

DOI: [10.29252/ARIDBIOM.2022.18543.1892](https://doi.org/10.29252/ARIDBIOM.2022.18543.1892)

استخراج منحنی‌های شدت-مدت-فراوانی (IDF) و روند تغییر بارش تحت تأثیر تغییر اقلیم (مطالعه موردی: ایستگاه سینوپتیک مهرآباد) (مقاله پژوهشی)

۱- یزدان یاراحمدی، دانشجوی دکتری علوم و مهندسی آبخیز، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه کاشان، کاشان، ایران.

۲- رضا قضاوی*، استاد، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه کاشان، کاشان، ایران.
ghazavi@kashanu.ac.ir

۳- هدی قاسمیه، دانشیار، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه کاشان، کاشان، ایران.

دریافت: ۱۴۰۰/۰۴/۲۶

پذیرش: ۱۴۰۰/۰۶/۲۲

چکیده

در این پژوهش تغییرات منحنی شدت-مدت-فراوانی برای ایستگاه سینوپتیک مهرآباد تحت تأثیر تغییر اقلیم با استفاده از رابطه آبخضر-قهرمان مورد بررسی قرار گرفت. اطلاعات مربوط به پژوهش حاضر شامل دو دسته است: دسته اول، شامل داده‌های ساعتی بارش اندازه‌گیری شده به منظور استخراج منحنی‌های IDF برای دوره پایه (۱۹۸۰-۲۰۲۰) است. دسته دوم، شامل داده‌های روزانه بارش پیش‌بینی شده برای سال‌های آینده نزدیک (۲۰۲۱-۲۰۵۰) و آینده دور (۲۰۵۱-۲۱۰۰) است که این داده‌ها از خروجی مدل LARS به‌دست آمد. ابتدا با استفاده از نرم افزار EasyFit تجزیه و تحلیل آماری بر روی داده‌های مشاهداتی صورت گرفت و توزیع برتر (توزیع گمبل) انتخاب شد و منحنی IDF مربوطه برای دوره بازگشت مختلف استخراج گردید. برای استخراج منحنی‌های IDF تحت تأثیر تغییر اقلیم از مدل گردش عمومی جو HadGEM - ES از سری مدل‌های CMIP5 تحت سناریوهای انتشار RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 استفاده گردید. نتایج نشان داد که مقادیر شدت بارش در همه تداوم‌های بارش و دوره بازگشت‌های مختلف در هر سه سناریو نسبت به منحنی شدت-مدت-فراوانی دوره پایه افزایش داشته است و فقط برای آینده نزدیک (۲۰۲۱-۲۰۵۰) تحت سناریوی RCP 8.5 نسبت به دوره پایه روند کاهشی وجود خواهد داشت. به عنوان مثال تداوم چهار و ۲۴ ساعت برای دوره بازگشت ۱۰ ساله مقدار شدت بارش برای سناریوی RCP 2.6 و RCP 8.5 برای آینده دور (۲۰۵۱-۲۱۰۰) به ترتیب ۷/۱، ۷/۰۵ و ۲/۵۸، ۲/۵۶ در حالی که برای دوره پایه (۱۹۸۰-۲۰۲۰) به ترتیب ۶/۷۱ و ۲/۴۴ می‌باشد که نشان دهنده افزایش شدت بارش حداکثری با افزایش دوره بازگشت است. حداکثر شدت بارش در پایه زمانی کوتاه مدت افزایش داشته و با گذشت زمان از شدت بارش حداکثری کاسته شده است و منحنی‌های IDF تحت تأثیر بارش‌های کوتاه مدت هستند.

واژگان کلیدی: توزیع گمبل، منحنی IDF، تغییر اقلیم، منطقه شش شهرداری تهران، LARS-WG

مقدمه

مناطق وجود ندارد و یا طول دوره آماری آن کم بوده و در نتیجه، امکان محاسبه منحنی‌های IDF از روی داده‌های اندازه‌گیری شده برای برخی مناطق غیرممکن است. در چنین مناطقی می‌توان از خصوصیات مقیاس زمانی بارش استفاده کرد و از روی داده‌های روزانه بارش، که از قابلیت دسترسی زیادی برخوردارند و از فراوان‌ترین منابع اطلاعاتی

منحنی‌های شدت-مدت-فراوانی بارش، یکی از ابزارهای هیدرولوژیکی برای محاسبه سیلاب طرح و طراحی سازه‌های هیدرولیکی هستند که برای یک منطقه از روی داده‌های بارش که در مدت زمان‌های مختلف ثبت شده است، ساخته می‌شوند.

در کشورهای در حال پیشرفت مانند ایران که از وسعت زیادی برخوردار است، ایستگاه باران‌نگاری در بسیاری از

بارش می‌باشند، منحنی‌های IDF را برای مدت زمان‌های کوتاه مدت ساخت [۱۰].

بنابر گزارش‌های علمی موجود، تغییر اقلیم سبب تغییر رژیم هیدرولوژیکی در چند دهه اخیر در جهان شده است. این تغییرات به نحوی است که بارندگی و رواناب‌های سطحی در عرض‌های جغرافیایی میانی کمتر شده و همچنین احتمال وقوع رخداد‌های حدی اقلیمی و آب و هوایی مانند سیلاب و خشکسالی نیز افزایش یافته است. در نتیجه، به منظور برنامه‌ریزی واقع‌بینانه نیاز به بررسی و تهیه تصویری صحیح از الگوی بارش در آینده است. منحنی‌های شدت-مدت-فراوانی، نقش اساسی در طراحی ابعاد و اجزای این سیستم‌ها در هر منطقه دارند، بنابراین، در صورت دست‌بالاگرفتن شدت بارش طراحی، هزینه‌های اضافی در اجرای تأسیسات متوجه طرح خواهد شد و در حالت عکس آن، ظرفیت سیستم در آینده پاسخگو نخواهد بود و احتمال بروز خسارت‌های مالی و جانی افزایش خواهد یافت. بر این اساس، استفاده از منحنی‌های بدست آمده از داده‌های تاریخی و بدون اعمال تغییرات اقلیمی نمی‌تواند درجه اطمینان کافی را در طراحی سازه‌های هیدرولیکی برآورده سازد. بنابراین، ضروری است تا این منحنی‌ها در هر منطقه بر اساس تغییرات اقلیمی آینده شبیه‌سازی شود و در طراحی‌ها بر اساس نتایج حاصل از منحنی‌های بازسازی شده، پیش‌بینی‌های لازم صورت پذیرد [۱۳].

امروزه یکی از قوی‌ترین ابزارها جهت تولید سناریوهای اقلیمی آینده، استفاده از مدل‌های گردش عمومی جو است [۱۹]. در زمینه تأثیر تغییرات اقلیمی بر خصوصیات بارش تا کنون پژوهشی‌های مختلفی در سطح جهان و ایران صورت گرفته است. بختیاری و همکاران (۲۰۱۴) در پژوهشی به بررسی اثر تغییر اقلیم بر منحنی‌های شدت-مدت-فراوانی بارش ایستگاه بابلسر طی دوره زمانی ۲۰۳۰-۲۰۱۱ پرداختند. نتایج نشان داد که در بیشتر موارد مقادیر ضریب همبستگی در توزیع گامبل در بازه ۰/۹۹۸-۰/۹۹۶ و در توزیع لوگ-پیرسون تیپ سه در بازه ۰/۹۷۴-۰/۹۶۹ به دست آمد. مقایسه بین شدت بارش پیش‌بینی شده توسط سناریوهای ذکر شده و محاسبه شده توسط توزیع گامبل برای دوره پایه نشان‌دهنده

افزایش این مقدار در ایستگاه بابلسر طی دوره ۲۰۳۰-۲۰۱۱ بوده است [۱].

صفوی و همکاران (۲۰۱۹) در پژوهشی در ایستگاه سینوپتیک اصفهان نشان دادند که در دوره اخیر و دوره پیش‌بینی به دلیل تشدید پدیده تغییر اقلیم، هرچند میانگین بارش‌ها کاهش یافته، ولی شدت بارش‌های با تداوم کوتاه افزایش یافته و منحنی‌های IDF به سمت بالا جابجا گردیدند [۱۳]. شرسنا و همکاران (۲۰۱۷) در مطالعه‌ای در شهر بانکوک واقع در تایلند با استفاده از روش ریزمقیاس‌نمایی اشتقاق (DDMI) منحنی‌های IDF تحت شرایط تغییر اقلیم را بررسی و افزایش شدت بارش در همه دوره‌های بازگشت در آینده پیش‌بینی نمودند [۱۷].

رعوان و همکاران (۲۰۱۸) در مطالعه‌ای تغییرات بارش‌های کوتاه مدت در اثر تغییر اقلیم با روش ریزمقیاس‌نمایی دینامیکی با استفاده از سه مدل گردش عمومی جو CSIRO-MPI-ESM-MR، ACCESS1.3 و NIES-MIROC5 در حوضه بکنین واقع در شمال ویتنام بررسی نمودند. نتایج این پژوهش حاکی از افزایش ۶۱-۵۶ درصد بارش ۲۴ ساعته و ۴۵-۴۰ درصد افزایش بارش ۱۰ دقیقه در تمامی دوره‌های بازگشت بوده است [۱۱]. میرحسینی و همکاران (۲۰۱۳) در پژوهشی اثر تغییر اقلیم بر منحنی‌های شدت، مدت و فراوانی شهر آلاباما بررسی و نتایج هر شش مدل آب و هوایی نشان داد که الگوهای بارش آینده آلاباما بیشتر تحت تأثیر بارش‌های کوتاه مدت می‌باشد. با این حال، برای رویدادهای طولانی مدت (یعنی بیش از چهار ساعت)، نتایج در بین این مدل‌ها سازگار نیستند [۹].

حبیب‌نژاد و شکوهی (۲۰۲۱) در تحقیقی به تحلیل شدت-مدت-فراوانی بارش‌های کوتاه مدت و بررسی IDF‌های تولید شده از بارش‌های حدی در تهران پرداختند. نتایج نشان داد که در آینده دور (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 [۵].

نتایج بررسی تأثیر تغییرات اقلیمی بر منحنی‌های شدت-مدت-فراوانی نشان می‌دهد که اولاً، تأثیر تغییرات اقلیمی بر منحنی‌های شدت-مدت-فراوانی در مناطق مختلف مطالعاتی متفاوت بوده است و ثانیاً، این نتایج در مواردی نیز تحت تأثیر روش استفاده شده تغییر کرده است. از آنجا که سناریوهای RCP جدیدترین سناریوهای انتشار مورد قبول برای پیش‌بینی تغییرات اقلیمی آینده است، هدف از تحقیق حاضر استخراج منحنی شدت-مدت-فراوانی ایستگاه سینوپتیک مهرآباد تهران تحت تأثیر تغییرات اقلیمی تحت سناریوهای جدید انتشار RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 می‌باشد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

در این مطالعه از آمار ایستگاه سینوپتیک مهرآباد استفاده شد. این ایستگاه در واقع می‌تواند به عنوان ایستگاه مبنا برای مطالعات اقلیمی منطقه شش شهرداری تهران استفاده شود. منطقه شش شهرداری تهران یکی از مناطق ۲۲ گانه شهر تهران است که به عنوان یکی از قدیمی‌ترین مناطق شهر تهران در قسمت شمالی حوزه مرکزی شهر قرار گرفته است. ارتفاع این ایستگاه ۱۱۹۰/۸ متر بالاتر از سطح دریا است و میانگین بارش سالانه در این ایستگاه ۲۳۲/۷ میلی‌متر در سال می‌باشد. شکل ۱، موقعیت ایستگاه سینوپتیک مورد مطالعه نسبت به منطقه شش شهرداری تهران و جدول ۱ مشخصات ایستگاه مهرآباد را نشان می‌دهد.

محمدی و همکاران (۲۰۲۰) به مقایسه نتایج حاصل از مدل تجربی قهرمان و مدل آماری Hyfran-Plus در منطقه ایلام پرداختند. نتایج نشان داد که حداکثر اختلاف شدت بارش‌ها در تداوم‌های طولانی، کمتر از ۱/۶ درصد و در تداوم‌های کوتاه مدت کمتر از ۲۰/۲ درصد است. آنها نشان دادند که اختلاف مقدار شدت بارش‌های پیش‌بینی شده برای تداوم‌های کوتاه مدت در مدل‌های تجربی وزیری و بل کمتر از ۱۹/۸ درصد می‌باشد [۸].

تفلا و همکاران (۲۰۱۷) در تحقیقی به تعیین شدت بارش و بازه اعتماد آنها (حد پایین و بالایی) برای مدت زمان ۰/۱۲۵، ۰/۵، ۱، ۲، ۴ و ۶ ساعت و دوره بازگشت‌های ۲، ۱۰، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ سال در فلات غاپ در آفریقای جنوبی با استفاده از توزیع گامبل پرداختند. در این مطالعه حداکثر بارندگی سالانه از داده‌های بارندگی بلند مدت (۲۰۱۴ - ۱۹۱۸) برای چهار ایستگاه هواشناسی محاسبه گردید و عدم قطعیت در حد پایین برای دوره بازگشت‌های ۲ و ۱۰۰ ساله به ترتیب ۱۱/۷ و ۲۶ درصد محاسبه شد [۱۸].

کوک و همکاران (۲۰۱۵) پارامتری که اغلب برای تجزیه و تحلیل شدت سیل مورد استفاده قرار می‌گیرد (متوسط دوره بازگشت ARI)، را بررسی نمودند. نتایج نشان داد که منحنی‌های IDF در مدت زمان‌های مختلف ARI‌های مختلف کمی بالاتر از منحنی IDF تاریخی است [۶]. در مطالعه‌ای شارم و همکاران (۲۰۱۶) منحنی‌های شدت-مدت-فراوانی بارش را با استفاده از داده‌های بارش مربوط به دوره آماری ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۰ برای غرب منطقه گاوآهاتی توسعه دادند [۱۶].

جدول ۱- مشخصات ایستگاه سینوپتیک مهرآباد

ایستگاه	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	ارتفاع از سطح دریا (متر)	میانگین بارش (میلی‌متر)
مهرآباد	۳۳/۴۱	۵۱/۱۹	۱۱۹۰/۸	۲۳۲/۷

برازش توزیع فراوانی

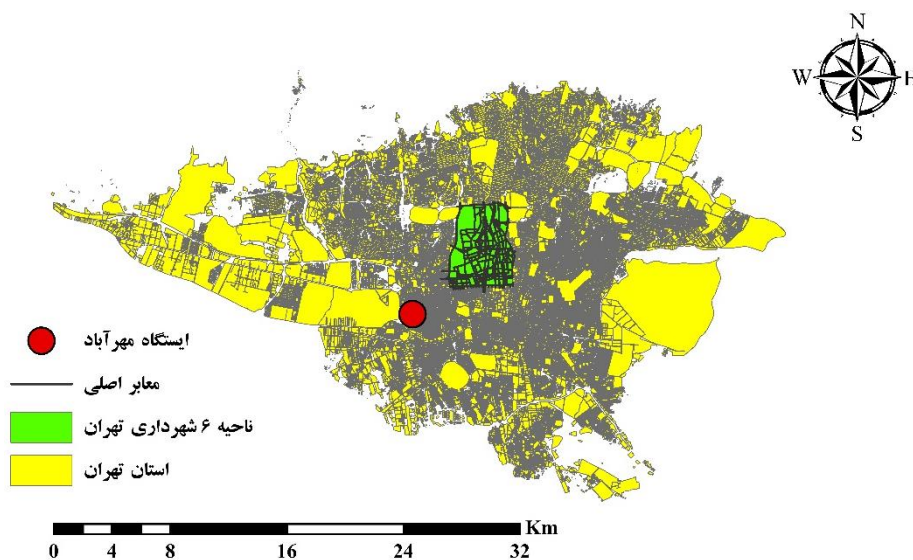
برای محاسبه منحنی‌های IDF نیاز به استخراج رگبارهای ساعتی ثبت شده است. برای استخراج منحنی‌های IDF به روش متداول لازم است در ابتدا داده‌های حداکثر بارش با تداوم‌های مختلف زمانی از روی

آمار ثبت شده استخراج و در مرحله بعد در تداومی معین، یک توزیع احتمال برازش داده و نکویی آن با آزمون‌های آماری کنترل گردد.

سپس با استفاده از توزیع احتمالاتی برازش داده شده بر روی داده‌های حداکثر در تداوم موردنظر، مقدار بارش در

یک منحنی که عمدتاً به شکل نمایی کاهش‌ی نسبت به زمان بارش است، برازش داده می‌شود.

همان تداوم به ازای دوره بازگشت موردنظر محاسبه می‌شود. این برآورد برای تداوم‌های مختلف انجام و در آخر



شکل ۱- موقعیت ایستگاه سینوپتیک تهران نسبت به منطقه ۶ شهرداری تهران

که در آن:

K فاکتور فراوانی گمبل، P_{ave} میانگین مقادیر حداکثر بارش مربوط به دوره خاص رابطه و S انحراف معیار داده‌های بارش رابطه است. مقادیر شدت بارش I بر حسب میلی‌متر بر ساعت برای دوره بازگشت T از رابطه (۵) به دست می‌آید که در آن T_d مدت بر حسب ساعت و P_t مقدار بارش است.

$$I_t = \frac{P_t}{T_d} \quad (5)$$

در توزیع لوگ-پیرسون تیپ ۳ از لگاریتم داده‌های مشاهداتی استفاده شد. برای به دست آوردن میانگین و انحراف معیار نیز باید داده‌های مورد نظر را به لگاریتم آن‌ها تبدیل نمود. برای به دست آوردن فراوانی بارش همانند توزیع گمبل عمل می‌شود. بیان ساده‌ای از این توزیع در روابط ۶ تا ۱۰ آمده است.

$$P^* = \text{Log}(P_i) \quad (6)$$

$$P^* = P_{ave}^* + K \times S^* \quad (7)$$

$$P_{ave}^* = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n P_i^* \quad (8)$$

برای انتخاب بهترین توزیع بر روی بیشینه شدت بارش‌ها در تداوم‌های مختلف از نرم‌افزار آماری Easy Fit استفاده شد. بر اساس آزمون‌های آماری صورت گرفته بر روی داده‌ها، توزیع‌های گمبل و لوگ-پیرسون تیپ ۳ برای مقادیر حدی در برازش داده‌های حداکثر بارش سالانه استفاده شد. سپس در نرم افزار Easy Fit بهترین توزیع برای هر سری زمانی با استفاده از آزمون نکویی برازش و کای اسکوئر انتخاب گردید. این توزیع به دلیل توانایی مدل کردن مقادیر حداکثر، بیشترین استفاده را برای آنالیز IDF دارد. در این روش دوره‌های بازگشت ۲، ۵، ۱۰، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ ساله برای هر تداوم محاسبه شد. فراوانی بارش P_t (میلی‌متر) برای هر بازه زمانی و دوره بازگشت با استفاده از روابط (۱) تا (۴) به دست آمد.

$$P_t = P_{ave} + K \times S \quad (1)$$

$$K = -\frac{\sqrt{6}}{\pi} \left[0.5772 + \ln \left[\ln \left[\frac{T}{T-1} \right] \right] \right] \quad (2)$$

$$P_{ave} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n P_i \quad (3)$$

$$S = \left[\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (P_i - P_{ave})^2 \right]^{0.5} \quad (4)$$

روش تولید منحنی‌های IDF برای شرایط اقلیم آینده

روش‌های متداول استخراج منحنی‌های IDF به ویژه با داده‌های محدود دارای تعداد متغیرهای زیادی بوده که باعث عدم اعتمادپذیری می‌شود، از این رو محققان معادلات تجربی را برای شدت-مدت-فراوانی پیشنهاد کرده‌اند [۳]. از آنجا که برای پیش‌بینی داده‌های بارش تحت تغییرات اقلیم آینده نیاز به مدل‌هایی است که ورودی آنها به صورت روزانه ثبت می‌شوند، بنابراین اطلاعات مربوط به پژوهش حاضر شامل دو دسته است. دسته اول شامل داده‌های ساعتی بارش اندازه‌گیری شده به منظور استخراج منحنی‌های IDF برای دوره‌های پایه است. به این منظور از داده‌های سال (۲۰۲۰ - ۱۹۸۰) ایستگاه سینوپتیک مهرآباد استفاده شد. دسته دوم شامل داده‌های روزانه بارش پیش‌بینی شده برای سال‌های آینده نزدیک مربوط به دوره زمانی (۲۰۲۱-۲۰۵۰) و آینده دور مربوط به دوره زمانی (۲۰۵۱-۲۱۰۰) است که این داده‌ها از خروجی مدل LARS به دست آمد.

برای تهیه و بررسی منحنی‌های IDF روش‌های متفاوتی توسط محققان و دانشمندان ارائه شده است که برای نواحی و مناطق مشخص کاربرد دارند. روش معمول برای تهیه منحنی‌های IDF رابطه بل است که این رابطه توسط قهرمان و آبخضر در ایران اصلاح شده است. در این پژوهش برای تحلیل بارش‌های حداکثری برای تداوم‌های مختلف و تهیه منحنی IDF از رابطه قهرمان-آبخضر استفاده شد [۴].

از آنجا که رابطه مذکور، ایران را به مناطق اقلیمی مختلفی تقسیم کرده است و ایستگاه سینوپتیک مهرآباد در قسمت شمالی ایران قرار می‌گیرد، بنابراین، شدت بارندگی برای دوره بازگشت‌های مختلف از رابطه ۱۱ و ۱۲ تبعیت می‌کند، ضرایب ثابت اصلاح شده برای رابطه مذکور در جدول ۲ ارائه شده است.

$$R_T^I = At^B [a_1 + a_2 \ln(T - a_3)] R_{60}^{10} \quad (11)$$

$$R_{60}^{10} = 9/99 + 0/212 (R_{1440}^2) \quad (12)$$

$$S^* = \left[\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (P_i^* - P_{ave}^*)^2 \right]^{0.5} \quad (9)$$

$$C_s = \frac{n \sum_{i=1}^n (P_i^* - P_{ave}^*)^3}{(n-1)(n-2)(S^*)^3} \quad (10)$$

متغیرهای این روابط همانگونه که در توزیع گمبل توضیح داده شد بر اساس لگاریتم، داده‌های بارش به دست می‌آیند. K_T عامل فراوانی پیرسون است که به دوره بازگشت (T) و ضریب چولگی (C_s) بستگی دارد. با معلوم‌بودن ضریب چولگی و دوره بازگشت، فاکتور فراوانی K_T برای توزیع لوگ پیرسون از جداول موجود قابل استخراج است و با گرفتن آنتی‌لوگ مقدار بارش برای دوره بازگشت داده شده به دست می‌آید.

تولید داده بیشینه بارش تحت تاثیر تغییر اقلیم

مدل LARS-WG یکی از مشهورترین مدل‌های مصنوعی داده‌های آب و هواشناسی است و برای تولید دمای حداقل و حداکثر، بارش و تابش به صورت روزانه تحت شرایط تغییر اقلیم حاضر و آینده در مناطق مختلف به کار می‌رود. این مدل ابتدا توسط راسکو و همکاران [۱۲] ارائه شد و سپس توسط سمنوف و همکاران [۱۴] بازنگری گردید.

دلیل اصلی تولید این مدل، غلبه بر نقاط ضعف زنجیره مارکوف بود. این مدل به عنوان یک مدل ریز مقیاس‌نمایی، در عین پیچیدگی کمتر فرآیند شبیه‌سازی و داده‌های ورودی و خروجی، توانایی بالایی در پیش‌بینی تغییر اقلیم دارد [۱۵]. به دلیل تکرار محاسبات، مدل LARS-WG داده‌های ورودی کمتری می‌گیرد و اجرای آن نسبت به مدل‌های دیگر ساده‌تر است. همچنین، مدل نیازی به پایگاه داده ندارد، زیرا خروجی مدل‌های اقلیمی و سناریوهای انتشار در خود مدل تعریف شده است [۷].

در این پژوهش جهت تولید داده‌های بارش تحت تأثیر تغییر اقلیم آینده از مدل گردش عمومی جو ES-HadGEM از سری مدل‌های CMIP5 تحت سناریوهای جدید انتشار RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 و با استفاده از مدل ریز مقیاس‌نمایی آماری LARS-WG استفاده گردید.

که در آن:

R_{60}^{10} شدت بارش یک ساعته با دوره بازگشت ۱۰ ساله، R_{1440}^2 میانگین بیشینه بارش روزانه، t دوره زمانی مد نظر، T دوره بازگشت و A, B, a_1, a_2 و a_3 ضرایب ثابت معادله هستند.

در این مطالعه پس از شبیه‌سازی بارش روزانه تحت سناریوهای مختلف اقلیمی، میانگین حداکثرهای بارش

روزانه از داده‌های شبیه‌سازی شده استخراج گردید و سپس با استفاده از روابط ذکر شده، منحنی‌های شدت مدت فراوانی برای سناریوهای مختلف اقلیمی استخراج شد. در آخر، نتایج حاصل از این منحنی‌ها با منحنی‌های دوره پایه مقایسه شد.

جدول ۲- ضرایب ثابت معادله قهرمان و آبخضر

مدت تداوم باران (ساعت)		A	B	محدوده تداوم باران (ساعت)	
$1 \geq$	۰/۱۲۹۹	۰/۴۹۵۲	پارامتر	$2 \geq$	> 2
$2 \geq$	۰/۱۳۷۲	۰/۴۷۷۸	a1	۰/۴۶۰۸	۰/۵۵۶۵
$9 \leq$	۰/۱۵۸۹	۰/۴۳۶۱	a2	۰/۲۳۴۹	۰/۱۹۴۸
$2 < t \leq 9$	۰/۲۰۰۹	۰/۳۹۳۷	a3	۰/۶۲	۰/۸

نتایج و بحث

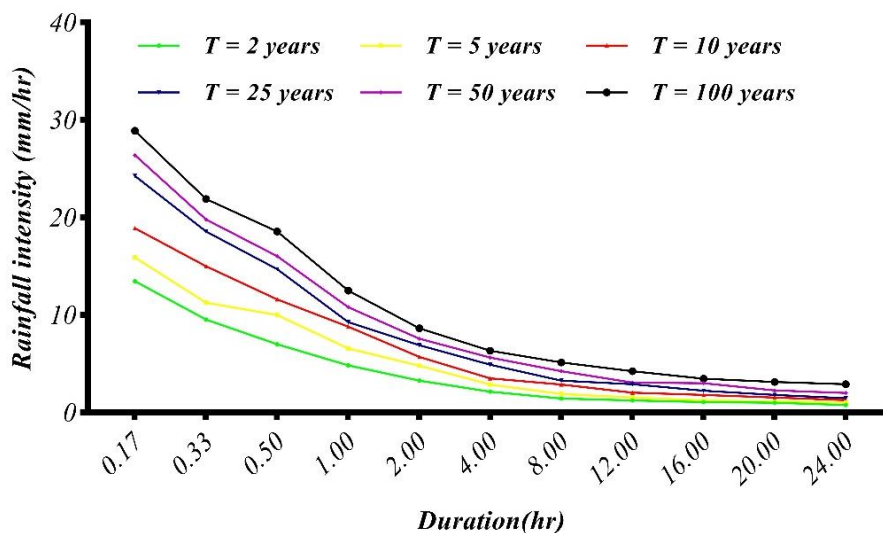
برای دوره پایه و براساس داده‌های مشاهداتی (۲۰۲۰-۱۹۸۰)، نتایج آزمون نکویی برازش برای بیشینه شدت بارش‌ها در تداوم‌های مختلف در نرم‌افزار Easy Fit برای تداوم‌های ۰/۱۷، ۰/۳۳، ۰/۵، ۱، ۲، ۴، ۸، ۱۲، ۱۶، ۲۰ و ۲۴ ساعت انجام شد. پس از برازش دو توزیع ذکرشده آزمون نکویی برازش حداقل مربعات برای هر دو توزیع انجام شد. نتایج نشان داد که توزیع گامبل همبستگی

بیشتری با داده‌ها دارد و برای به‌دست آوردن این منحنی‌ها توزیع مناسب‌تری است.

نتایج شدت بارش برای توزیع گمبل در جدول ۳ آورده شده است. همانطور که مشاهده می‌گردد توزیع گامبل دارای شیب منفی است به دلیل این که با افزایش زمان تداوم از شدت بارش کاسته می‌شود و با افزایش دوره بازگشت در تداوم‌های مختلف میزان شدت بارش هم افزایش می‌یابد، که در شکل ۲ نیز این روند بر روی منحنی‌ها این قابل مشاهده می‌باشد.

جدول ۲- مقادیر شدت بارش (mm/h) در دوره بازگشت‌های مختلف توسط توزیع گمبل

زمان	دوره پایه (۱۹۸۰-۲۰۲۰)					
	۲ ساله	۵ ساله	۱۰ ساله	۲۵ ساله	۵۰ ساله	۱۰۰ ساله
۰/۱۷	۱۳/۴۴	۱۵/۸۹	۱۸/۸۹	۲۴/۲۶	۲۶/۳۸	۲۸/۸۷
۰/۳۳	۹/۵۲	۱۱/۲۴	۱۴/۹۸	۱۸/۵۶	۱۹/۷۷	۲۱/۸۷
۰/۵	۶/۹۸	۹/۹۸	۱۱/۵۹	۱۴/۶۸	۱۶/۰۲	۱۸/۵۶
۱	۴/۸۲	۶/۵۴	۸/۷۸	۹/۲۵	۱۰/۷۹	۱۲/۴۷
۲	۳/۲۵	۴/۷۸	۶/۶۷	۶/۸۷	۷/۵۵	۸/۶۳
۴	۲/۱	۲/۸۵	۳/۴۹	۴/۸۹	۵/۶۳	۶/۳۲
۸	۱/۴۲	۱/۸۷	۲/۸۵	۳/۲۴	۴/۲۳	۵/۱۱
۱۲	۱/۲۱	۱/۵	۲/۰۲	۲/۸۸	۳/۰۵	۴/۲۲
۱۶	۱/۰۵	۱/۲۲	۱/۷۸	۲/۲۱	۲/۹۷	۳/۴۴
۲۰	۰/۹۸	۱/۱۱	۱/۵۳	۱/۷۷	۲/۲۶	۳/۱۱
۲۴	۰/۷۵	۱/۰۲	۱/۲۴	۱/۴۴	۱/۹۷	۲/۸۸

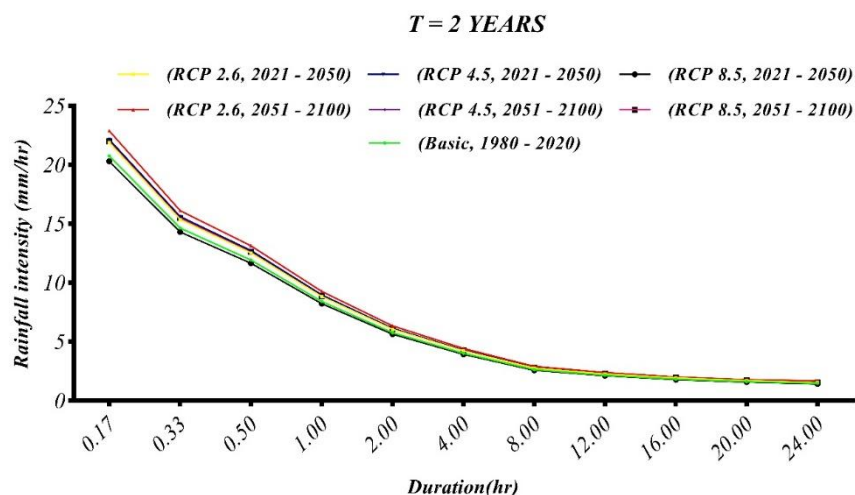


شکل ۲- منحنی‌های شدت-مدت-فراوانی بارش توسط توزیع گمبل در ایستگاه مهرآباد تهران

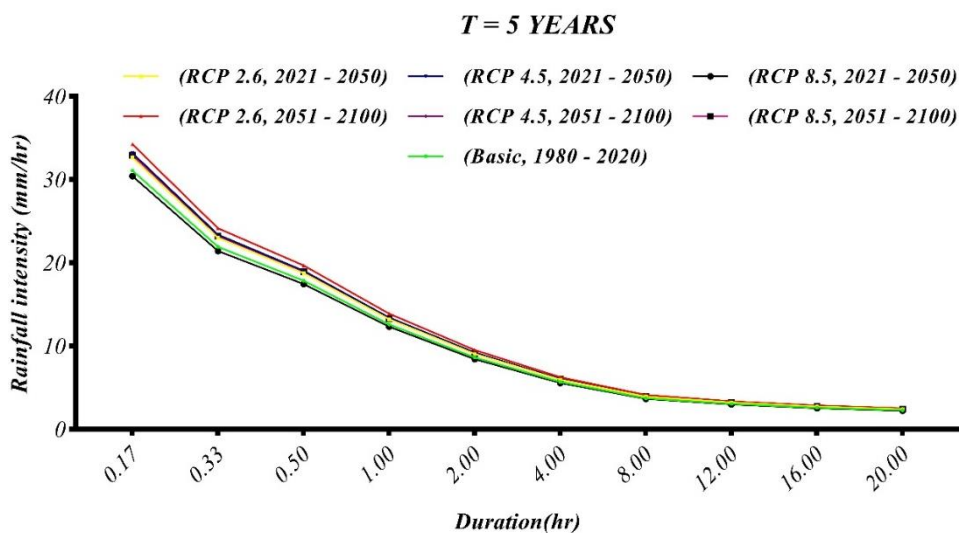
با توجه به مقادیر حداکثر بارش ۲۴ ساعته در هر دوره آماری، مقادیر بارندگی یک ساعته ۱۰ ساله محاسبه و سپس شدت بارندگی در هر یک از مقیاس‌های زمانی ۰/۱۷، ۰/۳۳، ۰/۵، ۱، ۲، ۴، ۸، ۱۲، ۱۶، ۲۰ و ۲۴ ساعته با در نظر گرفتن ضرایب ثابت در جدول ۱ و ۲ و دوره بازگشت‌های مختلف ۲، ۵، ۱۰، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ ساله بارندگی یک ساعته ۱۰ ساله به دست آمد. شکل‌های ۳ تا ۸ منحنی‌های IDF در تداوم‌های مختلف و دوره بازگشت‌های مختلف را نشان می‌دهد.

استخراج منحنی‌های IDF تحت تأثیر تغییر اقلیم

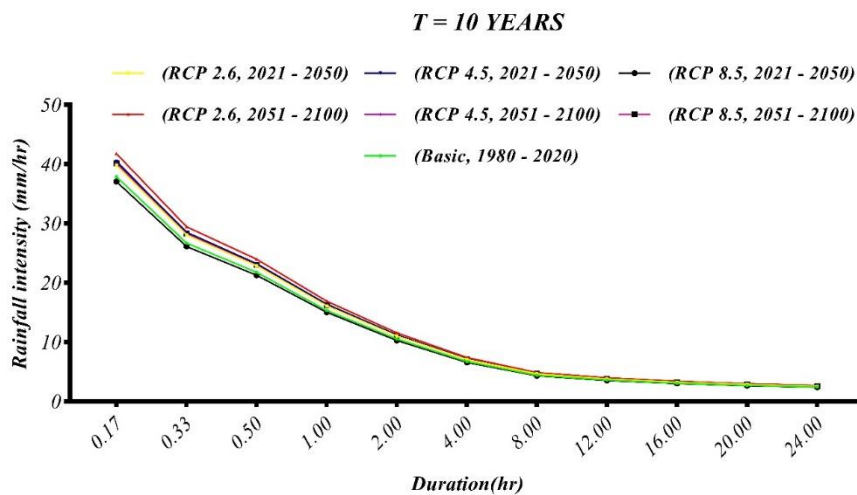
برای تهیه منحنی IDF برای دوره پایه (۱۹۸۰-۲۰۲۰) و دوره آینده نزدیک (۲۰۲۱-۲۰۵۰) و آینده دور (۲۰۵۱-۲۱۰۰) از روش قهرمان و آبخضر استفاده گردید. استفاده از این رابطه نیاز به برآورد حداکثر بارش ۲۴ ساعته به عنوان پارامتری کلیدی دارد. بدین منظور مقادیر حداکثر بارش ۲۴ ساعته طی هر سال برای دوره پایه و دوره‌های پیش‌بینی شده به دست آمد و سپس میانگین آنها محاسبه شد.



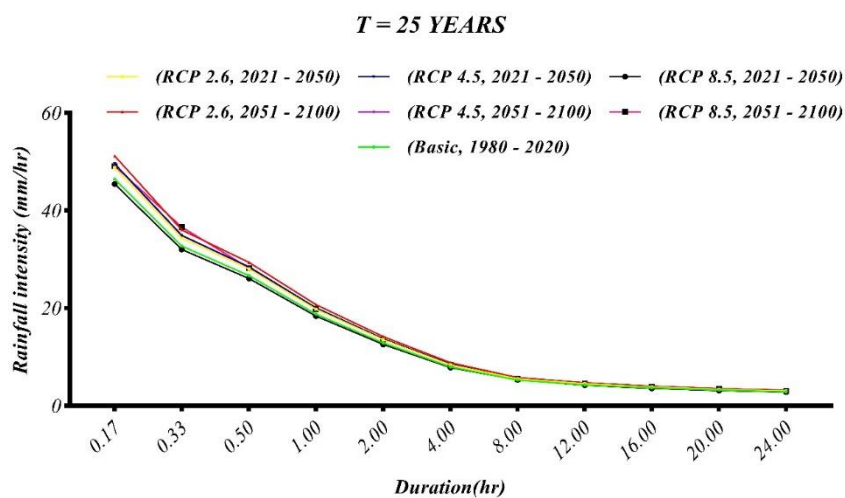
شکل ۳- منحنی‌های شدت-مدت-فراوانی بارش توسط رابطه آبخضر و قهرمان برای دوره بازگشت ۲ ساله



شکل ۴- منحنی‌های شدت-مدت-فراوانی بارش توسط رابطه آبخضر و قهرمان برای دوره بازگشت ۵ ساله

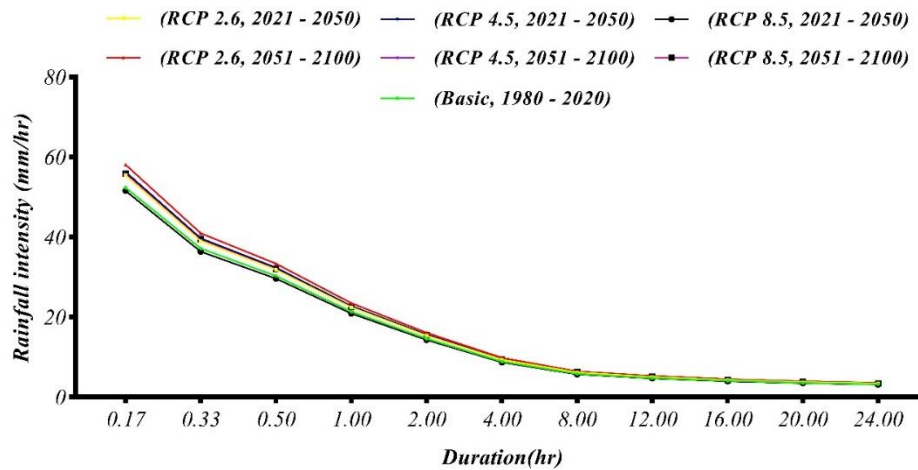


شکل ۵- منحنی‌های شدت-مدت-فراوانی بارش توسط رابطه آبخضر و قهرمان برای دوره بازگشت ۱۰ ساله



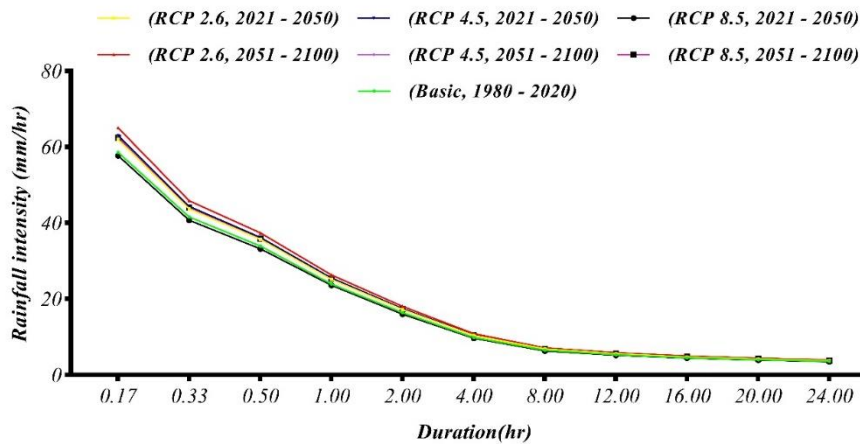
شکل ۶- منحنی‌های شدت-مدت-فراوانی بارش توسط رابطه آبخضر و قهرمان برای دوره بازگشت ۲۵ ساله

T = 50 YEARS



شکل ۷- منحنی‌های شدت-مدت-فراوانی بارش توسط رابطه آبخضر و قهرمان برای دوره بازگشت ۵۰ ساله

T = 100 YEARS



شکل ۸- منحنی‌های شدت-مدت-فراوانی بارش توسط رابطه آبخضر و قهرمان برای دوره بازگشت ۱۰۰ ساله

در افزایش شدت کاهش می‌یابد. به عبارت دیگر، هرچه تداوم رگبار کم‌تر باشد اثر دوره بازگشت محسوس‌تر است. همین امر باعث می‌گردد فواصل منحنی‌های شدت-مدت-فراوانی در نزدیکی مبدأ زیاد باشد و به تدریج با افزایش تداوم بارندگی فواصل منحنی‌ها نیز کاهش یابد. همچنین بیشترین شدت بارش تحت تأثیر تغییر اقلیم مربوط به سناریوی RCP 2.6 برای سال (۲۰۵۱-۲۱۰۰) برای تمامی دوره بازگشت‌ها است.

به عنوان مثال، برای دوره بازگشت ۵۰ ساله برای دوره پایه (۲۰۲۰-۱۹۸۰) و تداوم ۲ ساعته مقدار شدت بارش ۱۴/۶۲ میلی‌متر در ساعت و برای دوره آینده دور (۲۱۰۰-۲۰۵۱) ۱۶/۱۱ میلی‌متر در ساعت می‌باشد. برای نمونه، برای تداوم چهار و ۲۴ ساعت برای دوره بازگشت ۱۰ ساله

بر اساس نتایج حاصل شکل‌های ۳ تا ۸، مقادیر شدت بارش در همه تداوم‌های بارش و دوره بازگشت‌های مختلف در هر ۳ سناریوی تغییر اقلیم نسبت به منحنی شدت مدت و فراوانی دوره پایه افزایش داشته است و فقط برای آینده نزدیک (۲۰۲۱-۲۰۵۰) تحت سناریوی RCP 8.5 نسبت به دوره پایه روند کاهشی برای این ایستگاه مشاهده می‌شود.

معمولاً جریان‌های سیلابی از رگبارهایی حاصل می‌شود که دارای شدت بالایی بوده و شدت بارش از سرعت نفوذ آب در خاک بیشتر است. نتایج حاصل از منحنی‌های IDF نشان می‌دهد که بارش‌هایی با تداوم‌های کوتاه مدت دارای شدت زیادی بوده و خطر ایجاد سیل در حوضه را افزایش می‌دهد. با افزایش زمان تداوم رگبار، تأثیر دوره بازگشت

آبخضر برای ایستگاه سینوپتیک مهرآباد استفاده گردید. برای این منظور، دو توزیع بر روی داده‌های پایه بارش داده شد و توزیع گامبل به عنوان توزیع برتر انتخاب و منحنی IDF مربوط به این توزیع نیز استخراج گردید. برای استخراج منحنی IDF تحت تأثیر تغییر اقلیم از مدل گردش عمومی جو HadGEM - ES از سری مدل‌های CMIP5 تحت سناریوهای جدید انتشار RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 و با استفاده از مدل ریزمقیاس‌نمایی آماری LARS - WG استفاده گردید.

نتایج پژوهش نشان داد که روش قهرمان و آبخضر برای منطقه مورد مطالعه مناسب است. نتایج نشان داد که تحت تأثیر تغییر اقلیم مقادیر شدت بارش در همه گام‌های زمانی بارش و دوره بازگشت‌های مختلف در هر سه سناریوی تغییر اقلیم نسبت به منحنی شدت-مدت و فراوانی دوره پایه افزایش نشان می‌دهد و فقط برای آینده نزدیک (۲۰۲۱-۲۰۵۰) تحت سناریوی RCP 8.5 نسبت به دوره پایه روند کاهشی وجود دارد. این نتایج با نتایج حبیب نژاد و شکوهی [۵] و بختیاری و همکاران [۱] که با افزایش دوره بازگشت شدت بارش‌ها هم افزایش پیدا خواهد کرد، هم‌خوانی دارد.

همچنین بلوکی و همکاران [۲] در مطالعه‌ای نشان داده‌اند که شدت بارش در منحنی‌های دوره آینده از سال ۲۰۲۱ تا ۲۰۵۸ تحت سناریو RCP 4.5 نسبت به دوره پایه ۱۹۸۲ تا ۲۰۱۹ در ایستگاه همدید زاهدان در تداوم‌ها و دوره بازگشت مختلف افزایش خواهد یافت در حالی که شدت بارش تحت سناریو RCP 8.5 نسبت به دوره پایه کاهش خواهد یافت که نتایج آنها با نتایج این مطالعه هم‌خوانی دارد. مقایسه بیشینه شدت بارش در تداوم‌ها و دوره بازگشت‌های مختلف، نشان می‌دهد که حداکثر شدت بارش در پایه زمانی کوتاه مدت افزایش داشته و با گذشت زمان از شدت بارش حداکثری کاسته شده است و منحنی‌های IDF تحت تأثیر بارش‌های کوتاه مدت است.

با توجه به نتایج به‌دست آمده می‌توان این ارزیابی در تغییر ایجاد شده در مقادیر حدی را به سیلاب شهری و ارزیابی رفتار، ریسک و احتمال شکست در شبکه‌های موجود جمع‌آوری آب‌های سطحی در دامنه وسیع‌تری ارزیابی نمود و پاسخ به اثرات تغییر اقلیم را از این منظر

مقدار شدت بارش با توجه به شکل ۵ برای سناریوی RCP 2.6 و RCP 8.5 برای آینده دور (۲۱۰۰-۲۰۵۱) به ترتیب ۷/۰۵، ۷/۱ و ۲/۵۶، ۲/۵۸ میلی‌متر در ساعت می‌باشد، در حالی که برای دوره پایه (۲۰۲۰-۱۹۸۰) برای تداوم چهار و ۲۴ ساعته به ترتیب ۶/۷۱ و ۲/۴۴ میلی‌متر در ساعت می‌باشد که نشان دهنده افزایش شدت بارش حداکثری با افزایش دوره بازگشت است. شکل ۹ نشان دهنده مقایسه بیشینه شدت بارش در دوره بازگشت‌های مختلف (۲، ۲۵ و ۱۰۰ ساله) برای دوره پایه (۲۰۲۰-۱۹۸۰) و آینده نزدیک آینده دور (۲۱۰۰-۲۰۵۱) تحت سناریوهای RCP2.6 و RCP8.5 است.

بر اساس شکل ۹، با افزایش مدت زمان بارندگی میزان شدت بارش در تداوم‌های مختلف کاهش می‌یابد. به عنوان مثال، شدت بارش برای دوره بازگشت دو ساله تحت دوره پایه (۲۰۲۰-۱۹۸۰) از ۱۱/۹۲ میلی‌متر در ساعت برای تداوم ۰/۵ ساعته شروع و به میزان ۱/۴۶ میلی‌متر در ساعت برای تداوم ۲۴ ساعته رسیده است. همچنین برای دوره بازگشت ۱۰۰ ساله تحت سناریو RCP 8.5 برای دوره آینده دور (۲۱۰۰-۲۰۵۰) شدت بارش ۳۵/۸۷ میلی‌متر بر ساعت در تداوم ۰/۵ ساعته به ۳/۷۹ برای تداوم ۲۴ ساعته رسیده است که نشان دهنده این است که حداکثر شدت بارش در پایه زمانی کوتاه مدت افزایش داشته است و در واقع بارش کوتاه مدت مؤثر بوده است.

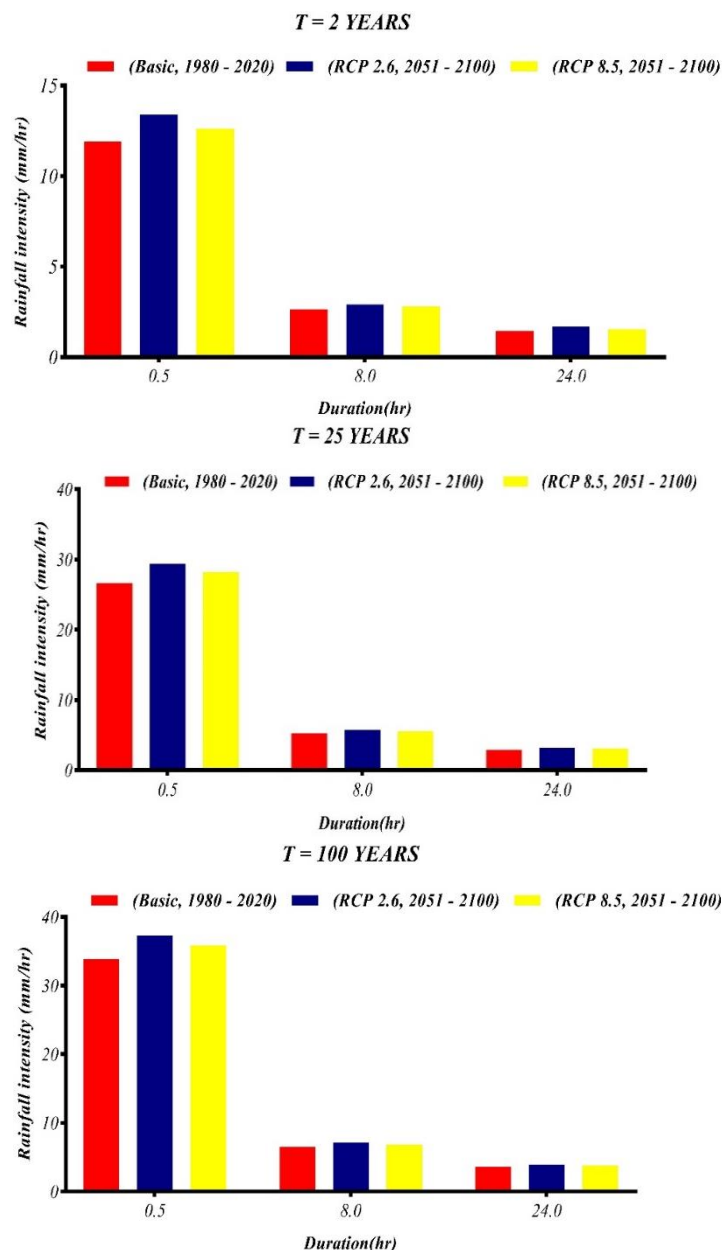
مقایسه دوره پایه و آینده نزدیک و دور در تداوم‌های مختلف و همچنین، در دوره بازگشت‌های مختلف نشان می‌دهد که شدت بارش‌ها در آینده تحت سناریوی RCP 2.6 و RCP 4.5 هم در دوره آینده نزدیک (۲۰۵۰-۲۰۲۱) و هم آینده دور (۲۱۰۰-۲۰۵۱) نسبت به پایه افزایش و تحت سناریوی RCP 8.5 برای دوره آینده نزدیک (۲۰۲۱-۲۰۵۰) نسبت به پایه کاهش خواهد یافت.

نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر، برای استخراج منحنی‌های IDF تحت دوره بازگشت‌های ۲، ۵، ۱۰، ۲۵ و ۵۰ و ۱۰۰ ساله با تداوم ۰/۱۷، ۰/۳۳، ۰/۵، ۱، ۲، ۴، ۸، ۱۲، ۱۶، ۲۰ و ۲۴ ساعته برای دوره پایه (۲۰۲۰-۱۹۸۰)، آینده نزدیک (۲۰۲۱-۲۰۵۰) و آینده دور (۲۱۰۰-۲۰۵۱) از رابطه قهرمان و

موجود جهت تخلیه سیلاب در هنگام بروز بارش با دوره بازگشت طراحی، مشخص شده و اقدامات مدیریتی لازم در مورد هر یک از این محل‌ها تعیین شده و به منظور رفع مشکلات فعلی منطقه شش شهرداری تهران این اقدامات به مرحله اجرا درآید چون طبق نتایج بدست آمده با افزایش دوره بازگشت با افزایش شدت بارش همراه هستیم.

نیز مورد سنجش قرار داد. لازم است برای تأسیسات هیدرولیکی نگهدارنده سیلاب، حجم مخازن بالاتری در نظر گرفت و برای تأسیسات هیدرولیکی انتقال سیلاب، ابعاد مقاطع بزرگ‌تر و یا دبی خروجی افزایش داده شود. پس از مطالعه و بررسی و تعیین محل گلوگاه‌ها و نتیجتاً جمع و روان‌شدن آب‌های حاصل از بارندگی بر سطوح نفوذناپذیری چون سطح خیابان‌ها، پشت‌بام‌ها، پارکینگ‌ها و غیره می‌بایست کفایت یا عدم کفایت سیستم زهکشی



شکل ۹- مقایسه بیشینه شدت بارش در دوره بازگشت‌های مختلف برای دوره پایه (۱۹۸۰-۲۰۲۰) و آینده دور

(۲۰۲۱-۲۰۵۰) تحت سناریو RCP 2.6 و RCP 8.5

References

- [1]. Bakhtiari, B. Purmusavi, Sh. Sayari, N. (2014). Impact of Climate Change on Intensity-Duration-Frequency Curves of Precipitation (Case study: Babolsar station. Iranian Journal of Irrigation and Drainage, 8(4), 694 – 704. (In Farsi)
- [2]. Bolouki, H., Fazeli, M., Sharifzadeh, M. (2021). Investigation of the effect of climate change under emission scenarios on intensity-duration-frequency curves of precipitation in Zahedan Synoptic Station using Fractal theory, Iranian journal of Ecohydrology, 8(3), 735-748. (in Persian)
- [3]. Cheng K-S, Hueter I, Hsu E-C, Yeh H-C.(2001). A scaleinvariant Gauss-Markov model for design storm hydrographs. Journal of the American Water Resources Association 37(3), 723-735.
- [4]. Ghahraman, B. Abkhezzr, H. (2004). Improvement in Intensity-Duration-Frequency Relationships of Rainfall in Iran. JWSS, 8(2), 1-14. (In Persian)
- [5]. Habibnejad, R., Shokoohi, A. (2021). Investigating the Use of Weather Generator Models Simulation Instead of the Output of Climate Change Models in Predicting Design Precipitation (Case study: Tehran, Mehrabad Station), Iran-Water Resources Research, 17(3), 231-247. (in Farsi)
- [6]. Kuok, King Kuok, Yau Seng Mah, Monzur A. Imteaz, and Sze Miang Kueh. (2016). Comparison of future intensity duration frequency curve by considering the impact of climate change: case study for Kuching city. International Journal of River Basin Management, 1(14), 47-55.
- [7]. Menabde M, Seed A, Pegram G. A. (1999). Simple scaling model for extreme rainfall. Water Resources Researc, 3(1), 335-339.
- [8]. Mohamadi, M., Mamizadeh, J., Ehsanzadeh, E. (2020). Comparison of Statistical and Empirical Models in Determining the Intensity-Duration-Frequency Rainfall Curves (Case Study: Ilam City), Irrigation and Water Engineering, 11(1), 256-268. (In Persian)
- [9]. Mirhosseini, G., Srivastava, P., & Stefanova, L. (2013). The impact of climate change on rainfall Intensity–Duration–Frequency (IDF) curves in Alabama. Regional Environmental Change, 13(1), 25-33.
- [10]. Nhat, L. M., Tachikawa, Y. and Takaka, K. (2006). Establishment of IDF relationships for monsoon areas, Annual of Disas. Prev. Rrev. Inst., Kyoto University, 49B, 93-103.
- [11]. Vu, M. T., Raghavan, S. V., Liu, J., & Liang, S. Y. (2018). Constructing short-duration IDF curves using coupled dynamical–statistical approach to assess climate change impacts. International Journal of Climatology, 38(6), 2662-2671.
- [12]. Racsco, P., L. Szeidl and M. Semenov. (1991). A serial approach to local stochastic weather models. Ecological Modeling, 57(1), 27-41.
- [13]. Safavi, H., Dadjou, S., Naeimi, G. (2019). 'Extraction of Intensity-Duration-Frequency (IDF) Curves under Climate Change, Case study: Isfahan Synoptic Station, Iran-Water Resources Research, 15(2), 217-227. (In Persian)
- [14]. Semenov M.A., Stratonovitch P. (2010). Use of multi-model ensembles from global climate models for assessment of climate change impacts, CLIMATE RESEARCH. 41, 1-14.
- [15]. Semenov, M., R. Brooks, E. Barrow and C. Richardson. (1998). Comparison of the WGEN and LARS-WG stochastic weather generators for diverse climates. Clim. Res, 10, 95-107.
- [16]. Sharma, R., Choudhury, N., Alam, R., Seleyi, V., & Sangtam, Y. (2016). Development of Intensity-Duration-Frequency curves for precipitation in western watershed of Guwahati (Assam). International Journal of Latest Trends in Engineering and Technology, 6(4), 575-579.
- [17]. Shrestha, A., Babel, M. S., Weesakul, S., & Vojinovic, Z. (2017). Developing Intensity–Duration–Frequency (IDF) curves under climate change uncertainty: The case of Bangkok, Thailand. Water, 9(2), 145.
- [18]. Tfwala C.M. Van Rensburg L.D. Schall R. Mosia S.M. Dlamini P. (2017). Precipitation Intensity-Duration-Frequency Curves and Their Uncertainties for Ghaap Plateau. Climate Risk Management, 16(1), 1-9.
- [19]. Yimer, G., Jonoski, A., & Griensven, A. V. (2009). Hydrological response of a

catchment to climate change in the upper
Beles river basin, upper Blue Nile, Ethiopia.
Nile Basin Water Engineering Scientific
Magazine, 2(1), 49-59.

Extraction of Intensity-Duration-Frequency (IDF) curves and precipitation change process under the impact of climate change (Case study: Mehrabad synoptic station, Tehran)

- 1- Yazdan Yarahmadi, Ph.D. student in Watershed Science and Engineering, Kashan University, Kashan, Iran.
- 2- Reza Ghazavi*, Professor, Faculty of Natural Resources and Earth Sciences, Kashan University, Kashan, Iran.
ghazavi@kashanu.ac.ir
- 3- Hoda Ghasemiyeh, Associate Professor, Faculty of Natural Resources and Earth Sciences, Kashan University, Kashan, Iran.

Received: 17 July 2021

Accepted: 13 Sep. 2021

Abstract

In this research, the changes in the frequency intensity curve for the Zone No. 6 of Tehran municipality (Mehrabad synoptic station) under the influence of climate change were investigated by using the Abkhezr-Gahreman relationship. The information related to the current research includes two categories: First category includes hourly rainfall data measured in order to derive IDF curves for the base period (1980-2020). The second category includes the predicted daily rainfall data for the near future (2021-2050) and the far future (2051-2100), which were obtained from the output of the LARS model. First, using EasyFit software, statistical analysis was done on the observational data and the best distribution (Gamble distribution) was selected and the corresponding IDF curves were extracted for different return periods. To extract the IDF curves under the influence of climate change, the general circulation model of the atmosphere HadGEM - ES from the series of CMIP5 models under RCP2.6, RCP4.5 and RCP8.5 emission scenarios was used. The results showed that the rainfall intensity in all rainfall interval duration and different return periods in all three scenarios have increased compared to the intensity duration frequency curve of the base period, and only for the near future (2021-2050) under the RCP 8.5 scenario, there is a decreasing trend compared to the base period will have. For example, interval duration of 4 and 24 hours for the return period of 10 years, the amount of precipitation intensity for the scenario RCP 2.6 and RCP 8.5 for the distant future (2051-2100) is 7.05, 7.1 and 2.56, 2.58, respectively, while which for the base period (1980-2020) is 6.71 and 2.44, respectively, which indicates the increase in the intensity of maximum rainfall with the increase of the return period. It can be concluded that the maximum intensity of rainfall has increased in short-term time base and with the passage of time, the intensity of the maximum rainfall has decreased, and the IDF curves are affected by short-term rainfall.

Keywords: Gamble Distribution, IDF Curve, Climate Change, District 6 of Tehran Municipality, LARS - WG