

برآورد آماری و همدیدی بارش بیشینه محتمل در حوضه‌های جنوب‌غربی ایران

ابراهیم فتاحی*^۱، علی دیده واصل^۲، تهمنه صالحی پاک^۳

۱- دانشیار، پژوهشگاه هواشناسی و علوم جو

۲. کارشناس پژوهشی پژوهشگاه هواشناسی و علوم جو

۳. دبیر دبیرستان‌های منطقه ۵ آموزش و پرورش تهران

چکیده

در این تحقیق با استفاده از سری داده‌های سالانه بارش بیشینه ۲۴ ساعته ۳۶ ایستگاه سینوپتیک در چهار حوضه جنوب‌غربی کشور به محاسبه بارش بیشینه محتمل از طریق روش آماری (هرشفیلد و هرشفیلد-دسا) و روش همدیدی (فیزیکی) پرداخته شده است. نتایج به دست آمده از روش آماری هرشفیلد نشان می‌دهد که بارش بیشینه محتمل نسبت به بارش بیشینه ۲۴ ساعته خیلی بیشتر از مقدار مورد انتظار بوده است (۳ تا ۴۶۶). اما در روش دسا مقادیر بارش بیشینه محتمل در مقایسه با روش هرشفیلد کاهش یافته (۱/۴۸ تا ۲/۱۹). ضرایب تغییرپذیری و چولگی محاسبه شده نیز نشانگر تغییرپذیری بالای مقادیر بارش بیشینه ۲۴ ساعته در ایستگاه‌های کم‌بارش‌تر منطقه نسبت به نواحی کوهستانی و پربارش‌تر است. این وضعیت برآورد بارش بیشینه محتمل در بخش‌های جنوبی و کم‌بارش حوضه‌های مورد مطالعه را غیرقابل اطمینان‌تر می‌نماید. نتایج بدست آمده در روش همدیدی که رخداد توفان ۱۶-۱۷ نوامبر ۱۹۹۴ را مورد بررسی قرار داده است با حداقل بارش بیشینه محتمل حدود ۲۴ میلیمتر در ایستگاه اهواز و حداکثر ۱۳۴ میلیمتر در ایستگاه مسجد سلیمان نسبت به هر دو روش آماری فوق از مقادیر کمتر و نزدیک به واقعیت برخوردار بوده است.

کلمات کلیدی: بارش بیشینه محتمل، روش همدیدی، روش آماری، حوضه‌های جنوب‌غرب ایران، روش هرشفیلد و دسا

مقدمه

دو روش فیزیکی و روش آماری هرشفیلد به یکدیگر نزدیک هستند. همچنین نتایج مشابه‌ای برای یک شبکه معین با استفاده از دو روش فوق توسط زاکوآ و همکاران^۳ (۲۰۰۵) تایید گردیده است.

شرینر^۴ و ریدل^۵ (۱۹۷۸) با استفاده از داده‌های ۵۵ ایستگاه در شرق رشته کوه راک، مبادرت به برآورد بارش بیشینه محتمل در دوره گرم سال طی دوره‌ی ۱۹۷۲-۱۹۷۸ نمودند. بررسی نشان می‌دهد که محاسبه بارش بیشینه محتمل در نواحی غربی آمریکا خیلی متفاوت با نواحی شرقی آن است بطوریکه در نواحی غربی شدیدترین توفان‌ها در فصل سرد سال رخ می‌دهند (Corrigan et al., 1999).

بررسی بارش بیشینه محتمل با روش آماری دسا^۶ در سال ۲۰۱۳ توسط سیدک^۷ و همکاران در مالزی نشان می‌دهد که بارش بیشینه محتمل بدست آمده نسبت به بیشینه بارش مشاهده شده با افزایش طول دوره از روند کاهشی برخوردار است.

بررسی بارش بیشینه محتمل در جنوبغرب ایران نشان می‌دهد که نتایج حاصل از روش آماری حدود دو برابر روش همدیدی بوده و کمترین اختلاف بین دو روش، مربوط به ایستگاه آبادان و بیشترین اختلاف در ایستگاه بوشهر برآورد شده است (Fattahi et al., 2010).

برآورد بارش بیشینه محتمل ۲۴ ساعته در استان زنجان به روش آماری، نشانگر انطباق قابل توجه روش هرشفیلد تصحیح شده با بارش بیشینه مشاهده‌ای ۲۴ ساعته در تمامی ایستگاه‌های منطقه مورد مطالعه در مقایسه با روش هرشفیلد بوده است (Shirdeli, 2012).

روش هرشفیلد تصحیح شده (روش دسا) توسط قهرمان (1375) برای حوضه آبریز اترک و توسط تاجبخش و همکاران (۱۳۸۸) در شمال شرق ایران بکار رفته است و در مقایسه با روش هرشفیلد اول، در برآورد بارش بیشینه محتمل انطباق بیشتری با واقعیت داشته و استفاده از این روش توصیه شده است.

بارش بیشینه محتمل به‌عنوان بزرگترین عمق بارش برای یک دوره‌ای محسوب می‌شود که از نظر هواشناختی احتمال رخداد آن در مکانی و زمانی ویژه وجود داشته باشد (WMO, 1986). بیشینه بارش محتمل در زمان‌های متفاوت در طراحی کانال‌های روباز، پل‌ها، زیرگذر جاده‌ها و راه آهن، کانال‌های زهکش شهری و زهکش فرودگاه‌ها، کنترل سیلاب و بسیاری از سازه‌های هیدرولیکی دیگر به کار می‌رود (Desa et al., 2001). پژوهشگران آب‌شناسی با استفاده از مقادیر بارش بیشینه محتمل به‌همراه توزیع زمانی و مکانی آن در زیرحوضه‌های آبریز مبادرت به محاسبه سیل بیشینه محتمل به منظور سد سازی روشی استاندارد از سال ۱۹۵۰ است، می‌نمایند. نگرش‌های مختلفی در خصوص برآورد بارش بیشینه محتمل در سه بخش اصلی به قرار زیر توسط پژوهشگران متعددی ارائه شده‌اند: (Foufoula-Hershfield (1961, 1965)

(Georgiou (1989), Douglas and Barros (2003), Rezacova و همکاران (۲۰۰۵) و Casas et al. (2010).
۱. روش آماری که دربرگیرنده تحلیل‌های آماری داده‌های بارش بیشینه محتمل در ایستگاه‌های بارانسنج هستند.

۲. نگرش بیشینه سازی و استحصال توفان‌های رخ داده به حوضه‌های مجاور.

۳. نگرش مبتنی بر مدل توفان که شامل بیشینه سازی فیزیکی مهار کننده بارش‌های همرفتی در یک منطقه است.

به منظور برآورد بارش بیشینه محتمل ۲۴ ساعته در حوضه رودخانه ماهانادی^۱ از دو روش بیشینه سازی رطوبت و روش آماری هرشفیلد استفاده شده و نقشه‌های بارش بیشینه محتمل ترسیم گردیده است، نتایج نشان می‌دهند که روش آماری هرشفیلد برآوردهای خیلی بزرگتری از بارش بیشینه محتمل در مقایسه با روش بیشینه سازی رطوبت بدست می‌دهد (Chavan and Srinivas, 2015).

در تحقیقی که توسط کاساز و همکاران^۲ (۲۰۱۰) در بارسلونای اسپانیا انجام گردیده است مشخص شده که نتایج

3 Rezacova et al.

4 Schreiner

5 Riedel

6 Desa

7 Sidek et al.

1 Mahanadi

2 Casas et al.

می‌توان با تصحیحاتی برای حوضه‌های بزرگتر نیز به کار گرفت، تصحیحات این روش مطابق با نشریه شماره ۳۳۲ WMO (۱۹۹۴) به شرح زیر می‌باشد:

- محاسبه میانگین (P_m) و انحراف معیار (SD_m) برای طول دوره آماری n سال

- محاسبه میانگین (P_{mm}) و انحراف معیار (SD_{mm}) با حذف داده‌های پرت و یا حد اکثر واقعه مشاهده شده در طول دوره آماری n سال

- محاسبه نسبت های (P_m) / (P_{mm}) و (SD_m) / (SD_{mm})

- با توجه به طول دوره آماری (n) به ازای مقادیر نسبت های بالا، ضریب تصحیح برای میانگین و انحراف معیار از نمودارهای ارایه شده در نشریه اشاره شده استخراج می‌شود.

- با استفاده از مقادیر اصلاح شده میانگین و انحراف معیار، بارش بیشینه محتمل اصلاح شده برای هر یک از ایستگاه‌ها بدست می‌آید.

- در صورت استفاده از مقادیر ایستگاه‌ها جهت برآورد در حوضه بایستی با استفاده از منحنی‌های ضریب کاهش سطح، تصحیح نسبت به مساحت حوضه نیز انجام گیرد تا شرایط اقلیمی منطقه‌ای و اثر ناهمواری در برآورد بارش بیشینه محتمل لحاظ گردد.

در سال ۲۰۰۱ توسط دسا و همکاران در مالزی با استفاده از روش هرشفیلد، روش دیگری که آنرا هرشفیلد - دسا می‌خوانند برای محاسبه بیشینه بارش محتمل استفاده شده است که منجر به کاهش شدیدی در ضریب فراوانی گردید (Desa, et al., 2001 ; Desa, et al., 2007).

در این روش ضریب K_m با استفاده از رابطه (۲) بدست می‌آید.

$$K_m = (X_1 - \bar{X}_{n-1}) / SD_{n-1} \quad (2)$$

K_m ضریب فراوانی

X_1 بیشینه بارش مشاهده شده ۲۴ ساعته در طول دوره آماری n سال

\bar{X}_{n-1} میانگین با حذف بیشینه

بارش مشاهده شده ۲۴ ساعته در طول دوره آماری n سال

به طور کلی بررسی برآوردهای آماری بارش بیشینه محتمل در بسیاری از مطالعات نشان داده است که مقادیر برآورد شده از طریق روش آماری از مقادیر روش سینوپتیکی بیشتر بوده است. دلیل عمده آن می‌تواند وقوع رخ داده‌های خیلی نادر در دوره آمار برداری باشد. وجود این گونه داده‌ها در محاسبات میانگین و انحراف معیار تاثیر گذاشته به نحوی که میزان تاثیر بر حسب اینکه دوره آماری کوتاه مدت یا بلند مدت باشد متفاوت خواهد بود. به عبارتی توزیع فراوانی مقادیر حدی بارندگی چوله به راست می‌باشد، بنابراین تصحیح این قبیل حوادث نادر در برآوردهای آماری بارش بیشینه محتمل توصیه می‌شود.

مواد روش‌ها

روش آماری برآورد بارش بیشینه محتمل در هنگامی که داده‌های هواشناسی مانند دمای نقطه شبنم و باد موجود نباشد، بر اساس داده‌های رگبارهای محتمل در منطقه انجام می‌شود.

هرشفیلد اولین پژوهشگری است که با محاسبه بارش بیشینه محتمل برای طراحی سدها در حوضه‌های کوچک از روش آماری استفاده نموده است. به گونه‌ای که در بالا شرح داده شد در روش آماری از بیشینه بارش‌های ۲۴ ساعته در طول یک دوره آماری طولانی مدت استفاده می‌شود (Hershfield 1961 & 1965). هرشفیلد در برآورد بارش بیشینه محتمل از روش آماری چو (chow, 1951) در تحلیل فراوانی بارش‌ها بهره گرفته است. در این روش میانگین (\bar{P}) و انحراف معیار (SD) سری داده‌های بارش بیشینه رخ داده با تداوم‌های زمانی متفاوت با استفاده از رابطه (۱) بدست می‌آید.

$$PMP = \bar{P} + K_m \times SD \quad (1)$$

که در رابطه بالا K_m ضریب بیشینه سازی که بین ۱۳ تا ۱۹ برای تداوم ۶ تا ۲۴ ساعت پیشنهاد شده است. معمولاً این ضریب برای تداوم‌های ۲۴ ساعت به بالا معادل ۱۵ در نظر گرفته می‌شود.

این روش برای حوضه‌هایی با وسعت کمتر از ۱۰۰۰ کیلومتر مربع توصیه می‌شود (WMO, 1986). این روش را

طولانی مدت آب قابل بارش توفان مورد نظر استفاده می شود)

۷- انتخاب ضرایب نهایی بیشینه سازی

ضریب بیشینه سازی رطوبت با توجه به عناصر اقلیمی که جریان رطوبت ورودی به درون توفان را تامین می کند و مقدار

بارش را به حداکثر می رساند، محاسبه می شود در واقع ضریب بیشینه سازی توفان، پتانسیل حداکثر آب قابل بارش برای

دوره زمانی - مکانی است که از فرمول زیر به دست می آید.

$$FM=MP \times MW \quad (4)$$

که در آن FM، ضریب بیشینه سازی توفان با حداکثر جریان ورودی رطوبت

MP، ضریب حداکثر آب قابل بارش براساس دمای نقطه شبنم 12 ساعته پایدار (عامل رطوبت)

MW، ضریب حداکثر سرعت باد 12 ساعته پایدار

در صورتی که علاوه بر ضرایب رطوبت، ضرایب حاصل از بیشینه سازی باد نیز در نظر گرفته شود، افزایش فوق العاده ای در مقادیر ضریب بیشینه سازی توفان های منتخب به دست می آید که نمی تواند منطقی باشد. بررسی منابع و مطالعات متعدد در سطح دنیا و در کشور بیانگر این مطلب است که تقریباً در کلیه مطالعات فقط به بیشینه سازی دمای نقطه شبنم اکتفا شده است.

در این تحقیق منطقه مطالعه شامل 4 حوضه آبریز مهم کشور در ناحیه جنوب غربی ایران است که شامل حوضه های مرزی غربی، کرخه، کارون بزرگ و جراحی است. تعداد 36 ایستگاه همدیدی در منطقه مطالعه انتخاب شده است، البته تعدادی از این ایستگاه ها در خارج از محدوده چهار حوضه آبریز مذکور قرار دارند که به منظور افزایش دقت درون یابی بارش بیشینه محتمل و بارش بیشینه مشاهده ای ایستگاه ها در نرم افزار GIS در نظر گرفته شدند (شکل 1). اطلاعات مربوط به ایستگاه های مورد نظر شامل طول و عرض جغرافیایی، بیشینه بارش 24 ساعته و میانگین درازمدت مجموع بارش سالانه از مرکز آمار و اطلاعات سازمان هواشناسی کشور تهیه شده

انحراف معیار با حذف $SD_n - 1$

بیشینه بارش مشاهده شده 24 ساعته در طول دوره آماری n سال در این صورت می توان رابطه (1) را به صورت زیر نوشت:

$$X_{pmp} = \overline{X}_n + K_m \times SD_n \quad (3)$$

- استفاده از روش کریجینگ به منظور درون یابی نتایج در GIS:

کریجینگ یک روش درون یابی آماری می باشد که در آن داده در نقاط مورد نظر با استفاده از میانگین وزن دار داده های مشاهده شده در سایر نقاط محاسبه می شود. این روش شبیه روش سطوح روند می باشد با این تفاوت که در این روش وزن ها براساس فاصله بین نقاط با داده معلوم و نقاط مورد نظر و از روی همبستگی آنها محاسبه می شود. پارامترهای مهار روشهای سطوح روند و فاصله معکوس وزندار، داده های متغی و تی را تولید می نماید که باعث تخمین های متفاوتی برای درون یابی می شود. جهت رفع این نواقص روش کریجینگ به کار می رود. روش کریجینگ، وزن های بهینه برای درون یابی را به وسیله واریوگرام تعیین می نماید.

- تعیین عامل بیشینه سازی رطوبت با روش همدیدی:

در مدل همگرایی به خصوصیات توفان توجه می شود. برای شکل گیری توفان، نیاز به منبع هوای گرم و مرطوب است که به وسیله دمای نقطه شبنم کمی می شود. برای دست یافتن به گرم ترین اشباع بی دررو و بیشینه سازی توزیع قائم دما مراحل زیر انجام می پذیرد:

۱- تحلیل فراوانی دمای نقطه شبنم

۲- نقطه شبنم بیشینه با تداوم 12 ساعته در تراز 100 هکتوپاسکال

۳- تبدیل نقطه شبنم بیشینه به سطح 100 هکتوپاسکالی

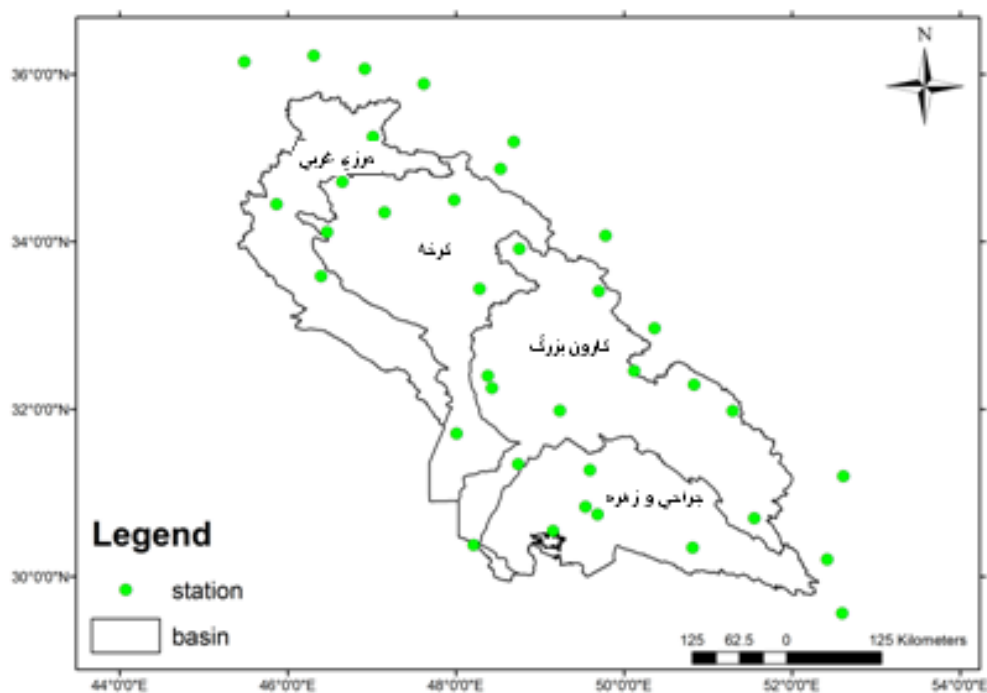
۴- تاثیر عوامل ناهمواری و کوهستان

۵- محاسبه آب قابل بارش

۶- تعیین ضریب بیشینه سازی رطوبت (برای محاسبه ضریب بیشینه سازی رطوبت از رابطه عمومی نسبت آب قابل بارش برای تداوم نقطه شبنم با دوره بازگشت 100 ساله در دوره 10 روزه به میانگین

از نرم‌افزار ArcGIS و روش درون‌یابی پهنه‌بندی شدند. در مرحله نهایی جهت برآورد بارش بیشینه همدیدی از توفانی که در تاریخ ۱۷ نوامبر ۱۹۹۴ در منطقه جنوب-غربی کشور رخ داده است بهره گرفته شده است. بدین منظور ۵ ایستگاه همدیدی در محدوده‌ی توفان انتخاب شدند و فاکتورهای رطوبت و باد جهت بیشینه سازی بارش و برآورد بارش بیشینه محتمل در این ایستگاه‌ها محاسبه و در بارش مشاهده شده‌ی تاریخ مورد نظر اعمال گردیده است.

است. پس از ایجاد بانک داده در محیط اکسل، وارد نرم افزار جی آی اس شد. با استفاده از سری داده‌های بیشینه بارش ۲۴ ساعته برای ایستگاه‌های منتخب هر دو روش آماری اشاره شده در بالا برای محاسبه بارش بیشینه محتمل استفاده شد و سپس متغیرهای آماری مانند ضریب تغییرپذیری، چولگی، انحراف از معیار و میانگین دوره آماری نیز بدست آمد. در گام بعد ضمن مقایسه نتایج بدست آمده از هر دو روش آماری، نقشه‌های بارش بیشینه محتمل و بارش بیشینه مشاهده‌ای با استفاده



شکل ۱- موقعیت جغرافیای چهار حوضه مورد مطالعه و پراکنش ایستگاهها در منطقه مطالعه

جدول ۱- فراداده مربوط به ایستگاههای مورد استفاده

نام ایستگاه	کد ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع ایستگاه (به متر)	میانگین بارش سالانه
آبادان	40831	48.21472222	30.37722222	6.6	162.09
آباده	40818	52.61638889	31.19833333	2030	132.27
اهواز	40811	48.7442	31.3442	22.5	210.85
الیگودرز	40783	49.7025	33.4081	2022.1	397.13
اراک	40769	49.78333333	34.07194444	1702.8	345.49
بندرماهشهر	40832	49.15916667	30.54555556	6.2	190.19
بیجار	40748	47.62111111	35.88694444	1883	333.76
بروجن	99459	51.29888889	31.97888889	2260	264.88
بروجرد	40774	48.7575	33.915	1629	440.69
بستان	40810	48.01	31.70777778	7.8	194.92
داران	40787	50.36666667	32.96666667	2290	324.04
دزفول فرودگاه	40795	48.3831	32.3994	143	386.4
دوگنبدان	40835	50.81916667	30.34611111	726	451.51
سد درودزن	40844	52.42138889	30.20611111	1642	688.11
اسلام آباد غرب	40779	46.46666667	34.11666667	1349	432.28
همدان فرودگاه	40768	48.53472222	34.86944444	1740.8	330.05
همدان نوژه	40767	48.6903	35.1953	1679.7	327.41
ایلام	40780	46.39777778	33.58777778	1337	555.16
کنگاور	40771	47.98333333	34.5	1468	382.97
کرمانشاه	40766	47.15333333	34.35222222	1318.5	436.29
خرم آباد	40782	48.28361111	33.43888889	1147.8	500.02
کوه‌رنگ	40797	50.125	32.45694444	2365	1337.72
مسجد سلیمان	40812	49.24083333	31.98333333	320.5	396.39
امیدیه آقاجاری	40833	49.68777778	30.7425	27	255.59
امیدیه پایگاه هوایی	40830	49.5467	30.8342	34.9	251.01
رامهرمز	40813	49.59638889	31.27277778	150.5	387
روانسر	40764	46.65	34.71666667	1380	512.87
صفی آباد دزفول	40794	48.43305556	32.25333333	82.9	310.83
سنندج	40747	47.01472222	35.25444444	1373.4	423.48
سقز	40727	46.31111111	36.22166667	1522.8	464.73
سردشت	40725	45.48583333	36.14833333	1556.8	846.24
سرپل ذهاب	40765	45.86666667	34.45	545	411.07
شهرکرد	40798	50.83944444	32.29222222	2050	324.25
شیراز	40848	52.6025	29.56138889	1488	333.34
یاسوج	40836	51.555	30.69861111	1816.3	815.89
زرینه	40749	46.91666667	36.06666667	2143	358.37

نتایج و بحث

الف) روش آماری محاسبه بارش بیشینه محتمل:

پس از مرتب‌سازی داده‌های بارش بیشینه مشاهده شده ۲۴ ساعته در ایستگاه‌های مورد نظر دو روش هرشفیلد و دسا برای محاسبه بارش بیشینه محتمل به کار برده شد. در روش هرشفیلد ضریب Km حدود ۱۵ در نظر گرفته شده و مقادیر انحراف معیار و میانگین نیز پس از محاسبه در رابطه قرار داده شدند تا مقادیر ایستگاهی بارش بیشینه محتمل برآورد گردد. در روش دسا برای محاسبه Km از مقادیر انحراف معیار و میانگین سری آماری بدون در نظر گرفتن مقدار بیشینه دوره آماری استفاده شده است و پس از محاسبه مقدار Km در رابطه بالا قرار گرفته است تا ارزشهای بارش بیشینه محتمل از طریق روش اصلاحی دسا بدست آید.

نتایج نشان می‌دهند که نسبت بارش بیشینه محتمل بدست آمده به حداکثر بارش مشاهده شده ۲۴ ساعته در این روش بین ۳/۰۶ تا ۴/۶۶ به ترتیب در ایستگاههای یاسوج و امیدیه (پایگاه) می باشد که با توجه به شرایط اقلیمی درازمدت منطقه مطالعاتی و امکان نفوذ توده‌های هوا در جنوبغرب کشور، احتمال وقوع چنین بارشهایی ضعیف به نظر می‌رسد. همچنین نسبت بارش بیشینه محتمل محاسبه شده با این روش به میانگین دراز مدت بارش طی دوره شاخص برای بیش از ۶۰ درصد از ایستگاههای منتخب (۲۲ ایستگاه) بالاتر از ۷۰ درصد می باشد و حتی در برخی از ایستگاههای نواحی جنوبی‌تر منطقه از قبیل آباد، امیدیه آجاجاری و اهواز بترتیب این نسبت به ۲۶۵، ۱۷۵ و ۱۷۳ درصد نیز رسیده است. ولی در نواحی نسبتاً پربارش و کوهستانی منطقه در نواحی شمالی و غربی آن، این نسبت به زیر ۵۰ درصد رسیده و در ایستگاههایی مانند کنگاور، کوه‌رنگ و سد درودزن به ترتیب ۴۵، ۴۸ و ۵۰ درصد بدست آمده است (جدول ۲).

در روش هرشفیلد تصحیح شده یا دسا، با استفاده از رابطه (۲) عامل فراوانی هر یک از ایستگاهها محاسبه شد که این مقدار بین ۱/۶۴ تا ۵/۳ بدست آمده است

سپس از بین این مقادیر، حداکثر Km (عامل فراوانی) استخراج (۵/۳) و با استفاده از آن مقادیر بارش بیشینه محتمل محاسبه شده است. بررسی نسبت بارش بیشینه محتمل محاسبه شده با این روش به حداکثر بارش مشاهده شده ۲۴ ساعته بین ۱/۴۸ تا ۲/۱۹ به ترتیب در ایستگاههای کرمانشاه و امیدیه پایگاه بدست آمده است و بررسی نسبت بارش بیشینه محتمل بدست آمده به میانگین دراز مدت بارش طی دوره شاخص نیز بین ۲۳ تا ۱۱۹ درصد متغییر بوده است، بطوریکه حدود بیش از یک سوم تعداد ایستگاههای منتخب (۱۳ ایستگاه) که عمدتاً ایستگاههای نواحی جنوبی و کم بارش منطقه مطالعاتی بوده‌اند نشان می‌دهند که این نسبت بیش از ۵۰ درصد بدست آمده و حتی در ایستگاههایی مانند آباد، امیدیه آجاجاری و بستان بترتیب به حدود ۱۱۹، ۸۲ و ۸۰ درصد رسیده است.

با مقایسه ارزشهای بارش بیشینه محتمل ۲۴ ساعته محاسبه شده از طریق روشهای آماری بالا بدست آمد که در نگرش اول مقادیر محاسبه شده در مقایسه با بارش بیشینه مشاهده شده ۲۴ ساعته خیلی بیشتر برآورد شده است. درحالیکه مقادیر بارش بیشینه محتمل ۲۴ ساعته محاسبه شده در نگرش دوم (دسا) نسبت به روش اول نشان می‌دهد این مقادیر در اکثر ایستگاهها تقریباً تعدیل شده و نزدیکتر به بارش مشاهده‌ای است. با این وجود در برخی از ایستگاهها مانند صفی آباد، آبادان و امیدیه پایگاه با ضریب بیش از ۲، از یک اختلاف قابل توجهی برخوردار هستند.

به منظور بررسی‌های بیشتر، ویژگیهای آماری ایستگاههای مورد مطالعه در هر دو روش هرشفیلد و دسا محاسبه شد. در این بررسی مشخص گردید که کمینه و بیشینه ضریب تغییرات در روش هرشفیلد بین ۲۴ تا ۷۲ درصد و در روش دسا بین ۲۲ تا ۶۷ درصد است. بطوری‌که کمترین مقدار ضریب تغییرات مربوط به ایستگاههای مستقر در نواحی کوهستانی و تقریباً پربارش منطقه شامل ایستگاههایی نظیر یاسوج، کنگاور و روانسر می‌باشد که اعتماد پذیری مناسب رخدادهای بارندگی در این نواحی را نشان می‌دهد. به عبارت دیگر

عامل فراوانی (Km) که در نگرش دوم (هرشفیلد- دسا) برای تمامی ایستگاهها برابر حداکثر (Km) بدست آمده معادل ۵,۳ در نظر گرفته شده است می بایست برای ایستگاههایی که ضریب تغییرات آنها به نسبت بزرگ می باشد تعدیل یابد. بنابراین نگرش سومی مطرح می شود بطوری که برای چنین ایستگاههای که دارای بیشترین ضریب تغییرات بارش بیشینه مشاهده شده ۲۴ ساعته در بین ایستگاههای منتخب بوده اند ضریب فراوانی (Km) تعدیل شده و در این مورد مثلاً معادل ۴ در نظر گرفته شود.

تغییرات رژیم بارشی در نواحی آب و هوایی کوهستانی با میانگین بارش بالاتر، چندان زیاد نبوده و همینطور ضریب چولگی محاسبه شده نیز حاکی از تبعیت از توزیع نزدیک به نرمال را دارد و نشان می دهد که میانگین تجربی با میانگین حسابی تغییرات چندان ندارد. اما در ایستگاهی نظیر آباده که از ضرایب تغییرات و چولگی به ترتیب ۷۲ درصد و ۱,۲۳ برخوردار بوده نشان می دهد که تغییرات بارش بیشینه محتمل ۲۴ ساعته (از طریق روش دسا) این ایستگاه نسبت به میانگین آن زیاد بوده و اختلاف بین میانگین تجربی و میانگین حسابی قابل توجه است. از اینرو به نظر می رسد

جدول ۲- حداکثر بارش محتمل ۲۴ ساعته (PMP) به روش هرشفیلد و دسا و برخی مشخصه های آماری در ایستگاههای مورد

مطالعه

نام ایستگاه	متوسط بارش سالانه	بزرگترین حداکثر بارش ۲۴ ساعته در دوره آماری	میانگین دوره آماری	انحراف معیار دوره آماری	میانگین پس از حذف حداکثر دوره	انحراف معیار پس از حذف حداکثر دوره	PMP نقطه ای هرشفیلد (نگرش ۱)			PMP نقطه ای دسا		
							نسبت PMP به متوسط بلند مدت بارندگی سالانه %	نسبت PMP به حداکثر بارش ۲۴ ساعته سالانه	نسبت PMP به متوسط بلند مدت بارندگی سالانه %	نسبت PMP به حداکثر بارش ۲۴ ساعته سالانه		
اراک	345.49	66	34.83	14.89	33.35	13.48	258.11	74.71	3.91	124.15	35.93	1.88
اسلام آباد		97	47.80	18.78	45.46	15.60	329.48	76.22	3.40	160.47	37.12	1.65
غرب الیگودرز	432.28	64.1	39.74	14.56	38.59	13.84	258.20	65.02	4.03	127.13	32.01	1.98
امیدیه آغاچاری	397.13	123	51.27	26.46	47.86	21.58	448.18	175.35	3.64	210.04	82.18	1.71
امیدیه پایگاه	255.59	85	46.47	23.29	44.63	22.18	395.88	157.72	4.66	186.24	74.19	2.19
اهواز	210.85	107	38.07	21.89	34.79	15.94	366.39	173.77	3.42	169.40	80.34	1.58
ایلام	555.16	162	62.02	30.01	57.26	20.54	512.12	92.25	3.16	242.06	43.60	1.49
آبادان	162.09	54	32.78	13.99	31.77	13.48	242.58	149.66	4.49	116.70	72.00	2.16
آباده	132.27	83	29.71	21.41	27.17	18.24	350.93	265.31	4.23	158.20	119.60	1.91
بروجرد	264.88	72	46.74	15.63	45.54	14.93	281.16	106.14	3.90	140.51	53.05	1.95
بستان	194.92	79	38.97	19.68	37.07	17.96	334.16	171.44	4.23	157.05	80.57	1.99
بندر ماه شهر	190.19	76	39.37	17.84	37.62	16.25	307.02	161.43	4.04	146.43	76.99	1.93
بورجن	264.88	74	37.12	16.69	35.36	14.88	287.51	108.54	3.89	137.27	51.82	1.86
بیجار	333.76	51	30.80	10.74	29.83	9.98	191.85	57.48	3.76	95.22	28.53	1.87
خرم آباد	500.02	78	45.33	15.13	43.78	13.58	272.31	54.46	3.49	136.12	27.22	1.75

داران	324.04	73	37.97	16.51	36.30	14.89	285.56	88.12	3.91	137.00	42.28	1.88
دزفول	386.4	110	59.60	21.85	57.20	19.18	387.28	100.23	3.52	190.68	49.35	1.73
دوگنبدان	451.51	138	65.97	34.66	62.54	31.46	585.91	129.77	4.25	273.95	60.67	1.99
رامهرمز	387	127	55.67	29.50	52.28	25.44	498.20	128.73	3.92	232.68	60.12	1.83
روانسر	512.87	80	50.44	16.37	49.03	15.35	295.95	57.70	3.70	148.64	28.98	1.86
زرینه	358.37	56	36.61	12.13	35.69	11.61	218.60	61.00	3.90	109.41	30.53	1.95
سد دورد												
زن	688.11	86	55.45	19.31	54.00	18.51	345.13	50.16	4.01	171.32	24.90	1.99
سرپل												
ذهاب	411.07	102	45.38	18.07	42.68	13.23	316.49	76.99	3.10	153.82	37.42	1.51
سردشت	846.24	185	75.39	34.31	70.17	24.63	590.04	69.72	3.19	281.25	33.23	1.52
سقز	464.73	79	40.01	17.19	38.15	15.18	297.83	64.09	3.77	143.14	30.80	1.81
سنندج	423.48	73	37.47	12.94	35.78	10.47	231.51	54.67	3.17	115.09	27.18	1.58
شهرکرد	324.25	88.8	41.1	18.3	38.9	15.3	315.92	97.43	3.56	151.05	46.59	1.70
شیراز	333.34	75	42.3	15.3	40.8	13.7	271.27	81.38	3.62	133.91	40.17	1.79
صفی												
آباد		88	52.9	21.9	51.2	20.9	381.34	122.68	4.33	184.28	59.29	2.09
دزفول	310.83											
کرمانشاه	436.29	108	40.5	19.9	37.3	13.3	339.16	77.74	3.14	159.98	36.67	1.48
کنگاور	382.97	53	35.0	9.2	34.2	8.5	173.62	45.33	3.28	90.47	23.62	1.71
کوهرنگ	1337.72	177	107.6	36.3	104.3	33.6	652.04	48.74	3.68	325.37	24.32	1.84
مسجد												
سلیمان	396.39	157	60.5	32.1	56.0	24.4	542.66	136.90	3.46	253.39	63.92	1.61
همدان												
فرودگاه	330.05	50	29.1	10.3	28.1	9.4	183.79	55.69	3.68	90.96	27.56	1.82
همدان												
نورث	327.41	52	29.1	9.8	28.0	8.6	176.04	53.77	3.39	87.86	26.83	1.69
یاسوج	815.89	135	87.1	21.8	84.8	19.4	413.76	50.71	3.06	217.78	26.69	1.61

• مقایسه پراکنش مکانی نتایج بدست آمده از روش هرشفیلد و هرشفیلد-دسا:

پس از ترسیم نقشه های درون‌یابی بارش بیشینه محتمل براساس دو روش آماری و همچنین ترسیم نقشه‌های بارش بیشینه مشاهده شده ۲۴ ساعته برای منطقه، بطورمیانگین بارش بیشینه محتمل بر اساس روش هرشفیلد حدود ۳۴۲ میلیمتر برآورد شده است که نسبت به روش هرشفیلد - دسا با ۱۶۵/۵ میلیمتر، بیش از دو برابر آن محسوب می‌شود. مقایسه مقادیر بارش بیشینه محتمل بر اساس دو روش آماری با بارش بیشینه مشاهده شده ۲۴ ساعته که برابر با ۴۷/۴ میلیمتر در کل منطقه است نشان می‌دهد که اگرچه برآوردهای هر روش خیلی بیشتر از مقدار حداکثر بارش مشاهده‌ای در منطقه بوده، روش هرشفیلد - دسا نسبت به روش اول از اختلاف کمتری برخوردار است.

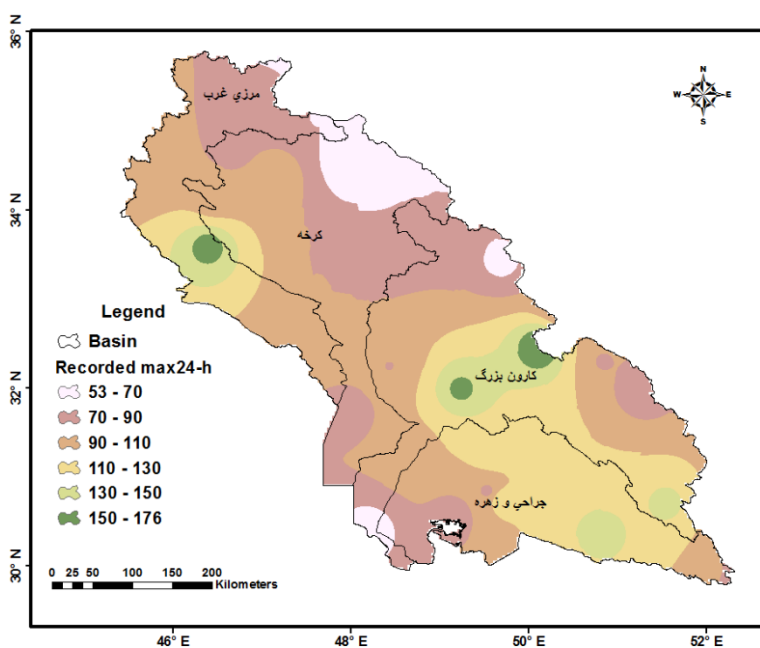
بررسی و مقایسه تغییرات مکانی بارش بیشینه ۲۴ ساعته مشاهده شده با بارش بیشینه محتمل محاسبه شده از دو روش بالا بطور کلی نشانگر افزایش مقادیر بارش بیشینه مشاهده‌ای و برآوردشده در نواحی مرکزی حوضه‌های مرزی غربی و کارون بزرگ و همچنین نواحی جنوبی حوضه جراحی بوده اما بقیه بخشهای هر چهار حوضه و مخصوصاً حوضه کرخه نشان دهنده مقادیر تقریباً پایتتری می‌باشند.

بدین صورت که بارش بیشینه ۲۴ ساعته مشاهده شده، در بخشهایی از حوضه‌های مرزی غرب، کارون و جراحی بین ۱۳۰ تا حدود ۱۷۶ میلیمتر و در نواحی وسیعی از هر چهار حوضه نیز بین ۷۰ تا ۱۳۰ میلیمتر بوده، درحالی‌که بخش شمالی و شرقی حوضه کرخه بین ۵۳-۷۰ میلیمتر است (شکل ۲). پراکنش مکانی بارش بیشینه محتمل به روش

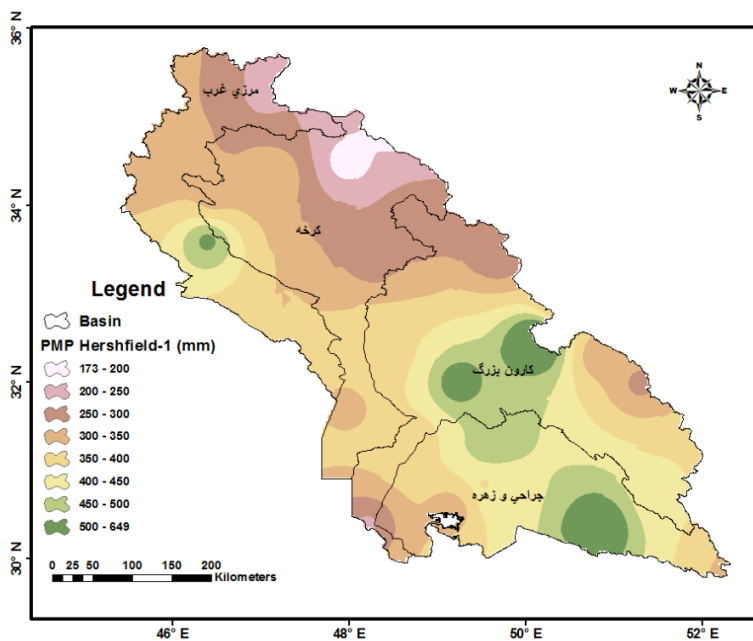
چنین پراکنش جغرافیایی بارش بیشینه مشاهده‌ای و برآورد شده آماری در حوضه‌های جنوب‌غربی کشور نشان می‌دهد که در ایستگاهی مانند کوه‌رنگ که با ۱۳۳۷ میلیمتر از میانگین سالانه بارش قابل توجهی برخوردار است طبعاً نشانگر مقدار بیشتر بارش بیشینه مشاهده شده ۲۴ ساعته با ۱۷۶ میلیمتر نیز بوده است. ولی در ایستگاه‌هایی مانند ایلام، مسجد سلیمان و دوگنبدان که از میانگین سالانه بارش نسبتاً کمتری (۴۰۰ تا ۵۵۰ میلیمتر) برخوردار بودند ولی بترتیب نشانگر بارش بیشینه مشاهده‌ای ۲۴ ساعته ۱۶۲، ۱۵۷ و ۱۳۸ میلیمتر هستند شرایط متفاوت بوده و رخداد بارش‌های رگباری با شدت و مقدار بیشتر در یک بازه‌ی زمانی کوتاه چند ساعته موثر بنظر می‌رسد. همچنین سه ایستگاه فوق در مقایسه با ایستگاه کوه‌رنگ از ضریب تغییرپذیری و چولگی بالاتری نیز برخوردار هستند.

هرشفیلد در ۴ حوضه جنوب‌غربی نشان دهنده بالاترین مقدار این کمیت از حدود ۴۵۰ تا ۶۴۵ میلیمتر در بخشهایی از حوضه‌های مرزی غربی، کارون و جراحی بوده. سپس قسمت‌های عمده‌ای از حوضه‌های فوق از بارش بیشینه محتمل ۲۵۰ تا ۴۵۰ میلیمتر برخوردار هستند، نواحی شمال-شرقی حوضه کرخه نیز دارای یک مقدار بارش بیشینه محتمل از ۱۷۰ تا ۲۵۰ میلیمتری می‌باشد (شکل ۳).

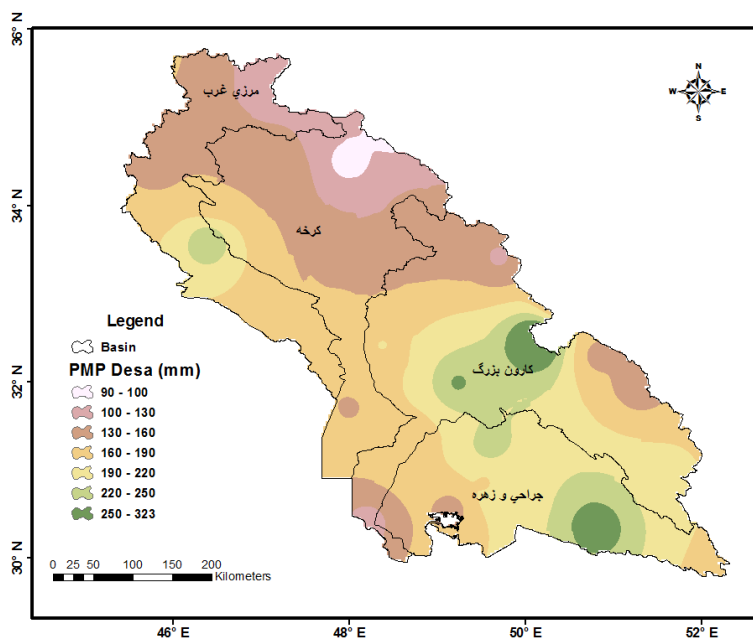
برآورد بارش بیشینه محتمل از طریق روش هرشفیلد-دسا نیز بالاترین مقدار این کمیت را از ۲۲۰ تا ۳۲۳ میلیمتر، مانند بارش بیشینه مشاهده‌ای و هرشفیلد در بخشهایی از حوضه‌های مرزی غربی، کارون و جراحی نشان داده است. سپس بیشتر مساحت حوضه‌ها مخصوصاً حوضه کرخه دارای بارش بیشینه محتمل حدود ۱۳۰ تا ۲۲۰ میلیمتر بوده-اند. همچنین نواحی شمال‌شرقی حوضه کرخه نیز از یک مقدار بارش بیشینه محتمل حدود ۹۰ تا ۱۳۰ میلیمتر برخوردار هستند (شکل ۴).



شکل ۲- پهنه بندی بالاترین مقادیر حداکثر بارش ۲۴ ساعته سالانه در منطقه مطالعاتی طی دوره آماری ۱۹۸۹-۲۰۱۰



شکل ۳- پهنه بندی مقادیر حداکثر بارش محتمل (PMP) ۲۴ ساعته در منطقه مطالعاتی طی دوره آماری ۱۹۸۹-۲۰۱۰ از طریق روش هرشفیلد



شکل ۴- پهنه بندی مقادیر حداکثر بارش محتمل (PMP) ۲۴ ساعته در منطقه مطالعاتی طی دوره آماری ۱۹۸۹-۲۰۱۰ از طریق روش هرشفیلد-دسا

ب) روش هم‌مدیدی محاسبه بارش بیشینه

محتمل:

سلیمان که با استفاده از اطلاعات دمای نقطه شبنم آنها آب قابل بارش بدون دوره بازگشت و با دوره بازگشت ۵۰ ساله محاسبه شدند که با استفاده از نسبت این دو متغیر، ضریب فاکتور رطوبت جهت بیشینه سازی بارش برای محاسبه فیزیکی بارش بیشینه محتمل بدست آمده است. همچنین با استفاده از حداکثر تداوم ۱۲ ساعته تندی باد و نسبت آن به همین پارامتر با دوره بازگشت ۵۰ ساله عامل بیشینه سازی باد برای هر یک از ایستگاه‌ها بدست آمده است (جدول ۳).

در روش هم‌مدیدی محاسبه بارش بیشینه محتمل در گام نخست یک رخ‌داد توفان که محدوده‌ی خاصی را دربرگرفته بعنوان نمونه توفان ۱۶-۱۷ نوامبر ۱۹۹۴ انتخاب شده است و سپس ایستگاه‌های موجود در محدوده‌ی توفان که دارای اطلاعات حداکثر تداوم دمای نقطه شبنم در سطح ۱۰۰ هکتوپاسکال و حداکثر تداوم ۱۲ ساعته تندی باد هستند انتخاب شدند. ایستگاه‌های مورد نظر شامل ۵ ایستگاه به قرار زیر بودند: آبادان، اهواز، بوشهر، امیدیه و مسجد

جدول ۳- عامل بیشینه سازی رطوبت و باد برای توفان ۱۶-۱۷ نوامبر ۱۹۹۴

تاریخ توفان	ایستگاه‌های سینوپتیک	تداوم دمای نقطه شبنم در تراز mb۱۰۰	آب قایل بارش به mm	حداکثر تداوم دمای نقطه شبنم در تراز mb۱۰۰ دوره برگشت ۵۰ ساله	آب قایل بارش به mm	فاکتور رطوبت	حداکثر تداوم ۱۲ ساعته تندی باد با دوره برگشت ۵۰ ساله (نات)	حداکثر تداوم ۱۲ ساعته تندی باد	فاکتور باد
۱۶-۱۷ نوامبر ۱۹۹۴	آبادان	20.3	25.9	22.8	34.2	1.32	17	18.7	1.1
	اهواز	16.1	15.3	22.1	31.4	2.05	14	25.2	1.8
	بوشهر	17.7	19.4	20.9	27.7	1.42	14	21.4	1.52
	امیدیه	17.5	19	23.2	35.8	1.88	17	20.8	1.22
آبان ماه ۱۳۷۳	مسجد سلیمان	14.9	13.8	22	31	2.24	16	20.7	1.29

جدول ۴- بیشینه بارش محتمل ۲۴ ساعته در ایستگاه‌های منطقه با اعمال فاکتور رطوبت

ایستگاه‌های سینوپتیک	مقدار بیشینه بارش ۲۴ ساعته مشاهده شده	فاکتور رطوبت	بیشینه بارش محتمل (PMP)
آبادان	25	1.32	33
اهواز	12	2.05	24.6
بوشهر	58.3	1.42	82.786
امیدیه	31	1.88	58.28
مسجد سلیمان	60.2	2.24	134.848

جمع بندی و نتیجه گیری

در روش هرشفیلد مقادیر K (عامل فراوانی) و بارش بیشینه محتمل ۲۴ ساعته نسبت به روش هرشفیلد-دسا بالاتر و با تغییرپذیری قابل توجهی همراه بوده‌اند، بطوری‌که نسبت مقادیر بارش بیشینه محتمل ۲۴ ساعته بدست آمده در روش

در گام بعد مقادیر بارش بیشینه مشاهده شده ۲۴ ساعته در تاریخ توفان مورد نظر (۱۶-۱۷ نوامبر ۱۹۹۴) برای ایستگاه‌های فوق از آرشیو سری داده‌های بارش سازمان هواشناسی تهیه شد و سپس به تفکیک هر ایستگاه ضریب بیشینه سازی رطوبت در آنها اعمال گردید و نتیجه بعنوان مقادیر بارش

جنوبی و کم‌بارش‌تر حکایت دارد. بررسی تغییرات مکانی بارش بیشینه ۲۴ ساعته مشاهده‌ای با مقادیر بارش بیشینه محتمل برآورد شده از هر دو روش آماری بیانگر افزایش مقادیر هر دوی آنها در نواحی مرکزی حوضه‌های مرزی غربی و کارون بزرگ و همچنین نواحی جنوبی حوضه جراحی بوده. اما در روش فیزیکی که مبتنی بر بیشینه‌سازی بارش بوده است، توفان مورخ ۱۶-۱۷ نوامبر ۱۹۹۴ بعنوان نمونه انتخاب شد و پس از ترتیب اثر دادن ضریب رطوبت به بارش بیشینه ۲۴ ساعته مشاهده شده، مقادیر بارش بیشینه محتمل همدیدی برآورد شد که از ۲۴ میلیمتر در ایستگاه اهواز تا ۱۳۴ میلیمتر در ایستگاه مسجد سلیمان متغیر بوده است.

نتایج بدست آمده در این تحقیق انطباق خوبی با نتیجه حاصل از تحقیقی که توسط قهرمان و همکاران در حوضه آبریز اترک، انجام شده است دارد بطوری‌که در هر دوی اینها بیشینه بارش محتمل برآورد شده از طریق روش هرشفیلد تصحیح شده یا دسا درمقایسه با روش هرشفیلد به بیشینه بارش مشاهده‌ای نزدیکتر بوده و منطقی‌تر بنظر می‌رسد. همچنین به منظور مقایسه بیشتر با سایر کارهای انجام شده در این زمینه جدول زیر تهیه شده است:

بیشینه محتمل همدیدی در نظر گرفته شد که از ۲۴ میلیمتر در ایستگاه اهواز تا ۱۳۴ میلیمتر در ایستگاه مسجد سلیمان متغیر بوده است (جدول ۴). در روش همدیدی با توجه به اینکه بارش بیشینه مشاهده شده ۲۴ ساعته مربوط به یک رخداد خاص بوده و مانند روش آماری که طی یک دوره بلند مدت رخ داده‌های بیشینه‌ی مختلفی را در نظر می‌گیرند نیست، بنابراین از مقادیر بارش بیشینه محتمل خیلی پایتتری در مقایسه با حتی روش دسا و هرشفیلد برخوردار هستند. هرشفیلد به بالاترین مقادیر بارش بیشینه مشاهده شده ۲۴ ساعته بین ۳,۰۶ تا ۴,۶۶ بوده و نسبت به میانگین سالانه بارش درازمدت ۴۵٪ تا ۲۶۵٪ در ایستگاههای مورد بررسی رسیده است. در حالی‌که همین نسبت‌ها در روش هرشفیلد - دسا بطور قابل توجهی کاهش یافته و بترتیب به ۱,۴۸ تا ۲,۱۹ و ۲۳٪ تا ۱۱۹٪ رسیده است. در هر دو روش اشاره شده در بالا مقادیر بارش بیشینه محتمل برآورد شده نسبت به بارش بیشینه مشاهده‌ای و میانگین درازمدت بارش در نواحی جنوبی منطقه مطالعاتی اختلاف قابل توجهی را در مقایسه با ایستگاههای تقریباً پربارش و کوهستانی بخشهای شمالی و غربی منطقه نشان می‌دهند که این وضعیت از ضریب تعییرپذیری بالای بارش در نواحی

جدول ۵- محدوده نسبت حداکثر بارندگی محتمل به حداکثر بارش ۲۴ ساعته در سایر تحقیقات

منبع	محدوده
مطالعه حاضر	نگرش اول: ۳/۰۶-۴/۶۶
	نگرش دسا: ۱/۴۸-۲/۱۹
قهرمان و همکاران (۱۳۹۰) حوضه اترک	نگرش اول: ۲/۲-۶/۴
	نگرش دسا: ۲-۳/۲
تاجبخش و قهرمان - (1388) شمال شرق ایران	۱/۵ - ۲/۸
قهرمان - (2008) اترک	۲/۱ - ۳
دسا و راخچا - (2007) جنوب مالزی	۱/۶ - ۲/۹
رضایی پژند و قهرمان - (2007) شمال شرق ایران	۳/۲
پایمزد و همکاران - (1384) شرق هرمزگان	۱ - ۲/۸
دسا و همکاران - (2005) غرب مالزی	۱/۵ - ۲/۸

منابع

- Precipitation (PMP) for short Duration at southern Regions of Iran, No. 30., pp. 51-61.
10. Hershfield, D.M. 1961. Estimating the probable maximum precipitation. J. Hydraul. Div., ASCE 887(HY5), pp. 99-116.
 - a. Hershfield, D.M. 1965. Method for estimating the probable maximum precipitation. Journal of American Water Works Association, 57, pp. 965-972.
 11. Rezacova, D., Pesice, P., Sokol, Z., 2005. An estimation of the probable maximum precipitation for river basins in the Czech Republic. Atmospheric research, 77(1), pp. 407-421.
 12. Schreiner, L. C., and J. T. Riedel, 1978, Probable Maximum Precipitation Estimates, United States East of the 105th Meridian (HMR No. 51), National Weather Service, National Oceanic and Atmospheric Administration, United States Department of Commerce, Washington, DC.
 13. Shirdeli Azim, 2012, "Probable maximum precipitation 24 hours estimation: A case study of Zanjan province of Iran", Management Science Letters 2, pp. 2237-2242.
 14. Sidek L. M, M D Mohd Nor , P R Rakhecha, H Basri, W Jayothisa, R S Muda, M N Ahmad and A Z Abdul Razad , 2013, " Probable Maximum Precipitation (PMP) over mountainous region of Cameron Highlands-Batang Padang Catchment of Malaysia" 4th International Conference on Energy and Environment 2013 (ICEE 2013). Doi: 10.1088/1755-1315/16/1/012049.
 15. Tajbakhsh, M., Gharaman, B., 2009, Estimation of 24-h probable maximum precipitation by using different statistical approaches for north- east of Iran, J. of Water and Soil Conservation Vol. 16(1), pp. 123-141.
 16. World meteorological Organization (1986) "Manual for Estimation of Probable Maximum Precipitation" Operational Hydrology Report No. 1, WMO-No 332, Geneva.
 1. Casas, M. Carmen, Rodriguez, R., Prohom, M., Gazquez, A., Redano, A., 2010, Estimation of the probable maximum precipitation in Barcelona (Spain), International Journal of Climatology., Volume 31, Issue 9, pp. 1322-1327.
 2. Chavan S. R., Srinivas V. 2015, "Probable Maximum Precipitation Estimation for Catchments in Mahanadi River Basin" Aquatic Procedia Volume 7, pp. 1-296 (August 2016).
 3. Chow, V.T., 1951. A general formula for hydrologic frequency analysis. Trans. Am. Geophys. Union. 32, pp. 231-237.
 4. Corrigan, P., D. D. Fenn, D. R. Kluck, and J. L. Vogel (1999) Probable Maximum Precipitation for California. National Weather Service Hydrometeorological Report No. 59, 392 pp.
 - a. Desa, M.N.M., and Rakhecha, P.R. 2007. Probable maximum precipitation for 24-h duration over an equatorial region: Part 2- Johor, Malaysia. Atmospheric Research, 84, pp. 84-90.
 5. 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, pp. 41-54.
 6. Douglas, E.M., Barros, A.P., 2003. Probable Maximum Precipitation Estimation Using Multifractals: Application in the Eastern United States, Journal of Hydrometeorology, no. 4, pp. 1012-1024.
 7. Fattahi E, A. M. Noorian , K. Noohi, 2010. "Comparison of physical and statistical methods for estimating probable maximum precipitation in southwestern basins of Iran" DESERT Journal, No. 15, pp. 127-132.
 8. Fofoula-Georgiou, E., 1989. A probabilistic storm transposition approach for estimating exceedence probabilities of extreme precipitation depths. Water Resources Research, 25, pp. 799-815.
 9. Gharaman, B., Sepaskhah, A.R. 1996, Estimation of Probable Maximum