

واژه‌های کلیدی: آزمون $RRMSE$ ، توزیع گامبل، حداکثر بارش محتمل، روش هرشفیلد، ضریب فراوانی.

برآورد آماری حداکثر بارش محتمل ۲۴ ساعته حوزه آبخیز بختگان

مقدمه

حداکثر بارش محتمل^۴ (PMP) بیش‌ترین ارتفاع بارندگی است که در دوره زمانی معین در یک حوضه به وقوع می‌پیوندد [۱۴]. مطالعه حداکثر بارش محتمل، جهت ارزیابی و برآورد حداکثر سیل محتمل برای طراحی سازه‌های هیدرولیکی از قبیل کانال‌های آبیاری و تعیین حداکثر مقدار آبی که وارد مخزن سرریز یا سایر تأسیسات می‌شود، امری ضروری است [۱۵]. بارش‌های ناگهانی حجم زیادی از آب فراهم می‌آورند و زیان‌های غیرقابل جبران جانی و خسارت‌های مالی بسیار را باعث می‌شوند، بنابراین لازمه و زیربنای پروژه‌های هیدرولیکی، آگاهی از زمان وقوع و میزان حداکثر بارش محتمل است [۱۸].

از طرفی مراجع بین‌المللی سدسازی و به‌خصوص کمیته ملی سدهای بزرگ توصیه نموده‌اند که ظرفیت سرریزها حتماً با توجه به حداکثر سیل محتمل (PMF)^۵ برآورد شده، بر اساس حداکثر بارش محتمل کنترل و محاسبه شود [۱۹]. در ایران افزایش ناگهانی سیل‌های بزرگ از ۲۰ رخداده در دهه (۳۰-۱۳۲۰) به ۵۸ رخداده در دهه (۸۰-۱۳۷۰) رسیده است [۲۳]. حداکثر سیل محتمل ناشی از تبدیل این مقدار بارش در سطح حوضه می‌باشد، اصولاً این کمیت یک عدد کاملاً واقعی نیست، زیرا نمی‌توان آن را به‌صورت کاملاً دقیق برآورد کرد و یا به آن احتمال خاصی از نظر رخداد نسبت داد، اما محاسبه آن به‌عنوان معیار طراحی در پایداری سدهای بزرگ توجیه شده است [۲۵]. در حال حاضر استفاده از حداکثر بارش محتمل برای تخمین حداکثر سیل محتمل به‌صورت استاندارد برای طراحی سدها در بخش‌های مختلفی از دنیا از جمله ایالات متحده، چین، هند و استرالیا به کار گرفته شده است [۳۰]. از سال ۱۹۵۰ اولین بار برای طراحی سازه‌های بزرگ مقادیر بارش محاسبه گردید [۲۹]. به‌کارگیری حداکثر بارش محتمل به‌منظور طراحی سازه‌های آبی با ریسک یا خسارت بالا قدمتی در حدود صدسال دارد [۲۵]. در دسترس نبودن داده‌های دبی قابل‌اعتماد در طراحی سد یا مخازن سدها سبب توجه بیشتر به داده‌های بارش و بیشینه داده‌های بارش برای طراحی سدها و سازه‌های آبی

غلامحسین اکبری^۱، ایمان لطفی^۲ و میثم نجات‌بخش^۳

تاریخ دریافت ۱۴۰۲/۰۸/۱۵ تاریخ پذیرش ۱۴۰۲/۰۹/۳۰

DOI: 10.22034/WMJ.2023.710724

چکیده

در این پژوهش از روش‌های آماری هرشفیلد برای برآورد حداکثر بارش محتمل حوزه آبخیز بختگان استان فارس استفاده شده است. در رابطه هرشفیلد که در آن ضریب فراوانی مقدار ثابت ۱۵ در نظر گرفته شده است، ضریب فراوانی در حوزه بختگان بر اساس داده‌های حداکثر بارندگی ۲۴ ساعته، در ۳۴ ایستگاه باران‌سنجی با طول دوره آماری ۱۳-۴۹ سال، به سه روش‌های آماری هرشفیلد اول، هرشفیلد دوم، هرشفیلد دوم با حذف داده‌های پرت به دست آمد. سپس حداکثر بارش محتمل ۲۴ ساعته در ایستگاه‌های حوضه برای هر سه روش محاسبه و موردبررسی قرار گرفت؛ که در این روش پس از حذف داده‌های پرت، مقادیر حداکثر بارش برای شش توزیع نرمال، لوگ نرمال دو پارامتره، لوگ نرمال سه پارامتره، پیرسون سه، لوگ پیرسون سه و گامبل توسط نرم‌افزار SMADA برآورد شد و بهترین توزیع فراوانی توسط آزمون $RRMSE$ برای هر ایستگاه به دست آمد؛ و با استفاده از آزمون $RRMSE$ برای تمام ایستگاه‌ها توزیع گامبل مناسب‌ترین توزیع معرفی شد که با استفاده از آن PMP_{24} ساعته با دوره‌های بازگشت مختلف برای ایستگاه موردبررسی به دست آمد. هم‌چنین منحنی‌های هم‌مقدار حداکثر بارش محتمل ۲۴ ساعته حوضه به روش هرشفیلد دوم با حذف داده‌های پرت جهت نشان دادن توزیع مکانی آن ترسیم شده است که با توجه به ضریب فراوانی ۴/۸ و با توزیع گامبل استفاده شده دوره بازگشتی معادل ۹۰۰ سال به دست می‌آید که می‌توان نتیجه گرفت مناسب‌ترین روش هرشفیلد نگرش دوم با حذف داده‌های پرت است.

۱- دانشیار (نویسنده مسئول) گروه مهندسی عمران آب و سازه‌های هیدرولیکی، دانشگاه بجنورد، ایمیل: Email: akbari@ub.ac.ir

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد گروه مهندسی عمران، دانشگاه بجنورد

۳- دانشجوی دکتری گروه مهندسی عمران، دانشگاه سیستان و بلوچستان

4. Probable Maximum Precipitation

5. Probable Maximum Flood

مدنظر قرار گرفت. در انجام چنین مطالعه‌ای شناسایی حد بالای بارش برای یک دوره‌ی زمانی و منطقه‌ی جغرافیایی معین دارای اهمیت می‌باشد [۱۳]. هواشناسان برای کمی کردن و به دست آوردن مقدار حداکثر بارش برای سازه‌های آبی نیاز به منابع و داده برای محاسبه دارند [۱]. هرگونه طرح و برنامه‌ریزی که در حوزه‌های آبخیز صورت می‌گیرد، باید بر اساس تجزیه و تحلیل داده‌ها و اطلاعات مربوط به هیدرولوژی آن حوزه باشد [۴]. با تجزیه و تحلیل داده‌های هیدرولوژیکی که در گذشته اتفاق افتاده و اندازه‌گیری شده‌اند، می‌توان به نتایجی رسید که اگر آن را برای آینده تعمیم دهیم، تصمیم‌گیری یا پیش‌بینی رفتار حوزه را ساده خواهد ساخت و به روند وقایعی که در آینده اتفاق خواهد افتاد پی برد [۲۳]. بنابراین پیش‌بینی چگونگی وقوع یک متغیر در آینده به تجزیه و تحلیل داده‌های مربوط به وقوع آن متغیر در گذشته بستگی دارد [۲۱].

دو روش هواشناسی و آماری در محاسبه PMP_{24} وجود دارد. نبود آمار کامل هواشناسی مانند نقطه شبنم، سرعت باد، درجه حرارت تمایل به استفاده از روش آماری را افزایش داده است [۷]. حداکثر بارش محتمل پیش‌تر به نام بیش‌ترین باران ممکن (MPP) شناخته شده بود و در اکثر گزارش‌ها با همین اصطلاح به کار برده می‌شود [۱۱]. علت اصلی تغییر نام MPP به PMP دلالت بیش‌تری بر یک حد بالای فیزیکی بارندگی دارد و با توجه به عدم قطعیت حاکم در برآورد حداکثر بارش، PMP ترجیح داده شد [۸]. روش‌های تخمین PMP چه از طریق هیدرومتئولوژی یا آماری مسلماً به صورت تقریبی است. برای موارد یادشده مقادیر مختلف محاسبه می‌گردد ولی از اعتبار یکسانی برخوردارند [۲۷]. معمولاً PMP برای پایه‌های زمانی مختلف و مساحت‌ها در یک حوزه معین به وسیله انواع توفان‌ها محاسبه می‌گردد. برای مثال توفان تندری برای محاسبه PMP جهت حوزه‌های کم‌تر از ۱۰۰۰ کیلومتر مربع و برای دوره‌های کم‌تر از ۶ ساعت بسیار مناسب می‌باشند [۲۶]. لیکن برای دوره‌های طولانی‌تر و سطح حوزه‌های وسیع‌تر عموماً از توفان‌های معمولی استفاده می‌کنند برای دوره‌های کوتاه‌تر، توفان‌های شدید می‌توانند بارش سنگین‌تری را نسبت به توفان‌های عادی ایجاد نمایند، اما دوره دوام آن‌ها کوتاه‌مدت است و توفان‌های منفرد معمولاً منطقه کوچکی را در بر می‌گیرند [۲۰]. اگرچه توفان‌های معمولی شامل رگبارهای تند نیز می‌باشند، بنابراین برای آن‌ها شدت متوسط کم‌تری پیش‌بینی می‌گردد و لیکن تداوم و پوشش سطحی وسیع‌تر آن‌ها موجب بارندگی‌هایی با مقادیر زیاد برای مدت زمان‌های حدود شش ساعت یا طولانی‌تر می‌گردد [۶]. مقدار PMP برای تمام تداوم‌ها اندازه مختلف سطوح به وسیله یک توفان شناخته نمی‌شوند [۱۶]. هرچند که گاهی از اوقات در این حالت امکان‌پذیر است. اغلب تصور می‌شد که PMP برای حوزه‌های کوچک به وسیله یک توفان منفرد قابل دسترسی باشد [۵]. درحالی‌که PMP و PMS هم ارزند

و لیکن همیشه این چنین نیست، مقادیر PMP نمی‌تواند برای همه تداوم‌ها و اندازه‌های مختلف حوزه، نماینده مقادیر حداکثر بارش باشند بدون اینکه به نوع توفان توجه شود [۲۲]. به عبارتی دیگر مقادیر PMP باید مقادیر حداکثر بارش ممکن توسط هر نوع توفان با بارندگی سنگین روی حوزه را، پوشش دهد [۱۰]. از طرفی دیگر PMS بر هر مشاهده حداکثر شده و یا توفان‌های نظری که برابر مقادیر PMP جهت یک تداوم معین در حوزه‌ای با مساحت مشخص باشد، دلالت می‌کند [۱۷]. این واژه را جهت یک توفان فرضی که PMP را برای هر مدت در کل حوزه آبخیز و یا مقادیر کم‌تر در بخش‌های کوچک‌تر تولید می‌کند، می‌توان به کار گرفت و برای نواحی کوچک‌تر، مقادیر نسبتاً کم‌تر در نظر گرفته می‌شود. روش آماری ممکن است برای تخمین PMP در نقاطی که اطلاعات کافی قابل دسترسی وجود دارد، استفاده شود و خصوصاً جهت تخمین سریع مفید هستند.

PMP از نظر تئوری بیش‌ترین ارتفاع بارندگی است که برای یک دوره معینی از سال در یک حوزه و زمان معینی به وقوع می‌پیوندد. مقادیری که تحت این تعریف برای PMP حاصل می‌شود با افزایش دانش ما از فرایندهای فیزیکی جو، تغییر می‌نماید. هم‌چنین، PMP شامل مراحل طی شده توسط هیدرومتئولوژیست‌ها جهت رسیدن به مقدار حداکثر بارش ممکن به منظور طراحی‌های هیدرولوژیکی است. در پژوهشی ضابطی و اکبری [۳۰] مقدار PMP را با استفاده از روش آماری هرشفیلد را به ترتیب ۳۳، ۲۲، ۳۱ و ۲۲ درصد به دست آورده شد و در این بررسی مشخص شد که بیش‌ترین مقدار PMP الزاماً منطبق بر طولانی‌ترین دوره نیست بلکه با افزایش زمان رگبار مقدار PMP زیاد می‌شود. خادمی و همکاران [۱۵] در مطالعه دیگر، ضریب فراوانی هرشفیلد را بر اساس آمار محلی حوزه تحلیل کردند و حداکثر بارش محتمل ۲۴ ساعته را با استفاده از ضریب فراوانی $Vk_m = 73$ انجام دادند که دوره بازگشتی معادل ۳۱۰۰۰ سال داشته درحالی‌که ضریب فراوانی ۱۵ در رابطه هرشفیلد دوره بازگشتی معدل 10^9 دارد که این نشان داد که استفاده از $Vk_m = 73$ برآورد معقول‌تری از حداکثر بارش محتمل می‌دهد. مزیت این تحقیق نسبت به تحقیقات پیشین انجام آزمون همگنی ایستگاه‌های حوزه است. هم‌چنین آوینو و همکاران [۹] در پژوهشی، رواناب‌های ناشی از بارش حداکثر ۲۴ ساعته را با استفاده از روش SCS و GIS تعیین پیش‌بینی نمودند و با کمک نرم‌افزار PMP Calculator مناسب‌ترین توزیع آماری منطبق بر آمار بارندگی‌های حداکثر ۲۴ ساعته، توزیع لوگ نرمال سه پارامتری تشخیص داده شد و سپس نقشه‌های هم‌باران منطقه برای دوره بازگشت مختلف تهیه شد. هدف اصلی مقاله در حوزه آبخیز مورد مطالعه وجود مشکلات سیلاب‌های ناشی از بارش هاست و بحث تحلیل فراوانی این نوع سیلاب‌ها و برآورد حداکثر سیلاب لحظه‌ای با دوره بازگشت‌های مختلف حائز اهمیت است. نتایج حاصل از تخمین ماکزیمم بارش‌ها با دوره بازگشت‌های

جدول ۱: فرمول‌های توزیع احتمالی

SMADA

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{1}{2}\left\{\frac{x-\mu^z}{\sigma}\right\}^2\right] \quad \text{توزیع احتمالی نرمال}$$

$$f(x) = \left[\frac{1}{x\sigma\sqrt{2\pi}}\right] e^{-\frac{1}{2}\left[\frac{\ln x - \mu_z}{\sigma_z}\right]^2} \quad \text{توزیع احتمالی لوگ نرمال}$$

$$f(x) = \int_0^\infty t^{x-1} e^{-t} dt \quad \text{توزیع تئوری گاما}$$

$$f(x) = \left\{\frac{1}{\Gamma(b)}\right\} [\lambda^b (x-c)^{b-1} e^{-\lambda(x-c)}] \quad \text{توزیع تئوری پیرسون}$$

تیپ ۳

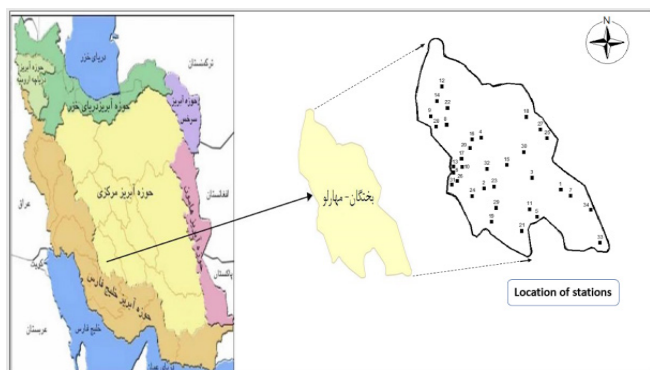
$$F(X) = e^{-e^{-\frac{(a+v)}{e}}} \quad \text{توزیع تئوری گامبل}$$

$$RRMSE = \left[\frac{1}{NS} * \frac{1}{j} \sum_{i=1}^{NS} \sum_{i=1}^j \left(\frac{P_{obs} - P_{est}}{n} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad \text{بهبودترین توزیع برای منطقه}$$

RRMSE

منطقه مورد مطالعه بختگان

حوزه آبخیز بختگان- مهارلو یکی از ۳۰ حوزه آبخیز درجه ۲ کشور و بخشی از حوزه آبخیز اصلی مرکزی می‌باشد. حوزه آبخیز بختگان- مهارلو در محدوده جغرافیایی ۵۷۸۸۳۲ تا ۸۴۱۱۰۰ متر طول شرقی و ۳۲۰۹۳۰۵ تا ۳۴۵۷۸۶۳ متر عرض شمالی منطقه‌های ۳۹ و ۴۰ سامانه UTM معادل ۵۱/۸۲ تا ۵۴/۵ درجه طول شرقی و ۲۸/۹۹ تا ۳۱/۲۵ درجه عرض شمالی گسترش یافته است. مساحت این حوضه برابر با ۳۱۸۷۴۰۰/۵ هکتار است که تقریباً یک‌چهارم از استان فارس را تشکیل می‌دهد. محیط حوضه برابر ۹۲۰/۶ کیلومتر بوده و از لحاظ تقسیم‌بندی اقلیمی بیش‌ترین مساحت حوضه را ناحیه نیمه‌خشک تشکیل داده است.



شکل ۱: موقعیت حوزه آبخیز بختگان

مشخصات ایستگاه‌های حوزه آبخیز بختگان

در این تحقیق از ۳۴ ایستگاه که در نقاط مختلف حوزه آبخیز بختگان واقع شده‌اند استفاده شده است. هم‌چنین جدول ۲ ارتفاع و طول و عرض جغرافیایی این ایستگاه را نشان می‌دهد.

انتخاب بهترین توزیع فراوانی برای حوزه آبخیز بختگان

برای انتخاب مناسب‌ترین توزیع منطقه، از رابطه RRMSE^۱ استفاده شده است.

مختلف به‌وسیله‌ی روش‌های توزیع مختلف آماری حاکی از این است که در دوره بازگشت‌های مختلف تفاوت عمده‌ای بین مقادیر بارش در توزیع‌های مختلف وجود دارد. با تغییرات دوره‌های بازگشت، اختلاف بین مقادیر دبی ناشی از بارش‌ها در مقایسه انواع روش‌های توزیع تغییر می‌یابد. پرداختن به این موضوع در جهت رفع مشکلات حوزه آبخیز بوده از این رو با انتخاب بهترین توزیع که بیش‌ترین تطابق را با داده‌های مشاهداتی حوضه داشته باشند، از اهمیت خاصی برخوردار خواهند بود. در صورت انتخاب نادرست توزیع آماری بارش، ممکن است مقادیر آورد سیلاب‌ها در دوره بازگشت‌های بالا دستخوش تغییرات شوند و از نظر طراحی و ساخت سازه‌های آبی و هیدرولیکی، مشکلاتی را به وجود آورند. بنابراین هدف این پژوهش برآورد آماری حداکثر بارش محتمل ۲۴ ساعته در حوزه آبخیز بختگان در استان فارس، برای شش توزیع نرمال، لوگ نرمال دو پارامتره، لوگ نرمال سه پارامتره، پیرسون سه، لوگ پیرسون سه و گامبل توسط نرم‌افزار SMADA برآورد شد و بهترین توزیع فراوانی توسط آزمون RRMSE برای هر ایستگاه به دست آمد و هم‌چنین حداکثر بارش محتمل ۲۴ ساعته در ایستگاه‌های حوزه برای هر سه روش هرشفیلد محاسبه و موردبررسی و مقایسه قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

روش نگرش اول هرشفیلد، نگرش دوم هرشفیلد، نگرش دوم با حذف داده پرت

هرشفیلد یکی از ابداع‌کنندگان استفاده از روش آماری در تخمین PM₂₄ برای حوضه‌های کوچک در تمام دنیا است. لازمه این برآورد وجود یک سری از داده‌های حداکثر بارش سالانه ۲۴ ساعته در نقاط مشاهده‌ای می‌باشد. روش هرشفیلد در تخمین PMP₂₄ بر اساس معادله چاو در تحلیل فراوانی بارش، به شرح زیر می‌باشد:

$$X_t = \bar{X}_n + K S_n \quad (1)$$

که در آن X_t باران با دوره برگشت t ، \bar{X}_n و S_n به ترتیب میانگین و انحراف معیار یکسری از n ماکسیمم سالانه و K یک متغیر آماری مشترک است که با توزیع‌های فراوانی مختلف متناسب با مقدار حدی داده‌های آب‌شناختی تغییر می‌نماید. چنانچه مقادیر حداکثر مشاهده‌شده باران X_m ، X_t و K_m جانشین K گردد، در این صورت عبارت از ضریب انحراف معیاری است که باید به \bar{X}_n اضافه شود تا به X_m دست یافت.

$$X_m = \bar{X}_n + K_m S_n \quad (2)$$

و هم‌چنین مقادیر حداکثر بارش برای توزیع احتمالی نرمال، توزیع احتمالی لوگ نرمال، توزیع تئوری گاما، توزیع تئوری پیرسون تیپ ۳، توزیع تئوری گامبل توسط نرم‌افزار SMADA برآورد شد و بهترین توزیع فراوانی توسط آزمون RMSE برای هر ایستگاه به دست آمد.

1. Relative Root Mean Square Error

جدول ۲: مشخصات ایستگاه‌های حوزه آبخیز بختگان

شماره ایستگاه	ایستگاه	ارتفاع از سطح دریا	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	طول دوره آماری	تغییرات حداکثر بارندگی (میلی متر)
۱	آباده طشک	۱۶۵۰	۵۳۴۳	۲۹۴۷	۳۸	۱۰۴-۲۰
۲	احمدآباد	۲۲۳۰	۵۲۴۱	۳۰۲۳	۲۲	۱۱۱-۱۷
۳	ارسنجان	۱۶۶۳	۵۳۱۸	۲۹۵۴	۳۷	۱۳۴/۵-۱۶
۴	امامزاده اسماعیل	۱۶۸۰	۵۲۳۵	۳۰۱۹	۳۱	۱۱۰-۳۲
۵	پل تلخ	۱۵۹۲	۵۳۲۵	۲۹۲۷	۱۸	۶۶-۱۵
۶	جمال بیگ	۱۸۹۰	۵۱۵۸	۳۰۳۵	۴۲	۱۰۰-۲۷
۷	جهان‌آباد بختگان	۱۵۸۰	۵۳۵۱	۲۹۴۳	۳۳	۱۱۲-۱۹
۸	چمریز	۱۸۴۰	۵۲۰۱	۳۰۲۷	۴۹	۱۱۶/۵-۲۴
۹	چوخله	۲۰۵۶	۱۵۳۵	۳۰۳۲	۳۸	۱۴۵-۴۰
۱۰	حسین‌آباد سراب	۱۶۱۶	۵۲۲۲	۲۹۵۸	۳۷	۷۵-۱۵
۱۱	خرامه	۱۵۹۵	۵۳۱۹	۲۹۳۲	۳۸	۹۷-۱۵
۱۲	خسرو شیرین	۲۳۴۰	۵۲۰۰	۳۰۵۴	۲۲	۱۰۱-۲۰
۱۳	خلار	۲۱۰۰	۵۲۱۵	۲۹۵۸	۲۹	۱۰۹-۲۴
۱۴	دزکرد	۲۱۰۷	۵۱۵۷	۳۰۴۳	۱۸	۱۳۳-۳۰
۱۵	دشتبال	۱۶۶۰	۵۲۵۸	۳۰۰۲	۴۰	۱۱۴-۲۱/۵
۱۶	دشتک	۲۰۸۰	۵۲۲۸	۳۰۱۸	۲۸	۱۰۲-۱۷
۱۷	دشمن زیاری	۱۶۱۵	۵۲۲۱	۳۰۰۴	۱۸	۹۵-۱۷
۱۸	دهبید	۲۳۰۰	۵۳۱۱	۳۰۳۷	۲۳	۷۰-۸
۱۹	دوبنه	۱۵۲۰	۵۲۴۹	۲۹۲۱	۳۹	۱۱۴-۲۱
۲۰	سد درودزن	۱۶۲۵	۵۲۲۷	۳۰۱۲	۲۱	۹۵-۲۱/۵
۲۱	سروستان	۱۵۰۰	۵۳۱۴	۲۹۱۶	۲۵	۱۵۷-۲۴
۲۲	سفید	۲۰۹۴	۵۲۰۶	۳۰۳۹	۳۷	۱۱۹-۲۲
۲۳	شول بند امیر	۱۶۲۱	۵۲۴۹	۲۹۴۶	۱۸	۹۴-۳۴/۵
۲۴	شیراز	۱۵۰۰	۵۲۳۲	۲۹۳۸	۴۴	۱۴۲-۲۱
۲۵	فنجان	۲۳۶۰	۵۳۲۹	۳۰۲۳	۱۵	۷۷-۱۲
۲۶	قلات	۲۰۸۰	۵۲۱۹	۲۹۴۸	۳۸	۱۲۹/۵-۳۴
۲۷	کتوری	۲۲۳۰	۵۳۲۳	۳۰۲۸	۱۷	۹۷-۲۰
۲۸	کمهر	۲۵۰۰	۵۱۵۸	۳۰۲۵	۱۷	۱۹۶-۴۷
۲۹	گشنگان	۱۴۵۰	۵۲۵۲	۲۹۳۱	۲۲	۶۱-۲۲
۳۰	مادر سلیمان	۱۸۵۰	۵۳۱۱	۳۰۱۲	۲۵	۹۰-۱۴
۳۱	مارون	۲۱۱۴	۵۲۱۵	۲۹۴۵	۱۳	۱۳۲/۵-۲۹
۳۲	مهرآباد رامجرد	۱۵۹۵	۵۲۴۲	۲۹۵۸	۴۵	۹۷/۷-۲۰
۳۳	نیریز	۱۶۱۵	۵۴۱۸	۲۹۱۱	۳۲	۱۴۵/۵-۱۵
۳۴	هرکان	۱۸۹۸	۵۴۲۸	۲۹۰۶	۴۳	۱۲۰-۱۵

جدول ۳: نتیجه آزمون RRMSE

RRMSE					
گامبل	لوگ	لوگ	لوگ	لوگ	لوگ
	پیرسون (۳)	پیرسون (۳)	لوگ نرمال (۲)	لوگ نرمال (۲)	نرمال
۰/۴۷	۰/۵۶	۰/۵۴	۰/۵۳	۰/۵۴	۰/۵۰

کمترین مقدار RRMSE را داشته باشد مناسب‌ترین توزیع در منطقه است که در اینجا مناسب‌ترین توزیع، گامبل با مقدار ۰/۴۷ است.

نتایج و بحث

حداکثر بارش محتمل ۲۴ ساعته به روش اول هرشفیلد

حداکثر بارش محتمل ۲۴ ساعته به روش دوم هرشفیلد

با استفاده از این مقدار و متوسط داده‌ها، \bar{X}_n و انحراف معیار داده‌ها، σ_n برای هر ایستگاه مقدار حداکثر بارش محتمل ۲۴ ساعته

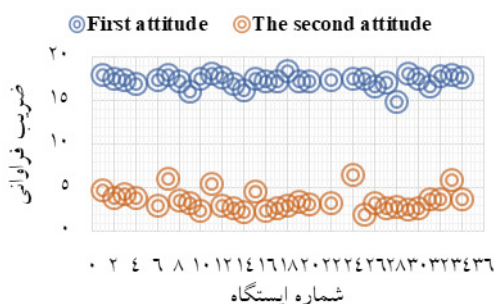
مقادیر RRMSE برای هر توزیع که مقدار آن در جدول ۳، نشان داده شده است و همان‌طور که در جدول دیده می‌شود توزیعی که

جدول ۴: مقادیر برآورد شده PMP_{24} توسط روش نگرش اول هرشفیلد

PMP ₍₂₄₎	k_m	تعدیل شده		انحراف از		MAX	نام ایستگاه	شماره ایستگاه
		انحراف از معیار	میانگین	معیار	میانگین			
۳۲۶/۷	۱۸/۴۶	۱۵/۹۲	۴۰/۵۹	۱۷/۱۵	۴۰/۵۹	۱۰۴	آباد طشک	۱
۴۰۵/۲	۱۷/۵۳	۲۰/۳	۴۹/۳۷	۲۱/۲۷	۴۰/۳۹	۱۱۱	احمدآباد	۲
۴۴۴/۹	۱۷/۴۷	۲۲/۵۷	۵۰/۶۷	۲۴/۰۶	۵۱/۱۹	۱۳۴/۵	ارسنجان	۳
۳۲۲/۷	۱۶/۹۹	۱۵/۴۵	۶۰/۲۱	۱۶/۳۲	۵۹/۶۱	۱۱۰	امامزاده اسماعیل	۴
۳۶۱/۸	۱۷/۰۱	۱۶/۱۸	۵۵/۳۶	۱۶/۸۹	۵۸۰۳۳	۱۰۵	پل تخت	۵
۳۷۵/۸	۱۷/۳۶	۱۸/۶۱	۵۲/۷۱	۱۷/۷۱	۵۱/۶۷	۱۰۰	جمال بیگ	۶
۲۹۷/۱	۱۸/۰۶	۱۴/۳	۳۸/۸۳	۱۷/۸	۳۹/۶۴	۱۱۲	جهان آباد بختگان	۷
۳۹۹/۵	۱۷/۲۸	۱۹/۹۷	۵۴/۴۶	۱۹/۹۷	۵۵/۰۱	۱۱۶/۵	چمریز	۸
۴۷۴/۶	۱۶/۱	۲۴/۶۴	۷۸/۰۶	۲۴/۱۵	۷۶/۵۳	۱۴۵	چوبخله	۹
۲۸۷/۰۱	۱۷/۵۵	۱۳/۵۶	۴۸/۹۲	۱۲/۵۵	۴۷/۹۶	۷۵	حسین آباد سراب	۱۰
۲۷۳/۶	۱۸/۱۳	۱۳/۰۲	۳۷/۴۷	۱۴/۸۵	۳۷/۴۷	۹۷	خرامه	۱۱
۴۶۳/۷	۱۷/۷	۲۳/۶۰	۴۵/۹۱	۲۲/۷۲	۴۵/۹۳	۱۰۱	خسرو شیرین	۱۲
۴۲۵/۲	۱۶/۹۸	۲۱/۴۸	۶۰/۳۷	۲۰/۴۵	۵۹/۷۸	۱۰۹	خلار	۱۳
۶۳۱/۹	۱۶/۲۸	۳۴/۲۴	۷۴/۴۱	۳۰/۵۲	۷۲/۹۷	۱۳۳	دزکرد	۱۴
۳۳۳/۸	۱۷/۵۵	۱۶/۲۳	۴۹/۰۱	۱۷/۶۸	۴۹/۰۱	۱۱۴	دشتیال	۱۵
۴۵۴/۷	۱۷/۱۹	۲۳/۱۸	۵۶/۱۸	۲۱/۴۳	۵۵/۶۳	۱۰۲	دشتک	۱۶
۴۱۰/۵	۱۷/۳	۲۰/۶۱	۵۳/۹۹	۱۸/۹۳	۵۲/۹۴	۹۵	دشمن زیاری	۱۷
۳۳۴/۶	۱۸/۳۳	۱۶/۴۶	۳۰/۷۷	۱۵/۶۸	۳۰/۷۸	۷۰	دهبید	۱۸
۴۰۹/۵	۱۷/۳۳	۲۰/۵۵	۵۳/۴۲	۲۰/۱۴	۵۳/۴۲	۱۱۴	دوبنه	۱۹
۳۵۳/۷	۱۷/۲۳	۱۷/۳۲	۵۵/۳۹	۱۶/۵	۵۳/۷۶	۹۵	سد درودزن	۲۰
۴۳۳/۸	۱۷/۳۶	۲۱/۵۱	۵۳/۶۶	۲۱/۰۸	۵۳/۰۱	۱۰۱	سروستان	۲۱
۴۶۰/۴	۱۷/۳۵	۲۳/۴۸	۵۲/۹۴	۲۳/۰۲	۵۲/۹۵	۱۱۹	سفید	۲۲
۳۶۰/۶	۱۷/۳۸	۱۸/۶۶	۵۱/۱	۲۱/۳	۵۱/۸	۱۳۲	شول بند امیر	۲۳
۳۳۲/۷	۱۷/۵۴	۱۶/۱۶	۴۹/۲	۲۰/۲۶	۴۹/۶۹	۱۴۲	شیراز	۲۴
۴۲۷/۹	۱۷/۶۲	۲۱/۵۸	۴۷/۵۹	۱۸/۵۶	۴۶/۲	۷۷	فنجان	۲۵
۴۵۲/۳	۱۶/۷۴	۲۳/۱۳	۶۵/۳	۲۲/۶۷	۶۵/۳	۱۲۹/۵	قلات	۲۶
۴۲۰/۷	۱۷/۱۳	۲۱/۲۱	۵۷/۵	۱۹/۳	۵۵/۸۲	۹۷	کتوری	۲۷
۷۹۱/۴	۱۴/۸۹	۴۶/۲۹	۱۰۲/۲۱	۴۲/۱۲	۱۰۱/۲۶	۱۹۶	کمهر	۲۸
۲۵۵/۲	۱۸/۱۱	۱۲	۳۷/۸۸	۱۱/۱	۳۷/۱۴	۶۱	گشنگان	۲۹
۳۸۹/۱	۱۷/۵۱	۱۹/۳۸	۴۹/۷۶	۱۸/۱	۴۸/۷۸	۹۰	مادر سلیمان	۳۰
۵۴۲/۱	۱۶/۶۵	۲۸/۵۴	۶۷/۰۴	۲۷/۹۸	۶۶/۴۶	۱۳۲/۵	مارون	۳۱
۳۴۶/۸	۱۷/۸۴	۱۷/۰۲	۴۳/۲۱	۱۶/۸۵	۴۳/۶۵	۹۷/۷	مهرآباد رامجرد	۳۲
۴۲۵/۱	۱۸/۰۲	۲۱/۳۹	۳۹/۵۹	۲۶/۰۴	۴۱/۲۷	۱۴۵/۵	نیریز	۳۳
۴۶۱/۴	۱۷/۷۷	۲۳/۴۵	۴۴/۵۴	۲۳/۲۲	۴۴/۹۹	۱۲۰	هرکان	۳۴

جدول ۵: مقادیر برآورد شده PMP_{24} توسط روش دوم هرشفیلد

شماره ایستگاه	X_L	X_n	X_{n-L}	σ_n	σ_{n-L}	K_m	PMP ₍₂₄₎
۱	۱۰۴	۴۰/۶	۳۸/۹	۱۷/۲	۱۳/۷	۴/۸	۱۷۱/۵
۲	۱۱۱	۴۹/۴	۴۶/۵	۲۱/۳	۱۶/۶	۳/۹	۲۱۱/۶
۳	۱۳۵	۵۱/۲	۴۸/۹	۲۴/۱	۱۹/۸	۴/۳	۲۳۴/۰۱
۴	۱۱۰	۵۹/۶	۵۷/۹	۱۶/۳	۱۳/۶	۳/۸	۱۸۶/۹
۵	۱۰۰	۵۱/۷	۵۰/۵	۱۷/۷	۱۶/۲	۳/۱	۱۸۸/۱
۶	۱۱۲	۳۹/۶	۳۷/۴	۱۷/۸	۱۲/۴	۶/۰۱	۱۷۵/۱
۷	۱۱۶/۵	۵۵/۰۱	۵۳/۶	۲۰/۰۱	۱۷/۸	۳/۵	۲۰۸/۴
۸	۱۴۵	۷۷/۵	۷۵/۷	۲۴/۲	۲۱/۶	۳/۳	۲۶۳/۳
۹	۷۵	۴۸/۰۱	۴۷/۲	۱۲/۵	۱۱/۸	۲/۳	۱۴۶/۱
۱۰	۹۷	۳۷/۵	۳۵/۹	۱۴/۸	۱۱/۲	۵/۵	۱۵۱/۱
۱۱	۱۰۱	۴۵/۹	۴۳/۳	۲۲/۷	۱۹/۶	۲/۹	۲۱۸/۲
۱۲	۱۰۸	۵۸	۵۶/۳	۲۱/۱	۱۸/۸	۲/۸۱	۲۱۷/۸
۱۳	۱۰۹	۵۹/۸	۵۸/۰۱	۲۰/۵	۱۸/۵	۲/۸	۲۱۷/۳
۱۴	۱۳۳	۷۳/۰۱	۶۹/۴	۳۰/۵	۲۷/۴	۲/۳	۳۰۵/۹
۱۵	۱۱۴	۴۹/۰۱	۴۷/۳	۱۷/۷	۱۴/۴	۴/۶	۱۸۴/۸
۱۶	۱۰۲	۵۵/۶	۵۳/۹	۲۱/۴	۱۹/۸	۲/۴	۲۱۹/۸
۱۷	۹۵	۵۲/۹	۵۰/۵	۱۸/۹	۱۶/۲	۲/۷	۱۹۸/۴
۱۸	۷۰	۳۰/۸	۲۹/۰۱	۱۵/۷	۱۳/۵	۳/۰۱	۱۴۹/۶
۱۹	۱۱۴	۵۳/۴	۵۱/۸	۲۰/۱	۱۷/۷	۳/۵	۲۰۷/۹
۲۰	۹۵	۵۳/۸	۵۱/۷	۱۶/۵	۱۳/۹	۳/۱	۱۸۱/۶
۲۱	۱۱۶	۵۳/۱	۵۱/۶	۲۱/۶	۱۸/۳	۳/۲	۲۱۸/۳
۲۲	۱۱۹	۵۲/۹	۵۱/۱	۲۳/۰۱	۲۰/۴	۳/۳	۲۲۸/۴
۲۳	۱۴۲	۴۹/۷	۴۷/۵	۲۰/۳	۱۴/۶	۶/۵	۲۰۴/۵
۲۴	۷۷	۴۶/۲	۴۴/۰۱	۱۸/۶	۱۷/۱	۱/۹	۱۸۸/۱
۲۵	۱۲۹/۵	۶۵/۳	۶۳/۶	۲۲/۷	۲۰/۳	۳/۳	۲۳۹/۸
۲۶	۹۷	۵۵/۸	۵۳/۳	۱۹/۳	۱۶/۷	۲/۶	۲۰۴/۴
۲۷	۱۹۶	۱۰۱/۰۳	۹۵/۳	۴۲/۱	۳۵/۵	۲/۸	۴۲۲/۹
۲۸	۶۱	۳۷/۱	۳۶/۰۱	۱۱/۱	۱۰/۰۱	۲/۵	۱۲۳/۲
۲۹	۹۰	۴۸/۸	۴۷/۱	۱۸/۱	۱۶/۳	۲/۶	۱۸۷/۶
۳۰	۱۲۱/۱	۵۳/۳	۵۱/۱	۲۳/۳	۱۸/۶	۳/۱	۲۱۰/۳
۳۱	۱۳۲/۵	۶۶/۵	۶۰/۵	۲۸/۰۱	۱۹/۶	۳/۷	۲۸۰/۰۱
۳۲	۹۷/۷	۴۳/۶	۴۲/۴	۱۶/۹	۱۴/۹	۳/۷	۱۷۲/۷
۳۳	۱۴۵/۵	۴۱/۳	۳۷/۹	۲۶/۰۱	۱۸/۱	۶/۰۱	۲۳۷/۳
۳۴	۱۲۰	۴۵/۰۱	۴۳/۲	۲۳/۲	۲۰/۳	۳/۸	۲۲۰/۹



شکل ۲: اختلاف ضریب فراوانی برای روش‌های هرشفیلد حوزه آبخیز بختگان

می‌توان به‌عنوان یک ضریب ناحیه‌ای در محاسبه حداکثر بارندگی محتمل ۲۴ ساعته مورد استفاده قرار گیرد.

حداکثر بارش محتمل ۲۴ ساعته به روش نگرش دوم هرشفیلد با حذف داده پرت

در این بخش، روش قبل با حذف مقادیر خارج از مرز دنبال شده است تا اثر آن بر نتایج نهایی محاسبات، تحلیل و ارزیابی شود. مقادیر خارج از مرز داده‌هایی هستند که به‌طور واضح از محدوده

محاسبه و از ضریب ۱/۱۳ جهت تصحیح مربوط به تعداد واحدهای مشاهداتی در محدوده زمانی مورد نظر استفاده شد.

مقایسه ضریب فراوانی در روش نگرش اول هرشفیلد و نگرش دوم هرشفیلد

در نگرش دوم هرشفیلد K_m بین ۱/۹ تا ۶/۵ تغییر کرد (جدول ۵ و شکل ۲) که کاهش فراوانی را نسبت به روش هرشفیلد اول را نشان می‌دهد. حداکثر مقدار K_m بین ایستگاه‌های انتخابی ۶/۵ است که

جدول ۶: مقادیر برآورد شده PMP_{24} توسط روش دوم هرشفیلد با حذف داده پرت

شماره ایستگاه	X_L	X_n	X_{n-L}	σ_n	σ_{n-L}	K_m	PMP ₍₂₄₎
۱	۷۲	۳۷/۹۶	۳۸/۰۱	۱۲/۶۸	۱۲/۷	۲/۷	۱۱۱/۵
۲	۱۱۱	۴۹/۳۹	۴۶/۵	۲۱/۲۷	۱۶/۶	۳/۹	۱۷۱/۰۱
۳	۱۳۴/۵	۵۱/۱۹	۴۸/۹	۲۴/۰۶	۱۹/۸	۴/۳	۱۸۸/۰۳
۴	۱۱۰	۵۹/۶۱	۵۷/۹	۱۶/۳۲	۱۳/۶	۳/۸	۱۵۵/۷
۵	۱۰۰	۵۱/۶۷	۵۰/۵	۱۷/۸۱	۱۶/۲	۳/۱	۱۵۴/۳
۶	۹۱	۳۹/۶	۳۹/۸	۱۵/۶	۱۵/۳۸	۳/۰۱	۱۳۳/۶
۷	۶۹	۶۳/۳۵	۳۶/۴	۱۱/۱۱	۱۱/۱	۲/۹	۱۰۳/۲
۸	۱۱۶/۵	۵۵/۰۱	۵۳/۶	۱۹/۹۷	۱۷/۸	۳/۵	۱۷۰/۳
۹	۱۴۵	۷۶/۵۳	۷۴/۷	۲۴/۱۵	۲۱/۶	۳/۳	۲۱۷/۲
۱۰	۷۵	۴۸/۱۳	۴۸/۱	۱۰/۶۴	۱۰/۶	۲/۵	۱۱۲/۰۱
۱۱	۶۳	۳۵/۱۱	۳۵/۱	۱۰/۳۷	۱۰/۴	۲/۷	۹۵/۸
۱۲	۱۰۱	۴۵/۹۳	۴۳/۳	۲۲/۷۲	۱۹/۶	۲/۹	۱۷۴/۹
۱۳	۱۰۹	۵۹/۷۸	۵۸/۰۱	۲۰/۴۵	۱۸/۵	۲/۸	۱۷۸/۳
۱۴	۱۳۳	۷۲/۹۷	۶۹/۴	۳۰/۵۲	۲۷/۴	۲/۳	۲۴۷/۷
۱۵	۱۱۴	۴۹/۰۱	۴۷/۳	۱۷/۶۸	۱۴/۴	۴/۶	۱۵۱/۱
۱۶	۱۰۲	۵۵/۶۳	۵۳/۹	۲۱/۴۳	۱۹/۸	۲/۴	۱۷۸/۹
۱۷	۹۵	۵۲/۹۴	۵۰/۵	۱۸/۹۳	۱۶/۲	۲/۷	۱۶۲/۳
۱۸	۷۰	۳۰/۷۸	۲۹/۰۱	۱۵/۶۸	۱۳/۵	۳/۰۱	۱۱۹/۷
۱۹	۱۱۴	۵۳/۴۲	۵۱/۸	۲۰/۱۴	۱۷/۷	۳/۵	۱۶۹/۴
۲۰	۹۵	۵۳/۷۶	۵۱/۷	۱۶/۵۰	۱۳/۹	۳/۱	۱۵۰/۱
۲۱	۹۹	۵۳/۰۶	۵۱/۳	۲۱/۰۹	۱۸/۱	۳/۲	۱۶۳/۶
۲۲	۱۱۹	۵۲/۹۵	۵۱/۱	۲۳/۰۲	۲۰/۴	۳/۳	۱۸۴/۴
۲۳	۷۸	۴۶/۸۲	۴۶/۸	۱۳/۹۵	۱۴/۰۱	۲/۲	۱۲۸/۴
۲۴	۷۸	۴۶/۶۶	۴۶/۵۹	۱۴/۱	۱۴/۸	۲/۱	۱۳۳/۶
۲۵	77	۴۶/۴۳	۴۶/۵	۱۵/۰۱	۱۵/۰۳	۲	۱۳۳/۷
۲۶	۱۲۹/۵	۶۵/۳۰	۶۳/۶	۲۲/۶۷	۲۰/۳	۳/۳	۱۹۶/۵
۲۷	۹۷	۵۵/۴۷	۵۵/۵	۱۴/۵۹	۱۴/۶	۲/۸	۱۴۱/۶
۲۸	۱۹۶	۱۰۱/۲۶	۹۵/۳	۴۲/۱۲	۳۵/۵	۲/۸	۳۴۲/۴
۲۹	۶۱	۳۷/۱۴	۳۶/۰۱	۱۱/۱۰	۱۰/۰۳	۲/۵	۱۰۲
۳۰	۹۰	۴۸/۷۸	۴۷/۱	۱۸/۱۰	۱۶/۳	۲/۶	۱۵۳/۱
۳۱	۱۳۲/۵	۶۶/۴۶	۶۰/۵	۲۷/۹۸	۱۹/۶	۳/۷	۲۲۶/۵
۳۲	۹۷/۷	۴۳/۶۵	۴۲/۴	۱۶/۸۵	۱۴/۹	۳/۷	۱۴۰/۵
۳۳	۱۰۲	۳۵/۷۷	۳۵/۸	۱۳/۸۴	۱۳/۸	۴/۸	۱۱۵/۳
۳۴	۱۲۰	۴۴/۹۹	۴۳/۲	۲۳/۲۲	۲۰/۳	۳/۸	۱۷۶/۵

۲۴ ساعته (PMP_{24}) طبق رابطه جدول ۱، برای هر ایستگاه محاسبه گردید. کمترین و بیشترین عامل فراوانی و PMP_{24} در این روش به ترتیب در محدوده ۱۴/۸۹ تا ۱۸/۴۶ و ۳۲۶/۷ تا ۷۹۱/۴ میلی‌متر در ایستگاه‌های آباده طشک و کمهر می‌باشد (جدول ۴). همچنین نسبت PMP_{24} به حداکثر بارش ۲۴ ساعته به‌عنوان یک عامل مقایسه‌ای بین ۲/۳۴ تا ۵/۵۶ به دست آمد.

در روش دوم هرشفیلد، PMP_{24} را بین ۱۸۷/۶ تا ۱۲۳/۲ میلی‌متر (در ایستگاه‌های شماره ۲۹ و ۲۸) به ترتیب در ایستگاه‌های گشنگان و کمهر تخمین زد جدول ۵ نشان می‌دهد که دامنه تغییرات مقدار PMP_{24} تقریباً نصف مقادیر متناظر در نگرش اول هرشفیلد است و به نظر منطقی‌تر می‌آیند. نسبت PMP_{24} به حداکثر بارش ۲۴ ساعته بین ۱/۶ تا ۲/۴۴ به دست آمد که مشابه محدوده به‌دست‌آمده توسط دسا و همکاران در سال ۲۰۰۱، دسا و راخچا در سال ۲۰۰۷ و قهرمان در سال ۲۰۰۸ است. درحالی‌که از محدوده به‌دست‌آمده در روش هرشفیلد اول به‌مراتب کم‌تر است این دامنه تغییرات ناشی از تفاوت

دیگر داده‌ها فاصله‌دارند. این مقادیر می‌توانند از اشتباه در ثبت مشاهدات و یا شرایط کاملاً استثنایی پدید آیند و می‌توانند مقادیر بسیار پایین را نیز شامل گردند. برای این تحلیل ارقام خارج از مرز از روش‌های آماری شناسایی شدند.

در این قسمت عامل فراوانی و PMP_{24} ایستگاه‌های منطقه با نگرش دوم هرشفیلد به ترتیب از رابطه‌های ۱ و ۲ برای هر ایستگاه برآورد شد که نتایج در جدول ۶، خلاصه گردیده است.

مقایسه حداکثر بارش محتمل ۲۴ ساعته هر سه روش

جدول ۷، نتایج حاصل از سه روش هرشفیلد را که جهت محاسبه حداکثر بارش ۲۴ ساعته (PMP_{24}) مورد استفاده قرار می‌گیرند را نشان می‌دهد.

در روش اول هرشفیلد، برای برآورد حداکثر بارش محتمل ۲۴ ساعته، ۳۴ ایستگاه موردبررسی قرار گرفت و مقادیر S_n ، $\overline{X_n}$ و S_{n-m} ، $\overline{X_{n-m}}$ و همچنین عامل فراوانی (K_m) و حداکثر بارش

جدول ۷: مقادیر برآورد شده حداکثر بارش محتمل ۲۴ ساعته به روش‌های مختلف هرشفیلد

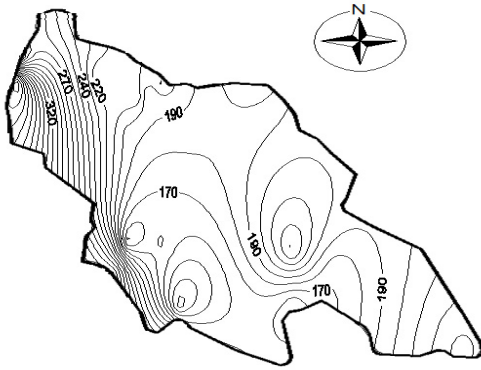
PMP (24)			K_m			شماره ایستگاه
نگرش دوم با حذف داده پرت	نگرش دوم	نگرش اول	نگرش دوم با حذف داده پرت	نگرش دوم	نگرش اول	
۱۱۱/۵	۱۷۱/۵	۳۲۶/۷	۲/۷	۴/۸	۱۷/۹۷	۱
۱۷۱/۱	۲۱۱/۶	۴۰۵/۲	۳/۹	۳/۹	۱۷/۵۳	۲
۱۸۸/۰۳	۲۳۴/۰۱	۴۴۴/۹	۴/۳	۴/۳	۱۷/۴۷	۳
۱۵۵/۷	۱۸۶/۹	۳۲۲/۷	۳/۸	۳/۸	۱۶/۹۹	۴
۱۵۴/۳	۱۸۸/۱	۳۷۵/۸	۳/۱	۳/۱	۱۷/۳۶	۵
۱۰۱/۲	۱۷۵/۱	۲۹۷/۱	۲/۹	۶/۰۱	۱۸/۰۶	۶
۱۳۸/۳	۱۹۱/۱	۳۶۹/۳	۳/۳	۳/۸	۱۷/۱	۷
۱۷۰/۳	۲۰۸/۴	۳۹۹/۵	۳/۵	۳/۵	۱۷/۲۸	۸
۲۱۷/۲	۲۶۳/۳	۴۷۴/۶	۳/۰۳	۳/۳	۱۶/۱	۹
۱۱۲/۰۶	۱۴۶/۱	۲۸۷/۰۱	۲/۵	۲/۳	۱۷/۵۵	۱۰
۹۵/۸	۱۵۱/۱	۲۷۳/۶	۲/۷	۵/۵	۱۸/۱۳	۱۱
۱۷۴/۹	۲۱۸/۲	۴۶۳/۷	۲/۹	۲/۹	۱۷/۷	۱۲
۱۷۸/۳	۲۱۷/۳	۴۲۵/۲	۲/۸	۲/۸	۱۶/۹۸	۱۳
۲۴۷/۷	۳۰۵/۹	۶۳۱/۹	۲/۳	۲/۳	۱۶/۲۸	۱۴
۱۵۱/۱	۱۸۴/۸	۳۳۳/۸	۴/۶	۴/۶	۱۷/۵۵	۱۵
۱۷۸/۹	۲۱۹/۸	۴۵۴/۷	۲/۴	۲/۴	۱۷/۱۹	۱۶
۱۶۲/۳	۱۹۸/۴	۴۱۰/۵	۲/۷	۲/۷	۱۷/۳	۱۷
۱۱۹/۷	۱۴۹/۶	۳۳۴/۶	۳/۰۱	۳/۰۱	۱۸/۴۶	۱۸
۱۶۹/۴	۲۰۷/۹	۴۰۹/۴	۳/۵	۳/۵	۱۷/۳۳	۱۹
۱۵۰/۱	۱۸۱/۶	۳۵۳/۷	۳/۱	۳/۱	۱۷/۲۳	۲۰
۱۶۳/۶	۱۹۳/۰۲	۴۳۶/۱	۳/۰۶	۳/۲	۱۷/۳۱	۲۱
۱۸۴/۴	۲۲۸/۴	۴۶۰/۴	۳/۳	۳/۳	۱۷/۳۵	۲۲
۱۶۶/۳	۲۲۱/۰۱	۳۹۱/۱	۲/۸	۵/۰۱	۱۷/۳۶	۲۳
۱۲۸/۴	۲۰۴/۵	۳۳۲/۷	۲/۲	۶/۵	۱۷/۵۴	۲۴
۱۳۳/۷	۱۸۸/۱	۴۲۷/۹	۲/۰۱	۱/۹	۱۷/۶۲	۲۵
۱۹۶/۵	۲۳۹/۸	۴۵۲/۳	۳/۳	۳/۳	۱۶/۷۴	۲۶
۱۴۱/۶	۲۰۴/۴	۴۲۰/۷	۲/۸	۲/۶	۱۷/۱۳	۲۷
۳۴۲/۴	۴۲۲/۹	۷۹۱/۴	۲/۸	۲/۸	۱۴/۸۹	۲۸
۱۰۲/۰۳	۱۲۳/۲	۲۵۵/۲	۲/۵	۲/۵	۱۸/۱۱	۲۹
۱۵۳/۱	۱۸۷/۶	۳۸۹/۱	۲/۶	۲/۶	۱۷/۵۱	۳۰
۲۲۶/۵	۲۸۰/۰۱	۵۴۲/۱	۳/۷	۳/۷	۱۶/۶۵	۳۱
۱۴۰/۵	۱۷۲/۷	۳۴۶/۸	۳/۷	۳/۷	۱۷/۸۴	۳۲
۱۱۵/۳	۲۳۷/۳	۴۲۵/۱	۴/۸	۶/۰۱	۱۸/۰۲	۳۳
۱۷۶/۵	۲۲۰/۹	۴۶۱/۴	۳/۸	۳/۸	۱۷/۷۷	۳۴

منحنی هم‌مقدار حداکثر بارش محتمل ۲۴ ساعته منطقه در روش هرشفیلد

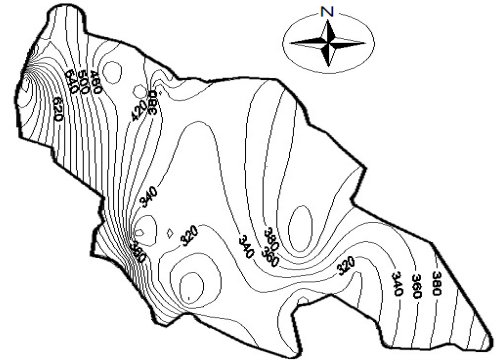
با استفاده از مقادیر به‌دست‌آمده از جداول ۴، ۵، ۶ و مشخصات جغرافیایی هر ایستگاه در جدول ۲ و با استفاده از نرم‌افزار SURFER منحنی هم‌مقدار حداکثر بارش محتمل ۲۴ ساعته حوضه برای هر سه روش هرشفیلد رسم شد تا بتوان این روش‌ها را بهتر با یکدیگر مقایسه کرد، که این منحنی‌های در شکل‌های ۳، ۴، و ۵ آورده شده‌اند. شکل ۵، نمایانگر خطوط هم‌باران برای روش دوم هرشفیلد با حذف داده پرت در حوزه بختگان است. خطوط و منحنی‌های رسم شده بر روی حوضه نشان‌دهنده میزان بارش حداکثر ۲۴ ساعته و

در طول دوره آماری و وجود شرایط آب و هوایی متفاوت در ایستگاه‌های مختلف به علت گستردگی منطقه می‌باشد.

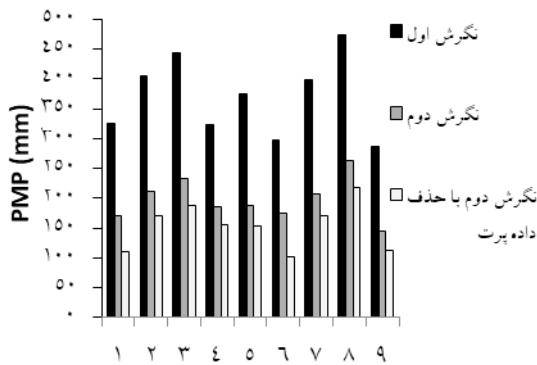
در روش این دوم هرشفیلد با حذف داده پرت نیز، K_m بین ۲ تا ۴/۸ تغییر کرد. این روش PMP_{24} را بین ۹۵/۸ تا ۳۴۲/۴ میلی‌متر (در ایستگاه‌های شماره ۱۱ و ۲۸) به ترتیب در ایستگاه‌های خرامه و کمهر تخمین زد. نسبت PMP_{24} به حداکثر بارش ۲۴ ساعته بین ۱/۱ تا ۱/۹ به دست آمد این دامنه تغییرات ناشی از تفاوت در طول دوره آماری و وجود شرایط آب و هوایی متفاوت در ایستگاه‌های مختلف به علت گستردگی منطقه می‌باشد. این روش مناسب‌ترین روش هرشفیلد می‌باشد.



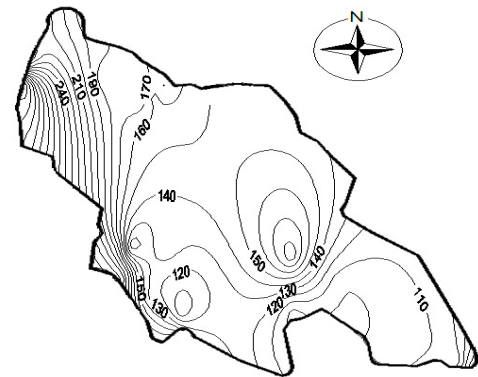
شکل ۴: منحنی‌های هم‌مقدار حداکثر بارش محتمل ۲۴ ساعته حوزه آبخیز بختگان به روش هرشفیلد دوم



شکل ۳: منحنی‌های هم‌مقدار حداکثر بارش محتمل ۲۴ ساعته حوزه آبخیز بختگان به روش هرشفیلد اول



شکل ۶: مقادیر حداکثر بارندگی محتمل ۲۴ ساعته حوزه آبخیز بختگان به روش‌های مختلف هرشفیلد



شکل ۵: منحنی‌های هم‌مقدار حداکثر بارش محتمل ۲۴ ساعته حوزه آبخیز بختگان به روش هرشفیلد دوم با حذف داده‌های پرت

مقایسه بین روش دوم هرشفیلد و روش دوم هرشفیلد با حذف داده‌های پرت نشان می‌دهد که روش دوم با حذف داده‌های پرت مقدار کم‌تری نسبت به روش دوم دارد که اختلاف این دو روش به دلیل وجود داده‌های خارج از مرز می‌باشد. با توجه به اینکه مقادیر خارج از مرز، مقادیری هستند که به‌طور واضحی از محدوده دیگر داده‌ها فاصله دارند روش هرشفیلد دوم با حذف داده‌های پرت روش مناسب‌تری می‌باشد و به واقعیت نزدیک‌تر است. با توجه به شکل ۵ و مقادیر حاصل از جدول ۶، کم‌ترین مقدار بارش حداکثر ۲۴ ساعته ۱۰۲ میلی‌متر مربوط به ایستگاه گشنگان که در جنوب استان واقع شده است و بیش‌ترین مقدار حداکثر بارش محتمل ۲۴ ساعته ۳۴۲/۴ میلی‌متر مربوط به ایستگاه کهر که در شمال غرب حوضه واقع شده است می‌باشد.

در نگرش اول هرشفیلد بیش‌ترین ضریب فراوانی منطقه دارای مقدار ۱۸/۴۶ می‌باشد (جدول ۷)، که به‌عنوان ضریب فراوانی منطقه مورد استفاده قرار می‌گیرد، این مقدار در نگرش دوم به ۶/۵ کاهش پیدا می‌کند (جدول ۷)، که این امر نشان‌دهنده اختلاف فراوان بین نگرش اول و نگرش دوم می‌باشد. با توجه به اینکه نگرش دوم هرشفیلد روش اصلاح‌شده نگرش اول است و با توجه به اختلاف

میزان تغییرات بارشی در نقاط مختلف حوضه می‌باشد.

نتیجه‌گیری

در پژوهشی فرمان‌آرا و بختیاری (۱۳۹۸)، برآورد حداکثر بارش محتمل ۲۴ ساعته در استان بوشهر را مورد بررسی قرار دادند که مقدار PMP_{24} برابر با ۶۶۰/۵ و ۱۸۱/۴ میلی‌متر برآورد شد و هم‌چنین در پژوهشی دیگر بختیاری و همکاران (۱۳۹۵)، برآورد حداکثر بارش محتمل ۲۴ ساعته در حوزه آبخیز قره‌سو را مورد بررسی قرار دادند که مقدار PMP_{24} برابر با ۲۸۱/۷۰ میلی‌متر در نگرش دوم هرشفیلد به دست آمد که نشان دادند نگرش دوم هرشفیلد نسبت به نگرش اول هرشفیلد در حوزه آبخیز قره‌سو برتر است.

در این تحقیق نیز، ایستگاه‌های حوضه به روش‌های هرشفیلد اول، هرشفیلد دوم و هرشفیلد دوم با حذف داده‌های پرت مورد بررسی قرار گرفتند که نتایج حاصل از این بررسی نشان می‌دهد که روش اول هرشفیلد اختلاف خیلی زیادی با روش دوم که روش اصلاح‌شده هرشفیلد است دارد. از میان روش‌های آماری، روش اول هرشفیلد ارقام بسیار دست‌بالایی را به همراه داشت که مطلقاً برای منطقه قابل استفاده نبوده و توصیه نمی‌شود.

7. Bakhtiari, B., Afzali Groh, Z., and Kaderi, K. 2015. Design of PMP Calculator software for the purpose of statistical output of maximum possible rainfall (case study: selected stations of Gilan province). Rain catchment surface systems, 4(1): 1-12. (In Persian)

8. Bakhtiari, B., Afzali Groh, Z., and Kaderi, K. 2016. Estimating the maximum possible 24-hour rainfall with the Hershfield statistical model in the Qarasu watershed in Golestan province. Iran Water Resources Research, 12(1). (In Persian)

9. Bakhtiari, B., and Kaderi, K. 2017. Extraction of depth-area-continuity curves in order to estimate the maximum possible regional rainfall in Fars province. Iran water resources research, 13(2): 199-206. (In Persian)

10. Benestad, R. E., Parding, K. M., Erlandsen, H. B., and Mezghani, A. 2019. A simple equation to study changes in rainfall statistics. Environmental Research Letters, 14(8): 084017.

11. Dauji, S., Srivastava, P. K., and Bhargava, K. 2021. Site-specific factors to derive maximum 1-hourly to 6-hourly continuous rainfall from daily extreme rainfall on west coast of India. Transactions of the Indian National Academy of Engineering, 6(3): 857-867.

12. Emmanouil, S., Langousis, A., Nikolopoulos, E. I., and Anagnostou, E. N. 2020. Quantitative assessment of annual maxima, peaks-over-threshold and multifractal parametric approaches in estimating intensity-duration-frequency curves from short rainfall records. Journal of Hydrology, 589, 125151.

13. FarmanAra, M., and Bakhtiari, B. 2019. Evaluation of two physical and statistical methods in estimating the maximum possible rainfall in Bushehr province. Iranian Irrigation and Drainage Journal, 6(13): 1612-1622. (In Persian)

14. Hanafi, A. 2021. A study of the maximum 24-hour rainfall in order to estimate the maximum possible flood in the Aji Chai Basin. Journal of Geographical Sciences, Mashhad Branch, 17(36): 163-182. (In Persian)

15. Khademi, M., Soltani, S., and Ghasemi, M. 2018. Determining the maximum probable flood return

زیاد بین این دو روش، نگرش اول هرشفیلد کاملاً مردود شناخته می‌شود. در نگرش دوم با حذف داده‌های پرت مقدار ضریب فراوانی منطقه عدد $4/8$ را نشان می‌دهد (جدول ۷)، که این کاهش ضریب فراوانی نسبت به نگرش دوم تأثیر داده‌های پرت را در محاسبات نشان می‌دهد و با توجه به اینکه داده‌های پرت مقادیری هستند که به‌طور واضحی از محدوده دیگر داده‌ها فاصله دارند، می‌توان بهترین و مناسب‌ترین روش هرشفیلد را نگرش دوم با حذف داده‌های پرت دانست. برای استفاده کامل‌تر از این روش منحنی هم‌مقدار حداکثر بارش ۲۴ ساعته در شکل ۵، رسم گردیده است که می‌توان از آن جهت استفاده از به دست آوردن حداکثر سیل محتمل جهت طراحی سازه‌های هیدرولیکی استفاده کرد. که در این روش با توجه به ضریب فراوانی $4/8$ و با توجه به اینکه هرشفیلد در تحقیق خود از توزیع گامبل استفاده کرده دوره بازگشتی معادل ۹۰۰ سال به دست می‌آید.

منابع

1. Afzali, Z., Faridhosseini, A., and Bakhtiari, B. 2019. Investigating the effect of climate change on the maximum possible 24-hour rainfall in a semi-humid climate. Iran water resources research, 15(2): 176-188. (In Persian)

2. Afzali, Z., Bakhtiari, B., and Qaderi, K. 2018. Probable maximum precipitation estimation in a humid climate. Natural Hazards and Earth System Sciences, 18(11): 3109-3119. (In Persian)

3. Ahmadi, M., Lashkari, H., and Azimi, P. 2015. The highest possible 24-hour rainfall and its impact on the hydrological hazards of the southwestern Caspian region. Journal of Spatial Analysis of Environmental Hazards, 2(2): 69-83. (In Persian)

4. Al Mamun, A., Bin Salleh, M. N., and Noor, H. M. 2018. Estimation of short-duration rainfall intensity from daily rainfall values in Klang Valley, Malaysia. Applied Water Science, 8(7): 1-10.

5. Avino, A., Manfreda, S., Cimorelli, L., and Pianese, D. 2021. Trend of annual maximum rainfall in Campania region (Southern Italy). Hydrological Processes, 35(12), e14447.

6. Bahrami, F., Renjber, A., and Fatahi, B. 2018. Estimation of Maximum Probable Precipitation (PMP) in the Qamroud Watershed. Applied Research in Geographical Sciences, 18(50). (In Persian)

estimation of the maximum possible 24-hour rainfall using normal moment and Hershfield method in Kermanshah province, 4th Water Resources Management Conference, Amir Kabir University of Technology, Tehran. (In Persian)

24. Nguyen, T. H. 2016. Statistical modeling of extreme rainfall processes (SMExRain): a decision support tool for extreme rainfall frequency analyses. *Procedia Engineering*, 154, 624-630.

25. Pelosi, A., Chirico, G. B., Furcolo, P., and Villani, P. 2022. Regional Assessment of Sub-Hourly Annual Rainfall Maxima. *Water*, 14(7):1179.

26. Qeydari, Mohammad Hossein and Telluri, Abdur Rasul (2015). Calculation of the maximum possible rainfall in the Bakhtiari Dam catchment area with a statistical and synoptic perspective. *Ferdowsi Civil Engineering Journal*, 27(1):189-198. (In Persian)

27. Regional Water Organization of Fars Province. 2015. Maximum 24-hour rainfall statistics of Bakhtegan basin stations. (In Persian)

28. Singh, A., Singh, V. P., and Byrd, A. R. 2018. Computation of probable maximum precipitation and its uncertainty. *Int. J. Hydrol*, 2(4), 504-514.

29. Wdowikowski, M., Kazmierczak, B., and Ledvinka, O. 2016. Maximum daily rainfall analysis at selected meteorological stations in the upper Lusatian Neisse River basin. *Meteorology Hydrology and Water Management. Research and Operational Applications*, 4.

30. Zabeti, M., and Akbari, Gh. 2013. Statistical estimation of Hershfield abundance coefficient based on the maximum possible rainfall of 42 hours in the study of Chabahr Basin, 7th National Conference of Civil Engineering, Zahedan. (In Persian)

period using HEC-HMS model and statistical methods in Eskandari watershed, Iran Watershed Association, 12th year, 40. (In Persian)

16. Lopez-Rodriguez, F., Garcia-Sanz-Calcedo, J., Moral-Garcia, F. J., and Garcia-Conde, A. J. 2019. Statistical study of rainfall control: The Dagum distribution and applicability to the Southwest of Spain. *Water*, 11(3): 453.

17. Mahdavi, M. 2007. *Book of Applied Hydrology (Volume II)*, Tehran University Press, Tehran, Iran. (In Persian)

18. Masereka, E. M., Ochieng, G. M., and Snyman, J. 2018. Statistical analysis of annual maximum daily rainfall for Nelspruit and its environs. *Jambá: Journal of Disaster Risk Studies*, 10(1): 1-10.

19. Merianji, Z., and Abbasi, H. 2015. Zoning probability of occurrence of maximum daily rainfall in Hamedan province. *Geographical Information Quarterly*, 25(100). (In Persian)

20. Miniussi, A., and Marani, M. 2020. Estimation of daily rainfall extremes through the meta-statistical extreme value distribution: Uncertainty minimization and implications for trend detection. *Water Resources Research*, 56(7): e2019WR026535.

21. Moccia, B., Mineo, C., Ridolfi, E., Russo, F., and Napolitano, F. 2021. Probability distributions of daily rainfall extremes in Lazio and Sicily, Italy, and design rainfall inferences. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 33, 100771.

22. Morbidelli, R., Saltalippi, C., Dari, J., and Flammini, A. 2021. Effect of Time-Resolution of Rainfall Data on Trend Estimation for Annual Maximum Depths with a Duration of 24 Hours. *Water*, 13(22): 3264.

23. Mozayedi, A., and Doostmoradi, S. 2011



Abstract

Statistical Estimation of the Maximum possible 24-hour Rainfall in the Bakhtegan Catchment AreaGh. Akbari¹, I. Lotfi² and M. Nejatbakhsh³

Received: 2023/11/06 Accepted: 2023/12/21

The greatest depth of precipitation possible for a given duration is called probable maximum precipitation denoted by PMP. Probable maximum precipitation is generally evaluated using two meteorological and statistical methods. In this research, the Hershfield's statistical methods and conventional torque method were used to evaluate probable maximum precipitation of Bakhtegan Watershed. In Hershfield's equation, the frequency factor was considered to be constant at 15. Since this factor might not be consistent to all the stations in different climatic conditions, then, in this study, the frequency factor in Bakhtegan Watershed was obtained based on the maximum precipitation of 24h, at 35 meteorological stations in three statistical Hershfield's methods I, Hershfield's II, Hershfield's II with eliminated outlier data. Afterwards, the probable maximum precipitation of 24h in Watershed's stations were analyzed and calculated for all three methods. In this study, the conventional torque method was also used for 17 stations having more than 30 years of precipitation statistics. In this method, after performing data homogeneity test (Mann-Kendall) and removing outlier data, maximum precipitation amount was performed for normal distribution, two-parameter lognormal, three-parameter lognormal, Pearson type-III, Log-Pearson type-III and Gumbel was using SMADA software; and the best frequency distribution was obtained using RMSE test for each station. Using RRMSE test for all stations, it is found that Gumbel distribution was the most appropriate one; by the use of Gumbel distribution, 24-h PMP with various return period is obtained for each station. In addition, for each approaches, a maximum 24-h PMP watershed precipitation was plotted to show the spatial distribution.

Keywords: Abundance coefficient, Gumbel distribution, Hershfield's methods, Probable Maximum precipitation, RRMSE Test.

1. Associate Professor (corresponding author), Department of Civil Engineering, Water and Hydraulic Structures, Bojnord University, E-mail: akbari@ub.ac.ir

2. Master's student of the department of Civil Engineering, Bojnord University.

3. PhD student of the department of Civil Engineering, Sistan and Baluchistan University.