

شبیه‌سازی هیدرولیک سیلاب جهت تعیین حریم بستر و نقاط حساس رودخانه اترک

وحید یزدانی*^۱، محمد نظر جانی^۲ و حسین علی‌میرزایی^۳

(۱) استادیار، گروه مهندسی آب، مجتمع آموزش عالی تربت جام.

(۲) دانشجوی دکتری، گروه منابع آب، واحد علوم و تحقیقات تهران، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

(۳) دانشجوی دکتری، گروه منابع آب، واحد علوم و تحقیقات تهران، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

*نویسنده مسئول: v.yazdany@yahoo.com

تاریخ پذیرش: ۹۵/۰۹/۲۴

تاریخ دریافت: ۹۵/۰۵/۱۰

چکیده

برای استفاده بهتر از رودخانه‌ها باید اقداماتی در زمینه مطالعات، ساخت سازه‌ها و بهره‌برداری بهینه به منظور مهار، کاهش خطرات و به حداقل رساندن تبعات منفی و هم‌چنین به‌سازی وضعیت آن در جهت تامین نیازهای بشری و حفظ محیط زیست صورت گیرد. مسیر مورد بررسی در استان خراسان رضوی و شهرستان قوچان و رودخانه اترک می‌باشد. پارامترهای فیزیوگرافی با استفاده از لایه‌های رقومی با دقت ۲۵۰۰۰:۱ در نرم افزارهای ArcGIS و ArcView مورد تجزیه و تحلیل و برآورد قرار گرفت. برای برآورد میزان سیلاب در دوره بازگشت‌های مختلف از روش‌های تحلیل منطقه‌ای، استدلالی، دیکن، کریگر و فولر استفاده شد. با مقایسه سیلاب برآورد شده به روش‌های مختلف، بازدیدهای میدانی انجام شده از منطقه، بافت خاک، پوشش گیاهی، شیب حوضه، طول آبراهه اصلی، پارامترهای فیزیکی و اقلیمی محدوده‌های مورد مطالعه، نهایتاً در زیرحوضه‌های اترک (A1 تا A6) نتایج روش دیکن، در نظر گرفته شد. رژیم‌های مختلف هیدرولیکی رودخانه در مورد مدل HEC-RAS شبیه‌سازی قرار گرفته و در نهایت نتایج از رژیم جریان مناسب برای مسیر رودخانه انتخاب شد. آنگاه با وارد کردن نتایج حاصل از مدل HEC-RAS به محیط GIS با توجه به توپوگرافی رودخانه و پروفیل سطح آب بدست آمد. برای تعیین شدت و میزان فرسایش کناری با اندازه گیری دو فاکتور ارتفاع تراس‌ها (H) و میزان فعالیت فرسایش (T) کلاسه‌های زیر تفکیک شده و رودخانه مورد ارزیابی قرار گرفت. برای این منظور ارتفاع تراس‌ها با استفاده از نرم افزار HEC-RAS محاسبه و در نرم افزار Arc view در سه کلاس (H1 تا H3) پهنه بندی شد و کلاس‌های T با پیمایش‌های صحرایی نیز در چهار کلاس (T1 تا T4) تعیین شدند. نتایج مشخص نمود متوسط عمق تراس‌های تشکیل شده در ساحل چپ و راست رودخانه بین ۵-۲ متر و آثار فرسایشی در بیش از ۵۰ درصد طول مسیر قابل رویت است. نتایج محاسبات ابعاد رودخانه در حالت تعادل نهایی و شرایط آستانه حرکت در تمام مقاطع پایدار رودخانه مورد مطالعه نشان داد که در ۷۱ درصد از مقاطع عرضی وضعیت ناپایدار و در ۲۹ درصد مابقی وضعیت پایدار می‌باشد. نتایج مربوط به آنالیز حساسیت نشان داد که بالاترین حساسیت به تغییرات ضریب زبری مربوط به پارامترهای مساحت جریان و عرض سطح فوقانی می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: اترک، سیلاب، هیدرولوژی، HEC-RAS و آنالیز حساسیت.

مقدمه

رودخانه خون جاری در رگ‌های تمدن بشری بوده و می‌توان به عنوان اصلی‌ترین منبع تامین آب برای انسان و سایر موجودات به شمار آورد. تجربه‌های بدست آمده در این زمینه حاکی از آن است زمانی که فعالیت و تجاوزهای انسان، مخالف طبیعت و تمایلات رژیم پایدار رودخانه باشد رودخانه غلبه می‌یابد و بدین ترتیب است که فهم روابط مابین پارامترهای متغیر و موثر در فرایند تغییر شکل، اندازه و قواره رودخانه اهمیت زیادی پیدا می‌کند. برای استفاده بهتر از رودخانه‌ها باید اقداماتی در زمینه مطالعات (شناخت، برنامه ریزی و طراحی)، ساخت سازه‌ها و بهره‌برداری بهینه به منظور مهار، کاهش خطرات و به حداقل رساندن تبعات منفی و هم‌چنین بهسازی وضعیت آن در جهت تعیین نیازهای بشری و حفظ محیط زیست صورت گیرد. مطالعات روندیابی سیل به لحاظ پایه بودن برای مطالعات پهنه‌بندی سیلاب، پیش‌بینی سیلاب و سیستم‌های هشدار سیل، ساماندهی رودخانه، طراحی سازه‌های رودخانه‌های و شهرسازی، شبیه‌سازی سیلاب حوزه‌های فاقد آمار و کنترل آن‌ها از اهمیت بسیار زیادی برخوردار می‌باشد و یکی از اقداماتی است که مهندسين الزاماً با آن روبرو هستند (بهبهانی، ۱۳۸۰). به طور کلی روش‌های روندیابی سیل را می‌توان به دو گروه روندیابی هیدرولیکی و روندیابی هیدرولوژیکی تقسیم کرد (Choudhury, 2002). بهره‌برداری غیر اصولی از منابع طبیعی و منابع آب، تجاوز به حریم آبراهه‌ها و رودخانه‌ها و احداث سازه‌های نامناسب در محدوده آن‌ها نیز باعث تشدید خسارات سیل گشته به طوری که این خطر طبیعی در مواردی به یک فاجعه ملی تبدیل شده‌است. سیل‌های استان گلستان در سال‌های ۱۳۸۰ و ۱۳۸۱ از آن جمله می‌باشند (مهدوی، ۱۳۸۲). در ضمن، فراوانی وقوع سیل و خسارات ناشی از آن در کل کشور و در استان‌های مختلف نیز از یک روند فزاینده برخوردار است (صادقی، ۱۳۷۴؛ وطن فدا، ۱۳۸۲؛ میجانی و همکاران، ۱۳۸۵؛ محمدی و همکاران، ۱۳۸۵). تاکنون تعاریف متعددی برای سیل مطرح شده که هر یک از آن‌ها ویژگی متمایزی از سیل را برای اهدافی خاص بیان می‌کند. برخی از سیل‌ها فصلی هستند به طوری که در فصل‌های خاصی از سال مقادیر قابل توجهی آب حاصل از بارش و ذوب برف به سرعت وارد مجاری و رودخانه‌های موجود در حوزه‌ها می‌شوند. برخی دیگر از سیل‌ها ناگهانی بوده به گونه‌ای که بعد از بارندگی‌های شدید و یا تخریب سازه‌های آبی بوقوع می‌پیوندند و باعث طغیان رودخانه‌ها شده خسارات سنگینی را باعث می‌شوند. بنابراین سیل مانند سایر پدیده‌های هیدرولوژیکی نتیجه عوامل پیچیده‌ای هست که ترکیب آن‌ها خیلی مشکل‌تر از آن است که مکانیسم آن را بتوان به طور کامل تجزیه و تحلیل نمود (مهدوی، ۱۳۸۲). ناپایداری مجرا و سواحل رودخانه، نه تنها سبب خسارت به اراضی مستعد کشاورزی و تأسیسات مجاور ساحل رودخانه شده، بلکه رسوبات حاصل از فرسایش، در برخی مواقع، درصد چشمگیری از مجموع کل رسوبات انتقالی به وسیله‌ی جریان رودخانه را شامل می‌شوند. ناپایداری مجرا و سواحل رودخانه، به دلیل تأثیرگذاری بر میزان فرسایش و ویژگی‌های

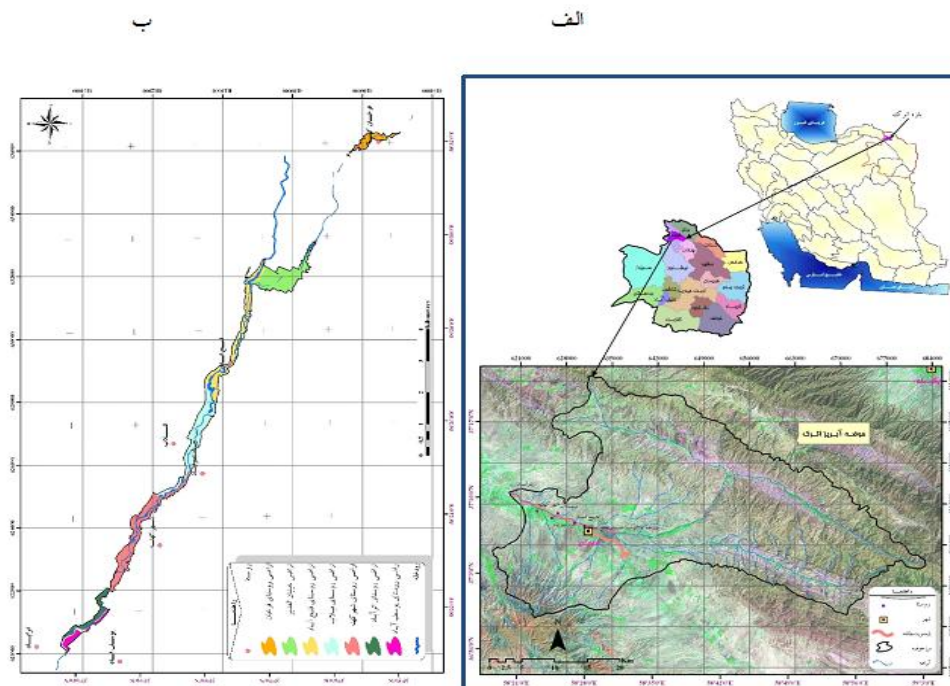
مجاری رودخانه‌ها، در گسترش پهنه‌ی سیلابی و مدیریت منابع آب اهمیت دارد (Minghui *et al.*, 2010). از سوی دیگر، پایداری رودخانه نیز تحت تأثیر مولفه‌های درونی و خارجی سیستم رودخانه‌های است. مؤلفه‌های خارجی شامل متغیرهای اقلیم، پوشش گیاهی، فعالیت‌های انسانی و شیوه‌ی یخ زدن و ذوب شدن است و مؤلفه‌های خارجی نیز شامل مورفولوژی رودخانه، مانند انواع الگوهای رودخانه (مئاندری، شریانی و مستقیم) ویژگی‌های هندسی و هیدرودینامیکی قوسهای رودخانه‌های، مواد بستر و کناره‌های رودخانه، متغیرهای هیدرولوژیکی جریان و عامل تنش برشی است (Afzalimehr and Dey, 2009; Bertrand and Papanicolaou, 2010; Minghui *et al.*, 2010; Tokaldany *et al.*, 2007). Kaufmann و همکاران (۲۰۰۸) از شاخص مقاومت نسبی بستر برای یارزیابی کلی پایداری بستر استفاده کردند. باید توجه داشت که مطالعه رفتار، دینامیک و ویژگی‌های مورفولوژیکی رودخانه‌های، طیف وسیعی از علوم مرتبط با رودخانه را می‌طلبد و به کارگیری یافته‌های یک رشته‌ی خاص در این زمینه، نتایج پذیرفتنی را ارائه نخواهد داد و گروه بسیاری از پژوهشگران به این موضوع تأکید کرده‌اند. پیشرفت‌های مختلف در زمینه سخت افزار و نرم افزار باعث شده که نرم افزارهای تخصصی روندیابی نیز توسعه یابند. از این دست می‌توان به نرم افزارهای HEC-RAS، MIKE11، MIKE21 و MUPERS اشاره کرد. Olsen و همکاران (۲۰۰۰) از یک برنامه‌ریزی دراز مدت پویا برای مدیریت سیلابدشت استفاده نمودند. Yang and Tsai (۲۰۰۰) به انجام مطالعاتی در زمینه خصوصیات سیل در کشور تایوان پرداخته و روش‌های مدیریتی را به منظور کاهش خسارات سیل ارائه دادند. Stephen (۲۰۰۲) نیز به بررسی خصوصیات سیل‌های رخ داده در سال‌های ۱۹۹۶ و ۱۹۹۷ در حوزه آبخیز رودخانه سنگ زرد واقع در ایالت مونتانا، آمریکا پرداخت. عزیزیان و همکاران (۱۳۸۹) در تحقیقی با عنوان واسنجی نتایج حاصل از مدل عددی HEC-RAS در حوزه‌های فاقد ایستگاه هیدرومتری اعلام نمودند که با توجه به نبود ایستگاه هیدرومتری بر روی رودخانه مورد مطالعه، واسنجی نتایج حاصل از اجرای مدل فوق عملاً امکان پذیر نیست. اما برای رسیدن به مقادیر نزدیک و بکار بردن یک معیار و محک برای مقادیر ضریب زبری از روش‌های تجربی بهره گرفته شود. Thornes (۱۹۸۰) در رابطه با کانال‌های کوچک رودخانه‌های در جنوب شرق اسپانیا نوسانات عرض کانال‌های با جریان کم را مورد بررسی قرار داد و اظهار داشت که در مجموع به طرف پایین دست، عرض رودخانه‌ها مرتباً افزایش می‌یابد. این تغییرات عرض در پایین دست رودخانه به تغییرات مکانی الگوی کنش و رسوبگذاری نسبت داده می‌شود که در حقیقت عکس‌العملی به وضعیت و فراوانی سیلاب‌های منفرد بزرگ و همچنین جریان‌های کوچک کم‌آبی می‌باشند. Pappenberger و همکاران (۲۰۰۵) اقدام به تحلیل عدم قطعیت جریان ماندگار به صورت یک بعدی در مدل HEC-RAS با انتخاب مقادیر متفاوت ضریب زبری کردند. آن‌ها در تحقیق خود محدوده‌ی بین ۰/۰۰۱ تا ۰/۹ را برای ضریب مانینگ انتخاب کردند. در خروجی‌های

هیدرولیکی تغییراتی مشاهده شد که در برخی از بازه‌ها تغییرات خوب و در برخی از بازه‌ها تغییرات نامناسب بود. آن‌ها بیان کردند که این آنالیز به شرایط مرزی و نوع رژیمی که مدل در آن اجرا می‌شود بستگی دارد تا از این طریق بتوان تغییرات را به خوبی مشاهده نمود. Stevenson (۲۰۰۹) طی تحقیقی بر روی رودخانه کلیر، آنالیز حساسیت را برای مدل یک بعدی HEC-RAS انجام داد. در این تحقیق مدل TIN منطقه بر اساس داده‌های عمق آب رودخانه طی سال‌های ۱۹۷۱ الی ۲۰۰۷ در قالب سه لایه TIN تهیه شد. نتایج این تحقیق نشان داد که موقعیت مقاطع عرضی طی عملیات کالیبراسیون مدل تغییرات چندانی نداشته و از طرفی شکل واقعی مقاطع طی عملیات درون‌یابی به همان شکل اولیه حفظ شده بودند. آنالیز حساسیت مدل نشان داد، زمانی که تغییرات ضریب زبری مانینگ پنج درصد می‌باشد، تغییرات سطح تراز آب در پایین دست ۲ سانتی متر است، که این امر نشان می‌دهد اگر فرآیند کالیبراسیون به درستی صورت نگیرد، شبیه‌سازی می‌تواند منجر به خطا شود. Mosaedi (۲۰۰۳) به منظور بررسی عوامل ایجاد سیل‌های مرداد ۱۳۸۰ و ۱۳۸۱ در شرق استان گلستان، وضعیت سیل‌های رودخانه‌های اترک و گرگانرود را مطالعه نمود. وی نتیجه گرفت که در این رودخانه‌ها بدون استثنا در هر دهه نسبت به دهه قبل از آن، علاوه بر آنکه تعداد سیل‌های به وقوع پیوسته بیشتر شده است، حجم سیل و خسارات ناشی از آن‌ها نیز زیاده‌تر شده است. وی اضافه می‌کند که در رودخانه‌های اترک و گرگانرود در حالی که کمترین درصد تعداد سیل در تابستان به وقوع می‌پیوندد اما، این سیل‌ها با توجه به منشأ آن‌ها که بارندگی‌های رگباری می‌باشد، خسارات زیادی را باعث می‌شوند. Tavakoli and Mosaedi (۲۰۰۵) در بررسی ویژگی‌های سیل‌های گذشته رودخانه اترک در محدوده ایستگاه هیدرومتری مراوه واقع در استان گلستان نتیجه گرفتند که سیل‌های فروردین بیشترین و سیل‌های تیر کمترین میانگین حجم سیل را دارند. علاوه بر آن در فصل بهار، بیشترین احتمال وقوع سیل وجود دارد و بیشترین زمان‌های تداوم، اوج و فروکش سیل در این فصل رخ می‌دهد. رودخانه اترک از سرشاخه‌های مهم گرگانرود در استان گلستان است که در گذشته سیلاب‌های قابل توجهی از این مسیر عبور کرده است. با توجه به پیچیدگی رفتار رودخانه‌ها به لحاظ تواتر دوره‌های سیلابی و نیز تعریض حریم و بستر آن‌ها هدف این مقاله ارزیابی پهنه سیلاب رودخانه اترک بوده و در همین راستا آنالیز حساسیت پارامترهای ورودی صورت گرفت و در انتها بر اساس نتایج حاصله راهکارهایی برای مقابله با سیلاب ارائه شد. عبور رودخانه از مجاورت مناطق مسکونی محدوده مطالعاتی نگرانی‌هایی را در خصوص خطرات و خسارات ناشی از بروز سیلاب ایجاد می‌نماید. تحقیق حاضر تا حدودی ابهامات ناشی از این نگرانی را روشن نموده و نقاط آسیب‌پذیر و مخاطره‌انگیز را مشخص می‌نماید. بعلاوه محدوده‌ی فراگیری سیل با تعیین بستر سیلاب‌های با دوره بازگشت بالاتر مشخص شده است تا شدت و حد اعمال تدابیر حفاظتی را روشن نماید.

مواد و روش‌ها

وضعیت و موقعیت منطقه مورد مطالعه

مسیر مورد بررسی در استان خراسان رضوی و شهرستان قوچان در محدوده جغرافیایی $27^{\circ} 20' 58''$ تا $29^{\circ} 31' 58''$ طول شرقی و $37^{\circ} 06' 38''$ تا $37^{\circ} 10' 21''$ عرض شمالی واقع می‌باشد. بازه مورد مطالعه مسیل‌های شهر قوچان (۱۰/۷۹ کیلومتر) و بخشی از رودخانه اترک (۲۲/۱۲ کیلومتر) می‌باشد که سر شاخه‌های آن از ارتفاعات کوه پشته پر و میدانجا، کوه درویش و گنده کوه سرچشمه گرفته است. این بازه در مسیر خود ابتدا از اراضی روستای فرخان گذشته وارد شهر قوچان می‌شود، داخل شهر از مناطق مسکونی خیابان الغدیر گذشته سپس به اترک می‌پیوندد و از روستاهای فتح آباد، فیلاب، شهرکهنه، اترآباد و یوسف آباد می‌گذرد. حوضه آبریزی که این رودخانه زهکش آن می‌باشد $1388/86$ کیلومتر مربع وسعت دارد که در حد فاصل طولهای شرقی $19^{\circ} 14' 58''$ تا $10^{\circ} 09' 59''$ و عرضهای شمالی $45^{\circ} 58' 36''$ تا $46^{\circ} 22' 37''$ قرار گرفته است. بالاترین نقطه از سطح دریا در مسیر مورد مطالعه رودخانه فوق الذکر 2697 متر و ارتفاع متوسط حوضه $1727/77$ متر از سطح دریا می‌باشد. (شکل ۱) موقعیت بازه مورد مطالعه را در ایران، استان خراسان رضوی و حوضه مطالعاتی و پلان کلی محدوده مطالعاتی را نشان می‌دهد.

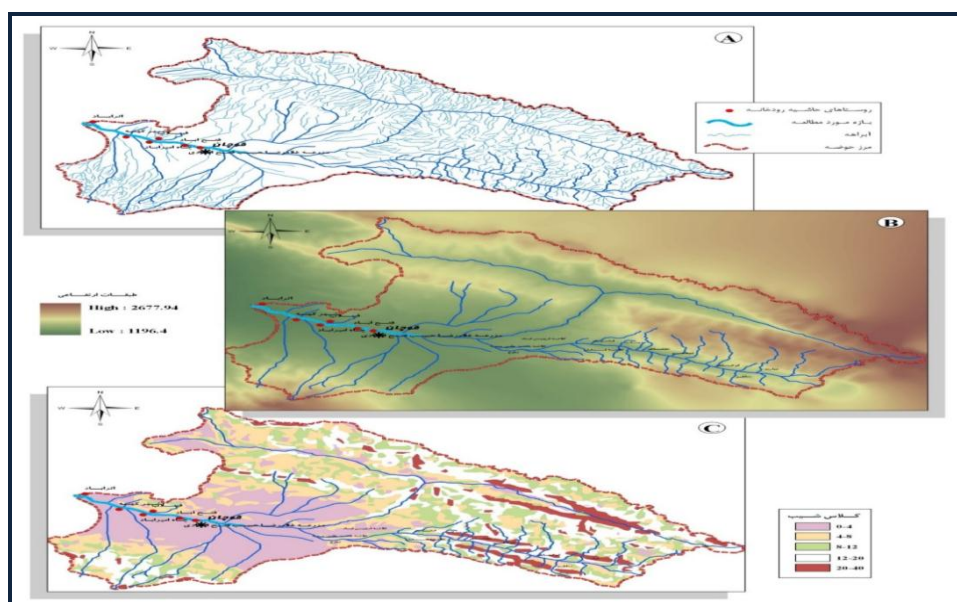


شکل ۱: الف) موقعیت بازه مورد مطالعه را در ایران، استان خراسان رضوی و حوضه مطالعاتی ب) پلان کلی محدوده

مورد مطالعه

مطالعات فیزیوگرافی

ابتدای بازه مورد مطالعه در بالادست پل کمربندی ورود به شهر قوچان و انتهای آن پس از روستای اترآباد است. منابع آب سطحی مهم این حوضه (مساحت بالغ بر ۱۳۰۰ کیلومتر مربع) رودخانه‌های عمارت و تبارک بوده که پس از تلاقی به رودخانه اترک تخلیه می‌گردند. برای هر یک از مقاطع برآورد سیلاب، یک حوضه آبریز تعیین شده است که خروجی، همان مقطع برآورد سیلاب می‌باشد. برای این منظور محل اتصال مسیل‌ها و رودخانه‌های مهم به رودخانه اترک، به عنوان مقطع برآورد سیلاب در نظر گرفته شد که ۶ زیرحوضه بر روی بازه در محل مقاطع تعیین و محاسبات فیزیوگرافی انجام شده است. نامگذاری زیرحوضه با حرف اختصاری A و شماره گذاری آن‌ها به صورت مسلسل از ۱ تا ۶ می‌باشد که حوضه A_۶ در برگرفته سایر زیرحوضه‌ها بوده یا به عبارتی حوضه کلی منطقه مطالعاتی محسوب می‌شود و غیر از حوضه A_۱، سایر حوضه‌ها ترکیبی هستند (جدول ۱). شیب متوسط حوزه‌ها بین ۹/۳۹ الی ۱۰ درصد متغیر است. طول ابراهه اصلی از ۵۹ کیلومتر ت ۷۸/۹ کیلومتر در تغییر است. زمان تمرکز بر اساس ۴ روش کریچ، برانزبای-ویلیامز، کالیفرنیا و گیاندوتی محاسبه شد که حداقل ۶/۶۲ ساعت (روش کالیفرنیا در حوزه A_۱) و حداکثر ۲۰/۴۹ ساعت (روش برانزبای-ویلیامز در حوزه A_۶) می‌باشد. در نهایت پس از انجام محاسبات مربوطه، نتایج ذیل بدست آمده است که در بین روش‌ها، نتایج روش کریچ به عنوان نتایج نهایی انتخاب شده است. انتخاب روش فوق به عنوان روش مناسب بر اساس بررسی در سایر منابع بوده که در حوزه‌های مشابه با حوزه‌های مورد بررسی در این مقاله نتایج مشابهی دارد.



شکل ۲: نقشه‌های پایه حوضه رودخانه اترک، A: هیدروگرافی، B: مدل رقومی ارتفاع و C: شیب

جدول ۱: مشخصات فیزیوگرافی حوضه و زیرحوضه‌های رودخانه اترک

A_6	A_5	A_4	A_3	A_2	A_1	زیر حوضه
۱۳۸۸/۸۶	۱۳۷۴/۴۷	۱۲۹۴/۰۱	۱۲۲۱/۴۷	۱۱۶۹/۸۴	۸۹۵/۴۲	مساحت (km ²)
۲۲۸/۷۰	۲۲۱/۷۶	۲۱۴/۶۳	۲۱۱/۲۶	۲۱۱/۵۱	۲۰۰/۰۸	محیط (km)
۹/۳۹	۹/۴۶	۹/۵۹	۹/۸۰	۱۰/۰۰	۹/۶۹	شیب متوسط درصد
۷۸/۹۰	۷۴/۱۰	۷۲/۶۶	۶۶/۷۸	۶۴/۰۰	۵۹/۴۰	طول آبراهه (km)
۲۶۹۷	۲۶۹۷	۲۶۹۷	۲۶۹۷	۲۶۹۷	۲۶۹۷	ارتفاع حداکثر (m)
۱۲۳۷	۱۲۶۸	۱۲۷۰	۱۳۳۸	۱۳۴۴	۱۳۵۵	ارتفاع حداقل (m)
۱۷۲۷/۷۷	۱۷۳۲/۰۳	۱۷۳۷/۴۱	۱۷۴۸/۶۹	۱۷۵۹/۵۲	۱۸۲۷/۷۵	ارتفاع متوسط (m)
۱۴۶۰	۱۴۲۹	۱۴۲۷	۱۳۵۹	۱۳۵۳	۱۳۴۲	حداکثر برجستگی (m)
۰/۲۵	۰/۲۵	۰/۲۷	۰/۲۹	۰/۲۵	۰/۲۵	ضریب فرم
۱/۶۹	۱/۶۸	۱/۷۰	۱/۷۴	۱/۸۹	۱/۸۹	ضریب گراولیوس
۱۰۱/۴۸	۹۷/۵۹	۹۴/۳۷	۹۳/۲۹	۹۴/۰۸	۹۰/۹۰	طول مستطیل معادل (km)
۱۳/۶۹	۱۴/۰۸	۱۳/۷۱	۱۳/۰۹	۱۲/۴۴	۹/۸۵	عرض مستطیل معادل (km)
۸/۹۱	۸/۳۶	۸/۱۸	۷/۵۶	۷/۲۱	۶/۶۳	کریبج
۲۰/۴۹	۱۹/۱۰	۱۸/۷۸	۱۷/۲۳	۱۶/۴۶	۱۵/۴۸	برازن‌بای-ویلیامز
۸/۹۰	۸/۳۵	۸/۱۶	۷/۵۵	۷/۲۰	۶/۶۲	کالیفرنیا
۱۵/۰۹	۱۵/۰۶	۱۴/۶۲	۱۴/۸۰	۱۴/۲۸	۱۲/۰۰	گیاندوتی

هواشناسی

به منظور بررسی حداکثر بارشهای ۲۴ ساعته در محدوده مورد مطالعه از سری آمار گزارش شده شدیدترین بارشهای ۲۴ ساعته ایستگاه سینوپتیک قوچان ($x = ۶۳۳۳۵۱$ و $y = ۴۱۰۳۳۲۰$) در دوره آماری ۲۹ ساله از ۶۴-۱۳۶۳ الی ۹۲-۱۳۹۱ استفاده شده است. آمار حداکثر بارش ۲۴ ساعته این ایستگاه با استفاده از نرم افزار Hyfran مورد بررسی قرار گرفت که در نهایت نتایج برازش داه ها با توزیع گاما جدول ۲ که دارای کمترین خطای استاندارد بوده، به عنوان نتایج نهایی حداکثر بارش ۲۴ ساعته منطقه مطالعاتی در دوره بازگشت‌های مختلف انتخاب شد. مقادیر نهایی حداکثر بارش ۲۴ ساعته در دوره بازگشت‌های مختلف در (جدول ۳) ارائه شده است.

جدول ۲: دبی حداکثر سیلاب با دوره بازگشت ایستگاه‌های انتخابی برای روش تحلیل منطقه‌ای

ایستگاه	توزیع مناسب	مساحت	مقدار سیلاب با دوره بازگشت های مختلف					
			۲	۵	۱۰	۲۵	۵۰	۱۰۰
حاتم قلعه	گاما	۱۲۳۸	۶۷	۱۳۲	۱۷۹	۲۳۸	۲۸۲	۳۲۶
نشیب	گاما	۱۰۱	۱۶	۶۴	۱۳۱	۲۸۴	۴۶۷	۷۲۳
رادکان	گاما	۲۲۶	۲۱	۴۹	۷۰	۹۹	۱۲۰	۱۴۱
چکنه	لوگ نرمال	۴۱	۱۳/۱	۳۱/۴	۴۹/۷	۸۱	۱۱۱	۱۴۷
پنججه	گاما	۸۹	۶/۲۳	۱۷/۵	۳۰/۲	۵۳/۸	۷۸/۱	۱۰۹
کبکان	لوگ پیرسون تپ ۳	۸۱	۴/۳۴	۱۰/۵	۱۸/۳	۳۶/۱	۵۸/۷	۹۳/۶
تبارک آباد	گاما	۵۵۳	۳۲/۵	۷۹/۲	۱۲۶	۲۰۸	۲۸۶	۳۸۲
بند ساروج	لوگ نرمال	۴۹۷	۲۹/۹	۸۱/۸	۱۳۸	۲۴۲	۳۴۹	۴۸۳
سنگ دیوار	لوگ نرمال	۲۲۸	۲۳/۲	۵۲/۱	۸۲	۱۳۰	۱۷۵	۲۳۰
محمد تقی بیگ	گاما	۹۴۲	۴۱/۴	۷۵/۷	۹۹/۳	۱۲۹	۱۵۱	۱۷۲

جدول ۳: مقادیر حداکثر بارش ۲۴ ساعته منطقه مطالعاتی (mm)

دوره بازگشت (سال)	۲	۵	۱۰	۲۵	۵۰	۱۰۰
حداکثر بارش ۲۴ ساعته (mm)	۲۴/۹	۲۹/۷	۳۲/۴	۳۵/۵	۳۷/۵	۳۹/۵

شدت - مدت - فراوانی بارش (IDF)

به منظور بررسی رگبارهای منطقه مورد مطالعه در فرکانس و تداوم‌های مختلف از روابط ارائه شده توسط دکتر قهرمان

استفاده شده است. این روابط که در سال ۱۳۶۹ برای نقاط مختلف ایران تهیه شده، به شرح زیر می‌باشد:

$$P_T^t = [0.4524 + 0.247 \ln(T - 0.6)] (0.3710 + 0.6184 t^{0.4484}) P_{10}^{60} \quad \text{رابطه ۱:}$$

$$P_{10}^{60} = e^{0.8153} x_1^{1.1374} x_2^{-0.3072} \quad \text{رابطه ۲:}$$

در روابط فوق، x_1 متوسط حداکثر بارش‌های روزانه و x_2 متوسط بارندگی سالانه منطقه بر حسب میلی‌متر و P_{10}^{60}

مقدار باران یک ساعته با دوره بازگشت ۱۰ سال و P_T^t مقدار باران t دقیقه‌ای مورد نظر با دوره بازگشت T سال می‌باشد.

همانگونه که قبلاً بیان شد، ایستگاه سینوپتیک قوچان که دارای موقعیت جغرافیایی مناسب و شرایط اقلیمی مشابه منطقه

مطالعاتی می‌باشد، به عنوان ایستگاه معرف منطقه مطالعاتی در نظر گرفته شده است. لذا با توجه به دوره شاخص آماری

۲۹ ساله (از سال ۱۳۶۳ الی ۱۳۹۲)، بارندگی متوسط سالانه مساوی ۳۱۱/۸ میلی‌متر و متوسط مقادیر حداکثر بارش‌های

۲۴ ساعته برابر ۲۵/۳ میلی‌متر می‌باشد. بر این اساس و با استفاده از رابطه دکتر قهرمان، مقادیر شدت و میزان بارش در

پایه‌های زمانی مختلف برای منطقه بدست آمده است که نتایج در (جدول ۴) ارائه شده است. از مقادیر شدت - مدت -

فراوانی بارش در محاسبه سیلاب به روش استدلالی استفاده شد.

جدول ۴: میزان و شدت بارش‌های کوتاه مدت با دوره‌های بازگشت مختلف

مقدار باران t دقیقه ای با دوره بازگشت T سال								t T
۳۶۰	۱۸۰	۱۲۰	۶۰	۳۰	۱۵	۱۰	۵	
۱۴/۳	۱۱/۳	۹/۹	۸/۱	۶/۷	۵/۸	۵/۳	۴/۷	۲
۲۱/۹	۱۷/۳	۱۵/۲	۱۲/۴	۱۰/۳	۸/۸	۸/۱	۷/۴	۵
۲۶/۹	۲۱/۲	۱۸/۷	۱۵/۲	۱۲/۷	۱۰/۸	۱۰	۸/۸	۱۰
۳۳/۲	۲۶/۲	۲۳	۱۸/۸	۱۵/۶	۱۳/۳	۱۲/۳	۱۰/۹	۲۵
۳۷/۹	۲۹/۹	۲۶/۳	۲۱/۴	۱۷/۸	۱۵/۲	۱۴	۱۲/۴	۵۰
۴۲/۵	۳۶/۶	۲۹/۵	۲۴	۲۰	۱۷/۱	۱۵/۷	۱۳/۹	۱۰۰
۴۷/۱	۳۷/۲	۳۲/۷	۲۶/۶	۲۲/۲	۱۸/۹	۱۷/۴	۱۵/۴	۲۰۰
۵۳/۲	۴۲	۳۶/۹	۳۰	۲۵	۲۱/۳	۱۹/۷	۱۷/۴	۵۰۰
۵۷/۸	۴۵/۶	۴۰/۱	۳۲/۶	۲۷/۲	۲۳/۲	۲۱/۴	۱۸/۹	۱۰۰۰

هیدرولوژی و سیلاب

در این مقاله، برای برآورد میزان سیلاب در دوره بازگشت‌های مختلف از روشهای تحلیل منطقه‌ای، استدلالی، دیکن، کریگر و فولر استفاده شد. با مقایسه سیلاب برآورد شده به روشهای مختلف، بازدیدهای میدانی انجام شده از منطقه، بافت خاک، پوشش گیاهی، شیب حوضه، طول آبراهه اصلی، پارامترهای فیزیکی و اقلیمی محدوده‌های مورد مطالعه، نهایتاً در زیرحوضه‌های اترک (A₁ تا A₆) نتایج روش دیکن، در نظر گرفته شد.

روش دیکن (Dicken)

$$Q_1 = Q_2 \left(\frac{A_1}{A_2} \right)^{0.75} \quad \text{رابطه ۳:}$$

A₁: مساحت حوضه (Km²)، A₂: مساحت ایستگاه (Km²)، Q₂: سیلاب ایستگاه (m³/s) با دوره بازگشت‌های

مختلف و Q₁: سیلاب حوضه (m³/s) با دوره بازگشت‌های مختلف می‌باشد.

جدول ۵: مقادیر نهایی دبی حداکثر سیلاب در حوضه‌های اترک (cms)

دوره بازگشت (سال)						حوضه
۱۰۰	۵۰	۲۵	۱۰	۵	۲	
۸۴۹/۵	۶۰۳/۸	۴۱۹/۲	۲۴۳/۷	۱۴۸/۸	۵۸/۳	۱ A
۱۰۳۸/۱	۷۳۷/۹	۵۱۲/۳	۲۹۷/۸	۱۸۱/۸	۷۱/۲	۲ A
۱۰۷۲/۳	۷۶۲/۲	۵۲۹/۲	۳۰۷/۶	۱۸۷/۸	۷۳/۶	۳ A
۱۱۹/۷	۷۹۵/۹	۵۵۲/۶	۳۲۱/۲	۱۹۶/۱	۷۶/۸	۴ A
۱۱۷۱/۵	۸۳۲/۷	۵۷۸/۲	۳۳۶/۱	۲۰۵/۲	۸۰/۴	۵ A
۱۱۸۰/۷	۸۳۹/۳	۵۸۲/۷	۳۳۸/۷	۲۰۶/۸	۸۱	۶ A

توپوگرافی، پلان شبکه و هندسه رودخانه

تهیه نقشه قابل قبول یکی از مهم‌ترین چهار چوبهای لازم برای شبیه‌سازی رودخانه است. مقیاس برداشت نقشه‌های توپوگرافی دریافت شده از شرکت آب منطقه ای محدوده ۱:۱۰۰۰ می باشد. خطوط توپوگرافی پس از رقوم‌دهی وارد محیط GIS شد و با استفاده از تواناییهای این محیط و با استفاده از الحاقیهی HEC-GEO-RAS برای محیط نرم‌افزار ArcView، مقاطع عرضی در طول بازه رودخانه استخراج شدند. با استفاده از این روش نه تنها نیازی به برداشت مقاطع عرضی از رودخانه برای اجرای برنامه HEC-RAS نیست بلکه تعداد مقاطع عرضی مورد نیاز نرم افزار HEC-RAS را می‌توان با استفاده از نقشه پلان به تعداد بسیار بیشتر از قبل در برنامه گنجانده و دقت محاسبات نرم افزار را ارتقاء بخشید. لذا استفاده از این برنامه علاوه بر کاهش هزینه و حجم عملیات نقشه برداری، مزیت دقت بیشتر محاسبه‌ها را نیز دارا خواهد بود. جهت بالا بردن دقت محاسباتی و شبیه‌سازی، فاصله متوسط مقاطع از یکدیگر حدود ۲۰ متر در نظر گرفته شده است.

شبیه‌سازی جریان در رودخانه

براساس اطلاعات گردآوری شده توپوگرافی و مورفولوژی رودخانه پس از وارد کردن این اطلاعات در محیط GIS، اطلاعات مورد نیاز مدل در نرم افزار HEC-RAS در محیط سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی آماده شده و سپس به مدل HEC-RAS وارد می‌گردد. سپس رودخانه در رژیم‌های مختلف هیدرولیکی مورد شبیه‌سازی قرار گرفته و در نهایت نتایج از رژیم جریان مناسب برای مسیر رودخانه انتخاب شده است. آنگاه با وارد کردن نتایج حاصل از مدل HEC-RAS به GIS با توجه به توپوگرافی رودخانه و پروفیل سطح آب بدست آمده، نقشه پهنه‌بندی سیلاب در محدوده سیلاب دشت برای دوره بازگشت‌های مختلف رودخانه نیز تهیه شده است لازم به ذکر است که ضریب زبری رودخانه توسط روش کاوون محاسبه شد (Stephen et al., 2010; Cook, 2008; Choudhury, 2002).

بررسی وضعیت فرسایش

برای تعیین شدت و میزان فرسایش کناری با اندازه گیری دو فاکتور ارتفاع تراس‌ها (H) و میزان فعالیت فرسایش (T) کلاسه‌های زیر تفکیک شده و رودخانه مورد ارزیابی قرار گرفت. برای این منظور ارتفاع تراس‌ها با استفاده از نرم افزار Hec Ras محاسبه و در نرم افزار Arc view در سه کلاس (H₁ تا H₃) پهنه بندی شد و کلاس‌های T با پیمایش‌های صحرائی نیز در چهار کلاس (T₁ تا T₄) تعیین شدند. الف) میزان فعالیت فرسایش: T₁: رودخانه در بستری آرام جریان دارد و فرسایش در محل قوس‌ها مشهود است. T₂: آثار فرسایش کناری در ۱۰ الی ۳۰ درصد طول مسیر رودخانه دیده می‌شود. T₃: آثار فرسایش کناری در ۳۰ الی ۵۰ درصد طول مسیر رودخانه دیده می‌شود. T₄: آثار فرسایش کناری در بیش از ۵۰

درصد طول مسیر رودخانه قابل رویت است. ب) ارتفاع تراس‌ها: H_1 : عمق دیواره ناشی از فرسایش کناری بین صفر تا ۲ متر. H_2 : عمق دیواره ناشی از فرسایش کناری بین ۲ تا ۵ متر. H_3 : عمق دیواره ناشی از فرسایش کناری بین ۵ تا ۱۰ متر.

حساسیت سنجی مدل

مبنای محاسبه افت در نرم افزار Hec Ras رابطه مانینگ می‌باشد. از بین پارامترهای مورد استفاده در این رابطه تمامی پارامترهای به کار رفته در مدل‌سازی رودخانه مانند شعاع هیدرولیکی، شیب کف رودخانه و مساحت مقطع، حاصل از هندسه رودخانه بوده و تنها ضریب زبری مانینگ است که مقدار آن براساس نظر کارشناسی برآورد می‌گردد. بر این اساس تنها پارامتری که می‌تواند مورد حساسیت سنجی قرار گیرد، همین پارامتر است. ضمن اینکه این پارامتر نقش مهمی در شبیه‌سازی جریان و تعیین مشخصه‌های جریان دارد.

واسنجی مدل

پس از تهیه فایل ورودی به نرم‌افزار فایل مورد نظر در آن فراخوانی می‌شود و پس از بررسی پروفیل طولی بازه‌های مورد مطالعه و مقاطع عرضی، وارد کردن ضرائب انبساط و انقباض مسیر جریان، دبی‌های سیلابی رودخانه در موقعیت‌های تعیین شده، مدل را اجرا نموده و به منظور کنترل نتایج خروجی مدل، واسنجی مدل انجام می‌پذیرد. به عبارت دیگر برای ارزیابی دقت محاسبات هیدرولیک، باید شبیه‌سازی هیدرولیکی انجام گرفته، واسنجی گردد. واسنجی مدل در واقع کنترل صحت اطلاعات و نتایج خروجی از مدل شبیه‌سازی هیدرولیکی در رودخانه مورد مطالعه می‌باشد. جهت واسنجی مدل معمولاً اطلاعات تراز - آبگیری و داغاب سیلاب‌های بزرگ و مشخص در گذشته در مقاطع مشخصی از مدل مورد استفاده قرار می‌گیرد و نتایج حاصل از مدل به ازای همان شرایط هیدرولیکی با اطلاعات برداشتی از رودخانه مقایسه می‌گردد. چنانچه در محدوده‌ی مورد مطالعه، ایستگاه آب سنجی موجود باشد و اطلاعات مناسبی از تراز سطح آب در مقاطع مختلف رودخانه داشته باشیم، مدل می‌تواند تغییرات سطح آب محاسبه شده و سطح آب مشاهده‌ای را برآورد نموده و با تغییر دادن پارامترهای دخیل در هیدرولیک جریان (مانند ضریب زبری مانینگ و...) می‌توان نتایج حاصل از محاسبه را به شرایط واقعی جریان نزدیک نموده و لذا پارامترهای مختلف را کالیبره (واسنجی) نمود. در واسنجی، پارامترهای متغیر واسنجی، ضریب زبری جریان، ضرائب اصلاح رابطه انرژی، رابطه مقدار حرکت، ضرائب انبساط و انقباض رودخانه است. هدف از واسنجی، حداقل نمودن تفاوت‌های تراز آب شبیه‌سازی و اندازه‌گیری شده می‌باشد.

معیارهای ارزیابی

در این تحقیق برای ارزیابی کارایی مدل‌های رگرسیونی و سامانه استنتاج تطبیقی عصبی-فازی ارائه شده برای محاسبه هدایت هیدرولیکی اشباع با استفاده از خصوصیات فیزیکی خاک، از معیارهای جذر میانگین مربع خطا RMSE و میانگین خطای مطلق MAE استفاده شد. روابط مربوط به این آماره‌ها بصورت زیر می‌باشد.

$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - Y_i)^2}{n}} \quad \text{رابطه ۴:}$$

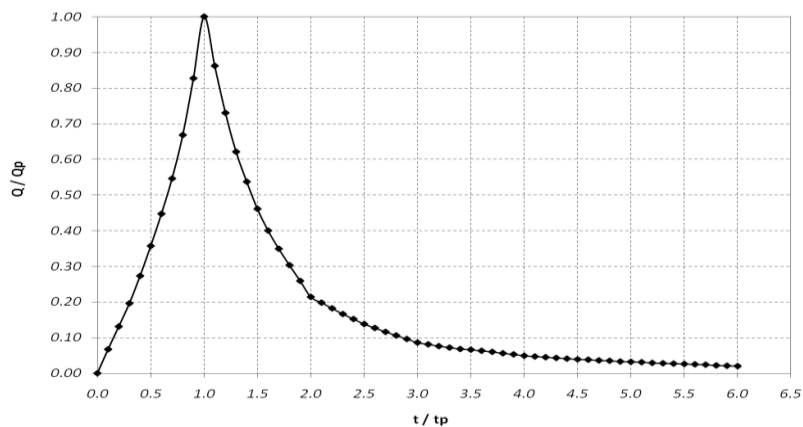
$$\text{AME} = \frac{\sum_{i=1}^n |X_i - Y_i|}{n} \quad \text{رابطه ۵:}$$

که در این روابط، X_i و Y_i i امین داده واقعی و برآورد شده، \bar{X} و \bar{Y} میانگین داده‌های X_i و Y_i و n تعداد نمونه‌های ارزیابی می‌باشند.

بحث و نتایج

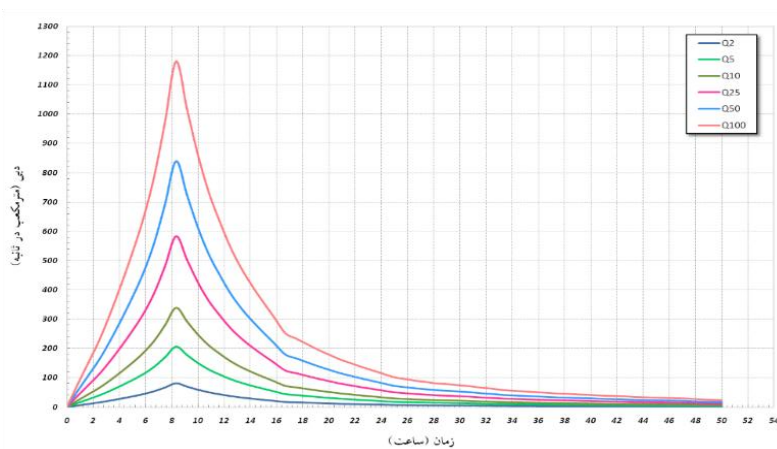
هیدروگراف سیل

برای رسم هیدروگراف در حوضه‌های محدوده مورد مطالعه، از هیدروگراف بدون بعد ایستگاه هیدرومتری تبرک آباد که در محدوده مطالعاتی قرار دارد، استفاده شد. برای این کار، تمامی هیدروگراف‌های ایستگاه تبرک آباد از تاریخ ۱۳۴۷/۱۱/۱ تا ۱۳۷۹/۶/۲۹ که تعداد آن‌ها ۲۳۳ واقعه می‌باشد، جمع آوری شد. در این مرحله کلیه هیدروگراف‌ها صرفنظر از مقدار دبی پیک، شکل هیدروگراف و... مورد بررسی قرار گرفت. در مرحله بعد وقایعی که شکل هیدروگراف ثبت شده از فرم تیپ هیدروگراف‌ها پیروی نکرده و دارای یک بازوی بالارونده، دبی اوج مشخص و بازوی پایین رونده نمی‌باشد، حذف شد. تعداد هیدروگراف‌های باقیمانده پس از تحلیل این مرحله ۴۵ واقعه می‌باشد. توضیح آنکه در این مرحله هیدروگراف‌های دارای دو یا چند قله، نیز حذف شد. سپس تک تک هیدروگراف‌های باقیمانده تحلیل شده و دبی پایه هر کدام به صورت مجزا جدا شد. در گام نهایی با استفاده از یک برنامه رایان‌های، مشخصات Q/Q_p هیدروگراف‌ها در بازه‌های زمانی دلخواه مثلاً $0/1 = t/tp$ استخراج و در کنار هم چیده شد. در نهایت میانگین Q/Q_p ها در هر بازه زمانی محاسبه و بر اساس آن هیدروگراف بدون بعد تیپ ایستگاه تبرک آباد تعیین شد. این هیدروگراف بدون بعد شاخص در شکل زیر آورده شده است. همانطور که در (شکل ۴) نیز مشخص است بیشترین مقدار سیلاب در زمان $(t/tp=2/1)$ به وقوع می‌پیوندد.



شکل ۴: هیدروگراف بدون بعد ایستگاه هیدرومتری تبرک آباد (هیدروگراف بدون بعد تیپ منطقه مطالعاتی)

با توجه به هیدروگراف بی بعد فوق و مقادیر دبی حداکثر سیلاب در دوره بازگشت‌های مختلف در حوضه‌های محدوده-های مطالعاتی، هیدروگراف سیل و ابعاد آن در هریک از این حوضه‌ها تعیین و در (شکل ۵) ارائه شده است. همانطور که در (شکل ۵) نیز مشخص شده است مقدار پیک سیلاب در تمام دوره بازگشت‌ها در زمان ۸/۳۳ ساعت می‌باشد. همچنین لازم به ذکر است که بازوی پایین رونده سیلاب بیشتر از بازوی بالارونده سیلاب است.



شکل ۵: نمودار واحد سیلاب با دوره بازگشت‌های مختلف

بررسی وضعیت فرسایش رودخان‌های

بر طبق نتایج بدست آمده متوسط عمق تراس‌های تشکیل شده در ساحل چپ رودخانه بین ۲-۵ متر و آثار فرسایشی در بیش از ۵۰ درصد طول مسیر قابل رویت است. لازم به ذکر است که شرایط مشابهی نیز در ساحل سمت راست حکم فرما است بطوریکه متوسط عمق تراس‌های تشکیل شده در ساحل راست رودخانه نیز ۲-۵ متر و آثار فرسایشی در بیش از ۵۰ درصد طول مسیر قابل رویت است. طول کلاس‌های فرسایشی در سواحل رودخانه در جدول ۶ نشان داده شده است. همانطور که در (جدول ۶) نیز مشخص است بیشترین طول فرسایشی مربوط به کلاس H_2 در هر دو ساحل راست و چپ

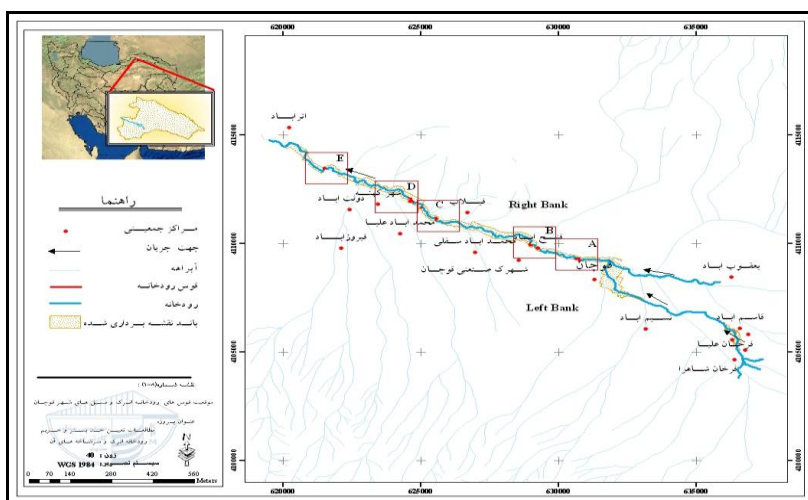
است. همچنین در خصوص شدت فرسایش کلاس T_4 در هر دو ساحل بیشترین مقدار فرسایش را دارد. بدین ترتیب بازه‌هایی که در کلاس فرسایشی $H_4T_4-H_3T_3-H_3T_4$ قرار می‌گیرند بازه‌هایی هستند که پتانسیل فرسایش‌پذیری بالایی دارند این بازه‌ها در محل مراکز جمعیتی بیشتر به چشم می‌خورند که سبب تهدید منابع حاشیه رودخانه می‌شوند لذا نیازمند برنامه‌های حفاظتی در طول مسیر می‌باشد.

جدول ۶: طول کلاس‌های فرسایش در سواحل رودخانه مورد مطالعه

ساحل	عمق و شدت فرسایش	علائم	طول - کیلومتر	
چپ	عمق ترانس	H1	۱۱/۵۱	
		H2	۱۹/۸۳	
		H3	۱/۷۳	
		H4	-	
	شدت فرسایش	T1	۶/۳۱	
		T2	۰/۱۳۹	
		T3	۳/۵۷	
		T4	۲۳/۰۶	
	میانگین کلاس فرسایش در ساحل چپ		H2T4	
	راست	عمق ترانس	H1	۱۱/۵۴
H2			۱۹/۹۷	
H3			۱/۱۹	
H4			-	
شدت فرسایش		T1	-	
		T2	۰/۶۱۵	
		T3	۵/۷۷	
		T4	۲۶/۳۳	
میانگین کلاس فرسایش در ساحل راست		H2T4		

مقاطع عرضی رودخانه

شکل‌های مقاطع عرضی حاصل از مدل HEC-RAS در زیر نشان داده شده است. در آن‌ها خط پروفیل سطح آب خط جریان بحرانی برای دوره برگشت ۲۵ ساله ارائه شده‌اند. همانطور که در (شکل ۶) نیز مشخص است با افزایش عرض رودخانه ارتفاع سطح آب کاهش می‌یابد. نتایج حاکی از خطر پذیر بودن مسیرها در مواقع سیلابی می‌باشد. بطوریکه در اغلب مقاطع عرضی مقدار سیلاب ۲۵ ساله از بستر رودخانه عبور کرده و وارد حریم می‌گردد. شرایط جریان در ۲ کیلومتر اول مسیر مناسب می‌باشد و جریان در بستر رودخانه کنترل می‌گردد. اما در ادامه مسیر بدلیل اضافه شده سیلاب شاخه‌های دیگر و همراه بودن گل و لای با آب تخریب و فرسایش بیشتر صورت گرفته بطوریکه سیلاب از بستر اصلی خارج می‌شود. همانطور که در شکل‌های زیر نیز نشان داده شده است در برخی از مقاطع عبور سیلاب در ساحل‌های چپ و راست مشاهده می‌گردد. این شرایط را می‌توان به پیچ و خم مسیر رودخانه مربوط دانست، بطوریکه در صورت چرخش به سمت راست باشد ساحل چپ و یا بلعکس تخریب شده و به مرور زمان به شکل کنونی در آمده است (شکل ۷). در طول



شکل ۷: محل قوس های مهم در مسیر مورد بررسی

جدول ۷: مشخصات قوسهای رودخانه

cod	ANG	R	T	L	B	XPC	YPC	XPI	YPI	XPT	YPT
۱	۱۲۲ ۴۱ ۲۲	۱۶/۹۹	۳۱/۰۹	۳۶/۳۸	۱۸/۴۴	۶۲۱۴۸۷	۴۱۱۳۴۷۸/۵۴	۶۲۱۴۷۱/۸	۴۱۱۳۴۵۲	۶۲۱۴۵۵/۹۲	۱۱۳۴۸۰
۲	۵۹ ۴۴ ۱۶/۹	۵۲/۹۲	۳۰/۳۹	۵۵/۱۸	۸/۱۱	۶۲۱۵۵۱/۵	۴۱۱۳۴۶۰/۰۲	۶۲۱۵۰۳	۴۱۱۳۴۸۱	۶۲۱۵۳۳/۱۸	۴۱۱۳۴۸۴
۳	۱۷۳ ۲۵ ۶/۴	۳۰/۰۴	۵۲۲/۳۹	۹۰/۹۱	۴۹۳/۲۱	۶۲۲۵۹۲/۳	۴۱۱۱۹۴۰/۵۲	۶۲۲۶۴۸/۲۶	۴۱۱۱۹۱۹	۶۲۴۴۳۲/۲۱	۴۱۱۱۴۴۳
۴	۱۹۱ ۴۹ ۱۱/۴	۲۳/۳۱	۲۲۵/۱	۷۸/۰۳	۲۴۹/۶	۶۲۴۷۱۰/۴	۴۱۱۱۹۳۹/۷۴	۶۲۴۶۶۴/۸۵	۴۱۱۱۹۴۸	۶۲۴۶۴۵/۸۶	۴۱۱۱۷۱۹
۵	۱۳۰ ۱۳ ۲۱/۲	۳۵/۰۶	۷۵/۵۷	۷۹/۶۹	۴۸/۲۵	۶۲۲۷۴۰/۶	۴۱۱۱۸۶۸/۵۴	۶۲۴۸۰۴/۰۳	۴۱۱۱۸۶۴	۶۲۴۷۶۶/۹۴	۴۱۱۱۷۹۸
۶	۲۰۴ ۱۸ ۴۲/۲	۱۰/۰۸	۴۶/۸۱	۳۵/۹۶	۵۷/۹۷	۶۲۵۰۱۰/۱	۴۱۱۱۶۵۵/۶۵	۶۲۵۰۲۷/۳۴	۴۱۱۱۶۴۶	۶۲۴۹۹۴/۶۲	۴۱۱۱۶۰۷
۷	۱۷۴ ۸ ۲۵/۲	۳۴/۰۶	۶۶۵/۵۱	۱۰۳/۵۲	۶۳۲/۳۲	۶۲۵۵۴۸/۶	۴۱۱۱۱۱۴/۸۴	۶۲۵۵۳۲/۹۳	۴۱۱۱۱۸۱	۶۲۴۸۹۳/۹۴	۴۱۱۰۹۹۵
۸	۱۶۵ ۰ ۳۵/۹	۱۰/۳۲	۷۸/۴۲	۲۹/۷۱	۶۸/۷۷	۶۲۵۵۳۳/۸	۴۱۱۱۱۱۰/۹۶	۶۲۵۵۳۱/۱۵	۴۱۱۱۰۹۱	۶۲۵۴۵۵/۳۹	۴۱۱۱۱۱۱
۹	۱۵۲ ۲۳ ۲۹/۴	۲۷/۰۶	۱۱۰/۱۴	۷۱/۹۸	۸۶/۳۶	۶۲۸۹۳۹/۶	۴۱۰۹۹۵۷/۹۷	۶۲۸۹۶۸/۹	۴۱۰۹۹۱۴	۶۲۸۸۶۵/۴۷	۴۱۰۹۸۷۶
۱۰	۱۴۶ ۵۹ ۳۱/۴	۱۹/۷۹	۵۰/۲۳	۴۷/۲۲	۳۴/۲	۶۳۰۶۰۸/۶	۴۱۰۹۲۷۷/۲۵	۶۳۰۶۴۴/۰۶	۴۱۰۹۲۸۷	۶۳۰۶۳۸/۸۵	۴۱۰۹۲۳۷
۱۱	۲۳۸ ۴۶ ۶/۳	۱۲/۷	۲۲/۵۵	۵۲/۹۲	۳۸/۵۸	۶۳۰۷۳۶/۶	۴۱۰۹۳۲۱/۰۴	۶۳۰۷۲۳/۶	۴۱۰۹۳۳۹	۶۳۰۷۰۴/۱۱	۴۱۰۹۳۱۱
۱۲	۱۵۹ ۱۵۲/۶	۲۷/۹۴	۱۵۰/۹	۷۷/۵۵	۱۲۵/۶۱	۶۳۰۷۲۹/۳	۴۱۰۹۲۳۱/۲۲	۶۳۰۷۸۳/۱۹	۴۱۰۹۲۲۰	۶۳۰۷۲۶/۸۹	۴۱۰۹۰۸۰

ANG: زاویه قوس B: فاصله تلاقی وترها تا محل قوس R: شعاع قوس L: طول قوس T: طول وترها

تعالل نهایی رودخانه

نتایج محاسبه‌های ابعاد رودخانه در حالت تعادل نهایی و شرایط آستانه حرکت در تمام مقاطع پایدار رودخانه مورد مطالعه نشان داد که در ۷۱ درصد از مقاطع عرضی وضعیت ناپایدار و در ۲۹ درصد مابقی وضعیت پایدار می‌باشد. بر اساس نتایج بیشترین مقدار تنش برشی و سرعت برشی در مقاطع ناپایدار به ترتیب برابر ۸۱۵/۴۱ نیوتن بر متر مربع و ۶/۲۱ متر در ثانیه است. در مقابل بیشترین مقدار پارامترهای تنش برشی و سرعت برشی در مقاطع پایدار به ترتیب برابر ۵۱۶/۷ نیوتن بر متر مربع و ۴/۹۲ متر در ثانیه می‌باشد. همچنین حداقل مقدار پارامتر شیلدز در مقاطع ناپایدار برابر ۰/۴۲ و در مقاطع پایدار برابر ۱/۱ می‌باشد. مقادیر حداقل، حداکثر، میانگین و انحراف معیار پارامترهای سرعت برشی، تنش برشی، عدد فرود، شیب، شعاع هیدرولیکی، عمق جریان، پیرامون مرطوب و پارامتر شیلدز در جدول ۸ (مقاطع ناپایدار) (جدول ۹) (مقاطع پایدار) آورده شده است. همانطور که در جداول زیر نشان داده شده است مقدار میانگین پارامترهای ارائه شده در

مقاطع پایدار بیشتر از مقاطع ناپایدار می‌باشد. چنین نتیجه‌ای در خصوص حداقل و انحراف معیار پارامترهای ارائه شده نیز صدق می‌کند. در مقابل مقدار حداکثر پارامترها و همچنین پارامتر شیلدز در مقاطع ناپایدار بیشتر از مقاطع پایدار است.

جدول ۸: خصوصیات جریان در مقاطع ناپایدار

ردیف	سرعت برشی m/s	تنش برشی N/m ²	عدد فرود	خصوصیات مقاطع در حالت تعادل نهایی				
				شیب	شعاع هیدرولیکی	عمق جریان	پیرامون مرطوب	
میانگین	۱/۹۵	۷۱/۳۱	۰/۳۴	۰/۰۰	۲/۱۲	۴/۵۳	۱۷/۱۲	۵۸۷۸/۶۵
حداقل	۰/۱۶	۰/۶۸	۰/۰۴	۰/۰۲-	۰/۱۱	۰/۱۲	۶/۵۵	۰/۴۲
حداکثر	۶/۲۱	۸۱۵/۴۱	۱/۶۸	۰/۱۹	۴/۹۰	۸/۹۱	۲۹/۵۵	۱۱۷۹۴۷/۰۰
انحراف معیار	۰/۹۸	۷۶/۹۰	۰/۱۶	۰/۰۱	۱/۰۷	۲/۲۱	۸/۸۸	۱۱۶۰۲/۰۱

جدول ۹: خصوصیات جریان در مقاطع پایدار

ردیف	سرعت برشی m/s	تنش برشی N/m ²	عدد فرود	خصوصیات مقاطع در حالت تعادل نهایی				
				شیب	شعاع هیدرولیکی	عمق جریان	پیرامون مرطوب	
میانگین	۲/۲۷	۱۰۸/۰۸	۰/۴۳	۰/۰۱	۲/۳۹	۳/۸۴	۱۳/۵۲	۱۴۲/۱۸
حداقل	۰/۲۴	۱/۸۱	۰/۱۰	۰/۰۱-	۰/۱۲	۰/۱۶	۶/۵۵	۱/۱۱
حداکثر	۴/۹۲	۵۱۶۳/۷۶	۱/۰۲	۰/۰۹	۵/۱۶	۸/۵۱	۲۹/۵۵	۹۵۹۵/۶۶
انحراف معیار	۱/۲۲	۳۶۷/۰۷	۰/۱۹	۰/۰۱	۱/۳۳	۲/۱۶	۸/۰۰	۷۸۹/۴۸

آنالیز حساسیت

حساسیت مدل HEC-RAS به تغییرات ضریب زبری مانینگ با اعمال تغییرات ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد در مقدار ضریب زبری مانینگ مورد ارزیابی قرار گرفت. بدلیل زیاد بودن نتایج از آوردن تمامی آن‌ها خودداری شده است و نتایج مربوط به پارامترهای RMSE و AME در جدول زیر نشان داده شده است. همانطور که در (جدول ۱۰) نشان داده شده است با افزایش تغییرات مقدار ضریب زبری خروجی های مدل دارای خطای بیشتری می‌گردند. لازم به ذکر است که بالاترین حساسیت به تغییرات ضریب زبری مربوط به پارامترهای مساحت جریان و عرض سطح فوقانی می‌باشد. شایان ذکر است که افزایش و یا کاهش در مقدار ضریب زبری در نتایج خروجی تاثیر گذار بوده و مقدار پارامتر مربوطه یکسان نمی‌باشد. اما در مجموع مقدار پارامترهای خطایی RMSE و AME با هم برابر شده‌اند (جدول ۱۰). آنچه از نتایج زیر مسلم است با ارزیابی و برآورد دقیق مقدار ضریب زبری می‌توان انتظار کسب دقت مناسب را داشت. در همین راستا Stevenson (۲۰۰۹) طی

تحقیقی بر روی رودخانه کلیر، آنالیز حساسیت را برای مدل یک بعدی HEC-RAS به تاثیر زیاد ضریب زبری در نتایج خود اشاره داشته است.

جدول ۱۰: مقادیر پارامترهای خطایی به ازای تغییرات در مقدار ضریب زبری

+۲۰		-۱۰		+۱۰		درصد تغییرات
AME	RMSE	AME	RMSE	AME	RMSE	پارامتر
۰/۶۴	۰/۵۹	۰/۴۸	۰/۴۴	۰/۴۸	۰/۴۴	W.S. Elev
۰/۶۳	۰/۵۷	۰/۴۷	۰/۴۳	۰/۴۷	۰/۴۳	E.G. Elev
۰/۰۶	۰/۰۱	۰/۰۶	۰/۰۱	۰/۰۶	۰/۰۱	E.G. Slope
۰/۶۳	۰/۶۶	۰/۵۷	۰/۵۶	۰/۵۷	۰/۵۶	Vel Chnl
۵/۷	۵۳/۶	۴/۹۸	۴۰/۷	۴/۹۸	۴۰/۷	Flow Area
۴/۷	۳۵/۸	۴/۵۳	۳۴/۱۷	۴/۵۳	۳۴/۱۷	Top Width
۰/۳۵	۰/۲۱	۰/۳۴	۰/۲۱	۰/۳۴	۰/۲۱	Froude
-۲۰		+۳۰		-۲۰		درصد تغییرات
AME	RMSE	AME	RMSE	AME	RMSE	پارامتر
۰/۸۸	۰/۷۹	۰/۸۸	۰/۷۹	۰/۶۴	۰/۵۹	W.S. Elev
۰/۸۲	۰/۶۷	۰/۸۲	۰/۶۷	۰/۶۳	۰/۵۷	E.G. Elev
۰/۱	۰/۰۷	۰/۱	۰/۰۷	۰/۰۶	۰/۰۱	E.G. Slope
۰/۸۴	۰/۸۷	۰/۸۴	۰/۸۷	۰/۶۳	۰/۶۶	Vel Chnl
۷/۸	۵۷	۷/۸	۵۷	۵/۷	۵۳/۶	Flow Area
۶/۵	۳۷/۲	۶/۵	۳۷/۲	۴/۷	۳۵/۸	Top Width
۰/۴۵	۰/۴	۰/۴۵	۰/۴	۰/۳۵	۰/۲۱	Froude

نتیجه گیری

رسم هیدروگراف در حوضه‌های کلی محدوده مورد مطالعه، مشخص کرد که بیشترین مقدار سیلاب در زمان $(t/tp=2/1)$ و مقدار پیک سیلاب در تمام دوره بازگشت ها در زمان ۸/۳۳ ساعت به وقوع می‌پیوندد. عمق تراس‌های تشکیل شده در ساحل چپ و راست رودخانه بین ۵-۲ متر و آثار فرسایشی در بیش از ۵۰ درصد طول مسیر قابل رویت است. بیشترین طول فرسایشی مربوط به کلاس H_2 در هر دو ساحل راست و چپ است. همچنین در خصوص شدت فرسایش کلاس T_4 در هر دو ساحل بیشترین مقدار فرسایش را دارد. بازه‌هایی که پتانسیل فرسایش پذیری بالایی دارند این بازه‌ها در محل مراکز جمعیتی بیشتر به چشم می‌خورند که سبب تهدید منابع حاشیه رودخانه می‌شوند لذا نیازمند برنامه‌های حفاظتی در طول مسیر می‌باشد. نتایج حاکی از خطر پذیر بودن مسیر ها در مواقع سیلابی می‌باشد. بطوریکه در اغلب مقاطع عرضی مقدار سیلاب ۲۵ ساله از بستر رودخانه عبور کرده و وارد حریم می‌گردد. نتایج محاسبات ابعاد رودخانه در حالت تعادل نهایی و شرایط آستانه حرکت در تمام مقاطع پایدار رودخانه مورد مطالعه نشان داد که در ۷۱ درصد از مقاطع عرضی وضعیت ناپایدار و در ۲۹ درصد مابقی وضعیت پایدار می‌باشد. نتایج مربوط به آنالیز حساسیت نشان داد که با افزایش تغییرات مقدار ضریب زبری خروجی های مدل دارای خطای بیش‌تری می‌گردند. لازم به ذکر است که بالاترین حساسیت به تغییرات ضریب زبری مربوط به پارامترهای مساحت جریان و عرض سطح فوقانی می‌باشد. شایان ذکر

است که افزایش و یا کاهش در مقدار ضریب زبری در نتایج خروجی تاثیر معنی داری دارد و مقدار پارامتر مربوطه یکی نمی‌باشد. همانطور که اشاره شد تجاوزات انسان در محدوده حریم و بستر رودخانه اترک و مسیل‌های شهر قوچان به صورتهای گوناگون اتفاق افتاده است که شدت و ضعف آن در نقاط مختلف متفاوت می‌باشد. برای اصلاح این روند موارد ذیل پیشنهاد می‌شود. مناطق مسکونی، موجود در منطقه مورد مطالعه و مجاور با رودخانه بایستی بارعایت حریم رودخانه در فاصله مناسب از آن قرار گیرند. سازه‌های تاسیس شده موجود در مسیر رودخانه از جمله پل‌ها و دیوارهای ساحلی متناسب با عبور جریان سیلابی اصلاح شده و در فاصله مناسب از آن قرار گیرد. فعالیت‌های زراعی و باغی انجام شده در بستر رودخانه و یا در حال انجام، ممنوع و متوقف شده و در حریم نیز با ضوابط خاص آن انجام شود. جاده‌های مواصلائی و عبوری از بستر رودخانه و حاشیه آن اصلاح شده و با حفظ حریم در فاصله مناسب قرار گیرند. در محل قوس‌ها و مناطق فرسایشی بهتر است از گیاهانی مانند وتیور، پده رودخانه ای، گینه، من گرو، باهیا، سوسن، فیل، ترون، بامبو، ایپما، درخچه انجیر و از این قبیل استفاده کرد.

منابع

- بهبهانی، م.ر. (۱۳۸۰). هیدرولوژی آب های سطحی، انتشارات دانشگاه تهران. ۴۸۴ صفحه.
- صادقی، سید ح.ر. (۱۳۷۶). بررسی عوامل موثر در وقوع سیل و ارزیابی عوامل کنترل آن، مجله جنگل و مرتع، شماره ۲۹. ص ۶۱-۵۴.
- عزیزیان، ا.، نورمحمدی، س. و بهروزنیا، م.ر. (۱۳۸۹). کالیبراسیون از نتایج مدل عددی HEC-HMS در حوضه آنگانگ، (مطالعه موردی: رودخانه زواربان). ششمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری، نور، ایران.
- مهدوی، م. (۱۳۸۲). هیدرولوژی کاربردی، چاپ سوم، جلد دوم، انتشارات دانشگاه تهران. ۴۰۱ صفحه.
- میجانی، ک.، قائم مقامی، ش. و امینی زاده، م.ر. (۱۳۸۵). سیلاب و خطرات آن در کرمان. مجموعه مقالات دومین کنفرانس ملی آبخیزداری و مدیریت آب و خاک. کرمان، ایران. ص ۲۱۲۶-۲۱۳۰.
- محمدی، ا.، مسعودی، ا. و طهماسبی، ا. (۱۳۸۵). ویژگی های سیل رودخانه گرگان رود در ایستگاه مشاهده‌ای گنبد. مجموعه مقالات دومین کنفرانس ملی آبخیزداری و مدیریت آب و خاک. کرمان، ایران. ص ۲۲۶۱-۲۲۵۵.
- وطن فدا، م. (۱۳۸۲). بررسی وضعیت سیل در ایران، مسائل و مشکلات. مجموعه مقالات سمینار در پیش‌گیری و کاهش سیل. ص ۳۰۲-۳۱۳.

Afzalimehr, H. and Dey, S (2009). Influence of Bank Vegetation and Gravel Bed on Velocity and Reynolds Stress Distributions, *International Journal of Sediment Research*, 24, pp: 236-246.

- Bertrand, F. and Papanicolaou, A. N (2009).** Effects of Freezing and Thawing Process on Bank Stability, World Environmental and Water Resources Congress: Great Rivers, New Mexico.
- Choudhury, M. (2002).** Flood Routing in River Network Using Equivalent Muskingum Inflow. Journal of Hydrologic Engineering, 7, 6, pp: 413-419.
- Cook, A. C. (2008).** Comparison of one-dimensional HEC-RAS with two – dimensional FESWMS model in flood inundation mapping. MSc thesis, Purdue university, USA
- Kaufmann, R., Faustini, M., Larsen, P., Shirazi, A. (2008).** A Roughness-corrected Index of Relative Bed Stability for Regional Stream Surveys, Geomorphology. 99, pp:150- 170.
- Minghui, Y., Hongyan, W., Yanjie, L., and Chunyan, H. (2010).** Study on th Stability of Noncohesive River Bank, International Journal of Sediment Research, 25, pp: 391-398
- Mosaedi, A. (2003).** Study of factors increasing flood damages in the north of Iran on august 2001 and 2002. Geophysical Research Abstracts. 5:03945.
- Olsen, J. R., Beling, P. A., and Lambert, J. H. (2000).** Dynamic models for floodplain management. Journal of Water Resources Planning Management. 126: 167/3–175.
- Pappenberger, F. Beven, K. Horritt, M. and Blazkova, S. (2005).** Uncertainty in the calibration of effective roughness parameters in HEC-RAS using inundation and downstream level observations, J of Hyd, 302(1-4), pp: 46-69.
- Stephen, P., Rice, Jill Lancaster and Paul Kemp, P. (2010).** Experimentation at the Interface of Fluvial Geomorphology, Stream Ecology and Hydraulic Engineering and the Development of an Effective, Interdisciplinary River Science, Earth Surface Processes and Landforms, 35, pp: 64-77.
- Stephen, R. (2002).** Hydrologic investigation by the USGS following the 1996 and 1997 flood in the upper Yellowstone River, Montana. American water resources association, 19th annual Montana section meeting, section one, pp: 1-18.
- Stevenson, D. (2009).** 1D Hec RAS model and sensivity analysis for River Clair from 1971- 2007, report prepared for international joint commission, international upper Great lakes study, Ottawa.
- Tavakoli, M. and Mosaedi, A. (2005).** Investigation of flood characteristics of Atrak river on Marave Tapeh region. Proceeding of 2nd national conference on soil and water management (in cd). Kerman. Iran.
- Thornes, J. B. (1980).** Structural instability and ephemeral channel behavior. Zeitschrift fur Geomorphologie, Supplement band 36, pp: 233-244.
- Tokaldany, E. A., Darby, S. E. and Tossell, P. (2007).** Coupling Bank Stability and Bed Deformation Models to Predict Equilibrium Bed Topography in River Bends, Journal of Hydraulic Engineering, 133, 10, pp:1167-1170.

Yang, C. R., and Tsai, C. T. (2000). Development of a GIS based flood information system for floodplain management and damage calculation. *Journal of the American Water Resources Association*. 36:567/3-577.