تحلیل پایداری کرانه رودخانه در برابر فرسایش با استفاده از تنش برشی مطالعه موردی: رودخانه لاویج

محمدمهدی حسین زاده
دانشیار گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران
سید حسن صدوق
استاد گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران
سعیده متش بیرانوند*
دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران
رضا اسماعیلی
دانشیار گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه مازندران، بابلسر، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۹/۲۸ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۳/۳۱

چکیده
زمین‌های حاشیه رودخانه تحت تأثیر عقب‌نشینی کناره کانال رودخانه همواره در معرض تخریب هستند. فرسایش کناری اغلب به‌صورت یک مخاطره طبیعی مطرح است که باید سعی در جلوگیری و کنترل آن داشت. یکی از معمول‌ترین روش‌های حفاظت کرانه رودخانه استفاده از پوشش پاره‌سنگی با ابعاد و اندازه مناسب، روشی مقرون به‌صرفه است. در این مقاله باهدف تعیین اندازه قلوه‌سنگ مناسب برای پوشش پاره‌سنگی ساحل رودخانه لاویج با استفاده از روش تنش برشی پس از محاسبه ضریب پایداری کرانه رودخانه (SF) و تعیین اندازه پاره‌سنگ در آستانه حرکت (dm)، اندازه مناسب پاره‌سنگ (ds) برای پوشش پاره‌سنگی تخمین زده می‌شود. بدین منظور کلیه پارامترهای مورد نیاز در ۵ مقطع عرضی رودخانه با استفاده از بررسی میدانی و تصاویر گوگل ارث اندازه‌گیری و در نهایت شیب، تنش برشی، زاویه شیب بدنه، ضریب پایداری ذره، زاویه انحراف خطوط جریان، عدد پایداری شیب بدنه، زاویه حرکت ذره بستر و ضریب پایداری به دست آمد، پس از تعیین میزان ناپایداری کرانه و تعیین آستانه حرکت ذرات، اندازه قلوه‌سنگ مناسب جهت سنگ‌چینی ارائه شد. نتایج این پژوهش مشخص کرد مقاطع شماره ۲ و ۵ رودخانه لاویج ناپایدارتر از سایر مقاطع می‌باشند و مقاطع شماره ۳ و ۴ پایدارترین مقاطع است. مقایسه اندازه قلوه‌سنگ مناسب جهت سنگ‌چینی کرانه با اعداد تنش برشی محاسبه‌شده نشان داد در تعیین اندازه مناسب پاره‌سنگ برای سنگ چینی فقط میزان تنش برشی و پارامترهای مؤثر در تنش برشی مهم و تأثیرگذار نیست بلکه پارامترهای شیب کرانه، ضریب مانینگ، زاویه قرار رسوب‌ها، شعاع انحنا، نوع پوشش گیاهی کرانه، اندازه ذرات رسوب‌های تشکیل‌دهنده کرانه و عرض مقطع دبی لبالبی نیز بسیار مهم است.

واژگان کلیدی: **ضریب امنیت کرانه، تنش برشی، پایداری کرانه رودخانه، رودخانه لاویج.**

* نویسنده مسئول: ۰۹۱۶۶۹۷۴۴۶۵ E-mail: S64.biranvand@gmail.com

مقدمه

عقب‌نشینی کناره کانال یک فرآیند کلیدی در مورفودینامیک رودخانه است که تغییرپذیری کانال، تکامل دشت سیلابی و توسعه زیستگاه‌ها را تحت تأثیر قرار می‌دهد. زمین‌های حاشیه رودخانه تحت تأثیر عقب‌نشینی کناره کانال رودخانه همواره در معرض تخریب سواحل هستند که آسیب‌های از جمله تخریب زمین‌های کشاورزی، پل‌ها، سازه‌های ساحلی و... را به دنبال دارد. مهندسی رودخانه و اجرای هرگونه عملیات تأسیساتی در رودخانه و کناره‌های آن باید مبتنی بر کمیت فرسایش کناری رودخانه باشد. فرسایش کناری رودخانه همچنین یکی از منابع اصلی تولید رسوب‌های رودخانه است که سبب کدورت آب، مشکلات مواد مغذی و آلودگی‌های آب، همچنین پر شدن دریاچه‌های ذخیره آب می‌شود. بنابراین مشاهده می‌گردد که فرسایش کناری اغلب به‌صورت یک مخاطره طبیعی مطرح است که باید سعی در جلوگیری و کنترل آن داشت (Piegay et al.2005). تأثیر فرآیندهای ژئومورفیک کرانه رودخانه بر روی جوامع زنده وابسته به آب شیرین به‌خوبی قابل‌تشخیص است (Puff &Ward 1990; Lorenz et al. 2004; Jahnig et al.2009) و پژوهش‌های اخیر روی آن فوکوس کرده است (Vaughan et al.2007; Palmer et al.2010; Vaughan &Ormerod.2010). درک حرکت رسوب و حساسیت کانال نسبت به فرسایش یا رسوب‌گذاری، ضرورتی مهم برای مدیریت رودخانه است. برای مثال غلبه فرآیند رسوب‌گذاری در یک بازه از رودخانه می‌تواند انتقال رسوب را کاهش دهد و درنتیجه افزایش قدرت رود و غلبه فرسایش در بازه پایین‌دست شود، و این فرسایش سبب ناپایداری و خسارت به زیرساخت‌ها می‌گردد (wallestein et al.2006; Rinaldi et al, 2009).

همان‌گونه که ذکر شد فرسایش کناری رودخانه یکی از مشکلات اصلی در مدیریت و سازمان‌دهی کانال‌های آبرفتی است. در پژوهش‌های اخیر لزوم بازنگری سیاست‌های گذشته در ارتباط با مدیریت و سازمان‌دهی رودخانه‌های آبرفتی (با توجه به ماهیت فرسایش کناری) مورد توجه قرارگرفته است. افزایش آگاهی‌ها سبب بازنگری نسبت به فرآیند فرسایش کناری شده است: الف) طبیعت برخی از حفاظت‌های مهندسی‌شده برای کناره‌ها که سبب افزایش ناپایداری می‌شود، برای مثال احداث بعضی از سازه‌های حفاظتی سبب کاهش ذخیره رسوب رودخانه می‌گردد که این امر ممکن است سبب آغاز زیربری‌های جدید و آسیب به سازه‌ها در قسمت‌های پایین‌دست شود؛ ب) هزینه‌های بالای اقتصادی سازه‌های حفاظتی؛ ج) نقش کلیدی فرسایش کناری در دینامیک کانال؛ د) دست‌یابی به این شناخت مهم که فرسایش کناری نقش مهمی در ایجاد و توسعه سرویس‌های اکوسیستم دارد (Piegay et al.2005)؛ بنابراین لزوم توجه به این موارد در آنالیزهای هزینه–فایده برای برنامه‌ریزی حفاظت کناره رودخانه ضروری به نظر می‌رسد.

یکی از معمول‌ترین روش‌های حفاظت کرانه رودخانه استفاده از پوشش سنگریزه و یا پاره‌سنگ‌های بزرگی که در ساحل قرار دارند و به‌سادگی قابل‌برداشت نیستند، می‌باشد. درصورتی‌که پوشش پاره‌سنگی با ابعاد و اندازه مناسب، مقرون‌به‌صرفه و در دسترس باشد می‌تواند به‌طور وسیعی جهت حفاظت ساحل مورداستفاده قرار بگیرد. این پوشش انعطاف‌پذیر است و با حرکت‌های خفیف کناره، به خاطر نشست یا جابه‌جایی‌های کوچک، تخریب و یا تضعیف نمی‌شود.

تخریب و یا ضایعات موضعی را می‌توان با جایگزینی پاره‌سنگ‌های اضافی به‌سادگی تعمیر کرد. احداث این نوع پوشش مشکل نیست و نیازی به تجهیزات خاص و یا آموزش ویژه برای ساخت آن وجود ندارد، پوشش پاره‌سنگی معمولاً پایدار و قابل‌ترمیم است و برای استفاده آتی می‌توان آن را ذخیره کرد. استفاده از قلوه‌سنگ‌هایی که به‌صورت محلی در دسترس هستند معمولاً گزینه مناسبی نسبت به سایر روش‌های حفاظت ساحل به شمار می‌رود. پوشش پاره‌سنگی طبیعی است و پس از مدت گیاهان در میان قلوه‌سنگ‌ها رشد خواهند کرد.

حوضه آبخیز لاویج رود با مساحت ۱۴۶ کیلومترمربع از حوضه‌های مستقل البرز شمالی است. همه‌ساله سازه‌ها و زمین‌های مجاور رودخانه در این حوضه با خطر تغییر بستر رودخانه و فرسایش کناری و همچنین سیلاب مواجه هستند. ازاین‌رو استفاده از روشی مقرون‌به‌صرفه جهت حفاظت از کرانه‌های این رودخانه در برابر فرسایش ضروری به نظر می‌رسد. به علت مزایای استفاده از پوشش پاره‌سنگ طبیعی و شرایط رودخانه لاویج در بازه موردمطالعه، به نظر می‌رسد احداث پوشش پاره‌سنگی جهت حفاظت کرانه‌ها در این محل روشی مناسب و مقرون‌به‌صرفه است. هر چند در ارتباط با فرآیندهای فرسایشی رودخانه لاویج پژوهش‌هایی صورت گرفته برای مثال متولی و همکاران (۱۳۹۲) اشکال و واحدهای ژئومورفیک کانال رودخانه لاویج را در ارتباط به دبی لبالبی مورد بررسی قرار داند و نتیجه گرفتند بین تنش برشی در وضعیت لبالبی و تنش برشی بحرانی برای قطر D50 رسوب‌ها رابطه وجود دارد و دبی لبالبی، تنش برشی مناسب برای حرکت ذرات با قطر D50 و ریزتر از آن را در امتداد کانال فراهم می‌کند؛ ولی باوجود فعال بودن فرآیندهای فرسایش کناری در کرانه‌های رودخانه لاویج تاکنون مطالعه‌ای جهت تعیین اندازه قلوه‌سنگ مناسب برای سنگ‌چینی و حفاظت کرانه‌های این رودخانه صورت نگرفته است. در مطالعه حاضر باهدف بررسی میزان خطر فرسایش کرانه‌ای و مدیریت و پایدارسازی رودخانه لاویج در برابر فرسایش کرانه‌ای، ابتدا پارامترهای مؤثر در فرسایش‌پذیری کرانه رودخانه بر اساس مدل تنش برشی استخراج و سپس اندازه پاره‌سنگ مناسب برای سنگچینی در هر بازه مشخص گردید. درنهایت میزان انطباق مقادیر اندازه‌گیری شده با مشاهدات میدانی بررسی‌شده است.

مفاهیم، دیدگاه‌ها و مبانی نظری

انتخاب روش مناسب جهت حفاظت دیواره، تابعی از تجربه و قضاوت مهندسی خواهد بود. شرایط هیدرولیکی و روند فرسایشی از نقطه‌ای به نقطه دیگر متغیر است و این به دلیل اختلاف در مشخصات متفاوت رودخانه‌ها شامل شرایط جریان، مواد بستر، کرانه و هندسه آبراهه‌ها است. روش‌های حفاظت سواحل از دیدگاه عملکرد سازه‌ها به دو گروه کلی روش‌های حفاظت مستقیم و غیرمستقیم تقسیم‌بندی می‌شوند. در روش حفاظت مستقیم با احداث سازه‌هایی که مستقیماً روی ساحل یا بستر رودخانه اجرا می‌شوند از فرسایش و آب شستگی دیواره‌ها و بستر جلوگیری به عمل می‌آید. استفاده از روکش‌ها عمومی‌ترین شکل این‌گونه روش‌ها است و کارایی آن‌ها بستگی مستقیم به مقاومت مصالح آن روی شیب دیواره دارد. این

روکش‌ها عبارت‌اند از: روکش پاره‌سنگی، روکش توری سنگی[1]، روکش بتنی مفصل دار، روکش کیسه‌ای، روکش آسفالتی و پوشش گیاهی. در روش حفاظت غیرمستقیم با ساخت سازه‌هایی باعث انحراف خطوط جریان از دیواره‌های فرسایش پذیر شده و قابلیت رسوب‌گذاری جریان افزایش می‌یابد. برخی از این روش‌ها عبارت‌اند از: روش شبکه‌ای[2]، آب‌شکن‌های پره‌ای[3]، دیواره‌های خاک‌ریز طولی[4] و آب‌شکن‌ها.

لحظه شروع حرکت ذره که اصطلاحاً به آن آستانه حرکت می‌گویند در احداث پوشش پاره‌سنگی بسیار حائز اهمیت است. از طرفی به دلیل طبیعت تصادفی حرکت رسوب در طول یک بستر آبرفتی، تعیین دقیق شرایط جریانی که در آن‌یک ذره رسوب به حرکت درخواهد آمد دشوار است (خزیمه نژاد و شفاعی بجستان، ۱۳۸۹). متأسفانه، تلاش برای محاسبه یا اندازه‌گیری مقادیر تنش برشی در رودخانه‌ها، به‌صورت پیچیده‌ای توسط زبری بستر کانال و نوسانات سرعت و آشفتگی جریان تحت تأثیر قرار می‌گیرد (whole,2000). جهت تعیین اندازه قلوه‌سنگ در آستانه حرکت و تعیین اندازه قلوه‌سنگ مناسب برای پوشش پاره‌سنگی دو روش تنش برشی و سرعت جریان توسط محققین ارائه‌شده است. در این پژوهش برای تعیین اندازه پارسنگ از روش تنش برشی استفاده شده است. در روش تنش برشی، پایداری پوشش پاره‌سنگی بر شیب جانبی، تابع مقدار و سرعت جریان یا تنش برشی واقع در کناره، زاویه شیب و خواص پاره‌سنگ از قبیل اندازه، دانسیته و زاویه‌دار بودن قطعه‌ها است.

شیلدز[5] اولین شخصی بود که در زمینه روش تنش برشی مطالعات بنیادی انجام داد. وی بر این باور بود که بیان تحلیلی نیروهای وارد بر یک ذره رسوبی خیلی مشکل است. او تحلیل ابعادی را برای تعیین بعضی پارامترهای بی‌بعد بکار برد و نمودار مشهورش را برای آستانه حرکت ارائه نمود. (Knighton, 1998) این نمودار بعدها توسط گاورز[6](۱۹۸۷) اصلاح گردید (Yang,1996). گسلر[7] (۱۹۶۵) نیز در این زمینه مطالعاتی را انجام داد، وی نشان داد که خط نشان دهنده آستانه حرکت در دیاگرام شیلدز بخصوص برای حالتی که جریان کاملاً درهم و بستر زبر است باید اندکی اصلاح گردد (Shfai BaJestan,1999).

رسولیان‌فر و افضلی مهر (۲۰۰۷) اثر مؤلفه‌های آشفتگی بر شروع حرکت ذرات رسوب را مورد بررسی قرار دادند. در این مطالعه داده‌های سرعت آب توسط یک فلوم سرعت‌سنج آزمایشگاهی با بستر شنی برداشت گردید. نتایج نشان داد که تنش برشی مهم‌ترین پارامتر در بررسی آستانه حرکت ذرات درشت‌دانه بستر است. نظری و حیدری (۲۰۱۰) با استفاده از مدل آزمایشگاهی، آستانه حرکت ذرات رسوبی یکنواخت را مورد بررسی قرار دادند، نتایج ایشان نشان داد، شروع حرکت ذرات رسوبی نه‌تنها به اندازه ذرات رسوب وابسته بوده بلکه به نسبت عمق جریان به قطر ذرات نیز بستگی دارد. جهانشاهی

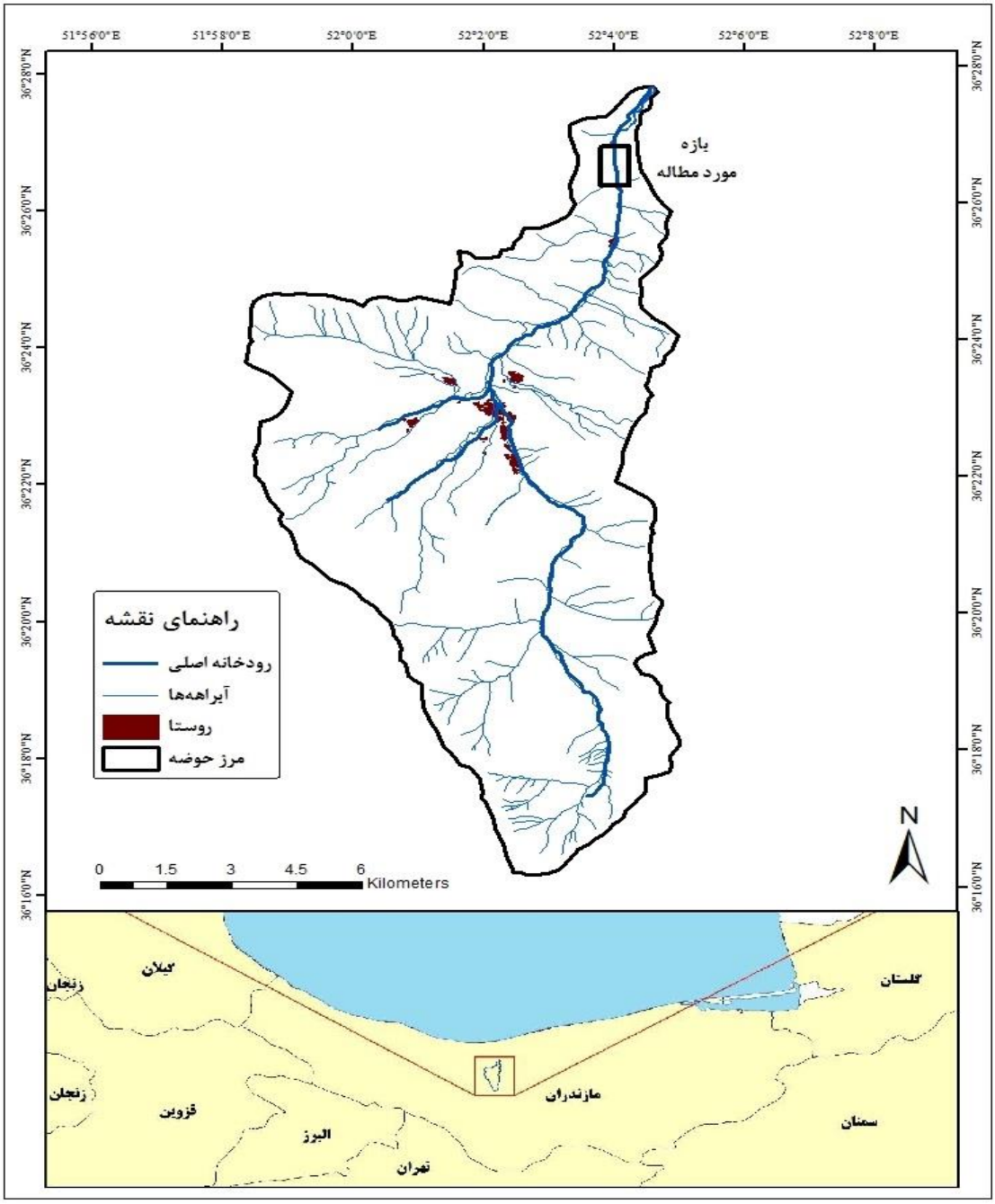
[1] Gabion Mattress
[2] Fence
[3] Vane Dike
[4] Longitudinal Dikes Levees
[5] Shidels
[6] Govers
[7] Gessler

و همکاران (۲۰۱۱) در راستای ایرادی که در نمودار شیلدز وجود داشت، پژوهشی را در زمینه آستانه حرکت ذرات رسوب بر اساس سرعت سقوط ذرات انجام دادند. در پژوهش ایشان، عملکرد روش‌های مختلف پیش‌بینی شروع حرکت ذرات در بسترهای هموار، مورد ارزیابی قرار گرفت. در پژوهش مذکور با ارائه رابطه‌ای ساده بر مبنای عدد حرکت‌پذیری و قطر بی‌بعد ذره سعی در تشریح سرعت برشی بحرانی جهت آغاز حرکت رسوب گردید. منصوری هفشجانی و شفاعی (۱۳۹۰) در پژوهشی طراحی قطر سنگچین در اطراف تکیه‌گاه پل واقع در قوس رودخانه را بررسی کرده‌اند که با استفاده از داده‌های به دست آمده، فرمول‌های قطر سنگ‌چین برای کنترل آب شستگی تکیه‌گاه پل در قوس رودخانه ارائه شد. همچنین فرمول‌های ارائه شده توسط پژوهش حاضر با روابط ارائه شده از مطالعات پیشین بر روی سنگ‌چین اطراف تکیه‌گاه واقع در مسیر مستقیم مقایسه شد و ضریب تصحیح مناسب برای استفاده از این روابط در قوس ارائه شده است. کریمی پاشاکی و همکاران (۱۳۹۱) هیدرولیک جریان در رودخانه خرسان از سرشاخه‌های اصلی کارون در محدوده ورودی به مخزن سد خرسان ۳ با استفاده از مدل عددی HEC-RAS شبیه‌سازی و مقاطع عرضی و پارامترهای هیدرولیکی جریان از جمله سرعت و تنش برشی جریان و شاخص فرسایش‌پذیری کناره رودخانه را محاسبه کردند. در این تحقیق با استفاده از معیار راسگن و شاخص فرسایش‌پذیری کناره با توجه به مقدار پارامترهای گرادیان سرعت جریان و نسبت تنش برشی، مقدار عددی شاخص فرسایش‌پذیری کناره‌های رودخانه را در ۶ سطح از خیلی کم تا خیلی شدید تفکیک کرده‌اند. استادی و همکاران (۱۳۹۳) در پژوهشی مدل بهینه‌سازی طراحی آب‌شکن‌های رودخانه‌ای و نقش آن در تعیین و هزینه‌های ساخت سازه را بررسی کرده و از بین معادله‌های مختلف، به این نتیجه رسیده‌اند که معادله‌های بار بستر و آب شستگی، نقش بسزایی در تعیین و هزینه‌های ساخت سازه دارد و از بین معادله‌های بار بستر استفاده شده، معادله Englund and Fredsoe بیشترین ظرفیت انتقال رسوب و کمترین هزینه و معادله بار بستر Van Rijn کمترین ظرفیت انتقال رسوب و بیشترین هزینه را به دنبال دارد. 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، میزان فرسایش‌پذیری کرانه در اکثر مقاطع به‌جز مقطع ۱۰، کم تا خیلی کم بوده و در روش در اکثر مقاطع فرسایش‌پذیری کرانه‌ها در حد کم تا متوسط است.

منطقه مورد مطالعه

بازه مورد مطالعه در حوضه آبریز لاویج رود و در محدوده پارک جنگلی کشپل قرار دارد. این پارک جنگلی در قسمت جنوبی شهر چمستان (شهرستان نور) و در استان مازندران واقع شده است (شکل ۱). بازه موردمطالعه در محدوده پارک جنگلی کشپل، قبل از رسیدن به معادن شن و ماسه، جایی که دست‌کاری و دخالت انسان در رودخانه کمتر است انتخاب شد. مقدار بارش سالانه حوضه در پارک جنگلی کشپل طبق داده‌های ایستگاه هواشناسی چمستان ۸۶۵ میلی‌متر است که به سمت بالادست حوضه (قسمت جنوبی) به ۳۰۰ میلی‌متر هم تغییر می‌کند. بیش از ۷۵ درصد مساحت حوضه تحت پوشش

جنگل‌های انبوه دامنه‌های شمالی البرز قرار دارد. میانگین دبی سالانه حوضه ۱/۷ مترمکعب در ثانیه می‌باشد و حداکثر دبی ثبت شده در طی دوره آماری (۱۳۳۷– ۱۳۹۰) ۱۷۵ مترمکعب در ثانیه بوده است.



شکل ۱: محدوده منطقه موردمطالعه در استان مازندران

داده‌ها و روش‌ها

راه‌حل‌های مهندسی متعددی برای تقویت کناره در برابر فرسایش وجود دارد. در روش‌های معمول از پوشش سنگریزه و یا از پاره‌سنگ‌های بزرگی که در ساحل قرار دارند و به‌سادگی قابل‌برداشت نیستند، استفاده می‌شود. پارامترهای مهم در پوشش پاره‌سنگی عبارت‌اند از:

۱- مقدار و جهت سرعت جریان یا تنش برشی در مجاورت قلوه‌سنگ‌ها؛

۲- شیب خاک‌ریز؛

۳- دانسیته پاره‌سنگ؛

۴- زاویه قرار که بسته به شکل و تیز گوشه‌گی قلوه‌سنگ‌هاست؛

۵- عمر پاره‌سنگ[1]؛

۶- ضخامت لایه سنگریزه؛

۷- فیلتری که بین ساحل و پوشش سنگریزه گذاشته می‌شود تا به هنگام نشست از خروج خاک از لابه‌لای سنگریزه‌ها جلوگیری شود؛

۸- پایداری در پنجه ساحل؛

۹- پوشش باید در بالادست و پایین‌دست به ساحل دوخته شده باشد.

جهت تعیین اندازه قلوه‌سنگ برای پوشش پاره‌سنگی دو روش وجود دارد: روش تنش برشی و روش سرعت جریان. در این مقاله با استفاده از روش تنش برشی پس از محاسبه ضریب پایداری کرانه رودخانه (SF) و تعیین اندازه پاره‌سنگ در آستانه حرکت (d_m)، اندازه مناسب پاره‌سنگ (d_s) برای پوشش پاره‌سنگی تخمین زده می‌شود.

پایداری پوشش پاره‌سنگی بر شیب جانبی تابعی از مقدار و سرعت جریان و تنش برشی واقع بر کناره، زاویه شیب، خواص پاره‌سنگ از قبیل اندازه، چگالی، و تیزگوشه‌ای می‌باشد. جهت تعیین پایداری پاره‌سنگ تحت نیروهای هیدرودینامیکی لازم است پارامترهای سرعت متوسط جریان، ضریب مانینگ، عرض رودخانه، شعاع انحنا در مقاطع پیچان‌رودی، عمق جریان، قطر ذرات بستر و کناره، زاویه قرار رسوبات کرانه، شیب کرانه و شیب بستر را در اختیار داشته باشیم.

جهت برآورد پارامترهای مذکور تعداد ۵ مقطع عرضی در بازه مورد نظر از رودخانه لاویج تعیین شده و با استفاده از دوربین نقشه‌برداری اقدام به نقشه‌برداری و تهیه مقطع گردید.

جهت اندازه‌گیری مقطع دبی لبالبی از آثار کناره رودخانه ازجمله زیربری رودخانه، تغییرات جنس در کرانه رودخانه، آثار خزه‌ها و گلسنگ‌ها، تغییرات رنگ سنگ‌ها و همچنین سطح دشت سیلابی (در صورت وجود دشت سیلابی) استفاده شد.

[1] Rock durability

برای بررسی اندازه رسوباتی که بیشترین فراوانی را دارند از روش شمارش پبل (ریگ) که به‌وسیله ولمن در سال ۱۹۵۲ ارائه شده است، استفاده شد. در این روش ۱۰۰ ذره به‌صورت اتفاقی انتخاب شده و محور متوسط (d) آن‌ها اندازه‌گیری شد. سپس داده‌های به‌دست‌آمده از اندازه ذرات به‌صورت نمودار تجمعی ترسیم می‌شود و D۵۰ (اندازه ذراتی که ۵۰ درصد نمونه مساوی یا کوچک‌تر از آن هستند) محاسبه می‌شود (حسین زاده و همکاران، ۱۳۹۴).

زاویه قرار پاره‌سنگ را با توجه به جدول (۱) متناسب با قطر ذرات کرانه رودخانه، بر اساس اندازه‌گیری‌های میدانی از قطر رسوبات کرانه، محاسبه گردید. پارامتر شیلدز نیز با توجه به قطر ذرات تعیین می‌گردد. پارامتر شیلدز عدد بی‌بعدی است که برای محاسبه شروع حرکت رسوب در یک جریان سیال استفاده می‌شود. درواقع پارامتر شیلدز نسبت نیروی برشی به وزن ذره است.

جدول ۱: زاویه قرار پاره‌سنگ و پارامتر شیلدز برای اندازه‌های مختلف پاره‌سنگ (ژولین، ۱۳۸۸)

طبقه‌بندی اندازه پاره‌سنگ	قطر ذره (میلی‌متر)	زاویه قرار پاره‌سنگ ∅	پارامتر شیلدز t^*
تخته سنگ بسیار بزرگ	>۲/۰۴۸	۴۲	۰/۰۵۴
تخته‌سنگ بزرگ	۱/۰۲۴ – ۲/۰۴۸	۴۲	۰/۰۵۴
تخته‌سنگ متوسط	۵۱۲ – ۱/۰۲۴	۴۲	۰/۰۵۴
تخته‌سنگ کوچک	۲۵۶ – ۵۱۲	۴۲	۰/۰۵۴
قلوه‌سنگ بزرگ	۱۲۸ – ۲۵۶	۴۲	۰/۰۵۴
قلوه‌سنگ کوچک	۶۴ – ۱۲۸	۴۱	۰/۰۵۲
گراول خیلی بزرگ	۳۲ – ۶۴	۴۰	۰/۰۵۰
گراول بزرگ	۱۶ – ۳۲	۳۸	۰/۰۴۷
گراول متوسط	۸ – ۱۶	۳۶	۰/۰۴۴
گراول ریز	۴ – ۸	۳۵	۰/۰۴۲
گراول خیلی ریز	۲ – ۴	۳۳	۰/۰۳۹

جهت محاسبه اندازه مؤثر پاره‌سنگ جهت پوشش سنگریزه کرانه لازم است مراحل زیر انجام پذیرد:

گام نخست: محاسبه شیب طولی رودخانه است که در بازدیدهای میدانی شیب طولی رودخانه در هر مقطع محاسبه شد.

گام دوم: محاسبه تنش برشی رودخانه است که از رابطه ۱ قابل محاسبه است:

رابطه ۱: $$\tau_0 = \gamma\ h\ s$$

که در این رابطه τ_0 تنش برشی، γ وزن مخصوص آب (۹۸۱۰ نیوتن بر مترمکعب)، h عمق جریان و s شیب طولی رودخانه است.

گام سوم: محاسبه پارامتر ژئومورفیک θ که وابسته به شیب کرانه و شیب بستر است و از رابطه شماره ۲ محاسبه می‌شود:

رابطه ۲: $\theta = \tan^{-1}(\sin\theta_0 / \sin\theta_1)$

گام چهارم: محاسبه پارامتر ژئومورفیک (هندسی) وزن مستغرق ذره (a_θ) از طریق رابطه ۳:

رابطه ۳: $a_\theta = \sqrt[n]{cos^2\theta_1 - sin^2\theta_0}$

گام پنجم: محاسبه زاویه انحراف خطوط جریان (λ) از طریق رابطه ۴:

رابطه ۴: $\lambda \cong \tan^{-1}(\frac{11h}{R})$

گام ششم: محاسبه ضریب پایداری ذرات تشکیل‌دهنده بستر (η_0) از طریق رابطه ۵:

رابطه ۵: $\eta_0 = \frac{21\tau_0}{(G-1)\gamma d_s}$

گام هفتم: محاسبه زاویه جهت حرکت ذره در بستر با فرض برابر بودن ضرایب پایداری ذره M=N از طریق رابطه ۶:

رابطه ۶: $\beta = \tan^{-1}\left\{\frac{\cos(\lambda+\theta)}{\left[\frac{2\sqrt{1-a_\theta^2}}{\eta_0\tan\emptyset}+\sin(\lambda+\theta)\right]}\right\}$

گام هشتم: محاسبه ضریب پایداری شیب کرانه (η_1) از طریق رابطه ۷:

رابطه ۷: $\eta_1 = \eta_0\left[\frac{1+\}\sin(\lambda+\beta+\theta)}{2}\right]$

گام نهم: محاسبه وضعیت پایداری کرانه از طریق رابطه ۸:

رابطه ۸: $SF = \frac{a\theta\tan\emptyset}{1\eta\tan\emptyset+\cos\beta\sqrt{1-a_\theta^2}}$

در صورتی‌که فاکتور ایمنی محاسبه‌شده کوچک‌تر از یک باشد گویای ناپایداری ذرات تشکیل‌دهنده کرانه خواهد بود. فاکتور ایمنی در کرانه پایدار برابر یک است.

در ادامه می‌توان با فرض $\lambda=0$ و $\theta_0=0$، اندازه پاره‌سنگ در آستانه حرکت را از رابطه ۸ محاسبه نمود:

رابطه ۹: $d_m = \frac{\tau_0}{0.047(\gamma_s-\gamma)\sqrt{1-\frac{sin^2\theta_1}{sin^2\emptyset}}}$

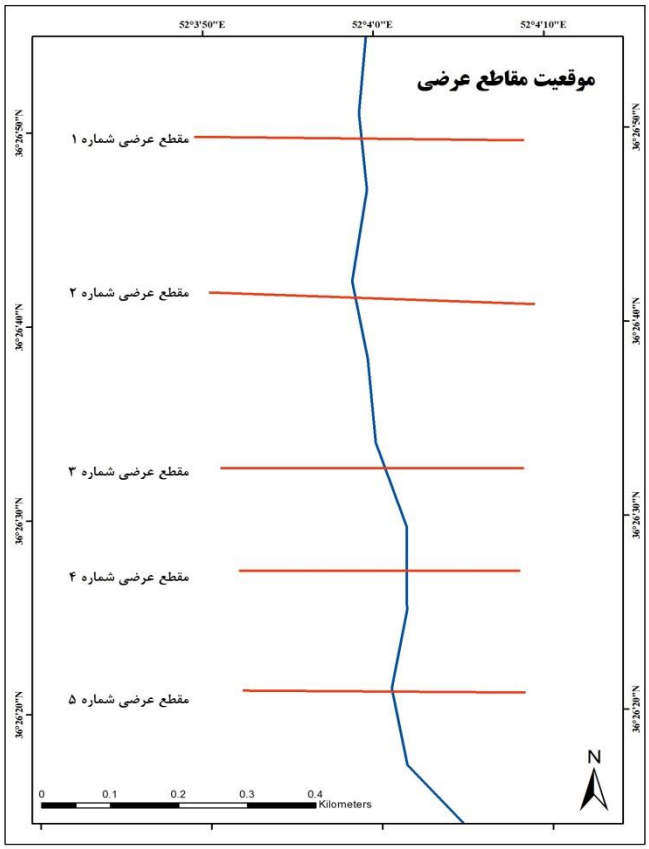
به‌منظور محاسبه اندازه ذرات پایدار در کرانه موردنظر، لازم است گام‌های ششم تا نهم برای اندازه‌های مختلف پاره‌سنگ‌ها آن‌قدر تکرار شود تا SF=1 به دست آید، که اندازه پاره‌سنگ پایدار جهت سنگ چینی خواهد بود.

نتایج و بحث

جهت تعیین اندازه پاره‌سنگ مناسب برای سنگ‌چینی و حفاظت کرانه‌ها، ابتدا متغیرهای مؤثر در فرسایش کرانه رودخانه لاویج شامل شعاع انحناء، عرض دبی لبالبی، شیب کرانه، شیب بستر، زاویه قرار پاره‌سنگ، قطر ذرات، چگالی نسبی ذرات،

سرعت متوسط و متوسط عمق دبی لبالبی از طریق اندازه‌گیری‌ها و مشاهدات میدانی (تصویر شکل ۲) و نقشه‌های توپوگرافی برای ۵ مقطع عرضی در بازه موردمطالعه (شکل ۳) به دست آمد (جدول ۲).

شکل ۲: نمای کلی بازه موردمطالعه در رودخانه لاویج



شکل ۳: موقعیت مقاطع عرضی در بازه موردمطالعه منبع: یافته‌های پژوهش

جدول ۲: پارامترهای مؤثر در فرسایش کرانه رودخانه لاویج بر اساس شاخص تنش برشی

مقطع عرضی	شعاع انحناء R (متر)	شیب بستر (متر/متر) θ_0	عرض کانال (متر) W	متوسط عمق دبی لبالبی (متر) h	زاویه قرار پاره‌سنگ (درجه) Ø	چگالی نسبی ذرات (kg/m^3) G	شیب کناره (درجه) θ_1	عدد پارامتر شیلدز
۱	۳۵	۰/۰۲۳	۸/۸	۰/۵	۳۸	۲/۶۵	۳۵	۰/۰۴۷
۲	۳۰	۰/۰۴۵	۹/۴۰	۰/۸۴	۳۶	۲/۶۵	۳۰	۰/۰۴۴
۳	۵۰	۰/۰۱۳	۵/۴۸	۰/۷۸	۳۸	۲/۶۵	۳۵	۰/۰۴۷
۴	۱۱۰	۰/۰۲۵	۱۱/۷۶	۰/۳۷	۴۰	۲/۶۵	۳۹	۰/۰۵۰
۵	۲۰۰	۰/۰۶۲	۱۱/۴۰	۰/۴۹	۴۰	۲/۶۵	۱۷	۰/۰۵۰

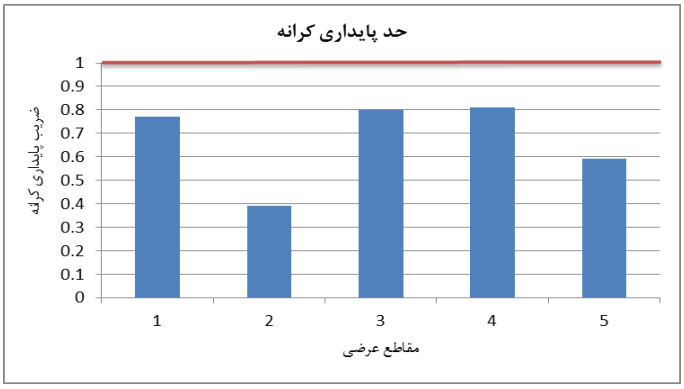
منبع: یافته‌های پژوهش

پس از تعیین پارامترهای مذکور، با قرار دادن مقادیر در رابطه‌های شماره ۱ تا ۸، گام‌به‌گام می‌توان نسبت به محاسبه تنش برشی(τ_0)، پارامتر ژئومورفیک θ، پارامتر ژئومورفیک وزن مستغرق ذره (a_θ)، زاویه انحراف خطوط جریان (λ)، ضریب پایداری ذرات تشکیل دهنده بستر (η_0)، زاویه جهت حرکت ذره، ضریب پایداری شیب کرانه (η_1) و ضریب امنیت کرانه (SF) اقدام کرد (جدول ۳).

جدول ۳: پارامترهای محاسبه شده مؤثر در شاخص تنش برشی فرسایش کناره رودخانه لاویج

مقطع عرضی	τ_0	θ	a_θ	λ	η_0	β	η_1	SF
۱	۹۲/۴۱	۲/۲۹	۰/۸۱	۸/۹۳	۰/۴۹	۱۶/۹۵	۰/۳۶	۰/۷۷
۲	۳۲۱/۱۳	۵/۱۳	۰/۸۶	۱۷/۱۲	۱/۸۰	۳۸/۹۵	۱/۶۹	۰/۳۹
۳	۸۱/۴۸	۱/۲۹	۰/۸۱	۹/۷۴	۰/۴۳	۱۵/۱۷	۰/۳۱	۰/۸۰
۴	۷۰/۵۱	۲/۲۷	۰/۷۷	۲/۱۲	۰/۳۵	۱۲/۸۱	۰/۲۳	۰/۸۱
۵	۲۸۵	۱۱/۹۵	۰/۹۵	۱/۵۴	۱/۴۷	۵۳/۶۰	۱/۴۱	۰/۵۹

منبع: یافته‌های پژوهش



شکل ۴: ضریب امنیت کرانه (SF) منبع: یافته‌های پژوهش

با دقت در نمودار شکل شماره ۴ درمی‌یابیم تمام مقاطع عرضی تهیه شده در بازه موردمطالعه داری ضریب امنیت کمتر از ۱ هستند و بنابراین ناپایدارند. مقاطع شماره ۲ و ۵ رودخانه لاویج ناپایدارتر از سایر مقاطع می‌باشند و مقطع شماره ۳ و ۴ با ضریب امنیت نزدیک به هم (۰/۸۰ و ۰/۸۱) ناپایداری کمتری دارند. میزان تنش برشی برآورد شده برای مقاطع شماره ۲ و ۵ نسبت به سایر مقاطع، از میزان بالایی برخوردار است و بنابراین میزان ناپایداری کرانه در این مقاطع بیشتر است و در مقطع ۳ و ۴ عدد تنش برشی کمتر است، بنابراین ناپایداری کرانه‌ها نیز کمتر از سایر مقاطع است.

در بررسی‌های میدانی مقاطع عرضی شماره ۳ و ۴ مشاهده شده که این مقاطع نسبت به سایر مقاطع دارای پوشش گیاهی و ریشه‌های درهم‌تنیده درختان است که علت نزدیک شدن ضریب پایداری این کرانه‌ها به عدد ۱ به علت وجود همین پوشش گیاهی است. همچنین در مشاهدات میدانی ملاحظه شد در مقاطع عرضی شماره ۳ و ۴، اندازه ذرات تشکیل‌دهنده پوشش کرانه نسبت به سایر مقاطع درشت‌دانه‌تر است. تصاویر موجود در شکل‌های شماره ۵ و ۶ مقایسه بین اندازه ذرات مقطع شماره ۲(ناپایداری زیاد) و ۳(ناپایداری کم) را نشان می‌دهد.

شکل ۵: رسوب‌های کرانه رودخانه لاویج در محل مقطع عرضی شماره ۲

شکل ۶: رسوب‌های کرانه رودخانه لاویج در محل مقطع عرضی شماره ۳

بنابراین می‌توان بیان کرد که در ناپایداری کرانه‌های رودخانه علاوه بر میزان تنش برشی اعمال شده، عواملی چون نوع پوشش کرانه، وجود یا عدم وجود پوشش گیاهی و عوامل دیگر نیز مؤثر هستند و عملکرد فرسایش به‌صورت سیستمی عمل خواهد کرد، بااین‌حال تنش برشی می‌تواند شاخصی جهت تعیین ضریب امنیت کرانه‌ها، و تعیین چگونگی حفاظت از آن‌ها در مقابل فرسایش باشد.

با محاسبه ضریب امنیت کرانه (SF) امکان قضاوت در مورد پایداری یا ناپایداری کرانه فراهم می‌گردد. درصورتی‌که ضریب امنیت (FS) بزرگ‌تر از ۱ باشد، نشان از پایداری کرانه کانال است و نیازی به تعیین اندازه پاره‌سنگ مؤثر برای سنگ‌چینی کرانه نخواهد بود. درحالی‌که ضریب امنیت (FS) کمتر از ۱ به معنای کرانه ناپایدار است، در این صورت لازم است با استفاده از رابطه شماره ۹ و با فرض $\lambda = 0$ و $\theta_0 = 0$، اندازه پارسنگ در آستانه حرکت (d_m) محاسبه گردد.

منظور از پاره‌سنگ در آستانه حرکت، قطر بزرگ‌ترین پاره‌سنگی است که در شرایط فعلی رودخانه و با تنش برشی τ_0 توسط جریان به حرکت درخواهد آمد. آستانه حرکت در مطالعات انتقال رسوب کانال‌ها و همچنین طراحی پایداری آبراهه‌ها بسیار اهمیت دارد. چراکه در صورت داشتن این شرایط می‌توان شرایط پایداری در دیواره را طوری طراحی کرد که از حرکت ذرات رسوبی جلوگیری شود.

پس از تعیین اندازه پاره‌سنگ در آستانه حرکت می‌توان گام‌های ششم تا نهم روش کار را برای اندازه‌های مختلف پاره‌سنگ آن‌قدر تکرار کرد تا ضریب امنیت کرانه (SF) برابر یک شود. با این کار درواقع قطر پاره‌سنگ مؤثر را تعیین کرده‌ایم. اندازه پاره‌سنگ مؤثر، قطر کوچک‌ترین پاره‌سنگی است که با تنش برشی τ_0 در ساحل رودخانه پایدار خواهد بود.

اندازه پاره‌سنگ در آستانه حرکت و پاره‌سنگ مؤثر برای کرانه هر یک از مقاطع رودخانه لاویج در جدول ۴ آمده است. تعیین اندازه پاره سنگ مؤثر درواقع تعیین اندازه پاره‌سنگ مناسب جهت سنگ‌چینی کرانه است، بدین معنا که پاره‌سنگ‌های با اندازه مساوی و بزرگ‌تر از اندازه پاره‌سنگ مؤثر، در شرایط آن مقطع عرضی پایدارند و برای سنگ‌چینی مناسب هستند.

جدول ۴: اندازه پاره‌سنگ در آستانه حرکت و پاره‌سنگ مؤثر جهت سنگ چینی رودخانه لاویج

مقطع عرضی	اندازه پاره‌سنگ در آستانه حرکت (cm)	اندازه پاره‌سنگ مؤثر جهت سنگ چینی (cm)
۱	۳۳	۹۰
۲	۸۵	۱۸۴
۳	۲۹	۷۴
۴	۴۲	۱۴۹
۵	۴۱	۴۹

منبع: یافته‌های پژوهش

با دقت در میزان تنش برشی برآورد شده برای مقاطع شماره ۲ و ۵ ملاحظه می‌شود تنش برشی در این مقاطع نسبت به سایر مقاطع، از میزان بالایی برخوردار است و بنابراین میزان ناپایداری کرانه در این مقاطع بیشتر است و درنتیجه انتظار می‌رود پاره‌سنگ مناسب برای سنگ‌چینی کرانه، نسبت بزرگ‌تری داشته باشد که نتایج به‌دست‌آمده خلاف این را نشان می‌دهد و در جدول شماره ۴ ملاحظه می‌گردد در مقطع شماره ۵ اندازه پاره‌سنگ‌های مناسب سنگ‌چینی و پاره‌سنگ در آستانه حرکت نسبت به سایر مقاطع کوچک‌تر است. بر اساس آنچه بیان شد مشخص می‌شود در تعیین اندازه پاره‌سنگ مناسب برای سنگ چینی نه‌تنها تنش برشی بلکه پارامترهای دیگر بخصوص پارامتر شیب کرانه اهمیت فراوانی دارد. همچنان که مشاهده می‌گردد آستانه حرکت در مقطع شماره ۱ و ۴ اختلاف فاحشی با اندازه پاره‌سنگ مناسب برای سنگ چینی دارد و دلیل آن شیب زیاد کرانه در این دو مقطع است. می‌توان مشاهده کرد که نسبت ضریب امنیت کرانه بالاتر در مقاطع شماره ۳ و ۴ به معنای اندازه کوچک‌تر پاره‌سنگ مناسب برای سنگ‌چینی نخواهد بود و با توجه به سایر شرایط رودخانه اندازه پاره‌سنگ در آستانه حرکت و پاره‌سنگ مناسب برای سنگ‌چینی متفاوت خواهد بود همان‌طوری که در مقطع شماره ۴ باوجود پایداری پاره‌سنگ‌های بزرگ‌تری جهت سنگ‌چینی لازم است.

در نهایت می‌توان ذکر کرد که در تعیین اندازه مناسب پاره‌سنگ برای سنگ چینی نه‌تنها پارامترهای مؤثر در تنش برشی مهم و تأثیرگذار است بلکه پارامترهای شیب کرانه، ضریب مانینگ، زاویه قرار رسوب‌ها، شعاع انحنا و عرض مقطع دبی لبالبی نیز بسیار مهم است.

نتیجه‌گیری

فرسایش کناری رودخانه یکی از مشکلات اصلی در مدیریت و سازمان‌دهی کانال‌های آبرفتی است. همه‌ساله سازه‌ها و یکی از معمول‌ترین روش‌های حفاظت کرانه رودخانه استفاده از پوشش سنگریزه و یا پاره‌سنگ‌های بزرگی که در ساحل

قرار دارند و به‌سادگی قابل‌برداشت نیستند، است. زمین‌های مجاور رودخانه لاویج با خطر تغییر بستر رودخانه و فرسایش کناری مواجه هستند. راه‌حل‌های مهندسی متعددی برای تقویت کناره در برابر فرسایش وجود دارد. در روش‌های معمول از پوشش سنگریزه و یا از پاره‌سنگ‌های بزرگی که در ساحل قرار دارند و به‌سادگی قابل‌برداشت نیستند، استفاده می‌شود در این پژوهش با استفاده از روش تنش برشی بر اساس روابط لین اقدام به بررسی پایداری کرانه این رودخانه در ۵ مقطع عرضی کردیم. پس از مشخص شدن ضریب امنیت کرانه‌ها، و محرز شدن ناپایداری کرانه در این مقاطع، آستانه حرکت پاره‌سنگ در هر یک از این مقاطع برآورد گردید. پس‌ازآن اندازه پاره‌سنگ مناسب جهت احداث دیواره‌های سنگچین در هرکدام از بازه‌های مربوط به این مقاطع برآورد شد. نتایج این پژوهش مشخص کرد مقاطع شماره ۲ و ۵ رودخانه لاویج ناپایدارتر از سایر مقاطع می‌باشند و مقاطع شماره ۳ و ۴ داری ناپایداری کمتری نسبت به سایر مقاطع می‌باشند. وجود و یا عدم وجود پوشش گیاهی در رسوب‌های کرانه و همین طور نوع آنان در میزان پایداری آن‌ها تأثیر بسزایی دارد و بنابراین می‌توان بیان کرد و عملکرد فرسایش کناری به‌صورت سیستمی عمل خواهد کرد و مجموعه‌ای از عوامل در بروز فرسایش نقش خواهند داشت، با این حال تنش برشی می‌تواند شاخصی جهت تعیین ضریب امنیت کرانه‌ها، و تعیین چگونگی حفاظت از آن‌ها در مقابل فرسایش باشد.

در تعیین اندازه مناسب پاره‌سنگ برای سنگ چینی نه‌تنها پارامترهای مؤثر در تنش برشی مهم و تأثیرگذار است بلکه پارامترهای شیب کرانه، ضریب مانینگ، زاویه قرار رسوبات، شعاع انحنا و عرض مقطع دبی لبالبی نیز بسیار مهم است.

منابع

۱- اچ گراف، والتر. (۱۳۸۶): هیدرولیک جریان در کانال‌ها و رودخانه‌ها. ترجمه میرعلی محمدی. انتشارات دانشگاه ارومیه.

۲- استادی، فریبا؛ مجد زاده طباطبایی، محمدرضا؛ علی محمدی، علی. (۱۳۹۳): مدل بهینه‌سازی آب‌شکن‌های رودخانه‌ای و نقش آن در پایدارسازی مورفولوژیکی رودخانه. *نشریه هیدرولیک*. دوره ۴. شماره ۹. صص. ۷۲-۵۵.

۳- جهانشاهی مبین؛ ثابتی، اسماعیل؛ قمشی، مهدی. (۱۳۸۹): بررسی آستانه حرکت ذرات رسوب بر اساس سرعت سقوط ذرات. دومین کنفرانس سراسری مدیریت جامع منابع آب. دانشگاه شهید باهنر. کرمان.

۴- حسین زاده، محمدمهدی؛ اسماعیلی، رضا؛ متولی، صدرالدین. (۱۳۹۴): ژئومورفولوژی رودخانه‌ای. مفاهیم، اشکال و فرآیندها. انتشارات دانشگاه شهید بهشتی. تهران.

۵- خالقی، سمیه؛ ملکانی، لیلا. (۱۳۹۴): برآورد فرسایش کرانه رودخانه لیقوان چای با استفاده از شاخص تنش برشی نزدیک کرانه راسگن. سومین کنگره بین المللی جغرافیا و توسعه پایدار. تهران.

۶- رسولیان فر، پونه؛ افضلی‌مهر، حسین. (۱۳۸۵): اثر مؤلفه‌های آشفتگی جریان در شروع حرکت ذرات رسوب. هفتمین سمینار بین‌المللی مهندسی رودخانه. دانشگاه شهید چمران. اهواز.

۷- ژولین، پی یر. (۱۳۸۸): مکانیک رودخانه. ترجمه محمدرضا جعفر زاده. انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد.

۸- کریمی پاشاکی، محمدحسین؛ اطمینان، حامد؛ صارمی، علی. (۱۳۹۱): طراحی پوشش ریپ‌رپ رودخانه با توجه به شاخص فرسایش کناری راسگن مطالعه موردی رودخانه خرسان. نهمین سمینار بین‌المللی مهندسی رودخانه. دانشگاه شهید چمران اهواز. اهواز.

۹- متولی، صدرالدین؛ حسین زاده، محمدمهدی؛ اسماعیلی، رضا. (۱۳۹۲): ارتباط دبی لبالبی با واحدهای ژئومورفیک در رودخانه‌های کوهستانی: مطالعه موردی، رودخانه لاویج در دامنه شمالی البرز مرکزی. *پژوهش‌های دانش زمین*. سال چهارم. شماره ۱۴. صص ۱۷-۳۷.

۱۰- منصوری هفشجانی، مهوش؛ شفاعی بجستان، محمود. (۱۳۹۰): طراحی قطر سنگ‌چین در اطراف تکیه‌گاه پل واقع در قوس رودخانه. *مجله پژوهش آب ایران*. شماره ۹. صص. ۷۳-۸۲.

۱۱- خزیمه‌نژاد حسین؛ شفاعی بجستان، مهوش. (۱۳۸۹): بررسی شرایط آستانه حرکت رسوبات غیر چسبنده در کانال‌های روباز دارای شیب ملایم و مقطع مستطیلی. *مهندسی آبیاری و آب*. شماره ۲. صص ۲۳-۱۳.

۱۲- نظری، اکبر؛ حیدری، محمدمهدی. (۱۳۸۸): آستانه حرکت رسوبات یکنواخت. هشتمین کنفرانس هیدرولیک ایران، تهران. دانشکده فنی دانشگاه تهران.

13- Bagnold RA. (1973): The Nature of Saltation and "Bed Load" Transport in Water. Proceedings of the Royal Society London. England. Series A 332: 473-504.

14- Jahing S.C., Brunzel S., Gacek S., Lorenz A.W., Hering D. (2009): Effects of Rebraiding Measures on Hydromorphology, Floodplain, Ground Beetles and Benthic Invertebrates. Freshwater Biology52. pp. 2270-2284.

15- Knighton, D., Fluvial Forms and Processes A New Perspective. (1998): Oxford University Press Inc. New York.

16- Lorenz A.W., Hering D., Feld C.H., Rolauffs P. (2004): A New Method for Assessing the Impact of Hydro Morphological Degradation on the Macro Invertebrate Faun of Five German Stream Types. Hydrobiology 516. Pp. 107-127.

17- Palmer M., Menninger H.L., Bernhardt E. (2010): River Restoration habitat Heterogeneity and Biodiversity: a Failure of Teory or Practice? Freshwater Piology55. Pp. 205-222.

18- Piegay, H., S.E. Darby., E. Mosselman and N. Surian. (2005): A Review of Techniques Available for Delimiting the Erodible River Corridor: a Sustainable Approach to Managing Bank Erosion. River Research and Application. 21: 773-789.

19- Poff N.l; Ward J.V. (1990): Physical Habitat Template of Lotic System: Recovery in the Context of Historical Pattern of Spatiotemporal Heterogeneity. Environmental Management 14. pp. 629-645.

20- Rinaldi M; Simoncini C; Piegay H. (2009): Scientific Design Strategy for Promoting Sustainable Sediment Management: the Case of the Magra River (Central Northern Italy) River Research and Application 25. pp. 607-625.

21- Vaughan I.P., Noble D.G., Ormerod S.J. (2007): Combining Surveys of River Habitat and River Birds to Appraise Hydromorphology. Freshwater Biology 52. Pp. 2270-2284.

22- Yang CT. (1996): Sediment Transport: Theory and Practice. McGraw-Hill, New York, NY.

23- Wallerstein N.P; Soar P.J; Thorne C.R. (2006): River Energy Auditing Scheme (REAS) for Catchment flood Management Planning, International Conference on Fluvial Hydraulics. Pp. 1923-1932. Lisbon Portugal.

24- Wohl, E. (2000): Mountain Rivers. American Geophysical Union. Washington, D.C.