



Evaluation of actual and potential evapotranspiration in global products across Iran's sub basins

Pardis Nikdad¹ | Mehdi Mohammadi Ghaleni^{2✉} | Mahnoosh Moghaddasi³

1. Department of Water Science and Engineering, Arak University, Arak, Iran. E-mail: pardis78nk@gmail.com

2. Corresponding Author, Department of Water Science and Engineering, Arak University, Arak, Iran. E-mail: m-mohammadighaleni@araku.ac.ir

3. Department of Water Science and Engineering, Arak University, Arak, Iran. E-mail: m-moghaddasi@araku.ac.ir

Article Info

ABSTRACT

Article type: Research Article

Article history:

Received: Apr. 10, 2023

Revised: June. 1, 2023

Accepted: June. 10, 2023

Published online: July. 23, 2023

Keywords:

Climate of Subbasin,
Empirical Equations,
Evapotranspiration,
Global Gridded Database.

The purpose of the research is to evaluate the global gridded products database for two variables of actual (ET_a) and potential evapotranspiration (ET_p) across Iran's sub-basins. For this purpose, the daily meteorological data were collected from 100 synoptic stations around the Iran during 1987-2019. The six products including TERRA, CRU, ERA5, GLEAM, GLDAS and MERRA with 0.5×0.5 spatial resolution were compared to ET_a and ET_p in 30 sub basins. To assess the performance of six popular ET products, across Iran's sub basins on monthly scale, the Mean Bias Error (MBE), Pearson correlation coefficient (R) and Normalized Root Mean Square Error (NRMSE), of each product were calculated at the basin scale. The results show that more accuracy of products in ET_p in comparison with ET_a especially in July, August and September months. The more underestimate of ET_a was accrued in hyper arid sub basins (e.g. Baluchistan with MBE equal to -34 mm per month). While, the more underestimate of ET_p products were achieved in humid basins e.g. Haraz sub basin with MBE= -13 mm per month. The high underestimate of ET_p were calculated to GLEAM product in June, July and August with -100 mm month⁻¹. The high correlation between ET_a observed and reanalysis are belonging to TERRA and ERA5 in Winter and Spring-Summer period, respectively. Based on NRMSE, results indicated that more accuracy of ET_p comparison with ET_a products with 0.19 (Excellent and Good) and 0.89 (poorly weak), respectively.

Cite this article: Nikdad, P., Mohammadi Ghaleni, M., & Moghaddasi, M. (2023) Evaluation of actual and potential evapotranspiration in global products across Iran's sub basins, *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 54 (5), 789-810. <https://doi.org/10.22059/ijswr.2023.357603.669481>

© The Author(s).

Publisher: University of Tehran Press.

DOI: <https://doi.org/10.22059/ijswr.2023.357603.669481>



ارزیابی داده‌های تبخیر و تعرق واقعی و پتانسیل پایگاه‌های جهانی به تفکیک حوضه‌های آبریز درجه دو ایران

پردیس نیک‌داد^۱ | مهدی محمدی قلعه‌نی^۲ | مه‌نوش مقدسی^۳۱. گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی و محیط زیست، دانشگاه اراک، اراک، ایران، رایانامه: pardis78nk@gmail.com۲. نویسنده مسئول، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی و محیط زیست، دانشگاه اراک، اراک، ایران رایانامه: m-mohammadi@araku.ac.ir۳. گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی و محیط زیست، دانشگاه اراک، اراک، ایران رایانامه: m-moghaddasi@araku.ac.ir

اطلاعات مقاله

چکیده

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱/۲۱

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۳/۱۱

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۳/۲۰

تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۵/۱

واژه‌های کلیدی:

اقلیم حوضه،

تبخیر و تعرق،

داده‌های شبکه‌بندی شده جهانی،

روابط تجربی.

هدف از پژوهش حاضر ارزیابی پایگاه داده‌های شبکه‌بندی شده جهانی برای دو متغیر تبخیر و تعرق واقعی (ETA) و پتانسیل (ETp) در گستره‌ی ۳۰ حوضه‌ی آبریز درجه دو کشور است. در این راستا پس از محاسبه مقادیر تبخیر و تعرق واقعی و پتانسیل با استفاده از داده‌های روزانه هواشناسی در ۱۰۰ ایستگاه سینوپتیک کل کشور با کمک روابط تجربی، این مقادیر با داده‌های ۶ پایگاه جهانی تبخیر و تعرق شامل پایگاه‌های GLEAM, ERA5, CRU, TERRA, MERRA و GLDAS مقایسه شدند. ارزیابی دقت پایگاه‌ها با استفاده از معیارهای آماری ضریب همبستگی (R)، میانگین خطای اریبی (MBE) و RMSE نرمال شده (NRMSE) به تفکیک ۱۲ ماه مختلف سال و سری زمانی کل برای دوره ۲۰۱۹-۱۹۸۷ به تفکیک حوضه‌های آبریز انجام شد. به طور کلی نتایج حاکی از دقت بیشتر پایگاه داده‌ها برای متغیر ETp نسبت به متغیر ETA به خصوص در ماه‌های جولای، آگوست و سپتامبر (فصل تابستان) است. معیار MBE حاکی از کم‌برآورد مقادیر ETA در حوضه‌های با اقلیم فراخشک، کمترین مقدار برابر ۳۴- میلی‌متر در ماه در حوضه بلوچستان، و بالعکس آن کم‌برآورد مقادیر ETp در حوضه‌های مرطوب، کمترین مقدار برابر ۱۳- میلی‌متر در ماه در حوضه هراز، می‌باشد. مقادیر ضریب همبستگی پیرسون حاکی از همبستگی بیشتر پایگاه ERA5 نسبت به سایر پایگاه‌ها برای دو متغیر ETA و ETp به خصوص در ماه‌های ژانویه، فوریه و مارس در حوضه‌های شمالی کشور است. میانگین مقادیر شاخص NRMSE برای متغیرهای ETA و ETp به ترتیب برابر به ترتیب ۰/۸۹ و ۰/۱۹ است که حاکی از دقت خوب و عالی برای مقادیر ETp پایگاه‌ها و دقت بسیار ضعیف برای مقادیر ETA می‌باشد.

استناد: نیک‌داد؛ پردیس، محمدی قلعه‌نی؛ مهدی، مقدسی؛ مه‌نوش، (۱۴۰۲). ارزیابی داده‌های تبخیر و تعرق واقعی و پتانسیل پایگاه‌های جهانی به تفکیک حوضه‌های آبریز

درجه دو ایران، مجله تحقیقات آب و خاک ایران، ۵۴ (۵)، ۷۸۹-۸۱۰. <https://doi.org/10.22059/ijswr.2023.357603.669481>

© نویسندگان.

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

DOI: <https://doi.org/10.22059/ijswr.2023.357603.669481>

مقدمه

تبخیر و تعرق^۱ (ET) به عنوان یکی از مولفه‌های بیلان آب، همواره یکی از متغیرهای مورد توجه محققان علوم آب و خاک بوده است. این متغیر از دو جزء اصلی شامل تبخیر^۲ (E) و تعرق^۳ (T) تشکیل شده است. جزء تبخیر خود شامل تبخیر از سطح خاک بدون پوشش، تبخیر از برگ‌ها، تبخیر از سطح آزاد آب، تبخیر از سطوح برفی و یخی و تعرق شامل تعرق از سطح پوشش گیاهی تشکیل شده است. تبخیر و تعرق دارای انواع مختلفی از جمله تبخیر و تعرق گیاه مرجع^۴ (ET_o)، تبخیر و تعرق گیاه زراعی^۵ (ET_c)، تبخیر و تعرق پتانسیل^۶ (ET_p) و تبخیر و تعرق واقعی^۷ (ET_a) است. انواع تبخیر و تعرق در فرآیندهای حاکم بر آن، روش‌های برآورد و کاربردها با یکدیگر متفاوت می‌باشند. از جنبه کاربردها، ET_o در برآورد ET_c و در زمینه برآورد نیاز آبی گیاهان در بخش کشاورزی، ET_p در مدل‌های هیدرولوژیکی و خشکسالی و ET_a در بیلان‌بندی چرخه‌ی آب کاربرد بیشتری دارند (Xiang et al., 2020).

دو چالش عمده در مسئله‌ی برآورد دقیق تبخیر و تعرق مطرح است. اولین چالش مشکل بودن اندازه‌گیری دقیق اجزاء مختلف پارامتر تبخیر و تعرق است. تنها پارامتری که از اجزاء تبخیر و تعرق اندازه‌گیری می‌شود، مقدار تبخیر از سطح آزاد آب با استفاده از اندازه‌گیری تبخیر از تشت^۸ (E_p) می‌باشد. سایر مولفه‌های تبخیر و تعرق به‌خصوص تعرق از سطوح پوشش گیاهی به راحتی قابل اندازه‌گیری نمی‌باشند. مسئله‌ی دوم، برآورد دقیق انواع تبخیر و تعرق شامل تبخیر و تعرق پتانسیل، گیاه مرجع، گیاه زراعی و در نهایت تبخیر و تعرق واقعی است. تبخیر و تعرق پتانسیل با استفاده از روش‌های مختلف و با استفاده از متغیرهای هواشناسی قابل برآورد می‌باشد که در بین این روش‌های معادله پنمن-مانتیت فائو^۹ از سایر روش‌ها دقیق‌تر و پرکاربردتر است (dos Santos Farias et al., 2020). اندازه‌گیری تبخیر و تعرق واقعی با استفاده از روش‌های مختلفی قابل برآورد است که در این بین استفاده از انواع لایسی‌مترها دقیق‌تر اما نیازمند صرف زمان و هزینه می‌باشند (Shirmohammadi-Aliakbarhani and Saberali, 2020).

یک راهکار در راستای حل چالش‌های ذکر شده، استفاده از داده‌های تبخیر و تعرق پایگاه‌های شبکه‌بندی شده‌ی جهانی است. البته که داده‌های این پایگاه‌ها نیز می‌توانند دارای مسائلی مانند عدم قطعیت و یا دقت کم باشند، اما از مهم‌ترین مزایای آنها جهانی بودن، دسترسی آسان، انواع تفکیک مکانی مختلف و کامل بودن در سری‌های زمانی مختلف از ساعتی تا سالانه است. با توجه به این مزایا، با ارزیابی داده‌های این پایگاه‌های جهانی می‌توان از آنها در زمینه‌های مختلف علوم آب و خاک استفاده کرد (Moshir Panahi et al., 2021).

تحقیق حاضر در نظر دارد داده‌های پارامترهای ET_a و ET_p را در ۶ پایگاه جهانی، با مقادیر ET_a و ET_p برآورد شده با استفاده از داده‌های اندازه‌گیری شده در ایستگاه‌های هواشناسی سینوپتیک در سطح حوضه‌های آبریز درجه دو ایران مقایسه و دقت آنها را بررسی کند. بر این اساس مهم‌ترین اهداف این پژوهش شامل (۱) برآورد مقادیر ET_a و ET_p با استفاده از داده‌های روزانه اندازه‌گیری شده در ۱۰۰ ایستگاه سینوپتیک و تعمیم آنها به سطح حوضه‌های آبریز درجه دو (۲) برآورد حوضه‌ای پارامترهای ET_a و ET_p با استفاده از داده‌های ۶ پایگاه جهانی و (۳) ارزیابی دقت پارامترهای ET_a و ET_p پایگاه‌ها با مقادیر برآورد شده با استفاده از داده‌های هواشناسی است.

پیشینه پژوهش

در زمینه تبخیر و تعرق تحقیقات زیادی از جنبه‌های مختلفی مانند مدل‌سازی تبخیر و تعرق با استفاده از روابط تجربی و ماشین‌های یادگیری انجام شده است. یکی از موضوعاتی که در سالین اخیر با توسعه پایگاه داده‌های شبکه‌بندی شده جهانی مورد توجه محققان قرار گرفته است، مقایسه دقت تبخیر و تعرق با استفاده از داده‌های زمینی، بازتحلیل شده و ماهواره‌ای در مناطق مختلف جهان می‌باشد.

امین فنک و همکاران (۱۴۰۱) به ارزیابی عملکرد محصولات تبخیر و تعرق با استفاده از روش فائو پنمن مانیتیت در حوضه آبریز زاینده‌رود پرداختند. نتایج آنها حاکی از کم‌برآورد مدل GLEAM^۹ با محدوده میانگین خطای اریبی (MBE)، از ۷۳- تا ۸۵- میلی‌متر در ماه بوده است. Liu et al., (2023) پایگاه داده‌های مختلف ET را در چند حوضه در سرتاسر جهان با یکدیگر مقایسه کردند. نتایج آنها حاکی

1 Evapotranspiration (ET)

2 Evaporation (E)

3 Transpiration (T)

4 Reference Crop Evapotranspiration (ET_o)

5 Crop Evapotranspiration (ET_c)

6 Potential Evapotranspiration (ET_p)

7 Actual Evapotranspiration (ET_a)

8 Pan Evaporation (E_p)

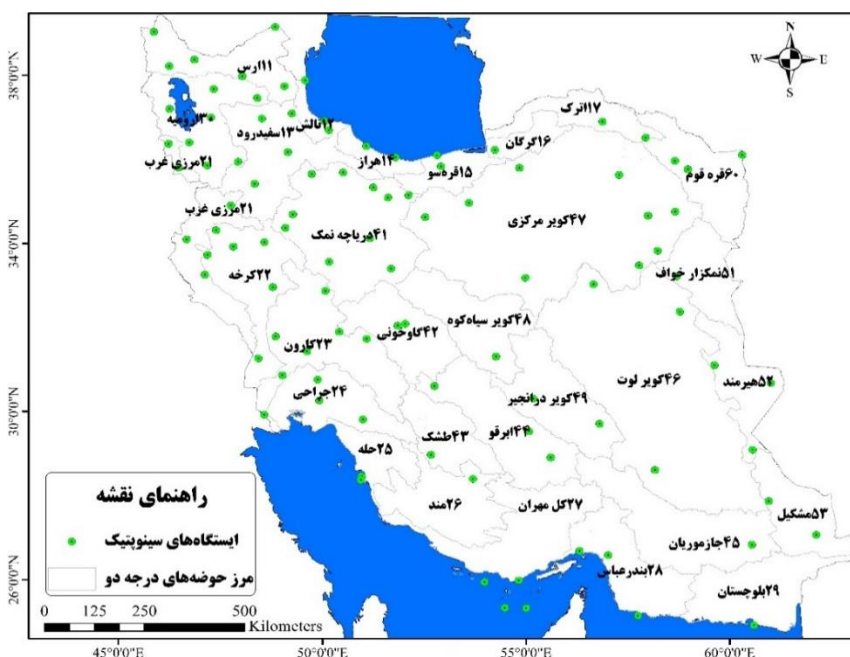
9 Global Land Evaporation Amsterdam Model (GLEAM)

سینوپتیک و داده‌های ماهانه ET_a و ET_p در پایگاه‌های جهانی در محدوده کشور ایران، (۲) محاسبه ET_a و ET_p ماهانه بر اساس معادلات تجربی با استفاده از داده‌های روزانه ایستگاه‌های سینوپتیک، (۳) تبدیل سری زمانی داده‌های ماهانه ET_a و ET_p مشاهده‌ای ایستگاهی و داده‌های سلولی پایگاه‌ها به تفکیک ۳۰ حوضه آبریز درجه دو کشور و (۴) محاسبه معیارهای آماری به تفکیک ۱۲ ماه و سری زمانی متوالی طی دوره ۳۳ ساله (۲۰۱۹-۱۹۸۷ و ۵) مقایسه دقت داده‌های پایگاه‌ها به صورت زمانی (به تفکیک ۱۳ سری زمانی و ۳۰ حوضه آبریز) انجام شده است.

داده‌های مورد استفاده و محدوده مورد مطالعه

واحدهای مطالعاتی در تحقیق حاضر با توجه به واحد مطالعاتی پایه در تحقیقات وزارت نیرو، ۳۰ حوضه آبریز درجه دو ایران در نظر گرفته شده است. مشخصات حوضه‌های آبریز ۳۰ گانه درجه دو کشور توسط وزارت نیرو مشخص و در نشریه شماره ۳۱۰ توضیح داده شده است (وزارت نیرو، ۱۳۹۱). اقلیم‌بندی شاخص خشکی^۱ ($AI=P/ET_p$)، بر اساس نسبت میانگین بارش سالانه (P) به میانگین تبخیر تعرق پتانسیل سالانه (ET_p) انجام می‌شود. بر اساس مقدار AI اقلیم ایران به پنج طبقه فراهشک ($P/ET_p < 0.03$)، خشک ($0.03 < P/ET_p < 0.20$)، نیمه‌خشک ($0.20 < P/ET_p < 0.50$)، نیمه‌مرطوب ($0.50 < P/ET_p < 0.75$) و مرطوب ($P/ET_p > 0.75$) تقسیم‌بندی می‌شود (Tsirios et al., 2020; UNESCO, 1979). در جدول (۱) حوضه‌ها از کمترین مقدار شاخص خشکی (اقلیم فراهشک) به بیشترین مقدار شاخص خشکی (اقلیم مرطوب) مرتب شده است.

در بین حوضه‌های آبریز درجه دو کشور، بیشترین و کمترین مساحت مربوط به حوضه‌های کویر مرکزی و رودخانه‌های تالش به ترتیب برابر با ۲۲۶/۵ و ۷/۰ هزار کیلومتر مربع است. حوضه هراز قره‌سو با میانگین دمای ۱۲/۳ و حوضه قره‌قوم با ۲۶/۵ درجه سانتی‌گراد به ترتیب سردترین و گرم‌ترین حوضه‌های کشور می‌باشند. در حالی که بیشترین بارش مربوط به حوضه رودخانه‌های تالش با میانگین بارش ۹۸۶ میلی‌متر در سال است، این حوضه کمترین مقدار تبخیر و تعرق پتانسیل سالانه را برابر ۹۶۹ میلی‌متر در سال به خود اختصاص داده است. حوضه رودخانه‌های تالش (کد ۱۲)، تنها حوضه آبریز درجه دو کشور در بین حوضه‌های ۳۰ گانه است که مقدار بارش سالانه در آن بیشتر از مقدار تبخیر و تعرق پتانسیل سالانه در آن است. کمترین بارش و بیشترین مقدار تبخیر و تعرق پتانسیل سالانه در بین حوضه‌های جدول ۱، مربوط به حوضه هامون هیرمند و حوضه بلوچستان جنوبی به ترتیب برابر با ۹۸ و ۳۸۳۷ میلی‌متر در سال است. Dinpashoh (2006) نیز بیش از ۳۳ برابر بودن مقدار ET را نسبت به مقدار بارش در برخی مناطق جنوب شرقی ایران گزارش کرده است. نقشه محدوده مورد مطالعه در پژوهش حاضر به تفکیک حوضه‌های مورد مطالعه در شکل ۲، ارائه شده است.



شکل ۲. نقشه حوضه‌های آبریز مورد مطالعه به همراه موقعیت ایستگاه‌های سینوپتیک مورد استفاده

جدول ۱. مشخصات حوضه‌های آبریز درجه دو مورد مطالعه پژوهش حاضر در ایران طی دوره ۱۹۸۷-۲۰۱۹

اقلیم حوضه	کد	نام حوضه	مساحت (هزار کیلومتر مربع)	دمای میانگین (درجه سانتی‌گراد)	بارش (میلی‌متر در سال)	تبخیر و تعرق پتانسیل (میلی‌متر در سال)	شاخص خشکی	
شمالی	۴۸	کویر سیاه‌کوه	۴۸٫۶	۱۹٫۰	۸۰	۳۱۰۲	۰٫۰۳	
	۴۹	کویر درانجیر	۵۰٫۷	۱۸٫۰	۹۳	۳۳۷۲	۰٫۰۳	
	۵۲	هامون هیرمند	۳۳٫۶	۲۰٫۷	۹۱	۳۳۶۸	۰٫۰۳	
	۲۹	بلوچستان جنوبی	۴۸٫۵	۲۶٫۱	۱۱۵	۴۰۵۸	۰٫۰۳	
	۴۵	هامون جازموریان	۶۹٫۴	۲۳٫۴	۱۰۴	۳۳۷۰	۰٫۰۳	
	۴۶	کویر لوت	۲۰۶٫۴	۲۰٫۱	۱۰۷	۳۱۳۹	۰٫۰۳	
	۲۸	بندرعباس سدیج	۴۴٫۸	۲۲٫۲	۱۴۱	۳۶۴۰	۰٫۰۴	
	۵۳	هامون مشکیل	۳۶٫۵	۲۱٫۵	۱۲۰	۲۷۲۷	۰٫۰۴	
	۲۷	کل مهران	۶۲٫۹	۲۴٫۵	۱۶۹	۳۱۳۳	۰٫۰۵	
	۴۴	ابرقو سیرجان	۵۷٫۱	۱۶٫۶	۱۳۷	۲۲۲۵	۰٫۰۶	
غربی	۴۷	کویر مرکزی	۲۲۶٫۵	۱۹٫۹	۱۷۴	۲۶۵۱	۰٫۰۷	
	۵۱	نمکزار خواف	۳۳٫۱	۱۵٫۵	۱۸۶	۲۴۶۴	۰٫۰۸	
	۲۶	مند	۴۷٫۸	۲۰٫۷	۲۷۷	۲۶۴۵	۰٫۱۰	
	۲۵	حله	۲۱٫۳	۲۲٫۹	۳۲۵	۲۶۹۱	۰٫۱۲	
	۴۱	دریاچه نمک	۹۲٫۹	۱۵٫۳	۲۵۸	۱۹۸۳	۰٫۱۳	
	۴۳	طشک بختگان	۳۱٫۵	۱۷٫۵	۲۵۵	۱۹۴۴	۰٫۱۳	
	۱۶	قره‌سو گرگان	۱۳٫۰	۱۶٫۶	۳۱۰	۲۳۴۹	۰٫۱۳	
	۶۰	قره قوم	۴۴٫۳	۱۵٫۵	۲۸۷	۲۰۶۷	۰٫۱۴	
	۴۲	گاوخونی	۴۱٫۶	۱۴٫۹	۲۴۳	۱۶۸۳	۰٫۱۴	
	۲۴	جراحی زهره	۴۰٫۸	۲۴٫۹	۳۱۵	۲۰۹۵	۰٫۱۵	
جنوبی	۱۷	اترک	۲۶٫۴	۱۵٫۰	۳۲۹	۱۵۸۷	۰٫۲۱	
	۱۱	ارس	۳۹٫۸	۱۲٫۳	۲۸۰	۱۱۴۲	۰٫۲۵	
	۳۰	دریاچه ارومیه	۵۱٫۸	۱۲٫۶	۳۳۰	۱۲۳۵	۰٫۲۷	
	۲۲	کرخه	۵۱٫۹	۱۷٫۱	۴۲۸	۱۵۳۹	۰٫۲۸	
	۲۳	کارون بزرگ	۶۶٫۷	۱۸٫۲	۴۷۷	۱۶۶۰	۰٫۲۹	
	۲۱	مرزی غرب	۳۹٫۳	۱۶٫۴	۵۰۹	۱۶۲۵	۰٫۳۱	
	۱۳	سفیدرود	۵۹٫۲	۱۲٫۱	۳۹۳	۱۱۶۸	۰٫۳۴	
	۱۵	هراز قره‌سو	۱۸٫۸	۱۶٫۳	۶۱۳	۱۰۸۶	۰٫۵۶	
	جنوبی شرقی	۱۲	رودخانه‌های تالش	۷٫۰	۱۳٫۹	۱۱۳۵	۹۴۲	۱٫۲۰
		۱۴	سفیدرود هراز	۱۰٫۹	۱۶٫۴	۱۱۷۳	۹۶۳	۱٫۲۲

داده‌های اندازه‌گیری شده

در تحقیق حاضر به منظور محاسبه تبخیر و تعرق پتانسیل با استفاده از روش پنمن (رابطه ۱)، از داده‌های روزانه متغیرهای هواشناسی طی سال‌های ۱۹۸۷ تا ۲۰۱۹ استفاده شده است. متغیرهای دمای حداقل، دمای حداکثر، رطوبت نسبی، سرعت باد در ارتفاع ۲ متری از سطح زمین و تشعشع خورشیدی در ۱۰۰ ایستگاه سینوپتیک (شکل ۲) از سازمان هواشناسی کشور جمع‌آوری و در محاسبه تبخیر و تعرق پتانسیل مشاهداتی (پنمن) برای مقیاس زمانی ماهانه استفاده شده است.

داده‌های پایگاه‌های جهانی

به منظور ارزیابی جامع از داده‌های شبکه‌بندی شده جهانی برای متغیر تبخیر و تعرق پتانسیل و واقعی، ۶ پایگاه داده جهانی شامل پایگاه‌های

ERA5^۲، CRU TS4.05^۱، MERRA^۳، GLDAS^۴، GLEAM^۵ و TerraClimate^۶ مورد بررسی قرار گرفته است. در ادامه پایگاه داده‌های مورد استفاده در تحقیق حاضر شرح داده شده است.

پایگاه CRU TS4.05

این پایگاه توسط واحد تحقیقات اقلیمی توسعه یافته و نسخه‌ی ۴/۰۵ آن با سری زمانی ماهانه در این پژوهش استفاده شده است. مبنای داده‌های پایگاه CRU TS4.05 بر اساس داده‌های اندازه‌گیری شده در ایستگاه‌های زمینی و استفاده از روش‌های زمین‌آماری در جهت میان‌یابی متغیرهای مختلف هواشناسی است. پایگاه CRU داده‌های متغیرهای اصلی هواشناسی مانند بارش، دما، فشار بخار و تبخیر و تعرق پتانسیل را با تفکیک مکانی ۰/۵ در ۰/۵ درجه طی دوره زمانی ۱۹۰۱-۲۰۲۰ با مقیاس زمانی ماهانه در اختیار محققین قرار می‌دهد (Harris et al., 2020). در این پژوهش داده‌های تبخیر و تعرق پتانسیل ماهانه پایگاه CRU از آدرس https://crudata.uea.ac.uk/cru/data/hrg/cru_ts_4.05/cruts.2103051243.v4.05/pet/ به صورت فایل‌های NetCDF دانلود و استفاده شده است.

پایگاه ERA5

پایگاه داده ERA5، نسخه پنجم داده‌های بازتحلیل شده مرکز ECMWF^۷ می‌باشد که تعداد زیادی متغیر در ترازهای مختلف فشاری جو را در اختیار محققین قرار می‌دهد (Hersbach et al., 2020). در تحقیق حاضر داده‌های ماهانه تبخیر و تعرق پتانسیل این پایگاه طی دوره ۱۹۵۹-۲۰۲۰ با تفکیک مکانی ۰/۲۵×۰/۲۵ درجه از آدرس <https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/reanalysis-era5-single-levels-monthly-means?tab=form> دریافت و استفاده شده است.

پایگاه GLEAM 3.6a

یکی از تخصصی‌ترین پایگاه داده‌های جهانی تبخیر و تعرق، پایگاه داده GLEAM یا مدل آمستردام تبخیر زمین جهانی است. این پایگاه تبخیر و تعرق واقعی را به تفکیک مولفه‌های مختلف آن شامل تبخیر از سطح آزاد آب، تبخیر از سطح خاک بدون پوشش، تبخیر از برگ‌اب، تصعید از سطح برف و تعرق برآورد می‌کند. این پایگاه همچنین متغیرهایی مانند تبخیر و تعرق پتانسیل و رطوبت خاک را در دو لایه سطحی و ناحیه رشد ریشه دارد (Martens et al., 2017; Miralles et al., 2011). دو متغیر تبخیر و تعرق واقعی و تبخیر و تعرق پتانسیل با مقیاس زمانی ماهانه از پایگاه GLEAM نسخه 3.6a برای سال‌های ۱۹۸۰-۲۰۲۱ با تفکیک مکانی ۰/۲۵×۰/۲۵ درجه از آدرس <https://www.gleam.eu/#datasets> دانلود و استفاده شده است.

پایگاه GLDAS NOAH2.1

سیستم جهانی همسان‌سازی داده‌های زمین، پایگاه GLDAS، بر اساس داده‌های ماهواره‌ای و زمینی با استفاده از تکنیک‌های ادغام‌سازی با هدف تولید داده‌های سری زمانی توسعه یافته است (Rodell et al., 2004). از پایگاه GLDAS انواع داده‌های هواشناسی، هیدرولوژیکی و گیاهی در مقیاس جهانی با تفکیک مکانی ۰/۲۵ تا ۱ درجه از سال ۱۹۴۸ تا زمان حاضر قابل دریافت است. این پایگاه شامل انواع مدل‌هایی مانند Noah، CLM، VIC، Mosaic و CLS است. در تحقیق حاضر، داده‌های تبخیر و تعرق واقعی پایگاه GLDAS مدل Noah نسخه 2.1 با تفکیک مکانی ۰/۲۵×۰/۲۵ درجه طی سال‌های ۱۹۸۰-۲۰۲۲ با مقیاس زمانی ماهانه از آدرس https://disc.gsfc.nasa.gov/datasets/GLDAS_NOAH025_M_2.1/summary دانلود و در تحقیق حاضر استفاده شده است.

پایگاه MERRA-2

مدل تحلیل گذشته‌نگر عصر مدرن برای تحقیقات و کاربردها (MERRA) با استفاده از داده‌های زمینی توسط NASA توسعه یافته است (Rienecker et al., 2011; Gelaro et al., 2017). داده‌های ماهانه تبخیر و تعرق واقعی از نسخه دوم مدل MERRA با عنوان MERRA-2 در تحقیق حاضر با تفکیک مکانی ۰/۵×۰/۶۲۵ درجه طی دوره ۱۹۸۰-۲۰۲۲ از سایت <https://disc.gsfc.nasa.gov/datasets?project=MERRA-2> دریافت و استفاده شده است.

1 Climatic Research Unit Time-Series version 4.05 (CRU TS4.05)

2 The fifth generation ECMWF reanalysis

3 Global Land Evaporation Amsterdam Model

4 Global Land Data Assimilation System

5 The Modern-Era Retrospective analysis for Research and Applications

6 A dataset of monthly climate and climatic water balance for global terrestrial surfaces

7 European Centre for Medium-Range Weather Forecasts

TerraClimate پایگاه

پایگاه TerraClimate یک بانک داده از متغیرهای هواشناسی و اقلیمی شامل بارش، دمای حداقل و حداکثر، سرعت باد، تبخیر و تعرق واقعی و پتانسیل و سایر داده‌ها را با تفکیک مکانی $0.4^\circ \times 0.4^\circ$ درجه طی دوره ۱۹۵۸-۲۰۲۱ در مقیاس جهانی در اختیار محققان قرار می‌دهد (Abatzoglou et al., 2018). داده‌های تبخیر و تعرق واقعی و پتانسیل از آدرس پایگاه TerraClimate به آدرس (http://thredds.northwestknowledge.net:8080/thredds/terraclimate_catalog.html) دانلود و در تحقیق حاضر استفاده شده است. خلاصه‌ای از مشخصات پایگاه‌های مورد استفاده در تحقیق حاضر در جدول ۲ ارائه شده است.

جدول ۲. مشخصات پایگاه داده‌های مورد استفاده در پژوهش حاضر

مقیاس زمانی	متغیرهای مورد استفاده	نام پایگاه	مبنای داده	تفکیک مکانی	طول دوره آماری موجود	رفرنس
	تبخیر و تعرق پتانسیل	CRU TS4.05	ایستگاه مینا	$0.5^\circ \times 0.5^\circ$	۱۹۰۱-۲۰۲۰	Harris et al., 2020
	تبخیر و تعرق پتانسیل	ERA5	بازتخلیل شده	$0.25^\circ \times 0.25^\circ$	۱۹۵۹-۲۰۲۱	Hersbach et al., 2020
	تبخیر و تعرق پتانسیل	TerraClimate	ایستگاه مینا	$0.4^\circ \times 0.4^\circ$	۱۹۵۸-۲۰۲۱	Abatzoglou et al., 2018
ماهانه	واقعی و	GLEAM 3.6a	بازتخلیل شده	$0.25^\circ \times 0.25^\circ$	۱۹۸۰-۲۰۲۱	Martens et al., 2017
	تبخیر و تعرق واقعی	GLDAS NOAH2.1	ماهواره‌ای و ایستگاه مینا	$0.25^\circ \times 0.25^\circ$	۱۹۸۰-۲۰۲۲	Rodell et al., 2004
	تبخیر و تعرق واقعی	MERRA-2	بازتخلیل شده	$0.5^\circ \times 0.625^\circ$	۱۹۵۸-۲۰۲۱	Gelaro et al., 2017

به منظور ایجاد مشابهت دوره و مقیاس زمانی در مقایسه‌ی متغیرهای تبخیر و تعرق پتانسیل و واقعی در ایستگاه‌های سینوپتیک با تبخیر و تعرق پتانسیل و واقعی پایگاه‌های جهانی، دوره زمانی جهت مقایسه منطبق با دوره زمانی در دسترس داده‌های اندازه‌گیری شده، سری زمانی ماهانه ۲۰۱۹-۱۹۸۷ در نظر گرفته شده است.

محاسبه تبخیر و تعرق پتانسیل و واقعی با استفاده از داده‌های هواشناسی

تبخیر و تعرق پتانسیل در حقیقت بیانگر مجموع حداکثر توان تبخیرکنندگی اتمسفر از سطوح مختلف و تعرق از سطح گیاه در شرایط استاندارد می‌باشد (Thorntwaite, 1948). تبخیر و تعرق واقعی بیانگر مقدار تبخیر و تعرق در شرایط موجود با محدودیت‌های مختلف است. در ادامه شرح مختصری از انواع تبخیر و تعرق بررسی شده در پژوهش حاضر، ارائه شده است.

تبخیر و تعرق پتانسیل

روش‌های مختلفی شامل دسته‌بندی معادلات مبتنی بر انتقال جرم، دما-مینا، تابش-مینا و ترکیبی به منظور برآورد تبخیر و تعرق پتانسیل وجود دارد (Sharafi and Mohammadi Ghalehi, 2021). یکی از معروف‌ترین روابط تجربی به منظور برآورد تبخیر و تعرق پتانسیل که بر مبنای داده‌های هواشناسی استوار است، رابطه پنمن^۱، ۱۹۴۸ (ET_{pPen}) می‌باشد (رابطه ۱).

$$ET_{pPen} = \frac{\Delta R_n + \gamma(e_s - e_a)f(u)}{\Delta + \gamma} \quad \text{(رابطه ۱)}$$

در رابطه (۱)، ET_{pPen} تبخیر و تعرق پتانسیل پنمن (میلی‌متر بر روز)، Δ شیب منحنی فشار بخار (کیلوپاسکال بر درجه سلسیوس)، R_n تابش خالص (مگاژول بر مترمربع بر روز)، $f(u)$ تابع سرعت افقی روزانه باد در ارتفاع ۲ متری از سطح زمین (متر بر ثانیه)، e_s فشار بخار اشباع (کیلوپاسکال)، e_a فشار بخار واقعی (کیلو پاسکال) و γ ضریب ثابت سایکرومتری (کیلوپاسکال بر درجه سلسیوس) است (Penman, 1948). در تحقیق حاضر ابتدا با استفاده از داده‌های روزانه متغیرهای هواشناسی در ۱۰۰ ایستگاه سینوپتیک (شکل ۱)، مقدار تبخیر و تعرق پتانسیل روزانه با استفاده از روش پنمن، ۱۹۴۸ (رابطه ۱) محاسبه شد. در ادامه داده‌های روزانه ET_{pPen} جهت امکان مقایسه با داده‌های پایگاه‌ها به سری زمانی ماهانه تبدیل شد.

تبخیر و تعرق واقعی

به طور کلی انواع روش‌های برآورد تبخیر و تعرق واقعی، در پنج دسته شامل اندازه‌گیری میدانی، مدل‌های سطح زمین، سنجش از دور، روش

رابطه مکمل مبتنی بر هواشناسی^۱ (CR) و روش‌های مبتنی بر بیلان آب طبقه‌بندی می‌شوند (Liu et al., 2019). از بین این روش‌ها، در پژوهش حاضر از روش CR به منظور برآورد ET_a با استفاده از داده‌های اندازه‌گیری شده در ایستگاه‌های سینوپتیک استفاده شده است. روش CR توسط Bouchet (1963) و بر اساس فرآیند بازخورد مکمل بین ET_p و ET_a در شرایط محیطی مشابه توسعه داده شده است. این روش بر فرض ثابت بودن انرژی موردنیاز برای تبخیر استوار است که تا به حال توسط محققین زیادی به منظور برآورد ET_a استفاده شده است (Matin and Bourque, 2013; Ma et al., 2015; Liu et al., 2019). روش CR بر اساس رابطه (۲) استوار است.

$$ET_{aCR} + ET_{pPen} = 2ET_{wPT} \quad \text{رابطه (۲)}$$

در رابطه (۲)، ET_{aCR} ، ET_{pPen} و ET_{wPT} به ترتیب تبخیر و تعرق واقعی با استفاده از روش CR، تبخیر و تعرق پتانسیل پهن (رابطه ۱) و تبخیر و تعرق محیط مرطوب با استفاده از روش پریستلی-تیلور (رابطه ۳) است. در این رابطه فرض بر رابطه مکمل متقارن بین ET_a و ET_p می‌باشد. به عبارتی تغییر یک برابری در ET_a باعث تغییر یک برابری در ET_p خواهد شد. به طور معمول مقدار ET_w از رابطه (۳)، Priestley and Taylor, 1972، برآورد می‌شود (Zuo et al., 2016).

$$ET_{wPT} = \alpha \frac{\Delta(R_n - G)}{\Delta + \gamma} \quad \text{رابطه (۳)}$$

در رابطه (۳)، ET_{wPT} تبخیر و تعرق محیط مرطوب پریستلی-تیلور، Δ شیب منحنی فشار بخار (کیلوپاسکال بر درجه سلسیوس)، R_n تابش خالص (وات بر مترمربع)، G شار گرمای سطح (وات بر مترمربع)، γ ضریب ثابت سایکرومتری (کیلوپاسکال بر درجه سلسیوس) و α ضریب معادله پریستلی-تیلور برابر ۱/۲۶ است (Huntington et al., 2011). در پژوهش حاضر ابتدا با استفاده از داده‌های روزانه هواشناسی مقادیر ET_{pPen} و ET_{wPT} با استفاده از روابط (۱) و (۳) محاسبه شد. در ادامه مقدار ET_{aCR} با استفاده از رابطه (۲) برای ۱۰۰ ایستگاه سینوپتیک بدست آمد. محاسبات تحقیق حاضر با استفاده از نرم‌افزار Microsoft Excel 2016 انجام شده است.

تبدیل داده‌های ایستگاهی و سلولی به سطح حوضه درجه دو

روش‌های متفاوتی برای تبدیل داده‌های نقطه‌ای به داده‌های سطح از جمله روش‌های میانگین‌گیری وزنی، چندضلعی تیسن، انواع روش‌های میان‌یابی (نسبت عکس فاصله، کریجینگ، اسپیلین، کوکریجینگ) وجود دارد. روش چندضلعی تیسن در بسیاری از تحقیقات به منظور تبدیل داده‌های نقطه‌ای به سطح استفاده شده است (Moshir Panahi et al., 2020). در تحقیق حاضر نیز از روش چندضلعی تیسن به منظور تبدیل داده‌های اندازه‌گیری شده در ایستگاه‌های سینوپتیک، به سطح حوضه‌های درجه دو استفاده شده است.

با توجه به امکان تغییر دقت داده‌های پایگاه‌های مورد استفاده به دلیل تفکیک مکانی‌های مختلف، ابتدا باید تفکیک داده‌های مکانی در تمامی پایگاه‌های مورد استفاده با یکدیگر یکسان شوند (Yin et al., 2021). با توجه به وسعت واحدهای هیدرولوژیکی در تحقیق حاضر (حوضه‌های درجه دو کشور) تفکیک مکانی مینا برای تمامی داده‌های شبکه‌بندی شده پایگاه‌های مختلف به صورت سلول‌های ۰/۵×۰/۵ درجه در نظر گرفته شد (Zhang et al., 2022). پس از یکسان کردن تفکیک مکانی داده‌های شبکه‌بندی شده، مقدار تبخیر و تعرق در سطح هر حوضه با میانگین‌گیری از مقادیر تبخیر و تعرق سلول‌های داخل آن حوضه محاسبه شد.

معیارهای آماری

دقت داده‌های تبخیر و تعرق واقعی و پتانسیل در هر یک از پایگاه‌های مقادیر اندازه‌گیری شده به تفکیک ۱۲ ماه مختلف سال و حوضه‌های آبریز درجه دو کشور با استفاده از معیارهای آماری ارزیابی شده است. به این منظور از سه معیار ارزیابی شامل ضریب همبستگی پیرسون^۲ (R)، میانگین خطای آریبی^۳ (MBE)، شاخص RMSE نرمال شده یا همان خطای جذر میانگین مربعات نرمال شده^۴ (NRMSE) استفاده شده است. روابط این معیارها در روابط (۴) تا (۶) ارائه شده است.

1 Meteorologically based complementary relationship (CR) method

2 Pearson Correlation Coefficient (R)

3 Mean Bias Error (MBE)

4 Normalized Root Mean Squared Error (NRMSE)

$$R = \frac{\sum_{t=1}^N (M_t - \bar{M})(E_t - \bar{E})}{\sqrt{\left[\sum_{t=1}^N (M_t - \bar{M})^2 \right] \left[\sum_{t=1}^N (E_t - \bar{E})^2 \right]}} \quad \text{رابطه ۴}$$

$$MBE = \frac{1}{N} \sum_{t=1}^N (E_t - M_t) \quad \text{رابطه ۵}$$

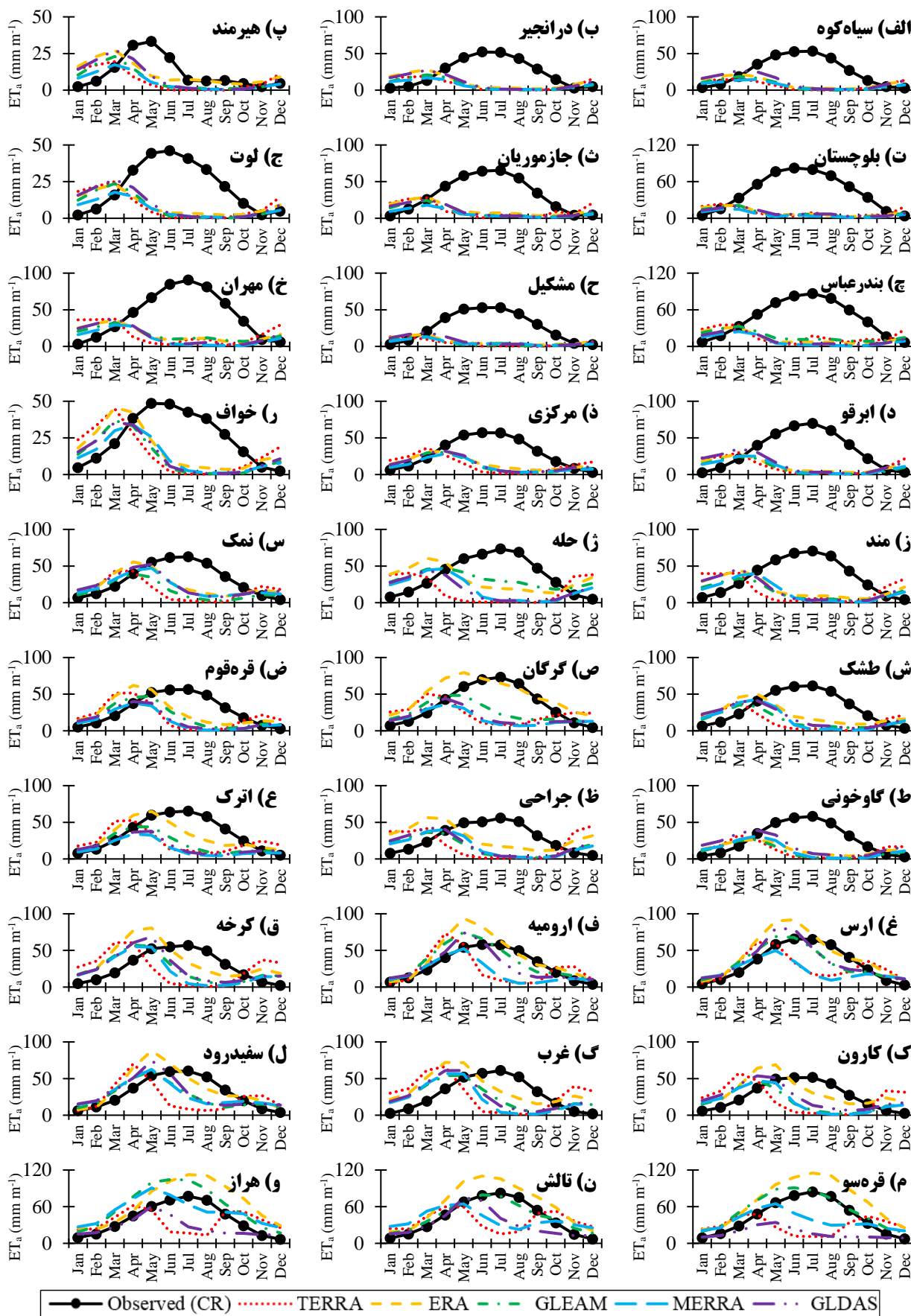
$$NRMSE = \frac{RMSE}{M} \quad \text{رابطه ۶}$$

در روابط (۴) تا (۶) M_t و E_t به ترتیب مقادیر اندازه‌گیری شده و برآورد شده متغیرها در زمان t ام، \bar{M} و \bar{E} میانگین مقادیر متغیر اندازه‌گیری شده و برآورد شده، t مقیاس زمانی به ماه و N تعداد کل ماه‌های مورد بررسی در دوره زمانی مورد مطالعه می‌باشد. میزان دقت برآورد یک متغیر را با استفاده از شاخص $NRMSE$ می‌توان به ۴ دسته عالی و خوب ($NRMSE < 0.2$)، متوسط ($0.2 < NRMSE < 0.3$)، ضعیف ($0.3 < NRMSE < 0.5$) و بسیار ضعیف ($NRMSE > 0.5$) تقسیم‌بندی کرد (Li et al., 2013).

یافته‌های پژوهش

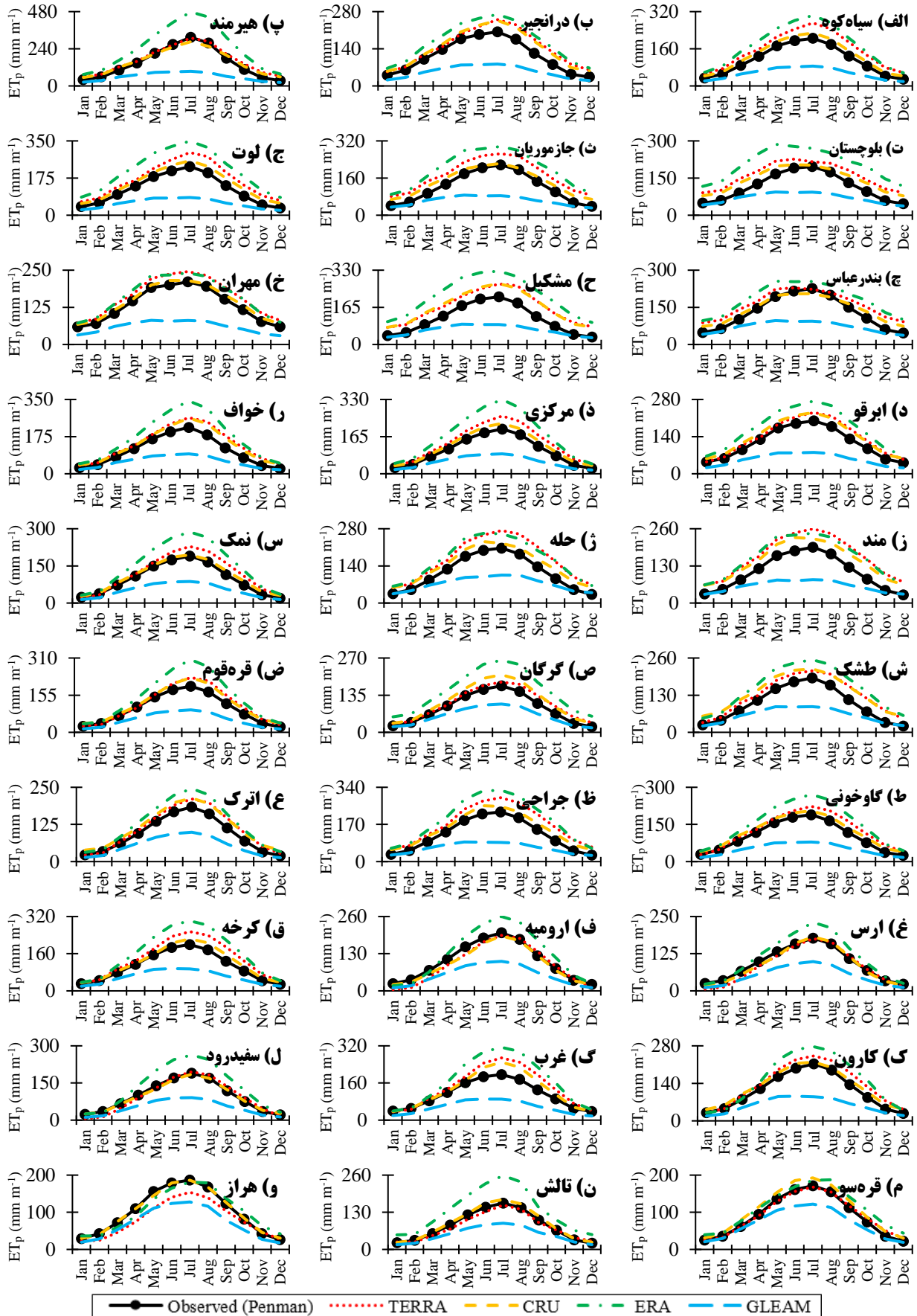
ارزیابی تغییرات ماهانه تبخیر و تعرق پتانسیل و واقعی در طول ماه‌های مختلف سال به لحاظ بررسی تغییرات نیاز آبی ماهانه گیاهان از اهمیت بسیاری برخوردار است. میانگین مقادیر ET_a در ۱۲ ماه مختلف طی سال‌های ۲۰۱۹-۱۹۸۷، به تفکیک حوضه‌های درجه دو کشور به ترتیب از اقلیم فراخشک (الف- حوضه سیاه‌کوه) به اقلیم مرطوب (و- حوضه هراز) در شکل (۳) رسم شده است. با توجه به شکل (۳) روند تغییرات ET_{aCR} با توجه به محاسبه آن با استفاده از داده‌های هواشناسی در ۶ ماهه ابتدای سال میلادی (ژانویه-جولای) روندی افزایشی داشته و بعد از رسیدن به مقدار حداکثر خود در ماه جولای تا انتهای سال روندی کاهشی پیدا می‌کند. به عبارت دیگر حداکثر مقادیر تبخیر و تعرق واقعی محاسبه شده با استفاده از روش CR (معادله ۲) در فصول بهار و تابستان و حداقل آن در فصول پاییز و زمستان می‌باشد. تغییرات میانگین ماهانه مقادیر ET_a در پایگاه‌های مورد بررسی در اغلب حوضه‌های مورد بررسی با تغییرات ET_{aCR} تفاوت دارد به طوری که حداقل مقادیر ET_a برای تمامی پایگاه‌های مورد بررسی در فصل تابستان (جولای- آگوست- سپتامبر) رخ داده است. این نکته در اغلب حوضه‌های آبریز درجه دو در شکل (۳) مشخص می‌باشد. مقدار میانگین ET_{aCR} در فصول بهار - تابستان و پاییز- زمستان در حوضه‌های مورد بررسی به ترتیب برابر ۵۰ و ۱۲ میلی‌متر در ماه می‌باشد. اختلاف میانگین داده‌های ET_{aCR} با داده‌های پایگاه‌های GLEAM، ERA5، TERRA، GLDAS و MERRA به ترتیب برابر ۴/۸، ۱۱/۴، ۱۳/۳، ۱۳/۴ و ۱۴/۸ میلی‌متر در ماه است که حاکی از اختلاف بیشتر بین مقادیر ET_a پایگاه‌ها با ET_{aCR} در پایگاه MERRA است. تغییرات میانگین ماهانه ET_p در حوضه‌های آبریز درجه دو کشور برای مقادیر بدست آمده از روش پنمن (معادله ۱) و ۴ پایگاه مورد بررسی شامل CRU، TERRA، ERA و GLEAM در شکل (۴) رسم شده است.

شکل (۴) نشان‌دهنده روند مشابه تغییرات ET_p پنمن و مقادیر پایگاه‌های مورد مطالعه است. به طوری که مقادیر ET_p روند افزایشی خود را از ابتدای سال میلادی، ماه ژانویه، آغاز کرده و در ماه ابتدایی تابستان، ماه جولای، به حداکثر مقدار خود می‌رسد. در ادامه با شروع روند کاهشی، مقدار ET_p در انتهای پاییز، ماه دسامبر، به حداقل مقدار خود در طول سال می‌رسد. مقادیر حداقل و حداکثر ET_{pPen} پنمن در ماه‌های سال مربوط به دسامبر و جولای و به ترتیب برابر ۳۰ و ۲۰۲ میلی‌متر در ماه است. برای ET_p پایگاه‌ها نیز مقادیر حداقل و حداکثر مربوط به ماه‌های ژانویه و جولای و به ترتیب برابر ۴۲ و ۲۰۷ میلی‌متر در ماه می‌باشد. مقادیر میانگین خطای ارزیابی (MBE) پایگاه‌های مورد بررسی برای متغیرهای ET_p و ET_a به تفکیک حوضه‌های درجه دو در شکل (۵) نشان داده شده است.



شکل ۳- مقادیر میانگین تبخیر و تعرق واقعی ماهانه مشاهده‌ای و پایگاه داده‌های جهانی به تفکیک حوضه‌های آبریز درجه دو کشور طی دوره

۱۹۸۷-۲۰۱۹

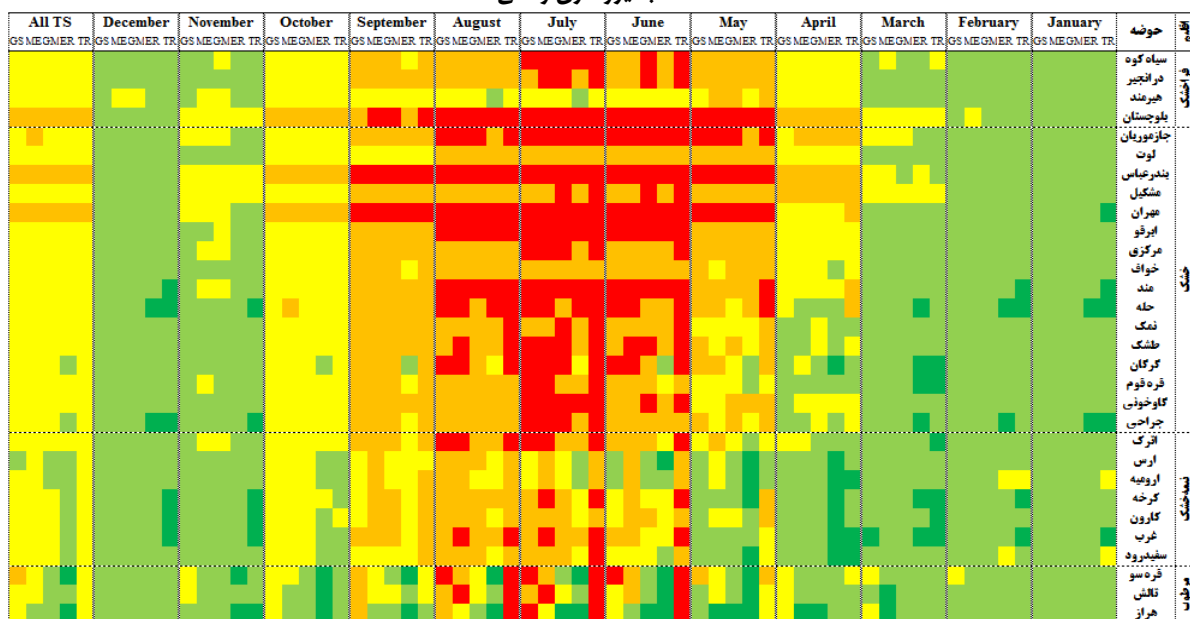


شکل ۴- مقادیر میانگین تبخیر و تعرق پتانسیل ماهانه مشاهده‌ای و پایگاه داده‌های جهانی به تفکیک حوضه‌های آبریز درجه دو کشور طی

دوره ۲۰۱۹-۱۹۸۷

در شکل ۵، کلمات اختصاری TR، ER، GM، ME، GS و CR به ترتیب نشان‌دهنده‌ی پایگاه‌های TERRA، ERA، GLEAM، MERRA، GLDAS و CRU است. علامت مثبت و منفی معیار MBE به ترتیب بیانگر بیش‌برآورد و کم‌برآورد مقادیر ET پایگاه‌ها نسبت به مقادیر محاسبه شده با استفاده از معادلات تجربی (معادلات ۱ و ۲) و داده‌های هواشناسی است. به منظور درک راحت‌تر مقدار خطای اریبی مقادیر منفی این معیار با رنگ‌های زرد، نارنجی و قرمز (نشان‌دهنده‌ی کم‌برآورد پایگاه‌ها) و مقادیر مثبت MBE با رنگ‌های سبز کم‌رنگ و پررنگ (نشان‌دهنده‌ی بیش‌برآورد پایگاه‌ها) در شکل ۵ مشخص شده است.

الف- تبخیر و تعرق واقعی



ب- تبخیر و تعرق پتانسیل



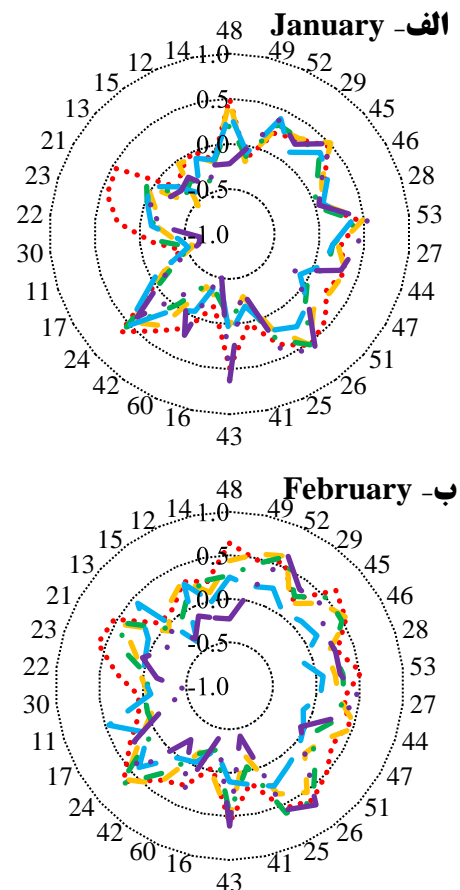
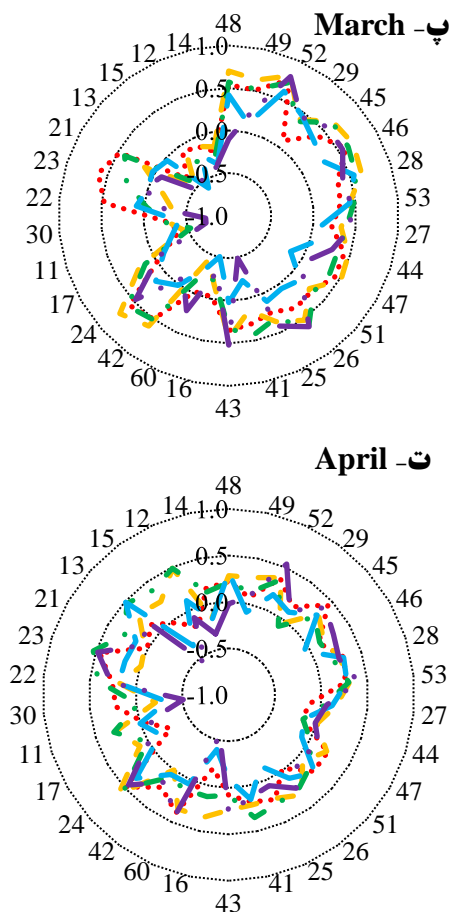
شکل ۵- میانگین خطای اریبی (MBE) پایگاه داده‌های (TERRA(TR), ERA(ER), GLEAM(GM), MERRA(ME), GLDAS(GS), CRU(CR) و (الف) تبخیر و تعرق واقعی و (ب) تبخیر و تعرق پتانسیل به تفکیک ماه‌ها و حوضه‌های مختلف ایران

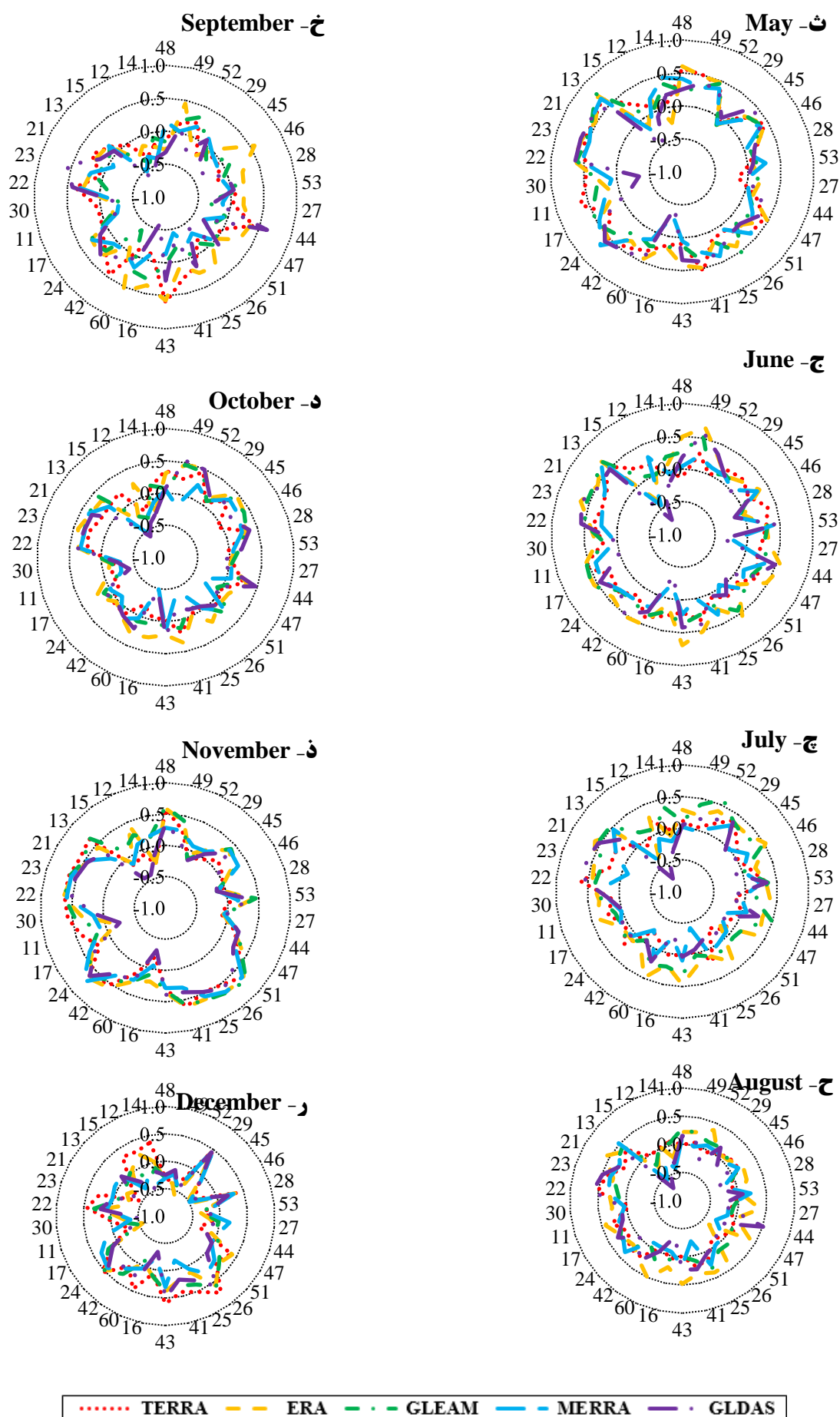
شکل (الف) حاکی از بیش‌برآورد مقادیر ET_a اغلب پایگاه‌ها در فصول بهار و تابستان و به‌خصوص در ۵ ماه می، ژوئن، جولای، آگوست و سپتامبر می‌باشد. به طور میانگین مقادیر MBE در این ۵ ماه برای تمامی ۵ پایگاه مورد بررسی در مورد متغیر ET_a به ترتیب برابر ۲۳-، ۴۰-، ۴۷-، ۴۲- و ۲۷- میلی‌متر در ماه محاسبه شده است. به طور میانگین در پایگاه‌های مورد بررسی، مقدار بیش‌برآورد ET_a

در ۴ ماه شامل دسامبر ژانویه، فوریه و مارس و برابر ۱۲ میلی‌متر در ماه بدست آمده است. کمترین مقادیر MBE در متغیر ET_a مربوط به داده‌های پایگاه TERRA در ماه جولای و برابر ۵۷- میلی‌متر در ماه است. درحالی‌که بیشترین بیش‌برآوردها نیز مربوط به همین پایگاه در ماه دسامبر و برابر ۱۸ میلی‌متر در ماه می‌باشد.

شکل (۵الف) در مورد تغییرات MBE نسبت به حوضه‌های درجه دو حاکی از افزایش مقادیر MBE از حوضه‌های با اقلیم فراخشک و خشک نسبت به حوضه‌های با اقلیم نیمه‌خشک و مرطوب است. به طوری مقدار میانگین MBE از حوضه‌های اقلیم فراخشک به حوضه‌های اقلیم مرطوب از ۱۸- به ۲+ میلی‌متر در ماه افزایش پیدا می‌کند که بیانگر کم‌برآورد بیشتر پایگاه‌ها برای مقادیر ET_a در حوضه‌های با اقلیم خشک‌تر نسبت به حوضه‌های با اقلیم مرطوب‌تر است. بیشترین و کمترین مقادیر MBE در بین ۳۰ حوضه درجه دو، به مربوط به حوضه‌های بلوچستان و هراز و به طور میانگین به ترتیب برابر ۳۴- و ۹ میلی‌متر در ماه است.

کم‌برآورد (مقادیر منفی MBE) پایگاه GLEAM برای متغیر ET_p در شکل (۵ب) کاملاً مشخص است به طوری که مقادیر MBE پایگاه GLEAM در تمامی ماه‌های سال و برای هر ۳۰ حوضه منفی بدست آمده است. بیشترین کم‌برآورد پایگاه GLEAM مربوط به ماه‌های ژوئن، جولای و آگوست و به طور میانگین برابر ۱۰۰- میلی‌متر در ماه است. از طرفی سایر پایگاه‌ها شامل CRU، TERRA و ERA در اغلب ماه‌ها و حوضه‌ها مقادیر ET_p را بیش‌برآورد (رنگ‌های سبز کم‌رنگ و پررنگ) کرده‌اند. بیشترین بیش‌برآوردها برای متغیر ET_p مربوط به پایگاه ERA با میانگین برابر ۵۴ میلی‌متر در ماه است. بیشترین و کمترین مقادیر MBE متغیر ET_p در بین حوضه‌های آبریز مربوط به حوضه مشکیل و هراز و به ترتیب برابر ۳۸ و ۱۳- میلی‌متر در ماه است. در نتیجه برخلاف کم‌برآورد ET_a پایگاه‌ها در حوضه‌های با اقلیم خشک، مقادیر ET_p در اغلب پایگاه‌های مورد بررسی در اقلیم خشک دارای بیش‌برآورد می‌باشند. مقادیر ضریب همبستگی پیرسون بین تبخیر و تعرق واقعی مشاهده‌ای و داده‌های پایگاه‌های مورد بررسی به تفکیک ۱۲ ماه سال در شکل (۶) نمایش داده شده است. کد حوضه‌های درجه دو به ترتیب از اقلیم فراخشک، حوضه کویر سیاه‌کوه (کد ۴۸)، تا اقلیم مرطوب، حوضه سفیدرود هراز (کد ۱۴) در شکل (۶) نمایش داده شده است.





شکل ۶- ضریب همبستگی بین تبخیر و تعرق واقعی مشاهده‌ای و پایگاه‌های مورد بررسی به تفکیک ماه‌های مختلف

با توجه به بخش‌های مختلف شکل (۶)، به طور میانگین بیشترین و کمترین مقادیر ضریب همبستگی بین ET_{aCR} و ET_{aPrs} مربوط به ماه‌های آوریل و می (شکل ۶ و ۷) است. به عبارتی مقادیر ضریب همبستگی تبخیر و تعرق واقعی در فصل بهار نسبت به سایر فصول سال بیشتر می‌باشد.

از بین ۵ پایگاه مورد بررسی برای متغیر ET_a ، دو پایگاه TERRA و ERA ضریب همبستگی بیشتری نسبت به سایر پایگاه‌ها در ماه‌های مختلف سال دارند. به طوری که در ۴ ماه اول سال میلادی (ژانویه، فوریه، مارس و آوریل) پایگاه TERRA و در ۶ ماه بعدی سال (می، ژوئن، جولای، آگوست، سپتامبر و اکتبر) پایگاه ERA ضریب همبستگی بیشتری در مقایسه با سایر پایگاه‌ها نشان می‌دهند. نتایج بررسی مقادیر ضریب همبستگی در حوضه‌های ۳۰ گانه حاکی از همبستگی کمتر پایگاه‌ها در حوضه‌های حاشیه دریای خزر به خصوص حوضه‌های آبریز ارس (کد ۱۱)، ۱۲ (تالش) و ۱۴ (هراز) دارد. محدوده‌ی مقادیر ضریب همبستگی پیرسون برای پایگاه‌های TERRA، ERA5، GLEAM، MERRA و GLDAS در تمامی حوضه‌های مورد بررسی به ترتیب برابر $[-0/44 \sim +0/75]$ ، $[-0/59 \sim +0/80]$ ، $[-0/77 \sim +0/77]$ ، $[-0/53 \sim +0/76]$ و $[-0/75 \sim +0/79]$ می‌باشد. مقادیر ضریب همبستگی پیرسون بین تبخیر و تعرق پتانسیل مشاهده‌ای و داده‌های پایگاه‌های مورد بررسی به تفکیک ۱۲ ماه سال در شکل (۷) نمایش داده شده است. کد حوضه‌های درجه دو به ترتیب از اقلیم فراخشک، حوضه کویر سیاه‌کوه (کد ۴۸)، تا اقلیم مرطوب، حوضه سفیدرود هرز (کد ۱۴) در شکل (۷) نمایش داده شده است.

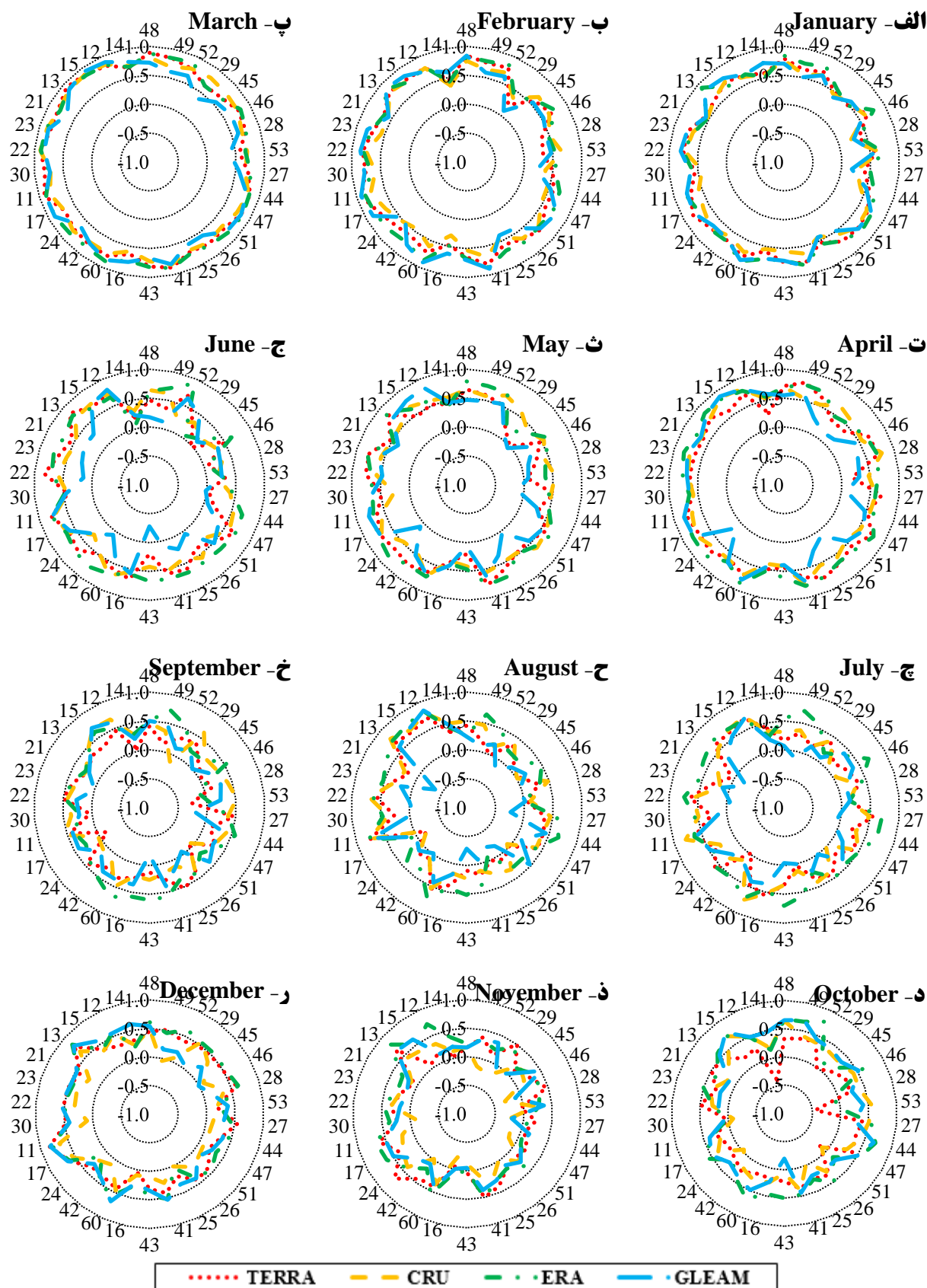
به طور میانگین کمترین و بیشترین مقادیر ضریب همبستگی بین ET_{pPen} و ET_{pPrs} در بین ۱۲ ماه شکل (۳) مربوط به ماه نوامبر (شکل ۳-ذ) و مارس (شکل ۳-پ) و به ترتیب برابر $0/23$ و $0/76$ است. مقادیر میانگین ضریب همبستگی در ۴ پایگاه مورد بررسی برای ET_p در فصول زمستان، بهار، پاییز و تابستان به ترتیب برابر $0/68$ ، $0/53$ ، $0/32$ و $0/31$ است که حاکی از کاهش ضریب همبستگی از فصول زمستان و بهار به سمت فصول پاییز و تابستان را دارد. میانگین مقادیر ضریب همبستگی در پایگاه‌های GLEAM، CRU، TERRA و ERA در ۳۰ حوضه آبریز کشور به ترتیب برابر $0/40$ ، $0/44$ ، $0/45$ و $0/56$ برای متغیر ET_p است که حاکی از همبستگی بیشتر پایگاه ERA دارد. به عبارت دیگر متغیر ET_{pPen} با ET_{pERA} در تمامی ۱۲ ماه سال (شکل ۷) بیشترین همبستگی را در بین ۴ پایگاه مورد بررسی نشان می‌دهد. میانگین ضریب همبستگی در حوضه‌ها حاکی از بیشترین مقدار همبستگی در حوضه ارس (کد ۱۱) و کمترین در حوضه هامون مشکیل (کد ۵۳) و به ترتیب برابر $0/67$ و $0/30$ است. به طور کلی مقادیر همبستگی بین ET_p در پایگاه‌های مورد بررسی در حوضه‌ی اصلی دریای خزر نسبت به سایر حوضه‌های کشور بیشتر است به طوری که در حوضه‌های با کدهای ۱۱، ۱۲، ۱۳ و ۱۵ میانگین مقدار ضریب همبستگی در ۴ پایگاه مورد بررسی بالای $0/60$ است. همچنین کمترین مقادیر ضریب همبستگی در بین ۳۰ حوضه درجه دو کشور بیشتر مربوط به حوضه‌های جنوب شرقی کشور با کدهای ۵۳، ۴۵، ۲۸ و ۲۹ است.

با توجه به اهمیت نرمال‌سازی مقدار خطا با توجه به مقادیر داده‌ها، خطای جذر میانگین مربعات نرمال شده یا شاخص NRMSE می‌تواند به عنوان معیار انتخاب بهترین پایگاه در ماه‌ها و حوضه‌های مختلف استفاده شده است. پایگاه‌های با کمترین مقدار شاخص NRMSE به تفکیک ۱۲ ماه مختلف و سری زمانی متوالی ماهانه در شکل (۸) برای دو متغیر ET_a (شکل ۸-الف) و ET_p (شکل ۸-ب) رسم شده است. به عبارت دیگر شکل (۸) مقادیر NRMSE را برای پایگاه‌های با بیشترین دقت در ماه‌های مختلف سال و کل سری زمانی ماهانه نشان می‌دهد.

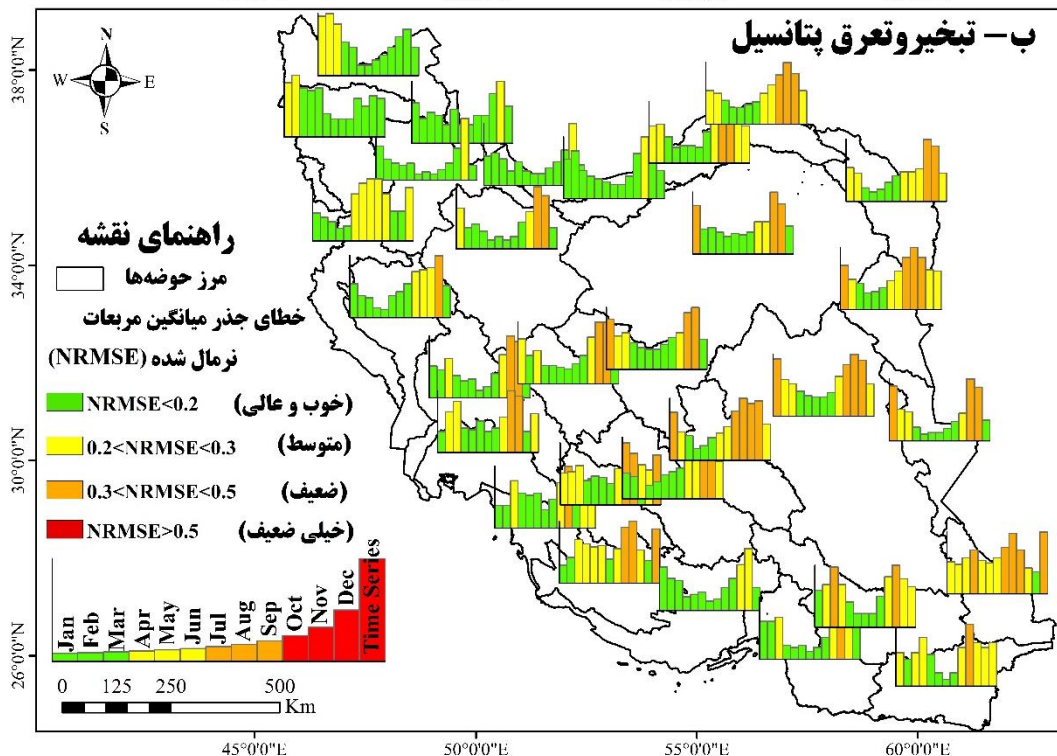
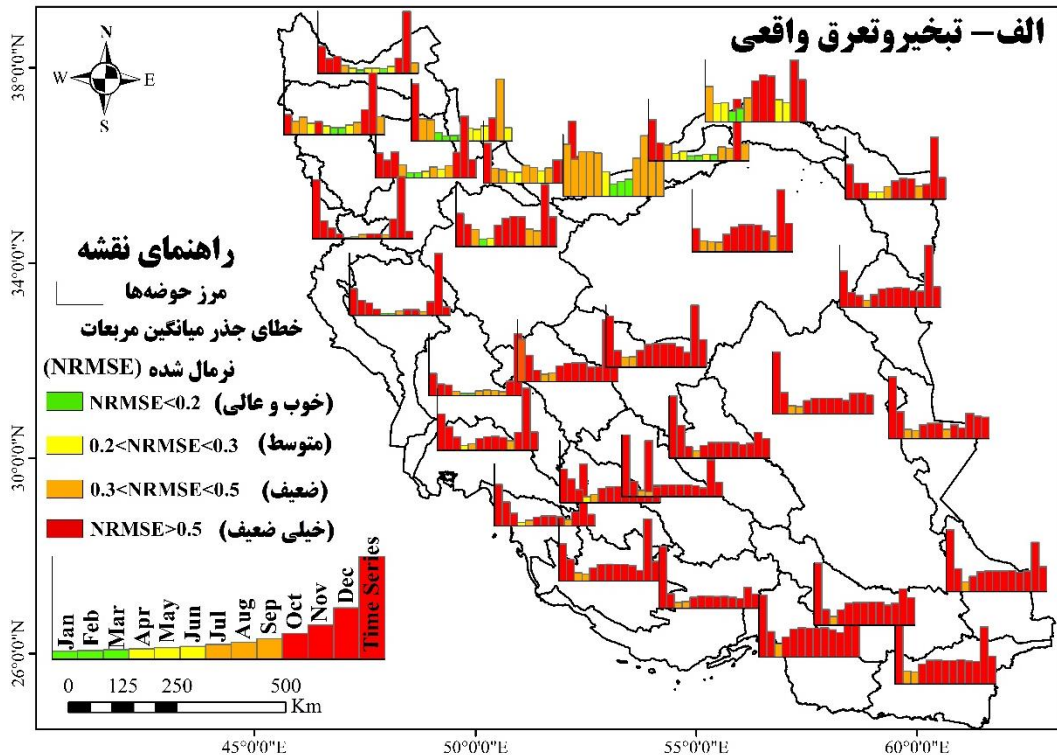
بر اساس شکل (۸-الف) بیشترین دقت پایگاه‌ها برای متغیر ET_a مربوط به حوضه‌های شمالی کشور در فصل‌های بهار (آوریل، می و ژوئن) و تابستان (جولای، آگوست و سپتامبر) می‌باشد. مقدار میانگین NRMSE در سه حوضه اقلیم مرطوب (قره‌سو، هرز و تالش) برای فصول بهار و تابستان برابر $0/22$ می‌باشد. به طور کلی کمترین دقت ET_a با حداکثر مقادیر NRMSE مربوط به ماه‌های ژانویه و دسامبر و به ترتیب برابر $2/1$ و $2/4$ و بیشترین دقت مربوط به ماه آوریل و برابر $0/38$ است. در بین حوضه‌های مورد بررسی کمترین و بیشترین مقادیر شاخص NRMSE مربوط به حوضه قره‌سو و مرزی غرب به ترتیب برابر $0/30$ و $1/82$ می‌باشد. میانگین شاخص NRMSE در حوضه‌های مرطوب به فراخشک از $0/39$ به $1/08$ افزایش پیدا می‌کند. این نکته بیانگر دقت بیشتر پایگاه‌های در برآورد مقادیر ET_a برای حوضه‌های مرطوب نسبت به حوضه‌های با اقلیم خشک است.

پایگاه‌های از بیشترین به کمترین دقت برای متغیر ET_a به ترتیب ERA، GLEAM، MERRA، GLDAS و TERRA با مقادیر NRMSE برابر $1/05$ ، $1/10$ ، $1/21$ ، $1/31$ و $1/82$ است. پایگاه ERA در ۵ ماه شامل ژوئن، جولای، آگوست، سپتامبر و اکتبر بیشترین دقت را در بین پایگاه‌های مورد بررسی داشته است. به طور کلی در فصول زمستان، بهار، تابستان و پاییز به ترتیب می‌توان پایگاه‌های

ERA، GLDAS، MERRA و GLEAM را به عنوان پایگاه‌های با دقت بیشتر برای متغیر ET_a در کل حوضه‌های مورد بررسی معرفی کرد.



شکل ۷- ضریب همبستگی بین تبخیر و تعرق پتانسیل مشاهده‌ای و پایگاه‌های مورد بررسی به تفکیک ماه‌های مختلف



شکل ۸- شاخص NRMSE بین الف) تبخیر و تعرق واقعی و ب) تبخیر و تعرق پتانسیل مشاهده‌ای و پایگاه‌های مورد بررسی به تفکیک ماه‌های مختلف

از طرف دیگر بر اساس شکل (۸-الف) در حوضه‌های با اقلیم فراهشک، پایگاه GLDAS، اقلیم‌های خشک و نیمه‌خشک، پایگاه ERA و در حوضه‌های با اقلیم مرطوب پایگاه GLEAM دقت بیشتری در برآورد ET_p از خود نشان می‌دهند. بیشترین و کمترین دقت پایگاه‌ها در برآورد ET_p مربوط به ماه جولای و نوامبر و به ترتیب با NRMSE برابر ۰/۱۱ و ۰/۲۸ برای پایگاه‌های CRU و GLEAM است. دقت پایگاه‌ها در برآورد ET_p در فصل بهار حداکثر و در فصل پاییز حداقل می‌باشد. در بین حوضه‌های مورد بررسی حوضه مشکیل با میانگین NRMSE برابر ۰/۲۹ و حوضه هراز با مقدار میانگین NRMSE برابر با ۰/۰۹ در ۱۲ ماه سال به

ترتیب حوضه‌های با کمترین و بیشترین دقت در مقادیر ET_p پایگاه‌ها می‌باشند. همچنین دقت پایگاه‌ها در برآورد مقادیر ET_p از حوضه‌های با اقلیم فراخشک، خشک، نیمه‌خشک و مرطوب افزایش یافته و به ترتیب با میانگین NRMSE در تمامی پایگاه‌ها برابر $۰/۲۲$ ، $۰/۲۰$ ، $۰/۱۷$ و $۰/۱۰$ است.

پایگاه CRU در ۹ ماه از فوریه تا اکتبر، و پایگاه GLEAM در ۳ ماه نوامبر، دسامبر و ژانویه بیشترین دقت را در برآورد ET_p در اغلب حوضه‌های مورد بررسی داشته‌اند. ترتیب پایگاه‌ها از بیشترین به کمترین دقت در مورد متغیر ET_p به ترتیب GLEAM، CRU، ERA و TERRA و برابر $۰/۲۱$ ، $۰/۳۰$ ، $۰/۵۷$ و $۰/۶۰$ می‌باشد. به تفکیک اقلیم‌ها نیز نتایج حاکی از دقت بیشتر پایگاه CRU در هر ۴ اقلیم مورد بررسی از فراخشک تا مرطوب است.

مقایسه دو قسمت الف و ب در شکل (۸) حاکی از دقت بیشتر پایگاه‌ها در برآورد ET_p نسبت به ET_a در حوضه‌های آبریز کشور است. به طوری که درصد مقادیر شاخص NRMSE کمتر از $۰/۲۰$ (دقت خوب و عالی) برای ET_a (شکل ۸-الف) و ET_p (شکل ۸-ب) به ترتیب برابر $۰/۰۷$ و $۰/۵۸$ است. مقدار میانگین معیار NRMSE در قسمت‌های الف و ب شکل ۸ در تمامی پایگاه‌ها و حوضه‌ها به ترتیب $۰/۱۹$ و $۰/۱۹$ است که حاکی از دقت بسیار ضعیف برای مقادیر ET_a و دقت خوب و عالی برای مقادیر ET_p در پایگاه‌ها می‌باشد.

بحث

از مهم‌ترین یافته‌های تحقیق حاضر می‌توان به دقت بیشتر پایگاه‌ها در برآورد ET_p نسبت به ET_a اشاره کرد. یکی از دلایل مهم این نتیجه را می‌توان به پیچیدگی بیشتر و مدل‌سازی سخت‌تر تبخیر و تعرق واقعی نسبت به تبخیر و تعرق پتانسیل برشمرد. به عبارت دیگر تبخیر و تعرق پتانسیل را شاید بتوان تنها وابسته به متغیرهای اقلیمی و هواشناسی دانست اما تبخیر و تعرق واقعی تحت تاثیر عواملی به جزء متغیرهای هواشناسی مانند پوشش گیاهی، خصوصیات خاک و شرایط مدیریتی منطقه می‌باشد (Xiang et al., 2020). یکی دیگر از نتایج تحقیق حاضر کم‌برآورد پایگاه GLEAM در مورد مقادیر ET_p می‌باشد که در سایر تحقیقات گذشته مانند پژوهش امین‌فک و همکاران (۱۴۰۱) نیز به آن اشاره شده است. محدوده مقادیر MBE در تحقیق امین‌فک و همکاران (۱۴۰۱) از -۷۳ تا -۸۵ میلی‌متر در ماه گزارش شده است که این محدوده در پژوهش حاضر از $-۲۱/۸$ تا $-۸۹/۸$ میلی‌متر در ماه بدست آمده است. نتایج Liu et al., (2023) حاکی از دقت بیشتر پایگاه GLDAS در برآورد مقادیر ET_a بوده است که با نتایج تحقیق حاضر در ارتباط با دقت بیشتر پایگاه GLDAS در مورد مقادیر ET_a در حوضه‌های با اقلیم فراخشک همخوانی دارد. حدود تغییرات MBE و ضریب R در تحقیق Liu et al., (2023) با پژوهش حاضر متفاوت است که به تفاوت دقت پایگاه‌ها در حوضه‌های مختلف مورد بررسی ارتباط دارد. (Crago et al., 2022) در تحقیق خود، بیش‌برآورد روش CR در برآورد ET_a را نتیجه گرفتند که با کم‌برآورد اغلب پایگاه‌ها در مورد مقادیر ET_a در پژوهش حاضر مطابقت دارد. در پژوهش حاضر اغلب پایگاه‌های مورد بررسی به خصوص در فصول بهار و تابستان در مورد مقادیر ET_a کم‌برآورد داشتند به طوری که میانگین خطای آریبی در ۳ ماه ژوئن، جولای و آگوست در تمامی ۳۰ حوضه مورد بررسی از -۱ تا -۸۳ میلی‌متر در ماه متغیر می‌باشد. (Yao et al., 2023) نشان دادند که پایگاه GLEAM دارای دقت بیشتری برای متغیر ET_a در چین است که با نتایج تحقیق حاضر که پایگاه GLEAM به عنوان دومین پایگاه با دقت بیشتر مشخص شده است، مطابقت دارد. از دلایل کارآمدی یا ناکارآمدی پایگاه‌ها باید به منبع و روش مورد استفاده آنها در تولید داده‌ها اشاره کرد. به عبارت دیگر برخی از پایگاه‌ها بر اساس تمامی منابع موجود از داده‌ها مانند داده‌های زمینی، ماهواره‌ای و مدل‌سازی به تولید داده‌های خود می‌پردازند. اما در برخی از پایگاه‌ها تنها مدل‌سازی بر اساس قانون بیلان آب مبنای تولید داده‌ها قرار می‌گیرد. این تفاوت در منابع و روش بازتحلیل داده‌ها یکی از اصلی‌ترین دلایل کارایی یا ناکارآمدی داده‌های پایگاه‌های مختلف است (Ochege et al., 2021).

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در پژوهش حاضر دقت شش پایگاه داده مختلف شامل GLEAM، ERA5، TERRA، MERRA، GLDAS و CRU در برآورد مقادیر ET_p و ET_a ماهانه در سطح حوضه‌های آبریز درجه دو کشور ایران طی سال‌های ۱۹۸۷-۲۰۱۹ بررسی شده است. نتایج تحقیق حاضر به طور کلی بیانگر تفاوت دقت پایگاه‌های مختلف در ماه‌های مختلف سال دارد. به عنوان نمونه در حالی که در مورد متغیر ET_p در فصل پاییز پایگاه GLEAM به عنوان با دقت‌ترین پایگاه مشخص شده است، در فصول بهار و تابستان پایگاه CRU بیشترین دقت را در برآورد ET_p دارد. این تفاوت در مورد متغیر ET_a بیشتر بوده و در هر فصل یکی از پایگاه‌ها دارای دقت بیشتری می‌باشد. این نتایج بیانگر لزوم بررسی پایگاه داده‌های جهانی به صورت زمانی و مکانی است. با توجه به نتایج تحقیق حاضر پیشنهاد می‌شود که از سایر روابط تجربی به منظور



برآورد تبخیر و تعرق واقعی و پتانسیل استفاده شود.

"هیچ‌گونه تعارض منافع بین نویسندگان وجود ندارد"

منابع

- امین فنک، مریم؛ شمس‌الدینی، علی و میرلطیفی، سیدمجید (۱۴۰۱). ارزیابی عملکرد محصولات تبخیر-تعرق با استفاده از روش فائو-پنمن-مانیتیت در حوضه آبریز زاینده‌رود. *فصلنامه برنامه‌ریزی و آمایش فضا*، ۲۶ (۲)، ۷۹-۹۹.
- عزیزیان، اصغر؛ بهمن‌آبادی، بهاره و جناب، مهنوش (۱۳۹۹). برآورد تبخیر و تعرق پتانسیل با استفاده از مدل‌های بازتحلیل شده مبتنی بر مشاهدات جهانی در اقلیم‌های مختلف ایران. *نشریه حفاظت منابع آب و خاک*، ۱۰ (۱)، ۱-۱۸.
- وزارت نیرو، دفتر مهندسی و معیارهای فنی آب و آبفا (۱۳۹۱). دستورالعمل تقسیم‌بندی و کدگذاری حوضه‌های آبریز و محدوده‌های مطالعاتی در سطح کشور. *نشریه شماره ۳۱۰*، ۱۵۰ صفحه.
- یاراحمدی، جلال؛ میرلطیفی، سیدمجید؛ شمس‌الدینی، علی و دلاور، مجید (۱۳۹۹). ارزیابی مکانی-زمانی داده‌های تبخیر-تعرق واقعی پایگاه‌های جهانی در حوزه آبخیز سد کرخه. *نشریه مهندسی و مدیریت آبخیز*، ۱۲ (۴)، ۱۰۳۹-۱۰۲۴.

REFERENCES

- Abatzoglou, J. T., Dobrowski, S. Z., Parks, S. A., & Hegewisch, K. C. (2018). TerraClimate, a high-resolution global dataset of monthly climate and climatic water balance from 1958–2015. *Scientific data*, 5(1), 1-12.
- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., & Smith, M. (1998). Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements-FAO Irrigation and drainage paper 56. Fao, Rome, 300(9), D05109.
- Amin Fanak, M., Shamsoddini, A. & Mirlatifi, S. M. (2022). Evapotranspiration Products Assessment Using FAOPenman-Monteith Method in Zayandehrood Basin. *The Journal of Spatial Planning*, 26(2): 79- 99. (In Persian)
- Azizian, A., Bahman Abadi, B., & Jenab, M. (2020). Estimation of Evapotranspiration Using Reanalysis Models based on Global Earth Observations at Distinct Climate Regions of Iran. *Journal of Water and Soil Resources Conservation*, 10(1), 1-18. (In Persian)
- Bouchet, R. J. (1963). Evapotranspiration reelle et potentielle, signification climatique [Actual and potential evapotranspiration climate service]. *International Association of Scientific Hydrology*, 62, 134-142.
- Crago, R. D., Qualls, R., & Szilagyi, J. (2022). Complementary Relationship for evaporation performance at different spatial and temporal scales. *Journal of Hydrology*, 608, 127575.
- Dinpashoh, Y. (2006). Study of reference crop evapotranspiration in IR of Iran. *Agricultural water management*, 84(1-2), 123-129.
- dos Santos Farias, D. B., Althoff, D., Rodrigues, L. N., & Filgueiras, R. (2020). Performance evaluation of numerical and machine learning methods in estimating reference evapotranspiration in a Brazilian agricultural frontier. *Theoretical and Applied Climatology*, 142, 1481-1492.
- Gelaro, R., McCarty, W., Suárez, M. J., Todling, R., Molod, A., Takacs, L., ... & Zhao, B. (2017). The modern-era retrospective analysis for research and applications, version 2 (MERRA-2). *Journal of climate*, 30(14), 5419-5454.
- Harris, I., Osborn, T. J., Jones, P., & Lister, D. (2020). Version 4 of the CRU TS monthly high-resolution gridded multivariate climate dataset. *Scientific data*, 7(1), 109.
- Huntington, J. L., Szilagyi, J., Tyler, S. W., & Pohl, G. M. (2011). Evaluating the complementary relationship for estimating evapotranspiration from arid shrublands. *Water Resources Research*, 47(5).
- Iran's Ministry of Energy, (2012). Guide Lines and Criteria for Classification and Coding Basin and Study Areas in IRAN. Department of Technical Affairs, Report number 310, 150 pages. (In Persian)
- Li, M. F., Tang, X. P., Wu, W., & Liu, H. Bin. (2013). General models for estimating daily global solar radiation for different solar radiation zones in mainland China. *Energy Conversion and Management*. 70: 139-148.
- Liu, H., Xin, X., Su, Z., Zeng, Y., Lian, T., Li, L., ... & Zhang, H. (2023). Intercomparison and evaluation of ten global ET products at site and basin scales. *Journal of Hydrology*, 617, 128887.
- Liu, Z., Yao, Z., & Wang, R. (2019). Simulation and evaluation of actual evapotranspiration based on inverse hydrological modeling at a basin scale. *Catena*, 180, 160-168.
- Ma, N., Zhang, Y., Szilagyi, J., Guo, Y., Zhai, J., & Gao, H. (2015). Evaluating the complementary relationship of evapotranspiration in the alpine steppe of the Tibetan Plateau. *Water Resources Research*, 51(2), 1069-

1083.

- Martens, B., Miralles, D. G., Lievens, H., Van Der Schalie, R., De Jeu, R. A., Fernández-Prieto, D., ... & Verhoest, N. E. (2017). GLEAM v3: Satellite-based land evaporation and root-zone soil moisture. *Geoscientific Model Development*, 10(5), 1903-1925.
- Matin, M. A., & Bourque, C. P. A. (2013). Assessing spatiotemporal variation in actual evapotranspiration for semi-arid watersheds in northwest China: Evaluation of two complementary-based methods. *Journal of Hydrology*, 486, 455-465.
- Miralles, D. G., Holmes, T. R. H., De Jeu, R. A. M., Gash, J. H., Meesters, A. G. C. A., & Dolman, A. J. (2011). Global land-surface evaporation estimated from satellite-based observations. *Hydrology and Earth System Sciences*, 15(2), 453-469.
- Moshir Panahi, D., Kalantari, Z., Ghajarnia, N., Seifollahi-Aghmiuni, S., & Destouni, G. (2020). Variability and change in the hydro-climate and water resources of Iran over a recent 30-year period. *Scientific reports*, 10(1), 7450.
- Moshir Panahi, D., Sadeghi Tabas, S., Kalantari, Z., Ferreira, C. S. S., & Zahabiyoun, B. (2021). Spatio-temporal assessment of global gridded evapotranspiration datasets across Iran. *Remote Sensing*, 13(9), 1816.
- Moshir Panahi, D., Sadeghi Tabas, S., Kalantari, Z., Ferreira, C. S. S., & Zahabiyoun, B. (2021). Spatio-temporal assessment of global gridded evapotranspiration datasets across Iran. *Remote Sensing*, 13(9), 1816.
- Ochege, F. U., Shi, H., Li, C., Ma, X., Igboeli, E. E., & Luo, G. (2021). Assessing satellite, land surface model and reanalysis evapotranspiration products in the absence of in-situ in central Asia. *Remote Sensing*, 13(24), 5148.
- Penman, H. L. (1948). Natural evaporation from open water, bare soil and grass. Proceedings of the Royal Society of London. Series A. *Mathematical and Physical Sciences*, 193(1032), 120-145.
- Rienecker, M. M., Suarez, M. J., Gelaro, R., Todling, R., Bacmeister, J., Liu, E., ... & Woollen, J. (2011). MERRA: NASA's modern-era retrospective analysis for research and applications. *Journal of climate*, 24(14), 3624-3648.
- Rodell, M., Houser, P. R., Jambor, U. E. A., Gottschalck, J., Mitchell, K., Meng, C. J., ... & Toll, D. (2004). The global land data assimilation system. *Bulletin of the American Meteorological society*, 85(3), 381-394.
- Sharafi, S., & Mohammadi Ghaleni, M. (2021). Calibration of empirical equations for estimating reference evapotranspiration in different climates of Iran. *Theoretical and Applied Climatology*, 145(3-4), 925-939.
- Shirmohammadi-Aliakbarkhani, Z., & Saberali, S. F. (2020). Evaluating of eight evapotranspiration estimation methods in arid regions of Iran. *Agricultural Water Management*, 239, 106243.
- Thornthwaite, C. W. (1948). An approach toward a rational classification of climate. *Geographical review*, 38(1), 55-94.
- Tsiros, I. X., Nastos, P., Proutsos, N. D., & Tsaousidis, A. (2020). Variability of the aridity index and related drought parameters in Greece using climatological data over the last century (1900–1997). *Atmospheric Research*, 240: 104914.
- United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. 1979. Map of the world distribution of arid regions: map at scale 1:25,000,000 with explanatory note, MAB Technical Notes 7. UNESCO, Paris.
- Xiang, K., Li, Y., Horton, R., & Feng, H. (2020). Similarity and difference of potential evapotranspiration and reference crop evapotranspiration—a review. *Agricultural Water Management*, 232, 106043.
- Yao, T., Lu, H., Yu, Q., Feng, S., Xue, Y., & Feng, W. (2023). Uncertainties of three high-resolution actual evapotranspiration products across China: Comparisons and applications. *Atmospheric Research*, 286, 106682.
- Yarahmadi, J., Mirlatifi, S. M., Shamsoddini, A., & Delavar, M. (2020). Evaluation of temporal-spatial global terrestrial actual evapotranspiration data in Karkhe Dam Watershed. *Watershed Engineering and Management*, 12(4), 1024-1039. (In Persian)
- Yin, W., Fan, Z., Tangdamrongsub, N., Hu, L., & Zhang, M. (2021). Comparison of physical and data-driven models to forecast groundwater level changes with the inclusion of GRACE—A case study over the state of Victoria, Australia. *Journal of Hydrology*, 602, 126735.
- Zhang, M., Teng, Y., Jiang, Y., Yin, W., Wang, X., Zhang, D., & Liao, J. (2022). Evaluation of terrestrial water storage changes over china based on GRACE solutions and water balance method. *Sustainability*, 14(18), 11658.
- Zuo, H., Chen, B., Wang, S., Guo, Y., Zuo, B., Wu, L., & Gao, X. (2016). Observational study on complementary relationship between pan evaporation and actual evapotranspiration and its variation with pan type. *Agricultural and Forest Meteorology*, 222, 1-9.



Evaluation of actual and potential evapotranspiration in global products across Iran's subbasins

EXTENDED ABSTRACT

Introduction

Evapotranspiration (ET) is a critical variable in the hydrological cycle, and plays a key role in designing and operating irrigation systems. The main aim of the research is to evaluate actual and potential evapotranspiration (ET_a and ET_p) achieved from the global gridded products database across subbasins of Iran.

Material and Methods

Daily meteorological variables from 100 synoptic stations during 1987-2019 were used for this purpose. ET_a and ET_p were calculated based on measured data using complementary relationship (CR) and Penman equation as target actual and potential ET. Thiessen polygon method was used to extend the monthly time series of ET_a and ET_p in synoptic stations to sub basin scale. The six global gridded products including TERRA, CRU, ERA5, GLEAM, GLDAS and MERRA with 0.5×0.5 spatial resolution were compared to ET_a and ET_p in 30 subbasins. The Mean Bias Error (MBE), Pearson correlation coefficient (R) and Normalized Root Mean Square Error (NRMSE) were used to assess the accuracy of these products, for each subbasins on monthly scale.

Results and Discussion

The results indicated that more accuracy of products in ET_p in comparison to ET_a specially in summer season (i.e. July, August and September). The CR equation generally overestimates ET_a in the study regions in comparison to ET_a achieved from products. The MBE of all products from May to September (Spring and summer) indicate underestimate of ET_a equal to -23, -40, -47, -42 and -27 mm per month, respectively. The TERRA datasets show high deviation in ET_a during inter annual scale with MBE varied from -57 to +18 mm month⁻¹ in July and December, respectively. However, the more underestimate of ET_p products were achieved in humid basins e.g. Haraz subbasin with MBE= -13 mm per month, the more underestimate of ET_a was accrued in hyper arid subbasins (e.g. Baluchistan with MBE equal to -34 mm per month). Between studied products, the GLEAM shows the high underestimate of ET_p specially in June, July and August with -100 mm month⁻¹. The high correlation between observed ET_a and reanalysis are belonging to TERRA and ERA5 in Winter and Spring-Summer period, respectively. Moreover, the correlation is more in northern subbasins e.g. Aras subbasin with R equal to 0.67 in all of products. Based on NRMSE, results indicated that more accuracy of ET_a products in Spring and Summer months in humid sub basins. Overall, the ranking of these six products indicates their tendency to better performance of ET_a products for Iran's subbasins (ERA5 > GLEAM > MERRA > GLDAS > TERRA). Besides, CRU and GLEAM are more accurate products for ET_p variable in Iran's subbasins.

Conclusion

Generally, this study presents a comprehensive evaluation of popular available ET datasets over Iran's subbasins at monthly time scale. The findings of the research can provide comprehensive information beneficial to the researchers who want to apply scientific findings to select suitable product for ET variable in Iran's subbasins.

Keywords: Climate of Subbasin, Empirical Equations, Evapotranspiration, Global Gridded Database.