

## Investigating the effects of climate change on torrential rains in Tehran province

Zahra Hejazizadeh<sup>1\*</sup>, Mehri Akbari<sup>2</sup>, Farzaneh Sasanpour<sup>3</sup>, Alireza Hosseini<sup>4</sup>, Niloofar Mohammadi<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Professor, Department of Climatology, Faculty of Geographical Sciences, Kharazmi University, Tehran, Iran

<sup>2</sup> Associate Professor, Department of Climatology, Faculty of Geographical Sciences, Kharazmi University, Tehran, Iran

<sup>3</sup> Associate Professor, Department of Geography and Urban Planning, Faculty of Geographical Sciences, Kharazmi University, Tehran

<sup>4</sup> Graduated Ph.D. Student, Department of Climatology, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

<sup>5</sup> Graduated M.Sc. Student, Department of Geomorphology, Faculty of Geographical Sciences, Kharazmi University, Tehran, Iran

### Abstract

#### Introduction

The phenomenon of climate change and global warming is one of the biggest challenges of the present age, which has affected the hydrological cycle on a global and regional scale. The purpose of this study is to investigate the effects of climate change on torrential rains And Temperature, Rainfall, Run off in Tehran province. In this study, changes in torrential rainfall in Tehran and the frequency and intensity of torrential rainfall in the future and climate change and the rate of increase of floods on periodic floods have been investigated.

#### Materials and Methods

This research has been done in two study discussions (meteorological, hydrological). First, parameters (temperature and precipitation) for synoptic stations (Abali, Shemiran, Mehrabad) for the period (1988-2020) were received from the Meteorological Organization and rainfall and runoff data from hydrometric stations were received from the Tehran Regional Water Authority. Down Scaling model and methods in this research SDSM-DC, Mann-Kendall, Rclimdex, XLSTAT, to simulate future floods and SMADA, HEC-HMS model to simulate floods in current and future periods have been used.

#### Results and Discussion

The results showed that the temperature extreme indices in all stations had an increasing trend and the precipitation indices had an increasing trend only in Abali station. But rainfall in Shemiran and Mehrabad stations had a decreasing trend. Examination of rainfall changes using Mann-Kendall test in most months of the year shows a stable trend and jumps are observed in the rainy months, which can be justified by the increase in rainfall frequency. In the CanESM Model 2 simulation, emphasizing the RCP8.5 release scenario, an increasing temperature trend was observed for the coming decades. The highest temperature increase belongs to Mehrabad station with an average temperature increase of 5.1 percent for the period 2021-2083. The highest rainfall for all three stations is estimated in March next year. Therefore, with the increase of temperature trend, changes in the type of precipitation have occurred, which can be affected by urban microclimate. Simulation of the rainfall-runoff model of the basin with the HEC-HMS model showed that the volume of discharge in the future will be reduced by 5 percent and for return periods, the maximum discharge is estimated at 1501.7 cubic meters.

#### Conclusion

Due to Rainfall behavior is expected to increase in the coming decades, while reducing its fluctuations. It is predicted that the climate of Tehran in the future will have more fluctuations in precipitation and warmer than the current situation, and this increase and frequency of precipitation is likely to increase flood frequency and reinforce its occurrence, while rainfall will occur more accidentally but with greater intensity, leading to environmental and urban hazards.

**Keywords:** Atmospheric hazards, Climate change, Downscaling model, Extreme Precipitation, Global warming, Runoff

**Article Type:** Research Article

\*Corresponding Author, E-mail: hedjazizadeh@yahoo.com

**Citation:** Hejazizadeh, Z., Akbari, M., Sasanpour, F., Hosseini, A., & Mohammadi, N. (2022). Investigating the effects of climate change on torrential rains in Tehran province. *Water and Soil Management and Modeling*, 2(2), 87-105.

DOI: 10.22098/MMWS.2022.9958.1075

DOR: 20.1001.1.27832546.1401.2.2.7.4

Received: 07 December 2021, Received in revised form: 26 December 2021, Accepted: 27 December 2021, Published online: 12 May 2022

*Water and Soil Management and Modeling*, Year 2022, Vol. 2, No. 2, pp. 87-105

Publisher: University of Mohaghegh Ardabili

© Author(s)





## بررسی اثرات تغییر اقلیم بر بارش‌های سیل‌آسا در استان تهران

زهرا حجازی‌زاده<sup>۱\*</sup>، مهری اکبری<sup>۲</sup>، فرزانه ساسان‌پور<sup>۳</sup>، علیرضا حسینی<sup>۴</sup>، نیلوفر محمدی<sup>۵</sup>

<sup>۱</sup> استاد، گروه آب و هواشناسی، دانشکده علوم جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران  
<sup>۲</sup> دانشیار، گروه آب و هواشناسی، دانشکده علوم جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران  
<sup>۳</sup> دانشیار، گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشکده علوم جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران  
<sup>۴</sup> دانش‌آموخته دکتری، گروه آب و هواشناسی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران  
<sup>۵</sup> دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه ژئومورفولوژی، دانشکده علوم جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران

### چکیده

پدیده تغییر اقلیم و گرمایش جهانی یکی از بزرگ‌ترین چالش‌های عصر حاضر است که چرخه هیدرولوژیکی در مقیاس جهانی و منطقه‌ای را تحت تأثیر قرار داده است. هدف این پژوهش بررسی اثرات تغییر اقلیم بر بارش‌های سیل‌آسا در استان تهران است. این پژوهش به دو بحث مطالعاتی (هواشناسی، هیدرولوژیکی) پرداخته است. در همین راستا، ابتدا پارامترهای (دما و بارش) سه ایستگاه سینوپتیک تهران با دوره مشترک در بازه زمانی (۱۹۸۸-۲۰۲۰) از سازمان هواشناسی و داده‌های بارش و رواناب ایستگاه‌های هیدرومتری از سازمان آب منطقه‌ای تهران دریافت شد. مدل و روش‌های آماری ریزمقیاس در این پژوهش SDSM-DC, Mann-Kendall, Rclimdex, XLSTAT برای شبیه‌سازی بارش‌های سیل‌آسای آبی و از مدل SMADA و HEC-HMS برای شبیه‌سازی سیلاب در دوره‌های فعلی و آبی بهره گرفته شده است. نتایج حاصل از مدل Rclimdex نشان داد که شاخص‌های حدی دما در ایستگاه‌های آبی، شمیران و مهرآباد روندی افزایشی داشته و شاخص‌های بارشی در ایستگاه آبی‌لی روندی افزایشی داشته، اما بارش در ایستگاه‌های شمیران و مهرآباد روندی کاهشی داشته است. بررسی تغییرات مقدار بارش با استفاده از آزمون من‌کندل برای بیش‌تر ماه‌های سال روندی ایستا را نشان می‌دهد و جهش‌هایی در ماه‌های بارشی دیده می‌شود که با افزایش فراوانی رخداد بارش‌های فرین قابل توجیه است. در شبیه‌سازی با مدل CanESM۲، با تأکید سناریو انتشار RCP8.5، روند افزایشی دما برای دهه‌های آتی مشاهده می‌شود و بیش‌ترین افزایش میانگین دما متعلق به ایستگاه مهرآباد با ۵/۱ درصد افزایش نسبت به دوره مشاهداتی برای دوره زمانی ۲۰۲۱-۲۰۸۳ بود. بیش‌ترین ماه بارشی برای هر سه ایستگاه ماه مارس در دوره آبی تخمین زده شده است؛ بنابراین، با افزایش روند دما تغییراتی در نوع بارش رخ داده است که این می‌تواند تحت تأثیر میکرو اقلیم شهری باشد. شبیه‌سازی مدل بارش - رواناب حوضه آبخیز کن با HEC-HMS نشان داد که حجم دبی در آینده به میزان پنج درصد کاهش خواهد داشت و برای دوره بازگشت‌های مختلف بیش‌ترین حجم دبی را ۱۵۰/۱۷ متر مکعب برآورد نموده است. استان تهران با تغییر اقلیم ناشی از گرمایش جهانی روبرو شده و گرم‌تر خواهد شد. انتظار می‌رود رفتار بارش در دهه‌های آتی ضمن کاهش، نوسانات آن افزایش یابد. این افزایش محتمل فراوانی سیل و رخداد آن را تقویت می‌نماید.

**واژه‌های کلیدی:** بارش حدی، تغییرات آب و هوایی، رواناب، ریزمقیاس‌نمایی، گرمایش جهانی، مخاطرات جوی

### نوع مقاله: پژوهشی

\*مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: hedjazizadeh@yahoo.com

**استناد:** حجازی‌زاده، زهرا، اکبری، مهری، ساسان‌پور، فرزانه، حسینی، علیرضا، و محمدی، ن. (۱۴۰۱). بررسی اثرات تغییر اقلیم بر بارش‌های سیل‌آسا در استان تهران،

مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک، ۲(۲)، ۸۷-۱۰۵.

DOI: 10.22098/MMWS.2022.9958.1075

DOR: 20.1001.1.27832546.1401.2.2.7.4

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۹/۱۶، تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۱۰/۰۵، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۰/۰۶، تاریخ انتشار: ۱۴۰۰/۰۲/۲۲

مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک، سال ۱۴۰۱، دوره ۲، شماره ۲، صفحه ۸۷ تا ۱۰۵

© نویسندگان

ناشر: دانشگاه محقق اردبیلی



## ۱- مقدمه

الگوهای هواشناسی و اقلیمی در سراسر جهان تغییر کرده است و در طولانی مدت تغییر اقلیم را پدید آورد، به طوری که حدوداً یک قرن طول کشید تا جوامع علمی متقاعد شدند فعالیت‌های انسانی می‌تواند آب و هوای کل کره زمین را تغییر دهد. تحقیقات هیأت بین‌دولتی تغییرات آب و هوا<sup>۱</sup> در دومین گزارش تأکید کرد که گرم شدن تدریجی سطح زمین، اقیانوس‌ها و جو، ناشی از فعالیت‌های انسان است. از مهم‌ترین این دلایل استفاده از سوخت‌های فسیلی است که دی‌اکسید کربن، متان و دیگر گازهای گلخانه‌ای را وارد جو می‌کند (Climatology and Meteorology Working Group, 2020). رویدادهای حدی آب و هوایی یکی دیگر از پیامدهای گرم شدن آب و هوای جهان هستند؛ به طوری که این تغییرات می‌تواند به‌طور چرخه‌ای تکرار شود. بدین جهت است که سازمان ملل در مورد بلایای طبیعی سال ۲۰۰۷ معتقد است که ۹۰ درصد بدترین بلایا در نتیجه تغییرات اقلیمی رخ داده‌اند، امروزه گرمایش کره زمین به موجب تغییر در اقلیم شهرها به‌عنوان موضوعی چالش برانگیز تبدیل شده است، که در کنار گسترش شهری، رخداد تغییرات اقلیم موجب فراوانی وقوع بارش‌های سیل‌آسا و رگباری در مناطق شهری شده است، که چرخه هیدرولوژیکی در مقیاس جهانی و منطقه‌ای را تحت تأثیر قرار داده است، مهم‌ترین تأثیرات منفی از این پس وقوع سیلاب‌های ناگهانی است (Habibnejad and Shokoochi, 2020). از طرفی اثرات افزایش تغییر در الگوها و روند متغیرهای اقلیمی از اهمیت زیادی در کشاورزی، منابع آب و مخاطرات زیست محیطی برخوردار بوده است (Fathian et al., 2020).

امروزه برخی از کشورها بارش‌های شدید را تجربه کرده‌اند، از جمله ایران که در یکی از کمربندهای خشک زمین واقع شده است. بیابان‌های پر فشار و غوطه‌وری نیمه گرمسیری برای تقریباً ۷۵ درصد از مناطق کشور شرایط خشک و نیمه خشک ایجاد کرده است. علاوه بر این خشکی طبیعی، تغییرات آب و هوایی اخیر جهانی نیز از نظر میزان و هم‌چنین مقادیر شدید بارندگی در مناطق مختلف، ایران را تحت تأثیر قرار داده است (Rahimi et al., 2019).

در سال‌های اخیر گسترش شهرنشینی همراه با تغییرات آب و هوایی منجر به افزایش خطر سیل در شهرها شده است. که استان تهران از این قاعده بی‌بهره نبوده و تاکنون تجربه سیل‌های مخرب را داشته است که یادآور سیل‌های سال ۱۳۳۳ در فرحزاد با ۲۰۰۰ نفر کشته تا سال ۱۳۳۴ محدوده کن بیش از

۴۰۰ هکتار زمین کشاورزی تخریب شد و پس از چند رخداد آب‌گرفتگی و سیلاب در سال ۱۳۶۶ میدان تجریش سیل زیان‌بار گلابدره و دربند با تلفات جانی حدود ۳۰۰ نفر همراه شد، تهران دارای دره‌رودها و آبراهه‌های متعدد و وسیعی است. بدین جهت است که تغییر اقلیم یکی از مهم‌ترین چالش‌های حوضه‌های آبخیز مخصوصاً تهران بوده است (Ahmadi et al., 2020).

بررسی منابع نشان می‌دهد تعداد مطالعات در زمینه بررسی اثرات هیدرولوژیکی تغییر اقلیم بر بارش‌های حدی در سال‌های اخیر در داخل و سطح بین‌الملل به شدت افزایش داشته است و از لحاظ روش‌شناسی به دو دسته مطالعاتی تقسیم می‌شوند که در برخی مطالعات به بررسی روند و شاخص‌های حدی پرداخته‌اند، برخی مطالعات دیگر از مدل‌های کمی و آماری SDSM-DC، LARS-WG و مدل هیدرولوژی HEC-HMS بهره گرفته‌اند. برخی نتایج به‌دست آمده در گروه مطالعاتی اول با استفاده از مدل‌های کمی و آماری به بررسی روند و شاخص‌های حدی دما و بارش پرداخته شده است، که در آینده روند افزایش دما و بارش را نشان داده است، که این افزایش روند معناداری برای شاخص‌های بارش سنگین، بسیارسنگین، بارش یک روزه و بارش پنج روزه بوده است (Fahiminejad et al., 2019; Dissanayaka and Rajapakse, 2019; Papalexioiu and Montanari, 2019; Vaghefi et al., 2019; Myhre et al., 2019; Rojpratak et al., 2020; Darand, 2020; Saddique et al., 2020; Doulabian et al., 2021; Alavinia and Zarei, 2021). بارندگی در بین متغیرهای اقلیمی الگوی رفتاری بسیار پر نوسانی دارد و پیش‌بینی آن حتی در دوره‌های کوتاه نیز با چالش روبرو بوده، اما در برخی مطالعات از روند کاهشی برخوردار بوده و تفاوت محسوسی با شرایط فعلی خواهد داشت (Mathbout et al., 2018; Talchabhadel et al., 2021). نتایج گروه مطالعاتی دوم با روش‌های آماری SDSM-DC، LARS-WG و مدل هیدرولوژی HEC-HMS به بررسی رفتار و روند بلند مدت اقلیم تحت سناریوهای مختلف پرداخته شده است که حاکی از افزایش دما و بارش در دهه‌های آتی با دوره بازگشت دو تا ۱۰۰ بوده است که افزایش حجم رواناب را نشان داده است (Bai et al., 2019; Gao et al., 2020; Doulabian et al., 2021; Talchabhadel et al., 2021). ضرورت این پژوهش در مناطق شهری، مانند تهران به عنوان پایتخت کشور همراه گسترش آن و تراکم بالای جمعیت، این است که احتمال وقوع سیل در مناطق شمالی شهر (حوضه‌های آبخیز دربند و گلابدره، کن، وردیچ، جمشیدیه، دارآباد، ولنجک، سوهانی، فرحزادی) که در دامنه رشته کوه‌های البرز واقع است، و با شرایط ویژه طبیعی مورفولوژیکی مانند اقلیم، شکل، شیب، پوشش زمین، بارندگی‌های با شدت بالا و مدت

<sup>1</sup>IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change)

سانتی گراد می‌رسد، از لحاظ وضعیت بارش، مهم‌ترین ورودی حوضه‌های آبریز بارش‌های جوی هستند، از سوی دیگر بارش در استان تهران به سبب وجود ارتفاعات شمالی دارای تغییرات زیادی است و از مقادیر بارندگی از توزیع مکانی متفاوتی برخوردار بوده است؛ به طوری که متوسط بارندگی سالانه به ۲۶۳/۹ میلی‌متر می‌رسد. منشأ عمومی بارش‌های فلات ایران زمین جریان‌های مرطوبی بوده است که مرکزهای کم فشار وابسته به جبهه‌ها در جهت غربی-شرقی به مدت هفت ماه از سال تا وسط‌های اردیبهشت از روی کشور عبور می‌کند (AliMohammadi, 2009).

از طرفی استان تهران، به‌طور پیوسته در معرض خطر سیل قرار دارد، از دلایل اصلی این موضوع می‌توان اختلاف ارتفاع زیاد، شرایط اقلیمی خاص، وجود رودخانه‌های فراوان مانند رود کن، کرج، رود دربند، رود چیتگر و مسیل‌های متعدد و قرار گرفتن شهر تهران در پای کوه را نام برد، رودخانه کن دومین بخش مورد بررسی این پژوهش بوده که به طول ۳۳ کیلومتر است و از ارتفاعات شمال غربی تهران سرچشمه گرفته است و در جهت جنوب غربی جاری شده و پس از عبور از روستاهای امامزاده داوود و کیگا شاخه‌هایی به نام رندان و سنگان را دریافت می‌کند و وارد اراضی سولقان می‌شود و سپس شاخه دیگری به نام کشار می‌پیوندد و در جنوب تهران می‌خشکد (AliMohammadi, 2009). در شکل (۱) و جدول (۱) موقعیت جغرافیایی، فیزیوگرافی محدوده مورد مطالعه نشان داده شده است.

از آنجا که تمرکز اصلی این پژوهش بررسی اثرات تغییر اقلیم بر بارش‌های سیل‌آسا در استان تهران است، از روش‌های آماری و مدل‌سازی جهت رسیدن به تحقق هدف بهره گرفته شد. در گام اول برای مطالعه هواشناسی در بخش بررسی رخداد تغییر اقلیم به توصیه سازمان جهانی هواشناسی<sup>۱</sup> نیاز به داده‌های مشترک بلند مدت بالای ۳۰ سال بود؛ زیرا اگر پارامترهای متوسط سالانه مانند دما، بارش در مدت بیش‌تر از ۳۰ سال تغییر کند، به منزله رخداد تغییر اقلیم است (Sheikh Biklo Islam, 2021). بدین جهت پس از بررسی، از میان ایستگاه‌های استان تهران، تنها سه ایستگاه دارای دوره مشترک بلندمدت بود. بنابراین، ابتدا داده‌های بارش روزانه و دما ایستگاه‌های (آبعلی، شمیران، مهرآباد) با دوره مشترک ۳۲ ساله در بازه زمانی (۱۹۸۸-۲۰۲۰) از سازمان هواشناسی کشور اخذ شد. سپس برای بررسی مطالعه هیدرولوژیکی داده‌های بارش و رواناب ایستگاه‌های هیدرومتری استان تهران با هدف بررسی بزرگ‌ترین حوضه آبخیز تهران برای ایستگاه جهان‌آباد و ایستگاه امامزاده داوود به‌عنوان ایستگاه مرکزی بر پایه دوره مشترک از سازمان آب منطقه‌ای

کوتاه و دوره بازگشت‌های طولانی بالا می‌باشد (Barati and Nasiri, 2011). که در بازه‌های زمانی کوتاه مدت مستعد طغیان سیل هستند و گاهی اوقات، بارندگی‌های سیل‌آسا در یک منطقه شهری باعث جاری شدن سیل‌های شدید از طرف حومه‌های شهر یا حوضه‌های اصلی می‌شود. سطوح غیرقابل نفوذ در مناطق شهری اجازه نفوذ آب به زمین را نمی‌دهد و آب خیلی زود به نقاط شهری جاری می‌شود. تهران هم مانند سایر شهرها، یک شهر متمرکز و با بافت فشرده است و با وجود بارش‌های اخیر (۱۳۹۸) و بی‌نظمی‌های بارش و تداوم بارش‌های رگباری و سیل‌آسا مستعد خطر سیلاب در این استان شده است، مانند سیل پاکدشت در ۲۸ شهریور ۱۳۹۴ با تلفات جانی که در پی داشت، هنوز در اذهان مردم تهران مانده است و سیل ۲۷ فروردین ۱۳۹۱ مترو ایستگاه آزادی، در پی بارش شدید باران و پر آب شدن کانال رودخانه کن، موجب تخریب قسمتی از دیواره مترو شد، و موجب ورود جریان سیل‌آسای آب در خط چهار متروی تهران ایستگاه‌های آزادی تا استاد معین شد (Beitulahi, 2019; Einali, 2017). هدف این پژوهش بررسی اثرات تغییر اقلیم بر بارش‌های سیل‌آسا در استان تهران است. جنبه نوآوری و تفاوت پژوهش حاضر با سایر پژوهش‌های انجام شده در ایران این بوده است که برای اولین بار ارتباط بین بارش‌های سیل‌آسا و تغییر اقلیم ناشی از گرمایش جهانی در استان تهران کار شده است، از این جهت که تاکنون پژوهشی در استان تهران انجام نشده است که بارش‌های سیل‌آسا را نسبت به گرمایش جهانی دهد؛ بنابراین، نگارنده را بر آن داشته است تا با بهره‌گیری از شبیه‌سازی بارش‌های سیل‌آسا آتی با استفاده از روش‌های آماری ریزمقیاس و شبیه‌سازی سیلاب در دوره‌های فعلی و آتی استان تهران مورد بررسی قرار گیرد و سعی شده است مطالعه حاضر نقش به‌سزایی در میان پژوهش‌های انجام گرفته به‌صورت کاربردی داشته باشد.

## ۲- مواد و روش‌ها

### ۲-۱- منطقه مورد مطالعه

استان تهران در موقعیت جغرافیایی بین  $35^{\circ} 0' 0''$  تا  $37^{\circ} 0' 0''$  عرض شمالی و  $49^{\circ} 0' 0''$  تا  $53^{\circ} 0' 0''$  درجه طول شرقی قرار دارد (شکل (۱)). از لحاظ توپوگرافی حدود ۵۷ درصد از مساحت تهران در نواحی کوهستانی است و به‌دلیل شرایط خاص جغرافیایی و برخورداری از شیب و جهت و ریز اقلیم‌ها شرایط اقلیمی متنوعی را دارا است. جریاناتی که استان تهران را تحت تأثیر قرار می‌دهد، شامل جریانات مدیترانه‌ای و سیبری می‌باشند و به‌ندرت تحت پوشش دامنه تأثیرات جریانات عربستان و اقیانوس هند است. میانگین دمای استان تهران ۱۷ درجه سانتی‌گراد است و این میانگین به ۲۲/۶ درجه در تابستان و در زمستان به ۱۱/۵ درجه

<sup>1</sup> WMO (World Meteorological Organization)

شده و سپس براساس هر کدام از پارامترها من کندال و شیب سن محاسبه شده است.

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sgn}(x_j - x_k) \quad (1)$$

$$\text{sgn}(x) = \begin{cases} 1 & \text{if } x > 0 \\ 0 & \text{if } x = 0 \\ -1 & \text{if } x < 0 \end{cases}$$

بنابراین، در اینجا n تعداد مشاهدات سری، و  $x_j$  و  $x_k$  به ترتیب داده‌های زام و kام سری هستند. تابع علامت sgn این‌گونه محاسبه می‌شود:

$$\begin{aligned} \text{sgn}(x_j - x_k) &= +1 & \text{for } (x_j - x_k) > 0 \\ \text{sgn}(x_j - x_k) &= 0 & \text{for } (x_j - x_k) = 0 \\ \text{sgn}(x_j - x_k) &= -1 & \text{for } (x_j - x_k) < 0 \end{aligned} \quad (2)$$

و در قسمت بعدی محاسبه واریانس s توسط یکی از روابط زیر محاسبه می‌شود:

$$\begin{aligned} \text{for } n > 10 \\ \text{var}(s) &= \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{t=1}^n t(t-1)(2t+5)}{18} \\ \text{for } n < 10 \\ \text{var}(s) &= \frac{n(n-1)(2n+5)}{18} \end{aligned} \quad (3)$$

در این قسمت n و m تعداد دنباله‌هایی است که در آن یک داده تکراری حداقل وجود دارد. t بیان‌کننده فراوانی داده با ارزش یکسان در یک دنباله است و در آخر هم آماره z با یکی از روابط زیر می‌توان استخراج کرد:

$$\begin{aligned} z &= \frac{s-1}{\sqrt{\text{var}(s)}} & \text{for } s > 0 \\ z &= 0 & \text{for } s = 0 \\ z &= \frac{s+1}{\sqrt{\text{var}(s)}} & \text{for } s < 0 \end{aligned} \quad (4)$$

در بررسی این آزمون سطوح اعتماد ۹۵ درصد و ۹۹ درصد به‌کار رفته است، اگر آماره Z مثبت باشد روند سری داده‌ها صعودی خواهد بود و اگر منفی باشد با روند نزولی در نظر گرفته می‌شود.

در این پژوهش مینا بر این بوده است که چنان‌چه مقدار Pvalue از ۰/۰۵ کم‌تر باشد، فرضیه  $H_0$  که بر نبود وجود روند در سری زمانی است دالالت دارد، ولی در مقابل اگر مقدار سطح معناداری از ۰/۰۵ بیش‌تر باشد، قبول فرضیه  $H_1$  و دال بر وجود روند است.

استان تهران دریافت شد. در ادامه مطالعه لازم بود برای آنالیز داده‌ها، با توجه به توزیع غیر نرمال پارامتر دما و بارش از روش آزمون من کندال بهره گرفته شود؛ زیرا از میان سری‌های اقلیمی، هم‌چون بارش نرمال نیستند و برای چنین حالت‌هایی می‌بایست از روش من کندال استفاده کرد؛ بنابراین، در ماکرو اکسل و افزونه XLSTAT مقدار آماره Z و شیب سنس<sup>۱</sup> برای بررسی روند دما و بارش از گذشته تا حال ایستگاه‌ها (آبعلی، شمیران، مهرآباد) برای دوره زمانی (۱۹۸۸-۲۰۲۰) در سطح اطمینان ۹۹ و ۹۵ درصد محاسبه شدند و سپس برای بررسی نماهای حدی ابتدا داده‌های دما و بارش سه ایستگاه منتخب در محیط RelimDex مورد تحلیل قرار گرفت و شاخص‌های مدل دریافت شد که مبنای تحلیل روند مقادیر شیب سنس و Pvalue در سطح ۰/۰۵ درصد بوده است. پس از آن برای بررسی بارش و دما در دوره‌های آتی، از مدل SDSM-DC بهره گرفته شد. زیرا این مدل ابزاری برای ارزیابی اثرات تغییر اقلیم و یک روش ریزمقیاس نمایی آماری است و مبنای بدینانه‌ترین سناریو انتشار RCP8.5 و داده‌های NC<sup>۲</sup> به همراه پیش‌بینی‌کننده‌های مدل CanESM نسخه دو استفاده شده است، دلیل بهره‌گیری از مدل این بود که دارای جدیدترین سناریوهای انتشار گزارش پنجم هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم است، جهت دسترسی به داده‌های این مدل از سایت تغییر اقلیم کانادا<sup>۳</sup> دریافت شده است و سپس به پیش‌بینی روند تغییر دما و بارش طی بازه زمانی آتی (۲۰۲۱-۲۰۸۳) پرداخته شد.

## ۲-۲-۲- آزمون من کندال<sup>۴</sup>:

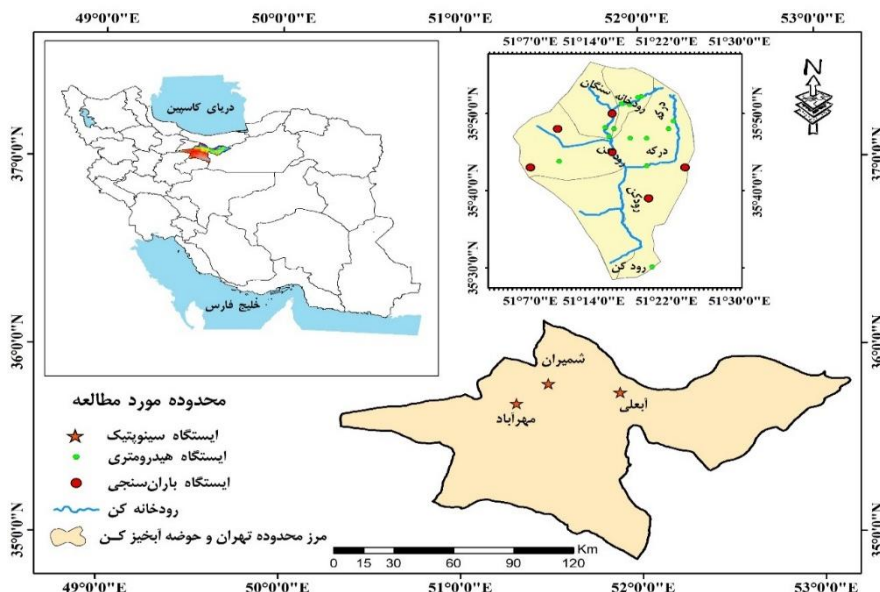
این آزمون در سال ۱۹۸۸ به وسیله سازمان جهانی هواشناسی پیشنهاد شد و در بررسی معناداری روند سری‌های اقلیمی به کرات و در موارد مختلف استفاده شده است. آزمون ناپارامتری من-کندال ابتدا توسط Mann (1945) ارائه و سپس توسط Kendall (1975) بر پایه رتبه داده‌ها در یک سری زمانی توسعه پیدا کرد. این روش به‌طور متداول و گسترده‌ای در تحلیل روند سری‌های هیدرولوژیکی و هواشناسی به‌کار گرفته می‌شود. از نقاط قوت این روش می‌توان به مناسب بودن کاربرد آن برای سری‌های زمانی که از توزیع آماری خاصی پیروی نمی‌کنند اشاره نمود. در این پژوهش بررسی روند با این آزمون تحت دو روش ماکرو اکسل و تحت افزونه XLSTAT محاسبه شده است. از بین داده‌های دما و بارش سه ایستگاه برای هر ماه میانگین گرفته

<sup>1</sup> Sen's Slope Estimator Nonparametric Method

<sup>2</sup> NetCDF

<sup>3</sup> <https://climate-scenarios.canada.ca/?page=pred-canesm2>

<sup>4</sup> Mann-Kendall Test



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی استان تهران و حوضه آبخیز کن

Figure 1- Location Geographical of Tehran province and the watershed Kan, Iran

جدول ۱ - مشخصات فیزیوگرافی حوضه مورد مطالعه (Ahmadabadi and Sedighifar, 2018)

Table 1 - Physiographic Characteristics of the studied basin (Ahmadabadi and Sedighifar, 2018)

شیب متوسط منطقه (%)	ارتفاع متوسط منطقه (m)	کمترین ارتفاع منطقه (m)	بلندترین ارتفاع منطقه (m)	محیط منطقه (km)	مساحت منطقه (هکتار)
43.5	2411	1260	3840	91.86	22350

شاخص در سطح معنادار بودن به ۰/۰۵ می رسد و برآورد می شود. این نرم افزار بر اساس آستانه های تعریف شده است. بنابراین، ابتدا داده ها حداقل و حداکثر و بارش روزانه در محیط اکسل کنترل کیفی شد و سپس در مدل وارد و شاخص ها دریافت شد و مینا تحلیل بر مقادیر شیب سنس و Pvalue است.

#### ۲-۴- مدل SDSM-DC:

مدل SDSM یکی از پرکاربردترین روش های آماری ریزمقیاس است، از کاربردهای این مدل در مطالعات هواشناسی و جغرافیایی و هیدرولوژیکی و زیست محیطی می توان نام برد. این مدل ارتباطات آماری را بین رفتارهای بزرگ مقیاس (پیش بینی کننده ها) و محلی (پیش بینی شونده ها) بر اساس روش رگرسیون خطی چندگانه برقرار می کند. متغیرهای پیش بینی کننده بزرگ مقیاس NCEP در شامل ۲۶ متغیر است، که در جدول (۲) نشان داده شده است. در واقع ترکیبی از دو روش تولید داده های آب و هوایی غیرقطعی با رگرسیون خطی است. در سال ۲۰۰۰ میلادی بود این مدل توسط Wilby et al. (2000) توسعه داده شد. با داشتن داده های روزانه در مدل مراحل به ترتیب انجام گرفت عبارتند از: آماده سازی داده ها، کنترل کیفی داده ها، تبدیل داده ها، غربالگری، واسنجی، تولید داده، آنالیز داده های دیدبانی و ریز

#### ۲-۳- مدل Rclimdex:

یکی از نرم افزارهای آماری که می توان در اقلیم شناسی از آن استفاده نمود، نرم افزار R است و ClimDex هم یک برنامه مبتنی بر Microsoft Excel است. یک نرم افزار با کاربرد بسیار آسان را ارائه داده است و یکجایی برای محاسبه شاخص های حدی آب و هوایی برای نظارت و تشخیص تغییر اقلیم توسط بایرون گلیسون در مرکز ملی داده های آب و هوایی توسعه داده شده است. از سال ۲۰۰۱ در کارگاه های آموزشی CCI/CLIVAR در ارتباط با شاخص های آب و هوایی استفاده شده است. نرم افزار R در عین حال که بسیار قوی و قدرتمند است، برای تجزیه و تحلیل آماری و گرافیکی می توان از آن کمک گرفت. از سال ۲۰۰۳ به بعد بود که روشی برای محاسبه شاخص های دمایی مبتنی بر صدک در ClimDex و سایر موارد دیگر در این محیط استفاده شد. برنامه Rclimdex یک نرم افزار کاربر پسند است که شرایط اقلیمی را تحت ۲۷ شاخص اصلی تحت بررسی قرار می دهد. شاخص های حدی در این نرم افزار به پنج دسته مبتنی بر صدک ها، شاخص های مطلق، شاخص های حدی دوره ای، شاخص های آستانه ای و شاخص دامنه تغییرات است. هدف از شناخت شاخص های آب و هوایی مطالعات پایش و شناسایی تغییرات اقلیمی مستلزم همگن سازی شاخص هاست. که

بسیار بالاست و ارتباط بین متغیرها معنادار نیست، هیچ‌گونه همبستگی وجود ندارد. از دیگر مقادیر محاسبه شده توسط مدل همبستگی جزئی partial-r است، که علاوه بر رابطه خطی بین دو متغیر را مشخص می‌کند، اثر با سایر متغیرها هم کنترل می‌کند. روش این همبستگی بدین صورت است که میزان همبستگی را بین یک متغیر مستقل با وابسته دیگر را پس از حذف میزان همبستگی بین این دو متغیر با دیگر متغیرهای مستقل نشان می‌دهد و هر چه این میزان افزایش داشته باشد به معنای همبستگی مناسب‌تری بین متغیرها است. بنابراین، در این مدل آن متغیرهایی که دارای همبستگی آماری و جزئی بالاتری داشتند، انتخاب شدند (User Manual, 2002).

مقیاس شده، آنالیز فراوانی، تولید سناریوی اقلیمی. مبنای کار در مدل SDSM بین متغیرهای پیش‌بینی کننده و شونده (دما، بارش)، موجب ایجاد همبستگی، همبستگی متقابل و همبستگی جزئی می‌شود که با استفاده از این آزمون‌ها می‌توان بین پیش‌بینی کننده و شونده‌ها ارتباط همبستگی خوبی ایجاد کرد. منظور از همبستگی در علم آمار ارتباط بین دو متغیر را می‌گویند. بدین صورت است که میزان رابطه بین دو متغیر وابسته را مشخص کرده که به آن ضریب همبستگی نام‌گذاری شده است و آن را با نماد P و R نشان می‌دهد که در پذیرش اعتبار بین نتایج انتهایی وجود دارد. اگر مقدار p-value از ۰/۵ کم‌تر باشد به این معناست که احتمال خطا بسیار کم است و نتیجه رابطه معنادار است، ولی اگر از مقدار ۰/۵ بیش‌تر باشد میزان و احتمال خطا

جدول ۲- متغیرهای پیش‌بینی کننده بزرگ مقیاس NCEP (User Manual, 2002)  
Table 2- Large-Scale Predictor Variables NCEP (User Manual, 2002)

ردیف	متغیر	ردیف	متغیر
1	فشار میانگین سطح دریا	14	ارتفاع ژئوپتانسیل در 500hPa
2	مقاومت جریان هوا در 500hPa	15	ارتفاع ژئوپتانسیل در 850hPa
3	سرعت مداری در 500hPa	16	مقاومت جریان هوای سطحی
4	سرعت نصف‌النهاری در 500hPa	17	سرعت مداری سطحی
5	میزان گردباد در 500hPa	18	سرعت نصف‌النهاری سطحی
6	جهت باد در 500hPa	19	گردباد سطحی
7	دیورژانس در 500hPa	20	جهت باد سطحی
8	مقاومت جریان هوا در 850hPa	21	دیورژانس سطحی
9	سرعت مداری در 850hPa	22	رطوبت نسبی در 500hPa
10	سرعت نصف‌النهاری در 850hPa	23	رطوبت نسبی در 850hPa
11	میزان گردباد در 850hPa	24	رطوبت نسبی در مجاورت سطح زمین
12	جهت باد در 850hPa	25	رطوبت ویژه سطحی
13	دیورژانس در 850hPa	26	دمای میانگین در ارتفاع ۲ متری

ریاحی در مؤسسه بین‌المللی آنالیز سیستم‌های کاربردی IIASA اتریش توسعه و طراحی شد، که وجه مشخصه آن روند افزایش گازهای گلخانه‌ای است.

#### ۲-۶- مدل canESM2<sup>1</sup>:

چهارمین نسل از مدل آب و هوایی است که توسط مرکز مدل‌سازی و تحلیل آب و هوای کانادا زیر نظر سازمان محیط‌زیست این کشور توسعه پیدا کرده است. این مدل تنها مدلی است که دارای داده‌های روزانه قابل کاربرد برای SDSM-DC است که دارای سه سناریوی RCP2.6, RCP4.5, RCP8.5 است.

#### ۲-۷- مدل هیدرولوژیکی HEC-HMS:

#### ۲-۵- سناریوهای اقلیمی:

یک سناریو اقلیمی، وضعیت‌های ممکن آب و هوایی آینده را نشان می‌دهند. در حال حاضر از روش‌های مختلفی برای تولید سناریوهای اقلیمی در افق‌های آتی استفاده می‌شود که ابتدایی‌ترین آنها تولید سناریوهای مصنوعی بر مبنای کاهش یا افزایش متغیرهای اقلیمی است، سناریوی مینا در این پژوهش بر پایه سناریو انتشار RCP8.5 است. این سناریو بدون اتخاذ هیچ‌گونه سیاست‌های کاهش آثار و مقابله با پیامدهای اقلیم، آب و هوای کره زمین در خط سیر سناریوی انتشار RCP8.5 پیش خواهد رفت؛ به طوری که ادامه این روند منجر به واداشت تابشی به میزان ۸/۵ وات بر مترمربع در سال ۲۱۰۰ می‌شود. در این هنگام غلظت دی‌اکسیدکربن به ۱۰۰۰ ppm رسیده و هم‌چنان روند افزایش خواهد داشت. این سناریو توسط تیم مدل‌سازی MESSAGE و مؤسسه IIASA به سرپرستی پروفیسور کیوان

<sup>1</sup> Canadian Earth System Model

Pe: بیان گر ارتفاع بارش مؤثر است. S: بیان گر حداکثر پتانسیل انباشت حوضه بر حسب میلی متر است.

P: بیان گر ارتفاع بارندگی به میلی متر و a مقدار ضریبی است، که در هر شرایطی متفاوت است و نیاز به واسنجی این ضریب در هر منطقه برای دستیابی به نتایج مطلوبی دارد، اما برای برآورد اولیه مقدار ۰/۰۲ در نظر گرفته شده است. در این پژوهش به منظور واسنجی از روش SCS برای شبیه سازی آب نگار سیلاب و همچنین برای روندیابی در آبراهه ها از روش Lag Time استفاده شد، جدول (۳).

### جدول ۳- پارامترهای واسنجی شده در حوضه رودخانه کن ایستگاه هیدرومتری جهان آباد

Table 3- Calibrated parameters in Kan river basin of Jahanabad hydrometric station

زیر حوضه ها	شماره منحنی (CN)	زمان تمرکز به دقیقه (LAG MM)	گروه های هیدرولوژیک خاک	توانایی تولید رواناب
زیر حوضه 1	25	15	D	زیاد
زیر حوضه 2	35	75	D	زیاد
زیر حوضه 3	25	34	D	زیاد
زیر حوضه 4	23	38	D	زیاد
زیر حوضه 5	25	15	D	زیاد

### ۲-۹- دوره بازگشت با Smada:

با استفاده از این نرم افزار می توان سری زمانی داده ها را با پنج روش نرمال، لوگ نرمال، پیرسون، لوگ پیرسون و گامبل، احتمال رخداد و دوره بازگشت سری ها را به دست آورد. از آن جا که پژوهش حاضر بررسی بارش های حدی است، در جدول (۴) دوره بازگشت با توزیع گامبل (احتمال تجمعی وقوع یک پدیده) را نشان می دهد.

### جدول ۴- دوره بازگشت به روش توزیع گامبل با SMADA

Table 4- Return period to the Gamble distribution method with SMADA

احتمال	دوره برگشت به سال	پیش بینی
0.995	200	126.1
0.99	100	111.78
0.98	50	97.41
0.96	25	82.94
0.9	10	63.42
0.8	5	47.98
0.667	3	35.71
0.5	2	24.65

### ۲-۱۰- طراحی بارش برای دوره بازگشت:

روش کار بدین صورت است که برای اجرای این طرح از آمار بارش های ثبت شده در باران سنج های ثبات در داخل حوضه استفاده شده است. ایستگاه امامزاده داوود به عنوان ایستگاه

نرم افزار HEC-HMS از جمله از معتبرترین نرم افزارهای هیدرولوژیکی (آبی) است، که برای شبیه سازی بارش و رواناب (سیلاب) در حوضه های آبریز و برآورد دبی سیلاب می توان از آن کمک گرفت. استان تهران در طی سال های ۱۳۸۶/۱/۲۱، ۱۳۸۶/۲/۸، ۱۳۹۱/۱/۲۶، ۱۳۹۴/۱/۱ از بین سایر (بارش و سیلابها) بیشترین سیلاب با بیشترین دبی را در این تاریخها داشته است که بیشترین پیک دبی مربوط به ایستگاه جهان آباد-کن با میانگین ۹۰/۸۰ و کمترین میانگین مربوط به مجدد همین ایستگاه با ۶۲/۵۰ بود. در این پژوهش ایستگاه جهان آباد-کن به عنوان نمونه در تاریخ ۱۳۹۱/۱/۲۶ انتخاب شده است. داده های بارش و سیلاب تاریخ مربوطه وارد برنامه شده و واسنجی و کالیبره شد.

### ۲-۸- روش تخمین مقادیر اولیه و محدوده پارامترها:

برای محاسبه تخمین مقادیر اولیه به این منظور مقدار رواناب و هیدروگراف هر قسمت از مدل را در HEC-HMS که دارای پارامترهایی است، باید مقدار دقیق آن ها را مشخص کرد. برای مثال، محاسبه CN خاک که بیان گر میزان پتانسیل حفظ رواناب در سطح حوضه بوده است، از اطلاعات کاربری اراضی، شیب حوضه و طول هیدرولوژیکی تخمین زده می شود. با استفاده از رابطه زیر محاسبه شده است:

$$CN = \left[ \sum \left( \frac{A_i}{100} \right) (CN_i) \right] \quad (5)$$

که در آن، CN: میانگین وزنی شماره منحنی در سطح حوضه است.  $A_i$ : درصد مساحتی از حوضه شماره منحنی آن است.  $CN_i$ : شماره منحنی هر یک از پارامترها است. برای اجرای مدل به دو متغیر دیگر از جمله زمان تمرکز و تأخیر حوضه نیاز بود، که در این پژوهش برای زمان تمرکز حوضه از روش کریبیچ که برای حوضه های کوچک و متوسط از آن استفاده و کارایی بالایی دارد، بهره گرفته شد.

$$TC = 0.0195 \times L^{0.77} \times S^{-0.385} \quad (6)$$

TC: بر حسب نشان زمان تمرکز بر حسب دقیقه است. L: بر حسب طول آبراهه بر واحد متر است. S: بر حسب شیب آبراهه بر واحد متر است.

$$TL = 0.6 TC \quad (7)$$

TL: بر حسب زمان تأخیر حوضه است. در این پژوهش از مدل تلفات شماره منحنی SCS با توجه به رابطه زیر محاسبه شد و مورد استفاده قرار گرفت:

$$P_s = \frac{(p-I_s)^2}{p-I_s+S} \quad (8)$$

$$I_s = a \times s$$

$$S = \frac{25400}{CN} - 254$$



مطالعه بر حسب زمان تمرکز حوضه انتخاب شد، در نهایت یک الگو به‌عنوان نماینده مورد بررسی قرار گرفت. روش کار نیز مبتنی بر تجزیه رگبارها به چهار چارک و محاسبه درصد مقدار بارش در هر چارک و رتبه‌دهی به چارک‌ها بود. سپس با میانگین‌گیری از رتبه‌ها در هر چارک رتبه شاخص مشخص و در نهایت الگوی نهایی هر تداوم به‌دست آمد، جدول (۵). بارش‌هایی که از سازمان آب منطقه‌ای تهیه شده بود، شروع بارش هر ۳۰ دقیقه بود که با استفاده از این روش برای دوره بازگشت، بارش‌های قبلی تبدیل به بارش دو ساعته شد (Kordjazi, 2014; Hosseini, 2014; Hejazizadeh et al., 2012). سپس وارد مدل بارش-رواناب شد، و هیدروگراف‌های سیل برای دوره‌های بازگشت مختلف با استفاده از مدل HEC-HMS شبیه‌سازی شدند (Mostafazadeh et al., 2017).

مرکزی و نماینده انتخاب شد. در بررسی الگوهای زمانی بارش معمولاً از رگبارهای منفرد استفاده می‌شود؛ یعنی رگبارهایی که از زمان شروع تا خاتمه قطع نشود. سپس در انتخاب رگبارهای ناپیوسته در صورتی که بین دو رگبار وقفه ایجاد شده باشد. مدت این وقفه کم‌تر از معکوس حاصل ضرب مدت کل بارش (D) در ضریب مربوط به تداوم (N) که از فرمول (۱) به دست آمده باشد. دو رگبار به‌عنوان یک رگبار به حساب می‌آید، در غیر این صورت هر رگبار به صورت یک رگبار مستقل مورد تجزیه تحلیل قرار گرفت.

$$Df > 1 / (N \times D) \quad (9)$$

که در آن Df: مدت زمان وقفه بین دو واقعه بارش است. D: مدت کل بارش را نشان می‌دهد. N: ضریب مربوط به هر گروه تداوم است. انتخاب بارش‌ها نیز بر حسب شدیدترین بارش رخ داده با تداوم زمانی مختلف صورت گرفت. پایه زمانی مورد

جدول ۵- دوره بازگشت محاسبه شده با طراحی بارش  
Table 5- Return period calculated by precipitation design

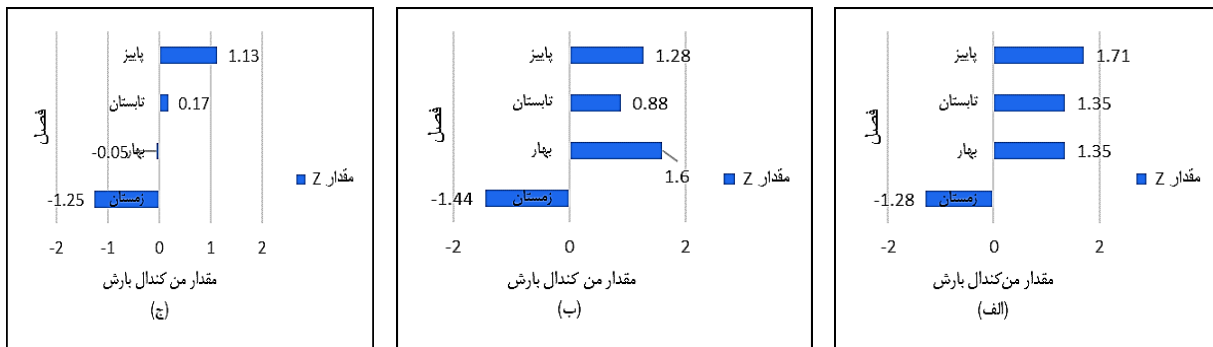
تاریخ	زمان	2 ساله	10 ساله	25 ساله	50 ساله	100 ساله
91.01.25	19:00:00	0.03	0.08	0.10	12.0	0.13
91.01.25	21:00:00	0.23	0.59	0.77	0.91	1.04
91.01.25	23:00:00	1.06	2.73	3.57	4.20	4.82
91.01.25	1:00:00	2.66	6.85	8.95	10.51	12.07
91.01.25	3:00:00	4.28	11.02	14.41	16.93	19.42
91.01.25	5:00:00	5.92	15.23	19.93	23.40	26.86
91.01.25	7:00:00	6.83	17.58	23	27.01	31
91.01.25	9:00:00	3.62	9.31	23	14.30	16.42

### ۳- نتایج و بحث

#### ۳-۱- بررسی روند دما و بارش از گذشته تا حال با آزمون من‌کندال

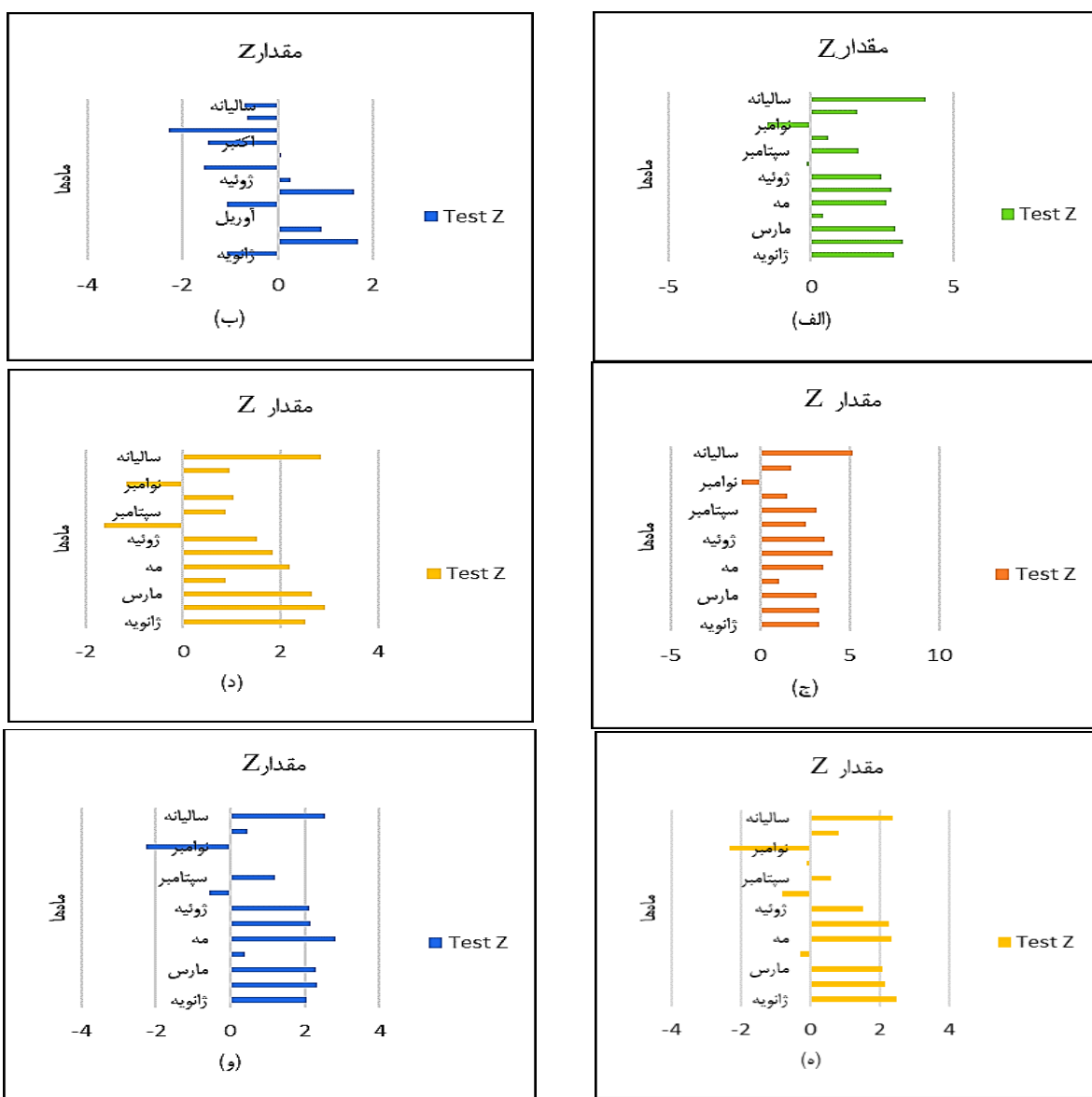
روند فصلی در زمستان بارش کاهشی بوده و باقی فصول افزایشی نشان داده شده است. در نهایت ایستگاه مهرآباد ماه نوامبر را معنادار و افزایشی و ماه اکتبر را معنادار نشان داده است و باقی ماه‌ها برای این ایستگاه روندی کاهشی داشته است، روند فصلی میزان بارش در زمستان و بهار در این ایستگاه کاهشی بود و پاییز و تابستان روندی افزایشی داشته است. در شکل (۳) ایستگاه‌های آبدلی، شمیران و مهرآباد را برای بررسی روند سری زمانی دمای حداقل و حداکثر نشان داده است. یافته‌های بررسی دما برای روند دماهای حداقل و حداکثر ایستگاه‌های (آبدلی، شمیران و مهرآباد) افزایشی نشان داده است. بنابراین، نتایج به‌دست آمده از روند تغییرات بارش و دمای حداقل و حداکثر با استفاده از آزمون من‌کندال وجود روند را در برخی از ماه‌ها در هر سه ایستگاه بسیار شبیه هم نشان داده است. از این جهت یکی از عوامل روند کاهش بارندگی در برخی، ماه‌ها می‌تواند دلیلی بر تغییر اقلیم باشد. یافته‌های این پژوهش با مطالعات (Hejazizadeh and Parvin, 2009; Alavinia and Zarei, 2021) مطابقت دارد.

در این پژوهش برای بررسی و شناسایی روند تغییرات دما و بارش برای ایستگاه‌های آبدلی، شمیران و مهرآباد از آزمون من‌کندال در سطح اطمینان ۹۹ و ۹۵ درصد استفاده شد. وجود روند در بارش می‌تواند دال بر شواهدی از تغییر اقلیم در یک مکان باشد و اقلیم هم تأثیر مستقیم در شدت و توزیع بارندگی دارد، در شکل (۲) ایستگاه‌های آبدلی، مهرآباد و شمیران برای بررسی روند بارش نشان داده است. یافته‌های بررسی روند بارش نشان داد، میزان بارش در ایستگاه آبدلی در ماه اکتبر با روندی افزایشی مواجه بوده است. در سری زمانی روند فصلی در این ایستگاه فصل زمستان با روندی کاهشی و فصل بهار و تابستان و پاییز روندی افزایشی داشته است، این درحالی است که در ایستگاه شمیران در ماه نوامبر روندی معنادار و افزایشی و مابقی ماه‌ها روندی کاهشی و در ماه آوریل و ژانویه معنادار بوده است و مانند ایستگاه آبدلی



شکل ۲- روند سری زمانی فصلی من کندال بارش ایستگاه‌های الف) آبعلی، ب) شمیران و ج) مهرآباد برای دوره ۳۲ ساله، بازه زمانی ۱۹۸۸-۲۰۲۰

Figure 2 - Seasonal time series trend of Mann-Kendall precipitation of stations a) Abali b) Shemiran c) Mehrabad, for a period of 32 years, period 1988-2020



شکل ۳- روند سری زمانی فصلی من کندال ایستگاه‌های الف) آبعلی، ب) آبعلی، دمای حداکثر، ج) شمیران، دمای حداکثر، د) شمیران، دمای حداقل، ه) مهرآباد، دمای حداکثر و و) مهرآباد، دمای حداقل

Figure 3 - Seasonal time series trend of Kendall stations A) Abali, maximum temperature, B) Abali, minimum temperature, C) Shemiran, maximum temperature, D) Shemiran, minimum temperature, E) Mehrabad, maximum temperature and F) Mehrabad, minimum temperature

## ۳-۲- بررسی روند نمایه‌های حدی با RCLIMDEX

در طی قرن گذشته آب و هوای جهانی روند گرم شدن قابل توجهی داشته است و شدت و فراوانی و مدت زمان دمای حداکثر و بارش‌های سیل‌آسا در برخی مناطق تغییر کرده است. نتایج یافته‌ها برای بررسی روند ایستگاه‌ها، برای شش نمایه دما و نه نمایه حدی بارش استان تهران نشان داده است که، جدول (۶) نمایه‌های حدی دما (TXx-TNx) که بیان‌گر (بیشینه و کمینه ماهانه دمای حداکثر روزانه) است، در هر سه ایستگاه روندی

افزایشی بوده است، نمایه حدی (TX90p-TN90p) که بیان‌گر (روزهای گرم و شب‌های گرم) است که در هر سه ایستگاه (آبعلی، شمیران، مهرآباد) روندی افزایشی را نشان داده است و برای نمایه حدی (WSDI) که بیان‌گر شاخص حدی طول مدت گرما است، در هر سه ایستگاه روندی افزایشی بوده است، در نهایت آخرین شاخص حدی مورد مطالعه (CSDI) که این نمایه هم برای هر سه ایستگاه روندی مثبت و افزایشی بود.

جدول ۶- شیب خط روند نمایه‌های حدی دما (۱۹۸۸-۲۰۲۰)

Table 6- Slope of trend line of temperature Extreme indices (1988-2020)

ایستگاه	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	TXx	TNx	TX90P	TN90P	CSDI	WSDI
آبعلی	35.75	51.88	0.05	0.046	0.355	0.187	-0.247	0.368
مهرآباد	35.69	51.3	0.028	0.018	0.18	0.111	-0.106	0.185
شمیران	35.79	51.48	0.102	0.041	0.527	0.139	-0.269	0.383

۰/۳ بوده است و از طرفی برای مهرآباد و شمیران روندی منفی و کاهش‌ی بدون معناداری را نشان داده است. که ضریب تعیین در ایستگاه شمیران ۰/۶ است، هم‌چنین ضریب تعیین برای ایستگاه مهرآباد ۰/۲ بوده است.

R95P نمایه روزهای خیلی مرطوب را نشان داده است. از این نمایه برای جمع بارش روزانه بزرگ‌تر از صدک ۹۵ دوره ۱۹۸۸-۲۰۲۰ را نمایش داده است. میزان بارش‌های سیل‌آسایی که با وقوع سیل می‌توانند همراه باشد را مشخص می‌نماید. در بررسی این نمایه ایستگاه آبعلی روندی افزایشی داشته، ولی مهرآباد و شمیران روندی افزایشی و ایستگاه مهرآباد روندی کاهش‌ی را نشان داده است. شاخص R99P نمایه روزهای فوق‌العاده مرطوب را نشان می‌دهد و بررسی این نمایه نشان داد روند این شاخص در ایستگاه آبعلی افزایشی و روند شیب ۰/۲۶ بوده و تقریباً ۱۰ درصد افزایش داشته است، اما برای ایستگاه مهرآباد روند کاهش‌ی به میزان تقریباً ۱۲ درصد بود. از طرفی در ایستگاه شمیران روند مثبت با شیب ۰/۱۴ را نشان داد که ۱۰ درصد افزایش داشته است.

CDD حداکثر طول دوره خشک که بیان‌گر حداکثر تعداد روزهای متوالی با بارش کمتر از یک میلی‌متر است را در طی دوره ۱۹۸۸-۲۰۲۰ برای ایستگاه‌های آبعلی و شمیران و مهرآباد نشان داده است. هر سه ایستگاه روندی کاهش‌ی را داشته‌اند، این میزان کاهش برای ایستگاه آبعلی ۱۵ درصد و برای ایستگاه شمیران پنج درصد بوده است. CWD نمایه حداکثر طول دوره مرطوب که بیان‌گر حداکثر روز متوالی با بارش بیش‌تر از مساوی با یک میلی‌متر را در طول دوره آماری ۳۲ ساله ایستگاه‌های آبعلی و شمیران و مهرآباد نشان داده است. این شاخص، از نوع دوره‌ای

در جدول (۷) نمایه‌های حدی بارش برای ایستگاه‌های (شمیران، آبعلی، مهرآباد) محاسبه شده است. از بررسی این نمایه‌ها دریافته شد، نمایه (RX5day) مقدار حداکثر بارش پنج روزه که بیان‌گر بارش در موج بارش‌هایی است که پنج روز دوام دارند را نشان می‌دهد، از طرفی روند این شاخص بیان‌گر تداوم فعالیت‌های سامانه‌های باران‌زا و هم‌چنین ناپایداری در دوره‌های چند روزه دلالت دارد، در هر سه ایستگاه روندی کاهش‌ی که برای ایستگاه مهرآباد ۰/۲۴۷ بیش‌ترین روند کاهش‌ی را نسبت به سایر ایستگاه‌ها نشان داده است. این شاخص از لحاظ و دیدگاه سیل‌خیزی می‌تواند حائز اهمیت باشد. نمایه R10MM به شاخص تعداد روزهای با بارش سنگین در هر یک از ایستگاه‌های آبعلی، شمیران و مهرآباد است، که مقادیر بارش بزرگ‌تر از ۱۰ میلی‌متر را که دارای فراوانی بیش‌تری بوده است نشان می‌دهد. این شاخص از نوع آستانه‌ای است، روند این شاخص برای ایستگاه آبعلی روند افزایشی بوده که به میزان تقریباً پنج درصد افزایش داشته است و ضریب تعیین در این ایستگاه ۲/۵ بوده است و از طرفی برای مهرآباد و شمیران روندی منفی و کاهش‌ی بدون معناداری را نشان داده است که ضریب تعیین در ایستگاه شمیران ۰/۶ است، هم‌چنین ضریب تعیین برای ایستگاه مهرآباد ۰/۲ بوده است. R20MM تعداد روزهای با بارش خیلی سنگین بیان‌گر این است که در ایستگاه‌های آبعلی، شمیران و مهرآباد به‌صورت بارش بیش‌تر از ۲۰ میلی‌متر در طول دوره سالانه (R20) تعریف می‌شود که این نمایه از نوع آستانه‌ای است. نمایه بارش‌های بیش‌تر از ۲۰ میلی‌متر را در طول دوره سالانه نشان داده است. ایستگاه آبعلی روند افزایشی بوده که به میزان تقریباً پنج درصد افزایش داشته است و ضریب تعیین در این ایستگاه

تهران روند کلی بارش بیش تر کاهشی و با افزایش نوسانات و رخداد های بارش های حدی مواجه باشد. به دلیل حجم زیاد نمودار ایستگاه ها تنها، در شکل (۴) برای نمونه تغییرات روند نمایه بارش ایستگاه آبدلی برای دوره زمانی ۱۹۸۸-۲۰۲۰ نشان داده شده است. یافته های مطالعات (Alavinia and Zarei, 2021) جدیدترین مطالعه در حیطه روند حدی ها در دوره ۵۰ ساله ایران است، نشان داده شده است که در طی طول دوره آماری ۵۰ ساله بزرگ ترین شیب خط روند میزان کاهش بارش را نشان داده است، که این میزان برای استان تهران هم به دست آمده؛ به طوری که روند بارش را کاهشی و افزایش دما را نشان داده است، نتایج این مطالعه با پژوهش حاضر مطابقت و همخوانی داشته است.

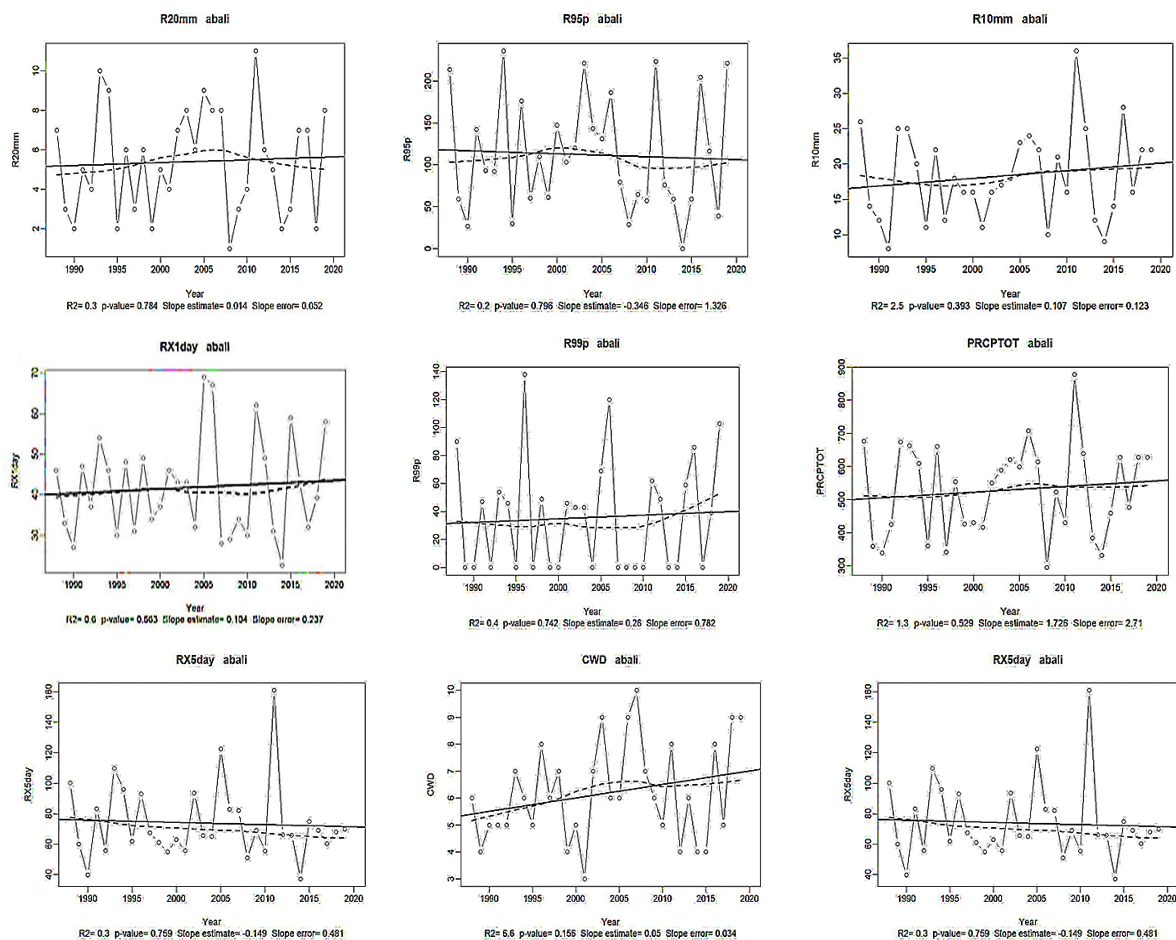
است که برای هر سه ایستگاه روندی مثبت و افزایشی نشان داد.

PRCPTOT نمایه کل بارش روزهای مرطوب که این شاخص مجموع بارندگی در روزهای با بارش مساوی و یا بیش تر از یک میلی متر که اختلاف زیادی با جمع بارش سالانه را ندارد، نشان می دهد که برای ایستگاه آبدلی روندی مثبت و افزایشی داشته، ولی برای ایستگاه های مهرآباد و شمیران روندی کاهشی داشته است. در نهایت شاخص RX1day که نمایه بیش ترین بارش های یک روزه را نشان داده است. بیان گر به نوعی شدت بارش روزانه است، در این بررسی دریافت شد که ایستگاه آبدلی روندی افزایشی داشته و ایستگاه های شمیران و مهرآباد روندی کاهشی را نشان داده است. با توجه به یافته ها انتظار می رود در

جدول ۷- شیب خط نمایه های حدی بارش (۱۹۸۸-۲۰۲۰)

Table 7- Slope of precipitation Extreme indices (1988-2020)

ایستگاه	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	R10MM	R20MM	R95P	R99P	CDD	CWD	Prcptot	RX1day	RX5day
آبدلی	35.75	51.88	0.107	0.014	-0.34	0.26	-0.57	0.05	1.73	0.104	-0.150
مهرآباد	35.69	51.3	-0.015	-0.014	-0.54	-0.35	-0.21	0.016	-0.81	-0.228	-0.25
شمیران	35.79	51.48	-0.04	-0.02	-1.49	0.14	-1.49	0.142	-0.84	-0.19	-0.178



شکل ۴- نمایه های حدی بارش (۱۹۸۸-۲۰۲۰)

Figure 4- Extreme Indices of Precipitation Abali Station (1988-2020)

**۳-۳- بررسی دما و بارش‌های آینده با SDSM-DC:**

یافته‌های بارش و دما در افق آتی بر اساس تغییرات در هر فصل و به‌طور سالیانه مورد بررسی قرار گرفت. طبق شکل (۵) مقادیر مشاهداتی در شبیه‌سازی بارش بیان‌گر این است که مدل در بازسازی داده‌های مشاهداتی در ایستگاه شمیران عملکرد مطلوب و قوی نشان داده و توان پیش‌بینی برای آینده را دارا است و طبق مجموع و واریانس مدل و داده‌های مشاهده‌ای ایستگاه شمیران پیش‌بینی می‌شود، برای افق نزدیک ۲۰۲۱-۲۰۵۱ در ماه مارس با افزایش بارش به حدود ۸۰ میلی‌متر را داشته باشد و در ماه دسامبر روندی کاهشی حدود ۶۰ میلی‌متر را خواهد داشت و از طرفی در ماه‌های ژوئن، ژوئیه، اوت و سپتامبر با روندی کاهشی و روزهایی غیر بارندگی یا کاهش بارندگی خواهد داشت. در پیش‌بینی افق دور ۲۰۵۲-۲۰۸۳ افزایش بارندگی در ماه دسامبر از ۶۰ به حدود ۷۰ میلی‌متر خواهد بود؛ کم‌ترین میزان بارش برای این سال‌ها برای ماه اوت حدود ۲ میلی‌متر است و تغییرات فصلی ناشی از پارامتر بارش در زمستان سال‌های ۲۰۵۲-۲۰۸۳ بیش‌ترین حداکثر مجموع بارش را به خود اختصاص می‌دهد. برای دمای ایستگاه شمیران میانگین در نظر گرفته شده و دما روندی افزایشی برای افق نزدیک ۲۰۵۱-۲۰۲۱ با توجه به سناریوی RCP8.5 که با توجه به ماهیت این سناریو مقادیر گازهای گلخانه‌ای به‌عنوان حداکثر مقادیر را که در می‌گیرد، بیش‌ترین دما سالانه متعلق به ماه‌های ژوئن و ژوئیه و اوت خواهد بود، در افق دور ۲۰۵۲-۲۰۸۳ با روندی کاهشی نسبت به دوره اول را خواهد داشت. در مجموع بارش برای ایستگاه سینوپتیک آبعلی تا حدودی دارای بیش‌برآوردی در ماه مارس بوده که حدود ۱۱۰ میلی‌متر روندی افزایشی در افق نزدیک ۲۰۲۱-۲۰۵۱ را نسبت به دوره مشاهداتی نشان داده است. از طرفی در ماه‌های ژوئن، ژوئیه، اوت، سپتامبر روندی کاهشی از بارش را خواهد داشت، روندی کاهشی نسبت به دوره مشاهداتی در ماه دسامبر مشاهده شد، در ماه مارس میزان مجموع بارش برای افق دور با روندی افزایشی نسبت به فصل‌های دیگر پیش‌بینی شده است. کم بارش‌ترین ماه متعلق به اوت است. در ادامه ایستگاه آبعلی در مورد دما هم این مدل طبق سناریوی RCP8.5 در شبیه‌سازی کارایی بالایی داشت و موفق بوده و همان‌طور که انتظار می‌رود، مطابق شکل (۵) از دقت مناسبی برخوردار است و داده‌های مشاهداتی و پیش‌بینی بر هم منطبق و پوشش مناسبی را برای پیش‌بینی دمای طولانی‌مدت دارا هستند. در ماه‌های ژوئیه و اوت در هر دو افق آتی ۲۰۲۱-۲۰۸۳ روندی افزایشی و حداکثر دما پیش‌بینی می‌شود. از طرفی بیش‌ترین روند فصلی متعلق به تابستان و کم‌ترین روند متعلق به فصل زمستان پیش‌بینی شده است. در نهایت در ایستگاه مهرآباد مشخص شد

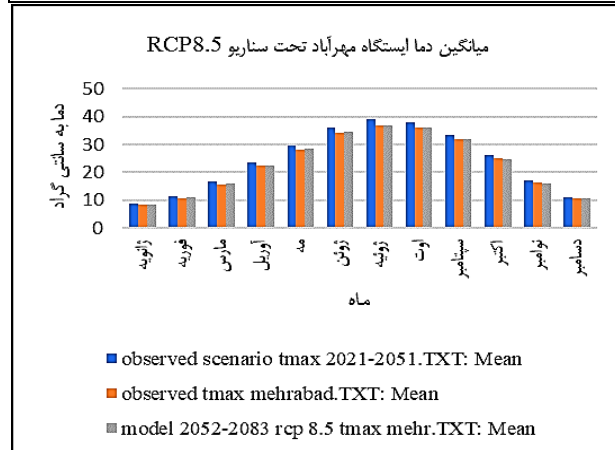
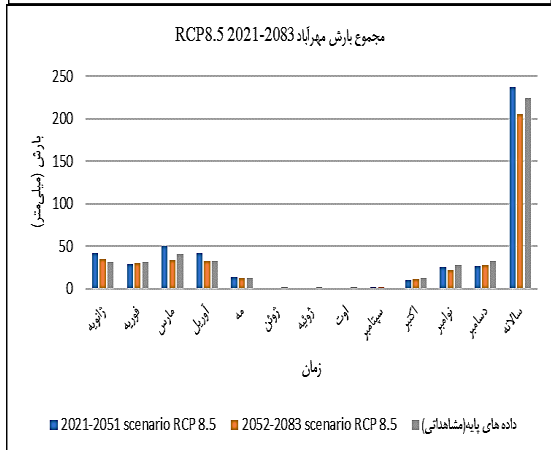
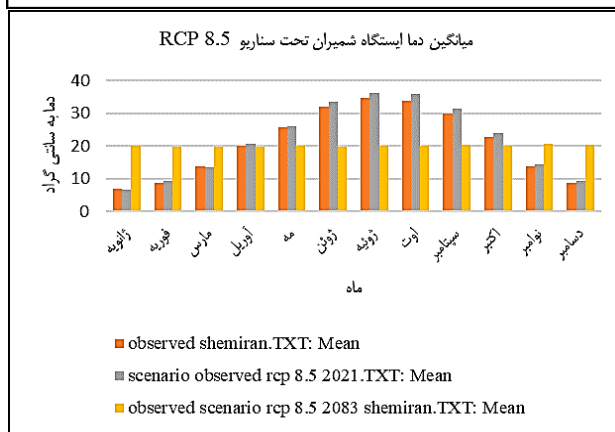
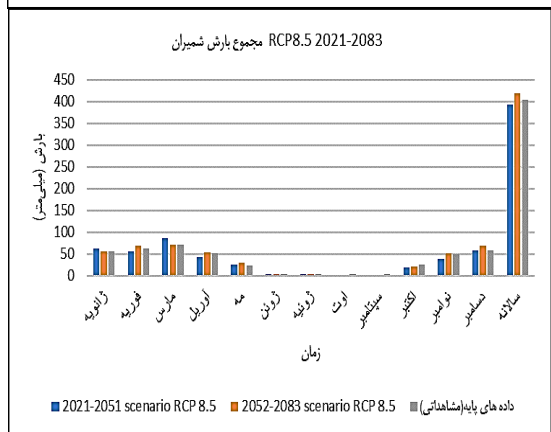
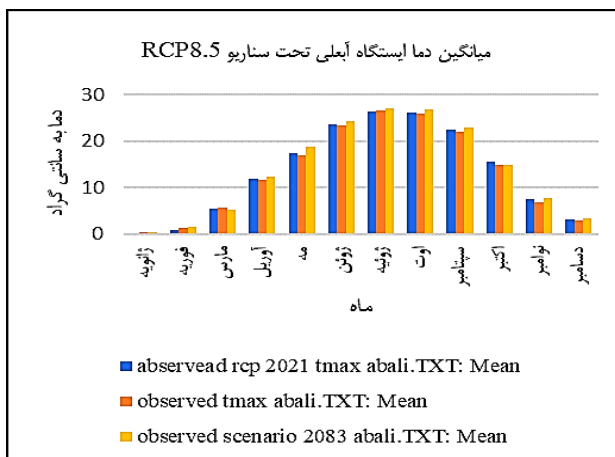
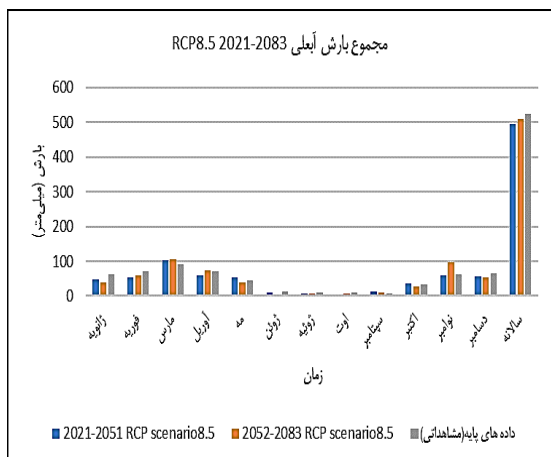
روزهایی که میزان بارندگی آنها کم‌تر از یک میلی‌متر باشد، به روزهایی خشک یا بدون بارندگی محسوب می‌شود. همان‌طور برای افق نزدیک در ماه سپتامبر میزان بارش در آینده به کمتر از یک میلی‌متر در آینده در ایستگاه مهرآباد خواهد رسید و به‌عنوان خشک‌ترین ماه در آینده تلقی می‌شود. از طرفی در ماه مارس تحت سناریو RCP8.5 به نزدیک ۴۸ میلی‌متر خواهد رسید. که نسبت به داده‌های مشاهداتی دارای بیش‌برآوردی (بارش بیش‌تر) مشاهده شد و روندی افزایشی خواهد داشت، اما مجدد از ماه دسامبر با روندی کاهشی نسبت به ماه مارس به حدود ۳۸ میلی‌متر می‌رسد. مجموع سالانه بارش دوره ۲۰۲۱-۲۰۸۳ ایستگاه مهرآباد که نسبت به افق دور ۲۰۵۲-۲۰۸۳ دارای افزایش بارندگی نسبت به دوره بعدی است، از لحاظ تغییرات فصلی ناشی از تغییر اقلیم فصل تابستان در هر دو دوره به کم‌تر از یک میلی‌متر بارش خواهد رسید. در فصل بهار با روندی افزایشی و صعودی در ۲۰۲۱-۲۰۵۱ پیش‌بینی شده است. مدل SDSM-DC برای دما ایستگاه مهرآباد محاسبه شده؛ مدل به صورت قوی عمل کرده و پیش‌بینی دما در ایستگاه مهرآباد کاملاً روندی افزایشی دارد و بیش‌ترین ماه‌های اوت و ژوئیه به حداکثر میانگین دما نسبت به دوره مشاهداتی حدود دو درجه در سال ۲۰۲۱-۲۰۵۱ پیش‌بینی شده، خواهد رسید. از لحاظ تغییرات ناشی تغییر اقلیم فصلی طبق سناریو RCP8.5 بیشینه دما در فصل تابستان روندی افزایشی نشان داده، بعد از آن فصل پاییز و بهار در مراحل بعدی قرار دارند. کم‌ترین دمای حداکثر برای فصل زمستان پیش‌بینی شده است. در شکل (۵) سری زمانی فصلی و سالیانه دما و بارش ایستگاه (آبعلی، شمیران، مهرآباد) تحت سناریو RCP8.5 نشان داده شده است.

**۳-۴- بررسی بارش و رواناب و دوره بازگشت با HEC-HMS:**

در استان تهران چهار دوره در طی سال‌های ۱۳۸۶، ۱۳۹۱، ۱۳۹۴ در بین ایستگاه‌های مورد مطالعه مشترک بود، و بیش‌ترین پیک دبی مربوط به این دوره‌ها است. از این میان سال‌های مذکور سیلاب ایستگاه هیدرومتری جهان‌آباد رودخانه کن برای ۱۳۹۱/۱/۲۶ به عنوان نمونه مورد استفاده قرار گرفت. کلان‌شهر تهران پهنه‌ای با تمرکز جمعیت است و زهکش‌های فراوانی را از ارتفاعات شمالی دریافت می‌کند، رواناب‌های ناشی از دوره سرد سال به طور مستقیم وارد شهر تهران می‌شود. هر چه از جنوب تهران (ایستگاه جهان‌آباد) به شمال تهران پیش برویم میزان ارتفاع و شیب افزایش پیدا خواهد کرد. این اختلاف می‌تواند بر سرعت رواناب افزایش داده شود و زمان رسیدن به دبی پیک و

داد. طبق داده‌های دریافتی رگبار برای ایستگاه امامزاده داوود، مشخص شد که بارش در تاریخ ۱۳۹۱/۱/۲۵ در ساعت ۱۹ شروع شده و تا ساعت ۹:۳۰ به‌طور بارش رگباری و شدید بارندگی داشته است.

احتمال سیل‌خیزی را افزایش دهد. شکل (۶) سیلاب فروردین سال ۱۳۹۱، ارتفاع حجم شبیه‌سازی شده مدل نسبت به سیلاب مشاهده‌ای به میزان (۰/۵ میلی‌متر) کاهش را نشان می‌دهد و از طرفی هم دبی شبیه‌سازی شده نسبت به دبی سیلاب مشاهده‌ای به میزان (۱۶/۶۷ متر مکعب) کاهش را نشان



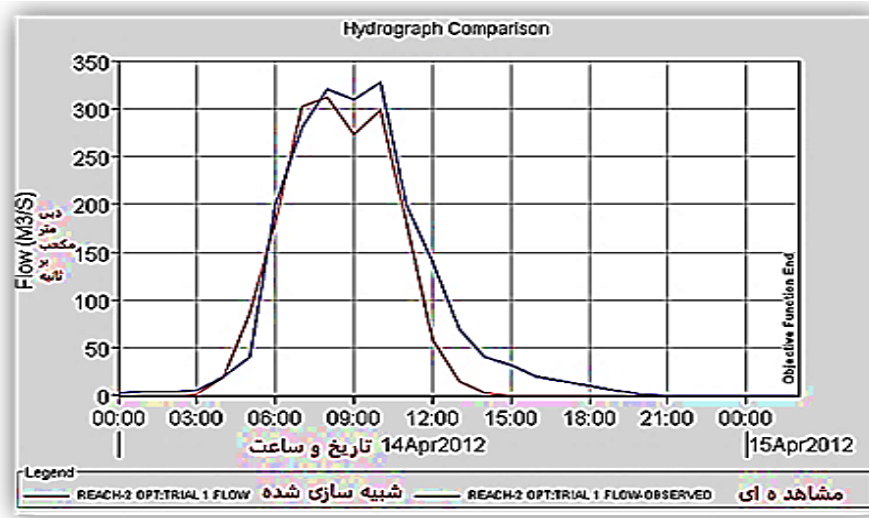
شکل ۵- میانگین دما و مجموع بارش سالانه و ماهانه ایستگاه‌های (مهرآباد، شمیران، آبدلی) دوره زمانی ۲۰۲۱-۲۰۸۳  
 Figure 5- Average temperature and total annual and months rainfall of the stations (Mehrabad, Shemiran, Abali) period 2021-2083

سامانه‌های آبخیز موجب بلایای محیط زیستی منجر شده است (Zareie et al., 2020). بنابراین، در برنامه‌ریزی‌های منابع آب میزان طول دوره بازگشت برای رخداد یک حداکثر بارش محتمل

امروزه کشورهای درحال توسعه به شدت تحت تأثیر تغییر اقلیم قرار گرفته‌اند و تجربیات کسب شده در برنامه‌ریزی حوضه‌های آبخیز نشان داده است که چگونه عدم درک زیر

اقدام به همانندسازی رفتار سیلاب برای دوره بازگشت‌های مختلف پرداخته شده است، جدول (۸). یافته‌های پژوهش حاضر از تحلیل فراوانی داده‌های بارش ایستگاه هیدرومتری جهان‌آباد برای دوره بازگشت‌های مختلف دو الی ۱۰۰ ساله با استفاده از نرم‌افزار SMADA و مدل HEC-HMS جهت توزیع بارش‌ها و به‌دست آوردن سیلاب و احتمال وقوع زیاد سیلاب در حوضه آبخیز کن صورت گرفت، نتایج جدول (۹) نشان داد که هم‌سو است. در شکل (۷) دوره بازگشت شبیه‌سازی سیلاب ۲ و ۱۰۰ سال برای نمونه نشان داده شده است.

می‌تواند دارای اهمیت باشد؛ زیرا وقوع رخداد سیلاب و شرایط حاد هیدرولوژیکی در اثر بارش‌های سیل‌آسا با دوره بازگشت‌ها متفاوت است، و بیش‌تر وقوع این سیلاب‌ها در بیش‌تر مواقع ناشی از ریزش بارش‌های حدی است. از طرفی بررسی تغییر اقلیم و پیامدهای آن بر فرآیندهای چرخه هیدرولوژیکی حوضه آبخیز به برنامه‌ریزان منابع آب برای چالش‌ها در دوره‌های آتی بسیار کمک خواهد کرد (Aghabeigi et al., 2019). بنابراین، در ادامه برای تعیین پاسخ حوضه در برابر رگبارهای طرح با اعمال تغییرات ایجاد شده (تبدیل از دقیقه به ساعت)



شکل ۶- هیدروگراف مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده در سیلاب فروردین ۱۳۹۱ ایستگاه هیدرومتری جهان‌آباد-حوضه کن  
Figure 7 - Observed and simulated hydrograph in April2012 Jahanabad Hydrometric Station-Basin Kan

جدول ۸- دوره بازگشت با SMADA و شبیه‌سازی با HEC-HMS در ایستگاه امامزاده داوود

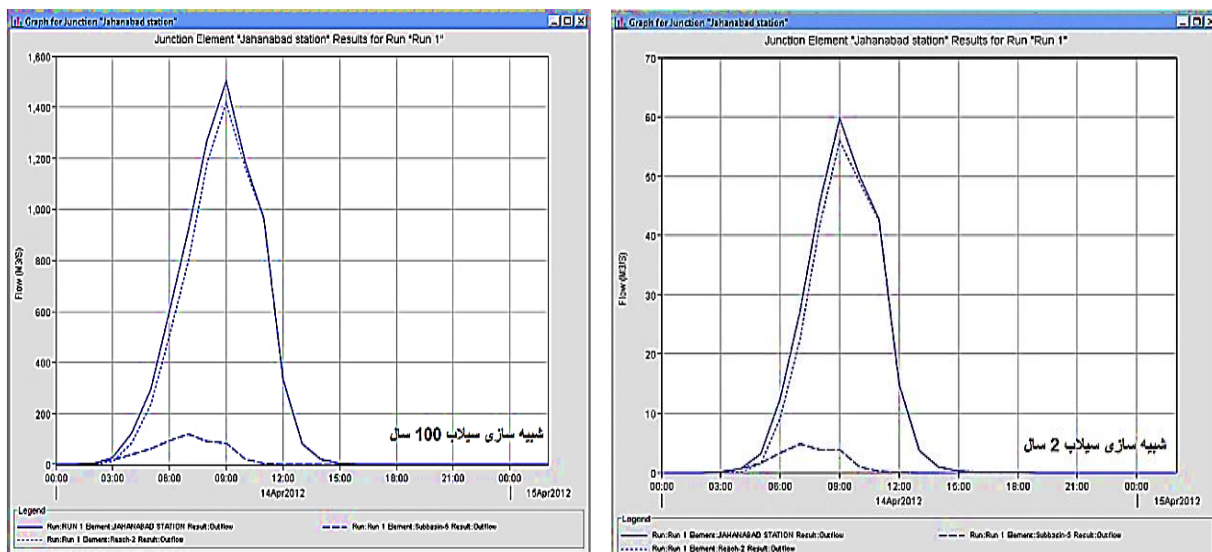
Table 8- Return period with SMADA and simulation with HEC-HMS At the station of Imamzadeh Davood

تاریخ	واحد بارش بر اساس میلی‌متر	سال دوره بازگشت	دوره بازگشت با smada			شبیه‌سازی بارش 2 ساعته با HEC-HMS			
			میانگین بارش	2 ساله	10 ساله	25 ساله	50 ساله	100 ساله	
91.01.25		200	126.1	0.03	0.08	0.10	0.12	0.14	
91.01.25		100	111.78	0.23	0.59	0.78	0.91	1.05	
91.01.25		50	97.41	1.06	2.74	3.58	4.20	4.82	
91.01.25		25	82.94	2.66	6.85	8.96	10.51	12.07	
91.01.25		10	63.42	4.28	11.02	14.41	16.92	19.42	
91.01.25		5	47.98	5.93	15.23	19.93	23.40	26.85	
91.01.25		3	35.71	6.84	17.59	23	27.01	31	
91.01.25		2	24.65	6.62	9.32	23	14.30	16.42	

جدول ۹- حجم حداکثر سیلاب شبیه‌سازی شده با دوره بازگشت‌های مختلف حوضه آبخیز کن با HEC-HMS

Table 9- Maximum flood volume simulated with different return periods of the watershed kan with HEC-HMS

دوره بازگشت	2	5	10	25	50	100
حجم سیلاب (متر مکعب)	59.8	269.64	483.83	1058.67	1147.7	1501.7



شکل ۷- شبیه سازی سیلاب با دوره بازگشت حوضه آبخیز کن با مدل HEC-HMS

Figure 7- Flood simulation with the return period of the watershed Kan with the HEC-HMS model

بازگشت‌های مختلف دو تا ۱۰۰ به تدریج افزایش دبی و حجم رواناب را نشان داده است. در مورد تلفیق قطعیت دو مدل-HEC و HMS و مدل SDSM-DC می‌توان این‌گونه بیان کرد، با توجه به بارش‌ها و سیلاب رودخانه کن که به‌عنوان نمونه انتخاب شده بود، میزان پیش‌بینی بارش‌ها و دوره بازگشت سیلاب، و شبیه‌سازی توسط مدل بارش و رواناب در آینده هم‌خوانی دارد. به‌طوری‌که ضمن کاهش بارش، در صورت تداوم بارش‌های رگباری منجر به سیلاب خواهد شد. در تجزیه و تحلیل کلی از اثر تغییر اقلیم بر بارش نشان داده است که آب و هوا در حال تغییر است و کاهش بارش روزانه و افزایش دما و در نتیجه گرم شدن نسبی در استان تهران پیش‌بینی می‌شود. وقتی منطقه‌ای رو به خشکی بیانجامد ریسک سیلاب هم بیشتر است و این وضعیت در کلان‌شهرهایی چون تهران به سبب شکل‌گیری پدیده جزیره گرمایی<sup>۱</sup> بارزتر است. پیامد آن هم وارد آمدن خسارات جانی و مالی و زیر بنایی خواهد بود. میزان بارش در ایران ۰/۶ میلی‌متر نسبت به ۵۰ سال گذشته کمتر شده است و میانگین دما به‌طور کلی ۰/۴ درجه افزایش داشته که کلان‌شهر تهران هم از این قاعده مستثنی نیست. بنابراین، تهران از لحاظ بارشی خشک‌تر و گرم‌تر و با خطر ریسک بالای سیلاب مواجه خواهد شد. دلیل اصلی بارش ناکافی ناشی از گرم شدن و افزایش دما است که با افزایش بارش‌های رگباری منجر به سیلاب خواهد داشت. لذا، طرح برنامه‌ای جامع برای کاهش اثر تغییر اقلیم و آینده‌نگری‌های اقلیمی در تهران باید مورد توجه قرار گیرد. لازم به‌ذکر است در جدیدترین مطالعات نهایی گزارش ششم هیأت بین‌الدول تغییر اقلیم اعلام شد که دمای سطح زمین در آینده نیز

بنابراین، با توجه به هیدروگراف و محاسبه دوره بازگشت، مدیریت سیل (غیرسازه‌ای) حائز اهمیت است. با توجه به محاسبه دوره بازگشت‌های مختلف حداکثر پتانسیل سیلاب‌ها می‌تواند در اطراف حوضه‌های آبریز رخ دهد. با سیل خیز بودن رودخانه کن و افزایش بارندگی‌ها بالطبع رواناب‌ها هم افزایش می‌یابند که دبی حداکثر رواناب‌ها هم افزایش خواهد یافت.

#### ۴- نتیجه‌گیری

تغییرات آب و هوایی باعث تغییرات زیادی در فرآیندهای هیدرولوژیکی و شرایط اقلیمی در سطح جهان شده است و این در حالی است که رخدادهای حدی احتمالاً بیش‌تر در مقیاس جهانی با گرم‌شدن مداوم رخ می‌دهند. سرزمین ایران جز آن دسته از کشورهای است که ضریب تأثیرپذیری از تغییرات اقلیمی در آن بالا است. بررسی نتایج دما در استان تهران در ایستگاه‌های (آبعلی، شمیران، مهرآباد) روند افزایشی نشان داده است. همان‌طور برای روند بارش‌های سیل‌آسا و فراوانی سیلاب‌ها در آینده با مدل SDSM-DC نشان داد که افزایشی خواهد بود؛ به طوری که رفتار بارش در دهه‌های آتی به‌گونه‌ای خواهد بود که ضمن کاهش، نوسانات آن افزایش خواهد یافت. اقلیم تهران در آینده نسبت به شرایط فعلی دارای نوسان بیش‌تری در بارش خواهد داشت و گرم‌تر خواهد شد. که این افزایش و فراوانی در بارش محتمل این است که فراوانی سیل را بیش‌تر و رخداد آن را تقویت نماید، ضمن این‌که بارش‌ها تصادفی‌تر ولی با شدت بیش‌تر رخ خواهد داد. دبی سیلاب شبیه‌سازی شده با مدل بارش-رواناب نسبت به سیلاب مشاهداتی در ایستگاه جهان‌آباد به میزان پنج درصد کاهش خواهد یافت. از طرفی در دوره

<sup>1</sup> Urban heat island



شده و مدیریت منابع آب نیازمند برنامه‌ریزی محلی باید باشد و از استقرار مراکز متمرکز و یکنواخت در کناره حوضه‌ها بپرهیزد (Climatology and Meteorology Working Group, 2020; Alavinia and Zarei, 2021; IPCC, 2021). بنابراین، نتایج این پژوهش با آخرین مطالعات صورت گرفته هم‌خوانی و مطابقت دارد.

دارند، م. (۱۳۹۹). پیش‌نگری و مدل‌سازی تغییر اقلیم ایران به کمک مدل ریزمقیاس‌نمایی آماری SDSM و سناریوهای مختلف RCP. گزارش نهایی طرح پژوهشی، دانشگاه کردستان.

زارعی، ش.، حزباوی، ز.، مصطفی‌زاده، ر.، و اسمعیلی‌عوری، ا. (۱۳۹۹). مقایسه آسیب‌پذیری زیرحوضه‌های آبخیز سامیان بر اساس تغییرات مولفه‌های اقلیمی. *پژوهش‌های جغرافیای طبیعی*، ۵۲ (۲)، ۲۱۷-۲۲۶.

شیخ بیگلر اسلام، ب. (۱۴۰۰). شواهد و پیامدهای رویداد سیل در ایران از پیش از تاریخ تاکنون. *مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک*، ۱۱ (۱)، ۳۴-۳۹.

علی‌محمدی، ع. (۱۳۸۸). مطالعات منابع طبیعی و زیست‌محیطی تحلیل وضعیت اقلیمی. گزارش نهایی، معاونت برنامه‌ریزی استان‌داری تهران.

علی‌محمدی، ع. (۱۳۸۸). مطالعات منابع طبیعی و محیط زیست تحلیل منابع آب، گزارش نهایی، معاونت برنامه‌ریزی استان‌داری تهران. عینعلی، س. (۱۳۹۶). مروری بر حادثه سیلاب متروی تهران فروردین ۱۳۹۱. هشتمین کنگره بین‌المللی سلامت در حوادث و بلایا، وزارت بهداشت.

فهمی‌نژاد، ا.، باعقیده، م.، باباییان، ا.، و انتظاری، ع. (۱۳۹۸). شبیه‌سازی اثر گرمایش جهانی بر میانگین و رخدادهای حدی برخی متغیرهای هیدرواقلمی در حوضه آبریز شان‌دیز. *نشریه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی*، ۳، ۲۷-۴۸.

کردجی، م.، باقریان، س.، بابائیان، ا.، و محمدکمانی، ا. (۱۳۹۲). بررسی اثرات تغییر اقلیم بر بارش‌های سیل‌آسا در استان گلستان. پنجمین کنفرانس بین‌المللی مدیریت جامع بحران‌های طبیعی، دبیرخانه دائمی کنفرانس مدیریت جامع بحران.

گزارش کار گروه اقلیم‌شناسی و هواشناسی، (۱۳۹۹). مطالعات ملی سیلاب‌ها، ایران.

افزایش خواهد یافت، حتی اگر بهترین سناریوها برای کاهش انتشار در نظر گرفته شود، این امر تا اواسط قرن جاری ادامه خواهد یافت. اگر تمام تمهیدات لازم برای کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای صورت گیرد گرمایش جهانی در حدود ۱/۵ تا دو درجه در قرن ۲۱ صورت خواهد گرفت و سبب افزایش فراوانی و شدت وقوع حالت‌های جدی هواشناختی و اقلیم، مانند بارش‌های سیل‌آسا در آینده خواهد شد، بارش‌ها به صورت محلی و شدیدتر

## منابع

احمدآبادی، ع.، و صدیقی‌فر، ز. (۱۳۹۷). پیش‌بینی اثرات تغییر اقلیم بر خصوصیات هیدروژئومورفولوژی حوضه آبریز کن بر اساس مدل ریزمقیاس‌نمایی آماری. *تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی*، ۱۱۴-۱۰۳ (۵۱)، ۱۱۴-۱۰۳.

آقایی، ن.، اسمعیلی‌عوری، ا.، مصطفی‌زاده، ر.، گلشن، م. (۱۳۹۸). اثرات تغییر اقلیم بر رواناب با مدل هیدرولوژیکی IHACRES در برخی از حوضه‌های آبخیز استان اردبیل. *نشریه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب ایران*، ۱۰ (۲)، ۱۷۸-۱۸۹. براتی، ز.، و نصیری، م. (۱۳۹۰). اثرات فعالیت‌های انسانی بر سیل‌خیزی تهران مطالعه موردی حوضه دربند و گلابدره. اولین همایش ملی تحلیل فضایی مخاطرات محیطی کلان‌شهر تهران، دانشگاه تهران.

بیت‌اللهی، ع. (۱۳۹۸). خطر سیل تهران و اقدامات اولویت‌دار مورد نیاز. گزارش نهایی، بخش مرکز زلزله‌شناسی مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی.

حجازی‌زاده، ز.، فتاحی، ع.، و مساح بویانی، ع.، و ناصرزاده، م. (۱۳۹۱). ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر هیدروگرافی سیلاب در دوره‌های آبی مطالعه موردی: حوضه آبریز بختیاری. *جغرافیا*، ۱۰ (۳۴)، ۲۴-۵.

حجازی‌زاده، ز.، و پروین، ن. (۱۳۸۸). بررسی تغییرات دما و بارندگی تهران در نیم قرن اخیر. *جغرافیا و برنامه‌ریزی منطقه‌ای*، ۱ (پیش شماره)، ۴۳-۵۶.

حسینی، ع. (۱۳۹۳). تعیین شاخص‌های مکانی پتانسیل سیل‌خیزی با استفاده از مدل هیدرولوژیکی HEC-HMS مطالعه موردی (حوضه آبخیز طالقان)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه خوارزمی تهران.

## References

Aghabeigi, N., Esmali Ouri, A., Mostafazade, R., & Golshan, M. (2019). The effects of climate change on runoff using IHACRES hydrologic model in some of watersheds, Ardabil Province. *Irrigation and Water Engineering*, 10(2), 178-189. (in Persian).

Ahmadaabadi, A., & Sedighifar, Z. (2018). Predicting the effects of climate change on the hydrogeomorphological characteristics of the catchment based on a statistical microscale model. *Applied Research in Geographical Sciences (Geographical Sciences)*, 18 (51), 103-114. (in Persian).

- Ahmadi, H., Rostami, N., & Dadashi-roudbari, A. (2020). Projected climate change in the Karkheh Basin, Iran, based on CORDEX models. *Theoretical and Applied Climatology*, 142(1), 661-673.
- Alavinia, S.H., & Zarei, M. (2021). Analysis of spatial changes of extreme precipitation and temperature in Iran over a 50-year period. *International Journal of Climatology*, 41, E2269-E2289.
- AliMohammadi, A. (2009). Natural resource and environmental studies, Climate Status Analysis, Tehran Governorate. Final report, Deputy of Planning (in Persian).
- AliMohammadi, A. (2009). Natural resource and environmental studies water resources analysis. Final report, Deputy of Planning (in Persian).
- Bai, Y., Zhang, Z., & Zhao, W. (2019). Assessing the impact of climate change on flood events using HEC-HMS and CMIP5. *Water, Air, & Soil Pollution*, 230(6), 119.
- Barati, Z., & Nasiri, M. (2011). Effects of human activities on flooding in Tehran: A case study of Darband and Golabdereh basins. First national conference on spatial analysis of environmental hazards in Tehran, University of Tehran (in Persian).
- Beitulahi, A. (2019). Tehran flood risk and priority measures required. Final report, Seismology Center, Road, Housing and Urban Development Research Center (in Persian).
- Climatology and Meteorology Working Group* (2020). National flood studies, Iran (in Persian).
- Darand, M. (2020). Predicting and modeling Iran's climate change using the SDSM statistical microscale model and various RCP scenarios. Final report of research project, University of Kurdistan (in Persian).
- Dissanayaka, K.D.C.R., & Rajapakse, R.L.H.L. (2019). Long-term precipitation trends and climate extremes in the Kelani River basin, Sri Lanka, and their impact on streamflow variability under climate change. *Paddy and Water Environment*, 17(2), 281-289.
- 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.
- Einali, S. (2017). A Review of Tehran Metro Flood Incident April 2012. 8th International Health Congress on Accidents and Disasters, Ministry of Health (in Persian).
- Fathian, F., Ghadami, M., Haghighi, P., Amini, M., Naderi, S., & Ghaedi, Z. (2020). Assessment of changes in climate extremes of temperature and precipitation over Iran. *Theoretical and Applied Climatology*, 141, 1119-1133.
- Fahiminejad, A., Baeqideh, M., Babaian, A., & Entezari, A. (2019). Simulation of the effect of global warming on the mean and limit events of some hydro-climatic variables in the Shandiz catchment. *Journal of Spatial Analysis of Environmental Hazards*, 3, 27-48 (in Persian).
- Gao, C., He, Z., Pan, S., Xuan, W., & Xu, Y.P. (2020). Effects of climate change on peak runoff and flood levels in Qu River Basin, East China. *Journal of Hydro-Environment Research*, 28, 34-47.
- Habibnejad, R., & Shokoohi, A. (2020). Evaluating intensity, duration and frequency of short duration rainfalls using a regional climate change model (Case study: Tehran). *Iran-Water Resources Research*, 15(4), 412-424 (in Persian).
- Hejazizadeh, Z., Fattahi, A., Massah Boani, A., & Naserzadeh, M. (2012). Assessing the effects of climate change on flood hydrography in future periods Case study: Bakhtiari catchment. *Geography*, 10 (34), 24-5 (in Persian).
- Hejazizadeh, Z., & Parvin, N. (2009). Investigation of temperature and precipitation changes in Tehran during the last half century. *Geography and Regional Planning*, 1 (prefix), 43-56. (in Persian).
- Hosseini, A. (2014). Determination of spatial indicators of flood potential using HEC-HMS hydrological model Case study (Taleghan watershed). M.Sc. Thesis, Kharazmi University of Tehran, Tehran, Iran (in Persian).
- IPCC (2021). Climate Change, Sixth Assessment Report.
- Kordjazi, M., Bagherian, S., Babaian, I., & Kamali, A. (2014). Investigation of the effects of climate change on floods in Golestan province. 5th International conference on comprehensive management of natural crises, Permanent Secretariat of the Comprehensive Crisis Management Conference (in Persian).
- Mathbout, S., Lopez-Bustins, J.A., Royé, D., Martin-Vide, J., Bech, J., & Rodrigo, F. S. (2018). Observed changes in daily precipitation extremes at annual timescale over the Eastern Mediterranean during 1961-2012. *Pure and Applied Geophysics*, 175(11), 3875-2890.
- Mostafazadeh, R., Sadoddin, A., Bahremand, A. Bardi Sheikh, W., Farming, A. (2017). Scenario analysis of flood control structures using a multi-criteria decision-making technique in Northeast Iran. *Natural Hazards*, 87(3), 1827-1846.
- 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), 1-10.
- Papalexioiu, S. M., & Montanari, A. (2019). Global and regional increase of precipitation extremes

- under global warming. *Water Resources Research*, 55(6), 4901-4914.
- Rojpratak, S., Thani, P., Sudprasert, C., Aribarg, T., Supharatid, S., & Change, C. (2020). Hot spot Of climate extreme events (Floods and Drouhgts) in Thailand for a changing climate. Proceedings of the 22nd IAHR-APD Congress, Sapporo, Japan.
- Rahimi, J., Malekian, A., & Khalili, A. (2019). Climate change impacts in Iran: assessing our current knowledge. *Theoretical and Applied Climatology*, 135(1-2), 545-564.
- Saddique, N., Khaliq, A., & Bernhofer, C. (2020). Trends in temperature and precipitation extremes in historical (1961–1990) and projected (2061–2090) periods in a data scarce mountain basin, northern Pakistan. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 34 (10), 1441-1455.
- Sheikh Biklo Islam, B. (2021). Evidence and consequences of the flood event in Iran from prehistoric times to the present. *Water and soil modeling and management*, 1(1), 24-39. (in Persian).
- Talchabhadel, R., Aryal, A., Kawaike, K., Yamanoi, K., & Nakagawa, H. (2021). A comprehensive analysis of projected changes of extreme precipitation indices in west rapti river basin, Nepal under changing climate. *International Journal of Climatology*, 41, E2581-E2599.
- User Manual SDSM 4.2*. (2002). A decision support tool for the assessment of regional climate change impacts.
- 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), 1-11.
- Zareie, Sh., Hazbavi, Z., Mostafazadeh, R., & Esmailori, A. (2020). Comparison of vulnerability of Samian watershed based on climate change. *Natural Geography Research (Geographical Research)*, 52(2), 217-236 (in Persian).