نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۵، جلد ۱۶، آذر - دی ۱۴۰۱، ص. ۸۹۰-۸۷۹

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No.5, Vol. 16, Dec.-Jan. 2022, p. 879-890

مقاله علمی-پژوهشی

ارزیابی دقت پایگاه داده‌های CRU TS4.05 و ERA5 برای متغیرهای بارش، دما و تبخیرتعرق پتانسیل در اقلیم‌های مختلف ایران

مهدی محمدی قلعه‌نی[۱*]، سعید شرفی[۲]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۳/۰۷ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۴/۱۷

چکیده

هدف از تحقیق حاضر ارزیابی دقت داده‌های دو پایگاه CRU TS4.05 و ERA5 برای متغیرهای بارش، دما و تبخیرتعرق پتانسیل ماهانه به تفکیک اقلیم‌های مختلف ایران می‌باشد. به این منظور از داده‌های روزانه ۱۰۰ ایستگاه سینوپتیک ایران و داده‌های ماهانه پایگاه‌های CRU TS4.05 و ERA5 با تفکیک مکانی ۰/۵×۰/۵ و ۰/۲۵×۰/۲۵ درجه طی دوره زمانی ۲۰۱۹-۱۹۸۷ استفاده شد. میانگین قدرمطلق خطا برای متغیرهای بارش، دما و تبخیرتعرق پتانسیل در اقلیم‌های فراخشک، خشک، نیمه‌خشک، نیمه‌مرطوب و مرطوب در پایگاه CRU TS4.05 به ترتیب برابر ۶، ۹، ۱۳، ۲۸ و ۸۱ میلی‌متر در ماه، ۱/۷، ۱/۵، ۱/۸، ۲/۷ و ۲/۵ درجه سانتی‌گراد و ۱۷۱، ۸۴، ۳۸، ۴۴ و ۴۷ میلی‌متر در ماه و در پایگاه ERA5 به ترتیب برابر ۵، ۹، ۱۸، ۲۸ و ۴۰ میلی‌متر در ماه، ۱/۱، ۱/۶، ۱/۹، ۳/۰ و ۱/۰ درجه سانتی‌گراد و ۲۲۷، ۹۱، ۴۶، ۴۴ و ۴۸ میلی‌متر در ماه است. نتایج حاکی از دقت بیشتر هر دو پایگاه داده به ترتیب در مورد متغیرهای دما، تبخیرتعرق پتانسیل و بارش است. بطور کلی دقت پایگاه داده ERA5 نسبت به CRU TS4.05 بیشتر است، اما پیشنهاد می‌شود برای متغیر بارش در اقلیم‌های نیمه‌مرطوب و مرطوب از پایگاه داده ERA5 و برای متغیر تبخیرتعرق پتانسیل در اقلیم فراخشک و خشک از پایگاه داده CRU TS4.05 استفاده شود.

واژه‌های کلیدی: پنمن مانتیث فائو ۵۶، تفکیک مکانی، داده‌های شبکه‌بندی شده جهانی، شاخص پراکندگی، شاخص خشکی

مقدمه

داده به عنوان نخستین و مهم‌ترین پیش‌نیاز در انجام هر گونه تحقیق در موضوعات علمی مختلف می‌باشد. به طوری‌که دقت و اعتماد به نتایج تا حد زیادی به کیفیت داده‌های مورد استفاده از لحاظ کمیت و کیفیت بستگی دارد. یکی از چالش‌های همیشگی پیش روی محققین به خصوص در زمینه علوم آب، عدم وجود داده‌های مورد نیاز با درنظر گرفتن شرایطی مانند طول دوره آماری کافی، کم بودن داده‌های ناقص و پرت، پراکنش و دقت مکانی مناسب و مقیاس زمانی مطلوب (ساعتی، روزانه، ماهانه و سالانه) می‌باشد.

امروزه استفاده از پایگاه داده‌های جهانی شبکه‌بندی شده با توجه به دسترسی آسان و کیفیت مکانی و زمانی مناسب داده‌های آنها، کاربرد وسیعی یافته است. در سال‌های اخیر استفاده از داده‌های موجود در پایگاه‌های اطلاعاتی کاربرد فراوانی در گستره‌ای وسیع از موضوعاتی مانند هوا و اقلیم‌شناسی، هیدرولوژی و به خصوص علوم مرتبط با آب پیدا کرده است، که تا حد زیادی توانسته است دغدغه دسترسی به داده اولیه را برای محققین برطرف کند. از جمله مهم‌ترین پایگاه‌های اطلاعاتی که دامنه وسیعی از داده‌ها را اختیار محققین می‌گذارد، می‌توان به داده‌های سری زمانی مرکز تحقیقات اقلیمی نسخه ۴/۰۵[۳] (CRU TS4.05) و نسخه پنجم داده‌های بازتحلیل شده (ERA5) مرکز پیش‌بینی میان مدت اروپا[۴] (ECMWF) اشاره کرد.

طی سالیان اخیر در تحقیقات زیادی از داده‌های مشابه با این پایگاه‌های اطلاعاتی شبکه‌بندی شده جهانی[۵] (حسینی موغاری و

۱- استادیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه اراک، اراک، ایران
۲- استادیار گروه علوم و مهندسی محیط زیست، دانشگاه اراک، اراک، ایران
(*- ایمیل نویسنده مسئول: m-mohammadighaleni@araku.ac.ir)

DOR: 20.1001.1.20087942.1401.16.5.15.0

3- Climatic Research Unit Time-Series version 4.05 (CRU TS4.05)
4- European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF)
5- Global Gridded Datasets

همکاران، ۱۳۹۷؛ عزیزی و همکاران، ۱۳۹۹؛ نویدی نساج و همکاران، ۱۴۰۰؛ محمدی و اکبری، ۱۴۰۰) استفاده شده است. حسینی موغاری و همکاران (۱۳۹۷) در تحقیقی به معرفی برخی از مهم‌ترین پایگاه‌های اطلاعاتی شبکه‌بندی شده جهانی برای متغیر بارش پرداخته‌اند. در تحقیق ایشان پایگاه‌ها از لحاظ قدرت تفکیک مکانی-زمانی، دوره‌های زمانی و متغیرهای در دسترس با یکدیگر مقایسه شده است.

صائمیان و همکاران در تحقیق جامعی به بررسی دقت ۴۴ و ۳۴ پایگاه اطلاعاتی جهانی به‌ترتیب در مقیاس زمانی ماهانه و روزانه برای متغیر بارش در کل ایران پرداختند. نتایج ایشان نشان داد در حالی‌که پایگاه مرکز اقلیم‌شناسی جهانی بارش[۱] (GPCC) برازش بهتری به داده‌های بارش در ایران دارد، پایگاه‌هایی مانند ERA5، مرکز پیش‌بینی اقلیمی[۲] (CPC) و نسخه نهایی پایگاه بازیابی‌های چندماهواره‌ای یکپارچه برای اندازه‌گیری بارش جهانی[۳] (IMERG-Final) برای مطالعات نزدیک به زمان واقعی[۴] در ایران مناسب‌تر می‌باشد (Saemian et al. 2021). محمدی و اکبری (۱۴۰۰) به تحلیل هواشناختی بارش‌های سیل‌آسا و فراگیر در جنوب شرق ایران با استفاده از داده‌های ERA5 پرداختند. نتایج ایشان حاکی از تاثیر الگوهای مختلف جوی در تولید بارش‌های سیل‌آسا در استان سیستان و بلوچستان می‌باشد. عزیزی و همکاران (۱۳۹۹) عملکرد داده‌های ERA5 را برای بارش‌های روزانه و ماهانه در استان اردبیل مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج ایشان حاکی از ضریب همبستگی بیشتر از ۰/۷۵ و ۰/۸۰ و خطای جذر میانگین مربعات[۵] (RMSE) کمتر از ۳ و ۲۰ میلی‌متر به ترتیب برای مقیاس زمانی روزانه و ماهانه بارش در اکثر سلول‌های با تفکیک ۰/۲۵×۰/۲۵ درجه در محدوده مورد بررسی می‌باشد.

نویدی نساج و همکاران (۱۴۰۰) داده‌های ۵ پایگاه بارش شبکه‌بندی جهانی را در طی سال‌های ۲۰۱۶-۱۹۸۷ به منظور پایش خشکسالی در آبریز کارون بزرگ مورد بررسی قرار دادند. نتایج ایشان نشان داد که داده‌های پایگاه‌های GPCC، ERA5 و پایگاه تخمین بارش با اطلاعات سنجش از دور و شبکه‌های عصبی مصنوعی ثبت داده‌های اقلیمی[۶] (PERSIANN-CDR) از دقت بالاتری به منظور برآورد شاخص خشکسالی بارش استاندارد شده[۷] (SPI) به‌ویژه در مناطق شمال‌شرقی و جنوب‌غربی حوضه کارون بزرگ برخودار می‌باشند.

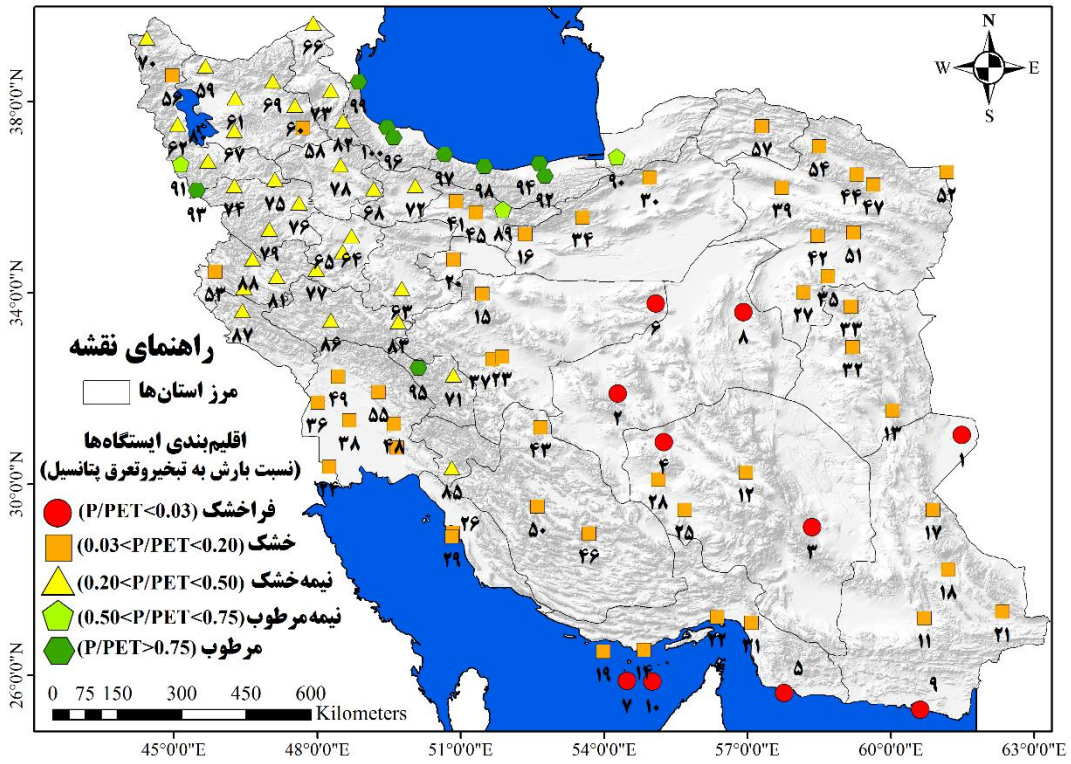
جمع‌بندی مرور منابع تحقیقات مرتبط با موضوع به‌ویژه در ایران، حاکی از وجود دو خلاء تحقیقاتی عمده در مطالعات گذشته می‌باشد؛ اول) موردی بودن اکثر تحقیقات و عدم بررسی در کل ایران با توجه به وجود شرایط متنوع اقلیمی آن و دوم) بررسی و تمرکز بیشتر روی یک متغیر مانند بارش و عدم ارزیابی همزمان داده‌های پایگاه‌ها برای چند متغیر به طور هم‌زمان. با توجه به خلاهای تحقیقاتی بیان شده، هدف از تحقیق حاضر ارزیابی دقت پایگاه‌های CRU TS4.05 و ERA5 در مورد سه متغیر بارش[۸] (P)، دمای میانگین[۹] (T) و تبخیرتعرق پتانسیل[۱۰] (PET) بر اساس اقلیم‌های مختلف در کل ایران می‌باشد. سه دلیل جهت انتخاب دو پایگاه اطلاعاتی CRU TS4.05 و ERA5 از بین سایر پایگاه‌های اطلاعاتی جهانی مدنظر بوده است. اولین دلیل انتخاب پایگاه‌هایی با مبنای متفاوت برای استخراج داده‌ها است. به این ترتیب که از مجموعه پایگاه‌های ایستگاه-مبنا[۱۱]، پایگاه CRU TS4.05 و از مجموعه پایگاه‌های بازتحلیل شده[۱۲]، پایگاه ERA5 انتخاب شده است. دومین دلیل جهانی بودن داده‌های این پایگاه‌ها و امکان دسترسی به داده‌های آنها برای تمامی مناطق در سرتاسر جهان می‌باشد، و سومین دلیل انتخاب این دو پایگاه، پرکاربرد بودن آنها در مطالعات مرتبط با موضوعات منابع آب می‌باشد.

مواد و روش‌ها

محدوده مورد مطالعه

محدوده مورد مطالعه در تحقیق حاضر، کشور ایران، دارای تنوع اقلیمی بسیار زیاد می‌باشد (شکل ۱). اقلیم‌بندی شاخص خشکی[۱۳] (AI=P/PET)، بر اساس نسبت میانگین بارش سالانه (P) به میانگین تبخیرتعرق پتانسیل سالانه (PET) انجام می‌شود. بر اساس مقدار AI اقلیم ایران به پنج طبقه فراخشک (P/PET<0.03)، خشک (0.03<P/PET<0.20)، نیمه‌خشک (0.20<P/PET<0.50)، نیمه‌مرطوب (0.50<P/PET<0.75) و مرطوب (P/PET>0.75) تقسیم‌بندی می‌شود (Tsiros et al., 2020; UNESCO, 1979). در شکل (۱) ایستگاه‌ها از کمترین مقدار شاخص خشکی (اقلیم فراخشک) به بیشترین مقدار شاخص خشکی (اقلیم مرطوب) شماره‌گذاری شده است.

1- Global Precipitation Climatology Centre (GPCC)
2- Climate Prediction Center (CPC)
3- Integrated Multi-satellite Retrievals for Global Precipitation Measurement (IMERG-Final)
4- Near-real-time studies
5- Root Mean Square Error (RMSE)
6- Precipitation Estimation from Remotely Sensed Information using Artificial Neural Networks- Climate Data Record (PERSIANN-CDR)
7- Standardized Precipitation Index (SPI)
8- Precipitation (P)
9- Mean Temperature (T)
10- Potential Evapotranspiration (PET)
11- Gauge-based products
12- Reanalysis products
13- Aridity Index (AI)



شکل ۱- موقعیت و دسته‌بندی اقلیمی ایستگاه‌های سینوپتیک مورد مطالعه

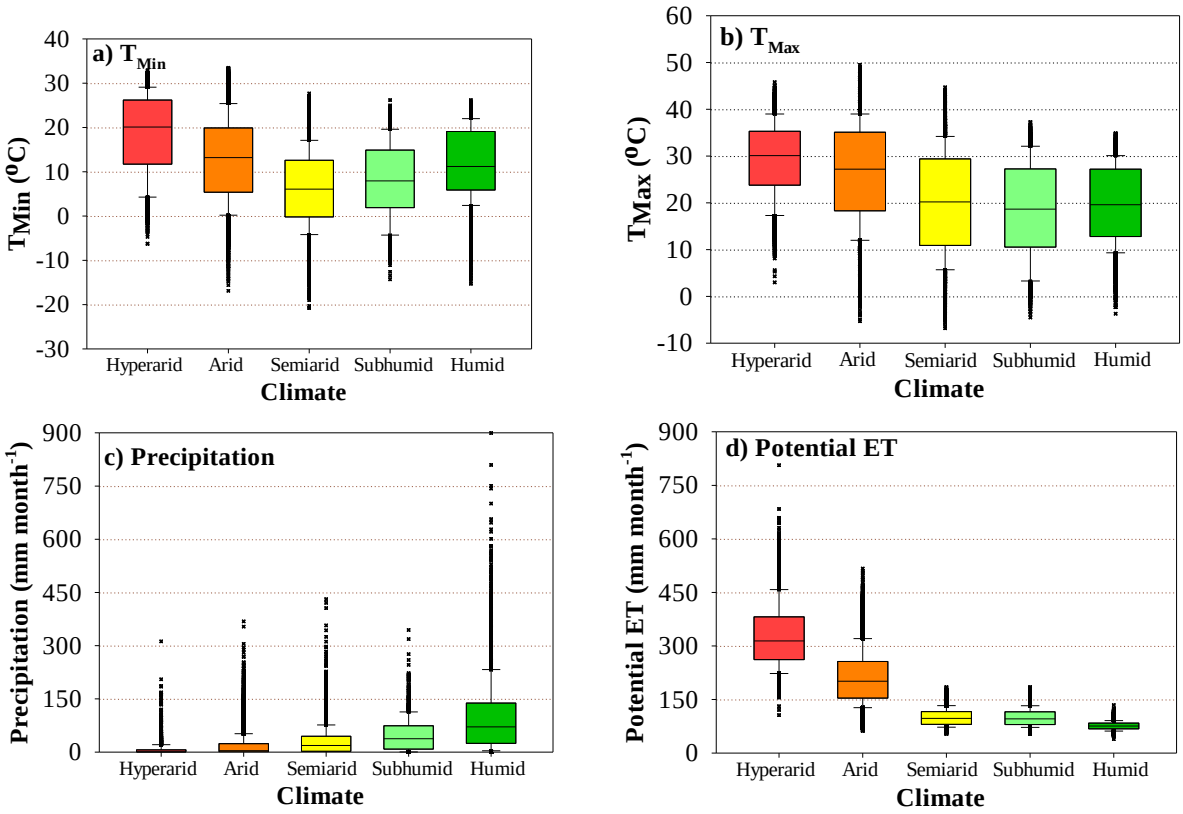
بر اساس اقلیم‌بندی شاخص خشکی، از بین ۱۰۰ ایستگاه سینوپتیک مورد مطالعه در کشور ایران (شکل ۱)، به‌ترتیب ۱۰، ۴۸، ۳۰، ۳ و ۹ ایستگاه در اقلیم‌های فراخشک (ایستگاه‌های ۱۰-۱)، خشک (ایستگاه‌های ۵۸-۱۱)، نیمه‌خشک (ایستگاه‌های ۵۹-۸۸)، نیمه‌مرطوب (ایستگاه‌های ۹۱-۸۹) و مرطوب (ایستگاه‌های ۱۰۰-۹۲) قرار دارند. حداقل و حداکثر میانگین بارندگی سالانه (P) در ۱۰۰ ایستگاه مورد مطالعه طی سال‌های ۲۰۱۹-۱۹۸۷ به ترتیب از ۵۲ میلی‌متر در ایستگاه زابل (ایستگاه ۱) تا ۱۶۹۴ میلی‌متر در ایستگاه بندرانزلی (ایستگاه ۱۰۰) متغیر می‌باشد. همچنین کمترین و بیشترین میانگین سالانه تبخیرتعرق پتانسیل در ایستگاه‌های بندر انزلی (ایستگاه ۱۰۰) و جاسک (ایستگاه ۵) به‌ترتیب ۷۹۹ و ۵۰۴۰ میلی‌متر اندازه‌گیری شده است. مشخصات آماری ماهانه متغیرهای دمای حداقل، دمای حداکثر، بارش و تبخیرتعرق پتانسیل به تفکیک اقلیم‌های شاخص خشکی ایران در شکل (۲) نشان داده شده است.

داده‌های مورد استفاده

سه منبع داده شامل داده‌های اندازه‌گیری شده در ایستگاه‌های سینوپتیک، داده‌های ایستگاه- مبنا پایگاه CRU TS4.05 و داده‌های بازتحلیل شده پایگاه ERA5، برای انجام پژوهش حاضر استفاده شده است. داده‌های روزانه اندازه‌گیری شده در ۱۰۰ ایستگاه سینوپتیک ایران شامل متغیرهای دمای حداقل، دمای حداکثر، بارش، رطوبت نسبی، سرعت باد و تعداد ساعات آفتابی طی سال‌های ۲۰۱۹-۱۹۸۷ به منظور مقایسه با داده‌های دو پایگاه CRU TS4.05 و ERA5 استفاده شده است (شکل ۱). این داده‌ها از سازمان هواشناسی ایران[1] (IRIMO) دریافت شده است. بارش ماهانه و میانگین دمای ماهانه از داده‌های روزانه و تبخیرتعرق پتانسیل با استفاده از روش پنمن-مانتیث فائو ۵۶[2] (PM_{FAO56}) محاسبه شده است.

پایگاه داده CRU TS4.05 با استفاده از داده‌های اندازه‌گیری شده در ایستگاه‌های هواشناسی و استفاده از روش‌های میان‌یابی به تولید داده برای متغیرهایی مختلف اقلیمی در شبکه‌هایی با تفکیک مکانی ۰/۵×۰/۵ درجه پرداخته است (Saemian et al., 2021). اطلاعات کاملی در مورد این پایگاه داده با شرح جزئیات در تحقیق (Harris et al., 2020) قابل مطالعه می‌باشد.

1- Islamic Republic of Iran Meteorological Organization Organization (IRIMO)
2- Penman-Monteith method based on United Nations Food and Agriculture Organization in its Irrigation and Drainage Paper No. 56 (PM FAO56)



شکل ۲- مقادیر ماهانه متغیرهای a) دمای حداقل، b) دمای حداکثر، c) بارش و d) تبخیرتعرق پتانسیل در اقلیم‌های مختلف ایران (۲۰۱۹-۱۹۸۷)

در تحقیق حاضر داده‌های ماهانه سه متغیر بارش، دمای میانگین و تبخیرتعرق پتانسیل در طول دوره ۲۰۲۰-۱۹۰۱ به‌صورت ماهانه و با تفکیک مکانی ۰/۵×۰/۵ درجه از پایگاه CRU TS4.05 استخراج شده است (جدول ۱).

پایگاه داده ERA5، نسخه پنجم داده‌های بازتحلیل شده مرکز ECMWF می‌باشد که تعداد زیادی متغیر در ترازهای مختلف فشاری جو را در اختیار محققین قرار می‌دهد. شرح جزئیات مربوط به این پایگاه داده در تحقیق (Hersbach et al., 2020) ارائه شده است که علاقمندان می‌توانند به آن مراجعه کنند. در تحقیق حاضر داده‌های ماهانه بارش، دمای میانگین و تبخیرتعرق پتانسیل این پایگاه طی دوره ۲۰۲۱-۱۹۷۹ با تفکیک مکانی ۰/۲۵×۰/۲۵ درجه به‌منظور مقایسه با داده‌های اندازه‌گیری شده، دریافت شده است (جدول ۱). طول دوره آماری تحقیق حاضر، بر اساس داده‌های در اندازه‌گیری شده در دسترس از ایستگاه‌های سینوپتیک مورد مطالعه و مشترک با پایگاه‌های CRU TS4.05 و ERA5، ۳۳ سال طی سال‌های ۱۹۸۷ تا ۲۰۱۹ در نظر گرفته شد. مشخصات داده‌های مورد استفاده در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱- مشخصات داده‌های مورد استفاده در تحقیق حاضر

نوع داده	منبع	مقیاس زمانی	تفکیک مکانی	متغیرهای هواشناسی	دوره آماری در دسترس	دوره آماری مشترک
اندازه‌گیری	ایستگاه‌های سینوپتیک	روزانه	نقطه‌ای	بارش، دمای حداقل و حداکثر، رطوبت نسبی، سرعت باد و ساعات آفتابی	۲۰۱۹-۱۹۸۷	۲۰۱۹-۱۹۸۷
ایستگاه-مبنا	CRU TS4.05	ماهانه	۰/۵°×۰/۵°	بارش، دمای میانگین و تبخیرتعرق پتانسیل	۲۰۲۰-۱۹۰۱	
بازتحلیل شده	ERA5	ماهانه	۰/۲۵°×۰/۲۵°	بارش، دمای میانگین و تبخیرتعرق پتانسیل	۲۰۲۱-۱۹۷۹	

رابطه	معادله	بهترین مقدار	محدوده	واحد	رفرنس
(۱)	$R=\frac{\sum_{t=1}^{N}\left(M_t-\overline{M}\right)\left(E_t-\overline{E}\right)}{\sqrt{\left[\sum_{t=1}^{N}\left(M_t-\overline{M}\right)^2\right]\left[\sum_{t=1}^{N}\left(E_t-\overline{E}\right)^2\right]}}$	یک	[+۱، -۱]	بدون واحد	(Zhang et al., 2021)
(۲)	$RMSE=\sqrt{\frac{1}{N}\sum_{t=1}^{N}\left(E_t-M_t\right)^2}$	صفر	[۰، +∞]	واحد متغیر	(Sharafi and Mohammadi Ghaleni, 2021a)
(۳)	$MBE=\frac{1}{N}\sum_{t=1}^{N}\left(E_t-M_t\right)$	صفر	[۰، +∞]	واحد متغیر	(Sharafi and Mohammadi Ghaleni, 2021b)
(۴)	$MAE=\frac{1}{N}\sum_{t=1}^{N}\left\|E_t-M_t\right\|$	صفر	[۰، +∞]	واحد متغیر	(Sharafi and Mohammadi Ghaleni, 2022)
(۵)	$SI\ or NRMSE=\frac{RMSE}{\overline{M}}$	صفر	[۰، +∞]	بدون واحد	(Li et al., 2013)

معیارهای ارزیابی

به‌منظور مقایسه داده‌های اندازه‌گیری شده در ایستگاه سینوپتیک و داده‌های برآورد شده توسط پایگاه‌های اطلاعاتی CRU TS4.05 و ERA5 از ۵ معیار ارزیابی شامل ضریب همبستگی پیرسون[1] (R)، خطای جذر میانگین مربعات[2] (RMSE)، میانگین خطای اریبی[3] (MBE)، میانگین قدرمطلق خطا[4] (MAE) و شاخص پراکنش[5] (SI) یا همان خطای جذر میانگین مربعات نرمال‌شده[6] (NRMSE) استفاده شده است. مشخصات این معیارها در روابط (۱) تا (۵) ارائه شده است.

در روابط (۱) تا (۵)، M_t و E_t به‌ترتیب مقادیر اندازه‌گیری شده و برآوردشده متغیرها در زمان tام، $\overline{M}$ و $\overline{E}$ 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. بهترین مقادیر برای معیار R برابر با یک و برای معیارهای RMSE، MBE، MAE و SI برابر با صفر در صورت دقیقا برابر بودن مقادیر برآوردشده با اندازه‌گیری شده بدست می‌آید. میزان دقت برآورد یک متغیر را با استفاده از شاخص SI می‌توان به ۵ دسته عالی (SI<0.1)، خوب (0.1<SI<0.2)، متوسط (0.2<SI<0.3) و ضعیف (SI>0.3) تقسیم‌بندی کرد (Li, Tang, et al., 2013).

نتایج و بحث

ضریب همبستگی پیرسون و خطای جذر میانگین مربعات بین مقادیر اندازه‌گیری شده و برآورد شده متغیرهای بارش، دمای میانگین و تبخیرتعرق پتانسیل به تفکیک اقلیم‌های مورد بررسی در جدول ۲، ارائه شده است.

با توجه به مقادیر ضریب همبستگی پیرسون (R) و خطای جذر میانگین مربعات (RMSE) بیشترین دقت در بین مقادیر اندازه‌گیری شده متغیرهای بارش، دما و تبخیرتعرق پتانسیل و مقادیر این متغیرها در پایگاه‌های CRU TS4.05 و ERA5 مربوط به متغیر دما می‌باشد. به طوری‌که مقادیر ضریب همبستگی بین دمای میانگین ماهانه اندازه‌گیری شده و برآوردشده در تمامی اقلیم‌ها برابر با ۰/۹۹ می‌باشد. همچنین حداکثر خطای جذر میانگین مربعات برای دما در اقلیم نیمه‌مرطوب و به ترتیب برابر ۳/۰ و ۳/۱ درجه‌سانتی‌گراد در پایگاه‌های CRU TS4.05 و ERA5 بدست آمده است. در کل ایستگاه‌های مورد بررسی دقت برآورد دمای میانگین در پایگاه ERA5 (RMSE=۲/۰ ^{O}C) نسبت به CRU TS4.05 (RMSE=۲/۳ ^{O}C) بیشتر است.

دقت برآورد بارش ماهانه در کل ایستگاه‌های مورد مطالعه در پایگاه ERA5 (R=۰/۸۱ و RMSE=۳۰/۴) نسبت به CRU TS4.05 (R=۰/۷۲ و RMSE=۴۲/۳) بیشتر است. به‌ویژه خطای برآورد متغیر بارش در اقلیم مرطوب در پایگاه CRU TS4.05 (RMSE=۱۲۰/۹) بیش از دو برابر پایگاه ERA5 (RMSE=۶۰/۱) است. دقت برآورد بارش در هر دو پایگاه CRU TS4.05 و ERA5 از اقلیم‌های فراخشک به مرطوب کاهش می‌یابد به طوری‌که مقدار RMSE متغیر بارش در پایگاه CRU TS4.05 از اقلیم فراخشک تا مرطوب از ۱۲/۶ به ۱۲۰/۹ (حدود ۱۰ برابر) و در پایگاه ERA5 از ۱۱/۱ به ۶۰/۱ (حدود ۵ برابر) افزایش پیدا می‌کند. بیشترین مقادیر ضریب همبستگی برای متغیر بارش اندازه‌گیری شده و برآوردی پایگاه‌ها مربوط به اقلیم نیمه‌خشک و برابر ۰/۸۴ است.

1- Pearson correlation coefficient (R)
2- Root Mean Square Error (RMSE)
3- Mean Bias Error (MBE)
4- Mean Absolute Error (MAE)
5- Scatter Index (SI)
6- Normalized Root Mean Squared Error (NRMSE)

جدول ۲- معیارهای آماری متغیرهای بارش، دمای میانگین و تبخیرتعرق پتانسیل

اقلیم	پایگاه داده / متغیر / معیار	CRU TS4.05			ERA5		
		بارش	دما	تبخیرتعرق پتانسیل	بارش	دما	تبخیرتعرق پتانسیل
فراخشک	R	۰/۷۵*	۰/۹۹**	۰/۵۱ns	۰/۸۰*	۰/۹۹**	۰/۴۲ns
	RMSE	۱۲/۶	۱/۹	۱۸۲/۱	۱۱/۱	۱/۳	۲۳۶/۶
خشک	R	۰/۸۱**	۰/۹۹**	۰/۷۹*	۰/۸۵**	۰/۹۹**	۰/۷۷*
	RMSE	۱۶/۶	۱/۷	۹۲/۷	۱۷/۰	۲/۰	۹۹/۵
نیمه‌خشک	R	۰/۸۴**	۰/۹۹**	۰/۸۶**	۰/۸۴**	۰/۹۹**	۰/۹۰**
	RMSE	۱۹/۶	۲/۱	۴۴/۴	۲۵/۲	۲/۲	۵۳/۶
نیمه‌مرطوب	R	۰/۷۴*	۰/۹۹**	۰/۸۱**	۰/۷۴*	۰/۹۹**	۰/۸۵**
	RMSE	۴۱/۵	۳/۰	۵۲/۹	۳۸/۴	۳/۱	۵۲/۳
مرطوب	R	۰/۴۵ns	۰/۹۹**	۰/۷۱*	۰/۸۱**	۰/۹۹**	۰/۶۴*
	RMSE	۱۲۰/۹	۳/۰	۵۷/۴	۶۰/۱	۱/۳	۵۳/۵
کل ایستگاه‌ها	R	۰/۷۲*	۰/۹۹**	۰/۷۴*	۰/۸۱**	۰/۹۹**	۰/۷۲*
	RMSE	۴۲/۳	۲/۳	۸۵/۹	۳۰/۴	۲/۰	۹۹/۱

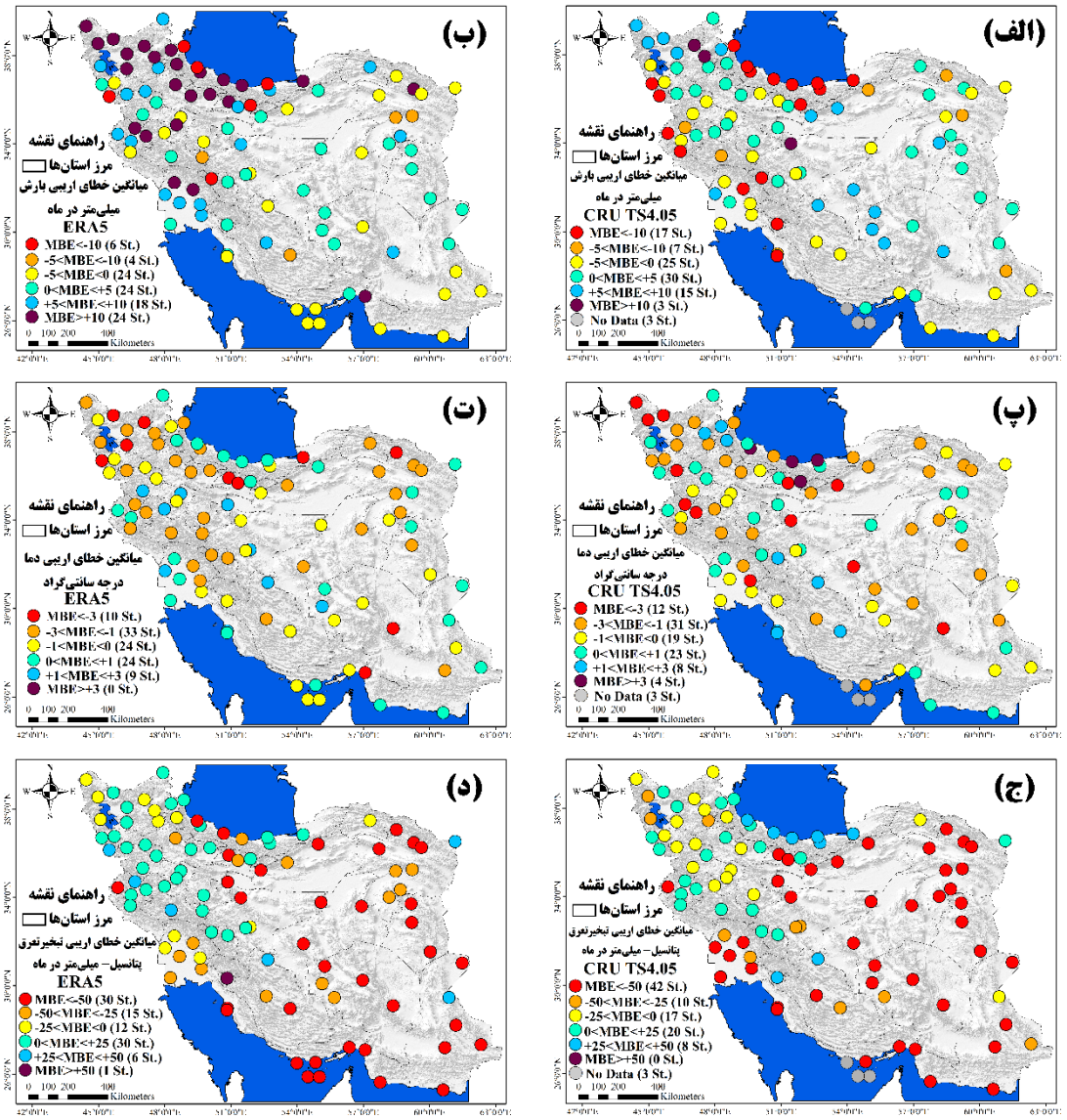
**، * و ns به ترتیب بیانگر معنی‌داری در سطوح یک درصد، پنج درصد و غیرمعنی‌داربودن ضریب همبستگی پیرسون است.

برخلاف متغیر بارش که در پایگاه ERA5 نسبت به CRU TS4.05 دقت بیشتری دارد، دقت برآورد تبخیرتعرق پتانسیل ماهانه در کل ایستگاه‌های مورد مطالعه در پایگاه CRU TS4.05 (R=۰/۷۴ و RMSE=۸۵/۹) نسبت به ERA5 (R=۰/۷۲ و RMSE=۹۹/۱) بیشتر است. به‌ویژه در اقلیم فراخشک خطای برآورد متغیر تبخیرتعرق پتانسیل در پایگاه ERA5 (RMSE=۲۳۶/۶) برابر ۵۴/۵ میلی‌متر در ماه بیشتر از پایگاه CRU TS4.05 (RMSE=۱۸۲/۱) است. حداکثر دقت تبخیرتعرق پتانسیل برای پایگاه CRU TS4.05 در اقلیم نیمه‌خشک (R=۰/۸۶ و RMSE=۴۴/۴) و برای پایگاه ERA5 در اقلیم نیمه‌مرطوب (R=۰/۸۵ و RMSE=۵۲/۳) است.

علامت منفی و مثبت میانگین خطای اریبی (MBE)، به‌ترتیب بیانگر کم‌برآورد و بیش‌برآورد یک متغیر نسبت به مقادیر اندازه‌گیری شده آن است. شکل ۳ (الف-د) مقادیر MBE پایگاه‌های CRU TS4.05 و ERA5 را برای سه متغیر بارش، دما و تبخیرتعرق پتانسیل در ۱۰۰ ایستگاه سینوپتیک مورد مطالعه نشان می‌دهد. پایگاه داده CRU TS4.05 در سه ایستگاه سیری، ابوموسی و کیش (ایستگاه‌های ۷، ۱۰ و ۱۹ در شکل ۱)، فاقد داده برای متغیرهای مورد بررسی بودند (شکل ۳).

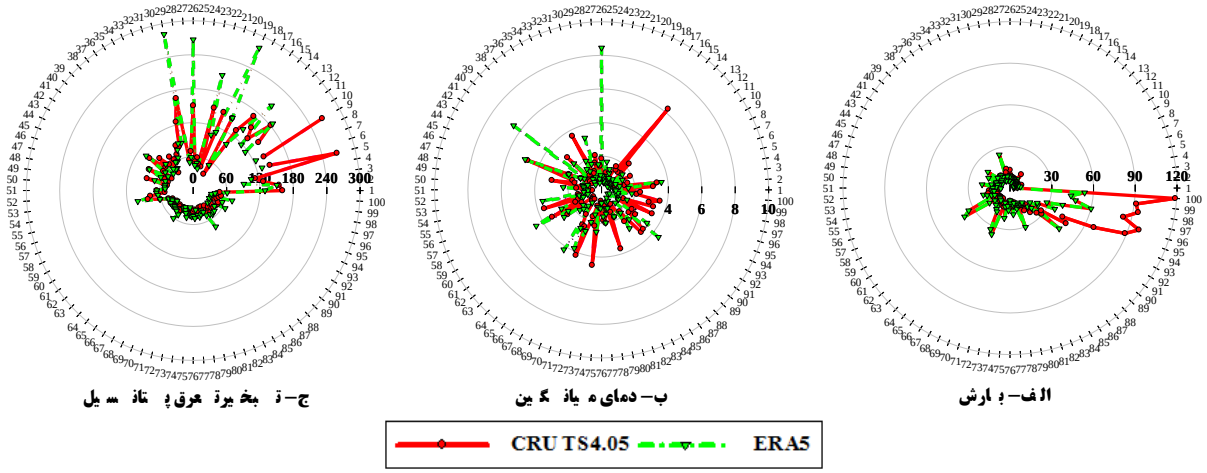
مقادیر بارش برآورد شده در اقلیم مرطوب (ایستگاه‌های حاشیه دریای مازندران) توسط پایگاه‌های CRU TS4.05 (شکل ۳-الف) و ERA5 (شکل ۳-ب) به‌ترتیب دارای کم‌برآورد و بیش‌برآورد بودند. همچنین پایگاه CRU TS4.05 در ۴۸ درصد ایستگاه‌ها و پایگاه ERA5 در ۶۶ درصد ایستگاه‌ها بارش را بیش‌برآورد (MBE>0) کرده‌اند. تعداد ایستگاه‌های با خطای برآورد بارش برابر با ±۵ میلی‌متر در ماه (5>MBE>-5) در پایگاه CRU TS4.05 و ERA5 به‌ترتیب برابر ۵۵ و ۴۸ ایستگاه بودند. در حالی‌که این مساله حاکی از دقت بیشتر پایگاه CRU TS4.05 در برآورد بارش نسبت به پایگاه ERA5 است، اما حداکثر خطای برآورد در پایگاه CRU TS4.05 و ERA5 به‌ترتیب برابر ۱۲۴/۴- (انزلی) و ۴۱/۵+ (گرگان) میلی‌متر در ماه است. به این ترتیب توصیه می‌شود که به‌منظور برآورد دقیق‌تر بارش به‌ویژه در اقلیم‌های مرطوب از داده‌های پایگاه ERA5 استفاده شود، زیرا مقادیر بارش ماهانه‌ی برآورد شده در پایگاه CRU TS4.05 برای ایستگاه‌های اقلیم مرطوب به طور میانگین دارای کم‌برآوردی برابر ۷۹/۹- میلی‌متر در ماه است.

دقت بیشتر پایگاه ERA5 در برآورد میانگین دمای ماهانه نسبت به پایگاه CRU TS4.05 به خوبی در شکل ۳ (پ و ت) مشخص است. به‌طوری‌که تعداد ایستگاه‌های با خطای دمای بیشتر از ±۳ درجه‌سانتی‌گراد در ماه در پایگاه CRU TS4.05 و ERA5 به‌ترتیب برابر ۱۶ و ۱۰ ایستگاه می‌باشد. همچنین دمای ماهانه در پایگاه CRU TS4.05 و ERA5 با دقت بین ±۱ درجه سانتی‌گراد به‌ترتیب در ۴۲ و ۴۸ ایستگاه بدست آمد. حداکثر خطای اریبی میانگین دمای ماهانه برای در پایگاه CRU TS4.05 و ERA5 به‌ترتیب در ایستگاه‌های کاشان و کرج و برابر ۶/۲۵- و ۶/۵۱- درجه سانتی‌گراد است.



شکل ۳- میانگین خطای اریبی متغیرهای بارش، دما و تبخیرتعرق پتانسیل در پایگاه‌های CRU TS4.05 و ERA5

میانگین MBE برای تبخیرتعرق پتانسیل در ایستگاه‌های اقلیم‌های فراخشک، خشک، نیمه‌خشک، نیمه‌مرطوب و مرطوب در پایگاه CRU TS4.05 و ERA5 به‌ترتیب برابر ۱۷۱/۴-، ۷۶/۶-، ۰/۸۸، ۱۷/۳ و ۲۴/۸ میلی‌متر در ماه و ۲۲۶/۷-، ۷۵/۲-، ۱۲/۰، ۱۲/۹ و ۱۰/۰- میلی‌متر در ماه بود. نکته جالب توجه در شکل (۳ ج و د) با توجه به اعداد ذکرشده، کم برآورد مقادیر تبخیرتعرق پتانسیل ماهانه در اقلیم مرطوب در پایگاه ERA5 می‌باشد. تعداد ایستگاه‌های با دقت ۲۵± میلی‌متر در ماه برای متغیر تبخیرتعرق پتانسیل در دو پایگاه CRU TS4.05 و ERA5 به‌ترتیب برابر ۳۷ و ۴۲ ایستگاه می‌باشد. به‌طورکلی با توجه به مقادیر MBE، پیشنهاد می‌شود که در اقلیم فراخشک از داده‌های CRU TS4.05 و در اقلیم مرطوب از داده‌های ERA5 در مورد متغیر تبخیرتعرق پتانسیل استفاده شود. میانگین قدرمطلق خطا (MAE) برای متغیرهای بارش، دما و تبخیرتعرق پتانسیل در ۱۰۰ ایستگاه سینوپتیک در قالب نمودار راداری در شکل ۴، ارائه شده است.



شکل ٤- میانگین قدرمطلق خطا برای الف) بارش، ب) دما و ج) تبخیرتعرق پتانسیل CRU TS4.05 و ERA5

با توجه به اینکه شماره‌گذاری ایستگاه‌ها از کمترین به بیشترین مقادیر شاخص خشکی (اقلیم فراخشک به مرطوب) انجام شده است (۱، خشک‌ترین و ۱۰۰، مرطوب‌ترین ایستگاه)، تغییرات نمودارهای شکل (۴) را می‌توان بر اساس اقلیم فراخشک به مرطوب در جهت پادساعتگرد (از ایستگاه ۱ به ۱۰۰) ارزیابی نمود.

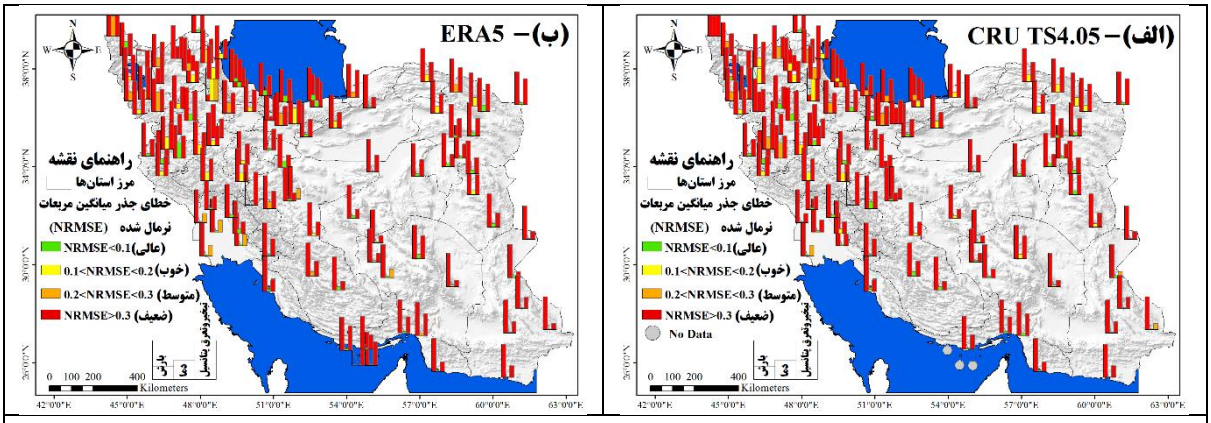
کمترین و بیشترین مقادیر MAE برای متغیر بارش در پایگاه CRU TS4.05 و ERA5 به‌ترتیب برابر [۶۸/۰۱-۳/۱۱۹] و [۶۲/۱۲-۲/۶۰] است. تغییرات MAE برای متغیر بارش (شکل ۴الف) حاکی از کاهش دقت برآورد بارش از ایستگاه‌های با اقلیم فراخشک به مرطوب به خصوص در داده‌های CRU TS4.05 می‌باشد. به‌طوری‌که میانگین MAE بارش ماهانه پایگاه CRU TS4.05 در ایستگاه‌های اقلیم فراخشک، خشک، نیمه‌خشک، نیمه‌مرطوب و مرطوب به‌ترتیب برابر ۶/۰۹، ۹/۰۲، ۱۲/۵۹، ۲۷/۹۱ و ۸۱/۳۱ میلی‌متر است (شکل ۴الف). همچنین میانگین MAE بارش پایگاه ERA5 در ایستگاه‌های اقلیم فراخشک به مرطوب به‌ترتیب برابر ۴/۶۶، ۹/۴۹، ۱۷/۷۳، ۲۸/۲۷ و ۳۹/۵۵ میلی‌متر در ماه است. به‌طورکلی نتایج شکل ۴الف بیانگر دقت بیشتر بارش ماهانه‌ی پایگاه ERA5 نسبت به پایگاه CRU TS4.05 در اقلیم‌های فراخشک و مرطوب می‌باشد، در حالی‌که دقت پایگاه CRU TS4.05 در برآورد بارش ماهانه اقلیم‌های خشک و نیمه‌خشک بیشتر از پایگاه ERA5 است.

شکل (۴ب) بیانگر روند قابل توجهی را برای متغیر میانگین دمای ماهانه در پایگاه CRU TS4.05 و ERA5 از اقلیم فراخشک به مرطوب نشان نمی‌دهد. به عبارتی در ایستگاه‌های تمام اقلیم‌ها برای هر دو پایگاه CRU TS4.05 و ERA5 مقادیر MAE نوسان نشان می‌دهد. با توجه به شکل (۴ب) حداکثر خطای MAE در بین ۱۰۰ ایستگاه مورد مطالعه برای هر دو پایگاه CRU TS4.05 و ERA5، اغلب در ایستگاه‌های اقلیم خشک و یا نیمه‌خشک رخ داده است. به‌عنوان مثال سه مقدار حداکثر MAE در پایگاه CRU TS4.05 به‌ترتیب مربوط به ایستگاه‌های ۱۵(برابر ۶/۲۵، کاشان اقلیم خشک)، ۴۵ (برابر ۴/۷۶، تهران اقلیم خشک) و ۷۴ (برابر ۴/۵۲، سنندج اقلیم نیمه‌خشک) و در پایگاه ERA5 به‌ترتیب مربوط به ایستگاه‌های ۲۶ (برابر ۸/۴۵، بوشهر اقلیم خشک)، ۴۱ (برابر ۶/۵۱، کرج اقلیم خشک) و ۴۵ (برابر ۴/۹۲، تهران اقلیم خشک) است.

شکل (۴ج) به خوبی بیانگر دقت بیشتر پایگاه‌های CRU TS4.05 و ERA5 در برآورد تبخیرتعرق پتانسیل ماهانه در اقلیم‌های مرطوب نسبت به اقلیم‌های فراخشک می‌باشد. به‌طوری‌که مقادیر MAE در شکل (۴ج) از ایستگاه ۱ (زابل، اقلیم فراخشک) به سمت ایستگاه۱۰۰ (انزلی، اقلیم مرطوب) کاهش یافته و به عبارتی دقت برآورد تبخیرتعرق پتانسیل ماهانه بیشتر می‌شود. میانگین MAE تبخیرتعرق پتانسیل ماهانه پایگاه CRU TS4.05 (شکل ۴ج) در ایستگاه‌های اقلیم فراخشک، خشک، نیمه‌خشک، نیمه‌مرطوب و مرطوب به‌ترتیب برابر ۱۷۱/۵، ۸۳/۹، ۳۸/۴، ۴۴/۲ و ۴۷/۲ میلی‌متر است. همچنین میانگین MAE تبخیرتعرق پتانسیل ماهانه پایگاه ERA5 در ایستگاه‌های اقلیم فراخشک به مرطوب به‌ترتیب برابر ۲۲۷/۳، ۹۱/۴، ۴۵/۷، ۴۴/۴ و ۴۷/۶ میلی‌متر در ماه است. به‌طورکلی نتایج شکل (۴ج) بیانگر دقت بیشتر تبخیرتعرق پتانسیل ماهانه‌ی پایگاه CRU TS4.05 نسبت به پایگاه ERA5 در اقلیم‌های فراخشک، خشک و نیمه‌خشک می‌باشد. در اقلیم‌های نیمه‌مرطوب و مرطوب دقت دو پایگاه CRU TS4.05 و ERA5، در برآورد تبخیرتعرق پتانسیل ماهانه با یکدیگر مشابه است.

نکته‌ای که باید در مورد تحلیل‌های مربوط به دقت داده‌های دو پایگاه CRU TS4.05 و ERA5 در اقلیم‌های مختلف در نظر گرفت، استفاده از یک معیار خطای نرمال شده برای مقایسه دقت نتایج آنها

بدون اثر تفاوت بزرگی مقادیر متغیرها در اقلیم‌های مختلف است. به عبارتی دقت بیشتر این پایگاه‌ها برای متغیر بارش در اقلیم فراخشک و برای تبخیرتعرق پتانسیل در اقلیم مرطوب به کمتر بودن مقادیر بارش در اقلیم فراخشک نسبت به سایر اقلیم‌ها و کمتر بودن مقادیر تبخیرتعرق پتانسیل در اقلیم مرطوب نسبت به سایر اقلیم‌ها ارتباط دارد (شکل ۲). در این راستا به‌منظور مقایسه دقت برآورد متغیرهای بارش، دما و تبخیرتعرق پتانسیل در دو پایگاه CRU TS4.05 و ERA5 از معیار خطای جذر میانگین مربعات نرمال شده (NRMSE) استفاده شده است. معیار NRMSE به‌دلیل بدون واحد بودن، می‌تواند برای مقایسه دقت پایگاه‌ها در مورد متغیرهایی با واحدهای مختلف نیز استفاده شود. شکل ۵، مقادیر NRMSE را برای متغیرهای بارش، دما و تبخیرتعرق پتانسیل در دو پایگاه CRU TS4.05 و ERA5 به تفکیک ۱۰۰ ایستگاه مورد مطالعه نشان می‌دهد.



شکل۵– مقادیر NRMSE متغیرهای بارش، دما و تبخیرتعرق پتانسیل در دو پایگاه (الف)– CRU TS4.05 و (ب)– ERA5

مقادیر NRMSE متغیر بارش برای هر دو پایگاه CRU TS4.05 (شکل ۵ الف) و ERA5 (شکل ۵ب) و برای تمامی ایستگاه‌های مورد بررسی بزرگتر از ۰/۳ (دقت ضعیف) قرار گرفته است. محدوده تغییرات NRMSE ایستگاه‌های مورد مطالعه در این دو پایگاه برای متغیر بارش به‌ترتیب برابر [۲/۶۰ –۰/۴۸] و [۳/۲۰ – ۰/۴۳] بدست آمده است. تعداد ایستگاه‌های با مقادیر NRMSE دمای قرار گرفته در طبقات با دقت عالی (۰/۱>)، خوب (۰/۲–۰/۱)، متوسط (۰/۳–۰/۲) و ضعیف (۰/۳<) برای پایگاه CRU TS4.05 و ERA5 به‌ترتیب برابر ۴۷، ۳۲، ۱۴ و ۴ ایستگاه و ۵۳، ۳۰، ۱۲ و ۵ ایستگاه می‌باشد. به‌عبارت دیگر دقت برآورد دمای میانگین ماهانه توسط دو پایگاه CRU TS4.05 و ERA5 به‌ترتیب برای ۷۹ و ۸۳ درصد ایستگاه‌های مورد مطالعه در کشور ایران در محدوده دقت عالی و خوب (NRMS<۰/۲) قرار دارد. برآورد دمای میانگین ماهانه در پایگاه CRU TS4.05 تنها در ۴ ایستگاه آبعلی (نیمه‌خشک)، سنندج (نیمه‌خشک)، ماکو (نیمه‌خشک) و کاشان (خشک) و در پایگاه ERA5 تنها در ۵ ایستگاه اهر (نیمه‌خشک)، مراغه (نیمه‌خشک)، جلفا (نیمه‌خشک)، کرج (خشک) و بوشهر (خشک) دارای دقتی ضعیف (NRMS>۰/۳) می‌باشد. دقت برآورد متغیر تبخیرتعرق پتانسیل توسط هر دو پایگاه داده مورد بررسی در ۹۳ از ۱۰۰ ایستگاه مورد بررسی دارای دقتی ضعیف (NRMS>۰/۳) است. پایگاه CRU TS4.05، در چهار ایستگاه (فسا، آبادان، سراوان و زاهدان) و پایگاه ERA5، در ۷ ایستگاه (زنجان، امیدیه، اهواز، بستان، سیرجان، آبادان و شرق اصفهان) در برآورد تبخیرتعرق پتانسیل دارای دقت متوسط (۰/۲<NRMSE<۰/۳) می‌باشند.

نتیجه‌گیری

استفاده از داده‌های پایگاه‌های جهانی به‌دلیل دسترسی آسان و کیفیت زمانی و مکانی مناسب آنها در علوم مختلف به‌ویژه تحقیقات مرتبط با مهندسی آب کاربرد وسیعی پیدا کرده است. نکته‌ای که باید در کاربرد داده‌های این پایگاه‌ها در نظر گرفت، ارزیابی دقت آنها در محدوده مورد مطالعه می‌باشد. هدف از تحقیق حاضر ارزیابی جامعی از دقت برآورد متغیرهای بارش، دما و تبخیرتعرق پتانسیل توسط دو پایگاه CRU TS4.05 و ERA5 در اقلیم‌های مختلف کشور ایران است. به این منظور داده‌های روزانه متغیرهای هواشناسی در ۱۰۰ ایستگاه سینوپتیک و داده‌های ماهانه متغیرهای بارش (P)، دما (T) و تبخیرتعرق پتانسیل (PET) از دو پایگاه CRU TS4.05 و ERA5 به‌ترتیب با تفکیک مکانی ۰/۵×۰/۵ و ۰/۲۵×۰/۲۵ درجه طی سال‌های ۲۰۱۹–۱۹۸۷ استفاده شده است. به‌منظور مقایسه داده‌های برآورد شده با داده‌های اندازه‌گیری شده از ۵ معیار آماری شامل ضریب همبستگی پیرسون (R)، خطای جذر میانگین مربعات (RMSE)، میانگین خطای اریبی (MBE)، میانگین قدرمطلق خطا

(MAE) و خطای جذر میانگین مربعات نرمال‌شده (NRMSE) استفاده شده است. اقلیم ایستگاه‌های سینوپتیک بر اساس شاخص خشکی (AI=P/PET)، به پنج اقلیم شامل فراخشک (P/PET<0.03)، خشک (0.03<P/PET<0.20)، نیمه‌خشک (0.20<P/PET<0.50)، نیمه‌مرطوب (0.50<P/PET<0.75) و مرطوب (P/PET>0.75) تقسیم‌بندی شده است. نتایج حاکی از دقت بیشتر برآورد بارش ماهانه در کل ایستگاه‌های مورد مطالعه در پایگاه ERA5 (R=۰/۸۱ و RMSE=۳۰/۴) نسبت به CRU TS4.05 (R=۰/۷۲ و RMSE=۴۲/۳) به‌ویژه در اقلیم‌های مرطوب می‌باشد. حداکثر خطای RMSE برآورد بارش در پایگاه CRU TS4.05 و ERA5 به ترتیب برابر ۱۲۴/۴- (انزلی) و ۴۱/۵+ (گرگان) میلی متر در ماه است. دقت برآورد بارش در ۵۵ و ۴۸ ایستگاه از ۱۰۰ ایستگاه مورد بررسی بین ۵± میلی‌متر در ماه (5+>MBE>5-) به‌ترتیب در پایگاه CRU TS4.05 و ERA5 می‌باشد. نتایج عزیزی و همکاران (۱۳۹۹) در مورد عملکرد داده‌های ERA5 برای بارش ماهانه در استان اردبیل حاکی از ضریب همبستگی بیشتر از ۰/۸۰ و خطای جذر میانگین مربعات[1] (RMSE) کمتر از ۲۰ میلی‌متر برای بوده است که مشابه نتایج تحقیق حاضر (R=۰/۸۱ و RMSE=۳۰/۴) در مورد بارش ماهانه می‌باشد. میانگین MAE بارش ماهانه در پایگاه CRU TS4.05 و ERA5 در ایستگاه‌های اقلیم فراخشک، خشک، نیمه‌خشک، نیمه‌مرطوب و مرطوب به‌ترتیب برابر ۶/۰۹، ۹/۰۲، ۱۲/۵۹، ۲۷/۹۱ و ۸۱/۳۱ میلی‌متر و ۴/۶۶، ۹/۴۹، ۱۷/۷۳، ۲۸/۲۷ و ۳۹/۵۵ میلی‌متر در ماه است. محدوده تغییرات NRMSE ایستگاه‌های مورد مطالعه در این دو پایگاه برای متغیر بارش به‌ترتیب برابر [۲/۶۰ -۰/۴۸] و [۳/۲۰ -۰/۴۳] و قرار گرفته در طبقه دقت ضعیف (NRMS>۰/۳) است. به‌طورکلی برای متغیر بارش با توجه به اقلیم مورد بررسی پیشنهاد می‌شود که در اقلیم‌های فراخشک و مرطوب از داده‌های ERA5 و در اقلیم‌های خشک و نیمه‌خشک از داده‌های CRU TS4.05 استفاده شود. دقت برآورد دمای میانگین در کل ایستگاه‌های مورد بررسی در پایگاه ERA5 (RMSE=۲/۰ °C) نسبت به CRU TS4.05 (RMSE=۲/۳ °C) بیشتر است. مقادیر ضریب همبستگی پیرسون برای متغیر دما در تمامی اقلیم‌ها و برای هر دو پایگاه برابر ۰/۹۹، که حاکی از دقت بالای هر دو پایگاه در برآورد متغیر دما در تمامی ایستگاه‌های مورد مطالعه است. تعداد ایستگاه‌های با دقت برآورد دمای بین ۱± درجه سانتی‌گراد در ماه در ۴۲ و ۴۸ ایستگاه و با خطای بیشتر از ۳± درجه‌سانتی‌گراد در ماه در ۱۶ و ۱۰ ایستگاه به‌ترتیب در پایگاه CRU TS4.05 و ERA5 بدست آمده است. حداکثر خطای MAE در بین ۱۰۰ ایستگاه مورد مطالعه برای هر دو پایگاه CRU TS4.05 و ERA5، اغلب در ایستگاه‌های اقلیم خشک و یا نیمه‌خشک رخ داده است. دقت برآورد دمای میانگین ماهانه توسط دو پایگاه CRU TS4.05 و ERA5 به‌ترتیب برای ۷۹ و ۸۳ درصد ایستگاه‌های مورد مطالعه در کشور ایران در محدوده دقت عالی و خوب (NRMS<۰/۲) قرار دارد. در مجموع با توجه به دقت بیشتر پایگاه ERA5 در برآورد دمای میانگین ماهانه نسبت به CRU TS4.05، استفاده از داده‌های پایگاه ERA5 در تحقیقات مرتبط با دما توصیه می‌شود. حداکثر خطای برآورد متغیر تبخیرتعرق پتانسیل پایگاه ERA5 (RMSE=۲۳۶/۶) برابر ۵۴/۵ میلی‌متر در ماه بیشتر از پایگاه CRU TS4.05 (RMSE=۱۸۲/۱) در اقلیم فراخشک رخ داده است. همچنین حداکثر دقت تبخیرتعرق پتانسیل برای پایگاه CRU TS4.05 در اقلیم نیمه‌خشک (R=۰/۸۶ و RMSE=۴۴/۴) و برای پایگاه ERA5 در اقلیم نیمه‌مرطوب (۰/۸۵ =Rو RMSE=۵۲/۳) است. میانگین MBE تبخیرتعرق پتانسیل در ایستگاه‌های اقلیم‌های فراخشک، خشک، نیمه‌خشک، نیمه‌مرطوب و مرطوب در پایگاه CRU TS4.05 و ERA5 به‌ترتیب برابر ۱۷۱/۴-، ۷۶/۶-، ۰/۸۸، ۱۷/۳ و ۲۴/۸ میلی‌متر در ماه و ۲۲۶/۷-، ۷۵/۲-، ۱۲/۰، ۱۲/۹ و ۱۰/۰- میلی‌متر در ماه می‌باشد. مقادیر MBE در اقلیم‌های مختلف حاکی از دقت بیشتر پایگاه‌های CRU TS4.05 و ERA5 در برآورد تبخیرتعرق پتانسیل ماهانه در اقلیم‌های مرطوب نسبت به اقلیم‌های فراخشک می‌باشد. همچنین میانگین MAE تبخیرتعرق پتانسیل ماهانه در ایستگاه‌های اقلیم فراخشک، خشک، نیمه‌خشک، نیمه‌مرطوب و مرطوب در دو پایگاه CRU TS4.05 و ERA5 به ترتیب برابر ۱۷۱/۵، ۸۳/۹، ۳۸/۴، ۴۴/۲ و ۴۷/۲ میلی‌متر و ۲۲۷/۳، ۹۱/۴، ۴۵/۷، ۴۴/۴ و ۴۷/۶ میلی‌متر در ماه است که بیانگر افزایش دقت برآورد تبخیرتعرق پتانسیل ماهانه از اقلیم فراخشک به مرطوب می‌باشد. پایگاه CRU TS4.05، در چهار ایستگاه (فسا، آبادان، سراوان و زاهدان) و پایگاه ERA5، در ۷ ایستگاه (زنجان، امیدیه، اهواز، بستان، سیرجان، آبادان و شرق اصفهان) در برآورد تبخیرتعرق پتانسیل دارای دقت متوسط (۰/۳>NRMSE>۰/۲) و در ۹۳ ایستگاه باقیمانده هردو پایگاه دارای دقتی ضعیف (NRMS>۰/۳) در برآورد تبخیرتعرق پتانسیل می‌باشند. به‌طورکلی نتایج تحقیق حاضر بیانگر لزوم دقت کافی در انتخاب پایگاه داده‌های شبکه‌بندی شده جهانی با توجه به اقلیم و محدوده مورد بررسی می‌باشد.

منابع

حسینی موغاری، س. م.، عراقی‌نژاد، ش. و ابراهیمی، ک. ۱۳۹۷. معرفی پایگاه‌های بارش شبکه‌بندی شده جهانی، نشریه آب و توسعه پایدار. ۵(۲): ۱۵۳-۱۶۲.

عزیزی، ج.، رسول‌زاده، ع.، رحمتی، ا.، شایقی، ا. و باختر، آ. ۱۳۹۹. ارزیابی عملکرد داده‌های بازتحلیل شده Era-5 در تخمین بارش

1- Root Mean Square Error (RMSE)

روزانه و ماهانه در استان اردبیل، تحقیقات آب و خاک ایران. ۵۱(۱۱): ۲۹۳۷-۲۹۵۱.

محمدی، م. و اکبری، م. ۱۴۰۰. تحلیل هواشناختی بارش‌های سیل‌آسا و فراگیر در جنوب شرق ایران. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی). ۳۵(۶): ۸۹۱-۹۰۷.

نویدی نساج، ب.، ظهرابی، ن.، نیکبخت شهبازی، ع. و فتحیان، ح. ۱۴۰۰. ارزیابی داده‌های بارش شبکه‌بندی شده جهانی در پایش خشکسالی (مطالعه موردی: حوضه آبریز کارون بزرگ). نشریه حفاظت منابع آب و خاک، ۱۰(۳): ۷۹-۹۶.

Harris, I., Osborn, T. J., Jones, P. and Lister, D. 2020. Version 4 of the CRU TS monthly high-resolution gridded multivariate climate dataset. Scientific Data. 7(1): 1–18.

Hersbach, H., Bell, B., Berrisford, P., Hirahara, S., Horányi, A., Muñoz-Sabater, J., Nicolas, J., Peubey, C., Radu, R., Schepers, D., Simmons, A., Soci, C., Abdalla, S., Abellan, X., Balsamo, G., Bechtold, P., Biavati, G., Bidlot, J., Bonavita, M., De Chiara, G., Dahlgren, P., Dee, D., Diamantakis, M., Dragani, R., Flemming, J., Forbes, R., Fuentes, M., Geer, A., Haimberger, L., Healy, S., Hogan, R. J., Hólm, E., Janisková, M., Keeley, S., Laloyaux, P., Lopez, P., Lupu, C., Radnoti, G., de Rosnay, P., Rozum, I., Vamborg, F., Villaume, S. and Thépaut, J. N. 2020. The ERA5 global reanalysis. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society. 146(730): 1999–2049.

Li, M. F., Tang, X. P., Wu, W. and 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.

Saemian, P., Hosseini-Moghari, S. M., Fatehi, I., Shoarinezhad, V., Modiri, E., Tourian, M. J., Tang, Q., Nowak, W., Bárdossy, A. and Sneeuw, N. 2021. Comprehensive evaluation of precipitation datasets over Iran. Journal of Hydrology. 603: 127054.

Sharafi, S. and Mohammadi Ghaleni, M. 2021a. Evaluation of multivariate linear regression for reference evapotranspiration modeling in different climates of Iran. Theoretical and Applied Climatology. 143(3): 1409–1423.

Sharafi, S. and Mohammadi Ghaleni, M. 2021b. Calibration of empirical equations for estimating reference evapotranspiration in different climates of Iran. Theoretical and Applied Climatology. 145(3–4): 925–939.

Sharafi, S. and Mohammadi Ghaleni, M. 2022. Spatial assessment of drought features over different climates and seasons across Iran. Theoretical and Applied Climatology. 147(3–4): 941–957.

Tsiros, I. X., Nastos, P., Proutsos, N. D. and 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.

Zhang, H., Ding, J., Wang, Y., Zhou, D. and Zhu, Q. 2021. Investigation about the correlation and propagation among meteorological, agricultural and groundwater droughts over humid and arid/semi-arid basins in China. Journal of Hydrology. 603: 127007.

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No.5, Vol. 16, Dec.-Jan. 2022, p. 879-890

نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۵، جلد ۱۶، آذر - دی ۱۴۰۱، ص. ۸۹۰-۸۷۹

Evaluation of CRU TS4.05 and ERA5 Datasets Accuracy to Precipitation, Temperature and Potential Evapotranspiration in Different Climates across Iran

M. Mohammadi Ghaleni[1*], S. Sharafi[2]
Recived: Jul.08, 2021 Accepted: May.28, 2022

Abstract

The main objectives of this study was the evaluation of CRU TS4.05 and ERA5 datasets accuracy to monthly precipitation (P), temperature (T) and Potential Evapotranspiration (PET) variables in different climates across Iran. To achieve the research aim, daily measured data from 100 synoptic meteorological stations and monthly P, T and PET products of CRU TS4.05 and ERA5 datasets are used at a spatial resolution of 0.5°×0.5° and 0.25°×0.25° from 1987 to 2019. The mean absolute error values for P, T and PET variables in Hyper-arid (HA), Arid (AR), Semi-arid (SA), Sub-humid (SH) and Humid (HU) climates of CRU TS4.05 datasets are equal to 6, 9, 13, 28 and 81 mm month^{-1}, 1.7, 1.5, 1.8, 2.7, 2.5 ^{o}C and 171, 84, 38, 44 and 47 mm month^{-1}, and of ERA5 datasets are equal to 5, 9, 18, 28 and 40 mm month^{-1}, 1.1, 1.6, 1.9, 3.0 and 1.0 ^{o}C and 227, 91, 46, 46, 44 and 48 mm month^{-1}, respectively. Results of this study have declared that more accuracy of two datasets (CRU TS4.05 and ERA5) to T, PET and P, respectively. Although, the main results show that accuracy of ERA5 datasets are more than CRU TS4.05 datasets, but it is recommended to use ERA5 P products in SH and HU climates, and CRU TS4.05 PET products in HA and AR climates.

Keywords: Aridity index, FAO Penman–Monteith, Global gridded datasets, Scatter index, Spatial resolution.

1- Assistant Professor, Department of Water Science and Engineering, Arak University, Arak, Iran
2- Assistant Professor, Department of Environment Science and Engineering, Arak University, Arak, Iran
(*- Corresponding Author Email: m-mohammadighaleni@araku.ac.ir)