

مقایسه تبخیر و تعرق مرجع روزانه محاسبه شده و واقعی در شرایط گلخانه‌ای در اقلیم نیمه خشک

سعید اکبری فرد^{1*}، بهرام بختیاری²، محمد میرحبیبی³ و عباس رضایی استخرنوی⁴

تاریخ دریافت: 1394/8/26 تاریخ پذیرش: 1394/12/12

چکیده

این مطالعه به منظور مقایسه مقدار حقیقی تبخیر و تعرق گیاه مرجع (چمن) با مقدار برآورد شده از روش‌های محاسباتی در گلخانه‌ای واقع در پنج کیلومتری شهرستان ماهان (در جنوب استان کرمان) با ارتفاع 1880 متر از سطح دریا اجرا شد. داده‌های هواشناسی شامل دماهای تر و خشک، میانگین روزانه دما، رطوبت نسبی، تشعشع خورشید و ساعات آفتابی از 22 آبان 1390 تا سوم فروردین ماه 1391 در محیط گلخانه برداشت شد. هم‌چنین مقدار حقیقی تبخیر و تعرق مرجع توسط دو عدد میکروولایسیمتر اندازه‌گیری گردید. تعداد 12 مدل به منظور محاسبه تبخیر تعرق مرجع مورد توجه قرار گرفت. علاوه بر این، میزان تبخیر توسط تشت تبخیر کوچک نیز در محیط گلخانه اندازه‌گیری گردید. نتایج نشان داد که از بین روش‌های مورد بررسی، روش فائو-24 تابشی با ضریب هم‌بستگی (r) 0/65، ریشه میانگین مربع خطا (RMSE) 0/81، شاخص توافق (d) 0/8 و هم‌چنین میانگین مطلق خطا (MAE) 0/65، مناسب‌ترین مدل در شرایط گلخانه‌ای در این اقلیم بوده است. روش مک‌کلود با ضریب هم‌بستگی (r) 0/11، ریشه میانگین مربع خطا (RMSE) 3/32، شاخص توافق (d) 0/32 و هم‌چنین میانگین مطلق خطا (MAE) 3/16 اختلاف معنی‌داری را در مقایسه با مقادیر میکروولایسیمتری در داخل گلخانه داشته است.

واژه‌های کلیدی: نشست تبخیر، چمن، گلخانه، چمن، میکروولایسیمتر

مقدمه

مؤلفه‌های اصلی بیلان آبی هر منطقه و عامل مهمی برای برنامه‌ریزی درست و مناسب آبیاری برای بهبود راندمان آب مصرفی در اراضی فاریاب می‌باشد. در این راستا تحقیقات زیادی برای ارائه مدل‌های ساده و درعین حال کاربردی برای تعیین تبخیر تعرق درون گلخانه انجام شده است. عابدی کوپایی و همکاران (1387 و 1390) با استفاده از میکروولایسیمتر در شرایط گلخانه‌ای و با استفاده از بیلان رطوبتی خاک به صورت وزنی، میزان تبخیر تعرق 3 گیاه خیار، گوجه‌فرنگی و فلفل را در مدت 7 ماه اندازه‌گیری کردند. آن‌ها یک معادله رگرسیونی غیرخطی مبتنی بر دمای متوسط روزانه، تشعشع خورشیدی و ارتفاع گیاه جهت برآورد تبخیر و تعرق مرجع ارائه نمودند. هم‌چنین در مطالعه‌ای دیگر میزان تبخیر و تعرق روزانه از تشت کلاس A در درون و بیرون گلخانه و تشت کاهش‌یافته در درون گلخانه را مورد مقایسه قرار دادند. نتایج حاکی از آن بود که برای محاسبه نیاز آبی با دقت بالا در درون گلخانه باید به‌جای استفاده از تشت کلاس A خارج، از تشت کاهش‌یافته یا تشت کلاس A در درون گلخانه استفاده گردد. امیری و همکاران (1387) به منظور ارزیابی استفاده از تشت‌های تبخیر برای تعیین نیاز آبی درون گلخانه

استان کرمان با متوسط بارش 150 میلی‌متر در سال در زمره مناطق خشک کشور طبقه‌بندی می‌شود. بنابراین آب مهم‌ترین عامل محدودکننده در افزایش تولیدات کشاورزی در این استان می‌باشد؛ بنابراین یکی از راه‌حل‌های موجود افزایش راندمان تولید، استفاده از کشت‌های متراکم (گلخانه‌ای) است. به منظور تعیین نیاز آبی گیاهان مرسوم گلخانه‌ای، تعیین تبخیر و تعرق مرجع (ET_o) از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. گیاه مرجع، چمن فرضی است که دارای خصوصیات ویژه‌ای می‌باشد. این گیاه باید دارای ارتفاع 15-8 سانتی‌متر بوده، سطح وسیعی را در برگرفته و به‌طور کامل و یکنواخت زمین را پوشش داده باشد، سبز و شاداب بوده و بدون محدودیت آب، تبخیر و تعرق آن صورت گیرد (علیزاده، 1383). تبخیر و تعرق یکی از

1-3 کارشناسی ارشد مهندسی منابع آب، دانشگاه شهید باهنر کرمان - انجمن پژوهشگران جوان، دانشگاه شهید باهنر کرمان

4-2 استادیار گروه مهندسی آب، دانشگاه شهید باهنر کرمان

* - نویسنده مسئول: (Email: Akbarifard_saeid@yahoo.com)

3/8 میلی‌متر و ضریب تشت تبخیر را برابر با 0/82 محاسبه کردند (Zhang et al., 2008). هم‌چنین پاول و همکاران در بلژیک مطالعاتی بر روی اثرات پارامترهای تاثیرگذار بر معادلات تبخیر و تعرق انجام دادند (Pauwels et al., 2006). در این پژوهش، 12 روش برآورد تبخیر و تعرق با مقادیر اندازه‌گیری شده میکرولاسیمتری در محیط گلخانه‌ای واقع در اقلیم کرمان مورد مقایسه قرار گرفت. هدف اصلی، پیشنهاد مناسب‌ترین معادله جهت محاسبه‌ی نیاز آبی گیاه مرجع چمن و ارائه ضریب تشت تبخیر کوچک در این شرایط بوده است.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در گلخانه‌ای شمالی - جنوبی واقع در مجتمع گلخانه‌ای ماهان کرمان با عرض جغرافیایی 30 درجه و 6 دقیقه شمالی، طول جغرافیایی 57 درجه و 18 دقیقه شرقی و ارتفاع 1880 متر از سطح دریا انجام گرفت. این گلخانه از نوع چند قلو و پوشش آن از جنس پلاستیک می‌باشد. داده‌های هواشناسی از تاریخ 1390/08/22 تا تاریخ 1391/01/03 در محیط گلخانه برداشت شده و به کمک آن‌ها، تبخیر و تعرق مرجع با استفاده از مدل‌های مورد مطالعه محاسبه گردید. داده‌های دما با استفاده از دو عدد دماسنج جیوه‌ای شامل دماسنج تر و دماسنج خشک روزانه در دو نوبت صبح و بعدازظهر گرفته شد و با استفاده از آن رطوبت نسبی روزانه نیز محاسبه شد. هم‌چنین شدت تابش خورشید توسط یک دستگاه تشعشع‌سنج مدل TES-1333R هم‌زمان با سایر داده‌ها اندازه‌گیری شد. بر اساس اندازه‌گیری‌های درون گلخانه در دوره مورد مطالعه، متوسط دمای هوا برابر 17 درجه سانتی‌گراد و متوسط رطوبت نسبی برابر 73 درصد اندازه‌گیری شد (شکل 1).

به‌منظور تعیین تبخیر و تعرق گیاه مرجع (چمن) از دو میکرولاسیمتر زهکش‌دار به قطر 40 و ارتفاع 60 سانتی‌متر و از جنس پلی‌اتیلن استفاده شد (شکل 2). پارامتر در صد ساعات روشنایی از ایستگاه هواشناسی ماهان واقع در پنج کیلومتری گلخانه مورد مطالعه دریافت و استفاده شد. پارامترهای R_a ، Δ و $e_{s_{min}}$ ، $e_{s_{max}}$ ، λ ، ρ_a و ρ_w با استفاده از فرمول‌های موجود در روش پنمن مانیت ASCE محاسبه گردیدند (Takakura et al., 2009). پس از تشکیل بانک اطلاعاتی در محیط نرم‌افزاری اکسل، مقدار تبخیر و تعرق با استفاده از هر یک از مدل‌های موردنظر محاسبه گردید.

در این مطالعه، تبخیر و تعرق حقیقی (لاسیمتری) با 12 مدل محاسباتی شامل مک‌کلود، جنسن-هیز، جنسن-هیز اصلاح‌شده، هارگریوز، هارگریوز-سامانی، تورک، مک‌کینک، پریستلی-تیلور، فائو-24 تابشی، پنمن 1948، تورک اصلاح‌شده و پنمن مانیت فائو 56 مقایسه گردید.

از دو تشت تبخیر کلاس A و یک تشت کوچک استفاده کردند. نتایج نشان داد که برای محاسبه نیاز آبی درون گلخانه بهتر است که از روش‌های تشت کوچک و تشت کلاس A در درون گلخانه استفاده شود. هم‌چنین به‌منظور تعیین بهترین روش نیاز آبی در گلخانه‌ای تحقیقاتی در دانشگاه صنعتی اصفهان، 4 روش محاسباتی تبخیر و تعرق گیاه مرجع چمن را مورد مقایسه قرار داده و نشان دادند که روش پنمن مانیت بیش‌ترین دقت و روش تابش خورشیدی کم‌ترین دقت را دارا می‌باشد (امیری و همکاران، 1390). رزمی و قائمی (1390) به‌منظور تعیین دقیق تبخیر و تعرق واقعی گوجه‌فرنگی در گلخانه، به بررسی ضریب گیاهی و ضریب تنش آبی خاک پرداختند. نتایج نشان داد که تبخیر و تعرق مرجع درون گلخانه 73 درصد، خارج گلخانه است. کریمی و همکاران (1386) نشان دادند که با استفاده از تشت تبخیر کلاس A در داخل گلخانه و روش تشعشع‌سنجی در بیرون از گلخانه می‌توان تبخیر تعرق داخل گلخانه را با دقت قابل قبولی برآورد کرد؛ اما با استفاده از مقادیر تبخیر اندازه‌گیری شده توسط تشت خارج از گلخانه تخمین میزان تبخیر تعرق داخل گلخانه دقت کم‌تری دارد. شوکلا و همکاران در مطالعه‌ای سه ساله در گلخانه‌ای واقع در منطقه نیمه گرمسیری فلوریدا به اندازه‌گیری تبخیر و تعرق گیاه هندوانه با استفاده از 4 لایسیمتر زهکش‌دار پرداختند. میانگین تبخیر و تعرق فصلی 278 میلی‌متر است (Shukla et al., 2013). تاکاکورا و همکاران بیان کردند که معادله بیان انرژی جهت برآورد تبخیر و تعرق در محیط گلخانه به طور موثری قابل استفاده می‌باشد (Takakura et al., 2009). ویلار و همکاران به ارزیابی سه مدل تبخیر و تعرق در شرایط گلخانه‌ای شامل دو محیط خنک‌کننده با سیستم مه‌پاشی و با سیستم فن و پوشال پرداختند. مقادیر برآورد شده تبخیر و تعرق با مقادیر اندازه‌گیری شده توسط جریان‌سنج شیره گیاهی مقایسه گردیدند. مقادیر برآورد شده با هر سه روش در سطح 5 درصد هیچ‌گونه تفاوت معنی‌داری با مقادیر جریان‌سنج شیره نداشتند (Villarreal et al., 2012). موریل و همکاران به بررسی توانایی روش پنمن مانیت جهت برآورد تبخیر و تعرق در داخل گلخانه پرداختند. نتایج نشان داد که محل اندازه‌گیری مؤلفه‌های اقلیمی، یک عامل تاثیرگذار بر نتایج می‌باشد. آن‌ها بیان کردند که دما و رطوبت موجود در مدل پنمن مانیت باید در داخل گیاه و نه در بالای سطح گیاه اندازه‌گیری شود که منجر به ایجاد مدل پنمن مانیت لایک شد (Morille et al., 2013). فراندز و همکاران به بررسی اثر پوشش گلخانه‌ای بر تبخیر و تعرق در اقلیم مدیترانه‌ای پرداختند و مشخص نمودند که عملیات رنگ‌آمیزی پوشش گلخانه در ماه‌های گرم، تبخیر و تعرق را به‌طور میانگین 21/4 درصد کاهش می‌دهد (Fernandez et al., 2010). ژانگ و همکاران در گلخانه‌ای واقع در شمال چین، تبخیر و تعرق مرجع را در طول مدت آزمایش 0/91 تا



شکل 2- میکروولایسیمتر مورد استفاده در شرایط گلخانه‌ای



شکل 1- نمای بیرونی گلخانه مورد مطالعه

می‌دهند.

$$ET = C_T (T - T_x) R_s \quad (2)$$

$$C_T = \frac{1}{45 - (h/137) + 365 / (es_{max} - es_{min})} \quad (3)$$

$$T_x = -2.5 - 0.14(es_{max} - es_{min}) - \frac{h}{500} \quad (4)$$

$$es_{max} = \exp\left(\frac{19.08T_{max} + 429.41}{T_{max} + 237.3}\right) \quad (5)$$

$$es_{min} = \exp\left(\frac{19.08T_{min} + 429.41}{T_{min} + 237.3}\right) \quad (6)$$

که در آن T میانگین روزانه دما ($^{\circ}C$)، T_{min} حداقل دمای روزانه هوا در سردترین ماه سال ($^{\circ}C$)، T_{max} حداکثر دمای روزانه هوا در گرم‌ترین ماه سال ($^{\circ}C$)، es_{max} فشار بخار اشباع به ازای حداکثر روزانه دمای هوا در گرم‌ترین ماه سال (mb)، es_{min} فشار بخار اشباع به ازای حداقل روزانه دمای هوا در سردترین ماه سال (mb)، h ارتفاع از سطح دریا (m) و R_s شدت تابش خورشیدی در دوره مورد نظر ($mm d^{-1}$) است.

مدل جنسن-هیز اصلاح شده

برای این که مشکل تخمین تابش خالص خورشیدی در معادله اصلی جنسن هیز رفع شود، معادله اصلاح شده جنسن هیز ارائه گردید (Jensen and Haise., 1963).

مدل هارگریوز

این مدل در مواردی قابل استفاده است که اطلاعات هواشناسی محدود باشد، از روش مزبور بیش تر در آمریکای لاتین و به منظور

در روش‌های محاسباتی از متغیرهای هواشناسی شامل دمای تر، دمای خشک، میانگین روزانه دما، رطوبت نسبی هوا و مقدار تشعشع خورشید استفاده شد. با توجه به استفاده از گرماساز گلخانه‌ای با جریان هوای 2000 فوت مکعب بر دقیقه جهت گرم کردن محیط، سرعت باد 0/5 متر بر ثانیه محاسبه شد و در معادلات تبخیر و تعرق منظور گردید.

اندازه‌گیری ET_o توسط میکروولایسیمتر

بیان آب ورودی و خروجی در میکروولایسیمترها با معادله 1 نشان داده می‌شود (امیری و همکاران، 1390).

$$P + I \pm Ro = ET_o + Dp \pm \Delta S \quad (1)$$

که در آن P بارندگی (mm) (در گلخانه برابر صفر)، I میزان آب ورودی (mm)، ET_o تبخیر و تعرق مرجع (mm)، Dp نفوذ عمقی (mm)، R_o رواناب سطحی (mm) (صفر در نظر گرفته می‌شود) و ΔS تغییر ذخیره رطوبتی (mm) می‌باشد، جهت اندازه‌گیری رطوبت از دستگاه تانسومتر استفاده شده است.

مدل‌های برآورد تبخیر و تعرق

مدل مک کلود

این روش برای محاسبه تبخیر و تعرق چمن گلف پیشنهاد گردیده است. این مدل در موسسه علوم کشاورزی و غذایی فلوریدا (IFAS) استفاده می‌گردد (McCloud, 1955).

مدل جنسن-هیز

جنسن و هیز بر اساس مشاهدات آب مصرفی نواحی غربی آمریکا، یک رابطه خطی به منظور برآورد ET_o بدست آوردند (Jensen and Haise., 1963). معادلات 2 الی 6 چگونگی محاسبات را نشان

مدل فائو-24 تابشی

دورنبوس و پروت یک روش تابشی به صورت معادله 12 با استفاده از تابش خورشید برای برآورد تبخیر و تعرق ارائه کردند. این روش از روش مک کینک (1957) اقتباس شده و برای مکان‌هایی که وسایل اندازه‌گیری باد و رطوبت نسبی در دسترس نیست و یا برآوردهای معقولی امکان‌پذیر نمی‌باشد، توصیه می‌گردد (Doorenbos and Pruitt., 1977).

$$\lambda(ET_o) = \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} (R_n - G) + \frac{\gamma}{\Delta + \gamma} \times 6.43(a + bu_2)(e_s - e_a) \quad (12)$$

که در آن ET_o تبخیر و تعرق گیاه مرجع ($mm\ d^{-1}$)، R_n شدت تابش خالص ($MJ\ m^{-2}\ d^{-1}$)، G شار گرمایی خاک ($MJ\ m^{-2}\ d^{-1}$) که مقدار این پارامتر نسبت به انرژی تابش خالص ناچیز بوده و بر اساس پیشنهاد فائو 56 برای فواصل روزانه صفر در نظر گرفته شد، λ گرمای نهان تبخیر ($MJ\ Kg^{-1}$)، γ ثابت سایکرومتری ($Kp\ ^\circ C^{-1}$)، Δ شیب منحنی فشار بخار اشباع ($Kp\ ^\circ C^{-1}$)، $e_s - e_a$ کمبود اشباع (Kp_a)، u_2 سرعت باد در ارتفاع 2 متری از سطح زمین ($m\ s^{-1}$) و a و b ثابت‌های تجربی که مقدارشان به ترتیب برابر با 1 و 0/537 است.

مدل پنمن-1948

در سال 1948 پنمن با استفاده از ترکیب روش‌های آئروپنمیک و توازن انرژی، روشی را برای محاسبه تبخیر و تعرق ارائه نمود که به روش ترکیبی یا معادله پنمن معروف است (معادله 13) (Penman., 1948).

$$\lambda ET_o = \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} (R_n - G) + \frac{\gamma}{\Delta + \gamma} f(u)(e_s - e_a) \quad (13)$$

که در آن ET_o تبخیر و تعرق گیاه مرجع ($mm\ d^{-1}$)، R_n شدت تابش خالص ($MJ\ m^{-2}\ d^{-1}$)، G شار گرمایی خاک ($MJ\ m^{-2}\ d^{-1}$)، λ گرمای نهان تبخیر ($MJ\ Kg^{-1}$)، γ ثابت سایکرومتری ($Kp\ ^\circ C^{-1}$)، Δ شیب منحنی فشار بخار اشباع ($Kp\ ^\circ C^{-1}$)، $e_s - e_a$ کمبود اشباع (Kp_a) و $f(u)$ تابع باد است.

مدل تورک اصلاح شده

تورک در سال 1961 معادله خود را به صورت معادله 14 اصلاح کرد (Turc., 1961).

$$ET_o = a_T \times 0.013 \frac{T_a}{T_a + 15} \times \frac{23.8856 \times R_s + 50}{\lambda} \quad (14)$$

که در آن ET_o تبخیر و تعرق گیاه مرجع ($mm\ d^{-1}$)، R_s تابش خورشیدی روزانه ($Cal\ cm^{-2}\ d^{-1}$)، T_a میانگین دمای روزانه ($^\circ C$)، λ گرمای نهان تبخیر ($MJ\ Kg^{-1}$) و a_T ضریبی است که برای رطوبت

برآورد آب مورد نیاز گیاهان استفاده می‌شود (Hargreaves and Samani., 1985).

مدل هارگریوز-سامانی

این روش به صورت معادلات 7 تا 9 از داده‌های لایسیمیتری چمن در ایالت دیویس کالیفرنیا در مدت 8 سال استنتاج شده و علت ارائه آن در دسترس نبودن داده‌های تابش خورشیدی بوده است (Hargreaves and Samani., 1985).

$$ET_o = 0.0162(k_T) \cdot R_a \cdot TD^{0.5} (T + 17.8) \quad (7)$$

$$K_T = 0.075(S / TD)^{0.5} \quad (8)$$

$$TD = (T_{max} - T_{min})^{0.5} \quad (9)$$

که در آن ET_o تبخیر و تعرق گیاه مرجع ($mm\ d^{-1}$)، R_a تابش

برون زمینی ($mm\ d^{-1}$) و S درصد ساعات روشنایی ($(\frac{n}{N}) \times 100$) است. همچنین T_{max} حداکثر دمای روزانه هوا ($^\circ C$)، T_{min} حداقل دمای روزانه هوا ($^\circ C$) و T میانگین دمای روزانه هوا ($^\circ C$) است.

مدل تورک

معادله تورک در مناطق غرب اروپا مورد استفاده قرار گرفته است. در داخل گلخانه به دلیل رطوبت دائمی بالای 50 درصد از فرمول 10 استفاده می‌شود (Turc., 1961).

$$ET_o = 0.013 \frac{T_a}{T_a + 15} (R_s + 50) \quad (10)$$

که در آن ET_o تبخیر و تعرق گیاه مرجع ($mm\ d^{-1}$)، R_s تابش خورشیدی روزانه ($Cal\ cm^{-2}\ d^{-1}$) و T_a میانگین دمای روزانه ($^\circ C$) می‌باشد.

مدل مک کینک

روش مک کینک بر اساس معادله 11 نتایج خوبی را در اقلیم‌های مرطوب و سرد داده ولی نتایج آن در مناطق خشک خیلی رضایت‌بخش نبوده است (Makkink., 1957).

$$ET_o = 0.61 \left(\frac{\Delta}{\Delta + \gamma} \right) \frac{R_s}{58.5} - 0.12 \quad (11)$$

که در آن ET_o تبخیر و تعرق گیاه مرجع ($mm\ d^{-1}$)، R_s تابش خورشیدی روزانه ($Cal\ cm^{-2}\ d^{-1}$)، Δ شیب منحنی فشار بخار اشباع هوا ($mbar\ ^\circ C^{-1}$) و γ ثابت سایکرومتری ($mbar\ ^\circ C^{-1}$) است.

مدل پریستلی-تیلور

پریستلی و تیلور یک معادله ترکیبی ساده شده برای استفاده در نواحی مرطوب پیشنهاد کردند (Priestley and Taylor., 1972).

نسبی بیش‌تر از 50% برابر 1 می‌باشد.

روش‌های آماری

برای مقایسه هر کدام از مدل‌ها با مقادیر اندازه‌گیری شده، شاخص‌های آماری ضریب هم‌بستگی (r)، ریشه میانگین مربع خطا (RMSE)، میانگین مطلق خطا (MAE) و شاخص توافق (d-index) محاسبه شد (Willmott, 1982). برای بررسی کارایی هر کدام از روش‌ها ابتدا با استفاده از جدول t-student مقدار بحرانی t استخراج شد. سپس این مقدار به جای t_0 در معادله 17 قرار گرفت و مقدار بحرانی r در سطح احتمال 95 درصد برابر 0/168 محاسبه شد (McCuen., 2002).

$$t_0 = \frac{r\sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r^2}} \quad (17)$$

داده‌های دو لایسیمتر با استفاده از آزمون t-test برای مقایسه دو گروه داده در نرم‌افزار سیگما پلات با یکدیگر مقایسه گردیدند. با توجه به این که P_{value} برابر 0/81 بدست آمد هیچ‌گونه اختلاف معنی‌داری بین داده‌های دو لایسیمتر وجود نداشته و لایسیمترها از لحاظ آماری یکسان بوده‌اند.

نتایج و بحث

با مقایسه داده‌های به‌دست آمده از تشت تبخیر کوچک با داده‌های میکرو لایسیمتری ضریب ماهانه تشت تبخیر محاسبه شد و به‌صورت نمودار ماهانه رسم گردید (شکل 4). میانگین ضریب تشت تبخیر کوچک در طول دوره مطالعه برابر با 0/73 به دست آمد. امبری و همکاران (1390) نیز با استفاده از تشت تبخیر کوچک در محیط گلخانه‌ای در منطقه اصفهان میانگین ضریب تشت تبخیر کوچک را نزدیک به 1 برآورد نمودند.

مدل پنمن-مانتیث فائو 56

در این روش محاسبه تبخیر و تعرق به‌صورت ساعتی یا روزانه می‌باشد که از معادله اصلی پنمن مانتیث و معادلات آترو دینامیک و مقاومت‌های سطحی بدست آمده است (معادله 15) (Allen et al., 1998).

$$ET_o = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u_2)} \quad (15)$$

که در آن ET_o تبخیر و تعرق گیاه مرجع (mm d^{-1})، R_n شدت تابش خالص ($\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$)، G شار گرمایی خاک ($\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$)، λ گرمای نهان تبخیر (MJ Kg^{-1})، γ ثابت سایکرومتری ($\text{Kp } ^\circ\text{C}^{-1}$)، Δ شیب منحنی فشار بخار اشباع ($\text{Kp } ^\circ\text{C}^{-1}$)، $e_s - e_a$ کمبود اشباع (Kpa)، u_2 سرعت باد در ارتفاع 2 متری از سطح زمین (m s^{-1}) و T میانگین دمای روزانه ($^\circ\text{C}$) در ارتفاع اسکرین است.

روش تشت تبخیر

در مطالعه حاضر از تشت کوچک استاندارد پیشنهادی ژان و همکاران استفاده شده است (Jhan et al., 1998). این تشت از جنس آهن گالوانیزه با قطر 60 سانتی‌متر و ارتفاع 20 سانتی‌متر بوده و توسط پژوهشگران ساخته شده است (شکل 3). معادله 16 چگونگی محاسبه تبخیر و تعرق مرجع را با استفاده از ضریب تشت نشان می‌دهد.

$$ET_o = K_p \times E_{\text{pan}} \quad (16)$$

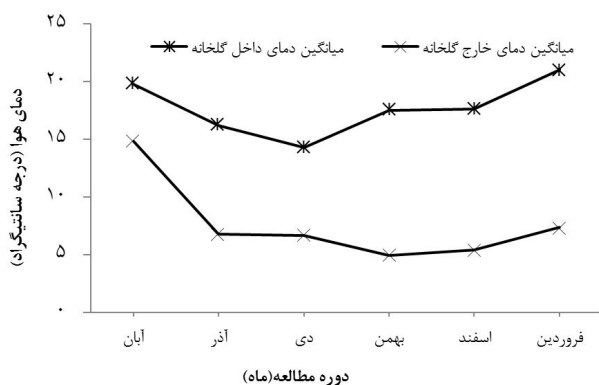
که در آن K_p ضریب تشت و E_{pan} تبخیر از تشت است.



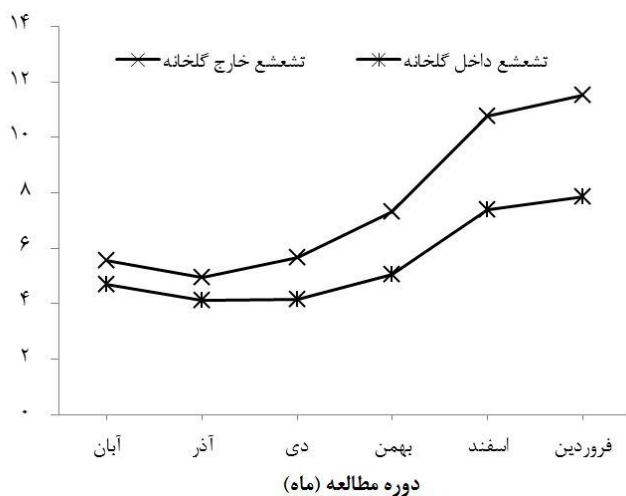
شکل 3- تشت تبخیر کوچک مورد استفاده

درجه سانتی گراد، دارای اختلاف 10 درجه سانتی گراد بوده است. بر اساس شکل 6 رطوبت نسبی منطقه مورد مطالعه دارای میانگین 37 درصد بوده که نشان دهنده اقلیم خشک منطقه مورد مطالعه می باشد. همان طور که در شکل 6 مشاهده می شود تغییرات رطوبت نسبی داخل گلخانه به تقریب ثابت و با میانگین 73 درصد بوده است. شکل 7 مقادیر میانگین ماهانه تشعشع در داخل و خارج محیط گلخانه را نشان می دهد. با توجه به شکل 7 مقادیر تشعشع داخل گلخانه 68 تا 85 درصد مقادیر متناظر در خارج گلخانه می باشد.

با توجه به مقدار r بحرانی $0/168$ در سطح 95 درصد، روش مک کلود با r محاسباتی $0/11$ و جنسن هیز اصلاح شده با r محاسباتی $0/15$ از لحاظ آماری فاقد همبستگی معنی دار، بین مقادیر مشاهداتی و برآورد شده هستند؛ اما بقیه روش های موجود در جدول 1 همبستگی معنی داری را نشان می دهند.



شکل 5- میانگین ماهانه دمای هوا درون و بیرون از گلخانه

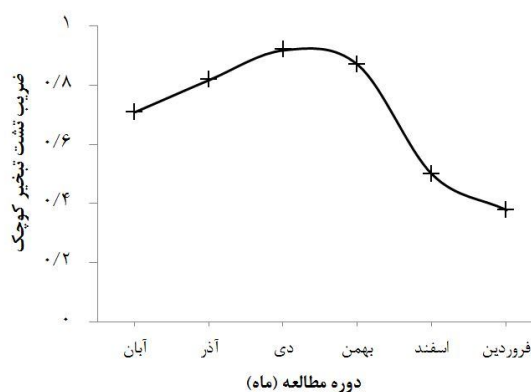


شکل 7- میانگین ماهانه تشعشع درون و بیرون از گلخانه

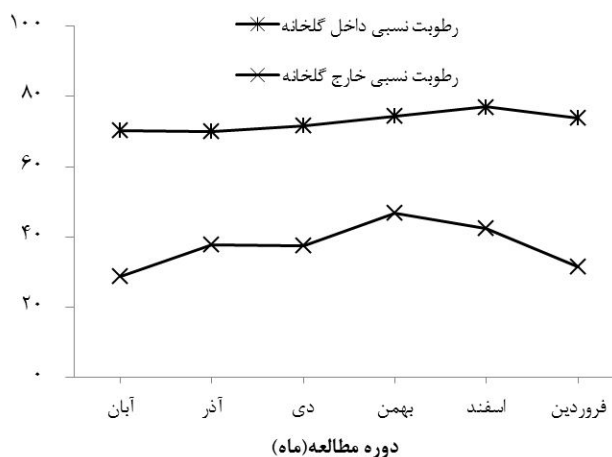
بر اساس شکل 4 ضریب تشتت تبخیر در سه ماهه اول دوره مطالعه سیر افزایشی داشته و در سه ماهه دوم آن روند کاهشی داشته است.

با مقایسه شکل های 4 و 5 افزایش ضریب تشتت در سه ماهه اول دوره مطالعه متناسب با کاهش دما بوده و کاهش آن در سه ماهه دوم دوره مطالعه متناسب با افزایش دما بوده است.

به منظور مقایسه پارامترهای هواشناسی در داخل و بیرون از محیط گلخانه، سه پارامتر دمای هوا، رطوبت نسبی و تشعشع با یکدیگر مقایسه گردیدند (شکل های 5، 6 و 7). با توجه به شکل 5 از آن جایی که دوره مورد مطالعه در فصل سرد سال قرار داشته و میانگین دمای هوای خارج از گلخانه با کاهش 10 درجه ای روبرو بوده است، تغییرات دمای داخل گلخانه کم و در حد 5 درجه ننگه داشته شده است. میانگین دمای هوای داخل گلخانه با مقدار $17/7$ درجه سانتی گراد نسبت به میانگین دمای هوای خارج گلخانه با مقدار $7/7$



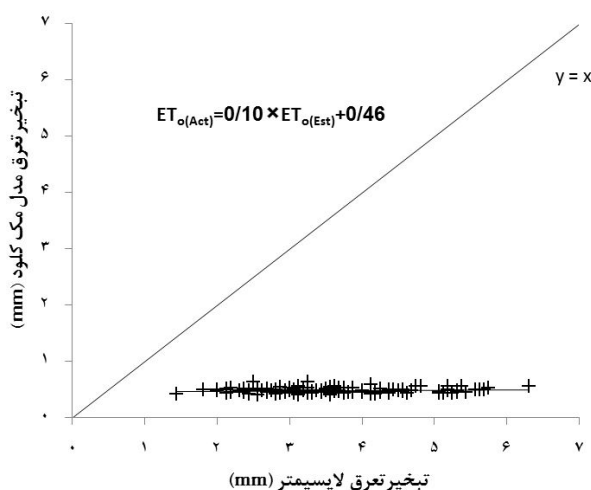
شکل 4- نمودار میانگین ماهانه ضریب تشتت تبخیر در گلخانه



شکل 6- میانگین ماهانه رطوبت نسبی درون و بیرون از گلخانه

پنمن مانیتیت ASCE، فائو 24 تابشی، مک کینک و پرستلی-تیلور برآورد مناسبی از تبخیر و تعرق مرجع در درون گلخانه داشته‌اند. هم-چنین بیان نمودند که مدل تورک با R^2 0/47 و RMSE 1/42 ضعیف‌ترین برآورد و مدل پنمن مانیتیت فائو 56 با R^2 0/61 و RMSE 1/39 بهترین برآورد تبخیر و تعرق را داشته‌اند.

بر اساس نتایج گزارش شده در جدول 1 و شکل 8 مشاهده می‌شود که مدل تابشی فائو 24 برآورد مناسبی از داده‌های میکرو لایسیمتری را نشان می‌دهد. با توجه به این که مدل مک کلود (شکل 9) یک مدل دمایی بوده و تنها به پارامتر دما وابسته است، در شرایط گلخانه‌ای که تشعشع خورشید تاثیر قابل توجهی بر مقدار تبخیر و تعرق دارد، این مدل مقادیر تبخیر و تعرق را بسیار کم برآورد کرده و به هیچ‌وجه مدل مناسبی جهت برآورد تبخیر و تعرق مرجع در شرایط گلخانه‌ای نمی‌باشد. شکل 10 مدل پنمن 1948 را نشان می‌دهد که دارای برآورد مناسبی است. با این تفاوت که مقادیر برآورد شده توسط آن اغلب کم‌تر از میزان حقیقی برآورد شده می‌باشد. مدل‌های مک کینک و پرستلی-تیلور (شکل‌های 12 و 13) نیز همانند روش پنمن دارای برآورد مناسبی بوده، ولی مقادیر برآورد شده آن‌ها به نسبت مقادیر میکرو لایسیمتری کم می‌باشد. مدل هارگریوز-سامانی (شکل 11) مقادیر میکرو لایسیمتری کم‌تر از 4 میلی‌متر را فرا برآورد و مقادیر میکرو لایسیمتری بیش‌تر از 4 میلی‌متر را فرو برآورد به نشان داده است. تکسیرا و همکاران بیان کردند که مدل‌های تورک، مک کینک، پرستلی-تیلور و هارگریوز-سامانی مقادیر تبخیر و تعرق را نسبت به مقادیر لایسیمتری کم‌تر برآورد می‌کنند. هم‌چنین بیان نمودند که مدل‌های پنمن مانیتیت و بلانی کریدل مقادیر تبخیر و تعرق را فرا برآورد گزارش کرده‌اند (Teixeira et al., 2008).



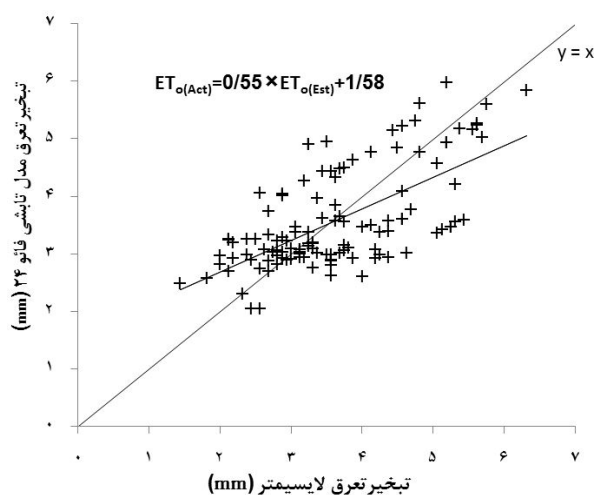
شکل 9- نمودار پراکنش داده‌های تبخیر و تعرق در مدل مک کلود

با مقایسه شاخص‌های آماری به دست آمده از روش‌های مورد بررسی (جدول 1) مشخص شد که روش‌های جنسن هیز، هارگریوز، تورک و تورک اصلاح شده در شرایط اقلیمی مورد مطالعه در داخل گلخانه برآورد دقیقی از خود نشان ندادند. در مقابل روش‌های مک کینک، پرستلی-تیلور، فائو 24 تابشی، پنمن 1948، هارگریوز-سامانی و پنمن مانیتیت فائو 56 در همان شرایط برآورد مطلوب‌تری داشته‌اند.

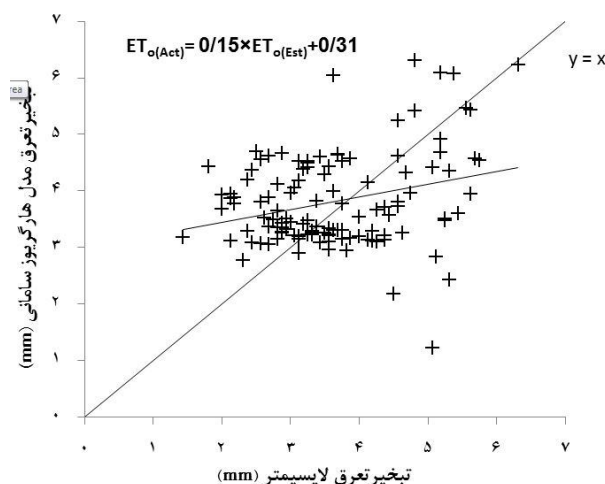
جدول 1- نتایج مربوط به پارامترهای آماری حاصل از مقایسه روش‌های مورد مطالعه با مقادیر میکرو لایسیمتری

روش‌های	R	RMSE	MAE	d
مک کلود	0/11	3/32	3/16	0/32
جنسن-هیز	0/42	2/45	2/26	0/41
جنسن-هیز اصلاح شده	0/15	1/85	1/54	0/43
هارگریوز	0/24	2/13	1/75	0/47
تورک	0/31	3/42	3/27	0/32
تورک اصلاح شده	0/65	2/9	2/76	0/37
مک کینک	0/68	1/38	1/17	0/62
پرستلی-تیلور	0/64	1/86	1/68	0/5
فائو-24 تابشی	0/65	0/81	0/65	0/8
پنمن 1948	0/67	1/44	1/23	0/6
هارگریوز-سامانی	0/28	1/14	0/9	0/57
پنمن-مانیتیت فائو 56	0/64	2/32	2/18	0/43

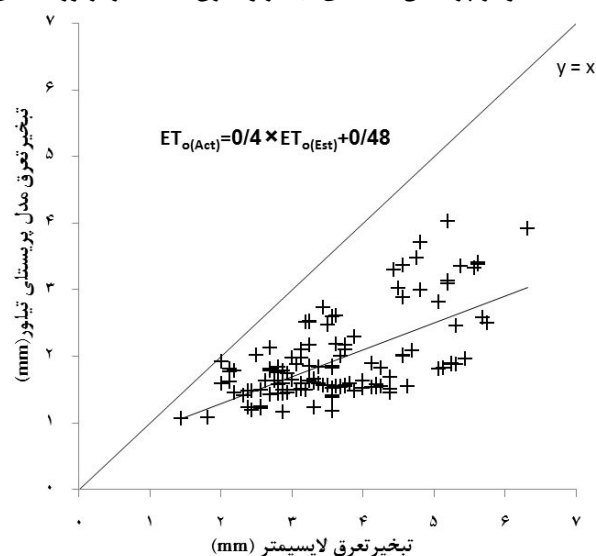
شهبابی فر و همکاران (1389) با ارزیابی چند روش محاسباتی تبخیر و تعرق گیاه مرجع درون گلخانه‌ای واقع در موسسه تحقیقات گیاه پزشکی کشور، نشان دادند که روش‌های پنمن مانیتیت فائو 56،



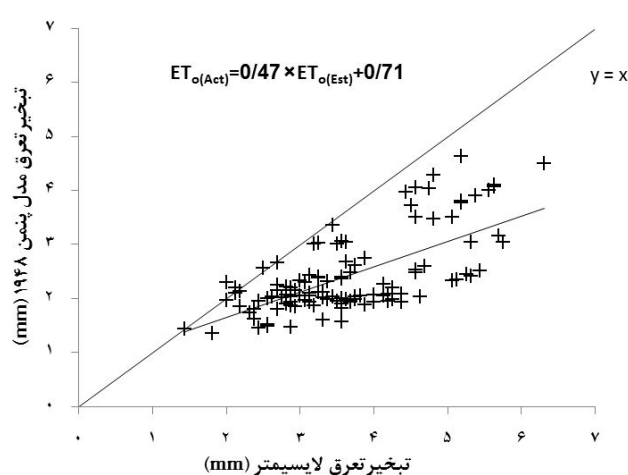
شکل 8- نمودار پراکنش داده‌های تبخیر و تعرق میکرو لایسیمتری در برابر تبخیر و تعرق مدل تابشی فائو 24



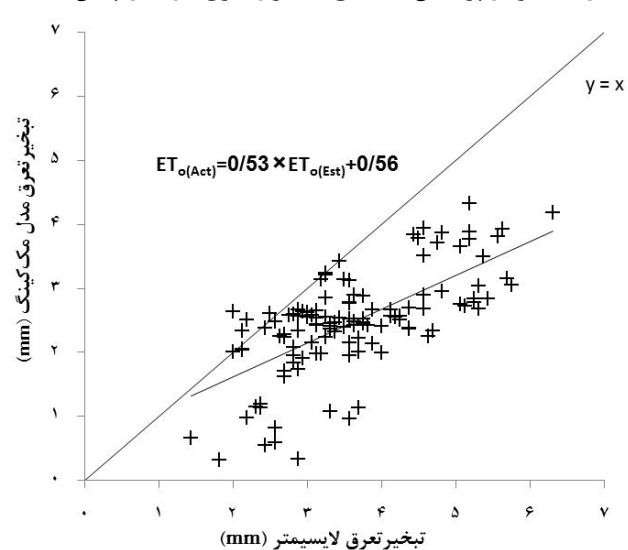
شکل 11- نمودار پراکنش داده‌های تبخیر و تعرق، مدل هارگریوز سامانی



شکل 13- نمودار پراکنش داده‌های تبخیر و تعرق، مدل پرستلی تیور



شکل 10- نمودار پراکنش داده‌های تبخیر و تعرق در مدل پنمن 1948



شکل 12- نمودار پراکنش داده‌های تبخیر و تعرق در مدل مک کینگ

نتیجه گیری

در این پژوهش 12 مدل محاسباتی تبخیر و تعرق مرجع چمن در مجتمع گلخانه‌ای ماهان در استان کرمان با مقادیر واقعی حاصل از میکرو لایسیمتر مقایسه گردید. نتایج نشان داد که مدل فائو 24 تابشی در شرایط مورد مطالعه با داشتن ضریب هم‌بستگی (r) 0/65، ریشه میانگین مربع خطا (RMSE) 0/81، شاخص توافق (d) 0/8 و هم-چنین میانگین مطلق خطا (MAE) 0/65 قوی‌ترین برآورد تبخیر و تعرق و مدل مک کلود با ضریب هم‌بستگی (r) 0/11، ریشه میانگین مربع خطا (RMSE) 3/32، شاخص توافق (d) 0/32 و میانگین مطلق خطا (MAE) 3/16 ضعیف‌ترین برآورد تبخیر و تعرق را داشته‌اند. امیری و همکاران (1387) با مقایسه چهار روش برآورد تبخیر و تعرق با داده‌های میکرو لایسیمتری در شرایط گلخانه‌ای در منطقه اصفهان، مدل پنمن مانیتیت را با R^2 0/8 و (RMSE) 0/723 بهترین مدل

جهت برآورد تبخیر و تعرق بیان کردند که با نتایج این تحقیق مطابقت ندارد.

به نظر می‌رسد با توجه به این که منطقه ماهان از نظر عرض جغرافیایی در ناحیه پایین تری قرار گرفته است و اثر تابش خورشید در درجه اهمیت بیش تری قرار می‌گیرد لذا توصیه می‌شود که در چنین ناحیه اقلیمی از مدل فائو 24 تابشی برای برآورد تبخیر و تعرق مرجع در داخل گلخانه استفاده شود. هم‌چنین به منظور استفاده از تشت تبخیر کوچک جهت برآورد تبخیر تعرق مرجع در شرایط گلخانه‌ای توصیه می‌گردد از میانگین ضریب تشت تبخیر برابر با 0/73 استفاده گردد.

منابع

امیری، م.ج، عابدی کوپایی، ج، اسلامیان، س.س و لندی، ا. 1387.

- Engineering in Agriculture. 1.2 :96-99.
- Jensen, M.E and Haise, H.R. 1963. Estimation of evapotranspiration from solar radiation. Journal of the Irrigation and Drainage Division. 89:15-41.
- Khan, L.P., Gil, J.A and Acosta, R. 1998. Design and performance of a hydraulic lysimeter for measurement of potential evapotranspiration. Biology, Geography & Health Sciences Research. 10.1: 11-17.
- Makkink, G.F. 1957. Testing the Penman formula by means of lysimeters. Journal of the Institution of Water Engineers. 11:277-288.
- McCloud, D.E. 1955. Water requirements of field crops in Florida as influenced by climate. Soil Science Society. 15:165-172.
- McCuen, R.H. 2002. Modeling Hydrologic Change: statistical methods. CRC Press, Boca Raton, pp: 1-448.
- Morille, B., Migeon, C and Bournet, P.E. 2013. Is the Penman-Monteith model adapted to predict crop transpiration under greenhouse conditions Application to a New Guinea Impatiens crop. Scientia Horticulturae 152:80-91.
- Pauwels, V and Samson, R. 2006. Comparison of different methods to measure and model actual evapotranspiration rates for a wet sloping grassland. Agricultural Water Management 82: 1-24.
- Penman, H.C. 1948. Natural evaporation from open water, bare soil and grass. Proceedings of the Royal Society A. 193:120-145.
- Priestley, C.H.B and Taylor, R.J. 1972. On the assessment of surface heat flux and evapotranspiration using large scale parameters. Monthly Weather Review. 100:81-92.
- Shukla, S., Shrestha, N.K., Jaber, H., Srivastava, S., Obreja, T.A and Boman, B.J. 2013. Evapotranspiration and crop coefficient for watermelon grown under plastic mulched conditions in sub-tropical Florida. Agricultural Water Management. 132:1-9.
- Takakura, T., Kubota, C., Sase, S., Hayashi, M., Ishii, M., Takayama, K., Nishina, H., Kurata, K and Giacomelli, G.A. 2009. Measurement of evapotranspiration rate in a single-span greenhouse using the energy-balance equation. Biosystems engineering. 102:298-304.
- Teixeira, J., Shahidian, Sh and Rolim, J. 2008. Regional analysis and calibration for the South of Portugal of a simple evapotranspiration model for use in an autonomous landscape irrigation controller. Wseas Transactions on Environment and Development. 8.4:676-686.
- Turc, L. 1961. Evaluation des besoins en eau
- مقایسه چند روش محاسباتی در تخمین نیاز آبی در گلخانه. سومین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران. 23 تا 25 مهر ماه. لوح فشرده. دانشکده مهندسی عمران. دانشگاه تبریز.
- امیری، م.ج، عابدی کوپایی، ج و اسلامیان، س.س. 1390. ارزیابی استفاده از تشت‌های تبخیر در محیط گلخانه. مجله علوم و فنون کشت‌های گلخانه ای. 2. 5: 63-72.
- رزمی، ز و قائمی، ع.ا. 1390. تعیین ضرایب گیاهی و تنش آب خاک گوجه فرنگی در شرایط گلخانه شیشه‌ای. مجله علوم و فنون کشت‌های گلخانه ای. 2. 7: 75-86.
- شهبابی فر، م، عصار، م، کوچک زاده، م و میرلطیفی، س.م. 1389. ارزیابی برخی از روش‌های محاسباتی تبخیر- تعرق گیاه مرجع چمن با استفاده از داده‌های لایسیمتری در شرایط گلخانه‌ای، مجله پژوهش آب در کشاورزی. 24, 1: 13-19.
- عابدی کوپایی، ج، اسلامیان، س.س، امیری، م.ج و رامین، ع.ا. 1387. مقایسه تبخیر و تعرق مرجع در درون و بیرون گلخانه شیشه‌ای. سومین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران. 23 تا 25 مهر ماه. دانشکده مهندسی عمران. دانشگاه تبریز.
- عابدی کوپایی، ج، اسلامیان، س.س و زارعیان، م.ج. 1390. اندازه‌گیری و مدل‌سازی نیاز آبی و ضریب گیاهی خیار، گوجه فرنگی و فلفل با استفاده از میکرو لایسیمتر در گلخانه. مجله علوم و فنون کشت‌های گلخانه ای. 2. 7: 51-63.
- علیزاده، ا. 1383. رابطه آب و خاک و گیاه، انتشارات آستان قدس رضوی، 470 صفحه.
- کریمی، ن، اشرف صدرالدینی، س.ع، ناظمی، ا.ج و فرسادی زاده، د. 1386. بررسی تبخیر و تعرق پتانسیل گیاه مرجع در گلخانه و ارتباط آن با پارامترهای آب هوایی در بیرون از گلخانه. نهمین سمینار سراسری آبیاری و کاهش تبخیر. بهمن 1386. کرمان.
- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D and Smith, M. 1998. Crop evapotranspiration Guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage. Paper no. 56. FAO, Rome.
- Doorenbos, J and Pruitt, W.O. 1977. Crop water requirements. FAO irrigation and drainage. Paper no. 24. FAO, Rome.
- Fernandez, M.D., Bonachela, S., Orgaz, F., Thompson, R., Lopez, J.C., Granados, M.R., Gallardo, M and Fereres, E. 2010. Measurement and estimation of plastic greenhouse reference evapotranspiration in a Mediterranean climate. Irrigation Science. 28:497-509.
- Hargreaves, G.L and Samani, Z.A. 1985. Reference crop evapotranspiration from temperature. Applied

Willmott,C.J. 1982. Some comments on the evaluation of model performance. Bull. American Meteorological Society. 63.11: 1309–1313.

Zhang,B., Kang,S., Li,F and Zhang,L. 2008. Comparison of three evapotranspiration models to Bowen ratio-energy balance method for a vineyard in an arid desert region of northwest China. Agricultural and forest meteorology. 148:1629-1640.

d'irrigation, evapotranspiration potentielle, formulation simplifiéetmise à jour. Annales Agronomique. 12.1: 13-49.

Villarreal-Guerrero,F., Kacira,M., Fitz-Rodriguez,E., Kubota,C., Giacomelli,G A., Linker,R and Arbel,A. 2012. Comparison of three evapotranspiration models for a greenhouse cooling strategy with natural ventilation and variable high pressure fogging. Scientia Horticulturae. 134:210–221.

Comparison Calculated and Actual Daily Reference Evapotranspiration in Greenhouse Conditions in a Semi-arid Climate

S.Akbarifard^{1*}, B.Bakhtiari², M. Mirhabibi³ and A. Rezaie Estakhroei⁴

Received: Nov.17, 2015

Accepted: Mar.2, 2016

Abstract

Reducing water consumption in greenhouses is one of the main concerns for growers. This study was conducted in order to compare actual grass reference evapotranspiration that measured with a micro-lysimeter with estimated values of the calculation methods. The site of the study is a greenhouse that located in five kilometers from city of Mahan (south of Kerman province) with altitude 1880 meters above sea level. Meteorological data have been measured in the greenhouse environment from 13 November 2011 to 22 March 2012. The reference evapotranspiration was measured by two micro-lysimeters. In this study, 12 Computational models have been considered. In order to use these methods, meteorological data, including wet and dry temperatures, mean daily temperature, relative humidity, solar radiation and sunshine duration were measured in the greenhouse. In addition, the amount of pan evaporation was measured by a reduced pan. The results showed that FAO-24 Radiation method having the best overall performance ($r=0.65$, $RMSE=0.81$, $d=0.8$, $MAE=0.65$) and Mc-Claude method did show significant differences under all conditions evaluated ($r=0.11$, $RMSE=3.32$, $d=0.32$, $MAE=3.16$) in this climate under greenhouse condition.

Keywords: Evaporation pan, Grass, Greenhouse, Micro-lysimeter

1,3- M. Sc.Student in Water Resources Engineering, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Shahid Bahonar University of Kerman and Young Researchers Society, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran
2,4- Assistant Professor., Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Shahid Bahonar University of Kerman, Iran

(*-Corresponding Author: Akbarifard_saeid@yahoo.com)