

## بررسی تأثیر تغییر اقلیم تحت سناریوهای انتشار بر منحنی‌های شدت - مدت - فراوانی بارش

## در ایستگاه همدید زاهدان با استفاده از تئوری فرکتال

هدا بلوکی<sup>۱</sup>، مهدی فاضلی<sup>۲\*</sup>، مهدی شریفزاده<sup>۳</sup>

۱. دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه مهندسی عمران، دانشگاه یاسوج

۲. استادیار، گروه مهندسی عمران، دانشگاه یاسوج

۳. استادیار، گروه ریاضی، دانشگاه یاسوج

(تاریخ دریافت ۱۳۹۹/۱۲/۰۱؛ تاریخ تصویب ۱۴۰۰/۰۴/۱۵)

## چکیده

منحنی‌های شدت-مدت-فراوانی بارش (IDF) برای برنامه‌ریزی، طراحی و بهره‌برداری از پروژه‌های منابع آب یا محافظت از پروژه‌های مختلف مهندسی در برابر سیلاب استفاده می‌شوند. منحنی‌هایی که از شرایط آب‌وهوایی گذشته ایجاد شده‌اند، نمی‌توانند برای شرایط آب‌وهوایی آینده معتبر باشند، مگر اینکه با روند اقلیمی آینده به‌روز شوند. هدف مطالعه حاضر، بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر منحنی‌های IDF در ایستگاه همدید زاهدان است. ابتدا رفتار فرکتالی بارش در ایستگاه یادشده بررسی شد که نتایج نشان داد بیشینه شدت بارش از رفتار منوفرکتالی تبعیت می‌کند. خطای تئوری به روش تفاوت نسبی (RD) محاسبه شد و نتایج نشان داد خطاها در محدوده مجاز قرار دارند، در ادامه منحنی‌ها برای دوره پایه (۱۹۸۲ تا ۲۰۱۹) و برای دوره بازگشت‌های ۲، ۵، ۱۰، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ سال استخراج شدند. همچنین، داده‌های بارش آینده (۲۰۲۱ تا ۲۰۵۵) با استفاده از مدل گردش عمومی HadGEM2-ES، از سری مدل‌های CMIP5، تحت سناریوهای انتشار RCP4.5 و RCP8.5 و با استفاده از مدل ریزمقیاس‌نمایی آماری LARS-WG پیش‌بینی شد و با استفاده از این داده‌ها و به‌کارگیری تئوری فرکتال منحنی‌های IDF برای آینده نیز استخراج شد. مقایسه منحنی‌های دوره پایه و آینده نشان داد میانگین بیشینه شدت بارش‌ها در تداوم‌ها و دوره بازگشت‌های مختلف تحت سناریوی RCP4.5 به میزان ۲۲/۹ درصد افزایش و تحت سناریوی RCP8.5 به میزان ۱۱/۱ درصد کاهش می‌یابد.

کلیدواژگان: تغییر اقلیم، تئوری فرکتال، سناریوهای انتشار، منحنی‌های IDF، LARS-WG.

## مقدمه

منحنی‌های شدت - مدت - فراوانی ( $IDF^1$ ) از رایج‌ترین ابزارهایی هستند که در مهندسی منابع آب برای برنامه‌ریزی، طراحی و بهره‌برداری از پروژه‌های منابع آب یا محافظت از پروژه‌های مختلف مهندسی در برابر سیلاب استفاده می‌شوند [۱]. رابطه  $IDF$  یک رابطه ریاضی بین شدت بارندگی ( $I$ )، مدت ( $D$ ) و فراوانی وقوع ( $F$ ) در دوره بازگشت‌های مختلف است. این منحنی‌ها دارای اطلاعات بارندگی برای طراحی سیستم‌های زهکشی شهری هستند [۲]. برای طراحی سازه‌های تحت تأثیر بارندگی یا مربوط به نگهداری و انتقال آن، مهندسان نیاز دارند میزان بارندگی را ارزیابی کنند. ارزیابی میزان بارندگی معمولاً با استفاده از منحنی‌های  $IDF$  برای طرح‌های مختلف مربوط به منابع آب انجام می‌شود [۳]. توجه به تغییرات بارش حداکثری در طراحی بسیاری از تأسیسات زیربنایی اهمیت دارد. بسیاری از تأسیسات هیدرولیکی مانند حوضچه‌های ذخیره و نگهداشت سیلاب به‌خصوص سیستم‌های جمع‌آوری و دفع آب‌های سطحی شهری، سیل‌بندها و آبگذر جاده‌ها با استفاده از بارش‌های طراحی با دوره بازگشت و تداوم معادل زمان تمرکز حوضه آبریز مربوطه طراحی می‌شوند. بنابراین، منحنی‌های  $IDF$  نقش بسیار مهمی در طراحی ابعاد و اجزای این تأسیسات در مناطق مختلف دارند [۴].

منحنی‌هایی که از شرایط آب‌وهوایی گذشته ایجاد شده‌اند، نمی‌توانند برای شرایط آب‌وهوایی آینده معتبر باشند، مگر اینکه با روند اقلیمی آینده به‌روز شوند [۲]. تغییرات اقلیم بر شدت و فراوانی وقایع بارش تأثیر می‌گذارد و این موضوع ما را به استفاده از تدابیر جدید در مدیریت منابع آب نیازمند می‌کند. اگر انتشار گازهای گلخانه‌ای با میزان فعلی خود ادامه یافته یا افزایش یابد، جهان شاهد تغییراتی خواهد بود که پیش‌بینی می‌شود شدیدتر از موارد مشاهده‌شده در قرن بیستم باشد. مدیریت آب شامل کلیه فعالیت‌های مربوط به نگهداری و بهبود وضعیت منابع آب است. سیستم هیدرولوژیکی تحت تأثیر تغییرات آب‌وهوایی است. تغییرات در الگوهای بارندگی، تأثیر مستقیمی بر زمان و بزرگی خشکسالی و سیل دارد و باعث تغییر میزان تغذیه آب‌های زیرزمینی می‌شود. در دسترس بودن منابع آب تأثیراتی بر جریان رودخانه دارد و این به نوبه خود بر ناپویری، تولید برق، حفاظت از اکوسیستم و تالاب تأثیر می‌گذارد.

زیرساخت‌های مربوط به آب در مناطق شهری بیانگر ارزش اقتصادی بسیار زیادی است. همچنین، تأثیر زیادی بر عملکرد هیدرولیکی، محیطی، اقتصادی و اجتماعی هر شهر دارد. به طور کلی، توافق بر این است که اکنون تغییر سیاست‌ها و مدیریت منابع آب مورد نیاز است تا هم بتواند با تغییرپذیری‌ای که در نتیجه تغییرات اقلیمی مشاهده می‌شود، مبارزه کند و هم انطباق یابد [۵]. پیش‌بینی می‌شود که افزایش دما تأثیر زیادی بر میزان و فراوانی وقوع بارش‌های شدید در برخی مناطق داشته باشد. در نظر گرفتن تغییرات پیش‌بینی‌شده در برنامه‌ریزی و طراحی سازه‌های هیدرولیکی، عدم قطعیت‌های آینده را کاهش می‌دهد [۶].

روش‌های متداول استخراج منحنی‌های  $IDF$  به دلایلی مانند نیاز داشتن داده‌های بارندگی در تداوم‌های مختلف و همچنین، داشتن پارامترهای زیاد، دقت کافی ندارند. روش نوینی تحت عنوان «تئوری فرکتال»<sup>۲</sup> وجود دارد که در آن تعداد پارامترها کم بوده و فقط با استفاده از داده‌های روزانه بارش که از فراوان‌ترین منابع اطلاعاتی بارش هستند، می‌توان منحنی‌های  $IDF$  را برای تداوم‌های کوتاه‌مدت ساخت [۷]. اشکال فرکتالی خاصیت خودمتشابهی دارند، یعنی هر جزء آن شبیه کل است. این مفهوم در هیدرولوژی برای تبدیل هیتوگراف بارش از یک تداوم به تداومی دیگر استفاده می‌شود و بین بارش در تداوم‌های گوناگون یک رابطه ریاضی ایجاد می‌شود. با استفاده از این ویژگی، می‌توان با استفاده از داده‌های بارش ۲۴ ساعته، داده‌های بارش در تداوم‌های کوتاه و بلند را استخراج کرد [۸]. به خلاف فرکتال‌های ریاضی که در آن دسته‌ها نسخه دقیق‌تری از کل هستند، خودشباهت فرکتالی فرایندهای طبیعی مانند بارش، ماهیت آماری دارد. بنابراین، می‌توان خصوصیت مقیاس‌پذیری پدیده‌هایی مانند باران را با روابط آماری توصیف رفتار فرکتالی آنها بیان کرد [۹].

## پیشینه تحقیق

پژوهش‌هایی در زمینه استخراج منحنی‌های  $IDF$  در ایران و سایر نقاط جهان، با استفاده از روش‌های مختلف و با در نظر گرفتن شرایط تغییر اقلیم و یا بدون در نظر گرفتن این شرایط صورت گرفته است. طی پژوهشی منحنی‌های  $IDF$  برای ایستگاه همدید اصفهان در سه دوره زمانی تاریخی (۱۹۶۷-۱۹۹۳)، اخیر (۱۹۹۴-۲۰۱۶) و آینده تحت شرایط

استفاده شده و نمودار تداوم بارش در برابر گشتاور تهیه شد. نتایج پژوهش یادشده نشان داد خصوصیات بارش ایستگاه مطالعه‌شده از تئوری عدم تغییرپذیری مقیاس تبعیت می‌کند و نشان‌دهنده زیاد بودن دقت روش است. بنابراین، با استفاده از روابط، منحنی‌ها برای دوره بازگشت‌های ۲، ۱۰، ۵۰، ۱۰۰ و ۵۰۰ سال استخراج شد [۷].

همچنین، طی پژوهشی منحنی‌های IDF در حوضه رودخانه باراک<sup>۶</sup> در هند استخراج شد. برای برآورد این هدف از داده‌های روزانه<sup>۷</sup> ۲۳ ایستگاه با طول آماری ۳۵ سال (۱۹۷۹-۲۰۱۳) استفاده شد. داده‌ها با استفاده از رابطه<sup>۱</sup> به داده‌های کوتاه‌مدت تبدیل شدند.

$$p_t = p_{24} \left(\frac{t}{24}\right)^{1/3}$$

که در رابطه یادشده  $p_t$  عمق بارندگی  $t$  ساعته به میلی‌متر،  $p_{24}$  عمق بارندگی روزانه به میلی‌متر و  $t$  مدت زمان بارندگی به ساعت است. توزیع‌های گامبل، لاگ پیرسون نوع ۳ و لاگ نرمال<sup>۷</sup> بر سری‌های زمانی برازش داده شد. نتایج آزمون نیکویی برازش نشان داد توزیع لاگ پیرسون نوع ۳ برای منطقه نسبت به دو توزیع دیگر مناسب‌تر است. در نهایت، پس از ایجاد منحنی‌های IDF برای هر ایستگاه، یک منحنی میانگین با استفاده از روش چندضلعی تیسن<sup>۸</sup> در نرم‌افزار سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS<sup>۹</sup>) برای منطقه ایجاد شد [۳]. همچنین، در پژوهش دیگری منحنی‌های IDF برای بانکوک<sup>۱۰</sup> در تایلند برای دوره‌های زمانی گذشته (۱۹۸۱-۲۰۱۰) و آینده (۲۰۱۱-۲۰۳۰) و (۲۰۴۶-۲۰۶۵) استخراج شد. در پژوهش یادشده از داده‌های ۳ ساعته و ۲۴ ساعته بارش برای تولید منحنی‌های دوره پایه استفاده شد. برای تولید منحنی‌های آینده، داده‌های بارش روزانه با استفاده از مدل ریزمقیاس‌نمایی آماری LARS-WG<sup>۵</sup> تولید شد. سپس، داده‌های ۲۴ ساعته با استفاده از نرم‌افزار Hyetos به داده‌های ساعتی تفکیک شدند. مقایسه منحنی‌های دوره پایه و آینده نشان داد شدت بارش‌ها در دوره بازگشت‌های مختلف در آینده افزایش خواهد یافت [۲]. همچنین، طی پژوهشی تأثیر تغییر اقلیم بر منحنی‌های IDF در ۶ ایستگاه واقع در کلان‌شهر بارسلونا<sup>۱۱</sup> (اسپانیا) بررسی شد. در پژوهش یادشده

تغییر اقلیم (۲۰۱۷-۲۰۳۵)، با استفاده از تئوری فرکتال استخراج شده و تغییرات منحنی‌ها بر اثر تغییر اقلیم بررسی شد. نتایج پژوهش یادشده نشان داد در دو دوره اخیر و آینده، میانگین بارش‌ها کاهش یافته، ولی شدت بارش‌های با تداوم کوتاه افزایش یافته است. همچنین، میزان افزایش دوره آینده نسبت به تاریخی به بیش از حدود ۵۲ درصد هم می‌رسد [۴]. در پژوهش دیگری منحنی‌های IDF برای ایستگاه همدید مهرآباد در حوضه آبخیز تهران- کرج، در دوره بازگشت‌های ۲، ۵، ۱۰، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ سال و برای دوره مشاهداتی (۱۹۸۶ تا ۲۰۱۵) و همچنین، دوره‌های آینده (۲۰۲۱ تا ۲۰۵۰ و ۲۰۵۰ تا ۲۰۸۰)، با استفاده از داده‌های شبیه‌سازی شده به دست آمده از مدل ریزمقیاس‌نمایی آماری SDSM (تحت مدل CanESM2 و سناریوهای واداشت تابشی (RCP<sup>۱</sup>) شامل سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5)، با استفاده از روش قهرمان و آب خضر استخراج شد. نتایج پژوهش یادشده نشان داد شدت بارندگی در آینده نسبت به دوره مشاهداتی در هر سه سناریو و در همه دوره بازگشت‌ها و مقیاس‌های زمانی کاهش خواهد یافت [۱۰]. همچنین، طی پژوهشی منحنی‌های IDF برای بازه‌های زمانی و دوره بازگشت‌های مختلف برای ایستگاه بابلسر با استفاده از برازش دو توزیع گامبل<sup>۲</sup> و لاگ پیرسون نوع ۳<sup>۳</sup> بر داده‌های ساعتی بارش (۱۹۶۶-۱۹۹۸) استخراج شد. سپس، تأثیر تغییر اقلیم بر منحنی‌های IDF در آینده (۲۰۱۱-۲۰۳۰) با استفاده از بررسی بارش روزانه حاصل از مدل گردش عمومی جو (HadCm3 (GCM<sup>۴</sup>) تحت سناریوهای انتشار A1B، A2 و B1 و مدل ریزمقیاس‌نمایی آماری LARS-WG<sup>۵</sup> ارزیابی شد. نتایج پژوهش یادشده نشان داد ضریب همبستگی در توزیع گامبل بیشتر از توزیع لاگ پیرسون نوع ۳ است، بنابراین همبستگی در توزیع گامبل معنادارتر بوده است. مقایسه بین شدت بارش محاسبه‌شده توسط توزیع گامبل برای دوره پایه و شدت بارش پیش‌بینی‌شده با استفاده از سناریوها نشان داد که شدت بارش‌ها در آینده افزایش خواهد یافت [۱۱]. در پژوهش دیگری به منظور استخراج منحنی‌های IDF برای ایستگاه هواشناسی ساوه از تئوری مقیاس زمانی بارش استفاده شد. در پژوهش یادشده از داده‌های بارش ۲۴ ساعته

6. Barak

7. Lognormal

8. Thiessen Polygon Method

9. Geographic Information System

10. Bangkok

11. Barcelona

1. Representative Concentration Pathways

2. Gumbel

3. Log-Pearson 3

4. Global Circulation Models

5. Long Ashton Research Station – Weather Generator

تحت شرایط تغییر اقلیم به‌روزرسانی شد. نتایج پژوهش یادشده نشان داد برای تمام شبیه‌سازی‌ها تحت سناریوهای انتشار RCP، شدت بارش برای تمام دوره بازگشت‌ها افزایش می‌یابد. نسبت افزایش در بارش‌های حدی با سناریوها مطابقت داشته، برای مثال، شدت بارش تحت سناریوی RCP2.6 کمتر از RCP4.5 و RCP8.5 بوده است [۶].

### مواد و روش‌ها

#### منطقه مطالعه‌شده

منطقه مطالعه‌شده ایستگاه همدید زاهدان واقع در استان سیستان و بلوچستان است. داده‌های شش‌ساعته بارش با طول آماری ۳۸ سال (۱۹۸۲-۲۰۱۹) از پایگاه سازمان هواشناسی کشور دریافت شد. موقعیت جغرافیایی ایستگاه زاهدان در جدول ۱ درج شده است.

جدول ۱. موقعیت جغرافیایی ایستگاه زاهدان

ایستگاه	استان	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع
زاهدان	سیستان و بلوچستان	۶۰/۹۰	۲۹/۴۷	۱۳۷۰

می‌شود. داده‌های تولیدشده این مدل با دوره گذشته از لحاظ خواص آماری شباهت دارد، اما انحراف معیار آنها به نسبت اختلاف داده‌های مدل GCM در دوره گذشته و آینده تغییر می‌کند [۱۳]. 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 [۱۴].

ب) انتخاب بهترین توزیع برای بیشینه شدت بارش‌ها در تداوم‌های مختلف به این صورت که انتخاب بهترین توزیع و به دست آوردن تابع توزیع چگالی احتمال (PDF) و پارامترهای آن در نرم‌افزار EasyFit انجام می‌شود. در این پژوهش از توزیع‌های گامبل بیشینه [۲-۶ و ۱۵-۱۷]، مقادیر حدی تعمیم‌یافته (GEV) [۲، ۵، ۱۶، ۱۸ و ۱۹]، لاگ نرمال [۲-۴ و ۱۷] و لاگ پیرسون نوع ۳ [۱-۴ و ۲۰] که کاربرد بیشتری در زمینه مورد پژوهش دارند، استفاده

در مجموع، از ۱۱۴ سری زمانی (۳۰ سری زمانی برای دوره ۱۹۵۱-۱۹۹۹ و ۸۴ سری زمانی برای ۲۰۰۰-۲۰۹۹) به منظور تجزیه و تحلیل استفاده شد. داده‌های آینده با استفاده از پنج مدل گردش عمومی جو، تحت چهار سناریوی آب‌وهوایی آینده از انتشار گازهای گلخانه‌ای و ریزمقیاس‌نمایی آماری تولید شد. نتایج پژوهش یادشده نشان داد تحت سناریوهای A1B، A2 و B2، بارش روزانه با دوره بازگشت ۲۰ سال، حداقل ۴ درصد افزایش خواهد یافت. با استفاده از خصوصیت مقیاس زمانی بارش، بارش‌های شدید ساعتی در آینده تخمین زده شد. نتایج نشان داد تقریباً تحت همه سناریوها و برای همه دوره‌ها، افزایش بارش ساعتی پیش‌بینی شده اندکی بیشتر از میزان بارش روزانه بوده است. بیشترین اختلاف بین بارش ساعتی و روزانه در آینده تحت سناریوهای A1B و A2 به ترتیب ۸ و ۹ درصد بوده است [۱۲]. در پژوهش دیگری منحنی‌های IDF برای ۴ ایستگاه در کانادا با روش تطبیق چندک با فواصل مساوی (EQM)<sup>۱</sup>

### روش تحقیق

مراحل تحقیق به صورت زیر است:

الف) داده‌های شش‌ساعته بارش با طول آماری ۳۸ سال (۱۹۸۲ تا ۲۰۱۹) از پایگاه سازمان هواشناسی کشور دریافت می‌شود. سپس، بیشینه شدت بارش‌ها در تداوم‌های ۶، ۱۲، ۱۸، ۲۴، ۳۰، ۳۶ و ۴۲ ساعت در سال، بر حسب میلی‌متر بر ساعت محاسبه می‌شود. همچنین، داده‌های بارش روزانه در آینده با طول آماری ۳۸ سال (۲۰۲۱ تا ۲۰۵۸) با استفاده از مدل گردش عمومی HadGEM2-ES، از سری مدل‌های CMIP5<sup>۲</sup> تحت سناریوهای انتشار RCP4.5 و RCP8.5 و با استفاده از مدل ریزمقیاس‌نمایی آماری LARS-WG پیش‌بینی می‌شود و بیشینه شدت بارش‌ها در سال در تداوم روزانه برای آینده نیز محاسبه می‌شود.

مدل LARS-WG مولد مصنوعی داده‌های آب‌وهواشناسی است و برای شبیه‌سازی داده‌های هواشناسی تحت شرایط تغییر اقلیم در زمان حال و آینده، در مناطق مختلف استفاده

3. Probability Distribution Function  
4. Generalized Extreme Value

1. Equidistance Quantile Matching  
2. Coupled Model Integration Phase five

$$I_d = \max \left[ \frac{1}{d} \int_{1-\frac{d}{2}}^{1+\frac{d}{2}} X(\xi) d\xi \right] \quad (7)$$

$X(\xi)$  تابع پیوسته شدت بارش است [۴]. بر اساس آنالیز فرکتال‌ها متغیرهای تصادفی  $I_d$  و  $I_D$  (بیشینه شدت بارش سالانه در تداوم  $D$ ) دارای خصوصیات مقیاسی به صورت رابطه ۸ است:

$$I_d = \left(\frac{d}{D}\right)^n I_D \quad (8)$$

$n$  توان مقیاس<sup>۴</sup> است [۲۶] که از میانگین‌گیری شیب‌های خطوط به‌دست‌آمده در قسمت (ت) به‌دست می‌آید [۴]. اگر بر اساس خاصیت منوفرکتالی از دو طرف رابطه ۸ گشتاور مرتبه<sup>۵</sup>  $q$  گرفته شود، داریم (رابطه ۹) [۱۵]:

$$E(I_d^q) = \left(\frac{d}{D}\right)^{K(q)} E(I_D^q) = \frac{E(I_D^q)}{D^{K(q)}} d^{K(q)} \quad (9)$$

توان مقیاس ( $K(q)$ ) در حالت منوفرکتال برای گشتاور مرتبه<sup>۶</sup>  $q$  برابر  $q \times n$  است، یعنی  $K(q)$  تابعی خطی از  $q$  است [۲۱]. در حالت مالتی‌فرکتال توان مقیاس تابع محدبی از  $q$  است [۸].

اگر از رابطه ۹ لگاریتم گرفته شود، داریم (رابطه ۱۰):

$$\text{Log } E(I_d^q) = K(q) \text{Log} \left(\frac{d}{D}\right) + \text{Log } E(I_D^q) \quad (10)$$

رابطه ۱۰ نشان می‌دهد  $K(q)$  شیب خط همبستگی  $\text{Log } E(I_d^q)$  در برابر لگاریتم دوام بارش است. با بررسی تئوری شکل‌های خود متشابه در حالت عدم تغییرپذیری مقیاس از رابطه ۹، میانگین و واریانس بارش در دو تداوم مختلف از روابط ۱۱-۱۳ حاصل می‌شود:

$$E(I_d) = \frac{E(I_D)}{D^n} d^n \quad (11)$$

$$E(I_d^2) = \frac{E(I_D^2)}{D^{2n}} d^{2n} \quad (12)$$

$$\text{Var}(I_d) = E(I_d^2) - E^2(I_d) \Rightarrow \text{Var}(I_d) = \frac{\text{Var}(I_D)}{D^{2n}} d^{2n} \quad (13)$$

$E(I_d)$  میانگین و  $\text{Var}(I_d)$  واریانس شدت بارش در تداوم  $d$  است [۴].

شدت بارش با تداوم  $d$  و دوره بازگشت  $T$  بر اساس رابطه چاو<sup>۵</sup> به صورت رابطه ۱۴ تعریف می‌شود:

$$I_{d,T} = E(I_d) + K_T \sqrt{\text{Var}(I_d)} \quad (14)$$

می‌شود. سپس، در نرم‌افزار EasyFit بهترین توزیع برای هر سری زمانی با استفاده از آزمون نیکویی برازش کای اسکوئر<sup>۱</sup> که در زمینه مورد پژوهش کاربرد بیشتری دارد [۲، ۴ و ۱۱]، انتخاب می‌شود.

رابطه PDF مربوط به توزیع گامبل بیشینه، مقادیر حدی تعمیم‌یافته، لاگ نرمال و لاگ پیرسون نوع ۳ به‌ترتیب از روابط ۲ تا ۵ به‌دست می‌آید [۲۱]:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma} \exp(-z - \exp(-z)) \quad (2)$$

$$z \equiv \frac{x - \mu}{\sigma}$$

$$f(x) = \begin{cases} \frac{1}{\sigma} \exp\left(-\frac{1}{k} \ln(1+kz)\right) (1+kz)^{-1-1/k} & k \neq 0 \\ \frac{1}{\sigma} \exp(-z - \exp(-z)) & k = 0 \end{cases} \quad (3)$$

$$z \equiv \frac{x - \mu}{\sigma}$$

$$f(x) = \frac{\exp\left(-\frac{1}{2} \left(\frac{\ln(x) - \mu}{\sigma}\right)^2\right)}{x \sigma \sqrt{2\pi}} \quad (4)$$

$$f(x) = \frac{1}{x|\beta|\Gamma(\alpha)} \left(\frac{\ln(x) - \gamma}{\beta}\right)^{\alpha-1} \exp\left(-\frac{\ln(x) - \gamma}{\beta}\right) \quad (5)$$

(ب) محاسبه گشتاورهای مراتب مختلف که طبق رابطه ۶ محاسبه می‌شود:

$$q_r = \sum_{i=1}^n f(x_i) x_i^r \quad (6)$$

$n$  تعداد سال‌های آماری،  $f(x_i)$  تابع توزیع PDF،  $x_i$  داده‌های بیشینه شدت بارش و  $r$  مرتبه گشتاور است [۴]. مطالعات مختلف بازه‌های بین ۰/۲ تا ۴ را برای مرتبه گشتاور انتخاب کرده‌اند [۸، ۹، ۱۸ و ۲۱]. در این پژوهش مراتب ۰/۵، ۱، ۱/۵، ۲/۵ و ۳/۵ استفاده می‌شود.

(ت) گشتاورهای محاسبه‌شده در مقابل تداوم‌های مختلف در مختصات دو لگاریتمی ترسیم می‌شود. اگر خطوط به‌دست‌آمده خطی باشد، یعنی نوع مقیاس زمانی داده‌ها ساده (منوفرکتال<sup>۲</sup>) است و اگر خطوط به‌دست‌آمده خطی نباشد، یعنی نوع مقیاس زمانی داده‌ها چندمقیاسی (مالتی فرکتال<sup>۳</sup>) است [۱، ۹، ۱۲، ۱۶، ۲۲-۲۵].

(ث) استفاده از روابط برای محاسبه اطلاعات مورد نیاز برای ترسیم منحنی‌های IDF، که روابط به شرح زیر است: متغیر تصادفی  $I_d$  بیشینه شدت بارش با تداوم زمانی  $d$  در سال است و از رابطه ۷ به دست می‌آید:

$$RD = \left| \frac{X-Y}{Y} \right| \times 100 \quad (17)$$

Y بیشینه شدت بارش داده‌های تجربی و X بیشینه شدت بارش محاسبه‌شده توسط تئوری فرکتال است [۴] و [۱۸].

### نتایج و بحث

نتایج آزمون نیکویی برازش برای بیشینه شدت بارش‌ها در تداوم‌های مختلف در نرم‌افزار EasyFit نشان داد برای تداوم‌های ۶، ۱۲، ۱۸، ۳۶ ساعت توزیع لاگ نرمال، تداوم ۲۴ ساعت توزیع گامبل بیشینه و برای تداوم‌های ۳۰ و ۴۲ ساعت توزیع مقادیر حدی تعمیم‌یافته مناسب است. شکل ۱ برازش تابع چگالی احتمال توزیع گامبل بیشینه و پارامترهایش بر بیشینه شدت بارش روزانه را نشان می‌دهد.

$K_T$  عامل فراوانی<sup>۱</sup> است که تابع نوع توزیع احتمالاتی و دوره بازگشت است [۲۷]. Frequency Factor. با جای‌گذاری روابط ۱۱ و ۱۳ در رابطه ۱۴ خواهیم داشت:

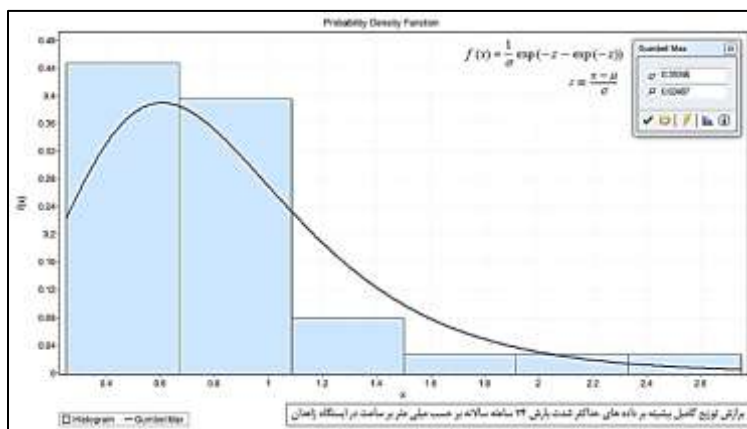
$$I_{d,T} = \frac{E(I_D)}{D^n} (1 + C_v K_T) d^n \quad (15)$$

$C_v$  ضریب تغییرات بیشینه شدت بارش سالانه در تداوم D است.

داده‌های بارش روزانه با دقت خوبی و به راحتی در دسترس است، بنابراین می‌توان D را برابر ۲۴ ساعت در نظر گرفت و رابطه ۱۵ به صورت رابطه ۱۶ ساده می‌شود [۲۱]:

$$I_{d,T} = \frac{E(I_{24})}{24^n} (1 + C_v K_T) d^n \quad (16)$$

ج) محاسبه خطای تئوری با روش تفاوت نسبی (RD)<sup>۲</sup> که از رابطه ۱۷ به دست می‌آید: Relative Difference



شکل ۱. تابع چگالی احتمال توزیع گامبل بیشینه و پارامترهای تابع توزیع برای بارش‌های با تداوم ۲۴ ساعت در ایستگاه زاهدان

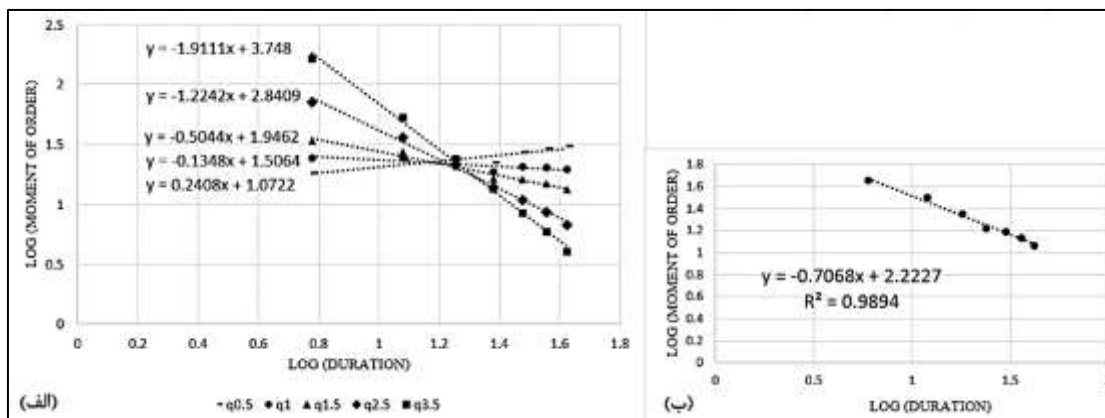
با انتخاب بهترین توزیع برای هر سری زمانی و محاسبه تابع توزیع چگالی احتمال، گشتاورهای مراتب ۰/۵، ۱، ۱/۵، ۲/۵ و ۳/۵ محاسبه شد. نتایج در جدول ۲ درج شده است.

جدول ۲. محاسبه گشتاورها برای تداوم‌های مختلف در ایستگاه زاهدان

تداوم / گشتاور	q 0.5	q 1	q 1.5	q 2.5	q 3.5
۶	۱۸/۰۷۱۶	۲۴/۵۰۵۱	۳۴/۱۱۹۴	۷۱/۵۴۸۵	۱۶۵/۹۰۸۲
۱۲	۲۲/۹۵۱۸	۲۴/۸۴۶۶	۲۷/۵۲۹۱	۳۶/۲۶۲۵	۵۲/۵۹۰۸
۱۸	۲۳/۷۰۹۷	۲۲/۰۸۴۸	۲۱/۱۶۸۵	۲۱/۱۷۸۲	۲۳/۸۰۵۷
۲۴	۲۱/۹۵۴۷	۱۸/۵۹۷۶	۱۶/۳۲۳۰	۱۳/۹۱۱۸	۱۳/۵۲۴۲
۳۰	۲۷/۱۱۰۳	۲۰/۵۱۶۷	۱۶/۰۵۱۳	۱۰/۸۶۹۵	۸/۴۸۱۱
۳۶	۲۸/۸۷۸۹	۲۰/۳۱۰۱	۱۴/۷۷۴۸	۸/۶۶۷۴	۵/۸۷۳۶
۴۲	۳۰/۲۳۷۴	۱۹/۶۵۳۱	۱۳/۲۳۸۶	۶/۷۲۳۴	۴/۰۲۱۲

است؛ یعنی بارش از خاصیت عدم تغییرپذیری مقیاس برخوردار بوده است و رفتار منوفرکتالی دارد. سپس، میانگین خطوط به دست آمده محاسبه شد (شکل ۲-ب) و نتایج نشان داد توان مقیاس در ایستگاه همدید زاهدان ۰/۷۰۶۸- است.

برای بررسی رفتار فرکتالی بارش، گشتاورهای محاسبه شده در مقابل تداوم‌های ۶، ۱۲، ۱۸، ۲۴، ۳۰، ۳۶ و ۴۲ ساعت در مختصات دو لگاریتمی رسم شد (شکل ۲-الف). نتایج نشان داد تمام خطوط به دست آمده خطی بوده



شکل ۲. الف. لگاریتم گشتاورهای مرتبه  $q$  داده‌ها در برابر لگاریتم تداوم  $d$  در ایستگاه زاهدان؛ ب. خط تغییرات تابع مقیاس در ایستگاه زاهدان

تئوری به دست آمد. نتایج حاصل از محاسبه خطای تئوری در جدول ۳ درج شده است.

برای محاسبه خطای تئوری، ابتدا داده‌های بیشینه شدت بارش در تداوم‌های مختلف با استفاده از تئوری فرکتال و از رابطه ۸ محاسبه شد. سپس، با استفاده از رابطه ۱۷ خطای

جدول ۳. درصد خطای تئوری فرکتال در ایستگاه زاهدان

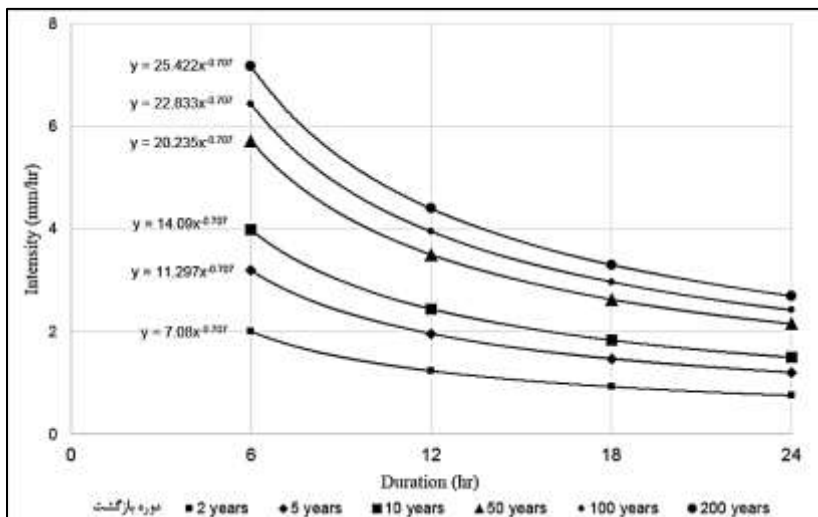
تداوم (ساعت)	۶	۱۲	۱۸	۳۰	۳۶	۴۲
درصد خطا	۷/۲۹	۱/۸۳	۰/۳۵	۱/۸۵	۴/۳۴	۶/۷۴

با محاسبه پارامترهای مورد نیاز رابطه ۱۶، بیشینه شدت بارش برای تداوم‌های مختلف و دوره بازگشت‌های ۲، ۵، ۱۰، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ سال به دست آمد. شکل ۳ دسته منحنی‌های IDF برای دوره پایه (۱۹۸۲ تا ۲۰۱۹) را نشان می‌دهد.

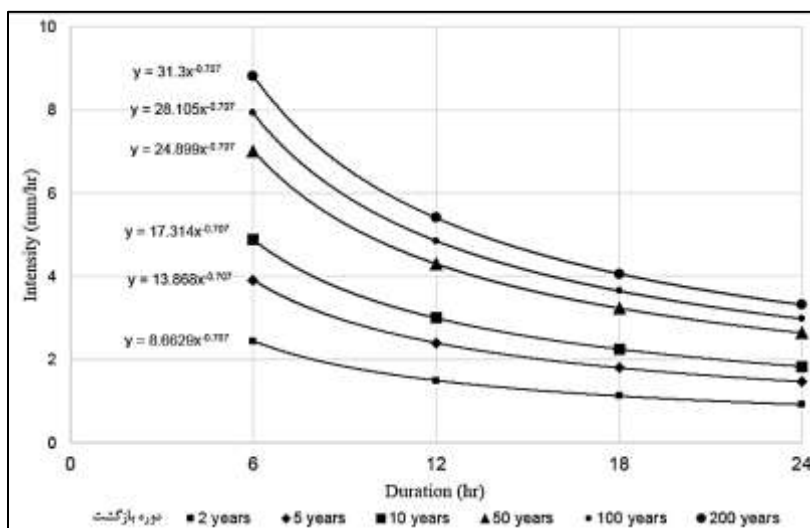
برای استخراج منحنی‌های آینده از داده‌های بارش روزانه تولید شده توسط مدل LARS-WG استفاده شد. سپس، مراحل پیموده شده برای استخراج منحنی‌های گذشته، به منظور استخراج منحنی‌های دوره آینده نیز طی شد. شکل ۴ دسته منحنی‌های IDF برای دوره آینده تحت سناریوی RCP4.5 و شکل ۵ دسته منحنی‌های IDF برای دوره آینده تحت سناریوی RCP8.5 را نشان می‌دهد.

خطای تئوری فرکتال برای حوزه‌های مختلف از ۸/۵ تا ۱۶/۵ درصد گزارش شده است [۴]، بنابراین، میزان خطاهایی که در جدول ۳ درج شده است، قابل قبول است و می‌توان از تئوری فرکتال برای استخراج منحنی‌های IDF استفاده کرد. با توجه به مطالب یاد شده در بخش روش تحقیق، برای به دست آوردن بیشینه شدت بارش در تداوم‌های مختلف با استفاده از تئوری فرکتال باید از رابطه ۱۶ استفاده کرد و این رابطه نیاز به محاسبه پارامتر عامل فراوانی دارد. از آنجا که برای بیشینه شدت بارش در تداوم روزانه، توزیع گامبل بیشینه مناسب بوده است، باید عامل فراوانی مربوط به این توزیع را محاسبه کرد که این پارامتر برای توزیع گامبل طبق رابطه ۱۸ تعریف می‌شود [۲۷]:

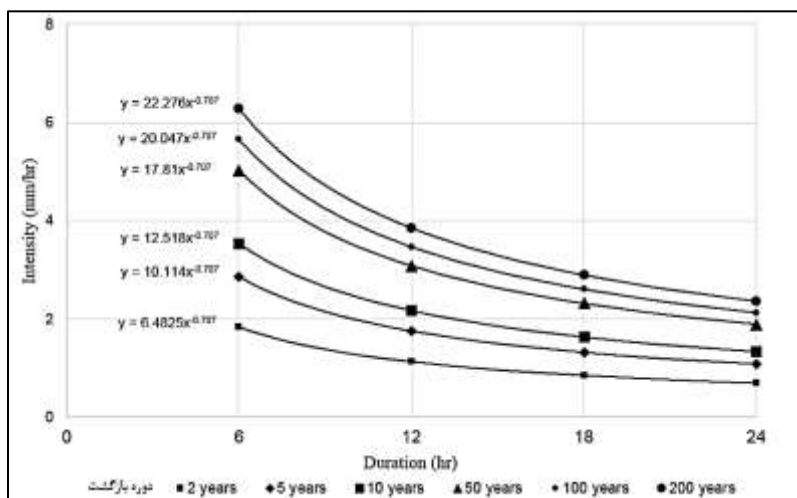
$$K_T = -\frac{\sqrt{6}}{\pi} \left\{ 0.5772 + \ln \left[ \ln \left( \frac{T}{T-1} \right) \right] \right\} \quad (18)$$



شکل ۳. دسته منحنی‌های IDF برای دوره گذشته (سال‌های ۱۹۸۲ تا ۲۰۱۹) در ایستگاه زاهدان



شکل ۴. دسته منحنی‌های IDF برای دوره آینده (سال‌های ۲۰۲۱ تا ۲۰۵۸) در ایستگاه زاهدان (تولید داده‌های آینده تحت سناریوی RCP4.5)

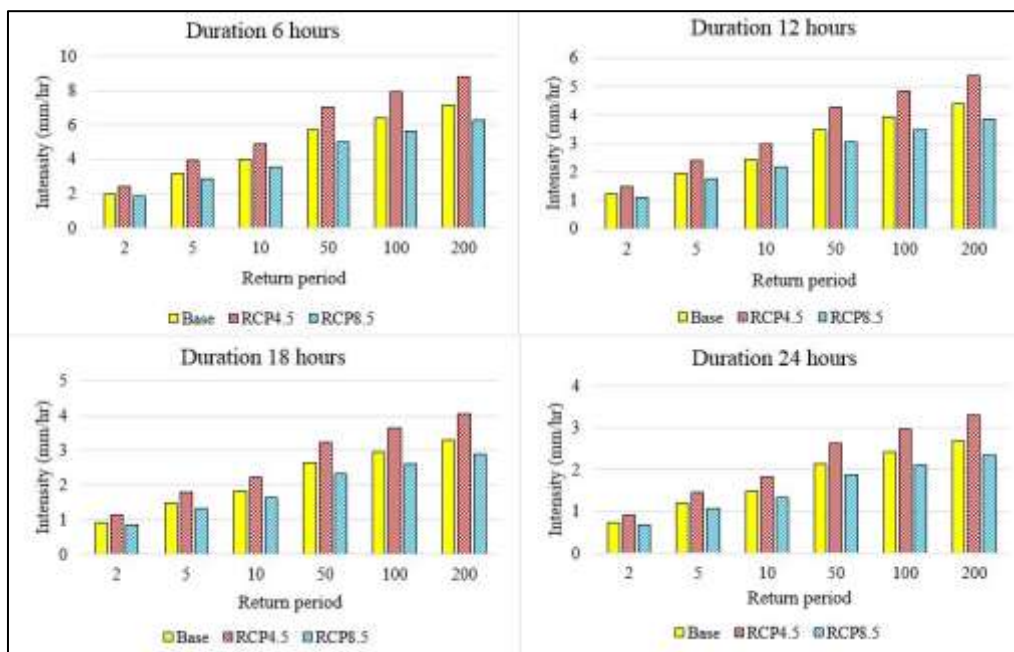


شکل ۵. دسته منحنی‌های IDF برای دوره آینده (سال‌های ۲۰۲۱ تا ۲۰۵۸) در ایستگاه زاهدان (تولید داده‌های آینده تحت سناریوی RCP8.5)

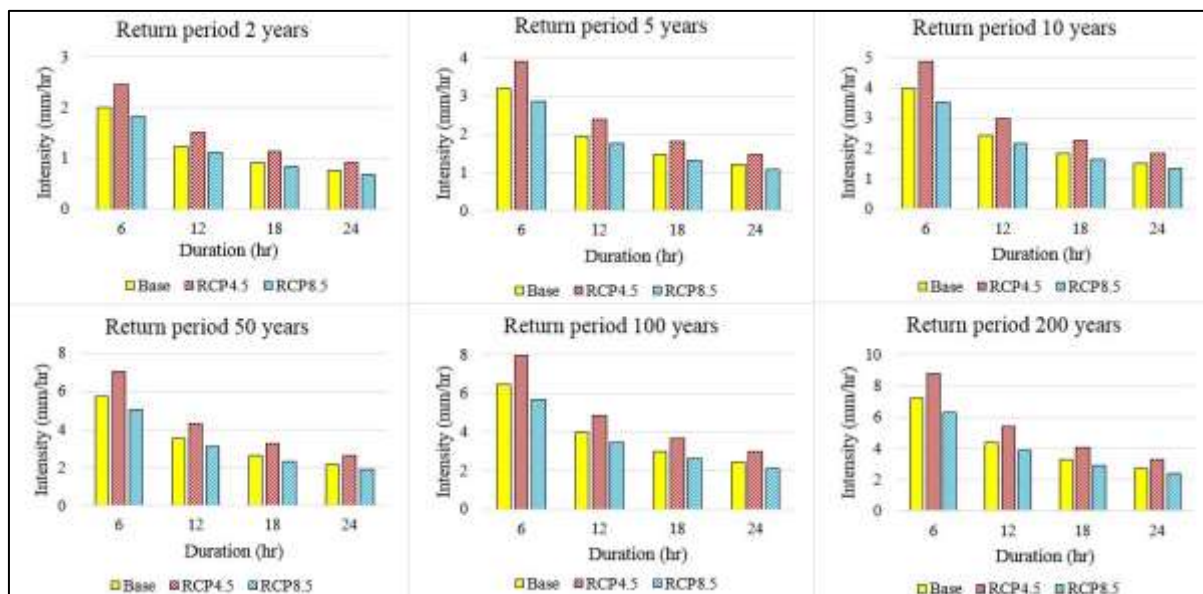


همچنین، در دوره بازگشت‌های مختلف نشان می‌دهد که شدت بارش‌ها در آینده تحت سناریوی RCP4.5 نسبت به پایه افزایش و تحت سناریوی RCP8.5 نسبت به پایه کاهش خواهد یافت. برای مثال، در شکل ۶ در تداوم ۶ ساعت و دوره بازگشت ۲۰۰ سال شدت بارش در دوره پایه، دوره آینده تحت سناریوی RCP4.5 و دوره آینده تحت سناریوی RCP8.5 به ترتیب حدود ۷، ۹ و ۶ میلی‌متر بر ساعت است. در شکل ۸ میانگین مجموع بارش سالانه در دوره پایه و آینده تحت سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5 مقایسه شده است. نتایج نشان می‌دهد میانگین مجموع بارش آینده نسبت به پایه تحت سناریوی RCP4.5 افزایش و تحت سناریوی RCP8.5 کاهش می‌یابد. این نتیجه با نتایج پژوهش زهیری و همکاران (۱۳۹۹) در ایستگاه همدید اراک [۲۸] و همچنین، نتایج پژوهش فرمان‌آرا و همکاران (۱۳۹۹) در استان فارس [۲۹] مشابهت دارد.

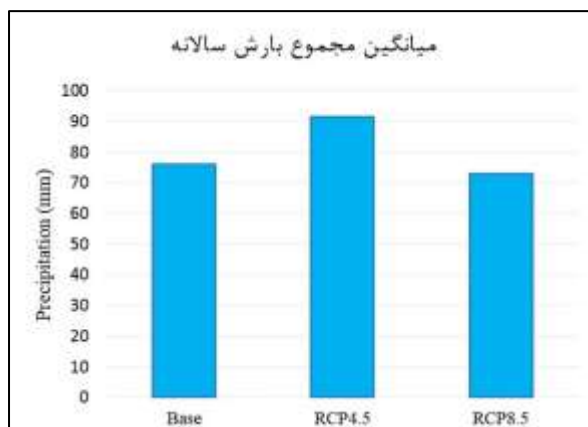
شکل‌های ۶ و ۷ تغییرات شدت بارش در تداوم‌ها و دوره بازگشت‌های مختلف در دوره پایه (۱۹۸۲ تا ۲۰۱۹) و آینده (۲۰۲۱ تا ۲۰۵۸) را نشان می‌دهد. شکل ۶ میزان افزایش شدت بارش‌ها را با افزایش دوره بازگشت برای چهار تداوم مشخص (۶، ۱۲، ۱۸ و ۲۴ ساعت) نشان می‌دهد. برای مثال، شدت بارش‌ها در تداوم ۶ ساعت و تحت سناریوی RCP4.5 از حدود ۲ میلی‌متر بر ساعت (دوره بازگشت ۲ سال) تا حدود ۹ میلی‌متر بر ساعت (دوره بازگشت ۲۰۰ سال) تغییر خواهد کرد. شکل ۷ میزان کاهش شدت بارش‌ها را با افزایش زمان تداوم برای شش دوره بازگشت مختلف (۲، ۵، ۱۰، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ سال) نشان می‌دهد. برای مثال، در دوره بازگشت ۲ سال تحت سناریوی RCP4.5، شدت بارش از حدود ۲/۵ میلی‌متر بر ساعت (تداوم ۶ ساعت) تا حدود ۱ میلی‌متر بر ساعت (تداوم ۲۴ ساعت) تغییر خواهد کرد. مقایسه دوره پایه و آینده در تداوم‌های مختلف و



شکل ۶. مقایسه بیشینه شدت بارش در تداوم‌های مختلف برای دوره پایه (۱۹۸۲ تا ۲۰۱۹) و آینده (۲۰۲۱ تا ۲۰۵۸) تحت سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5



شکل ۷. مقایسه بیشینه شدت بارش در دوره بازگشت‌های مختلف برای دوره پایه (۱۹۸۲ تا ۲۰۱۹) و آینده (۲۰۲۱ تا ۲۰۵۸) تحت سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5



شکل ۸. مقایسه میانگین مجموع بارش سالانه برای دوره پایه (۱۹۸۲ تا ۲۰۱۹) و آینده (۲۰۲۱ تا ۲۰۵۸) تحت سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5

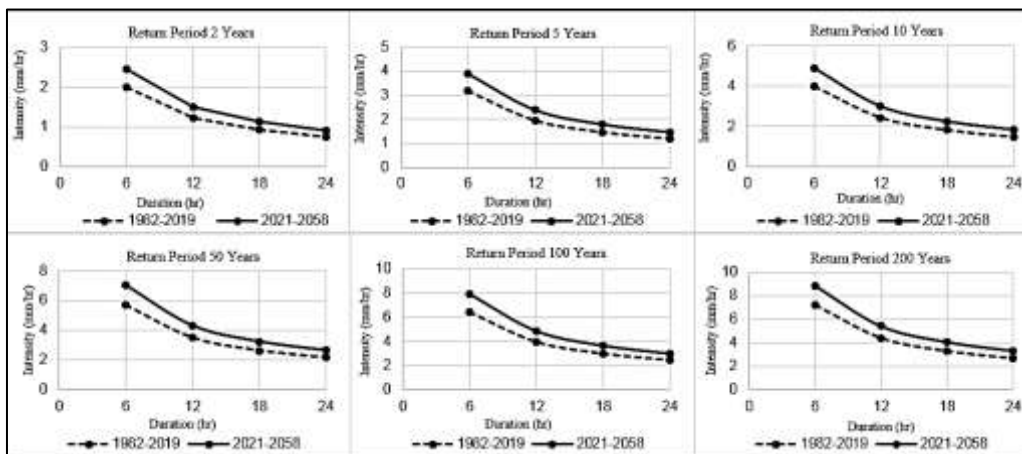
بختیاری و همکاران در ایستگاه بابلسر که داده‌های آینده با سناریوهای انتشار A1B، A2 و B1 تولید شده [۱۱] و همچنین، با نتایج پژوهش سریواستاو<sup>۱</sup> و همکاران در کانادا که شبیه‌سازی‌ها تحت سناریوهای انتشار RCP صورت گرفته [۶]، از لحاظ افزایشی بودن بیشینه شدت بارش‌ها در آینده در دوره بازگشت‌های مختلف مطابقت دارد.

شکل ۱۰ داده‌های آینده تحت سناریوی RCP8.5 را با گذشته مقایسه می‌کند. مطابق این شکل، منحنی‌های IDF در تمام دوره بازگشت‌ها در آینده به سمت پایین جابه‌جا می‌شود، یعنی بیشینه شدت بارش تحت سناریوی RCP8.5

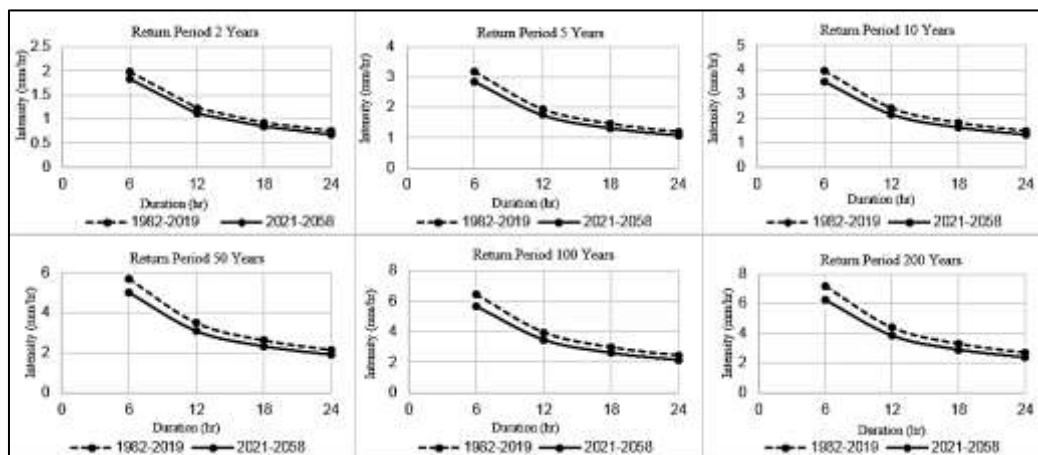
برای آشکارسازی تغییرات منحنی‌ها، منحنی‌های مربوط به هر دوره بازگشت در نمودارهای جداگانه در شکل‌های ۹ و ۱۰ نمایش داده شده است. شکل ۹ که داده‌های آینده تحت سناریوی RCP4.5 تولید شده است را نشان می‌دهد که منحنی‌های IDF در تمام دوره بازگشت‌ها در آینده به سمت بالا جابه‌جا می‌شود، یعنی بیشینه شدت بارش تحت سناریوی RCP4.5 در همه دوره بازگشت‌ها در ۳۸ سال آینده (۲۰۲۱ تا ۲۰۵۸) افزایش خواهد یافت. نتایج تأثیر تغییر اقلیم بر منحنی‌های IDF تحت سناریوی RCP4.5 با نتایج پژوهش صفوی و همکاران در ایستگاه همدید اصفهان که شرایط آینده از خروجی وزن‌دهی شده ۱۵ مدل AOGCM تحت سناریو انتشار A2 تولید شده [۴]، با نتایج پژوهش

گردش عمومی CanESM2 و توسط مدل ریزمقیاس‌نمایی SDSM پیش‌بینی شده [۱۰]، از لحاظ کاهشی بودن بیشینه شدت بارش‌ها در آینده نسبت به دوره پایه در دوره بازگشت‌های مختلف مطابقت دارد.

در همه دوره بازگشت‌ها در ۳۸ سال آینده (۲۰۲۱ تا ۲۰۵۸) کاهش خواهد یافت. نتایج تأثیر تغییر اقلیم بر منحنی‌های IDF تحت سناریوی RCP8.5 با نتایج پژوهش ملک‌شاه و همکاران در مناطق خشک (مطالعه موردی: حوضه تهران-کرج) که داده‌های آینده تحت سناریوهای RCP و مدل



شکل ۹. مقایسه منحنی‌های IDF مربوط به دوره گذشته و آینده در ایستگاه زاهدان (تولید داده‌های آینده تحت سناریوی RCP4.5)



شکل ۱۰. مقایسه منحنی‌های IDF مربوط به دوره گذشته و آینده در ایستگاه زاهدان (تولید داده‌های آینده تحت سناریوی RCP8.5)

است. همچنین، بیشترین تغییر تحت سناریوی RCP8.5 (دوره بازگشت ۲۰۰ سال) کاهشی به میزان ۱۲/۳۷ درصد است. با میانگین‌گیری از درصد تغییرات منحنی‌ها، درصد تغییرات کلی دسته منحنی‌ها به دست آمده و نتایج در جدول ۵ درج شده است.

برای مقایسه کمی نتایج دو دوره، برای هر دوره بازگشت، میزان درصد تغییرات دوره آینده نسبت به دوره گذشته محاسبه و نتایج در جدول ۴ درج شده است. داده‌های جدول نشان می‌دهد بیشترین درصد تغییر تحت سناریوی RCP4.5 (دوره بازگشت ۲۰۰ سال) افزایشی به میزان ۲۳/۱۲ درصد

جدول ۴. درصد تغییرات منحنی‌های IDF در آینده نسبت به گذشته در دوره بازگشت‌های مختلف تحت سناریوهای RCP8.5 و RCP4.5

دوره بازگشت	۲	۵	۱۰	۵۰	۱۰۰	۲۰۰
درصد تغییرات تحت سناریوی RCP4.5	+ ۲۲/۳۶ %	+ ۲۲/۷۵ %	+ ۲۲/۸۸ %	+ ۲۳/۰۵ %	+ ۲۳/۰۹ %	+ ۲۳/۱۲ %
درصد تغییرات تحت سناریوی RCP8.5	- ۸/۴۴ %	- ۱۰/۴۸ %	- ۱۱/۱۵ %	- ۱۱/۹۸ %	- ۱۲/۲۰ %	- ۱۲/۳۷ %

جدول ۵. میانگین درصد تغییرات منحنی‌های IDF در آینده نسبت به گذشته

سناریو	RCP4.5	RCP8.5
میانگین درصد تغییرات	+ ۲۲/۹ %	- ۱۱/۱ %

دادند، سپاسگزاری می‌شود.

### نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر با استفاده از تئوری فرکتال، منحنی‌های IDF از داده‌های بیشینه شدت بارش روزانه در مقیاس سالانه برای ایستگاه همدید زاهدان استخراج شد. نتایج نشان داد این روش برای منطقه مطالعه شده دقت زیادی دارد. سپس، تأثیر تغییر اقلیم بر منحنی‌های IDF بررسی شد. نتایج نشان داد شدت بارش در منحنی‌های دوره آینده (از سال ۲۰۲۱ تا ۲۰۵۸) تحت سناریوی RCP4.5 نسبت به دوره پایه (از سال ۱۹۸۲ تا ۲۰۱۹) در تداوم‌های ۶، ۱۲، ۱۸ و ۲۴ ساعت و دوره بازگشت‌های ۲، ۵، ۱۰، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ سال افزایش خواهد یافت؛ در حالی که شدت بارش‌ها تحت سناریوی RCP8.5 نسبت به دوره پایه کاهش خواهد یافت. درخور یادآوری است که در این پژوهش از مدل ریزمقیاس‌نمایی آماری LARS-WG با استفاده از مدل گردش عمومی HadGEM2-ES، از سری مدل‌های CMIP5، تحت سناریوهای انتشار RCP4.5 و RCP8.5 برای تولید داده‌های بارش روزانه در آینده استفاده شد. پیشنهاد می‌شود در مطالعات آینده برای کاهش عدم قطعیت‌ها به منظور تولید داده‌های آینده بارش، از سایر مدل‌های اقلیمی و سایر مدل‌های ریزمقیاس‌نمایی استفاده شود؛ همچنین، به تولید داده‌ها تحت سناریوهای دیگری از جمله RCP2.6، RCP6.0 و غیره پرداخته شود و نتایج حاصل با نتایج این پژوهش مقایسه شود؛ چرا که در نظر گرفتن تغییرات پیش‌بینی‌شده در برنامه‌ریزی و طراحی سازه‌های هیدرولیکی، عدم قطعیت‌های آینده را کاهش می‌دهد. توجه به تغییرات بارش حداکثری در طراحی بسیاری از تأسیسات زیربنایی حائز اهمیت است و منحنی‌های IDF نقش بسیار مهمی در طراحی ابعاد و اجزای این تأسیسات در مناطق مختلف دارند.

### تشکر و قدردانی

به این وسیله از سازمان هواشناسی کشور که داده‌های هواشناسی مورد نیاز این مطالعه را در اختیار نگارندگان قرار

### منابع

- [1]. Afrin S, Islam MM, Rahman MM. Development of IDF curve for Dhaka city based on scaling theory under future precipitation variability due to climate change. *International Journal of Environmental Science and Development*. 2015;6(5):332-335.
- [2]. Bakhtiari B, Purmusavi SH, Sayari N. Impact of Climate Change on Intensity-Duration-Frequency Curves of Precipitation (Case study: Babolsar station), *Iranian Journal of Irrigation & Drainage*, 2015;8(4):694-704. [Persian]
- [3]. Bara M, Gaál L, Kohnová S, Szolgay J, Hlavcova K. On the use of the simple scaling of heavy rainfall in a regional estimation of IDF curves in Slovakia. *Journal of Hydrology and Hydromechanics*. 2010;58(1):49-63.
- [4]. Basumatary V, Sil BS. Generation of rainfall intensity-duration-frequency curves for the Barak River Basin. *Meteorology Hydrology and Water Management. Research and Operational Applications*. 2018;6: 1-11.
- [5]. Bolouki H. Climate Change Detection and Extraction of Intensity-Duration-Frequency Curves Using Fractal Theory for Three South Coast Provinces of Iran. M. Sc. Thesis, Civil Engineering, Water Resources Management and Engineering, Faculty of Engineering, Yasouj University. 2021. [Persian]
- [6]. Casas-Castillo MC, Rodríguez-Solà R, Navarro X, Russo B, Lastra A, González P, et al. On the consideration of scaling properties of extreme rainfall in Madrid (Spain) for developing a generalized intensity-duration-frequency equation and assessing probable maximum precipitation estimates. *Theoretical and applied climatology*. 2018;131(1):573-580.
- [7]. Chow VT, Maidment DR, Mays LW. *Applied hydrology*; International Edition; McGraw-Hill. Inc.: New York, NY, USA. 1988.
- [8]. Farmanara SM, Bakhtiari B, Sayari N.

- from daily records. *International Journal of Climatology*. 2017;37(2):770-780.
- [20]. Safavi HR, Dadjou S, Naeimi G. Extraction of Intensity-Duration-Frequency (IDF) Curves under Climate Change, Case study: Isfahan Synoptic Station, Iran *Water Resources Research*, 2019;15(2): 217-227. [Persian]
- [21]. Shrestha A, Babel MS, Weesakul S, Vojinovic Z. Developing Intensity–Duration–Frequency (IDF) curves under climate change uncertainty: the case of Bangkok, Thailand. *Water*. 2017;9(2):145.
- [22]. Srivastav RK, Schardong A, Simonovic SP. Equidistance quantile matching method for updating IDF Curves under climate change. *Water resources management*. 2014;28(9):2539-2562.
- [23]. Tachikawa Y, Sayama T, Takara K. Regional rainfall intensity-duration-frequency relationships for ungauged catchments based on scaling properties. *Disaster Prevention Research Institute Annuals. B*. 2007;50(B):33-43.
- [24]. Veneziano D, Furcolo P. Multifractality of rainfall and scaling of intensity-duration-frequency curves. *Water resources research*. 2002;38(12).
- [25]. Yousef LA, Taha BM. Adaptation of water resources management to changing climate: the role of Intensity-Duration-Frequency curves. *International Journal of Environmental Science and Development*. 2015;6(6):478-483.
- [26]. Yousefi Malekshah M, Ghazavi R, Sadatinejad J. Investigation of climate change effect on Temperature, Rainfall and intensity-duration-frequency Curves in Arid Areas (Case Study: Tehran-Karaj Basin), *Iranian Journal of Eco Hydrology*, 2019; 6(2):431-445. [Persian]
- [27]. Yu PS, Yang TC, Lin CS. Regional rainfall intensity formulas based on scaling property of rainfall. *Journal of Hydrology*. 2004;295(1-4):108-123.
- [28]. Zamani Noori A. Derivating rainfall intensity - duration - frequency curves from daily data in Saveh hydro-meteorological station, *Journal of Water and Soil Resources Conservation*, 2012;1(2):61-69. [Persian]
- [29]. Zoheyri Z, Ghazavi R, Omidvar E, Davudi Rad AA. Comparison of LARS-WG and SDSM Downscaling Models for Prediction Temperature and Precipitation Changes under RCP Scenarios. *Arid regions Geographic Studies*. 2021; 10(40):39-52. [Persian]
- Meteorological Drought Characteristics Analysis under Climate Change Effect Using Copula in Fars Province. *Journal of water and soil*. 2021;34(5):1157-1173. [Persian]
- [9]. Huang Q, Chen Y, Xu S, Liu J. A simple multifractal model for rainfall IDF analysis in China. In 2012 9th International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery 2012 May 29 (pp. 1461-1465). IEEE.
- [10]. Innocenti S, Mailhot A, Frigon A. Simple scaling of extreme precipitation in North America. *Hydrology and Earth System Sciences*. 2017(11):5823-5846.
- [11]. Jafarzadeh A, Khashei Siuki A, Shahidi A. assessment of statistical downscaling methods LARS-WG & SDSM in forecast of climate parameter variation, *Water and Soil Conservation*, 2017;23(4):309-322. [Persian]
- [12]. Khelfi ME, Touaibia B, Guastaldi E. Regionalisation of the “intensity-duration-frequency” curves in Northern Algeria. *Arabian Journal of Geosciences*. 2017;10(20): 1-13.
- [13]. Langousis A, Veneziano D. Intensity-duration-frequency curves from scaling representations of rainfall. *Water Resources Research*. 2007;43(2):1-12.
- [14]. Menabde M, Seed A, Pegram G. A simple scaling model for extreme rainfall. *Water Resources Research*. 1999;35(1):335-339.
- [15]. Niemczynowicz J. Areal intensity-duration-frequency curves for short term rainfall events in Lund. *Hydrology Research*. 1982;13(4):193-204.
- [16]. Noorigheidari MH. Estimation of Design Storm Using Multifractal Theory in Ghotvan Dam Site, 2012; 22(1): 145-154. [Persian]
- [17]. Rahimi R, Rahimi M. Spatial and temporal analysis of climate change in the future and Comparison of SDSM, LARS-WG and artificial neural network downscaling methods (Case Study: Khuzestan Province), *Iranian Journal of Eco Hydrology*, 2018;5(4):1161-1174. [Persian]
- [18]. Rodríguez R, Navarro X, Casas MC, Ribalaygua J, Russo B, Pouget L, Redaño A. Influence of climate change on IDF curves for the metropolitan area of Barcelona (Spain). *International Journal of Climatology*. 2014;34(3):643-654.
- [19]. Rodríguez-Solà R, Casas-Castillo MC, Navarro X, Redaño Á. A study of the scaling properties of rainfall in Spain and its appropriateness to generate intensity-duration-frequency curves

