

برآورد تبخیر- تفرق 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

(تاریخ دریافت: ۹۷/۰۶/۱۲، تاریخ پذیرش: ۹۸/۰۶/۲۴)

چکیده

تبخیر- تفرق (ET) از مهم‌ترین فراسنج‌ها در مطالعات اقلیمی و برنامه‌ریزی آبیاری است. برآورد تبخیر- تفرق 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- مونیتث 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-تفرق در این بخش‌ها صورت نگرفته است. هدف از این مطالعه عبارت است از: الف) ارزیابی ۵ روش کمبود داده شامل: هارگریوز- سامانی، پریستلی 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-تفرق با کمبود داده، روش تورک برای ایستگاه‌های خط ساحلی شمال به دلیل اقلیم معتدل و مرطوب و روش پریستلی 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 توسعه‌داده شده توسط والیانتس، روش والیانتس ۲ بیشترین مطابقت را با روش PMF-56 دارد.

واژه‌های کلیدی: تبخیر-تفرق، خط ساحلی، روش والیانتس، روش تورک، پریستلی تیلور.

مقدمه

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- مونیتث فائو (PMF-56) در مقیاس روزانه و ماهانه است و دقت این روش در محاسبه تبخیر-تفرق 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 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 (دروگیرس 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،

تبخیر- تفرق 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- تفرق پتانسیل (ET_o) معمولاً یا به طور مستقیم و با استفاده از لایسیمتر تعیین می‌شود یا به طور غیرمستقیم، با استفاده از معادلات تجربی برآورد می‌شود. با توجه به هزینه زیاد احداث لایسیمتر، اخیراً عمده مطالعات روی توسعه روش‌های برآورد تبخیر- تفرق 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 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

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 والیانس 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 والیانس نسبت به مدل فائو-۵۶ است (والیانس، ۲۰۱۳ a,b,c؛ ولی‌پور، ۲۰۱۵؛ کیسی، ۲۰۱۴). عملکرد مدل‌های توسعه یافته توسط والیانس در پژوهش‌های گوناگونی مورد بررسی قرار گرفته است (ولی‌پور، ۲۰۱۵ a,b؛ دژمن و همکاران، ۲۰۱۵؛ آهوقلندری 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 والیانس برای تعیین ET_0 (والیانس، ۲۰۱۳c) برای بورکینافاسو پرداختند. نتایج حاکی از این بود که معادله والیانس ۲ با اطلاعات کامل آب و هوایی دارای عملکرد خوبی نسبت به معادله پنمن- مونتیت فائو است اما معادله والیانس 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.

روش‌های تجربی نشان می‌دهد. ولی‌پور (۲۰۱۴) به مقایسه ۵ روش دیگر والیانس، همچنین پریستلی- 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 والیانس 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 والیانس 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، پریستلی- تیلور، تورک، مکینک و روش پیشنهادی نشریه فائو ۵۶ نسبت به روش استاندارد پنمن- مونتیت فائو را مورد ارزیابی قرار دادند. به دلیل 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. بهمینش و همکاران (۱۳۹۴) برای شرایط اقلیمی شمال غرب ایران (ایستگاه‌های همدید تبریز و ارومیه)، برآورد تبخیر- تعرق مرجع

کیسی (۲۰۱۴) معادلات جدید توسعه یافته والیانس را در شرایط مدیترانه‌ای (۴ ایستگاه در کشور ترکیه) مورد ارزیابی قرار داد. نتایج نشان داد در ۳ ایستگاه مورد بررسی، معادله والیانس تحت شرایط داده‌های کامل هواشناسی، عملکرد بهتری نسبت به

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 والیانس برای تعیین ET_0 (والیانس، ۲۰۱۳c) برای بورکینافاسو پرداختند. نتایج حاکی از این بود که معادله والیانس ۲ با اطلاعات کامل آب و هوایی دارای عملکرد خوبی نسبت به معادله پنمن- مونتیت فائو است اما معادله والیانس 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 والیانس را در شرایط مدیترانه‌ای (۴ ایستگاه در کشور ترکیه) مورد ارزیابی قرار داد. نتایج نشان داد در ۳ ایستگاه مورد بررسی، معادله والیانس تحت شرایط داده‌های کامل هواشناسی، عملکرد بهتری نسبت به

من- مونیتیت 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-مونیتیت فانو 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-مونیتیت فانو، در مناطق ساحلی کشور ایران و ج) ارزیابی دو روش جدید توسعه یافته توسط والیان‌تس در برآورد ET_0 ، در خط ساحلی شمال و جنوب کشور ایران.

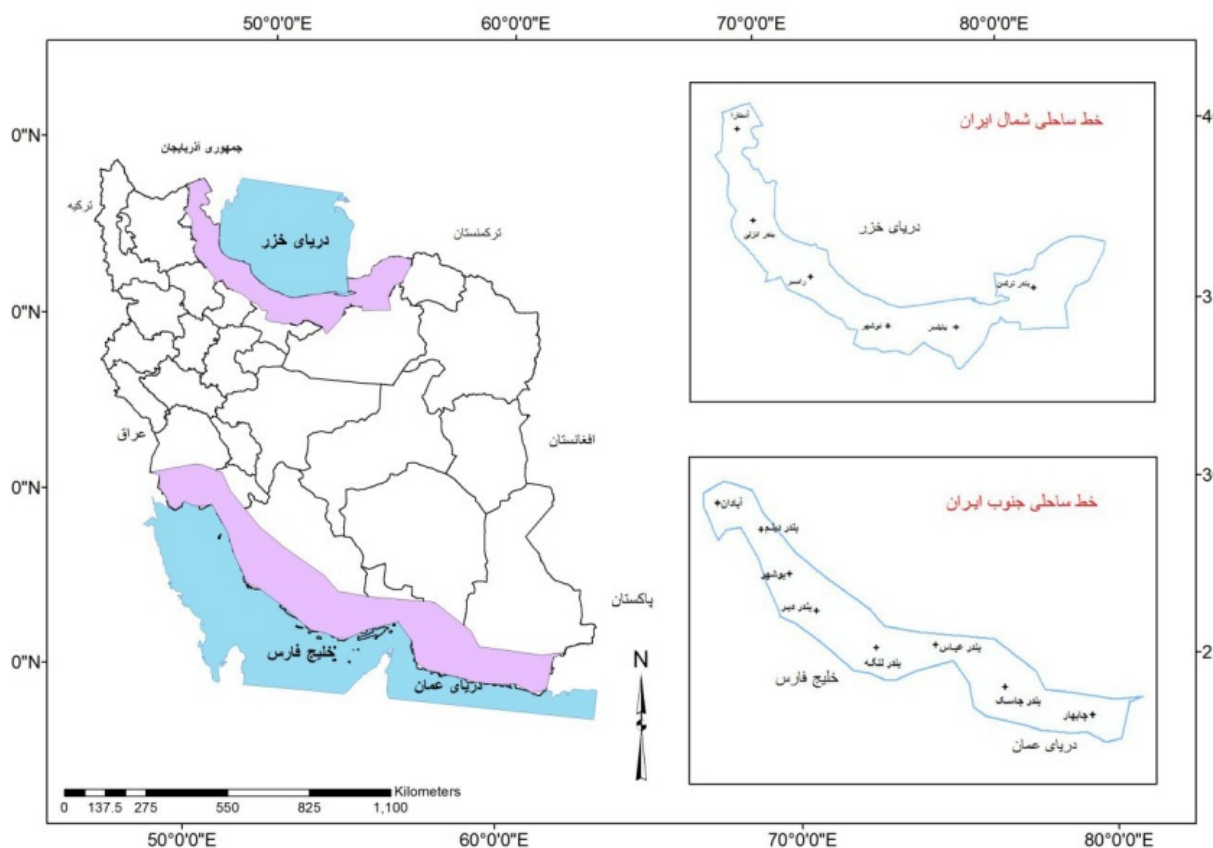
مواد و روش‌ها

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

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 دریاها آزاد است. خط ساحلی جنوب ایران از طریق دریای عمان به آب‌های آزاد راه دارد. فعالیت‌های کشاورزی زیادی در نوار ساحلی کشور 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 فانو پن



شکل ۱- موقعیت ایستگاه‌های هم‌دید مورد استفاده در این پژوهش

که در آن ET_o 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:

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

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 والیانته استفاده شده است. جدول ۳ دو روش محاسبه تبخیر-تعرق شامل والیانته ۱ (Va1) و والیانته 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)، پریستلی-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 فائو-۵۶ (EPM) FAO Penman-Monteith (Allen et al. 1998)
$ET_o = 0.408 \times 0.0023 \times R_a(Ta + 17.8) \times (T_{max} - T_{min})^{0.424}$	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_{max} و T_{min}: به ترتیب عبارند از میانگین دما، بیشینه و کمینه دمای روزانه (درجه سلسیوس)، R_a: تابش فرازمینی (MJ m⁻²d⁻¹)، R_s: 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 والیانس

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	والیانس 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	والیانس 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 والیانس ۲۰۰۶ /۲۵ پیشنهاد شده و ET_o, R_a, R_s و T_{min}, T_{max}, T_{mean} (Ta) فراسنج‌های معرفی شده در معادلات برآورد ET_o در شرایط کمبود داده است.

انحراف از استاندارد (MBE) و ضریب تبیین (R²) استفاده می‌شود که در ادامه روابط آنها آمده است:

$$NRMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{n \bar{O}}} \quad (۲)$$

$$PE = \left| \frac{\bar{P} - \bar{O}}{\bar{O}} \right| \times 100\% \quad (۳)$$

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

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

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 میانگین خطا نرمال شده (NRMSE)، درصد خطا (PE)، میانگین

در این روابط P_i و O_i به ترتیب مقادیر پیش‌بینی و مشاهده شده، \bar{P} و \bar{O} مقادیر میانگین P_i و O_i و n تعداد کل داده‌هاست.

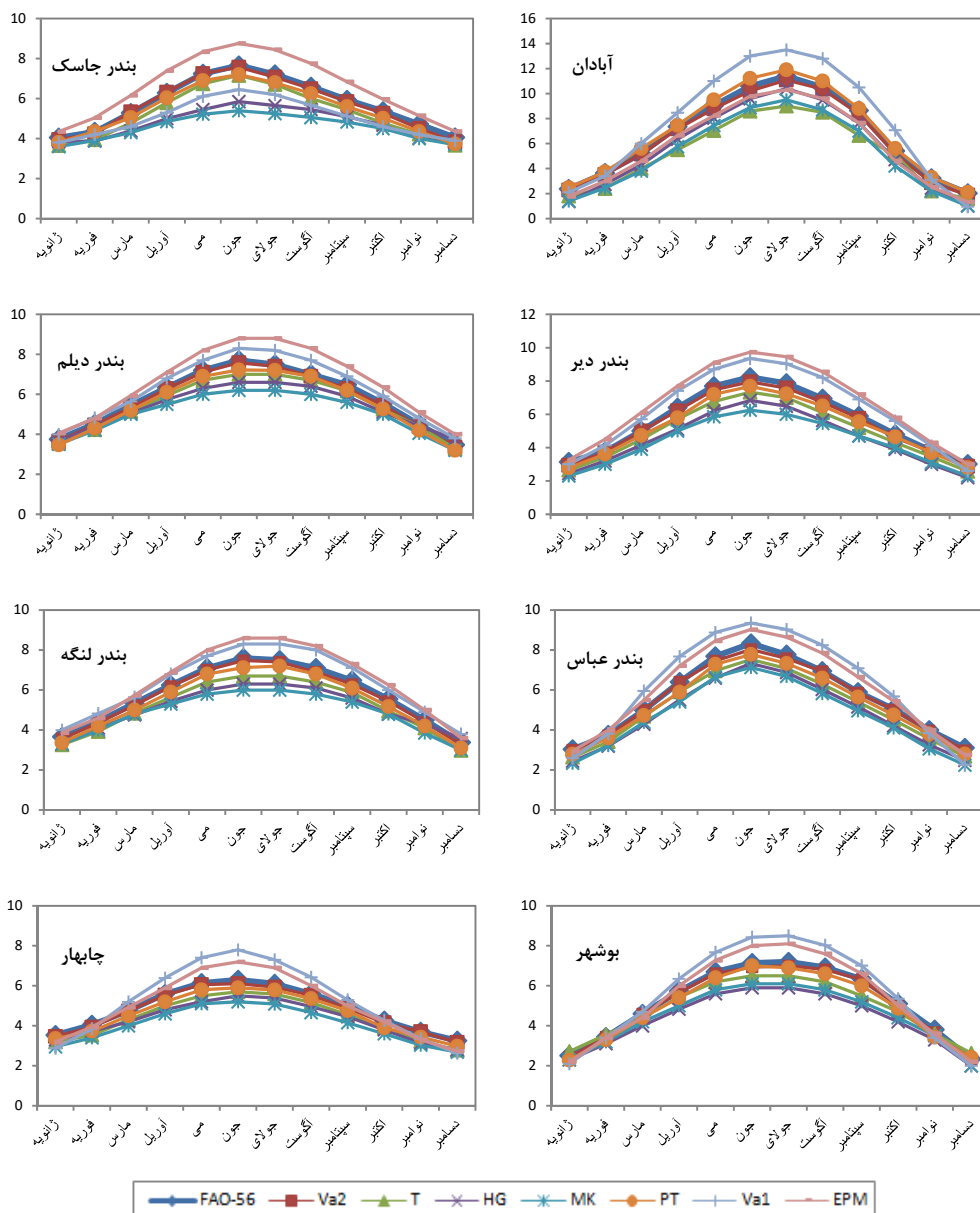
نتایج و بحث

خط ساحلی جنوب ایران

سواحل جنوب ایران که به وسیله رشته کوه‌های زاگرس از فلات مرکزی جدا شده‌اند، اقلیم گرم و مرطوب کشور را تشکیل می‌دهند. 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 می‌شود (کسمایی، ۱۳۸۵). مقادیر متوسط ماهانه ET_o محاسبه شده از معادله FAO-56 و روش‌های مورد بررسی برای ایستگاه‌های واقع در خط ساحلی جنوب ایران در شکل ۲ نشان داده شده است. روش‌های مورد بررسی در این پژوهش عبارتند از روش‌های 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 روش‌های جدید والیانتس شامل والیانتس ۱ و والیانتس ۲ ($Va1$, $Va2$) که هر کدام از روش‌ها در بخش مواد و روش‌ها به تفصیل شرح داده شده‌اند. نتایج شکل ۲ نشان می‌دهد که میانگین سالانه ET_o محاسبه شده از معادله FAO-56 برای ایستگاه آبادان دارای بیشترین مقدار و برابر با $6/8$ میلی‌متر و کمترین مقدار آن برابر با 5 میلی‌متر برای ایستگاه چابهار است. از میان روش‌های کمبود داده، تبخیر-تعرق تخمین زده شده با روش‌های ET_o ، PT ، MK و HG مقدار ET_o را نسبت به روش استاندارد کمتر و روش EPM (به جز ایستگاه آبادان) مقدار ET_o را نسبت به روش استاندارد بیشتر تخمین زده است. از میان روش‌های توسعه یافته توسط والیانتس نیز ET_o تخمین زده شده با روش $Va2$ مقداری کمتر و روش $Va1$ (به جز بندر جاسک) مقداری بیشتر از ET_o تخمین زده شده با روش استاندارد را برآورد می‌کنند. جدول ۴ تحلیل آماری مقادیر ET_o تخمین زده شده نسبت به روش استاندارد را نشان می‌دهد. مطابق نتایج برای تمام

ایستگاه‌های 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 ایستگاه‌های آبادان، بندرعباس، بوشهر و چابهار با کمترین ضریب تعیین و بیشترین درصد خطا ($R_2 < 84$ ، $PE > 33$)، دارای ضعیف‌ترین 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-مونتیت فائو است اما روش والیانتس ۱ برای ایستگاه‌های مورد بررسی دارای نتایج رضایت‌بخشی نسبت به روش استاندارد نیست که با نتایج پژوهش حاضر نیز همخوانی دارد (دژمن و همکاران، ۲۰۱۶). از میان روش‌های محاسبه ET_o در شرایط کمبود داده نیز برای تمام ایستگاه‌های 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 روش‌های کمبود داده، روش پریستلی-تیلور می‌تواند جایگزین مناسبی برای روش پنمن-مونتیت باشد (سینتالاس و همکاران، ۲۰۱۰).

از کل روش‌های مورد بررسی، ضعیف‌ترین عملکرد برای ایستگاه‌های 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. ضعیف‌ترین عملکرد برای ایستگاه‌های 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، ۴۳، ۳۳ و ۳۴) و بیشترین مقدار NRMSE (به ترتیب برابر ۰/۳۲، ۰/۳۷، ۰/۳۳ و ۰/۳۴) مربوط به روش مکینک است.



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

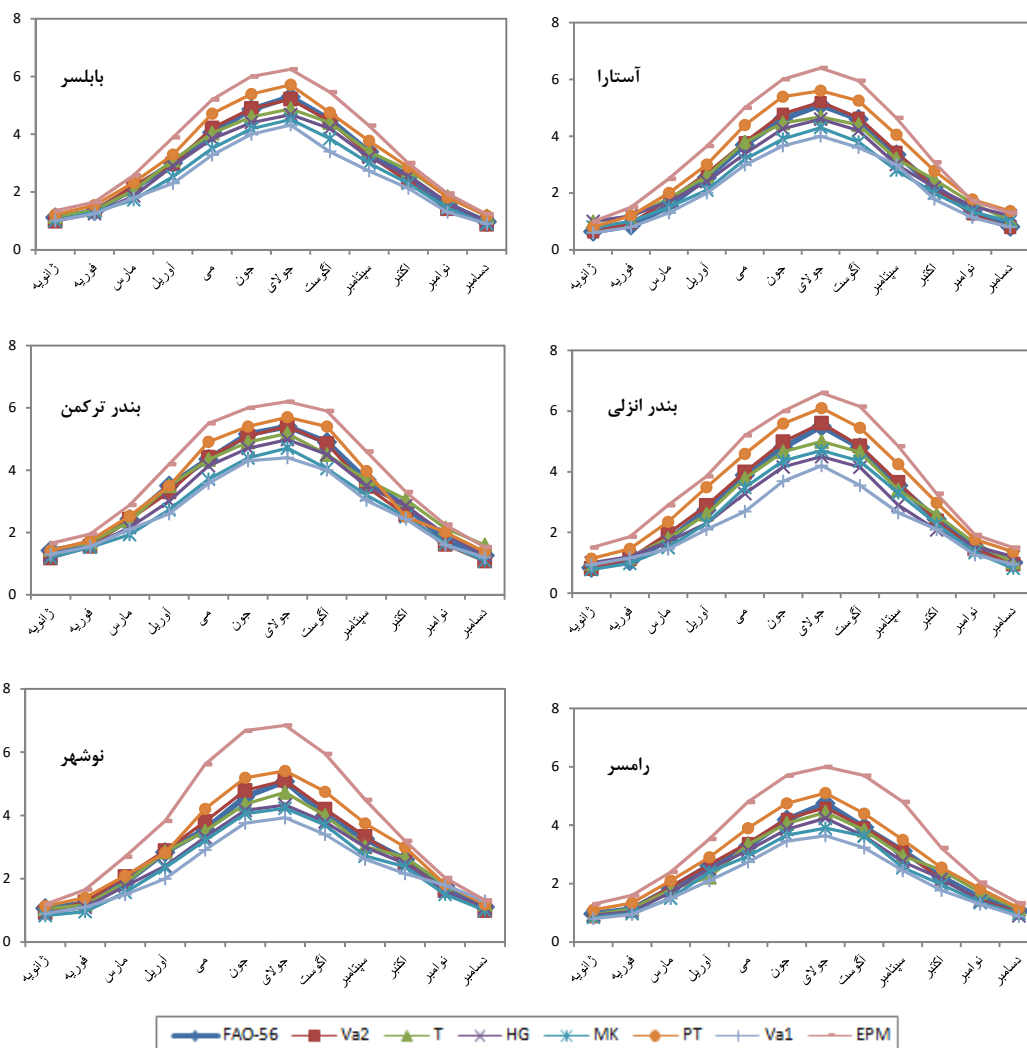
در این پژوهش، برای ایستگاه‌های واقع در خط ساحلی شمال ایران در شکل ۳ نشان داده شده است. نتایج نشان می‌دهد که بیشترین مقدار میانگین سالانه ET₀ محاسبه شده از معادله FAO-56، برابر با ۳/۲ میلی‌متر مربوط به بندر ترکمن و کمترین

خط ساحلی شمال ایران

ناحیه کرانه‌های خزر، از تالش تا بندر ترکمن، دارای اقلیمی معتدل و مرطوب است (کسمایی، ۱۳۸۵). مقادیر میانگین ماهانه ET₀ محاسبه شده از معادله FAO-56 و روش‌های مورد بررسی

ETO تخمین زده شده با روش‌های MK, HG, T و مقدار کمی کمتر و روش‌های EPM, PT مقدار بیشتری 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 Va1 مقداری کمتر از ETO تخمین زده شده با روش استاندارد را برای تمام ایستگاه‌های مورد بررسی برآورد می‌کنند.

مقدار میانگین سالانه برابر با ۲/۲ 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 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،



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 پریستلی- 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 پریستلی- 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 پریستلی- 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 توسعه‌یافته 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 ضعیف‌تری (با ضریب تعیین به‌طور 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 (تراجو کوپچ و کولو کوپچ، 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

مدل برآورد تبخیر- تعرق گیاه مرجع در یک اقلیم سرد نیمه‌خشک به‌منظور 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- کسمانی، 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 فانو پنمن- ماتیت، 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.

در این مطالعه روابط مختلف برآورد تبخیر- تعرق گیاه مرجع شامل پنج روش کمبود داده و دو روش توسعه‌یافته توسط والیانس 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 ($PE < 4$, $R^2 > 95$) دارای بهترین عملکرد نسبت به روش استاندارد است. برای ایستگاه‌های واقع در خط ساحل جنوب نیز روش پرستلی- تیلور ($PE < 10$, $R^2 > 90$) دارای بهترین عملکرد نسبت به روش استاندارد است. از میان روش‌های توسعه‌یافته توسط والیانس نیز، روش والیانس 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 والیانس ۱ برای هیچ‌کدام از ایستگاه‌های مورد بررسی در این پژوهش پیشنهاد نمی‌شود.

منابع

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، ۶۵: ۲۲۲-۲۱۱.

۴- سبزی‌پرور، ع.، ف. تفضلی، ح. زارع‌ایبانه، م. موسوی‌بایگی، م. غفوری، ا. محسنی موحد 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.