تخمین مقادیر تبخیر و تعرق مرجع با استفاده از مدل FAO-56PM در حوضه رودخانه آیدوغموش

پرویز کردوانی[۱]
محمد حسین قلعه‌ای[۲*]

۱. دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران، استاد گروه جغرافیا، تهران، ایران.
۲. دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران، دانش‌آموخته دکتری ژئومولوژی، تهران، ایران.

***نویسنده مسئول مکاتبات**
Qalehe@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۰۵/۱۶
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۱۲/۱۹

کد مقاله: ۱۳۹۲۱۱۰٤٤
این مقاله برگرفته از پایان‌نامه دکتری می‌باشد.

چکیده

سازمان خوار و بار و کشاورزی جهانی، مدل پنمن مونتیس (FAO-56PM) را به عنوان یک مدل استاندارد در تخمین تبخیر و تعرق گیاه مرجع ارائه کرده است. نبود برخی از متغیرهای اقلیمی از قبیل تابش خورشیدی، رطوبت نسبی و سرعت باد می‌تواند مانع بزرگی در تخمین تبخیر و تعرق با استفاده از مدل FAO-56PM باشد. برای غلبه بر مشکل عدم دسترسی به متغیرهای اقلیمی، از یکسری روابط و معادلات در قالب مدل پنمن مونتیس استفاده شده است. با توجه به این نکته، ارزیابی صحت این مدل برای نقاط مختلف، حائز اهمیت می‌باشد. در این تحقیق از معادلات فوق برای تخمین پارامترهای سرعت باد، رطوبت نسبی و تابش خورشیدی بهره گرفته شد و در نهایت اقدام به برآورد تبخیر و تعرق مرجع در حوضه رودخانه آیدوغموش شده است. به این منظور از داده‌های سال ۱۳۸۹ و ۵ ایستگاه تبخیرسنجی آیدوغموش، چپینی، خواجه شاهی، موتورخانه و میانه تونل ۷ استفاده گردید. مقایسه مقادیر تبخیر و تعرق حاصل از داده‌های تخمین زده شده با مقادیر بدست آمده از داده‌های واقعی مربوط به سال ۱۳۸۹ در این مدل نشان می‌دهد که تفاوت بین تبخیر و تعرق مرجع ETO در هر دو مورد بسیار جزئی می‌باشد. در این تحقیق مقادیر RMSE و MBE در بیش‌ترین و کم‌ترین میزان به ترتیب معادل ۰/۲۲۷ تا ۰/۹۷۱ و ۰/۲۷۱- تا ۰/۷۲۴ بدست آمده است. در این بین بیش‌ترین درجه صحت مربوط به معادله رطوبت نسبی بوده و در آن مقادیر RMSE، MBE و ضریب همبستگی (تبیین) R^2 به ترتیب معادل ۰/۲۳۲، ۰/۰۸۱- و ۰/۹۸۹ به دست آمد. همچنین کم‌ترین دقت متعلق به مدل هایگریوز بوده و در آن مقادیر RMSE، MBE و R^2 به ترتیب معادل ۰/۵۲۳، ۰/۲۱۴ و ۰/۹۵۸ می‌باشد. با توجه به نتایج بدست آمده می‌توان چنین عنوان کرد که با استفاده از داده‌های محاسباتی می‌توان مقادیر تبخیر و تعرق را با بیشترین دقت برآورد نمود.

واژگان کلیدی: FAO-56PM، تبخیر و تعرق، پارامترهای اقلیمی، مدل هارگریوز، پنمن مانتیس، آیدوغموش.

مقدمه

در اقلیم‌های نیمه خشک جائی که منابع آب بوسیله بهره‌برداری بیش از حد از منابع آبی به خطر افتاده، ضروری است که نیاز آبی گیاه با بیش‌ترین دقت برآورد گردد. در این مناطق، منابع آبی بایستی با توجه به شرایط اقلیمی مورد استفاده قرار گیرد. به این منظور، سازمان خوار و بار و کشاورزی جهانی (FAO) روشی را برای محاسبه تبخیر و تعرق گیاه مرجع مبتنی بر تبخیر و تعرق مرجع (ETO) و ضریب گیاه (Kc) پیشنهاد نمود (دورنبوس و همکاران،۱۹۷۷). این ضریب وابسته به چندین فاکتور نوع محصول، مرحله رشد گیاه، ارتفاع ساقه و تراکم گیاه می‌باشد (Alen *et al.*, 1998).

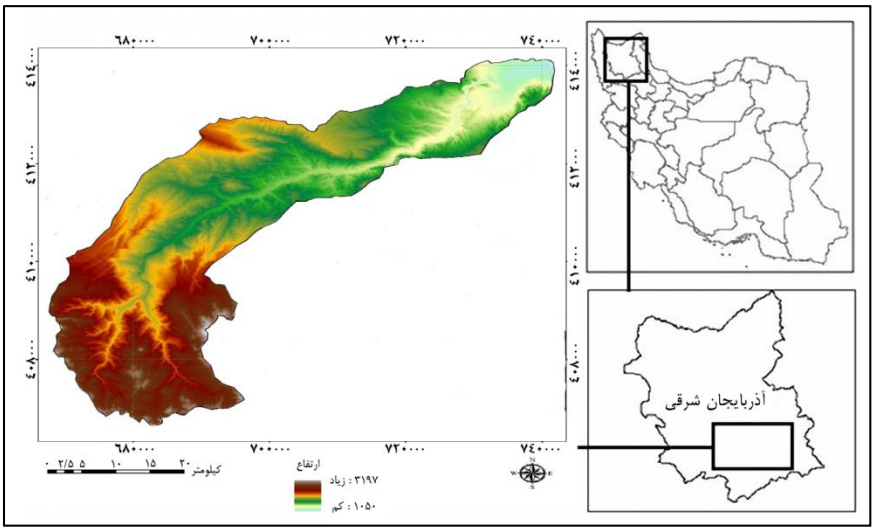
نیاز به یک مدل استاندارد و صحیح در تخمین مقادیر ETO و برآورد نیاز آبی گیاه در پژوهش‌های مختلفی مطرح گردیده است (Marinez-cob and Tejero-Jaste, 2004, Chiew *et al*., 1995; Allen *et al*., 1996). در برخی از تحقیقات، معادلاتی به این منظور ارائه شده است (Popora *et al*., 2004; Alexanderis *et al*., 2005; Dehghanisanij *et al*., 2004). با این وجود مجامع علمی بین المللی با مقایسه مدل‌های مختلف در سراسر جهان، مدل پنمن مونتیس را مدل مطلوب در برآورد مقادیر تبخیر و تعرق گیاه مرجع عنوان کرده‌اند (Chiew *et al*., 1995 Gavilan *et al*., 2006; Garcia *et al*., 2006). تحقیقات مکرر در این زمینه برتری مدل پنمن مونتیس (FAO-56PM) را بر سایر معادلات به اثبات رسانده است (Allen *et al*., 1998; Chiew *et al*., 1995; Garcia *et al*., 2004; Lopez-Urrea *et al*., 2006).

Ma kenny و همکاران (۱۹۹۳) برای تعیین حساسیت تبخیر و تعرق پتانسیل به تغییر اقلیم، از ۸ مدل تورنث وایت، بلانی کریدل، هارگریوز، هارگریوزسامانی، جنسن هیز، پریستلی تیلور، پنمن و پنمن مونتیس استفاده نمودند. نتایج نشان داد که مدل‌های فوق، در برخی مواقع شدیداً به فاکتور دما حساس می‌باشند. Chiew و همکاران (۱۹۹۵) در تحقیقی، مدل‌های پنمن مونتیس، FAO-24 و تشتک تبخیر کلاس A را در ۱۶ حوضه واقع در استرالیا مورد مقایسه دادند. نتایج نشان می‌دهد که مقادیر تبخیر و تعرق پیش بینی شده توسط مدل پنمن FAO-24، ۲۰ تا ۴۰ درصد بیش از مقادیر تخمین زده شده توسط پنمن مونتیس می‌باشد. Bhaskar و همکاران، (۱۹۹۷) برای برآورد پارامترهای مورد استفاده در مدل پنمن مونتیس از مشاهدات ماهواره‌ای استفاده نمودند. وی پس از برآورد مقادیر تابش خورشیدی، پوشش ابر، دمای هوا و فشار بخار هوا، مقایسه‌ای بین آن‌ها و داده‌های حاصل از ایستگاه‌های هواشناسی انجام داد. نتایج نشان می‌دهد که در صورت استفاده از تصاویر ماهواره‌ای در برآورد پارامترهای مدل پنمن مونتیس، مقادیر تبخیر و تعرق از صحت بالایی برخوردار خواهد بود. Ynhe Yin و همکاران (۲۰۰۸) برای کالیبره کردن تابش خورشیدی بدست آمده در ۸۱ ایستگاه هواشناسی واقع در چین از مدل FAO-56PM استفاده کردند. نتایج نشان می‌دهد که ضریب رگرسیون خطی برای این ایستگاه‌ها معادل ۰/۲۰ تا ۰/۷۹ می‌باشد، لذا این مدل از قابلیت بالایی در تخمین تابش خورشیدی برخوردار است.

در مدل FAO-56PM، برای محاسبه تبخیر و تعرق مرجع، نیاز به داده‌های حداقل و حداکثر دما (T MAX, T MIN)، رطوبت نسبی (RH)، تابش خورشیدی (Rs) و سرعت باد (U) می‌باشد. متاسفانه برای نواحی مختلف، متغیرهای اقلیمی فوق ناقص بوده و یا در دسترس نمی‌باشند. به این منظور، Allen (۱۹۹۸) مدل‌هایی را متناسب با شرایط مختلف اقلیمی ارائه نموده است. مدل‌های فوق در صورت استفاده از داده‌های ناقص بایستی صحت‌سنجی شوند. به این منظور در این تحقیق مقایسه‌ای بین مقادیر تبخیر و تعرق حاصل شده از داده‌های ناقص و کامل صورت گرفته است.

مواد و روش‌ها

حوضه آبریز رودخانه آیدوغموش در جنوب غربی شهر میانه و جنوب شرقی شهرستان چاراویماق حد فاصل طول جغرافیایی ۴۶ درجه و ۵۲ دقیقه و ۳۴ ثانیه تا ۴۷ درجه و ۴۴ دقیقه و ۴ ثانیه و عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۴۳ دقیقه و ۲۴ ثانیه تا ۳۷ درجه و ۲۳ دقیقه و ۱۴ ثانیه به مساحت ۱۸۲۸ کیلومترمربع واقع و یکی از زیرحوضه‌های رودخانه قزل اوزن محسوب می‌گردد که پس از الحاق سه رودخانه آیدوغموش، قرنقو و شهرچای در غرب میانه به رودخانه قزل اوزن می‌پیوندد. حوضه آبریز رودخانه‌های قرنقو و شهرچای در شمال حوضه آبریز رودخانه آیدوغموش قرار دارند. آبراهه اصلی رودخانه آیدوغموش از کوه گورگور و ککی در جنوب شهرستان چاراویماق و شمال شهرستان تکاب استان آذربایجان غربی با حداکثر ارتفاع ۲۹۹۰ متر سرچشمه گرفته و با جهت جنوبی- شمالی تا روستای قره صوفی جریان دارد. رودخانه آیدوغموش در محدوده مطالعاتی از مجاور روستاهایی چون نیگ آباد، گلبوس، ایدلو، چای تلوار، زرده ملک، کلا، بداق بیگ، طوق، بارگاه، قزلچه قشلاق، حصار، صوفی احمد، قلعه حسین آباد، صومعه، کورجا، پیک، سریک، ملاحمزه، بابونه، خضرگوران و گویجه قلعه عبور می‌کند. در شکل ۱ موقعیت محدوده مطالعاتی نمایش داده شده است.



شکل ۱: محدوده مطالعاتی حوضه رودخانه آیدوغموش.

جدول۱: موقعیت ایستگاه‌های واقع در حوضه رودخانه آیدوغموش و مقادیر ضریب رطوبت و ضریب تعدیل.

نام ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع به متر	ضریب رطوبت γ	ضریب تعدیل (Krs)
آیدوغموش	۴۷°۴۲´	۳۷°۲۰´	۱۰۷۰	۰.۰۶۳	۰.۱۶۴۷
چپینی	۴۷°۰۳´	۳۷°۲۳´	۱۶۵۰	۰.۰۶۷	۰.۱۶۸۹
خواجه شاهی	۴۷° ۵۷´	۳۷°۱۸´	۱۶۰۰	۰.۰۶۵	۰.۱۵۳۶
موتورخانه	۴۷° ۴۳´	۳۷°۲۳´	۱۰۶۰	۰.۰۶۶	۰.۱۷۵۱
میانه- تونل۷	۴۷° ۳۸´	۳۷°۲۴´	۱۲۰۰	۰.۰۶۳	۰.۱۶۲۴

برای ارزیابی کارایی مدل FAO-56PM در تخمین تبخیر و تعرق مرجع با بهره‌گیری از داده‌های تخمین زده شده، از داده‌های ایستگاه‌های تبخیرسنجی واقع در حوضه رودخانه آیدوغموش استفاده شده است. از این داده‌ها در مدل FAO-56PM برای تخمین مقادیر ETO استفاده می‌شود. صحت مقادیر ETO وابسته به کیفیت و تکمیل بودن داده‌های هواشناسی مورد استفاده می‌باشد (Allen *et al.*, 1998). بنابراین کنترل کیفی داده‌ها امری ضروری بوده و به این منظور روش‌هایی بوسیله Allen و همکاران (۱۹۹۶، ۱۹۹۸) ارائه شده است. در این تحقیق برای هر یک از ایستگاه‌ها مدل FAO-56PM بکار برده شده است. با این وجود برای تعیین قابلیت مدل-های هارگریوز و پنمن نسبت به مقادیر تبخیر و تعرق مرجع، مقایسه‌ای بین آن‌ها صورت گرفته است.

معادله پنمن مونتیس برای محاسبه تبخیر و تعرق گیاه مرجع استفاده شده و در آن فرض شده که ارتفاع گیاه معادل ۰.۱۲ متر بوده و آلبدو معادل ۰.۲۳ می باشد. معادله فوق بصورت زیر می‌باشد (Allen *et al.*, 1998):

$$ETO = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma(\frac{900}{T_{mean}+273} U_2(e_s - e_a))}{\Delta + \gamma(1 + 0.34U_2)}$$

در این معادله، ETO تبخیر و تعرق مرجع بر حسب میلی‌متر در روز، R_n تابش در سطح گیاه بر حسب کالری، G چگالی گرمای خاک، T_{mean} میانگین دمای هوای روزانه بر حسب درجه سانتی‌گراد، U_2 سرعت باد در ارتفاع ۲ متری بر حسب متر بر ثانیه، e_s فشار بخار اشباع بر حسب هکتوپاسکال، e_a فشار بخار واقعی بر حسب هکتوپاسکال، e_s-e_a کسر فشار بخار اشباع، Δ شیب منحنی فشار بخار و γ ضریب رطوبت هوا می‌باشد.

برای محاسبه پارامترهای فوق نیاز به داده‌های تابش، تداوم ساعات آفتابی، حداکثر و حداقل دما، رطوبت نسبی و سرعت باد می‌باشد. برای تضمین صحت محاسبات، بایستی اندازه‌گیری‌ها در ارتفاع ۲ متری انجام گیرد.

ضریب رطوبت γ نیز از طریق معادله زیر برآورد می‌گردد:

$$\gamma = \frac{C_P P}{\varepsilon \lambda} = 0.665 \times 10^{-3} P$$

در این معادله، γ ، ضریب رطوبت، P ، فشار اتمسفر بر حسب هکتوپاسکال، λ ، گرمای تبخیر، Cp، گرمای ویژه در فشار ثابت و ε، وزن مولکولی بخار آب در هوای خشک می‌باشد.

Allen و همکاران (۱۹۹۸) برای تخمین پارامترهای مورد استفاده در تخمین تبخیر و تعرق از داده‌های ناقص استفاده کرده و روابطی را نسبت به هر یک از پارامترها ارائه نموده است. در زیر به شرح آن‌ها پرداخته می‌شود.

Allen و همکاران (۱۹۹۸) برای تخمین تابش خورشیدی (R_s) روش ساده‌ای را پیشنهاد کرده است. در این روش چنین تصور می‌شود که دمای حداکثر و حداقل، ارتباط نزدیکی را با تابش خورشیدی روزانه داشته و برای هر منطقه بر اساس معادله زیر برآورد می‌گردد:

$$R_s = K_{rs} \frac{\sqrt{T_{max} - T_{min}}}{R_a}$$

در این معادله، R_a تابش ۱۹۸۲).فرازمینی، T_{max} حداکثر دمای هوا، T_{min} حداقل دمای هوا و K_{rs} ضریب تعدیل می‌باشد. ضریب K_{rs} یک ضریب تجربی بوده و برای مناطق داخلی و مناطق ساحلی به ترتیب در حدود $0.16C^{-0.5}$ و $0.19C^{-0.5}$ می‌باشد (Hargreaves and Sammani, 1982) علاوه بر این، Allen (۱۹۹۷) با تاکید بر فاکتور ارتفاع، معادله زیر را برای محاسبه K_{rs} ارائه نموده است:

$$K_{rs} = K_{ro} (\frac{P}{Po})^{0.5}$$

در این معادله، P میانگین فشار اتمسفر در منطقه مورد مطالعه، P_o میانگین فشار اتمسفر در سطح دریا و K_{ro} ضریب تجربی ۰/۱۷ برای مناطق داخلی و ۰/۲۰ برای مناطق ساحلی می‌باشد.

زمانی که داده‌های رطوبت هوا در دسترس نباشد برای محاسبه فشار بخار واقعی (e_a) می‌توان از دمای نقطه شبنم T_{dew} استفاده کرد. این دما نزدیک به دمای حداقل روزانه است که معمولا در ساعات اولیه روز ثبت می‌شود. بنابراین برای محاسبه e_a از معادله زیر استفاده می‌شود:

$$e_a = 0.6108 \exp(\frac{17.27 T_{min}}{T_{min} + 237.3})$$

Allen و همکاران (۱۹۹۸) پیشنهاد می‌کنند که در صورت ناقص بودن داده‌های باد می‌توان از میانگین داده‌های سرعت باد استفاده نمود. در حقیقت تاثیر سرعت باد بر روی تبخیر و تعرق، بجز در نواحی خشک در سایر نواحی بسیار کم می‌باشد (Aartinez-Cob and Teyero-Justs, 2004). بنابراین برخی از محققین با بررسی سرعت باد در ۲۰۰۰ ایستگاه هواشناسی در سراسر جهان، عنوان کرده‌اند که در محاسبات مربوط به تبخیر و تعرق می‌توان سرعت باد را در حدود ۲ متر در ثانیه در نظر گرفت.

در صورت نبود داده‌های تابش، رطوبت نسبی و سرعت باد، می‌توان تنها از داده‌های دمای حداقل و حداکثر در برآورد تبخیر و تعرق استفاده نمود. به این منظور مدل هارگریوز ارائه شده است. در این مدل برای محاسبه تبخیر و تعرق، تنها از داده‌های دمای حداقل و حداکثر استفاده می‌شود. معادله هارگریوز بصورت زیر می‌باشد:

$$ETO = 0.0023 (T_{mean} + 17.8) \sqrt{T_{max} - T_{min} R_a}$$

در این معادله، ETO تبخیر و تعرق گیاه مرجع بر حسب میلی‌متر، T_{min} و T_{max} حداقل و حداکثر دمای روزانه بر حسب درجه سانتی‌گراد و R_a تابش فرازمینی بر حسب کالری بر سانتی‌مترمربع می‌باشد.

همچنین، مقایسه‌ای بین پارامترهای دخیل در معادلات با نتایج تبخیر و تعرق بدست آمده از طریق مجموعه داده‌های واقعی (ETO-Ref) صورت گرفت. نتایج این مقایسات از طریق پارامترهای آماری نمایش داده شده است. طبق نظر جاکویدس و همکاران (۱۹۹۵)

کارایی مدل‌های برآورد تبخیر و تعرق مرجع بایستی با استفاده از پارامترهای آماری مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE)، خطای مطلق (MBE) و خطای مربعات (R^2) ارزیابی گردد.

مقادیر RMSE و MBE با استفاده از معادلات زیر برآورد می‌گردد:

$$RMSE = (\frac{1}{n}\sum(ETO_{est} - ETO_{ref})^2)^{0.5}$$

$$MBE = \frac{1}{n}\sum(ETO_{est} - ETO_{ref})$$

دراین معادلات، ETO_{ref} با استفاده از مجموعه داده‌های کامل برآورد گردیده و برای برآورد مقادیر ETO_{est} از داده‌های تخمینی استفاده شده است. همچنین n نشان دهنده تعداد داده‌ها می‌باشد.

نتایج

در راستای استفاده از داده‌های تخمین زده شده تابش خورشیدی در برآورد مقادیر تبخیر و تعرق و مقایسه آن با تبخیر و تعرق مرجع (ETOref) ، جدول ۲ مقادیر RMSE ، MBE و R^2 را برای هر دو مقادیر تبخیر و تعرق برآورد شده با استفاده از R_S و تبخیر و تعرق مرجع نشان می‌دهد. تحلیل‌های صورت گرفته دلالت بر این نکته دارد که همبستگی بالایی بین مقادیر ETO_{ref} و ETO_{Kr} در این بررسی وجود دارد. پاپوا و همکاران (۲۰۰۶) نیز با بررسی مقادیر MBE بین داده‌های تبخیر و تعرق مرجع و تبخیر و تعرق حاصل از داده‌های تابش خورشیدی به نتایج مشابهی دست یافته‌اند.

مقادیر پایین RMSE و MBE به همراه مقادیر بالای R^2 نشان دهنده این نکته است که در صورت استفاده از معادله ۳ در محاسبه R_s، مقادیر برآورد شده برای تبخیر و تعرق مرجع از صحت بالایی برخوردار خواهد بود. در جدول ۲ مقادیر پارامترهای آماری نشان داده شده است.

جدول۲: مقادیر پارامترهای آماری بدست آمده از مقایسه تبخیر و تعرق حاصل از تابش خورشیدی و تبخیر و تعرق مرجع.

نام ایستگاه	مقادیر RMSE(mm/d)	مقادیر MBE(mm/d)	R^2
آیدوغموش	۰/۴۱۱	۰/۱۴۳	۰/۹۵۱
چپینی	۰/۳۲۷	۰/۱۲۸	۰/۹۳۲
خواجه شاهی	۰/۲۴۹	۰/۰۵۲	۰/۹۰۶
موتورخانه	۰/۳۴۲	۰/۱۱۲	۰/۹۶۳
میانه- تونل۷	۰/۲۲۷	۰/۰۲۶	۰/۹۷۵

زمانی که داده‌های رطوبت در دسترس نباشد از داده‌های تخمین زده شده رطوبت در برآورد مقادیر تبخیر و تعرق و مقایسه آن با تبخیر و تعرق مرجع (ETOref) استفاده می‌شود، فشار بخار واقعی (e_a) را می‌توان از طریق داده‌های حداقل دما و معادله ۵ برآورد نمود. در این حالت از پارامتر فوق در تخمین مقادیر تبخیر و تعرق استفاده می‌شود سپس مقادیر حاصله با مقادیر واقعی تبخیر و تعرق مقایسه می‌گردند. برای ارزیابی صحت هر یک از مقادیر حاصله از پارامترهای آماری RMSE، MBE و R^2 بهره گرفته می‌شود. مقادیر حاصله در جدول ۳ نشان داده شده‌اند. در این حوضه مقادیر RMSE و MBE به ترتیب معادل ۰/۲۳۲ تا ۰/۳۵۲ و ۰/۰۸۱- تا ۰/۲۷۱- میلی‌متر در روز می‌باشد. مقادیر R^2 نیز در حدود ۰/۹۶۲ تا ۰/۹۸۹ برآورد گردیده است.

جدول۳: مقادیر پارامترهای آماری بدست آمده از مقایسه تبخیر و تعرق حاصل از رطوبت و تبخیر و تعرق مرجع.

نام ایستگاه	مقادیر RMSE(mm/d)	مقادیر MBE(mm/d)	R^2
آیدوغموش	۰/۲۶۸	-۰/۱۱۲	۰/۹۶۲
چپینی	۰/۲۳۲	-۰/۰۸۱	۰/۹۸۹
خواجه شاهی	۰/۳۲۷	-۰/۱۸۳	۰/۹۷۲
موتورخانه	۰/۲۵۹	-۰/۲۷۱	۰/۹۵۸
میانه- تونل۷	۰/۳۵۲	-۰/۱۲۲	۰/۹۶۳

Allen و همکاران (۱۹۹۸) به‌منظور ارزیابی خطای ETO در صورت استفاده از سرعت باد، از دو روش استفاده کرده است. در اولین روش، مقادیر میانگین سرعت باد سالانه برای هر ایستگاه جداگانه محاسبه شده و در دومین روش، میانگین جهانی سرعت باد در ارتفاع ۲ متری از سطح زمین در نظر گرفته شده است.

پارامترهای آماری مقادیر تبخیر و تعرق حاصل از میانگین سرعت باد و مقادیر ثابت جهانی در جدول ۴ نشان داده شده است. مشاهده می‌شود که مقادیر RMSE و MBE در صورت استفاده از داده‌های ثابت جهانی بیشتر از مقادیر میانگین سرعت باد خواهد بود. مقادیر MBE و RMSE برای مقادیر تبخیر و تعرق حاصل از پارامتر میانگین سالانه سرعت باد به ترتیب معادل ۰/۰۰۷- تا ۰/۰۳۲- و ۰/۲۹۷ تا ۰/۴۱۵ برآورد گردیده است.

جدول٤: مقادیر پارامترهای آماری بدست آمده از مقایسه تبخیر و تعرق حاصل از میانگین سالانه سرعت باد، مقادیر ثابت سرعت باد و تبخیر و تعرق مرجع.

	(ETO-Umean)			(ETO-U2)		
نام ایستگاه	مقادیر RMSE	مقادیر MBE	R^2	مقادیر RMSE	مقادیر MBE	R^2
آیدوغموش	۰/۲۹۷	-۰/۰۰۷	۰/۹۸۵	۰/۴۲۱	۰/۲۱۲	۰/۹۸۶
چپینی	۰/۴۱۵	-۰/۰۳۲	۰/۹۴۳	۰/۴۸۷	۰/۳۲۱	۰/۹۶۷
خواجه‌شاهی	۰/۳۹۶	-۰/۰۱۹	۰/۹۶۶	۰/۵۵۹	۰/۴۳۸	۰/۹۸۲
موتورخانه	۰/۳۴۳	-۰/۰۱۲	۰/۹۷۴	۰/۴۹۳	۰/۳۲۶	۰/۹۷۹
میانه- تونل۷	۰/۳۷۲	-۰/۰۱۸	۰/۹۵۲	۰/۵۶۶	۰/۴۵۲	۰/۹۳۲

آلن و همکاران (۱۹۹۸) عنوان می‌کنند که در صورت وجود داده‌های دمای حداقل و حداکثر می‌توان تبخیر و تعرق را برآورد بین تبخیر و تعرق حاصل از مدل هارگریوز و تبخیر و تعرق مرجع مشاهده می‌شود که همبستگی بالایی بین آن‌ها برقرار بوده و R^2 در بیشترین حالت معادل ۰/۹۵۸ می‌باشد. مقادیر پارامترهای آماری و نتایج مقایسات مدل هارگریوز (ETO-HG) و تبخیر و تعرق مرجع (ETO-ref) در جدول ۵ نشان داده شده است. در این روش از داده‌های دمای حداقل و حداکثر در قالب مدل هارگریوز استفاده می‌شود.

جدول۵: مقادیر پارامترهای آماری بدست آمده از مقایسه تبخیر و تعرق حاصل از مدل هارگریوز و تبخیر و تعرق مرجع.

نام ایستگاه	مقادیر RMSE(mm/d)	مقادیر MBE(mm/d)	R^2
آیدوغموش	۰/۹۷۱	۰/۷۲۴	۰/۹۲۳
چپینی	۰/۸۳۷	۰/۵۱۹	۰/۹۲۹
خواجه شاهی	۰/۵۹۶	۰/۳۲۵	۰/۹۵۱
موتورخانه	۰/۶۸۴	۰/۳۹۸	۰/۹۳۶
میانه- تونل۷	۰/۵۲۳	۰/۲۱۴	۰/۹۵۸

مقادیر هارگریوز (Hargreaves) نتایج قابل قبولی را در تخمین تبخیر و تعرق ارائه می‌دهد با این وجود این مدل نسبت به مدل پنمن مونتیس از دقت پایینی برخوردار است. بنابراین معادله هارگریوز نیازمند این است که قبل از استفاده کالیبره گردد.

بحث و نتیجه‌گیری

مدل FAO-56PM از قابلیت بالایی در برآورد مقادیر تبخیر و تعرق برخوردار است. استفاده از این روش بعلت عدم دسترسی به داده‌های مورد نیاز در محاسبات، با مشکلاتی مواجه است. به این منظور Allen و همکاران (۱۹۹۸) معادلاتی را برای برآورد پارامترهای مورد نیاز ارائه نموده‌اند. در این تحقیق نیز برای برآورد مقادیر تبخیر و تعرق از این معادلات در قالب مدل FAO-56PM استفاده شده است. نتایج نشان می‌دهد که مقادیر تخمین زده شده برای تابش خورشیدی (R_s) از طریق دمای حداقل و حداکثر، از قابلیت استفاده در برآورد تبخیر و تعرق برخوردار است. بر این اساس، بیشترین مقادیر RMSE، MBE و R^2 به ترتیب معادل ۰/۲۲۷، ۰/۰۲۶ و ۰/۹۷۵ می‌باشد. در برآورد مقادیر رطوبت نسبی نیز می‌توان از داده‌های دمای حداقل به عنوان دمای نقطه شبنم استفاده کرده و اقدام به برآورد تبخیر و تعرق نمود. بیشترین مقادیر RMSE، MBE و R^2 به ترتیب معادل ۰/۲۳۲، ۰/۰۸۱- و ۰/۹۸۹ می‌باشد. در زمینه تخمین سرعت باد نیز استفاده از داده‌های میانگین سالانه سرعت باد باعث افزایش درجه صحت تبخیر و تعرق تخمین زده شده توسط مدل پنمن مونتیس می‌گردد. در این بخش نیز بیشترین مقادیر RMSE، MBE و R^2 به ترتیب معادل ۰/۴۲۱، ۰/۲۱۲ و ۰/۹۸۶ برآورد گردیده است. در این پژوهش همچنین از مدل هارگریوز به عنوان مدلی که تنها از داده‌های دمای حداقل و حداکثر استفاده می‌کند در تخمین تبخیر و تعرق بهره گرفته شده است. مقایسه بین این مدل با مقادیر تبخیر و تعرق مرجع نشان می‌دهد که همبستگی پایینی بین این مدل و تبخیر و تعرق مرجع وجود دارد به این صورت که کم‌ترین همبستگی در بین پارامترهای تابش خورشیدی، رطوبت و میانگین سرعت باد متعلق به این فاکتور بوده و برای RMSE، MBE و R^2 به ترتیب معادل ۰/۵۲۳، ۰/۲۱۴ و ۰/۹۵۸ برآورد گردیده است. در بین فاکتورهای فوق، بیشترین درجه صحت با مقادیر RMSE، MBE و R^2 به ترتیب معادل ۰/۲۳۲، ۰/۰۸۱- و ۰/۹۸۹ متعلق به فاکتور رطوبت نسبی می‌باشد. در کل تحقیق فوق در راستای نتایج آلن و همکاران، ۱۹۹۸، چاو و همکاران، ۱۹۹۵، سای و همکاران، ۲۰۰۷، لوپز و اوریا و همکاران، ۲۰۰۶، گارسیا و همکاران، ۲۰۰۴ بوده و یافته‌های آن‌ها را به اثبات می‌رساند.

منابع

Alexandris, S., Kerkides, P. and Liakatas, A., 2005. Daily reference evapotranspiration estimates by the ‘‘Copais’’ approach. Agric. Water Manage. 82: 371–386.

Allen, R. G., 1996. Assessing integrity of weather data for reference evapotranspiration estimation. J., Irrig. Drain. Eng. ASCE 122 (2), 97–106.

Allen, R. G., 1997. Self-calibrating method for estimating solar radiation from air temperature. J., Hydrol. Eng. 2, 56–66.

Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D. and Smith, M., 1998. Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper no. 56, Rome, Italy.

Cai, J., Liu, Y., Lei, T and Pereira, L. S., 2007. Estimating reference evapotranspiration with the FAO Penman–Monteith equation using daily weather forecast messages. Agric. Forest Meteorol. 145, 22–35.

Chiew, F. H. S., Kamaladasa, N. N., Malano, H. M. and McMahon, T. A., 1995. Penman-Monteith, FAO-24 reference crop evapotranspiration and class-A pan data in Australia. Agric. Water Manage. 28, 9–21.

Choudhury, B. J., 1997. Global pattern of potential evaporation calculated from the Penman-Monteith equation using satellite and assimilated data, Remote sensing of environment Volume 61, 1: 64-81.

DehghaniSanij, H., Yamamotoa, T. and Rasiah, V., 2004. Assessment of evapotranspiration estimation models for use in semi-arid environments. Agric. Water Manage. 64, 91–106.

Doorenbos, J. and Pruitt, W. O., 1977. Crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper no. 24, Rome, Italy. Dynamics of reference evapotranspiration in the Bolivian highlands (Altiplano). Agric. Forest Meteorol. 125, 67–82.

Gavila´ n, P., Lorite, I. J., Tornero, S. and Berengena, J., 2006. Regional calibration of Hargreaves equation for estimating reference ET in a semiarid environment. Agric. Water Manage. 81, 257–281.

Hargreaves, G. L and Samani, Z. A., 1982. Estimating potential evapotranspiration. J. Irrig. Drain. Eng., ASCE 108 (3), 225–230.

Jacovides, C. P. and Kontoyiannis, H., 1995. Statistical procedures for the evaluation of evapotranspiration computing models. Agric. Water Manage. 27, 365–371.

Lo´ pez-Urrea, R., Martı´n de Santa Olalla, F., Fabeiro, C. and Moratalla, A., 2006. Testing evapotranspiration equations using lysimeter observations in a semiarid climate. Agric. Water Manage. 85, 15–26.

Malano, H. M. and Mcmahon, T. A., 1995. Penman- Monteith, FAO-24 reference crop evapotranspiration and class-A pan data in Australia, Agricultural water management, Volume 28, 1: 9-21.

Martınez-Cob, A and Tejero-Juste, M., 2004. A wind-based qualitative calibration of the Hargreaves ETo estimation equation in semiarid regions. Agric. Water Manage. 64, 251–264.

Makenney, M. S and Norman J. Rosenberg, 1993. Sensitivity of some potential evapotranspiration estimation methods to climate change, Agricultural and forest meteorology, Volume 64T 1:81-110.

Pereira, A. R. and Pruitt, W. O., 2004. Adaptation of the Thornthwaite scheme for estimating daily reference evapotranspiration. Agric. Water Manage. 66, 251–257.

Popova, Z., Kercheva, M. and Pereira, L. S., 2006. Validation of the FAO methodology for computing ETo with missing climatic data application to South Bulgaria. Irrig. Drain. 55, 201–215.

Yunhe Yin, W., Shaohony, D., Zheny and Qinye, Y. 2008. Radiation calibration of FAo -56 Penman-Monteith model to estimate reference crop evapotranspiration in China, Agricultural water management, Volume 95, 1:77-84.