

تحلیل منطقه‌ای داده‌های دبی بیشینه سالانه رودخانه‌های استان آذربایجان شرقی با استفاده از روش گشتاورهای خطی

مریم صوفی رحیمی^{1*}، احمد فاخری فرد²، یعقوب دین‌پژوه³، اسماعیل اسدی³، محمدعلی قربانی³

تاریخ دریافت: 92/07/17 تاریخ پذیرش: 93/10/07

¹ دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

² استاد گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

³ دانشیاران گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

* مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: m.soofirahimi@gmail.com

چکیده

تحلیل مقادیر حدی در یک نمونه تصادفی از اهمیت زیادی برخوردار است. پیش‌بینی دقیق مقادیر حدی در مدیریت و برنامه‌ریزی علمی برای مقابله با جنبه‌های مختلف زیان‌آور منابع آب، مانند سیل، خشک‌سالی و... مهم است. در دهه‌های اخیر کاربرد توزیع‌های آماری در هیدرولوژی جهت به‌دست آوردن داده‌های طراحی موردتوجه بسیاری از متخصصان قرار گرفته است. بسیاری از توزیع‌های احتمالاتی رایج (شامل تعدادی از توزیع‌هایی که در زمینه تحلیل فراوانی سیلاب به‌کاربرده می‌شوند) از جمله توزیع مقادیر حدی تعمیم‌یافته، لاجستیک تعمیم‌یافته، نرمال تعمیم‌یافته، پیرسون تیپ III، پاریتوی تعمیم‌یافته و چند توزیع دیگر، حالت‌های خاصی از توزیع چهار پارامتری کاپا می‌باشند. در این مطالعه، از تحلیل منطقه‌ای، برای برآزش توزیع‌های فوق بر روی داده‌های دبی بیشینه سالانه ایستگاه‌های استان آذربایجان شرقی استفاده شده است. با استفاده از روش گشتاورهای خطی کل استان به چهار منطقه متمایز (فاقد ایستگاه ناسازگار) تقسیم‌شده و پارامترها و چندک‌های منطقه‌ای توزیع‌های مختلف (از جمله توزیع کاپا) تخمین زده شده است. نتایج نشان داد که توزیع کاپا به‌عنوان توزیع منطقه‌ای، برآزش خوبی بر روی داده‌های دبی بیشینه سالانه دارد.

واژه‌های کلیدی: تحلیل منطقه‌ای، توزیع کاپا، سیلاب شاخص، گشتاورهای خطی

Regional Analysis of the Maximum Annual River Flow Data in East Azarbaijan Province Rivers Using the L-moments Method

M Soofirahimi^{1*}, A Fakheri fard², Y Dinpashoh³, E Asadi³, M Ghorbani³

Accepted: 28 December 2014

Received: 9 October 2013

¹- MSc Student, Dept. of Water Engineering, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Iran

²- Prof., Dept. of Water Engineering, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Iran

³- Assoc. prof., Dept. of Water Engineering, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Iran

* Corresponding Author, Email: m.soofirahimi@gmail.com

Abstract

Analysis of extreme values based on a random sample is very important. Accurate forecasting of the extreme values is important in management and scientific scheduling to confront with deleterious aspects of water resources, such as flood, drought, etc. In the recent decades, application of statistical distributions in hydrology to obtain the designing data has been noted by many researchers. Many of the common statistical distributions (including some of the distributions used in flood-frequency analysis) such as the Generalized Extreme Value, Generalized Logistic, Generalized Normal, Pearson Type(III), Generalized Pareto distribution, and so on are the special cases of the four-parameter Kappa distribution. In this study, the regional analysis was used for fitting the above mentioned distributions to the annual peak flow data of the East Azerbaijan province. Using the L-moments technique, the whole province was divided into the four distinct regions (lack of discordant sites) and then regional parameters and quantiles of the mentioned distributions (including the Kappa distribution) were estimated. The results indicated that the Kappa distribution as a regional distribution was fitted well to the annual maximum discharges data.

Keywords: Index Flood, Kappa Distribution, L-moments, Regional Analysis

مهم‌ترین مسائل هیدرولوژی هست. هرچه روش‌های به‌کار گرفته‌شده جهت استخراج داده‌های طراحی دقیق‌تر باشند تعیین ظرفیت هیدرولیکی هم از نظر ایمنی و هم از نظر اقتصادی نتایج بهتری را به‌دنبال خواهد داشت. سیستم‌های هیدرولوژیکی شدیداً تحت تأثیر وقایع حدی مانند باران‌های شدید، سیلاب‌ها و خشک‌سالی‌ها می‌باشند ولی به‌علت پیچیدگی‌های فراوان فرآیندهای هیدرولوژیکی تفسیر آن‌ها معمولاً مشکل بوده که با استفاده از نظریه احتمال تا حدودی

مقدمه

تحلیل رویدادهای حدی¹ در هیدرولوژی از اهمیت به‌سزایی برخوردار است و پیش‌بینی دقیق آن‌ها از نظر مدیریت بهینه و برنامه‌ریزی منابع آب، در زمان خشک‌سالی و سیلاب مهم است. در دهه‌های اخیر، استفاده از توزیع‌های آماری در هیدرولوژی جهت به‌دست آوردن داده‌های طراحی رواج پیدا کرده است. تعیین دقیق ظرفیت هیدرولیکی ابنیه‌های آبی یکی از

¹ Extreme values

و به این نتیجه رسیدند که گشتاورهای خطی بهتر از بیشینه درست نمایی، به‌ویژه برای نمونه‌های کوچک عمل می‌کند. چن و همکاران (2006) گشتاورهای خطی را برای تحلیل فراوانی منطقه‌ای جریان‌ات کم در رودخانه دانگ جی یانگ چین، به‌کار بردند. نتایج آن‌ها نشان داد که این روش، برای پیش‌بینی و طراحی‌ها بسیار مناسب است. دوپویی و وینچستر (2007) توزیع چهار پارامتری کاپا را به‌عنوان توزیعی کلی‌تر و مناسب‌تر از توزیع GEV مطرح نموده و تخمین‌گر بیشینه درست نمایی را به‌عنوان روشی جایگزین برای گشتاورهای خطی، در مواردی که گشتاورهای خطی توزیع K4D قابل محاسبه و یا شدنی نیست، مورد بررسی قرار دادند. عبدی و فاخری‌فرد (1387) علاوه بر معرفی روش‌های تخمین پارامترها، از قبیل روش‌های گشتاورهای وزنی احتمال و بیشینه درست‌نمایی، این روش‌ها را با یکدیگر مقایسه نموده و روش بهتر از بین این دو روش را با استفاده از آزمون نکویی برازش، انتخاب کرده و پارامترهای توزیع و چندک‌های آن را برآورد نمودند و در نهایت روش گشتاورهای وزنی احتمال را مناسب تشخیص دادند. عبدی و فاخری‌فرد (1387 الف) روش گشتاورهای خطی را برای تعیین بهترین توزیع آماری داده‌های دبی بیشینه سالانه 38 ایستگاه استان آذربایجان شرقی به‌صورت منفرد برای هر ایستگاه به‌کاربرده و توزیعی که نسبت به سایر توزیع‌های مورد استفاده برازش بهتری دارد را مشخص نمودند. کوچانک و همکاران (2010) گشتاورهای خطی را برای محاسبه پارامترهای توزیع‌های دارای تابع توزیع صریح و فاقد تابع توزیع صریح با استفاده از دو روش شبیه‌سازی مونت کارلو و انتگرال‌گیری عددی محاسبه نمودند. هالیم و همکاران (2011) با استفاده از گشتاورهای خطی، تحلیل منطقه‌ای را برای جریان‌ات سالیانه شبه‌جزیره مالزی انجام دادند و کل منطقه را به سه زیر منطقه همگن تقسیم کردند و به نتایج قابل قبولی دست یافتند. فتحیان و احمدزاده (1391) روش

امکان‌پذیر است. رویدادهای حد اغلب با توزیع مقادیر حدی تعمیم‌یافته GEV^2 قابل‌تحلیل است. از آنجا که نظریه‌ها نشان می‌دهد این توزیع در توجیه رویدادهای حد محدودیت دارد، لذا کاربرد آن برای نمونه‌های متناهی رضایت‌بخش نخواهد بود. توزیع چهار پارامتری کاپا، تعمیم‌یافته توزیع GEV است که توان جبران نواقص توزیع‌های حدی را دارا هست. این توزیع که اولین بار توسط هوسکینگ (1988) معرفی شده است، تعمیم‌یافته توزیع سه پارامتری کاپا معرفی شده توسط مایک (1973) هست (به نقل از هوسکینگ و والیس 1993).

هوسکینگ (1991) با استفاده از الگوریتم نیوتن-رافسون پارامترهای توزیع چهار پارامتری کاپا را به‌دست آورد. هوسکینگ و والیس (1993) پارامترهای توزیع کاپا و چندین توزیع دیگر را بر اساس گشتاورهای خطی برای داده‌های منطقه‌ای محاسبه نمودند. هوسکینگ (1994) شرح مفصل‌تری از توزیع چهار پارامتری کاپا را به‌عنوان توزیعی مناسب برای تحلیل داده‌های حدی و بیان خصوصیات آن بیان کرده و روش گشتاورهای مرسوم و گشتاورهای خطی را برای محاسبه پارامترهای این توزیع تشریح نمود. پاریدا (1999) رفتار تصادفی بارش‌های موسمی تابستانه هند را با توزیع چهار پارامتری کاپا مدل‌سازی نمود. وینچستر (2000) پارامترهای تابع توزیع کاپا را با روش‌های بیشینه درست‌نمایی، گشتاورهای خطی و گشتاورهای نقطه‌ای به‌دست آورده و در نهایت روش گشتاورهای خطی را به‌عنوان روشی نسبتاً بهتر در مقایسه با سایر روش‌های تخمین، معرفی نموده است. پارک و جانگ (2001)، توزیع چهار پارامتری کاپا را با استفاده از تخمین‌گر بیشینه درست‌نمایی که با الگوریتم جریمه به‌دست‌آمده، بر روی داده‌های بارش روزانه حدی تابستانه در 61 ایستگاه اندازه‌گیری در کره جنوبی، برای چندین دوره برگشت مختلف به‌کار بردند

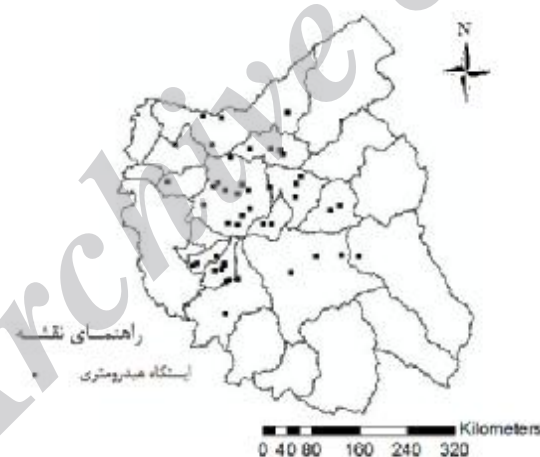
² Generalized extreme value

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در این تحقیق استان آذربایجان شرقی هست که بین عرض‌های جغرافیایی 36 درجه و 45 دقیقه تا 39 درجه و 26 دقیقه شمالی و طول جغرافیایی 45 درجه و 5 دقیقه تا 48 درجه و 22 دقیقه شرقی قرار گرفته است. داده‌های دبی بیشینه سالیانه 47 ایستگاه هیدرومتری این منطقه از سال 1350 تا 1389 (به مدت 40 سال آماری) مورد تحلیل قرار گرفته است. شکل 1 موقعیت ایستگاه‌های هیدرومتری مورد مطالعه را در استان آذربایجان شرقی می‌دهد.

گشتاورهای خطی را به منظور تعیین نواحی همگن و تخمین دبی‌های بیشینه لحظه‌ای با دوره بازگشت‌های مختلف در نقاط فاقد ایستگاه آب‌سنجی، از روش خوشه‌بندی و تحلیل فراوانی منطقه‌ای در حوضه آبریز دریاچه ارومیه به کار برده و کل حوضه را به 4 منطقه همگن تقسیم نموده و توزیع مناسب برای هر منطقه را مشخص نمودند. زیا و دو (2013) توزیع‌های مختلفی را جهت برازش بر روی داده‌های بارش‌های حدی در رودخانه هاوایی با استفاده از گشتاورهای خطی مورد بررسی قرار دادند، آن‌ها در تحقیق خود کل منطقه را به سه زیر منطقه همگن تقسیم نموده و در نهایت توزیع پاریتوی تعمیم‌یافته را به عنوان توزیعی که بهترین برازش را دارد معرفی نمودند. هدف از این تحقیق، تحلیل منطقه‌ای داده‌های دبی بیشینه سالانه رودخانه‌های استان آذربایجان شرقی با روش گشتاورهای خطی هست.



شکل 1- منطقه مورد مطالعه و موقعیت ایستگاه‌های هیدرومتری.

$$f = \begin{cases} \left\{ 1 - h \left[1 - \frac{k(x-\xi)}{\alpha} \right]^{\frac{1}{k}} \right\}^{\frac{1}{h}}; & k \neq 0, h \neq 0 \\ \exp \left\{ - \left[1 - k \frac{(x-\xi)}{\alpha} \right]^{\frac{1}{k}} \right\}; & k \neq 0, h = 0 \\ \left[1 - h \exp \left[- \frac{(x-\xi)}{\alpha} \right] \right]^{\frac{1}{h}}; & k = 0, h \neq 0 \\ \exp \left\{ - \exp \left[- \frac{(x-\xi)}{\alpha} \right] \right\}; & k = 0, h = 0 \end{cases} \quad [7]$$

توزیع کاپا

بسیاری از توزیع‌های احتمالاتی رایج که در زمینه تحلیل فراوانی سیل مورد توجه هستند، نمونه‌های خاصی از یک توزیع چهار پارامتری هستند که تعمیم‌یافته توزیع سه پارامتری کاپا، معرفی شده توسط مایلک (1973) هست. تابع توزیع تجمعی کاپا به صورت زیر است:

می‌نامند (وینچستر 2000). در این مطالعه پارامترهای تابع توزیع کاپا با روش گشتاورهای خطی تخمین زده شدند.

به طوری که اشاره شد، توزیع‌های آماری متعددی وجود دارد که حالات خاصی از توزیع چهار پارامتری کاپا می‌باشند. این توزیع، طبق رابطه تابع توزیع به‌ازای مقادیر مختلف پارامترهای h و k توزیع‌های متعددی را طبق جدول 1 ارائه می‌دهد (هوسکینگ 1994).

جدول 1- حالات‌های خاص تابع توزیع کاپا.

پارامتر		توزیع
h	k	
1	$\neq 0$	پاریتوی تعمیم‌یافته
0	$\neq 0$	مقادیر حدی تعمیم‌یافته
-1	$\neq 0$	لاجستیک تعمیم‌یافته
1	0	نمایی
0	0	گامبل
-1	0	لاجستیک
1	1	یکنواخت

گشتاورهای وزنی احتمال و گشتاورهای خطی گشتاورهای خطی را می‌توان با توجه به گشتاورهای وزنی احتمال محاسبه کرد، یکی از نمونه‌های خاص و بسیار مفید گشتاورهای وزنی احتمال کمیت $M_{1,r,0}$ هست که با β_r نیز نشان داده می‌شود، این کمیت به‌شرح زیر تعریف می‌گردد:

$$\beta_r = M_{1,r,0} = E\{X[F(x)]^r\}, r = 0, 1, 2, \dots \quad [6]$$

گشتاورهای خطی ترکیب خطی از کمیت‌های گشتاورهای وزنی احتمال هستند، که چهار گشتاور اول از روابط زیر به‌دست می‌آید:

$$\begin{aligned} \lambda_1 &= \beta_0 \\ \lambda_2 &= 2\beta_1 - \beta_0 \end{aligned} \quad [7]$$

حالات خاص تابع توزیع کاپا

چنانچه h و k هر دو مخالف صفر باشند، می‌توان تابع توزیع تجمعی کاپا را به‌طور ساده‌تر به‌صورت زیر نوشت:

$$F(x) = \left\{1 - h \left[1 - \frac{k(x - \xi)}{\alpha}\right]^{\frac{1}{k}}\right\}^{\frac{1}{h}} \quad [2]$$

بنابراین تابع چگالی احتمال این توزیع به‌شرح زیر در نظر گرفته می‌شود:

$$f(x) = \alpha^{-1} \left[1 - \frac{k(x - \xi)}{\alpha}\right]^{\frac{1}{k} - 1} [F(x)]^{1-h} \quad [3]$$

و در نتیجه تابع چگال (معکوس تابع توزیع تجمعی) به‌صورت زیر است:

$$x(F) = \xi + \frac{\alpha}{k} \left[1 - \left(\frac{1 - F^h}{h}\right)^k\right] \quad [4]$$

که در آن ξ پارامتر مکان، α پارامتر مقیاس، و h و k پارامترهای شکل هستند. به‌جز محدودیت $\alpha > 0$ ، تمام مقادیر پارامترها توابع توزیع معتبری را به‌دست می‌دهند (هوسکینگ 1994). لازم است مرزهای توزیع را، که به‌صورت زیر ارائه‌شده است، در نظر گرفت:

$$\begin{cases} \xi + \frac{\alpha(1-h^{-k})}{k} \leq x \leq \xi + \frac{\alpha}{k}, & h > 0, k > 0 \\ \xi + \alpha \log(h) \leq x \leq \infty, & h > 0, k = 0 \\ \xi + \frac{\alpha(1-h^{-k})}{k} \leq x \leq \infty, & h > 0, k < 0 \\ -\infty < x < \xi + \frac{\alpha}{k}, & h \leq 0, k > 0 \\ -\infty < x < \infty, & h \leq 0, k > 0 \\ \xi + \frac{\alpha}{k} \leq x \leq \infty, & h \leq 0, k < 0 \end{cases} \quad [5]$$

وقتی که پارامترهای توزیع کاپا با توجه به مقادیر مشاهداتی از یک نمونه تخمین زده شدند، هر مشاهده باید در داخل مرزهای ذکرشده فوق قرار گیرد. اگر پارامتر تخمین زده‌شده شروط فوق را ارضا کند، شدنی (موجه) و در غیر این صورت، ناشدنی (غیرموجه)

$$b_r = n^{-1} \sum_{j=1}^{n-r} \frac{\binom{n-j}{r} X_j}{\binom{n-r}{r}}$$

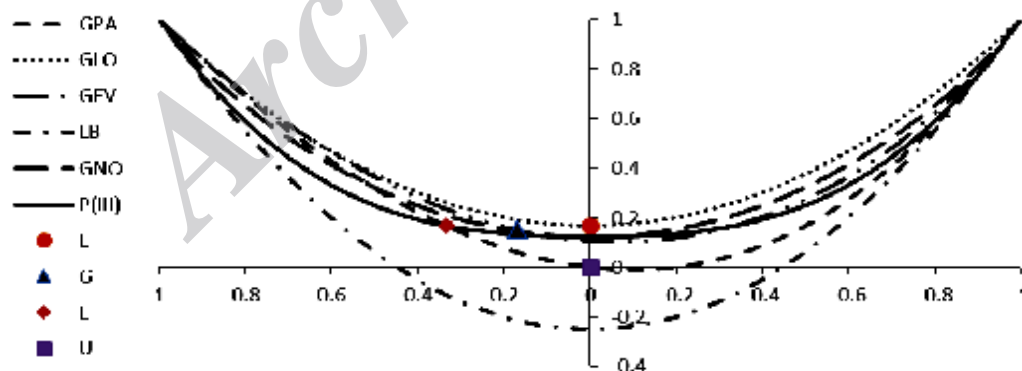
$$= \frac{1}{r+1} \sum_{j=1}^{n-r} \frac{\binom{n-j}{r} X_{(j)}}{\binom{n}{r+1}}, r = 1, 2, \dots, n-1 \quad [8]$$

و نیز

$$l_{r+1} = \sum_{j=0}^r p_{r,j}^* b_j, r = 0, 1, \dots, n-1 \quad [9]$$

$$p_{r,k}^* = (-1)^{r-k} \binom{r}{k} \binom{r+k}{k} \quad [10]$$

شکل 2، دیاگرام نسبت‌های گشتاورهای خطی را در صفحه τ_3 و τ_4 نشان می‌دهد. هوسکینگ (1994) جهت منحصر به فرد بودن پارامترها و همچنین قرار گرفتن مقادیر (τ_3) و (τ_4) بین خط لاجستیک تعمیم یافته $(h=-1)$ و باند پایینی تمام توزیع‌ها محدودیت‌هایی به شرح زیر بر روی پارامترها اعمال نمود: $1 < k$ اگر $h < 0$ باشد، آنگاه $1 < kh < 1 + 0.725h$ و اگر پارامترهای به دست آمده از گشتاورهای خطی در شرایط فوق صدق نکند، پارامترها قابل محاسبه و اگر صدق نکند، غیرقابل محاسبه در نظر گرفته شدند (دوپویی و وینچستر 2007).



شکل 2- دیاگرام نسبت‌های گشتاورهای خطی τ_3 و τ_4 توزیع چهار پارامتری کاپا.

ایستگاه اندازه‌گیری واقع در سراسر منطقه مورد مطالعه به‌طور همزمان، انجام گرفته است (نه فقط برای یک ایستگاه) زیرا تحلیل منطقه‌ای دقت بالاتری در تخمین چندک‌ها نسبت به بررسی جداگانه ایستگاه‌های مختلف دارد. در این روش، تحلیل‌ها برای مناطق همگن و با

$$\lambda_2 = 6\beta_2 - 6\beta_1 + \beta_0$$

$$\lambda_4 = 20\beta_3 - 30\beta_2 + 12\beta_1 - \beta_0$$

نسبت‌های گشتاورهای خطی را با τ_r نشان می‌دهند. اولین نسبت با رابطه $\tau_2 = \frac{\lambda_2}{\lambda_1}$ و نسبت‌های بعدی به‌ازای $r=3, 4, \dots$ با رابطه $\tau_r = \frac{\lambda_r}{\lambda_2}$ تعریف می‌شوند. کمیت‌های مذکور هم برای توزیع‌های احتمالاتی و هم برای داده‌های نمونه تعریف شده‌اند، در مورد اول گشتاورهای خطی توابعی از پارامترهای توزیع به دست می‌آید و در مورد دوم مقدار عددی هر گشتاور تخمین زده می‌شود. تعداد گشتاورها معمولاً برابر با تعداد پارامترهای توزیع در نظر گرفته می‌شود. بنابراین یک دستگاه معادلات، که عموماً غیرخطی هستند، حاصل می‌شود. حل هم‌زمان این معادلات مقادیر پارامترها را به‌روش گشتاورهای خطی به دست می‌دهد. در عمل، اگر $x_1 \leq x_2 \leq \dots \leq x_n$ یک نمونه مرتب شده صعودی باشد، در این صورت b_r تخمین مقادیر β_r و l_r تخمین مقادیر λ_r بوده و به شرح زیر محاسبه می‌شوند (استدینگر و همکاران 1993):

هر منطقه دارای محدوده متفاوتی از میانگین دبی بیشینه سالانه هست، بنابراین، از تحلیل منطقه‌ای با استفاده از روش سیلاب شاخص استفاده شده است (هوسکینگ و والیس 1993). در تحلیل منطقه‌ای برآزش توزیع‌ها بر روی داده‌های اندازه‌گیری شده چندین

4	3	120
---	---	-----

جدول 3- آماره‌های خلاصه‌شده ایستگاه‌های ناحیه 1.

L-CV	t_3	t_4	D_i	نام ایستگاه
0/5157	0/3773	0/1778	1/07	کمانج
0/3050	0/1764	0/2904	2/81	مرکید
0/4226	0/2346	0/1578	0/98	خواجه
0/4555	0/3311	0/1864	0/29	پردیل
0/5022	0/3860	0/2069	0/76	خانیان
0/4600	0/3417	0/2048	0/17	چکان
0/3075	0/1907	0/2804	1/8	تازه کند
0/4858	0/3976	0/2386	0/71	خرمازرد
0/3686	0/3041	0/2346	1/44	قشلاق امیر
0/4061	0/2554	0/1607	0/98	مغانجیق
0/4846	0/4011	0/2466	0/85	اسفستانج
0/3448	0/2341	0/224	0/68	دریان
0/4200	0/2652	0/1581	0/87	چپینی
0/3845	0/2209	0/2049	0/62	اولتلق
0/4214	0/359	0/2161	1/42	چتاب
0/4345	0/3603	0/2438	0/26	رواسجان
0/4225	0/3370	0/2279	0/19	اورنگ
0/4505	0/2514	0/1488	1/49	پل چرچر
0/3143	0/2107	0/2443	1/1	کاسین
0/3859	0/2477	0/2250	0/33	ایری
0/4149	0/3554	0/2494	0/56	کلیر
0/5002	0/4927	0/2990	2/62	پهناور

جدول 4- آماره‌های خلاصه‌شده ایستگاه‌های ناحیه 2.

L-CV	t_3	t_4	D_i	نام ایستگاه
0/5822	0/4802	0/2606	0/21	سهزاب
0/6190	0/5168	0/2611	1/32	سراب
0/5303	0/4083	0/2365	0/74	بستان آباد
0/5503	0/5015	0/3381	1/68	نهند
0/5467	0/4404	0/2786	1/14	سعیدآباد
0/5754	0/5239	0/3373	1/07	ونیار
0/5740	0/4580	0/2359	0/32	آناختون
0/5790	0/4450	0/2145	0/56	لیقوان
0/6263	0/5764	0/3533	2/85	هروی
0/5346	0/4183	0/2440	0/55	پل سنیخ
0/5655	0/4267	0/2096	0/54	زینجناب

مشخص کردن ایستگاه‌های ناسازگار و خارج کردن آن‌ها از منطقه انجام گرفت، معیار همگن بودن منطقه و سازگاری ایستگاه‌ها در یک منطقه، بر اساس نسبت‌های گشتاورهای خطی (ضریب تغییرات خطی و چولگی خطی و ضریب تغییرات خطی و کشیدگی خطی)، به‌دست آمد. بیشینه معیار همگنی H در سطح اطمینان 90% برابر 1 و بیشینه مقدار شاخص ناسازگاری (D_i) برابر 3 در نظر گرفته شد (هوسکینگ و والیس 1993). در نهایت بهترین توزیع آماری از بین توزیع‌های مورد بررسی با توجه به معیار نکویی برآزش که آن‌هم بر اساس گشتاورهای خطی به‌دست می‌آید، انتخاب و با توزیع کاپا مقایسه گردید. در انتخاب بهترین توزیع، مقدار آماره قابل‌قبول نکویی برآزش (Z) معادل 1/64 یا کمتر در نظر گرفته شد (هوسکینگ و والیس 1993). در این مطالعه با توجه به اینکه همه 47 ایستگاه استان، یک منطقه همگن را تشکیل نمی‌داد و دارای ایستگاه‌های ناسازگار بود. بنابراین، کل ایستگاه‌های استان به 4 منطقه تقسیم شد. اساس تقسیم‌بندی، خوشه‌بندی سلسله مراتبی با روش وارد و بر اساس مجذور فاصله اقلیدسی بود. دو منطقه 2 و 3 هر کدام دارای ایستگاهی بودند که موجب ناهمگنی منطقه شده بودند، این دو ایستگاه مشخص شد و از تحلیل‌ها حذف گردیدند. نتایج در جدول 2 ارائه شده است.

نتایج و بحث

جدول‌های 3 تا 6 خلاصه‌ای از نسبت‌های گشتاورهای خطی و معیار ناسازگاری هر منطقه را نشان می‌دهد. همان‌طور که ملاحظه می‌گردد، هیچ‌کدام از نواحی ایستگاه ناسازگار ندارد.

جدول 2- توصیف داده‌های مناطق چهارگانه.

مناطق	تعداد ایستگاه	تعداد داده‌ها
1	22	880
2	11	440
3	9	360

نمودار L_{CV} - L_{kur} و L_{CV} - L_{skew} برای هر چهار خوشه کمتر از یک است، اما آماره H بر اساس L_{CV} برای خوشه‌های 2، 3 و 4 کوچک‌تر از 1 و برای خوشه 1 بین 1 و 2 است. به عبارتی دیگر مقدار H بر اساس L_{CV} همواره بزرگ‌تر از دو آماره دیگر است. بنابراین، اگر این آماره، همگنی یک خوشه را تأیید کند دو آماره دیگر نیز تأیید خواهند نمود. طبق مقادیر به دست آمده، خوشه 1 یک خوشه دارای همگنی ملایم است. در تحلیل فراوانی، تحلیل منطقه‌ای یک خوشه دارای همگنی ملایم به تحلیل ایستگاه‌های منفرد ترجیح داده می‌شود. در نتیجه این خوشه نیز مانند سه خوشه دیگر مورد بررسی قرار می‌گیرد.

مقادیر پارامترهای توزیع چهارپارامتری کاپا برای هر چهار منطقه در جدول 8، نشان داده شده است. همچنین در این جدول مقادیر $h \times k$ و $h + 0/725 \times k$ نیز در دو ستون آخر نشان داده شده است. طبق این نتایج و مقایسه آن با شرایط پارامترهای توزیع کاپا، برای خوشه 4 پارامترها قابل محاسبه نیستند. می‌توان برای این خوشه روش بیشینه درست‌نمایی را به عنوان روش جایگزین به کار برد.

در این مطالعه علاوه بر برآزش توزیع کاپا بر روی سری داده‌ها، توزیع‌های GEV ، GLO ، GPA ، GNO و $P(III)$ نیز در نظر گرفته شدند، با مقایسه نتایج برآزش توزیع کاپا طبق معیار همگنی معرفی شده (Z) بر اساس گشتاورهای خطی بهترین توزیع از بین آن‌ها انتخاب گردید. جدول 9، نتایج این آزمون را با توجه به آماره نکویی برآزش (Z) نشان می‌دهد. هر چه مقدار Z متعلق به یک توزیع آماری خاص به صفر نزدیک‌تر باشد، آن توزیع برآزش بهتری بر روی نمونه مورد نظر خواهد داشت، پس توزیع‌های مقادیر حدی تعمیم‌یافته، پارتیوی تعمیم‌یافته، نرمال تعمیم‌یافته و لاجستیک تعمیم‌یافته،

همان‌طور که از جدول‌های مذکور می‌توان نتیجه گرفت، بیشترین مقادیر D_i برابر 2/81، 2/85 و 2/18 است که متعلق به ایستگاه‌های مرکید، هروی و مهربان هست که می‌توان آن‌ها را از تحلیل‌ها حذف و یا در صورتی که زمینه فیزیکی وجود داشته باشد، به سایر مناطق جابه‌جا کرد. در این تحقیق به دلیل اینکه این ایستگاه‌ها موجب ناهمگنی منطقه‌ای نشده‌اند، هریک در منطقه مربوطه باقی‌مانده و تحلیل‌ها با توجه به همان موقعیت‌ها انجام گرفته است.

جدول 5- آماره‌های خلاصه شده ایستگاه‌های ناحیه 3.

نام ایستگاه	D_i	t_4	t_3	L-CV
آخولا	0/37	0/2079	0/2941	0/4034
مهربان	2/18	0/2835	0/4046	0/4498
دیزناب	1/44	0/2381	0/2646	0/3666
هرزورز	0/83	0/1739	0/3339	0/4766
شیرین کند	1/61	0/1237	0/3216	0/4502
کوهسالار	0/88	0/1418	0/3316	0/4893
ارزیل	0/54	0/2404	0/3115	0/4137
اشدلق	0/28	0/1472	0/3376	0/4744
تازه کند اهر	0/88	0/0932	0/2828	0/4562

جدول 6- آماره‌های خلاصه شده ایستگاه‌های ناحیه 4.

نام ایستگاه	D_i	t_4	t_3	L-CV
شیشوان	0/00	0/4127	0/4854	0/5182
ینگچه	0/00	0/4420	0/5464	0/5094
کهلیک دره سی	0/00	0/4077	0/5368	0/5412

جدول 7، مقادیر آماره H یا ضریب ناهمگنی منطقه‌ای را در خصوص مناطق چهارگانه نشان می‌دهد. بر طبق نتایج این جدول مقدار ضریب همگنی H بر اساس دو

به‌ترتیب، بهترین توزیع‌های 3 پارامتری منطقه‌ای برای خوشه‌های 1، 2، 3 و 4 تشخیص داده شدند.

جدول 7- نتایج آزمون همگنی بر اساس L-moments

LCV/Lkur	LCV/Lskew	LCV	آماره ناحیه	LCV/Lkur	LCV/Lskew	LCV	آماره ناحیه
0/0622	0/0472	0/0377	v	0/0811	0/0896	0/0614	v
0/0926	0/0758	0/0414	μ_v	0/1093	0/0908	0/0487	μ_v
0/0209	0/0174	0/0106	σ_v	0/0162	0/0131	0/0077	σ_v
-1/45	-1/64	-0/35	H	-1/74	-0/09	1/65*	H
0/0297	0/0293	0/0134	v	0/0650	0/0504	0/0296	v
0/1369	0/1098	0/0619	μ_v	0/1150	0/0880	0/0529	μ_v
0/0769	0/0592	0/0368	σ_v	0/0254	0/0190	0/0124	σ_v
-1/39	-1/36	-1/32	H	-1/97	-1/98	-1/89	H

جدول 8- مقادیر پارامترهای توزیع چهار پارامتری کاپا.

پارامتر					ناحیه
$k+0/725 \times h$	h	k	α	ξ	
-0/2137	1	-0/0138	-0/2037	0/4796	0/6065
0/7258	2	1/3087	-0/2230	0/8364	-0/175
0/3902	3	0/6452	-0/0776	0/7136	0/3241
-1/2479*	4	-1/000	-0/5229	0/3175	0/6072

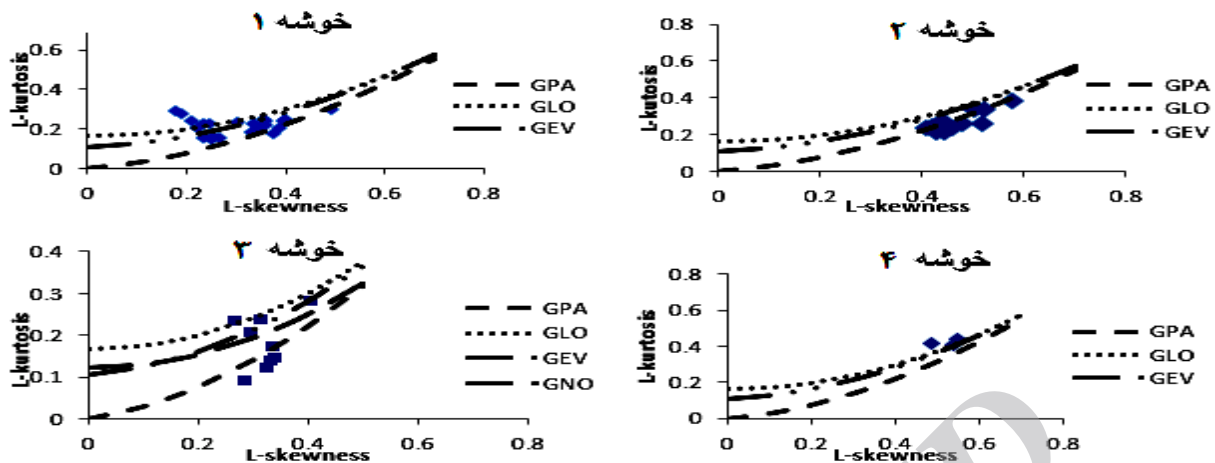
جدول 9- نتایج معیار نکویی برازش برای نواحی چهارگانه استان آذربایجان شرقی.

ناحیه				توزیع
4	3	2	1	
1/45	1/42	1/50	-0/60*	مقادیر حدی تعمیم‌یافته
1/36*	2/33	1/83	0/72	لاجستیک تعمیم‌یافته
1/97	0/54*	0/31	-1/72	نرمال تعمیم‌یافته
1/96	-1/18	0/00*	-4/25	پاریتوی تعمیم‌یافته
2/84	-0/96	-1/72	-3/63	پیرسون نوع 3

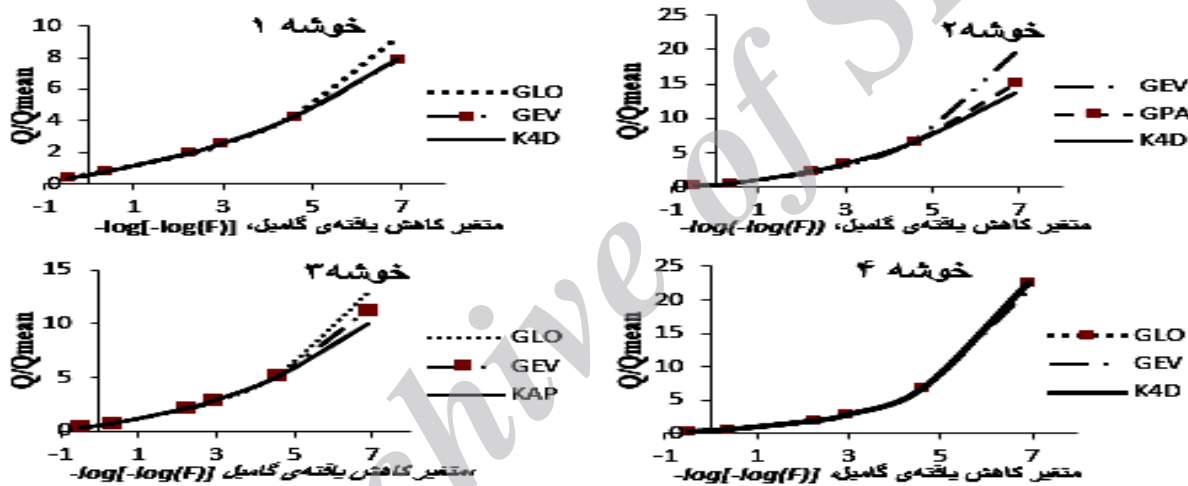
توجه: علامت * بهترین توزیع برازش داده‌شده برای هر ناحیه را نشان می‌دهد.

خطی با تناسب بیشتری در اطراف منحنی مربوط در صفحه τ_3 - τ_4 می‌داشت، به‌طور چشمی به‌عنوان بهترین تابع توزیع در منطقه در نظر گرفته می‌شد (رائو و حامد 2000).

شکل 3 نمودار نسبت‌های گشتاورهای خطی (τ_3 و τ_4) را به‌منظور نکویی برازش توزیع‌ها در هر یک از نواحی چهارگانه نشان می‌دهد. بر طبق این نمودارها که بر اساس رابطه بین نسبت‌های گشتاورهای خطی، رسم شده است، هر توزیعی که میانگین منطقه‌ای گشتاورهای



شکل 3- میانگین منطقه‌ای گشتاورهای خطی داده‌های دبی بیشینه سالیانه ایستگاه مطالعه.



شکل 4- منحنی‌های رشد سیلاب منطقه‌ای.

به‌خوبی عمل می‌کند. همان‌طور که قبلاً ذکر گردید در این مطالعه، روش سیلاب شاخص در تحلیل فراوانی منطقه‌ای به‌کاربرده شده است. بنابراین جهت پیش‌بینی و طراحی، چندک‌های حاصل باید مجدداً به مقادیر واقعی برای هر ایستگاه تبدیل شوند.

جدول 10، نتایج این بررسی‌ها را نشان می‌دهد با توجه به جدول مذکور تمام چندک‌های محاسبه‌شده در داخل باندهای مربوطه قرارگرفته‌اند. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که روش گشتاورهای خطی برای محاسبه پارامترهای توزیع کاپا، برای این منطقه

جدول 10- مقادیر چندک (Quantile) در نواحی چهارگانه استان آذربایجان شرقی.

چندک (بی‌بعد)	F	منطقه	محدوده موج	چندک (بی‌بعد)	F	منطقه	محدوده موج
0/3232	0/200			0/38414	0/200		
0/7487	0/500	3	$0/0166 \leq x < \infty$	0/78654	0/500	1	$-1/7479 \leq x < \infty$
2/1074	0/900			1/97515	0/900		

2/7226	0/950		2/56345	0/950	
4/272	0/990		4/2615	0/990	
6/8458	0/999		7/8669	0/999	
0/2941	0/200		0/1737	0/200	
0/6072	0/500		0/5435	0/500	
1/9155	0/900		2/3643	0/900	
2/8313	0/950	$0/0000 \leq x < \infty$	3/4024	0/950	$0/0569 \leq x < \infty$
6/7118	0/990	4	6/5518	0/990	2
22/4800	0/999		13/578	0/999	

واحد، ولی با پارامترهای مختلف برای این منطقه پیشنهاد کرد. جهت بررسی موجه بودن چندک‌های به‌دست‌آمده از توزیع کاپا، چندک‌ها با شرایط ذکر شده مقایسه شدند. با توجه به قرار گرفتن هریک از پارامترهای به‌دست‌آمده در طبقه‌بندی‌های مربوط به k و h ، قرارگیری چندک‌ها در باندهای مربوطه بررسی شد.

با مشخص شدن توزیع مادر می‌توان منحنی رشد منطقه‌ای را مطابق شکل 4، رسم نمود. این منحنی رابطه بین چندک‌های منطقه‌ای بی‌بعد و دوره برگشت را مشخص می‌کند. همان‌طور که شکل نشان می‌دهد توزیع چهارپارامتری کاپا، به توزیع مادر سه پارامتری که برازش بهتری دارد بسیار نزدیک است. بنابراین، می‌توان توزیع چهارپارامتری کاپا را به‌عنوان تابعی

جدول 11- دبی سیلاب ($m^3 s^{-1}$) به‌ازای دوره برگشت‌های مختلف در ناحیه 1.

ناحیه	ایستگاه	دوره برگشت (سال)				
		1000	100	20	10	2
کمانج		224/92	121/84	73/29	56/47	22/48
مرکید		658/09	356/49	214/44	165/22	65/79
خواجه		293/69	159/09	95/69	73/73	29/36
پردیل		408/29	221/17	133/04	102/51	40/82
خانیاں		118/03	63/94	38/46	29/63	11/80
چکان		96/63	52/34	31/49	24/26	9/66
تازه کند		441/82	239/33	143/96	110/92	44/17
خرمازرد		155/87	84/43	50/79	39/13	15/58
ناحیه 1	قشلاق امیر	374/62	202/93	122/07	94/05	37/45
	مغانجیق	137/14	74/29	44/68	34/43	13/71
	اسفستانج	80/56	43/64	26/25	20/22	8/05
	دریان	58/85	31/88	19/17	14/77	5/88
	چپینی	1339/56	725/64	436/49	336/32	133/93
	اونلیق	67/96	36/81	22/14	17/06	6/79
	چتاب	552/43	299/25	180/01	138/70	55/23
	رواسجان	209/43	113/45	68/24	52/58	20/93
	اورنگ	384/60	208/34	125/32	96/56	38/45

265/00	143/55	86/35	66/53	26/49	پل چرچر
322/72	174/82	105/15	81/02	32/26	کاسین
313/89	170/03	102/28	78/80	31/38	ایری
355/33	192/48	115/78	89/21	35/52	کلیبر
462/20	250/37	150/60	116/04	46/21	پهناور

استفاده از روش سیلاب شاخص در مطالعه حاضر هست.

سپاسگزاری

بدین وسیله از معاونت پژوهشی دانشگاه تبریز و شرکت آب منطقه‌ای استان آذربایجان شرقی جهت تأمین امکانات و داده‌های لازم این تحقیق تشکر و سپاسگزاری می‌شود.

جدول‌های 11 و 12 مقادیر دبی‌های به‌دست‌آمده به‌ازای دوره برگشت‌های مختلف را نشان می‌دهد. این مقادیر با مقادیر ایستگاه‌های مورد مطالعه مشابه برای دوره برگشت‌های متناظر توسط فتحیان و احمدزاده (1391) بسیار نزدیک به هم هستند. دلیل اختلاف کمی که بین نتایج این دو مطالعه وجود دارد، متفاوت بودن مجموعه ایستگاه‌های مورد مطالعه و نواحی ایجادشده و همچنین

جدول 12- دبی سیلاب ($m^3 s^{-1}$) به‌ازای دوره برگشت‌های مختلف در نواحی 2 تا 4.

	دوره برگشت					ایستگاه	ناحیه
	1000	100	20	10	2		
360/63	174/02	90/37	62/21	14/43	سهزاب	ناحیه 2	
436/00	210/38	109/25	75/22	17/45	سراب اسبقران		
409/74	197/71	102/67	70/69	16/40	بستان آباد		
402/70	194/32	100/91	69/47	16/11	نهند		
396/95	191/54	99/47	68/48	15/88	سعیدآباد		
457/04	220/54	114/53	78/85	18/29	ونیار		
570/54	275/31	142/97	98/43	22/83	آناخاتون		
451/92	218/07	113/24	77/96	18/08	لیقوان		
549/29	265/05	137/64	94/76	21/98	هروی		
553/88	267/27	138/79	95/55	22/16	پل سنیخ		
453/36	218/76	113/61	78/21	18/14	زینجناب		
784/44	489/56	311/97	241/48	85/80	آخولا	ناحیه 3	
283/42	176/88	112/72	87/25	31/00	مهربان		
52/68	32/87	20/95	16/21	5/76	دیزناب		
251/02	156/65	99/83	77/27	27/45	هرز ورز		
487/50	304/24	193/88	150/07	53/32	کوهسالار		
175/07	109/25	69/62	53/89	19/14	ارزیل		
207/96	129/78	82/70	64/01	22/74	اشدلق		
334/82	208/95	133/16	103/07	36/62	تازه کندهار		
2453/07	732/41	308/95	209/03	66/25	شیشوان	ناحیه 4	
2116/13	631/81	266/52	180/32	57/15	ینگجه		
489/42	146/12	61/64	41/70	13/21	کهلیک درسی		

منابع مورد استفاده

- عبدی کردانی ا و فاخری فرد ا، 1387 الف. تحلیل توزیع فراوانی دبی‌های بیشینه رودخانه‌ای با استفاده از روش گشتاورهای خطی (مطالعه موردی: رودخانه‌های استان آذربایجان شرقی). صفحه‌های 1 تا 7. چهارمین کنگره ملی مهندسی عمران، 1 تا 4 اردیبهشت ماه. دانشگاه تهران.
- عبدی کردانی ا و فاخری فرد ا، 1387. برآورد پارامترهای توزیع چهار پارامتری کاپا با استفاده از روش‌های بیشینه درست‌نمایی و گشتاورهای وزنی احتمال. صفحه‌های 1 تا 8. چهارمین کنگره ملی مهندسی عمران، 4-1 اردیبهشت. دانشگاه تهران.
- فتحیان ف و احمدزاده ح، 1391. تحلیل فراوانی منطقه‌ای سیلاب با استفاده از روش گشتاورهای خطی بر اساس تحلیل خوشه‌بندی در حوضه دریاچه ارومیه. علوم و مهندسی آبیاری (مجله علمی کشاورزی)، جلد 35، شماره 3، صفحه‌های 95 تا 106.
- Chen YD, Huang G, Shao Q and Xu C, 2006. Regional analysis of low flow using L-moments for Dongjiang Basin, South China. *Hydrological Sciences Journal* 51(6): 1051-1064.
- Dupuis DJ and Winchester C, 2007. More on the four-parameter Kappa distribution. *Statistical Computation and Simulation* 71(2): 99-113.
- Halim NFM, Baki AM and Atan I, 2011. L-moments approach on frequency analysis of annual runoff in peninsular Malaysia. *Empowering Science, Technology and Innovation Toward a Better Tomorrow* 1: 94-103.
- Hosking JRM, 1988. The Four-Parameter Kappa Distribution. Res Rep RC13412/IBM, Research and Development. Yorktown Heights, NY.
- Hosking JRM, 1991. Fortran Routines for Use with the Method of L-moments, version 2. Res Rep RC17097, IBM Research and Development. Yorktown Heights, N.Y.
- Hosking JRM, 1994. The four-parameter Kappa distribution. *IBM Research and Development* 38(3): 251-258.
- Hosking JRM and Wallis JR, 1993. Some statistics useful in frequency analysis. *IBM Research and Development* 29(2): 271-281.
- Kochanek A, Strupczewski WG and Markiewicz I, 2010. On feasibility of L-moments method for distributions with cumulative distribution function and its inverse inexpressible in the explicit form. *Advances in Statistical Hydrology* 3:1-10.
- Mileke PW, 1973. Another family of distribution for describing and analyzing precipitation data. *Applied Meteorology* 12: 275-280.
- Parida BP, 1999. Modeling of Indian summer monsoon rainfall using a four-parameter Kappa distribution. *International Journal of Climatology* 19: 1389-1398.
- Park JS and Jung HS, 2001. Modeling Korean extreme rainfall using a Kappa distribution and maximum likelihood estimate. *Theoretical and Applied Climatology* 72: 55-64.
- Rao RA and Hamed K, 2000. *Flood Frequency Analysis*. CRC Press. United States of America.
- Stedinger JR, Vogel RM and Foufoula-Georgiou E, 1993. *Frequency Analysis of Extreme Events*. Handbook of Hydrology. McGraw-Hill Book Co. Inc. New York.
- Winchester C, 2000. On estimation of the four-parameter Kappa distribution. Submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science at Dalhousie University. Canada.
- Xia J and Du H, 2013. Regional extreme precipitation frequency analysis based on L-moments method. *Geophysical Research Abstracts* 15:6871.