بررسی فرسایش کنارۀ رودخانه مِرگ ماهیدشت

رؤیا پناهی*: *دکتری ژئومورفولوژی، دانشکدۀ علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران*
محمدمهدی حسین‌زاده: *دانشیار دانشکدۀ علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران*
سید میثم مشعشعی: *کارشناس مهندسی رودخانه، شرکت مهندسین مشاور آب‌پردازان نواندیش، کردستان، ایران*

نوع مقاله: پژوهشی
تاریخچۀ مقاله (تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۰/۳ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۷/۲۲)

چکیده

به طور طبیعی، فرسایش کرانه مشکلی جدی برای هر سیستم رودخانه‌ای است. این پدیده از منابع اصلی تولید رسوب در جریان رودخانه‌ها به شمار می‌رود که به تغییر کانال و رسوب‌گذاری در رودخانه‌های آبرفتی منجر می‌شود. هدف این پژوهش، بررسی فرسایش کنارۀ رودخانۀ مِرگ ماهیدشت در استان کرمانشاه است. برای پایداری بستر و کناره، از روش تنش برشی نزدیک کرانه (NBS) راسگن استفاده شد؛ بدین صورت که ابتدا برای اجرای محاسبات، اطلاعات رقومی برداشت شده به محیط GIS منتقل شد و از طریق الحاقی HEC–GEORAS، پردازش داده‌های ژئومتری انجام و اطلاعات به مدل عددی HEC_RAS منتقل شد. سپس تمام محاسبات مقاطع برای اجرای مدل پایداری بستر و کناره (NBS) در محیط نرم‌افزار HEC-RAS انجام شد. با توجه به مورفولوژی، رودخانه مِرگ به چهار بازه تقسیم و روش (NBS) برای ۴۴ مقطع انتخابی محاسبه شد. نتایج حاصل از مدل نشان داد که با توجه به شاخص نسبت حداکثر عمق نزدیک کناره به متوسط عمق دبی لبالبی، میزان فرسایش‌پذیری در بازۀ اول زیاد و شدید بود. در بازۀ دوم، غالب قوس‌ها فرسایش‌پذیری زیادی داشت و در بازۀ سوم، اغلب مقاطع در گروه فرسایش‌پذیری متوسط قرار داشت. در بازۀ چهارم با توجه به الگوی سینوسی رودخانه و شیب کم، میزان فرسایش کم بود. در تمام بازه‌های رودخانۀ مرگ، بیشترین فراوانی فرسایش کم، متوسط و زیاد بود و غالب فرسایش در ساحل سمت چپ تمرکز داشت. افزایش شیب، کاهش پوشش گیاهی، افزایش الگوی پیچان‌رودی بودن و تغییر کاربری و تبدیل زمین‌های اطراف رودخانه به کاربری کشاورزی، علت افزایش فرسایش در این بازه‌ها بود.

واژگان کلیدی: پایداری بستر، تنش برشی نزدیک کرانه (NBS)، رودخانۀ مِرگ.

[DOR: 20.1001.1.22517812.1402.13.2.2.6]

۱ـ مقدمه

آژانس حفاظت از محیط زیست ایالات متحده، رسوبات را شایع‌ترین آلاینده در رودخانه‌ها، نهرها، دریاچه‌ها و مخازن می‌داند (Allmanova et al, 2021). به گفتۀ Wilkes و همکاران (2019)، مقادیر زیاد رسوبات ریز ــ ذرات کمتر از دو میلی‌متر ــ در رودخانه‌ها عامل اصلی تخریب اکولوژیکی است. این ذرات ریز به طور طبیعی در محیط زیست وجود دارد؛ با این حال، مشکلات زمانی ایجاد می‌شود که این ذرات با مقادیر زیاد بیش از آنچه طبیعی است به سیستم‌های آبی وارد شوند (Beaundry, 2019). فرسایش کناره یک فرایند یا اختلال طبیعی ژئومورفیک است که در طول سیلاب‌ها یا بلافاصله پس از سیل رخ می‌دهد (Allmanov_a et al, 2021) و از طریق تولید بار رسوب، به آلودگی و کاهش کیفیت آب منجر می‌شود. این مخاطره نتیجۀ فرایندی است که از ترکیب دو نیروی قدرت فرسایشی آب و تأثیر نیروی گرانش به بزرگ شدن کانال می‌انجامد؛ علاوه بر آن، شاخص‌هایی از قبیل بی‌ثباتی کناره‌ها، تخریب زیستگاه فیزیکی و واکنش‌های ژئومورفیک متعدد دیگر، روند فرسایش کناره را تسریع می‌کند (Bandyopadhyay, 2014). Lane و همکاران (1995)، فرسایش کرانه را یک فرایند ژئومورفولوژیکی رایج در رودخانه‌های دارای دشت سیلابی آبرفتی معرفی کرده‌اند. به طور طبیعی، فرسایش کناره مشکلی جدی برای هر سیستم رودخانه‌ای است که تا نود درصد رسوبات یک حوضه آبریز را تولید می‌کند و به عنوان یک خطر، به از دست رفتن جان و منابع انسانی منجر می‌شود (Jacobson et al, 2001). فرسایش کناره با تکامل بلندمدت الگوی کانال و تنظیمات ژئومورفیک کوتاه‌مدت مرتبط است؛ علاوه بر آن، این مخاطره یکی از اجزای رژیم آشفتگی طبیعی سیستم‌های رودخانه‌ای است و برای تکامل ژئومورفیک بلندمدت سیستم‌های رودخانه‌ای و پایداری اکولوژیکی ضروری می‌باشد (Florisheim et al, 2008). نیروهای گرانشی که بر روی رسوبات کنارۀ رودخانه عمل می‌کند از دو جزء تشکیل شده‌است؛ ابتدا، تنش گرانشی به صورت عمودی سپس به صورت موازی بر روی کرانه عمل می‌کند. تنش برشی نتیجۀ تنش گرانشی و ضریب اصطکاک خاک رودخانه است. با افزایش چسبندگی در مواد چسبنده، تنش برشی مورد نیاز برای ایجاد فرسایش نیز افزایش می‌یابد (Easterbrook, 1999). فرسایش کناره‌ها مشکلات زیادی را در رودخانه‌های آبرفتی به وجود می‌آورد؛ از جمله تعریض بستر رودخانه، تخریب اراضی کشاورزی، تخریب راه‌های مجاور ساحل رودخانه‌ها، افزایش شدید غلظت رسوب، آلودگی آب رودخانه‌ها و تهدید پایداری سازه‌های احداث شده، بخشی از مشکلات ناشی از فرسایش کناری است (Hosseinzadeh et al, 2017)؛ از این رو، برآورد بررسی نقاط فرسایش‌پذیر رودخانه‌ها ــ که قسمت اعظم رسوب ته‌نشین شده در مخازن را تشکیل می‌دهد ــ اهمیت زیادی دارد.

تاکنون محققان داخلی و خارجی پژوهش‌های زیادی در زمینۀ ناپایداری و فرسایش کرانۀ رودخانه و مدیریت حفاظت از کرانه انجام داده‌اند؛ مثلاً Rosgen (1996، 2001 ، 1999) از مدل (NBS&BEHI)[1] برای بررسی شرایط جریان کانال و نحوۀ تأثیر آن بر ثبات کنارۀ رودخانه‌ها استفاده کرد. Lawler و همکاران (1995) و Sass (2001)، سه دستۀ اصلی فرسایش رودخانه‌ها را شناسایی کردند که عبارتند از: فرایندهای زیر سطحی، برداشت رسوبات کناره توسط رودخانه و شکست تودۀ رسوبات کناره. علاوه برآن، Hyrman (2009) بیان کرد که تغییرپذیری در برداشت از سواحل، متأثر از جنس ساختار سواحل رودخانه نیست. از مهم‌ترین عوامل ایجاد برداشت سواحل رودخانه می‌توان به

[1] Near Bank Stress (NBS) & Bank Erosion Hazard Index (BEHI)

[DOR: 20.1001.1.22517812.1402.13.2.2.6]

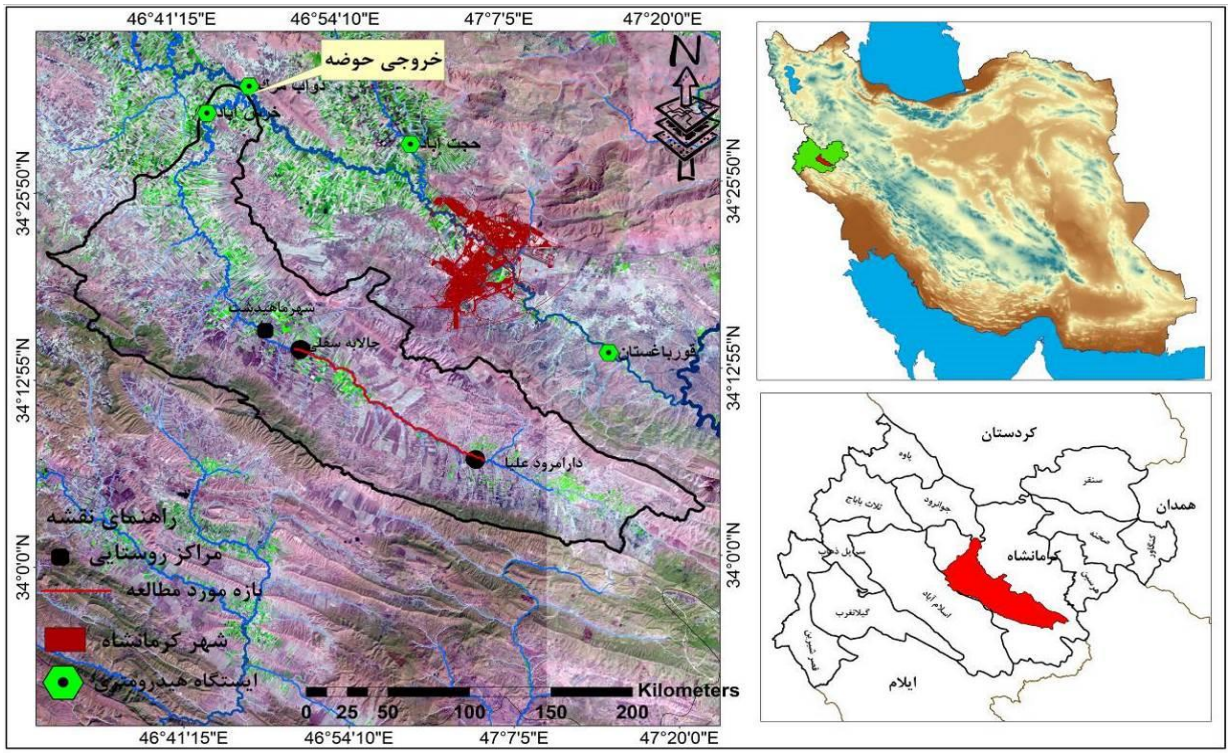
تغییرات محتوای آب در سواحل، اثرات آب زیرسطحی، فرایندهای یخ زدگی و ذوب، هوازدگی و تغییر پوشش گیاهی اشاره کرد. Willet (2010) بیان کرد که فرایندهای مؤثر بر فرسایش کناره پیچیده است و عوامل مؤثر شامل فرایندهای فیزیکی است که بر روی خاک سواحل رودخانه، ویژگی‌های جریان و مدیریت چشم‌انداز تأثیر می‌گذارد. Bandyopadhyay و همکاران (2014) با استفاده از روش (BEHI&NBS)، به پهنه‌بندی آسیب‌پذیری فرسایش سواحل و کاربرد آن در رودخانهٔ هائورادر هند پرداختند. سپس طول پنجاه کیلومتر رودخانه را با توجه به میزان فرسایش‌پذیری به مناطق با خطر بسیار زیاد، زیاد، متوسط، کم و بسیار کم تقسیم کردند. Allmanova و همکاران (2021) نیز با استفاده از مدل فرسایش (NBS,BEHI)، به بررسی فرسایش کناره در حوضهٔ کوربیکا در کشور اسلواکی پرداختند و هر بخش از رودخانه را از طریق شاخص NBS و شاخص BEHI اندازه‌گیری کردند. محققان داخلی از جمله Hosseinzadeh و همکاران (2017) با استفاده از مدل BEHI، به ارزیابی ژئومورفولوژیک و پایداری رودخانهٔ قرانقوچای هشترود پرداختند و نتایج نشان داد که در روش NBS با استفاده از نسبت شعاع انحنا به عرض دبی لبالبی، مقاطع دارای فرسایش شدید تا متوسط است و فقط در مقطع ۷، فرسایش در حد کم می‌باشد. در روش نسبت حداکثر عمق نزدیک کرانه به متوسط عمق دبی لبالبی نیز میزان فرسایش در مقطع اول خیلی کم و در مقطع دوم شدید است. Faizullahpour and Ahmadi (2019) نیز با استفاده از مدل BSTEM، به تحلیل خطرپذیری فرسایش کناره‌ای در حوضهٔ رودخانهٔ کوتر مهاباد پرداختند. از این مطالعه می‌توان نتیجه گرفت که میزان فرسایش‌پذیری در بازهٔ دوم نسبت به دو بازهٔ سوم و اول کمتر بود و در بازهٔ سوم، میزان تنش برشی حدود ۶۴ پاسکال به دست آمد. Valipour و همکاران (2021)، به مطالعهٔ فرسایش‌پذیری کناره و عوامل مؤثر بر آن در رودخانهٔ لاویج استان مازندران پرداختند. نتایج حاصل از مدل NBS با استفاده از شاخص (tnb/tbkf) نشان داد که میزان فرسایش‌پذیری کنارهٔ این رودخانه در تمامی بازه‌های مورد مطالعه به جز مقاطع ۲ و ۶، همهٔ مقاطع دارای شدت فرسایش خیلی زیاد و زیاد بود. Rostami و همکاران (2021) با استفاده از مدل BANCS، به ارزیابی و برآورد میزان خطر فرسایش کناره‌ای رودخانهٔ واز در استان مازندران پرداختند. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده برای هر یک از مقاطع در دو شاخص خطر فرسایش کناره و تنش برشی نزدیک کناره و مقایسهٔ آنها با مشاهدات میدانی، کناره‌های با خطر فرسایش کناره‌ای بیشتر و کناره‌های پایدارتر مشخص شد. مقایسهٔ نتایج این دو شاخص نیز نشان داد که مدل BEHI نسبت به مدل NBS برای رودخانهٔ واز کارآمدتر است. همچنین Hosseinzadeh and pasha (2021) با استفاده از تنش نزدیک کناره (NBS)، به بررسی فرسایش‌پذیری کرانه‌های رودخانهٔ هفت چشمهٔ قزوین پرداختند. نتایج به‌دست‌آمده در این پژوهش حاکی از آن بود که در نسبت شعاع انحنا به عرض دبی لبالبی تمامی مقاطع به استثنای مقطع ۹ فرسایش شدید داشت؛ در نسبت حداکثر عمق نزدیک کناره به عمق دبی لبالبی نیز بیشتر مقاطع، فرسایش کم تا متوسط داشت. رودخانهٔ مرگ با توجه به قرار گرفتن آن در ارتفاعات، طول زیاد و عرض متغیر، مئاندری بودن آن و طبیعت سیلابی، از ویژگی‌های بارز این رودخانه است که هنگام سیلاب دچار فرسایش عمومی و موضعی می‌شود. علاوه بر آن، این حوضه از مهم‌ترین مناطق کشاورزی استان کرمانشاه است که در طی دهه‌های اخیر، بدون توجه به شرایط طبیعی حاشیهٔ رودخانه در معرض تغییرات شدید کاربری اراضی قرار داشت. شناخت عوامل مؤثر در این تغییرات، گام مهمی در جهت احیا و مدیریت محیط اطراف رودخانه است و با بررسی نقاط فرسایش‌پذیر می‌توان از آسیب‌های احتمالی در

[DOR: 20.1001.1.22517812.1402.13.2.2.6]

آینده کاست. بنابراین در این پژوهش برای پایداری بستر و کرانه، از روش تنش برشی نزدیک کرانه راسگن برای بازه‌ای از رودخانه مِرگ ماهیدشت استفاده شد.

۲ـ منطقهٔ مورد مطالعه

محدودهٔ مورد مطالعهٔ حوضه آبریز مِرگ با مساحت ۱۴۶۳ کیلومتر مربع، در غرب ایران و در محدودهٔ سیاسی استان کرمانشاه (در جنوب غرب کرمانشاه) قرار دارد. این حوضه در مختصات `۳۲، °۴۶ تا `۲۴، °۴۷ طول شرقی و `۱،°۳۴ تا `۳۲،°۳۴ عرض شمالی واقع شده‌است. حوضه آبریز مِرگ از زیر حوضه‌های حوضه آبریز قره‌سو و از مهم‌ترین زیر حوضه‌های کرخهٔ بزرگ است. این حوضه نسبتاً کوهستانی است و ارتفاع متوسط آن از سطح دریا ۱۵۲۴ متر است، مرتفع‌ترین قلهٔ آن ۲۷۶۰ متر و پست‌ترین نقطهٔ آن ۱۳۱۵ متر از سطح دریا ارتفاع دارد (Melki et al, 2018). بازهٔ مورد مطالعه بخشی از رودخانهٔ مِرگ ماهیدشت، حدود روستای دارامرود علیا تا چالابهٔ سفلی است. رودخانهٔ مِرگ (بازهٔ مورد مطالعه) با طول ۲۸ کیلومتر، آبراههٔ اصلی این واحد هیدرولوژیک است. حداکثر دبی لحظه‌ای ایستگاه خرس‌آباد در خروجی حوضه، ۴۴/۰۸ و دبی حداکثر روزانه، ۲۶/۲۷ مترمکعب بر ثانیه است. از نظر زمین‌شناسی ارتفاعات شمالی حوضه آبریز مِرگ، سنگ‌های آهکی شهبازان، کشکان، تله زنگ و محدودهٔ دشت، از رسوبات جوان کواترنر تشکیل شده‌است. متوسط بارش حوضه در طی دوره آماری ۲۵ ساله، ۴۰۸ میلی‌متر و متوسط دمای آن، چهارده درجهٔ سانتیگراد است (داده‌های ایستگاه سینوپتیک ماهیدشت و اسلام‌آباد غرب، ۱۴۰۰). این منطقه با زمین‌های حاصلخیز کشاورزی و استفاده از آب‌های زیرزمینی، موقعیت ممتازی از نظر اقتصادی در غرب ایران به وجود آورده‌است. بر این اساس، شغل اصلی مردم ناحیه کشاورزی و دامداری است. بنابر سرشماری مرکز آمار ایران، جمعیت بخش ماهیدشت واقع در شهرستان کرمانشاه در سال ۱۳۹۵ برابر با ۱۸٬۶۲۸ نفر بود (سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی استان کرمانشاه، ۱۳۹۶). (شکل ۱).

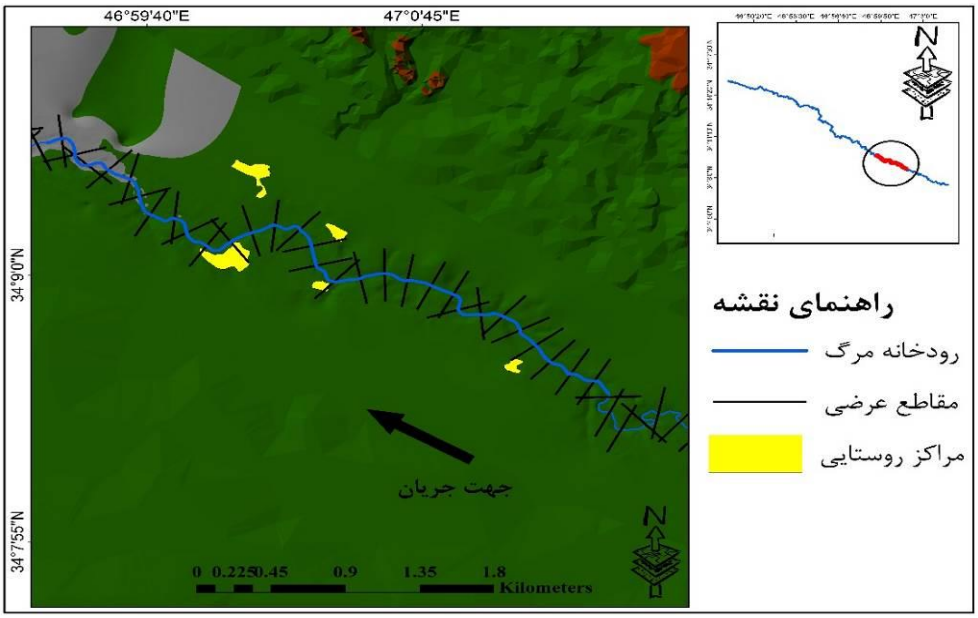


شکل ۱: نقشهٔ موقعیت محدودهٔ حوضه آبریز مِرگ ماهیدشت در استان کرمانشاه

[DOR: 20.1001.1.22517812.1402.13.2.2.6]

۳ـ مواد و روش

برای استخراج متغیرهای مورفولوژیکی و تعیین بده لبریز با استفاده از تهیهٔ مدل رقومی ارتفاع منطقه، از نقشهٔ ۱:۱۰۰۰ (شرکت مهندسی مشاور آب‌پردازان نواندیش) که محدودهٔ رودخانه و بخشی از دشت سیلابی را پوشش می‌دهد، استفاده شد. ابتدا جهت تعیین بده لبریز و تحلیل دادها در محیط نرم‌افزار GIS و تهیهٔ مدل هیدرولیکی در نرم‌افزار HEC-RAS (ورژن 5.0.7) ایجاد شد. در محیط GIS با استفاده از ابزار HEC-Geo RAS برای تهیهٔ داده‌های هندسی و محاسبات مسیر رودخانه، رسم مقاطع و انتقال آنها به HEC-RAS استفاده شد. در اولین مرحله در HEC-Geo RAS لایه خط مرکزی جریان تهیه شد. در ادامه برای جداسازی مجرای اصلی رودخانه از سواحل آن، لایهٔ سواحل رودخانهٔ ۱ ترسیم و در ادامه، لایهٔ ابعاد مسیر جریان تهیه شد. اطلاعات به محیط HEC-RAS (ورژن 5.0.7) منتقل شد. محاسبهٔ دبی حوضهٔ مِرگ با توجه به زیر حوضه‌ها و شرایط هیدرولوژیک حوضه، از روش SCS در محیط HEC-HMS محاسبه (Panahi et al, 2022) و نتایج در محیط نرم‌افزار وارد شد. پس از اجرای مدل، دبی با دوره بازگشت دو سال مبنای مطالعات قرار گرفت. درنهایت، داده‌های مربوط به مقاطع عرضی و پروفیل‌های سطح آب به دست آمد. ۴۴ مقطع انتخابی ــ بر اساس نظر کارشناسی ــ از بازه‌های مختلف رودخانه، برداشت و اندازه‌گیری‌ها در محیط HEC-RAS انجام شد. سپس برای پایداری بستر و کرانه از روش NBS راسگن ــ که برای ساحل چپ و راست محاسبه شده‌است ــ استفاده شد. ذکر این امر لازم است که در این پژوهش بده لبریز معادل سیلاب با دوره بازگشت دو سال در نظر گرفته شد. پارامترهای این شاخص، از محیط نرم‌افزار HEC–RAS بر مبنای نقشهٔ توپوگرافی در مقیاس ۱:۱۰۰۰ برای هر مقطع جداگانه، برداشت و برای اندازه‌گیری متوسط عمق آب، حاصل تقسیم مساحت مقطع عرضی به عرض دبی لبالبی محاسبه شد. برای تعیین شعاع قوس‌های پیچانرودی، بر هر یک از قوس آن دایره‌هایی ترسیم شد که بهترین تطابق را با قوس‌ها داشته باشد. بعد از ترسیم دایره‌ها، اندازهٔ شعاع آنها ــ که گویای شعاع خمیدگی است ــ به دست آمد. ضریب خمیدگی نیز با استفاده از نسبت طول کانال به طول درّه در محیط نرم‌افزار GIS اندازه‌گیری شد.



شکل ۲: بخشی از رودخانهٔ مِرگ در محیط GIS در مقیاس ۱:۱۰۰۰

[1] Bank Lines

[DOR: 20.1001.1.22517812.1402.13.2.2.6]

روش‌های مختلفی برای محاسبهٔ تنش برشی ابداع شده‌است که در این پژوهش از دو روش نسبت شعاع انحنا به عرض مقطع پر ($\frac{R_c}{W_{bkf}}$) ۲) و نسبت حداکثر عمق نزدیک کرانه به متوسط عمق مقطع پر ($\frac{d_{nb}}{d_{bkf}}$) استفاده شد که با توجه به مورفولوژی، رودخانه مِرگ به چهار بخش تقسیم شد و الگوی کلی رودخانه، پیچان‌رودی بود. با توجه به ویژگی‌های کنارهٔ جریان رودخانهٔ مرگ، دو روش نسبت شعاع انحنا به عرض مقطع پر (R_c/W_{bkf}) و نسبت حداکثر عمق نزدیک کرانه به متوسط عمق مقطع پر (d_{nb}/d_{bkf}) برای اجرای این مدل انتخاب شد (Rosgen, 2011). برای غالب قسمت‌های مرکز رودخانهٔ مِرگ، الگوی رودخانه پیچان‌رودی است و میزان شعاع انحنای این بخش‌ها ۱/۶ است که در نهایت برطبق پارامترهای اندازه‌گیری شده، میزان فرسایش‌پذیری کرانهٔ رودخانه در سطوح مختلف خیلی کم تا شدید است (جدول ۱).

جدول ۱: حدود تغییرات شاخص‌های مؤثر در میزان فرسایش کرانه (Rosgen, 2011)

نسبت شعاع انحنا به عرض مقطع پر ($\frac{R_c}{W_{bkf}}$)	نسبت حداکثر عمق نزدیک کرانه به متوسط عمق مقطع پر ($\frac{d_{nb}}{d_{bkf}}$)	میزان فرسایش‌پذیری کرانه (NBS)
بیش از ۳	کمتر از ۱	خیلی کم
۳ - ۲/۲۱	۱-۱/۵	کم
۲/۲۰-۲/۰۲	۱/۵۱ - ۱/۸۰	متوسط
۲-۱/۸۱	۱/۸۱- ۲/۵۰	زیاد
۱/۸۰- ۱/۵۰	۲/۵۱ – ۳	خیلی زیاد
کمتر از ۱/۵۰	بیش از ۳	شدید

۴ـ یافته‌ها (نتایج)

با توجه به مورفولوژی و الگوی پیچان‌رودی رودخانهٔ مِرگ، کل بازهٔ مورد مطالعه (۲۸ کیلومتر) به چهار بازه تقسیم شد. در روش شاخص فرسایش کرانه، از نسبت شعاع انحنا به عرض دبی لبالبی و نسبت حداکثر عمق نزدیک کرانه به متوسط عمق دبی لبالبی برای هر دو ساحل سمت چپ و راست استفاده شد.

بازهٔ اول: برای مطالعهٔ پایداری بستر و کرانه در بازهٔ اول، دوازده مقطع انتخاب شد. رودخانه در بخش اول دارای ضریب انحنای ۱/۳۹ بود. بر طبق تقسیم‌بندی Brierley and Fryirs (2005)، جزء الگوی پیچان‌رودی است. با توجه به بررسی‌های میدانی، جنس دیوارهٔ سواحل چپ و راست رسوبات یکنواخت و ریز دانه از نوع رس و سیلت است. کاربری اراضی غالب در اطراف رودخانهٔ مِرگ نیز از نوع کشاورزی است (جدول ۲). نتایج حاصل از بررسی ناپایداری کرانهٔ چپ و راست، با روش شاخص فرسایش کرانه در جدول ۳ و شکل ۳ ذکر شده‌است. با توجه به افزایش شیب بستر رودخانه (متوسط شیب ۰/۸) (شکل ۱۵)، فرسایش‌پذیری زیاد و شدید در این بازه احتمال جابه‌جایی رودخانه در آینده وجود دارد (شکل ۳). از بین مقاطع مورد مطالعه در این بازه، مقطع شمارهٔ ۱ و شمارهٔ ۱۰ فرسایش‌پذیری داشت (شکل ۴ و ۵).

[DOR: 20.1001.1.22517812.1402.13.2.2.6]

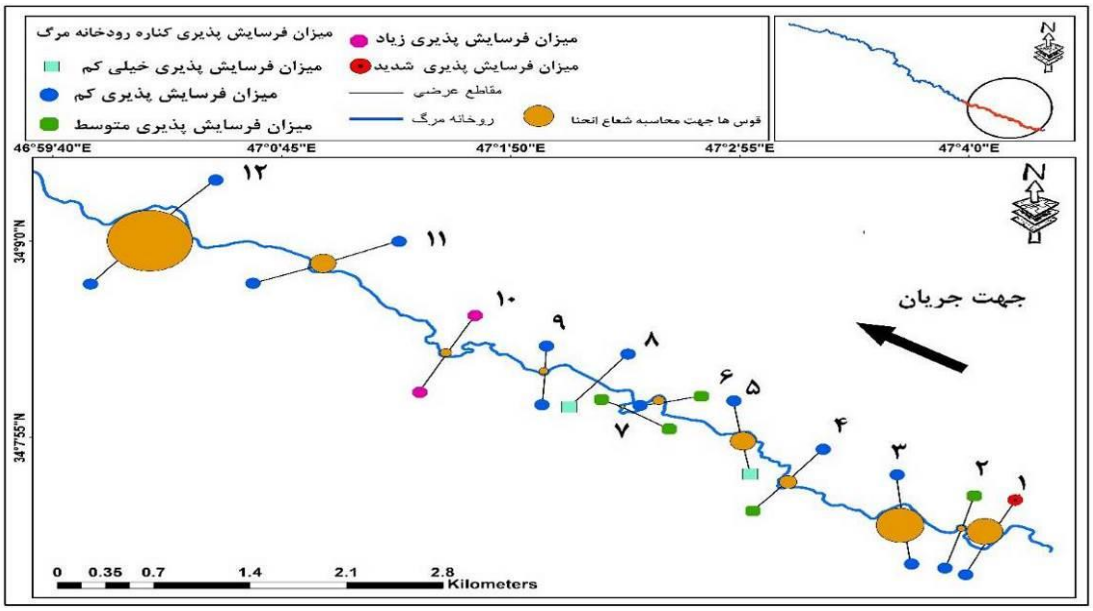
جدول ۲: متغیر های مؤثر در میزان فرسایش‌پذیری کنارۀ رودخانۀ مِرگ بر اساس شاخص NBS در بازۀ اول

مقطع عرضی	مساحت مقطع عرضی	عرض دبی لبالبی	متوسط عمق دبی لبالبی به متر	حداکثر عمق دبی لبالبی	حداکثر عمق نزدیک کرانۀ راست (متر)	حداکثر عمق نزدیک کرانۀ چپ (متر)	شیب کرانۀ راست (درصد)	شیب کرانۀ چپ (درصد)	شیب بستر (درصد)	ضریب خمیدگی	شعاع انحنای قوس
۱	۴۱	۱۱۰/۶	۰/۳۷	۱/۲	۱/۶	۰/۵	۶	۶	۰/۰۸	۱/۳۹	۱۳۵
۲	۳۰/۶۱	۴۷/۶۷	۰/۶۴	۱/۰۹	۱/۰۹	۰/۸۵	۶/۷	۵	۰/۰۶	۱/۳۹	۳۰/۴۶
۳	۱۵/۷	۳۱	۰/۵	۱	۰/۷۲	۰/۵۷	۵	۸	۰/۳	۱/۳۹	۱۷۴/۵
۴	۲۱/۶۱	۷۶/۴۷	۰/۲۸	۰/۴۲	۰/۵۹	۰/۳۴	۲	۲	۰/۴	۱/۳۹	۶۴/۷
۵	۲۱	۳۷/۵	۰/۵۶	۰/۸۶	۰/۶۳	۰/۳۶	۶	۸	۰/۱۷	۱/۳۹	۹۲/۶
۶	۲۷/۷	۶۶/۲	۰/۴۱۹	۰/۶۱۸	۰/۹۷	۰/۵۳۱	۲	۳	۰/۱	۱/۳۹	۴۳/۵
۷	۵۰/۵	۱۲۸	۰/۳۹	۰/۷	۰/۶۷	۰/۶۷	۲	۴	۰/۰۴	۱/۳۹	۱۵/۴
۸	۱۴/۵	۶۰/۲۷	۰/۲۴	۰/۳۵	۰/۳۵	۰/۱۶	۳/۲	۲/۲	۱	۱/۳۹	فاقد قوس
۹	۴۰/۷۶	۵۶/۶۴	۰/۷۱	۱/۰۸	۱/۰۸	۱/۰۸	۵	۴	۰/۰۳	۱/۳۹	۳۴/۳۵
۱۰	۱۱/۶۹	۲۵/۸۶	۰/۴۵	۰/۸۴	۰/۸۴	۰/۸۴	۹	۵	۰/۷	۱/۳۹	۴۲/۰۶
۱۱	۲۳۶/۷	۱۷۴/۸	۱/۳۵	۱/۷۹	۱/۵۱	۱/۶۴	۴/۹	۹	۰/۰۰۰۴	۱/۳۹	۹۳/۲۲
۱۲	۳۴/۰۳	۷۷/۸۸	۰/۴۳	۰/۵۷	۰/۵۷	۰/۵۷	۲	۳/۹	۰/۰۳	۱/۳۹	۰/۰۰۲

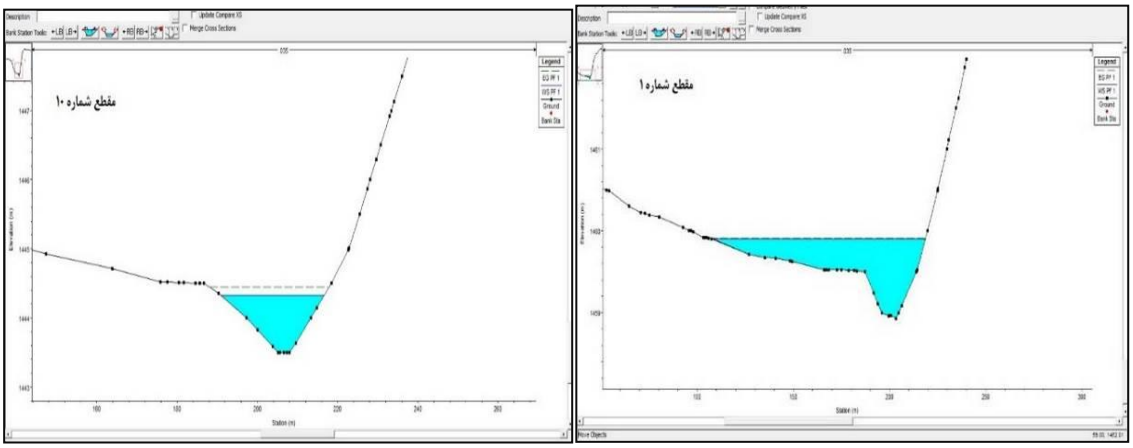
جدول ۳: میزان فرسایش‌پذیری کنارۀ رودخانۀ مِرگ بر اساس شاخص NBS در بازۀ اول

مقاطع عرضی	نسبت شعاع انحنا به عرض دبی لبالبی	میزان فرسایش-پذیری کناره	نسبت حداکثر عمق نزدیک کرانۀ راست به متوسط عمق دبی لبالبی	میزان فرسایش-پذیری کناره	نسبت حداکثر عمق نزدیک کرانۀ چپ به متوسط عمق دبی لبالبی	میزان فرسایش-پذیری کناره
۱	۱/۲	شدید	¾	شدید	۱/۳۷	کم
۲	۱/۲	شدید	۱/۶۹	متوسط	۱/۳۳	کم
۳	۵/۶	خیلی کم	۱/۴	کم	۱/۱	کم
۴	۰/۸۴	کم	۱/۴۲	کم	۱/۷	متوسط
۵	۲/۴	کم	۱/۱۳	کم	۰/۶۵	خیلی کم
۶	۰/۶۵	شدید	۱/۷۸	متوسط	۰/۹۴	خیلی کم
۷	۰/۱۲	شدید	۱/۷۱	متوسط	۱/۷۱	متوسط
۸	----	-----	۱/۴۷	کم	۰/۶۹	خیلی کم
۹	۰/۶	شدید	۱/۵	کم	۱/۵	کم
۱۰	۱/۶۲	خیلی زیاد	۱/۸۵	زیاد	۱/۸۵	زیاد
۱۱	۰/۵۳	شدید	۱/۱۱	کم	۱/۲۱	کم
۱۲	۳/۹۷	خیلی کم	۱/۳	کم	۱/۳	کم

[DOR: 20.1001.1.22517812.1402.13.2.2.6]



شکل ۳: نقشهٔ میزان فرسایش‌پذیری رودخانهٔ مِرگ در بازهٔ اول



شکل ۴: مقاطع انتخابی رودخانهٔ مِرگ در بازهٔ اول



شکل ۵: تصویر مجرای کانال رودخانهٔ مِرگ در بازهٔ اول

بازهٔ دوم: در بازهٔ دوم، متوسط شیب بستر رودخانهٔ مِرگ حدود ۰/۳۴ درصد بود. مقدار ضریب خمیدگی این بخش از رودخانه ــ که جزء رودخانه‌های پیچان‌رودی به شمار می‌رود ــ ۱/۶۴ است. در این بازه نیز دوازده قوس (مقطع) بـرای

[DOR: 20.1001.1.22517812.1402.13.2.2.6]

اندازه‌گیری میزان فرسایش‌پذیری انتخاب شد. اغلب قوس‌ها میزان فرسایش‌پذیری زیادی داشت؛ زیرا سرعت زیاد جریان آب در رأس قوس به فرسایش زیاد منجر شد و پدیدهٔ غالب در دیواره‌های سمت چپ نوع ریزشی بود. قوس‌هایی که میزان فرسایش‌پذیری در آنها زیاد است، این احتمال وجود دارد که در آینده جابه‌جایی در آنها صورت گیرد. این بخش از رودخانهٔ مِرگ نیز نوع رسوبات ریزدانه و یکنواخت از نوع رس و سیلت بود و میزان پایداری بستر و کرانه در این قسمت، براساس نتایج روش خطر فرسایش کرانه به شرح جدول (۴ و ۵) است. همچنین مقایسهٔ خطر فرسایش کرانه در مقاطع مختلف در شکل (۶ و ۷) نشان داده شده‌است.

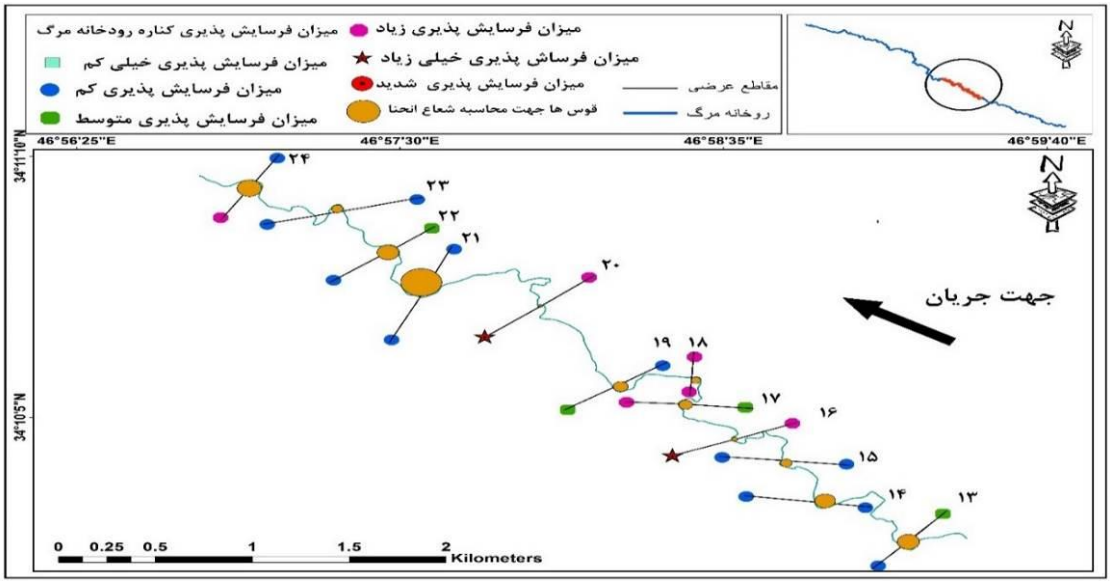
جدول ۴: متغیرهای مؤثر در میزان فرسایش‌پذیری کنارهٔ رودخانهٔ مِرگ بر اساس شاخص NBS در بازهٔ دوم

مقطع عرضی	مساحت مقطع عرضی	عرض دبی لبالبی	متوسط عمق دبی لبالبی به متر	حداکثر عمق دبی لبالبی	حداکثر عمق نزدیک کرانهٔ راست (متر)	حداکثر عمق نزدیک کرانهٔ چپ (متر)	شیب کرانهٔ راست (درصد)	شیب کرانهٔ چپ (درصد)	شیب بستر (درصد)	ضریب خمیدگی	شعاع انحنای قوس
۱۳	۴۸/۲۲	۱۱۳/۹	۰/۴۲	۰/۸۱	۰/۷۷	۰/۵۹	۵	۱	۰/۱	۱/۶۴	۵۷/۳
۱۴	۴۵/۹	۱۷۲/۹	۰/۲۶	۰/۳۵	۰/۳۲	۰/۳۵	۱	۲	۰/۲	۱/۶۴	۵۲/۹
۱۵	۱۲/۲	۴۶/۹	۰/۲۶	۰/۳۷	۰/۳۶	۰/۳۷	۲/۹	۲	۳/۱	۱/۶۴	۲۹/۶۳
۱۶	۴۵/۸۳	۱۳۴/۷۴	۰/۳۴	۰/۸۱	۰/۶۵	۰/۷۳	۱/۲	۱	۰/۱۵	۱/۶۴	۱۵/۱۸
۱۷	۶۳/۸۷	۱۷۹/۲	۰/۳۵	۱/۰۸	۰/۵۱	۰/۷۲	۱/۵	۱/۲	۰/۰۷	۱/۶۴	۳۵/۴۵
۱۸	۱۱/۵۴	۲۵/۶۹	۰/۴۴	۰/۸۸	۰/۸۸	۰/۸۸	۶	۷/۵	۱/۷	۱/۶۴	۲۴/۲
۱۹	۳۲/۵۲	۶۹/۴۷	۰/۴۶	۱/۱۲	۰/۵۱	۰/۸۲	۱۴	۱	۰/۲	۱/۶۴	۳۸
۲۰	۱۴/۳۷	۷۲/۹۶	۰/۱۹	۰/۶۲	۰/۴۲	۰/۵۵	۷	۱	۳	۱/۶۴	۱۰
۲۱	۱۸/۹۱	۳۹/۷	۰/۴۷	۰/۶۳	۰/۶۲	۰/۶۲	۷	۵	۰/۵	۱/۶۴	۱۰۵/۴
۲۲	۲۹/۲۹	۵۲/۱۴	۰/۵۶	۰/۹۶	۰/۹۱	۰/۸۴	۴	۵	۰/۲	۱/۶۴	۵۶/۳۵
۲۳	۱۳/۹۳	۶۸/۰۲	۰/۲۰۴	۰/۲۴۵	۰/۲۴	۰/۲۴	۴	۱/۷	۳	۱/۶۴	۲۹/۷
۲۴	۱۲۰/۹	۰/۴۱	۰/۴۱	۰/۸۹	۰/۴۳	۰/۸۹	۱	۶	۰/۰۹	۱/۶۴	۶۲/۸۳

[DOR: 20.1001.1.22517812.1402.13.2.2.6]

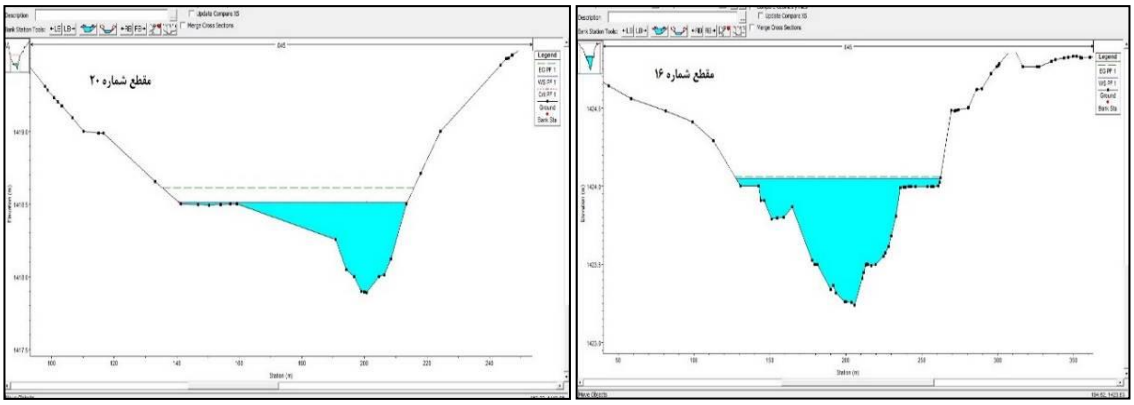
جدول ۵: میزان فرسایش‌پذیری کنارهٔ رودخانهٔ مِرگ بر اساس شاخص NBS در بازهٔ دوم

مقاطع عرضی	نسبت شعاع انحنا به عرض دبی لبالبی	میزان فرسایش-پذیری کناره	نسبت حداکثر عمق نزدیک کرانهٔ راست به متوسط عمق دبی لبالبی	میزان فرسایش-پذیری کناره	نسبت حداکثر عمق نزدیک کرانهٔ چپ به متوسط عمق دبی لبالبی	میزان فرسایش-پذیری کناره
۱۳	۰/۵	شدید	۱/۸۳	متوسط	۱/۳۹	کم
۱۴	۰/۳۰۶	شدید	۱/۲۰۶	کم	۱/۳۱	کم
۱۵	۰/۶۳	شدید	۱/۳۹	کم	۱/۴۱	کم
۱۶	۰/۱۱۲	شدید	۱/۹۱	زیاد	۲/۱۶	خیلی زیاد
۱۷	۰/۱۹	شدید	۱/۷۱	متوسط	۲/۰۴	زیاد
۱۸	۰/۹۴	شدید	۱/۹۵	زیاد	۱/۹۵	زیاد
۱۹	۰/۵۵	شدید	۱/۱	کم	۱/۷	متوسط
۲۰	۰/۱۳	شدید	۲/۱۳	زیاد	۲/۷	خیلی زیاد
۲۱	۲/۶۵	کم	۱/۳۱	کم	۱/۳۱	کم
۲۲	۱/۰۸	شدید	۱/۶۳	متوسط	۱/۴۹	کم
۲۳	۰/۴۳	شدید	۱/۱۹	کم	۱/۱۹	کم
۲۴	۰/۵۱	شدید	۱/۰۲	کم	۲/۱۱	زیاد



شکل ۶: نقشهٔ میزان فرسایش‌پذیری سواحل چپ و راست رودخانهٔ مِرگ در بازهٔ دوم

[DOR: 20.1001.1.22517812.1402.13.2.2.6]



شکل ۷: مقاطع انتخابی رودخانهٔ مِرگ در بازهٔ اول



شکل ۸: تصویر مقاطع رودخانهٔ مِرگ در بازهٔ دوم

بازهٔ سوم: در بازهٔ سوم، رودخانهٔ مِرگ از میان زمین‌های کشاورزی جریان داشت و کاربری در هر دو طرف رودخانه از نوع کشاورزی بود. میزان شیب بستر رودخانهٔ مِرگ در این قسمت ۰/۲ درصد بود و میزان فرسایش‌پذیری کرانه با توجه به شیب و مقاطع انتخابی، در حدود کم تا متوسط برآورد شد. رودخانهٔ مِرگ با ضریب خمیدگی ۱/۷، الگوی کانال پیچان‌رودی داشت و قوس‌ها در حال پیشروی به سمت ساحل راست بود. نتایج حاصل از بررسی ناپایداری کرانهٔ چپ و راست با روش شاخص فرسایش کرانه در جدول (۶ و ۷) و شکل‌های (۹، ۱۰ و ۱۱) ذکر شده‌است.

[DOR: 20.1001.1.22517812.1402.13.2.2.6]

جدول ۶: متغیرهای مؤثر در میزان فرسایش‌پذیری کنارهٔ رودخانهٔ مِرگ بر اساس شاخص NBS در بازهٔ سوم

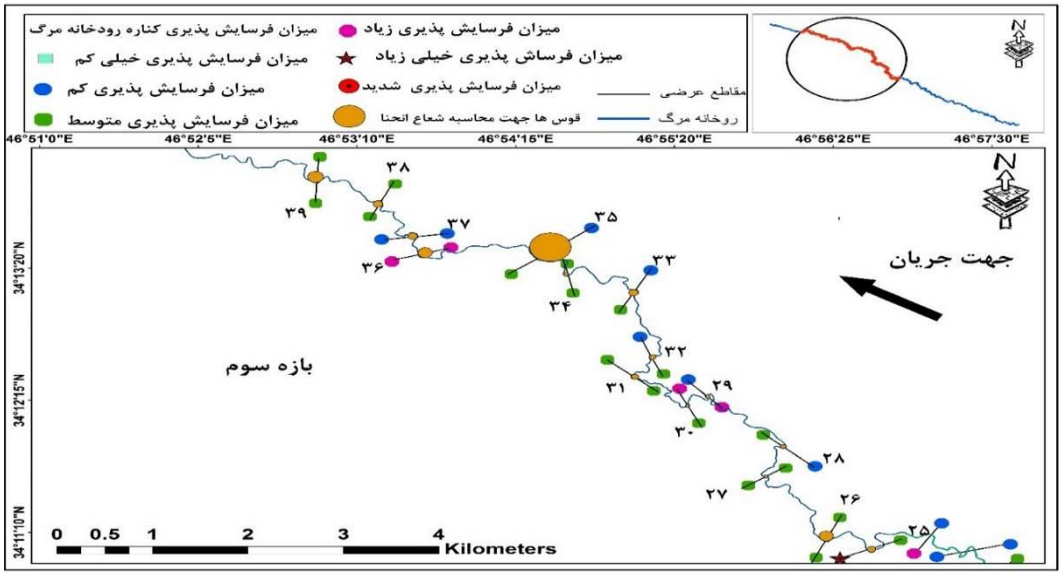
مقطع عرضی	مساحت مقطع عرضی	عرض دبی لبالبی	متوسط عمق دبی لبالبی به متر	حداکثر عمق دبی لبالبی	حداکثر عمق نزدیک کرانهٔ راست (متر)	حداکثر عمق نزدیک کرانهٔ چپ (متر)	شیب کرانهٔ راست (درصد)	شیب کرانهٔ چپ (درصد)	شیب بستر (درصد)	ضریب خمیدگی	شعاع انحنای قوس
۲۵	۲۶/۱۵	۷۰/۹	۰/۳۶	۰/۸۴	۰/۶۳	۰/۸۲	۵	۱	۰/۴	۱/۷	۴۳/۴۲
۲۶	۳۲/۹	۵۳/۶۹	۰/۴۴	۰/۷۲	۰/۷۲	۰/۷۲	۷	۲	۰/۴	۱/۷	۷۵/۳۴
۲۷	۷۲/۹	۱۱۰/۹	۰/۶۵	۱/۳	۱/۱۸	۱/۱۲	۲	۳	۰/۰۳	۱/۷	۱۵/۳۶
۲۸	۱۲۴/۱۷	۱۷۷/۴	۰/۶۹	۱/۴۱	۰/۷۶	۱/۴۱	۱/۶	۹	۰/۰۱	۱/۷	۲۹/۳
۲۹	۴۶/۲	۱۰۷	۰/۴۳	۰/۹۱	۰/۶۸	۰/۸۵	۱/۶	۳	۰/۱	۱/۷	۱۴/۸۱
۳۰	۳۴/۵۷	۸۴/۴	۰/۴۰۹	۰/۷۶	۰/۷۵	۰/۶۹	۴	۱	۰/۲	۱/۷	۲۰/۲۳
۳۱	۳۷/۳۳	۴۸/۹	۰/۷۶	۱/۳۸	۱/۳۴	۱/۳۴	۷	۶	۰/۱	۱/۷	۳۸/۲۹
۳۲	۱۰/۷۳	۲۵/۱۳	۰/۴۲	۰/۶۸	۰/۶۶	۰/۶۱	۱۳	۵	۲	۱/۷	۳۳/۸
۳۳	۱۶/۴	۳۰/۴۳	۰/۵۴	۰/۹۱	۰/۷۹	۰/۸۳	۶	۱۰/۸	۰/۶	۱/۷	۴۸/۹
۳۴	۵۷/۴۸	۴۷/۲۷	۱/۲۱	۲/۱۱	۲/۰۲	۲/۰۹	۱۱	۱۰	۰/۰۱	۱/۷	۲۶/۶۰
۳۵	۲۴	۳۲/۳۹	۰/۷۴	۱/۱۹	۱/۱۷	۱/۲۴	۱۰	۸/۶	۰/۲	۱/۷	۲۱۶/۴۳
۳۶	۲۳/۶۳	۳۰/۵۹	۰/۷	۱/۵	۱/۵	۱/۵	۱۱	۱۱	۰/۲	۱/۷	۷۴/۸
۳۷	۲۹/۸۴	۳۹/۳۹	۰/۷۵	۱/۳۱	۱/۰۸	۱/۰۳	۷	۷	۰/۱	۱/۷	۴۹/۹
۳۸	۴۷/۰۵	۷۱/۴۲	۰/۶۵	۱/۱۹	۱/۱۹	۱/۱۹	۲	۷	۰/۰۶	۱/۷	۵۰/۶
۳۹	۲۹/۳۶	۴۹/۸۵	۰/۵۸	۰/۹۴	۰/۹۱۷	۰/۹۶	۱۲	۳	۰/۱	۱/۷	۸۲/۸

جدول ۷: میزان فرسایش‌پذیری کنارهٔ رودخانهٔ مِرگ بر اساس شاخص NBS در بازهٔ سوم

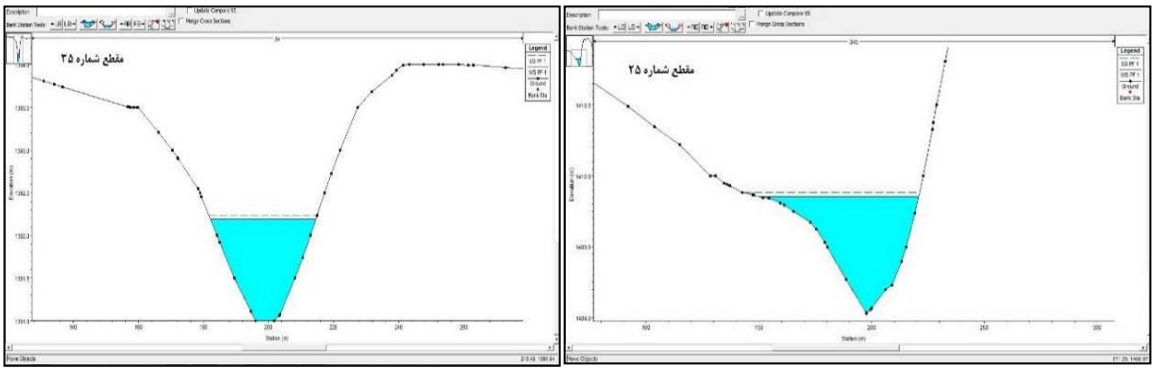
مقاطع عرضی	نسبت شعاع انحنا به عرض دبی لبالبی	میزان فرسایش- پذیری کناره	نسبت حداکثر عمق نزدیک کرانهٔ راست به متوسط عمق دبی لبالبی	میزان فرسایش- پذیری کناره	نسبت حداکثر عمق نزدیک کرانهٔ چپ به متوسط عمق دبی لبالبی	میزان فرسایش- پذیری کناره
۲۵	۰/۶۱	شدید	۱/۷۲	متوسط	۲/۲	خیلی زیاد
۲۶	۱/۴	شدید	۱/۶۱	متوسط	۱/۶۱	متوسط
۲۷	۰/۱۳	شدید	۱/۷۹	متوسط	۱/۷	متوسط
۲۸	۰/۱۶	شدید	۱/۰۹	کم	۱/۶۵	متوسط
۲۹	۰/۱۳	شدید	۱/۵۷	کم	۱/۹۸	زیاد
۳۰	۰/۲۳	شدید	۱/۸۳	زیاد	۱/۷۰	متوسط
۳۱	۰/۷۸	شدید	۱/۷۵	متوسط	۱/۷۵	متوسط
۳۲	۱/۳۴	خیلی زیاد	۱/۵۴	متوسط	۱/۴۳	کم
۳۳	۱/۶	خیلی زیاد	۱/۴۶	کم	۱/۵۴	متوسط
۳۴	۰/۵۶	شدید	۱/۶	متوسط	۱/۷۱	متوسط
۳۵	۶/۶۸	خیلی کم	۱/۵۷	کم	۱/۶	متوسط

[DOR: 20.1001.1.22517812.1402.13.2.2.6]

۳۶	۲/۴	کم	۱/۹۵	زیاد	۱/۹۵	زیاد
۳۷	۱/۲۶	شدید	۱/۴۲	کم	۱/۳۵	کم
۳۸	۰/۷	شدید	۱/۸	متوسط	۱/۸	متوسط
۳۹	۱/۶	خیلی زیاد	۱/۵	متوسط	۱/۶	متوسط



شکل ۹: نقشهٔ میزان فرسایش‌پذیری سواحل چپ و راست رودخانهٔ مِرگ در بازهٔ سوم



شکل ۱۰: مقاطع انتخابی رودخانهٔ مِرگ در بازهٔ اول



شکل ۱۱: تصویر مجرای کانال رودخانهٔ مِرگ در بازهٔ سوم

بازهٔ چهارم: تعداد مقاطع مورد مطالعه در بازهٔ چهارم، پنج عدد و رودخانه در این بازه دارای ضریب انحنای ۱/۲ بود و بر طبق تقسیم‌بندی لئوپولد، الگوی مستقیم داشت (Hosseinzadeh & Esmaeli, 2015). همچنین میزان شیب

[DOR: 20.1001.1.22517812.1402.13.2.2.6]

متوسط بستر رودخانه در حدود ۰/۱۷ درصد است. با توجه به بررسی‌های میدانی در این بازه، دیوارهٔ ساحل چپ و راست رودخانه تقریباً قائم، نوع رسوبات دیواره یکنواخت و ریز دانه متشکل از رس و سیلت و بر اساس روش شاخص فرسایش کرانه، میزان فرایش‌پذیری آن در این بخش به صورت کم و متوسط است. گسترش ساخت و سازهای غیر اصولی در حریم رودخانهٔ مِرگ، تبدیل قوس‌های پیچانرود به زمین‌های کشاورزی، تغییر کاربری زمین حاشیهٔ رودخانه و وجود سازندهای فرسایش‌پذیر، علل کاهش میزان ضریب خمیدگی و تشکیل الگوی مستقیم در این بازه است. نتایج میزان فرسایش‌پذیری کرانه با استفاده از روش خطر فرسایش کرانه در این بازه در جدول‌های (۸ و ۹) و شکل‌های (۱۲، ۱۳ و ۱۴) ارائه شده‌است.

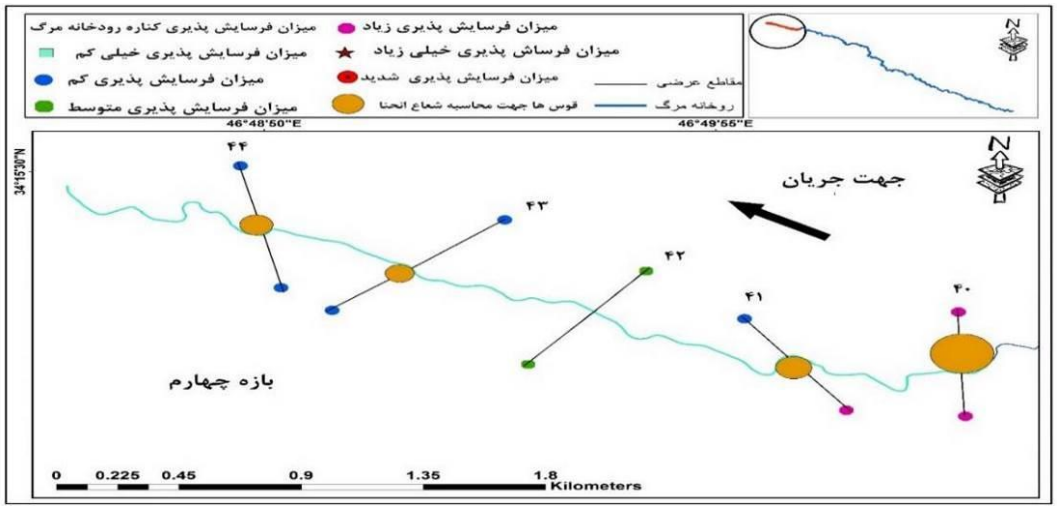
جدول ۸: متغیرهای مؤثر بر میزان فرسایش‌پذیری کنارهٔ رودخانهٔ مِرگ بر اساس شاخص NBS در بازهٔ چهارم

مقطع عرضی	مساحت مقطع عرضی	عرض دبی لبالبی	متوسط عمق دبی لبالبی به متر	حداکثر عمق دبی لبالبی	حداکثر عمق نزدیک کرانهٔ راست (متر)	حداکثر عمق نزدیک کرانهٔ چپ (متر)	شیب کرانهٔ راست (درصد)	شیب کرانهٔ چپ (درصد)	شیب بستر (درصد)	ضریب خمیدگی	شعاع انحنای قوس
۴۰	۴۱/۳۷	۳۴/۹۵	۰/۹۴	۱/۷۸	۱/۷۸	۱/۷۸	۱۲	۶	۰/۰۸	۱/۲	۱۱۶/۷
۴۱	۲۷/۸۹	۴۰/۴۳	۰/۶۸	۱/۰۴	۰/۹۳	۱/۰۷	۵	۸	۰/۲	۱/۲	۶۶/۱۴
۴۲	۵۱/۳۸	۴۲/۸۸	۱/۱۹	۱/۸۸	۱/۸۲	۱/۸۱	۱۲	۱۰/۹	۰/۰۳	۱/۲	فاقد قوس
۴۳	۴۵/۳۵	۴۵/۵۴	۰/۹۹	۱/۵۸	۱/۳۵	۱/۳۵	۸	۱۰/۲	۰/۰۶	۱/۲	۵۳/۰۹
۴۴	۲۶/۹۵	۴۵/۰۱	۰/۵۹	۰/۹۴	۰/۸۶	۰/۸۱	۶	۵	۰/۳	۱/۲	۶۰/۵۳

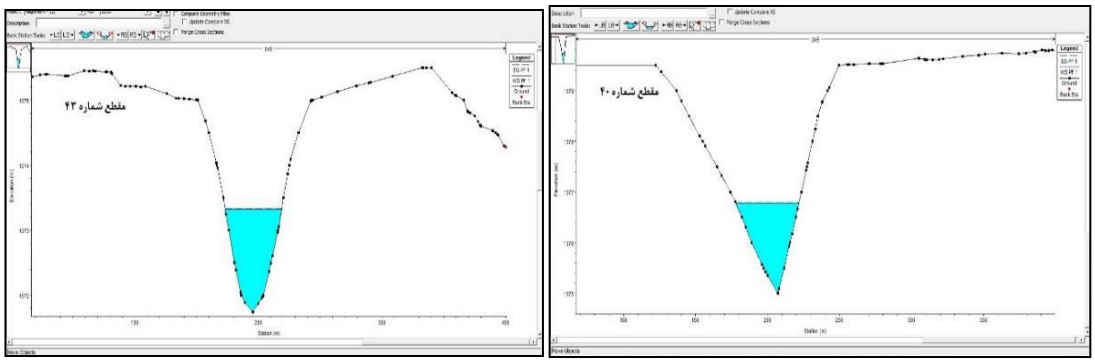
جدول ۹: میزان فرسایش‌پذیری کنارهٔ رودخانهٔ مِرگ بر اساس شاخص NBS در بازهٔ چهارم

مقاطع عرضی	نسبت شعاع انحنا به عرض دبی لبالبی	میزان فرسایش‌پذیری کناره	نسبت حداکثر عمق نزدیک کرانهٔ راست به متوسط عمق دبی لبالبی	میزان فرسایش‌پذیری کناره	نسبت حداکثر عمق نزدیک کرانهٔ چپ به متوسط عمق دبی لبالبی	میزان فرسایش‌پذیری کناره
۴۰	۲/۶۵	کم	۱/۸۹	زیاد	۱/۸۹	زیاد
۴۱	۱/۶۳	خیلی زیاد	۱/۳۴	کم	۱/۵۵	متوسط
۴۲	فاقد قوس	فاقد قوس	۱/۵۱	متوسط	۱/۵۱	متوسط
۴۳	۱/۱۶	متوسط	۱/۳۵	کم	۱/۳۵	کم
۴۴	۱/۳۴	کم	۱/۴۴	کم	۱/۳۶	کم

[DOR: 20.1001.1.22517812.1402.13.2.2.6]



شکل ۱۲: نقشهٔ میزان فرسایش‌پذیری سواحل چپ و راست رودخانهٔ مِرگ در بازهٔ چهارم



شکل ۱۳: مقاطع انتخابی بازهٔ سوم رودخانهٔ مِرگ

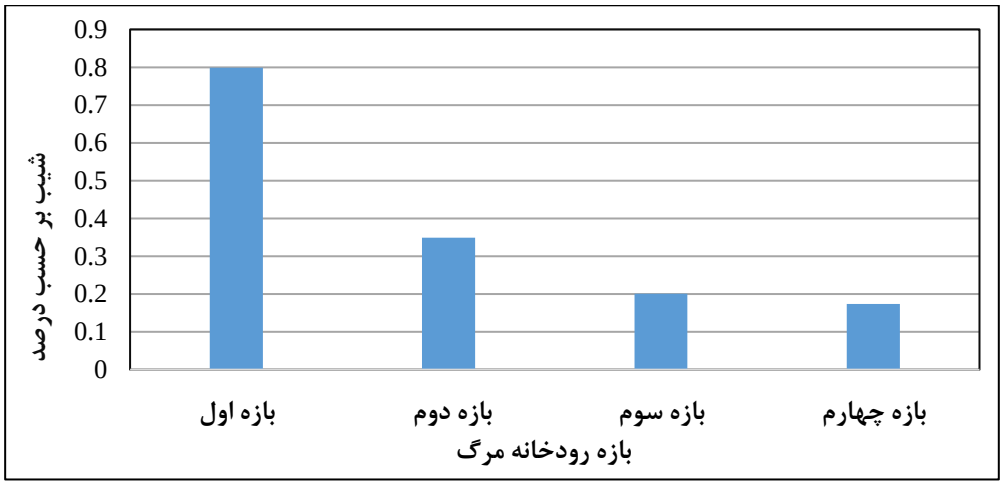


شکل ۱۴: تصویر مجرای کانال رودخانهٔ مِرگ در بازهٔ چهارم

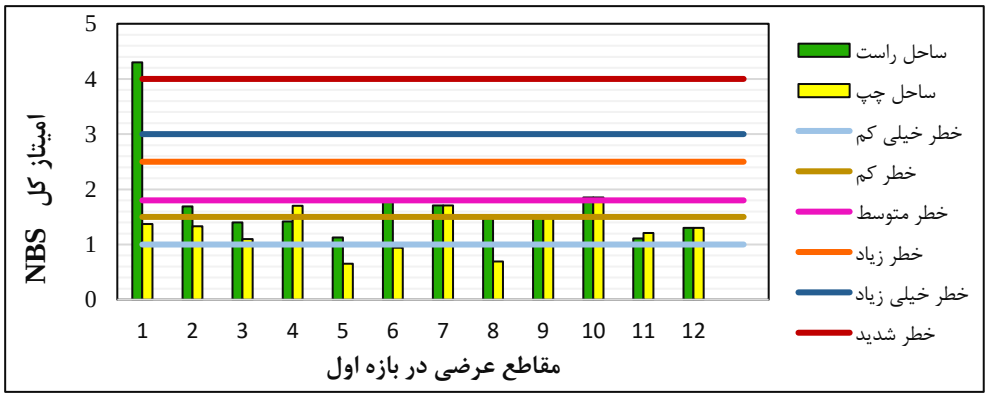
مدل تنش نزدیک کناره، بیانگر توزیع نامناسب انرژی یک منطقهٔ کناره و ساحل رودخانه است و تغییرات در تنش کناره می‌تواند فرسایش کنارهٔ کرانه‌رود را افزایش دهد (Rosgen, 2011). با توجه به محاسبات انجام شده و نتایج محاسبه شده از نسبت شعاع انحنا به عرض دبی لبالبی، میزان فرسایش‌پذیری کنارهٔ رودخانه مِرگ را از شدید تا خیلی کم نشان می‌دهد. در بازهٔ دوم و سوم، فراوانی خطر متوسط و زیاد افزایش می‌یابد. در این بازه‌ها ضریب خمیدگی بیش از سایر بازه‌ها است که در بازهٔ دوم ۱/۶۴ و در بازهٔ سوم ۱/۷ است (جدول ۵ و ۷). براساس شاخص نسبت حداکثر عمق

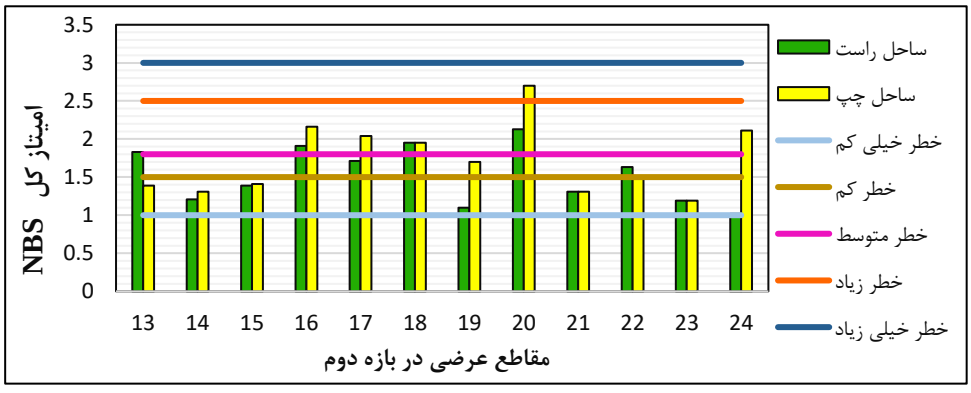
[DOR: 20.1001.1.22517812.1402.13.2.2.6]

نزدیک کناره به متوسط عمق دبی لبالبی، میزان فرسایش‌پذیری کناره در سمت راست رودخانه با شدت و ضعف کم و بیش متفاوت با روند فرسایشی محاسبه شده از شاخص اول (نسبت شعاع انحنا به عرض دبی لبالبی) در بازه‌های دوم و سوم تا حدودی هم‌خوانی دارد. با توجه به شاخص نسبت حداکثر عمق نزدیک کناره به متوسط عمق دبی لبالبی، میزان فرسایش‌پذیری در کل بازهٔ رودخانهٔ مِرگ بیشترین فراوانی را فرسایش کم، متوسط و زیاد دارد و بیشترین میزان فرسایش متمرکز به ساحل سمت چپ است. دلیل این امر نیز تفاوت در مورفولوژی خود کانال، تفاوت شیب است همچنین با توجه به اینکه فرایندهای فرسایشی در طول مسیر رودخانه در بازه‌های مختلف به واسطهٔ ویژگی‌های ژئومورفیک متغیر بوده‌است، دانست (شکل‌های ۱۵، ۱۶ و ۱۷).

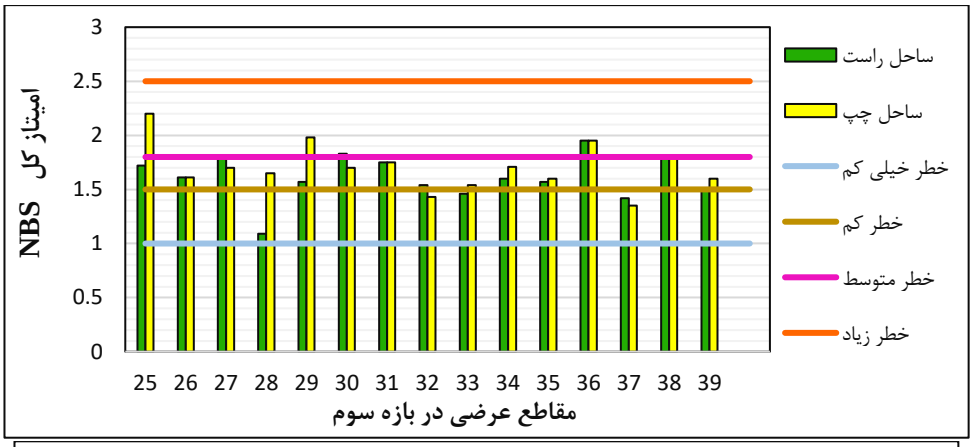


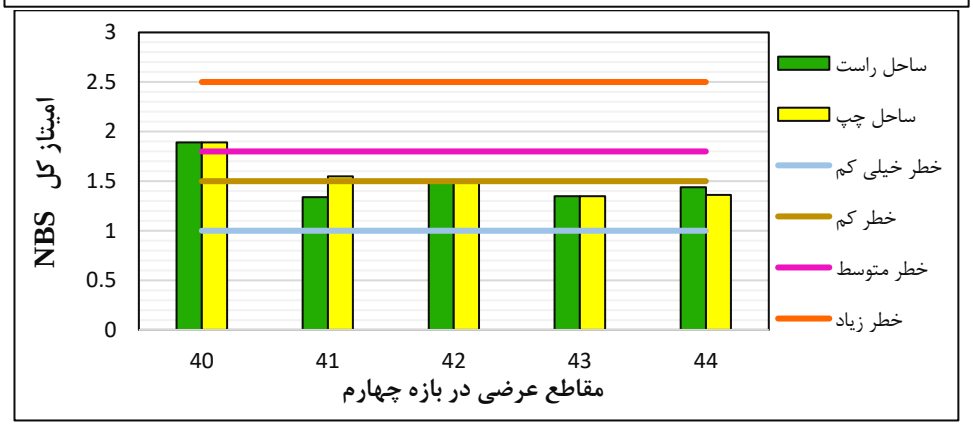
شکل ۱۵: میزان شیب بستر بازه‌های مختلف رودخانهٔ مِرگ بر حسب درصد



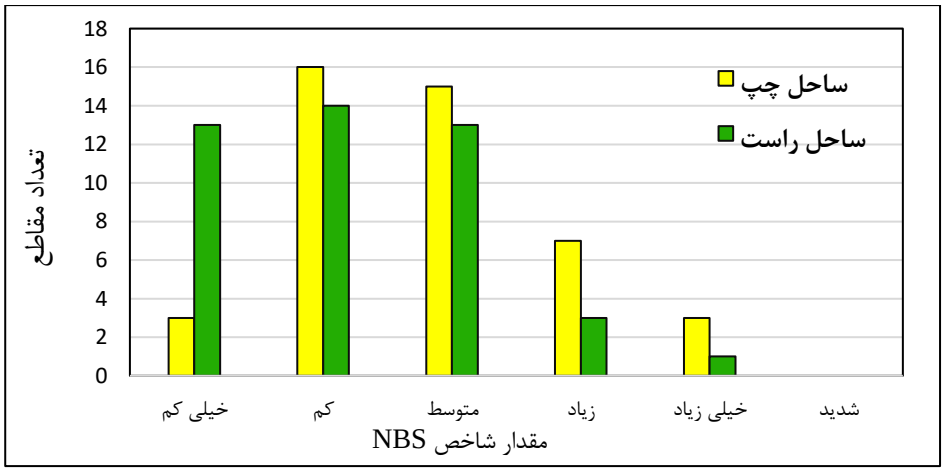


[DOR: 20.1001.1.22517812.1402.13.2.2.6]





شکل ۱۶: نمودار رده‌بندی تنش نزدیک کناره (NBS) در کنارهٔ راست و چپ مقاطع مورد مطالعه در بازه‌های مختلف



شکل ۱۷: نمودار فراوانی مقاطع در کلاس‌های مختلف فرسایش مدل NBS

۵ـ بحث و نتیجه‌گیری

ارزیابی فشار برشی نزدیک کناره در پیش‌بینی فرسایش اهمیت زیادی دارد؛ به طوری که توزیع انرژی جریان را در مقطع عرضی مجرا نشان می‌دهد و این توزیع نامتناسب انرژی می‌تواند به فرسایش کناره منجر شود. در این پژوهش، مورفولوژی رودخانهٔ مِرگ ماهیدشت به چهار بازه تقسیم می‌شود. بازهٔ مورد مطالعه، ۲۸ کیلومتر و میانگین ضریب خمیدگی کل بازهٔ مورد مطالعه ۱/۵ است که پیچ و خم‌دار بودن رودخانه مِرگ را نشان می‌دهد. با توجه به شاخص تقسیم‌بندی رودخانه بر حسب ضریب خمیدگی (Brierley and Fryirs, 2005)، رودخانه مِرگ در نمای کلی پیچان-رودی است. مطالعهٔ خطر فرسایش‌پذیری کناره در بخش‌های مختلف رودخانه (۴۴ مقطع انتخابی) نشان می‌دهد که در

[DOR: 20.1001.1.22517812.1402.13.2.2.6]

بازۀ اول، میزان فرسایش‌پذیری کناره کم تا شدید است. علت این امر، افزایش شیب در این بازه نسبت به سایر بازه‌ها است. در بازۀ دوم، میزان فرسایش‌پذیری در حدود متوسط تا زیاد محاسبه می‌شود و غالب قوس‌ها فرسایش‌پذیری زیادی دارد. در بازۀ سوم، اغلب مقاطع در گروه فرسایش‌پذیری متوسط قرار دارد و در بازۀ چهارم با توجه به الگوی سینوسی رودخانه و شیب کم آن، میزان فرسایش‌پذیری کم است. در بازۀ دوم و سوم به این دلیل که میزان ضریب خمیدگی به ترتیب ۱/۶۴ و ۱/۷ است، میزان فرسایش‌پذیری نیز افزایش می‌یابد. در مقایسۀ دو روش استفاده شده برای تحلیل فرسایش رودخانۀ مِرگ، نشان می‌دهد که میزان خطر فرسایش در تمامی قوس‌ها در محدودۀ الگوی پیچان‌رودی فرسایش زیادی دارد و دلیل آن، تشدید تنش هیدرولیکی در این بازه‌ها است. همچنین در بازه‌های دوم و سوم، میانگین فرسایش کناره به صورت متوسط تا زیاد محاسبه می‌شود که علت این امر، کاهش شیب (که با توجه به پروفیل طولی رودخانۀ مِرگ میانگین شیب ۰/۲۳ درصد است)، کاهش پوشش گیاهی، افزایش الگوی پیچان‌رودی بودن و تغییر کاربری و تبدیل زمین‌های اطراف رودخانه به کاربری کشاورزی در این بازه‌ها است. مقایسۀ نتایج به دست آمده از روش‌های مختلف برآورد خطر فرسایش کرانه با مشاهدات میدانی نشان داد که روش نسبت حداکثر عمق نزدیک کناره به متوسط عمق دبی لبالبی در رودخانۀ مِرگ ماهیدشت، به واقعیت نزدیک‌تر است. برای بررسی میزان فرسایش-پذیری کناره نیز مناسب‌تر و نتایج به واقعیت نزدیک‌تر است.

منابع

1. Allmanova, Z.; Vlckova, M.; Jankovský, M.; Allman, M.; & J. Merganič, 2021. How can stream bank erosion be predicted on small water courses? Verification of BANCS model on the Kubrica watershed, *International Journal of Sediment Research*, 36(3), 419-429.

2. Beaudry, F., 2019. How sediment causes pollution? ThoughtCo. Retrieved from: https://www.thoughtco.com/water-pollution-sediment-1204128. (Accessed 19 August 2019).

3. Bandyopadhyay, S.; Ghosh, K.; & S. Kumar De, 2014. A proposed method of bank erosion vulnerability zonation and its application on the River Haora, Tripura, India, *Geomorphology*, 224 111-121.

4. Brierley, G. J. L., & K. Fryirs, 2005. Geomorphology and river management application of the river style framework, Blackwell Publishing, Malden, MA, 398 pages. https://doi.org/10.1111/j.1541-0064.2007.00168_1.x.

5. Easterbrook, D. J., 1999. Surface processes and landforms. Upper Saddle River. New Jersey: Prentice Hall. Upper Saddle River, New Jersey: Prentice Hall, 2nd ed. 546 pages.

6. Faizullahpour, M.; & K. Ahmadi, 2019. Analysis of lateral erosion risk using BSTEM model in Kotar river basin, *Quarterly Journal of Natural Environment Hazards*, 8(21), 41 - 61. *(*In Persian*).*

7. Florsheim, J. L.; Mount, J. F.; & A. Chin, 2008. Bank erosion as a desirable attribute of rivers, *BioScience*, 58(6), 519-529.

8. Hosseinzadeh, M. M., & R. Esmaeli, 2015. Fluvial geomorphology concepts, froms and processes. Puplisher Shahid Beheshti University Publication. 336 pages. (In Persian).

9. Hosseinzadeh, M. M.; Khaleghi, S.; & F. vahedifar, 2017. Evaluation of morphological changes and stability of Qaranqo Chai Hashtrood river using BEHI model, *Scientific Journal of Hydrogeomorphology*, 4(10), 145-164. (In Persian).

10. Hosseinzadeh, M. M.; & S. pasha, 2021. Investigation of erosion susceptibility of Qazvin Haft Cheshmeh river banks using near-edge stress (NBS), *Quarterly Journal of Geography and Environmental Planning*, 32(2), 103-118. (In Persian).

[DOR: 20.1001.1.22517812.1402.13.2.2.6]

11. Hyrman, J., 2009. Posouzení stability svahu jílovitých zemin. Bachalor thesis. Brno, Czech Republic: P rirodov edeck a Fakulta Masarykovy Univerzity v Brn e. Retrieved from https://is.muni.cz/th/a65by/Reserse_Hyrman.pdf. (Accessed 15)
12. Jacobson, R. B.; Femmer, S. R.; & R. A, McKenney, 2001. Land-use changes and the physical habitat of streams — a review with emphasis on studies within the US Geological Survey Federal — State Cooperative Program. Circular 1175, 131-152 (US Geological Survey. Reston, VA). Columbia Environmental Research Center
13. Lane, E. W.; 1955. The importance of alluvial morphology in hydraulic engineering, *Geology*, 81, 1- 21.
14. Lawler, D. M.; 1995. The impact of scale on the processes of channel-side sediment supply: A conceptual model, *International Association of Hydrological Sciences Publication*, 226, 175-186.
15. Melki, A.; Hesadi, H.; & P. Naderian, 2018. Location of the artificial feeding of the aquifer in the Mergh watershed, *Geographical research*, 24(1), 53-78. (In Persian)
16. Panahi, R.; Moshashaee, M.; & M. Moshashaie, 2022. The Simulation of Mereg river floods using HEC_RAS hydraulic model (Case study: the distance between Dar Amroud Olya and Chalabeh Sofla villages, Mahidasht catchment, Kermanshah Province), *Journal of Earth Science Researches*, 12(48), 68-85. (In Persian)
17. Rostami, M.; Hosseinzadeh, M. M.; & R. Ismaili, 2021. Evaluation and estimation of river erosion risk using BANCS model (Case study: Vaz river in Mazandaran province, *Quarterly Journal of Echo Hydrology*, 8(3), 707-716. (In Persian).
18. Rosgen, D. L., 1996. Applied river morphology, Wildland Hydrology Books, Pagosa Springs, 6-42 pages.
19. Rosgen, D. L., 1999. Development of a river stability index for clean sediment TMDL's. In: Olsen DS, Potyondy JP (eds) Proceedings of wildland hydrology, AWRA, Bozeman, 25-36 pages.
20. Rosgen D. L., 2001. A practical method of computing Streambank erosion rate, 7th Federal Interagency Sediment conference, March, Reno, Nevada, 1-10.
21. Rosgen, D.L.; 2011. Watershed assessment of river stability and sediment supply (WARSSS), *Wildland Hydrology, Fort Collins, Colorado*, 32, 69-93.
22. Sass, Ch. K., 2011. Evaluation and development of predictive streambank erosion curves for northeast Kansas using Rosgen's" BANCS" methodology. Ph.D. dissertation. Manhattan, KS, U.S.: Environmental Design and Planning Program, Kansas State.221 pages.
23. Valipour, T.; Hosseinzadeh, M. M.; Esmaili, R.; & S. Metash Biranvand, 2021. Study of margin erosion and its effective factors in Lavij river (Mazandaran province, Chamestan), *researches in Geographical Sciences*, 20(59), 119-136. (In Persian).
24. Wilkes, M. A.; Gittins, J. R.; Mathers, K. L.; Mason, R.; Casas-Mulet, R.; Vanzo, D.; Mckenzie, M.; Murray-Bligh, J.; England, J.; Gurnell, A.; & J. I. Jones, 2019. Physical and biological controls on fine sediment transport and storage in rivers, *Wiley Interdisciplinary Reviews: Water*, 6(2), 1-21.
25. Willett, C. D, 2010. Streambank erosion and risk assessment of contaminant transport in Missouri watersheds. M.S. Thesis. MO, U.S: Department of Soil, Environmental and Atmospheric Sciences, University of Missouri e Columbia. Retrieved from. https://mospace.umsystem.edu/xmlui/handle/10355/8113. (Accessed 15).
26. Yerramilli, S. A.; 2012. Hybrid Approach of Integrating HEC-RAS and GIS Towards the Identification and Assessment of Flood Risk Vulnerability in the City of Jackson, MS, *American Journal of Geographic Information System*, 1(1), 7-16.

[DOR: 20.1001.1.22517812.1402.13.2.2.6]

Investigation of bank erosion the Mereg Mahidasht River

Roya Panahi[1]: *Ph.D. in Geomorphology, Faculty of Earth Sciences, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran*
Mohammad Mahdi Hosseinzadeh: *Associate Professor, School of Earth Sciences, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran*
Seyed Meysam Moshashaie: *Expert in River Engineering, Navandish Water Processors Consulting Engineers Company, Kurdistan, Iran*

Article History (Received: 2021/12/24 Accepted: 2022/11/14)



Extended abstract

1- Introduction

The U. S. Environmental Protection Agency lists sediment as the most common pollutant in rivers, streams, lakes, and reservoirs defined bank erosion as a natural geomorphic process or disturbance that occurs during or soon after floods. By producing sediment load, it causes pollution and reduces the quality of drinking water. In addition to that channel enlargement, bank instability, degradation of physical habitat and numerous other geomorphic responses accelerate the process of bank erosion Bank degradation is the result of a process that combines the erosive power of water and the effect of gravity. Bank erosion is one component of the natural disturbance regime of river systems and is integral to long-term geomorphic evolution of fluvial systems and ecological sustainability. Bank erosion is, therefore, a desirable attribute of rivers. In this study, Near bank stress (NBS) Rosgen shore for a part of Mereg Mahidasht river has been investigated. Mereg River Due to its location at high altitudes, high length and variable width, its meandering pattern and flood nature have been prominent features of this river. To suffer from general and localized erosion during floods and to reduce possible damages in the future by examining the erodible points

2- Methodology

In order to conduct erosion studies, first a digital model of the altitude of the region, a 1: 1000 map of the region that covers the river and part of the flood plain has been used. The first stage was preparation of input data in ArcGIS using the HECGeoRAS extension. HEC-GeoRAS helps in creation of the data needed for the HEC-RAS model and the transfer of data between ArcGIS and HEC-RAS. The next stage was done within HEC-RAS (5.0.3) using the river geometry prepared in the previous stage. The final stage consists of analyzing the results from the HEC-RAS model within ArcMap. Three input parameters must be specified: stream geometry, flow data, and the model plan to create the flood and inundation maps of the Mereg river in HEC-RAS. In order to create the river geometry for HEC-RAS, elevation data were needed. High resolution digital elevation model was obtained from 1:1000 topographic map that was prepared by Navandish Water Processors Consulting Engineers Company Company. The HEC-GeoRAS extension was used to set up the necessary features that would be needed for the HEC-RAS model (i.e., stream centerline, bank lines, cross sections, etc.). In addition to elevations, Manning's roughness coefficient values were applied to each cross sections using Cowan method. 44 sections of different river sections were selected and measurements were performed in HEC-RAS environment. And then , for bank stability from the Near bank stress (NBS) Rosgen NBS method is used. Two Rosgen methods have been used: (ii) Ratio of radius of curvature to bank-full width & (iii) Ratio of near-bank maximum depth to bank-full mean depth

3- Results

According to the morphology and meandering pattern of the Mereg River, the total reach is 28 km and It is divided into four reach.

[1] **Corresponding Author: R_Panahi@sbu.ac.ir**

[DOR: 20.1001.1.22517812.1402.13.2.2.6]

First reach: To study method of Near bank stress. In the first reach, 12 cross sections have been selected. In the first part, the river has a radius of curvature of 1.39. Bank Erosion of the Mereg River was low to severe in the first period.

Second reach: the average slope of the Merege River channel was 0.34%. The value of the radius of curvature is 1.64, which is considered as a meandering river. In this reach, 12 cross section have been selected to measure the degree of erodibility. Most arches were highly erodible.

Third reach: The slope of the canal in this part is 0.2%. The Mereg River has a radius of curvature of 1.7 and has a meandering pattern. And the rate of erosion of the shore in this section is estimated to medium or less.

Fourth reach: The number of cross section studied in the fourth reach is 5 and this reach of the river has a radius of curvature of 1.2 and has a straight pattern. The rate of bank erosion has been low and medium.

4- Discussion & Conclusions

Comparison of the two methods used to analyze the erosion of the Mereg River shows that the risk of erosion in all arches in the range of the river has been high erosion. And the reason is the intensification of hydraulic stress in these reaches. In the second and third reaches, the average bank erosion is calculated as medium to high. The reason for this is the reduction of the slope, which according to the longitudinal profile of the Mereg River, the average slope was 0.23%. In addition, there is a decrease in vegetation, an increase in the pattern of river winding and change of use and conversion of lands around the river to agricultural use in these periods.

Comparison of the results obtained from different methods of estimating the risk of erosion with field observations showed that Ratio of near-bank maximum depth to bank-full mean depth in the river Mereg Mahidasht was closer to reality and It is suitable for checking the degree of erodibility of the bank

Key Words: bank stability, Near bank stress (NBS), Mereg River.

[DOR: 20.1001.1.22517812.1402.13.2.2.6]