



Investigating Precipitation Return Period and its Probability of Occurrence in Iran based on Multi-Source Weighted-Ensemble Precipitation (MSWEP)

Azar Zarrin^{a*}, Abbasali Dadashi-Roudbari^a

^a Department of Geography, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.

Received: 21 June 2021

Revised: 1 August 2021

Accepted: 10 September 2021

Abstract

Return periods and the probability of the occurrence of precipitation are two important indicators in studies related to flooding and precipitation, and a correct understanding of the indicators can play an important role in climate risk studies. This study aimed to investigate the performance of the Multi-Source Weighted-Ensemble Precipitation (MSWEP) and to use it in determining the return periods and the probability of annual precipitation in Iran. For this purpose, the generalized extreme value (GEV) method was used. Four statistics of RMSE, MBE, PBIAS, and R^2 in Köppen-Geiger climate classification in Iran were used to evaluate the MSWEP data. The results showed that this data has the best performance in arid and semi-arid regions of the country with a PBIAS of 0.40 and 0.32. In contrast, this data showed the least performance in two rainy (Cfa) and mountainous areas (Dsb), so that the maximum PBIAS between the climate zones of the country is seen between -2.45 and -0.09% in the above-mentioned zones, respectively. The results showed that the maximum probable precipitation occurs in periods of 1 to 15 years in the northern coasts and its maximum intensity occurs in the southern coasts of Iran. The probability of occurrence of precipitation in Iran fluctuates between 2.03 to 32.02%. Decreasing latitude from north to south and decreasing height from west to east are associated with a decrease in the probability of occurrence of precipitation in Iran. Maximum uncertainty is seen in the mountainous regions of Iran with a high probability of occurrence of precipitation.

Keywords: Generalized Extreme Value (GEV), Iran, MSWEP, Precipitation Return Period, Precipitation

*. Corresponding Author: Azar Zarrin

E-mail: zarrin@um.ac.ir

Tel: + 985138805287

How to cite this Article: Zarrin, A., Dadashi Roudbari, A. (2021). Investigating precipitation return period and its probability of occurrence in Iran based on Multi-Source Weighted-Ensemble Precipitation (MSWEP). *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 10(4), 221-241.

doi: 10.22067/geoeh.2021.71102.1079



Journal of Geography and Environmental Hazards are fully compliant with open access mandates, by publishing its articles under Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0).



Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0)

Geography and Environmental Hazards

Volume 10, Issue 4 - Number 40, Winter 2022

<https://geoeh.um.ac.ir>

<https://dx.doi.org/10.22067/geoeh.2021.71102.1079>

جغرافیا و مخاطرات محیطی، سال دهم، شماره چهارم، زمستان ۱۴۰۰، صص ۲۲۷-۲۰۹

مقاله پژوهشی

بررسی دوره بازگشت و احتمال رخداد بارش در ایران بر اساس پایگاه داده بارش همادی-وزنی چند

منبعی (MSWEP)

آذر زرین^۱ - استادیار اقلیم‌شناسی، گروه جغرافیا، دانشگاه فردوسی مشهد

عباسعلی داداشی رودباری - پژوهشگر پسادکتری اقلیم‌شناسی، گروه جغرافیا، دانشگاه فردوسی مشهد

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۳/۳۱ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۵/۱۰ تاریخ تصویب: ۱۴۰۰/۶/۱۹

چکیده

دوره بازگشت و احتمال رخداد بارش دو نمایه مهم در مطالعات مربوط به سیل و بارش‌های فرین محسوب می‌شوند و درک صحیح از این دو نمایه می‌تواند نقش مهمی در مطالعات ریسک اقلیمی داشته باشد. این پژوهش با هدف بررسی کارایی پایگاه داده بارش همادی-وزنی چند منبعی (MSWEP^۲) و کاربرد آن در تعیین دوره‌های بازگشت و بررسی احتمال رخداد بارش سالانه در ایران انجام شده است. برای این منظور از روش توزیع فرین تعمیم یافته (GEV^۳) استفاده شد. برای درستی سنجی داده‌های پایگاه MSWEP از چهار سنجه آماری RMSE، MBE، PBIAS و R² در پهنه‌های اقلیمی کوپن - گایگر در ایران استفاده گردید. نتایج نشان داد که این پایگاه داده در مناطق خشک و نیمه‌خشک کشور با درصد اریبی ۰/۴۰ و ۰/۳۲ بهترین کارایی را دارد. در مقابل، این پایگاه داده در دو پهنه پرباران (Cfa) و کوهستانی (Dsb) کمترین کارایی را خود نشان داد؛ به طوری که بیشینه درصد اریبی در بین پهنه‌های اقلیمی کشور به ترتیب با ۲/۴۵- و ۴/۰۹- درصد در پهنه‌های مذکور دیده شد. نتایج نشان داد که بیشینه مقدار بارش محتمل در دوره‌های ۱ تا ۱۵ ساله در سواحل شمالی و بیشینه شدت آن در سواحل جنوبی ایران اتفاق می‌افتد. احتمال رخداد بارش در ایران بین ۲/۰۳ تا ۳۲/۰۲ درصد در نوسان است. کاهش عرض

Email: zarrin@um.ac.ir

۱ نویسنده مسئول: ۰۹۱۵۵۰۱۵۹۲۱

2 Multi-Source Weighted-Ensemble Precipitation (MSWEP)

3 Generalized Extreme Value (GEV)

نحوه ارجاع به این مقاله:

زرین، آذر؛ داداشی رودباری، عباسعلی؛ ۱۴۰۰. بررسی دوره بازگشت و احتمال رخداد بارش در ایران بر اساس پایگاه

داده بارش همادی-وزنی چند منبعی (MSWEP). جغرافیا و مخاطرات محیطی. ۱۰(۴). صص ۲۲۷-۲۰۹

<https://dx.doi.org/10.22067/geoeh.2021.71102.1079>

جغرافیایی از شمال به جنوب و کاهش ارتفاعات از غرب به شرق با کاهش احتمال رخداد بارش روزانه در ایران در ارتباط هستند. بیشینه عدم قطعیت در احتمال رخداد بارش روزانه در مناطق کوهستانی ایران مشاهده شد.

کلیدواژه‌ها: ایران، پایگاه داده بارش MSWEP، توزیع فرین تعمیم یافته (GEV)، دوره بازگشت بارش.

۱- مقدمه

مخاطرات طبیعی تهدید مهمی برای امنیت عمومی، زیرساخت‌ها، منابع طبیعی و توسعه اقتصادی در سراسر جهان هستند (راگنو و همکاران^۱، ۲۰۱۹). در سال‌های اخیر، رخداد‌های فرین اقلیمی^۲ در بسیاری از نقاط جهان به میزان قابل توجهی افزایش یافته‌اند (الکساندر و همکاران^۳، ۲۰۰۶؛ وال و همکاران^۴، ۲۰۱۵؛ مایره و همکاران^۵، ۲۰۱۹؛ سال و همکاران^۶، ۲۰۲۱). به دلیل اهمیت فرین‌های اقلیمی در مدیریت ریسک و طراحی مهندسی (چنگ و همکاران^۷، ۲۰۱۴)، علاقه زیادی به شناخت چگونگی تغییر در این رخدادها به‌ویژه دوره بازگشت بارش و احتمال رخداد آن وجود دارد. بررسی دوره‌های بازگشت بارش و احتمال رخداد آن برای کشوری همچون ایران با اقلیم غالب خشک و نیمه‌خشک می‌تواند برای مدیریت منابع آب و پیش‌بینی احتمال وقوع سیلاب بسیار مفید باشد.

از روش‌های آماری ایستا و نایستا برای بررسی ارتباط رخداد‌های فرین بارشی (به‌عنوان مثال بارش‌های سنگین و خیلی سنگین و سیل) و احتمال وقوع آن‌ها استفاده می‌شود (استدینگر و همکاران^۸، ۱۹۹۳). در مطالعات اقلیمی، تکنیک‌های تحلیل فراوانی کلاسیک و ایستا نتایج درستی را از واقعیت‌های اقلیمی ارائه نمی‌دهند، چراکه احتمال رخداد بارش و دوره بازگشت از رویکرد نایستایی پیروی می‌کنند (خالق و همکاران^۹، ۲۰۰۶). با این حال، فقط تعداد کمی از مطالعات بارش را با مدل‌های نایستا در ایران بررسی کرده‌اند. از این‌رو لزوم یک مطالعه جامع در این حوزه احساس می‌شود.

افزایش رخداد‌های فرین و پیامدهای گزارش شده از آن‌ها در سراسر جهان انگیزه استفاده از روش‌های نایستا را برای اطمینان از به دست آوردن مشخصه‌های در حال تغییر اقلیم افزایش داده است (میلی و همکاران^{۱۰}، ۲۰۰۸). با این حال، نظرات و دیدگاه‌های گوناگونی در مورد مدل‌های نایستا برای تحلیل فرین‌ها وجود دارد. بسیاری از

- 1 Ragno et al
- 2 Extreme climate events
- 3 Alexander et al
- 4 Wahl et al
- 5 Myhre et al
- 6 Sun et al
- 7 Cheng et al
- 8 Stedinger et al.
- 9 Khaliq et al.
- 10 Milly et al

روش‌های موجود برای تحلیل فرین‌ها که تحت فرض نایستایی می‌باشند، دارای محدودیت‌های زیادی از جمله فقدان یک چارچوب کلی برای ترکیب متغیرهای درگیر در برآورد پارامترها و عدم قطعیت در برآورد احتمال رخداد فرین‌های بارشی و دوره‌های بازگشت وجود دارد (گاٹو و همکاران، ۲۰۱۶). بررسی دوره‌های بازگشت و احتمال رخداد بارش برای طیف گسترده‌ای از کاربردهای پژوهشی، مهندسی و عملیاتی ضروری است. از اطلاعات دوره‌های بازگشت بارش در بخش پژوهشی می‌توان برای ارزیابی خروجی مدل‌های اقلیمی، در بخش مهندسی برای برنامه‌ریزی و در زمینه عملیاتی نیز برای طراحی و مدیریت زیرساخت‌ها استفاده کرد. همچنین برای بهبود سامانه‌های پیش‌بینی سیل و خشکسالی نیز می‌توان از این رویکرد مطالعاتی استفاده نمود (بوسیلوویچ و همکاران^۱، ۲۰۰۸؛ هیرپا و همکاران^۲، ۲۰۱۶؛ یان و همکاران^۳، ۲۰۱۹). توانایی برآورد قابل اطمینان از مقدار و فراوانی مورد انتظار رخداد‌های فرین برای بهبود عرصه‌های مدیریتی ریسک، اساسی است. از طرف دیگر برآورد دوره بازگشت و احتمال رخداد بارش از موضوعات مهم در مطالعات اقلیمی است. بر این اساس ضمن استفاده از روش‌های کارآمد برای بررسی رخداد فرین‌های بارشی، استفاده از داده‌های معتبر نیز یک ضرورت جدی تلقی می‌شود. پایگاه‌های داده بارش دارای اریبی زیادی در مناطق کوهستانی هستند و از آنجایی که بخش‌های بزرگی از ایران در شمال‌غرب و غرب را مناطق مرتفع کوهستانی تشکیل می‌دهند، استفاده از داده‌ای که بتواند کمترین خطا را ارائه دهد از اهمیت شایان توجهی برخوردار است. داده‌های همادی از خطای کمتری در برآورد بارش نسبت به داده‌های منفرد برخوردارند (بیک و همکاران، ۲۰۱۹) بر این اساس با تکیه بر نتایج داده‌های همادی می‌توان نتایج مطمئن‌تری را برای برآورد احتمال رخداد بارش و دوره بازگشت آن به‌دست آورد. دوره‌های بازگشت بارش و احتمال رخداد آن یکی از موضوعات مورد توجه در علوم جوی و بخصوص اقلیم‌شناسی و هیدرولوژی است. همان‌طور که پیش‌تر بحث شد دو رویکرد ایستایی و نایستایی در بررسی فرین‌های اقلیمی مورد توجه است. نظر به اهمیت رویکرد نایستایی و استفاده از این روش در پژوهش حاضر، در ادامه پژوهش‌هایی که از رویکرد نایستایی استفاده کرده‌اند مورد توجه و بررسی قرار می‌گیرند. در یکی از این پژوهش‌ها، گرویزمن و همکاران^۴ (۲۰۰۵) با بررسی روند بارش فرین در اقلیم‌های مختلف کره زمین بر اساس روش GEV نشان دادند که مناطقی با مقدار بارش زیاد در دوره‌های بازگشت، دارای رخداد‌های بارش سنگین و بسیار سنگین هستند. در پژوهشی دیگر دگانتو^۵ (۲۰۰۹) دوره‌های بازگشت بارش در ایالات متحده آمریکا را با روش GEV برای دوره آماری ۲۰۰۷-۱۹۵۰ مورد بررسی قرار داد و به این نتیجه رسید که امکان دارد طوفان‌های بزرگ در هر ۴۰ سال یکبار اتفاق بیافتند. همچنین ایشان نشان داد که بارش‌هایی با دوره بازگشت ۲ ساله

1 Bosilovich et al.

2 Hirpa et al.

3 Yan et al.

4 Groisman et al

5 DeGaetano

به ازای هر دهه ۲ درصد افزایش یافته‌اند. گائو و همکاران^۱ (۲۰۱۶) به مدل‌سازی نایستایی بارش‌های فرین در چین با استفاده از ۶۳۱ ایستگاه طی دوره ۲۰۱۳-۱۹۵۱ پرداختند و به این نتیجه رسیدند که توزیع‌های GEV نایستای کارایی بهتری از معادل ایستایی آن دارند. برآورد پارامترهای GEV و تحلیل ایستایی و نایستایی از بارش‌های فرین در آفریقا پژوهشی است که دپائولا و همکاران^۲ (۲۰۱۸) بدان پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که روند بارش از رویکرد نایستایی پیروی می‌کند و بررسی اثرات تغییر اقلیم با رویکرد نایستایی نتایج بهتری را نسبت به روش ایستایی ارائه می‌دهد. وو و میشر^۳ (۲۰۱۹) با بررسی فراوانی رخداد‌های فرین بارش در آمریکا ضمن آشکارسازی افزایش فراوانی رخداد‌های بارش فرین نشان دادند که بیش‌تر بارش‌های فرین از حالت نایستایی پیروی می‌کنند. ونر و همکاران^۴ (۲۰۲۰) به بررسی دوره‌های بازگشت فرین‌های دما و بارش بر اساس برون‌داد مدل‌های CMIP6 پرداختند و به این نتیجه رسیدند که با افزایش طول دوره بازگشت، فراوانی فرین‌های اقلیمی کمتر می‌شود. بارش و پایگاه‌های داده بارش موردتوجه پژوهش‌های بسیاری در ایران بوده است. به‌طوری‌که پژوهش‌های بسیاری به‌درستی سنجی پایگاه‌های داده بارش TRMM و GPCP (میری و همکاران، ۱۳۹۵)، ERA-interim (رضیئی و ستوده، ۱۳۹۶) و ERA-Interim، PERSIANN-CDR و CHIRPS (گرگی زاده و همکاران، ۱۳۹۸) پرداختند. باین حال تا کنون پژوهشی که داده‌های همادی را در سطح کشور درستی سنجی و استفاده کرده باشد، انجام نشده است. همان‌طور که تاکنون پژوهشی از قابلیت‌های داده‌های وزنی چندگانه برای برآورد بارش در کشور استفاده نکرده است، کمتر پژوهشی نیز روش‌های نایستایی را برای بررسی بارش و رخداد‌های فرین آن موردتوجه قرار داده است. از معدود پژوهش‌هایی که با استفاده از روش فرین تعمیم یافته (GEV) به بررسی بارش‌های فرین در ایران پرداخته‌اند می‌توان به پژوهش عساکره (۱۳۹۱) و مظفری و همکاران (۱۳۹۶) اشاره کرد. عساکره (۱۳۹۱) تغییر توزیع فراوانی بارش‌های فرین شهر زنجان را با استفاده از توزیع فرین تعمیم یافته (GEV) موردبررسی قرار داد. نتایج وی نشان داد که چند نوع نایستایی در بارش‌های زنجان رخ داده است. این نایستایی‌ها به صورت چرخه‌ها، جهش و نیز تغییر توزیع فراوانی قابل‌رؤیت است. مظفری و همکاران (۱۳۹۶) نیز با واکاوی روابط فضایی بارش‌های فرین در غرب ایران نشان دادند که الگوی فضایی بارش‌های فرین در غرب ایران یک الگوی خوشه‌ای است که معنی‌داری آن در سطح ۹۹ درصد تأیید می‌گردد.

جمع‌بندی پیشینه پژوهش نشان می‌دهد که به‌رغم عدم قطعیت پایین‌تر روش‌های نایستایی و درک مؤثرتری که از بارش و بارش‌های فرین در اختیار ما قرار می‌دهند، این روش تاکنون کمتر در ایران مورداستفاده قرار گرفته است. این پژوهش دوره بازگشت و احتمال رخداد آن در ایران را بر اساس روش‌های نایستایی با کاربست داده‌های پایگاه

1 Gao et al

2 De Paola et al

3 Vu & Mishra

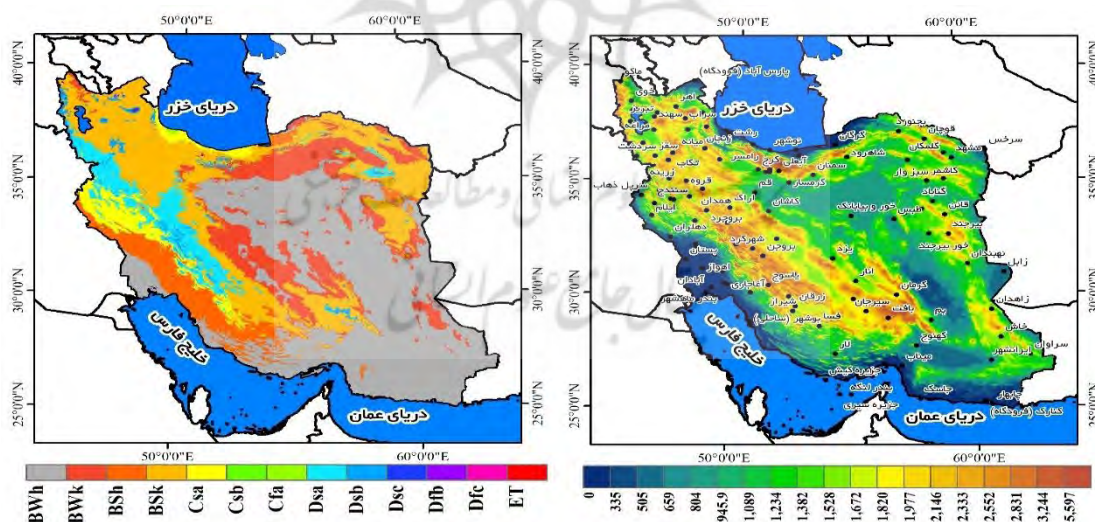
4 Wehner et al

بارش همادی-وزنی که برآورد مطمئن تری از بارش دارند به عنوان مسئله اصلی مورد توجه قرار داده است. لذا این پژوهش با سه هدف اصلی ۱- درستی سنجی داده‌های پایگاه بارش همادی-وزنی MSWEP در مناطق مختلف اقلیمی ایران؛ ۲- بررسی دوره بازگشت و ۳- بررسی احتمال رخداد بارش با استفاده از روش توزیع فرین تعمیم یافته (GEV) انجام شد. نتایج این پژوهش برای مطالعات مرتبط با سیل، فرین‌های بارشی و هیدرولوژی از اهمیت شایان توجهی برخوردار است.

۲- مواد و روش

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

ایران کشوری وسیع در جنوب غرب آسیا است و به جهت اقلیمی کشوری خشک و نیمه‌خشک محسوب می‌شود. ارتفاع ایران از کمتر از ۲۸ متر در سواحل جنوبی دریای خزر تا ۵۶۱۰ متر در قله دماوند در تغییر است (شکل ۱). رشته‌کوه‌های البرز در شمال و زاگرس در غرب نقش بسزایی در تقسیم کشور به پهنه‌های مختلف اقلیمی دارند. این مناطق کوهستانی همانند سدی در مقابل رسیدن رطوبت به قسمت مرکزی کشور عمل می‌کنند، که در نتیجه بارش در این مناطق نسبت به سایر مناطق کشور بسیار کم‌تر است. ایران همچنین میزبان یکی از گرم‌ترین بیابان‌های جهان-دشت لوت- است. بر اساس روش طبقه‌بندی اقلیمی کوپن بیش از ۸۰ درصد از مساحت کشور در مناطق خشک و نیمه‌خشک واقع شده‌اند (رضیعی، ۱۳۹۶).



شکل ۱- طبقه‌بندی اقلیمی ایران بر اساس روش کوپن-گایگر (تفکیک افقی ۱ کیلومتر) (بیک و همکاران، ۲۰۱۸) و مدل رقومی ارتفاعی (SRTM) با تفکیک افقی ۳۰ متر به همراه پراکنش ۱۲۰ ایستگاه همدید طی دوره

آماري ۲۰۱۷-۱۹۹۰

۲-۲- پایگاه داده بارش همادی-وزنی چند منبعی (MSWEP)

در بین متغیرهای هواشناسی، بارش به دلیل ناهمگنی زمانی - مکانی یکی از پیچیده‌ترین متغیرها است (پربین و گویت، ۲۰۱۷). داده‌های مشاهداتی به‌عنوان منبع اصلی جهت بررسی بارش‌های فرین هستند؛ با این حال تعداد ایستگاه‌های هواشناسی در ایران که داده بلندمدت بارش در اختیار داشته باشند بسیار محدود است و در کویبرهای داخلی و مناطق کوهستانی ایران عملاً ایستگاه‌هایی با داده بارش بلندمدت وجود ندارد. طی دهه‌های گذشته مجموعه داده‌های بازتحلیل بسیاری همانند^۱ GPCC،^۲ ERA5،^۳ CRU،^۴ MERRA-2 و داده‌های ماهواره‌ای همانند^۵ TRMM،^۶ GPM و^۷ PERSIANN-CDR برای بارش ایجاد شده‌اند (سان و همکاران، ۲۰۱۸). این مجموعه داده‌ها از نظر منبع داده (ایستگاه، رادار زمینی، ماهواره، بازتحلیل شده و یا همادی)، تفکیک افقی (از ۰/۰۵ تا ۲/۵ درجه قوسی)، گام زمانی (۳۰ دقیقه تا ماهانه) و از نظر هدف از بازتولید مجموعه داده‌ها (دقت مکانی، همگنی زمانی، طول دوره یا ترکیبات آن) متفاوت هستند. هر داده شبکه‌ای بارش حتی داده‌های ماهواره‌ای دارای عدم قطعیت و بیش‌برآوردی/کم‌برآوردی هستند. بهترین راهکار برای کاهش عدم قطعیت داده‌های شبکه‌ای استفاده از الگوریتم همادی-وزنی است، چراکه تلفیق داده‌های مختلف باعث کاهش اریبی داده‌ها می‌گردد (بیشاپ و آبراموویتز^۸، ۲۰۱۳). لذا به این دلیل در این پژوهش از داده‌های بارش پایگاه همادی-وزنی MSWEP استفاده گردید. پایگاه داده بارش همادی-وزنی چند منبعی یک مجموعه داده جهانی بارش است که دارای گام‌های زمانی ۳ ساعته، روزانه و ماهانه است. در این پژوهش از MSWEP-V220 استفاده گردید که دارای دوره آماری ۱۹۷۹ تا ۲۰۱۷ است (بیک و همکاران^۹، ۲۰۱۹). این مجموعه داده نسبت به سایر داده‌های شبکه‌ای بارش از این جهت منحصر به فرد است که از یک رویکرد ترکیبی-وزنی مبتنی بر داده‌های ایستگاهی، ماهواره‌ای و بازتحلیل بهره می‌برد تا برآورد قابل اطمینان‌تری از بارش را در کره زمین ارائه دهد. از زمان انتشار نسخه ۱ (با تفکیک افقی ۰/۲۵ درجه قوسی) در ماه می ۲۰۱۶، MSWEP با موفقیت در مقیاس جهانی برای اهداف مختلفی مورد استفاده قرار گرفته است. نسخه دوم پایگاه داده MSWEP تلفیقی از داده‌های مبتنی بر ایستگاه (WorldClim, GHCN-D, GSOD و GPCC)، ماهواره (CMORPH, GridSat, GSMaP, TRMM) و بازتحلیل (ERA-Interim و JRA-55) است. پایگاه داده بارش MSWEP-V220 از چندین جنبه نسبت به سایر داده‌های موجود منحصر به فرد است: ۱) تفکیک افقی (۰/۱ درجه قوسی) و گام زمانی بالا (۳)

1 Global Precipitation Climatology Centre (GPCC)

2 ECMWF Reanalysis v5 (ERA5)

3 Climatic Research Unit (CRU)

4 Modern-Era Retrospective analysis for Research and Applications, version 2 (MERRA-2)

5 Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM)

6 Global Precipitation Measurement (GPM)

7 Precipitation Estimation from Remotely Sensed Information using Artificial Neural Networks - Climate Data Record (PERSIANN-CDR)

8 Bishop & Abramowitz

9 Beck et al

ساعته)؛ ۲) تلفیق وزنی طیف گسترده‌ای از مجموعه داده‌های ایستگاه، ماهواره و بازتحلیل‌ها، برای برآورد بهتر بارش در هر مکان، ۳) تصحیح اریبی برای باران‌ریزه (Drizzle). ۴) تصحیح اریبی سیستماتیک بارش با ایستگاه‌های زمینی به دلیل کمبود ایستگاه در ۱۳۷۶۲ حوضه آبریز در سراسر جهان؛ ۵) تصحیح اریبی بارش با استفاده از مشاهدات روزانه از ۷۶۷۴۷ ایستگاه در سراسر کره زمین (بیک و همکاران، ۲۰۱۹).

۲-۳- ایستگاه‌های همدید ایران

برای درستی سنجی برون‌داد بارش پایگاه MSWEP-V220 از داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی همدید استفاده شد. برای گزینش ایستگاه‌های همدید سه شرط مورد توجه قرار گرفت: ۱- مشارکت حداکثری ایستگاه‌ها در ایران. ۲- حداکثر داده مفقود از کل سری زمانی ایستگاه بیش از ۱۰ درصد نباشد (زولینا^۱، ۲۰۰۶)؛ و ۳- همگنی داده‌ها با آزمون الکساندرسون (SNHT) (الکساندرسون^۲، ۱۹۸۶) بررسی و همگنی آن‌ها در سطح ۰/۰۵ مورد تأیید قرار گیرد. این آزمون از آن جهت برای همگنی داده‌ها مورد استفاده قرار گرفت که آزمونی با بازدهی بالاست که می‌تواند به دو شکل مطلق و نسبی مورد استفاده قرار گیرد (رحیم‌زاده و نساجی‌زواره، ۱۳۹۳). در این پژوهش برای بررسی همگنی سری‌های سالانه بارش از نوع مطلق این آزمون استفاده گردید. بر اساس سه شرط یاد شده ۱۲۰ ایستگاه برای دوره آماری ۲۰۱۷-۱۹۹۰ برای درستی سنجی بارش گزینش گردید که در شکل (۱) موقعیت آن‌ها نشان داده شده است.

۲-۴- سنج‌های آماری مورد استفاده جهت درستی سنجی

در این پژوهش از چهار سنج آماری $RMSE^3$ ، MBE^4 ، $PBIAS^5$ و R^{21} استفاده شد که جزئیات آن‌ها در جدول (۱) آمده است.

جدول ۱- سنج‌های آماری مورد استفاده در این پژوهش

نحوه محاسبه آماره	سنج آماری
$RMSE = \frac{1}{n} \sqrt{\sum_{i=1}^n (Z^*(X_i) - Z(X_i))^2}$	مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE)
$MBE = \frac{\sum_{i=1}^n (O - P)}{n}$	میانگین اریبی خطا (MBE)
$Pbias = \frac{[\sum_{i=1}^n (Y_i^{obs} - Y_i^{sim}) * (100)]}{\sum_{i=1}^n (Y_i^{obs})}$	درصد مقدار اریبی (PBIAS)
$R^2 = \frac{(\sum (P_i - \bar{P})(O_i - \bar{O}))^2}{\sum (P_i - \bar{P})^2 (O_i - \bar{O})^2}$	ضریب تبیین (R^2)

1 Zolina

2 Alexandersson

3 Root Mean Square Error (RMSE)

4 Mean Bias Error (MBE)

5 Percentage of Bias (PBIAS)

6 Coefficient of Determination (R2)

در روابط MBE و R^2 ، مقدار برآورد شده، O_i مقدار اندازه‌گیری، \bar{P} و \bar{O} میانگین مقادیر اندازه‌گیری شده می‌باشند. همچنین در RMSE، $Z^*(X_i)$ مقدار برآورد شده متغیر در X_i ، $Z(X_i)$ مقدار مشاهده‌ای متغیر در X_i ، تعداد کل داده‌های مشاهده‌ای است. در رابطه (PBIAS) Y_{sim} مقدار برآورد شده (پایگاه MSWEP) و Y_{obs} مقدار مشاهداتی (ایستگاه‌های همدید منتخب) است.

۲-۵- دوره‌های بازگشت بارش در ایران با روش مقادیر فرین تعمیم یافته (GEV)

بررسی فراوانی بارش‌های فرین و دوره بازگشت آن‌ها از اهمیت بالایی در مدیریت ریسک سیلاب و خشکسالی برخوردار است (فانگ و همکاران^۲، ۲۰۱۹) که می‌توان آن را با استفاده از توزیع‌های احتمال با نظریه مقدار فرین برآورد کرد (کولز^۳، ۲۰۰۱). نظریه مقدار فرین (EVT^۴)، به‌عنوان یکی از شاخه‌های مهم علم آمار، به‌طور گسترده در علوم هواشناسی و هیدرولوژی مورد استفاده قرار گرفته است (سوکسیسیان و تسالیس^۵، ۲۰۱۵). در بیش‌تر موارد، EVT اعمال شده در هواشناسی و هیدرولوژی بر این فرض استوار است که این رخدادها ایستا^۶ هستند (کاتز و همکاران^۷، ۲۰۰۲). با این حال، فرض ایستایی به دلیل بروز تغییر اقلیم و وردایی آن در سال‌های اخیر به تدریج به چالش کشیده شده است (سالاس و اوبیسکرا^۸، ۲۰۱۴). نالیستایی ممکن است بر شدت و فراوانی رخدادهای فرین تأثیر بگذارد (میکا^۹، ۲۰۱۳؛ مونیر و گائو^{۱۰}، ۲۰۱۵)؛ بنابراین، مدل‌های توزیع احتمال نالیستایی^{۱۱} باید مورد بررسی قرار گیرند. دو روش فرین تعمیم یافته (GEV) و توزیع پارتو تعمیم یافته (GPD) به‌طور گسترده‌ای برای تحلیل رخدادهای فرین مورد استفاده قرار می‌گیرند (آکرو و همکاران^{۱۲}، ۲۰۱۰؛ رولفو و همکاران^{۱۳}، ۲۰۱۶؛ یوزگاتلیگیل و ترکش^{۱۴}، ۲۰۱۸؛ فانگ و همکاران^{۱۵}، ۲۰۱۹؛ خاویر و همکاران^{۱۶}، ۲۰۲۰؛ کیم و همکاران^{۱۷}، ۲۰۲۰). در این مطالعه برای محاسبه دوره بازگشت مجموع بارش سالانه در ایران از روش فرین تعمیم یافته (GEV) استفاده شد.

1 Generalized Extreme Value (GEV)

2 Fang et al

3 Coles et al

4 Extreme value theory (EVT)

5 Soukissian and Tsalis

6 stationary

7 Katz et al

8 Salas and Obeysekera

9 Mika

10 Monier and Gao

11 Nonstationary

12 Acero et al

13 Rulfová et al

14 Yozgatligil & Türkeş

15 Fang et al

16 Xavier et al

17 Kim et al

دوره‌های بازگشت به‌عنوان توابع کمی توزیع GEV محاسبه شدند. تابع چگالی تجمعی (CDF¹) (آفاکوچک و همکاران، ۲۰۱۱؛ خارین و همکاران^۲، ۲۰۱۳) توزیع GEV همانند معادله (۱) است.

$$GEV(x) = \exp \left[- \left(1 + \varepsilon \frac{x-\mu}{\sigma} \right)^{-1/\varepsilon} \right] \varepsilon \neq 0 \quad (1)$$

در رابطه (۱) σ ، μ و ε به ترتیب پارامترهای موقعیت، مقیاس و شکل هستند (خارین و همکاران، ۲۰۱۳). سپس سطح بازگشت x_p مربوط به دوره‌های بازگشت (یا بازه‌های بازگشت) $T = 1/p$ را می‌توان برآورد کرد، که در آن احتمال تجمعی برابر است با $1 - p$ (فانگ و همکاران، ۲۰۱۹؛ کیم و همکاران، ۲۰۲۰). از روش حداکثر احتمال برای برازش داده‌ها استفاده شد (خارین و زویارس^۳، ۲۰۰۵).

۳- یافته‌ها

۳-۱- درستی سنجی پایگاه داده بارش MSWEP-V2 در ایران

برای درستی سنجی برون‌داد بارش پایگاه MSWEP در مقیاس سالانه از چهار سنجه آماری R^2 ، RMSE، MBE و PBIAS استفاده شد. همچنین برای بررسی بهتر کارایی این پایگاه در مناطق مختلف اقلیمی، متوسط هر یک از آماره‌ها در پهنه‌های مختلف اقلیمی کوپن-گایگر ارائه شد. روش پهنه‌بندی اقلیمی کوپن-گایگر به دلیل مقبولیت بالا در سطح جهانی نسبت به سایر روش‌های موجود طبقه‌بندی اقلیمی از یکسو و همچنین در نظر گرفتن متغیرهای بیش‌تر، به‌عنوان روش طبقه‌بندی در این پژوهش انتخاب شد. همچنین علت درستی سنجی بارش در مقیاس سالانه به این دلیل است که دوره بازگشت و احتمال رخداد بارش در مقیاس سالانه محاسبه می‌گردد که بر این اساس بهتر می‌توان نسبت به نتایج به‌دست‌آمده در مقیاس سالانه بحث کرد. مقدار ضریب تبیین (R^2) برای برون‌داد بارش MSWEP در ایران بین ۰/۸۲ تا ۰/۹۹ در تغییر است که نشان‌دهنده کارایی قابل قبول این پایگاه داده بارش در کشور است. بالاترین ضریب تبیین در مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران به‌دست آمده است که با توجه به مقدار کم بارش سالانه در این مناطق چندان دور از انتظار نبوده است. همان‌طور که در شکل (۲) دیده می‌شود بیشینه مقدار RMSE در سواحل جنوبی دریای خزر است که خطای بیش‌تر از ۱۰ میلی‌متر را نشان می‌دهد (پهنه اقلیمی Cfa). کمینه مقدار RMSE نیز با مقدار کمتر از ۱ میلی‌متر در جنوب‌شرق و مناطق داخلی ایران دیده می‌شود. با توجه به نتایج بررسی این دو سنجه می‌توان نتیجه گرفت که این پایگاه داده در مناطق خشک و نیمه‌خشک کارایی بسیار بالاتری دارد.

1 Cumulative Density Function (CDF)

2 Kharin et al

3 Kharin and Zwi

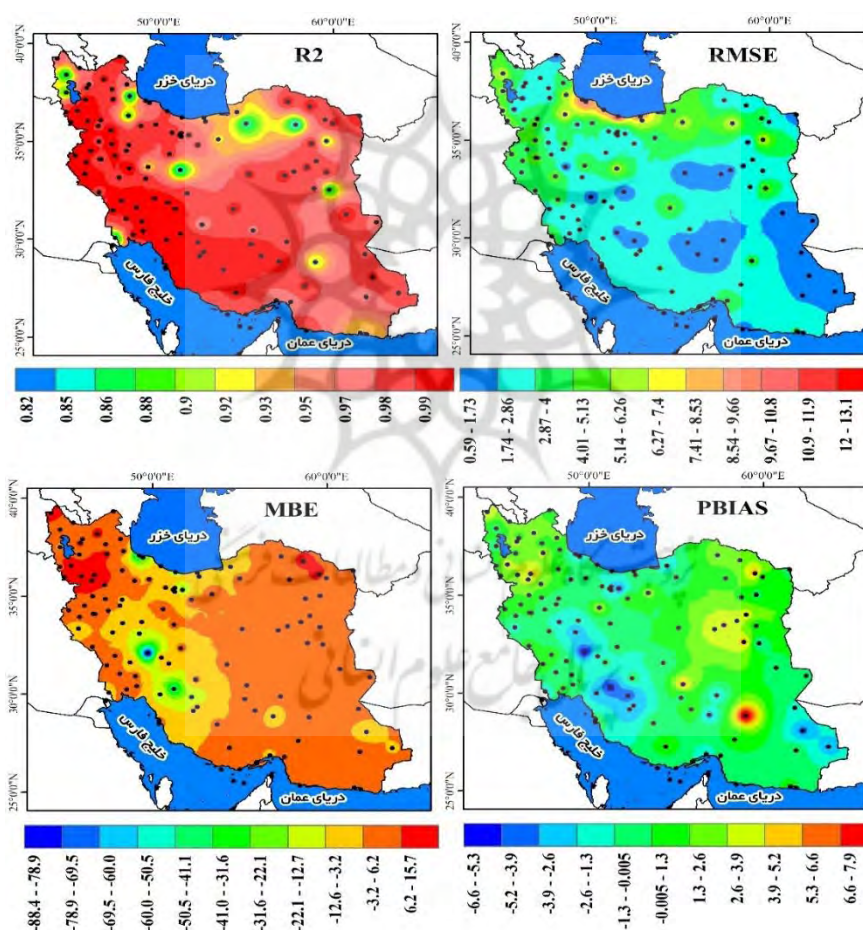
مقادیر MBE نیز همانند RMSE است و نشانگر آن است که از جنوب به شمال ایران مقدار اریبی افزایش می‌یابد. در مقیاس سالانه اریبی بارش در ایران بین ۸۸/۴۴- تا ۱۵/۷۱ میلی‌متر در نوسان است. در زاگرس مرتفع و جنوب غربی دریای خزر مقدار اریبی منفی شده است (کم برآوردی). بر این اساس می‌توان اذعان داشت که MSWEP در مناطق پربارش و مرتفع ایران دارای کم‌برآوردی است. از ۱۲۰ ایستگاه موردبررسی برای درستی سنجی پایگاه MSWEP در ۵۶/۴۱ درصد از ایستگاه‌ها اریبی منفی (کم‌برآوردی) و در ۴۳/۵۹ درصد از ایستگاه‌ها اریبی مثبت (بیش‌برآوردی) به‌دست آمده است. به‌طورکلی بررسی اریبی در پهنه‌های اقلیمی نشان می‌دهد که بارش در پهنه‌های Cfa, BSK, BSh, BWk, Csa, Dsa و Dsa دارای اریبی منفی است (جدول ۲) که نشان دهنده کم برآوردی این پایگاه بارش در پهنه‌های مذکور است.

همان‌طور که در شکل (۲) و جدول (۲) مشخص است بر اساس سنج‌های RMSE و MBE، بارش در مناطق شمالی (Csa و Cfa) و زاگرس مرتفع (Dsb) دارای اریبی و خطای زیادی است که مبین کارایی نه‌چندان مناسب این پایگاه داده در مناطق شمالی ایران یا به عبارتی در پهنه‌های اقلیمی Cfa, Csa, Dsa است؛ اما مقایسه نتایج این دو سنج آماری با PBIAS نتیجه متفاوتی را نشان می‌دهد. علت این تفاوت در نحوه محاسبه دو سنج RMSE و MBE است. از آنجاکه مقادیر RMSE و MBE تابعی از دامنه تغییرات بارش در هر ایستگاه است، مقدار زیاد RMSE و MBE در ایستگاه‌های ناحیه خزری (پهنه‌های اقلیمی Cfa و Csa) واقع در شمال ایران (ایستگاه‌های بندر انزلی، بابلسر، گرگان، رامسر و رشت) به جهت مقدار زیاد بارش در این ایستگاه‌ها است. لذا به کار بستن تنها دو سنج RMSE و MBE نتایج صحیحی را ارائه نمی‌دهد. برای رفع این مشکل از سنج PBIAS استفاده شد.

نتایج مربوط به سنج PBIAS نشان داد که به‌رغم مقدار بالای MBE برای پهنه‌های شمالی (مقدار MBE به‌دست آمده در پهنه اقلیمی Cfa، ۵۸/۴۳ - میلی‌متر است) این مقدار نسبت به کل بارش این پهنه‌ها کمتر از ۴ درصد (درصد اریبی منفی) است که نشانگر دقت مناسب داده‌های MSWEP-V220 در پهنه‌های خزری ایران است. بر عکس مقدار MBE که تابعی از دامنه تغییرات بارش است و با افزایش بارش مقدار آن به شکل غیرواقعی افزایش می‌یابد، لذا PBIAS سنج کاراتری برای برآورد درصد اریبی بارش در ایران است. از نظر پراکنش فضایی درصد اریبی (PBIAS) بارش در چهار منطقه از ایران منفی است: ۱- سواحل جنوبی دریای خزر؛ ۲- رشته‌کوه‌های جنوبی البرز، ۳- ارتفاعات زاگرس و ۴- جنوب شرقی ایران. بیشینه درصد اریبی منفی بارش در ارتفاعات زاگرس قابل مشاهده است. در مقابل در مناطق شمال‌غربی، شمال‌شرقی و مناطق بزرگی از ایران داخلی درصد اریبی MSWEP مثبت است. به‌طورکلی کوه‌رنگ با درصد اریبی ۶۶- درصد، بیشینه درصد اریبی منفی و بم با ۹۳/۷ درصد، بیشینه درصد اریبی مثبت را نشان داده‌اند. همان‌طور که روشن است اگر تنها به دو سنج RMSE و MBE بسنده می‌شد، به نظر می‌رسید که بم نسبت به بندر انزلی اریبی کمتری دارد؛ اما همان‌طور که مشخص شد مقدار درصد اریبی از کل بارش سالانه در بندر انزلی تنها ۳/۶- درصد است که به‌رغم کم‌برآوردی در بارش دارای دقت بهتری نسبت به بم است.

جدول ۲- متوسط سنجه‌های آماری در پهنه‌های اقلیمی ایران بر اساس روش کوپن-گایگر

پهنه اقلیمی	R ²	RMSE	MBE	PBIAS
BSh	۰/۹۸۲	۲/۸۶	-۴/۲۶	-۱/۰۱
BSk	۰/۹۶۳	۲/۸۳	۰/۱۶	۰/۴۰
BWh	۰/۹۳۶	۲/۱۸	-۰/۰۲	۰/۳۲
BWk	۰/۹۳۴	۲/۲۸	-۲/۳۲	-۰/۲۱
Cfa	۰/۹۶۱	۹/۷۶	-۴۰/۶۶	-۲/۴۵
Csa	۰/۹۶۲	۵/۹۵	-۵/۲۸	-۰/۷۴
Dsa	۰/۹۸۲	۳/۴۳	-۷/۵۶	-۰/۷۶
Dsb	۰/۹۵۶	۲/۸۳	-۱۷/۱۱	-۴/۰۹



شکل ۲- توزیع فضایی سنجه‌های R2، RMSE، MBE و PBIAS بر اساس مقایسه بارش سالانه پایگاه داده MSWEP-V2 و بارش ایستگاهی در ایران

۳-۲- دوره بازگشت مجموع بارش سالانه در ایران

دوره بازگشت بارش سالانه و احتمال رخداد بارش‌های برابر و بیش از ۱ میلی‌متر در ایران با استفاده از روش GEV محاسبه و نتایج آن در شکل (۳) ارائه شد. بر اساس روش GEV، بارش سالانه ایران دارای دوره‌های بازگشت، ۱، ۳، ۵، ۱۰ و ۱۵ ساله است. بیشینه شدت بارش در دوره‌های بازگشت اشاره شده در سواحل جنوبی کشور، زاگرس مرتفع و سواحل خزری دیده می‌شود.

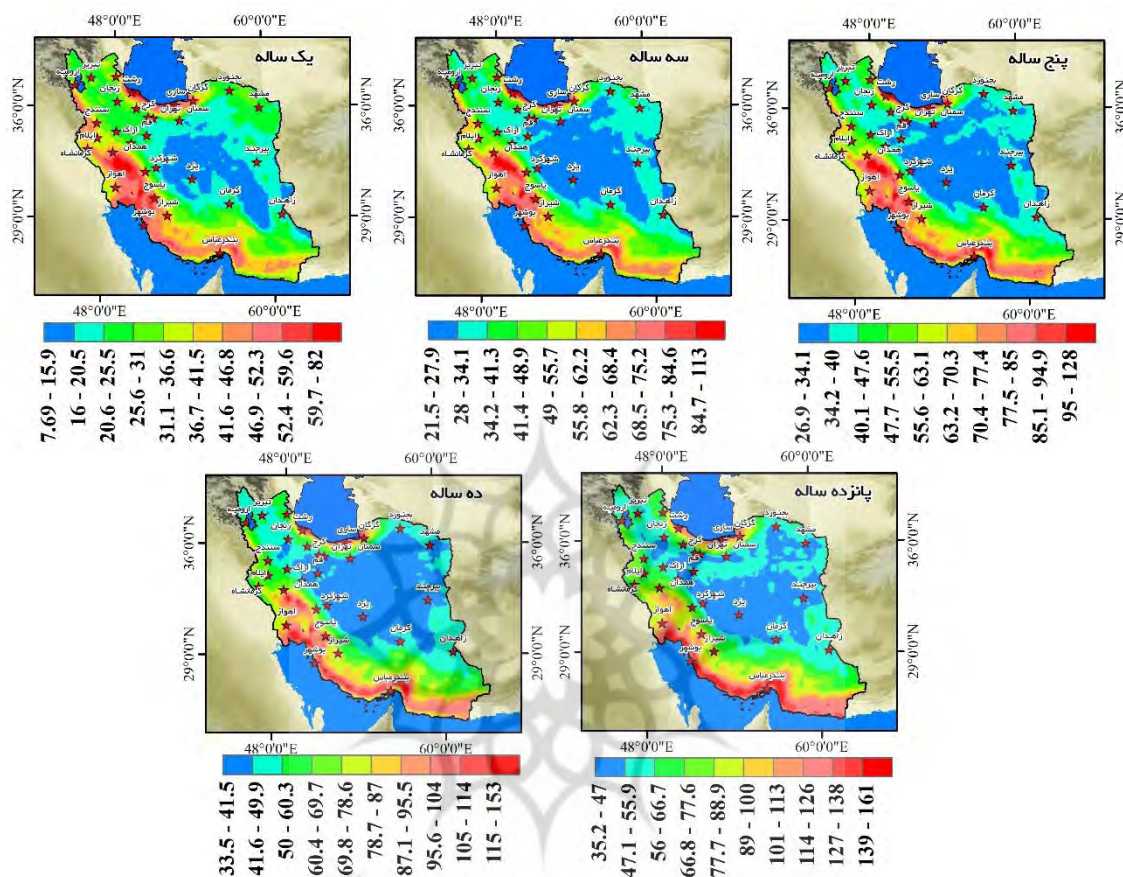
از نظر پارامترهای GEV، افزایش مقدار بارش با افزایش گام زمانی دوره‌های بازگشت در مناطق جنوبی ایران (مناطق ساحلی خلیج فارس و دریای عمان) همزمان با افزایش پارامتر مکانی توزیع GEV است (شکل ۳). بر این اساس می‌توان ادعان داشت که روند افزایشی در دوره‌های بازگشت در سطح آماری ۵ درصد ($\alpha = 0.05$) معنی دار است.

بیشینه مقدار بارش در دوره‌های بازگشت ۱، ۳، ۵، ۱۰ و ۱۵ ساله افزایش زیادی در سواحل خلیج فارس و دریای عمان نشان می‌دهد (شکل ۳). در این مناطق مقدار بارش از دوره بازگشت ۱ ساله به ۳ ساله با آهنگ متوسط ۴ درصد به ازای هر سال افزایش می‌یابد. مطابق با شکل (۳)، افزایش مقدار بیشینه بارش با افزایش دوره بازگشت در سواحل جنوبی ایران بارزتر است اما باید توجه داشت که درست در جنوب غربی ایران و مناطق شمالی استان خوزستان مقدار بارش در دوره‌های بازگشت مورد بررسی به ازای هر دهه حدود ۱ درصد کاهش می‌یابد.

همان‌طور که در شکل (۳) مشخص است و پیش‌تر نیز گفته شد با افزایش دوره بازگشت، بیشینه مقدار بارش نیز افزایش می‌یابد. این افزایش در سواحل جنوبی ایران کمی بیشتر از مناطق شمالی کشور است؛ اما به‌طور کلی در بین مناطق و دوره‌های مختلف آهنگ افزایش بارش با طولانی‌تر شدن دوره‌های بازگشت همراه است.

بیشینه مقدار بارش در دوره بازگشت ۱ ساله در ایران بین ۷/۶۹ میلی‌متر در جنوب شرق تا ۸۲/۰۳ میلی‌متر در زاگرس مرتفع در نوسان است. با افزایش دوره بازگشت، مقدار بارش محتمل در یک روز نیز افزایش می‌یابد. به‌طوری‌که بیشینه بارش در دوره بازگشت ۳ ساله ۱۱۳/۴۹ میلی‌متر، ۵ ساله ۱۲۸/۲۸ میلی‌متر، ۱۰ ساله ۱۵۳/۳۰ میلی‌متر و ۱۵ ساله ۱۶۰/۸۶ میلی‌متر برآورد شد. احتمال بارش در دوره‌های بازگشت به‌دست آمده در سواحل جنوبی ایران از چابهار تا اهواز، زاگرس مرتفع در غرب ایران (استان‌های لرستان، کرمانشاه و ایلام) و سواحل خزری نشان از خطر بالایی سیل در این مناطق از ایران دارد. در سال‌های اخیر سیل‌های ویرانگری در مازندران (۱۳۹۷/۱۲/۲۶)، بر اساس گزارش سازمان هواشناسی کشور طی دو روز ۳۰۰ میلی‌متر بارش داشته است که باعث کشته شدن ۱۳ نفر شد و به تعطیلی فرودگاه، راه‌آهن و تخلیه چند روستا انجامید، گیلان (۱۳۹۹/۰۵/۱۵)، ۳۷۸ میلی‌متر بارش در ۲۴ ساعت و خسارت به ۴۰ تا ۶۰ هزار هکتار از زمین‌های کشاورزی، پل دختر (۱۳۹۸/۰۱/۰۵)، مطابق با گزارش سازمان هواشناسی، ۱۰۸ میلی‌متر بارش در یک روز، ۱۵ کشته و خسارت به ۳۶۰۰ خانه و سیستان و بلوچستان (۱۳۹۹/۰۱/۰۴)، مطابق با گزارش سازمان هواشناسی ۸۹ میلی‌متر بارش در یک روز در نیکشهر) اتفاق افتاده است. مقایسه سیلاب‌های

رخ داده با مقدار بارش در دوره بازگشت‌های مختلف که با روش GEV محاسبه شد، نشان از دقت بالای این روش در محاسبه دوره‌های بازگشت بارش در ایران دارد (شکل ۳). بر این اساس مناطقی را که با رنگ قرمز در نقشه نشان داده شده‌اند، می‌توان پهنه‌هایی با خطر سیل خیزی بالا عنوان کرد.



شکل ۳- دوره بازگشت بارش با استفاده از روش فرین تعمیم یافته (GEV) در ایران برای مجموع بارش سالانه

مبتنی بر برون‌داد پایگاه MSWEP

۳-۳- احتمال رخداد بارش و عدم قطعیت آن در ایران

احتمال رخداد بارش یک میلی‌متر و بیش‌تر معیاری برای شناسایی شدت بارش‌های روزانه است. بالا بودن شاخص احتمال رخداد بارش و پایین بودن عدم قطعیت، نشان از احتمال بالای بارش در یک روز را دارد. تأثیر عرض جغرافیایی و ارتفاع بر احتمال رخداد بارش‌های روزانه در ایران مشهود است. نتایج این نشان داد که با کاهش عرض جغرافیایی از شمال به جنوب مقدار این نسبت کاهش می‌یابد. استثنائاتی نیز دیده می‌شود که مربوط به ارتفاعات داخلی کشور است که باعث افزایش احتمال رخداد بارش می‌شود. در همین راستا ذوالفقاری و همکاران

(۱۳۸۸) نشان دادند که عرض جغرافیایی و ارتفاع، رابطه معنی داری با حداکثر بارش های روزانه و بارش های سالانه در ایران دارد.

عدم قطعیت احتمال رخداد بارش روزانه در ایران در تمامی مناطق کوهستانی بالای ۰/۵ است. نتایج به دست آمده پیش تر در بخش درستی سنجی نیز مورد تأیید قرار گرفته است. به طوری که پهنه اقلیمی Dsb با ۴/۰۹- درصد اریبی، بالاترین متوسط اریبی را در بین پهنه های اقلیمی ایران داشته است. بر این اساس می توان اذعان داشت که افزایش ارتفاع در ایران سبب کاهش قطعیت در برآورد احتمال رخداد بارش روزانه می شود.

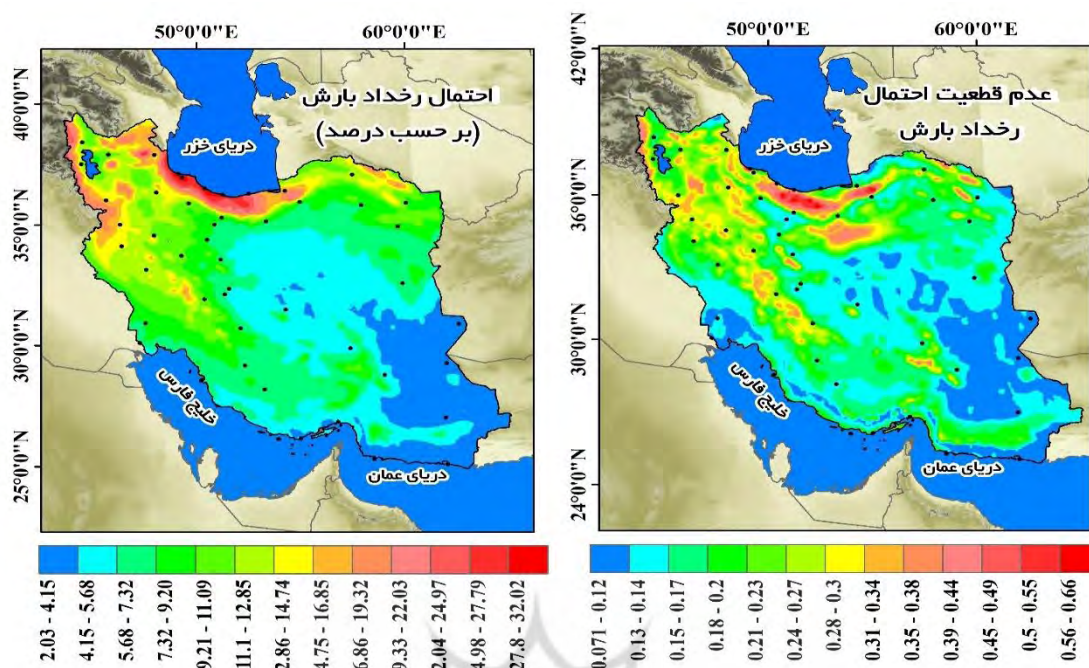
با نگاهی به شکل (۴) که احتمال رخداد بارش های یک میلی متر و بیشتر را در ایران نشان می دهد این نکته مشهود است که پراکندگی درصد احتمال رخداد بارش با توزیع فضایی بلندمدت بارش در ایران کاملاً همخوانی دارد. به طوری که بیشینه درصد احتمال رخداد بارش با بیش از ۳۰ درصد در سواحل جنوبی دریای خزر و کمینه آن با حداکثر ۲ درصد در جنوب شرق ایران مشاهده می گردد.

به جهت جغرافیایی چهار منطقه را می توان به عنوان مناطقی با احتمال بالای رخداد بارش روزانه در ایران در نظر گرفت. این چهار منطقه عبارتند از: ۱- سواحل جنوبی دریای خزر، ۲- مناطق مرزی غربی ایران از آذربایجان غربی تا کردستان، ۳- زاگرس مرتفع در کوهرنگ بختیاری و ۴- مناطق مرتفع شمال شرقی ایران در مرز با کشور ترکمنستان. در مقابل جنوب شرقی و سواحل مکران به همراه بخش های بزرگی از ایران مرکزی پایین ترین احتمال رخداد بارش روزانه را دارند. در این مناطق احتمال رخداد بارش یک میلی متر و بیش تر در یک روز کمتر از ۵ درصد است که علت آن دوری از منابع رطوبتی و قرارگیری در سایه بارش زاگرس است.

همان طور که در شکل (۴) دیده می شود این پایگاه داده بر روی بخش های مرتفع زاگرس درصد احتمال پائینی را برای بارش روزانه برآورد کرده است که دلیل اصلی آن به طوری که در بخش درستی سنجی داده ها نیز اشاره شده است کمبود اطلاعات مربوط به ایستگاه های زمینی در دوره مورد مطالعه در این ناحیه است.

بر اساس نتایج به دست آمده احتمال رخداد بارش یک میلی متر و بیش تر از آن در ۷۴/۷۱ درصد از کشور کم تر از ۱۰ درصد در روز است. عمده مناطقی که احتمال رخداد بارش در آن ها بیش تر از ۱۰ درصد است در بالاتر از مدار ۳۵ درجه شمالی قرار دارند. همچنین مناطق مرتفع زاگرس نیز شامل این مناطق می باشند (شکل ۴).

یافته های این تحقیق نشان می دهد که عدم قطعیت احتمال رخداد بارش در مناطق مرتفع کوهستانی ایران بالاست. به طوری که در این مناطق عدم قطعیت تا ۰/۶ نیز می رسد. در مقابل مناطق خشک داخلی و شرقی ایران پایین ترین عدم قطعیت را با مقدار ۰/۰۷ نشان دادند (شکل ۴).



شکل ۴- احتمال رخداد بارش یک میلی‌متر و بیش‌تر و عدم قطعیت آن در ایران برای مجموع بارش سالانه مبتنی بر برون‌داد پایگاه MSWEP

۴- نتیجه‌گیری

تعیین مقادیر و فراوانی رخداد های بارش فرین نقش کلیدی در برنامه‌ریزی مدیریت ریسک و مهندسی دارد. با توسعه الگوریتم‌های برآورد بارش و افزایش تعداد پایگاه‌های در دسترس در مقیاس جهانی با تفکیک افقی بالا، امکان برآورد صحیح بارش در مناطق مختلف بخصوص مناطق بیابانی و مرتفع کوهستانی فراهم شده است. این تحقیق با هدف درستی سنجی و بررسی احتمال دوره‌های بازگشت بارش با استفاده از داده‌های پایگاه MSWEP انجام شده است. از توزیع فرین تعمیم یافته (GEV) برای ارائه درکی مناسب از الگوهای فضایی دوره بازگشت و احتمال رخداد بارش ۱ میلی‌متر و بیش‌تر در ایران استفاده گردید.

پایگاه داده MSWEP که کارایی آن در ایران مورد بررسی قرار گرفته است، مبین کم‌برآوردی بارش در بیش‌تر پهنه‌های اقلیمی کشور است. به‌طوری‌که از ۸ پهنه اقلیمی اصلی ایران که اطلاعات ایستگاه‌های هواشناسی آن در دسترس بوده است اریبی بارش به‌طور متوسط در ۷ پهنه منفی (کم‌برآوردی) و فقط در پهنه BSk دارای متوسط اریبی مثبت (بیش‌برآوردی) است. بررسی درصد اریبی بارش نسبت به مجموع بارش سالانه در ایران نشان از کارایی قابل قبول این داده در سطح کشور دارد. به‌طوری‌که درصد اریبی بارش در ۵ پهنه از ۸ پهنه مورد بررسی کمتر از ۱ درصد مجموع بارش سالانه است. بیش‌ترین اختلاف بین داده‌های مشاهداتی (ایستگاه‌های هم‌دید) با داده‌های پایگاه

MSWEP-V220 در مناطق مرتفع زاگرس دیده می‌شود. این اختلاف ممکن است به این دلیل باشد که این پایگاه از داده‌های ایستگاه مبنا WorldClim, GHCN-D, GSOD و GPCP استفاده می‌کند و به دلیل اینکه ایستگاه‌های زاگرس مرتفع تازه تأسیس هستند و این چهار پایگاه داده -ایستگاه مبنا- مشارکت یافته در پایگاه MSWEP-V220 از این داده‌ها به دلیل کوتاه‌مدت بودن استفاده نکرده‌اند.

با توجه به اینکه در مجموع پایگاه داده بارش MSWEP-V220 کارایی قابل قبولی را در پهنه کشور ایران از خود نشان داد؛ از این داده جهت محاسبه دوره بازگشت بارش و احتمال رخداد بارش‌های یک میلی‌متر و بیش‌تر استفاده گردید. نتایج نشان داد که بارش در ایران دارای دوره‌های بازگشت ۱ ساله، ۳ ساله، ۵ ساله، ۱۰ ساله و ۱۵ ساله است. بیشینه بارش محتمل در یک روز به ترتیب ۸۲/۰۳، ۱۱۳/۴۹، ۱۲۸/۲۸، ۱۵۳/۳۰ و ۱۶۰/۸۶ میلی‌متر برای دوره‌های بازگشت مذکور می‌باشد که این بیشینه‌ها در مناطق شمال ایران، سواحل خلیج فارس و مناطق جنوب غربی ایران مشاهده می‌گردند. این مناطق مابین پهنه‌های بارشی سنگین و خیلی سنگین در ایران نیز هستند. در همین راستا، گرویزمن و همکاران^۱ (۲۰۰۵) نشان دادند که مناطقی با مقدار بارش زیاد در دوره‌های بازگشت، بارش سنگین و بسیار سنگین را تجربه می‌کنند. عدم قطعیت احتمال رخداد بارش روزانه در ایران از حداقل کمتر از ۱ درصد در مناطق خشک داخلی تا بیش از ۶۰ درصد در مناطق مرتفع کوهستانی ایران در تغییر است. احتمال رخداد بارش روزانه با افزایش عرض جغرافیایی و ارتفاع در ایران افزایش می‌یابد. تأثیر عرض جغرافیایی و ارتفاع در بیشینه رخداد بارش پیش‌تر توسط ذوالفقاری و همکاران (۱۳۸۸) در ارتباط با نسبت بیشینه بارش‌های روزانه به بارش‌های سالانه در ایران مورد تأیید قرار گرفته است. همچنین عدم قطعیت بالا در مناطق مرتفع کوهستانی به دلیل نبود ایستگاه‌های مشاهداتی در پایگاه‌های ایستگاه مبنای مشارکت یافته در پایگاه MSWEP-V220 چندان دور از انتظار نبوده است.

تغییرات مکانی احتمال رخداد بارش روزانه نه تنها می‌تواند بر مدیریت منابع آب و خطر طغیان سیل و خشکسالی تأثیر بگذارد، بلکه در تغییر توزیع بارش در طول سری زمانی نیز دارای اهمیت است. اگرچه وردایی زیادی در بیشینه مقدار بارش در دوره‌های بازگشت ۱ تا ۱۵ ساله ایران مشاهده می‌شود، اما ماندگاری کانون‌هایی با شدت بارش بالا قابل توجه است که نشان دهنده افزایش خطر بروز سیلاب به دلیل احتمال بیشتر رخدادهای بارش سنگین و خیلی سنگین می‌باشد. همچنین ارتباط معنی‌داری بین مناطقی با شدت بارش بالا در دوره‌های بازگشت مختلف و پهنه‌هایی با سیل‌خیزی بالا در ایران (واقفی و همکاران، ۲۰۱۹) دیده می‌شود. بر این اساس مناطقی که در این پژوهش به‌عنوان کانون‌های بیشینه بارش در دوره‌های بازگشت شناسایی شدند را می‌توان به‌عنوان مناطقی با خطر سیل‌خیزی بالا در نظر گرفت.

کتابنامه

- ذوالفقاری، حسن؛ هاشمی، رضا؛ فشی، مهدی؛ ۱۳۸۸. بررسی نسبت حداکثر بارش‌های روزانه به بارش‌های سالانه در ایران. *تحقیقات جغرافیایی*. شماره ۲۴. صص ۱۶۵-۱۸۸.
- رحیم‌زاده، فاطمه؛ نسجای‌زواره، مجتبی؛ ۱۳۹۳. روند و تغییرپذیری دما در ایران در دوره ۲۰۱۰-۱۹۶۰ پس از تعدیل ناهمگنی‌های غیرطبیعی موجود در داده‌ها. *تحقیقات جغرافیایی*. شماره ۲۹. صص ۱۸۱-۱۹۶.
- رضیئی، طیب؛ ۱۳۹۶. منطقه‌بندی اقلیمی ایران به روش کوپن-گایگر و بررسی جابه‌جایی مناطق اقلیمی کشور در سده بیستم. *فیزیک زمین و فضا*. شماره ۴۳. صص ۴۱۹-۴۳۹.
- رضیئی، طیب؛ ستوده، فاطمه؛ ۱۳۹۶. بررسی دقت مرکز اروپایی پیش‌بینی‌های میان‌مدت جوی (ECMWF) در پیش‌بینی بارش مناطق گوناگون اقلیمی ایران. *فیزیک زمین و فضا*. شماره ۴۳. صص ۱۳۳-۱۴۷.
- عساکره، حسین؛ ۱۳۹۱. تغییر توزیع فراوانی بارش‌های فرین شهر زنجان. *جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی*. شماره ۲۳. صص ۵۱-۶۶.
- گرجی زاده، علی؛ آخوندعلی، علی‌محمد؛ شهبازی، علی؛ مریدی، علی؛ ۱۳۹۸. مقایسه و ارزیابی بارش برآورد شده توسط مدل‌های ERA-Interim, PERSIANN-CDR و CHIRPS در بالادست سد مارون. *تحقیقات منابع آب ایران*. شماره ۱۵. صص ۲۶۷-۲۷۹.
- مظفری، غلامعلی؛ مزیدی، احمد؛ شفیعی، شهاب؛ ۱۳۹۶. واکاوی روابط فضایی بارش‌های فرین غرب ایران. *جغرافیا و توسعه*. شماره ۴۶. صص ۱۶۹-۱۸۳.
- میری، مرتضی؛ رضیئی، طیب؛ رحیمی، مجتبی؛ ۱۳۹۵. ارزیابی و مقایسه آماری داده‌های بارش TRMM و GPCC با داده‌های مشاهده‌ای در ایران. *فیزیک زمین و فضا*. شماره ۴۲. صص ۶۵۷-۶۷۲.
- Acerro, F. J., García, J. A., & Gallego, M. C., 2011. Peaks-over-threshold study of trends in extreme rainfall over the Iberian Peninsula. *Journal of Climate*, 24: 1089-1105.
- AghaKouchak, A., Behrangi, A., Sorooshian, S., Hsu, K., & Amitai, E., 2011. Evaluation of satellite- retrieved extreme precipitation rates across the central United States. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 116(D2).
- Alexandersson, H., 1986. A homogeneity test applied to precipitation data. *Journal of climatology*, 6: 661-675.
- Beck, H. E., Wood, E. F., Pan, M., Fisher, C. K., Miralles, D. G., Van Dijk, A. I., ... & Adler, R. F., 2019. MSWEP V2 global 3-hourly 0.1 precipitation: methodology and quantitative assessment. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 100: 473-500.
- Beck, H. E., Zimmermann, N. E., McVicar, T. R., Vergopolan, N., Berg, A., & Wood, E. F., 2018. Present and future Köppen-Geiger climate classification maps at 1-km resolution. *Scientific data*, 5: 1-12.
- Bishop, C. H., & Abramowitz, G., 2013. Climate model dependence and the replicate Earth paradigm. *Climate dynamics*, 41: 885-900.
- Bosilovich, M. G., Chen, J., Robertson, F. R., & Adler, R. F., 2008. Evaluation of global precipitation in reanalyses. *Journal of applied meteorology and climatology*, 47: 2279-2299.

- Coles, S., Bawa, J., Trenner, L., & Dorazio, P., 2001. An introduction to statistical modeling of extreme values (Vol. 208, p. 208). London: Springer.
- De Paola, F., Giugni, M., Pugliese, F., Annis, A., & Nardi, F., 2018. GEV parameter estimation and stationery vs. non-stationary analysis of extreme rainfall in African test cities. *Hydrology*, 5: 28.
- DeGaetano, A. T., 2009. Time-dependent changes in extreme-precipitation return-period amounts in the continental United States. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 48: 2086-2099.
- Fang, J., Yang, W., Luan, Y., Du, J., Lin, A., & Zhao, L., 2019. Evaluation of the TRMM 3B42 and GPM IMERG products for extreme precipitation analysis over China. *Atmospheric Research*, 223: 24-38.
- Gao, M., Mo, D., & Wu, X., 2016. Nonstationary modeling of extreme precipitation in China. *Atmospheric Research*, 182: 1-9.
- Groisman, P. Y., Knight, R. W., Easterling, D. R., Karl, T. R., Hegerl, G. C., & Razuvaev, V. N., 2005. Trends in intense precipitation in the climate record. *Journal of climate*, 18: 1326-1350.
- Hirpa, F. A., Salamon, P., Alfieri, L., Pozo, J. T. D., Zsoter, E., & Pappenberger, F., 2016. The effect of reference climatology on global flood forecasting. *Journal of Hydrometeorology*, 17: 1131-1145.
- Katz, R. W., Parlange, M. B., & Naveau, P., 2002. Statistics of extremes in hydrology. *Advances in water resources*, 25: 1287-1304.
- Khaliq, M. N., Ouarda, T. B., Ondo, J. C., Gachon, P., & Bobée, B., 2006. Frequency analysis of a sequence of dependent and/or non-stationary hydro-meteorological observations: A review. *Journal of hydrology*, 329: 534-552.
- Kharin, V. V., Zwiers, F. W., Zhang, X., & Wehner, M., 2013. Changes in temperature and precipitation extremes in the CMIP5 ensemble. *Climatic change*, 119: 345-357.
- Kim, Y. H., Min, S. K., Zhang, X., Sillmann, J., & Sandstad, M., 2020. Evaluation of the CMIP6 multi-model ensemble for climate extreme indices. *Weather and Climate Extremes*, 29: 100269.
- Mika, J., 2013. Changes in weather and climate extremes: phenomenology and empirical approaches. *Climatic Change*, 121: 15-26.
- Milly, P. C. D., Betancourt, J., Falkenmark, M., Hirsch, R. M., Kundzewicz, Z. W., Lettenmaier, D. P., & Stouffer, R. J., 2008. Stationarity is dead: Whither water management? *Earth*, 4: 20.
- Monier, E., & Gao, X., 2015. Climate change impacts on extreme events in the United States: an uncertainty analysis. *Climatic Change*, 131: 67-81.
- Myhre, G., Alterskjær, K., Stjern, C. W., Hodnebrog, Ø., Marelle, L., Samset, B. H., ... & Stohl, A., 2019. Frequency of extreme precipitation increases extensively with event rareness under global warming. *Scientific reports*, 9: 1-10.
- Prein, A. F., & Gobiet, A., 2017. Impacts of uncertainties in European gridded precipitation observations on regional climate analysis. *International Journal of Climatology*, 37: 305-327.
- Rulfová, Z., Buishand, A., Roth, M., & Kyselý, J., 2016. A two-component generalized extreme value distribution for precipitation frequency analysis. *Journal of hydrology*, 534: 659-668.
- Salas, J. D., & Obeysekera, J., 2014. Revisiting the concepts of return period and risk for nonstationary hydrologic extreme events. *Journal of Hydrologic Engineering*, 19: 554-568.
- Soukissian, T. H., & Tsalis, C., 2015. The effect of the generalized extreme value distribution parameter estimation methods in extreme wind speed prediction. *Natural Hazards*, 78: 1777-1809.
- Stedinger, J. R., Vogel, R. M., Foufoula-Georgiou, E., & Maidment, D. R., 1993. *Handbook of hydrology*. McGraw-Hill, Inc., New York, USA.

- Sun, Q., Miao, C., Duan, Q., Ashouri, H., Sorooshian, S., & Hsu, K. L., 2018. A review of global precipitation data sets: Data sources, estimation, and intercomparisons. *Reviews of Geophysics*, 56: 79-107.
- Sun, Q., Zhang, X., Zwiers, F., Westra, S., & Alexander, L. V., 2021. A global, continental, and regional analysis of changes in extreme precipitation. *Journal of Climate*, 34: 243-258.
- Tabari, H., 2020. Climate change impact on flood and extreme precipitation increases with water availability. *Scientific reports*, 10: 1-10.
- Vaghefi, S. A., Keykhai, M., Jahanbakhshi, F., Sheikholeslami, J., Ahmadi, A., Yang, H., & Abbaspour, K. C., 2019. The future of extreme climate in Iran. *Scientific reports*, 9: 1-11.
- Vu, T. M., & Mishra, A. K., 2019. Nonstationary frequency analysis of the recent extreme precipitation events in the United States. *Journal of Hydrology*, 575: 999-1010.
- Wahl, T., Jain, S., Bender, J., Meyers, S. D., & Luther, M. E., 2015. Increasing risk of compound flooding from storm surge and rainfall for major US cities. *Nature Climate Change*, 5: 1093-1097.
- Wehner, M., Gleckler, P., & Lee, J., 2020. Characterization of long period return values of extreme daily temperature and precipitation in the CMIP6 models: Part 1, model evaluation. *Weather and Climate Extremes*, 30: 100283.
- Xavier, A. C. F., Rudke, A. P., Fujita, T., Blain, G. C., de Moraes, M. V. B., de Almeida, D. S., ... & Martins, J. A., 2020. Stationary and non-stationary detection of extreme precipitation events and trends of average precipitation from 1980 to 2010 in the Paraná River basin, Brazil. *International Journal of Climatology*, 40: 1197-1212.
- Yan, H., Sun, N., Wigmosta, M., Skaggs, R., Hou, Z., & Leung, L. R., 2019. Next-generation intensity-duration-frequency curves to reduce errors in peak flood design. *Journal of Hydrologic Engineering*, 24: 04019020.
- Yozgatlıgil, C., & Türkeş, M., 2018. Extreme value analysis and forecasting of maximum precipitation amounts in the western Black Sea subregion of Turkey. *International Journal of Climatology*, 38: 5447-5458.
- Zolina, O., Simmer, C., Kapala, A., & Gulev, S., 2005. On the robustness of the estimates of centennial-scale variability in heavy precipitation from station data over Europe. *Geophysical Research Letters*, 32(14).