

## مقایسه‌ی عدم قطعیت بر آورد چندک‌های سیلاب در تحلیل فراوانی منطقه‌ای با استفاده از روش سیلاب نمایه دالریمپل و گشتاورهای خطی

علی آهنی<sup>۱</sup>، سید سعید موسوی ندوشنی<sup>۲</sup>، مهکامه زارع کاریزی<sup>۳</sup>

تاریخ دریافت: ۹۱/۰۵/۰۸

تاریخ پذیرش: ۹۱/۰۹/۳۰

### چکیده

یکی از ساده‌ترین روش‌های تحلیل فراوانی منطقه‌ای، روش سیلاب نمایه می‌باشد. در سال‌های اخیر گشتاورهای خطی به عنوان جایگزین‌هایی برای گشتاورهای معمولی در روش سیلاب نمایه به کار گرفته شده‌اند و به این منظور روش‌هایی پایه‌گذاری و تشریح شده‌اند. در این پژوهش کوشیده‌ایم تا عملکرد این روش‌ها را روی حوضه‌ی آبریز ارس مورد بررسی قرار داده و با ارزیابی محدوده‌های اطمینان برآوردهای حاصل از این روش‌ها، دقت آن‌ها را مقایسه نماییم. نتایج حاصل نشان داد که در این حوضه برآوردهای حاصل از استفاده از گشتاورهای خطی روی یک منطقه‌ی همگن در سطح اطمینان ۹۰٪ در محدوده‌ی اطمینان کوچک‌تری نسبت به محدوده‌ی اطمینان روش سیلاب نمایه معمولی به دست می‌آیند. همچنین به نظر می‌رسد استفاده از توزیع ویکبی به عنوان توزیع منطقه‌ای روی یک منطقه‌ی ناهمگن و استفاده از گشتاورهای خطی می‌تواند روشی مناسب برای مواردی باشد که سایر توزیع‌ها برازش مناسبی به عنوان توزیع منطقه‌ای ارائه نمی‌کنند.

واژه‌های کلیدی: توزیع ویکبی، حوضه‌ی آبریز ارس، سیلاب نمایه، گشتاورهای خطی، محدوده‌های اطمینان.

<sup>۱</sup> دانش آموخته‌ی کارشناسی مهندسی عمران- بهره‌برداری از سد و شبکه، دانشگاه صنعت آب و برق (شهید عباسپور)، تهران، ایران، ۰۹۳۵۲۵۰۲۲۰۵،  
ali.ahani66@yahoo.com

<sup>۲</sup> استادیار، دانشکده مهندسی آب و محیط زیست، دانشگاه صنعت آب و برق (شهید عباسپور)، تهران، ایران، ۰۲۱۷۳۹۳۲۴۳۵،  
s\_mousavi@pwut.ac.ir

<sup>۳</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی رودخانه، دانشگاه صنعت آب و برق (شهید عباسپور)، تهران، ایران، ۰۹۱۲۷۲۲۲۹۹۰،  
mahkameh\_67@yahoo.com

## مقدمه

تحلیل فراوانی سیلاب برآوردی است از این که یک سیلاب با بزرگی مشخص، به طور متوسط هر چند وقت یک بار، اتفاق می‌افتد. برآورد فراوانی رویدادهای حدی اغلب از اهمیت زیادی برخوردار است.

برای غلبه بر مشکل کمبود داده‌ها، روش‌های متعددی ابداع شده‌اند که از منابع جایگزین یا اضافه‌ی داده‌ها استفاده می‌کنند. یکی از این روش‌ها، تحلیل فراوانی منطقه‌ای است. یک تحلیل منطقه‌ای مناسب به برآوردهایی از چندک منتهی می‌شود که به قدر کافی برای استفاده در بسیاری از کاربردهای عملی دقیق هستند.

یکی از ساده‌ترین روش‌های تحلیل فراوانی منطقه‌ای که مدت زمان زیادی است از آن استفاده می‌شود، روش سیلاب نمایه می‌باشد. دالریمپل (۱۹۶۰) برای اولین بار روش سیلاب نمایه در تحلیل فراوانی منطقه‌ای را معرفی کرد.

فرضیه‌ی کلیدی این روش این است که توزیع سیلاب‌ها در مکان‌های مختلف یک منطقه مشابه هستند، به جز برای پارامتر مقیاس یا سیلاب نمایه که انعکاس دهنده‌ی خواص بارندگی و رواناب در هر منطقه می‌باشند. سیلاب نمایه می‌تواند سیل میانگین باشد، اگرچه هر پارامتر محل از توزیع فراوانی می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد.

داده‌های شدت جریان حداکثر سالانه، اگرچه معمولاً به وسیله‌ی توزیع گامبل مدل می‌شدند، اما اغلب چولگی بالاتری نسبت به مقدار متناسب با توزیع داشتند. این موضوع در اوایل دهه‌ی ۱۹۷۰ میلادی به شدت توجه هیدرولوژیست‌ها را به خود معطوف کرد. آماره‌های گشتاوری به صورت گسترده‌ای به عنوان مبنایی برای تشخیص و برآزش توزیع‌های فراوانی به کار گرفته شدند، اما برای استفاده‌ی مؤثر از آن‌ها، به دانستن ویژگی‌های نمونه‌گیری آن‌ها در نمونه‌های کوچک نیاز بود. حجم زیادی تلاش‌های محاسباتی با استفاده از داده‌های شبیه‌سازی شده توسط والیس و همکاران (۱۹۷۴) انجام گرفت. این تلاش‌ها برخی از ویژگی‌های نامطلوب آماره‌های گشتاوری مانند اریب بالا و محدودیت جبری را آشکار کرد. دشواری برآورد به وسیله‌ی روش‌های رسمی

مانند حداکثر درست‌نمایی یا روش گشتاورها، ابداع توزیع ویکیبی (Wakeby) و تمایل برای به دست آوردن برآوردهایی از پارامترهای ویکیبی با نزدیک‌ترین حالت به آن‌ها، گرینوود و همکاران (۱۹۷۹) را به سوی ابداع گشتاورهای وزنی احتمال رهنمون کرد. گشتاورهای وزنی احتمال با عملکرد مناسب برای سایر توزیع‌ها یافت شدند، اما تفسیر آن‌ها دشوار بود (لندور و همکاران، ۱۹۷۹؛ هاسکینگ و والیس، ۱۹۸۷). هاسکینگ (۱۹۹۰) ترکیبات خطی معینی از گشتاورهای وزنی احتمال را پیشنهاد کرد و آن‌ها را «گشتاورهای خطی» ( $L$ -moments) نامید، که به عنوان شاخص‌های موقعیت ( $location$ )، مقیاس ( $scale$ ) و شکل ( $shape$ ) توزیع‌های فراوانی قابل تفسیر بودند. بدین ترتیب مبنایی برای یک تئوری قابل درک تشخیص و برآورد توزیع‌ها شکل گرفت. استفاده‌ی نوین از روش سیلاب نمایه توسط والیس (۱۹۸۱، ۱۹۸۲) زمانی آغاز شد که او این روش را در ترکیب با گشتاورهای وزنی احتمال و توزیع ویکیبی به عنوان روشی برای برآورد چندک‌ها در امتداد کران بالایی توزیع فراوانی به کار گرفت.

در نهایت هاسکینگ و والیس (۱۹۹۷) روشی را برای تحلیل فراوانی منطقه‌ای بر اساس گشتاورهای خطی ارائه کردند.

هدف از تحقیق حاضر ارزیابی عملکرد تحلیل فراوانی منطقه‌ای سیلاب با بهره‌گیری از گشتاورهای خطی بر روی حوضه‌ی آبریز ارس و مقایسه‌ی دقت برآوردهای حاصل از این روش با دقت برآوردهای حاصل از روش سیلاب نمایه‌ی دالریمپل با استفاده از گشتاورهای معمولی است.

## مواد و روش‌ها

## روش سیلاب نمایه دالریمپل

مراحل روش سیلاب نمایه دالریمپل که به صورت سنتی در آن از گشتاورهای معمولی استفاده می‌شود، به صورت خلاصه عبارتند از انتخاب دوره‌ی مشترک آماری، بازسازی آمار ناقص، تحلیل فراوانی در هر سایت با استفاده از عامل فراوانی، آزمون همگنی، تعیین رابطه‌ی دبی متوسط سیلاب با سایر ویژگی‌های حوضه، محاسبه‌ی دبی‌های بدون بعد و تعیین دبی سیلاب در سایت فاقد

آمار احتمالی (مهدوی، ۱۳۸۶).

که در آن‌ها  $b_r$  یک برآوردگر ناریب  $\beta_r$  است.

$$b_r = n^{-1} \binom{n-1}{r} \sum_{j=r+1}^n \binom{j-1}{r} X_{j:n} \quad (۶)$$

همچنین نسبت‌های گشتاور خطی نمونه (برآوردگر طبیعی  $\tau_r$ ) به صورت رابطه (۷) و  $L-CV$  نمونه (برآوردگر طبیعی  $t$ ) به صورت رابطه (۸) تعریف می‌شوند.

$$t_r = l_r / l_2 \quad (۷)$$

$$t = l_2 / l_1 \quad (۸)$$

### برآورد پارامترها با استفاده از گشتاورهای خطی

هاسکینگ و والیس (۱۹۸۷) دریافتند که برای نمونه‌های کوچک و متوسط، روش گشتاورهای خطی به برآوردهایی کارآمد و از نظر محاسباتی ساده از پارامترها و چندک‌ها منتج می‌شود که اغلب کارآمدتر از روش حداکثر درست‌نمایی است و انتظار می‌رود این ویژگی‌ها در روش‌های سیلاب نمایه برای تحلیل فراوانی منطقه‌ای ادامه یابند.

چگونگی به کارگیری گشتاورهای خطی در استفاده از روش سیلاب نمایه در ادامه تشریح شده است.

### ۱- غربال کردن داده‌ها و شاخص ناجوری $D_i$

در این گام هدف تشخیص سایت‌هایی است که به صورت فاحشی با گروهی از سایت‌ها به عنوان یک مجموعه، ناجور هستند. در یک مجموعه با  $N$  سایت،  $D_i$  به عنوان شاخص ناجوری سایت  $i$  مطابق روابط (۹) تعریف می‌شود. سایتی که  $D_i$  آن از مقدار بحرانی داده شده در جدول (۱) تجاوز کند، ناجور در نظر گرفته می‌شود.

$$D_i = \frac{1}{3} N (u_i - \bar{u})^T A^{-1} (u_i - \bar{u})$$

$$u_i = [t^{(i)} \quad t_3^{(i)} \quad t_4^{(i)}]^T, \quad \bar{u} = N^{-1} \sum_{i=1}^N u_i \quad (۹)$$

$$A = \sum_{i=1}^N (u_i - \bar{u})(u_i - \bar{u})^T$$

### گشتاورهای خطی توزیع‌های احتمال

برای یک متغیر تصادفی  $X$  با تابع چندک  $x(u)$ ، موارد ویژه مفید گشتاورهای وزنی احتمال مرتبه  $r$  به صورت رابطه (۱) تعریف می‌شوند

(۱)

$$\alpha_r = \int_0^1 x(u)(1-u)^r du, \quad \beta_r = \int_0^1 x(u)u^r du$$

گشتاورهای خطی  $X$  و نسبت‌های مربوط به آن‌ها که توسط هاسکینگ (۱۹۹۰) تعریف شده‌اند را برحسب گشتاورهای وزنی احتمال می‌توان به صورت روابط (۲) و (۳) تعریف کرد

$$\lambda_1 = \alpha_0 = \beta_0$$

$$\lambda_2 = \alpha_0 - 2\alpha_1 = 2\beta_1 - \beta_0$$

$$\lambda_3 = \alpha_0 - 6\alpha_1 + 6\alpha_2 = 6\beta_2 - 6\beta_1 + \beta_0 \quad (۲)$$

$$\lambda_4 = \alpha_0 - 12\alpha_1 + 30\alpha_2 - 20\alpha_3$$

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

$$\tau_r = \lambda_r / \lambda_2 \quad r = 3, 4, \dots \quad (۳)$$

که  $\tau_3$  چولگی خطی ( $L$ -skewness) و  $\tau_4$  کشیدگی خطی ( $L$ -kurtosis) نامیده می‌شوند. ضریب تغییرات خطی ( $L-CV$ ) هم به صورت رابطه (۴) زیر تعریف می‌شود.

$$\tau = \lambda_2 / \lambda_1 \quad (۴)$$

برای یک نمونه‌ی  $n$  عضوی، گشتاورهای خطی به صورت رابطه (۵) تعریف می‌شوند

$$l_1 = b_0$$

$$l_2 = 2b_1 - b_0$$

(۵)

$$l_3 = 6b_2 - 6b_1 + b_0$$

$$l_4 = 20b_3 - 30b_2 + 12b_1 - b_0$$

جدول (۱): مقادیر بحرانی شاخص ناجوری  $D_i$ .

| تعداد سایت‌ها در منطقه | مقدار بحرانی $D_i$ | تعداد سایت‌ها در منطقه | مقدار بحرانی $D_i$ | تعداد سایت‌ها در منطقه | مقدار بحرانی $D_i$ |
|------------------------|--------------------|------------------------|--------------------|------------------------|--------------------|
| ۵                      | ۱/۳۳۳              | ۹                      | ۲/۳۲۹              | ۱۳                     | ۲/۸۶۹              |
| ۶                      | ۱/۶۴۸              | ۱۰                     | ۲/۴۹۱              | ۱۴                     | ۲/۹۷۱              |
| ۷                      | ۱/۹۱۷              | ۱۱                     | ۲/۶۳۲              | ≥۱۵                    | ۳                  |
| ۸                      | ۲/۱۴۰              | ۱۲                     | ۲/۷۵۷              |                        |                    |

$$t_r^R = \sum_{i=1}^N n_i t_r^{(i)} / \sum_{i=1}^N n_i, \quad r = 3, 4, \dots$$

$$V = \left\{ \sum_{i=1}^N n_i (t^{(i)} - t^R)^2 / \sum_{i=1}^N n_i \right\}^{1/2}$$

$$H = \frac{(V - \mu_V)}{\sigma_V}$$

در این پژوهش اگرچه به محاسبه‌ی دو شاخص جایگزین  $H_2$  و  $H_3$  نیز پرداخته شده است، اما معیار اصلی برای تشخیص همگنی یا ناهمگنی یک منطقه همان  $H$  است که هاسکینگ و والیس (۱۹۹۷) هم بر استفاده از آن تأکید دارند.

### ۳- انتخاب یک توزیع برای تحلیل فراوانی

#### منطقه‌ای و شاخص نکویی برازش $Z^{DIST}$

در تحلیل فراوانی منطقه‌ای یک توزیع فراوانی واحد که برآوردهای چندک دقیقی را برای هر سایت حاصل کند بر داده‌های به دست آمده از سایت‌های متعدد برازش داده می‌شود.

به منظور شناسایی چنین توزیعی می‌توان از یک شاخص نکویی برازش استفاده کرد.  $Z^{DIST}$  که در روابط (۱۱) معرفی شده است شاخصی است که چنین کارکردی دارد. اگر یک  $|Z^{DIST}| \leq 1.64$  می‌توانیم برازش را مناسب بدانیم. هنگامی که توزیع‌های متعددی به طور مناسب بر داده‌ها برازش می‌یابند، بهترین گزینه از میان آن‌ها توزیعی خواهد بود که بالاترین توانایی را در ارائه‌ی برآوردهای چندک خوب داشته باشد. چنانچه منطقه به صورت قابل قبولی همگن نباشد، استفاده از یک توزیع استوار نسبت به ناهمگنی معتدل در توزیع‌های فراوانی درون سایتی مانند توزیع‌های کاپا و ویکی، می‌تواند مناسب باشد.

### ۲- تشخیص همگنی مناطق و استفاده از شاخص

#### ناهمگنی $H$

هدف تشکیل گروه‌هایی از سایت‌هایی است که به طور تقریبی شرایط همگنی را ارضا کنند. شاخص ناهمگنی تغییرات بین سایتی در گشتاورهای خطی نمونه برای گروه سایت‌ها را با آنچه که از یک منطقه‌ی همگن انتظار می‌رود، مقایسه می‌کند. برای ارزیابی همگنی مناطق از شاخص ناهمگنی  $H$  استفاده می‌شود که در روابط (۱۰) معرفی شده است. توصیه می‌شود که اگر  $H < 1$  باشد، منطقه به عنوان «دارای همگنی قابل قبول»، اگر  $1 \leq H < 2$  باشد به عنوان «ناهمگن احتمالی» و اگر  $H \geq 2$  باشد به عنوان «ناهمگن قطعی» در نظر گرفته شود.

برای منطقه‌ی پیشنهادی با  $N$  سایت که سایت  $i$  آن دارای طول رکورد  $n_i$  و نسبت‌های گشتاور خطی  $t^{(i)}$ ،  $t_3^{(i)}$  و  $t_4^{(i)}$  است،  $L-CV$ ،  $L-skewness$  و  $L-kurtosis$  میانگین وزنی منطقه‌ای را با  $t^R$ ،  $t_3^R$  و  $t_4^R$  نشان داده می‌شوند.

با برازش یک توزیع کاپا بر نسبت‌های گشتاور خطی میانگین منطقه‌ای  $1$ ،  $t^R$ ،  $t_3^R$  و  $t_4^R$ ، به یک مقدار بزرگ  $N_{sim}$ ، منطقه‌ی همگن فاقد همبستگی متوالی یا متقابل با  $N$  سایت را که هر یک دارای توزیع کاپا به عنوان توزیع فراوانی خود است، شبیه سازی می‌شود. سایت‌ها طول آمار یکسانی با هم‌تابان واقعی خود دارند. برای هر منطقه شبیه سازی شده  $V$  را محاسبه می‌کنیم. میانگین و انحراف معیار  $N_{sim}$  مقدار  $V$  را محاسبه نموده و آن‌ها را به ترتیب  $\mu_V$  و  $\sigma_V$  می‌نامیم. سپس شاخص ناهمگنی  $H$  را محاسبه می‌نماییم (روابط (۱۰)).

$$t^R = \sum_{i=1}^N n_i t^{(i)} / \sum_{i=1}^N n_i \quad (10)$$

منطقی است. فرم صریح تابع چندک، شبیه‌سازی نمونه‌های تصادفی از توزیع ویکیبی را ساده می‌کند. در تحلیل فراوانی منطقه‌ای چنانچه منطقه به صورت قابل قبولی همگن نباشد، استفاده از توزیع ویکیبی، می‌تواند مناسب باشد.

#### ۴- الگوریتم گشتاورهای خطی منطقه‌ای

برای منطقه‌ای دارای  $N$  سایت که سایت  $i$  دارای طول آمار  $n_i$ ، و داده‌های مشاهده شده  $Q_{ij}$ ،  $j=1, \dots, n_i$  است،  $Q_i(F)$  که  $0 < F < 1$ ، را تابع چندک توزیع فراوانی در سایت  $i$  در نظر بگیرید. برای یک منطقه‌ای همگن مطابق رابطه (۱۳) خواهیم داشت:

$$Q_i(F) = \mu_i q(F) \quad (13)$$

که در آن  $\mu_i$  عامل مقیاس وابسته به سایت یا سیلاب نمایه است.  $\hat{\mu}_i$  را برآورد عامل مقیاس در سایت  $i$  و داده‌های باز مقیاس بندی شده بدون بعد  $q_{ij} = Q_{ij} / \hat{\mu}_i$ ،  $j=1, \dots, n_i$  هستند. اگر سیلاب نمایه را میانگین توزیع فراوانی در هر سایت در نظر بگیریم که به وسیله میانگین نمونه‌ی درون سایتی برای هر سایت برآورد می‌شود، آنگاه میانگین داده‌های باز مقیاس بندی شده برای هر سایت یک است و از این رو متوسط منطقه‌ای این میانگین‌ها برابر یک است. سایت  $i$  دارای میانگین نمونه‌ی  $l_1^{(i)}$  و نسبت‌های گشتاور خطی  $t_3^{(i)}$ ،  $t_4^{(i)}$ ، ... است. میانگین متوسط منطقه‌ای را برابر یک تنظیم می‌کنیم، یعنی  $l_1^R = 1$ . توزیع را از طریق معادل قرار دادن نسبت‌های گشتاور خطی  $\tau_3$ ،  $\tau_4$ ، ...، با نسبت‌های گشتاور خطی متوسط منطقه‌ای  $l_1^R$ ،  $t_3^R$ ،  $t_4^R$ ، ...، برآورد می‌دهیم. تابع چندک توزیع فراوانی منطقه‌ای برآورد شده را با  $\hat{q}(\cdot)$  نشان می‌دهیم.

برآوردهای چندک در سایت  $i$  به وسیله ترکیب برآوردهای  $\mu_i$  و  $q(\cdot)$  به دست می‌آیند. برآورد چندک با توزیع احتمال عدم تجاوز  $F$  به صورت رابطه (۱۴) است.

$$\hat{Q}_i(F) = l_1^{(i)} \hat{q}(F) \quad (14)$$

مجموعه‌ای از توزیع‌های سه پارامتری منطقی محتمل شامل لجستیک تعمیم یافته ( $GLO$ )، مقادیر حدی تعمیم یافته ( $GEV$ )، پرتوی تعمیم یافته ( $GPA$ )، لوگ نرمال و پیرسون نوع ۳ را بر نسبت‌های گشتاور خطی متوسط منطقه‌ای ۱،  $t^R$ ، و  $t_3^R$  برآورد داده می‌شود. کشیدگی خطی توزیع برآورد شده را با  $\tau_4^{DIST}$  نشان داده می‌شوند که در آن  $DIST$  می‌تواند  $GLO$ ،  $GEV$  و... باشد.

برآورد یک توزیع کاپا و عملیات شبیه‌سازی را درست مانند مرحله‌ی محاسبه‌ی شاخص ناهمگنی انجام می‌شود. برای  $m$  امین منطقه‌ی شبیه‌سازی شده، چولگی خطی متوسط منطقه‌ای  $t_4^{[m]}$  و کشیدگی خطی متوسط منطقه‌ای  $t_4^{[m]}$  محاسبه می‌شوند. در نهایت برای هر توزیع، شاخص نکویی برآورد  $Z^{DIST}$  محاسبه می‌گردد.

$$Z^{DIST} = (\tau_4^{DIST} - t_4^R + B_4) / \sigma_4 \quad (11)$$

$$B_4 = N_{sim}^{-1} \sum_{m=1}^{N_{sim}} (t_4^{[m]} - t_4^R)$$

$$\sigma_4 = \left[ (N_{sim} - 1)^{-1} \left\{ \sum_{m=1}^{N_{sim}} (t_4^{[m]} - t_4^R)^2 - N_{sim} B_4^2 \right\} \right]^{1/2}$$

#### توزیع ویکیبی

این توزیع یک توزیع پنج پارامتری با پارامترهای  $\xi$ ،  $\alpha$ ،  $\beta$ ،  $\gamma$ ،  $\delta$  است.  $x(F)$  برای توزیع ویکیبی به شکل رابطه (۱۲) تعریف می‌شود.

$$x(F) = \xi + \frac{\alpha}{\beta} \left\{ 1 - (1-F)^\beta \right\} - \frac{\gamma}{\delta} \left\{ 1 - (1-F)^\delta \right\}$$

پارامترهای توزیع ویکیبی از اکثر توزیع‌های رایج بیش‌تر است، بنابراین نسبت به توزیع‌های رایج می‌تواند به دامنه‌ی وسیع‌تری از اشکال توزیعی دست یابد و برای مقادیر مناسب پارامترها، قادر است شکل‌های بسیاری از توزیع‌های چوله‌ی پر کاربرد را تقلید کند. هنگامی که  $\delta > 0$  است، توزیع ویکیبی یک امتداد بالایی طویل‌تر دارد و می‌تواند بر مجموعه‌های داده‌های شامل داده‌های پرت بالا انطباق یابد. توزیع ویکیبی کران پایینی محدودی دارد که از نظر فیزیکی برای مشاهدات واقعی بسیار

فراوانی منطقه‌ای با استفاده از گشتاورهای خطی از محیط زبان برنامه نویسی آماری  $R$  و پکیج  $lmomRFA$  استفاده شده است.

#### حوضه‌ی مورد مطالعه و آمار مورد استفاده

در این پژوهش هدف برآورد دبی سیلاب با دوره‌های بازگشت مختلف برای یک سایت فرضی فاقد آمار با مساحت ۱۰۰۰ کیلومتر مربع و مقایسه‌ی نتایج حاصل از به کارگیری روش‌های مختلف است.

حوضه‌ی آبریز ارس به عنوان حوضه‌ی مورد مطالعه انتخاب شده است که مشخصات عمومی سایت‌های مورد استفاده جهت تحلیل فراوانی منطقه‌ای در این پژوهش در جدول (۲) آمده است.

این حوضه دومین زیرحوضه‌ی بزرگ حوضه‌ی آبریز اصلی دریای خزر و دارای مساحتی برابر ۳۹۵۳۴ کیلومتر مربع است و قسمت‌های شمالی استان‌های آذربایجان غربی، آذربایجان شرقی و اردبیل را در بر می‌گیرد.

#### تعیین محدوده‌های اطمینان

برای مقایسه‌ی نتایج حاصل از تحلیل فراوانی با استفاده از روش سیلاب نمایه‌ی معمول (با استفاده از گشتاورهای معمولی) با نتایج به دست آمده با استفاده از گشتاورهای خطی در حالت یک منطقه‌ای، محدوده‌های اطمینان مورد بررسی قرار گرفته‌اند. جهت تعیین محدوده‌های اطمینان برای نتایج حاصل از روش سیلاب نمایه‌ی معمول از رابطه‌ی برآورد فاصله‌ی اطمینان برای توزیع گامبل استفاده شده است.

برای تعیین محدوده‌های اطمینان برای نتایج حاصل از الگوریتم گشتاورهای خطی، از روش شبیه سازی مونت کارلو و الگوریتم شبیه سازی الگوریتم گشتاور خطی منطقه‌ای استفاده شده است (هاسکینگ و والیس، ۱۹۹۷). برآوردها در محدوده‌ی اطمینان ۹۰ درصد به دست آمده‌اند.

#### زبان برنامه نویسی $R$

برای اجرای محاسبات و عملیات مربوط به تحلیل

جدول (۲): مشخصات عمومی سایت‌های مورد بررسی در حوضه‌ی ارس.

| نام ایستگاه  | کد ایستگاه | رودخانه    | مساحت<br>(کیلومتر مربع) | آمار موجود در دوره‌ی<br>مشترک (سال) |
|--------------|------------|------------|-------------------------|-------------------------------------|
| قلعه جوق     | ۱۹-۰۱۱     | بارون چای  | ۱۱۲۷                    | ۲۹                                  |
| ماکو         | ۱۹-۰۱۳     | زنگمار     | ۱۶۲۰                    | ۲۹                                  |
| پلدشت        | ۱۹-۰۱۵     | زنگمار     | ۵۶۰۲                    | ۳۰                                  |
| موسی قلی     | ۱۹-۰۳۱     | غازان چای  | ۶۲۳                     | ۲۴                                  |
| مراکند       | ۱۹-۰۴۳     | آق چای     | ۱۹۱۸                    | ۳۰                                  |
| لای          | ۱۹-۰۴۹     | لای چای    | ۳۶                      | ۳۰                                  |
| نیر          | ۱۹-۰۵۱     | نیرچای     | ۲۵۸                     | ۳۰                                  |
| پل الماس     | ۱۹-۰۵۳     | بالوخلوچای | ۱۰۷۱                    | ۳۰                                  |
| گیلانده      | ۱۹-۰۵۵     | بالوخلوچای | ۱۶۳۸                    | ۳۰                                  |
| کوزه توپراقی | ۱۹-۰۵۹     | قوری چای   | ۸۱۳                     | ۳۰                                  |
| پل سلطان     | ۱۹-۰۶۳     | خیاو چای   | ۹۸                      | ۲۸                                  |
| دوست بیگلو   | ۱۹-۰۶۵     | قره‌سو     | ۷۳۱۱                    | ۳۰                                  |
| تازه کند     | ۱۹-۰۶۷     | اهرچای     | ۲۰۳۵                    | ۲۶                                  |
| مشیران       | ۱۹-۰۶۹     | دره رود    | ۱۱۲۹۰                   | ۳۰                                  |
| بدوی         | ۱۹-۰۷۵     | قره‌سو     | ۲۷۵                     | ۲۹                                  |
| بدلان        | ۱۹-۰۸۱     | الندچای    | ۷۱۲                     | ۳۰                                  |
| ملهذان       | ۱۹-۰۸۷     | قره چای    | ۱۰۰۰                    | ۲۹                                  |
| هیر          | ۱۹-۰۹۳     | هیر چای    | ۱۷۹                     | ۳۰                                  |
| سامیان       | ۱۹-۱۰۱     | قره‌سو     | ۴۰۰۰                    | ۲۷                                  |

که از میان آن‌ها منحنی لگاریتمی بهترین برازش را بر نقاط نشان داد. دبی سیلاب با دوره‌ی بازگشت‌های مختلف برای سایت فاقد آمار با استفاده از رابطه‌ی لگاریتمی استخراج شده برای دبی‌های بدون بعد و دوره‌های بازگشت آن‌ها محاسبه شده است که نتایج آن در جدول (۴) مشاهده می‌شود.

$$\left(\sum(Q/Q_{2.33})/N\right) = 0.84 \ln T + 0.166$$

$$R^2 = 0.964 \quad (16)$$

استفاده از گشتاورهای خطی و همگن نمودن منطقه

از بین سایت‌های حوضه‌ی ارس، هیچ یک دارای  $D_i$  بزرگ‌تر از مقدار بحرانی (یعنی  $D_i = 3$ ) نبوده و به عنوان سایت ناجور شناخته نشد.

شاخص‌های ناهمگنی  $H$  برای حوضه‌ی ارس محاسبه گشتند که مقادیر همگی آن‌ها از یک بیش‌تر بود، لذا با حذف تعدادی از سایت‌ها به طور مداوم مقادیر شاخص‌های ناهمگنی  $H$  را کنترل نمودیم تا مقادیر آن‌ها به کم‌تر از ۱ کاهش یافت و منطقه به همگنی قابل قبول رسید. سایت‌های حذف شده عبارتند از: ۱۱-۰۱۹، ۳۱-۰، ۱۹، ۴۹-۰۱۹، ۵۹-۰۱۹، ۶۳-۰۱۹، ۹۳-۰۱۹. پس از حذف تعدادی از سایت‌ها برای رسیدن به همگنی منطقه‌ای، شاخص ناجوری دوباره برای سایت‌های باقی مانده محاسبه گردید که همگی کم‌تر از مقدار بحرانی بودند.

برای بررسی نکویی برازش توزیع‌های سه پارامتری مختلف از شاخص  $Z$  استفاده کردیم که از میان توزیع‌های نرمال تعمیم یافته ( $GNO$ )، لجستیک تعمیم یافته ( $GLO$ )، پرتوی تعمیم یافته ( $GPA$ )، پیرسون تیپ ۳ ( $PE3$ ) و مقادیر حدی تعمیم یافته ( $GEV$ )، توزیع نرمال تعمیم یافته، با مقدار  $Z = 0.32$  بهترین برازش را بر داده‌های منطقه از خود نشان داد.

در مرحله بعد محاسبه‌ی گشتاورهای خطی و نسبت‌های گشتاورهای خطی نمونه‌ی متوسط منطقه‌ای برای منطقه‌ی ارس انجام گرفت. سپس برآورد پارامترهای توزیع منتخب که یک توزیع نرمال حدی تعمیم یافته بود، براساس گشتاورهای خطی و نسبت‌های گشتاور خطی منطقه‌ای انجام شد. با به کارگیری توزیع منطقه‌ای

برای انجام تحلیل فراوانی سیلاب‌های حدی در صورت وجود آمار جامع و مورد اطمینان، بهترین گزینه استفاده از آمار مربوط به دبی اوج لحظه‌ای در سال‌های مختلف است. به دلیل عدم وجود چنین آماری، ما ناگزیر به استفاده از آمار دبی‌های متوسط روزانه و برگزیدن بزرگ‌ترین دبی متوسط روزانه‌ی هر سال به جای دبی اوج لحظه‌ای آن سال شدیم. دوره‌ی آماری ۵۶-۱۳۵۵ تا ۸۵-۱۳۸۴ به عنوان دوره‌ی مشترک انتخاب شده است.

## نتایج و بحث

### روش سیلاب نمایه

در آمار اولیه‌ی استفاده شده، آمار مربوط به برخی سال‌ها در تعدادی از سایت‌ها موجود نبوده و ناچار نیازمند بازسازی آمار برای این سال‌ها بوده‌ایم. برای بازسازی آمار هر یک از سایت‌های دارای آمار ناقص، از روش تفاضل‌ها و نسبت‌ها استفاده کرده‌ایم (علیزاده، ۱۳۸۸).

در آزمون همگنی لانگبین، از میان مجموع سایت‌های مورد مطالعه، دو سایت با کدهای ۵۱-۱۹ و ۶۵-۱۹ به سبب رد شدن در آزمون، از ادامه‌ی فرآیند تحلیل منطقه‌ای به روش سیلاب نمایه حذف شدند.

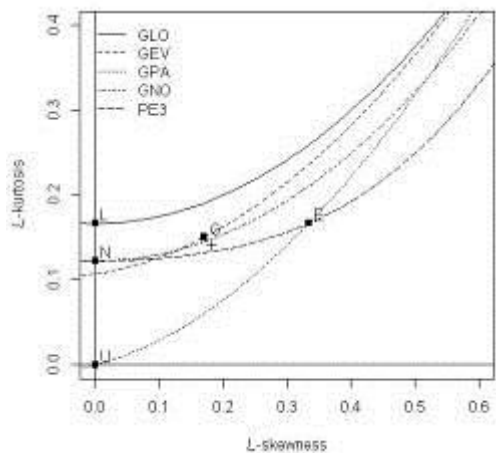
با رسم نمودار دبی‌های متوسط ( $Q_{2.33}(m^3)$ ) در برابر مساحت سایت نظیر آن‌ها ( $A(km^2)$ )، یک رگرسیون خطی بین نقاط حاصل تشکیل داده شد و معادله‌ی خط آن استخراج گشت.

$$Q_{2.33} = 0.007A + 10.37, R^2 = 0.788 \quad (15)$$

دبی متوسط سیلاب که برای توزیع گامبل مربوط به دوره‌ی بازگشت ۲/۳۳ سال است، برای سایت فاقد آمار با مساحت ۱۰۰۰ کیلومتر مربع محاسبه شد.

$$Q_{2.33} = 16.37m^3 / s$$

به منظور یافتن یک رابطه‌ی منطقی بین دبی‌های بدون بعد و دوره‌های بازگشت آن‌ها، نقاط مربوط به آن‌ها در نمودار مربوطه رسم شده و یک خط، یک منحنی لگاریتمی و یک منحنی درجه دو بر آن‌ها برازش داده شد



شکل (۲): مقایسه‌ی نسبت‌های گشتاور خطی نمونه‌ی دبی‌های بدون بعد با نسبت‌های گشتاور خطی تعدادی از توزیع‌ها برای منطقه‌ی همگن.  $U$ ،  $E$ ،  $G$ ،  $N$ ،  $L$  به ترتیب معرف توزیع‌های لجستیک (Logistic)، نرمال (Normal)، گامبل (Gumble)، نمایی (Exponential) و یکنواخت (Uniform) هستند.

پارامترهای توزیع برگزیده برای دبی‌های بدون بعد با استفاده از گشتاورهای خطی و نسبت‌های گشتاور خطی نمونه‌ی آن برآورد شدند.

نتایج محاسبه‌ی دبی سیلاب با دوره‌ی بازگشت‌های مختلف برای سایت فاقد آمار در جدول (۴) مشاهده می‌شود.

### استفاده از گشتاورهای خطی و تحلیل روی منطقه‌ی ناهمگن با استفاده از توزیع ویکیبی

از بین سایت‌های حوضه‌ی ارس، هیچ یک دارای  $D_i$  بزرگ‌تر از مقدار بحرانی (یعنی  $D_i = 3$ ) نبوده و به عنوان سایت ناجور شناخته نشد. مقادیر شاخص‌های ناهمگنی منطقه‌ای، گشتاورهای خطی و نسبت‌های گشتاور خطی متوسط نسبت به حالت ابتدایی حوضه (بدون حذف سایت‌ها) که در روش قبل محاسبه شد تغییری نکردند. برآورد پارامترهای توزیع ویکیبی به عنوان توزیع منطقه‌ای، بر اساس گشتاورهای خطی و نسبت‌های گشتاور خطی منطقه‌ای انجام شد.

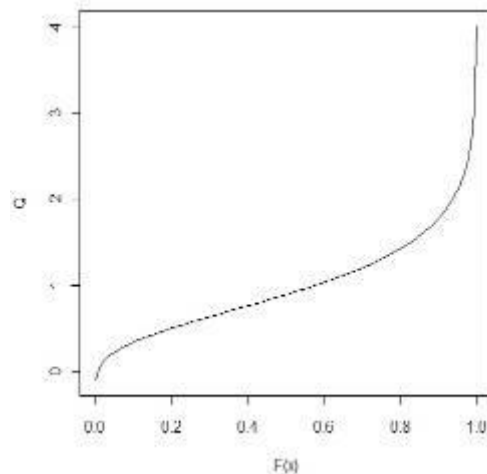
با استفاده از توزیع منطقه‌ای برآورد شده، چندک‌های منطقه‌ای متناظر با احتمال‌های عدم تجاوز مختلف برآورد شده‌اند. منحنی مربوطه در شکل (۳) آمده است. با استفاده از رابطه‌ی (۱۸) حاصل از رگرسیون خطی که مربوط به مقادیر دبی متوسط هر سایت در برابر مساحت

برآورد شده، چندک‌های منطقه‌ای متناظر با احتمال‌های عدم تجاوز مختلف برآورد شد. منحنی مربوطه در شکل (۱) آمده است. با استفاده از رابطه‌ی (۱۷) حاصل از رگرسیون خطی که مربوط به مقادیر دبی متوسط هر سایت در برابر مساحت آن است، دبی متوسط سیلاب برای سایت فاقد آمار محاسبه شد.

$$Q_{mean} = 0.006A + 12.266, \quad R^2 = 0.761 \quad (17)$$

$$Q_{mean} = 18.575m^3 / s$$

برای یافتن بهترین توزیع برای دبی‌های بدون بعد، نسبت‌های گشتاور خطی آن با منحنی‌های مربوط به نسبت‌های گشتاور خطی مختلف مقایسه شد و توزیع دارای نزدیک‌ترین منحنی یعنی نرمال یافته  $(GNO)$ ، به عنوان توزیع دبی‌های بدون بعد انتخاب گردید (شکل (۲)).



شکل (۱): منحنی چندک‌های برآورد شده توزیع منطقه‌ای  $GNO$  برگزیده برای منطقه‌ی همگن.



نتایج محاسبه‌ی دبی سیلاب با دوره‌ی بازگشت‌های مختلف برای سایت فاقد آمار در جدول (۴) مشاهده می‌شود.

### استفاده از گشتاورهای خطی و تقسیم حوضه به دو منطقه

در این بخش با استفاده از مقادیر ضریب تغییرات خطی سایت‌های مورد مطالعه و یافتن مقدار میانه‌ی آن‌ها، حوضه‌ی ارس را به دو منطقه تقسیم نمودیم که منطقه‌ی اول شامل نه سایت با مقادیر  $L-CV$  بزرگ‌تر از میانه و منطقه‌ی دوم شامل ده سایت با مقادیر  $L-CV$  کوچک‌تر یا مساوی میانه تعریف شدند.

از بین سایت‌های دو منطقه‌ی تعریف شده برای حوضه‌ی ارس، هیچ یک دارای  $D_i$  بزرگ‌تر از مقدار بحرانی نبوده و به عنوان سایت ناجور شناخته نشد. شاخص ناهمگنی  $H$  برای منطقه‌ی اول و دوم حوضه‌ی ارس محاسبه شد که مقدار آن در هر دو مورد کوچک‌تر از یک بود.

توزیع لجستیک تعمیم یافته، با مقدار  $Z = -0.01$  بهترین برازش را بر داده‌های منطقه‌ی اول از خود نشان داد. همچنین توزیع پیرسون تیپ ۳، با مقدار  $Z = 0.15$  بهترین برازش را بر داده‌های منطقه‌ی دوم از خود نشان داد.

در مرحله‌ی بعد محاسبه‌ی گشتاورهای خطی و نسبت‌های گشتاورهای خطی نمونه‌ی متوسط منطقه‌ی ارس برای هر دو منطقه‌ی حوضه‌ی ارس انجام گرفت. سپس برآورد پارامترهای توزیع‌های منتخب که یک توزیع لجستیک تعمیم یافته برای منطقه‌ی اول و یک توزیع پیرسون تیپ ۳ برای منطقه‌ی دوم بودند، براساس گشتاورهای خطی و نسبت‌های گشتاور خطی منطقه‌ی ارس انجام شد.

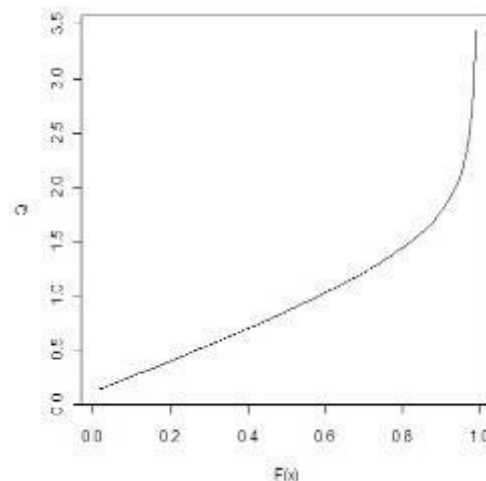
با استفاده از توزیع منطقه‌ی برآورد شده، چندک‌های منطقه‌ی متناظر با احتمال‌های عدم تجاوز مختلف برای هر دو منطقه برآورد شده است (شکل‌های (۵) و (۶)).

با استفاده از روابط (۱۹) و (۲۰) حاصل از رگرسیون خطی، دبی متوسط سیلاب برای سایت فاقد آمار در هر یک از دو منطقه محاسبه شد.

آن است، دبی متوسط سیلاب برای سایت فاقد آمار محاسبه شد.

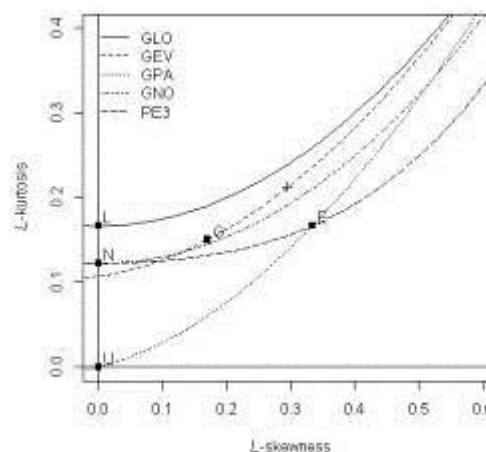
$$Q_{mean} = 0.007A + 9.812, R^2 = 0.802 \quad (18)$$

$$Q_{mean} = 16.597 m^3 / s$$

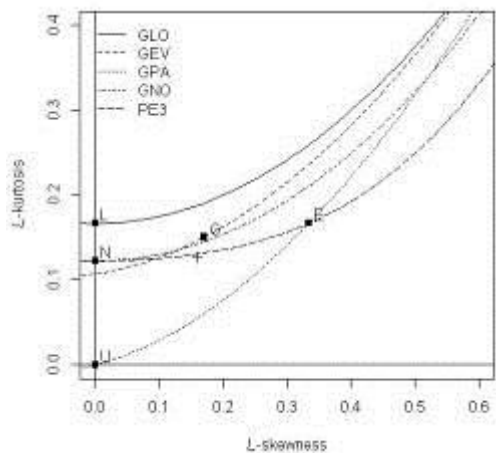


شکل (۳): منحنی چندک‌های برآورد شده توزیع منطقه‌ی ویکی برگزیده برای منطقه‌ی ناهمگن.

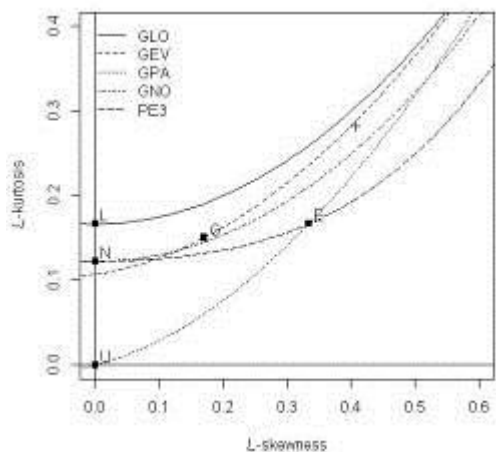
توزیع دارای نزدیک‌ترین منحنی، یعنی مقادیر حدی تعمیم یافته ( $GEV$ )، به عنوان توزیع دبی‌های بدون بعد انتخاب گردید (شکل (۴)). پارامترهای این توزیع برای دبی‌های بدون بعد با استفاده از گشتاورهای خطی و نسبت‌های گشتاور خطی نمونه‌ی آن برآورد شدند.



شکل (۴): مقایسه‌ی نسبت‌های گشتاور خطی نمونه‌ی دبی‌های بدون بعد با نسبت‌های گشتاور خطی تعدادی از توزیع‌ها برای منطقه‌ی ناهمگن.

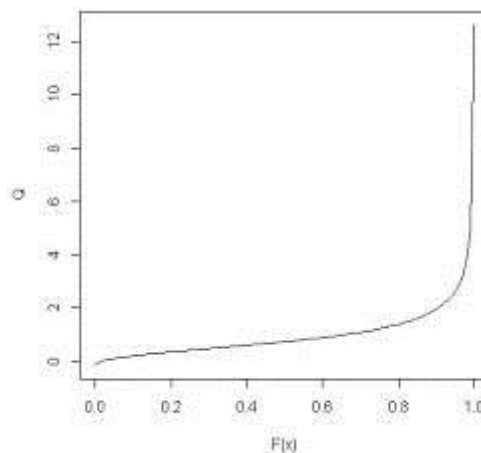


شکل (۷): مقایسه‌ی ترسیمی نسبت‌های گشتاور خطی نمونه‌ی دبی‌های بدون بعد با نسبت‌های گشتاور خطی تعدادی از توزیع‌ها برای منطقه‌ی همگن اول.

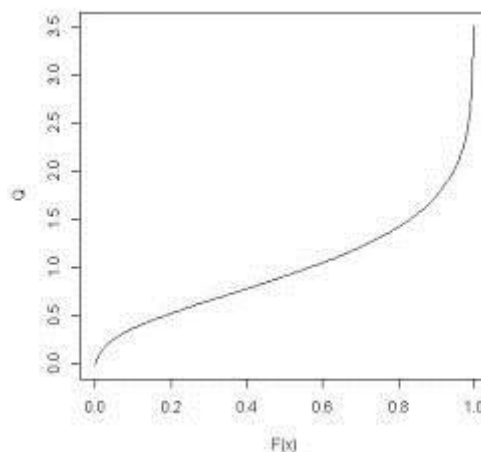


شکل (۸): مقایسه‌ی ترسیمی نسبت‌های گشتاور خطی نمونه‌ی دبی‌های بدون بعد با نسبت‌های گشتاور خطی تعدادی از توزیع‌ها برای منطقه‌ی همگن دوم.

مطابق شکل‌های (۷) و (۸) برای منطقه‌ی اول توزیع مقادیر حدی تعمیم یافته و برای منطقه‌ی دوم توزیع پیرسون تیپ ۳ به عنوان توزیع منتخب شناخته شدند و برآورد پارامترهای هر یک از آن‌ها بر اساس گشتاورهای خطی و نسبت‌های گشتاور خطی منطقه‌ای انجام شد. دبی سیلاب محاسبه شده با دوره‌های بازگشت مختلف برای سایت فاقد آمار در هر منطقه در جدول (۳) مشاهده می‌شود.



شکل (۵): منحنی چندک‌های برآورد شده توزیع منطقه‌ای GLO برگزیده برای منطقه‌ی همگن اول.



شکل (۶): منحنی چندک‌های برآورد شده توزیع منطقه‌ای PE3 برگزیده برای منطقه‌ی همگن دوم.

برای منطقه‌ی اول:

$$Q_{meanR1} = 0.016A + 4.766, \quad (19)$$

$$R^2 = 0.713$$

$$Q_{meanR1} = 20.526m^3 / s$$

برای منطقه‌ی دوم:

$$Q_{meanR2} = 0.007A + 9.689, \quad (20)$$

$$R^2 = 0.913$$

$$Q_{meanR2} = 16.968m^3 / s$$

لازم به ذکر است در این مرحله یکی از سایت‌های منطقه‌ی اول به دلیل عدم هماهنگی با مجموعه‌ی سایت‌ها از این مرحله و محاسبات بعدی حذف شد.

جدول (۲): دبی‌های برآورد شده دوره‌های بازگشت مختلف با استفاده از گشتاورهای خطی برای حالت دو منطقه‌ای.

| دوره بازگشت (سال) | دبی منطقه ۱ | دبی منطقه ۲ | دوره بازگشت (سال) | دبی منطقه ۱ | دبی منطقه ۲ |
|-------------------|-------------|-------------|-------------------|-------------|-------------|
| ۲,۳۳              | ۱۵,۴۱       | ۱۶,۵۵       | ۱۰۰               | ۸۵,۰۱       | ۳۹,۵۳       |
| ۵                 | ۲۷,۸۷       | ۲۲,۶۸       | ۲۰۰               | ۱۰۲,۰۱      | ۴۲,۹۵       |
| ۱۰                | ۳۹,۱۷       | ۲۷,۰۸       | ۴۰۰               | ۱۲۰,۰۹      | ۴۶,۳۱       |
| ۲۰                | ۵۱,۳۶       | ۳۱,۰۸       | ۵۰۰               | ۱۲۷,۰۲      | ۴۷,۳۴       |
| ۲۵                | ۵۵,۶۳       | ۳۲,۳۲       | ۱۰۰۰              | ۱۴۸,۰۲      | ۵۰,۶۴       |
| ۵۰                | ۶۹,۵۶       | ۳۶          | ۱۰۰۰۰             | ۲۲۶,۰۳      | ۶۱,۸۶       |

منطقه‌ی همگن با حذف تعدادی از سایت‌های موجود است که موجب ناهمگنی منطقه می‌شوند. روش سوم نیز اگرچه گشتاورهای خطی را در روش سیلاب نمایه به کار می‌گیرد، اما در آن تحلیل فراوانی روی منطقه‌ی ناهمگن (بدون رفع ناهمگنی) و با استفاده از توزیع ویکی به عنوان توزیع منطقه‌ای صورت می‌گیرد.

همچنین در جدول (۴) برای هر یک از دبی‌های برآورد شده از طریق هر یک از سه روش مقادیر حدود بالا و پایین فاصله‌ی اطمینان در سطح ۹۰٪ محاسبه شده است. مقادیر دبی‌های برآورد شده و فواصل اطمینان در شکل (۹) نیز نمایش داده شده‌اند.

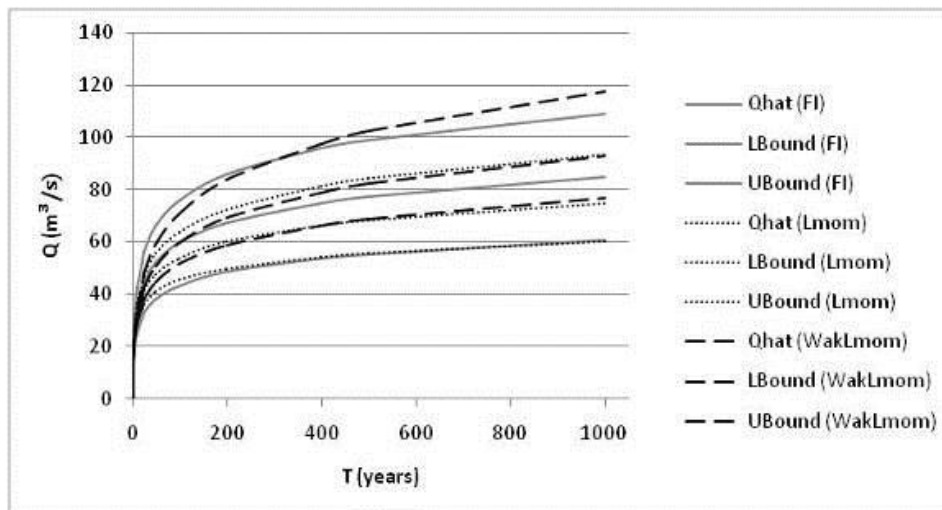
### برآورد محدوده‌های اطمینان و ارزیابی عملکرد روش‌های مختلف در حالت یک منطقه‌ای

مقادیر دبی‌های برآورد شده‌ی متناظر با دوره‌های بازگشت مختلف در جدول (۴) ارائه شده است. این نتایج که همگی مربوط به تحلیل فراوانی منطقه‌ای روی حوضه‌ی آبریز ارس در حالت تک منطقه‌ای هستند شامل نتایج استفاده از سه روش هستند که تا حدودی با هم متفاوت می‌باشند.

روش اول همان روش سیلاب نمایه‌ی معمول دالریمیل با استفاده از گشتاورهای معمول و آزمون همگنی لانگین است. روش دوم مشتمل بر به کارگیری گشتاورهای خطی در روش سیلاب نمایه و ایجاد یک

جدول (۴): دبی‌های برآورد شده دوره‌های بازگشت مختلف از طریق سه روش برای حالت یک منطقه‌ای و محدوده‌های اطمینان نظیر آن‌ها در سطح ۹۰٪ و اختلاف حدود بالا و پایین محدوده‌های اطمینان برآورد شده.

| دوره بازگشت (سال) | دبی FI | حد پایین FI | حد بالا FI | دبی Lmom | حد پایین Lmom | حد بالا Lmom | دبی Wak | حد پایین Wak | حد بالا Wak | اختلاف FI | اختلاف Lmom | اختلاف Wak |
|-------------------|--------|-------------|------------|----------|---------------|--------------|---------|--------------|-------------|-----------|-------------|------------|
| ۲,۳۳              | ۱۶,۱۹  | ۱۲,۴۹       | ۱۹,۰۹      | ۱۸,۵۲    | ۱۸            | ۱۸,۹۵        | ۱۵,۵۴   | ۱۴,۸۷        | ۱۶,۰۴       | ۷,۴۱      | ۰,۹۵        | ۱,۱۷       |
| ۵                 | ۲۶,۱۵  | ۱۹,۹۴       | ۳۲,۳۶      | ۲۶,۶۲    | ۲۴,۸۹         | ۲۸,۲۶        | ۲۴,۱۶   | ۲۲,۷۸        | ۲۵,۴۲       | ۱۲,۴۲     | ۳,۳۶        | ۲,۶۴       |
| ۱۰                | ۳۴,۲۶  | ۲۵,۰۷       | ۴۲,۸۳      | ۳۳,۰۲    | ۳۰,۰۱         | ۳۶,۳۸        | ۳۱,۸۸   | ۲۹,۲۳        | ۳۴,۷۴       | ۱۷,۱۲     | ۶,۲۸        | ۵,۵۱       |
| ۲۰                | ۴۲,۰۵  | ۳۱,۱۵       | ۵۲,۹۶      | ۳۹,۴۹    | ۳۴,۹۷         | ۴۴,۳۴        | ۳۹,۸۱   | ۳۵,۷۳        | ۴۴,۷۲       | ۲۱,۸۱     | ۹,۳۶        | ۸,۹۸       |
| ۲۵                | ۴۴,۵۴  | ۳۲,۸۸       | ۵۶,۰۲      | ۴۱,۴۹    | ۳۶,۵۱         | ۴۶,۹۱        | ۴۲,۴۴   | ۳۷,۸۸        | ۴۸,۰۸       | ۲۳,۲۳     | ۱۰,۰۴       | ۱۰,۲۱      |
| ۵۰                | ۵۲,۱۳  | ۳۸,۱۴       | ۶۶,۱۳      | ۴۷,۶۶    | ۴۱,۰۲         | ۵۴,۹۶        | ۵۰,۸۶   | ۴۴,۶۲        | ۵۹,۰۶       | ۲۷,۹۹     | ۱۳,۷۶       | ۱۴,۴۴      |
| ۱۰۰               | ۵۹,۶۸  | ۴۳,۳۵       | ۷۶,۰۱      | ۵۳,۸۳    | ۴۵,۸۶         | ۶۳,۱۸        | ۵۹,۷۲   | ۵۱,۶۲        | ۷۰,۹۶       | ۳۲,۶۶     | ۱۷,۳۲       | ۱۹,۳۳      |
| ۲۰۰               | ۶۷,۲۱  | ۴۸,۵۴       | ۸۵,۸۸      | ۶۰,۰۵    | ۵۰,۴۴         | ۷۱,۶۵        | ۶۹,۰۸   | ۵۸,۹۲        | ۸۳,۸۳       | ۳۷,۳۴     | ۲۱,۲۱       | ۲۴,۰۹      |
| ۴۰۰               | ۷۴,۸۲  | ۵۳,۷۸       | ۹۵,۸۷      | ۶۶,۳۴    | ۵۵,۰۱         | ۸۰,۳۸        | ۷۸,۹۸   | ۶۶,۰۵        | ۹۷,۶۸       | ۴۲,۰۹     | ۲۵,۳۸       | ۳۱,۱۸      |
| ۵۰۰               | ۷۷,۰۲  | ۵۵,۴۱       | ۹۸,۹۹      | ۶۸,۳۸    | ۵۶,۵۱         | ۸۳,۲۶        | ۸۲,۲۸   | ۶۹,۰۲        | ۱۰۲,۰۴      | ۴۳,۵۸     | ۲۶,۷۵       | ۳۳,۳۶      |
| ۱۰۰۰              | ۸۴,۷۷  | ۶۰,۶۲       | ۱۰۸,۰۹     | ۷۴,۸۱    | ۶۱,۱۴         | ۹۲,۲۹        | ۹۲,۹۴   | ۷۷,۰۹        | ۱۱۷,۰۷      | ۴۸,۳۱     | ۳۱,۱۵       | ۴۰,۶۳      |
| ۱۰۰۰۰             | ۱۰۹,۰۶ | ۷۷,۶۳       | ۱۴۱,۰۵     | ۹۷,۱۱    | ۷۶,۶۸         | ۱۲۴,۰۸       | ۱۳۲,۰۹  | ۱۰۶,۰۶       | ۱۷۶,۰۷      | ۶۳,۸۳     | ۴۸,۱۳       | ۷۰,۰۱۶     |



شکل (۹): دبی‌های برآورد شده دوره‌های بازگشت مختلف از طریق سه روش برای حالت یک منطقه‌ای و محدوده‌های اطمینان آن‌ها در سطح ۰.۹۰٪.

سپس نسبت به برآوردهای روش سیلاب نمایه معمولی بزرگ‌تر می‌شود و در دوره‌های بازگشت بزرگ (۱۰۰۰ و ۱۰۰۰۰ سال) این اختلاف نسبتاً قابل توجه می‌شود. نسبت بزرگ‌ترین برآورد (مربوط به استفاده از گشتاورهای خطی و توزیع ویکی روی منطقه‌ی ناهمگن) به کوچک‌ترین برآورد (مربوط به استفاده از گشتاورهای خطی روی منطقه‌ی همگن) در دوره‌های بازگشت ۱۰۰۰ و ۱۰۰۰۰ سال به ترتیب برابر ۱/۲۴ و ۱/۳۷ است. در ضمن عرض محدوده‌ی اطمینان در روش سیلاب نمایه معمولی نسبت به هر دو روش دیگر تا دوره‌ی بازگشت ۱۰۰۰ سال بیش‌تر است و تنها در دوره‌ی بازگشت ۱۰۰۰۰ سال است که عرض محدوده‌ی اطمینان روش استفاده از توزیع ویکی از عرض محدوده‌ی اطمینان روش سیلاب نمایه معمولی پیشی می‌گیرد. از این رو به نظر می‌رسد روش‌های مبتنی بر گشتاورهای خطی از این جهت روی حوضه‌ی ارس عملکرد بهتری دارند.

با توجه به تقسیم‌بندی موفق حوضه‌ی آبریز ارس به دو منطقه با تکیه بر مقادیر ضریب تغییرات خطی در سایت‌های موجود در حوضه، می‌توان انتظار داشت که در مواردی که داده‌های مناسب جغرافیایی، فیزیوگرافی و هواشناسی از سایت‌های یک حوضه برای اجرای عملیات منطقه‌بندی در دسترس نیست، با به کارگیری معیار ضریب تغییرات خطی در الگوریتم‌های خوشه‌بندی مانند الگوریتم *k-means* و ... بتوان به منطقه‌بندی مناسبی که مناطقی همگن را حاصل می‌کند، دست یافت.

## نتیجه‌گیری

بررسی نتایج مندرج در جداول (۴) و شکل (۹) نشان می‌دهد که در حوضه‌ی آبریز ارس، برآورد مقادیر دبی‌های سیلاب با دوره‌های بازگشت متفاوت از طریق سه روش مختلف در دوره‌های بازگشت نه چندان طولانی، تفاوت عمده‌ای ندارد و تا دوره‌ی بازگشت ۲۰۰ سال هم این مقدار از ۱۰ متر مکعب بر ثانیه تجاوز نمی‌کند که در این حالت نسبت بزرگ‌ترین برآورد (مربوط به استفاده از گشتاورهای خطی و توزیع ویکی روی منطقه‌ی ناهمگن) به کوچک‌ترین برآورد (مربوط به استفاده از گشتاورهای خطی روی منطقه‌ی همگن) برابر ۱/۱۵ است. همچنین این بررسی مشخص می‌کند که برآورد دبی سیلاب با دوره‌های بازگشت مختلف با استفاده از گشتاورهای خطی روی منطقه‌ی همگن در محدوده‌ی اطمینان کوچک‌تری (دقیق‌تری) انجام می‌گیرد که البته شاید مسئله‌ی حذف تعدادی از سایت‌ها در این روش بر این موضوع تأثیرگذار باشد.

نتایج بیانگر این مطلب هستند که استفاده از توزیع ویکی و گشتاورهای خطی روی منطقه‌ی ناهمگن در مواردی که توزیع‌های دیگر نمی‌توانند برازش مناسبی را روی منطقه نشان دهند، یک راه حل منطقی و مناسب است. برآوردهای حاصل از این روش در دوره‌های بازگشت کوچک (تا ۲۰ سال) از برآوردهای هر دو روش دیگر کوچک‌تر است، اما پس از آن مقدار آن ابتدا نسبت به برآوردهای روش گشتاور خطی روی منطقه‌ی همگن و

## منابع:

۱. علیزاده، ا. ۱۳۸۸. اصول هیدرولوژی کاربردی. دانشگاه امام رضا (ع). چاپ بیست و هفتم. ۸۷۰ صفحه.
۲. مهدوی، م. ۱۳۸۶. هیدرولوژی کاربردی (جلد دوم). دانشگاه تهران. چاپ پنجم. ۴۴۰ صفحه.
3. Dalrymple, T. 1960. Flood frequency analysis, Water Supply Paper 1543-A, U.S. Geological Survey, Reston, Va.
4. Greenwood, J.A., J.M. Landwehr, N.C. Matalas and J.R. Wallis. 1979. Probability weighted moments: Definition and relation to parameters of several distributions expressible in inverse form. Water Resources Research, 15, 1049-1054.
5. Hosking, J.R.M. 1990. L-moments: Analysis and estimation of distributions using linear combinations of order statistics. Journal of the Royal Statistical Society, Series B, 52, 105-24.
6. Hosking, J.R.M. and J.R. Wallis. 1987. Parameter and quantile estimation for the generalized Pareto distribution. Technometrics, 29, 339-349.
7. Hosking, J.R.M. and J.R. Wallis. 1997 Regional frequency Analysis: An Approach Based on L-moments. Cambridge University Press
8. Landwehr, J.M., N.C. Matalas and J.R. Wallis. 1979. Probability-weighted moments compared with some traditional techniques in estimating Gumbel parameters and quantiles. Water Resources Research, 15, 1055-1064.
9. Wallis, J.R. 1981. Risk and uncertainties in the evaluation of flood events for the design of hydraulic structures. Piene e Siccita, edited by E. Guggino, G. Rossi, and E. Todini, pp. 3-36. Fondazione Politecnica del Mediterraneo. Catania, Italy.
10. Wallis, J.R. 1982. Hydrologic problems associated with oilshale development. Environmental Systems and Management, edited by S. Rinaldi, pp. 85-102. North-Holland, Amsterdam.
11. Wallis, J.R., N.C. Matalas and J.R. Slack. 1974. Just a moment! Water Resources Research, 10, 211-219.

## Comparison of Uncertainty of Flood Quantiles Estimation in Regional Frequency Analysis Using Dalrymple Flood Index Method and L-moments

Ali Ahani<sup>4</sup>, Dr. S. Saeid Mousavi Nadoushani<sup>5</sup>, Mahkameh Zare Karizi<sup>6</sup>

### Abstract

One of the simplest methods of regional frequency analysis is Flood Index method. In recent years, L-moments as alternatives for moments have been used and some approaches were made and described for this purpose. In this study we have attempted to investigate efficiencies of these methods on Aras watershed and then compared their accuracies by assessment of confidence intervals of them. The results of this case study showed that discharge estimates using L-moments on a homogenous region in 90 percent confidence level has smaller uncertainty in comparison with flood index method. In addition it sounds using of Wakeby distribution as regional distribution and also L-moments on a heterogeneous region is an appropriate approach for cases that other distributions have not an good fit.

**Keywords:** Wakeby distribution, Aras watershed, Flood Index, L-moments, confidence intervals.

---

<sup>4</sup> BA Degree of Civil Engineering, Power and Water University of Technology, Tehran, Iran, 09352502205  
ali.ahani66@yahoo.com

<sup>5</sup> Assistant Professor, Faculty of Water and Environmental Engineering, Power and Water University of Technology, Tehran, Iran, 02173932435  
s\_mousavi@pwut.ac.ir

<sup>6</sup> MS Student of River Engineering, Power and Water University of Technology, Tehran, Iran, 09127222990  
Mahkameh\_67@yahoo.com