

برآورد تبخیر تعرق گیاه مرجع تحت سناریوهای کمبود داده (مطالعه موردی: استان کرمانشاه)

سمیرا اخوان^{۱*}، فاطمه موسی بیگی^۲، سید ابراهیم هاشمی گرمدره^۳

تاریخ ارسال: ۱۳۹۶/۰۸/۱۴

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۳/۰۵

چکیده

در دهه‌های اخیر مطالعات بسیاری با هدف ارزیابی روش‌های مختلف برآورد تبخیر تعرق، به عنوان یکی از پارامترهای مهم مدیریت منابع آب و آبیاری، انجام شده که در نتیجه این مطالعات، روش پنمن-مانتیث فائو (PM) به عنوان روش استاندارد محاسبه تبخیر تعرق گیاه مرجع شناخته شده است. این روش نیازمند داده‌های هواشناسی متعددی از جمله دمای هوا، تابش خورشیدی، کمبود فشار بخار و سرعت باد می‌باشد. از آنجا که در بسیاری از مناطق ایران ایستگاه هواشناسی موجود نیست و یا تمامی داده‌های هواشناسی مذکور اندازه‌گیری نمی‌شوند، بنابراین بررسی روش‌هایی جهت برآورد تبخیر تعرق در چنین شرایطی ضروری است. در این مطالعه، سناریوهای مختلف در زمان کمبود، یک، دو و سه پارامتر هواشناسی (رطوبت نسبی، سرعت باد و ساعات آفتابی) مورد ارزیابی قرار گرفته‌اند. همچنین، روش‌های پیشنهادی فائو (PM-R)، (PM-CI) (محاسبه-سپس-درونیایی)، (PM-IC) (درونیایی-سپس-محاسبه) و هارگریوز سامانی (HS) با استفاده از پارامترهای آماری مختلف با روش PM به عنوان روش استاندارد محاسبه تبخیر تعرق گیاه مرجع مورد مقایسه قرار گرفتند. نتایج نشان می‌دهد که در شرایطی که سرعت باد در اختیار نباشد، روش PM-IC تبخیر تعرق را با دقت بیشتری برآورد می‌کند ($R^2 > 0.96$). در حالی که در شرایط کمبود سایر پارامترهای هواشناسی (ساعات آفتابی و رطوبت نسبی)، دقت روش PM-R بیشتر می‌باشد ($R^2 \approx 0.99$). همچنین، در شرایط استفاده از روش‌های مبتنی بر دما (کمبود سه پارامتر هواشناسی)؛ روش HS ($PBIAS = -3.091$)، ($MAE = 0.337$ ، $ME = -0.156$) نتیجه قابل قبول تری نسبت به سایر روش‌ها ارائه می‌دهد.

کلمات کلیدی: تبخیر تعرق گیاه مرجع، کرمانشاه، کمبود داده، میانیابی مکانی.

^۱ استادیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، akhavan_samira@yahoo.com، s.akhavan@basu.ac.ir)

نویسنده مسئول)

^۲ دانشجوی دکتری آبیاری و زهکشی، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، Fatemeh.msbg@yahoo.com

^۳ استادیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران، Sehashemi@ut.ac.ir

مقدمه

تبخیر و تعرق یکی از مهمترین اجزای چرخه هیدرولوژیکی می‌باشد و تخمین دقیق آن برای بسیاری از مطالعات نظیر بیلان هیدرولوژیکی آب، طراحی و مدیریت سیستم‌های آبیاری، شبیه‌سازی تولید گیاهی و برنامه‌ریزی و مدیریت منابع آب ضروری است (وزیری و همکاران، ۱۳۸۷). پیچیدگی پدیده‌های طبیعی باعث ایجاد اختلاف در اطلاعات هواشناسی مناطق مختلف جهان می‌شود و به طبع آن تاثیرگذاری پارامترهای هواشناسی مختلف در برآورد تبخیر تعرق متفاوت می‌باشد، این نکته منجر به فعالیت بسیاری از محققین با هدف ارزیابی روش‌های مختلف برآورد تبخیر تعرق بوده است. روش‌های اندازه‌گیری تبخیر تعرق گیاه مرجع به دو دسته اندازه‌گیری مستقیم و غیر مستقیم (محاسباتی) تقسیم می‌شوند. دقیق‌ترین روش جهت اندازه‌گیری تبخیر تعرق استفاده از لایسیمتر (روش مستقیم) می‌باشد اما استفاده از این روش نیازمند صرف زمان و هزینه‌های بسیار است. بنابراین استفاده از روش‌های جایگزین ضروری می‌باشد (توکلی و همکاران، ۱۳۹۲؛ قائمی-بایگی و همکاران، ۱۳۹۲؛ هژبر و همکاران، ۱۳۹۳). محققان بسیاری روش‌های برآورد تبخیر تعرق را مورد بررسی قرار دادند و طبق نتایج آنها، یکی از بهترین معادلات شناخته شده در تخمین روزانه و ماهانه تبخیر تعرق مرجع در تمام اقلیم‌ها، معادله فائو پنمن-مانتیت می‌باشد (آلن و همکاران، ۱۹۹۸؛ دیناپوش، ۲۰۰۶؛ فولادمند، ۲۰۰۵؛ قمرنیا و همکاران، ۲۰۱۵). داده‌های مورد نیاز برای محاسبه این روش شامل: دمای هوا، تابش خورشیدی، کمبود فشار بخار و سرعت باد می‌باشد. مشکل اصلی این معادله نیاز به داده‌های هواشناسی متعدد است. بطوری‌که بعضی از این داده‌ها در تمامی ایستگاه‌های هواشناسی اندازه‌گیری نمی‌شوند و در دسترس نیستند و این مشکل زمانی که مجموعه بزرگی از داده‌های هواشناسی برای محاسبات اقلیمی مورد نیاز است، چشمگیرتر است به همین دلیل تلاش‌های زیادی به منظور توسعه روش‌هایی برای تخمین تبخیر تعرق در زمان کمبود

داده‌های هواشناسی صورت گرفته است (چن و همکاران، ۲۰۰۶؛ داداسر-سلیک و همکاران، ۲۰۱۵؛ اسپادافور و همکاران، ۲۰۱۱؛ ایرماک و همکاران، ۲۰۱۲؛ مک وایر و همکاران، ۲۰۰۷؛ توماس، ۲۰۰۰؛ موسوی بایگی و همکاران، ۱۳۸۸؛ رحیمی خوب و همکاران، ۱۳۸۵؛ توکلی و همکاران، ۱۳۹۲). از جمله این مطالعات می‌توان به دو روش پیشنهادی برای محاسبات تبخیر تعرق در زمان کمبود داده‌های هواشناسی، ارائه شده در راهنمای کاربرد محاسبات تبخیر تعرق FAO-56، اشاره نمود. در هر دو روش پیشنهادی تنها داده‌ای که برای محاسبات لازم است دمای هوا می‌باشد. بطوریکه در روش اول کمبود سایر مقادیر هواشناسی از طریق محاسبه آنها با استفاده از داده‌های موجود جبران می‌شود و در دومین روش پیشنهادی، تبخیر تعرق از طریق روش‌هایی که به داده‌های هواشناسی کمتری نیاز دارند محاسبه می‌شود. آلن و همکاران (۱۹۹۸) پیشنهاد دادند در زمانی که اطلاعات کافی و قابل اعتماد برای حل معادله پنمن-مانتیت در دسترس نیست از معادله هارگریوز استفاده شود. معادله هارگریوز فقط مستلزم حداکثر و حداقل دمای روزانه و تخمین تابش بیرون از محیط زمین است (دروگرس و آلن ۲۰۰۲). این روش رفتار و عملکرد بهتری برای پیش بینی داده‌های هفته‌ای یا طولانی‌تر از خود نشان می‌دهد (هارگریوز و آلن ۲۰۰۳). مطالعات متعددی این دو روش پیشنهادی را با یکدیگر مقایسه کردند. جابلون و همکاران (۲۰۰۸) مطالعه‌ای در تونس انجام دادند که بر اساس نتایج آنها عملکرد روش PM بهتر از روش هارگریوز می‌باشد، درحالی‌که تودوروویچ و همکاران (۲۰۱۳) نتایج متناقضی بدست آوردند که می‌تواند ناشی از تنوع اقلیمی مناطق مورد مطالعه باشد. علاوه بر این دو روش پیشنهادی ارائه شده توسط FAO-56، می‌توان در صورت وجود ایستگاه-های هواشناسی و اطلاعات کافی در مجاورت منطقه مورد مطالعه، کمبود اطلاعات هواشناسی را از طریق درونیابی مکانی بدست آورد (دیناپوش، ۲۰۰۶؛ هارت و همکاران، ۲۰۰۰؛ مک ویکار و همکاران، ۲۰۰۷؛

شد که در آنها یک یا چند متغیر محاسبه تبخیر تعرق حذف شده و سپس از طریق محاسبه آنها از طریق میانمایی و روش پیشنهادی فائو مقادیر تبخیر تعرق بدست آمده است و سپس نتایج آنها با یکدیگر از طریق پارامترهای آماری مقایسه شده است تا بتوان بهترین روش را برای محاسبه تبخیر تعرق در زمان کمبود داده بدست آورد.

مواد و روش‌ها

در این مطالعه مجموعه داده‌های ۱۰ ایستگاه هواشناسی موجود در استان کرمانشاه طی سال‌های ۲۰۰۴ تا ۲۰۱۴ مورد استفاده قرار گرفت. این استان با مساحتی برابر با ۲۵۲۵۹ کیلومتر مربع، بین ۴۰° ۳۳ تا ۱۷° ۳۵ عرض شمالی و ۲۴° ۴۵ تا ۳۰° ۴۸ طول شرقی قرار گرفته است و ارتفاع متوسط آن از سطح دریا ۱۲۰۰ متر می‌باشد. موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های مورد مطالعه در شکل ۱ مشاهده می‌شود. اطلاعات هواشناسی مورد استفاده در این مطالعه شامل حداقل و حداکثر دما، سرعت باد، رطوبت نسبی هوا و ساعات آفتابی می‌باشد. در این مطالعه سه ایستگاه کرمانشاه، اسلام آباد غرب و سرپل ذهاب مورد بررسی قرار گرفتند. بطوریکه از اطلاعات هفت ایستگاه دیگر مورد مطالعه به عنوان اطلاعات هواشناسی ایستگاه‌های همجوار در محاسبات مربوط به سناریوهای مورد ارزیابی، استفاده شد.

روش‌های ET_o

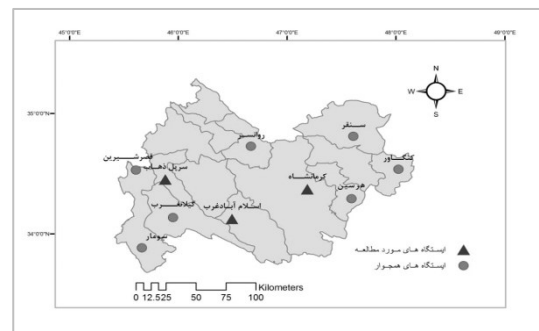
روش پنمن - مانتیت فائو (PM)

در روش PM، گیاه مرجع یک پوشش چمن فرضی است که ارتفاع آن ۱۲ سانتی‌متر وضریب بازتاب تابش (آلبیدو) در آن ۲۳ درصد است (ساوا و فرنکن، ۲۰۰۲؛ علیزاده و کمالی، ۱۳۸۶). معادله پنمن مانتیت به صورت ذیل توصیف شده است (آلن و همکاران، ۱۹۹۸):

(۱)

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

ماردیکیس و همکاران، ۲۰۰۷). ماردیکیس و همکاران (۲۰۰۵) دو روش را برای تخمین تبخیر تعرق بررسی کردند. ۱- محاسبه ET_o براساس میانمایی و ۲- محاسبه متغیرهای لازم برای محاسبه ET_o براساس میانمایی و سپس محاسبه ET_o بر اساس روش PM؛ آنها تفاوت معنی‌داری را بین این دو روش پیدا نکردند. توماس بورگرا و همکاران (۲۰۱۷) نیز روش‌های پیشنهادی، هارگریوز و میانمایی را با یکدیگر مقایسه کردند که براساس نتایج آنها دقت روش مبتنی بر میانمایی و سپس محاسبه، بیشتر از سایر روش‌ها بوده است. هدف از این مطالعه مقایسه عملکرد دو روش پیشنهادی PM و درونمایی مکانی با استفاده از داده‌های هواشناسی سال‌های ۲۰۱۴-۲۰۰۴ استان کرمانشاه می‌باشد، لذا انتخاب روشی استاندارد جهت برآورد تبخیر تعرق حائز اهمیت می‌باشد. قمرنیا و همکاران (۲۰۱۵)، طی سال‌های ۱۳۹۱-۱۳۹۲، مطالعه‌ای را جهت انتخاب روش مناسب برای محاسبه تبخیر تعرق گیاه مرجع، در کرمانشاه انجام دادند. براساس این مطالعه، نتایج بدست آمده از طریق ۹ روش محاسباتی تبخیر تعرق، با نتایج بدست آمده از لایسیمتر مقایسه شدند که در نتیجه آن روش فائو پنمن مانتیت به عنوان بهترین روش معرفی شد. بنابراین براساس همین مطالعه و نیز نتایج سایر محققان، روش فائو پنمن مانتیت به عنوان روش استاندارد در نظر گرفته شده است. همچنین در جهت اجرای مطالعه، هفت سناریو کمبود داده در نظر گرفته



شکل ۱- ایستگاه‌های هواشناسی مورد مطالعه در استان کرمانشاه

$$P = 101.3 \left(\frac{293 - 0.0065Z}{293} \right)^{5.26} \quad (۴)$$

۴- فشار بخار واقعی

فشار بخار واقعی (ea) همان فشار بخار آب موجود در هوا می‌باشد در هوای غیر اشباع، فشار بخار واقعی کمتر از اشباع است. تفاوت بین فشار بخار اشباع و واقعی، کمبود فشار بخار یا کمبود اشباع نامیده شده و نمایه دقیق از توان واقعی تبخیرکنندگی اتمسفر است. مقدار e_a از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$e_a = 0.6108 \exp \left(\frac{7.5 T_{\min}}{T_{\min} + 237.3} \right) \quad (۵)$$

۵- تابش خورشیدی (R_s)

دستگاه‌های اندازه‌گیری تابش خالص به ندرت، در ایستگاه هواشناسی کشاورزی نصب می‌شوند. در صورت عدم اندازه‌گیری مستقیم، از روی سایر پارامترهای هواشناسی مانند ساعات آفتابی، و با استفاده از معادله انگستروم محاسبه می‌گردد، اما در روش PM-R چنانچه، داده های تابش خورشیدی روزانه موجود نباشند، این پارامتر با استفاده از معادله هارگریوز به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$R_s = K_{RS} \sqrt{T_{\max} - T_{\min}} R_a \quad (۶)$$

که در آن R_a ، تابش برون زمینی ($MJ/m^2 d$) بوده و توسط روش‌های ارائه شده توسط آلن و همکاران (۱۹۹۸) و پریرا و همکاران (۱۹۹۷) برای محاسبه R_n (تابش خالص) محاسبه می‌شود. تابش خالص تفاوت بین تابش موج کوتاه ورودی خالص و تابش موج بلند خروجی خالص می‌باشد. ضریب k_{RS} یک ضریب تجربی است که در اینجا ۰/۱۶ در نظر گرفته می‌شود.

۶- تابش موج کوتاه در آسمان صاف (R_{so})

این پارامتر برای محاسبه تابش موج بلند خالص به کار می‌رود.

$$R_{so} = R_a (0.75 + 2 \times 10^{-5} Z) \quad (۷)$$

۷- تابش موج بلند خالص

که در آن: ET_0 = تبخیر- تعرق گیاه مرجع (mm/d)، R_n = تابش خالص در سطح پوشش گیاهی ($MJ/m^2 d$)، Δ = شیب منحنی فشار بخار ($KPa/^\circ C$)، γ = ضریب رطوبتی ($KPa/^\circ C$)، G = شار گرما به داخل خاک ($MJ/m^2 d$)، u_2 = سرعت باد در ارتفاع دو متری (m/s)، ($es - ea$): کمبود فشار بخار اشباع (Kpa).

روش پیشنهادی پنمن مانیتیت فائو ۵۶ (PM-R)

دمای هوا یک عامل کلیدی و بسیار مهم در برآورد تبخیر تعرق مرجع محسوب می‌شود. این پارامتر در اکثر ایستگاه‌های هواشناسی اندازه‌گیری شده و در دسترس می‌باشد. در همین راستا راهنمای FAO-56 روشی را برای محاسبه داده‌های هواشناسی که اندازه‌گیری نشده و در دسترس نیستند ارائه داده است که بر اساس آن با استفاده از روابط زیر پارامترهای مورد نیاز در رابطه ۱ اصلاح شده و ET_0 در شرایط کمبود داده و فقط با استفاده از دمای حداکثر و حداقل به دست آمد.

۱- سرعت باد

از آنجا که ET_0 حساسیت کمی به مقدار سرعت باد دارد، آلن و همکاران (۱۹۹۸) پیشنهاد دادند که مقدار سرعت باد در ارتفاع دو متری، $2 m/s$ فرض گردد.

۲- شیب منحنی فشار بخار

$$\Delta = \frac{2504 \exp[17.27 T / (T + 237.3)]}{(T + 237.3)^2} \quad (۲)$$

T = دمای متوسط هوا ($^\circ C$)، Δ = شیب منحنی فشار بخار ($KPa/^\circ C$).

۳- ضریب رطوبتی

$$\gamma = 0.665 \times 10^{-3} P \quad (۳)$$

P : فشار هوا بر حسب کیلو پاسکال و در واقع فشار اعمال شده به وسیله وزن اتمسفر اطراف کره زمین است که با داشتن ارتفاع محل از سطح دریا با رابطه زیر محاسبه می‌شود که Z ارتفاع محل از سطح دریا (متر) می‌باشد:

روش‌هایی است که از داده‌های اندازه‌گیری شده در ایستگاه‌های مجاور برای محاسبه ET_0 استفاده می‌کند. بطور کلی این گروه از روش‌ها به دو دسته تقسیم می‌شوند: الف: در این روش تبخیر تعرق با استفاده از روش PM و اطلاعات موجود ایستگاه‌های مجاور محاسبه شده و سپس برای سایر مناطق درونیابی می‌شود (محاسبه - سپس - درونیابی (PM-CI)). ب: از اطلاعات ایستگاه‌های موجود و روش درونیابی مکانی برای بدست آوردن پارامترهای ناموجود استفاده شده و سپس با استفاده از روش PM تبخیر تعرق محاسبه می‌شود (درونیابی - سپس - محاسبه (PM-IC)). با ترکیب روش‌های مختلف محاسبه ET_0 و سناریوهای کمبود داده، ۱۵ مدل مجزا بدست آمد که مشخصات آنها در جدول ۱ آمده است.

مقایسه روش‌ها

برای مقایسه بین تبخیر تعرق مشاهده شده (روش PM) و مقادیر تخمین زده شده، از شاخص‌های آماری زیر استفاده شد:

قدر مطلق خطا (MAE)

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^N |P_i - O_i|}{N}$$

(۱۰)

که در آن: O_i = مقادیر مشاهده شده (PM)، P_i = مقادیر برآورد شده و N تعداد مشاهدات می‌باشد. MAE = قدر مطلق خطا می‌باشد و مقدار آن همیشه بزرگتر و مساوی با صفر می‌باشد. هرچه قدر که به صفر نزدیک‌تر باشد نتیجه روش مطلوبتر است.

ضریب همبستگی (R^2)

$$R^2 = \left(\frac{\sum_{i=1}^N (O_i - \bar{O})(P_i - \bar{P})}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (O_i - \bar{O})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^N (P_i - \bar{P})^2}} \right)^2$$

(۱۱)

که در آن \bar{O} و \bar{P} میانگین مقادیر مشاهده شده و برآورد شده می‌باشند. دامنه تغییرات R^2 ، +۱ تا -۱ می‌باشد و رابطه خطی موجود بین دو روش را بیان می‌کند.

(۸)

$$RnI = \sigma \left[\frac{T_{max,k} + T_{min,k}}{2} \right] \left(0.34 - 0.14 \sqrt{e_a} \left(1.35 \frac{R_s}{R_{so}} - 0.35 \right) \right)$$

که در آن: RnI = تابش طول موج بلند خروجی خالص ($MJ/m^2 d$)، σ = ثابت قانون استفان بولتزمن ($1/$)، $T_{max,k}$ = حداکثر دمای مطلق، $T_{min,k}$ = حداقل دمای مطلق.

روش هارگریوز و سامانی (HS)

روش هارگریوز و سامانی بصورت زیر می‌باشد (هارگریوز و سامانی، ۱۹۸۲، ۱۹۸۵):

(۹)

$$ET_0 = \frac{1}{\lambda} (0.0023) R_A TD^{1/2} (T + 17.8)$$

که در آن: R_A = تابش فرازمینی ($MJ/m^2 d$)، TD = تفاوت بین میانگین حداکثر و میانگین حداقل دمای هوا ($^{\circ}C$)، T = میانگین روزانه دمای هوا در ارتفاع ۲ متری ($^{\circ}C$).

سناریوهای مورد بررسی

به منظور مقایسه عملکرد روش‌های مختلف برآورد ET_0 ، زمانیکه تعدادی از داده‌های هواشناسی موجود نباشند، هفت سناریوی کمبود داده شبیه‌سازی شد. از آنجاکه در ایستگاه‌های مورد مطالعه، تابش خورشیدی اندازه‌گیری نشده است، بنابراین از معادله انگستروم برای محاسبه تابش خورشیدی استفاده شد. به همین دلیل ساعات آفتابی به عنوان یک پارامتر هواشناسی مورد نیاز برای محاسبه تابش خورشیدی در سناریوهای محاسبه ET_0 مورد ارزیابی قرار گرفته است. این سناریوها برای کمبود یک، دو و سه پارامتر لازم برای محاسبه ET_0 (سرعت باد، رطوبت نسبی و ساعات آفتابی)، در نظر گرفته شده‌اند. دمای هوا تنها پارامتری است که در تمامی سناریوهای محاسبه ET_0 استفاده می‌شود. روش‌های محاسبه ET_0 تحت این سناریوها به دو گروه دسته‌بندی می‌شوند:

گروه اول شامل روشهایی است که از داده‌های محلی موجود استفاده می‌کند (روش‌های مبتنی بر مدل) و شامل روش پیشنهادی فائو (PM-R) و روش هارگریوز سامانی (HS) می‌باشد. گروه دوم نیز شامل

مقادیر منفی و مثبت ME به ترتیب نشان‌دهنده کم‌برآوردی و بیش‌برآوردی روش مورد مطالعه است و PBIAS همان نتایج را به صورت درصد بیان می‌کند.

درصد ضریب اریبی (PBIAS)

$$PBIAS = 100 \times \frac{\sum_{i=1}^N (P_i - O_i)}{\sum_{i=1}^N O_i} \quad (13)$$

کند. در این مطالعه هر چه قدر که R^2 به یک نزدیکتر باشد نتیجه روش مطلوب‌تر است.

میانگین خطا (ME)

$$ME = \frac{\sum_{i=1}^N (P_i - O_i)}{N} \quad (12)$$

جدول ۱ - سناریوهای محاسبه ET_0 بر اساس کمبود پارامترهای هواشناسی

سناریوهای کمبود داده			
استفاده از اطلاعات هواشناسی سایر ایستگاه‌ها	استفاده از داده‌های هواشناسی موجود	اطلاعات هواشناسی موجود	کمبود اطلاعات هواشناسی
PM-IC(TNW)	PM-R(TNW)	T, N, W	H
PM-IC(TNH)	PM-R(TNH)	T, N, H	W
PM-IC(TWH)	PM-R(TWH)	T, W, H	N
PM-IC(TN)	PM-R(TN)	T, N	H, W
PM-IC(TW)	PM-R(TW)	T, W	H, N
PM-IC(TH)	PM-R(TH)	T, H	W, N
-	PM-R(T)	T	H, W, N
-	Hs(T)	T	-
PM-CI(T)	-	-	T, H, W, N

T=دمای هوا، H=رطوبت نسبی هوا، W=سرعت باد، N=ساعات آفتابی، PM-R=محاسبه PM براساس روش پیشنهادی فائو
۵۶. PM-IC=محاسبه PM براساس اطلاعات هواشناسی بدست آمده از میان‌یابی مکانی، PM-CI=میان‌یابی مکانی PM
ایستگاه‌های مجاور، HS=روش هارگریوز

نتایج و بحث

مقایسه بین روش پیشنهادی فائو و روش میان‌یابی مکانی جهت تخمین مقادیر رطوبت نسبی، سرعت باد و ساعات آفتابی انجام گرفت. شکل ۲ و جدول ۲ نتایج مقایسه بین اطلاعات هواشناسی مشاهده شده در سه ایستگاه مورد ارزیابی و نتایج حاصل از میان‌یابی را نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود نتایج بدست‌آمده از روش میان‌یابی در برآورد مقادیر رطوبت نسبی و ساعات آفتابی قابل قبول بوده است ($R^2 > 0.97$) اما نتایج بدست‌آمده در برآورد سرعت باد نشان‌دهنده ضریب همبستگی پایینی می‌باشد ($R^2 = 0.738$). نتایج نشان می‌دهند که روش میان‌یابی مقادیر رطوبت نسبی (PBIAS=-21.089)، (MAE=7.803) و ساعات آفتابی (PBIAS=-0.026)، (MAE=0.281) را کمتر از مقادیر مشاهده شده برآورد می‌کند در حالیکه مقادیر سرعت باد

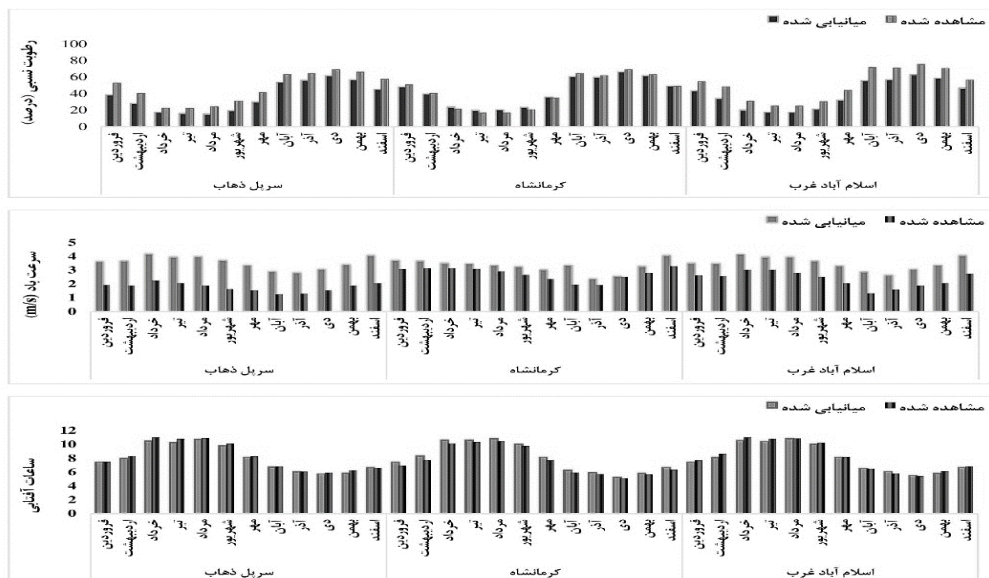
بیشتر از (PBIAS=56.437، MAE=0.843) بیشتر از مقادیر مشاهده شده تخمین زده شده‌اند که با نتایج به‌دست آمده در مطالعه بورگرا و همکاران (۲۰۱۷) همخوانی دارد. یکی از دلایل ضعیف بودن نتایج میان‌یابی سرعت باد، اختلاف مقادیر سرعت باد نسبت به سایر پارامترها (رطوبت نسبی و ساعات آفتابی) در موقعیت‌های جغرافیایی ایستگاه‌های مورد مطالعه می‌باشد. بنابراین هرچقدر که این اختلاف بیشتر باشد باید تراکم ایستگاه‌های مورد بررسی را بیشتر نمود (لو و همکاران، ۲۰۰۸). همچنین با مقایسه رطوبت نسبی و ساعات آفتابی، مشاهده می‌شود که ساعات آفتابی و ساعات آفتابی (ME=0.093) با دقت بیشتری نسبت به رطوبت نسبی (ME=-7.096) تخمین زده شده است. نکته دیگری که در نتایج به دست آمده قابل توجه است، فاصله و تعداد ایستگاه‌های همجوار برای محاسبه پارامترهای مورد ارزیابی می‌باشد، همانطور که مشاهده

آفتابی در یک محدوده کوچک از عرض جغرافیایی (استان کرمانشاه) چندان مؤثر نمی‌باشد به بیان دیگر، اختلاف مقادیر ساعات آفتابی ایستگاه‌های هواشناسی در استان کرمانشاه ناچیز بوده، به همین دلیل میانگین خطای ایجادشده، ناچیز می‌باشد ((سرپل ذهاب = -0.218، کرمانشاه = 0.341، اسلام آباد غرب = -0.154 (ME > 0.154).

می‌شود دقت رطوبت نسبی و سرعت باد محاسبه شده در ایستگاه کرمانشاه بیشتر از دو ایستگاه دیگر بوده است، به عبارت دیگر درصد ضریب اریبی پایین‌تری دارد (به ترتیب $PBIAS = -0.21$ و $PBIAS = 19.999$)، که می‌تواند ناشی از تراکم بیشتر و فاصله کمتر ایستگاه‌های معلوم و همجوار برای این ایستگاه (کرمانشاه) باشد (شکل ۱)، اما تأثیر فاصله و تعداد ایستگاه‌های همجوار برای محاسبه ساعات

جدول ۲- شاخص‌های آماری مقایسه بین اطلاعات هواشناسی بدست آمده از میانمایی مکانی و مشاهدات ایستگاه‌های هواشناسی

پارامتر هواشناسی	ایستگاه هواشناسی	MAE	R ²	ME	PBIAS
H	سرپل ذهاب	9.720	0.933	-9.720	-21.089
	کرمانشاه	2.210	0.987	-0.089	-0.210
	اسلام آباد غرب	11.479	0.990	-11.479	-22.874
	میانگین	7.803	0.97	-7.096	-21.089
W	سرپل ذهاب	1.781	0.834	1.781	100.852
	کرمانشاه	0.548	0.585	0.548	19.999
	اسلام آباد غرب	1.139	0.891	1.139	48.460
	میانگین	0.8435	0.738	0.8435	56.437
N	سرپل ذهاب	0.223	0.994	-0.218	-2.654
	کرمانشاه	0.341	0.996	0.341	4.456
	اسلام آباد غرب	0.222	0.990	-0.154	-1.880
	میانگین	0.281	0.993	0.093	-0.026



شکل ۲- مقایسه پارامترهای هواشناسی (رطوبت نسبی هوا، سرعت باد و ساعات آفتابی) بدست آمده از طریق میانمایی و مشاهده شده در ایستگاه‌های هواشناسی مورد مطالعه.

کمبود یک پارامتر هواشناسی

نتایج حاصل از بررسی سناریوهای مورد ارزیابی در این مطالعه در جدول ۳ و شکل‌های ۳ و ۴ ارائه شده است. نتایج نشان می‌دهد که در شرایط کمبود اطلاعات رطوبت نسبی، تبخیر تعرق به دست آمده از روش PM-IC(TNW)، ۱۸/۶۷۷ درصد کمتر از مقدار محاسبه شده با روش PM می‌باشد در حالی که مقدار تخمینی تبخیر تعرق با استفاده از روش PM-R(TNW)، ۱/۱۶۲ درصد بیشتر از روش PM بدست آمده است که بیانگر دقت بالای این روش می‌باشد. میانگین خطای ناچیز بدست آمده (ME=0.062) در این روش نیز همین نتیجه را تأیید می‌کند. همچنین با دقت در شکل ۳، مشاهده می‌شود که درصد ضریب ارببی هر دو روش مذکور در ماه‌های مختلف سال تقریباً یکسان بوده و تطابق روش‌های PM-R(TNW) و PM در تمامی ماه‌های سال مشاهده می‌شود (شکل ۴-الف). بررسی پارامترهای آماری مورد ارزیابی، در زمان کمبود داده‌های سرعت باد، نشان می‌دهد که با وجود ضریب همبستگی بالا و قابل قبول ($R^2 > 0.94$) دو روش PM-R(TNH) و PM-IC(TNH)، میانگین خطای روش PM-IC(TNH) کمتر بوده و بیانگر دقت بالاتر این روش در برآورد تبخیر تعرق می‌باشد (ME=-0.28). با توجه به شکل ۳ مشاهده می‌شود که در ماه‌های مهر

تا دی، تبخیر تعرق به دست آمده از این روش کمتر از مقدار محاسبه شده با استفاده از روش PM می‌باشد. یکی دیگر از پارامترهای مورد نیاز برای محاسبه تبخیر تعرق، تابش خورشیدی می‌باشد. همانطور که گفته شد، علاوه بر اندازه‌گیری مستقیم، با استفاده از ساعات آفتابی و معادله انگستروم قابل محاسبه می‌باشد. در شرایط کمبود داده‌های ساعات آفتابی دو روش PM-R(TWH) و PM-IC(TWH) مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج بدست آمده نشان دهنده انطباق بالای روش PM-R(TNH) و روش PM می‌باشد. بطوری که میانگین خطای بدست آمده بسیار ناچیز و نزدیک به صفر می‌باشد (ME=-0.003). نتایج به دست آمده از روش PM-IC(TWH) نیز دقت بالایی داشته (ME=0.213) و اما با مقایسه دو روش مورد بررسی، روش PM-R(TWH) دقت بالاتری داشته و در شرایط کمبود اطلاعات ساعات آفتابی توصیه می‌شود. شکل ۴-الف، مقایسه کلی مقادیر بدست آمده از روش‌های مورد ارزیابی در شرایط کمبود یک پارامتر هواشناسی را نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود در تمامی روش‌ها، اختلاف مقادیر بدست آمده و روش PM، در ماه‌های گرم سال افزایش یافته است.

کمبود دو پارامتر هواشناسی

نتایج حاصل از بررسی مقادیر بدست آمده از دو روش PM-R(TN) و PM-IC(TN) در شرایط کمبود داده‌های رطوبت نسبی و سرعت باد در جدول ۳ و شکل‌های ۳ و ۴ ارائه شده است. همانطور که مشاهده می‌شود نتایج به‌دست آمده، اختلاف چندانی با یکدیگر ندارند. بطوری‌که روش PM-R مقدار تبخیرتغرق را بیشتر از مقدار بدست‌آمده از روش PM محاسبه کرده ($PBIAS=19.818$) و روش PM-IC مقدار تبخیرتغرق را کمتر برآورد نموده است ($PBIAS=-21.02$). روند افزایش خطا در ماه‌های گرم سال برای هر دو روش، و در شکل‌های ۳ و ۴-ب، مشاهده می‌شود. مقایسه ضریب همبستگی دو روش مورد بررسی، برتری نسبی روش PM-IC(TN) را نشان می‌دهد ($R^2=0.978$). همچنین در زمان کمبود رطوبت نسبی و ساعات آفتابی نتایج بدست‌آمده از دو روش PM-R(TW) و PM-IC(TW) مورد بررسی قرار گرفت. همان‌طور که در جدول ۳ و شکل ۳ مشاهده می‌شود، اختلاف قابل توجهی در میزان خطای دو روش PM-R و PM-IC وجود دارد. بطوری‌که روش PM-IC(TW) میزان تبخیرتغرق را ۱۳/۶۹۸ درصد کمتر از مقدار محاسبه شده توسط روش PM برآورد کرده، در حالی‌که میزان برآورد شده تبخیرتغرق از طریق روش PM-R(TW)، ۱/۱۳ درصد بیشتر مقدار بدست‌آمده از روش PM می‌باشد. میانگین خطای ناچیز و ضریب همبستگی بالای روش PM-R(TW) ($R^2=0.999$ و $ME=0.061$)، نشان‌دهنده دقت بالای این روش در برآورد تبخیرتغرق می‌باشد. بطوریکه دو روش PM-R(TW) و PM در تمام ماه‌های سال (به‌جز فصل تابستان) تقریباً بریکدیگر منطبقند. نتایج بررسی پارامترهای آماری دو روش PM-R(TH) و PM-IC(TH) در شرایط کمبود اطلاعات سرعت باد و ساعات آفتابی نیز، نشان می‌دهد که روش PM-R(TH)، علی‌رغم ضریب همبستگی مناسب ($R^2=0.95$)، میانگین خطای بالایی ($ME=0.924$) داشته و در ماه‌های گرم سال فاصله بیشتری با مقادیر بدست آمده از روش PM

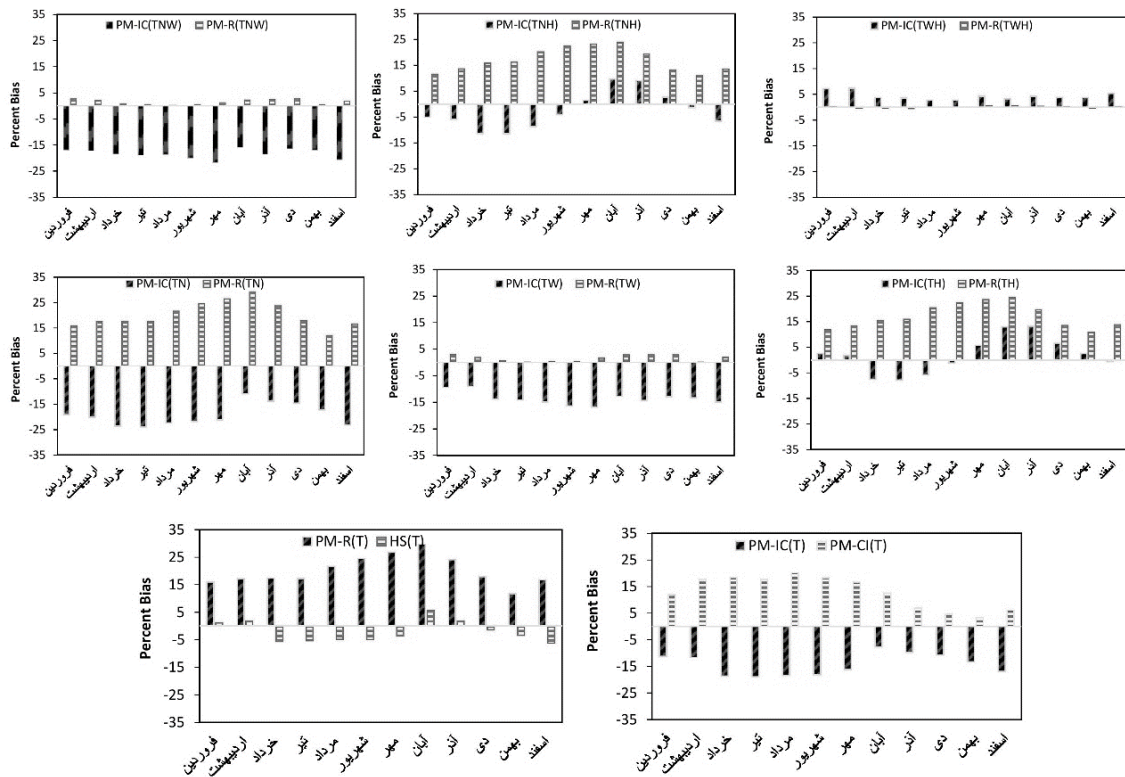
ایجاد شده‌است (شکل ۳). همان‌طور که در جدول ۳ و شکل ۴-ب مشاهده می‌شود، مقادیر تبخیرتغرق محاسبه شده از روش PM-IC(TH) در تمامی ماه‌های سال با روش PM مطابقت داشته و به عنوان یک روش جایگزین در شرایط کمبود اطلاعات سرعت باد و ساعات آفتابی توصیه می‌شود. بطورکلی نتایج بدست‌آمده نشان می‌دهند زمانی که اطلاعات مربوط به سرعت باد در دسترس نباشند (در زمان کمبود یک یا دو پارامتر هواشناسی)، روش PM-IC تبخیرتغرق را با دقت بیشتری برآورد می‌کند، در حالی‌که در شرایط کمبود سایر پارامترهای هواشناسی (H, N) دقت روش PM-R بالاتر می‌باشد.

کمبود سه پارامتر هواشناسی

جدول ۳ و شکل‌های ۳ و ۴ نتایج ارزیابی شاخص‌های آماری روش‌های مبتنی بر دمای هوا را نشان می‌دهد. در این شرایط نتایج به دو گروه استفاده از اطلاعات هواشناسی منطقه و استفاده از اطلاعات هواشناسی ایستگاه‌های مجاور دسته‌بندی شده‌اند. دو روش PM-R(T) و HS(T)، در گروه روش‌هایی که از اطلاعات هواشناسی منطقه استفاده کرده‌اند، قرار گرفته‌اند. همانطور که مشاهده می‌شود، مقدار تبخیرتغرق محاسبه شده از طریق روش PM-R(T)، ۱۹/۸۰۳ درصد بیشتر از روش PM می‌باشد، در حالی‌که روش HS(T)، ۳/۰۹۱ درصد کمتر از روش PM بدست آمده‌است. اختلاف روش PM-R(T) و روش PM، در نیمه اول سال قابل توجه می‌باشد، در حالیکه روش‌های HS(T) و PM در تمامی ماه‌های سال با یکدیگر مطابقت دارند (شکل ۴-ج). در ادامه، دو روش PM-CI(T) و PM-IC(T) در گروه روش‌هایی که از اطلاعات هواشناسی ایستگاه‌های مجاور استفاده کرده‌اند، قرار گرفتند. نتایج نشان می‌دهد که خطای محاسباتی این دو روش در محاسبه تبخیرتغرق، تقریباً برابر می‌باشد ($ME \approx 0.8$) و اختلاف آنها در به ترتیب، بیشتر و کمتر برآورد کردن مقدار تبخیرتغرق نسبت به روش PM، می‌باشد. با این حال ضریب همبستگی روش PM-IC(T)، نقطه قوت این روش نسبت به روش PM-CI(T)، می‌باشد.

روش‌های مورد مطالعه داشته و در شرایط کمبود اطلاعات هواشناسی توصیه می‌شود.

به‌طور کلی با مقایسه روش‌های مبتنی بر دما، مشاهده می‌شود که روش HS(T)، دقت بالایی نسبت به سایر



شکل ۳- مقایسه PBIAS ماهانه روش‌های مورد مطالعه، تحت سناریوهای مختلف کمبود اطلاعات هواشناسی.

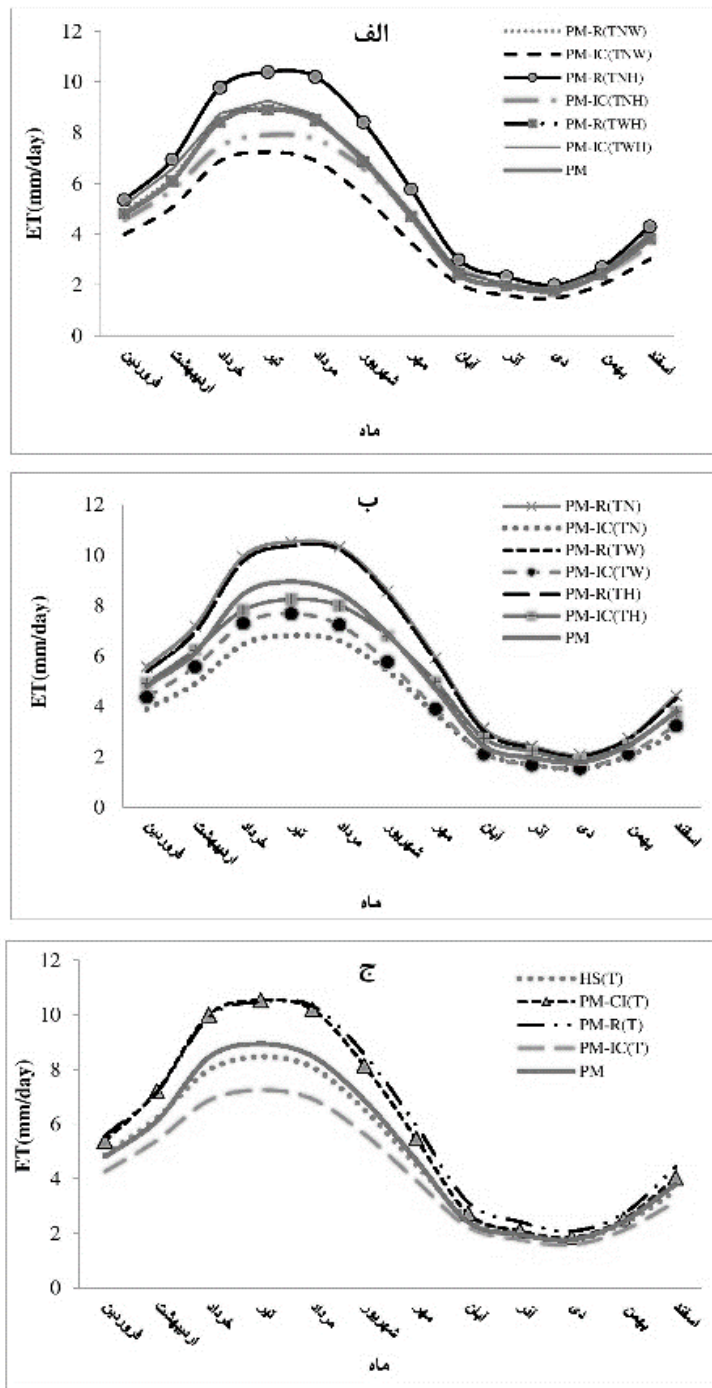
جدول ۳- شاخص‌های ارزیابی روشهای مورد مطالعه، تحت سناریوهای مختلف کمبود اطلاعات هواشناسی.

روش مورد مطالعه	MAE	R ²	ME	PBIAS	
کمبود یک پارامتر هواشناسی					
H	PM-R(TNW)	0.117	0.998	0.062	1.162
	PM-IC(TNW)	0.945	0.995	-0.945	-18.677
W	PM-R(TNH)	0.927	0.947	0.927	17.293
	PM-IC(TNH)	0.445	0.966	-0.28	-5.534
N	PM-R(TWH)	0.037	1	-0.003	-0.065
	PM-IC(TWH)	0.214	0.998	0.213	4.218
کمبود دو پارامتر هواشناسی					
H,W	PM-R(TN)	1.063	0.93	1.062	19.818
	PM-IC(TN)	1.064	0.978	-1.064	-21.02
H,N	PM-R(TW)	0.091	0.999	0.061	1.13
	PM-IC(TW)	0.693	0.99	-0.693	-13.698
W,N	PM-R(TH)	0.924	0.95	0.924	17.248
	PM-IC(TH)	0.382	0.966	-0.058	-1.137
کمبود سه پارامتر هواشناسی					
استفاده از داده‌های محلی					
H,W,N	HS(T)	0.337	0.970	-0.156	-3.091
H,W,N	PM-R(T)	1.062	0.933	1.061	19.803
استفاده از داده‌های ایستگاه همجوار					
H,W,N	PM-CI(T)	1.155	0.902	0.782	15.449
H,W,N	PM-IC(T)	0.801	0.974	-0.801	-15.834

نتیجه گیری

به منظور بررسی روش‌های مختلف تخمین تبخیر تعرق گیاه مرجع در سناریوهای کمبود داده، با استفاده از اطلاعات هواشناسی ۱۰ ایستگاه هواشناسی در استان کرمانشاه، ۱۵ سناریو کمبود داده تعریف شده است که این سناریوها براساس کمبود یک، دو و سه پارامتر هواشناسی (رطوبت نسبی، سرعت باد و ساعات آفتابی) بنا نهاده شده‌اند درحالی‌که در تمامی آن‌ها دمای هوا موجود می‌باشد. نتایج بدست‌آمده از مقایسه بین روش‌های پیشنهادی فائو (PM-R)، PM-

CI (محاسبه - سپس - درونیابی)، PM-IC (درونیابی - سپس - محاسبه) و هارگریوز سامانی (HS) نشان می‌دهد در شرایطی که دمای هوا تنها داده هواشناسی موجود می‌باشد؛ روش HS نتیجه قابل قبول تری نسبت به سایر روش‌ها ارائه می‌دهد و در سایر سناریوها روش PM-R با دقت بیشتری مقادیر تبخیر تعرق را برآورد نموده است. بطور کلی با توجه به اهمیت محاسبات تبخیر تعرق، انجام این مطالعه در سایر مناطق کشور نیز توصیه می‌شود



شکل ۴- مقایسه مقادیر تبخیرتعرق محاسبه شده در شرایط الف- کمبود یک پارامتر هواشناسی، ب- کمبود دو پارامتر هواشناسی و ج- کمبود سه پارامتر هواشناسی، در ماه‌های مختلف سال.

منابع

- رحیمی خوب، ع. بهبهانی، م. نظری فر، م. ۱۳۸۸. بررسی استفاده از حداقل داده های هواشناسی در معادله پنمن مانتیث- مطالعه موردی استان خوزستان. علوم کشاورزی: ۱۲(۳).
- توکلی، ا.، قهرمان، ب. اوری، ک. انصاری، ح. ۱۳۹۲. برآورد تبخیر- تعرق مرجع در شرایط کمبود داده (مطالعه موردی: استان خراسان شمالی). علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک: ۱۷(۶۵).
- علیزاده، ا.، کمالی، غ. ۱۳۸۶. نیاز آبی گیاهان در ایران، دانشگاه امام رضا.
- قائمی بایگی، مریم، رائینی سرجاز، محمود، موسوی بایگی، محمد. ۱۳۹۲. برآورد ضریب گیاهی و تبخیر - تعرق گندم رقم گاسکوژن در مشهد با استفاده از روش تراز انرژی. نشریه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب ایران. ۵۸-۶۸(۳):۳.
- موسوی بایگی، م. عرفانیان، م. سرمد، م. ۱۳۸۸. استفاده از حداقل داده های هواشناسی برای برآورد تبخیر و تعرق گیاه مرجع و ارائه ضرایب اصلاحی (مطالعه موردی: استان خراسان رضوی). پژوهشهای آب و خاک: ۲۳(۱).
- وزیری، ژ. ع. سلامت، م. انتصاری، م. مسچی، ن. حیدری، ح. دهقانی سانج. ۱۳۸۷. تبخیر-تعرق گیاهان (دستورالعمل محاسبه آب مورد نیاز گیاهان). کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران.
- هژبر، حسن، معاضد، هادی، شکری کوچک، سعید. ۱۳۹۳. برآورد تبخیر و تعرق مرجع با استفاده از مدل های تجربی، مدل سازی آن با شبکه عصبی مصنوعی و مقایسه آن ها با داده های لایسیمتری در ایستگاه کهریز ارومیه. نشریه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب ایران. 13-25(3):3
- Allen, Richard G., Luis S. Pereira, Dirk Raes, and Martin Smith. 1998. Crop Evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements-FAO Irrigation and drainage paper 56. FAO, Rome 300, no. 9: D05109.
- Dadaser- Celik, Filiz, Eda Cengiz, and Ozge Guzel. 2016. Trends in reference evapotranspiration in Turkey: 1975-2006. International Journal of Climatology 36.4: 1733-1743.
- Dinpashoh, Yagob. 2006. Study of reference crop evapotranspiration in IR of Iran. Agricultural Water Management 84.1: 123-129.
- Droogers, Peter, and Richard G. Allen. 2002. Estimating reference evapotranspiration under inaccurate data conditions. Irrigation and drainage systems 16, no. 1: 33-45.
- Espadafor, M., et al. 2011. An analysis of the tendency of reference evapotranspiration estimates and other climate variables during the last 45 years in Southern Spain. Agricultural Water Management 98.6: 1045-1061.
- Fouladmand, H. and Sepaskhah, A.R., 2005. Evaluation and calibration of three evapotranspiration equations in a semi-arid region.
- Ghamarnia, H., Mousabeygi, F., Amiri, S. and Amirkhani, D., 2015. Evaluation of a Few Evapotranspiration Models Using Lysimetric Measurements in a Semi-Arid Climate Region. Int J Plant Soil Sci, 5(2), pp.100-109.
- Hargreaves, George H., and Richard G. Allen. 2003. History and evaluation of Hargreaves evapotranspiration equation. Journal of Irrigation and Drainage Engineering 129, no. 1: 53-63.
- Hargreaves, George H., and Zohrab A. Samani. 1982. Estimating potential evapotranspiration. Journal of the Irrigation and Drainage Division 108, no. 3: 225-230.
- Hargreaves, George H., and Zohrab A. Samani. 1985. Reference crop evapotranspiration from temperature. Applied engineering in agriculture 1, no. 2: 96-99.
- Hart, Q. J., et al. 2009. Daily reference evapotranspiration for California using satellite imagery and weather station measurement interpolation. Civil engineering and environmental systems 26.1: 19-33.
- Hashem, A., et al. 2016. Performance Evaluation and Development of Daily Reference Evapotranspiration Model. Irrigat Drainage Sys Eng 5.157: 2.

Irmak, Suat, et al. 2012. Trend and magnitude of changes in climate variables and reference evapotranspiration over 116-yr period in the Platte River Basin, central Nebraska–USA. *Journal of Hydrology* 420: 228-244.

Jabloun, M. de, and A. Sahli. 2008. Evaluation of FAO-56 methodology for estimating reference evapotranspiration using limited climatic data: Application to Tunisia. *Agricultural water management* 95.6: 707-715.

Liu, Y., et al. 1997. Update definition and computation of reference evapotranspiration comparison with former method. *Journal of hydraulic engineering* 6.3: 27-33.

López-Moreno, J. I., T. M. Hess, and S. M. White. 2009. Estimation of reference evapotranspiration in a mountainous mediterranean site using the Penman-Monteith equation with limited meteorological data. *Pirineos* 164: 7-31.

Luo, W., M. C. Taylor, and S. R. Parker. 2008. A comparison of spatial interpolation methods to estimate continuous wind speed surfaces using irregularly distributed data from England and Wales. *International journal of climatology* 28, no. 7: 947-959

Mardikis, M. G., D. P. Kalivas, and V. J. Kollias. 2005. Comparison of interpolation methods for the prediction of reference evapotranspiration—an application in Greece. *Water Resources Management* 19.3: 251-278.

McVicar, Tim R., et al. 2007. Spatially distributing monthly reference evapotranspiration and pan evaporation considering topographic influences. *Journal of hydrology* 338.3: 196-220.

Raziei, Tayeb, and Luis S. Pereira. 2013. Estimation of ET_o with Hargreaves–Samani and FAO-PM temperature methods for a wide range of climates in Iran. *Agricultural water management* 121: 1-18.

Savva, Andreas P., and Karen Frenken. 2002. Crop water requirements and irrigation scheduling. Harare: FAO Sub-Regional Office for East and Southern Africa.

Shenbin, Chen, Liu Yunfeng, and Axel Thomas. 2006. Climatic change on the Tibetan Plateau: potential evapotranspiration trends from 1961–2000. *Climatic Change* 76.3-4: 291-319.

Steidle Neto, Antonio J., et al. 2015. Reference evapotranspiration estimates based on minimum meteorological variable requirements of historical weather data. *Chilean journal of agricultural research* 75.3: 366-374.

Thomas, Axel. 2000. Spatial and temporal characteristics of potential evapotranspiration trends over China. *International Journal of Climatology* 20.4: 381-396.

Todorovic, Mladen, Biljana Karic, and Luis S. Pereira. 2013. Reference evapotranspiration estimate with limited weather data across a range of Mediterranean climates. *Journal of Hydrology* 481: 166-176.

Tomas-Burguera, Miquel, et al. 2017. Accuracy of reference evapotranspiration (ET_o) estimates under data scarcity scenarios in the Iberian Peninsula. *Agricultural Water Management* 182: 103-116.

Assessment of reference evapotranspiration (ET_0) methods under data scarcity scenarios (case study: Kermanshah)

Samira Akhavan¹, Fatemeh Mousabeygi², Seyyed Ebrahim Hashemi³

Abstract

Many studies have evaluated different methods to estimate evapotranspiration as one of the most important parameters of water resources and irrigation management in recent decades. The result of these studies confirmed that the FAO Penman-Monteith (PM) is the standard method for calculating reference evapotranspiration. This method requires numerous meteorological data such as air temperature, solar radiation, air humidity and wind speed. Since in most regions of Iran, the weather station is not available or all of the meteorological data is not measured, hence investigation of methods to estimate evapotranspiration is necessary in these situations. In this study, data scarcity scenarios, (when one, two and three meteorological variables are not available: relative humidity, wind speed and sunshine hours), have been evaluated. Also, the FAO-56 manual recommended methods (PM-R), PM-CI (computation-then-interpolation), PM-IC (interpolation-then-calculation) and Hargreaves-Samani (HS) were compared using different statistical parameters. The results showed that in absence of wind speed (when one or two meteorological parameters are not available), the PM-IC method estimated more accurately ($R^2 > 0.96$), while precision of the PM-R method is higher ($R^2 \approx 0.99$) in absence of other weather parameters (*sunshine hours* and air humidity). Also, the HS method, temperature-based methods (absence of three meteorological data), provided a more acceptable result (PBIAS = -3.091, ME = -0.156, MAE = 0.337) than other methods.

Keywords: Reference evapotranspiration, Kermanshah, Data scarcity, spatial interpolation

¹ Assistant Professor, Department of Water Engineering, College of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran, (*Corresponding Author: akhavan_samira@yahoo.com).

² Ph.D. Student of Irrigation and Drainage Engineering, Department of Water Engineering, College of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran, Fatemeh.msbg@yahoo.com.

³ Assistant Professor, Department of Water Engineering, College of Agriculture, Tehran University, Tehran, Iran, Sehashemi@ut.ac.ir