

## برآورد تبخیر و تعرق پتانسیل با استفاده از مدل‌های بازتحلیل شده مبتنی بر مشاهدات جهانی در اقلیم‌های مختلف ایران

اصغر عزیزیان<sup>۱\*</sup>، بهاره بهمن آبادی<sup>۲</sup>، مهنوش جناب<sup>۳</sup>

۱) استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین  
 ۲) دانشجوی دکتری آبیاری و زهکشی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین  
 ۳) دانشجوی دکتری آبیاری و زهکشی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۵/۰۵

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۲/۱۳

### چکیده:

برآورد صحیح تبخیر و تعرق یکی از موارد مهم در محاسبه بیلان آب در سطح مزرعه و حوضه آبریز بشمار می‌آید. عدم وجود داده‌های اقلیمی مشاهداتی جهت استفاده از روش‌های تجربی و نیز هزینه‌بر بودن انجام اندازه‌گیری تبخیر و تعرق با لایسیت‌مترها استفاده از آنها را در بسیاری از حوضه‌ها با محدودیت اساسی روبرو می‌نماید. برای غلبه بر مشکلات مذکور، پژوهش حاضر با هدف ارزیابی و به چالش کشیدن عملکرد داده‌های تبخیر و تعرق بدست آمده از مدل‌های بازتحلیل شده W3RA، HBV-SIMREG، PCR-GLOBW، WATER-GAP و Ensemble براساس داده‌های اندازه‌گیری شده توسط لایسیت‌متر در بخش‌های مختلف ایران به انجام رسیده است. نتایج بدست آمده نشان داد که در تمامی ایستگاه‌های مورد بررسی مدل Ensemble با دارا بودن بیشترین مقدار  $RMSE_{min} = 3/42 \text{ mm/day}$ ،  $RMSE_{max} = 7/57$  از عملکرد پائینی در برآورد تبخیر و تعرق برخوردار می‌باشد و این در حالیست که داده‌های بدست آمده از مدل‌های بازتحلیل شده HBV-SIMREG و W3RA از بیشترین تطابق با داده‌های لایسیت‌متری برخوردار هستند. همچنین تحلیل نتایج بر اساس شاخص اریبی (Mean Bias Error) نیز نشان داد که داده‌های بدست آمده از مدل W3RA از کمترین میزان اریب نسبت به داده‌های زمینی برخوردار می‌باشند و این در حالیست که مدل Ensemble تمایل به کم برآوردی بسیار زیادی دارد. بطور کلی محاسبات نشان داد که مدل بازتحلیل شده HBV-SIMREG نسبت به مدل‌های دیگر از خطای نسبتاً کمی در برآورد مولفه تبخیر و تعرق در تمامی اقلیم‌های مورد بررسی برخوردار می‌باشد و این در حالیست که مدل PCR-GLOBW علی‌رغم همبستگی بسیار بالا با داده‌های لایسیت‌متری دارای خطای زیادی است.

**کلید واژه‌ها:** سنجش از دور؛ منابع آب؛ پمپ-مانتیث؛ بیلان آبی حوضه؛ نیاز آبی

### مقدمه

به یک پوشش گیاهی داده شود تا در زمان معین صرف تبخیر و تعرق نموده و بدون آنکه با تنش آبی مواجه شود، رشد خود را تکمیل نموده و حداکثر مقدار محصول را تولید کند (Allen, 1998). روش‌های برآورد تبخیر و تعرق مرجع به دو دسته روش‌های مستقیم و غیر مستقیم تقسیم می‌شوند. محاسبه تبخیر و تعرق به طریق عملی و

تخمین صحیح تبخیر و تعرق در برنامه‌ریزی‌های مدیریت و توسعه آبیاری، مدلسازی هیدرولوژیکی، مطالعات بیلان آب و سایر مطالعات مرتبط با منابع آب از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. تخمین تبخیر و تعرق مرجع گیاه مترادف با برآورد مقدار نیاز آبی است که باید

مجموعه داده‌های بازتحلیل شده و مبتنی بر سنجش از دور، اطلاعات ارزشمند و مفیدی از متغیرهای هیدرولوژیکی و اقلیمی در سراسر جهان ارائه می‌دهند، که در صورت عدم وجود داده‌های زمینی مناسب حتی می‌توانند به عنوان مکمل و یا جایگزین داده‌های زمینی مدنظر قرار گیرند. (Kim et al., 2018).

یکی از مهم‌ترین مولفه‌های هیدرولوژیکی که در این پایگاه اطلاعاتی Earth2Observe وجود دارد، داده‌های تبخیروتعرق شبیه‌سازی شده توسط مدل‌های بازتحلیل شده می‌باشد. برخلاف داده‌های لایسیمتر و روش‌های غیرمستقیم اندازه‌گیری تبخیروتعرق، داده‌های بدست آمده از پایگاه مذکور دارای پیوستگی مکانی و زمانی نسبتاً زیادی هستند و مشکلات روش‌های مذکور (زمان‌بر و هزینه‌بر بودن و وابسته به ضرائب تجربی بودن) را دارا نمی‌باشند. تاکنون مطالعات مختلفی در زمینه ارزیابی داده‌های بازتحلیل شده و داده‌های مبتنی بر تکنیک‌های سنجش از دور جهت برآورد رواناب، تبخیروتعرق، بارش و رطوبت خاک در بخش‌های مختلف دنیا به انجام رسیده است. به عنوان مثال، Schellekens و همکاران (۲۰۱۷) به بررسی داده‌های بدست آمده از ۱۰ مدل هیدرولوژیکی بزرگ مقیاس و مدل سطح زمین برای دوره زمانی ۱۹۷۹ تا ۲۰۱۷ و با مقیاس مکانی ۰/۵ درجه در سطح کل دنیا پرداختند. نتایج بدست آمده نشان داد که برای برآورد مولفه‌های هیدرولوژیکی مانند رواناب، تبخیروتعرق و رطوبت خاک عمده مدل‌های مذکور از عملکرد رضایت‌بخشی در بخش‌های عمده‌ای از جهان برخوردار می‌باشند (Schellekens et al., 2017). همچنین تحقیقات انجام شده توسط Beck و همکاران (۲۰۱۷) در زمینه ارزیابی عملکرد مدل‌های موجود در پایگاه Earth2Observe جهت تخمین رواناب در ۹۶۶ حوضه سراسر جهان نشان داد که استفاده از مدل‌های هیدرولوژیکی بزرگ مقیاس منجر به نتایج به مراتب بهتری نسبت به مدل‌های سطح زمین می‌گردد. (Yang (2017) نیز

آزمایشگاهی با دقت بالا با استفاده از روش‌های لایسمتری، ادی کواریانس و یا تکنیک نسبت باون امکان‌پذیر است. اندازه‌گیری تبخیروتعرق با لایسیمتر اگرچه یکی از دقیق‌ترین روش‌ها بشمار می‌آید، اما به دلیل زمان‌بر بودن و هزینه بالای اجرای آن امکان استفاده از آن همواره میسر نمی‌باشد. روش‌های غیرمستقیم نیز که برمبنای داده‌های اقلیمی ایستگاه‌های هواشناسی استوار می‌باشند، بدلیل استفاده از عوامل مختلف اقلیمی، گیاهی و وجود ضرائب تجربی (که نیازمند واسنجی برای هر منطقه‌ای هستند) دارای محدودیت کاربرد در بسیاری از مناطق به ویژه حوضه‌های فاقد آمار و یا دارای آمار ناکافی هستند (Zhuo et al., 1988).

با توجه به گسترش تکنولوژی‌های ماهواره‌ای و افزایش قدرت محاسبات رایانه‌ای در سال‌های اخیر، منابع اطلاعاتی متعدد و ارزشمندی در زمینه‌های مختلف توسعه داده شده است که عمدتاً مبتنی بر تکنیک‌های سنجش از دور، داده گواری (Data Assimilation) و فرآیند بازتحلیل توسط مدل‌های بزرگ مقیاس (Reanalysis Models) استوار می‌باشند. یکی از جدیدترین تلاش‌های صورت گرفته جهت فراهم نمودن بستری برای انجام مطالعات منابع آب در مقیاس بزرگ، پایگاه اطلاعاتی Earth2Observe است که توسط محققین اتحادیه اروپا توسعه داده شده است. پایگاه مزبور در ژانویه ۲۰۱۴ و با هدف یکپارچه‌سازی داده‌های مربوط به مشاهدات جهانی (Earth Observation)، داده‌های زمینی و داده‌های مربوط به مدل‌های هیدرولوژیکی بزرگ مقیاس (Large Scale Hydrological Models) و سطح زمین (Land Surface Models) به انجام رسیده است. در پایگاه مذکور خروجی حاصل از مدل‌های هیدرولوژیکی مختلف با استفاده از فرآیند داده‌گواری و با کمک داده‌های زمینی بدست آمده از پایگاه هواشناسی WMO بازتحلیل شده و در مقیاس‌های زمانی و مکانی مختلف بصورت کاملاً رایگان عرضه شده است (Koochi et al., 2019). به‌طور کلی

شده Ensemble, GLEAM, HBV-SIMERG, PCR-GLOBW, W3RA و WATER-GAP برای برآورد تبخیر و تعرق در بخش‌های مختلف ایران می‌باشد. همچنین برای به چالش کشیدن عملکرد مدل‌های مذکور، از روش پرکاربرد و متداول پنمن-مانیت نیز استفاده بعمل آمده است.

### مواد و روش‌ها

#### محدوده مورد مطالعه

ایران با مساحتی حدود ۱۶۵۰۰۰۰ کیلومتر مربع در جنوب غربی آسیا با طول جغرافیایی  $0^{\circ}45'00''$  تا  $0^{\circ}39'06''$  شرقی و عرض جغرافیایی  $25^{\circ}00'$  تا  $41^{\circ}00'$  شمالی قرار گرفته است. میانگین بارش سالانه کشور ۲۸۰ میلی‌متر و حداکثر و حداقل دمای هوا به ترتیب  $28/6$  و  $4/6$  درجه سانتیگراد است (Koochi et al., 2020). ایران از شمال به دریای خزر و از جنوب به خلیج فارس و دریای عمان محدود می‌شود. به‌طور کلی کشور ایران عمدتاً دارای اقلیم خشک و نیمه‌خشک است اما در مجاورت دریای خزر اقلیم معتدل و مرطوب را تجربه می‌کند. دو رشته کوه اصلی ایران، البرز و زاگرس هستند که به ترتیب آب و هوای استان‌های شمالی کشور و شمال غربی تا جنوبی‌ترین بخش ایران را تحت شعاع قرار می‌دهند. مناطق کوهستانی در تابستان دارای آب و هوای معتدل و در پاییز و زمستان دارای آب و هوای سرد و برفی هستند. طبق روش طبقه‌بندی اقلیمی De Martonne اصلاح شده (Rahimi et al 2013)، کشور ایران به هشت دسته کلی تقسیم می‌گردد که عبارتند از: فراخشک (Extra-Arid, A1.1)، خشک (Arid, A1.2)، نیمه‌خشک (Semi-Arid, A2)، مدیترانه‌ای (Mediterranean, A3)، نیمه‌مرطوب (Semi-Humid, A4)، مرطوب (Humid, A5)، خیلی مرطوب نوع A (Per-Humid A, A6)، خیلی مرطوب نوع B (Per-Humid B, A7). در شکل (۱) موقعیت مکانی ایستگاه‌های زمینی اندازه‌گیری تبخیر و تعرق با استفاده از

به ارزیابی عملکرد مدل GLEAM جهت برآورد تبخیر و تعرق واقعی در مقیاس روزانه، ماهانه و سالانه در کشور چین پرداخت و به این نتیجه رسید که مدل مذکور به جز منطقه جنگلی زیسوانگ بانا از دقت قابل قبولی برای تخمین تبخیر و تعرق واقعی در بخش‌های مختلف چین برخوردار است. Lopez و همکاران (۲۰۱۷) با استفاده از داده‌های تبخیر و تعرق بدست آمده از مدل GLEAM و رطوبت خاک منبع ESA-CCI به واسنجی مدل هیدرولوژیکی بزرگ مقیاس PCR-GLOBW در حوضه آبریز اماریا طی دوره آماری ۲۶ ساله (۱۹۷۹-۲۰۱۰) و در دو سناریوی تک هدفه و چند هدفه پرداختند. یافته‌های این محققین نشان داد که واسنجی چند هدفه و با استفاده از داده‌های رطوبت و تبخیر و تعرق با دارا بودن شاخص نش-سانکلایف (Nash-Sutcliffe)  $0/75$  تا  $0/5$  عملکرد مناسبی در برآورد رواناب خروجی از حوضه داشته است. Koochi و همکاران (۲۰۲۰) با استفاده از مقادیر تبخیر و تعرق بدست آمده از مدل‌های بازتحلیل شده W3RA, GLEAM و HBV-SIMREG به واسنجی مدل هیدرولوژیکی VIC-3L در حوضه آبریز سفیدرود پرداختند. نتایج نشان داد که در صورت استفاده از داده‌های مدل بازتحلیل شده GLEAM بمنظور واسنجی مدل توزیعی VIC-3L، سری زمانی جریان شبیه‌سازی شده توسط مدل دارای بیشترین تطابق ( $NS=0/95$ ) و ( $CC=0/8$ ) با داده‌های دبی مشاهداتی در محل ایستگاه هیدرومتری گیلوان می‌باشد.

اگرچه در سال‌های اخیر پایگاه‌های بازتحلیل شده مختلفی همچون GLDAS و Earth2Observe (که مبتنی بر فرآیند داده گواری و ادغام مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی هستند) توسط مراکز علمی جهان توسعه داده شده‌اند، اما متأسفانه تاکنون در سطح کشور در کمتر تحقیقی به اهمیت این منابع اطلاعاتی و کارایی آنها به ویژه برآورد تبخیر و تعرق پرداخته شده است. لذا هدف پژوهش حاضر بررسی دقت و کارایی مدل‌های بازتحلیل

لاسیمتر نشان داده شده است. رابطه زیر برای دوره زمانی معینی برای لاسیمتر زهکش دار استفاده می‌گردد.

$$ET_p = I + P - D \pm \Delta W \quad (1)$$

$ET_p$ : شدت تبخیر-تعرق پتانسیل به صورت آب تبخیر یا تعرق یافته در دوره معین (mm)  
 $P$ : میزان بارندگی در همان دوره معین (mm)  
 $I$  و  $D$ : به ترتیب میزان آب زهکش شده و میزان آب آبیاری در همان دوره (mm)  
 $\Delta W$ : تغییرات رطوبتی خاک تا کف لاسیمتر یا تغییر در مقدار عمق آب موجود در پروفیل خاک در دوره معین (mm)

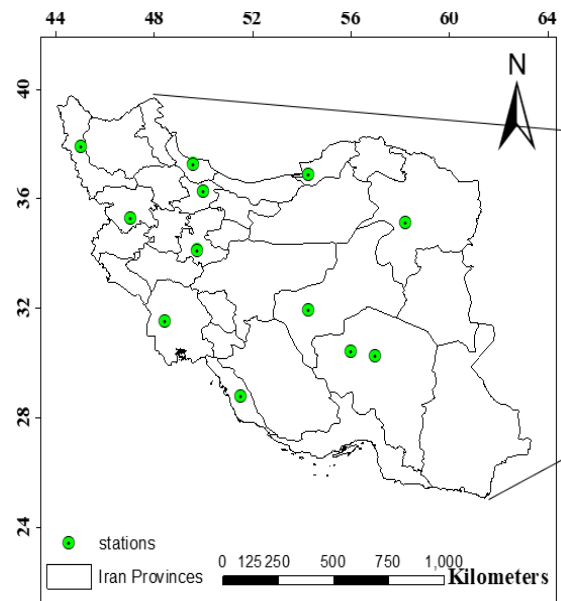
در پژوهش حاضر و برای ارزیابی کارایی مدل‌های بازتحلیل شده مبتنی بر داده‌های جهانی از داده‌های بدست آمده از لاسیمت‌های زهکش دار واقع در ۱۲ منطقه اقلیمی مختلف ایران استفاده بعمل آمده است. جزئیات مربوط به هر مزرعه آزمایشی در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱. جزئیات مربوط به لاسیمت‌های واقع در اقلیم‌های مختلف ایران

Station	Elev (m)	Location		Years of Data	Climate zone
		Lat	Long		
Qazvin	1278	36.25	50.00	1371-1374	Semi-Arid
Urmia	1320	37.88	45.02	1375-1378	Semi-Arid
Ahvaz	2	31.50	48.45	1372-1376	Arid
Bushehr	10	28.76	51.51	1379-1381	Arid
Rasht	-7	37.25	49.60	1371-1375	Per Humid A
Gorgan	14	36.85	54.26	1378-1379	Semi-Arid
Kurdistan	1370	35.27	47.02	1374-1376	Semi-Arid
Markazi	1708	34.10	49.77	1374-1379	Semi-Arid
Yazd	1237	31.90	54.28	1375-1379	Extra-Arid
Rafsanjan	1754	30.40	56.00	1376-1380	Extra-Arid
Khorasan	1053	35.11	58.22	1379-1383	Arid
Kerman	1754	56.97	56.97	1376-1377	Arid

#### مدل‌های بازتحلیل شده مبتنی بر مشاهدات جهانی

با توجه به گسترش تکنولوژی‌های ماهواره‌ای و افزایش قدرت محاسبات رایانه‌ای در سال‌های اخیر، منابع اطلاعاتی متعدد و ارزشمند در زمینه‌های مختلف توسعه



شکل ۱. موقعیت مکانی ایستگاه‌های زمینی اندازه‌گیری تبخیر و تعرق در سطح کشور

#### اطلاعات و داده‌های مورد استفاده در پژوهش اندازه‌گیری تبخیر و تعرق با لاسیمتر

لاسیمتر یکی از روش‌های اندازه‌گیری و برآورد مستقیم تبخیر و تعرق بشمار می‌آید. لاسیمتر عبارتست از محوطه جداسازی شده‌ای از مزرعه که علاوه بر امکان کاشت و داشت گیاه در شرایط بهینه (از نظر عملیات زراعی و آبیاری و کنترل گیاه و غیره)، امکان اندازه‌گیری مقادیر آب خروجی و ورودی از لاسیمتر و رطوبت خاک میسر می‌باشد. لاسیمت‌ها به دو دسته لاسیمتر زهکش دار و وزنی تقسیم می‌شوند که تفاوت این دو لاسیمتر در اندازه‌گیری نیاز آبی گیاه و یا تبخیر از سطح خاک است (Allen, 1998). لاسیمتر زهکش دار، غیرمستقیم و با استفاده از روش اندازه‌گیری پروفیل آب خاک مقدار تبخیر و تعرق را محاسبه می‌کند. مبنای کار لاسیمتر زهکش دار بر این اصل مبتنی است که مقدار تبخیر و تعرق، با تفاضل مجموع آب آبیاری، بارندگی و آب خروجی از انتهای لاسیمتر (آب زهکشی) برابر می‌باشد.

**PCR-GLOBWB (PCRaster Global Water Balance)**

یک مدل هیدرولوژیکی جهانی است که به بررسی بخش زمینی چرخه هیدرولوژیکی می‌پردازد و اولین بار در سال ۲۰۰۹ توسط van Beek and Bierkens در گروه جغرافیای فیزیکی، دانشکده علوم زمین دانشگاه اوترخت هلند مطرح، پایه‌ریزی و برای بررسی بیلان روزانه سطح آب با توان تفکیک مکانی در حدود ۰/۵ درجه به منظور ارزیابی کمبود آب در مقیاس جهانی و پایش دسترسی به آب شیرین در مقیاس ماهیانه توسعه داده شد (van Beek *et al.*, 2011; Wada *et al.*, 2011a, b). این مدل با تقسیم حوضه به تعدادی سلول و شبیه‌سازی سلول به سلول، به برآورد مولفه‌های هیدرولوژیکی می‌پردازد (Koochi *et al.*, 2019). در هر بار اجرای مدل ذخیره رطوبت بین خاک و اتمسفر و تغذیه زیرزمینی برای تک تک سلولها شبیه‌سازی می‌گردد. تبادل با اتمسفر شامل بارش، تبخیر از سطح آزاد آب، برف، خاک و تعرق از سطح گیاه است. همچنین این مدل مولفه‌هایی همچون انباشت برف، ذوب برف و ذوب یخچال را نیز شبیه‌سازی می‌کند (Wanders *et al.*, 2019).

**WorldWide Water Resources Assessment) W3RA**  
این مدل در رده مدل‌های هیدرولوژیکی بزرگ مقیاس توزیعی قرار داشته و توسط اداره هواشناسی استرالیا برای ارزیابی و محاسبه روزانه بیلان آب توسعه داده شده است (Van Dijk *et al.*, 2014). در این مدل برای شبیه‌سازی حرکت آب در خاک، ۳ لایه با عمق‌های مختلف لحاظ می‌گردد و محاسبه تبخیر و تعرق نیز با استفاده از رابطه پنمن-مانتیث محاسبه می‌شود.

**HBV-SIMREG**: از جمله پرکاربردترین مدل‌های

مفهومی نیمه‌توزیعی می‌باشد که توسط موسسه هواشناسی و هیدرولوژی سوئد توسط داده شده است (Forsman and Bergström, 1973). در این مدل حوضه به تعدادی زیرحوضه تقسیم شده و در هر زیرحوضه تغییرات ارتفاعی و نوع پوشش در نظر گرفته می‌شود. سری زمانی بارش، دما و سرعت وزش باد از ورودی‌های مهم این

داده شده است که عمدتاً مبتنی بر تکنیک‌های سنجش از دور، داده گواری (Data Assimilation) و بازتحلیل داده‌های شبیه‌سازی شده توسط مدل‌های بزرگ مقیاس با داده‌های زمینی (Reanalysis Models) استوار می‌باشند. یکی از جدیدترین تلاش‌های صورت گرفته جهت فراهم نمودن بستری برای انجام مطالعات منابع در مقیاس بزرگ، پایگاه اطلاعاتی Earth2Observe است (<http://www.earth2observe.eu>) که توسط محققین اتحادیه اروپا توسعه داده شده است. پایگاه مزبور در ژانویه ۲۰۱۴ و با هدف یکپارچه‌سازی داده‌های مربوط به مشاهدات جهانی (Earth Observation)، داده‌های زمینی و داده‌های مربوط به مدل‌های هیدرولوژیکی بزرگ (Large Scale Hydrological Models) مقیاس و سطح زمین (Land Surface Models) به انجام رسیده است. در پایگاه مذکور خروجی حاصل از مدل‌های هیدرولوژیکی مختلف با استفاده از فرآیند داده گواری و با کمک داده‌های زمینی بدست آمده از پایگاه هواشناسی WMO بازتحلیل شده و در مقیاس‌های زمانی و مکانی مختلف بصورت کاملاً رایگان عرضه شده است (Koochi *et al.*, 2019). یکی از مهمترین مولفه‌های هیدرولوژیکی که در این پایگاه اطلاعاتی ارزشمند وجود دارد، داده‌های تبخیر و تعرق شبیه‌سازی شده توسط مدل‌های بازتحلیل شده می‌باشد. از مهمترین مدل‌های بازتحلیل شده موجود در این پایگاه که حاوی مولفه مذکور باشد می‌توان به مدل‌های W3RA، HBV-SIMREG، PCR-GLOBWB، WATER-GAP و Ensemble اشاره نمود. از آنجایی که داده‌های بدست آمده از مدل‌های مذکور بدون انجام واسنجی مستقیم با داده‌های زمینی بوده است، لازم است تا قبل از استفاده از آنها فرآیند راستی آزمایی صورت گیرد. لذا در پژوهش حاضر از داده‌های اندازه‌گیری شده توسط لایسیمترهای زهکش‌دار در ۱۲ منطقه اقلیمی ایران استفاده بعمل آمده است. در ادامه توضیحاتی درخصوص ساختار مدل‌های مذکور ارائه شده است.

$\lambda$ : گرمای نهان تبخیر ( $20^\circ\text{C}$  در  $2.45 \text{ MJ kg}^{-1}$ ) ،  
 $e_2 - e_1$ : فشار بخار اشباع در دمای  $T_n$  و  $T_x$  (KPa)،  $\gamma$ :  
 ثابت سایکرومتری ( $\frac{\text{KPa}}{\text{K}}$ )،  $T$ : متوسط دمای هوا ( $^\circ\text{C}$ )،  $U_d$ :  
 سرعت باد در روز  $\text{ET}_0$  (m/s). اشاره به برآورد مقدار نیاز  
 آبی است که باید به یک پوشش گیاهی داده شود تا در  
 زمان معین صرف تبخیر و تعرق نموده و بدون آنکه با تنش  
 آبی مواجه شود رشد خود را تکمیل نموده و حداکثر  
 مقدار محصول را تولید کند. گیاه مرجع یک گیاه فرضی  
 به ارتفاع ۱۲ سانتی متر، مقاومت سطحی  $70$  ثانیه بر متر و  
 الیبدو  $0.23$  است (Allen et al., 1998). بنابراین،  $\text{ET}_0$   
 نشان دهنده تأثیر شرایط آب و هوایی متغیر بر  $\text{ET}$  است.  
 برای گیاهان مختلف در مراحل مختلف رشد،  $\text{ET}$  آنها را  
 می توان با استفاده از ضریب گیاهی، برای هر نوع آب و  
 هوا یا تنش های محیطی دیگر محاسبه نمود.

### شاخص های آماری

برای ارزیابی داده های تبخیر و تعرق بدست آمده از  
 مدل های بازتحلیل شده و مقایسه آنها با مقادیر مشاهداتی  
 بدست آمده از لایسیمتر زهکش دار در اقلیم های مختلف  
 ایران از ۳ شاخص آماری متداول همچون میانگین جذر  
 مربعات خطا (RMSE)، خطای اریب میانگین (MBE) و  
 ضریب همبستگی (CC) استفاده شده است. جزئیات  
 مربوط به هر کدام از روابط مذکور در جدول (۴) ارائه  
 شده است.

جدول ۴. شاخص های آماری مورد استفاده

Criteria	Equation
Root Mean Square Error	$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{\sum (E_{si} - E_{oi})^2}{n-1}}$
Mean bias Error	$\text{MBE} = \frac{\sum_{i=1}^n (E_{si} - E_{oi})}{n}$
Correlation Coefficient	$r = \frac{\sum_{i=1}^n (E_{oi} - \bar{E}_o)(E_{si} - \bar{E}_s)}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (E_{oi} - \bar{E}_o)^2 \sum_{i=1}^n (E_{si} - \bar{E}_s)^2}}$

در جدول فوق، RMSE: ریشه میانگین مربعات خطا  
 (mm/day)، MBE: خطای اریب میانگین (mm/day).

مدل بشمار می آید. مقدار جریان، بارش، تبخیر و تعرق،  
 رطوبت خاک و ذخیره خاک از خروجی های مهم این  
 مدل می باشند (Koohi et al., 2019).

**Water GAP**: این مدل نیز در رده مدل های  
 هیدرولوژیکی بزرگ مقیاس قرار داشته و توسط محققین  
 دانشگاه کسل آلمان توسعه داده شده است و در حال  
 حاضر از آن برای برآورد بیلان آب و تعیین مناطق مستعد  
 تولید رواناب در مطالعات منابع آب استفاده می گردد  
 (Corzo Perez et al., 2011). **Water GAP** یکی از  
 مهمترین مدل های هیدرولوژیکی بزرگ مقیاس است که  
 برای شناسایی مناطق مستعد دسترسی به آب در مقیاس  
 حوضه به کار می رود (Alcamo et al., 2000). لازم بذکر  
 است که شبیه سازی این مدل در ابعاد سلولی  $0.5$  درجه و  
 گام زمانی روزانه صورت می پذیرد و رواناب براساس  
 تئوری موج سینماتیک در طول شبکه آبراهه ها روندیابی  
 می شود (Dutra et al., 2017; Smith, 2016).

همچنین برای ارزیابی هرچه بهتر داده های بدست  
 آمده از لایسمتر و نیز به چالش کشدن عملکرد مدل های  
 بازتحلیل شده مذکور، از معادله پنمن-مانتیت (FAO56)  
 که در حال حاضر یکی از پر کاربردترین روش های مورد  
 استفاده برای برآورد تبخیر و تعرق می باشد استفاده بعمل  
 آمده است (Allen et al., 1998). در جدول ۳ جزئیات  
 مربوط به معادله پنمن-مانتیت ارائه شده است.

جدول ۳. جزئیات مربوط به معادله پنمن - مانتیت

$$\text{ET}_0 = \frac{0.408 \times \Delta \times (R_n - G) + \gamma \frac{900}{T_{\text{mean}} + 273} \times u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34 \times u_2)}$$

$$u_2 = u_{10} \times \frac{4.87}{\ln(67.8 \times z - 5.42)}$$

$$R_s = \left( a_s + b_s \frac{n}{N} \right) R_a$$

$$a_s = 0.25$$

$$b_s = 0.5$$

$\text{ET}_0$ : تبخیر و تعرق مرجع  $\Delta$ ، ( $\frac{\text{mm}}{\text{day}}$ ) شیب منحنی  
 فشار بخار در برابر دما  $R_n$ ، ( $\text{Kpa } ^\circ\text{C}^{-1}$ ) تابش خالص  
 $G$ : شار گرمای خاک ( $\text{MJ m}^{-2} \text{day}^{-1}$ )،

برای مدل بازتحلیل شده W3RA نیز مقدار متوسط شاخص CC در حدود ۰/۶ بوده و محدوده تغییرات آن بین ۰/۰۰۱- تا ۰/۹۱ متغیر است. با توجه به توضیحات فوق در صورت رتبه‌بندی بر اساس شاخص CC مدل بازتحلیل شده PCR-GLOWB نسبت به مدل‌های دیگر دارای بالاترین مقدار همبستگی ( $CC=0.66$ ) با داده‌های مشاهداتی لایسیمیتری بوده و این در حالیست که نتایج بدست آمده از مدل Ensemble (تلفیق مدل‌های مختلف) ضعیف‌ترین عملکرد را براساس این شاخص دارا می‌باشد.

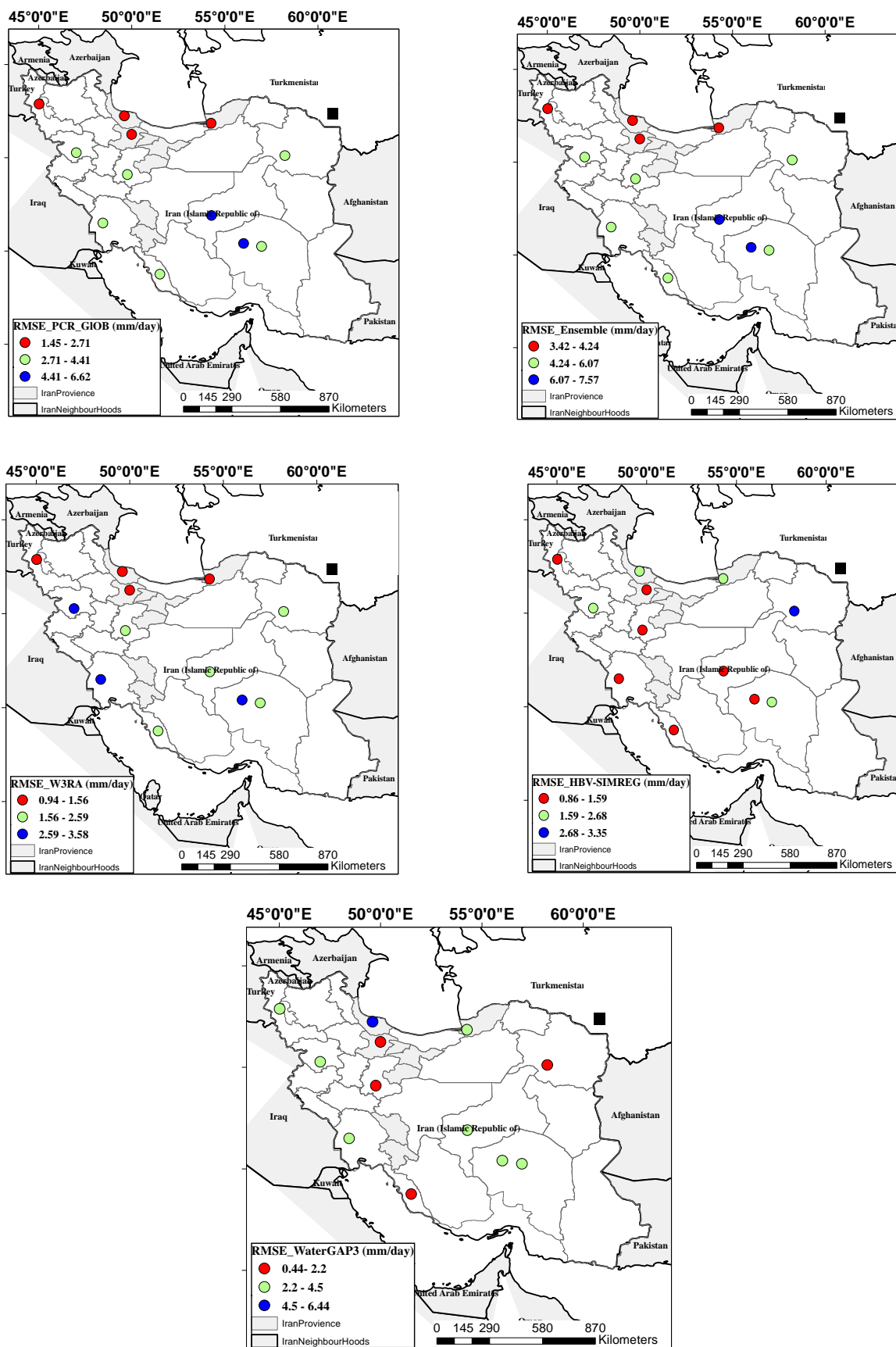
همچنین تحلیل نتایج بر اساس شاخص RMSE که مبین میانگین خطاهای موجود بین داده‌های مشاهداتی و مدل‌های بازتحلیل شده می‌باشد، حاکی از آن است که داده‌های مدل Ensemble در ۹۰ درصد ایستگاه‌ها مقدار RMSE بالای ۳ میلی‌متر بر روز داشته و دارای ضعیف‌ترین عملکرد در بین مدل‌های بازتحلیل شده است. مقدار این شاخص برای مدل مذکور بین ۳/۴۲ تا ۷/۵۷ میلی‌متر بر روز متغیر است. برخلاف مدل مذکور، داده‌های تبخیر و تعرق بدست آمده از مدل‌های بازتحلیل شده HBV-SIMERG و W3RA دارای کمترین میزان شاخص RMSE بوده و از میزان خطای کمتری نسبت به دیگر مدل‌ها برخوردار می‌باشد. HBV-SIMERG در ۵۰ درصد از ایستگاه‌ها و W3RA در ۳۰ درصد از ایستگاه‌ها دارای شاخص RMSE کمتر از ۲ میلی‌متر بر روز هستند. همچنین بررسی متوسط شاخص MBE نیز که نشان‌دهنده متوسط اختلاف بین مقادیر تبخیر و تعرق مشاهداتی و بازتحلیل شده است حاکی از آن است که کلیه مدل‌ها به استثناء HBV-SIMERG تمایل به کم برآوردی داشته‌اند اما HBV-SIMERG در اکثر ایستگاه‌های مورد مطالعه دارای بیش‌برآوردی بوده و فقط در ایستگاه رفسنجان مقداری منفی داشته است ( $MBE=-0.38 \text{ mm/day}$ ).

CC: ضریب همبستگی (-)، مقادیر Esi, Eoi و  $\bar{E}$  به ترتیب تبخیر و تعرق تخمین زده شده بر اساس مدل‌های بازتحلیل شده، تبخیر و تعرق اندازه‌گیری شده توسط لایسیمیتر و مقدار میانگین هر یک از مقادیر تخمین زده شده و اندازه‌گیری شده، می‌باشند.

## نتایج و بحث

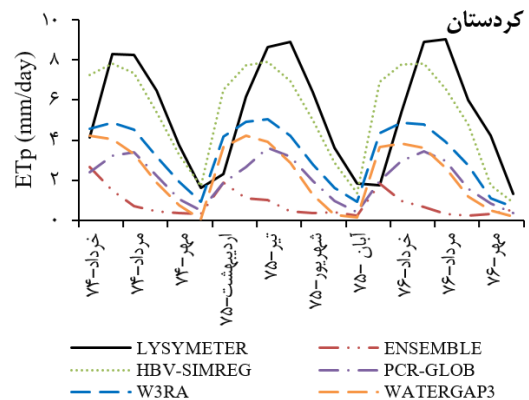
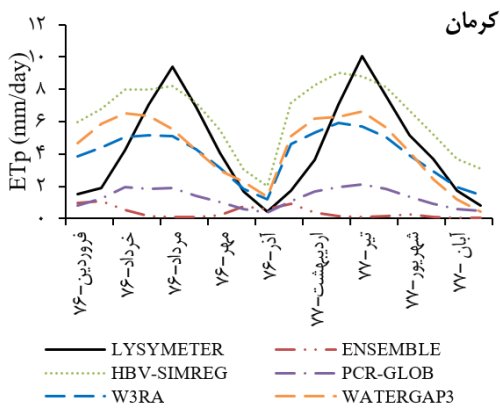
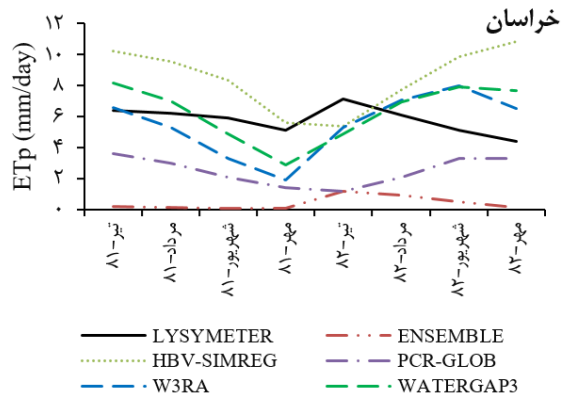
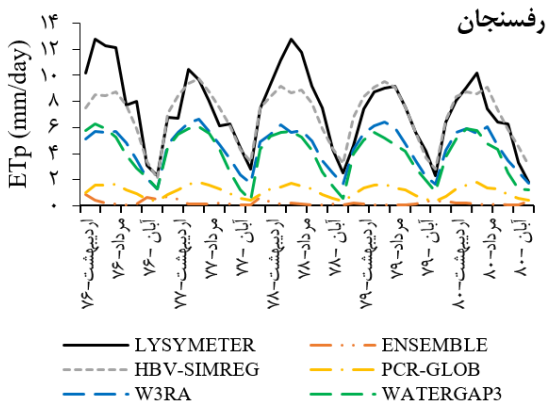
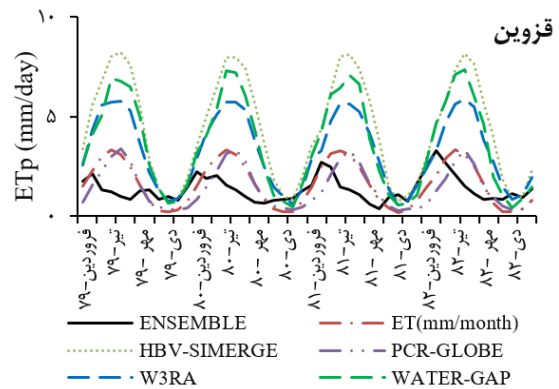
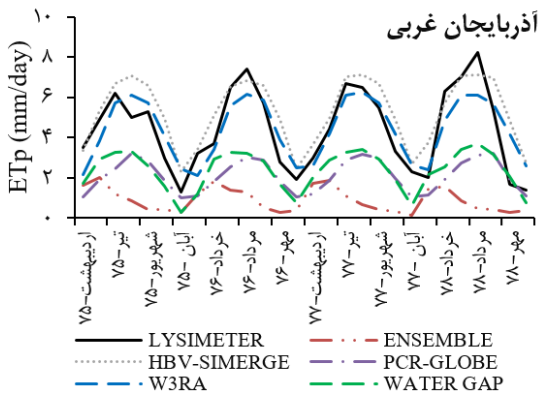
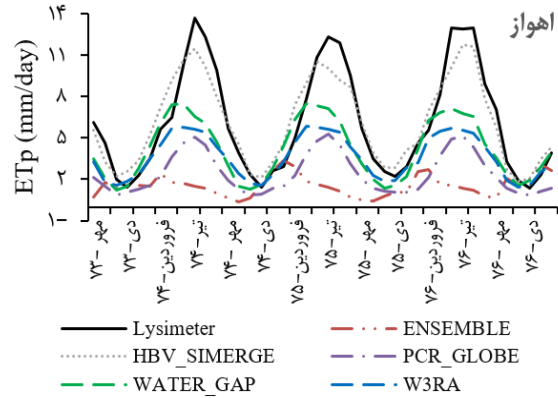
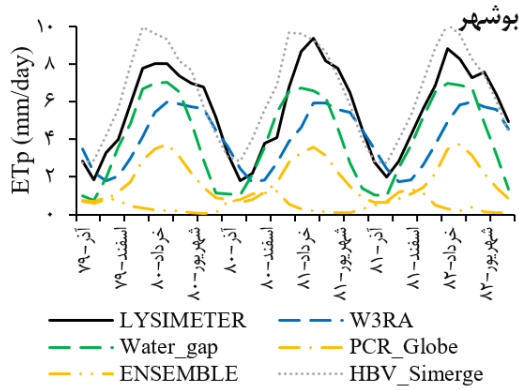
### ارزیابی عملکرد مدل‌های بازتحلیل شده جهت برآورد تبخیر و تعرق

به منظور بررسی دقیق‌تر میزان دقت مدل‌های بازتحلیل شده W3RA، HBV SIMERG، PCR\_GLOBW، WATER GAP و Ensemble، مقادیر شاخص‌های آماری RMSE، MBE و CC در محل تمامی ایستگاه‌های زمینی و نسبت به داده‌های مشاهداتی محاسبه گردید که نتایج آن در شکل‌های (۵) و (۶) و همچنین جدول (۴) نشان داده شده است. محاسبات صورت گرفته حاکی از آن است که برای مدل هیدرولوژیکی Ensemble مقدار ضریب CC در ایستگاه‌های مورد بررسی بین ۰/۰۰۱- تا ۰/۹۶ متغیر می‌باشد. همچنین مقدار متوسط این شاخص در حدود ۰/۱- است و در بین مدل‌های مورد بررسی کمترین میزان همبستگی را با داده‌های مشاهداتی لایسیمیتری داشته است. مقدار ضریب همبستگی بین داده‌های مشاهداتی و مقادیر بدست آمده از مدل بازتحلیل شده HBV-SIMERG بین ۰/۴۰- تا ۰/۶۴ متغیر بوده و متوسط آن در ایستگاه‌های مورد بررسی در حدود ۰/۶۴ است. مدل بازتحلیل شده PCR-GLOBW نیز با متوسط ضریب CC معادل ۰/۶۶ بالاترین میزان همبستگی را در بین مدل‌های مورد بررسی با داده‌های لایسیمیتری داشته و محدوده تغییرات این ضریب بین ۰/۳۳- تا ۰/۹۶ است. همچنین نتایج بدست آمده نشان داد که در صورت استفاده از داده‌های مدل بازتحلیل شده WATER-GAP مقدار ضریب CC در ایستگاه‌های مورد بررسی بین ۰/۰۹- تا ۰/۸۸ بوده و مقدار متوسط آن در حدود ۰/۵۸ می‌باشد.

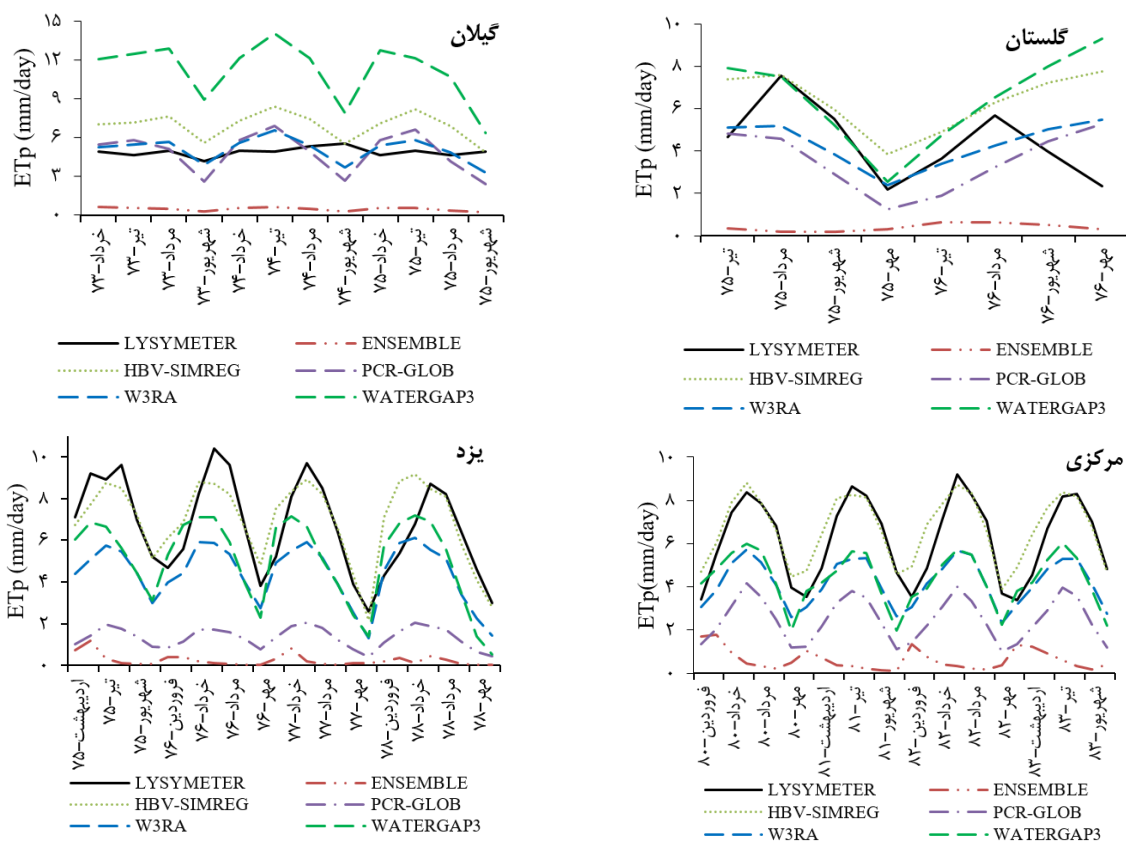


شکل ۵. توزیع مکانی شاخص آماری RMSE در محل ایستگاه‌های زمینی

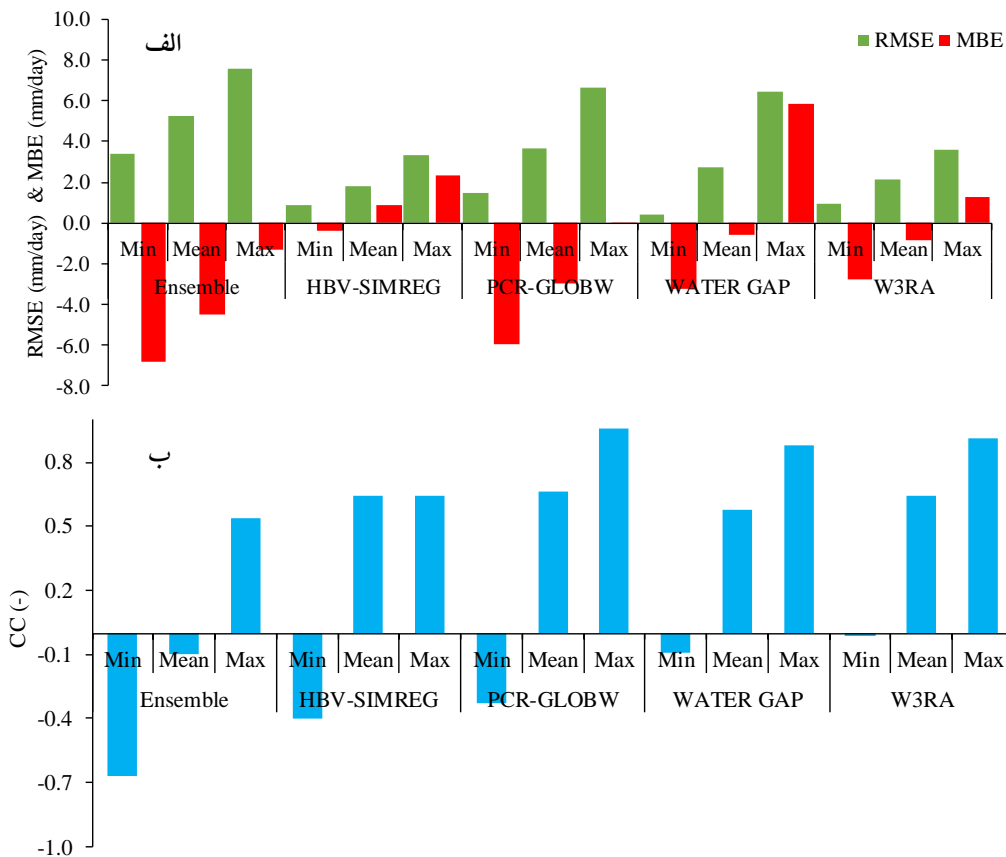




شکل ۶. تغییرات سری زمانی تبخیر و تعرق بدست آمده از مدل‌های بازتحلیل شده و داده‌های اندازه‌گیری شده توسط لایسیمتر



ادامه شکل ۶



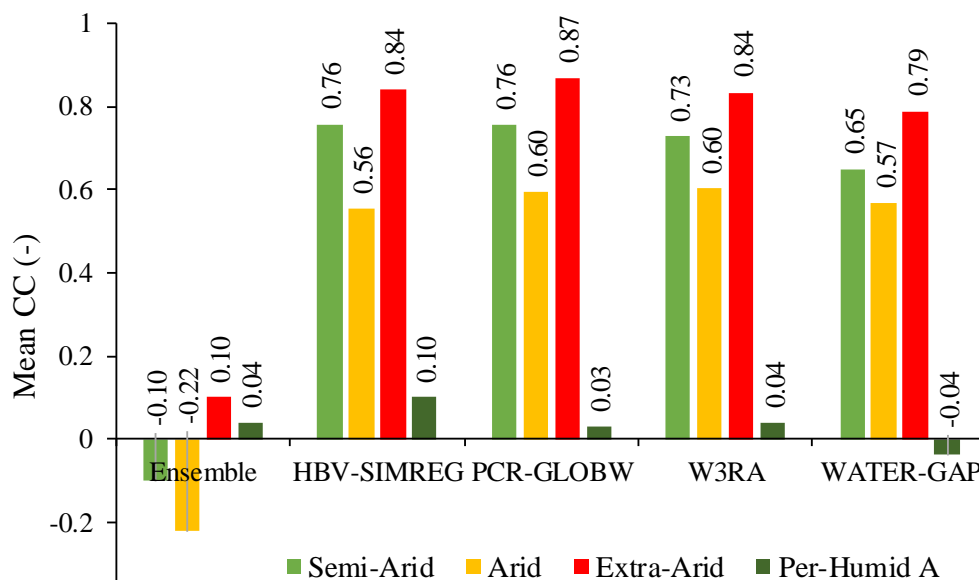
شکل ۷. مشخصات آماری مربوط به شاخص‌های RMSE و MBE (شکل الف) و CC (شکل ب) هر کدام از مدل‌ها

بررسی کارایی مدل‌های بازتخلیل شده بر اساس اقلیم  
ایستگاه‌های مورد مطالعه

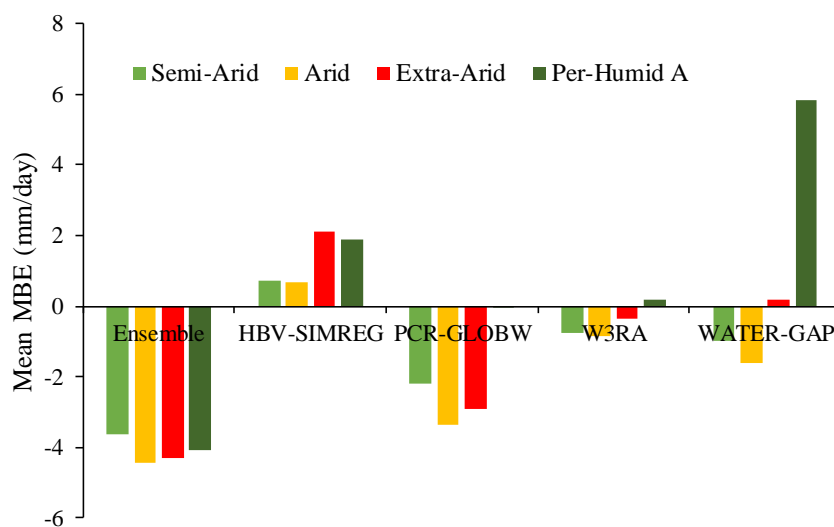
همانطور که عنوان شد، در این پژوهش از روش دومارتن اصلاح شده توسط (Rahimi et al. 2013) برای طبقه‌بندی اقلیمی ایران استفاده شده است. در این بخش به بررسی عملکرد مدل‌های بازتخلیل شده بر اساس اقلیم هر کدام از ایستگاه‌های مورد مطالعه پرداخته شده است. بر اساس شاخص CC (شکل ۸)، میزان همبستگی بین نتایج حاصل از عمده مدل‌های بازتخلیل شده به جز مدل Ensemble در اقلیم‌های نیمه خشک و خیلی خشک (بیش از ۷۵ درصد ایستگاه‌های مورد مطالعه در این دو اقلیم قرار می‌گیرند) با داده‌های اندازه‌گیری شده زمینی بسیار بالا بوده و مقدار این شاخص همواره بالاتر از ۰/۶۵ می‌باشد. همچنین در اقلیم مرطوب نوع A نیز عملکرد هیچ کدام از مدل‌های مورد استفاده قابل توجه نبوده و عملاً از توانائی لازم برای برآورد تبخیر و تعرق در این اقلیم برخوردار نمی‌باشند. تحلیل نتایج بر اساس شاخص MBE (شکل ۹) نیز حاکی از آن است که داده‌های بدست آمده از مدل W3RA نسبت به دیگر مدل‌ها از کمترین میزان اریب نسبت به داده‌های زمینی برخوردار می‌باشند و

این در حالیست که مدل Ensemble تمایل به کم برآوردی بسیار زیادی دارد. از میان دو مدل دیگری که دارای بالاترین میزان همبستگی با داده‌های لایسیمیتری هستند، مدل HBV-SIMREG تمایل به بیش برآوردی قابل توجهی به ویژه در اقلیم‌های خیلی خشک و مرطوب نوع A دارند. همچنین خروجی‌های بدست آمده از این مدل در دو اقلیم نیمه خشک و خشک دارای بیش برآوردی نسبتاً کمی می‌باشد. برخلاف مدل مذکور، نتایج بدست آمده از مدل PCR-GLOBW در تمامی اقلیم‌های مورد مطالعه (به ویژه اقلیم‌های خشک و خیلی خشک) مقدار تبخیر و تعرق را با کم برآوردی نسبتاً زیادی شبیه‌سازی نموده است.

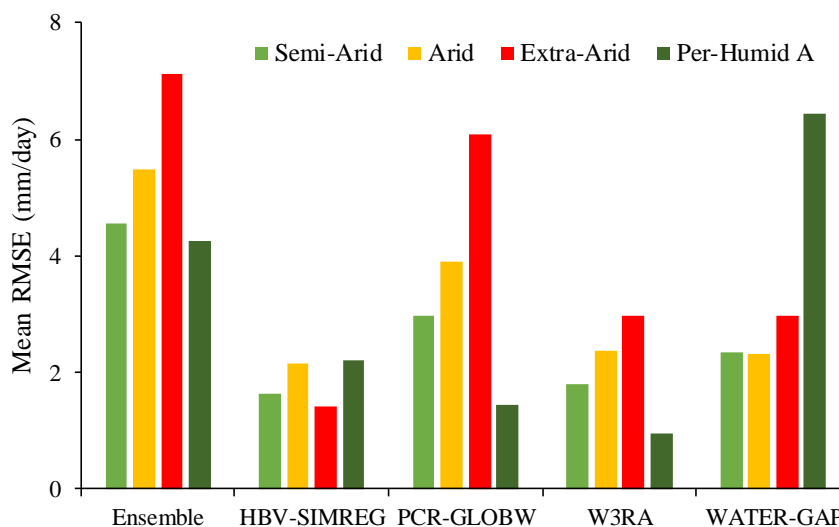
در نهایت ارزیابی نتایج بر اساس شاخص RMSE (شکل ۱۰) نیز موید این مطلب است که مدل بازتخلیل شده HBV-SIMREG نسبت به مدل‌های دیگر از خطای نسبتاً کمی در برآورد مولفه تبخیر و تعرق در تمامی اقلیم‌های مورد بررسی برخوردار می‌باشد و این درحالیست که مدل PCR-GLOBW علی‌رغم همبستگی بسیار بالا با داده‌های لایسیمیتری دارای خطای زیادی است.



شکل ۸. مقدار متوسط شاخص CC هر کدام از مدل‌های بازتخلیل شده در اقلیم‌های مختلف



شکل ۹. مقدار متوسط شاخص MBE هر کدام از مدل‌های بازتحلیل شده در اقلیم‌های مختلف



شکل ۱۰. مقدار متوسط شاخص RMSE هر کدام از مدل‌های بازتحلیل شده در اقلیم‌های مختلف

W3RA نسبت به نتایج بدست آمده از روش پنمن-مانتیت از عملکرد به مراتب بهتری برخوردار هستند. به عنوان مثال، ضریب همبستگی بین داده‌های مشاهداتی و مقادیر محاسبه شده با روش پنمن-مانتیت همانند مدل‌های مذکور همواره بالاتر از ۰/۶۶ می‌باشد. علی‌رغم همبستگی مناسب با داده‌های مشاهداتی، مقادیر بدست آمده از روش پنمن-مانتیت برخلاف دو مدل بازتحلیل شده HBV-SIMREG و W3RA دارای خطای نسبتاً زیادی می‌باشد. طبق محاسبات انجام شده، متوسط شاخص RMSE در صورت استفاده از روش پنمن-مانتیت در حدود ۳/۰۷ میلی‌متر در روز می‌باشد و این در حالیست که برای دو

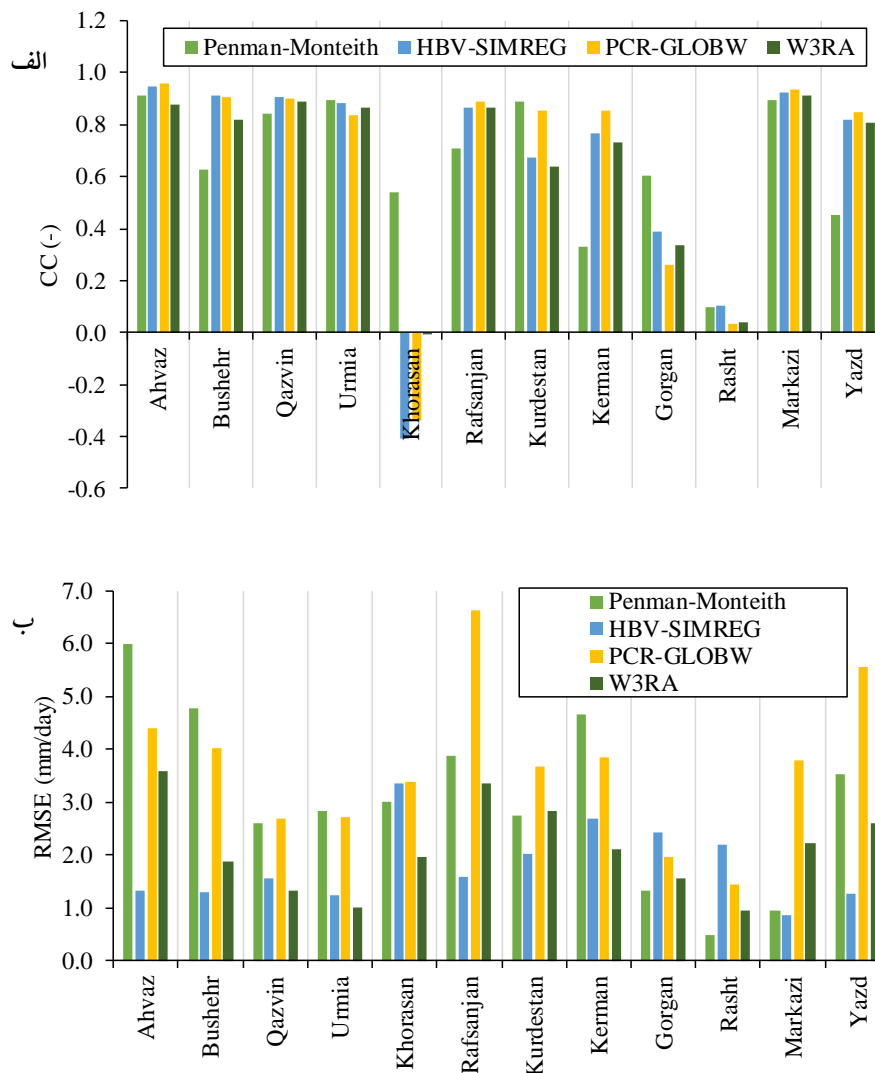
ارزیابی دقت روش پرکاربرد پنمن-مانتیت در برآورد

#### تبخیر و تعرق

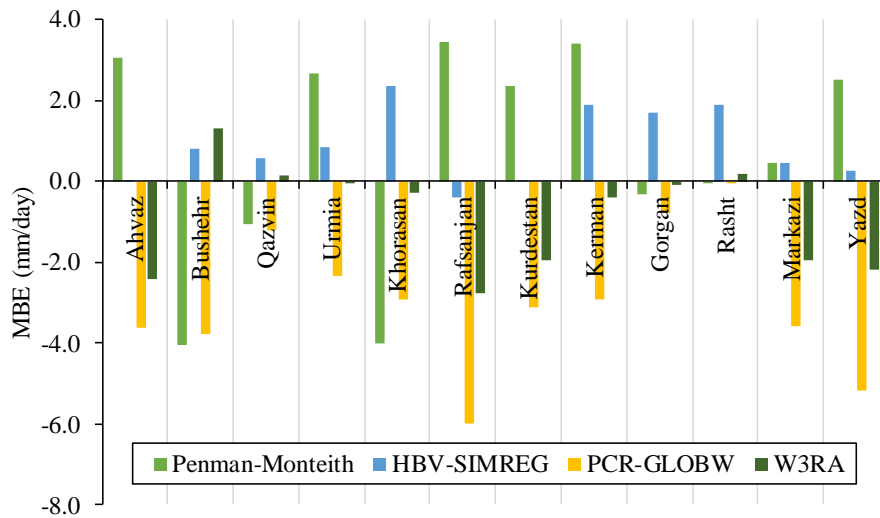
همان‌طور که عنوان شد، به دلیل عدم وجود داده‌های لایسیمتری، زمان بر بودن و نیاز به هزینه بالای اجرایی، در بسیاری از تحقیقات از مدل‌های تجربی به ویژه روش متداول و پرکاربرد پنمن-مانتیت برای برآورد تبخیر و تعرق استفاده می‌شود. لذا در این بخش به ارزیابی کارایی روش مذکور و نیز مقایسه عملکرد آن نسبت به مدل‌های بازتحلیل شده پرداخته شده است. بررسی محاسبات بعمل آمده حاکی از آن است که داده‌های تبخیر و تعرق شبیه‌سازی شده توسط دو مدل HBV-SIMREG و

شده HBV-SIMREG و W3RA جهت استفاده در یک حوضه فاقد آمار و یا دارای آمار ناکافی از اولویت به مراتب بهتری نسبت به روشهای تجربی که نیازمند داده‌های ورودی زیادی هستند، برخوردار می‌باشند. یکی از علل برتری مدل‌های بازتخلیل شده نسبت به روشهای تجربی، بروزسانی خروجی و ورودی مدل‌های مذکور در بازه‌های زمانی مختلف با استفاده از داده‌های زمینی می‌باشد که منجر به برآورد صحیح هر کدام از مولفه‌های هیدرولوژیکی و اقلیمی می‌گردد.

مدل مذکور مقدار این شاخص به ترتیب در حدود ۱/۸۲ و ۲/۱۱ میلی‌متر در روز بدست آمده است. همچنین بر اساس شاخص MBE نیز میزان بیش‌برآوردی و کم‌برآوردی روش پنمن-مانتیت نسبت به دو مدل مذکور نسبتاً بالا می‌باشد. محاسبات نشان می‌دهد که شاخص MBE بدست آمده از روش مذکور به ترتیب ۲/۵ و ۲ برابر مقدار بدست آمده از دو مدل HBV-SIMREG و W3RA می‌باشد. در یک جمع‌بندی کلی می‌توان چنین عنوان نمود که نتایج بدست آمده از دو مدل بازتخلیل



شکل ۱۱. مقادیر شاخص‌های آماری CC (الف)، RMSE (ب) در محل ایستگاه‌های مورد بررسی براساس نتایج بدست آمده از مدل‌های بازتخلیل شده و روش پنمن-مانتیت



شکل ۱۲. مقادیر شاخص‌های آماری MBE در محل ایستگاه‌های مورد بررسی براساس نتایج بدست آمده از مدل‌های بازتحلیل شده و روش پنمن - مانتیث

### نتایج و بحث

با توجه به اهمیت برآورد صحیح تبخیر و تعرق در بسیاری از مطالعات مرتبط با منابع آب همچون برآورد نیاز آبی محصولات کشاورزی، مطالعات بیلان آن و مدل‌سازی هیدرولوژیکی، پژوهش حاضر با هدف ارزیابی کارایی مدل‌های بازتحلیل شده W3RA، HBV-SIMREG و WATER-GAP، PCR\_GLOBWB، SIMERG در مقیاس ماهانه (در بازه زمانی ۱۳۷۱ تا ۱۳۸۳) و با استفاده از داده‌های اندازه‌گیری شده زمینی در ۱۲ ایستگاه مختلف در سطح کشور ایران به انجام رسیده است. همچنین بررسی عملکرد روش تجربی و پرکاربرد پنمن-مانتیث در اقلیم‌های مختلف ایران نیز از دیگر اهداف این تحقیق می‌باشد. نتایج نشان داد که دو مدل بازتحلیل شده HBV-SIMREG و W3RA به ترتیب از خطای کمتر و همبستگی بسیار بالایی با داده‌های بدست آمده بدست آمده از لایسیت‌های زمینی برخوردار می‌باشند. همچنین تحلیل نتایج بر اساس شاخص MBE نیز نشان داد که داده‌های بدست آمده از مدل W3RA نسبت به دیگر مدل‌ها از کمترین میزان اریب نسبت به داده‌های زمینی برخوردار می‌باشد و به همین خاطر

می‌تواند به عنوان جایگزین مناسب برای داده‌های لایسیت‌ها به ویژه در حوضه‌های فاقد آمار باشد. ارزیابی نتایج در اقلیم‌های مختلف نیز نشان داد که مدل بازتحلیل شده HBV-SIMREG نسبت به مدل‌های دیگر از خطای نسبتاً کمی در برآورد مولفه تبخیر و تعرق برخوردار می‌باشد و این درحالیست که مدل PCR-GLOBWB علی‌رغم همبستگی بسیار بالا با داده‌های لایسیت‌ها دارای خطای زیادی است. نتایج بدست آمده از ارزیابی عملکرد روش تجربی پنمن-مانتیث نیز نشان داد که این روش دارای خطای نسبتاً زیادی بوده و نسبت به دو مدل بازتحلیل شده HBV-SIMREG و W3RA از کارایی به مراتب کمتری جهت استفاده در یک حوضه فاقد آمار و یا دارای آمار ناکافی برخوردار می‌باشد. یافته‌های این پژوهش به خوبی گویای این مطلب است که مولفه‌های هیدرولوژیکی و اقلیمی شبیه‌سازی شده توسط مدل‌های بازتحلیل شده را می‌توان به عنوان یک داده جایگزین و یا مکمل برای داده‌های زمینی به ویژه در مطالعات منابع آب، مدل‌سازی هیدرولوژیکی و حتی پیش وضعیت خشکسالی مدنظر قرار داد.

## منابع مورد استفاده

- Alcamo, J., Henrichs, T. and Rösch, T. 2000. World Water in 2025 -Global Modeling Scenario Analysis for the World Commission of Water for the 21st Century. Kassel, Ger. Cent. Environ. Syst. Res. Univ. Kassel
- Allen R. G., Raes, L. S. and Smith, M. 1998. Crop Evapotranspiration Guidelines for Computing Crop Water Requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 56, FAO, Rome, Italy. 301 p.
- Allen, R.G. Tasumi, M. Trezza, R. 2007. Satellite-based energy balance for mapping evapotranspiration with internalized calibration (METRIC)—model. Journal of Irrigation and Drainage Engineering 133, 380–394
- Bastianssen, W. G. M, and Chandrapala, L. 2003. water balance variability across Sri Lanka for assessing agricultural and environmental water use. Agric Water management 58(2):171-191.
- Beck, H. E., van Dijk, A. I. J. M., de Roo, A., Miralles, D. G., McVicar, T. R., Schellekens, J., and Bruijnzeel, L. A.. 2016. Global-scale regionalization of hydrologic model parameters, Water Resour. Res., 52, 3599–3622.
- Beck, H.E., Van Dijk, A.I.J.M., De Roo, A., Dutra, E., Fink, G., Orth, R. and Schellekens, J. 2017. Global evaluation of runoff from 10 state-of-the-art hydrological models. Hydrology and Earth System Sciences, 21: 2881–2903.
- Chow V.T, Maidment D.R, Mays L.W, 1988: Applied Hydrology, illustrate. ed. Mc graw-Hill Higher Education, New York, NY.
- Corzo Perez, G.A., Van Huijgevoort, M.H.J., Voß, F., Van Lanen, H.A.J., 2011. On the spatio-temporal analysis of hydrological droughts from global hydrological models. Hydrology and Earth System Sciences, 15: 2963–2978.
- Dutra, E., Balsamo, G. and Calvet, J.-C. 2017. Report on the improved Water Resources Reanalysis Global Earth Observation for integrated water resource assessment Report on the improved Water Resources Reanalysis.
- Khan, M. Waqas Liaqat, U. Baik, J. Choi, M. 2018. Stand-alone uncertainty characterization of GLEAM, GLDAS and MOD16 evapotranspiration products using an extended triple collocation approach. Agricultural and Forest Meteorology 252 (2018) 256–268.
- Kim, H., Parinussa, R., Konings, A.G., Wagner, W., Cosh, M.H., Lakshmi, V., Zohaib, M., Choi, M., 2018. Global-scale assessment and combination of SMAP with ASCAT (active) and AMSR2 (passive) soil moisture products. Remote Sens. Environ. 204, 260–275.
- Koohi, S. Azizian, A. Brocca, L. 2018. Evaluating the efficiency of earth2Observe reanalysis models and VIC-3L for estimation of runoff. J. water and soil resources conservation, vol 8, No.4
- Lindström, G., Johansson, B., Persson, M., Gardelin, M., and Bergström, S. 1997. Development and test of the distributed HBV-96 hydrological model, J. Hydrol., 201, 272–288.
- López López, P., Sutanudjaja, E.H., Schellekens, J., Sterk, G. and Bierkens, M.F.P. 2017. Calibration of a Large-Scale Hydrological Model Using Satellite-Based Soil Moisture and Evapotranspiration Products. Hydrology and Earth System Sciences. 21(6):3125–44
- Miralles, D.G., Jiménez, C., Jung, M., Michel, D., Ershadi, A., McCabe, M.F., Hirschi, M., Martens, B., Dolman, A.J., Fisher, J.B., Mu, Q., Seneviratne, S.I., Wood, E.F., Fernández-Prieto, D., 2016. The WACMOS-ET project-part 2: evaluation of global terrestrial evaporation data sets. Hydrol. Earth Syst. Sci. 20 (2), 823–842.
- Mosaedi, A. and Ghabaei Sough, M. 2013. Evaluation of different empirical equations of the estimation of reference crop evapotranspiration in different conditions lacking measured meteorological parameters in some climatic regions of Iran. Journal of Water and Soil Conservation. 20(3)
- Rahimi J, Ebrahimpour M and Khalili A .2013. Spatial changes of extended De Martonne climatic zones affected by climate change in Iran. Theoretical and applied climatology. 112(3-4): 409-418.
- Schellekens, J. Dutra, E. Martínez-de la Torre, A. 2017. A global water resources ensemble of hydrological models: the earthH2Observe Tier-1 dataset. Earth Syst. Sci. PP. 389–413.
- Senay M, Budde J, Verdin. 2011. Enhancing the Simplified Surface Energy Balance (SSEB) approach for estimating landscape ET: Validation with the METRIC model. Journal of Agricultural Water Management 98, 606–618
- Sentelhas PC, Gillespie TJ, Santos EA .2010. Evaluation of FAO Penman–Monteith and alternative methods for estimating reference evapotranspiration with missing data in Southern Ontario, Canada. Agric Water Manage 97:635–644
- Smith, K.A. 2016. Investigating Uncertainty in Global Hydrology Modelling, Ph.D.thesis 318.
- Valipour, M., 2015. Investigation of Valiantzas' evapotranspiration equation in Iran. Theor. Appl. Climatol. 121 (1), 267–278
- Van Beek, L. P. H., Wada, Y., and Bierkens, M. F. P. 2011. Global monthly water stress: 1. Water balance and water availability, Water Resour. Res., 47, W07517.
- Van Dijk, A. I. J. M., Renzullo, L. J., Wada, Y., and Tregoning, P. 2014. A global water cycle reanalysis (2003–2012) merging satellite gravimetry and altimetry observations with a hydrological multi-model ensemble,

- Hydrol. Earth Syst. Sci., 18, 2955–2973.
- Verzano, K. 2009. Climate change impacts on flood related hydrological processes: Further development and application of a global scale hydrological model. Tech. rep., Max Planck Institute for Meteorology, Hamburg, Germany.
- Wada, Y., van Beek, L. P. H., and Bierkens, M. F. P. 2011. Modelling global water stress of the recent past: on the relative importance of trends in water demand and climate variability, Hydrol. Earth Syst. Sci., 15, 3785–3808.
- Wada, Y., van Beek, L. P. H., and Bierkens, M. F. P. (2012) Nonsustainable groundwater sustaining irrigation. 2011. A global assessment, Water Resour. Res., 48, W00L06.
- Wanders, N., van Vliet, M.T.H., Wada, Y., Bierkens, M.F.P. and van Beek, L.P.H. (Rens), 2019. High-resolution global water temperature modeling. Water Resources Research 55, 2760–2778.
- Yang X, Yong B, Ren L, Zhang Y, Long D .2017. Multiscale validation of GLEAM evapotranspiration products over China via ChinaFLUX ET measurements. International journal of Remote Sensing 38(20):5688-5709.
- Yang, Z., Zhang, Q., Yang, Y., Hao, X., Zhang, H., 2016. Evaluation of evapotranspiration models over semi-arid and semi-humid areas of China. Hydrol. Processes 30 (23), 4292–4313.
- Zhou, Y. Ma, Z. Wang, L. 2002. Chaotic dynamics of the flood series in the Huaihe River Basin for the last 500 years. Journal of Hydrology 258.100–110.
- Zhu, G., Li, X., Zhang, K., Ding, Z., Han, T., Ma, J., Huang, C., He, J., Ma, T., 2016. Multi model ensemble prediction of terrestrial evapotranspiration across north China using Bayesian model averaging. Hydrol. Processes 30 (16), 2861–2879.





## Estimation of Evapotranspiration Using Reanalysis Models based on Global Earth Observations at Distinct Climate Regions of Iran

Asghar Azizian<sup>1\*</sup>, Bahareh BahmanAbadi<sup>2</sup> and Mehnoosh Jenab<sup>3</sup>

1\*) Assistant Professor, Water Engineering Department, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Imam Khomeini International University (IKIU), Qazvin, Iran.

\*Corresponding author email: azizian@eng.ikiu.ac.ir

2 and 3) PhD student of Irrigation and Drainage, Water Engineering Department, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Imam Khomeini International University (IKIU), Qazvin, Iran.

Received: 02-05-2020

Accepted: 26-07-2020

### Abstract

Accurate estimation of evapotranspiration is one of the most important issues in water balance calculation at the catchment and field scale. The lack of meteorological observations for using empirical methods and the high costs of measuring evapotranspiration using lysimeter restricts the usability of these methods in most cases. To tackle these problems, this research addressed the performance of reanalysis models including W3RA, HBV-SIMREG, PCR-GLOBW, WATER-GAP, and Ensemble for estimation of evapotranspiration at different climate regions of Iran. Besides, the reference evapotranspiration for assessment of the above models obtained using lysimeter measurements. Findings showed that in most cases studies the Ensemble model's performance with the RMSE value ranges from 3.42 to 7.57 mm/day is the weakest one, while the results of HBV-SIMREG and W3RA show the best agreements with lysimeter dataset. Analyzing the outputs based on mean bias error (MBE) depicted that the estimated evapotranspiration based on W3RA and Ensemble have the minimum and maximum bias, respectively. As an overall conclusion, although results indicate that PCR-GLOBW has the maximum correlation coefficient (CC) with the reference datasets, HBV-SIMREG is the best and reliable model for estimation of evapotranspiration in most climate regions of Iran and can be considered as an alternative dataset, especially in data-limited areas.

**Keywords:** Hydrological models, Penman-Monteith, Water balance, Water requirement.