



Evaluating Intensity, Duration and Frequency of Short Duration Rainfalls Using a Regional Climate Change Model (Case Study: Tehran)

R. Habibnejad¹ and A. Shokoohi^{2*}

Abstract

Climate change and global warming are the biggest challenges in the present era, which have affected the global and regional hydrologic cycles. Precipitation is one of the climate elements that has been directly affected by the rising global average temperatures. One of the most important negative effects of climate change is increasing the intense precipitation and henceforth occurring flash floods. The present study firstly analyzed the trend and jump of the short duration observed rainfalls (10 minutes to 3-hour duration) in the Mehrabad station located in the west of Tehran by using Mann-Kendal and CUSUM approaches, respectively. The trend test indicated an increasing trend in the short duration rainfalls amount at the 99% confidence level while 1978 was distinguished as the jumping year. For using dynamic downscaling to meet the fine spatial resolution required in the present study, the PRECIS regional model was employed to evaluate the changes in the intensity, duration, and frequency of the short duration rainfalls, derived from the daily rainfalls by applying a special time downscaling factor, after the year of the jump for historical data and also under the A2 and B2 emission scenarios for future. The results of the IDF analysis showed that in the far the future (2070-2100) the amount and intensity of precipitation would increase significantly over a given return period. There is also a significant increase in the frequency and probability of occurrence of extreme precipitation.

Keywords: Climate Change, Jump, Trend, IDF, PRECIS.

Received: August 19, 2019

Accepted: January 16, 2020

ارزیابی تغییرات شدت، مدت و دوره بازگشت بارش‌های کوتاه‌مدت با استفاده از مدل تغییر اقلیم منطقه‌ای (مطالعه موردی: تهران)

رویا حبیب‌نژاد^۱ و علیرضا شکوهی^{۲*}

چکیده

پدیده تغییر اقلیم و گرمایش جهانی یکی از بزرگ‌ترین چالش‌های عصر حاضر می‌باشد که چرخه هیدرولوژیکی در مقیاس جهانی و منطقه‌ای را تحت تأثیر قرار داده است. بارش به عنوان یکی از عناصر اقلیمی بطور مستقیم تحت تأثیر افزایش دمای متوسط جهانی قرار گرفته است. یکی از مهم‌ترین اثرات سوء تغییر اقلیم، افزایش وقوع رخدادهای حدی نظیر بارش‌های شدید و متعاقب آن بروز سیل‌های ناگهانی می‌باشد. در پژوهش حاضر در ابتدا وجود روند و جهش در بارش‌های کوتاه مدت مشاهداتی در شهر تهران (ایستگاه سینوپتیک مهرآباد) بررسی گردید. بدین منظور از آزمون من-کندال برای روند و آزمون کیو سام برای جهش در داده‌های بارش ۱۰ دقیقه تا ۳ ساعت استفاده شد. یافته‌ها حاکی از وجود روند افزایشی در بارش‌های کوتاه مدت ایستگاه مورد مطالعه در سطح ۹۹ درصد و وقوع جهش اقلیمی در این داده‌ها در سال ۱۹۷۸ می‌باشد. به منظور استفاده از قابلیت ریزمقیاس‌نمایی دینامیکی در پژوهش حاضر که نیازمند تفکیک مکانی زیاد می‌باشد، از مدل منطقه‌ای PRECIS برای دوره آماری ثبت شده پس از سال جهش و همچنین تحت سناریوهای انتشار A2 و B2 برای آینده و با اعمال یک روش ویژه برای ریزمقیاس‌نمایی زمانی استفاده به عمل آمد. نتایج حاصل از تحلیل شدت، مدت، فراوانی بارش‌های کوتاه مدت و بررسی IDF‌های تولید شده از بارش‌های حدی نشان داد که در آینده دور یعنی دوره ۲۱۰۰-۲۰۷۰ مقدار و شدت بارش به میزان قابل توجهی در یک دوره بازگشت معین افزایش می‌یابد. همچنین فراوانی و احتمال وقوع بارش‌های حدی با افزایش قابل توجهی همراه خواهد بود.

کلمات کلیدی: تغییر اقلیم، جهش، روند، IDF، PRECIS.

تاریخ دریافت مقاله: ۹۸/۷/۲۸

تاریخ پذیرش مقاله: ۹۸/۱۰/۲۶

1- M.Sc. Graduated Student, Water Engineering department, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran.

2- Professor, Water Engineering Department, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran. Email: shokoohi@eng.ikiu.ac.ir

*- Corresponding Author

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد منابع آب، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران.

۲- استاد گروه علوم و مهندسی آب دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران. کد پستی: ۳۴۱۴۸۹۶۸۱۸

*- نویسنده مسئول

بحث و مناظره (Discussion) در مورد این مقاله تا پایان بهار ۱۳۹۹ امکانپذیر است.

که شرح دلایل آن در کنار مرور بر تحقیقات موجود در ذیل مشاهده می‌گردد.

همانطور که ذکر گردید برای رفع مشکل قدرت تفکیک مکانی کم مدل‌های GCM از روش‌های ریزمقیاس‌نمایی استفاده می‌گردد که شامل دو دسته‌ی کلی ریزمقیاس‌نمایی دینامیکی و آماری می‌شود (Ghalhori et al., 2018). مدل‌هایی که برای ریزمقیاس‌نمایی دینامیکی استفاده می‌شوند بسیار شبیه به مدل‌های گردش عمومی هستند، با این مزیت که دارای گام‌های زمانی و مکانی ریزتر و دقیق‌تری می‌باشند. به عنوان مثال، گام مکانی مدل‌های گردش عمومی حدود ۲/۵ در ۲/۵ درجه جغرافیایی (حدود ۲۵۰ کیلومتر) می‌باشد در حالی که گام مکانی مدل‌های ریزمقیاس‌نمایی دینامیکی که به آن‌ها مدل‌های منطقه‌ای نیز گفته می‌شود بین ۲۰ تا ۵۰ کیلومتر در نظر گرفته می‌شود. برتری مهم دیگر روش‌های دینامیکی نسبت به روش‌های آماری عدم نیاز این روش‌ها به داده‌های مشاهداتی و ایستگاهی بلند مدت نسبت به روش‌های آماری است. این مزیت برای کشورهایی مانند ایران که داده‌های مشاهداتی کافی ندارند، بسیار مهم است (Rahimi et al., 2019). از انواع مدل‌های دینامیکی می‌توان به RegCM، PRECIS و غیره اشاره کرد. اکثر پژوهش‌هایی که در ارتباط با تغییرات اقلیم صورت گرفته است بدلیل استفاده از مدل‌های بزرگ‌مقیاس جوی-اقیانوسی، منحصراً به تغییرات بارش و حرارت ماهانه، فصلی و سالانه و از دیدگاه هیدرولوژیکی ناظر بر بیلان حوضه‌های آبریز می‌باشند. با توجه به اهداف پژوهش از ذکر این نوع مطالعات خودداری شده و به ذکر مهمترین پژوهش‌های صورت گرفته در خصوص بارش‌های کوتاه مدت و مدل منطقه‌ای مورد استفاده در تحقیق حاضر بسنده می‌شود. (Vasiljevic (2007 تغییرات میزان بارش را برای سیزده ایستگاه در انتاریو ارزیابی کرد. یافته‌های او نشان داد که شدت بارش‌های سنگین در حال تغییر است. Cheng and Maclver (2007) نشان دادند که روش‌های موجود در تخمین منحنی IDF، فراوانی و مقدار بارش‌های حدی در آینده را کمتر از آنچه که می‌توانند تحت تاثیر پدیده‌ی تغییر اقلیم برآورد می‌کنند. نتایج این دو محقق نشان داد که کم برآورد کردن مقدار بارش حدی در طراحی‌های مرتبط با سیستم‌های آبی، موجب افزایش ۶۰ درصدی خطر سیل در آنها می‌گردد. (Babaeian et al. (2008 توانمندی مدل اقلیمی PRECIS را در شبیه‌سازی بارش‌های منطقه‌ای ایران مورد بررسی قرار دادند. در این پژوهش، برونداد مدل گردش عمومی جو HADAM3P با مدل منطقه‌ای PRECIS در دوره ۱۹۹۰-۱۹۷۶ ریزمقیاس‌نمایی دینامیکی شد و داده‌های بارش در مقیاس‌های زمانی ماهانه و فصلی مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که مدل منطقه‌ای PRECIS توانمندی شبیه‌سازی بارش‌های

زیرساخت‌های مدیریت آب شهری مانند سیستم جمع‌آوری آب‌های سطحی، فاضلاب، سدهای انحرافی، زهکش‌های شهری و غیره عمدتاً براساس منحنی‌های شدت، مدت، فراوانی (IDF¹) طراحی و اجرا می‌شوند. پدیده تغییر اقلیم در سالیان اخیر از منظر دگرگونی ویژگی‌های حدی بارش، که می‌تواند به نوبه خود موجب تغییر در منحنی‌های IDF و لذا تغییر در ظرفیت زیرساخت‌های مورد نیاز برای مدیریت سیلاب‌های شهری گردد، بسیار مورد توجه قرار گرفته است (Fadhel et al., 2017; Aghakouchack et al., 2018; Thanh and Remo, 2018). منحنی‌های IDF با استفاده از سری زمانی بارش کوتاه مدت مشاهداتی و برازش تابع چگالی احتمال به داده‌های مشاهداتی و پیش‌بینی مقادیر حدی برای هر دوره بازگشت ایجاد می‌شوند. در این روش فرض می‌شود که می‌توان از داده‌های حدی مشاهداتی، برای توصیف آینده استفاده نمود که این فرض در شرایط تغییر اقلیم معتبر نبوده و منحنی‌های شدت، مدت و فراوانی مربوط به گذشته نمی‌توانند شرایط اقلیمی آینده را به درستی نشان دهند (IPCC, 2013; Sharif and born, 2007). براین اساس زیرساخت‌های مدیریت آب شهری که با منحنی‌های IDF گذشته طراحی شده‌اند، ممکن است نتوانند تنش‌های جدید ناشی از تغییر اقلیم را تحمل نمایند (Peck et al., 2012). مطالعات متعدد صورت گرفته در بسیاری از مناطق دنیا نشان می‌دهد که مقدار و فراوانی بارش‌های حدی مشاهداتی افزایش یافته است (De Paola et al., 2014; Prodanovic and Simonovic, 2008-2006). مطالعات انجام شده در ایران نیز تغییر در این ویژگی بارش در نقاط مختلف کشور را مورد تأیید قرار می‌دهد (Ghalhori et al., 2018; Jahangir et al., 2017; Binesh et al., 2017; Haidari and Khazaie, 2016). چالش ویژه در مطالعه تغییرات بارش‌های حدی در آینده (که در نهایت به تولید IDF برای یک شهر یا بخشی از یک کلان‌شهر می‌انجامد) آن است که نیازمند قدرت تفکیک مکانی و زمانی بالا در حد چندین صدهکتار و چند ساعت تا کسری از ساعت می‌باشد. این در حالی است که مدل‌های مورد استفاده برای اندک مطالعات صورت گرفته در این راستا، عملاً مدل‌های بزرگ مقیاس GCM² با قدرت تفکیک مکانی در حد چند صدکیلومتر و قدرت تفکیک زمانی در حد ماه بوده‌اند. روشی که بیشتر محققین برای حل مشکل مقیاس و افزایش دقت مکانی مدل‌های مزبور تاکنون مورد توجه قرار داده‌اند استفاده از ریزمقیاس‌نمایی آماری است که می‌تواند عدم قطعیت زیاد و لذا ریسک زیادی را بر پروژه‌های مدیریت سیل شهری تحمیل نماید. پژوهش حاضر در مقام رفع این مشکل درصدد استفاده از مدل‌های منطقه‌ای با قدرت تفکیک مکانی کمتر از ۵۰ کیلومتر و قدرت تفکیک زمانی روزانه است

ساعت اقدام نمودند. در این تحقیق برای شبیه‌سازی آینده از خروجی وزن‌دهی شده ۱۵ مدل AOGCM تحت سناریوی A2 استفاده شد. نتایج مبین این بود که در دوره اخیر و دوره پیش‌بینی به دلیل تشدید پدیده تغییر اقلیم، هر چند که میانگین بارش‌ها کاهش می‌یابند اما شدت بارش‌های با تداوم کوتاه با افزایشی در حد ۲۵ درصد در مقایسه با داده‌های تاریخی مواجه خواهد شد. (Rahimi et al. (2019) مدل ریزمقیاس‌نمایی دینامیکی PRECIS را در حوضه کرخه مورد ارزیابی قرار دادند. ایشان با استفاده از این مدل داده‌های بارش و دما را در منطقه مورد مطالعه برآورد کردند. نتایج ارزیابی مدل نشان داد که به طور کلی، این مدل با میانگین درصد خطای حدود ۴- درصد در مورد بارش، می‌تواند برآورد مناسبی از بارش و دما را در منطقه بدست دهد.

همانطور که ملاحظه گردید بیشتر مطالعات موردی انجام شده به افزایش بارش‌های حدی در اقلیم آینده اشاره دارند. به دلیل فقدان مطالعات کافی در خصوص تغییرات شدت، مدت و فراوانی بارش‌های کوتاه مدت با قدرت تفکیک مکانی و زمانی مناسب، در تحقیق حاضر تلاش شده است تا ضمن بررسی روند و همچنین وجود جهش در داده‌های تاریخی، اثرات پدیده تغییر اقلیم بر مقدار، شدت و دوره بازگشت بارش‌های کوتاه مدت با بهره‌گیری از داده‌های ایستگاه سینوپتیک مهرآباد و با استفاده از مدل منطقه‌ای PRECIS مورد بحث و بررسی قرار گیرد.

۲- مواد و روشها

۲-۱- منطقه مطالعاتی و داده‌های بارش

مشخصات ایستگاه سینوپتیک مهرآباد تهران که داده‌های بارش کوتاه مدت را جمع‌آوری می‌کند، در جدول ۱ نشان داده شده است. داده‌های بارش ثبت شده در این ایستگاه طی دوره ۱۹۹۹-۱۹۵۹ در فواصل ۱۰ دقیقه‌ای از سازمان هواشناسی کل کشور تهیه شده است. همچنین، شبیه‌سازی تاریخی بارش در دوره‌ی پایه (۱۹۶۰-۱۹۹۰) و دوره‌ی پیش‌بینی (۲۰۷۰-۲۱۰۰) تحت سناریو B2 و A2 در مقیاس زمانی روزانه که توسط مدل PRECIS ریزمقیاس‌نمایی شده، تهیه گردید.

۲-۲- آماده‌سازی داده‌ها

در مطالعات تغییر اقلیم، بررسی همگنی داده‌ها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار بوده و لازم است پیش از استفاده از داده‌های ثبت شده در ایستگاه‌های مورد نظر، برای تشخیص وجود روند و جهش در داده‌ها، همگنی یا عدم همگنی آن‌ها مورد بررسی قرار گیرد. در این پژوهش برای دستیابی به این منظور، از نرم‌افزار TREND استفاده شده است.

کلی کشور را دارد. (Babaeian et al. (2010) شبیه‌سازی‌هایی را برای بارش ماهانه، فصلی و سالانه در ایران با استفاده از مدل منطقه‌ای PRECIS تحت سناریوهای انتشار A2 و B2 انجام دادند. دوره پایه محاسبات ۱۹۹۰-۱۹۶۱ در نظر گرفته شده و بارش آتی برای دوره زمانی ۲۰۷۱-۲۱۰۰ برآورد گردید. (Mirhosseini et al. (2013) اثر تغییر اقلیم بر منحنی‌های شدت، مدت و فراوانی شهر آلاما را مورد بررسی قرار دادند و برای ارائه‌ی منحنی‌های IDF در آینده از بارش ۳ ساعته‌ی شبیه‌سازی شده با ترکیب شش مدل اقلیمی منطقه‌ای و جهانی و برای ریزمقیاس‌نمایی زمانی از روش آماری استفاده کردند. (Kordjazi et al. (2013) اثرات تغییر اقلیم را در دوره‌های آینده به منظور مدیریت ریسک و برنامه‌ریزی برای کاهش خسارات ناشی از بلایای طبیعی مانند سیل، خشکسالی و آتش‌سوزی جنگل‌ها بررسی کردند. این محققین با استفاده از مدل‌های گردش عمومی جو نشان دادند که بارش‌های سنگین و خیلی سنگین سالانه در دوره‌ی آینده به ترتیب ۲۴ و ۱۵ درصد افزایش می‌یابد. (Bakhtiari et al. (2014) استفاده از ریزمقیاس‌نمایی برونداد مدل گردش عمومی جو HadCm3 تحت سناریوهای انتشار A1B، A2 و B1 و مدل ریزمقیاس‌نمایی LARS-WG داده‌های بارش در مقیاس زمانی روزانه را برآورد کردند و نشان دادند که شدت بارش پیش‌بینی شده توسط سناریوهای ذکر شده طی دوره ۲۰۳۰-۲۰۱۱ نسبت به دوره پایه افزایش می‌یابد. (Yousefi et al. (2017) اثرات تغییر اقلیم بر تغییرات دما، بارندگی و منحنی‌های IDF در حوضه تهران- کرج را با استفاده از خروجی‌های مدل گردش عمومی جو CanESM2 تحت سناریوهای جدید گزارش پنجم (AR5) هیئت بین‌الدول و به کمک مدل ریزمقیاس‌نمایی SDSM مورد بررسی قرار دادند. مقایسه سناریوهای پیش‌بینی شده با یکدیگر نشان داد که شدت بارش با شیب ملایمی افزایش خواهد یافت. (Shrestha et al. (2017) استفاده از روش ریزمقیاس‌نمایی اشتقاق (DDM1) و نه مدل گردش عمومی جو منحنی‌های IDF شهر بانکوک واقع در تایلند را تحت شرایط تغییر اقلیم بررسی و افزایش شدت بارش در همه دوره‌های بازگشت را در آینده را پیش‌بینی کردند. (Raghavan and Liong (2018) تغییرات بارش‌های کوتاه مدت در اثر تغییر اقلیم را با روش ریزمقیاس‌نمایی دینامیکی با استفاده از سه مدل گردش عمومی جو MPI-ESM-MR،CSIRO-ACCESS1.3 و ECHAM6 و NIES-MIROC5 تحت سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5 در حوضه بک نین واقع در شمال ویتنام بررسی نمودند. نتایج این پژوهش حاکی از افزایش ۶۱-۵۶ درصد بارش ۲۴ ساعته و ۴۵-۴۰ درصد افزایش بارش ده دقیقه در تمامی دوره‌های بازگشت بود. (Safavi et al. (2019) به بررسی تغییرات منحنی شدت، مدت و فراوانی در ایستگاه سینوپتیک اصفهان پرداخته و با استفاده از تئوری فرکتال به ریزمقیاس‌نمایی زمانی بارش‌ها در حد ساعت و کسری از

Table 1- Properties of Mehrabad Station**جدول ۱- مشخصات ایستگاه فرودگاه مهرآباد**

Name	Latitude	Longitude	Level of Sea (m)	Perception (mm/year)
Mehrabad	35.41	51.19	1190.8	232.7

برای رفاه اقتصادی، اجتماعی و محیطی اشاره داشته و براین نکته تاکید دارد که تغییرات گوناگون تکنولوژی به سمت حفاظت از محیط زیست و حقوق اجتماع در سطح منطقه‌ای پیش می‌رود. در حالیکه سناریوی A2 رشد سریع جمعیت، اقتصاد ناهمگون و همسو با شرایط منطقه‌ای را شرایط غالب بر دنیای آینده می‌داند.

۲-۵- تحلیل بارش حداکثر

به منظور تعیین بارش حداکثر برای شرایط اقلیمی دوره‌های پایه و آینده از روش داده‌های حدی سالانه استفاده شد. در این روش بیشترین مقدار بارش رخ داده در طی هر یک از سال‌های دوره مورد بررسی به عنوان اجزای سری زمانی بارش در نظر گرفته می‌شود و رفتار آنها مورد بررسی قرار می‌گیرد. برای ارزیابی تغییرات شدت، مدت و فراوانی بارش‌های کوتاه مدت در ایستگاه مهرآباد، ابتدا به روش عامل تغییر بارش روزانه دوره آینده حاصل از مدل PRECIS به سری زمانی بارش کوتاه‌مدت تبدیل شده و سپس بر روی هر دو دسته سری زمانی تاریخی و شبیه‌سازی شده تحلیل فراوانی انجام شد. در این راستا در ابتدا برای هر دوره تداوم، مقادیر بارش حداکثر سالانه استخراج و به شدت بارش تبدیل گردید و سپس بر این شدت‌های حدی، انواع توزیع‌های آماری برازش داده شد و در نهایت بر اساس ضریب کولموگروف-اسمیرنوف تابع توزیع احتمالاتی مناسب انتخاب گردید.

۲-۶- ریزمقیاس‌نمایی زمانی

برای مطالعه و بررسی تغییرات شدت، مدت و دوره بازگشت بارش‌های کوتاه مدت به داده‌هایی با قدرت تفکیک زمانی بالا یعنی ۱۰ دقیقه تا ۱ ساعت نیاز است (Mirhosseini et al., 2013). همانطور که اشاره شد، برونداد مدل‌های گردش عمومی جو از نظر مقیاس مکانی برای اغلب مطالعات تغییر اقلیم که مربوط به یک منطقه کوچک مانند یک شهر می‌شوند، مناسب نیستند. از طرف دیگر، خروجی GCMها در مقیاس‌های زمانی ماهانه است که باز هم مناسب مطالعات مربوط به تغییرات IDF نمی‌باشد. یک راه‌حل برای استفاده از مدل‌های گردش عمومی جو، ریزمقیاس‌نمایی مکانی و زمانی نتایج آنها برای منطقه مورد مطالعه است (Palmer et al., 2004; Southam et al., 1999; Coulibaly and Dibike, 2004). با توجه به اهداف تحقیق و بدان دلیل که داده‌های مدل PRECIS در فواصل روزانه ارائه می‌گردند، لازم است این داده‌ها برای کسری از روز و ساعت ریزمقیاس‌نمایی

در دوره‌ی آماری موجود یعنی ۱۹۹۰-۱۹۵۹ به منظور استفاده از داده‌هایی که معرف شرایط حاضر باشند از داده‌های پس از سال جهش (یعنی ۱۹۹۰-۱۹۷۸) در گام بعدی پژوهش استفاده شد.

۲-۳- روند و جهش

به منظور مشاهده‌ی روند و تعیین سال جهش در داده‌های بارش کوتاه مدت جمع‌آوری شده از سازمان هواشناسی از نرم‌افزار TREND استفاده به عمل آمد. این نرم‌افزار برای ارزیابی همگنی، روند و جهش در داده‌های هیدرولوژیکی و به طور کلی داده‌های سری زمانی طراحی شده است (Kundzewicz and Robson, 2000; Grayson and et al., 1996). آزمون‌های آماری موجود در این نرم‌افزار ۱۲ آزمون شامل آزمون‌های من-کندال^۳، اسپیرمن-رو^۴ برای تشخیص روند، آزمون‌های رگرسیون خطی^۵، انحرافات تجمعی^۶، بیشینه ورسلی^۷، تقاطع میانه^۸، نقاط تغییر^۹، اختلاف رتبه^{۱۰} و "خود همبستگی"^{۱۱} برای تشخیص همگنی و آزمون‌های توزیع آزاد کیوسام^{۱۲}، مجموع مرتبه‌ها^{۱۳}، تی-استیودنت^{۱۴} برای تشخیص جهش می‌باشد. در پژوهش حاضر از آزمون ناپارامتری من-کندال در تأیید یا رد وجود روند و آزمون ناپارامتری کیوسام برای تعیین جهش استفاده شده است. در نهایت با استفاده از نرم‌افزار Minitab معنی‌داری تفاوت میانگین‌های سال‌های قبل و بعد از جهش مورد آزمون قرار گرفت.

۲-۴- مدل PRECIS

در پژوهش حاضر از مدل اقلیمی منطقه‌ای PRECIS در داخل شبکه مدل HadAM3H که خود مولفه جوی مدل جفت شده جوی-اقیانوسی HadCM3 مرکز هادلی است، استفاده شده است. این مدل دارای قدرت تفکیک مکانی ۲۵ و ۵۰ کیلومتر، با ۹ لایه در جو (از سطح زمین تا ۳۰ کیلومتری در استراتوسفر) و ۴ لایه در عمق خاک است. مدل PRECIS با استفاده از سناریوهای انتشار SRES، سناریوهای اقلیمی را برای دوره مدل‌سازی ایجاد می‌کند (Babaeian et al., 2008). در تحقیق حاضر از نتایج مدل PRECIS برای شبیه‌سازی تاریخی بارش در دوره‌ی پایه (۱۹۹۰-۱۹۶۰) و دوره‌ی پیش‌بینی (۲۰۷۰-۲۱۰۰) تحت دو سناریو A2 و B2 در مقیاس زمانی روزانه و قدرت تفکیک مکانی ۲۵ کیلومتر برای مقیاس مکانی استفاده شد. لازم به ذکر است که سناریو B2 بر راه‌حل‌های محلی

زمانی شوند. روش‌های مختلفی برای ریزمقیاس‌نمایی زمانی مانند مولدهای آب و هوا، توابع انتقال (رگرسیون خطی، روش‌های آماری و شبکه عصبی) وجود دارد (Mirhosseini et al., 2013). روشی که در این مطالعه از آن استفاده شده است مبتنی بر روش‌های آماری توسعه یافته در این تحقیق می‌باشد. در این روش با استفاده از خصوصیات آماری دوره‌های کوتاه مدت در مقابل دوره یک روزه و در نهایت استخراج نسبت‌ها، ریزمقیاس‌نمایی زمانی داده‌های مدل PRECIS صورت گرفته است. برای انجام این کار در ابتدا، در هر واقعه بارش مشاهداتی که دوره تداوم آن می‌تواند هر عدد مثلاً سه ساعت باشد، بارش‌های کوتاه مدت بالقوه از ۱۰ دقیقه تا سه ساعت استخراج می‌گردد. سپس نسبت مقدار بارش تاریخی کوتاه مدت در هر تداوم بارش (به عنوان مثال ۱۰ دقیقه) به میزان کل بارش در همان واقعه (و مثلاً با تداوم سه ساعت) محاسبه می‌گردد. این کار برای کل دوره آماری انجام شده و در نهایت، با میانگین‌گیری از نسبت به دست آمده در هر تداوم بارش و با فرض ثابت بودن این نسبت‌ها در زمان حال و آینده، ضریب تبدیل بارش روزانه به تداوم بارش‌های مختلف به دست می‌آید. از ضرب این ضریب در داده‌های پیش‌بینی مدل PRECIS در دوره‌ی پایه و آینده، ریزمقیاس‌نمایی زمانی صورت گرفته و به عبارت ساده‌تر بارش روزانه مدل به مقیاس زمانی مناسب برای اهداف این پژوهش تبدیل می‌گردد. به عنوان مثال یک رویداد بارش ۳ ساعته در سال ۱۹۷۸ از ساعت ۱۷:۳۰ تا ۲۰:۳۰ ادامه داشته و میزان کل بارندگی ۵/۳ میلی‌متر بوده است. در این رخداد، در ابتدا همه بارش‌های ۱۰ دقیقه‌ای استخراج و نسبت آن‌ها به میزان کل بارش یعنی ۵/۳ میلی‌متر به دست آمد. این عمل برای همه بارش‌های ده دقیقه‌ای در سال‌های ۱۹۷۸-۱۹۹۰ تکرار گردید. در نهایت با میانگین‌گیری از این نسبت‌ها، ضریب تبدیل بارش روزانه به تداوم بارش ۱۰ دقیقه معادل ۰/۲ به دست آمد. همانطور که ذکر شد اگر اکنون این ضریب در داده‌های پیش‌بینی مدل PRECIS در دوره‌ی پایه و آینده، ضرب شود بارش‌های با تداوم ۱۰ دقیقه ایجاد می‌گردند. این بارش‌های ۱۰ دقیقه‌ای در هر سال دارای یک مقدار ماکزیمم می‌باشند که می‌توان از آنها به عنوان مقادیر حدی سالانه استفاده نمود و تحلیل فراوانی را انجام داد. این عمل برای کلیه دوره‌های تداوم مورد نظر انجام می‌گردد.

۷-۲- محاسبه شدت، مدت و فراوانی بارش‌های کوتاه مدت

با برآزش توابع چگالی احتمال مناسب برای مقادیر حدی بر داده‌های ایستگاه مهرآباد، در نهایت با استفاده از آماره نیکویی برآزش کولموگروف-اسمیرنوف، توزیع GEV به عنوان بهترین توزیع احتمالاتی انتخاب گردید. توزیع احتمالاتی GEV یک توزیع احتمالاتی پیوسته است که از ترکیب توزیع‌های ویبل، فرچت و گمبل به دست

می‌آید و مبتنی بر بارش‌های حدی می‌باشد (Mirhosseini et al., 2013). منحنی‌های شدت، مدت و فراوانی براساس گام‌های زیر تولید شدند: (۱) استخراج بیشینه بارش در هر تداوم بارش در هر سال، (۲) برآزش توزیع احتمالاتی GEV به بیشینه داده‌های بارش و استخراج عمق بارش در هر دوره بازگشت، (۳) محاسبه شدت بارش، (۴) تکرار گام‌های قبل برای تمام تداوم‌های بارش و (۵) رسم نمودار شدت بارش در مقابل تداوم بارش برای دوره بازگشت‌های مختلف. این گام‌ها برای داده‌های بارش کوتاه مدت تاریخی و داده‌های ریزمقیاس شده‌ی زمانی مدل PRECIS در دوره پایه و پیش‌بینی تحت هر دو سناریو انتشار A2 و B2 اجرا شده است.

۳- نتایج

در این بخش، پس از توضیح مختصری از مشاهده روند و تعیین جهش در بارش‌های کوتاه مدت مشاهداتی ایستگاه مهرآباد، به تحلیل و ارزیابی تغییرات شدت، مدت و دوره بازگشت بارش‌های کوتاه‌مدت با استفاده از مدل منطقه‌ای PRECIS پرداخته شده است.

۳-۱- بررسی وجود روند و جهش در بارش کوتاه‌مدت در مقیاس روزانه

استفاده از آزمون‌های ناپارامتری من-کندال و کیوسام برای بررسی روند و جهش در سری زمانی بارش کوتاه مدت (تداوم‌های ۱۰ دقیقه تا ۳ ساعت طی سال‌های ۱۹۹۰-۱۹۵۹) در سطح اطمینان ۹۵ و ۹۹ درصد این نتایج را بدست داد: (۱) عدم همگنی داده‌های بارش و وجود روند و جهش در سطح ۹۹ درصد، (۲) وجود روند افزایشی در داده‌های بارش در سطح ۹۹ درصد و (۳) بروز جهش در داده‌های مشاهداتی بارش کوتاه‌مدت در سال ۱۹۷۸. شکل ۱ برای نمایش روند در دو دوره تداوم ۱۰ دقیقه و ۳ ساعت ارائه شده است. همانطور که در شکل‌های a-۱ (برای تداوم ۱۰ دقیقه) و b-۱ (برای تداوم ۳ ساعت) ملاحظه می‌گردد روند در هر دو دوره تداوم مثبت است و شیب خط روند با افزایش زمان تداوم بارش بیشتر می‌گردد.

برای نمایش وقوع جهش در بارش‌های کوتاه مدت ایستگاه مهرآباد، بارش سه ساعته مشاهده شده تا سال ۱۹۷۸ (a-۲) و بعد از سال ۱۹۷۸ (b-۲) ترسیم شده است. همانطور که در شکل مزبور ملاحظه می‌گردد هم شیب تغییرات و هم مقدار بارش در دو دوره زمانی با هم متفاوت می‌باشند.

در ادامه، پس از تأیید روند و همچنین تعیین سال جهش در داده‌های بارش تاریخی، از آزمون من-ویتنی برای ارزیابی معنی‌دار بودن میزان

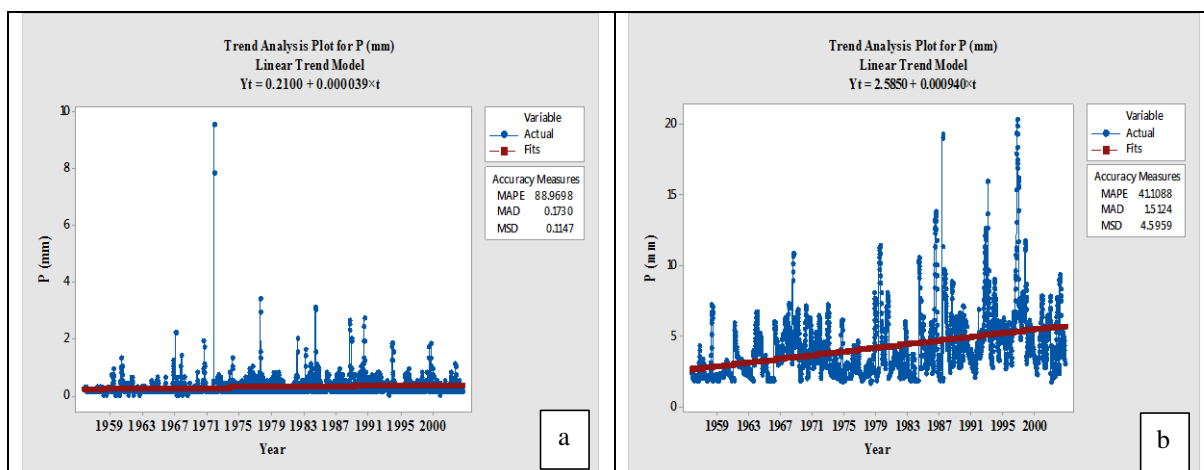


Fig. 1- Trend in 10-min (a) and 3-hr (b) rainfall recorded in Mehrabad Station

شکل ۱- نمایش وجود روند در داده‌های بارش با تداوم ۱۰ دقیقه (a) و ۳ ساعت (b) مشاهده شده در ایستگاه مهرآباد

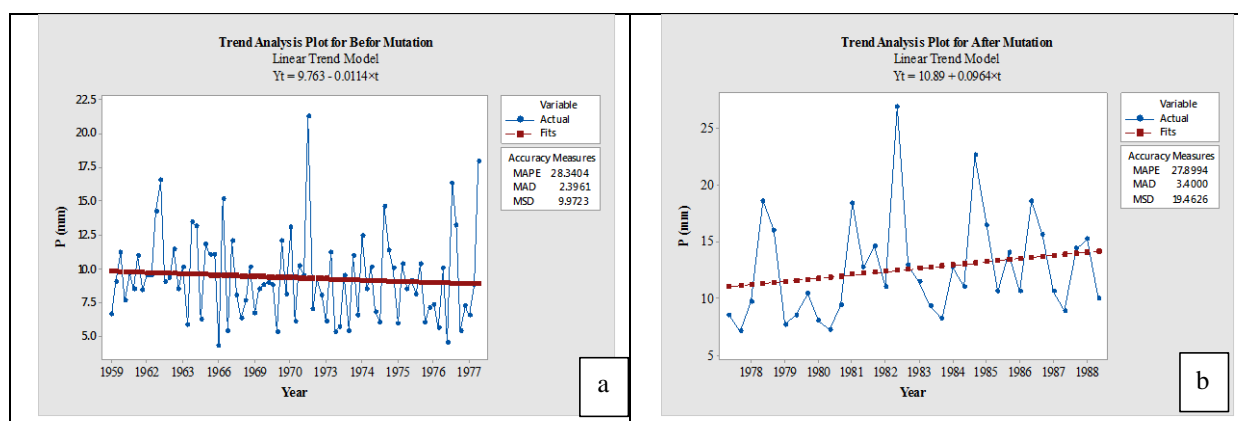


Fig. 2- Jump in 3-hr (b) rainfall recorded in Mehrabad Station before and after 1978

شکل ۲- نمایش تغییر روند و مقدار بارش با تداوم ۳ ساعت برای قبل (a) و بعد (b) از سال جهش (۱۹۷۸) در ایستگاه مهرآباد

از کل دوره آماری موجود یعنی سال‌های ۱۹۵۹-۱۹۹۰ تنها از داده‌های پس از سال جهش یعنی دوره آماری ۱۹۷۸-۱۹۹۰ استفاده به عمل آمد.

۳-۲- ریزمقیاس‌نمایی و ارزیابی دقت مدل PRECIS

همانطور که ذکر گردید داده‌های GCM از نظر قدرت تفکیک مکانی و زمانی مناسب مطالعات منطقه‌ای نیستند و لازم است ریزمقیاس‌نمایی هم از نظر مکانی و هم از نظر زمانی صورت گیرد. در پژوهش حاضر ریزمقیاس‌نمایی مکانی داده‌های سری زمانی بارش توسط مدل منطقه‌ای PRECIS صورت گرفته است. براساس گزارش سایر محققین، مدل مزبور از توانایی مناسبی در ریزمقیاس‌نمایی مکانی برخوردار بوده و بین مدل‌های حاضر دارای کمترین میزان خطا است (Babaeian et al., 2010, 2008; Rahimi et al., 2019).

تغییر در شدت‌های بارش در تداوم‌های مختلف در سال‌های قبل و بعد از جهش، استفاده به عمل آمد. نتایج به دست آمده از این بررسی نشان داد که افزایش شدت بارش در سال‌های قبل و بعد از جهش در تمام دوره‌های بازگشت در سطح ۹۵ درصد معنی‌دار می‌باشد. به منظور ارزیابی تأثیر جهش در میزان بارش‌های کوتاه مدت حدی، تابع چگالی احتمال مناسب (GEV) بر داده‌های دو دوره قبل و بعد از سال ۱۹۷۸ برآزش داده شد. شکل ۲ بارش‌های حدی در دو دوره بازگشت ۲ و ۱۰۰ سال برای دو حالت قبل و بعد از جهش را نشان می‌دهد. همانطور که در این شکل ملاحظه می‌گردد با افزایش دوره بازگشت، اختلاف شدت بارش‌های کوتاه مدت در سال‌های قبل و بعد از جهش بیشتر شده است.

با توجه به نتایج بدست آمده، استفاده از داده‌هایی که معرف شرایط حاضر باشند برای ادامه مطالعه در دستور کار قرار گرفت. بدین‌منظور

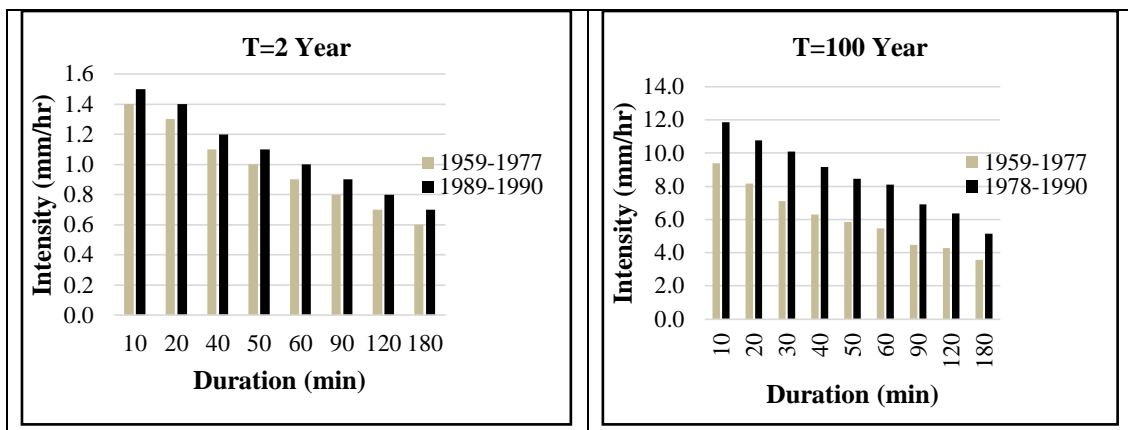


Fig. 3- The difference in the intensity of short duration rainfalls before and after the jump year for the 2 and 100-year return periods

شکل ۳- اختلاف شدت بارش کوتاه مدت در سالهای قبل و بعد از جهش در دوره بازگشت ۲ و ۱۰۰ سال

به حدی بزرگ است که مقدار P-value مدل معادل صفر بدست آمد که در واقع به معنای رد H_0 دال بر فاقد ارزش بودن رابطه بدست آمده حاصل از تحلیل و لذا تأیید توانایی مدل PRECIS در شبیه‌سازی داده‌های بارش کوتاه مدت ایستگاه مهرآباد می‌باشد.

در جدول ۲، DF معرف درجه آزادی، SS معرف جمع مربعات و MS معرف میانگین SS می‌باشد. میانگین بارش در ایستگاه مهرآباد در ۸۵ واقعه مورد آزمون معادل ۵/۰۶ بدست آمد حال آنکه این مقدار برای داده‌های PRECIS معادل ۴/۷۰ بدست می‌باشد. با توجه به وجود چولگی معادل ۲/۶ در داده‌های تاریخی، از روش sign test در نمونه‌های بزرگ برای آزمون وجود یا عدم وجود تفاوت معنی‌دار در میانه بارش‌های دو گروه استفاده شد.

به منظور ارزیابی توان PRECIS در شبیه‌سازی بارش در دوره تاریخی مورد نظر، از ۸۵ واقعه ثبت شده در سال‌های ۱۹۷۸ لغایت ۱۹۹۰ استفاده به عمل آمد. شکل ۳ نشان می‌دهد که بارش‌های کوتاه مدت ثبت شده در این دوره در ایستگاه مهرآباد دارای چولگی زیادی است و برای مقایسه مقادیر شبیه‌سازی شده و مشاهداتی نمی‌توان از روش‌های پارامتریک استفاده نمود.

شکل ۴ خط رگرسیون بین ۸۵ واقعه تاریخی ثبت شده در ایستگاه مهرآباد و شبیه‌سازی شده توسط PRECIS در دوره مورد بحث را نشان می‌دهد. همانطور که ملاحظه می‌گردد با توجه به ضریب R^2 معادل ۶۷ درصد رابطه قابل قبولی بین داده‌های شبیه‌سازی شده و مشاهداتی وجود دارد. جدول ۲ جدول ANOVA می‌مدل برازش داده شده در شکل ۴ می‌باشد. همانطور که ملاحظه می‌گردد مقدار آماره F

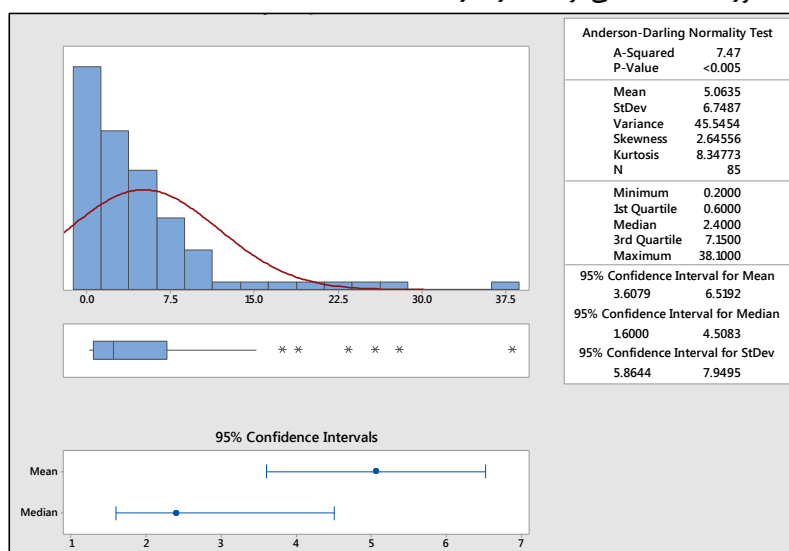


Fig. 4- Statistical properties of short duration rainfalls in Mehrabad station during 1978-1990

شکل ۴- مشخصات آماری بارش‌های کوتاه مدت ایستگاه مهرآباد بین سالهای ۱۹۷۸ تا ۱۹۹۰

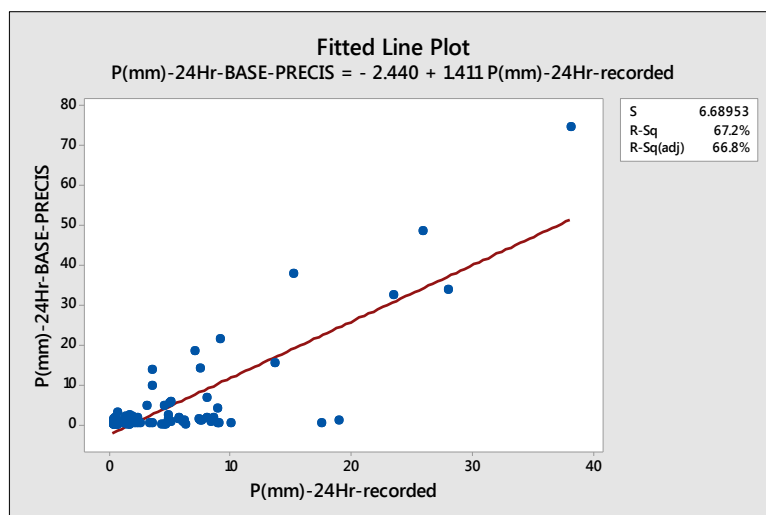


Fig. 5- Regression line between recorded rainfall in Mehrabad station and the simulated rainfall by PRECIS during 1978-1990

شکل ۵- خط رگرسیون میان بارش‌های ثبت شده در ایستگاه مهرآباد و شبیه‌سازی شده توسط PRECIS در دوره ۱۹۷۸-۱۹۹۰

Table 2- ANOVA Table of the regression model for the recorded data and PRECIS output during 1978-1990
جدول ۲- جدول ANOVA مدل رگرسیونی بین داده‌های ثبت شده و شبیه‌سازی شده توسط PRECIS در دوره ۱۹۷۸-۱۹۹۰

Source	DF	SS	MS	F	Pvalue
Regression	1	7617.2	7617.20	170.22	0.000
Error	83	3714.2	44.75		
Total	84	11331.4			

صورت گرفت. نتایج حاکی از آن است که مقدار بارش حداکثر در همه دوره‌های زمانی در آینده نسبت به دوره پایه افزایش چشمگیری نشان می‌دهد. نکته قابل توجه دیگر در نتایج حاصله آن است که اختلاف شدت بارش پیش‌بینی شده در تداوم بارش‌های ۱۰ دقیقه تا ۳ ساعت در آینده دور (۲۱۰۰-۲۰۷۰) نسبت به دوره پایه (۱۹۷۸-۱۹۹۰) با افزایش دوره بازگشت کمتر می‌شود. شکل‌های ۵ و ۶ که برای دو دوره بازگشت ۲ و ۱۰۰ سال و بترتیب برای دو سناریوی B2 و A2 تهیه شده‌اند مؤید این مدعا می‌باشند.

به همین روش برای کلیه زمان‌های تداوم و دوره‌های بازگشت تا ۱۰۰ سال منحنی‌های IDF مهرآباد تهیه شدند. نتایج حاصله که در شکل‌های ۷ و ۸ برای هر دو سناریو ملاحظه می‌گردند نشان‌دهنده افزایش شدت بارش در دوره آینده نسبت به دوره پایه در همه دوره بازگشت‌ها و همه تداوم‌های بارش می‌باشد.

آماره آزمون برای S^+ مساوی ۳۴، معادل $1/76$ بدست آمد که در آزمون یک‌طرفه، مقدار Pvalue را معادل $0/41$ بدست داد. بر این اساس در سطح اعتماد ۱٪ تفاوتی معنی‌دار میان داده‌های تاریخی ثبت شده و شبیه‌سازی شده توسط PRECIS دیده نمی‌شود و می‌توان از داده‌های این مدل برای ادامه مطالعات استفاده نمود.

برای ریزمقیاس‌نمایی زمانی از روش آماری ارائه شده در بخش مواد و روشها استفاده به عمل آمد. ضرایب تبدیل (ضرایب ریزمقیاس‌نمایی زمانی) مورد استفاده برای تداوم‌های مختلف بارش در جدول ۳ آورده شده است.

۳-۳- شبیه‌سازی بارش‌های کوتاه‌مدت در دوره‌های آینده

مدل‌سازی بارش‌های کوتاه‌مدت در دوره‌های آینده بر اساس سناریوهای انتشار A2 و B2 و با استفاده از روشهای ارائه شده در فوق

Table 3- Factors for changing simulated daily rainfall by PRECIS to short duration rainfall

جدول ۳- ضرایب تبدیل بارش روزانه مدل PRECIS به تداوم‌های کوتاه مدت

Duration (min)	10	20	30	40	50	60	90	120	180
Change Factor	0.2	0.3	0.4	0.5	0.5	0.5	0.6	0.7	0.7

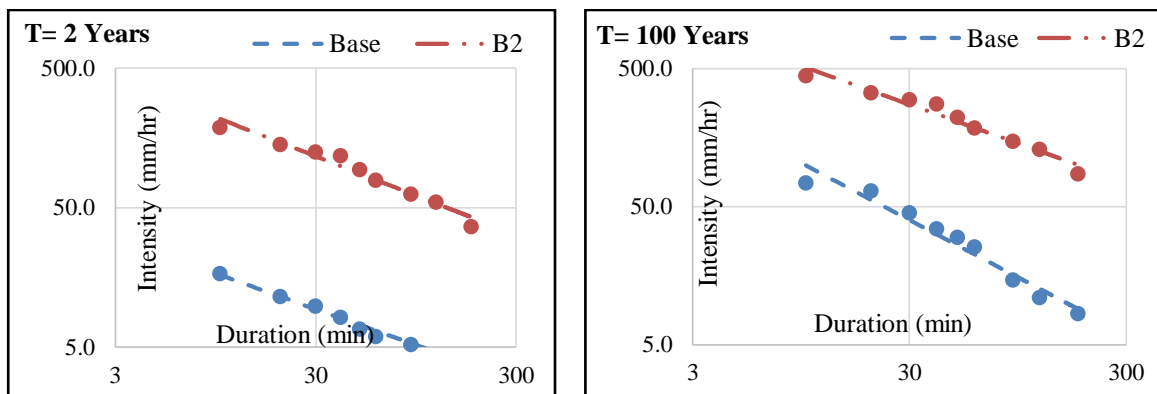


Fig. 6- IDF curves in future compared to the baseline under B2 scenario for the 2 and 100-year return periods

شکل ۶- نمودار شدت، مدت و فراوانی تحت سناریو انتشار B2 نسبت به دوره مشاهداتی ثبت شده در دوره بازگشت ۲ و ۱۰۰ سال

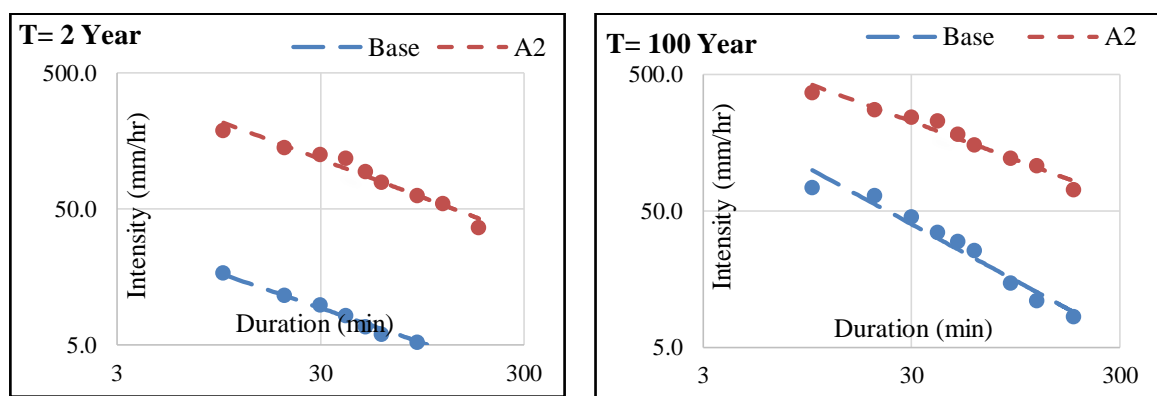


Fig. 7- IDF curves in future compared to the baseline under A2 scenario for the 2 and 100-year return periods

شکل ۷- نمودار شدت، مدت و فراوانی تحت سناریو انتشار A2 نسبت به دوره مشاهداتی ثبت شده در دوره بازگشت ۲ و ۱۰۰ سال

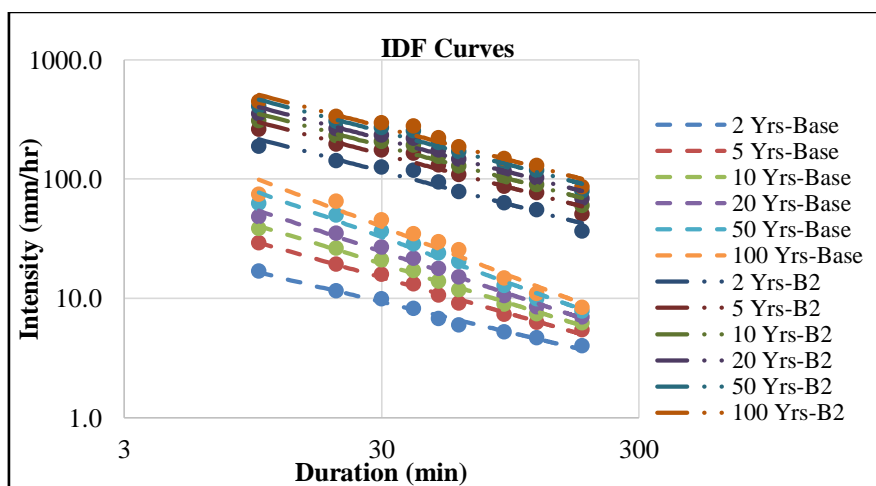


Fig. 8- IDF curves in future and baseline under B2 scenario for all return periods

شکل ۸- نمودار شدت، مدت و فراوانی دوره آینده تحت سناریو انتشار B2 و دوره پایه در همه دوره بازگشتها

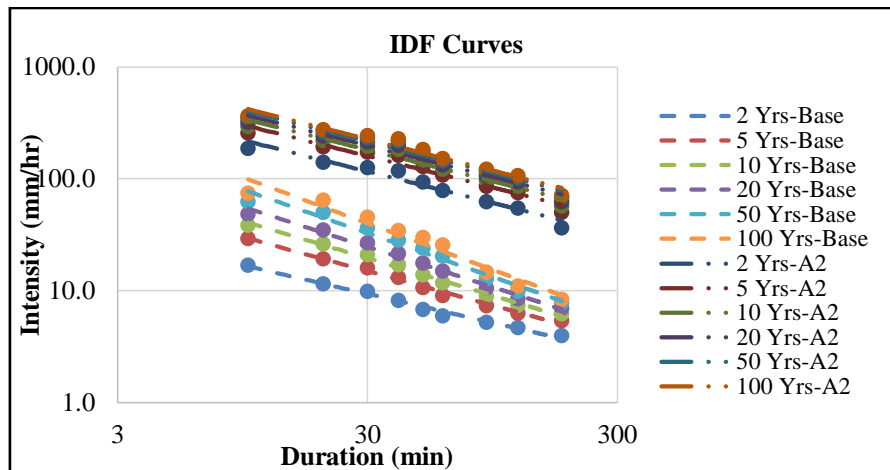


Fig. 9- IDF curves in future and baseline under A2 scenario for all return periods
 شکل ۹- نمودار شدت، مدت و فراوانی دوره آینده تحت سناریو انتشار A2 و دوره پایه در همه دوره بازگشت‌ها

پیش‌بینی بارش‌های حدی آینده، با هدف افزایش توان پیشگیری و مقابله با آثار تغییر اقلیم در مدیریت شهری را گوشزد می‌نماید.

۴-۳- مقایسه بارش‌های حداکثر حوضه در سناریوهای پایه، A2 و B2

به منظور ارزیابی اثرات سناریوهای انتشار بر شدت بارش در آینده، میانگین بارش‌های کوتاه مدت حدی در تداوم‌های ۱۰ دقیقه تا ۳ ساعت در شکل ۹ ترسیم شده است. همانطور که در این شکل ملاحظه می‌گردد مقادیر حداکثر بارش کوتاه مدت با تداوم‌های ۱۰ دقیقه تا ۳ ساعت، تحت سناریو A2 افزایش بسیار بیشتری به سناریوی B2 دارد. با توجه به اینکه در سناریوی A2 نسبت به سناریوی B2 تأکید بیشتری بر استفاده از سوخت‌های فسیلی وجود دارد و بدین لحاظ سناریوی مزبور حرارت و غلظت CO2 بیشتری را برای آینده اتمسفر پیش‌بینی می‌نماید، نتیجه حاصله را می‌توان تأثیر بیشتر تغییر اقلیم بر بارش‌های حدی در سناریوی مزبور دانست. این مهم، اهمیت بالابردن دقت در

۴- خلاصه و جمع‌بندی

در این پژوهش ابتدا به تعیین روند و جهش در داده‌های بارش کوتاه مدت ایستگاه مهرآباد به عنوان ایستگاه معرف حوضه غربی تهران بزرگ پرداخته شد. سپس تغییرات شدت، مدت و فراوانی بارش‌های کوتاه مدت این ایستگاه در اثر تغییر اقلیم با استفاده از برون‌داد مدل اقلیمی منطقه‌ای PRECIS تحت سناریوهای انتشار A2 و B2 مورد بحث و بررسی قرار گرفت. پس از تعیین سال جهش در داده‌های بارش مشاهداتی ایستگاه مهرآباد، از داده‌های پس از سال جهش برای مطالعه اثر تغییر اقلیم بر بارش‌های حدی کوتاه مدت استفاده شد.

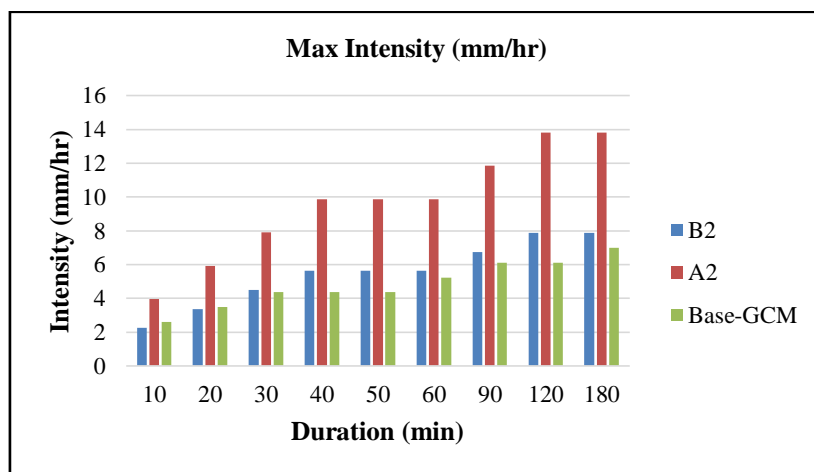


Fig. 10- Comparison of precipitation intensity under future and baseline scenarios
 شکل ۱۰- مقایسه شدت بارش تحت سناریوهای انتشار در دوره آینده و پایه

بارش‌های کوتاه‌مدت بخصوص در مناطق شهری در نظر گرفته شود. توجه به این مهم، متحول کردن دستورالعمل‌های طراحی سازه‌های کنترل و انتقال سیلاب و متعاقب آن به‌روز نمودن زیرساخت‌های شهری را ضروری می‌سازد. استفاده از سری زمانی بارش‌های کوتاه مدت مربوط به سالهای اخیر (بعد از جهش اقلیمی) و عدم استفاده از کل دوره آماری باید مورد توجه همه طراحان قرار گیرد. براین اساس شاید نیاز به بازنگری دوره‌های بازگشت مورد استفاده برای طراحی ابنیه آبی در شهرها و بازنویسی کلیه استانداردهایی باشد که تا کنون مورد استفاده بوده‌اند. به یقین عدم توجه این موارد می‌تواند خسارات جبران‌ناپذیری به جوامع شهرنشین، بخصوص در کلان‌شهری مثل تهران، وارد نماید در حالی که رعایت آن به شهرنشینان توانایی بیشتری برای مقابله با عواقب تغییر اقلیم را خواهد داد.

پی‌نوشت‌ها

- 1- Intensity Duration Frequency Curves
- 2- Global Circulation Model
- 3- Mann- Kendall Test
- 4- Spearman Rho Test
- 5- Linear Regression Test
- 6- Cumulative Deviation Test
- 7- Worsley Likelihood Test
- 8- Median Crossing Test
- 9- Turning Points Test
- 10- Rank Difference Test
- 11- Autocorrelation Test
- 12- Distribution Free CUSSUM Test
- 13- Rank Sum Test
- 14- Student's t Test

۵- مراجع

- AghaKouchack A, Ragno E, Moftakhari H (2018) Projected change in California's precipitation intensity-duration-frequency curves. California's Fourth Climate Change Assessment, California Energy Commission
- Babaeian E, Modirian M, Karimian M (2007) Impact of climate change in Iran using by PRECIS model in 2071-2100. The 3rd Conference on Water Resources Management. Tabriz University (In Persian)
- Babaeian E, Modirian M, Karimian M, Malbusi SH (2010) Capability of PRECIS regional climate model for modeling regional precipitation of Iran. Physical Geography Research Quarterly 43:77, 125-140 (In Persian)
- Bakhtiari B, Purmusavi Sh, Sayari N (2014) Impact of climate change on intensity-duration-frequency curves of precipitation (case study: Babolsar station).

نتایج تحلیل بارش‌های کوتاه مدت حاکی از وجود روند افزایشی در داده‌های مشاهداتی و همچنین جهش در کلیه گامهای زمانی است. نتایج نشان داد هر چه تداوم بارش‌های کوتاه مدت از ۱۰ دقیقه تا ۳ ساعت بیشتر شود، روند افزایشی ملموس‌تر است. نتایج حاصله در این تحقیق مؤید نتایج مطالعات (Prodanovic and Simonovic (2006- Haidari and (2008) و De Paola et al. (2014) در دیگر کشورها و Jahangir et al. (2016)، Binesh et al. (2017) and (2017)، Ghalhori et al. (2018) و Safavi et al. (2019) در ایران می‌باشد. ارزیابی روند و جهش در بررسی بارش‌های کوتاه مدت از اهمیت بسزایی برخوردار است زیرا کم برآورد نمودن بارش حداکثر برای تولید منحنی IDF، که برای طراحی انواع زیر ساخت‌های شهری در مدیریت و کنترل سیلاب مورد نیاز است، خسارات مستقیم و غیر مستقیم زیادی به جوامع وارد خواهد نمود. در صورت وجود روند و جهش در داده‌ها نمی‌توان از دوره آماری قبل از جهش (چنانکه در بسیاری از پژوهش‌ها ملاحظه می‌گردد) برای مقاصد این چنین استفاده نمود. یکی از نتایج کاربردی و بارز حاصل از این مطالعه به روز نمودن منحنی‌های IDF ایستگاه سینوپتیک مهرآباد، با استفاده از آخرین داده‌های قابل اعتماد و با در نظر گرفتن تغییر ماهیت بارش‌های کوتاه‌مدت پس از سال ۱۹۷۸ میلادی در کلان‌شهر تهران می‌باشد. بر این اساس می‌توان اظهار نمود که طراحان سازه‌های کنترل سیلاب و همچنین مدیران حوادث غیر مترقبه در کلان‌شهر تهران، در صورت استفاده از نتایج این تحقیق، با عدم قطعیت کمتر و لذا با ریسک کمتری در پیشگیری و همچنین مقابله با سیلابهای آبی در مناطق مختلف شهر تهران مواجه خواهند بود.

نتایج مدل‌سازی صورت گرفته در تحقیق حاضر نشان داد که مقدار و شدت بارش در دوره‌های آینده نسبت به دوره مشاهداتی افزایش می‌یابد و مقادیر بارش‌های حداکثر منطقه با افزایش قابل توجهی نسبت به دوره پایه همراه خواهد بود. بررسی و مقایسه مقدار حداکثر بارش تحت سناریوهای انتشار A2 و B2 نسبت به دوره پایه نشان داد که میزان تغییرات تحت سناریو A2 بیش از سناریو B2 است. نتایج حاصل از تحلیل بارش‌های حداکثر ایستگاه مهرآباد بیانگر آن است که دوره بازگشت مربوط به یک مقدار معین از بارش حدی با حرکت به سمت آینده کاهش می‌یابد، که این مهم به معنای افزایش احتمال وقوع و فراوانی بارش‌های حدی ایستگاه مورد مطالعه در آینده است. همچنین یافته‌ها نشانگر آن است که برای یک دوره بازگشت مشخص، مقدار بارش حداکثر ایستگاه مهرآباد در دوره‌های آینده و نیز شدت آن نسبت به دوره پایه افزایش پیدا می‌کند که از اینجا می‌توان دلیل وقوع بارش‌های سنگین در تهران در سالهای اخیر را توجیه نمود. براین اساس و بر مبنای یافته‌های پژوهش لازم است اثر تغییر اقلیم بر

- Kolbert E (2006) Field notes from a catastrophe: man, nature, and climate change. Bloomsbury Publishing, New York
- Kordjazi M, Bagherian E, Kamali M (2013) Impact of climate change in short duration case study: Golestan. 5th International Conference on Natural Steamers, Tehran (In Persian)
- Kundzewicz Z W, Robson A (2000) Detecting trend and other changes in hydrological data. World Climate Program- Water, WMO/UNESCO, WCDMP-45, WMO/TD 1013, Geneva, 157 pp
- Mirhosseini GB, Srivastava P, Stefaanova L (2013) The impact of climate change on rainfall Intensity-Duration-Frequency (IDF) curves in Alabama. Journal of Springer, DOI: 10.1007/s10113-012-0375-5
- Palmer R.N, Clancy E, VanRheenen NT, Wiley MW (2004) The impacts of climate change on the Tualatin River basin water supply: An investigation into projected hydrologic and management impacts. Department of Civil and Environmental Engineering, University of Washington, Seattle, Washington
- Peck A, Prodanovic P, Simonovic S (2012) Rainfall intensity duration frequency curves under climate change: the city of London, Ontario, Canada. Canadian Water Resources Association Pages: 177-189
- Prodanovic P, Simonovic S (2008) Intensity duration frequency analysis under changing climatic conditions. In Proceedings of the 4th International Symposium on Flood Defense: Managing Flood Risk, Reliability and Vulnerability. Toronto, Ontario, Canada, May 68, 2008, 8 pp
- Prodanovic P, Simonovic S (2006) Assessment of water resources risk and vulnerability to changing climatic conditions: Inverse flood risk modeling of the Upper Thames River basin. Report No. VIII, Department of Civil and Environmental Engineering, the University of Western Ontario, London, Ontario, Canada
- Raghavan MT, Vu SV, Liong J (2018) Constructing short-duration IDF curves using coupled dynamical-statistical approach to assess climate change impacts. Royal Meteorological Society, Volume 38, Issue 6. 2662-2671
- Rahimi Bandar Abadi S, Jahanbakhsh Asl S, Sari Sarraf B (2019) Evaluation of a dynamical downscaling climate model for assessment of climate change in Karkheh Basin. Journal of Watershed Engineering and Management 11(3):633-649 (In Persian)
- Safavi HM, Dadjou SH, Naeimi G (2019) Extraction of intensity-duration-frequency (IDF) curves under Iranian Journal of Irrigation and Drainage 4(5):694-704 (In Persian)
- Binesh N, Niksokhan MH, Sarang A (2018) Analysis of climate change impact on extreme rainfall events in the west flood diversion catchment of Tehran. Journal of Watershed Management Research 17(9):226-234 (In Persian)
- Cheng CS, Li G, Li Q, Auld H, MacIver D (2007) Climate change and extreme rainfall-related flooding and surface runoff risk in Ontario plain language summary report. Climate Change Impacts and Adaptations Program Report no. A901. Toronto, Ontario: Environment Canada, 18 pp
- Coulibaly P, Dibike YB (2004) Downscaling of global climate model outputs for flood frequency analysis in the saguenay river system. Final Project Report prepared for the Canadian Climate Change Action Fund, Environment Canada, and Hamilton, Ontario, Canada
- De Paola F, Giugni M, Topa ME, Bucchignani E (2014) Intensity-duration-frequency (IDF) rainfall curves, for data series and climate projection in African cities. Journal of Springer Plus 9, 3:133
- Fadhel sh, Rico-Ramirez MA, Han D (2017) Uncertainty of intensity-duration-frequency (IDF) curves due to varied climate change baseline periods. Journal of Hydrology, Elsevier, DOI: 10.1016/j.jhydrol.2017.02.013
- Fallah Ghalhari Gh, Yousefi H, Hosseinzadeh A, Alimardani MR, Reyhani A (2018) Assessment of climate change in Bojnourd station in 2016-2050 using downscaling models LARS-WG and SDSM. Journal of eco Hydrology 6(1):99-109 (In Persian)
- Grayson R B, Argent R M, Nathan R J, McMahon T A, Mein R (1996) Hydrological recipes: Estimation techniques in Australian hydrology. Cooperative Research Centre for Catchment Hydrological, Australia, 125 pp
- Heyrari M, Khazaei R (2017) Impact of climate change in maxim precipitation (Case study: Kermanshah). Journal of Soil and Water Resources Conservation 7(2) (In Persian)
- IPCC Climate change (2013) The physical science basis, contribution of working group I to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change, chap. 12. Cambridge University Press, Cambridge, 237 pages
- Jahangir MH, Norozi E, Yarahmadi Y (2017) Investigation of climate parameters' changes in Borujerd city in the next 20 years through the using HADCM3 model. ECO Hydrology 5(4)1345-1353 (In Persian)

- climate change in Central Vietnam. *Journal of Hydrology* 5(3), 33
- Vasiljevic B (2007) Assessment of changes in precipitation intensities in Ontario; Master's Thesis. Guelph, Ontario: School of Engineering, University of Guelph, 122 pp
- Yousefi Malekshah M, GHazavi R, Sadatinejad (2018) Investigation of climate change effect on temperature, rainfall and intensity-duration-frequency curves in arid areas (Case study: Tehran-Karaj basin). *Journal of ecohydrology* 6(2):431-445 (In Persian)
- climate change, case study: Isfahan synoptic station. *Journal of Water Resources Planning and Management* 15(2):217-227 (In Persian)
- Sharif M, Burn DH (2007) Improved k-nearest neighbor weather generating model. *ASCE Journal of Hydrologic Engineering* 12(1):42-51
- Southam C F, Mills B N, Moulton R J, Brown DW (1999) The potential impact of climate change in Ontario's Grand River Basin: Water supply and demand issues. *Canadian Water Resources Journal* 24(4):307-330
- Thanh NT, Remo LDA (2018) Projected changes of precipitation IDF curves for short duration under