

مقایسه تطبیقی منحنی های شدت- مدت- فراوانی در مناطق
خشک ایران مرکزی (مطالعه موردی: ایستگاه های باران سنجی و
سینوپتیک بیدآخوید- یزد)
(مقاله پژوهشی)

۱- مهتاب علیمرادی*، فارغ التحصیل دکتری، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و کویرشناسی، دانشگاه یزد، یزد، ایران.

emailm.alimoradi@stu.yazd.ac.ir

دریافت: ۱۴۰۴/۰۲/۲۶

پذیرش: ۱۴۰۴/۱۲/۰۷

چکیده

به منظور تحلیل فراوانی وقوع و دوره بازگشت بارندگی های یک منطقه، از منحنی های شدت-مدت-فراوانی بارش استفاده می شود. در تحقیق حاضر، هدف استخراج منحنی های شدت-مدت-فراوانی ایستگاه های باران سنجی و سینوپتیک حوزه آبخیز سانج (ایستگاه بیدآخوید) می باشد. برای این منظور از داده های بارش ۲۴ ساعته و بارش لحظه ای ایستگاه مذکور استفاده گردید. برای تهیه منحنی های مورد نظر به کمک بارش های ۲۴ ساعته از روش قهرمان استفاده شد. همچنین، استخراج منحنی های مطالعاتی به کمک بارش لحظه ای با بهره گیری از نرم افزار ایزی فیت و به کمک توابع انتخابی صورت گرفته و منحنی های شدت-مدت-فراوانی (IDF) برای تداوم های مختلف تا ۲۴ ساعت و دوره بازگشت های ۲ تا ۲۵۰ سال استخراج شد. نتایج نشان داد شدت بارش در نیم سال دوم (پاییز و زمستان) به طور میانگین حدود ۶۰ درصد بیشتر از نیم سال اول (بهار و تابستان) است و این اختلاف در دوره های بازگشت بلندمدت و تداوم های طولانی تر، بیشتر است. میانگین سالانه شدت بارش نیز حدود ۳۵ درصد بیش از نیم سال اول برآورد شد. از آنجا که بخش قابل توجهی از بارش های نیم سال دوم به صورت برف است و نقش محدودی در تولید سیلاب دارد، بررسی دقیق تر فصلی بارش ها برای تحلیل رواناب ضروری است. نتایج نشان می دهد که عدم تفکیک زمانی-فصلی بارش می تواند منجر به خطای بیش از ۳۰ درصد در برآورد شدت بارش مؤثر گردد. بنابراین، کاربرد روش های ترکیبی از جمله تحلیل های ماهواره ای، داده های محلی و پرسشگری از ساکنان منطقه، در تفکیک بارش های مؤثر و غیرمؤثر در تولید سیلاب توصیه می شود. این رویکردها می توانند دقت مدل سازی های هیدرولوژیکی و مدیریت منابع آب و کنترل سیلاب را در منطقه بهبود دهند.

واژگان کلیدی: دوره بازگشت بارش، بارش ۲۴ ساعته، بارش لحظه ای، تحلیل فراوانی بارندگی، نرم افزار EasyFit، سانج.

مقدمه

اتفاق افتاده در حوزه مراجعه می شود. به منظور برآورد بزرگی رویدادهای رواناب، منحنی های شدت (عمق)-مدت-زمان-فراوانی (IDF) به عنوان ورودی معمولی مدل های هیدرولوژیکی توسط هیدرولوژیست ها و مهندسان عمران برای اهداف طراحی استفاده می شوند. منحنی های IDF که از روی داده های باران سنجی ایستگاه های گوناگون تهیه می شوند،

طراحی مهندسی زیرساخت نیاز به اطلاعاتی در مورد مقادیر رواناب دارد. سازه های آبی که به صورت بالفعل برای مهار سیلاب به کار می روند، باید قادر باشند سیلاب های خطرناک را مهار کنند و یا حداقل خسارت احتمالی را به گونه ای مطلوب کاهش دهند. در کشور ایران، به دلیل نبود ایستگاه های آب سنجی گسترده، برای برآورد دبی طرح معمولاً به رگبارهای

روش فیشر، به شرط امکان محاسبه شدت‌های ماکزیمم سالیانه به‌طور مرتب حداقل در یک دوره آماری ده‌ساله، به‌عنوان روشی مناسب جهت محاسبه مقادیر شدت‌های احتمالی برای دوره‌های بازگشت مختلف تشخیص داده شد [۹]. وزیری (۱۳۷۰) منحنی‌های شدت-مدت-فراوانی (IDF) را برای ۱۳۶ ایستگاه باران‌سنجی سازمان هواشناسی وزارت نیرو برای نقاط مختلف ایران تهیه کرد [۱۰].

قهرمان (۱۳۸۶) باران‌نگارهای ایستگاه باران‌سنجی ثبات مشهد در سال‌های ۱۹۹۴ تا ۲۰۰۶ را رقومی کرده و دسته منحنی‌های به‌روزشده شدت-مدت-فراوانی این ایستگاه را به‌دست آورد. تابع توزیع احتمال گامبل تطابق بهتری با داده‌ها داشت. نتایج نشان داد که تفاوت اندکی بین شدت‌های باران در مقایسه با بررسی پیشین (طول دوره آماری ۱۹۶۹-۱۹۹۳) وجود دارد [۶]. فتحی و همکاران (۱۳۸۷) منحنی‌های شدت-مدت-فراوانی را در ایستگاه ایندک، حوزه آبخیز مارون، بررسی نموده و برای هر دوره بازگشت روابط مختلفی ارائه کردند [۱۳]. زمانی‌نوری (۱۳۹۰) در پژوهشی در ایستگاه هواشناسی ساوه، با استفاده از خصوصیات مقیاس زمانی بارش و از روی بارش ۲۴ ساعته، منحنی‌های IDF را برای دوام‌های کوتاه‌مدت ساخت. این روش دارای مراحل محاسباتی کمتری نسبت به سایر روش‌های متداول و تعداد پارامترهای آن به‌مراتب کمتر است که باعث افزایش اعتمادپذیری می‌شود [۱۸]. نوری قیداری (۱۳۹۱) در ایستگاه باران‌سنجی تنگه پنج، با استفاده از تئوری فراکتال و از روی داده‌های حداکثر بارش سالانه در تداوم ۲۴ ساعته، به تهیه منحنی‌های IDF پرداخت؛ در این پژوهش روش‌های متداول و فراکتال به‌طور موردی برای استخراج منحنی‌های IDF به کار گرفته شدند [۷]. محمدی و همکاران (۱۳۹۹) با استفاده از مدل‌های تجربی قهرمان و آبخضر (۱۳۸۳)، وزیری (۱۳۷۰)، بل (۱۹۶۹) و همچنین مدل آماری Hyfran-Plus، به محاسبه شدت بارش و تعیین منحنی‌های شدت-مدت-فراوانی در شهر ایلام پرداختند [۹؛ ۲۴؛ ۱۱].

گامی بلند در پیش‌بینی شدت بارش در پهنه‌های گوناگون هستند. منحنی‌های شدت-مدت-فراوانی بارش براساس تحلیل توزیع فراوانی بیشینه رگبارهای رخ داده در هر سال و در طول دوره آماری موجود به‌دست می‌آیند [۲۶]. این منحنی‌ها نشان‌دهنده یک رابطه ریاضی بین شدت بارندگی (I)، مدت (D) و فراوانی وقوع (F) رویدادهای بارندگی در دوره‌های بازگشت مختلف هستند [۵؛ ۴؛ ۳؛ ۲]. منحنی‌های شدت-مدت-فرکانس بارندگی (IDF) نمایش‌های گرافیکی احتمال وقوع میانگین شدت بارندگی معین در یک دوره زمانی مشخص هستند [۲۷]. این منحنی‌ها برای یک منطقه از روی داده‌های بارش که در تداوم‌های مختلف ثبت شده‌اند، ساخته می‌شوند [۷]. در پهنه‌هایی که دارای بارش ساعتی ثبت‌شده نیستند، می‌توان با استفاده از ویژگی‌های مقیاس زمانی و از روی داده‌های بارش روزانه، منحنی‌های IDF را ساخت [۳].

در هر مکان خاص، شدت بارندگی را می‌توان برای مدت‌زمان مشخص و دفعات وقوع (دوره بازگشت) به‌دست آورد. منحنی‌های شدت-مدت-فراوانی بارندگی (IDF) نقش مهمی در مهندسی و مدیریت منابع آب بازی می‌کنند. کاربرد منحنی‌های IDF از ارزیابی رویدادهای بارندگی، طبقه‌بندی رژیم‌های اقلیمی، تا استخراج رگبارهای طراحی و کمک به طراحی زیرساخت‌های شهری، بهره‌برداری از پروژه‌های منابع آب یا محافظت از پروژه‌های منابع آب در برابر سیلاب و غیره را شامل می‌شود [۱۲؛ ۲؛ ۱]. تخمین شدت بارندگی برای یک مدت مشخص در دوره بازگشت موردنظر از نیازهای اساسی طراحی مهندسی در زمینه آب است [۶]. در زمینه استخراج منحنی‌های IDF در ایران و سایر نقاط جهان، با استفاده از روش‌های مختلف پژوهش‌هایی صورت گرفته است. وزیری و همکاران (۱۳۶۳)، تعداد ۴۶ ایستگاه باران‌سنجی ثبات سازمان هواشناسی را جهت تجزیه و تحلیل رگبارها و تعیین منحنی‌های شدت-مدت مورد مطالعه قرار دادند. پس از بررسی شدت‌های بارش و ارزیابی روش‌های آماری مختلف،

زمانی داده‌های گذشته انجام می‌شود. با توجه به اهمیت سازه‌های هیدرولوژیکی و پروژه‌های آبخیزداری در حفاظت آب و خاک، هدف این پژوهش استخراج و مقایسه منحنی‌های شدت-مدت-فراوانی (IDF) با استفاده از داده‌های ساعتی بارش و داده‌های روزانه (۲۴ ساعته) بارش است. تحلیل تفکیکی فصلی و زمانی، و انتخاب دقیق توزیع‌های آماری رویکردی جامع برای استخراج منحنی‌های شدت-مدت-فراوانی (IDF) ارائه می‌دهد. پوشش گسترده دوره‌های بازگشت و تداوم بارندگی‌ها، همراه با تفکیک فصلی بارش‌ها امکان برآورد دقیق‌تر بارش‌های حدی و کاهش عدم قطعیت در طراحی سازه‌های هیدرولوژیکی را فراهم می‌کند. این رویکرد تلفیقی، دقت و قابلیت اعتماد منحنی‌های IDF را نسبت به روش‌های مرسوم به‌طور قابل توجهی افزایش می‌دهد و برای مناطق سردسیر و با بارش‌های متغیر، ارزش کاربردی بالایی دارد.

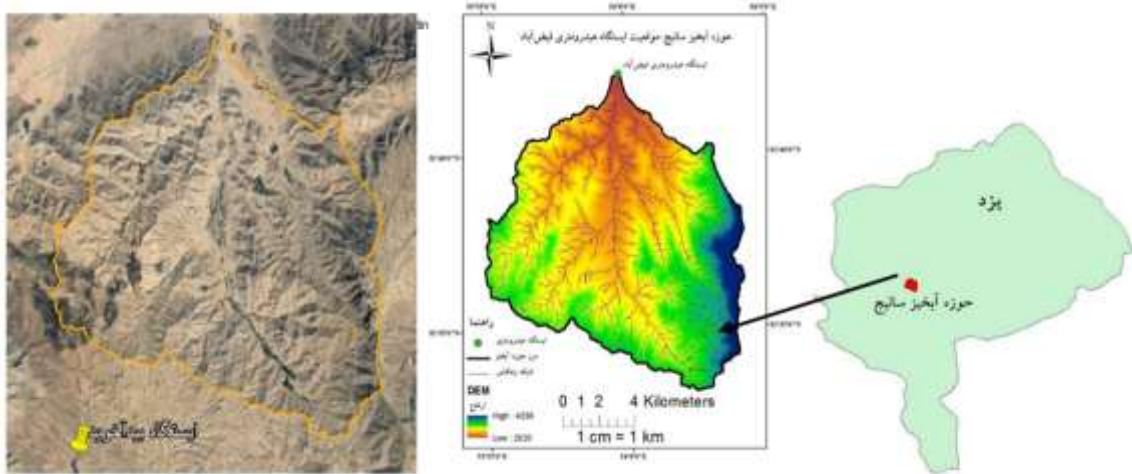
مواد و روش‌ها

معرفی منطقه و ایستگاه‌های مطالعاتی

در تحقیق حاضر که هدف آن استخراج منحنی‌های شدت-مدت-فراوانی است، از داده‌های ساعتی (رگباری) بارش و داده‌های بارش ۲۴ ساعته (روزانه) ایستگاه باران‌سنجی بیدآخوید در بالادست حوزه آبخیز سانیچ استفاده شد. در حوزه آبخیز سانیچ، بارندگی سالانه ۲۲۰ میلی‌متر، میانگین دمای سالیانه ۱۱.۲ درجه سانتی‌گراد و متوسط رطوبت نسبی حوضه ۴۲ درصد است. حداکثر ارتفاع حوضه ۴۰۳۶ متر و پست‌ترین نقطه آن ۲۰۲۰ متر از سطح دریا ارتفاع دارد. زمان تمرکز حوضه (Tc) به روش برانسبی-ویلیامز ۵.۱۸ ساعت محاسبه شد. در شکل ۱، موقعیت ایستگاه‌های مذکور در استان یزد نشان داده شده است.

جهت محاسبه شدت بارش در دوره‌های بازگشت مختلف، توزیع‌های آماری متفاوتی به داده‌ها برازش شد و تعیین توزیع آماری بهینه با استفاده از آزمون نیکویی برازش کای‌اسکور صورت گرفت. نتایج نشان داد که توزیع آماری گامای معکوس نسبت به سایر توزیع‌های مورد بررسی، بیشترین دقت را در تعیین دوره بازگشت شدت بارش دارد. یاراحمدی و همکاران (۱۴۰۰) با استفاده از رابطه آبخضر-قهرمان، تغییرات منحنی‌های شدت-مدت-فراوانی را برای ایستگاه سینوپتیک مهرآباد تحت تأثیر تغییر اقلیم بررسی نمودند. نتایج آنان نشان داد که حداکثر شدت بارش در پایه‌های زمانی کوتاه مدت افزایش یافته و با گذشت زمان از شدت بارش حداکثری کاسته شده و منحنی‌های IDF تحت تأثیر بارش‌های کوتاه مدت قرار دارند [۱۷].

بررسی مطالعات انجام شده نشان داد پژوهش‌های مشابهی در زمینه منحنی‌های شدت-مدت-فراوانی انجام شده است؛ از جمله روشنی و عبدالهی (۱۳۸۷)، بلوکی و همکاران (۱۴۰۰) در ایستگاه بوشهر، بختیاری و همکاران (۱۳۹۳) در ایستگاه بابلسر، Elsebaie (2012)، خلف و سلطانی (۱۳۹۳) در ایستگاه اهواز، صفوی و همکاران (۱۳۹۸) در ایستگاه سینوپتیک اصفهان، Yabin et al. (2019)، Ombadi et al. (2018)، یوسفی ملک‌شاه و همکاران (۱۳۹۷) در حوزه تهران-کرج و کریمی و همکاران (۱۴۰۱) [۲۰؛ ۸؛ ۱؛ ۲؛ ۲۱؛ ۱۵؛ ۱۴؛ ۱۹؛ ۱۲؛ ۱۶]. با توجه به بررسی‌های انجام شده می‌توان بیان نمود که منحنی‌های شدت-مدت-فراوانی بارندگی یا روابط دیگری که بتوانند شدت بارندگی را به ازای یک تداوم مشخص تعیین کنند، از ملزومات طراحی در هر پروژه هیدرولوژیکی هستند؛ چراکه سیلاب طراحی براساس رگبار طراحی برآورد می‌شود که آن نیز دارای تداوم مشخص با شدت معین است. طراحی سازه‌های هیدرولوژیکی و بسیاری از مطالعات آبخیزداری بر اساس دسته منحنی‌های به دست آمده از سری‌های



شکل ۱- موقعیت حوزه آبخیز سانجی در استان و موقعیت ایستگاه بیدآخوید در محدوده حوزه آبخیز

در جدول ۱ مشخصات ایستگاه باران سنجی بیدآخوید ارائه شده است.

جدول ۱- مشخصات ایستگاه باران سنجی بیدآخوید- یزد

نوع ایستگاه	سال تأسیس	مشخصات جغرافیایی			ایستگاه	رودخانه	کد ایستگاه
		ارتفاع	عرض	طول			
باران سنجی	۱۳۷۶	۲۴۸۷	۳۰/۵۰	۵۳/۹۰	بیدآخوید	بیدآخوید	۴۲-۹۶۶

روش کار

پس از جمع‌آوری داده‌های ذکر شده نسبت به استخراج منحنی‌های شدت-مدت-فراوانی از طریق داده‌های دریافتی در منطقه مطالعاتی اقدام شد که مراحل استخراج منحنی‌ها در بخش‌های بعدی ارائه شده است.

استفاده از داده‌های بارش ۲۴ ساعته به منظور استخراج منحنی‌های شدت-مدت-فراوانی داده‌های حداکثر بارش ۲۴ ساعته ایستگاه بیدآخوید در طول دوره آماری ایستگاه شامل ۳۲ سال از سال ۱۳۷۶ تا سال ۱۴۰۲ می‌باشد. مقادیر متوسط بارش سالانه و متوسط حداکثر بارش ۲۴ ساعته در بین سال‌های آماری در جدول زیر ارائه شده است.

جدول ۲- برخی پارامترهای بارش حوزه سانجی

متوسط بارش سالانه (میلی‌متر)	حداکثر بارش ۲۴ ساعته
۲۱۷/۳۵	۳۲/۱۳

مراحل برآورد دبی حداکثر لحظه‌ای با استفاده از بارش ۲۴ ساعته به صورت زیر است.

یکی از مدل‌هایی که برای تخمین مقدار باران‌های کوتاه مدت با دوره بازگشت‌های مختلف به کار می‌رود، به وسیله بل (Bell, 1962) در آمریکا ارائه شده است. بل برای برآورد حداکثر بارش در پایه زمانی مشخص و دوره بازگشت‌های مختلف رابطه ۱ را پیشنهاد کرد.

$$P_T^t = (0.21 \ln T + 0.52)(0.54t^{0.25} - 0.5)P_{10}^{60} \quad (1)$$

مراحل برآورد دبی حداکثر لحظه‌ای با استفاده از بارش ۲۴ ساعته به صورت زیر است. یکی از مدل‌هایی که برای تخمین مقدار باران‌های کوتاه مدت با دوره بازگشت‌های مختلف به کار می‌رود، به وسیله بل (Bell, 1962) در آمریکا ارائه شده است.

استفاده از داده‌های بارش رگباری و نرم افزار

Easyfit

به منظور تحلیل توزیع فراوانی رگبار از نرم افزار Easy Fit 5.6 جهت انتخاب بهترین توزیع آماری استفاده شد. نرم افزار Easy Fit 5.6، قادر است تا به طور خودکار توزیع‌های آماری مختلف را با داده‌ها برازش داده و بهترین توزیع در عرض چند ثانیه انتخاب شود. Easy Fit یک تحلیلگر داده و برنامه شبیه‌سازی است که ما را قادر می‌سازد تا نمونه‌های داده ارائه شده را شبیه‌سازی کنیم، توزیع‌های احتمالی را با آن‌ها مطابقت دهیم، بهترین توزیع مناسب را انتخاب و از یافته‌های تجزیه و تحلیل برای انتخاب بهتر استفاده کنیم [۲۲،۲۳]. این نرم‌افزار از ۶۵ مدل توزیع فراوانی و سه آزمون نکویی برازش بهره می‌گیرد. در این تحقیق ابتدا با کمک نرم‌افزار Easyfit و پس از وارد کردن سری زمانی شدت بارندگی در نرم‌افزار و اجرای برنامه، با بیش از ۶۰ تابع توزیع، داده‌های حداکثر بارش برازش شد و در نهایت توزیع مورد نظر برای دوره بازگشت‌های مختلف با استفاده از آزمون کولموگراف اسمیرنوف انتخاب شد. برای بررسی دقیق‌تر، نتایج آزمون‌های کای اسکور و اندرسون-دارلینگ نیز گنجانده شد. سپس با مشخص شدن بهترین توزیع آماری برازش یافته بر سری داده‌ها، برای هر دوره بازگشتی، شدت بارندگی برآورد شده منحنی‌های شدت-مدت- فراوانی رسم می‌شوند [۲۶].

نتایج و بحث

در راستای اهداف پژوهش با استفاده از بارش‌های ۲۴ ساعته و بارش‌های رگباری ایستگاه باران‌سنجی بیدآخوید مقادیر بارش در تداوم‌های ۱۵ دقیقه، ۳۰ دقیقه، ۱، ۲، ۳، ۴، ۵، ۶، ۱۲ و ۲۴ ساعت و همچنین در دوره بازگشت‌های ۲، ۵، ۱۰، ۲۵، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۵۰ ساله برآورد شد. به منظور بررسی تاثیر بارش‌های فصول سرد شامل زمستان و پاییز و بارش‌های فصول گرم شامل بهار و تابستان، مقادیر شدت با در نظر گرفتن فصول سرد و گرم و با در نظر

در این فرمول t مدت بارندگی بر حسب دقیقه، T دوره بازگشت بر حسب سال، P_{10}^{60} مقدار باران یک ساعته با دوره بازگشت ۱۰ سال بر حسب میلی‌متر و P_T^t مقدار باران t دقیقه‌ای مورد نظر بر حسب میلی‌متر با دوره بازگشت T (سال) می‌باشد [۲۵].

در رابطه فوق ابتدا لازم است P_{10}^{60} محاسبه شود، که برای این منظور از روابط تجربی استفاده می‌شود. در مطالعه روی داده‌های باران‌نگارهای ایستگاه‌های ایران مقدار P_{10}^{60} برای نقاط مختلف به صورت زیر (توسط قهرمان و سپاسخواه، ۱۳۶۹) محاسبه شده است.

$$(۲): P_{10}^{60} = 2.26(P_{24h})^{1.1374}(P_{year})^{-0.3072}$$

که در آن P_{24h} متوسط حداکثر بارش‌های ۲۴ ساعته و P_{year} متوسط بارندگی سالانه منطقه بر حسب میلی‌متر می‌باشد که لازم است این مقادیر محاسبه شده یا در دسترس باشند.

در حالی‌که فرمول Bell برای باران‌های ۱۵ تا ۱۲۰ دقیقه و دوره بازگشت ۲ تا ۱۰۰ سال پیشنهاد شده است، برای نقاط مختلف ایران در مدت‌های بین ۱۵ دقیقه تا ۲۰ ساعت رابطه ۳ ارائه شده است که ممکن است به جای معادله بل از آن نیز استفاده شود. علیزاده (۱۳۸۹)،

$$(۳): P_T^t = [0.4524 + 0.2471 \ln(T - 0.6)] (0.3710 + 0.6184t^{0.4484}) P_{10}^{60}$$

در معادله فوق t مدت بارشندگی بر حسب ساعت، T دوره بازگشت بر حسب سال و P_{10}^{60} مقدار باران یک ساعته با دوره بازگشت ۱۰ سال بر حسب میلی‌متر می‌باشد [۲۵].

پس از برآورد مقادیر حداکثر بارش در دوره بازگشت‌های مختلف با تقسیم مقادیر به دست آمده برای هر تداوم بر مقدار عددی تداوم بارش، شدت بارش در دوره بازگشت‌های مختلف و در تداوم‌های مختلف بر حسب میلی‌متر در ساعت برآورد و منحنی‌های شدت-مدت- فراوانی رسم شد.

ارائه دید بهتر در تداوم‌های بالاتر از زمان تمرکز حوضه ارائه شده است.

در ادامه نتایج برآورد شدت بارش در دوره بازگشت‌های مختلف و تداوم‌های مورد نظر در قالب جداول و نمودارهای مربوطه ارائه شده است.

جدول ۳- شدت بارش به دست آمده از بارش‌های ۲۴ ساعته برای تداوم‌های ۱۵ دقیقه، ۳۰ دقیقه، ۱، ۲، ۳، ۴، ۵، ۶، ۱۲ و ۲۴ ساعت و دوره بازگشت‌های ۲، ۵، ۱۰، ۲۵، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۵۰ ساله را به ترتیب برای کل سال، نیم‌سال اول (بهار و تابستان) و نیم‌سال دوم (پاییز و زمستان) نشان می‌دهد.

گرفتن آن‌ها برای کل سال برآورد شد و نمودارهای شدت-مدت- فراونی برای آن استخراج گردید. سپس مقادیر متوسط بارش سالانه و حداکثر بارندگی ۲۴ ساعته ایستگاه باران‌سنجی فیض آباد استخراج گردید. برای بارش‌های ۲۴ ساعته از روابط تجربی بل و قهرمان و برای بارش‌های رگباری از توزیع‌های آماری با بهره‌گیری از نرم‌افزار Easyfit استفاده شد. از آنجا که زمان تمرکز حوزه آبخیز سانجی کمتر از ۶ ساعت می‌باشد؛ در تحقیق حاضر بیشتر تداوم‌های کمتر از ۶ ساعت مد نظر بوده و تداوم ۱۲ و ۲۴ ساعت جهت

جدول ۳- نتایج برآورد شدت بارش (بارش‌های ۲۴ ساعته) در تداوم‌های ۱۵ دقیقه، ۳۰ دقیقه، ۱، ۲، ۳، ۴، ۵، ۶، ۱۲ و ۲۴ ساعت و در دوره بازگشت‌های ۲، ۵، ۱۰، ۲۵، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۵۰ سال برای کل سال، نیم‌سال اول (بهار و تابستان) و نیم‌سال دوم (پاییز و زمستان) دوره آماری ۱۳۷۶ تا ۱۴۰۲- ایستگاه بیدآخوید

شدت بارش (ساعت)

	دوره بازگشت (سال)	شدت بارش (ساعت)									
		۰/۲۵	۰/۵	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۱۲	۲۴
کل سال	۲	۳۳/۲۱	۲۲/۵۴	۱۴/۸۰	۹/۵۰	۷/۲۷	۶/۰۰	۵/۱۶	۴/۵۵	۲/۸۲	۱/۷۴
	۵	۴۲/۸۱	۲۹/۰۵	۱۹/۰۸	۱۲/۲۴	۹/۳۷	۷/۷۳	۶/۶۵	۵/۸۷	۳/۶۴	۲/۲۴
	۱۰	۵۰/۰۷	۳۳/۹۸	۲۲/۳۱	۱۴/۳۲	۱۰/۹۶	۹/۰۴	۷/۷۷	۶/۸۷	۴/۲۶	۲/۶۲
	۲۵	۵۹/۶۸	۴۰/۵۰	۲۶/۵۹	۱۷/۰۶	۱۳/۰۶	۱۰/۷۷	۹/۲۷	۸/۱۸	۵/۰۸	۳/۱۲
	۵۰	۶۶/۹۴	۴۵/۴۳	۲۹/۸۳	۱۹/۱۴	۱۴/۶۵	۱۲/۰۸	۱۰/۳۹	۹/۱۸	۵/۶۹	۳/۵۰
	۱۰۰	۷۴/۲۰	۵۰/۳۶	۳۳/۰۶	۲۱/۲۲	۱۶/۲۴	۱۳/۴۰	۱۱/۵۲	۱۰/۱۸	۶/۳۱	۳/۸۸
	۲۵۰	۸۳/۸۰	۵۶/۸۷	۳۷/۳۴	۲۳/۹۶	۱۸/۳۴	۱۵/۱۳	۱۳/۰۱	۱۱/۴۹	۷/۱۳	۴/۳۸
بهار تابستان	۲	۱۹/۲۹	۱۳/۰۹	۸/۵۹	۵/۵۲	۴/۲۲	۳/۴۸	۲/۹۹	۲/۶۵	۱/۶۴	۱/۰۱
	۵	۲۴/۸۶	۱۶/۸۷	۱۱/۰۸	۷/۱۱	۵/۴۴	۴/۴۹	۳/۸۶	۳/۴۱	۲/۱۱	۳/۳۰
	۱۰	۲۹/۰۸	۱۹/۷۴	۱۲/۹۶	۸/۳۲	۶/۳۷	۵/۲۵	۴/۵۲	۳/۹۹	۲/۴۷	۱/۵۲
	۲۵	۳۴/۶۶	۲۳/۵۲	۱۵/۴۴	۹/۹۱	۷/۵۹	۶/۲۶	۵/۳۸	۴/۷۵	۲/۹۵	۱/۸۱
	۵۰	۳۸/۸۸	۲۶/۳۸	۱۷/۳۲	۱۱/۱۲	۸/۵۱	۷/۰۲	۶/۰۴	۵/۳۳	۳/۳۱	۲/۰۳
	۱۰۰	۴۳/۱۰	۲۹/۲۵	۱۹/۲۰	۱۲/۳۲	۹/۴۳	۷/۷۸	۶/۶۹	۵/۹۱	۳/۶۷	۲/۲۵

۲۵۰	۴۸/۶۷	۳۳/۰۳	۲۱/۶۹	۱۳/۹۲	۱۰/۶۵	۸/۷۹	۷/۵۶	۶/۶۸	۴/۱۴	۲/۵۵
۲	۲۹/۸۵	۲۰/۲۶	۱۳/۳۰	۸/۵۴	۶/۵۳	۵/۳۹	۴/۶۴	۴/۰۹	۲/۵۴	۱/۵۶
۵	۳۸/۴۸	۲۶/۱۲	۱۷/۱۵	۱۱/۰۰	۸/۴۲	۶/۹۵	۵/۹۸	۵/۲۸	۳/۲۷	۲/۰۱
۱۰	۴۵/۰۱	۳۰/۵۵	۲۰/۰۶	۱۲/۸۷	۹/۸۵	۸/۱۳	۶/۹۹	۶/۱۷	۳/۸۳	۲/۳۶
۲۵	۵۳/۵۶	۳۶/۴۱	۲۳/۹۰	۱۵/۳۴	۱۱/۷۴	۹/۶۸	۸/۳۳	۷/۳۶	۴/۵۶	۲/۸۱
۵۰	۶۰/۱۷	۴۰/۸۴	۲۶/۸۱	۱۷/۲۱	۱۳/۱۷	۱۰/۸۶	۹/۳۴	۸/۲۵	۵/۱۲	۳/۱۵
۱۰۰	۶۶/۷۰	۴۵/۲۷	۲۹/۷۲	۱۹/۰۷	۱۴/۶۰	۱۲/۰۴	۱۰/۳۶	۹/۱۵	۵/۶۷	۳/۴۹
۲۵۰	۷۵/۳۳	۵۱/۱۳	۳۳/۵۷	۲۱/۵۴	۱۶/۴۹	۱۳/۶۰	۱۱/۷۰	۱۰/۳۳	۶/۴۱	۳/۹۴

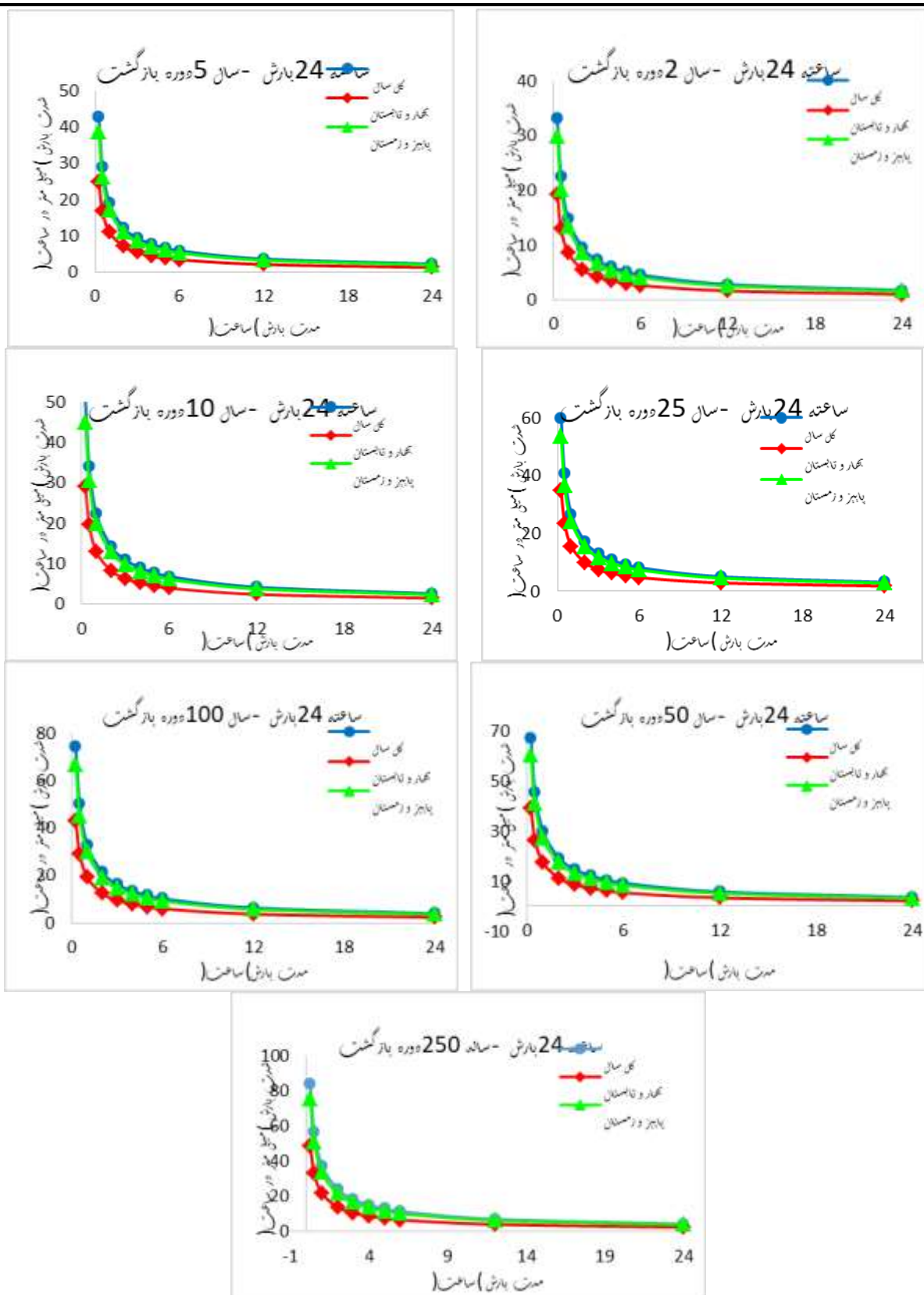
پاییز و زمستان

است. این اختلاف در دوره بازگشت ۱۰۰ سال و همان تداوم زمانی به بیش از ۷۰ میلی متر بر ساعت برای کل سال افزایش یافته که نشان دهنده نقش معنادار تفکیک فصلی در برآورد شدت بارش های حدی است. همچنین با افزایش تداوم بارش از ۲۵/۰ به ۲۴ ساعت، شدت بارش در تمامی دوره های بازگشت روند کاهشی مشخصی را نشان می دهد؛ به طوری که برای دوره بازگشت ۵۰ سال، شدت بارش کل سال از ۹۴/۶۶ میلی متر بر ساعت در تداوم ۲۵/۰ ساعت به ۵۰/۳ میلی متر بر ساعت در تداوم ۲۴ ساعت کاهش یافته است. این رفتار کاهشی در هر سه حالت کل سال، پاییز و زمستان، و بهار و تابستان مشاهده شده و بیانگر وابستگی شدید شدت بارش به مدت تداوم آن است.

به منظور ارائه دید بهتر از برآوردهای انجام شده نمودارهای شدت-مدت- فراوانی برای کل سال، فصل های بهار و تابستان و همچنین پاییز و زمستان در شکل ۲ نشان داده شده است.

همانطور که در جدول ۳ مشاهده می شود در تمامی دوره بازگشت های مطالعاتی و همچنین تمام تداوم های ذکر شده شدت بارش برآورد شده برای کل سال بیشتر از شدت بارش به دست آمده برای فصل های پاییز و زمستان و شدت بارش برآورد شده برای زمستان و پاییز بیشتر از شدت بارش به دست آمده برای فصل های بهار و تابستان است. به این ترتیب در مورد بارش های رگباری (لحظه ای) شدت بارش های به دست آمده برای کل سال دارای بیشترین مقدار و شدت بارش به دست آمده برای فصل های بهار و تابستان دارای کمترین مقدار بوده است.

به طور کمی، اختلاف شدت بارش بین دوره های زمانی مختلف با افزایش دوره بازگشت تشدید می شود. به عنوان نمونه، برای تداوم ۲۵/۰ ساعت و دوره بازگشت ۲ سال، شدت بارش کل سال برابر با ۳۳/۲۱ میلی متر بر ساعت بوده که حدود ۱۳ درصد بیشتر از شدت متناظر در فصل های پاییز و زمستان (۱۹/۲۹ میلی متر بر ساعت) و بیش از ۴۰ درصد بیشتر از شدت برآوردی برای فصل های بهار و تابستان



شکل ۲- نمودارهای شدت- مدت- فراوانی بارش (بارش‌های رگباری) در تداوم‌های ۱۵ دقیقه، ۳۰ دقیقه، ۱، ۲، ۳، ۴، ۵، ۶، ۱۲ و ۲۴ ساعت و در دوره بازگشت‌های ۲، ۵، ۱۰، ۲۵، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۵۰ سال برای کل سال، نیم‌سال اول (بهار و تابستان) و نیم‌سال دوم (پاییز و زمستان) دوره آماری ۱۳۷۶ تا ۱۴۰۲- ایستگاه بیدآخوید

اول در تولید رواناب و ایجاد سیل بیشتر از شدت‌های بارش نیم‌سال دوم و یا کل سال است. همانگونه که از قبل گفته شد، برای برآورد منحنی‌های شدت- مدت- فراوانی با استفاده از داده‌های رگباری (ایستگاه ثبات) از نرم‌افزار EasyFit و برازش توزیع‌های مختلف به داده‌های موجود استفاده شد. با استفاده از نرم‌افزار Easyfit و آزمون‌های نکویی برازش توزیع برازش مناسب برای تداوم‌های ۱۵ دقیقه، ۳۰ دقیقه، ۱، ۲، ۳، ۴، ۵، ۶، ۱۲ و ۲۴ ساعت مشخص شده و براساس آن شدت بارش برای تداوم‌های موردنظر و دوره بازگشت‌های ذکر شده محاسبه شد که نتایج آن در جدول ۳ ارائه شده است. جدول ۴ شدت بارش به دست آمده از بارش‌های ۲۴ رگباری (لحظه‌ای) را برای تداوم‌های ۱۵ دقیقه، ۳۰ دقیقه، ۱، ۲، ۳، ۴، ۵، ۶، ۱۲ و ۲۴ ساعت و دوره بازگشت‌های ۲، ۵، ۱۰، ۲۵، ۵۰، ۱۰۰، ۲۵۰ و ۵۰۰ ساله را به ترتیب به صورت سالانه، نیم‌سال اول (بهار و تابستان) و نیم‌سال دوم (پاییز و زمستان) نشان می‌دهد.

در تمامی نمودارها با افزایش تداوم، شدت بارش در دوره بازگشت مورد نظر کاهش می‌یابد. همچنین شدت بارش به دست آمده در کل سال نسبت به نیم- سال اول و دوم بیشتر است. مقایسه‌ی شدت بارش ۲۴ ساعته نیم‌سال اول و دوم نشان می‌دهد که شدت بارش در نیم‌سال دوم (پاییز و زمستان) در حدود ۲۰ درصد بیشتر از نیم- سال اول است و شدت بارش سالانه نیز حدود ۴۳ درصد بیشتر از نیم‌سال اول است. بر این اساس شدت بارش برآورد شده براساس بارش ۲۴ ساعته می‌تواند حدود ۳۲ درصد بیش برآوردی داشته باشد. مقایسه‌ی منحنی‌های IDF نیز بیانگر تفاوت نسبتاً واضح شدت بارش نیم‌سال اول و دوم و سالانه در محدوده ایستگاه بیدآخوید است. هرچند این پدیده می‌تواند در افزایش ضریب اطمینان دبی برآورد شده مؤثر باشد، ولی با توجه به آن که بیش از نیمی از بارش‌های نیم‌سال دوم به صورت برف می‌باشد؛ نقش شدت‌های بارش نیم‌سال

جدول ۴- نتایج برآورد شدت بارش (بارش‌های رگباری) در تداوم‌های ۱۵ دقیقه، ۳۰ دقیقه، ۱، ۲، ۳، ۴، ۵، ۶، ۱۲ و ۲۴ ساعت و در دوره بازگشت‌های ۲، ۵، ۱۰، ۲۵، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۵۰ سال برای کل سال، نیم‌سال اول (بهار و تابستان) و نیم‌سال دوم (پاییز و زمستان) دوره آماری ۱۳۸۱ تا ۱۳۹۹- ایستگاه بیدآخوید

شدت بارش (ساعت)

دوره بازگشت (سال)	کل سال									
	Burr	LogNor mal	LogNor mal	Dagum	log- logistic	Log- pearson 3	Log- pearson 3	LogNor mal	Log- pearson 3	Log- pearson 3
۲	۱۱.۶۴	۹.۱۸	۶.۳۵	۴.۴۲	۳.۳۷	۲.۸۸	۲.۴۵	۲.۰۵	۱.۱۷	۰.۶۴
۵	۱۸.۷۵	۱۴.۴۴	۹.۴۵	۶.۵۴	۵.۲۷	۴.۶۴	۴.۰۸	۳.۵۷	۲.۲۹	۱.۳۶
۱۰	۲۵.۳۳	۱۸.۲۹	۱۱.۶۳	۸.۱۲	۶.۶۲	۵.۷۷	۵.۲۰	۴.۷۶	۳.۲۳	۲.۰۳
۲۵	۳۷.۰۰	۲۳.۵۴	۱۴.۵۲	۱۰.۴۹	۸.۴۲	۷.۱۴	۶.۶۲	۶.۴۹	۴.۶۳	۳.۱۴
۵۰	۴۹.۰۶	۲۷.۷۱	۱۶.۷۶	۱۲.۶۱	۹.۸۴	۸.۱۰	۷.۶۶	۷.۹۲	۵.۸۲	۴.۱۶
۱۰۰	۶۴.۹۸	۳۲.۰۹	۱۹.۰۶	۱۵.۱۲	۱۱.۳۴	۹.۰۱	۸.۶۸	۹.۴۸	۷.۱۵	۵.۳۷
۲۵۰	۹۴.۱۳	۳۸.۲۳	۲۲.۲۳	۱۹.۱۷	۱۳.۴۵	۱۰.۱۳	۱۰.۰۰	۱۱.۷۵	۹.۱۱	۷.۳۰

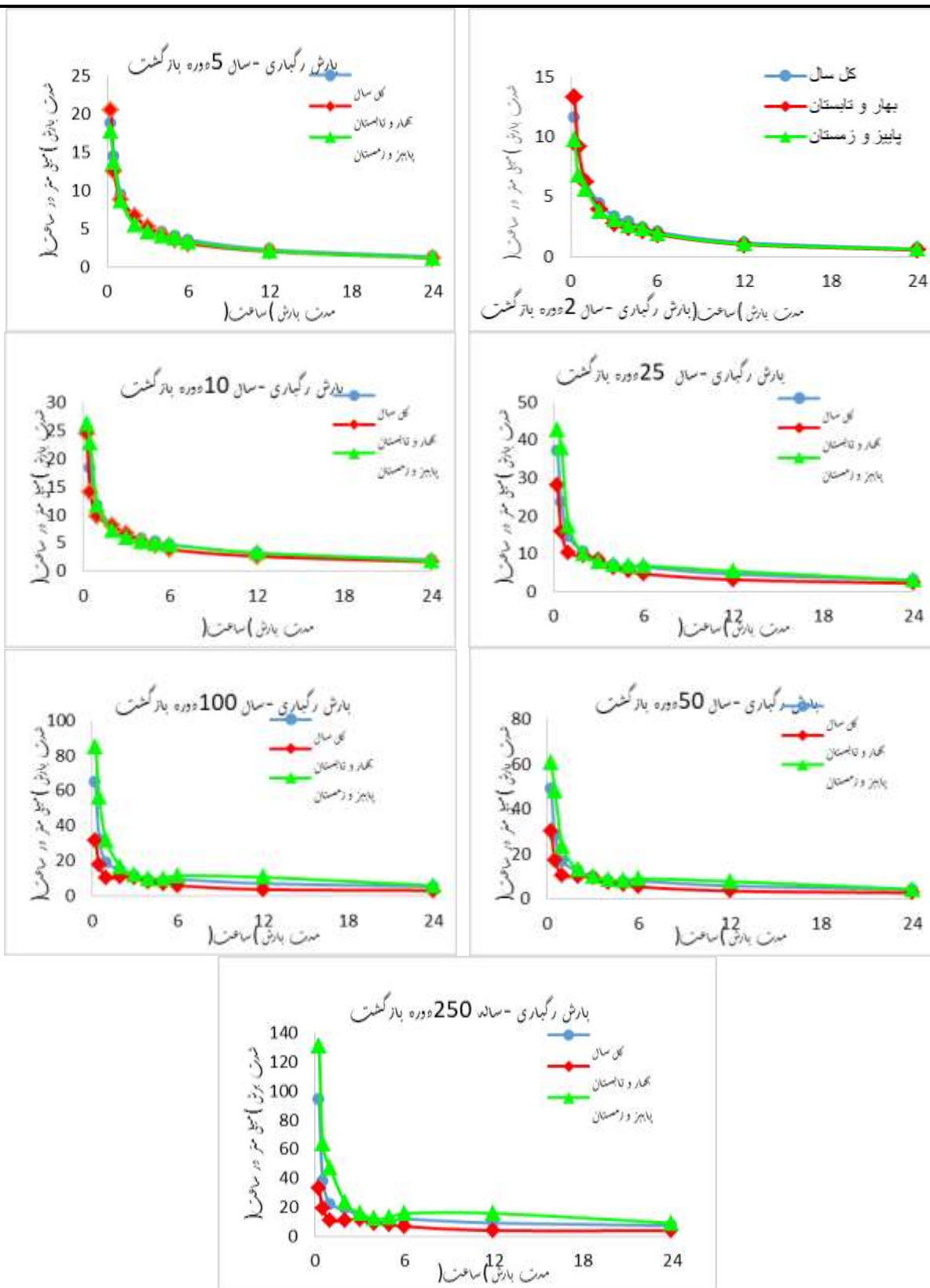
دوره بازگشت (سال)	تابستان									
	Wakeby	Normal	Unifor m	Wakeb y	Gen.Pa reto	Johnso n SB	Gen. E xtreme Value	Gen. E xtreme Value	Johnso n SB	Gamm a
۲	۱۳.۳۴	۹.۲۰	۶.۲۱	۳.۹۳	۲.۷۶	۲.۴۳	۲.۱۵	۱.۸۳	۱.۰۰	۰.۵۴

	۵	۲۰.۵۰	۱۲.۴۱	۸.۸۴	۶.۶۹	۵.۱۸	۴.۱۸	۳.۵۶	۳.۰۵	۲.۰۳	۱.۱۷
	۱۰	۲۴.۳۷	۱۴.۱۰	۹.۷۱	۸.۱۴	۶.۷۰	۵.۲۴	۴.۴۴	۳.۸۲	۲.۶۳	۱.۶۴
	۲۵	۲۸.۰۴	۱۵.۸۹	۱۰.۲۴	۹.۴۸	۸.۳۶	۶.۴۳	۵.۴۸	۴.۷۳	۳.۲۰	۲.۲۵
	۵۰	۳۰.۰۳	۱۷.۰۴	۱۰.۴۱	۱۰.۱۸	۹.۴۱	۷.۱۹	۶.۲۲	۵.۳۷	۳.۵۱	۲.۷۱
	۱۰۰	۳۱.۵۱	۱۸.۰۹	۱۰.۵۰	۱۰.۶۹	۱۰.۲۹	۷.۸۶	۶.۹۱	۵.۹۷	۳.۷۴	۳.۱۷
	۲۵۰	۳۲.۹۲	۱۹.۳۳	۱۰.۵۵	۱۱.۱۶	۱۱.۲۶	۸.۶۳	۷.۷۸	۶.۷۳	۳.۹۵	۳.۷۷
		Log-pearson 3	Johnso n SB	Pearson 5	Gen. E xtreme Value	Gen.Pa reto	Inv.Ga ussian	Log- Gamma	Lognor mal	Lognor mal	Log.Pe arson 3
پاییز و زمستان	۲	۹.۷۷	۶.۸۵	۵.۶۴	۳.۷۶	۳.۰۷	۲.۵۹	۲.۳۶	۱.۹۲	۱.۰۳	۰.۶۰
	۵	۱۷.۷۷	۱۳.۷۰	۸.۶۴	۵.۵۱	۴.۶۴	۴.۰۷	۳.۷۹	۳.۳۰	۲.۰۹	۱.۲۰
	۱۰	۲۶.۳۲	۲۲.۹۱	۱۱.۶۹	۷.۱۵	۵.۹۱	۵.۳۱	۴.۹۶	۴.۶۴	۳.۲۷	۱.۸۲
	۲۵	۴۲.۶۷	۳۷.۸۲	۱۷.۳۶	۱۰.۰۲	۷.۹۱	۷.۱۰	۶.۷۲	۶.۹۰	۵.۴۸	۳.۰۱
	۵۰	۶۰.۴۸	۴۸.۲۱	۲۳.۴۰	۱۲.۹۲	۹.۷۸	۸.۵۴	۸.۲۵	۹.۰۲	۷.۷۶	۴.۲۶
	۱۰۰	۸۴.۸۷	۵۶.۳۴	۳۱.۵۵	۱۶.۶۸	۱۲.۰۵	۱۰.۰۵	۹.۹۹	۱۱.۵۶	۱۰.۶۷	۵.۹۵
۲۵۰	۱۳.۱۳	۶۳.۵۲	۴۶.۸۹	۲۳.۴۱	۱۵.۸۵	۱۲.۱۳	۱۲.۶۷	۱۵.۶۶	۱۵.۷۲	۹.۰۶	

در فصل‌های بهار و تابستان، اگرچه شدت بارش‌ها در تمامی دوره‌های بازگشت کمتر از دو حالت دیگر است، اما تنوع بیشتری در نوع توزیع‌های منتخب مشاهده می‌شود. شدت بارش برای تداوم ۲۵/۰ ساعت در این فصول از ۳۴/۱۳ میلی‌متر بر ساعت در دوره بازگشت ۲ سال به ۹۲/۳۲ میلی‌متر بر ساعت در دوره بازگشت ۲۵۰ سال افزایش یافته و برای تداوم ۲۴ ساعت حتی در دوره بازگشت‌های بزرگ‌تر از ۷۷/۳ میلی‌متر بر ساعت فراتر نرفته است.

در مقابل، فصل‌های پاییز و زمستان بیشترین شدت‌های حدی را نشان داده‌اند و توزیع‌های آماری مرتبط با رخداد‌های حدی نظیر Log-Pearson نوع III، GEV و Lognormal برای اغلب تداوم‌ها انتخاب شده‌اند. به‌عنوان نمونه، شدت بارش با تداوم ۲۵/۰ ساعت از ۷۷/۹ میلی‌متر بر ساعت در دوره بازگشت ۲ سال به بیش از ۱۳۱ میلی‌متر بر ساعت در دوره بازگشت ۲۵۰ سال افزایش یافته که بیانگر نقش غالب این فصول در شکل‌گیری بارش‌های حدی منطقه است.

نتایج حاصل از برازش توزیع‌های آماری مختلف بر سری زمانی شدت رگبار نشان‌داد که شدت بارش در تمامی تداوم‌ها با افزایش دوره بازگشت روند افزایشی داشته و در مقابل، با افزایش تداوم بارش از ۲۵/۰ به ۲۴ ساعت، کاهش قابل توجهی را نشان می‌دهد. این الگو در هر سه حالت کل سال، فصل‌های پاییز و زمستان، و فصل‌های بهار و تابستان مشاهده شد. در مقیاس کل سال، برای تداوم‌های کوتاه‌مدت، توزیع‌های با کشیدگی انتهایی زیاد (Heavy-tailed) نظیر Burr و Lognormal بهترین برازش را ارائه دادند، درحالی‌که با افزایش تداوم بارش، توزیع‌های Log-logistic، Dagum و در نهایت Log-Pearson نوع III غالب شدند. به‌طور کمی، شدت بارش برای تداوم ۲۵/۰ ساعت از ۱۱/۶۴ میلی‌متر بر ساعت در دوره بازگشت ۲ سال به ۱۳/۹۴ میلی‌متر بر ساعت در دوره بازگشت ۲۵۰ سال افزایش یافت، در حالی که برای تداوم ۲۴ ساعت این مقدار از ۶۴/۰ به ۳۰/۷ میلی‌متر بر ساعت محدود شد.



شکل ۴- نمودارهای شدت-مدت- فراوانی (بارش های رگباری) در تداوم های ۱۵ دقیقه، ۳۰ دقیقه، ۱، ۲، ۳، ۴، ۵، ۶، ۱۲ و ۲۴ ساعت و در دوره بازگشت های ۲، ۵، ۱۰، ۲۵، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۵۰ سال برای کل سال، نیم سال اول (بهار و تابستان) و نیم-سال دوم (پاییز و زمستان) دوره آماری ۱۳۸۱ تا ۱۳۹۹- ایستگاه بیدآخوید

نشان داد که شدت بارش در نیم سال دوم (پاییز و زمستان) به طور میانگین حدود ۶۰ درصد بیش از

بررسی و تحلیل منحنی های شدت-مدت-فراوانی (IDF) بارش های رگباری در ایستگاه بیدآخوید

بیشتر از نیم‌سال اول بوده و این اختلاف با افزایش دوره بازگشت و کاهش تداوم بارش تشدید می‌شود. به‌طور کمی، تحلیل منحنی‌های شدت-مدت-فراوانی نشان‌داد که شدت بارش‌های کوتاه‌مدت (۲۵/۰) (ساعت) در نیم‌سال دوم در دوره‌های بازگشت بلندمدت می‌تواند بیش از دو برابر مقادیر متناظر در نیم‌سال اول باشد، درحالی‌که این اختلاف با افزایش تداوم بارش تا ۲۴ ساعت کاهش می‌یابد. این یافته با نتایج قهرمان (۱۳۸۶) و محمدی و همکاران (۱۳۹۹) مبنی بر افزایش شدت بارش در دوره‌های بازگشت بلندمدت همخوانی دارد.

همچنین نتایج نشان‌داد که منحنی‌های IDF نسبت به بارش‌های کوتاه‌مدت حساسیت بالایی دارند؛ به‌گونه‌ای که در مقیاس کل سال، شدت بارش برای تداوم ۲۵/۰ ساعت با افزایش دوره بازگشت از ۲ به ۲۵۰ سال، افزایشی چندبرابری را تجربه می‌کند، در حالی که برای تداوم ۲۴ ساعت دامنه تغییرات شدت به مراتب محدودتر است. این رفتار، یافته‌های یاراحمدی و همکاران (۱۴۰۰) در خصوص نقش بارش‌های کوتاه‌مدت در شکل‌گیری منحنی‌های IDF را تأیید می‌کند.

از سوی دیگر، مقایسه شدت‌های برآوردشده با استفاده از داده‌های ساعتی و داده‌های ۲۴ ساعته نشان‌داد که عدم تفکیک زمانی می‌تواند منجر به برآوردهای متفاوت و بعضاً بیش‌برآورد شدت بارش برای تداوم‌های کوتاه شود؛ به‌طوری که براساس نتایج کمی این تحقیق، خطای ناشی از استفاده از داده‌های تجمیع‌شده روزانه در برخی تداوم‌ها می‌تواند از ۳۰ درصد فراتر رود. این موضوع با نتایج زمانی‌نوری (۱۳۹۰) و نوری قیداری (۱۳۹۱) مطابقت دارد.

بررسی تفکیک فصلی و انتخاب توزیع‌های آماری مناسب نیز نشان‌داد که رفتار آماری بارش‌های حدی در نیم‌سال دوم عمدتاً توسط توزیع‌های مرتبط با رخدادهای حدی و با کشیدگی انتهایی زیاد بهتر توصیف می‌شود، در حالی که در نیم‌سال اول، شدت‌ها کمتر و تنوع توزیع‌های برازش‌یافته بیشتر است. این تفاوت آماری منجر به اختلاف محسوس در برآورد

نیم‌سال اول است. این افزایش در شدت، در بازه‌های زمانی با دوره بازگشت بلندمدت و تداوم بارش بیشتر، از وضوح بالاتری برخوردار است. همچنین، مقایسه میانگین سالانه شدت بارش با نیم‌سال اول نشان‌دهنده افزایشی در حدود ۳۵ درصد است و در عین حال، شدت بارش در نیم‌سال دوم نیز به‌طور متوسط ۱۲ درصد بیشتر از میانگین سالانه ثبت شده است.

یافته‌های مذکور حاکی از آن است که در صورت اتکا به داده‌های سالانه یا نیم‌سال اول، برآورد شدت بارش‌های مؤثر در فرایندهای تولید رواناب و سیلاب می‌تواند با خطایی قابل توجه، در حدود ۳۵ درصد، همراه باشد. این موضوع ضرورت تحلیل دقیق‌تر و تفکیک‌شده داده‌های بارش در بازه‌های زمانی فصلی را، به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک، دوچندان می‌سازد. نکته حائز اهمیت آن است که بخش عمده‌ای از بارش‌های نیم‌سال دوم به‌صورت برف اتفاق می‌افتد که در تولید سیلاب‌های لحظه‌ای نقش مؤثری ندارد. لذا صرف‌نظر از کمیت بارش، نوع و شرایط فیزیکی وقوع آن (جامد یا مایع) نیز در برآورد سیلاب بایستی مدنظر قرار گیرد.

بر این اساس، استفاده از روش‌های مکمل نظیر تحلیل‌های تصویری با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای نظیر (Google Earth)، بهره‌گیری از اطلاعات محلی و پرسشگری میدانی از ساکنین و خبرگان منطقه، به‌عنوان ابزارهای مؤثر جهت تمایزگذاری میان بارش‌های مؤثر و غیرمؤثر در تولید سیلاب پیشنهاد می‌شود. در مجموع، نتایج این مطالعه بر اهمیت رویکردهای ترکیبی و چندمنبعی در تحلیل زمانی-مکانی بارش و ارزیابی خطر سیلاب در حوزه‌های آبخیز تأکید دارد و می‌تواند مبنایی برای بهبود دقت در مدل‌سازی‌های هیدرولوژیکی و برنامه‌ریزی‌های مدیریتی آبی فراهم سازد.

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان‌داد که شدت بارش در نیم‌سال دوم سال (پاییز و زمستان) به‌طور معناداری

همزمان از داده‌های ساعتی و ۲۴ ساعته، می‌تواند دقت استخراج منحنی‌های شدت-مدت-فراوانی را به‌طور محسوسی افزایش دهد. بر این اساس، توصیه می‌شود در طراحی سازه‌های هیدرولوژیکی و پروژه‌های آبخیزداری، به‌ویژه در مناطق سردسیر، از منحنی‌های IDF تفکیک‌شده زمانی و فصلی استفاده شود و تفکیک بارش‌های مؤثر و غیرمؤثر در تولید رواناب، به‌خصوص بارش‌های برفی، به‌عنوان یکی از منابع اصلی کاهش عدم‌قطعیت طراحی مدنظر قرار گیرد.

سپاسگزاری

در این قسمت از تأمین کنندگان بودجه و امکانات و اشخاص دیگر که در انجام تحقیق کمک کرده‌اند، سپاسگزاری می‌شود.

References

- [1]. Sun, Y., Wendi, D., Kim, D. E., & Liang, S. Y. (2019). Deriving intensity-duration-frequency (IDF) curves using downscaled in situ rainfall assimilated with remote sensing data. *Geoscience Letters*, 6(1), 17. <https://doi.org/10.1186/s40562-019-0147-x>
- [2]. Ombadi, M., Nguyen, P., Sorooshian, S., & Hsu, K. L. (2018). Developing intensity-duration-frequency (IDF) curves from satellite-based precipitation: Methodology and evaluation. *Water Resources Research*, 54(10), 7752-7766. [doi/full/10.1029/2018WR022929](https://doi.org/10.1029/2018WR022929)
- [3]. Fahim, E., Ghazavi, R. G., Ghasemieh, H., & Omidvar, E. (2023). Optimizing intensity-duration-frequency curves in consistency with genetic and particle swarm algorithms: A case study of Urmia Lake's basin. *Desert Ecosystem Engineering*, 11(37), 43-54. <https://doi.org/10.22052/deej.2023.248676.1003>
- [4]. Bolouki, H., Fazeli, M., & Sharifzadeh, M. (2021). Investigation of the effect of climate change under

شدت بارش و شکل منحنی‌های IDF می‌شود و تأیید می‌کند که عدم تفکیک زمانی و فصلی بارش می‌تواند خطای قابل‌توجهی در تخمین شدت بارش مؤثر ایجاد کند.

در عین حال، بررسی نقش بارش‌های برفی در نیم‌سال دوم نشان می‌دهد که اگرچه شدت بارش در این دوره بالاتر برآورد می‌شود، اما سهم واقعی آن‌ها در تولید رواناب و سیلاب کمتر از مقادیر حاصل از تحلیل صرفاً بارشی است. این نتیجه با یافته‌های صفوی و همکاران (۱۳۹۸) و (Elsebaie (2012) همسو بوده و نشان می‌دهد که استفاده از منحنی‌های IDF بدون توجه به ماهیت بارش و شرایط دمایی می‌تواند منجر به برآورد بیش‌ازحد سیلاب طراحی شود.

در مجموع، نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که تلفیق تحلیل آماری دقیق، تفکیک زمانی و فصلی بارش، انتخاب توزیع‌های آماری مناسب و استفاده

emission scenarios on intensity-duration-frequency curves of precipitation in Zahedan Synoptic Station using fractal theory. *Iranian Journal of Ecohydrology*, 8(3), 735-748. <https://doi.org/10.22059/ije.2021.323710.1505>

- [5]. Ghahraman, B. (2008). Analysis of short-term rains in Khorasan. *Iranian Journal of Watershed Science and Engineering*, 2(4), 66-73. <https://sid.ir/paper/134868/fa>. [in Farsi]
- [6]. Ghahraman, B. (2007). Mashhad's updated IDF curve category. *Nivar*, 32(64-65), 21-40. https://nivar.irimo.ir/article_16308_a41f781632ce686f2c7746208bf36912.pdf. [in Farsi]
- [7]. Noori Gheidari, M. (2012). Extracting the intensity-duration-frequency curves with daily precipitation data using fractal theory. *Water and Soil*, 26(3). <https://doi.org/10.22067/jsw.v0i0.14939>
- [8]. Karimi, V., Kia, E., & Maleki, M. A. (2022). Technical guidelines for drawing intensity-duration-frequency (IDF) curves using rainfall graphs. Tehran,

- Iran: Soil and Water Research Institute, Ministry of Agriculture-Jahad. [in Farsi]
- [9]. Vaziri, F., Sayadmoshtaq, S., Naseri al-Doust, M., Behrouz, P., & Fathi, V. (1984). Analysis of rainstorms and determination of intensity and duration curves in different regions of Iran. Tehran, Iran: Academic Jihad Centers. <https://sid.ir/paper/789303/fa>. [in Farsi]
- [10]. Vaziri, F. (1991). Analysis of rainstorms in different regions of Iran. Tehran, Iran: Academic Jihad, Khajeh Nasir al-Din Tusi University of Technology. [in Farsi]
- [11]. 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. <https://doi.org/10.22125/iwe.2020.11496> 9. [in Farsi]
- [12]. Bolouki, H., Fazeli, M., & Sharifzadeh, M. (2023). Extraction of Intensity-Duration-Frequency Curves Using Fractal Theory and Evaluation of Climate Change on it (Case Study: Bushehr). *Journal of Civil and Environmental Engineering*, 53(110), 103-113. <https://doi.org/10.22034/jcee.2021.44701> .2010
- [13]. Fathi, N., Radmanesh, F., & Barani, G. B. (2009, March 10–12). Determination of IDF curves at Idenak Rain Gauge Station in Maroon River Basin. In 1st International Water Crisis Conference. Zabol, Iran: University of Zabol. [in Farsi]
- [14]. Bakhtiari, B., Purmusavi, S., & Sayari, N. (2014). Impact of climate change on intensity-duration-frequency curves of precipitation (Case study: Babolsar station). *Iranian Journal of Irrigation & Drainage*, 8(4), 694–704. SID. <https://sid.ir/paper/131369/en>. [in Farsi]
- [15]. Elsebaie, I. H. (2012). Developing rainfall intensity–duration–frequency relationship for two regions in Saudi Arabia. *Journal of King Saud University-Engineering Sciences*, 24(2), 131-140. <https://doi.org/10.1016/j.jksues.2011.06.001>
- [16]. Roshani, M., & Abdullahi, A. (2008). The estimation of shower and forming IDF curves in the west of Gilan Province (Case study: Rasht, Kharjgil and Estoor stations). *Human Settlement Planning Studies (Geographical Perspective), Journal of the Studies of Human Settlements Planning (Journal of Geographical Landscape)*, 3(7), 73–86. SID. <https://sid.ir/paper/175909/en>. [in Farsi]
- [17]. Yarahmadi, Y., Ghazavi, R., & Ghasemieh, H. (2021). Extraction of intensity-duration-frequency (IDF) curves and precipitation change process under the impact of climate change (Case study: Mehrabad synoptic station, Tehran). *Journal of Arid Biome*, 11(1), 143–155. <https://doi.org/10.29252/aridbiom.2022.18543.1892>.
- [18]. Zamani Nouri, A. R. (2011). Extraction of IDF curves from daily precipitation data at Saveh meteorological station. *Conservation of Water and Soil Resources*, 1(2), 61–69. <https://sid.ir/paper/232152/fa>. [in Farsi]
- [19]. Khalaf, R., & Soltani, S. (2014). Estimation of IDF based on daily rainfall data using time-scale model. *Journal of Water Science and Engineering, Islamic Azad University, Ahvaz Branch*, 4(10), Summer and Autumn. [in Farsi]
- [20]. Safavi, H. R., 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. https://www.iwrr.ir/article_85649_c761f2cb3d37ff54a1215531353679bd.pdf. [in Farsi]
- [21]. Yousefi Malekshah, M., Ghazavi, R., & Sadatinejad, J. (2019). Investigation of climate change effect on temperature, rainfall and intensity-duration-frequency curves in arid areas (Case study: Tehran-Karaj Basin). *Iranian Journal of Ecohydrology*, 6(2), 431–445.

- <https://doi.org/10.22059/ije.2019.275072>. 1042. [in Farsi]
- [22]. Mehrannia, H., & Pakgozar, A. (2014). Using EasyFit software for goodness-of-fit test and data generation. *International Journal of Mathematical Archive*, 5(1), 18–124.
- [23]. Schittkowski, K. (2002). EASY-FIT: a software system for data fitting in dynamical systems. *Structural and Multidisciplinary Optimization*, 23(2), 153-169. <https://doi.org/10.1007/s00158-002-0174-6>
- [24]. Ghahraman, B., & Sepaskhah, A. R. (1990). Estimation of intensity–duration–frequency relationship in Iran using 10-year one-hour rainfall data. In Anvar, A., & Taleb Bidokhti, N. (Eds.), Proceedings of the 3rd International Congress on Road and Building Engineering (Vol. 5, pp. 55–74). Shiraz, Iran: Faculty of Engineering, University of Shiraz.
- [25]. Alizadeh.A., (2008). Principles of applied Hydrology, 31st edition, Imam Reza Publishings (Book). [in Farsi]
- [26]. Ministry of Agriculture Jihad of the Islamic Republic of Iran. (Year). Title of report or document. Publisher or URL. [in Farsi]
- [27]. Dupont, B., & Allen, D. L. (1999). Revision of the Rainfall-intensity Duration Curves for the commonwealth of Kentucky (No. KTC-00-18). University of Kentucky Transportation Center.

Comparative Analysis of Intensity–Duration–Frequency Curves in Arid Regions of Central Iran (Case Study: Rain Gauge and Synoptic Stations of the Sanij Watershed – Bidakhvid Station- Yazd) (Research Paper)

1- Mahtab Alimoradi*, Ph.D, Rangeland and Watershed Management Department, Faculty of Natural Resources and Desertification, Yazd University, Yazd, Iran.

emailm.alimoradi@stu.yazd.ac.ir

Received: 16 May. 2025

Accepted: 26 Feb. 2026

Abstract

Intensity–Duration–Frequency (IDF) curves are among the most important tools for analyzing rainfall occurrence frequency and estimating return periods of precipitation events in hydrological studies. The objective of this research is to derive and compare IDF curves based on data from rain gauge and synoptic stations in the Sanij watershed (Bidakhvid station), located in the arid regions of central Iran. For this purpose, 24-hour rainfall data and instantaneous rainfall records from the selected station were utilized. IDF curves based on 24-hour rainfall were developed using the Ghahreman method. In addition, IDF curves derived from instantaneous rainfall data were extracted using the EasyFit software and selected probability distribution functions. The IDF curves were generated for various rainfall durations up to 24 hours and return periods ranging from 2 to 250 years. The results indicate that rainfall intensity during the second half of the year (autumn and winter) is, on average, approximately 60% higher than that of the first half of the year (spring and summer). This difference becomes more pronounced for longer return periods and extended rainfall durations. Furthermore, the mean annual rainfall intensity during the second half of the year was estimated to be about 35% higher than that of the first half. Considering that a significant portion of precipitation in the second half of the year occurs as snowfall and has a limited contribution to runoff and flood generation, a more detailed seasonal and temporal analysis of precipitation is essential for accurate runoff assessment. The findings demonstrate that neglecting temporal–seasonal differentiation of rainfall can result in errors exceeding 30% in estimating effective rainfall intensity. Therefore, the application of integrated approaches, including satellite-based analyses, local observational data, and indigenous knowledge from local residents, is recommended to distinguish between effective and ineffective precipitation in flood generation. These approaches can significantly enhance the accuracy of hydrological modeling, water resources management, and flood control strategies in the study area.

Keywords: Rainfall return period, 24-hour precipitation, short-duration rainfall, rainfall frequency analysis, EasyFit software, Sanij.