاهان بر ضریب گیاهی تأثیر می‌گذارند. شکل ۴ تغییرات ضرایب گیاهی را در طول دوره رشد نشان می‌دهد.

ضریب تنش آب خاک (K_s)

با توجه به K_c محاسبه شده، می‌توان ضریب K_s را به دست آورد. به عبارت دیگر، با توجه به ضریب K_c در تیمارهای مختلف، می‌توان ضریب K_s برای گیاه گوجه‌فرنگی را تحت دورهای مختلف آبیاری از معادله ۴ تعیین کرد. جدول ۳،



شکل ۳. مقادیر تبخیر- تعرق مرجع به روش فائو پنمن- مانتیث و تبخیر- تعرق واقعی گیاه گوجه‌فرنگی برای تیمارهای مختلف

شکل ۴. تغییرات ضریب گیاهی گیاه گوجه‌فرنگی در طول دوره رشد

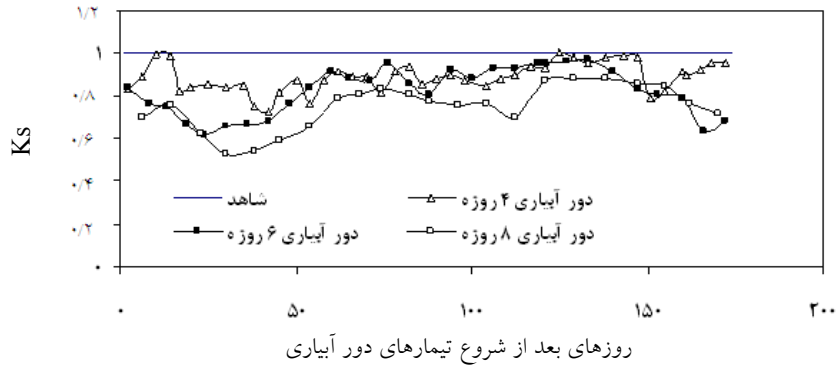
تبخیر- تعرق گیاه مرجع، تبخیر- تعرق واقعی، ضریب گیاهی و تنش آب در خاک را برای تیمارهای مختلف آبیاری نشان می‌دهد. تبخیر- تعرق با افزایش دور آبیاری کاهش یافته و مبین آن است که در واقع به گیاه تنش وارد شده است.

شکل ۵ ضرایب تنش برای تیمارهای مختلف در طول دوره رشد را نشان می‌دهد. میزان این ضریب در مرحله توسعه گیاه برای تیمارهای I_3، I_4، I_5 به ترتیب ۰/۸۵، ۰/۷۱و ۰/۶۲ تعیین شد. در مرحله میانی گیاه برای تیمارهای I_3، I_4، و I_5 به ترتیب ۰/۸۹، ۰/۹۱و ۰/۷۹ و هم‌چنین برای مرحله پایانی در تیمارهای I_3، I_4، و I_5 به ترتیب ۰/۹۱، ۰/۷۵و ۰/۷۶ محاسبه شد. ضریب تنش آب در خاک برای تیمار تحت تنش I_3، ۰/۸۸ به دست آمد و حداکثر ضریب تنش مربوط به تیمار I_5 می‌باشد که به طور متوسط در طول دوره رشد ۰/۷۲ بود.

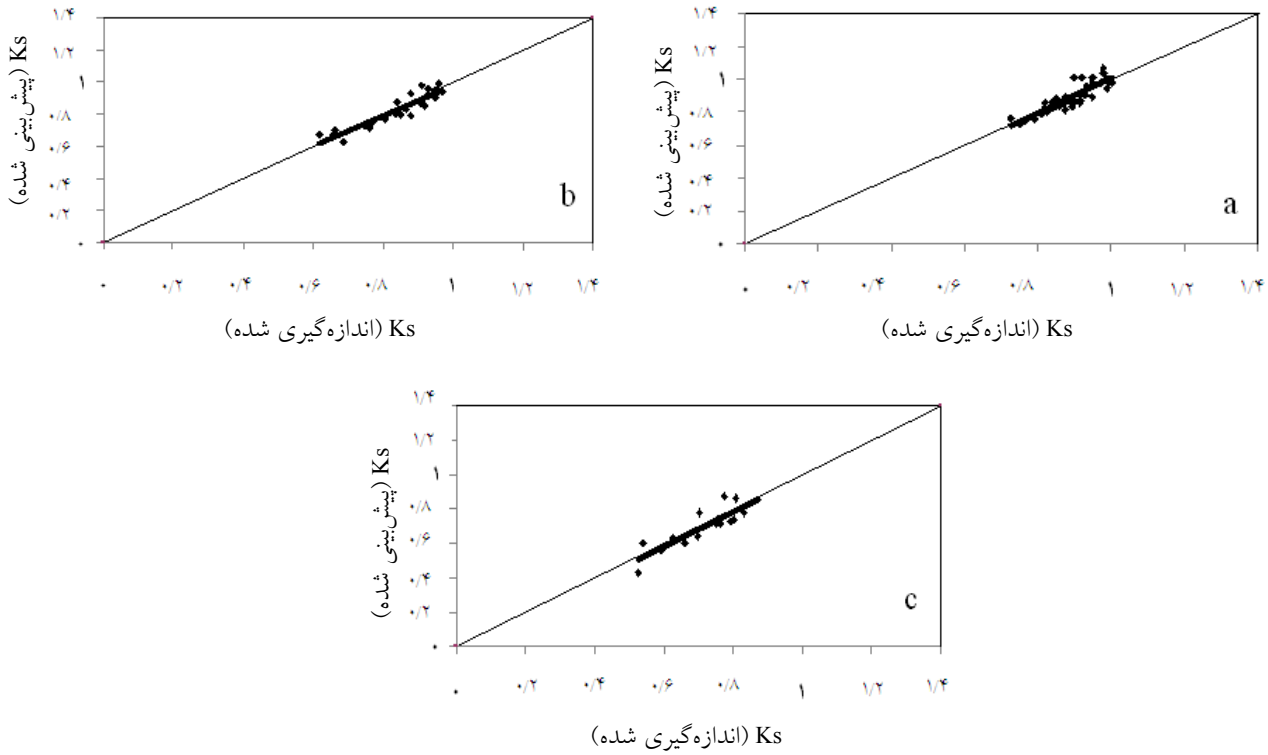
در شکل ۶ مقادیر K_s اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده (به

جدول ۳. مقادیر ضریب گیاهی، تبخیر- تعرق مرجع و تبخیر- تعرق برای تیمار شاهد و ضریب تنش برای تیمارهای مختلف در طول دوره رشد

ماه	دهه	شماره روز	مرحله رشد	تیمار شاهد ET_c (mm/day)	ضریب گیاهی K_c	ET_o (mm/day)	ضریب K_s			
							I_2	I_3	I_4	I_5
	۱	۱	توسعه	۲/۹۶	۰/۷۵	۳/۹۳	۱	۰/۸۲	۰/۸۴	۰/۶۹
خرداد	۲	۱۰	توسعه	۲/۹۵	۰/۷۸	۳/۸	۱	۰/۹۴	۰/۷۵	۰/۷۵
	۳	۱۱	توسعه	۳/۰	۰/۸۳	۳/۶۳	۱	۰/۸۸	/۷۰	۰/۶۲
	۱	۱۰	توسعه	۳/۸۵	۰/۹۳	۴/۱۳	۱	۰/۸۵	۰/۶۴	۰/۵۳
تیر	۲	۱۰	توسعه	۴/۷۵	۱/۱۹	۳/۹۷	۱	۰/۷۷	۰/۶۷	۰/۵۷
	۳	۱۱	میانی	۵/۲۴	۱/۲۶	۴/۲	۱	۰/۸۸	۰/۷۹	۰/۷۲
	۱	۱۰	میانی	۴/۶۵	۱/۲۶	۴/۰۲	۱	۰/۸۹	۰/۸۷	۰/۸۲
مرداد	۲	۱۰	میانی	۴/۲۲	۱/۱۴	۳/۷۰	۱	۰/۸۶	/۹۰	۰/۸۱
	۳	۱۱	میانی	۴/۱۱	۱/۰۸	۳/۸۰	۱	۰/۹	۰/۸۵	۰/۷۶
	۱	۱۰	میانی	۳/۹۱	۱/۰۸	۳/۶۰	۱	۰/۸۹	۰/۸۶	۰/۷۷
شهریور	۲	۱۰	میانی	۴/۰۷	۱/۰۸	۳/۷۲	۱	۰/۸۶	/۹۰	/۷۰
	۳	۱۱	میانی	۳/۷۸	۰/۹۵	۳/۹۸	۱	۰/۸۸	۰/۹۳	۰/۸۷
	۱	۱۰	میانی	۳/۵۶	۰/۹۳	۳/۸۳	۱	۰/۸۵	۰/۹۵	۰/۸۸
مهر	۲	۱۰	پایانی	۲/۹۹	۰/۸۲	۳/۶۳	۱	۰/۹۶	۰/۹۷	۰/۸۵
	۳	۱۰	پایانی	۲/۸۸	۰/۸۳	۳/۴۴	۱	۰/۹۸	۰/۹۱	۰/۸۵
	۱	۱۰	پایانی	۲/۳۵	۰/۷۶	۳/۰۶	۱	۰/۸۶	۰/۸۷	۰/۷۶
آبان	۲	۱۰	پایانی	۲/۲۸	۰/۷۸	۲/۲۸	۱	۰/۹۱	/۷۰	۰/۷۲
	۳	۱۰	پایانی	۱/۹۱	۰/۷۶	۲/۰۸	۱	۰/۹۵	۰/۶۸	۰/۷۱



شکل ۵. ضریب تنش آب خاک در تیمارهای مختلف در طول دوره رشد



شکل ۶. مقادیر اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده ضریب تنش آب خاک برای تیمارهای مختلف: (a) تیمار I_3، (b) تیمار I_4 و (c) تیمار I_5

دست آمده از معادله ۵) رسم شده است. با استفاده از آزمون F-test شیب خط مقادیر نسبت به خط ۱:۱ مقایسه گردید. نتایج نشان داد که بین این دو خط اختلاف معنی‌دار وجود ندارد.

نتیجه‌گیری

رابطه بین تبخیر- تعرق گیاه مرجع در داخل و خارج از گلخانه تعیین گردید. رطوبت خاک قبل از هر آبیاری با استفاده از روش وزنی تعیین گردید و حتی در بعضی موارد که تغییرات ذخیره آب در خاک بسیار ناچیز بود در معادله بیلان آب در خاک منظور گردید. میزان تبخیر- تعرق گیاه گوجه‌فرنگی با استفاده از روش بیلان آب در خاک در داخل گلخانه در طول دوره رشد اندازه‌گیری و برای تیمار شاهد ۵۹۱ میلی‌متر در طول فصل رشد تعیین گردید.

ضریب گیاهی گوجه‌فرنگی در مراحل مختلف رشد محاسبه گردید. برای تعیین دقیق تبخیر- تعرق گوجه‌فرنگی برای تیمارهای مختلف دور آبیاری در شرایط گلخانه، ضریب تنش آب در خاک نیز برای تیمارهای مختلف تعیین گردید. این ضریب به طور متوسط برای تیمار I_3 (دور آبیاری ۴ روزه) که دچار تنش شد، ۰/۸۸ به‌دست آمد. ضریب گیاهی در داخل گلخانه با اعمال اطلاعات به‌دست آمده از پرژئومتر و آلبیدومتر برای مراحل توسعه، میانی و پایانی به ترتیب ۰/۸۵، ۱/۰ و ۰/۷۷ به‌دست آمد. با توجه به عدم گستردگی و تنوع زیاد گلخانه‌های موجود در کشور و نیز عدم مطالعات کافی در تعیین این ضرایب در گلخانه‌های موجود در کشور، می‌توان نتایج به‌دست آمده از این تحقیق را در برآورد دقیق‌تر نیاز آبی گیاه گوجه‌فرنگی در گلخانه‌های مشابه مورد استفاده قرار داد.

سپاسگزاری

بدینوسیله از کارمندان محترم بخش مهندسی آب دانشگاه شیراز، کارشناس محترم سازمان هواشناسی شیراز (آقای مهندس حقیقت) و دوستانی که در این تحقیق همکاری داشته‌اند تشکر و قدردانی می‌گردد.

منابع مورد استفاده

۱. دست پرچین، ب.، ح. دهقانی سانیج، ن. قهرمان و ع. لیاقت. ۱۳۸۹. برآورد تبخیر تعرق و ضرایب گیاهی (K_c) توت فرنگی در محیط گلخانه. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، گروه آبیاری و آبادانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تهران.

۲. قنادها، م.، م. زهراوی و ک. وحدتی. ۱۳۸۲. اصلاح گیاهان باغبانی. مؤسسه فرهنگی دیباگران تهران، ۳۴۴ صفحه.

۳. 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-الف): ۱۵۱-۱۶۰.

4. Allen, R.G., L.S. Pereira and M.R. Martin. 1998. Crop Evapotranspiration: Guidelines for Computing Crop Water Requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper 56, FAO, Rome, 300 p.
5. Blanco, F.F. and M.V. Folegatti. 2003. Evapotranspiration and crop coefficient of cucumber in greenhouse. Revista Brasileria de Engenharia Agricola Ambiental 7(2): 285-291.
6. Blanco, F.F. and M.V. Folegatti. 2004. Evaluation of evaporation- measuring equipment for estimating evapotranspiration within a greenhouse. Revista Brasileria de Engenharia Agricola Ambiental 8: 184-188.
7. Farias, J.R.B. and H. Bergamaschi. 1994. Evapotranspiration in the greenhouse. Revista Brasileira de Agrometeorologia 2: 17-22.
8. Harmanto, V.M.S., M.S. Babel and H.J. Tantau. 2005. Water requirement of drip irrigated tomatoes grown in greenhouse in tropical environment. Agric. Water Manage. 71: 225-242.
9. Monterro, J.I., N. Castilla, E. Gutierrez, E. Derave and F. Bretones. 1985. Climate under plastic in Almeria. ACTA 170: 227-234.
10. Orgaz, F., M.D. Fernandez, S. Bonachela, M. Gallardo and E. Fereres. 2005. Evapotranspiration of horticultural crops in an unheated plastic greenhouse. Agric. Water Manage. 72: 81-96.
11. Rosadi Afandi, B.R.A., M. Senge, K. Ito and J. Adomako. 2005. Critical water content and water stress coefficient of soybean (*Glycine max* [L.] Merr.) under deficit irrigation. Paddy Water Environ. 3: 219-223.
12. Rosenberg, N.J., M.S. McKennedy and P. Martin. 1989. Evapotrnspiration in a greenhouse warmed world: A review and a simulation. Agric. Forest Meteor. 47: 303-320.