Archive of SID

مدیریت آب و آبیاری
دوره ۹ ■ شماره ۱ ■ بهار و تابستان ۱۳۹۸
صفحه‌های ۹۴-۸۱

مقایسه روش‌های لایسیمتری و محاسبه‌ای در تعیین نیاز آبی خرما

مجید علی‌حوری*
استادیار، پژوهشکده خرما و میوه‌های گرمسیری، مؤسسه تحقیقات علوم باغبانی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اهواز، ایران.
تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۸/۰۵/۱۳ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۸/۰۹/۱۰

چکیده

خرما یکی از مهم‌ترین محصولات باغبانی در ایران است. در این پژوهش پس از اندازه‌گیری میزان تبخیر- تعرق خرما توسط لایسیمتر در سال‌های اول تا سوم رشد گیاه که به‌ترتیب معادل ۲۷۴/۳، ۴۰۲/۷ و ۵۹۷/۲ میلی‌متر بود، مقادیر نیاز آبی برآوردشده با روش‌های پنمن- مانتیث فائو، بلانی- کریدل فائو، تشت تبخیر فائو، جنسن- هیز اصلاح شده و هارگریوز- سامانی مورد ارزیابی قرار گرفتند. بررسی آماری رگرسیون خطی معادلات تبخیر- تعرق نسبت به‌روش لایسیمتری نشان داد که تمام معادلات در سطح یک درصد معنی‌دار بودند. ضریب تعیین تعدیل‌شده (R^2_{adj}) بین ۰/۹۴ و ۰/۹۷ به‌ترتیب برای معادلات تشت تبخیر فائو و بلانی- کریدل فائو در نوسان بود، درحالی‌که کارایی مدل‌سازی (EF) از ۰/۹۳ در معادله پنمن- مانتیث فائو تا ۰/۹۵ در معادله بلانی- کریدل فائو متغیر بود. کم‌ترین و بیش‌ترین مقدار بیشینه خطای نسبی (ME) به‌ترتیب به معادله هارگریوز- سامانی و تشت تبخیر فائو و حداقل و حداکثر تفاوت نسبی بین مقادیر برآوردشده و اندازه‌گیری‌شده (nRMSE) به‌ترتیب به معادله بلانی- کریدل فائو و پنمن- مانتیث فائو تعلق یافت. کم‌ترین و بیش‌ترین ضریب جرم باقی‌مانده (CRM) نیز در معادلات بلانی- کریدل فائو و جنسن-هیز اصلاح‌شده وجود داشت. مقایسه معادلات تبخیر- تعرق نشان داد که معادله بلانی-کریدل فائو، دارای بیش‌ترین دقت برازش در شهرستان اهواز بود. البته روش‌های پنمن- مانتیث فائو و تشت تبخیر فائو نیز دقت خوبی داشتند.

کلیدواژه‌ها: آبیاری، تبخیر- تعرق، پنمن- مانتیث فائو، رگرسیون، ضریب تعیین.

Comparison of lysimetric and computational methods for determining water requirement of juvenile date palm

Majid Alihouri*
Assistant Professor, Date Palm and Tropical Fruits Research Center, Horticultural Sciences Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Ahvaz, Iran
Received: August 04, 2019 Accepted: December 01, 2019

Abstract

Date palm is an important horticultural crop in Iran. In this research, after measuring the amount of plant evapotranspiration during first to third years by lysimeter, equal 274.3, 402.7 and 597.2 mm, respectively, plant evapotranspiration was estimated by five methods of FAO Penman-Monteith, FAO Blaney-Criddle, FAO pan evaporation, corrected Jensen-Heise and Hargreaves-Samani. Statistical analysis of linear regression of evapotranspiration equations compared to lysimeter showed that all equations were significant at 1% level of probability. The adjusted coefficient of determination (R^2_{adj}) was between 0.94 (FAO pan evaporation) and 0.97 (FAO Blaney-Criddle), while modeling efficiency (EF) varied from 0.93 (FAO Penman-Monteith) to 0.95 (FAO Blaney-Criddle). Minimum and maximum of maximum error (ME) were related to Hargreaves-Samani and FAO pan evaporation equations, respectively. Minimum and maximum of normalized root mean square error (nRMSE) were in FAO Blaney-Criddle and FAO Penman-Monteith equations, respectively. Also maximum and minimum of coefficient of residual mass (CRM) were in FAO Blaney-Criddle and corrected Jensen-Heise equations, respectively. The FAO Blaney-Criddle equation had the most fitting accuracy in Ahvaz region. However, the methods of FAO Penman-Monteith and FAO evaporation pan had also well accurate.

Keywords: Coefficient of determination, Evapotranspiration, FAO Penman-Monteith, Irrigation, Regression.

* نویسنده مسئول
Email: alihouri_m@hotmail.com

www.SID.ir

Archive of SID

مقدمه

خرما یکی از مهم‌ترین محصولات باغبانی در ایران است که براساس آمار منتشرشده توسط وزارت جهاد کشاورزی، سطح زیر کشت و میزان تولید آن به‌ترتیب برابر ۲۵۰۱۳۷ هکتار و ۱۱۶۳۴۹۵ تن است. طبق گزارش سازمان جهانی خواربار و کشاورزی، ایران از نظر سطح زیرکشت (بارور) و تولید خرما رتبه دوم را در دنیا به خود اختصاص داده است. خرما در سیزده استان کشور کشت می‌شود که استان خوزستان با سطح زیرکشت ۳۴۷۹۵ هکتار یکی از مناطق عمده خرماخیز کشور است و با سهم ۱۳/۹ درصد از کل سطح زیرکشت خرما، در جایگاه سوم کشور قرار گرفته است. ارقام مختلفی از خرما در این استان کشت داده می‌شوند که رقم برحی یکی از مهم‌ترین ارقام تجاری است و در برنامه‌های اصلاح و احیای نخلستان‌ها و توسعه سطح زیرکشت خرما توصیه می‌شود (۲ و ۲۲).

روش‌هایی که برای تعیین تبخیر- تعرق به‌کار برده می‌شوند در دو گروه اصلی شامل روش‌های مستقیم و یا محاسبه‌ای (غیرمستقیم) قرار می‌گیرند. معمول‌ترین روش مستقیم در تعیین تبخیر- تعرق، استفاده از اصل بیلان آب در یک حجم کنترل‌شده از خاک یا لایسیمتر است. درحالی‌که در روش‌های محاسبه‌ای، با استفاده از داده‌های هواشناسی و ارتباط عوامل مختلف اقلیمی و گیاهی با تبخیر- تعرق و معادله‌هایی که قبلاً با روش‌های مستقیم واسنجی شده‌اند، تبخیر- تعرق پوشش گیاهی موردنظر تخمین زده می‌شود. غفاری‌نژاد (۱۷) ضمن توصیه آبیاری پاجوش (شاخساره یا نهالی را که از جوانه‌های ریشه نخل خرما چندساله یا بارور به‌وجود می‌آید) خرمای رقم مضافتی بر مبنای ۸۰ درصد تبخیر تجمعی از تشت تبخیر کلاس A، میزان نیاز آبی گیاه را در سال‌های اول تا سوم رشد به‌ترتیب معادل ۲۶۷۳، ۲۷۹۰ و۲۹۵۱ مترمکعب در هکتار برآورد نمود. در این مطالعه که برای منطقه بم (استان کرمان) انجام گرفت، تبخیر- تعرق گیاه براساس روش تشت تبخیر فائو محاسبه شد و آبیاری گیاه با روش قطره‌ای بود. علی‌حوری و تراهی (۱۴) میزان نیاز خالص آبیاری پاجوش خرمای رقم استعمران در شهرستان اهواز (استان خوزستان) را براساس روش تشت تبخیر فائو معادل ۱۹۱۲/۵ مترمکعب در هکتار برآورد نمودند. این یافته مربوط به سال اول رشد گیاه و روش آبیاری موضعی (بابلر) بود. در تحقیق دیگری، بیش‌ترین رشد رویشی پاجوش خرمای رقم برحی در سال‌های اول و دوم رشد هنگامی رخ داد که عملیات آبیاری براساس ۸۰ درصد تبخیر تجمعی از تشت تبخیر کلاس A انجام گرفت. بر این اساس، میزان نیاز خالص آبیاری در سال‌های اول و دوم رشد گیاه (با روش آبیاری بابلر) به‌ترتیب معادل ۱۸۵۴/۶ و ۲۸۱۱/۵ مترمکعب در هکتار برای شهرستان اهواز برآورد گردید (۱۱).

روش لایسیمتری معمولاً به‌دلیل دقت زیاد، به‌عنوان یک روش پایه و مبنا برای بررسی اعتبار سایر روش‌های برآورد تبخیر- تعرق می‌باشد. براساس تحقیقات انجام‌شده در دنیا، روش پنمن- مانتیث فائو نیز در مقایسه با لایسیمتر به‌عنوان روشی استاندارد، دقیق و مناسب برای محاسبه تبخیر- تعرق گیاه معرفی شده است (۱۵). مقایسه تبخیر- تعرق (مرجع) اندازه‌گیری‌شده از لایسیمتر وزنی و برآوردشده با ۱۱ روش مختلف در شرایط اقلیمی کرمان، نشان داد که روش‌های پنمن- مانتیث فائو و پنمن فائو اصلاح‌شده دارای بهترین برآورد و روش جنسن- هیز دارای کم‌ترین دقت بود (۱۶). براساس گزارش شریفان و همکاران (۸) نتایج روش پنمن- مانتیث فائو در مقایسه با داده‌های لایسیمتری و روش هارگریوز- سامانی در مقایسه با روش پنمن- مانتیث فائو از اعتبار خوبی برخوردار بود. مقایسه چهار روش پنمن- مانتیث فائو،

www.SID.ir

Archive of SID

ترک، هارگریوز و تشت تبخیر با داده‌های میکرولایسیمتری در منطقه اصفهان نشان داد که معادله پنمن- مانتیث فائو نسبت با سایر معادلات دارای دقت بیش‌تری در تخمین تبخیر- تعرق روزانه بود (۱۰). اندازه‌گیری میزان تبخیر- تعرق گیاه نخود در منطقه خرم‌آباد توسط لایسیمتر و مقایسه با مقادیر برآوردشده از روش‌های پنمن-مانتیث فائو و تشت تبخیر فائو، بیانگر برتری روش پنمن- مانتیث فائو بود (۲۴). بررسی مقادیر برآوردشده تبخیر- تعرق مرجع توسط شش روش محاسبه‌ای حاکی از آن بود که روش‌های پنمن- مانتیث فائو، بلانی کریدل فائو، تشعشع و کیمبرلی پنمن در مقایسه با داده‌های لایسیمتری برای منطقه رفسنجان به‌ترتیب اولویت قرار دارند (۲۵).

در مطالعه دیگری در شهرستان فریمان استان خراسان رضوی، مقادیر برآوردشده دو روش پنمن- مانتیث ASCE و پنمن- مانتیث فائو برای تبخیر- تعرق گیاه مرجع چمن در بازه زمانی یک‌ساعته و مجموع ۲۴ ساعته مقایسه شدند. مقادیر تبخیر- تعرق ساعتی پنمن- مانتیث ASCE حدود ۱۸ درصد بیش‌تر از تبخیر- تعرق ساعتی پنمن- مانتیث فائو ۵۶ بود. مقادیر تبخیر- تعرق مجموع ۲۴ ساعته پنمن- مانتیث فائو نسبت به مقادیر تبخیر- تعرق روزانه محاسبه‌شده از معادله پنمن- مانتیث فائو، حدود ۲/۶ درصد بیش برآورد داشت، درحالی‌که در روش پنمن- مانتیث ASCE، میزان بیش‌برآورد تبخیر- تعرق در حدود ۱۷ درصد بود (۹). مقایسه مقادیر تبخیر- تعرق گیاه مرجع (دشت اردبیل) برآوردشده توسط معادلات ترک، هارگریوز، پریستلی تیلور و بلانی کریدل فائو نسبت به معادله پنمن- مانتیث فائو بیانگر برتری معادله هارگریوز نسبت به سایر معادلات بود (۳). مقایسه ۱۷ روش محاسباتی تبخیر- تعرق مبنی بر درجه حرارت هوا با روش پنمن- مانتیث فائو (به‌عنوان روش مرجع) نشان داد که روش هارگریوز-M4 مناسب‌ترین روش برای اقلیم‌های خشک، نیمه‌خشک، مدیترانه‌ای، نیمه‌مرطوب، مرطوب و بسیار مرطوب و روش چندل نامناسب‌ترین روش برای همه اقلیم‌ها بود (۲۰). ولی ارزیابی روش‌های مختلف برآورد تبخیر- تعرق مرجع براساس روش‌های تابش خورشیدی در کشور، نشان داد که مدل‌های هانسن و آبتیو اصلاح‌شده در اقلیم خشک، مدل‌های ایرماک و هانسن در اقلیم نیمه‌خشک و مدل‌های تورک اصلاح‌شده و مکینگ۲ در اقلیم مدیترانه‌ای برآورد بهتری نسبت به روش‌های دیگر داشتند. در اقلیم‌های نیمه‌مرطوب، مرطوب و بسیار مرطوب، مدل‌های پریستلی- تیلور و ایرماک به‌عنوان مناسب‌ترین روش انتخاب شدند (۲۱). هم‌چنین با مقایسه و واسنجی چهار روش مختلف تخمین تبخیر- تعرق گیاه مرجع (حوضه دریاچه ارومیه) نسبت به‌روش پنمن- مانتیث فائو، روش‌های لیناکر، هارگریوز، بلانی کریدل و تورنت وایت به‌ترتیب در رده‌های اول تا چهارم قرار گرفتند (۴).

اما اندازه‌گیری تبخیر- تعرق چغندرقند با استفاده از لایسیمتر و مقایسه آن با روش‌های تجربی در شهرکرد نشان داد که از بین روش‌های تجربی، روش بلانی- کریدل فائو و پنمن- مانتیث فائو به‌ترتیب از دقت بیش‌تری برخوردار بودند (۱). بررسی روش‌های پیشنهادی سازمان جهانی خواربار و کشاورزی (FAO) شامل پنمن- مانتیث، بلانی- کریدل، پنمن، تابش و تشت تبخیر برای برآورد تبخیر- تعرق مرجع در منطقه کرکج تبریز، بیانگر اولویت روش تشت تبخیر نسبت به سایر روش‌ها از جمله پنمن-مانتیث و بلانی- کریدل بود (۲۶). ارزیابی روش‌های مختلف برآورد تبخیر- تعرق با داده‌های لایسیمتری برای شهرستان کرمان نشان داد که روش پنمن- مانتیث فائو در بازه ساعتی و روش کیمبرلی ۱۹۸۲ در بازه روزانه و ماهانه روش‌های برتر برای تخمین

www.SID.ir

Archive of SID

تبخیر-تعرق منطقه بودند (۶). برآورد میزان روزانه تبخیر- تعرق مرجع با روش‌های پنمن- کیمبرلی، هاگریوز- سامانی، پنمن و روش‌های پیشنهادی FAO در منطقه جیرفت نشان داد که در مقایسه با اندازه‌گیری لایسیمتری تبخیر- تعرق، معادله تشت تبخیر فائو از دقت بیش‌تر و معادله پنمن- کیمبرلی از دقت کم‌تری نسبت به سایر معادلات در تخمین میزان تبخیر- تعرق روزانه برخوردار بودند (۲۷). هم‌چنین بررسی دقت برآورد تبخیر- تعرق مرجع در مدل‌های پنمن مانتیث فائو، تابش فائو، پنمن اصلاح‌شده، هارگریوز، مک‌کینگ و پریستلی- تیلور در شهرستان سنندج با استفاده از داده‌های لایسیمتری نشان داد مدل پنمن اصلاح‌شده در تمامی دوره‌های محاسباتی (روزانه، ۱۰ روزه و ماهانه)، مقدار تبخیر- تعرق مرجع را با دقت بالاتری پیش‌بینی نمود و طول دوره محاسباتی تأثیر معنی‌داری بر دقت پیش‌بینی مدل‌های تبخیر- تعرق نداشت (۱۹).

به‌طورکلی بررسی منابع علمی مختلف نشانگر آن است که تاکنون مقدار دقیق تبخیر- تعرق یا نیاز آبی خرما در دوره رشد رویشی تعیین نشده و فقط توسط برخی پژوهشگران (۱۸) ضرایب کاهشی برای استفاده از نیاز آبی درختان بارور خرما (بر مبنای روش پنمن- مانتیث فائو) در مرحله رویشی پیشنهاد شده است. اما با توجه به این که تعیین دقیق نیاز آبی نخل خرما در مرحله رویشی با توجه به سطح زیرکشت ۳۸۱۵۰ هکتار نخلستان غیربارور در کشور، یکی از نیازهای ضروری برای رفع چالش‌های موجود در مسایل آبیاری و زهکشی نخلستان‌های کشور است، بنابراین در این تحقیق ضمن اندازه‌گیری میزان دقیق تبخیر- تعرق خرما در سال‌های اول تا سوم مرحله رشد رویشی با استفاده از لایسیمتر، روش‌های محاسبه‌ای در برآورد تبخیر- تعرق گیاه بر مبنای نتایج روش لایسیمتری مقایسه شدند.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در پژوهشکده خرما و میوه‌های گرمسیری واقع در اهواز به طول جغرافیایی $40^{\circ}48'$ شرقی و عرض جغرافیایی $31^{\circ}20'$ شمالی و با ارتفاع ۲۲/۵ متر از سطح دریا به‌مدت سه سال اجرا شد. سه لایسیمتر استوانه‌ای از جنس پلی‌اتیلن به قطر ۱۰۰ سانتی‌متر و عمق ۱۲۰ سانتی‌متر برای تعیین نیاز آبی خرما (رقم برحی) و یک لایسیمتر استوانه‌ای از جنس پلی‌اتیلن به قطر ۶۰ سانتی‌متر و عمق ۹۰ سانتی‌متر برای تعیین تبخیر-تعرق مرجع (چمن) ساخته شدند. در هر یک از لایسیمترها به فاصله پنج سانتی‌متر از کف آن، یک قطعه لوله پلی‌اتیلن به قطر ۲/۵۴ سانتی‌متر به‌عنوان لوله زهکش قرار گرفت که منافذی به قطر دو میلی‌متر بر جدار لوله ایجاد شد. درون لایسیمترها، ابتدا لوله زهکش توسط یک لایه فیلتر شنی به ضخامت ۱۵ سانتی‌متر پوشانده شد و در مرحله بعد، از خاک زراعی (جدول ۱) به‌همراه پنج کیلوگرم کود حیوانی پوسیده پر گردید. لازم به ذکر است که لایسیمترهای خرما و چمن در درون خاک یک نخلستان تازه احداث به وسعت ۹ هکتار استقرار یافتند که به‌منظور جلوگیری از ورود آب آبیاری حاشیه به داخل لایسیمترها، لبه هر لایسیمتر حدود ۱۰ سانتی‌متر بالاتر از سطح خاک قرار گرفت.

بعد از اتمام عملیات کاشت نهال‌های کشت بافتی خرما (یک‌ساله با ارتفاع ۳۱ سانتی‌متر)، عملیات از طریق یک لوله پلی‌اتیلن مجهز به کنتور حجمی انجام گرفت. آبیاری نهال‌های خرما، با استفاده از آب رودخانه کارون انجام گرفت که نمونه‌ای از آب آبیاری برای تعیین خصوصیات شیمیایی به آزمایشگاه ارسال گردید (جدول ۲). دور آبیاری براساس یافته‌های تحقیقاتی، در ماه اول، دوم و بقیه ایام سال به‌ترتیب پس از ۴۵، ۶۰ و ۷۵ میلی‌متر تبخیر تجمعی از تشت تبخیر کلاس A در نظر

www.SID.ir

Archive of SID

گرفته شد (۱۴). میزان اولیه آب آبیاری نیز براساس روش تشت تبخیر فائو برآورد شد.

لازم به ذکر است که استفاده از روش تشت تبخیر در این تحقیق، فقط برای تخمین آب موردنیاز در آبیاری لایسیمترهای خرما بود و تعیین دقیق میزان تبخیر- تعرق خرما، با استفاده از رابطه بیلان آب در خاک انجام شد. به‌منظور اطمینان از تأمین آب موردنیاز گیاه (واردنشدن تنش آبی به گیاه) و داشتن زه‌آب خروجی، حجم آب آبیاری با استفاده از معادله (۱) به مقدار ۲۰ درصد افزایش یافت (۲۹):

رابطه (۱) $V = 1.2\ (d\ .a)$

در این رابطه، V حجم آب آبیاری (لیتر)، d عمق خالص آبیاری یا تفاوت بین میزان تبخیر- تعرق گیاه و بارندگی (میلی‌متر) و a مساحت لایسیمتر (مترمربع) است. حجم زه‌آب خروجی از هر لایسیمتر بعد از جمع‌آوری در یک بشکه پلی‌اتیلن، توسط استوانه مدرج اندازه‌گیری شد. میزان تبخیر- تعرق واقعی خرما در هر آبیاری، نیز با استفاده از رابطه بیلان آب در خاک تعیین گردید:

رابطه (۲) $ET_c = I + P - RO - DP \pm \Delta S$

در این رابطه، ET_c تبخیر- تعرق گیاه (میلی‌متر)، I آب آبیاری (میلی‌متر)، P بارندگی (میلی‌متر)، RO رواناب سطحی که برابر صفر بود (میلی‌متر)، DP نفوذ عمقی یا زه‌آب جمع‌آوری‌شده از هر لایسیمتر (میلی‌متر) و ΔS تغییرات رطوبت خاک که با توجه به برنامه آبیاری، مقدار ماهانه آن برابر صفر بود (میلی‌متر).

در این پژوهش پس از تعیین میزان تبخیر- تعرق خرما توسط لایسیمتر در سال‌های اول تا سوم رشد گیاه، پنج روش پنمن- مانتیث فائو، بلانی- کریدل فائو، تشت تبخیر فائو، جنسن- هیز اصلاح‌شده و هارگریوز- سامانی برای برآورد نیاز آبی خرما مورد استفاده قرار گرفتند. به این منظور از نرم‌افزارهای Cropwat و Ref-ET برای محاسبه تبخیر- تعرق مرجع بهره گرفته شد.

روش پنمن- مانتیث فائو

این روش به‌عنوان یکی از معتبرترین روش‌ها برای تخمین تبخیر- تعرق گیاه مورد استفاده متخصصان قرار می‌گیرد. در این روش گیاه مرجع یک پوشش چمن فرضی است که ارتفاع آن ۱۲ سانتی‌متر و ضریب بازتاب تابش در آن ۲۳ درصد می‌باشد. مقاومت گیاهی نیز ثابت و برابر ۷۰ ثانیه بر متر است.

جدول ۱. نتایج تجزیه نمونه خاک

بافت خاک	وزن مخصوص (g/cm^3)	رطوبت جرمی ظرفیت زراعی (٪)	رطوبت جرمی نقطه پژمردگی (٪)	هدایت الکتریکی (dS/m)	نسبت جذب سدیم (SAR)
لوم شنی	۱/۳	۱۶/۸	۷/۶	۳/۹	۵/۶

جدول ۲. نتایج تجزیه آب آبیاری

کاتیون‌های محلول (میلی‌اکی‌والانت بر لیتر)			آنیون‌های محلول (میلی‌اکی‌والانت بر لیتر)			pH	SAR	EC (dS/m)
Mg^{2+}	Ca^{2+}	Na^{+}	SO_4^{2-}	HCO_3^{-}	Cl^{-}			
۹/۹	۴/۵	۱۱/۰	–	۲/۷	۱۸/۲	۸/۰	۴/۱	۲/۳

www.SID.ir

Archive of SID

رابطه (۳) $$ET_o = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma(\frac{890}{T+273})U_2(e_a - e_d)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34U_2)}$$

در این رابطه، ET_o تبخیر- تعرق مرجع (میلی‌متر در روز)، Δ شیب منحنی فشار بخار (کیلوپاسکال بر درجه سانتی‌گراد)، R_n تابش خالص در سطح پوشش گیاهی (مگاژول بر مترمربع بر روز)، G شار گرما به داخل خاک (مگاژول بر مترمربع بر روز)، γ ضریب رطوبتی (کیلوپاسکال بر درجه سانتی‌گراد)، T متوسط دمای هوا (درجه سانتی‌گراد)، U_2 سرعت باد در ارتفاع ۲ متری از سطح زمین (متر در ثانیه) و e_a-e_d کمبود فشار بخار (کیلوپاسکال) می‌باشد. برای محاسبه میزان تبخیر-تعرق گیاه به روش پنمن- مانتیث فائو از نرم‌افزار Cropwat استفاده شد.

روش بلانی-کریدل فائو

یکی از قدیمی‌ترین روش‌های تخمین تبخیر- تعرق مرجع است که فرمول پیشنهادی آنها توسط پروت[1] از اساتید دانشگاه کالیفرنیا مورد واسنجی قرار گرفت:

رابطه (۴) $$ET_o = a + b[P(0.46T + 8.13)]$$

در این رابطه، P ضریب مربوط به طول روز یا درصد سالانه تابش آفتاب در ماه، T متوسط ماهانه درجه حرارتی (درجه سانتی‌گراد) و a و b ضرایب اقلیمی می‌باشند.

روش تشت تبخیر فائو

تشت تبخیر یک وسیله ساده برای اندازه‌گیری مقدار تبخیر از یک سطح نسبتاً آزاد است. درصورتی‌که مقدار تبخیر از تشت در یک دوره زمانی مشخص برابر E_p باشد، تبخیر- تعرق مرجع در همان دوره برابر خواهد بود با:

رابطه (۵) $$ET_o = K_{pan} . E_p$$

در این رابطه، ضریب K_{pan} به ضریب تشت معروف است که مقدار آن براساس مقادیر ارائه‌شده از سوی سازمان جهانی خواربار و کشاورزی (FAO) تعیین گردید (۲۸).

روش جنسن- هیز اصلاح‌شده

معادله جنسن- هیز اصلاح‌شده به‌صورت زیر ارائه شده است:

رابطه (۶) $$ET_o = C_T (T - T_x) . K_T . R_a . TD^{0.5}$$

رابطه (۷) $$C_T = \frac{1}{45 - (\frac{h}{137}) + (\frac{365}{e_{s\,max} - e_{s\,min}})}$$

رابطه (۸) $$T_X = -2.5 - 0.14(e_{s\,max} - e_{s\,min}) - \frac{h}{500}$$

رابطه (۹) $$e_{s\,max} = \exp(\frac{19.08T_{max} + 429.41}{T_{max} + 237.3})$$

رابطه (۱۰) $$e_{s\,min} = \exp(\frac{19.08T_{min} + 429.41}{T_{min} + 237.3})$$

رابطه (۱۱) $$K_T = 0.075(\frac{S}{TD})^{0.5}$$

رابطه (۱۲) $$S = 100(\frac{n}{N})$$

در این روابط، T میانگین روزانه دما (درجه سانتی‌گراد)، T_{max} ماکزیمم روزانه دمای هوا در گرم‌ترین ماه سال (درجه سانتی‌گراد)، T_{min} می‌نیمم روزانه دمای هوا در گرم‌ترین ماه سال (درجه سانتی‌گراد)، $e_{s\,max}$ فشار بخار اشباع به‌ازای ماکزیمم روزانه دمای هوا در گرم‌ترین ماه سال (میلی‌بار)، $e_{s\,min}$ فشار بخار اشباع به‌ازای می‌نیمم روزانه دمای هوا در گرم‌ترین ماه سال (میلی‌بار)، h ارتفاع از سطح دریا (متر)، n تعداد ساعات واقعی آفتاب در دوره موردنظر، N حداکثر تعداد ساعت‌های آفتابی ممکن در دوره موردنظر، R_a تابش برون‌زمینی (میلی‌متر) و TD تفاوت میانگین دمای ماکزیمم و می‌نیمم روزانه می‌باشند.

روش هارگریوز- سامانی

در این روش نیز از معادله‌ای مشابه با روش جنسن- هیز اصلاح‌شده استفاده می‌شود:

1. Pruitt

www.SID.ir

Archive of SID

$$ET_o = 0.0023\ R_a\ .\ TD^{0.5}\ (T + 17.8)$$ رابطه (۱۳)

نیاز آبی گیاه

در تمام روش‌هایی که توسط آنها مقدار تبخیر- تعرق مرجع محاسبه می‌شود، برای آن که بتوان نتایج به‌دست‌آمده را به سطوح گیاهی موردنظر تعمیم داد لازم است مقادیر تبخیر- تعرق مرجع را در ضریب گیاهی (K_c) ضرب نمود. ضریب گیاهی منعکس‌کننده خصوصیات گیاه و یکی از عوامل مهم در برآورد نیاز آبی آن می‌باشد. به این منظور مقادیر ماهانه تبخیر- تعرق مرجع که با روش‌های پنمن- مانتیث فائو، بلانی- کریدل، تشت تبخیر فائو، جنسن- هیز اصلاح‌شده و هارگریوز- سامانی برآورد شد، در مقدار ضریب گیاهی مربوط به همان دوره زمانی (۱۲) ضرب شد تا میزان نیاز آبی خرما در سال‌های اول تا سوم رشد مشخص شود. در مرحله بعد، مقادیر نیاز آبی برآوردشده با روش‌های پنمن- مانتیث فائو، بلانی- کریدل، تشت تبخیر فائو، جنسن- هیز اصلاح‌شده و هارگریوز- سامانی با مقادیر اندازه‌گیری‌شده توسط لایسیمتر مورد مقایسه قرار گرفت. به این منظور بین مقادیر به‌دست‌آمده از هر یک از پنج روش مذکور $ET_{c\,(X)}$ و مقادیر روش لایسیمتری $ET_{c\,(L)}$ رگرسیون خطی برقرار شد:

$$ET_{c\,(L)} = mET_{c\,(X)} + b$$ رابطه (۱۴)

در این رابطه، m شیب خط و b عرض از مبدأ می‌باشد.

پس از تعیین ضرایب معادلات، از پنج شاخص آماری ضریب تعیین تعدیل‌شده[1] (R^2_{adj})، کارایی مدل‌سازی[2] (EF)، بیشینه خطای نسبی[3] (ME)، ریشه میانگین مربعات خطای نرمال‌شده[4] (nRMSE) و ضریب جرم باقی‌مانده[5] (CRM) برای ارزیابی و مقایسه این مدل‌ها استفاده گردید:

$$EF = \frac{\sum(O_i - \bar{O})^2 - \sum(P_i - O_i)^2}{\sum(O_i - \bar{O})^2}$$ رابطه (۱۵)

$$ME = Max\,|P_i - O_i|$$ رابطه (۱۶)

$$nRMSE = \sqrt{\frac{\sum(P_i - O_i)^2}{n}} \cdot \left(\frac{100}{\bar{O}}\right)$$ رابطه (۱۷)

$$CRM = \frac{\sum O_i - \sum P_i}{\sum O_i}$$ رابطه (۱۸)

در این روابط، P_i مقادیر برآوردشده، O_i مقادیر اندازه‌گیری‌شده، $\bar{O}$ میانگین مقادیر اندازه‌گیری‌شده و n تعداد مشاهدات است.

ضریب تعیین (R^2) مجذور ضریب همبستگی بین دو متغیر مستقل و وابسته است، با فرض این‌که همه متغیرهای مستقل بر متغیر وابسته تأثیر دارند. درصورتی‌که در ضریب تعیین اصلاح‌شده (R^2_{adj})، فقط تأثیر متغیرهای مستقل واقعی بر متغیر وابسته در نظر گرفته می‌شود. بنابراین هنگامی‌که هدف مقایسه دو یا چند مدل است، ضریب تعیین تعدیل‌شده مورد استفاده قرار می‌گیرد که اصلاح و تعدیل ضریب تعیین نمونه برای کل جامعه آماری است. شاخص EF نشان‌دهنده نسبت انحراف مقادیر شبیه‌سازی‌شده از اندازه‌گیری‌شده به انحراف مقادیر اندازه‌گیری‌شده از میانگین آنها می‌باشد. مقدار این ضریب هر چه به یک نزدیک‌تر باشد، مدل کاراتر است. ضریب ME نمایانگر چگونگی اجرای مدل است و مقدار زیاد آن حاکی از کارکرد ضعیف مدل می‌باشد. nRMSE بیانگر تفاوت بین مقادیر برآوردشده و اندازه‌گیری‌شده نسبت به میانگین مقادیر اندازه‌گیری شده است. هرچه این ضریب به صفر نزدیک‌تر باشد، عملکرد شبیه‌سازی مدل بهتر است. شاخص CRM نیز نشان‌دهنده تمایل مدل برای بیش‌برآوردی[6] و یا کم‌برآوردی[7] نسبت به مقادیر اندازه‌گیری شده است. اگر مقدار این ضریب منفی شود، تمایل مدل به برآوردهایی بیش‌تر از مقادیر اندازه‌گیری‌شده است. در حالت

1. Adjusted coefficient of determination
2. Modeling Efficiency
3. Maximum Error
4. Normalized Root Mean Square Error
5. Coefficient of Residual Mass
6. Overestimate
7. Underestimate

www.SID.ir

Archive of SID

کلی، چنان‌چه تمام مقادیر پیش‌بینی‌شده برابر مقادیر اندازه‌گیری شده باشند، آن‌گاه شاخص‌های R^2_{adj} و EF برابر یک و شاخص‌های ME، nRMSE و CRM برابر صفر خواهند بود (۳۰). نرم‌افزارهای مورداستفاده در این تحقیق برای تجزیه و تحلیل صفات اندازه‌گیری‌شده و تعیین پارامترهای مدل‌ها، SPSS Statistics 19 و Excel بودند و تیمارهای مختلف با آزمون چند دامنه‌ای دانکن مقایسه گردیدند.

نتایج و بحث

میانگین میزان تبخیر- تعرق خرما طی سال‌های اول تا سوم رشد که با استفاده از رابطه بیلان آب در خاک به‌دست آمد، در جدول ۳ ارائه شده است. در سال اول رشد، بیش‌ترین میزان تبخیر- تعرق خرما در مردادماه با ۴۴/۳ میلی‌متر و کم‌ترین میزان تبخیر- تعرق در دی‌ماه با ۶/۳ میلی‌متر وجود داشت. اما در سال‌های دوم و سوم رشد، بیش‌ترین میزان تبخیر- تعرق خرما به‌ترتیب با ۷۲/۶ و ۸۵/۴ میلی‌متر مربوط به تیرماه و کم‌ترین میزان تبخیر- تعرق به‌ترتیب با ۷/۷ و ۱۶/۶ میلی‌متر مربوط به دی‌ماه بود. مقدار کل تبخیر- تعرق یا نیاز آبی خرما در سال‌های اول تا سوم رشد به‌ترتیب معادل ۲۷۴/۳، ۴۰۲/۷ و ۵۹۷/۲ میلی‌متر به‌دست آمد. علت تفاوت در مقدار نیاز آبی خرما در سال‌های اول تا سوم رشد، باغی و دائمی بودن گیاه است.

میزان افزایش سالانه تبخیر- تعرق خرما از سال اول تا سال سوم به‌ترتیب برابر ۴۶/۸ و ۴۸/۳ درصد بود که بالارفتن سن گیاه و در نتیجه افزایش فعالیت‌های متابولیکی گیاه را می‌توان علت اصلی این روند صعودی تبخیر- تعرق خرما در سال‌های مختلف دانست.

نتایج رگرسیون خطی معادلات تبخیر- تعرق نسبت به روش لایسیمتری در جدول‌های ۴ و ۵ ارائه گردیده است. به‌منظور تعیین سطح معنی‌داربودن معادله رگرسیون تابع، از ضریب F جدول تجزیه واریانس استفاده شد که برای تمام معادلات در سطح یک درصد معنی‌دار گردید. ضریب تعیین تعدیل‌شده (R^2_{adj}) برای رگرسیون خطی بین ۰/۹۴ (معادله تشت تبخیر فائو) و ۰/۹۷ (معادله بلانی-کریدل فائو) در نوسان بود. کارایی مدل‌سازی (EF) از ۰/۹۳ برای معادله پنمن- مانتیث فائو تا ۰/۹۵ برای معادله بلانی- کریدل فائو متغیر بود، درحالی‌که کم‌ترین و بیش‌ترین مقدار بیشینه خطای نسبی (ME) به‌ترتیب به معادله هارگریوز- سامانی و تشت تبخیر فائو اختصاص یافت. حداقل تفاوت نسبی بین مقادیر برآوردشده و اندازه‌گیری‌شده (nRMSE) با ۶/۸۰ درصد به معادله بلانی- کریدل فائو و حداکثر آن با ۷/۹۹ درصد به معادله پنمن- مانتیث فائو تعلق یافت. کم‌ترین و بیش‌ترین ضریب جرم باقی‌مانده (CRM) نیز به‌ترتیب در معادله بلانی- کریدل فائو و جنسن- هیز اصلاح‌شده وجود داشت. مقدار ضریب جرم باقی‌مانده حاکی از آن است تمام معادلات به‌جز معادله تشت تبخیر فائو، میزان نیاز آبی خرما را بیش‌تر از میزان واقعی برآورد می‌کنند.

جدول ۳. میزان تبخیر- تعرق خرما در سال‌های اول تا سوم رشد (میلی‌متر)

ماه	سال اول	سال دوم	سال سوم
فروردین	۲۰/۲	۲۳/۰	۴۱/۲
اردیبهشت	۲۵/۶	۲۸/۷	۵۲/۳
خرداد	۳۶/۱	۶۲/۶	۷۶/۳
تیر	۴۰/۸	۷۲/۶	۸۵/۴
مرداد	۴۴/۳	۶۹/۵	۸۵/۳
شهریور	۴۰/۰	۵۷/۹	۷۴/۰
مهر	۲۱/۷	۳۵/۱	۶۰/۹
آبان	۱۱/۳	۱۳/۷	۳۸/۳
آذر	۶/۸	۹/۱	۱۸/۸
دی	۶/۳	۷/۷	۱۶/۶
بهمن	۸/۱	۸/۷	۱۹/۶
اسفند	۱۳/۱	۱۴/۱	۲۸/۵
مجموع	۲۷۴/۳	۴۰۲/۷	۵۹۷/۲

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۴. ضرایب رگرسیون خطی معادلات تبخیر- تعرق نسبت به روش لایسیمتری

معادله	m	b	F
پنمن- مانتیث فائو (PM)	۱/۰۴	-۰/۱۵	۸۱۸/۶ **
بلانی- کریدل فائو (BC)	۰/۷۷	-۰/۱۲	۱۱۱۰/۴ **
تشت تبخیر فائو (Pan)	۰/۸۷	۰/۵۱	۵۷۷/۰ **
جنسن- هیز اصلاح شده (JH)	۰/۸۸	-۰/۳۱	۸۴۲/۶ **
هارگریوز- سامانی (HS)	۱/۳۳	-۰/۳۰	۹۷۱/۲ **

**: معنی‌دار در سطح یک درصد

جدول ۵. شاخص‌های آماری محاسبه‌شده برای معادلات مختلف تبخیر- تعرق

معادله	R^2_{adj}	EF	ME	nRMSE	CRM	امتیاز (رتبه)
پنمن- مانتیث فائو (PM)	۰/۹۶ (۴*)	۰/۹۲ (۲)	۱/۴۸ (۳)	۷/۹۹ (۱)	$-۳/۰۳\times۱۰^{-۲}$ (۳)	۱۳ (۴)
بلانی- کریدل فائو (BC)	۰/۹۷ (۵)	۰/۹۵ (۵)	۱/۱۸ (۴)	۶/۸۰ (۵)	$-۲/۰۹\times۱۰^{-۲}$ (۵)	۲۴ (۱)
تشت تبخیر فائو (Pan)	۰/۹۴ (۳)	۰/۹۴ (۴)	۱/۶۴ (۱)	۷/۳۶ (۳)	$۲/۲۵\times۱۰^{-۲}$ (۴)	۱۴ (۳)
جنسن- هیز اصلاح‌شده (JH)	۰/۹۶ (۴)	۰/۹۳ (۳)	۱/۴۹ (۲)	۷/۷۰ (۲)	$-۵/۴۷\times۱۰^{-۲}$ (۱)	۱۲ (۵)
هارگریوز- سامانی (HS)	۰/۹۷ (۵)	۰/۹۴ (۴)	۱/۰۹ (۵)	۶/۹۹ (۴)	$-۳/۶۱\times۱۰^{-۲}$ (۲)	۲۰ (۲)

*: امتیاز شاخص آماری

به‌منظور ارزیابی معادلات تبخیر- تعرق، هر یک از معادلات براساس شاخص‌های آماری تعریف‌شده رتبه‌بندی شدند (جدول ۵). به این ترتیب به معادله‌ای که بیش‌ترین مقدار هر یک از شاخص‌های ضریب تعیین تعدیل‌شده (R^2_{adj}) و کارایی مدل‌سازی (EF) و یا کم‌ترین مقدار هر یک از شاخص‌های بیشینه خطای نسبی (ME)، ریشه میانگین مربعات خطای نرمال‌شده (nRMSE) و ضریب جرم باقی‌مانده (CRM) را داشت، امتیاز پنج تعلق گرفت و معادله‌ای که کم‌ترین مقدار R^2_{adj} و EF و یا بیش‌ترین مقدار ME، nRMSE و CRM را دارا بود، امتیاز یک دریافت نمود.

مقایسه امتیاز معادلات مختلف نشان داد که معادله بلانی- کریدل فائو، دارای بیش‌ترین دقت برازش بود. بنابراین در شرایط اقلیمی اهواز و سایر مناطق خرماخیز با شرایط آب‌وهوایی مشابه، می‌توان با استفاده از روش بلانی- کریدل فائو و معادله رگرسیون خطی زیر میزان تبخیر- تعرق یا نیاز آبی خرما را با دقت مناسبی برآورد نمود:

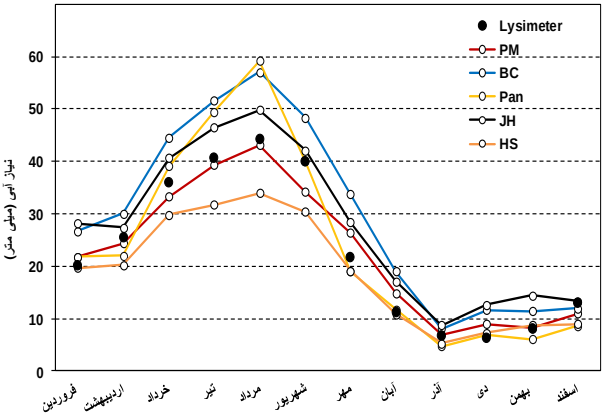
رابطه (۱۹) $ET_{c\,(L)} = 0.77\ ET_{c\,(BC)} - 0.12$

در مطالعه دیگری نیز مقایسه رگرسیون خطی بین مقادیر برآوردشده نیاز آبی خرما در سال اول رشد با روش‌های بلانی- کریدل فائو، تشت تبخیر فائو، جنسن- هیز اصلاح‌شده و هارگریوز- سامانی حاکی از آن بود که روش بلانی- کریدل فائو بیش‌ترین مطابقت را با روش پنمن- مانتیث فائو داشت (۱۳). هم‌چنین مقایسه مقادیر برآوردشده تبخیر- تعرق مرجع از ۱۴ روش مختلف با تبخیر- تعرق اندازه‌گیری‌شده توسط لایسیمتر در شهرستان همدان بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار بین میزان برآوردشده روش بلانی- کریدل فائو با اندازه‌گیری لایسیمتری بود (۷).

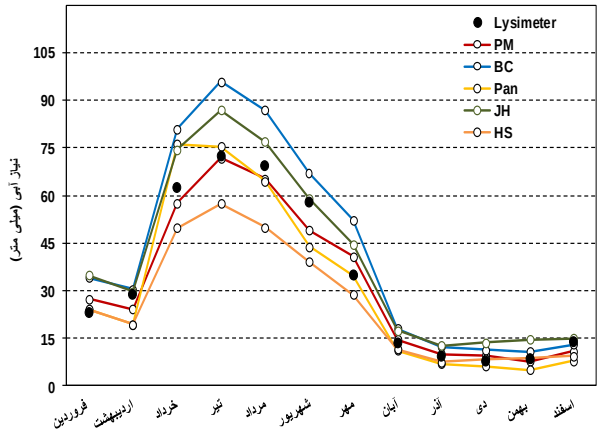
روند تغییرات ماهانه نیاز آبی خرما براساس روش لایسیمتری و معادلات تبخیر- تعرق، در شکل‌های ۱ تا ۳ ارائه شده است. در سال اول رشد گیاه، میزان نیاز آبی براساس روش‌های پنمن- مانتیث فائو، بلانی- کریدل فائو، تشت تبخیر فائو، جنسن- هیز اصلاح شده و هارگریوز- سامانی به‌ترتیب برابر ۲۷۲/۲، ۳۵۳/۹، ۲۸۸/۳، ۳۲۸/۸ و ۲۲۵/۸ میلی‌متر بود.

www.SID.ir

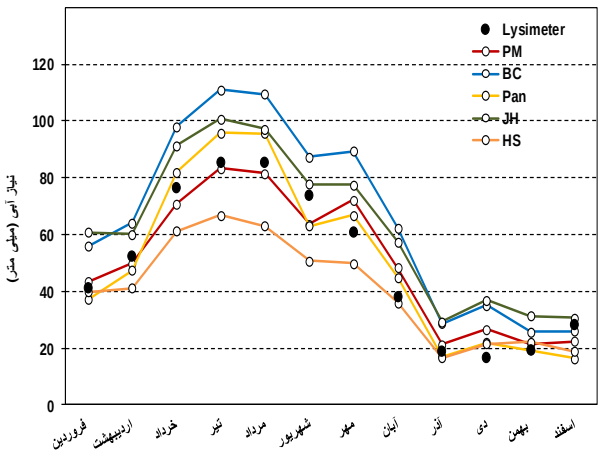
Archive of SID



شکل ۱. نیاز آبی ماهانه خرما براساس روش‌های لایسیمتری و محاسبه‌ای در سال اول رشد



شکل ۲. نیاز آبی خرما براساس روش‌های لایسیمتری و محاسبه‌ای در سال دوم رشد



شکل ۳. نیاز آبی خرما براساس روش‌های لایسیمتری و محاسبه‌ای در سال سوم رشد

www.SID.ir

Archive of SID

چنان‌چه مقادیر نیاز آبی برآوردشده با مقدار نیاز آبی اندازه‌گیری‌شده توسط لایسیمتر (۲۷۴/۳ میلی‌متر) مقایسه شوند، میزان برآورد هر یک از روش‌های پنمن- مانتیث فائو، بلانی- کریدل فائو، تشت تبخیر فائو، جنسن- هیز اصلاح‌شده و هارگریوز- سامانی نسبت به‌روش لایسیمتری به‌ترتیب معادل ۱۰۰، ۱۲۹، ۱۰۵، ۱۲۰ و ۸۳ درصد است. به‌طوری‌که مشاهده می‌شود روش‌های پنمن- مانتیث فائو و تشت تبخیر فائو کم‌ترین اختلاف را نسبت به روش لایسیمتری دارند.

اما در سال دوم رشد، میزان نیاز آبی گیاه در روش‌های پنمن- مانتیث فائو، بلانی- کریدل فائو، تشت تبخیر فائو، جنسن- هیز اصلاح‌شده و هارگریوز- سامانی به‌ترتیب برابر ۳۸۹/۱، ۵۱۳/۱، ۳۷۵/۶، ۴۷۹/۹ و ۳۱۳/۹ میلی‌متر بود. مقایسه این مقادیر با میزان نیاز آبی اندازه‌گیری‌شده توسط لایسیمتر (۴۰۲/۷ میلی‌متر) نشان می‌دهد که میزان برآورد روش‌های پنمن- مانتیث فائو، بلانی- کریدل فائو، تشت تبخیر فائو، جنسن- هیز اصلاح‌شده و هارگریوز- سامانی به‌ترتیب معادل ۹۷، ۱۲۸، ۹۳، ۱۱۹ و ۷۸ درصد روش لایسیمتری است. در سال دوم نیز روش‌های پنمن- مانتیث فائو و تشت تبخیر فائو دارای کم‌ترین اختلاف نسبت به‌روش لایسیمتری هستند.

در سال سوم رشد، میزان نیاز آبی با روش‌های پنمن- مانتیث فائو، بلانی- کریدل فائو، تشت تبخیر فائو، جنسن- هیز اصلاح‌شده و هارگریوز- سامانی به‌ترتیب برابر ۶۰۴/۸، ۷۹۳/۱، ۶۰۷/۳، ۷۵۱/۰ و ۴۸۷/۵ میلی‌متر بود. بررسی مقادیر نیاز آبی برآوردشده با میزان نیاز آبی اندازه‌گیری‌شده توسط لایسیمتر (۵۹۷۱/۵ میلی‌متر) حاکی از آن است که میزان برآورد هر یک از روش‌های پنمن- مانتیث فائو، بلانی- کریدل فائو، تشت تبخیر فائو، جنسن- هیز اصلاح‌شده و هارگریوز- سامانی نسبت به‌روش لایسیمتری به‌ترتیب معادل ۱۰۱، ۱۳۳، ۱۰۲، ۱۲۶ و ۸۲ درصد است. همان‌طورکه مشاهده می‌شود در سال سوم نیز روش‌های پنمن- مانتیث فائو و تشت تبخیر فائو کم‌ترین اختلاف را نسبت به‌روش لایسیمتری دارند.

بنابراین بررسی مقادیر برآوردشده نیاز آبی در سال‌های اول تا سوم رشد خرما نشان می‌دهد که میزان تبخیر- تعرق (قبل از واسنجی) در روش‌های پنمن- مانتیث فائو، بلانی- کریدل فائو، تشت تبخیر فائو، جنسن- هیز اصلاح‌شده و هارگریوز- سامانی به‌طور میانگین به‌ترتیب برابر ۹۹، ۱۳۰، ۱۰۰، ۱۲۲ و ۸۱ درصد میزان تبخیر- تعرق اندازه‌گیری‌شده توسط لایسیمتر است. لذا، به‌نظر می‌رسد که در صورت استفاده مستقیم از روش‌های پنمن- مانتیث فائو و تشت تبخیر فائو (بدون واسنجی یا استفاده از معادله رگرسیون)، نتایج به‌دست‌آمده از دقت خوبی برخوردار خواهند بود. البته در مورد روش تشت تبخیر فائو، با توجه به معادله ۵ بدیهی است که کارایی این روش تا حد زیادی به میزان دقت در تعیین ضریب تشت وابسته است. نتایج سایر پژوهش‌گران نیز مؤید دقت خوب روش‌های پنمن- مانتیث فائو و تشت تبخیر فائو برای برآورد میزان تبخیر- تعرق گیاه نسبت به اندازه‌گیری لایسیمتری است (۲۳، ۲۶، ۵ و ۲۷).

در پایان سال سوم، مقدار صفات رشد رویشی هر یک از نهال‌های خرما شامل تعداد برگ، طول و عرض برگ، تعداد برگچه، طول و عرض برگچه و محیط تنه که اندازه‌گیری شد، که در جدول (۶) ارائه گردیده است. لازم به ذکر است که این مقادیر صفات رویشی، نشان‌دهنده رشد گیاه در شرایط دریافت آب کافی و با کیفیت مناسب (بدون تنش آبی و شوری) می‌باشد.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۶. صفات رویشی نهال‌های خرمای رقم برحی در پایان سال سوم

شماره نهال	تعداد برگ	طول برگ (سانتی‌متر)	عرض برگ (سانتی‌متر)	تعداد برگچه	طول برگچه (سانتی‌متر)	عرض برگچه (سانتی‌متر)
۱	۱۸	۱۲۳/۱	۵۰/۵	۹۵۴	۳۱/۳	۲/۰
۲	۲۰	۹۲/۸	۴۷/۰	۹۰۰	۲۸/۹	۱/۹
۳	۲۱	۱۱۴/۵	۵۲/۹	۹۸۷	۳۰/۵	۲/۶
میانگین	۱۹/۷	۱۱۰/۱	۵۰/۱	۹۴۷/۰	۳۰/۲	۲/۲

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که میزان نیاز آبی خرما در سال‌های اول تا سوم رشد به‌ترتیب برابر ۲۷۴/۳، ۴۰۲/۷ و ۵۹۷/۲ میلی‌متر بود. میزان سالانه تبخیر- تعرق خرما از سال اول تا سال سوم به‌ترتیب برابر ۴۶/۸ و ۴۸/۳ درصد افزایش داشت. نتایج رگرسیون خطی معادلات تبخیر- تعرق نسبت به روش لایسیمتری حاکی از آن بود که معادله بلانی- کریدل فائو، دارای بیش‌ترین دقت برازش بود. البته در صورت استفاده مستقیم از روش‌های پنمن- مانتیث فائو و تشت تبخیر فائو (عدم استفاده از معادله رگرسیون)، نتایج به‌دست‌آمده از دقت خوبی نیز برخوردار خواهند بود.

منابع

۱. ابراهیمی پاک، ن.ع. و غالبی، س. (۱۳۹۳). تعیین تبخیر- تعرق و ضریب گیاهی (kc) چغندرقند با استفاده از لایسیمتر و مقایسه آن با روش‌های تجربی در شهر کرد. چغندرقند. ۳۰(۱):۴۱-۵۸.

۲. احمدی، ک.، قلی‌زاده، ح.، عبادزاده، ح.، حاتمی، ف.، حسین‌پور، ر.، عبدشاه، ه.، رضایی، م. و فضلی استبرق، م. (۱۳۹۶). آمارنامه کشاورزی سال ۱۳۹۵، جلد سوم: محصولات باغبانی. انتشارات وزارت جهاد کشاورزی، معاونت برنامه‌ریزی و اقتصادی، مرکز فناوری اطلاعات و ارتباطات. تهران. ۲۳۱ صفحه.

۳. اسدزاده شرفه، ح.، رئوف، م. و محمودی فرد گرمی، ز. (۱۳۹۴). مقایسه روش‌های مختلف تخمین تبخیر و تعرق گیاه مرجع در دشت اردبیل. دومین همایش ملی صیانت از منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه محقق اردبیلی، ایران.

۴. بابامیری، ا. و دین‌پژوه، ی. (۱۳۹۳). مقایسه چهار روش تخمین تبخیر و تعرق گیاه مرجع مبتنی بر درجه حرارت هوا در حوضه آبریز دریاچه ارومیه. علوم و مهندسی آبیاری. ۳۷(۱): ۴۳-۵۴.

۵. رحیمیان، م.ح. و عباسپور، ا. (۱۳۸۲). مقایسه و تعیین همبستگی نتایج تبخیر و تعرق چند محصول زراعی به روش لایسیمتر و روش پنمن مانتیث در مشهد. اولین سمینار سراسری لایسیمتر، دانشگاه شهید باهنر کرمان، ایران.

۶. رضایی، ع.، بختیاری، ب.، هوشیاری پور، ف. و دهقانی اناری، م. (۱۳۸۶). ارزیابی روش‌های مختلف برآورد تبخیر- تعرق با داده‌های لایسیمتری در منطقه کرمان. نهمین سمینار سراسری آبیاری و کاهش تبخیر، دانشگاه شهید باهنر کرمان، ایران.

۷. شایان نژاد، م. (۱۳۸۲). تعیین بهترین معادله جهت محاسبه تبخیر و تعرق گیاه مرجع در شهرستان همدان با استفاده از داده‌های لایسیمتری. اولین سمینار سراسری لایسیمتر، دانشگاه شهید باهنر کرمان، ایران.

www.SID.ir

Archive of SID

۸. شریفان، ح.، قهرمان، ب.، علیزاده، ا. و میرلطیفی، م. (۱۳۸۵). مقایسه برآورد تبخیر و تعرق مرجع (ترکیبی و دمایی) با روش استاندارد و بررسی اثرات خشکی هوا بر آن. علوم خاک و آب. ۱۹(۲): ۲۸۰-۲۹۰.

۹. شیرمحمدی علی اکبر خانی، ز.، انصاری، ح. و علیزاده، ا. (۱۳۹۰). مقایسه تبخیر-تعرق مرجع پنمن مانتیث ASCE و پنمن مانتیث فائو-۵۶ در بازه زمانی ساعتی در ایستگاه هواشناسی فریمان. آب و خاک. ۲۵(۳): ۴۸۴-۴۷۲.

۱۰. عابدی کوپایی، ج.، اسلامیان، س. و امیری، م.ج. (۱۳۸۷). مقایسه چهار روش تخمین تبخیر و تعرق سطح مرجع با داده‌های میکرولایسیمتری در منطقه اصفهان. دومین همایش ملی مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی، دانشگاه شهید چمران اهواز، ایران.

۱۱. علی‌حوری، م. (۱۳۹۶). دور و عمق مناسب آبیاری در مرحله رشد رویشی خرمای رقم برحی. مدیریت آب در کشاورزی. ۴(۱): ۲۱-۲۸.

۱۲. علی‌حوری، م. (۱۳۹۶). تعیین نیاز آبی و ضریب گیاهی خرما در مرحله رشد رویشی با استفاده از لایسیمتر. نشریه پژوهش آب در کشاورزی. ۳۱(۳): ۳۲۹-۳۴۰.

۱۳. علی‌حوری، م.، علی‌حوری، ح. و محبی، و. (۱۳۸۹). مقایسه روش‌های مختلف برآورد نیاز آبی نخل خرما در مرحله استقرار و رشد رویشی. سومین همایش ملی مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی، دانشگاه شهید چمران اهواز، ایران.

۱۴. علی‌حوری، م. و تراهی، ع. (۱۳۸۹). اثرات دور و میزان آبیاری بر گیرایی و رشد رویشی پاجوش‌های نخل خرما. سومین همایش ملی مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی، دانشگاه شهید چمران اهواز، ایران.

۱۵. علیزاده، ا. (۱۳۹۳). رابطه آب، خاک و گیاه. انتشارات دانشگاه صنعتی سجاد. مشهد. ۷۲۸ صفحه.

۱۶. علیزاده، ا.، کمالی، غ.، خانجانی، م.ج. و رهنورد، م. (۱۳۸۳). ارزیابی روش‌های برآورد تبخیر-تعرق در مناطق خشک ایران. تحقیقات جغرافیایی. ۷۳: ۹۷-۱۰۵.

۱۷. غفاری‌نژاد، ع. (۱۳۸۰). تعیین بهترین دور و عمق آبیاری نخل مضافتی به روش قطره‌ای. گزارش پروژه تحقیقاتی. انتشارات مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان کرمان. بم. ۲۳ صفحه.

۱۸. فرشی، ع.ا.، شریعتی، م.ر.، جارالله‌ی، ر.، قائمی، م.ر.، شهابی‌فر، م. و تولایی، م.م. (۱۳۷۶). برآورد آب مورد نیاز گیاهان عمده زراعی و باغی کشور. جلد دوم. انتشارات آموزش کشاورزی. کرج. ۶۲۹ صفحه.

۱۹. قمرنیا، ه، رضوانی، و. و فتحی، پ. (۱۳۹۱). ارزیابی و واسنجی مدلهای تبخیر و تعرق گیاه مرجع باتوجه به اثر دوره محاسباتی برای اقلیم نیمه خشک سرد. مدیریت آب و آبیاری. ۲(۲): ۲۵-۳۷.

۲۰. قمرنیا، ه و لرستانی، م. (۱۳۹۷). بررسی کارآیی روش‌های تجربی برآورد تبخیر-تعرق مرجع (بر پایه درجه حرارت) در اقلیم‌های مختلف (مطالعه موردی ایران). مدیریت آب و آبیاری. ۸(۲): ۳۰۳-۳۱۹.

۲۱. قمرنیا، ه و یوسفوند، م. (۱۳۹۷). مقایسه روش‌های مختلف برآورد تبخیر و تعرق مرجع براساس روش‌های تابش خورشیدی در اقلیم های مختلف ایران. مدیریت آب و آبیاری. ۸(۲): ۲۳۷-۲۵۱.

۲۲. مستعان، ا.، لطیفیان، م.، تراهی، ع.، امانی، م.، محبی، ع. و علی‌حوری، م. (۱۳۹۶). راهنمای فنی کاشت، داشت و برداشت خرما. انتشارات آموزش کشاورزی. تهران. ۲۸۲ صفحه.

۲۳. میرزایی اصل شیرکوهی، ف. و لیاقت، ع. (۱۳۸۲). اندازه‌گیری تبخیر و تعرق گیاه مرجع (چمن) با استفاده از لایسیمتر وزنی و ارزیابی روش پنمن مانتیث و تعیین

www.SID.ir

Archive of SID

ضریب تشت تبخیر. اولین سمینار سراسری لایسیمتر، کرمان، دانشگاه شهید باهنر کرمان، ایران.

۲۴. نامداریان، ک.، ناصری، ع.، ایزدپناه، ز. و ملکی، ع. (۱۳۹۲). مقایسه روش فائو پنمن مانتیث و تشت تبخیر کلاس A با داده‌های لایسیمتری در برآورد تبخیر و تعرق گیاه نخود در منطقه خرم آباد. چهارمین همایش ملی مدیریت شبکه های آبیاری و زهکشی، دانشگاه شهید چمران اهواز، ایران.

۲۵. نوری، ح.، بادیه‌نشین، ع. و محمدی محمدآبادی، ا. (۱۳۹۵). ارزیابی روش‌های محاسباتی تبخیر تعرق گیاه مرجع و تعیین تبخیر تعرق گیاه پسته در رفسنجان. هواشناسی کشاورزی. ۴(۲): ۷۷-۸۱.

۲۶. نیشابوری، م.ر.، مرادی دالینی، ا.، جعفرزاده، ع.ا. و صادقی، س. (۱۳۸۴). ارزیابی روش‌های پیشنهادی FAO برای برآورد تبخیر و تعرق گیاه مرجع در منطقه کرکج تبریز. دانش کشاورزی. ۱۵(۴): ۲۶-۳۵.

۲۷. وحیدی، ع. (۱۳۸۸). ارزیابی روش‌های مختلف تخمین تبخیر- تعرق گیاه مرجع (چمن) با استفاده از سنجش‌های لایسیمتر وزنی. دهمین سمینار سراسری آبیاری و کاهش تبخیر، کرمان، دانشگاه شهید باهنر کرمان، ایران.

28. Allen RG, Pereira LS, Raes D and Smith M (1998) Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper 56. Rome, Food and Agriculture Organization of the United Nations.
29. Bhantana P and Lazarovitch N (2010) Evapotranspiration, crop coefficient and growth of two young pomegranate (*Punica granatum* L.) varieties under salt stress. *Agricultural Water Management* 97: 715-722.
30. Loague K and Green RE (1991) Statistical and graphical methods for evaluating solute transport models: overview and application. *Contaminant Hydrology* 7: 51-73.

www.SID.ir