

## تأثیر احداث سازه‌های اصلاحی بر زمان تمرکز و کاهش دبی اوج سیل

### (مطالعه موردی حوضه آبخیز گاش)

- ❖ بیتا شیروی؛ دانشجوی کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست دانشگاه فردوسی مشهد
- ❖ علی گلکاریان\*؛ استادیار دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست دانشگاه فردوسی مشهد
- ❖ علی ابوطالبی پیرنعمی؛ کارشناس ارشد زمین‌شناسی، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست دانشگاه فردوسی مشهد

#### چکیده

سازه‌های اصلاحی بندهای کوچکی هستند که در حوضه‌های آبخیز، به‌ویژه حوضه‌های حساس به فرسایش واقع در بالادست سدهای مخزنی، به منظور کاهش سرعت جریان، کاهش فرسایش، مهار رسوب، و کنترل سیلاب در آبراهه‌ها با استفاده از مصالحی مانند چوب، سنگ، سنگ و ملات، و توربین‌سنگ ساخته می‌شوند. این سازه‌ها با کاهش سرعت جریان آب و شیب آبراهه و ذخیره جریان باعث تغییر واکنش هیدرولوژیک حوضه‌های آبخیز می‌شوند. تجزیه و تحلیل آثار احداث این سازه‌ها پیش از احداث در تصمیم‌گیری صحیح و اجرای بهینه این طرح‌ها و همچنین مدیریت بهتر به منظور نیل به اهداف مختلف مؤثر است. از آنجا که احداث این سازه‌ها بر رفتار سیل مؤثر است، این تحقیق با هدف تأثیر احداث سدهای اصلاحی بر زمان تمرکز و کاهش دبی اوج سیل در حوضه آبخیز گاش صورت گرفت. در این تحقیق به منظور بررسی تأثیر این سازه‌ها روندیابی سیل در مخزن به روش پالس و روندیابی رودخانه به روش ماسکینگام انجام گرفت و هیدروگراف سیل با دوره بازگشت‌های ۲۵ تا ۱۰۰ ساله در وضعیت قبل و بعد از احداث سازه‌ها شبیه‌سازی شد. نتایج نشان داد با احداث سازه‌های پیش‌بینی شده بین ۷۵ تا ۹۷ درصد دبی اوج و ۷۳ تا ۹۸ درصد حجم سیل کاهش می‌یابد؛ این نتیجه بیانگر تأثیر مثبت احداث این سازه‌ها در کاهش دبی اوج و حجم سیل است. به علاوه، در دوره بازگشت‌های مختلف با افزایش دبی اوج و حجم سیل ورودی، نقش مخازن در کاهش دبی اوج سیلاب و حجم سیل کاهش می‌یابد. همچنین، در اثر احداث سازه‌های مذکور، زمان تمرکز در محل خروجی حوضه بین ۰/۲۶ تا ۰/۹۸ ساعت افزایش خواهد یافت.

واژگان کلیدی: حوضه آبخیز گاش، دبی اوج سیل، روندیابی سیل در رودخانه، روندیابی سیل در مخزن، سازه‌های اصلاحی، واکنش هیدرولوژیک.

## مقدمه

سیل پدیده‌ای است فراگیر که در اکثر مناطق جهان به وقوع می‌پیوندد. بررسی‌های انجام‌شده نشان می‌دهد این پدیده در دهه ۱۳۷۰ نسبت به دهه ۱۳۴۰ حدود ده برابر در کشور افزایش یافته و نشان‌دهنده رشد درخور توجه آن با گذشت زمان بوده است [۹]. از طرفی، این پدیده، به‌رغم پیچیدگی‌هایش، قابل بررسی است و می‌توان برای کنترل آن اقداماتی انجام داد. یکی از راهکارهای کنترل سیل احداث سازه‌های اصلاحی است. این سازه‌ها بندهای کوچکی هستند که در حوضه‌های آبخیز، به‌ویژه حوضه‌های حساس به فرسایش واقع در بالادست سدهای مخزنی، به منظور کاهش سرعت جریان، کاهش فرسایش، مهار رسوب، و کنترل سیلاب در آبراهه‌ها با استفاده از مصالحی مانند چوب، سنگ، سنگ و ملات، و توریسنگ ساخته می‌شوند [۲]. این سازه‌ها با کاهش سرعت جریان آب و کاهش شیب آبراهه موجب افزایش زمان تمرکز و افزایش زمان پایه می‌شوند. همچنین با ذخیره موقت و دائمی آب باعث کاهش دبی اوج و حجم سیل و، در نتیجه، موجب تغییر واکنش هیدرولوژیک حوضه‌های آبخیز می‌شوند [۲]. در برخی از موارد انتخاب نامناسب مکان، تعداد، نوع و ابعاد سازه‌های اصلاحی کمک چندانی به تعدیل آثار ناشی از سیلاب نمی‌کند. در حالی که می‌توان با طراحی و اجرای دقیق این اقدامات، احتمال بروز سیلاب و خسارات را به میزان بسیار زیادی کاهش داد. بنابراین، بررسی تأثیر این سازه‌ها پیش از فاز اجرا می‌تواند در انتخاب مکان مناسب سازه و در نتیجه کاهش احتمال بروز سیلاب و خسارات و همچنین تعیین ارتفاع بهینه سازه به منظور

صرفه‌جویی در هزینه‌ها مؤثر باشد. با ارزیابی می‌توان گزینه‌های نامناسب را- پیش از آنکه منابعی و زمانی برای ساخت آن‌ها صرف شود- حذف کرد و زمان و هزینه را روی گزینه‌هایی صرف کرد که در یک موقعیت بهترند [۱۹]. ارزیابی اقدامات آبخیزداری در دنیا سابقه‌ای هفتادساله دارد. در سال ۱۹۶۹، اثر ۳۰۰ سازه احداث‌شده بر کاهش دبی اوج در سرشاخه‌های حوضه آبخیز تکراس بررسی شد. بر اساس نتایج، در زیرحوضه‌های مختلف کاهش دبی از ۴۸ تا ۹۸ درصد دیده شد و نتایج نشان داد بین حجم رواناب خروجی با رواناب نگه‌داری‌شده و ظرفیت سازه‌های کنترل سیلاب رابطه عکس وجود دارد [۱۹]. در تحقیقی در مسیر رودخانه راین هلند، تأثیر سازه‌های اصلاحی بر دبی اوج سیلاب با دوره بازگشت‌های ۲۰۰، ۵۰۰، ۱۲۵۰ ساله با استفاده از آنالیز سیلاب منطقه‌ای شبیه‌سازی شد. نتایج نشان داد تأثیر سازه‌ها بر کاهش حجم سیلاب بیش از کاهش دبی اوج است [۱۱]. در سال ۲۰۰۳ تأثیر سدهای اصلاحی بر دبی اوج سیل در آبخیز کن با استفاده از مدل HEC-HMS ارزیابی شد. نتایج نشان داد میزان تغییر شیب در آبراهه‌ها در میزان کاهش سیلاب مؤثر است. همچنین، بر اساس نتایج این تحقیق، با احداث ۵۶۳ سازه اصلاحی کوتاه زمان تمرکز به میزان یک ساعت افزایش و دبی اوج سیل به میزان ۳۱ درصد کاهش خواهد یافت [۱۵]. در تحقیقی تغییرات رژیم هیدرولوژیکی در اثر احداث سد با استفاده از مدل هیدرولوژیکی IHA بررسی شد. نتایج نشان داد پس از ساخت سد اوج و فرود هیدروگراف کاهش بسیاری داشته است [۴]. در تحقیقی با هدف ارزیابی تأثیر هیدرولوژیکی و مورفولوژیکی ۷۲ سد بزرگ در

معرفی شد. نتایج به دست آمده از اجرای مدل نشان داد مخازن احداث شده در کاهش دبی پیک سیلاب ورودی مؤثرند و دبی اوج را در دوره‌های بازگشت مختلف از ۴۰ درصد تا ۸۳ درصد کاهش می‌دهند. به علاوه، در دوره بازگشت‌های مختلف با افزایش دبی اوج ورودی نقش مخازن در کاهش دبی اوج سیلاب خروجی کم می‌شود [۱۳]. در سال ۱۳۸۸ ارزیابی فنی آثار عملیات اجرایی آبخیزداری بر رودخانه حوضه آبخیز سیرا-کلوان انجام شد. نتایج نشان داد احداث سازه ۶۵/۸۶ درصد متوسط دبی اوج سیل و ۴۸/۴۲ درصد متوسط حجم سیل را کاهش داده است [۱۰]. در تحقیقی به منظور بررسی اثر احداث سدهای اصلاحی بر کاهش دبی اوج سیلاب در حوضه منشاد یزد از مدل HEC-HMS برای مقایسه تغییرات دبی قبل و بعد از اقدامات استفاده شد. برای تعیین تأثیر سازه‌های اصلاحی، زمان تمرکز در شرایط بعد از اجرای اقدامات محاسبه شد و با اعمال تغییرات ایجاد شده در ورودی‌های مدل به شبیه‌سازی رفتار سیلاب اقدام شد. بر اساس نتایج شبیه‌سازی، تأثیر سازه‌ها بر کاهش دبی اوج به طور متوسط ۹/۸۲ درصد و بر حجم سیل ۷/۷۵ درصد بوده است. از طرفی، با افزایش دوره بازگشت سیلاب، تأثیر سازه‌ها بر کاهش دبی اوج و حجم سیلاب کاهش یافته است؛ به طوری که میزان تغییرات در دوره بازگشت‌های ۲ تا ۱۰۰ ساله از ۱۴/۱۴ تا ۶/۹۵ درصد بوده است [۱۹]. در سال ۱۳۹۱ تأثیر اقدامات آبخیزداری بر روی رژیم جریان در سه دوره-قبل، حین، و بعد از اجرای پروژه‌های آبخیزداری-در حوضه مندرجان بررسی شد. نتایج نشان داد طرح‌های آبخیزداری در این حوضه در حین اجرا ۴۲

رودخانه‌های امریکا و آنالیز داده‌های ثبت شده آن‌ها بیان شد که احداث سد به طور متوسط باعث کاهش دبی اوج سالانه به میزان ۶۴ درصد شده است [۷]. در سال ۲۰۱۰ پروژه سد Field Paddy در بخش کامی هایاشی در ژاپن ارزیابی شد. محققان به منظور بررسی کاهش حجم دبی و کاهش خسارت سیل از ترکیب آنالیزهای هیدرولوژی و روندیابی سیل استفاده کردند. نتایج نشان داد سازه کنترل سیل دبی را به میزان ۲۶ درصد کاهش می‌دهد؛ بدین ترتیب، مؤثر بودن سازه تأیید شد [۲۲]. در تحقیقی به منظور بررسی اثر احداث بندهای اصلاحی بر کاهش دبی اوج سیل و زمان تمرکز در حوضه آبخیز کوشک‌آباد در خراسان از GIS و HEC-HMS استفاده شد. نتایج نشان داد احداث بندهای اصلاحی تأثیر کمی در افزایش زمان تمرکز دارد. همچنین، کاهش دبی اوج و حجم سیل به طور متوسط ۱۹ و ۱۴ درصد بوده است [۶]. در تحقیقی دیگر به ایجاد شاخصی برای بررسی اثر احداث سد بر رژیم رودخانه ابرو در اسپانیا پرداخته شد. نتایج نشان داد دبی جریان از ۱۵۰۰ متر مکعب بر ثانیه در سال ۱۹۰۰ به ۴۰۰ متر مکعب بر ثانیه در سال ۱۹۸۰ در اثر احداث سد کاهش یافته است [۲۱]. همچنین، در تحقیقی در سال ۲۰۱۴ تأثیر بندهای اصلاحی بر رواناب و رسوب بررسی شد. نتایج نشان‌دهنده آن است که سازه‌ها تأثیر معنی‌داری بر کاهش حجم رواناب در اکثریت رویدادها نداشته است [۱۴]. در تحقیقی عملکرد سازه‌های اصلاحی در مهار سیلاب و کاهش دبی اوج سیل در حوضه آبخیز نوکنده استان گلستان، پارامترهای مورد نیاز برای اجرای مدل HEC-HMS در شرایط قبل و بعد از احداث مخازن مربوط به بارش یک‌ساعته به مدل

سیلاب و خسارات را به میزان زیادی کاهش داد. بنابراین، در این تحقیق، برخلاف مطالعات قبلی، اثر احتمالی احداث سازه‌ها پیش از فاز اجرا بررسی شده است تا بتوان مدیریت بهتری در منطقه اعمال کرد. بررسی تأثیر این سازه‌ها پیش از فاز اجرا می‌تواند در انتخاب مکان مناسب سازه در نتیجه کاهش احتمال بروز سیلاب و خسارات و همچنین تعیین ارتفاع بهینه سازه به منظور صرفه‌جویی در هزینه‌ها مؤثر باشد.

## مواد و روش‌ها

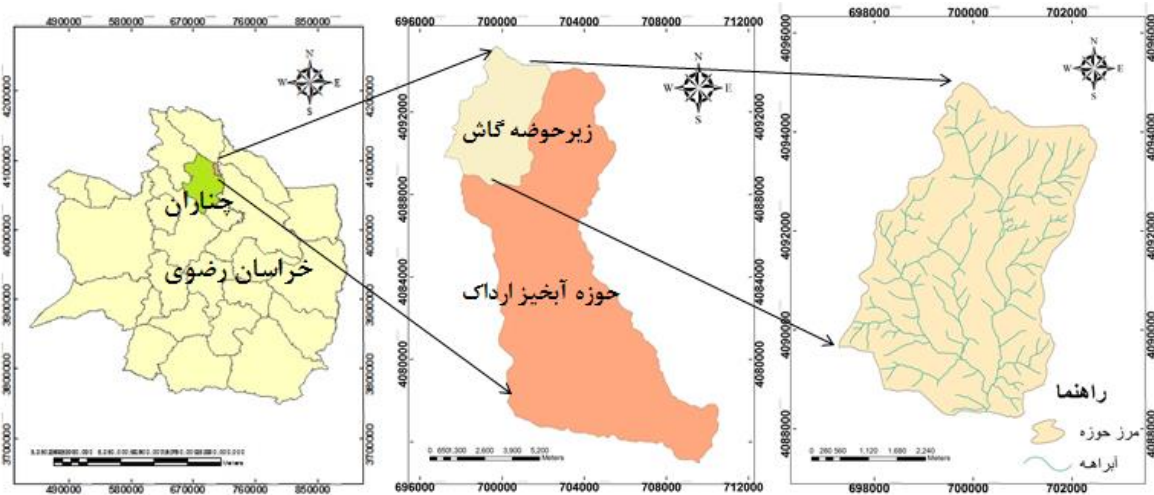
### موقعیت منطقه مورد مطالعه

حوضه آبخیز گاش واقع در شمال غربی حوضه ارداک چناران با مساحتی در حدود ۱۹٫۶ کیلومتر مربع در حوضه آبخیز کشف‌رود و از نظر سیاسی در شمال شرقی شهرستان چناران واقع شده است (شکل ۱). این حوضه بین طول‌های جغرافیایی  $59^{\circ}12'53''$  تا  $59^{\circ}21'28''$  شرقی و بین عرض‌های جغرافیایی  $36^{\circ}48'03''$  تا  $36^{\circ}58'51''$  شمالی واقع شده است. متوسط بارندگی سالانه حوضه ۲۵۵ میلی‌متر است و اقلیم منطقه در روش دومارتن مدیترانه‌ای است. جدول ۱ مشخصات فیزیکی مورد نیاز در تحقیق حاضر را نشان می‌دهد.

درصد و بعد از اجرا ۷۰ درصد باعث کاهش دبی جریان شد که نشان‌دهنده تأثیر مثبت اقدامات بر کاهش دبی جریان است [۳]. در تحقیقی به منظور بررسی نقش عملیات مکانیکی آبخیزداری در کنترل رواناب حوضه آبخیز زاینده‌رود، بررسی‌های صحرائی و ثبت مشخصات مکانی و فیزیکی سازه‌های احداث شده و تحلیل داده‌ها انجام گرفت. در مرحله بعد با استفاده از مدل SCS و شبیه‌سازی سیلاب حوضه به بررسی تأثیر سازه‌ها در کنترل سیلاب و رواناب حوضه مورد مطالعه اقدام شد. تحلیل آماری نتایج داده‌ها با استفاده از همبستگی پیرسون نشان می‌دهد اجرای عملیات آبخیزداری در مقایسه با شرایط طبیعی از اختلاف معنی‌داری در سطح ۹۹ درصد برخوردار است که به مفهوم تأثیر بسیار زیاد عملیات یادشده در کاهش مقادیر سیلاب حوضه مورد مطالعه است [۱۶]. همچنین، در سال ۱۳۹۲ تأثیر چکدم‌ها بر کاهش دبی پیک سیل در حوضه آبخیز در جزین سمنان با استفاده از مدل HEC-HMS ارزیابی شد. نتایج نشان داد چکدم‌ها دبی پیک سیلاب را به طور میانگین ۱۶٫۷ درصد کاهش داده است [۸]. با توجه به اینکه احداث سازه‌های اصلاحی می‌تواند به میزان زیادی بر واکنش هیدرولوژیکی حوضه تأثیر بگذارد، با طراحی و اجرای دقیق این اقدامات می‌توان احتمال بروز

جدول ۱. مشخصات فیزیوگرافی حوضه آبخیز گاش

مساحت (km <sup>2</sup> )	طول آبراهه (km)	ارتفاع متوسط (m)	شیب متوسط حوضه (%)	شیب آبراهه (%)	زمان تمرکز (h)
۱۹٫۶	۷٫۱۷	۲۵۵۰	۴۸	۵٫۵	۰٫۶۸



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی حوضه آبخیز گاش

استفاده شد:

$$V = \frac{1}{6} \left( \frac{H}{P} \right) (S1 + S2 + S3) \quad (1)$$

$S1$  سطح مقطع سد اصلاحی تا کف سرریز،  $S2$  سطح مقطع آبراهه هنگامی که نیمی از ارتفاع سازه مستهلک شده باشد،  $S3$  سطح مقطع آبراهه در پای سد بالایی،  $H$  ارتفاع مفید سازه، و  $P$  شیب آبراهه در مسیر سازه است.

### به کارگیری روش هیدروگراف واحد بی‌بعد

#### SCS

برای تهیه هیدروگراف واحد حوضه آبخیز می‌توان از هیدروگراف سیل حوضه یا از روش‌های تجربی استفاده کرد. در این مطالعه به دلیل نبود ایستگاه هیدرومتری در خروجی منطقه مورد مطالعه از روش‌های تجربی استفاده شد. بدین لحاظ در تحقیق حاضر برای تعیین هیدروگراف‌های واحد  $T$  ساعتی زیرحوضه‌ها از روش S.C.S استفاده شد. سرویس حفاظت خاک آمریکا (SCS) برای به‌دست‌آوردن دبی سیلاب روابط ذیل (روابط ۲، ۳، ۴، و ۵) را ارائه کرده است:

### مکان‌یابی سازه‌های قابل احداث در منطقه

#### مورد مطالعه

در بازدید میدانی و با در نظر گرفتن شاخص‌هایی همچون توپوگرافی، مشخصات پی، و تکیه‌گاه‌ها، شرایط پشت مخزن شامل شیب پشت مخزن، حجم مفید مخزن و بازشدگی دره، استحکام کف و کناره‌ها، و راه‌های دسترسی به مکان‌یابی مناطق مناسب برای احداث سازه‌های اصلاحی اقدام شد. از آنجایی که حجم آبیگری سازه در پژوهش حاضر حائز اهمیت است و سازه‌های اصلاحی مرتفع‌تر حجم بیشتری از آب را به صورت موقت و دائمی ذخیره می‌کنند و می‌توانند تأثیر بیشتری بر دبی اوج سیلاب، شکل هیدروگراف، و زمان تمرکز داشته باشند، در این تحقیق سدهای اصلاحی شش متر به بالا مدنظر خواهد بود و مکان‌یابی فقط برای سازه‌های شش متری به بالا انجام می‌شود.

### تعیین حجم مخازن

در این مطالعه به منظور تعیین حجم مخزن از رابطه ۱

پیمایش در رودخانه در نظر گرفته می‌شود و به ضریب ذخیره معروف است؛  $x$  ضریب ثابتی است که اثر نسبی مقدار دبی ورودی و خروجی را بیان می‌کند [۱۲]. روندیابی هیدروگراف سیل رودخانه در محل زیرحوضه‌ها انجام می‌شود [۲۰]. در این تحقیق ضرایب  $x$  و  $k$  با روش استفاده از سرعت متوسط جریان [۱] استفاده شد:

$$x = \frac{0.5v}{1.7+v} \quad \text{و} \quad k = \frac{L}{v} \quad (۶)$$

که در آن  $L$  طول بازه بر حسب متر و  $v$  سرعت حرکت موج سیل بر حسب متر بر ثانیه است. برای تعیین سرعت متوسط از رابطه  $v$ ، که برای آبراهه‌هایی با شیب ۳ تا ۷ درصد ارائه شده است، استفاده شد [۱۷].

$$U = 0.712g^{0.356} S^{0.227} Q^{0.281} D_{84}^{-0.203} \quad (۷)$$

که در آن  $U$  سرعت متوسط جریان،  $g$  شتاب ثقل،  $S$  شیب بستر،  $Q$  دبی اوج جریان، و  $D_{84}$  قطر ۸۴ درصد از ذرات در منحنی تجمعی است.

### بهینه‌سازی ارتفاع سدهای اصلاحی

با توجه به اینکه در مرحله مکان‌یابی سازه در بازدید میدانی ارتفاع سازه‌ها بر اساس حداکثر توان فیزیکی منطقه تعیین می‌شود، ارتفاع بهینه بر اساس سرریزکردن کلیه سازه‌ها در سیلاب پنجاه‌ساله در حالت مخزن خالی تعیین شد.

### نتایج

در منطقه مورد مطالعه با توجه به شاخص‌های ارائه شده در بخش قبل به جانمایی ۸ سازه اصلاحی اقدام شد. شکل ۲ موقعیت سازه‌های مذکور و جدول ۲ مشخصات سازه‌ها را نشان می‌دهد. همچنین، در

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (۲)$$

$$T_p = 0.6T_c + \sqrt{T_c} \quad (۳)$$

$$Q_p = \frac{2.083A}{T_p} \quad (۴)$$

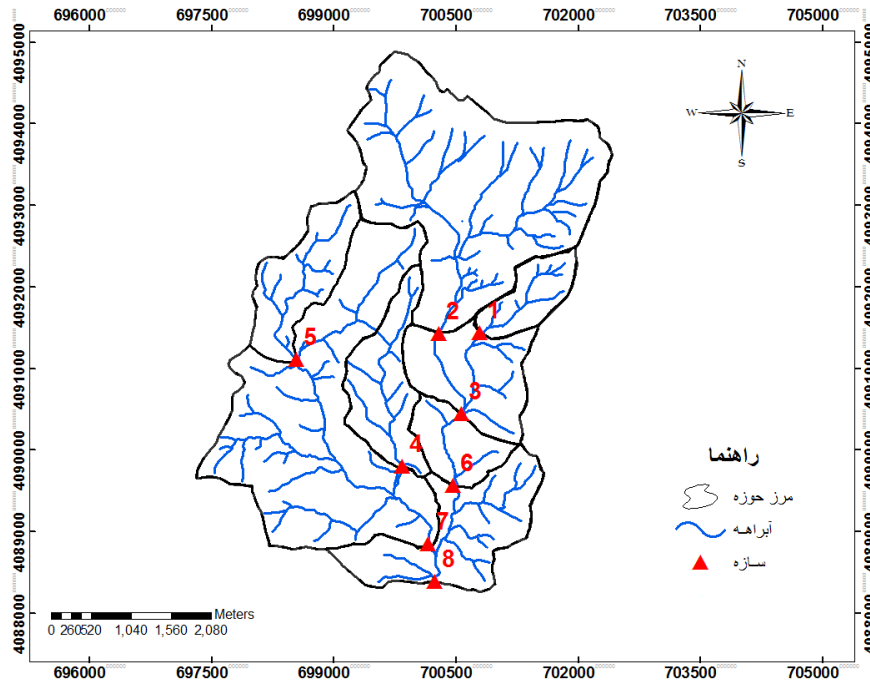
$$R = \frac{(P - 0.2 S)^2}{P + 0.8 S} \quad (۵)$$

در این روابط  $S$  مقدار تلفات مربوط به نفوذ آب در خاک و ذخیره سطحی بر حسب میلی‌متر،  $CN$  شماره منحنی،  $T_p$  زمان تا اوج واحد هیدرولوژیک به دقیقه،  $T_c$  زمان تمرکز واحد هیدرولوژیک به دقیقه،  $Q_p$  دبی حداکثر لحظه‌ای به متر مکعب بر ثانیه،  $A$  سطح حوضه به کیلومتر مربع،  $R$  ارتفاع رواناب به میلی‌متر،  $P$  ارتفاع بارندگی به میلی‌متر است.

در این تحقیق با توجه به دوره بازگشت معمول برای طراحی سازه‌های اصلاحی هیدروگراف واحد زیرحوضه‌های بالادست هر سازه و کل حوضه، برای دوره بازگشت‌های ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ ساله از روش SCS استفاده شد. سپس، به منظور تعیین تأثیر احداث سازه‌ها بر خصوصیات سیل، روندیابی سیل در مخزن و رودخانه انجام شد. روندیابی مخزن بر اساس معادله پالس یا روش I.S.D انجام شد. در این مطالعه با فرض اینکه منافذی برای تخلیه آب ذخیره شده در پشت سازه‌های اصلاحی وجود دارد، روندیابی در حالتی که مخزن خالی است انجام شد. روندیابی سیل در رودخانه به روش ماسکینگام انجام شد. روش ماسکینگام یکی از متداول‌ترین روش‌ها برای روندیابی سیل در رودخانه‌هاست که در آن از معادله پیوستگی و معادله ذخیره - دبی به شکل  $S = k[xI + (1 - x)Q]$  استفاده شده است [۱۸، ۵].  $k$  و  $x$  پارامترهای روندیابی هستند:  $k$  معادل زمان

ضرایب روندیابی به روش ماسکینگام را در هفت بازه نشان می‌دهد.

بازدید میدانی از طریق نمونه‌گیری در چند نقطه در حد واسط دو سازه متوالی و دانه‌بندی در آزمایشگاه، D84 بین هر دو سازه تعیین شد. جدول ۳ نتایج



شکل ۲. جانمایی ۸ سازه در زیرحوضه مورد مطالعه

جدول ۲. مشخصات سازه‌های مکان‌یابی شده

حجم مخزن (m <sup>3</sup> )	بازشدگی دره	شیب آبراهه (%)	ارتفاع (m)	عرض بالا (m)	عرض کف (m)	مشخصات جغرافیایی UTM		شماره بند
						Y	X	
۷۱۰۹	۱	۱۲٫۶۶	۶	۶۵	۳۵	۴۰۹۱۴۶۴	۷۰۰۸۱۷	۱
۱۱۵۶۹	۱	۵٫۴	۷	۳۰	۲۱	۴۰۹۱۴۵۷	۷۰۰۳۱۸	۲
۵۷۹۹۱	۲	۴٫۵۸	۸	۴۵	۳۸	۴۰۹۰۴۸۰	۷۰۰۵۹۰	۳
۱۲۰۵۱	۱٫۵	۷	۵٫۵	۴۰	۳۵	۴۰۸۹۸۴۳	۶۹۹۸۸۰	۴
۱۱۱۳۶	۲	۷٫۰۴	۴	۵۶	۴۲	۴۰۹۱۱۷۳	۶۹۸۵۸۲	۵
۱۲۷۸۹	۱٫۵	۳٫۸	۴	۴۳	۳۸	۴۰۸۹۶۰۷	۷۰۰۴۹۶	۶
۲۲۶۹۸	۱	۳٫۴	۷	۳۳	۳۰	۴۰۸۸۸۹۱	۷۰۰۱۹۳	۷
۲۰۱۴۹	۲	۴	۶	۲۸٫۵	۱۶٫۵	۴۰۸۸۴۳۳	۷۰۰۲۶۷	۸

حوضه را نشان می‌دهد. همچنین، در این تحقیق میزان افزایش زمان تمرکز در اثر احداث سازه‌ها با مقایسه هیدروگراف سیلاب قبل و بعد از احداث سازه محاسبه شد که جدول ۶ نمودار آن است. در نهایت، با توجه به معیار تصمیم‌گیری در نظر گرفته شده برای تعیین ارتفاع بهینه سازه‌ها، ارتفاع سه مورد از سازه‌ها در حوضه گاش تعدیل شد (جدول ۷).

شکل‌های ۳ تا ۱۰ و جدول ۴ مقایسه هیدروگراف ورودی و خروجی سازه‌ها برای دوره بازگشت پنجاه‌ساله را نشان می‌دهد. شکل‌های ۱۰، ۱۱، و ۱۲ و جدول ۵ نتایج به دست آمده از مقایسه شبیه‌سازی سیلاب به روش هیدروگراف بی‌تعد SCS و روندیابی سیل با دوره بازگشت‌های مختلف در شرایط قبل و بعد از احداث سازه در محل خروجی

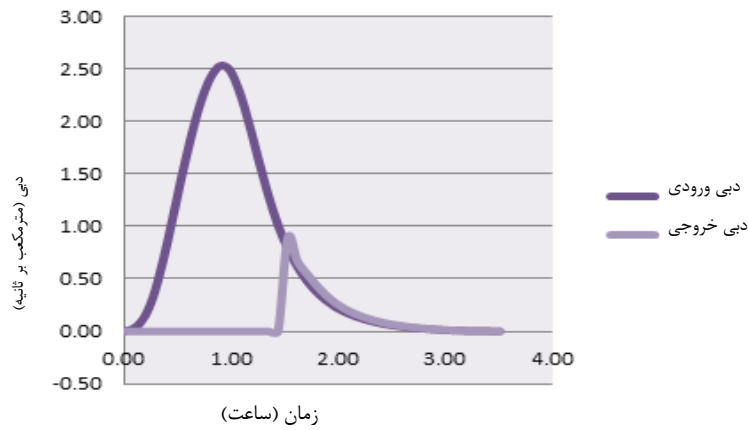
جدول ۳. ضرایب روندیابی به روش ماسکینگام در حوضه آبخیز گاش

X	K(hr)	بازه روندیابی
۰٫۲۸	۰٫۱۴	بازه ۱ - ۳
۰٫۳۴	۰٫۰۹	بازه ۲ - ۳
۰٫۳	۰٫۱۱	بازه ۳ - ۶
۰٫۳	۰٫۱۴	بازه ۶ - ۸
۰٫۳۲	۰٫۰۵	بازه ۷ - ۸
۰٫۲۵	۰٫۲۱	بازه ۴ - ۷
۰٫۲۳	۰٫۰۶	بازه ۵ - ۷

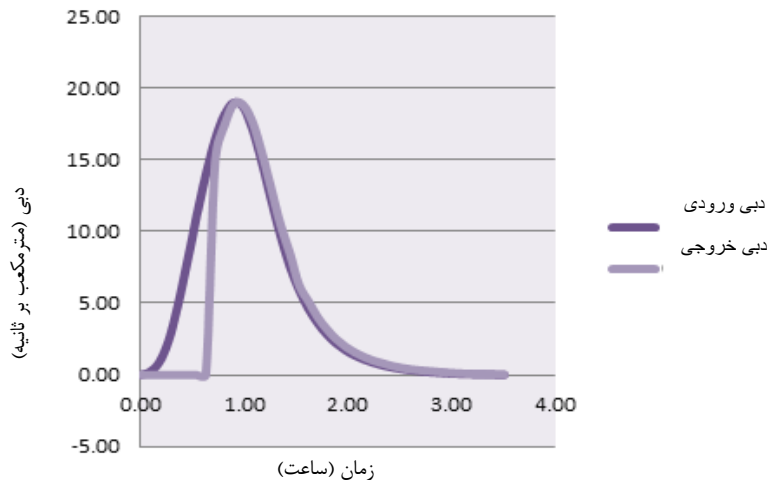
جدول ۴. ویژگی‌های هیدروگراف ورودی و خروجی هر سازه در دوره بازگشت پنجاه‌ساله

شماره بند	حجم مخزن (m <sup>3</sup> )	ورودی به سازه		خروجی از سازه		اختلاف
		دبی اوج (m <sup>3</sup> /s)	حجم سیل (m <sup>3</sup> )	دبی اوج (m <sup>3</sup> /s)	حجم سیل (m <sup>3</sup> )	
۱	۷۱۰۹	۲٫۵۳	۸۷۱۸	۰٫۸۹	۱۳۲۲	۷۳۹۶
۲	۱۱۵۶۹	۱۹٫۰۱	۶۸۹۶۵	۱۸٫۹۳	۵۴۳۱۰	۱۴۶۵۵
۳	۵۷۹۹۱	۲۰٫۶۶	۶۸۶۰۷	۴٫۱۸	۱۰۴۰۷	۵۸۲۰۰
۴	۱۲۰۵۱	۳٫۹۸	۱۳۷۰۰	۰٫۸۵	۱۶۱۰	۱۲۰۹۰
۵	۱۱۱۳۶	۳٫۴۸	۱۱۹۹۰	۰٫۴۱	۸۶۰	۱۱۱۳۰
۶	۱۲۷۸۹	۵٫۳۹	۲۲۷۵۲	۱٫۶۸	۳۹۷۲	۱۸۷۷۹
۷	۲۲۶۹۸	۱۳٫۸۰	۵۲۸۷۰	۱۳٫۰۷	۲۹۸۷۱	۲۲۹۹۹
۸	۲۰۱۴۹	۱۷٫۱۱	۵۰۳۸۴	۸٫۹۴	۲۵۴۴۳	۲۴۹۴۱

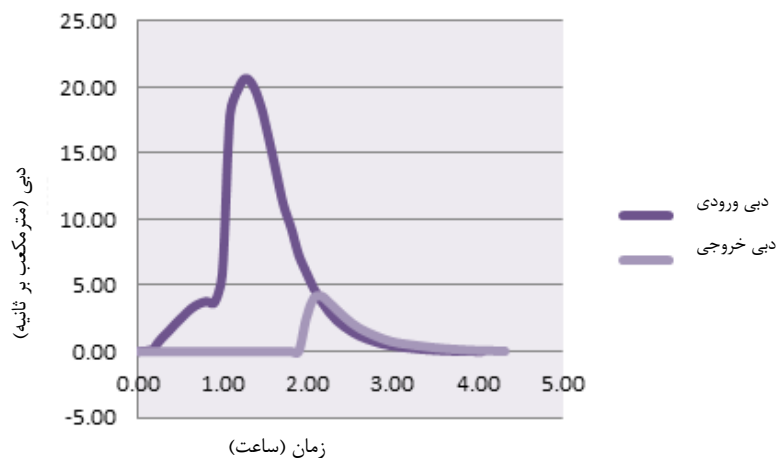




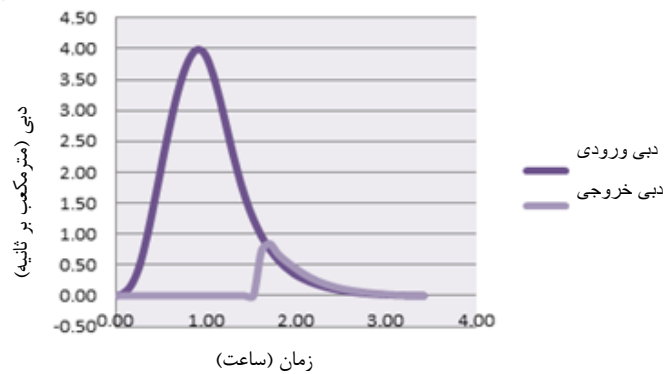
شکل ۳. مقایسه هیدروگراف ورودی و خروجی سازه ۱



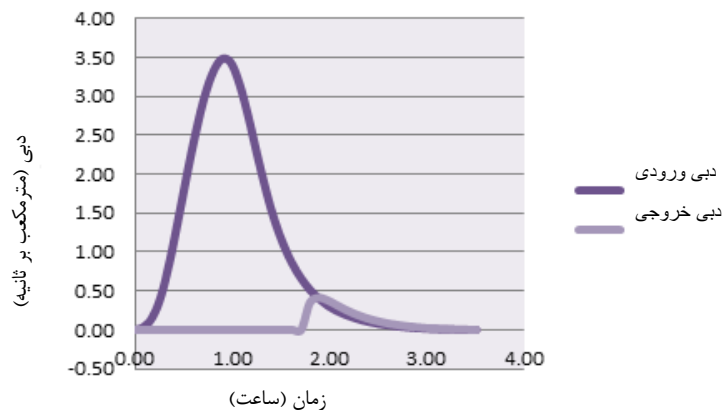
شکل ۴. مقایسه هیدروگراف ورودی و خروجی سازه ۲



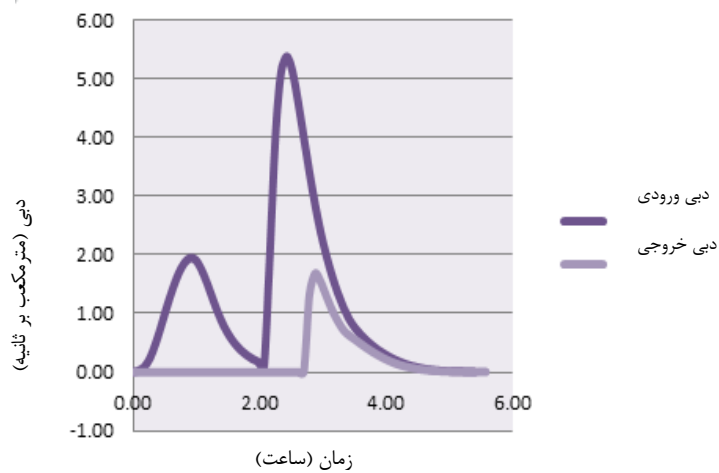
شکل ۵. مقایسه هیدروگراف ورودی و خروجی سازه ۳



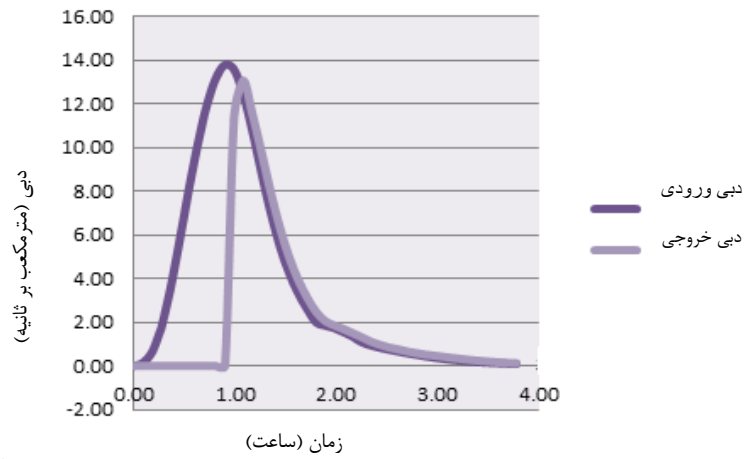
شکل ۴. مقایسه هیدروگراف ورودی و خروجی سازه ۴



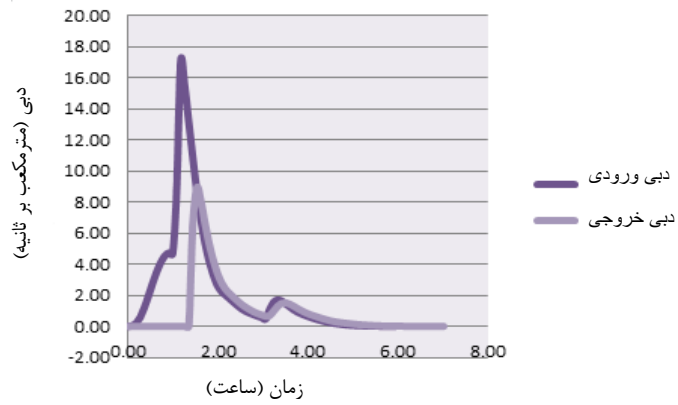
شکل ۵. مقایسه هیدروگراف ورودی و خروجی سازه ۵



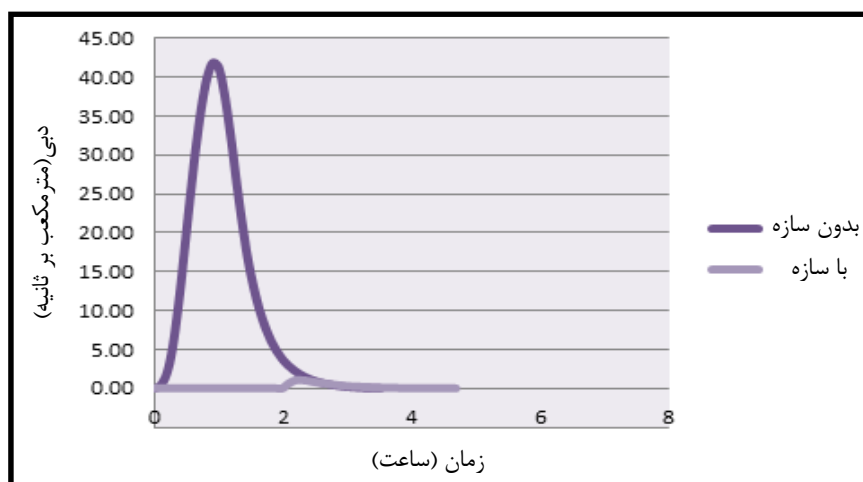
شکل ۶. مقایسه هیدروگراف ورودی و خروجی سازه ۶



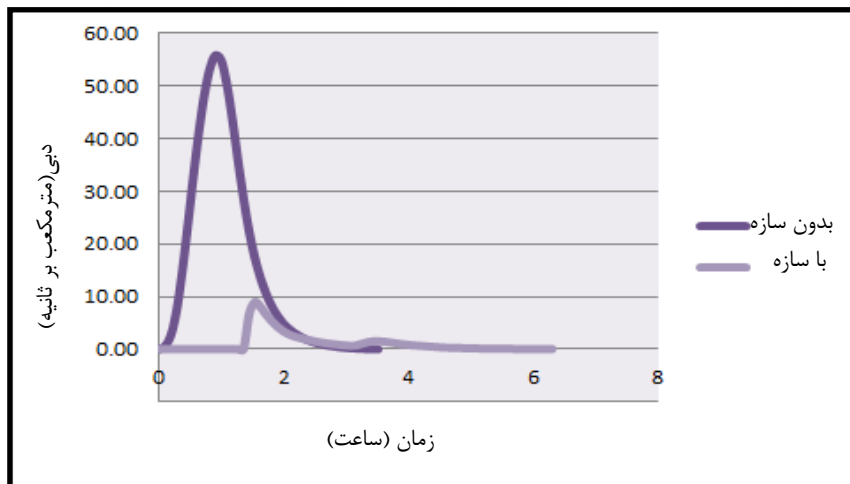
شکل ۹. مقایسه هیدروگراف ورودی و خروجی سازه ۷



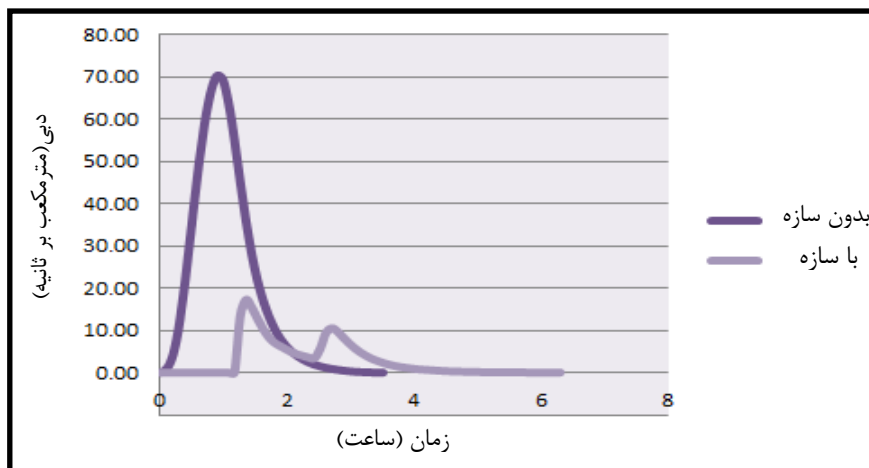
شکل ۱۰. مقایسه هیدروگراف ورودی و خروجی سازه ۸



شکل ۱۱. مقایسه هیدروگراف سیلاب حوضه برای رگبار با دوره بازگشت بیست و پنج ساله در شرایط قبل و بعد از احداث سازه‌ها در خروجی حوضه



شکل ۱۲. مقایسه هیدروگراف سیلاب حوضه برای رگبار با دوره بازگشت پنجاه ساله در شرایط قبل و بعد از احداث سازه‌ها در خروجی حوضه



شکل ۱۳. مقایسه هیدروگراف سیلاب حوضه برای رگبار با دوره بازگشت صدساله در شرایط قبل و بعد از احداث سازه‌ها در خروجی حوضه

جدول ۵. ویژگی‌های هیدروگراف سیل در شرایط قبل و بعد از احداث سازه‌ها در خروجی حوضه

اختلاف	بعد از احداث سازه‌ها		قبل از احداث سازه‌ها		دوره بازگشت	
	حجم سیل (m <sup>3</sup> )	دبی اوج (m <sup>3</sup> /s)	حجم سیل (m <sup>3</sup> )	دبی اوج (m <sup>3</sup> /s)		
۱۴۱۰۳۳	۴۰٫۷۸	۳۰۱۱	۱٫۱	۱۴۴۰۴۴	۴۱٫۸۸	۲۵
۱۶۶۶۱۵	۴۶٫۹	۲۵۴۴۳	۸٫۹۴	۱۹۲۰۵۸	۵۵٫۸۴	۵۰
۱۷۶۱۶۶	۵۳٫۱	۶۵۹۰۷	۱۷٫۲۸	۲۴۲۰۷۳	۷۰٫۳۸	۱۰۰

جدول ۶. زمان تمرکز در شرایط قبل و بعد از احداث سازه‌ها در خروجی حوضه

دوره بازگشت	زمان تمرکز قبل از احداث سازه‌ها (ساعت)	زمان تمرکز بعد از احداث سازه‌ها (ساعت)	میزان افزایش زمان تمرکز (ساعت)
۲۵	۰٫۶۸	۱٫۶۶	۰٫۹۸
۵۰	۰٫۶۸	۱٫۲۱	۰٫۵۳
۱۰۰	۰٫۶۸	۰٫۹۴	۰٫۲۶

جدول ۷. ارتفاع بهینه سازه‌ها

شماره بند	ارتفاع در بازدید میدانی	ارتفاع بهینه
۳	۱۰	۸
۴	۷	۵٫۵
۵	۷	۴

### بحث و نتیجه‌گیری

نتایج نشان‌دهنده آن است که احداث سازه‌ها در کاهش دبی اوج و حجم سیل مؤثرند و ۷۵ تا ۹۷ درصد دبی اوج و ۷۳ تا ۹۸ درصد حجم سیل را در دوره‌های بازگشت مختلف کاهش می‌دهند. نتایج به‌دست‌آمده در این زمینه با مطالعات قاضی‌محلله [۱۳]، کریمی‌زاده [۱۰]، مور [۱۹]، روشنی [۱۵]، و گراف [۷] مطابقت دارد. ذکر این نکته لازم است که در مطالعه حاضر با فرض خالی بودن مخزن سازه‌ها حداکثر تأثیر آن‌ها محاسبه شده است. بدیهی است در صورتی که مخزن سازه‌ها کاملاً یا تا حدی پُر باشد، تأثیر آن‌ها کاهش می‌یابد. به علاوه، در دوره بازگشت‌های بالاتر با افزایش دبی اوج و حجم سیل ورودی نقش مخازن در کاهش دبی اوج سیلاب و حجم سیل کاهش می‌یابد. نتایج قاضی‌محلله [۱۳] و سلطانی [۱۹] در این زمینه مؤید نتایج تحقیق حاضر است. مقایسه هیدروگراف سیل قبل و بعد از احداث

سازه مؤید کشیده و پخش شدن شکل هیدروگراف سیل است. این موضوع سبب افزایش زمان تمرکز، زمان پایه، و کاهش دبی اوج سیل می‌شود. تحقیق فرانسیس جی [۴] نیز مؤید این موضوع است. همچنین، در اثر احداث سازه‌های مذکور زمان تمرکز در محل خروجی حوضه ۰٫۲۶ تا ۰٫۹۸ ساعت در دوره بازگشت‌های مختلف افزایش یافته است که با نتایج روشنی [۱۵] مطابقت دارد. به علاوه، هیدروگراف سیل از حالت تک‌اوجی به دو اوجی تبدیل شده است که نتیجه آن ناهم‌زمان شدن سیل در شاخه‌های مختلف و به عبارتی دیگر تأثیر سازه‌ها بر زمان تمرکز در شاخه‌های مختلف است. یکی از جنبه‌های مهم احداث سازه‌های اصلاحی تأثیر آن بر زمان تمرکز در شاخه‌های مختلف است. در واقع، دبی اوج خروجی حوضه منحصراً تابعی از بزرگی دبی اوج هیدروگراف زیرحوضه نیست، بلکه بیشتر متأثر از تأخیر زمانی دبی اوج زیرحوضه‌هاست [۱۵].

شاخه‌های مختلف است. نتایج نشان‌دهنده تأثیر مثبت این سازه‌ها در ناهماهنگ کردن تمرکز جریان در شاخه‌های مختلف است. در واقع، تغییر شکل هیدروگراف از حالت تک‌اوجی به دو اوجی بیانگر نقش مثبت سازه‌هاست. همچنین، با بررسی اثر احداث سازه پیش از فاز اجرا می‌توان ارتفاع بهینه هر سازه را با توجه به اهداف موجود در منطقه مشخص کرد؛ این موضوع موجب صرفه‌جویی در وقت و زمان می‌شود.

به عبارتی، وقتی که دبی اوج سیل در شاخه‌های متفاوت در یک زمان به خروجی برسد، اوج جریان بیشتر از حالتی خواهد بود که دبی اوج در زمان‌های متفاوت در خروجی حوضه تلاقی نمایند. بنابراین، هدف این است که با احداث سازه‌ها زمان تمرکز در شاخه‌های متفاوت ناهماهنگ شود تا جریان در شاخه‌های مختلف هم‌زمان به هم نرسد و دبی اوج کاهش یابد. بنابراین، یکی از پارامترهای مورد بررسی در این تحقیق تأثیر احداث سازه‌ها بر زمان تمرکز در

## References

- [1] Abbasizadeh, M., Mahdavi, M. and Salajegheh, A. (2010). Evaluation performance of Hydrological flood routing method in Dez river, *Journal of physical Geography*, 3, 63-75.
- [2] Dabiri, S.S., Sofi, M. and Talbbedokhti, N. (2014). Effect of watershed check dams in control sediment (case study: Eghlid & Marvdasht & Mamsani watershed), *Journal of water Resources Engineering*, 6, 1-21.
- [3] Eskandari, M., Dasturani, M.T., Ftahi, A. and Nasri, A. (2012). Evaluation of Watershed Management actions on Zayanderood watershed (case study: sub catchment), *Third National Conference on Integrated Water Resources Management*.
- [4] Francis, J. and Keith, H. (2005). Changes in hydrologic regime by dams, *Journal of Geomorphology*, 71, 61-78.
- [5] Gill, M. A. (1979). Critical Examination of the Muskingum Method, *Nordic Hydrology*, 10, 10-15.
- [6] Golrang, B.M., Lai, F.S., Sadeghi, S.H.R., Khamurudin, M.N., Kamziah, Abd Kudus., Mashayekhi, M. and Bagherian, R. (2013). Assessment of watershed management implemented on springal peak flood discharge and flood volume, using HEC-HMS model, *Nature and Science*, 11, 6-12.
- [7] Graff, W. (2006). Downstream hydrologic and geomorphic effects of large dams on American rivers, *Geomorphology*, 79, 336-360.
- [8] Hashemi, S.A.A. (2013). Effect of Rock check dams on flood reducing in Arid and Semi arid regions (case study :Darjazin watershed in semnan province), *J. sci. & Technol. Agric. & Natur. Resour., Water and soil sci.*, 66(17), 160-171.
- [9] Iranian Hydraulic Association., hydraulic newsletter. (2001). 23 p.
- [10] Karimizadeh, K. (2009). Technical assessment of watershed management measures effects on flood (case study: Sira-Kalvan watershed), MSc. Thesis, Tehran university, 104 pp.
- [11] Lammersen, R., Engel, H., Langemheen, W.V.D. and Buiteveld, H. (2002). Impact of river training and retention measures on flood peaks along the Rhine, *Journal of Hydrology*, 267, 115-124.
- [12] Mahdavi, M. (2011). *Applied Hydrology*, 7<sup>ed</sup> Edition, University of Tehran press, 437p.
- [13] Nourali Ghazimahalleh, M., Najafi nejad, A. and Noura, N. (2008). The study of performance of Nowkandeh multipurpose dam for flood control by using HEC-HMS model in province of Golestan, *J. Agric. Sci. Natur. Resour.*, 15, 13p.
- [14] Polyakov, V.O., Nichols, M.H., McClaran, M.P. and Nearing, M.A. (2014). Effect of check dams on runoff, sediment yield, and retention on small semiarid watersheds. *Journal of soil and water conservation*, 69, 414-421.
- [15] Roshani, R. (2003). Evaluating the effect of check dams on flood peaks to optimize the flood control (Kan case study in Iran), *International institute for geo information science and earth observation enschede, The Netherlands*, 43pp.
- [16] Roughani, M. (2012). Surveying the roles of soil and water conservation structures in runoff control and storage (Case Study in Hydarie Catchment), *Watershed Management Research (Pajouhesh & Sazandegi)*, 96, 36-44.
- [17] Sanei, M., Moteei, M. and Hoseni, S.A. (2005). Determination of flow velocity by power method in channels of with steep gradient, *5th Conference of Hydraulic*, Kerman, Iran.
- [18] Singh, V.P. and McCann, R.C. (1980). Some Notes on Muskingum Method of Flood Routing, *Journal of Hydrology*, 48, 343-361.

- [19] Soltani, M., Ekhtesasi, M., Talebi, A., Poraghnai, M. and Sarsangi, A. (2011). Effect of check dams on reduction of flood peak (case study: Manshad watershed), *Watershed management research (pajouhesh & sazanegi)*, 93, 46-54.
- [20] Tajeki, M. (2007). Evaluation of watershed activities on flood and sedimentation (case study: Ramian watershed), MSc. thesis, Gorgan University of Agricultural Sciences & Natural Resources, 138 pp.
- [21] Torabi Haghighi, A., Marttila, H. and Klove, B. (2014). Development of a new index to assess river regime impacts after dam construction, *Global and planetary change journal*, 122, 186-196.
- [22] Yoshikawaa, N., Nagaob, N. and Misawac, S. (2010). Evaluation of the flood mitigation effect of a Paddy Field Dam project, *Agricultural Water Management*, 97, 259-270.