

## یادداشت فنی

### تحلیل فراوانی منطقه‌ای سیلاب در حوضه آبریز کشف‌رود با استفاده از روش گشتاورهای خطی

رضا براتی<sup>۱\*</sup>، مهدی اژدری مقدم<sup>۲</sup> و مسعود آرامی فدافن<sup>۳</sup>

#### چکیده

طراحی انواع سازه‌های هیدرولیکی، پهنه‌بندی دشتهای سیلابی و ارزیابی اقتصادی پروژه‌های حفاظت سیلاب نیازمند اطلاعات مقدار و فراوانی سیلاب می‌باشند. تحلیل فراوانی منطقه‌ای سیلاب راه حل برآورد حداکثر سیلاب برای حوضه‌های دارای آمار اندک یا فاقد ایستگاه است. یکی از روش‌های معمول که جهت تحلیل فراوانی کاربرد گسترده‌ای دارد، روش گشتاورهای خطی است. برتری این روش نسبت به دیگر روشها در این است که نسبت به داده‌های پرت حساسیتی کمتری دارد. در این تحقیق برای تحلیل فراوانی منطقه‌ای سیلاب در حوضه آبریز کشف‌رود از روش گشتاورهای خطی استفاده شده است. با استفاده از دو آماره همگنی، آماره ناچوری و آماره ناهمگنی، به بررسی جور بودن ایستگاه‌ها و همگنی منطقه پرداخته شده است. بر اساس دیاگرام‌های گشتاورهای خطی و آماره  $Z^{Dist}$  توزیع مقادیر حدی تعمیم یافته (GEV) بعنوان توزیع مناسب برای منطقه تحت مطالعه تشخیص داده شده است. از طرف دیگر، توزیع‌های لوگ پیرسن نوع سه و لوگ نرمال سه پارامتری در سطح محلی قابل قبول‌اند.

**واژه‌های کلیدی:** حوضه آبریز کشف رود، گشتاورهای خطی، ناچوری، همگنی، توزیع منطقه‌ای اصلی.

**ارجاع:** براتی ر. اژدری مقدم م. و آرامی فدافن م. ۱۳۹۰. تحلیل فراوانی منطقه‌ای سیلاب در حوضه آبریز کشف‌رود با استفاده از روش گشتاورهای خطی. مجله پژوهش آب ایران. ۵(۹): ۲۲۳-۲۲۸.

۱- دانشجوی سابق کارشناس ارشد مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد مشهد و عضو باشگاه پژوهشگران جوان  
۲- استادیار گروه مهندسی عمران، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران.  
۳- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی عمران، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران.

\* نویسنده مسئول: [r88barati@gmail.com](mailto:r88barati@gmail.com)

تاریخ دریافت: ۱۳۸۸/۱۲/۰۹ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۰/۰۲/۳۱

## مقدمه

سیلاب طرح، دبی حداکثر لحظه‌ای است که بر اساس آن طراحی سازه‌های آبی انجام می‌شود. یکی از مهم‌ترین روش‌های پیش‌بینی سیلاب طرح، آنالیز منطقه‌ای سیلاب است. آنالیز منطقه‌ای سیلاب در ارتباط با تخمین مقادیر سیل برای دوره بازگشت‌های مختلف در یک یا چند ایستگاه واقع در یک رودخانه است.

گرین وود و همکاران (۱۹۷۹) مفهوم گشتاورهای وزنی را معرفی کردند. برآورد پارامترها توسط روش گشتاورهای وزنی دار برای نمونه‌های کوچک در بسیاری از اوقات دقیق‌تر از نتایج روش‌های دیگر نظیر حداکثر درست‌نمایی و روش گشتاورها است. هاسکینگ (۱۹۸۶) و (۱۹۹۰) روش گشتاورهای خطی را معرفی کرد. گشتاورهای خطی مشابه گشتاورهای مرسوم اند و در واقع می‌توان آنها را معادل ترکیبات خطی گشتاورهای وزن دار دانست. هاسکینگ و والیس (۱۹۹۷) آماره‌هایی را که می‌توان در آنالیز منطقه‌ای سیلاب برای اندازه‌گیری ناجوری، همگنی ناحیه‌ای و نکویی برآزش بکار برد، توسعه دادند. در پژوهش حاضر، با کمک روش گشتاورهای خطی پس از بررسی جور بودن ایستگاه‌ها و همگنی داده‌ها با کمک روش نیکوئی برآزشی بهترین توزیع منطقه‌ای برای حوضه آبریز کشف‌رود انتخاب گردیده است. همچنین مقایسه‌ای بین توزیع‌های منتخب در محل با توزیع منطقه‌ای انجام شده است.

## مواد و روش‌ها

احتمال گشتاورهای وزن دار  $M_{p,r,s}$  با رتبه  $p, r, s$  توسط گرین وود و همکاران (۱۹۷۹) به صورت معادله ۱ تعریف شده است که در آن  $F$  تابع توزیع تجمعی احتمال و  $X(F)$  توزیع معکوس که تابعی از  $X$  است، را نشان می‌دهند.

$$M_{p,r,s} = E\{[X(F)]^p F^r [1-F]^s\} = \int_0^1 [X(F)]^p F^r (1-F)^s dF \quad (1)$$

معمولاً دو گشتاور  $M_{1,0,s} = \alpha_s = \int_0^1 X(F)(1-F)^s dF$  و  $M_{1,r,0} = \beta_r = \int_0^1 X(F)F^r dF$  در حالت خاص مورد

بررسی قرار می‌گیرد.  $\alpha_s$  و  $\beta_r$  نسبت به  $X$  خطی بوده و به صورت  $\beta_r = \sum_{k=0}^r \binom{r}{k} (-1)^k \alpha_k$  و  $\alpha_s = \sum_{k=0}^s \binom{s}{k} (-1)^k \beta_k$  به یکدیگر وابسته می‌باشند. هاسکینگ (۱۹۸۶، ۱۹۹۰) گشتاورهای خطی  $\lambda_{r+1}$  را به صورت زیر تعریف کرد.

$$\lambda_{r+1} = (-1)^r \sum_{k=0}^r p_{r,k}^* \alpha_k = \sum_{k=0}^r \beta_k (-1)^{r-k} \binom{r}{k} \binom{r+k}{k} \quad (2)$$

همچنین گشتاورهای وزن دار غیراریب از روابط زیر محاسبه می‌شود.

$$a_s = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \binom{n-i}{s} X_i / \binom{n-1}{s} \quad (3)$$

$$b_r = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \binom{i-1}{r} X_i / \binom{n-1}{r} \quad (4)$$

گشتاورهای خطی نمونه از جایگذاری برآوردهای نمونه  $a_s$  و  $b_r$  در  $\alpha_s$  و  $\beta_r$  معادله ۲ محاسبه می‌شوند. نسبت‌های L-Moments به وسیله هاسکینگ (۱۹۹۰) به صورت  $\tau = \lambda_2 / \lambda_1$ ،  $\tau_3 = \lambda_3 / \lambda_2$  و  $\tau_4 = \lambda_4 / \lambda_2$  تعریف شدند. که در آنها  $\lambda_1$  پارامتر موقعیت،  $\lambda_2$  معیار پراکنش متغیر تصادفی،  $\tau$  پارامتر مقیاس و پراکنش (L)  $CV$ ،  $\tau_3$  پارامتر چولگی (L-CS) و  $\tau_4$  پارامتر کشیدگی (L-CK) را نشان می‌دهند.

## نتایج و بحث

حوضه آبریز کشف‌رود در شمال شرق ایران بین طول‌های جغرافیایی ۵۸ درجه و ۲ دقیقه تا ۶۰ درجه و ۸ دقیقه شرقی و عرض‌های جغرافیایی ۳۵ درجه و ۴۰ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۳ دقیقه شمالی قرار دارد. در مجموع آمار ۲۲ ایستگاه در منطقه در دسترس می‌باشد که ۲۰ ایستگاه دارای آمار بیش از ۱۰ سال هستند.

اولین گام در آنالیز منطقه‌ای سیلاب، مشخص کردن همگنی نواحی برای داشتن تحلیل درست از نتایج است (کانانی، ۱۹۸۶). هاسکینگ و والیس (۱۹۹۳ و ۱۹۹۷) دو آماره را برای آزمون همگنی با کمک روش گشتاورهای خطی استنتاج کردند. اولین آنها آماره

قابلیت اطمینان به تحلیل منطقه‌ای سیلاب وابستگی زیادی به درجه همگنی هیدرولوژیکی دارد. آماره دوم ناهمگنی را اندازه‌گیری می‌کند. به این ترتیب که درجه ناهمگنی را در یک گروه از ایستگاه‌ها برای تعیین این که آیا به طور همگنی رفتار می‌کنند یا نه، مشخص می‌کند. این آماره شامل سه معیار  $H_1$ ،  $H_2$  و  $H_3$  است. اگر  $H < 1$  منطقه به طور قابل قبولی همگن می‌باشد، در صورتی که  $1 \leq H < 2$  منطقه ممکن است ناهمگن باشد و اگر  $H \geq 2$  منطقه قطعاً ناهمگن است (هاسکینگ و والیس، ۱۹۹۷). مقادیر  $H_1$ ،  $H_2$  و  $H_3$  به ترتیب ۰/۵۹-، ۰/۴۶ و ۰/۵۹ محاسبه گردیده‌اند که این موضوع نشان می‌دهد منطقه به صورت یک جا همگن است و نیازی به منطقه‌بندی برای تحلیل منطقه‌ای سیلاب نیست.

ناجوری، D، می‌باشد که ایستگاه‌های را که به طور برجسته‌ای با گروه ایستگاه‌ها ناسازگار هستند، مشخص می‌کند. اگر مقدار D بزرگتر یا مساوی ۳ باشد ایستگاه ناجور بوده و از گروه حذف می‌شود. نکته قابل ذکر این است که این شاخص به اندازه نمونه وابسته نیست. به این ترتیب که این آماره بر اساس گشتاورهای خطی محاسبه می‌شود و نسبت به اندازه نمونه حساسیت کمتری دارد، در حالی که گشتاورهای متداول مانند میانگین و انحراف از معیار وابستگی شدیدی به اندازه نمونه به خصوص داده‌های پرت از خود نشان می‌دهند. پس از محاسبه آماره ناجوری ۳ ایستگاه از مجموعه ایستگاه‌ها حذف شده‌اند. مقادیر آماره‌های توصیفی و ناجوری برای ایستگاه‌های باقیمانده در جدول ۱ ارائه شده است. همانطور که مشاهده می‌شود مقادیر  $D_i$  از ۳ کمتر است.

جدول ۱ - مقادیر آماره‌های توصیفی و گشتاورهای خطی ایستگاه‌های منطقه مورد مطالعه

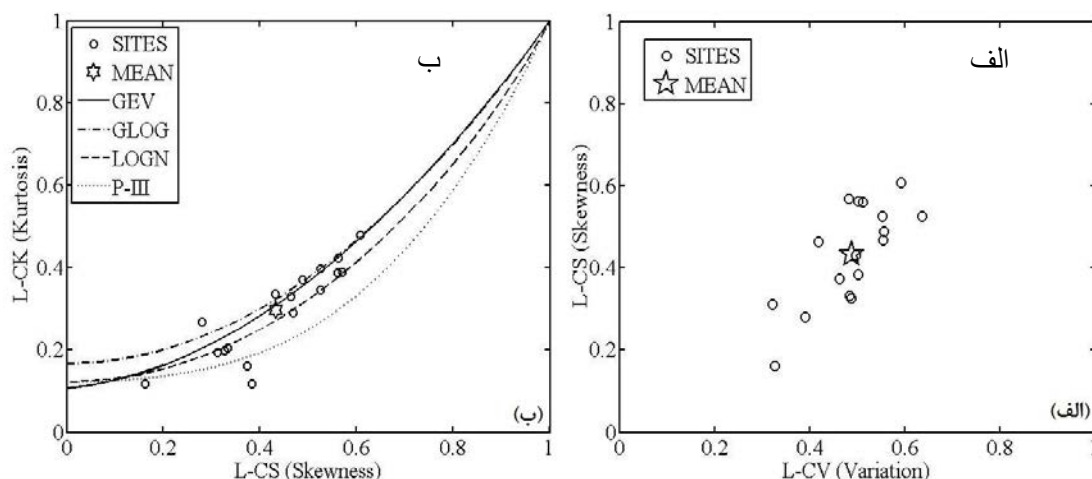
شماره ایستگاه	رودخانه (انشعاب)	مساحت (Km <sup>2</sup> )	متوسط دبی اوج سالانه (m <sup>3</sup> /s)	تعداد سال آماری	L-CK	L-CS	L-CV	D
۱	آق دربند	۱۵۹۶۴/۰	۲۰۶/۵۹	۴۰	۰/۲۹	۰/۴۷	۰/۵۵	۰/۳۱۹
۲	امامزاده رادکان	۲۰۷/۰۰	۳۴/۹۸	۳۴	۰/۲۰	۰/۳۳	۰/۴۹	۰/۵۶۸
۳	اولنگ اسدی	۵۸/۰۶۰	۹۴/۱۶	۳۲	۰/۱۶	۰/۳۷	۰/۴۶	۰/۹۶۳
۴	بند ساروج	۹۰۴۷/۵	۵۹/۵۱	۳۴	۰/۳۴	۰/۴۳	۰/۵۰	۰/۳۳۵
۵	پل خاتون کشف رود	۴۹۷/۰۰	۲۴۵/۴۳	۳۷	۰/۲۰	۰/۳۳	۰/۴۸	۰/۴۶۰
۶	پل خاتون هریر رود	۱۶۴۲۷/۴	۵۴۰/۶۴	۳۵	۰/۲۷	۰/۲۸	۰/۳۹	۱/۵۹۳
۷	دولت آباد	۵۸۴۲۰/۰	۶/۹۷	۲۹	۰/۳۳	۰/۴۶	۰/۴۲	۰/۷۰۰
۸	زشک	۹۵/۰۰	۸/۰۴	۲۶	۰/۱۹	۰/۳۱	۰/۳۲	۱/۵۵۸
۹	سرآسیاب شاندیز	۴۱/۲۰	۲۴/۱۵	۳۲	۰/۳۹	۰/۵۶	۰/۵۱	۰/۵۶۲
۱۰	کارده بالا	۱۱۶/۰۰	۶۴/۶۷	۲۲	۰/۳۷	۰/۴۹	۰/۵۶	۰/۴۶۱
۱۱	کرتیان	۴۰/۰۰	۳۵/۳۳	۴۱	۰/۴۰	۰/۵۲	۰/۵۵	۰/۳۹۴
۱۲	گلستان	۶۸/۲۰	۱۴/۹۳	۳۳	۰/۴۸	۰/۶۱	۰/۵۹	۰/۹۶۷
۱۳	موشنگ	۳۰۹/۷۰	۳۸/۷۱	۳۵	۰/۱۲	۰/۱۶	۰/۳۳	۱/۸۲۱
۱۴	اندروخ	۴۳۱/۴۰	۴۷/۴۱	۳۲	۰/۳۵	۰/۵۳	۰/۶۴	۱/۳۳۸
۱۵	چکنه علیا	۲۳۵/۸۰	۲۲/۶۴	۲۱	۰/۱۲	۰/۳۸	۰/۵۰	۲/۱۵۹
۱۶	حصار دهبار	۹۰/۰۰	۱۲/۱۱	۳۰	۰/۴۲	۰/۵۶	۰/۵۰	۰/۶۵۶
۱۷	گلمکان	۲۴۵/۰۰	۲/۹۲	۲۹	۰/۳۹	۰/۵۷	۰/۴۸	۱/۱۴۵

منطقه‌ای آرایه می‌دهد (رائو و خالد، ۱۹۹۷). مقادیر L-CV در برابر L-CS برای ایستگاه‌های مختلف در شکل ۱

پراکندگی نسبت گشتاورها برای روابط تئوری در توزیع‌های مختلف، اطلاعاتی را درباره انتخاب توزیع مناسب

توزیع‌های سه پارامتری مقادیر حدی تعمیم یافته (GEV)، لوجستیک تعمیم یافته (GLOG)، لوگ نرمال سه پارامتری (LOGN) و پیرسن نوع سه (P-III) در شکل ۱ نشان داده شده است.

نشان داده شده است. بر اساس این شکل پراکنندگی نقاط در اطراف میانگین زیاد نمی‌باشد و همگنی منطقه از لحاظ این شکل نیز در سطح قابل قبولی است. همچنین شکل مقادیر L-CS در برابر L-CK برای این ایستگاه‌ها بعلاوه مقادیر تئوری L-CS و L-CK برای



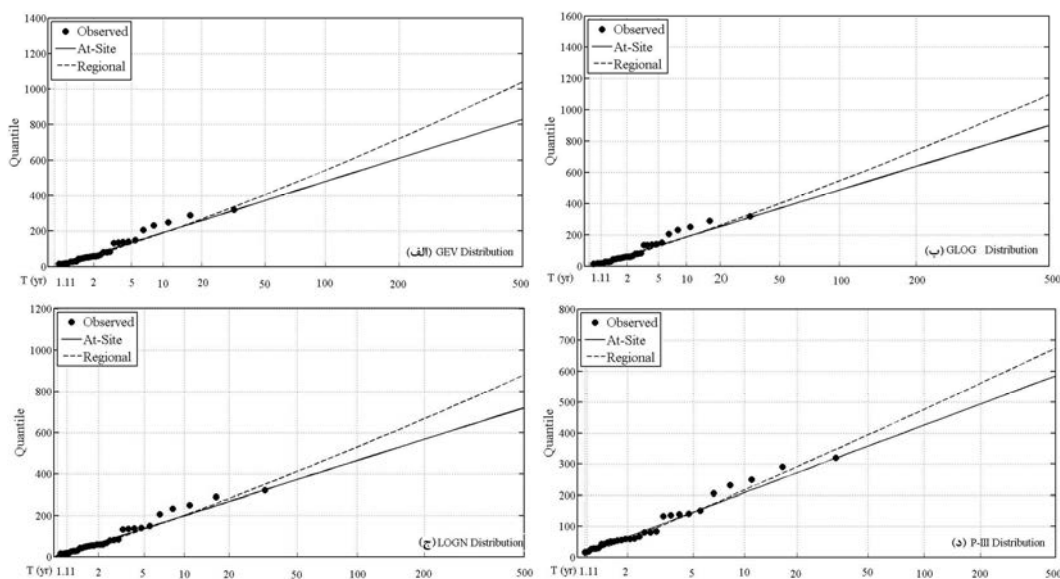
شکل ۱- نمودار گشتاورهای خطی ایستگاه‌های مورد بررسی (الف) مقادیر L-CV در برابر L-CS و (ب) مقادیر L-CK در برابر L-CS با توجه به نمودارهای گشتاورهای خطی توزیعی مناسب‌تر است که نقطه‌ها در اطراف نمودار آن توزیع به صورت خوشه‌ای پخش شده باشند. همانطور که در شکل ۱-ب مشاهده می‌شود میانگین نمونه‌ها بر روی خط توزیع GEV قرار گرفته است. از طرف دیگر، آزمون نیکوئی برازش تابع توزیع منطقه‌ای برای انتخاب بهترین تابع توزیع منطقه‌ای انجام می‌شود و شامل محاسبه آماره  $Z^{Dist}$  می‌باشد. بهترین توزیع منطقه‌ای، توزیعی است که قدر مطلق مقدار معیار  $Z^{Dist}$  آن کمتر از ۱/۶۴ باشد (هاسکینگ و والیس، ۱۹۹۷). هرچه این مقدار به

جدول ۲- مقایسه مقادیر تخمین زده شده در محل و ناحیه‌ای برای توزیع GEV در چند ایستگاه مختلف

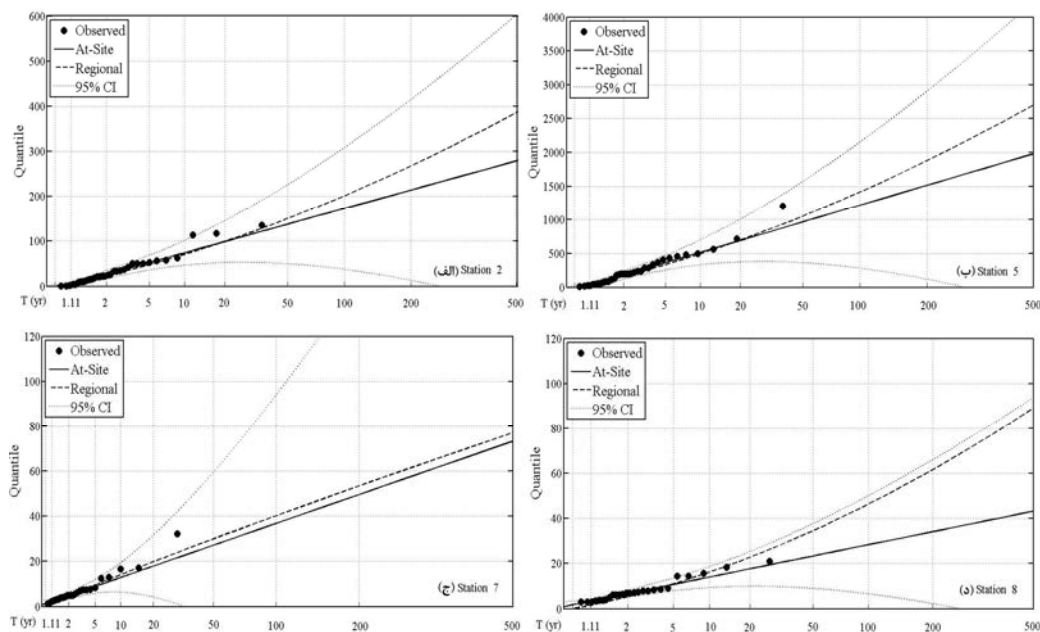
شماره ایستگاه	۱		۴		۷		۱۵	
	در محل	ناحیه ای	در محل	ناحیه ای	در محل	ناحیه ای	در محل	ناحیه ای
۱۰	۴۳۵	۴۱۹	۱۲۱	۱۲۰	۱۳	۱۴	۴۷	۴۶
۲۰	۶۳۵	۵۹۰	۱۷۱	۱۶۹	۱۸	۱۹	۶۵	۶۴
۵۰	۹۹۸	۸۸۹	۲۵۹	۲۵۶	۲۷	۲۹	۹۶	۹۷
۱۰۰	۱۳۸۷	۱۱۹۲	۳۴۸	۳۴۳	۳۷	۴۰	۱۲۵	۱۳۰
۲۰۰	۱۸۹۵	۱۵۸۴	۴۶۳	۴۵۷	۵۰	۵۳	۱۶۱	۱۷۳

شده در محل و ناحیه برای توزیع GEV در چهار ایستگاه مختلف مقایسه شده‌اند. در این شکل مقادیر با دوره بازگشت‌های مختلف با استفاده از فرمول  $P_i = n(i-0.35)/n$  محاسبه شده‌اند. همانطور که مشاهده می‌شود پراکندگی نمونه‌ها اطراف توزیع منتخب در محدود اطمینان است. برای بقیه ایستگاه‌ها نیز شرایط مشابهی برقرار است.

بر این اساس توزیع GEV مقادیر مناسبی به عنوان توزیع منطقه‌ای برآورد نموده است. همچنین در شکل ۲ مقادیر تخمین زده شده در محل و ناحیه توسط توزیع‌های مختلف برای ایستگاه ۳ ارایه شده‌اند. توزیعی بهترین است که مقادیر مشاهداتی به توزیع مورد نظر نزدیک‌تر باشند. بر این اساس اگرچه توزیع GEV به عنوان توزیع ناحیه‌ای انتخاب شده است ولی توزیع‌های GLOG و LOGN به نحو مناسبی عمل نموده‌اند. در شکل ۳ مقادیر تخمین زده



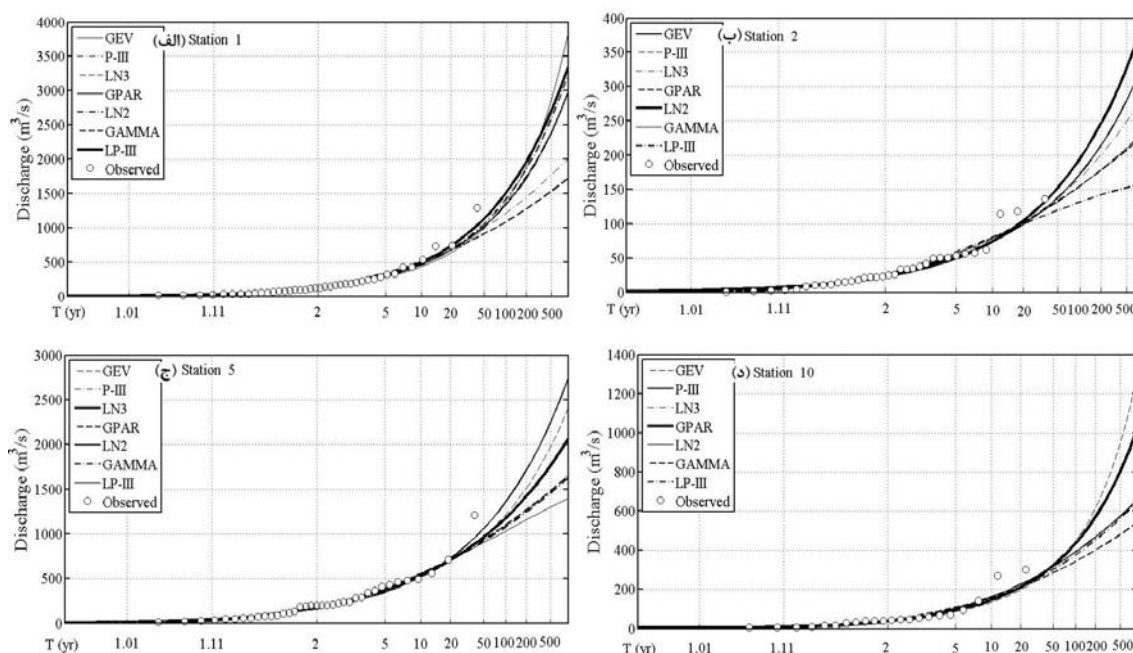
شکل ۲- مقایسه مقادیر تخمین زده شده در محل و ناحیه توسط توزیع‌های مختلف برای ایستگاه ۳



شکل ۳- مقادیر تخمین زده شده در محل و ناحیه برای توزیع GEV در چهار ایستگاه مختلف

در نهایت بهترین توزیع در محل برای هر ایستگاه با توجه به حداقل خطای استاندارد و همچنین هماهنگی مقادیر مشاهداتی با مقادیر محاسباتی، انتخاب شده است. توزیع‌ها مورد مقایسه شامل پیرسن نوع سه (P-III)، لوگ نرمال سه پارامتری (LN3)، لوگ نرمال دو پارامتری (LN2)، گاما (Gamma) و لوگ پیرسن نوع سه (LP-III)، مقادیر حدی تعمیم یافته (GEV) و پارتوی تعمیم یافته (GPAR) هستند. بر این اساس در هشت ایستگاه توزیع LP-III، در یک ایستگاه توزیع LN2، در دو ایستگاه توزیع

در نهایت بهترین توزیع در محل برای هر ایستگاه با توجه به حداقل خطای استاندارد و همچنین هماهنگی مقادیر مشاهداتی با مقادیر محاسباتی، انتخاب شده است. توزیع‌ها مورد مقایسه شامل پیرسن نوع سه (P-III)، لوگ نرمال سه پارامتری (LN3)، لوگ نرمال دو پارامتری (LN2)، گاما (Gamma) و لوگ پیرسن نوع سه (LP-III)، مقادیر حدی تعمیم یافته (GEV) و پارتوی تعمیم یافته (GPAR) هستند. بر این اساس در هشت ایستگاه توزیع LP-III، در یک ایستگاه توزیع LN2، در دو ایستگاه توزیع



شکل ۴ - مقایسه برآزش توزیع‌های مختلف در چهار ایستگاه حوضه آبریز کشف‌رود

- 6- Hosking J.R.M. and Wallis J.R. 1997. Regional frequency analysis—An approach based on L-moments, Cambridge University Press, New York.
- 7- Kumar R. and Chatterjee C. 2005. Regional flood frequency analysis using L-Moments for North Brahmaputra Region of India. Journal of Hydrologic Engineering (ASCE), 10 (1): 1-7.
- 8- Peel M.C. Wang QJ. Vogel R.M. and McMahon T.A. 2001. The utility of Lmoment ratio diagrams for selecting a regional probability distribution. Hydrol. Sci. J. 46(1):147-155.
- 9- Rao A.R. and Hamed K.H. 1997. Regional frequency analysis of Wabash river flood data by L-moments. Journal of Hydrologic Engineering (ASCE). 2(4):169-179.
- 10- Vogel R.M. McMahon T.A. and Chiew F.H. S. 1993. Flood flow frequency model selection in Australia. J. hydro. 146: 421-449.

#### منابع.

- 1- Cunnane C. 1986. Review of statistical models for flood frequency estimation. Hydrologic frequency modeling. V.P. Singh ed. Reidel Publ. Co. Holland. 49-95.
- 2- Greenwood J. A. Landwehr J. R. and Matalas N.C. 1979. Probability weighted moments: definition and relation to parameters of several distributions expressible in the inverse form. Water Resource Research. 15(5):1049-1054.
- 3- Hosking J. R. M. 1986. The theory of probability weighted moments. Res. Rep. RC 12210. IBM Research Division. Yorktown Heights, NY.
- 4- Hosking J.R.M. 1990. L-moments: analyzing and estimation of distributions using linear combinations of order statistics. Journal of Royal Statistical Society B. 52:105-124.
- 5- Hosking J.R.M. and Wallis J. R. 1993. Some statistical useful in regional frequency analysis. Water Resources Research. 29(2):271-281.