



Probable Maximum Precipitation Estimation Using Two Different Approaches of Hershfield's Method over Qareh-Su Basin, Golestan province, Iran

B. Bakhtiari^{1*}, Z. Afzali Gorouh² and K. Qaderi¹

Abstract

The probable maximum precipitation (PMP) and probable maximum flood (PMF) are among the important measures in designing hydraulic structures. One of the most suitable statistical techniques for estimating PMP is Hershfield method. In this study the maximum 24 hours precipitation was evaluated using 12-53 years of data from 6 rain gauge stations and 1 synoptic station located in Qareh-su basin. For this goal two statistical methods of Hershfield (in two different approaches of standard and revised) were used. For the first approach, frequency factor and the PMP_{24} were found to vary in the range of 16.98 to 18 and 335.08 to 524.93 mm, respectively. The corresponding values for the second approach was 2.06 to 4.01 and 88.35 to 153.41 mm, respectively. Also the amount of PMP_{24} with 50 and 100 year return periods using Gumbel distribution were respectively calculated as 579.2 and 613.59 mm in the first approach and 263.69 and 281.7 mm in the second approach. As a criterion independent to the climate conditions, the ratio of PMP_{24} to the maximum of 24 hours precipitation was used for compare PMP in stations. The results indicated that the second approach was more stable for the Qareh-su basin. The Precipitation Gradient was then investigated for drawing the isohyets maps which presented an insignificant. Therefore the Inverse Distance Weighted method was used to draw the iso-PMP maps and to determine the Depth-Area-Duration curves. Using these curves, conversion of point PMP_{24} to areal PMP_{24} over Qareh-su basin is Possible.

Keywords: Probable Maximum Precipitation (PMP), Hershfield method, Frequency Factor, Depth-Area-Duration Curve, Qareh-su Basin.

Received: July 2, 2015

Accepted: August 9, 2015

برآورد حداکثر بارش محتمل ۲۴ ساعته با دو نگرش آماری هرشفیلد در حوضه آبریز قره‌سو در استان گلستان

بهرام بختیاری^{۱*}، زهرا افزلی گروه^۲ و کورش قادری^۱

چکیده

حداکثر بارش محتمل (PMP) و حداکثر سیل محتمل (PMF) از مسائل مهم در طراحی سازه‌های آبی به شمار می‌آیند. یکی از مناسب‌ترین روش‌های آماری برآورد PMP روش هرشفیلد است. در این مطالعه حداکثر باران ۲۴ ساعته با استفاده از اطلاعات ۱۲ تا ۵۳ ساله شش ایستگاه باران سنجی و یک ایستگاه سینوپتیک واقع در حوضه آبریز قره‌سو در استان گلستان مورد بررسی قرار گرفت. به این منظور از دو روش آماری هرشفیلد (در دو نگرش استاندارد و تجدید نظر شده) استفاده شد. نتایج نشان داد که مطابق نگرش اول، عامل فراوانی (K_m) و حداکثر بارش محتمل ۲۴ ساعته (PMP_{24}) به ترتیب در محدوده ۱۸-۱۶/۹۸ و ۵۲۴/۹۳-۳۳۵/۰۷ میلی‌متر برآورد شد. در نگرش دوم مقدار K_m و PMP_{24} به ترتیب در محدوده ۲/۲۶-۲/۳۶ و ۲۰۸/۳۰-۱۱۸/۲۲ میلی‌متر برآورد گردید. مقدار PMP_{24} با دوره بازگشت‌های متفاوت با استفاده از توزیع آماری گامبل محاسبه شد که مقدار PMP_{24} با دوره بازگشت‌های ۵۰ و ۱۰۰ سال به ترتیب ۵۷۹/۲۰ و ۶۱۳/۵۹ میلی‌متر در نگرش اول و ۲۶۳/۶۹ و ۲۸۱/۷۰ میلی‌متر در نگرش دوم به دست آمد. نسبت PMP_{24} به حداکثر باران ۲۴ ساعته به عنوان یک معیار مستقل از شرایط آب و هوایی برای مقایسه PMP_{24} در ایستگاه‌های مورد مطالعه استفاده شد. نتایج نشان داد که نگرش دوم هرشفیلد در مقایسه با نگرش اول آن در محدوده مورد مطالعه در حوضه قره‌سو، پایدارتر است. سپس به منظور ترسیم منحنی‌های هم‌باران، گرادیان بارندگی، مورد بررسی قرار گرفت و به دلیل عدم معنی‌داری این رابطه، جهت رسم نقشه هم‌مقدار PMP_{24} ، روش معکوس وزنی فاصله (IDW) برای ترسیم منحنی ژرفا-پهنه-تداوم مورد استفاده قرار گرفت. با استفاده از این منحنی‌ها تبدیل PMP_{24} نقطه‌ای به منطقه‌ای در منطقه مورد مطالعه در حوضه قره‌سو امکان‌پذیر است.

کلمات کلیدی: حداکثر بارش محتمل (PMP)، روش هرشفیلد، عامل فراوانی، منحنی ژرفا-پهنه-تداوم، قره‌سو.

تاریخ دریافت مقاله: ۹۴/۴/۱۱

تاریخ پذیرش مقاله: ۹۴/۵/۱۸

1- Assistant Professor, Water Engineering Dep., College of Agriculture, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran. Email: drbakhtiari@uk.ac.ir

2- M.Sc. Student of Water Resources, Member of young researchers society, Water Engineering Dep., Engineering of Agriculture, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran

*- Corresponding Author

۱- استادیار بخش مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی منابع آب و عضو انجمن پژوهشگران جوان، بخش مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران

*- نویسنده مسئول

۱- مقدمه

می‌توان به مطالعه Bakhtiari (1999) اشاره نمود که علاوه بر محاسبه PMP آماری، مقدار عامل فراوانی را در چندین ایستگاه سینوپتیک کشور تصحیح نمود. (Ghahraman et al (2011) دو رویکرد روش هرشفیلد را با روش چند ایستگاهی مقایسه کردند و نشان دادند که روش چند ایستگاهی بهتر از روش هرشفیلد بوده و نتایج روش هرشفیلد دوم به نتایج روش چند ایستگاهی نزدیک‌تر می‌باشد. (Mianabadi et al. (2010) به تعیین ضریب هرشفیلد (k) با استفاده از روش همگرایی در حوضه‌های خوف و کال‌شور پرداختند و ضمن محاسبه PMP_{24} به روش همگرایی و روش هرشفیلد نشان دادند که مقادیر PMP به دست آمده از نگرش دوم هرشفیلد به روش همگرایی نزدیک‌تر است. (Tajbakhsh and Gharaman (2009) نیز علاوه بر برآورد PMP_{24} به روش‌های آماری هرشفیلد عامل فراوانی را در شمال شرق ایران مورد بررسی قرار داده و نشان دادند که در نگرش اول، عامل فراوانی و PMP_{24} به ترتیب بین $۱۹/۵ - ۱۶/۷$ و $۴۱۰/۳ - ۱۳۸/۶$ میلی‌متر به دست آمد و نتایج آن تا حد زیادی معلول دوره آماری است، در حالی که در نگرش دوم این مقادیر به ترتیب $۶/۲ - ۱/۸$ و $۶۲/۷ - ۲۰۷/۷$ میلی‌متر گردید. (Shafiei and Ghahraman (2009) به بررسی تغییرات مکانی حداکثر بارش محتمل ۲۴ ساعته در حوضه آبریز قره‌قوم پرداختند و ضمن محاسبه حداکثر بارش محتمل ۲۴ ساعته حوضه، ضریب فراوانی هرشفیلد برای این حوضه را $۷/۶۳$ به دست آوردند. (Abbasi and Jafar Poor (2009) حداکثر بارش محتمل حوضه آبریز کرج را به دو روش آماری هرشفیلد ۱ و ۲ به ترتیب ۲۷۴ و $۱۳۱/۲۳$ میلی‌متر محاسبه کردند و نشان دادند که نتایج روش هرشفیلد ۲ با رخداد واقعی ریزش در حوضه انطباق بیشتری دارد. (Ghahraman (2008) بیشترین فاکتور فراوانی یک‌روزه را در حوضه آبریز ترک $۹/۶۳$ و PMP یک‌روزه در این حوضه را در محدوده ۹۷ تا ۲۹۵ میلی‌متر برآورد کرد. (RezaeiPazhand and Ghahraman (2006) حداکثر بارش محتمل ۲۴ ساعته شمال خراسان را به روش چند ایستگاهی محاسبه کرده و نتایج آن را با روش اصلاح شده هرشفیلد محاسبه کردند و نشان دادند که روش چند ایستگاهی مناسب‌تر است. (Bakhtiari (2002) به منظور بررسی مقادیر حداکثر بارش محتمل در ۴ ایستگاه منتخب جنوب شرق ایران به روش آماری با تکیه بر روش سازمان هواشناسی جهانی درصدهای مشاهده شده PMP در ایستگاه‌های مورد مطالعه و تأثیر طول دوره آماری بر حداکثر بارش محتمل ۲۴ ساعته را مورد بررسی قرار داد و حداکثر بارش محتمل ۱۲ ساعته را با استفاده از زمان رگبار برآورد کرد. در سایر نقاط دنیا نیز می‌توان به تحقیق Hussain et al. (2015)

شناخت اقلیم یک منطقه در اغلب فعالیت‌ها می‌تواند به عنوان نخستین گام و ضروری‌ترین اقدام مطالعاتی قلمداد گردد. در این میان، بارش در بین عناصر اقلیمی از اهمیت بسیار زیادی برخوردار است. در طراحی سازه‌های آبی نظیر سدهای مخزنی و نیز شبکه‌های گسترده آبیاری و زهکشی نیاز به دستیابی به معیاری علمی برای طراحی به منظور گریز از حداکثرسازی غیر منطقی ابعاد سازه از یک طرف و نزدیکی به توجیه اقتصادی طرح از طرف دیگر، همواره مورد نظر متخصصان بخش آب بوده است (Ministry of Energy, 2013). برنامه‌ریزی و طراحی سازه‌های تحت تأثیر پدیده‌های هیدرولوژیک اغلب نیازمند برآورد سیلاب طراحی و یا حداکثر پتانسیل سیلاب در حوضه‌های آبریز است. سیلاب طراحی سیلی است که با توجه به عواملی چون ایمنی سازه، هزینه، طول عمر و خسارت محتمل ناشی از وقایع هیدرولوژیک تعیین می‌گردد. حداکثر سیلاب محتمل یا PMF سیلی است که از ترکیب شدیدترین شرایط هیدرولوژیک و هواشناسی که به طور منطقی ممکن است در یک منطقه پدید آید، حاصل می‌شود (Ros et al., 2008). محاسبه PMF بر اساس شرایط حدی و استثنایی عواملی همچون حداکثر بارش محتمل PMP، مدت بارندگی، توزیع زمانی بارندگی و همچنین نفوذ انجام می‌گیرد که داده‌ها و اطلاعات زیادی را طلب می‌کند (Paymozd et al., 2007). مد نظر قرار دادن حداکثر سیلاب محتمل می‌تواند به عنوان عامل اطمینان‌بخش در این زمینه منظور گردد. چنین سیلی می‌تواند منتج از یک بارش حداکثر محتمل به عنوان ورودی به سیستم باشد (Karimi, 2005). PMP برابر بیشترین ارتفاع بارشی است که امکان رخداد آن از نظر فیزیکی در یک محدوده جغرافیایی و در یک زمان معین از سال وجود داشته باشد (WMO, 2009). جهت محاسبه PMP دو روش کلی آماری و سینوپتیک (همدید) وجود دارد که روش سینوپتیک مبتنی بر انتقال و حداکثرسازی رگبارهای بیشینه ثبت شده است و روش دوم مبتنی بر تجزیه و تحلیل فراوانی بارش است. در روش آماری حداکثر بارش محتمل عبارت است از حد نهایی بارش، که با توجه به مشخصات اقلیمی منطقه قابل توجیه می‌باشد. این روش اغلب برای دستیابی به یک برآورد سریع و ساده در حوضه‌های کوچک استفاده می‌شود و زمانی که داده‌های هواشناسی نظیر دمای نقطه شبنم و سرعت باد در دسترس نیستند اما داده‌های طولانی مدت بارش موجود است، سودمند می‌باشد. در ایران مطالعات متعددی در زمینه برآورد حداکثر بارش محتمل و تصحیح عامل فراوانی انجام شده است. از جمله

اشاره کرد. این پژوهشگران حداکثر بارش محتمل ۲۴ ساعته را در مالزی با استفاده از روش هرشفیلد ۶۹۱ میلی‌متر برآورد کردند. Vivekanandan and Roy (2013) به منظور برآورد PMP از روش توزیع گامبل و روش هرشفیلد استفاده کردند و با مقایسه مقدار بارش برآورد شده و خطای استاندارد حاصل از روش توزیع گامبل و روش هرشفیلد، نتایج حاصل از روش گشتاور وزنی با دوره بازگشت هزار ساله را به‌عنوان معیار طراحی سازه‌های هیدرولیکی در منطقه در نظر گرفتند. Alias and Takara (2013) مقدار PMP کووالامپور در مالزی و حوضه رودخانه یودو در ژاپن را با روش آماری هرشفیلد محاسبه نمودند و نشان دادند علیرغم مشابهت زیاد خصوصیات جغرافیایی و توزیع حداکثر بارش ۲۴ ساعته حوضه‌ها، مقدار PMP آن‌ها اختلاف زیادی دارد و دلیل این اختلاف، تفاوت در تعداد ایستگاه‌ها و دوره آماری مشاهداتی این دو حوضه است. Kulkarni et al. (2010) عمق PMP یک تا سه‌روزه را در حوضه Krishna در هند به ترتیب در محدوده ۲۰/۹-۷/۹، ۳۰/۳-۱۰/۳ و ۳۴/۷-۱۳ سانتی‌متر برآورد کردند. (Deshpande et al. (2008) در هند، با استفاده از روش‌های آماری حداکثر بارش محتمل یک، دو و سه‌روزه را برآورد نمودند و توزیع مکانی آن را با استفاده از توزیع گامبل در دوره بازگشت‌های ۱۰، ۲۵، ۵۰، ۱۰۰، ۵۰۰ و ۱۰۰۰ ساله به تصویر کشیدند. (Desa and Rakhecha (2007) حداکثر بارش محتمل ۲۴ ساعته را در منطقه استوایی Johor در مالزی با روش آماری هرشفیلد در محدوده ۴۰۰ تا ۱۰۰۰ میلی‌متر برآورد کردند و نشان دادند که حداکثر بارش محتمل ۲۴ ساعته در نواحی ساحلی شرقی بیشتر از نواحی غربی است. همچنین نسبت حداکثر بارش محتمل ۲۴ ساعته به حداکثر بارش ۲۴ ساعته را به‌عنوان یک معیار مستقل از شرایط آب و هوایی، ۲ برآورد کردند. (Desa and Rakhecha (2001) به منظور برآورد PMP₂₄ به روش آماری هرشفیلد در منطقه Selangor مالزی PMP₂₄ را در محدوده ۳۷۵ تا ۵۰۰ میلی‌متر برآورد نمودند و نسبت PMP₂₄ به حداکثر بارش ۲۴ ساعته را حدود ۲ برآورد کردند. (Rakhecha et al. (1992) به منظور برآورد PMP_{48h} در شبه جزیره هند از روش آماری هرشفیلد استفاده کردند و مقدار PMP_{48h} را در محدوده ۹۵-۴۰ سانتی‌متر و مقدار عامل فراوانی را برای کل منطقه ۱/۷۶ برآورد کردند. (Rakhecha and Kennedy (1985) در هندوستان حداکثر بارش محتمل با تداوم‌های ۲۴، ۴۸ و ۷۲ ساعته را به ترتیب در محدوده ۱۰۸۰-۵۲۰، ۱۵۲۰-۸۰۰ و ۱۷۸۰-۱۰۰۰ میلی‌متر به دست آوردند. با توجه به اینکه حوضه آبریز قره‌سو محل استقرار شهرها و اکثر روستاهای استان گلستان است و به لحاظ تراکم جمعیت، اراضی کشاورزی، صنایع و دامپروری از اهمیت

به‌سزایی برخوردار است، انتخاب سیلاب مناسب یکی از مشکلات عمده در طراحی سازه‌های آبی در این منطقه به‌شمار می‌رود و در مواردی که سازه‌های آبی از اهمیت به‌سزایی برخوردار باشد بایستی در برابر حداکثر سیل محتمل مقاومت نماید. به دلیل اینکه PMP در برآورد حداکثر سیلاب محتمل به‌عنوان درونداد اولیه کاربرد دارد هدف از مطالعه حاضر برآورد عامل فراوانی و PMP حوضه آبریز قره‌سو با استفاده از دو نگرش روش آماری هرشفیلد می‌باشد.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه مطالعاتی و داده‌های مورد استفاده

حوضه آبریز قره‌سو با مساحت ۱۷۶۰ کیلومتر مربع، ۸ درصد مساحت استان گلستان را تشکیل می‌دهد و کل این حوضه در استان گلستان قرار دارد. رودخانه اصلی حوضه قره‌سو از ارتفاعات کوه‌های اسب‌چر، سوس و قزیمان سرچشمه می‌گیرد و بعد از پیمودن از چند دهستان بین بندر ترکمن و بندر گز در کنار روستای قره‌سو به خلیج گرگان و سپس به دریای مازندران می‌ریزد. حوضه آبریز قره‌سو از شمال و شرق به حوضه آبریز گرگانرود، از جنوب به حوضه آبریز نکارود و از غرب به حوضه آبریز خلیج گرگان و نیز دریای مازندران محدود می‌شود (Kankash Omran Consulting Engineers, 2009). شکل ۱ موقعیت حوضه آبریز قره‌سو بر گستره ایران را نشان می‌دهد.

مطالعه حاضر بر روی داده‌ها و اطلاعات حداکثر بارش ۲۴ ساعته شش ایستگاه باران‌سنجی متعلق به وزارت نیرو و یک ایستگاه سینوپتیک متعلق به سازمان هواشناسی، با طول دوره آماری متفاوت انجام شده است. جدول ۱ مشخصات ایستگاه‌های مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

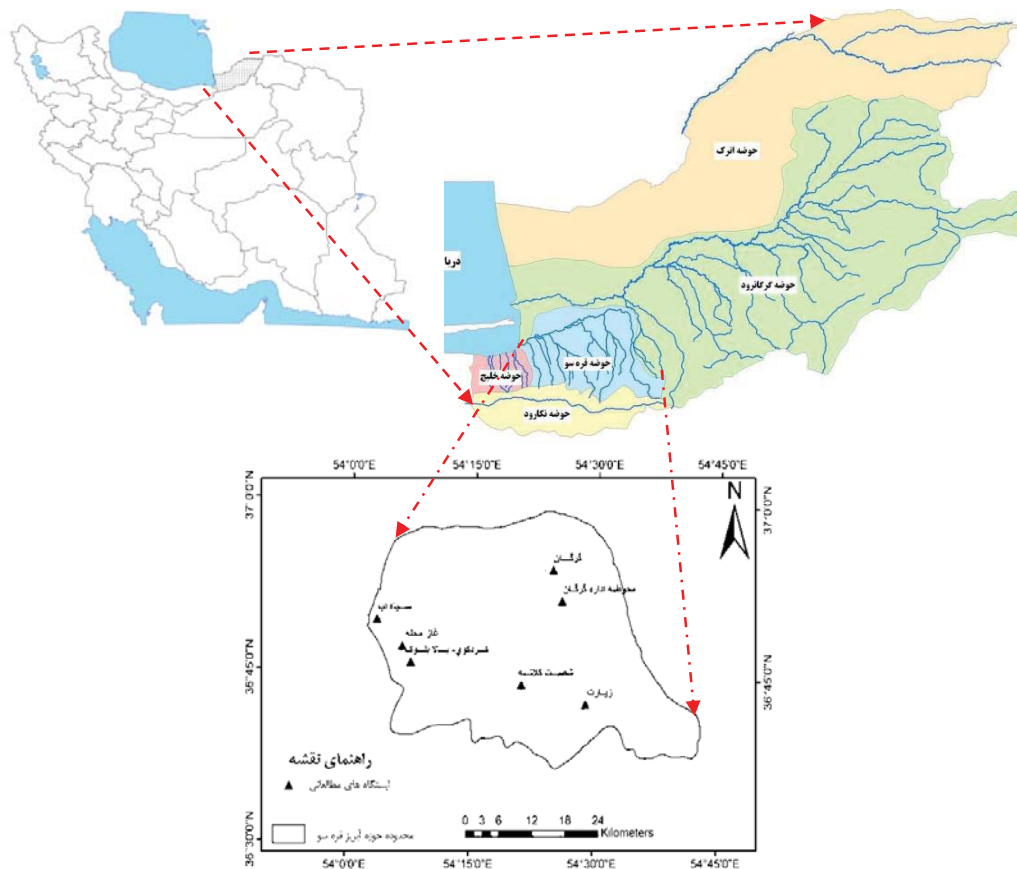
۲-۲- روش هرشفیلد

اساس روش هرشفیلد معادله عمومی تناوب ارائه شده توسط چاو (۱۹۶۱) می‌باشد و به‌صورت معادله ۱ تعریف می‌شود (Ministry of Energy, 2013; WMO, 2009).

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

که در آن ارتفاع بارش رگبار برای دوره بازگشت t ، \bar{X}_n مقدار متوسط بارش، K ضریب آماری در توزیع تناوب و σ_n انحراف از معیار داده‌ها با تعداد n رگبار حداکثر سالانه می‌باشد.

معادله ۱ در روش استاندارد هرشفیلد به‌صورت معادله ۲ در می‌آید (Ministry of Energy, 2013; WMO, 2009).



شکل ۱- موقعیت حوضه آبریز قره‌سو بر گستره ایران

جدول ۱- مشخصات ایستگاه‌های مورد مطالعه در حوضه آبریز قره‌سو

نام ایستگاه	طول جغرافیایی دقیقه درجه شرقی	عرض جغرافیایی دقیقه درجه شمالی	ارتفاع (متر)	طول دوره آماری (سال)	حداکثر بارش ۲۴ ساعته (میلی‌متر)	حداقل بارش ۲۴ ساعته (میلی‌متر)
زیارت	۵۴ ۳۰	۳۶ ۴۲	۹۵۰	۱۳	۶۳/۵	۱۳/۷
کردکوی- بالا بلوک	۵۴ ۰۷	۳۶ ۴۵	۱۴۰	۲۳	۱۰۴/۷	۲۴
محوطه اداره گرگان	۵۴ ۲۵	۳۶ ۵۱	۷۵	۳۱	۱۳۹	۱۷
شصت کلاته	۵۴ ۲۰	۳۶ ۴۴	۱۵۰	۴۱	۹۷	۲۵
پل جاده غازمحل	۵۴ ۱۲	۳۶ ۴۷	۶	۴۳	۱۲۲	۲۱
سیاه‌آب	۵۴ ۳۰	۳۶ ۴۵	-۲۶	۴۵	۱۵۰/۲	۲۰/۴
سینوپتیک گرگان	۵۴ ۲۵	۳۶ ۵۴	۱۳/۳	۵۳	۱۰۵	۲۸/۸

مقدار عامل فراوانی (K_m) از معادله ۳ به دست می‌آید $PMP = \bar{X} + K_m \cdot \sigma_n$ (۲)
(Paymzod et al., 2007).

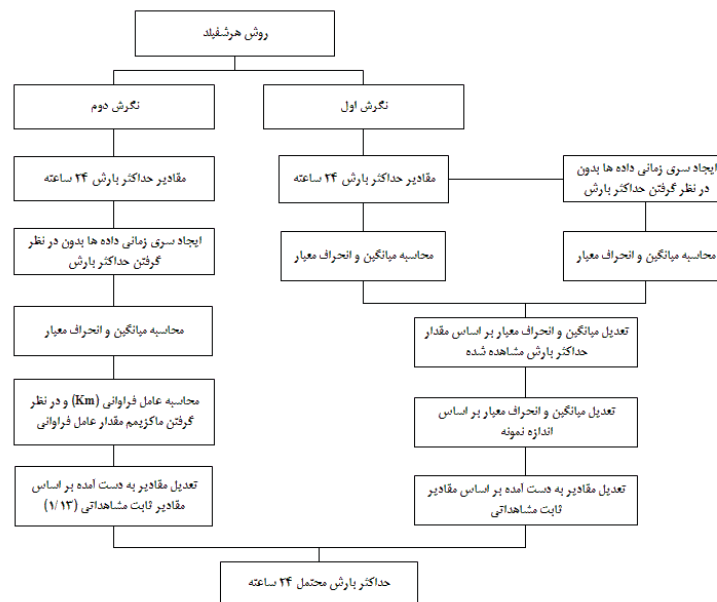
که در آن PMP حداکثر بارش محتمل برای یک ایستگاه مشخص در تداومی معین و K_m بزرگترین مقدار محاسبه شده K برای تمام ایستگاه‌ها در یک سطح می‌باشد.
(۳)
 $K_m = \frac{(X_L - X_{n-L})}{\sigma_{n-L}}$
که در آن X_L حداکثر بارندگی مشاهده شده در ایستگاه مورد نظر،
 X_{n-L} میانگین بارندگی‌های سالانه بدون احتساب بارندگی حداکثر و

معادله‌های نظیر آن‌ها استخراج شد. سپس روش هرشفیلد در قالب یک کد در نرم‌افزار متلب بازنویسی گردید. فلوچارت روش هرشفیلد در شکل ۲ آورده شده است.

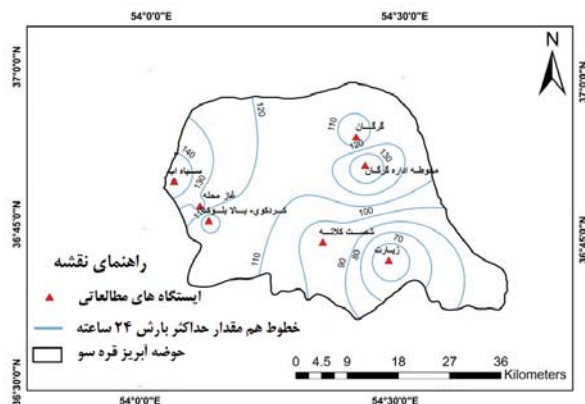
۳- نتایج و بحث

جهت بررسی همگنی داده‌های مورد استفاده در ایستگاه‌های مذکور از آزمون توالی استفاده شد و نشان داده شد که داده‌ها همگن می‌باشند. پس از اطمینان از صحت داده‌ها، به منظور برآورد PMP از سری‌های زمانی با طول دوره آماری متفاوت استفاده گردید. برای برآورد PMP₂₄ با نگرش اول هرشفیلد، مقادیر میانگین و انحراف معیار، مقادیر میانگین و انحراف معیار به ازای حذف مقدار حداکثر از سری زمانی و ضریب تغییرات برای هر ایستگاه محاسبه گردید. در نگرش اول هرشفیلد برای محاسبه PMP₂₄ از معادله ۲ استفاده شد و با توجه به این که معادلات ضرایب تصحیح هرشفیلد استخراج شده است این مقادیر با استفاده از معادله نظیر آن‌ها برآورد گردید. همچنین در نگرش دوم عامل فراوانی و PMP₂₄ از معادلات ۲ و ۳ برآورد گردید. شکل ۳ خطوط هم‌مقدار حداکثر بارش ۲۴ ساعته را در حوضه مطالعاتی نشان می‌دهد.

σ_{n-l} انحراف معیار بارندگی‌های سالانه بدون احتساب بارندگی حداکثر می‌باشد. هرشفیلد با در نظر گرفتن ۲۶۰۰ ایستگاه در آمریکا مقدار K_m را حداکثر ۱۵ برآورد کرد (Hershfield, 1961; WMO, 2009). وی در ابتدا می‌پنداشت که K_m مستقل از مقدار بارش است ولی بعداً متوجه شد که این مقدار برای مناطق پرباران خیلی زیاد و برای مناطق خشک خیلی کم است. لذا محاسبه ضریب فراوانی بر اساس داده‌های تاریخی به جای استفاده از ضریب ۱۵ تخمین بهتری را خواهد داد (Desa et al., 2001). در نگرش اول هرشفیلد، حداکثر بارش محتمل بر مبنای تصحیح طول دوره آماری و حذف مشاهدات حداکثر برآورد می‌شود اما در نگرش دوم که توسط (Desa et al., 2001) ارائه گردید، حداکثر بارش محتمل بر اساس K_m حاصل از معادله ۲ برآورد می‌شود. به این صورت که برای هر مقدار حداکثر مشاهده شده در داده‌ها یک عامل فراوانی به دست می‌آید و پس از محاسبه کلیه K_m ها، حداکثر آن‌ها انتخاب شده و برای برآورد حداکثر بارش محتمل همه ایستگاه‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این حالت فقط تعدیل برای محدوده زمانی ثبت مشاهداتی (۱/۱۳) مورد استفاده قرار می‌گیرد (Abbasi and Jafar Poor, 2009). در این تحقیق جهت برآورد حداکثر بارش محتمل ۲۴ ساعته، ضرایب تعدیل روش هرشفیلد با استفاده از نرم‌افزار Engauge Digitizer 4.1 رقومی گردید و



شکل ۲- فلوچارت روش هرشفیلد به منظور برآورد حداکثر بارش محتمل ۲۴ ساعته



شکل ۳- خطوط هم مقدار PMP_{24} در حوضه آبریز قره سو

بیشترین و کمترین بارش ۲۴ ساعته به ترتیب مربوط به ایستگاه‌های سیاه‌آب و محوطه اداره گرگان به میزان $150/2$ و 17 میلی‌متر می‌باشد. نتایج حاصل از نگرش اول نشان می‌دهد که بیشترین و کمترین PMP_{24} به ترتیب مربوط به ایستگاه‌های کردکوی بالا بلوک و زیارت به میزان $524/93$ میلی‌متر و $335/07$ میلی‌متر می‌باشد. تغییرات عامل فراوانی در نگرش اول در محدوده $18-16/98$ قرار می‌گیرد که بیشترین و کمترین مقدار آن مربوط به ایستگاه زیارت و کردکوی می‌باشد. همچنین نتایج حاصل از نگرش دوم نشان می‌دهد که بیشترین و کمترین PMP_{24} به ترتیب مربوط به ایستگاه‌های پل جاده غازمحل و زیارت به میزان $208/30$ میلی‌متر و $118/22$ میلی‌متر می‌باشد. تغییرات عامل فراوانی در این نگرش در محدوده $26/5-2/26$ قرار می‌گیرد که بیشترین و کمترین مقدار آن مربوط به ایستگاه محوطه اداره گرگان و کردکوی بالا بلوک می‌باشد. نهایتاً مقدار $5/26$ به‌عنوان عامل فراوانی برای کل حوضه در نظر گرفته شد. شکل ۴ تغییرات عامل فراوانی در برابر حداکثر بارش ۲۴ ساعته را نشان می‌دهد. مطابق این شکل تغییرات عامل فراوانی در نگرش اول هرشفیلد زیاد بوده ولی در نگرش دوم، تغییرات کم‌تر است. با توجه به وابستگی بارندگی به موقعیت ایستگاه از نسبت بدون بعد حداکثر بارش 24 ساعته به حداکثر بارش 24 ساعته استفاده گردید. شکل ۵ تغییرات نسبت PMP_{24} به حداکثر بارش 24 ساعته را در ایستگاه‌های مورد مطالعه نمایش می‌دهد. این نسبت برای نگرش اول در محدوده $3/1-5/3$ به ترتیب برای ایستگاه‌های زیارت و سیاه‌آب و برای نگرش دوم در محدوده $1/90-1/36$ به ترتیب برای ایستگاه‌های کردکوی بالا بلوک و سیاه‌آب قرار گرفت. تغییرات نسبت حداکثر بارش 24 ساعته به حداکثر بارش 24 ساعته در نگرش دوم کمتر بوده است. لذا

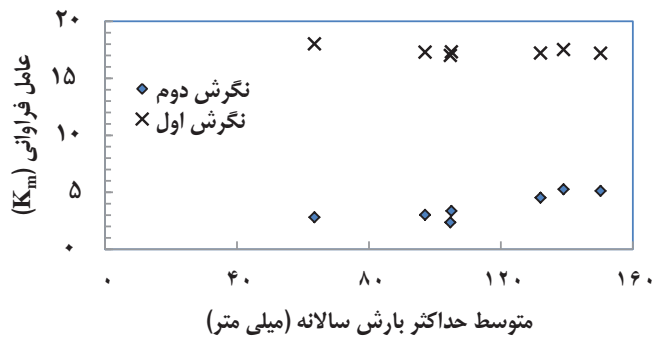
اطمینان‌پذیری نگرش دوم در مقایسه با نگرش اول در حوضه مطالعاتی بیشتر می‌باشد. (Desa and Rakhecha (2007) نیز این نسبت را حدود ۲ به دست آوردند. Tajbakhsh and Gharaman (2009) این نسبت را برای رویکرد اول و دوم به ترتیب در محدوده $6/77-2/54$ و $2/72-1/5$ محاسبه کردند. قهرمان (۲۰۰۸) نسبت PMP_{24} به حداکثر بارش 24 ساعته را $2/51$ به دست آورد و (Desa et al. (2001) این نسبت را ۲ به دست آوردند. نتایج حاصل از مقایسه جداول ۱ و ۲ نشان می‌دهد که در رویکرد اول مقادیر در مقایسه با بارش‌های رخ داده در حوضه بسیار بزرگ هستند اما نتایج حاصل از رویکرد دوم، تقریباً نصف مقادیر حاصل از رویکرد اول می‌باشد و مقدار آن به بارندگی واقعی حوضه نزدیک‌تر است. بنابراین برای برنامه‌ریزی‌های هیدرولیکی استفاده از نگرش دوم نسبت به نگرش اول دارای اولویت می‌باشد. Daryabari et al. (2012) مقدار PMP_{24} ایستگاه سینوپتیک گرگان را که در محدوده حوضه آبریز قره‌سو قرار دارد، $359/93$ میلی‌متر برآورد کردند که با محدوده تغییرات نتایج پژوهش حاضر همخوانی داشته و به نظر می‌رسد اختلاف موجود، ناشی از تفاوت در طول دوره آماری باشد.

به دلیل مناسب بودن توزیع‌های گامبل و لوگ پیرسون تیپ ۳ برای مقادیر حدی مثل سیلاب و بارندگی که دارای چولگی مثبت هستند می‌توان از این دو توزیع برای برازش داده‌های حداکثر بارش سالانه استفاده نمود (Eliasson, 1997). لذا به‌منظور محاسبه دوره بازگشت حداکثر بارش 24 ساعته توزیع‌های گامبل و لوگ پیرسون تیپ ۳ بر داده‌ها برازش داده شد و آزمون نیکویی برازش بر اساس آزمون کای مربع^۷ محاسبه شد و مشخص گردید که داده‌ها از توزیع گامبل تبعیت می‌کند. پس مقادیر حداکثر بارش 24 ساعته با دوره

قرار گرفت. شکل ۶ همبستگی بین دو متغیر بارش و ارتفاع را نشان می‌دهد. بر اساس درجه آزادی ۵، ضریب همبستگی در سطح ۰/۰۱ غیر معنی‌دار و در سطح ۰/۰۵ معنی‌دار شد. لذا به دلیل عدم همبستگی بارش و ارتفاع در سطح ۰/۰۱، از روش معکوس وزنی فاصله^۱ (IDW) برای ترسیم منحنی‌های هم مقدار PMP_{24} با فواصل ۱۰ میلی‌متر استفاده گردید (Sobhani et al., 2013; Dirks et al., 1998; Nalder and Wein, 1998; Lynch, 2001).

بازگشت‌های ۵۰ تا ۱۰۰۰۰ سال با استفاده از توزیع گامبل محاسبه شد، که طبق جدول ۳ مقدار PMP با دوره بازگشت ۵۰ سال و ۱۰۰ سال به ترتیب ۵۷۹/۲۰ و ۶۱۳/۵۹ میلی‌متر در نگرش اول و ۲۶۳/۶۹ و ۲۸۱/۷۰ میلی‌متر در نگرش دوم به دست آمد. مقادیر برای سایر دوره بازگشت‌ها در جدول ۳ ارائه گردیده است.

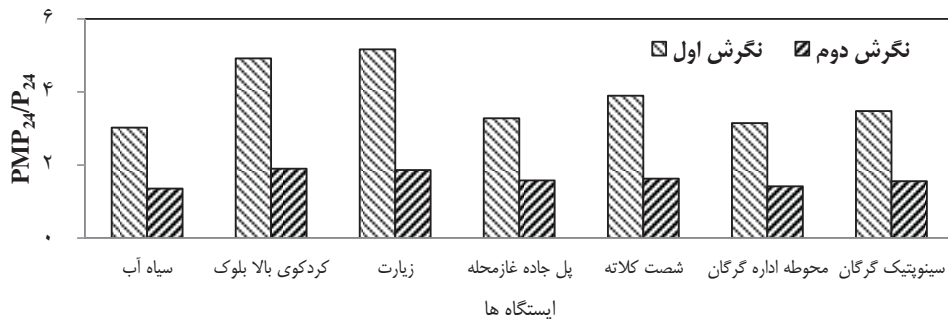
به منظور تحلیل توزیع مکانی PMP_{24} در دو نگرش هرشفیلد در سطح حوضه آبریز مطالعاتی همبستگی بارش و ارتفاع مورد بررسی



شکل ۴- تغییرات عامل فراوانی با دو نگرش آماری هرشفیلد در حوضه آبریز قره‌سو

جدول ۲- مقادیر PMP_{24} و عامل فراوانی برای حوضه آبریز قره‌سو

نام ایستگاه	حداکثر بارش ۲۴ ساعته (میلی‌متر)	میانگین بارش ۲۴ ساعته (میلی‌متر)	درصد ضریب تغییرات (CV)	نگرش اول			نگرش دوم		
				PMP_{24} (میلی‌متر)	PMP_{24} (میلی‌متر)	K_m	PMP_{24} (میلی‌متر)	PMP_{24} (میلی‌متر)	K_m
سیاه آب	۱۵۰/۲	۵۴/۴۴	۴۳/۹۰	۴۵۹/۰۵	۱۷/۱۷	۳/۰۶	۲۰۳/۵۶	۵/۱۲	۱/۳۶
کردکوی	۱۰۴/۷۰	۵۸/۸۴	۳۷/۷۸	۵۲۴/۹۳	۱۶/۹۸	۵/۰۱	۱۹۸/۶۲	۲/۳۶	۱/۹۰
زیارت	۶۲/۵	۳۶/۱۴	۳۶/۰۳	۳۳۵/۰۷	۱۸	۵/۲۸	۱۱۸/۲۲	۲/۸۱	۱/۸۶
پل جاده غاز محله	۱۳۲	۵۴/۲	۴۵/۶۵	۴۴۰/۸۱	۱۷/۱۸	۳/۳۴	۲۰۸/۳۰	۴/۵۲	۱/۵۸
شصت کلاته	۹۷	۵۲/۳۵	۳۱/۶۶	۲۸۴/۸۴	۱۷/۲۶	۳/۹۷	۱۵۷/۶۷	۳/۰۲	۱/۶۳
محوطه اداره گرگان	۱۳۹	۴۷/۲۶	۵۱/۱۴	۴۴۵/۵۵	۱۷/۴۹	۳/۲۱	۱۹۷/۰۶	۵/۲۶	۱/۴۲
سینوپتیک گرگان	۱۰۵	۵۱/۵۸	۳۴/۳۶	۳۷۱/۵۹	۱۷/۳۰	۳/۵۴	۱۶۲/۶۱	۳/۳۶	۱/۵۶



شکل ۵- نسبت PMP_{24} به حداکثر بارش ۲۴ ساعته در ایستگاه‌های مطالعاتی

جدول ۳ - مقادیر PMP₂₄ (میلی متر) با دوره بازگشت‌های مختلف در حوضه آبریز قره‌سو

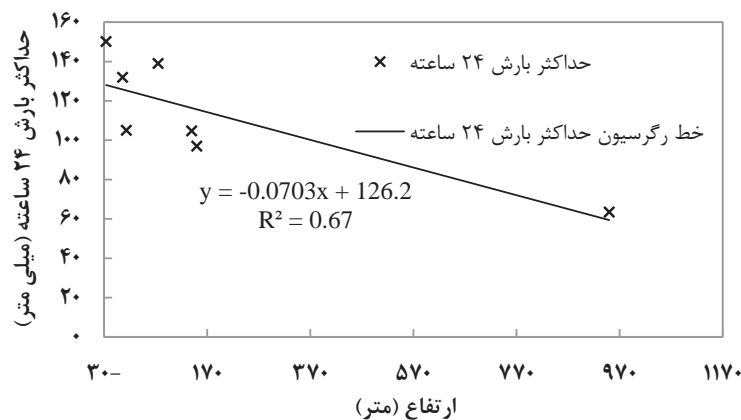
روشن	دوره بازگشت (سال)									
	۱۰۰۰۰	۱۰۰۰	۶۰۰	۵۰۰	۴۰۰	۲۰۰	۱۰۰	۵۰	۲۵	۱۰
نگرش اول	۸۴۰/۱۳	۷۲۷/۱۱	۷۰۲/۰۵	۶۹۲/۷۱	۶۸۲/۳۹	۶۴۷/۹۹	۶۱۳/۵۹	۵۷۹/۲۰	۵۴۴/۸۰	۴۹۸/۱۲
نگرش دوم	۴۰۰/۳۷	۳۴۱/۱۶	۳۲۸/۰۴	۳۲۳/۱۵	۳۱۷/۷۴	۲۹۹/۷۲	۲۸۱/۷۰	۲۶۳/۶۹	۲۴۵/۶۷	۲۲۱/۲۲

هم‌باران ضرب و سپس به‌طور تجمعی با یکدیگر جمع شدند و نهایتاً به سطح کل حوضه تقسیم شدند. محاسبات مربوط به ترسیم منحنی‌های ژرفا-پهنه-تداوم در نرم افزار اکسل اجرا گردید که برای دو نگرش هرشفیلد در جداول ۴ و ۵ آورده شده است.

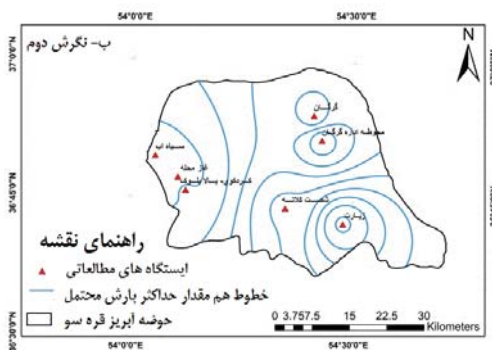
شکل ۸ نیز منحنی‌های ژرفا-پهنه-تداوم حوضه آبریز قره‌سو را با دو نگرش آماری هرشفیلد نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود بر اساس منحنی‌های DAD با افزایش مساحت میزان بارندگی بر روی سطح کاهش می‌یابد.

شکل ۷ منحنی حداکثر بارش محتمل ۲۴ ساعته را با نگرش‌های اول و دوم هرشفیلد در حوضه آبریز قره‌سو نشان می‌دهد. براساس منحنی‌های هم مقدار حداکثر بارش محتمل ۲۴ ساعته بیش‌ترین مقدار بارش در مناطق غربی حوضه، نواحی که نزدیک به دریا هستند، اتفاق افتاده است و میزان بارش از غرب به شرق حوضه کاهش یافته است.

پس از آن برای ترسیم منحنی‌های ژرفا-پهنه-تداوم (DAD)، سطوح واقع شده بین دو خط هم‌باران در میانگین بارندگی دو خط



شکل ۶- همبستگی ارتفاع و بارش در حوضه آبریز قره‌سو



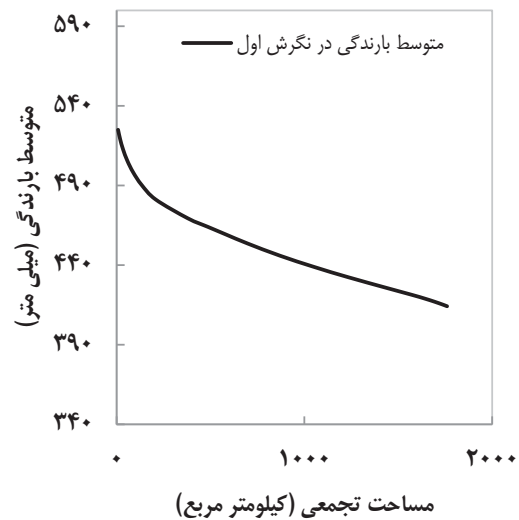
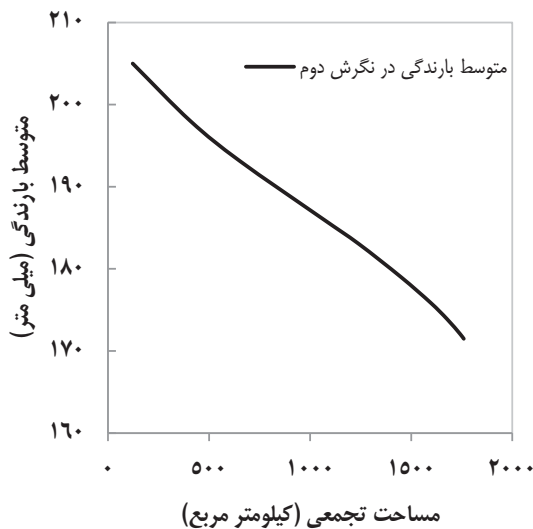
شکل ۷- خطوط هم مقدار حداکثر بارش محتمل ۲۴ ساعته با نگرش‌های اول و دوم هرشفیلد در حوضه آبریز قره‌سو

جدول ۴- محاسبات مربوط به استخراج منحنی ژرفا- پهنه- تداوم (DAD) در نگرش اول هرشفیلد در حوضه آبریز قره‌سو

متوسط بارش روی سطح (mm)	حجم تجمعی بارش (1000m ³)	حجم بارش بین دو خط هم- باران (1000m ³)	مساحت تجمعی خطوط هم‌باران (Km ²)	مساحت بین دو خط هم‌باران (Km ²)	متوسط بارش بین دو خط هم‌باران (mm)	حدود بارش بین دو خط هم‌باران (mm)
۵۲۵/۰	۳۹۸۷/۴	۳۹۸۷/۴	۷/۶	۷/۶	۵۲۵	بیشتر از ۵۲۰
۵۱۹/۱	۹۷۰۱/۳	۵۷۱۳/۹	۱۸/۷	۱۱/۱	۵۱۵	۵۲۰-۵۱۰
۵۱۲/۸	۱۷۳۷۴/۸	۷۶۷۳/۵	۳۳/۹	۱۵/۲	۵۰۵	۵۱۰-۵۰۰
۵۰۵/۶	۲۸۶۵۸/۳	۱۱۲۸۳/۵	۵۶/۷	۲۲/۸	۴۹۵	۵۰۰-۴۹۰
۴۹۸/۳	۴۳۶۹۰/۹	۱۵۰۳۲/۶	۸۷/۷	۸۷/۷	۴۸۵	۴۹۰-۴۸۰
۴۹۰/۴	۶۵۰۶۳/۵	۲۱۳۷۲/۶	۱۳۲/۷	۴۵	۴۷۵	۴۸۰-۴۷۰
۴۸۱/۲	۱۰۰۰۷۵/۷	۳۵۰۱۲/۲	۲۰۸/۰	۷۵/۳	۴۶۵	۴۷۰-۴۶۰
۴۶۹/۴	۱۷۸۰۱۴/۹	۷۷۹۳۹/۲	۳۷۹/۳	۱۷۱/۳	۴۵۵	۴۶۰-۴۵۰
۴۶۴/۰	۲۲۵۴۹۴/۲	۴۷۴۷۹/۳	۴۸۶/۰	۱۰۶/۷	۴۴۵	۴۵۰-۴۴۰
۴۵۹/۲	۲۶۷۵۵۶/۵	۴۲۰۶۲/۳	۵۸۲/۷	۹۶/۷	۴۳۵	۴۴۰-۴۳۰
۴۵۳/۶	۳۱۶۳۰۱/۹	۴۸۷۴۵/۴	۶۹۷/۳	۱۱۴/۷	۴۲۵	۴۳۰-۴۲۰
۴۴۶/۰	۳۸۷۲۲۳/۳	۷۰۹۲۱/۴	۸۶۸/۲	۱۷۰/۹	۴۱۵	۴۲۰-۴۱۰
۴۳۸/۸	۴۶۱۹۴۳/۸	۷۴۷۲۰/۵	۱۰۵۲/۷	۱۸۴/۵	۴۰۵	۴۱۰-۴۰۰
۴۳۲/۳	۵۳۴۱۸۷/۳	۷۲۲۴۲/۵	۱۲۳۵/۶	۱۸۲/۹	۳۹۵	۴۰۰-۳۹۰
۴۲۵/۶	۶۱۲۴۱۷/۴	۷۸۲۳۰/۱	۱۴۳۸/۸	۲۰۳/۲	۳۸۵	۳۹۰-۳۸۰
۴۲۱/۴	۶۶۱۸۷۸/۰	۴۹۴۶۰/۶	۱۵۷۰/۷	۱۳۱/۹	۳۷۵	۳۸۰-۳۷۰
۴۱۹/۰	۶۸۷۳۵۳/۲	۲۵۴۷۵/۲	۱۶۴۰/۵	۶۹/۸	۳۶۵	۳۷۰-۳۶۰
۴۱۷/۰	۷۰۶۳۴۳/۹	۱۸۹۹۰/۷	۱۶۹۴/۰	۵۳/۵	۳۵۵	۳۶۰-۳۵۰
۴۱۵/۱	۷۲۱۹۳۶/۲	۱۵۵۹۲/۳	۱۷۳۹/۲	۴۵/۲	۳۴۵	۳۵۰-۳۴۰
۴۱۴/۱	۷۲۸۹۰۲/۵	۶۹۶۶/۳	۱۷۶۰/۰	۲۰/۸	۳۳۵	۳۴۰-کمتر از ۳۴۰

جدول ۵- محاسبات مربوط به استخراج منحنی ژرفا- پهنه- تداوم (DAD) در نگرش دوم هرشفیلد در حوضه آبریز قره‌سو

متوسط بارش روی سطح (mm)	حجم تجمعی بارش (1000m ³)	حجم بارش بین دو خط هم‌باران (1000m ³)	مساحت تجمعی خطوط هم‌باران (Km ²)	مساحت بین دو خط هم‌باران (Km ²)	متوسط بارش بین دو خط هم- باران (mm)	حدود بارش بین دو خط هم‌باران (mm)
۲۰۵	۲۵۰۷۱/۵	۲۵۰۷۱/۵	۱۲۲/۳	۱۲۲/۳	۲۰۵	۲۱۰-۲۰۰
۱۹۸	۸۰۷۴۴/۰	۵۵۶۷۲/۵	۴۰۷/۸	۲۸۵/۵	۱۹۵	۲۰۰-۱۹۰
۱۹۳/۱۲	۱۲۶۱۰۶/۰	۴۵۳۶۲/۰	۶۵۳/۰	۲۴۵/۲	۱۸۵	۱۹۰-۱۸۰
۱۸۶/۲۱	۱۹۶۴۷۳/۵	۷۰۳۶۷/۵	۱۰۵۵/۱۰	۴۰۲/۱	۱۷۵	۱۸۰-۱۷۰
۱۸۳/۰۵	۲۲۷۰۳۱/۵	۳۰۵۵۸/۰	۱۲۴۰/۳	۱۸۵/۲	۱۶۵	۱۷۰-۱۶۰
۱۷۸/۹۹	۲۵۹۴۸۸/۵	۳۲۴۵۷/۰	۱۴۴۹/۷	۲۰۹/۴	۱۵۵	۱۶۰-۱۵۰
۱۷۵/۹۰	۲۸۰۵۴۲/۵	۲۱۰۵۴/۰	۱۵۹۴/۹	۱۴۵/۲	۱۴۵	۱۵۰-۱۴۰
۱۷۳/۹۰	۲۹۱۶۳۹/۵	۱۱۰۹۷/۰	۱۶۷۷/۱	۸۲/۲	۱۳۵	۱۴۰-۱۳۰
۱۷۲/۰۹	۲۹۹۶۷۷/۰	۸۰۳۷/۵	۱۷۴۱/۴	۶۴/۳	۱۲۵	۱۳۰-۱۲۰
۱۷۱/۴۹	۳۰۱۸۱۶/۰	۲۱۳۹/۰	۱۷۶۰	۱۸/۶	۱۱۵	۱۲۰-۱۱۰



شکل ۸- منحنی ژرفا- پهنه- تداوم برای دو نگرش متفاوت هرشفیلد در حوضه آبریز قره‌سو

حداکثر بارش محتمل ۲۴ ساعته حوضه آبریز قره‌سو به روش سینوپتیک محاسبه شده و با پژوهش حاضر مقایسه گردد.

۴- نتیجه‌گیری

اهمیت برآورد حداکثر بارش محتمل و حداکثر سیلاب محتمل از این جهت است که اساس طراحی پروژه‌های هیدرولیکی نظیر سدها و سرریز اضطراری سدها می‌باشد. در این مقاله جهت برآورد حداکثر بارش محتمل از دو نگرش هرشفیلد استفاده شد. به منظور اجرای روش هرشفیلد منحنی‌های تصحیحی هرشفیلد به معادله‌های نظیر آن‌ها تبدیل شد و روش هرشفیلد در قالب یک کد در نرم‌افزار متلب بازنویسی گردید. نتایج برآورد حداکثر بارش محتمل از دو نگرش نشان داد که نوسانات در نگرش اول زیاد می‌باشد. این امر ممکن است به دلیل وابستگی این نگرش به طول دوره آماری باشد. این در حالی است که میزان نوسانات در نگرش دوم کمتر بوده و محدوده تغییرات عامل فراوانی در این روش کمتر است. همچنین در ادامه، مقدار حداکثر بارش محتمل در دوره‌های بازگشت ۱۰، ۲۵، ۵۰، ۱۰۰، ۲۰۰، ۴۰۰، ۵۰۰، ۶۰۰، ۱۰۰۰ و ۱۰۰۰۰ سال با استفاده از توزیع گامبل برآورد شد. نسبت PMP_{24} به حداکثر باران ۲۴ ساعته به عنوان یک معیار مستقل از شرایط آب و هوایی نشان داد که در حوضه مطالعاتی، نگرش دوم در مقایسه با نگرش اول، پایدارتر است. پس از آن ترسیم نقشه‌های هم‌مقدار PMP_{24} با فواصل ۱۰ میلی‌متری نشان داد که میزان بارندگی از غرب به شرق حوضه مورد مطالعه روند کاهشی دارد. در نهایت منحنی‌های DAD مربوط به دو نگرش ترسیم گردید. نتایج حاصل از منحنی DAD کاهش میزان بارش در برابر سطح را نشان داد. پژوهشگران پیشنهاد می‌کنند که مقدار

پی‌نوشت‌ها

- 4- Probable Maximum Flood
- 5- Probable Maximum Precipitation
- 6- Run Test
- 7- Chi Square
- 8- Inverse Distance Weighted
- 9- Depth- Area- Duration

۵- مراجع

- Abbasi A, Jafar Poor Z (2009) Comparison of probable maximum precipitation using two statistical methods over the Karaj river basin. *Journal of Geography* 3(11):13-31 (In Persian).
- Alias NE, Takara K (2013) Estimating the probable maximum precipitation of Kuala Lumpur, Malaysia and Yodo river basin, Japan using statistical method. *Journal of Disaster Research* 8(1):197-198.
- Bakhtiar B (2002) investigation of PMP value in 4 selected station over the southeast of Iran using statistical method. 1st National Conference on Mitigation of Water Crisis, Zabol, Iran, 9-10 March (In Persian).
- Bakhtiar B (1999) Investigation of statistical PMP (probable maximum precipitation) in different duration and relation between them in some

- Kankash Omran Consulting Engineers (2009) Report on integrated water resources management, Basin of Qareh Su and Gorgan rivers. Iran Water Resources Management Company (Ministry of Energy) (In Persian).
- Kulkarni BD, Nandargi S, Mulye SS (2010) Zonal estimation of probable maximum precipitation rain depths over the Krishna basin in Peninsular India. *Journal of Hydrological Sciences* 55(1):93-103.
- Lynch SD (2001) Converting point estimates of daily rainfall onto a rectangular grid. Department of Agricultural Engineering. University of Natal. South Africa. Lynch2@aqua.cw.ac.za.
- Mianabadi A, Mousavi Baygi M, Eghtedari M (2010) Estimation of Hershfield coefficient for Khaf and Kalshour in KhorasanRazavi province. *Irrigation Science Engineering (Scientific Journal of Agriculture)* 33(1): 93-99 (In Persian).
- Ministry of Energy (2013) Manual on estimation of probable maximum precipitation (PMP) and depth-area- duration curves (DAD). No. 403, A: 203 p (In Persian).
- Nalder JA, Wein RW (1998) Spatial interpolation of climate normal: test of a new method in the Canadian boreal forest. *Agricultural and Forest Meteorology* 94(4):211-225.
- Paymozd S, Morid S, Ghaemi H (2007) Estimation of probable maximum flood (PMF) in data scarcity situation. *Scientific Journal of Agriculter* 29(4):33-44 (In Persian).
- Rakhecha PR, Deshpande NR, Soman MK (1992) Probable maximum precipitation for a 2-day duration over the Indian Peninsula. *Theoretical and Applied Climatology* 45:277-283.
- Rakhecha PR, Kennedy MR (1985) A generalized technique for the estimation of probable maximum precipitation in India. *Journal of Hydrology* 78:345-359.
- Rezaei Pazhand H, Ghahraman B (2006) Estimating maximum daily precipitation by multi-station method: A case study of north Khorasan. *Iran-water Resour Research* 2(1):45-55 (In Persian).
- Ros F C, Sidek LM, Ibrahim NNN, Abdul Razad A (2008) Probable maximum flood (PMF) for the Kenyir catchment, Malaysia. *International Conference on Construction and Building Technology* 31:325-334.
- Shafiei M, Ghahraman B (2009) Spatial distribution of probable maximum precipitation for 24 h duration over GharehGhum watershed, *Iranian Journal of Irrigation and Drainage* 2(3):50-59 (In Persian).
- climatic sample in Iran. M. Sc. Thesis in Agricultural Meteorology, Collage of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran (In Persian).
- Daryabari SJ, Mohammadi H, Rezaei Gh (2012) Spatial analysis of probable maximum precipitation (PMP) in Iran. *Quartelry Geographical Journal Territory (Sarzamin)* 9(34):113-124 (In Persian).
- Desa MN, Noriah AB, Rakhecha PR (2001) Probable maximum precipitation for 24-h duration over southeast Asian monsoon region- Selangor, Malaysia. *Journal of Atmospheric Research* 58:41-54.
- Desa MN, Rakhecha PR (2007) Probable maximum precipitation for 24-h duration over an equatorial region: Part 2- Johor, Malaysia. *Journal of Atmospheric Research* 84: 84- 90.
- Deshpande NR, Kulkarni BD, Verma AK, Mandal BN (2008) Extreme rainfall analysis and estimation of maximum precipitation (PMP) by statistical methods over the Indus river basin in INDIA. *Journal of Spatial Hydrology* 8(1):22- 36.
- Dirks KN, Hay IE, Stow CD, Harris D (1998) High-resolution studies of rainfall on Norfolk Island. Part II: Interpolation of Data. *Journal of Hydrology* 208(3-4):187-193.
- Eliasson J (1997) A statistical model for extreme precipitation. *Water Resources Research* 33(3):449-455.
- Ghahraman B, Hossein Poor M, Farahi G, Davari K (2011) A Comparative study for determination of PMP by some statistical methods in Atrak watershed, Iran. *Iran-Water Resources Research* 7(2):61-70 (In Persian).
- Ghahreman B (2008) The estimation of one day duration probable maximum precipitation over Atrak watershed in Iran. *Iranian Journal of Science and Technology* 32(2):175-179.
- Hershfield DM (1981) The magnitude of hydrological frequency factor in maximum rainfall estimation. *Hydrological Sciences Bulletin* 26(2):171-177.
- Hussain M, Nadya S, Chia FJ (2015) Estimating probable maximum precipitation for Linau river basin in Sarawak. *UNIMAS e-Journal of Civil Engineering* 5(3):1-5.
- Karimi A (2005) Calculation of statistical probable maximum precipitation for 24-h duration and maximum precipitable water in Isfahan province. 1st Civil engineering conference, Estahban, Iran, 22-23 February (In Persian).

- Vevikenandan N, Roy SK (2013) Assessment of probable maximum precipitation using Gumble distribution and Hershfield method. *Bonfring International Journal of Data Mining* 3(1):1-5.
- World Meteorological Organization (2009) Manual on estimation of probable maximum precipitation, 3rd edition, WMO - No. 1045, Geneva.
- Sobhani B, Sari Saraf B, Azadi Mobaraki M, Hosseini SA (2013) Modeling rainfall in the west and southwest of Caspian Sea in GIS environment, with using spatial interpolation methods. *Geography and Development* 30:23-34 (In Persian).
- Tajbakhsh M, Ghahraman B (2009) Estimation of 24-h probable maximum precipitation by using different statistical approaches for north-east of Iran. *Journal of Water and Soil Conservation* 16 (1): 123-141 (In Persian).