جغرافیا و مخاطرات محیطی، شماره بیست و چهار ، زمستان ۱۳۹۶

صص ۶۱- ۴۱

DOI: 10.22067/geo.v6i4.62232

مقایسه و ارزیابی نتایج مدل NBS و BEHI در فرسایش کناره‌ای رودخانه قرانقو چای هشترود

محمدمهدی حسین زاده-دانشیار ژئومورفولوژی دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

سمیه خالقی[1]- استادیار ژئومورفولوژی دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

فراز واحدی فر- دانشجوی کارشناسی ارشد ژئومورفولوژی دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱۱/۱۱ تاریخ تصویب: ۱۳۹۶/۷/۵

چکیده

تغییرات مجرای رودخانه، فرسایش کناره‌ای و رسوب‌گذاری کناره‌ای، فرآیندهای طبیعی رودخانه‌های آبرفتی هستند که باعث تخریب زمین‌های کشاورزی اطراف و خسارت به تأسیسات انسانی اطراف رودخانه می‌شود؛ بنابراین فرسایش کناره و تغییرات کانال رود به‌عنوان یک مسئله اجتماعی، محیطی و اقتصادی است که اغلب خسارات جبران‌ناپذیری را به ساکنان و تأسیسات حاشیه رودخانه وارد می‌سازد. در این پژوهش از دو روش NBS و BEHI جهت ارزیابی وضعیت رودخانه قرانقو چای از نظر الگو و اندازه‌گیری میزان فرسایش کناره‌ای و ناپایداری کناره‌ها استفاده شده است. درروش NBS از نسبت شعاع انحناء به عرض دبی لبالبی و نسبت حداکثر عمق نزدیک کرانه به متوسط عمق دبی لبالبی استفاده شده است. طبق این روش در نسبت شعاع انحناء به عرض دبی لبالبی، مقاطع دارای فرسایش شدید تا متوسط می‌باشند و فقط در مقطع ۷ فرسایش در حد کم است و در روش نسبت حداکثر عمق نزدیک کرانه به متوسط عمق دبی لبالبی، در مقطع اول خیلی کم و در مقطع دوم شدید است و در بقیه مقاطع میزان فرسایش دارای مقادیر کم تا متوسط می‌باشد.در روش BEHI نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که فرسایش کناره‌ای 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 می‌باشد و فقط در مقطع ٤ 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. بر اساس نتایج دو مدل به‌طورکلی میزان و خطر فرسایش برای کناره خارجی قوس‌ها در محدوده الگوی پیچانرودی رودخانه قرانقو بیش‌تر از کناره مقابل است؛ هم‌چنین میزان فرسایش کناره‌ای در هر دو کرانه در بخش میانی بازه مورد مطالعه کاهش و در بخش

۱ نویسنده مسئول: ۰۹۱۸۱۳۸۱٤۵۳

Email: s_khaleghi@sbu.ac.ir

انتهایی افزایش پیدا می‌کند و فرسایش کناره‌ای در بازه مورد مطالعه از عوامل مهم تولید رسوب رودخانه قرانقو محسوب می‌شود و خطر فرسایش کناره‌ای و استعداد فرسایش کناره‌ای در طول بازه با شدت و ضعف متفاوت در دو کناره رودخانه وجود دارد.

کلیدواژه‌ها: فرسایش کناره‌ای، تغییرات مجرا، NBS، BEHI، رودخانه قرانقو چای

۱. مقدمه

مورفولوژی رودخانه، علم شناخت سیستم رودخانه از نظر شکل و فرم کلّی، ابعاد و هندسه هیدرولیکی، راستا و پروفیل طولی بستر و نیز روند و مکانیزم تغییرات آن می‌باشد. دگرگون شدن شرایط پایدار رودخانه، فعل‌وانفعالات جدید و تغییرات متوالی را در مشخصه‌های فیزیکی رودخانه در پی خواهد داشت. مهم‌ترین نقش مطالعات مورفولوژی در چنین رودخانه‌هایی، تعیین کمی و کیفی عکس‌العمل رودخانه و پیش‌بینی روند تغییرات آینده رود می‌باشد (یمانی و حسین زاده، ۱۳۸۱: ۱۱۰).

تغییرات کانال رود شامل فرسایش کناره‌ای و ایجاد بریدگی‌ها و رسوب‌گذاری کناره‌ای فرایندهای طبیعی رودخانه‌ها هستند که باعث تحمیل تغییرات فراوان در حاشیه‌های رودخانه و ایجاد مشکلات طبیعی و خسارات انسانی می‌شود. از سوی دیگر توسعه فعالیت‌های انسانی مانند برداشت شن و ماسه و ایجاد ساخت‌وساز در کنار رودخانه و حفاظت از خطوط ساحلی و تغییرات کاربری اراضی باعث تغییر در ماهیت دینامیک و مورفولوژی رودخانه می‌شود (گریگوری، ۲۰۰۶: ۱۸۵). مثلاً برداشت شن و ماسه بیش‌ازحد می‌تواند موجب فروسایی بستر رودخانه شده که می‌تواند به صورت بالقوه به‌عنوان یک مخاطره طبیعی ناشی از دخالت انسان در سطح محلی در نظر گرفته شود (اسماعیلی و همکاران، ۱۳۹۲، ۵۸).

فرسایش کناره رودخانه‌ها، عامل ناپایداری، جابجایی و انتقال ذرات یا توده‌های خاک کناره می‌باشد. اگرچه فرسایش در رودخانه‌ها به صورت فرسایش کف و کناره‌ها توأماً دیده می‌شود ولی رخداد فرسایش در کناره‌ها به صورت عمومی‌تر و رایج‌تر و موجب بروز مشکلات بیشتری نسبت به فرسایش کف می‌گردد. فرسایش کناره‌ها موجب بروز مشکلات زیادی در رودخانه‌های آبرفتی می‌شود. تعریض بستر رودخانه‌ها، تخریب اراضی کشاورزی، تخریب راه‌های مجاور ساحل رودخانه‌ها، افزایش شدید غلظت رسوب و آلودگی آب رودخانه‌ها و تهدید پایداری سازه‌های احداث شده بخشی از مشکلات ناشی از فرسایش کناری است.

تاکنون تحقیقات زیادی توسط محققین داخلی و خارجی در زمینه ناپایداری و فرسایش کرانه رودخانه و مدیریت حفاظت از کرانه‌ها انجام گرفته است از جمله: راسگن (۲۰۰۱) در پژوهشی به ارزیابی مدل‌های پایداری کانال رود در منطقه چشمه پاسوگا برای ارزیابی و پیش‌بینی فرسایش کناره‌ای و نیز میزان رسوب پرداخته است و با بهره‌گیری از متغیرهایی چون تغییرات در شاخص‌های کنترل فرم کانال در درجه اول و رژیم رسوب، پوشش گیاهی و تغییرات

فیزیکی این محدوده در درجه دوم این سیستم طبقه‌بندی را مورد اعتبار سنجی قرار داده است. کوان و سوانسون[1] (۲۰۱٤) به پیش‌بینی فرسایش سالانه کناره رودخانه با استفاده از شاخص خطر فرسایش کناره (BEHI) و روش تنش برشی نزدیک کناره (NBS) برای جنگل ملی سکوایا در کالیفرنیا پرداختند و دریافتند که بسیاری از مدل‌های فرسایش در طبیعت دارای محدودیت‌هایی می‌باشند؛ لذا در تحقیقی به‌منظور تجزیه‌وتحلیل و درک مکانیسم‌ها و نرخ فرسایش در جنگل‌های ملی سکویا برای مدیریت و تحلیل اثرات آتش سوزی و نقش این عامل در ایجاد فرسایش، روش‌های فوق را مورد استفاده قرار دادند. کوریت[2] (۲۰۱٤) به تحلیل و ارزیابی کانال با روش پیامدهای منابع غیر نقطه‌ای تولید رسوب (BANCS) برای پیش‌بینی فرسایش و پایداری کرانه رودخانه در استونی کلوو کریک 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 حوضه استونی کلوو شود. کریشنا و همکاران (۲۰۱٦) به اعتبارسنجی مدل BANCS جهت ارزیابی پتانسیل خطر فرسایش کرانه رودخانه بکرشوار در هند شرقی پرداختند. نتایج نشان داد که مقدار BEHI در قسمت‌های بالادست و محل‌های تلاقی بالاست اما مقدار NBS کمتر است. خاک لاتریتی ضعیف و پوشش گیاهی تنک و غیره در بالادست و شیب زیاد و کناره‌های برهنه، مجاری سینوسی، رسوبات آبرفتی سست و غیره در پایین دست می‌تواند برای پتانسیل خطر بالای فرسایش کناره‌ای در نظر گرفته شود. درنهایت اینکه، BEHI و NBS برای پیش‌بینی خطر فرسایش کناره‌ای این رودخانه مناسب نبودند. اصغری سراسکانرود و زینالی (۱۳۹۲) به بررسی مقاومت ذرات رسوبی در برابر فرسایش رودخانه سراسکند چای هشترود پرداختند. در این تحقیق نمونه‌برداری از مسیر مورد مطالعه انجام و سپس با استفاده از روش‌های تنش برشی و شاخص مقاومت نسبی بستر، میزان فرسایش‌پذیری تعیین شد. نتایج نشان داد که هیچ‌گونه رابطه معنی‌داری بین اندازه قطر دانه‌های رسوبی وجود ندارد و علت آن دخالت عوامل انسانی در تغییر ترکیب طبیعی قطر دانه‌های رسوبی می‌باشد و در اکثر نقاط رودخانه میزان تنش برشی بحرانی بیشتر از تنش برشی کل است که نشان‌دهنده این است که ذرات رسوبی موجود در بستر رودخانه نسبت به فرسایش در بستر رودخانه مقاوم می‌باشند بنابراین رودخانه حالت پایداری دارد و میزان تغییرات رودخانه در آینده بسیار کم و به صورت مقطعی خواهد بود. خالقی و ملکانی (۱۳۹۳) در پژوهشی برآورد فرسایش کرانه رودخانه لیقوان چای با استفاده از شاخص تنش برشی نزدیک کرانه راسگن پرداخته‌اند که نتایج نشان داد که در روش نسبت شعاع انحناء به عرض دبی لبالبی ، میزان فرسایش‌پذیری کرانه در اکثر مقاطع به‌جز مقطع ۱۰، کم تا خیلی کم بوده و در روش نسبت حداکثر عمق نزدیک کرانه به متوسط عمق دبی لبالبی در اکثر مقاطع فرسایش‌پذیری کرانه‌ها در حد کم تا متوسط است. حسین زاده و همکاران (۱۳۹۵) به برآورد فرسایش کناره‌ای در رودخانه قرانقوچای هشترود با استفاده از مدل راسگن پرداختند. نتایج نشان داد که فرسایش کناره‌ای از پدیده‌های غالب و فعال در بازه‌های مورد

1 Kwan and Swanson
2 Coryat

مطالعه رودخانه قرانقوچای محسوب می‌شود، که در مقاطع مختلف آثار و پیامدهای گوناگونی چون تغییر الگوی رودخانه، گسترش شعاع انحنا در قوس‌های رودخانه و گسترش عرض رودخانه در مسیرهای مستقیم داشته است. حسین زاده و همکاران (۱۳۹٦) به بررسی پایداری رسوبات بستر رودخانه لاویج با استفاده از روش تنش برشی بحرانی و دبی بحرانی پرداختند. نتایج هر دو روش همخوانی بالایی داشتند؛ درنتیجه این روش‌ها، برای مطالعات پایدارسازی و تولید رسوب رودخانه‌ها مناسب است.

در رودخانه قرانقو تغییر نسبی مسیر و شکل مجاری رود، تهدید پایداری سازه‌های مجاور رودخانه، تخریب کناره‌ها و اراضی موجود در حواشی رودخانه، مخصوصاً فرسایش کناره رود و تغییر کاربری زمین‌های مجاور رودخانه، از جمله چشم‌اندازهایی است که مشاهده می‌شود، با توجه به این که رودخانه قرانقو از سر شاخه‌های مهم سفیدرود محسوب می‌شود و در پایین‌تر از منطقه مورد مطالعه سد سهند هشترود واقع شده است، لذا مطالعه فرسایش و عوامل تأثیرگذار در این پدیده از امور مسائل در این منطقه محسوب می‌شود. لذا در تحقیق پیش رو برای پیش‌بینی میزان فرسایش کناره‌ای رودخانه قرانقو از روش ارزیابی کناره با هدف شناخت منابع غیر نقطه‌ای تولید رسوب (BANCS) استفاده می‌شود که توسط راسگن (۲۰۰۱) ارائه شده است و برای محاسبه آن از دو روش BEHI[1] و NBS[2] برای تخمین فرسایش‌پذیری کناره‌ای استفاده می‌شود. خطر فرسایش کناره که با استفاده از ۷ متغیر قابل اندازه‌گیری است، نسبت و میزان خطر فرسایش کناره‌ای را در مناطق مستعد این نوع فرسایش نشان می‌دهد و همچنین ارزیابی فشار برشی نزدیک کناره در پیش‌بینی فرسایش بسیار با اهمیت است به‌طوری‌که نشان دهنده توزیع انرژی جریان در مقطع عرضی مجرا به‌ویژه کناره مجرا می‌باشد و این توزیع نامتناسب انرژی جریان می‌تواند منجر به فرسایش کناره شود.

۲. منطقه مورد مطالعه

حوضه آبریز قرانقو چای در (بالادست سد سهند) در جنوب غربی شهرستان هشترود، در موقعیت جغرافیایی 2 °37 43 °37 عرض شمالی و 28 °46 58 °46 طول شرقی واقع شده است.

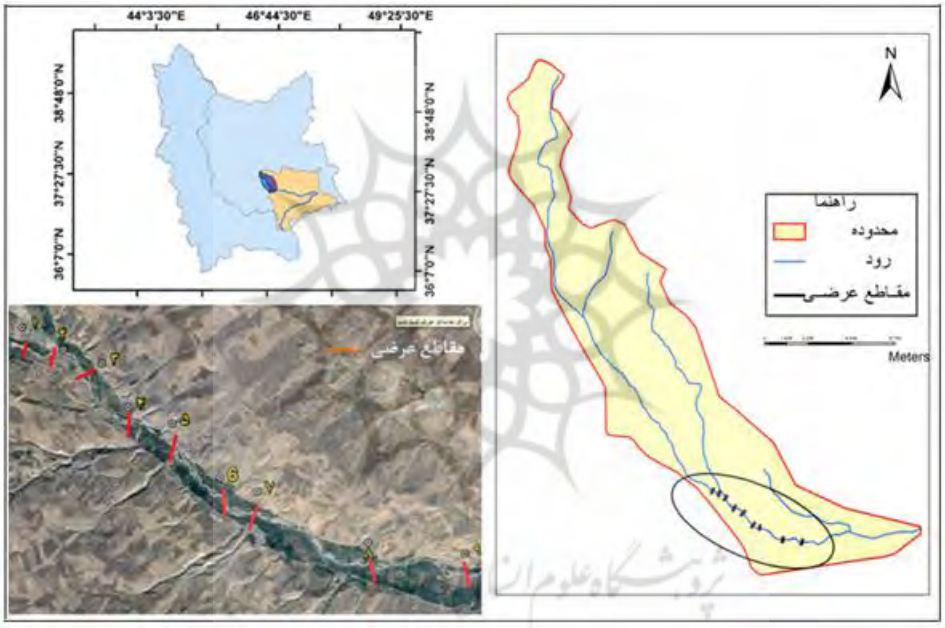
با مجموع ۲۷۵/٤۰ کیلومترمربع جزئی از حوضه آبریز قرانقو به وسعت ۸۰۷ کیلومترمربع، یکی از زیر حوضه‌های آبریز منطقه‌ای شماره یک ایران (منطقه خزر و در جنوب این سیستم) می‌باشد. این حوضه از لحاظ تقسیمات کشوری جزو استان آذربایجان شرقی است و در سمت شمال، مجاور حوضه آبریز شهرچای و در سمت جنوب، مجاور حوضه آبریز آیدوغموش قرار گرفته است. هر سه زیر حوضه مذکور (قرانقو، شهرچای، آیدوغموش) زیر حوضه‌های رود قزل اوزن جزئی از حوضه بزرگ سفید رود را تشکیل می‌دهند. رودخانه قرانقوچای از حوضه

۱ شاخص خطر فرسایش کناره

۲ تنش برشی نزدیک کناره

قرانقو سرچشمه گرفته و در نزدیکی شهرستان میانه به سرشاخه‌های شهر چای و آیدوغموش متصل و سپس به رودخانه قزل اوزن می‌پیوندند. حوضه از لحاظ آب و هوایی دارای اقلیم کوهستانی بوده و متوسط بارش ۳٦٦ میلی متر و متوسط دما ۱۷/۸ درجه سانتی گراد در سال می‌باشد (شکل ۱).

منطقه مورد مطالعه بخشی از حوضه آبریز قرانقو چای و بازه‌ای از رودخانه قرانقو بین دو روستای آتش بیگ تا گنج‌آباد علیا به طول تقریبی ۹ کیلومتر می‌باشد، که تعداد ۹ مقطع عرضی در این محدوده به فاصله ۱ کیلومتری از هم انتخاب و اقدام به اندازه‌گیری و جمع‌آوری پارامترهای نظیر عرض دبی لبالبی، عمق متوسط دبی لبالبی، شعاع انحنا، شیب کناره و بستر، ضریب خمیدگی، شاخص گودافتادگی، ارتفاع کناره، ارتفاع دبی لبالبی، عمق ریشه، تراکم ریشه، زاویه کناره، درصد محافظت کناره، ترکیبات و ساختار مواد کناره شده است.

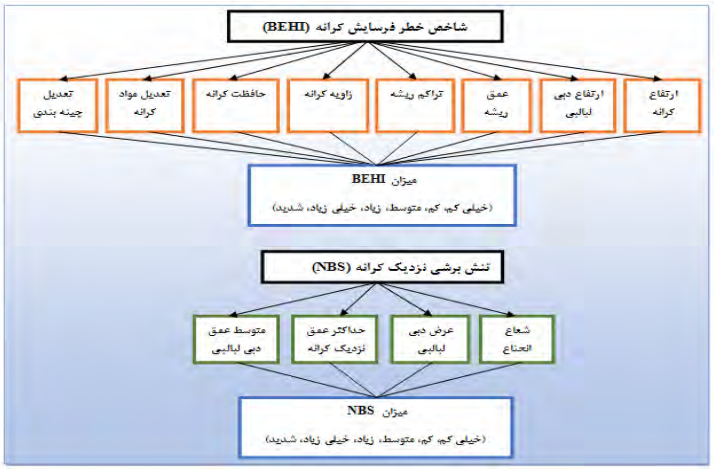


شکل ۱. حوضه قرانقو چای و منطقه مورد مطالعه

۳. مواد و روش‌ها

برای پیش‌بینی میزان فرسایش کرانه رودخانه از دو روش تخمین فرسایش‌پذیری کرانه (سطح *III* طبقه‌بندی راسگن) استفاده می‌شود (شکل ۲): ۱- شاخص خطر فرسایش کرانه (BEHI[1]) ۲- تنش برشی نزدیک کرانه (NBS[2]).

1 Bank Erosion Hazard Index (BEHI)
2 Near Bank Stress (NBS)

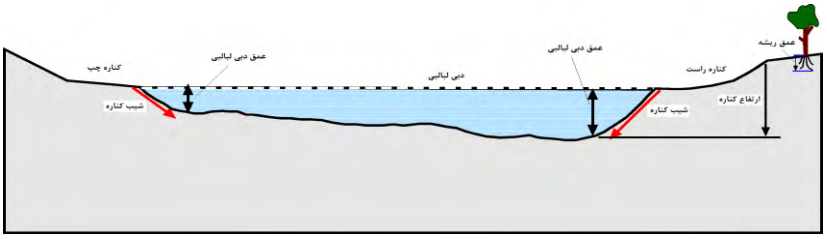


شکل ۲. فلوچارت مراحل انجام مدل فرسایش کرانه رودخانه

شاخص خطر فرسایش کناره (BEHI)

شاخص خطر فرسایش کناره یک فرآیند یکپارچه است، آسیب‌پذیری و فرسایش کناره با استفاده از متغیرهای شناخته شده که نرخ فرسایش را تحت تأثیر قرار می‌دهند، مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. در مدل BEHI چندین متغیر که به‌واسطه 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 هفت پارامتر قابل اندازه‌گیری بر مبنای ۱ تا ۱۰ می‌باشد، عدد ۱ حساسیت کم و استعداد کم به فرسایش و عدد ۱۰ حساسیت و استعداد زیاد به فرسایش را نشان می‌دهد. این امتیازات جهت تعیین نمره کلی به هم اضافه شده و نمره کامل به دست می‌آید، بنابراین تمامی متغیرها از وزن یکسانی جهت امتیاز دهی برخوردار هستند که این نمره‌های عددی به یک میزان امتیازبندی توصیفی برای میزان حساسیت کناره‌ها به فرسایش مربوط می‌شوند. مراحل محاسبه مدل BEHI به شرح زیر است:

۱- پارامترهای مورد نیاز مدل BEHI: در این مدل از داده‌های مرتبط با پارامترهای ۱- ارتفاع کرانه ۲- ارتفاع دبی لبالبی ۳- عمق ریشه ٤- تراکم ریشه ٥- زاویه کناره ٦- درصد محافظت کناره ۷- ترکیبات و ساختار مواد کناره استفاده شده است (شکل ۳).



شکل ۳. متغیرهای اندازه‌گیری شده میدانی برای مدل BEHI

متغیرها دارای مقادیر تجربی بوده و به مقادیر شاخص برگردانده شده و درنهایت جهت امتیازدهی کلی جمع بسته می‌شوند. این امتیازات توسط مواد کرانه و مواد چینه بندی کرانه تعدیل می‌شوند. امتیازات BEHI به صورت پتانسیل فرسایش در جدول ۲ طبقه‌بندی می‌شوند. متغیرهای مورد نظر به طریق زیر محاسبه می‌شوند:

ارتفاع کرانه (A) فاصله از پای کناره تا بالای کناره است و ارتفاع دبی لبالبی (B)، فاصله از پای کناره تا ارتفاع سطح دبی لبالبی می‌باشد. ارتفاع کرانه بر ارتفاع دبی لبالبی تقسیم شده (A)/(B) و نسبت ارتفاع کرانه (C) به دست می‌آید. نسبت نزدیک به عدد ۱ کم‌ترین میزان خطر فرسایش برای کناره است.

عمق ریشه (D) از بالای کرانه تا پایین کرانه جایی که ریشه گیاه وجود دارد، اندازه‌گیری می‌شود. عمق ریشه به ارتفاع کرانه تقسیم شده (D)/(A) و نسبت عمق ریشه (B) به دست می‌آید.

تراکم وزنی ریشه (G)از طریق تخمین بصری توده ریشه در واحد حجم خاک (E)*(F) محاسبه می‌شود.

زاویه کرانه(H) زاویه کرانه در طول سطح ارتفاع کرانه اندازه‌گیری می‌شود. .

حفاظت سطحی (I) عبارت است از درصد پوشش کرانه توسط گیاه، نخاله‌های چوب، قلوه سنگ‌ها و مواد حاصل از ساخته‌های انسانی است. پوشش سطحی کرانه بدون پوشش صفر درصد است درحالی‌که کرانه با پوشش کامل گیاهی ۱۰۰ درصد است.

مواد سطحی ممکن است بر حساسیت کرانه به فرسایش تأثیرگذارند. اگر مواد کرانه متوسط یا از قلوه‌سنگ‌های بزرگ باشد، امتیاز ۱۰ دارد. امتیاز ۵ تا ۱۰ برای شن، ترکیبی از شن و قلوه‌سنگ‌های کوچک یا ترکیبی از شن و ماسه است. ماسه و ماسه مخلوط ۱۰ امتیاز اضافه می‌شود. هیچ تعدیلی برای رس و سیلت چسبنده وجود ندارد. کرانه‌ای با سنگ بستر یا قطعه سنگی همواره امتیاز خیلی کم دارند.

امتیازات ممکن است برای چینه بندی کرانه تعدیل گردند. ۵ تا ۱۰ عدد ممکن است به امتیاز کلی اضافه شود اگر کرانه دارای لایه بندی رسوبی یا چینه بندی باشد.

۲- به دست آوردن نمره یا عدد کل: در این مرحله با توجه به ساختار مدل BEHI و شاخص تعریف شده برای این مدل اعداد اندازه‌گیری شده و به دست آمده را در مدل جای گذاری کرده و با توجه به شش سطح که برای هر یک از پارامترها در این مدل شامل ارتفاع کناره، عمق ریشه، تراکم ریشه به درصد، زاویه کناره، محافظت سطحی و نوع مواد محافظ سطح کناره تعریف شده، اقدام به ارزش دهی به هر کدام از این فاکتورها می‌شود.

این کار طبق جدول تنظیم شده برای این مدل صورت می‌گیرد که در آن برای هر کدام از پارامترهای اندازه‌گیری شده یک بازه عددی تعیین شده که در صورت قرار گرفتن هر کدام از پارامترهای اندازه‌گیری شده در این شش سطح، عدد به دست آمده نشان دهنده میزان تأثیرگذاری آن پارامتر در فرسایش کناره خواهد بود. درنهایت با جمع کردن اعداد به دست آمده از هر پارامتر اندازه‌گیری شده، اعداد با هم جمع شده و نمره نهایی به دست می‌آید که

نشان دهنده شدت فرسایش کناره طبق مدل BEHI خواهد بود (کوریت به نقل از راسـگن، ٢٠١٤: ١٠ و ١١) (جـدول ١ و ٢).

جدول ١. خلاصه شاخص خطر فرسایش کرانه (BEHI) (راسگن، ١٩٩٦)

راهنمای امتیازدهی خطر فرسایش کرانه رودخانه							
پتانسیل فرسایش کرانه رودخانه	نام رودخانه		تاریخ برداشت		بازه		امتیاز کل
	طبقه‌بندی خطر فرسایش		ارتفاع کرانه/ارتفاع دبی لبالبی	عمق ریشه/ارتفاع کرانه	تراکم ریشه (٪)	زاویه کرانه (درجه)	حفاظت سطحی (٪)	
	خیلی کم	مقدار	١–١/١	٠/٩–١	٨٠–١٠٠	٠–٢٠	٨٠–١٠٠	
		شاخص	١–١/٩	١–١/٩	١–١/٩	١–١/٩	١–١/٩	٥–٩/٥
	کم	مقدار	١/١١–١/١٩	٠/٨٩–٠/٥	٥٥–٧٩	٢١–٦٠	٥٥–٧٩	
		شاخص	٢–٣/٩	٢–٣/٩	٢–٣/٩	٢–٣/٩	٢–٣/٩	١٠–١٩/٥
	متوسط	مقدار	١/٢–١/٥	٠/٣–٠/٤٩	٣٠–٥٤	٦١–٨٠	٣٠–٥٤	
		شاخص	٤–٥/٩	٤–٥/٩	٤–٥/٩	٤–٥/٩	٤–٥/٩	٢٠–٢٩/٥
	زیاد	مقدار	١/٦–٢	٠/١٥–٠/٢٩	١٥–٢٩	٨١–٩٠	١٥–٢٩	
		شاخص	٦–٧/٩	٦–٧/٩	٦–٧/٩	٦–٧/٩	٦–٧/٩	٣٠–٣٩/٥
	خیلی زیاد	مقدار	٢/١–٢/٨	٠/٠٥–٠/١٤	٥–١٤	٩١–١١٩	١٠–١٤	
		شاخص	٨–٩	٨–٩	٨–٩	٨–٩	٨–٩	٤٠–٤٥
	شدید	مقدار	٢/٨ >	٠/٠٥ >	٥ >	١١٩ >	١٠ >	
		شاخص	١٠	١٠	١٠	١٠	١٠	٤٦–٥٠

جدول ٢. طبقه‌بندی پتانسیل فرسایش کرانه (راسگن، ٢٠٠٦)

توصیف	مقادیر عددی
استعداد فرسایش خیلی کم	٥ ° ٩,٥
استعداد فرسایش کم	١٠ -١٩,٥
استعداد فرسایش متوسط	٢٠ ° ٢٩
استعداد فرسایش بالا	٣٠ ° ٣٩
استعداد فرسایش خیلی بالا	٤٠ ° ٤٥
استعداد فرسایش بیش‌ازحد	٧٠ °

شاخص NBS

روش‌های مختلفی جهت محاسبه تنش برشی کرانه ابداع شده که از بین آن‌ها می‌توان به روش راسگن با عنوان NBS اشاره کرد. روش‌های مورد استفاده در تخمین NBS عبارتند از:

الگوی مجرا و ارزیابی بارها ۲- نسبت شعاع انحناء به عرض دبی لبالبی (مقطع پر) ۳- نسبت شیب خیزاب به میانگین شیب سطح آب ٤- نسبت شیب خیزاب به شیب تنداب ٥- نسبت حداکثر عمق نزدیک کرانه[1] به متوسط عمق دبی لبالبی ٦- نسبت تنش برشی نزدیک کرانه به تنش برشی دبی لبالبی ۷- گرادیان سرعت (کوریت به نقل از راسگن، ۲۰۱٤: ۱۱). در اینجا باید روش مناسب را انتخاب نمود که نشان دهنده شرایط منطقه باشد و میانگینی از کلیه روش‌ها توصیه نمی‌شود. احتمال زیاد روش ۲ و ٥ بیشتر استفاده می‌شود. با توجه به ویژگی‌های کرانه جریان رودخانه قرانقو، دو روش نسبت شعاع انحناء به عرض دبی لبالبی (R_c/W_{bkf})، نسبت حداکثر عمق نزدیک کرانه به متوسط عمق دبی لبالبی (d_{nb}/d_{bkf}) انتخاب شد.

داده‌های مورد نیاز این بخش از طریق برداشت میدانی جمع‌آوری می‌شود. به این منظور با استفاده از شاخص نقشه برداری و متر پارچه‌ای داده‌های هندسی مقاطع شامل: عرض دبی لبالبی، حد اکثر عمق نزدیک کرانه و متوسط عمق دبی لبالبی اندازه‌گیری می‌شود. درنهایت بر طبق پارامترهای اندازه‌گیری شده، میزان فرسایش‌پذیری کرانه رودخانه در سطوح مختلف از خیلی کم تا شدید تعیین می‌گردد (جدول ۳).

جدول ۳. حدود تغییرات شاخص‌های مؤثر در میزان فرسایش کرانه (راسگن، ۲۰۰٦)

نسبت شعاع انحناء به عرض دبی لبالبی ($\frac{R_c}{W_{bkf}}$)	نسبت حداکثر عمق نزدیک کرانه به متوسط عمق دبی لبالبی ($\frac{d_{nb}}{d_{bkf}}$)	میزان فرسایش‌پذیری 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
۲-۱/۸۱	۲/۵۰-۱/۸۱	زیاد
۱/۸۰-۱/۵۰	۳-۲/۵۱	خیلی زیاد
کمتر از ۱/۵۰	بیشتر از ۳	شدید

٤. نتایج و بحث

مدل‌های ارزیابی تنش نزدیک کناره (NBS) و شاخص تعیین خطر فرسایش کناره (BEHI) توسعه یافته توسط راسگن (۲۰۰۱ و ۲۰۰٦) مدل‌های یکپارچه فرآیند-ارزیابی در خصوص آسیب پذیری کناره رودخانه نسبت به

1 Near-Bank Maximum Depth

فرسایش با استفاده از متغیرهای شناخته شده مؤثر بر نرخ فرسایش است. در این روش‌ها با استفاده از نسبت متغیرها و یا متغیرهایی که حساسیت به فرسایش را نشان می‌دهند با هم ترکیب شده تا فرسایش کلی کناره محاسبه گردد. در این مدل‌ها با در نظر گرفتن چندین متغیر از طریق ارزیابی بصری و نسبت‌های ارزیابی تلاش می‌شود حساسیت کناره‌ها نسبت به فرسایش تعیین گردد. همانطور که اشاره شد این مدل توسط راسگن (۲۰۰۱) برای اندازه‌گیری نرخ فرسایش کناره رودخانه استفاده شده است. در این مطالعه جهت تشخیص حساسیت کناره رودخانه قرانقوچای نسبت به فرسایش از مدل‌های ارزیابی تنش نزدیک کناره (NBS) و شاخص تعیین خطر فرسایش کناره (BEHI) استفاده گردید. برای انجام این کار بازه‌ای از رودخانه مذکور انتخاب و ۹ مقطع از این بازه انتخاب گردید. جمع‌آوری داده‌ها و اندازه‌گیری‌های اولیه از هر دو کناره ۹ مقطع مشخص شده در رودخانه قرانقوچای و در بالا دست سد سهند انجام شد (شکل۱)، سپس مقادیر نسبت‌های تعریف شده در هر دو مدل، برای هر کدام از کناره‌های راست و چپ مقاطع، محاسبه شده و با استفاده از راهنمای تنش نزدیک کناره (NBS) و شاخص تعیین خطر فرسایش کناره (BEHI)، امتیازات هر کدام از پارامترها تعیین و با جمع امتیازات پارامترها، میزان خطر فرسایش کناره و ناپایداری کناره‌ها تعیین شد. جدول ٤ و ٥ متغیرهای اندازه‌گیری شده برای مقاطع مورد مطالعه در رودخانه قرانقو جهت استفاده در مدل‌های فوق را نشان می‌دهد.

جدول ٤. متغیرهای اندازه‌گیری شده برای مقاطع مورد مطالعه رودخانه قرانقوچای بر اساس شاخص BEHI

مقاطع	طول	عرض	ارتفاع کرانه (متر)		ارتفاع دبی لبالبی (متر)		عمق ریشه (متر)		تراکم ریشه (٪)		زاویه کرانه (درجه)		محافظت سطحی (٪)	
			R	L	R	L	R	L	R	L	R	L	R	L
۱	۱۰,۳۹,٤٦	۲٦,۳۷	٥٥	۷٦	۲۱	٥٦	۳۰	۳۰	۲٥	۲٥	۲۹	۱۱۱	۱۰	۱٥
۲	۲۹,۳۹,٤٦	۲٦,۳۷	۹۰	٦۰	٦۸	٤۰	۳۰	٦۰	۱۰	۱۰	۹/٤٦	۱٥	۱۰	۰
۳	٥۰,۳۹,٤٦	٤۹,۲٥,۳۷	۸۰	٦۰	٥۰	٤۰	۳۰	۲۰	۱۰	٥	۲/۲۹	۲۰	۱٥	۱٥
٤	۱۷,٤۰,٤٦	۲۷,۲٥,۳۷	٥۰	٦۰	٤۰	٤۰	٥۰	٤۰	۳۰	٥۰	۸/۱٦	۷/٦۲	۲۰	۳۰
٥	٤٥,٤۰,٤٦	۱٦,۲٥,۳۷	۷۰	۸۰	٤٥	٤۱	۱٥	٦٥	۱۰	٤۰	۸/۱۱۱	٦/٥۸	۱۰	٥
٦	۱۷,٤۱,٤٦	٤۷,۲٤,۳۷	۱۱٥	۱۰٥	۸۰	۷٥	۹۰	۱۰۰	٦۰	۷٥	۸/٦٤	۲/٦٥	٦	۳۰
۷	۳٥,٤۱,٤٦	٤۳,۲٤,۳۷	٥٥	۷۰	٤۰	۳٥	۲۰	٤۰	٥	۱٥	۹	۲/٦۲	٥	۲۰
۸	٤۹,٤۲,٤٦	۱۷,۲٤,۳۷	٥٥	۷۰	٤۰	۳٥	۲۰	٤۰	۱۰	۱۰	۹۹	۲/٦٤	٥	٥
۹	٤۸,٤۳,٤٦	۱۱,۲٤,۳۷	٥٥	٥۰	٤٥	٤۰	۱۰	۱۰	٥	۱۰	۳/۸	۹۰	۱۰	۱۰

R= کرانه راست ، L= کرانه چپ

جدول ۵. متغیرهای مؤثر در میزان فرسایش‌پذیری کناره رودخانه قرانقو چای بر اساس شاخص NBS

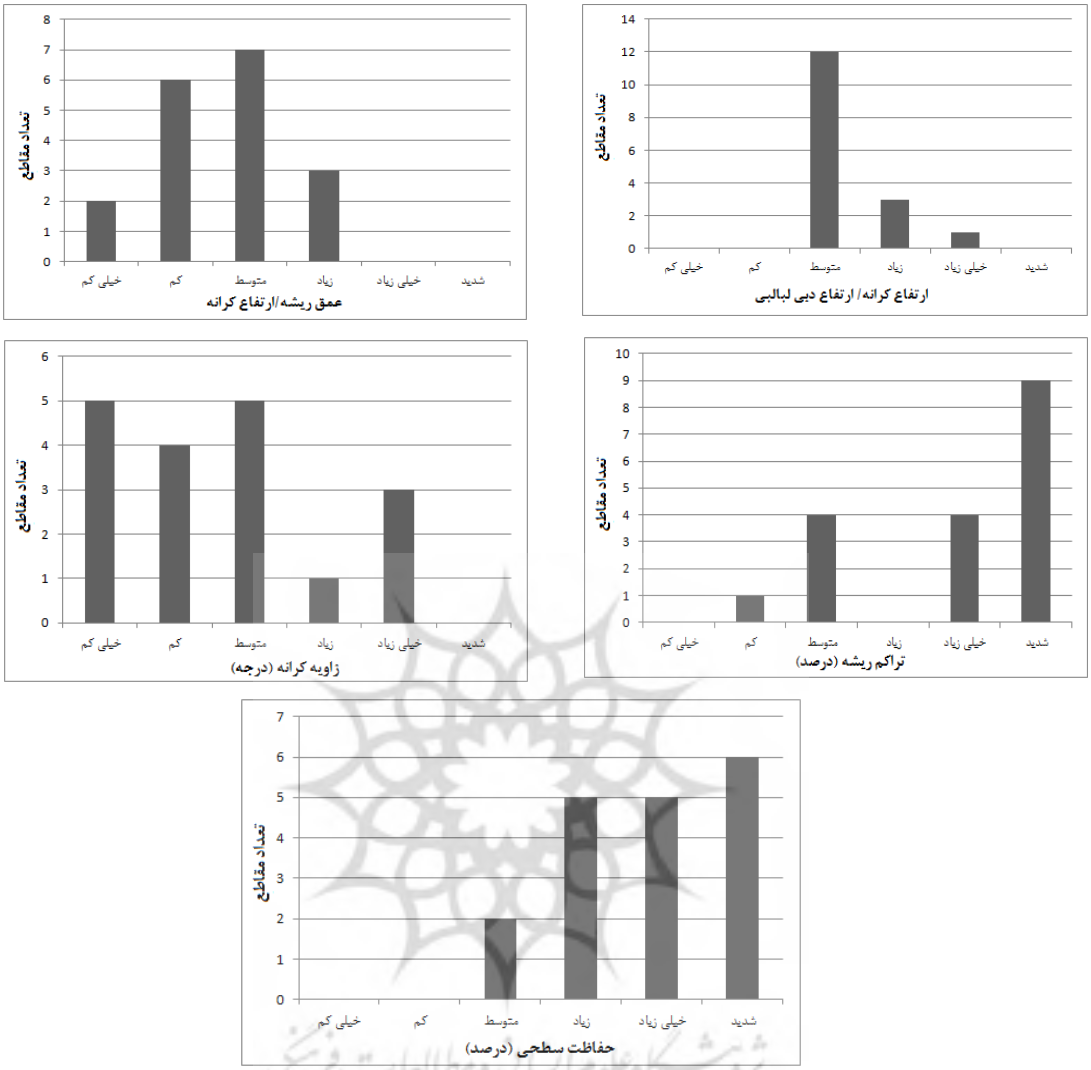
مقطع عرضی	ضریب خمیدگی	شعاع انحناء	شیب (درصد)	عرض دبی لبالبی (متر)	عرض دشت سیلابی (متر)	حداکثر عمق نزدیک کرانه راست (متر)	حداکثر عمق نزدیک کرانه چپ (متر)	متوسط عمق دبی لبالبی (متر)
۱	۱/۲۱	۲۸/٤٦	۰/۰۲۵	۲۱	٤٤/۹۲	۱/۱۰	۰/۳	۰/۵۱
۲	۱/۲۲	۳٤/۵۸	۰/۰۲	۲۹	۳۸	۱/۳	۰/۱	۰/٤۳
۳	۱/۲	٤٦/۳۸	۰/۰۲	۲۸	۳۵	۰/۸	۰/۷۵	۰/۵۱
٤	۱/۲۱	۲۹/۳٤	۰/۰۲۳	۱٤	۲۳/۳۵	۰/۸۳	۰/۷	۰/٦۳
۵	۱/۲۳	۲۹/٦۹	۰/۰۲	۱۵	۳۰	۰/۸	۰/۹	۰/٦۵
٦	۱/۲۱	٤٤/۸۲	۰/۰۲	۱۹	۲۹	۰/۹۸	۰/۸۵	۰/٦٤
۷	۱/٤	۳۷/٦۸	۰/۰۱۲	۱۳	۲۲/۵۲	۰/۹۸	۰/٦۰	۰/۹۸
۸	۱/۲۲	۲۵/۳۵	۰/۰۲	۱۲	۲۵	۰/۹٦	۰/۵	۰/٦۳
۹	۱/۲۸	۱٦/٦۹	۰/۰۱۵	۱۰	۲۱	۰/٦۵	۰/۹۵	۰/۵۳

شاخص خطر فرسایش کناره (BEHI)

بر اساس داده‌های جمع‌آوری شده شاخص‌های مدل (ارتفاع و زاویه کرانه، ارتفاع دبی لبالبی، عمق و تراکم ریشه و محافظت سطحی کرانه) در مقاطع مختلف، امتیازدهی به شاخص‌های مدل خطر فرسایش کرانه انجام گرفت که نتایج این امتیاز دهی و رده بندی هر یک از شاخص‌ها در جدول ٦ و شکل ٤ (الف، ب، ج، د، ر) نشان داده شده است.

جدول ٦. نتایج کلی رده بندی خطر فرسایش کرانه (BEHI) در کناره راست و چپ مقاطع مورد مطالعه

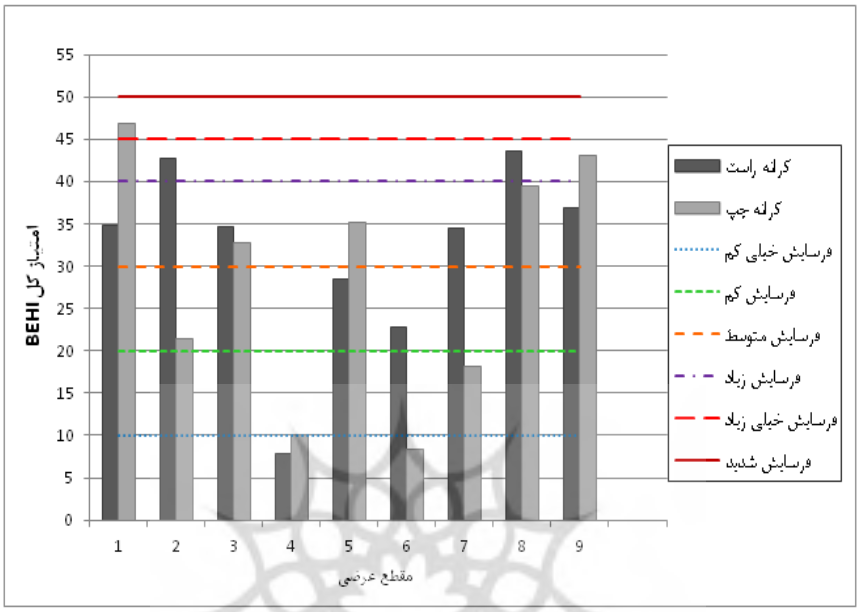
مقطع عرضی	امتیاز BEHI	خطر فرسایش کناره راست	امتیاز BEHI	خطر فرسایش کناره چپ
۱	۳٤/۸	زیاد	٤٦/۸	شدید
۲	٤۲/۸	خیلی زیاد	۲۱/٤	متوسط
۳	۳٤/۷	زیاد	۳۲/۸	زیاد
٤	۷/۸٤	خیلی کم	۱۰	کم
۵	۲۸/٤	متوسط	۳۵/۲٤	زیاد
٦	۲۸/۷۸	متوسط	۸/٤۲	خیلی کم
۷	۳٤/۵	زیاد	۱۸/۱	کم
۸	٤۳/۰٦	خیلی زیاد	۳۹/۵	زیاد
۹	۳٦/۸	زیاد	٤۳	خیلی زیاد



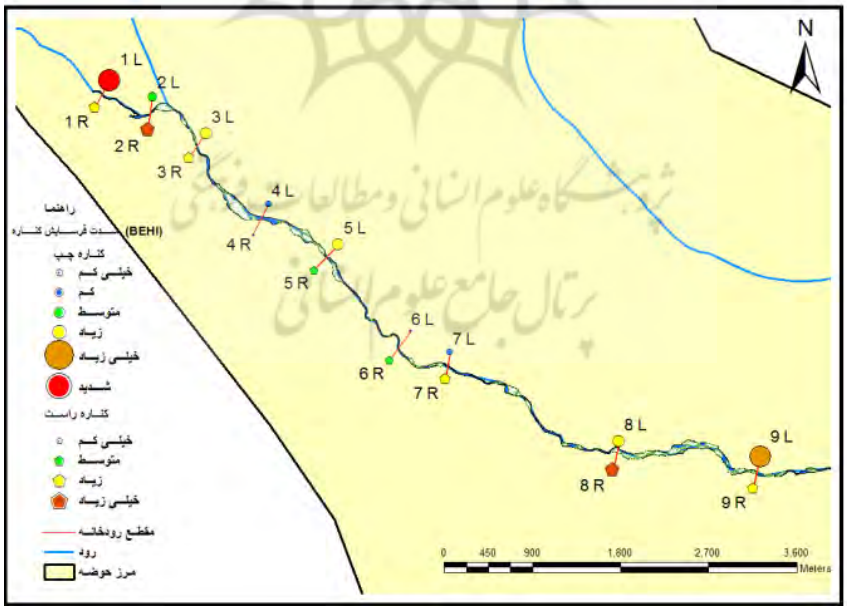
شکل ٤. نمودار پنج شاخص مورد مطالعه در مدل خطر فرسایش کرانه (BEHI)

یافته‌های این مدل با توجه به جدول ٦ و شکل ٥ نشان می‌دهد که فرسایش کناره‌ای در هر دو کناره مقاطع مختلف وجود دارد، به‌طوری‌که در کناره‌های سمت راست رودخانه قرانقو در بازه مورد مطالعه، میزان خطر فرسایش کناره در تمامی مقاطع به استثنای مقطع ٤ از خیلی زیاد تا متوسط است و فقط در مقطع ٤ میزان خطر فرسایش خیلی کم برآورد شده است در صورتی که در کناره‌های چپ رودخانه در مقاطع مختلف، نرخ‌های حساسیت به فرسایش خیلی کم تا شدید مشاهده شده است (شکل ٥ و ٦). نتایج مدل شاخص خطر فرسایش کناره نشان می‌دهد که میزان خطر فرسایش کناره با توجه به پارامترهای تعیین شده در کناره راست رودخانه بیش‌تر از کناره چپ رودخانه قرانقو

است. همچنین در طول بازه مورد مطالعه، در مقاطع میانی میزان خطر فرسایش در دو طرف رودخانه کاهش پیدا می‌کند ولی در مقاطع بالا و پایین بازه، حساسیت کناره‌ها به فرسایش بیشتر بوده است.



شکل ۵. رده بندی خطر فرسایش کرانه (BEHI) در کناره راست و چپ مقاطع مورد مطالعه



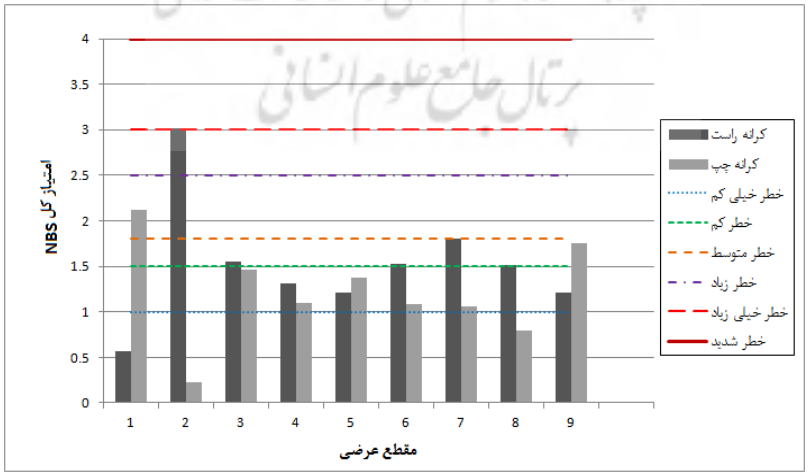
شکل ٦. خطر فرسایش کرانه (BEHI) در کناره راست و چپ مقاطع مورد مطالعه

تنش نزدیک کناره (NBS)

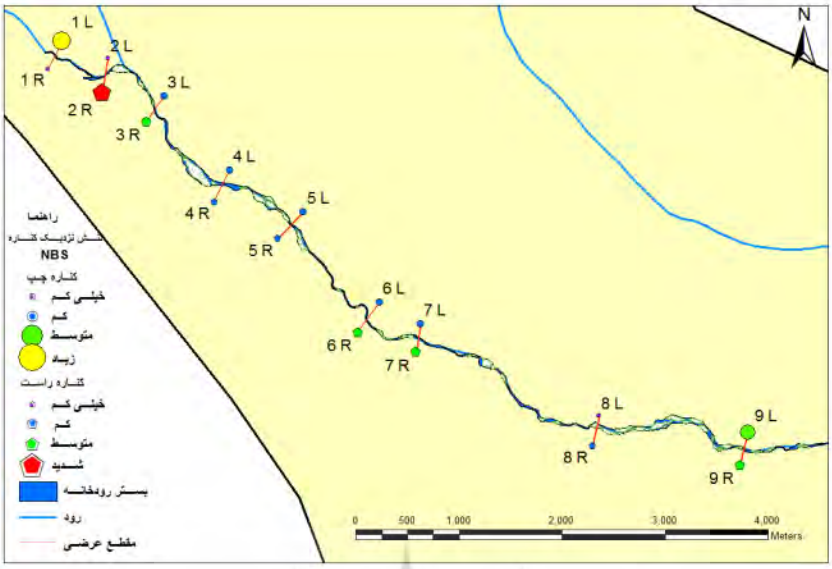
با توجه به ویژگی‌های کناره کانال رودخانه قرانقوچای، در این تحقیق دو روش نسبت شعاع انحناء به عرض دبی لبالبی (R_c/W_{bkf}) و نسبت حداکثر عمق نزدیک کناره به متوسط عمق دبی لبالبی (d_{nb}/d_{bkf}) انتخاب شد. بر اساس داده‌های جمع‌آوری شده از مقاطع مختلف، و بر اساس دو روش فوق میزان فرسایش‌پذیری کناره رودخانه قرانقو چای در سطوح مختلف اندازه‌گیری شد که نتایج این برآوردها طبق حدود تغییرات شاخص‌های مؤثر در فرسایش کناره‌ای در روش (NBS) در جدول ۷ و شکل ۷ و ۸ نشان داده شده است.

جدول ۷. میزان فرسایش‌پذیری کناره رودخانه قرانقو چای بر اساس شاخص NBS

مقطع عرضی	نسبت شعاع انحناء به عرض دبی لبالبی	NBS	نسبت حداکثر عمق نزدیک کناره راست به متوسط عمق دبی لبالبی	NBS	نسبت حداکثر عمق نزدیک کناره چپ به متوسط عمق دبی لبالبی	NBS
۱	۱/۳۵	شدید	۰/۵۷	خیلی کم	۲/۱۲	زیاد
۲	۱/۱۹	شدید	۳/۰۲	شدید	۰/۲۳	خیلی کم
۳	۱/٦٥	خیلی زیاد	۱/٥٥	متوسط	۱/٤٦	کم
٤	۲/۱	متوسط	۱/۳۱	کم	۱/۱	کم
٥	۲/۳٥	کم	۱/۲۱	کم	۱/۳۷	کم
٦	۹/۰۲	خیلی کم	۱/٥۳	متوسط	۱/۰۹	کم
۷	۲/۸۹	کم	۱/۸۰	متوسط	۱/۰٦	کم
۸	۲/۱۱	متوسط	۱/٥۱	کم	۰/۷۹	خیلی کم
۹	۱/٦٦	متوسط	۱/۲۱	متوسط	۱/۷٦	متوسط



شکل ۷. رده بندی تنش نزدیک کناره (NBS) در کناره راست و چپ مقاطع مورد مطالعه



شکل ۸. تنش نزدیک کناره (NBS) در کناره راست و چپ مقاطع مورد مطالعه

مدل تنش نزدیک کناره گویای توزیع نامناسب انرژی در نزدیک منطقه کناره و ساحل رودخانه است و تغییرات در تنش نزدیک کرانه، می‌تواند فرسایش کرانه رود را افزایش دهد (راسگن، ۲۰۰۱ ، ۲۰۰۶). با توجه به داده‌های جمع‌آوری شده و نتایج به دست آمده از نسبت شعاع انحنا به عرض دبی لبالبی، میزان فرسایش‌پذیری کناره رودخانه قرانقو چای در بازه مورد مطالعه، تمامی شدت‌های فرسایش از میزان شدید تا خیلی کم را نشان می‌دهد و میزان فرسایش از مقاطع بالادست به سمت مقاطع پایین دست کاهش تدریجی را نشان می‌دهد (جدول ۷).

بر اساس شاخص نسبت حداکثر عمق نزدیک کناره به متوسط عمق دبی لبالبی، میزان فرسایش‌پذیری کناره در سمت راست رودخانه با شدت و ضعفی کم و بیش متفاوت با روند فرسایشی به دست آمده از شاخص اول (نسبت شعاع انحنا به عرض دبی لبالبی) هم خوانی دارد. به این صورت است که فرسایش در مقطع اول خیلی کم و در مقطع دوم شدید است و در بقیه مقاطع میزان فرسایش دارای مقادیر کم تا متوسط است. ولی درکناره سمت چپ بازه مورد مطالعه، مقدار فرسایش کناره‌ای در مقطع ۱ زیاد و در بقیه مقاطع خیلی کم و کم و در مقطع ۹ میزان فرسایش متوسط است(جدول ۷).

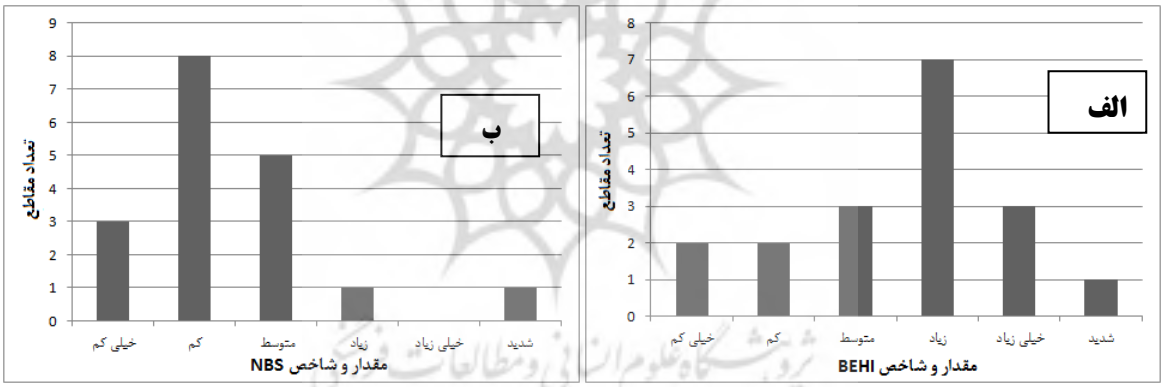
ارتباط مدل NBS و BEHI در پیش‌بینی فرسایش کناره

بر اساس نتایج به دست آمده، ۲ مقطع در کرانه راست و ۲ مقطع از کرانه چپ بر اساس مدل BEHI در گروه با خطر فرسایش زیاد، ۲ مقطع در کرانه راست و ۲ مقطع از کرانه چپ در گروه با خطر فرسایش متوسط قرار گرفته‌اند.

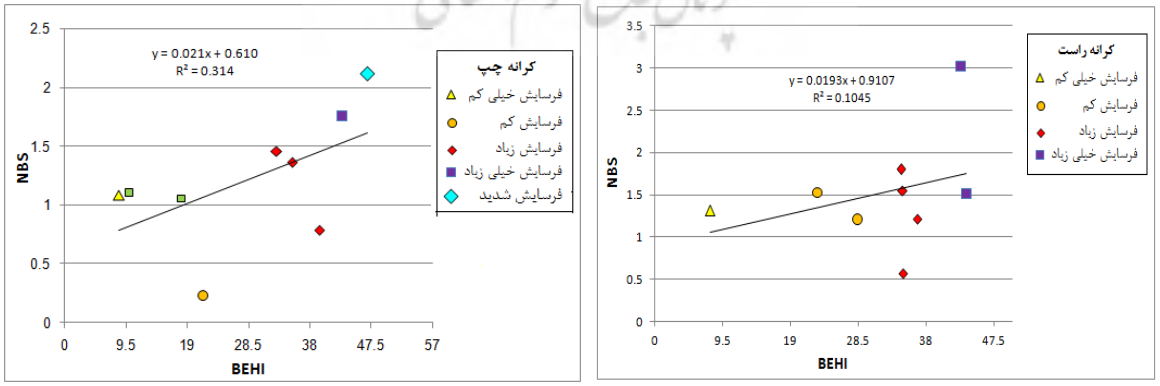
اما هیچ کدام از مقاطع در رده بندی با خطر کم و خیلی کم قرار نگرفته‌اند (جدول ٦ و شکل ٦). بر پایه مدل NBS نیز ۲ مقطع در کرانه راست و ۲ مقطع از کرانه چپ در رده بندی خطر متوسط قرار گرفته‌اند (جدول ۷ و شکل ۸).

رده بندی تمام مقاطع مورد مطالعه بر اساس مقادیر فرسایش مدل NBS و BEHI در شکل ۹ نمایش داده شده است. در این شکل تعداد کرانه‌ها با توجه به میزان خطر دسته بندی شده است. بر پایه مدل شاخص خطر فرسایش کرانه (BEHI)، متوسط خطر فرسایش در ۷ کرانه در حد زیاد و در ۳ کرانه در حد خیلی زیاد بوده و بر پایه مدل تنش نزدیک کرانه (NBS) تنها در ۱ کرانه در حد زیاد بوده است.

روابط حاکم بر رده بندی خطر فرسایش با استفاده از مدل NBS و BEHI برای کرانه راست و چپ رودخانه قرانقوچای در شکل ۱۰ (الف و ب) نشان داده شده است. استفاده از این روابط امکان ارزیابی آماری از برآورد فرسایش کرانه رودخانه را فراهم می‌کند (راسگن، ۲۰۰۸). به علاوه می‌توان روابط حاکم بر رده بندی فرسایش کناره بازه‌های رودخانه را بر پایه تغییرات شرایط طول مسیر رود به دست آورد. این روابط ممکن است برای دیگر رودخانه‌ها معتبر نباشد اما می‌تواند برای بازه‌های دیگر رودخانه قرانقوچای که شرایطی مشابه بازه مورد مطالعه را دارند قابل تعمیم باشد.



شکل ۹. نمودار فراوانی مقاطع در کلاس‌های مختلف فرسایش، الف) مدل BEHI ب) مدل NBS



شکل ۱۰. نمودار میزان تطابق رده بندی کلاس‌های مختلف فرسایش در مدل BEHI و NBS

الف) کرانه راست ب) کرانه چپ

فرآیندهای فرسایشی در طول مسیر رودخانه در بازه‌های مختلف بـه واسـطه ویژگـی‌هـای ژئومورفیـک مشـخص ممکن است به‌طور معناداری تغییر کند. نتایج اجرای مدلها نشان داد که مقاطع۱ و ۲ دارای حساسیت بالایی نسـبت بـه فرسایش دارند و مستعد فرسایش کناره‌ای و پسروی عرضی کرانه رودخانه است. در مقطع ۱ کرانـه چـپ بیشـتر و در مقطع ۲ کرانه راست نرخ فرسایش بیشتر بوده است. بطورکلی مقادیر محاسـبه در قسـمت ابتـدایی بـازه مـورد مطالعـه بیشتر و به طرف پایین رودخانه به واسطه تغییرات موجـود، خطـر فرسـایش کـاهش می‌یابـد (شـکل . دلایـل وجـود شرایط فوق در مقطع ۱ و ۲ ، الگوی پیچانرودی رودخانه است کـه دارای ضـریب خمیـدگی بیشـتر از ۱/۵ بـوده کـه می‌تواند تنش هیدرولیک بر روی کناره‌ها را به‌طور جانبی تشدید کند. مقطع ۱ در محـل قـوس رودخانـه‌ای اسـت کـه کرانه چپ در بخش خارجی قوس واقع شده و به دنبال آن در مقطع ۲ ، کرانه راست منطبق بر بخـش خـارجی قـوس شده و افزایش نرخ فرسایش را به دنبـال داشـته اسـت (شـکل ۸). بررسـی متغیرهـای مـورد بررسـی در مـدل خطـر فرسایش کرانه رودخانه در این دو مقطع نیز گویای تفـاوت شـرایط در کرانـه چـپ و راسـت و نقـش آن در تفـاوت فرسایش است. مثلاً در مقطع ۱، زاویه کرانه چپ بیش از ۹۰ درجه و در مقطع ۲ نیز میـزان محافظـت سـطحی کرانـه راست که مستعد فرسایش بوده، فاقد حفاظت سطحی است (شکل ٦). بررسی میـدانی نشـان مـی‌دهـد کـه رسـوبات تشکیل دهنده کرانه درشت دانه بوده و ضعف پوشش گیاهی حاشیه رودخانه نیز بر حساسـیت کرانـه بـه فرسـایش را بالا برده است. در واقع پوشش گیاهی هر سه فرآیند فرسایشی کناره (فرسایش هیدرولیک رودخانـه، حرکـات تـوده‌ای و تنش برشی مکانیکی و هیدرولیکی مواد کناره) که توسط لاولر[1] (۱۹۹۵) بیان شده را تحت تأثیر قرار می‌دهـد (ویـن و مستقیمی[2]، ۲۰۰٦). وین و مستقیمی (۲۰۰٦) مشخص کرده‌اند که تراکم ریشه تـأثیر قابـل‌توجهی بـر روی فرسـایش کناره در جنوب غربی ویرجینیای آمریکا دارد. مطالعات قبلی نشان می‌دهد، پوشش گیاهی درختی نـرخ فرسـایش را از طریق اتلاف انرژی ستون آب کاهش می‌دهد. این فرآیند از طریق افزایش زبری و مقاومـت کششـی ناشـی از افـزایش چسبندگی فراهم شده بوسیله ترکیب ریشه و خاک صورت می‌گیرد (شـوم[3]، ۱۹۷۳؛ تـورن[4]، ۱۹۹۰؛ گورنیـل[5]، ۱۹۹۷؛ گنت و همکاران[6]، ۲۰۰۵ و پولین[7]، ۲۰۰۷).

از مقطع ۲ به بعد به واسطه پیوستن یک شاخه فرعی بزرگ از سـمت چـپ بـه رودخانـه، مورفولـوژی رودخانـه تغییر کرده و رودخانه از الگوی تک کانالی به چند کانالی تبدیل شده است همچنین عـرض رودخانـه افـزایش یافتـه و

1 Lawler
2 Wynn and Mostaghimi
3 Schumm
4 Thorne
5 Gurnell
6 Genet et al.
7 Pollen

کاهش ضریب خمیدگی در این بخش از رودخانه تا مقطع ٦ را به دنبال داشته است (شکل ٦ و ٨). مجموع شرایط فوق میزان فرسایش کناره‌ای را کمتر کرده و از مقطع ٣ تا ٦ تقریباً در هر دو کرانه خطر فرسایش کمتر بوده است که این کاهش ناشی از وجود پوشش گیاهی بر روی کناره، رسوبگذاری بر روی کناره و بستر به دلیل سد انحرافی پایین دست، الگوی چند کانالی پایدار، تعریض کانال و به ویژه کناره‌های متشکل از مواد رسی است. در واقع مواد کناره‌ای مختلف، حساسیت‌های متفاوتی را در مقابل فرسایش ایجاد می‌کنند. به‌عنوان مثال کناره‌های رسی به علت چسبندگی نسبت به کناره‌های ماسه‌ای و شنی به آهستگی و در زمان طولانی فرسایش پیدا می‌کنند. وین و مستقیمی (٢٠٠٦) دریافته‌اند که وزن مخصوص ظاهری خاک یک فاکتور خیلی مهم مؤثر بر فرسایش کناره است؛ در واقع خاک با وزن مخصوص ظاهری بالاتر منجر به کاهش فرسایش‌پذیری خاک می‌شود (شوم، ١٩٧٣). خاک غنی از رس، معمولاً وزن مخصوص ظاهری بالاتری دارد که در منطقه قرانقوچای در چند مقطع مشاهده شده است. رس تمایل به چسبندگی بیشتر با یکدیگر داشته و آستانه شکست آن خیلی بالاتر است. به‌عنوان مثال در مقاطع ٤ و ٥ در کناره راست و مقاطع ٦ و ٧ در کناره چپ با وجود عدم پوشش گیاهی تقریباً مناسب یا مشابه مقاطع یا کناره دیگر بوده است ولی حساسیت کمتری نسبت به فرسایش داشته است که این وضعیت ناشی از مواد تشکیل‌دهنده کناره بوده که به‌طور عمده ریزدانه در حد رس بوده است.

از مقطع ٧ به بعد دوباره مقادیر محاسبه شده خطر فرسایش کناره توسط هر دو مدل افزایش نشان می‌دهد. علت این تغییر در درجه اول می‌تواند ناشی از ساخت سد انحرافی در حدفاصل مقطع ٦ و ٧ دانست. از محل سد به طرف پایین دست مجدداً الگوی پیچانرودی تک کانالی شکل گرفته و عرض رودخانه کاهش یافته است. همچنین به علت تنگ شدگی کانال، افزایش سرعت جریان رودخانه را به دنبال داشته است. مجموع شرایط فوق باعث افزایش فرسایش کناره در مقاطع ٧، ٨ و ٩ شده است. البته در این بخش افزایش فرسایش کانال را می‌توان به کاهش رسوب جریان آب بعد از سد انحرافی نیز اختصاص داد. مشاهدات میدانی نشان می‌دهد که به دلیل افزایش سطح زیر کشت در دشت سیلابی این بخش از رودخانه، آب‌های سرریز شده و زه آب زمین‌های کشاورزی، نرخ فرسایش بالاتر در این بخش را توجیه می‌کند.

٥. نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج به دست آمده از مدل شاخص خطر فرسایش کناره و مدل تنش نزدیک کناره راسگن، به‌طورکلی می‌توان به این نتیجه رسید که فرسایش کناره‌ای در بازه مورد مطالعه از عوامل مهم در رسوب زایی و تولید رسوب رودخانه قرانقو محسوب می‌شود و خطر فرسایش کناره‌ای و استعداد فرسایش کناره‌ای در طول بازه با شدت و ضعف متفاوت در دو کناره رودخانه وجود دارد.

هم‌چنین هر دو روش استفاده شده برای تحلیل و ارزیابی این نوع فرسایش نشان می‌دهد کـه بـه‌طورکلی میـزان و خطر فرسایش برای کناره خارجی قوس‌ها در محدوده الگوی پیچانرودی رودخانه قرانقو بیش‌تر از کناره مقابـل اسـت که دلیل آن تشدید تنش هیدرولیک بر روی کناره‌های خارجی است.

هم‌چنین میزان و خطر فرسایش کناره‌ای در هر دو کرانه در بخش میانی بازه مورد مطالعه کاهش پیـدا مـی‌کنـد کـه این کاهش ناشی از وجود پوشش گیاهی بر روی کناره، رسوبگذاری بر روی کناره و بستر به دلیل سد انحرافـی پـایین دست، الگوی چند کانالی پایدار، تعریض کانال و به ویژه کناره‌های متشکل از مواد رسی است. در بخـش انتهـایی بـازه مورد مطالعه خطر فرسایش کناره توسط هر دو مدل افزایش نشان می‌دهد. علت این تغییر ساخت سد انحرافـی، ایجـاد الگوی پیچانرودی تک کانالی، کاهش عرض رودخانه، همچنین به علت تنگ شدگی کانال و افـزایش سـرعت جریـان رودخانه بوده است. این مطالعه نشان داد که الگوی رودخانه، پوشـش گیـاهی و مـواد کنـاره نقـش اساسـی در حفـظ پایداری کناره در این منطقه دارند. ارزیابی فرسایش کناره با استفاده از مدل‌هـای مـورد مطالعـه نشـان داد کـه بـر روی حساسیت فرسایش کناره رودخانه در منطقه قرانقوچای بـیش از یـک عامـل کنترلـی نقـش دارد. بـر پایـه مشـاهدات میدانی، نتایج مدل شاخص خطر فرسایش کناره (BEHI) در رودخانه قرانقوچـای انطبـاق بیشـتری بـا واقعیـت دارد و برآورد بهتری از فرسایش کناره‌ای داشته است. این امر می‌تواند ناشی از تعدد پارامترها و ارزیابی‌هـای بصـری آنهـا بـه صورت یک فرآیند یکپارچه دانست. هرچند نتایج مدل تنش نزدیـک کنـاره (NBS) نیـز مقـاطع فرسایشـی را نیـز بـا شدت کمتر نشان می‌دهد. بنابراین اگر لازم باشد برآوردی سریع و کـم هزینـه از بازه‌هـای رودخانـه‌ای فـراهم گـردد، استفاده از مدل تنش نزدیک کناره معقول خواهد بود.

پیشنهادها

جهت جلوگیری از تحمیل خسارات و اثرات سوء خطر فرسایش کناره بر منطقه، نیازمند شناخت کلـی از رفتـار و جریان رودخانه وجود دارد که درنهایت با شناسایی مناطق مسـتعد بـرای ایـن نـوع از فرسـایش و انجـام تمهیـدات و اقدامات کنترلی در سطح این منطقه می‌توان آثار و پیامدهای این پدیده را کاهش داده و یا به حداقل رساند.

کتابنامه

اسماعیلی، رضا؛ حسین زاده، محمد مهدی ؛ اقبالی، رضا؛ ۱۳۹۲. اثرات برداشت شن و ماسه بر ویژگی‌های ژئومورفیکی رودخانه لاویج رود، استان مازندران. جغرافیا و مخاطرات محیطی، شماره ششم، صص ۷۰-۵۷.

اصغری سراسکانرود، صیاد؛ زینالی، بتول؛ ۱۳۹۲. بررسی مقاومت ذرات رسوبی در برابر فرسایش رودخانه سراسکندچای هشترود با استفاده از روش‌های ریاضی. پژوهش‌های فرسایش محیطی. شماره ۱۲. صص ۳۰-۴۲.

حسین زاده، محمد مهدی؛ خالقی، سمیه؛ واحدی فر، فراز؛ رستمی، میلاد؛ ۱۳۹۵. برآورد فرسایش کناره‌ای در رودخانه قرانقوچای هشترود با استفاده از مدل راسگن. چهارمین همایش ملی انجمن ایرانی ژئومورفولوژی، تهران.

حسین زاده، محمد مهدی؛ صدوق، حسن؛ متش بیرانوند، سعیده؛ اسماعیلی، رضا؛ ۱۳۹۶. بررسی پایداری رسوبات بستر رودخانه لاویج با استفاده از روش تنش برشی بحرانی و دبی بحرانی. پژوهش‌های دانش زمین. شماره ۲۹. صص۸۶-۷۵.

خالقی، سمیه؛ ملکانی، لیلا؛ ۱۳۹٤. برآورد فرسایش کرانه رودخانه لیقوان چای با استفاده از شاخص تنش برشی نزدیک کرانه راسگن. چاپ در مجموعه مقالات کنگره بین المللی جغرافیا و توسعه پایدار، تهران، صص

کرم، امیر؛ لایقی، صدیقه؛ ۱۳۹۳. طبقه‌بندی هیدروژئومورفولوژیکی رودخانه جاجرود با مدل روزگن. پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی. شماره۳. صص.۱٤۲-۱۳۰.

یمانی، مجتبی؛ حسین زاده، محمد مهدی؛ ۱۳۸۱. بررسی تغییرات الگوی رودخانه تالار در جلگه ساحلی دریای مازندران. مجله پژوهش‌های جغرافیایی. شماره ٤۳. صص ۱۰۹-۱۲۲.

A study of bank erosion rates within selected reaches of the housatonicriver. (2009). Stantec Consulting, 30 Park Drive, Topsham, England. ME 04086.

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* (Unpublished master s thesis) Syracuse University, New York.

David, L., & Rosgen, P.H. (2001). *A stream channel stability assessment methodology*. Colorado: Wildland Hydrology Books, Fort Collins.

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

Gregory, K.J. (2006). The human role in changing river channels. *Journal of Geomorphology, 79*, 172-191.

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

Kang, R.S. (2007). *Effects of urbanization on channel morphology of three streams in the Central Redbed Plains of Oklahoma* (Unpublished doctoral dissertation). Faculty of the Graduate College, Oklahoma State University.

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

Kwan, H., & Swanson, S. (2014). The prediction of annual stream bank erosion for Sequoia National Forest, California.*Journalof the American Water Resources Association, 50*(6), 1439˚1447.

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 and Water Quality, 226*, 175-184.

Moret, S.L. (2001). *Predicting channel stability in Colorado Mountain streams using hydrobiogeomorphic and land use data: A cost-sensitive machine learning approach to modeling rapid assessment protocols* (unpublished doctoral dissertation). Oregon State University, Corvallis, Oregon.

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

Rosgen stream classification technique _Supplemental Materials. (2007). National Engineering Handbook. U.S. 210˚ VI˚ NEH, Part 654.

Rosgen, D.L. (1996). *Applied river morphology*. Wildland Hydrology, Pagosa Springs, Colorado.

Rosgen, D.L. (2006). *Watershed assessment of river stability and sediment supply (WARSSS)*. Colorado: Wildland Hydrology Books, Fort Collins.

Rosgen, D.L. (2008). *River stability field guide.* Colorado: Wildland Hydrology, Fort Collins.

Sass, C. K., & Keane, T. D. (2012). Application of Rosgen s BANCS model for NE Kansas and the development of predictive streambank erosion curves. *Journal of the American water Resources Association*, *48*(4), 774-787.

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

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

Wynn, T. M., & Mostaghimi, S. (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.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی