محاسبه و تحلیل دبی متوسط سیل با استفاده از روش تحلیل منطقه‌ای سیلاب در محدوده خیررود نوشهر تا سردآبرود چالوس

دکتر محمدرضا ثروتی
دانشیار گروه جغرافیای دانشگاه شهید بهشتی

دکتر جمشید جداری عیوضی
دانشیار گروه جغرافیای دانشگاه تهران

دکتر کیا بزرگمهر
فارغ التحصیل دوره دکتری جغرافیای طبیعی دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی

چکیده

در این مقاله به منظور کارهای کنترل سیلاب حوضه‌های آبریز در محدودهٔ خیررود ـ سردآبرود، دبی متوسط سیل با دوره‌های بازگشت معین با استفاده از روش تحلیل منطقه‌ای محاسبه و تحلیل شده است. برای این منظور، ابتدا آمار دبی حداکثر لحظه‌ای ایستگاه‌های آب‌سنجی منطقه، جمع‌آوری و پس از بررسی، رفع نواقص و خلاء آماری و تطویل آن، دوره آماری ۲۹ ساله منتهی به سال ۷۹-۱۳۷۸ انتخاب شد. سپس آنالیز نقطه‌ای با توزیع‌های آماری مختلف برای ایستگاه‌های منتخب انجام شد. پس از بررسی و مطالعه، تابع توزیع آماری لوگ پیرسون تیپ سه به عنوان مناسب‌ترین توزیع منطقه انتخاب گردید. سپس آزمون همگنی داده‌های دبی حداکثر ایستگاه‌ها به روش ران تست انجام شد و سطح حوضه‌ها اندازه‌گیری شد. در نهایت پس از برقراری رابطه معنی‌داری (در سطح ۵٪) بین دبی متوسط سیل و سطح حوضه‌ها، معادله خطی آن‌ها را نوشته و دبی متوسط سیلاب حوضه‌ها و مناطق فاقد آماری با دوره‌های بازگشت مختلف آن‌ها محاسبه شد. نتایج محاسبات و بررسی‌ها نشان می‌دهد که از مجموع شش حوضه آبریز در محدودهٔ مورد مطالعه، حوضه آبریز چالوس بالاترین متوسط سیلاب سالانه با دوره‌های بازگشت مختلف تولید می‌نماید سایر حوضه‌ها به‌ترتیب عبارتند سردآبرود، کورکورسر، ماشلک، خیره‌سر ـ نیرنگ (گردکل رود یا شیلرود).

واژگان کلیدی: دبی متوسط سیل، دوره بازگشت، تحلیل منطقه‌ای سیل، توزیع‌های آماری، لوگ پیرسون تیپ۳.

مقدمه

از بین خطرات طبیعی که انسان‌ها با آن مواجه می‌شوند، احتمالاً سیلاب بزرگترین و گسترده‌ترین آن‌ها است که سبب خسارت و نابودی زیادی می‌شود (پاسیون[1]، ۱۹۹۹).

ویژگی‌های وقوع این پدیده در ایران نیز شناخته شده است به‌عبارتی طی نیم قرن اخیر از نظر تعداد، حجم و خسارت، روند افزایشی داشته است. در طی چهل سال گذشته بیش از ۳۷۰۰ واقعه مهم سیل در کشور ثبت شده است که ۵۲ درصد آن مربوط به ده سال اخیر می‌باشد. تعداد سیل در دهه ۸۰-۱۳۷۰ حدود ۵ برابر دهه ۴۰-۱۳۳۰ بوده است (شریفی و نوروزی، ۱۳۸۱).

منطقهٔ مورد مطالعه بخش وسیعی از شهرستان چالوس و نوشهر را شامل می‌شود. در بخش ساحلی محدودهٔ مورد مطالعه، دو نقطهٔ شهری چالوس و نوشهر و ده‌ها پارچه آبادی استقرار یافته‌اند این نقاط طی سال‌های گذشته، تحت‌تأثیر سیلاب‌های مخرب و ویرانگر متعددی بوده است که می‌توان به سیلاب‌های مهر ۷۳ و ۸۲ اشاره کرد. در این رابطه، اجرای برنامه‌ها و طرح‌های کنترل مهار سیل اهمیت زیادی دارد. اجرای هر گونه طرح‌های مهار سیل مبتنی بر پیش‌بینی دبی سیلاب با دوره بازگشت معین است. این پیش‌بینی براساس روش‌های مختلفی صورت گرفته که از آن جمله می‌توان به تحلیل منطقه‌ای سیل[2] اشاره نمود. (مهدوی و هاشمی، ۱۳۷۶). در این روش از داده‌های چندین ایستگاه استفاده می‌شود که نتایج حاصل از آن همواره مطمئن‌تر از یک ایستگاه اندازه‌گیری می‌باشد. در واقع نتایج اولیه مقادیر نقطه‌ای و نتایج بعدی مقادیر ناحیه‌ای است که از اعتبار بیشتری برخوردار می‌باشد (نجمایی، ۱۳۶۹ ص ۱۵۶). از ویژگی‌های دیگر این روش تهیه منحنی سیلاب منطقه‌ای برای ایستگاه‌های منتخب و نیز برقراری رابطه بین خصوصیات حوضه‌های آبریز به‌ویژه سطح حوضه‌ها و متوسط سیل سالیانه است تا در صورت معنی‌دار بودن این روابط، پیش‌بینی سیل در هر نقطه از حوضه‌های آبریز قابل محاسبه خواهد بود.

به‌طورکلی استفاده از این روش، در حوضه‌ها یا مناطقی که فاقد آمار سیل بوده باشند و یا آمار ایستگاه‌های سنجش دبی سیل کوتاه‌مدت باشند، کاربرد گسترده‌ای دارد.

در رابطه با سیلاب به‌ویژه بررسی آن به روش تحلیل منطقه‌ای، در کشورهای مختلف دنیا و ایران، مطالعات زیادی انجام گرفته است: سُرمن و عبدالرّزاق[3] (۱۹۸۶) در مطالعه‌ای تحت عنوان تحلیل منطقه‌ای دبی سیل در جنوب غربی منطقهٔ پادشاهی عربستان سعودی، ضمن انتخاب توزیع آماری مناسب برای تخمین و پیش‌بینی سیل، به برقراری رابطهٔ همبستگی متوسط سیل (۲ ساله) با پارامترهای مورفومتری، هیدرولوژیکی و داده‌های خاک اقدام نموده‌اند. نتایج مطالعه نشان داده که توزیع آماری تیپ سه پیرسون[4] و تیپ یک اکستریم[5] بهترین تابع توزیع آماری حاصل شده و مقادیر سطح، متوسط بارندگی سالانه، سطح نفوذ، نسبت ناهمواری و متوسط هدایت مؤثر هیدرولیکی، مهم‌ترین پارامترهایی هستند که سالانه سیل را تحت‌تأثیر قرار می دهند (سینگ[6]، ۱۹۸۷).

توماس و بنسون[7](موسوی، ۱۳۷۹) با استفاده از ۷۰ پارامتر جریان رودخانه‌ای و ۳۱ مشخصه حوضه‌های آبریز به بررسی مهم‌ترین عوامل فیزیکی و اقلیمی مؤثر در مدل‌های منطقه‌ای سیلاب پرداخته‌اند. آن‌ها نتیجه گرفتند که سطح حوضه، شاخص‌های ذخیره، مقدار نزولات جوی، شدت و تکرار آن‌ها، تبخیر و تعریق و درجه حرارت، مهم‌ترین مشخصه‌های یک حوضهٔ آبریز می‌باشند که می‌توانند در تدوین معادلات تناوب سیل حوضه نقش داشته باشند.

سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا (مهدوی، شریفی و صمدی ۱۳۸۳) در بررسی دبی پیک سیلاب با

1-Pacion
2-Regional Flood Analaysis
3- Sorman and Abdulrazzak
4-Pearson Type III
5- Extreme Type I
6- Singh
7- Thomas and Benson

دورهٔ بازگشت‌های آن، از روابط همبستگی بین دبی با دورهٔ بازگشت‌های مختلف و پارامترهای ژئومتریک، مساحت، شیب، ارتفاع و طول آبراههٔ اصلی حوضه، استفاده نموده است.

تسوجی موتو[1] (منبع پیشین،۱۳۸۳) نقش پوشش گیاهی را در کاهش سیلاب بررسی نموده و به این نتیجه رسید که انواع فرآیندهای سیلاب با پوشش گیاهی رابطهٔ معکوس دارند. همچنین سینگ(خسروشاهی و ثقفیان، ۱۳۸۴) افزایش مساحت را به فزونی دبی مرتبط می‌داند.

همچنین دانشمندان برای مقایسه سیلاب‌ها فرمول‌های متعددی ارائه داده‌اند که تماماً از دبی ماکزیمم خام (Q) و واحد سطح حوضه آبریز (A) استفاده می‌کنند. این فرمول‌ها را ام. پارده[2] نیز در تحقیقات خود بر روی سیلاب‌های نقاط مختلف دنیا آزمایش کرده است. هدف از این کار دستیابی به یک معیار ساده و راحت و جهان شمول برای مشخص کردن سلسله مراتب سیل‌ها است. این عمل توسط یک ضریب روشن می شود، این ضریب با این که کمی متغیر است ولی برای حوضه‌های وسیع به اندازه کافی ثابت می‌باشد که به این طریق محاسبه می‌شود:

$$Q = CA \qquad Q = C'A^{2/3} \qquad Q = C''A^{3/4}$$

در فرمول‌های فوق Q دبی ماکزیمم ماکزیمم‌ها (بالاترین دبی بین ماکزیمم دبی‌های مشخص شده) برحسب مترمکعب بر ثانیه، A سطح حوضهٔ آبخیز برحسب کیلومتر مربع است و C ضریب حوضه است.

ام. پارده حوضه‌های وسیعی را که ضریب آن‌ها از ۷۰ تجاوز می‌کند در ردیف سیل‌های مخوف به حساب می‌آورد. در اروپا در حوضه‌های بزرگ، این ضریب بندرت بیش از ۵۰ است. در امریکای غیرمداری به ۷۰ رسیده و گاهی نیز تجاوز می‌کند ولی رویهم رفته ضریب فوق خیلی متغیر است (جمالی، ۱۳۸۰).

علاوه بر موارد فوق،فرمول‌ها، معادلات تجربی و روش‌های زیادی توسط محققین در تحلیل منطقه ای سیل ارائه شده که برای جلوگیری از اطاله کلام، از ذکر آن‌ها خودداری می‌شود. اما در منابع داخلی تحقیقات مختلفی در زمینهٔ سیل صورت گرفته که به برخی از آن‌ها اشاره می‌شود:

جعفرزاده (۱۳۷۸) در پایان‌نامه کارشناسی ارشد، روش‌های مختلف برآورد دبی حداکثر سیلاب را بر مبنای سطح حوضه آبخیز برای استان گیلان مقایسه نموده است.

داغستانی (۱۳۷۶) نیز در پایان‌نامهٔ کارشناسی ارشد که مربوط به شمال ایران (گیلان و مازندران) می‌باشد، به این نتیجه رسید که عوامل مساحت، بارندگی متوسط، ارتفاع حوضه‌ها، روی دبی حداکثر مؤثر هستند اما سیلاب‌های این مناطق در درجه اول متکی به مساحت حوضه‌ها بوده و پارامترهای دیگر در رتبه‌های بعدی قرار دارند.

مهدوی و هاشمی (۱۳۷۶) در تحقیقی تحت عنوان تعیین بده متوسط سیل از روی عوامل فیزیکی در استان سمنان، ده ایستگاه آب‌سنجی به روش تحلیل منطقه‌ای انتخاب نموده و سپس بین عوامل مورفومتری و اقلیمی با دبی متوسط سیلاب روابط گرسیونی برقرار نموده است، و نیز معادلاتی برای منطقه مورد مطالعه ارائه کرده‌اند. در این مدل‌ها، مساحت حوضه از عوامل مهم در تعیین دبی متوسط سیل بوده به‌نحوی که به تنهایی نیز معادله‌ای را با سطح معنی‌داری یک درصد تشکیل می‌دهد. بنابراین در نظر نگرفتن سایر مشخصه ها در تعیین دبی متوسط سیل تأثیر کمی در نتایج نهایی ایجاد می‌کرده است. همچنین سایر مطالعاتی را که سیلاب‌های حداکثر به روش تحلیل منطقه‌ای انجام شده‌اند، می‌توان به کارهای عرب خدری و همکاران (۱۳۷۴) و وفاخواه (۱۳۷۸)، اشاره نمود.

1-Tsujimoto 2- M.Parde

با عنایت به این‌که تاکنون بررسی جامع و کاملی درباره تخمین و تحلیل سیل با دوره بازگشت های مختلف در منطقه خیرود- سردآبرود صورت نگرفته است و از طرف دیگر تحلیل منطقه‌ای سیل ابزار مناسبی برای این منظور است، محاسبه دبی متوسط سیل با دوره بازگشت‌های معین در محدودهٔ مورد مطالعه (از شش حوضهٔ آبریز تشکیل شده است) از اهمیت زیادی در کارهای مهندسی به‌ویژه کنترل سیلاب و جلوگیری از خسارات احتمالی برخوردار است.

مفاهیم اساسی در تحلیل منطقه‌ای سیل:

در استفاده از روش تحلیل منطقه‌ای سیل شرایط و مسائلی وجود دارد که توجه به آن‌ها ضروری است:

۱- مرتبط بودن[1]:

مرتبط بودن یکی از شرایط داده‌هاست و آن به این معناست که وقتی هدف بررسی دبی حداکثر سیلاب‌ها باشد، باید مقادیر دبی حداکثر لحظه‌ای مورد تجزیه و تحلیل قرار گیرند (مهدوی، ۱۳۷۸ ص ۲۰).

۲- توزیع‌های آماری و انتخاب مناسب‌ترین آن‌ها:

یکی از اشتباهات عمده در تجزیه و تحلیل داده‌های هیدرولوژی آن است که خصوصیات واقعی توزیع تصادفی داده‌ها در نظر گرفته نمی‌شود و اکثراً فرض می‌شود که توزیع فراوانی داده‌ها به‌صورت نرمال است.

درست است که داده‌های هیدرولوژی پارامترهای تصادفی می‌باشند اما این‌که تصور کنیم همواره وقوع آن‌ها از قوانین تصادفی نرمال تبعیت می‌کند صحیح نیست. بر این اساس متخصصان هیدرولوژی آماری که روی این موضوع کار کرده‌اند، توزیع‌های متفاوتی را پیشنهاد کرده‌اند که هر یک ممکن است با نام خاصی ذکر شوند (علیزاده امین، ۱۳۷۷ ص ۴۹۷). مهم‌ترین توزیع‌های متداول در هیدرولوژی عبارتند از:

توزیع نرمال[2]، لوگ نرمال دو پارامتره[3]، لوگ نرمال سه پارامتره[4]، پیرسون تیپ ۳[5]، لوگ پیرسون تیپ ۳[6] و توزیع گمبل یا مقادیر حد نوع یک[7]. در بین هیدرولوژیست‌ها هیچ‌گونه توافقی در مورد این‌که کدام یک از توزیع‌های مذکور باید به‌کار برده شوند، وجود ندارد (ضیائی، ۱۳۸۰ ص ۶۴). در استفاده از توزیع‌های مختلف آماری روش‌های مختلفی وجود دارد که می‌توان به استفاده از ضریب تناوب یا فراوانی و روش ترسیمی اشاره کرد (مهدوی، ۱۳۷۸ ص ۲۳).

استفاده از ضریب تناوب در توزیع‌ها مخصوصاً با به‌کارگیری گشتاورها بسیار متداول بوده و مقادیر ضریب فراوانی (K) در جداول خاصی برای هر توزیع ارائه شده‌اند. با استفاده از ضریب تناوب می‌توان مقدار یک متغیر را با دورهٔ بازگشت موردنظر، از رابطهٔ کلی زیر به‌دست آورد:

$X_{Tr} = \overline{X} + K.S$، که در آن، X_{Tr}: مقدار متغیر موردنظر در دوره بازگشت T_r سال، $\overline{X}$: میانگین داده‌ها، K: ضریب تناوب یا فراوانی و S: انحراف معیار داده‌هاست.

در روش ترسیمی، می‌توان منحنی احتمال تجربی و تئوری داده‌های هر یک از ایستگاه‌ها را روی کاغذ احتمالات ترسیم نمود در صورتی‌که تطابق مناسبی بین دو منحنی مذکور وجود داشته باشد، آن توزیع برای آمارهای موجود مناسب می‌باشد.

۳- تعیین رابطه دبی متوسط سیل با عوامل مختلف حوضه

در یک حوضه هیدرولوژیکی یا حوضهٔ آبخیز دبی متوسط با عوامل مختلفی ارتباط دارد که از آن میان مهم‌ترین عامل را مساحت حوضه تشکیل می‌دهد البته در صورتی که مطالعه کامل‌تری انجام گیرد و رابطهٔ همبستگی دبی با چند متغیر مانند لیتولوژی، پوشش گیاهی، شیب، خاک و نحوهٔ بهره‌برداری از اراضی به‌دست آید، مسلماً برآورد دبی متوسط سیل نیز با دقت بیشتری صورت خواهد گرفت (مهدوی، ۱۳۷۸ ص ۸۴) برای

1- Relevance
2- Normal distribution
3- 2 Parameter Log Normal
4- 3 Parameter log Normal
5- Pearson Type III
6- Log Pearson Type III
7- Gumbel distribution (Extreme value type 1)

غالب کارهای مهندسی تهیهٔ رابطهٔ همبستگی بین میانگین سیلاب سالانه و مساحت حوضه‌ها و استفاده از آن کفایت می‌کند (افشار، ۱۳۶۹ ص ۴۰۲).

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در شمال سلسله کوه‌های البرز و در جنوب دریای مازندران قرار دارد. این محدوده از نظر مشخصات جغرافیایی در طول شرقی ´۵۷ و °۵۰ الی ´۳۹ و °۵۱ و عرض شمالی ´۸ و °۳۶ الی ´۴۱ و °۳۶ قرار دارد (نقشه ۱). منطقه مورد مطالعه جزء استان مازندران و شهرستان‌های چالوس و نوشهر می‌باشد (نقشه ۱).

براساس اندازه‌گیری با پلانی متر دیجیتال روی نقشه ۱:۲۵۰۰۰۰ و ۱:۵۰۰۰۰ مساحت محدوده مورد مطالعه ۲۵۹۹/۷ کیلومتر مربع می‌باشد. همچنین نتایج اندازه‌گیری به تفکیک حوضه‌ای در جدول ۱ آمده است.

هر یک از حوضه‌های مورد مطالعه دارای یک رودخانه اصلی و تعداد زیادی رودها و انشعابات فرعی هستند که از دامنه‌های حوضه‌ها سرچشمه گرفته و پس از الحاق به یکدیگر و تشکیل رودخانهٔ اصلی به سطح اساس خود که دریای مازندران است، می‌ریزند (نقشه ۱) از مجموع رودخانه‌ها، سردآبرود از شهر کلاردشت و چالوس، چالوس رود از شهر مرزن‌آباد و چالوس، کورکورسر، گردکل‌رود و ماشلک از محدوده شهر نوشهر عبور کرده و به دریای مازندران می‌ریزند.

همچنین محدودهٔ مورد مطالعه در داخل یک شیت نقشه ۱:۲۵۰۰۰۰ و نه شیت نقشه ۱:۵۰۰۰۰ مربوط به سازمان جغرافیایی ارتش قرار می‌گیرد.

روش کار:

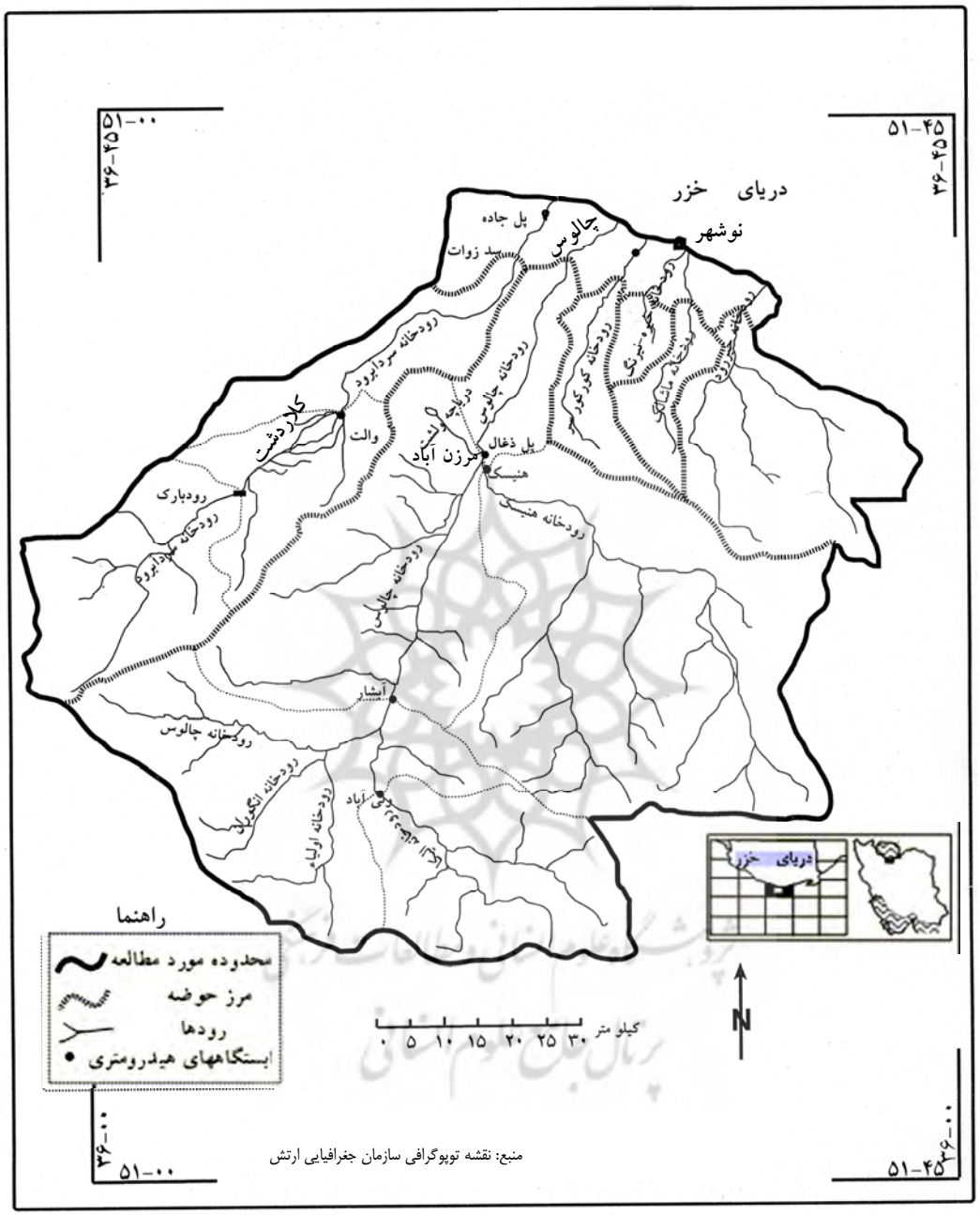
برای دستیابی به اهداف تحقیق از مجموع ایستگاه‌های آب‌سنجی در سطح منطقه، ایستگاه‌هایی که آمار دبی حداکثر لحظه‌ای کوتاه‌مدت یا نامطمئن داشته‌اند حذف شدند و در نهایت ۱۰ ایستگاه انتخاب شده است (جدول ۲).

طول دورهٔ آماری ۲۹ سال منتهی به سال آبی ۷۹–۷۸ انتخاب شد. این دوره (۲۹ سال) براساس رابطه ماکوس[1] در سطح اعتماد مختلف انجام شد. برای بازسازی آماری ایستگاه‌های ناقص و تطویل آماری، از روش‌های همبستگی بین ایستگاه‌ها، استفاده از ایستگاه‌های معرف و نسبت نرمال، استفاده شد. در استفاده از روش همبستگی بین ایستگاه‌ها برای افزایش دقت از نرم‌افزار SPSS استفاده گردید.

پس از تهیه و تکمیل داده‌های دبی حداکثر لحظه‌ای ایستگاه‌ها، آن‌ها را با توزیع های متداول در هیدرولوژی که شامل توزیع نرمال، لوگ نرمال دو پارامتره (دو متغیره)، لوگ نرمال سه پارامتره (سه متغیره)، پیرسون تیپ سه، لوگ پیرسون تیپ سه، گمبل یا مقادیر حد نوع یک می‌باشند، برازش داده شدند و با استفاده از روش ترسیمی، بهترین توزیع آماری داده‌ها برای تحلیل داده‌های دبی سیل ایستگاه‌های منتخب، انتخاب شد (نمودارهای ۶۰–۱) در این تحقیق برای افزایش دقت و کاهش خطاهای احتمالی، از برنامهٔ نرم افزاری هیدرولوژیکی تحت عنوان SMADA.6 استفاده شد.

برای دستیابی به نتایج قابل اعتماد، داده‌های دبی ایستگاه‌های مورد مطالعه، آزمون همگنی قرار گرفتند. این کار به روش ران تست[2] انجام شد (جداول ۴ و ۳). در تعیین شاخص مورفومتری حوضه‌ها که در این مطالعه مساحت می‌باشد، با اندازه‌گیری پلانیمتر دیجیتال روی نقشه‌های ۱:۵۰۰۰۰ و ۱:۲۵۰۰۰۰ محاسبه شد (جدول ۱). دبی حداکثر سیلاب سالانهٔ ایستگاه‌های هیدرومتری با دورهٔ برگشت مختلف محاسبه شد (جدول

1- Mockus 2- Runtest



منبع: نقشه توپوگرافی سازمان جغرافیایی ارتش

نقشه ۱ - هیدرولوژی منطقه مورد مطالعه

جدول ۱- مساحت حوضه‌های مورد مطالعه

حوضه‌های آبریز	چالوس	سردآبرود	خیررود	کورکورسر	ماشلک	خیره‌سر- نیرنگ (گردکل‌رود)	جلگه ساحلی	کل
مساحت km^2	۱۷۰۴/۵	۴۴۴/۳	۲۰۴/۷	۶۴/۸	۴۹/۴	۲۴/۵	۱۰۷/۵	۲۵۹۹/۷

۵). سپس محاسبه دبی‌های بدون بُعد[1] انجام گرفته (جدول ۶) و براساس آن منحنی احتمال دبی‌های بدون بعد (منحنی فراوانی سیلاب منطقه‌ای) ترسیم شد (نمودار ۶۱). مدل مورد استفاده در این تحقیق از نوع رگرسیونی که از رابطهٔ دو متغیر مساحت (متغیر مستقل) و دبی متوسط سیل (متغیر تابع) می باشد. براساس رابطه معنی‌داری بین دو متغیر مذکور معادله‌ای حاصل شد که توسط آن متوسط سیلاب مناطق یا حوضه‌های فاقد آمار سیل محاسبه شد و دبی سیلاب با دوره بازگشت‌های معین برای حوضه‌های فاقد ایستگاه هیدرومتری نیز تخمین زده شد (جدول۷). ضمناً ترسیم نقشه در محیط نرم‌افزاری فری‌هند[2] انجام شد.

جدول ۲- ایستگاه‌های هیدرومتری تحت مطالعه

نام ایستگاه‌ها	ارتفاع به متر	طول	عرض	توضیحات بیشتر
پل ذغال	۳۰۰	۵۱°-۲۰´	۳۶°-۳۰´	
هینسک (دوآب چالوس)	۳۵۰	۵۱°-۲۰´	۳۶°-۳۰´	
آبشار (معین دره)	۸۵۰	۵۱°-۱۵´	۳۶°-۲۰´	
ولی‌آباد	۱۷۵۰	۵۱°-۱۸´	۳۶°-۱۴´	
رودبارک	۱۳۸۰	۵۱°-۰۷´	۳۶°-۲۹´	
والت	-۱۰	۵۱°-۱۳´	۳۶°-۳۲´	
سردآبرود پل جاده	-۱۰	۵۱°-۲۴´	۳۶°-۴۰´	در حال حاضر محل اندازه‌گیری تغییر یافته است (به ارتفاع حدود ۵۰ متری همین رود انتقال یافته است)
کورکورسر (نوشهر)	-۱۰	۵۱°-۲۸´	۳۶°-۴۰´	
چالکرود (گانگسر)	۱۱۰	۵۱°-۴۴´	۳۶°-۵۰´	سمت غرب منطقه مورد مطالعه (شهرستان تنکابن) واقع است
دینارسرا (آزاد رود)		۵۱°-۰۰´	۳۶°-۳۹´	سمت غرب منطقه مورد مطالعه (شهرستان تنکابن) واقع است

تجزیه و تحلیل داده‌ها:

همگنی داده‌ها

مطالعه همگنی داده‌های ایستگاه‌های هیدرومتری به روش ران تست نشان می‌دهد که آن‌ها از همگنی خوبی در سطح اعتماد ۹۵ درصد برخوردارند (جدول ۴) به‌عبارت دیگر از جدول ۳ با توجه به تعداد n_a و n_b چون عدد Uجدول۴، بین ارقام نوشته در جدول ۳ قرار می‌گیرد، لذا داده‌ها همگن هستند یعنی تصادفی بودن آن ها در سطح اعتماد ۹۵ درصد مورد قبول است.

1- Dimensionless discharges 2- Freehand

جدول ۳ - حدود مجاز U

n_b یا n_a (عدد کوچکتر)	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
2								2 6	2 6	2 6	2 6	2 6	2 6	2 6	2 6	2 6
3		2 8	2 8	2 8	2 8	2 8	2 8	2 8	2 8	2 8	3 8	3 8	3 8	3 8	3 8	3 8
4	2 9	2 9	2 10	3 10	3 10	3 10	3 10	3 10	3 10	3 10	3 10	4 10	4 10	4 10	4 10	4 10
5	2 10	3 10	3 11	3 11	3 12	3 12	4 12	4 12	4 12	4 12	4 12	4 12	4 12	5 12	5 12	5 12
6		3 11	3 12	3 12	4 13	4 13	4 13	4 13	5 14	5 14	5 14	5 14	5 14	5 14	6 14	61 4
7			3 13	4 13	4 14	5 14	5 14	5 14	5 15	5 15	6 15	6 16	6 16	6 16	6 16	6 16
8				4 14	5 14	5 15	5 15	6 16	6 16	6 16	6 16	6 17	7 17	7 17	7 17	7 17
9					5 15	5 16	6 16	6 16	6 17	7 17	7 18	7 18	7 18	8 18	8 18	8 18
10						6 16	6 17	7 17	7 18	7 18	7 18	8 19	8 19	8 19	8 20	9 20
11							7 17	7 18	7 19	8 19	8 19	8 20	9 20	9 20	9 21	9 21
12								7 19	8 19	8 20	8 20	9 21	9 21	9 21	10 22	10 23
13									8 20	9 20	9 21	9 21	10 22	10 22	10 23	10 23
14										9 21	9 22	10 22	10 23	10 23	11 23	11 24
15											10 22	10 23	11 23	11 24	11 24	12 25
16												11 23	11 24	11 25	12 25	12 25
17													11 25	12 25	12 26	13 26
18														12 26	13 26	13 27
19															13 27	13 27
20																14 28

مثال:به ازای na= 12 و nb=12 حدود مجاز U بین ۷ تا ۱۹ ا ست. (منبع: علیزاده امین، ۱۳۷۷)

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

جدول۴- آزمون همگنی ایستگاه‌ها به روش ران تست

ولی آباد	چالکرود	کورکورسر	سردآبرود پل‌جاده	دینارسرا	والت	آبشار	رودبارک	پل‌ذغال	هنیسک
۱۶	۳۹,۹۰	۲۷,۴۰	۱۵,۵	۲۸,۱۵	۱۴,۴۵	۴۸,۵۰	۱۰,۷۰	۶۴,۴۶	۱۰,۷۰
a	a	a	a	a	a	b	a	-	a
b	a	a	a	a	a	a	a	a	b
a	b	b	a	a	a	a	-	b	b
a	a	b	a	-	a	a	a	a	b
a	a	a	b	-	b	a	b	a	a
a	a	b	b	b	b	a	b	a	a
b	b	a	b	b	b	b	b	b	b
a	a	a	a	a	b	b	-	a	a
b	b	b	b	b	b	b	b	b	b
b	b	-	b	b	b	b	a	b	b
b	b	b	-	b	b	a	b	b	b
a	b	b	b	a	a	-	b	b	a
b	a	a	a	a	a	a	b	b	-
b	b	a	b	b	b	b	b	b	b
a	a	b	a	a	a	a	a	a	a
a	a	a	a	a	a	a	a	a	a
a	b	b	b	b	a	b	b	b	a
a	b	b	b	a	b	b	a	b	b
b	a	a	b	b	b	b	b	a	-
a	a	b	a	b	b	b	a	a	a
b	b	a	a	a	b	b	a	b	b
b	a	a	a	b	b	a	a	b	a
a	a	b	a	a	a	a	b	a	a
a	a	a	a	a	a	b	a	a	a
b	b	a	b	a	a	b	a	b	b
a	a	a	b	b	a	b	a	a	-
b	b	a	b	b	b	a	b	b	b
$n_{a=14}$ nb=13 U=14	$n_{a=14}$ nb=14 U=16	$n_{a=14}$ nb=14 U=20	$n_{a=14}$ nb=14 U=10	$n_{a=14}$ nb=13 U=14	$n_{a=14}$ nb=14 U=9	$n_{a=14}$ nb=14 U=11	$n_{a=13}$ nb=14 U=11	$n_{a=14}$ nb=14 U=16	$n_{a=14}$ nb=14 U=11

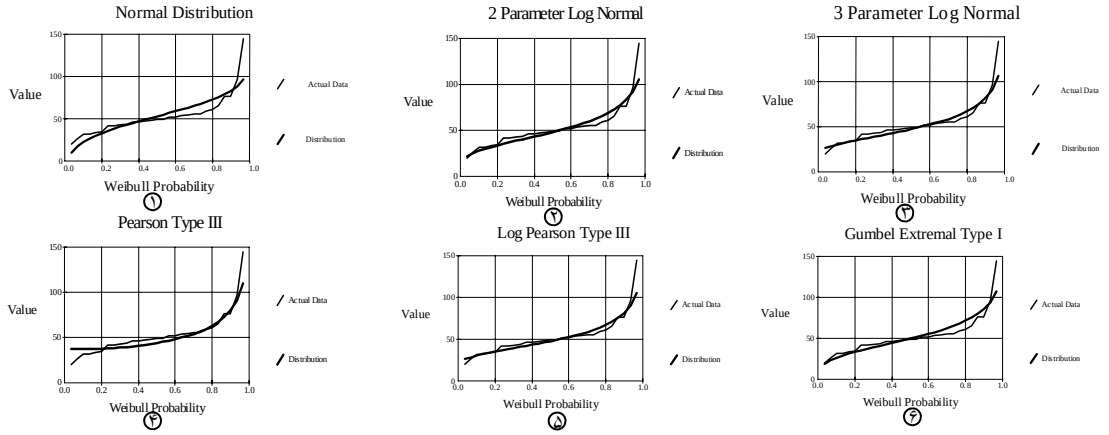
انتخاب مناسب‌ترین توزیع آماری و استفاده از آن در محاسبهٔ دبی متوسط سیل با دوره بازگشت‌های معین ایستگاه‌های هیدرومتری

نمودارهای ۶۰-۱ برازش داده‌های دبی حداکثر لحظه‌ای ایستگاه‌ها را با توزیع‌های مختلف آماری نشان می‌دهد. همان‌طوری‌که ملاحظه می‌گردد روی هر نمودار دو منحنی دیده می‌شود: یکی منحنی داده های واقعی یا مشاهده شده که به آن منحنی تجربی نیز می‌گویند و دیگری منحنی توزیع یا احتمال تئوری. انطباق منحنی تئوری با داده‌های تجربی اهمیت بسیار زیادی در انتخاب بهترین توزیع آماری دارد. بررسی انجام شده، نشان می‌دهد که منحنی توزیع (تئوری) با منحنی تجربی در توزیع لگاریتم پیرسون تیپ سه، مطابقت بیشتری نسبت به سایر توزیع‌ها نشان می‌دهد از طرفی مطالعه مجموع انحراف استاندارد داده‌های هر یک از ایستگاه‌ها نیز توضیح فوق را تایید می‌نماید بنابراین توزیع آماری لگاریتم پیرسون تیپ سه به‌عنوان مناسب‌ترین توزیع برای آمارهای موجود ایستگاه‌های محدودهٔ مورد مطالعه در نظر گرفته شده است و با استفاده توزیع مذکور، دبی متوسط سیل با دوره بازگشت‌های معین ایستگاه‌های هیدرومتری محاسبه شد (جدول ۵).

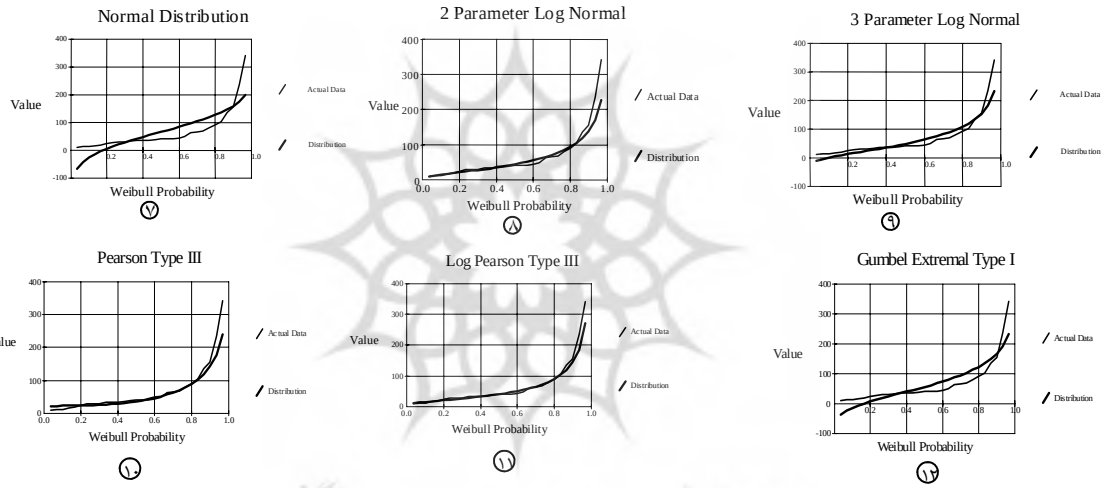
جدول ۵- دبی حداکثر سالانه ایستگاه‌های هیدرومتری با دوره برگشت‌های(T)مختلف برحسب مترمکعب در ثانیه

نام ایستگاه‌ها	T_3	T_5	T_{10}	T_{25}	T_{50}	T_{100}	T_{200}	T_2
هنسیک	۱۳/۶۱	۱۷/۰۴	۲۱/۴۸	۲۷/۱۹	۴۸/۳۱	۳۵/۸۷	۴۰/۰۹	۱۰/۶۵
پل ذغال	۸۵/۳۶	۱۰۹/۶۴	۱۴۸/۷۴	۲۰۵/۸	۲۶۰/۰۷	۳۲۴/۵	۴۰۰/۹۸	۶۷/۰۴
آبشار	۵۶/۲۶	۶۶/۷۲	۸۱/۰۱	۱۰۰/۹۱	۱۱۷/۱۴	۱۳۴/۶۱	۱۵۳/۵۲	۴۷/۵۱
ولی‌آباد	۲۱/۹۴	۳۰/۳۱	۴۴/۶۲	۷۰/۷۲	۹۷/۸۹	۱۳۳/۶۹	۱۸۰/۷۸	۱۶/۲
رودبارک	۱۴/۰۱۶	۱۸/۲۹	۲۴/۸۳	۳۵/۲۴	۴۴/۷۹	۵۶/۱	۶۹/۴۷	۱۰/۸۰
والت	۱۸/۳	۲۴/۰۷	۳۳/۴۰	۴۹/۳۷	۶۵/۰۵	۸۴/۷۵	۱۰۹/۵۰	۱۴/۱۶
سردابرود پل جاده	۱۹/۳۹	۲۳/۰۳	۲۷/۶۶	۳۳/۶۱	۳۸/۰۹	۴۲/۶۱	۴۷/۲۱	۱۶/۱۱۸
کورکورسر	۳۵/۲۳	۵۱/۳۴	۷۸/۷۳	۱۳۳/۱	۱۸۹/۹	۲۶۵/۹	۳۶۷/۱۱	۲۴/۵۳
چالکرود (گانگسر) *	۶۰/۵۷	۹۰/۵۳	۱۴۴/۱۴	۲۴۶/۲۵	۳۵۵/۹۶	۵۰۳/۵۹	۷۰۰/۹۷	۴۰/۹۶
آزادرود (دینارسرا) *	۴۵/۵۵	۶۶/۳۲	۹۶/۷۱	۱۴۰/۵۵	۱۷۶/۲۵	۲۱۳/۹۳	۲۵۳/۴۱	۲۹/۹۱

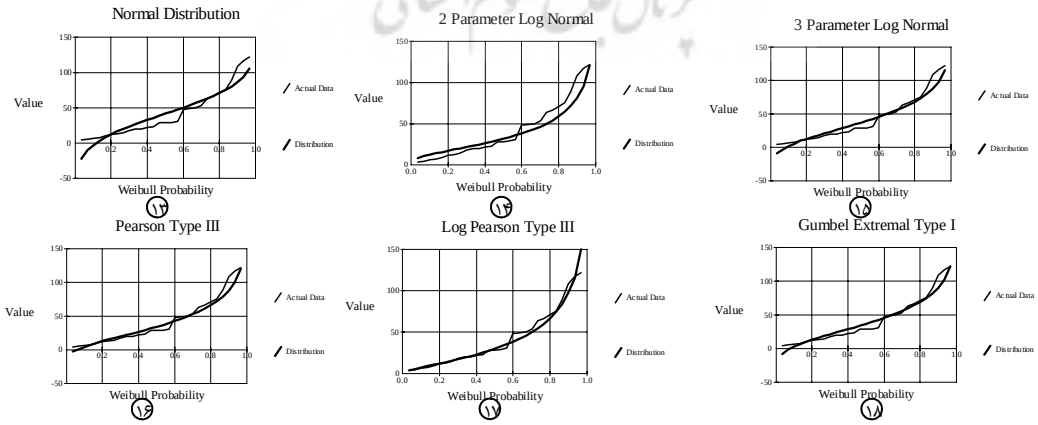
*در خارج محدوده مورد مطالعه قرار دارند.



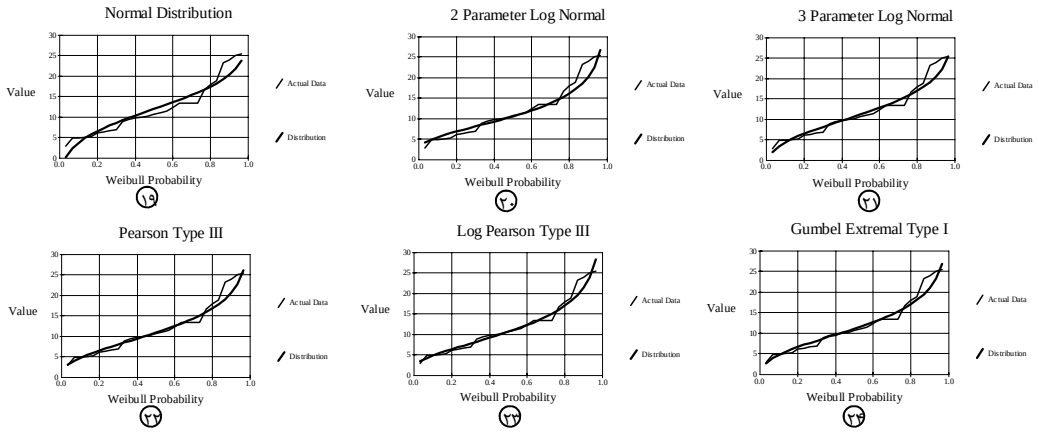
نمودار۱ الی ۶- برازش دادهای دبی حداکثر لحظه‌ای ایستگاه آبشار با توزیع‌های آماری(نرمال، لوگ نرمال دو متغیر، لوگ نرمال‌سه متغیر،پیرسون تیپ سه، لوگ پیرسون تیپ سه وگمبل).



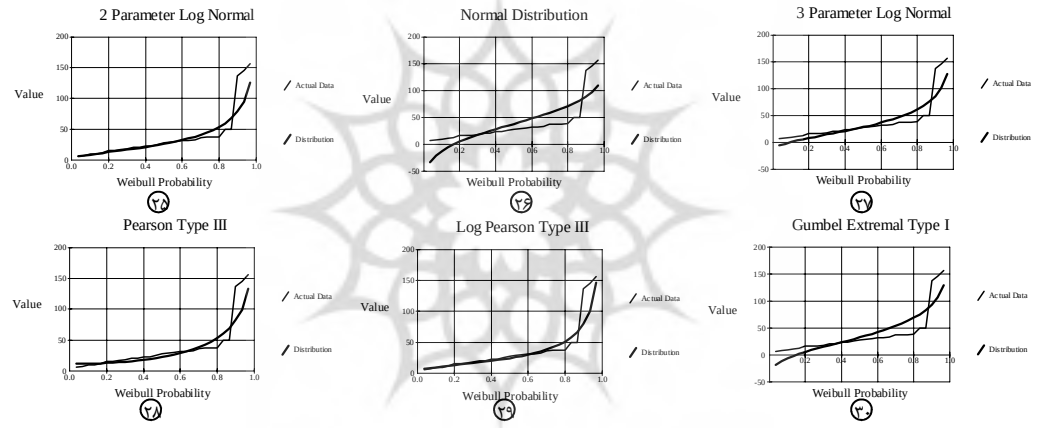
نمودار۷ الی ۱۲- برازش دادهای دبی حداکثر لحظه‌ای ایستگاه چا لکرود با توزیع‌های آماری(نرمال، لوگ نرمال دو متغیر،لوگ نرمال‌سه متغیر،پیرسون تیپ سه، لوگ پیرسون تیپ سه وگمبل).



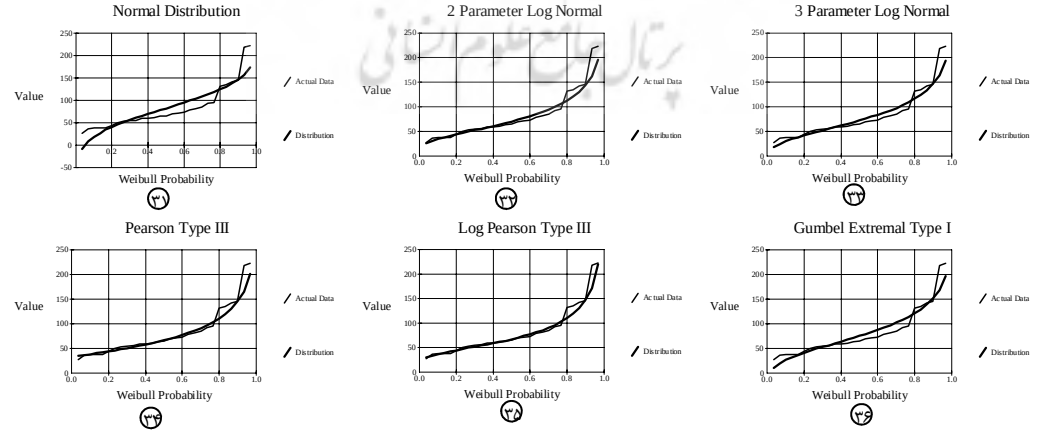
نمودار۱۳ الی۱۸- برازش دادهای دبی حداکثر لحظه‌ای ایستگاه دینارسرا با توزیع‌های آماری(نرمال، لوگ نرمال دو متغیر،لوگ نرمال‌سه متغیر،،پیرسون تیپ سه، لوگ پیرسون تیپ سه وگمبل).



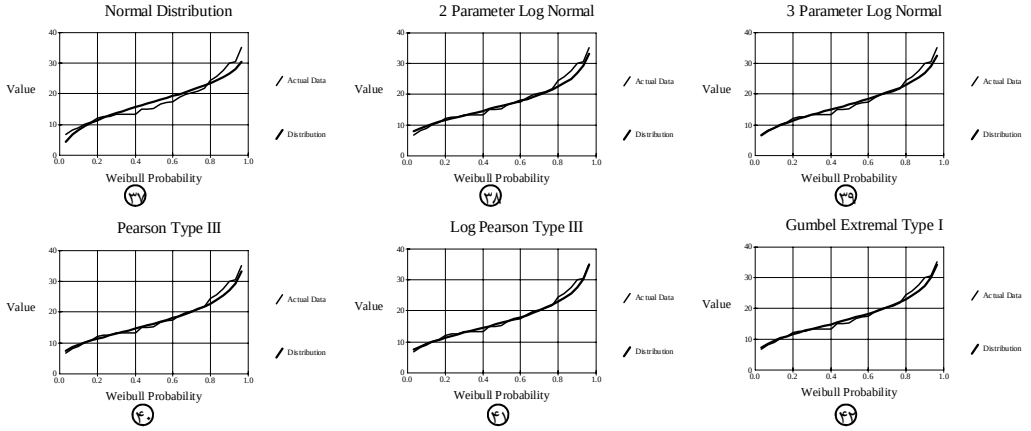
نمودار ۱۹ الی۲۴- برازش دادهای دبی حداکثر لحظه‌ای ایستگاه هنیسک با توزیع‌های آماری(نرمال، لوگ نرمال دو متغیر،لوگ نرمال‌سه متغیر،،پیرسون تیپ سه، لوگ پیرسون تیپ سه و گمبل)



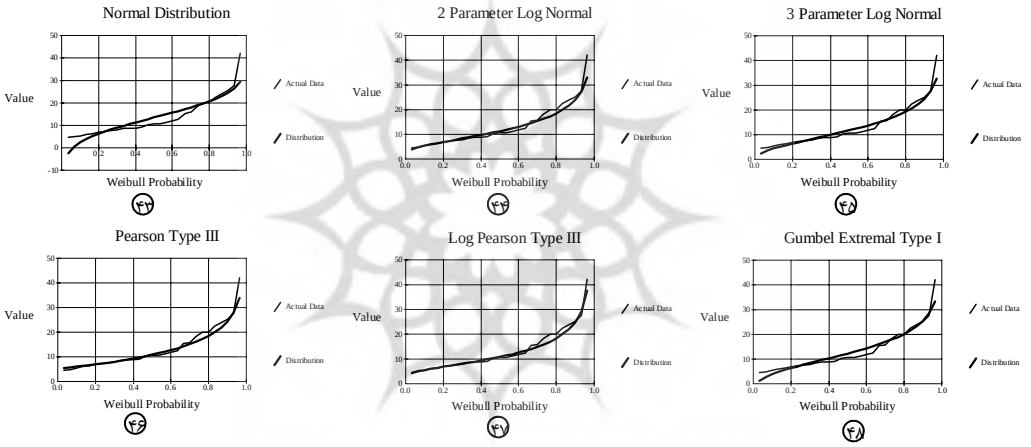
نمودار ۲۵ الی ۳۰- برازش دادهای دبی حداکثر لحظه‌ای ایستگاه دینارسرا با توزیع‌های آماری(نرمال، لوگ نرمال دو متغیر،لوگ نرمال‌سه متغیر،،پیرسون تیپ سه، لوگ پیرسون تیپ سه و گمبل).



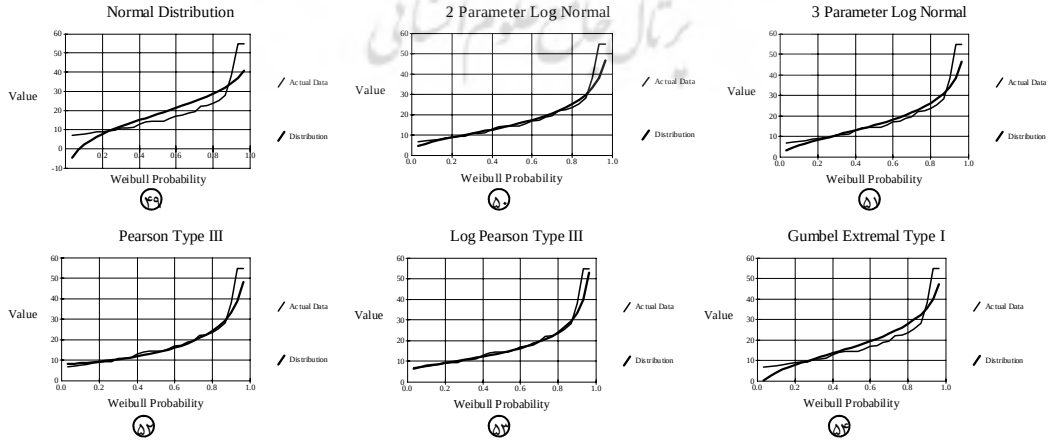
نمودار۳۱ الی۳۶ - برازش دادهای دبی حداکثر لحظه‌ای ایستگاه پل ذغال با توزیع‌های آماری(نرمال، لوگ نرمال دو متغیر،لوگ نرمال‌سه متغیر،،پیرسون تیپ سه، لوگ پیرسون تیپ سه و گمبل).



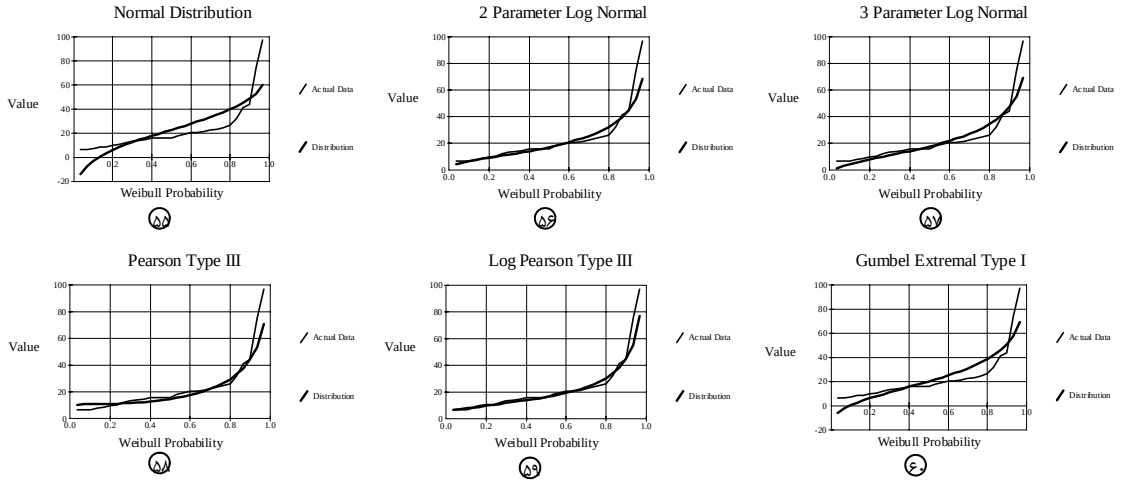
نمودار ۳۷ الی۴۲ - برازش دادهای دبی حداکثر لحظه‌ای ایستگاه سردآبرودپل جاده با توزیع‌های آماری (نرمال، لوگ نرمال دو متغیر،لوگ نرمال‌سه متغیر، پیرسون تیپ سه، لوگ پیرسون تیپ سه و گمبل).



نمودار ۴۳ الی۴۸ - برازش دادهای دبی حداکثر لحظه‌ای ایستگاه رودبارک با توزیع‌های آماری(نرمال، لوگ نرمال دو متغیر،لوگ نرمال‌سه متغیر، پیرسون تیپ سه، لوگ پیرسون تیپ سه و گمبل)



نمودار ۴۹ الی ۵۴ - برازش دادهای دبی حداکثر لحظه‌ای ایستگاه والت با توزیع‌های آماری(نرمال، لوگ نرمال دو متغیر،لوگ نرمال‌سه متغیر، پیرسون تیپ سه، لوگ پیرسون تیپ سه و گمبل).



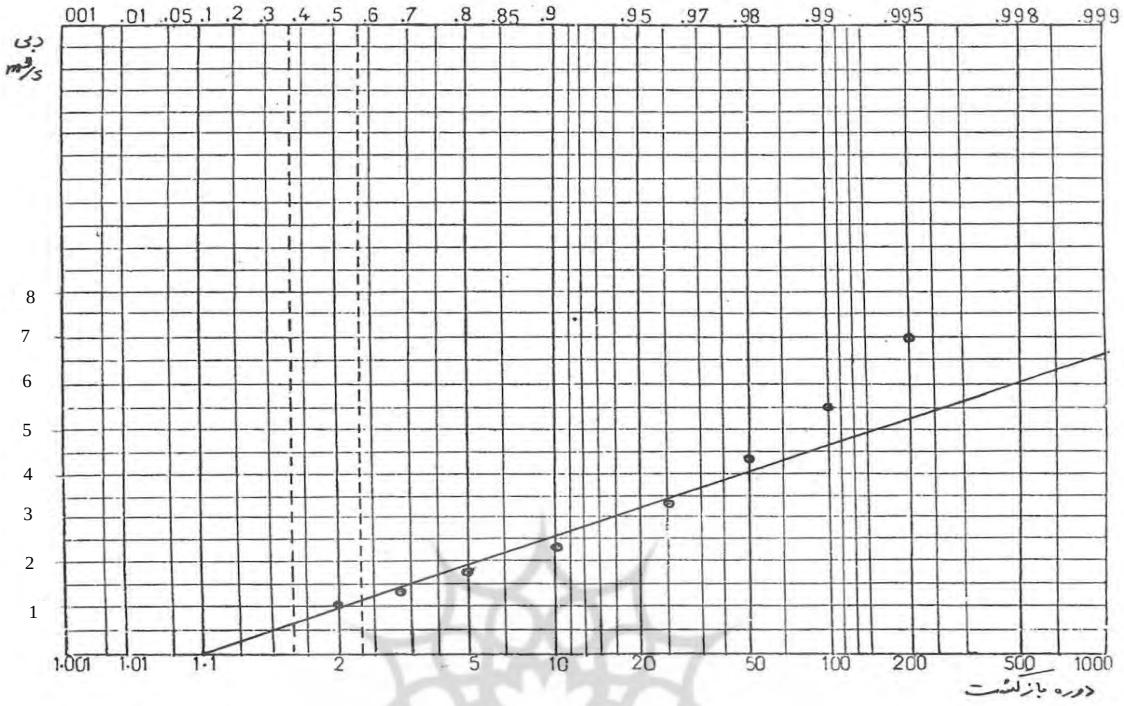
نمودار ۵۵ الی ۶۰ - برازش داده‌های دبی حداکثر لحظه‌ای ایستگاه ولی آباد با توزیع‌های آماری(نرمال، لوگ نرمال دو متغیر، لوگ نرمال‌سه متغیر، پیرسون تیپ سه، لوگ پیرسون تیپ سه و گمبل).

تعیین نسبت دبی با دورهٔ بازگشت‌های مختلف به دبی متوسط سیل (محاسبه دبی‌های بدون بعد):

در این رابطه نسبت دبی با دوره برگشت‌های ۱۰۰،۵۰،۲۵،۱۰،۵،۳،۲ و ۲۰۰ ساله ایستگاه ها به دبی متوسط (۲ سال) تقسیم شد (جدول ۶) که با به‌دست آوردن میانگین و میانه، منحنی احتمال دبی‌های بدون بعد یا منحنی فراوانی سیلاب منطقه‌ای ترسیم شد (نمودار ۶۱) به‌وسیلهٔ این منحنی می‌توان دبی سیل با احتمال معین در دوره بازگشت‌های مشخص به‌صورت منطقه‌ای برای محدودهٔ مورد مطالعه به‌دست آورد.

جدول ۶- نسبت دبی با دورهٔ بازگشت‌های مختلف به دبی متوسط (Q)

نام ایستگاه‌ها	$\frac{TQ}{TQ}$	$\frac{T_3}{TQ}$	$\frac{T_5}{TQ}$	$\frac{T_{10}}{TQ}$	$\frac{T_{25}}{TQ}$	$\frac{T_{50}}{TQ}$	$\frac{T_{100}}{TQ}$	$\frac{T_{200}}{TQ}$
هنسیک	۱	۱/۲۸	۱/۶	۲	۲/۵۵	۲/۹۵	۳/۳۶	۳/۷۶
پل ذغال	۱	۱/۲۷	۱/۶۳	۲/۱۹	۳/۰۷	۳/۸۸	۴/۸۴	۵/۹۸
آبشار	۱	۱/۱۸	۱/۴۰	۱/۷۰	۲/۱۲	۲/۴۶	۲/۸۳	۳/۲۳
ولی‌آباد	۱	۱/۳۵	۱/۸۷	۲/۷۵	۴/۳۶	۶/۰۴	۸/۲۵	۱۱/۱۶
رودبارک	۱	۱/۳	۱/۶۹	۲/۳	۳/۲۶	۴/۱۵	۵/۱۹	۶/۴۳
والت	۱	۱/۲۹	۱/۷	۲/۳۶	۳/۴۹	۴/۵۹	۵/۹۸	۷/۷۳
سردابرود پل جاده	۱	۱/۲	۱/۴۲	۱/۷۱	۲/۰۸	۲/۳۵	۲/۶۳	۲/۹۲
کورکورسر	۱	۱/۴۴	۲/۰۹	۳/۲۵	۵/۴۳	۷/۷۴	۱۰/۸۴	۱۴/۹۶
چالکرود (گانگسر)	۱	۱/۴۸	۲/۲۰	۳/۵۲	۶/۰۱	۸/۶۹	۱۲/۲۹	۱۷/۱۱
آزادرود (دنیارسرا)	۱	۱/۵۲	۳/۲۲	۳/۲۳	۴/۶۹	۵/۸۹	۷/۱۵	۸/۴۷
میانگین	۱	۱/۳۳۱	۱/۷۸۲	۲/۵۰۱	۳/۷۰۶	۴/۸۷۴	۶/۳۳۶	۸/۱۷۵
میانه	۱	۱/۲۹۵	۱/۶۹۵	۲/۳۳	۳/۳۷۵	۴/۳۷	۵/۵۸۵	۷/۰۸



نمودار۶۱- منحنی فراوانی سیلاب منطقه‌ای برای ایستگاه‌های منتخب

تعیین رابطه دبی متوسط سیل (Q_2) با مساحت حوضه‌ها (A)

مطالعه انجام شده، نشان می‌دهد که رابطهٔ بین دو متغیر در سطح نسبتاً خوبی برقرار شده است. ضریب همبستگی بین آن‌ها برابر با ۰/۷۳۲ می‌باشد و در سطح ۰/۰۵ معنی‌دار می‌باشد. معادله‌ای که از رابطهٔ آن ها حاصل شده عبارتست از: $Q_2 = 13.228+0.0308\ A$

Q_2: دبی متوسط سیل (۲ ساله) به مترمکعب بر ثانیه و A، مساحت حوضه آبریز به کیلومتر مربع.

تعیین مقادیر دبی متوسط سیل با دوره بازگشت‌های معین در حوضه‌ها و مناطق فاقد ایستگاه هیدرومتری:

براساس معادلهٔ حاصله از رابطهٔ دبی- مساحت، دبی سیل حوضه‌های فاقد آمار محاسبه شد. براساس مقدار متوسط سیلاب سالانهٔ به‌دست آمده برای حوضه فاقد ایستگاه در مقدار میانگین نسبت‌های دبی با دوره برگشت‌های مختلف (جدول ۶) ضرب شده که نتیجه آن مقدار دبی سیلاب برای دوره برگشت مختلف برای حوضه‌های فاقد ایستگاه هیدرومتری حاصل شد. (جدول ۷) با توجه به آن بالاترین و پایین‌ترین متوسط دبی سیل با دوره بازگشت بترتیب مربوط به چالوس و گردکل‌رود یا خیره‌سر- نیرنگ می‌باشد.

جدول ۷ - محاسبه دبی سیلاب با دورهٔ بازگشت‌های مختلف برای حوضه‌های فاقد آمار

متغیر / نام حوضه‌ها	$T_2=Q$	T_3	T_5	T_{10}	T_{25}	T_{50}	T_{100}	T_{200}
خیرود	۱۹/۵۳	۲۵/۹۹	۳۴/۸۰	۴۸/۸۴	۷۲/۳۸	۹۵/۱۹	۱۲۳/۷۴	۱۵۹/۶۶
ماشالک	۱۴/۷۵	۱۹/۶۳	۲۶/۲۸	۳۶/۸۹	۵۴/۶۶	۷۱/۸۹	۹۳/۴۶	۱۲۰/۵۸
خیره‌سر- نیرنگ	۱۳/۹۸	۱۸/۶۱	۲۴/۹۱	۳۴/۹۶	۵۱/۸۱	۶۸/۱۴	۸۸/۵۸	۱۴/۲۹
چالوس	۶۵/۷۳	۸۷/۴۹	۱۱۷/۱۳	۱۶۴/۳۹	۲۴۳/۵۹	۳۲۰/۳۷	۴۱۶/۴۶	۵۳۷/۳۴
کورکوسر	۱۵/۲۲	۲۰/۲۶	۲۷/۱۲	۳۸/۰۶	۵۶/۴۰	۷۴/۱۸	۹۶/۴۳	۱۲۴/۴
سردابرود	۲۶/۹۱	۳۵/۸۲	۴۷/۹۵	۶۷/۳۰	۹۹/۷۳	۱۳۱/۱۶	۱۷۰/۵	۲۲۰

نتیجه‌گیری

همان‌طور که در مباحث پیشین ذکر شد، در روش تحلیل منطقه‌ای سیل، دبی متوسط سیل با دوره بازگشت‌های مختلف با استفاده از توزیع آماری مناسب و نیز روابط دبی سیل با عوامل حوضه‌ای به‌ویژه سطح آن‌ها مورد بررسی قرار می‌گیرد. بررسی‌هایی که در این تحقیق صورت گرفت نشان می‌دهد که:

۱- تابع توزیع لگاریتم پیرسون تیپ سه، مناسب‌ترین تابع توزیع آماری منطقه برای تحلیل فراوانی دبی سیلاب‌ها مشخص گردیده است.

۲- با توجه به معنی‌دار بودن رابطه دبی متوسط سیل (دوره بازگشت ۲ سال) با سطح حوضه ها (R =۰/۷۳۲، در سطح اعتماد ۵٪) می‌توان گفت اولاً رابطهٔ بین دو متغیر مذکور خطی می‌باشد بنابراین معادله خط را نوشته و براساس آن با اندازه‌گیری مساحت مناطق فاقد آماری، دبی متوسط سیل را محاسبه نمود. ثانیاً بر نظرات و یافته‌های سایر پژوهشگران (همان‌طور که در مقدمه اشاره شد) بر اهمیت پارامتر مذکور در تعیین دبی سیل، صحه گذاشته و آنرا تأیید می‌نماید.

۳- نتایج حاصل از محاسبه دبی متوسط سیل با دوره بازگشت معین(۲، ۳، ۵، ۱۰ ، ۲۵، ۱۰۰ و ۲۰۰ ساله) نشان می‌دهد که بالاترین آن‌ها متعلق به حوضهٔ آبریز چالوس و سردآبرود می‌باشد، سایر حوضه ها در رده‌های بعدی قرار دارند. بنابراین حوضه‌های مذکور در کارهای مهار سیل و برنامه‌های مربوط به آن در اولویت نخست قرار دارند.

۴- نظر به این‌که دبی سیل با دوره بازگشت‌های بیش از ۱۰ سال حجم سیلاب زیادتری تولید می‌کند، لذا توجه به آن در کارهای مرتبط با منابع آب به‌ویژه مهار سیل، ذخیره‌سازی، کاربری اراضی حواشی رودخانه‌ها، تعیین حریم آن‌ها و نیز فرسایش کناری اهمیت بیشتری می‌یابد.

۵- مطالعه سابقه پژوهش نشان می‌دهد که پارامترهای تعداد رود و طول رود و متغیرهای مورفومتری در دبی حداکثر حوضه‌ها موثرند لذا پیشنهاد می‌گردد که درتحلیل منطقه‌ای سیلاب منطقه مورد مطالعه پارامترهای مذکور در نظر گرفته شود.

منابع و مآخذ:

۱- افشار، عباس، ۱۳۶۹، هیدرولوژی مهندسی، مرکز نشر دانشگاهی.

۲- جعفرزاده، سعید، ۱۳۷۸، بررسی مقایسه‌ای روش‌های مختلف برآورد دبی حداکثر سیلاب بر مبنای سطح حوزه آبخیز، مطالعه موردی: گیلان، پایان‌نامهٔ کارشناسی ارشد دانشگاه تربیت مدرس تهران.

۳- جمالی، علی‌اکبر، ۱۳۸۰، بررسی حساسیت تعدادی از روش‌های تجربی هیدرولوژیکی برآورد دبی اوج سیلاب نسبت به سطح حوزه در برخی از حوزه‌های آبخیز ایران، پایان‌نامه کارشناسی ارشد دانشگاه تربیت مدرس.

۴- خسروشاهی محمد و ثقفیان بهرام، ۱۳۸۴، تعیین حساسیت اثر برخی از عوامل مؤثر بر سیل‌خیزی زیر حوضه‌های آبخیز با استفاده از تحلیل هیدروگراف خروجی حوضه و کاربرد مدل HEC-HMSI، مجله جنگل و مرتع شماره ۶۷.

۵- داغستانی، پیمان، ۱۳۷۶، اثر عوامل فیزیوگرافی و هیدرولوژیکی حوضه بر سیلاب‌های حداکثر در منطقه شمال (گیلان و مازندران)، پایان‌نامهٔ کارشناسی ارشد دانشگاه تهران.

۶- سازمان تحقیقات منابع آب (تماب)، ۱۳۸۲، آمار دبی حداکثر لحظه‌ای ایستگاه‌های هیدورمتری پل ذغال، آبشار، والت، رودبارک، سردآبرود پل جاده، کورکورسر، دینارسرا، هنسیک، چالکرود و ولی‌آباد.

۷- سازمان جغرافیایی ارتش، نقشه توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰۰ سری k 551 به شماره‌های NJ39-15 و NJ39-14.

۸- سازمان جغرافیایی ارتش، نقشه توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ نوشهر، چالوس، نشتارود، پول، مرزن‌آباد، رودبارک، شهرستانک، گاجره و آسارا.

۹- شریفی، فرود و نوروزی، غلامرضا، ۱۳۸۱، مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز، کلید توسعه منابع زیستی، مجله جنگل و مرتع شماره ۵۶.

۱۰- ضیائی حجت‌الله، ۱۳۸۰، اصول مهندسی آبخیزداری، انتشارات آستان قدس رضوی.

۱۱- علیزاده، امین، ۱۳۷۷، اصول هیدرولوژی کاربردی، انتشارات آستان قدس رضوی.

۱۲- عرب‌خدری، محمود و همکاران، ۱۳۷۴، بررسی منطقه‌ای سیلاب‌های حداکثر در حوزه‌های آبخیز البرز شمالی مجله پژوهش و سازندگی شماره ۲۷.

۱۳- مهدوی، محمد، ۱۳۷۷، هیدرولوژی کاربردی، جلد اول، انتشارات دانشگاه تهران.

۱۴- مهدوی، محمد، ۱۳۷۸، هیدرولوژی کاربردی، جلد دوم، انتشارات دانشگاه تهران.

۱۵- مهدوی محمد و هاشمی علی‌اصغر، ۱۳۷۶، تعیین بده متوسط سیل از روی عوامل فیزیکی حوزه‌ها در استان سمنان مجله پژوهش و سازندگی شماره ۳۶.

۱۶- مهدوی محمد، شریفی فرود و صمدی زهرا، ۱۳۸۳، اولویت‌بندی عوامل مؤثر بر سیل‌خیزی و ارایه مدل کمی با استفاده از سیستم‌های اطلاعاتی جغرافیایی (مطالعهٔ موردی حوزهٔ آبخیز کن)، مجله جنگل و مرتع، شماره ۶۵.

۱۷- موسوی، علی‌اصغر، ۱۳۷۹، تهیه مدل برآورد سیل با استفاده از ویژگی‌های مرفومتری رودخانه‌های حوضه آبخیز دریاچه نمک، پایان‌نامه کارشناسی ارشد دانشگاه تهران.

۱۸- نجمایی، محمد، ۱۳۶۹، هیدرولوژی مهندسی (جلد دوم)، انتشارات دانشگاه علم و صنعت ایران.

۱۹- وفاخواه، مهدی، ۱۳۷۸، شناخت عوامل مؤثر در سیلاب به منظور مهار آن‌ها با استفاده از تجزیه و تحلیل عاملی در حوزه رودخانه قره‌چای، مجله پژوهش و سازندگی شماره ۴۵.

20-Pacione, M. (1999): Applied Geography; principles and practice, by Routledgs, p.95.

21-Singh P.V, (1987): Regional flood frequency Analysis, by Reidel publishing company, P.11.