نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، سال بیستم، شماره ۵۹، زمستان ۹۹

مطالعه فرسایش‌پذیری کناره و عوامل مؤثر بر آن در رودخانه لاویج (استان مازندران، چمستان)

دریافت مقاله: ۹۷/۷/۱۶ **پذیرش نهایی**: ۹۷/۱۲/۲۶

صفحات: ۱۳۶-۱۱۹

طاهرولی پور: دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.
Email: t_valipour@sbu.ac.ir

محمد مهدی حسین زاده: دانشیار ژئومورفولوژی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.[۱]
Email: m_hoseinzadeh@sbu.ac.ir

رضا اسماعیلی: دانشیار ژئومورفولوژی، دانشکده علوم انسانی و اجتماعی، دانشگاه مازندران، بابلسر ، ایران.
Email: r.esmaili@umz.ac.ir

سعیده متش بیرانوند: دکتری ژئومورفولوژی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.
Email: S64.biranvand@gmail.com

چکیده

عقب‌نشینی کناره کانال یک فرآیند مهم در مورفودینامیک رودخانه است که تغییرپذیری کانال، تکامل دشت سیلابی و توسعه زیستگاه‌ها را تحت تأثیر قرار می‌دهد. هرساله سازه‌های عمرانی و زمین‌های کشاورزی که حاشیه رودخانه لاویج قرار دارند با خطرات ناشی از تغییر بستر مواجه‌اند. ازاین‌رو وجود روشی قابل‌اعتماد برای تعیین میزان عقب‌نشینی و پیش‌بینی پایداری کناره ضروری به نظر می‌رسد. در این مطالعه باهدف بررسی میزان خطر فرسایش کناری و شناسایی مناطق مستعد فرسایش کناری در رودخانه لاویج، با استفاده از مدل‌های BEHI و NBS خطرپذیری فرسایش کناری در ۷ مقطع از این رودخانه بررسی شد.نتایج مدل NBS با استفاده از شاخص(tnb/tbkf) نشان داد میزان فرسایش‌پذیری کناره رودخانه لاویج در تمام بازه‌های مورد مطالعه، به‌جز مقاطع ۲و۶ همه مقاطع دارای شدت فرسایش خیلی زیاد و زیاد می‌باشند. بر اساس شاخص (dnb/dbkf) میزان فرسایش‌پذیری کناره رودخانه لاویج به‌جز مقاطع ۴و۵ تقریبا با روند فرسایشی به‌دست‌آمده از شاخص اول (tnb/tbkf) هم‌خوانی دارد. بر اساس مدل BEHI مقاطع ۱،۳،۴،۵ و۶ وضعیت ناپایداری کناره را زیاد نشان می‌دهند و استعداد زیادی برای فرسایش کناری و تولید رسوب دارند. همچنین مقطع ۲وضعیت ناپایداری را متوسط نشان می‌دهدمقطع ۷ و ۲ وضعیت ناپایداری خیلی زیاد را نشان می‌دهد که استعداد خیلی زیاد برای فرسایش کناره‌ای و تولید رسوب دارد. درنهایت جهت بررسی میزان انطباق نتایج با استفاده از آزمون آماری کروسکال-والیس باهم برازش داد شد و نتایج نشان داد هر سه شاخص در ارزیابی فرسایش کناری در هر مقطع تقریبا یکسان عمل کرده‌اند.

کلید واژگان: فرسایش کناری رودخانه، مدل BEHI ، مدل NBS، رودخانه لاویج، آزمون آماری کروسکال- والیس

---

۱. **نویسنده مسئول:** تهران، اوین، دانشگاه شهید بهشتی. دانشکده علوم زمین، گروه جغرافیا

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1399.20.59.7.4]
[DOI: 10.29252/jgs.20.59.119]

مقدمه

رودخانه‌ها سیستم‌های کاملاً پویایی هستند که مرزهای جانبی و مشخصات مورفولوژیکی آن‌ها در طول زمان و پیوسته در حال تغییرند. ناپایداری مجرا و سواحل رودخانه و رسوبات ناشی از آن نه‌تنها موجب تخریب اراضی حاشیه رودخانه و تأسیسات مجاور ساحل رودخانه می‌شود(کسلر وهمکاران[۱]،۲۰۱۳:۱۸۰)، بلکه رسوبات حاصل از فرسایش رودخانه‌ای در برخی مواقع میزان قابل‌توجهی از مجموع کل رسوباتی را شامل می‌شود که جریان رود آن را حمل می‌کند. ناپایداری مجرا و سواحل رودخانه به دلیل تأثیرگذاری بر میزان فرسایش و خصوصیات مجاری رودخانه‌ها به دلیل تأثیرگذاری بر میزان فرسایش در توسعه پهنه سیلابی و مدیریت منابع آب اهمیت دارد(مینگوی وهمکاران[۲]،۲۰۱۰:۳۹۸). فرسایش کناری رود یکی از علل عمده آلودگی غیر نقطه‌ای منابع آب و افزایش بار رسوب در بسیاری از رودخانه‌ها است (رزگن[۳] ، ۲۰۰۱؛ سایمون ودربی[۴]،۱۹۹۹:۱۸؛سکلی وهمکاران[۵]،۲۰۰۲:۵۴۵؛اونس وهمکاران[۶]،۲۰۰۶:۹۵؛ ویلسون و همکاران[۷]،۲۰۰۸:۵۲۹). مطالعات متعددی فرسایش کناره‌ای را به‌عنوان عامل اصلی مسائل مختص به کیفیت آب و تخریب رودخانه‌ها(سایمون و همکاران[۸]،۲۰۰۲: ۵۳۰؛ پروسر و همکاران[۹]، ۲۰۰۱: ۸۲؛ گریمشاو و همکاران[۱۰]،۱۹۸۰:۱۶۰)؛و منبع اصلی بار رسوبات معلق رودخانه دانسته‌اند (توما و همکاران[۱۱] ۲۰۰۵:؛ کسلر و همکاران،۲۰۱۳:۳۱۲؛ بلمونت[۱۲] و همکاران،۲۰۱۱:۸۸۰۵)در سراسر جهان روش‌های مختلفی برای بررسی میزان فرسایش کناره‌ای رودخانه استفاده شده است. تصاویر سنجنده لیدار، پین‌های فرسایشی، رادیونوکلوئیدها، دندروژئومورفولوژی و مدل‌های عددی و بصری همگی به‌منظور برآورد فرسایش کناره‌ای رودخانه استفاده شده‌اند.

امروزه مشکلات مرتبط با فرایندهای فرسایش کرانه رود در نواحی مختلف دنیا بسیار مهم قلمداد می‌شود(داپورتو[۱۳] و همکاران،۲۰۱۳:۱۳۰۳) و در طول دهه‌های اخیر افزایش‌یافته است(رینالد و سایمون[۱۴]،۱۹۹۸:۵۸). مطالعه ناپایداری کرانه رود از اواخر ۱۹۶۰(لوهنس و هندی[۱۵]،۱۹۶۸:۲۴۹)و به‌ویژه از

۱ Kessler et al.,
۲ Minghui et al.,
۳ Rosgen
۴ Simon and Darby
۵ Sekely et al.,
۶ Evans et al.,
۷ Wilson et al.,
۸ Simon et al.,
۹ Prosser et al.,
۱۰ Grimshaw et al.,
۱۱ Thome
۱۲ Belmont et al.,
۱۳ Dapporto et al.,
۱۴ Rinaldi and Simon
۱۵ Lohnes and Handy

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1399.20.59.7.4]
[DOI: 10.29252/jgs.20.59.119]

اوایل ۱۹۸۰ (تورن[۱]، ۹۷:۱۹۹۲ و ۱۹۹۸؛ سایمون و همکاران[۲]، ۱۵:۱۹۹۱؛ عثمان و تورن[۳]، ۱۳۰:۱۹۸۸؛ لیتل و همکاران[۴] ، ۱۹۸۲و۱۳۲۵:۱۹۹۶؛ تورن و همکاران۱۹۸۱) به‌طور ویژه بر مواد تشکیل‌دهنده کرانه متمرکز شده‌اند. یکی از ویژگی‌های مهم فرسایش کرانه‌ای رود نسبت به دیگر شکل‌های فرسایش، تداوم و فعال بودن آن است، درحالی‌که انواع دیگر فرسایش فقط در زمان بارندگی و یا کمی پس از شروع آن فعال می‌شوند.وجود روش‌های قابل‌اعتماد برای پیش‌بینی پایداری کناره و میزان عقب‌نشینی آن ضروری به نظر می‌رسد.در سال‌های اخیر استفاده از مدل‌های عددی جهت پیش‌بینی تحرک کانال و درنتیجه برآورد میزان فرسایش‌پذیری کانال پیشرفت‌های زیادی داشته است. شاخص خطر فرسایش کناری یک فرآیندی یکپارچه جهت ارزیابی آسیب‌پذیری فرسایش کناری رودخانه با استفاده از متغیرهایی مختلف می‌باشد،که نرخ فرسایش را برای ما محاسبه می‌کند. ارزیابی فشار برشی نزدیک کناره در پیش‌بینی فرسایش بسیار بااهمیت است به‌طوری‌که نشان‌دهنده توزیع انرژی جریان در مقطع عرضی مجرا می‌باشد و این توزیع نامتناسب انرژی جریان می‌تواند منجر به فرسایش کناره شود. دو گروه از عوامل در فرسایش آبی نقش دارند که عبارت‌اند از: عوامل فرسایندگی و عوامل فرسایش‌پذیری. عوامل فرسایندگی شامل نیروهایی هستند که موجب جدا شدن ذرات خاک از هم می‌شوند که در مورد فرسایش کناری رودخانه‌های دائمی مقدار آب، عمق جریان، سرعت، فراوانی و بزرگی و تداوم جریان و مقدار رسوبات موجود آب در میزان فرسایش آبی دخالت دارد.

عوامل فرسایش‌پذیری عواملی هستند که در برابر جدا شدن ذرات خاک مقاومت می‌کنند و بیشتر شامل ویژگی‌های خاک ازجمله اندازه ذرات خاک، ویژگی‌های تشکیل کلوخه، چسبندگی ذرات خاک، ساختمان خاک، ظرفیت نفوذ و کلوئیدهای موجود در خاک است. عوامل دیگری مانند توپوگرافی، پوشش گیاهی و بهره‌برداری از زمین نیز در فرسایش‌پذیری خاک مهم است (حسین‌زاده و اسماعیلی، ۶۷:۱۳۹۴). حوضه آبخیز لاویج رود با مساحت ۱۴۶ کیلومترمربع از حوضه‌های مستقل البرز شمالی است. همه‌ساله سازه‌ها و زمین‌های کشاورزی مجاور رودخانه در این حوضه با خطر تغییر بستر رودخانه و فرسایش کناری و همچنین سیلاب مواجه هستند. ازاین‌رو تخمین جابه‌جایی الگوی این رودخانه و همچنین تعیین شاخص فرسایش کناری این رودخانه ضروری به نظر می‌رسد.

روش‌های مختلفی برای محاسبه تنش برشی نزدیک کناره وجود دارد در این مقاله از روش روسگن با عنوان روش تنش برشی نزدیک کرانه (NBS) و شاخص خط فرسایش کرانه(BEHI) استفاده‌شده است. تاکنون تحقیقات زیادی توسط محققان داخلی و خارجی در زمینه‌ی ناپایداری و فرسایش کرانه‌ای رودخانه و مدیریت حفاظت از کرانه‌ها انجام‌گرفته است. ازجمله:کریشنا وهمکاران[۵] (۲۰۱۶)به اعتبار سنجی مدلBANCSجهت

۱ Thorne
۲ Simon et al.,
۳ Osman and Torne
۴ Little et al.,
۵ Krishna et al.,

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1399.20.59.7.4]
[DOI: 10.29252/jgs.20.59.119]

ارزیابی پتانسیل خطر فرسایش کرانه رودخانه بکر شوار در هند شرقی پرداختند نتایج نشان داد که مقدار شاخص خطر فرسایش کرانه در قسمت‌های بالادست و محل تلاقی بالاست اما مقدار تنش برشی نزدیک کرانه کمتر است. کانسولر و همکارانش[۱](۲۰۱۵) تغییرات مکانی در مقاومت کناره‌ها به فرسایش در مئاندرهای بزرگ در رودخانه آبرفتی –کوهستانی را با استفاده از مدل BSTEM و تصاویر لیدار برای ارزیابی پتانسیل خصوصیات مواد کناری برای تعدیل نسبت و مکانیسم عقب‌نشینی کناره رودخانه را بررسی کردند. نتایج نشان داد که خصوصیات مواد کناری،چسبندگی خاک وتنش برشی بحرانی بین دو خم (پیچ) متفاوت و تغییرات زیادی بین دوپیچ در حالت‌های عمودی و جانبی دارد. دلی و همکاران[۲] (۲۰۱۵) از مدل BSTEM برای تعیین عوامل مؤثر بر فرسایش کناره رودخانه‌ای و گسیختگی، استفاده کردند و اندازه‌ی عقب‌نشینی را باگذشت زمان (دوره‌ی زمانی ۲۰۰۳تا۲۰۱۰) در رودخانه‌ی بارن فورک کریک در اوکلاهامای غربی برآورد کردند. نتایج نشان داد که نسبت عقب‌نشینی حدود ۴/۱تا۷۴/۸(به‌طور میانگین برابر با ۴۹/۲)در ده نقطه‌ی موردبررسی، متغیر بوده است. کوریت[۳] (۲۰۱۴)به تحلیل و ارزیابی کانال با روش پیامدهای منبع غیر نقطه‌ای رسوب (BANCS)برای پیش‌بینی فرسایش و پایداری کرانه‌ی رودخانه در استونی کلوو کریک در کت اسکیلز پرداخته است. این مطالعه نشان داد که نتایج به‌دست‌آمده از طریق روش BANCSممکن است منجر به بهبود مدیریت آینده‌ی حوضه‌ی استونی کلوو شود. کوان و سوانسن[۴](۲۰۱۴) به پیش‌بینی فرسایش سالانه کرانه رودخانه با استفاده از شاخص خطر فرسایش کرانه و روش تنش برشی نزدیک کرانه برای جنگل ملیسکوایا در کالیفرنیا پرداختند. کارماکر وهمکارانش[۵] (۲۰۱۳) گزارش دادند در محل‌هایی از رودخانه آبرفتی که گسیختگی کناری غالب است،فرسایش نشستی عامل مهمی در گسیختگی کناری است که اغلب نادیده گرفته می‌شود.بر این اساس رابطه‌ای بین نسبت فرسایش نشتی و متغیرهای کنترل‌کننده با استفاده از آزمایش‌های لیسمتری برقرار کردند.نتایج نشان داد که افزایش تعداد لایه‌های سیلتی در پروفیل کناره رودخانه سبب اثر معنادار در زمان تخریب کناره رودخانه دارد.نسبت فرسایش نشتی پیش‌بینی‌شده توسط مدل مطابقت زیادی با میزان عقب‌نشینی اندازه‌گیری شده نشان داده است. میدگلی وهمکارانش[۶] (۲۰۱۲) با استفاده از مدل BSTEM عقب‌نشینی دیواره کناری رودخانه Fork Creek Barren در شمال شرق اوکلاهاما در فاصله زمانی آپریل تا اکتبر ۲۰۰۹را پیش‌بینی کردند.نتایج نشان داد که بیشترین میزان عقب‌نشینی جانبی رودخانه در اواسط تا اواخر ماه می تا سپتامبر به علت رگبارهای سیلابی اتفاق افتاده است. مدل BSTEM برای رودخانه مطالعه شده هشت مرتبه با داده‌های ورودی

---

۱ Konsoer et al.,

۲ Daly et al.,

۳ Coryat et al.,

۴ Kwan and Swanson

۵ Karmakera et al.,

۶ Midgley et al.,

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1399.20.59.7.4]
[DOI: 10.29252/jgs.20.59.119]

پیش‌فرض و اندازه‌گیری شده مدل‌سازی شد. نتایج نشان داد که مدل یاد شده میزان فرسایش واقعی را کمتر از میزان واقعی تخمین زده است . پارکر و همکارانش (۲۰۰۸) اثر تغییرپذیری خصوصیات مواد کناری رودخانه را روی پایداری رودخانه با استفاده از مدل BSTEM بررسی کردند. نتایج نشان داد که هیچ اختلاف معناداری بین تغییرات درون مکانی (مقیاس میکرو) و بین مکانی (مقیاس مزو)در خصوصیات مواد کناری وجود ندارد.درحالی‌که هردو اثر معناداری روی پایداری کناری رودخانه دارند. راسگن(۲۰۰۱) در پژوهشی برای ارزیابی مدل‌های پایداری کانال رود در منطقه چشمه پاسوگا برای ارزیابی و پیش‌بینی فرسایش کناره‌ای و نیز میزان رسوب از طبقه‌بندی سلسله مراتبی راسگن استفاده کرده است و با بهره‌گیری از متغیرهایی چون تغییرات در شاخص‌های کنترل فرم کانال رود در درجه اول و رژیم رسوب، پوشش گیاهی و تغییرات فیزیکی این محدوده در درجه دوم این سیستم طبقه‌بندی را مورد اعتبارسنجی قرار داده است. حسین‌زاده و همکاران (۱۳۹۶) در تحقیقی به‌منظور ارزیابی تغییرات موررفولوژیک و پایداری رودخانه قرانقوچای هشترود با استفاده از مدل شاخص خطر فرسایش کرانه پرداختند که نتایج نشان داد که فرسایش کناره ای در هر دو کناره راست و چپ مقاطع عرضی وجود دارد به‌طوری‌که در کناره سمت راست رودخانه، میزان خطر فرسایش در تمامی مقاطع از متوسط تا خیلی زیاد است و فقط دریکی از مقاطع میزان خطر فرسایش خیلی کم بوده و همچنین در کناره‌های چپ رودخانه در مقاطع مذکور میزان خطر فرسایش کناره از خیلی کم تا شدید برآورد شده است. علت بالا بودن ضریب خطر فرسایش در کناره سمت راست، پایین بودن میزان تراکم ریشه در ساحل راست و جنس سست مواد نسبت به ساحل چپ است. امیری تکلدانی وهمکاران(۱۳۸۵) با استفاده از داده‌های جمع‌آوری شده از ۵۱ محل در مسیر رودخانه می‌سی‌سی‌پی،مدل تحلیل پایداری ساحل رودخانه(EMSAR) را ارائه دادند. هدف این مطالعه، بررسی میزان خطر فرسایش کناری رودخانه و شناسایی مناطق مستعد در برابر فرسایش کـناری در ۷ سایت با استفاده از مدل‌های شاخص خطر فرسایش کرانه و تنش برشی نزدیک کرانه در رودخانه لاویج است.

روش تحقیق

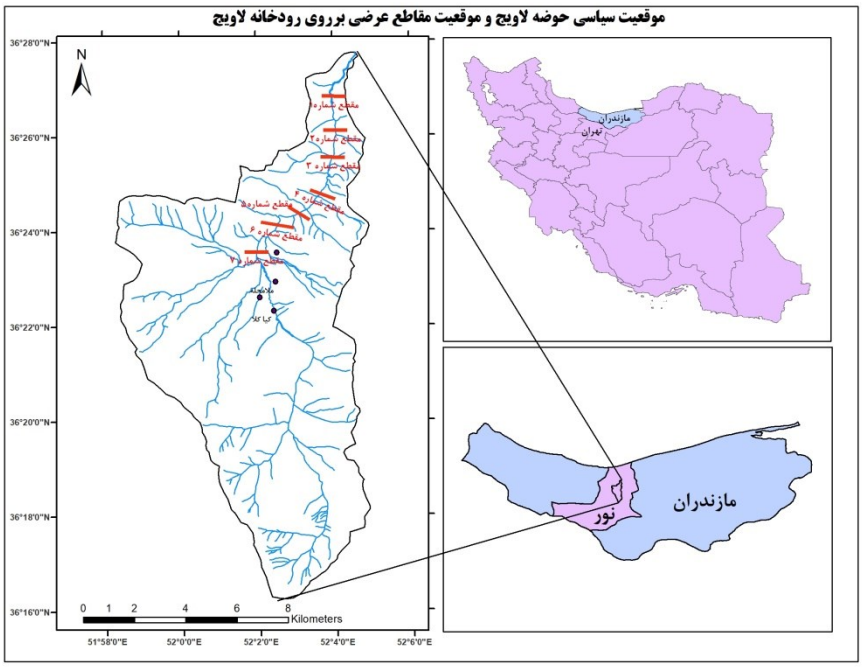
معرفی منطقه مورد مطالعه

حوضه آبخیزلاویج در دامنه‌های شمالی رشته‌کوه البرزدرجنوب شهر چمستان واقع‌شده است.ازنظر تقسیمات سیاسی،این حوضه در شهرستان نورازاستان مازندران قرار دارد شکل(۱). حوضه دارای جهت شمالی- جنوبی می‌باشدوسطح اساس رودخانه‌های این حوضه دریای خزراست.حوضه آبخیز لاویج از غرب به حوضه گلندرود،از شرق به حوضه واز و از جنوب به حوضه آبخیز هراز منتهی می‌شود. رود مهم حوضه آبخیز لاویج نام دارد؛ سه رود کوچک‌تر به نام‌های نومه‌هراز، تیلن‌رود و کرچی‌رود در قسمت داخلی منطقه لاویج جریان دارند که در پای ارتفاعات شمالی و در مدخل تنگه لاویج، رودخانه لاویج‌رود را بوجود می‌آوردند. میانگین دبی سالانه رودخانه

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1399.20.59.7.4]
[DOI: 10.29252/jgs.20.59.119]

لاویج m^3/s ۱/۲۴ بوده است. حداکثر میانگین دبی ماهانه این رودخانه مربوط به ماههای فروردین و اسفند می‌باشد که ناشی از ذوب برف‌ها است.

منطقه مورد مطالعه در پایین‌دست حوضه آبریز لاویج رود و در محدوده پارک جنگلی کشپل واقع‌شده است. جهت بررسی میزان خطر فرسایش کناری و شناسایی مناطق مستعد فرسایش کـناری رودخانه لاویج با استفاده از مدل‌های BEHI و NBS هفت مقطع عرضی با استفاده از دوربین نقشه‌برداری و شاخص تهیه شد شکل(۱).



شکل(۱) موقعیت جغرافیایی حوضه آبخیز لاویج و موقعیت مقاطع عرضی بر روی رودخانه

شاخص خطر فرسایش کناره(BEHI)

شاخص خطر فرسایش کناری یک فرآیندی یکپارچه جهت ارزیابی آسیب‌پذیری فرسایش کناری با استفاده از متغیرهایی است که نرخ فرسایش را تحت تأثیر قرار می‌دهند. شاخص خطر فرسایش کناره چندین متغیر را به‌واسطه ارزیابی‌های بصری مطرح می‌کند، که نسبت و میزان فرسایش کناری را در مناطق مستعد فرسایش نشان می‌دهند.هفت متغیر جهت ارزیابی وجود دارد و فرآیند نمره دهی به این هفت پارامتر قابل‌اندازه‌گیری بر مبنای ۱ تا ۱۰ می‌باشد، عدد ۱ حساسیت کم در مقابل فرسایش و عدد ۱۰ حساسیت و استعداد زیاد به فرسایش را نشان می‌دهد.

پارامترهای مدل شاخص خطر فرسایش کناره عبارت‌اند از:

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1399.20.59.7.4]
[DOI: 10.29252/jgs.20.59.119]

۱- مطالعه و بررسی نسبت ارتفاع کناره به ارتفاع دبی مقطع پر ۲-عمق ریشه ۳-وزن تراکم ریشه (به درصد) ۴- زاویه کناره (به درجه) ۵- محافظت سطحی کناره۶-تعدیل و تنظیم مواد کناره ۷- طبقه‌بندی مواد کناره این امتیازات جهت تعیین نمره کلی به هم اضافه‌شده و نمره کامل به دست می‌آید، بنابراین تمامی متغیرها از وزن یکسانی جهت امتیازدهی برخوردار هستند. این نمرات عددی به یک میزان در امتیازبندی توصیفی برای میزان حساسیت کناره‌ها به فرسایش مربوط می‌شوند.در جدول(۱) شاخص‌های مدل شاخص خطر فرسایش کناره و راهنمای نمره دهی به شاخص‌ها آمده است. در جدول(۲) نیز نحوه توصیف مقدار فرسایش با توجه به مجموع نمرات قابل‌ملاحظه است.

جدول(۱). خلاصه شاخص خطر فرسایش کناره(BEHI)

راهنمای امتیازدهی خطر فرسایش کرانه رودخانه						
طبقه‌بندی خطر فرسایش		ارتفاع کرانه/ارتفاع دبی مقطع پر	عمق ریشه/ارتفاع کرانه	تراکم ریشه(%)	زاویه کرانه (درجه)	حفاظت سطحی (%)
خیلی کم	مقدار	۱-۱,۱	۰,۹-۱	۸۰-۱۰۰	۰-۲۰	۸۰-۱۰۰
	شاخص	۱-۱,۹	۱-۱,۹	۱-۱,۹	۱-۱,۹	۱-۱,۹
کم	مقدار	۱,۱۱-۱,۱۹	۰,۸۹-۰,۵	۵۵-۷۹	۲۱-۶۰	۵۵-۷۹
	شاخص	۲-۳,۹	۲-۳,۹	۲-۳,۹	۲-۳,۹	۲-۳,۹
متوسط	مقدار	۱,۲-۱,۵	۰,۳-۰,۴۹	۳۰-۴۵	۶۱-۸۰	۳۰-۵۴
	شاخص	۴-۵,۹	۴-۵,۹	۴-۵,۹	۴-۵,۹	۴-۵,۹
زیاد	مقدار	۱,۶-۲	۰,۱۵-۰,۲۹	۱۵-۲۹	۸۱-۹۰	۱۵-۲۹
	شاخص	۶-۷,۹	۶-۷,۹	۶-۷,۹	۶-۷,۹	۶-۷,۹
خیلی زیاد	مقدار	۲,۱-۲,۸	۰,۰۵-۰,۱۴	۵-۱۴	۹۱-۱۱۹	۱۰-۱۴
	شاخص	۸-۹	۸-۹	۸-۹	۸-۹	۸-۹
شدید	مقدار	۲,۸<	۰,۰۵<	۵ >	۱۱۹<	۱۰>
	شاخص	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰

جدول(۲. طبقه‌بندی پتانسیل فرسایش کرانه

توصیف	مقادیر عددی
استعداد فرسایش خیلی کم	۵-۹,۵
استعداد فرسایش کم	۱۰-۱۹,۵
استعداد فرسایش متوسط	۲۰-۲۹
استعداد فرسایش بالا	۳۰-۳۹
استعداد فرسایش خیلی بالا	۴۰-۴۵
استعداد فرسایش بیش‌ازحد	۷۰-۴۶

مدل تنش برشی نزدیک کرانه(NBS)

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1399.20.59.7.4]
[DOI: 10.29252/jgs.20.59.119]

ارزیابی فشار برشی نزدیک کناره در پیش‌بینی فرسایش بسیار بااهمیت است به‌طوری‌که نشان‌دهنده توزیع انرژی جریان در مقطع عرضی مجرا می‌باشد و این توزیع نامتناسب انرژی جریان می‌تواند منجر به فرسایش کناره شود. یکی از روش‌های محاسبه تنش برشی نزدیک کناره روش روسگن با عنوان تنش برشی نزدیک کرانه است. پارامترهای مورداستفاده برای ارزیابی و تخمین تنش برشی نزدیک کرانه عبارت‌اند از:

۱- الگوی مجرا و ارزیابی بارها ۲ - نسبت شعاع انحناء به عرض مقطع پر ۳- نسبت شیب خیزاب به میانگین شیب سطح آب ۴- نسبت شیب خیزاب به شیب تنداب ۵- نسبت حداکثر عمق نزدیک کرانه به متوسط عمق مقطع پر ۶- نسبت تنش برشی نزدیک کناره به تنش برشی مقطع پر ۷- گرادیان سرعت (کوریات[1]، ۲۰۱۴)

با توجه به ویژگی‌های کناره جریان رودخانه لاویج دو روش نسبت تنش برشی نزدیک کناره به تنش برشی مقطع پر و نسبت حداکثر عمق نزدیک کرانه به متوسط عمق مقطع پر (d_{nb}/d_{bkf}) جهت اجرای این مدل انتخاب شد.

مراحل کار به این صورت است که پس از جمع‌آوری داده‌ها و اندازه‌گیری ابعاد هندسی مقاطع مختلف و پارامترهای موردنیاز،(با استفاده از دوربین نقشه‌برداری ،شاخص اندازه‌گیری،متر لیزری، شیب‌سنج و مشاهده چشمی و رابطه ریاضی) بر اساس این روش‌ها میزان فرسایش‌پذیری کناره رودخانه در سطوح مختلف از خیلی کم تا شدید تعیین می‌گردد. در جدول(۳) میزان فرسایش‌پذیری کرانه برحسب مقدار دو روش از مدل تنش برشی نزدیک کرانه آمده است.

جدول(۳). حدود تغییرات شاخص‌های مؤثر در میزان فرسایش کناره (راسگن،۲۰۱۱)

نسبت تنش برشی نزدیک کرانه به تنش برشی دبی مقطع پر	نسبت حداکثر عمق نزدیک کرانه به متوسط عمق مقطع پر $(\frac{d_{nb}}{d_{bkf}})$	میزان فرسایش‌پذیری کرانه (NBS)
کمتر از ۰،۸۰	کمتر از ۱	خیلی کم
۰،۸۰-۱،۰۵	۱-۱/۵	کم
۱،۰۶-۱،۱۴	۱/۵۱-۱/۸۰	متوسط
۱،۱۵-۱،۱۹	۱/۸۱-۲/۵۰	زیاد
۱،۲۰-۱،۶۰	۲/۵۱-۳	خیلی زیاد
بیشتر از ۱،۶۰	بیشتر از ۳	شدید

در انتها با استفاده از آزمون کروسکال-والیس که یک آزمون غیرپارامتریک و از سری آزمون‌های آنالیز واریانس است برای مقایسه تفاوت و عدم تفاوت بین شاخص خطر فرسایش کناره و شاخص‌های تنش برشی نزدیک کرانه رابطه(۱) استفاده شده است.

رابطه (۱)

$$H0 = BEHI = NPS$$
$$H1 = BEHI \neq NPS$$

۱ Coryat

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1399.20.59.7.4]
[DOI: 10.29252/jgs.20.59.119]

نتایج

در این مطالعه جهت تشخیص حساسیت کناره رودخانه لاویج نسبت به فرسایش از مدل‌های ارزیابی تنش نزدیک کناره و شاخص تعیین خطر فرسایش کناره استفاده شد.این مدل‌ها با در نظر گرفتن چندین متغیر از طریق ارزیابی بصری و نسبت‌های ارزیابی حساسیت کناره‌ها نسبت به فرسایش را تعیین می‌کنند. برای انجام این کار هفت مقطع عرضی از رودخانه انتخاب گردید. در ابتدا جمع‌آوری داده و اندازه‌گیری‌های اولیه برای هر مقطع انجام شد.سپس مقادیر نسبت‌های تعریف‌شده در هر دو مدل،برای هرکدام از مقاطع، محاسبه‌شده و با استفاده از راهنمای تنش نزدیک کرانه و شاخص تعیین خطر فرسایش کناره، امتیازات هرکدام از پارامترها تعیین و با جمع امتیازات پارامترها، میزان خطر فرسایش کناره و ناپایداری کناره تعیین شد. در مدل تنش برشی نزدیک با توجه به ویژگی‌های کناره کانال رودخانه لاویج در این تحقیق دو روش نسبت تنش برشی نزدیک کناره به تنش برشی مقطع پر و نسبت حداکثر عمق نزدیک کرانه به متوسط عمق مقطع پر (d_{nb}/d_{bkf})انتخاب شد. بر اساس داده‌های جمع‌آوری‌شده از مقاطع مختلف، میزان فرسایش‌پذیری کناره رودخانه لاویج در سطوح مختلف اندازه‌گیری شد که نتایج این برآورد طبق حدود تغییرات شاخص‌های مؤثر در فرسایش کناره‌ای درروش تنش نزدیک کناره در جدول(۴)و شکل (۲) نشان داده‌شده است.

جدول(۴). میزان فرسایش‌پذیری رودخانه لاویج بر اساس شاخص *NBS*

مقطع عرضی	نسبت تنش برشی نزدیک کرانه به تنش برشی دبی مقطع پر	NBS	نسبت حداکثر عمق نزدیک کرانه به متوسط عمق مقطع پر $(\frac{d_{nb}}{d_{bkf}})$	NBS
۱	۱,۴۸	خیلی زیاد	۲,۱۲	زیاد
۲	۱,۰۶	متوسط	۱,۵	متوسط
۳	۱,۶۰	خیلی زیاد	۲	زیاد
۴	۱,۳۳	خیلی زیاد	۱,۲۲	کم
۵	۱,۱۸	زیاد	۱,۲۸	کم
۶	۰,۹۵	کم	۱,۶۱	متوسط
۷	۱,۴۶	خیلی زیاد	۲,۲	خیلی زیاد

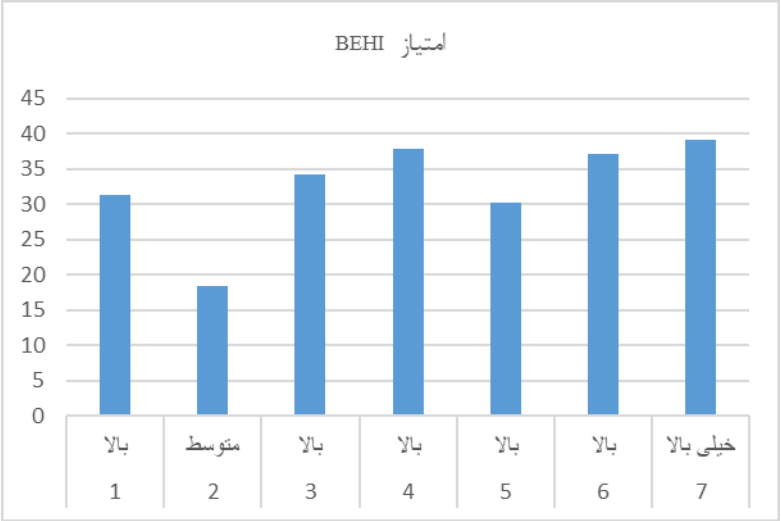
شکل(۲). نمودار تغییرات شاخص‌های NBS در مقاطع عرضی

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1399.20.59.7.4]
[DOI: 10.29252/jgs.20.59.119]

در روش شاخص خطر فرسایش کناره بر اساس داده‌ها و اطلاعات جمع‌آوری‌شده از کناره هر مقطع، اقدام به محاسبه نسبت‌های مورد نیاز در مدل شاخص خطر فرسایش کناره (ارتفاع و زاویه کرانه، ارتفاع دبی مقطع پر،عمق و تراکم ریشه و محافظت سطحی کرانه) شد، سپس مقادیر به‌دست‌آمده، جهت امتیازدهی و مشخص نمودن میزان خطر فرسایش کناره با استفاده از راهنمای خطر فرسایش که توسط راسگن(۲۰۰۱) طراحی‌شده است سنجیده شده و امتیاز هرکدام از پارامترها مشخص شد، در نهایت با جمع‌کردن امتیازات تمامی پارامترها، امتیاز کل شاخص خطر فرسایش کناره محاسبه و میزان خطر فرسایش کناره در مناطق مستعد فرسایش برای کناره مقاطع مختلف در جدول(۵) و شکل(۳) نشان داده شده است.

جدول(۵). نتایج کلی روش BEHI در رودخانه لاویج

مقطع عرضی	امتیاز BEHI	خطر فرسایش کناره
۱	۳۱,۲۷	بالا
۲	۱۸,۴	متوسط
۳	۳۴,۳	بالا
۴	۳۷,۹	بالا
۵	۳۰,۲۶	بالا
۶	۳۷,۱	بالا
۷	۳۹,۲	خیلی بالا



شکل(۳). نمودار تغییرات روش BEHI در مقاطع عرضی

با توجه به داده‌های جمع‌آوری‌شده و نتایج به‌دست‌آمده از نسبت تنش برشی نزدیک کرانه به تنش برشی دبی مقطع پر، میزان فرسایش‌پذیری کناره رودخانه لاویج در تمام مقاطع مورد مطالعه، به‌جز مقاطع ۲و۶ دارای شدت خیلی زیاد و زیاد می‌باشد.مقطع شماره ۲دارای شدت متوسط و مقطع شماره ۶ دارای شدت کم

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1399.20.59.7.4]
[DOI: 10.29252/jgs.20.59.119]

می‌باشند. بر اساس شاخص نسبت حداکثر عمق نزدیک کناره به متوسط عمق مقطع پر، میزان فرسایش‌پذیری کناره رودخانه لاویج به‌جز مقاطع ۴و۵ تقریبا با روند فرسایشی به‌دست‌آمده از شاخص اول (نسبت تنش برشی نزدیک کرانه به تنش برشی دبی مقطع پر) هم‌خوانی دارد.

بر اساس شاخص خطر فرسایش کناره مقاطع ۱،۳،۴،۵و۶ وضعیت ناپایداری کناره را زیاد نشان می‌دهند و استعداد زیادی برای فرسایش کناری و تولید رسوب دارند.همچنین مقطع ۲وضعیت ناپایداری را متوسط نشان می‌دهد، مقاطع شماره ۲ و ۷ وضعیت ناپایداری خیلی زیاد را نشان می‌دهند که استعداد خیلی زیاد برای فرسایش کناره‌ای و تولید رسوب دارند. در جدول (۶)میزان فرسایش‌پذیری در هرکدام از مقاطع با هر سه روش قابل‌مقایسه است.

جدول(۶): مقایسه تنش برشی و زاویه کناری و محافظت سطحی کرانه با مدل‌های BEHI و NBS

مقطع عرضی	زاویه کناری	تنش برشی	محافظت سطحی کرانه	نسبت تنش برشی نزدیک کرانه به تنش برشی دبی مقطع پر	نسبت حداکثر عمق نزدیک کرانه به متوسط پر مقطع عمق $(\frac{d_{nb}}{d_{bkf}})$	خطر فرسایش کناره امتیاز BEHI
۱	۹۰	۹۲،۴۱	۲۰درصد	خیلی زیاد	زیاد	بالا
۲	۹۰		۶۰درصد	متوسط	متوسط	متوسط
۳	۹۰		۳۰دصد	خیلی زیاد	زیاد	بالا
۴	۸۰	۸۱،۴۸	۱۰درصد	خیلی زیاد	کم	بالا
۵	۷۵		۳۰درصد	زیاد	کم	بالا
۶	۶۰	۷۰،۵۱	۱۰دصد	کم	متوسط	بالا
۷	۸۵	۲۸۵	۲۰دصد	خیلی زیاد	خیلی زیاد	خیلی بالا

همان‌گونه که در جدول(۶) قابل‌ملاحظه است مقاطع ۱، ۳، ۷ دارای شیب کرانه بالا و کرانه در حالت کاملاً قائم یا نسبتا قائم و همچنین محافظت سطحی کرانه پایین وتنش برشی بالا باعث شده میزان فرسایش در این مقاطع خیلی زیاد و زیاد باشد مقطع شماره ۲ از سایر سایت‌های مورد مطالعه مستثنی می‌باشد زیرا شیب کناره ۹۰ درجه است اما تحت تأثیر محافظت سطحی کرانه و رسوبات درشت‌دانه دارای فرسایش متوسط است. در مقاطع ۴و ۵ محافظت سطحی کرانه پایین باعث شده فرسایش کرانه در مدل شاخص خطر فرسایش کناره و نسبت تنش برشی نزدیک کرانه به تنش برشی دبی مقطع پر زیاد باشد. میزان فرسایش در مقطع شماره ۶ که شیب کمتری نسبت به سایر مقاطع دارند کمتر است بنابراین تأثیر میزان شیب‌بر فرسایش کناری در رودخانه لاویج کاملاً واضح و مشخص است. تنش برشی در میزان پسروی کرانه‌های رودخانه لاویج نقش مهمی دارد. میزان تنش برشی برآورد شده در مقطع ۷ تنش برشی بالا باعث شد که مقدار خطر فرسایش در کرانه مقطع خیلی بالا باشد و همچنین در مقطع ۶ مقدار تنش برش کم باعث شد در مدل تنش برشی نزدیک کرانه مقدار متوسط و کمی باشد. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که پارامترهای مؤثر در تنش برشی که شامل شعاع هیدرولیک مقطع عرضی، عمق جریان و شیب بستر جریان می‌باشند در میزان پایداری کرانه‌های رودخانه مؤثرتر از عوامل فرسایش‌پذیری خاک (اندازه ذرات خاک، ویژگی‌های تشکیل کلوخه، چسبندگی ذرات خاک،

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1399.20.59.7.4]
[DOI: 10.29252/jgs.20.59.119]

ساختمان خاک، ظرفیت نفوذ و کلوئیدهای موجود در خاک) هستند. در شکل (۴)پسروی کرانه از رسوبات بسیار ریزدانه تشکیل‌شده است کاملاً واضح است درحالی‌که در مجاور همین محل کرانه پسروی نداشته و رسوبات دانه‌درشت در حد قلوه‌سنگ به‌صورت لایه‌ای حفاظتی مانع از پسروی کرانه شده است حال‌آنکه در شکل(۵) مشاهده می‌شود که با وجود ذرات درشت‌دانه در رسوبات، کرانه پسروی داشته است؛ بنابراین می‌توان بیان کرد میزان پسروی کرانه‌های رودخانه لاویج در سایت‌های مورد مطالعه را نمی‌توان فقط با اندازه رسوبات تفسیر کرد. در بیشتر مسیر رودخانه لاویج، کرانه‌ها از نوع کرانه‌های با رسوبات ترکیبی هستند. این کرانه‌ها دارای لایه‌های مختلفی از رسوبات چسبنده (رس) و بدون چسبندگی (ماسه و ریگ) می‌باشند. با توجه به اینکه یکی از عوامل مهم در فرسایش‌پذیری کرانه‌های رودخانه وضعیت پوشش گیاهی کرانه است، نمی‌توان نقش پوشش گیاهی را نادیده گرفت. خاک پوشیده از گیاه مقاومت بیشتری در برابر جریان آب دارد، ازاین‌رو تراکم پوشش گیاهی، نوع گیاه و ارتفاع آنها می‌تواند در برابر نیروهای فرسایندگی مقاومت ایجاد نماید. درواقع پوشش گیاهی هر سه فرآیند فرسایشی کناره (فرسایش هیدرولیک رودخانه، حرکات توده‌ای و تنش برشی مکانیکی و هیدرولیکی مواد کناره) که توسط لاولر[۱] (۱۷۹:۱۹۹۵) بیان‌شده را تحت تأثیر قرار می‌دهد (وین و مستقیمی[۲]، ۷۰:۲۰۰۶). وین و مستقیمی (۷۹:۲۰۰۶) مشخص کرده‌اند که تراکم ریشه تأثیر قابل‌توجهی بر روی فرسایش کناره در جنوب غربی ویرجینیای آمریکا دارد. مطالعات قبلی نشان می‌دهد، پوشش گیاهی درختی نرخ فرسایش را از طریق اتلاف انرژی ستون آب کاهش می‌دهد. این فرآیند از طریق افزایش زبری و مقاومت کششی ناشی از افزایش چسبندگی فراهم‌شده به‌وسیله ترکیب ریشه و خاک صورت می‌گیرد (شوم[۳]، ۱۹۷۳؛ تورن[۴]، ۱۹۹۰؛ گورنیل[۵]، ۱۹۹۷؛ گنت و همکاران[۶]، ۲۰۰۵ و پولین[۷]، ۲۰۰۷). علاوه بر این نتایج نشان می‌دهد که تفاوت گونه‌های مختلف گیاهی نیز مقادیر متنوعی از مقاومت کششی را نسبت به خاک فراهم می‌کند (گنت و همکاران، ۲۰۰۵ و پولین، ۲۰۰۷). در مقطع شماره ۲ محافظت سطحی کرانه توسط ریشه و پوشش گیاهی باعث شده مقدار فرسایش‌پذیری در این مقطع نسبت به مقاطع دیگر کمتر باشد. شکل(۶).

---

[۱] Lawler
[۲] Wynn and Mostaghimi
[۳] Schumm
[۴] Thorne
[۵] Gurnell
[۶] Genet et al.,
[۷] Pollen

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1399.20.59.7.4]
[DOI: 10.29252/jgs.20.59.119]

شکل(۴). پسروی کرانه رسوبات ریزدانه

شکل(۵). پسروی کرانه در رسوبات درشت دانه

شکل (۶). محافظت سطحی کرانه توسط پوشش گیاهی و ریشه درختان

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1399.20.59.7.4]
[DOI: 10.29252/jgs.20.59.119]

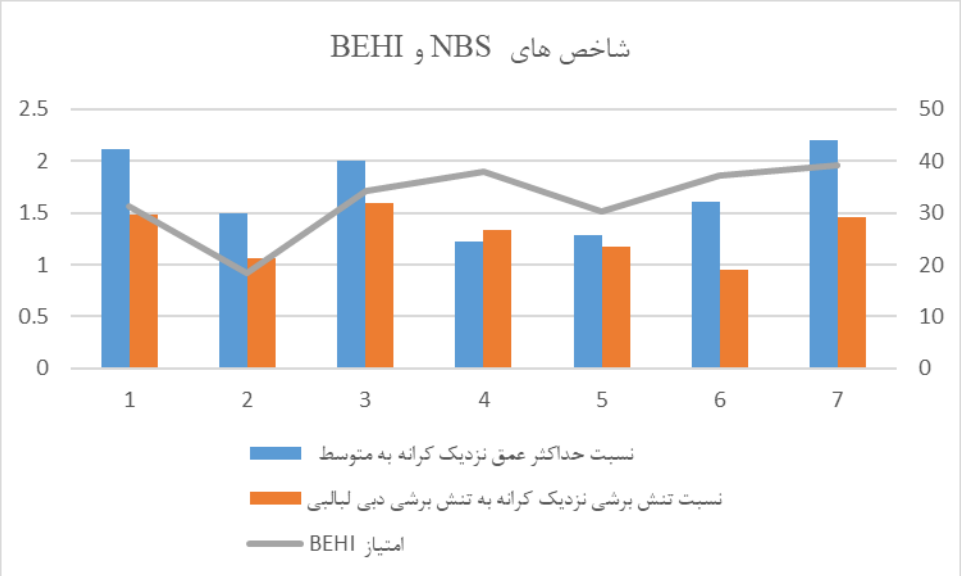
آزمون کروسکال-والیس برای شاخصخطر فرسایش کناره و شاخص‌های تنش برشی نزدیک کرانه برای هر مقطع در سطح اطمینان ۹۵درصد انجام شد جداول (۸ و ۷) نتایج نشان می‌دهد فرض H صفر در سطح خطای ۵ درصد تائید شده و نتایج نشان می‌دهد سه تا شاخص در ارزیابی فرسایش کناری در هر مقطع تقریبا یکسان عمل کرده است. شکل(۷) نمودار روند تغییرات سه شاخص برای کل مقاطع نشان‌دهنده عملکرد تقریبا یکسانی بوده است.

جدول(۷). نتایج آزمون آماری کروسکال-والیس برای شاخص BEHI و شاخص‌های NBS

مدل	تعداد	میانگین رتبه
۱	۷	۱۳,۲۹
۲	۷	۸,۰۷
۳	۷	۱۱,۶۴
کل	۲۱	

جدول (۸) نتایج آزمون آماری کروسکال-والیس برای شاخص BEHI و شاخص‌های NBS

مقطع	
کروسکال-والیس	۲,۸۲۹
درجه آزادی	۲
معنی‌داری	۰,۲۴۳



شکل(۷). نمودار روند تغییرات شاخص‌های BEHIو NBS در مقاطع مختلف

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1399.20.59.7.4]
[DOI: 10.29252/jgs.20.59.119]

نتیجه‌گیری

نتایج به‌دست‌آمده از نسبت تنش برشی نزدیک کرانه به تنش برشی دبی مقطع پر ، میزان فرسایش‌پذیری کناره رودخانه لاویج به‌جز مقاطع ۲و۶ همه مقاطع داری شدت خیلی زیاد و زیاد می‌باشند. مقطع ۲ دارای شدت متوسط و مقطع ۶ دارای شدت کم را نشان می‌دهد. بر اساس شاخص نسبت حداکثر عمق نزدیک کناره به متوسط عمق مقطع پر، میزان فرسایش‌پذیری کناره رودخانه لاویج به‌جز مقاطع ۴و۵ تقریبا با روند فرسایشی به‌دست‌آمده از شاخص اول (نسبت تنش برشی نزدیک کرانه به تنش برشی دبی مقطع پر) هم‌خوانی دارد. شاخص خطر فرسایش کناره مقاطع ۱،۳،۴،۵و۶ وضعیت ناپایداری کناره را زیاد نشان می‌دهند مقطع ۲ وضعیت ناپایداری را متوسط نشان می‌دهد و هچنین مقطع ۷ وضعیت ناپایداری خیلی زیاد را نشان می‌دهد. میزان تنش برشی ،شیب کرانه و محافظت سطحی کرانه مانند ریشه و پوشش گیاهی از عوامل تأثیرگذار بر فرسایش کرانه در مقاطع مورد مطالعه می‌باشد و همچنین میزان فرسایش کرانه‌های رودخانه لاویج در سایت‌های مورد مطالعه را نمی‌توان فقط با اندازه رسوبات تفسیر کرد. تنوع در لایه‌بندی کرانه‌های رودخانه لاویج سبب عدم برقراری ارتباط بین اندازه رسوبات کرانه با میزان فرسایش کناری رودخانه شده است. نتایج آزمون کروسکال-والیس نشان می‌دهد فرض Hصفر در سطح خطای ۵ درصد تائید شده و نتایج نشان می‌دهد سه تا شاخص در ارزیابی فرسایش کناری در هر مقطع تقریبا یکسان عمل کرده است شکل(۹) نمودار روند تغییرات سه شاخص برای کل مقاطع نشان‌دهنده عملکرد تقریبا یکسانی بوده است با توجه به داده‌ها و اطلاعات جمع‌آوری‌شده و نمونه‌گیری‌های انجام‌گرفته، مشخص شد فرسایش کناره‌ای از پدیده‌های غالب و فعال در مقاطع مورد مطالعه‌ی رودخانه‌ی لاویج محسوب می‌شود، که در مقاطع مختلف آثار و پیامدهای گوناگونی چون تغییر الگوی رودخانه و گسترش عرض رودخانه در مسیرهای مستقیم داشته است .

منابع

اسماعیلی، رضا. حسین زاده، محمدمهدی . (۱۳۹۴). **مقایسه روش‌های روزگن و استیل رود در طبقه‌بندی رودخانه‌های کوهستانی، مطالعه موردی البرز شمالی، حوضه آبریز لاویج**، پژوهش‌های دانش زمین، **۲۱** (۳): ۶۴-۷۹.

ثروتی، محمدرضا. رضایی مقدم، محمدحسین . اصغری، صیاد. (۱۳۹۱) **تحلیل وضعیت پایداری مجرای رودخانه‌ی قزل‌اوزن با استفاده از روش‌های تنش برشی، شاخص مقاومت نسبی بستر و مطالعات صحرایی**، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، **۱**:۴۶ -۳۳

حسین زاده ، محمدحسین زاده . خالقی ، سمیه. واحدی فر ،فرزاد.(۱۳۹۶) **مقایسه و ارزیابی نتایج مدل NBSو BEHIدر فرسایش کناره‌ای رودخانه قرانقو چای هشترود**، جغرافیا و مخاطرات محیطی،**۲۴**(۳): ۱۶-۱۶.

Amiri-Tokaldani, E., Samadi, A., Rahimi, H.(2006). **Effect of the location and depth of tensioncrack of river bank stability.** Journal ogagriculture engineering research, (**6**) 25,77-94.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOR: 20.1001.1.22287736.1399.20.59.7.4]

[DOI: 10.29252/jgs.20.59.119]

Belmont, P., Gran, K.B., Schottler, S.P.,Wilcock, P.R., Day, S.S., Jennings, C., Lauer,J.W., Viparelli, E., Willenbring, J.K., Engstrom,D.R., Parker, G. (2011)**. Large shift in source offine sediment in the Upper Mississippi River.**Environmental Science and Technology45,8804–8810.

Coryat, M. (2014). **Analysis of the Bank Assessment for Non-point Source consequences of Sediment (BANCS) Approach for the Prediction of Streambank Stability and Erosion along stony Clove Creek in the Catskills**. Master Theses, Syracuse University.

Daly ER, Miller R, Fox GA. (2015). **Modeling sreambank erosion and failure along protected and unprotected composite sreambanks.** Advances in Water Resources. 81(1): 114–127.

Dapporto, S., Rinaldi, M., Casagli, N. and Vannocci, P. (2003). **Mechanisms of river bank failure along the Amo River Central Italy**. Earth Surface Processes and Landforms. 28,1303-1323.

Evans, D. J., Gibson, C. E. and Rossell, R. S. (2006)**. Sediment loads and sources in heavily-modified Irish catchments: A move towards in formed management strategies.** Geomorphology. 79, 93-113.

Genet, M., Stokes, A., Salin, F., Mickovski, S. B., Fourcaud, T., Beek, R. V.(2005). **Theinfluence of cellulose content on tensile strength in tree roots**. Plant and Soil, 278, 1-9.

Grimshaw, D.L., Lewin, J. (1980)**. Source identification of suspended solids**. Journal of Hydrology 42, 151–162.

Gurnell, A. (1997).**The hydrological and geomorphological significance of forested floodplains.**Global Ecology and Biogeography Letters, 6, 219-229.

homa, D.P., Gupta, S.C., Bauer, M.E.,Kirchoff, C.E. (2005). **Airborne laser scanningfor riverbank erosion assessment.** RemoteSensing of Environment, 95, 493–501.

Karmakera, T., Duttab , Subashisa. (2013). **Modeling seepage erosion and bank retreat in acomposite river bank.** Journal of Hydrology,476, 178-187.

Kessler, A. C., Gupta, S.C., Brown, M. K. (2013)**. Assessment of river bankerosion in Southern Minnesota rivers postEuropean settlement.** Geomorphology , 201,312–322.

Konsoer,Kory M., Rhoads,Bruce Lane, Langendoen,Eddy J., Best,James L., Ursic,M. E., Abad,Jorge D. (2015). **Spatial variability in bank resistance to erosion on a large meandering, mixed bedrock-alluvial river**. Geomorphology. 252. 80-97

Krishna, G. G., Pal, S., &Mukhopadhyay, S. (2016). **Validation of BANCS model for assessingstream bank erosion hazard potential (SBEHP) in Bakreshwar river of Rarh region, EasternIndia.** Modeling Earth Systems and Environment, 95(2), 1-15

Kwan, H., Swanson, S.(2014). **Prediction of Annual Streambank Erosion for Sequoia National Forest, California, JAWRA.** Journal of the American Water Resources Association, 50(6).

Lawler, D. M. (1995). **The impact of scale on the processes of channel-side sediment supply:Aconceptual model. Effects of Scale on Interpretation and Management of Sediment andWater Quality**, 226, 175-184.

Little W.C.وThome. C.R. and Murphey. J.B.(1982). **Mass bank failure analysis of selected Yazoo Basin streams**. American Society of Agricultural Engineers Transactions. 25(5). 1321-1328

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOR: 20.1001.1.22287736.1399.20.59.7.4]

[DOI: 10.29252/jgs.20.59.119]

Lohnes, R.A. and Handy, R.L.(1968). **slop angles in friable loess**,journal of Geology, 67(3),247-258

Midgley T. L., Fox G. A., HeerenD. M. (2012)**. Evaluation of the bank stabilityand toe erosion model (BSTEM) for predictinglateral retreat on composite streambanks.**Geomorphology 145–146 (2012) 107–114

Minghui, Y.U., Hongyan, W., Yanjie, L. and Chunyan, H.U.(2010). **Study on the stability of non-cohesive river bank,** International Journal of Sediment Research, 25(4), 391-398.

Osman. A.M. and Thome. C.R.(1988). **Riverbank stability analysis. Part I: Theory.** Journal of theHydraulics Division. ASCE, (1142), 125-150.

Parker.C., Simon, A., Thorne, C. (2008). **The effects of variability in bankmaterial properties on riverbank stability:Goodwin Creek, Mississippi.** Geomorphology101 (2008) 533–543

Pollen, N. (2007). **Temporal and spatial variability in root reinforcement of streambanks:Accounting for soil shear strength and moisture**. Catena, 69,197-205.

Prosser, I.P., Rutherfurd, I.D., Olley, J.M.,Young, W.J., Wallbrink, P.J., Moran, C.J. (2001)**. Large-scale patterns of erosion and sediment transport in river networks, with examples from Australia.** Marine and Freshwater Research 52,81–99.

Rinaldi, M. and Simon, A.(1998). **Bed level adjustments in the Amo River. Central Italy.** Geomorphology, 22, 57-71.

Rosgen, D.L. (2011). **Watershed assessment of river stability and sediment supply(WARSSS).** Wildland Hydrology, Fort Collins, Colorad

Rosgen, D.L.(2001). **A Strem Channel Stability Assessment Methodology, Proceedings of the** Seventh Federal Interagency Sedimentation Conference

Schumm, S.A. (1973)**geomorphic thresholds and complex response of drainage systems. In M.Morisawa (Ed.)**, Fluvial geomorphology (299-310). New York: Publications ofGeomorphology, State University of New York, Binghamton,.

Sekely, A. C., Mulla, D. J. and Bauer, D. W.(2002). **Stream bank slumping and its contribution to the phosphorus and suspended sediment loads of the Blue Earth River.** Minnesota, Journal of Soil and Water Conservation. 57,545-550

Simon, A. and Darby, S. E.(1999). **The nature and significance of incised river channels**. In: Darby. S. E. Simon. A. (eds.). incised river channels. John Wiley and Sons. Chichester, UK

Simon, A., Collison, A.J.C. (2002). **Quantifying the mechanical and hydrologic effects of riparian vegetation on streambank stability**. Earth Surface Processes and Landforms 27, 527–546.

Simon, A., Wolfe,W.J. and Molinas. A.(1991). **Mass-wasting algorithms in an alluvial channel model.** Proceedings of the 5th Federal Interagency Sedimentation Conference. Las Vegas. Nevada: 8-22.

Thome, C.R..(1982). **Processes and mechanisms of river bank erosion, gravel bed rivers**. editors by Hey. R.D., Bathurst. J.C. and Thome. C.R.. John Wiley & Sons Ltd. 227-271.

Thome,C.R.(1998). **Stream Reconnaissance Handbook. Geomorphological investigation and analysis of river channels.** John Wiley &Sons:Chichester. 142.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1399.20.59.7.4]
[DOI: 10.29252/jgs.20.59.119]

Thome,C.R., Reed, S. and Doornkamp. J.C.(1996)**. A procedure for assessing river bank erosion problems and solutions.** Research and Development Report 28. National Rivers Authority Bristol

Thorne, C. R. (1990). **Vegetation and erosion: Processes and environments.** Chi Chester: JohnWiley & Sons Ltd.

Thorne, C.R.,Murphey, J.B. and Little. W.C.(1981)**. Bank stability and bank material properties in the bluffline streams of northwest Mississippi**. Appendix D. Report to the US Army Corps of Engineers. Vicksburg District Office. on Stream Channel Stability.

Thorne,C.R.(1992). **Bend scour and bank erosion on the meandering Red River. Louisiana. In Lowland Floodplain Rivers: Geomorphological Perspectives.** Carling PA. Petts GE (eds). John Wiley & Sons: Chichester: 95-115.

Wilson, C. G. Kuhnle, R.A.,Bosch, D. D., Steiner, J. L., Starks, P., Tomer, M. D. and Wilson. G. V. (2008). **Quantifying relative contributions from sediment sources in Conservation Effects Assessment Project watersheds**. Journal of Soil and Water Conservation, 63. 523-531.

Wynn, T. M., &Mostaghimi, S. (2006). **The effects of vegetation and soil type on streambankerosion, Southwestern Virginia, USA**. Journal of the American Water ResourcesAssociation, 42(1), 69-82.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOR: 20.1001.1.22287736.1399.20.59.7.4]

[DOI: 10.29252/jgs.20.59.119]