

برآورد تبخیر- تعرق مرجع در شرایط کمبود داده و ارزیابی روش‌های والیانتس برای خط ساحلی شمال و جنوب ایران

محمد مهدی چاری*^۱، پریسا کهخامقدم^۲

۱- عضو هیأت علمی گروه مهندسی آب، دانشگاه زابل

۲- عضو هیأت علمی گروه مهندسی آب، دانشگاه زابل

(دریافت: ۱۳۹۷/۰۶/۱۲، بازنگری: ۱۳۹۸/۰۶/۲۲، پذیرش: ۱۳۹۸/۰۶/۲۴، انتشار آنلاین: ۱۳۹۸/۰۶/۲۴)

چکیده

تبخیر- تعرق (ET) از مهم‌ترین فراسنج‌ها در مطالعات اقلیمی و برنامه‌ریزی آبیاری است. برآورد تبخیر- تعرق پتانسیل (ET_o) به روشی ساده، مورد توجه زیادی، به ویژه در کشورهای در حال توسعه که در آن اطلاعات هواشناسی مورد نیاز برای روش استاندارد پنمن- مونتیث فائو (PMF-56) ناقص است یا در دسترس نیست، قرار گرفته است. همچنین با وجود توسعه کشاورزی در خطوط ساحلی ایران، تحقیقات جامعی برای محاسبه تبخیر- تعرق در این بخش‌ها صورت نگرفته است. هدف از این مطالعه عبارت است از: الف) ارزیابی ۵ روش کمبود داده شامل: هارگریوز- سامانی، پرستلی تیلور، مکینک، تورک در مقایسه با روش استاندارد برآورد ET_o و ب) ارزیابی دو مدل از جدیدترین روش‌های برآورد ET_o توسط والیانتس در مقایسه با روش PMF-56 برای خطوط ساحلی شمال و جنوب ایران. در این مطالعه، داده‌های ۱۴ ایستگاه همدید (سینوپتیک) شامل ۸ ایستگاه در خط ساحلی جنوب و ۶ ایستگاه در خط ساحلی شمال انتخاب شدند. نتایج آزمون‌های آماری نشان داد که در میان روش‌های تخمین تبخیر- تعرق با کمبود داده، روش تورک برای ایستگاه‌های خط ساحلی شمال به دلیل اقلیم معتدل و مرطوب و روش پرستلی تیلور به دلیل گرما و رطوبت بیشتر برای ایستگاه‌های واقع در خط ساحلی جنوب بهترین نتایج را در مقایسه با روش PMF-56 دارند. در میان روش‌های توسعه داده شده توسط والیانتس، روش والیانتس ۲ بیشترین مطابقت را با روش PMF-56 دارد.

واژه‌های کلیدی: تبخیر- تعرق، خط ساحلی، روش والیانتس، روش تورک، پرستلی تیلور.

مقدمه

می‌رسد تقابلی همسو بین تعداد عوامل هواشناسی مورد نیاز و دقت برآورد وجود داشته باشد. با این حال، به‌ویژه در کشورهای در حال توسعه تهیه عوامل هواشناسی دشوار بوده است. مطالعاتی که تاکنون انجام شده است نشان می‌دهد که تعیین ET_o در هر منطقه بستگی به شرایط اقلیمی، داده‌های مورد نیاز و هزینه‌های مربوط به آن دارد (سبزی‌پرور و همکاران، ۱۳۸۷). یکی از دقیق‌ترین روش‌های تخمین ET_o، در اقلیم‌های مختلف معادله پنمن- مونتیث فائو (PMF-56) در مقیاس روزانه و ماهانه است و دقت این روش در محاسبه تبخیر- تعرق در سراسر دنیا با موفقیت به اثبات رسیده است (جنسن و همکاران، ۱۹۹۰؛ آلن و همکاران، ۱۹۹۸). از این رو سازمان فائو (FAO) روش فوق را به عنوان

تبخیر- تعرق یکی از مهم‌ترین مؤلفه‌های چرخه آب در طبیعت است و تعیین دقیق آن برای مطالعات توازن آبی، آبیاری و مدیریت منابع آب ضروری است. تبخیر- تعرق پتانسیل (ET_o) معمولاً یا به‌طور مستقیم و با استفاده از لایسیمتر تعیین می‌شود یا به‌طور غیرمستقیم، با استفاده از معادلات تجربی برآورد می‌شود. با توجه به هزینه زیاد احداث لایسیمتر، اخیراً عمده مطالعات روی توسعه روش‌های برآورد تبخیر- تعرق متمرکز شده است. در حال حاضر چندین روش برای برآورد ET_o وجود دارد. گرچه پایه نظری این روش‌ها با هم متفاوت است، تعداد عوامل هواشناسی مورد نیاز در این روش‌ها نیز یکسان نیست. به نظر

روش استاندارد معرفی کرده است. روش PMF-56 به عنوان روش استاندارد، به داده‌های هواشناسی زیادی نظیر دمای هوا، رطوبت نسبی، سرعت باد در ارتفاع ۲ متری و تابش خورشیدی نیاز دارد. تهیه دقیق این داده‌ها در همه مناطق امکان‌پذیر نیست و همچنین در صورت وجود خیلی قابل اعتماد نیست (دروگرس و آلن، ۲۰۰۲). پس منطقی به نظر می‌رسد که جایگزینی مناسب برای آن تعیین شود که به داده‌های زیادی نیاز نداشته باشد. این کار دشوار است و با توجه به تفاوت شرایط اقلیمی مناطق مختلف، روش‌های جایگزین در مناطق مختلف نیز متفاوت خواهد بود. مثلاً با توجه به داده‌های اقلیمی ایران، روش هارگریوز-سامانی برای اقلیم‌های خشک بیابانی، نیمه‌خشک و مدیترانه‌ای، روش تورک برای اقلیم‌های فراخشک، مرطوب و خیلی مرطوب و روش مکینک برای اقلیم خیلی مرطوب پیشنهاد شده است (کوچکزاده و نیکبخت، ۱۳۸۳).

یکی از جدیدترین روش‌های تخمین تبخیر- تعرق گیاه مرجع، روش والیانتس است که حتی در شرایط کمبود داده نیز دارای عملکرد مناسب و دقت زیادی است. کاربرد آسان برای رسیدن به توزیع مکانی تبخیر- تعرق مرجع، سادگی فرمول برای برنامه‌های کاربردی هیدرولوژیکی و ... از مزایای مدل‌های توسعه یافته توسط والیانتس نسبت به مدل فائو-۵۶ است (والیانتس، ۲۰۱۳ a,b,c؛ ولی‌پور، ۲۰۱۵؛ کیسی، ۲۰۱۴). عملکرد مدل‌های توسعه یافته توسط والیانتس در پژوهش‌های گوناگونی مورد بررسی قرار گرفته است (ولی‌پور، ۲۰۱۵ a,b؛ دژمن و همکاران، ۲۰۱۵؛ آهوقلدیری و همکاران، ۲۰۱۶؛ دژمن و همکاران، ۲۰۱۶).

دژمن و همکاران (۲۰۱۶) در پژوهشی به بررسی معادله پنمن- مونتیت فائو در شرایط کمبود داده و همچنین ارزیابی دو معادله جدید توسعه یافته توسط والیانتس برای تعیین ET_o (والیانتس، ۲۰۱۳c) برای بورکینافاسو پرداختند. نتایج حاکی از این بود که معادله والیانتس ۲ با اطلاعات کامل آب و هوایی دارای عملکرد خوبی نسبت به معادله پنمن- مونتیت فائو است اما

معادله والیانتس ۱ برای ایستگاه‌های مورد بررسی در بورکینافاسو توصیه نمی‌شود. همچنین معادله پنمن- مونتیت فائو در شرایط کمبود داده که تنها داده‌های دما در دسترس است، دارای کمترین عملکرد است.

کیسی (۲۰۱۴) معادلات جدید توسعه یافته والیانتس را در شرایط مدیترانه‌ای (۴ ایستگاه در کشور ترکیه) مورد ارزیابی قرار داد. نتایج نشان داد در ۳ ایستگاه مورد بررسی، معادله والیانتس تحت شرایط داده‌های کامل هواشناسی، عملکرد بهتری نسبت به روش‌های تجربی نشان می‌دهد. ولی‌پور (۲۰۱۴) به مقایسه ۵ روش دیگر والیانتس، همچنین پرستلی- تیلور و تورک برای برآورد تبخیر- تعرق مرجع، در مقایسه با روش استاندارد پنمن- مونتیت فائو پرداخت. بدین منظور ۱۸۱ ایستگاه از ۳۱ استان کشور ایران تحت شرایط مختلف آب و هوایی بررسی شد. نتایج نشان داد که برای قسمت‌های جنوبی ایران که شامل ۹ استان است، روش والیانتس ۱ (داده‌های مورد استفاده برای این روش عبارتند از T, R_s, RH, u) و برای مناطق شرق، غرب و شمال ایران (۲۲ استان)، روش والیانتس ۲ (داده‌های مورد استفاده برای این روش عبارتند از T, R_s, RH, u) مناسب‌تر است. ایساکا و همکاران (۲۰۱۷)، به تجزیه و تحلیل و کالیبراسیون روابط تجربی برای برآورد تبخیر- تعرق در قطر پرداختند. در این مطالعه چند روش مورد استفاده در برآورد تبخیر- تعرق شامل: بلانی- کریدل، هارگریوز- سامانی، جنسن- هیز، لاینکر و روش تورک در مقایسه با مدل پنمن- مونتیت فائو مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج حاصل نشان داد که روش تورک با بهره‌گیری از سه فراسنج هواشناسی شامل: میانگین دما، تابش خورشیدی و رطوبت نسبی که به راحتی در منطقه مورد مطالعه قابل اندازه‌گیری هستند، دارای بیشترین تطابق با روش استاندارد است.

توکلی و همکاران (۱۳۹۲) شش روش محاسبه تبخیر- تعرق مرجع شامل: تشت تبخیر، هارگریوز- سامانی، پرستلی- تیلور، تورک، مکینک و روش پیشنهادی نشریه فائو ۵۶ نسبت به روش استاندارد پنمن- مونتیت فائو را مورد ارزیابی قرار دادند. به دلیل

صورت می‌گیرد (طرح جامع مدیریت یکپارچه مناطق ساحلی ایران، ۱۳۹۳). با وجود توسعه زیاد کشاورزی در مناطق ساحلی ایران و در تعدادی نقاط جهان تحقیقات جامعی برای محاسبه مقدار تبخیر و تعرق در این مناطق صورت نگرفته است. همچنین اگرچه مطالعات گذشته نشان می‌دهد که دقت معادله فائو پن من - مونتیث برای محاسبه تبخیر-تعرق مناسب است اما نیاز به داده‌ها و اطلاعات زیادی دارد که در بسیاری از موارد، به خصوص در کشورهای جهان سوم (مانند ایران) در دسترس نیست و در نتیجه از روش‌های جایگزین که از داده‌ها و اطلاعات کمتری استفاده می‌کنند (روش‌های کمبود داده)، بیشتر استفاده می‌شود. بنابراین با توجه به اقلیم‌های متفاوت نیاز است که این روش‌های کمبود داده مورد ارزیابی قرار گیرد.

با توجه به مطالب ذکر شده این پژوهش شامل اهداف زیر است: الف) تعیین تبخیر-تعرق مرجع با استفاده از روش پنمن-مونتیث فائو برای خط ساحلی شمال و جنوب ایران، ب) تعیین بهترین روش برآورد تبخیر-تعرق مرجع در شرایط کمبود داده، به‌عنوان جایگزینی مناسب برای روش پنمن-مونتیث فائو، در مناطق ساحلی کشور ایران و ج) ارزیابی دو روش جدید توسعه یافته توسط والیانس در برآورد ET_0 ، در خط ساحلی شمال و جنوب کشور ایران.

مواد و روش‌ها

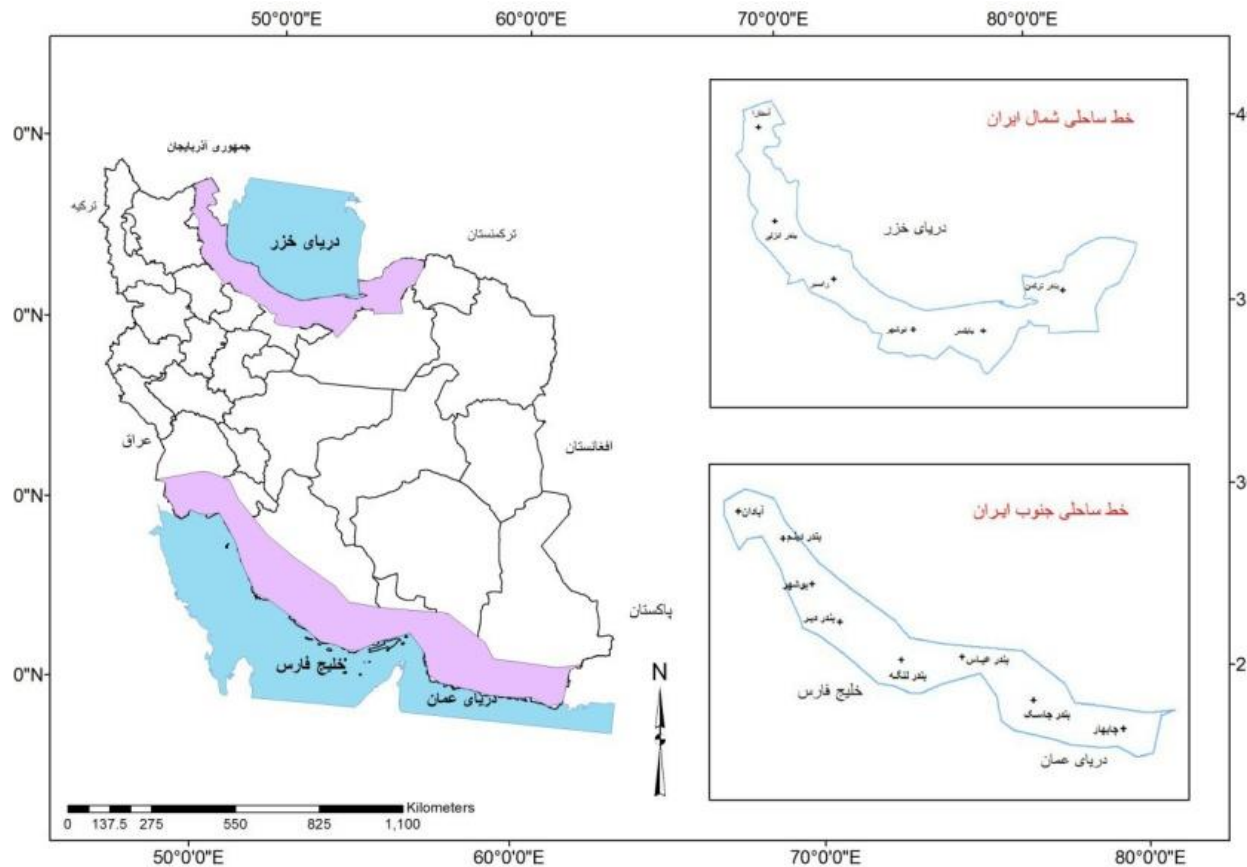
منطقه مورد مطالعه

این تحقیق بر اساس داده‌های هواشناسی ثبت شده ۱۴ ایستگاه همدید (سینوپتیک)، شامل ۸ ایستگاه واقع در خط ساحلی جنوب و ۶ ایستگاه واقع در خط ساحلی شمال ایران انجام شد (شکل ۱). طول دوره آماری فراسنج‌های هواشناسی مورد استفاده برای محاسبه ET_0 در ایستگاه‌های منتخب حدود ۲۰ سال بوده و در جدول ۱ اطلاعات داده‌های مورد استفاده ارائه شده است. اطلاعات جدول ۱ نشان می‌دهد که تمام ایستگاه‌های مورد بررسی واقع در خط ساحلی جنوب، دارای ارتفاعی بیشتر از سطح

عدم توافق بر سر روش مناسب محاسبه ET_0 در ایستگاه‌های مورد بررسی، با استفاده از آزمون معنی‌داری خطوط رگرسیونی در هر ماه از سال، یک معادله رگرسیونی خطی برای تبدیل بهترین روش محاسبه تبخیر-تعرق به روش استاندارد به دست آمد. ارزیابی این معادلات نشان‌دهنده دقت قابل قبول آنها در مقایسه با مطالعات انجام شده به‌ویژه در ماه‌های سرد سال است. بهمنش و همکاران (۱۳۹۴) برای شرایط اقلیمی شمال غرب ایران (ایستگاه‌های همدید تبریز و ارومیه)، برآورد تبخیر-تعرق مرجع تحت شرایط داده‌های محدود و کامل را مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج نشان داد که مؤثرترین فراسنج برای برآورد تبخیر-تعرق در ارومیه و تبریز تابش خورشیدی بوده و تأثیر داده‌های فشار بخار و رطوبت نسبی، بر دقت برآورد ET_0 تقریباً به یک اندازه است. پژوهشگران دیگری نیز به بررسی روش‌های مختلف برآورد تبخیر-تعرق گیاه مرجع تحت شرایط داده‌های محدود هواشناسی برای شرایط اقلیمی و آب و هوایی کشور ایران پرداختند (سلطانی و همکاران، ۱۳۹۱؛ طبری و همکاران، ۲۰۱۳؛ موسوی‌بایگی و همکاران، ۱۳۸۸). با توجه به مطالعات صورت گرفته برای محاسبه تبخیر-تعرق در ایران، به نظر می‌رسد تحقیق جامعی در محاسبه مقدار تبخیر-تعرق در خصوص خطوط ساحلی شمال و جنوب ایران صورت نگرفته است.

منطقه ساحلی فضای بین خشکی و دریا است که تحت تأثیر اثرات متقابل اکولوژی و کاربری‌های دو محیط بر یکدیگر قرار گرفته است. طول خط ساحل کشور ایران حدود ۵۸۰۰ کیلومتر است که ۸۹۰ کیلومتر آن در شمال ایران و دارای اقلیم معتدل و مرطوب، شامل استان‌های گیلان، مازندران و گلستان است. ۴۹۰۰ کیلومتر خط ساحلی ایران نیز در جنوب کشور (استان‌های خوزستان، بوشهر، هرمزگان و سیستان و بلوچستان) واقع شده و دارای اقلیم گرم و مرطوب است. دریای خزر به اقیانوس راه ندارد و سطح آن نیز پایین‌تر از سطح دریاهای آزاد است. خط ساحلی جنوب ایران از طریق دریای عمان به آب‌های آزاد راه دارد. فعالیت‌های کشاورزی زیادی در نوار ساحلی کشور

آزاد دریا و تمام ایستگاه‌های مورد بررسی در خط ساحلی شمال، دارای ارتفاعی کمتر از سطح آزاد دریا هستند.



شکل ۱- موقعیت ایستگاه‌های هم‌مید مورد استفاده در این پژوهش

که در آن ET_0 تبخیر-تعرق گیاه مرجع (mm/day)، R_n تابش خالص ورودی به سطح گیاه (MJ/m^2d)، G شار گرمای خاک (MJ/m^2d)، T میانگین روزانه دمای هوا در ارتفاع دو متری ($^{\circ}C$)، U_2 میانگین روزانه سرعت باد در ارتفاع دو متری (m/s)، $e_s - e_a$ کمبود فشار بخار اشباع (KPa)، Δ شیب منحنی فشار بخار ($KPa/^{\circ}C$) و γ ضریب ثابت سایکرومتری ($KPa/^{\circ}C$) است. برای به دست آوردن اجزای معادله پنمن-مونتیث فائو از دستورالعمل ارائه شده در نشریه شماره ۵۶ فائو استفاده شد.

در این پژوهش به علت عدم وجود داده‌های دقیق لایسیمیتری در دوره دراز مدت، از روش پنمن-مونتیث فائو به عنوان روش استاندارد برای ارزیابی سایر روش‌ها استفاده شد. با استفاده از این معادله که یکی از مهم‌ترین و عمومی‌ترین معادلات ترکیبی است، مقدار تبخیر-تعرق گیاه مرجع (چمن) به صورت زیر برآورد می‌شود:

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

جدول ۱- مشخصات اقلیمی و جغرافیایی ایستگاه‌های همدید مورد استفاده در پژوهش

| شماره | نام ایستگاه | ارتفاع | عرض جغرافیایی | طول جغرافیایی | سال آماری | T _{min} | T _{max} | T _a | RH | U ₂ |
|-------|-------------|--------|---------------|---------------|-----------|------------------|------------------|----------------|----|----------------|
| 1 | آبادان | 6.6 | 30 22 | 48 15 | 1996-2015 | 2 | 51 | 26 | 45 | 2.6 |
| 2 | بندر جاسک | 5.2 | 25 38 | 57 46 | 1996-2015 | 12 | 41 | 27 | 60 | 3.1 |
| 3 | بندر دیر | 4 | 27 50 | 51 56 | 1996-2015 | 7 | 47 | 27 | 53 | 2.8 |
| 4 | بندر دیلم | 3.9 | 30 3 | 50 10 | 2002-2015 | 5 | 47 | 26 | 50 | 2.8 |
| 5 | بندر عباس | 9.8 | 27 13 | 56 22 | 1996-2015 | 6 | 47 | 27 | 66 | 2.3 |
| 6 | بندر لنگه | 22.7 | 26 32 | 54 50 | 1996-2015 | 10 | 43 | 27 | 64 | 2.9 |
| 7 | بوشهر | 9 | 28 58 | 50 49 | 1996-2015 | 6 | 44 | 25 | 67 | 2.4 |
| 8 | چابهار | 8 | 25 17 | 60 37 | 1996-2015 | 11 | 40 | 26 | 75 | 2.3 |
| 9 | آستارا | -21.1 | 38 22 | 48 51 | 1996-2015 | -3.3 | 35 | 16 | 80 | 1.0 |
| 10 | بابلسر | -21 | 36 43 | 42 39 | 1996-2015 | 0 | 35 | 17 | 80 | 1.1 |
| 11 | بندر انزلی | -23.6 | 37 29 | 49 27 | 1996-2015 | 0 | 33 | 16 | 82 | 1.6 |
| 12 | بندر ترکمن | -20 | 36 54 | 54 04 | 2008-2015 | 8 | 31 | 20 | 79 | 1.5 |
| 13 | رامسر | -20 | 36 54 | 50 40 | 1996-2015 | 0.5 | 34 | 17 | 80 | 1.3 |
| 14 | نوشهر | -20.9 | 36 39 | 51 30 | 1996-2015 | -1 | 33 | 16 | 81 | 1.4 |

هواشناسی مورد نیاز آن آورده شده است. همچنین در این تحقیق برای محاسبه تبخیر-تعرق از روش‌های جدید توسعه یافته توسط والیانتس استفاده شده است. جدول ۳ دو روش محاسبه تبخیر-تعرق شامل والیانتس ۱ (Va1) و والیانتس ۲ (Va2) به همراه داده‌های مورد نیاز این مدل‌ها را نشان می‌دهد.

در این مطالعه برای محاسبه تبخیر-تعرق مرجع در شرایط کمبود داده از روش‌هایی شامل: روش پیشنهادی نشریه فائو-۵۶ برای محاسبه تبخیر-تعرق مرجع در شرایط کمبود داده (EPM)، هارگریوز-سامانی (HG)، پرستلی-تیلور (PT)، مکینک (MK) و تورک (T) استفاده شد (جدول ۱). در جدول ۲ معادله‌های مورد استفاده در شرایط کمبود داده به همراه فراسنج‌های

جدول ۲- روش‌های محاسبه ET_o در شرایط کمبود داده

| معادله | داده‌های مورد نیاز | روش |
|--|---|--|
| $ET_o = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma[900/(T + 273)]U_2(e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34U_2)}$ | T _{min} , T _{max} | روش پیشنهادی فانو-۵۶ (EPM) FAO Penman-Monteith (Allen et al. 1998) |
| $ET_o = 0.408 \times 0.0023 \times R_a (T_a + 17.8) \times (T_{max} - T_{min})^{0.424}$ | T _{min} , T _{max} | هارگریوز- سامانی (HG) |
| $ET_o = 1.26 \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} \cdot \frac{R_n - G}{\lambda}$ | T _{min} , T _{max} , Sunshin | پرستلی- تیلور (PT) Priestley-Taylor (Priestley & Taylor 1972) |
| $ET_o = 0.61 \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} \cdot \frac{R_s}{2.45} - 0.12$ | R _s , T _{mean} | مکینک (MK) |
| $ET_o = (0.3107R_s + 0.65) \frac{T_a}{T_a + 15}$ | T _{min} , T _{max} , Sunshin | تورک (Turc) Turc (Turc 1961; Xu et al. 2008) |

ET_o: تبخیر- تعرق گیاه مرجع (mm/d)، T_{min} و T_{max}: به ترتیب عبارتند از میانگین دما، بیشینه و کمینه دمای روزانه (درجه سلسیوس)، R_s: تابش فرازمینی (MJ m⁻²d⁻¹)، R_n: تابش خورشیدی (MJ m⁻²d⁻¹)، Δ، G، γ و R_n فراسنج‌های معرفی شده در معادله PMF-56 هستند.

جدول ۳- روش‌های محاسبه ET_o توسعه یافته توسط والیانسی

| معادله | داده‌های مورد نیاز | روش |
|---|---|---|
| $ET_o = 0.00668 \times R_a \times [(T_{mean} + 9.5) \times (T_{max} - T_{min})]^{0.5} - 0.0696 \times (T_{max} - T_{min}) - 0.024 \times (T_{mean} + 20) \times \{[(1 - RH)/100] - 0.00455 \times R_a \times (T_{max} - T_{dew})^{0.5} + 0.0984 \times (T_{mean} + 17) \times [1.03 + 0.00055 \times (T_{max} - T_{min})^2] - RH/100\}$ | T _{min} , T _{max} , T _{mean} , T _{dew} , RH | والیانسی ۱ Valiantzas 1 (Valiantzas, 2013c) |
| $ET_o = 0.051 \times (1 - \alpha) \times R_s \times (T_{mean} + 9.5)^{0.5} - 2.4 \times \left(\frac{R_s}{R_a}\right)^2 + 0.048 \times (T_{mean} + 20) \times (1 - RH/100) \times (0.5 + 0.536 \times u_2) + 0.00012Z$ | R _s , T, RH, u | والیانسی ۲ Valiantzas 2 (Valiantzas, 2013c) |

RH: رطوبت نسبی (%). T_{dew}: دمای نقطه شبنم (درجه سلسیوس)، Z: ارتفاع ایستگاه از سطح دریا (متر)، مقدار α توسط والیانسی ۲۰۰۶ پیشنهاد شده و ۰/۲۵ پیشنهاد شده و R_s, R_n, ET_o, T_{min}, T_{max}, T_{mean} (T_a)، فراسنج‌های معرفی شده در معادلات برآورد ET_o در شرایط کمبود داده است.

میانگین خطا نرمال شده (NRMSE)، درصد خطا (PE)، میانگین انحراف از استاندارد (MBE) و ضریب تبیین (R²) استفاده می‌شود که در ادامه روابط آنها آمده است:

$$NRMSE = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{(P_i - O_i)^2}{n}}}{\bar{O}} \quad (2)$$

$$PE = \left| \frac{\bar{P} - \bar{O}}{\bar{O}} \right| \times 100\% \quad (3)$$

معیارهای ارزیابی و مقایسه روش‌های مورد نظر با روش استاندارد

برای هر یک از روش‌های مورد نظر و روش استاندارد مقدار تبخیر- تعرق پتانسیل روزانه در دوره آماری موجود محاسبه شد. در ارزیابی مقادیر ET_o روزانه محاسبه شده از روش‌های مختلف نسبت به روش استاندارد، از فراسنج‌های آماری ریشه مربع

مقداری کمتر و روش Va1 (به جز بندر جاسک) مقداری بیشتر از ETO تخمین زده شده با روش استاندارد را برآورد می کنند.

جدول ۴ تحلیل آماری مقادیر ETO تخمین زده شده نسبت به روش استاندارد را نشان می دهد. مطابق نتایج برای تمام ایستگاه های سواحل جنوب، معادله والیانتس ۲ با ضریب تعیین بالای ۰/۹۸ و کمترین درصد خطا (کمتر از ۵/۲۸) و با کمترین مقادیر NRMSE (کمتر از ۰/۰۸)، بیشترین تطابق را با روش استاندارد دارد در حالی که روش والیانتس ۱، برای ایستگاه های آبادان، بندرعباس، بوشهر و چابهار با کمترین ضریب تعیین و بیشترین درصد خطا ($R^2 < 84$ ، $PE > 33$)، دارای ضعیف ترین عملکرد نسبت به روش استاندارد است. جمن و همکاران (۲۰۱۶) برای بورکینافاسو نشان دادند که روش والیانتس ۲ دارای عملکرد بهتری نسبت به معادله پنمن - مونتیث فائو است اما روش والیانتس ۱ برای ایستگاه های مورد بررسی دارای نتایج رضایت بخشی نسبت به روش استاندارد نیست که با نتایج پژوهش حاضر نیز همخوانی دارد (دژمن و همکاران، ۲۰۱۶). از میان روش های محاسبه ETO در شرایط کمبود داده نیز برای تمام ایستگاه های مورد بررسی، در رتبه نخست روش پریستلی - تیلور، با ضریب تعیین بیش از ۰/۹۰ و خطای کمتر از ۰/۱۰ و مقادیر NRMSE کمتر از ۰/۱۷، و در انتخاب دوم روش تورک (به جز ایستگاه آبادان) برآورد نزدیکتری با روش استاندارد دارد. پژوهشگران در ایالات اوتاریو کانادا نشان دادند که با توجه به مقدار اطلاعات هواشناسی موجود، از میان روش های کمبود داده، روش پریستلی - تیلور می تواند جایگزین مناسبی برای روش پنمن - مونتیث باشد (سینتالاس و همکاران، ۲۰۱۰).

از کل روش های مورد بررسی، ضعیف ترین عملکرد برای ایستگاه های آبادان، بندرعباس، بوشهر و چابهار با کمترین مقدار ضریب تعیین به ترتیب ۷۳، ۸۴، ۷۲ و ۷۱ درصد و بیشترین درصد خطا (به ترتیب با مقادیر ۳۵، ۳۸، ۳۵ و ۳۳) و بیشترین مقدار NRMSE (به ترتیب برابر ۰/۳۷، ۰/۷۲، ۰/۳۴ و ۰/۳۳) مربوط به روش والیانتس ۱ است. ضعیف ترین عملکرد برای ایستگاه های

$$MBE = \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)}{n} \quad (۴)$$

$$R^2 = \frac{[\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})(O_i - \bar{O})]^2}{\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})^2 \sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \quad (۵)$$

در این روابط P_i و O_i به ترتیب مقادیر پیش بینی و مشاهده شده، \bar{P} و \bar{O} مقادیر میانگین P_i و O_i و n تعداد کل داده هاست.

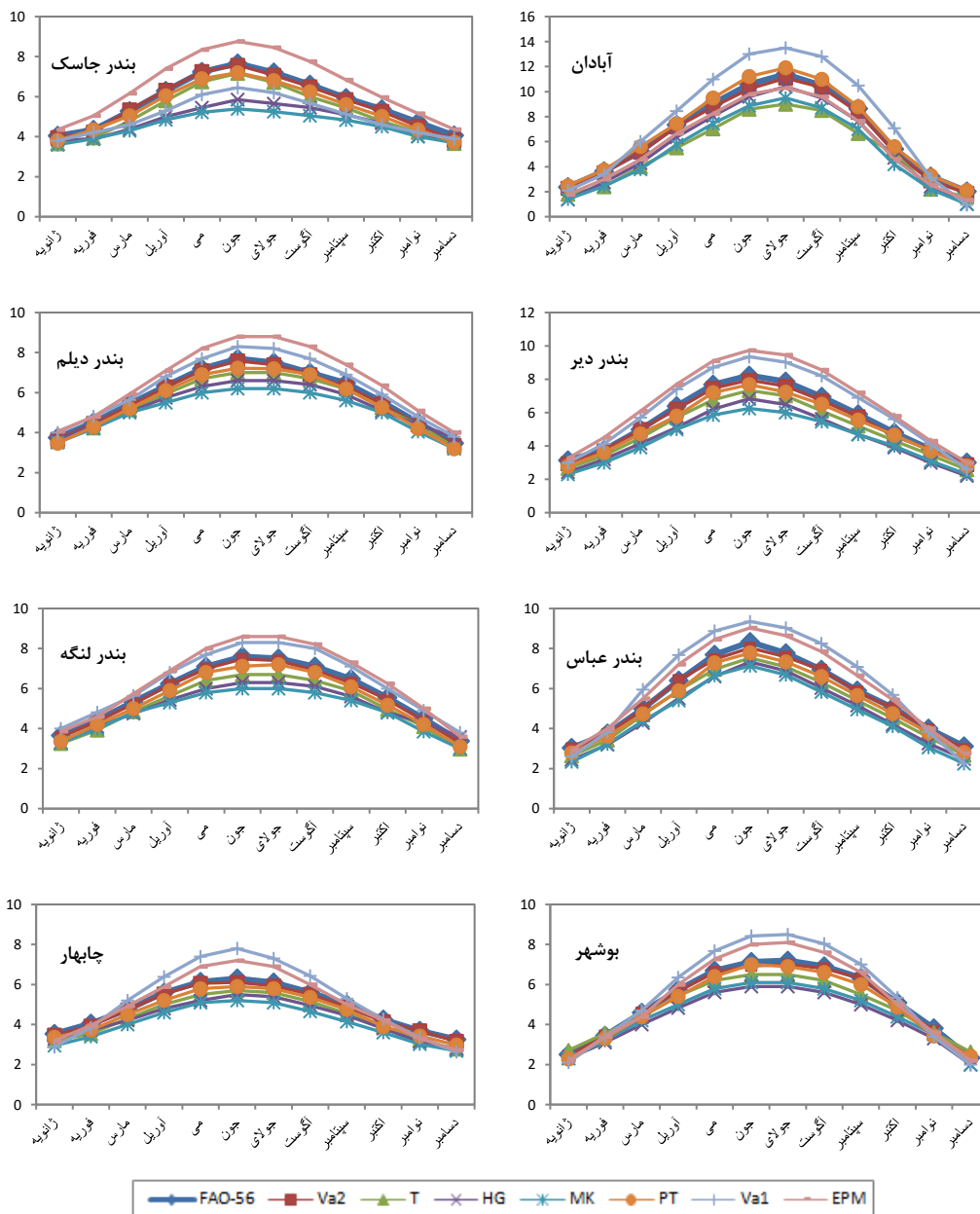
نتایج و بحث

خط ساحلی جنوب ایران

سواحل جنوب ایران که به وسیله رشته کوه های زاگرس از فلات مرکزی جدا شده اند، اقلیم گرم و مرطوب کشور را تشکیل می دهند. این ناحیه شامل نوار باریک ساحل شمالی خلیج فارس و دریای عمان از اروند رود در جنوب غربی استان خوزستان تا خلیج گواتر در جنوب شرقی استان سیستان و بلوچستان می شود (کسمایی، ۱۳۸۵). مقادیر متوسط ماهانه ETO محاسبه شده از معادله FAO-56 و روش های مورد بررسی برای ایستگاه های واقع در خط ساحلی جنوب ایران در شکل ۲ نشان داده شده است. روش های مورد بررسی در این پژوهش عبارتند از روش های کمبود داده شامل روش پیشنهادی نشریه فائو-۵۶ برای محاسبه تبخیر - تعرق مرجع در شرایط کمبود داده (EPM)، هارگریوز - سامانی (HG)، پریستلی - تیلور (PT)، مکینک (MK) و تورک (T) و روش های جدید والیانتس شامل والیانتس ۱ و والیانتس ۲ ($Va1$ ، $Va2$) که هر کدام از روش ها در بخش مواد و روش ها به تفصیل شرح داده شده اند. نتایج شکل ۲ نشان می دهد که میانگین سالانه ETO محاسبه شده از معادله FAO-56 برای ایستگاه آبادان دارای بیشترین مقدار و برابر با ۶/۸ میلی متر و کمترین مقدار آن برابر با ۵ میلی متر برای ایستگاه چابهار است. از میان روش های کمبود داده، تبخیر - تعرق تخمین زده شده با روش های MK، PT، HG و T مقدار ETO را نسبت به روش استاندارد کمتر و روش EPM (به جز ایستگاه آبادان) مقدار ETO را نسبت به روش استاندارد بیشتر تخمین زده است. از میان روش های توسعه یافته توسط والیانتس نیز ETO تخمین زده شده با روش $Va2$

مقدار NRMSE (به ترتیب برابر ۰/۳۲، ۰/۳۷، ۰/۳۳ و ۰/۳۴) مربوط به روش مکینک است.

بندر جاسک، بندر دیر، بندر دیلم و بندر لنگه با کمترین مقدار ضریب تعیین به ترتیب برابر ۷۱، ۷۴، ۷۵ و ۷۱ درصد و بیشترین درصد خطا (به ترتیب با مقادیر ۴۳، ۳۳، ۳۴ و ۳۴) و بیشترین



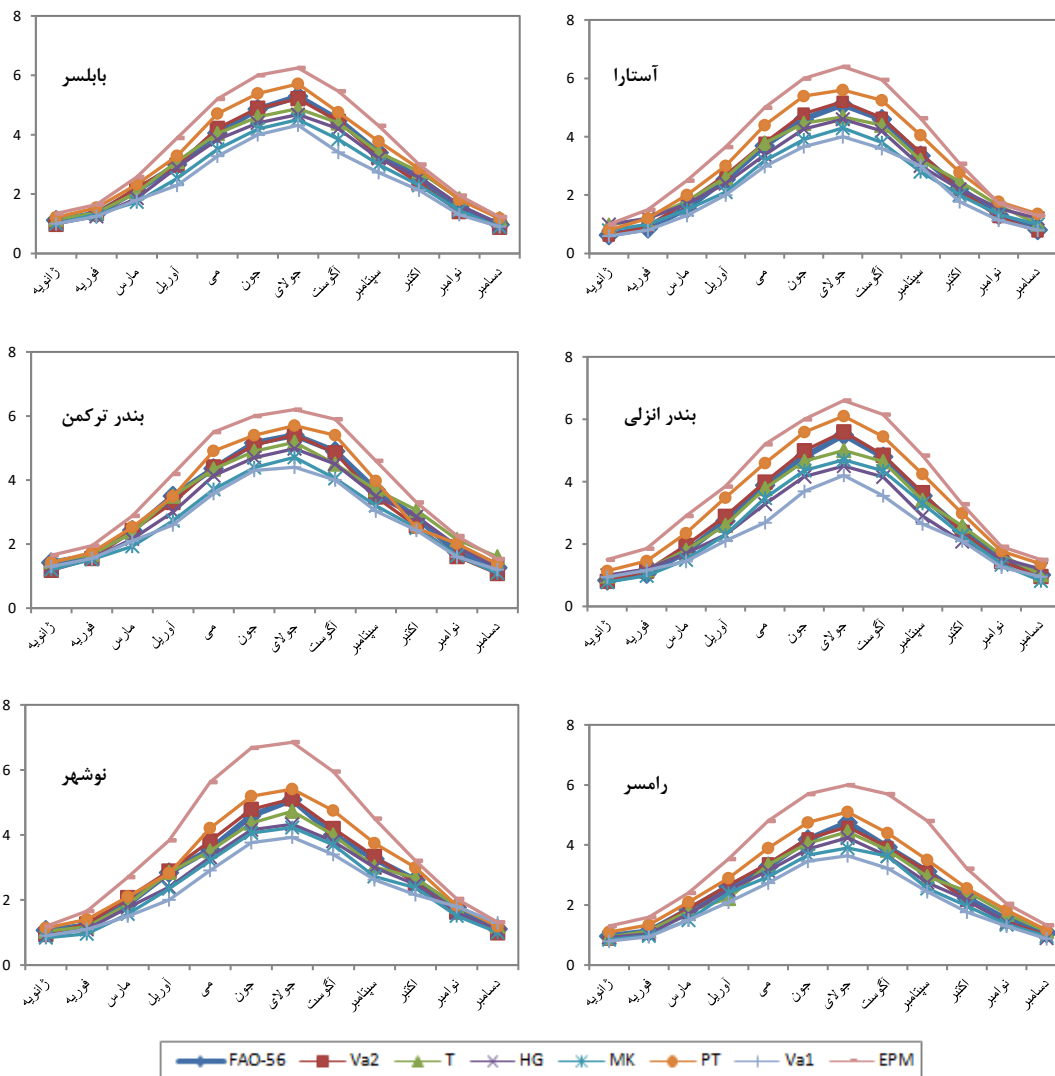
شکل ۲- مقایسه مقادیر میانگین ماهانه ET₀ محاسبه شده از روش PMF-56 و مدل‌های مورد بررسی در این پژوهش برای ایستگاه‌های واقع در خط ساحلی جنوب ایران

ناحیه کرانه‌های خزر، از تالش تا بندر ترکمن، دارای اقلیمی معتدل و مرطوب است (کسمایی، ۱۳۸۵). مقادیر میانگین ماهانه

خط ساحلی شمال ایران

شمال ایران است که با توجه به تفاوت اقلیم گرم و مرطوب خط ساحلی جنوب نسبت به اقلیم معتدل و مرطوب خط ساحلی شمال این امر بدیهی به نظر می‌رسد. از میان روش‌های کمبود داده، ETo تخمین زده شده با روش‌های MK، HG و T مقداری کمتر و روش‌های EPM، PT مقداری بیشتر از ETo تخمین زده شده با روش استاندارد را برآورد می‌کنند. از بین روش‌های توسعه یافته توسط والیانتس نیز ETo تخمین زده شده با روش Val مقداری کمتر از ETo تخمین زده شده با روش استاندارد را برای تمام ایستگاه‌های مورد بررسی برآورد می‌کنند.

ETo محاسبه شده از معادله FAO-56 و روش‌های مورد بررسی در این پژوهش، برای ایستگاه‌های واقع در خط ساحلی شمال ایران در شکل ۳ نشان داده شده است. نتایج نشان می‌دهد که بیشترین مقدار میانگین سالانه ETo محاسبه شده از معادله FAO-56، برابر با $3/2$ میلی‌متر مربوط به بندر ترکمن و کمترین مقدار میانگین سالانه برابر با $2/2$ میلی‌متر و مربوط به ایستگاه آستارا است. همچنین ETo محاسبه شده از معادله FAO-56 برای ایستگاه‌های واقع در خط ساحلی جنوب ایران دارای میانگین سالانه ETo بیشتری نسبت به ایستگاه‌های واقع در خط ساحلی



شکل ۳- مقایسه مقادیر میانگین ماهانه ETo محاسبه شده از روش PMF-56 و مدل‌های مورد بررسی در این پژوهش

برای ایستگاه‌های واقع در خط ساحلی شمال ایران

FAO-56، برای خط ساحلی جنوب ایران بیشتر از خط ساحلی شمال ایران است. از میان روش‌های محاسبه ETo در شرایط کمبود داده، برای خط ساحلی جنوب ایران با اقلیم گرم و مرطوب روش پرستلی-تیلور و برای خط ساحلی شمال ایران با اقلیم معتدل و مرطوب نیز روش تورک پیشنهاد می‌شود. این در حالی است که بعد از روش پرستلی-تیلور در رتبه نخست، در انتخاب دوم روش تورک، برای ساحل جنوب ایران نزدیک‌ترین تطابق را نسبت به سایر روش‌های مورد بررسی دارا بود. ایساک و همکاران نیز روش تورک را برای آب و هوای قطر که در ساحل جنوبی خلیج فارس قرار دارد و دارای شباهت آب و هوایی ساحل جنوب ایران است پیشنهاد کردند و در حالی که روش پرستلی-تیلور جزو روش‌های مورد بررسی آنها نبود (ایساک و همکاران، ۲۰۱۷). مراجعه به پژوهش‌های گوناگون و نتایج گزارش شده نشان می‌دهد که بررسی روش‌های مختلف برآورد تبخیر-تعرق مرجع تا حد زیادی محلی است و به نظر می‌رسد که وابستگی شدیدی به اقلیم مکان مورد پژوهش داشته باشد؛ گرچه نتایج در یک اقلیم یکسان هم گاهی متضاد است (توکلی و همکاران، ۱۳۹۲). علاوه بر این، برای تمامی ایستگاه‌های مورد بررسی، چه در کرانه خزری که ساحل یک دریاچه قلمداد می‌شود و به آب‌های آزاد متصل نیست و چه در خط جنوبی ایران که در قسمتی از آن ساحل دریای عمان و در قسمتی دیگر ساحل خلیج فارس محسوب می‌شود، روش والیانتس ۲ دارای دقت کافی در مقایسه با روش استاندارد است. این در حالی است که از میان کل روش‌های مورد بررسی نیز (اعم از روش‌های والیانتس و روش‌های کمبود داده)، روش والیانتس ۲ از تطابق خوبی برای برآورد ETo برخوردار است و روش والیانتس ۱ نیز برای هیچ کدام از ایستگاه‌های مورد بررسی توصیه نمی‌شود.

با بررسی نتایج آماری جدول ۴ مشاهده می‌شود که برای تمامی ایستگاه‌های مورد بررسی واقع در ساحل شمال ایران، از میان روش‌های توسعه یافته توسط والیانتس، روش والیانتس ۲ دارای تطابق مطلوبی در مقایسه با روش استاندارد است ($R^2=99$ ، $NRMSE<0.09$ ، $PE<4$). این در حالی است که روش والیانتس ۱ دارای عملکرد ضعیف تری (با ضریب تعیین به طور متوسط ۸۵ و درصد خطا بیشتر از ۴) نسبت به والیانتس ۲ است. برتری روش والیانتس ۲ نسبت به والیانتس ۱ در پژوهش‌های محققین دیگر نیز مشاهده شده است (دژمن و همکاران، ۲۰۱۶). از میان روش‌های محاسبه ETo در شرایط کمبود داده نیز روش تورک برای تمام ایستگاه‌های مورد بررسی در ساحل شمال ایران، با بیشترین ضریب تعیین و کمترین درصد خطا ($R^2>95$ ، $NRMSE<0.17$ ، $PE<4$) دارای بیشترین تطابق با روش استاندارد است. همچنین برای ایستگاه‌های مذکور، روش پیشنهادی نشریه فائو-۵۶ در شرایط کمبود داده (EPM)، دارای کمترین دقت در برآورد ETo نسبت به روش استاندارد است ($R^2<80$ ، $NRMSE>35$ ، $PE>38$). در تحقیقی در منطقه بالکان معادلات تبخیر-تعرق مرجع تحت شرایط آب و هوایی مرطوب مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج حاصل نشان داد که روش تورک بهترین نتیجه را در منطقه به دست می‌دهد (تراجوکیچ و کولوکیچ، ۲۰۰۹). در دیگر پژوهش‌های صورت گرفته نیز روش تورک برای اقلیم‌های فراخشک، مرطوب و خیلی مرطوب ایران پیشنهاد شده است که با نتایج حاکی از مطالعه حاضر همخوانی دارد (کوچکزاده و نیکبخت، ۱۳۸۳). سبزی‌پرور و همکاران نیز اظهار داشتند که روش مناسب برآورد ETo در هر منطقه بستگی به اقلیم حاکم بر منطقه دارد (سبزی‌پرور و همکاران، ۱۳۸۷).

با توجه به مطالب ذکر شده و با مراجعه به شکل‌های ۲ و ۳ مشاهده می‌شود که میانگین مقادیر ETo محاسبه شده از معادله

جدول ۴- نتایج مقایسه آماری مقدار تبخیر تعرق تخمین زده شده با روش‌های مورد مطالعه در این تحقیق با روش PMF-56 برای ۱۴ ایستگاه مورد مطالعه

| شاخص‌های آماری | روش | آبادان | بندر جاسک | بندر دیر | بندر دیلم | بندر عباس | بندر لنگه | بوشهر | چابهار | آستارا | بابلسر | بندر انزلی | بندر ترکمن | رامسر | نوشهر |
|----------------|-----|--------|-----------|----------|-----------|-----------|-----------|-------|--------|--------|--------|------------|------------|-------|-------|
| R ² | MK | 0.76 | 0.71 | 0.74 | 0.75 | 0.88 | 0.71 | 0.75 | 0.79 | 0.93 | 0.95 | 0.92 | 0.92 | 0.95 | 0.94 |
| | PT | 0.94 | 0.90 | 0.95 | 0.93 | 0.97 | 0.91 | 0.94 | 0.93 | 0.94 | 0.95 | 0.93 | 0.93 | 0.95 | 0.95 |
| | HG | 0.83 | 0.72 | 0.75 | 0.79 | 0.87 | 0.72 | 0.74 | 0.81 | 0.96 | 0.96 | 0.89 | 0.95 | 0.97 | 0.96 |
| | T | 0.75 | 0.77 | 0.82 | 0.83 | 0.89 | 0.78 | 0.81 | 0.83 | 0.98 | 0.98 | 0.95 | 0.97 | 0.98 | 0.98 |
| | EPM | 0.84 | 0.71 | 0.75 | 0.77 | 0.85 | 0.74 | 0.77 | 0.78 | 0.77 | 0.80 | 0.77 | 0.80 | 0.76 | 0.73 |
| | Va1 | 0.73 | 0.74 | 0.77 | 0.80 | 0.84 | 0.75 | 0.72 | 0.71 | 0.85 | 0.86 | 0.86 | 0.87 | 0.85 | 0.87 |
| | Va2 | 0.99 | 0.98 | 0.98 | 0.99 | 0.99 | 0.98 | 0.99 | 0.99 | 0.99 | 0.99 | 0.99 | 0.99 | 0.99 | 0.99 |
| NRMSE | MK | 0.35 | 0.32 | 0.37 | 0.33 | 0.23 | 0.34 | 0.29 | 0.23 | 0.26 | 0.23 | 0.29 | 0.33 | 0.26 | 0.26 |
| (mm/day) | PT | 0.17 | 0.16 | 0.14 | 0.13 | 0.11 | 0.13 | 0.13 | 0.11 | 0.23 | 0.25 | 0.28 | 0.23 | 0.26 | 0.24 |
| | HG | 0.23 | 0.29 | 0.33 | 0.33 | 0.25 | 0.31 | 0.33 | 0.25 | 0.19 | 0.22 | 0.35 | 0.20 | 0.23 | 0.22 |
| | T | 0.32 | 0.28 | 0.25 | 0.22 | 0.20 | 0.24 | 0.25 | 0.21 | 0.12 | 0.09 | 0.17 | 0.17 | 0.11 | 0.12 |
| | EPM | 0.25 | 0.30 | 0.37 | 0.32 | 0.22 | 0.25 | 0.32 | 0.32 | 0.38 | 0.35 | 0.36 | 0.39 | 0.36 | 0.44 |
| | Va1 | 0.37 | 0.33 | 0.29 | 0.30 | 0.72 | 0.27 | 0.34 | 0.33 | 0.31 | 0.29 | 0.32 | 0.27 | 0.31 | 0.32 |
| | Va2 | 0.08 | 0.05 | 0.06 | 0.07 | 0.05 | 0.04 | 0.05 | 0.04 | 0.09 | 0.06 | 0.09 | 0.08 | 0.06 | 0.08 |
| MBE | MK | -1.36 | -0.95 | -0.87 | -1.17 | -0.97 | -1.49 | -0.71 | -0.83 | -0.68 | -0.51 | -0.54 | -0.97 | -0.50 | -0.53 |
| (mm/day) | PT | 0.67 | -0.29 | -0.31 | -0.21 | -0.27 | -0.29 | -0.21 | -0.32 | 0.39 | 0.58 | 0.48 | 0.72 | 0.47 | 0.46 |
| | HG | -1.34 | -0.98 | -0.78 | -0.59 | -0.72 | -0.72 | -0.87 | -0.91 | -0.12 | -0.20 | -0.54 | -0.16 | -0.09 | -0.20 |
| | T | -0.95 | -0.87 | -0.63 | -0.58 | -0.53 | -0.82 | -0.61 | -0.83 | -0.08 | -0.07 | -0.07 | -0.09 | -0.03 | -0.08 |
| | EPM | -0.38 | 1.12 | 0.98 | 0.63 | 0.68 | 0.97 | 0.97 | 1.18 | 0.51 | 0.84 | 0.55 | 1.08 | 1.60 | 0.54 |
| | Va1 | 1.11 | -1.02 | 0.75 | 0.89 | 1.14 | 0.70 | 0.61 | 0.89 | -0.20 | -0.31 | -0.69 | -0.31 | -0.20 | -0.34 |
| | Va2 | -0.35 | -0.04 | -0.15 | -0.16 | -0.19 | -0.15 | -0.16 | -0.15 | -0.03 | 0.03 | 0.10 | -0.05 | -0.01 | 0.06 |
| PE | MK | 30.30 | 43.50 | 33.88 | 34.11 | 35.68 | 34.88 | 34.11 | 29.11 | 22.13 | 18.18 | 20.66 | 30.14 | 20.34 | 20.34 |
| (%) | PT | 10.04 | 5.11 | 6.10 | 7.19 | 6.62 | 5.21 | 4.09 | 5.19 | 20.11 | 20.59 | 18.23 | 25.31 | 19.17 | 17.58 |
| | HG | 20.08 | 35.01 | 29.12 | 31.22 | 20.11 | 30.49 | 33.39 | 23.39 | 5.73 | 7.05 | 20.60 | 9.18 | 3.86 | 7.74 |
| | T | 25.99 | 18.12 | 12.88 | 20.19 | 22.31 | 12.38 | 20.12 | 20.12 | 2.15 | 0.18 | 2.58 | 3.87 | 1.24 | 2.90 |
| | EPM | 32.60 | 36.73 | 31.15 | 30.88 | 30.39 | 26.31 | 23.57 | 25.88 | 42.13 | 45.71 | 38.60 | 56.77 | 40.35 | 61.13 |
| | Va1 | 35.28 | 21.59 | 19.38 | 23.44 | 38.70 | 21.60 | 35.88 | 33.57 | 11.70 | 3.74 | 26.32 | 17.17 | 7.97 | 12.89 |
| | Va2 | 5.28 | 0.75 | 4.11 | 4.45 | 3.43 | 2.71 | 3.15 | 3.51 | 0.34 | 0.09 | 3.84 | 1.18 | 0.34 | 2.43 |

نتیجه‌گیری

در این مطالعه روابط مختلف برآورد تبخیر- تعرق گیاه مرجع شامل پنج روش کمبود داده و دو روش توسعه یافته توسط والیانتس در مقایسه با روش استاندارد PMF-56، برای خط ساحلی شمال و جنوب ایران بررسی شدند. بر اساس نتایج حاصله از میان روش‌های برآورد ETo در شرایط کمبود داده برای ایستگاه‌های واقع در خط ساحل شمال، روش تورک با بیشترین ضریب تعیین و کمترین درصد خطا ($R^2 > 95$ ، $PE < 4$) دارای بهترین عملکرد نسبت به روش استاندارد است. برای ایستگاه‌های واقع در خط ساحل جنوب نیز روش پرستلی- تیلور ($R^2 > 90$ ، $PE < 10$) دارای بهترین عملکرد نسبت به روش استاندارد است. از میان روش‌های توسعه یافته توسط والیانتس نیز، روش والیانتس ۲، با ضریب تعیین بالای ۹۸ درصد و درصد خطا ۵/۲۸ دارای بیشترین تطابق در مقایسه با روش استاندارد است. این در حالی است که روش والیانتس ۱ برای هیچ کدام از ایستگاه‌های مورد بررسی در این پژوهش پیشنهاد نمی‌شود.

منابع

مدل برآورد تبخیر- تعرق گیاه مرجع در یک اقلیم سرد نیمه خشک به منظور استفاده بهینه از مدل‌های تابش، مجله آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، ۲۲(۲): ۳۴۰-۳۲۸.

۵- سلطانی، ا.، م. میرلطیفی و ح. دهقانی‌سانج، ۱۳۹۱، برآورد تبخیر- تعرق مرجع با استفاده از داده‌های محدود هواشناسی در شرایط اقلیمی مختلف، نشریه آب و خاک، جلد، ۲۶(۱): ۱۴۹-۱۳۹.

۶- کسمائی، م.، ۱۳۸۵، اقلیم و معماری، اصفهان، نشر خاک

۷- کوچک‌زاده، م. و ج. نیکبخت، ۱۳۸۳، مقایسه روش‌های مختلف برآورد تبخیر و تعرق مرجع در اقلیم‌های مختلف ایران با روش استاندارد فائو پنمن-مانتیت، نشریه علوم کشاورزی، ۳: ۴۳-۵۷.

۸- موسوی‌بایگی، م.، م. عرفانیان و م. سرمد، ۱۳۸۸، استفاده از حداقل داده‌های هواشناسی برای برآورد تبخیر- تعرق گیاه مرجع و ارائه ضریب اصلاحی (مطالعه موردی: استان خراسان رضوی)، مجله آب و خاک، ۲۳(۱): ۹۹-۹۱.

9- Ahooghalandari, M., M. Khiadani & M. EsmiJahromi, 2016, Calibration of Valiantzas' reference evapotranspiration equations for the Pilbara region, Western Australia, Theor Appl Climatol. doi: 10.1007/s00704-016-1744-7.

10- Allen, R. G., L. S. Pereira, D. Raes & M. Smith, 1998, Crop Evapotranspiration – Guidelines for Computing Crop Water Requirements, FAO Irrigation and Drainage Paper 56, FAO, Rome, Italy.

11- Allen, R. G., 2001, Manual of reference evapotranspiration calculation software for FAO and ASCE standardized equations, University of Idaho.

12- Droogers, P. & R. G. Allen, 2002, Estimating reference evapotranspiration under inaccurate data conditions, Irrig Drain Syst. 16: 33-45.

13- Djaman, K., A. A. Balde, A. Sow, B. Muller, S. Irmak, M. K. Ndiaye, B. Manneh, Y. D. Moukoubi, K. Futakuchi & K. Saito, 2015, Evaluation of sixteen reference evapotranspiration methods under Sahelian conditions in the Senegal River Valley, J Hydrol: Regional Studies. 3: 139-159.

۱- طرح جامع مدیریت یکپارچه مناطق ساحلی ایران (فرآیند و دستاوردها)، ۱۳۹۳، معاونت توسعه و تجهیز بنادر، اداره کل مهندسی سواحل و بنادر.

۲- بهمنش، ج.، ن. مرتضوی و ب. محمدنژاد، ۱۳۹۴، برآورد تبخیر- تعرق گیاه مرجع تحت شرایط داده‌های محدود و کامل (مطالعه موردی: ایستگاه‌های سینوپتیک تبریز و ارومیه)، نشریه دانش آب و خاک، ۲۵(۳): ۲۶-۱۳.

۳- توکلی، ا.، ب. قهرمان، ک. داوری و ح. انصاری، ۱۳۹۲، برآورد تبخیر- تعرق مرجع در شرایط کمبود داده (مطالعه موردی: استان خراسان شمالی)، مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، ۲۲۲-۲۱۱.

۴- سبزی‌پرور، ع.، ف. تفضلی، ح. زارع‌ایبانه، م. موسوی‌بایگی، م. غفوری، ا. محسنی‌موحد و ز. مریانجی، ۱۳۸۷، مقایسه چند

- 22- Turc, L., 1961, Estimation of irrigation water requirements, potential evapotranspiration: a simple climatic formula evolved up to date, *Ann Agron.* 12:13-49.
- 23- Valiantzas, J. D., 2006, Simplified versions for the Penman evaporation equation using routine weather data. *J Hydrol.* 331 (3-4): 690-702.
- 24- Valiantzas, J. D., 2013a, Simple ETo forms of Penman's equation without wind and/or humidity data, I: Theoretical development, *J Irrig Drain Eng.* 10.1061/(ASCE)IR.1943-4774.0000520.
- 25- Valiantzas, J. D., 2013b, Simple ETo forms of Penman's equation without wind and/or humidity data, II: Comparisons with reduced set-FAO and other methodologies, *J Irrig Drain Eng.* 10.1061/(ASCE)IR.1943-4774.0000502.
- 26- Valiantzas, J. D., 2013c, Simplified forms for the standardized FAO-56 Penman-Monteith reference evapotranspiration using limited data, *J Hydrol* 505: 13-23.
- 27- Valiantzas, J. D., 2013d, Simplified reference evapotranspiration formula using an empirical impact factor for Penman's aerodynamic term, *J Hydrol Eng.* 10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0000590, 108-114.
- 28- Valipour, M., 2015a, Importance of solar radiation, temperature, relative humidity, and wind speed for calculation of reference evapotranspiration, *Arch Agron Soil Sci.* 10.1080/03650340.2014.925107.
- 29- Valipour, M., 2015b, Investigation of Valiantzas' evapotranspiration equation in Iran, *Theor Appl Climatol.* 121 (1-2) 267-278.
- 30- Xu, C. Y., V. P. Singh, Y. D. Chen & D. Chen, 2008, Evaporation and evapotranspiration, In: Singh VP (ed) *Hydrology and hydraulics*, 1st ed. Water Resour Pubns. USA, pp. 229-276.
- 14- Djaman, K., S. Irmak, I. Kabenge & K. Futakuchi, 2016, Evaluation of FAO-56 Penman-Monteith Model with Limited Data and the Valiantzas Models for Estimating Grass-Reference Evapotranspiration in Sahelian Conditions, *J Irrig Drain Eng, ASCE*, ISSN 0733-9437.
- 15- Issaka, A. I., J. Peak, K. Abdella, M. Pollanen, A.K.S. Huda, S. Kaitibie, I. Goktepe, M. M. Haq & A. T. Moustafa, 2017, Analysis and Calibration of Empirical Relationships for Estimating Evapotranspiration in Qatar: Case Study, *J Irrig Drain Eng* 05016013.
- 16- Jensen, M. E., R. D. Burman & R. G. Allan, 1990, *Evapotranspiration and Irrigation water requirement*, ASCE Manual and Report on Engineering Practice No.70. ASCE, New York.
- 17- Kisi, O., 2014, Comparison of different empirical methods for estimating daily reference evapotranspiration in Mediterranean climate, *J Irrig Drain Eng.* doi:10.1061/(ASCE)IR.1943-4774.0000664.
- 18- Priestley, C. H. B. & R. J. Taylor, 1972, On the assessment of surface heat flux and evaporation using large-scale parameters, *Mon Weather Rev.* 100(2):81-92.
- 19- Sentelhas, P. C., T. J. Gillespie & E. A. Santos, 2010, Evaluation of FAO Penman-Monteith and alternative methods for estimating reference evapotranspiration with missing data in Southern Ontario, Canada, *Agric Water Manage.* 97(5): 635-644.
- 20- Tabari, H., M. E. Grismer & S. Trajkovic, 2013, Comparative analysis of 31 reference evapotranspiration methods under humid conditions. *Irrig Sci.* 31: 107-117.
- 21- Trajkovic, S. & S. Kolakovic, 2009, Evaluation of reference evapotranspiration equations under humid conditions, *Water Resour Manage.* 23(14): 3057-3067.

Estimation of Reference Evapotranspiration for the Coastlines in the North and South of Iran

M. M. Chari^{*1}, P. Kahkhamoghadam²

1-Water Engineering Department, The University of Zabol

2- Water Engineering Department, The University of Zabol

(Received: 03 Sep 2018, Revised: 13 Sep 2019, Accepted: 15 Sep 2019, Published online: 15 Sep 2019)

Abstract

Evapotranspiration (ET) is the most important parameter in climatic and hydrological studies and also in the irrigation management and planning. Estimation of reference evapotranspiration (ET_o) in a simple way is of great interest, especially in developing countries, where meteorological data required for standard method of FAO Penman-Monteith (PMF-56) is incomplete or not available. Also, despite of the large amount of agricultural development in the coastal of Iran, no comprehensive research in calculating evapotranspiration on the northern and southern coastlines has not been conducted. The aims of this study were: 1. assessment of reference evapotranspiration using five methods required low data including: Hargreaves-Samani, Priestley Taylor, Makkink, Turc. 2. Evaluation of the two models of the newest methods to estimate ET_o by Valiantzas along with PMF-56 method, for evaluating the methods described. For this study meteorological data from 14 synoptic stations including 8 stations located in the Southern coastline and 6 stations located in the northern coastline of Iran, were selected. The statistical results have shown that among ET_o estimation methods in terms of lack of data Priestley- Taylor method because of the higher temperature and humidity for the station located in the southern coastline, and Turc method due to temperate and humid climate for stations located in northern coastline has the best performance compared to PMF-56 method. Among the methods developed by Valiantzas, method of Valiantzas 2 has the highest correspondence compared to PMF-56 method.

Keywords: Evapotranspiration, Coastlines, Valiantzas method, Turc method, Priestley-Taylor method.

* Corresponding author:

Email Address: m.mahdi.chari@gmail.com