journal of Future Cities vision
Autumns 2025. Vol 6. Issue 23
ISSN (Print): 2783-0780- ISSN (Online): 2783-0780
Journal Homepage: https://www.jvfc.ir/

Precipitation Trend Projection in Tehran Metropolitan Area Using CMIP6 Models

Mohammad Reza Yousefi[1], Shahriyar Khaledi[2], Farideh Asadian[3]

1. Department of Geography, SR.C., Islamic Azad University, Tehran, Iran
2. Department of Geography, SR.C., Islamic Azad University, Tehran, Iran
3. Department of Geography, SR.C., Islamic Azad University, Tehran, Iran

ARTICLEINFO

Research Paper

Article history:
Received: 2025/05/30
Accepted: 2025/09/02
Published online: 2025/11/15

Keywords: *Climate Change, CMIP6, Tehran Metropolitan Area, Precipitation Area, Precipitation.*

Abstract

This study aims to project precipitation trends in Tehran under climate change conditions. Precipitation data from five synoptic stations (Chitgar, Doshan Tappeh, Geophysics, Shemiran, and Mehrabad) were analyzed for the period 1992–2018. The non-parametric Mann–Kendall and Sen's slope tests were applied to detect trends and possible breakpoints. In addition, precipitation data from the five stations were analyzed using seven climate models from the Sixth Assessment Report (CMIP6) for the period 2030–2100 under two emission scenarios: SSP2_4.5 and SSP5_8.5. The results indicate that the SSP5_8.5 scenario projects more intense changes in precipitation compared to SSP2_4.5. Analysis across the stations shows significant differences between the two scenarios. While both scenarios suggest an overall increase in precipitation, the SSP5_8.5 scenario predicts stronger and more significant increases, particularly in spring and autumn. These findings highlight the urgent need for climate adaptation strategies and more effective policies. Moreover, the projected increase in precipitation under SSP5_8.5 emphasizes the importance of reducing greenhouse gas emissions and improving water resource management to cope with climate change impacts. Overall, the study underlines the necessity of precise climate policies and sustainable urban planning approaches for Tehran's future resilience.

Citation: Yousefi, M.R., Khaledi, SH., Asadian, F. (2025). **Precipitation Trend Projection in Tehran Metropolitan Area Using CMIP6 Models,** *journal of Future Cities vision*, 6(23), 179-198.

© The Author(s). Publisher: Iranian Geographical Association

1.**Corresponding author: Shahriyar Khaledi, Email: s-khaledi@sbu.ac.ir**

[Downloaded from jvfc.ir on 2026-11-18]

[DOI: 10.66224/jvfc.6.3.10]

journal of Future Cities vision
Autumns 2025. Vol 6. Issue 23
ISSN (Print): 2783-0780- ISSN (Online): 2783-0780
Journal Homepage: https://www.jvfc.ir/

Extended Abstract

Introduction

Climate change represents one of the most critical challenges of our time, characterized by significant global warming since the late 19th century and leading to alterations in the intensity, frequency, and duration of extreme weather events. A key manifestation of this change is the disruption of precipitation patterns, which poses substantial risks to urban areas, including increased flooding due to heavy rainfall and inadequate drainage systems. These challenges are particularly acute for large metropolises like Tehran, Iran's capital, which is situated at the foothills of the Alborz Mountains and exhibits significant climatic variability. Understanding future precipitation trends is crucial for effective urban water management, flood mitigation, and the development of sustainable climate adaptation policies. This study aims to project the future precipitation trends in Tehran under different climate change scenarios to inform strategic planning.

Methodology

This research utilized observed historical precipitation data (1992–2018) from five synoptic stations in Tehran (Chitgar, Doshan Tappeh, Geophysics, Shemiran, and Mehrabad). The non-parametric Mann-Kendall test and Sen's slope estimator were employed to detect historical trends and identify any significant breakpoints in the data time series. To project future precipitation, the study leveraged the latest climate models from the Coupled Model Intercomparison Project Phase 6 (CMIP6). Data from seven CMIP6 models were used to simulate precipitation for the period 2030–2100 under two Shared Socioeconomic Pathways (SSPs): SSP2-4.5 (an intermediate scenario) and SSP5-8.5 (a high-emission scenario). The performance of each climate model was evaluated for each station, and the model with the highest coefficient of determination (R^2) was selected for the final analysis of that location. This approach allowed for a detailed station-specific projection of monthly and seasonal precipitation changes.

Analysis of Results

The analysis revealed distinct spatial and temporal patterns in projected precipitation changes across Tehran. A clear north-south gradient was confirmed, with northern, higher-altitude stations like Shemiran historically receiving more precipitation (~419 mm annually) than southern stations like Mehrabad (~230 mm). Under both future scenarios, an overall increasing annual precipitation trend was projected for most stations, but the magnitude and seasonal distribution of changes varied significantly between the SSPs.

The SSP5-8.5 scenario consistently projected more intense and pronounced changes compared to SSP2-4.5. Key findings include:

Seasonal Shifts: Both scenarios predicted increased precipitation, particularly during spring (e.g., February, April) and autumn (e.g., November). However, these increases were stronger and more statistically significant under SSP5-8.5. Conversely, summer months (June-August) were projected to experience minimal to no precipitation, a trend consistent across all stations and scenarios.

Station-Specific Variability: The magnitude of change differed by location. For instance, Chitgar and Doshan Tappeh stations showed substantial annual increases under SSP5-8.5 (up to 16% and 22%, respectively). In contrast, Shemiran station projected a decrease in annual precipitation under both scenarios compared to its historical average. The Geophysics station also showed a smaller percentage decrease in future rainfall.

Model Performance: The CNRM-CM6-1 model often provided the best simulation for multiple stations (Chitgar, Doshan Tappeh, Shemiran, Mehrabad), while EC-Earth3 was more accurate for the Geophysics station, as indicated by high R^2 values (often above 0.9).

Conclusion

This study underscores the significant impact of climate change on future precipitation patterns in Tehran. The projections indicate a shift towards wetter springs and autumns, especially under a

[Downloaded from jvfc.ir on 2026-11-18]
[DOI: 10.66224/jvfc.6.3.10]

journal of Future Cities vision
Autumns 2025. Vol 6. Issue 23
ISSN (Print): 2783-0780- ISSN (Online): 2783-0780
Journal Homepage: https://www.jvfc.ir/

high-emission future (SSP5-8.5), coupled with drier summers. These changes necessitate proactive and strategic urban planning. The intensified rainfall under SSP5-8.5 highlights the critical importance of mitigating greenhouse gas emissions to avoid the most severe impacts. Furthermore, the findings emphasize the urgent need for robust water resource management strategies, including enhancing stormwater drainage infrastructure to prevent flooding during heavy rainfall events and developing water storage and conservation plans to address prolonged summer droughts. Ultimately, integrating these climate projections into policy is essential for fostering a sustainable, resilient, and adaptable metropolitan Tehran.

[Downloaded from jvfc.ir on 2026-11-18]

[DOI: 10.66224/jvfc.6.3.10]

[DOI: 10.66224/jvfc.6.3.10] [Downloaded from jvfc.ir on 2026-11-18]

نوع مقاله: پژوهشی

فصلنامه چشم انداز شهرهای آینده
www.jvfc.ir
دوره ششم، شماره سوم، پیاپی (۲۳)، پاییز ۱۴۰۴
صص ۱۹۸-۱۷۹

فصلنامه چشم انداز شهرهای آینده
Future Cities Vision

پیش‌بینی روند بارش در کلانشهر تهران با استفاده از مدل‌های CMIP6

محمدرضا یوسفی: دانشجوی دکتری گروه جغرافیا، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران
شهریار خالدی: استاد گروه جغرافیا، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران[۲]
فریده اسدیان: دانشیار گروه جغرافیا، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۳/۰۹ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۶/۱۱

چکیده

این مقاله با هدف پیش نگری روند بارش با توجه به تغییر اقلیم در شهر تهران نوشته شد. در این مقاله وضعیت بارش تهران در ایستگاه های سینوپتیک چیتگر، دوشان تپه، ژئوفیزیک، شمیران و مهرآباد طی دوره (۱۹۹۲ تا ۲۰۱۸) بررسی و برای شناسایی وجود جهش و آشکارسازی سالهای رخداد جهش از آزمون ناپارامتریک من کندال و سن استفاده شد. همچنین داده‌های پنج ایستگاه سینوپتیکی تهران با استفاده از هفت مدل اقلیمی گزارش ششم تغییر اقلیم (CMIP6) و طی دوره زمانی ۲۰۳۰ تا ۲۱۰۰ تحت دو سناریوی انتشار SSP2_4.5 و SSP5_8.5 تحلیل شد. نتایج نشان می‌دهد که سناریوی SSP5_8.5 تغییرات شدیدتری در بارش نسبت به سناریوی SSP2_4.5 پیش‌بینی می‌کند. همچنین بررسی روند بارش تحت سناریوهای SSP2_4.5و SSP5_8.5 در ایستگاه‌های مختلف شهر تهران نشان‌دهنده تفاوت‌های معناداری است. هرچند هر دو سناریو افزایش‌هایی در میزان بارش را نشان می‌دهند، اما روند افزایشی در SSP5_8.5 به‌ویژه در فصل‌های بهار و پاییز شدیدتر و معنادارتر است. این نتایج بر لزوم اتخاذ سیاست‌های اقلیمی مناسب‌تر و برنامه‌ریزی برای سازگاری با تغییرات اقلیمی تأکید دارد. همچنین، پیش‌بینی تغییرات شدیدتر در بارش تحت سناریوی SSP5_8.5 بر اهمیت کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و مدیریت منابع آب در برابر اثرات تغییرات اقلیمی افزوده است. این یافته‌ها بیانگر لزوم سیاست‌گذاری‌های اقلیمی دقیق‌تر و توسعه راهکارهای سازگاری در چارچوب شهر پایدار برای تهران است.

کلیدواژه‌ها: تغییرات اقلیمی، CMIP6، کلانشهر تهران، بارش.

۲. **مسئول مکاتبات:** s-khaledi@sbu.ac.ir

[Downloaded from jvfc.ir on 2026-11-18]

[DOI: 10.66224/jvfc.6.3.10]

مقدمه

از اواخر قرن ۱۹، تقریباً در تمام نقاط جهان یک روند گرمایشی به وجود آمده است (هانس[۳] و همکاران، ۲۰۱۰؛ لاوریمور[۴] و همکاران، ۲۰۱۱). توافق گسترده‌ای مبنی بر این که تغییر آب و هوا منجر به تغییر در شدت، دامنه و مدت زمان وقایع حدی خواهد شد و باعث ایجاد اوضاع بی‌سابقه در هوا و وقایع اقلیمی می‌شود وجود دارد (فیلد[۵] و همکاران،۲۰۱۲). مهم‌ترین ویژگی تغییراقلیم، افزایش معنی‌دار دما و توزیع ناموزون بارش است (ونگ[۶] و همکاران، ۲۰۱۵). یکی از نشانه‌های بارز تغییراقلیم، پدیده‌های شدید آب‌وهوایی است. با توجه به روند تغییرات آب‌وهوا و گرمایش جهانی به وجود آمده احتمال بارش‌های سنگین و به تبع آن خطر سیل بر اثر سیستم زهکشی نادرست و عوامل فیزیکی و محیطی و ... افزایش‌یافته است (اسپرتو و همکاران[۷]، ۲۰۱۶: ۱۰۳۲). طبق گزارش‌های IPCC تغییراقلیم باعث تغییرات هیدرولوژی در چند دهه‌ی اخیر در سطح جهان شده به گونه‌ای که احتمال مواجهه با رخدادهای حداکثر اقلیمی مانند سیلاب افزایش یافته است. اثرات تغییراقلیم بر روی میزان و الگوهای باران‌های سیل‌آسا در مقیاس محلی هنوز تا حد زیادی ناشناخته و تحت تأثیر عوامل دیگر (مثل شهرنشینی) به سختی قابل‌تشخیص است (IPCC، ۲۰۱۴). روش‌های مختلفی جهت پیش‌بینی و شبیه‌سازی اقلیم آینده وجود دارد که جامع‌ترین این روش‌ها مدل‌های گردش عمومی جو هستند که به منظور شبیه‌سازی اقلیم حال حاضر کره زمین توسعه داده شده‌اند تا تغییرات اقلیم آینده کره زمین را پیش‌بینی کنند. پیش‌بینی مدل‌های گردش عمومی بر اساس افزایش گازهای گلخانه‌ای جو زمین شامل دی‌اکسیدکربن، متان، اکسید نیتروژن، بخارآب و ذرات سولفات می‌باشد که در اثر فعالیت بشر تولید می‌شوند. این پیش‌بینی‌ها بر اساس سناریوهای مختلفی صورت می‌گیرد که هر یک بیانگر وضعیتی از تولید گازهای گلخانه‌ای و عوامل مؤثر بر کنترل تولید این گازها می‌باشد. هرکدام از سناریوها بر مبنای فرضیات مختلفی راجع به رشد جمعیت، توسعه اقتصادی، تحول فن‌آوری، سطح زندگی و گزینه‌های موجود تولید انرژی استوار می‌باشند که به آن‌ها سناریوی انتشار نیز اطلاق می‌شود (سادات آشفته، ۱۳۹۳). یکی از مشکلات عمده در استفاده از خروجی‌های مدل‌های گردش عمومی جو (GCM)، بزرگ مقیاس بودن سلول‌های محاسباتی آن‌ها به لحاظ مکانی نسبت به منطقه مورد مطالعه می‌باشد. روش‌های مختلفی جهت تولید سناریوهای اقلیمی منطقه‌ای از سناریوهای اقلیمی مدل‌های GCM وجود دارد که به این روش‌ها، ریزمقیاس کردن گفته می‌شود (دشت بزرگی و همکاران، ۱۳۹۴: ۱۰۶).

اهمیت پدیده تغییراقلیم موجب توجه پژوهشگران مختلف در سراسر کره زمین شده است. از جمله می‌توان به مطالعات ذیل اشاره نمود. ویترهال و همکاران[۸]، (۲۰۰۵) در پژوهشی در کشور چین و سوئد، تغییرات بارش را با استفاده از خروجی‌های مدل گردش عمومی NCAR، HARDAM3P و خروجی‌های NCEP با توجه به روش‌های کوچک مقیاس‌سازی آماری مورد بررسی قرار داد. (چنگ و همکاران[۹]، ۲۰۰۸) ، متغیرهای هواشناسی مختلف را با استفاده از روش‌های کوچک‌مقیاس‌سازی آماری سناریوهای اقلیمی روزانه و ساعتی، سه مدل گردش عمومی در بخش‌های مرکزی–جنوبی کانادا را شبیه‌سازی نمودند و به این نتیجه رسیدند که روش‌های آماری دارای عملکرد خوبی در تولید متغیرهای هواشناسی در مقیاس ایستگاهی هستند. چن و همکاران(۲۰۱۲) دو مدل SDSM و ماشین بردار پشتیبان برای ریزمقیاس نمودن بارندگی در حوضه رودخانه هانجیانگ استفاده گردید و نتایج عملکرد بهتر مدل SDSM در مقایسه با ماشین بردار پشتیبان را نشان داد. (ژان باپتیست و همکاران[۱۰]، ۲۰۱۵) اثرات تغییرات آب‌وهوایی و کاربری اراضی را در خصوص فرسایش و پایداری خاک برای دو دوره آب‌وهوایی و کاربری اراضی فعلی و پایان قرن بیست و یکم با سناریوی A1B برای بارش را بررسی نموده‌اند و نتیجه گرفته‌اند که میزان فرسایش و پایداری خاک به تغییرات کاربری اراضی نسبت به تغییرات بارش حساسیت بیشتری دارند. (شکلا و همکاران[۱۱]، ۲۰۱۵) از مدل SDSM برای ریزمقیاس نمایی پارامترهای بارش و دمای مدل گردش عمومی جو(GCM) استفاده نموده و نتایج آن حاکی از افزایش میانگین دما و بارش در دوره‌های آتی خواهد بود. گنت و همکاران[۱۲](۲۰۱۸) در پژوهشی با عنوان ریزمقیاس نمایی دما و بارش آینده در آدیس‌آبابا تحت شرایط تغییراقلیم از مدل canESM2 و CGCM3 و سناریوهای RCP4.5، RCP8.5 و A1B ، A2 با استفاده از مدل آماری SDSM به بررسی تغییرات آینده دمای حداکثر و حداقل و بارش پرداخته‌اند و به این نتیجه رسیدند که حداکثر دما در سناریو RCP4.5 حدود۰/۹ درجه تا سال

3. Hansen et al
4. Lawrimore et al
5. Field et al
6. Wang et al
7. Sperotto et al
8. Wetter hall et al
9. Cheng et al
10. Jean-Baptiste et al
11. Shukla at al
12. Getnet et al

[Downloaded from jvfc.ir on 2026-11-18]

[DOI: 10.66224/jvfc.6.3.10]

۲۰۲۰ و در سناریو A2 حدود ۲/۱ درجه سانتی‌گراد تا سال ۲۰۸۰ افزایش خواهد داشت. در دمای حداقل هم در سناریوهای فوق به ترتیب ۰/۳ و ۱ درجه در سال‌های مورد اشاره افزایش خواهد داشت. حداکثر تغییر میزان بارش هم در سال ۲۰۸۰ بر اساس سناریوهای RCP8.5 و A2 در حدود ۱۱/۸ تا ۱۶/۶۲ درصد افزایش خواهد داشت. ووبو تیکو و همکاران (۲۰۲۵) در مطالعه ای عملکرد ۱۶ مدل اقلیمی CMIP6 را در شبیه‌سازی الگوهای بارش در رژیم‌های مختلف بارندگی در منطقه آمهارا ارزیابی کردند. هدف این تحقیق شناسایی مدل‌هایی است که به بهترین نحو تغییرات فصلی و سالانه بارش را ثبت می‌کنند و از این طریق استراتژی‌های سازگاری با آب و هوا را ارائه می‌دهند. نتایج نشان داد که تنها ۳۱٪ و ۴۴٪ از مدل‌ها به ترتیب توانستند ویژگی‌های فصلی بارش را در مناطق غربی و شرقی امهارا به درستی ثبت کنند. حتی بهترین مدل‌ها نیز ناهمخوانی قابل توجهی در مقایسه با بارش مشاهده‌شده نشان دادند که نشان‌دهنده چالش‌های مداوم در دقت مدل است. در ایران نتایج پژوهش دهقانی پور و همکاران (۱۳۹۰). جهت ریزمقیاس نمایی داده‌های بارش، دما و تبخیر در تبریز از مدل SDSM نشان داد که این مدل عملکرد مناسبی در ریزمقیاس کردن داده‌ها دارد. همچنین دهقانی و همکاران (۱۳۹۶) در مقاله‌ای به منظور بررسی اثر اقلیم بر میزان آب قابل بارش در سواحل شمالی خلیج‌فارس اقدام به شبیه‌سازی آب قابل بارش برای دوره ۲۰۱۷ تا ۲۰۵۰ بر اساس سناریوی RCP4.5 و مدل Hadcm3 کرده‌اند و به این نتیجه رسیده‌اند که سری زمانی سالانه آب قابل بارش منطقه روند افزایشی داشته است. احمدآبادی و صدیقی فر (۱۳۹۷) در پژوهشی به پیش‌بینی اثرات تغییراقلیم بر خصوصیات هیدروژئومورفولوژی حوضه آبریز کن بر اساس مدل ریزمقیاس نمایی آماری پرداخته و نتیجه گرفتند که در شرایط اقلیمی آینده برای دوره زمانی ۲۰۱۶–۲۰۴۵ کاهش بارندگی، افزایش دما و کاهش تبخیر و تعرق واقعی محتمل است. کریمی و همکاران (۱۳۹۷) به بررسی تغییرات دما و پیش‌بینی دمای حدی از مدل آماری–دینامیکی SDSM در استان گیلان و مازندران پرداخته و نتایج آن نشان داده که تغییرات از نوع روند افزایشی و ناگهانی خواهد بود و بیشترین تغییر در حداقل دمای ماهانه و سالانه در حدود ۰/۱ تا ۱/۷ درجه سانتی‌گراد به دست آمده است. همچنین افزایش دمای شبانه و کاهش تفاوت دمای فصل سرد و گرم را در پژوهش خود به دست آورده‌اند. زارعی و همکاران (۱۳۹۷) با استفاده از مدل گردش عمومی جو canESM2 تحت سه سناریوی rcp2.6, 4.5,8.5 برای متغیرهای دما و بارش در استان چهارمحال و بختیاری استفاده کرده‌اند و نتیجه گرفته‌اند که: متوسط دما در مقیاس سالانه در هر سه سناریو ۱/۶ تا ۱/۸ درجه سانتی‌گراد افزایش خواهد یافت. تغییرات مجموع بارندگی روزانه در سه سناریو افزایش بارندگی در فصول بهار و تابستان و کاهش در فصل زمستان خواهد بود. ناصر زاده و طولابی نژاد(۱۳۹۸) تغییرات هسته های بارش در ایران را با هدف شناخت جابجایی مکانی هسته‌های بارش به عنوان یک عامل تأثیرگذار در شرایط هیدرولوژیکی آینده ایران را با استفاده از داده‌ها شامل بارش ماهانه ۸۶ ایستگاه سینوپتیک با طول دوره آماری ۲۰۱۵–۱۹۸۶ و داده‌های حاصل از خروجی مدل CCSM4 تحت سناریوهای سه‌گانه (RCP2.6,RCP4.5,RCP6) از سال ۲۰۱۶ تا ۲۰۳۶ انجام دادند. نتایج بررسی‌ها نشان داد که هسته‌های بارشی در کل پهنه ایران در فصول چهارگانه تغییراتی با روند منفی در آینده خواهد داشت که علاوه بر کاهش پهنه‌های بارشی، در آینده نیز پهنه‌های خشکی مساحت بیشتری از کشور را در بر خواهد گرفت. حجازی زاده و همکاران(۱۴۰۲)، چشم انداز تغییرات شاخص های حدی دما و بارش در استان کردستان بر اساس سناریوهای واداشت تابشی (RCP) را با استفاده از داده‌های روزانه بارش، دمای حداقل و دمای حداکثر ۶ ایستگاه همدید در طول دوره آماری(۱۹۹۰–۲۰۱۶) بررسی کردند. تغییرات داده ها در دوره (۲۰۶۰–۲۰۴۱) با استفاده از مدل جهانی HadGEM2 تحت دو سناریوی RCP2.6 و RCP8.5 و ریزمقیاس گردانی آماری LARS-WG6 مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاصل نشان داد که در دوره (۲۰۱۶-۱۹۹۰) بارش‌های فرین در اغلب ایستگاه‌ها دارای روند منفی و کاهشی است و این روند در اکثر ایستگاه‌ها معنادار است. نتایج حاصل از چشم انداز تغییرات اقلیمی نیز نشان داد در دوره آینده میزان بارش کاهش خواهد یافت.

با توجه به متن مورد بررسی هدف اساسی این تحقیق بررسی و پیش بینی روند بارش تهران تحت شرایط تغییر اقلیم می باشد.

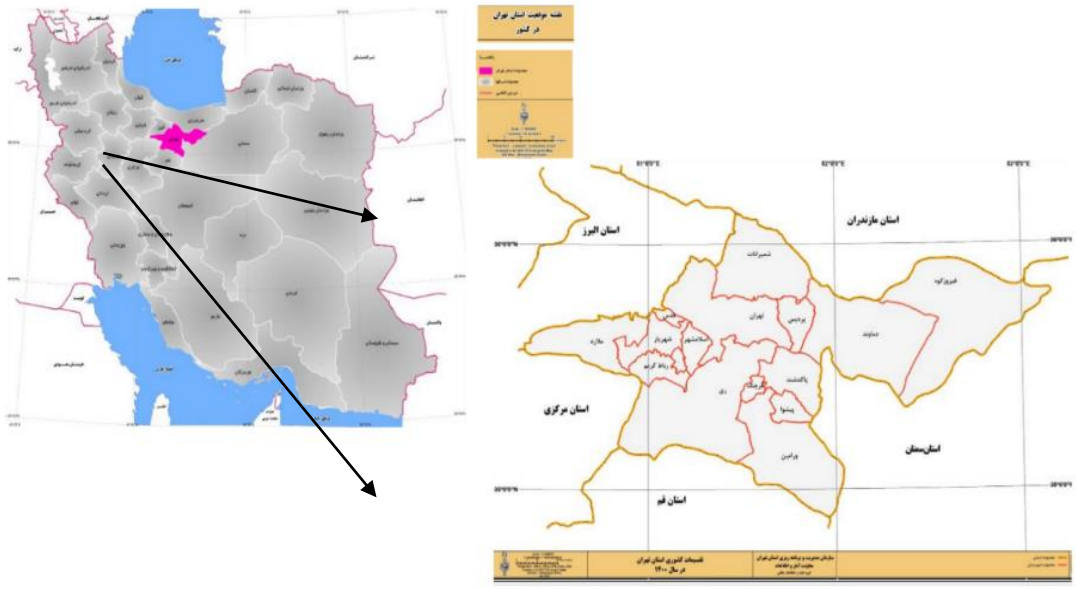
روش تحقیق

موقعیت جغرافیایی شهر تهران

شهر تهران، در کوهپایه‌های جنوبی رشته کوه البرز واقع شده است. فاصله‌های میان طول جغرافیایی ۵۱ درجه و ۲ دقیقه شرقی تا ۵۱ درجه و ۳۶ دقیقه شرقی، به طول تقریبی ۵۰ کیلومتر و عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۳۴ دقیقه شمالی تا ۳۵ درجه و ۵۰ دقیقه شمالی، به عرض تقریبی ۳۰ کیلومتر را در برگرفته است. ارتفاع این شهر در بالاترین نقطه در شمال، تقریبا ۱۸۰۰ متر و پایین ترین نقطه در جنوب با ۹۵۰ متر از سطح دریا واقع شده است. در واقع، شهر تهران بین نواحی کویری از سمت جنوب و مناطق کوهستانی از سمت شمال احاطه شده است (رحیمی و همکاران، ۱۳۹۰). شکل ۱ موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

[Downloaded from jvfc.ir on 2026-11-18]

[DOI: 10.66224/jvfc.6.3.10]



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

داده های مورد استفاده

داده‌های مورد استفاده شامل بارش می‌باشند و این داده‌ها به دو دسته تقسیم می‌شوند:

الف). به منظور شبیه سازی تغیرات آب و هوایی در شهر تهران از آمار ایستگاه‌های سینوپتیک سازمان هواشناسی استفاده شده است. این دادها به صورت میلادی از سال ۱۹۹۲ تا ۲۰۱۸ می‌باشند.

ب). داده‌های دوره آتی ۲۰۳۰ تا ۲۱۰۰ برای ۷ مدل اقلیمی گزارش ششم (CMIP6) IPCC دریافت شد. این داده‌ها برای ۵ ایستگاه چیتگر، شمیران، ژئوفیزیک، مهرآباد و دوشان تپه بکار گرفته شده است.

روش کار

در این بخش از پژوهش به بررسی تغییرات اقلیمی شهر تهران در ایستگاه‌های چیتگر، دوشان تپه، ژئوفیزیک، شمیران و مهرآباد پرداخته می‌شود. برای این کار از دو سناریو SSP2_4.5 و SSP5_8.5 در تحت ۷ مدل اقلیمی استفاده شده است. همچنین به منظور تحلیل روند و شناسایی جهش در داده‌های اقلیمی، از آزمون من-کندال و سن استفاده می‌شود. این آزمون‌ها به دلیل مقاومت در برابر توزیع‌های غیر نرمال و همچنین عدم وابستگی به فرض‌های خطی، یکی از ابزارهای مناسب برای بررسی روند در سری‌های زمانی اقلیمی هستند. داده‌های مربوط به عناصر آب و هوایی شامل بارش ماهانه ایستگاه‌های هواشناسی در طی یک دوره آتی ۲۱۰۰-۲۰۳۰ بررسی می‌شوند. این کار به بهبود درک از تغییرات اقلیمی در کلانشهر تهران و همچنین برای مدیریت شهری و دیگر برنامه‌ریزی‌های اقلیمی کمک می‌کند.

در روش پژوهش با بهره‌گیری از داده‌های مشاهداتی ایستگاه‌های سینوپتیک و خروجی مدل‌های اقلیمی CMIP6 برای سناریوهای SSP2-4.5و SSP5-8.5 تغییرات اقلیمی شهر تهران را برای دوره آتی (۲۰۳۰-۲۱۰۰) شبیه‌سازی و توضیح می‌دهد که روش‌های مختلف کدنویسی و الگوریتم‌های مبتنی بر شبکه‌های عصبی و روش‌های کلاسیک برای شبیه‌سازی متغیرهای اقلیمی مانند بارش مورد استفاده قرار گرفت. مقایسه نتایج این پژوهش با ارائه تحلیل جامع از تغییرات اقلیمی، فرصت‌های جدیدی برای ارزیابی دقیق‌تر اثرات تغییرات آب‌وهوایی در سطح محلی فراهم می‌آورد.

یافته های تحقیق

تاثیرات بارش

توزیع مکانی بارش در سطح استان تهران نیز با ارتفاع محل رابطه مستقیم و همبستگی مثبت دارد. به این ترتیب، میزان متوسط سالانه بارش در مناطق کوهستانی و مرتفع شمالی استان حدود ۸۰۰ میلی‌متر برآورد شده که با کاهش ارتفاع از سمت شمال به جنوب، به حدود ۲۲۹

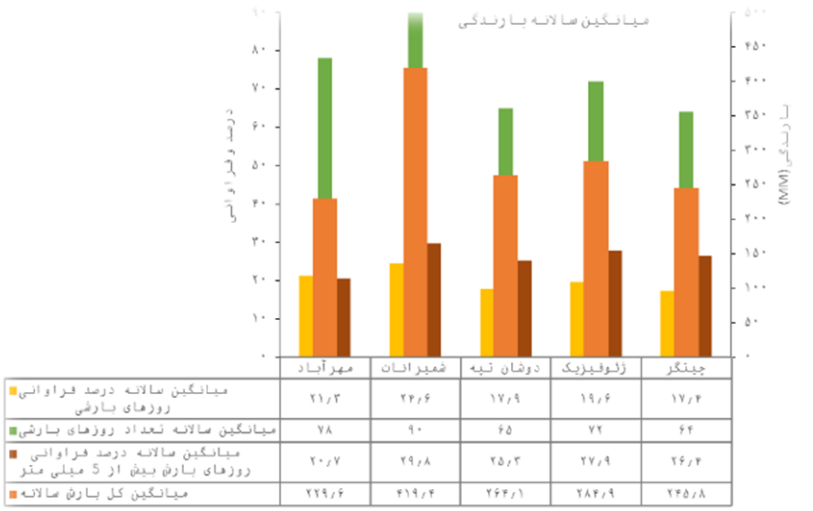
[Downloaded from jvfc.ir on 2026-11-18]

[DOI: 10.66224/jvfc.6.3.10]

میلی‌متر در مناطق مرکزی و کمتر از ۵۰ میلی‌متر در نواحی کم‌ارتفاع جنوب و جنوب‌شرق استان کاهش می‌یابد. این کاهش چشمگیر در مناطق جنوبی به دلیل مجاورت با بیابان‌های دشت کویر و تأثیرپذیری از اقلیم گرم و خشک و نیمه‌بیابانی منطقه است.

همان‌طور که در شکل ۲ مشاهده می‌شود، توزیع مکانی میزان بارندگی در کلانشهر تهران نیز تحت تأثیر این عامل محلی است. به طوریکه میانگین بلندمدت بارندگی سالانه در بخش‌های شمالی شهر (ایستگاه شمیرانات) برابر با ۴۱۹/۴ میلی‌متر برآورد شده که با کاهش ارتفاع به سمت مناطق جنوبی‌تر، این میزان در ایستگاه مهرآباد به عنوان کم‌ارتفاع‌ترین ایستگاه مطالعاتی، به ۲۲۹/۶ میلی‌متر کاهش یافته است. بنابراین، با کاهش ارتفاع به سمت جنوب شهر، میزان بارندگی به طور قابل توجهی کاهش می‌یابد.

شکل ۳ نشان‌دهنده میانگین سالانه بارندگی، درصد و فراوانی روزهای بارانی در کلانشهر تهران از بدو تأسیس تا سال ۲۰۱۸ است. توزیع مکانی فراوانی روزهای بارانی نیز نشان می‌دهد که بیشترین بارندگی در نواحی شمالی و کمترین آن در نواحی جنوبی شهر ثبت شده است. زمان شروع و پایان روزهای بارانی در این کلانشهر از اوایل پاییز (اکتبر) تا حداکثر اواسط بهار (مه) است و بیشترین مقادیر بارندگی از اواخر آبان تا حداکثر فروردین مشاهده می‌شود. پس از اواسط بهار، میزان بارندگی به تدریج کاهش می‌یابد به طوری که از اواخر بهار (ژوئن) تا پایان تابستان (سپتامبر) بارندگی بسیار کم و حتی در بسیاری از روزهای گرم سال صفر است.



	مهرآباد	شمیرانات	دوشان تپه	ژئوفیزیک	چیتگر
میانگین سالانه درصد فراوانی روزهای بارانی	۲۱/۳	۲۴/۶	۱۷/۹	۱۹/۶	۱۷/۴
میانگین سالانه تعداد روزهای بارانی	۷۸	۹۰	۶۵	۷۲	۶۴
میانگین سالانه درصد فراوانی روزهای بارش بیش از 5 میلی متر	۲۰/۷	۲۹/۸	۲۵/۳	۲۷/۹	۲۶/۴
میانگین کل بارش سالانه	۲۲۹/۶	۴۱۹/۴	۲۶۴/۱	۲۸۴/۹	۲۴۵/۸

شکل ۲. میانگین و درصد فراوانی بارندگی در ایستگاه‌های تهران از سال بدو ایستگاه تا ۲۰۱۸



	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	می	ژوئن	ژوئلای	آگوست	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر
مهرآباد	۳۳٫۷	۳۱٫۹	۳۸٫۲	۳۰٫۹	۱۴٫۷	۲٫۸	۲٫۳	۱٫۸	۱٫۱	۱۱٫۹	۲۷٫۳	۳۳٫۱
شمیرانات	۵۶٫۸	۶۳٫۹	۶۹٫۶	۵۲٫۵	۲۵٫۷	۶٫۳	۵٫۱	۴٫۲	۶	۲۲٫۲	۴۹٫۶	۶۱٫۹
دوشان تپه	۴۰	۳۷٫۸	۴۳٫۵	۳۱٫۶	۱۷٫۶	۳٫۸	۳٫۵	۲	۱٫۶	۱۴٫۳	۳۰٫۲	۴۱٫۶
ژئوفیزیک	۳۹٫۲	۳۶٫۲	۵۱٫۱	۳۸٫۱	۱۷٫۳	۳٫۸	۳٫۶	۲٫۶	۲٫۱	۱۶٫۸	۳۶	۳۹٫۶
چیتگر	۳۲٫۶	۲۹٫۷	۳۶٫۵	۳۸٫۲	۱۳٫۹	۱٫۹	۴٫۵	۲٫۳	۱٫۱	۱۶٫۸	۳۱٫۱	۳۷

شکل ۳. توزیع بارندگی در ایستگاه‌های تهران از سال بدو ایستگاه تا ۲۰۱۸

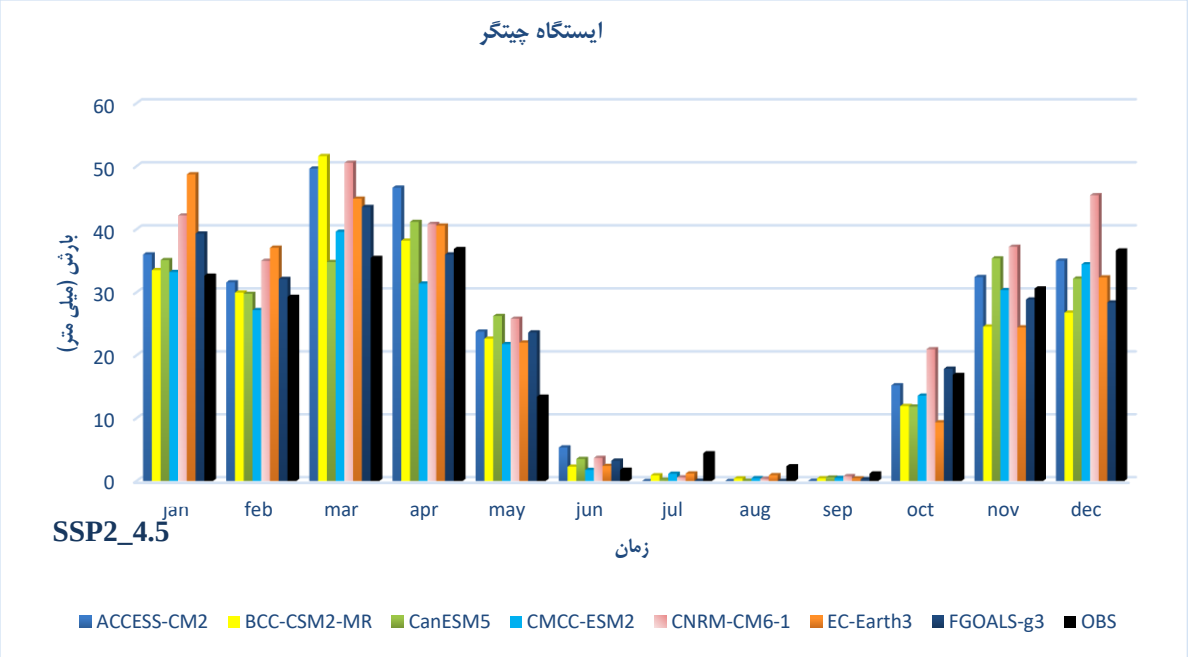
[Downloaded from jvfc.ir on 2026-11-18]
[DOI: 10.66224/jvfc.6.3.10]

پیش بینی بارش

میانگین بارندگی شهر تهران در ایستگاه‌های چیتگر، دوشان تپه، ژئوفیزیک، شمیران و مهر آباد برای برونداد سناریو آب و هوایی SSP2_4.5 و SSP5_8.5 در دوره آتی ۲۱۰۰–۲۰۳۰ در شکل های ۴ تا ۱۳ نشان داده شده است.

در این شکل‌ها ابتدا سناریو SSP2_4.5 و سپس SSP5_8.5 به ترتیب هر ایستگاه مورد بررسی قرار گرفته است.

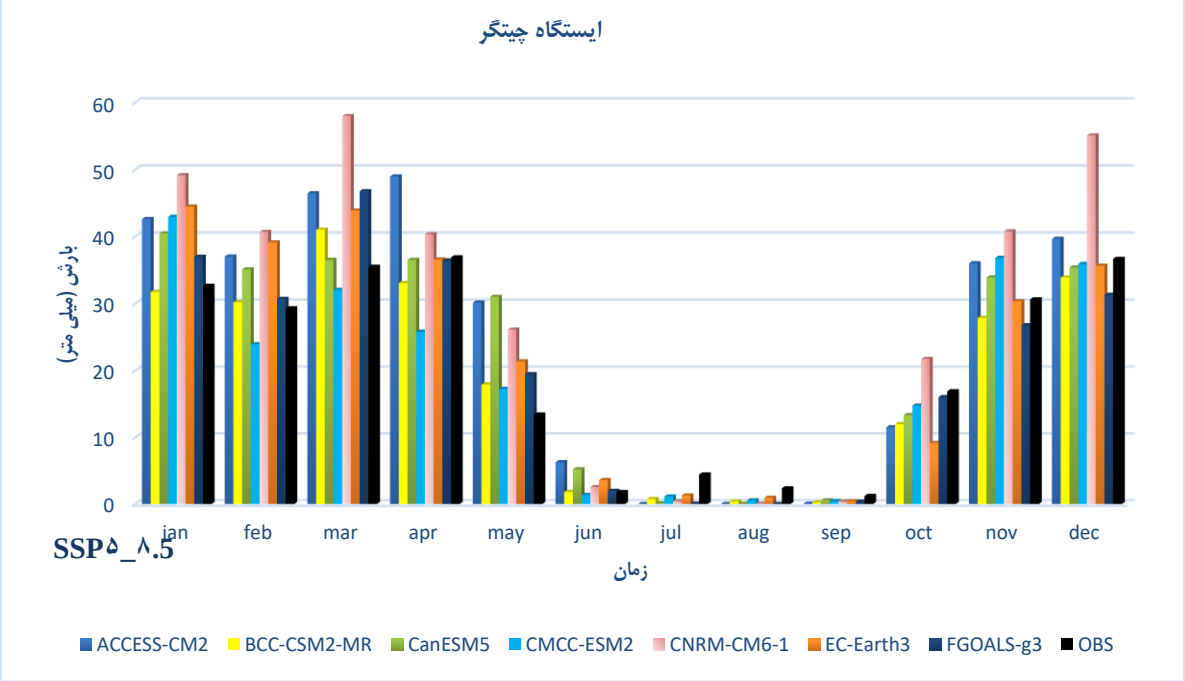
نتایج مدل‌های آب و هوایی ایستگاه چیتگر حاکی از آن است که در این ایستگاه، مدل آب و هوایی CNRM-CM6-1 دقت بالاتری در شبیه سازی میانگین بارش دارد. نسبت ضریب R^2 این مدل با توجه به هر دو سناریو SSP2.4.5 و SSP5_8.5 به ترتیب ۰/۹۵ و ۰/۸۷ می‌باشند. مقدار میانگین بارشی در هر دو سناریو به جز در فصل تابستان و برای دیگر فصول حالت افزایشی دارد. بیشترین افزایش بارش مربوط به سناریو SSP5_8.5 است. مقدار افزایش بارش‌ها به ترتیب سناریوها به ۱۲ و ۱۶ درصد می‌رسد (شکل ۴ و ۵).



شکل ۴. میانگین بارندگی ماهانه ایستگاه چیتگر با توجه به سناریو SSP2_4.5 دوره آتی ۲۱۰۰–۲۰۳۰

[Downloaded from jvfc.ir on 2026-11-18]

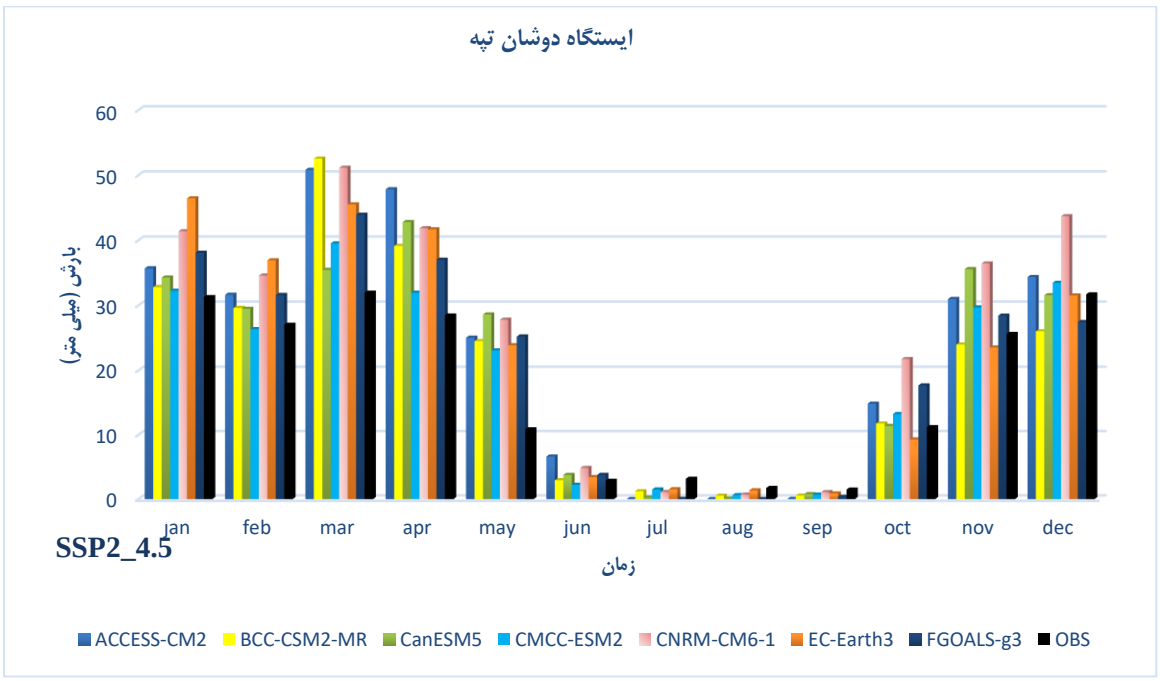
[DOI: 10.66224/jvfc.6.3.10]



شکل ۵ میانگین بارندگی ماهانه ایستگاه چیتگر با توجه به سناریو SSP5_8.5 دوره آتی ۲۱۰۰–۲۰۳۰

نتایج میانگین بارش ایستگاه دوشان تپه نشان داد که برای این ایستگاه مدل آب و هوایی CNRM-CM6-1 دقت بهتری نسبت به دیگر مدل‌ها دارد. مقدار ضریب R^2 با توجه به سناریو SSP2_4.5 و SSP5_8.5 به ترتیب ۰/۹۳ و ۰/۹۵ می‌باشد (شکل ۶ و ۷).

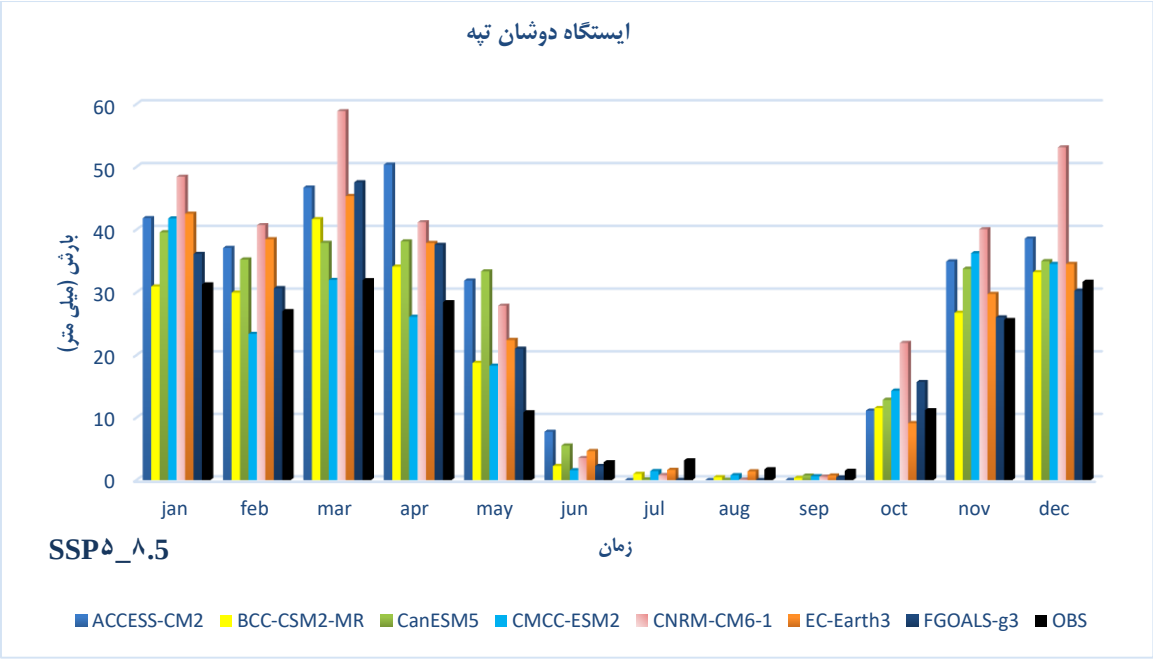
با توجه به این مدل بیشترین افزایش بارش‌ها مربوط به فصل بهار، زمستان و پاییز است. این درحالی است مقدار بارش‌ها برای فصل تابستان درایستگاه دوشان تپه حالت کاهشی دارد. مقدار میانگین بارشی برای ایستگاه دوشان تپه به ترتیب هریک از این سناریوها ۲۰ و ۲۲ درصد افزایش می‌یابند.



شکل ۶میانگین بارندگی ماهانه ایستگاه دوشان تپه با توجه به سناریو SSP2_4.5 دوره آتی ۲۱۰۰–۲۰۳۰

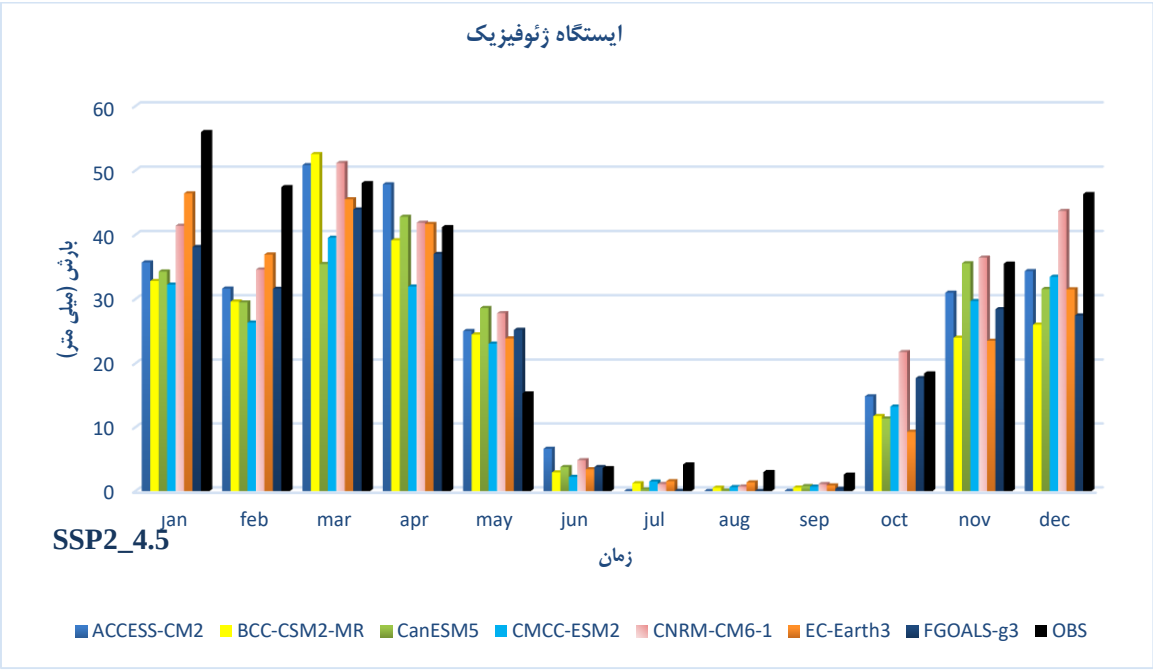
[Downloaded from jvfc.ir on 2026-11-18]

[DOI: 10.66224/jvfc.6.3.10]



شکل ۷.میانگین بارندگی ماهانه ایستگاه دوشان تپه با توجه به سناریو SSP5_8.5 دوره آتی ۲۱۰۰–۲۰۳۰

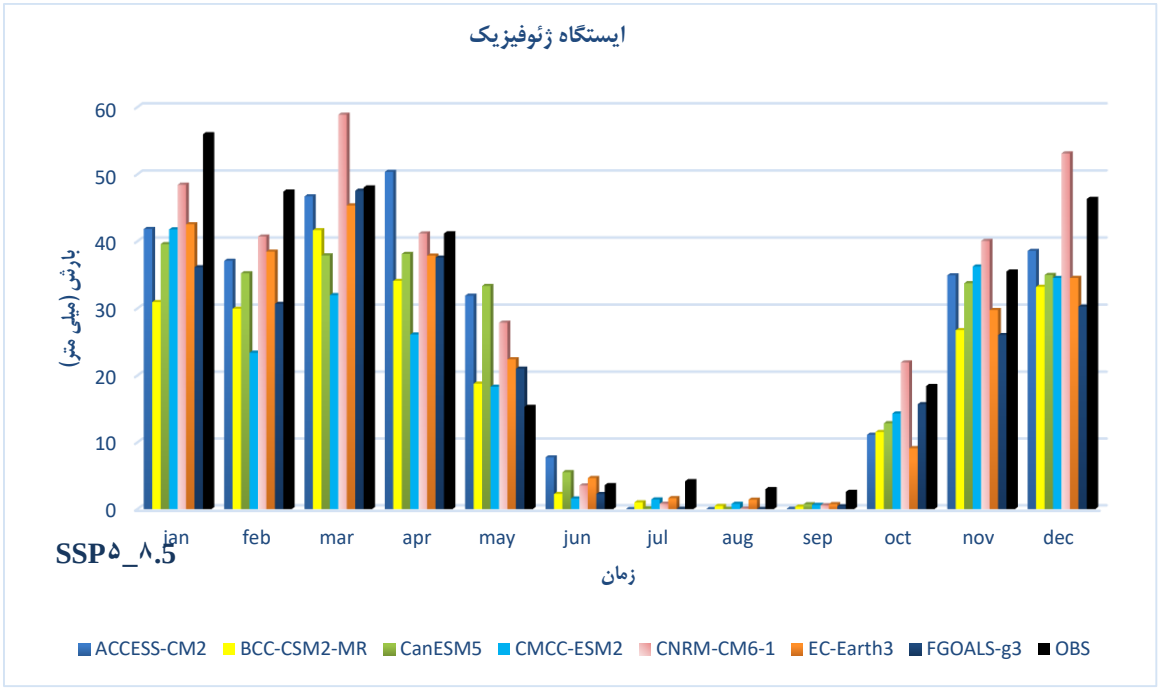
نتایج تغییرات میانگین بارش ایستگاه ژئوفیزیک برای دوره آتی ۲۱۰۰ – ۲۰۳۰ نشان داد که برای این ایستگاه مدل آب و هوایی EC-Earth3 دقت خوبی در شبیه سازی دارد. به طوری که در این مدل با توجه به سناریو SSP2_4.5 و SSP5_8.5 مقدار ضریب R2 به ترتیب ۰/۹۰ و ۰/۹۳ می‌باشد. مقدار میانگین بارشی در این ایستگاه در سناریو SSP5_8.5 بارش کاهش کمتری دارد. به عنوان مثال مقدار میانگین بارش‌ها برای دوره آتی به ترتیب سناریو ۸ و ۱۰ درصد کاهش می‌یابد (شکل ۸ و ۹).



شکل ۸ میانگین بارندگی ماهانه ایستگاه ژئوفیزیک با توجه به سناریو SSP2_4.5 دوره آتی ۲۱۰۰–۲۰۳۰

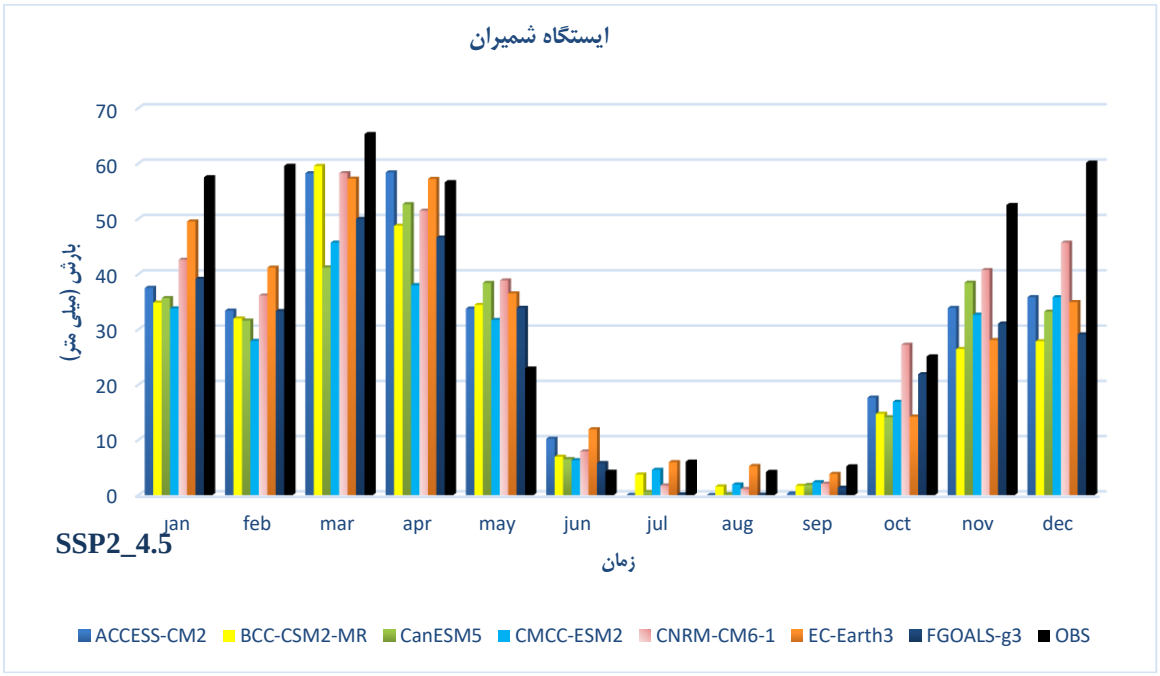
[Downloaded from jvfc.ir on 2026-11-18]

[DOI: 10.66224/jvfc.6.3.10]



شکل ۹. میانگین بارندگی ماهانه ایستگاه ژئوفیزیک با توجه به سناریو SSP5_8.5 دوره آتی ۲۱۰۰-۲۰۳۰

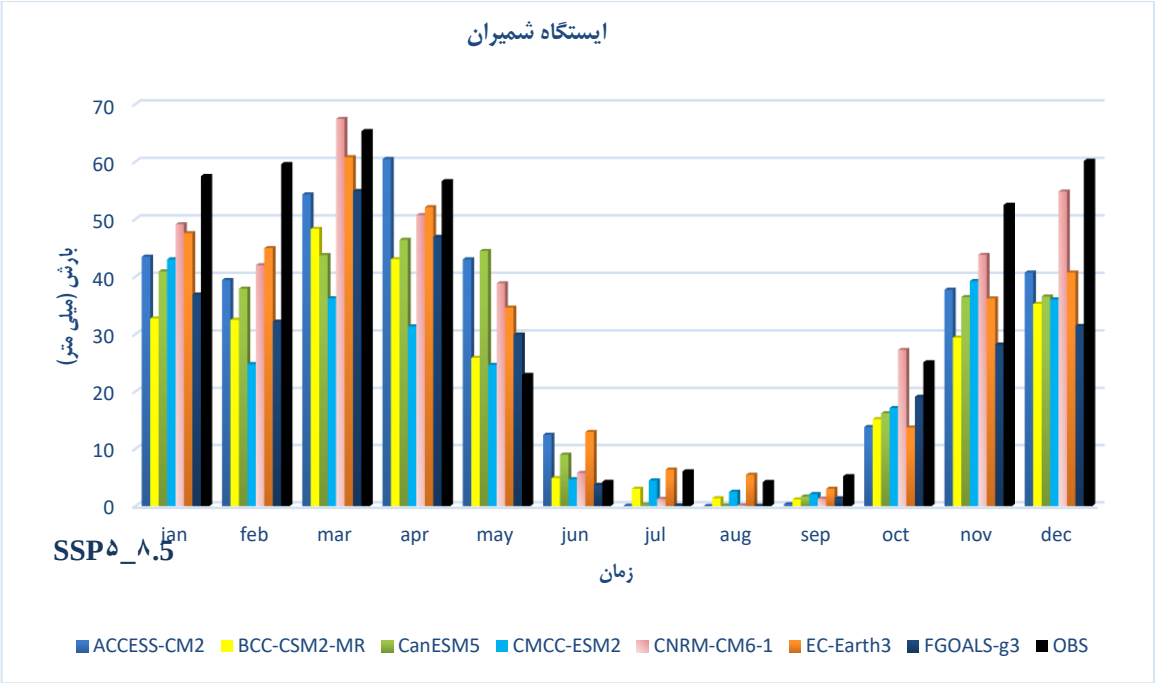
بررسی تغییرات مقدار میانگین بارشی ایستگاه شمیران نشان داد که برای این ایستگاه مدل آب و هوایی CNRM-CM6-1 دقت بهتری نسبت به دیگر مدل‌ها دارد. در این مدل مقدار ضریب R2 به ترتیب برونداد سناریو SSP2.4.5 و SSP5_8.5 ۰/۸۵ و ۰/۹۰ می‌باشند. مقدار میانگین بارشی با توجه به ماه‌های مختلف به ترتیب سناریوها ۸ و ۴ درصد بارش‌ها در ایستگاه شمیران کاهش می‌یابد. جمع سالانه بارشی در دوره مشاهداتی ۴۱۹ میلی‌متر می باشد. در دوره آتی با توجه به سناریو SSP2_4.5 به ۳۵۳ میلی‌متر و در سناریو SSP5_8.5 به ۳۸۲ میلی‌متر می‌رسد (شکل ۱۰و ۱۱).



شکل ۱۰. میانگین بارندگی ماهانه ایستگاه شمیران با توجه به سناریو SSP2_4.5 دوره آتی ۲۱۰۰-۲۰۳۰

[Downloaded from jvfc.ir on 2026-11-18]

[DOI: 10.66224/jvfc.6.3.10]

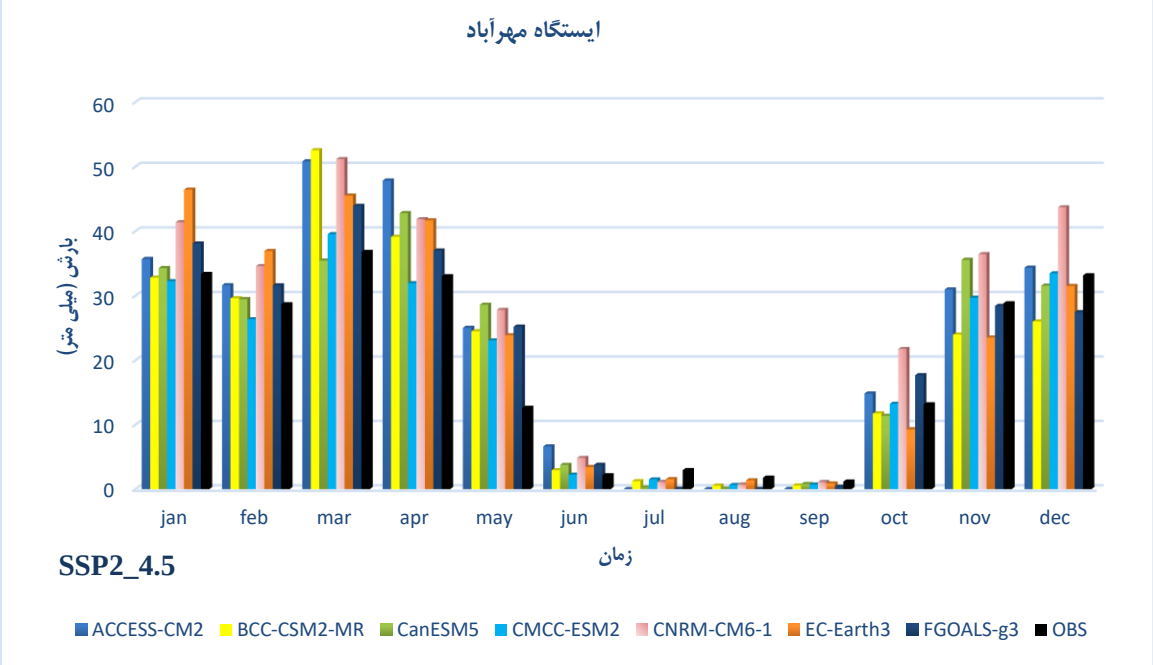


شکل ۱۱. میانگین بارندگی ماهانه ایستگاه شمیران با توجه به سناریو SSP5_8.5 دوره آتی ۲۱۰۰-۲۰۳۰

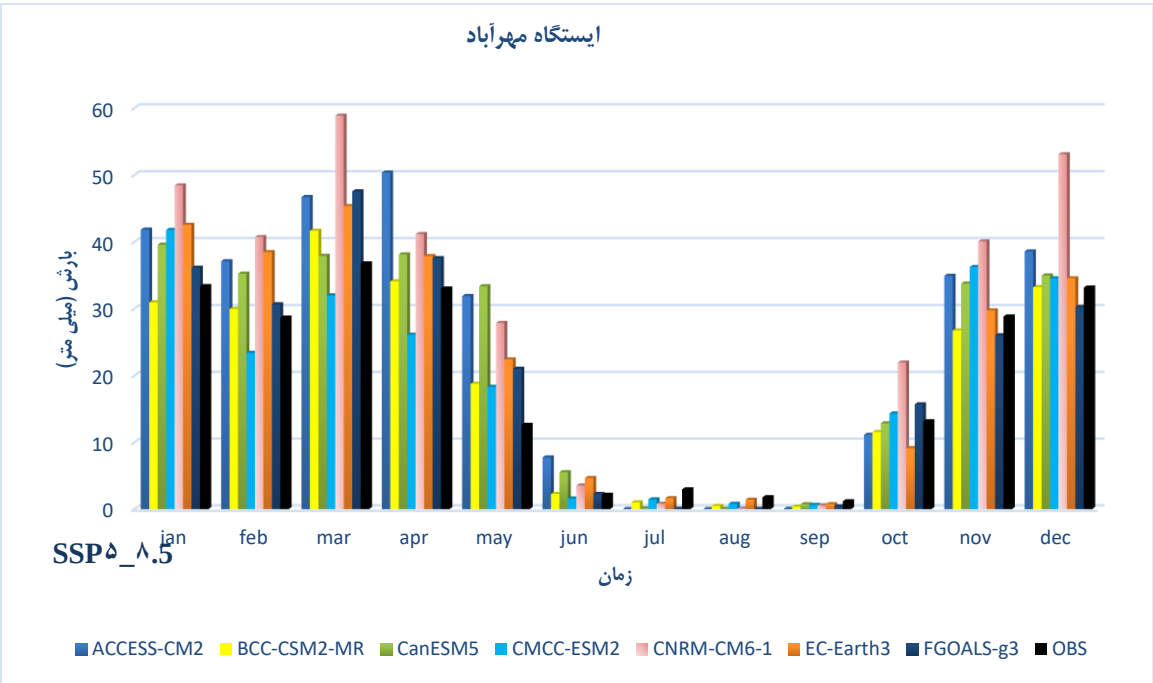
نتایج میانگین تغییرات بارش برای ایستگاه مهرآباد در دوره آتی با توجه به مدل‌های مختلف نشان داد که در این ایستگاه مدل آب و هوایی CNRM-CM6-1دقت بهتری در شبیه سازی بارش با توجه سناریوSSP2_4.5 دارد (شکل ۱۲ و ۱۳). در این مدل ضریب R^2 برابر ۰/۹۴ می‌باشد. در سناریو SSP5_8.5 هم مدل آب و هوایی CNRM-CM6-1 دقت بهتری دارد که در این مدل ضریب R^2 آن ۰/۹۳ است. با توجه به این دو سناریو مقدار بارش در این ایستگاه حالت افزایشی دارد به طوری که مقدار افزایش بارش به ترتیب سناریوها ۵ و ۹ درصد خواهد بود.

[Downloaded from jvfc.ir on 2026-11-18]

[DOI: 10.66224/jvfc.6.3.10]



شکل ۱۲.میانگین بارندگی ماهانه ایستگاه مهرآباد با توجه به سناریو SSP2_4.5 دوره آتی ۲۱۰۰–۲۰۳۰



شکل ۱۳. میانگین بارندگی ماهانه ایستگاه مهرآباد با توجه به سناریو SSP5_8.5 دوره آتی ۲۱۰۰–۲۰۳۰

تحلیل روند بارش

با توجه به داده‌های بارش ایستگاه چیتگر برای دوره آتی ۲۱۰۰–۲۰۳۰ تحت سناریوهای SSP2_4.5 وSSP5_8.5 تفاوت‌های معناداری در مقادیر Z و شیب روند Q در ماه‌های مختلف سال مشاهده می‌شود (جدول ۱ و ۲) که نشان‌دهنده شدت و روند تغییرات بارشی است.

در سناریو SSP2_4.5 ، مقادیر Z و شیب روند Q به‌طور کلی نشان‌دهنده افزایش ملایم بارش‌ها در طول سال هستند. برای مثال، در بهار و پاییز، مقادیر Z برای مارس و آوریل به ترتیب ۰٫۶۷ و ۱٫۲۴ و برای نوامبر ۱٫۲۴ به دست آمده است، که این مقادیر به ویژه در آوریل و نوامبر نزدیک به سطح معناداری ۹۵ درصد است.

[Downloaded from jvfc.ir on 2026-11-18]

[DOI: 10.66224/jvfc.6.3.10]

شیب روند Q برای این ماه‌ها (مارس و آوریل) نشان‌دهنده افزایش‌های ملایم در بارش‌ها است، به‌طوری‌که مقادیر آن به ترتیب ۰,۰۸۵ و ۰,۱۸۴ است.

در حالی که در سناریو SSP2_4.5 و در ماه‌های تابستان (جون، جولای و اگوست) و پاییز (سپتامبر) مقادیر Z منفی و نزیک به صفر است و شیب روند Q نیز صفر می باشد که نشان‌دهنده کاهش یا تغییرات ناچیز در بارش‌ها در این ماه‌ها است، اما در سناریوSSP5_8.5 ، تغییرات بارشی به‌طور قابل توجهی شدیدتر از SSP2_4.5 است.

در سناریوSSP5_8.5 مقادیر Z به‌ویژه در ماه‌های فوریه، آوریل و دسامبر بالاتر است و به سطح معناداری ۹۵ درصد می‌رسد. برای مثال، مقدار Z در فوریه ۱,۸۷ و در آوریل ۱,۷۴ است که در این ماه‌ها افزایش بارش‌ها به وضوح بیشتر است و مقادیر شیب روند Q نیز به ترتیب ۰,۲۲۲ و ۰,۲۶۲ است که بالاتر و معنادارتر است. همچنین در دسامبر، مقدار Z برابر با ۱,۹۰ و شیب روندQ برابر با ۰,۳۵۵ است، که نشان‌دهنده افزایش قابل توجه بارش‌ها در این ماه است. در مقابل، در ماه‌های تابستان و پاییز، مشابه با الگوهای سناریو SSP2_4.5 مقادیر Z منفی و شیب روند Q بسیار کم است،

نتایج این تحلیل نشان می‌دهد که سناریویSSP5_8.5 به‌طور معناداری تغییرات بارشی بیشتری را نسبت به سناریو SSP2_4.5 پیش‌بینی می‌کند. این سناریو به‌ویژه در ماه‌های فوریه، آوریل و دسامبر نشان‌دهنده روند افزایشی قوی‌تری در بارش‌ها است که نیاز به توجه ویژه در برنامه‌ریزی و مدیریت منابع آب دارد. بر خلاف سناریو SSP2_4.5 که تغییرات بارشی ملایم‌تری را پیش‌بینی می‌کند، در سناریو SSP5_8.5 به دلیل افزایش‌های شدیدتر بارش‌ها، به ویژه در ماه‌های خاص، نیازمند استراتژی‌های مدیریت بهینه‌تری برای مقابله با تغییرات اقلیمی شدیدتر است.

جدول ۱. روند بارش دوره آتی ۲۱۰۰-۲۰۳۰ در ایستگاه چیتگر با توجه به سناریو SSP2_4.5

Bmax99	Bmin99	B	Qmax95	Qmin95	Qmax99	Qmin99	Q	Sig.	Z	Year
24.89	43.22	36.25	0.368	-0.155	0.459	-0.231	0.103		0.69	**Jan**
22.67	43.24	31.95	0.270	-0.189	0.349	-0.253	0.056		0.36	**Feb**
30.14	55.97	44.80	0.418	-0.197	0.524	-0.309	0.085		0.67	**Mar**
17.56	44.54	30.72	0.515	-0.120	0.643	-0.217	0.184		1.24	**Apr**
10.77	29.21	20.51	0.197	-0.175	0.266	-0.245	0.014		0.12	**May**
0.35	2.22	1.24	0.012	-0.012	0.023	-0.024	0.000		-0.12	**Jun**
0.00	0.00	0.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		0.17	**Jul**
0.00	0.00	0.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		-0.93	**Aug**
0.00	0.00	0.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		-0.68	**Sep**
4.61	20.67	11.22	0.272	-0.050	0.328	-0.102	0.122		1.42	**Oct**
19.54	40.68	31.239	0.421	-0.098	0.512	-0.198	0.173		1.24	**Nov**
24.14	47.24	38.869	0.275	-0.305	0.390	-0.397	-0.044		-0.29	**Dec**
227.7	289.77	253.18	1.871	0.136	2.158	-0.132	1.052		2.20	**سالانه**

جدول ۲. روند بارش دوره آتی ۲۱۰۰-۲۰۳۰ در ایستگاه چیتگر با توجه به سناریو SSP5_8.5

Bmax99	Bmin99	B	Qmax95	Qmin95	Qmax99	Qmin99	Q	Sig.	Z	Year
28.25	51.57	40.64	0.402	-0.117	0.492	-0.196	0.138		1.04	**Jan**
17.30	43.75	31.52	0.501	-0.008	0.584	-0.096	0.222	+	1.87	**Feb**
31.03	63.25	47.66	0.490	-0.149	0.592	-0.224	0.159		1.02	**Mar**
14.56	39.00	26.14	0.520	-0.033	0.632	-0.128	0.262	+	1.74	**Apr**
13.41	31.27	21.80	0.212	-0.162	0.284	-0.230	0.021		0.20	**May**
0.07	1.59	0.07	0.000	-0.009	0.000	-0.025	0.000		-1.36	**Jun**
0.00	0.00	0.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		-1.44	**Jul**
0.00	0.00	0.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		-0.49	**Aug**
0.00	0.00	0.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		-0.85	**Sep**
7.83	24.75	17.91	0.103	-0.205	0.165	-0.265	-0.047		-0.68	**Oct**
28.91	53.86	41.24	0.150	-0.413	0.238	-0.518	-0.134		-0.90	**Nov**
20.59	49.52	34.991	0.716	-0.010	0.868	-0.142	0.355	+	1.90	**Dec**
253.2	331.94	287.08	2.008	0.211	2.333	-0.096	1.068		2.30	**سالانه**

[Downloaded from jvfc.ir on 2026-11-18]

[DOI: 10.66224/jvfc.6.3.10]

مقایسه روند بارش در ایستگاه دوشان تپه (جدول ۳ و ۴) برای دوره آتی ۲۱۰۰-۲۰۳۰ تحت دو سناریوی SSP2_4.5 و SSP5_8.5 نشان‌دهنده تفاوت‌های معناداری در پیش‌بینی‌ها است.

در سناریوی SSP2_4.5 ، روند سالانه بارش با مقدار Z برابر با ۲,۲۸ و شیب روند (Q) برابر با ۱,۱۰۰ نشان می‌دهد که افزایش بارش در طول زمان به‌طور معناداری در سطح ۹۵ درصد اتفاق می‌افتد. در ماه‌های ژانویه و فوریه، Z به ترتیب ۰,۷۵ و ۰,۵۵ است که نشان‌دهنده روند افزایشی کمتری است.

در مقابل، در سناریوی SSP5_8.5 ، مقدار Z در کل سال برابر با ۲,۴۴ و Q برابر با ۱,۰۹۷ است که نشان‌دهنده روند افزایشی بیشتری نسبت به SSP2_4.5 است. در این سناریو در ماه‌های ژانویه و فوریه، مقدار Z به ترتیب ۱,۰۵ و ۱,۹۳ است که افزایش قابل توجه‌تری را نسبت به SSP2_4.5نشان می‌دهد. همچنین، در ماه دسامبر، SSP5_8.5 با مقدار Z برابر با ۱,۹۴ و Q برابر با ۰,۳۷۱ است که نشان‌دهنده یک روند افزایشی معنادار در سطح ۹۵ درصد است، در حالی که در سناریو SSP2_4.5 در همین ماه روند کاهشی را با Z منفی نشان می‌دهد.

به طور کلی سناریوی SSP5_8.5 با روندهای افزایشی قوی‌تر و در برخی ماه‌ها افزایش‌های معنادارتر (مانند فوریه و دسامبر) تغییرات بارشی بیشتری را نشان می‌دهد. در مقابل، سناریوی SSP2_4.5 روندهای ملایم‌تری را پیش‌بینی می‌کند. این تفاوت‌ها نشان‌دهنده تأثیرات بالقوه و گسترده تغییرات اقلیمی تحت سناریوهای مختلف بر الگوهای بارشی آینده است.

جدول ۳. روند بارش دوره آتی ۲۱۰۰-۲۰۳۰ در ایستگاه دوشان تپه با توجه به سناریو SSP2_4.5

Bmax99	Bmin99	B	Qmax95	Qmin95	Qmax99	Qmin99	Q	Sig.	Z	Year
24.73	42.37	35.05	0.359	-0.137	0.441	-0.207	0.090		0.75	**Jan**
21.56	41.89	29.93	0.276	-0.165	0.362	-0.246	0.068		0.55	**Feb**
29.34	55.27	44.57	0.426	-0.209	0.512	-0.315	0.088		0.53	**Mar**
17.63	45.92	30.93	0.545	-0.110	0.680	-0.209	0.199		1.26	**Apr**
12.27	29.78	21.55	0.243	-0.162	0.290	-0.235	0.030		0.44	**May**
0.59	2.48	1.44	0.017	-0.014	0.030	-0.029	0.000		-0.02	**Jun**
0.00	0.00	0.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		0.17	**Jul**
0.00	0.00	0.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		-0.93	**Aug**
0.00	0.00	0.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		-0.71	**Sep**
4.82	20.41	11.50	0.283	-0.034	0.338	-0.088	0.133		1.41	**Oct**
19.44	39.4131	31.933	0.431	-0.077	0.509	-0.155	0.163		1.42	**Nov**
23.22	44.565	37.162	0.281	-0.301	0.388	-0.370	-0.03		-0.26	**Dec**
231.79	293.428	251.66	1.930	0.174	2.269	-0.119	1.100		2.28	**سالانه**

جدول۴. روند بارش دوره آتی ۲۱۰۰-۲۰۳۰ در ایستگاه دوشان تپه با توجه به سناریو SSP5_8.5

Bmax99	Bmin99	B	Qmax95	Qmin95	Qmax99	Qmin99	Q	Sig.	Z	Year
27.17	49.87	40.57	0.404	-0.102	0.483	-0.207	0.137		1.05	**Jan**
16.65	42.97	31.87	0.512	0.002	0.606	-0.093	0.227	+	1.93	**Feb**
31.30	63.34	48.52	0.487	-0.134	0.609	-0.211	0.150		1.04	**Mar**
14.23	37.26	26.36	0.552	-0.011	0.662	-0.106	0.273	+	1.82	**Apr**
14.42	32.79	23.06	0.215	-0.187	0.279	-0.259	0.015		0.14	**May**
0.12	2.18	0.12	0.000	-0.017	0.000	-0.035	0.000		-1.4	**Jun**
0.00	0.00	0.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		-1.44	**Jul**
0.00	0.00	0.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		-0.49	**Aug**
0.00	0.00	0.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		-0.8	**Sep**
11.91	25.17	18.13	0.102	-0.207	0.155	-0.268	-0.052		-0.6	**Oct**
29.38	53.9241	40.835	0.143	-0.411	0.246	-0.501	-0.125		-1.03	**Nov**
18.40	50.2238	34.151	0.727	0.003	0.862	-0.127	0.371	+	1.94	**Dec**
250.34	333.945	287.72	2.123	0.262	2.477	-0.052	1.097		2.44	**سالانه**

در ایستگاه ژئوفیزیک مقایسه دو سناریوی SSP2_4.5 و SSP5_8.5 برای روند بارش دوره آتی ۲۱۰۰-۲۰۳۰ نشان می دهد که سناریوی SSP5_8.5به‌طور کلی روند افزایش بارش بیشتری را در مقایسه باSSP2_4.5 دارد.

مقدار Z در سناریو SSP5_8.5 در ماه ژانویه، برابر با ۲,۱۰ است که نشان‌دهنده روند افزایشی ضعیف بارش است، در حالی که در SSP2_4.5 مقدار Z برابر با ۰,۶۸ است که نشان‌دهنده روند افزایشی بسیار کمتری است. همچنین شیب روند Q در SSP5_8.5 برای ژانویه ۲,۰۲ است که بالاتر از مقدار ۰,۰۹۳ در SSP2_4.5 است، به‌عبارت دیگر، SSP5_8.5 تغییرات بارشی بیشتری را در این ماه نشان می‌دهد. در ماه فوریه،

[Downloaded from jvfc.ir on 2026-11-18]

[DOI: 10.66224/jvfc.6.3.10]

SSP5_8.5 با Z برابر با ۲,۸۱ و Q برابر با ۱,۱۹۹ به‌وضوح نشان‌دهنده روند افزایشی معنادارتر بارش است که در مقایسه باSSP2_4.5 در همان ماه با Z برابر با ۰,۴۵ و Q برابر با ۰,۰۷۱ روند قوی‌تری را نشان می‌دهد. این تفاوت به معناداری بیشتری در سناریوی SSP5_8.5 منجر شده است.

در ماه دسامبر، Z در SSP5_8.5 برابر با ۱,۷۴ است که بیانگر روند افزایشی قابل توجهی است، در حالی که در SSP2_4.5 این مقدار منفی و برابر با ۰,۱۷- است که نشان‌دهنده روند کاهشی است. شیب روند Q در دسامبر برای SSP5_8.5 برابر با ۱,۵۷ بوده که نشان‌دهنده افزایش بارش بسیار بیشتری نسبت به SSP2_4.5 است.

تفاوت‌های چشمگیری بین دو سناریو مشاهده می‌شود که بیانگر حساسیت بیشتر بارش به تغییرات اقلیمی در سناریوی SSP5_8.5 است. به‌طور کلی SSP5_8.5 به دلیل مقادیر Z و Q بالاتر در اکثر ماه‌ها و معناداری بالاتر، نشان‌دهنده روند افزایشی بیشتر بارش در آینده است، این در حالی است که SSP2_4.5 روند ملایم‌تری را نشان می‌دهد و در برخی ماه‌ها به ویژه در دسامبر حتی ممکن است کاهش بارش رخ دهد. (جدول ۵ و ۶).

جدول ۵. روند بارش دوره آتی ۲۱۰۰-۲۰۳۰ در ایستگاه ژئوفیزیک با توجه به سناریو SSP2_4.5

Bmax99	Bmin99	B	Qmax95	Qmin95	Qmax99	Qmin99	Q	Sig.	Z	Year
25.674	44.064	36.568	0.362	-0.137	0.425	-0.199	0.093		0.68	**Jan**
20.861	40.4	30.781	0.274	-0.158	0.364	-0.24	0.071		045	**Feb**
29.735	56.879	46.497	0.441	-0.203	0.505	-0.318	0.092		0.51	**Mar**
17.824	44.137	32.082	0.566	-0.114	0.71	-0.217	0.19		1.2	**Apr**
11.774	28.882	20.532	0.243	-0.161	0.302	-0.225	0.031		0.45	**May**
0.616	2.487	1.504	0.017	-0.014	0.031	-0.029	0.0		-0.02	**Jun**
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		0.19	**Jul**
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		-0.8	**Aug**
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		-0.6	**Sep**
4.75	19.617	11.164	0.277	-0.034	0.345	-0.086	0.128		1.46	**Oct**
19.351	37.62	31.338	0.453	-0.076	0.525	-0.148	0.168		1.47	**Nov**
23.254	46.184	37.259	0.268	-0.3	0.404	-0.358	-0.031		-0.17	**Dec**
238.032	303.003	258.957	1.99	0.171	2.255	-0.119	1.064		2.52	**سالانه**

جدول ۶. روند بارش دوره آتی ۲۱۰۰-۲۰۳۰ در ایستگاه ژئوفیزیک با توجه به سناریو SSP5_8.5

Bmax99	Bmin99	B	Qmax95	Qmin95	Qmax99	Qmin99	Q	Sig.	Z	Year
0.97	11.72	4.13	3.56	-2.10	2.97	-۲.88	-۲.02		-2.1	**Jan**
15.42	25.29	19.72	2.27	-1.94	1.74	-2.57	1.99		2.81	**Feb**
10.42	22.86	18.90	2.63	-1.72	2.35	-2.12	-1.65		-1.94	**Mar**
11.33	18.29	23.15	1.87	-1.51	2.08	-1.82	0.92		2.03	**Apr**
10.92	15.04	20.16	3.09	-2.24	3.12	-3.13	-1.12		-1.71	**May**
0.00	0.00	0.00	1.04	-1.93	0.97	-2.19	1.23		1.18	**Jun**
0.00	0.00	0.00	2.22	-1.31	2.12	-1.86	-1.71		-2.8	**Jul**
0.00	0.00	0.00	1.85	-0.93	1.99	-1.14	1.81		2.63	**Aug**
0.00	0.00	0.00	2.19	-1.78	1.84	-2.29	-1.43		-2.05	**Sep**
15.37	28.97	22.29	2.48	-1.52	2.67	-1.88	1.11		1.48	**Oct**
17.03	19.38	20.87	2.21	-2.31	2.24	-2.75	-1.35		-2.1	**Nov**
12.21	13.91	17.18	2.59	-1.22	2.85	-1.32	1.57		1.74	**Dec**
130.5	148.3	135.9	5.39	-1.77	5.77	-1.98	3.21		3.38	**سالانه**

در تحلیل روند بارش در ایستگاه شمیران (جدول ۷ و ۸) برای دوره ۲۱۰۰-۲۰۳۰، بر اساس سناریوی SSP2_4.5 ، تغییرات بارش نشان‌دهنده یک الگوی افزایشی است. در این سناریو، Z سالانه ۲,۴۸ و شیب Q برابر با ۱,۲۹۱ ثبت شده است، که به معنای افزایش معنادار در بارش است. ماه‌های اکتبر و نوامبر با Z بالاتر و شیب Q مثبت‌تر نسبت به سایر ماه‌ها برجسته هستند، که نشان‌دهنده افزایش بیشتر بارش در این ماه‌ها است. به‌ویژه در اکتبر، مقدار شیب Q به ۰,۱۷۹ می‌رسد که نشان‌دهنده تغییرات قابل توجه در بارش است. برعکس، ماه‌های ژوئن و ژوئیه با مقادیر کمتر و شیب Q نزدیک به صفر، تغییرات ناچیزی را در بارش تجربه می‌کنند. این نتایج نشان می‌دهد که در سناریوی SSP2_4.5، بارش در برخی از ماه‌های سال به‌ویژه در پاییز افزایش قابل توجهی دارد، در حالی که دیگر ماه‌ها تغییرات کمتری را نشان می‌دهند.

[Downloaded from jvfc.ir on 2026-11-18]

[DOI: 10.66224/jvfc.6.3.10]

در سناریوی SSP5_8.5 ، روند بارش نیز افزایشی است، با Z سالانه ۲,۳۰ و شیب Q برابر با ۱,۱۴۳ که به‌طور معناداری بیشتر از سناریوی SSP2_4.5است. در این سناریو، بارش‌های بیشتری در ماه‌های آوریل و دسامبر مشاهده می‌شود، جایی که مقادیر Z و شیب Q بالاتر هستند. برای مثال، در آوریل، Z به ۲,۰۱ و شیب Q به ۰,۳۳۶ می‌رسد که نشان‌دهنده افزایش قابل توجه بارش در این ماه است. همچنین در دسامبر Z برابر با ۲,۰۹ و شیب Q برابر با ۰,۴۰۵ است که بارش قابل توجهی را در پایان سال نشان می‌دهد. در مقابل، ماه‌های ژوئن و سپتامبر با مقادیر منفی برای شیب Q و کاهش بارش مواجه هستند.

به‌طور کلی، سناریوی SSP5_8.5 تغییرات شدیدتری را در بارش نسبت به SSP2_4.5 به همراه دارد و الگوهای بارش در این سناریو به‌ویژه در فصل‌های خاصی از سال تحت تاثیر تغییرات اقلیمی شدیدتری قرار خواهند گرفت.

جدول ۷. روند بارش دوره آتی ۲۱۰۰-۲۰۳۰ در ایستگاه شمیران با توجه به سناریو SSP2_4.5

Bmax99	Bmin99	B	Qmax95	Qmin95	Qmax99	Qmin99	Q	Sig.	Z	Year
26.05	43.94	35.60	0.359	-0.127	0.440	-0.203	0.098		0.80	Jan
20.48	43.43	31.28	0.303	-0.161	0.394	-0.223	0.084		0.62	Feb
33.07	66.91	48.69	0.485	-0.210	0.598	-0.322	0.117		0.68	Mar
20.50	55.33	40.27	0.662	-0.141	0.814	-0.247	0.217		1.17	Apr
17.89	41.21	30.86	0.303	-0.224	0.391	-0.319	0.046		0.51	May
1.25	4.94	2.83	0.037	-0.034	0.056	-0.060	0.000		-0.18	Jun
0.00	0.00	0.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		-0.12	Jul
0.00	0.00	0.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		-0.93	Aug
0.17	0.73	0.39	0.003	-0.006	0.005	-0.009	0.000		-0.46	Sep
7.41	25.23	12.72	0.357	-0.021	0.420	-0.090	0.179	+	1.69	Oct
21.21	45.47	34.02	0.462	-0.082	0.540	-0.175	0.195		1.37	Nov
26.072	46.96	38.73	0.304	-0.269	0.398	-0.350	0.009		0.02	Dec
257.5	336.62	294.46	2.362	0.302	2.691	-0.030	1.291		2.48	**سالانه**

جدول ۸. روند بارش دوره آتی ۲۱۰۰-۲۰۳۰ در ایستگاه شمیران با توجه به سناریو SSP5_8.5

Bmax99	Bmin99	B	Qmax95	Qmin95	Qmax99	Qmin99	Q	Sig.	Z	Year
28.76	51.78	42.46	0.406	-0.109	0.493	-0.196	0.131		1.01	**Jan**
17.78	43.81	31.97	0.508	-0.036	0.584	-0.109	0.234		1.63	**Feb**
38.28	72.35	54.23	0.590	-0.140	0.715	-0.263	0.203		1.14	**Mar**
17.99	45.45	35.01	0.710	0.016	0.867	-0.105	0.336		2.01	**Apr**
20.83	47.13	30.78	0.264	-0.286	0.362	-0.388	-0.015		-0.14	**May**
0.49	4.04	0.84	0.000	-0.046	0.001	-0.067	-0.007	+	-1.8	**Jun**
0.00	0.00	0.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		-1.5	**Jul**
0.00	0.00	0.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		-0.50	**Aug**
0.27	0.61	0.35	0.000	-0.007	0.001	-0.009	-0.003		-1.5	**Sep**
15.92	30.83	21.48	0.131	-0.238	0.194	-0.309	-0.054		-0.6	**Oct**
31.43	56.44	43.78	0.185	-0.415	0.284	-0.524	-0.13		-0.85	**Nov**
20.21	50.78	36.079	0.742	0.032	0.865	-0.088	0.405		2.09	**Dec**
284.62	381.40	332.93	2.323	0.191	2.740	-0.158	1.143		2.30	**سالانه**

جداول ۹ و ۱۰ روند بارش دوره آتی ۲۱۰۰- ۲۰۳۰ در ایستگاه مهرآباد تحت سناریوی SSP2_4.5 و SSP5_8.5 را نشان می دهد.

به طور کلی، سناریو SSP2_4.5 به افزایش بارش در طول سال اشاره دارد که با مقدار Z معادل ۲,۲۸ و شیبQ برابر با ۱,۱۰۰ مشخص شده است. در بین ماه‌های مختلف، بهار و پاییز با افزایش بارش قابل توجهی همراه هستند. برای مثال در ماه‌های آوریل، اکتبر و نوامبر، مقدار Z به ترتیب ۱,۲۶، ۱,۴۱ و ۱,۴۲ است که نشان‌دهنده افزایش قابل توجه بارش در این ماه‌هاست. این افزایش می‌تواند به دلیل تغییرات اقلیمی و تغییر الگوهای جوی باشد که موجب افزایش بارش در این فصول می‌شود.

در مقابل، تابستان‌ها به‌ویژه از ژوئن تا سپتامبر، کاهش بارش را تجربه می‌کنند. این کاهش بارش در تابستان با Z منفی و شیب‌های Q نزدیک به صفر مشخص شده است. به‌ویژه در ماه‌های ژوئن، جولای و اوت، بارش‌ها بسیار کم و حتی صفر گزارش شده است. این تغییر می‌تواند به معنی دوره‌های خشک‌تر و نیاز به مدیریت بهتر منابع آب در این فصل‌ها باشد تا تأثیرات منفی بر روی کشاورزی و تأمین آب کاهش یابد.

در سناریوی SSP5_8.5 پیش‌بینی‌ها نشان‌دهنده افزایش بیشتر در بارش سالانه است که با مقدار Z برابر با ۲,۴۴ و شیب Q معادل ۱,۰۹۷ تایید شده است. در این سناریو، بارش در ماه‌های سرد سال (مانند ژانویه، مارس و دسامبر) با مقادیر Z به ترتیب ۱,۰۵، ۱,۰۴ و۱,۹۴ به‌طور قابل توجهی افزایش یافته است.

[Downloaded from jvfc.ir on 2026-11-18]

[DOI: 10.66224/jvfc.6.3.10]

این افزایش بارش در ماه‌های سرد می‌تواند به تغییرات بیشتر در الگوهای جوی و تاثیرات تغییرات اقلیمی دلالت داشته باشد که موجب افزایش شدت بارش در این ماه‌ها می‌شود. با این حال، مشابه سناریوی SSP2_4.5 ، تابستان‌ها در سناریوی SSP5_8.5 نیز شاهد کاهش بارش هستند.

این کاهش در ماه‌های تابستانی مانند ژوئن و جولای بیشتر به چشم می‌آید و بارش‌ها به صفر نزدیک است. این الگو نشان می‌دهد که تغییرات شدیدتر اقلیمی می‌تواند منجر به نوسانات بیشتر در الگوهای بارشی و فصول خشک‌تر شود. در مجموع، این تغییرات بارشی نیاز به برنامه‌ریزی و مدیریت دقیق منابع آب و کشاورزی دارد تا از تأثیرات منفی تغییرات اقلیمی بر روی این بخش‌ها کاسته شود.

جدول ۹. روند بارش دوره آتی ۲۱۰۰-۲۰۳۰ در ایستگاه مهرآباد با توجه به سناریو SSP2_4.5

Bmax99	Bmin99	B	Qmax95	Qmin95	Qmax99	Qmin99	Q	Sig.	Z	Year
25.00	43.00	36.00	0.36	-0.14	0.44	-0.20	0.09		0.80	**Jan**
22.00	42.00	30.00	0.28	-0.16	0.36	-0.24	0.07		0.60	**Feb**
30.00	56.00	45.00	0.43	-0.21	0.51	-0.31	0.09		0.55	**Mar**
18.00	46.00	31.00	0.55	-0.11	0.68	-0.21	0.20		1.30	**Apr**
13.00	30.00	22.00	0.24	-0.16	0.29	-0.23	0.03		0.45	**May**
0.60	2.40	1.40	0.02	-0.01	0.03	-0.03	0.00		-0.05	**Jun**
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		0.10	**Jul**
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		-0.95	**Aug**
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		-0.75	**Sep**
5.00	21.00	12.00	0.28	-0.03	0.34	-0.09	0.13		1.45	**Oct**
20.00	40.00	32.00	0.43	-0.08	0.51	-0.16	0.16		1.40	**Nov**
23.00	45.00	38.00	0.28	-0.30	0.39	-0.37	-0.03		-0.25	**Dec**
232.00	294.00	250.00	1.93	0.17	2.27	-0.12	1.10		2.30	**سالانه**

جدول ۱۰. روند بارش دوره آتی ۲۱۰۰-۲۰۳۰ در ایستگاه مهرآباد با توجه به سناریو SSP5_8.5

Bmax99	Bmin99	B	Qmax95	Qmin95	Qmax99	Qmin99	Q	Sig.	Z	Year
27.00	50.00	41.00	0.40	-0.10	0.48	-0.21	0.14	+	1.10	**Jan**
17.00	43.00	32.00	0.51	0.00	0.61	-0.09	0.23	+	1.90	**Feb**
31.00	63.00	49.00	0.49	-0.13	0.61	-0.21	0.15		1.05	**Mar**
14.00	37.00	27.00	0.55	-0.01	0.66	-0.11	0.27	+	1.85	**Apr**
14.00	33.00	23.00	0.22	-0.18	0.28	-0.26	0.02		0.15	**May**
0.10	2.10	0.10	0.00	-0.01	0.00	-0.03	0.00		-1.45	**Jun**
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		-1.40	**Jul**
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		-0.50	**Aug**
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		-0.80	**Sep**
12.00	25.00	18.00	0.10	-0.20	0.16	-0.27	-0.05		-0.65	**Oct**
29.00	54.00	41.00	0.14	-0.40	0.25	-0.50	-0.12		-1.00	**Nov**
18.00	50.00	35.00	0.73	0.00	0.86	-0.13	0.37	+	1.95	**Dec**
250.00	334.00	288.00	2.12	0.26	2.48	-0.05	1.10		2.45	**سالانه**

بحث

تحلیل داده‌های بارش برای ایستگاه چیتگر نشان می‌دهد که تحت سناریوی SSP2_4.5 ، روند سالانه بارش‌ها به طور معناداری افزایش یافته است. در این سناریو، میزان بارش در طول سال با شیب مثبت و مقدار Z نشان‌دهنده روند افزایشی معنادار است. این افزایش به ویژه در ماه‌های بهار و پاییز مشهود است، در حالی که تابستان‌ها همچنان بارش کمی دارند و این افزایش در مقایسه با SSP5_8.5 کمتر است.

در سناریوی SSP5_8.5 ، تغییرات بارشی حتی بیشتر و معنادارتر است. میزان بارش‌ها تحت این سناریو با شیب مثبت و مقدار Z بالاتر از SSP2_4.5افزایش یافته است. این سناریو به وضوح نشان‌دهنده یک روند افزایشی قوی‌تر در بارش‌ها است که به ویژه در ماه‌های بهار و پاییز بارز است.

مقایسه بین دو سناریو نشان می‌دهد که SSP5_8.5 تغییرات بارشی بیشتری نسبت به SSP2_4.5 دارد، با افزایش‌های معنادارتری در ماه‌های مشخصی. این تفاوت‌ها می‌تواند به دلیل فرضیات مختلف هر سناریو در مورد تغییرات اقلیمی و تأثیرات انسانی باشد. با توجه به تحلیل‌های ماهیانه، افزایش بارش‌ها در ماه‌های بهار و پاییز در SSP5_8.5 نسبت به SSP2_4.5 بیشتر قابل توجه است. این تغییرات به ویژه در ماه‌های فوریه، آوریل، و دسامبر در SSP5_8.5 بیشتر از SSP2_4.5 است.

در نهایت، ایستگاه چیتگر به طور کلی شاهد افزایش بارش‌ها تحت هر دو سناریو است، اما SSP5_8.5 نشان‌دهنده تغییرات بارشی شدیدتر و معنادارتری است که می‌تواند نیاز به بررسی‌های دقیق‌تری در زمینه مدیریت منابع آب و تغییرات اقلیمی داشته باشد.

[Downloaded from jvfc.ir on 2026-11-18]

[DOI: 10.66224/jvfc.6.3.10]

ایستگاه دوشان تپه نیز نشان‌دهنده روند افزایشی بارش‌ها تحت سناریوی SSP2_4.5 است. میزان بارش‌ها در این سناریو در ماه‌های بهار و پاییز در حال افزایش است، این تغییرات با شیب مثبت و مقادیر Z نشان‌دهنده یک روند افزایشی ملایم در بارش‌ها هستند. در سناریوی SSP5_8.5، تغییرات بارشی نسبت به SSP2_4.5 به طور قابل توجهی بیشتر است. این سناریو به ویژه در ماه‌های بهار و پاییز، با افزایش‌های معنادارتر و مقادیر Z بالاتر، بارش‌های بیشتری را نشان می‌دهد. افزایش‌ها در ماه‌های فوریه، آوریل و دسامبر به وضوح بیشتر از SSP2_4.5 است. مقایسه این دو سناریو نشان‌دهنده تفاوت‌های معناداری در روند بارش‌ها است.

در سناریو SSP5_8.5 به دلیل افزایش بارش‌های بیشتری که پیش‌بینی می‌شود، تأثیرات بیشتری بر روی منابع آب و مدیریت آب در منطقه خواهد داشت. با توجه به تحلیل‌های ماهیانه، افزایش بارش‌ها در ماه‌های بهار و پاییز در SSP5_8.5 نسبت به SSP2_4.5 معنادارتر است. این تفاوت‌ها ممکن است به تغییرات شدیدتر در شرایط اقلیمی نسبت به SSP2_4.5 اشاره داشته باشد.

به طور کلی، ایستگاه دوشان تپه نیز نشان‌دهنده یک روند افزایشی بارش است، با تفاوت‌های معنادار بین سناریوهای SSP2_4.5 و SSP5_8.5که نیاز به توجه ویژه در مدیریت منابع آبی و برنامه‌ریزی‌های آینده دارد.

ایستگاه ژئوفیزیک نشان‌دهنده یک روند افزایشی بارش‌ها تحت سناریوی SSP2_4.5 است. تحلیل‌ها نشان می‌دهد که بارش‌ها در این سناریو با شیب مثبت و مقادیر Z بالا، به ویژه در ماه‌های بهار و پاییز، در حال افزایش است. این روند به طور معناداری در مقایسه با شرایط موجود افزایش یافته است.

در سناریوی SSP5_8.5 ، میزان بارش‌ها نسبت به SSP2_4.5 با شیب مثبت و مقادیر Z بالاتر افزایش بیشتری را نشان می‌دهد، این سناریو نشان‌دهنده روند افزایشی قوی‌تری است که در ماه‌های بهار و پاییز به وضوح قابل مشاهده می باشد. افزایش‌های معنادارتر در ماه‌های فوریه، آوریل و دسامبرپیش بینی می شود.

تفاوت‌های بین سناریوهای SSP2_4.5 و SSP5_8.5 نشان‌دهنده تأثیرات شدیدتر تغییرات اقلیمی در سناریوی SSP5_8.5 است. این تغییرات می‌تواند به تغییرات قابل توجهی در الگوهای بارشی منجر شود که نیازمند توجه و برنامه‌ریزی دقیق‌تر است.

تحلیل ماهیانه نشان‌دهنده افزایش‌های معنادارتربارش ها در SSP5_8.5 است. این تغییرات بیشتر در ماه‌های بهار و پاییز مشاهده می‌شود و ممکن است تأثیرات چشمگیری بر روی مدیریت منابع آب و شرایط محیطی داشته باشد. در مجموع، ایستگاه ژئوفیزیک نیز تغییرات بارشی را نشان می‌دهد که تحت سناریوی SSP5_8.5 شدیدتر است. این تغییرات می‌تواند به تأثیرات قابل توجه‌تری بر روی منابع آب و برنامه‌ریزی‌های مدیریتی منجر شود. برای ایستگاه شمیران، تحلیل‌ها نشان می‌دهد که تحت سناریوی SSP2_4.5 ، میزان بارش‌ها با شیب مثبت و مقدار Z بالا، به طور معناداری افزایش یافته است. این روند افزایشی به ویژه در ماه‌های بهار و پاییز با افزایش‌های مشخص در این ماه‌ها قابل توجه است.

در سناریوی SSP5_8.5 ، تغییرات بارشی به طور قابل توجهی بیشتر از SSP2_4.5 است. شیب مثبت و مقادیر Z بالاتر در این سناریو نشان‌دهنده روند افزایشی قوی‌تر در بارش‌ها به ویژه در ماه‌های بهار و پاییز است. افزایش‌های معنادارتر در ماه‌های فوریه، آوریل و دسامبر قابل مشاهده است.

تفاوت‌های بین سناریوهای SSP2_4.5 و SSP5_8.5 در ایستگاه شمیران نشان‌دهنده تأثیرات شدیدتر تغییرات اقلیمی در SSP5_8.5 است. این تغییرات می‌تواند به افزایش بارش‌های معنادارتر و تغییرات قابل توجه‌تری در الگوهای بارشی منجر شود.

با تحلیل ماهیانه، افزایش‌های بارشی در ماه‌های بهار و پاییز درSSP5_8.5 نسبت به‌SSP2_4.5 واضح‌تر است. این تغییرات به ویژه در ماه‌های فوریه، آوریل و دسامبر قابل توجه است.

در نهایت، ایستگاه شمیران نیز نشان‌دهنده روند افزایشی بارش‌ها است، تفاوت‌های معناداری بارش ها بین سناریوهای SSP2_4.5 و SSP5_8.5.می‌تواند به نیاز به برنامه‌ریزی دقیق‌تر برای مدیریت منابع آب و تحلیل‌های اقلیمی اشاره داشته باشد. تحلیل‌ها نشاندهنده یک روند افزایشی بارش‌ها تحت سناریوی SSP2_4.5 در ایستگاه مهرآباد است.

به طور کلی، سناریو SSP2_4.5 به افزایش بارش در طول سال اشاره دارد که با مقدار سالانه Z معادل ۲,۲۸ و شیب Q برابر با ۱,۱۰۰ مشخص شده است. در بین ماه‌های مختلف، بهار و پاییز با افزایش بارش قابل توجهی همراه هستند. برای مثال در ماه‌های آوریل، اکتبر و نوامبر، مقدار Z به ترتیب ۱,۲۶، ۱,۴۱ و ۱,۴۲ است که نشان‌دهنده افزایش قابل توجه بارش در این ماه‌هاست. این افزایش می‌تواند به دلیل تغییرات اقلیمی و تغییر الگوهای جوی باشد که موجب افزایش بارش در این فصول می‌شود. در مقابل، تابستان‌ها به‌ویژه از ژوئن تا سپتامبر، کاهش بارش را تجربه می‌کنند. این کاهش بارش در تابستان با Z منفی و شیب‌های Q نزدیک به صفر مشخص شده است.

[Downloaded from jvfc.ir on 2026-11-18]

[DOI: 10.66224/jvfc.6.3.10]

در سناریوی SSP5_8.5 پیش‌بینی‌ها نشان‌دهنده افزایش بیشتر در بارش سالانه است که با مقدار Z برابر با ۲,۴۴ و شیب Q معادل ۱,۰۹۷ تایید شده است. در این سناریو، بارش در ماه‌های سرد سال (مانند ژانویه، مارس و دسامبر) با مقادیر Z به ترتیب ۱,۰۵، ۱,۰۴ و۱,۹۴ به‌طور قابل توجهی افزایش یافته است.

این افزایش بارش در ماه‌های سرد می‌تواند به تغییرات بیشتر در الگوهای جوی و تاثیرات تغییرات اقلیمی دلالت داشته باشد که موجب افزایش شدت بارش در این ماه‌ها می‌شود. با این حال، مشابه سناریوی SSP2_4.5 ، تابستان‌ها در سناریوی SSP5_8.5 نیز شاهد کاهش بارش هستند.

نتیجه گیری

در سال‌های اخیر، تغییرات ناگهانی در پارامترهای هواشناسی مانند بارش و دیگر متغیرها تأثیرات زیادی بر شهرها و وقوع رخدادهای حدی از جمله بارش‌های سنگین داشته است. به‌طور خاص، تغییر اقلیم و افزایش دما از مسائل مهمی هستند که موجب ناهنجاری‌هایی در روند و سری‌های زمانی متغیرهای شهری شده و این تغییرات همچنین به چالش‌های بزرگی برای مدیریت منابع آبی و سازگاری با محیط زیست در شهرها منجر شده است. در این راستا، ایجاد شهرهای پایدار به عنوان راه‌حلی برای کاهش اثرات منفی تغییرات اقلیمی اهمیت یافته است. شهرهای پایدار با توجه به اصول توسعه پایدار، به دنبال کاهش اثرات زیست‌محیطی تغییرات اقلیمی، بهینه‌سازی مصرف منابع و ارتقای کیفیت زندگی شهری هستند.

در این پژوهش تغییرات بارش شهر تهران با ۷ مدل‌های اقلیمی تحت دو سناریوی SSP2_4.5 و SSP5_8.5 در ایستگاه‌های چیتگر، دوشان تپه، ژئوفیزیک، شمیران و مهرآباد مورد بررسی قرار گرفت. همچنین برای تحلیل و شناسایی روند در داده‌های اقلیمی، از آزمون من–کندال و سن استفاده گردید.

نتایج بررسی روند بارش تحت سناریوهای SSP2_4.5 و SSP5_8.5 در ایستگاه‌های مختلف شهر تهران نشان‌دهنده تفاوت‌های معناداری است. هرچند هر دو سناریو افزایش‌هایی در میزان بارش را نشان می‌دهند، اما روند افزایشی در SSP5_8.5 به‌ویژه در فصل‌های بهار و پاییز شدیدتر و معنادارتر است. این نتایج بر لزوم اتخاذ سیاست‌های اقلیمی مناسب‌تر و برنامه‌ریزی برای سازگاری با تغییرات اقلیمی تأکید دارد. همچنین، پیش‌بینی تغییرات شدیدتر در بارش تحت سناریوی SSP5_8.5 بر اهمیت کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و مدیریت منابع آب در برابر اثرات تغییرات اقلیمی افزوده است.

بر اساس نتایج این مقاله، پیشنهادهای کاربردی زیر برای مدیریت و برنامه‌ریزی در کلانشهر تهران ارائه می‌شود:

۱ .تقویت سیستم‌های مدیریت سیلاب و زهکشی شهری

با توجه به پیش‌بینی افزایش بارش‌های شدید به‌ویژه در فصل‌های بهار و پاییز تحت سناریوی SSP58.5 ، لازم است:

- ✓ شبکه‌های زهکشی و جمع‌آوری آب‌های سطحی به‌ویژه در مناطق شمالی و مرکزی تهران (مانند ایستگاه‌های چیتگر و دوشان‌تپه) به‌طور جدی بهینه‌سازی شوند.
- ✓ از طرح‌های نوین مدیریت سیلاب (مانند بام‌های سبز، حوضچه‌های ذخیره موقت آب) در مناطق پرخطر استفاده شود.

۲ .مدیریت یکپارچه منابع آب با تأکید بر ذخیره‌سازی آب‌های سطحی

از آنجا که بخش عمده‌ای از افزایش بارش در فصول پرباران رخ می‌دهد و تابستان‌ها با کاهش بارش مواجه است، توصیه می‌شود:

- ✓ احداث یا بهسازی سدهای کوچک و مخازن ذخیره‌سازی آب در حوضه‌های آبریز منتهی به تهران.
- ✓ توسعه روش‌های آب‌خوانداری و تغذیه مصنوعی سفره‌های آب زیرزمینی.

۳ .توسعه سیستم هشدار زودهنگام بارش‌های شدید

با توجه افزایش احتمال رخداد بارش‌های سنگین و ناگهانی، پیشنهاد می‌شود:

- ✓ راه‌اندازی سامانه‌های پایش و هشدار سریع بارش‌های حدی با استفاده از داده‌های اقلیمی و مدل‌های پیش‌بینی محلی.
- ✓ آموزش شهروندان ساکن در مناطق پرخطر (مانند حریم رودره‌ها) برای واکنش به موقع.

۴ .اصلاح الگوی کشت و مدیریت آبیاری در فضای سبز شهری

با توجه به کاهش بارش در تابستان و افزایش نیاز آبی:

- ✓ استفاده از گونه‌های گیاهی کم‌آب‌طلب و بومی در فضای سبز تهران.
- ✓ به‌کارگیری سیستم‌های آبیاری قطره‌ای و هوشمند در پارک‌ها و کمربند سبز.

[Downloaded from jvfc.ir on 2026-11-18]

[DOI: 10.66224/jvfc.6.3.10]

۵ .تدوین برنامه سازگاری شهری با تأکید بر کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای

از آنجا که سناریوی SSP58.5 (با انتشار بالا) تغییرات شدیدتری را نشان می‌دهد، لازم است:

- ✓ سیاست‌های کاهش آلایندگی و توسعه حمل‌ونقل پاک در اولویت قرار گیرد.
- ✓ برنامه‌ریزی برای توسعه شهر فشرده و کاهش گسترش افقی تهران.

۶ .بازبینی طرح‌های تفصیلی و مقاوم‌سازی زیرساخت‌ها

با در نظر گرفتن تغییرات پیش‌بینی شده در رژیم بارش:

- ✓ بازنگری در ضوابط ساخت‌وساز و طراحی شبکه‌های عبور و مرور با توجه به خطر آبگرفتگی.
- ✓ مقاوم‌سازی پل‌ها، جاده‌ها و تونل‌ها در برابر رواناب و سیل.

۷ .افزایش آگاهی عمومی و توانمندسازی جامعه

- ✓ برگزاری کارگاه‌های آموزشی برای شهروندان و مدیران محلی در خصوص:
- ✓ تغییرات اقلیمی پیشِ رو و اثرات آن بر زندگی روزمره.
- ✓ راه‌های مقابله با سیل و خشکسالی.

منابع

احمدآبادی علی و صدیقی فر.(۱۳۹۷). **پیش‌بینی اثرات تغییراقلیم بر خصوصیات هیدروژئومورفولوژی حوضه آبریز کن بر اساس مدل ریزمقیاس نمایی آماری**، نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، ۱۸(۵۱): ۱۱۴۱۰۳.

حجازی زاده زهرا، زارعی شریفه، صیاد وحیده.(۱۴۰۲). **بررسی چشم انداز تغییرات شاخص های حدی دما و بارش در استان کردستان بر اساس سناریوهای واداشت تابشی (RCP)**، تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، ۲۳ (۶۹) :۱۱۴.

حجازی زاده، زهرا؛ طولابی‌نژاد، میثم. (۱۳۹۷)، **شبیه‌سازی اقلیمی، با تأکید بر مدل اقلیم منطقه‌ایRegCM4** ، تهران، نشر آکادمیک انجمن جغرافیایی ایران، چاپ دوم.

خوشحال دستجردی، جواد، و قویدل رحیمی، یوسف. (۱۳۸۷). **کاربرد آزمون ناپارامتری منکندال در برآورد تغییرات دمایی. فضای جغرافیایی**، ۸(۲۲)، ۲۱۳۸.

دشت بزرگی آمنه؛ علیجانی بهلول؛ جعفرپور زین العابدین و شکیبا علیرضا. (۱۳۹۴). **شبیه‌سازی شاخص‌های حدی دمای استان خوزستان بر اساس سناریوهای RCP**، جغرافیا و مخاطرات محیطی، (۱۶): ۱۲۳۱۰۵.

دهقانی پور امیرحسین؛ حسن‌زاده محمدجواد؛ عطاری جلال و عراقی نژاد جواد. (۱۳۹۰). **ارزیابی توانمندی مدل SDSM در ریز مقیاس نمایی بارش ، دما و تبخیر (مطالعه موردی: ایستگاه سینوپتیک تبریز)**، یازدهمین سمینار سراسری آبیاری و کاهش تبخیر.

دهقانی، طیبه؛ سلیقه محمد و علیجانی بهلول. (۱۳۹۶). **اثر تغییراقلیم بر میزان آب قابل بارش در سواحل شمالی خلیج‌فارس**، نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، ۱۸(۴۹): ۹۱۷۵.

زارعی، آذین؛ اسدی، اسماعیل؛ ابراهیمی، عطاله؛ جعفری، محمد و ملکیان، آرش (۱۳۹۷). **بررسی تغییرات پارامترهای بارش و دما تحت سناریوهای اقلیمی در استان چهارمحال و بختیاری**، نشریه علمی پژوهشی مرتع، ۱۲(۴): ۴۳۶۴۲۶.

سادات آشفته، پریسا (۱۳۹۳). **تغییراقلیم و آب: ابزارها و رویکردها** انتشارات جاودان خرد، چاپ اول، ۲۱.

کریمی مصطفی؛ ستوده فاطمه و رفعتی سمیه. (۱۳۹۷). **تحلیل روند تغییرات و پیش‌بینی پارامترهای حدی دمای سواحل جنوبی دریای خزر**، نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، ۱۸(۴۸): ۹۳۷۹.

ناصرزاده، محمد حسین؛ طولابی نژاد، میثم. (۱۳۹۸). **مدل‌سازی و پیش‌بینی تغییرات مکانی هسته‌های بارشی در ایران** .تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، ۱۹ (۵۵): ۱۱۷۱۳۳.

Chen, Hua., ChongYu Xu., Shenglian, Guo., (2012), **Comparison and evaluation of multiple GCMs, statistical downscaling and hydrological models in the study of climate change impacts on runoff**, Journal of Hydrology 434–435: pp,36–45.

Cheng, C. S., li, G., li, Q., Auld, H., (2008), **Statistical downscaling of hourly and daily climate scenarios for various meteorological variables in Southcentral Canada**, Theoretical and Applied Climatology, Volume 91:129–147.

Field, C.B., Barros, V., Stocker, T.F., Qin, D., Dokken, D.J., Ebi, K.L., Mastrandrea, M.D., Mach, K.J., Plattner, G.K., Allen, S.K., Tignor, M.,Midgley, P.M., IPCC, 2012. **Managing the Risks of Extreme**

[Downloaded from jvfc.ir on 2026-11-18]

[DOI: 10.66224/jvfc.6.3.10]

Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, p. 582 pp.

Getnet, Feyissa., Gete, Zeleke., Woldeamlak Bewket., Ephrem., Gebremariam., (2018)., **Downscaling of Future Temperature and Precipitation Extremes in Addis Ababa under Climate Change.,** Climate, 6, 58; doi:10.3390/cli6030058

Hansen, J.W., Ruedy, R., Sato, M., Lo, K., 2010. **Global surface temperature change**. Rev. Geophys. 48 (4), RG4004.

Lawrimore, J.H., Menne, M.J., Gleason, B.E., Williams, C.N., Wuertz, D.B., Vose, R.S., Rennie, J., 2011. **An overview of the global historical climatology network monthly mean temperature data set,** version 3. J. Geophys. Res.Atmos. 116. http://dx.doi.org/10.

Semenov M.A.; Brooks R.J. Barrow E.M. and C.W. Richardson. 1998. **Comparison of the WGEN and LARSWG stochastic weather generators for diverse climates**. Climate Researchs 10(2):95–107.

Semenov, M.; Stratonovitch, P. (2010). **Use of multimodel ensembles from global climate models for assessment of climate change impacts**, CLIMATE RESEARCH. 41: 1–14.

Semenov, M.A.; Barrow, E. M. (2002**). LARSWG A Stochastic Weather Generator for Use in Climate Impact Studies**, User Manual, Version 5.0: 28.

Shukla, R., Deo, R., Khare, D., (2015), **Statistical Downscaling of Climate Change Scenarios of Rainfall and Temperature over Indira Sagar Canal Command area in Madhya Pradesh, India,** IEEE 14th International Conference on Machine Learning and Applications, pp. 313317.

Sperotto, A., Torresan, S., Gallina, V., Coppola, E., Critto, A., Marcomini, A., (2016), **A multidisciplinary approach to evaluate pluvial floods risk under changing climate: The case study of the municipality of Venice (Italy),** Sci Total Environ; 562:10311043.

Wang, B. Liu, D.L. Asseng, S. Macadam, I and Yu, Q. (2015): **Impact of Climate Change on Wheat floe Ring time in Saetern Australia**. Agriculture and Forest Meteorology 209210:1121.

Wetter hall, F., (2005), **Statistical Downscaling of Precipitation from Large –scal Atmospheric Circulation – Comparison of methods and Climate Region**, Msc dissertation, Faculty of Sceince and Technology, UPPSALA University.

Wubu Tiku Tilahun, Gashaw Bimrew Tarekegn, Dejene Sahlu, Gezahegn Bekele Tashebo, Fekadie Bazie Enyew, Yakob Umer, Sisay E. Debele, (2025). **Evaluating CMIP6 precipitation simulations across different rainfall regimes in the Amhara Region, Ethiopia**, Natural Hazards Research, 5(3),689704. https://doi.org/10.1016/j.nhres.2025.03.002.

[Downloaded from jvfc.ir on 2026-11-18]

[DOI: 10.66224/jvfc.6.3.10]