



تحقیقات آب و خاک ایران | دوره ۵۲ | شماره ۱۱ | بهمن ۱۴۰۰ (ص ۲۷۳۷-۲۷۲۳)

<https://dx.doi.org/10.22059/ijswr.2021.333263.669118>

(مقاله علمی - پژوهشی)

## Seasonal Distribution Analysis of Extreme Precipitation in Iran using AgERA5 dataset

NARGES ASADI RAHIM-BEYGI<sup>1</sup>, AZAR ZARRIN<sup>\*1</sup>, ABBAS MOFIDI<sup>1</sup>, ABBASALI DADASHI-ROUDBARI<sup>1</sup>

<sup>1</sup>. Department of Geography, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.

(Received: Nov. 1, 2021- Revised: Dec. 5, 2021- Accepted: Dec. 11, 2021)

### ABSTRACT

Extreme precipitation is considered as a serious hazard, especially in arid and semi-arid regions as they increase the risk of flooding and leave limited time for warning. The aim of this study is to evaluate precipitation of the fifth-generation reanalysis (AgERA5) of the European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF) and to investigate the seasonal distribution of extreme precipitation in Iran. In this study, the accuracy of AgERA5 precipitation is evaluated using NRMSE, MBE, and PCC statistics. The error analysis shows that AgERA5 has the highest NRMSE in the humid climate of the northern coasts as well as the rainy regions of Zagros and Northwest of Iran. In contrast, this dataset estimates precipitation in arid and semi-arid regions of Iran more accurately. Three indices, including SDII, RX1day, and R10mm, were used to examine seasonal precipitation. The evaluation of extreme indices shows that the AgERA5 dataset is underestimated R10mm in large parts of the country, and in contrast, the two indices RX1day and SDII are overestimated in most parts of Iran. Like the average precipitation, the maximum error and bias of extreme precipitation are seen on the Southern Caspian Sea coast. The results showed that the maximum one-day precipitation (RX1day) in Iran is 80.5 mm in winter. The maximum daily precipitation intensity (SDII) is observed in southeastern Iran, with 19.2 mm/day in summer. The Southern Caspian Sea coasts show the highest continuity of days with heavy precipitation in all seasons. Despite the fact that this region has the highest number of heavy precipitation days in all seasons, the maximum continuity of heavy precipitation is seen in the high Zagros mountains. Precipitation intensity in all regions of Iran is directly related to altitudes. In this regard, the southern coast of the Caspian Sea is an exception throughout the year.

**Keywords:** Extreme Precipitation, Precipitation Intensity, Heavy Precipitation, AgERA5, Iran.

## تحلیل پراکنش فصلی بارش‌های فرین در ایران با استفاده از پایگاه AgERA5

نرگس اسدی رحیم‌بیگی<sup>۱</sup>، آذر زرین<sup>۱\*</sup>، عباس مفیدی<sup>۱</sup>، عباسعلی داداشی رودباری<sup>۱</sup>

۱. گروه جغرافیا، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۸/۱۰ - تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۹/۱۴ - تاریخ تصویب: ۱۴۰۰/۹/۲۰)

### چکیده

بارش‌های فرین به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه خشک به عنوان یک مخاطره جدی تلقی شده، خطر رخداد سیل را افزایش داده و زمان محدودی برای هشدار باقی می‌گذارند. این مطالعه با هدف درستی سنجی متغیر بارش و بارش‌های فرین پایگاه AgERA5 و بررسی پراکنش فصلی بارش‌های فرین در ایران انجام شده است. ابتدا، درستی داده‌های بارش پایگاه AgERA5 با کاربست سنج‌های آماری NRMSE، MBE و PCC مورد بررسی قرار گرفت. بررسی خطاها نشان داد که داده AgERA5 بیشترین مقدار NRMSE را در اقلیم مرطوب سواحل شمالی و همچنین مناطق پرباران زاگرس و شمال‌غربی دارد. در مقابل، این پایگاه، بارش را در مناطق خشک و نیمه خشک ایران با دقت بیشتری برآورد می‌کند. برای بررسی بارش فرین فصلی، از سه شاخص شدت بارش روزانه (SDII)، بیشینه بارش یک‌روزه (RX1day) و روزهای همراه با بارش سنگین (R10mm) استفاده شد. درستی سنجی شاخص‌های فرین نشان داد که پایگاه AgERA5 در برآورد شاخص R10mm بخش‌های بزرگی از کشور کم‌برآوردی دارد و در مقابل دو شاخص SDII و RX1day در بیش‌تر مناطق ایران بیش‌برآوردی دارند. همانند میانگین بارش، بیشینه خطا و اریبی بارش‌های فرین در سواحل خزری دیده می‌شود. نتایج نشان داد که در حالیکه بیشینه RX1day به مقدار ۸۰/۵ میلی‌متر در فصل زمستان اتفاق می‌افتد، بیشینه SDII با ۱۹/۲ میلی‌متر/روز در فصل تابستان مشاهده می‌شود. این در حالی است که بیشینه تداوم R10mm در تمامی فصول در سواحل خزری مشاهده می‌گردد. به‌رغم آنکه سواحل خزری بیشینه روزهای همراه با بارش سنگین را در تمامی فصول دارد اما بیشینه تداوم شدت بارش در زاگرس مرتفع دیده می‌شود. شدت بارش در تمامی مناطق ایران با ارتفاعات ارتباط مستقیم دارد. در این رابطه، سواحل جنوبی دریای خزر در تمام طول سال، از این قاعده مستثنی است.

**واژه‌های کلیدی:** بارش فرین، شدت بارش، بارش سنگین، پایگاه AgERA5، ایران.

### مقدمه

بارش یکی از مهم‌ترین متغیرهای هواشناسی است که به‌شکل مستقیم بر جریان آب‌های سطحی، منابع آب و بر بخش کشاورزی تأثیر می‌گذارد. بنابراین، تغییر الگوی بارش ممکن است بر فعالیت‌های اقتصادی در بخش صنعتی و کشاورزی و همچنین بر منابع آب و تولید برق هر کشور تأثیر بگذارد. با این حال، این اثرات بر اساس ویژگی‌های جغرافیایی، مانند نوع پوشش گیاهی و کاربری زمین متفاوت است (Lucas et al., 2021). برآورد دقیق و قابل اعتماد از بارش منجر به بهبود مصرف آب و همچنین پیش‌بینی دقیق‌تری از سیل و خشکسالی و دیگر مخاطرات اقلیمی می‌شود (Tapiador et al., 2012).

یکی از مهم‌ترین مخاطرات طبیعی در شرایط کنونی، وردابی در وقوع بارش‌های فرین است (Trenberth, 2011). با توجه به نادر بودن و ناهمگونی فضایی رخدادهای فرین (Myhre

et al., 2019)، شناخت فرین‌های اقلیمی و بخصوص رخدادهای بارش فرین بسیار چالش برانگیز است. از سوی دیگر، در جامعه علمی اجماع فزاینده‌ای بر این واقعیت وجود دارد که در بخش‌های بزرگی از کره زمین بارش‌های فرین در حال افزایش است (IPCC, 2013). کاربست مستقیم داده‌های ایستگاهی در کشورهایی همچون ایران که در مناطق کوهستانی و مناطق خشک و بیابانی داخلی آن ایستگاه اندازه‌گیری ندارند (یا داده بلند مدت در اختیار ندارند) نمی‌تواند منجر به شناخت صحیح این دست از مخاطرات اقلیمی شود.

اندازه‌گیری بارش از طریق باران‌سنج‌ها روشی مطمئن و دقیق است (Li et al., 2017). با این حال، همانطور که گفته شد در مناطق کوهستانی و مناطق خشک و بیابانی، تراکم ایستگاه‌های اندازه‌گیری بارش نسبتاً کم است. در مناطقی با تراکم کم ایستگاه‌ها و پوشش راداری ناکافی، داده‌های سنجش از دور بهترین جایگزین را برای برآورد بارش فراهم می‌کنند. اما در این

است. بیشتر مطالعات جهانی که اخیراً بارش‌های فرین را با داده‌های مشاهداتی یا داده‌های بازتحلیل و برونداد مدل‌ها مورد بررسی قرار دادند مبنایی بر اساس داده‌های شبکه‌ای دارند. بطوریکه پایگاه داده HadEX به عنوان یک داده مشاهداتی فرین جهانی در نسخه HadEX2 (Donat et al., 2013) و HadEX3 (Dunn et al., 2020) یا نسخه پیشین آن (HadEX1) (Alexander et al., 2006) برای تحلیل فرین‌های اقلیمی مورد استفاده قرار گرفته است. همچنین پژوهش‌های بسیاری نیز از داده‌های GHCNDEX (Donat et al., 2014)؛ PERSIANN-CDR (Miao et al., 2015) و APHRODITE (Lai et al., 2020) برای بررسی بارش‌های فرین استفاده نموده‌اند. مطالعات زیادی نیز بارش‌های فرین را با داده‌های پایگاه ERA5 در مناطق مختلف جهان همچون پاکستان (Arshad et al., 2021)، شرق مدیترانه (Rischmüller et al., 2021) و مرکز چین (Jiang et al., 2021) مورد بررسی قرار داده و کارایی مناسب این مجموعه داده را مورد تایید قرار دادند. این مطالعات به جهت کاربست شاخص‌ها نیز متفاوت هستند. بطوریکه برخی از این مطالعات فقط یک شاخص همانند RX1day را بررسی کرده‌اند (Westra et al., 2013). در حالی که سایر مطالعات که پیش‌تر نیز گفته شد همچون Donat et al. (2013)، شاخص‌های بیشتری را مورد بررسی قرار داده‌اند. به جهت گستره مکانی نیز این مطالعات را می‌توان در سطح جهانی (Sun et al., 2021)، قاره‌ای (Kirchmeier-Young & Zhang, 2020) و منطقه‌ای (Zeder & Fischer, 2020) طبقه بندی کرد. هر چند که پژوهش‌های انجام شده تفاوت‌هایی را به جهت داده، روش مورد استفاده و منطقه جغرافیایی دارند؛ اما همگی این مطالعات نشان می‌دهند که بارش‌های فرین به عنوان مخاطره جدی در سطح جهانی در حال افزایش است.

به‌رغم مطالعات بسیاری که در سطح جهانی انجام شده است اما بارش‌های فرین در ایران چندان مورد توجه قرار نگرفته‌اند. بر حسب نوع داده بکار گرفته شده مطالعات انجام شده را می‌توان بر اساس داده‌های ایستگاهی (Rahimzadeh et al., 2009; Soltani et al., 2016)؛ داده‌های ماهواره‌ای PERSIANN-CDR (Katiraie-Boroujerdy et al., 2017)؛ TRMM (Kiany et al., 2020)؛ و داده‌های بازتحلیل GPCP (Halabian & Keikhosravi-Kiany, 2020) طبقه‌بندی کرد. این مطالعات بیشتر از شاخص‌های استاندارد ETCCDI<sup>1</sup> استفاده نموده و صرفاً بسته به نوع داده مورد استفاده دارای تفاوت‌هایی هستند. همچنین مطالعات زیادی نیز بارش‌های فرین در ایران را با رویکرد

زمینه نیز طول دوره آماری (برای مثال داده‌های TRMM از سال ۱۹۹۷ داده در اختیار دارند) یک محدودیت جدی برای مطالعات اقلیمی است.

به غیر از داده‌های ایستگاهی و بارش منتج از داده‌های ماهواره‌ای، منبع دیگری از داده‌های بارش در دسترس، بازتحلیل‌ها هستند. مزیت اصلی بازتحلیل‌ها در این است که هر دو منبع ایستگاه‌های باران سنجی و بارش ماهواره‌ای را برای تولید داده‌های جدید جهانی استفاده می‌کنند (Hu et al., 2016). همچنین مجموعه داده‌های بازتحلیل به دلیل توانایی آن‌ها در به تصویر کشیدن زمین و جو به شکل جفت شده، کاربرد وسیعی در مطالعات اقلیمی دارند. بطوریکه کاربران را قادر می‌سازند تا الگوها و فرآیندهای متعدد جوی را به شکل کمی بسنجند (Zhu et al., 2021). لذا استفاده از داده‌های باز تحلیل با تفکیک افقی مناسب برای پشتیبانی از داده‌های مشاهداتی ضروری است.

مجموعه داده‌های بازتحلیل متداول مورد استفاده شامل نسخه‌های ERA-Interim و ERA-5 (Hersbach et al., 2020) از مرکز اروپایی پیش بینی میان مدت جو (ECMWF) است. پایگاه داده بازتحلیل سامانه پیش‌بینی اقلیمی سازمان ملی هوانوردی و فضایی (NASA) و مرکز ملی پیش‌بینی محیطی (NCEP) ایالات متحده آمریکا موسوم به NCEP-CFSR (Saha et al., 2014) از دیگر داده‌های جهانی با سطح اطمینان بالا است. همچنین پایگاه NCEP-NCAR با همکاری وزارت انرژی آمریکا (DOE)، پایگاه بازتحلیل NCEP-DOE را ارائه کرده است (Kanamitsu et al., 2002). آژانس هواشناسی ژاپن (JMA) یک مجموعه داده معروف تحت عنوان JRA-55 را ارائه داده است. اداره مدل سازی و داده‌گذاری جهانی (GMAO) نیز یک پایگاه بازتحلیل تحت عنوان مجموعه داده‌های تحلیل گذشته‌نگر عصر مدرن برای پژوهش‌ها و برنامه‌های کاربردی (MERRA) را معرفی کرده است (Reichle et al., 2017). بر اساس آنچه که گفته شد داده‌های بازتحلیل با مشخصه‌های گوناگونی در سطح جهانی در دسترس هستند که استفاده از آن‌ها می‌تواند به شناخت بهتر پدیده‌های اقلیمی منجر شود. این تحقیق نیز از نسل پنجم پایگاه بازتحلیل ECMWF برای بررسی بارش‌های فرین فصلی در ایران استفاده کرده است.

فرین‌های اقلیمی و بویژه بارش‌های فرین یک موضوع تحقیقی گسترده و در حال رشد است که توجه ویژه‌ای را در طیف وسیعی از پژوهشگران علوم جوی تا محیطی به‌خود معطوف کرده

سامانه‌های پرفشار سیبری، واچرخندهای مهاجر برون حاره و واچرخند عربستان تنوع می‌یابد. هر چند بارش‌های محلی و همرفتی نیز نقش مهمی در برخی از مناطق همچون شمال غرب کشور به‌ویژه در فصل بهار دارند اما فعالیت و گستره آن‌ها همانند سامانه‌های نامبرده نیست. درهم تنیدگی خشکی و دریا، توپوگرافی بسیار پیچیده و تنوع سامانه‌های همدیدی در مقیاس‌های زمانی و مکانی مختلف در ترکیب با هم، تنوع اقلیمی بسیار زیادی را در این سرزمین رقم زده‌اند. به‌طوری که پیش‌بینی و تحلیل فرآیندها و پدیده‌های جوی از جمله بارش در گستره ایران زمین همواره با چالش‌های بزرگی همراه است. در این میان، فراوانی ایستگاه‌های هواشناسی کشور و توزیع فضایی آن‌ها، با تنوع اقلیمی و پیچیدگی شرایط جوی انطباق لازم را نداشته و از این منظر، همواره کشور با کمبود اطلاعات جوی دقیق و با تفکیک افقی بالا روبروست. بر این اساس، به کارگیری داده‌های ماهواره‌ای و همچنین داده‌های شبکه‌ای با تفکیک افقی بالا و برای مدت زمان طولانی، که بتواند کمبود ایستگاه‌های هواشناسی را پوشش دهد، می‌تواند نقشی مهم و ارزشمند هم از جهت کاربردهای عملیاتی و هم از منظر کاربردهای تحقیقاتی داشته باشد. در این راستا، داده بارش مرکز اروپایی پیش‌بینی میان مدت جوی (ECMWF) با تفکیک افقی بسیار بالا موسوم به AgERA5 می‌تواند گزینه مناسبی برای چنین اهدافی باشد. به همین دلیل، در مطالعه حاضر درستی این داده در قیاس با داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی مورد بررسی قرار گرفته است. شکل (۱-الف) برای نمونه تراکم شبکه‌های AgERA5 را در قیاس با ایستگاه‌های هواشناسی موجود در بخش‌های مرکزی کشور نشان می‌دهد. وضعیت توپوگرافی ایران همراه با موقعیت ایستگاه‌های مورد بررسی را می‌توان در شکل (۱-ب) مشاهده نمود.

#### داده‌های مشاهداتی (ایستگاه‌های هواشناسی همدید)

در مطالعه حاضر، داده‌های بارش روزانه ۷۷ ایستگاه هواشناسی همدید برای سال‌های ۱۹۹۱ تا ۲۰۲۰ از سازمان هواشناسی کشور اخذ گردید. با توجه به اینکه بارش یک متغیر هواشناسی با وردایی زیاد است در این تحقیق طول دوره آماری برای درستی سنجی، یک دوره ۳۰ ساله (۱۹۹۱-۲۰۲۰) در نظر گرفته شد تا تراکم حداکثری ایستگاه‌ها در تمام مناطق اقلیمی ایران در نظر گرفته شود (شکل ۱-ب). از آزمون همگنی استاندارد معمولی (SNHT) برای ارزیابی همگنی داده‌های بارش روزانه در طول دوره زمانی یادشده، استفاده شد. SNHT یک تکنیک آماری برای بررسی یکنواختی نسبی و مطلق داده‌های پرت است. پس از کنترل کیفی داده‌ها در نهایت ۷۷ ایستگاه همدید گزینش شد. موقعیت

تغییر اقلیم مورد بررسی قرار دادند. در یکی از این مطالعات (Zarrin & Dadashi-Roudbari, 2021c) با بررسی شدت بارش بر اساس مدل‌های پروژه مقایسه مدل‌های جفت‌شده فاز ششم (CMIP6) دریافتند که شدت بارش تا پایان قرن در ایران روند افزایشی خواهد داشت. همچنین در پژوهشی دیگر (Zarrin & Dadashi-Roudbari, 2021a) با استفاده از برون‌داد مدل‌های CMIP6 و به‌کارگیری یک روش همادی نشان دادند که بی‌هنجاری دوره‌های خشک متوالی به عنوان یک نمایه استاندارد برای خشکسالی‌های کوتاه مدت تحت شرایط تغییر اقلیم در ایران افزایشی است. پیش‌نگری شدت بارش در ایران با به‌کارگیری رویکرد همادی با استفاده از داده‌های مقیاس کاهی شده NEX-GDDP پژوهشی است که توسط (Zarrin & Dadashi-Roudbari, 2021b) به انجام رسیده است. یافته‌ها نشان داد که شاخص‌های SDII و RX1day تا پایان قرن بین ۴ تا ۱۳ درصد در بخش‌های گسترده‌ای از ایران افزایش خواهد یافت.

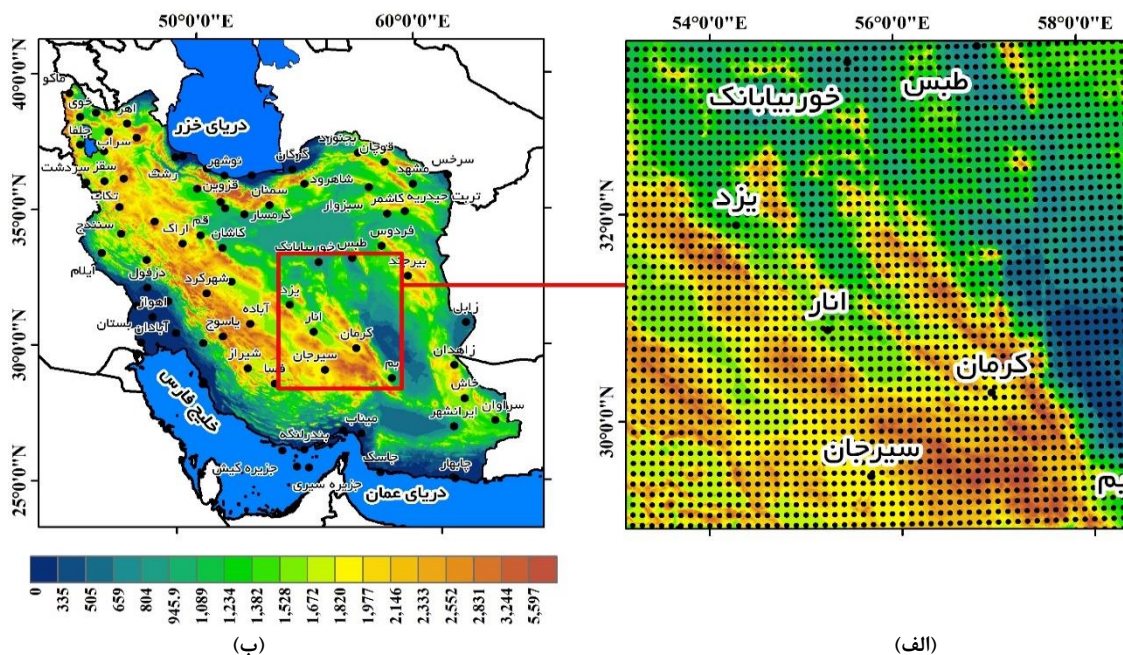
بر اساس گزارش‌های متعدد جهانی از جمله گزارش‌های IPCC، ایران یکی از کشورهای در معرض مخاطرات طبیعی از جمله مخاطرات مرتبط با تغییر اقلیم است. تغییر اقلیم توسعه پایدار و امنیت غذایی را تهدید می‌کند (Edenhofer, 2015). بر همین اساس آگاهی از کارایی داده‌های بازتحلیل به عنوان جایگزین و مکمل داده‌های ایستگاهی برای کاربرد آن‌ها در مطالعات مرتبط با مدیریت ریسک ضروری است. هدف از مطالعه حاضر درستی‌سنجی متغیر بارش و بارش‌های فرین از مجموعه داده‌های بازتحلیل AgERA5 جهت بررسی و تحلیل بارش‌های فرین در ایران است. در گام نخست درستی داده‌های بارش و بارش‌های فرین در مقیاس سالانه سنجش شده و سپس بارش‌های فرین ایران بر اساس پراکنش فصلی مورد بررسی و تحلیل قرار گرفته است. وردایی فصلی بارش‌های فرین از اهمیت قابل توجهی برخوردار است (Sun et al., 2020) و نتایج این مطالعه می‌تواند در بررسی‌های مربوط به مدیریت ریسک اقلیمی مورد استفاده قرار گیرد.

## مواد و روش

### منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه این پژوهش کشور ایران است. اقلیم ایران تنوعی از اقلیم‌های مختلف شامل اقلیم مرطوب در مناطق شمالی تا اقلیم خشک مناطق داخلی و نیمه خشک شمال شرقی را در بر می‌گیرد. بارش‌های سالانه عمدتاً توسط سامانه‌های بارش‌زای رسیده به ایران یعنی سامانه‌های مدیترانه‌ای، سودانی، مونسونی ایجاد شده و در عین حال، به واسطه برهمکنش این سامانه‌ها با

ایستگاه‌ها در شکل (۱-ب) نشان داده شده است.



شکل ۱. الف) نقطه شبکه‌های پایگاه AgERA5؛ ب) مدل رقومی ارتفاعی (SRTM) و موقعیت ۷۷ ایستگاه همدید

سطحی روزانه توسعه داده شده است و به‌عنوان AgERA5 نامیده می‌شود. مزیت به‌کارگیری داده‌های AgERA5 نسبت به داده‌های ERA5-LAND و نسخه معمولی ERA5 در این است که داده‌های AgERA5 نسبت به داده‌های اولیه ERA5 که دارای تفکیک افقی ۰/۲۵ درجه قوسی هستند، از دقت بالاتری برخوردار است (Yu *et al.*, 2021). پایگاه AgERA5 از مزیت توپوگرافی، کاربری اراضی و خطوط ساحلی دقیق‌تر (تفکیک افقی بالاتر) در پیکربندی مدل HRES برخوردار است.

### سنجه‌های آماری

در این پژوهش از ریشه میانگین مربعات خطای بهنجار شده (NRSME) (Chai and Draxler, 2014)، ضریب همبستگی (PCC) (Benesty *et al.*, 2009) و میانگین اریبی خطا (MBE) (Ines & Hansen, 2006) برای درستی سنجی داده‌های بارش AgERA5 استفاده شد (جدول ۱). سنجه NRSME انحراف تفاوت بین مقادیر برآورد شده و مشاهده شده بارش را نشان می‌دهد. سنجه PCC نشان دهنده رابطه بین دو متغیر است که دامنه آن بین -۱ تا ۱ است. همچنین در نهایت برای بررسی بیش/کم برآوردی بارش نیز از سنجه MBE استفاده شد.

مدل جوی عملیاتی مرکز اروپایی پیش‌بینی میان مدت جو (ECMWF) با تفکیک افقی بالا (HRES) پایگاه ERA5 پنجمین محصول بازتحلیل جوی جهانی مرکز ECMWF است که به دنبال نسخه‌های قبلی همانند ERA-15، ERA-40 و ERA-Interim (Hersbach *et al.*, 2020) ارائه شده است. پایگاه ERA5 از تکنیک داده‌گذاری ۴ بعدی (4D-var) سامانه پیش‌بینی یکپارچه (IFS) Cy41r2 استفاده می‌کند. در این پایگاه، داده‌های جوی در ترازهای مختلف فشار در دسترس است، در حالی که داده‌های بارش شامل دو متغیر سطحی دو بعدی، یعنی برف و بارش است. در این پایگاه داده، بارش عمدتاً با استفاده از طرحواره ابر بزرگ مقیاس برآورد می‌گردد به‌جز بارش‌های همرفتی که از طریق طرحواره‌های بارش همرفتی برآورد می‌شوند (Hersbach *et al.*, 2020). در این مطالعه پرونداد داده‌های بارش روزانه نسخه AgERA5 از مدل جوی عملیاتی با تفکیک افقی بالا (HRES) مورد استفاده قرار گرفت. این داده‌ها با تفکیک افقی ۰/۱ درجه‌قوسی (با تفکیک افقی Native Resolution ۹ کیلومتری) برای دوره آماری ۲۰۲۰-۱۹۸۱ استفاده شده است. این مجموعه داده بر اساس داده‌های ECMWF-ERA5 (Hersbach *et al.*, 2020) برای متغیرهای



جدول ۱- سنج‌های آماری مورد استفاده در این پژوهش

سنج آماری	نحوه محاسبه سنج آماری
ریشه میانگین مربع خطا بهنجار شده (NRMSE)	$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{n}} ; NRMSE = \frac{RMSE}{\bar{O}}$
میانگین اربیبی خطا (MBE)	$MBE = \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)}{n}$
ضریب همبستگی پیرسون (PCC)	$PCC = \frac{(P_i - \bar{P})(O_i - \bar{O})}{\sqrt{\sum (P_i - \bar{P})^2 \sum (O_i - \bar{O})^2}}$

سیل ۱۴۰۰ سیستان و بلوچستان و بسیاری دیگر از سیل‌های بزرگ ایران در نتیجه بارش‌های سنگین و شدت زیاد بارش روزانه بوجود آمده‌اند. لذا بررسی دقیق این سه شاخص فرین می‌تواند کمک شایان توجهی در شناسایی مناطق مستعد سیل در ایران نماید.

## نتایج و بحث

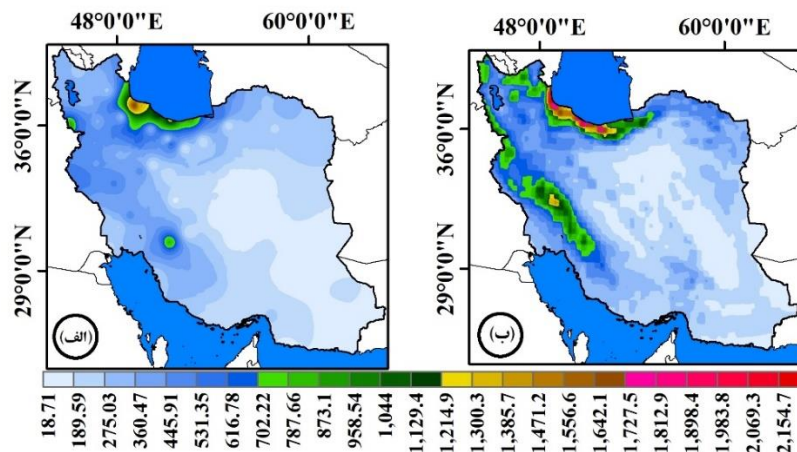
### درستی سنجی بارش

توزیع فضایی بارش سالانه پایگاه AgERA5 و ۷۷ ایستگاه همدید در شکل (۲) نشان داده شده است. در یک نگاه کلی به توزیع جغرافیایی بارش، پایگاه AgERA5 تا حد قابل قبولی قادر به برآورد بارش در پهنه ایران می‌باشد. بطوریکه سه هسته اصلی بیشینه بارش ایران در مناطق سواحل جنوبی دریای خزر، رشته-کوه زاگرس و نوار غربی ایران در مرز با کردستان کشور عراق و همچنین مناطق خشک داخلی و شرقی کشور بخوبی در این پایگاه برآورده شده‌اند. این در حالیست که برآورد بارش به‌ویژه در مناطق پر باران دارای بیش‌برآوردی است. شایان ذکر است که به‌دلیل کمبود ایستگاه‌های هواشناسی در مناطق مذکور قطعاً نمی‌توان گفت که پایگاه AgERA5 دارای چه مقدار از خطا است زیرا احتمال دارد فقدان ایستگاه‌های هواشناسی کافی در داده‌های مشاهداتی سبب ایجاد این اختلاف شده باشد.

در روابط جدول (۱)،  $P_i$  مقدار برآورد شده بارش توسط AgERA5، مقدار مشاهده‌ای بارش بر اساس داده‌های ایستگاهی،  $\bar{P}$  و  $\bar{O}$  میانگین مشاهداتی و برآورد شده و  $n$  تعداد کل داده‌ها است.

### شاخص‌های بارش فرین

در این پژوهش برای بررسی بارش‌های فرین فصلی از سه شاخص استاندارد SDII، RX1day، و R10mm استفاده شد. این سه شاخص توسط کارگروه تخصصی تغییر اقلیم و شاخص‌های فرین (ETCCDI) برنامه جهانی تحقیقات اقلیمی (WCRP) ارائه شده است. شاخص RX1day بیشینه مقدار بارش یک‌روزه است. شاخص SDII از تقسیم مجموع کل بارش سالانه بر تعداد روزهای بارشی در سال (دست‌کم یک میلی‌متر) به دست می‌آید و شاخص R10mm نیز روزهای همراه با بارش سنگین (روزهایی با بارش ۱۰ میلی‌متر و بیشتر) را نشان می‌دهد. علت انتخاب این سه شاخص از بین شاخص‌های بارش فرین به این دلیل بوده است که این سه شاخص به عنوان شاخص‌های تعیین مخاطرات طبیعی در طیف وسیعی از پژوهش‌ها مورد استفاده قرار گرفته‌اند (Westra *et al.*, 2013; Donat *et al.*, 2013). همچنین روند افزایشی بیشینه بارش یک روزه و شدت بارش به همراه بارش‌های سنگین در سال‌های اخیر خسارات بسیاری در ایران به همراه داشته است. برای نمونه سیل ۱۳۹۷ شمال کشور، سیل‌های فراگیر ۱۳۹۸،



شکل ۲- مجموع بارش سالانه بلند مدت (۲۰۲۰-۱۹۹۱) الف) داده‌های ۷۷ ایستگاه هواشناسی همدید؛ ب) برون‌داد بارش پایگاه AgERA5

برای اهداف عملیاتی، از جمله مدیریت سیل در مناطق کوهستانی

برآورد دقیق از بارش‌های فرین بخصوص بارش‌های سنگین

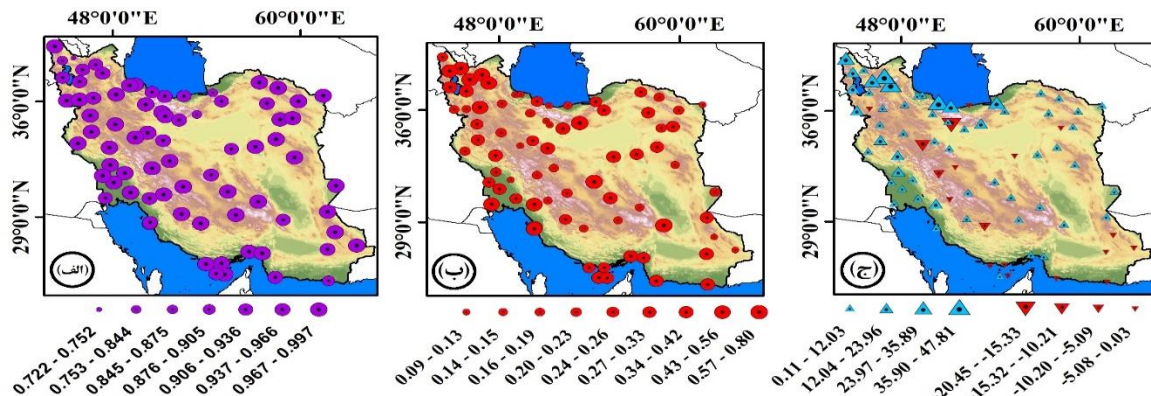
داده‌های مشاهداتی است که همین امر موجب بهبود قابل ملاحظه داده‌های ERA5 نسبت به ERA-Interim شده است. البته در این خصوص برای بارش‌های همرفتی که در بسیاری موارد به جهت دامنه وقوع محلی در مقیاس‌های کوچک‌تر از یک شبکه قرار می‌گیرند، پارامترسازی فرآیندهای زیر شبکه در دو نوع داده نیز می‌تواند قابل ذکر باشد. به نظر می‌رسد، علاوه بر کاهش خطای ناشی از بهره‌گیری از یک سامانه داده‌گواری ارتقاء یافته، می‌توان به کاهش خطاها در برآورد مقادیر بارش‌های همرفتی به جهت بهبود پارامترسازی فرآیندهای خردمقیاس در داده‌های بازتحلیل ERA5 در قیاس با داده‌های ERA-Interim اشاره نمود (Wang *et al.*, 2019; Hersbach *et al.*, 2020).

ضریب همبستگی بین بارش داده‌های ایستگاهی و بارش پایگاه AgERA5 در ایران بین ۰/۷۲ تا ۰/۹۹ در تغییر است. ذکر این نکته ضروری به نظر می‌رسد که این سنجه به طور کلی در مناطق پر بارش کشور ضرایب پایین‌تری در قیاس با مناطق خشک و کم بارش دارد. برای توضیح مقادیر به دست آمده از سنجه یادشده در مناطق مختلف کشور، قابل ذکر است که بارش در مناطق پر باران تقریباً ده برابر مقدار آن در مناطق خشک داخلی است. به همین دلیل گاهاً وردایی سال به سال بارش در شمال ایران برابر یا بیش‌تر از مجموع کل بارش سالانه در مناطق خشک است. برای مثال اختلاف بارش ایستگاه رامسر بین دو سال ۲۰۰۸ و ۲۰۰۷ برابر با ۱۴۸/۱۷ میلی‌متر است. در صورتیکه مجموع بارش سالانه ایستگاه کاشان در سال‌های ۲۰۰۷ و ۲۰۰۸ برابر با ۱۰۵/۵۳ و ۱۲۰/۳۵ میلی‌متر بوده است. این امر کارایی مناسب‌تر این پایگاه داده در برآورد بارش در مناطق خشک مرکزی، شرقی و جنوبی نسبت به مناطق شمالی کشور را توضیح می‌دهد. نتایج بررسی سه سنجه آماری نشان می‌دهد که داده‌های پایگاه AgERA5 در نواحی شرقی و مرکزی کشور که مجموع بارش سالانه کمتری نیز دارند دارای خطای کمتری است. با این حال در سواحل جنوبی دریای خزر و رشته‌کوه‌های زاگرس که دو کانون پر بارش ایران به شمار می‌روند برآورد مناسبی از بارش را ارائه داده است. غرب استان مازندران به دلیل توپوگرافی پیچیده‌ای که دارد به همراه شمال‌غربی ایران اربیی زیادی برای بارش دارند.

که در آن افزایش ناگهانی دبی رودخانه‌ها در زمان محدودی اتفاق می‌افتد، ضروری است. از آنجایی که هرگونه خطا اعم از بیش/کم برآوردی در پایگاه‌های داده ممکن است نتیجه مطالعه را از مسیر علمی خود منحرف کند، مهم است که از اربیی و خطای کلی این داده‌ها و همچنین از تفاوت‌های احتمالی منطقه‌ای آن مطلع بود. بر این اساس، در اولین گام، کارایی داده‌های AgERA5 با استفاده از داده‌های ایستگاهی و در مقیاس سالانه مورد بررسی قرار گرفت.

شکل (۳) میانگین اربیی خطا (MBE)، ریشه میانگین مربعات خطای بهنجار شده (NRMSE) و ضریب همبستگی پیرسون (PCC) را برای ۷۷ ایستگاه مورد بررسی در این تحقیق نشان می‌دهد. بر اساس نتایج بدست آمده، اربیی بارش AgERA5 در ایران بین ۲۰/۴- در سواحل شمالی تا ۴۷/۸ میلی‌متر در شمال‌غربی ایران در تغییر است. اربیی منفی (کم برآوردی بارش) در ۲۲/۰۸ درصد از ایستگاه‌ها وجود دارد (شکل ۳-د). در مقابل، اربیی مثبت (بیش‌برآوردی) در ۷۷/۹ درصد از ایستگاه‌ها دیده می‌شود. بیشینه مقدار NRMSE سالانه در مناطق شمالی، شمال-غربی و غربی ایران مشاهده می‌گردد (۰/۸). این مقدار متأثر از اوج بارش‌های فصلی در هر یک از سه منطقه جغرافیایی ذکر شده است که به ترتیب در فصول پاییز، بهار و زمستان اتفاق می‌افتد. از این‌رو، چرخه فصلی بارش در موقعیت جغرافیایی مقدار بیشینه NRMSE مشاهده شده تأثیر گذار است. همچنین کمترین مقدار NRMSE نیز با مقدار ۰/۰۹ میلی‌متر در جنوب‌شرقی ایران مشاهده می‌شود. البته باید در نظر داشت که کم بودن مقدار NRMSE در مناطق داخلی و شرقی ایران به دلیل کم بودن مقدار بارش سالانه و محدود بودن تعداد روزهای بارشی این مناطق نسبت به مناطق پر باران شمالی و غربی است.

نکته دیگر که باعث ایجاد خطا در پایگاه‌های بازتحلیل می‌شود مربوط به طرحواره‌های فیزیکی همانند همرفت و سامانه داده‌گواری (Chinita *et al.*, 2021) آن‌ها است. شایان ذکر است که سامانه داده‌گواری IFS-Cy41r2 که در ERA5 استفاده شده است نسبت به سامانه IFS-Cy31r2 که در نسخه ERA-Interim استفاده شده بود، دارای پیشرفت‌های زیادی بخصوص در زمینه



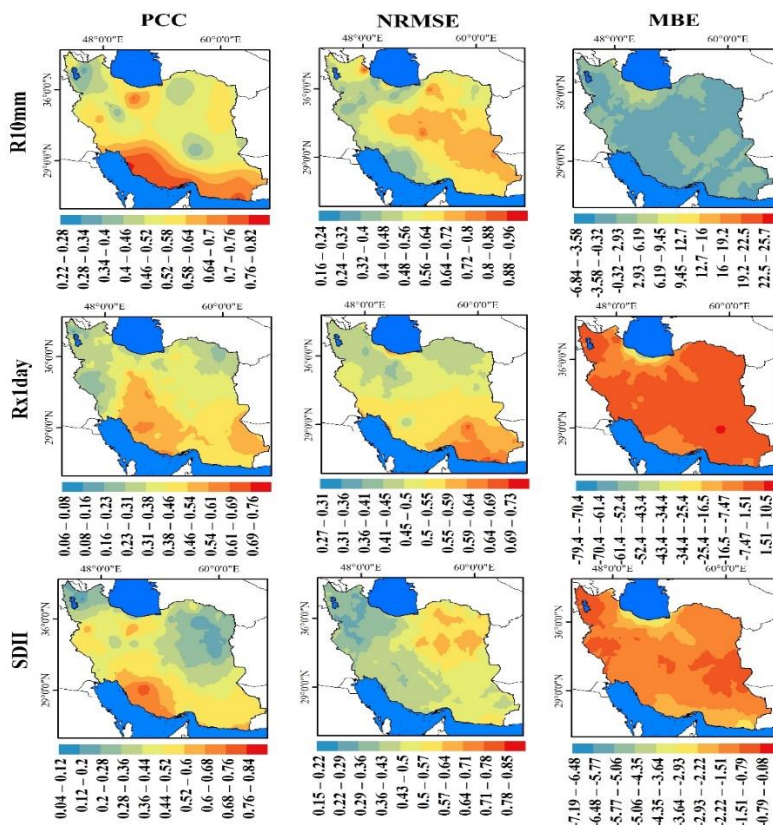
شکل ۲- درستی سنجی بارش پایگاه AgERA5؛ الف) ضریب همبستگی پیرسون (PCC)، ب) ریشه میانگین مربعات خطای بهنجار شده (NRMSE)، ج) میانگین اریبی خطا (MBE)

می‌شود. بر عکس شاخص روزهای همراه با بارش سنگین، دو شاخص بیشینه بارش یک روزه (RX1day) و شدت بارش روزانه (SDII) در بخش‌های قابل توجهی از کشور بیش‌برآوردی دارند. این نتیجه نشان می‌دهد که AgERA5 روزهای بارش سنگین را در بیشتر مناطق ایران کمتر از مقدار واقعی برآورد می‌کند. اما در مقابل شدت بارش و بیشینه بارش یک‌روزه را بیش‌تر از مقدار واقعی آن برآورد می‌کند. ضریب همبستگی دو شاخص RX1day (بیشینه ضریب همبستگی ۰/۷۶) و SDII (بیشینه ضریب همبستگی ۰/۸۴) نیز همانند شاخص R10mm در مناطق جنوبی ایران بیش‌تر از سایر مناطق کشور است. شمال‌غرب، شمال‌شرق و مناطق شمالی ایران کمینه ضریب همبستگی را برای RX1day و SDII نشان می‌دهند. نتایج مربوط به سنجه NRMSE نشان می‌دهد که AgERA5 برای بیشینه بارش یک روزه خطای زیادی را در سواحل خزری و جنوب شرقی ایران دارد. همین مناطق خطای زیادی را برای شدت بارش دارند با این تفاوت که شمال-غربی کشور نیز خطای زیادی را نشان می‌دهد. مقدار اریبی برای RX1day در ایران بین ۷۹/۴- میلی‌متر در بندر انزلی تا ۱۰/۵ میلی‌متر در بزم در تغییر است. همچنین برای شدت بارش نیز اریبی حداقل ۷/۱۹- میلی‌متر/روز در بندر انزلی و خزر غربی تا ۰/۰۸ میلی‌متر/روز در شرق ایران در تغییر است.

### درستی سنجی شاخص‌های بارش فرین پایگاه AgERA5 با داده‌های مشاهداتی

بارش‌های فرین نسبت به میانگین بارش وردایی بیش‌تری دارند. بر همین اساس بارش‌های فرین به‌دست آمده از پایگاه AgERA5 نیز همانند مجموع بارش سالانه درستی سنجی شده و نتایج آن در شکل (۴) ارائه گردید. روزهای همراه با بارش سنگین در بیش-تر مناطق کشور کم‌برآوردی نشان می‌دهند. بطوریکه تقریباً در تمامی مناطق خشک و نیمه خشک کشور در مقیاس سالانه شاخص R10mm بین ۴ تا ۶ روز نسبت به داده‌های ایستگاهی کم‌برآوردی داشته است. در مقابل روزهای همراه با بارش سنگین در سواحل خزری بین ۳ تا ۵ روز بیش‌برآوردی داشته‌اند. بیشینه اریبی این شاخص مربوط به ایستگاه انزلی است که مقدار اریبی آن ۲۵/۷ روز است. شاخص NRMSE نیز نشان می‌دهد که بیشینه خطای AgERA5 در برآورد بارش‌های سنگین در مناطق خزر غربی و گوشه شمال غربی ایران در استان اردبیل مشاهده می‌شود. در مقابل مناطق غربی و جنوبی ایران خطای کمتری را نشان می‌دهند. ضریب همبستگی نیز از شمال به جنوب ایران افزایشی است (شکل ۴). کمینه ضریب همبستگی به‌دست آمده با ۰/۲ در مناطق شمال غربی و بزم مشاهده می‌شود و بیشینه ضریب همبستگی نیز در سواحل جنوبی ایران با مقدار ۰/۸ دیده





شکل ۴- درستی سنجی شاخص‌های روزهای همراه با بارش سنگین (R10mm)، بارش یک روزه (Rx1day) و شدت بارش روزانه (SDII) پایگاه AgERA5؛ ردیف‌ها بارش‌های فرین و ستون‌ها سنج‌های درستی سنجی را نشان می‌دهند.

و تعداد روزهای بارشی آن نیز محدود می‌باشد، طبیعتاً مجموع بارش در روزهای مرطوب تقسیم بر روزهای محدود بارشی عاملی است که شدت بارش در این مناطق را افزایش می‌دهد. در مقابل هر چند که سواحل خزری بارش قابل توجهی را در کشور دارد، به‌همین ترتیب روزهای بارانی نیز زیاد است و بر این اساس با نسبت‌گیری یاد شده شدت بارش در این منطقه چندان زیاد نخواهد بود.

مقایسه نتایج به‌دست آمده از شدت بارش روزانه با شاخص SDII (شکل ۵) با تعداد روزهای همراه با بارش سنگین (شاخص R10mm) برای پهنه خزری نتیجه جالب توجهی را نشان می‌دهد. بطوریکه سواحل خزری به‌رغم آنکه بیش‌ترین مقدار بارش و روزهای بارانی را در ایران دارد، اما شدت بارش در این منطقه از ایران حتی در فصل پاییز که اوج بارش‌ها در این فصل از سال اتفاق می‌افتد، مقدار بیشینه کشور را ندارد. به عبارتی دیگر هر چند که اقلیم خزری پرباران‌ترین منطقه ایران است اما شدت بارش‌های آن با لحاظ نمودن معیار بارش ۱ میلی متر در روز نسبت به منطقه زاگرس کمتر است.

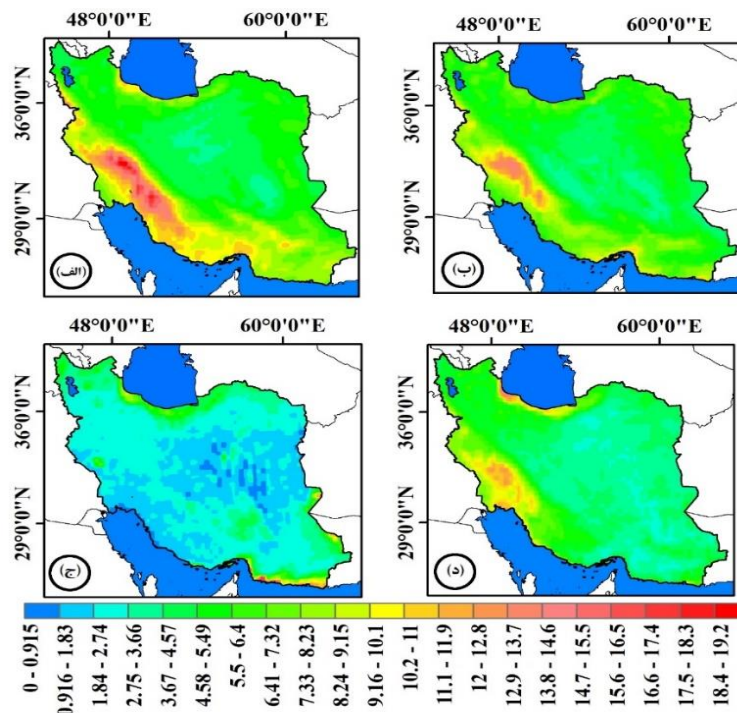
شدت بارش در سه منطقه از ایران در مقیاس فصلی بیش‌تر از ۱۰ میلی‌متر/روز است. کانون اصلی شدت بالای بارش روزانه در ایران به جهت تداوم، مربوط به منطقه زاگرس و بخصوص زاگرس

#### پراکنش فصلی شدت بارش روزانه (SDII)

شدت بارش فصلی در ایران با استفاده از شاخص SDII مورد بررسی قرار گرفته که نتایج آن در شکل (۵) نشان داده شده است. همانطوریکه پیش‌تر توضیح داده شد شدت بارش از مجموع بارش فصلی تقسیم بر روزهای مرطوب فصلی (روزهایی با بارش حداقل یک میلی‌متر و بیش‌تر) به‌دست می‌آید. شدت بارش در ایران بسته به فصل دارای وردایی زیادی است. این وردایی به دلیل تنوع در سامانه‌های بارش‌زایی است که مناطق مختلف ایران را طی فصول مختلف سال تحت تاثیر قرار می‌دهند. به‌طور کلی با در نظر گرفتن معیار ۱ میلی‌متر به عنوان روز بارشی، شدت بارش در ایران حداکثر ۱۹/۲ میلی‌متر/روز است. بیشینه شدت بارش روزانه در مقیاس فصلی برای فصول زمستان ۱۷/۸۴، بهار ۱۳/۱۲، تابستان ۱۹/۲ و پاییز ۱۴/۴۱ میلی‌متر/روز به‌دست آمده است (شکل ۵). این نتیجه از این نظر که بیشینه شدت بارش در فصل تابستان به‌دست آمده بسیار جالب توجه است. دلیل این امر آن است که با وجود آن که فصل تابستان کمترین روزهای بارشی بیش از ۱ میلی‌متر در کشور را دارد اما تقسیم مجموع بارش تابستانه بر این عدد کوچک، بیشینه شدت بارش فصلی را در تابستان ایجاد می‌کند. بر این اساس مناطقی همچون جنوب شرقی ایران که بارش‌های عمده آن ناشی از سامانه‌های مونسونی در فصل تابستان است

کشیده شده است. بیشینه شدت بارش زاگرس در فصل زمستان ۱۷/۸۴ میلی‌متر/روز است.

مرتفع است که به غیر از فصل تابستان در سایر فصول به عنوان یک کانون اصلی دیده می‌شود که تا سواحل خلیج فارس نیز



شکل ۵- شدت بارش فصلی با استفاده از شاخص SDII مبتنی بر برونداد پایگاه AgERA5؛ (الف) فصل زمستان؛ (ب) فصل بهار؛ (ج) فصل تابستان و (د) فصل پاییز (واحد: میلی‌متر/روز)

ارتفاعات کنترل می‌شود.

#### پراکنش فصلی بیشینه بارش یک روزه (RX1day)

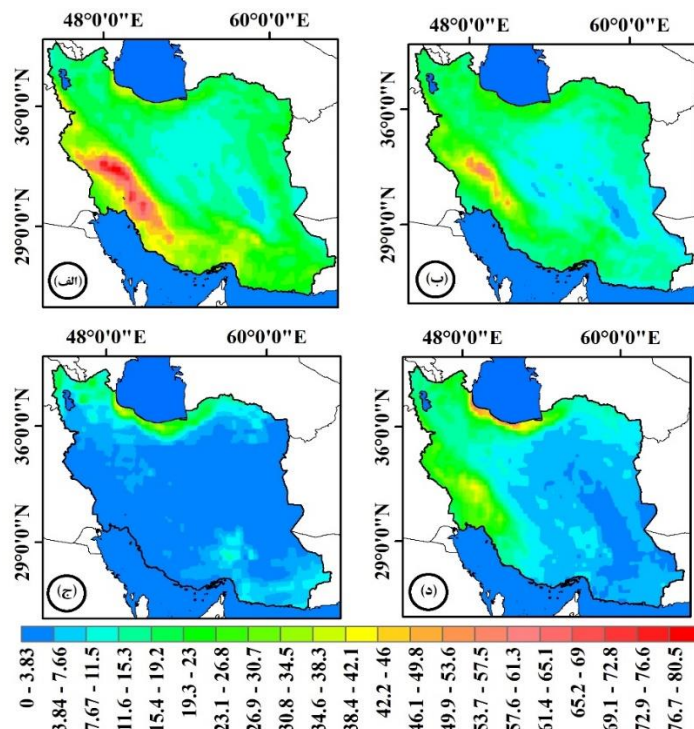
شاخص دیگری که در ارتباط با شدت بارش‌های فرین است و در این تحقیق به بررسی آن پرداخته شد، شاخص RX1day است (شکل ۶). کمترین مقدار بیشینه بارش یک روزه در ایران در کویرهای داخلی و جنوب شرقی ایران و بیش‌ترین مقدار آن در زاگرس مرتفع در فصل زمستان و سپس سواحل خزری در فصل پاییز دیده می‌شود. بیشینه شدت بارش یک‌روزه در ایران در فصل زمستان، ۸۰/۵ میلی‌متر، بهار ۷۰/۷۶ میلی‌متر، تابستان ۴۲/۶۸ میلی‌متر و پاییز ۶۷/۳۶ میلی‌متر به‌دست آمده است. در مقایسه بیشینه شدت بارش یک‌روزه در فصول مختلف سال می‌توان گفت که در فصل تابستان به دلیل استقرار پرفشار جنب حاره در بخش‌های بزرگی از ایران به غیر از سواحل شمالی و جنوب شرق ایران در برخی از سال‌ها، تقریباً هیچ منطقه‌ای از ایران بارش ندارد که بیشینه بارش یک روزه آن چشمگیر باشد. بر اساس نتیجه به‌دست آمده می‌توان گفت که سامانه‌های بارش‌زایی که ایران را در فصل زمستان تحت تاثیر قرار می‌دهند، رخداد‌های بارش فرین بیش‌تری را ایجاد می‌کنند. با در نظر گرفتن آستانه بارش سنگین (۱۰ میلی‌متر)، بیشینه بارش یک روزه در ایران در فصل تابستان در ۷/۹۶ درصد از کشور بیش از ۱۰ میلی‌متر است. جهت مقایسه،

سواحل خزری دومین کانون مهم بیشینه شدت بارش روزانه در ایران است که در فصول پاییز و زمستان (البته در زمستان این منطقه محدود به جنوب غربی دریای خزر است) اتفاق می‌افتد. سومین کانون بیشینه شدت بارش در سواحل مکران و جنوب شرقی ایران طی فصل تابستان دیده می‌شود. در توضیح سازوکار بیشینه شدت بارش در فصل تابستان در مناطق ساحلی مکران و جنوب شرقی ایران (Ullah et al., 2021) بیان کردند که بادهای همگرا مقدار قابل توجهی از رطوبت را از دریای عرب و اقیانوس هند به این منطقه منتقل می‌کنند که بر این اساس در طول فصل بارش‌های موسمی سبب رخداد بارش‌هایی با شدت زیاد در مناطق تحت تاثیر جنوب شرقی ایران می‌شود.

به‌طور کلی در کشور ایران به دلیل توپوگرافی پیچیده و وجود رشته کوه‌های زاگرس، مناطقی که در عرض‌های جغرافیایی یکسان قرار دارند دارای تنوع اقلیمی زیادی بخصوص در بارش‌های فرین هستند. برای نمونه دو ایستگاه خرم آباد و طبس با اینکه هر دو در عرض ۳۳ درجه شمالی قرار گرفته‌اند، اما تفاوت چشمگیری در شدت بارش دارند. به‌طوری‌که شدت بارش ایستگاه خرم آباد در فصل زمستان ۹/۷۰ میلی‌متر/روز است در حالیکه این مقدار برای ایستگاه طبس تنها ۳/۷۹ میلی‌متر/روز است. لذا می‌توان اذعان داشت که شدت بارش در ایران تا حد زیادی توسط

و فصل زمستان ۹۰/۴۲ درصد می‌باشد.

این مقدار برای فصل پاییز ۳۵/۹۸ درصد، فصل بهار ۸۰/۵۹ درصد



شکل ۶- بیشینه بارش یک روزه فصلی با استفاده از شاخص RX1day مبتنی بر برونداد پایگاه AgERA5؛ (الف) فصل زمستان؛ (ب) فصل بهار؛ (ج) فصل تابستان و (د) فصل پاییز (واحد: میلی‌متر)

شاخص‌های بارش سنگین و شدت بارش در مناطق داخلی و شرقی ایران است. این مناطق به دلیل دور بودن از منابع رطوبتی و قرارگیری در بادپناه رشته کوه‌های البرز و زاگرس، عمدتاً بارش کمتری نسبت به سایر مناطق ایران دریافت می‌کنند. بنابراین، در مقیاس منطقه‌ای باید به مسیر سامانه‌های عبوری و ویژگی‌های زمین توجه کرد.

#### پراکنش فصلی روزهای همراه با بارش سنگین (R10mm)

پراکنش فصلی بلند مدت (۲۰۲۰-۱۹۸۱) روزهای همراه با بارش سنگین، سه کانون اصلی این شاخص را برای ایران آشکار ساخته است؛ ۱- پهنا خزر غربی واقع در شمال ایران؛ ۲- غرب ایران در استان‌های کردستان تا آذربایجان غربی و به‌طور دقیق‌تر از مریوان تا سردشت؛ ۳- مناطق واقع در زاگرس مرتفع از یاسوج تا خرم‌آباد (شکل ۷). بارش‌های سنگین ایران را به جهت تداوم فصلی و شدت آن‌ها می‌توان به دو دسته خزری و زاگرس مرتفع تقسیم کرد. بیشینه بارش‌های سنگین در فصل پاییز با ۲۹ روز در سواحل دریای خزر (خزر غربی در استان گیلان) دیده می‌شود. پس از آن فصل زمستان با ۲۴/۴۹ روز در زاگرس مرتفع، پاییز با ۱۵/۰۳ روز در زاگرس مرتفع و تابستان با ۱۵/۰۳ روز در سواحل خزری (استان مازندران) قرار دارند. پهنا خزری تقریباً در هر چهار فصل سال بیش از ۱۰ روز بارش سنگین دارد. این در حالیست که در

بیشینه بارش یک روزه (RX1day) همبستگی زیادی را با ارتفاعات در ایران نشان می‌دهد. به‌طوریکه ارتفاعات ایران در تمامی فصول سال کانون اصلی بیشینه بارش یک روزه هستند. در این میان، بارش‌های سواحل جنوبی دریای خزر در فصول مختلف سال و همچنین کانون‌های اصلی بارش‌های تابستانه در جنوب شرقی ایران از این قاعده مستثنی هستند. همانطور که بالاتر نیز گفته شد سواحل خزری در تمامی فصول سال به‌غیر از فصل بهار به عنوان کانون اصلی بیشینه بارش یک روزه است. بررسی وردایی فصلی این شاخص نشان می‌دهد که سامانه‌های بارش‌زایی که ایران را از خارج تحت تاثیر قرار می‌دهند، نقش مهمی در پراکنش جغرافیایی بیشینه بارش یک‌روزه دارند. این امر را می‌توان با بررسی شاخص RX1day در دو منطقه آذربایجان و خراسان در فصل بهار دید. همانطور که می‌دانیم در فصل بهار بارش‌های همرفتی در منطقه آذربایجان سهم قابل توجهی از بارش‌های سالانه را به خود اختصاص می‌دهند. اما همانطور که در شکل (۶-ب) پیداست بیشینه بارش یک روزه در آذربایجان و منطقه خراسان در یک طبقه قرار گرفته است. لذا عوامل محلی بخصوص طی فصل بهار در بیشینه بارش یک روزه نقش مهمی ندارند.

کمترین مقدار بیشینه بارش یک‌روزه (RX1day) همانند

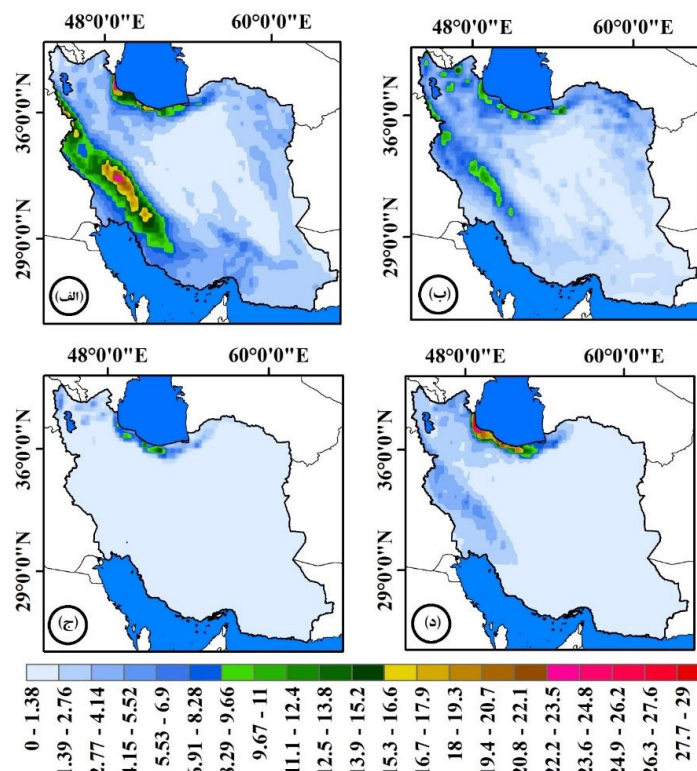


آنجایی که منطقه مورد مطالعه در مسیر عبوری این سامانه قرار دارد مقدار قابل توجه بارش‌های سنگین در این منطقه از ایران به خوبی قابل توضیح است.

در تمامی فصول مورد بررسی بخش بزرگی از کشور یا فاقد بارش - های سنگین بوده و یا فراوانی بسیار کمی از این رخداد را تجربه نموده است. تحلیل فصلی پراکنش جغرافیایی بارش سنگین (R10mm) نکته جالبی را آشکار می‌کند و آن این که تعداد روزهای همراه با بارش سنگین در مساحت‌های بزرگی از کشور در متوسط بلند مدت چهل ساله یک روز و کمتر از آن بوده است. بطوریکه در میانگین چهل ساله، ۲۱/۶۴، ۳۵/۷۶، ۹۳/۴۹ و ۶۹/۶۶ درصد از مساحت کشور به ترتیب در فصول زمستان، بهار، تابستان و پاییز تعداد روزهای همراه با بارش سنگین برابر یا کمتر از یک روز را تجربه کرده‌اند. پهنه‌های مذکور عمدتاً شامل مناطق خشک و نیمه خشک در مرکز و شرق کشور می‌باشند. اهمیت نتیجه به - دست آمده در خصوص فراوانی رخداد بارش‌های سنگین در مناطق خشک و نیمه خشک کشور ( $R10mm \leq 1day$ ) در این است که آن را می‌توان به عنوان آستانه‌ای بهنجار برای رخدادهای بارش‌های سنگین در این مناطق در نظر گرفت و هرگونه بی - هنجاری (روند افزایشی در تعداد روزهای همراه با بارش سنگین) را می‌توان به عنوان یک مخاطره اقلیمی در نظر گرفت.

زاگرس مرتفع تنها در دو فصل زمستان و بهار این امر دیده می‌شود. در توضیح مقدار قابل توجه بارش‌های سنگین در ناحیه خزری (Mofidi *et al.*, 2007) بارش‌های فرین این ناحیه از ایران را در ارتباط با سه الگوی همدیدی اصلی شامل الگوی پرفشار، کم فشار و زوجی معرفی کردند. لذا وردایی این سه الگوی یاد شده در این منطقه از ایران می‌تواند نقش مهمی در وردایی بارش‌های سنگین در منطقه خزری داشته باشد.

علت بارش‌های سنگین زاگرس را شاید بتوان به دلیل نقش مانع فیزیکی کوهستان دانست که شرایط مناسبی را برای وقوع بارش‌های اوروگرافیک گسترده فراهم می‌آورد. امتداد مناسب رشته کوه‌های زاگرس، به همراه خصوصیتی چون گستردگی، ارتفاع و زاویه برخورد توده‌های هوای مرطوب با آن، همگی در ایجاد این بیشینه منطقه‌ای بارش نقش بازی می‌نمایند. همچنین نزدیکی به منابع رطوبتی دریای مدیترانه و دریای عرب که در تزریق رطوبت به داخل سامانه‌های مدیترانه‌ای، سودانی و یا سامانه‌های ادغامی نقش دارند، شاید عامل دیگری باشد. در همین رابطه (Mofidi 2004) با بررسی همدید بارش‌های سیل‌زا با منشا منطقه دریای سرخ در خاورمیانه به این نتیجه رسید که کم‌فشار منطقه دریای سرخ با توجه به دمای پتانسیل و ظرفیت رطوبتی بالا باعث ایجاد بارش‌های شدید و سیل آسا خواهد شد و لذا از



شکل ۷- تعداد روزهای همراه با بارش سنگین فصلی با استفاده از شاخص R10mm مبتنی بر برونداد پایگاه AgERA5 (الف: فصل زمستان؛ ب: فصل بهار؛ ج: فصل تابستان و د: فصل پاییز (واحد: روز))

## نتیجه‌گیری

این پژوهش به بررسی پراکنش فصلی بارش فرین مخاطره آمیز پرداخته است. برای این منظور از سری زمانی بارش روزانه چهل ساله پایگاه AgERA5 استفاده شد. نتایج مربوط به خطای برآورد بارش نشان دهنده خطاهای زیاد AgERA5 در شرایط اقلیمی مرطوب در کشور است. خطای بالای بارش برآورد شده در منطقه خزری توسط داده‌های پایگاه ECMWF در نسخه‌های پیشین همچون ERA-Interim نیز توسط Razi and Sotoudeh (2017) گزارش شده است. این امر نشان می‌دهد که به‌رغم ارتقا سامانه داده‌گویی (IFS-Cy4r2) و مدل سطح زمین (HTESSEL) پایگاه ERA5 که سبب بهبود برونداد متغیرهای اقلیمی آن از جمله بارش شده است، بارش این پایگاه نسبت به ERA-Interim (سامانه داده‌گویی (IFS-Cy3r2) و مدل سطح زمین (TESSEL)) کماکان دارای خطای زیادی در برخی از مناطق خزری همچون غرب استان مازندران است. همچنین خطای زیاد بارش در این منطقه توسط سایر پایگاه‌های داده همچون پایگاه داده بارش همادی-وزنی چند منبعی (MSWEP) نیز گزارش شده است (Zarrin & Dadashi Roudbari, 2021d). علاوه بر این، سنج آماری NRMSE سالانه نشان دهنده وردایی زیاد پایگاه AgERA5 در ایران است. بیشینه مقادیر NRMSE با توجه به علل مختلفی همچون وردایی فصلی بارش و همچنین تضاد دریا-خشکی و توپوگرافی پیچیده در مناطق شمالی ایران قابل توضیح است. در مقابل برونداد بارش این پایگاه در مناطق داخلی و جنوب شرقی ایران که خشک‌ترین مناطق ایران هستند؛ دارای خطای کمتری است. به عبارت دیگر داده‌های بارش AgERA5 بالاترین کارایی را برای مناطق خشک و نیمه خشک ایران به نمایش گذشته‌اند. از آنجاییکه بارش‌های فرین نسبت به میانگین بارش ویژگی‌های متفاوت دارند، در این پژوهش بارش‌های فرین نیز همانند میانگین بارش در مقیاس سالانه درستی سنجی شدند. نتایج درستی سنجی بارش‌های فرین نشان داد که سه شاخص فرین شدت بارش روزانه (SDII)، بیشینه بارش یک روزه (RX1day) و روزهای همراه با بارش سنگین (R10mm) همانند میانگین بارش بالاترین آریبی و بیش‌ترین خطا را در مناطق شمالی ایران به نمایش می‌گذارند. بطور کلی، پایگاه AgERA5 روزهای همراه با بارش سنگین (R10mm) را در بخش‌های قابل توجهی از ایران کمتر از مقدار واقعی برآورد می‌کند (کم‌برآوردی) و درست در نقطه مقابل شدت بارش روزانه (SDII) و بیشینه بارش یک روزه (RX1day) را در بیش‌تر مناطق کشور بیش‌تر از مقدار واقعی برآورد می‌کند (بیش‌برآوردی).

بالاترین مقدار همبستگی برای سه شاخص مورد بررسی در سواحل خلیج فارس به‌دست آمده است. اگرچه پایگاه AgERA5 برای دو شاخص SDII و RX1day همبستگی پایینی (کمتر از ۰/۲) را در منطقه خزری نشان داده است اما مقدار همبستگی به‌دست آمده برای روزهای همراه با بارش سنگین بالاتر از ۰/۶ بوده است.

مطالعات قبلی نشان دهنده آن است که خطاهای مدل‌ها و داده‌های بازتحلیل به سامانه‌های بزرگ مقیاس جوی وابسته است (Grazzini, 2007). بنابراین خطای موجود در داده‌های بارش AgERA5 ممکن است با سامانه‌های همدیدی خاصی همانند سامانه مدیترانه‌ای در غرب ایران یا سامانه مونسون در جنوب شرق در ارتباط باشد. سوای نکات فوق، به نظر می‌رسد خطاهای بالای مشاهده شده در منطقه خزری از واداشتهای محلی همانند برهمکنش دریا-خشکی، برهمکنش هوا-دریا و همزمان برهمکنش جریانات مرطوب محلی با خط ساحلی و توپوگرافی پیچیده البرز منشا یافته باشد. البته برای اثبات ادعای فوق ضرورت انجام یک پژوهش مستقل در این خصوص وجود دارد.

بررسی بارش‌های فرین در مقیاس فصلی نشان داد که بیشینه بارش یک روزه، شدت بارش و روزهای همراه با بارش سنگین در ایران دارای وردایی فصلی زیادی هستند. بطور کلی شدت بارش و روزهای همراه با بارش سنگین در ایران در مناطق خزری و زاگرس مرتفع بیشتر از سایر مناطق کشور است که نتایج Zarrin & Dadashi Roudbari (2021c) در خصوص شدت بالای بارش در این مناطق را مورد تایید قرار می‌دهد. همچنین با بررسی شاخص‌های فرین در مقیاس فصلی می‌توان گفت که، سامانه‌های بارش‌زایی که ایران را در فصول مختلف سال تحت تاثیر قرار می‌دهند نقش شایان توجهی در مقدار و مکان بیشینه شاخص‌ها دارند.

بطور کلی بیشینه بارش یک‌روزه، شدت بارش و روزهای همراه با بارش سنگین ارتباط تنگاتنگی با توپوگرافی در ایران دارند. مناطقی که در بادپناه کوه‌ها قرار دارند چه در منطقه زاگرس در غرب یا البرز در شمال، به دلیل استقرار رشته‌کوه‌ها که مانع از رسیدن توده‌های بارش‌زا به مناطق داخلی ایران می‌شوند بارش کمی دریافت می‌کنند و در نتیجه شاخص‌های شدت بارش آن‌ها در قیاس با سایر مناطق کشور پایین است. اقلیم خزری به جهت تداوم روزهای همراه با بارش سنگین در تمامی فصول سال بیش از ۱۰ روز بارش سنگین دارد. درست در نقطه مقابل برای شدت بارش، زاگرس مرتفع به غیر از فصل بهار در سایر فصول، بیشترین تداوم شدت بارش روزانه را با بیش از ۱۰ میلی‌متر/روز





بارش سنگین و شدت بارش ایران اظهار نظر کرد.  
"هیچ‌گونه تعارض منافع بین نویسندگان وجود ندارد"

دارد. پیشنهاد می‌شود در پژوهش‌های آتی بارش‌های فرین ایران در ارتباط با سامانه‌های همدید مورد بررسی قرار گیرند تا بهتر بتوان نسبت به سهم هر یک از این سامانه‌ها در روزهای همراه با

## REFERENCES

- Alexander, L.V. Zhang, X. Peterson, T.C. Caesar, J. Gleason, B. Klein Tank A. M. G. and Vazquez-Aguirre, J.L. (2006). Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 111(D5).
- Arshad, M. Ma, X. Yin, J. Ullah, W. Liu, M. and Ullah, I. (2021). Performance evaluation of ERA-5, JRA-55, MERRA-2, and CFS-2 reanalysis datasets, over diverse climate regions of Pakistan. *Weather and Climate Extremes*, 33, 100373.
- Benesty, J. Chen, J., Huang, Y., and Cohen, I. (2009). Pearson correlation coefficient. In *Noise reduction in speech processing* (pp. 1-4). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Chai, T. and Draxler, R. R. (2014). Root mean square error (RMSE) or mean absolute error (MAE)?—Arguments against avoiding RMSE in the literature. *Geoscientific model development*, 7(3), 1247-1250.
- Chinita, M. J. Richardson, M. Teixeira, J. and Miranda, P. M. (2021). Global mean frequency increases of daily and sub-daily heavy precipitation in ERA5. *Environmental Research Letters*.
- Donat, M. G. Alexander, L. V. Yang, H. Durre, I. Vose, R. and Caesar, J. (2013). Global land-based datasets for monitoring climatic extremes. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 94(7), 997-1006.
- Donat, M. G. Sillmann, J. Wild, S. Alexander, L. V. Lippmann, T. and Zwiers, F. W. (2014). Consistency of temperature and precipitation extremes across various global gridded in situ and reanalysis datasets. *Journal of Climate*, 27(13), 5019-5035.
- Dunn, R. J. Alexander, L. V. Donat, M. G. Zhang, X. Bador, M. Herold, N. and Bin Hj Yussof, M. N. A. (2020). Development of an updated global land in situ-based data set of temperature and precipitation extremes: HadEX3. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 125(16), e2019JD032263.
- Edenhofer, O. (2015). *Climate change 2014: mitigation of climate change* (Vol. 3). Cambridge University Press.
- Grazzini, F. (2007). Predictability of a large-scale flow conducive to extreme precipitation over the western Alps. *Meteorology and Atmospheric Physics*, 95(3), 123-138.
- Halabian, A. and Keikhosravi Kiany, M. (2020). Evaluation of Variations in Extreme Precipitation Indices in Iran. *Spatial Planning*, 10(4), 24-45. doi: 10.22108/sppl.2020.116339.1371 (In Persian).
- Hersbach, H. Bell, B. Berrisford, P. Hirahara, S. Horányi, A. Muñoz-Sabater, J. and Thépaut, J. N. (2020). The ERA5 global reanalysis. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 146(730), 1999-2049.
- Hu, Z. Hu, Q. Zhang, C. Chen, X. and Li, Q. (2016). Evaluation of reanalysis, spatially interpolated and satellite remotely sensed precipitation data sets in central Asia. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 121(10), 5648-5663.
- Ines, A. V. and Hansen, J. W. (2006). Bias correction of daily GCM rainfall for crop simulation studies. *Agricultural and forest meteorology*, 138(1-4), 44-53.
- IPCC (2013). Stocker T.F., Qin D., Plattner G.-K., Tignor M., Allen S.K., Boschung J., Nauels A., Xia Y., Bex V., Midgley P.M. (Eds.), *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA (2013), pp. 1-30.
- Jiang, Q. Li, W. Fan, Z. He, X. Sun, W. Chen, S. and Wang, J. (2021). Evaluation of the ERA5 reanalysis precipitation dataset over Chinese Mainland. *Journal of Hydrology*, 595, 125660.
- Kanamitsu, M. Ebisuzaki, W. Woollen, J. Yang, S. K. Hnilo, J. J. Fiorino, M. and Potter, G. L. (2002). Ncep-doe amip-ii reanalysis (r-2). *Bulletin of the American Meteorological Society*, 83(11), 1631-1644.
- Katirai-Boroujerdy, P. S. Ashouri, H. Hsu, K. L. and Sorooshian, S. (2017). Trends of precipitation extreme indices over a subtropical semi-arid area using PERSIANN-CDR. *Theoretical and Applied Climatology*, 130(1-2), 249-260.
- Kiany, M. S. K. Masoodian, S. A. Balling Jr, R. C. and Montazeri, M. (2020). Evaluation of the TRMM 3B42 product for extreme precipitation analysis over southwestern Iran. *Advances in Space Research*, 66(9), 2094-2112.
- Kirchmeier-Young, M. C. and Zhang, X. (2020). Human influence has intensified extreme precipitation in North America. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 117(24), 13308-13313.
- Lai, S. Xie, Z. Bueh, C. and Gong, Y. (2020). Fidelity of the APHRODITE dataset in representing extreme precipitation over central Asia. *Advances in Atmospheric Sciences*, 37(12), 1405-1416.
- Li, N. Tang, G. Zhao, P. Hong, Y. Gou, Y., and Yang, K. (2017). Statistical assessment and hydrological utility of the latest multi-satellite precipitation analysis IMERG in Ganjiang River basin. *Atmospheric research*, 183, 212-223.
- Lucas, E. W. M. de Souza, F. D. A. S. dos Santos Silva, F. D. da Rocha Júnior, R. L. Pinto, D. D. C. and da

- Silva, V. D. P. R. (2021). Trends in climate extreme indices assessed in the Xingu River basin-Brazilian Amazon. *Weather and Climate Extremes*, 100306.
- Miao, C. Ashouri, H. Hsu, K. L. Sorooshian, S. and Duan, Q. (2015). Evaluation of the PERSIANN-CDR daily rainfall estimates in capturing the behavior of extreme precipitation events over China. *Journal of Hydrometeorology*, 16(3), 1387-1396.
- Mofidi, A. (2004). Synoptic Climatology of Flood Precipitation Originating in the Red Sea Region in the Middle East, *Geographical Research*, 19 (4), 71-93 (In Persian).
- Mofidi, A. Zarrin, A. Ghobadi, G. (2007). Determining the synoptic pattern of autumn heavy and extreme precipitations on the southern coast of the Caspian Sea. *Journal of the Earth and Space Physics*, 33(3), 1-1 (In Persian).
- Myhre, G. Alterskjær, K. Stjern, C. W. Hodnebrog, Ø. Marelle, L. Samset, B. H. and Stohl, A. (2019). Frequency of extreme precipitation increases extensively with event rareness under global warming. *Scientific reports*, 9(1), 1-10.
- Rahimzadeh, F. Asgari, A. and Fattahi, E. (2009). Variability of extreme temperature and precipitation in Iran during recent decades. *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*, 29(3), 329-343.
- Raziei, T. Sotoudeh, F. (2017). Investigation of the accuracy of the European Center for Medium Range Weather Forecast (ECMWF) in forecasting observed precipitation in different climates of Iran. *Journal of the Earth and Space Physics*, 43(1), 133-147 (In Persian).
- Reichle, R. H. Liu, Q. Koster, R. D. Draper, C. S. Mahanama, S. P. and Partyka, G. S. (2017). Land surface precipitation in MERRA-2. *Journal of Climate*, 30(5), 1643-1664.
- Rischmüller, A. Karwat, A. Blender, R. and Franzke, C. (2021, April). Extreme Precipitation in the Eastern Mediterranean in ERA5. In *EGU General Assembly Conference Abstracts* (pp. EGU21-10019).
- Saha, S. Moorthi, S. Wu, X. Wang, J. Nadiga, S. Tripp, P. and Becker, E. (2014). The NCEP climate forecast system version 2. *Journal of climate*, 27(6), 2185-2208.
- Soltani, M. Laux, P. Kunstmann, H. Stan, K. Sohrabi, M. M. Molanejad, M. and Zawar-Reza, P. (2016). Assessment of climate variations in temperature and precipitation extreme events over Iran. *Theoretical and Applied Climatology*, 126(3-4), 775-795.
- Sun, Q. Zhang, X. Zwiers, F. Westra, S. and Alexander, L. V. (2021). A global, continental, and regional analysis of changes in extreme precipitation. *Journal of Climate*, 34(1), 243-258.
- Sun, S. Shi, W. Zhou, S. Chai, R. Chen, H. Wang, G. and Shen, H. (2020). Capacity of satellite-based and reanalysis precipitation products in detecting long-term trends across Mainland China. *Remote Sensing*, 12(18), 2902.
- Tapiador, F. J. Turk, F. J. Petersen, W. Hou, A. Y., García-Ortega, E. Machado, L. A. and De Castro, M. (2012). Global precipitation measurement: Methods, datasets and applications. *Atmospheric Research*, 104, 70-97.
- Trenberth, K. E. (2011). Changes in precipitation with climate change. *Climate Research*, 47(1-2), 123-138.
- Ullah, W. Guojie, W. Gao, Z. Tawia Hagan, D. F. Bhatti, A. S. and Zhua, C. (2021). Observed linkage between Tibetan Plateau soil moisture and South Asian summer precipitation and the possible mechanism. *Journal of Climate*, 34(1), 361-377.
- Wang, C. Graham, R. M. Wang, K. Gerland, S. and Granskog, M. A. (2019). Comparison of ERA5 and ERA-Interim near-surface air temperature, snowfall and precipitation over Arctic Sea ice: effects on sea ice thermodynamics and evolution. *The Cryosphere*, 13(6), 1661-1679.
- Westra, S. Alexander, L. V. and Zwiers, F. W. (2013). Global increasing trends in annual maximum daily precipitation. *Journal of climate*, 26(11), 3904-3918.
- Yu, C. Li, Z. and Blewitt, G. (2021). Global comparisons of ERA5 and the operational HRES tropospheric delay and water vapor products with GPS and MODIS. *Earth and Space Science*, 8(5), e2020EA001417.
- Zarrin, A. & Dadashi-Roudbari, A. (2021c). Projection of future extreme precipitation in Iran based on CMIP6 multi-model ensemble. *Theoretical and Applied Climatology*, 144(1), 643-660.
- Zarrin, A. Dadashi Roudbari, A. (2021d). Investigation of precipitation return period and its probability of occurrence in Iran based on Multi-Source Weighted-Ensemble Precipitation (MSWEP). *Journal of Geography and Environmental Hazards*. doi: 10.22067/geoeh.2021.71102.1079
- Zarrin, A. Dadashi-Roudbari, A. (2021a). Projected consecutive dry and wet days in Iran based on CMIP6 bias-corrected multi-model ensemble. *Journal of the Earth and Space Physics*. doi: 10.22059/jesphys.2021.319270.1007295 (In Persian).
- Zarrin, A. Dadashi-Roudbari, A. (2021b). Projection of precipitation intensity in Iran using NEX-GDDP by multi-Model ensemble approach. *Iranian Journal of Geophysics*. doi: 10.30499/ijg.2021.300366.1353 (In Persian).
- Zeder, J. and Fischer, E. M. (2020). Observed extreme precipitation trends and scaling in Central Europe. *Weather and Climate Extremes*, 29, 100266.
- Zhu, J. Xie, A. Qin, X. Wang, Y. Xu, B. and Wang, Y. (2021). An Assessment of ERA5 Reanalysis for Antarctic Near-Surface Air Temperature. *Atmosphere*, 12(2), 217.