



## Determination of Crisis Areas of Precipitation in Iran for Period of 2021-2040 by Climate Change

Saman Javadi<sup>1</sup> | Hossein Yousefi<sup>2</sup> | Ali Moridi<sup>3</sup> | Hossein Khajehpour<sup>4</sup> |  
Touraj Fathi<sup>5</sup>

1. Corresponding Author, Department of Irrigation and Drainage Engineering, Aburaihan Campus, University of Tehran, Iran. E-mail: [javadis@ut.ac.ir](mailto:javadis@ut.ac.ir)
2. Department of Water Resources Engineering, Faculty of Civil, Water and Environmental Engineering, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran. E-mail: [ho\\_yousefi@sbu.ac.ir](mailto:ho_yousefi@sbu.ac.ir)
3. Department of Environmental Engineering, Faculty of Civil, Water and Environmental Engineering, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran. E-mail: [a\\_moridi@sbu.ac.ir](mailto:a_moridi@sbu.ac.ir)
4. Department of Energy Systems Engineering, Faculty of Energy Engineering, Sharif University of Technology, Tehran, Iran. E-mail: [khajehpour@sharif.edu](mailto:khajehpour@sharif.edu)
5. Deputy of Soil and Water Conservation and Management, Department of Environment, Tehran, Iran. E-mail: [fathi.touraj@gmail.com](mailto:fathi.touraj@gmail.com)

### Article Info

### ABSTRACT

#### Article type:

Research Article

#### Article history:

Received: 7 June 2021

Received in revised form:

26 June 2021

Accepted: 28 September 2021

Published online: 2 July 2023

#### Keywords:

Iran,

GCM,

RCP2.6,

RCP8.5.

The climate change effect on future precipitation (2040-2021) of Iran is investigated in this study. For this purpose, the results of three general circulation models (GCM) named GFDL-ESM2M, HadGEM2-ES and IPSL-CM5A-LR were analyzed for two scenarios of greenhouse gas emissions RCP2.6 and RCP8.5. CCT model and daily precipitation data of the base period (1986-2019) were used to downscale and bias correction of future daily precipitation data. According to the annual results, the weighted average of annual precipitation of rain gauges due to all scenarios except RCP8.5 in the IPSL-CM5A-LR model was increasing. The weighted average of seasonal precipitation in winter increased in all of the studied climate change conditions, but in other seasons the amount of precipitation decreased or increased. The highest increase in the weighted average of seasonal precipitation was in winter due to the RCP2.6 scenario and GFDL-ESM2M model (23 mm). The highest decrease in the weighted average of seasonal precipitation was in autumn due to the RSP8.5 scenario and IPSL-CM5A-LR (10.5 mm). Slight changes in mean precipitation, on the other hand, a sharp decrease in minimum precipitation (446 mm due to G3S4) and a sharp increase in maximum precipitation (233 mm due to G2S1), indicate the occurrence of severe extreme events (drought and flood) in the future.

**Cite this article:** Javadi, S., Yousefi, H., Moridi, A., Khajehpour, H., & Fathi, T. (2023). Determination of Crisis Areas of Precipitation in Iran for Period of 2021-2040 by Climate Change. *Journal of Water and Irrigation Management*, 13 (2), 311-322. DOI: <https://doi.org/10.22059/jwim.2021.325229.881>





## تعیین مناطق بحرانی بارش سطح کشور ایران در دوره ۲۰۲۱-۲۰۴۰ بر اثر تغییر اقلیم

سامان جوادی<sup>۱</sup> | حسین یوسفی<sup>۲</sup> | علی مریدی<sup>۳</sup> | حسین خواجه پور<sup>۴</sup> | تورج فتحی<sup>۵</sup>

۱. نویسنده مسئول، گروه مهندسی آب، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران، تهران، ایران. رایانامه: [javadis@ut.ac.ir](mailto:javadis@ut.ac.ir)
۲. گروه مهندسی منابع آب، دانشکده عمران، آب و محیط زیست، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران. رایانامه: [ho\\_yousefi@sbu.ac.ir](mailto:ho_yousefi@sbu.ac.ir)
۳. گروه مهندسی محیط زیست، دانشکده عمران، آب و محیط زیست، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران. رایانامه: [a\\_moridi@sbu.ac.ir](mailto:a_moridi@sbu.ac.ir)
۴. گروه مهندسی سیستم‌های انرژی، دانشکده مهندسی انرژی، دانشگاه صنعتی شریف، تهران، ایران. رایانامه: [khajehpour@sharif.edu](mailto:khajehpour@sharif.edu)
۵. دفتر مدیریت و حفاظت آب و خاک، سازمان حفاظت محیط زیست، تهران، ایران. رایانامه: [fathi.touraj@gmail.com](mailto:fathi.touraj@gmail.com)

## اطلاعات مقاله

## چکیده

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

در این پژوهش اثر تغییر اقلیم بر بارش آینده (۲۰۲۱-۲۰۴۰) در ایران بررسی شده است. به این منظور نتایج سه مدل گردش عمومی (GCM) به نام‌های GFDL-ESM2M، HadGEM2-ES و IPSL-CM5A-LR و برای دو سناریوی انتشار گازهای گلخانه‌ای RCP2.6 و RCP8.5 تحلیل شد. برای ریزمقیاس‌نمایی و تصحیح سوگیری بارش روزانه از مدل CCT و داده‌های بارش روزانه دوره پایه (۱۹۸۶-۲۰۱۹) استفاده شد. طبق نتایج سالانه میانگین وزن‌دار بارش سالانه ایستگاه‌های باران‌سنجی در همه سناریوها به جز سناریو RCP8.5 در مدل IPSL-CM5A-LR، افزایشی است. میانگین وزن‌دار بارش فصل زمستان ایستگاه‌های باران‌سنجی در هیچ‌یک از شرایط تغییر اقلیم کاهش نیافت اما در باقی فصل‌ها مقدار بارش کاهش یا افزایش داشت. بیش‌ترین افزایش میانگین وزن‌دار بارش فصلی، در فصل زمستان و در سناریو RCP2.6 در مدل GFDL-ESM2M و به مقدار ۲۳ میلی‌متر و بیش‌ترین کاهش میانگین وزن‌دار بارش فصلی، در فصل پاییز سناریو RCP8.5 در مدل IPSL-CM5A-LR و برابر ۱۰/۵ میلی‌متر محاسبه شد. از سویی تغییرات اندک میانگین بارش و از سوی دیگر کاهش شدید کمینه بارش (۴۴۶ میلی‌متر در اثر G3S4) و افزایش شدید بیشینه بارش (۲۳۳ میلی‌متر در اثر G2S1)، نشان‌دهنده وقوع پدیده‌های حدی شدید (خشکسالی و سیل) در آینده می‌باشد.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۳/۱۷

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۰۴/۰۵

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۷/۰۶

تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۰۴/۱۱

## کلیدواژه‌ها:

ایران،

GCM،

RCP2.6،

RCP8.5

**استناد:** جوادی، سامان؛ یوسفی، حسین؛ مریدی، علی؛ خواجه‌پور، حسین و فتحی، تورج (۱۴۰۲). تعیین مناطق بحرانی بارش سطح کشور ایران در دوره ۲۰۲۱-۲۰۴۰ بر اثر تغییر اقلیم. نشریه مدیریت آب و آبیاری، ۱۳ (۲)، ۳۱۱-۳۲۲. DOI: <https://doi.org/10.22059/jwim.2021.325229.881>



## ۱. مقدمه

با توجه به افزایش جمعیت و نیازهای جامعه، درک صحیح تغییرات اقلیم جهت اتخاذ راه‌کارهای مدیریتی بهینه لازم است (Freund *et al.*, 2017). ایران یکی از کشورهای کم‌آب در جهان است و به دلیل وابستگی زیاد آن به کشاورزی، تغییرات آب‌وهوایی می‌تواند بسیار خطرناک و زیان‌بار باشد (Nassiri *et al.*, 2006). با توجه به این که پارامترهای زیادی از جمله بارش، حداقل و حداکثر دما در اثر تغییر اقلیم تغییر می‌کنند (Stocker, 2014)، در توافق‌نامه پاریس برای اولین بار به‌عنوان هدف مشخص شد که حداکثر افزایش دما نسبت به قبل از صنعتی‌شدن ۲ درجه سانتی‌گراد شود و تمام سعی بر این باشد که این افزایش از ۱/۵ درجه فراتر نرود (Hallegatte *et al.*, 2016).

مدل گردش عمومی جو (GCM)<sup>۱</sup> یک مدل عددی است که نمایانگر فرایندهای فیزیکی در اتمسفر، اقیانوس، کریوسفر و سطح زمین می‌باشد که پیشرفته‌ترین ابزار حال حاضر برای شبیه‌سازی پاسخ آب‌وهوای جهان به افزایش میزان گازهای گلخانه‌ای و تغییرات تابش خورشیدی می‌باشد. مدل‌های GCM به‌منظور پیش‌بینی آب‌وهوا، درک اقلیم و پیش‌بینی تغییر اقلیم مورد استفاده قرار می‌گیرند (The First Climate Model., 2007). تاکنون در مطالعات بسیاری از مدل‌های GCM به‌منظور پیش‌بینی تغییر اقلیم استفاده شده است. این مدل‌ها بهترین ابزار حال حاضر بشر جهت درک سامانه اقلیم جهانی می‌باشند که تحت سناریوهای انتشار گازهای گلخانه‌ای، تغییر اقلیم را پیش‌بینی می‌کنند (Doulabian *et al.*, 2021; Duan *et al.*, 2021; Fujino *et al.*, 2006; Georgescu *et al.*, 2021; Hassan & Nile, 2021; Hosseini *et al.*, 2021).

ایران مانند بسیاری از کشورها تغییرات آب‌وهوایی زیادی را تجربه کرده است که می‌تواند دامنه و روند متغیرهای آب‌وهوایی را تغییر دهد. نتایج این تغییر مانند بارش سنگین، طوفان، خشکسالی و افزایش دما رخ داده است (Moghim, 2018). ارزیابی‌ها از منابع آب موجود و توزیع زمانی و مکانی آن‌ها و همچنین تحلیل خطرات سیل و خشکسالی برای حفظ سلامت جوامع انسانی و سیستم‌های زیست‌محیطی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (Lehner *et al.*, 2006). خشکسالی به چهار دسته تقسیم می‌شود؛ خشکسالی هواشناسی، خشکسالی هیدرولوژیک، خشکسالی کشاورزی، خشکسالی اجتماعی-اقتصادی (Wilhite & Glantz, 1985). بارش یکی از مهم‌ترین منابع تأمین آب است که کمبود آن موجب خشکسالی هواشناسی که اولین مرحله از خشکسالی است، می‌شود. پژوهش‌های زیادی درباره پیش‌بینی بارش آینده با استفاده از سناریوسازی انجام شده است (Abbasian *et al.*, 2021; Davarpanah *et al.*, 2021; Pequeno *et al.*, 2021; Xu *et al.*, 2021).

در پژوهش حاضر مطالعات در پهنه کشور ایران انجام می‌شود. پس از ریزمقیاس‌نمایی و تصحیح سوگیری بارش روزانه مدل‌سازی شده توسط سه مدل GCM به نام‌های GFDL-ESM2M، HadGEM2-ES و IPSL-CM5A-LR و برای دو سناریوی انتشار گازهای گلخانه‌ای RCP2.6 و RCP8.5، تغییرات بارش کشور به‌صورت فصلی و سالانه برای دوره آینده (۲۰۲۰-۲۰۴۰) ارائه می‌شود.

## ۲. مواد و روش‌ها

پردازش اولیه اطلاعات در مطالعات تغییر اقلیم چالش‌هایی برای پژوهش‌گران ایجاد می‌کند که CCT<sup>۲</sup> برخی از این چالش‌ها را حل کرده است؛ ۱- مدیریت داده‌ی بزرگ که اغلب مطالعات تغییر اقلیم درگیر این موضوع هستند و به‌منظور استخراج داده برای یک منطقه خاص نیازمند برنامه‌نویسی و صرف انرژی و زمان است، ۲- محاسبه سریع و یکپارچه مراحل انجام یک پژوهش در زمینه تغییر اقلیم شامل استخراج قسمتی از داده‌ها از پایگاه داده، ریزمقیاس‌نمایی<sup>۳</sup>، تصحیح سوگیری<sup>۴</sup> و درونیابی، که با استفاده از رابط کاربری گرافیکی انجام می‌شود، ۳- رویدادهای هیدرولوژیکی شدید

اغلب با استفاده از متغیرهای متنوع با دامنه‌های مختلف در مناطق مختلف آب‌وهوایی تعریف می‌شوند. به‌عنوان مثال، خشکسالی ممکن است از نظر شرایط هواشناسی، هیدرولوژیکی، کشاورزی و اقتصادی - اجتماعی تعریف شود. محاسبه آماره‌ها و الگوی سری‌های زمانی در دوره گذشته، تطبیق داده و اطلاعات آینده با شرایط حدی دوره گذشته نیز یکی از قابلیت‌های مدل CCT می‌باشد (Ashraf Vaghefi *et al.*, 2017).

اولین گام در این پژوهش دانلود داده مربوط به تغییر اقلیم و آماده‌سازی داده‌ی مشاهداتی بارش روزانه است. داده تغییر اقلیم برای دوره گذشته و آینده مطابق جدول (۱) برای دو سناریوی RCP2.6 و RCP8.5 در سه مدل GCM از پروژه ISI-MIP<sup>۵</sup> (Hempel *et al.*, 2013) و از سایت [www.2w2e.com](http://www.2w2e.com) دانلود شده است.

سناریوی RCP2.6 که به سناریوی خوش‌بینانه معروف است، توسط تیم IMAGE از مؤسسه ارزیابی‌های محیطی کشور هلند طراحی شده است. این سناریو جمعیت کره زمین را تا سال ۲۱۰۰ حدود هفت میلیارد نفر فرض می‌کند و دارای کم‌ترین نیاز و مصرف انرژی و سوخت‌های فسیلی و به‌دنبال آن کم‌ترین نرخ انتشار گازهای گلخانه‌ای بین سناریوهای گزارش پنجم IPCC<sup>۶</sup> است. در سناریوی RCP2.6 مقدار غلظت کربن‌دی‌اکسید تا سال ۲۱۰۰ میلادی حدوداً ۴۹۰ ppm محاسبه شده است که در ادامه منجر به واداشت تابشی ۲/۶ وات بر متر مربع در انتهای دوره آینده می‌شود. در بین سناریوها فقط سناریوی RCP2.6 است که در اواسط دوره آینده (سال ۲۰۵۰) واداشت تابشی بیش‌تری (حدوداً ۰/۵ وات بر متر مربع) نسبت به انتهای دوره آینده دارد. سناریوی RCP8.5 که به سناریوی بدبینانه معروف است، توسط تیم MESSAGE و مؤسسه IIASA از کشور اتریش طراحی شده است. این سناریو در صورت عدم اتخاذ هرگونه سیاست‌های کاهش آثار و مقابله با پیامدهای تغییر اقلیم رخ می‌دهد. در این سناریو جمعیت کره زمین تا سال ۲۱۰۰ حدود ۱۲ میلیارد نفر فرض می‌شود و نسبت به سایر سناریوها نیاز مردم به تأمین انرژی و نرخ انتشار گازهای گلخانه‌ای بیش‌تر از سایر سناریوها است. در سناریوی RCP8.5 مقدار غلظت کربن‌دی‌اکسید تا سال ۲۱۰۰ میلادی حدوداً ۱۹۶۰ ppm محاسبه شده است که در ادامه منجر به واداشت تابشی ۸/۵ وات بر متر مربع در انتهای دوره آینده می‌شود.

**Table 1.** Statistical period, GCMs and scenarios used in this research

ISI-MIP	Institute	Scenarios	Period	Parameter
GFDL-ESM2M	NOAA/Geophysical Fluid Dynamics Laboratory	RCP2.6, RCP8.5, and Historical	2021-2050 for RCPs and 1986-2005 for Historical	Precipitation
HadGEM2-ES	Met Office Hadley Center	RCP2.6, RCP8.5, and Historical	2021-2050 for RCPs and 1986-2005 for Historical	Precipitation
IPSL-CM5A-LR	L'Institute Pierre-Simon Laplace	RCP2.6, RCP8.5, and Historical	2021-2050 for RCPs and 1986-2005 for Historical	Precipitation
Observed (Base period)	-	-	1986-2019	Precipitation

در گام دوم استخراج داده برای مختصات محدوده مطالعاتی (کشور ایران) صورت گرفت. سپس نزدیک‌ترین ایستگاه GCM نسبت به ایستگاه‌های واقعی پیدا و با استفاده از ماژول Global Climate Data Management (GCDM) در نرم‌افزار CCT، مقادیر میانگین‌های ماهانه، سالانه، بلندمدت و آنومالی پارامترها محاسبه شد. در انتها تصحیح سوگیری با استفاده از ریزمقیاس‌نمایی آماری صورت گرفت و ضریب تصحیح برای بارش آینده اعمال شد. در این پژوهش از روش Multiplicative (معادله ۱) برای تصحیح داده‌های بارش روزانه استفاده شده است.

$$P_{corrected_{ij}} = P_{GCM_{ij}} \times \left( \frac{\bar{P}_{reference_{jk}}}{\bar{P}_{GCM_{jk}}} \right) \quad \text{رابطه (۱)}$$

که در معادله (۱)،  $P$  مقدار بارش و  $\bar{P}$  مقدار میانگین بلندمدت بارش است. هم‌چنین  $i$ ،  $j$  و  $k$  به ترتیب شمارنده روز، ماه و سال هستند.

## ۲-۱. محدوده مطالعاتی

این پژوهش در محدوده کشور ایران بین عرض‌های جغرافیایی ۲۳ الی ۴۱/۵ درجه و طول‌های جغرافیایی ۴۱/۵ الی ۶۷/۵ درجه انجام شده است. کشور ایران در خاورمیانه با مساحت ۱۶۴۸۰۰۰ کیلومتر مربع را در برمی‌گیرد. ایران از جنوب به خلیج فارس و دریای عمان که آب‌های آزاد هستند و از شمال به دریاچه خزر محدود است. ایران از لحاظ توپوگرافی بسیار متغیر است و شامل دو رشته‌کوه مرتفع و دو کویر بزرگ است، از این‌رو کشور ایران دارای اقلیم‌های متفاوتی است. رشته کوه البرز از غرب از جمهوری آذربایجان آغاز می‌شود و در سوی شرق تا درون ترکمنستان و افغانستان ادامه دارد. بخش زیاد و مرتفعی از البرز در راستای سواحل جنوبی دریاچه خزر کشیده شده‌است و از عبور رطوبت برخاسته از دریاچه خزر به سوی جنوب جلوگیری می‌کند، لذا جبهه شمالی البرز مرطوب و جبهه جنوبی آن خشک است. رشته کوه زاگرس از کرانه‌های دریاچه وان در جنوب شرقی ترکیه آغاز شده و تا استان‌های کرمان، بوشهر و هرمزگان ادامه می‌یابد. اقلیم و آب‌وهوای ایران به چهار دسته کلی تقسیم می‌شود: ۱- معتدل و مرطوب؛ در سواحل دریاچه‌ی خزر مشاهده می‌شود، ۲- گرم و خشک؛ بخش‌های مرکزی ایران که سهم زیادی از مساحت کشور را دارند، ۳- سرد و کوهستانی؛ اغلب در دامنه‌های رشته‌کوه‌های زاگرس و البرز (دامنه‌های شمالی رشته کوه البرز در همسایگی دریاچه خزر اقلیم معتدل و مرطوب دارد.) مشاهده می‌گردد، ۴- گرم و مرطوب؛ سواحل جنوبی ایران دارای این نوع اقلیم هستند.

## ۳. نتایج و بحث

در این پژوهش سه مدل گردش عمومی جو و دو سناریوی انتشار گازهای گلخانه‌ای بررسی شده است که جهت سهولت در ارائه نتایج هر یک از شش حالت تغییر اقلیم بررسی شده در این پژوهش با علائم اختصاری جدول (۲) نشان داده شده است.

Table 2. Different scenarios and their acronyms in this research

GCM	Scenario	Acronym
GFDL-ESM2M	RCP 2.6	G1S1
HadGEM2-ES	RCP 2.6	G2S1
IPSL-CM5A-LR	RCP 2.6	G3S1
GFDL-ESM2M	RCP 8.5	G1S4
HadGEM2-ES	RCP 8.5	G2S4
IPSL-CM5A-LR	RCP 8.5	G3S4
Base period	Observed	BP

لازم به ذکر است به‌منظور ارائه نتایج برای محاسبه میانگین وزن دار ایستگاه‌ها از منحنی‌های تیسن شبکه ایستگاه‌ها استفاده شده است. تغییرات بارش و دمای سالانه و فصلی به‌ترتیب ارائه و بررسی شده است. هم‌چنین جدول (۳) خلاصه نتایج تغییرات بارش تحت اثر تغییر اقلیم برای کشور ایران را نمایش می‌دهند. با توجه به جدول (۳) و شکل‌های (۱) تا (۳) که اختلاف میانگین بارش سالانه مشاهداتی دوره پایه و شرایط تغییر اقلیم است، می‌توان این نتایج را استنتاج نمود.

بیش‌ترین افزایش میانگین وزن دار بارش سالانه ایستگاه‌های باران‌سنجی مربوط به شرایط G2S1 و برابر ۴۴/۶ میلی‌متر و رتبه بعدی شرایط G3S1 و برابر ۴۲/۶ میلی‌متر است. بیش‌ترین کاهش میانگین وزن دار بارش سالانه ایستگاه‌های باران‌سنجی مربوط به شرایط G3S4 و برابر ۱۶/۸ میلی‌متر است. میانگین وزن دار بارش سالانه ایستگاه‌های باران‌سنجی در همه شرایط به‌جز G3S4 افزایشی است. بیش‌ترین افزایش بارش سالانه در یک ایستگاه باران‌سنجی

مربوط به شرایط G2S1 و برابر ۲۳۳/۷ میلی‌متر و رتبه بعدی شرایط G1S1 و برابر ۱۶۳/۴ میلی‌متر است. بیش‌ترین کاهش بارش سالانه در یک ایستگاه باران‌سنجی مربوط به شرایط G3S4 و برابر ۴۴۶ میلی‌متر و رتبه بعدی شرایط G3S1 و برابر ۳۲۸/۱ میلی‌متر است.

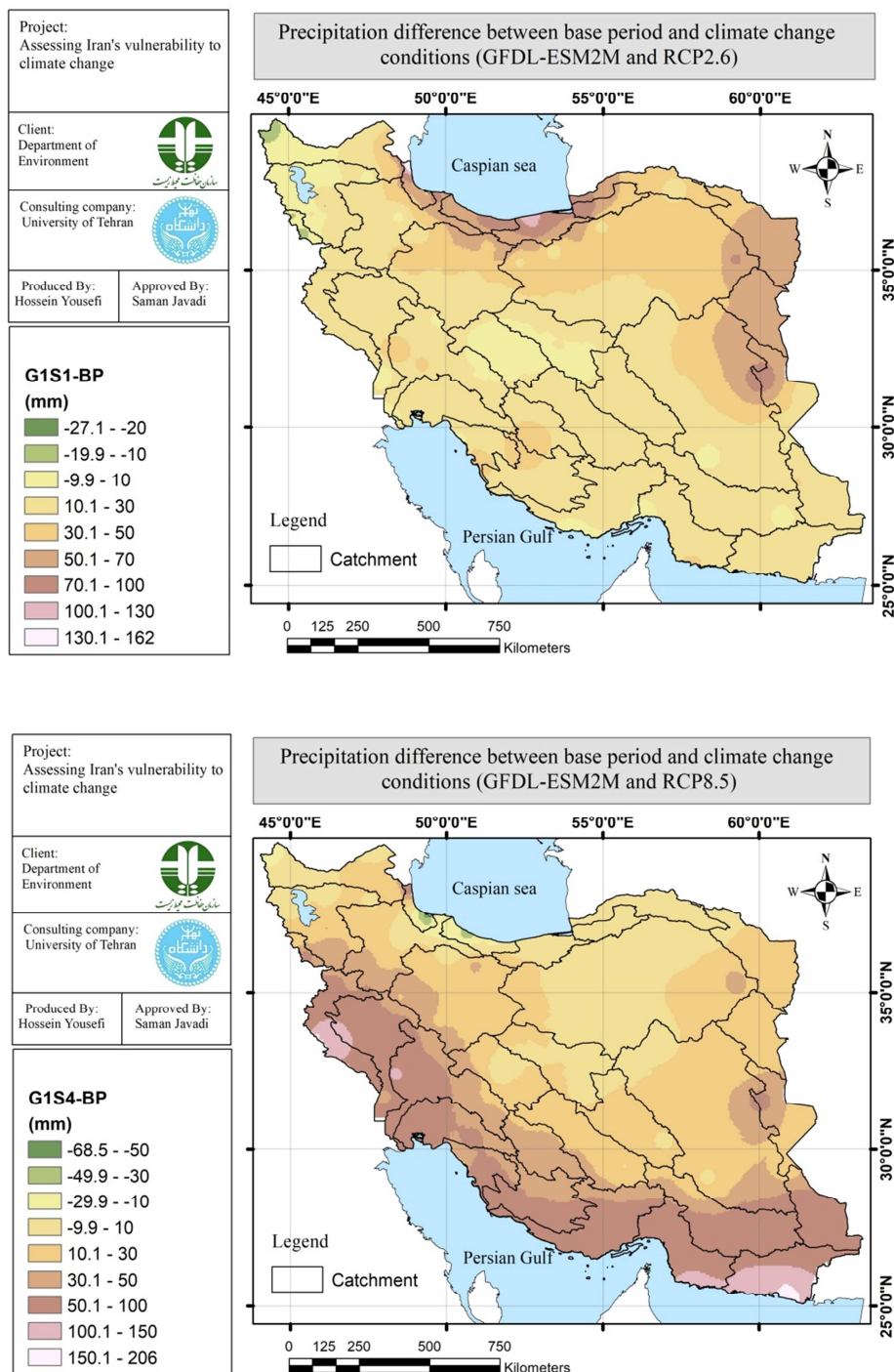


Figure 1. Long-term average of the annual precipitation variation due to climate change in Iran (GFDL-ESM2M)

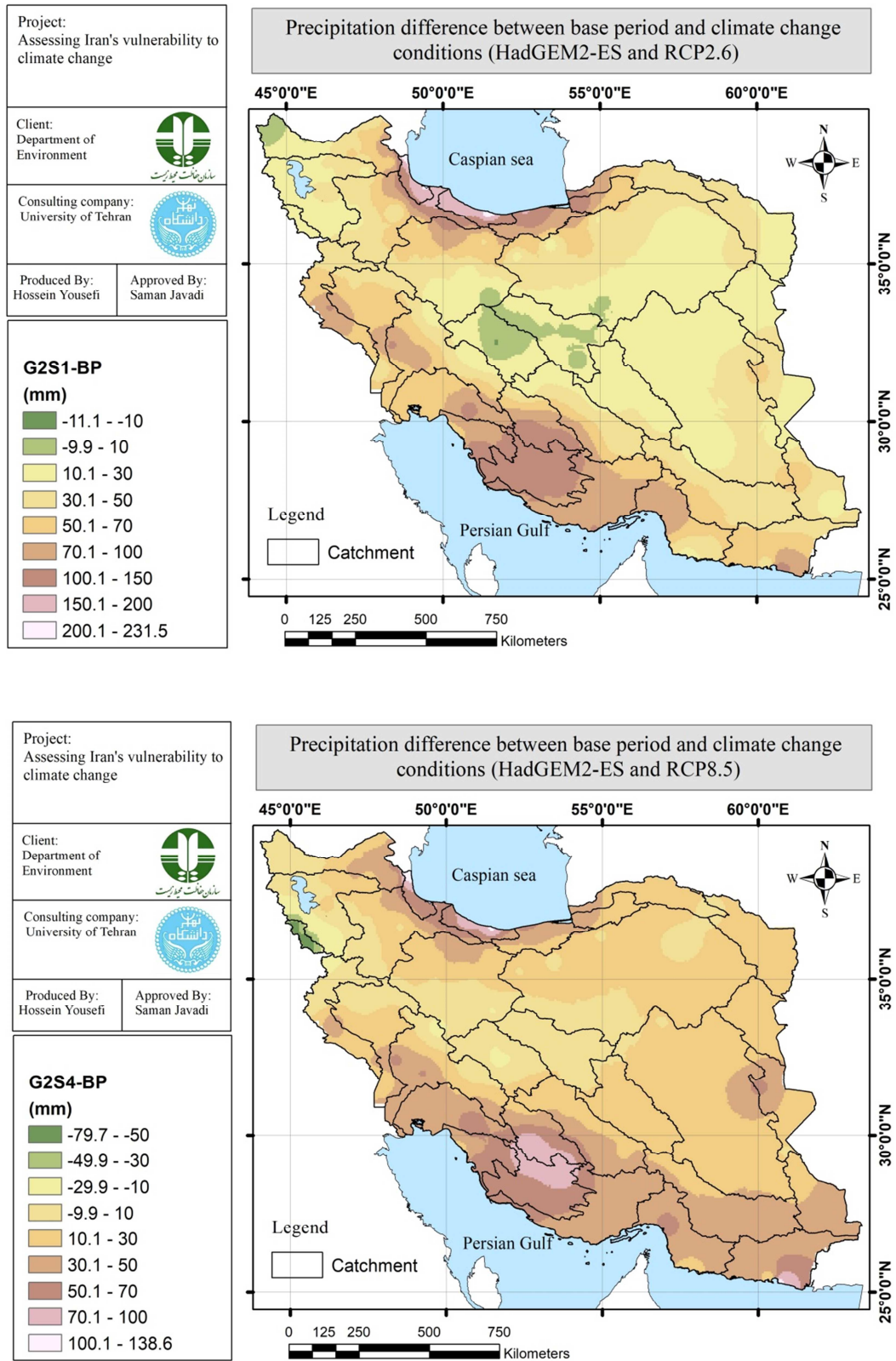


Figure 2. Long-term average of the annual precipitation variation due to climate change in Iran (HadGEM2-ES)

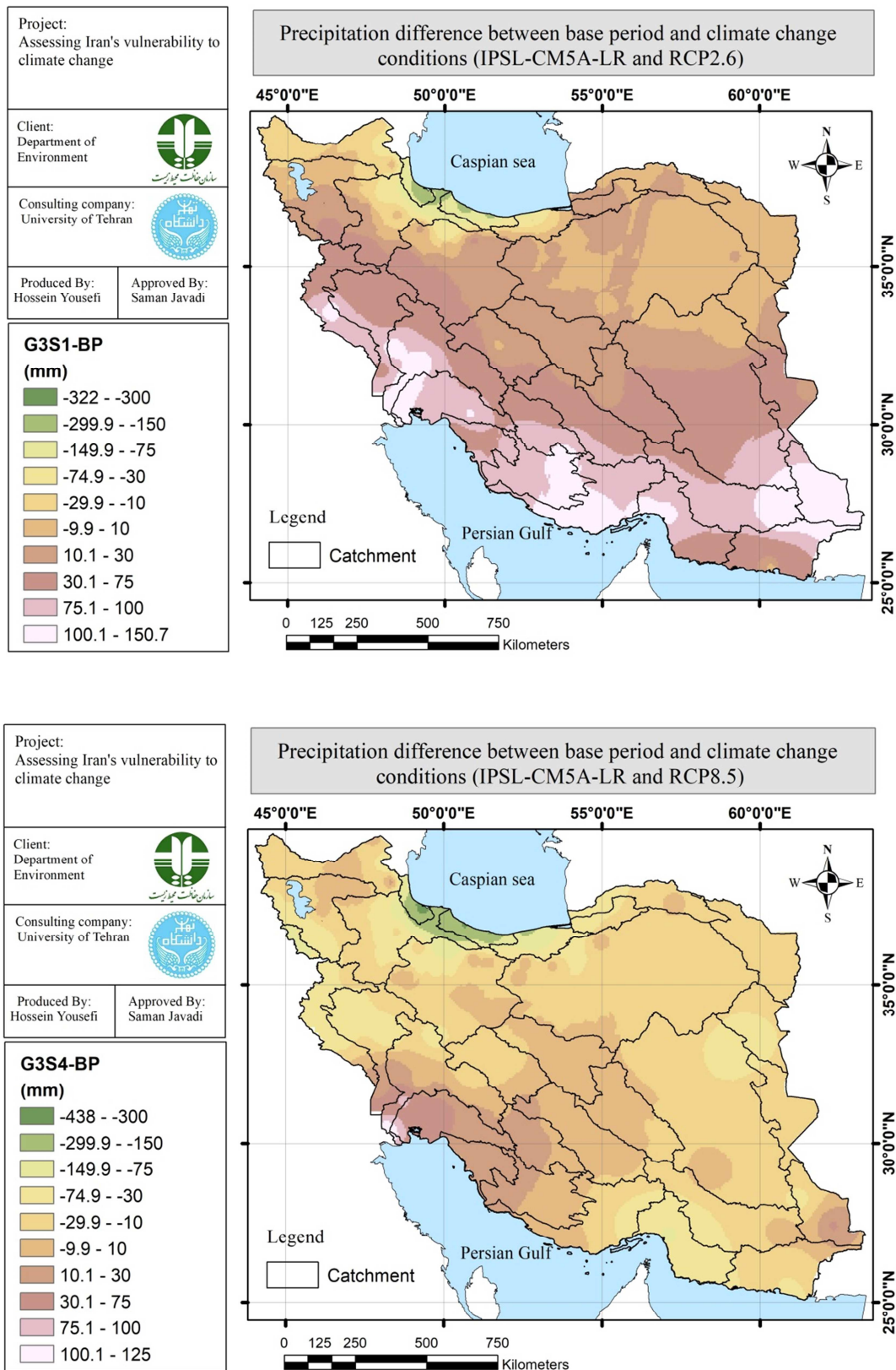


Figure 3. Long-term average of the annual precipitation variation due to climate change in Iran (IPSL-CM5A-LR)



### ۳-۱. بارش فصل پاییز

بیشترین افزایش میانگین وزن دار بارش فصل پاییز ایستگاه‌های باران‌سنجی مربوط به شرایط G2S1 و برابر ۲۱/۸ میلی‌متر و رتبه بعدی شرایط G2S4 و برابر ۹/۹ میلی‌متر است. بیشترین کاهش میانگین وزن دار بارش فصل پاییز ایستگاه‌های باران‌سنجی مربوط به شرایط G3S4 و برابر ۱۰/۵ میلی‌متر و رتبه بعدی شرایط G3S1 و برابر ۱۰/۲ میلی‌متر است. بیشترین افزایش بارش فصل پاییز در یک ایستگاه باران‌سنجی مربوط به شرایط G2S1 و برابر ۲۷۵/۱ میلی‌متر و رتبه بعدی شرایط G2S4 و برابر ۱۴۱/۷ میلی‌متر است. بیشترین کاهش بارش فصل پاییز در یک ایستگاه باران‌سنجی مربوط به شرایط G3S4 و برابر ۱۳۹/۳ میلی‌متر و رتبه بعدی شرایط G3S1 و برابر ۱۰۳/۵ میلی‌متر است.

Table 3. The seasonal and annual precipitation variation due to climate change

		Seasonal precipitation (Future - Base period) (mm)				Annual precipitation (Future - Base period) (mm)
		Winter	Spring	Summer	Fall	
G1S1	Average	23.0	4.8	-1.7	1.0	25.5
	Maximum	81.2	24.9	18.5	67.4	163.4
	Minimum	-27.3	-13.5	-59.8	-26.4	-28.7
G1S4	Average	18.8	5.3	-2.2	7.3	30.5
	Maximum	100.7	26.9	8.6	58.4	144.3
	Minimum	-18.9	-8.7	-97.9	-32.1	-70.3
G2S1	Average	20.5	-2.5	-0.6	21.8	44.6
	Maximum	88.6	30.6	19.7	275.1	233.7
	Minimum	-37.4	-16.1	-113.7	-10.2	-13.0
G2S4	Average	11.9	-0.9	-0.2	9.9	23.4
	Maximum	52.7	11.6	27.9	141.7	139.2
	Minimum	-31.6	-21.5	-94.4	-25.2	-79.8
G3S1	Average	8.9	20.7	-1.1	-10.2	42.6
	Maximum	57.5	80.9	24.5	16.5	150.7
	Minimum	-34.6	-26.9	-221.1	-103.5	-328.1
G3S4	Average	8.9	7.0	-2.0	-10.5	-16.8
	Maximum	77.0	54.1	51.0	16.8	125.5
	Minimum	-25.3	-16.1	-240.5	-139.3	-446.0

### ۳-۲. بارش فصل تابستان

میانگین وزن دار بارش فصل تابستان ایستگاه‌های باران‌سنجی در هیچ یک از شرایط تغییر اقلیم افزایشی نیست. بیشترین کاهش میانگین وزن دار بارش فصل تابستان ایستگاه‌های باران‌سنجی مربوط به شرایط G1S4 و برابر ۲/۲ میلی‌متر و رتبه بعدی شرایط G3S4 و برابر ۲ میلی‌متر است. بیشترین افزایش بارش فصل تابستان در یک ایستگاه باران‌سنجی مربوط به شرایط G3S4 و برابر ۵۱ میلی‌متر و رتبه بعدی شرایط G2S4 و برابر ۲۷/۹ میلی‌متر است. بیشترین کاهش بارش فصل تابستان در یک ایستگاه باران‌سنجی مربوط به شرایط G3S4 و برابر ۲۴۰/۵ میلی‌متر و رتبه بعدی شرایط G3S1 و برابر ۲۲۱/۱ میلی‌متر است.

### ۳-۳. بارش فصل بهار

بیشترین افزایش میانگین وزن دار بارش فصل بهار ایستگاه‌های باران‌سنجی مربوط به شرایط G3S1 و برابر ۲۰/۷ میلی‌متر و رتبه بعدی شرایط G3S4 و برابر ۷ میلی‌متر است. بیشترین کاهش میانگین وزن دار بارش فصل بهار ایستگاه‌های باران‌سنجی مربوط به شرایط G2S1 و برابر ۲/۵ میلی‌متر و رتبه بعدی شرایط G2S4 و برابر ۰/۹ میلی‌متر است. بیشترین افزایش بارش فصل بهار در یک ایستگاه باران‌سنجی مربوط به شرایط G3S1 و برابر ۸۰/۹ میلی‌متر و رتبه بعدی شرایط G3S4 و برابر ۵۴/۱ میلی‌متر است. بیشترین کاهش بارش فصل بهار در یک ایستگاه باران‌سنجی مربوط به شرایط G3S1 و برابر ۲۶/۹ میلی‌متر و رتبه بعدی شرایط G2S4 و برابر ۲۱/۵ میلی‌متر است.

### ۳-۴. بارش فصل زمستان

بیشترین افزایش میانگین وزن دار بارش فصل زمستان ایستگاه‌های باران‌سنجی مربوط به شرایط GIS1 و برابر ۲۳ میلی‌متر و رتبه بعدی شرایط GIS4 و برابر ۱۸/۸ میلی‌متر است. میانگین وزن دار بارش فصل زمستان ایستگاه‌های باران‌سنجی در هیچ‌یک از شرایط تغییر اقلیم کاهشی نیست. بیشترین افزایش بارش فصل زمستان در یک ایستگاه باران‌سنجی مربوط به شرایط GIS4 و برابر ۱۰۰/۷ میلی‌متر و رتبه بعدی شرایط GIS2 و برابر ۸۸/۶ میلی‌متر است. بیشترین کاهش بارش فصل زمستان در یک ایستگاه باران‌سنجی مربوط به شرایط GIS2 و برابر ۳۷/۴ میلی‌متر و رتبه بعدی شرایط GIS3 و برابر ۳۴/۶ میلی‌متر است.

پژوهش‌هایی در ایران انجام شده است برای مثال در پژوهشی شش ایستگاه در نقاط مختلف ایران و دوره آماری ۱۹۸۰ الی ۲۰۰۰، لحاظ شده است (Doulabian *et al.*, 2021). در پژوهش‌های دیگر تغییر اقلیم در پهنه‌های استانی مانند استان اصفهان (Sadeqi & Kahya, 2021) و استان خوزستان (Nikbakht Shahbazi, 2019) یا حوضه‌ای مانند حوضه آبریز رودخانه میناب هرمزگان (Yousefi *et al.*, 2020) بررسی شده است. در پژوهشی دیگر تغییرات زمانی و مکانی بارش ایران تحت تأثیر تغییر اقلیم، با استفاده از یک مدل GCM و سناریوهای گزارش چهارم IPCC انجام شده است (Mousavi *et al.*, 2016). در پژوهش حاضر با در نظر گرفتن پراکندگی و تعداد تقریباً زیاد ایستگاه‌ها (۹۲ ایستگاه) در سراسر ایران و همچنین دوره آماری طولانی (۱۹۸۶ الی ۲۰۱۹) می‌توان نگاهی جامع و همه‌جانبه در تصمیمات کلان کشوری داشت، لذا داشتن دید کلی درباره تغییرات بارش (آب ورودی به کشور از جو) مطابق با آخرین گزارش رسمی IPCC (گزارش پنجم) می‌تواند در سیاست‌گذاری‌های مربوط به منابع آب کشور راه‌گشا باشد.

### ۴. نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر اثر تغییرات اقلیم بر بارش سراسر کشور ایران بررسی شد. در این پژوهش نتایج سه مدل GCM به نام‌های GFDL-ESM2M، HadGEM2-ES و IPSL-CM5A-LR و برای دو سناریوی انتشار RCP2.6 و RCP8.5 بررسی و تحلیل شد، به منظور ریزمقیاس‌نمایی و تصحیح سوگیری نتایج مدل‌های GCM از مدل CCT استفاده شد. در این پژوهش محاسبات با گام زمانی روزانه انجام و نتایج به صورت فصلی و سالانه ارائه شده است. همچنین برای ارائه نتایج از میانگین وزن دار که با مساحت محصور توسط منحنی‌های تیسسن به دست آمده است، استفاده شد. طبق نتایج سالانه میانگین وزن دار بارش سالانه ایستگاه‌های باران‌سنجی در همه شرایط به جز GIS4 افزایشی است. میانگین وزن دار بارش فصل زمستان ایستگاه‌های باران‌سنجی در هیچ‌یک از شرایط تغییر اقلیم کاهشی نبود، اما در باقی فصل‌ها مقدار بارش کاهش یا افزایش داشت. بیشترین افزایش میانگین وزن دار بارش فصلی، در فصل زمستان و در شرایط GIS1 و به مقدار ۲۳ میلی‌متر و بیشترین کاهش میانگین وزن دار بارش فصلی، در فصل پاییز تحت شرایط GIS4 و برابر ۱۰/۵ میلی‌متر محاسبه شد. در مجموع کاهش شدید کمینه بارش (۴۴۶ میلی‌متر در اثر GIS4) و افزایش شدید بیشینه بارش (۲۳۳ میلی‌متر در اثر GIS1) و از طرفی تغییرات اندک میانگین بارش نشان‌دهنده وقوع پدیده‌های حدی شدید (خشکسالی و سیل) در آینده می‌باشد. لذا این امر نیازمند برنامه‌ریزی دقیق به منظور مدیریت جامع منابع آب می‌باشد.

باتوجه به تغییرات زیاد کمینه و بیشینه بارش تحت اثر تغییر اقلیم که در جدول (۳) خلاصه‌ای از آن قابل مشاهده است، این نتیجه استنتاج می‌شود که در آینده فراوانی و شدت پدیده‌های حدی افزایش می‌یابد. لذا از این نظر کشور ایران نیازمند طراحی و اجرای زیرساخت‌ها و همچنین تدوین برنامه دقیق و منسجم مدیریت وقایع حدی (سیل و خشکسالی) می‌باشد تا از تکرار حوادثی مانند سیلاب غرب و جنوب کشور در فروردین‌ماه ۱۳۹۸ جلوگیری گردد. در این پژوهش

به منظور ارائه نتایج در قالب جداول به ناچار از میانگین وزنی بارش ایستگاه‌ها (با استفاده از منحنی‌های تیسسن) استفاده شد ولی محاسبات برای تک‌تک ایستگاه‌ها انجام شده‌است و در صورت نیاز در اختیار مسئولان و تصمیم‌گیران قرار می‌گیرد. بدیهی است برای تصمیم‌گیری دقیق‌تر برای قسمتی از کشور ایران، نیاز است با در نظر داشتن وضعیت آبی کل کشور و همچنین بررسی ایستگاه‌های مجاور محدوده مطالعاتی مورد نظر، اقدام شود. طبق نتایج ارائه شده در جدول (۳)، در بهترین حالات میانگین بلندمدت بارش آینده تغییر چندانی نسبت به دوره پایه نداشته و گاهی با افزایش ناچیز بارش نیز همراه است. با توجه به اقلیم ایران که اغلب مناطق آن خشک است و همچنین افزایش جمعیت و رشد روزافزون صنعت و به دنبال آن رشد نیازهای جمعیت به آب و انرژی، کشور نیازمند برنامه مدیریت جامع منابع آب و دید بلندمدت مدیران و مسئولان ذیربط می‌باشد.

## ۵. پی‌نوشت‌ها

1. General Circulation Model
2. Climate Change Tool
3. Downscaling
4. Bias correction
5. Inter-Sectoral Impact Model Intercomparison Project
6. Intergovernmental Panel on Climate Change

## ۶. تشکر و قدردانی

این پژوهش قسمتی از پروژه ارزیابی اثرات تغییر اقلیم در ایران به کارفرمایی سازمان محیط زیست ایران است. لذا از مساعدت این سازمان جهت انجام این پژوهش، تشکر و قدردانی می‌گردد.

## ۷. تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافی توسط نویسندگان وجود ندارد.

## ۸. منابع

- Abbasian, M. S., Najafi, M. R., & Abrishamchi, A. (2021). Increasing risk of meteorological drought in the Lake Urmia basin under climate change: introducing the precipitation-temperature deciles index. *Journal of Hydrology*, 592, 125586.
- Ashraf Vaghefi, S., Abbaspour, N., Kamali, B., & Abbaspour, K. C. (2017). A toolkit for climate change analysis and pattern recognition for extreme weather conditions – Case study: California-Baja California Peninsula. *Environmental Modelling and Software*, 96, 181-198.
- Davarpanah, S., Erfanian, M., & Javan, K. (2021). Assessment of Climate Change Impacts on Drought and Wet Spells in Lake Urmia Basin. *Pure and Applied Geophysics*, 178(2), 545-563.
- Doulabian, S., Golian, S., Toosi, A. S., & Murphy, C. (2021). Evaluating the effects of climate change on precipitation and temperature for Iran using RCP scenarios. *Journal of Water and Climate Change*, 12(1), 166-184.
- Duan, R., Huang, G., Li, Y., Zhou, X., Ren, J., & Tian, C. (2021). Stepwise clustering future meteorological drought projection and multi-level factorial analysis under climate change: A case study of the Pearl River Basin, China. *Environmental Research*, 196, 110368.
- Freund, E.R., Abbaspour, K.C., & Lehmann, A. (2017). Water resources of the Black Sea Catchment under future climate and landuse change projections. *Water (Switzerland)*, 9(8), 1-18.

- Fujino, J., Nair, R., Kainuma, M., Masui, T., & Matsuoka, Y. (2006). Multi-gas mitigation analysis on stabilization scenarios using aim global model. *Energy Journal*, 27(SPEC. ISS. NOV.), 343-353.
- Georgescu, M., Broadbent, A. M., Wang, M., Krayenhoff, E. S., & Moustaoui, M. (2021). Precipitation response to climate change and urban development over the continental United States. *Environmental Research Letters*, 16(4), 44001.
- Hallegratte, S., Rogelj, J., Allen, M., Clarke, L., Edenhofer, O., Field, C.B., Friedlingstein, P., Van Kesteren, L., Knutti, R., Mach, K.J., & Mastrandrea, M. (2016). Mapping the climate change challenge. *Nature Climate Change*, 6(7), 663.
- Hassan, W. H., & Nile, B. K. (2021). Climate change and predicting future temperature in Iraq using CanESM2 and HadCM3 modeling. *Modeling Earth Systems and Environment*, 7(2), 737-748.
- Hempel, S., Frieler, K., Warszawski, L., Schewe, J., & Piontek, F. (2013). A trend-preserving bias correction—the ISI-MIP approach. *Earth System Dynamics*, 4(2), 219-236.
- Hosseini, M., Bigtashi, A., & Lee, B. (2021). Generating future weather files under climate change scenarios to support building energy simulation—A machine learning approach. *Energy and Buildings*, 230, 110543.
- Lehner, B., Döll, P., Alcamo, J., Henrichs, T., & Kaspar, F. (2006). Estimating the impact of global change on flood and drought risks in Europe: a continental, integrated analysis. *Climatic Change*, 75(3), 273-299.
- Moghim, S. (2018). Impact of climate variation on hydrometeorology in Iran. *Global and Planetary Change*, 170(August), 93-105.
- Mousavi, S. S., Karandish, F., & Tabari, H. (2016). Temporal and spatial variation of rainfall in Iran under climate change until 2100. *Irrigation and Water Engineering*, 7(1), 152-165.
- Nassiri, M., Koocheki, A., Kamali, G. A., & Shahandeh, H. (2006). Potential impact of climate change on rainfed wheat production in Iran: (Potentieller Einfluss des Klimawandels auf die Weizenproduktion unter Rainfed-Bedingungen im Iran). *Archives of Agronomy and Soil Science*, 52(1), 113-124.
- Nikbakht Shahbazi, A. (2019). Investigation of Crop Evapotranspiration and Precipitation changes under Climate Change RCPs Scenarios in Khouzestan province. *Journal of Water and Soil Conservation*, 25(6), 123-139.
- Pequeno, D.N., Hernandez-Ochoa, I.M., Reynolds, M., Sonder, K., MoleroMilan, A., Robertson, R.D., Lopes, M.S., Xiong, W., Kropff, M., & Asseng, S. (2021). Climate impact and adaptation to heat and drought stress of regional and global wheat production. *Environmental Research Letters*, 16(5), 54070.
- Sadeqi, A., & Kahya, E. (2021). Spatiotemporal analysis of air temperature indices, aridity conditions, and precipitation in Iran. *Theoretical and Applied Climatology*, 145(1), 703-716.
- Stocker, T. (2014). Climate change 2013: the physical science basis: Working Group I contribution to the Fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. United Kingdom. Cambridge University Press.
- Wilhite, D. A., & Glantz, M. H. (1985). Water International Understanding: the Drought Phenomenon: The Role of Definitions Understanding: the Drought Phenomenon : The Role of Definitions. *Water International*, 10(3), 111-120.
- Xu, K., Wu, C., Zhang, C., & Hu, B.X. (2021). Uncertainty assessment of drought characteristics projections in humid subtropical basins in China based on multiple CMIP5 models and different index definitions. *Journal of Hydrology*, 600, 126502.
- Yousefi, H., Moridi, A., Yazdi, J., & KhazaiePoul, A. (2020). Investigating the effect of climate change on discharge, NO<sub>3</sub> load, and agricultural products yield upstream of Esteghlal dam. *Iran-Water Resources Research*, 16(2), 35-49.