

## ارزیابی کمی ناپایداری کناره ای رودخانه جاجروم در بالادست سد لنیان

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

علی احمدآبادی؛ دانشیار گروه ژئومورفولوژی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران!

عزت الله قنواتی؛ استاد گروه ژئومورفولوژی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران.

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

### چکیده

فرسایش کناره ای یکی از منابع اصلی تولید رسواب در رودخانه ها است در صورتیکه از حالت طبیعی خارج شود منجر به مخاطره ناپایداری کناره ای می شود و رسواب تولیدی برای سازه های پایین دست از جمله سدها مشکلات زیادی ایجاد می کند. رودخانه جاجروم 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 کناره ای است. قرارگیری سدهای لنیان و ماملونیز در پایین دست آن، می تواند چالش های 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 جاجروم با استفاده از مدل BANCS (شاخص NBS و BEHI) در ۱۱ بازه برآسانس برداشت های میدانی و داده های تکمیلی از جمله تصاویر هوایی و پهبهادی ارزیابی می شود. مقایسه نتایج و ارزیابی این دو شاخص، نشان داد مدل BEHI نسبت به مدل NBS برای رودخانه جاجروم 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 کناره ای از بدیده های غالب و فعل در بازه های مورد مطالعه رودخانه جاجروم است، که در بازه های مختلف، آثار و پیامدهای گوناگونی چون تغییر الگوی رودخانه و گسترش عرض رودخانه در مسیرهای مستقیم داشته است.

واژه های کلیدی: ناپایداری کناره ای، شاخص BEHI، شاخص تنفس برشی، رودخانه جاجروم.

### مقدمه

رودخانه ها سیستم های کاملاً پویایی هستند که مرزهای جانبی و مشخصات مورفولوژیکی آنها در طول زمان و پیوسته در حال تغییرند. به طور کلی رودخانه ها تحت تأثیر عوامل مختلفی مانند ویژگی های زمین شناسی، هیدرولوژیکی، رئومورفولوژیکی، مورفولوژیکی و نحوه بهره برداری از آنها در معرض تغییر و تحول هستند. رودخانه ها به خودی خود طی سال های متمادی دستخوش تغییرات می شوند، اما امروزه انسان ها با دخالت و دستکاری طبیعت تو سط ایجاد سازه هایی مانند ساخت جاده ها پل ها و... به تسريع این فرایند دامن زده اند. تغییرات رودخانه ای به صورت فرسایش یا رسوب گذاری در بستر، تخریب دیواره ها، تغییر راستای جریان، تغییر و جایگاهی مثاندرها و تغییر در فرم رودخانه نمودار می شوند (واحدی فر، ۱۳۹۵: ۳) ساحل رودخانه ها به عنوان مکان های مناسب برای فعالیت های کشاورزی، صنعتی و تجاری در نظر گرفته می شود. ناپایداری مجرأ و سواحل رودخانه و رسوبات ناشی از آن نه تنها موجب تخریب اراضی حاشیه رودخانه و تأسیسات مجاور ساحل رودخانه می شود (Kessler et al, 2013) بلکه رسوبات حاصل از فرسایش رودخانه ای در برخی مواقع میزان قابل توجهی از مجموع کل رسوبات را شامل می شود که جریان رود آن را حمل می کند (یمانی و حسینزاده، ۱۳۸۲). ناپایداری مجرأ و سواحل رودخانه به دلیل تأثیرگذاری بر میزان فرسایش و خصوصیات مجاری رودخانه ها، میزان فرسایش در توسعه پهنه سیلابی و مدیریت منابع آب اهمیت دارد (Minghui, 2010 et al, 2010) در این راستا بررسی و مطالعه بر روی پایداری کناره رودخانه و شناخت کناره های آسیب دیده برای کسب اطلاعات دقیق و ارزیابی مشکلات و عوامل مؤثر در حفاظت و استفاده بهینه از رودخانه ها مهم و ضروری است (Wilson et al, 2008; Rosgen, 2001).

روشهای مختلفی برای محا سبه تنش بر شی نزدیک کناره وجود دارد که به تعدادی از آنها اشاره می شود: بررسی فرسایش کناره های با استفاده از پین های فرسایشی روش BSTEM، تنش بر شی، دندروئومورفولوژی روش راسگن. در داخل کشور نیز از روش های متفاوتی برای بررسی فرسایش کناره ای استفاده شده است که میتوان به مدل - BSTEM تنش بر شی- مدل راسگن، NBS و BEHE اشاره کرد وجود روش های قابل اعتماد برای پیش بینی پایداری کناره و میزان عقب نشینی آن ضروری به نظر میرسد. در سال های اخیر استفاده از مدل های عددی جهت پیش بینی حرک کanal و درنتیجه برآورد میزان فرسایش پذیری کanal، پیشرفت های زیادی داشته است. شاخص خطر فرسایش کناری یک فرآیندی یکپارچه جهت ارزیابی آسیب پذیری فرسایش کناری رودخانه با استفاده از متغیرهایی مختلف است، که نرخ فرسایش را برای ما محا سبه می کند. ارزیابی فشار بر شی نزدیک کناره در پیش بینی فرسایش بسیار با اهمیت است به طوریکه نشان دهنده توزیع انرژی جریان در مقطع عرضی مجرأ است و این توزیع نامتناسب انرژی جریان میتواند منجر به فرسایش کناره شود.

تا کنون تحقیقات زیادی توسط محققان داخلی و خارجی در زمینه ای 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 کanal رود در منطقه چشممه پاسوگا برای ارزیابی و پیش بینی فرسایش کناره های و نیز میزان رسوب از طبقه بندی سلسله مرتبی راسگن استفاده کرده است و با بهره گیری از متغیرهایی چون تغییرات در شاخص های کنترل فرم کanal رسود 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

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. در حالیکه هردو اثر معناداری روی پایداری کناری رودخانه دارند. میدگلی و همکارانش (Midgley et al, ۲۰۱۲) با استفاده از مدل عقب نشینی Fork Creek Barren در شمال شرق اوکلهاما در فاصله زمانی آپریل تا اکتبر ۲۰۰۹ را پیش بینی کردند. نتایج نشان داد که بیشترین میزان عقب نشینی جانبی رودخانه در اوسط تا اواخر ماه می تا سپتامبر به علت رگبارهای سیلی بی 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 آزمایش های لیسمتری برقرار کردند. کوریت (Coryat, ۲۰۱۴) به تحلیل و ارزیابی کanal با روش پیامدهای منبع غیرنقطه ای رسوب (BANCS) برای پیش بینی فرسایش و پایداری کرانه ای رودخانه در استونی کلووکریک در کت اسکیلز پرداخته است. این مطالعه نشان داد که نتایج به دست آمده از طریق روش BANCS ممکن است منجر به بهبود مدیریت آینده ای حوضه ای استونی کلوو شود. کانسور و همکارانش (Konsoer et al, 2015) تغییرات مکانی در مقاومت کناره ها به فرسایش در مناندرهای 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 عقب نشینی کناره رودخانه را بررسی کردند. نتایج نشان داد که خصوصیات مواد کناری، چسبندگی خاک و تنش برشی بحرانی بین دو خم (پیچ) متفاوت و تغییرات زیادی بین دو پیچ در حالت های عمودی و جانبی دارد. کریشنا و همکاران (Krishna et al, ۲۰۱۶) به اعتبار BANCS جهت 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 تنفس برشی نزدیک کرانه کمتر است. المانووا و همکاران (Allmanová et al, 2021) به ارزیابی مدل پیش بینی فرسایش BANCS و دو مؤلفه آن شاخص خطر فرسایش بانکی (BEHI) و شاخص های تنفس نزدیک کرانه (NBS) پرداخته اند. متعاقباً، 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 مدل های DSAS، BEHI و 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 را با استفاده از روش طبقه بندی راسگن در سطح دو مورد ارزیابی قراردادند. نتایج نشان داد که بازه های مورد بررسی از نوع C و E بوده و اکثر بازه های از نوع C بودند که نشان دهنده ای حساسیت بالای بازه های به فرسایش بوده و در موقع سیلابی، سیلاب دشت سیلابی را فرا می گیرد. احمد آبادی و همکاران (۱۳۹۶) تغییرات میزان تولید رواناب سطحی، میزان رسوب ویژه و میزان نفوذ پذیری با استفاده از مدل نیمه توزیعی SWAT در دو مقطع

قبل و بعد از عملیات آبخیزداری در حوضه آبریز عنبران چای را شبیه سازی و برآورد کردند. حسین زاده و همکاران (۱۳۹۶) در تحقیقی به منظور ارزیابی تغییرات مورفولوژیک و پایداری رودخانه قرانقوچای هشت روود با استفاده از مدل شاخص خطر فرسایش کرانه پرداختند که نتایج نشان داد که فرسایش کناره ای در هر دو کناره راست و چپ بازه های عرضی وجود دارد. احمدآبادی و همکاران (۱۳۹۷) به شناخت و تحلیل پتانسیل فرسایش کناره ای 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 اندازه گیری میزان فرسایش کناره ای و ناپایداری کناره ها انجام شده و با تلفیق روش های فوق پتانسیل فرسایش کناره ای رودخانه کن برآورد شده است. نتایج این پژوهش حاکی از آن است که در شاخص BEHI، فرسایش کناره ای در هر دو کناره راست و چپ بازه های 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، بازه های ۱، ۲، ۳، ۴، ۵، ۶ و ۷ از کیفیت هیدرومورفولوژی ضعیف؛ و بازه ۵ به دلیل دخالت های انسانی از جمله تغییر در الگوی مورفولوژی، ایجاد سازه های مهندسی، قطع پیوستگی آبراهه اصلی و سیالبدشت) 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.

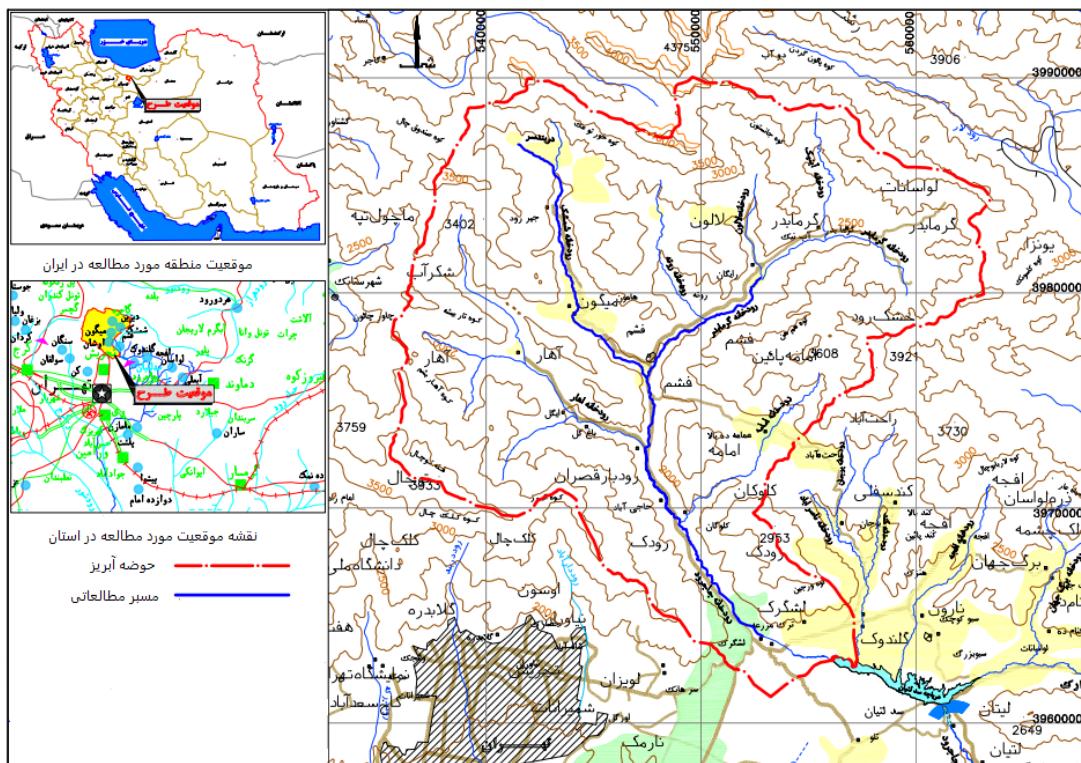
افزایش جمعیت و توسعه روزافزون کاربری ها در حاشیه رودخانه ها و مسیل ها در مناطق مرتفع و خوش آب و هوا، دخل و تصرف در بستر و حریم رودخانه به ویژه در محدوده رودخانه جاجرود افزایش یافته است. با توجه به کوهستانی بودن و وجود شیب های تند محدوده مورد مطالعه به گونه ای که ۶۲ درصد از مساحت منطقه شیب بیش از ۲۰ درصد دارند (قنواتی، ۱۳۹۰) و همچنین بارندگی نسبتاً زیاد، عدم وجود پوشش گیاهی به علت نوع خاص زمین شناسی و شیب تند کوه ها باعث شده است فرآیندهای رسوب گذاری موجب کاهش ظرفیت آب گذری آبراهه و در نتیجه سر ریز شدن آب کانال به سمت سیلاب دشت در صورت رخداد سیلاب شود. همچنین فرآیندهای فرسایشی سبب زیرشوابی 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، ۱۴۰۰) 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 ۱۱ بازه 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 ۴۷۲ کیلومترمربع در شمال شرق استان تهران و دارای موقعیت جغرافیایی  $۳۰^{\circ}$  و  $۳۵^{\circ}$  تا  $۵۰^{\circ}$  و  $۵۵^{\circ}$  طول شرقی و  $۳۰^{\circ}$  تا  $۵۲^{\circ}$  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

محدود است و شامل تنہ 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 داده‌ها و اطلاعات از جمله تصاویر پهپاد ۱:۲۰۰۰، نقشه‌های توپوگرافی ۱/۲۵۰۰۰، زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰ و عکس‌های هوایی. مدل ارتفاع رقومی (DEM) ۱۲/۵ متر سنجنده PALSAR، تصاویر ماهواره لنdest است. سنجنده TM، OLI استفاده کرد. داده‌ای مذکور از طریق سازمانهای متولی و جمع آوری کننده داده‌ها شامل سازمان هواشناسی کشور، سازمان آب منطقه‌ای (وزارت نیرو)، سازمان زمین‌شناسی و سازمان نقشه برداری کشور، شهرداری و مرکز منطقه‌ای مدیریت آب شهری تهیه شده است. روش تحلیلی در تحقیق حاضر مدل BANCS است که این مدل دارای از دو شاخص BEHI و NBS تشکیل شده است. شاخص خطر فرسایش کناره (BEHI): شاخص خطر فرسایش کناره یک فرآیند یکپارچه است، آسیب پذیری و فرسایش کناره با استفاده از متغیرهای شناخته شده که نرخ فرسایش را تحت تأثیر قرار می‌دهند، مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. در شاخص BEHI چندین متغیر که به واسطه‌ی ارزیابی‌های بصری بررسی می‌شوند می‌توان نسبت و میزان فرسایش کناره‌ای را در مناطق مستعد فرسایش نشان داد. هفت متغیر جهت ارزیابی وجود دارد و فرآیند نمره دهی به این ۷ پارامتر قابل اندازه گیری بر مبنای ۱۰۱ تا ۱۰۰ است، عدد ۱ حساسیت کم و استعداد کم به فرسایش و عدد ۰ حساسیت 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 - ۲- عمق ریشه - ۳- وزن تراکم ریشه (به درصد) - ۴- زاویه کناره (به درجه) - ۵- محافظت سطحی کناره - ۶- تعديل

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 کناره ها 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 دبی بلالبی	ارتفاع کرانه / ارتفاع کرانه	عمق ریشه / ارتفاع کرانه	تراکم ریشه %	زاویه کرانه (درجه)	حافظت سطحی %
خیلی کم	۱,۱-۱	۱,۹-۱	۱۰۰-۸۰	۰-۲۰	۱-۱,۹	۸۰-۱۰۰
	۱,۹-۱	۱,۹-۱	۱-۱,۹	۱-۱,۹	۲-۳,۹	۱-۱,۹
کم	۱,۹-۱,۱	۰,۸۹-۰,۵	۵۵-۷۹	۲۱-۶۰	۵۵-۷۹	۲-۳,۹
	۳,۹-۲	۳,۹-۲	۲-۳,۹	۲-۳,۹	۳۰-۵۴	۳۰-۵۴
متوسط	۱,۵-۱,۲	۰,۴۹-۰,۳	۳۰-۴۵	۶۱-۸۰	۴-۵,۹	۴-۵,۹
	۵,۹-۴	۵,۹-۴	۴-۵,۹	۴-۵,۹	۱۵-۲۹	۱۵-۲۹
زیاد	۲-۱,۶	۰,۳۹-۰,۱۵	۱۵-۲۹	۸۱-۹۰	۶-۷,۹	۶-۷,۹
	۷,۹-۶	۷,۹-۶	۶-۷,۹	۶-۷,۹	۱۰-۱۴	۹۱-۱۱۹
خیلی زیاد	۲,۸-۲,۱	۰,۱۴-۰,۰۵	۵-۱۴	۸-۹	<۱۰	۸-۹
	۲,۸-<	<۰,۰۵	<۵	۱۱۹<	۱۰	۱۰
شدید	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	شاخص	شاخص

جدول ۲. طبقه بندی پتانسیل فرسایش کرانه

تصویف	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

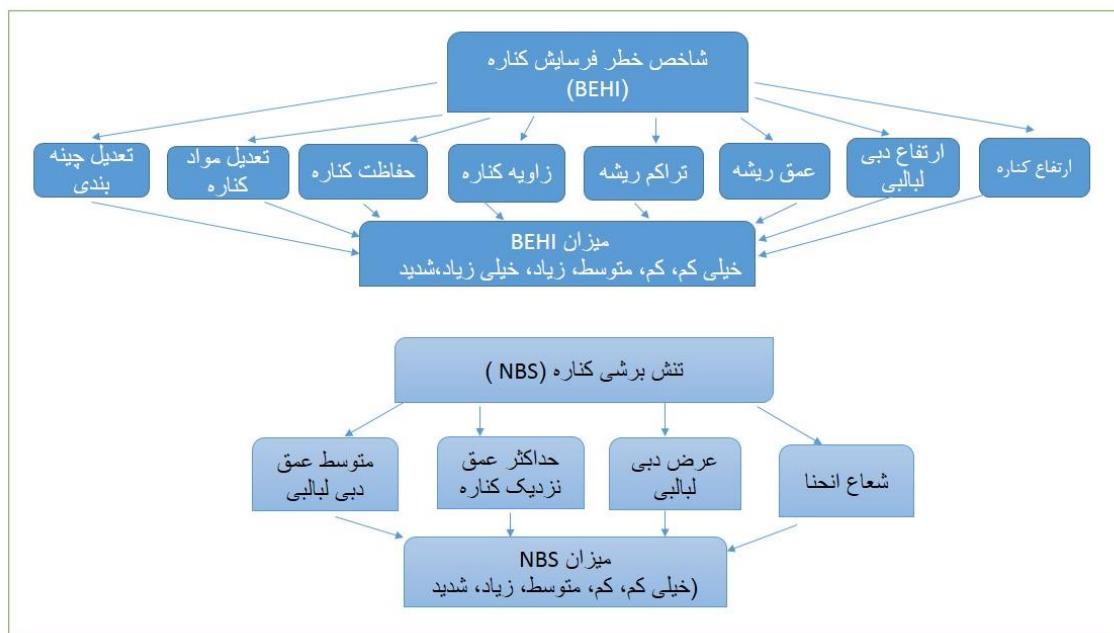
### شاخص تنش برشی نزدیک کرانه (NBS)

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

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 مجرأ و ارزیابی بارها ۲- نسبت شعاع انحنا به عرض مقطع پر<sup>۳</sup>- 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 ۱۴). انتخاب روش مناسب تابع شرایط منطقه است. با توجه به ویژگی های کناره رودخانه جاگرد، دو روش نسبت شعاع انحنا به عرض دبی لبالبی ( $Rc/W_{hkf}$ ), نسبت حداکثر عمق نزدیک کرانه به متوسط عمق دبی لبالبی ( $d_{nb}/d_{bhf}$ ) 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 کناره رودخانه در سطوح مختلف از خیلی کم تا شدید تعیین شد (جدول ۳).

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

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



شکل ۲. فلوچارت مراحل انجام مدل BANCS

### نتایج و یافته ها

در این پژوهش برای بررسی فرسایش کناره ای در رودخانه جاجرود از دو شاخص BEHI و NBS استفاده شده است که پارامترهای هر دو شاخص از طریق گوگل ارث، تصاویر پهپادی و بازدیدهای 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،۰،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 هر کدام 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

مختصات جغرافیایی بازه		طول بازه (کیلومتر)	بازه	شماره بازه	زون
X	Y				
۵۱,۵۸۲۰۳۱	۳۵,۸۱۸۱۷۸	۲,۳۴۶	زردبند تا امین اباد	Z ۱-۱	۱
۵۱,۵۶۹۰۰۵	۳۵,۸۲۳۳۳۱۱	۲,۳۲۵	امین اباد تا رودک	Z ۲-۱	
۵۱,۵۵۳۷۸۴	۳۵,۸۵۰۲۲۳	۳,۰۹۵	رودک تا کلیگون	Z ۳-۱	
۵۱,۵۳۵۹۰۲	۳۵,۸۷۴۱۰۳	۲,۸۳۰	کلیگون تا اوشان	Z ۴-۱	
۵۱,۵۲۵۴۹۹	۳۵,۸۹۸۰۶۹	۳,۳۱۱	اوشان تا فشم	Z ۱-۲	۲
۵۱,۵۲۶۰۱۱	۳۵,۹۲۷۸۵۴	۴,۴۷۷	вшم تا میگون	Z ۲-۲	
۵۱,۴۸۸۳۴	۳۵,۹۵۳۹۴	۳,۶۳۶	میگون تا دره هم لون	Z ۳-۲	
۵۱,۴۸۱۲۶۴	۳۵,۹۸۶۱۶۹	۱,۷۱۶	دره هم لون تا شمشک	Z ۴-۲	
۵۱,۴۸۰۲۲۲	۳۶,۰۰۱۶۵۱	۱,۷۶۰	سرشاخه دربندرس	Z ۵-۲	۳
۵۱,۴۷۷۷۸۸	۳۶,۰۱۷۳۶۲	۳,۸۲۹	вшم تا روتله	Z ۱-۳	
۵۱,۵۵۷۰۸۵	۳۵,۹۵۱۵۰۵	۳,۲۲۶	روته تا زیگان	Z ۲-۳	

در شاخص BEHI پارامترهای (ارتفاع و زاویه کناره، ارتفاع دبی مقطع پر، عمق و تراکم ریشه و محافظت سطحی کناره) اندازه گیری 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 ۱۱،۱۰،۱۱،۱۰،۱۱ دارای فرسایش متوسط است و در ساحل سمت چپ در بازه های ۱ و ۴ فرسایش کم و در بازه های ۲،۴،۵،۶،۷،۸،۹ فرسایش زیاد و در بازه های ۱۰،۱۱ فرسایش متوسط است. که نتایج این مدل به مشاهدات میدانی نزدیک تر است (جدول ۶).

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 زیری و مقاومت کششی ناشی از افزایش چسبندگی فراهم شده به وسیله ترکیب ریشه و خاک صورت می گیرد (شکل ۲ و ۳).



شکل ۳. محافظت سطحی کرانه توسط پوشش گیاهی و ریشه درختان

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

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

	۶	۶۳	۵۸	۵۶/۰۳	۰/۷۴	۱/۲۴	مقدار	کرانه چپ	
۲۱/۶۸		۲/۵	۳/۸	۲/۱	۳/۰۸	۴/۲	شاخص	کرانه راست	۷
	۷	۴۳	۹۰	۱۸/۸۶	۰/۳۷	۱/۶۵	مقدار		
۳۶/۷		۴/۷	۷/۹	۶/۳	۴/۶	۶/۲	شاخص	کرانه چپ	۸
	۷	۵۵	۹۹	۲۵/۳۵	۰/۴۲	۱/۴۴	مقدار		
۳۴/۹۵		۲	۸/۳۵	۷/۲	۴/۹۵	۵/۴۵	شاخص	کرانه راست	۸
	۵	۱۵	۹۰	۲۷/۱۷	۰/۳۷	۱/۹۱	مقدار		
۳۸/۶		۶	۷/۹	۷/۴	۴/۶	۷/۷	شاخص	کرانه چپ	۹
	۶	۲۵	۱۱۱	۴۶/۰۵	۰/۷۴	۱/۹	مقدار		
۳۷/۷۸		۷/۴	۸/۸	۴/۹	۳/۰۸	۷/۶	شاخص	کرانه راست	۹
	۵	۵۲	۹۰	۱۰۰	۰/۳۷	۱/۷۶	مقدار		
۳۲/۳		۵/۸	۷/۹	۱/۹	۴/۶	۷/۱	شاخص	کرانه چپ	۱۰
	۷	۴۰	۸۳	۲۲/۲۲	۰/۷۴	۲/۵۷	مقدار		
۳۶/۶		۴/۹	۶/۲	۶/۷	۳/۰۸	۸/۷۲	شاخص	کرانه راست	۱۰
	۳	۶۳	۱۱۵	۴۹/۲۱	۰/۷۰	۱/۴۸	مقدار		
۲۸/۲		۲/۵	۸/۸۵	۵/۳	۲/۹۵	۵/۶	شاخص	کرانه چپ	۱۱
	۴	۷۹	۱۰۰	۸۶/۲۷	۰/۷۴	۱/۲۷	مقدار		
۲۶/۶		۳/۹	۸/۵	۱/۲	۳/۰۸	۵/۳۸	شاخص	کرانه راست	۱۱
	۲	۷۷	۹۸	۶۰/۱۲	۰/۹۲	۱/۴۸	مقدار		
۲۳/۵		۳/۸	۸/۴	۲/۵	۱/۲	۵/۶	شاخص	کرانه چپ	۱۱
	۴	۸۳	۱۰۲	۹۱/۴۰	۰/۹۲	۱/۶	مقدار		
۲۲/۶		۱/۲	۸/۷	۱/۵	۱/۲	۶	شاخص		

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

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

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.

جدول ۷. میزان فرسایش پذیری کرانه رودخانه جاجرود بر اساس شاخص (NBS)

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

نتایج حاصل از شاخص شعاع انحنا به عرض دبی لبالی، میزان استعداد فرسایش کناره رودخانه در بازه ۱۰ و ۴ خیلی کم است و در بازه ۱۱، ۱۰، ۱۱، ۲، ۸، ۱۰، ۱۱ میزان فرسایش پذیری کم، در بازه ۷ میزان مستعد بودن کناره در برابر فرسایش زیاد و در بازه های ۹، ۶، ۵، ۳ 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 بازه ها، 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 ۱۱، ۱۰، ۱۱، ۸، ۴، ۲، ۳ و کناره چپ بازه ۱۱، ۸، ۵، ۴، ۲، ۳ خیلی کم است. همچنین در کناره راست بازه ۱۰، ۱۱، ۷، ۶، ۵، ۴، ۲، ۱ کناره چپ بازه ۱۰، ۱۱، ۳، ۶، ۷، ۹، ۱۰ کم 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 می کند 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 کناره ای در رودخانه جاجرود است، که از دلایل مؤثر بودن شاخص خطر فرسایش کناره، می توان به در نظر گرفتن پارامترهای مختلف از جمله پوشش کناره که شامل ریشه، پوشش گیاهی،

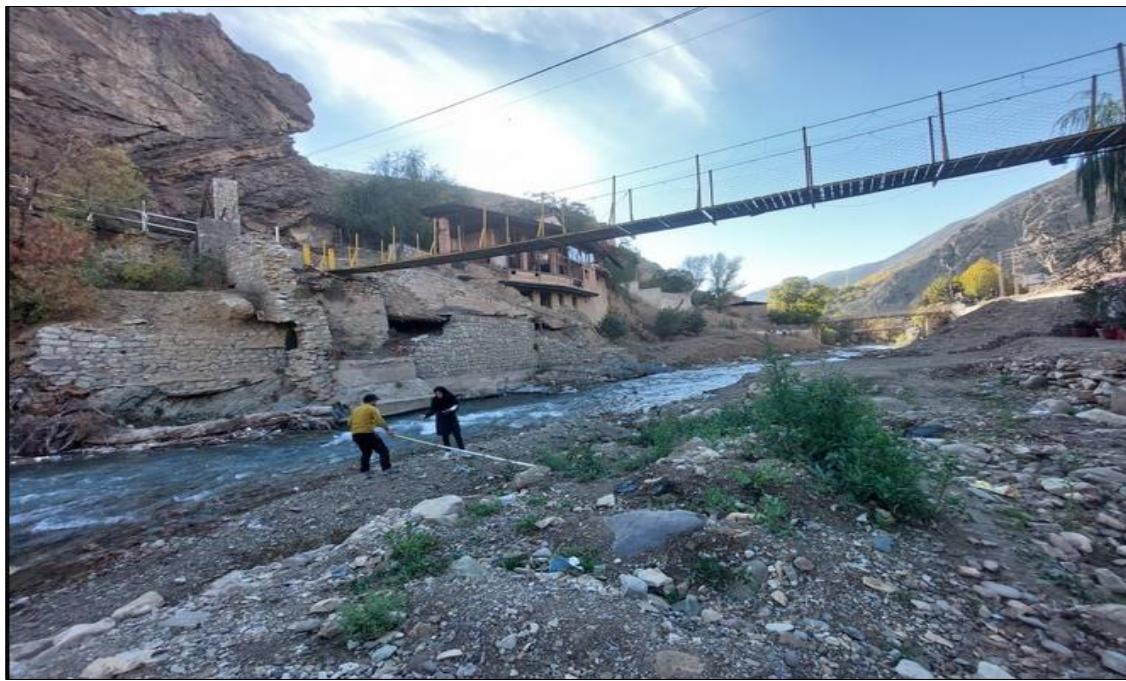
محافظت سطحی و جنس مواد کناره را اشاره کرد. این امر دقت و کاربرد مدل خطر فرسایش کناره را نسبت به تنش برشی کناره افزایش می‌دهد.



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)



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 سفره‌های زیرزمینی، تأمین آب شرب شرق تهران و فضای سبز و طبیعی شهر فشم، میگون، لوسانات و پایین دست 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 مجاري رودخانه، استفاده از پوشش گیاهی غیر بومی در کناره‌های رودخانه قرار گرفته و در نتیجه شرایط اکوهیدرولوجیک و فولوژی رودخانه را ناپایدار کرده است. در رودخانه جاجرود بدليل کوهستانی بودن مسیر رودخانه، شبیب زیاد، سرعت زیاد و تنگ بودن عرض بستر در اثر تعارضات متعدد به حریم آن، فرآیندهای فرسایشی غالب است. با توجه به قرارگیری سد لتبیان و ماملو در پایین دست آن، می‌تواند چالش‌های زیادی در خصوص بهره برداری بهینه از این سازه‌ها به همراه داشته باشد. نتایج کلی به دست آمده از مدل BANCS نشان می‌دهد که بر روی حساسیت فرسایش کناره‌ای 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 کناره‌ای (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 (rstmi و همکاران: ۱۴۰۰) نشان داده اند که شاخص BEHI نتایج بهتری را در زمینه شناسایی بازه‌های مستعد فرسایش کناره‌ای ارائه می‌دهد. با توجه به داده‌ها و اطلاعات جمع آوری شده و نمونه‌گیری‌های انجام گرفته، مشخص شد فرسایش کناره‌ای از پدیده‌های غالب و فعل 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،

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 بازه‌ها فرآیند رسوبگذاری به طور موضعی در بالادست پلهای، محل تقاطع آبراهه‌های فرعی و کناره داخلی قوسها اتفاق افتاده است. رودخانه در بازه‌های 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 کناره‌ها را در معرض فرسایش بیشتر قرار دهد. در راستای کنترل و کاهش مخاطرات ناشی از فرآیند فرسایش و رسوبگذاری در رودخانه جاجرود پیشنهاد راهکارهای ژئومورفولوژیکی به قرار زیر می‌باشد:

-کنترل فرسایش در دامنه‌های مشرف به رودخانه در بازه‌هایی که ناپایدار و مستعد ناپایداری هستند از طریق احداث بندهای رسوبگیر، تراس بندی و درختکاری دامنه‌ها به منظور جلوگیری از ورود روان واریزه به داخل رودخانه در موقع بارندگی‌های شدید و سیل آسا

-جلوگیری ساخت و ساز در شیب‌های ناپایدار و در مسیر و محل تلاقی آبراهه‌های فرعی به شاخه‌های اصلی جاجرود

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

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

-لایروبی منظم بالادست پل‌ها

-مرمت شیب شکن‌ها و کف‌بند‌ها و دیواره‌های حفاظتی تخریب شده که با خط ساماندهی هم راستاست

-استفاده از سازه‌های نفوذپذیر برای کاهش شیب در بستر رودخانه و مسیر آبراهه‌های فرعی

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

## منابع

احمدآبادی، علی؛ طبیبه کیانی و پرستو غفورپور عنبران. ۱۳۹۶. تحلیل اثرات عملیات آبخیزداری بر خصوصیات هیدرولوژی حوضه آبریز عنبرانچای با استفاده از مدل نیمه توزیعی SWAT. برنامه ریزی و آمایش فضای، 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، محمدمهردی؛ سمیه خالقی و فراز واحدی فر. ۱۳۹۶. مقایسه و ارزیابی نتایج مدل NBS و BEHI در فرسایش کناره‌ای رودخانه قرانقو چای هشتود. جغرافیا و مخاطرات محیطی، ۶(۴): ۶۲-۴۱.

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

قوتی، عزت‌الله. ۱۳۹۰. پهنه‌بندی لغزش در حوضه جاجرود با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی. *فصل نامه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی*, ۲۰: ۶۸-۵۱.

قوتی، عزت‌الله؛ امیر‌کرم و مرضیه آقعلیخانی. ۱۳۹۱. ارزیابی و پهنه‌بندی خطر رخداد سیلاب در حوضه فرخزاد (تهران) با استفاده از مدل فازی. *مجله جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی*, ۴: ۱۲۱-۱۳۸.

غفورپور، پرستو؛ علی احمدآبادی و عزت‌الله قنواتی. یاسی، مهدی. ۱۴۰۱. تحلیل هیدرومorfولوژیک رودخانه کرج در بازه شهری از بیلغان 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. ۱-۱۴۵.

یمانی، مجتبی؛ حسین‌زاده، 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.

- 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.