

Evaluation of Methods for Estimating Reference Crop Evapotranspiration (Case Study: Khuzestan Province)

Hamed Hardani¹  | Amir Soltani Mohammadi² 

1- MSc Student of Irrigation and Drainage, Faculty of Water and Environmental Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran.

2- Professor, Irrigation and Drainage Department, Faculty of Water and Environmental Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran.

Corresponding Author E-mail: Hardani8028@gmail.com

(Received: 10 Feb 2026, Revised: 22 Jun 2026, Accepted: 29 Jun 2026, Published online: 29 Jun 2026)

Abstract

Estimating the accurate estimating the reference crop evapotranspiration is crucial in irrigation planning and determining irrigation intervals. The aim of this study was to compare and evaluate fourteen different methods for estimating reference crop evapotranspiration in three general categories: temperature-based (Hargreaves-Samani, Blaney-Criddle, Linacre, and Schendel), radiation-based (Priestley-Taylor, McKing, Turc, Jensen-Haise, and Irmak), and mass transfer-based (Meyer, Dalton, Trabert, WMO, and Albrecht) in eight study stations in Khuzestan province from 2007 to 2023. The results of these methods were compared with the results obtained from the FAO Penman-Monteith method. The performance evaluation of different methods was performed using R², RMSE, and MBE statistics. The results showed that in most of the study stations, among the temperature-based methods, the Linacre method with R² between 0.747 and 0.954 had the best performance, and the Hargreaves method with R² between 0.7 and 0.91 had the worst performance. Among the solar radiation-based methods, the Jensen-Haise method with R² between 0.723 and 0.936 had the best performance, and the Priestley-Taylor method with R² between 0.27 and 0.75 had the worst performance. Among the mass transfer-based methods, the Albrecht method with R² between 0.6 and 0.968 in 75% of the stations (six stations), the Dalton method with R² of 0.982 in Izeh station, and the WMO method with R² of 0.967 in Shushtar station had the best performance. The Meyer method had weaker performance in all stations with R² between 0.6 and 0.9. Researchers are advised that if sufficient information is not available to calculate evapotranspiration using the FAO Penman-Monteith (PMF-56) reference method, they should use the aforementioned methods that had the best results in the study stations in Khuzestan province.

Keywords: Mass transfer, Radiation, Temperature, FAO Penman-Monteith

Cite this article: Hardani,H and Soltani Mohammadi,A . (2026). Evaluation of Methods for Estimating Reference Crop Evapotranspiration (Case Study: Khuzestan Province). *Journal of the Nivar*, (). DOI: 10.30467/nivar.2026.575115.1371

Email: (2) f.shirmohamadi20@gmail.com



Publisher: Iran Meteorological Organization
DOI: <https://doi.org/10.30467/nivar.2026.575115.1371>

Print ISSN: 1735-0565
Online ISSN: 2645-3347

ارزیابی روش‌های تخمین تبخیر تعرق گیاه مرجع (مطالعه موردی: استان خوزستان)

حامد حردانی^۱ | امیر سلطانی محمدی^۲

۱- دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته آبیاری و زهکشی، دانشکده مهندسی آب و محیط زیست، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران.

۲- استاد ، گروه آبیاری و زهکشی، دانشکده مهندسی آب و محیط زیست، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران

رایانامه نویسنده مسئول: Hardani8028@gmail.com

(دریافت: ۱۴۰۴/۱۱/۲۱، بازنگری: ۱۴۰۵/۰۴/۰۱، پذیرش: ۱۴۰۵/۰۴/۰۸، انتشار آنلاین: ۱۴۰۵/۰۴/۰۸)

چکیده

تخمین میزان دقیق مقدار تبخیر تعرق گیاه مرجع در برنامه‌ریزی آبیاری و تعیین دور آبیاری از اهمیت فراوانی برخوردار است. هدف از این پژوهش، مقایسه و ارزیابی چهارده روش مختلف تخمین تبخیر تعرق گیاه مرجع در سه دسته کلی مبتنی بر دما (هارگریوز سامانی، بلانی-کریدل، لیناکر و اسپچندل)، تابش (پرستلی-تیلور، مک کینگ، تورک، جنسن-هیز و ایرماک) و انتقال جرم (میر، دالتون، ترابرت، WMO و آلبرچت) در هشت ایستگاه مطالعاتی از سال ۲۰۰۷ تا ۲۰۲۳ در استان خوزستان می‌باشد. نتایج این روش‌ها با نتایج حاصل از روش، فائو پنمن مانیت، مقایسه گردید. ارزیابی عملکرد روش‌های مختلف با آماره‌های R^2 ، RMSE و MBE صورت گرفت. نتایج نشان داد که در اکثر ایستگاه‌های مطالعاتی، در بین روش‌های مبتنی بر دما، روش لیناکر با R^2 بین ۰/۷۴۷ تا ۰/۹۵۴ بهترین عملکرد و روش هارگریوز با R^2 ۰/۷ تا ۰/۹۱۱ بدترین عملکرد را ارائه داد. در بین روش‌های مبتنی بر تابش خورشید، روش جنسن-هیز با R^2 بین ۰/۷۲۳ تا ۰/۹۳۶ بهترین عملکرد و روش پرستلی-تیلور با R^2 ۰/۲۷ تا ۰/۷۵۵ بدترین عملکرد را ارائه داد. در بین روش‌های مبتنی بر انتقال جرم، روش آلبرچت ب با R^2 بین ۰/۶ تا ۰/۹۶۸ در ۷۵ درصد ایستگاه‌ها (شش ایستگاه)، روش دالتون با R^2 ۰/۹۸۲ در ایستگاه ایذه و روش WMO با R^2 ۰/۹۶۷ در ایستگاه شوشتر بهترین عملکرد را داشتند. روش میر در همه ایستگاه‌ها با R^2 ۰/۶ تا ۰/۹۱۱ عملکرد ضعیف تری داشت. به پژوهشگران توصیه می‌شود که در صورت عدم دسترسی به اطلاعات کافی برای محاسبه تبخیر تعرق با روش مرجع فائو پنمن مانیت (PMF-56)، از روش‌های یاد شده که بهترین نتایج را در ایستگاه‌های مطالعاتی در استان خوزستان داشتند، استفاده نمایند.

کلیدواژه‌ها: انتقال جرم، تابش، دما، فائو پنمن مانیت

۱. مقدمه

اساسی در طرح‌های آبیاری و زهکشی می‌باشد (طافی و همکاران، ۱۳۹۹). تبخیر تعرق گیاه مرجع یکی از مولفه‌های مهم چرخه هیدرولوژی است که تخمین آن برای مدیریت بهینه منابع آب لازم است. تخمین میزان دقیق تبخیر تعرق گیاه مرجع، نه تنها در برنامه‌ریزی آبیاری و تعیین دور آبیاری، بلکه در مطالعات مربوط به مدلسازی بیلان آب در هر ناحیه از اهمیت فراوانی برخوردار می‌باشد (بابامیری

کشور ایران با وجود خشکسالی‌های اخیر، تغییرات اقلیمی و افزایش رو به رشد جمعیت، همچنین گسترش فعالیت‌های صنعتی و کشاورزی با بحران آب مواجه است. سهم بخش کشاورزی در ایران حدود ۹۰ درصد منابع آب است که نسبت به کشورهای پیشرفته بیشتر است (محسن‌زاده و فکوهی، ۱۳۹۸). به همین دلیل، تعیین نیاز آبی گیاهان به عنوان یکی از عوامل چرخه هیدرولوژی از ضروریات

استناد: حردانی، حامد و سلطانی محمدی، امیر. (۱۴۰۵). ارزیابی روش‌های تخمین تبخیر تعرق گیاه مرجع (مطالعه موردی: استان خوزستان). مجله نیوار، (۰). DOI:

10.30467/nivar.2026.575115.1371

رایانامه: (۲) Hardani8028@gmail.com



ودین‌پژوه، ۱۳۹۵). تبخیر-تعرق مرجع به عنوان تبخیر تعرق پتانسیل در مطالعات غیر کشاورزی شناخته شده است (Paredes and Pereira, 2020). تبخیر-تعرق مرجع برای یک پوشش گیاهی که معمولاً چمن یا یونجه ایست با پوشش کامل، یکنواخت و وسیع از درختچه‌های سبز و تازه، با ارتفاع ۸-۱۵ سانتی‌متر برای چمن و ۲۰ سانتی‌متر برای یونجه، محاسبه می‌شود (Ahmadipour et al, 2019). دقیق‌ترین روش برآورد میزان تبخیر-تعرق مرجع، استفاده از لایسیمتر وزنی است اما با توجه به هزینه زیاد و عدم دسترسی به آمارهای این روش، اغلب روش‌های تجربی برای تخمین تبخیر تعرق مرجع و روش FAO-۵۶ برای مقایسه نتایج استفاده می‌شود (Ahmdipour et al, 2019). روش FAO-۵۶ به عنوان روشی معتبر برای محاسبه تبخیر-تعرق مرجع معرفی شده است که می‌توان از این روش برای توسعه یا ارزیابی سایر روش‌های تجربی نیز استفاده کرد (Didari and Ahmadi, 2019). روش FAO-۵۶ به مجموعه داده‌های کامل حداکثر و حداقل دمای هوا، رطوبت نسبی، دمای نقطه شبنم، تابش خورشیدی و سرعت باد در ارتفاع دو متری نیاز دارد که این داده‌ها اغلب در دسترس نیستند (Paredes and Pereira, 2019). مطالعات متعددی در زمینه ارزیابی روش‌های مختلف برآورد ETo، هم در ایران و هم در خارج از کشور انجام شده است. نوری و همکاران (۱۳۹۵) نتایج حاصل از شش روش برآورد تبخیر-تعرق مرجع را با داده‌های اندازه‌گیری شده در لایسیمتر (گیاه چمن) مقایسه کرده و گزارش کردند که روش FAO-۵۶ با RMSE برابر ۳/۱ بهترین روش محاسباتی بود، در حالی که روش‌های هارگریوز و پنمن اصلاح شده دارای خطای بیشتری نسبت به سایر روش‌ها بودند. طافی و همکاران (۱۳۹۹) هدف از پژوهش خود را، مقایسه و ارزیابی نه روش مختلف تخمین تبخیر-تعرق گیاه مرجع در سه دسته کلی مبتنی بر دما، تابش و انتقال جرم در نه ایستگاه مطالعاتی از سال ۱۹۹۹ تا ۲۰۱۹ در استان لرستان بیان کردند. نتایج نشان داد که در اکثر ایستگاه‌های مطالعاتی، در بین روش‌های مبتنی بر دما، روش

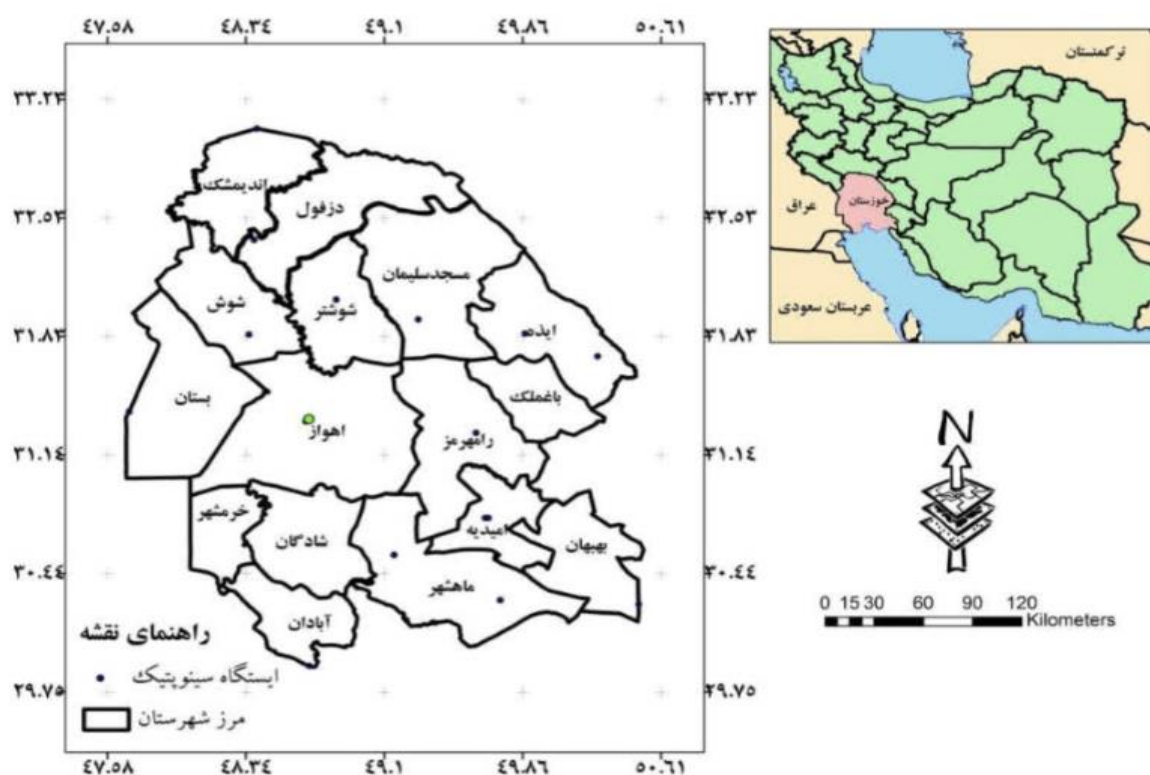
هارگریوز سامانی، در بین روش‌های مبتنی بر تابش خورشید، روش مککینگ و نیز در بین روش‌های مبتنی بر انتقال جرم، روش WMO بهترین عملکرد را با ثبت بیشترین R2 و کمترین RMSE ارائه دادند. فاد و همکاران (۲۰۱۹) در تحقیقی عنوان کردند که در روش‌های مبتنی بر تابش، روش پرستلی-تیلور کمترین ضریب همبستگی و بالاترین مقدار خطا را دارد. از سوی دیگر، در میان روش‌هایی که از داده‌های تشت تبخیر استفاده می‌کنند، روش کریستین-سن بالاترین ضریب همبستگی و کمترین مقدار خطا را ثبت کرد و نسبت به روش پرستلی-تیلور، نزدیکی بیشتری به روش FAO-۵۶ نشان داد. ذرتی‌پور و همکاران (۱۳۹۸)، پایش زمانی و مکانی روشهای تخمین تبخیر-تعرق گیاه مرجع در استان خوزستان را انجام داده و نقشه‌ای از بهترین روش‌ها را در محیط ArcGIS تهیه نمودند. نتایج نشان داد روش‌ها در فصول مختلف عملکرد متفاوتی دارند اما در بیشتر روش‌ها نتایج رضایت بخش بود که دلیل آن می‌تواند نوع اقلیم یکسان و موقعیت جغرافیایی مشابه باشد. پیغان و همکاران (۲۰۲۲) مطالعه‌ای به منظور بررسی میزان دقت پنج مدل مختلف روش والیانتراس، تبخیر-تعرق مرجع ماهانه طی سال‌های ۱۹۹۹ تا ۲۰۱۸، در نه ایستگاه هواشناسی استان لرستان محاسبه و نتایج حاصله با روش مرجع FAO-56 مقایسه گردید. نتایج نشان داد بر اساس دو آماره RMSE و CRM، مدل والیانتراس ۲ بهترین عملکرد را داشت. آماره R2 برای مدل والیانتراس ۴ در چهار ایستگاه برابر ۰/۹۶ بود و بر اساس این آماره، مدل والیانتراس ۴ بهترین عملکرد را در تخمین تبخیر-تعرق مرجع ثبت کرد. کمبود آب و رواناب حاصل از آن که باعث خشکسالی‌های فراگیر می‌شود، مسأله‌ای است که در وضعیت فعلی به بحران تبدیل می‌شود و آثار و پیامدهای جبران ناپذیری به جا می‌گذارد. آنچه در این تحقیق مدنظر قرار دارد توجه به استان خوزستان می‌باشد. استان خوزستان نیز از جمله استان‌های خشک ایران است که شرایط این استان به تدریج از لحاظ منابع آبی وخیم تر می‌گردد. این استان، با توجه به قرار گرفتن آن در مناطق خشک و نیمه‌خشک غرب کشور و

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه استان خوزستان است. مساحت این استان ۶۴۰۵۵ کیلومتر مربع بین ۴۷ درجه و ۴۱ دقیقه تا ۵۰ درجه و ۳۹ دقیقه طول شرقی از نصف النهار گرینویچ و ۲۹ درجه و ۵۸ دقیقه تا ۳۳ درجه و ۴ دقیقه عرض شمالی از خط استواء در جنوب غربی ایران واقع شده است. این استان از جنوب با خلیج فارس و از غرب با کشور عراق هم مرز است (سالمی نسب و همکاران، ۲۰۲۴). در مطالعه حاضر اطلاعات آب و هوایی (طی سالهای ۲۰۰۷ تا ۲۰۲۳) مربوط به ۸ ایستگاه واقع در استان خوزستان در ایران از ایستگاه هواشناسی استان خوزستان جمع آوری شده است. موقعیت استان و ایستگاههای مطالعه شده در شکل ۱ مشخص شده اند. جدول ۱ نیز مشخصات ایستگاههای مطالعه شده را ارائه می دهد.

همچنین خشک سالی های پی در پی، از لحاظ منابع آبی و تأمین آب شرب، کشاورزی و صنعتی به نوعی با بحران روبرو شده است که نیاز به مساعدت همه جانبه به منظور از بین بردن کاستی های آن می باشد؛ حال با توجه به اهمیت این موضوع تبخیر تعرق باید بصورت دقیق محاسبه شود (مرادی و ملکی، ۲۰۲۵). هر روش تخمین تبخیر تعرق گیاه مرجع در منطقه ای خاص و در شرایط آب و هوایی مربوط به آن محل استخراج گردیده است و در نتیجه، لازم است که کارایی هر روش جهت استفاده در مناطق دیگر ارزیابی شود. در این پژوهش، چهارده روش تخمین تبخیر تعرق مرجع مورد ارزیابی قرار گرفته و نتایج حاصله با روش مرجع FAO-۵۶ مقایسه شده است. همچنین برای هر ایستگاه بهترین روش تخمین تبخیر تعرق مرجع مشخص شده است.

۲. مواد و روش ها



شکل ۱- موقعیت منطقه و ایستگاههای مطالعه شده در استان خوزستان

جدول ۱_ مشخصات ایستگاه های مطالعه شده واقع در استان خوزستان

نام ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع از سطح دریا (m)	نوع اقلیم	دوره آماری
آبادان	۴۸/۲۷	۳۰/۳۶	۳	گرم و خشک	۲۰۰۷-۲۰۲۳
اهواز	۴۸/۳۱	۳۱/۳۱	۱۲	گرم و خشک	۲۰۰۷-۲۰۲۳
ایذه	۴۹/۸۷	۳۱/۸۲	۸۵۳	معتدل	۲۰۰۷-۲۰۲۳
بهبهان	۵۰/۲۳	۳۰/۵۹	۳۲۰	معتدل	۲۰۰۷-۲۰۲۳
بوستان	۴۷/۹۹	۳۱/۷۱	۵	معتدل	۲۰۰۷-۲۰۲۳
حسینیه	۴۸/۲۴	۳۲/۶۷	۱۷۶	گرم و خشک	۲۰۰۷-۲۰۲۳
دزفول	۴۸/۳۹	۳۲/۳۸	۱۴۰	گرم و شرجی	۲۰۰۷-۲۰۲۳
شوشتر	۴۸/۸۵	۳۲/۰۴	۶۵	گرم و نیمه مرطوب	۲۰۰۷-۲۰۲۳

۲-۲. روش پژوهش

داده های استفاده شده در تحقیق حاضر شامل حداکثر، حداقل و میانگین دما، دمای نقطه شبنم، میانگین، ماکزیمم و مینیمم رطوبت نسبی، سرعت باد، تعداد و حداکثر ساعت-های آفتابی و بارش، در مقیاس ماهانه است که از اداره کل هواشناسی استان خوزستان دریافت شده و برای ارزیابی ۱۴

روش متداول تخمین ET_0 شامل چهار روش مبتنی بر دما، پنج روش مبتنی بر تابش و پنج روش مبتنی بر انتقال جرم استفاده شد. روش فائو پنمن مانیت (PMF-56) (رابطه ۱) به عنوان روش مبنا، برای مقایسه نتایج استفاده شد تا بهترین روش برای هر ایستگاه تعیین شود:

$$ET_0 = \frac{0.408 \left[\Delta(R_n - G) + Y \frac{900}{T + 273} U(e_s - e_a) \right]}{\Delta + \gamma(1 + 0.34U_2)} \quad \text{رابطه (۱)}$$

که در آن ET_0 تبخیر - تعرق استاندارد سطح مرجع چمن بر حسب میلی متر در روز، e_s و e_a فشار بخار اشباع و فشار واقعی بخار آب در هوا بر حسب میلی بار، U_2 سرعت باد در روز در ارتفاع ۲ متری از سطح زمین بر حسب متر بر ثانیه و R_n و G تابش خالص و فلاکس گرما در خاک بر حسب

میلی ژول بر مترمربع بر روز، Δ شیب منحنی تغییرات فشار بخار اشباع (e) نسبت به درجه حرارت (T) و γ ثابت سایکرومتری بر حسب ($Kpa \ C^{-1}$) می باشد. چهار روش تخمین ET_0 مبتنی بر دمای هوا در جدول ۲ ارائه شده است.

جدول ۲- چهار روش انتخاب شده برای تخمین ET₀ بر مبنای دمای هوا

روش	منابع	معادله
هارگریوز-سامانی (HG)	هارگریوز و سامانی (۱۹۸۵)	$ET_0 = 0.0023 R_a (T_{mean} + 17/8) \sqrt{T_{max} - T_{min}}$
بلانی-کریدل (BC)	بلانی و کریدل (۱۹۵۰)	$ET_0 = a + b [P(0.46 T_{mean} + 8/13)]$
لیناکر (Lin)	لیناکر (۱۹۷۷)	$ET_0 = ((500(T_a + 0.006z)/(100 - L)) + 15(T_a - T_d))/80 - T_a$
اسپچندل (S)	اسپچندل (۱۹۶۷)	$ET_0 = 16 T_{mean} / RH$

عرض جغرافیایی بر حسب درجه، P ضریب مربوط به طول روز، u سرعت باد در ارتفاع دو متری بر حسب متر بر ثانیه، n ساعات‌های واقعی آفتاب بر حسب ساعت است. پنج روش تخمین ET₀ مبتنی بر تابش خورشیدی در جدول ۳ ارائه شده است.

در جدول ۲، ET₀ تبخیر و تعرق گیاه مرجع بر حسب میلی-متر بر روز است. T_{min} و T_{max} ، T_d ، T_a به ترتیب دمای میانگین ماهانه، دمای نقطه شبنم، دمای حداکثر و دمای حداقل بر حسب درجه سانتی‌گراد، RH میانگین رطوبت نسبی بر حسب درصد، R_a تابش برون زمینی بر حسب میلی ژول بر مترمکعب بر روز، z ارتفاع محل بر حسب متر، L

جدول ۳- پنج روش انتخاب شده برای تخمین ET₀ بر مبنای تابش خورشیدی

روش	منابع	معادله
پرستلی-تیلور (PT)	پرستلی و تیلور (۱۹۷۲)	$ET_0 = 1.26 (\Delta / (\Delta + \gamma)) R_n / \lambda$
مک کینگ (Mak)	مک کینگ (۱۹۵۷)	$ET_0 = 0.61 (\Delta / (\Delta + \gamma)) R_s / \lambda - 0.12$
تورک (T)	تورک (۱۹۶۱)	$ET_0 = 0.013 (T / T + 15) (R_s + 50)$ برای $RH > 50$ $ET_0 = 0.013 (T / T + 15) (R_s + 50) (1 + (50 - RH / 70))$ برای $RH < 50$
جنسن -هیز (JH)	جنسن هیز (۱۹۶۳)	$ET_0 = C_T (T - T_x) R_s$
ایرماک (I)	ایرماک (۲۰۰۳)	$ET_0 = -0.611 + 0.149 R_s + 0.079 T_{mean}$

ژول بر مترمکعب بر روز، h ارتفاع از سطح دریا بر حسب متر، L عرض جغرافیایی بر حسب درجه، u سرعت باد در ارتفاع دو متری بر حسب متر بر ثانیه، n ساعات‌های واقعی آفتاب بر حسب ساعت است. ϕ عرض جغرافیایی (R_n ، rad) تابش خالص خورشیدی بر حسب میلی ژول بر مترمکعب و

در جدول ۳، ET₀ تبخیر و تعرق گیاه مرجع بر حسب میلی-متر بر روز است. T_{min} و T_{max} ، T_d ، T_a به ترتیب دمای میانگین ماهانه، دمای نقطه شبنم، دمای حداکثر و دمای حداقل بر حسب درجه سانتی‌گراد، RH میانگین رطوبت نسبی بر حسب درصد، R_s تابش برون زمینی بر حسب میلی

γ ثابت سایکرومتری بر حسب $(Kpa\ C^{-1})$ ، e_{smin} و e_{smax} به ترتیب حداکثر و حداقل فشار بخار اشباع بر حسب کیلو پاسکال، Δ شیب منحنی تغییرات فشار بخار اشباع بر حسب کیلو پاسکال بر سانتی گراد، λ ضریب گرمای نهان تبخیر بر حسب میلی ژول بر کیلوگرم، p فشار بخار بر حسب

کیلو پاسکال هستند، R_{ns} و R_{nl} به ترتیب تابش خالص خورشید با طول موج بلند و طول موج کوتاه بر حسب میلی ژول بر متر مربع بر روز هستند. پنج روش تخمین ET_0 مبتنی بر انتقال جرم در جدول ۴ ارائه شده است.

جدول ۴- پنج روش انتخاب شده برای تخمین ET_0 بر مبنای انتقال جرم

روش	منابع	معادله
مییر (M)	مییر (۱۹۲۶)	$ET_0 = (0.375 + 0.05026u_2)(e_s - e_a)$
دالتون (D)	دالتون (۱۸۰۲)	$ET_0 = (0.3648 + 0.07223u_2)(e_s - e_a)$
ترابرت (Tr)	ترابرت (۱۸۹۶)	$ET_0 = 0.3075v u_2 (e_s - e_a)$
WMO	WMO (۱۹۶۶)	$ET_0 = (0.1298 + 0.0934u_2)(e_s - e_a)$
آلبرچت (AL)	آلبرچت (۱۹۵۰)	$ET_0 = (0.1005 + 0.297u_2)(e_s - e_a)$

همچنین، در جدول ۴، ET_0 تبخیر و تعرق گیاه مرجع بر حسب میلی‌متر بر روز است. T_{min} ، T_{max} ، T_a به ترتیب دمای میانگین ماهانه، دمای حداکثر و دمای حداقل بر حسب درجه سانتی‌گراد، RH میانگین رطوبت نسبی بر حسب درصد، u سرعت باد در ارتفاع دو متری بر حسب متر بر ثانیه بوده و e_a و e_s به ترتیب فشار بخار اشباع و فشار بخار واقعی بر حسب کیلو پاسکال هستند. مقادیر برآورد شده از روش‌های مختلف با مقدار مرجع به دست آمده از روش فائو پنمن مانیت (PMF-56) (به عنوان روش مرجع) بر اساس، آماره‌های جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) (رابطه ۲)، میانگین خطای اریب (MBE) (رابطه ۳) و ضریب تبیین (R^2) (رابطه ۴) ارزیابی گردید (بابامیر و دین‌پژوه، ۲۰۱۷):

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{n}} \quad \text{رابطه (۲)}$$

$$MBE = \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)}{n} \quad \text{رابطه (۳)}$$

$$R^2 = \frac{(\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})(O_i - \bar{O}))^2}{\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})^2 \sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \quad \text{رابطه (۴)}$$

در روابط بالا P_i مقدار برآورد شده، O_i مقدار محاسبه شده، $\bar{P}$ میانگین مقادیر برآورد شده، $\bar{O}$ میانگین مقادیر محاسبه شده و n تعداد داده‌ها می‌باشد. مقدار RMSE نمایانگر این است که مدل به چه میزان بیشتر یا کمتر از واقعیت، برآورد می‌کند و هر چه به صفر نزدیک‌تر بهتر می‌باشد. مقدار مثبت آماره MBE نشان‌دهنده این است که هر دو مدل مورد استفاده مقدار پارامتر مورد نظر را بیشتر از مقدار واقعی برآورد کرده است و مقادیر منفی بیانگر این است که مدل در برآورد پارامتر مورد نظر عدد کوچکتري به دست داده است. مقدار R^2 از صفر تا یک متغیر بوده و هر

چه به یک نزدیک تر باشد نشان دهنده برازش بهتر داده‌ها می‌باشد.

۳. نتایج و بحث

میانگین سالانه تبخیر-تعرق گیاه مرجع در ۸ ایستگاه سینوپتیک استان خوزستان به کمک ۱۴ روش مختلف برای ۱۶ سال (۲۰۰۷-۲۰۲۳) تخمین زده شد. مجموع مقادیر

سالانه تبخیر-تعرق مرجع به دست آمده بر حسب میلی‌متر با روش‌های مختلف در جدول ۵ ارائه شده است. همان طور که ملاحظه می‌شود در ایستگاه آبادان بیش‌ترین مقدار و در ایستگاه ایذه کمترین مقدار تبخیر تعرق مرجع با توجه به روش مرجع فائو پنمن مانیتث (PMF-56) به دست آمده است.

جدول ۵-مجموع مقادیر تبخیر تعرق مرجع (بر حسب میلی‌متر) سالانه محاسبه شده با روش‌های مختلف در ایستگاه‌های مورد مطالعه

آبادان	اهواز	ایذه	بهبهان	بوستان	حسینیه	دزفول	شوشتر
۲۸۲۷/۹	۲۶۰۹/۶	۱۸۸۸/۴	۲۴۵۹/۳	۲۵۴۹	۲۵۲۲/۱	۲۵۲۸/۴	۲۲۶۴
فائوپنمن - مانیتث							
۱۴۰۳/۵	۱۷۴۵/۵	۱۲۱۱/۷	۱۳۴۱/۳	۱۳۴۷/۲	۱۳۳۳/۹	۱۳۳۸/۱	۱۲۹۵/۹
بلانی کریدل							
۶۳۰/۹	۱۰۱۷/۸	۵۵۴/۹	۶۲۵/۶	۶۱۷/۵	۵۹۸/۷	۶۰۴/۴	۵۶۴/۴
هارگریوز							
۱۹۸۶	۱۹۳۰/۱	۱۷۳۹/۲	۱۸۰۸/۵	۱۹۶۶/۳	۱۸۲۴/۹	۱۸۱۷/۵	۱۹۹۲/۷
لینا کر							
۲۴۳۱/۶	۲۵۰۱/۱	۲۶۴۸	۲۴۳۳/۱	۲۴۴۷	۳۵۰۳/۴	۱۹۶۰/۱	۳۱۶۵/۸
اسچندل							
۲۰۴/۱	۶۵۱/۸	۱۶۲/۸	۲۱۳/۸	۱۸۶/۶	۱۶۶/۸	۱۷۲/۹	۱۷۱/۷
پرستلی تیلور							
۴۱۲/۹	۶۷۳/۲	۳۹۶/۷	۴۲۳/۸	۴۱۰/۲	۳۹۹/۱	۴۰۲/۶	۳۶۷/۳
مک کینگ							
۶۸۹/۳	۱۰۵۳/۷	۶۲۵/۵	۶۶۸/۹	۶۵۸/۲	۶۴۱/۲	۶۴۶/۳	۶۲۳/۲
تورک							
۱۵۱۳/۹	۲۵۱۹/۱	۱۲۰۹/۸	۱۴۶۵/۱	۱۴۹۴/۶	۱۴۴۸/۹	۱۴۶۲/۹	۱۳۰۰/۷
جنسن هیز							
۶۴۳/۱	۸۳۸/۲	۵۶۱/۴	۶۲۹/۱	۶۴۷	۶۱۳/۹	۶۱۷/۲	۶۰۶/۱
ایرماک							
۷۳۳/۳	۶۰۹/۱	۴۲۸/۵	۶۱۳/۴	۶۴۴/۳	۶۴۴/۱	۶۴۴/۳	۵۸۴/۹
مییر							
۹۴۱/۱	۷۶۶	۵۳۲/۴	۷۸۲/۶	۸۲۳/۹	۸۲۳/۷	۸۲۳/۹	۷۳۱/۳
دالتون							
۷۶۸/۳	۶۵۶	۴۷۰/۸	۶۴۸/۸	۶۷۸/۵	۶۷۸/۲	۶۷۸/۵	۶۲۹/۷
ترابرت							
۹۹۵/۴	۷۷۵/۷	۵۲۴/۶	۸۱۷/۶	۸۶۵	۸۶۴/۷	۸۶۵	۷۳۰/۹
WMO							
۲۹۶۲/۹	۲۲۷۰/۵	۱۵۱۸/۶	۲۴۲۲/۵	۲۵۶۷/۷	۲۵۶۶/۸	۲۵۶۷/۷	۲۱۲۸/۲
آلبرچت							

مجموع مقادیر تبخیر تعرق مرجع سالانه روش آلبرچت (AL) در ایستگاه آبادان ۴/۸ درصد بیش‌تر و بلانی-کریدل (BC)، روش‌های هارگریوز (HG)، لینا کر (Lin)، اسچندل (S)، پرستلی-تیلور (PT)، مک-کینگ (Mak)، تورک (T)، جنسن-هیز (JH)، ایرماک (I)، مییر (M)، دالتون (D)، ترابرت (Tr) و WMO به ترتیب

۵۰/۴، ۷۷/۷، ۷۴/۱، ۶۶/۷، ۷۲/۸ و ۶۴/۸ درصد کم‌تر نسبت به روش مرجع فائو پنمن مانیتث (PMF-56) بدست آمد. مجموع مقادیر تبخیر تعرق مرجع سالانه روش اسچندل (S) در ایستگاه ایذه ۴۰/۲ درصد بیش‌تر و بلانی-کریدل (BC)، روش‌های هارگریوز (HG)، لینا کر (Lin)،

پرستلی-تیلور (PT)، مک کینگ (Mak)، تورک (T)،
جنسن هیز (JH)، ایرماک (I)، میسر (M)، دالتون (D)، ترابرت
(Tr)، WMO و آلبرچت (AL) به ترتیب ۳۵/۸، ۷۰/۶،
۷۵/۱، ۷۱/۸، ۷۷/۳، ۷۰/۳، ۳۵/۹، ۶۶/۷۹، ۹۱/۴، ۷/۹،
۷۲/۲ و ۱۹/۶ درصد کم ترنسپت به روش مرجع فائو پنمن
مانتیت (PMF-56) بدست آمد (جدول ۶).

نتایج بدست آمده از مقایسه روش‌های مبتنی بر دما

نتایج به دست آمده از مقایسه روش‌های مختلف تخمین
تبخیر تعرق مرجع مبتنی بر دما با روش فائو پنمن مانتیت
(PMF-56) در ایستگاه‌های مورد مطالعه در شکل‌های ۲،
۳ و ۴ نشان داده شده است. طبق نتایج روش لینا کر برای همه

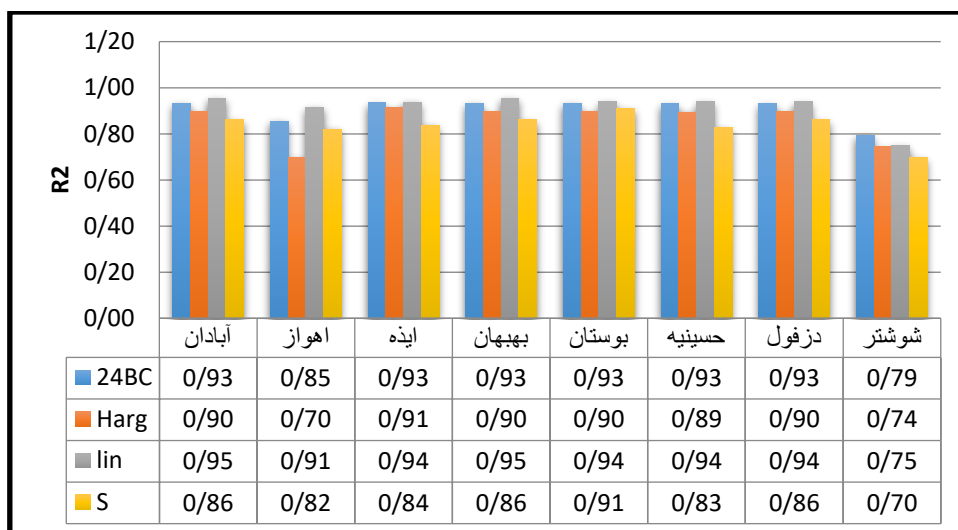
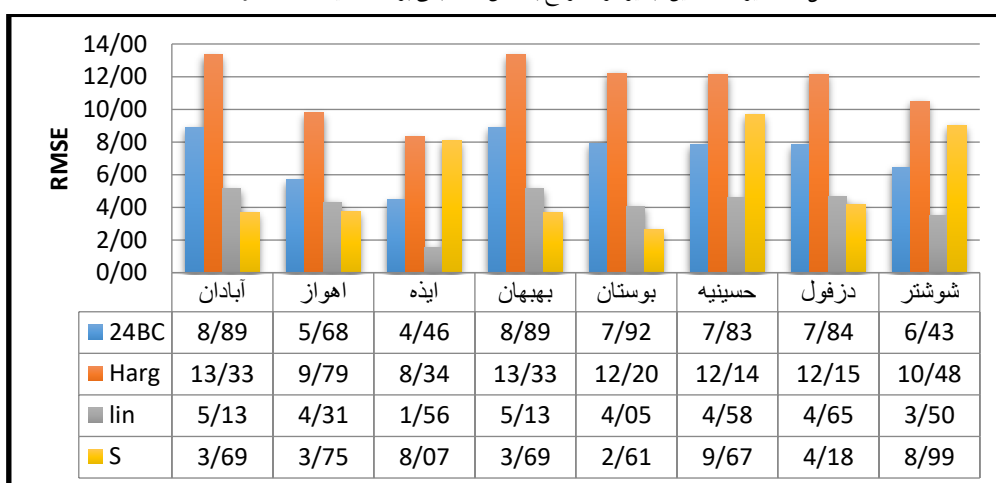
ایستگاه‌های آبادان، اهواز، ایزه، بهبهان، بوستان، حسینه،
دزفول و شوشتر با R^2 ، RMSE و MBE به ترتیب برابر
۰/۹۵، ۵/۱۳ و ۴/۳۸ میلی‌متر بر روز، ۰/۹۱، ۴/۳۱ و ۳/۵۴
میلی‌متر بر روز، ۰/۹۴، ۱/۵۶ و ۰/۷۸ میلی‌متر بر روز، ۰/۹۵،
۵/۱۳ و ۴/۳۸ میلی‌متر بر روز، ۰/۹۴، ۴/۰۵ و ۳/۰۳ میلی‌متر
بر روز، ۰/۹۴، ۴/۵۸ و ۳/۶۳ میلی‌متر بر روز، ۰/۹۴، ۴/۶۵ و
۳/۷ میلی‌متر بر روز و ۰/۷۵، ۳/۵ و ۱/۴۱ میلی‌متر بر روز
بهترین عملکرد را دارند. لازم به ذکر است که در بعضی
ایستگاه‌ها بین تمام روش‌های مبتنی بر دما رتبه یکسان
حاصل شد که ملاک انتخاب روش مناسب تر، شاخص
آماري R^2 بود. بهترین روش با کمترین رتبه برای هر ایستگاه
مطالعاتی انتخاب و در جدول ۷ ارائه گردید.

جدول ۶_ مجموعه مقادیر مقایسه تبخیر تعرق با روش مرجع فائو پنمن مانتیت بر حسب درصد

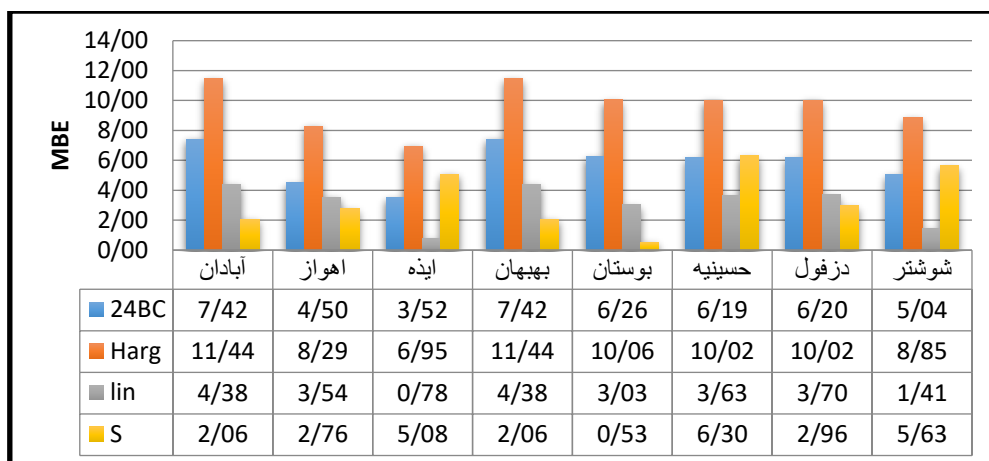
آبادان	اهواز	ایزه	بهبهان	بوستان	حسینه	دزفول	شوشتر	
۵۰/۴	۳۳/۱	۳۵/۸	۴۵/۵	۴۷/۱	۴۷/۱	۴۷/۱	۴۲/۸	بلانی کریدل
۷۷/۷	۶۱	۷۰/۶	۷۴/۶	۷۵/۸	۷۶/۳	۷۶/۱	۷۵/۱	هار گریوز سامانی
۲۹/۸	۲۶	۷/۹	۲۶/۵	۲۲/۹	۲۷/۶	۲۸/۱	۱۲	لینا کر
۱۴	۴/۲	۴۰/۲	۱/۱	۴	۳۸/۹	۲۲/۵	۳۹/۸	اسچندل
۹۲/۸	۷۵	۹۱/۴	۹۱/۳	۹۲/۷	۹۳/۴	۹۳/۲	۹۲/۴	پرستلی تیلور
۸۵/۴	۷۴/۲	۷۹	۸۲/۸	۸۳/۹	۸۴/۲	۸۴/۱	۸۳/۸	مک کینگ
۷۵/۶	۵۹/۶	۶۶/۹	۷۲/۸	۷۴/۲	۷۴/۶	۷۴/۴	۷۲/۵	تورک
۴۶/۵	۳/۵	۳۵/۹	۴۰/۴	۴۱/۴	۴۲/۶	۴۲/۱	۴۲/۵	جنسن هیز
۷۷/۳	۶۷/۹	۷۰/۳	۷۴/۴	۷۴/۶	۷۵/۷	۷۵/۶	۷۳/۲	ایرماک
۷۴/۱	۷۶/۷	۷۷/۳	۷۵/۱	۷۴/۷	۷۴/۵	۷۴/۵	۷۴/۲	میسر
۶۶/۷	۷۰/۶	۷۱/۸	۶۸/۲	۶۷/۷	۶۷/۳	۶۷/۴	۶۷/۷	دالتون
۷۲/۸	۷۴/۹	۷۵/۱	۷۳/۶	۷۳/۴	۷۳/۱	۷۳/۲	۷۲/۲	ترابرت
۶۴/۸	۷۰/۳	۷۲/۲	۶۶/۸	۶۶/۱	۶۵/۷	۶۵/۸	۶۷/۷	WMO
۴/۸	۱۳	۱۹/۶	۱/۵	۰/۷	۱/۸	۱/۶	۶	آلبرچت

جدول ۷- بهترین روش تخمین تبخیر تعرق مرجع سالانه با روش های مبتنی بر دما در ایستگاه های مورد مطالعه

ایستگاه	آبادان	اهواز	ایذه	بهبهان	بوستان	حسینیه	دزفول	شوشتر
بهترین روش	Lin	Lin	Lin	Lin	Lin	Lin	Lin	Lin
R^2	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۲
RMSE	۲	۲	۱	۲	۲	۱	۲	۱
MBE	۲	۲	۱	۲	۲	۱	۲	۱
جمع امتیاز رتبه	۵	۵	۳	۵	۵	۳	۵	۴

شکل ۲- مقادیر R^2 تخمین تبخیر تعرق مرجع با روش های مبتنی بر دما در ایستگاه های مورد مطالعه

شکل ۳- مقادیر RMSE تخمین تبخیر تعرق مرجع با روش های مبتنی بر دما بر حسب میلی متر بر روز در ایستگاه های مورد مطالعه



شکل ۴- مقادیر MBE تخمین تبخیر تعرق مرجع با روش های مبتنی بر دما بر حسب میلی متر بر روز در ایستگاه های مورد مطالعه

(PMF-56) در ایستگاه های مورد مطالعه در شکل های ۶، ۷ و ۵ نشان داده شده است. نتایج نشان داد روش جنسن-هیز برای همه ایستگاه های آبادان، اهواز، ایزه، بهبهان، بوستان، حسینیه، دزفول و شوشتر با R^2 ، RMSE و MBE به ترتیب برابر ۰/۹۰، ۷/۹۳ و ۶/۸۲، ۰/۹۲، ۴/۱۸ و ۰/۴۸ میلی متر بر روز، ۴/۱۸ و ۳/۵۲ میلی متر بر روز، ۰/۷۴، ۶/۸۴ و ۵/۱۷ میلی متر بر روز، ۰/۹۰، ۶/۸۴ و ۵/۱۷ میلی متر بر روز، ۰/۹۰، ۶/۹۱ و ۵/۵۷ میلی متر بر روز، ۰/۹۰، ۶/۸۶ و ۵/۵۳ میلی متر بر روز و ۰/۷۵، ۶/۲۵ و ۴/۹۸ میلی متر بر روز بهترین عملکرد را دارند. لازم به ذکر است که در بعضی ایستگاه ها بین تمام روش های مبتنی بر تابش رتبه یکسان حاصل شد که ملاک انتخاب روش مناسب تر، شاخص آماری R^2 بود. بهترین روش با کمترین رتبه برای هر ایستگاه مطالعاتی انتخاب و در جدول ۸ ارائه گردید.

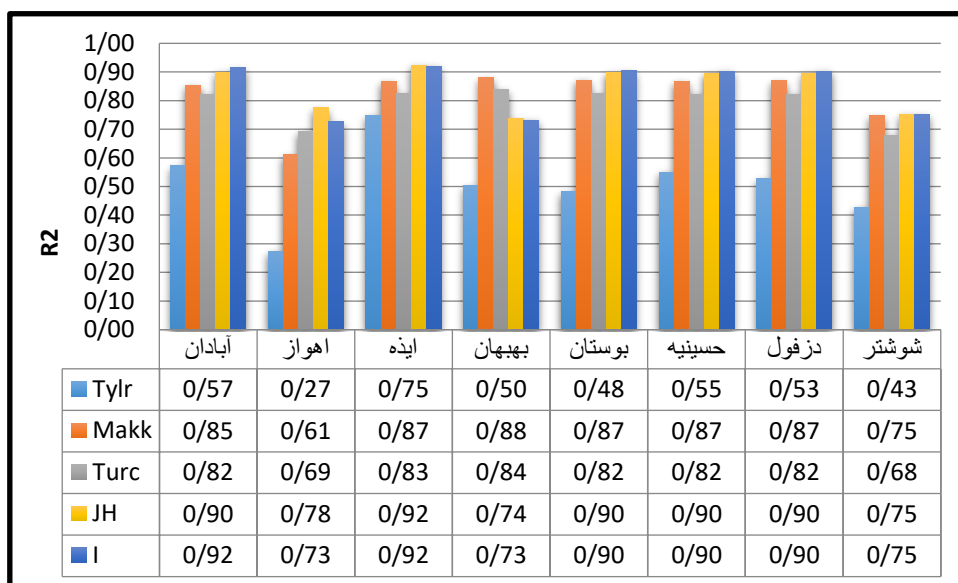
جدول ۸- بهترین روش تخمین تبخیر تعرق مرجع سالانه با روش های مبتنی بر تابش در ایستگاه های مورد مطالعه

ایستگاه	آبادان	اهواز	ایزه	بهبهان	بوستان	حسینیه	دزفول	شوشتر
بهترین روش	JH	JH	JH	JH	JH	JH	JH	JH
R^2	۲	۱	۱	۳	۲	۲	۲	۲
RMSE	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱
MBE	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱
جمع امتیاز رتبه	۴	۳	۳	۵	۴	۴	۴	۴

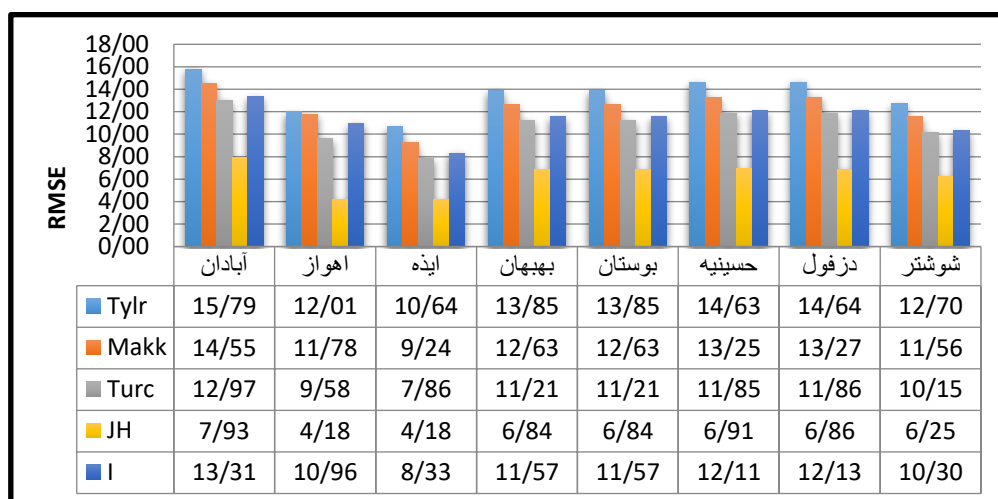
طافی و همکاران (۱۳۹۹) نشان دادند روش هارگریوز-سامانی برای استان لرستان ایستگاه های الشتر، ازنا، دورود، کوهدشت و خرم آباد بهترین عملکرد را دارند. روش بلانی-کریدل برای ایستگاه های الیگودرز، بروجرد، نورآباد و بهترین نتایج را نشان داد. ملک شاهی و همکاران (۱۳۹۸) طی تحقیقی نشان دادند که بهترین روش هادر بین روش های دمایی در دشت ناز ساری به ترتیب روش بلانی کریدل، هارگریوز و هامون بود. بابامیری و دین پژوه (۱۳۹۵) در نتیجه تحقیقی که در حوضه آبریز ارومیه صورت گرفت، گزارش کردند که از بین روش های مبتنی بر دمای هوا، روش هارگریوز-سامانی بهترین عملکرد را داشته است.

نتایج بدست آمده از مقایسه روش های مبتنی بر تابش

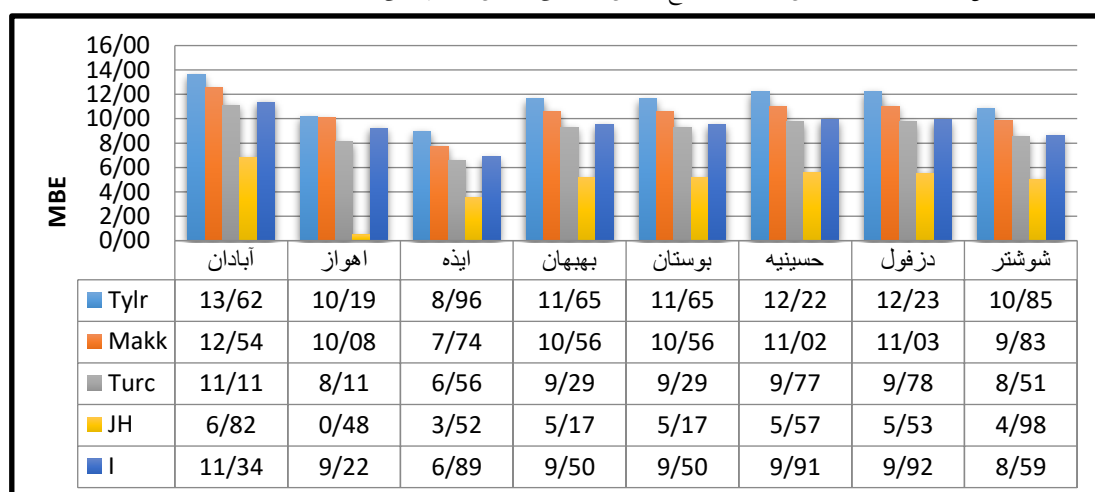
نتایج به دست آمده از مقایسه روش های مختلف تخمین تبخیر تعرق مرجع مبتنی بر تابش با روش فائو پنمن مانیتث



شکل ۵-مقادیر R^2 تخمین تبخیر تعرق مرجع با روش های مبتنی بر تابش در ایستگاه های مورد مطالعه



شکل ۶-مقادیر RMSE تخمین تبخیر تعرق مرجع با روش های مبتنی بر تابش برحسب میلی متر بر روز در ایستگاه های مورد مطالعه



شکل ۷-مقادیر MBE تخمین تبخیر تعرق مرجع با روش های مبتنی بر تابش در ایستگاه های مورد مطالعه

لانگ و همکاران (۲۰۱۷) دریافتند روش مک کینگ بهترین عملکرد را در بین روش‌های مطالعه شده در جنوب غرب چین دارد. طافی و همکاران (۱۳۹۹) نشان دادند روش مک کینگ برای ایستگاه‌های الشتر، ازنا، بروجرد، دورود، خرم‌آباد، نورآباد، بهترین نتایج را دارد. روش پرستلی-تیلور نیز برای ایستگاه کوه‌دشت و روش تورک برای ایستگاه الیگودرز بهترین عملکرد را داشتند. در مطالعات قمرنیا و یوسفوند (۱۳۹۸) برای ایستگاه آبعلی نیز روش مک‌کینگ در بین تمام روش‌ها به عنوان بهترین روش جهت محاسبه تبخیر تعرق روزانه برای این ایستگاه انتخاب شد.

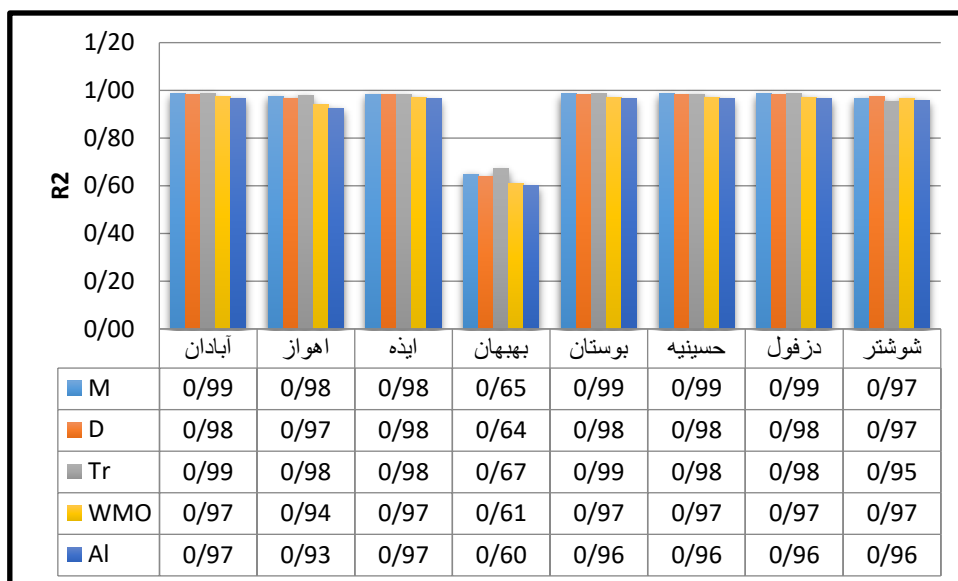
نتایج بدست آمده از مقایسه روش‌های مبتنی بر انتقال جرم

نتایج به‌دست آمده از مقایسه روش‌های مختلف تخمین تبخیر تعرق مرجع مبتنی بر انتقال جرم با روش فائو پنمن مانیت (PMF-56) در ایستگاه‌های استان خوزستان در شکل‌های ۸، ۹ و ۱۰ نشان داده شده است. نتایج نشان داد

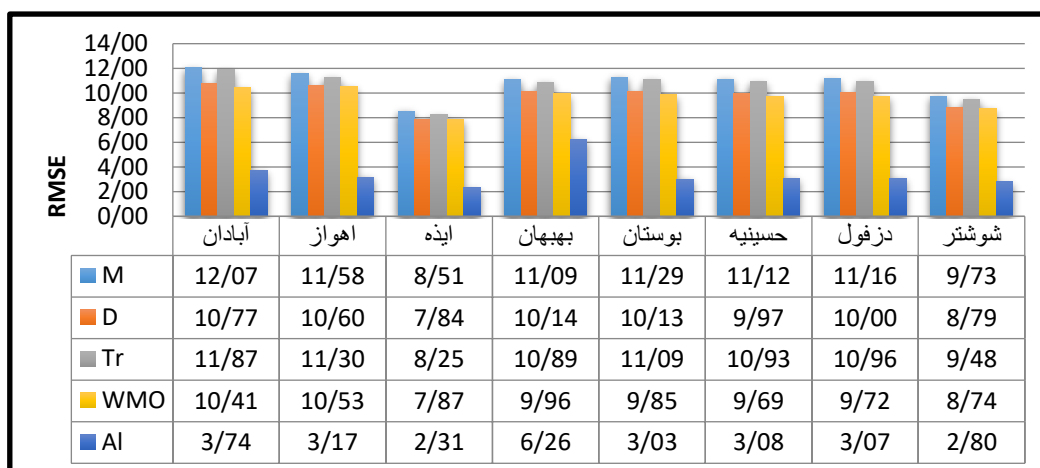
روش آلبرجت برای ایستگاه‌های آبادان، اهواز، بهبهان، بوستان، حسینه و دزفول با $RMSE$ و MBE به ترتیب برابر ۰/۹۷، ۳/۷۴ و ۲/۸ میلی‌متر بر روز ۰/۹۳، ۳/۱۷ و ۲/۷۴ میلی‌متر بر روز، ۰/۶، ۶/۲۶ و ۴/۷۸ میلی‌متر بر روز، ۰/۹۶، ۳/۰۳ و ۲/۳۱ میلی‌متر بر روز، ۰/۹۶، ۳/۰۷ و ۲/۳۳ میلی‌متر بر روز و روش دالتون برای ایستگاه ایزه با $RMSE$ و MBE برابر ۰/۹۸، ۷/۸۴ و ۷/۰۴ میلی‌متر بر روز و روش WMO برای ایستگاه شوشتر با $RMSE$ و MBE برابر ۰/۹۷، ۸/۷۴ و ۷/۹۵ میلی‌متر بر روز بهترین عملکرد را دارند. لازم به ذکر است که در بعضی ایستگاه‌ها بین تمام روش‌های مبتنی بر انتقال جرم رتبه یکسان حاصل شد که ملاک انتخاب روش مناسب‌تر، شاخص آماری R^2 بود. بهترین روش با کمترین رتبه برای هر ایستگاه مطالعاتی انتخاب و در جدول ۹ ارائه گردید.

جدول ۹- بهترین روش تخمین تبخیر تعرق مرجع سالانه با روش‌های مبتنی بر انتقال جرم در ایستگاه‌های مورد مطالعه

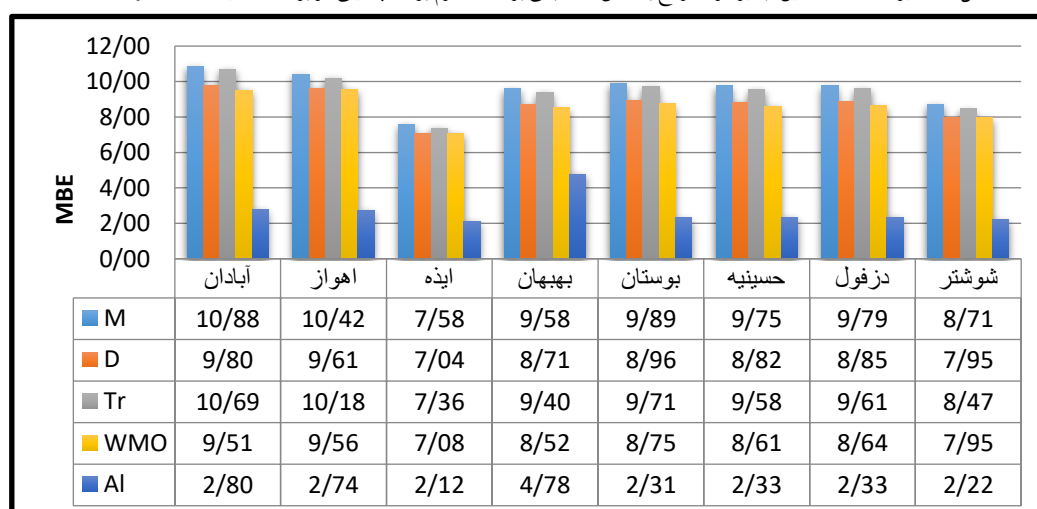
ایستگاه	آبادان	اهواز	ایزه	بهبهان	بوستان	حسینه	دزفول	شوشتر
بهترین روش	AI	AI	D	AI	AI	AI	AI	WMO
R^2	۵	۵	۳	۵	۴	۵	۵	۲
RMSE	۱	۱	۲	۱	۱	۱	۱	۲
MBE	۱	۱	۲	۱	۱	۱	۱	۲
جمع امتیاز رتبه	۷	۷	۷	۷	۶	۷	۷	۶



شکل ۸- مقادیر R^2 تخمین تبخیر تعرق مرجع با روش‌های مبتنی بر انتقال جرم در ایستگاه‌های مورد مطالعه



شکل ۹- مقادیر RMSE تخمین تبخیر تعرق مرجع با روش‌های مبتنی بر انتقال جرم برحسب میلی‌متر بر روز در ایستگاه‌های مورد مطالعه



شکل ۱۰- مقادیر MBE تخمین تبخیر تعرق مرجع با روش‌های مبتنی بر انتقال جرم برحسب میلی‌متر بر روز در ایستگاه‌های مورد مطالعه

trend in Urmia Lake basin. Knowledge of Water and Soil, 27(1), 267-279.

2. Pighan, K., Tafi, S., Miri, S., Soltani, M., & Pourmansouri, M. (2022). Evaluation of five different Valiantzas models in estimating reference evapotranspiration (Case study: Lorestan Province). Nivar, 46(116-117), 60-72.

3. Zartipour, E., Soltani Mohammadi, A., & Zartipour, A. (2019). Temporal and spatial monitoring of reference evapotranspiration estimation methods (Case study: Khuzestan Province).

4. Salemi Nasab, M., Koochakzadeh, A., Moshtagh, A., & Ansari, M. R. (2024). Ecological zoning of wheat production in Khuzestan Province using geographic information system and hierarchical analysis process.

5. Ghamarnia, H., & Yousofvand, M. (2019). Comparison of different methods for estimating reference evapotranspiration based on solar radiation methods in different climates of Iran.

6. Tafi, S., Boladi, A., Soltani Mohammadi, A., & Pighan, K. (2020). Comparison and evaluation of reference evapotranspiration estimation methods in three main categories based on temperature, radiation, and mass transfer (Case study: Lorestan Province).

7. Mohsenzadeh, R., & Fakouhi, N. (2019). Water crisis in the shadow of agricultural expansion and de-agriculturalization of the country: Explaining the relationship between water crisis in agriculture and dependence on oil. Local Development (Rural-Urban), 11(1), 267-292.

8. Moradi, H., & Maleki, S. (2025). Investigating the security challenges of drought and water crisis in Khuzestan Province.

9. Malekshahi, Darzi Naftchali, A., Abdollah, & Mohseni. (2019). Accuracy analysis of reference evapotranspiration estimation equations at daily, monthly, and seasonal scales in a humid region. Iranian Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 10(2), 229-246.

10. Mahdizadeh, S., Khoshkha, F., Bahmanesh, J., & Delirhasannia, R. (2018). Comparative analysis of the accuracy of five

نتایج تحقیق ذرتی پور و همکاران (۱۳۹۸) حاکی از برتری روش WMO در مقایسه با سایر روشهای مبتنی بر انتقال جرم در ایستگاه‌های استان خوزستان بود. دجامان و همکاران (۲۰۱۷) نیز اعلام نمودند که روش البرجت جز روش‌هایی است که بهترین عملکرد را در سراسر تانزانیا و جنوب غربی کنیا دارا می‌باشد.

۴. نتیجه‌گیری

در مطالعه حاضر تبخیرتغرق گیاه مرجع چمن با مدل‌هایی بر پایه دما، تابش و انتقال جرم برای هشت ایستگاه سینوپتیک استان خوزستان ارزیابی شد. نتایج نشان داد در بین روش‌های مبتنی بر دما، روش لیناکر با R^2 بین ۰/۷۴۷ تا ۰/۹۵۴ بهترین عملکرد و روش هارگریوز با R^2 ۰/۷ تا ۰/۹۱ بدترین عملکرد را ارائه داد. در بین روش‌های مبتنی بر تابش خورشید، روش جنسن-هیز با R^2 بین ۰/۷۲۳ تا ۰/۹۳۶ بهترین عملکرد و روش پرستلی-تیلور با R^2 ۰/۲۷ تا ۰/۷۵ بدترین عملکرد را ارائه داد. در بین روش‌های مبتنی بر انتقال جرم، روش آلبرجت ب با R^2 بین ۰/۶ تا ۰/۹۶۸ در ۷۵ درصد ایستگاه‌ها (شش ایستگاه)، روش دالتون با R^2 ۰/۹۸۲ در ایستگاه ایزده و روش WMO با R^2 ۰/۹۶۷ در ایستگاه شوشتر بهترین عملکرد را داشتند. روش میسر در همه ایستگاه‌ها با R^2 ۰/۶ تا ۰/۹ عملکرد ضعیف‌تری داشت. به پژوهشگران توصیه می‌شود که در صورت عدم دسترسی به اطلاعات کافی برای محاسبه تبخیرتغرق با روش مرجع فائو پنمن مانیت (PMF-56)، از روش‌های یاد شده که بهترین نتایج را در ایستگاه‌های مطالعاتی در استان خوزستان داشتند، استفاده نمایند.

۵. سپاسگزاری:

از سازمان هواشناسی کشور برای در اختیار قرار دادن داده هواشناسی ایستگاه‌های مورد مطالعه سپاسگزاری می‌شود.

منابع

1. Babamiri, O., & Dinpazhoh, Y. (2017). Investigation of reference evapotranspiration

temperature. *Applied Engineering in Agriculture*, 1(2), 96-99.

19. Irmak, S. A., Allen, R. G., & Jones, J. W. (2003). Solar and net radiation-based equations to estimate reference evapotranspiration in humid climates. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 129(5), 336-347.

20. Jensen, M. E., & Haise, H. R. (1963). Estimation of evapotranspiration from solar radiation. *Journal of Irrigation and Drainage Division*, 89, 15-41.

21. Lang, D., Zheng, J., Shi, J., Liao, F., Ma, X., Wang, W., Chen, X., & Zhang, M. (2017). A comparative study of potential evapotranspiration estimation by eight methods with FAO Penman-Monteith method in southwestern China. *Water*, 9(10), 734.

22. Linacre, E. T. (1977). A simple formula for estimating evapotranspiration rate in various climates using temperature data alone. *Agricultural Meteorology*, 18, 409-424.

23. Makkink, G. F. (1957). Testing the Penman formula by means of lysimeters. *Journal of the Institution of Water Engineers*, 11, 277-288.

24. Meyer, A. (1926). Über einige zusammenhänge zwischen Klima und Boden in Europa. *Chemie der Erde*, 2, 209-234.

25. Priestley, C. H. B., & Taylor, R. J. (1972). On the assessment of surface heat flux and evapotranspiration using large scale parameters. *Monthly Weather Review*, 100, 81-92.

26. Pereira, L. S., Paredes, P., & Jovanovic, N. (2020). Soil water balance models for determining crop water and irrigation requirements and irrigation scheduling focusing on the FAO56 method and the dual Kc approach. *Agricultural Water Management*, 241, 106357.

27. Phad, S. V., Dakhore, K. K., & Sayyad, R. S. (2019). Comparison of different methods for estimation of reference evapotranspiration at Parbhani, Maharashtra. *Journal of Agrometeorology*, 21(2), 236-238.

28. Schendel, U. (1967). Vegetationswasserverbrauch und wasserbedarf. Habilitation, Kiel, p. 137.

different Valiantzas models in estimating reference evapotranspiration. *Irrigation Science and Engineering*, (3), 119-132.

11. Nouri, Badiye Neshin, & Mohammadi Mohammadabadi. (2016). Evaluation of computational methods of reference evapotranspiration and determination of pistachio crop evapotranspiration in Rafsanjan. *Agricultural Meteorology*, 4(2).

12. Ahmadipour, A., Shaibani, P., & Mostafavi, S. A. (2019). Assessment of empirical methods for estimating potential evapotranspiration in Zabol Synoptic Station by REF-ET model. *Medbiotech Journal*, 3(01), 1-4.

13. Albrecht, F. (1950). Die methoden zur bestimmung verdunstung der natürlichen erdoberfläche. *Archiv für Meteorologie, Geophysik und Bioklimatologie, Serie B*, 2, 1-38.

14. Blaney, H. F., & Criddle, W. D. (1950). Determining water requirements in irrigated areas from climatological and irrigation data. *Soil Conservation Service Technical Paper 96*. US Department of Agriculture, Washington.

15. Didari, S., & Ahmadi, S. H. (2019). Calibration and evaluation of the FAO56-Penman-Monteith, FAO24-radiation, and Priestley-Taylor reference evapotranspiration models using the spatially measured solar radiation across a large arid and semi-arid area in southern Iran. *Theoretical and Applied Climatology*, 136(1), 441-455.

16. Dalton, J. (1802). Experimental essays on the constitution of mixed gases on the force of steam of vapor from waters and other liquids in different temperatures, both in a torricellian vacuum and in air on evaporation and on the expansion of gases by heat. *Memoirs of the Manchester Literary and Philosophical Society*, 5, 535-602.

17. Djaman, K., Koudahe, K., Sall, M., Kabenge, I., Rudnick, D., & Irmak, S. (2017). Performance of twelve mass transfer based reference evapotranspiration models under humid climate. *Journal of Water Resource and Protection*, 9(12), 1347.

18. Hargreaves, G. L., & Samani, Z. A. (1985). Reference crop evapotranspiration from

31. Turc, L. (1961). Evaluation des besoins en eau irrigation, l'évapotranspiration potentielle. Annales Agronomiques, 12, 13–49.
32. World Meteorological Organization (WMO). (1966). Measurement and estimation of evaporation and evapotranspiration. Technical Paper (CIMO-Report) 83. Geneva
29. Song, X., Lu, F., Xiao, W., Zhu, K., Zhou, Y., & Xie, Z. (2019). Performance of 12 reference evapotranspiration estimation methods compared with the Penman–Monteith method and the potential influences in northeast China. Meteorological Applications, 26(1), 83–96.
30. Trabert, W. (1896). Neue beobachtungen uber verdampfungsgeschwindigkeiten. Meteorologische Zeitschrift, 13, 261–263.