مجله علمی پژوهشی مخاطرات محیط طبیعی، دوره نهم، شماره بیست و ششم، زمستان ۱۳۹۹
تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۸/۰۹/۱۳
تاریخ بازنگری نهایی مقاله: ۱۳۹۹/۰۱/۳۱
تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۹/۰۲/۱۷
صفحات: ۱۴۴ - ۱۲۹

مقاله (علمی پژوهشی)

برآورد خطر فرسایش کناره ای رودخانه طالقان با استفاده از مدل BEHI

کاظم نصرتی*[۱]، میلاد رستمی[۲]، محمود آذرپار کیوی[۳]

۱*. دانشیار گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی
۲. دانشجوی دکتری گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی
۳. دانشجوی کارشناسی ارشد گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی

چکیده

رودخانه فراهم کننده آب و انرژی برای طبیعت و انسان است و می توان گفت تامین آب مهمترین نقش اقتصادی رودخانه است. پدیده فرسایش و انتقال رسوب از جمله فرآیندهای هیدرودینامیکی مهمی است که بسیاری از سیستم های هیدرولیکی نظیر حو ضه های آبریز، رودخانه ها، سواحل و بنادر، سدها، پل ها، جاده ها، کشتزارها و تأسیسات عمرانی را متأثر می سازد. رودخانه طالقان یکی از رودخانه های مهم دامنه جنوبی البرز می باشد. این رودخانه متأثر از عوامل مختلفی چون زمین شناسی، شیب، کاربری اراضی، شرایط هیدرولیکی جریان و رفتار مورفولوژیکی پویایی دارد. هدف این پژوهش بررسی وضعیت پایداری کناره رودخانه طالقان با استفاده از مدل های ریاضی و آماری و مقایسه نتایج آن با مشاهدات میدانی است. برای رسیدن به این هدف در این پژوهش با استفاده از روش BEHI و تحلیل آماری واریانس یک طرفه (ANOVA) استفاده شده و سپس با مشاهده های میدانی و بصری مقایسه شده است. نتایج نشان داد که خطر فرسایش کناره در مقاطع بالادست با توجه به امتیازدهی متوسط و زیاد می باشد و در مقاطع پایین دست میزان خطر فرسایش کناره ای زیاد و خیلی زیاد می باشد. و با توجه به نتایج به دست آمده از تحلیل واریانس یک طرفه (ANOVA) میزان تاثیرگذاری شیب و دبی بالاتر از بقیه پارامترها بوده و پارامترهای معنی دار در این تحلیل شامل عمق متوسط، دبی لبالبی، ارتفاع کناره، دبی و شیب می باشد. با توجه به نتایج به دست آمده کناره های فرسایش پذیر شناسایی شدند.

واژگان کلیدی: فرسایش کناره ای، رودخانه طالقان، مدل BEHI، واریانس یک طرفه.

*- کاظم نصرتی (نویسنده مسئول) Email: k_nosrati@sbu.ac.ir

مقدمه

تغییرات کانال رودخانه مانند فرسایش کناره ای و ایجاد بریدگی ها و رسوب گذاری کناره ای فرایند های طبیعی رودخانه هستند که باعث تخریب زمین های کشاورزی اطراف رودخانه و خسارت به تاسیسات انسانی و راه ها می-شود. (گریگوری[۱]، ۲۰۰۶) فرسایش کناره رود یکی از علل عمده آلودگی غیر نقطه ای منابع آب و افزایش بار رسوب در بسیاری از رودخانه ها است (ویلسون[۲] ۲۰۰۸؛ راسگن[۳] ۲۰۰۱). روشهای متفاوتی برای بررسی فرسایش کناره ای وجود دارد که یکی از آن‌ها روش راسگن می‌باشد براساس روش راسگن، خصوصیات ریخت شناسی رودخانه ها در چهار سطح مختلف مورد بررسی قرار می‌گیرد و به ترتیب از سطح یک که شناخت مشخصات کلی و بر مبنای تجزیه سطحی است تا سطح چهار که ارزیابی بسیار دقیق و با جزییات کامل از ویژگی های ریخت شناسی رودخانه ارائه می دهد انجام می شود. در سراسر دنیا محققان زیادی به بررسی وضعیت فرسایش و رسوب کناره ای رودخانه و اهمیت آن در حفاظت از خطوط ساحلی پرداخته اند از جمله فولر[۴] و همکاران (۲۰۰۳)، برتولدی[۵] و همکاران (۲۰۰۲)، جورج[۶] و همکاران (۲۰۰۶) و گرین بام[۷] (۲۰۰۷) از جمله کسانی هستند که به بررسی مسائل فرسایش کناره ای رودخانه پرداخته اند. برای پیش‌بینی میزان فرسایش کناره رودخانه از روش ارزیابی کناره برای پیامد منبع غیر نقطه‌ای رسوب BANCS[۸] استفاده می‌شود که توسط راسگن (۲۰۰۱) ارائه شده و برای محاسبه آن، دو روش تخمین فرسایش‌پذیری کناره (سطح III طبقه بندی راسگن) استفاده می‌شود: ۱- شاخص خطر فرسایش کناره BEHI[۹] ۲- تنش برشی نزدیک کناره NBS[۱۰]. در رابطه مدل راسگن پژوهش هایی در داخل و خارج از کشور صورت گرفته است که در ادامه به تعدادی از آنها می پردازیم:

کوان و سوانسن[۱۱] (۲۰۱۴) به پیش‌بینی فرسایش سالانه کرانه رودخانه با استفاده از شاخص خطر فرسایش کرانه BEHI و روش تنش برشی نزدیک کرانه NBS برای جنگل ملیسکوایا در کالیفرنیا پرداخته اند. کوریت[۱۲] (۲۰۱۴) به تحلیل و ارزیابی کانال با روش پیامدهای منبع غیر نقطه‌ای رسوب BANCS برای پیش‌بینی فرسایش و پایداری کرانه رودخانه در استونی کلوو کریکدر کت اسکیلز پرداخته است. قوش و همکاران[۱۳] (۲۰۱۶) در مقاله‌ای تحت عنوان اعتبار سنجی مدل BANCS برای ارزیابی پتانسیل خطر بروز فرسایش آبراهه SBEHP در رودخانه باکرشور منطقه رخش شرق هند، به بررسی فرسایش کناره‌ای با استفاده از سه روش SBEHP، BEHI، NBS پرداخته‌اند. روش کار به این صورت بوده که با استفاده از مطالعات میدانی فرسایش کناری ۲۴ مقطع در یک دوره ۵ ساله به طول ۸۶/۳۶ کیلومتر از رودخانه باکرشور در شرق هندوستان مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان می‌دهد که مدل BEHI و NBS

[1] Gregory
[2] Wilson
[3] Rosgen
[4] Fuller
[5] Bartholdy
[6] Jorge
[7] Greenbaum
[8] Bank assessment for non-point source consequences of sediment
[9] Bank erosion hazard index
[10] Near bank stres
[11] Kwan & Swanson
[12] Coryat
[13] Ghosh et al

به طور بالقوه از قابلیت پایینی در پیش‌بینی خطر فرسایش برخوردار است. بیگام[1] (۲۰۱۶) در پژوهشی تحت عنوان ارزیابی و کاربرد بررسی کناره‌ها در تشخیص منبع غیر نقطه‌ای رسوبات BANCS و کاربرد مدل در پیش‌بینی میزان فرسایش سالیانه‌ی کناره رودخانه‌ی ارکانساس کوچک در جنوب غربی کانزاس را مورد مطالعه قرار داد. فاطمی عقدا و همکاران (۱۳۸۰) در پژوهشی تخمین و ارزیابی فرسایش کناره ای با استفاده از عکس های هوایی، نمونه برداری از رسوبات بستر رودخانه ها و انجام کارهای آزمایشگاهی و قرار دادن داده ها در مدل های ارزیابی فرسایش کناره ای را انجام داده اند. روستایی و همکاران (۱۳۹۲) مورفولوژی مجرای رودخانه لیقوان را با استفاده از روش طبقه بندی راسگن در سطح دو مورد ارزیابی قرار دادند. حسین زاده و همکاران (۱۳۹۶) در پژوهشی به مقایسه و ارزیابی نتایج مدل NBS و BEHI در فرسایش کناره‌ای رودخانه قرانقو چای هشترود پرداخته است. حسین زاده و همکاران (۱۳۹۶) در پژوهشی به مقایسه روش های برآورد خطر فرسایش کرانه ای با استفاده از مدل NBS پرداخته اند. اصغری سراسکانرود و زینالی (۱۳۹۲) به بررسی مقاومت ذرات رسوبی در برابر فرسایش رودخانه سراسکند چای هشترود پرداخته اند. خالقی و ملکان (۱۳۹۴) در پژوهشی به برآورد فرسایش کرانه رودخانه لیقوانچای با استفاده از شاخص تنش برشی نزدیک کرانه راسگن پرداخته اند. نصرتی و همکاران (۱۳۹۷) در پژوهشی به بررسی فرسایش کناره ای رودخانه طالقان با استفاده از مدل NBS پرداخته اند. نتایج نشان داد که در شاخص نسبت شعاع انحنا به عرض دبی لبالبی، میزان فرسایش‌پذیری کرانه در اکثر مقاطع نسبت به دو شاخص نسبت حداکثر عمق نزدیک کرانه به متوسط عمق دبی لبالبی و نسبت تنش برشی نزدیک کرانه به تنش برشی دبی لبالبی، با مشاهدات میدانی بیشترین تطابق را دارد.

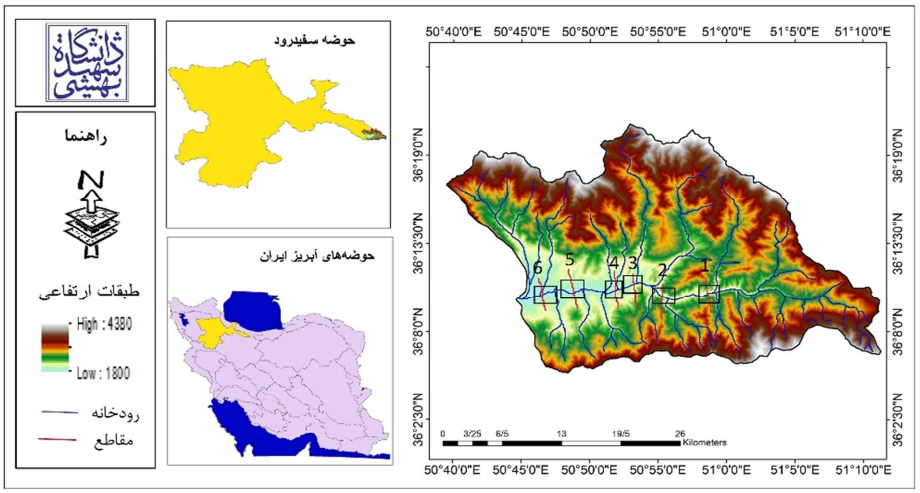
که در این پژوهش با توجه به شرایط رود خانه طالقان و هدف پژوهش که بررسی خطرفرسایش کناره در این رودخانه می باشد از روش شاخص خطر فرسایش کناره استفاده شده است.

داده‌ها و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه شامل حوضه آبریز بالادست سد طالقان با وسعت حدود ۹۴۰ کیلومتر مربع، با طول تقریبی۵۰ کیلومتر و عرض بین ۲۰ تا ۳۰ کیلومتر و ارتفاع متوسط وزنی ۲۷۳۵ متر بوده و از نظر مختصات جغرافیایی در محدوده "۴۰ ´۰۵ °۳۶ تا "۵ ´۲۱ °۳۶ عرض شمالی و "۴۰ ´۳۶ °۵۰ تا "۱۶ ´۱۱ °۵۱ طول شرقی قرار دارد. رودخانه طالقان حدود ۱۸۰ کیلومتر طول دارد و در سال ۱۳۸۵ سد مخزنی چند منظوره طالقان بر روی این رود احداث شده است. در این پژوهش بالادست سد طالقان از روستای مرجان تا سد طالقان به طول ۱۲ کیلومتر مورد مطالعه قرار می گیرد که موقعیت جغرافیایی این حوضه در شکل ۱ آمده است.

[1] Bigham



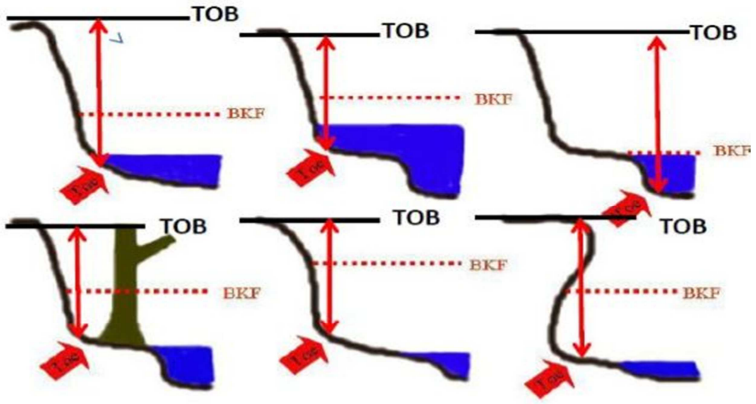
شکل۱: منطقه مورد مطالعه

روش کار:

جهت ارزیابی پتانسیل فرسایش پذیری کناره رودخانه طالقان ابتدا بر روی نقشه ۶ بازه با توجه به امکان دسترسی، میزان فرسایش و تفاوت در ریخت و الگوی رودخانه انتخاب شد. سپس جهت اندازه گیری پارامتر های مورد نظر در مدل BEHI که شامل ۱.ارتفاع کناره ۲. ارتفاع مقطع پر ۳. عمق ریشه ۴. تراکم ریشه ۵. زاویه کناره ۶. درصد محافظت کناره ۷. ترکیب کناره ۸. ساختار مواد کناره است اقدام به نمونه گیری و نقشه برداری پارامتر های مورد نظر در رودخانه طالقان گردید. نحوه اندازه گیری هر کدام از پارامتر ها به روش هایی که در ادامه می آید می باشد.

مطالعه و بررسی ارتفاع کناره

محل اندازه گیری ارتفاع کناره در دبی لبالبی، پای کناره تا قسمت پر کناره اندازه گیری می شود. همچنین پای کناره در اندازه گیری کناره پر یا بالا در بیرون از آب قرار می گیرد(شکل۲) .



شکل ۲: نحوه اندازه گیری ارتفاع کناره

اندازه گیری عرض مقطع دبی لبالبی

باتوجه به آثار کناره رودخانه از جمله: زیر بری رودخانه، تغییرات جنس در کرانه رودخانه، باتوجه به آثار خزه ها و گلسنگ ها، تغییرات رنگ سنگ ها و در محل هایی که دشت سیلابی داریم لبه دشت سیلابی دبی لبالبی یا عرض مقطع پر مشخص می شود. که می توان با استفاده از شاخص نقشه برداری و دوربین تئودلیت آن را اندازه گیری کرد(شکل ۳).



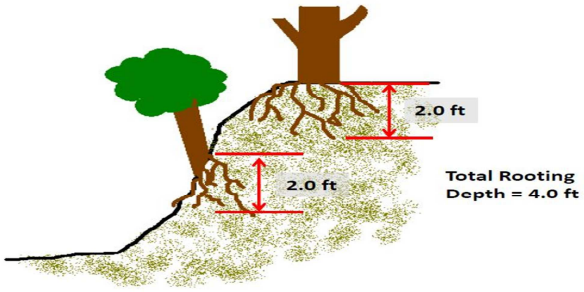
شکل۳: نمایی از اندازه گیری دبی لبالبی (لاولر[1] ۲۰۰۴)

اندازه گیری عمق

برای مشخص نمودن متوسط عمق با استفاده از شاخص نقشه برداری در نقاط مختلف از مقطع پر عمق اندازه گیری می‌شود که میانگین عمقهای هر مقطع به عنوان عمق متوسط در نظر گرفته می شود.

میزان عمق ریشه

اندازه گیری عمق ریشه در ارتباط با بالای ارتفاع کناره می باشد. در بالای کناره از محلی که خاک زدوده شده و کنار رفته عمق ریشه قابل اندازه گیری است. اگر کناره بالا در دسترس نیست مناطقی را که ریشه در معرض دید قرار دارد جست و جو می شود، همچنین در جاهایی که ریشه های درخت یا درختان در پایین کناره گستردگی دارد، گستردگی ریشه ها، عمق ریشه است. و در مقاطعی از رودخانه که ریشه ها در دو ارتفاع متفاوت ازکناره رودخانه در یک محل گستردگی دارند، مجموع ارتفاع این دو تراکم ریشه مجموعاً بیانگر عمق ریشه خواهد بود. در این پارامتر بالاترین میزان عمق ریشه کمترین ریسک و خطر فرسایش را نشان می دهد. این عامل(عمق ریشه) بسیار متغییر است و به نوع نشو و نمو گیاهی، وضعیت و شرایط خاک، آشنایی با رشد سالانه و تغییر شرایط فصلی بستگی دارد(شکل۴).

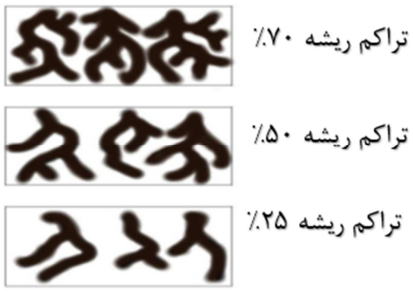


شکل۴: اندازه گیری عمق ریشه

[1] lowler

امتیاز دهی به تراکم ریشه

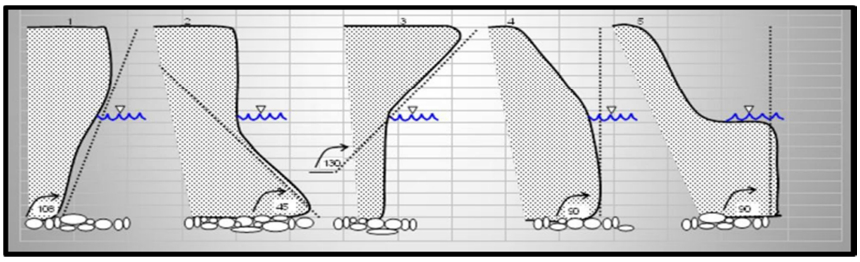
امتیاز دهی و مشخص کردن تراکم ریشه به عمق ریشه با روش ارزیابی بصری مورد بررسی قرار می گیرد که به درصد خاک ترکیب شده با ریشه، عمق ریشه و میزان گستردگی آن در حجم مشخصی از خاک بستگی دارد(شکل۵).



شکل۵: نحوه محاسبه تراکم ریشه

زاویه کناره

از پارامتر های مورد استفاده برای تعیین خطر تخریب کناره می باشد که با استفاده از شیب سنج دیجیتالی اندازه گیری می شود (شکل ۶).



شکل۶: محل اندازه گیری زاویه کناره

اندازه گیری سطح محافظ

برای مشخص و تعیین نمودن پهنه هایی در طول کناره که محافظت سطحی می شوند می‌توان از تعیین درصد سطح محافظت شده از کل ارتفاع کناره و یا می توان از همان روش هایی که برای تراکم ریشه به کار برده می شود را استفاده کرد. زمانی که کناره ها دارای پوشش گیاهی، درختچه ها و درختان هستند درصدی از کناره که توسط پهنه ریشه تحت تأثیر قرار گرفته است را اندازه گیری می‌کنند.

تعیین مواد کناره

برای تعیین مواد کناره ابتدا از کناره ها نمونه برداری شده و به آزمایشگاه انتقال داده می شود. در آزمایشگاه آزمایش گرانولومتری انجام می شود سپس ترکیب و مقاومت آن، فرسایش پذیر بودن، نوع خاک، بالاترین درجه حساسیت به فرسایش، تعیین ترکیبات عمومی کناره، تنظیم نمره و در نهایت امتیاز BEHI مشخص می شود (جدول۱)

جدول ۱: تعیین و مطابقت مواد کناره

تنظیم رتبه BEHI	مواد کناره
BEHI برای کناره های سنگ بستری پتانسیل بسیار کمی بری فرسایش در نظر می گیرد	سنگ بستر
BEHI برای کناره هایی که تخته سنگ هستند پتانسیل کمی برای فرسایش در نظر می گیرد	تخته سنگ
۱۰ امتیاز کم می شود، اگرپوششی از قلوه سنگ های بزرگ تا متوسط باشد اگر ریگ و ماسه بدون نظم بالاتر از ۵۰ درصد ساختار کناره را اشغال کرده باشد	قلوه سنگ
۵ امتیاز افزوده می شود اگر ساختار کناره ۷۰-تا۵۰ درصد ماسه باشد	ماسه، سیلت و رس لومی
اضافه کردن ۱۰-۵ امتیاز بستگی به درصدی از مواد کناره که شن باشد	ریگ یا سنگ ریزه
اضافه کردن ۱۰ امتیاز اگر شن و ماسه بیش از۷۵ درصد کناره را شامل شده باشد و در معرض فرآیندهای فرسایشی باشد	ماسه
کم کردن بیش از ۲۰ امتیاز بسته به این که چه درصدی از ساختار کناره از رس تشکیل شده است	رس و سیلت

تعیین شاخص برای طبقه بندی

مشخصه های افق های ناپایدار خاک در معرض فرسایش در ارتباط با طبقه کناره فرآیند های در نظر گرفته شده عبارتند از: لغزش کناره ای، تخریب چرخشی، خاک منفذی، یخ زدگی و گداختگی (یخ و ذوب)، مشاهده پروفیل و افق خاک کناره مشاهده زونی که آب در آن متمرکز شده، تخریب چرخشی، خاک منفذی، ارزیابی تثبیت و ثابت بودن افق های خاک کناره.

شاخص خطر فرسایش کناره (BEHI)

شاخص خطر فرسایش کناره یک فرآیند یکپارچه ای است، جهت ارزیابی آسیب پذیری و فرسایش کناره با استفاده از متغیر های شناخته شده که نرخ فرسایش را تحت تأثیر قرار می دهند.

BEHI چندین متغیر را به واسطه ارزیابی های بصری مطرح می کند، که نسبت و میزان فرسایش کناره ای را در مناطق مستعد فرسایش نشان می دهند.

هفت متغیر جهت ارزیابی وجود دارد و فرآیند نمره دهی به این هفت پارامتر قابل اندازه گیری بر مبنای ۱ تا ۱۰ می باشد، 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 بدست می آید، بنابراین تمامی متغیرها از وزن یکسانی جهت امتیاز دهی برخوردار هستند که این نمره های عددی به یک میزان امتیاز بندی توصیفی برای میزان حساسیت کناره ها به فرسایش مربوط می شوند.

۹/۵ – ۵ استعداد فرسایش خیلی کم

۱۹/۵- ۱۰ استعداد فرسایش کم

۲۹ – ۲۰ استعداد فرسایش معتدل

۳۹ – ۳۰ استعداد فرسایش بالا

۴۵ – ۴۰ استعداد فرسایش خیلی بالا

۴۶ – ۷۰ استعداد فرسایش بیش از حد

نسبت های اندازه گیری و متغیر ها به شرح زیر است:

مطالعه و بررسی نسبت ارتفاع کناره به ارتفاع دبی لبالبی (مقطع پر) (۱ تا ۱۰)

به عبارت دیگر ارتفاع کل کناره تقسیم بر ارتفاع کناره پر برای جبران و تعدیل اندازه جریان، که نسبت نزدیک به عدد نمره عددی ۱ کم ترین میزان خطر فرسایش برای کناره است.

عمق ریشه (۱ تا ۱۰)

نسبت عمق ریشه به میزان ارتفاع کناره مطالعه شده، به عبارت دیگر عمق غالب حجم ریشه تقسیم بر ارتفاع کناره کل، جهت محاسبه تقریبی انسجام مواد کناره ای توسط پوشش ریشه، اگر توده ریشه به زیر کناره نمی رسد ممکن است تضعیف مواد کناره رخ دهد و باعث این شود که بالای کناره دچار تخریب شود.

وزن تراکم ریشه (به درصد) (۱ تا ۱۰)

نسبت ارزیابی بصری از تراکم ریشه ضرب در عمق ریشه به ارتفاع کنار محاسبه شده به عبارت دیگر تراکم ریشه که به صورت مشاهده ای ارزیابی می شود ضربدر عمق ریشه و عدد به دست آمده تقسیم بر ارتفاع کناره محاسبه شده.

وزن بیش تر تراکم ریشه برابر با خطر فرسایش کم تر

زاویه کناره (به درجه) (۱ تا ۱۰)

زاویه کناره ای تندتر و یا شیب کناره بیش تر، خطر تخریب بیش تر توده کناره به دلیل نیروی گرانشی و برشی.

محافظت سطحی کناره (۱ تا ۱۰)

اندازه گیری درصد محافظت سطح کناره که به وسیله چمن، چوب های بزرگ باقی مانده در کناره، آوار و پوشش گیاهی محافظت می شود.

محافظت بیش تر خطر فرسایش کم تری را نشان می دهد.

تنظیم و تعدیل طبقه بندی ها

(مواد کناره و چینه بندی)، کمک به در نظر گرفتن متغییرهای فرسایشی اضافی

تعدیل و تنظیم مواد کناره (۱۰ تا ۱۰-)

انواع مختلفی از مواد کناره، نرخ های فرسایشی مختلفی دارند بنابراین یک تعدیل تقریبی نمره عددی BEHI می تواند مناسب باشد.

به عنوان مثال: کناره های رسی به علت چسبندگی به آهستگی و در زمان طولانی فرسایش پیدا می کنند نسبت به کناره های ماسه ای و شنی.

در این طبقه بندی می توان یک تفاضل فرسایشی برای مواد کناره تنظیم کرد (در مورد مصالح خاص) با اضافه کردن یا کم کردن تا ۱۰ نمره از نمره عددی BEHI

طبقه بندی مواد کناره (۱ تا ۱۰)

لایه ها در عمق خاک می توانند باعث ایجاد نقاط ضعف بر روی سطح کناره شوند، لذا اگر طبقه بندی وجود دارد به خصوص در بالاتر از طبقه کناره پر (مقطع پر) تا حدود ۱۰ نمره عددی ممکن است به چنین طبقه بندی به کل نمره یا امتیاز BEHI اضافه شود.

بدست آوردن نمره یا عدد کل

در این مرحله با توجه به ساختار مدل BEHI و شاخص تعریف شده برای این مدل اعداد اندازه گیری 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 می کنیم.

این کار طبق جدول تنظیم شده برای این مدل صورت می گیرد که در آن برای هر کدام از پارامترهای اندازه گیری شده یک بازه عددی تعیین شده که در صورت قرار گرفتن هر کدام از پارامترهای اندازه گیری شده در این شش سطح، عدد بدست آمده نشان دهنده میزان تأثیرگذاری آن پارامتر در فرسایش کناره خواهد بود. در نهایت با جمع کردن اعداد بدست آمده از هر پارامتر اندازه گیری شده، اعداد با هم جمع شده و توتال اسکور یا نمره نهایی بدست می آید که نشان دهنده شدت فرسایش کناره طبق مدل BEHI خواهد بود (جدول۲).

جدول۲. خلاصه شاخص خطر فرسایش کناره (BEHI) (راسگن،۱۹۹۶)

راهنمای امتیازدهی خطر فرسایش کناره رودخانه طالقان								
پتانسیل فرسایش کناره رودخانه	طبقه بندی خطر فرسایش		ارتفاع کناره/ارتفاع دبی لبالبی	عمق ریشه/ارتفاع کناره	تراکم ریشه(٪)	زاویه کناره (درجه)	حفاظت سطحی(٪)	امتیاز کل
	خیلی کم	مقدار	۱-۱/۱	۰/۹ – ۱	۸۰-۱۰۰	۰-۲۰	۸۰-۱۰۰	
		شاخص	۱-۱/۹	۱-۱/۹	۱-۱/۹	۱-۱/۹	۱-۱/۹	۵-۹/۵
	کم	مقدار	۱/۱۱-۱/۱۹	۰/۸۹-۰/۵	۵۵-۷۹	۲۱-۶۰	۵۵-۷۹	
		شاخص	۲-۳/۹	۲-۳/۹	۲-۳/۹	۲-۳/۹	۲-۳/۹	۱۰-۱۹/۵
	متوسط	مقدار	۱/۲-۱/۵	۰/۳-۰/۴۹	۳۰-۵۴	۶۱-۸۰	۳۰-۵۴	
		شاخص	۴-۵/۹	۴-۵/۹	۴-۵/۹	۴-۵/۹	۴-۵/۹	۲۰-۲۹/۵
	زیاد	مقدار	۱/۶-۲	۰/۱۵-۰/۲۹	۱۵-۲۹	۸۱-۹۰	۱۵-۲۹	
		شاخص	۶-۷/۹	۶-۷/۹	۶-۷/۹	۶-۷/۹	۶-۷/۹	۳۰-۳۹/۵
	خیلی زیاد	مقدار	۲/۱-۲/۸	۰/۰۵-۰/۱۴	۵-۱۴	۹۱-۱۱۹	۱۰-۱۴	
		شاخص	۸-۹	۸-۹	۸-۹	۸-۹	۸-۹	۴۰-۴۵
	شدید	مقدار	۲/۸<	<۰/۰۵	<۵	۱۱۹<	<۱۰	
		شاخص	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۴۶-۵۰

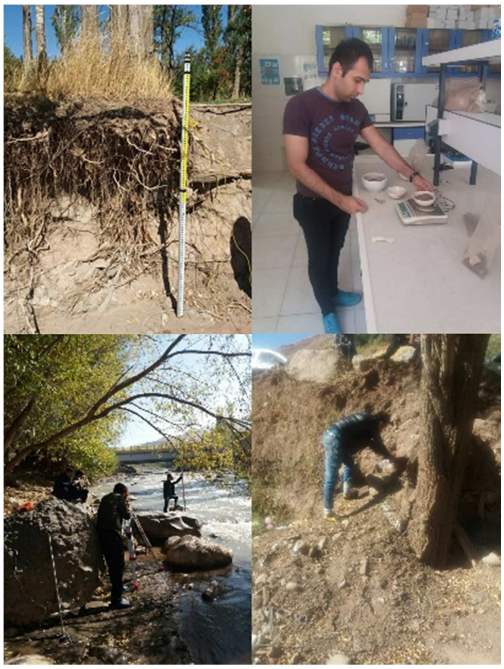
تحلیل آماری

تحلیل واریانس[1] [2](ANOVA) به منظور استنتاج معنی داری آماری، تفاوت بین متغیرهای فرسایشی در مدل BEHI بین سه بازه مشخص شده در نرم افزار Spss مورد استفاده قرار گرفت (نصرتی ۱۳۹۲).

نتایج:

در مدل BEHI با در نظر گرفتن چندین متغییر از طریق ارزیابی بصری، نقشه برداری میدانی و آزمایشگاهی، همچنین نسبت های ارزیابی تلاش می شود حساسیت کناره ها نسبت به فرسایش تعیین گردد شکل(۷). همان طور که اشاره شد این مدل توسط راسگن(۲۰۰۱) برای اندازه گیری نرخ فرسایش کناره رودخانه استفاده شده است. در این مطالعه جهت تشخیص خطر فرسایش کناره رودخانه طالقان نسبت به فرسایش از شاخص تعیین خطر فرسایش کناره BEHI استفاده گردید. برای انجام این کار ۳ بازه در بالا دست سد طالقان انتخاب شد و در هر بازه ۲ مقطع با توجه به خطر فرسایش و دسترسی مشخص گردید. سپس جمع آوری داده ها و اندازه گیری اولیه از هر دو کناره در هر ۶ مقطع مشخص شده انجام شد. متغیرهای اندازه گیری شده در برداشت میدانی شامل ارتفاع کناره، ارتفاع دبی لبالبی، عمق ریشه، تراکم ریشه، زاویه کناره، و محافظت سطحی می باشد(جدول۳). سپس مقادیر نسبت های تعریف شده در مدل برای هرکدام از کناره های راست و چپ مقاطع محاسبه شده و استفاده از راهنمای شاخص تعیین خطر فرسایش کناره BEHI امتیازات هر کدام از پارامترها تعیین و با جمع امتیازات پارامترها میزان خطر فرسایش کناره تعیین گردید (جدول۴).

[1] BVKM
[2] Analysis of variance



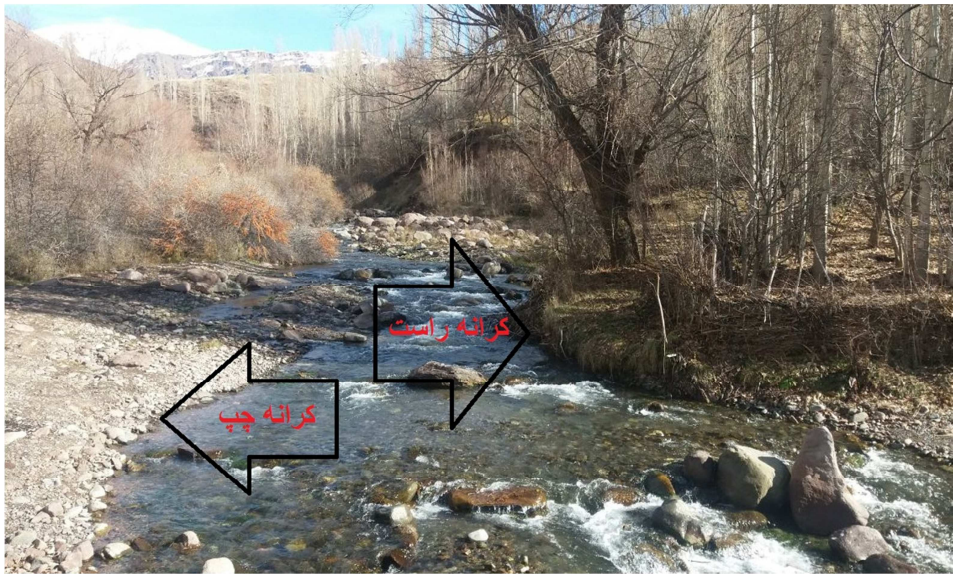
شکل۷:تصویر نمونه برداری، کار میدانی و آزمایشگاهی

جدول۳: متغیرهای اندازه گیری شده برای مقاطع مورد مطالعه رودخانه طالقان بر اساس شاخصBEHI

بازه	مقاطع	ارتفاع کناره (متر)		ارتفاع دبی لبالبی (متر)		عمق ریشه (متر)		تراکم ریشه (٪)		زاویه کناره (درجه)		محافظت سطحی (٪)	
		R	L	R	L	R	L	R	L	R	L	R	L
۱	۱	۱۴۵	۱۵۵	۱۲۵	۱۲۵	۲۰	۹۵	۲۵	۵۰	۳۳	۶۳	۳۰	۴۰
	۲	۲۰۰	۱۵۰	۱۲۸	۱۲۸	۱۳۰	۸۰	۱۰	۲۵	۱۰	۵۷	۱۰	۴۰
۲	۳	۱۹۰	۸۵	۱۱۸	۱۱۸	۱۲۰	۲۰	۵۰	۳۰	۵۸	۷۳	۵۰	۴۰
	۴	۵۰	۱۰۰	۶۲	۶۲	۱۰	۳۰	۲۵	۵	۱۷	۱۱	۳۰	۱۰
۳	۵	۲۱۰	۱۵۰	۱۴۰	۱۴۰	۹۰	۶۰	۵۰	۲۵	۳۹	۱۱	۵۰	۲۰
	۶	۲۲۰	۲۰۰	۱۱۵	۱۱۵	۵۰	۲۰	۴۰	۳۰	۶۰	۵۷	۲۵	۳۰
R= کناره راست L= کناره چپ													

سپس با استفاده از تحلیل واریانس (ANOVA) میزان معنی داری و تاثیرگذاری متغییرهای مورد استفاده در مدل BEHI به دست آمد. با توجه به امتیاز BEHI به دست آمده از بازه اول و دوم در هر دو مقطع مورد نظر فرسایش کناره در کناره راست زیاد بوده و در کناره چپ متوسط است. از دلایل مقاومت بیشتر کرانه چپ نسبت به کرانه راست در این دو مقطع تراکم ریشه و پوشش گیاهی بالای این سمت از کرانه می باشد. در بازه دوم کناره راست در هر دو مقطع میزان فرسایش متوسط را نشان می دهد، اما در کناره چپ مقطع سه و چهار خطر فرسایش زیاد و

خیلی زیاد می باشد. از دلایل مقاومت بیشتر کناره راست در این بازه نیز بالابودن محافظت سطحی و تراکم ریشه نسبت به کرانه چپ می باشد(شکل ۸).



شکل۸:تصویر بازه شماره۲ شرایط کرانه چپ و راست در این بازه

در بازه سوم که در پایین دست حوضه قرار دارد در مقطع اول در کناره راست میزان فرسایش کناره با توجه به امتیاز BEHI زیاد و در کناره چپ متوسط می باشد و در مقطع دوم آن با توجه به کاهش شیب و دبی زیاد و پوشش گیاهی ضعیف و نبود محافظت سطحی و ریشه در کناره ها میزان فرسایش خیلی زیاد است. در ادامه جهت تعیین پارامتر تاثیرگذار در فرسایش کناره ای در مدل BEHI در رودخانه طالقان از تحلیل واریانس (ANOVA) استفاده شد و نتایج نشان داد که میزان (F) یا تاثیرگذاری شیب و دبی از بقیه پارامترها بیشتر بوده است و پارامتر های شیب، دبی، ارتفاع کناره و عمق متوسط در دبی لبالبی در تحلیل واریانس (ANOVA) معنی دار شده اند (جدول ۵).

جدول ۴. نتایج کلی رده بندی خطر فرسایش کناره (BEHI) در کناره راست و چپ مقاطع مورد مطالعه

مقطع عرضی	BEHIامتیاز	خطر فرسایش کناره راست	BEHIامتیاز	خطر فرسایش کناره چپ
۱	۳۷/۲	زیاد	۲۶/۲	متوسط
۲	۳۳/۳	زیاد	۲۲/۶	متوسط
۳	۲۶/۸	متوسط	۳۳/۱	زیاد
۴	۲۷	متوسط	۴۱/۴	خیلی زیاد
۵	۳۲	زیاد	۲۶/۵	متوسط
۶	۴۲/۸	خیلی زیاد	۴۰/۷	خیلی زیاد

جدول۵ : نتایج واریانس یک طرفه (ANOVA)

متغییر	بازه	تعداد	میانگین	انحراف معیار	خطای استاندارد	F	معنی داری
BEHIامتیاز	۱	۴	۲۹/۸	۶/۶	۳/۳	۰/۶۵	۰/۵۴
	۲	۴	۳۲/۱	۶/۹	۳/۴		
	۳	۴	۳۵/۵	۷/۶	۳/۸		
دبی	۱	۴	۱۱	۴/۲	۲/۱	۵/۵	۰/۰۲
	۲	۴	۱۲/۵	۱/۱	۰/۵		
	۳	۴	۱۶/۸	۰/۷	۰/۳		
شیب	۱	۴	۰/۰۲۶	۰/۰۰۲	۰/۰۰۱	۴۵/۶	۰/۰۰۱
	۲	۴	۰/۰۲	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰۵		
	۳	۴	۰/۰۱۶	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱		
محافظت سطحی	۱	۴	۳۰	۱۴/۱	۷/۱	۰/۰۲	۰/۹۷
	۲	۴	۳۲/۵	۱۷/۱	۸/۵		
	۳	۴	۳۱/۲	۱۳/۱	۶/۶		
زاویه کناره	۱	۴	۴۰/۷	۲۴/۲	۱۲/۱	۰/۰۶	۰/۹۹
	۲	۴	۳۹/۷	۳۰/۴	۱۵/۲		
	۳	۴	۴۱/۷	۲۲/۵	۱۱/۲		
ارتفاع کناره	۱	۴	۱۶۲/۵	۲۵/۳	۱۲/۶	۴/۶	۰/۰۴
	۲	۴	۱۰۶/۲	۵۹/۶	۲۹/۸		
	۳	۴	۱۹۵	۳۱/۱	۱۵/۵		
عرض دبی لبالبی	۱	۴	۲۰/۲	۷/۳	۳/۶	۲/۳	۰/۱۵
	۲	۴	۲۷	۳/۴	۱/۷		
	۳	۴	۲۶/۵	۲/۸	۱/۴		
تراکم ریشه	۱	۴	۲۷/۵	۱۶/۵	۸/۲	۰/۴	۰/۶۷
	۲	۴	۲۷/۵	۱۸/۴	۹/۲		
	۳	۴	۳۶/۲	۱۱	۵/۵		
ارتفاع ریشه	۱	۴	۸۱/۲	۴۵/۸۹	۲۲/۹۴	۰/۷	۰/۴۹
	۲	۴	۴۵	۵۰/۶۶	۲۵/۳۳		
	۳	۴	۵۵	۲۸/۸۶	۱۴/۴۳		
عمق دبی لبالبی	۱	۴	۱۲۶/۵	۱/۷	۰/۸	۴/۳	۰/۰۴
	۲	۴	۹۰	۳۲	۱۶/۲		
	۳	۴	۱۲۷/۵	۱۴	۱۷/۲		
شن	۱	۴	۷۲۱/۲	۴۴/۸	۲۲/۴	۰/۴	۰/۶۵
	۲	۴	۶۵۶/۲	۱۴۵/۲	۷۲/۶		
	۳	۴	۷۳۵	۱۵۸/۶	۷۹/۳		
سیلت	۱	۴	۱۴۳/۷	۴۷/۳	۲۳/۶	۰/۷	۰/۵۰
	۲	۴	۱۵۶/۲	۹۸/۷	۴۹/۳		
	۳	۴	۹۵	۷۰/۷	۳۵/۳		
رس	۱	۴	۱۳۵	۲۵/۸	۱۲/۹	۰/۵	۰/۵۹
	۲	۴	۱۹۵	۶۰	۳۰		
	۳	۴	۱۷۰	۱۲۵	۶۲		

نتیجه گیری

با توجه به جمع آوری داده ها از ۳ بازه که هر بازه شامل ۲ مقطع می باشد، امتیازدهی به شاخص های مدل خطر فرسایش کناره انجام گرفت که نتایج آن در جدول (۳) نشان داده شده است. نتایج به دست آمده از این مدل با توجه به جدول (۴) خطر فرسایش کناره ای در هر ۶ مقطع در هر دو کناره راست و چپ وجود دارد. به طوری که در مقاطع ۲،۱و۳ که در بالادست واقع شده اند فرسایش کناره ها کمتر بوده و با توجه به امتیاز شاخصBEHI در طبقه متوسط تا زیاد قرار گرفته اند اما در مقاطع۵،۴ و ۶ که در پایین دست قرار گرفته اند فرسایش کناره بیشتر بوده و از متوسط تا خیلی زیاد می باشد. نتایج نشان می دهد فرسایش کناره از بالادست به طرف پایین افزایش پیدا می کند. و از دلایل اختلاف فرسایش در دو کناره رودخانه طالقان میزان عمق ریشه، تراکم ریشه و قرار گرفتن در قسمت محدب و یا مقعر رودخانه را می توان نام برد اما به صورت کلی افزایش فرسایش کناره ای از بالا دست به سمت پایین دست رودخانه طالقان تحت تاثیر کاهش شیب رودخانه، افرایش دبی و میزان ارتفاع کناره می باشد. با توجه به نتایج به دست آمده از تحلیل واریانس (ANOVA) میزان (F) یا تاثیرگذاری پارامترهای شیب و دبی بالاتر از بقیه پارامترها بوده و پارامتر های معنی دار در این تحلیل شامل عمق متوسط در دبی لبالبی، ارتفاع کناره، دبی و شیب می باشد. نتایج به دست آمده از این پژوهش با نتایج به دست آمده از روش NBS که توسط (نصرتی و همکاران ۱۳۹۷) بر روی همین رودخانه انجام گرفته است مقایسه گردید که نتایج به دست آمده با هم مطابقت داشت. همچنین نتایج به دست آمده با نتایج به دست آمده از پژوهشی که حسین زاده و همکاران در سال ۱۳۹۶ با مدل BEHI و NBS بر روی رودخانه قرانقو چای هشت رود انجام داده بودند نیز مقایسه گردید که نتایج به دست آمده نشان از کارایی این مدل در رودخانه های ایران را دارند.

منابع

حسین‌زاده محمد مهدی، خالقی سمیه، واحدی فر فراز (۱۳۹۶)، مقایسه و ارزیابی نتایج مدل NBS و BEHI در فرسایش کناره‌ای رودخانه قرانقو چای هشترود، جغرافیا و مخاطرات محیطی دانشگاه مشهد، سال ۶، شماره ۲۴، صص۴۱-۶۲

حسین‌زاده محمد مهدی، خالقی سمیه، رستمی میلاد (۱۳۹۶)، مقایسه روشه های برآورد خطر فرسایش کرانه‌ای با استفاده از مدل NBS (مطالعه موردی: رودخانه گلالی قروه. مجله مخاطرات محیطی دوره ششم، شماره ۱۴، صص ۱۴۱- ۱۵۱

نصرتی کاظم (۱۳۹۲)، روش های کاربردی در پژوهش علمی، جها دانشگاهی واحد شهید بهشتی صص ۴۷-۵۲

نصرتی کاظم، رستمی میلاد، آذرپار محمود، اطمینان زهرا (۱۳۹۷)، بررسی فرسایش کناره ای رودخانه طالقان با استفاده از شاخص های مدل NBS.ششمین همایش ملی انجمن ایرانی ژئومورفولوژی صص ۸۱-۸۵

خالقی، سمیه و لیلا ملکانی (۱۳۹۴)، برآورد فرسایش کرانه رودخانهی لیقوان چای با استفاده از شاخص تنش برشی نزدیک کرانهی راسگن، کنگره بینالمللی جغرافیا و توسعه پایدار، تهران

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 ی ۱۲ ،صص ۴۲-۳۰

روستایی، شهرام؛ خورشیددوست، علیمحمد و سمیه خالقی (۱۳۹۲)، ارزیابی مورفولوژی مجرای رودخانه لیقوان با روش طبقه بندی راسگن، پژوهشهای ژئومورفولوژی کمی، شماره ۴، ی صص .۱-۱۶

فاطمی عقدا، محمود؛ فیاضی، فرجاله و داریوش علیپور (۱۳۸۰)، بررسی زمینشناسی مهندسی بخشی از رودخانه ی کرخه (روستای عبدالخان تا روستای الهایی) نشریه علوم دانشگاه تربیت معلم، جلد، ۱ شماره ۶ ی ۳ و ، صص ۱۶۳ -۱۷۹.

Abad, J.D. and Garcia, M.H., (2006), RVR Meander: A toolbox for re-meandering of channelized streams, Computers and Geosciences, 32(1), 92-101.
Bartholdy, J., P. Billi, (2002), Morphodynamics of Pseudomeadering Fravel Bar Reach, Geomorphology, 42, 293-3104.
Bernhardt, E.S., Palmer, M.A., Allan, J.D., Alexander, G., Barnas, K., Brooks, S., Carr, J., Clayton, S., Dahm, C., Follstad-Shah, J., Galat, D., Gloss, S., Oodwin, P., Hart, D., Hassett, B., Jenkinson, R., Katz, S., Kondolf, G. M., Lake, P. S., Lave, R., Meyer, J. L., O'Donnell, T. K., Pagano, L., Powell, B. and Sudduth, E., (2005), Synthesizing U.S. River Restoration Efforts, Science, 308, 636–637.
Bigham, K.A., (2016), Evaluation and application of the Bank Assessment for Non-Point Source Consequences of Sediment (BANCS) model developed to predict annual streambank erosion rates (Doctoral dissertation, Kansas State University).
Coryat, M., (2014), Analysis of the Bank assessment for non-point source consequences of sediment (BANCS) Approach for the prediction of streambank stability and erosion along Stony Clove Creek in the Catskills.
Fuller, I.C., Large, A.R. and Milan, D.J., (2003), Quantifying channel development and sediment transfer following chute cutoff in a wandering gravel-bed river, Geomorphology, 54(3-4), 307-323.
Ghosh, K.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, 2(2), 1-15.
Greenbaum, N. and Bergman, N., (2006), Formation and evacuation of a large gravel-bar deposited during a major flood in a Mediterranean ephemeral stream, Nahal Me'arot, NW Israel, Geomorphology, 77(1-2), 169-186.
Gregory, K.J., (2006), The human role in changing river channels, Journal of Geomorphology, 79, 172-191.
Kwan, H., Swanson, S., (2014), The prediction of annual stream bank erosion for Sequoia National Forest, California.Journal of the American Water Resources Association, 50(6), 1439–1447.
Rosgen, D.L., (2001), A Strem Channel Stability Assessment Methodology, Proceedings of the Seventh Federal Interagency Sedimentation Conference.
Wilson, C.G., Kuhnle, R.A., Bosch, D.D., Steiner, J.L., Starks, P., Tomer, M.D. and Wilson, G.V., (2008), Quantifying relative contributions from sediment sources in Conservation Effects Assessment Project watersheds, Journal of Soil and Water Conservation, 63(6), 523-532.

Research Article

Estimation of Taleghan river bank erosion risk using BEHI model

Kazem Nosrati[1*], Milad Rostami[2], Mahmod Azarpar Kivi[3]

1*. Associate Professor, Department of Physical Geography, Faculty of Earth Sciences, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran.
2. PhD Candidate, Department of Physical Geography, Faculty of Earth Sciences, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran.
3. MSc Candidate, Department of Physical Geography, Faculty of Earth Sciences, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran.

Received: 04-12-2019 Final Revised: 19-04-2020 Accepted: 06-05-2020

Abstract

Rivers provide water and energy for nature and humans. Thus, water supply is the most important economic role of rivers. The process of erosion sediment transportation is one of the most important hydrodynamic processes which affect a lot of hydraulic systems such as basins, rivers, coasts and harbors, dams, bridges, farms, and construction facilities. Taleghan River is a major river located on the south hillside of Alborz. The river has dynamic behavior affected by various factors including geology, gradient, land use, hydraulic flow condition, and morphological behavior. Analyzing the stability of Taleghan river bank using mathematical and statistical models and comparing its results with field observations is the aim of this research. Therefore, to achieve this aim BEHI model and statistical one-way analysis of variance (ANOVA) is used and then compared with field and visual observations. The results concerning scoring show moderate to high danger of riverbank erosion in upstream sections and high to very high danger of riverbank erosion in downstream sections. According to the results of one-way analysis of variance (ANOVA), the effects of gradient and discharge have been more than the other parameters. In this analysis, the meaningful parameters consist of mean depth; bank full, riverbank high, discharge, and gradient. According to the results, erodible edges were identified.

Keywords: Riverbank erosion, BEHI model, one-way analysis of variance, Taleghan river.

* Corresponding Author Email: k_nosrati@sbu.ac.ir

References

References (in Persian)

Asghari, S., Zeinali, B., (2014), Investigation Resistance of Sediment Particle to Erosion in Saraskanchai River by Use of Mathematical Methods, Environmental Erosion Research Journal, 3 (4), 30-42. [In Persian]

Fatemi-Aghda, S.M., Fayazi, F.A., Alipour, D., (2002) Investigation on the engineering geology part of Karkheh from Abdol-Khan to Elhay village, Journal of Science (Kharazmi University), 1(3-4), 163-178. [In Persian]

Hosseinzadeh, M.M., Khaleghi, S., Roetami, M., 2018. Comparison of Stream Bank Erosion Hazard Methods Using NBS Model (Case Study: Galali River, Ghorveh), Journal of Natural Environmental Hazards, v. 6 (14), p. 141-151. [In Persian]

Hosseinzadeh, M.M., Khaleghi, S., Vahedifar, F., 2018. Comparison and Evaluation of NBS and BEHI Models' Results in Bank Erosion of Hashtrood Qaranqoo Chai River, Geography and Environmental Hazards, v. 6 (24), p. 41-62. [In Persian]

Khaleghi, S., Malekani, L., (2015), Estimation of bank erosion in Lighwan-Chai River using shear stress index adjacent to Rasgen bank, International Congress of Geography and Sustainable Development, Tehran, Iran. [In Persian]

Nosrati, K., 2013, Applied Methods in Scientific Research, Publication of Iranian Academic Center for Education, Culture and Research, p.47-52. [In Persian]

Nosrati, K., Roetami, M., Azarpar, M., 2018. Analysis of Taleghan river bank erosion using indexes of NBS model, Sixth National Conference of Iranian Association of Geomorphology, p.81-85.[In Persian]

Shahram, R., Khorshid-Doost, A.M., Khaleghi, S., (2013), Morphology assessment of river channel in Lighwan River using Rasgen classification method, Quantitative Geomorphological Research, 4, 1-16.[In Persian]

References (in English)

Abad, J.D. and Garcia, M.H., (2006), RVR Meander: A toolbox for re-meandering of channelized streams, Computers, and Geosciences, 32(1), 92-101.

Bartholdy, J., P. Billi, (2002), Morphodynamics of Pseudomeadering Fravel Bar Reach, Geomorphology, 42, 293-3104.

Bernhardt, E.S., Palmer, M.A., Allan, J.D., Alexander, G., Barnas, K., Brooks, S., Carr, J., Clayton, S., Dahm, C., Follstad-Shah, J., Galat, D., Gloss, S., Oodwin, P., Hart, D., Hassett, B., Jenkinson, R., Katz, S., Kondolf, G. M., Lake, P. S., Lave, R., Meyer, J. L., O'Donnell, T. K., Pagano, L., Powell, B. and Sudduth, E., (2005), Synthesizing U.S. River Restoration Efforts, Science, 308, 636–637.

Bigham, K.A., (2016), Evaluation and application of the Bank Assessment for Non-Point Source Consequences of Sediment (BANCS) model developed to predict annual streambank erosion rates (Doctoral dissertation, Kansas State University.(

Coryat, M., (2014), Analysis of the Bank assessment for non-point source consequences of sediment (BANCS) Approach for the prediction of streambank stability and erosion along Stony Clove Creek in the Catskills.

Fuller, I.C., Large, A.R. and Milan, D.J., (2003), Quantifying channel development and sediment transfer following chute cutoff in a wandering gravel-bed river, Geomorphology, 54(3-4), 307-323.

Ghosh, K.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, 2(2), 1-15.

Greenbaum, N. and Bergman, N., (2006), Formation and evacuation of a large gravel-bar deposited during a major flood in a Mediterranean ephemeral stream, Nahal Me'arot, NW Israel, Geomorphology, 77(1-2), 169-186 .

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

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

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

Wilson, C.G., Kuhnle, R.A., Bosch, D.D., Steiner, J.L., Starks, P., Tomer, M.D. and Wilson, G.V., (2008), Quantifying relative contributions from sediment sources in Conservation Effects Assessment Project watersheds, Journal of Soil and Water Conservation, 63(6), 523-532.