

## بررسی تأثیر شکست سد بر پارامترهای هیدرولیکی جریان با استفاده از سیستم تحلیلی HEC-RAS (مطالعه موردی: رودخانه سیامرزکوه در استان گلستان)

سید محمدعلی حسینی<sup>۱</sup>، احمد شرافتی<sup>۲</sup>، مهدی کاهه<sup>۳</sup>

- ۱- دانشجوی دکترای عمران - آب و سازه‌های هیدرولیکی دانشگاه آزاد، واحد علوم و تحقیقات تهران
- ۲- دکترای عمران - آب و عضو هیئت علمی دانشکده عمران دانشگاه آزاد، واحد علوم و تحقیقات تهران
- ۳- دکترای سازه‌های آبی، اداره کل منابع طبیعی استان گلستان

Hosseini.sma@yahoo.com

### خلاصه

یکی از مهم‌ترین پدیده‌هایی که به دلیل وارد نمودن خسارت‌های جانی، مالی، زیست محیطی و اجتماعی، دارای اهمیت تحقیقاتی فراوان می‌باشد، پدیده شکست سد است. با وقوع موارد متعددی از شکست سدها، بررسی پدیده شکست سد و آثار ناشی از آن، از سال‌های دور مورد بحث پژوهشگران در سراسر دنیا بوده است. هرچند مطالعات متعددی در این باره توسط محققین در گذشته صورت گرفته است، اما این مبحث هنوز جای بحث و بررسی فراوان دارد. در تحقیق حاضر تحلیل ریسک شکست سد و تغییرات احتمالی جریانات رودخانه‌ای پس از شکست سد در محل سد تأخیری سیامرزکوه در استان گلستان در بازه‌ای به طول ۲۴۰۰ متر و با استفاده از داده‌های هندسی ۷۰ مقطع عرضی در سیستم تحلیلی رودخانه HEC-RAS مورد بررسی قرار گرفته است. در این مدل پس از تجزیه و تحلیل داده‌ها، پارامترهای هیدرولیکی جریان نظیر سرعت جریان و تنش برشی بستر در پایین‌دست، قبل و بعد از شکست سد برای دوره بازگشت‌های ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ سال مقایسه و آنالیز گردیده‌اند و عوامل موثر بر تغییرات جریان مورد بحث و بررسی قرار گرفته است.

**کلمات کلیدی:** شکست سد، سد تأخیری، مورفولوژی رودخانه، داده‌های هندسی، جریانات هیدرولیکی.

### ۱. مقدمه

احداث هرگونه سازه در مسیر رودخانه باید با مطالعه و بررسی کامل و مبتنی بر اصول مهندسی رودخانه انجام پذیرد. از این رو انجام اقدامات ساماندهی و دخالت در نظام رودخانه‌ای مستلزم شناخت قواعد خاص حاکم بر آن بوده و قبل از انجام هر نوع اقدام مهندسی رودخانه، بررسی و پیش‌بینی عکس-العمل رودخانه ضروری است. در این میان به خصوص تغییرات رودخانه‌ای ناشی از احداث سازه‌های آبی از اهمیت خاصی برخوردار می‌باشد [۱].

سدهای تأخیری برای کنترل سیلاب و ایجاد تأخیر در جریان سیلابی ساخته می‌شوند. لذا با ذخیره‌ی مقداری از سیلاب، مقدار دبی اوج سیلاب تقلیل و زمان رسیدن آن به نقطه مورد نظر را افزایش می‌دهند. سدهای تأخیری معمولاً دارای ارتفاع و حجم ذخیره کم بوده که آب محبوس شده در بالادست آن‌ها به تدریج از طریق سازه‌ای خاص و یا نشت از داخل فونداسیون و بدنه سد به پایین‌دست منتقل شده و منطقه پایین‌دست از صدمات احتمالی سیلاب در امان می‌ماند [۲].

هر نوع صدمه در قسمتی از بدنه سد که موجب رهاسازی حجم غیرقابل کنترلی از آب شود را شکست سد می‌نامند. شکست سد در سازه‌های تأخیری که هدف اصلی ساخت آنها پایین آوردن مقدار پیک سیلاب می‌باشد، می‌تواند خسارات قابل توجهی به پایین‌دست سد وارد کند. لذا تحلیل و بررسی ریسک شکست سد در زمان وقوع سیلاب از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.

هدف اصلی تحقیق حاضر بررسی احتمال شکست سدهای تأخیری و مقایسه تغییرات سرعت جریان و تنش برشی بستر در حالت استقرار سد و زمان شکست آن در رودخانه سیامرزکوه با استفاده از سیستم تحلیلی رودخانه HEC-RAS برای دوره بازگشت‌های ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ سال می‌باشد. برای

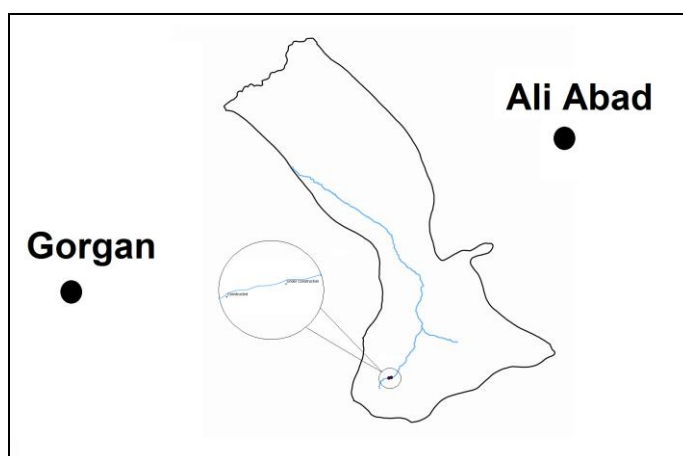
این منظور و مقایسه بهتر، دو ارتفاع ۷ متر و ۴ متر در اجرای مدل برای این سد در نظر گرفته شده است. شکل (۱) نمایی از سد تأخیری سیامرز کوه را نشان می‌دهد.



شکل (۱): نمایی از سد تأخیری سیامرز کوه

### ۱-۱- موقعیت جغرافیایی و ویژگی‌های طبیعی محدوده مورد مطالعه [۳]

حوزه آبخیز سیامرز کوه علی‌آباد در محدوده طول جغرافیایی ۳۰-۴۲-۵۴ شرقی تا ۵۰-۵۴-۵۴ غربی، عرض جغرافیایی ۰۰-۳۵-۳۶ شمالی تا ۳۰-۴۲-۳۶ جنوبی قرار گرفته است. همانطور که در شکل (۲) نمایش داده شده است از شمال به روستای محمدآباد، از جنوب به مرز استان سمنان، از شرق به حوزه آبخیز زرین گل علی‌آباد و از غرب به حوزه‌های آبخیز گرمابدشت و جعفرآباد محدود می‌گردد. حوزه آبخیز سیامرز کوه با مساحتی حدود ۹۷۳۷ هکتار در مرکز استان گلستان واقع گردیده است. منطقه مورد نظر با حداکثر ارتفاع ۳۶۰۰ متر و حداقل ۱۴۴۰ متر از سطح دریاهای آزاد و با شیب آبراهه متوسط ۱۶/۹۵ درصد یکی از زیر حوزه‌های حوزه آبخیز محمدآباد کتول می‌باشد. سرشاخه‌های حوزه محمدآباد از مناطق مرتفع استان سمنان سرچشمه گرفته و با شیب نسبتاً زیادی وارد دشت می‌گردد و شیب زیاد آبراهه‌ها شدت سیل‌گیری را در حوزه مضاعف نموده است. سدهای تأخیری سیامرز کوه واقع در استان گلستان نقش کنترل سیل، ذخیره سیلاب، ترسیب رسوبات و تثبیت پروفیل طولی رودخانه را بر عهده دارد.



شکل (۲): موقعیت جغرافیایی محدوده مورد مطالعه

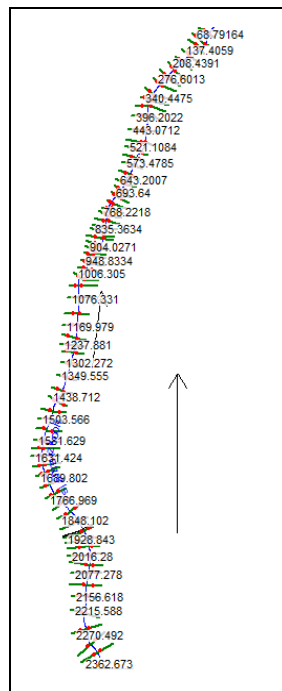
## ۲. مواد و روش‌ها

در حوضه محمدآباد چندین سد تأخیری (رسوب‌گیر) طراحی شده که تعداد کمی از آنها تاکنون ساخته شده‌اند. در این تحقیق به بررسی ۲۴۰۰ متر از طول رودخانه‌ی سیامرز کوه که یک سازه سد تأخیری در آن قرار دارد پرداخته شده است. با توجه به توپوگرافی رودخانه و با استفاده از نرم افزار GIS.

ژئومتری بستر و دشت سیلابی رودخانه شبیه‌سازی و مقاطع عرضی در طول رودخانه در نظر گرفته شده است. سپس این اطلاعات به محیط سیستم تحلیلی رودخانه HEC-RAS برای تحلیل شکست سد و روندیابی هیدرولیکی وارد و داده‌های هندسی تکمیل و در نهایت مدل هیدرولیکی رودخانه ارائه می‌شود.

## ۲-۱- بررسی هندسی مقاطع

در تحقیق حاضر تعداد ۷۰ مقطع عرضی به مسافت ۲۴۰۰ متر از رودخانه سیامرزکوه با توجه به نقشه‌برداری اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان گلستان در نظر گرفته شده است. همان طور که گفته شد، این مقاطع عرضی در نرم افزار GIS رسم شده و وارد محیط سیستم تحلیلی رودخانه HEC-RAS می‌شود. اطلاعات مورد نیاز دیگر برای یک مقطع عرضی که شامل: شاخص‌های رودخانه، بازه و ایستگاه رودخانه، مختصات X و Y (نقاط ایستگاه تراز)، طول‌های بازه، ضریب زبری مانینگ، ایستگاه‌های کران کانال اصلی و ضرائب بازشدگی و تنگ‌شدگی می‌باشند نیز وارد شده است [۴]. هم‌چنین اطلاعات مورد نیاز در تحلیل شکست سد شامل: نوع شکست سد، زمان شکست سد، ضریب شکست و ... نیز تکمیل گردیده است. شکل (۳) طرح شماتیک مقاطع عرضی ۲۴۰۰ متر از رودخانه سیامرزکوه را در سیستم HEC-RAS نشان می‌دهد.



شکل (۳): طرح شماتیک مقاطع عرضی رودخانه سیامرزکوه در سیستم HEC-RAS

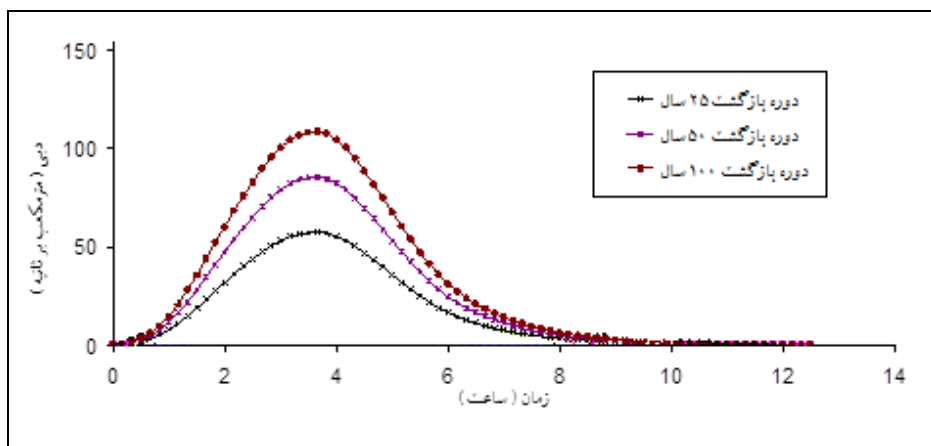
## ۲-۲- ضریب زبری مانینگ

به دلیل تغییرات مواد بستر و پوشش گیاهی کناره‌ها در طول بازه تحقیقاتی، برای انتخاب ضریب مانینگ مناسب کانال، اقدام به بازدید صحرایی و کد گذاری در طول مسیر رودخانه توسط دستگاه GPS گردید. این مکان‌ها در قسمت‌هایی از کانال که دارای تغییرات عمده‌ای از نظر تغییرات بستر، بی-نظمی کانال، موانع، پوشش گیاهی و غیره بوده در نظر گرفته شد و از همه‌ی موقعیت‌ها به همراه اشل نمونه‌برداری و تصویربرداری گردیده است. پس از بازدید میدانی و ثبت تصویربرداری از این نقاط با استفاده از نرم‌افزار Arc GIS اقدام به رسم کروکی این نقاط شده و فواصل آنها مشخص گردید. سپس با استفاده از روش تجربی کاون (Cowan) ضریب مانینگ مورد نظر برای هر مکان بدست آمده است. هم‌چنین در طول مسیر و بین هر دو مکان مشخص این ضرایب زبری میان‌یابی شده و برای کل بازه‌ی مورد نظر تعیین گردیده است.

## ۲-۳- تحلیل جریان غیر ماندگار

پس از وارد کردن داده‌های هندسی، اطلاعات جریان غیر ماندگار شامل شرایط اولیه، هیدروگراف جریان و هر شرط مرزی که مورد نیاز است وارد می‌شود. داده‌های جریان را می‌توان در هر مقطع عرضی در داخل یک بازه تغییر داد. شرکت مشاور برای طراحی سدهای مورد نظر در مسیر جریان با

استفاده از آمار و اطلاعات جمع‌آوری شده از ایستگاه آب‌سنجی سرمو واقع در محمدآباد و به روش SCS مقادیر دبی بیک سیلاب با دوره‌های بازگشت مختلف را برای رودخانه‌ی سیاه‌مرزکوه مطابق شکل (۴) بدست آورده که از این مقادیر در این تحقیق استفاده شده است [۳].



شکل (۴): هیدروگراف‌های سیلاب با دوره بازگشت‌های مختلف در حوزه آبخیز سیاه‌مرزکوه [۳]

#### ۲-۴- شرایط مرزی

شرایط مرزی برای برقراری سطح آب آغازین در هر یک از دو انتهای سیستم رودخانه (پایین دست و بالادست) مورد نیاز می‌باشد. در رژیم زیر بحرانی، شرایط مرزی فقط در انتهای پایین دست سیستم رودخانه و در محاسبه رژیم جریان فوق بحرانی فقط شرایط مرزی در انتهای بالادست سیستم رودخانه ضروری خواهد بود. اگر رژیم جریان باید مختلط بررسی شود، در این صورت شرایط مرزی باید در هر دو انتهای سیستم رودخانه وارد شود [۴]. در این تحقیق از اعمال شرایط مرزی با استفاده از هیدروگراف جریان در بالادست و عمق نرمال در پایین دست استفاده شده است. پس از آنکه داده‌های هندسی و داده‌های جریان وارد گردیدند، انجام محاسبات هیدرولیکی آغاز می‌شود.

#### ۳. نتایج و بحث حاصل از مدل‌سازی رودخانه سیامرزکوه در HEC-RAS

پس از انجام محاسبات هیدرولیکی و تحلیل شکست سد، پارامترهای مهم جریان بر اساس دبی سیلابی با دوره بازگشت‌های ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ ساله شامل: سرعت جریان (متر بر ثانیه) و تنش برشی بستر (نیوتن بر مترمربع) در سه مقطع به فواصل ۵۰، ۵۰۰ و ۱۰۰۰ متر در پایین دست محل احداث سد مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل داده‌های هندسی جریان در رودخانه سیامرزکوه در جداول (۱)، (۲) و (۳) و اشکال (۵) و (۶) نشان داده شده است. نتایج نشان می‌دهد که پارامترهای مورد بررسی در زمان استقرار و کارایی سد نسبت به ارتفاع سد کمترین میزان تغییرات را دارند، اما با افزایش دوره بازگشت سیلاب مقدار آنها افزایش پیدا می‌کند. در زمان شکست سد پارامترهای سرعت جریان و تنش برشی بستر افزایش قابل توجهی نسبت به زمان استقرار سد دارد. به عنوان مثال در دوره بازگشت ۲۵ ساله در سازه ۴ متری افزایش سرعت حاصل از شکست سد در فواصل ۵۰ تا ۱۰۰ متری از سازه حدود ۶ تا ۱۶ درصد می‌باشد، که این مقدار برای سازه ۷ متری بین ۳۸ تا ۶۷ درصد می‌باشد. هم‌چنین دبی خروجی از سد در حالت شکست سازه نسبت به استقرار آن در سازه ۴ متری ۵۷ درصد و در سازه ۷ متری ۳۲۴ درصد افزایش داشته است.

#### ۴. نتیجه‌گیری

از آنجایی که تغییر در پارامترهای جریان بر مورفولوژی رودخانه تاثیرگذار است، بررسی پدیده شکست سد و پیش‌بینی اثرات ناشی از آن ضروری بوده و تا حدود زیادی از شدت تلفات و خسارات ناشی از آن می‌کاهد. با توجه به اینکه در پایاب سدها مناطق مسکونی، تجاری، صنعتی و کشاورزی وجود دارد، پیش‌بینی خطرات ناشی از شکست سدها و تعیین نقشه‌ی مناطق خطرپذیر لازم و حیاتی است. جاری شدن سیل در پایین دست در زمان شکست سد

تنها به شکل و اندازه مخزن وابسته نیست، بلکه به مقدار نفوذ یا شکل تخریب سازه هم بستگی دارد. برای مطالعات بیشتر، باید آزمایش‌های بیشتری بر روی فرسایش و لغزش‌ها در بدنه سدهای مختلف و هم‌چنین بررسی سرریزهای متفاوتی به همراه صحت‌سنجی مدل شبیه‌سازی شده انجام شود.

**جدول (۱): دبی‌های خروجی از سدها در مقطع پایین دست سد**

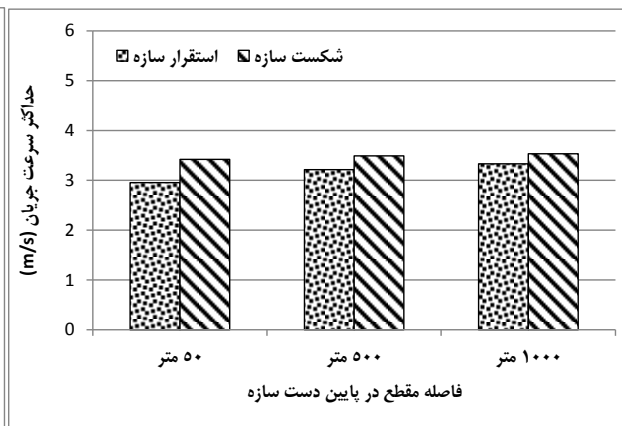
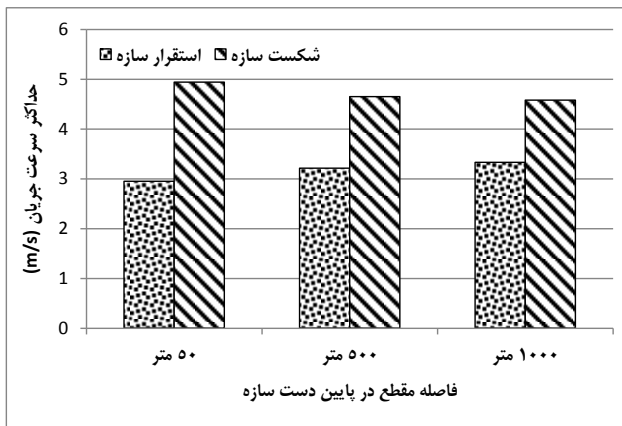
در زمان شکست سد		در زمان استقرار سد		سیلاب با دوره بازگشت‌های مختلف
دبی سیلاب در سازه ۷ متری (متر مکعب بر ثانیه)	دبی سیلاب در سازه ۴ متری (متر مکعب بر ثانیه)	دبی سیلاب در سازه ۷ متری (متر مکعب بر ثانیه)	دبی سیلاب در سازه ۴ متری (متر مکعب بر ثانیه)	
237.48	88.31	55.93	56.02	سیلاب با دوره بازگشت ۲۵ ساله
237.38	88.85	79.79	79.85	سیلاب با دوره بازگشت ۵۰ ساله
236.80	115.05	107.82	107.87	سیلاب با دوره بازگشت ۱۰۰ ساله

**جدول (۲): آنالیز حاصل از پارامترهای هیدرولیکی جریان در مقاطع مختلف پایین دست سد (سازه ۴ متری)**

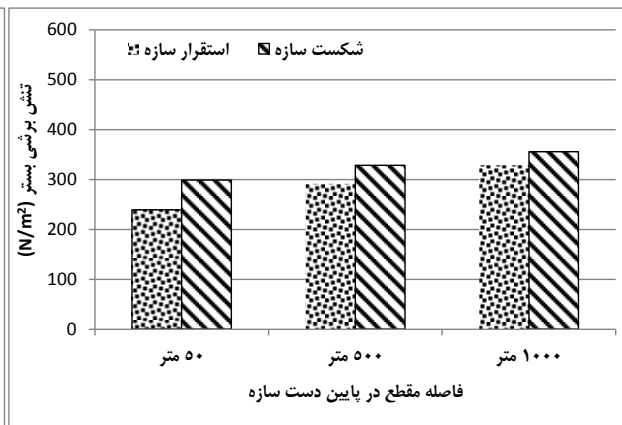
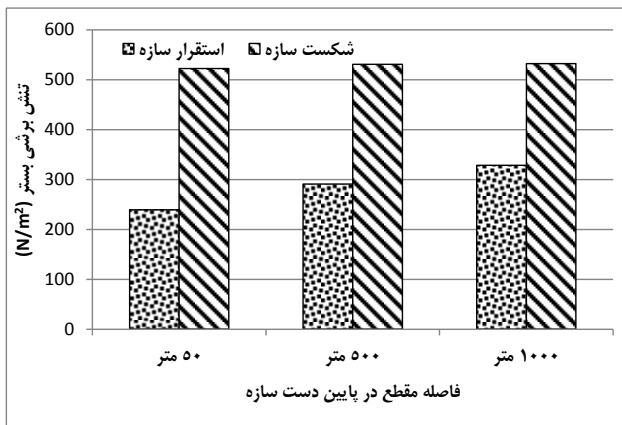
استقرار سازه			شکست سازه			پارامترهای جریان	سیلاب با دوره بازگشت‌های مختلف
فاصله از سد در پایین دست			فاصله از سد در پایین دست				
۱۰۰۰ متر	۵۰۰ متر	۵۰ متر	۱۰۰۰ متر	۵۰۰ متر	۵۰ متر		
3.33	3.21	2.95	3.53	3.49	3.42	سرعت جریان (متر بر ثانیه)	سیلاب با دوره بازگشت ۲۵ ساله
328.25	290.81	239.04	355.62	328.47	298.63	تنش برشی بستر (نیوتن بر متر مربع)	
3.67	3.55	3.34	3.67	3.56	3.43	سرعت جریان (متر بر ثانیه)	سیلاب با دوره بازگشت ۵۰ ساله
374.85	336.08	287.89	375.01	336.19	299.47	تنش برشی بستر (نیوتن بر متر مربع)	
4	3.94	3.71	4	3.94	3.76	سرعت جریان (متر بر ثانیه)	سیلاب با دوره بازگشت ۱۰۰ ساله
426.83	397.65	336.65	426.9	397.66	344.16	تنش برشی بستر (نیوتن بر متر مربع)	

جدول (۳): آنالیز حاصل از پارامترهای هیدرولیکی جریان در مقاطع مختلف پایین دست سد (سازه ۲ متری)

استقرار سازه			شکست سازه			پارامترهای جریان	سیلاب با دوره بازگشت های مختلف
فاصله از سد در پایین دست			فاصله از سد در پایین دست				
۱۰۰۰ متر	۵۰۰ متر	۵۰ متر	۱۰۰۰ متر	۵۰۰ متر	۵۰ متر		
3.33	3.21	2.95	4.58	4.65	4.94	سرعت جریان (متر بر ثانیه)	سیلاب با دوره بازگشت
328.48	291.05	239.15	532.18	530.63	522.15	تنش برشی بستر (نیوتن بر متر مربع)	۲۵ ساله
3.67	3.55	4.34	4.58	4.65	4.94	سرعت جریان (متر بر ثانیه)	سیلاب با دوره بازگشت
374.84	336.04	287.78	532.73	531.17	522.14	تنش برشی بستر (نیوتن بر متر مربع)	۵۰ ساله
4	3.94	3.71	4.59	4.66	4.94	سرعت جریان (متر بر ثانیه)	سیلاب با دوره بازگشت
426.76	397.52	336.73	534.4	532.10	521.78	تنش برشی بستر (نیوتن بر متر مربع)	۱۰۰ ساله



شکل (۵): آنالیز حاصل از حداکثر سرعت جریان در مقاطع مختلف پایین دست سد با دوره بازگشت ۲۵ سال



شکل (۶): آنالیز حاصل از تنش برشی بستر در مقاطع مختلف پایین دست سد با دوره بازگشت ۲۵ سال

## ۵. مراجع

۱. وزارت نیرو، (۱۳۹۱)، راهنمای مطالعات ریخت‌شناسی رودخانه‌ها، نشریه شماره ۵۹۲.
۲. ابریشمی، ج، وهاب رجایی، ن، (۱۳۸۴)، سدهای بتنی، انتشارات آستان قدس رضوی.
۳. آرشیو اطلاعات اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان گلستان.
۴. جبلی فرد، س. امیدوار، آ. نجفی جیلانی، ع. (۱۳۸۴)، سیستم تحلیل رودخانه HEC – RAS، انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر، چاپ دوم.
۵. سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور (۱۳۸۷)، راهنمای تعیین ضریب زبری رودخانه‌ها، نشریه شماره ۳۳۱.
6. G. J. Hanson, K. R. Cook, S. L. Hunt, (2005), Physical Modeling Of Overtopping Erosion and Breach Formation Of Cohesive Embankments, Published by the American Society of Agricultural and Biological Engineers, St. Joseph, Michigan.
7. Tawatchai Tingsanchali, Chaiyuth Chinnarasri, (2001), Numerical modelling of dam failure due to flow overtopping, Hydrological Sciences Journal.
8. Zakaraya Alhasan, Jan Jandora, Jaromir Řiha, (2015), Study Of Dam-Break Due To Overtopping Of Four Small Dams In The Czech Republic, Institute of Water Structures, Faculty of Civil Engineering, Brno University of Technology, Brno, Czech Republic.
9. Xuan Khanh Do, Minseok Kim, H.P. Thao Nguyen, Kwansue Jung , (2016), Analysis Of Landslide Dam Failure Caused By Overtopping, 12th International Conference on Hydroinformatics.
10. Omid Saberi, Gerald Zenz , (2015), Empirical Relationship for Calculate Outflow Hydrograph of Embankment Dam Failure due to Overtopping Flow, International Journal of Hydraulic Engineering.