

استفاده از داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی و ماهواره‌ای در تعیین شدت بارش حوضه آبریز کن

وحید رضایی، سید سعید اسلامیان*، جهانگیر عابدی کوپایی و علیرضا گوهری^۱

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۱/۲؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۲/۱)

چکیده

روابط شدت - مدت - فراوانی بارندگی یکی از ابزارهای مهم در برآورد دبی سیلاب است. امروزه به دلیل پیشرفت فناوری و با توجه به اینکه ایستگاه‌های باران‌سنجی به صورت پراکنده در دسترس هستند، استفاده از داده‌های بارش ماهواره‌ای با تفکیک زمانی و مکانی مختلف امکان‌پذیر شده است. در این پژوهش از داده‌های بارشی PERSIANN با تفکیک زمانی ۱ و ۶ ساعت استفاده شده است. همچنین تفکیک مکانی این داده‌ها 0.4×0.4 درجه است. داده‌های بارندگی ایستگاه‌های سینوپتیک اطراف حوضه کن نیز مورد استفاده قرار گرفت. برای محاسبه و بررسی منحنی IDF، سه توزیع احتمالی پیوسته متداول گمبل، پیرسون نوع ۳ و لوگ پیرسون نوع ۳ با دوره‌های بازگشت ۲، ۵، ۱۰، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ ساله مورد بررسی قرار گرفتند. به طور کلی شدت بارش در روش گمبل بیشتر از روش پیرسون به دست آمد. توزیع لوگ پیرسون نوع ۳ نیز نتایج قابل قبولی در این پژوهش ارائه داد. برای تعمیم منحنی‌های شدت - مدت - فراوانی به کل حوضه کن از دو روش درونیابی وزندهی معکوس فاصله و کریجینگ بیزین تجربی استفاده شد. نتایج نشان داد بین این دو روش، به غیر از توزیع احتمالی پیرسون نوع ۳، تفاوت اندکی وجود ندارد.

واژه‌های کلیدی: سنجش‌ازدور، توزیع گمبل، توزیع پیرسون، سیلاب، حوضه کن

۱. گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران.

*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: saeid@iut.ac.ir

مقدمه

سیلاب‌ها از جمله ویرانگرترین و پرهزینه‌ترین مخاطرات محیطی هستند که تهدیدکننده امنیت و توسعه پایدار است (۵ و ۶). سیلاب در کنار زلزله و خشکسالی بیشترین رتبه را از لحاظ خسارات مالی و جانی به همراه دارد (۳ و ۴).

امروزه محصولات بارش ماهواره‌ای با قدرت تفکیک مکانی و زمانی متفاوت تا حدود زیادی مشکلات و محدودیت‌های رایج در تهیه داده‌های بارش را برطرف کرده‌اند (۱). اندازه‌گیری دقیق بارش کاربردهای بسیاری در پژوهش‌های اقلیمی، کشاورزی، خشکسالی، بلایای طبیعی و هیدرولوژی دارد. واضح است که نبود دسترسی به شبکه باران‌سنجی منظم زمینی، مانع رشد و توسعه و استفاده از مدل‌های اختصار سیل و خشکسالی، هیدرولوژی و سامانه نشان‌دهنده وضعیت اقلیمی حلدی و تصمیم‌گیری است (۷).

ایستگاه‌های باران‌سنجی روش متداول در فراهم‌آوردن مشاهدات مستقیم از سطح بارش در حوضه است. امروزه یکی از منابع برآورد بارش در سطح جهانی، محصولات به‌دست‌آمده از سنجش‌ازدور ماهواره‌ای است. به تازگی با تلاش زیاد بیشتر محصولات جهانی با تفکیک زیاد تولید شده‌اند (۷ و ۸).

بهرنگی و همکاران (۲) در کالیفرنیا به ارزیابی هیدرولوژیک محصولات بارش ماهواره‌ای در یک حوضه با وسعت متوسط پرداختند. آنها از داده‌های شش سال (۲۰۰۸-۲۰۰۳) در حوضه رودخانه ایلینویز استفاده کردند. نتایج نشان داد که داده‌های ماهواره TRMM و PERSIANN برای شبیه‌سازی جریان رودخانه در مقایسه با مشاهدات زمینی عملکرد بهتری دارند.

تعیین شدت بارندگی در احتمالات و یا دوره‌های بازگشت مختلف، در بسیاری از مدل‌های هیدرولوژی و فرایندهای محاسبات کمی و کیفی آب در پروژه‌های مختلف دارای اهمیت است (۹). یکی از مهم‌ترین پیش‌نیازها برای تخمین دقیق سیلاب، تعیین منحنی‌های شدت - مدت - فراوانی بارش در منطقه مورد مطالعه است. (۹)

الصباعی به محاسبه منحنی‌های IDF در مناطق نجران و حفرالباتین در عربستان سعودی پرداخت. وی در این پژوهش از

تابع توزیع گمبل که جزء توزیع‌های رایج برای توسعه رابطه IDF از داده‌های بارش است، استفاده کرد. نتایج به‌دست‌آمده از توزیع گمبل نشان‌دهنده آن بود که توزیع آماری مناسبی انتخاب شده بود (۱۰).

تغویلا و همکاران در یک پژوهش به تعیین شدت بارش و بازه اعتماد آن‌ها (حد پایین و بالا) برای مدت‌زمان ۱، ۲، ۴ و ۶ ساعت و دوره‌های بازگشت ۲، ۱۰، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ سال در فالت قاپ در آفریقای جنوبی با استفاده از توزیع گمبل پرداختند (۱۱).

یاراحمدی و همکاران در مطالعه موردی روی ایستگاه سینوپتیک تهران نشان دادند که توزیع گمبل برازش بیشتری با داده‌ها بارندگی دارد و برای به‌دست‌آوردن منحنی‌های شدت - مدت - فراوانی توزیع مناسب‌تری است. همچنین دوره‌های بازگشت مختلف در شرایط متأثر از تغییر اقلیم را نیز محاسبه کردند (۱۲).

سیاباتا و همکاران به مدل‌سازی بارش - رواناب در ایتالیا با استفاده از داده‌های بارش ماهواره‌ای پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد، ادغام بین داده‌های زمینی و ماهواره‌ای در بسیاری از موارد در مقایسه استفاده به‌تنهایی از داده‌های زمینی عملکرد بهتری دارد که این مطلب بیانگر این است که داده‌های ماهواره‌ای نقش مؤثری در برآورد و شبیه‌سازی سیلاب دارند (۱۳).

لی و همکاران به بررسی قابلیت استفاده از داده‌های ماهواره‌ای در شبیه‌سازی بارش - رواناب پرداختند. نتایج آنان نشان داد که اختلاف میانگین بارش واقعی با محاسبه‌شده توسط ماهواره کم است. این شبیه‌سازی نشان داد که داده‌های ماهواره‌ای به‌عنوان ورودی مدل می‌توانند عملکرد خوبی داشته باشند (۱۴).

گومیندوگا و همکاران در ده زیرحوضه در قاره آفریقا اقدام به شبیه‌سازی رواناب با داده‌های سنجش‌ازدور کردند. نتایج این پژوهش نشان داد که استفاده از داده‌های سنجش‌ازدور در حوضه‌های پیچیده نتایج رضایت‌بخشی ارائه کرده است (۱۵).

محمدنور و همکاران در پژوهشی در کشور مالزی برای استخراج منحنی شدت - مدت - فراوانی از روش‌های سنجش‌ازدور و استفاده از داده‌های بارش ماهواره‌ای

شهر تهران است (۴، ۱۸ و ۱۹).

برای محاسبه منحنی‌های شدت - مدت - فراوانی نیاز به استخراج رگبارهای ثبت شده است. بدین منظور لازم است در ابتدا داده‌های بیشینه بارش با تداوم‌های مختلف زمانی در هر سال از روی آمار ثبت شده استخراج شود. در مرحله بعدی برای برازش داده‌ها از روش ضرایب فراوانی (Frequency Factor) استفاده می‌شود. ضرایب فراوانی (K) بستگی به پارامترهای توزیع دارد و از معادله زیر پیروی می‌کند:

$$K = \frac{X - \bar{X}}{S} \quad (1)$$

که در آن \bar{X} و S به ترتیب میانگین و انحراف از معیار داده‌های بارندگی است و با کمی تغییر در معادله بالا به رابطه‌ی نهایی برای محاسبات این پژوهش دست خواهیم یافت (۲۳):

$$X = \bar{X} + KS \quad (2)$$

بنابراین اگر میانگین و انحراف از معیار داده‌ها در سری سالانه در طول بازه آماری را داشته باشیم، به‌ازای مقادیر مختلف K که خود بستگی به احتمال وقوع و وابسته به نوع توزیع احتمالی به چولگی داده‌ها و تعداد داده‌ها نیز داشته و از جداول مرجع ارائه شده به همین منظور قابل استخراج است، می‌توان مقدار X را در احتمالات مختلف یا به بیان دیگر در دوره‌های بازگشت مختلف محاسبه کرد (۲۲).

روش گمبل: در این روش ابتدا میانگین و انحراف از معیار بارش سری بیشینه سالانه (۲۰۲۲-۲۰۰۱) در طول دوره آماری یادشده به دست می‌آید. در این پژوهش دوره‌های بازگشت ۲، ۵، ۱۰، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ ساله برای تداوم‌های مدنظر محاسبه شد. برای دوره‌های بازگشت بیشتر از ۱۰۰ سال معمولاً از روش PMP استفاده می‌شود.

$$P = P_{avg} + K * S \quad (3)$$

که در آن K ضریب فاکتور فراوانی گمبل که از جدول مربوطه استخراج می‌شود، P_{avg} میانگین مقادیر بیشینه بارش مربوط به طول دوره آماری و S انحراف از معیار داده‌های بیشینه بارش است. مقادیر شدت بارش I بر حسب میلی‌متر بر ساعت نیز از فرمول $I = \frac{P}{t}$ که در آن P مقدار بارش بر حسب میلی‌متر و t مدت بر حسب ساعت است، محاسبه می‌شود (۲۲).

PERSIANN و TRMM استفاده کردند. آن‌ها دریافتند که در توسعه و استخراج منحنی‌های یادشده داده‌های بارش ماهواره‌ای PERSIANN نتایج بهتری را نسبت به داده‌های TRMM ارائه کرده‌اند (۱۶).

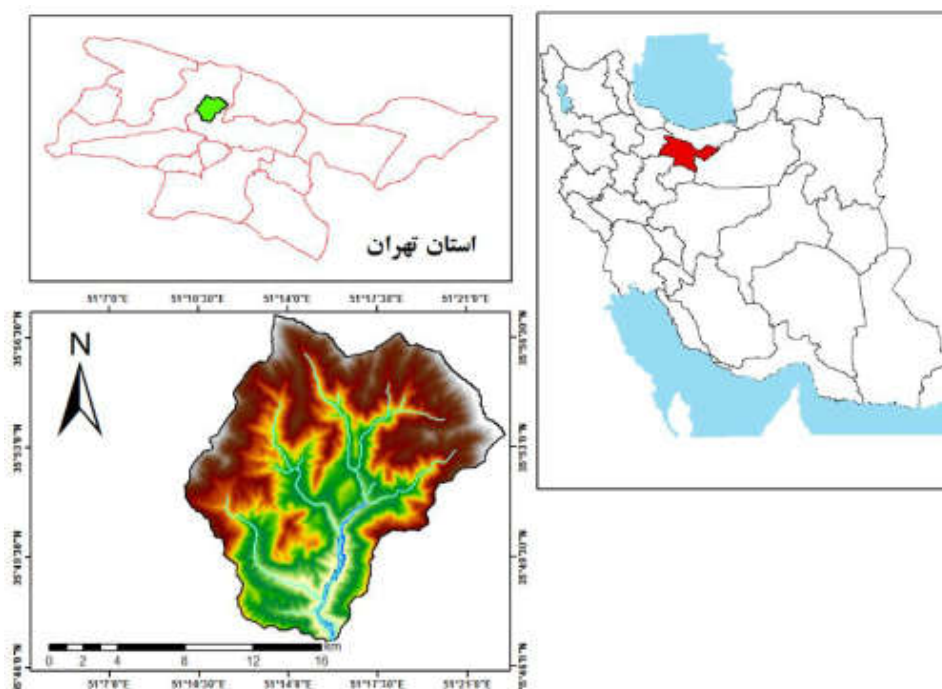
میان‌آبادی با استفاده از ۳ گروه از داده‌های بارش ماهواره‌ای (CHIRPS، MSWEP و PERSIANN) اقدام به استخراج منحنی‌های شدت - مدت - فراوانی با استفاده از بارش روزانه در ایران کرد. وی در پژوهش خود به این نتیجه رسید که داده‌های ماهواره‌ای CHIRPS برای توسعه منحنی‌های IDF مناسب‌تر از دو گروه دیگر داده‌های ماهواره‌ای هستند (۱۷).

هدف از این پژوهش آن است که شدت با استفاده از داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی و ماهواره‌ای در زمان تمرکز حوضه محاسبه شود. همچنین سه توزیع احتمالاتی متداول گمبل، پیرسون و لوگ پیرسون برای این منظور استفاده شد. در پایان نیز دو روش درونیابی وزن‌دهی عکس فاصله و کریجینگ بیزین تجربی به منظور تعمیم ایستگاه‌های مدنظر روی کل حوضه استخراج و مقایسه شد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

حوضه رودخانه کن بر اساس موقعیت جغرافیایی، کوهستانی بودن و وجود توده‌های هوای تأثیرگذار، امکان وقوع سیلاب در آن بسیار زیاد است. حوضه آبخیز کن با مساحت ۲۰۱ هکتار است که از سمت شمال به حوضه جاجرود، از سمت شرق به حوضه درکه و از سمت غرب به حوضه رودخانه کرج منتهی می‌شود. حوضه کن در منطقه‌ای کوهستانی با شیب تند واقع شده است؛ به طوری که اختلاف بین بیشترین و کمترین نقطه ارتفاعی آن (بیشترین ۳۸۳۴ متر و کمترین ۱۳۸۷ متر) ۲۴۴۷ متر است. در شکل ۱ موقعیت حوضه کن نشان داده شده است. رودخانه کن مهم‌ترین آبراهه حوضه آبخیز کن است. رودخانه اصلی که با نام کن شناخته شده است، از زیرحوضه طالون شروع شده و تا خروجی حوضه ادامه می‌یابد. حوضه آبخیز کن از جمله نواحی شمالی



شکل ۱. موقعیت حوضه کن

روابط همان‌گونه که در روش پیرسون نوع ۳ توضیح داده شد، بر اساس لگاریتم داده‌های بارش به‌دست می‌آیند. ضریب فراوانی پیرسون نوع ۳ که به دوره بازگشت و ضریب چولگی داده‌ها بستگی دارد، از جدول استخراج می‌شود. در مرحله بعد با آنتی لوگ گرفتن مقادیر به‌دست‌آمده بارش در دوره‌های بازگشت موردنظر محاسبه می‌شود.

در این پژوهش از دو سری داده‌های ۱- ایستگاه‌های سینوپتیک هواشناسی زمینی مطابق مشخصات جدول ۱ و ۲- داده‌های بارش ماهواره‌ای PERSIANN نوع PDIR با وضوح مکانی بسیار زیاد 0.4×0.4 (مطابق جدول ۲) استفاده شده است. بازه زمانی مورد استفاده این پژوهش سال ۲۰۰۱ تا ۲۰۲۲ است.

در این پژوهش آمار ایستگاه‌های زمینی سینوپتیک یادشده از سازمان هواشناسی کشور دریافت شد. همچنین داده‌های بارش ماهواره‌ای PDIR نیز از سایت <https://chrsdata.eng.uci.edu> دانلود شد. باتوجه‌به اینکه فرمت داده‌های ماهواره‌ای NETCDF است، بنابراین برای به‌دست‌آوردن مقادیر بارش، در ابتدا برای استخراج مقادیر بارندگی کد برنامه‌نویسی مدنظر

روش پیرسون نوع ۳: در این روش نیز مانند روش گمبل از فرمول $P = P_{avg} + K * S$ استفاده می‌شود که در آن K فاکتور فراوانی پیرسون نوع ۳ است که بر مبنای چولگی مقادیر بیشینه بارش و دوره بازگشت آن محاسبه می‌شود. هیزن پیشنهاد داد که برای رفع مشکل تعداد کم نمونه آماری و کاهش اریبی (Bias)، از ضریب چولگی اصلاحی برای روش پیرسون نوع ۳ استفاده شود (۲۳).

$$C_{smod} = \left(1 + \frac{8.5}{N}\right) * C_s \quad (4)$$

که در آن C_s چولگی داده‌های نمونه و N تعداد داده‌ها (در اینجا سال‌های آماری) است (۲۳). در واقع تفاوت روش پیرسون نوع ۳ با گمبل در این است که ضریب فراوانی K در هر دوره بازگشت علاوه بر طول دوره سال‌های آماری، تابعی از چولگی مقادیر بارش نیز است.

روش لوگ پیرسون نوع ۳: در توزیع لوگ پیرسون نوع ۳ از داده‌های بارش لگاریتم گرفته می‌شود. سپس میانگین، انحراف از معیار و چولگی این داده‌ها محاسبه می‌شود. سپس متغیر این

جدول ۱. مشخصات ایستگاه‌های سینوپتیک هواشناسی اطراف حوضه کن

ردیف	نام ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی
۱	چیتگر	۳۵/۷۳۳	۵۱/۱۶
۲	شهریار	۳۵/۶۶۷	۵۱/۰۱۷
۳	ژئوفیزیک	۳۵/۷۴۶	۵۱/۳۸۷
۴	مهرآباد	۳۵/۶۹۳	۵۱/۳۰۹
۵	شمیران	۳۵/۷۹۹	۵۱/۴۸۵
۶	کرج	۳۵/۸۰۷	۵۰/۹۵۴
۷	هشتگرد	۳۶/۰۰۷	۵۰/۷۴۷
۸	طالقان	۳۶/۱۶۶	۵۰/۷۶۷
۹	سیاه بیشه	۳۶/۲۳۱	۵۱/۳۰۳

جدول ۲. مشخصات طول و عرض جغرافیایی داده‌های بارش ماهواره ای

ردیف	شماره نقطه روی نقشه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ردیف	شماره نقطه روی نقشه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی
۱	۱	۵۱/۲	۳۵/۹۲	۱۰	۱۰	۵۱/۳۶	۳۵/۸۸
۲	۲	۵۱/۲۴	۳۵/۹۲	۱۱	۱۱	۵۱/۲	۳۵/۸۴
۳	۳	۵۱/۲۸	۳۵/۹۲	۱۲	۱۲	۵۱/۲۴	۳۵/۸۴
۴	۴	۵۱/۳۲	۳۵/۹۲	۱۳	۱۳	۵۱/۲۸	۳۵/۸۴
۵	۵	۵۱/۳۶	۳۵/۹۲	۱۴	۱۴	۵۱/۳۲	۳۵/۸۴
۶	۶	۵۱/۲	۳۵/۸۸	۱۵	۱۵	۵۱/۲	۳۵/۸
۷	۷	۵۱/۲۴	۳۵/۸۸	۱۶	۱۶	۵۱/۲۴	۳۵/۸
۸	۸	۵۱/۲۸	۳۵/۸۸	۱۷	۱۷	۵۱/۲۸	۳۵/۸
۹	۹	۵۱/۳۲	۳۵/۸۸				

در نرم‌افزار متلب (MATHLAB R2018) نوشته شد که در نتیجه به‌ازای هر طول و عرض جغرافیایی و بازه‌های زمانی مدنظر، میزان بارش برحسب میلی‌متر استخراج شد. محاسبه شدت - مدت - فراوانی بارش در زمان تمرکز

حوضه که از روش آب‌و خاک (SCS) ۶ ساعت به‌دست‌آمده است، به‌طور جداگانه برای هر کدام از ۹ ایستگاه سینوپتیک زمینی اطراف حوضه کن صورت پذیرفت. باتوجه‌به اینکه داخل حوضه کن هیچ ایستگاه سینوپتیک هواشناسی وجود

آنجایی که داخل حوضه کن فاقد ایستگاه هواشناسی است؛ بنابراین از داده‌های بارش ماهواره‌ای داخل حوضه همانند شکل ۲ استفاده شد. لازم به ذکر است که برای هر کدام از ۱۷ نقطه مشخص شده داخل حوضه در بازه سال ۲۰۰۱ تا ۲۰۲۲ برای تداوم‌های ۶ و ۱۲ ساعته برای دوره‌های بازگشت مختلف، منحنی‌های IDF استخراج شد. در نهایت با دو روش درون‌یابی IDW و EBK برای زمان تمرکز ۶ ساعت، پهنه‌بندی‌های موردنظر داخل حوضه کن صورت گرفت.

نتایج و بحث

باتوجه به اینکه مرکز ثقل حوضه یک نقطه مهم است و در محاسبات هیدرولوژیک حوضه تأثیرگذار است؛ از این رو برای بررسی و مقایسه بین روش‌های موردبحث در این مقاله، شدت بارش در مرکز ثقل حوضه مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاصل بین دو روش درون‌یابی معین IDW و زمین‌آمار EBK در تداوم ۶ ساعت بر اساس ایستگاه‌های سینوپتیک هواشناسی زمینی در مرکز ثقل حوضه به شرح جدول ۳ است.

نتایج حاصل از داده‌های بارش ماهواره‌ای با تفکیک زمانی ۱ ساعت برای تداوم ۶ ساعت بر مبنای دو روش درون‌یابی IDW و EBK در مرکز ثقل حوضه به شرح جدول ۴ است.

نتایج حاصل از داده‌های بارش ماهواره‌ای به تفکیک زمانی ۶ ساعت برای تداوم ۶ ساعت بر مبنای دو روش درون‌یابی IDW و EBK در مرکز ثقل حوضه به شرح جدول ۵ است.

برای مقایسه بین داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی و داده‌های بارش ماهواره‌ای (با دو تفکیک زمانی ۱ و ۶ ساعت)، در ابتدا به مقایسه داده‌های بارش ماهواره‌ای و سپس به مقایسه داده‌های ایستگاه‌های سینوپتیک هواشناسی پرداخته خواهد شد.

داده‌های بارش ماهواره‌ای

مقایسه بین دو روش درون‌یابی و روش‌های توزیع آماری با تفکیک ۱ ساعت

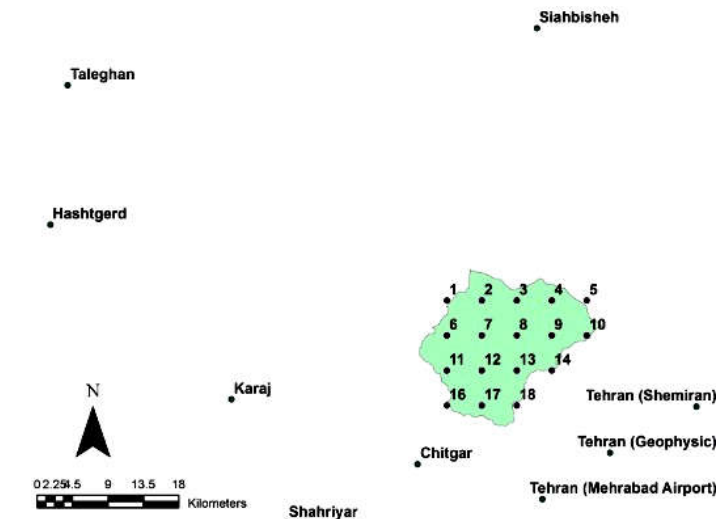
در شکل ۳ اختلاف بین دو روش درون‌یابی (IDW) و (EBK)

ندارد، در نتیجه نزدیک‌ترین ایستگاه‌های اطراف کن برای این منظور استفاده شد؛ بنابراین برای تعمیم مقادیر شدت - مدت - فراوانی در تداوم و دوره‌های بازگشت مختلف ایستگاه‌های هواشناسی به داخل حوضه از روش‌های درون‌یابی به دو روش ۱- معین (Deterministic): وزن‌دهی عکس فاصله (IDW) و ۲- زمین‌آمار (Geostatistic): کریجینگ بیزین تجربی (Empirical Bayesian Kriging) استفاده شد.

در روش معین، درون‌یابی بر اساس تعیین سطح از نقاط نمونه‌گیری شده و بر پایه شباهت‌ها مانند روش وزن‌دهی عکس فاصله (IDW) صورت می‌پذیرد. در روش وزن‌دهی عکس فاصله (IDW)، فرض بر این است که نسبت همبستگی‌ها و شباهت‌ها بین همسایه‌ها متناسب با فاصله بین آن‌ها است که می‌تواند به صورت تابع عکس فاصله هر نقطه از نقاط همسایگی‌اش تعریف شود. اساس این روش بر مقدار فاصله استوار است. در این روش مقدار پیش‌بینی شده برای یک سلول، تشابه زیادی به نزدیک‌ترین مقدار اندازه‌گیری شده دارد و با زیاد شدن فاصله، نقش مقادیر واقعی در مقدار پیش‌بینی کاهش می‌یابد (۲۱).

در روش‌های زمین‌آمار، درون‌یابی بر اساس ویژگی‌های آماری نقاط نمونه‌گیری شده صورت می‌پذیرد. این روش یک روش درون‌یابی زمین‌آمار است که سختی‌های مربوط به ساختن یک مدل کریجینگ معتبر را خودکار می‌نماید. به عبارت دیگر، در تحلیل‌های زمین‌آمار نیاز به تنظیم دستی پارامترها به منظور دستیابی به نتایج دقیق است، اما در روش کریجینگ بیزین تجربی (EBK) به‌طور خودکار این پارامترها طی فرایند شبیه‌سازی محاسبه می‌گردند. فرق دیگر این روش با سایر روش‌های کریجینگ این است که در این روش خطاهای مربوط به برآورد نیم متغیرنما در نظر گرفته می‌شود. در نتیجه از آنجایی که عدم قطعیت برآورد نیم متغیرنما را در محاسبات وارد نمی‌کنند، منجر به برآورد خطای استاندارد پیش‌بینی کم می‌شود (۲۰).

برای محاسبه مقادیر منحنی شدت - مدت - فراوانی از



شکل ۲. موقعیت شبکه داده‌های بارش هوایی و هواشناسی نسبت به حوضه کن

جدول ۳. مقادیر شدت بارش در ایستگاه‌های هواشناسی

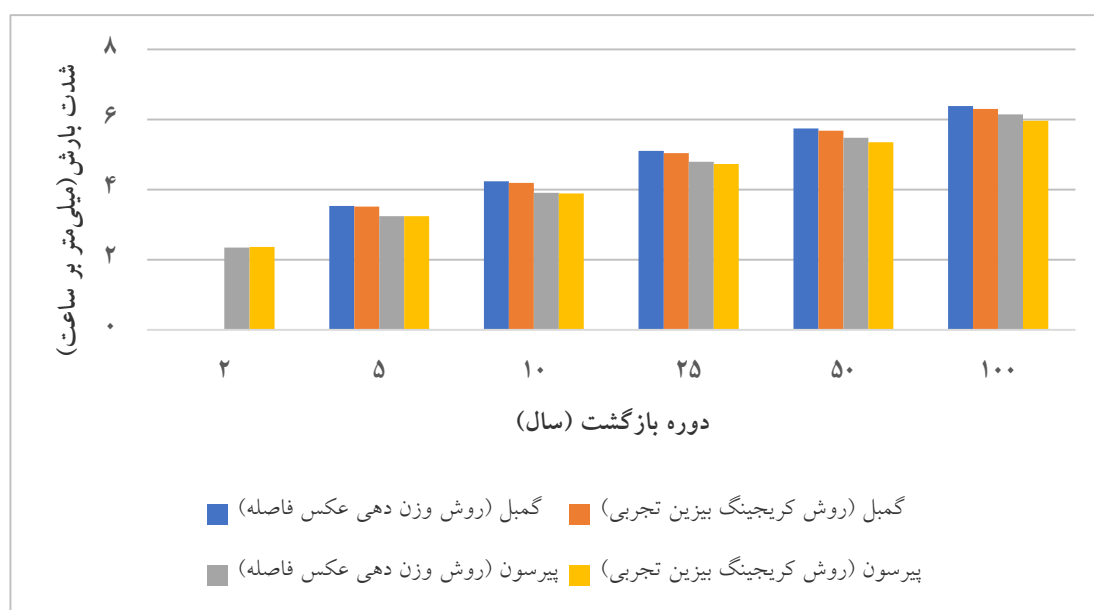
روش درون‌یابی EBK				روش درون‌یابی IDW			
دوره بازگشت (سال)	گمبل (mm/hr)	پیرسون نوع ۳ (mm/hr)	لوگ پیرسون نوع ۳ (mm/hr)	دوره بازگشت (سال)	گمبل (mm/hr)	پیرسون نوع ۳ (mm/hr)	لوگ پیرسون نوع ۳ (mm/hr)
۲	—	۳/۱۴	۱/۶۳	۲	—	۳/۰۰	۱/۶۲
۵	۴/۴۰	۴/۱۲	۱/۷۱	۵	۴/۴۱	۴/۰۷	۱/۷۰
۱۰	۵/۲۰	۴/۸۱	۱/۷۵	۱۰	۵/۲۶	۴/۸۵	۱/۷۵
۲۵	۶/۲۱	۵/۷۱	۱/۷۹	۲۵	۶/۳۴	۵/۸۶	۱/۸۰
۵۰	۶/۹۶	۶/۳۶	۱/۸۳	۵۰	۷/۱۳	۶/۶۱	۱/۸۴
۱۰۰	۷/۷۱	۶/۹۹	۱/۸۶	۱۰۰	۷/۹۲	۷/۳۶	۱/۸۸

جدول ۴. مقادیر شدت بارش در داده‌های بارش ماهواره‌ای با تفکیک زمانی ۱ ساعت

روش درون‌یابی EBK				روش درون‌یابی IDW			
دوره بازگشت (سال)	گمبل (mm/hr)	پیرسون نوع ۳ (mm/hr)	لوگ پیرسون نوع ۳ (mm/hr)	دوره بازگشت (سال)	گمبل (mm/hr)	پیرسون نوع ۳ (mm/hr)	لوگ پیرسون نوع ۳ (mm/hr)
۲	—	۲/۳۷	۱/۵۶	۲	—	۲/۳۵	۱/۵۶
۵	۳/۵۲	۳/۲۴	۱/۶۴	۵	۳/۵۴	۳/۲۴	۱/۶۴
۱۰	۴/۱۹	۳/۸۹	۱/۶۹	۱۰	۴/۲۴	۳/۹۱	۱/۶۹
۲۵	۵/۰۴	۴/۷۳	۱/۷۵	۲۵	۵/۱۱	۴/۸۰	۱/۷۵
۵۰	۵/۶۸	۵/۳۵	۱/۷۹	۵۰	۵/۷۵	۵/۴۸	۱/۸۰
۱۰۰	۶/۳۰	۵/۹۷	۱/۸۳	۱۰۰	۶/۳۹	۶/۱۵	۱/۸۴

جدول ۵. مقایسه شدت بارش در داده‌های بارش ماهواره‌ای با تفکیک زمانی ۶ ساعت

روش درون‌یابی EBK				روش درون‌یابی IDW			
دوره بازگشت	گمبل	پیرسون نوع ۳	لوگ پیرسون نوع ۳	دوره بازگشت	گمبل	پیرسون نوع ۳	لوگ پیرسون نوع ۳
(سال)	(mm/hr)	(mm/hr)	(mm/hr)	(سال)	(mm/hr)	(mm/hr)	(mm/hr)
۲	—	۱/۷۴	۱/۴۹	۲	—	۱/۷۳	۱/۴۸
۵	۲/۶۷	۲/۴۹	۱/۵۷	۵	۲/۶۴	۲/۴۷	۱/۵۶
۱۰	۳/۲۲	۳/۰۰	۱/۶۲	۱۰	۳/۱۹	۲/۹۸	۱/۶۲
۲۵	۳/۹۱	۳/۶۵	۱/۶۷	۲۵	۳/۸۹	۳/۶۳	۱/۶۷
۵۰	۴/۴۳	۴/۱۳	۱/۷۱	۵۰	۴/۴۱	۴/۱۱	۱/۷۱
۱۰۰	۴/۹۴	۴/۶۰	۱/۷۵	۱۰۰	۴/۹۲	۴/۵۸	۱/۷۴



شکل ۳. مقایسه بین روش‌های درون‌یابی در داده‌های هوایی با تفکیک ۱ ساعت

تجربی شدت بارش را بیشتر تخمین می‌زند و هر چه دوره بازگشت افزایش می‌یابد، این تفاوت اندکی نیز بیشتر می‌شود. همان‌گونه که در جداول قبلی (شماره ۳ و ۴) دیده شد، روش لوگ پیرسون نوع ۳ نوع سه نسبت به دو روش گمبل و پیرسون نوع ۳ شدت بارش را خیلی کمتر محاسبه کرده است. علاوه بر این، با افزایش دوره بازگشت که انتظار می‌رود اختلاف

متناظر با روش‌های گمبل، پیرسون نوع ۳ و لوگ پیرسون نوع ۳ در داده‌های بارش ماهواره‌ای با تفکیک ۱ ساعت و تداوم ۶ ساعت قابل بررسی است و این‌گونه می‌توان از روی محاسبات نتیجه‌گیری کرد که تفاوت اندکی (به‌طور متوسط ۰/۰۶ میلی‌متر بر ساعت) بین دو روش درون‌یابی وجود دارد. با توجه به شکل ۳، روش وزن‌دهی عکس فاصله به‌طور ناچیزی از روش کریجینگ بیزین

همچنین در جدول ۷ دیده می‌شود که با افزایش دوره بازگشت اختلاف بین این دو روش نیز بیشتر شده است.

داده‌های بارش ایستگاه‌های سینوپتیک هواشناسی

مقایسه بین دو روش درون‌یابی با یکدیگر

در مقایسه بین دو روش درون‌یابی به این نتیجه می‌رسیم که در توزیع گمبل مقادیر به روش (IDW) اندکی بیشتر (به‌طور متوسط ۰/۱۲) از روش (EBK) است. در توزیع پیرسون نیز تا دوره بازگشت ۵ سال روش (EBK) بیشتر و از دوره بازگشت ۱۰ روش (IDW) اندکی کمتر (به‌طور متوسط ۰/۲ میلی‌متر بر ساعت) شدت بارش را محاسبه می‌کند.

روش گمبل شدت بارش را بیشتر از روش پیرسون نوع ۳ محاسبه می‌کند. همچنین در جدول ۸ دیده می‌شود که هر چقدر دوره بازگشت افزایش می‌یابد، این اختلاف نیز افزایش می‌یابد. روش لوگ پیرسون نوع ۳ با استفاده از داده‌های بارش زمینی نیز مانند داده‌های بارش ماهواره‌ای نتوانست تخمین درستی به ما ارائه دهد و همان‌گونه که بیان شد و در شکل ۵ مشهود است، این روش توانایی برآورد خوبی ندارد و مناسب حوضه مورد مطالعه نیست.

نتیجه‌گیری

با مشاهده و بررسی اعداد شدت بارش ایستگاه‌های مورد مطالعه بین روش‌های درون‌یابی IDW و EBK و روش‌های توزیع آماری گمبل، پیرسون نوع ۳ و لوگ پیرسون نوع ۳ می‌توان دریافت:

۱- اختلاف بین دو روش درون‌یابی در داده‌های ماهواره‌ای در هر توزیع‌های پیوسته آماری ناچیز است. به عبارت دیگر اگر برای توزیع گمبل و یا پیرسون نوع ۳ از هر کدام از دو روش درون‌یابی معین یا زمین‌آمار استفاده شود، نتیجه یکسانی خواهیم داشت.

به‌طور چشمگیر افزایش یابد، نیز تفاوت بین دوره‌های بازگشت اندک است؛ بنابراین به نظر می‌رسد که این روش توانایی مناسبی برای محاسبات مدنظر در این پژوهش را برآورده نمی‌کند.

در روش درون‌یابی (EBK) تفاوت بین دو روش گمبل و پیرسون نوع ۳ نشان می‌دهد که روش پیرسون نوع ۳ شدت بارش را نسبت به روش گمبل اندکی کمتر محاسبه کرده است.

علاوه بر این با افزایش دوره بازگشت اختلاف بین این دو روش نیز بیشتر شده است. در روش درون‌یابی (IDW)، روش گمبل اندکی شدت بارش را بیشتر از روش پیرسون نوع ۳ محاسبه می‌نماید؛ ولی با افزایش دوره بازگشت به جز دوره بازگشت ۱۰ سال اختلاف بین این دو روش اندکی کاهش یافته است که در جدول ۶ قابل مشاهده است. به عبارت دیگر به‌ازای دوره بازگشت کمتر اختلاف بین این دو روش اندکی بیشتر می‌شود.

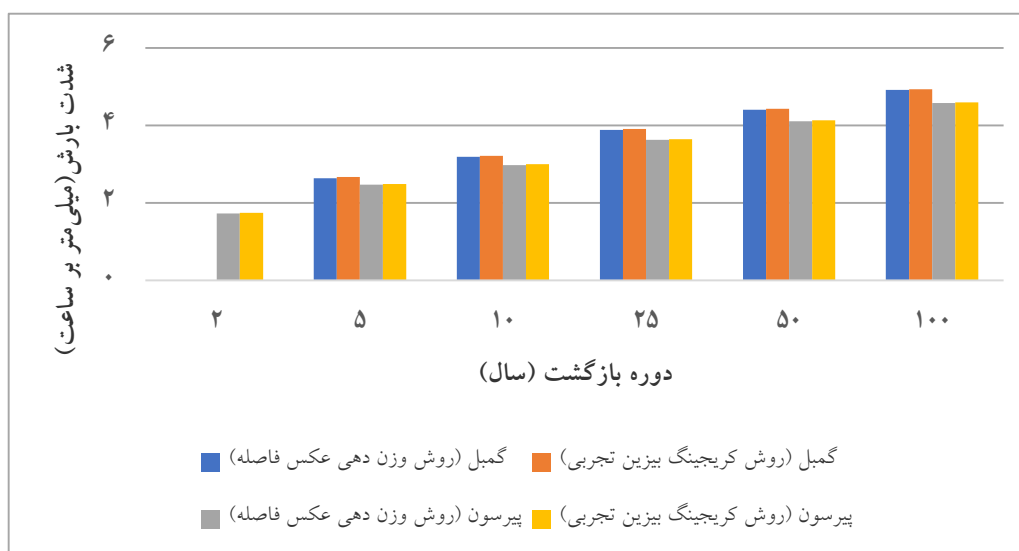
مقایسه بین دو روش درون‌یابی و روش‌های توزیع آماری با تفکیک ۶ ساعت

حال به مقایسه بین دو روش درون‌یابی در داده‌های ماهواره‌ای با تفکیک ۶ ساعت به شرح زیر خواهیم پرداخت. همان‌طور که در شکل ۴ دیده می‌شود، تفاوت بین دو روش درون‌یابی (IDW) و (EBK) اندک و جزئی (به‌طور متوسط ۰/۰۲ میلی‌متر بر ساعت) است.

در روش درون‌یابی (EBK)، تفاوت بین دو روش گمبل و پیرسون نوع ۳ نشان می‌دهد که روش پیرسون نوع ۳ شدت بارش را نسبت به روش گمبل اندکی کمتر محاسبه کرده است. علاوه بر این با افزایش دوره بازگشت، اختلاف بین این دو روش نیز بیشتر شده است. در روش درون‌یابی (IDW)، اختلاف بین دو روش گمبل و پیرسون نوع ۳ نشان می‌دهد که روش گمبل شدت بارش را نسبت به روش پیرسون نوع ۳ اندکی بیشتر محاسبه کرده است.

جدول ۶. مقایسه شدت بارش در داده‌های ماهواره‌ای با تفکیک ۱ ساعت

روش درون‌یابی IDW		روش درون‌یابی EBK	
اختلاف بین دو روش گمبل و پیرسون نوع ۳	دوره بازگشت (سال)	اختلاف بین دو روش گمبل و پیرسون نوع ۳	دوره بازگشت (سال)
—	۲	—	۲
۰/۳۰	۵	۰/۲۸	۵
۰/۳۳	۱۰	۰/۳۱	۱۰
۰/۳۰	۲۵	۰/۳۲	۲۵
۰/۲۷	۵۰	۰/۳۲	۵۰
۰/۲۳	۱۰۰	۰/۳۴	۱۰۰



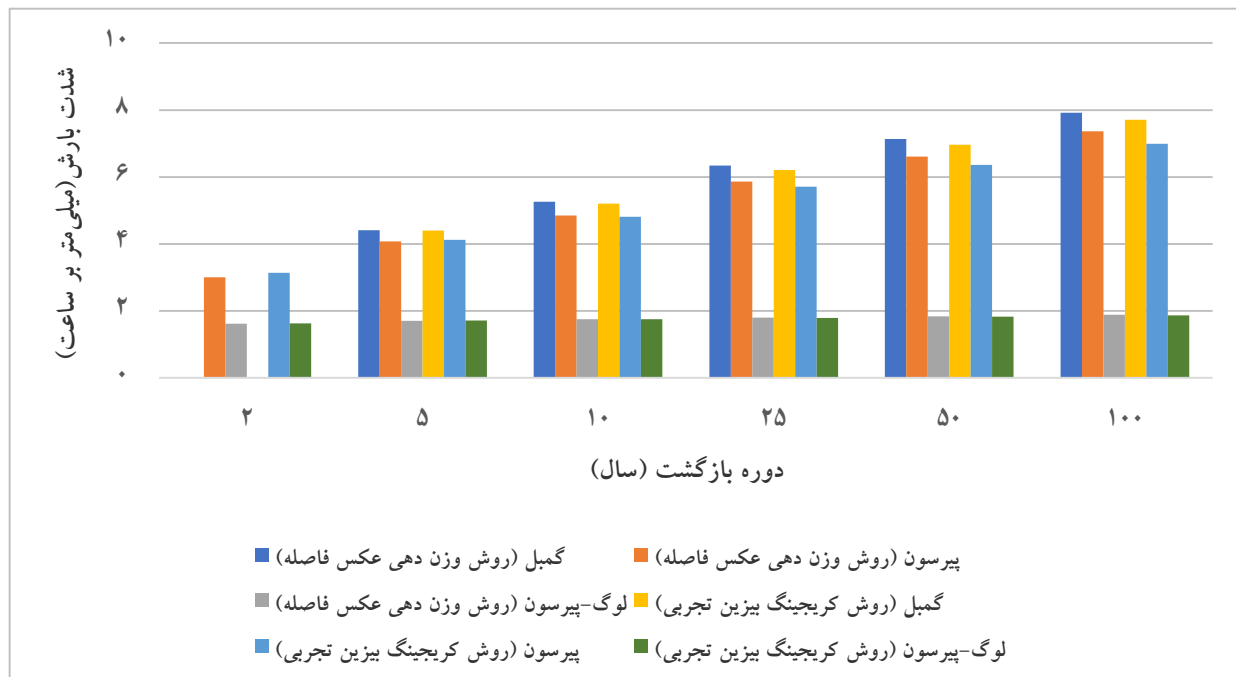
شکل ۴. مقایسه بین روش‌های درون‌یابی در داده‌های هوایی با تفکیک ۶ ساعت

جدول ۷. مقایسه شدت بارش در داده‌های ماهواره‌ای با تفکیک ۶ ساعت

روش درون‌یابی IDW		روش درون‌یابی EBK	
اختلاف بین دو روش گمبل و پیرسون نوع ۳	دوره بازگشت (سال)	اختلاف بین دو روش گمبل و پیرسون نوع ۳	دوره بازگشت (سال)
—	۲	—	۲
۰/۱۸	۵	۰/۱۸	۵
۰/۲۲	۱۰	۰/۲۲	۱۰
۰/۲۶	۲۵	۰/۲۶	۲۵
۰/۳۰	۵۰	۰/۳۰	۵۰
۰/۳۴	۱۰۰	۰/۳۴	۱۰۰

جدول ۸. مقایسه بین روش‌های درون‌یابی در داده‌های ایستگاه هواشناسی

روش درون‌یابی IDW		روش درون‌یابی EBK	
اختلاف بین دو روش گمبل و پیرسون نوع ۳	دوره بازگشت (سال)	اختلاف بین دو روش گمبل و پیرسون نوع ۳	دوره بازگشت (سال)
—	۲	—	۲
۰/۳۴	۵	۰/۲۸	۵
۰/۴۱	۱۰	۰/۳۹	۱۰
۰/۴۸	۲۵	۰/۵۱	۲۵
۰/۵۲	۵۰	۰/۶۰	۵۰
۰/۵۷	۱۰۰	۰/۷۲	۱۰۰



شکل ۵. مقایسه بین روش‌های درون‌یابی در داده‌های ایستگاه هواشناسی

این تفاوت اندکی کاهش می‌یابد.

۳- در داده‌های هوایی با تفکیک ۶ ساعت، روش پیرسون نوع ۳ مقادیر شدت بارش در مرکز ثقل حوضه را کمتر از روش گمبل محاسبه می‌نماید.

۴- در داده‌های بارش ایستگاه‌های هواشناسی، اختلاف بین دو

۲- در داده‌های هوایی با تفکیک ۱ ساعت، روش پیرسون نوع ۳ مقادیر شدت بارش در مرکز ثقل حوضه را اندکی کمتر از روش گمبل محاسبه می‌نماید. همچنین با افزایش دوره بازگشت در روش کریجینگ بیزین تجربی، اختلاف شدت بارش نیز بیشتر می‌شود. در صورتی‌که در روش وزن‌دهی معکوس فاصله

روش زمین‌آمار و معین از دوره بازگشت ۲۵ سال به بعد افزایش می‌یابد. همچنین با افزایش دوره بازگشت، اختلاف بین دو توزیع آماری گمبل و پیرسون نوع ۳ افزایش می‌یابد.

۵- توزیع آماری لوگ پیرسون نوع ۳ با توجه به اختلاف بسیار کمی که بین دوره‌های بازگشت ۲ و ۱۰۰ ساله داشت و شدت بارش را بسیار کمتر از روش‌های دیگر محاسبه می‌کرد، برای کاهش ریسک این حوضه توصیه نمی‌شود.

منابع مورد استفاده

- Moraddiani, E., A. Akhtari and A. Azari. 2020. Flood Forecasting Using Satellite Images and Rainfall-Runoff Model in No Data Areas. *Journal of Irrigation and Water Engineering* 41(11): 211-225
- Behrangi, A., B. Khakbaz, T. Chun Jaw, A. AghaKouchak, K. Hsu and S. Sorooshian. 2011. Hydrologic evaluation of satellite precipitation products over a mid-size basin. *Journal of Hydrology* 397(1): 225-237.
- EM-DAT. The International Disaster Database. 2016. <http://www.emdat.be/about>.
- Amirmoradi, K. and A. Shokooh. 2020. Developing a Regional Model for Estimating Flood Mortality Regarding the Evacuation Time. *Iranian Journal of Soil and Water Research*. 51(7): 1823-1839.
- Wilby, R. L. and R. Keenan. 2012. Adapting to flood risk under climate change, Progress in Science Foundation Workshop, edited by BIOS, Bologna. *Physical Geography Earth and Environment* 36(3): 348-378.
- Kundzewicz, Z. W., Y. Hirabayashi and S. Kanae. 2010. River floods in the changing climate observations and projections. *Water Resources Management*. 24(11): 2633-2646.
- Alibakhshi, M., A. Faridhossini, K. Davari and A. Alizadeh. 2018. *Journal of Watershed Management Research*. 18(10): 111-122.
- Faridzad, M., T. Yang, K. Hsu, S. Sorooshian and C. Xiao. 2018. Rainfall frequency analysis for ungauged regions using remotely sensed precipitation information. *Journal of Hydrology*. 563(1): 123-142.
- Mohammadi, M., J. Mamizadeh and E. Ehsanzadeh. 2020. Comparison of Statistical and Empirical Models in Determining the Intensity-Duration-Frequency Rainfall Curves. *Journal of Irrigation and Water Engineering*. 41(11): 256-268.
- Elsebaie, I. H. 2012. Developing Rainfall Intensity-Duration-Frequency Relationship for Two Regions in Saudi Arabia. *Journal of King Saud University Engineering Science* 24(2): 131-140.
- Tfwala C. M., L. D. Rensburg, R. Schall Mosia and S. M. Dlamini. 2017. Precipitation Intensity-Duration-Frequency Curves and Their Uncertainties for Ghaap Plateau. *Climate Risk Management* 16(1):1-9.
- Yarahmadi, Y., R. Ghazavi and H. Ghasemi. 2021. Extraction of Intensity-Duration-Frequency (IDF) curves and precipitation change process under the impact of climate change. *Journal of Arid Biome*. 11(1): 143-155.
- Ciabatta, L., L. Brocca, C. Massari, T. Moramarco, S. Gabellani, S. Puca and W. Wagner. 2016. Rainfall-runoff modelling by using SM2RAIN-derived and state-of-the-art satellite rainfall products over Italy. *Internatoal Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 48(1):163-173.
- Li, D., G. Christakos, X. Ding and J. Wu. 2017. Adequacy of TRMM satellite rainfall data in driving the SWAT modelling of Tiaoxi catchment (Taihu lake basin, China). *Journal of Hydrology* 556(1): 322-331.
- Gumindoga, W., D. Rwasoka, I. Nhapi, and T. Dube. 2017. Ungauged runoff simulation in Upper Manyame Catchment, Zimbabwe: Application of the HEC-HMS model. *Physics and Chemistry of the Earth* 100(1): 371-382.
- Noor, M., T. Ismail, S. Shahid, M. Asaduzzaman and A. Dewan. 2021. Evaluating intensity-duration-frequency (IDF) curves of satellite-based precipitation datasets in Peninsular Malaysia. *Atmospheric Research* 248(1): 189-204.
- Mianabadi, A. 2023. Evaluation of long-term satellite-based precipitation products for developing intensity-frequency (IF) curves of daily precipitation. *Atmospheric Research* 268(1): 107-124.
- Ghadami, M., N. Hajihassani and E. Moghimi. 2023. Flood potential assessment of the Kan basin using morphometric parameters. *Journal of Range and Water Management* 75(4): 539-551.
- Ghanavati, E., A. Ahmadabadi and M. Gholami. 2020. Simulation of floodplain zones in Tehran's metropolitan watershed. *Journal of Spatial Analysis Environmental Hazards* 6(4): 95-108.
- Khattak, A., N. Ahmed, I. Hussein, A. Qazi, S. Alikhan and A. Rehman. 2014. Spatial distribution of salinity in shallow groundwater used for crop irrigation. *Pakistan Journal Botany* 46(2): 531-537.
- Farnia, E., Kh. Ghorbani and M. salarjazi. 2018. Evaluation of the Empirical Bayesian Kriging method in ground water level zoning. *Journal of Water and Soil Conversation* 25(1): 165-182.
- Alizade, A. 2016. Principles of Applied Hydrology. Imam Reza University. Mashhad. Iran.
- Safavi, H. R. 2014. Engineering Hydrology. Arkan Danesh. Isfahan. Iran.

Using the Data of Meteorological and Satellite Station in Determining the Intensity of Rainfall in the Kan Basin

V. Rezaei, S. S. Eslamian*, J. Abedi-Koupai and A. R. Gohari¹

(Received: January 22-2024 ; Accepted: April 20-2024)

Abstract

The relationship between intensity-duration-frequency of rainfall is a significant tool for estimating flood discharge. According to the sparsely available rain gauge stations and the development of technology, it is possible to use satellite rainfall data with different temporal and spatial resolutions. PERSIANN rainfall data with a time resolution of 1 and 6 hours were used in this research. Also, the spatial resolution of these data is 0.04 x 0.04 degrees. Rainfall data from synoptic stations around the Kan basin were also used. Three common continuous probability distributions of Gumble, Pearson type 3, and Log Pearson type 3 with return periods of 2, 5, 10, 25, 50, and 100 years were investigated to calculate and check the IDF curve. In general, the precipitation intensity obtained from Gumble's method was more than Pearson Type 3's method. Log Pearson type 3 distribution did not provide acceptable results in this research. The two interpolation methods of inverse distance weighting and empirical Bayesian kriging were used to generalize the frequency intensity curves to the entire Kan basin. The results showed little difference between these two methods, except for Pearson type 3 probability distribution.

Keywords: Remote sensing, Gumble distribution, Pearson distribution, Flood, Kan Basin

1. Department of Water Science and Engineering, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

*: Corresponding author, Email: saeid@iut.ac.ir