نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۶، جلد ۱۳، بهمن - اسفند ۱۳۹۸، ص. ۱۶۲۲-۱۶۱۲

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 6, Vol. 13, Feb.-Mar. 2020, p. 1612-1622

ارزیابی دو روش فیزیکی و آماری در برآورد حداکثر بارش محتمل در استان بوشهر

سید معین فرمان‌آراء[۱]، بهرام بختیاری[۲*]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۳/۲۱ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۵/۳۰

چکیده

یکی از مولفه‌های مهم در مدیریت منابع آب، حداکثر بارش محتمل (PMP) می‌باشد. در این مطالعه، حداکثر بارش محتمل ۲۴ساعته (PMP_{24}) با دو نگرش استاندارد و تعدیل یافته هرشفیلد و روش فیزیکی در استان بوشهر برآورد و مقایسه گردید. از بین ایستگاه‌های همدیدی موجود در این استان، تعداد ۷ ایستگاه انتخاب شدند. داده‌ها شامل بارش‌های ۲۴ساعته، دمای نقطه شبنم، سرعت باد، فشار سطح ایستگاه و فشار تبدیل شده به سطح دریا طی سال‌های ۱۹۶۸ تا ۲۰۱۸ بودند. نتایج نشان داد که در نگرش استاندارد، مقدار فاکتور فراوانی و PMP_{24} در ایستگاه‌های مختلف به ترتیب در محدوده‌ی ۱۷/۹-۱۶/۲ و ۸۸۰/۶-۴۳۳/۵ میلی‌متر می‌باشد. به طور مشابه، در نگرش تعدیل‌یافته، این مقادیر به ترتیب در محدوده‌ی ۴/۶۴-۲/۳۹ و ۲۱۳/۴-۱۰۳/۶ میلی‌متر برآورد گردید. مقادیر PMP_{24} منطقه‌ای برای دو نگرش استاندارد و تعدیل‌یافته و روش فیزیکی به ترتیب ۶۶۰/۵، ۱۸۱/۴ و ۱۳۹/۹ میلی‌متر برآورد شد. به طور کلی، با توجه به در نظر گرفتن خصوصیات فیزیکی توده هوا در روش فیزیکی، استفاده از این روش به منظور کاهش عدم قطعیت پیشنهاد می‌شود. در صورت استفاده از روش استاندارد هرشفیلد، هزینه طراحی و ساخت به طور چشم‌گیر و غیر ضروری افزایش می‌یابد.

واژه‌های کلیدی: بارش‌های حدی، روش هرشفیلد، روش سینوپتیک، طوفان‌های فراگیر

مقدمه

یکی از مسائل بسیار مهم آب‌شناختی محاسبه حداکثر بارش محتمل (PMP)[۳] به منظور مدیریت و طراحی سازه‌های آبی است. PMP به عنوان حداکثر ارتفاع بارش در یک حوضه آبریز برای مدت بارش معینی و در زمان بخصوصی از سال، تعریف می‌شود (WMO, 1986). با استفاده از این مقدار می‌توان حداکثر سیلاب محتمل (PMF)[۴] را برای طراحی سرریز سدها برآورد کرد. هنگامی که داده‌های کافی برای محاسبه رگبار استاندارد پروژه در منطقه طرح وجود نداشته باشد، درصدی منطقی از PMP جانشین رگبار استاندارد پروژه می‌شود (USBR, 1973). از سال ۱۹۵۰ روش‌هایی برای محاسبه PMP ارائه شده است. اولین برآوردها بر اساس بیشینه بارش ثبت شده روزانه در یک حوضه انجام می‌گرفت. پایه برآورد PMP با محاسبات آماری آغاز گردید. هرشفیلد، بت لاهمی و الیاسن از جمله پژوهشگرانی بودند که در این زمینه مطالعه کردند (Hershfield, 1961; Bethlahmy, 1984; Eliason, 1977). از اواسط ۱۹۷۰ سال روش کلی‌تری توسعه یافت که اجازه می‌داد بارش در نواحی گسترده‌تری تحلیل شود. PMP به دو روش آماری و فیزیکی (سینوپتیک) قابل محاسبه است. در روش فیزیکی نیاز به وجود اطلاعات هواشناسی از توده‌های هوای جو بالا مانند باد و دمای نقطه شبنم است که کمبود اطلاعات کامل از این توده‌های هوا در هر منطقه تمایل به استفاده از روش آماری را افزایش داده است. در روش آماری معمولاً از حداکثر بارش ۲۴ساعته مشاهده شده در ایستگاه‌های باران‌سنجی استفاده می‌شود. هرشفیلد در سال ۱۹۶۱ برای نخستین بار روش برآورد PMP را به روش آماری ارائه داد. این پژوهشگر ۲۸۰۰ ایستگاه باران‌سنجی، که ۹۰ درصد آن‌ها در ایالات متحده آمریکا بوده‌اند را انتخاب و حداکثر بارش ۲۴ساعته مشاهده‌ای سالانه را برای تحلیل به کار برد. وی دریافت که اگر ۱۵ برابر انحراف معیار داده‌های مشاهده‌ای هر ایستگاه را به میانگین آن‌ها اضافه کند، حاصل می‌تواند برآوردی از حداکثر بارش محتمل ۲۴ساعته (PMP_{24}) این ایستگاه باشد. ۱۵ در واقع عدد کران بالایی برای عامل فراوانی (K_t) است (رضایی‌پژند، ۱۳۸۰). کوتسویانیس با مطالعه دوباره بر روی پژوهش‌های هرشفیلد نشان داد که عامل فراوانی ۱۵ در نظر گرفته شده توسط وی دوره بازگشتی حدود ۶۰۰۰ سال دارد که این عدد به دور از تعریف PMP می‌باشد (Koutsoyainnis,1999). کامپوس و فرانسیس، PMP را در مکزیک برآورد نمودند. مدل آن‌ها برای بارش‌های با تداوم کم‌تر از ۱۱ ساعت ارقام خوبی را برآورد کرد. اما مقادیر

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی منابع آب، بخش مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان
۲- دانشیار بخش مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان
(*- نویسنده مسئول: (Email: drbakhtiari@uk.ac.ir

3- Probable Maximum Precipitation
4- Probable Maximum Flood

برآورد شده برای تداوم‌های بیشتر از آن، بسیار بالا بود. آنان این احتمال را مطرح کردند که ممکن است بارش‌های با تداوم زمانی طولانی‌تر با سیستم‌های همرفتی متوسط مقیاس همراه شده باشد (Campos and Francisco, 1998). راخچا و کلارک برمبنای بیشینه‌سازی محلّی و روش انتقال طوفان، PMP را به روش فیزیکی برای هند مطالعه نموده که نتایج حاصله در مناطق مختلف، از ۷۰ تا ۱۷۰ میلی‌متر برای یک روز تغییر می‌کرد (Rakhecha and Clark, 1999). دسا و راخچا روش هرشفیلد را تنها براساس بیش‌ترین بارندگی مشاهده شده به کار برده‌اند که منتج به کاهش شدیدی در ضریب فراوانی گردید (Desa and Rakhecha, 2007). تینگسانچالی و تانمن در حوضه آبریز رودخانه‌ای در تایلند با استفاده از دو روش آماری و فیزیکی، مقادیر PMP را با تداوم‌های یک، دو و سه روزه به منظور برآورد PMF جهت کاربرد در سد احداث شده بر روی همان رودخانه محاسبه کردند و در نهایت روش فیزیکی را برای برآورد مناسب‌تر تشخیص دادند (Tingsanchal and Tanmanee, 2012). چاوان و سرینیواس به برآورد PMP_{24} در حوضه آب‌ریزی در هندوستان با دو نگرش هرشفیلد و فیزیکی پرداختند. نتایج آن‌ها برای دو نگرش هرشفیلد در محدوده ۸۰۰–۲۹۰ میلی‌متر و روش فیزیکی در محدوده ۸۷۰–۲۳۰ میلی‌متر برآورد شد. همچنین عامل فراوانی برای این حوضه آب‌ریز ۸/۱۸ به دست آمد (Chavan and Srinivas, 2015). در ایران نیز مطالعات متعددی در این زمینه انجام گرفته است. بختیاری (۱۳۸۰) به منظور بررسی مقادیر PMP در ۴ ایستگاه منتخب جنوب شرق ایران به روش آماری با تکیه بر روش سازمان هواشناسی جهانی (WMO)[1] درصدهای مشاهده شده PMP در ایستگاه‌های مورد مطالعه و تأثیر طول دوره آماری بر PMP_{24} را مورد بررسی قرار داد و حداکثر بارش محتمل ۱۲ساعته (PMP_{12}) را با استفاده از زمان رگبار برآورد کرد. خلجی‌پیربلوطی و سپاس‌خواه (۱۳۸۱) به منظور رسم منحنی‌های PMP_{24} با روش‌های مختلف آماری و مقایسه آن با روش فیزیکی برای ایران نشان دادند که مقادیر PMP_{24} محاسبه شده از روش‌های آماری با روش فیزیکی اختلاف دارد ولی نتایج روش بت‌لاهمی نسبت به دیگر روش‌های آماری، در مقایسه با روش فیزیکی اختلاف کم‌تری دارد. پایمزد و همکاران (۱۳۸۴) این روش را برای حوضه‌هایی در شرق استان هرمزگان و قهرمان (۲۰۰۸) آن را برای حوضه آب‌ریز اترک به کار برده‌اند و نگرش تعدیل‌یافته را پیشنهاد نمودند. همچنین برآوردهای مربوط به روش آماری هرشفیلد به میزان قابل توجهی بیش‌تر بود. جهاندیده و همکاران (۱۳۹۶) به منظور برآورد PMP منطقه‌ای در استان فارس دو روش آماری هرشفیلد را مدنظر قرار دادند. نتایج حاصل برای نگرش استاندارد بیش از دو و نیم برابر نگرش تعدیل‌یافته برآورد شد. افضلی گروه و همکاران (۲۰۱۸) به برآورد PMP_{24} با دو نگرش استاندارد و تعدیل یافته هرشفیلد و روش فیزیکی برای حوضه آب‌ریز قره‌سو پرداختند. بیش‌ترین مقدار برآورد شده PMP_{24} به ترتیب مربوط به نگرش استاندارد و تعدیل‌یافته بود که نشان از برآورد بیش از حد PMP_{24} در نگرش استاندارد (بیش از دو برابر نگرش تعدیل‌یافته و بیش از سه برابر روش فیزیکی) بود. از این رو ایشان برآورد PMP_{24} با نگرش استاندارد را برای حوضه قره‌سو مناسب ندانسته و روش فیزیکی را برای این منظور پیشنهاد نمودند.

با توجه به نتایج پژوهش‌های انجام شده و توجه به رژیم بارندگی استان بوشهر که تحت تأثیر سامانه مدیترانه‌ای و سودانی است و سامانه سودانی در بارش‌های سیل‌آسای نیمه جنوبی و جنوب غرب کشور نقش اول را ایفا می‌کند، آگاهی از وقوع و مقدار بارش‌های سنگین و سیل‌آسا در این منطقه ضروری است. لازم به ذکر است که با بررسی پیشینه تحقیقات مشخص گردید که تا کنون استفاده از طوفان های فراگیر در برآورد PMP در استان بوشهر مورد ارزیابی و مقایسه با نتایج حاصل از روش های آماری قرار نگرفته و یا مطالعات بسیار اندکی برای تک ایستگاه در این استان به انجام رسیده است. بنابراین در این پژوهش سعی شده با برآورد PMP_{24} با روش‌های فیزیکی و دو نگرش آماری هرشفیلد و مقایسه نتایج آن‌ها با هم، ارزیابی از روش‌های برآورد PMP در استان بوشهر بر اساس آمار طولانی مدت انجام شود.

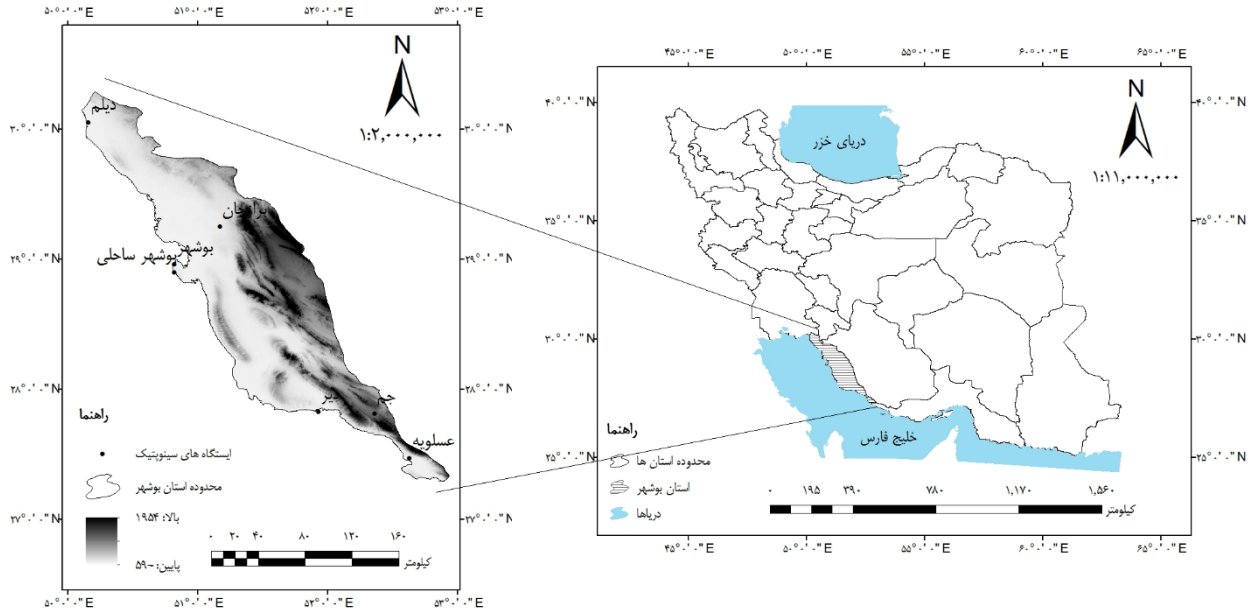
مواد و روش‌ها

منطقه مطالعاتی و داده‌های مورد استفاده

استان بوشهر با مساحت ۲۲۷۴۲ کیلومترمربع در جنوب غربی ایران و بین طول‌های جغرافیایی ´۵۰°۸ تا ´۵۲°۵۷ شرقی و عرض‌های جغرافیایی ´۲۷°۱۸ تا ´۳۰°۱۴ شمالی قرار گرفته است. از بین ایستگاه‌های سینوپتیک مورد مطالعه، ایستگاه سینوپتیک جم با ۶۵۵ متر و عسلویه با ۱ متر ارتفاع به ترتیب مرتفع‌ترین و کم ارتفاع‌ترین ایستگاه از سطح دریا در این منطقه می‌باشند (شکل۱).

پژوهش حاضر بر روی داده‌های دمای نقطه شبنم، سرعت باد، فشار سطح ایستگاه و فشار تبدیل شده به سطح دریا سه ساعته و بارش ۲۴ساعته ۷ ایستگاه سینوپتیک واقع در استان بوشهر با طول دوره آماری متفاوت انجام شده‌است. آمار مورد نظر طی سال‌های ۱۹۶۸ تا ۲۰۱۸ از سازمان هواشناسی کشور تهیه شد. جهت بررسی همگنی داده‌های بارش ایستگاه‌های مورد بررسی، از آزمون همگنی غیر پارامتری من‌کندال استفاده شد (WMO, 1986). طبق داده‌های اخذ شده حداکثر و حداقل بارش ۲۴ساعته به ترتیب مربوط به ایستگاه جم با مقدار ۱۶۸/۶ میلی‌متر و ایستگاه عسلویه با مقدار ۷۲/۷ میلی‌متر است (جدول۱).

1- World Meteorological Organization



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه و ایستگاه‌های مطالعاتی

جدول ۱- مشخصات جغرافیایی و بارش در ایستگاه‌های سینوپتیک مورد مطالعه در استان بوشهر

ردیف	نام ایستگاه	طول جغرافیایی (شرقی)	عرض جغرافیایی (شمالی)	ارتفاع (متر)	دوره آماری (سال)	میانگین بارش سالانه (میلی‌متر)	حداکثر بارش ۲۴ساعته مشاهده شده (میلی‌متر)
۱	بوشهر	۵۰°۸۲′	۲۸°۹۶′	۹/۰	۱۹۶۸-۲۰۱۸	۲۵۴/۹	۱۵۰/۰
۲	بوشهر ساحلی	۵۰°۴۹′	۲۸°۵۴′	۸/۴	۱۹۹۳-۲۰۱۸	۲۷۱/۲	۱۱۰/۹
۳	جم	۵۲°۳۶′	۲۷°۸۲′	۶۵۵/۰	۱۹۹۳-۲۰۱۸	۳۳۹/۶	۱۶۸/۶
۴	دیر	۵۱°۹۳′	۲۷°۸۳′	۴/۰	۱۹۹۴-۲۰۱۸	۲۲۳/۹	۱۵۶/۰
۵	دیلم	۵۰°۲۰′	۳۰°۰۵′	۳/۹	۲۰۰۱-۲۰۱۸	۲۴۱/۹	۱۱۹/۵
۶	برازجان	۵۱°۲۰′	۲۹°۲۵′	۸۹/۹	۲۰۰۶-۲۰۱۸	۲۰۳/۳	۱۱۷/۶
۷	عسلویه	۵۲°۳۸′	۲۷°۲۸′	۱/۰	۲۰۰۰-۲۰۱۸	۱۴۴/۱	۷۲/۷

روش آماری برآورد PMP

هرشفیلد یکی از ابداع کنندگان استفاده از روش آماری در تخمین PMP برای حوضه‌های کوچک در تمام نقاط دنیا است. لازمه این برآورد وجود یک سری زمانی از داده‌های حداکثر بارش سالانه ۲۴ساعته در نقاط مشاهده‌ای می‌باشد (Hershfield, 1961; Hershfield, 1965). روش هرشفیلد در تخمین PMP براساس معادله چاو در تحلیل فراوانی بارش، پایه‌ریزی شد و به صورت رابطه (۱) تعریف می‌شود (Chow, 1951).

$$X_t=\bar{X}_n+K_t.\sigma_n \quad (۱)$$

که در آن X_t حداکثر بارش سالانه با دوره بازگشت t سال، $\bar{X}_n$ متوسط بارش‌های سالانه، σ_n انحراف معیار بارش‌های سالانه و K_t عامل فراوانی متناظر با دوره بازگشت t سال می‌باشد. هرشفیلد ملاحظه کرد برای تخمین PMP یک عامل فراوانی وجود دارد که نباید از آن تخطی شود و بنابراین K_t را با K_m جایگزین کرد که در آن صورت X_t نیز با X_{pmp} تعویض می‌شود که به صورت رابطه (۲) تعریف می‌شود.

$$X_{pmp} = \bar{X} + K_m.\sigma_n \quad (۲)$$

WMO در سال ۱۹۸۶ یافته‌های هرشفیلد را تأیید و آن را به‌صورت یک دستور کار منتشر کرد (۲۲). در این روش با استفاده از یک نمودار K_m، از $\bar{X}_n$ به دست می‌آید، 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 بارش ۲۴ساعته مشاهده شده) محاسبه می‌شوند، با توجه به $\bar{X}_n$، σ_n، $\bar{X}_{n-1}$ و σ_{n-1}، ضرایبی برای تصحیح $\bar{X}_n$ و σ_n به دست می‌آید، $\bar{X}_n$ و σ_n تصحیح می‌شوند و

X_{pmp} محاسبه می‌شود. مقدار عامل فراوانی K_m از رابطه (۳) به دست می‌آید.

$$Km = \frac{X1-Xn-1}{\sigma n-1} \quad (۳)$$

که در آن X_1 حداکثر بارندگی مشاهده شده در سری داده‌ها، n-1 میانگین بارندگی‌های سالانه بدون احتساب بارندگی حداکثر و σ_{n-1} انحراف معیار بارندگی‌های سالانه بدون احتساب بارندگی حداکثر می‌باشد (Tingsanchali and Tanmanee., 2012). سپس بین ایستگاه‌های یک منطقه حداکثر مقدار K_m استخراج شده و از آن برای محاسبه PMP_{24} کلیه ایستگاه‌ها (با استفاده از رابطه ۲) استفاده می‌شود.

روش فیزیکی برآورد PMP

این روش براساس مطالعه رگبارهای شدید پایه‌گذاری شده است. پس از اعمال ضریب‌هایی به منظور حداکثر نمودن مقادیر رگبارها، اقدام به برآورد PMP می‌گردد. این برآورد به حالت‌های غیرکوهستانی و کوهستانی تقسیم می‌شوند. در روش غیرکوهستانی رگبارهای مشاهده شده به عنوان یک شاخص مورد بررسی قرار گرفته و پس از تخمین رطوبت جو و حداکثر نمودن آن، و در صورت لزوم پس از حداکثر نمودن سرعت باد و اعمال دو ضریب مربوطه، مقدار PMP برآورد می‌گردد. اما در روش کوهستانی مقدار بارش با توجه به جهت و سرعت جریان هوای مرطوب، ارتفاع و چگونگی قرار دادن کوهستان تغییر می‌پذیرند. برآورد PMP در نواحی کوهستانی به ترکیبی از دو عامل باران‌های کوهستانی (که تحت تأثیر کوهستان می‌باشد) و باران‌های هم‌گرایی ناشی از جریان جو (که مستقل از تأثیر کوهستان می‌باشد) است. این دو مورد باید در تخمین PMP در این نواحی مورد توجه قرار گیرند، بستگی دارد (USBR, 1961; USBR, 1966). جهت انتخاب طوفان شدید و فراگیر، اجرای مدل هم‌گرایی شناسایی طوفان‌های شدید و فراگیر (حداکثر تقرب هوا) الزامی است. برای به دست آوردن تاریخ وقوع این طوفان‌ها که دارای بالاترین بارش در طول دوره آماری هستند، داده‌های روزانه بارش ایستگاه‌های منتخب اخذ شده از سازمان هواشناسی کشور به عنوان منبع موثق، به کار گرفته شد. پس از یکسان سازی سال‌های آماری کل ایستگاه‌های مورد مطالعه و بررسی دقیق آمار روزانه بارش ایستگاه‌های مورد مطالعه استان بوشهر، تعداد سه طوفان شدید که دارای بیش‌ترین بارش بودند شناسایی و استخراج گردید. با توجه به بررسی‌های دوره آماری در این حوضه و همچنین بیشینه بارش‌های ریزش شده در منطقه سه طوفان فراگیر، هفتم ژانویه ۲۰۱۴، یازدهم نوامبر ۲۰۱۵ و هفدهم فوریه ۲۰۱۷، با تداوم ۲۴ساعته انتخاب گردید. شدیدترین بارش با ۱۶۴/۶ میلی‌متر مربوط به طوفان هفدهم فوریه ۲۰۱۷ در ایستگاه جم ثبت گردیده است (جدول۲).

جدول ۲- داده‌های بارش مربوط به طوفان‌های منتخب در ایستگاه‌های مطالعاتی

ایستگاه	تاریخ وقوع		
	۲۰۱٤/۰۷/۰۱	۲۰۱۵/۱۱/۱۱	۲۰۱۷/۱۷/۰۲
بوشهر	۳۰/۹	۳۸/۰	۱۴/۰
بوشهر ساحلی	۱۶/۰	۱۴/۰	۱۸/۱
جم	۱۰۹/۶	۱۲۶/۶	۱۶۴/۶
دیر	۵/۵	۱۵/۸	۱۵۶/۰
دیلم	۸۱/۱	۳۵/۲	۲۵/۰
برازجان	۱۱۳/۵	۲۷/۰	۴۸/۵
عسلویه	۳۲/۹	۹/۵	۴۷/۴

مهم‌ترین پارامترها برای برآورد PMP یک طوفان، بیشینه‌سازی دمای نقطه شبنم و سرعت باد است که از اهمیت بالایی برخوردارند، چون یک عامل مهم بروز ناپایداری و ریزش بارش‌های شدید به حساب می‌آید. در این روش برآورد، که به روش هم‌گرایی موسوم است، مقدار PMP بر اساس بیشینه‌سازی دمای نقطه شبنم انجام می‌شود. بدین‌ترتیب که بر مبنای انتخاب حداکثر طوفان رویداده در یک منطقه و با لحاظ کردن ضرایب ناشی از آب قابل بارش، ارتفاع PMP، قابل محاسبه است. مقادیر حداکثر بخار آب جوی مورد استفاده برای بیشینه‌سازی طوفان، معمولاً از روی حداکثر تداوم ۱۲ساعته دمای نقطه شبنم در سطح ۱۰۰۰ میلی‌بار برآورد می‌شود (USBR, 1966). بر این پایه در پژوهش حاضر، حداکثر تداوم ۱۲ساعته دمای نقطه شبنم طوفان و میانگین فشارسطح ایستگاه از طریق داده‌های خام با فواصل زمانی سه ساعته از دو روز قبل از شروع طوفان تا ۲۴ ساعت پس از اتمام آن برآورد گردید. سپس در روی نمودار جو بالا (SKEW/T)[1] ، محل برخورد دمای نقطه شبنم و متوسط فشار طوفان، مشخص و در همین نقطه، نسبت اختلاط محاسبه گردید. در مرحله بعد، نقطه مورد نظر به موازات

1- Skew Temperature Diagram or Skew-T Log-P diagram

خط آدیاباتیک اشباع تا سطح ۱۰۰۰ میلی‌بار ادامه می‌یابد. نقطه حاصل در حقیقت بیشینه دمای نقطه شبنم برای طوفان می‌باشد. نسبت اختلاط را در این سطح نیز به دست می‌آوریم. شایان ذکر است این کار برای تمامی طوفان‌های منتخب در دوره بازگشت ۱۰۰ساله با استفاده از توزیع مناسب آماری صورت گرفت. برای محاسبه ضریب باد ابتدا با استفاده از داده‌های خام سه ساعته از دو روز قبل تا یک روز بعد از اتمام طوفان، حداکثر تداوم ۱۲ساعته سرعت باد برای هر ایستگاه محاسبه گردید. سپس بیشینه دمای نقطه شبنم و سرعت باد با تداوم ۱۲ساعته با استفاده از بسته نرم‌افزاری SMADA, Ver. 2.13[1] برای دوره بازگشت ۱۰۰ سال برآورد گردید. برای محاسبه ضریب رطوبت، بدین ترتیب عمل شد که نسبت اختلاط[2] حاصل در تراز ۱۰۰۰ میلی‌بار برای دوره بازگشت ۱۰۰ سال بر نسبت اختلاط در تراز ۱۰۰۰ میلی‌بار هر طوفان در هر ایستگاه تقسیم شد تا ضریب رطوبت طوفان مورد نظر طبق رابطه (۴) به‌دست آید.

$$Mp = \frac{Mr1}{Mr2} \quad (۴)$$

که در آن Mp ضریب رطوبت، Mr_1 نسبت اختلاط با دوره بازگشت ۱۰۰سال و Mr_2 نسبت اختلاط طوفان می‌باشد. بهترین راه محاسبه آب قابل بارش بدست آوردن گرم‌ترین اشباع بی‌درو است. شایان ذکر است که نقطه شبنم ثابت نیست و در هنگام ریزش بارش‌ها تغییر می‌کند از این رو بیشینه تداوم ۱۲ساعته نقطه شبنم برای دوره‌های ۱۰ روز اول، دوم و سوم از هر ماه در طول دوره آماری برای ایستگاه‌های بوشهر فرودگاه، بوشهر ساحلی و دیرطی سال‌های ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۸ استخراج گردید. بیشینه سازی حداکثر سرعت باد با تداوم ۱۲ساعته برای هر دوره ۱۰ روزه از ماه در دوره آماری برای دوره بازگشت ۱۰۰ سال با استفاده از توزیع مناسب آماری برآورد و بر حداکثر سرعت باد طوفان تقسیم تا ضریب باد مورد نظر طبق رابطه (۵) به دست آید.

$$Mw = \frac{Mw1}{Mr2} \quad (۵)$$

که در آن Mw ضریب باد، Mw_1 سرعت باد حداکثر شده در دوره بازگشت ۱۰۰سال و Mw_2 سرعت باد حداکثر شده طوفان می‌باشد. ضریب طوفان مورد نظر از حاصل ضرب ضریب رطوبت در ضریب باد طبق رابطه (۶) حاصل می‌شود.

$$Mf = Mp \cdot Mw \quad (۶)$$

که در آن Mf ضریب طوفان می‌باشد. نقشه‌های هم‌باران، به منظور تبدیل مقدار بارش طوفان‌ها به سطح و استفاده از آن‌ها در محاسبه میزان بارش تجمعی، در محیط GIS, ver. 10.3.1[3] و با استفاده از روش درون‌یابی IDW[4] رسم گردید. سپس با استفاده از منحنی‌های هم‌باران، حجم بارش و میزان متوسط بارش در سطح تجمعی برای هر طوفان محاسبه گردید. پس از اعمال ضرایب بیشینه‌سازی رطوبت در مقدار متوسط بارش هر طوفان در دوره بازگشت ۱۰۰ساله، PMP_{24} برای هر طوفان و از آن جا مقدار PMP_{24} برای استان بوشهر محاسبه گردید. مراحل کار در بیشینه‌سازی‌ها و محاسبه ضرایب درروش سینوپتیک و نیز سایر روش‌های برآورد PMP به طور کامل در ویرایش دوم گزارش شماره ۳۳۲ سازمان هواشناسی جهانی تحت عنوان "راهنمای برآورد حداکثر بارش محتمل، هیدرولوژی عملی و نیز ویرایش سوم همان گزارش توضیح داده شده است (WMO, 1986; WMO, 2009).

نتایج و بحث

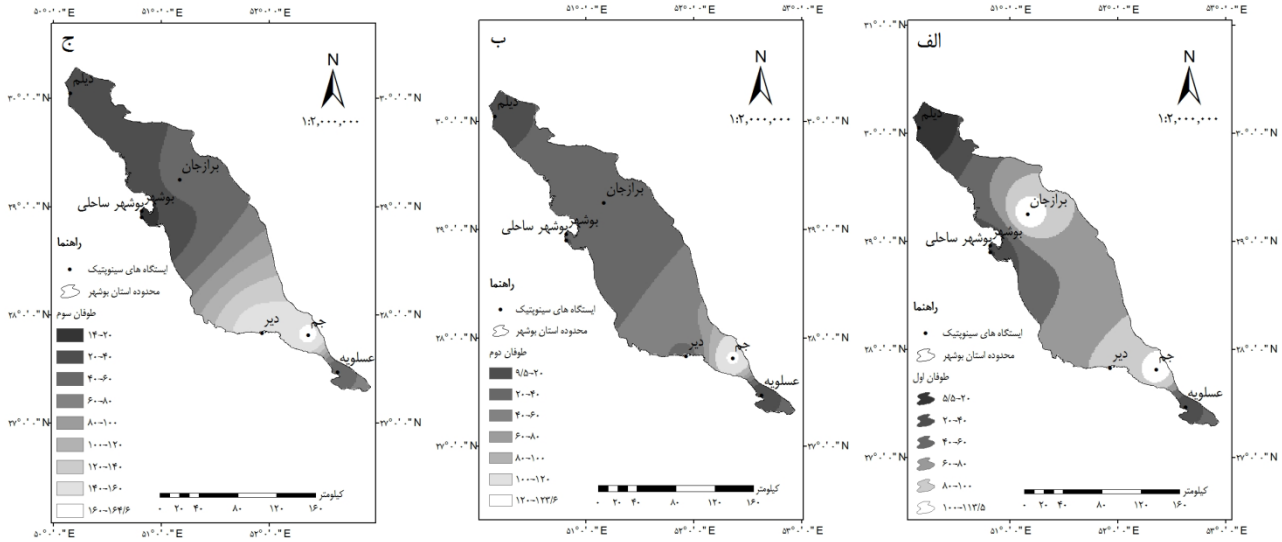
نقشه‌های هم‌باران سه طوفان منتخب و خروجی‌های دو نگرش هرشفیلد مربوط به استان بوشهر در محیط GIS رسم گردید. سپس متوسط بارش در سطح تجمعی با استفاده از میزان بارش بین منحنی‌های هم‌باران، محاسبه و برآورد شد. لازم به ذکر است که با توجه به محدودیت تعداد صفحات مقاله، تنها نمودارها و جدول‌های مربوط به طوفان اول ارائه شده است. اما تحلیل‌ها برای کلیه طوفان‌ها و دو نگرش هرشفیلد ارائه شده است. با توجه به نقشه‌های هم‌باران سه طوفان منتخب، بیشترین مساحت بارش در طوفان دوم بین سطح ۲۰ تا ۴۰ میلی‌متر رخ داده است (شکل۲).

به منظور نشان دادن نحوه توزیع بارش در زمان و سطح، سطوح واقع شده بین دو خطوط هم‌باران، در میانگین بارش دو خط هم‌باران ضرب و سپس به طور تجمعی با یکدیگر جمع گردید و پس از محاسبه به کل سطح منطقه تقسیم شد. متوسط بارش طوفان اول در سطح استان بوشهر ۶۴/۸ به دست آمد (جدول۳).

استخراج منحنی‌های عمق-مساحت-تداوم (DAD)

برای ترسیم منحنی‌های DAD[5] سطوح بین دو خط هم‌باران در میانگین بارش دو خط هم‌باران ضرب و سپس به طور تجمعی با یکدیگر جمع شدند و سپس به سطح کل منطقه تقسیم شدند. بر اساس این منحنی ها، مشاهده می‌شود با افزایش مساحت، میزان بارندگی بر روی سطح کاهش می‌یابد (شکل۳).

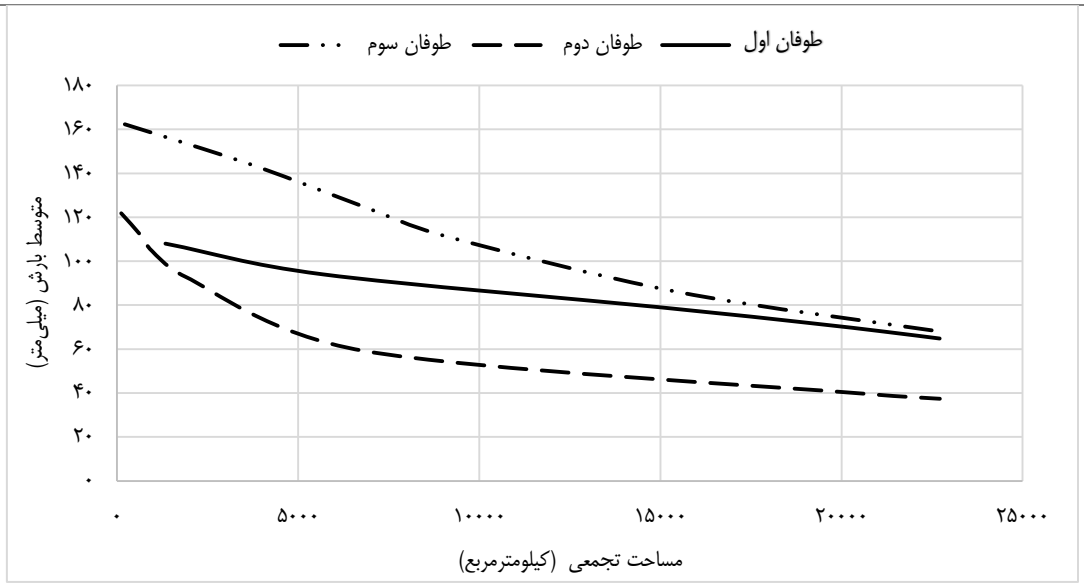
1- Storm water Management and Design Aid Software
2- Mixing Ratio
3- Geography information system
4- Inverse Distance Weighted
5 Depth-Area-Duration



شکل ۲- نقشه هم‌باران الف) طوفان اول ب) طوفان دوم ج) طوفان سوم در استان بوشهر

جدول ۳- ارتفاع، مساحت و حجم بارش محاسبه شده در طوفان اول

میزان بارش بین دو منحنی هم باران (میلی‌متر)	میانگین بارش بین دو خط هم‌باران (میلی‌متر)	سطح بین دو خط هم‌باران (کیلومترمربع)	حجم بارش (۱۰۰۰ مترمکعب)	مساحت تجمعی (کیلومترمربع)	حجم تجمعی بارش (۱۰۰۰ مترمکعب)	میزان متوسط بارش در سطح تجمعی (میلی‌متر)
۱۱۳/۵–۱۰۰	۱۰۶/۸	۱۳۳۹	۱۴۳۰۰۵	۱۳۳۹	۱۴۳۰۰۵	۱۰۶/۸
۱۰۰–۸۰	۹۰/۰	۴۳۵۱	۳۹۱۵۹۰	۵۶۹۰	۵۳۴۵۹۵	۹۴/۰
۸۰–۶۰	۷۰/۰	۹۲۵۳	۶۴۷۷۱۰	۱۴۹۴۳	۱۱۸۲۳۰۵	۷۹/۱
۶۰–۴۰	۵۰/۰	۴۰۹۹	۲۰۴۹۵۰	۱۹۰۴۲	۱۳۸۷۲۵۵	۷۲/۹
۴۰–۲۰	۳۰/۰	۲۱۱۴	۶۳۴۲۰	۲۱۱۵۶	۱۴۵۰۶۷۵	۶۸/۶
۲۰–۵/۵	۱۲/۸	۱۵۵۴	۱۹۸۹۱	۲۲۷۱۰	۱۴۷۰۵۶۶	۶۴/۸



شکل ۳- منحنی‌های عمق-مساحت-تداوم طوفان‌های منتخب با تداوم ۲۴ساعته در منطقه مطالعاتی

نتایج نگرش استاندارد هرشفیلد

برای برآورد PMP_{24} با این روش، ۷ ایستگاه مورد بررسی قرار گرفت و مقادیر $\bar{X}_{n-1}$، $\bar{X}_n$، $\bar{\sigma}_{n-1}$، $\bar{\sigma}_n$ و CV هر ایستگاه محاسبه گردید. در این نگرش مقادیر K_t و PMP_{24} (رابطه۱) به ترتیب در محدوده ۱۶/۲ تا ۱۷/۹ و ۴۳۳/۵ تا ۸۸۰/۶ میلی‌متر به دست آمد (جدول۴). از نکات قابل توجه نتایج به دست آمده، تغییرات زیاد نتایج بدست آمده بین ایستگاه‌های مختلف با دامنه تغییرات ۴۴۷/۱ میلی‌متر می‌باشد که این امر بیشتر به دلیل تأثیر پذیری روش فوق از طول دوره آماری است. در نهایت ضریب کاهش سطح منطقه با تقسیم مقادیر برآورد شده PMP_{24} کلیه ایستگاه‌ها بر بزرگترین مقدار برآورد شده PMP_{24} (ایستگاه جم) به دست آمد. با توجه به شکل (۴)، ضریب کاهش سطح منطقه برای نگرش استاندارد ۰/۷۵ به دست آمد و با اعمال این ضریب در بزرگ‌ترین مقدار برآورد شده PMP_{24} نقطه‌ای (ایستگاه جم)، مقدار PMP_{24} منطقه‌ای در نگرش استاندارد برای استان بوشهر ۶۶۰/۵ میلی‌متر برآورد گردید.

نتایج نگرش تعدیل‌یافته هرشفیلد

در این قسمت مقادیر K_m و PMP_{24} ایستگاه‌های منطقه به ترتیب از رابطه‌های (۲) و (۳) برای هر ایستگاه برآورد شد. در این نگرش مقدار K_m بین ۲/۳۹ تا ۴/۶۴ تغییر کرد (جدول۴)، که کاهش قابل ملاحظه‌ای را نسبت به نگرش استاندارد نشان می‌دهد. حداکثر مقدار K_m بین ایستگاه‌های انتخابی ۴/۶۴ بدست آمد که می‌تواند به‌عنوان یک ضریب ناحیه‌ای در محاسبه PMP_{24} مورد استفاده قرار گیرد. با استفاده از این مقادیر و متوسط داده‌ها ($\bar{X}_n$) و انحراف معیار داده‌ها (σ_n) برای هر ایستگاه، مقدار PMP_{24} محاسبه و از ضریب ۱/۱۳ جهت تصحیح مربوط به تعداد واحدهای مشاهداتی در محدوده زمانی مورد نظر استفاده شد. این روش PMP_{24} را بین ۱۰۳/۶ تا ۲۱۳/۴ میلی‌متر تخمین زد (جدول۴). این نتایج نشان دهنده نوسان نسبتاً کم نتایج بین ایستگاه‌های مختلف با دامنه تغییرات ۱۰۹/۸ میلی‌متر می‌باشد که این امر معلول تأثیر پذیری کم روش فوق از طول دوره آماری می‌باشد. با توجه به شکل (۴)، ضریب کاهش سطح منطقه برای نگرش تعدیل‌یافته ۰/۸۵ به دست آمد و با اعمال این ضریب در بزرگ‌ترین مقدار برآورد شده PMP_{24} نقطه‌ای (ایستگاه جم)، مقدار PMP_{24} منطقه‌ای در نگرش تعدیل‌یافته برای استان بوشهر ۱۸۱/۴ میلی‌متر برآورد گردید.

نتایج روش فیزیکی

با توجه به نقشه طوفان‌های منتخب و با استفاده از بیشینه‌سازی سرعت باد و حداکثر دمای نقطه شبنم، مقدار میانگین PMP_{24} برای استان بوشهر ۱۳۹/۹ برآورد گردید. بر مبنای مطالب گفته شده، نتایج بیشینه‌سازی دمای نقطه شبنم و نسبت اختلاط و مقادیر ضرایب رطوبت برآورد شده با رابطه (۴) در جدول (۵) و همچنین مقادیر بیشینه‌سازی شده حداکثر سرعت باد برآورد شده با رابطه (۵) در جدول (۶) ذکرشده است.

در آخرین مرحله، پس از اعمال ضرایب بیشینه‌سازی رطوبت در مقدار متوسط بارش هر طوفان، مقدار PMP_{24} برای هر طوفان و سپس مقدار PMP_{24} برای استان بوشهر به دست آمد. بالاترین ضریب طوفان مربوط به طوفان هفتم ژانویه ۲۰۱۴ با مقدار ۲/۸۲ می‌باشد (جدول۷).

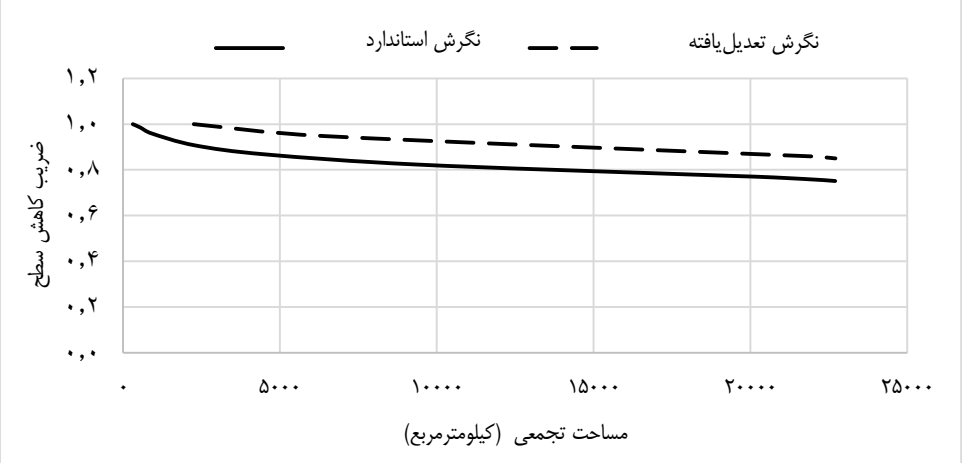
جدول ٤- مقادیر PMP_{24} و حداکثر بارش ٢٤ساعته در نگرش‌های استاندارد و تعدیل‌یافته هرشفیلد در منطقه مطالعاتی

ایستگاه	حداکثر بارش ٢٤ساعته مشاهده شده (میلی‌متر)	میانگین حداکثر بارش‌های ٢٤ساعته (میلی‌متر)	CV	نگرش استاندارد		نگرش تعدیل‌یافته	
				K_t	PMP_{24} (mm)	K_m	PMP_{24} (mm)
بوشهر	۱۵۰/۰	۵۰/۳	۰/۵۴	۱۷/۵	۵۶۲/۶	۴/۳۲	۱۸۰/۴
بوشهرساحلی	۱۱۰/۹	۵۶/۷	۰/۴۶	۱۶/۸	۵۹۹/۵	۲/۳۹	۱۳۹/۵
جم	۱۶۸/۶	۷۵/۶	۰/۵۳	۱۶/۲	۸۸۰/۶	۲/۶۱	۲۱۳/۴
دیر	۱۵۶/۰	۵۹/۵	۰/۴۹	۱۶/۶	۵۶۹/۵	۴/۵۷	۲۰۴/۹
دیلم	۱۱۹/۵	۴۷/۷	۰/۵۱	۱۷/۷	۵۱۴/۱	۴/۶۴	۱۷۳/۵
برازجان	۱۱۷/۶	۴۸/۴	۰/۶۶	۱۷/۴	۷۵۷/۰	۲/۸۰	۱۶۶/۵
عسلویه	۷۲/۷	۴۱/۸	۰/۴۰	۱۷/۹	۴۳۳/۵	۲/۵۴	۱۰۳/۶

نتیجه‌گیری

بارش‌های شدید و سیلاب‌های سنگین از مهم‌ترین مخاطرات طبیعی محسوب می‌شوند که پیامدهای اجتماعی زیادی در سرتاسر نقاط دنیا به جای گذاشته‌اند. هدف اصلی از این پژوهش محاسبه

PMP_{24} در کل استان بوشهر به دو روش هرشفیلد و فیزیکی و مقایسه این دو با یکدیگر بوده است. برای این منظور جهت تخمین PMP_{24} از ۷ ایستگاه همدیدی واقع در استان بوشهر استفاده و نتایج به دست آمده به عنوان معیاری جهت بررسی دقت روش‌های فوق مقایسه گردید. نسبت PMP_{24} به حداکثر بارش ۲۴ساعته به عنوان یک معیار مستقل از شرایط آب و هوایی در منطقه مطالعاتی نشان داد که در مقایسه با نگرش استاندارد، نگرش تعدیل‌یافته و فیزیکی پایدارتر بوده و اختلاف کم‌تری با یک دارند.



شکل ٤- منحنی‌های ضریب کاهش سطح در دو نگرش هرشفیلد برای استان بوشهر

جدول ۵- مقادیر ضریب بیشینه سازی رطوبت در روش فیزیکی در ایستگاه‌های مطالعاتی

تاریخ وقوع	ایستگاه		فشار در سطح ایستگاه		فشار در سطح دریا		ضریب رطوبت	متوسط ضریب رطوبت
			نقطه شبنم (سانتی-گراد)	نسبت اختلاط	نقطه شبنم (سانتی-گراد)	نسبت اختلاط		
۲۰۱۴/۰۷/۰۱	بوشهر	در زمان طوفان	۹/۸۰	۸/۲۵	۹/۹۰	۸/۳۰	۱/۶۶	۱/۷۱
		دوره بازگشت	۱۷/۱۰	۱۳/۷۵	۱۷/۲۰	۱۳/۸۰		
	بوشهر ساحلی	در زمان طوفان	۱۰/۹۰	۸/۹۵	۱۱/۰۰	۹/۰۰	۱/۶۷	
		دوره بازگشت	۱۸/۷۰	۱۵/۰۰	۱۸/۸۰	۱۵/۰۵		
	دیر	در زمان طوفان	۱۱/۷۰	۹/۳۰	۱۱/۸۰	۹/۳۵	۱/۸۰	
		دوره بازگشت	۲۱/۰۰	۱۶/۷۵	۲۱/۱۰	۱۶/۸۰		
۲۰۱۵/۱۱/۱۱	بوشهر	در زمان طوفان	۱۵/۵۰	۱۲/۳۰	۱۵/۶۰	۱۲/۳۵	۱/۵۷	۱/۴۰
		دوره بازگشت	۲۳/۵۰	۱۹/۴۰	۲۳/۶۰	۱۹/۴۵		
	بوشهر ساحلی	در زمان طوفان	۱۷/۱	۱۳/۸۰	۱۷/۲۰	۱۳/۸۵	۱/۵۰	
		دوره بازگشت	۲۴/۹۰	۲۰/۸۰	۲۵/۰۰	۲۰/۸۵		
	دیر	در زمان طوفان	۲۲/۹۰	۱۹/۰۰	۲۳/۰۰	۱۹/۰۵	۱/۱۲	
		دوره بازگشت	۲۵/۲۰	۲۱/۲۵	۲۵/۳۰	۲۱/۳۰		
۲۰۱۷/۱۷/۰۲	بوشهر	در زمان طوفان	۱۵/۰	۱۲/۱۰	۱۵/۱	۱۲/۱۵	۱/۳۴	۱/۳۳
		دوره بازگشت	۱۹/۷	۱۶/۲۵	۱۹/۸	۱۶/۳۰		
	بوشهر ساحلی	در زمان طوفان	۱۷/۲	۱۳/۸۵	۱۷/۳	۱۳/۹۰	۱/۳۵	
		دوره بازگشت	۲۲/۷	۱۸/۸۰	۲۲/۸	۱۸/۸۵		
	دیر	در زمان طوفان	۱۸/۸	۱۵/۳۰	۱۸/۹	۱۵/۳۵	۱/۳۱	
		دوره بازگشت	۲۴/۱	۲۰/۰۰	۲۴/۲	۲۰/۰۵		

جدول ٦- مقادیر ضریب بیشینه سازی حداکثر سرعت باد در روش فیزیکی برای استان بوشهر

تاریخ وقوع	ایستگاه	حداکثر سرعت باد در تاریخ وقوع طوفان (متربرثانیه)	سرعت باد بیشینه سازی شده در دوره بازگشت (متربرثانیه)	ضریب باد	متوسط ضریب حداکثر سرعت باد
۲۰۱۴/۰۷/۰۱	بوشهر	۶	۱۰/۱	۱/۶۸	۱/۶۵
	بوشهرساحلی	۵	۸/۷	۱/۷۴	
	دیر	۷	۱۰/۸	۱/۵۴	
۲۰۱۵/۱۱/۱۱	بوشهر	۸	۱۰/۱	۱/۲۶	۱/۵۹
	بوشهرساحلی	۵	۱۰/۳	۲/۰۶	
	دیر	۸	۱۱/۶	۱/۴۵	
۲۰۱۷/۱۷/۰۲	بوشهر	۹	۱۵/۳	۱/۷۰	۱/۷۰
	بوشهرساحلی	۷	۱۳/۷	۱/۹۶	
	دیر	۱۰	۱۴/۹	۱/۴۹	

جدول ۷- مقادیر PMP_{24} برآورد شده به روش فیزیکی در استان بوشهر

تاریخ وقوع	متوسط بارش (میلی‌متر)	ضریب رطوبت	ضریب باد	ضریب طوفان	حداکثر بارش محتمل ۲٤ساعته (میلی‌متر)
۲۰۱۴/۰۷/۰۱	۶۴/۷	۱/۷۱	۱/۶۵	۲/۸۲	۱۸۲/۶
۲۰۱۵/۱۱/۱۱	۳۷/۴	۱/۴۰	۱/۵۹	۲/۲۳	۸۳/۳
۲۰۱۷/۱۷/۰۲	۶۸/۰	۱/۳۳	۱/۷۰	۲/۲۶	۱۵۳/۷

این در حالی است که در نگرش استاندارد این فاصله زیاد می‌باشد. این موضوع با نتایج چاوان و سرینیواس (۲۰۱۵) و افضلی گروه و همکاران (۲۰۱۸) مطابقت دارد. در دو نگرش هرشفیلد، مقادیر K_t و PMP_{24} با تغییرات قابل ملاحظه‌ای نسبت به هم به دست آمد. به طور قطع نوسان زیاد در نتایج، منجربه نااطمینانی و عدم قطعیت می‌گردد. از طرفی با مقایسه نتایج به دست آمده، اطمینان به استفاده از روش فیزیکی را افزایش می‌دهد. بنابراین برای محاسبه PMP_{24} بهتر است در صورت امکان، و با توجه به وضعیت مالی پروژه و درجه دقت مورد نیاز، از روش فیزیکی استفاده گردد. در غیر این صورت، می‌توان از روش آماری هرشفیلد (ترجیحاً نگرش تعدیل‌یافته) برای محاسبه PMP_{24} نقطه‌ای استفاده نمود. مقادیر برآورد شده با استفاده از نگرش استاندارد هرشفیلد دارای دوره بازگشت بسیار بالا می باشد (طبق مطالعه کوتسیانیس (۱۹۹۹) دوره بازگشت حدود ۶۰۰۰ سال)، که به طور غیر ضروری هزینه‌های طراحی را بالا می‌برد.

منابع

بختیاری، ب. ۱۳۸۰. بررسی مقادیر حداکثر بارش محتمل در ۴ ایستگاه منتخب جنوب شرق ایران به روش آماری. اولین کنفرانس ملی بررسی راه‌کارهای مقابله با بحران آب. اسفند ماه، دانشگاه زابل.

پایمزد، ش.، مرید، س و قائمی ه. ۱۳۸۴. برآورد حداکثر بارندگی محتمل در شرایط کمبود آمار و اطلاعات، مطالعه موردی، شرق استان هرمزگان. مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی. ۱،۱۲: ۸۳-۹۲.

جهاندیده، ز.، بختیاری، ب و قادری، ک. ۱۳۹۶. استخراج منحنی های عمق- مساحت- تداوم به منظور برآورد حداکثر بارش محتمل در استان فارس. تحقیقات منابع آب ایران، سال ۲،۱۳: ۲۰۶-۱۹۹. (یادداشت فنی)

خلجی پیربلوطی، م و سپاسخواه، ع.ر. ۱۳۸۱. رسم منحنی‌های حداکثر بارش محتمل ۲۴ساعته با روش‌های مختلف آماری و مقایسه آن با روش سینوپتیکی برای ایران. علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی. ۶،۱.

رضایی‌پژند، ح. ۱۳۸۰. کاربرد آمار و احتمال در منابع آب. انتشارات دانشگاه آزاد مشهد. ۴۵۶.

Afzali-Gorouh, Z., Bakhtiari, B., and Kourosh, Q. 2016. Probable maximum precipitation estimation in a humid climate. Qareh-Su Basin, Golestan province,

Hershfield, D. M. 1965. Method for estimating probable maximum precipitation, Journal of America. Water works association. 57:965-972.

Koutsoyainnis, D. 1999. A probabilistic view of Hershfild's method for estimating probable maximum precipitation. Water Resources Research. 35.4:1313-1322.

Rakhecha, P. R., and Clark, C. 1999. Revised Estimates of One-day Probable Maximum Precipitation (PMP) for India, Meteorological Applications. 6.4:343-350.

Tingsanchali, T., and Tanmanee, S. 2012. Assessment of Hydrological Safety of Mae Sruai Dam, Thailand. Procedia Engineering. 32:1198-1204.

USBR, 1973. Designs of Small Dams. US Dept. of the Interior. Washington. DC.

USBR, 1961. Interim Report-probable Maximum Precipitation in California. Hydrometeorological Report No. 36, US Dept. of Commerce. Washington DC.

USBR, 1966. Probable Maximum Precipitation. Northwest States. Hydrometeorological report No43, US Dept. of Commers., Washington DC.

WMO, 1986. Manual for estimation of probable maximum precipitation 2nd edn. Operational Hydrology Report. 1.332.

WMO, 2009. Manual on estimation of probable maximum precipitation. 3rd edition. Edition. WMO 1045. Geneva.

Iran. Natural Hazards Earth System Sciences. 18:3109–3119.

Bethlahmy, N. 1984. Long-term Hydrologic Events from Short-term Records. Journal of Hydrology. 68:141-148.

Campos, A., and Francisco, D. 1998. Statistical Estimate of PMP in San Luis Potosi, Mexico. Ingenieria Hidraulica en Mexico. 13:45-66.

Chavan, S.R., and Srinivas, V.V. 2015. Probable Maximum Precipitation Estimation for Catchments in Mahanadi River Basin. Aquatic Procedia. 4:892-899.

Chow, V.T. 1951. A general formula for hydrologic frequency analysis. Trans. Am. Geophysical. Union. 32:231-237.

Desa, M.N.M., and Rakhecha, P.R. 2007. Probable maximum precipitation for 24-h duration over an equatorial region, Malaysia. Atmospheric Research. 84:84-90.

Eliason, J. 1997. A Statistical model for extreme precipitation. Water Resources Research. 33.3:449-455.

Ghahreman, B. 2008. The estimation of one-day duration probable maximum precipitation over Atrak watershed in Iran, Iranian Journal of Science and Technology. 32. B2: 175-179.

Hershfield, D.M. 1961. estimating the probable maximum precipitation. Journal of Hydraulic. 887:99-116.

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 6, Vol. 13, Feb.-Mar. 2020, p. 1612-1622

نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۶، جلد ۱۳، بهمن - اسفند ۱۳۹۸، ص. ۱۶۲۲-۱۶۱۲

Evaluation of Two Physical and Statistical Approaches in Probable Maximum Precipitation Estimation in Bushehr Province

S. M. Farmanara[1], **B. Bakhtiari**[2*]
Recived: Jun.11, 2019 Accepted: Aug.21, 2019

Abstract

Probable maximum precipitation (PMP) is one of the most important components for water resources management. In this study, 24-hour probable maximum precipitation (PMP_{24}) was estimated and compared with Hershfield standard and modified and physical approaches in Bushehr province. Among the weather stations of Bushehr province, seven synoptic stations were selected. The data used to include 24-hour precipitation, dew point temperature, wind speed, station pressure, and sea-level pressure during 1968-2018 years. The results showed that in the Hershfield standard, the frequency factor and the PMP_{24} values in the studied stations were estimated in the range of 16.2-17.9 and 433.5-880.6 mm, respectively. Similarly, in the Hershfield modified, these values were estimated in the studied stations in the range of 2.39-44.64 and 103.61-23.4 mm, respectively. The regional PMP_{24} values for both the Hershfield standard and modified methods and physical approaches were estimated 660.5, 181.4, and 139.9 mm, respectively. In general, considering the physical characteristics of the air mass in the physical approach, the use of this approach is proposed to reduce uncertainty. If the Hershfield standard method is used, the design and construction costs increase unnecessarily.

Keywords: Extreme precipitation, Hershfield method, Synoptic approach, Widespread storms

1- M. Sc. Student of Water Engineering Department, Faculty of Agriculture, Shahid Bahonar University of Kerman
2- Associate Professor, Water Engineering Department, Faculty of Agriculture, Shahid Bahonar University of Kerman
(*- Corresponding Author Email: drbakhtiari@uk.ac.ir)