ارزیابی تأثیر ارتفاع سدهای اصلاحی بر حجم و دبی اوج سیلاب (مطالعه موردی: حوضه آبخیز گرگاندوز)

محسن جوان[1]، سید مرتضی سیدیان[2*]، مهدی کاهه[3] و علی حشمت‌پور[4]

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشگاه گنبد

۲*- نویسنده مسئول، استادیار دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه گنبد

۳- دکتری مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز

۴- استادیار دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه گنبد

تاریخ دریافت: ۹۳/۱۰/۲۱ تاریخ پذیرش: ۹۴/۸/۱۰

چکیده

سازه‌های آبخیزداری از جمله پروژه‌های پرهزینه‌ای می‌باشند که با اهداف کاهش فرسایش و رسوب و کاهش سیل‌خیزی در حوضه‌های آبخیز احداث می‌گردند. از آنجا که ایجاد هر گونه سازه در بستر مسیل‌ها می‌تواند در تغییر رفتار سیل مؤثر باشد این تحقیق با هدف بررسی تأثیر ارتفاع سازه‌های اصلاحی بر ویژگی‌های سیل و آبراهه در حوضه آبخیز گرگاندوز صورت گرفت. بدین منظور از مدل هکرس برای شبیه‌سازی جریان در سناریوهای بدون احداث سازه، احداث ۲۰ سازه ۱/۵، ۱۰ سازه ۳ و ۸ سازه ۳/۷۵ متری استفاد گردید. نتایج نشان داد تأثیر احداث سازه‌های اصلاحی ۱/۵، ۳ و ۳/۷۵ متری بر کاهش دبی اوج در مقایسه با سناریوی بدون احداث سازه، در قسمت بالای بازه مورد مطالعه صفر، در قسمت میانی برای هر سه سازه در حدود یک و در قسمت پایینی به ترتیب ۲/۴۹، ۸/۸ و ۱۷/۵ درصد بود. همچنین تأثیر احداث سازه‌های ۱/۵، ۳ و ۳/۷۵ متری نشان داد حجم سیلاب نسبت به سناریوی بدون احداث سازه به ترتیب ۱/۱۶، ۸/۱ و ۱۳/۹ درصد کاهش می‌یابد. با احداث سازه تغییرات سرعت در آبراهه به گونه‌ای است که با احداث سازه‌های بلندتر سرعت در طول آبراهه بیشتر کاهش می‌یابد که بیانگر قدرت فرسایش کمتر جریان در آبراهه است. همچنین پارامتر تنش برشی که نشان‌دهنده میزان اصطکاک بین جریان و آبراهه است نیز نتایج سرعت را تأیید کرده و نشان داد با افزایش ارتفاع سازه، تنش برشی کاهش می‌یابد. حاصل‌ضرب تنش برشی در سرعت جریان بیانگر قدرت حمل رسوب توسط جریان است که بررسی شرایط جریان نشان داد با احداث سازه‌های بلندتر قدرت حمل رسوب آبراهه کمتر گردیده است و نه تنها خسارت کمتری به آبراهه وارد می‌گردد بلکه باعث می‌شود پشت سازه زودتر از رسوب پر شده و به شیب حد برسد. در مجموع سناریوهای مختلف احداث سازه‌های اصلاحی نشان داد با افزایش ارتفاع سازه‌ها تأثیر آن‌ها بر ویژگی‌های سیل بیشتر می‌شود و باعث کنترل بیشتر سیل می‌گردد.

کلید واژه‌ها: دبی اوج، سازه اصلاحی، سرعت جریان، رسوب، نرم افزار HEC-RAS.

Evaluation of Check Dams' Height on Pick and Volume Flood (Case Study: Gorgandooz Watershed)

M. Javan[1], S. M. Seyedian[2*], M. Kaheh[3] and A. Heshmatpour[4]

1- Msc. Graduated of Watershed Management, Gonbad Kavous University.
2*- Assistant Professor, Gonbad Kavous University.
3- PhD. Water Sciences Engineering, Shahid Chamran University.
4- Assistant Professor, Gonbad Kavous University.

Received:11 January 2015 Accepted:1 November 2015

Abstract

Watershed structures are among of expensive projects that are constructed to decrease erosion and sediment load and decreasing flood in watershed. Constructing any structures in flood bed can change the flood behavior. This research tries to study check dam effects on flood and water way properties in Gorgandooz watershed. For this goal, HEC-RAS model is used to simulate hydraulic in 4 Scenarios: without structure, 20 structures with 1.5, 10 structures with 3 and 8 structure with 3.75 meter for comparing of specified plan effects with each other. The results of this research show that the influence of 1.5, 3 and 3.75 meter check dam on pick flow comparing

with structure was not created on the upstream of the watershed is 0, in the middle 1 and at the downstream is 2.49, 8.8 and 17.5% respectively. Also the effect of 1.5, 3 and 3.75 meter structure on decreasing of flood volume in respect of without structure is 1.16, 8.1, 13.9, respectively. The study of flow velocity shows that the construction of higher structure cause that the flow velocity decrease that shows the power of flow erosion in water way become less. Shear stress parameter that shown friction rate between flow and water way confirm the velocity results and show that shear stress decrease with increasing of structure height. The multiplying of shear stress on speed is another important parameter that is studied. This parameter shows the sediment transport power of flow. This parameter indicates the strength of sediment transport by flow that showed strength of sediment transport is less in higher structural. Not only reduce of sediment transport will cause less damage to the waterway but also sedimentation into check dam was occur soon and sediment balancing gradient is reached. As whole various Scenarios of check dam shows that the influence of structure on flood and water way become more by increasing of structure height and cause that the condition in deal with flood become well.

Keywords: Peak Flow, Check dam, Flow velocity, Sediment, HEC-RAS software.

مقدمه

امروزه رودخانه‌ها به عنوان تأمین کننده آب شیرین برای مصارف شرب، کشاورزی و صنعت مورد توجه هستند (والکر و مایدمنت[1]، ۲۰۰۶). از طرفی افزایش جمعیت و استفاده بی‌رویه و نادرست از رودخانه‌ها بدون توجه به عکس‌العمل‌های منفی آن، در بسیاری از مناطق باعث بروز مشکلات زیادی شده و به دنبال آن میزان بهره‌برداری از منابع طبیعی افزایش یافته است (رفاهی، ۱۳۷۸). رودخانه‌ها و آبراهه‌ها تحت تأثیر عوامل طبیعی و یا دخالت‌های انسان دچار فرسایش بستر، فرسایش کناره‌ها و جابجایی عرضی می‌شوند. فرسایش رودخانه‌ای به نوبه خود موجب بروز خطرات وخسارت‌های عدیده‌ای می‌شود، به‌طوری که سالانه میلیون‌ها تن از خاک‌های با ارزش اراضی حاشیه رودخانه دچار فرسایش شده و تشدید وقوع سیلاب‌ها و افزایش نرخ تولید رسوب و کاهش عمر مفید مخازن سدها را فراهم می‌نماید (روغنی، ۱۳۹۰). با وجود پیچیدگی‌های پدیده سیل امکان بررسی آن وجود دارد و می‌توان در راستای کاهش خسارت‌های آن و حتی بهره‌برداری اقتصادی از آن راه‌حل‌های مناسبی جستوجو کرد. مهار توان سیل‌خیزی با استفاده از اقدامات سازه‌ای باید به‌طور جدی در مطالعات سیلاب مورد توجه قرار گیرد. موارد زیادی از بروز خسارت‌های ناشی از سیلاب‌ها بر اثر بی‌توجهی و جدی تلقی نکردن اقدامات سازه‌ای بوده است. در صورت طراحی و اجرای دقیق عملیات کنترل سیل می‌توان احتمال بروز سیلاب و خسارت‌ها و اثر نامطلوب سیل را به میزان قابل توجهی کاهش داد (سلطانی و همکاران، ۱۳۹۰). عباسی (۱۳۹۱) در بررسی صحرایی روی بندهای اصلاحی حوضه‌های گوش و بهره، کرتیان و کامه نشان داد که اگر هدف از احداث سازه‌های اصلاحی تثبیت شیب آبراهه و کنترل فرسایش بستر باشد، هر دو نوع سازه‌های کوتاه و بلند ممکن است اهداف طرح را برآورده کنند. همچنین در مواردی که کنترل رسوب و انباشت رسوبات در پشت سازه‌ها مدنظر باشد، سازه‌هایی با ارتفاع بلند کارایی بیشتری خواهند داشت.

صادقی و همکاران (۱۳۸۳)، به ارزیابی کمی وکیفی اقدامات آبخیزداری در بخشی از حوضه آبخیز کن (کشار) پرداختند. ارزیابی آن‌ها دلالت بر عملکرد مثبت اقدامات آبخیزداری در کنترل رواناب و رسوب در حوضه آبخیز مورد مطالعه داشت که عملیات انجام شده بر تقلیل فراوانی سیل در حدود ۹۰/۳ درصد مؤثر بوده است. سلطانی و همکاران (۱۳۹۰) و دستورانی و همکاران (۱۳۹۱)، با پژوهشی بر روی تأثیر سدهای اصلاحی بر دبی اوج در حوضه آبخیز منشاد یزد نشان دادند که سازه‌ها در دوره بازگشت‌های مختلف بر دبی اوج تأثیر زیادی ندارد هر چند با افزایش تعداد سازه این تأثیر بیشتر می‌شود. یوشیکاوا و همکاران[2] (۲۰۱۰)، پروژه سد پادی فیلد در بخش کامیهایاشی ژاپن را مورد ارزیابی قرار دادند. آن‌ها به منظور بررسی کاهش حجم دبی و کاهش خسارت سیل از ترکیب تحلیل‌های هیدرولوژی و روندیابی سیل استفاده نمودند. نتایج نشان داد که سازه کنترل سیل، دبی را به میزان ۲۶ درصد کاهش داده است و بدین ترتیب مؤثر بودن سازه تأیید شد.

مصطفی‌زاده (۱۳۸۷)، ارزیابی طرح کنترل سیل حوضه آبخیز جعفرآباد و نیز شبیه‌سازی تأثیرات هیدرولوژیک واقتصادی اجرای سناریوهای سازه‌ای جعفرآباد گلستان را با استفاده از مدل هک اچ ام اس[3] انجام داد. نتایج از تأثیر ۱/۵ درصدی سازه‌ها بر دبی اوج در دوره بازگشت‌های متفاوت داشت و نتایج مقایسه آماری تفاوت معنی‌دار در دوره قبل و بعد از احداث سازه‌ها نشان نداد. عبدالهی (۱۳۹۱)، به بررسی تأثیر سدهای اصلاحی روی جریان با استفاده از مدل هک اچ ام اس و تکنیک سیستم اطلاعات جغرافیایی[4] در حوضه آبخیز گوشک آباد استان خراسان رضوی پرداخت. نتایج این تحقیق نشان داد که دبی اوج و حجم سیلاب پس از انجام اقدامات آبخیزداری به ترتیب به میزان ۳۸/۹۴ و ۲۵/۷۲ درصد

1- Walker and Maidment

2- Yoshikawa *et al.*
3- HEC-HMS
4- Geographic Information System (GIS)

کاهش داشته است. هاشمی و قازاریان (۱۳۹۳) پژوهشی به منظور ارزیابی اثر احداث سدهای اصلاحی خشکه‌چین بر دبی اوج و حجم سیلاب در حوضه آبخیز جزین با استفاده از مدل هک اچ ام اس انجام دادند. در این پژوهش مقادیر دبی اوج و حجم سیلاب برای سه سناریوی فاقد سازه اصلاحی، سازه‌های اصلاحی با مخزن خالی و سازه‌های اصلاحی با مخزن پر از رسوب مورد بررسی قرار گرفت. نتایج آن‌ها نشان داد سناریو دوم نسبت به سناریو سوم و سناریو سوم نسبت به سناریو اول، بیشترین تأثیر را بر کاهش دبی اوج و حجم سیلاب داشته‌اند ولی در مجموع این کاهش قابل توجه نبوده است.

آذری و همکاران (۱۳۹۱)، به بررسی تأثیر اقدامات آبخیزداری بر رفتار سیلاب در حوضه آبخیز جاغرق در استان خراسان رضوی با تلفیق مدل‌های هکرس و هک اچ ام اس پرداختند. نتایج مطالعه ضمن تأیید کارایی تلفیق مدل‌ها در ارزیابی تأثیر اقدامات مهار سیلاب نشان داد که با افزایش دوره بازگشت نقش اقدامات انجام شده در کاهش دبی اوج و پهنه سیلاب کم شده و اقدامات مهار سیلاب بیشترین و کمترین تأثیر را به ترتیب بر دبی اوج و سطح سیل‌گیری داشته‌اند.

بختیاری و همکاران (۱۳۹۱) در تحقیق خود بر روی تأثیر سازه‌های عرضی بر روی پهنه سیلاب با استفاده از مدل هکرس نشان دادند در صورتی‌که سازه از مسیر آبراهه حذف شود برای دبی با دوره بازگشت ۲۵ ساله، عمق به میزان ۱۳ درصد کاهش می‌یابد. همچنین نتایج آن‌ها نشان داد که برخی از سازه‌های احداث شده به منظور کنترل سیلاب و رسوب، عملاً کارایی لازم را ندارند لذا در خصوص طراحی این گونه سازه‌ها باید دقت گردد.

شیه و همکاران[1] (۲۰۰۷)، از نرم‌افزارهای هک اچ ام اس و هکرس به منظور شبیه‌سازی جریان و اثر احداث سدهای اصلاحی، درحوضه آبخیز تسنگون تایوان استفاده کردند. نتایج نشان داد تأثیر احداث سازه بر خصوصیات جریان، در سطح ۰/۰۵ معنی‌دار بوده است.

جلالی راد (۱۳۸۱) در مطالعه موردی در حوضه شهری دارآباد با استفاده از مدل هکرس اقدام به پهنه‌بندی خطر سیل نمودند و نتیجه گرفتند که این مدل کارایی بسیار بالایی در محاسبه پروفیل سطح آب و پهنه‌های سیلاب دارد. لیم[2] (۲۰۰۱) در تحقیق خود بر روی تأثیر سازه‌های اصلاحی بر عمق و سطح پهنه با استفاده از مدل هکرس به این نتیجه رسید که سازه‌ها با بالا بردن سطح تراز آب موجب افزایش عمق و سطح پهنه سیلابی می‌شوند.

با توجه به این‌که در سال‌های اخیر سازه‌های اصلاحی در حوضه‌های آبخیز به‌طور گسترده احداث می‌شود لازم است رابطه‌ی بین تعداد و ارتفاع سازه‌ها بررسی شود. مرور منابع نشان می‌دهد اغلب تحقیقات صورت گرفته تأثیر سازه‌ها را بر دبی اوج و یا عمق جریان بررسی کرده‌اند و ویژگی‌های دیگری مانند میزان فرسایش آبراهه و یا رسوبگذاری پشت سازه‌های اصلاحی کمتر مورد توجه بوده است. در این تحقیق تأثیر ارتفاع سازه‌های اصلاحی بر دبی اوج، حجم سیلاب، عمق و سرعت جریان و همچنین میزان فرسایش در آبراهه اصلی حوضه آبخیز گرگاندوز با استفاده از مدل هکرس بررسی گردیده است.

مواد وروش‌ها

معرفی منطقه مورد مطالعه

حوضه گرگاندوز واقع در محدوده شهرستان کلاله و در شرق روستای یل‌چشمه واقع شده است. این حوضه یکی از زیرحوضه‌های حوضه یل‌چشمه بوده که در نهایت به گرگانرود می‌پیوندد. منطقه مورد مطالعه در محدوده جغرافیایی ″۱۷ ′۲۸ °۳۷ تا ″۱۰ ′۳۱ °۳۷ طول شرقی و ″۳۲ ′۳۹ °۵۵ تا ″۴۶ ′۴۵ °۵۵ عرض شمالی با مساحت حوضه آبریز ۶۷/۵ کیلومتر مربع واقع شده است. با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ و با توجه به محل ایستگاه هیدرومتری منطقه و بر اساس هدف مورد نظر، حوضه مورد مطالعه به ۱۲ زیرحوضه G_1 تا G_{12} تقسیم‌بندی شد. شکل (۱) موقعیت حوضه آبخیز گرگاندوز را نشان می‌دهد.

روش تحقیق

ابتدا در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی، حوضه مورد مطالعه به ۱۲ زیرحوضه تقسیم‌بندی گردید. پس از رقومی کردن مرز حوضه و زیرحوضه‌ها، مساحت و محیط کل حوضه مورد مطالعه به ترتیب ۶۷/۵ کیلومتر مربع و ۸۸/۴۳ کیلومتر به‌دست آمد. اختلاف ارتفاع بین پایین‌ترین و بالاترین نقطه حوضه ۱۲۴۰ متر است. حداکثر ارتفاع حوضه ۱۶۲۰ متر از سطح دریا و حداقل ارتفاع آن در خروجی حوضه، معادل ۳۸۰ متر از سطح دریا می‌باشد. برای محاسبه زمان تمرکز در هر زیرحوضه طول بلندترین آبراهه و اختلاف ارتفاع بین ابتدا و انتهای آن محاسبه شد. در این تحقیق ابتدا زمان تمرکز با استفاده از روابط تجربی کرپیچ، چاو، کالیفرنیا و جیاندوتی محاسبه شد. سپس بازدیدهای میدانی صورت گرفت و با تعیین ابعاد آبراهه در یک زیرحوضه و با برآورد تقریبی سرعت آب، در نهایت رابطه کرپیچ به عنوان رابطه مناسب استفاده شد.

زمان تمرکز به روش کرپیچ توسط رابطه (۱) محاسبه شد (چین[3]، ۲۰۰۰):

جدول (۱) برخی ویژگی‌های فیزیوگرافی حوضه آبخیز گرگاندوز را نشان می‌دهد.

$$T_c=۰/۰۱۹۵L^{0.77}S^{-0.385} \qquad (۱)$$

L: طول بلندترین آبراهه (متر)

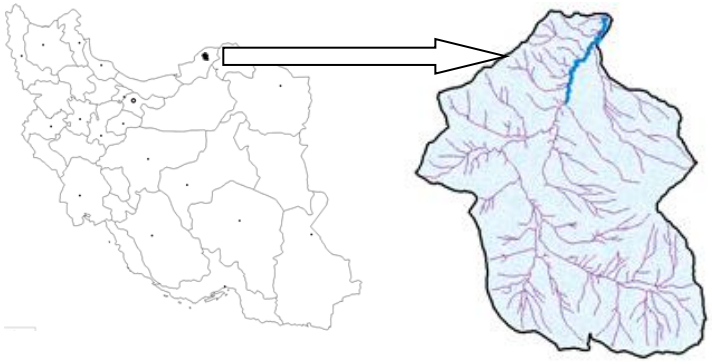
S: شیب بلندترین آبراهه (متر به متر)

T_c: زمان تمرکز (دقیقه)

1- Shieh *et al.*

2- Lim

3- Chin



شکل ۱- موقعیت حوضه آبخیز گرگاندوز

جدول۱- برخی ویژگی‌های فیزیوگرافی حوضه آبخیز گرگاندوز

زیرحوضه	طول آبراهه (متر)	اختلاف ارتفاع ابتدا و انتهای آبراهه (متر)	زمان تمرکز (ساعت)
G_1	۹۱۰۶/۰	۶۸۶	۰/۹۸
G_2	۲۴۵۷/۷	۳۵۴	۰/۲۸
G_3	۵۵۲/۶	۳۹	۰/۱۲
G_4	۱۷۰۴/۹	۳۲۸	۰/۱۹
G_5	۱۳۵۵/۲	۲۸۱	۰/۱۵
G_6	۹۲۲/۲	۱۹۲	۰/۱۱
G_7	۱۴۸۲/۰	۱۱۴	۰/۲۴
G_8	۲۳۸۵/۹	۴۲۵	۰/۲۵
G_9	۵۹۵۸/۱	۷۳۶	۰/۵۹
G_{10}	۱۰۴۸/۸	۱۲۰	۰/۱۶
G_{11}	۱۶۶۰/۵	۲۳۵	۰/۲۱
G_{12}	۹۹۷/۴	۱۰۹	۰/۱۶

مدل هیدرولیکی HEC-RAS

اجرای این مدل تحت سیستم عامل ویندوز باعث شده است که بتوان داده‌های ورودی را با سرعت و دقت زیادی وارد نمود و نتایج خروجی را با انعطاف‌پذیری گرافیکی بالایی استخراج نمود. این ابزار با حل معادله انرژی در مقاطع مختلف رودخانه، پروفیل سطح آب را محاسبه نموده و افت اصطکاکی در طول مسیر (رابطه ۲) و نیز افت‌های ناشی تنگ‌شدگی و بازشدگی (رابطه ۳) را در نظر می‌گیرد:

$$y_2+ z_2+\alpha_2 \frac{v_2^2}{2g}= y_1+z_1+\alpha_1 \frac{v_1^2}{2g}+h_e \qquad (۲)$$

در این رابطه y_1 و y_2: عمق آب در دو مقطع رودخانه، z_1 و z_2: رقوم کف رودخانه در دو مقطع، v_1 و v_2: سرعت در دو مقطع، a_1 و a_2: ضریب وزنی سرعت در دو مقطع، g شتاب ثقل و h_e افت انرژی می‌باشد.

$$h_e=LS_f+c\left|\frac{a_2v_2^2}{2g}-\frac{a_1v_1^2}{2g}\right| \qquad (۳)$$

در این رابطه L: فاصله، S_f: شیب اصطکاکی بین دو مقطع و c: ضریب افت تنگ‌شدگی و بازشدگی می‌باشد.

تهیه شبکه مثلثی نامنظم[1] و تعیین مشخصات هندسی رودخانه

پس از تحلیل مقدماتی محدودهٔ مورد مطالعه اطلاعات رقومی به صورت مختصات (x, y, z) توسط نقشه‌برداری تهیه گردید. در این تحقیق، ابتدا نقشه توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ منطقه مورد مطالعه با استفاده از نرم‌افزار سیستم اطلاعات جغرافیایی رقومی گردید و سپس شبکه مثلثی نامنظم (مدل سه‌بعدی نامنظم مثلثی) منطقهٔ مورد مطالعه بدست آمد. شبیه‌سازی هیدرولیکی توسط مدل هکرس نیازمند تعیین مشخصات هندسی بازهٔ مورد مطالعه در رودخانه می‌باشد. بدین منظور در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی و با استفاده از بکارگیری الحاقیهٔ هک ژئورس[2] اقدام به تهیهٔ لایه‌های هندسی استخراج شده از شبکه مثلثی نامنظم گردید و سپس مشخصات هندسی از طریق این الحاقیه به مدل هکرس معرفی شد.

1- Triangulated Irregular Network (TIN)
2- HEC-GeoRAS

جدول ۲- مقدار شماره منحنی و بارش برای دوره بازگشت ۲۵ ساله

زیرحوضه‌ها	G_1	G_2	G_3	G_4	G_5	G_6	G_7	G_8	G_9	G_{10}	G_{11}	G_{12}
شماره منحنی	۷۰	۷۵	۷۵	۷۳	۷۳	۷۶	۷۷	۷۵	۷۱	۷۴	۷۲	۷۲
شدت بارش برابر با زمان تمرکزدر دوره بازگشت ۲۵ سال (میلیمتر بر ساعت)	۲۵/۹	۱۶/۹	۱۶/۲	۱۵/۹	۱۵/۴	۱۴/۷	۱۸/۸	۱۶/۶	۱۸/۹	۱۷/۳	۱۶/۱	۱۵/۴

ضریب زبری مانینگ

در این تحقیق با توجه به این‌که فقط یک ایستگاه هیدرومتری در خروجی حوضه وجود داشت، ضریب زبری مانینگ از روش عکس و اسلاید تعیین گردید (بنی حبیب و منتظر، ۱۳۹۰). بدین منظور از منطقه بازدید صحرایی به عمل آمد و از قسمت‌های مختلف بستر اصلی رودخانه و ساحل چپ و راست به‌طور جداگانه، عکس تهیه گردید. سپس برای تعیین مقدار ضریب زبری مانینگ از اسلایدهایی که دارای ضریب زبری مشخصی می‌باشند استفاده و پس از مقایسه‌های متعدد میان عکس‌های تهیه شده و اسلایدهای موجود (ضریب زبری مشخص) در نهایت مقدار ضریب زبری مانینگ برای بازه‌های مختلف آبراهه تعیین گردید. به‌طور متوسط برای بستر اصلی حدود ۰/۰۳ و برای دو ساحل چپ و راست حدود ۰/۰۴ در نظر گرفته شد.

تهیه آبنمود سیلاب

برای به‌دست آوردن آبنمود سیلاب برای دوره بازگشت ۲۵ سال از نرم افزار اسمادا[1] استفاده شد. با توجه به بارش‌های هر زیرحوضه، آبنمود سیلاب برای هر زیرحوضه محاسبه شد. نوع بارش‌ها در نرم‌افزار، بارش با شدت یکنواخت و مدت بارش‌ها نیز برابر زمان تمرکز هر زیرحوضه انتخاب شد. شدت بارش با استفاده از روش وزیری (۱۳۶۳) محاسبه شد. پس از محاسبه آبنمود سیل در هر زیرحوضه، این آبنمودها در محل اتصال زیرحوضه به آبراهه اصلی به عنوان جریان ورودی به آبراهه اصلی به هکرس معرفی شد. جدول (۲) مقدار شدت بارش و شماره منحنی[2] برای دوره بازگشت ۲۵ ساله مربوط به هر زیرحوضه را نشان می‌دهد.

در نهایت پس از ورود کلیهٔ داده‌های جریان و داده‌های هندسی در مدل هکرس، ابتدا برای سناریوی اول که سازه‌ای احداث نشده باشد به اجرای مدل در حالت جریان غیرماندگار اقدام شد و بعد از احداث سازه‌ها با توجه به سناریوهایی که شامل سازه‌های بتنی کوچک، متوسط و بزرگ است مدل مجدد اجرا شد. هدف از این سناریوها بررسی تأثیر شکل (ارتفاع) و آرایش سازه‌ها (تعداد) بر ویژگی‌های جریان می‌باشد. در سناریوهای ب، ج و د هدف این است که با احداث سازه‌های اصلاحی از اختلاف ارتفاع آبراهه به میزان ۳۰ متر کاسته شود. سناریوها به صورت:

الف: در مسیر رودخانه هیچ سازه‌ای احداث نشود.

ب: بیست سازه اصلاحی ۱/۵متری در مسیر رودخانه احداث شود.

ج: ده سازه اصلاحی با ارتفاع سه متر در مسیر رودخانه احداث شود.

د: هشت سازه اصلاحی با ارتفاع ۳/۷۵ متر در مسیر رودخانه احداث شود.

نتایج و بحث

نتایج حاصل از شبیه‌سازی هیدرولیکی برای شرایط موجود رودخانه

با ورود فایل رس جی آی اس[3] (که با خود مشخصات هندسی رودخانه را به همراه دارد) به مدل هکرس و با تکمیل سایر داده‌های لازم (در بخش داده‌های هندسی مانند ضریب زبری مانینگ و داده‌های دبی مانند آبنمود سیلاب هر زیرحوضه که در اسمادا برآورد شده) مدل اجرا و تأثیر سناریوهای مختلف روی مشخصات جریان در طول بازه مورد نظر بررسی گردید.

تأثیر سناریوهای مختلف احداث سازه اصلاحی بر دبی اوج

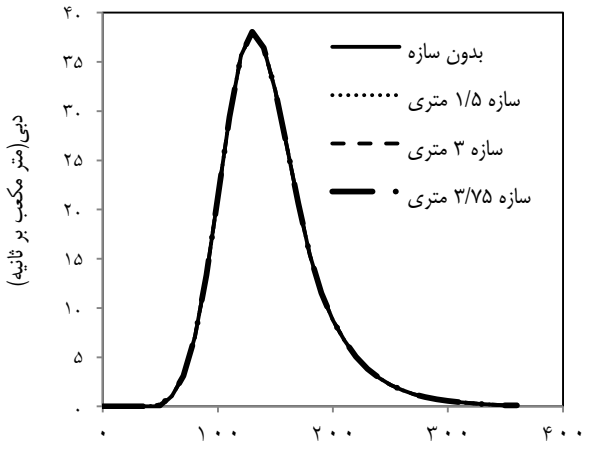
هر یک از شکل‌های (۲)، (۳) و (۴) شامل چهار نمودار هستند که به ترتیب تأثیر سناریوهای بدون احداث سازه اصلاحی، سازه اصلاحی ۱/۵، ۳ و ۳/۷۵ متری را بر روی دبی اوج در قسمت بالایی، میانی و پایینی بازه مورد مطالعه نشان می‌دهند.

شکل (۲) تأثیر سناریوهای مختلف را بر دبی اوج در قسمت بالایی بازه به صورت چهار نمودار نشان می‌دهد. با توجه به این شکل مشخص است که سناریوهای مختلف هیچ گونه تأثیری بر کاهش دبی اوج نداشته‌اند و مقدار دبی در همه سناریوها برابر ۳۸/۰۶ متر مکعب بر ثانیه است. نتایج حاصل از اجرای مدل نشان داد به دلیل این که در قسمت بالایی شیب زیاد و عرض آبراهه کم است، سرعت سیل زیاد بوده و مقدار نفوذپذیری و ذخیره موقت کم می‌باشد. این موارد باعث شده تا در منطقه مورد مطالعه تأثیر سناریوهای سازه‌های اصلاحی ۱/۵، ۳ و ۳/۷۵ متری در قسمت بالادست بازه مورد مطالعه با تأثیر سناریوی بدون احداث سازه اصلاحی برابر باشد. با توجه به این شرایط مشخص است که مقدار تأثیر این سناریوها بر کاهش دبی اوج برابر صفر است و احداث کردن یا نکردن سازه در بالادست تأثیری بر کاهش دبی اوج ندارد.

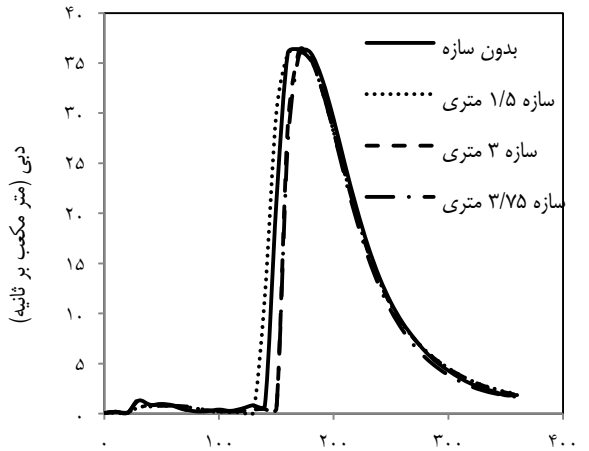
1 - SMADA

2- curve number (CN)

3- RASGIS



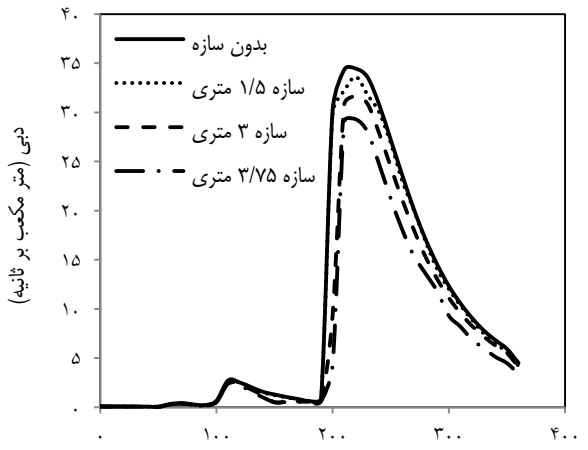
شکل ۲- تأثیر سناریوهای مختلف بر دبی اوج در قسمت بالای بازه مورد مطالعه



شکل ۳- تأثیر سناریوهای مختلف بر دبی اوج در قسمت میانی بازه مورد مطالعه

شکل (۳) تأثیر سناریوهای مختلف را بر دبی اوج در قسمت میانی نشان می‌دهد. در قسمت میانی بازه مورد مطالعه مقدار دبی اوج در سناریوهای بدون احداث سازه اصلاحی، سازه اصلاحی ۱/۵، ۳ و ۳/۷۵ متری به ترتیب برابر ۳۶/۳۷، ۳۶/۳۱، ۳۶/۲۸ و ۳۵/۸۷ متر مکعب بر ثانیه است و بر این اساس می‌توان به این نتیجه رسید در قسمت میانی بازه مورد مطالعه به دلیل این‌که مقداری از شیب کاسته شده، سرعت سیل نیز کم می‌شود و مقدار نفوذپذیری و ذخیره موقت افزایش می‌یابد. این موارد باعث شده تا تأثیر سازه‌های اصلاحی با ارتفاع بیشتر بر کاهش دبی اوج بیشتر گردد. به‌طور کلی مقایسه مقادیر دبی اوج نشان می‌دهد با افزایش ارتفاع سازه میزان تأثیر بر کاهش دبی اوج بیشتر می‌گردد. با افزایش ارتفاع سازه از ۱/۵ به ۳ متر میزان دبی از ۳۶/۳۱ به ۳۶/۲۸ کاهش می‌یابد اما با افزایش ارتفاع از ۳ به ۳/۷۵ متر میزان دبی از ۳۶/۲۸ به ۳۵/۸۷ کاهش نشان می‌دهد.

شکل (۴) تأثیر سناریوهای مختلف را بر دبی اوج در قسمت پایینی بازه نشان می‌دهد. در قسمت پایینی بازه مورد مطالعه تأثیر سناریوهای بدون احداث سازه اصلاحی، سازه اصلاحی ۱/۵، ۳ و ۳/۷۵ متری بر روی دبی اوج به ترتیب برابر ۳۴/۴۵، ۳۳/۶۱، ۳۱/۶۶ و ۲۹/۳ متر مکعب بر ثانیه است. با توجه به شکل (۴) مشخص است که در قسمت پایینی بازه مورد مطالعه نسبت به قسمت میانی و بالایی، در اثر احداث سازه‌ها شیب به میزان بیشتری کاهش پیدا کرده است. کاهش شیب باعث شده دبی اوج برای سناریوهای سازه‌های اصلاحی ۱/۵، ۳ و ۳/۷۵ متری در قسمت پایینی بازه مورد مطالعه به ترتیب به مقدار ۲/۴۹، ۸/۸ و ۱۷/۵ درصد کاهش یابد. این مقادیر نشان می‌دهد هر چند که میزان کاهش دبی اوج در قسمت پایینی نسبت به قسمت میانی و بالایی بیشتر است ولی در کل این تأثیر بر کاهش دبی اوج کم است.



شکل ٤- تأثیر سناریوهای مختلف بر دبی اوج در قسمت پایینی بازه مورد مطالعه

جدول ۳- تأثیر سناریوهای مختلف بر حجم سیلاب

	مقاطع			کاهش حجم سیلاب (درصد)
	بالای مسیر	میان مسیر	پایین مسیر	
بدون سازه	۱۷۶*	۶۸	۳/۹۲	-
سازه ۱/۵ متری	۱۷۸	۶۹	۳/۸۶	۱/۱۶
سازه ۳ متری	۱۹۱	۷۳	۳/۶	۸/۱
سازه ۳/۷۵ متری	۲۰۰	۷۶	۳/۴۵	۱۳/۹

* - اعداد بر حسب هزار متر مکعب می‌باشند.

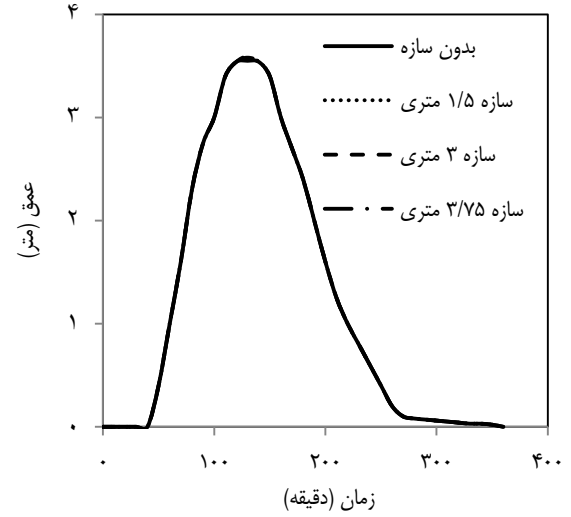
با توجه به نتایج به‌دست آمده، سناریوی سازه‌های اصلاحی ۳/۷۵ متری نسبت به سناریوی سازهای اصلاحی سه متری، ۱/۵ متری و بدون احداث سازه تأثیر بیشتری بر کاهش دبی اوج دارند. مقادیر دبی اوج در قسمت‌های میانی و پایینی بازه نشان می‌دهد مقدار کاهش دبی اوج در سازه ۳/۷۵ نسبت به سه متری و سازه سه نسبت به ۱/۵ متری بیشتر است. با افزایش ارتفاع، تأثیر سازه‌ها بر کاهش دبی اوج افزایش می‌یابد.

تأثیر سناریوهای مختلف بر حجم سیلاب

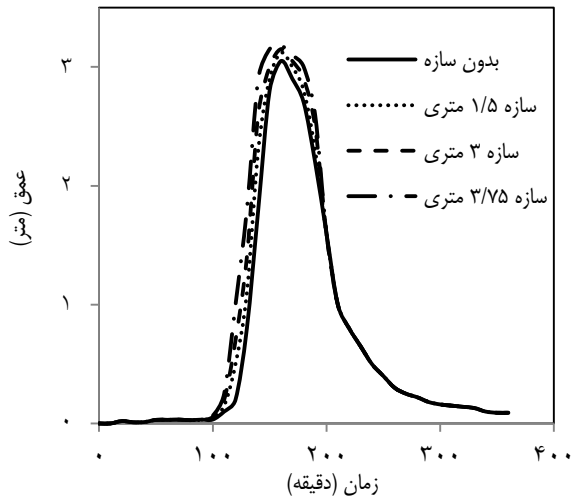
جدول (۳) تأثیر سناریوهای مختلف را بر حجم سیلاب نشان می‌دهد. در این جدول مشاهده می‌شود حجم سیلاب در قسمت بالا، وسط و پایین آبراهه مورد مطالعه در سناریوهای ۱/۵، ۳ و ۳/۷۵ متری به ترتیب برابر ۱۷۸، ۱۹۱، ۲۰۰ هزار متر مکعب و ۶۸، ۶۹، ۷۳ و ۷۶ هزار متر مکعب و ۳/۸۶، ۳/۶، ۳/۴۵ هزار متر مکعب می‌باشد. این مقادیر نشان می‌دهند که حجم سیلاب در پایین‌دست در سناریوهای ۱/۵، ۳ و ۳/۷۵ متری نسبت به سناریوی بدون احداث سازه اصلاحی به ترتیب ۱/۱۶، ۸/۱، ۱۳/۹ درصد کاهش داشته است. در قسمت بالای آبراهه حجم سیلاب زیاد است و این به دلیل پس‌زدگی سازه‌ها در ابتدای آبراهه می‌باشد و در میانه و پایین مسیر آبراهه به دلیل ذخیره موقت و نفوذپذیری، از میزان حجم سیلاب کاسته می‌شود. حجم سیلاب در سازه ۳/۷۵ متری در قسمت بالادست بیشتر از سناریو بدون سازه و در قسمت پایین‌دست کمتر از آن است. سازه ۳/۷۵ متری نسبت به سایر سازه‌ها به دلیل ارتفاع زیاد ممانعت بیشتری در برابر حرکت آب ایجاد می‌کند. در طول مسیر آبراهه به سمت پایین‌دست، سازه‌ها با ارتفاع بلندتر باعث ذخیره موقت بیشتر آب و کاهش بیشتر حجم سیلاب می‌گردند. حجم سیلاب در سناریوی ۳/۷۵ متری نسبت به سازه سه متری و سناریوی سه متری نسبت به سازه ۱/۵ متری بیشترکاهش پیدا کرده است ولی در مجموع با توجه به تعداد سازه‌ها تأثیر تمامی سناریوها بر کاهش حجم سیلاب کم بوده است.

تأثیر سناریوهای مختلف بر عمق سیل

شکل (۵) تأثیر سناریوهای بدون احداث سازه، سازه ۱/۵، ۳ و ۳/۷۵ متری را بر عمق سیل در قسمت بالایی بازه مورد مطالعه نشان می‌دهد. عمق سیل در هر سناریو برابر است با ۳/۵۵، ۳/۵۶، ۳/۵۸ و ۳/۵۹ متر می‌باشد. بر اساس این نتایج در قسمت بالایی بازه مورد مطالعه احداث سازه‌های اصلاحی و افزایش ارتفاع آن‌ها تأثیر قابل توجهی بر عمق ندارد.



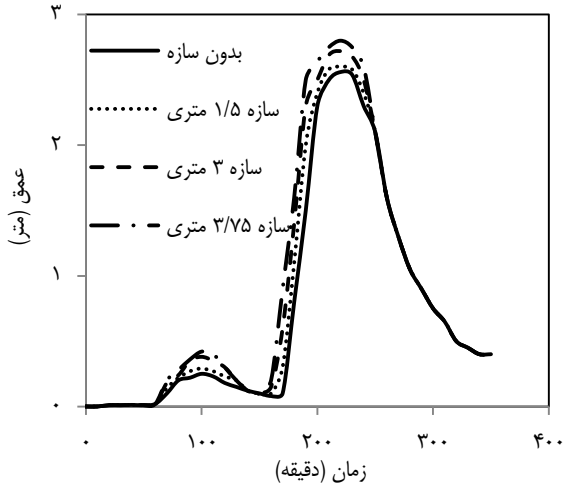
شکل ۵- تأثیر سناریوهای مختلف بر عمق سیل در قسمت بالایی بازه مورد مطالعه



شکل ٦- تأثیر سناریوهای مختلف بر عمق سیل در قسمت میانی بازه مورد مطالعه

تأثیر سناریوهای بدون احداث سازه، سازه اصلاحی ۱/۵، ۳ و ۳/۷۵ متری در قسمت میانی بازه مورد مطالعه بر عمق سیل در شکل (۶) نشان داده شده است. میزان عمق سیل در هر سناریو به ترتیب ۳/۰۵، ۳/۱۲، ۳/۱۵ و ۳/۱۸ متر است. با توجه به این نتایج مشخص می‌باشد که در قسمت میانی بازه مورد مطالعه احداث سازه‌های اصلاحی و افزایش ارتفاع آن‌ها باعث افزایش عمق سیل شده است. مقایسه عمق سیل در قسمت میانی و بالایی نشان می‌دهد به دلیل این‌که شیب در قسمت بالایی نسبت به قسمت میانی بیشتر است و همچنین عرض آبراهه در قسمت بالا کمتر از قسمت میانی است به همین ترتیب عمق سیل نیز در قسمت بالایی نسبت به قسمت میانی بیشتر می‌باشد.

شکل (۷) تأثیر سناریوهای بدون احداث سازه، سازه اصلاحی ۱/۵، ۳ و ۳/۷۵ متری را در قسمت پایینی بازه بر عمق سیل نشان می‌دهد. مقدار عمق در هر سناریو به ترتیب برابر ۲/۵۶، ۲/۶، ۲/۷۲ و ۲/۸ است. این مقادیر نشان می‌دهد در قسمت پایینی بازه مورد مطالعه احداث سازه‌های اصلاحی و افزایش ارتفاع آن‌ها باعث ایجاد ممانعت در برابر حرکت آب و در نتیجه افزایش عمق سیل شده است. به دلیل اینکه شیب کف آبراهه در قسمت پایینی کاهش بیشتری داشته است، باعث شده تا نفوذپذیری و ذخیره موقت بیشر شود و عمق سیل در این قسمت نسبت به قسمت میانی و بالایی کمتر باشد.



شکل ۷- تأثیر سناریوهای مختلف بر عمق سیل در قسمت پایینی بازه مورد مطالعه

جدول ٤- سرعت جریان (m/s) در سه مقطع بالا، وسط و پایین بازه مورد مطالعه

	مقاطع		
	بالای مسیر	میان مسیر	پایین مسیر
بدون سازه	۰/۷۲	۰/۶۴	۰/۵۷
سازه ۱/۵ متری	۰/۷	۰/۶	۰/۵۶
سازه ۳ متری	۰/۶۷	۰/۵۵	۰/۵۳
سازه ۳/۷۵ متری	۰/۶۵	۰/۵۲	۰/۴۳

جدول ٥- تنش برشی (N/m^2) در سه مقطع بالا، وسط و پایین بازه مورد مطالعه

	مقاطع		
	بالای مسیر	میان مسیر	پایین مسیر
بدون سازه	۲۱۸	۲۱۱	۲۰۱
سازه ۱/۵ متری	۲۱۷	۲۰۸	۱۹۷
سازه ۳ متری	۲۱۵	۲۰۳	۱۹۱
سازه ۳/۷۵ متری	۲۱۳	۲۰۰	۱۸۳

بالا آمدن سطح آب باعث می‌گردد سطح مقطع جریان افزایش و در نتیجه سرعت کاهش یابد. در طراحی سازه‌های بلند این نکته قابل توجه می‌باشد که باید در مکان‌هایی احداث شوند که دیواره‌های جانبی به گونه‌ای باشند که بالا آمدن سطح آب منجر به خروج جریان از آبراهه نگردد.

تأثیر سناریوهای مختلف بر سرعت و تنش برشی

سرعت جریان و تنش برشی از پارامترهای مهمی محسوب می‌گردند که در تعیین مناطق فرسایش‌پذیر و مناطقی که رسوب‌گذاری در آن‌ها رخ می‌دهد، مورد استفاده قرار می‌گیرند. در دبی‌های زیاد افزایش سرعت آب منجر به افزایش تنش برشی می‌گردد که در نهایت افزایش تنش برشی، پتانسیل ایجاد فرسایش کف و کناره‌ها را تقویت می‌کند.

بر اساس جدول‌های (۴) و (۵) می‌توان به این موضوع اشاره کرد که بین سرعت و تنش برشی یک رابطه مستقیم وجود دارد. با توجه به این جدول‌ها و مقایسه سناریوهای مختلف مشاهده می‌شود در قسمت بالایی، میانی و پایینی، افزایش ارتفاع سازه باعث ممانعت در برابر حرکت سیل شده و این موضوع باعث کاهش سرعت و در نتیجه کاهش تنش برشی می‌شود. همچنین سرعت و تنش برشی از بالادست به سمت پایین‌دست کاهش می‌یابد. در پایین‌دست، سازه‌های موجود در مسیر آبراهه باعث تأثیر بر جریان شده و سرعت جریان را کاهش می‌دهد. با توجه به اینکه سازه ۳/۷۵ متری بیشترین تأثیر را بر کاهش سرعت و تنش برشی داشته است نتایج نشان می‌دهد که میزان کاهش سرعت در قسمت میانی و پایینی نسبت به قسمت بالا به ترتیب برابر ۲۰ و ۲۶ درصد است و همچنین میزان کاهش تنش برشی در قسمت میانی و پایینی نسبت به قسمت بالایی به ترتیب ۶ و ۱۴ درصد است.

جدول ٦- مقادیر حاصل‌ضرب تنش برشی در سرعت (N/ms) در سه مقطع بالا، وسط و پایین بازه مورد مطالعه

	مقاطع		
	بالای مسیر	میان مسیر	پایین مسیر
بدون سازه	۱۵۶/۹۶	۱۳۵/۰۴	۱۱۴/۵۷
سازه ۱/۵ متری	۱۵۱/۹	۱۲۴/۸	۱۱۰/۳۲
سازه ۳ متری	۱۴۴/۰۵	۱۱۱/۶۵	۱۰۱/۲۳
سازه ۳/۷۵ متری	۱۳۸/۴۵	۱۰۴	۸۷/۸۴

یانگ[1] (۱۹۹۶) نشان داد رابطه نسبتاً خوبی بین میزان رسوب انتقالی در آبراهه با حاصلضرب سرعت در تنش برشی وجود دارد. جدول (۶) مقادیر حاصل‌ضرب سرعت در تنش برشی (توان جریان) را برای سناریوهای مختلف در طول آبراهه نشان می‌دهد. با توجه به جدول مشخص است در هر سناریو از بالای آبراهه به سمت پایین، مقدار توان جریان کاهش می‌یابد. کاهش توان جریان در طول آبراهه بیانگر رسوب‌گذاری بیشتر در پایین‌دست آبراهه است زیرا در پایین‌دست قدرت جریان برای حمل رسوب کاهش یافته و رسوب‌گذاری در پشت سازه‌های پایین‌دست زودتر رخ می‌دهد. افزایش ارتفاع سازه اصلاحی نیز باعث کاهش مقدار توان جریان می‌گردد. مقادیر جدول نشان می‌دهد با تعداد سازه کمتر اما با ارتفاع بیشتر می‌توان رسوب بیشتری در پشت سازه‌ها تله اندازی کرد و در نتیجه زودتر به شیب حد رسید و از میزان خسارت‌های ناشی از وقوع سیل در آبراهه کاست.

انتخاب نهایی بهترین سناریو

بهترین سناریو بین سازه‌هایی با تعداد کمتر و ارتفاع بیشتر و سازه‌هایی با تعداد بیشتر و ارتفاع کمتر بر اساس پارامترهای جریان و تأثیر آن‌ها بر شرایط آبراهه انتخاب گردید. بهترین سناریو باید: بیشترین تأثیر را در کاهش دبی اوج و حجم سیلاب داشته باشد. سرعت سیل، تنش برشی و توان جریان در این سناریو بیشترین کاهش را نشان دهد.

بر اساس موارد ذکر شده سناریوی تعداد کمتر سازه با ارتفاع بیشتر (سازه‌های ۳/۷۵ متری) به عنوان بهترین سناریو انتخاب می‌گردد.

نتایج این تحقیق از نظر اینکه سازه‌های اصلاحی تأثیر کمی بر دبی اوج دارند با نتایج مصطفی زاده (۱۳۸۷)؛ سلطانی و همکاران (۱۳۹۰) و دستورانی و همکاران (۱۳۹۱) مطابقت دارد و با نتایج آذری و همکاران (۱۳۹۱)؛ شیه و همکاران (۲۰۰۷) و یوشیکاوا و همکاران (۲۰۱۰) همسویی ندارد. دلیل اصلی این تناقض بین نتایج محققان مختلف، تعداد سازه‌های مورد بررسی در منطقه مورد مطالعه است. همچنین در برخی از تحقیقات اقدامات سازه‌ای به همراه اقدامات بیولوژیکی صورت گرفته است. معمولاً در تحقیقاتی که از تعداد بیشتری سازه استفاده شده تأثیر آن‌ها قابل توجه و در صورتی‌که تعداد سازه‌ها کم باشد تأثیر آن‌ها کم است. نتایج نشان داد که سناریوی سازه‌های اصلاحی ۳/۷۵ متری نسبت به سایر سناریوها تأثیر بیشتری بر روی خصوصیات جریان داشته است. مشخص است که افزایش ارتفاع سازه اصلاحی نیز باعث کاهش مقدار توان جریان شده است و این موضوع باعث می‌شود تا رسوب‌گذاری بیشتر از فرسایش باشد. با این وجود سازه‌های اصلاحی بلند با تعداد کمتر نسبت به سازه‌های اصلاحی کوتاه با تعداد بیشتر، تأثیر مشهودتری بر افزایش رسوب‌گذاری و کاهش فرسایش دارند که با نتایج عباسی (۱۳۹۱) مطابقت دارد.

نتایج این تحقیق نشان داد تأثیر احداث سازه‌های اصلاحی بر کاهش حجم سیلاب کم می‌باشد که با نتایج سلطانی و همکاران (۱۳۹۰) موافق و با نتایج عبدالهی (۱۳۹۱) در تناقض است. نتایج این تحقیق از این لحاظ که با افزایش ارتفاع سازه، عمق سیل افزایش می‌یابد با نتایج لیم (۲۰۰۱)، جلالی راد (۱۳۸۱) و بختیاری و همکاران (۱۳۹۱) همخوانی دارد. یکی از دلیل مشابهت و یا تناقض مربوط به تعداد سازه‌ها در منطقه می‌باشد. هنگامی‌که تعداد سازه‌ها محدود باشد اثر آن بر سیل کم است و با افزایش قابل توجه سازه تأثیر آن نیز افزایش می‌یابد.

نتیجه‌گیری

تحقیق حاضر نشان داد که احداث سازه‌های اصلاحی باعث ذخیره موقت آب و ممانعت در برابر حرکت آب و همچنین کاهش شیب و در نتیجه کاهش دبی اوج، حجم سیلاب، سرعت، تنش برشی و توان جریان می‌شود. تأثیر سازه‌ها در مسیر آبراهه از بالادست تا پایین‌دست بر ویژگی‌های جریان متفاوت است. در قسمت بالایی و میانی بازه مورد مطالعه به دلیل زیاد بودن شیب و کمتر بودن عرض آبراهه نسبت به قسمت پایینی، تأثیر سازه‌ها بر کاهش دبی اوج، حجم سیلاب، سرعت و تنش برشی کم است. در قسمت پایینی بازه مورد مطالعه شیب به میزان بیشتری کاهش یافته و در نتیجه کاهش بیشتر سرعت را به دنبال خواهد داشت و این باعث شده تا تأثیر سازه‌های اصلاحی بر کاهش دبی اوج برای سناریوهای سازه‌های اصلاحی ۱/۵، ۳ و ۳/۷۵ متر در قسمت پایینی بازه مورد مطالعه به ترتیب پنج، ۱۰ و ۱۵ درصد است که این مقادیر نشان می‌دهد هرچند که میزان کاهش دبی اوج در قسمت پایینی نسبت به قسمت میانی و بالایی بیشتر است ولی در کل این تأثیر بر کاهش دبی اوج ناچیز است. نتایج نشان داد سناریوی احداث سازه ۳/۷۵ متری نسبت به سایر سناریوها تأثیر

1- Yang

بیشتری بر ویژگی‌های سیل داشته است. سازه‌های اصلاحی با ارتفاع زیاد و تعداد کمتر نسبت به سازه‌های کوتاه‌تر و تعداد بیشتر، تأثیر بیشتری بر جریان دارد و می‌توان نتیجه گرفت که احداث سازه ۳/۷۵ متری بهترین سناریو است. در مجموع در منطقه مورد مطالعه به دلیل شیب زیاد، سازه‌ها بر خصوصیات جریان تأثیر قابل توجهی نداشته‌اند.

منابع

۱- آذری، م.، صادقی، س. ح. ر و ع. ا. تلوری. ۱۳۹۰. ارزیابی تاثیر اقدامات آبخیزداری بر ویژگی‌های سیل با استفاده از تلفیق مدل‌های HEC-RAS و HEC-HMS در محیط GIS (مطالعهٔ موردی: حوضه آبخیز جاغرق). گزارش فنی، مجله علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، ۵(۱۵): ۷۲-۶۹.

۲- بختیاری، م.، کاشفی‌پور، س. م. و س. ا. اصغری پری. ۱۳۹۱. تأثیر سازه‌های عرضی بر روی پهنه سیلاب با استفاده از مدل هیدرولیکی HEC-RAS در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی. مجله علوم و مهندسی آبیاری، ۳۵(۳): ۴۶-۳۸.

۳- بنی حبیب، م. ا. و ع. ا. منتظر. ۱۳۹۰. راهنمای تعیین ضریب زبری هیدرولیکی رودخانه‌ها. نشریه شماره ۳۳۱، معاونت برنامه ریزی و نظارت راهبردی رییس جمهور.

۴- جلالی راد، ر. ۱۳۸۱. پهنه‌بندی سیلاب با استفاده از مدل HEC-RAS در محیط اطلاعات جغرافیایی. پایان نامه کارشناسی ارشد گروه آبیاری، دانشگاه علوم کشاورزی ساری، ۱۱۲ صفحه.

۵- دستورانی، م. ت.، یوسفی، م.، سلطانی، م. و ر. پورشرعیاتی. ۱۳۹۱. بررسی تاثیر سازه‌های رسوبگیر در کاهش دبی سیلاب حوضه‌های آبخیز (مطالعه موردی: حوضه آبخیز منشاد یزد). مجموعه مقالات هشتمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشگاه لرستان، ۹ صفحه.

۶- رفاهی، ح. ۱۳۷۸. فرسایش خاک به وسیله آب و کنترل آن. انتشارات دانشگاه تهران، چاپ دوم، ۵۵۱ صفحه.

۷- روغنی، م. ۱۳۹۰. بررسی نقش سازه‌های حفاظت آب و خاک در کنترل و ذخیره رواناب (مطالعه موردی حوضه آبخیز حیدری). پژوهش‌های آبخیزداری، ۹۶: ۴۴-۳۷.

۸- سلطانی، م.، اختصاصی، م. ر.، طالبی، ع.، پور اغنیایی، م. ج. و ع. ر. سرسنگی. ۱۳۹۰. اثر احداث سازه‌های اصلاحی بر کاهش دبی اوج سیلاب (مطالعه موردی: حوضه آبخیز منشاد یزد). پژوهش‌های آبخیزداری، ۹۳: ۴۷-۵۴.

۹- صادقی، س. ح. ر.، شریفی، ف.، فروتن، ا. و م. رضایی. ۱۳۸۳. ارزیابی کمی عملکرد اقدامات آبخیزداری (مطالعه موردی: حوضه آبخیز کشار). مجله پژوهش و سازندگی در منابع طبیعی، ۶۵: ۹۶-۱۰۲.

۱۰- عباسی، ع. ا. ۱۳۹۱. بررسی صحرایی و ارائه رابطه جدید برای تعیین شیب حد در بالادست بندهای اصلاحی. علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، ۶(۱۹): ۱-۶.

۱۱- عبدالهی، ح. ر. ۱۳۹۱. بررسی تأثیر سازه‌های اصلاحی بر روی جریان با استفاده از مدل HEC-HMS و تکنیک GIS (مطالعه موردی حوضه آبخیز گوشک آباد، استان خراسان رضوی). پایان نامه کارشناسی ارشد آبخزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ۶۸ صفحه.

۱۲- مصطفی زاده، ر. ۱۳۸۷. شبیه سازی تأثیرات هیدرولوژیکی سازه‌های اصلاحی به منظور ارزیابی سناریوهای کنترل سیل در آبخیز جعفرآباد استان گلستان. پایانامه کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ۱۲۴ صفحه.

۱۳- وزیری، ف. ۱۳۶۳. تجزیه و تحلیل رگبارها و تعیین منحنی‌های شدت-مدت مناطق مختلف ایران. واحد طرح و تحقیقات جهاد دانشگاهی، گروه آب، ۶۱۱ صفحه.

۱۴- هاشمی، ع. و س. قازاریان. ۱۳۹۳. تأثیر رسوب گذاری در مخازن سدهای اصلاحی خشکه چین بر دبی بیشینه سیل حوضه های آبخیز کوچک. مهندسی و مدیریت آبخیز، ۶(۲) :۱۱۵-۱۲۴.

15- Chin, A. 2000. Water- resources engineering, Prentice- Hall.

16- Lim, S. Y. 2001. Parametric study of riprap failure around bridge piers. Journal of Hydraulic Research, 39(1): 61-72.

17- Shieh, C. L., Guh, Y. R. and S. Q. Wang. 2007. The application of range of variability approach to the assessment of a check dam on riverine habitat alteration. Environmental Geology, 52(3): 427-435.

18- Walker, W. S. and D. R. Maidment. 2006. Geodatabase design for FEMA flood hazard studies, CRWR online Report 06- 10, Center for Research in Water Resources, The University of Texas at Austin, 197 p.

19- Yang, Ch. T. 1996. Sediment transport: Theory and practice. New York: McGraw-Hill.

20- Yoshikawa, N., Nagaob, N. and S. Misawac. 2010. Evaluation of the flood mitigation effect of a Paddy field dam project. Agricultural Water Management, 97(2): 259-270.