نشریه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، سال یازدهم، شماره ۱، بهار ۱۴۰۳

صفحات ۳۷ – ۵۲

ارزیابی کمی ناپایداری کناره ای رودخانه جاجرود در بالادست سد لتیان

معصومه غلامی؛ دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران.

علی احمدآبادی؛ دانشیار گروه ژئومورفولوژی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران[1].

عزت اله قنواتی: استاد گروه ژئومورفولوژی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران.

دریافت مقاله: ۱۴۰۲/۱۰/۲۲ پذیرش نهایی: ۱۴۰۳/۰۳/۳۰

چکیده

فرسایش کناره ای یکی از منابع اصلی تولید رسوب در رودخانه ها است در صورتیکه از حالت طبیعی خارج شود منجر به مخاطره ناپایداری کناره‌ای می شود و رسوب تولیدی برای سازه های پایین دست از جمله سدها مشکلات زیادی ایجاد می کند. رودخانه جاجرود بعنوان یکی از تامین کننده های مهم آب شرب و کشاورزی در شرق تهران، با توجه به توسعه سکونتگاه های شهری و روستایی، دارای پتانسیل بالای فرسایش کناره‌ای است. قرارگیری سدهای لتیان و ماملو نیز در پایین دست آن، می تواند چالش‌های زیادی در خصوص بهره برداری بهینه از این سازه ها ایجاد نماید. از این رو، در پژوهش حاضر، میزان خطر فرسایش کناری و شناسایی مناطق مستعد فرسایش کناری در رودخانه جاجرود با استفاده از مدل BANCS (شاخص NBS و BEHI) در ۱۱ بازه براساس برداشت های میدانی و داده‌های تکمیلی از جمله تصاویر هوایی و پهبادی ارزیابی می شود. مقایسه نتایج و ارزیابی این دو شاخص، نشان داد مدل BEHI نسبت به مدل NBS برای رودخانه جاجرود کارآمدتر است. نتایج حاصل از شاخص BEHI نشان داد که در کناره راست و چپ بازه ۳،۷،۸،۹ و کناره چپ بازه ۲ فرسایش زیاد و در سایر کناره ها فرسایش کم است. هم چنین، با توجه به مشاهدات میدانی، مشخص شد فرسایش کناره‌ای از پدیده‌های غالب و فعال در بازه های مورد مطالعه رودخانه جاجرود است، که در بازه های مختلف، آثار و پیامدهای گوناگونی چون تغییر الگوی رودخانه و گسترش عرض رودخانه در مسیرهای مستقیم داشته است.

واژه‌های کلیدی: ناپایداری کناره ای، شاخص BEHI، شاخص تنش برشی، رودخانه جاجرود.

۱ . نویسنده مسئول:

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-30]

[DOR: 20.1001.1.24237892.1403.11.1.3.3]

[DOI: 10.61186/jsaeh.11.1.5]

مقدمه

رودخانه ها سیستم های کاملا پویایی هستند که مرزهای جانبی و مشخصات مورفولوژیکی آنها در طول زمان و پیوسته در حال تغییرند. به‌طورکلی رودخانه‌ها تحت تأثیر عوامل مختلفی مانند ویژگی‌های زمین‌شـــناســـی، هیدرولوژیکی، ژئومورفولوژیکی، مورفولوژیکی و نحوه بهره برداری از آن‌ها در معرض تغییر و تحول هســتند. رودخانه ها به خودی خود طی سال های متمادی د ستخوش تغییرات می شوند، اما امروزه ان سان ها با دخالت و د ستکاری طبیعت تو سط ایجاد سازه هایی مانند ساخت جاده ها پل ها و... به تسریع این فرایند دامن زده اند. تغییرات رودخانه‌ای به صورت فر سایش یا رســوب‌گذاری در بســتر، تخریب دیواره‌ها، تغییر راســتای جریان، تغییر و جابه‌جایی مئاندرها و تغییر در فرم رودخانه نمودار می‌شوند (واحدی فر، ۱۳۹۵: ۳) ساحل رودخانه‌ها به‌عنوان مکان‌های مناسب برای فعالیت‌های کشاورزی، صنعتی و تجاری در نظر گرفته می شود. ناپایداری مجرا و سواحل رودخانه و ر سوبات ناشی از آن نه تنها موجب تخریب ارا ضی حا شیه رودخانه و تأ سیسات مجاور ساحل رودخانه می شود (Kessler et al, 2013) بلکه ر سوبات حا صل از فر سایش رودخانه ای در برخی مواقع میزان قابل توجهی از مجموع کل رســوباتی را شــامل میشــود که جریان رود آن را حمل میکند (یمانی و حســین‌زاده، ۱۳۸۲). ناپایداری مجرا و ســواحل رودخانه به دلیل تأثیرگذاری بر میزان فرســایش و خصوصیات مجاری رودخانه ها، میزان فر سایش در توسعه پهنه سیلابی و مدیریت منابع آب اهمیت دارد (Minghui et al,2010)در این را ستا بر ر سی و مطالعه بر روی پایداری کناره رودخانه و شناخت کناره‌های آ سیب‌دیده برای کسب اطلاعات دقیق و ارزیابی مشــکلات و عوامل مؤثر در حفاظت و اســتفاده بهینه از رودخانه‌ها مهم و ضــروری اســت (Wilson et al, 2008; Rosgen, 2001).

رو شهای مختلفی برای محا سبه تنش بر شی نزدیک کناره وجود دارد که به تعدادی از آنها ا شاره می شود: بر ر سی فرسایش کنارهای با استفاده از پین های فرسایشی روش BSTEM، تنش برشی ، دندروژئومورفولوژی روش راسگن. در داخل کشــور نیز از روش های متفاوتی برای بررســی فرســایش کناره ای اســتفاده شــده اســت که میتوان به مدل - BSTEMتنش بر شی- مدل را سگن، NBSو BEHE ا شاره کرد وجود روش های قابل اعتماد برای پیش بینی پایداری کناره و میزان عقب نشینی آن ضروری به نظر میر سد. در سال های اخیر استفاده از مدل های عددی جهت پیش بینی تحرک کانال و درنتیجه برآورد میزان فر سایش پذیری کانال، پیشرفت های زیادی دا شته است. شاخص خطر فر سایش کناری یک فرآیندی یکپارچه جهت ارزیابی آســیب پذیری فرســایش کناری رودخانه با اســتفاده از متغیرهایی مختلف ا ست،که نرخ فر سایش را برای ما محا سبه میکند. ارزیابی ف شار بر شی نزدیک کناره در پیش بینی فر سایش ب سیار با اهمیت اســت به طوریکه نشــان دهنده توزیع انرژی جریان در مقطع عرضــی مجرا اســت و این توزیع نامتناســب انرژی جریان میتواند منجر به فرسایش کناره شود.

تا کنون تحقیقات زیادی توسط محققان داخلی و خارجی در زمینه ی ناپایداری و فرسایش کرانه ای رودخانه و مدیریت حفاظت از کرانه ها انجام گرفته است. از جمله راسگن(Rosgen, ۲۰۰۱) در پژوهشی برای ارزیابی مدل های پایداری کانال رود در منطقه چشمه پاسوگا برای ارزیابی و پیشبینی فرسایش کنارهای و نیز میزان رسوب از طبقه بندی سلسله مراتبی راسگن استفاده کرده است و با بهره گیری از متغیرهایی چون تغییرات در شاخص های کنترل فرم کانال رود در درجه اول و رژیم رسوب، پوشش گیاهی و تغییرات فیزیکی این محدوده در درجه دوم این سیستم طبقه بندی را مورد اعتبارسنجی قرار داده است. پارکر و همکارانش (Parker et al, ۲۰۰۸) اثر تغییرپذیری خصوصیات مواد کناری

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1403.11.1.3.3]
[DOI: 10.61186/jsaeh.11.1.5]

رودخانه را روی پایداری رودخانه با استفاده از مدل BSTEMبررسی 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. میدگلی و همکارانش (Midgley et al,۲۰۱۲) با استفاده از مدل BSTEMعقب نشینی دیواره کناری رودخانه Fork Creek Barren در شمال شرق اوکلهاما در فاصله زمانی آپریل تا اکتبر ۲۰۰۹را پیش بینی کردند. نتایج نشان داد که بیشترین میزان عقب نشینی جانبی رودخانه در اواسط تا اواخر ماه می تا سپتامبر به علت رگبارهای سیلبی اتفاق افتاده است. کارماکر و همکارانش (Karmakera et al, 2013) گزارش دادند در محل هایی 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 کنترل کننده با استفاده از آزمایش‌های لیسمتری برقرار کردند. کوریت(Coryat, ۲۰۱۴) به تحلیل و ارزیابی کانال با روش پیامدهای منبع غیرنقطه ای رسوب (BANCS) برای پیش بینی فرسایش و پایداری کرانه ی رودخانه در استونی کلووکریک در کت اسکیلز پرداخته است. این مطالعه نشان داد که نتایج به دست آمده از طریق روش BANCSممکن است منجر به بهبود مدیریت آینده ی حوضه ی استونی کلوو شود. کانسور و همکارانش (Konsoer et al, 2015) تغییرات مکانی در مقاومت کناره ها به فرسایش در مئاندرهای بزرگ در رودخانه آبرفتی –کوهستانی را با استفاده از مدل BSTEMو تصاویر لیدار برای ارزیابی پتانسیل خصوصیات مواد کناری برای تعدیل نسبت و مکانیسم عقب نشینی 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 حالت های عمودی و جانبی دارد. کریشنا و همکاران (Krishna et al,۲۰۱۶) به اعتبار سنجی مدلBANCSجهت ارزیابی پتانسیل خطر فرسایش کرانه رودخانه بکر شوار در هند شرقی پرداختند نتایج نشان داد که مقدار شاخص خطر فرسایش کرانه در قسمت های بالادست و محل تلقی بالاست اما مقدار تنش برشی نزدیک کرانه کمتر است. المانووا و همکاران (Allmanová et al, 2021) به ارزیابی مدل پیش‌بینی فرسایش BANCS و دو مؤلفه آن شاخص خطر فرسایش بانکی (BEHI) و شاخص‌های تنش نزدیک کرانه (NBS) پرداخته اند. متعاقبا، روابط بین BEHI و فرسایش واقعی سالانه بانک از طریق تحلیل رگرسیون و همبستگی ارزیابی شد. ثابت شد که رابطه نسبتاً قوی است و ضریب همبستگی (R) به ۰,۴۷ رسید. علاوه بر این، رابطه بین شاخص NBS و فرسایش بانکی واقعی سالانه مورد ارزیابی قرار گرفت که آن نیز نسبتاً قوی بود. حسن الزمان و همکاران (Hasanuzzaman et al, 2023) فرسایش و نرخ افزایش ساحل رودخانه با استفاده از مدل‌هایDSAS ، BEHIو :REBVI در رودخانه گانگا پایین در هند را پیش بینی و برآورد کردند. در این دوره ۲۱ روستا به دلیل فرسایش بسیار زیاد کرانه چپ بسیار آسیب پذیر بودند. همچنین نمرات BEHI و REBVI در این رودخانه بسیار بالا بود.

امیری تکلدانی و همکاران(۱۳۸۵) با استفاده از داده های جمع آوری شده از ۵۱ محل در مسیر رودخانه می سی سی پی، مدل تحلیل پایداری ساحل رودخانه (EMSAR) را ارائه دادند. روستایی و همکاران (۱۳۹۲) مورفولوژی مجرای رودخانه ی لیقوان را با استفاده از روش طبقه بندی راسگن در سطح دو مورد ارزیابی قراردادند. نتایج نشان داد که بازه‌های مورد بررسی از نوع B، Cو E بوده و اکثر بازه‌های از نوع C بودند که نشان دهنده ی حساسیت بالای بازه‌های به فرسایش بوده و در مواقع سیلابی، سیلاب دشت سیلابی را فرا می‌گیرد. احمد آبادی و همکاران (۱۳۹۶) تغییرات میزان تولید رواناب سطحی، میزان رسوب ویژه و میزان نفوذپذیری با استفاده از مدل نیمه توزیعی SWAT در دو مقطع

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1403.11.1.3.3]
[DOI: 10.61186/jsaeh.11.1.5]

قبل و بعد از عملیات آبخیزداری در حوضه آبریز عنبران چای را شبیه سازی و برآوردکردند. حسین زاده و همکاران (۱۳۹۶) در تحقیقی به منظور 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 بازه‌های عرضی وجود دارد. احمدآبادی و همکاران(۱۳۹۷) به شناخت و تحلیل پتانسیل فرسایش کناره‌ای رودخانه کن با رویکرد احیاء پرداخته است و با استفاده از دو روش BEHI و NBS شناسایی و تحلیل وضعیت آبراهه اصلی رودخانه کن از نظر الگو و اندازه‌گیری میزان فرسایش کناره‌ای و ناپایداری کناره‌ها انجام‌شده و با تلفیق روش‌های فوق پتانسیل فرسایش کناره ای رودخانه کن برآورد شده است. نتایج این پژوهش حاکی از آن است که در شاخص BEHI، فرسایش کناره‌ای در هر دو کناره راست و چپ بازه‌های عرضی وجود دارد. غفورپور و همکاران (۱۴۰۱) با استفاده از شاخص IHG کیفیت هیدروژئومورفولوژی رودخانه کرج را مورد ارزیابی قرار دادند بر اساس نتایج این تحقیق، بازههای 6 ،4 ،3 ،2 ،1و 7از کیفیت هیدرومورفولوژی ضعیف؛ و بازه 5به دلیل دخالتهای انسانی از جمله تغییر در الگوی مورفولوژی، ایجاد سازه های مهندسی، قطع پیوستگی آبراهه اصلی و سیلابدشت) از کیفیت خیلی ضعیف برخوردار هستند. همچنین، کیفیت هیدروژئومورفولوژی بازه شهری رودخانه کرج به دلیل گسترش فضای شهری و سکونتگاهی، تأسیسات شهری و استخراج بی رویه شن و ماسه، بیشترین اثرات منفی را دارد.

افزایش جمعیت و توسعه روزافزون کاربری ها در حاشیه رودخانه ها و مسیل ها در مناطق مرتفع و خوش آب و هوا، دخل و تصرف در بستر و حریم رودخانه به ویژه در محدوده رودخانه جاجرود افزایش یافته است. با توجه به کوهستانی بودن و وجود شیب های تند محدوده مورد مطالعه به گونه ای که ۶۲ درصد از مساحت منطقه شیب بیش از ۲۰ درصد دارند (قنواتی،۱۳۹۰) و همچنین بارندگی نسبتا زیاد، عدم وجود پوشش گیاهی به علت نوع خاص زمین‌شناسی و شیب تند کوه ها باعث شده است فرآیندهای رسوب‌گذاری موجب کاهش ظرفیت آب‌گذری آبراهه و در نتیجه سر ریز شدن آب کانال به سمت سیلاب دشت در صورت رخداد سیلاب شود. همچنین فرآیندهای فرسایشی سبب زیرشویی در دیواره های حفاظتی، کف کنی در بستر و فرسایش در پنجه شیب های دامنه های طبیعی مشرف به رودخانه شده است. بدین منظور هدف این مطالعه، بررسی میزان خطر فرسایش کناره ای و شناسایی مناطق مستعد در برابر فرسایش کناره ای در رودخانه جاجرود است. در این پژوهش برای پیش بینی میزان فرسایش کرانه رودخانه از روش ارزیابی کرانه برای پیامد منبع غیر نقطه ای رسوب (BANCS) استفاده می شود که توسط (راسگن،۲۰۰۱) ارائه شده و برای محاسبه آن، دو روش تخمین فرسایش پذیری کرانه (سطح III طبقه بندی راسگن) استفاده می شود:۱- شاخص خط فرسایش کرانه (BEHI) ۲- تنش برشی نزدیک کرانه(NBS). تعداد ۱۱بازه در این محدوده انتخاب و اقدام به اندازه گیری و جمع آوری پارامترهای مورد نیاز برای شاخص NBS,BEH شده است.

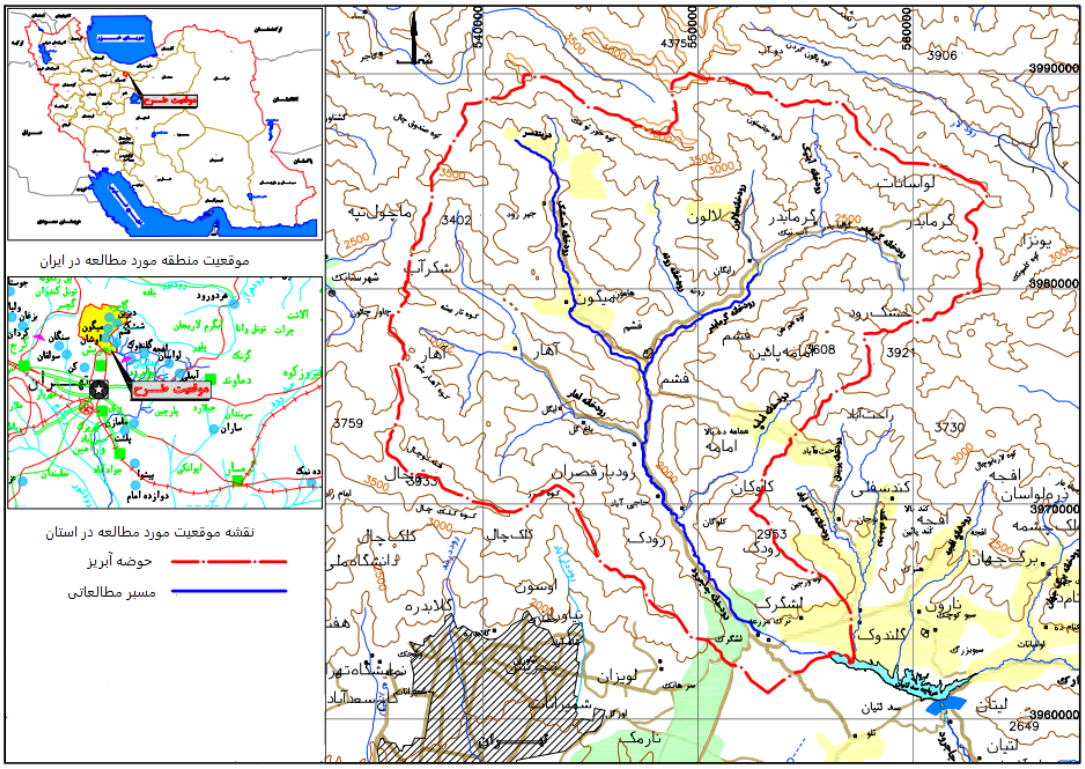
مواد و روش کار

محدوده مورد مطالعه

حوضه آبریز جاجرود به وسعت ۴۷۲کیلومترمربع در شمال شرق استان تهران و دارای موقعیت جغرافیایی ´۳۰ و°۳۵ تا ´۵۰ و°۳۵ طول شرقی و ´۳۰ °۵۱ تا و ´۱ °۵۲ است. این حوضه شامل محدوده های شهری و روستایی شمیرانات در بالادست سد لتیان است که از غرب به حوضه آبریز رودخانه کرج، از شمال به ارتفاعات جنوبی رشته کوه های البرز در کلون بستک، سیچال و شمشک، از شرق به حوضه آبریز رودخانه های کند و ناصرآباد و از جنوب به دریاچه سد لتیان

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1403.11.1.3.3]
[DOI: 10.61186/jsaeh.11.1.5]

محدود است و شامل تنه اصلی رودخانه جاجرود تا دربند سر و سر شاخه گرمابدر به طول تقریبی ۴۰ کیلومتر است (شکل ۱).



شکل (۱) موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه رودخانه جاجرود

روش تحقیق

نوع این تحقیق، از نوع کاربردی است. جهت دستیابی به اهداف تحقیق از داده ها و اطلاعات از جمله تصاویر پهپاد ۱:۲۰۰۰، نقشه‌های توپوگرافی ۱/۲۵۰۰۰، زمین شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ و عکس های هوایی. مدل ارتفاع رقومی (DEM) ۱۲/۵ متر سنجنده PALSAR، تصاویر ماهواره لندست سنجنده TM ,OLI استفاده کردم. دادهای مذکور از از طریق سازمانهای متولی و جمع آوری کننده داده ها شامل سازمان هواشناسی کشور، سازمان آب منطقه ای (وزارت نیرو)، سازمان زمین شناسی و سازمان نقشه برداری کشور، شهرداری و مرکز منطقه ای مدیریت آب شهری تهیه شده است. روش تحلیلی در تحقیق حاضر مدل BANCS است که این مدل دارای از دو شاخص BEHI وNBSتشکیل شده است. شاخص خطر فرسایش کناره(BEHI): شاخص خطر فرسایش کناره ی یک فرآیند یکپارچه است، آسیب پذیری و فرسایش کناره با استفاده از متغیر های شناخته شده که نرخ فرسایش را تحت تأثیر قرار می دهند، مورد ارزیابی قرار میگیرد. درشاخص BEHIچندین متغیر که به واسطه ی ارزیابی های بصری بررسی میشوند میتوان نسبت و میزان فرسایش کناره ای را در مناطق مستعد فرسایش نشان داد. هفت متغیر جهت ارزیابی وجود دارد و فرآیند نمره دهی به این ۷پارامتر قابل اندازه گیری بر مبنای ۱تا ۱۰ است، عدد ۱حساسیت کم و استعداد کم به فرسایش و عدد ۱۰حساسیت و استعداد زیاد به فرسایش را نشان میدهد.

پارامترهای مدل شاخص خطر فرسایش کناره عبارت اند از: ۱-مطالعه و بررسی نسبت ارتفاع کناره به ارتفاع دبی مقطع پر -۲عمق ریشه -۳وزن تراکم ریشه (به درصد) ۴- زاویه کناره (به درجه) ۵- محافظت سطحی کناره ۶- تعدیل

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1403.11.1.3.3]
[DOI: 10.61186/jsaeh.11.1.5]

و تنظیم مواد کناره ۷- طبقه بندی مواد کناره این امتیازات جهت تعیین نمره کلی به هم اضافه شده و نمره کامل به دست می آید، 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 می شوند. در جدول(۱) شاخص های مدل شاخص خطر فرسایش کناره و راهنمای نمره دهی به شاخص ها آمده است. در جدول(۲) نیز نحوه توصیف مقدار فرسایش با توجه به مجموع نمرات قابل ملاحظه است.

جدول ۱. خلاصه شاخص خطر فرسایش کناره (BEHI)

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

جدول ۲. طبقه بندی پتانسیل فرسایش کرانه

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

شاخص تنش برشی نزدیک کرانه(NBS)

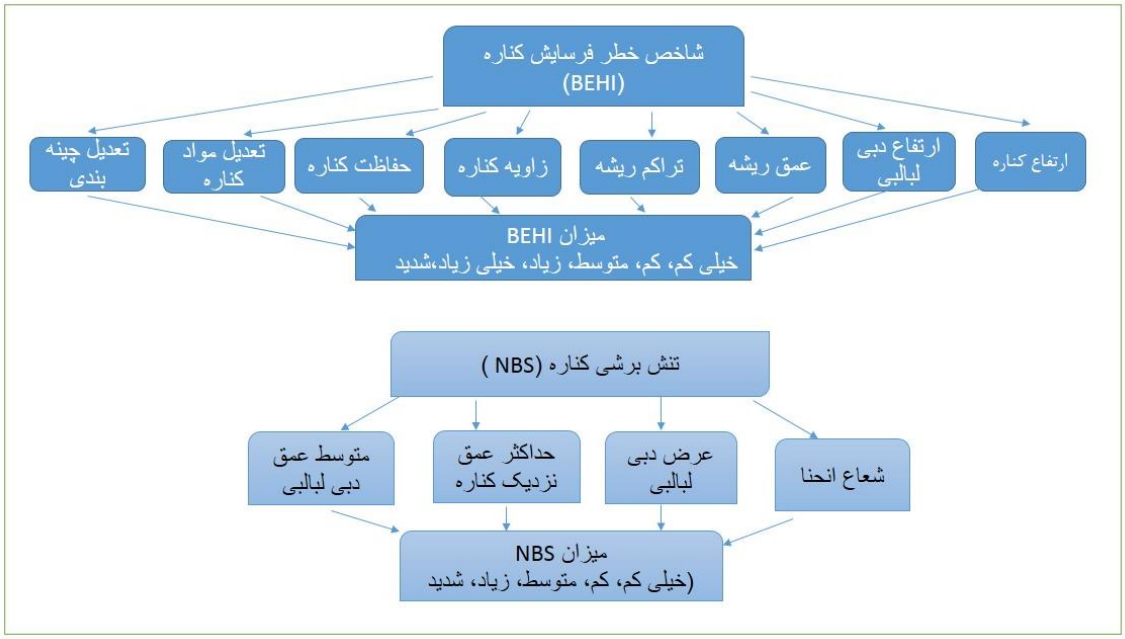
ارزیابی فشار برشی نزدیک کناره در پیش بینی فرسایش بسیار با اهمیت است به طوریکه نشان دهنده توزیع انرژی جریان در مقطع عرضی مجرا میباشد و این توزیع نامتناسب انرژی جریان میتواند منجر به فرسایش

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1403.11.1.3.3]
[DOI: 10.61186/jsaeh.11.1.5]

کناره شود. یکی از روش های محاسبه تنش برشی نزدیک کناره روش روسگن با عنوان تنش برشی نزدیک کرانه است. پارامترهای مورداستفاده برای ارزیابی و تخمین تنش برشی نزدیک کرانه عبارت اند 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 (کوریات۲۰۱۴). انتخاب روش مناسب تابع شرایط منطقه است. با توجه به ویژگی های کنارهٔ رودخانه جاجرود، دو روش نسبت شعاع انحنا به عرض دبی لبالبی (Rc/W_{hkf})، نسبت حداکثر عمق نزدیک کرانه به متوسط عمق دبی لبالبی(d_{nb}/d_{bkf}) انتخاب شد. برای هریک از کناره ها، پارامترهای عرض و عمق دبی لبالبی و حداکثر عمق نزدیک کناره با استفاده از برداشت میدانی نقشه برداری شد. شعاع انحنا نیز با استفاده از تصاویر گوگل ارث و نرم افزار اتوکد به دست آمد. در نهایت، طبق پارامترهای اندازه گیری شده، میزان فرسایش پذیری کنارهٔ رودخانه در سطوح مختلف از خیلی کم تا شدید تعیین شد (جدول۳).

جدول ۳.حدود تغییرات شاخص های مؤثر بر میزان فرسایش کرانه

نسبت شعاع انحنا به عرض دبی لبالبی (Rc/W_{hkf})	نسبت حداکثر عمق نزدیک کرانه به متوسط عمق دبی لبالبی(d_{nb}/d_{bkf})	میزان فرسایش پذیری کرانه(NBS)
بیشتر از ۳	کمتر از ۱	خیلی کم
۳-۲/۲۱	۱/۵-۱	کم
۲/۲۰- ۲/۰۲	۱/۸۰-۱/۵۱	متوسط
۲/۰۱-۱/۸۰	۲/۵۰-۱/۸۱	زیاد
۱/۸۰-۱/۵۰	۳-۲/۵۰	خیلی زیاد
کمتر از ۱/۵۰	بیشتر از ۳	شدید



شکل ۲. فلوچارت مراحل انجام مدل BANCS

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1403.11.1.3.3]
[DOI: 10.61186/jsaeh.11.1.5]

نتایج و یافته ها

در این پژوهش برای بررسی فرسایش کناره ای در رودخانه جاجرود از دو شاخص BEHIوNBS استفاده شده است که پارامترهای هر دو شاخص از طریق گوگل ارث ،تصاویر پهپادی وبازدیدهای میدانی، نقشه رقومی ارتفاعی ، اتوکد اندازه گیری شده است. در این بررسی ابتدا رودخانه جاجرود به سه بخش اصلی تقسیم شده است. این سه بخش به ۱۱ بازه (بخش اول شامل بازه ۱،۲،۳،۴- بخش دوم شامل بازه ۵،۶،۷،۸،۹ و بخش سوم شامل بازه ۹،۱۰) تقسیم بندی شده است (جدول ۴). در ادامه هر یک از پارامترهای دو شاخص، برای هر دو کرانه چپ و راست تمام بازه ها به صورت جداگانه اندازه گیری و محاسبه شد و در نهایت امتیازات هرکدام از پارامترها تعیین و با جمع امتیازات پارامترها، میزان خطر فرسایش کناره و ناپایداری کناره تعیین شد.

جدول ۴. تقسیم بندی جاجرود به سه بخش و یازده بازه

زون	شماره بازه	بازه	طول بازه (کیلومتر)	مختصات جغرافیایی بازه	
				Y	X
۱	Z۱-۱	زردبند تا امین اباد	۲,۳۴۶	۳۵,۸۱۸۱۷۸	۵۱,۵۸۷۰۳۱
	Z ۲-۱	امین اباد تا رودک	۲,۳۲۵	۳۵,۸۳۳۳۱۱	۵۱,۵۶۹۰۰۵
	Z ۳-۱	رودک تا کلیگون	۳,۰۹۵	۳۵,۸۵۰۲۲۳	۵۱,۵۵۳۷۸۴
	Z ۴-۱	کلیگون تا اوشان	۲,۸۳۰	۳۵,۸۷۴۱۰۳	۵۱,۵۳۵۹۰۲
۲	Z ۱-۲	اوشان تا فشم	۳,۳۱۱	۳۵,۸۹۸۰۶۹	۵۱,۵۲۵۴۹۹
	Z ۲-۲	فشم تا میگون	۴,۴۷۷	۳۵,۹۲۷۸۵۴	۵۱,۵۲۶۰۱۱
	Z ۳-۲	میگون تا دره هم لون	۳,۶۳۶	۳۵,۹۵۳۹۴	۵۱,۴۸۸۳۴
	Z ۴-۲	دره هم لون تا شمشک	۱,۷۱۶	۳۵,۹۸۶۱۶۹	۵۱,۴۸۱۲۶۴
	Z ۵-۲	سرشاخه دربندسر	۱,۷۶۰	۳۶,۰۰۱۶۵۱	۵۱,۴۸۰۲۲۳
۳	Z ۱-۳	فشم تا روته	۳,۸۲۹	۳۶,۰۱۷۳۶۲	۵۱,۴۷۷۷۸۸
	Z ۲-۳	روته تا زایگان	۳,۲۲۶	۳۵,۹۵۱۵۰۵	۵۱,۵۵۷۰۸۵

در شاخص BEHI پارامترهای (ارتفاع و زاویه کناره، ارتفاع دبی مقطع پر،عمق و تراکم ریشه و محافظت سطحی کناره) اندازه‌گیری شد (جدول ۵). بر اساس آن حساسیت و خطر فرسایش برای تمامی بازه ها مشخص شد. بر اساس نتایج این شاخص در ساحل راست، بازه یک دارای فرسایش کم بازه های ۳،۷،۸،۹ دارای فرسایش زیاد و بازه های ۲،۴،۵،۶،۱۰،۱۱ دارای فرسایش متوسط است و در ساحل سمت چپ در بازه های ۱و۴ فرسایش کم و در بازه های ۲،۳،۷،۸،۹ فرسایش زیاد و در بازه های ۵،۶،۱۰،۱۱ فرسایش متوسط است. که نتایج این مدل به مشاهدات میدانی نزدیک تر است (جدول۶).

بررسی ها نشان داد که تراکم ریشه ها و عمق ریشه ها در هر سه بخش مورد مطالعه در رودخانه جاجرود متوسط است. 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 فراهم شده به وسیله ترکیب ریشه و خاک صورت می گیرد (شکل ۲و۳).

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1403.11.1.3.3]
[DOI: 10.61186/jsaeh.11.1.5]



شکل۳. محافظت سطحی کرانه توسط پوشش گیاهی و ریشه درختان

جدول ۵. امتیازدهی شاخص های خطر فرسایش کرانه (BEHI)

بازه‌های	کرانه	مقدار و شاخص	ارتفاع کرانه/ ارتفاع دبی لبالبی	عمق ریشه/ ارتفاع کرانه	تراکم ریشه %	زاویه کرانه (درجه)	حفاظت سطحی %	تعدیل مواد کنار و چینه‌بندی	امتیاز کل
۱	کرانه راست	مقدار	۱/۰۳	۰/۷۲	۲۴/۴۵	۲۰	۳۰	۲	
		شاخص	۱/۳۱	۳/۰۵	۷/۲	۱/۹	۴		۱۹/۴۶
	کرانه چپ	مقدار	۱/۵۵	۰/۶۸	۳۰/۸۲	۱۵	۵۵	۳	
		شاخص	۵/۹۵	۲/۹۵	۴/۱	۱/۳	۲		۱۹/۳
2	کرانه راست	مقدار	۱/۵	۰/۵۵	۳۰/۵۵	۳۰	۶۰	۵	
		شاخص	۵/۹	۲/۲	۴/۰۹	۲/۵	۲/۴		۲۲/۰۹
	کرانه چپ	مقدار	۲/۳۲	۰/۱۶	۴۲	۴۶	۷۵	۵	
		شاخص	۸/۴	۶/۲	۴/۷	۳/۱۲	۳/۵		۳۰/۹۲
3	کرانه راست	مقدار	۱/۳۳	۰/۲۹	۸/۷۵	۴۵	۸۵	۴	
		شاخص	۵/۱	۸/۶	۸/۴	۳/۱	۱/۳		۳۰/۵
	کرانه چپ	مقدار	۱/۹۴	۰/۲۶	۱۰/۶۶	۶۵	۸۰	۳	
		شاخص	۷/۷۹	۷/۴	۸/۶	۴/۴	۱		۳۲/۱۹
4	کرانه راست	مقدار	۱/۲۱	۰/۲	۷/۴۴	۱۵	۸۰	۲	
		شاخص	۴/۰۷	۷/۱	۸/۳	۱/۶	۱		۲۴/۰۷
	کرانه چپ	مقدار	۱/۳۲	۰/۸۵	۷۷/۱۴	۲۰	۸۲	۳	
		شاخص	۵/۰۸	۳/۲	۳/۷	۱/۹	۱/۱۸		۱۸/۶
5	کرانه راست	مقدار	۱/۳۴	۰/۶۰	۲۴/۳۹	۴۵	۵۰	۲	
		شاخص	۵/۲۳	۲/۳۵	۷/۱	۳/۱	۵/۶		۲۵/۳۸
	کرانه چپ	مقدار	۱/۳۶	۰/۶۳	۴۱/۴۸	۴۰	۷۰	۳	
		شاخص	۵/۲۷	۲/۶	۵/۲	۲/۱	۳/۵		۲۱/۶۷
6	کرانه راست	مقدار	۱/۴۳	۰/۷۵	۶۰/۲۱	۶۴	۷۲	۵	
		شاخص	۵/۳	۳/۱	۲/۴	۴/۳۵	۳/۶		۲۳/۷۵

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1403.11.1.3.3]
[DOI: 10.61186/jsaeh.11.1.5]

	کرانه چپ	مقدار	۱/۲۴	۰/۷۴	۵۶/۰۳	۵۸	۶۳	۶
		شاخص	۴/۲	۳/۰۸	۲/۱	۳/۸	۲/۵	۲۱/۶۸
7	کرانه راست	مقدار	۱/۶۵	۰/۳۷	۱۸/۸۶	۹۰	۴۳	۷
		شاخص	۶/۲	۴/۶	۶/۳	۷/۹	۴/۷	۳۶/۷
	کرانه چپ	مقدار	۱/۴۴	۰/۴۲	۲۵/۳۵	۹۹	۵۵	۷
		شاخص	۵/۴۵	۴/۹۵	۷/۲	۸/۳۵	۲	۳۴/۹۵
8	کرانه راست	مقدار	۱/۹۱	۰/۳۷	۲۷/۱۷	۹۰	۱۵	۵
		شاخص	۷/۷	۴/۶	۷/۴	۷/۹	۶	۳۸/۶
	کرانه چپ	مقدار	۱/۹	۰/۷۴	۴۶/۰۵	۱۱۱	۲۵	۶
		شاخص	۷/۶	۳/۰۸	۴/۹	۸/۸	۷/۴	۳۷/۷۸
9	کرانه راست	مقدار	۱/۷۶	۰/۳۷	۱۰۰	۹۰	۵۲	۵
		شاخص	۷/۱	۴/۶	۱/۹	۷/۹	۵/۸	۳۲/۳
	کرانه چپ	مقدار	۲/۵۷	۰/۷۴	۲۲/۲۲	۸۳	۴۰	۷
		شاخص	۸/۷۲	۳/۰۸	۶/۷	۶/۲	۴/۹	۳۶/۶
10	کرانه راست	مقدار	۱/۴۸	۰/۷۰	۴۹/۲۱	۱۱۵	۶۳	۳
		شاخص	۵/۶	۲/۹۵	۵/۳	۸/۸۵	۲/۵	۲۸/۲
	کرانه چپ	مقدار	۱/۲۷	۰/۷۴	۸۶/۲۷	۱۰۰	۷۹	۴
		شاخص	۵/۳۸	۳/۰۸	۱/۲	۸/۵	۳/۹	۲۶/۶
11	کرانه راست	مقدار	۱/۴۸	۰/۹۲	۶۰/۱۲	۹۸	۷۷	۲
		شاخص	۵/۶	۱/۲	۲/۵	۸/۴	۳/۸	۲۳/۵
	کرانه چپ	مقدار	۱/۶	۰/۹۲	۹۱/۴۰	۱۰۲	۸۳	۴
		شاخص	۶	۱/۲	۱/۵	۸/۷	۱/۲	۲۲/۶

جدول ۶. نتایج کلی رده بندی خطر فرسایش کرانه (BEHI)

مقطع عرضی	خطر فرسایش		خطر فرسایش	
	امتیاز BEHI	کناره راست	امتیاز BEHI	کناره چپ
۱	۱۹/۴۶	کم	۱۹/۳	کم
۲	۲۲/۰۹	متوسط	۳۰/۹۲	زیاد
۳	۳۰/۵	زیاد	۳۲/۱۹	زیاد
۴	۲۴/۰۷	متوسط	۱۸/۶	کم
۵	۲۵/۳۸	متوسط	۲۱/۶۷	متوسط
۶	۲۳/۷۵	متوسط	۲۱/۶۸	متوسط
۷	۳۶/۷	زیاد	۳۴/۹۵	زیاد
۸	۳۸/۶	زیاد	۳۷/۷۸	زیاد
۹	۳۲/۳	زیاد	۳۶/۶	زیاد
۱۰	۲۸/۲	متوسط	۲۶/۶	متوسط
۱۱	۲۳/۵	متوسط	۶	متوسط

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1403.11.1.3.3]
[DOI: 10.61186/jsaeh.11.1.5]

در شاخص NBS با توجه به ویژگی های ساحل رودخانه جاجرود دو روش نسبت شعاع انحنا به عرض مقطع پر و نسبت حداکثر عمق نزدیک کرانه به متوسط عمق مقطع پر انتخاب شد و سپس بر اساس داده های جمع آوری شده از بازه های مختلف، میزان فرسایش پذیری رودخانه جاجرود در ساحل چپ و راست اندازه گیری شد که نتایج این برآورد طبق حدود تغییرات شاخص های مؤثر در فرسایش کناره ای در جدول(۷) نشان داده شده است.

جدول۷. میزان فرسایش پذیری کرانه رودخانه جاجرود بر اساس شاخص (NBS)

مقطع عرضی	نسبت شعاع انحناء به عرض مقطع پر	امتیاز NBS	نسبت حداکثر عمق نزدیک کناره راست به متوسط عمق مقطع پر	امتیاز NBS	نسبت حداکثر عمق نزدیک کناره چپ به متوسط عمق مقطع پر	امتیاز NBS
۱	۳/۶۳	خیلی کم	۱/۰۸	کم	۱/۲	کم
۲	۲/۹۷	کم	۰/۷۴	خیلی کم	۰/۸۹	خیلی کم
۳	۲/۱۹	متوسط	۰/۹۳	خیلی کم	۱/۰۵	کم
۴	۳/۸۱	خیلی کم	۰/۸۷	خیلی کم	۰/۹۴	خیلی کم
۵	۲/۲۰	متوسط	۱/۰۴	کم	۰/۹۴	خیلی کم
۶	۲/۱۸	متوسط	۱/۴۷	کم	۱/۱۱	کم
۷	۱/۸۶	زیاد	۱/۲۹	کم	۱/۱۸	کم
۸	۲/۹۷	کم	۰/۶۸	خیلی کم	۰/۸۱	خیلی کم
۹	۲/۱۸	متوسط	۱/۶۶	متوسط	۱/۲۲	کم
۱۰	۲/۸۳	کم	۱/۰۹	کم	۱/۱۶	کم
۱۱	۲/۸۱	کم	۱/۶۷	خیلی کم	۰/۸۱	خیلی کم

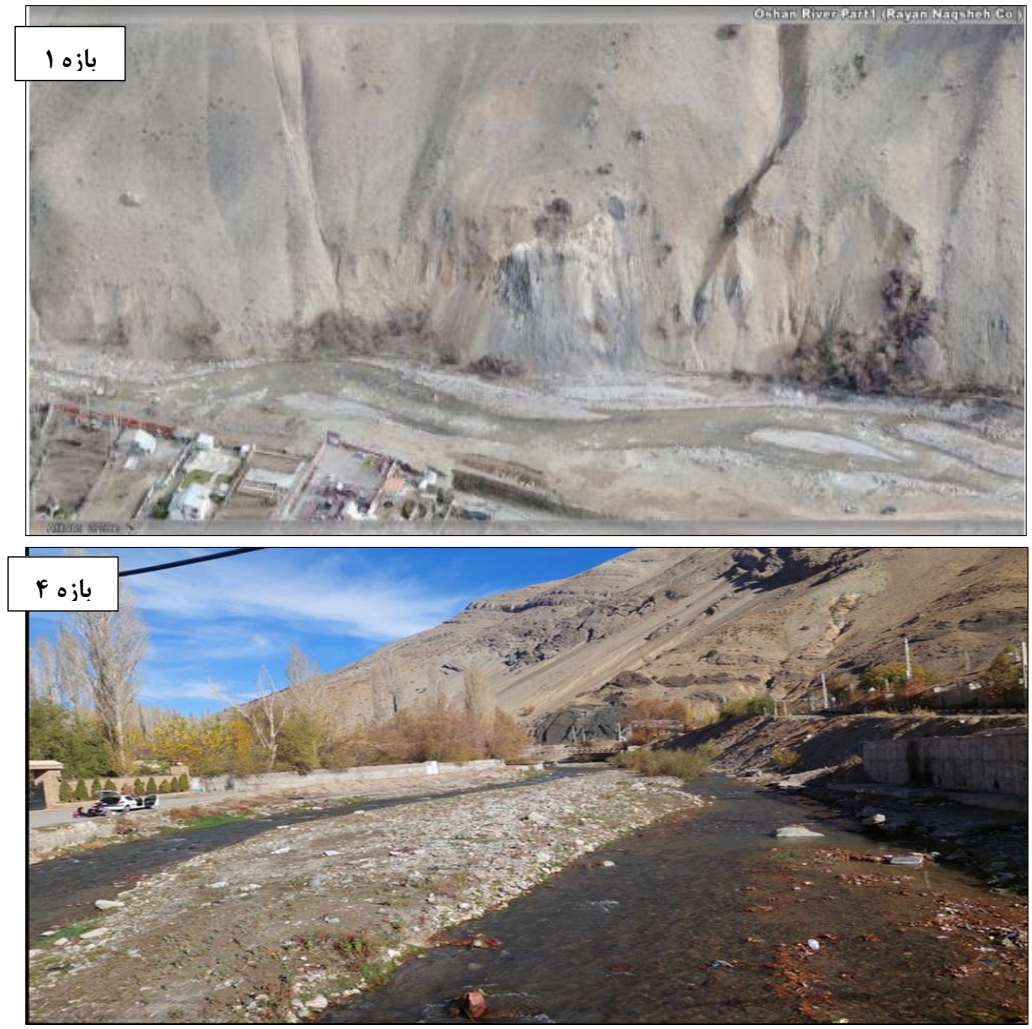
نتایج حاصل از شاخص شعاء انحناء به عرض دبی لبالبی، میزان استعداد فرسایش کناره رودخانه در بازه ۱و۴ خیلی کم است و در بازه ۲،۸،۱۰،۱۱ میزان فرسایش پذیری کم، در بازه ۷ میزان مستعد بودن کناره در برابر فرسایش زیاد و در بازه های ۳،۵،۶،۹ بر اساس این شاخص، میزان فرسایش متوسط است.

براساس مشاهدات میدانی از زردبند تا امین آباد (بازه ۱) و از کلیگون تا اوشان (بازه ۴) فرآیند رسوبگذاری غالب است که این موضوع، با نتایج شاخص BEHI نیز مطابقت دارد. در سایر بازه‌ها، فرآیند فرسایشی به عنوان پدیده غالب مشاهده شده است. با توجه به نتایج به دست آمده از حداکثر عمق نزدیک به کناره چپ و راست هر بازه، میزان فرسایش در کناره راست بازه ۲،۳،۴،۸،۱۱ و کناره چپ بازه ۲،۴،۵،۸،۱۱خیلی کم است. همچنین در کناره راست بازه ۱،۵،۶،۷،۱۰و کناره چپ بازه ۱،۳،۶،۷،۹،۱۰کم است، و در بازه ۹ متوسط است. مقایسه مشاهدات میدانی و نتایج ارزیابی از شاخص حداکثر عمق نزدیک به کناره چپ و راست هر بازه، نشان داد که از کلیگون تا اوشان (بازه ۴)، وضعیت فرسایش پذیری کم صدق می‌کند ولی در بازه های دیگر تناقض دارد.

در نتیجه مقایسه بین دو شاخص BEHI و NBS نشان داد که BEHI شاخص بهتری برای برآورد میزان فرسایش کناره و شناسایی بازه های مستعد فرسایش کناره‌ای در رودخانه جاجرود است، که از دلایل مؤثر بودن شاخص خطر فرسایش کناره، می‌توان به در نظر گرفتن پارامترهای مختلف از جمله پوشش کناره که شامل ریشه، پوشش گیاهی،

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1403.11.1.3.3]
[DOI: 10.61186/jsaeh.11.1.5]

محافظت سطحی و جنس مواد کناره را اشاره کرد. این امر دقت و کاربرد مدل خطر فرسایش کناره را نسبت به تنش برشی کناره افزایش می‌دهد.



شکل ۴.پلانفرم شریانی رودخانه جاجرود، از زربند تا امین آباد (بازه ۱) و کلیگون تا اوشان (بازه ۴)



شکل ۵. تصویری از بازه فرسایش پذیر رودخانه جاجرود، از امین آباد تا رودک (بازه ۲)

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1403.11.1.3.3]
[DOI: 10.61186/jsaeh.11.1.5]



شکل ۶.تصویری از بازه فرسایش پذیری در کناره چپ و رسوبگذار در کناره راست رودخانه جاجرود از رودک تا کلیگون (بازه ۳)

نتیجه‌گیری

رودخانه جاجرود اهمیت و تأثیرات مهمی در تأمین حق آبه کشاورزی، تغذیه سفره های زیرزمینی، تأمین آب شرب شرق تهران و فضای سبز و طبیعی شهر فشم، میگون، لواسانات و پایین‌دست دارد که طی سالهای اخیر در معرض تغییرات زیادی در اثر دخالتهای مستقیم و غیرمستقیم انسان از جمله گسترش ساخت و ساز شهری و روستایی، عملیات مهندسی رودخانه و دیوارسازی در امتداد رودخانه، تجاوز به حریم رودخانه و تغییر مسیر مجاری رودخانه، استفاده از پوشش گیاهی غیر بومی در کناره های رودخانه قرار گرفته و در نتیجه شرایط اکوهیدروژئومورفولوژی رودخانه را ناپایدار کرده است. در رودخانه جاجرود بدلیل کوهستانی بودن مسیر رودخانه، شیب زیاد، سرعت زیاد و تنگ بودن عرض بستر در اثر تعارضات متعدد به حریم آن، فرآیندهای فرسایشی غالب است. با توجه به قرارگیری سد لتیان و ماملو در پایین دست آن، می‌تواند چالش های زیادی در خصوص بهره برداری بهینه از این سازه ها به همراه داشته باشد. نتایج کلی به دست آمده از مدل BANCS نشان می دهد که بر روی حساسیت فرسایش کناره ای رودخانه جاجرود بیش از یک عامل کنترلی نقش دارد و میزان فرسایش کرانه‌های رودخانه جاجرود در بازه‌های مورد مطالعه را نمی‌توان فقط با یک شاخص تفسیر کرد. با توجه به مشاهدات میدانی، نتایج به دست آمده از مدل خطر فرسایش کناره ای (BEHI) در رودخانه جاجرود به واقعیت نزدیک بوده است که نشان دهنده کارآمد بودن این مدل برای برآورد خطر فرسایش در رودخانه جاجرود است. همانطور که مطالعات (رستمی و همکاران:۱۴۰۰)نشان داده اند که شاخص BEHI نتایج بهتری را در زمینه شناسایی بازه های مستعد فرسایش کناره ای ارائه می دهد.با توجه به داده ها و اطلاعات جمع آوری شده و نمونه گیری های انجام گرفته، مشخص شد فرسایش کناره ای از پدیده های غالب و فعال در بازه‌های مورد مطالعه رودخانه جاجرود محسوب می‌شود، که در بازه‌های مختلف آثار و پیامدهای گوناگونی چون تغییر الگوی رودخانه و گسترش عرض رودخانه در مسیرهای مستقیم داشته است. براساس مشاهدات میدانی، در طول رودخانه جاجرود دو بازه وجود دارد که به دلیل عریض بودن،

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1403.11.1.3.3]
[DOI: 10.61186/jsaeh.11.1.5]

شیب و سرعت کم بستر رودخانه، رسوبگذار است که هر دو بازه در زون یک، محدوده زردبند (بالادست پل لشگرک) و بازه کلوگان تا اوشان قرار گرفته‌اند. در سایر بازه ها فرآیند رسوبگذاری به طور موضعی در بالادست پلها، محل تقاطع آبراهه های فرعی و کناره داخلی قوسها اتفاق افتاده است. رودخانه در بازه های محدود از دره‌های پایدار عبور می‌نماید ولی همچنان فرسایش در آنها وجود دارد. با توجه به اینکه پوشش‌گیاهی که نقش اساسی در حفظ و پایداری کناره ها ی رودخانه دارد، در تمامی بازه های مورد مطالعه از تراکم کمتری برخوردار است. همین امر، می تواند کناره‌های رودخانه را در معرض فرسایش بیشتر قرار دهد. در راستای کنترل و کاهش مخاطرات ناشی از فرآیند فرسایش و رسوبگذاری در رودخانه جاجرود پیشنهاد و راهکارهای ژئومورفولوژیکی به قرار زیر می باشد:

-کنترل فرسایش در دامنه های مشرف به رودخانه در بازه هایی که ناپایدار و مستعد ناپایداری هستند از طریق احداث بندهای رسوبگیر، تراس بندی و درختکاری دامنه ها به منظور جلوگیری از ورود روان واریزه به داخل رودخانه در مواقع بارندگی های شدید و سیل آسا

-جلوگیری ساخت و ساز در شیب های ناپایدار و در مسیر و محل تلاقی آبراهه های فرعی به شاخه های اصلی جاجرود

-ساخت کالورت با ابعاد متناسب با آبگذری آبراهه های فرعی در محل تلاقی آنها با رودخانه جاجرود

-جلوگیری از تخلیه نخاله و دورریزهای ساختمانی در کناره رودخانه ها

-لایروبی منظم بالادست پل ها

-مرمت شیب شکن ها و کف بند ها و دیواره های حفاظتی تخریب شده که با خط ساماندهی هم راستاست

-استفاده از سازه های نفوذپذیر برای کاهش شیب در بستر رودخانه و مسیر آبراهه های فرعی

- کنترل فرسایش و حفاظت در بازه‌های با پتانسیل فرسایش کناره‌ای بالا با تقویت پوشش‌گیاهی.

منابع

احمدآبادی، علی؛ طیبه کیانی و پرستو غفورپور عنبران .۱۳۹۶. تحلیل اثرات عملیات آبخیزداری بر خصوصیات هیدروژئومورفولوژی حوضه آبریز عنبرانچای با استفاده از مدل نیمه توزیعیSWAT. *برنامه ریزی و آمایش فضا*، **۲۱ (۲)**: ۳۵-۵۵.

حاجیلی، نگار. ۱۳۹۷. احیاء و بازسازی رودخانه‌های شهری با رویکرد کاهش مخاطرات طبیعی. مطالعه موردی: رودخانه کن تهران. پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه خوارزمی تهران.

حسین زاده، محمدمهدی؛ سمیه خالقی و فراز واحدی فر. ۱۳۹۶. مقایسه و ارزیابی نتایج مدل NBSو BEHIدر فرسایش کنارهای رودخانه قرانقو چای هشترود. *جغرافیا و مخاطرات محیطی*، **۶ (۴)**: ۶۲-۴۱.

روستایی، شهرام؛ علی محمد خورشیددوست و سمیه خالقی .۱۳۹۲. ارزیابی مورفولوژی مجرای رودخانه لیقوان با روش طبقه بندی راسگن، *پژوهش های ژئومورفولوژی کمی*، **(۱)۴**: ۱-۱۶.

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1403.11.1.3.3]
[DOI: 10.61186/jsaeh.11.1.5]

قنواتی، عزت اله. ۱۳۹۰، پهنه بندی لغزش درحوضه جاجرود با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی. *فصل نامه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی*، **۲۰**: ۵۱-۶۸.

قنواتی، عزت اله؛ امیر کرم و مرضیه آقاعلیخانی. ۱۳۹۱. ارزیابی و پهنه بندی خطر رخداد سیلاب درحوضه فرحزاد (تهران) با استفاده ازمدل فازی. *مجله جغرافیا و برنامه ریزی محیطی*، **۴**: ۱۲۱-۱۳۸.

غفورپور، پرستو؛ علی احمدآبادی و عزت اله قنواتی. یاسی،مهدی. ۱۴۰۱. تحلیل هیدرومورفولوژیک رودخانه کرج در بازه شهری از بیلقان تا پل راه آهن. *جغرافیا و پایداری محیط*، **۱۳ (۱)**: ۲۱-۳۹

واحدی‌فر، فراز .۱۳۹۵. پیش‌بینی و ارزیابی فرسایش کناره‌ای و پایداری آن در رودخانه قرانقو. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دکتر محمدمهدی حسین‌زاده. دکتر سمیه خالقی. دانشگاه شهید بهشتی. تهران.

وزارت نیرو .۱۴۰۰. مطالعات ساماندهی رودخانه جاجرود. ۱۴۵-۱

یمانی، مجتبی؛ حسین زاده، محمد مهدی. ۱۳۸۲.روش‌های بررسی تغییرات بستر و الگوی رودخانه بابل در محدوده جلگه ساحلی.*نشریه علوم جغرافیایی*، **۲**: ۵۲-۷۲.

Allmanová, Z.; M. Vlčková; M. Jankovský; M. Allman; and 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.

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

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

Hasanuzzaman, M., B. Bera; A. Islam; and P.K. Shit. 2023. Estimation and prediction of riverbank erosion and accretion rate using DSAS, BEHI, and REBVI models: evidence from the lower Ganga River in India. *Natural Hazards*, **118**: 1163–1190.

Karmakera, T.; and S. Duttab. 2013. Modeling seepage erosion and bank retreat in a composite river bank. *Journal of Hydrology*, **476**: 178-187

Kessler, A. C.; S.C. Gupta; M. K. Brown. 2013. Assessment of river bank erosion in Southern Minnesota Rivers post European settlement. *Geomorphology*, **201**: 312 322.

Kessler, A. C.; S.C. Gupta; M. K. Brown. 2013. Assessment of river bank erosion in Southern Minnesota rivers postEuropean settlement. *Geomorphology*, **201**: 312–322

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

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

Midgley T. L.; G. A. Fox; D. M. Heeren. 2012. Evaluation of the bank stability and toe erosion model (BSTEM) for predicting lateral retreat on composite stream banks. *Geomorphology*. **145**:107–114.

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

Parker. C.; A. Simon; C. Thorne. 2008. The effects of variability in bank material properties on riverbank stability: Goodwin Creek, Mississippi. *Geomorphology*, **101**: 533–543.

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1403.11.1.3.3]
[DOI: 10.61186/jsaeh.11.1.5]

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

Rosgen, D.L., 2001, March. A stream channel stability assessment methodology. *In Proceedings of the seventh federal interagency sedimentation conference* . **2**.

Wilson, C. G.; R.A. Kuhnle; D. D. Bosch; J. L. Steiner; P. Starks; M. D .Tomer; and G. V Wilson. 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. and S. Mostaghimi. 2006. The Effects of Vegetation and Soil Type on Streambank Erosion, Southwestern Virginia, USA, *Journal of the American Water Resources Association,* **42 (1):** 69-82.

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-30]

[DOR: 20.1001.1.24237892.1403.11.1.3.3]

[DOI: 10.61186/jsaeh.11.1.5]