

برآورد آماری بیشینه بارش محتمل ۲۴ ساعته بر اساس ضریب هرشفیلد (مطالعه موردی استان چهارمحال و بختیاری)

مسلم ترکی هرچگانی^۱

۱- دانشجوی دکتری آب و هواشناسی دانشگاه اصفهان

چکیده

سرچشمه دو رودخانه مهم کشور یعنی کارون و زاینده رود در استان چهارمحال و بختیاری قرار دارد و سدهای بسیار مهمی در مسیر این رودخانه‌ها قرار دارد که آگاهی از بیشینه بارش محتمل در سرچشمه‌های این دو رودخانه ضروری می‌باشد. یکی از بزرگ‌ترین مشکلات در امور آب‌شناسی و هواشناسی، برآورد مقدار معقول بیشینه بارش محتمل برای دوره‌های مختلف است که انتظار می‌رود در یک نقطه و یا یک محدوده اتفاق بیافتد. در بیشتر نقاط دنیا برای محاسبه حداکثر بارش محتمل از روش هرشفیلد استفاده می‌شود که در آن عامل فراوانی برای محاسبه مقادیر بیشینه بارندگی محتمل ۲۴ ساعته، ۱۵ فرض می‌گردد که منجر به برآوردهای بالا و غیر معقولی از بیشینه بارش محتمل ۲۴ ساعته می‌شود. در این مقاله از روش دسا و همکاران که تصحیح روش هرشفیلد می‌باشد برای برآورد بیشینه بارش محتمل ۲۴ ساعته در هفت ایستگاه استان چهارمحال و بختیاری استفاده شد. در این روش مقدار عامل فراوانی برابر به $4/3$ و نسبت بیشینه بارش محتمل به بیشینه بارش اتفاق افتاده بین $1/1$ تا $1/5$ به دست آمد. سپس بیشینه بارش محتمل ۲۴ ساعته در ایستگاه‌ها محاسبه و مورد بررسی قرار گرفت. مقدار بیشینه بارش محتمل ۲۴ ساعته در ایستگاه شهرکرد $101/6$ میلی متر، کوهرننگ $269/2$ ، بروجن $106/4$ ، لردگان $141/4$ ، بلداجی $117/5$ ، امام قیس $174/7$ و پل زمانخان $127/4$ میلی متر به دست آمد و این در حالی است که میزان بیشینه بارش اتفاق افتاده در این ایستگاه‌ها به ترتیب برابر $88/9$ ، 217 ، $71/8$ ، $111/8$ ، 76 ، 132 و 89 میلی متر بوده است.

کلمات کلیدی: بیشینه بارش محتمل، عامل فراوانی، چهارمحال و بختیاری، هرشفیلد

مقدمه

نیاز به توسعه منابع آب در مناطق مختلف بر اساس کاربردی که در حوزه‌های مختلف مانند صنعت و کشاورزی دارد، دارای اهمیت می‌باشد. هر ساله هزینه هنگفتی صرف حفظ منابع آب مانند ساخت سدها و مخازن ذخیره می‌شود، آگاهی از بیشینه بارش محتمل در یک منطقه برای طراحی سرریز سدها، طراحی کانال‌های روباز، پل‌ها، زیرگذر جاده‌ها و راه‌آهن، کانال‌های زه‌کش شهری و زه‌کش فرودگاه‌ها، کنترل سیلاب و بسیاری از سازه‌های هیدرولیکی دیگر ضروری می‌باشد.

بیشینه بارش محتمل برابر با بیشترین ارتفاع بارش است که امکان ریزش آن از نظر فیزیکی در یک محدوده جغرافیایی و در یک زمان معین از سال منطقی باشد. به طور کلی حداکثر بارش محتمل به دو روش هواشناسی (همدیدی) و آماری برآورد می‌شود. در روش اول نیاز به اطلاعات هواشناسی از توده‌های هوای، مانند رطوبت نسبی، دما، نقطه شبنم و غیره می‌باشد. استفاده از این روش به علت نقص اطلاعات مورد نیاز در نقاط مختلف چندان آسان نیست. در روش دوم برای محاسبه حداکثر بارش محتمل، از بیشینه بارندگی مشاهده شده یک روزه استفاده می‌شود. مبتکر این روش هرشفیلد است. هرشفیلد مقدار عامل فراوانی را برای محاسبه بیشینه بارش محتمل ۲۴ ساعته، معادل ۱۵ در نظر گرفت که مقدار بالایی برای بیشینه بارش ۲۴ ساعته می‌باشد. مطالعه درباره پژوهش‌های هرشفیلد نشان داد که عامل فراوانی ۱۵ در نظر گرفته شده توسط وی، دوره بازگشتی حدود ۶۰۰۰ سال دارد. هرشفیلد در مطالعات خود به این نتیجه رسید که عامل فراوانی برای مناطق خشک باید بین ۱۵ تا ۲۰ باشد در حالی که در مناطق مرطوب با بارش‌های سنگین این عامل کمتر از ۱۵ است، بنابراین روش خود را اصلاح کرد و سازمان جهانی هواشناسی نیز (۱۹۸۶) روش پایه‌گذاری شده توسط هرشفیلد (۱۹۶۱) را به صورت یک روش کار تدوین نمود. در این روش تصحیحاتی بر روی میانگین و انحراف استاندارد بیشینه بارندگی ۲۴ ساعته با توجه به بیشترین مقدار مشاهده شده و همچنین طول دوره

آماری انجام می‌شود. با این حال عامل فراوانی در این روش به ندرت از ۱۵ کمتر می‌شود.

در این زمینه مطالعات زیادی در نقاط مختلف دنیا و ایران انجام گرفته از جمله مک کی (۱۹۷۰)، منحنی بیشینه بارندگی روزانه مشاهده شده در کانادا و تغییرات عامل فراوانی را با متوسط بارندگی روزانه ارائه کرده است. راخچا و سومن (۱۹۹۴)، با استفاده از دو روش آماری و هواشناسی مقادیر بیشینه بارش محتمل ۲۴ ساعته را برای نقاط مختلف هندوستان محاسبه نمودند. دانیل و همکاران (۲۰۰۵) به بررسی بیشینه بارش محتمل پرداخته‌اند و با مقایسه بارش و سیل در سال‌های ۱۹۹۷ و ۲۰۰۲ با بیشینه بارش محتمل به این نتیجه رسیدند که بیشینه بارش منطقه در حوضه‌های کوچک کمتر از ۶۳ درصد بیشینه بارش محتمل ۲۴ ساعته می‌باشد.

خلجی و سپاسخواه (۱۳۸۱)، با محاسبه بیشینه بارش محتمل به روش‌های مختلف به این نتیجه رسیدند که مقادیر بیشینه بارش محتمل ۲۴ ساعته آماری با روش همدیدی دارای اختلاف است و روش بت لاهمی نسبت به دیگر روش‌های آماری با روش همدیدی اختلاف کمتری دارد. پایمرد و همکاران (۱۳۸۴)، با محاسبه بیشینه بارش محتمل در شرایط کمبود آمار و اطلاعات به این نتیجه رسیدند که روش دوم هرشفیلد پس از حذف مقادیر خارج از مرز، ارقام بسیار نزدیکی به روش همگرایی که از دقت کافی برخوردار می‌باشد دارد.

شفیعی و قهرمان (۱۳۸۷)، با استفاده از تصحیح عامل فراوانی هرشفیلد مقدار عامل فراوانی را $7/63$ محاسبه نمودند و بیشینه بارش محتمل را بر اساس این ضریب محاسبه نمودند.

وقوع بارش‌های سنگین و سیل آسا در استان چهارمحال و بختیاری به دلیل کوهستانی بودن آن، خسارت‌های زیادی را به همراه داشته است به طوری که در دوره بارشی ۱۴ تا ۲۷ بهمن ۱۳۸۴ وقوع $466/2$ میلی‌متر با بیشینه روزانه $118/9$ میلی‌متر در روز ۱۹ بهمن باعث وقوع سیل و خسارت به تأسیسات سد کارون چهار گردید. به خصوص با احداث سدهای بزرگ در نواحی کوهستانی این استان نیاز به آگاهی از وقوع و مقدار بارش‌های سنگین و سیل آسا بیشتر احساس می‌شود. در زمینه برآورد بیشینه بارش محتمل در استان

می‌باشد. در شکل (۱) محدوده منطقه مورد مطالعه و محل ایستگاه‌ها و در جدول (۱) مشخصات ایستگاه‌های انتخابی آورده شده است. از آنجائیکه هدف این مطالعه برآورد بیشینه بارش محتمل و آگاهی از میزان آن در نقاط مختلف استان چهارمحال و بختیاری می‌باشد و قصد مقایسه بین مقادیر ایستگاه‌ها نمی‌باشد و با توجه به اینکه آمار بلندمدت برای همه ایستگاه‌ها وجود نداشت طول دوره آماری متفاوت برای ایستگاه‌ها انتخاب گردید. آمار روزانه بارش از اداره کل هواشناسی استان چهارمحال و بختیاری دریافت گردید و در نهایت عامل فراوانی همه ایستگاه‌ها با روش تصحیح عامل فراوانی هرشفیلد به دست آمد و مقدار بارش محتمل برای کلیه ایستگاه‌ها به روش زیر محاسبه شد.

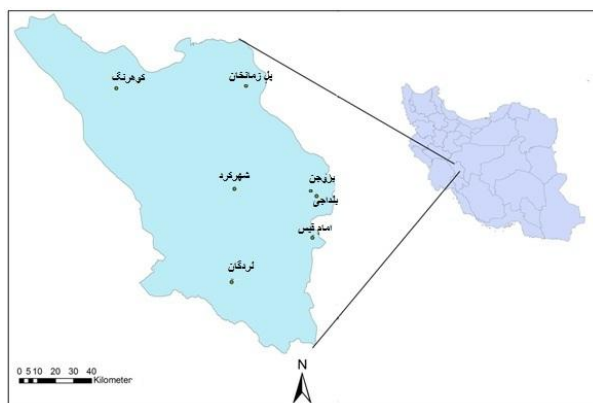
چهارمحال و بختیاری مطالعاتی انجام نگرفته است که در این تحقیق سعی شده است با استفاده از روش‌های آماری برآورد معقولی از بیشینه بارش محتمل در استان چهارمحال و بختیاری به عمل آید.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه شامل محدوده استان چهارمحال و بختیاری می‌باشد که دارای مساحتی حدود ۱۶۵۳۲ کیلومتر مربع بوده و در جنوب غرب ایران در طول جغرافیایی ۴۹ درجه و ۲۸ دقیقه تا ۵۱ درجه و ۲۵ دقیقه شرقی و ۳۱ درجه و ۹ دقیقه تا ۳۲ درجه و ۴۸ دقیقه عرض شمالی قرار دارد. متوسط طول دوره آماری ۲۰ سال و کمترین و بیشترین طول دوره آماری به ترتیب ۱۱ سال (۱۳۷۸-۱۳۸۸) در ایستگاه بلداجی و ۵۰ سال (۱۳۳۹-۱۳۸۹) در ایستگاه شهرکرد

جدول شماره ۱- مشخصات ایستگاه‌های مورد مطالعه

شماره	نام ایستگاه	طول جغرافیایی (E)	عرض جغرافیایی (N)	ارتفاع (متر)	طول دوره آماری	حداقل بارش ۲۴ ساعته (م.م)	بیشینه بارش ۲۴ ساعته (م.م)
۱	شهرکرد	۵۰°۵۰'	۳۲°۱۷'	۲۰۵۰	۱۳۳۹-۱۳۸۸	۱۷/۹	۸۷/۹
۲	کوه رنگ	۵۰°/۰۷'	۳۲°۲۷'	۲۲۶۵	۱۳۶۶-۱۳۸۸	۵۶/۱	۲۱۷
۳	بروجن	۵۱°/۱۷'	۳۱°۵۸'	۲۲۶۰	۱۳۶۷-۱۳۸۸	۱۸	۷۱/۸
۴	لردگان	۵۰°/۵۰'	۳۱°۳۰'	۱۶۱۱	۱۳۷۳-۱۳۸۸	۳۷/۲	۱۱۱/۸
۵	بلداجی	۵۱°/۰۳'	۳۱°۵۵'	۲۲۳۱	۱۳۷۸-۱۳۸۸	۲۲/۱	۷۶
۶	امام قیس	۵۱°/۱۸'	۳۱°۴۴'	۲۲۸۵	۱۳۷۶-۱۳۸۸	۲۱	۱۳۲
۷	پل زمانخان	۵۰°/۵۳'	۳۲°۲۹'	۱۸۸۳	۱۳۷۶-۱۳۸۸	۲۲/۶	۸۹



شکل شماره ۱ - موقعیت ایستگاه‌های مورد مطالعه

تخمین بیشینه بارش محتمل ۲۴ ساعته

در بسیاری از مطالعات از جمله شفیعی و همکاران (۱۳۸۷) و پایمرد و همکاران (۱۳۸۴) در محاسبه بیشینه بارش محتمل بر اساس تصحیح عامل فراوانی هرشفیلد با انتخاب بزرگ‌ترین عدد در بین ایستگاه‌های مورد مطالعه به عنوان عامل فراوانی، نتایج قابل قبولی به دست آمده است. در این تحقیق نیز مقدار k برای همه ایستگاه‌ها محاسبه شد و مقادیر بین $۲/۲$ و $۴/۳$ به دست آمد که مقادیر در جدول ۲ نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود نزدیک به ۷۰٪ مقادیر بین ۳ تا ۴ و ۳۰٪ مقادیر کمتر از ۳ می‌باشند. بزرگ‌ترین عامل فراوانی در بین ایستگاه‌های مورد مطالعه مقدار $۴/۳$ است که مربوط به ایستگاه امام قیس می‌باشد لذا بیشینه بارش محتمل یک روزه با استفاده از میانگین \bar{X}_n و انحراف معیار σ_{n-1} و $k_m = ۴/۳$ برای هر ایستگاه محاسبه شد. نسبت PMP۲۴ به بیشینه بارش ۲۴ ساعته بین $۱/۱$ تا $۱/۵$ به دست آمد و این در حالی است که در صورتیکه مقدار عامل فراوانی ۱۵ (روش اول هرشفیلد) که دوره بازگشت ۱۰^9 ساله دارد، در نظر گرفته می‌شد، مقدار بارش محتمل برای ایستگاه شهرکرد ۲۵۲ میلی‌متر بدست می‌آید در صورتیکه با در نظر گرفتن عامل فراوانی $۴/۳$ که دوره بازگشت ۱۶۰۰ ساله دارد نتایج معقول‌تری از بیشینه بارش محتمل به دست آمد. همچنین اگر طول دوره آماری در همه ایستگاه‌ها بالا باشد اختلاف بین بیشینه بارش اتفاق افتاده و بیشینه بارش محتمل کمتر خواهد شد به طوریکه مقدار عامل فراوانی در ایستگاه شهرکرد و کوه‌رننگ که طول دوره آماری بیشتری دارند به ترتیب برابر $۳/۷$ و $۳/۹$ می‌باشد.

بررسی بیشینه بارش محتمل ۲۴ ساعته در سطح استان

شکل و جدول ۲ چگونگی توزیع مکانی بیشینه بارش محتمل ۲۴ ساعته را در استان چهارمحال و بختیاری نشان می‌دهد. بیشترین مقدار بیشینه بارش محتمل در ایستگاه کوه‌رننگ به میزان $۲۶۹/۲$ میلی‌متر و کم‌ترین مقدار آن مربوط به ایستگاه شهرکرد به مقدار $۱۰۱/۶$ میلی‌متر می‌باشد در ایستگاه‌های بروجن، لردگان، بلداجی، امام قیس و پل زمانخان نیز حد اکثر بارش محتمل $۱۰۶/۴$ ، $۱۴۱/۴$ ، $۱۱۷/۵$ ، $۱۷۴/۷$ ، $۱۲۷/۴$

هرشفیلد یکی از ابداع کنندگان استفاده از روش آماری در برآورد بیشینه بارش ۲۴ ساعته برای حوضه‌های کوچک در تمام نقاط دنیا است. در روش هرشفیلد، بیشینه بارش محتمل با توجه به معادله عمومی فراوانی، ارائه شده توسط چاو (۱۹۵۱) به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$X = \bar{X} + K \sigma \quad (۱)$$

که در آن:

\bar{X} : میانگین تعدیل شده داده‌ها

σ : انحراف معیار تعدیل شده داده‌ها

K : عامل فراوانی

ضریب K بر اساس منحنی‌های مربوط به دست می‌آید (سازمان جهانی هواشناسی، ۱۹۷۳). سازمان جهانی هواشناسی در سال ۱۹۸۶ یافته‌های هرشفیلد را تأیید و آن را به صورت یک دستور کار منتشر کرد. در این روش ابتدا با استفاده از یک نمودار، K_m از روی \bar{X}_n به دست می‌آید و سپس بیشترین مقدار مشاهده شده از سری داده‌ها حذف و \bar{X}_{n-1} و σ_{n-1} (به ترتیب میانگین و انحراف معیار پس از حذف بزرگ‌ترین مشاهده) محاسبه می‌شوند. سپس با توجه به \bar{X}_n ، σ ، \bar{X}_{n-1} و σ_{n-1} ، ضرایبی برای تصحیح \bar{X}_n و σ به دست می‌آید و با توجه به طول دوره آماری، ضرایب تصحیح دیگری برای \bar{X}_n و σ به دست می‌آید و \bar{X}_n و σ تصحیح می‌شوند و X_{PMP} محاسبه می‌شود. دسا و همکاران (۲۰۰۱) نگرش دیگری را به بیشینه بارش ۲۴ ساعته به روش هرشفیلد اضافه کردند. در این روش عامل فراوانی به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$K = \frac{X_1 - \bar{X}_{n-1}}{\sigma_{n-1}} \quad (۲)$$

که در آن X_1 بزرگ‌ترین مقدار داده‌ها، و \bar{X}_{n-1} و σ_{n-1} به ترتیب میانگین و انحراف معیار بعد از حذف بیشترین مقدار داده‌ها می‌باشند. سپس بین ایستگاه‌های یک منطقه بیشینه K_m استخراج شده و از آن برای محاسبه بیشینه بارش ۲۴ ساعته کلیه ایستگاه‌ها (با استفاده از رابطه ۲) استفاده می‌شود.

بحث و نتایج

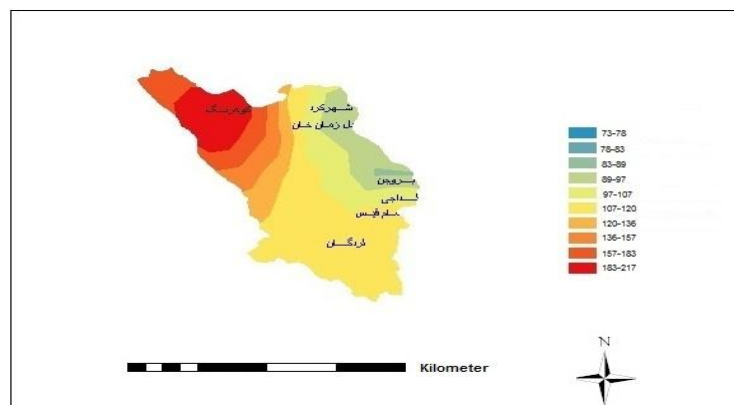
شده با این روش بسیار نزدیک به مقادیر اتفاق افتاده طی دوره آماری در ایستگاه‌های منتخب می‌باشد و برخلاف بعضی روش‌ها که مقادیر غیر واقعی را محاسبه می‌کنند این روش برای محاسبه بیشینه بارش محتمل در استان چهارمحال و بختیاری مناسب می‌باشد.

میلی‌متر بدست آمد و این در حالی است که بیشینه بارش اتفاق افتاده در ایستگاه‌های شهرکرد، کوهرنگ، بروجن، لردگان، بلداجی، امام قیس و پل زمانخان به ترتیب برابر ۸۸/۹، ۲۱۷، ۷۱/۸، ۷۱/۸، ۱۱۱/۸، ۷۶، ۱۳۲ و ۸۹ میلی‌متر بوده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود بیشینه بارش محتمل محاسبه

جدول شماره ۲- مقادیر k و بیشینه بارش ۲۴ ساعته در ایستگاه‌های مورد مطالعه

شماره	نام ایستگاه	بیشینه بارش ۲۴ ساعته (م.م)	متوسط بارش ۲۴ ساعته	K	PMP ₂₄ (م.م)	a
۱	شهرکرد	۸۸/۹	۴۱	۳/۹	۱۰۱/۶	۱/۱
۲	کوهرنگ	۲۱۷	۱۱۵/۳	۳/۷	۲۶۹/۲	۱/۲
۳	بروجن	۷۱/۸	۳۵	۲/۶	۱۰۶/۴	۱/۵
۴	لردگان	۱۱۱/۸	۶۲/۷	۴	۱۴۱/۴	۱/۳
۵	بلداجی	۷۶	۴۷	۲/۲	۱۱۷/۵	۱/۵
۶	امام قیس	۱۳۲	۵۷/۳	۴/۳	۱۷۴/۷	۱/۳
۷	پل زمانخان	۸۹	۴۴/۸	۳/۲	۱۲۷/۴	۱/۴

در این جدول a از رابطه $a = \frac{pmp_{24}}{max_{24}}$ محاسبه می‌گردد.



شکل شماره ۲- پراکنندگی بیشینه بارش محتمل در استان چهارمحال و بختیاری (۱۳۸۸-۱۳۳۹)

بارش اتفاق افتاده در این ایستگاه‌ها به ترتیب برابر ۸۸/۹، ۲۱۷، ۷۱/۸، ۷۱/۸، ۱۱۱/۸، ۷۶، ۱۳۲ و ۸۹ میلی‌متر می‌باشد که در مقایسه با سایر روش‌ها اختلاف کمتری دارد. با توجه به اهمیت بیشینه بارش محتمل در هر منطقه برای طراحی سدها، راه‌ها و سایر پروژه‌های عمرانی و زیربنایی آگاهی از بیشینه بارش محتمل هر منطقه امری ضروری می‌باشد که در این تحقیق سعی شد با روش‌های آماری تخمین معقولی از آن را بدست آورد.

نتیجه‌گیری

در این مطالعه مقدار عامل فراوانی بین ۲/۲ تا ۴/۳ برای ایستگاه‌های مورد مطالعه به دست آمد که در نهایت بیشترین مقدار آن یعنی $k = 4/3$ برای محاسبه بیشینه بارش محتمل ۲۴ ساعته در نظر گرفته شد و در نهایت مقادیر بیشینه بارش محتمل برای ایستگاه‌های شهرکرد، کوهرنگ، بروجن، لردگان، بلداجی، امام قیس و پل زمانخان به ترتیب برابر ۸۸/۹، ۲۶۹/۲، ۱۰۶/۴، ۱۴۱/۴، ۱۱۷/۵، ۱۷۴/۷ و ۱۲۷/۴ میلی‌متر محاسبه گردید و این در حالی است که مقادیر بیشینه

- 8- Daniela Rezacova, Zbynek Sokol, Vít Kveton , 2005: Estimation of Probable Maximum Precipitation over the Catchments in the Czech Republic, Atmospheric Research, V77, P707-421.
- 9- Desa, M.N.M., Noriah, A.B., and Rakhecha, P.R. 2001. Probable maximum precipitation for 24 h duration over Southeast Asia monsoon region-Selangor.Malaysia. Atmospheric Research, 58: 41-54.
- 10- Hirschfield, D.M. 1961. Estimating the probable maximum precipitation. J.Hydraul. Div., ASCE 887(HY5) , Pp: 99-116.
- 11- Koutsoyannis, D. 1999. A probabilistic view of Hirshfield s method for estimating probable maximum precipitation. Water Resources Research, 35: 4.1313-1322.
- 12- Mc Kay, G. A., 1970, Hand book on the principle of hydrology, Canadian national committee for the international hydrology decade, Toronto, Canada, pp:13-57.
- 13- Rakhecha, P. R., Soman, M. K., 1994, "Estimation of probable maximum precipitation for a 2-day duration", Theor, Appl. Climate., Vol.49, pp:77-84.
- 14- Rezaee-Pazhand, H. 2001. Application of Probability and Statistics in Water Resources. Azad-Islamic University, Mashhad Branch, 456p. (In Persian).
- 15- World Meteorological Organization. 1986. Manual for Estimation of Probable Maximum Precipitation. WMO, No. 168, TP-82.
- 16- World Meteorological Organization, 1973, Manual for Estimation of Probable Maximum Precipitation, Operational Hydrology Report No. 1, W. M. O. NO. 332. Geneva.

منابع

- ۱- امیدوار، کمال و ترکی، مسلم، ۱۳۹۱، شناسایی الگوهای ریزش بارش های سنگین در استان چهارمحال و بختیاری، مجله مدرس علوم انسانی، شماره شانزدهم، دوره چهارم.
- ۲- پایمرد، شهلا و همکاران، ۱۳۸۴، برآورد حداکثر بارش محتمل در شرایط کمبود آمار و اطلاعات: مطالعه موردی، شرق استان هرمزگان، مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی.
- ۳- خلجی، مهدی و سپاسخواه، علیرضا، ۱۳۸۱، رسم منحنی های حداکثر بارش محتمل ۲۴ ساعته با روش های مختلف آماری و مقایسه آن با روش همدیدی برای ایران، مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، جلد ششم، شماره اول.
- ۴- شفیعی، مجتبی و قهرمان، بیژن، ۱۳۸۸، بررسی تغییرات مکانی حداکثر بارش محتمل ۲۴ ساعته در حوضه آبریز قره قوم، مجله آبیاری و زه کشی ایران، شماره ۲، جلد ۳، صص ۵۹-۵۰.
- ۵- شفیعی، مجتبی و همکاران، ۱۳۸۷، برآورد آماری حداکثر بارش محتمل ۲۴ ساعته بر اساس تصحیح ضریب فراوانی هرشفیلد (مطالعه موردی حوضه آبریز نیشابور). مجموعه خلاصه مقالات سومین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران. تبریز، صص ۵۰۸-۴۹۵.
- 6- Chow. V. T, 1951, General formula for hydrologic frequency analysis, Trans, Am, Geophysics, Union. 32: 231-237.
- 7- Chow. V.T.,Maidment, D.R., and Mays, L.W.(1988), Applied hydrology. McGraw-Hill, New York, U.S.A.