

بررسی تغییرات مرفولوژی کناری آبراهه با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (بابلرود مازندران)

گلاله غفاری* - مربی دانشکده کشاورزی دانشگاه آزاد اسلامی واحد سنندج
کریم سلیمانی - استادیار دانشکده منابع طبیعی ساری، دانشگاه مازندران
ابوالفضل مساعدی - استادیار گروه مهندسی آب دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

پذیرش مقاله: ۸۳/۹/۲۳

تأیید نهایی: ۸۴/۸/۳۰

چکیده

در ایران همه ساله پهنه‌های وسیعی از اراضی مرغوب و حاصلخیز سواحل رودخانه و مسیل‌ها بر اثر عبور جریان‌های سیلابی فرسایش یافته و تخریب می‌شوند. بنابراین جهت ساماندهی و مدیریت رودخانه‌ها و کنترل فرسایش لازم است که ضمن شناخت و پیش‌بینی رفتار هیدرولیکی جریان، نواحی مستعد فرسایش کناری شناسایی گردیده و اقدامات لازم جهت کنترل آنها به عمل آید. به همین علت در تحقیق حاضر وضعیت فرسایش کناری رودخانه بابلرود مورد بررسی قرار گرفت که بدین منظور ابتدا مسیری از رودخانه به طول ۵/۵ کیلومتر انتخاب و پس از تهیه نقشه‌های ۱:۱۰۰۰ منطقه با استفاده از الحاقیه HEC-GeoRAS که امکان لینک مدل HEC-RAS و نرم‌افزار ArcView را فراهم می‌سازد، ۱۰۳ مقطع عرضی به مدل معرفی و مقادیر ضریب زبری مانینگ برای هر یک از مقاطع در بستر و سیلابدشت‌های ساحل چپ و راست تعیین شدند. با معرفی مشخصات جریان، مشخصات هندسی و ضریب زبری مانینگ به نرم‌افزار HEC-RAS، مشخصات جریان در دوره‌های بازگشت مختلف محاسبه گردیده و جهت تعیین و شناسایی نقاط مستعد فرسایش و رسوبگذاری، مقادیر حداکثر و حداقل تنش برشی سواحل راست، چپ و کانال اصلی هر مقطع در دوره‌های بازگشت مختلف تعیین و نهایتاً مناطق در معرض خطر فرسایش مشخص گردید که بازدیدها و بررسی‌های میدانی نیز نشانگر صحت محاسبات و نتایج حاصل از تعیین نقاط حساس به فرسایش می‌باشد.

واژگان کلیدی: فرسایش کناری، HEC-GeoRAS، رودخانه بابلرود.

مقدمه

مهم‌ترین پدیده در فرایندهای پوستی زمین جریان آبها است و رودخانه‌ها نه تنها در سیمای کلی زمین نقش دارند، بلکه شکل زیستن انسان در کره زمین را نیز تعیین می‌نمایند (موریساوا، ۱۹۶۸). تخریب سواحل و تداوم فرسایش کناری توأم با مهاجرت حلقه‌های پیچان رود هر ساله موجب تخریب اراضی کشاورزی، تأسیسات ساحلی، پل‌ها و اماکن عمومی

*E-mail: ghaffari58@yahoo.com

می‌گردد. از سویی اجرای هر گونه عملیات جهت اصلاح مسیر، کنترل فرسایش رودخانه، احداث تأسیسات و سازه‌های آبی و مانند آن باید مبتنی بر شناخت صحیح از رفتار رودخانه، ویژگی‌های مواد بستری و عوامل و مکانیسم‌های مؤثر در فرسایش کناری صورت گیرد. دلایل عمده تخریب سواحل و دیواره‌های رودخانه را می‌توان شسته شدن ذرات خاک در اثر جریان و امواج، شسته شدن پاشنه شیب سواحل و ریزش و گسیختگی درونی آن، افزایش شیب سواحل در اثر فرسایش و آب شستگی، افزایش فشار آب منفذی در حالت کاملاً اشباع، گسیختگی درونی شیب به علت نشت آب به سمت رودخانه، فرسایش ناشی از ورود زه‌آبهای کشاورزی و عوامل متعدد دیگر بر شمرد (رفاهی، ۱۳۷۵). معمولاً به منظور کنترل فرسایش کناری علاوه بر اعمال روش‌های مکانیکی، پوشش گیاهی طبیعی امتداد حواشی رودخانه را به صورت دست‌نخورده باقی می‌گذارند تا سرعت جریان آب کم شده و سبب تخریب کناره‌ها نگردد؛ چرا که در مواقع طغیان آب رودخانه وجود پوشش گیاهی مانع از شسته شدن حواشی رودخانه می‌شده و به همین دلیل در بعضی از کشورها از جمله ایران قانونی تدوین گردیده است که بر اساس آن به هم‌زدن پوشش طبیعی و انجام کشت و زرع تا فاصله‌ای از حریم رودخانه ممنوع می‌باشد (رفاهی، ۱۳۷۸). بررسی‌های انجام شده توسط امینی (۱۳۷۴) نشان می‌دهد که آبیاری غلط در اراضی زراعی حاشیه رودخانه، تجاوز به حریم رودخانه و پدیده پیچانرود از جمله عواملی هستند که باعث فرسایش کناری و رسوب‌زایی در رودخانه‌ها می‌شود. با توجه به این که توزیع تنش برشی پیرامون خیس شده آبراهه‌های طبیعی و رودخانه‌ها یکنواخت نمی‌باشد بنابراین معمولاً توزیع آن را در کف و دیواره‌ها مورد توجه قرار می‌دهند. روش‌های تعیین چگونگی توزیع تنش برشی در بستر را می‌توان به دو دسته مستقیم و غیر مستقیم تقسیم نمود.

اپین و دراینکر (۱۹۶۵) روش‌هایی را برای تعیین توزیع برشی در پیچ‌ها توسعه داده و بر پایه بررسی‌های انجام شده دریافته‌اند که با افزایش شعاع انحنای پیچ، تنش برشی نیز افزایش یافته و حداکثر تنش برشی نیز در تندترین قسمت هر پیچ اتفاق می‌افتد. بیگن (۱۹۸۶) در بررسی‌های خود نشان داد که به طور کلی مقدار تنش برش در دیواره‌ها کمتر از کف بوده و برای پایداری دیواره بایستی که همیشه زاویه شیب دیواره کمتر از زاویه شیب داخلی (طبیعی) آن باشد. کاس و ماندر (۱۹۹۷) با تحقیقات و بررسی‌های پنجاه ساله ژئومرفولوژیکی و زمین‌شناسی خود که بر روی رودخانه رن در بخش میانی فرانسه انجام دادند، مشخص کردند که بخش‌هایی از رودخانه مذکور مثانداری و به شدت تحت فرسایش کناری است و نهایتاً برای مهار فرسایش کناری پروژه‌ای تهیه نمودند. هیالمارسون و همکاران (۱۹۸۸) با توجه به فرسایش کناری سواحل و بستر رودخانه‌ها و ته‌نشست رسوبات در هنگام وقوع و فروکش جریان سیل، ضوابط موردنظر در پهنه‌بندی و مدیریت منطقه مورد مطالعه و مناطق مشابه را ارائه نمودند. اسلام (۲۰۰۱) در تحقیقات خود در زمینه حل مشکل سیل، پایداری کناره‌های رودخانه را از نظر فرسایش مورد بررسی قرار داده است. آندام (۲۰۰۳) در پایان‌نامه خود تحت عنوان مقایسه رژیم رودخانه‌های جنگلی و خارج جنگلی با استفاده از مدل HEC-GeoRAS تغییرات سرعت و عدد فروید در این دو نوع رودخانه و تأثیر پوشش گیاهی بر رژیم و رفتار فیزیکی رودخانه را مورد بررسی قرار داد.

احمدیان یزدی (۱۳۸۰) در بررسی نقش پوشش گیاهی در حفاظت خاک و تثبیت کناره‌های رودخانه تجن-هریرود با استفاده از دو سری عکس‌های هوایی سال ۱۳۳۴ و ماهواره‌های ۱۹۸۵ و عملیات میدانی و تلفیق آنها با یکدیگر تغییرات مورفولوژیکی رودخانه تجن را مورد ارزیابی قرار داده و با انجام معادلات رگرسیونی بین میزان فرسایش کناری ناحیه و پوشش گیاهی متأثر از رطوبت خاک نتیجه گرفت که علاوه بر تراکم پوشش گیاهی، پهنای ناحیه پوشش گیاهی در مسیر

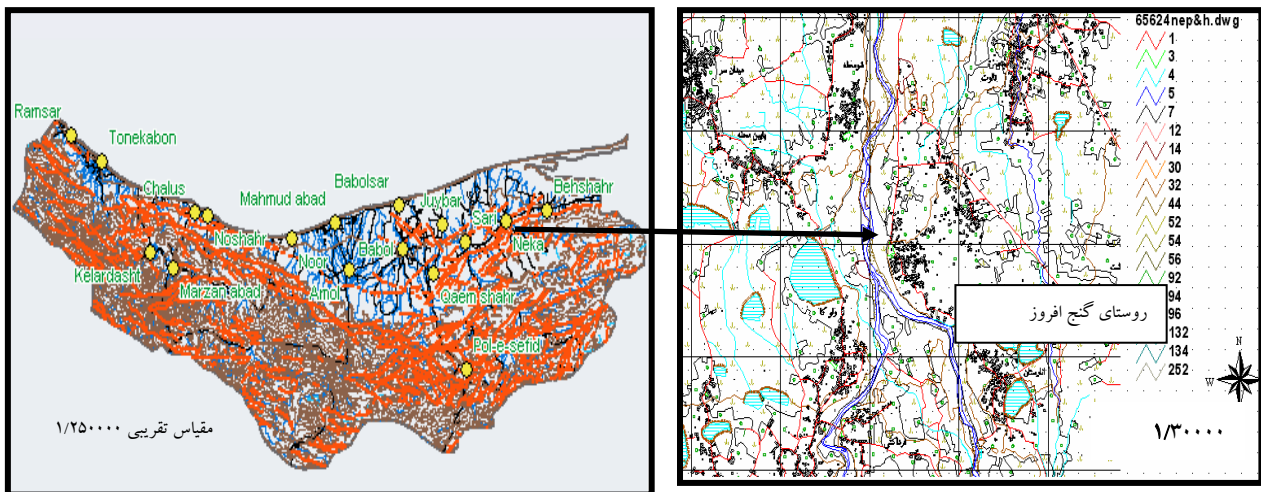
رودخانه نقش مؤثری در کنترل فرسایش کناری دارد. در واقع هدف از تحقیق حاضر تعیین مناطق دارای حداکثر تنش برشی و سرعت جهت شناسایی و اولویت‌بندی محدوده‌های مستعد فرسایش کناری و پیش‌بینی مرفولوژی کناری آبراهه به منظور استفاده از این اطلاعات در مدیریت و ساماندهی رودخانه مورد نظر می‌باشد.

روش انجام تحقیق

الف - موقعیت منطقه مورد مطالعه

رودخانه بابلرود از رودخانه‌های اصلی حوزه آبریز دریای مازندران است که از شمال به دریای مازندران، از شرق به حوزه رودخانه طالار، از جنوب به دامنه شمالی سلسله جبال البرز (قله دماوند) و از غرب به حوزه آبریز رودخانه هزار محدود می‌گردد. منطقه مورد مطالعه در این رودخانه در بازه‌ای به طول تقریبی ۵/۵ کیلومتر در حد فاصله روستاهای انارستان و شوب محله (بابل) به طوری واقع شده که محل تلاقی رودخانه بابلرود و سجادرود (روستای گنج افروز) نیز در منطقه طرح قرار گرفته است (شکل شماره ۱). حدود رودخانه مورد مطالعه تقریباً سه کیلومتر بالاتر و ۲/۵ کیلومتر پایین‌تر از محل تلاقی رودخانه‌های بابلرود و سجادرود در عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۲۳ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۳۰ دقیقه و طول ۵۲ درجه و ۴۰ دقیقه تا ۵۲ درجه و ۴۴ دقیقه جغرافیایی واقع گردیده است.

شکل ۱- موقعیت رودخانه مورد مطالعه در استان مازندران



جدول ۱- شیب طولی رودخانه‌ها در ایستگاه‌های مورد نظر

زمان تمرکز (دقیقه)	ارتفاع m		طول km		درصد شیب‌ها			
	پایین‌ترین	بالاترین	مرکز ثقل تا خروجی	رودخانه	متوسط رودخانه		متوسط حوزه نام ایستگاه	
۲۳۴	۱۵۰	۳۷۰۰	۲۰	۳۵/۲	خالص ۳/۲	ناخالص ۵/۲	۱۲	قران طالار
۳۸۳/۸	۰	۳۷۰۰	۲۸/۵	۶۷/۵	۳/۲	۵/۲	۸	بابل
۱۷۴/۴	۴۸	۳۷۱۰	۱۵/۳	۲۵/۴	۳/۲	۵/۴	۱۳	سجادرود

در روی نقشه زمین شناسی و اطراف محدوده مورد مطالعه، رودخانه بابلرود با علامت Qt2c نشان داده شده که معرف آبرفت ها، تراس ها و مخروط افکنه های جوان دوره کواترنر بوده و دارای پوشش زراعی است. در این منطقه به دلیل عریض و مسطح بودن بستر و دشت سیلابی رودخانه و کیفیت و کمیت خوب محصول برنج، کشاورزان محل به شدت به کشت این محصول روی آورده و اراضی حاشیه رودخانه تماماً به کشت برنج اختصاص یافته و حتی در مواردی نیز شالیکاران به قسمت هایی از بستر رودخانه تجاوز نموده و بدین گونه شرایط استثنایی در حاشیه رودخانه ایجاد کرده اند، به طوری که بنابر گفته زارعان محل، نه تنها بسیاری از اراضی شالیکاری شده اطراف رودخانه با کوچک ترین جریان سیلابی به زیر آب می رود بلکه دشت های سیلابی رودخانه نیز به شدت مستعد فرسایش گردیده و بدین ترتیب مرفولوژی این رودخانه زیبا با سرعت در حال تغییر شکل است.

ب- تنش برشی

شکل رودخانه تابعی از جریان آب، کمیت و نوع رسوبات حمل شده، پوشش گیاهی و ترتیب مواد سازنده دیواره و کف رودخانه است و بنابر هیدرولیک رودخانه ای، جریان آب، تنش برشی بر دیواره و کف رودخانه وارد می کند که پایداری و یا تغییرپذیری شکل بستر رودها بستگی به مقاومت هر نقطه از پیرامون بستر مقطع جریان، در مقابل تنش برشی وارده از سوی جریان دارد (لتوپولد ۱۹۶۴). به طور ساده مقدار نیروی برشی جریان از رابطه زیر برآورد می گردد، (تلوری، ۱۳۷۱) که در آن:

$$\tau_0 = \gamma DI$$

τ_0 : تنش برشی γ : وزن مخصوص آب I : شیب خط انرژی جریان

D : عمق جریان آب که در رودخانه های عریض مساوی شعاع هیدرولیکی در نظر گرفته می شود.

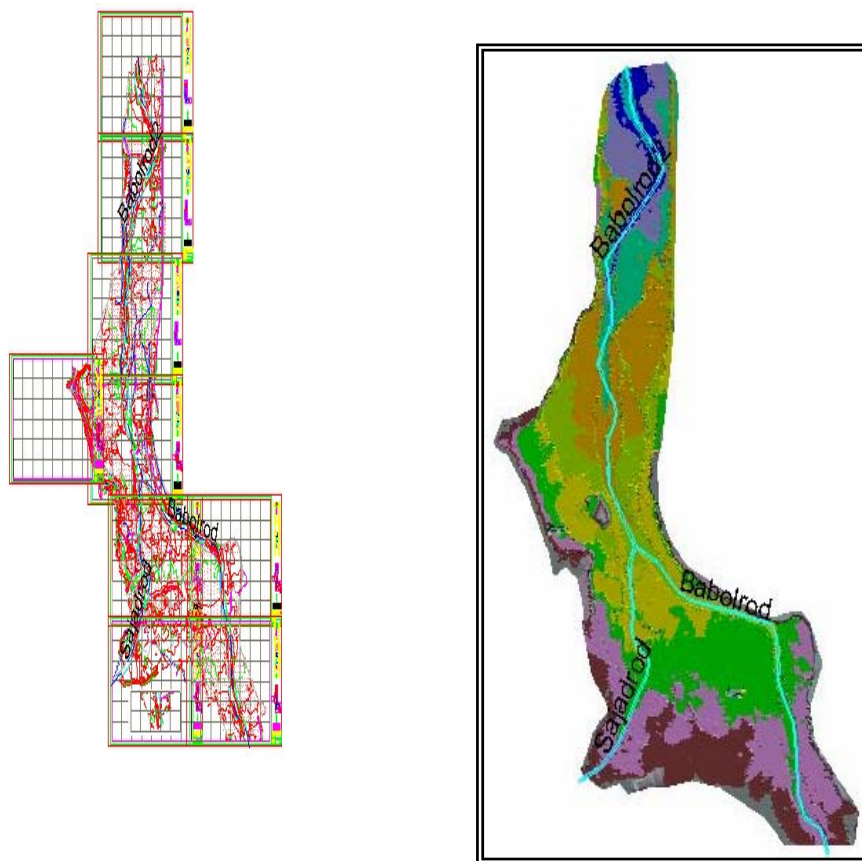
با توجه به این که توزیع تنش برشی در پیرامون خیس شده آبراهه های طبیعی و رودخانه ها یکنواخت نمی باشد، میزان تأثیر تنش برشی جریان بر کف و بستر رودخانه بستگی به میزان حساسیت خاک و مواد آبرفتی رودخانه به عمل آب شستگی (کنش) و فرسایش آبی دارد (تلوری ۱۳۶۸).

بررسی عوامل مؤثر در تغییر مرفولوژی رودخانه و فرسایش کناری نیازمند وجود اطلاعات پایه ای در زمینه هیدرولیک رودخانه ای است و سرعت جریان و تنش برشی از پارامترهای مهم هیدرولیکی محسوب می گردند که در تعیین مناطق فرسایش پذیر رودخانه و مناطقی که نیاز به سازه های حفاظتی دارند، مورد استفاده قرار می گیرند. در این تحقیق جهت بررسی فرسایش کناری ابتدا مسیری از رودخانه به طول ۵/۵ کیلومتر از رودخانه بابلرود انتخاب گردیده و جهت شبیه سازی رودخانه و دشت های سیلابی، نه شیت نقشه ۱/۱۰۰۰۰ رقومی پلان رودخانه تهیه و در محیط اتوکد اقدام به تصحیح و انجام اصلاحات لازم بر روی آنها گردیده و سپس این نقشه ها با فرمت شیپ^۱ در محیط ArcView باز شده و در هم ادغام^۲ گردیدند (شکل شماره ۲). سپس با استفاده از HEC-GeoRAS که یکی از ضمائم^۱ ArcViewGIS جهت پردازش داده های زمینی در سیستم تحلیل رودخانه مرکز مهندسی هیدرولوژیک (HEC-RAS) می باشد (گروه مهندسی ارتش آمریکا، ۲۰۰۲)، لایه های ورودی به HEC-RAS، شامل اطلاعات استخراج شده از لایه TIN (شبکه نامنظم مثلثی مانند مشخصات رودخانه، بازه ها، خطوط مقاطع عرضی و طول بازه

پایین دست برای ساحل چپ، کانال اصلی و ساحل راست) در محیط ArcView GIS با دقت بسیار بالایی فراهم گردید. در این تحقیق به دلیل استفاده از نقشه های ۱/۱۰۰۰ و با توجه به بازدید های به عمل آمده و استفاده از GPS در منطقه و همچنین انطباق نقشه های موجود با تصویر ماهواره ای ETM منطقه (در محیط Erdas8.3.1) مشخص گردید که TIN بدست آمده از نقشه های رقومی قادر است بستر و دشت های سیلابی اطراف رودخانه را (با عرض متوسط ۴۰۰ متر) به خوبی شبیه سازی نموده و مرجع مناسبی جهت انجام سایر مراحل باشد.

ضریب مانینگ بستر اصلی و سیلابدشتهها نیز پس از انجام عملیات میدانی و بازدیدهای صحرائی برای هر مقطع با استفاده از روش کاون تعیین شده و سپس با معرفی مشخصات جریان و مشخصات هندسی و ضریب مانینگ هر مقطع در نرم افزار HEC-RAS، پروفیل سطح آب در دوره های بازگشت مختلف سیل محاسبه گردید. این نرم افزار در طرح های مهندسی رودخانه از جمله تهیه پروفیل سطح آب، تعیین منحنی دبی-اشل در ابتدا و انتهای بازه ها در انهار طبیعی و مصنوعی، بررسی وضعیت جریان و پهنه بندی سیل در شرایط مختلف ساماندهی رودخانه مورد استفاده قرار می گیرد (گروه مهندسی ارتش آمریکا، ۲۰۰۲). جهت تجزیه و تحلیل فرسایش کناری و پایداری سواحل رودخانه از مقادیر تنش برشی در هر مقطع استفاده شده است. بدین منظور با در نظر گرفتن سه بازه اصلی بابلرود ۱ (قبل از تلاقی) بابلرود ۲ (بعد از تلاقی) و سجادرود مقادیر سرعت جریان و تنش برشی به ازای سیل با دوره های بازگشت مختلف در هر مقطع تعیین شده و سپس با توجه به مقادیر سرعت و تنش برشی، مقاطع در معرض خطر فرسایش در سه بازه مشخص گردید. علاوه بر آن مقاطعی نیز که کمترین تنش برشی بر آن وارد می گردد، تعیین شدند.

شکل ۲- نقشه های اتوکدی باز شده در محیط Arc view و TIN به دست آمده از این نقشه ها



نتایج

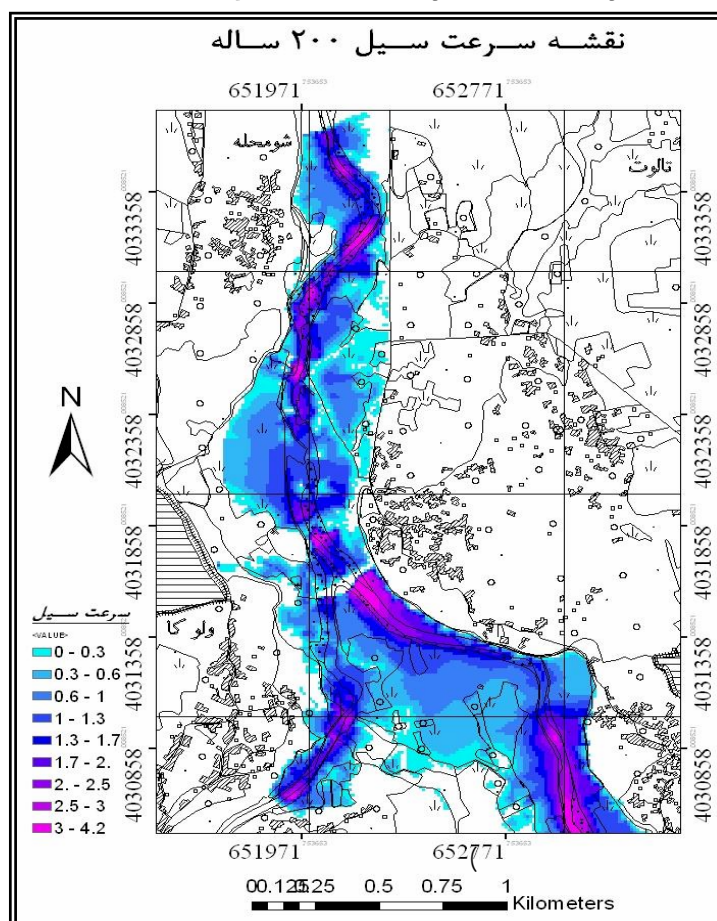
در جدول شماره (۲) مناطق دارای حداکثر سرعت سیل در دوره های بازگشت مختلف نشان داده شده که مقادیر عددی مربوط به حداکثر سرعت سیل در دوره بازگشت دویست ساله می باشد. همان گونه که از جدول زیر قابل استنباط است، حداکثر سرعت سیل در دوره بازگشت دویست ساله در بازه بابلرود ۱ و در محل تلاقی با سجادرود رخ می دهد.

جدول ۲- مناطق دارای حداکثر سرعت سیل در سه بازه مورد نظر

بازه سجادرود		بازه بابلرود ۱		بازه بابلرود ۲	
فاصله از پایین دست بازه (m)	مقدار سرعت m/s	فاصله از پایین دست بازه (m)	مقدار سرعت m/s	فاصله از پایین دست بازه (m)	مقدار سرعت m/s
۱۰۰۸/۷۳	۳/۲۳	۰	۵/۳۵	۵۵۹/۹۵	۴/۰۳
۷۰۱	۲/۸۱	۱۴۸۵/۳۸	۳/۲۶	۲۰۹۰/۱۱	۳/۵۴
۵۹۶/۸۹	۲/۶۵	۱۱۲/۱۲	۳/۲۲	۱۲۸۰/۴۸	۳/۵۱
۵۱۳/۵۸	۱/۸۶	۱۰۶۷/۴۹	۲/۹۳	۲۱۰/۳۷	۲/۸۳

در شکل شماره (۳) نیز به عنوان نمونه نقشه سرعت سیل دویست ساله به صورت لایه نقطه ای نمایش داده شده است.

شکل ۳- نقشه سرعت سیل دویست ساله (خروجی از محیط ArcGIS)



در جدول شماره (۳) مناطقی از بازه ها که در آنها حداکثر تنش برشی رخ داده، نشان داده شده است.

جدول ۳- حداکثر تنش برشی سه بازه مورد نظر در دوره‌های بازگشت مختلف

بازه سجاد رود		بازه بابلرود ۱		بازه بابلرود ۲		دوره بازگشت
فاصله از پایین دست بازه (m)	مقدار N/m^2	فاصله از پایین دست بازه (m)	مقدار N/m^2	فاصله از پایین دست بازه (m)	مقدار N/m^2	
۱۰۰۸/۷۳	۹۹/۸۷	۱۰۶۷/۴۹	۲۸۳/۷۶	۲۰۹۰/۱۱	۴۵۰/۷۶	۲
۱۰۰۸/۷۳	۱۲۵/۱۸	۱۰۶۷/۴۹	۲۰۲/۴۹	۲۰۹۰/۱۱	۴۶۰/۹۴	۵
۱۰۰۸/۷۳	۱۵۱/۰۵	۱۰۶۷/۴۹	۲۵۰/۸۸	۲۰۹۰/۱۱	۴۹۷/۱۵	۱۰
۱۰۰۸/۷۳	۱۹۵/۱۶	۰	۲۷۷/۶۳	۲۰۹۰/۱۱	۵۴۷//۳۹	۲۵
۱۰۰۸/۷۳	۲۲۷/۸۹	۰	۷۳۲/۰۱	۲۰۹۰/۱۱	۵۶۷/۵۸	۵۰
۱۰۰۸/۷۳	۲۶۱/۵۶	۰	۸۸۴/۲۷	۲۰۹۰/۱۱	۵۳۷/۷۷	۱۰۰
-	-	۰	۱۰۶۳/۹۳	۲۰۹۰/۱۱	۴۹۶/۴۱	۲۰۰

با توجه به این که در هر سه بازه تنش برشی حداکثر در کانال اصلی رودخانه بیشتر از سواحل چپ و راست بوده است (غیر از حداکثر تنش برشی سیل دویست ساله بازه سجاد رود)، بنابراین مقادیر تنش برشی جدول فوق همگی متعلق به کانال اصلی می‌باشد. از سوی دیگر با توجه به جدول شماره (۴) حداکثر تنش برشی ساحل چپ بازه سجاد رود (غیر از تنش برشی سیل دویست ساله) و بابلرود ۲ در تمامی دوره‌های بازگشت، بیش از ساحل راست و حداکثر تنش برشی ساحل راست بازه بابلرود ۱ در هر هفت دوره بازگشت بیش از ساحل چپ رودخانه در این بازه می‌باشد.

جدول ۴- حداکثر تنش برشی سواحل بازه‌های مورد نظر در دوره‌های بازگشت متفاوت

بازه سجاد رود		بازه بابلرود ۱		بازه بابلرود ۲		دوره بازگشت
ساحل چپ		ساحل راست		ساحل چپ		
فاصله از پایین دست بازه (m)	مقدار N/m^2	فاصله از پایین دست بازه (m)	مقدار N/m^2	فاصله از پایین دست بازه (m)	مقدار N/m^2	
۱۰۰۸/۸۹	۲۶/۰۶	۱۰۶۷/۴۹	۵۵/۲۳	۲۰۹۰/۱۱	۴۲/۴	۲
۱۰۰۸/۸۹	۵۷/۸۴	۱۰۶۷/۴۹	۷۵/۱	۲۰۹۰/۱۱	۵۶/۵	۵
۱۰۰۸/۸۹	۷۷/۰۹	۱۰۶۷/۴۹	۷۷/۴۲	۲۰۹۰/۱۱	۶۶/۲	۱۰
۱۰۰۸/۸۹	۱۱۱/۱۰	۰	۱۶۰/۵۷	۲۰۹۰/۱۱	۷۷/۸	۲۵
۱۰۰۸/۸۹	۱۳۸/۹۵	۰	۴۱۵/۴۱	۲۰۹۰/۱۱	۸۵/۲	۵۰
۱۰۰۸/۸۹	۱۶۱/۱۰	۰	۵۴۰/۳۶	۲۰۹۰/۱۱	۸۷/۸	۱۰۰
-	-	۰	۶۷۷/۱	۲۰۹۰/۱۱	۹۵/۲	۲۰۰

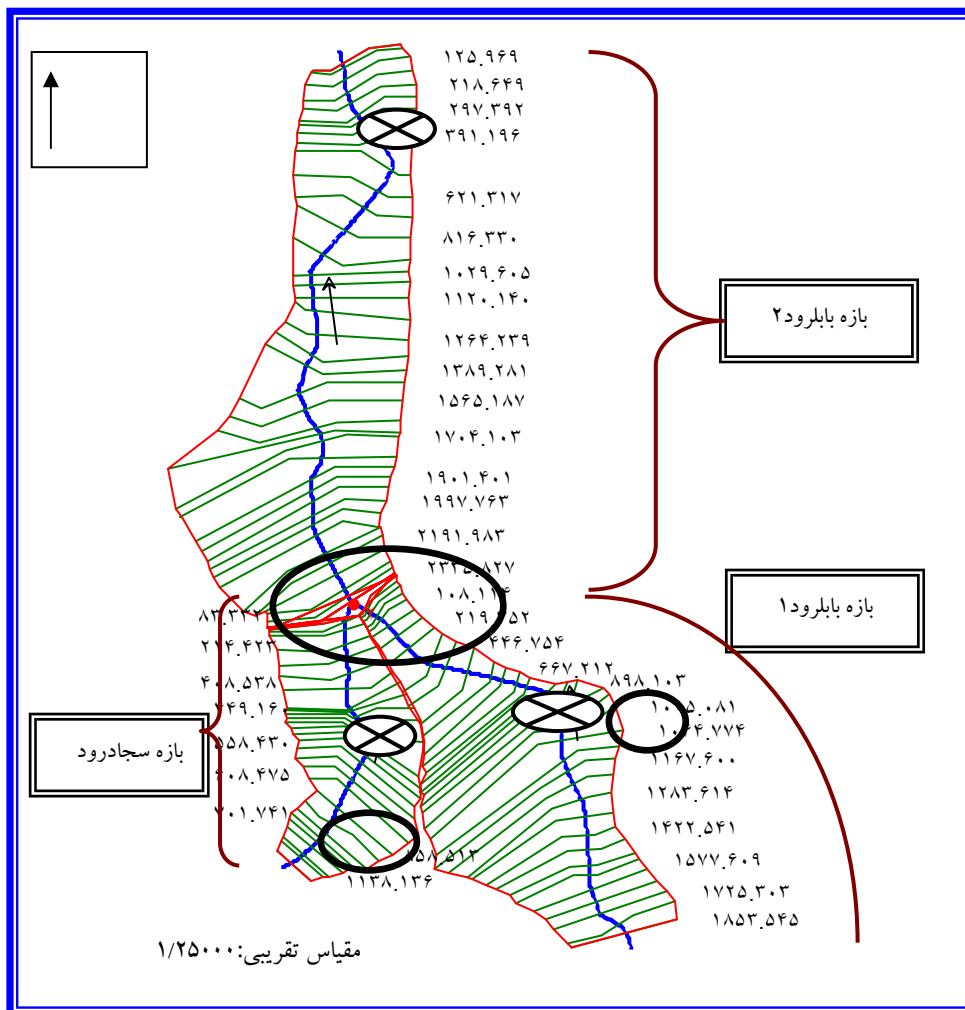
در جدول شماره (۵) حداقل تنش برشی وارده در دوره های بازگشت مختلف و در نتیجه مناطق مستعد رسوبگذاری در سه بازه مورد نظر نشان داده شده، منطبق بر قسمت داخلی پیچ های هر بازه است.

جدول ۵- حداقل تنش های وارده بر مناطق مختلف سه بازه مورد نظر

موقعیت (دید از بالادست به پایین دست)	فاصله از پایین دست بازه (m)	مقدار تنش N/m^2	بازه
ساحل چپ	۵۶۲/۵۷	۰/۰۵	سجادرود
ساحل چپ	۶۹۴/۶۸	۰/۸	بابلرود ۱
ساحل چپ	۱۷۸/۲۸	۰/۰۰۲	بابلرود ۲

با توجه به مطالب عنوان شده در شکل شماره ۴ مناطق مستعد فرسایش (حداکثر تنش برشی) با علامت دایره و مناطق مستعد رسوبگذاری (حداقل تنش برشی) با علامت دایره _ ضربدر نشان داده شده است.

شکل ۴- نمایی از بازه ها و مقاطع عرضی و مناطق دارای حداکثر و حداقل تنش برشی (فاصله بر حسب متر)



به طور کلی تنش وارد بر کانال اصلی رودخانه در بازه بابلرود ۲ چندین برابر سواحل بوده و غیر از حداکثر تنش‌های ارائه شده در جدول شماره (۳)، تنش‌های زیادی نیز به ترتیب بر فواصل ۵۵۹/۹۵، ۱۲۸۰/۴۸ و ۸۷۳/۸۲ متری از پایین دست بازه بابلرود ۲ وارد می‌گردد. در بازه بابلرود ۱ تنش در ساحل راست بازه نسبت به کانال اصلی به ویژه در دوره‌های بازگشت ۲۵ تا ۲۰۰ سال قابل توجه بوده و تنش‌های زیادی نیز به فواصل ۱۱۲/۱۲، ۱۰۶۷/۴۹ و ۱۱۶۴/۶۸ متری از پایین دست وارد می‌گردد. در بازه سجادرود بعد از بالادست بازه، بیشترین تنش به ترتیب به فواصل ۵۹۶/۸۹، ۱۹۶/۷۶ و ۰ متری از پایین دست بازه وارد می‌گردد.

بحث و نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از بررسی فرسایش کناری نشان می‌دهد که حداکثرهای سرعت سیل در نزدیکی‌های محل تلاقی، پیچ رودخانه و در محل ایجاد تغییرات ناگهانی در عرض رودخانه ایجاد می‌گردد و در کل سرعت در بازه‌های بابلرود ۱ و ۲ به دلیل بیشتر بودن دبی بیشتر از بازه سجادرود است. از سوی دیگر بازه بابلرود ۲ در تمامی دوره بازگشت‌ها دارای بیشترین تنش برشی در نزدیکی محل تلاقی بوده، در صورتی که در بازه بابلرود ۱ در دوره بازگشت دو الی ده ساله بیشترین تنش در فاصله ۱۰۶۷/۴۹ متری از پایین دست بازه (در محل پیچ رودخانه) و در دوره بازگشت بیست و پنج الی دویست ساله بیشترین تنش برشی در محل تلاقی بوجود آمده است. در بازه سجادرود تنش برشی کانال اصلی در بالادست جریان (۱۰۰۸/۸۹ متری از پایین دست) و در دوره‌های بازگشت دو تا یکصد سال بیش از تنش سواحل بوده، اما در دوره بازگشت دویست ساله تنش برشی ساحل راست در فاصله صفر متری از پایین دست جریان (محل تلاقی دو رودخانه) برابر ۳۱۵/۴۷ نیوتن بر متر مربع و بیشتر از تنش ساحل چپ و حتی کانال اصلی می‌باشد. نتایج مربوط به حداکثرهای تنش برشی و سرعت نشان داد که به دلیل محدودسازی بستر اصلی رودخانه به دوره بازگشت دو ساله و افزایش ضریب مانینگ سواحل رودخانه بر اثر افزایش پوشش گیاهی، در هر سه بازه سرعت و تنش برشی کانال اصلی در تمامی دوره بازگشت‌ها بیشتر از سواحل رودخانه بوده که نهایتاً این عوامل می‌توانند موجب فرسایش بیشتر کانال رودخانه، پایین رفتن سطح آب، افزایش شیب رودخانه و نهایتاً فرسایش کناری گردد که در عمل نیز شاهد پدیده فرسایش در این مناطق بوده و همه ساله بخشی از اراضی کشاورزی منطقه با انجام عملیات شخم و آبیاری پایداری خود را از دست داده و از بین می‌روند. به طور کلی حداکثر سرعت سیل متعلق به محل تلاقی دو رودخانه و سرپیچ‌ها بوده و حداکثرهای تنش برشی جریان بعد از کانال اصلی رودخانه در ساحل راست بازه بابلرود ۱ و سواحل چپ بازه‌های بابلرود ۲ و سجادرود اتفاق افتاده است. همچنین با توجه به نتایج تعیین حداقل تنش برشی می‌توان مشاهده نمود که کمترین تنش دویست ساله در فاصله ۱۷۸/۲۸ متری از پایین دست بازه بابلرود ۱ رخ داده است و بنابراین ساحل چپ بازه بابلرود ۱ مستعدترین محل جهت رسوبگذاری می‌باشد. به طور کلی نتایج مربوط به حداقل تنش به صورت کاملاً منطقی نشان می‌دهد که حداقل تنش در دیواره محدب پیچ‌های رودخانه اتفاق افتاده و جریان مارپیچی در کف رودخانه، رسوبات ناشی از فرسایش کناره مقعر را به طرف جلو و دیواره محدب انتقال می‌دهد و بدین ترتیب کف رودخانه از جهت عرضی هم در این مناطق دارای شیب می‌باشد که در بازه‌های صحرائی نیز این موارد مشاهده گردیده و نتایج این بخش از تحقیق با تحقیقات کینور (۱۹۸۴) مطابقت دارد.

در بخش دیگری از تحقیقات مشخص گردید که به طور کلی مقدار تنش برش در دیواره‌ها کمتر از کف (کانال اصلی) بوده و در سمت خارجی پیچ‌ها و نواحی مماندیری رودخانه مقدار تنش افزایش یافته و میزان فرسایش کناری بالا می‌رود که

مطلب این بخش نیز با نتایج بیگن (۱۹۸۶)، ایپن و دراینکر (۱۹۶۵) مطابقت دارد. تحقیقات در زمینه فرسایش کناری در محدوده مورد مطالعه نشان داده که خاک های سیلتی و لسی قابلیت فرسایش پذیری بالایی داشته و از نظر فرسایش کناری به شدت در معرض خطر هستند که نتایج این بخش از تحقیقات با تحقیقات ایست (۱۹۹۴) مشابهت دارد. با توجه به این که کنترل فرسایش کناری با مدیریت در بهره برداری بهینه از اراضی اطراف رودخانه ها و سواحل امکان پذیر می باشد، این روش به عنوان یکی از روش های مناسب در کنترل فرسایش کناری معرفی می گردد که تویمبل (۱۹۹۴) نیز بر اثرات مثبت این روش در کنترل فرسایش کناری بر روی رودخانه تنسی اشاره نموده است.

منابع و مأخذ:

- ۱- احمدیان یزدی، محمدجواد، (۱۳۸۰). بررسی نقش پوشش گیاهی در کنترل فرسایش کناری پیچانرود تجن-هریرود، پایان نامه کارشناسی ارشد آبخیزداری دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.
- ۲- امینی، آرش، (۱۳۷۴). مطالعه بر خاستگاه و مکانیزم رسوبزایی لسهها در حوضه آبخیز قره تیکان، پایان نامه کارشناسی ارشد دانشگاه تهران، دانشکده علوم، گروه زمین شناسی.
- ۳- تلوری، عبدالرسول، (۱۳۶۸). بررسی پدیده پیچانرود و فرسایش رودخانه ای در قسمتی از کارون. پایان نامه کارشناسی ارشد آبخیزداری دانشکده منابع طبیعی تهران.
- ۴- تلوری، عبدالرسول، (۱۳۷۱). شناخت فرسایش کناری رودخانه در دشت های رسوبی. موسسه تحقیقات جنگل ها و مراتع.
- ۵- رفاهی، حسینقلی، (۱۳۷۸). فرسایش آبی و کنترل آن، انتشارات دانشگاه تهران.
- 6- Andam, K.S.(2003). COMPARING PHYSICAL HABITAT CONDITIONS IN FORESTED AND NON-FORESTED STREAMS. Thesis of Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of Master of Science Specializing in Civil and Environmental Engineering.
- 7- Begin, Zeev. B. (1986). Curvature ratio and rate of river band migration - update. H. Hydraul. Div. AM. Sos. Cio. Egn. Vol. 112, No.
- 8- Graf, Walter. Hans. (1971). Hydraulics of Sediment Transport. Mc. Graw-Hill, Inc. New York.
- 9- Hyalmarson, H. W. (1988) "Flood Hazard Zonation in Aridland". Wesley Publishers.
- 10- Hydrologi Engineering Center (2002) "HEC-GeoRAS, User's Manual, Ver. 3.1.1, Army Corps of Engineers.
- 11- Islam, N. (2001). The Open Approach to Flood Control: the Way to the Future in Bangladesh, Futures 33, P.P. 783-802. Department of Economics, Emory University, Atlanta, Ga 30322, USA.
- 12- Janson, P. Ph. (1979). Principles of River Engineering. Pitman Publishing Limited. London. p.
- 13- Kinori, B. Z. J. mevorach. (1984). Manul of Surface Drainage Engineering. Vo: II. Elsevier Amsterdam.
- 15- Leopold. L. B., M. G. Woman and J. P, Miller. 1964.: Fluvial processes in Geomorphology. W. H. Freeman and Company. San Francisco.
- 16- Lutz, J. F. (1934). The Physico-Chemical Properties of Soils Affecting Soil Erosion. Missouri Agricultural Experiment Station Research Bulletin 212.

- 17- Morisow, M. (1968). Stream; their dynamics and morphology; Mc. Graw-Hill, New York, N.Y.
- 18- Robert, P. Apmann. (1972). Flow processes in Open Chanel BEND. J. Hydraul. Civ. Eng. Vol.98, No.5.
- 19- smiet, J. J. Stevan. (1961). Erodibility of Some California Wildland Soils Related to their Metallic Cation Exchange Capacity. Journal of Geophysical Research 66.
- 20- U.S. Army Corps of Engineers. (2001). HEC-RAS Reference Manual Version 3.0.