

انتخاب روش مناسب برآورد تبخیر-تعرق مرجع در شرایط کمبود داده‌های هواشناسی

(مطالعه موردی شهرستان خرم‌بید در استان فارس)

هدیه احمدپری، مریم صفوی گردینی^۱ و محبوبه ابراهیمی

دانش آموخته کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی دانشگاه تهران. h.ahmadpari@gmail.com

دانش آموخته کارشناسی ارشد منابع آب دانشگاه زابل. maryamsafavi66@gmail.com

استادیار گروه کشاورزی دانشگاه پیام نور تهران، ایران. mahboube.ebrahimi@pnu.ac.ir

دریافت: آذر ۱۳۹۷ و پذیرش: تیر ۱۳۹۸

چکیده

تبخیر-تعرق مرجع یکی از عوامل مهم چرخه آب در طبیعت است که باید در طرح‌های آبیاری، تأسیسات آبی، مطالعات زهکشی و هیدرولوژیکی برآورد شود. این عامل بیانگر میزان تلفات بالقوه آب از سطح خاک مرطوب و پوشش گیاهی بوده و از این رو مطالعه آن حائز اهمیت می‌باشد. در تحقیق حاضر به منظور مقایسه روش‌های تبخیر-تعرق و تعیین مناسب‌ترین روش برآورد تبخیر-تعرق مرجع شهرستان خرم‌بید، روش ترکیبی پنمن-مانتیت-فائو به‌عنوان روش مرجع در نظر گرفته شده و دقت روش‌های مختلف مورد استفاده در نرم‌افزار Ref-ET بر اساس آن مورد بررسی قرار گرفت. کارایی روش‌های مورد مقایسه با استفاده از آماره‌های جذر میانگین مربعات خطا نرمال شده (NRMSE)، میانگین انحراف خطا (MBE)، کارایی مدل (EF) و شاخص توافق (d) مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد که به ترتیب روش‌های پنمن-مانتیت استاندارد ASCE، پنمن-مانتیت ASCE با ورود مقاومت به‌وسیله کاربر، پنمن-کیمبرلی (۱۹۷۲)، پنمن اصلاح شده فائو، پنمن فائو، پنمن کیمبرلی (۱۹۹۶)، پنمن، هارگریوز-سامانی، تشعشی-فائو، بلانی-کریدل، پرستلی-تیلور، ماکینگ، تورک و تشت تبخیر فائو دارای کمترین MBE و NRMSE و بیشترین EF و d می‌باشند. اگرچه معادلات بر پایه پنمن می‌توانند میزان تبخیر-تعرق را با استفاده از داده‌های دما، رطوبت نسبی، سرعت باد و ساعات آفتابی و با دقت بهتری برآورد نمایند ولی در صورت عدم دسترسی به این اطلاعات در شهرستان خرم‌بید می‌توان از روش تجربی هارگریوز و سامانی میزان تبخیر و تعرق مرجع را با خطای کمتری نسبت به سایر روش‌های تجربی برآورد کرد.

واژه‌های کلیدی: تبخیر-تعرق مرجع، آبیاری، پنمن-مانتیت-فائو، شهرستان خرم‌بید، معادله هارگریوز-سامانی

مقدمه

تبخیر و تعرق یکی از مهم‌ترین اجزای چرخه آب در طبیعت می‌باشد و تخمین دقیق آن برای بسیاری از مطالعات نظیر بیلان آب، طراحی و مدیریت سامانه‌های آبیاری، مدل‌سازی تولید محصول و برنامه‌ریزی و مدیریت منابع آب ضروری است؛ اما تعدد پارامترهای موردنیاز در محاسبه تبخیر و تعرق از یک‌سو و عدم اندازه‌گیری برخی از پارامترها از سوی دیگر، تخمین درست آن را در برخی مناطق با مشکل روبرو کرده است. در اختیار قرار دادن بیش‌ازحد آب موردنیاز گیاه، ضمن هدر دادن آب آبیاری، باعث ماندابی شدن اراضی، شستشوی مواد غذایی خاک و آلوده نمودن منابع آب زیرزمینی می‌شود. ضمن آن‌که تخمین کمتر نیز باعث اعمال تنش رطوبتی به گیاه خواهد شد. روش‌های متعددی برای برآورد تبخیر و تعرق گیاه مرجع ارائه شده است؛ اما هرکدام با توجه به فرضیات و داده‌های مختلف هواشناسی مورد استفاده در آن‌ها، اغلب نتایج متفاوتی به دست می‌دهند. اغلب این روش‌ها تحت واسنجی‌های محلی به‌دست‌آمده‌اند و معلوم شده است که اعتبار جهانی محدود دارند. شدت تبخیر-تعرق تابع عواملی مانند دما، تابش خورشیدی، رطوبت باد و پوشش گیاهی که تعرق می‌نماید است که به‌شدت با توجه به نوع پوشش گیاهی تغییر می‌کند (آلن و همکاران، ۱۹۹۸). در اقلیم‌های خشک و نیمه‌خشک که منابع آب محدود است و بهره‌برداری بیش‌ازحد از آن صورت می‌گیرد، تخمین دقیق نیاز آبی گیاه ضروری است. در اغلب روش‌هایی که برای تعیین میزان تبخیر و تعرق ارائه شده‌اند، ابتدا مقدار تبخیر و تعرق گیاه مرجع تخمین زده می‌شود و سپس با استفاده از نتایج آن، تبخیر و تعرق گیاه موردنظر محاسبه می‌شود. بر اساس تعریف فائو، تبخیر و تعرق گیاه مرجع عبارت است از میزان آبی که یک مزرعه پوشیده از گیاه مرجع (نظیر چمن) در یک دوره زمانی مشخص مصرف نماید. به‌طوری‌که گیاهان این مزرعه در طول دوره رشد با کمبود آب مواجه نشوند. روش‌های متعددی برای برآورد تبخیر و تعرق گیاه مرجع وجود دارد که هرکدام با

توجه به فرضیات و داده‌های مختلف هواشناسی مورد استفاده در آن‌ها، اغلب نتایج متفاوتی به دست می‌دهند. سازمان خواربار و کشاورزی ملل متحد (FAO) معادله پنمن-مانتیت-فائو را به‌عنوان روش استاندارد تعیین تبخیر و تعرق گیاه مرجع توصیه نموده است. ولی برای استفاده از این معادله باید ایستگاه‌های هواشناسی مجهز به وسایل اندازه‌گیری دمای هوا، سرعت باد، رطوبت نسبی و ساعات آفتابی باشد. به علت قیمت بالای ادوات هواشناسی، تجهیز مزارع کشاورزی به چنین ایستگاه‌هایی دشوار است. در ایستگاه‌های هواشناسی موجود در کشور برخی متغیرهای هواشناسی به‌ویژه ساعات آفتابی، رطوبت نسبی و سرعت باد اغلب ثبت‌نشده و یا ناقص هستند که سبب می‌شود امکان محاسبه تبخیر-تعرق مرجع به روش پنمن-مانتیت-فائو وجود نداشته باشد. به‌منظور رفع این مشکل بایستی برخی از داده‌های هواشناسی برآورد گردند. همچنین می‌توان با استفاده از روش‌هایی که نیاز به داده‌های کمتری دارند، اقدام به برآورد تبخیر-تعرق مرجع نمود. کاستاندا و رائو (۲۰۰۵) تبخیر-تعرق مرجع را برای جنوب کالیفرنیا با روش‌های بلانی-کریدل، تورنت وایت، تورک و مک-کینک محاسبه کردند و با نتایج به‌دست‌آمده از معادله پنمن-مانتیت-فائو مقایسه نمودند. نتایج نشان داد که در این منطقه مناسب‌ترین روش‌ها به ترتیب تورک، مک‌کینک، بلانی-کریدل و تورنت وایت می‌باشند. در ایران نیز مطالعاتی در زمینه تخمین تبخیر-تعرق مرجع با روش‌های مختلف و مقایسه آن‌ها انجام شده است. به‌عنوان مثال تنهاپور و همکاران (۱۳۹۵) روش‌های مختلف برآورد تبخیر-تعرق مرجع را بر مبنای روش پنمن-مانتیت-فائو در استان بوشهر مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج نشان داد که روش پنمن فائو اصلاح‌شده ۲۴ و بلانی کریدل فائو ۲۴ در میان روش‌های موردبررسی بیشترین تطابق را با روش پنمن-مانتیت-فائو دارند. پورطبری و نجفی مرغملکی (۱۳۹۶) سه روش برآورد تبخیر-تعرق مرجع (بلانی-کریدل، پنمن-مانتیت-فائو و هارگریوز-سامانی) را برای شهرستان امیدیه با

مانتیت-فائو از دقت بیشتری نسبت به سایر روش‌ها برخوردار است. در حال حاضر، شهرستان خرم‌بید جایگاه ویژه‌ای از لحاظ کشت و تولید محصولات زراعی و باغی در استان فارس دارد و سالانه برای آبیاری گیاهان زراعی و باغی حجم بسیار زیادی از منابع آب زیرزمینی برداشت می‌گردد. راندمان آبیاری پایین و تلاش برای تولید بیشتر محصول باعث برداشت بی‌رویه آب زیرزمینی و افت زیاد سطح آب زیرزمینی در این منطقه شده است. جهت جلوگیری از برداشت بی‌رویه، نیاز به بررسی چرخه مصرفی آب در بخش کشاورزی و حذف هدررفت آب در این بخش است. از آنجایی‌که برای تعیین آب مورد نیاز هر گیاه باید از مقدار تبخیر-تعرق آن گیاه مطلع بود، پس برآورد تبخیر-تعرق گیاه مرجع در این منطقه امری ضروری است. با توجه به پیشینه پژوهش به نظر می‌رسد مطالعه جامعی در زمینه ارزیابی روش‌های مختلف تبخیر-تعرق در شهرستان خرم‌بید بر مبنای روش پنمن-مانتیت-فائو انجام‌نشده است؛ بنابراین، هدف از این تحقیق، مشخص کردن دقت روش‌های مختلف برآورد تبخیر-تعرق گیاه مرجع در مقایسه با روش پنمن-مانتیت-فائو برای ایستگاه سینوپتیک صفاشهر و معرفی روش‌های جایگزین احتمالی در شرایط کمبود داده‌های هواشناسی است.

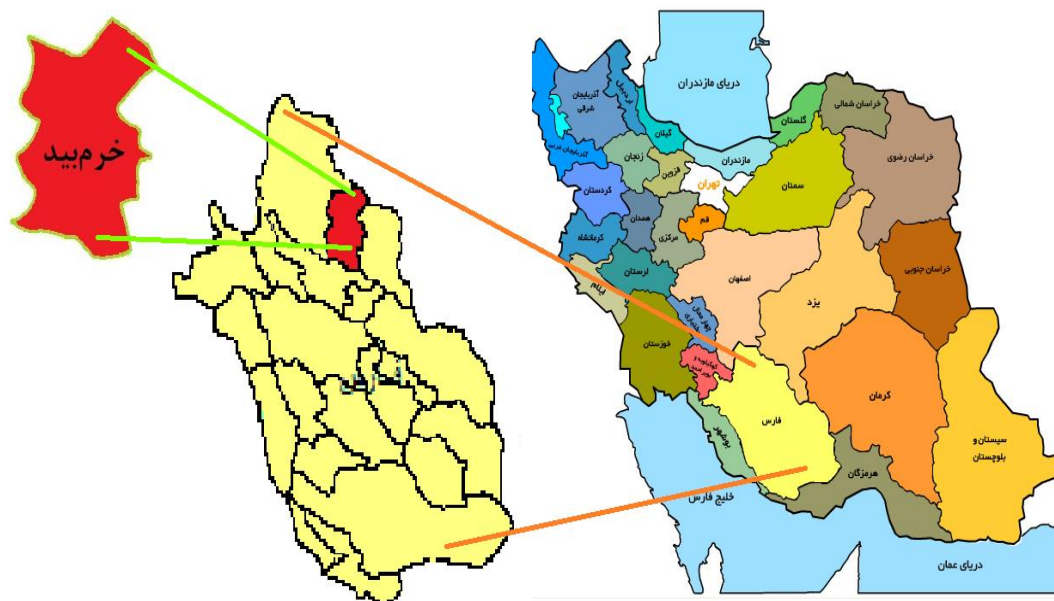
مواد و روش‌ها

منطقه مطالعاتی

منطقه مطالعاتی شهرستان خرم‌بید استان فارس است که در ارتفاع ۳۳۰۰ متری از سطح دریا واقع شده است. کل سطح زیر کشت شهرستان ۴۵۰۰۰ هکتار است. موقعیت جغرافیایی این شهرستان در شکل ۱ نشان داده شده است.

روش تورنت-وایت مقایسه نمودند. نتایج نشان داد که روش بلانی-کریدل با کمترین خطا و بیشترین ضریب همبستگی از بین روش‌های موردبررسی مناسب‌ترین روش برای برآورد تبخیر-تعرق گیاه مرجع است. بهرامی و همکاران (۱۳۹۶) هشت روش پنمن-مانتیت-فائو، هارگریوز-سامانی، مک کینگ، پرستلی-تیلور، تورک، آیرماک، هارگریوز و جنسن-هیز را برای برآورد تبخیر-تعرق ایستگاه هواشناسی شهرستان فسا موردبررسی قرار دادند. این محققین روش پنمن-مانتیت-فائو را روش مبنای قرار دادند.

نتایج نشان داد که روش‌های تجربی آیرماک، تورک، هارگریوز، مک کینگ، پرستلی-تیلور، هارگریوز-سامانی و جنسن-هیز به ترتیب دارای بیشترین دقت می‌باشند. احمدپری و همکاران (۱۳۹۶) روش‌های مختلف برآورد تبخیر-تعرق مرجع منطقه سپیدان را با روش پنمن-مانتیت-فائو مقایسه نمودند. نتایج نشان داد که روش‌های با پایه پنمن مانتیت (ASCE PM, ASCE PM rs, st PM) به ترتیب با جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) حدود ۰/۰۳، ۰/۰۷۹، ۰/۰۷۹ میلی‌متر و میانگین خطای مطلق (MAE) حدود ۰/۰۲۱، ۰/۰۶۸، ۰/۰۶۹ میلی‌متر مناسب‌ترین روش‌ها برای برآورد تبخیر-تعرق گیاه مرجع به شمار می‌آیند و روش‌های FAO Pan و FAO 24Rd به ترتیب با RMSE حدود ۱/۴۲۶، ۲/۳۳۸ میلی‌متر و MAE حدود ۱/۱۸۶، ۲/۰۷۲ میلی‌متر دارای کمترین تطابق با روش پنمن مانتیت فائو هستند. ابراهیمی پاک و همکاران (۱۳۹۷) با استفاده از داده‌های چهار ساله لایسیمتری چمن و اطلاعات هواشناسی موجود در مرکز تحقیقات کشاورزی اسماعیل‌آباد قزوین روش‌های مختلف تعیین تبخیر-تعرق مرجع را نسبت به داده‌های لایسیمتری واسنجی نموده و مشاهده کردند که در بین روش‌های تخمینی روش پنمن-



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه در ایران و استان فارس

روش پژوهش

ایستگاه سینوپتیک هواشناسی صفاشهر تنها ایستگاه موجود دارای تمامی داده‌های قابل اندازه‌گیری در حوزه‌ی هواشناسی شهرستان خرمبید است. ایستگاه هواشناسی صفاشهر در ۵' ۵۳° شرقی و ۳۵' ۳۰° شمالی واقع شده است و ارتفاع آن از سطح دریا ۲۲۵۱ متر می‌باشد. همچنین صفاشهر مرکز شهرستان خرمبید است. از این رو برای انجام این تحقیق و محاسبه تبخیر-تعرق گیاه مرجع، از آمار هواشناسی ماهانه دمای کمینه، دمای بیشینه، میانگین دما، رطوبت نسبی کمینه، رطوبت نسبی

بیشینه، میانگین رطوبت نسبی، مقدار بارندگی، میانگین مقدار تبخیر، میانگین ساعات آفتابی و میانگین سرعت باد ایستگاه سینوپتیک هواشناسی صفاشهر در طی سال‌های آماری ۱۳۸۳ تا ۱۳۹۵ استفاده شده است. در این مطالعه برای محاسبه تبخیر-تعرق گیاه مرجع از نرم‌افزار Ref-ET بهره گرفته شده است. این نرم‌افزار با ۱۷ روش مختلف به محاسبه تبخیر-تعرق گیاه مرجع می‌پردازد. با توجه به آمار و داده‌های موجود ۱۶ روش انتخاب و محاسبات تبخیر-تعرق برای آن‌ها با استفاده از نرم‌افزار Ref-ET انجام گرفت (جدول ۱).

جدول ۱- معادلات تبخیر - تعرق مورد استفاده در این پژوهش

FAO 24 Blaney-Criddle	FAO 24 BC	ASCE Penman-Monteith (full) (grass, rs=f (timestep))	ASCE PM
FAO 24 Pan Evaporation	FAO Pan	ASCE Penman-Monteith (full) (grass w/user spec.rs)	ASCE PMrs
1985 Hargreaves (Hargreaves and Samani)	1985 Harg	ASCE Penman-Monteith Standardized	ASCE stPM
Priestley-Taylor (1972)	Prs- Tylr	1996 Kimberly Penman	1996 Kpen
Makkink (1957)	1957 Makk	1972 Kimberly Penman	1972 Kpen
Turc (1961)	1961 Turc	1948 Penman	1948 Pen
FAO 56 Penman- Monteith	FAO 56 PM	FAO 24 Corrected Penman	FAO 24Pn
FAO Plant Protection Paper 17 Penman	FP17Pen	FAO 24 Radiation	FAO 24 Rd

سینوپتیک صفاشهر روش فائو پنمن مانتیث به‌عنوان روش مرجع انتخاب و دیگر روش‌ها با آن مقایسه گردیدند.

در بین این روش‌ها، جهت بررسی دقت و تعیین مناسب‌ترین روش در برآورد تبخیر-تعرق مرجع ایستگاه

R_a = میزان تشعشع ورودی در بالای اتمسفر (میلی متر بر روز)

شاخص‌های آماری

در این تحقیق، برای مقایسه کمی نتایج حاصله از مدل‌های مختلف تبخیر - تعرق، از شاخص‌های آماری جذر میانگین مربعات خطا نرمال شده (NRMSE)، میانگین انحراف خطا (MBE)، کارایی مدل (EF) و شاخص توافق (d) استفاده شده است. مقدار NRMSE نسبت اختلاف میان داده‌های مشاهده‌ای و شبیه‌سازی به متوسط مشاهده‌ها را نشان می‌دهد. مقدار NRMSE همواره مثبت بوده و بهترین حالت عملکرد زمانی است که مقدار آن به صفر نزدیک شود. میانگین انحراف خطا می‌تواند هر عددی را به خود اختصاص دهد. مقدار صفر نشانگر تطبیق کامل مقادیر برآوردی و اندازه‌گیری می‌باشد. این شاخص نشان‌دهنده میزان انحراف مدل به سمت بیش‌برآورد و یا کم‌برآورد نمودن می‌باشد. مقادیر مثبت MBE نشان‌دهنده آن است که مقادیر پیش‌بینی شده توسط مدل بیشتر از مقادیر واقعی و مقادیر منفی آن نشان‌دهنده آن است که مقادیر پیش‌بینی شده توسط مدل کمتر از مقادیر واقعی می‌باشند. شاخص کارایی مدل در محدوده صفر تا یک می‌تواند تغییر نماید. $EF=1$ به معنی شبیه‌سازی کاملاً دقیق مدل است. $EF=0$ بیانگر این است که خروجی مدل از اعتبار کافی برخوردار نیست. شاخص توافق در محدوده صفر تا یک می‌تواند تغییر نماید، هرچه مقدار عددی این شاخص به یک نزدیک‌تر باشد، دقت مدل بیشتر خواهد بود. روابط مربوط به شاخص‌های آماری یادشده به صورت معادلات ۳ تا ۷ است.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (O - P)^2}{n}} \quad (3)$$

$$NRMSE = \frac{RMSE}{O_{ave}} \quad (4)$$

معادله پنمن مانیتث فائو (FAO 56 PM)

در این روش گیاه مرجع یک پوشش چمن فرضی است که ارتفاع آن ۱۲ سانتی‌متر و ضریب آلیبدو در آن ۲۳ درصد می‌باشد و مقاومت گیاهی ثابت و برابر ۷۰ ثانیه بر متر است. این معادله به صورت رابطه (۱) می‌باشد (علیزاده، ۱۳۸۵).

$$ET_0 = \frac{0.408 \cdot \Delta (R_n - G) + \gamma \left[\frac{900}{(T + 273)} \right] U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0.34 U_2)} \quad (1)$$

که در آن:

ET_0 = تبخیر-تعرق مرجع (میلی متر بر روز)
 R_n = تابش خالص در سطح گیاه (مگاژول بر متر مربع بر روز)
 G = شار گرمای خاک (مگاژول بر متر مربع بر روز)
 T = دمای هوا در ارتفاع دو متری (درجه سلسیوس)
 U_2 = سرعت باد در ارتفاع دو متری (متر بر ثانیه)
 $(e_s - e_a)$ = کمبود فشار بخار اشباع هوا (کیلوپاسکال)
 Δ = شیب منحنی فشار بخار (کیلوپاسکال بر درجه سلسیوس)
 γ = ثابت رطوبت‌سنجی (کیلوپاسکال بر درجه سلسیوس)

معادله هارگریوز و سامانی (1985 Harg)

معادله هارگریوز و سامانی (۱۹۸۵)، با داشتن حداکثر و حداقل درجه حرارت، قادر است تبخیر-تعرق را در دوره‌های ۲۴ ساعته، هفتگی، ۱۰ روزه و ماهانه محاسبه کند. این معادله به صورت رابطه (۲) می‌باشد (علیزاده، ۱۳۸۵).

$$ET_0 = 0.0023 \times (T_{mean} + 17.8) \times (T_{max} - T_{min})^{0.5} \times R_a \quad (2)$$

که در آن:

ET_0 = تبخیر-تعرق مرجع (میلی متر بر روز)
 T_{max} = حداکثر درجه حرارت روزانه (درجه سانتی‌گراد)
 T_{min} = حداقل درجه حرارت روزانه (درجه سانتی‌گراد)
 T_{mean} = میانگین درجه حرارت (درجه سانتی‌گراد)

در روابط فوق p مقدار پیش‌بینی شده، O مقدار مشاهده شده، O_{ave} میانگین داده‌های مشاهده شده و n تعداد داده‌ها می‌باشد.

$$MBE = \frac{\sum_{i=1}^n (O - P)}{n} \quad (5)$$

$$EF = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (O - P)^2}{\sum_{i=1}^n (O - O_{ave})^2} \quad (6)$$

نتایج و بحث

تبخیر-تغرق مرجع برای ایستگاه سینوپتیک صفاشهر به ۱۶ روش ذکر شده به صورت ماهانه محاسبه شد. نتایج حاصله برای روش‌های مختلف در ماه‌های مختلف سال در جدول شماره ۲ برحسب میلی‌متر در روز ارائه شده است.

$$d = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n |P - O|}{\sum_{i=1}^n (|P - O_{ave}| + |O - O_{ave}|)} \quad (7)$$

جدول ۲- متوسط مقادیر تبخیر-تغرق به دست آمده در طول دوره آماری برای گیاه مرجع با روش‌های مختلف محاسبه (برحسب میلی‌متر در روز)

دسام	نوامبر	اکتبر	سپتام	اگوست	جولای	ژوئن	می	آوریل	مارس	فوریه	ژانویه	ماه
۲/۹۷	۳/۸	۵/۴۱	۶/۲۷	۶/۸۴	۷/۰۳	۶/۸۶	۵/۶۹	۴/۲۴	۴/۲	۲/۷۴	۲/۴۷	پنمن-مانتیت-فائو (FAO56PM)
۳/۰۲	۳/۸۷	۵/۵۱	۶/۳۹	۶/۹۹	۷/۲۱	۷/۰۳	۵/۸	۴/۳	۴/۲۵	۲/۷۵	۲/۵۱	پنمن-مانتیت (ASCE PM)
۳/۰۲	۳/۸۷	۵/۵۱	۶/۳۹	۶/۹۹	۷/۲۱	۷/۰۳	۵/۸	۴/۳	۴/۲۵	۲/۷۵	۲/۵۱	پنمن-مانتیت با ورود مقاومت (ASCE PMrs)
۲/۹۷	۳/۸	۵/۴۱	۶/۲۴	۶/۸۳	۷/۰۴	۶/۸۸	۵/۶۹	۴/۲۴	۴/۱۸	۲/۷۱	۲/۴۷	پنمن مانتیت استاندارد (ASCE stPM)
۲/۳۹	۳/۲۲	۵/۱۴	۶/۵۵	۷/۴۱	۷/۵۶	۷/۱۲	۵/۲	۳/۷۳	۳/۳۸	۲/۲	۱/۹۵	پنمن کیمبرلی (۱۹۹۶) (1996 KPen)
۳/۳۴	۴/۱۴	۵/۶۹	۶/۴۸	۶/۹۴	۷/۱۱	۶/۹۹	۵/۸۷	۴/۴۷	۴/۵۳	۳/۰۴	۲/۸	پنمن کیمبرلی (۱۹۷۲) (1972KPen)
۲/۰۶	۳/۰۸	۵/۰۵	۵/۸۱	۶/۵۲	۶/۵۷	۶/۳۹	۵	۳/۷۷	۳/۲۳	۱/۹۶	۱/۶	پنمن (1948Pen)
۲/۲۵	۳/۴	۵/۴۲	۶/۲۱	۶/۷۵	۶/۸۱	۶/۷۵	۵/۵۴	۴/۱۹	۳/۶۴	۲/۲۱	۱/۷۳	پنمن فائو (FAO 24Pn)
۲/۲۳	۳/۴۲	۵/۶۲	۶/۵۴	۷/۲۶	۷/۳۲	۷/۰۶	۵/۵۲	۴/۱۲	۳/۵۷	۲/۱۷	۱/۷۱	پنمن فائو اصلاح شده (FP 17 Pen)
۲/۹۱	۴/۰۱	۶/۷۲	۷/۹۴	۸/۳۷	۸/۲۲	۸/۲۷	۵/۸۳	۴/۲	۴/۴۴	۲/۹۸	۲/۶۴	تشعشی-فائو (FAO 24Rd)
۰/۶۹	۲/۳۳	۴/۴۵	۶/۵۳	۷/۲۷	۷/۵۴	۷/۰۹	۴/۸۹	۲/۷۵	۲/۷۲	۱/۰۸	۰/۳۴	بلانی-کریدل (FAO 24BC)
۰	۱/۶۸	۴/۶۱	۶/۷۷	۹/۱۷	۹/۵۴	۸/۷۷	۶/۳۹	۲/۱۸	۰	۰	۰	تشت تبخیر فائو (FAO Pan)
۱/۸۷	۲/۸۷	۴/۲۸	۶/۲۵	۷/۵	۸/۴۷	۸	۶/۹۲	۴/۷۹	۴/۳	۲/۵۴	۱/۷۶	هارگریوز-سامانی (1985 Harg)
۱/۸۶	۲/۴	۳/۸۸	۴/۳۳	۵/۰۸	۵/۰۳	۵/۰۷	۴/۰۴	۳/۲۴	۲/۷۶	۱/۷۹	۱/۵۱	پریستلی-تیلور (Prs -Tylr)
۱/۹۸	۲/۶۶	۴	۴/۵۷	۴/۸	۴/۷۲	۴/۸۳	۳/۷۷	۲/۷۹	۲/۹۴	۲/۰۴	۱/۸۲	ماکینگ (1957 Makk)
۰	۲/۴	۴/۹۱	۶/۰۲	۶/۴۱	۶/۰۹	۵/۰۸	۳/۷۹	۲/۲۲	۲/۲۵	۰/۲۴	۰	تورک (1961 Turc)

دارای بیش برآورد و کم برآورد می‌باشند. روش‌های 1948Pen, 1961 Turc, 1957 Makk و Prs -Tylr در تمامی ماه‌های سال نسبت به روش مرجع دارای کم برآوردی می‌باشند، پس چنانچه از این داده‌ها برای برنامه-ریزی آبیاری استفاده شود احتمال به وجود آمدن تنش کم آبی برای گیاه بالا خواهد رفت. جدول ۲، نشان می‌دهد که روش‌های ASCE PM, ASCE PMrs, ASCEstPM, 1972KPen و FAO 24Pn و FP 17 Pen تطابق خوبی

بررسی میزان تبخیر-تغرق مرجع برآوردی ماهانه به روش پنمن-مانتیت-فائو نشان می‌دهد که کمترین تبخیر-تغرق مرجع برآوردی مربوط به ماه ژانویه (دی‌ماه) بوده و بیشترین میزان تبخیر-تغرق مربوط به ماه ژوئیه (تیرماه) می‌باشد. مقایسه مقادیر محاسبه شده توسط روش‌های مختلف تبخیر-تغرق با نتایج حاصل از معادله پنمن-مانتیت-فائو به عنوان روش مرجع نشان می‌دهد که تبخیر-تغرق محاسباتی برخی روش‌ها در بعضی ماه‌ها

EF و d استفاده شده است. جدول ۳ نتایج مقایسه روش-های مختلف با روش پنمن-مانتیت-فائو را با استفاده از آماره‌های فوق برای منطقه خرم‌بید نشان می‌دهد.

با روش پنمن-مانتیت-فائو دارند. به منظور ارزیابی دقت روش‌ها و مقایسه نسبی نتایج آن‌ها با مقادیر به دست آمده از روش مرجع، از پارامترهای آماری $NRMSE$ ، MBE ،

جدول ۳- نتایج شاخص‌های آماری برحسب میلی‌متر برای روش‌های مختلف در مقایسه با روش مرجع

معادلات تبخیر-تعرق	میانگین انحراف خطا	جزر میانگین مربعات خطا نرمال شده	کارایی مدل	شاخص توافق
ASCE stPM	۰/۰۰۵	۰/۰۰۳	۰/۹۹۹۹۱	۰/۹۹۹۹۹
ASCE PM	-۰/۰۸۶	۰/۰۲۲	۰/۹۹۵۶۷	۰/۹۹۹۷۳
ASCE PMrs	-۰/۰۸۶	۰/۰۲۲	۰/۹۹۵۶۷	۰/۹۹۹۷۳
1972KPen	-۰/۰۹۲	۰/۰۵۳	۰/۹۷۴۴۲	۰/۹۹۸۴۴
FAO 24Pn	۰/۱۶۵	۰/۰۸۲	۰/۹۳۸۷۸	۰/۹۹۵۹۵
FP 17 Pen	۰/۲۲۳	۰/۰۹۳	۰/۹۲۱۷۲	۰/۹۹۵۳۲
1996 KPen	۰/۳۰۲	۰/۱۰۶	۰/۸۹۶۸۳	۰/۹۹۳۸۰
1948Pen	۰/۵۲۳	۰/۱۳۵	۰/۸۳۳۱۹	۰/۹۸۷۷۰
1985 Harg	-۰/۶۴۰	۰/۱۸۳	۰/۶۹۵۷۸	۰/۹۸۵۴۲
FAO 24Rd	-۰/۶۶۸	۰/۱۹۱	۰/۶۶۶۰۱	۰/۹۸۴۵۶
FAO 24BC	۰/۷۸۴	۰/۲۷۲	۰/۳۲۳۶۲	۰/۹۵۷۹۸
Prs -Tylr	۰/۹۰۳	۰/۳۰۹	۰/۱۳۱۱۷	۰/۹۱۵۸۴
1957 Makk	۱/۴۶۱	۰/۳۱۹	۰/۰۷۳۲۱	۰/۹۱۳۵۵
1961 Turc	۱/۴۶۷	۰/۳۷۰	۰/۰۵۰۴۶	۰/۹۰۸۲۳
FAO Pan	۱/۵۹۳	۰/۴۷۹	۰/۰۳۲۸۶	۰/۸۹۸۸۷

از روش تجربی هارگریوز و سامانی را که فقط به عامل دما نیازمند می‌باشد، ترجیح داده می‌شود. بنابراین می‌توان در صورت کمبود آمار مورد نیاز برای بکارگیری روش فائو پنمن-مانتیت در شهرستان خرم‌بید روش هارگریوز و سامانی را بهترین روش برای برآورد تبخیر-تعرق مرجع و نیاز آبی گیاه در منطقه در نظر گرفت.

پیشنهاد‌های ترویجی

مصارف بیش‌ازحد آب در بخش‌های مختلف بخصوص بخش کشاورزی موجب شده کمبود آب به‌عنوان یک بحران جدی که زندگی بشر را تهدید می‌کند در سطح جهان مطرح شود. برای حل این مشکل نیاز به مدیریت منابع آب می‌باشد. یکی از عوامل مهم در مدیریت منابع آب برآورد دقیق بیلان آب است تا بر اساس آن بتوان برنامه‌ریزی صحیحی برای منابع آب و مصارف گوناگون از آن‌ها داشت. یکی از پارامترهای مهم

تجزیه و تحلیل‌های آماری نشان می‌دهد که روش‌های ASCE PM، ASCE PMrs، ASCE st PM، 1972KPen، FP 17 Pen، FAO 24Pen، 1996Kpen و 1948Pen و 1985 Harg با کمترین $NRMSE$ و MBE و بیشترین EF و d به ترتیب دارای بیشترین تطابق با روش پنمن-مانتیت-فائو می‌باشند. همچنین، روش‌های ASCE PM، ASCE PMrs، ASCE st PM، 1972KPen، FP 17 Pen، FAO 24Pen، 1996Kpen، 1948Pen، 1985 Harg، Prs -Tylr، 1957 Makk، 1961 Turc، FAO Pan، FAO 24Rd و FAO 24BC با بیشترین $NRMSE$ و کمترین EF و d به ترتیب دارای کمترین تطابق با پنمن-مانتیت-فائو هستند. هر چند که روش‌های پنمن (ASCE PM، ASCE st PM، ASCE PMrs، 1972KPen، FAO 24Pen، FP 17 Pen، 1996Kpen، 1948Pen) تطابق بیشتری با روش پنمن-مانتیت-فائو دارند ولی به دلیل اینکه نیازمند داده‌های تابش، دما، رطوبت و سرعت هستند و در برخی ایستگاه-های هواشناسی، دما تنها داده‌ی ثبت شده می‌باشد استفاده

مورد نیاز برای به‌کارگیری روش پنمن-مانتیت-فائو در ایستگاه سینوپتیک خرم‌بید، می‌توان روش هارگریوز و سامانی را بهترین روش برای برآورد تبخیر-تعرق مرجع و نیاز آبی گیاه در منطقه دانست. پیشنهاد می‌شود از روش‌های مبتنی بر هوش مصنوعی مانند شبکه‌های عصبی مصنوعی و منطق فازی نیز برای تخمین تبخیر-تعرق در شرایط کمبود داده در شهرستان خرم‌بید و همچنین شهرستان‌های دیگر کشور استفاده شود.

در بیان آب، تبخیر-تعرق می‌باشد. با توجه به این‌که برآورد دقیق تبخیر تعرق در یک منطقه و در مقیاس سالانه کار بسیار دشواری بوده و نیاز به زمان و هزینه زیادی دارد، از این‌رو در این مطالعه سعی شده است تا با استفاده از روش پنمن-مانتیت-فائو ابتدا برآوردی دقیق از تبخیر-تعرق در منطقه خرم‌بید انجام گردد و سپس با استفاده از نتایج آن، روش‌هایی که بهترین برآورد را برای منطقه خرم‌بید دارند انتخاب گردند. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده در این مطالعه می‌توان گفت که در صورت کمبود آمار

فهرست منابع

۱. ابراهیمی‌پاک، ا؛ تافته، آ؛ آگدرنژاد، ا؛ اسدی کپورچال، ص، ۱۳۹۷، تعیین ضرایب تبخیر-تعرق ماهانه گندم زمستانه با استفاده از روش‌های مختلف تخمین تبخیر-تعرق و تشت تبخیر در دشت قزوین، فصلنامه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب، ۳۲، ۱۱۹-۱۰۵.
۲. احمدپوری، ه؛ هاشمی گرم دره، س. ا؛ قلعه کهنه، ک، ۱۳۹۶، مقایسه روش‌های مختلف برآورد تبخیر-تعرق پتانسیل با روش فائو پنمن مانیتیت (مطالعه موردی: منطقه سپیدان). نیوار، ۴۱ (۹۸-۹۹)، ۲۱-۱۳.
۳. بهرامی، م؛ شریفی، م؛ زارع، ک، ۱۳۹۶، ارزیابی روش‌های مختلف برآورد تبخیر-تعرق پتانسیل در ایستگاه هواشناسی شهرستان فسا، دومین کنفرانس ملی هیدرولوژی ایران، شهرکرد، دانشگاه شهرکرد -انجمن هیدرولوژی ایران.
۴. تنها پور، م؛ احمدپوری، ه؛ قمرنیا، ه؛ حاجی زاده رودخانه، م؛ کرمی، ع، ۱۳۹۵، ارزیابی روش‌های مختلف برآورد تبخیر-تعرق گیاه مرجع بر مبنای روش پنمن مانیتیت فائو در استان بوشهر، کنفرانس ملی دیده بانی آینده زمین با محوریت آب و هوا، کشاورزی و محیط زیست، شیراز، مرکز توسعه آموزش‌های نوین ایران (متانا).
۵. عزیززاده، امین، ۱۳۸۵، اصول هیدرولوژی کاربردی، چاپ بیستم، مشهد: انتشارات دانشگاه امام رضا(ع).
۶. محمدرضاپورطبری، م؛ نجفی مرغملکی، س، ۱۳۹۶، ارزیابی روش‌های برآورد تبخیر-تعرق پتانسیل در شهرستان امیدیه، چهارمین کنفرانس بین‌المللی برنامه ریزی و مدیریت محیط زیست، تهران، دانشکده محیط زیست دانشگاه تهران.
7. Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., & Smith, M. 1998. Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements-FAO Irrigation and drainage paper 56. Fao, Rome, 300(9), D05109.
8. Castaneda, L., & Rao, P. 2005. Comparison of methods for estimating reference evapotranspiration in Southern California. Journal of environmental hydrology, 13

An appropriate method for estimating potential evapotranspiration in the absence of meteorological data (The case study of Khorrambid Township in Fars Province)

H. Ahmadpari¹, M. Safavi Gerdini, and M. Ebrahimi

M.Sc. Graduate of Irrigation and Drainage, University of Tehran. h.ahmadpari@gmail.com

M.Sc. Graduate of Water Resources Engineering, University of Zabol. maryamsafavi66@gmail.com

Assistant Professor, Department of Agriculture, Payam-e-Noor University, Tehran.

mahboube.ebrahimi@pnu.ac.ir

Abstract

Potential evapotranspiration (PET) is an important parameter of the hydrologic cycle whose estimation is essential for irrigation and water facility schemes as well as drainage and hydrologic studies. The parameter represents potential losses from moist surface soil and vegetation cover. The present study uses different evapotranspiration estimation methods and compares the results obtained from each against those obtained from the FAO-Penman-Monteith method used as the reference in the environment of the Ref-ET software to determine the accuracy of each and to select the best method for estimating PET in Khorrambid Township, Fars Province. All the methods are evaluated in terms of their efficiency using the statistical parameters of Normalized Root Mean Square Error (NRMSE), Efficiency of Model (EF), Agreement Index (d), and Mean Bias Error (MBE). The results are found to rank the investigated methods in the following order: ASCE stPM, ASCE PM, ASCE PMrs, KPen (1972), FAO 24Pn, FP 17 Pen, KPen (1996), Pen (1948), Harg (1985), FAO 24Rd, FAO 24BC, Prs –Tylr, Makk (1957), Turc (1961), and FAO Pan in terms of the lowest MBE and NRMSE but the highest EF and d values recorded. Although the Penman-based equations are found capable of yielding more accurate estimates of evapotranspiration rates by using temperature, relative humidity, wind speed, and sunny hours, in the absence of such data, however, it is the Hargreaves-Samani empirical method that can be effectively used to estimate evapotranspiration in Khorrambid Township with a lower error level than other empirical methods.

Keywords: Potential evapotranspiration, Irrigation, FAO Penman-Monteith, Khorrambid Township, Hargreaves–Samani method

¹- Corresponding author: Department of Water Resources Engineering, University of Zabol

An appropriate method for estimating potential evapotranspiration in the absence of meteorological data (The case study of Khorrambid Township in Fars Province)

H. Ahmadpari¹, M. Safavi Gerdini, and M. Ebrahimi

M.Sc. Graduate of Irrigation and Drainage, University of Tehran. h.ahmadpari@gmail.com

M.Sc. Graduate of Water Resources Engineering, University of Zabol. maryamsafavi66@gmail.com

Assistant Professor, Department of Agriculture, Payam-e-Noor University, Tehran.

mahboube.ebrahimi@pnu.ac.ir

Abstract

Potential evapotranspiration (PET) is an important parameter of the hydrologic cycle whose estimation is essential for irrigation and water facility schemes as well as drainage and hydrologic studies. The parameter represents potential losses from moist surface soil and vegetation cover. The present study uses different evapotranspiration estimation methods and compares the results obtained from each against those obtained from the FAO-Penman-Monteith method used as the reference in the environment of the Ref-ET software to determine the accuracy of each and to select the best method for estimating PET in Khorrambid Township, Fars Province. All the methods are evaluated in terms of their efficiency using the statistical parameters of Normalized Root Mean Square Error (NRMSE), Efficiency of Model (EF), Agreement Index (d), and Mean Bias Error (MBE). The results are found to rank the investigated methods in the following order: ASCE stPM, ASCE PM, ASCE PMrs, KPen (1972), FAO 24Pn, FP 17 Pen, KPen (1996), Pen (1948), Harg (1985), FAO 24Rd, FAO 24BC, Prs –Tylr, Makk (1957), Turc (1961), and FAO Pan in terms of the lowest MBE and NRMSE but the highest EF and d values recorded. Although the Penman-based equations are found capable of yielding more accurate estimates of evapotranspiration rates by using temperature, relative humidity, wind speed, and sunny hours, in the absence of such data, however, it is the Hargreaves-Samani empirical method that can be effectively used to estimate evapotranspiration in Khorrambid Township with a lower error level than other empirical methods.

Keywords: Potential evapotranspiration, Irrigation, FAO Penman-Monteith, Khorrambid Township, Hargreaves–Samani method

¹- Corresponding author: Department of Water Resources Engineering, University of Zabol