مجله مخاطرات محیط طبیعی، دوره هشتم، شماره بیست و یکم، پاییز ۱۳۹۸

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۶/۰۶/۲۶

تاریخ بازنگری نهایی مقاله: ۱۳۹۶/۱۱/۰۶

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۷/۰۲/۱۶

صفحات: ۶۰ - ۴۱

تحلیل خطرپذیری فرسایش کناره ای با استفاده از مدل BSTEM در حوضه رودخانه کوتر

مهدی فیض اله پور[۱]*، خالق احمدی[۲]

چکیده

یکی از مهمترین مخاطرات طبیعی، فرسایش کناره رودخانه می‌باشد که سالانه باعث خسارات اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی بسیاری می‌شود. لذا در این تحقیق از مدل BSTEM در جهت شناسایی و برآورد فرسایش کناره رودخانه کوتر مهاباد استفاده شده است. به این منظور مسیری به طول ۳ کیلومتر از رودخانه کوتر انتخاب شده و سه بازه برای مدل BSTEM در نظر گرفته شد. در این مدل به شبیه سازی جریان عادی و سیلابی و پیامد آن بر فرسایش پای کناره و پایداری کناره رودخانه کوتر پرداخته شد. پسروی محاسبه شده کناره بر اساس مدل BSTEM در سناریوهای مختلف بازه‌های رودخانه کوتر متغیر بوده است. کل مساحت فرسایش یافته سناریو اول در بازه‌های اول، دوم و سوم به ترتیب۰۴۰/ ، ۰/۰۲۸ و ۰/۱۸۸ متر مربع بوده است. در حالی که در سناریو دوم کل مساحت فرسایش یافته در بازه‌ها به ترتیب ۰/۳۴۷، ۰/۱۳۲ و ۰/۷۲۸ متر مربع برای بازه اول، دوم و سوم به دست آمده است. از این نتایج می‌توان چنین نتیجه گرفت که میزان فرسایش پذیری در بازه دوم نسبت به دو بازه سوم و اول کمتر بوده است. در بازه سوم میزان تنش برشی حدود ۶۴ پاسکال به دست آمده و بیشترین میزان را به نمایش گذاشت. بر این اساس بیشترین مساحت فرسایش یافته بستر نیز به این بازه اختصاص یافت. میزان ضریب ایمنی نیز در این بازه معادل ۰/۵۵ بوده و بار رسوبی تولیدی نیز معادل ۲۲/۶۷۴ تن برآورد گردید.

واژگان کلیدی: فرسایش کناره رودخانه، تنش برشی، ضریب ایمنی، BSTEM، رودخانه کوتر.

[۱]- عضو هیات علمی، گروه جغرافیا، دانشگاه زنجان(نویسنده مسئول) feyzolahpour@znu.ac.ir

[۲]- کارشناس ارشد، گروه جغرافیا، دانشگاه زنجان m_mehdi_s2004@yahoo.com

مقدمه

تغییرات کانال رودخانه‌ها مانند، فرسایش کناره‌ای، ایجاد بریدگی و رسوب‌گذاری کناره، فرایندهای طبیعی رودخانه‌ای هستند که باعث تخریب زمین‌های کشاورزی اطراف و خسارت به تأسیسات انسانی و راه‌ها می‌شوند (گریگوری[۱]، ۲۰۰۶). بنابراین فرسایش کناره‌ای و تغییرات کانال رودخانه به عنوان یک مسأله اجتماعی، محیطی و اقتصادی شناخته می‌شود که اغلب خسارات جبران ناپذیری را به ساکنان و تأسیسات حاشیه رودخانه‌ها وارد می‌سازد (یائو و همکاران[۲]، ۲۰۱۱). در نتیجه، مطالعه‌ی تغییرات موقعیت کناره رودخانه به خصوص در پیچان رودها و مناطق مستعد فرسایش حائز اهمیّت می‌باشد. بررسی نرخ تغییرات موقعیت کناره رودخانه‌ها می‌تواند در مدیریت رودخانه، کنترل سیلاب و اتخاذ تصمیماتی جهت حفاظت از کناره رودخانه و تعیین کاربری اراضی مناسب و مؤثر باشد. افزایش فرسایش کناره‌ای نه تنها موجب افزایش بار رسوب می‌شود بلکه موجب ناپایداری رودخانه و تغییر نوع جریان و الگوی کانال هم می‌شود. از این رو طی چند دهه‌ی اخیر بار رسوب و ناپایداری کناره‌های رود، نگرانی‌های عمده‌ای را در سطح جهان ایجاد نموده و مبالغ زیادی برای پایداری کناره‌های رود صرف شده است (برنهاردت و همکاران[۳]، ۲۰۰۵). برای بررسی مکانیسم‌های اصلی بی‌ثباتی کناره‌های رود و ارائه‌ی استراتژی‌های پیشنهادی جهت ایجاد ثبات در آن، معمولاً از مدل‌های پایداری کناره جریان رودخانه‌ای استفاده می‌شود. یکی از مدل‌های پرکاربرد در خصوص پایداری کناره رودخانه، مدل پایداری کناره و فرسایش پای کناره (BSTEM[۴]) است که بوسیله آزمایشگاه ملی رسوب در آکسفورد- می سی سی پی آمریکا[۵] توسعه یافته است (میدگلی و همکاران[۶]، ۲۰۱۲). با توجّه به اهمیّت این موضوع تاکنون تحقیقات مختلفی در این زمینه صورت گرفته است. سیمون[۷] و همکاران (۲۰۰۹) در پژوهشی با عنوان شناسایی مقدار شکست کناره و رسوبات رودخانه با حفاظت از پای کناره در دریاچه تاهو[۸] به این نتایج دست یافتند که شکست توده‌ای یک فرایند بسیار مهم در شکل‌دهی به سیستم رودخانه‌ای بوده و عامل اصلی شکست کناره‌ها فرسایش پای کناره‌های ناشی از جریانات هیدرولیکی می‌باشد. سیمون و همکاران (۲۰۱۱) در پژوهشی به مدل‌سازی فرسایش کناره‌ای رودخانه با استفاده از مدل BSTEM پرداختند. این محققّین مدل BSTEM را به عنوان یک ابزار مناسب برای تعیین و تشخیص شرایط حاکم بر کناره رودخانه در راستای حفاظت از رود، ارزیابی اهمیّت فرسایش رودخانه‌ای، ویژگی‌های پوشش گیاهی و فشار آب منفذی نزدیک کناره نشان دادند.

ساس و همکاران[۹] (۲۰۱۲) در تحقیقی با استفاده از مدل BANCS راسگن در منطقه شمال شرق کانزاس[۱۰] به پیش-بینی توسعه منحنی‌های فرسایش کناره‌ای رودخانه پرداختند. میدگلی و همکاران[۱] (۲۰۱۲) در تحقیقی تحت عنوان

1- Gregory
2- Yao, et al
3- Bernhardt et al
4- Evaluation of the bank stability and toe erosion model
5- National Sedimentation Laboratory in Oxford, Mississippi, USA
6- Midgley et al
7- Simon et al
8- Tahoe
9 -Sass et al
10- Kansas

ارزیابی مدل پایداری کناره و فرسایش پای کناره (BSTEM) به پیش‌بینی و عقب‌نشینی کناره رودخانه فارک کریک[۲] در شمال شرقی اکلاهما[۳] پرداختند. هومیک و همکاران[۴] (۲۰۱۴) در تحقیقی با عنوان رتبه‌بندی تنش برشی نزدیک کناره برای برآورد فرسایش کناره حوضه بالادست سونای گانگ[۵] در منطقه تریپورا[۶] به این نتایج دست یافتند که پیش‌بینی نرخ فرسایش سالانه کناره رودخانه باید شامل ارزیابی تنش برشی نزدیک کناره باشد. کلون و همکاران[۷] (۲۰۱۷) در پژوهشی به ارزیابی فرایند پایداری کناره رودخانه و فرسایش پای کناره (BSTEM) پرداخته و به این نتایج دست یافتند که عقب نشینی کناره رودخانه توسط فرآیندهای زیربری، جریان فرسایشی، آلودگی فرسایشی و شکست‌های ژئوتکنیک کنترل می‌شوند.

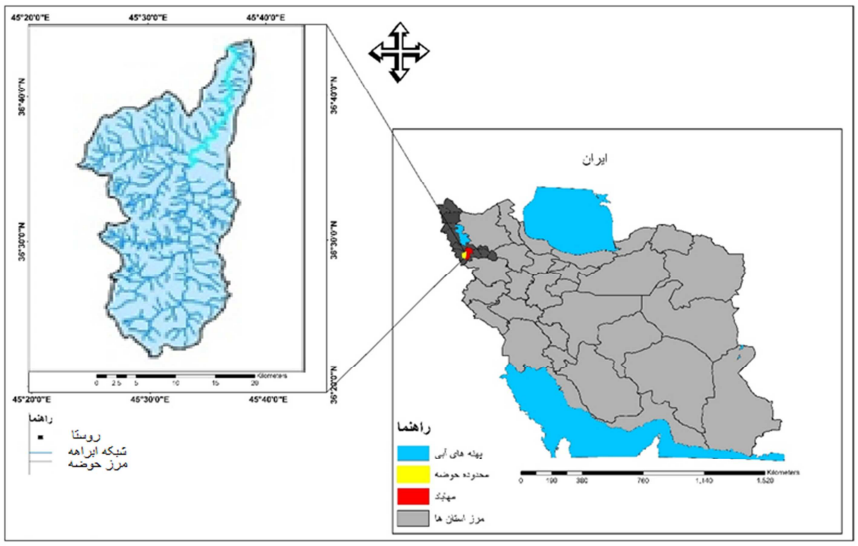
شرفی و یمانی (۱۳۹۱) در تحقیقی به مطالعه عوامل مؤثر در ناپایداری و فرسایش کناره رودخانه هررود در استان لرستان پرداختند. نتایج نشان می‌دهد که ساختمان زمین‌شناسی و لیتولوژی بستر و کناره رودخانه، مهم‌ترین عامل در تغییر پایداری بستر به شمار می‌روند. پرویزی و همکاران (۱۳۹۳) با استفاده از مدل WEPP به پیش‌بینی دینامیک رواناب و فرسایش خاک در چند تیپ مرتعی نیمه خشک در حوضه قره سو پرداخته و نتایج نشان داد که مدل فوق در برآورد رواناب در شیب‌های مختلف از کارایی خوبی برخوردار است. مرادی پور و همکاران (۱۳۹۳) در شبیه سازی فرسایش و انتقال رسوب معلق در آبخیز طالقان از مدل Wetspa بهره گرفتند. نتایج ارزیابی مدل wetpa نشان می‌دهد مدل مؤلفه‌های هیدرولوژیک از جمله رواناب و همچنین کنش خاک، هدررفت خاک را با دقّت قابل قبول برآورد می‌کند. مطلب نژاد و همکاران (۱۳۹۴) در برآورد فرسایش و رسوب از مدل WSM استفاده نمودند. نتایج نشان داد که مدل فوق از قابلیت خوبی در برآورد فرسایش برخوردار است. طالبی و عباسی جندانی (۱۳۹۵) با استفاده از آنالیز حساسیت مدل WEPP به بررسی تأثیر زمان وقوع رگبار بر اولویت‌بندی عوامل مؤثر در فرسایش حوزه آبخیز سنگانه در استان خراسان رضوی پرداختند. نتایج نشان می‌دهد که میزان حساسیت مدل WEPP به پارامترهای مختلف در طی زمان تغییر می‌کند.

در رودخانه کوتر فرسایش کناره، سالانه خساراتی به زمین‌های کشاورزی کنار رودخانه وارد می‌سازد و باعث افزایش بار رسوب رودخانه و پر شدن سد پایین دست می‌گردد. با توجّه به تحقیقات صورت گرفته، در این پژوهش با استفاده از مدل BSTEM به تحلیل پایداری و برآورد میزان فرسایش در کناره‌های رودخانه‌ی کوتر که یکی از شاخه‌های اصلی حوضه آبریز سد مهاباد می‌باشد پرداخته می‌شود.

1- Midgley et al
2- Fork Creek
3- Oklahoma
4- Bhowmik et al
5- Sonai Gang
6- Tripura
7- Klavon

داده‌ها و روش‌ها

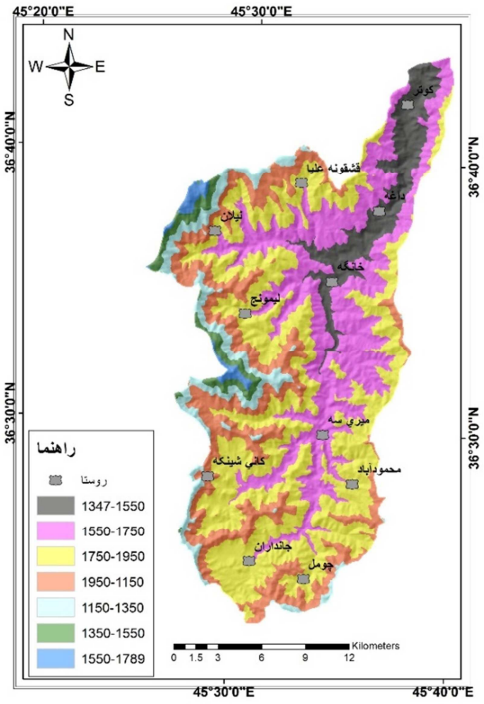
حوضه آبریز کوتر یکی از زیرحوضه‌های آبریز سد مهاباد در استان آذربایجان غربی است که در مختصات جغرافیایی ´۲۵ °۳۶ تا ´۴۵ °۳۶ دقیقه عرض شمالی و ´۲۵ °۴۵ تا ´۴۰ °۴۵ دقیقه طول شرقی قرار گرفته است. مساحت کل حوضه آبریز کوتر ۴۳۵ کیلومترمربع بوده و بیشترین ارتفاع آبریز کوتر مربوط به غرب حوضه با ۲۸۰۰ متر و پایین‌ترین ارتفاع نیز مربوط به خروجی حوضه با ارتفاع ۱۳۲۰ متر می‌باشد. این حوضه با قرار گرفتن در یک منطقه کوهستانی با متوسط بارندگی سالانه ۵۸۳ میلی‌متر و دمای متوسط ۱۱/۷۲ درجه سانتی‌گراد از زمستانی سرد و مرطوب و تابستانی معتدل و خشک برخوردار است. شکل(۱) موقعیت حوضه آبریز کوتر را بر روی نقشه ایران نشان می‌دهد.



شکل ۱: موقعیت حوضه آبریز کوتر در نقشه ایران

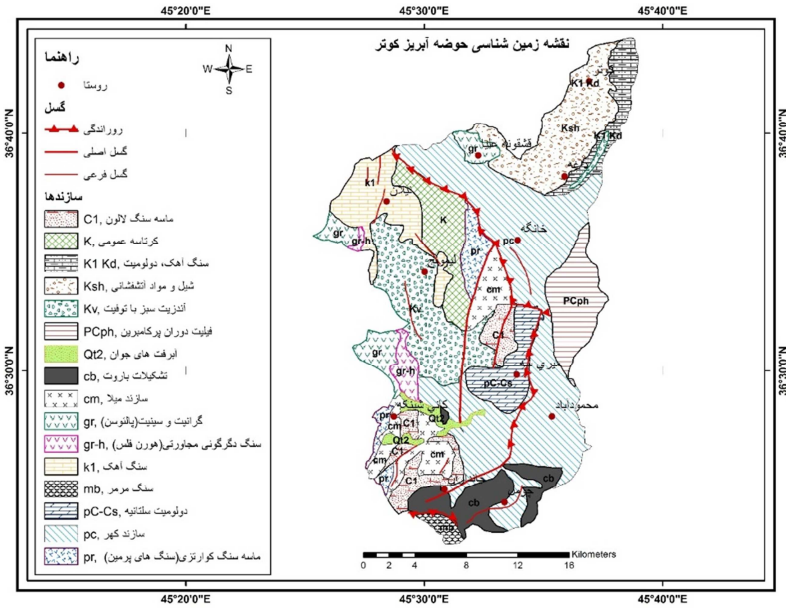
توپوگرافی حوضه آبریز کوتر نشان از کوهستانی بودن حوضه داشته و در آن چندین رشته کوه با خط الراس‌های تند قابل شناسایی هستند. این رشته کوه‌ها با توجّه به وضعیت قرارگیری، ادامه سلسله جبال زاگرس بوده و اغلب این کوه‌ها دارای ارتفاع نزدیک به ۱۸۰۰ متر می‌باشند. اما قلل و کوه‌های با ارتفاع بیشتر از این میزان نیز در این محدوده دیده می‌شوند. روند رشته کوه‌ها در مرز شرق حوضه، شمالی به جنوبی بوده و ارتفاع خط الراس‌ها در بیشتر نقاط بیش از ۲۰۰۰ متر می‌باشد که حوضه کوتر را از حوضه‌ی بیطاس جدا کرده است. این کوه و رشته کوه‌ها توسط دره-هایی به داخل حوضه کوتر زهکشی شده و با توجّه به ارتفاع و میزان بارندگی و جنس سازندها دارای عمق و پهنای متفاوتی می‌باشند. شکل غالب ناهمواری‌ها ناشی از دخالت فرایندهای بیرونی، به ویژه آب‌های روان و فرسایش ناشی از بارندگی است. زیرا در طول دوره‌های یخچالی کواترنر به دلیل پایین بودن خط برف مرز در آذربایجان و کردستان

به ویژه در ارتفاعات غربی و جنوبی حوضه یخچال‌هایی در این کوه‌ها شکل گرفته و وضعیت توپوگرافی حوضه را تحت تأثیر قرار داده است.



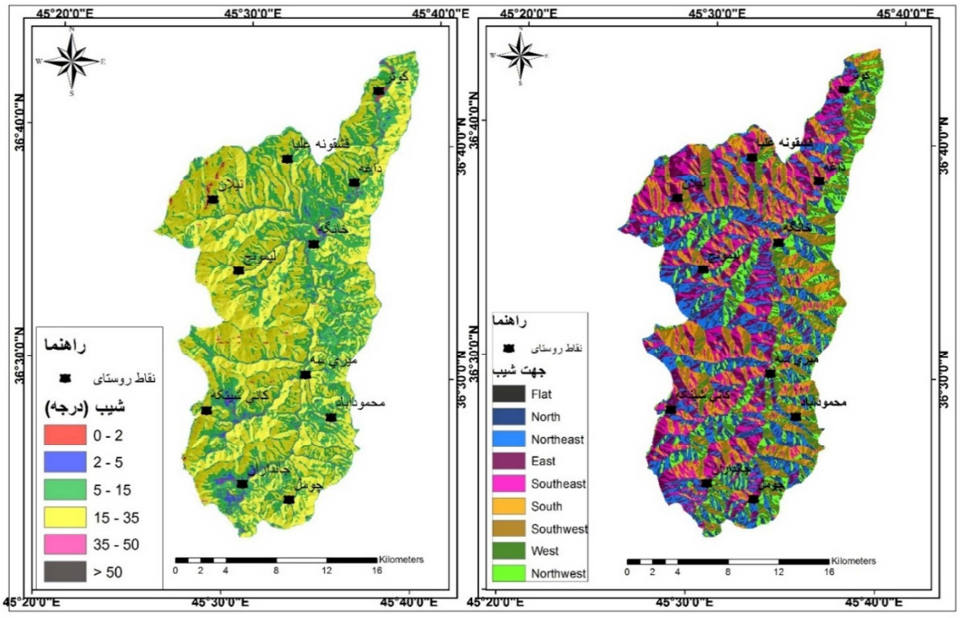
شکل۲: وضعیت سطوح ارتفاعی حوضه مورد مطالعه

از لحاظ زمین شناسی، پی‌سنگ منطقه را سنگ‌های دگرگونی انفراکامبرین و پرکامبرین تشکیل می‌دهند. همانطور که در شکل (۳) مشخص است مهمترین واحد لیتولوژی حوضه شامل تشکیلات پرکامبرین (شامل: آمفیبولیت، گنیس، فیلت و سنگ‌های آتشفشانی) و انفراکامبرین (شامل سازند باروت، ماسه سنگ لالون، شیل، سنگ آهک و دولومیت) می‌باشد. غرب تا جنوب غربی حوضه را یک روراندگی هم‌جهت با روراندگی زاگرس که باعث بالا آمدن واحدهای پرکامبرین و انفراکامبرین بر روی واحدهای جدیدتر شده، در برگرفته است. از دیدگاه زمین‌ساختی این حوضه در حد فاصل سیستم گسل ارومیه که دریاچه‌ی ارومیه را احاطه نموده است و در ادامه‌ی روند سیستم گسله زاگرس و در زون دگرگونی سنندج- سیرجان واقع شده است. در جنوب‌غربی و غرب این حوضه، گسل فعال پیرانشهر و منطقه‌ی خرد شده زاگرس قرار گرفته است.



شکل **Error! No text of specified style in document.**: نقشه زمین‌شناسی حوضه آبریز کوتر

در زمینه شیب حوضه نیز بایستی به این نکته اشاره کرد که بیش از ۵۰ درصد مساحت حوضه شیب‌های بین ۱۵-۳۵ درجه را در برگرفته که نشان از شیب زیاد دامنه‌های حوضه آبریز کوتر می‌باشد. این شیب در ساحل سمت چپ حوضه به بیشترین وسعت خود رسیده می‌توان این قسمت از حوضه را به عنوان منطقه سیل‌خیز و فرسایش‌پذیر از لحاظ شیب حوضه معرفی کرد. شکل (۴) نقشه میزان و جهت شیب حوضه کوتر را نشان می‌دهد.



شکل ۴: نقشه شیب و جهت شیب حوضه آبریز کوتر

در این پژوهش برای تحلیل و بررسی فرسایش کناره‌ای رودخانه کوتر از مدل BSTEM استفاده شده است. در این مدل، پایداری کناره با محاسبه فاکتور ایمنی (FS[1]) تعیین می‌شود. در حالت کلی فاکتور ایمنی، گویای نسبت بین نیروی مقاومت برشی و نیروی تنش برشی (نیروی محرک گسیختگی) در امتداد یک سطح شکست بالقوه است. نیروی مقاوم به وسیله معادله مور-کلمب (رابطه ۳) تعیین می‌شود (میدگلی و همکاران، ۲۰۱۲). معادله فوق به صورت زیر می‌باشد:

$$sr = c' + (\sigma - \mu) \tan(\varphi') \quad (۳)$$

در این معادله، sr، مقاومت برشی خاک (کیلوپاسکال)، c'، چسبندگی مؤثر (کیلوپاسکال)، σ، تنش نرمال (کیلوپاسکال)، μw، فشار منفذی آب (کیلوپاسکال) و φ'، زاویه داخلی مؤثر اصطکاک بر حسب درجه است (فردلاند و رهاردجو[2]، ۱۹۹۳). نیروی محرک نیز به صورت رابطه ۴ تعریف می‌شود.

$$sd = W \sin(\beta) \quad (۴)$$

در این معادله، sd، نیروی برشی (کیلوپاسکال)، W، وزن بلوک خاک مرطوب در واحد مساحت سطح شکست (کیلونیوتن بر مترمربع) و β، زاویه سطح شکست بر حسب درجه می‌باشد (سیمون و همکاران[3]، ۲۰۰۰). مدل BSTEM قابلیت محاسبه این نیروها را بر اساس ویژگی‌های کناره رودخانه دارا بوده و با توجّه به ویژگی‌های خاک و زاویه پایداری کناره رودخانه اندازه‌گیری و برآورد می‌شود. هم‌چنین می‌توان زیربری کناره رود را که به وسیله فرسایش رودخانه‌ای ایجاد می‌شود، برآورد نمود (سیمون و همکاران، ۲۰۰۰). این مدل، فرسایش را بر اساس معادله تنش برشی مازاد ارائه شده بوسیله پارزنیادس[4] (۱۹۶۵) پیش‌بینی می‌کند (رابطه ۵).

$$\varepsilon = \kappa (\tau_o - \tau_c)^a \quad (۵)$$

در این معادله، ε، نرخ فرسایش (متر بر ثانیه)، κ، ضریب فرسایش پذیری (مترمکعب بر نیوتن بر ثانیه)، τ_o، میانگین تنش برشی(کیلوپاسکال)، τ_c، تنش برشی بحرانی خاک (کیلوپاسکال) و a، توانی است که معمولاً معادل ۱ در نظر گرفته می‌شود. ضریب فرسایش‌پذیری و تنش برشی بحرانی تابع ویژگی‌های متفاوت خاک هستند. برای خاک‌های غیر چسبنده، تنش برشی بحرانی بر پایه متوسط قطر ذرات خاک برآورد می‌گردد (گارسیا[5]، ۲۰۰۸). میانگین تنش برشی نیز با استفاده از رابطه ۶ محاسبه می‌شود.

$$\tau o = \gamma_w R S \quad (۶)$$

در این معادله، γ_w، وزن واحد آب (۹/۸۱ کیلونیوتن بر متر مکعب)، R، شعاع هیدرولیک (متر) و S، شیب کانال (متر بر متر) است. مدل‌سازی عددی و بررسی‌های میدانی نشان می‌دهد که اضافه شدن بوته و درختان به کناره‌ها،

1- Factor of Safety
2- Fredlund and Rahardjo
3- Simon et al
4- Partheniades
5- Garcia

پایداری را در شرایط هیدرولوژیکی متفاوت بهبود می‌بخشد (پولین[1]، ۲۰۰۷). حضور پوشش گیاهی ویژگی‌های فرسایش رودخانه‌ای را تغییر داده و مقاومت مواد و لایه بالایی کناره رود که توسط علف‌ها پوشیده شده است را در برابر فرسایش افزایش می‌دهد.

داده‌های مورد نیاز در مدل BSTEM از طریق برداشت‌های میدانی جمع‌آوری می‌شوند. به این منظور با استفاده از شاخص و دوربین نقشه‌برداری و متر پارچه‌ای مختصات نقاط مختلف کناره شامل ارتفاع از بستر و فاصله کناره اندازه‌گیری می‌شوند. در ادامه تعداد لایه‌های تشکیل دهنده کناره (حداکثر تا ۵ لایه) مشخص و ضخامت هر یک مشخص می‌گردد. هم‌چنین داده‌های ارتفاعی و شیب کناره، طول و شیب پای کناره[2] نیز توسط شیب سنج اندازه گیری می‌شود. پارامترهای جریان شامل طول و شیب بازه با استفاده از دوربین تئودولیت اندازه‌گیری می‌شود و میانگین عمق جریان در حالت دبی لبالبی و دبی سیلاب بر طبق آثار برجای مانده در حاشیه رودخانه و طول مدّت جریان نیز بر پایه مشاهدات ساکنان محلی و ایستگاه‌های مجاور بدست می‌آید. برای بدست آوردن ارتفاع آب نیز به علت عدم وجود ایستگاه دبی سنجی، دبی آب اندازه گیری می‌شود. بخش دیگری از داده‌ها مربوط به ویژگی‌های خاک و مواد تشکیل‌دهنده لایه‌های کناره و پای کناره است. در بازه مورد مطالعه نوع خاک از نظر بافت مشخص و وارد مدل شد. این بخش همچنین حاوی محاسباتی برای برآورد تنش برشی بحرانی بر پایه قطر ذرات و یا ورود مقدار تنش برشی محاسبه شده در بازه است که برای بازه مورد مطالعه مقدار تنش برشی بر پایه اندازه‌گیری‌های به عمل آمده و از طریق رابطه ۷ محاسبه و همچنین مقادیر ضریب فرسایش‌پذیری برای خاک کناره نیز از طریق رابطه ۸ برآورد می‌گردد (هانسون و سیمون[3]، ۲۰۰۱).

$$\tau_c = \theta_c \, gd(\rho_s - \rho_w) \qquad (۷)$$

در این معادله τ_c، تنش برشی بحرانی (N/m^2)، d، اندازه ذرات رسوبی بستر(این عدد تقریباً نشان‌دهنده قطر d_{50} رسوبات است یعنی ۵۰ درصد رسوبات از این مقدار بزرگ‌تر یا کوچک‌ترند.)، ρ_s، چگالی رسوب است که تقریباً ۲۶۵۰ کیلوگرم در متر مکعب در نظر گرفته می‌شود و در نهایت θ_c، مقدار ثابت بی بعد شیلدز است که تابع شکل ذره، ویژگی‌های سیال و آرایش ذرات سطح بوده و توسط یک مهندس آمریکایی به نام شیلدز در سال ۱۹۳۶ پیشنهاد گردید (هانسون و سیمون، ۲۰۰۱). در نهایت فرسایش‌پذیری خاک از طریق رابطه ۸ محاسبه می‌شود.

$$k = 2(10^{-7})\, \tau c^{-1/2} \qquad (۸)$$

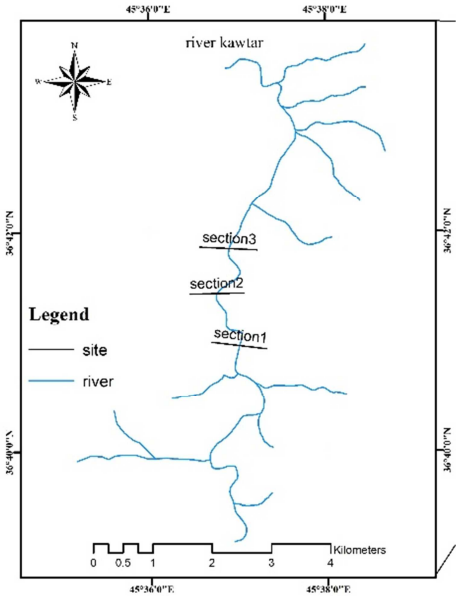
در این معادله، K، فرسایش‌پذیری برای خاک (cm_3 (N-s)_1)می‌باشد.

بخش دیگری از مدل نشان‌دهنده‌ی فرایند شبیه‌سازی فاکتور ایمنی (FS)، هندسه کناره و زاویه و ارتفاع وقوع سطح شکست است. در این بخش لازم است عمق سطح آب نزدیک کناره یا فشار آب منفذی در عمق‌های مختلف را وارد

1- Pollen
2-Toe
3- Hanson and Simon

مدل کرد. به منظور تعیین ارتفاع سطح آب نزدیک کناره از روش شبیه سازی پاسخ فوری[1] استفاده گردید. در این روش، سطح آب نزدیک کناره برابر با فاصله بالاترین نقطه کناره تا سطح آب رودخانه در نظر گرفته می‌شود. بخش خروجی مدل فرسایش پای کناره به کاربر اجازه مدل‌سازی فرسایش پای کناره را برای دوره‌های جریانی خاص می‌دهد. این بخش از نتایج مدل شامل تنش برشی محاسبه شده، میزان پسروی کناره، میزان رسوبات حمل شده از کناره و پای کناره، نیمرخ جدید کناره و مقدار فرسایش می‌باشد.

در این مطالعه به منظور برآورد میزان پسروی کناره و مقدار تولید رسوب ناشی از شکست کناره و فرسایش پای کناره کانال، سه بازه از رودخانه کوتر در فاصله بین کارخانه ماسه شویی و روستای کوتر شبیه سازی گردید. لذا خصوصیات هندسی رودخانه از قبیل تنوع لایه‌های تشکیل دهنده کناره، امتداد مستقیم کانال برای هر بازه ۱۰ متری، شیب یکنواخت بستر، شیب پای کناره و کناره، ارتفاع و طول آنها، اندازه‌گیری اندازه رسوب، ارتفاع جریان در دبی لبالبی و سیلابی، برای هر بازه برداشت شد. برای شبیه سازی در محیط مدل BSTEM لازم است دبی رودخانه، برای هر بازه تبدیل به عمق جریان گردد. به همین منظور تبدیلات لازم برای اجرا شدن مدل BSTEM صورت گرفته است. برای هر کدام از مقاطع ابتدا هندسه کانال، ضخامت لایه‌ها و مواد تشکیل دهنده کناره، طول شیب، عمق دبی لبالبی، طول جریان دبی لبالبی، اندازه رسوبات و تنش برشی وارد مدل گردید و سپس ضریب فرسایش‌پذیری پای کناره، شکست کناره و میزان فرسایش ناشی از دبی لبالبی و سیلابی شبیه‌سازی و برآورد شد.



شکل ۵: موقعیت سه بازه از رودخانه کوتر در فاصله بین کارخانه ماسه شویی و روستای کوتر

1-Instant Response



شکل ۶: تصویر بازه های نمونه برداری شده

نتایج و بحث

برای رسم کردن هندسه کناره رودخانه در محیط BSTEM در اولین مرحله به داده‌های مرتبط با ژئومتری کناره رودخانه که از طریق اندازه‌گیری میدانی برداشت شده نیاز می‌باشد. داده‌های مرتبط با مختصات کناره‌ها باید دارای ارتفاع کناره و فاصله از کناره (متر) باشد که برای هر سه مقطع در جدول ۱ نگاشته شده است.

جدول ۱: مختصات کناره شامل ارتفاع و فاصله از مبداء کناره‌ها رودخانه کوتر

مقطع اول		مقطع دوم		مقطع سوم	
ارتفاع کناره(متر)	فاصله از کناره(متر)	ارتفاع کناره (متر)	فاصله از کناره(متر)	ارتفاع کناره (متر)	فاصله از کناره (متر)
۱/۷۰	۰	۲/۵	۰	۳/۱۰	۰
۱/۷۰	۰/۸۰	۲/۵	۲/۱۰	۳/۱۰	۱
۱/۴۰	۰/۹۵	۱/۹۰	۳/۴۰	۲/۹۰	۱/۲۰
۱/۲۰	۲/۵۰	۱/۶۰	۳/۹۰	۲/۵۰	۱/۳۰
۰/۹۰	۳/۱۰	۱/۵	۴/۴۰	۲/۴۰	۱/۴۰
۰/۸۰	۴/۹۰	۱/۴۰	۵/۳۰	۲/۲۰	۱/۴۵
۰/۷۰	۵/۷۰	۱/۲۰	۶/۵	۲	۱/۸۰
۰/۶۰	۶/۶۰	۱	۷/۲۵	۱/۸۰	۲
۰/۵۰	۷/۴۰	۰/۹۰	۷/۴۰	۱/۵	۲/۳۰
۰/۴۰	۷/۹۰	۰/۹۰	۷/۸۰	۰/۸۰	۲/۵۰
۰/۳۰	۸/۵۰	۰/۵۰	۸/۱۰	۰/۵۰	۲/۷۰
۰/۲۰	۹/۲۵	۰/۴۰	۸/۳۰	۰/۳۰	۲/۹۰
۰/۱۰	۹/۴۰	۰/۳۰	۸/۴۰	۰/۱۰	۳/۲۰
۰/۰	۹/۷۰			۰	۳/۴۰

در مدل BSTEM بایستی مشخصات کناره‌های رودخانه از قبیل بالاترین ارتفاع کناره، شیب کناره و طول و شیب پای کناره برآورد شده و در مدل وارد گردد. مقادیر فوق در جدول ۲ نشان داده شده است.

جدول ۲: ارتفاع و شیب کناره، طول و شیب پای کناره رودخانه کوتر

پارامتر	ارتفاع کناره (متر)	شیب کناره (درجه)	طول پای کناره (متر)	شیب پای کناره (متر)
مقطع اول	۱/۷	۸۳	۰/۶	۶۵
مقطع دوم	۲/۵	۷۳	۰/۹	۴۶
مقطع سوم	۳/۱۰	۷۴	۰/۸۰	۲۵

سپس در قسمت لایه‌ی کناره در محیط BSTEM باید ضخامت تشکیل دهنده کناره‌ها را وارد کرد. در جدول ۳ ضخامت لایه‌ها به تفکیک برای هر سه مقطع استخراج شده است.

جدول ۳: ضخامت لایه‌های تشکیل دهنده کناره رودخانه کوتر

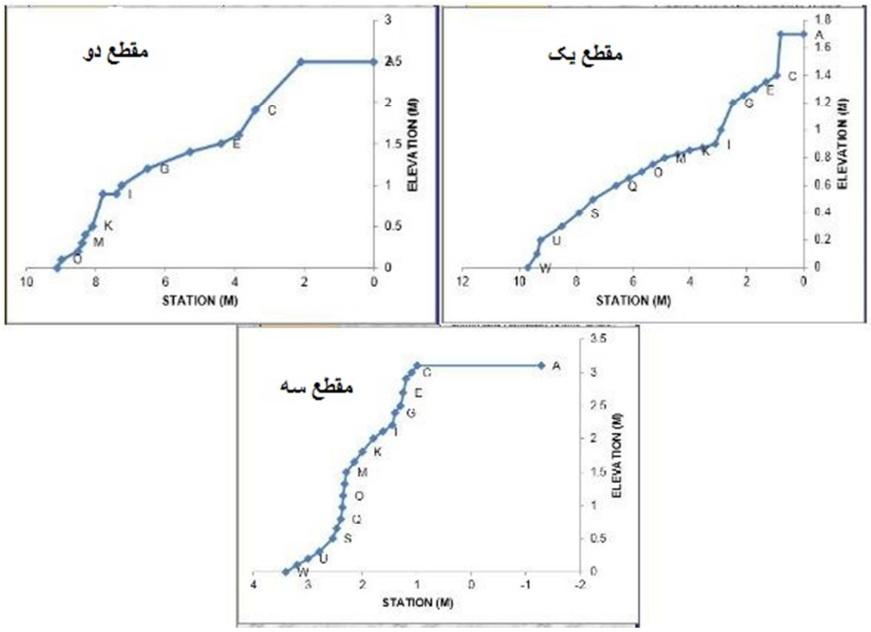
مقاطع	ترتیب لایه از بالا	لایه اول	لایه دوم	لایه سوم
مقطع اول	ضخامت لایه (متر)	۰/۵۰	۰/۵۰	۰/۷۰
	مواد تشکیل دهنده لایه	گراول	شن و ماسه درشت	شن و ماسه متوسط
مقطع دوم	ضخامت لایه (متر)	۰/۷۰	۱	۰/۸۰
	مواد تشکیل دهنده لایه	گراول	شن و ماسه متوسط	گراول
مقطع سوم	ضخامت لایه (متر)	۱	۱/۳۰	۰/۸۰
	مواد تشکیل دهنده لایه	شن و ماسه متوسط	گراول	شن و ماسه درشت

در ادامه کار برای شبیه‌سازی فرسایش کناره‌ای و پای کناره باید اطلاعاتی در ارتباط با ویژگی‌های جریان رودخانه تهیه گردد. به همین دلیل داده‌هایی مانند طول بازه، شیب بازه، طول دوره جریان و عمق جریان رودخانه کوتر محاسبه شدند (جدول۴).

جدول۴: پارامترهای جریان و کانال جهت شبیه سازی در بازه‌های رودخانه کوتر

مقاطع	طول بازه (متر)	شیب بازه (متر بر متر)	عمق دبی لبالبی (متر)	عمق دبی سیلاب (متر)	طول دوره جریان (ساعت)
اول	۱۰	۰/۰۱	۰/۴۰	۰/۸۰	۱۲
دوم	۱۰	۰/۰۱۹	۰/۳۸	۰/۷۶	۱۲
سوم	۱۰	۰/۰۲	۰/۵۸	۱/۱۶	۱۲

با استفاده از داده‌های تهیه شده در بازدید میدانی برای هر سه مقطع، پروفیل عرضی تهیه شد. تمام ویژگی‌های کناره از زاویه کناره رودخانه گرفته تا ضخامت لایه‌ها برای هر مقطع به صورت جداگانه وارد مدل گردید. شکل(۷) پروفیل عرضی شبیه‌سازی شده در مدل BSTEM برای هر سه مقطع را نمایش می‌دهد.



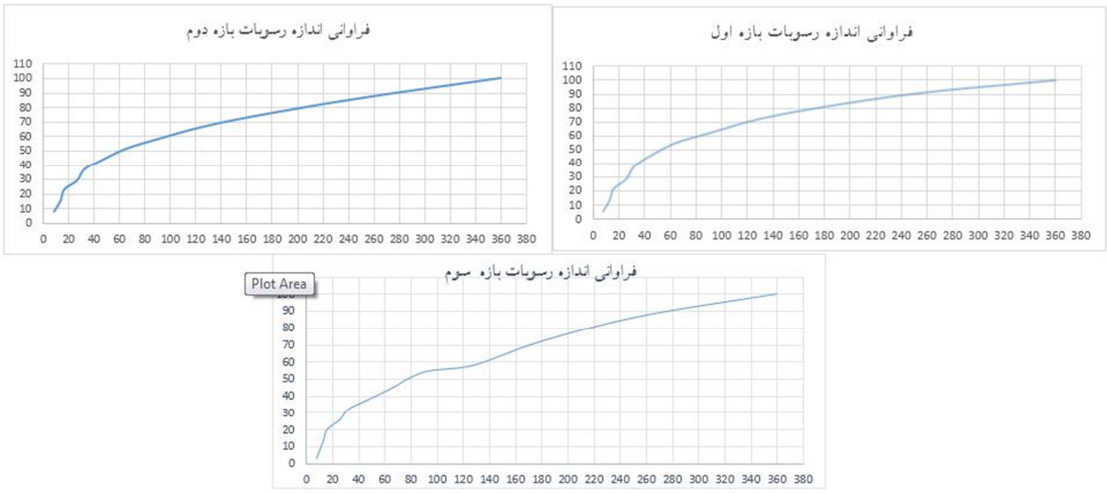
شکل ۷: نیمرخ عرضی مقاطع تهیه شده رودخانه کوتر(BSTEM)

با بررسی کناره رودخانه کوتر در سه بازه مختلف، لایه‌بندی‌های کناره مشخص شد. مواد تشکیل دهنده این لایه‌ها به ترتیب از بالا به پایین در جدول (۵) نمایش داده شدند.

جدول ۵: مواد تشکیل دهنده در بازه رودخانه کوتر

نام بازه	ترتیب لایه از بالا	لایه اول	لایه دوم	لایه سوم	پای کناره
بازه اول	مواد تشکیل دهنده لایه	گراول	شن و ماسه درشت	شن و ماسه متوسط	قلوه سنگ
بازه دوم	مواد تشکیل دهنده لایه	گراول	شن و ماسه متوسط	گراول	قلوه سنگ
بازه سوم	مواد تشکیل دهنده لایه	شن و ماسه متوسط	گراول	شن و ماسه درشت	قلوه سنگ

با وارد کردن جنس لایه‌های تشکیل دهنده کناره رودخانه کوتر در بازه اول، مدل به صورت پیش‌فرض مشخصاتی مانند زاویه اصطکاک، چسبندگی ذرات خاک، وزن بلوک خاک مرطوب و زاویه شکست مربوطه برای هر یک از مقاطع را تعیین می‌کند. در این قسمت باید تنش برشی بحرانی برای حرکت ذره وارد مدل گردد. رابطه تنش برشی بحرانی در بخش مواد و روش‌ها آمده است. برای به دست آوردن تنش برشی بحرانی باید اندازه رسوبات بستر و کناره‌ها را برآورد نمود تا بتوان d50 را که برای معادله تنش برشی لازم است به دست آورد. با استفاده از شکل(۸)، میزان تنش برشی بحرانی برای هر سه مقطع محاسبه شد (جدول ۶).



شکل ۸: نمودار فراوانی اندازه رسوبات

با توجّه به اینکه (d۵۰) برای بازه اول ۶۴ میلیمتر است در نتیجه مقدار تنش برشی بحرانی ۹۵/۶۶ نیوتن بر متر مربع یا پاسکال تخمین زده شده است. بر پایه تنش برشی بحرانی محاسبه شده ضریب فرسایش پذیری ۰/۰۱ (cm3/N-s) بدست آمد. در جدول (۶) d50 و مقدار تنش برشی بحرانی برای هر سه بازه به دست آمده و برای هر کدام به صورت جداگانه وارد مدل گردید.

جدول ۶: تنش برشی و ضریب فرسایش پذیری در بازه رودخانه کوتر

بازه	d50 (mm)	تنش برشی بحرانی (پاسکال)	ضریب فرسایش پذیری
اول	۶۴	۹۵/۶۶	۰/۰۱
دوم	۶۴	۹۵/۶۶	۰/۰۱
سوم	۹۰	۶۴/۰۴	۰/۰۱۲

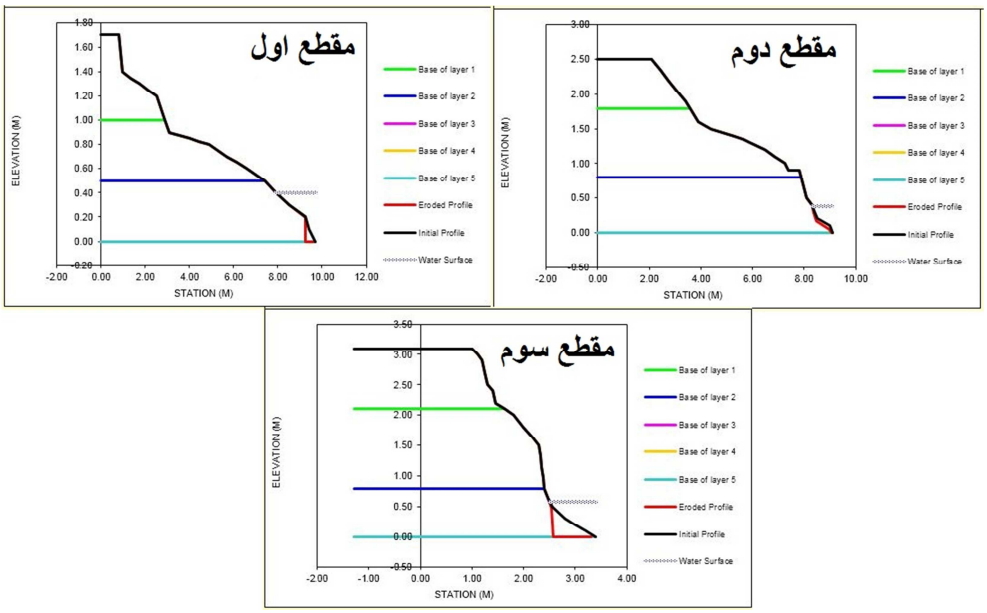
شبیه سازی فرسایش پای کناره برای دبی لبالبی رودخانه کوتر

در این قسمت از مدل BSTEM بر اساس داده‌های وارد شده ازکناره رودخانه کوتر، محاسباتی صورت می‌گیرد. مدل به صورت اتوماتیک این داده‌ها را آنالیز کرده و اثرات آن را بر پای کناره بررسی می‌کند. در این حالت مقدار فرسایش هیدرولیک و تغییرات هندسه پای کناره تعیین می‌گردد. برای انجام این شبیه سازی مقادیر دبی لبالبی برای هر سه بازه وارد مدل گردید. میزان فرسایش ناشی از جریان دبی لبالبی در یک دوره ۱۲ساعته برای پای کناره هر سه بازه در جدول (۷) محاسبه گردیده است.

جدول ۷: میزان فرسایش پای کناره رودخانه کوتر در دبی لبالبی یک دوره ۱۲ ساعته (BSTEM)

نام بازه	متوسط تنش برشی مرزی (پاسکال)	حداکثر پسروی عرضی(سانتی متر)	مساحت فرسایش یافته کناره(متر مربع)	مساحت فرسایش یافته پای کناره (متر مربع)	مساحت فرسایش یافته بستر(متر مربع)	کل مساحت فرسایش یافته (متر مربع)
بازه یک	۱۶/۳۰	۱۶/۳۲۳	۰	۰/۰۰۱۷	۰/۰۲۳	۰/۰۴۰
بازه دو	۳۰/۰۸۰	۱/۴۴۷	۰	۰/۰۲۴	۰/۰۰۳	۰/۰۲۸
بازه سه	۶۰/۴۴	۲۶/۹۸۱	۰	۰/۱۶۵	۰/۰۲۳	۰/۱۸۸

در این قسمت از شبیه‌سازی، عمق دبی لبالبی وارد مدل BSTEM گردید تا میزان فرسایش که در حالت عادی در جریان رودخانه رخ می‌دهد، آنالیز شود. همان‌طور که شکل (۹) نشان می‌دهد، میزان فرسایش پای کناره در هر سه مقطع متفاوت می‌باشد. می‌توان این تفاوت را به شیب بازه، بافت رسوبات و زاویه پای کناره نسبت به جریان رودخانه نسبت داد.



شکل ۹: شبیه سازی فرسایش پای کناره رودخانه کوتر (BSTEM)

شبیه سازی پایداری کناره رودخانه کوتر برای دبی لبالبی

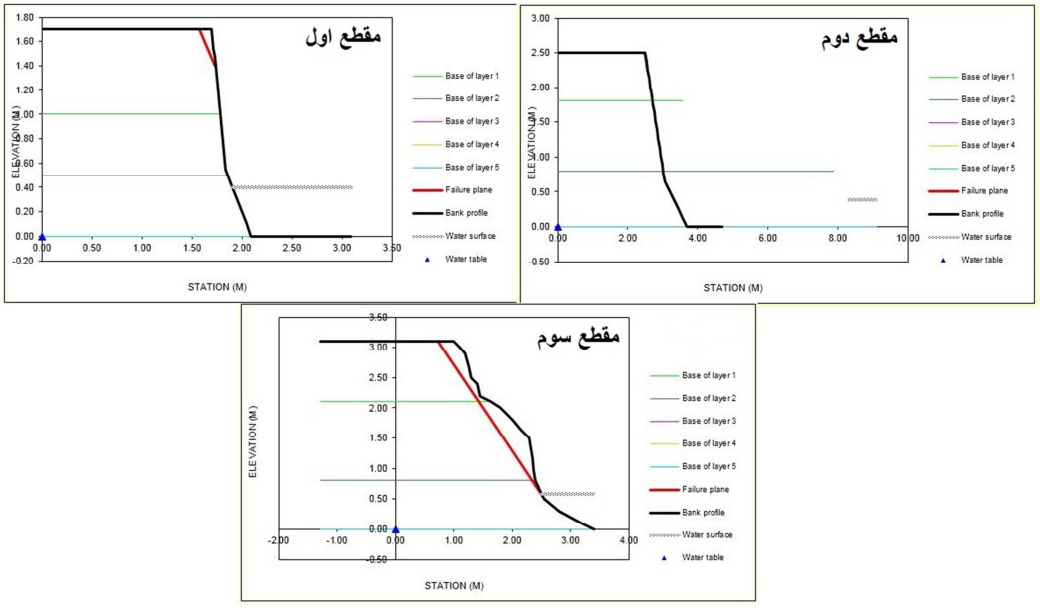
در این بخش شبیه‌سازی فرسایش پای کناره‌ای برای دبی لبالبی رودخانه کوتر صورت گرفت. پس از مشخص شدن مقدار فرسایش پای کناره، در این قسمت شکل هندسه رسم شده پای کناره رودخانه کوتر به بخش پایداری کناره منتقل شده تا میزان پایداری نسبی کناره و نتایج اعمال شده بر کناره استخراج گردد.

میزان پایداری کناره با استفاده از ضریب ایمنی (Factor of safety) اندازه‌گیری می‌شود. لازم به ذکر است که ضریب ایمنی (FS) بزرگتر از ۱ نشانه پایداری کانال و ضریب ایمنی (FS) کمتر از ۱ نیز نشان دهنده ناپایداری و فرسایش پذیری کناره کانال است. با توجّه به جدول (۸) هیچ یک از کناره‌ها از پایداری برخوردار نبوده‌اند. در این مرحله زاویه شکست و مقدار رسوبی که از شکست دیواره تولید می‌شود بوسیله مدل BSTEM محاسبه می‌شود. در شکل (۱۰) زاویه شکست و ناپایداری کناره نشان داده شده است. در جدول (۱۱) پارامترهای میزان ناپایداری ناشی از دبی لبالبی در دوره ۱۲ ساعته بر روی سه بازه کناره رودخانه کوتر و میزان بار رسوبی تولید شده از شکست احتمالی کناره آمده است.

جدول ۸: پارامترهای پایداری کناره رودخانه کوتر ناشی از دبی لبالبی در یک دوره ۱۲ ساعته (BSTEM)

نام بازه	FS	ارتفاع ظهور تنش (متر)	زاویه سطح تنش (درجه)	عرض شکست (متر)	حجم شکست (متر مکعب)	بار رسوب تولیدی (تن)	عمق سطح آب زیرزمینی(متر)
بازه اول	۰/۴۰	۱/۴	۶۱/۴	۰/۰۱	۰	۰/۰۴۱	۰
بازه دو	۰/۲۵	۲/۳	۷۱	۰/۰۱	۰	۰/۰۲۴	۰
بازه سه	۰/۵۵	۰/۵	۵۵	۰/۲۶	۶	۱۱/۸۴۱	۰

در این مرحله بیشترین شکست و حجم رسوب تولیده شده را بازه سوم به خود اختصاص داده است. در میزان فرسایش پای کناره نیز بازه سوم بیشترین فرسایش پای کناره را داشته و در نتیجه نمی‌توان زیربری که در پای کناره ایجاد شده را در این گسیختگی کناره دخیل نداد.

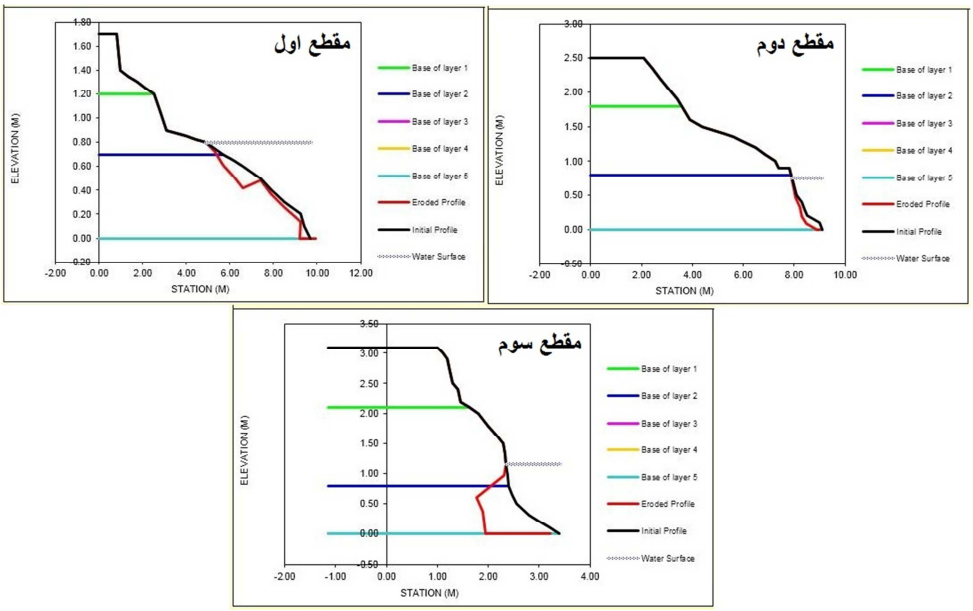


شکل ۱۰: نیمرخ کناره، زاویه شکست کناره رودخانه کوتر در مقطع اول(BSTEM)

در ادامه پژوهش به منظور تأثیر سیلاب در میزان فرسایش پای کناره، وضعیت گسیختگی و شکست کناره در یک دوره ۱۲ ساعته برروی سه بازه شبیه سازی شد تا تاثیر افزایش دبی بر کناره سنجیده شود. در زیر مراحل کار توضیح داده شده است.

شبیه سازی پای کناره رودخانه کوتر برای دبی سیلابی(سناریوی دوم)

در این بخش تأثیر دبی شبیه سازی شده سیل بر روی مورفومتری کناره کانال مورد بررسی قرار گرفته و اثرات ارتفاع جریان رودخانه کوتر بر روی پایداری کناره و فرسایش پای کناره در دبی‌های مختلف محاسبه گردید. بنابراین در این سناریو تمام اطلاعات وارد شده به مدل مانند سناریوی اول می‌باشد تنها عمق دبی در این سناریو تغییر داده می‌شود. عمق جریان در مقطع اول از ۰/۴۰ متر در جریان عادی به عمق ۰/۸۰ متر در دبی سیلابی افزایش داده شد تا میزان تغییرات کناره و پای کناره رودخانه کوتر در افزایش سطح آب بررسی شود. برای دیگر کناره‌ها نیز عمق دبی سیلاب با استفاده از روش‌های تجربی و رابطه‌ای به دست آمد. در هر سه بازه با افزایش سطح آب فرسایش پای کناره نیز افزایش یافته است. در بازه اول رودخانه کوتر، تأثیرات دبی سیلابی در مدل اعمال گردید. با توجّه به افزایش سطح آب رودخانه قدرت تنش برشی نیز افزایش یافته و بلعکس مقاومت کناره‌ها و پای کناره کاهش یافته و بسته به نوع مواد تشکیل دهنده کناره‌ها متفاوت می‌باشد. یعنی درکناره‌های با ذرات ریز مقاومت کمتر و فرسایش بیشتربوده و هر چه اندازه ذرات افزایش یابد مقاومت کناره بیشتر و در نتیجه فرسایش پای کناره کمتر خواهد بود. نتایج حاصل از شبیه سازی میزان فرسایش پای کناره برای هر سه بازه در جدول (۹) آمده است. در بازه‌های مورد مطالعه کناره و پای کناره از لحاظ پوشش گیاهی بدون حفاظت در نظر گرفته شده است.



شکل ۱۱: میزان فرسایش پای کناره در دبی سیلابی رودخانه کوتر(BSTEM)

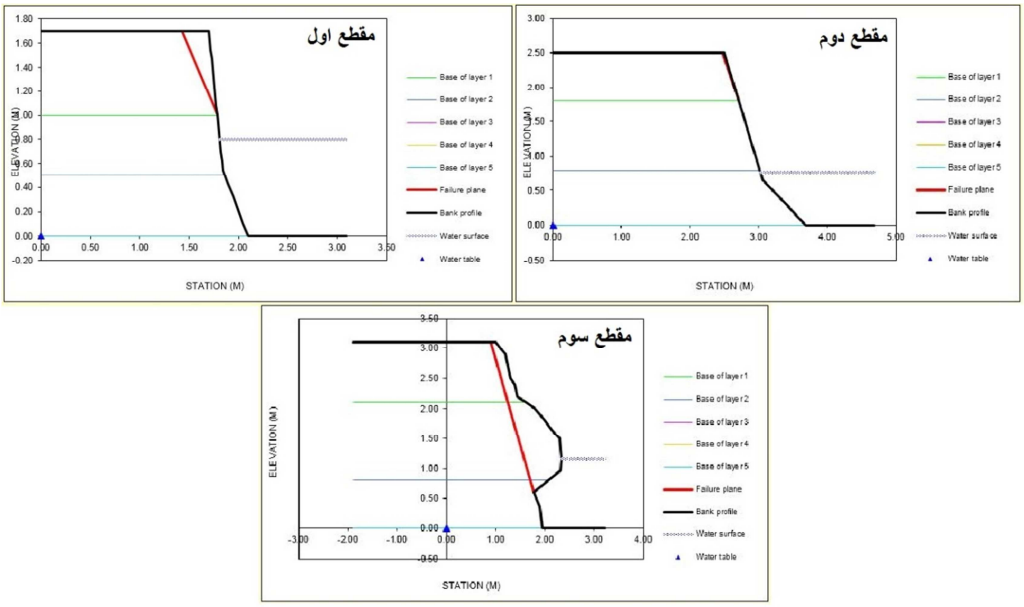
جدول ۹: میزان فرسایش پای کناره ناشی از دبی سیلابی در یک دوره ۱۲ ساعته برای رودخانه کوتر(BSTEM)

نام مقطع	متوسط تنش برشی مرزی (پاسکال)	حداکثر پسروی عرضی (سانتی متر)	مساحت فرسایش یافته کناره (متر مربع)	مساحت فرسایش یافته پای کناره (متر مربع)	مساحت فرسایش یافته بستر (متر مربع)	کل مساحت فرسایش یافته (متر مربع)
مقطع اول	۳۱/۸۵۰	۲۰/۶۰	۰/۱۴۷	۰/۱۷۵	۰/۰۲۵	۰/۳۴۷
مقطع دوم	۸۳/۱۸۰	۱۱/۶۷۲	۰	۰/۱۲۱	۰/۰۱۱	۰/۱۳۲
مقطع سوم	۱۲۸/۱۳۰	۶۳/۷۸۸	۰/۰۷۲	۰/۶۱۹	۰/۰۳۸	۰/۷۲۸

پس از مشخص شدن مقدار فرسایش پای کناره، در این قسمت هندسه رسم شده پای کناره رودخانه کوتر را به بخش پایداری کناره منتقل کرده تا میزان پایداری نسبی کناره و نتایج اعمال شده بر کناره استخراج شود. در این مرحله زاویه شکست، مقدار رسوبی که از شکست دیواره تولید می‌شود و میزان پایداری کناره را مدل BSTEM محاسبه می‌کند. میزان پایداری کناره را با ضریب ایمنی یا Factor of safety می‌سنجند. لازم به ذکر است که ضریب ایمنی (FS) بزرگتر از ۱ نشانه پایداری کانال و ضریب ایمنی (FS) کمتر از ۱ نیز نشان دهنده ناپایداری و فرسایش‌پذیری کناره کانال است. نتایج حاصل از این شبیه سازی مانند ضریب ایمنی، زاویه شکست، مقدار بار رسوبی تولیدی و عرض شکست در شکل (۱۲) برای هر سه بازه آمده است. در جدول (۱۰) پارامترهای میزان ناپایداری ناشی از دبی سیلابی در یک دوره ۱۲ ساعته بر روی کناره رودخانه کوتر در هر سه بازه و میزان بار رسوبی تولید شده از شکست احتمالی کناره آمده است.

جدول ۱۰: پارامترهای پایداری کناره رودخانه کوتر ناشی از دبی سیلابی در یک دوره ۱۲ ساعته سناریو دوم (BSTEM)

نام بازه	FS	ارتفاع ظهور تنش (متر)	زاویه سطح تنش (درجه)	عرض شکست (متر)	حجم شکست (متر مکعب)	بار رسوب تولیدی (تن)	عمق سطح آب زیرزمینی(متر)
بازه اول	۰/۳۷	۱	۶۳	۰/۲۷	۱	۱/۹۲۹	۰
بازه دوم	۰/۲۵	۱/۸	۷۱/۲	۰/۰۲	۰	۰/۱۷۰	۰
بازه سوم	۰/۳۳	۰/۶	۷۰/۶	/۱۰	۱۱	۲۲/۶۷۴	۰



شکل ۱۲: میزان پایداری کناره در دبی سیلابی رودخانه کوتر(BSTEM)

ضریب ایمنی که برای هر سه بازه در دبی سیلاب به دست آمده این نکته را تایید می‌کند که با افزایش ارتفاع آب در رودخانه میزان پایداری کناره کاهش پیدا می‌کند. فرسایش پای کناره عامل اصلی در زاویه شکست و عرض شکست کناره رودخانه می باشد. چنان که با افزایش دبی رودخانه قدرت تنش برشی رودخانه افزایش یافته در نتیجه مقدار رسوبات خروجی پای کناره نیز افزایش می‌یابد و باعث خالی شدن زیر کناره‌ها شده شکست و گسیختگی کناره رودخانه را ایجاد می‌کند. هر چند که در بازه یک و دو این نکته خوب جلوه نمی‌کند لیکن بازه سه به خوبی نشان می‌دهد که با افزایش فرسایش پای کناره عرض شکست و زاویه شکست در کناره افزایش می‌یابد. دلیل اصلی در پایداری کناره‌های مقطع دو و یک به دلیل زاویه و عرض کل مقطع می‌باشد که برای مقطع یک و دو نزدیک به ده متر می‌باشد در حالی که عرض کناره و پای کناره مقطع سه نزدیک به چهار متر می‌باشد. زاویه‌ای که مقطع سه با سطح ایجاد کرده نزدیک به ۹۰ درجه است در حالی که زوایه دو مقطع دیگر کمتر می‌باشد. همه‌ی این پارامترها در میزان شکست کناره بسیار اثر گذار می‌باشند.

نتیجه‌گیری

در این تحقیق، با هدف مطالعه فرسایش کناره رودخانه کوتر مهاباد بخشی از مسیر رودخانه به طول ۳ کیلومتر در فاصله بین کارخانه ماسه شویی و روستای کوتر انتخاب شد. در مدل BSTEM به منظور شناخت پسروی کناره‌ای و مقدار تولید رسوب ناشی از شکست کناره، فرسایش کناره، در سه بازه مختلف رودخانه کوتر بر اساس عمق دبی لبالبی و دبی سیل در یک دوره ۱۲ ساعته، فرسایش و ناپایداری کناره‌ها شبیه سازی شد. پسروی محاسبه شده کناره

بر اساس مدل BSTEM در سناریوهای مختلف بازه‌های رودخانه کوتر متغیر بوده است. کل مساحت فرسایش یافته سناریو اول در بازه‌های اول، دوم و سوم به ترتیب۰۴۰/، ۰/۰۲۸ و ۰/۱۸۸ متر مربع بوده است. در حالی که در سناریو دوم کل مساحت فرسایش یافته در بازه‌ها به طور قابل توجهی افزایش یافته که به ترتیب ۰/۳۴۷، ۰/۱۳۲ و ۰/۷۲۸ متر مربع برای بازه اول، دوم و سوم به دست آمده است. از این نتایج می‌توان چنین نتیجه گرفت که میزان فرسایش-پذیری در بازه دوم نسبت به دو بازه سوم و اول کمتر بوده است. این در حالیست که بیشترین فرسایش کناره‌ای و پای کناره در هر دو سناریوی اول و دوم در بازه سوم دیده می‌شود. در کل با شرایط یکسان برای هر سه بازه در دو دبی متفاوت نتایجی یکسانی از لحاظ افزایش مساحت فرسایش یافته بدست آمد. یعنی تنها در صورت افزایش دبی آب میزان فرسایش چند برابر می‌شود. از لحاظ پایداری کناره‌ها و ضریب ایمنی(FS) در سناریوی اول، هر کدام از سه بازه کمتر از یک بوده و از لحاظ ضریب ایمنی ناپایدار می‌باشند. برای هر کدام از بازه‌های اول، دوم و سوم ضریب ایمنی به ترتیب ۰/۴۰، ۰/۲۵ و۰/۵۵ به دست آمده است. با کاهش ضریب ایمنی احتمال افزایش بار رسوبی نیز در رودخانه افزایش می‌یابد. نتیجه حاصل از این شبیه‌سازی گویای این امر است که کناره‌های مختلف به دلیل دارا بودن چند لایه از جنس متفاوت و میزان شیب کناره و پای کناره متفاوت دارای فرسایش و بار رسوبی متفاوتی هستند.

منابع

پرویزی یحیی؛ قیطوری محمد؛ حشمتی مسیب (۱۳۹۳). قابلیت زیرمدل دامنه WEPP در پیش بینی دینامیک رواناب و فرسایش خاک در چند تیپ مرتعی نیمه خشک، مجله منابع طبیعی ایران، دوره شصت و هفتم، شماره ۴، صص ۵۰۱- ۵۱۳.

طالبی علی؛ عباسی جندانی شهربانو (۱۳۹۵). بررسی تاثیر زمان وقوع رگبار بر اولویت بندی عوامل موثر در فرسایش با استفاده از آنالیز حساسیت مدل WEPP، مجله منابع طبیعی ایران، دوره ۶۹، صص ۱۲۵- ۱۴۰.

مرادی پور شهین؛ زینی وند حسین؛ بهره مند عبدالرضا؛ نجفی نژاد علی (۱۳۹۳). ارزیابی کارایی مدل WETSPA در شبیه سازی فرسایش و انتقال رسوب معلق در آبخیز طالقان، مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک، سال ۱۸، شماره ۶۹، صص ۱۹۳- ۲۰۳.

مطلب نژاد علی؛ جمالی علی اکبر؛ حسن زاده محمد؛ دشتکیان کاظم (۱۳۹۴). بهینه سازی مدل WSM در برآورد فرسایش و رسوب با اصلاح ضرایب و استفاده از باران ساز در حوزه آبخیز نیر، پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز، سال ششم، شماره ۱۲، صص ۱۷۵- ۱۸۳.

شرفی سیامک؛ یمانی مجتبی (۱۳۹۱). ژئومورفولوژی و عوامل مؤثر در فرسایش کناری رودخانه هررود در استان لرستان، مجله جغرافیا و برنامه ریزی محیطی، سال بیست و سوم، شماره ۱، صص ۱۵-۳۲.

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., Sudduth, E., (2005), Synthesizing U. S. river restoration efforts, Science, 308, 636–637.

Bhowmik, M., Das, N., (2014), Near Bank Stress Ranking of Bank Erosion Hazard of Sonai Gang Basin, West Tripura District.

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. Master of Science Thesis, Syracuse University.

Fredlund. D. G., Rahardjo, H., (1993), Soil Mechanics for Unsaturated Soils, Ph.D thesis, Senior Lecturer School of Civil and Structural Engineering Nanyang Technological university.

Garcia, M., (2008), Sedimentation engineering: processes, measurements, modeling, and practice. American Society of Civil Engineers.

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.

Gregory, k.j., (2006), The Human role in Changing River Channels, Geomorphology 79, pp172-191.

Hanson, G. J., & Simon, A., (2001), Erodibility of cohesive streambeds in the loess area of the midwestern USA. Hydrological Processes, 15(1), 23-38.

Klavon, K., Fox, G., Guertault, L., Langendoen, E., Enlow, H., Miller, R., & Khanal, A., (2017), Evaluating a process-based model for use in streambank stabilization: insights on the Bank Stability and Toe Erosion Model (BSTEM). Earth Surface Processes and Landforms, 42(1), 191-213.

Kwan, H., Swanson, S., (2014), Prediction of Annual Streambank Erosion for Sequoia National Forest, California. JAWRA Journal of the American Water Resources Association, 50(6), 1439-1447.

Midgley, T. L., Fox, G. A., Heeren, D. M., (2012), Evaluation of the bank stability and toe erosion model (BSTEM) for predicting lateral retreat on composite streambanks. Geomorphology, 145, 107-114.

Ownegh, M., Nohtani, M., Raine, S., Biggs, A., Menzies, N., Freebairn, D., Tolmie, P., (2004, July), Relationship between geomorphologic units and erosion and sediment yield in Kashidar watershed, Golestan Province, Iran. In Proceedings of ISC (Vol. 13).

Partheniades, E., (1965), Erosion and deposition of cohesive soils, J. Hydraul. Eng., 91(1), 105–139.

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

Rosgen, D. L. (2001, March). A practical method of computing streambank erosion rate. In Proceedings of the Seventh Federal Interagency Sedimentation Conference (Vol. 1)

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

Sass, C. K., & Keane, T. D. (2012). Application of Rosgen's BANCS model for NE Kansas and the development of predictive streambank erosion curves. JAWRA Journal of the American Water Resources Association, 48(4), 774-787.

Simon, A. and Darby, S. E., (2000). The nature and significance of incised river channels. In: Darby, S. E., Simon, A. (eds.), Incised river channels, John Wiley and Sons, Chichester, UK, 452 p.

Simon, A., Pollen-Bankhead, N., & Thomas, R. E. (2011). Development and application of a deterministic bank stability and toe erosion model for stream restoration. Stream Restoration in Dynamic Fluvial Systems, 453- 474.

Simon, A., Pollen-Bankhead, N., Mahacek, V., & Langendoen, E. (2009). Quantifying Reductions of Mass-Failure Frequency and Sediment Loadings From Streambanks Using Toe Protection and Other Means: Lake Tahoe, United States. JAWRA Journal of the American Water Resources Association, 45(1), 170-186.

Yao, Z., Ta, W., Jia, X., & Xiao, J. (2011). Bank erosion and accretion along the Ningxia–Inner Mongolia reaches of the Yellow River from 1958 to 2008. Geomorphology, 127(1), 99-106.

Research Article

Analysis and estimation of the risk of erosion by using the BSTEM model in the Kawtar River Basin

Mehdi Feyzolahpour*[1], Khalegh Ahmadi[2]

Received: 17-09-2017 Revised: 26-01-2018 Accepted: 06-05-2018

Abstract

The rivers have been known from the past to this day as the most populous areas of the planet. The expansion of urbanization and the increase of human needs have created a balance between rivers and disruptions in the river system. One of the most important river hazards is the erosion of the river bank. It causes many economic, social and environmental damages every year. The present research is based on fieldwork and modeling of erosion of the river Bank. Therefore, it seeks to identify sensitive areas of the Bank erosion and estimate the extent of erosion. For this purpose, the NBS index and BSTEM model has been used to identify and estimate the erosion of the Kwtar River in Mahabad. A route of 3 km was selected from the Kwtar River. Morphological characteristics of five cross sections for NBS index and three intervals for BSTEM model were taken. Rosgen's proposed seven parameters for assessing the near bank stress (NBS) index. In this research, three parameters were used for the estimation of bank erosion. Two parameters and the highest efficiency in the identification of river bank erosion was cauterized. While the parameter was somewhat contradictory to reality. Then using the BSTEM model, simulation of normal and flood flow and its consequences on the Toe Erosion and Bank Stability were studied. The BSTEM model evaluates the stability of the edges with the safety factor (FS). The main cause of the erosion of the Toe is due to hydraulic currents and the main cause of instability and fracture failure due to the geotechnical characteristics and the underlying hydraulic flow along the sides Toe Bank of the Kawtar River. As the rate increased, the amount of foot erosion and the fracture failure rate were increased..

Keywords: Evaluation of the bank stability and toe erosion model, Shear stress, Factor of Safety, BSTEM, Kutter River.

[1]*- Assistant Professor of Geography Faculty of Human Sciences, University of Zanjan, Zanjan, Iran. Email: feyzolahpour@znu.ac.ir
[2]- MA Student of Geomorphology, Faculty of Human Sciences, University of Zanjan, Zanjan, Iran.

References

References (in Persian)

Moradipour, S., Zeinivand, h., Bahremand, A., Najafinejad (2014). Evaluation of the Wetspa Model performance in Simulating Soil Erosion and Suspended Sediment, Journal of Water and Soil Science, 18(69), PP: 193-204.
Motalebnejad, A., Jamali, A., Hasanzadeh, M., Dashtkiyan, k (2016), WSM model optimization in soil erosion and sediment Estimating, by Coefficient Modifying and using rainfall Simulator in Nir Watershed Yazd province, Journal of Watershed management research, 12(1), PP 175-183.
Parvizi, Yahya., Gheitury, Mohammad., Heshmati, Mosieb (2015). The capability of Hillslope version of WEPP model in the prediction of runoff and soil erosion dynamic in a different type of semiarid rangeland, Journal of Range and Watershed Management, 67(4), PP: 501- 655.
Sharafi, S., Yamani, m., (2012). Geomorphology and effective factors on lateral erosion in Hor Rood River, Lorestan Province, Geography and Environmental Planning, Volume 23(1), PP: 15-32.
Talebi, A., Abbasi Jondani, S. (2016). Investigation of the Effect of Storm Occurrence Time on Prioritization of Factors Affecting on Erosion Using WEPP Model Sensitivity Analysis, Journal of Range and Watershed Management, 69(1), PP: 125-140.

References (in English)

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., Sudduth, E., (2005), Synthesizing U. S. river restoration efforts, Science, 308, 636–637.
Bhowmik, M., Das, N., (2014), Near Bank Stress Ranking of Bank Erosion Hazard of Sonai Gang Basin, West Tripura District.
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. Master of Science Thesis, Syracuse University.
Fredlund. D. G., Rahardjo, H., (1993), Soil Mechanics for Unsaturated Soils, Ph.D thesis, Senior Lecturer School of Civil and Structural Engineering Nanyang Technological university.
Garcia, M., (2008), Sedimentation engineering: processes, measurements, modeling, and practice. American Society of Civil Engineers.
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.
Gregory, k.j., (2006), The Human role in Changing River Channels, Geomorphology 79, pp172-191.
Hanson, G. J., & Simon, A., (2001), Erodibility of cohesive streambeds in the loess area of the midwestern USA. Hydrological Processes, 15(1), 23-38.
Klavon, K., Fox, G., Guertault, L., Langendoen, E., Enlow, H., Miller, R., & Khanal, A., (2017), Evaluating a process-based model for use in streambank stabilization: insights on the Bank Stability and Toe Erosion Model (BSTEM). Earth Surface Processes and Landforms, 42(1), 191-213.
Kwan, H., Swanson, S., (2014), Prediction of Annual Streambank Erosion for Sequoia National Forest, California. JAWRA Journal of the American Water Resources Association, 50(6), 1439-1447.
Midgley, T. L., Fox, G. A., Heeren, D. M., (2012), Evaluation of the bank stability and toe erosion model (BSTEM) for predicting lateral retreat on composite streambanks. Geomorphology, 145, 107-114.
Ownegh, M., Nohtani, M., Raine, S., Biggs, A., Menzies, N., Freebairn, D., Tolmie, P., (2004, July), Relationship between geomorphologic units and erosion and sediment yield in Kashidar watershed, Golestan Province, Iran. In Proceedings of ISC (Vol. 13).
Partheniades, E., (1965), Erosion and deposition of cohesive soils, J. Hydraul. Eng., 91(1), 105–139.
Pollen, N. (2007), Temporal and spatial variability in root reinforcement of streambanks: Accounting for soil shear strength and moisture, Catena, 69, 197–205.
Rosgen, D. L. (2001, March). A practical method of computing streambank erosion rate. In Proceedings of the Seventh Federal Interagency Sedimentation Conference (Vol. 1)
Rosgen, D.L. (2011). Watershed assessment of river stability and sediment supply (WARSSS). Wildland Hydrology, Fort Collins, Colorado.
Sass, C. K., & Keane, T. D. (2012). Application of Rosgen's BANCS model for NE Kansas and the development of predictive streambank erosion curves. JAWRA Journal of the American Water Resources Association, 48(4), 774-787.
Simon, A. and Darby, S. E., (2000). The nature and significance of incised river channels. In: Darby, S. E., Simon, A. (eds.), Incised river channels, John Wiley and Sons, Chichester, UK, 452 p.

Simon, A., Pollen-Bankhead, N., & Thomas, R. E. (2011). Development and application of a deterministic bank stability and toe erosion model for stream restoration. Stream Restoration in Dynamic Fluvial Systems, 453- 474.

Simon, A., Pollen-Bankhead, N., Mahacek, V., & Langendoen, E. (2009). Quantifying Reductions of Mass-Failure Frequency and Sediment Loadings From Streambanks Using Toe Protection and Other Means: Lake Tahoe, United States. JAWRA Journal of the American Water Resources Association, 45(1), 170-186.

Yao, Z., Ta, W., Jia, X., & Xiao, J. (2011). Bank erosion and accretion along the Ningxia–Inner Mongolia reaches of the Yellow River from 1958 to 2008. Geomorphology, 127(1), 99-106