

تاثیر طول دوره آمار ایستگاه‌های هیدرومتری بر تحلیل فراوانی و روش‌های مختلف تعیین دبی سیلاب پل‌ها (مطالعه موردی: پل مسیل شور)

مقاله علمی - پژوهشی

*فواد کیلانه‌ئی (نویسنده مسئول)، دانشیار، گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران

امیر محجوب، استادیار، پژوهشکده حمل و نقل، مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی، تهران، ایران

خیراله خادمی، استادیار، پژوهشکده حمل و نقل، مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی، تهران، ایران

*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: kilanehei@eng.ikiu.ac.ir

دریافت: ۱۴۰۴/۰۴/۰۸ - پذیرش: ۱۴۰۴/۰۸/۰۷

صفحه ۷۲-۵۵

چکیده

برای طراحی هیدرولیکی پل‌های رودخانه‌ای و مشخص نمودن طول و ارتفاع آنها، تعیین دبی حداکثر سیلاب با دوره بازگشت مشخص ضروری است. مناسب‌ترین روش برای تعیین دبی طرح، تحلیل فراوانی داده‌های ایستگاه‌های هیدرومتری است. یکی از ویژگی‌های داده‌های مورد استفاده برای اینکه تحلیل فراوانی آنها منجر به جواب‌های معتبر و مطمئن شود، کفایت داده‌ها است. در این مقاله نقش طول دوره آماری و تعداد داده‌ها بر حداکثر دبی بیک سیلاب با دوره بازگشت‌های متفاوت در محل چهار ایستگاه هیدرومتری که در یک منطقه در حوضه آبریز مرکزی قرار دارند، بررسی شده است. همچنین اثر طول دوره آماری بر نتایج رابطه دبی-مساحت، رابطه تجربی و روش تحلیل منطقه‌ای سیلاب در محل پل رودخانه‌ای مسیل شور که در منطقه مورد بررسی واقع شده و فاقد ایستگاه هیدرومتری بر روی مسیل یاد شده است، نیز مورد ارزیابی قرار گرفته است. نتایج نشان داد با افزایش طول دوره آماری ۲۵ ساله به ۴۴ ساله، بهترین توزیع آماری برآزش شده بر دبی‌های حداکثر لحظه‌ای تغییر نموده و در هر چهار ایستگاه توزیع لوگ پیرسون نوع سوم دارای مناسب‌ترین برآزش است. همچنین افزایش طول آماری بر مقادیر حداکثر دبی ۱۰۰ ساله در محل پل مورد بررسی با استفاده از روش دبی-مساحت اثر چندانی نداشت، اما در روش تجربی فولر که ضریب آن بر اساس آمار ایستگاه‌های هیدرومتری کالیبره شده است، ۹ درصد کاهش دبی را نشان داد. در روش تحلیل منطقه‌ای سیلاب که در حوضه‌های فاقد آمار از دقت بیشتری برای برآورد سیل برخوردار است، مقادیر دبی بر اساس دوره آماری ۲۵ ساله و ۴۴ ساله بترتیب ۸۴۲ و ۷۱۵ مترمکعب بر ثانیه برآورد گردید که افزایش حدودی ۱۸ درصد دبی طراحی در صورت استفاده از دوره آماری کوتاه‌تر را نشان می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: حوضه‌های آبریز فاقد آمار، تجزیه و تحلیل منطقه‌ای سیلاب، حداکثر دبی لحظه‌ای، توزیع‌های آماری، پل‌های رودخانه‌ای

۱-مقدمه

هواشناسی و هیدرولوژیکی ضروری است. پروژه‌های آبی همگی برای پدیده‌های خاص هیدرولوژیکی که در آینده روی خواهند داد و زمان دقیقی برای رخداد آنها قابل پیش‌بینی

از گام‌های نخست برای طراحی هر سازه هیدرولیکی، تعیین دبی طرح به ازای دوره بازگشت مشخص است. برای تعیین دبی طرح، داشتن آمار و اطلاعات جامع در رابطه با پارامترهای

نیست، برنامه‌ریزی و طراحی می‌شود. در هیدرولوژی نمی‌توان زمان دقیق یک پدیده مانند سیلاب یا دبی مورد نظر را تعیین نمود ولی می‌توان نحوه وقوع حوادث قبلی را بررسی نموده و احتمال وقوع متوسط آن را بدست آورد و سپس ابعاد سازه‌ها را متناسب با آن طراحی کرد. در این نوع کارها پیش‌بینی کامل از نظر عملی غیر ممکن است یا از نظر اقتصادی فاقد توجیه است به نحوی که برای جلوگیری از یک خسارت با احتمال وقوع بسیار ضعیف، نمی‌توان سازه‌های بسیار مقاومی ساخت که هزینه اولیه احداث آنها بیشتر از خسارت احتمالی است. البته در مواردی که جان انسانها در خطر است باید دبی‌های سیلابی با احتمال وقوع کمتری را محاسبه و در نظر گرفت. در انتخاب سیل طرح باید عوامل متعددی از جمله اهمیت سازه، مسائل اقتصادی، اثرات خراب شدن سازه بر مناطق پایین‌دست، عمر فنی و اقتصادی سازه، تراکم جمعیت در نقاط پایین‌دست، تاثیر خراب شدن سازه بر تاسیسات نظامی، کشوری و کشاورزی، وضعیت اجتماعی و رفاهی ساکنان پایین‌دست را در نظر گرفت (علیزاده، ۱۴۰۰). در حالت کلی، تمامی پارامترهای کمی هیدرولوژیکی شامل حداکثر بارش سالانه، حداکثر دبی سیلاب، متوسط دبی سالانه و ... دارای یک مولفه تصادفی است، بنابراین طراح باید به نحوی احتمال اینکه میزان دبی رودخانه‌ای که در آینده مساوی یا بزرگتر از یک مقدار مشخص باشد را تعیین و برآورد نماید. احتمالات یاد شده دارای اهمیت زیادی در ارزیابی اقتصادی پروژه‌های آبی است (میرباقری، ۱۳۷۷). برای مشخص نمودن طول و ارتفاع پل‌های رودخانه‌ای و طراحی هیدرولیکی آنها در گام نخست تعیین دبی حداکثر سیلاب با دوره بازگشت مشخص، لازم است. بر اساس نشریه شماره ۴۱۵ سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور و سایر آیین‌نامه‌های معتبر طراحی از جمله نشریات سازمان بزرگراه‌های آمریکا، دوره بازگشت سیلاب برای پل‌های رودخانه‌ای که در راه شریانی (آزادراه، بزرگراه) واقع شده‌اند، برابر با ۱۰۰ سال در نظر گرفته می‌شود. در انتخاب سیل طرح دو حالت ممکن است وجود داشته باشد. یکی اینکه حوضه فاقد آمار اندازه‌گیری دبی باشد و دیگر آنکه حوضه دارای آمار اندازه‌گیری دبی بوده و مجهز به

ایستگاه آب‌سنجی است. از آنجایی که در هر دو حالت، طراحی به گونه‌ای بر مبنای رویدادهای تصادفی است بنابراین می‌بایست آمار هیدرولوژیکی منطقه جمع‌آوری شود و سپس با بکارگیری روش‌های آماری، داده‌ها را خلاصه نموده، روند حال حاضر و رفتارهای آینده وقایع طبیعی هیدرولوژیکی را پیش‌بینی نمود. از این رو گزینش داده‌ها و انتخاب آمار از اهمیت فوق‌العاده‌ای برخوردار است. در صورت وجود داده‌های ثبت شده قبلی سیلاب، تحلیل فراوانی سیلاب یکی از روش‌های مناسب برای تعیین دبی با دوره بازگشت معلوم است. برای اینکه تجزیه و تحلیل احتمال و یا به عبارت دیگر تحلیل فراوانی منجر به جواب‌های معتبر و مطمئن شود، داده‌های مورد استفاده باید از سه مشخصه ربط به موضوع، کیفیت مناسب و کمیّت کافی برخوردار باشند (افشار، ۱۳۶۹). ارتباط داده‌ها به معنای مرتبط بودن داده‌ها با موضوع است. به طور کلی در مطالعه سیلاب‌ها یک سری از سیلاب‌های اوج اندازه‌گیری شده مرتبط با موضوع انتخاب می‌شود. صحت داده‌ها بیشتر در رابطه با یکنواختی داده‌ها مطرح می‌شود. زیرا فرض بر این است که غالب داده‌ها به طور طبیعی از صحت کافی برخوردار هستند. بدیهی است که نمی‌توان از آمار ایستگاهی که دارای داده‌های غیر قابل اعتماد است برای تحلیل فراوانی استفاده کرد. منظور از یکنواختی داده‌ها این است که آمار در شرایط یکسان جمع‌آوری شده باشد. معمولاً کفایت داده‌ها به طول مدت آمارگیری مربوط می‌شود اما باید به موضوع پراکندگی ایستگاه‌های آمارگیری نیز ارتباط داشته باشد. آمارهای مشاهده و اندازه‌گیری شده فقط نمونه کوچکی از کل سیلاب‌هایی است که رخ داده است. بدیهی است با افزایش تعداد داده‌ها، ویژگی‌های آماری آن نیز به واقعیت نزدیک‌تر می‌شود. سوال قابل طرح در این رابطه اندازه طول مدت آمارهای ثبت شده از سیلاب‌ها و طغیان‌های رودخانه‌ای و کسب نتایج قابل اطمینان از تجزیه و تحلیل آنها می‌باشد. در جدول شماره ۱، تعداد سالهای آماری لازم برای بررسی سیلاب را با ۹۵ درصد اطمینان در دو حالت ۱۰ و ۲۵ درصد خطای قابل قبول نشان می‌دهد که بر اساس سری داده‌های مصنوعی بدست آمده است (مهدوی، ۱۴۰۱).

جدول ۱. طول مدت آمار مورد نیاز (سال) برای تخمین سیلاب‌هایی با احتمال مختلف و با درجه اطمینان ۹۵٪

احتمال مورد نظر در طراحی	دوره بازگشت مورد نظر به سال	طول آمار لازم با خطای قابل قبول	
		۱۰٪	۲۵٪
۰/۱	۱۰	۹۰	۱۸
۰/۰۲	۵۰	۱۱۰	۳۹
۰/۰۱	۱۰۰	۱۱۵	۴۸

به عنوان نمونه، چنانچه در نظر با شد سیلاب با دوره بازگشت ۵۰ ساله و با قبول ۱۰ درصد خطا محاسبه شود، ۱۱۰ سال آمار مورد نیاز است و اگر خطای قابل قبول به ۲۵ درصد افزایش یابد، ۳۹ سال آمار برای این موضوع کافی است. بنابراین مشاهده می شود که استفاده از آمارهای کوتاه مدت برای بدست آوردن دبی های با دوره بازگشت طولانی، دارای اشتباه قابل توجهی خواهد بود و چنین بنظر می رسد که نباید برای برای مطالعه تحلیل فراوانی از آمار کمتر از ۲۰ سال استفاده نمود. تاکنون مطالعات مختلفی در خصوص برر سی نقش طول دوره آمار در پیش بینی سیلاب، میانگین بارش سالانه، انتخاب بهترین توزیع آماری و ... انجام شده است که در ادامه به تعدادی از آنها اشاره می شود. ویکتوروف (۱۹۷۱) تأثیر طول آمار در پیش بینی سیلاب را در یکی از رودخانه های آمریکا مورد برر سی قرار داد و به این نتیجه رسید که استفاده از آمار کوتاه مدت برای محاسبه وقوع سیلاب ممکن است منجر به خطای زیادی شود و احتمال اینکه جواب صحیح از طریق آمار کوتاه مدت حاصل شود، کم است. دستورانی (۱۳۷۵) با استفاده از آمار حداکثر دبی روزانه ۱۳ ایستگاه هیدرومتری در کل کشور به بررسی تأثیر طول آمار هیدرولوژیکی در پیش بینی سیلاب در حوزه های آبخیز کشور پرداخت و نتیجه گیری نمود که با افزایش طول دوره آماری، دقت پیش بینی ها در ایستگاه ها و اقلیم های مختلف با روند خاصی افزایش می یابد و استفاده از آمار کوتاه مدت به خصوص برای پیش بینی سیلاب های با دوره بازگشت بلند مدت امکان خطاهای بسیار بالایی را به دنبال دارد و این مسئله با خشک تر شدن شرایط اقلیمی شدت بیشتری می یابد و علاوه بر آن برآزش داده های ایستگاه ها با بهترین توزیع آماری با تغییر طول دوره آماری برای توزیع های مختلف متفاوت است. مهدوی و همکاران (۲۰۱۰) داده های ۶۵ ایستگاه استان های مازندران و گلستان را با هدف انتخاب بهترین توزیع فراوانی برای تخمین میانگین بارش سالانه و ارزیابی تأثیر طول داده ها بر انتخاب توزیع مناسب مورد تجزیه و تحلیل قرار دادند و به این نتیجه رسیدند توزیع پیرسون با سری آماری ۱۵ ساله و توزیع لوگ پیرسون با سری های آماری ۲۰، ۲۵ و ۳۰ ساله، بیشترین برآزش را دارند. جوانرودی و همکاران (۱۳۹۶) با استفاده از آمار و اطلاعات دبی بیشینه روزانه ۱۷ ایستگاه هیدرومتری حوزه آبخیز سفیدرود به بررسی نقش طول دوره آمار هیدرولوژیکی در پیش بینی سیلاب در حوزه یاد شده

پرداختند. این محققین پس از بازسازی نواقص آماری و تکمیل داده ها، آمار و اطلاعات را به سری های آماری با طول دوره ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵، ۳۰ و بالاتر از ۳۰ ساله تقسیم نموده و در ادامه با استفاده از نرم افزار Smada، در سری های آماری در نظر گرفته شده، اقدام به تعیین بهترین توزیع های آماری و سیلاب های با دوره بازگشت دو، سه، پنج، ۱۰، ۲۵، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ ساله کردند. ایشان با در نظر گرفتن خطای صفر درصد برای سیلاب های پیش بینی شده با استفاده از سری های با طول دوره آماری بلندمدت (بالاتر از ۳۰ ساله) در دوره بازگشت های مختلف و مقایسه آن با سیلاب های پیش بینی شده با سری های با طول دوره آماری کوتاه مدت تر، خطای برآورد سیلاب برای همه ایستگاه های هیدرومتری محاسبه کردند و به طور کلی نتیجه گیری نمودند که با افزایش طول دوره آماری، دقت پیش بینی ها در بیشتر ایستگاه های هیدرومتری مختلف در حوزه آبخیز سفیدرود، افزایش می یابد و استفاده از آمار کوتاه مدت مخصوصاً برای پیش بینی سیلاب های با دوره بازگشت بالا، امکان خطاهای بالایی را به دنبال دارد. صادقی و همکاران (۱۳۹۶) به بررسی تغییرات زمانی عامل فرسایندگی باران در مقیاس های زمانی مختلف و نیز نقش طول دوره آماری و تعداد ایستگاه ها بر مقدار عامل فرسایندگی در هفتاد ایستگاه مطالعاتی با دوره مشترک آماری بیست سال در مقایسه با تحلیل های انجام شده در سطح کشور با هجده ایستگاه و دوره مشترک آماری بیست و سه سال و در دو دوره مطالعاتی متفاوت در ایران پرداختند. سللاجه و همکاران (۱۳۹۸) در تحقیقی روند تغییرات مناسب ترین توزیع فراوانی برای برآورد مقادیر دبی حداکثر لحظه ای سالانه با احتمالات وقوع مشخص را با تغییرات طول دوره آماری در منطقه البرز مرکزی مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد در سری های آماری ۱۰، ۱۵ و ۲۰ ساله توزیع لوگ پیرسون تیپ سه با استفاده از گشتاور معمولی از بین توزیع های مختلف، اولین توزیع بوده است. جین و همکاران (۲۰۱۸) جنبه های مختلف پیش بینی سیل، از جمله مدل های مورد استفاده، تکنیک های نوظهور جمع آوری ورودی ها و نمایش نتایج، عدم قطعیت ها و هشدارها را مورد بررسی قرار دادند. پاریزی و حسینی (۱۴۰۱) در پژوهشی، تحلیل فراوانی دبی پیک سیلاب با دوره بازگشت ۱۰۰ ساله و مدل سازی آن براساس مهم ترین عوامل تأثیرگذار بر سیلاب در ۲۰۶ حوضه آبریز در ایران را انجام دادند. تحلیل فراوانی

معروف است، از رشته کوههای جبال بارز سرچشمه گرفته و پس از اتصال دو شاخه اصلی کنارنایی و شوراب، تحت نام شور به سمت شمال حرکت کرده و به رود شورگزمی پیوندد که آن رود نیز در نهایت به شورزارهای واقع در قسمت شمالی حوضه آبریز مسیل مورد بررسی جریان می‌یابد. مساحت حوضه آبریز در محل پل مورد بررسی برابر با ۶۰۵ کیلومتر مربع است (گزارش مطالعات مرحله اول پل کیلومتر ۶۶، مهندسین مشاور ساتروپات پل).

۲- روند انجام شده برای تعیین حداکثر دبی سیلاب در مطالعات پیشین

در این بخش روند انجام شده برای تعیین حداکثر دبی سیلاب با دوره بازگشت ۱۰۰ ساله در محل پل مورد بررسی، ارائه می‌شود.

۲-۱- شبکه هیدرومتری و مشخصات ایستگاه‌های

هیدرومتری موجود و مرتبط با منطقه مورد مطالعه

از میان ایستگاه‌های هیدرومتری موجود در حوضه آبریز مسیل شور و حوضه‌های مجاور آن که خصوصیات مشابه با حوضه آبریز مورد مطالعه را دارند ایستگاه‌های رمزرج، یالخری، رحمت آباد، آدوری و انجیرک برای بررسی آماری مناسب اعلام شده است. مشخصات این ایستگاه‌ها شامل نام رودخانه، سطح حوضه آبریز، ارتفاع و مقدار سالهای آماری موجود (در زمان انجام مطالعات) در جدول شماره ۲ ارائه شده است. موقعیت ایستگاه‌های مورد بررسی نیز در شکل ۱ آمده است.

سیلاب براساس داده‌های دبی حداکثر لحظه‌ای سالانه و برازش توزیع‌های پیوسته مرسوم انجام شده است.

همانگونه که اشاره شد، طول دوره آماری در محاسبه دبی حداکثر سیلاب به تعداد سال‌هایی که داده‌های هیدرولوژیکی جمع‌آوری شده‌اند، اشاره دارد. این طول دوره برای برآورد احتمالات وقوع سیلاب‌های مختلف و طراحی سازه‌های هیدرولیکی از اهمیت بالایی برخوردار است. هر چه طول دوره آماری بیشتر باشد، دقت برآوردها نیز افزایش می‌یابد. در این مقاله نقش طول دوره آماری و تعداد داده‌ها بر حداکثر دبی سیلاب با دوره بازگشت‌های متفاوت در محل چهار ایستگاه هیدرومتری که در یک منطقه در حوضه آبریز مرکزی قرار دارند، بررسی می‌شود. همچنین اثر طول دوره آماری بر نتایج رابطه دبی-مساحت، رابطه تجربی فولر و روش تحلیل منطقه‌ای سیلاب در محل پل رودخانه‌ای مسیل شور که در منطقه مورد بررسی واقع شده و فاقد ایستگاه هیدرومتری بر روی مسیل یاد شده است، نیز مورد ارزیابی قرار می‌گیرد.

۱-۱- مشخصات حوضه آبریز در محل پل مورد بررسی

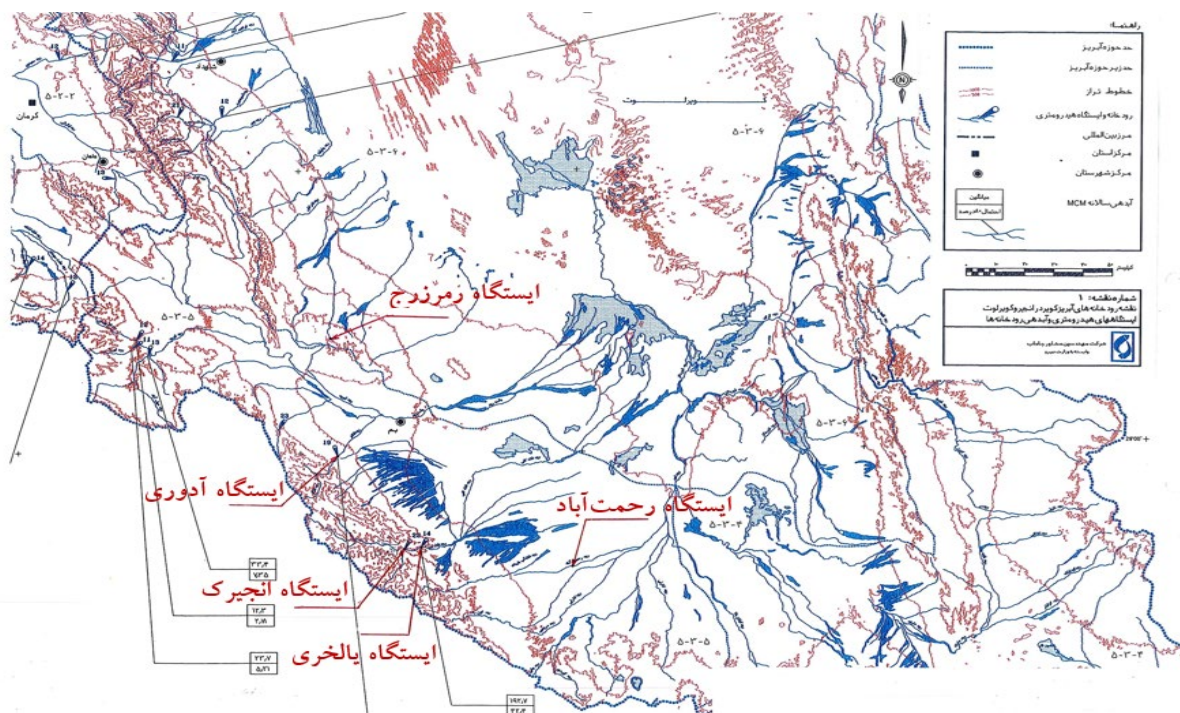
مطالعات مرحله اول و دوم پل واقع در کیلومتر ۶۶ محور رستم آباد-ریگان-بزمان-ایران‌شهر که توسط مهندسین مشاور ساتروپات پل در سال ۱۳۸۳ انجام شده است، در این بخش مورد بررسی قرار می‌گیرد. مسیل مورد مطالعه از زیر پل هشتصد متری واقع در جاده موجود محمد آباد ریگان-بزمان (حدود ۱۰۰ کیلومتری شرق ارگ جدید بم) عبور می‌نماید، در داخل حوضه آبریز کویر لوت که جزئی از فلات مرکزی ایران است، قرار گرفته است. مسیل یاد شده که به مسیل شور

جدول ۲. مشخصات ایستگاه‌های هیدرومتری موجود بر روی مسیل شور و رودخانه‌های مجاور آن

رودخانه	نام ایستگاه	کد ایستگاه	سطح حوضه (کیلومتر مربع)	ارتفاع (متر)	طول آمار (سال)
اسطور	رمزرچ	۰۶۳-۴۲	۱۲۴	-	۱۰
نساء بم	یالخری	۰۰۱-۴۵	۸۷۳	۱۰۰۰	۲۱
شور	رحمت آباد	۰۰۴-۴۵	--	۶۸۰	--
تلنگو	آدوری	۰۱۳-۴۵	۲۷۶	۱۶۹۰	۲۴
نساء	انجیرک	۰۲۰۵-۴۵	۶۷۰	۱۴۸۰	۸

روزانه و حداکثر دبی لحظه‌ای ایستگاه‌های هیدرومتری مشخص شده در جدول شماره ۲، در جدول شماره ۳ ارائه شده است.

ایستگاه رحمت آباد ریگان که فاصله بسیاری نزدیکی با پل مورد بررسی دارد، فاقد اطلاعات ثبت شده است. مقادیر حداکثر دبی



شکل ۱. موقعیت ایستگاه‌های هیدرومتری موجود بر روی مسیل شور و رودخانه‌های مجاور آن

۲-۲- تعیین تناوب دبی پیک سیلاب رودخانه‌ها در محل ایستگاه‌های هیدرومتری و محل پل مورد مطالعه

حداکثر دبی لحظه‌ای در سال ۱۳۶۱ به مقدار ۶۴,۶۵ مترمکعب بر ثانیه تعیین گردید. با توجه به اینکه ایستگاه‌های یالخری و انجیرک هر دو بر روی یک رودخانه واقع شده‌اند با ایجاد همبستگی بین دبی‌های لحظه‌ای دو ایستگاه، آمار ایستگاه انجیرک با استفاده از رابطه زیر تطویل شده است.

$$Q_i(\text{Anjirak}) = 0.7644Q_i(\text{Yalkheri}) + 10.711$$

بر اساس آن، دبی‌های سیلابی بر اساس جدول شماره ۴ استخراج شده است. لازم به ذکر است از بین توزیع‌های آماری مورد بررسی، در کلیه ایستگاه‌ها، توزیع لوگ نرمال سه پارامتری دارای کمترین خطای استاندارد بوده است.

در مطالعات انجام شده، با توجه به اینکه تعداد سالهای آماری ایستگاه‌های مورد استفاده متفاوت است لذا در ابتدا، محدوده زمانی ۲۵ سال (سال آبی ۱۳۵۴ تا سال آبی ۱۳۷۸) به عنوان دوره آماری مشترک انتخاب شده است. در ادامه بازسازی نواقص آماری انجام شده است بدین صورت که با استفاده از ایجاد همبستگی بین دبی روزانه و لحظه‌ای ایستگاه زمرزج،

(۱)

پس از مشخص نمودن آمار نهایی حداکثر دبی لحظه‌ای در محل ایستگاه‌های هیدرومتری، با استفاده از برنامه کامپیوتری FRQ، بهترین توزیع فراوانی از لحاظ همپوشانی آماری (توزیع با کمترین خطای استاندارد) برای هر ایستگاه انتخاب و سپس

جدول ۳. مقادیر حداکثر دبی روزانه (Q_d) و حداکثر دبی لحظه‌ای (Q_i) ایستگاه‌های هیدرومتری مورد بررسی بر حسب (m^3/s)

ایستگاه انجیرک		ایستگاه آدوری		ایستگاه بالخری		ایستگاه رمزرج		سال آماری
Q_i	Q_d	Q_i	Q_d	Q_i	Q_d	Q_i	Q_d	
		104	99					1354
		69.7	67.98					1355
		82	66.1					1356
		61	51.7	239.7	210.41			1357
		195.5	182.5					1358
		192.5	141.79	260	139.9			1359
		120	68.42	184	132.21			1360
		76	40.83	298	168.47		37.8	1361
		11.1	5.17	125.5	38.49			1362
		118	38.82	244	133.54			1363
		14.6	8.12	82.7	36.98			1364
		87.7	50.75	246.9	162.34			1365
		89.7	29.6	159.3	128.5			1366
		14	117	780	446.7			1367
		20	36	64	29	5	3.38	1368
		153	114	690	233.3			1369
		58	39	330	280.5	12.5	7.6	1370
590	403	260	175.8	750	728	48	45.5	1371
78	51.2	70	19	85	46.3	55	8.8	1372
320	166.2	90	58.1	350	172.1	20	20	1373
442.5	313.3	175.1	62.44	553	254.5	18.2	14.05	1374
145	75.2			164	58	5.8	1.99	1375
192.8	105.8	94	47.41	368	157.02	6.4	3.68	1376
345	153.2	94.3	61.2	406.2	180.7	19.9	9.97	1377
125	83.2	34	15.4	140	101.2	0.3	0.35	1378

جدول ۴. حداکثر دبی‌های سیلابی (مترمکعب بر ثانیه) ایستگاه‌های هیدرومتری به ازای دوره بازگشت‌های مختلف (سال)

نام ایستگاه	T= 2	T= 5	T= 10	T= 20	T= 50	T= 100
رمزرج	20.70	40.56	52.62	63.56	77.05	86.8
بالخری	297.76	473.12	595.22	708.77	852.15	957.89
آدوری	87.53	143.95	178.53	210.10	249.23	277.62
انجیرک	223.98	373.45	468.07	556.24	667.75	750.10

در گزارش مهندسیین مشاور سه روش شامل، رابطه دبی-مساحت، استفاده از رابطه تجربی فولر با کالیبره کردن ضرایب آن برای منطقه طرح و تجزیه و تحلیل منطقه‌ای سیلاب برای تعیین دبی پیک سیلاب مورد استفاده قرار گرفته است.

الف) رابطه دبی-مساحت

رابطه $Q = CA^n$ که رابطه معروفی از نوع روابط دبی-مساحت است، برای تعیین حداکثر دبی لحظه‌ای در محل پل بکار برده شده است. از مقایسه و شبیه سازی دبی با دوره بازگشت سیلابی ۱۰۰ ساله مندرج در جدول شماره ۴، مقدار α برابر با ۰/۹۲۴ تخمین زده شده است.

در ادامه با استفاده از دبی ۱۰۰ ساله ایستگاه هیدرومتری یالخری (Q_1)، دبی در محل پل مورد بررسی (Q_2) بصورت زیر تعیین شده است.

$$\left(\frac{Q_1}{Q_2}\right) = \left(\frac{A_1}{A_2}\right)^\alpha = \left(\frac{957.89}{Q_2}\right) = \left(\frac{873}{605}\right)^{0.924} \rightarrow Q_2 = 682.59 \frac{m^3}{s}$$

ب) استفاده از رابطه تجربی فولر با کالیبره کردن ضرایب آن برای منطقه طرح

در روش دوم، از رابطه تجربی فولر برای محاسبه حداکثر دبی با دوره بازگشت ۱۰۰ ساله در محل پل استفاده شده است.

$$Q_{max} = C \cdot A^{0.8} (1 + \beta \log T) \quad (2)$$

$$Q_p = Q_{max} (1 + 2.66A^{-0.3})$$

ج) استفاده از تحلیل منطقه‌ای سیلاب

در این روش، با انجام تجزیه و تحلیل منطقه‌ای سیلاب، مقدار دبی سیلاب طرح در محل پل مورد مطالعه تعیین می‌گردد. در حوضه‌های فاقد آمار یا آمار محدود، نمی‌توان از توزیع‌های آماری استفاده کرد. در چنین مواردی یکی از راه‌ها برای برآورد دبی سیل با دوره‌های بازگشت مورد نظر، انجام تجزیه و تحلیل سیلاب منطقه‌ای است. در روش تجزیه و تحلیل منطقه‌ای سیلاب ابتدا دبی متوسط سیل حوضه از روش‌های مختلفی مانند رابطه سطح حوضه و یا روابط بین دبی با بارندگی و خصوصیات فیزیکی حوضه بدست می‌آید سپس دبی پیک سیلاب در دوره‌های بازگشت مختلف محاسبه می‌گردد. مراحل انجام این روش در ماترجا (۱۹۹۲) آمده است. در مطالعات انجام شده توسط مهندسین مشاور، با توجه به اینکه وضعیت هیدرولوژیکی ایستگاه‌های رمزرج، یالخری، آدوری و انجیرک مشابه با حوضه آبریز پل مسیل شور بوده است، لذا ایستگاه‌های مذکور به عنوان ایستگاه‌های پایه برای این روش در نظر گرفته شده‌اند و با استفاده از توزیع گمبل (رابطه شماره ۳) دبی سیلابی ایستگاه‌های یاد شده به ازای دوره بازگشت‌های مختلف مطابق جدول ۵ تعیین شده است.

در این رابطه، T : دوره بازگشت سیل (سال)، C : ضریبی است که مقدار آن بسته به شیب و پوشش حوضه بین ۰/۰۳ تا ۲/۸ متغیر است، A : مساحت حوضه (کیلومتر مربع) و β : ضریب طغیان منطقه است که معمولاً برای حوضه‌های نرمال برابر با ۰/۸ است. Q_p و Q_{max} نیز به ترتیب حداکثر دبی متوسط ۲۴ ساعته در دوره بازگشت T سال و حداکثر دبی پیک لحظه‌ای مربوط به آن دوره بازگشت بر حسب مترمکعب بر ثانیه است (مهدوی، ۱۴۰۱). با استفاده از داده‌های ایستگاه‌های هیدرومتری یالخری و انجیرک مقدار ضریب C برای مسیل شور برابر با ۱/۲ در نظر گرفته شده است و با استفاده از رابطه شماره ۲، حداکثر دبی با دوره بازگشت سیلاب در محل پل مورد بررسی برابر با ۷۲۸/۴۱ مترمکعب بر ثانیه تعیین گردید.

$$Q_{Tr} = \bar{Q} + (0.7797Y_T - 0.45) \cdot S \quad (3)$$

$$Y = -\ln \left[-\ln \left(1 - \frac{1}{T} \right) \right]$$

در این رابطه، Y متغیر کوچک شده نامیده می‌شود و Q و S به ترتیب میانگین و انحراف از معیار داده‌ها است.

جدول ۵. دبی سیلابی ایستگاه‌های مورد بررسی به ازای دوره بازگشت‌های مختلف به روش گمبل

ایستگاه انجیرک	ایستگاه آدوری	ایستگاه یالخری	ایستگاه رمزرج	دوره بازگشت (سال)
$A=670 \text{ Km}^2$	$A=276 \text{ Km}^2$	$A=873 \text{ Km}^2$	$A=124 \text{ Km}^2$	
248.23	95.25	310.73	23.28	2.33
368.25	140.60	465.99	39.25	5
466.00	177.54	592.44	52.26	10
599.76	212.98	713.73	64.74	20
681.13	258.85	870.74	80.90	50
772.08	293.22	988.39	93.01	100

از آنها روی محور مختصات انتقال داده و بهترین رابطه به صورت $Q=0.3583A$ تعیین شده است. با توجه به سطح حوضه آبریز پل مورد بررسی (۶۰۵ کیلومتر مربع)، دبی متوسط سیل با استفاده از رابطه یاد شده برابر با ۲۱۶۷۷ مترمکعب بر ثانیه تعیین شده و حداکثر دبی پیک سیلاب به ازاء دوره‌های بازگشت مختلف در محل پل نیز در جدول شماره ۷ محاسبه شده است.

در ادامه آزمون یکنواختی (تست همگنی) ایستگاه‌ها برای تعیین ایستگاه‌های همگن مطابق روش لانگبین انجام شده است که نتیجه آن نشان داد که هر چهار ایستگاه هیدرومتری مورد پذیرش قرار گرفته و همگن می‌باشند. در ادامه نسبت بدون بعد دبی سیلاب به ازای دوره بازگشت معین در یک ایستگاه به متوسط دبی سیلاب همان ایستگاه مطابق جدول شماره ۶ محاسبه شده است. دبی متوسط سیل در چهار ایستگاه هیدرومتری مورد بررسی را با توجه به مساحت حوضه هر یک

جدول ۶. تعیین نسبت بدون بعد دبی سیلاب به ازای دوره بازگشت معین در یک ایستگاه به متوسط دبی سیلاب همان ایستگاه

دوره بازگشت سیل بر حسب سال						ایستگاه
100	50	20	10	5	2.33	
4.00	3.48	2.78	2.25	1.69	1	رمزرچ
3.18	2.80	2.30	1.91	1.50	1	یالخری
3.08	2.72	2.24	1.86	1.48	1	آدوری
3.11	2.74	2.25	1.88	1.48	1	انجیرک
3.34	2.93	2.39	1.97	1.54	1	میانگین

مهند سین مشاور با توجه به دقت بیشتر روش تحلیل منطقه‌ای سیلاب و واقعی‌تر بودن آن، مقدار حداکثر دبی سیلاب طرح با دوره بازگشت ۱۰۰ سال مسیل شور در محل پل مورد مطالعه را برابر با ۷۲۵ متر مکعب بر ثانیه در نظر گرفته و مبنای مطالعات هیدرولیکی پل قرار دادند.

مقادیر حداکثر دبی ۱۰۰ ساله در محل پل کیلومتر ۶۶ محور رستم آباد- ریگان- بزمان - ایرانشهر با استفاده از روش‌های دبی- مساحت، رابطه تجربی فولر و تحلیل منطقه‌ای سیلاب به ترتیب برابر با ۶۸۳، ۷۲۹ و ۷۲۵ متر مکعب بر ثانیه برآورد شده است که تفاوت آنها با یکدیگر کمتر از ۷ درصد است.

جدول ۷. مقادیر حداکثر دبی لحظه‌ای سیلاب در محل پل کیلومتر ۶۶ مسیل شور (متر مکعب بر ثانیه)

ردیف	T (سال)	میانگین نسبت دبی‌ها (بدون بعد)	حداکثر دبی لحظه‌ای در محل پل مورد مطالعه
1	2.33	1	216.77
2	5	1.54	333.05
3	10	1.97	427.76
4	20	2.39	518.61
5	50	2.93	636.21
6	100	3.34	724.33

۳- بررسی تغییرات حداکثر دبی سیلاب با افزایش طول دوره آماری ایستگاه‌های هیدرومتری

در مطالعات حاضر که در سال ۱۴۰۴ انجام گرفت با مراجعه به شرکت مدیریت منابع ایران که زیر مجموعه وزارت نیرو است، نسبت به اخذ آمار حداکثر دبی‌های لحظه‌ای ایستگاه‌های

همانگونه که قبلاً نیز عنوان شد، مطالعات انجام شده برای پل مسیل شور، در سال ۱۳۸۳ انجام شده است و آمار ایستگاه‌های هیدرومتری تا سال ۱۳۷۸ مورد استفاده قرار گرفته است.

نیز دارد، همچنان فاقد اطلاعات ثبت شده است. با عنایت به جدول یاد شده علی‌رغم عدم ثبت آمار سیلاب در سال‌های ۱۳۹۵ و ۱۳۹۶، ۱۷ سال به طول دوره آماری مورد بررسی اضافه گردید که در محاسبات آماری عدد قابل توجهی است.

هیدرومتری جدول شماره ۲ اقدام گردید. آمار ایستگاه‌های هیدرومتری تا سال ۱۳۹۷ موجود و در دسترس بود که مقادیر حداکثر دبی‌های لحظه‌ای ایستگاه‌های رمزرج، یالخری، آدوری و انجیرک در جدول شماره ۸ ارائه شده است. متأسفانه ایستگاه رحمت آباد ریگان که فاصله بسیار نزدیکی با پل مورد بررسی

جدول ۸. مقادیر حداکثر دبی لحظه‌ای (Qi) ایستگاه‌های هیدرومتری مورد بررسی از سال ۱۳۷۹ تا ۱۳۹۷ بر حسب (متر مکعب بر ثانیه)

سال آماری	ایستگاه رمزرج	ایستگاه یالخری	ایستگاه آدوری	ایستگاه انجیرک
1379		12.5	73	125
1380	15	242	45	305
1381	22	-	-	
1382	2.3	110	60.7	
1383	6.67	287.67	145.57	
1384	1.89	417.92	118.57	
1385	4.33	451.12	190.01	
1386		70.8	108.08	
1387	4.519	195.68	53.665	
1388	36.234	37.2	35.2	
1389	2.2	83.173	128.24	
1390	2.324		136.22	
1391	8.172	38.75	135.6	
1392	3.311	8.25	240.05	
1393	4.216	5.153	43.383	
1394	1.747	4.946	232.37	
1395				
1396				
1397	15.1	34.2	200	

همبستگی بین ایستگاه‌ها استفاده شده است. در این روش با انتخاب یک ایستگاه شاهد که دارای آمار طولانی‌تر می‌باشد آمار ایستگاه ناقص تکمیل می‌شود. با توجه به اینکه ایستگاه‌های یالخری و انجیرک هر دو بر روی یک رودخانه واقع شده‌اند، با ایجاد همبستگی بین دبی‌های لحظه‌ای دو ایستگاه، آمار ایستگاه انجیرک تطویل شد. مقادیر میانگین، انحراف از معیار و ضریب چولگی داده‌ها بر اساس آمار مطالعات قبلی (دوره آماری ۲۵ ساله) و بررسی‌های حاضر (دوره آماری ۴۴ ساله) مطابق جدول شماره ۹ است.

با توجه به اعداد ذکر شده در جدول شماره ۹، ملاحظه می‌شود که در ایستگاه‌های رمزرج، یالخری و انجیرک، با افزایش طول دوره آماری مقادیر میانگین و انحراف معیار داده‌ها، کاهش و مقادیر ضریب چولگی افزایش یافته است این در حالی است که

با توجه به مطالب ارائه شده در قسمت قبل، برای تعیین دبی پیک سیلاب در محل ایستگاه‌های هیدرومتری مشخص شده در جدول شماره ۳ و ۸ و به ازاء دوره بازگشت‌های مختلف از برآزش داده‌های مذکور با توزیع‌های آماری مناسب استفاده شده است. با توجه به اینکه تعداد سال‌های آماری ایستگاه‌های مورد استفاده متفاوت است، لذا در ابتدا، محدوده زمانی ۴۴ سال (سال آبی ۱۳۵۴ تا سال آبی ۱۳۹۷) به عنوان دوره آماری مشترک انتخاب شده است. با توجه به وجود نواقص در آمار ایستگاه‌های هیدرومتری در ابتدا بازسازی نواقص آماری انجام شده است. روش‌های مختلفی برای بازسازی نواقص آماری وجود دارد که می‌توان به روش استفاده از ایستگاه‌های معرف، روش محور مختصات، روش همبستگی بین ایستگاه‌ها و ... اشاره کرد. در این مطالعه برای بازسازی نواقص آماری از روش

می دهد. بیشترین درصد تغییرات در پارامترهای آماری در ایستگاه رمزرگ روی داده است.

در ایستگاه آدوری برخلاف سه ایستگاه دیگر با افزایش طول دوره آماری مقادیر میانگین و انحراف معیار حداکثر دبی لحظه‌ای، افزایش و مقادیر ضریب چولگی کاهش را نشان

جدول ۹. مقایسه مقادیر میانگین، انحراف از معیار و ضریب چولگی داده‌ها بر اساس دوره آماری ۲۵ و ۴۴ ساله

نام ایستگاه	میانگین		انحراف از معیار		ضریب چولگی	
	دوره آماری ۲۵ ساله	دوره آماری ۴۴ ساله	دوره آماری ۲۵ ساله	دوره آماری ۴۴ ساله	دوره آماری ۲۵ ساله	دوره آماری ۴۴ ساله
رمزرگ	23.25	14.84	22.24	17.46	0.731	1.545
یالخری	310.49	236.66	216.12	206.06	0.94	1.06
آدوری	95.18	105.75	63.14	64.59	0.778	0.598
انجیرک	248.05	202.49	167.06	157.42	0.955	1.017

۳-۱- تعیین بهترین توزیع آماری برای ایستگاه‌های هیدرومتری و تناوب دبی پیک سیلاب رودخانه‌ها در محل هر ایستگاه

نرم افزار SMADA استفاده شده است. یکی از روشهای انتخاب بهترین توزیع آماری مناسب برای داده‌های مورد نظر، محاسبه مجموع مربعات باقی مانده برای هر یک از توزیع‌ها می‌باشد. بهترین توزیع دارای کمترین مقدار مجموع مربعات باقی مانده است. بنابراین آن توزیع برای تعیین داده‌های مورد نظر انتخاب می‌شود. خلاصه نتایج در جدول شماره ۱۰ ارائه شده است. با توجه به ضریب چولگی مثبت داده‌ها (جدول ۹) صرفاً توزیع‌های لوگ نرمال سه متغیره، پیرسون نوع سوم، لوگ پیرسون نوع سوم و گمبل در جدول شماره ۱۰ آمده است.

پس از مشخص شدن آمار دبی پیک سالانه برای هر ایستگاه، برای تعیین حداکثر دبی لحظه‌ای به ازاء دوره بازگشت‌های مختلف از توزیع‌های آماری استفاده می‌شود. توزیع نرمال، توزیع لوگ نرمال، توزیع لوگ نرمال سه پارامتری، توزیع پیرسون نوع سوم، توزیع لوگ پیرسون نوع سوم و توزیع گمبل یا توزیع مقادیر حد نوع یک از توزیع‌های متداول در هیدرولوژی برای داده‌های پیوسته می‌باشند. در این گزارش برای تعیین دبی پیک به ازاء دوره بازگشت‌های مختلف با استفاده از توزیع‌های آماری اشاره شده از مدول DISTRIB

جدول ۱۰. مقادیر مجموع مربعات باقی مانده برای توزیع‌های مختلف آماری در ایستگاه‌های هیدرومتری

ایستگاه	لوگ نرمال سه پارامتری	پیرسون	لوگ پیرسون	گمبل
رمزرگ	5.97	4.83	3.6	6.23
یالخری	43.07	36.32	25.93	41.17
آدوری	9.47	8.60	5.85	10.07
انجیرک	31.74	26.76	18.62	29.96

با توجه به جدول فوق، بهترین توزیع آماری برای همه ایستگاه‌ها، توزیع لوگ پیرسون نوع سوم می‌باشد این در حالی است که در بررسی‌های قبلی و بر اساس دوره آماری ۲۵ ساله، توزیع لوگ نرمال سه پارامتری برازش مناسب‌تری را به داده‌ها نشان داده بود. ملاحظه می‌شود که برازش داده‌های ایستگاه‌ها

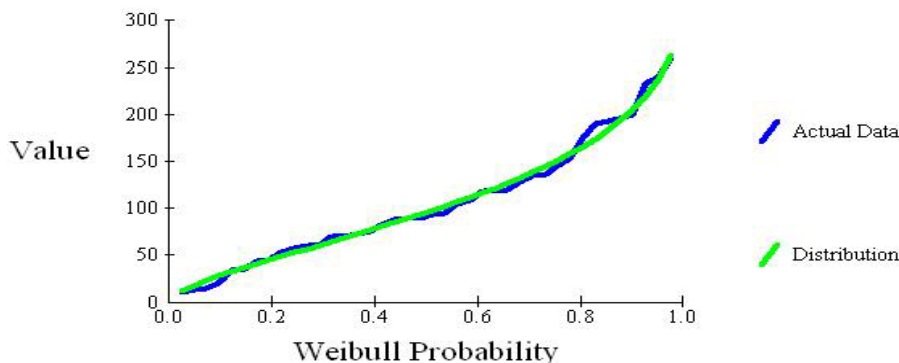
با توجه به جدول فوق، بهترین توزیع آماری برای همه ایستگاه‌ها، توزیع لوگ پیرسون نوع سوم می‌باشد این در حالی است که در بررسی‌های قبلی و بر اساس دوره آماری ۲۵ ساله، توزیع لوگ نرمال سه پارامتری برازش مناسب‌تری را به داده‌ها نشان داده بود. ملاحظه می‌شود که برازش داده‌های ایستگاه‌ها

بازگشت‌های مختلف و با استفاده از بهترین توزیع آماری برای هر ایستگاه (لوگ پیرسون نوع سوم) با استفاده از مدول DISTRIB نرم‌افزار SMADA ارائه شده است.

۲ ارائه شده است. با توجه به شکل یاد شده، تطابق نسبی مناسبی بین توزیع‌های آماری و احتمال تجربی داده‌ها برای ایستگاه مذکور برقرار است.

در جدول شماره ۱۱ مقادیر حداکثر دبی پیک سیلابی ایستگاه‌های رمزرج، یالخری، آدوری و انجیرک به ازاء دوره

Log Pearson Type III



شکل ۲. تطابق نسبی مناسب بین احتمال تجربی داده‌ها و توزیع لوگ پیرسون نوع سوم در ایستگاه یالخری

جدول ۱۱. حداکثر دبی‌های سیلابی (مترمکعب بر ثانیه) ایستگاه‌های هیدرومتری به ازای دوره بازگشت‌های مختلف (سال)، دوره آماری ۴۴ ساله

نام ایستگاه	T= 2	T= 3	T= 5	T= 10	T= 25	T= 50	T= 100	T= 200
رمزرج	8.31	14.38	23.52	38.71	63.69	86.30	112.10	141.09
یالخری	177.11	288.91	421.62	581	751.05	851.11	929.99	991
آدوری	95.57	129.03	164.24	203.62	244.70	269.43	289.82	306.63
انجیرک	158.58	233.4	324.89	446.08	600.48	712.39	819.7	922.16

در این جدول در صد تغییرات دبی نسبت به نتایج دوره آماری ۲۵ ساله ارائه شده است.

در جدول شماره ۱۲ مقادیر سه مقادیر حداکثر دبی لحظه‌ای برای هر ایستگاه با استفاده از دوره آماری ۴۴ ساله (جدول ۱۱) و دوره آمار ۲۵ ساله (جدول ۴) نشان داده شده است.

جدول ۱۲. درصد تغییرات حداکثر دبی‌های سیلابی با استفاده از دوره آماری ۴۴ ساله و ۲۵ ساله نسبت به دوره آماری ۲۵ ساله

نام ایستگاه	T= 2	T= 5	T= 10	T= 50	T= 100
رمزرج	-59.86	-42.01	-26.43	12.01	29.15
یالخری	-40.52	-10.89	-2.39	-0.12	-2.91
آدوری	9.19	14.10	14.05	8.10	4.39
انجیرک	-29.20	-13.00	-4.70	6.69	9.28

برای دوره بازگشت‌های ۵۰ و ۱۰۰ ساله، حداکثر دبی لحظه‌ای روند صعودی داشته و با افزایش دوره بازگشت، درصد افزایش آن نیز بیشتر شده است. در ایستگاه یالخری مقادیر دبی در کلیه

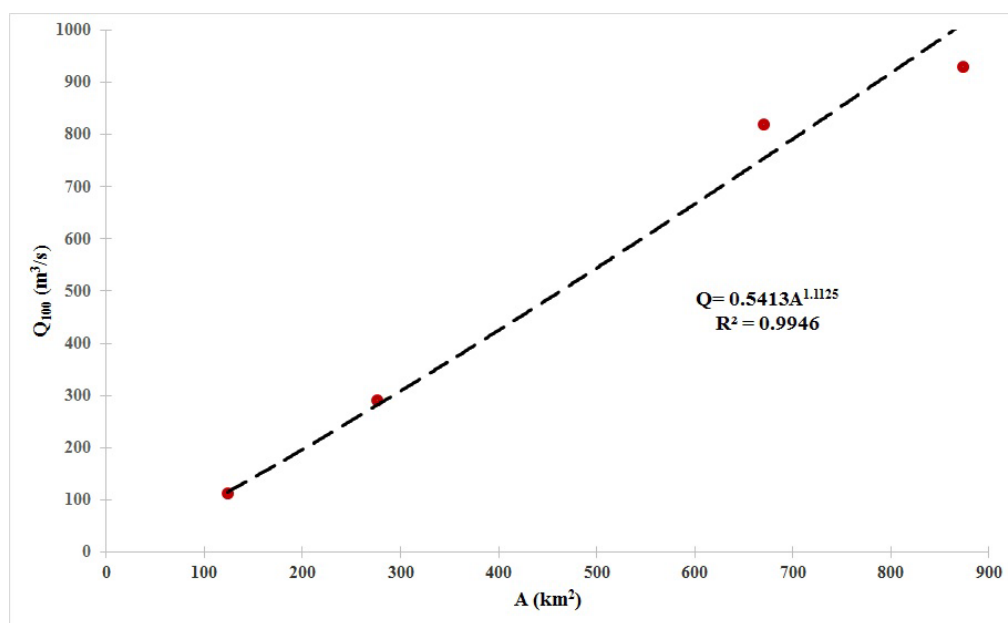
همانگونه که ملاحظه می‌شود در ایستگاه‌های رمزرج و انجیرک و در دوره بازگشت‌های کوتاه (۲، ۵ و ۱۰ سال) مقادیر دبی روند کاهشی را تجربه نموده است این در حالی است که

در رابطه مذکور C ضریبی است که به شرایط اقلیمی، جغرافیایی و خصوصیات یک حوضه بستگی داشته و برای یک حوضه مشخص مقدار ثابتی خواهد بود. از طرف دیگر با افزایش سطح حوضه شیب حوضه کاهش یافته و دشتهای سیلابی و مناطق نفوذ پذیر متعدد در داخل حوضه تأثیر زیادی بر حجم سیلاب می گذارند. این خصوصیات بر پارامتر n مؤثرند (مهدوی، ۱۴۰۱). با استفاده از اعداد جدول شماره ۱۱ و مساحت حوضه آبریز هر یک از ایستگاهها، رابطه دبی سطح به ازاء دورههای بازگشت متفاوت تعیین می شود. رابطه دبی - سطح به ازای دوره بازگشت ۱۰۰ ساله بصورت $Q=0.5413A^{1.1125}$ با ضریب همبستگی $R^2=0.995$ استخراج گردید (شکل شماره ۳). با استفاده از رابطه بدست آمده و جاگذاری مساحت حوضه آبریز پل مورد مطالعه (۶۰۵ کیلومتر مربع)، دبی پیک سیلاب به ازای دوره بازگشت ۱۰۰ سال برابر با ۶۷۳ مترمکعب بر ثانیه تعیین می شود. لازم به ذکر است چنانچه همین روند بر اساس نتایج دوره آماری ۲۵ ساله (جدول شماره ۴) انجام شود، مقدار دبی برابر با ۶۵۰ متر مکعب بر ثانیه محاسبه می شود. اگرچه مقدار دبی مقداری افزایش و در حدود ۳/۵ درصد را نشان می دهد، اما نتایج تقریباً یکسان است.

دوره بازگشتها بر اساس دوره آماری ۴۴ ساله کمتر از دوره آماری ۲۵ ساله است که مقادیر درصد تغییرات در دوره بازگشتهای کوتاهتر، بیشتر است. بررسی نتایج برای ایستگاه آدوری مبین افزایش مقادیر دبی در کلیه دوره بازگشتها بر اساس دوره آماری ۴۴ ساله است. متوسط افزایش دبی در این ایستگاه در حدود ۱۰ درصد است. به منظور بررسی و مقایسه اثر افزایش طول دوره آماری بر مقدار دبی پیک سیلاب رودخانه در محل پل مسیل شور، در ادامه این بخش سه روش استفاده شده قبلی شامل، رابطه دبی - مساحت، استفاده از رابطه تجربی فولر با کالیبره کردن ضرایب آن برای منطقه طرح و تجزیه و تحلیل منطقه ای سیلاب مورد استفاده قرار گرفته است.

۳-۲- رابطه دبی - مساحت

در منطقه مورد مطالعه می توان بین برخی خصوصیات فیزیوگرافی حوضه مانند سطح حوضه آبریز (A) و حداکثر دبی لحظه ای یک رابطه رگرسیونی برقرار کرد. معمولاً رابطه بین سطح حوضه و دبی پیک سیلاب به صورت $Q = C A^n$ می باشد که در آن C و n ضرایبی هستند که بر اساس رگرسیون هر منطقه باید تعیین شوند (سوبرامانیا، ۲۰۰۸). پس از تعیین ضرایب مذکور با داشتن مساحت حوضه مورد نظر می توان حداکثر دبی پیک لحظه ای آن را تعیین کرد.



شکل ۳. رابطه حداکثر دبی ۱۰۰ ساله ایستگاههای هیدرومتری با مساحت آن بر اساس دوره آماری ۴۴ ساله

۳-۳-۳- رابطه تجربی

در استفاده از روابط تجربی، باید به این نکته توجه نمود که آنها برای شرایط خاصی به دست آمده و بنابراین برای شرایط مشابه، نتایج مناسبی به دست خواهد داد. چنین روابطی، دوره بحرانی و توزیع رگ بارها و رطوبت اولیه زمین را در نظر نمی‌گیرند. داده‌های این فرمول‌ها می‌تواند از رکورد‌هایی با طول‌های مختلف، سیل‌هایی با شکل‌های کاملاً متفاوت هیدروگراف یا از مناطقی با هواشناسی ناهمگن حاصل شود. در استخراج این روابط، فرض می‌شود که رودخانه‌ها همان مشخصه‌های سیلاب‌های ثبت شده را دارد و از احتمال وقوع سیلاب شدیدتر از آنچه در گذشته اتفاق افتاده است، صرف‌نظر می‌شود (گش، ۱۹۹۷). از جمله مسائل مهم در استفاده از روابط تجربی، کالیبره کردن ضرایب آن برای منطقه مورد مطالعه است. در بیشتر روابط تجربی ارائه شده، هیچ بحثی از اینکه دبی محاسبه شده بر اساس چه دوره بازگشتی است، نشده است ولی در پاره‌ای از فرمول‌های تجربی عامل دوره بازگشت (T) نیز لحاظ شده است که از آن جمله می‌توان به رابطه هورتون، رابطه فولر، رابطه کمیسیون مرکزی آب و برق هند و رابطه انستیتوی تحقیقات آبیاری رورکی اشاره کرد. به منظور مقایسه با مطالعات قبلی، در این بخش نیز از رابطه فولر استفاده می‌شود. در استفاده از رابطه فولر (معادله ۲) چنانچه ضریب β که ضریب طغیان منطقه است برابر با $0/8$ (حوضه‌های نرمال) در نظر گرفته شود، تنها ضریب باقی مانده ضریب C است که با استفاده از مقادیر دبی با دوره بازگشت ۱۰۰ ساله در ایستگاه‌های رمزرزج، یالخری، آدوری و انجیرک قابل محاسبه است. با توجه به تغییرات ضریب یاد شده با مساحت حوضه و بررسی‌های انجام شده، مقدار ضریب C برابر با $1/1$ تعیین می‌شود. بر این اساس و با توجه به سطح حوضه آبریز در محل پل مورد مطالعه، مقدار حداکثر دبی سیلاب با دوره بازگشت ۱۰۰ ساله با استفاده از رابطه تجربی فولر برابر با $667/7$ مترمکعب بر ثانیه محاسبه می‌شود. با توجه به اینکه براساس دوره آماری ۴۴ ساله، ضریب C در حدود ۹ در صد کمتر از دوره آماری ۲۵ ساله است، بنابراین مقدار دبی نیز به همین مقدار کاهش یافته است.

۳-۴- تجزیه و تحلیل منطقه‌ای سیلاب

همانگونه که عنوان شد، یکی از روش‌های مناسب برای برآورد دبی سیل با دوره‌های بازگشت مورد نظر در حوضه‌های فاقد آمار یا آمار محدود، انجام تجزیه و تحلیل سیلاب منطقه‌ای است. برای استفاده از توزیع گمبل دو روش تحلیلی و استفاده از جداول فراوانی توزیع وجود دارد (ماترجا، ۱۹۹۲). در مطالعات انجام شده توسط مهندسین مشاور، مقدار ضریب فراوانی (K)، از رابطه $0.7797Y_T - 0.45$ که در روش تحلیلی مورد استفاده قرار می‌گیرد، محاسبه شده است. رابطه یاد شده برای حالتی است که تعداد داده‌ها زیاد (بیش از ۱۰۰ داده) باشد. هنگامی که تعداد داده‌ها کم است، ضریب تناوب باید بر مبنای تعداد داده‌های موجود در نظر گرفته شود که می‌توان آن را از جدول مربوطه بدست آورد. در این بخش و به منظور مقایسه، دو حالت مورد بررسی قرار گرفته است. در حالت اول ضرایب فراوانی با استفاده از رابطه تحلیلی و در حالت دوم با استفاده از جداول فراوانی و تصحیح در نظر گرفته شده برای تعداد داده‌ها، تعیین و مورد استفاده قرار گرفته است.

حالت اول:

مقادیر دبی سیلابی برای ایستگاه‌های رمزرزج، یالخری، آدوری و انجیرک به ازای دوره بازگشت‌های مختلف و با استفاده از دوره آماری ۴۴ ساله به روش گمبل (رابطه شماره ۲) در جدول شماره ۱۳ ارائه شده است.

در ادامه آزمون یکنواختی ایستگاه‌ها برای تعیین ایستگاه‌های همگن مطابق روش لانگین انجام شده است که نتیجه آن نشان داد که هر چهار ایستگاه هیدرومتری همگن می‌باشند. سپس نسبت بدون بعد دبی سیلاب به ازای دوره بازگشت معین در یک ایستگاه به متوسط دبی سیلاب همان ایستگاه مطابق جدول شماره ۱۴ محاسبه شده است.

جدول ۱۳. دبی سیلابی ایستگاه‌های مورد بررسی به ازای دوره بازگشت‌های مختلف به روش گمیل بر اساس دوره آماری ۴۴ ساله

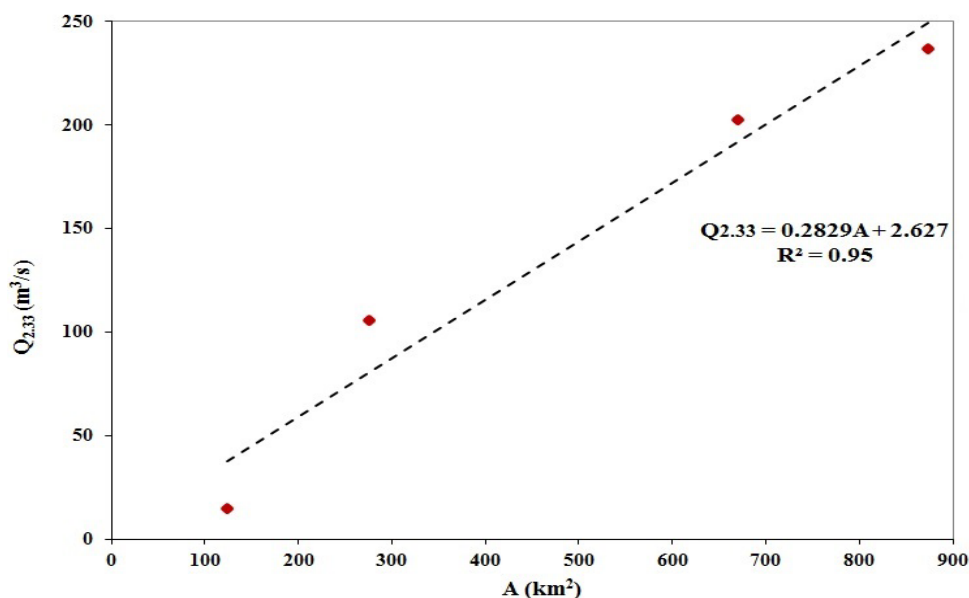
ایستگاه انجیرک	ایستگاه آدوری	ایستگاه یالخری	ایستگاه رمزرج	دوره بازگشت (سال)
A=670 Km ²	A=276 Km ²	A=873 Km ²	A=124 Km ²	
202.50	105.75	236.66	14.84	2.33
315.764	152.223	384.921	27.403	5
407.872	190.015	505.488	37.619	10
524.250	237.765	657.825	50.526	20
610.586	273.189	770.838	60.102	50
696.285	308.352	883.016	69.607	100

جدول ۱۴. مقادیر نسبت بدون بعد دبی سیلاب در یک ایستگاه به متوسط دبی سیلاب همان ایستگاه، دوره آماری ۴۴ ساله

ایستگاه	دوره بازگشت سیل بر حسب سال					
	100	50	20	10	5	2.33
رمزرج	4.684	4.045	3.191	2.532	1.844	1
یالخری	3.728	3.254	2.622	2.134	1.625	1
آدوری	2.914	2.582	2.138	1.796	1.438	1
انجیرک	3.435	3.013	2.448	2.012	1.558	1
میانگین	3.690	3.224	2.600	2.119	1.616	1

انتقال داده و بهترین رابطه به صورت $Q=0.2829A+2.627$ مطابق شکل ۴ تعیین شده است.

دبی متوسط سیل در چهار ایستگاه هیدرومتری مورد بررسی را با توجه به مساحت حوضه هر یک از آنها روی محور مختصات



شکل ۴. رابطه بین مساحت حوضه و دبی متوسط سالیانه (Q_{2.33}) ایستگاه‌ها

با توجه به سطح حوضه آبریز پل مورد بررسی (۶۰۵ کیلومتر مربع)، دبی متوسط سیل با استفاده از رابطه فوق الذکر برابر با ۱۷۳/۷۸ مترمکعب بر ثانیه تعیین شده و حداکثر دبی پیک سیلاب

به ازاء دوره‌های بازگشت مختلف در محل پل نیز در جدول شماره ۱۵ محاسبه شده است.

جدول ۱۵. مقادیر حداکثر دبی لحظه‌ای سیلاب در محل پل کیلومتر ۶۶ مسیل شور (m^3/s)

ردیف	T (سال)	میانگین نسبت دبی‌ها (بدون بعد)	حداکثر دبی لحظه‌ای در محل پل مورد مطالعه
1	2.33	1	173.780
2	5	1.616	280.828
3	10	2.119	368.240
4	20	2.60	451.828
5	50	3.224	560.267
6	100	3.690	641.248

حالت دوم:

همانگونه که عنوان شد، ضریب فراوانی در توزیع گمبل به تعداد داده‌ها وابسته است. مقادیر ضریب فراوانی به ازای دوره بازگشت ۱۰۰ سال و تعداد داده‌ها در جدول شماره ۱۶ ارائه شده است. با توجه به اعداد درج شده در جدول مذکور، ملاحظه می‌شود که با افزایش تعداد داده‌ها (n)، مقادیر ضریب فراوانی (K) کاهش پیدا کرده و به ازای هر دوره بازگشت به عدد بدست آمده از رابطه شماره ۲ میل می‌کند.

مقایسه نتایج ارائه شده در جدول شماره ۱۵ با جدول شماره ۷ نشان می‌دهد که مقادیر دبی در محل پل مورد بررسی با استفاده از دوره آماری ۴۴ ساله در همه دوره بازگشت‌ها نسبت به دوره آماری ۲۵ ساله، با کاهش مواجه است که این مقدار کاهش برای دوره بازگشت‌های ۲/۳۳، ۵، ۱۰، ۲۰، ۵۰ و ۱۰۰ ساله به ترتیب برابر با ۲۴/۷۴، ۱۸/۶، ۱۶/۱۶، ۱۴/۷۸، ۱۳/۵۵ و ۱۲/۹۶ درصد است این در حالی است که نسبت بدون بعد دبی سیلاب به ازای دوره بازگشت معین در یک ایستگاه به متوسط دبی سیلاب همان ایستگاه، با افزایش دوره آماری از ۲۵ سال به ۴۴ سال، به طور متوسط ۸ درصد رشد داشته است.

جدول ۱۶. ضریب تناوب در توزیع گمبل برای داده‌های کم و دوره بازگشت ۱۰۰ سال

n	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	∞
K	4.004	3.836	3.729	3.653	3.598	3.554	3.520	3.491	3.467	3.446	3.429	3.413	3.403	3.387	3.376	3.367	3.357	3.349	3.137

کرد. در این قسمت صرفاً نتایج دوره بازگشت ۱۰۰ ساله که برای پل مورد بررسی مد نظر است، ارائه می‌شود. در جدول شماره ۱۷ محاسبات تعیین نسبت بدون بعد سیلاب ۱۰۰ ساله به سیلاب متوسط سالانه برای دوره آماری ۴۴ ساله و ۲۵ ساله آمده است.

از آنجایی که در روش گمبل، دبی با دوره بازگشت ۲/۳۳ سال برابر با میانگین داده‌های مورد بررسی است، بنابراین رابطه بین مساحت حوضه و دبی متوسط سالیانه (Q_{2.33}) ایستگاه‌ها، همان روابط قبلی است که بر اساس نتایج دوره آماری ۴۴ ساله و ۲۵ ساله استخراج شده است. بدیهی است که با تغییر ضریب فراوانی، مقادیر دبی به ازای سایر دوره بازگشت‌ها تغییر خواهد

جدول ۱۷. نسبت بدون بعد سیلاب ۱۰۰ ساله به سیلاب متوسط سالانه برای دوره آماری ۴۴ ساله و ۲۵ ساله، اصلاح شده برای تعداد داده‌ها

Average (Q ₁₀₀ /Q _{2.33})		Q ₁₀₀ /Q _{2.33}		Q ₁₀₀		Q _{2.33}		نام ایستگاه
دوره آماری	دوره آماری	دوره آماری	دوره آماری	دوره آماری	دوره آماری	دوره آماری	دوره آماری	
۴۴ ساله	۲۵ ساله	۴۴ ساله	۲۵ ساله	۴۴ ساله	۲۵ ساله	۴۴ ساله	۲۵ ساله	رمزرج
4.11	3.89	5.37	4.83	79.68	112.30	14.84	23.25	یالخری
		4.13	3.65	976.25	1134.77	236.66	310.49	آدوری
		3.17	3.49	335.30	331.98	105.75	95.18	انجیرک
		3.79	3.57	767.51	885.22	202.49	248.05	

نتایج حاکی از افزایش ۱۷/۷۴ درصد دبی در صورت استفاده از دوره آماری ۲۵ ساله دارد. از آنجایی که مقدار دبی به طور مستقیم بر تعداد دهانه و ارتفاع پل تاثیر دارد، مقدار افزایش دبی (۱۲۷ متر مکعب بر ثانیه)، بر هزینه تمام شده پروژه و زمان اجرای آن بسیار موثر خواهد بود.

با توجه به مقادیر دبی متوسط سیلاب بدست آمده در محل پل مورد مطالعه و همچنین نسبت بدون بعد سیلاب ۱۰۰ ساله به سیلاب متوسط سالانه، حداکثر دبی سیلاب با دوره بازگشت ۱۰۰ سال بر اساس دوره آماری ۴۴ ساله و ۲۵ ساله به ترتیب برابر با ۷۱۵/۲۳ و ۸۴۲/۲۳ متر مکعب بر ثانیه بدست می‌آید.

۴- نتیجه گیری

در ایستگاه یالخری مقادیر دبی در کلیه دوره بازگشت‌های بر اساس دوره آماری ۴۴ ساله کمتر و در ایستگاه آدوری بیشتر از دوره آماری ۲۵ ساله است. طول دوره آماری بر مقادیر حداکثر دبی ۱۰۰ ساله در محل پل مورد بررسی با استفاده از روش دبی -مساحت اثر آنچنانی نداشت، اما در روش تجربی فولر که ضریب آن بر اساس آمار ایستگاه‌های هیدرومتری کالیبره شده بود، ۹ درصد کاهش دبی در حالت استفاده از دوره آماری ۴۴ ساله را نشان داد.

تحلیل منطقه‌ای سیلاب در حوضه‌های فاقد آمار، از دقت بیشتری برای برآورد سیلاب برخوردار است. حداکثر دبی سیلاب با دوره بازگشت ۱۰۰ سال بر اساس دوره آماری ۲۵ ساله بطور تقریبی ۸۴۲ متر مکعب بر ثانیه و بر اساس دوره آماری ۴۴ ساله ۷۱۵ متر مکعب بر ثانیه برآورد گردید که افزایش حدودی ۱۸ درصد دبی طراحی در صورت استفاده از دوره آمار کوتاه‌تر را نشان داد. از آنجایی که مقدار دبی طرح به طور مستقیم بر تعداد دهانه و ارتفاع پل تاثیر دارد، افزایش دقت در برآورد سیلاب طرح، نقش قابل توجهی در هزینه تمام شده پروژه و زمان اجرای آن خواهد داشت.

در این مطالعه نقش طول دوره آماری و تعداد داده‌ها بر حداکثر دبی پیک سیلاب با دوره بازگشت‌های متفاوت در محل چهار ایستگاه هیدرومتری که در یک منطقه قرار داشتند، بررسی شد. علاوه بر آن اثر طول دوره آماری بر نتایج رابطه دبی -مساحت، رابطه تجربی و روش تحلیل منطقه‌ای سیلاب در محل پل روخانه‌ای مسیل شور واقع در کیلومتر ۶۶ محور رستم آباد -ریگان -ایرانشهر که فاقد ایستگاه هیدرومتری بر روی مسیل یاد شده است، نیز ارزیابی گردید. نتایج نشان داد که بهترین توزیع آماری برای همه ایستگاه‌ها، بر اساس دوره آماری ۴۴ ساله، توزیع لوگ پیرسون نوع ۳ می‌باشد این در حالی است که در بررسی‌های قبلی و بر اساس دوره آماری ۲۵ ساله، توزیع لوگ نرمال سه متغیره برازش مناسب‌تری را به داده‌ها نشان داده بود. مقایسه مقادیر حداکثر دبی لحظه‌ای برای هر ایستگاه با استفاده از دوره آماری ۴۴ ساله و دوره آمار ۲۵ ساله نشان داد، در ایستگاه‌های هیدرومتری رمزرج و انجیرک، در دوره بازگشت‌های کوتاه (۲، ۵ و ۱۰ سال) مقادیر دبی، روند کاهشی داشته این در حالی است که برای دوره بازگشت‌های ۵۰ و ۱۰۰ ساله، حداکثر دبی لحظه‌ای روند صعودی را تجربه نموده است و با افزایش دوره بازگشت، درصد افزایش آن نیز بیشتر شده

۵-مراجع

- Chow, V.T., (1964). Handbook of Applied Hydrology, *McGraw-Hill*, New York, NY.
- Ghosh, S.N. (1997). Flood Control and Drainage Engineering; *CRC Press: Boca Raton, FL, USA*, 1997.
- Jain, Sharad Kumar, Mani, Pankaj, Jain, Sanjai K., Prakash, Pavithra, Singh, Vijay P., Tullos, Desiree, Kumar, Sanjay, Agarwal, S. P., Dimri, A. P. (2018). A Brief review of flood forecasting techniques and their applications. *International Journal of River Basin Management*, 16(3), 329-344.
- doi.org/10.1080/15715124.2017.1411920
- Kilgore, Roger; Atayee, A. Tamim; Herrmann, George R.; Thompson, David B. (2024). Highway Hydrology, *Federal Highway Administration*. Office of Bridges and Structures.
- Mahdavi, Mohammad, Osati, Khaled, Sadeghi, Seyed Ali Naghi, Karimi, Bakhtiar and Mobaraki, Jalil, (2010). Determining suitable probability distribution models for annual precipitation data, a case study of Mazandaran and Golestan Provinces. *Journal of Sustainable Development*, 3(1): 159-168.
- Mutreja, K. N, (1992), Applied Hydrology, *Tata McGraw-Hill*.
- Subramanya, K., (2008), Engineering Hydrology, *McGraw-Hill*, New Delhi.
- Victorov, Peter, (1971). Effect of period of record on flood prediction. *Journal of the Hydraulics Division*, 97(11), 1853-1866.
- افشار، عباس (۱۳۶۹). هیدرولوژی مهندسی، مرکز نشر دانشگاهی، تهران، ایران.
- آیین‌نامه طرح هندسی راه‌های ایران، نشریه شماره ۴۱۵، (۱۳۹۱)، معاونت نظارت راهبردی امور نظام فنی، سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور، تهران، ایران.
- پاریزی، اسماعیل و حسینی، سید موسی (۱۴۰۱). تحلیل فراوانی سیلاب ۱۰۰ساله در حوضه‌های آبریز ایران و بررسی عوامل تأثیرگذار بر آن، *جغرافیا و برنامه ریزی محیطی*، ۳۳(۲)، ۱۹-۳۸.
- جوانرودی، سامان، مهدوی، محمد و معتمدوزیری، بهارک (۱۳۹۶). گزارش فنی: تعیین نقش طول دوره آمار هیدرولوژیکی در پیش‌بینی سیلاب در حوزه آبخیز سفیدرود، مهندسی و مدیریت آبخیز، ۱۹(۱)، ۱۰۸-۱۱۵.
- دستورانی، محمدتقی (۱۳۷۵). بررسی تاثیر طول آمار هیدرولوژیکی در پیش‌بینی سیلاب در حوزه‌های آبخیز، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.
- سلاجقه، علی، مهدوی، محمد و خسروی، محمد، (۱۳۸۹). بررسی مناسب‌ترین توزیع فراوانی دبی حداکثر لحظه‌ای سالانه (مطالعه موردی: منطقه البرز مرکزی)، *پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز*، ۱(۱)، ۸۸-۹۸.
- صادقی، سید حمیدرضا، ذبیحی، محسن و وفاخواه، مهدی (۱۳۹۶). تأثیر طول داده، دوره آماری و تعداد ایستگاه‌ها بر تغییرپذیری مقدار عامل فرساینده باران در مقیاس‌های زمانی مختلف در ایران. *مرتع و آبخیزداری*، ۷۰(۲)، ۳۹۹-۴۰۹.
- علیزاده، امین، (۱۴۰۰). اصول هیدرولوژی کاربردی، *انتشارات دانشگاه بین‌المللی امام رضا(ع)*، مشهد، ایران.
- گزارش مطالعات مرحله اول پل کیلومتر ۱۱۳+۶۶ قطعه اول محور رستم آباد- ریگان- بزمان- ایرانشهر، مهندسین مشاور ساتروپات پل، (۱۳۸۳). شرکت ساخت و توسعه زیر بناهای حمل و نقل کشور، تهران، ایران.
- مهدوی، محمد (۱۴۰۱). هیدرولوژی کاربردی، *انتشارات دانشگاه تهران*، تهران، ایران.
- میرباقری، سید احمد، (۱۳۷۷). هیدرولوژی مهندسی، *انتشارات دانشگاه شیراز*، شیراز، ایران.

The Effect of the Length of Hydrometric Stations Statistics Period on Frequency Analysis and Different Methods for Determining Bridge Flood Discharge (Case Study: Shoor Watercourse Bridge)

Fouad Kilanehei, Associate Professor, Department of Civil Engineering, Faculty of Technology and Engineering, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran.

Amir Mahjoob, Assistant Professor, Transportation Research Institute, Road, Housing & Urban Development Research Center, Tehran, Iran.

Kheirollah Khademi, Assistant Professor, Transportation Research Institute, Road, Housing & Urban Development Research Center, Tehran, Iran.

E-mail: kilanehei@eng.ikiu.ac.ir

Received: September 2025- Accepted: February 2026

ABSTRACT

For the design of river bridges and determining their length and height, it is necessary to determine the maximum flood discharge. The most appropriate method for determining the design discharge is the frequency analysis of data from hydrometric stations. One of the characteristics of the data used to ensure that their frequency analysis leads to reliable results is the adequacy of data. The role of statistical period length and number of data on maximum peak flood discharge with different return periods at four hydrometric stations located in the same region in the central Iranian watershed has been investigated. The effect of the length of the statistical period on the results of the discharge-area relationship, the empirical relationship, and the regional flood frequency analysis method at the Shoor watercourse bridge, which is located in the studied area and does not have a hydrometric station on the mentioned watercourse, has been evaluated. The results showed that by increasing the length of the statistical period from 25 years to 44 years, the best fitted statistical distribution on the maximum instantaneous discharges changed and in all four stations, the log-Pearson Type III (LP3) distribution had the most appropriate fit. Also, increasing the statistical length did not have much effect on the values of the maximum 100-year flood discharge at the bridge site studied using the discharge-area method, but in the Fuller empirical method, whose coefficient was calibrated based on the statistics of hydrometric stations, it showed a 9% decrease in discharge. In the regional flood frequency analysis method, which is more accurate for estimating floods in ungauged basins, the discharge values based on the 25-year and 44-year statistical periods were estimated to be 842 and 715 m³/s, respectively, which indicates an increase of approximately 18% in the design flood when using a shorter statistical period.

Keywords: Ungauged Catchments, Regional Flood Frequency Analysis, Maximum Instantaneous Discharge, Statistical Distributions, River Bridges