



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

H. Rezaee-Pazhand<sup>1</sup>, B. Ghahraman<sup>2</sup>

### 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 upcoming 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 method and showed the performances of the former.

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

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

حجت رضائی پژند<sup>۱</sup> و بیژن قهرمان<sup>۲</sup>

### چکیده

هرشفیلد برآورد بارندگی حداکثر محتمل (PMP) را در سال ۱۹۶۱ به روش آماری پایه‌ریزی کرده است. این پژوهشگر روش اصلاح شده‌ای را برای ۲۶۴۵ ایستگاه با مطالعه بارندگی حداکثر ۲۴ ساعته 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 کلیه ایستگاه‌های هم اقلیم یک منطقه استفاده می‌کند، زیرا PMP می‌تواند در هر نقطه این منطقه رخ دهد. بنیان ریاضی روش به توزیع گامبل نوع ۱ و توزیع‌های منشعب از آن وابسته است. الیاسون پارامترها را تنها به روش گشتاورهای معمولی برآورد کرده و PMP را با این برآورد به دست آورده است. در مقاله حاضر برای برآورد پارامترها از سه روش برآورد دیگر به نام‌های حداکثر درست‌نمایی، 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 درست‌نمایی را نسبت به روش گشتاوری نشان می‌دهد. علاوه بر این، PMP این ایستگاه‌ها نیز به روش اصلاح شده هرشفیلد محاسبه و نتیجه با روش چند ایستگاهی مقایسه شده است. نتایج به دست آمده برتری و ثبات روش چند ایستگاهی را تأیید می‌کند.

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

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

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

## ۱- مقدمه

از ضعف‌های عمده این دو روش به حساب می‌آید (WMO, 1986) و (NERC, 1975).

در آمریکا تلاش‌هایی برای دستیابی به روش‌های کارتر صورت پذیرفته است. روش چند ایستگاهی یکی از نتایج این تحقیقات است. الیاسن اصول و بنیان ریاضی این روش را در سال ۱۹۹۷ به کمک P<sub>24</sub> ایالت واشنگتن آمریکا - که از سه اقلیم خشک، مرطوب و ساحلی تشکیل شده- و همچنین P<sub>24</sub> کشور ایسلند تدوین و معرفی کرده است (Eliason, 1991, 1994, 1997; Scheafer, 1990). این روش بر اساس دم توزیع گامبل نوع یک (EV1)<sup>۱</sup> 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 شده منطقه استفاده کرد. الیاسن برای برآورد پارامترهای توزیع گامبل از روش گشتاورهای معمولی (MOM)<sup>۲</sup> استفاده کرده است (Eliason, 1991). علاوه بر روش گشتاورها، روش‌های دیگری نیز برای برآورد پارامترها وجود دارد. از این میان می‌توان به روش‌های کارتر حداکتر درست‌نمایی (MML)<sup>۳</sup>، حداکتر آنتروپی (ENT)<sup>۴</sup> و گشتاورهای وزن‌دار احتمالی (PWM)<sup>۵</sup> اشاره کرد (رضائی پزند، 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 تحلیل ۴۱ 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<sub>24</sub> را می‌توان یک متغیر تصادفی مستقل هم توزیع (i.i.d.)<sup>۱</sup> فرض کرد. گامبل نوع یک (EV1) یکی از توزیع‌های مناسب این پدیده است (رضائی پزند، ۱۳۸۰). بر این اساس متغیرهای i.i.d و حداکترهایش به طور مجانبی به صورت EV1 توزیع می‌شوند. داده‌های P<sub>24</sub> در بدنه توزیع EV1 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

حداکتر بارندگی محتمل (PMP) برابر بیشترین ارتفاع بارندگی است که از دیدگاه نظری در مدت 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 می‌شود (رشتچی، ۱۳۷۴) و (Hershfield, 1965). از این جمله می‌توان به روش سینوپتیکی، حداکترکردن طوفان‌های رخ داده و انتقال آن به منطقه مورد نظر، استفاده از منحنی‌های عمق - مساحت - مدت (DAD)<sup>۲</sup> برای طوفان‌های شدید مشاهده‌ای و روابط تجربی اشاره کرد. برآورد PMP به شیوه هواشناسی به علت نقص اطلاعات مورد نیاز در نقاط مختلف و حوضه‌های آبریز چندان آسان نیست.

در روش آماری، از بارندگی حداکتر ۲۴ ساعته (P<sub>24</sub>) مشاهده‌ای ایستگاه باران‌سنج استفاده می‌شود. مبتکر این روش هرشفیلد است. نامبرده در سال ۱۹۶۱ روش برآورد PMP بیست و چهار ساعته نقطه‌ای (PMP24) را به روش آماری ارائه داده است. این پژوهشگر ۲۶۴۵ ایستگاه باران‌سنجی را انتخاب و P<sub>24</sub> سالانه 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 دوره 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 ۱۵ در نظر گرفت. سازمان جهانی هواشناسی (WMO)<sup>۳</sup> در سال ۱۹۸۶ 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 دوره 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)<sup>۴</sup> در سال ۱۹۷۵ روش نظام‌دارتری ارائه داد که بر مبنای مطالعه دم (دنباله) توابع توزیع P<sub>24</sub> 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،

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 پزند (۱۳۸۰) آمده است. در این روابط  $y = \frac{x-m}{a}$  متغیر کاهش یافته،  $m$  پارامتر موقعیت و  $a > 0$  پارامتر مقیاس است (رضائی پزند، ۱۳۸۰).

(۶) تابع چگالی EV1

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

(۷) تابع توزیع EV1

$$F(x) = \text{Exp}[-\text{Exp}(-y)]$$

**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.

$$\hat{a} = 0.7797 S \quad (۸)$$

$$\hat{m} = \bar{x} - 0.45 S \quad (۹)$$

**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 پزند، ۱۳۸۰).

$$\sum y_i - \sum y_i \text{Exp}(-y_i) = n \quad (۱۰)$$

$$\sum \text{Exp}(-y_i) = n \quad (۱۱)$$

با این دو رابطه، رابطه مستقل از  $m$  به شرح زیر به دست می‌آید. در این روابط  $y_i$  متغیر کاهش یافته است.

$$a = \bar{x} - \left\{ \sum x_i \text{Exp}\left(-\frac{x_i}{a}\right) \right\} / \text{Exp}\left(-\frac{x_i}{a}\right) \quad (۱۲)$$

**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.

$$E\left[\frac{(X-m)}{a}\right] = E(Y) = 0.5772157 \quad (۱۳)$$

$$E[\text{Exp}\{-(X-m)/a\}] = 1 \quad (۱۴)$$

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

کمک توزیع‌های تبدیل یافته (TDF) و بریده شده (ODF) گامبل نوع یک که هر دو از توزیع اصلی EV1 به ترتیب و به شرح زیر منشعب می‌شوند، حل کرد:

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

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

(۲) تابع توزیع TDF

$$F(z) = \text{Exp}\left[-\text{Exp}\left(-z + \frac{K}{y_{\text{lim}} - z}\right)\right]$$

(۳) تابع توزیع ODF

$$F(z) = \text{Exp}[-\text{Exp}(-z)] \quad z < y_{\text{lim}}$$

(۴) تابع توزیع ODF

$$F(z) = 1 \quad z \geq y_{\text{lim}}$$

در این روابط،  $y_{\text{lim}}$  متغیر کاهش یافته حدی (رابطه ۵) و  $K$  عدد ثابت (کوچکتر از صفر) است.

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

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

در حالت حدی ( $K \rightarrow 0$ )، 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 متغیر تصادفی است که به صورت i.i.d توزیع شده و تابع توزیع آن از نوع TDF است.

ب)  $9 > y_{\text{lim}}$

ج)  $K < -1$

**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)

است (Eliason, 1997). در این رابطه  $P_5$  بازنگی با دوره بازگشت ۵ ساله برای ایستگاه می‌باشد.

(۱۹)

$$y_{lim} = 10.7 - 0.0071 P_5 \quad 25 < P_5 < 200 \text{ mm/day}$$

اگر توزیع ODF فرض شود، می‌توان متغیر تصادفی  $X$  را با لگاریتم‌گیری و محاسبات ریاضی بر حسب  $P_5$ ،  $y_i$  و ضریبی مانند  $C_i$  (ضریب ایستگاه  $i$  ام) به صورت زیر نوشت.

$$X = P_5 [I + C_i (y_i - 1.5)] \quad y_i < y_{lim} \quad (۲۰ \text{ الف})$$

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

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

در این روابط  $\bar{x}_i$  و  $S_i$ ، به ترتیب میانگین و انحراف معیار داده‌های ایستگاه  $i$  ام است.  $y_{lim}$  یک پارامتر منطقه‌ای، اما،  $C_i$  و  $P_5$  پارامترهای نقطه‌ای‌اند و نقش معدل و ضریب تغییرات را در روش هرفیلد دارند. PMP24 واقعی می‌تواند در هر نقطه منطقه رخ دهد، که در واقع بیشینه رابطه (۲۲) برای هر نقطه است. این رابطه برای نقطه  $i$  ام به صورت زیر است.

$$x_i = P_5 [I + C_i (y_{lim} - 1.5)] \quad (۲۲)$$

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

(۲۳)

$$PMP = \text{Max}\{x_i\} = \text{Max}\{P_5 [I + C_i (y_{lim} - 1.5)]\} \\ = \text{Max}\{P_5 [I + \text{Max}(C_i) (y_{lim} - 1.5)]\}$$

حداکثر  $C_i$  از رابطه زیر به دست می‌آید (Eliason, 1997):

$$\text{Max}\{C_i\} = -0.2492 + \bar{C}_i + \ln(N_s) + \ln(SC_i) \quad (۲۴)$$

در این رابطه  $\bar{C}_i$  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).

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

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

### ۳-۴ - برآورد پارامترها به روش گشتاورهای وزن دار احتمالی (PWM)

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

$$\hat{a} = \frac{(2b_1 - b_0)}{\ln 2} = \frac{L_2}{\ln 2} \quad (۱۷)$$

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

در این جا  $b_0$  و  $b_1$  گشتاورهای وزن دار احتمالی اولیه،  $L_1$  و  $L_2$  دو گشتاور خطی اولیه و  $\gamma$  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 از TDF پیروی می‌کنند و از این حد به بعد (که به  $K$  و  $y_{lim}$  بستگی دارد)، از TDF انحراف پیدا نموده و به سمت  $y$  های بیشتر منحرف می‌شوند. برای مشاهده این روند در یک ایستگاه باید آمار بسیار طولانی مدت موجود باشد. متأسفانه، 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 و TDF یکسان می‌شوند (Eliason, 1997). از آنجائی که میانگین و پراش داده‌های استاندارد شده برای همه 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)

## ۶- منطقه مورد مطالعه

داده‌های ایستگاه‌های 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 بدنه داده‌ها تا حدود  $y = 3$ ، برآزش خوبی بر EVI 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  $10/7$  به دست می‌آید. سپس، به کمک محاسبات لازم، مقدار  $y_{lim} = 10/4$  و  $K = -3$  حاصل می‌شود (Eliason, 1997).  $C_i$  حداکثر از رابطه (۲۴) حساب شده که حاصل  $0/038$  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

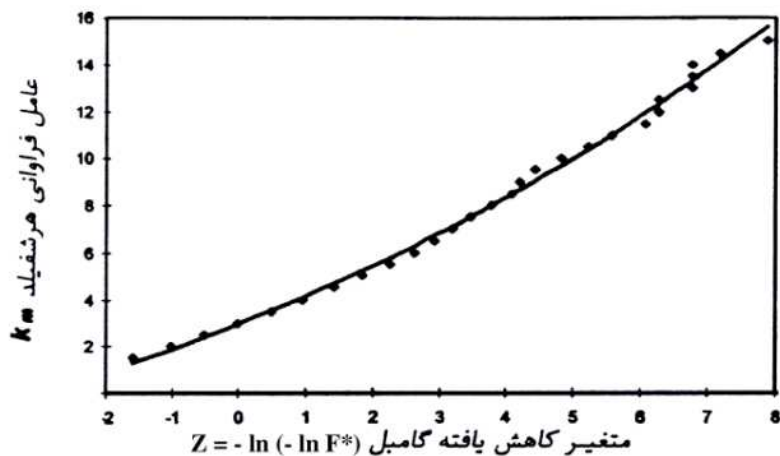
برای روشن‌تر شدن تفاوت‌های بین دو روش هرشفیلد و چند ایستگاهی، PMP24 ایستگاه‌های منطقه به روش اصلاح شده Hershfield (1965) نیز حساب شده‌اند. خلاصه این محاسبات و PMP24 برآوردی برای ۴۱ ایستگاه مورد مطالعه به روش اصلاح شده هرشفیلد در ستون آخر جدول (۲) آمده است. در ستون ماقبل آخر عامل فراوانی (km) نیز ارائه شده است. حداقل و حداکثر این عامل به ترتیب  $17/9$  و  $18/8$  است که بیشتر معلول کوتاهی طول دوره آماری است. با توجه به PMP24 محاسبه شده، دیده می‌شود که نوسان آن در بین این ۴۱ ایستگاه بسیار شدید است. مقدار حداقل آن در ایستگاه اینچه علیا  $128$  میلی‌متر و حداکثر آن در سدلی  $284$  میلی‌متر است. دامنه تغییرات  $156$  میلی‌متر، میانگین و انحراف معیار آن‌ها به ترتیب  $194/4$  و  $37/6$  میلی‌متر به دست آمده است. تلاش زیادی برای برقراری رابطه‌ای بین PMP24 و سایر خصوصیات ایستگاه‌ها مانند: ارتفاع، طول دوره آماری، مختصات جغرافیایی 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 کلیه آمار مشاهده‌ای منطقه، یک مقدار مشترک برآورد می‌شود و وقوع چنین حادثه‌ای کمتر زیر سؤال است. از طرفی با ازدیاد طول دوره آماری هر ایستگاه،

۴۱ ایستگاه باران‌سنج واقع در شمال شرق خراسان که در مساحتی حدود  $20000$  کیلومتر مربع پخش شده‌اند برای برآورد PMP24 در نظر گرفته شده‌اند. آمار این ایستگاه‌ها به نسبت طولانی و قابل قبول‌اند. متوسط طول دوره آماری ۲۶ سال، کمترین طول دوره ۱۳ و بیشترین ۴۸ سال است. بیشترین ارتفاع  $1800$  متر مربوط به ایستگاه اسدلی واقع در غرب منطقه و کمترین ارتفاع  $490$  متر مربوط به ایستگاه حاتم قلعه واقع در نیمه غربی منطقه است. در جدول (۱) ایستگاه‌های انتخابی به همراه مشخصات جغرافیایی و طول دوره آماری آن‌ها (ستون‌های اول تا پنجم) آمده است.

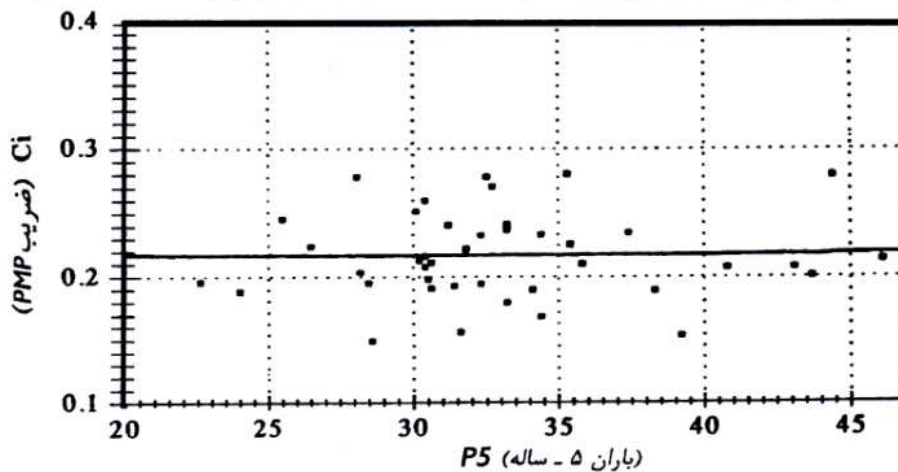
## ۷- نتایج و بحث

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 PMP24، 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 برآزش 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 ایستگاه‌ها 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 تأیید می‌کند.

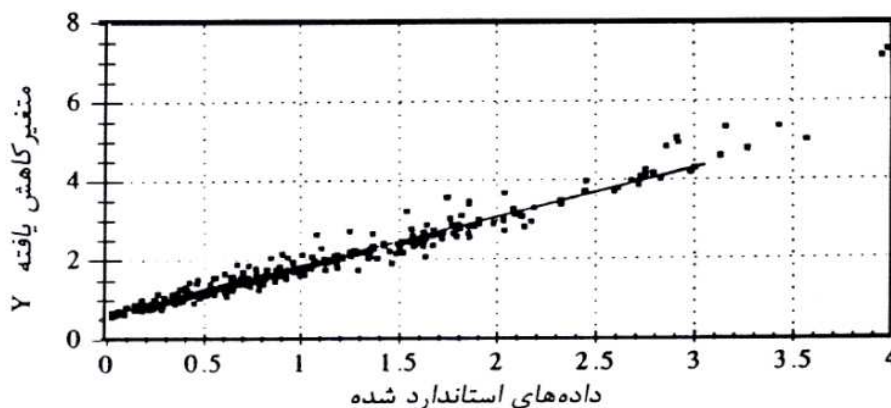
پس از انتخاب روش کاراتر و برآورد پارامترهای موقعیت m و مقیاس a، عاملهای  $P_5$  و  $C_i$  محاسبه شده‌اند. نتایج به دست آمده در دو ستون آخر جدول (۱) آمده است. به طور کلی  $C_i$  ها بین حداقل  $0/1487$  (در ایستگاه کبکان) و  $0/2802$  (در ایستگاه قزل قان) تغییر می‌کنند. میانگین، انحراف معیار، ضرایب تغییرات، چولگی و کشیدگی  $C_i$  به ترتیب  $0/216$ ،  $0/0343$ ،  $0/159$ ،  $0/185$  و  $2/55$  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  $\bar{C}_i = 0.216$  جمع شده‌اند و فاقد یک الگوی مشخص‌اند. این امر همگنی ایستگاه‌های منطقه را تأیید می‌کند (Eliason, 1997).



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



شکل ۲- رسم Ci ها در مقابل باران ۵ ساله (p5)



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

جدول ۱- خلاصه تحلیل‌های بارندگی حداکثر ۲۴ ساعته ایستگاه منطقه به منظور برآورد PMP<sub>24</sub>، به روش چند ایستگاهی

| ردیف | نام ایستگاه | مشخصات جغرافیایی |         |         | N  | آماره‌های مورد نیاز |        |        |        | روش انتخابی | پارامترها |         | P5 mm | Ci      |
|------|-------------|------------------|---------|---------|----|---------------------|--------|--------|--------|-------------|-----------|---------|-------|---------|
|      |             | ارتفاع           | عرض     | طول     |    | Mean                | Sd     | Cv     | Cs     |             | m مکان    | a مقیاس |       |         |
| ۱    | آیرقابه     | ۱۱۱۰             | ۳۷-۲۴/۶ | ۵۷-۵۶/۸ | ۲۶ | ۳۱/۷                | ۹/۲۷۵  | -۱/۲۸۷ | ۱/۵۵   | MOM         | ۲۷/۵۰     | ۷/۲۳    | ۳۸/۳  | -۱/۱۸۸۶ |
| ۲    | آغ‌مزار     | ۵۸۰              | ۳۷-۴۱/۵ | ۵۶-۵۵/۲ | ۳۰ | ۲۵/۱                | ۹/۳۶۲  | -۱/۳۷۳ | -۱/۶۱  | MML         | ۲۰/۱۶۳    | ۷/۷۵    | ۳۲/۳  | -۱/۲۳۲۳ |
| ۳    | اسدلی       | ۱۸۰۰             | ۳۷-۱۷/۶ | ۵۷-۲۱/۶ | ۱۶ | ۳۶/۱                | ۱۲/۲۷۱ | -۱/۳۲۹ | -۱/۶۲  | PWM         | ۲۹/۱۸۶    | ۱۰/۸۰   | ۴۶/۱  | -۱/۲۱۳۰ |
| ۴    | اردک        | ۱۳۱۰             | ۳۶-۴۳/۸ | ۵۹-۲۳/۵ | ۲۶ | ۲۳/۳                | ۷/۴۸۵  | -۱/۳۱۵ | ۱/۶۰   | MML         | ۲۰/۱۲     | ۵/۴۰    | ۲۸/۲  | -۱/۲۰۳۳ |
| ۵    | اینچ‌علیا   | ۷۷۰              | ۳۷-۳۷/۵ | ۵۶-۲۴/۲ | ۲۵ | ۱۷/۲                | ۵/۲۵۹  | -۱/۳۰۰ | -۱/۳۸  | MML         | ۱۴/۴۳     | ۴/۴۵    | ۲۲/۶  | -۱/۱۹۵۸ |
| ۶    | بجنورد      | ۱۰۹۱             | ۳۷-۲۸/۰ | ۵۷-۱۹/۰ | ۲۷ | ۲۴/۴                | ۸/۱۸۴  | -۱/۳۳۰ | ۲/۴۴   | MML         | ۲۰/۵۱     | ۶/۷۴    | ۳۰/۶  | -۱/۲۱۱۰ |
| ۷    | بیابان‌مان  | ۱۰۲۰             | ۳۷-۲۸/۷ | ۵۷-۲۶/۳ | ۳۰ | ۲۵/۱                | ۷/۵۲۵  | -۱/۳۳۹ | -۱/۳۰  | MML         | ۲۱/۴۲     | ۶/۶۵    | ۳۱/۴  | -۱/۱۹۲۳ |
| ۸    | بهار        | ۸۴۰              | ۳۸-۱۶/۷ | ۵۶-۴۵/۳ | ۲۰ | ۲۴/۵                | ۱۱/۳۳۲ | -۱/۴۵۰ | ۱/۶۷   | MOM         | ۱۹/۴۳     | ۸/۸۴    | ۳۲/۷  | -۱/۲۷۰۴ |
| ۹    | بازرو       | ۱۴۰۰             | ۳۷-۳۵/۹ | ۵۷-۵۷/۸ | ۳۱ | ۲۲/۸                | ۱۰/۰۰۱ | -۱/۴۳۱ | -۱/۵۲  | PWM         | ۱۸/۰۶     | ۸/۲۶    | ۳۰/۴  | -۱/۲۵۹۸ |
| ۱۰   | بربرقلعه    | ۱۰۷۰             | ۳۷-۲۸/۴ | ۵۷-۱۸/۰ | ۳۳ | ۲۴/۲                | ۹/۶۰۸  | -۱/۳۹۱ | -۱/۷۸  | MML         | ۱۹/۷۹     | ۷/۶۲    | ۳۱/۲  | -۱/۲۴۰۶ |
| ۱۱   | بش‌قارداش   | ۱۱۶۰             | ۳۷-۲۴/۸ | ۵۷-۱۸/۰ | ۱۸ | ۲۲/۷                | ۶/۹۰۱  | -۱/۲۹۶ | -۱/۲۳  | MML         | ۱۹/۲۸     | ۶/۱۶    | ۲۸/۵  | -۱/۱۹۴۸ |
| ۱۲   | بیدواز      | ۱۲۱۰             | ۳۷-۴/۷  | ۵۷-۳۰/۷ | ۲۹ | ۲۸/۳                | ۹/۴۴۰  | -۱/۳۲۸ | -۱/۲۶  | MML         | ۲۳/۶۷     | ۸/۰۸    | ۳۵/۸  | -۱/۲۰۹۹ |
| ۱۳   | بار-اریه    | ۱۵۶۰             | ۳۶-۲۷/۶ | ۵۸-۴۲/۳ | ۴۸ | ۳۲/۶                | ۱۰/۷۱۱ | -۱/۳۲۵ | -۱/۴۶  | MML         | ۲۷/۱۵۱    | ۸/۸۶    | ۴۰/۸  | -۱/۲۰۷۲ |
| ۱۴   | چناران      | ۱۱۷۰             | ۳۶-۳۸/۹ | ۵۹-۷/۶  | ۱۵ | ۲۱/۱                | ۱۰/۱۲۳ | -۱/۴۶۳ | ۱/۷۷   | MML         | ۱۶/۶۴     | ۷/۶۳    | ۲۸/۱  | -۱/۲۷۷۸ |
| ۱۵   | حصه‌گاه     | ۶۲۰              | ۳۷-۳۹/۴ | ۵۸-۱۹/۹ | ۱۹ | ۲۵/۴                | ۵/۹۰۹  | -۱/۲۲۷ | -۱/۳۵  | MML         | ۲۲/۳۰     | ۶/۲۰    | ۳۱/۶  | -۱/۱۵۵۶ |
| ۱۶   | حاتم‌قلعه   | ۴۹۰              | ۳۷-۱۸/۷ | ۵۹-۲۲/۰ | ۳۴ | ۲۲/۸                | ۹/۵۵۴  | -۱/۴۱۳ | -۱/۵۴  | MML         | ۱۸/۲۵     | ۷/۸۷    | ۳۰/۱  | -۱/۱۵۱۴ |
| ۱۷   | جهان‌آباد   | ۱۱۸۵             | ۳۷-۱۸/۲ | ۵۸-۱۲/۶ | ۲۳ | ۲۵/۳                | ۹/۰۴۵  | -۱/۳۴۹ | -۱/۹۰  | MML         | ۲۱/۱۸     | ۷/۰۶    | ۳۱/۸  | -۱/۱۶۸۱ |
| ۱۸   | خرنوت       | ۶۹۵              | ۳۷-۵۵/۴ | ۵۶-۳۹/۷ | ۳۰ | ۲۸/۹                | ۷/۳۶۶  | -۱/۲۵۱ | ۱/۳۳   | PWM         | ۲۵/۴۳     | ۵/۹۵    | ۳۴/۴  | -۱/۲۲۱۶ |
| ۱۹   | خرنوسمقلان  | ۷۰۰              | ۳۷-۳۶/۰ | ۵۶-۵۹/۲ | ۳۰ | ۲۳/۹۱               | ۷/۶۷۰  | -۱/۳۲۱ | -۱/۴۹۴ | MML         | ۲۱/۰۳     | ۸/۱۱    | ۳۳/۲  | -۱/۲۳۶۹ |
| ۲۰   | دولت‌آباد   | ۱۵۱۰             | ۳۶-۲۶/۳ | ۵۹-۱۰/۰ | ۲۷ | ۲۴/۳                | ۷/۲۰۶  | -۱/۲۹۱ | -۱/۱۴  | MML         | ۲۰/۱۶۶    | ۶/۵۶    | ۳۰/۶  | -۱/۱۹۰۴ |
| ۲۱   | درکش        | ۱۴۶۰             | ۳۷-۲۶/۲ | ۵۶-۴۵/۰ | ۳۰ | ۳۲/۹                | ۷/۵۱۱  | -۱/۲۲۵ | -۱/۲۰  | MML         | ۲۹/۲۰     | ۶/۳۵    | ۳۹/۲  | -۱/۱۵۳۰ |
| ۲۲   | دهنه‌اخلمد  | ۱۴۶۰             | ۳۶-۳۶/۰ | ۵۸-۵۷/۰ | ۲۶ | ۲۵/۸                | ۱۰/۲۶۷ | -۱/۳۹۰ | ۱/۲۴   | MOM         | ۲۱/۲۱     | ۸/۰۰    | ۳۲/۲  | -۱/۲۴۱۱ |
| ۲۳   | رسالت       | ۸۵۰              | ۳۷-۳۰/۱ | ۵۶-۴۴/۸ | ۲۵ | ۲۵/۶                | ۸/۶۹۹  | -۱/۳۳۳ | ۲/۲۲   | MML         | ۲۲/۱۷     | ۵/۳۲    | ۳۰/۲  | -۱/۲۱۲۷ |
| ۲۴   | رادکان      | ۱۲۰۰             | ۳۶-۴۸/۴ | ۵۹-۵/۰  | ۲۸ | ۲۴/۷                | ۷/۶۵۵  | -۱/۳۰۵ | ۱/۴۳   | MML         | ۲۱/۱۶     | ۶/۱۵    | ۳۰/۵  | -۱/۱۹۷۸ |
| ۲۵   | سراسیاب     | ۱۲۷۰             | ۳۶-۲۴/۰ | ۵۹-۲۰/۰ | ۲۱ | ۲۴/۳                | ۸/۰۱۱  | -۱/۳۲۱ | -۱/۹۹  | PWM         | ۲۰/۵۳     | ۶/۶۰    | ۳۰/۴  | -۱/۲۰۷۶ |
| ۲۶   | سه یک آب    | ۱۱۱۰             | ۳۷-۲۴/۶ | ۵۷-۵۶/۸ | ۳۱ | ۲۴/۹                | ۸/۵۱۱  | -۱/۳۴۰ | -۱/۸۲  | MML         | ۲۰/۹۵     | ۶/۳۲    | ۳۰/۴  | -۱/۲۱۶۱ |
| ۲۷   | شمخال       | ۱۴۹۵             | ۳۷-۳۵/۴ | ۵۸-۲۷/۲ | ۲۶ | ۲۸/۰                | ۱۰/۳۱۰ | -۱/۳۵۷ | -۱/۰۳  | MOM         | ۲۳/۴۲     | ۷/۹۶    | ۳۵/۴  | -۱/۲۲۵۲ |
| ۲۸   | شیرآباد     | ۸۶۰              | ۳۷-۳۰/۹ | ۵۶-۵۵/۵ | ۳۱ | ۳۵/۶                | ۱۷/۱۸۴ | -۱/۴۷۵ | ۲/۲۸   | MML         | ۲۸/۸۸     | ۱۰/۳۳   | ۴۴/۴  | -۱/۲۷۹۴ |
| ۲۹   | طاعون       | ۱۴۹۵             | ۳۶-۲۵/۴ | ۵۸-۴۰/۸ | ۲۸ | ۲۷/۵                | ۷/۵۵۸  | -۱/۲۷۰ | -۱/۹۳  | PWM         | ۲۳/۸۶     | ۶/۲۴    | ۳۳/۲  | -۱/۱۷۹۲ |
| ۳۰   | عراقی       | ۱۶۵۰             | ۳۷-۱۲/۳ | ۵۷-۲۹/۳ | ۲۹ | ۳۴/۱                | ۱۰/۷۴۴ | -۱/۳۱۰ | -۱/۰۰  | MML         | ۲۸/۶۸     | ۱۰/۰۰   | ۴۳/۷  | -۱/۲۰۰۵ |
| ۳۱   | علی محمد    | ۱۲۶۰             | ۳۷-۴۵/۰ | ۵۷-۳۷/۵ | ۳۰ | ۲۸/۲                | ۱۰/۷۱۵ | -۱/۳۷۴ | ۱/۴۷   | MML         | ۲۳/۶۰     | ۷/۲۱    | ۳۴/۴  | -۱/۲۳۳۰ |
| ۳۲   | غلامان      | ۱۲۴۰             | ۳۸-۲/۴  | ۵۷-۸/۶  | ۱۳ | ۲۹/۷                | ۱۱/۳۷۲ | -۱/۳۶۸ | -۱/۹۶  | MML         | ۲۴/۴۷     | ۸/۶۵    | ۳۷/۴  | -۱/۲۳۴۴ |
| ۳۳   | فاروج       | ۱۲۰۰             | ۳۷-۱۴/۰ | ۵۷-۱۳/۰ | ۳۰ | ۲۰/۶                | ۷/۴۶۲  | -۱/۳۵۵ | -۱/۷۷  | MML         | ۱۷/۱۸     | ۶/۱۹    | ۲۶/۵  | -۱/۲۲۳۷ |
| ۳۴   | قدیرآباد    | ۱۱۷۵             | ۳۶-۴۸/۳ | ۵۸-۵۸/۴ | ۱۳ | ۱۹/۸                | ۵/۷۷۵  | -۱/۲۸۰ | -۱/۰۳  | MOM         | ۱۷/۲۱     | ۴/۵۰    | ۲۴/۰  | -۱/۱۸۸۰ |
| ۳۵   | قزل‌قان     | ۱۰۴۰             | ۳۷-۳۹/۹ | ۵۷-۲۵/۲ | ۲۵ | ۲۶/۱                | ۱۲/۶۶۸ | -۱/۴۷۵ | ۱/۷۴   | MOM         | ۲۰/۴۴     | ۹/۸۸    | ۳۵/۳  | -۱/۲۸۰۲ |
| ۳۶   | قتلیش       | ۹۸۰              | ۳۷-۴۶/۰ | ۵۷-۱۸/۱ | ۳۱ | ۲۰/۶                | ۸/۳۷۷  | -۱/۴۰۱ | ۱/۵۲   | MML         | ۱۷/۰۲     | ۵/۶۸    | ۲۵/۵  | -۱/۲۴۵۷ |
| ۳۷   | کبکان       | ۱۴۳۵             | ۳۷-۱۵/۰ | ۵۷-۴۲/۶ | ۲۱ | ۲۳/۸                | ۵/۲۵۳  | -۱/۲۱۶ | -۱/۰۹  | MML         | ۲۱/۱۴     | ۴/۹۵    | ۲۸/۶  | -۱/۱۴۸۷ |
| ۳۸   | گرمخان      | ۹۲۰              | ۳۷-۳۱/۸ | ۵۸-۲۸/۳ | ۳۰ | ۲۷/۷                | ۸/۱۴۲  | -۱/۲۸۹ | -۱/۴۴  | PWM         | ۲۳/۶۹     | ۶/۹۱    | ۳۴/۱  | -۱/۱۸۹۳ |
| ۳۹   | گلمکان      | ۱۴۵۰             | ۳۶-۲۸/۸ | ۵۷-۹/۰  | ۳۲ | ۲۵/۳                | ۷/۶۸۱  | -۱/۲۹۸ | -۱/۰۴  | MML         | ۲۱/۵۱     | ۷/۱۹    | ۳۲/۳  | -۱/۱۹۴۰ |
| ۴۰   | مارشک       | ۱۸۷۰             | ۳۶-۴۹/۲ | ۵۹-۳۲/۸ | ۲۰ | ۲۶/۴                | ۱۰/۸۶۵ | -۱/۴۰۲ | ۱/۵۰   | MML         | ۲۱/۷۸     | ۷/۱۸    | ۳۲/۵  | -۱/۲۷۷۸ |
| ۴۱   | بنگجه       | ۱۶۸۰             | ۳۶-۴۹/۹ | ۵۸-۱۵/۴ | ۲۴ | ۳۴/۲                | ۱۱/۲۴۰ | -۱/۳۲۲ | -۱/۵۴  | MML         | ۲۸/۸۰     | ۹/۵۵    | ۴۲/۱  | -۱/۲۰۷۶ |

راهنما: N = طول دوره (سال)، Mean = میانگین، Sd = انحراف معیار، C<sub>v</sub> = ضریب تغییرات، C<sub>s</sub> = ضریب چولگی، C<sub>i</sub> = ضریب PMP روش‌های برآورد: MOM = گشتاورها، MML = حداکثر درست نمائی، ENT = حداکثر آنتروپی، PWM = گشتاورهای وزن‌دار احتمالی

جدول ۲- خلاصه محاسبات PMP<sub>24</sub> به روش اصلاح شده هرشفیلد.

| ردیف | نام ایستگاه | مشخصات جغرافیایی |         |         | N  | آماره‌های مورد نیاز |        |        |        | آماره‌های تصحیح شده |           | K <sub>m</sub> | PMP   |
|------|-------------|------------------|---------|---------|----|---------------------|--------|--------|--------|---------------------|-----------|----------------|-------|
|      |             | ارتفاع           | عرض     | طول     |    | Mean                | Sd     | Cv     | Cs     | $\bar{X}_{n-m}$     | $S_{n-m}$ |                |       |
| ۱    | ایرقایه     | ۱۱۱۰             | ۳۷-۲۴/۶ | ۵۷-۵۶/۸ | ۲۶ | ۳۱/۷                | ۹/۲۷۵  | -۰/۲۸۷ | ۱/۵۵   | ۳۰/۴۶               | ۶/۹۱      | ۱۸/۲           | ۱۸۵   |
| ۲    | آغ‌مزار     | ۵۸۰              | ۳۷-۴۱/۵ | ۵۶-۵۵/۲ | ۳۰ | ۲۵/۱                | ۹/۳۶۲  | -۰/۳۷۳ | -۰/۶۱  | ۲۴/۲۶               | ۸/۲۸      | ۱۸/۵           | ۲۰۰   |
| ۳    | اسدلی       | ۱۸۰۰             | ۳۷-۱۷/۶ | ۵۷-۲۱/۶ | ۱۶ | ۳۶/۱                | ۱۲/۲۷۱ | -۰/۳۲۹ | -۰/۶۲  | ۳۴/۷۷               | ۱۱/۰۶     | ۱۷/۹           | ۲۸۴   |
| ۴    | ارداک       | ۱۳۱۰             | ۳۶-۴۳/۸ | ۵۹-۲۳/۵ | ۲۶ | ۲۳/۳                | ۷/۴۸۵  | -۰/۳۱۵ | ۱/۶۰   | ۲۲/۳۰               | ۵/۳۴۸     | ۱۷/۶           | ۱۴۳   |
| ۵    | اینجه‌علیا  | ۷۷۰              | ۳۷-۳۷/۵ | ۵۶-۲۴/۲ | ۲۵ | ۱۷/۲                | ۵/۲۵۹  | -۰/۳۰۰ | -۰/۳۸  | ۱۶/۷۹               | ۴/۹۲۶     | ۱۸/۸           | ۱۲۸   |
| ۶    | بجنورد      | ۱۰۹۱             | ۳۷-۲۸/۰ | ۵۷-۱۹/۰ | ۲۷ | ۲۴/۴                | ۸/۱۸۴  | -۰/۳۳۰ | ۲/۴۴   | ۲۳/۷۳               | ۷/۴۷۸     | ۱۸/۵           | ۱۸۲   |
| ۷    | بابامان     | ۱۰۲۰             | ۳۷-۴۸/۷ | ۵۷-۲۶/۳ | ۳۰ | ۲۵/۱                | ۷/۵۲۵  | -۰/۳۳۹ | -۰/۳۰  | ۲۴/۶۶               | ۷/۱۱۲     | ۱۸/۵           | ۱۷۲   |
| ۸    | بهار        | ۸۴۰              | ۳۸-۱۶/۷ | ۵۶-۴۵/۳ | ۲۰ | ۲۴/۵                | ۱۱/۳۳۲ | -۰/۴۵۰ | ۱/۶۷   | ۲۲/۶۶               | ۷/۶۶۱     | ۱۸/۵           | ۱۹۸   |
| ۹    | بازرو       | ۱۴۰۰             | ۳۷-۳۵/۹ | ۵۷-۵۷/۸ | ۳۱ | ۲۲/۸                | ۱۰/۰۰۱ | -۰/۴۳۱ | -۰/۵۲  | ۲۱/۹۲               | ۸/۶۳۶     | ۱۸/۷           | ۲۱۱   |
| ۱۰   | بربرقلعه    | ۱۰۷۰             | ۳۷-۲۸/۴ | ۵۷-۱۸/۰ | ۳۳ | ۲۴/۲                | ۹/۶۰۸  | -۰/۳۹۱ | -۰/۷۸  | ۲۱/۴۲               | ۸/۵۵۵     | ۱۸/۵           | ۲۰۸   |
| ۱۱   | بش‌قارداش   | ۱۱۶۰             | ۳۷-۲۴/۸ | ۵۷-۱۸/۰ | ۱۸ | ۲۲/۷                | ۶/۹۰۱  | -۰/۲۹۶ | -۰/۲۳  | ۲۱/۹۴               | ۶/۱۷۶     | ۱۸/۷           | ۱۶۷   |
| ۱۲   | بیدواز      | ۱۲۱۰             | ۳۷-۴/۷  | ۵۷-۳۰/۷ | ۲۹ | ۲۸/۳                | ۹/۴۴۰  | -۰/۳۲۸ | -۰/۲۶  | ۲۷/۶۱               | ۸/۸۸۶     | ۱۸/۳           | ۲۲۷   |
| ۱۳   | بار-اربه    | ۱۵۶۰             | ۳۶-۲۷/۶ | ۵۸-۴۲/۳ | ۴۸ | ۳۲/۶                | ۱۰/۷۱۱ | -۰/۳۲۵ | -۰/۴۶  | ۳۲/۱۳               | ۱۰/۱۹۰    | ۱۸/۱           | ۲۳۳   |
| ۱۴   | چناران      | ۱۱۷۰             | ۳۶-۳۸/۹ | ۵۹-۷/۶  | ۱۵ | ۲۱/۱                | ۱۰/۱۲۵ | -۰/۴۶۳ | ۱/۲۷   | ۱۹/۱۴               | ۶/۸۱۱     | ۱۸/۷           | ۱۹۱   |
| ۱۵   | حصه‌گله     | ۶۲۰              | ۳۷-۳۹/۴ | ۵۸-۱/۹  | ۱۹ | ۲۵/۴                | ۵/۹۰۹  | -۰/۲۲۷ | -۰/۳۵  | ۲۴/۱۹               | ۵/۳۵۷     | ۱۸/۵           | ۱۴۶   |
| ۱۶   | حاتم‌قلعه   | ۴۹۰              | ۳۷-۱۸/۷ | ۵۹-۲۲/۰ | ۳۴ | ۲۲/۸                | ۹/۵۵۴  | -۰/۴۱۳ | -۰/۵۴  | ۲۲/۰۹               | ۸/۷۰۹     | ۱۸/۷           | ۲۰۹   |
| ۱۷   | جهان‌آباد   | ۱۱۸۵             | ۳۷-۱۸/۲ | ۵۸-۱۲/۶ | ۲۳ | ۲۵/۳                | ۹/۰۴۵  | -۰/۳۴۹ | -۰/۹۰  | ۲۴/۲۰               | ۷/۷۲۲     | ۱۸/۵           | ۱۸۹/۵ |
| ۱۸   | خرتوت       | ۶۹۵              | ۳۷-۵۵/۴ | ۵۶-۳۹/۷ | ۳۰ | ۲۸/۹                | ۷/۳۶۶  | -۰/۲۵۱ | ۱/۲۳   | ۲۸/۱۰               | ۶/۶۰۵     | ۱۸/۳           | ۱۸۰   |
| ۱۹   | درین‌سملقان | ۷۰۰              | ۳۷-۳۶/۰ | ۵۶-۵۹/۲ | ۳۰ | ۲۳/۹۱               | ۷/۶۷۰  | -۰/۳۲۱ | -۰/۴۹۴ | ۲۳/۳۰               | ۷/۰۸۰     | ۱۸/۶           | ۱۷۶   |
| ۲۰   | دولت‌آباد   | ۱۵۱۰             | ۳۶-۲۶/۳ | ۵۹-۱۰/۰ | ۲۷ | ۲۴/۳                | ۷/۲۰۶  | -۰/۲۹۱ | -۰/۱۶  | ۲۳/۷۳               | ۶/۴۹۰     | ۱۸/۵           | ۱۶۵   |
| ۲۱   | درکش        | ۱۰۶۰             | ۳۷-۲۶/۲ | ۵۶-۴۵/۰ | ۳۰ | ۳۲/۹                | ۷/۵۱۱  | -۰/۲۲۵ | -۰/۲۰  | ۳۲/۶۵               | ۷/۲۰۸     | ۱۸/۱           | ۱۸۴   |
| ۲۲   | دهنه‌اخلمد  | ۱۴۶۰             | ۳۶-۳۶/۰ | ۵۸-۵۷/۰ | ۲۶ | ۲۵/۸                | ۱۰/۲۶۷ | -۰/۳۹۰ | ۱/۲۴   | ۲۴/۵۴               | ۷/۸۹۷     | ۱۸/۵           | ۲۰۷   |
| ۲۳   | رسالت       | ۸۵۰              | ۳۷-۳۰/۱ | ۵۶-۴۴/۸ | ۲۵ | ۲۵/۶                | ۸/۶۹۹  | -۰/۳۳۳ | ۲/۲۲   | ۲۴/۴۱               | ۵/۶۵۷     | ۱۸/۵           | ۱۵۵   |
| ۲۴   | رادکان      | ۱۲۰۰             | ۳۶-۴۸/۴ | ۵۹-۵/۰  | ۲۸ | ۲۴/۷                | ۷/۶۵۵  | -۰/۳۰۵ | ۱/۴۳   | ۲۴/۰۱               | ۷/۳۹۹     | ۱۸/۵           | ۱۸۳   |
| ۲۵   | سراسیاب     | ۱۲۷۰             | ۳۶-۲۴/۰ | ۵۹-۲۰/۰ | ۲۱ | ۲۴/۳                | ۸/۰۱۱  | -۰/۳۲۱ | -۰/۹۹  | ۲۳/۲۰               | ۶/۱۰۰     | ۱۸/۵           | ۱۵۹   |
| ۲۶   | سه یک آب    | ۱۱۱۰             | ۳۷-۲۴/۶ | ۵۷-۵۶/۸ | ۳۱ | ۲۴/۹                | ۸/۶۱۱  | -۰/۳۴۰ | -۰/۸۲  | ۲۳/۸۳               | ۷/۷۰۱     | ۱۸/۵           | ۱۹۰   |
| ۲۷   | شمخال       | ۱۴۹۵             | ۳۷-۳۵/۴ | ۵۸-۲۷/۲ | ۲۶ | ۲۸/۰                | ۱۰/۲۱۰ | -۰/۳۵۷ | -۰/۰۳  | ۲۷/۰۲               | ۸/۸۴۸     | ۱۸/۳           | ۲۲۲   |
| ۲۸   | شیرآباد     | ۸۶۰              | ۳۷-۳۰/۹ | ۵۶-۵۵/۵ | ۳۱ | ۳۵/۶                | ۱۷/۱۸۴ | -۰/۴۷۵ | ۲/۲۸   | ۳۳/۳۲               | ۱۱/۵۸۱    | ۱۸/۰           | ۲۷۷   |
| ۲۹   | طاعون       | ۱۴۹۵             | ۳۶-۲۵/۴ | ۵۸-۴۰/۸ | ۲۸ | ۲۷/۵                | ۷/۵۵۸  | -۰/۲۷۰ | -۰/۹۳  | ۲۶/۶۳               | ۶/۱۳۴     | ۱۸/۴           | ۱۶۲   |
| ۳۰   | عراقی       | ۱۶۵۰             | ۳۷-۱۲/۳ | ۵۷-۲۹/۳ | ۲۹ | ۳۴/۱                | ۱۰/۷۴۴ | -۰/۳۱۰ | -۰/۰۰  | ۳۳/۳۶               | ۱۰/۰۳۶    | ۱۸/۰           | ۲۵۲   |
| ۳۱   | علی محمد    | ۱۲۶۰             | ۳۷-۴۵/۰ | ۵۷-۳۷/۵ | ۳۰ | ۲۸/۲                | ۱۰/۷۱۵ | -۰/۳۷۴ | ۱/۴۷   | ۲۶/۹۸               | ۸/۵۹۹     | ۱۸/۴           | ۲۱۲   |
| ۳۲   | غلامان      | ۱۲۴۰             | ۳۸-۳/۴  | ۵۷-۸/۶  | ۱۳ | ۲۹/۷                | ۱۱/۳۷۲ | -۰/۳۶۸ | -۰/۹۶  | ۲۷/۳۸               | ۷/۱۶۵     | ۱۸/۳           | ۲۲۷   |
| ۳۳   | فاروج       | ۱۲۰۰             | ۳۷-۱۴/۰ | ۵۷-۱۳/۰ | ۳۰ | ۲۰/۶                | ۷/۴۶۲  | -۰/۳۵۵ | -۰/۷۷  | ۱۹/۹۸               | ۶/۵۰۵     | ۱۸/۷           | ۱۷۰   |
| ۳۴   | قدیرآباد    | ۱۱۷۵             | ۳۶-۴۸/۳ | ۵۸-۵۸/۴ | ۱۳ | ۱۹/۸                | ۵/۷۷۵  | -۰/۲۸۰ | -۰/۰۳  | ۱۸/۹۶               | ۵/۱۱۴     | ۱۸/۸           | ۱۵۰   |
| ۳۵   | قزل قان     | ۱۰۴۰             | ۳۷-۳۹/۹ | ۵۷-۲۵/۲ | ۲۵ | ۲۶/۱                | ۱۲/۶۶۸ | -۰/۴۷۵ | ۱/۷۴   | ۲۳/۲۶               | ۷/۳۰۱     | ۱۸/۴           | ۱۹۷   |
| ۳۶   | قتلیش       | ۹۸۰              | ۳۷-۴۶/۰ | ۵۷-۱۸/۱ | ۳۱ | ۲۰/۶                | ۸/۳۷۷  | -۰/۴۰۱ | ۱/۵۲   | ۱۸/۹۰               | ۵/۴۲۹     | ۱۸/۷           | ۱۸۶   |
| ۳۷   | کبکان       | ۱۴۳۵             | ۳۷-۱۵/۰ | ۵۷-۴۲/۶ | ۲۱ | ۲۳/۸                | ۵/۲۵۳  | -۰/۲۱۶ | -۰/۰۹  | ۲۳/۲۰               | ۴/۵۷۸     | ۱۸/۶           | ۱۴۰   |
| ۳۸   | گرمخان      | ۹۲۰              | ۳۷-۳۱/۸ | ۵۸-۲۸/۳ | ۳۰ | ۲۷/۷                | ۸/۱۴۲  | -۰/۲۸۹ | -۰/۴۴  | ۲۶/۴۵               | ۶/۱۶۰     | ۱۸/۴           | ۱۸۸   |
| ۳۹   | کلمکان      | ۱۴۵۰             | ۳۶-۲۸/۸ | ۵۷-۹/۰  | ۳۲ | ۲۵/۳                | ۷/۶۸۱  | -۰/۲۹۸ | -۰/۰۴  | ۲۴/۹۷               | ۷/۵۰۲     | ۱۸/۵           | ۱۷۵   |
| ۴۰   | مارشک       | ۱۸۷۰             | ۳۶-۴۹/۲ | ۵۹-۳۲/۸ | ۲۰ | ۲۶/۴                | ۱۰/۸۶۵ | -۰/۴۰۲ | ۱/۵۰   | ۲۴/۷۱               | ۷/۹۱۵     | ۱۸/۴           | ۲۶۴   |
| ۴۱   | ینگجه       | ۱۶۸۰             | ۳۶-۴۹/۹ | ۵۸-۱۵/۴ | ۲۴ | ۳۴/۲                | ۱۱/۲۴۰ | -۰/۳۲۲ | -۰/۵۴  | ۳۲/۰۲               | ۸/۸۳۰     | ۱۸/۰           | ۲۷۲   |

راهنما: N = طول دوره (سال)، Mean = میانگین، Sd = انحراف معیار، C<sub>v</sub> = ضریب تغییرات، C<sub>s</sub> = ضریب چولگی، K<sub>m</sub> = عامل فراوانی

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. (Koutsoyannis (1999) مطالعه دوباره پژوهش‌های هرشفیلد، نشان داد که عامل فراوانی ۱۵ در نظر گرفته شده توسط هرشفیلد دوره بازگشتی در حدود ۶۰۰۰۰

PMP<sub>24</sub> 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 دوره آماری اثر بسیار مهمی در برآورد این پدیده دارد. شایان ذکر است که هرشفیلد مقدار عامل فراوانی را در مطالعه ۲۶۴۵ ایستگاه برای دوره‌های زیر ۱۴ سال ۱۴/۵ تا ۱۵ به دست



- 6-Method of Moment
- 7-Method of Maximum Likelihood
- 8-Maximum Entropy
- 9-Probability Weighted 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 پزند، 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), "Statistical 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.*

سال دارد که این عدد دور از تعریف حداکثر بارش است. شکل (۱) عامل فراوانی ایستگاه‌های مورد مطالعه هرشفیلد را روی کاغذ گامبل نشان می‌دهد. نقاط انتهایی مربوط به ایستگاه‌هایی با طول دوره آماری کوتاه مدت و نقاط ابتدایی 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 تا ۲۰ باشد. در حالی که در مناطق مرطوب با بارش‌های سنگین این عامل کمتر از ۱۵ است (Koutsoyainnis, 1999). بنابراین، 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 دوره آماری تغییرات میانگین و انحراف معیار داده‌ها بسیار کمتر از کاهش شدید عامل فراوانی است.

#### ۹- نتیجه گیری

در مقاله حاضر پس از بررسی بنیان ریاضی روش هرشفیلد و چند ایستگاهی و انجام یک تحقیق موردی، ابتدا، برتری روش برآورد حداکثر درست‌نمایی به اثبات رسید. پیشنهاد می‌شود که پارامترهای توزیع مادر منطقه‌ای از این روش برآورد شوند. روش چند ایستگاهی از بنیان ریاضی قوی‌تری نیز برخوردار است. افزون بر این، این روش از تمام آمار مشاهده‌ای منطقه استفاده می‌کند و بارش‌های بزرگ منطقه را به حساب می‌آورد، بنابراین، کمتر تحت تأثیر نقاط فرین است. نتیجه این که نوسانات PMP24 برآوردی با روش چند ایستگاهی ثابت بیشتری دارد و کمتر زیر نفوذ طول دوره و این 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

تاریخ دریافت مقاله: ۱۶ آذر ۱۳۸۲

تاریخ پذیرش مقاله: ۲۵ بهمن ۱۳۸۴