



## "مقاله پژوهشی"

# بررسی و اولویت‌بندی عوامل مؤثر بر تغییرات مورفولوژیک بخشی از آبراه حوضه کشف‌رود

وجیهه عرفانی پورقاسمی<sup>۱</sup>، محمدتقی دستورانی<sup>۲</sup>، محبوبه حاجی بیگلو<sup>۳</sup> و فرشته رحیمی آغ‌چشمه<sup>۴</sup>

۱- دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه فردوسی مشهد  
۲- استاد دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه فردوسی مشهد، (نویسنده مسوول: dastorani@um.ac.ir)  
۳- دانشجوی دکتری آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان  
۴- دانشجوی دکتری آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه فردوسی مشهد  
تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۷/۲۷ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۴/۲۳  
صفحه: ۲۴۹ تا ۲۶۱

### چکیده مبسوط

**مقدمه و هدف:** سیستم‌های رودخانه‌ای در طول زمان دچار تغییر و تحولات جدی می‌شوند. این تغییرات بسته به شرایط حاکم بر رودخانه از منطقه‌ای به منطقه دیگر متفاوت است. پیش‌بینی روند تغییرات رودخانه و ارائه طرح‌های مهندسی منوط به شناخت رفتار رودخانه و بررسی تغییرات در گذشته است. تحقیق حاضر با هدف بررسی عوامل مؤثر (هیدرولیکی، خصوصیات خاک کناره‌ها، پوشش گیاهی، الگوی رودخانه‌ای) در ناپایداری و فرسایش کناری رودخانه کشف‌رود در استان خراسان رضوی انجام گرفته است.

**مواد و روش‌ها:** جهت بررسی بهتر تأثیر عوامل مختلف، مسیر رودخانه به ۱۴ مقطع مطالعاتی تقسیم گردید و پارامترهای هندسی موردنیاز اندازه‌گیری شد. مدل هیدرولیکی HEC-RAS از طریق الحاقیه HEC-Geo RAS جهت بررسی خصوصیات جریان در مقاطع مختلف رودخانه کشف‌رود مورد استفاده قرار گرفت. سپس تجزیه و تحلیل نتایج خروجی از مدل، برای دبی با دوره بازگشت‌های مختلف انجام پذیرفت. همچنین نمونه‌های خاک از کناره رودخانه برداشت شده و جهت دانه‌بندی و دیگر مطالعات به آزمایشگاه منتقل شد. دیگر عوامل همچون نوع و تراکم پوشش گیاهی، خصوصیات هندسی کانال رودخانه، میزان فرسایش و نیز تأثیر عوامل انسانی بر تغییرات رودخانه در هنگام بازدید بررسی شد.

**یافته‌ها:** نتایج تحلیل‌های مورفولوژی رودخانه نشان داد که ضریب سینوسی (MC) برای اغلب پیچان‌رودهای مورد بررسی در این تحقیق، کوچک‌تر از ۱/۹۹ می‌باشد که بر اساس رابطه ولمن و شیوم برخی از بازه‌ها در گروه رودخانه‌های مستقیم و برخی دیگر در گروه رودخانه‌های با پیچ و قوس‌های ملایم قرار گرفت. خصوصیات هیدرولیکی جریان مانند سرعت جریان، عدد فرود و غیره هرچند از بازه‌ای به باز دیگر تغییر کرده ولی در تحقیق حاضر تأثیر چندانی در فرسایش نداشته‌اند. همچنین در بین خصوصیات خاک، وضعیت شوری خاک ارتباط بیشتری با فرسایش کناره‌ای داشته و بقیه پارامترهای خاک تأثیر چندانی در فرسایش کناری ندارند. وضعیت پوشش گیاهی کف و کناره‌های رودخانه نقش مهم‌تری را در فرآیند پایداری کناره‌ها ایفا نموده است. البته الگوی رودخانه نیز در فرسایش تأثیر داشته، بطوریکه در قسمت مقعر قوس‌های رودخانه، فرسایش به میزان قابل‌ملاحظه‌ای به چشم می‌خورد.

**نتیجه‌گیری:** از میان عوامل متعدد مورد بررسی در زمینه خصوصیات هیدرولیکی، مورفولوژیکی، خاک و پوشش گیاهی کف و کناره‌های رودخانه کشف‌رود در تحقیق حاضر شوری خاک، تراکم پوشش گیاهی و وضعیت مانداری بازه‌ها در فرسایش کناره‌ای مؤثر بوده‌اند.

**واژه‌های کلیدی:** رودخانه کشف‌رود، ضریب سینوسی، فرسایش کناره رودخانه، مدل HEC-RAS، مورفولوژی رودخانه

### مقدمه

رودخانه‌ها از مهم‌ترین عوامل مؤثر در فرآیندهای ژئومورفولوژیک زمین و چرخه فرسایش بوده‌اند و تاکنون مطالعات گسترده‌ای بر روی تغییرات مورفولوژیک رودخانه‌ها و عوامل مؤثر بر آن‌ها صورت گرفته است. مورفولوژی رودخانه علم شناخت سیستم رودخانه از نظر شکل و فرم کلی، ابعاد و ویژگی‌های هندسه - هیدرولیک، جهت و نیمرخ طولی بستر و نیز روند و مکانیزم تغییرات آن می‌باشد. عواملی نظیر شرایط زمین‌شناسی، تکتونیک، توپوگرافی، شیب طولی، بده جریان و مقاومت دیواره و کف بر مورفولوژی رودخانه‌ها تأثیرگذارند. رودخانه‌ها در طول مسیر خود دچار تغییر و تحولات زیادی شده و در هر مقطع از مسیر خود شرایط مورفولوژیک متفاوتی را به نمایش می‌گذارند (۲۶). عوامل مورفولوژیک رودخانه و محیط‌های پیرامون آن و پیش‌بینی شرایط آینده می‌تواند در برنامه‌ریزی و آمایش دشت‌های ساحلی مؤثر و ضروری واقع شود (۱۸). شناخت ویژگی‌ها و آثار متقابل فرم و فرآیندهای حاکم در سیستم‌های رودخانه‌ای، که به شناخت رفتار رودخانه‌ها در محدوده‌های زمانی و مکانی منجر می‌شود، اهمیت ویژه‌ای در توسعه مدل‌های مفهومی در ارتباط با محیط‌های رودخانه‌ای دارد (۹). امروزه با پیشرفت روزافزون رایانه‌ها و توسعه هر چه بیش‌تر روش‌های عددی، مدل‌های

ریاضی کاربرد فوق‌العاده وسیعی یافته‌اند. در مدل‌های ریاضی سیستم رودخانه توسط یک سری معادلات ریاضی که بیان‌گر خصوصیات آن سیستم می‌باشند، معرفی شده و سپس این معادلات به روش‌های تحلیلی یا عددی حل می‌گردند. در زمینه شناسایی تغییرات مورفولوژی رودخانه‌ها با استفاده از RS، سارکر و همکاران (۲۳) اقداماتی را بر روی رودخانه گرای بنگلادش انجام دادند. در این تحقیق با استفاده از سه دوره زمانی ۱۵ ساله تصاویر Landsat و در نظر داشتن خصوصیات هیدرولیک جریان نظیر حجم جریان سالانه عبور کرده و مشخصات مورفولوژیک رودخانه نظیر میزان جابجایی مائدرهای رودخانه، تغییرات پلان حادث‌شده در رودخانه را مشخص و اندازه‌گیری نمودند. در نهایت روابطی مابین دبی جریان‌های اتفاق افتاده و درجه سینوزیته رودخانه ارائه کردند. برزکار (۳) در تحقیقی به بررسی تأثیر فعالیت‌های انسانی بر مورفولوژی رودخانه و بررسی تغییرات مورفولوژیک رودخانه و ارزیابی عوامل مؤثر در ناپایداری بستر و آبراه رودخانه پرداخت. بررسی‌ها دو بازه هموار و ناهموار را در مجرای زاب نشان داد. بخش هموار منطبق بر حوضه سوسیدانسی دشت رکاو به پایداری بالا است که ترکیبی از الگوهای مجرا متأثر از فعل و انفعالات پارامترهای دینامیکی مرتبط با شرایط

تکتونیک‌های موجود، همچون مئاندری هموار، شریانی و آنابرنج به صورت محلی در آن شکل گرفته‌اند.

در تحلیل جریان رودخانه‌ها، مدل‌های فیزیکی و ریاضی همچون ایزاری مناسب نقش ایفا می‌کنند. کاربرد مدل‌های فیزیکی به دلیل نیازمندی به فضای وسیع، هزینه زیاد و زمان طولانی جهت انجام دادن آزمایش‌ها اغلب توصیه نمی‌شود. به همین دلیل بسیاری از مسائل مهندسی رودخانه را می‌توان با مدل‌های ریاضی بررسی کرد. امروزه کاربرد مدل‌های ریاضی مناسب از جمله مدل HEC-RAS جهت بررسی هیدرولیک جریان‌های سیلابی ضروری است تا بتوان برآوردهای قابل قبولی از پارامترهای کمی مربوط به رودخانه و کانال داشت (۸).

مدلی که برای این منظور استفاده شده مدل HEC-RAS می‌باشد، که از مدل‌های معتبر برای محاسبات هیدرولیک آبراه‌های طبیعی است که با شبیه‌سازی یک‌بعدی رودخانه‌ها امکان محاسبات جریان‌های پایدار و ناپایدار را به راحتی مهیا می‌سازد (۲۰، ۲۷، ۲۸). احمدی و همکاران (۱) تحقیقی با عنوان "بررسی نحوه فرسایش و رسوب‌گذاری در رودخانه خشک شیراز با استفاده از روش غیرمماندار" به بررسی هیدرولیک و فرسایش و رسوب این رودخانه از طریق مدل‌سازی ماندگار و غیرماندار با استفاده از نرم‌افزارهای HEC-RAS و MICK11 پرداختند. نتایج این تحقیق بیانگر این مطلب است که در رودخانه‌هایی که دارای نامنظمی‌های زیاد، شیب نسبتاً بالا و سازه‌های عرضی زیاد بر روی رودخانه می‌باشد، نمی‌توان از مدل HEC-RAS غیرماندار در محدوده‌ی معقولی از پارامترهای فیزیکی استفاده نمود در حالیکه مدل MICK11 از این حیث قوی‌تر است. همچنین روشن و همکاران (۲۲) تحقیقی با بهره‌گیری تلفیقی از مدل هیدرولیکی HEC-RAS و نرم‌افزار View Arc با استفاده از الحاقیه HEC-GeoRAS پارامترهای هیدرولیکی رودخانه بشار را شبیه‌سازی کردند. نتایج حاصل نشان داد که مدل HEC-RAS می‌تواند مقادیر عددی مناسبی را برای مطالعه خصوصیات هیدرولیکی جریان در رودخانه‌ها ارائه دهد. عرفانی و همکاران (۶) با استفاده از مدل HEC-RAS به اولویت‌بندی عوامل مؤثر در فرسایش کناره‌ها پرداختند. نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که خصوصیات هیدرولیکی جریان مانند سرعت جریان، عدد فرود، عمق هیدرولیکی جریان، تنش برشی و قدرت جریان هر چند از بازه ای به باز دیگر تغییر کرده ولی تأثیر چندانی در فرسایش نداشته است.

همچنین حسینی و همکاران (۱۰) در بررسی آشکارسازی تغییرات مورفولوژی رودخانه قزل‌اوزن، عوامل مؤثر در فرسایش رودخانه‌ای را مورد تجزیه و تحلیل قرار دادند و بررسی تغییرات شکل رودخانه و مشخصه‌های هندسی آن نشان داد که رودخانه قزل‌اوزن ۹/۹۵ کیلومتر از منطقه مورد پژوهش حالت سینوسی و پیچان‌رودی دارد و عوامل هیدرولیکی مرتبط در ناپایداری کناره‌ها در طول مسیر رودخانه به فرسایش پنجه دیواره‌ها ناشی از سرعت زیاد جریان اشاره کرد. رضایی و همکاران (۲۱) در بررسی رودخانه قزل‌اوزن با

تاکید بر عوامل ژئومورفولوژیک و زمین‌شناسی با تصاویر ماهواره‌ای به این نتیجه رسیدند که به علت عبور رودخانه از تشکیلات مارنی و فرسایش پذیر فرسایش کناری نقش مهمی را در پیچان رودی رودخانه داشته است. شریفی‌کیا و همکاران (۲۴) در تحقیقی، الگوی مکانی رودخانه هیرمند و علل آن را استخراج کردند و به این نتیجه رسیدند علاوه بر عوامل هیدرولوژیکی در منطقه مساله خشکسالی‌های دهه اخیر عامل این تغییرات بوده است. حسین‌زاده و همکاران (۱۱) در تحقیق خود از روش پهنه‌بندی آسیب پذیری فرسایش کناره برای بررسی عوامل مؤثر (شیب کناره، الگوی پیچان‌رودی، شیب طولی رودخانه، فرسایش خاک، پوشش گیاهی، فعالیت‌های انسانی و تنش برشی نزدیک کرانه) در ناپایداری و فرسایش کناری رودخانه هفت چشمه استفاده کردند و نتایج نشان داد که بیشتر بازه‌ها در رودخانه از نظر حساسیت به فرسایش در وضعیت متوسط قرار دارند اما در بازه‌های ۸ و ۹ به دلیل فعالیت انسانی زیاد در حریم رودخانه در طبقه متوسط تا زیاد قرار گرفتند. در بررسی عوامل فرسایش در سواحل رودخانه کارون، کشکی و همکاران (۱۲) عنوان نمودند زمانی که تنش برشی آب از مقاومت برشی خاک بیشتر باشد به سبب وقوع و کف کنی موجب تغییر مورفولوژی رودخانه می‌شود. چو و همکاران (۴) در مطالعه‌ای روی رودخانه زرد در چین با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و سنجش‌ازدور مناطق با بیشترین فرسایش و تغییر را شناسایی کردند. مارچ و همکاران (۱۷) در مطالعه‌ای بر روی تغییرات سرشاخه‌های رودخانه آلپ به بررسی نقش احتمالی تغییرات آب و هوایی در تغییرات مورفولوژیکی کانال رودخانه پرداختند. در این تحقیق ۱۷ حوضه رودخانه به‌منظور بررسی تغییرات مورفولوژیکی رودخانه از نظر تغییرات عرض رودخانه انتخاب شدند. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که تغییرات عرض رودخانه ارتباط ضعیفی با متغیرهای مرفومتری رودخانه دارد و ارتباط قوی‌تری بین تغییرات آب‌وهوایی و تغییرات کانال وجود دارد. پاپنبرگرو همکاران (۱۹) در تحقیقی اقدام به تحلیل عدم قطعیت جریان غیرماندار به‌صورت یک‌بعدی در مدل هیدرولیکی HEC-RAS با انتخاب مقادیر متفاوت ضریب زبری کردند. آن‌ها در این تحقیق محدوده‌ای بین ۰/۰۱ 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 رژیم که مدل در آن اجرا می‌شود بستگی دارد تا از این طریق بتوان تغییرات را به‌خوبی مشاهده نمود. لایه و همکاران (۱۴) به بررسی تأثیر جنس کناره‌ها و پوشش گیاهی ساحلی در شکل رودخانه تولاتین در آمریکا پرداختند. نتایج نشان داد که در این رودخانه تأثیر جنس کناره‌ها برای پایداری کناره‌ها بیشتر است و تراکم فعلی پوشش گیاهی نمی‌تواند کنترل قابل‌توجهی بر روی شکل کانال رودخانه داشته باشد.

تحقیق حاضر به دنبال بررسی تغییرات مورفولوژیکی بخشی از رودخانه کشف رود و ارزیابی عوامل اصلی مؤثر در این تغییرات است و سعی شد عوامل مؤثر در فرسایش کناره‌ای

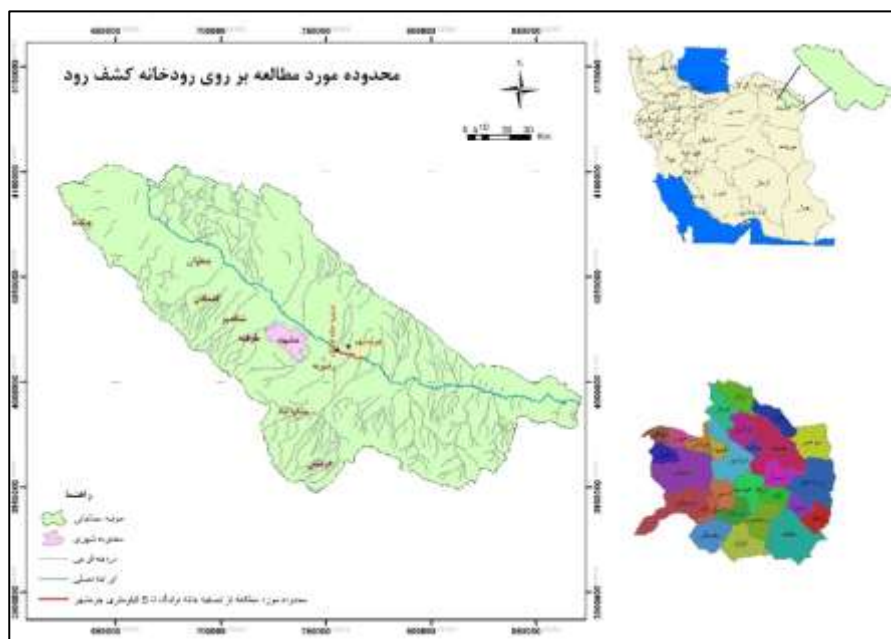
۹ کیلومتری شرق قوچان شروع و حدود ۱۷۰ کیلومتر به سمت شرق امتداد دارد و به نقطه صفر مرزی در پایین دست سد دوستی در ایستگاه پل خاتون رسیده و بعد به رودخانه هریرود که یک رودخانه مرزی و یک حوزه آبخیز مشترک بین ایران و ترکمنستان و افغانستان است، وارد می‌شود. طول رودخانه از بلندترین نقطه تا خروجی حوضه حدود ۳۷۴ کیلومتر است و شیب خالص و ناخالص آن به ترتیب ۰/۰۰۲۸ و ۰/۰۰۴۳ متر بر متر است. این رودخانه بزرگ‌ترین زهکش شهر مشهد و مناطق اطراف آن بوده که از شمال آن عبور کرده و جهت کلی جریان آن از شمال غرب به جنوب شرق است. شکل ۱ حوزه آبخیز رودخانه کشف‌رود و شبکه رودخانه‌ای آن را نمایش می‌دهد.

رودخانه از جمله عوامل مختلف هیدرولیکی و نیز عوامل مرتبط با خاک و پوشش گیاهی کناره‌ها و اولویت‌بندی این عوامل از نظر میزان تأثیر صورت گیرد. نتایج تحقیق می‌تواند منجر به شناخت بهتر عوامل تأثیرگذار در تغییرات مورفولوژی رودخانه مذکور و کمک به بهینه‌سازی روش‌ها و طراحی‌های مرتبط با ساماندهی این رودخانه شود.

## مواد و روش‌ها

### خصوصیات رودخانه مورد مطالعه

کشف‌رود یکی از رودخانه‌های مهم استان خراسان رضوی است که از کوه‌های هزار مسجد و بینالود سرچشمه گرفته و زهکش اصلی منطقه به شمار آید. رودخانه کشف‌رود از حدود



شکل ۱- موقعیت حوزه آبخیز رودخانه کشف‌رود در استان خراسان رضوی و ایران  
Figure 1. Location of Kashfarood river basin in Khorasan Razavi province and Iran

دبی‌های سیلابی با دوره بازگشت‌های مختلف از مقادیر دبی حداکثر لحظه‌ای ثبت‌شده در ایستگاه اولنگ اسدی و تحلیل فراوانی با استفاده از نرم‌افزار Easy fit اقدام شد که توزیع لوگ لجستیک به‌عنوان توزیع مناسب جهت برآورد دبی‌های سیلابی انتخاب شد. بر این اساس مقادیر سیلاب‌های با دوره بازگشت ۲، ۵، ۱۰، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ ساله به دست آمد که در جدول ۱ نشان داده شده است.

با توجه به هدف تحقیق، به‌منظور بررسی تأثیر عوامل هیدرولیکی جریان در فرسایش کناره‌ها، شبیه‌سازی رفتار هیدرولیکی رودخانه و محاسبات هیدرولیکی جریان برای دبی با دوره بازگشت‌های مختلف ذکر شده به عمل آمد. چون محاسبات هیدرولیکی بر مبنای جریان ماندگار انجام گردید، لذا از تغییرات دبی جریان در طول زمان صرف‌نظر شده و محاسبات با دبی حداکثر جریان با دوره بازگشت‌های ۲، ۵، ۱۰، ۲۵ و ۵۰ و ۱۰۰ ساله انجام شده است.

### روش کار و داده‌های مورد استفاده در تحقیق

یکی از موضوعات مهم و ضروری در ارزیابی شرایط هیدرولوژی حوزه به‌منظور امکان اجرای تحقیق حاضر، بررسی وضعیت سیلابی حوزه مورد مطالعه است. سیلاب یکی از عواملی است که به‌طور مستقیم باعث فرسایش در رودخانه و تغییر مورفولوژی آن می‌شود و نیاز به مطالعه و بررسی دارد. با توجه به این‌که آمار تقریباً ۴۰ ساله آبدی رودخانه کشف‌رود در محل ایستگاه هیدرومتری اولنگ اسدی موجود است، از داده‌های دبی حداکثر ایستگاه هیدرومتری اولنگ اسدی جهت بررسی وضعیت آبدی رودخانه موردنظر و برآورد دبی‌های سیلابی استفاده شد.

در طول مسیر رودخانه به تفکیک بازه‌ها بر اساس شکل پلان، پروفیل طولی رودخانه، وضعیت رسوبات بستر، وضعیت پوشش گیاهی کناره‌ها و غیره اقدام گردید. چهارده مقطع از پایین دست ایستگاه هیدرومتری اولنگ اسدی تا ۵ کیلومتر بعد از ایستگاه چرمشهر رودخانه برداشت شد. جهت تعیین مقدار



شکل ۲- نمودار مراحل روش تحقیق  
 Figure 2. Graph of research method steps

جدول ۱- مقادیر دبی‌های سیلابی با دوره بازگشت‌های مختلف در ابتدای بازه مورد مطالعه\* (m<sup>3</sup>/s)  
 Table 1. Values of flood discharges with different return periods at the beginning of the study reach (m<sup>3</sup> /s)

دوره بازگشت (سال)					طول بازه مورد مطالعه (متر)		حوزه آبخیز
۱۰۰	۵۰	۲۵	۱۰	۵	۲	۱۵۴۷۳.۲۸	کشف رود
۷۵۴۶۱	۴۹۵.۷۴	۳۲۳.۶۴	۱۸۰.۱۳	۱۱۰.۹۷	۴۸.۴۷۵		

\*منبع: داده‌های دبی‌های برآوردی بر اساس داده‌های ایستگاه هیدرومتری اولنگ اسدی

در روش به کار گرفته شده در این تحقیق جهت تعیین و برآورد پارامترهای هندسی مدل از سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی (GIS) استفاده شده است. در این تحقیق به منظور شبیه‌سازی هیدرولیکی جریان از نرم‌افزار HEC-GeoRAS استفاده شد. این مدل در حقیقت ترکیب یک مدل هیدرولیکی و سیستم اطلاعات جغرافیایی است. مزیت استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی در مدل‌سازی هیدرولیکی، پتانسیل آن برای بدست آوردن اطلاعات توپوگرافی مربوط به مقاطع از مدل رقومی زمین است. اطلاعاتی که برنامه HEC-GeoRAS در فایل ورودی ذخیره می‌کند عبارتند از: لایه‌های خط مرکزی جریان و سواحل رودخانه، مقاطع عرضی و مرزهای رودخانه با سیلاب‌دشت‌های واقع در چپ و راست رودخانه. همچنین از این برنامه می‌توان برای

به‌طور کلی مدل‌سازی هیدرولیکی رودخانه‌ها و سازه‌های موجود بر روی آن‌ها شامل دو قسمت کلی هندسه مدل و پارامترهای هیدرولیکی است. در بخش اول (هندسه مدل)، مشخصات ژئومتری رودخانه شامل مقاطع عرضی، فاصله مقاطع و ضرایبی مانند ضریب زبری مانینگ، ضرایب انبساط و انقباض مقطع، طول بازه‌های بالادست و پائین‌دست، داده‌های مربوط به اینبیه موجود در مسیر جریان رودخانه از قبیل پل و کالورت و غیره و نیز داده‌های مربوط به محل اتصال شاخه‌های جریان به مدل معرفی می‌شوند. در بخش پارامترهای هیدرولیکی نیز دبی‌های مورد نظر برای شبیه‌سازی جریان در مقاطع مختلف و شرایط مرزی جریان در بالادست یا پائین‌دست یا هر دو و همچنین نوع رژیم جریان مورد بررسی، تعیین می‌شوند.

گردید. نقطه برداشت شده به نحوی مشخص می‌گردد که تا حدی نشان‌دهنده تغییرات در کل بازه باشد و به عبارت دیگر شاخص بازه مطالعاتی باشد. پس از تعیین نقطه برداشت از هر مقطع یک نمونه رسوب و هرکدام به وزن حدود ۱ کیلوگرم (از سطح تا عمق ۳۰ سانتی‌متر) برداشت شد. همچنین برداشت مشخصات کلی مقطع از قبیل تراکم پوشش گیاهی، شکل رودخانه (مئاندر یا مستقیم بودن)، عرض رودخانه، عمق آب، ارتفاع از سطح دریا و طول و عرض جغرافیایی اندازه‌گیری و یادداشت گردید. مقطع‌های مطالعاتی که نمونه‌های خاک کناره از آن‌ها برداشت شد ۱۴ عدد بود.

شکل ۳ نمایی از برخی از این مقاطع را نشان می‌دهد. همچنین تفکیک بازه‌های رودخانه‌ای در محدوده مورد مطالعه نیز در شکل ۴ با رنگ‌های مختلف نشان داده شده است.

تجزیه و تحلیل نتایج حاصل از محاسبات هیدرولیکی جریان توسط HEC-RAS استفاده نمود.

در این مطالعه شاخص‌های مرتبط با فرسایش‌پذیری خاک شامل بافت، شوری خاک، میزان ماده آلی، میزان آهک و اسیدیته خاک مورد بررسی قرار گرفته است که جهت بررسی فرسایش‌پذیری خاک کناره‌های رودخانه اقدام به نمونه‌برداری از خاک کناره‌ها شد. بدین منظور پس از بررسی نقشه‌های توپوگرافی و زمین‌شناسی منطقه به همراه نقشه مسیر بازه بندی شده رودخانه به منطقه مورد مطالعه مراجعه گردید. در ابتدا کل مسیر رودخانه مورد بازدید کلی قرار گرفت و موقعیت ابتدایی و انتهایی بازه‌ها با استفاده از دستگاه موقعیت‌یاب جهانی (GPS) تعیین شد. پس از مشخص شدن هر بازه با حرکت در طول بازه بهترین نقطه جهت برداشت خاک انتخاب



شکل ۳- تصاویری از برخی بازه‌های مطالعاتی در رودخانه کشف‌رود  
Figure 3. Pictures of some study reaches in the Kashfarood River



شکل ۴- تقسیم‌بندی بازه‌ها و نقاط نمونه‌برداری  
Figure 4. Separation of reaches and the sampling points

الی خاک تعیین می گردد.

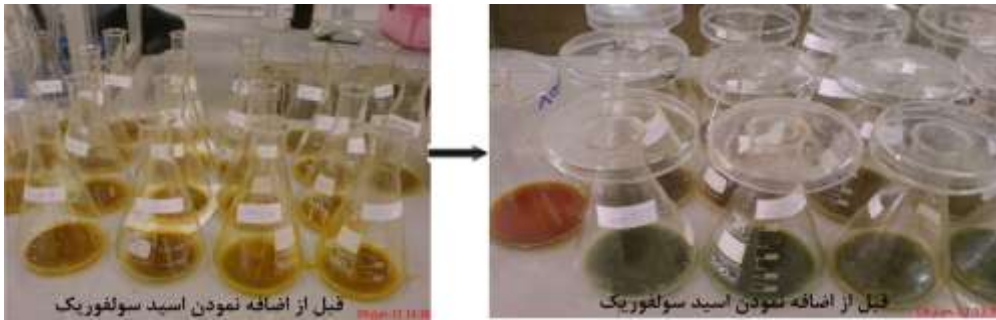
$$\%OC = 0.39 * \frac{10}{V_1} * \left( \frac{V_1 - V_2}{M} \right) \quad \text{رابطه (۱)}$$

$$\%ON = \%OC * 1.724 \quad \text{رابطه (۲)}$$

در این رابطه  $V_1$  بیانگر مقدار معرف مصرف شده جهت تغییر رنگ شاهد،  $V_2$  مقدار معرف مصرف شده جهت تغییر رنگ هر نمونه و  $M$  وزن خاک می باشد. شکل ۵ تغییر رنگ نمونه ها را قبل و بعد از اضافه شدن اسیدسولفوریک نشان می دهد.

جهت دانه بندی نمونه ها در آزمایشگاه به دلیل ریزدانه بودن بعضی از نمونه ها از آزمایش هیدرومتری استفاده شد. همچنین آزمایشی بر روی نمونه ها انجام شد و تعیین مقدار EC خاک بود که با استفاده از دستگاه EC سنج مقدار EC هر عصاره ثبت گردید.

آزمایش بعدی انجام شده بر روی نمونه ها، تعیین درصد مواد الی خاک بود. برای این کار مقدار نمونه شاهد در رابطه ۱ استفاده می گردد. در نهایت با استفاده از رابطه ۲ درصد مواد



شکل ۵- تغییر رنگ نمونه ها قبل و بعد از اضافه شدن اسیدسولفوریک جهت تعیین درصد مواد آلی خاک

Figure 5. Color change of samples before and after the addition of sulfuric acid to determine the percentage of soil organic matter

مختلف با استفاده از مدل هیدرولیکی HEC-RAS شبیه سازی گردید. به طور کلی در نرم افزار HEC-RAS، ژئومتری رودخانه توسط مقاطع عرضی و فاصله این مقاطع از یکدیگر معرفی می گردد. در هر مقطع عرضی، کلیه پارامترهای هیدرولیکی جریان مورد محاسبه قرار گرفته و به صورت جداول خاص هیدرولیکی و نمایش گرافیکی ارائه می شود. جدول ۲، به عنوان نمونه خلاصه ای از مقادیر خصوصیات هیدرولیکی جریان در مقاطع مختلف و فقط برای دبی با دوره بازگشت ۲۵ ساله را نشان می دهد. همان گونه که جدول ۲ نشان می دهد خصوصیات هیدرولیکی جریان مانند سرعت، عدد فرود، عمق هیدرولیکی، تنش برشی و قدرت جریان هر چند از بازه های به باز دیگر تغییر کرده ولی در تحقیق حاضر تأثیر چندانی در فرسایش کناره ها نداشته اند.

پارامترهای دیگر که در آزمایشگاه اندازه گیری شد میزان آهک نمونه های برداشت شده از کناره های رودخانه بود که از روش تیتراسیون استفاده شد و اندازه گیری PH نمونه های خاک برداشت شده از کناره های رودخانه بود که برای این منظور با استفاده از pH متر pH آن ها اندازه گیری شد.

### نتایج و بحث

در این تحقیق به منظور بررسی و اولویت بندی عوامل مؤثر در فرسایش کناره ها و تغییر مرفولوژی رودخانه در بازه هایی از کشف رود، عوامل هیدرولیکی جریان، خصوصیات خاک و شرایط پوشش گیاهی کناره ها و الگوی مورد بررسی قرار گرفت. برای این منظور شرایط هیدرولیکی رودخانه کشف رود در محدوده مورد نظر برای سیلاب های با دوره بازگشت های

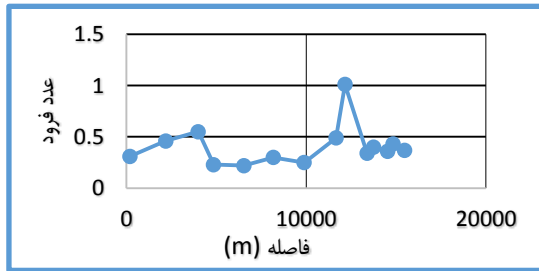
جدول ۲- برخی خصوصیات هیدرولیکی جریان در مقاطع مختلف برای دبی با دوره بازگشت ۲۵ ساله

Table 2. Some hydraulic characteristics of flow in different sections for flow with the return reach of 25 years

شماره مقاطع	سرعت جریان (متر بر ثانیه)	عمق هیدرولیکی (متر)	عدد فرود	تنش برشی (نیوتن بر مجذور متر)	قدرت جریان (نیوتن بر متر در ثانیه)
۱	۱/۳۸	۱/۴۵	۰/۳۷	۸۱/۰۶	۳۳۳۹۹/۲۷
۲	۱/۳۹	۱/۰۷	۰/۴۳	۲۲/۶۶	۳۷۴۵۱/۲۷
۳	۱/۳۷	۱/۴۶	۰/۳۶	۱۹/۹۲	۳۷۷۸۲/۱۱
۴	۱/۲۸	۱/۰۴	۰/۴۰	۵۷/۱۰	۳۳۳۱۹/۴۶
۵	۱/۱۴	۱/۱۴	۰/۳۴	۱۵/۰۷	۳۲۸۱۰/۴۲
۶	۳/۲۴	۱/۰۶	۱/۰۱	۱۲۳/۸۸	۳۶۱۵۹/۷۶
۷	۱/۵۰	۰/۹۷	۰/۴۹	۵۵/۷۱	۳۴۶۰۴/۵۹
۸	۰/۹۲	۱/۰۳	۰/۲۵	۲۶/۵۸	۳۳۳۵۱/۰۵
۹	۱/۱۹	۱/۵۵	۰/۳۰	۲۹/۹۳	۳۳۳۷۷/۰۰
۱۰	۰/۹۰	۱/۶۵	۰/۲۲	۱۶/۸۱	۳۲۸۲۹/۱۹
۱۱	۰/۹۶	۱/۷۹	۰/۲۳	۱۸/۶۱	۳۱۸۱۷/۴۳
۱۲	۱/۵۴	۰/۸۲	۰/۵۵	۴۰/۱۱	۲۸۸۶۵/۲۳
۱۳	۱/۳۸	۰/۹۱	۰/۴۶	۳۰/۸۴	۳۴۹۹۵/۱۴
۱۴	۰/۹۷	۰/۹۸	۰/۳۱	۱۴/۷۵	۳۵۶۱۹/۰۴

سرعت در مقطع ۱۰ ما شاهد فرسایش کناره‌ای در هر دو طرف رودخانه در این مقطع بودیم. با توجه به اینکه افزایش سرعت جریان می‌تواند یکی از عوامل مؤثر در ایجاد فرسایش کناره‌ای باشد ولی این مورد در محدوده مورد مطالعه در این تحقیق چندان صدق نمی‌کند.

عدد فرود در مقطع ۶ بالاتر از یک است که جریان از نوع فوق بحرانی تعیین می‌گردد و در سایر مقاطع چون عدد فرود زیر یک است جریان زیر بحرانی است. اشکال ۶ و ۷ به ترتیب تغییرات سرعت و تغییرات عدد فرود را در مقاطع مختلف نمایش می‌دهد.

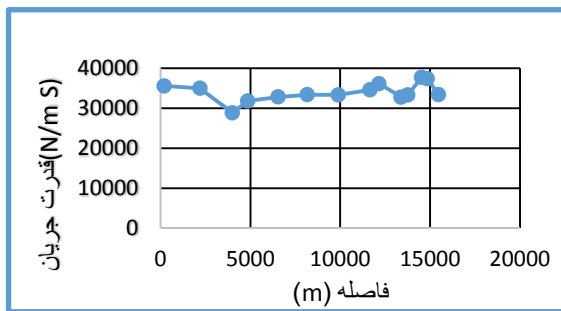


شکل ۷- روند تغییرات عدد فرود در مقاطع مختلف  
 Figure 7. The variation trend Froude number in different sections

$$(\omega = \tau V = \rho g S h V = \rho g S q) \quad (\text{رابطه ۳})$$

$\tau$  تنش برشی،  $V$  میانگین سرعت جریان،  $\rho$  دانسیته آب،  $g$  شتاب ثقل،  $S$  شیب بستر،  $h$  عمق جریان و  $q$  دبی در واحد عرض است.

مفهوم قدرت رودخانه به توانایی آب‌های جاری و یا رودخانه‌ها برای انجام کار ژئومورفیک، مخصوصاً به میزان حمل رسوبات گفته می‌شود (۲). شکل ۹ تغییرات قدرت جریان را در مقاطع مختلف نشان می‌دهد. همان‌گونه که در این شکل دیده می‌شود تغییرات این عامل در بازه‌های مختلف چندان قابل توجه نیست.

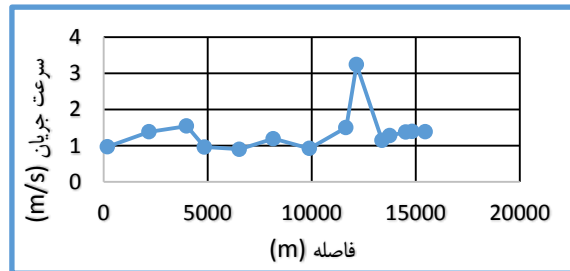


شکل ۹- روند تغییرات قدرت جریان در مقاطع مختلف  
 Figure 9. The variation trend of flow power in different sections

میزان قابل توجهی کاهش یافته است که تأثیر عکس روی سرعت جریان، تنش برشی و عدد فرود دارد و فرسایش نیز در این مقطع به‌ویژه در ساحل چپ رودخانه شدید می‌باشد و این کاملاً منطقی است. شکل ۱۰ تغییرات عمق هیدرولیکی را در بازه‌های مختلف مورد مطالعه نشان می‌دهد.

لازم به توضیح است که در تفکیک بازه‌ها مینا انتهایی محدوده موردنظر (پایین‌ترین مقطع) قرار گرفته است و لذا فاصله مقاطع نسبت به مقطع انتهایی اندازه‌گیری شده است.

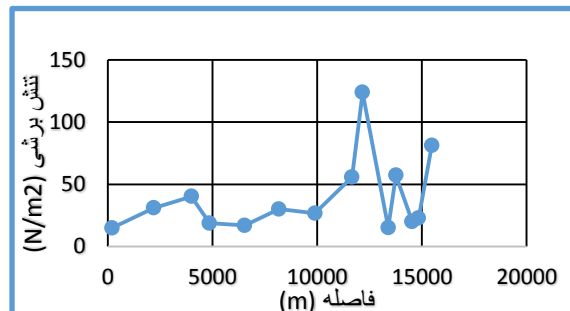
همان‌گونه که جدول ۲ نشان می‌دهد میزان سرعت جریان از ۰/۹۰ متر بر ثانیه (مینیمم) تا ۳/۲۴ متر بر ثانیه (ماکزیمم) متغیر است. سرعت جریان در مقطع ۶ شدیداً زیاد شده و به میزان ۳/۲۴ متر بر ثانیه رسیده است، لذا انتظار می‌رود که میزان فرسایش در کناره‌ها نیز افزایش یابد. این در حالی است که هرچند فرسایش کناره‌ای در این مقطع مشاهده می‌گردد ولی شدت آن قابل توجه نیست. از طرف دیگر باوجود مینیمم



شکل ۶- روند تغییرات سرعت در مقاطع مختلف  
 Figure 6. The variation trend of velocity in different sections

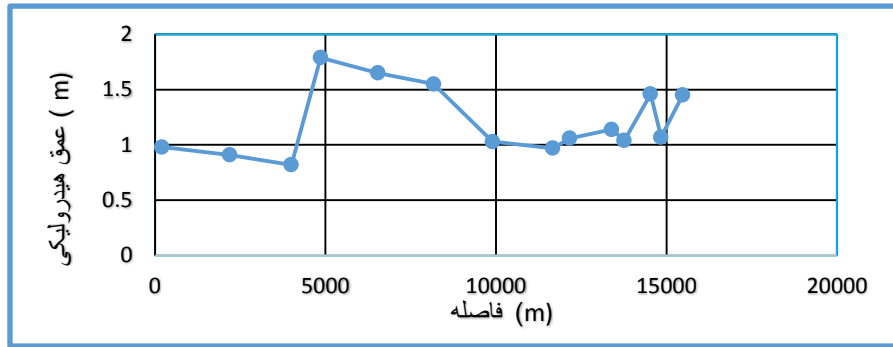
میزان تنش برشی در مقطع ۶ زیاد شده است که این پارامتر تا حدی بر شدت فرسایش تأثیر قابل ملاحظه‌ای گذاشته است. در پی آن قدرت جریان در این مقطع نسبتاً افزایش یافته است که این تغییرات نوعی از عوامل تأثیرگذار بر فرسایش محسوب می‌گردد. در مقطع ۱۲ که کمترین قدرت جریان مشاهده شده است معمولاً ما باید شاهد فرسایش کمتری باشیم ولی فرسایش بیشتری را شاهد بودیم. شکل ۸ تغییرات تنش برشی جریان را در بازه‌های مختلف نمایش می‌دهد.

قدرت جریان ( $\omega$ ) از جمله فراسنجه‌های مهم رودخانه‌ای است که در تجزیه و تحلیل‌های مورفولوژیک می‌توان از آن استفاده کرد و از رابطه زیر محاسبه می‌گردد:



شکل ۸- روند تغییرات تنش برشی در مقاطع مختلف  
 Figure 8. The variation trend of shear stress in different sections

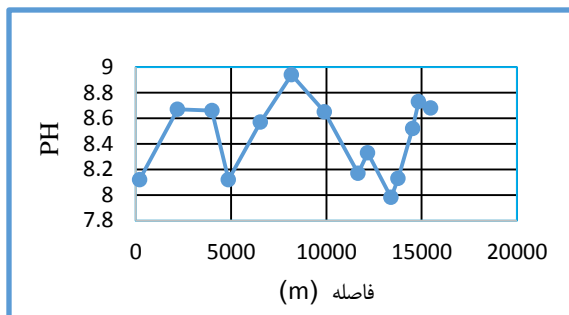
عمق هیدرولیکی در مقطع ۱۱ به میزان زیادی افزایش یافته است که اساساً رابطه عکس با سرعت جریان، تنش برشی و عدد فرود را دارد. یعنی هر چه سرعت جریان، تنش برشی و عدد فرود کاهش یابد، باعث افزایش عمق در مقطع موردنظر می‌شود. عمق هیدرولیکی در مقطع ۱۲ به



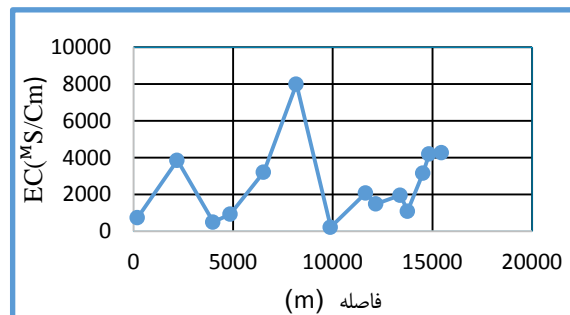
شکل ۱۰- روند تغییرات عمق هیدرولیکی در مقاطع مختلف  
Figure 10. The variation trend of hydraulic depth in different sections

باشد باعث از هم‌پاشیدگی ساختمان خاک و در نتیجه تشدید فرسایش می‌شود. در تحقیق حاضر بیشترین EC خاک در مقطع ۹ می‌باشد که با میزان فرسایش نسبتاً همخوانی دارد. اشکال ۱۱ و ۱۲ به ترتیب تغییرات EC و PH را نمایش می‌دهد. همان‌گونه که در شکل ۱۲ مشاهده می‌گردد در مقطع شماره ۵ کمترین PH مشاهده می‌شود که در واقع خاک این مقطع نسبت به مقاطع دیگر اسیدی‌تر است و انتظار می‌رود فرسایش کمتر باشد درحالی‌که این‌گونه نیست.

با توجه به هدف تحقیق حاضر، علاوه بر عوامل هیدرولیکی، وضعیت فرسایش کناره‌ای و همچنین خصوصیات خاک از جمله PH و EC و  $\text{CaCO}_3$  و کربن آلی و میزان رس و سیلت و شن در آزمایشگاه مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این آزمایش‌ها در جدول ۳ آورده شده است. همان‌گونه که جدول نشان می‌دهد مقدار EC (شوری خاک) در بازه‌های مختلف متغیر است. شوری خاک یکی از عواملی است که در فرسایش خاک تأثیر دارد. معمولاً هر چه EC خاک زیادت



شکل ۱۲- روند تغییرات PH در بازه‌های مورد مطالعه  
Figure 12. The variation trend of pH in the studied reaches

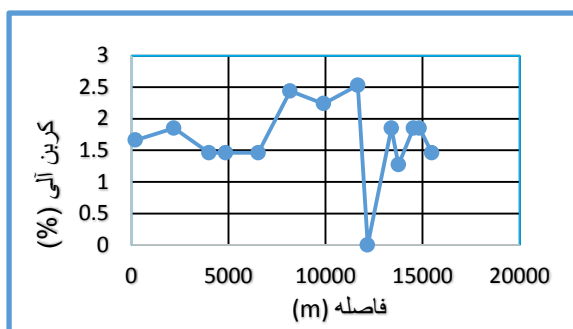


شکل ۱۱- روند تغییرات EC در بازه‌های مورد مطالعه  
Figure 11. The variation trend of EC in the studied reaches

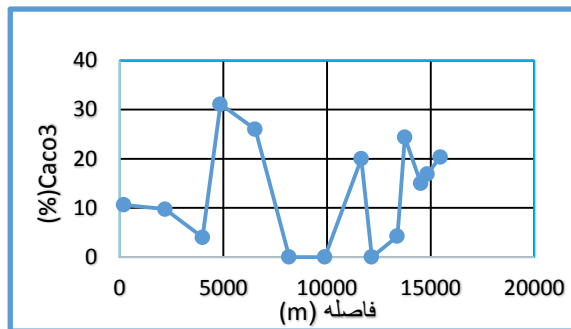
کناره‌ای همراه می‌باشد. همچنین در مقطع ۶ که میزان کربن آلی آن صفر گزارش شده است میزان فرسایش زیادی قابل‌رؤیت بود، لذا در این تحقیق افزایش میزان مواد آلی خاک تأثیر خود در کم شدن فرسایش را نشان می‌دهد. اشکال ۱۳ و ۱۴ به ترتیب تغییرات کربنات کلسیم و تغییرات کربن آلی در نمونه‌های خاک مقاطع مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

خالید و همکاران (۱۳) در مطالعه‌ای بیان کردند که کربنات کلسیم، عامل اصلی و مؤثر در فرسایش‌پذیری خاک است. در تحقیق حاضر در مقطع ۱۱ بیشترین مقدار کربنات کلسیم گزارش شده است که با افزایش میزان فرسایش تا حدودی مطابقت دارد. کربن آلی خاک یکی دیگر از عوامل مؤثر در کاهش فرسایش خاک می‌باشد. در مقطع ۷ بیشترین مقدار کربن آلی اندازه‌گیری شده است که البته با کاهش فرسایش





شکل ۱۴- روند تغییرات کربن آلی در بازه‌های مورد مطالعه  
Figure 14. The variation trend of organic carbon in the studied reaches



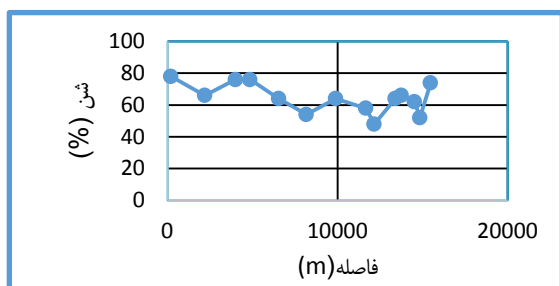
شکل ۱۳- روند تغییرات Caco<sub>3</sub> در بازه‌های مورد مطالعه  
Figure 13. The variation trend of Caco<sub>3</sub> in the reaches

جدول ۳- نتایج آزمایشگاهی برخی خصوصیات خاک برداشت شده از مقاطع مورد مطالعه در بخشی از رودخانه کشف رود  
Table 3. Laboratory results of some soil characteristics harvested from the studied sections in a part of Kashfarood River

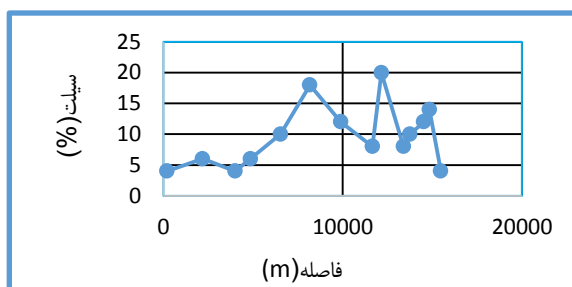
شماره مقطع	وضعیت فرسایش کناره‌ای	پارامترهای مورد بررسی در آزمایش‌های خاک					PH	وضعیت فرسایش کناره‌ای
		Silt (%)	Sand (%)	clay (%)	Caco <sub>3</sub> (%)	کربن آلی (%)		
۱	آثار فرسایش کناره‌ای در (ساحل راست) ناچیز است ولی در ساحل چپ متوسط است.	۴	۷۴	۲۲	۲۰/۳۷	۱/۴۶	۴۲۷۰	۸/۶۸
۲	آثار فرسایش کناره‌ای قابل توجه نیست.	۱۴	۵۲	۳۴	۱۶/۸۷	۱/۸۵	۴۲۰۰	۸/۷۳
۳	در ساحل راست نسبتاً فرسایش شدید است.	۱۲	۶۲	۲۶	۱۵/۰۰	۱/۸۵	۳۱۵۰	۸/۵۲
۴	فرسایش کناره‌ای در ساحل راست مشاهده نمی‌شود ولی در سمت چپ در حد متوسط تا شدید است.	۱۰	۶۶	۲۴	۲۴/۳۷	۱/۲۷	۱۰۸۸	۸/۱۳
۵	فرسایش کناره‌ای در ساحل راست متوسط تا زیاد است ولی در ساحل چپ فرسایش ناچیز است.	۸	۶۴	۲۸	۴/۲۵	۱/۸۵	۱۹۵۵	۷/۹۸
۶	فرسایش کناره‌ای به صورت متفاوت در دو طرف رودخانه دیده می‌شود.	۲۰	۴۸	۳۲	.	.	۱۴۷۸	۸/۳۳
۷	فرسایش کناره‌ای در دو طرف رودخانه چندان قابل توجه نمی‌باشد.	۸	۵۸	۳۴	۲۰/۰۰	۲/۵۳	۲۰۸۰	۸/۱۷
۸	فرسایش کناره‌ای در سمت راست در حد متوسط تا زیاد است.	۱۲	۶۴	۲۴	.	۲/۲۴	۲۲۲	۸/۶۵
۹	فرسایش کناره‌ای در ساحل راست نسبتاً شدید بوده است.	۱۸	۵۴	۲۸	.	۲/۴۴	۸۰۰۰	۸/۹۴
۱۰	فرسایش کناره‌ای در هر دو طرف رودخانه به صورت متناوب است که البته در ساحل راست بیشتر است.	۱۰	۶۴	۲۶	۲۶/۰۰	۱/۴۶	۳۲۱۰	۸/۵۷
۱۱	فرسایش کناره‌ای در سمت چپ به صورت متناوب است و ساحل راست نسبتاً تثبیت شده است.	۶	۷۶	۱۸	۳۱/۱۲	۱/۴۶	۹۱۹	۸/۱۲
۱۲	فرسایش کناره‌ای در ساحل راست مشاهده نمی‌شود ولی در ساحل چپ، شدید می‌باشد.	۴	۷۶	۲۰	۴/۰۰	۱/۴۶	۴۹۵	۸/۶۶
۱۳	فرسایش کناره‌ای در ساحل راست مشاهده نمی‌شود ولی در ساحل چپ به صورت ممتد می‌باشد.	۶	۶۶	۲۸	۹/۷۵	۱/۸۵	۳۸۶۰	۸/۶۷
۱۴	فرسایش کناره‌ای در دو طرف بستر اصلی و هم در کناره‌های بستر بزرگ قابل مشاهده است.	۴	۷۸	۱۸	۱۰/۶۲	۱/۶۶	۷۴۱	۸/۱۲

ماده‌ی آلی، فرسایش‌پذیری خاک کمتر و با افزایش درصد سیلت، این فرسایش‌پذیری بیشتر می‌شود. در تحقیق حاضر نیز میزان شن در مقطع ۱۴ به بیشترین مقدار خود رسیده است که به‌نوعی با افزایش فرسایش همخوانی دارد. در مقاطع ۲ و ۷ میزان رس افزایش یافته است که در این مقاطع فرسایش‌چندانی نیز قابل مشاهده نبود. اشکال ۱۵ و ۱۶ و ۱۷ به‌ترتیب تغییرات سیلت و شن و رس را نشان می‌دهد.

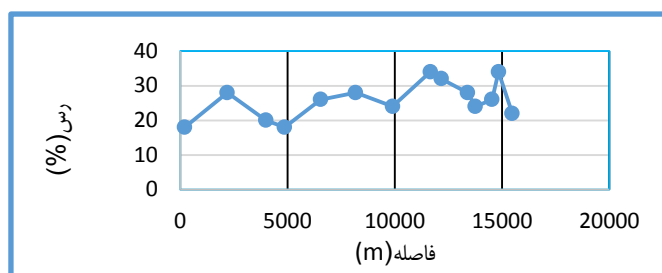
دویکر و همکاران (۵) در مطالعات خود نشان دادند که درصد سیلت و ماسه خیلی ریز، همبستگی معنی‌دار مثبتی با فرسایش‌پذیری دارد. زیرا این ذرات خاصیت چسبندگی کمی دارند و بر اثر خیس شدن خاکدانه‌ها به سهولت پراکنده و منتقل می‌شوند. بنابراین، تأثیر افزایش عمده‌ی بر فرسایش‌پذیری دارند. همچنین بررسی‌های صورت گرفته توسط قاسمی و همکاران (۷) در حوزه‌ی آبخیز چغاخور در استان چهارمحال بختیاری، نشان داد که با افزایش درصد رس و



شکل ۱۶- روند تغییرات شن در بازه‌های مورد مطالعه  
Figure 16. The variation trend of sand in the studied reaches



شکل ۱۵- روند تغییرات سیلت در بازه‌های مورد مطالعه  
Figure 15. The variation trend of silt in the studied reaches



شکل ۱۷- روند تغییرات رس در بازه‌های مورد مطالعه  
Figure 17. The variation trend of clay in the studied reaches

تغییر هستند (۲۵). به‌منظور شناسایی و اولویت‌بندی عوامل مؤثر در تغییرات مرفولوژیک رودخانه، شبیه‌سازی رفتار هیدرولیک رودخانه کشف رود با مدل هیدرولیکی HEC-RAS انجام پذیرفت و خصوصیات خاک کناره‌ها با برداشت نمونه و تجزیه و تحلیل آزمایشگاهی مطالعه شد. همچنین وضعیت فرسایشی کناره‌ها و نیز شرایط پوشش گیاهی با بازدیدهای میدانی مورد ارزیابی گرفت. نتایج نشان می‌دهد که فرسایش کناره‌ای قابل توجه در سه مقطع مشاهده گردیده که در آن‌ها خصوصیات هیدرولیکی جریان با مقاطع دیگر تفاوت معنی‌داری نداشته است. این در حالی است که تراکم پوشش گیاهی در این مقاطع کاهش چشمگیری با مقاطع دیگر داشته و لذا به نظر می‌رسد یکی از علل اصلی فرسایش کناره‌ها در بازه‌های مورد مطالعه کمبود پوشش گیاهی بوده است. بیشترین فرسایش کناره‌ای در طول بازه موردنظر رودخانه کشف رود در مقاطعی از جمله ۳ و ۹ مشاهده گردید. به نظر می‌رسد شوری خاک یکی دیگر از عوامل اصلی در تسهیل فرسایش کناره‌ها بوده است. در بازه شماره ۹ که بیشترین فرسایش کناره‌ای مشاهده شده است بیشترین مقدار EC (بافتله زیاد نسبت به بازه‌های دیگر) نیز اندازه‌گیری شده است. در بازه شماره ۳ نیز که جزء بازه‌های با فرسایش

الگوی رودخانه هم یکی دیگر از عواملی است که بر روی فرسایش تأثیرگذار است. معمولاً هر چه رودخانه قوس شدیدتری داشته باشد میزان فرسایش در آنجا شدیدتر است که با آنچه در جدول ۳ مشاهده می‌شود صدق می‌کند. از نظر الگوی رودخانه (بر اساس رابطه ولمن- لئوپولد)، نتایج نشان‌دهنده این است که بیشترین ضریب سینوسی (MC) بر اساس پیچ و خم‌های موجود در محدوده مورد مطالعه برابر با ۱/۹۹ است. کمترین میزان MC نیز برابر با ۱/۰۱ اندازه‌گیری شد. بر این اساس برخی از بازه‌های موردنظر در گروه بازه‌های مستقیم و برخی دیگر در گروه بازه‌های با پیچ و قوس‌های ملایم (مئاندری با قوس کم) قرار می‌گیرد. طبق تعریف ولمن و لئوپولد (۱۹۵۷)، ضریب سینوسی عبارت از نسبت طول محور رودخانه به طول دره آن در دو نقطه است.

$$MC = \frac{AB}{AB} \quad \text{رابطه (۴)}$$

AB: طول خط القعر اصلی رودخانه، AB: طول محور مستقیم رودخانه است.

رودخانه‌ها به‌ندرت در حالت پایدار هستند و تحت تأثیر عوامل و متغیرهای مختلف همواره از نظر ابعاد، شکل، راستا و الگو در

مئاندري تر فرسایش شدیدتری مشاهده می‌گردد. بر این اساس لازم به ذکر است بیشینه MC با میزان ۱/۹۹ و کمینه MC با میزان ۱/۰۱ به دست آمد. بر این اساس برخی از بازه‌های موردنظر در گروه رودخانه‌های مستقیم و برخی دیگر در گروه رودخانه‌هایی با پیچ و قوس‌های ملایم (مئاندري با قوس کم) قرار گرفت.

#### تشکر و قدردانی

تحقیق نویسنده مسوول از حمایت مالی دانشگاه فردوسی مشهد (کد 3/45509) برخوردار بوده است.

کناره‌ای زیاد می‌باشد مقدار EC خاک برداشت شده در حد قابل توجهی می‌باشد. لذا با توجه به نتایج به دست آمده، در بین خصوصیات بررسی شده در رابطه با نمونه‌های خاک برداشت شده از کناره‌ها، وضعیت شوری خاک ارتباط بیشتری با فرسایش کناره‌ای داشته و بقیه پارامترهای بررسی شده خاک از جمله میزان ماده آلی و دانه‌بندی تأثیر کمتری در فرسایش کناری رودخانه داشته‌اند. وضعیت پوشش گیاهی کف و کناره‌های رودخانه نقش مهم‌تری را در فرآیند پایداری کناره‌ها ایفا نموده است. به عبارت دیگر در بازه‌هایی که تراکم پوشش گیاهی بیشتر بوده شدت فرسایش کناره‌ها کاهش داشته است و برعکس. همچنین الگوی رودخانه در این تحقیق بر فرسایش تأثیر قابل توجهی داشته است بطوریکه در بازه‌های

#### منابع

1. Ahmadi, L. 2004. Evaluation of erosion and sedimentation in dry river of Shiraz using nonstationary method, M.Sc., Faculty of Agriculture, Shiraz University.
2. Bagnold, R.A. 1966. An Approach to the Sediment Transport Problem from General Physics. U. S. Geological Survey Professional Paper 422-I, Washington, DC.
3. Barzkar, M., M. Yamani Najafabadi and M. Maghsoudi. 2020. The effect of hydrogeomorphological characteristics of Zab River on the stability of waterway (from Piranshahr city to Mirabad city).
4. Chu, Z.X., G. Sun, S.K. Zhai and K.H. Xu. 2006. Changing pattern of accretion/erosion of the modern Yellow river (Huanghe) sub aerial delta china: based on remote sensing images. *Marian Geology*, 227: 13-30.
5. Duiker, S., W. Flanagan and R. Lal. 2001. Erodibility and infiltration characteristics of five major soils of southwest Spain. *Catena*, 45: 103-121.
6. Erfani Pourghasemi, V., M. Dastarani and M. Haji Biglou. 2020. Investigation of the effect of flow characteristics on river bank erosion (Case study: parts of Kashfarood River). In the 14th National Conference on Watershed Management Science and Engineering of Iran.
7. Ghasemi, A. and J. Mohammadi. 2003. Study of spatial variation of soil erodibility, a case study in Cheghakhor watershed in Chaharmahal-e-Bakhtiari province. *Proceedings of the Eighth Soil Science Congress of Iran (In Persian)*. Rasht. Iran, 864- 865 pp.
8. Hazarika, M.H., A. Bormudoi, S. Phosalath, V. Sengtianthr and L. Samarakoon. 2005. Flood Hazard in savanaket province, Lao PDR mapping user HEC-RAS, remote sensing and GIS. *Journal of hydrology*, 302(2-3): 1-7.
9. Haji Biglou, M., M. Dastarani, Ghezel Sofloo and Ekhtesasi. 2013. Morphological changes of the river and its relationship with governing processes (Case study: Firoozeh-Shahjoub river). *Rangeland and Watershed Management*, 66(1): 43-58.
10. Hosseini, A. and M. Tabatabai. 2020. Detection of river morphological changes using aerial photographs and multi-time satellite images (case study of part of Ghezel Ozan River from Pircham village to Gilvan village). *Watershed Management Research Journal*, 11(21): 186-197.
11. Hosseinzadeh, M.M. and N. Barkhordari. 2021. Zoning of lateral erosion vulnerability (Case study: Haft Cheshmeh Qazvin River). *Natural Geography Research*.
12. Kashkoli, H. and S. Taheri Ghanad. 2009. Investigation of erosion factors on the banks of Karun River. 8th Ahwaz River Engineering Conference.
13. Khalid, F. and D.A. Moatasim. 2012. Effect of calcium carbonate on the erodibility of some calcareous soils by water erosion. *Soil and Water Resource Dept. / College of Agri. and Forestry /Mosul Univ/Iraq*, 40: 4
14. Labbe, J.M., K.S. Hadley, A.M. Schipper and R.W. Leuven. 2011. Influence of bank materials, bed sediment, and riparian vegetation on channel form along a gravel-to-sand transition reaches of the Upper Tualatin River, Oregon, USA, 125(3): 374-382.
15. Lane, E.W. 1955. Design of stable canals. *Transactions, ASCE*, 120: 1234-1260.
16. Leopold, L.B. and M.G. Wolman. 1957. River channel patterns braided, meandering and straight. *United States Geological Survey Professional Paper* 282: 39-85.
17. Marchese, E., V. Scorpio, I. Fuller, S. McColl and F. Comiti. 2017. Morphological changes in alpine rivers following the end of the Little Ice Age. *Geomorphology*, In Press, Accepted Manuscript- Note to users.
18. Masoumi, H., A.R. Habibi and A. Ghodrati. 2021. Morphology and effective processes in Sefidrood River flow changes to predict the 2030 horizon. *Geography and environmental hazards*, 10(1).

19. Pappenberger, F., K. Beven, M. Horritt and S. Blazkova. 2005. Uncertainty in the calibration of effective roughness parameters in HEC-RAS using inundation and downstream level observations, *Journal of hydrology*, 302(1-4): 46-69.
20. Prafulkumar, V.T., L.P. Prem and D.P. Prakash. 2011. Calibration of HEC-RAS model on prediction of flood for Lower Tapi River, India. *Journal of Water Resource and Protection*, 3: 805-811.
21. Rezaei Moghadam, M., M.R. Thervati and S. Asghari Saraskanrood. 2012. Study of geometric inclusions of Ghezel Ozan River with emphasis on geomorphological and geological factors, geography and environmental planning, 5: 115-155.
22. Roshun, H., G. Vahabzadeh, K. Solaimani and R. Farhadi. 2013. Simulation of River Hydraulics Behavior Using HEC-RAS Model in GIS Environment (Case Study: Beshar River, Kohgiluyeh and Boyerahmad Province). *Journal of Watershed Management Research*, 4: 70-84 (In Persian).
23. Sarker, M.H., M.M. Kamal and K. Hassan. 1999. The Morphological Changes of a distributary of Ganges in response to the Declining Flow using Remote Sensing, *Proceedings of the 20th Asian Conference on Remote Sensing*, 1.
24. Sharifikia, M. and N. Mal Miri. 2014. Detection of changes in the spatial pattern of the Helmand River and its morphological analysis, *Quantitative Geomorphological Research*, 2: 191-144.
25. Shayan, S., M. SharifiKia, N. Wasseri. 2017. Analysis of Morphological Factors in Spatial Pattern Changes, *Alvand River Spatial. Geographical Research Quarterly, Thirty-Second Year, Number One, Series 124*: 24-36.
26. Telluri, A.S. 2004. *Basic Principles of River Engineering and Regulation*, Agricultural Research and Education Organization Publications (Soil and Watershed Protection Research Institute).
27. USACE. 2008. User's manual, geospatial hydrologic modeling extension, HECGeoRAS, Version 4, U.S. Army Corp of Engineers Hydrologic Engineering Center, California, USA, www.hec.usace.army.mill, 246 pp.
28. U.S. Army Corps of Engineers Institute for Water Resources, Hydrologic Engineering Center. 2008. *HEC-RAS River Analysis System User's Manual, Version 4.0*. California, USA. www.hec.usace.army.mill, 747 pp.

## Investigating and Prioritizing of the Factors Affecting on Morphological Changes in a part of the Kashafrud Channel

Vajihe Erfani Pour Ghasemi<sup>1</sup>, Mohammad Taghi Dastourani<sup>2</sup>, Mahboubeh Haji Biglu<sup>3</sup> and Fereshteh Rahimi-Aghcheshmeh<sup>4</sup>

1- Graduated M.Sc. in Watershed Management, Faculty of Natural Resources and Environment, Ferdowsi University of Mashhad

2- Professor, Faculty of Natural Resources and Environment, Ferdowsi University of Mashhad, (Corresponding Author: dastourani@um.ac.ir)

3- PhD Student in Watershed Management, Faculty of Natural Resources, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

4- PhD Student in Watershed Management, Faculty of Natural Resources and Environment, Ferdowsi University of Mashhad

Received: 19 October, 2019

Accepted: 14 July, 2021

### Extended Abstract

**Introduction and Objective:** River systems are subject to serious changes over the time. These changes vary from region to region depending on the conditions of the river. Forecasting the process of river changes and presenting engineering plans depends on understanding the current behavior and morphology of the river and evaluating changes in the past. The purpose of this study was to investigate the effective factors (hydraulic, soil properties, vegetation, and river pattern) on instability and bank erosion of Kashafrud River in Khorasan-Razavi province of Iran.

**Material and Methods:** In order to better evaluation of the effects of different factors, the river path was divided into 14 reaches and geometrical parameters needed to show the changes in river morphology were measured and calculated. The HEC-RAS hydraulic model through the HEC-Geo RAS annex was used to investigate the flow hydraulic properties of the Kashafrud River. Next, the analysis of the model output results was performed for flow discharges with different return periods for 14 cross-sections along the river. Soil samples were also taken from the riverbank, and transferred to the laboratory for granulometry and other studies. Other factors such as the type and density of vegetation, geometrical properties, erosion rate and the impact of human factors on river changes were also studied during the field visits.

**Results:** The results of river morphological analysis showed that the meandering coefficient (MC) for most of the reaches studied in this study is less than 1.99. Therefore, based on the Wollmann-Leopold and Schumm methods some reaches are classified as straight and some others as light meandering reaches. Hydraulic properties of the flow such as flow velocity, Froude number, and hydraulic depth of flow, shear stress and flow power have been varied from one reach to another, but in the present study they had no considerable effect on bank erosion. The results also showed that soil salinity was more affective to bank erosion among the studied soil properties, and the other soil parameters had no significant effect on river bank erosion. Vegetation status of the river bed and banks has played an important role in the stability of the banks. The river pattern was also found affective to bank erosion, as the erosion rate at the concave parts of the river was higher.

**Conclusion:** Among the various factors studied in the field of hydraulic, morphological, soil and vegetation characteristics of the Kashafrud bed and banks in the present study, soil salinity, vegetation cover density and meandering status of the reaches have been effective in bank erosion.

**Keywords:** HEC-RAS model, Kashafrud River, Meandering coefficient, River bank erosion, River morphology