تحقیقات منابع آب ایران
Iran-Water Resources Research

سال دوم ، شماره ۱، بهار ۱۳۸۵
Volume 2, No. 1, Spring 2006 (IR-WRR)
۴۵-۵۳

برآورد حداکثر بارش محتمل ۲۴ ساعته به روش چند ایستگاهی: مطالعه موردی شمال خراسان

حجت رضائی پژند[۱] و بیژن قهرمان[۲]

چکیده

هرشفیلد برآورد بارندگی حداکثر محتمل (PMP)[۱] را در سال۱۹۶۱ به روش آماری پایه‌ریزی کرده است. این پژوهشگر روش اصلاح شده‌ای را برای ۲۶۴۵ ایستگاه با مطالعهٔ بارندگی حداکثر ۲۴ ساعتهٔ ارائه داده است. در سال‌های بعد بارندگی‌هایی رخ داد که بیش از PMP محاسبه شده به این روش است. در نتیجه روش هرشفیلد به زیر سؤال رفت. الیاسون روش چند ایستگاهی را در سال ۱۹۹۷ ارائه داد. این روش از ادغام آمار کلیهٔ ایستگاه‌های هم اقلیم یک منطقه استفاده می‌کند، زیرا PMP می‌تواند در هر نقطهٔ این منطقه رخ دهد. بنیان ریاضی روش به توزیع گامبل نوع ۱ و توزیع‌های منشعب از آن وابسته است. الیاسن پارامترها را تنها به روش گشتاورهای معمولی برآورد کرده و PMP را با این برآورد به دست آورده است. در مقالهٔ حاضر برای برآورد پارامترها از سه روش برآورد دیگر به نام‌های حداکثر درست‌نمائی، حداکثر آنتروپی و گشتاورهای وزن‌دار احتمالی نیز استفاده شده است. برای مقایسه روشهای برآورد از آمار ۴۱ ایستگاه باران‌سنج هم اقلیم شمال خراسان استفاده شده. آزمونهای آماری برتری روش درست‌نمائی را نسبت به روش گشتاوری نشان می دهد. علاوه بر این، PMP این ایستگاه‌ها نیز به روش اصلاح شدهٔ هرشفیلد محاسبه و نتیجه با روش چند ایستگاهی مقایسه شده است. نتایج به دست آمده برتری و ثبات روش چند ایستگاهی را تأیید می کند.

کلمات کلیدی: حداکثر بارش محتمل، چند ایستگاهی، توزیع مقادیر حدی، روش گشتاورها، حداکثر درست نمائی، حداکثر آنتروپی.

۱- دانشگاه آزاد مشهد- گروه عمران
۲- دانشیار دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

Estimating Maximum Daily Precipitation by Multi-Station Method: A Case Study of North Khorasan

H. Rezaee-Pazhand [1], B. Ghahraman [2]

Abstract

In 1961 Hershfield introduced a statistical method to estimate probable maximum precipitation (PMP). His method was based on the data of maximum daily precipitation of 2645 stations. Occurrences of rainfalls greater than PMP in the upcomming years, questioned Hershfield's method. Eliason (1997) presented a multi-station method. Since PMP can occur at every point within a homogen region, this method was based on a combination of data from all stations in such a region. Gumble type 1 and its derived distributions were used as a mathematical tool. For parameter estimation however, Eliason used method of moment. In this paper, three other methods are used, namely maximum likelihood, maximum entropy, and probability weighted moments. Data of 41 homogen stations from North of Khorasan Province in Iran was utilized for comparison purposes. The performance of maximum likelihood was proved via statistical analysis. In addition, PMP is compared for all stations using modified Hershfield method. Results were compared with multi-station methodand showed the performances of the former .

Keywords: PMP, Multi-Station, Extreme Value Distributions, Method of Moments, Maximum Likelihood, Maximum Antropy.

1- Department of Civil Engineering, University of Azad, Mashhad, Iran
2- Associate Professor, College of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad. Iran

۱- مقدمه

حداکثر بارندگی محتمل (PMP) برابر بیشترین ارتفاع بارندگی است که از دیدگاه نظری در مدّت معینی امکان وقوع دارد و به طور کلی به دو روش هواشناسی و آماری برآورد می‌شود. در روش اول نیاز به وجود اطلاعات هواشناسی از توده‌های هوای بالای جو مانند رطوبت نسبی، دما، طوفان‌های رخ داده، باد، نقطه شبنم و غیره است. روش هواشناسی خود نیز به چند نوع تفکیک می شود (رشتچی، ۱۳۷۴) و (Hershfield,1965). از این جمله می‌توان به روش سینوپتیکی، حداکثرکردن طوفان‌های رخ داده و انتقال آن به منطقه مورد نظر، استفاده از منحنی‌های عمق ـ مساحت ـ مدت (DAD)[۲] برای طوفان‌های شدید مشاهده‌ای و روابط تجربی اشاره کرد. برآوردPMP به شیوهٔ هواشناسی به علت نقص اطلاعات مورد نیاز در نقاط مختلف و حوضه‌های آبریز چندان آسان نیست.

در روش آماری، از بارندگی حداکثر ۲۴ ساعته (P_{24}) مشاهده‌ای ایستگاه باران‌سنج استفاده می‌شود. مبتکر این روش هرشفیلد است. نامبرده در سال ۱۹۶۱ روش برآوردPMP بیست و چهار ساعته نقطه‌ای (PMP24) را به روش آماری ارائه داده است . این پژوهشگر۲۶۴۵ ایستگاه باران‌سنجی را انتخاب و P_{24} سالانهٔ آنها را برای تحلیل به کار برد. او دریافت که اگر ۱۵ برابر انحراف معیار داده‌های مشاهده‌ای هر ایستگاه را به میانگین آنها اضافه کند، حاصل می‌تواند برآوردی از PMP24 این ایستگاه باشد. در واقع عدد ۱۵ کران بالایی برای عامل فراوانی است. یک سال بعد دریافت که عامل فراوانی به معدل داده‌ها و طول دورهٔ و مدت بارش نیز بستگی دارد، لذا، روش خود را اصلاح کرد و یک عامل فراوانی (km) را که تابعی از معدل داده‌هاست به جای ضریب ۱۵در نظر گرفت. سازمان جهانی هواشناسی (WMO)[۳] در سال۱۹۸۶ روش اصلاح شده هرشفیلد را تأیید و به صورت دستورالعملی منتشر کرد (WMO,1986). هرشفیلد در تحلیل‌های خود ایستگاه‌های مورد مطالعه را از نظر طول دورهٔ آماری به ۱۳ رده تقسیم کرد و برای هر رده عامل فراوانی را به دست آورد. این عامل‌ها از توزیع گامبل نوع یک پیروی می‌کنند. او عدد ۱۵ را پوش عامل‌ها در نظر گرفت که بزرگترین km است. شکل (۱) این تحلیل را بر روی کاغذ گامبل نشان می‌دهد. سالها بعد باران‌هایی بیش از PMP24 محاسبه شده به روش اصلاحی هرشفیلد رخ داد و این روش به زیر سؤال رفت. سازمان توسعه منابع آب انگلستان (NERC)[۴] در سال ۱۹۷۵ روش نظام‌دارتری ارائه داد که بر مبنای مطالعه دم (دنباله) توابع توزیع P_{24} ایستگاه‌های مختلف استوار است (NERC,1975). در این روش منحنی‌های پوشی ارائه شده است که می‌توان PMP24 را به کمک آن‌ها و محاسبات لازم دیگر برآورد کرد. با این حال کوتاهی دوره‌های آمار مشاهده‌ای ایستگاه باران‌سنج و پراکندگی ایستگاه‌ها، از ضعف‌های عمده این دو روش به حساب می‌آید (WMO,1986) و (NERC,1975).

در آمریکا تلاش‌هایی برای دست‌یابی به روش‌های کاراتر صورت پذیرفته است. روش چند ایستگاهی یکی از نتایج این تحقیقات است. الیاسن اصول و بنیان ریاضی این روش رادر سال ۱۹۹۷ به کمک P_{24} ایالت واشنگتن آمریکا – که از سه اقلیم خشک، مرطوب و ساحلی تشکیل شده– و همچنین P_{24} کشور ایسلند تدوین و معرفی کرده است (Eliason, 1991, 1994, 1997; Scheafer, 1990). این روش بر اساس دم توزیع گامبل نوع یک (EV1)[۵] استوار است. با توجه به این اصل که PMP24 به نقطه مشخصی بستگی ندارد و می‌تواند در هر نقطه از یک منطقه هم اقلیم رخ دهد، نامبرده آمار مشاهده‌ای ایستگاه‌های منطقه را ادغام کرد و به جای در نظر گرفتن مشاهدات کوتاه مدت یک ایستگاه از حجم عظیم داده‌های ادغام شدهٔ منطقه استفاده کرد. الیاسن برای برآورد پارامترهای توزیع گامبل از روش گشتاورهای معمولی (MOM)[۶] استفاده کرده است(Eliason, 1991). علاوه بر روش گشتاورها، روش‌های دیگری نیز برای برآورد پارامترها وجود دارد. از این میان می‌توان به روش‌های کاراتر حداکثر درست‌نمایی (MML)[۷]، حداکثر آنتروپی (ENT)[۸] و گشتاورهای وزن‌دار احتمالی (PWM)[۹] اشاره کرد (رضائی پژند، ۱۳۸۰). در آمار ریاضی برتری سه روش اخیر نسبت به برآورد گشتاوری تأیید شده است. در این مقاله برآورد PMP24 برای ۴۱ ایستگاه باران‌سنجی هم اقلیم شمال استان خراسان به روش چند ایستگاهی و با چهار روش برآورد ذکر شده انجام گرفته است. علاوه بر این، PMP24 برای این ایستگاه‌ها و به روش هرشفیلد نیز محاسبه و نتایج این دو روش با هم مقایسه شده‌اند. در ادامه نخست بنیان ریاضی روش چند ایستگاهی و سپس، روش‌های برآورد معرفی می‌شوند. پس از آن، نتایج تحلیل۴۱ ایستگاه ارائه و برآورد PMP24 به روش چند ایستگاهی و به روش هرشفیلد انجام می‌شود. در پایان این دو روش مقایسه و توصیه‌های لازم ارائه می‌شود.

۲- مواد و روش‌ها

P_{24} را می‌توان یک متغیر تصادفی مستقل هم توزیع (i.i.d.)[۱۰] فرض کرد. گامبل نوع یک (EV1) یکی از توزیع‌های مناسب این پدیده است (رضائی پژند، ۱۳۸۰). بر این اساس متغیرهای i.i.d و حداکثرهایش به طور مجانبی به صورت EV1 توزیع می‌شوند. داده‌های P_{24} در بدنه توزیعEV1 برازش خوبی دارند، اما، در دم‌ها (دوره بازگشت کوچک و بزرگ)، انحراف از EV1 زیادتر می‌شود.

وجود این انحراف‌ها و نبودن یک حد بالا برای این توزیع، کاربرد آن را در برآورد PMP24 پیچیده می‌کند. می‌توان این مشکل را به

کمک توزیع‌های تبدیل یافتهٔ (TDF)[11] و بریده شدهٔ (ODF)[12] گامبل نوع یک که هر دو از توزیع اصلیEV1 به ترتیب و به شرح زیر منشعب می‌شوند، حل کرد:

$$F(z)=\exp[-\exp(-z)] \qquad \text{تابع توزیع EV1} \qquad (۱)$$

که در آن : $Z= X/a +m$ ، X و Z متغیر تصادفی، a پارامتر مقیاس و m پارامتر موقعیت است.

$$F(z)=\exp\left[-\exp\left(-z+\frac{K}{y_{\lim}-z}\right)\right] \qquad \text{تابع توزیع TDF} \qquad (۲)$$

$$F(z)=\exp[-\exp(-z)] \qquad z<y_{\lim} \qquad \text{تابع توزیع ODF} \qquad (۳)$$

$$F(z)=1 \qquad z\geq y_{\lim} \qquad \text{تابع توزیع ODF} \qquad (۴)$$

در این روابط، $y_{\lim}$ متغیرکاهش یافته حدی (رابطه ۵) وK عدد ثابت (کوچکتر از صفر) است.

$$y_{\lim}=\frac{x_{PMP}}{a}+m \qquad (۵)$$

در این رابطه x_{PMP} نمادی برای حداکثر محتمل است.

در حالت حدی ($K\to 0$)، توزیع تبدیل یافته نیز به سمت توزیع بریده شده میل می‌کند.

در روش چند ایستگاهی غالباً سه فرض زیر پذیرفته می‌شود(Eliason, 1997):

الف) P_{24} یک متغیّر تصادفی است که به صورت i.i.d توزیع شده و تابع توزیع آن از نوعTDF است.

ب) $y_{\lim} >$ ۹

ج) K< −۱

۳- روش‌های مختلف برآورد پارامترهای توزیع EV1

برای برآورد پارامترهای EV1 می‌توان از چهار روش مهم گشتاورهای معمولی (MOM)، حداکثر درست‌نمایی (MML)، حداکثر آنتروپی (ENT) و گشتاورهای وزن‌دار احتمالی (PWM) استفاده کرد. در ادامه، ابتدا توابع چگالی و توزیع گامبل نوع یک ارائه، سپس، چهار روش برآورد به اختصار معرفی می‌شوند. شرح کامل روش‌ها در رضائی پژند (۱۳۸۰) آمده است. در این روابط $y=\frac{x-m}{a}$ متغّیرکاهش یافته، m پارامتر موقعیت و a>0 پارامتر مقیاس است (رضائی پژند، ۱۳۸۰).

تابع چگالی EV1 (۶)

$$f(x)=\frac{1}{a}Exp[-y-Exp(-y)]$$

تابع توزیع EV1 (۷)

$$F(x)=Exp[-Exp(-y)]$$

۳-۱- برآورد پارامترها به روش گشتاورهای معمولی(MOM)

این روش به شرح زیر است. در این روابط $\bar{x}$ و S به ترتیب میانگین و انحراف معیار داده‌ها و $\hat{a}$ و $\hat{m}$ به ترتیب برآوردهای گشتاوری پارامترهای a و m هستند.

$$\hat{a}=0.7797\,S \qquad (۸)$$

$$\hat{m}=\bar{x}-0.45S \qquad (۹)$$

۳-۲- برآورد پارامترها به روش حداکثر درست‌نمایی(MML)

این روش به شرح زیر است. می‌توان برآوردهای دو پارامتر a و m را به روش نیوتن- رافسون به دست آورد (رضائی پژند، ۱۳۸۰).

$$\sum y_i-\sum y_i\,Exp(-y_i)=n \qquad (۱۰)$$

$$\sum Exp(-y_i)=n \qquad (۱۱)$$

با این دو رابطه ، رابطهٔ مستقل ازm به شرح زیر به دست می‌آید. در این روابط y_i متغیر کاهش یافته است.

$$a=\bar{x}-\{\sum x_i Exp(-\frac{x_i}{a})\}\ /\ Exp(-\frac{x_i}{a}) \qquad (۱۲)$$

۳-۳- برآورد پارامترها به روش حداکثر آنتروپی (ENT)

این روش به شرح زیر است. دو پارامتر a و m باید به گونه‌ای برآورد شوند که در دو رابطه زیر صدق کنند. در این روابط E بیانگر امید ریاضی است.

$$E\left[(X-m)/a\right]=E(Y)=0.5772157 \qquad (۱۳)$$

$$E[Exp\{-(X-m)/a\}]=1 \qquad (۱۴)$$

می‌توان برآوردهای حداکثر آنتروپی a و m را با جانشین کردن برآوردگرهای نااریب امیدهای ریاضی در معادلات ۱۵ و ۱۶و حل هم‌زمان آن‌ها به دست آورد (رضائی پژند، ۱۳۸۰).

$$\frac{1}{n}\sum y = \gamma \qquad (۱۵)$$

$$\frac{1}{n}\sum\left[\exp\{-(X-m)/a\}\right] = 1 \qquad (۱۶)$$

۳-۴ - برآوردپارامترها به روش گشتاورهای وزن دار احتمالی (PWM)

این روش به شرح زیر است. در این جا تنها دو گشتاور وزن‌دار اوّلیه لازم است، زیرا دو پارامتر داریم. می‌توان از گشتاورهای خطی (L-moment) نیز استفاده کرد (رضائی پژند، ۱۳۸۰).

$$\hat{a} = \left(2b_1 - b_0\right)\Big/\ln 2 = L_2\Big/\ln 2 \qquad (۱۷)$$

$$\hat{m} = b_0 - \gamma a = L_1 - \gamma a \qquad (۱۸)$$

در این جا b_0 و b_1 گشتاورهای وزن‌دار احتمالی اوّلیه، L_1 و L_2 دو گشتاور خطی اوّلیه و γ ثابت اولر است.

۴- ادغام داده‌های ایستگاه‌های منطقه

اگر فرض الف برقرار باشد، داده‌های P_{24} هر ایستگاه از TDF پیروی می‌کند. اگر داده‌ها روی کاغذ احتمالی EV1 پیاده شوند، نقاط تا حد معینی ازTDF پیروی می‌کنند و از این حد به بعد (که بهK و $y_{\lim}$ بستگی دارد)، از TDF انحراف پیدا نموده و به سمت yهای بیشتر منحرف می‌شوند. برای مشاهده این روند در یک ایستگاه باید آمار بسیار طولانی مدت موجود باشد. متاسفانه، اغلب چنین امکانی نیست. با ادغام داده‌های ایستگاه‌های هم اقلیم منطقه می‌توان امیدوار بود که این مشکل حل شود. با برقراری فرض (ب)، گشتاورهای اول و دوم توزیع‌های ODF وTDF یکسان می‌شوند (Eliason, 1997). از آنجائی که میانگین و پراش داده‌های استاندارد شده برای همهٔ ایستگاه‌ها یکسان است (صفر و یک)، لذا، برآورد پارامترها برای تمام ایستگاه‌ها و در حالت ادغام شده یکسان می‌شود.

۵- محاسبه $y_{\lim}$ و PMP24

اگر دو پارامتر K و $y_{\lim}$ معلوم باشند، می‌توان ODF را به صورت توزیع تعمیم یافته به کار برد. اگر دوره بازگشت کوتاه باشد، اثر این دو پارامتر کم و قابل چشم پوشی است. اما، در دوره‌های بازگشت بزرگ این دو اثر مهمی دارند. در نتیجه برای برآورد آنها باید حجم زیادی از داده‌های P_{24} مشاهده‌ای وجود داشته باشند. این مشکل با ادغام و استاندارد کردن P_{24} ایستگاه‌های منطقه برطرف می‌شود. برآورد اولیه $y_{\lim}$ - که از NERC اخذ شده- مطابق رابطه (۱۹) است (Eliason, 1997). در این رابطه P5 بارندگی با دوره بازگشت ۵ ساله برای ایستگاه می‌باشد.

$$y_{\lim} = 10.7 - 0.0071P_5 \qquad 25 < P_5 < 200 \quad mm/day \qquad (۱۹)$$

اگر توزیع ODF فرض شود، می‌توان متغیر تصادفی X را با لگاریتم‌گیری و محاسبات ریاضی بر حسب P5، y_i و ضریبی مانند C_i (ضریب ایستگاه i ام) به صورت زیر نوشت.

$$X = P_5\left[1 + C_i\left(y_i - 1.5\right)\right] \qquad y_i < y_{\lim} \qquad (۲۰\text{ الف})$$

$$X = x_{PMP} \qquad y_i \geq y_{\lim} \qquad (۲۰\text{ ب})$$

$$C_i = \frac{0.78S_i}{\overline{x}_i + 0.72S_i} \qquad (۲۱)$$

در این روابط $\overline{x}_i$ و S_i ، به ترتیب میانگین و انحراف معیار داده‌های ایستگاه i ام است. $y_{\lim}$ یک پارامتر منطقه‌ای ، اما، C_i و P5 پارامترهای نقطه‌ای‌اند و نقش معدل و ضریب تغییرات را در روش هرشفیلد دارند. PMP24 واقعی می‌تواند در هر نقطه منطقه رخ دهد، که در واقع بیشینه رابطه (۲۲) برای هر نقطه است. این رابطه برای نقطهٔ i ام به صورت زیر است.

$$x_i = P_5\left[1 + Ci\left(y_{\lim} - 1.5\right)\right] \qquad (۲۲)$$

PMP24 با بیشینه کردن رابطهٔ (۲۲) به دست می‌آید و بیشترین بارندگی رخ داده در نقاط مختلف منطقه است:

$$PMP = Max\{x_i\} = Max\{P_5\left[1 + C_i\left(y_{\lim} - 1.5\right)\right]\}$$
$$= Max(P_5)\left[1 + Max(C_i)\left(y_{\lim} - 1.5\right)\right] \qquad (۲۳)$$

حداکثر C_i از رابطه زیر به دست می آید (Eliason, 1997):

$$Max\{C_i\} = -0.2492 + \overline{C}_i + \ln(N_s) + \ln(SC_i) \qquad (۲۴)$$

در این رابطه $\overline{C}_i$ معدل C_i های ایستگاه‌های منطقه، N_s تعداد ایستگاه‌ها و SC_i، انحراف معیار C_i است. این محاسبات بر این فرض استوار است که P_{24} هر ایستگاه مستقل از ایستگاه‌های دیگر است. در مناطق خشک فاصله متوسط دو ایستگاه حدود ۳۰ کیلومتر پیشنهاد شده است (Eliason, 1997). افزون بر این، PMP24 محاسبه شده به روش چند ایستگاهی، نقطه‌ای بوده (برای هر نقطه

از منطقه) و فقط برای مساحت ۲۵ کیلومتر مربع اطراف نقطه صادق است. برای تعمیم آن به مساحت‌های بیشتر (حوضه‌ها)، باید عامل کاهش مساحت و موارد دیگر را اعمال کرد (Asquith, 2000).

۶- منطقه مورد مطالعه

۴۱ ایستگاه باران‌سنج واقع در شمال شرق خراسان که در مساحتی حدود ۲۰۰۰۰ کیلومتر مربع پخش شده‌اند برای برآورد PMP24 در نظر گرفته شده‌اند. آمار این ایستگاه‌ها به نسبت طولانی و قابل قبول‌اند. متوسط طول دورهٔ آماری ۲۶ سال ، کمترین طول دوره ۱۳ و بیشترین ۴۸ سال است. بیشترین ارتفاع ۱۸۰۰متر مربوط به ایستگاه اسدلی واقع در غرب منطقه و کمترین ارتفاع ۴۹۰ متر مربوط به ایستگاه حاتم قلعه واقع در نیمهٔ غربی منطقه است. در جدول (۱) ایستگاه‌های انتخابی به همراه مشخصات جغرافیائی و طول دوره آماری آن‌ها (ستون‌های اول تا پنجم) آمده است.

۷- نتایج و بحث

جدول (۱)، آماره‌های اصلی (میانگین انحراف معیار، ضریب تغییرات و ضریب چولگی) مربوط به ایستگاه‌های انتخابی را نشان می‌دهد. برای تحلیل فراوانی داده‌های هر ایستگاه از چهار روش برآورد PWM، MML، MOM و ENT استفاده شده است. برآورد پارامترهای موقعیت (m) و مقیاس (a) برای ایستگاه‌های مورد مطالعه در جدول (۱) آمده است. برای انتخاب روش کاراتر، از آزمون نیکویی برازش کولموگروف – اسمیرنوف استفاده شده است. پس از انجام آزمون، روش برتر انتخاب و در ستون دهم جدول (۱) با عنوان روش انتخابی درج گردیده است. در اکثر ایستگاه ها روش MML بر سایر روشها برتری دارد. دو روش PWM و ENT تقریباً کارایی مشابهی داشته و روش MOM در رده آخر قرار گرفته است. این امر کاراتر نبودن روش گشتاورهای معمولی را در مقایسه با سه روش دیگر تائید می‌کند.

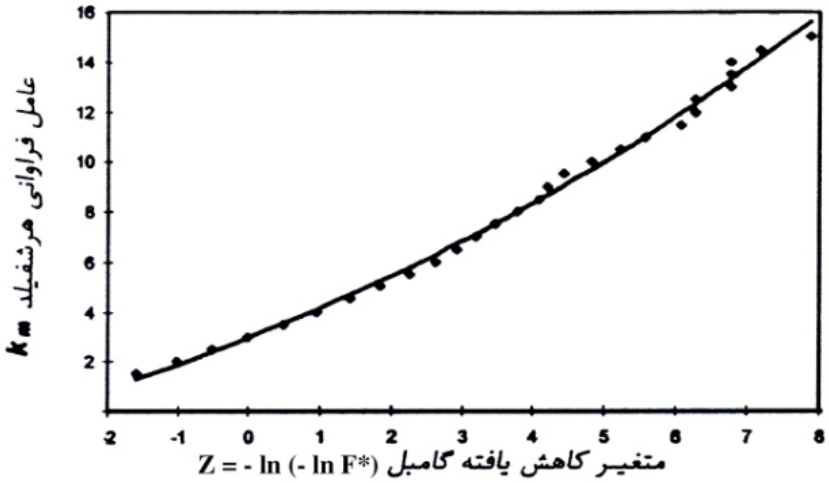
پس از انتخاب روش کاراتر وبرآورد پارامترهای موقعیت m و مقیاس a ، عاملهای P5 و C_i محاسبه شده اند. نتایج به دست آمده در دو ستون آخر جدول (۱) آمده است. به طور کلی C_i ها بین حداقل ۰/۱۴۸۷ (در ایستگاه کبکان) و ۰/۲۸۰۲ (در ایستگاه قزل قان) تغییر می‌کنند. میانگین،انحراف معیار، ضرایب تغییرات، چولگی و کشیدگی C_i به ترتیب ۰/۲۱۶ و ۰/۰۳۴۳، ۰/۱۵۹، ۰/۱۸۵ و ۲/۵۵ به دست آمده است. با توجه به انحراف معیار کوچک C_i می‌توان ایستگاه‌های انتخابی را هم‌منطقه محسوب نمود Eliason (1997) و آن‌ها را در محاسبه PMP24 چند ایستگاهی وارد کرد. رسم C_i ها در مقابل P_5 در شکل (۲) نشان داده شده است. کلیه نقاط، اطراف خط افقی $\overline{C_i} = 0.216$ جمع شده‌اند و فاقد یک الگوی مشخص‌اند. این امر همگنی ایستگاه‌های منطقه را تائید می‌کند (Eliason, 1997) .

داده‌های ایستگاه های منطقه را پس از استاندارد کردن، ادغام نموده و حاصل را روی کاغذ احتمال گامبل پیاده می‌شوند. شکل (۳) تعدادی از این نقاط را نشان می‌دهد. از آنجایی که حجم داده‌های به دست آمده بسیار زیاد (۱۰۸۱ داده) است، لذا، فقط داده‌های بزرگتر انتخاب شده‌اند که در مجموع ۴۵۰ نقطه به دست آمده است. همانگونه که مشاهده می‌شود که بدنهٔ داده‌ها تا حدود ۳ = y، برازش خوبی بر EV1 دارند. اما داده‌ها از این نقطه به بعد به سمت y های بزرگتر تمایل پیدا کرده‌اند.

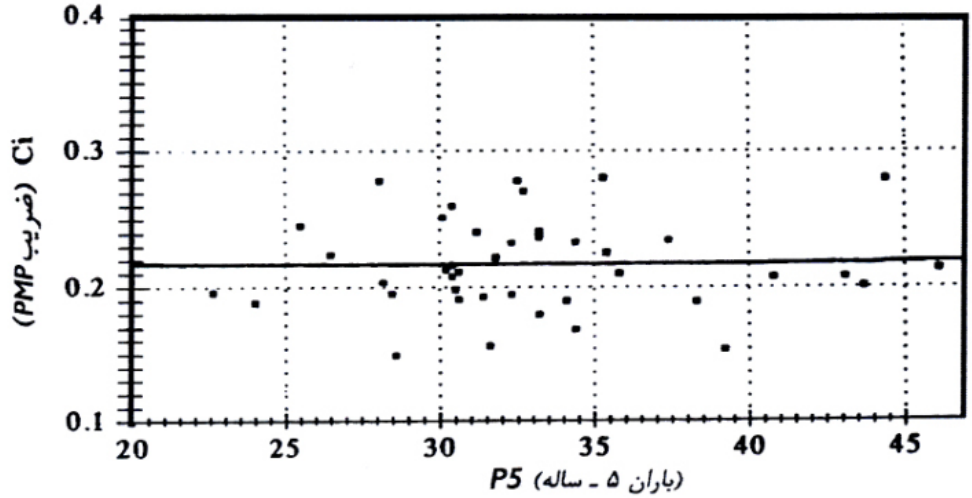
برای محاسبه $y_{\lim}$ ، ابتدا از رابطه (۱۹) مقدار ۱۰/۷ به دست می‌آید. سپس، به کمک محاسبات لازم، مقدار ۱۰/۴ = $y_{\lim}$ و ۳- = K حاصل می‌شود (Eliason, 1997). C_i حداکثر از رابطه (۲۴) حساب شده که حاصل ۰/۰۳۸ به دست آمده است. به کمک رابطه (۲۳) مقدار حداکثر بارندگی محتمل ۲۴ ساعته منطقه به روش چند ایستگاهی ۱۶۷ میلی‌متر می‌شود. این مقدار نقطه‌ای است و تنها برای مساحتی در حدود ۲۵ کیلومتر مربع اطراف نقطه صادق است.

۸- مقایسه با نتایج به دست آمده از روش هرشفیلد

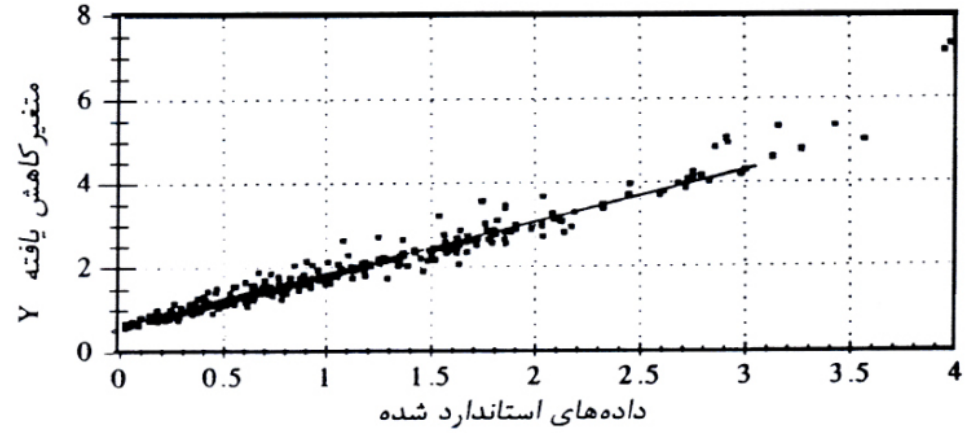
برای روشن‌تر شدن تفاوت‌های بین دو روش هرشفیلد و چند ایستگاهی، PMP24 ایستگاه‌های منطقه به روش اصلاح شدهٔHershfield (1965) نیز حساب شده‌اند. خلاصهٔ این محاسبات و PMP24 برآوردی برای ۴۱ ایستگاه مورد مطالعه به روش اصلاح شدهٔ هرشفیلد در ستون آخر جدول (۲) آمده است . در ستون ماقبل آخر عامل فراوانی (km) نیز ارائه شده است. حد اقل و حداکثر این عامل به ترتیب ۱۷/۹ و ۱۸/۸ است که بیشتر معلول کوتاهی طول دورهٔ آماری است. با توجه به PMP24 محاسبه شده ، دیده می‌شود که نوسان آن در بین این ۴۱ ایستگاه بسیار شدید است. مقدارحداقل آن در ایستگاه اینچه علیا ۱۲۸ میلی‌متر وحداکثر آن در اسدلی ۲۸۴ میلی‌متر است. دامنهٔ تغییرات ۱۵۶ میلی‌متر، میانگین و انحراف معیار آن‌ها به ترتیب ۱۹۴/۴ و ۳۷/۶ میلی‌متر به دست آمده است. تلاش زیادی برای برقراری رابطه‌ای بین PMP24 و سایر خصوصیات ایستگاه‌ها مانند: ارتفاع، طول دورهٔ آماری، مختصات جغرافیائی و غیره صورت گرفت. متأسفانه، الگوی مشخصی برای نوسانات شدید PMP24 در منطقه به دست نیامد. فقط می‌توان ادعا کرد که اگر PMP24 یک ایستگاه انتخاب شود، امکان ریزش بارانی بزرگتر از مقدار انتخابی در سایر نقاط منطقه وجود دارد. در حالی که در روش چند ایستگاهی به علت استفاده از کلیهٔ آمار مشاهده‌ای منطقه، یک مقدار مشترک برآورد می‌شود و وقوع چنین حادثه‌ای کمتر زیر سؤال است. از طرفی با ازدیاد طول دورهٔ آماری هر ایستگاه،



شکل ۱- رسم عاملهای فراوانی رده های مختلف داده های هرشفیلد بر روی کاغذ احتمالی گامبل



شکل ۲- رسم C_i ها در مقابل باران ۵ ساله(p_5)



شکل ۳- پراکنش متغیر کاهش یافته و داده های استاندارد شده‌در کاغذ احتمالی گامبل

جدول ۱- خلاصه تحلیل‌های بارندگی حداکثر ۲۴ ساعته ایستگاه منطقه به منظور برآورد PMP_{24}، به روش چند ایستگاهی

ردیف	نام ایستگاه	مشخصات جغرافیایی			N	آماره‌هاي مورد نياز				روش انتخابي	پارامترها		P5 mm	Ci
		طول	عرض	ارتفاع		Mean	Sd	Cv	Cs		مکانm	مقیاسa		
۱	آبرفابه	۵۶/۸-۵۷	۲۴/۶-۳۷	۱۱۱۰	۲۶	۳۱/۷	۹/۲۷۵	۰/۲۸۷	۱/۵۵	MOM	۲۷/۵۰	۷/۲۳	۳۸/۳	۰/۱۸۸۶
۲	آغمزار	۵۵/۲-۵۶	۴۱/۵-۳۷	۵۸۰	۳۰	۲۵/۱	۹/۳۶۲	۰/۳۷۳	۰/۶۱	MML	۲۰/۶۳	۷/۷۵	۳۲/۳	۰/۲۳۲۳
۳	اسدلي	۲۱/۶-۵۷	۱۷/۶-۳۷	۱۸۰۰	۱۶	۳۶/۱	۱۲/۲۷۱	۰/۳۲۹	۰/۶۲	PWM	۲۹/۸۶	۱۰/۸۰	۴۶/۱	۰/۲۱۳۰
٤	ارداك	۲۳/۵-۵۹	۴۳/۸-۳۶	۱۳۱۰	۲۶	۲۳/۳	۷/۴۸۵	۰/۳۱۵	۱/۶۰	MML	۲۰/۱۲	۵/۴۰	۲۸/۲	۰/۲۰۳۳
۵	اینچه‌علیا	۲۴/۲-۵۶	۳۷/۵-۳۷	۷۷۰	۲۵	۱۷/۲	۵/۲۵۹	۰/۳۰۰	-۰/۳۸	MML	۱۴/۴۳	۴/۴۵	۲۲/۶	۰/۱۹۵۸
۶	بجنورد	۱۹/۰-۵۷	۲۸/۰-۳۷	۱۰۹۱	۲۷	۲۴/۴	۸/۱۸۴	۰/۳۳۰	۲/۴۴	MML	۲۰/۵۱	۶/۷۴	۳۰/۶	۰/۲۱۱۰
۷	باباامان	۲۶/۳-۵۷	۲۸/۷-۳۷	۱۰۲۰	۳۰	۲۵/۱	۷/۵۲۵	۰/۳۳۹	۰/۳۰	MML	۲۱/۴۲	۶/۶۵	۳۱/۴	۰/۱۹۲۳
۸	بهار	۴۵/۳-۵۶	۱۶/۷-۳۸	۸۴۰	۲۰	۲۴/۵	۱۱/۳۳۲	۰/۴۵۰	۱/۶۷	MOM	۱۹/۴۳	۸/۸۴	۳۲/۷	۰/۲۷۰۴
۹	بارزو	۵۷/۸-۵۷	۳۵/۹-۳۷	۱۴۰۰	۳۱	۲۲/۸	۱۰/۰۰۱	۰/۴۳۱	۰/۵۲	PWM	۱۸/۰۶	۸/۲۶	۳۰/۴	۰/۲۵۹۸
۱۰	بربرقلعه	۱۸/۰-۵۷	۲۸/۴-۳۷	۱۰۷۰	۳۳	۲۴/۲	۹/۶۰۸	۰/۳۹۱	۰/۷۸	MML	۱۹/۷۹	۷/۶۲	۳۱/۲	۰/۲۴۰۶
۱۱	بش‌فارداش	۱۸/۰-۵۷	۲۴/۸-۳۷	۱۱۶۰	۱۸	۲۲/۷	۶/۹۰۱	۰/۲۹۶	۰/۲۳	MML	۱۹/۲۸	۶/۱۶	۲۸/۵	۰/۱۹۴۸
۱۲	بیدواز	۳۰/۷-۵۷	۴/۷-۳۷	۱۲۱۰	۲۹	۲۸/۳	۹/۴۴۰	۰/۳۲۸	۰/۲۶	MML	۲۳/۶۷	۸/۰۸	۳۵/۸	۰/۲۰۹۹
۱۳	بار- اربه	۴۲/۳-۵۸	۲۷/۶-۳۶	۱۵۶۰	۴۸	۳۲/۶	۱۰/۷۱۱	۰/۳۲۵	۰/۴۶	MML	۲۷/۵۱	۸/۸۶	۴۰/۸	۰/۲۰۷۲
۱۴	چناران	۷/۶-۵۹	۳۸/۹-۳۶	۱۱۷۰	۱۵	۲۱/۱	۱۰/۱۲۵	۰/۴۶۳	۱/۲۷	MML	۱۶/۶۴	۷/۶۳	۲۸/۱	۰/۲۷۷۸
۱۵	حصه‌گاه	۱/۹-۵۸	۳۹/۴-۳۷	۶۲۰	۱۹	۲۵/۴	۵/۹۰۹	۰/۲۲۷	-۰/۳۵	MML	۲۲/۳۰	۶/۲۰	۳۱/۶	۰/۱۵۵۶
۱۶	حاتم‌قلعه	۲۲/۰-۵۹	۱۸/۷-۳۷	۴۹۰	۳۴	۲۲/۸	۹/۵۵۴	۰/۴۱۳	۰/۵۴	MML	۱۸/۲۵	۷/۸۷	۳۰/۱	۰/۲۵۱۴
۱۷	جهان‌آباد	۱۲/۶-۵۸	۱۸/۲-۳۷	۱۱۸۵	۲۳	۲۵/۳	۹/۰۴۵	۰/۳۴۹	۰/۹۰	MML	۲۱/۱۸	۷/۰۶	۳۱/۸	۰/۱۶۸۱
۱۸	خرتوت	۳۹/۷-۵۶	۵۵/۴-۳۷	۶۹۵	۳۰	۲۸/۹	۷/۳۶۶	۰/۲۵۱	۱/۲۳	PWM	۲۵/۴۳	۵/۹۵	۳۴/۴	۰/۲۲۱۶
۱۹	دربندسملفان	۵۹/۲-۵۶	۳۶/۰-۳۷	۷۰۰	۳۰	۲۳/۹۱	۷/۶۷۰	۰/۳۲۱	۰/۴۹۴	MML	۲۱/۰۳	۸/۱۱	۳۳/۲	۰/۲۳۶۹
۲۰	دولت‌آباد	۱۰/۰-۵۹	۲۶/۳-۳۶	۱۵۱۰	۲۷	۲۴/۳	۷/۲۰۶	۰/۲۹۱	۰/۱۴	MML	۲۰/۷۶	۶/۵۶	۳۰/۶	۰/۱۹۰۴
۲۱	درکش	۴۵/۰-۵۶	۲۶/۲-۳۷	۱۰۶۰	۳۰	۳۲/۹	۷/۵۱۱	۰/۲۲۵	۰/۲۰	MML	۲۹/۲۰	۶/۳۵	۳۹/۲	۰/۱۵۳۰
۲۲	دهنه‌اخلمد	۵۷/۰-۵۸	۳۶/۰-۳۶	۱۴۶۰	۲۶	۲۵/۸	۱۰/۲۶۷	۰/۳۹۰	۱/۲۴	MOM	۲۱/۲۱	۸/۰۰	۳۳/۲	۰/۲۴۱۱
۲۳	رسالت	۴۴/۸-۵۶	۳۰/۱-۳۷	۸۵۰	۲۵	۲۵/۶	۸/۶۹۹	۰/۳۳۳	۲/۲۲	MML	۲۲/۱۷	۵/۳۲	۳۰/۲	۰/۲۱۲۷
۲۴	رادکان	۵/۰-۵۹	۴۸/۴-۳۶	۱۲۰۰	۲۸	۲۴/۷	۷/۶۵۵	۰/۳۰۵	۱/۴۳	MML	۲۱/۲۶	۶/۱۵	۳۰/۵	۰/۱۹۷۸
۲۵	سرآسیاب	۲۰/۰-۵۹	۲۴/۰-۳۶	۱۲۷۰	۲۱	۲۴/۳	۸/۰۱۱	۰/۳۲۱	۰/۹۹	PWM	۲۰/۵۳	۶/۶۰	۳۰/۴	۰/۲۰۷۶
۲۶	سه یك آب	۵۶/۸-۵۷	۲۴/۶-۳۷	۱۱۱۰	۳۱	۲۴/۹	۸/۶۱۱	۰/۳۴۰	۰/۸۲	MML	۲۰/۹۵	۶/۳۲	۳۰/۴	۰/۲۱۶۱
۲۷	شمخال	۲۷/۲-۵۸	۳۵/۴-۳۷	۱۴۹۵	۲۶	۲۸/۰	۱۰/۲۱۰	۰/۳۵۷	۰/۰۳	MOM	۲۳/۴۲	۷/۹۶	۳۵/۴	۰/۲۲۵۲
۲۸	شیرآباد	۵۵/۵-۵۶	۳۰/۹-۳۷	۸۶۰	۳۱	۳۵/۶	۱۷/۱۸۴	۰/۴۷۵	۲/۲۸	MML	۲۸/۸۸	۱۰/۳۳	۴۴/۴	۰/۲۷۹۴
۲۹	طاغون	۴۰/۸-۵۸	۲۵/۴-۳۶	۱۴۹۵	۲۸	۲۷/۵	۷/۵۵۸	۰/۲۷۰	۰/۹۳	PWM	۲۳/۸۶	۶/۲۴	۳۳/۲	۰/۱۷۹۲
۳۰	عرافي	۲۹/۳-۵۷	۱۲/۳-۳۷	۱۶۵۰	۲۹	۳۴/۱	۱۰/۷۴۴	۰/۳۱۰	-۰/۰۰	MML	۲۸/۶۸	۱۰/۰۰	۴۳/۷	۰/۲۰۰۵
۳۱	علي محمد	۳۷/۵-۵۷	۴۵/۰-۳۷	۱۲۶۰	۳۰	۲۸/۲	۱۰/۷۱۵	۰/۳۷۴	۱/۴۷	MML	۲۳/۶۰	۷/۲۱	۳۴/۴	۰/۲۳۳۰
۳۲	غلامان	۸/۶-۵۷	۳/۴-۳۸	۱۲۴۰	۱۳	۲۹/۷	۱۱/۳۷۲	۰/۳۶۸	۰/۹۶	MML	۲۴/۴۷	۸/۶۵	۳۷/۴	۰/۲۳۴۴
۳۳	فاروج	۱۳/۰-۵۷	۱۴/۰-۳۷	۱۲۰۰	۳۰	۲۰/۶	۷/۴۶۲	۰/۳۵۵	۰/۷۷	MML	۱۷/۱۸	۶/۱۹	۲۶/۵	۰/۲۲۳۷
۳۴	قدیرآباد	۵۸/۵-۵۸	۴۸/۳-۳۶	۱۱۷۵	۱۳	۱۹/۸	۵/۷۷۵	۰/۲۸۰	۰/۰۳	MOM	۱۷/۲۱	۴/۵۰	۲۴/۰	۰/۱۸۸۰
۳۵	فزل فان	۲۵/۲-۵۷	۳۹/۹-۳۷	۱۰۴۰	۲۵	۲۶/۱	۱۲/۶۶۸	۰/۴۷۵	۱/۷۴	MOM	۲۰/۴۴	۹/۸۸	۳۵/۳	۰/۲۸۰۲
۳۶	فتلیش	۱۸/۱-۵۷	۴۶/۰-۳۷	۹۸۰	۳۱	۲۰/۶	۸/۳۷۷	۰/۴۰۱	۱/۵۲	MML	۱۷/۰۲	۵/۶۸	۲۵/۵	۰/۲۴۵۷
۳۷	کبکان	۴۲/۶-۵۷	۱۵/۰-۳۷	۱۴۳۵	۲۱	۲۳/۸	۵/۲۵۳	۰/۲۱۶	۰/۰۹	MML	۲۱/۱۴	۴/۹۵	۲۸/۶	۰/۱۴۸۷
۳۸	گرمخان	۲۸/۳-۵۸	۳۱/۸-۳۷	۹۲۰	۳۰	۲۷/۷	۸/۱۴۲	۰/۲۸۹	۰/۴۴	PWM	۲۳/۶۹	۶/۹۱	۳۴/۱	۰/۱۸۹۳
۳۹	گلمکان	۹/۰-۵۷	۲۸/۸-۳۶	۱۴۵۰	۳۲	۲۵/۳	۷/۶۸۱	۰/۲۹۸	۰/۰۴	MML	۲۱/۵۱	۷/۱۹	۳۲/۳	۰/۱۹۴۰
۴۰	مارشك	۳۲/۸-۵۹	۴۹/۲-۳۶	۱۸۷۰	۲۰	۲۶/۴	۱۰/۸۶۵	۰/۴۰۲	۱/۵۰	MML	۲۱/۷۸	۷/۱۸	۳۲/۵	۰/۲۷۷۸
۴۱	بنگجه	۱۵/۴-۵۸	۴۹/۹-۳۶	۱۶۸۰	۲۴	۳۴/۲	۱۱/۲۴۰	۰/۳۲۲	۰/۵۴	MML	۲۸/۸۰	۹/۵۵	۴۳/۱	۰/۲۰۷۶

راهنما: N = طول دوره (سال)، Mean= (میانگین)، Sd= انحراف معیار، C_v = ضریب تغییرات، C_S= ضریب چولگی، C_i= ضریب PMP

روش‌های برآورد: MOM= گشتاورها، MML = حداکثر درست نمائی، ENT= حداکثر آنتروپی، PWM= گشتاورهای وزن‌دار احتمالی

جدول ۲- خلاصه محاسبات PMP_{24} به روش اصلاح شده هرشفیلد.

سفر	نام ایستگاه	مشخصات جغرافیایی			N	آمارههاي مورد نياز				آمارهاي تحصيح‌شده		K_m	PMP
		طول	عرض	ارتفاع		Mean	Sd	Cv	Cs	S_{n-m}	$\overline{X}_{n-m}$		
۱	آبرفایه	۵۶/۸-۵۷	۲۴/۶-۳۷	۱۱۱۰	۲۶	۳۱/۷	۹/۲۷۵	۰/۲۸۷	۱/۵۵	۶/۹۱	۳۰/۴۶	۱۸/۲	۱۸۵
۲	آغمزار	۵۵/۲-۵۶	۴۱/۵-۳۷	۵۸۰	۳۰	۲۵/۱	۹/۳۶۲	۰/۳۷۳	۰/۶۱	۸/۲۸	۲۴/۲۶	۱۸/۵	۲۰۰
۳	اسدلي	۲۱/۶-۵۷	۱۷/۶-۳۷	۱۸۰۰	۱۶	۳۶/۱	۱۲/۲۷۱	۰/۳۲۹	۰/۶۲	۱۱/۰۶	۳۴/۷۷	۱۷/۹	۲۸۴
۴	ارداك	۲۳/۵-۵۹	۴۳/۸-۳۶	۱۳۱۰	۲۶	۲۳/۳	۷/۴۸۵	۰/۳۱۵	۱/۶۰	۵/۳۴۸	۲۲/۳۰	۱۷/۶	۱۴۳
۵	اینچه‌علیا	۲۴/۲-۵۶	۳۷/۵-۳۷	۷۷۰	۲۵	۱۷/۲	۵/۲۵۹	۰/۳۰۰	-۰/۳۸	۴/۹۲۶	۱۶/۷۹	۱۸/۸	۱۲۸
۶	بجنورد	۱۹/۰-۵۷	۲۸/۰-۳۷	۱۰۹۱	۲۷	۲۴/۴	۸/۱۸۴	۰/۳۳۰	۲/۴۴	۷/۴۷۸	۲۳/۷۳	۱۸/۵	۱۸۲
۷	باباامان	۲۶/۳-۵۷	۲۸/۷-۳۷	۱۰۲۰	۳۰	۲۵/۱	۷/۵۲۵	۰/۳۳۹	۰/۳۰	۷/۱۲	۲۴/۶۶	۱۸/۵	۱۷۲
۸	بهار	۴۵/۳-۵۶	۱۶/۷-۳۸	۸۴۰	۲۰	۲۴/۵	۱۱/۳۳۲	۰/۴۵۰	۱/۶۷	۷/۶۶۱	۲۲/۶۶	۱۸/۵	۱۹۸
۹	بارزو	۵۷/۸-۵۷	۳۵/۹-۳۷	۱۴۰۰	۳۱	۲۲/۸	۱۰/۰۰۱	۰/۴۳۱	۰/۵۲	۸/۶۳۶	۲۱/۹۲	۱۸/۷	۲۱۱
۱۰	بربرقلعه	۱۸/۰-۵۷	۲۸/۴-۳۷	۱۰۷۰	۳۳	۲۴/۲	۹/۶۰۸	۰/۳۹۱	۰/۷۸	۸/۵۵۵	۲۱/۴۲	۱۸/۵	۲۰۸
۱۱	بش‌فارداش	۱۸/۰-۵۷	۲۴/۸-۳۷	۱۱۶۰	۱۸	۲۲/۷	۶/۹۰۱	۰/۲۹۶	۰/۲۳	۶/۱۷۶	۲۱/۹۴	۱۸/۷	۱۶۷
۱۲	بیدواز	۳۰/۷-۵۷	۴/۷-۳۷	۱۲۱۰	۲۹	۲۸/۳	۹/۴۴۰	۰/۳۲۸	۰/۲۶	۸/۸۸۶	۲۷/۶۱	۱۸/۳	۲۲۷
۱۳	بار- اریه	۴۲/۳-۵۸	۲۷/۶-۳۶	۱۵۶۰	۴۸	۳۲/۶	۱۰/۷۱۱	۰/۳۲۵	۰/۴۶	۱۰/۱۹۰	۳۲/۱۳	۱۸/۱	۲۳۳
۱۴	چناران	۷/۶-۵۹	۳۸/۹-۳۶	۱۱۷۰	۱۵	۲۱/۱	۱۰/۱۲۵	۰/۴۶۳	۱/۲۷	۶/۸۱۱	۱۹/۱۴	۱۸/۷	۱۹۱
۱۵	حصه‌گاه	۱/۹-۵۸	۳۹/۴-۳۷	۶۲۰	۱۹	۲۵/۴	۵/۹۰۹	۰/۲۲۷	-۰/۳۵	۵/۳۵۷	۲۴/۱۹	۱۸/۵	۱۴۶
۱۶	حاتم‌قلعه	۲۲/۰-۵۹	۱۸/۷-۳۷	۴۹۰	۳۴	۲۲/۸	۹/۵۵۴	۰/۴۱۳	۰/۵۴	۸/۷۰۹	۲۲/۰۹	۱۸/۷	۲۰۹
۱۷	جهان‌آباد	۱۲/۶-۵۸	۱۸/۲-۳۷	۱۱۸۵	۲۳	۲۵/۳	۹/۰۴۵	۰/۳۴۹	۰/۹۰	۷/۲۷۲	۲۴/۲۰	۱۸/۵	۱۸۹/۵
۱۸	خرتوت	۳۹/۷-۵۶	۵۵/۴-۳۷	۶۹۵	۳۰	۲۸/۹	۷/۳۶۶	۰/۲۵۱	۱/۲۳	۶/۶۰۵	۲۸/۱۰	۱۸/۳	۱۸۰
۱۹	درشدسملقان	۵۹/۲-۵۶	۳۶/۱-۳۷	۷۰۰	۳۰	۲۳/۹۱	۷/۶۷۰	۰/۳۲۱	۰/۴۹۴	۷/۰۸۰	۲۳/۳۰	۱۸/۶	۱۷۶
۲۰	دولت‌آباد	۱۰/۰-۵۹	۲۶/۳-۳۶	۱۵۱۰	۲۷	۲۴/۳	۷/۲۰۶	۰/۲۹۱	۰/۱۴	۶/۴۹۰	۲۳/۷۳	۱۸/۵	۱۶۵
۲۱	درکش	۴۵/۰-۵۶	۲۶/۲-۳۷	۱۰۶۰	۳۰	۳۲/۹	۷/۵۱۱	۰/۲۲۵	۰/۲۰	۷/۲۰۸	۳۲/۶۵	۱۸/۱	۱۸۴
۲۲	دهنه‌اخلمد	۵۷/۰-۵۸	۳۶/۱-۳۶	۱۴۶۰	۲۶	۲۵/۸	۱۰/۲۶۷	۰/۳۹۰	۱/۲۴	۷/۸۹۷	۲۴/۵۴	۱۸/۵	۲۰۷
۲۳	رسالت	۴۴/۸-۵۶	۳۰/۱-۳۷	۸۵۰	۲۵	۲۵/۶	۸/۶۹۹	۰/۳۳۳	۲/۲۲	۵/۶۵۷	۲۴/۴۱	۱۸/۵	۱۵۵
۲۴	رادکان	۵/۰-۵۹	۴۸/۴-۳۶	۱۲۰۰	۲۸	۲۴/۷	۷/۶۵۵	۰/۳۰۵	۱/۴۳	۷/۳۹۹	۲۴/۰۱	۱۸/۵	۱۸۳
۲۵	سرآسیاب	۲۰/۰-۵۹	۲۴/۰-۳۶	۱۲۷۰	۲۱	۲۴/۳	۸/۰۱۱	۰/۳۲۱	۰/۹۹	۶/۱۰۰	۲۳/۲۰	۱۸/۵	۱۵۹
۲۶	سه بك آب	۵۶/۸-۵۷	۲۴/۶-۳۷	۱۱۱۰	۳۱	۲۴/۹	۸/۶۱۱	۰/۳۴۰	۰/۸۲	۷/۷۰۱	۲۳/۸۳	۱۸/۵	۱۹۰
۲۷	شمخال	۲۷/۲-۵۸	۳۵/۴-۳۷	۱۴۹۵	۲۶	۲۸/۰	۱۰/۲۱۰	۰/۳۵۷	۰/۰۳	۸/۸۴۸	۲۷/۰۲	۱۸/۳	۲۲۲
۲۸	شیرآباد	۵۵/۵-۵۶	۳۰/۹-۳۷	۸۶۰	۳۱	۳۵/۶	۱۷/۱۸۴	۰/۴۷۵	۲/۲۸	۱۱/۵۸۱	۳۳/۳۲	۱۸/۰	۲۷۷
۲۹	طاغون	۴۰/۸-۵۸	۲۵/۴-۳۶	۱۴۹۵	۲۸	۲۷/۵	۷/۵۵۸	۰/۲۷۰	۰/۹۳	۶/۱۳۴	۲۶/۶۳	۱۸/۴	۱۶۲
۳۰	عرافي	۲۹/۳-۵۷	۱۲/۳-۳۷	۱۶۵۰	۲۹	۳۴/۱	۱۰/۷۴۴	۰/۳۱۰	-۰/۰۰	۱۰/۰۳۶	۳۳/۳۶	۱۸/۰	۲۵۲
۳۱	علي محمد	۳۷/۵-۵۷	۴۵/۰-۳۷	۱۲۶۰	۳۰	۲۸/۲	۱۰/۷۱۵	۰/۳۷۴	۱/۴۷	۸/۵۹۹	۲۶/۹۸	۱۸/۴	۲۱۲
۳۲	غلامان	۸/۶-۵۷	۳/۴-۳۸	۱۲۴۰	۱۳	۲۹/۷	۱۱/۳۷۲	۰/۳۶۸	۰/۹۶	۷/۸۶۵	۲۷/۳۸	۱۸/۳	۲۲۷
۳۳	فاروج	۱۳/۰-۵۷	۱۴/۰-۳۷	۱۲۰۰	۳۰	۲۰/۶	۷/۴۶۲	۰/۳۵۵	۰/۷۷	۶/۵۰۵	۱۹/۹۸	۱۸/۷	۱۷۰
۳۴	فدیرآباد	۵۸/۴-۵۸	۴۸/۳-۳۶	۱۱۷۵	۱۳	۱۹/۸	۵/۷۷۵	۰/۲۸۰	۰/۰۳	۵/۱۱۴	۱۸/۹۶	۱۸/۸	۱۵۰
۳۵	فزل فان	۲۵/۲-۵۷	۳۹/۹-۳۷	۱۰۴۰	۲۵	۲۶/۱	۱۲/۶۶۸	۰/۴۷۵	۱/۷۴	۷/۳۰۱	۲۳/۲۶	۱۸/۴	۱۹۷
۳۶	فتلیش	۱۸/۱-۵۷	۴۶/۰-۳۷	۹۸۰	۳۱	۲۰/۶	۸/۳۷۷	۰/۴۰۱	۱/۵۲	۵/۴۲۹	۱۸/۹۰	۱۸/۷	۱۸۶
۳۷	کبکان	۴۲/۶-۵۷	۱۵/۰-۳۷	۱۴۳۵	۲۱	۲۳/۸	۵/۲۵۳	۰/۲۱۶	۰/۰۹	۴/۵۷۸	۲۳/۲۰	۱۸/۶	۱۴۰
۳۸	گرمخان	۲۸/۳-۵۸	۳۱/۸-۳۷	۹۲۰	۳۰	۲۷/۷	۸/۱۴۲	۰/۲۸۹	۰/۴۴	۶/۷۶۰	۲۶/۴۵	۱۸/۴	۱۸۸
۳۹	گلمکان	۹/۰-۵۷	۲۸/۸-۳۶	۱۴۵۰	۳۲	۲۵/۳	۷/۶۸۱	۰/۲۹۸	۰/۰۴	۷/۵۰۲	۲۴/۹۷	۱۸/۵	۱۷۵
۴۰	مارشك	۳۲/۸-۵۹	۴۹/۲-۳۶	۱۸۷۰	۲۰	۲۶/۴	۱۰/۸۶۵	۰/۴۰۲	۱/۵۰	۷/۹۱۵	۲۴/۷۱	۱۸/۴	۲۶۴
۴۱	ینگجه	۱۵/۴-۵۸	۴۹/۹-۳۶	۱۶۸۰	۲۴	۳۴/۲	۱۱/۲۴۰	۰/۳۲۲	۰/۵۴	۸/۸۳۰	۳۲/۰۲	۱۸/۰	۲۷۲

راهنما: N = طول دوره (سال)، Mean= میانگین، Sd= انحراف معیار، C_v = ضریب تغییرات، C_S= ضریب چولگی، K_m= عامل فراوانی

PMP24 برآوردی به روش چند ایستگاهی از ثبات بیشتری برخوردار است و کمتر تحت تأثیر طول دوره قرار می‌گیرد، در حالی که در روش هرشفیلد طول دورهٔ آماری اثر بسیار مهمی در برآورد این پدیده دارد. شایان ذکر است که هرشفیلد مقدار عامل فروانی را در مطالعهٔ ۲۶۴۵ ایستگاه برای دوره‌های زیر ۱۴ سال ۱۴/۵ تا ۱۵ به دست آورده است . در حالی که این عامل برای دوره‌های ۲۵ تا ۶۰ سال بین ۶/۵ تا ۱۱/۵ متغیر است. این تغییر برای دوره‌های بیش از ۷۰ سال به ۶ تا ۶/۵ تنزل می‌کند. Koutsoyainnis (1999) با

مطالعهٔ دوبارهٔ پژوهش‌های هرشفیلد ، نشان داد که عامل فراوانی ۱۵ در نظر گرفته شده توسط هرشفیلد دورهٔ بازگشتی در حدود ۶۰۰۰۰ سال دارد که این عدد دور از تعریف حداکثر بارش است. شکل (۱) عامل فراوانی ایستگاه‌های مورد مطالعهٔ هرشفیلد را روی کاغذ گامبل نشان می‌دهد. نقاط انتهائی مربوط به ایستگاه‌هائی با طول دورهٔ آماری کوتاه مدت و نقاط ابتدائی مربوط به دوره‌های بلند مدت است. در روش اصلاح شده نیز همین روند نزولی در عامل فراوانی وجود دارد، با این تفاوت که عامل فراوانی در روش اصلاح شده به مقدار اندکی تصحیح می‌شود. افزون بر این ، هرشفیلد در مطالعات خود به این نتیجه رسید که عامل فراوانی برای مناطق خشک باید بین ۱۵ تا۲۰ باشد. در حالی که در مناطق مرطوب با بارش‌های سنگین این عامل کمتر از ۱۵ است (Koutsoyainnis, 1999). بنابر این، PMP24 ایستگاه در روش هرشفیلد کاهش قابل توجهی با افزایش طول دوره آماری دارد. در حالی که روش چند ایستگاهی کمتر تحت تأثیر این تغییر قرار می‌گیرد. دقت شود که با ازدیاد طول دورهٔ آماری تغییرات میانگین و انحراف معیار داده‌ها بسیار کمتر از کاهش شدید عامل فراوانی است.

۹- نتیجه گیری

در مقالهٔ حاضر پس از بررسی بنیان ریاضی روش هرشفیلد و چند ایستگاهی و انجام یک تحقیق موردی، ابتدا، برتری روش برآورد حداکثر درست‌نمائی به اثبات رسید. پیشنهاد می‌شود که پارامترهای توزیع مادر منطقه‌ای از این روش برآورد شوند. روش چند ایستگاهی از بنیان ریاضی قوی‌تری نیز بر خوردار است. افزون بر این، این روش از تمام آمار مشاهده‌ای منطقه استفاده می‌کند و بارشهای بزرگ منطقه را به حساب می‌آورد، بنابر این، کمتر تحت تأثیر نقاط فرین است. نتیجه این که نوسانات PMP24 برآوردی با روش چند ایستگاهی ثبات بیشتری دارد و کمتر زیر نفوذ طول دوره و ایـن داده‌های فرین است، در حالی که روش هرشفیلد شدیداً تحت تأثیر این دو عامل است. بنابراین، روش چند ایستگاهی بر روش هرشفیلد ارجحیت دارد . البته برای به کارگیری این روش نیاز به حجم عملیات بیشتر و تسلط بر دانش آماری بیشتر است.

پی‌نوشت‌ها

1-Probable Maximum Precipitation
2-Depth-Area-Duration
3-World Meteorological Organization
4-Natural Environmental Resource Council
5-Extreme Value Type I
6-Method of Moment
7-Method of Maximum Likelihood
8-Maximum Entropy
9-Probability Weigthed Moment
10-Independent, Identical Distribution
11-Transformed Distribution Function
12-Cut off Distribution Function

۱۰-مراجع

رشتچی، ژاله (۱۳۷۴) ، بارندگی حداکثر محتمل، انتشارات وزارت نیرو.

رضایی پژند، حجت (۱۳۸۰)، کاربرد آمار و احتمال در منابع آب ، انتشارات دانشگاه آزاد مشهد.

Asquith, G. (2000), "Precipitation areal-reduction factor estimating using an annual–maxima,centered approach", *J. Hyrol.* , 230, pp. 55-69.

Eliason, J. (1991),"Probable maximum precipitation in Iceland: Station value", *Nord. Hydrol.* 23(1), pp. 49-56.

Eliason, J. (1994),"Satistical estimation of PMP values", *Nord. Hydrol.*, 25(4), pp. 301-312.

Eliason, J. (1997), "A Statistical model for extreme precipitation", *Water Resour. Res.*, 33(3), pp. 449-455.

Hershfield, D. M. (1965), "Method for estimating maximum probable *precipitation*", *J. Am. Water Works Assoc.*, 57, pp. 965-972.

Koutsoyainnis, D. (1999), "A probabilistic view of Hershfield`s method for estimating probable maximum precipitation" ,*Water Resour. Res.*, 35(4), pp. 1313-1322.

Natural Environment Resource Council (NERC)(1975), *"Flood Studies Report (FSR)"*, Vol. II. Oxon, U.K., 1975.

Schaefer, M. G. (1990), "Regional analysis of Precipitation annual maxima in Washington state", *Water Resour. Res.*, 26(1), pp. 13-19.

World Meteorological Organization (WMO) (1986), "Manual for Estimation of Probable Maximum Precipitation: Summary", 2nd ed., *WMO 332, Oper. Hydrol. Rep.1.*

تاریخ دریافت مقاله: ۱۶ آذر ۱۳۸۲
تاریخ پذیرش مقاله: ۲۵ بهمن ۱۳۸۴