

بررسی پلان قوسی و تنوع در شاخص سینوسی رودخانه کلیبر چای

^۱ محمدحسین رضایی مقدم

^۲ محمدرضا نیکجو

^۳ داود مختاری

^۴ احمد فاخری فرد

^۵ دکتر کاظم خوشدل

چکیده

حوضه کلیبرچای در شمال غربی کشور ایران قرار گرفته است. این پژوهش پلان قوسی رودخانه کلیبرچای (از شهر کلیبر تا روستای جانانلو) را مطالعه نموده است. این محدوده رودخانه کلیبرچای با طول ۷۰ کیلومتر است. کانال در پلان قوسی دارای الگوهای کانال راست، موجی، متاندری و گیسویی (قیطانی) است. مطالعات پلان قوسی رودخانه در رابطه با فرآیندهای فعال مختلف در کانال رودخانه و ارتباط متقابل بین پارامترهای هیدرولوژیکی و مواد رودخانه را نشان می‌دهد. تغییرات پیوسته در شاخص سینوسی در کانال نشانه‌هایی از تغییر در رفتار رودخانه است. برای انجام این پژوهش از تصاویر Google earth و DEM ده متری منطقه استفاده شد. جهت سهولت در مطالعه، رودخانه به چهار بازه تقسیم گردید. در بازه بندی رودخانه شرایط توپوگرافیک و نظر کارشناسی نگارندگان در نظر گرفته شد. شاخص سینوسی رودخانه در چهار بازه به‌وسیله نرم‌افزار

۱- استاد و عضو هیئت‌علمی دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

۲- دانشیار و عضو هیئت‌علمی فقید دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

۳- استاد و عضو هیئت‌علمی دانشگاه تبریز، ایران

۴- استاد و عضو هیئت‌علمی دانشگاه تبریز، ایران

۵- دانش‌آموخته دکتری دانشگاه تبریز، تبریز، ایران (نویسنده مسئول)

Arc GIS طبق فرمول $TSI = \frac{CL}{AL}$ محاسبه گردید. در فرمول ذکر شده TCI شاخص سینوسی توپوگرافیک، CL طول کانال رودخانه و AL طول هوایی ابتدا و انتهای کانال است. بیشترین شاخص سینوسی برای امتداد رودخانه رودخانه کلیبرچای حدود ۱ تا ۱/۳ است و نشان می‌دهد بیش از ۷۰ درصد رودخانه در گروه مئاندری قرار می‌گیرند. فرسایش و فرآیندهای رسوبی به علت مئاندری بودن رودخانه با سیل‌های بهاری و پاییزی منطقه رخ می‌دهد. تنوع در نوع مواد و اندازه باعث فرسایش و افتادن کناره که منجر به تغییرات در کانال‌ها و پیچش‌ها در شاخص سینوسی می‌شود. مطالعه شاخص سینوسی و شناسایی الگوی رودخانه‌ها باعث سهولت در برنامه‌ریزی می‌گردد.

واژگان کلیدی: مئاندر، شاخص سینوسی، کلیبرچای، پلان، GIS.

مقدمه

جریان رودخانه‌ها در طبیعت فوق‌العاده پیچیده است. رودخانه‌ها برای پوشش گیاهی طبیعی، حیوانات، موجودات زنده و جوامع انسانی سودمند هستند. رودخانه امکان آب آشامیدنی و آبیاری مزارع کشاورزی را فراهم می‌کند. رودخانه‌ها به‌عنوان کنده‌کار فعال زمین با فرسایش و رسوب مطرح هستند. برخی از اثرات منفی رودخانه‌ها مانند سیل، به‌عنوان یک فاجعه طبیعی تلقی می‌شود. چنین فجایع طبیعی زمانی به نمایش گذاشته می‌شود که رودخانه‌ها، توسط فعالیت‌های انسان ساخت با تغییر شکل و پلان قوسی آن‌ها تغییر می‌کنند. قسمت‌های مئاندری و پیچان‌رودی رودخانه‌ها در مقابل سیل آسیب‌پذیر هستند. بنابراین، مطالعات رودخانه، از نظر ویژگی‌های هیدرولیک، رسوب، نسبت پهنا به عمق، مورفولوژی و پلان قوسی آن بسیار مهم است. با توجه به نظر لئوپولد و ولمن (۱۹۵۷)، الگوی کانال رودخانه به‌عنوان یک نمای پلان، تمایل رودخانه به مئاندری، قیطانی و کانال‌های مستقیم هست. توی در سال ۱۹۸۷ توصیف کرد که علاوه بر تغییراتی که در مقطع کانال جریان و شیب رخ می‌دهد، الگوهای خاص پلان در مسیرها تغییر می‌کند. اغلب الگوی قیطانی و مئاندری در طبیعت قابل‌شناسایی است. بازه‌های مستقیم طولانی در مسیر جریان طبیعی رودخانه رایج نیست. همه این الگوها بازتابی از تخلیه آب، رسوب، شیب کانال و سطح مقطع است. به نظر شیوم (۱۹۷۲) افزایش در سینوسی رودخانه به‌طور کلی با افزایش شیب دره و

شیب کانال رخ می‌دهد. شیوم (۱۹۷۷) مشاهده کرد که، نسبت بار بستر به بار کل، یک تأثیر عمده‌ای بر ماهیت کانال آبرفتی دارد. تنوع در نوع مواد و اندازه باعث فرسایش و افتادن کناره که منجر به تغییرات در کانال‌ها و پیچش‌ها در شاخص سینوسی می‌شود (جگدیش و همکاران، ۲۰۱۶). کاوش‌های آبرفتی از کناره‌های مسئول اصلی فرسایش کانال و تغییرات در مکان‌های کانال هستند که یکی از علل گوناگونی در شاخص سینوسی کانال است (سپکال ۲۰۰۸، ۲۰۱۰، ۲۰۱۴). بر این اساس مواد بستر، ویژگی‌های شیب، مورفولوژی رودخانه، شکل و پلان قوسی، رودخانه‌ها به انواع مختلف تقسیم می‌شوند. به نظر روزگن (۱۹۹۴) ۷ دسته عمده نوع جریان وجود دارد که هر طبقه‌بندی با تأثیر مواد کانال از سنگ‌بستر، نسبت گل‌ولای به خاک رس در امتداد یک پیوستاران محدوده شیب مشخص می‌شود. گسترش کانال‌های مائندی وقتی رخ می‌دهد که کناره خارجی بیش‌ازپیش از کناره مخالف عقب‌نشینی کند. آبراهه‌های ناپایدار به تغییرات خارجی مانند بار رسوبی یا مقدار تخلیه رسوب واکنش نشان می‌دهد. رضایی مقدم و خوشدل (۱۳۸۸) در مطالعه‌ای بررسی پیچ‌وخم‌های اهر چای، علت اصلی تغییرات بستر طی دهه‌های اخیر را تعرض افراد بومی به حریم رودخانه بیان می‌کنند. به‌طور کلی رودخانه‌ها تحت تأثیر عوامل مختلفی مانند ویژگی‌های زمین‌شناسی، هیدرولوژیکی، ژئومورفولوژیکی، و نحوه بهره‌برداری از آن‌ها در معرض تغییر و تحول هستند (فاطمی عقدا و همکاران، ۱۳۸۰). تغییرات رودخانه‌ای به‌صورت فرسایش یا رسوب‌گذاری در بستر، تخریب دیواره‌ها تغییر راستای، جریان، تغییر و جابجایی مائندرها و تغییر در فرم رودخانه نمودار می‌شوند (فروغی و همکاران، ۱۳۸۰). مائندرها در دینامیک رودخانه و تغییرات دبی، سیل و ناپایداری بستر تأثیر دارند (یمانی و حسین زاده، ۱۳۸۳). مائندرها دارای حرکات عرضی و طولی هستند که این حرکت باعث ایجاد تغییرات در مسیر رودخانه و موجب فرسایش در کنار و در کف بستر رودخانه می‌شوند (رضائی مقدم و خوشدل، ۱۳۸۵). تغییرات مورفولوژیکی رودخانه آجی چای در بازه زمانی و مکانی مورد مطالعه بیشتر متأثر از عوامل طبیعی از قبیل کاهش قدرت جریان به علت کاهش میانگین سالانه دبی آب و رسوب، انباشت رسوب و لیتولوژی سست بوده است (رضائی مقدم و همکاران، ۱۳۹۲). به نظر عاشوری و همکاران، (۱۳۹۲)، با احداث

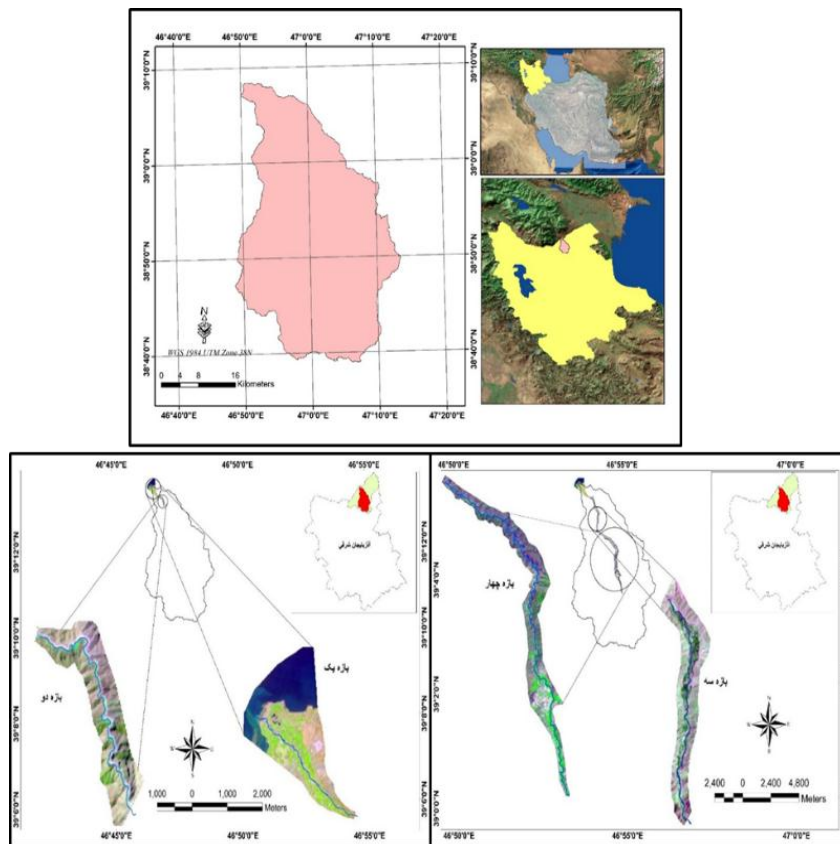
سد درروی رودخانه‌ها الگوهای شریانی به الگوی مئاندری تبدیل و الگوهای مئاندری از لحاظ کمی بیشتر و از لحاظ ابعاد کوچک‌تر می‌شوند. اکثر قطع‌شدگی‌ها و تغییرات مجرای اهر چای در دشت ازومدل ورزقان با وقوع سیل‌های بزرگ به وقوع پیوسته است. (خوشدل و همکاران، ۱۳۹۳: ۶۱). فرسایش کناری در رودخانه‌ها هر ساله خسارات زیادی را به زمین‌های کشاورزی، ساختمان‌ها، سازه‌های جاده‌ای کنار رودخانه‌ها، و پل‌ها وارد می‌کند و به‌علاوه باعث انتقال مقادیر قابل‌توجهی رسوب به مخازن سدها می‌شود (حبیبی و همکاران، ۱۳۸۲: ۲۲۷). دانشمندان زیادی در نقاط مختلف دنیا با توجه به هدفی که داشتند در زمینه‌ی تغییرات مورفولوژیکی رودخانه‌ای و عوامل تغییر کرانه‌های آن را مورد مطالعه قرار داده‌اند. به نظر خالقی و همکاران (۱۳۹۵) یکی از دلایل فرسایش دامنه‌های لیقوان و غلبه رسوب گذاری در دره لیقوان (تغییر پلان رودخانه)، افزایش بارش دهه‌های اخیر می‌باشد. رضایی مقدم و همکاران (۱۳۹۱) الگوی هندسی رودخانه قزل اوزن را با استفاده از تحلیل هندسه فراکتال مورد مطالعه قرار داده‌اند نتایج این تحقیق نشان داد که بازه اول (بازه شریانی) بیشترین میزان تغییرات در سال‌های مورد بررسی را داشته و بازه دوم (بازه کوهستانی) کمترین میزان تغییرات را داشته است و بازه سوم (بازه نیمه-کوهستانی) حالت بینابنی داشته است. پیتر (۱۹۷۴)، نالد (۱۹۹۷) جریان مئاندری رودخانه به جریان رودخانه مربوط نیست بلکه اندازه دبی جریان، رسوبات بستر، اندازه و نوع رسوبات، عمق، عرض، شدت جریان و کیفیت آب موجود در آن مؤثر هستند. کاوش‌های آبرفتی از کناره‌های مسئول اصلی فرسایش کانال و تغییرات در مکان‌های کانال هستند (سپکال ۲۰۰۸، ۲۰۱۰، ۲۰۱۴) که یکی از علل گوناگونی در شاخص سینوسی کانال است. بر اساس مواد بستر، ویژگی‌های شیب، مورفولوژی رودخانه، شکل و پلان قوسی؛ رودخانه‌ها به انواع مختلف تقسیم می‌شوند. به نظر روزگن (۱۹۹۴) نوع جریان در خندقی شدن، شیب، نسبت عرض به عمق و سینوسی در اراضی مختلف تأثیر دارد. شکل رودخانه‌ها در کیفیت فرسایش و تغییرات کناری تأثیر دارد. بستر رودخانه در منطقه شکل متنوعی دارد. رودخانه کلیبر در مسیر خود از پیچان‌های دره‌ای و دشتی می‌گذرد. در این شرایط باعث تخریب کناره‌ها (که عمدتاً زمین‌های کشاورزی است) می‌شود. وجود چنین مسائلی ضرورت مطالعه نحوه تغییر و

تحول رودخانه‌ها و جابجایی جانبی آن‌ها را توجیه می‌کند. بنابراین هدف این پژوهش شناسایی شکل رودخانه در منطقه است. با شناسایی شکل رودخانه می‌توان به برنامه‌ریزی جهت کنترل ریسک فرسایش کناری کمک کرد. برای این منظور از مدل TCI به‌وسیله GIS جهت بررسی و تحلیل شکل رودخانه استفاده گردید. در سال‌های اخیر در بین پژوهش‌های صورت گرفته گرایش زیادی به سمت استفاده از انواع فن‌های جدید به جهت حل مسائل و مشکلات انسانی وجود داشته است. سیستم اطلاعات جغرافیایی و علم سنجش‌ازدور از جمله این موارد هستند که می‌توانند برای تعیین وضعیت فرسایش کناره‌ای و تغییرات رودخانه کمک کنند. این فن‌ها می‌توانند بر کامپیوتر هستند که تحلیل‌ها را با نتایج قدرتمندی اجرا می‌کنند. مدل تحلیلی ارائه‌شده برای شبیه‌سازی تعدیل عرض در کانال‌های مئاندری از مواد غیر منسجم بانک ناشی از فرسایش از دو فرایند تعاملی است: فرسایش پایه و فروریختن کناره. این پژوهش برای محاسبه شاخص سینوسی رودخانه رودخانه کلیبرچای صورت گرفته است. رودخانه کلیبر در مسیر شمال جاری و پس از عبور از چهار بازه متفاوت به رود ارس می‌ریزد. منطقه سمت چپ و راست در بازه‌های ۲ و ۴ دامنه بسیار تند و در بازه‌های ۱ و ۳ کم شیب و هموار است. برخی از قسمت‌های بستر رودخانه دارای پیچ‌وخم زیاد است. شیب کانال، ناهمواری، اندازه مواد بستر رودخانه و فرآیندهای فرسایشی برای افزایش عرض کانال در برخی از نقاط منجر شده است و باعث تأثیر در فرم کانال و پلان شده است.

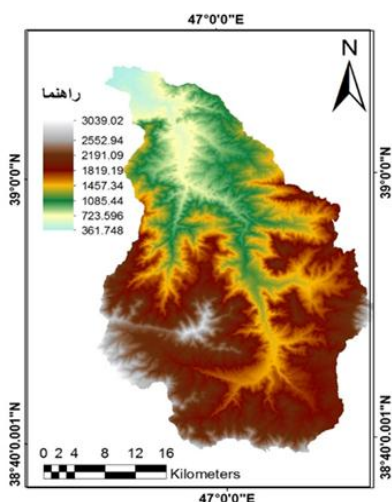
موقعیت منطقه مورد مطالعه

رودخانه کلیبرچای رودخانه اصلی حوضه رودخانه کلیبرچای و از زیر حوضه‌های رودخانه ارس است. رودخانه کلیبرچای یکی از رودخانه‌های دائمی در استان آذربایجان شرقی است. این حوضه در بین طول‌های جغرافیایی $39^{\circ}48'$ تا $39^{\circ}13'$ و عرض‌های جغرافیایی 39° تا $38^{\circ}08'$ قرار گرفته است (شکل شماره ۱). رودخانه کلیبرچای و شعبات آن از ارتفاعات قره داغ سرچشمه می‌گیرند. این رودخانه پس از عبور از شهر کلیبر در جهت

شمالی حرکت و به رودخانه ارس می‌ریزد. طول رودخانه کلبیچای ۷۰ کیلومتر و سطح حوضه آبریز آن حدود ۱۲۵۰ کیلومترمربع است.



شکل شماره ۱: موقعیت منطقه مورد مطالعه و بازه‌های چهارگانه



شکل شماره ۳: DEM: منطقه مورد مطالعه



شکل شماره ۲: TIN: منطقه مورد مطالعه

مواد و روش‌ها

برای انجام این پژوهش از تصاویر Google earth و DEM ده متری منطقه استفاده شد. تصویر محدوده مورد مطالعه با تفکیک نیم متری به وسیله نرم افزار Sad planet دانلود گردید. تصاویر گوگل ارث و DEM برای مشاهده از الگوهای کانال و محاسبه شاخص سینوسیته استفاده شد. جهت سهولت در مطالعه رودخانه کلیبر به طول ۷۰ کیلومتر به چهار بازه ۱، ۲، ۳ و ۴ تقسیم گردید (شکل شماره ۱). در بازه بندی رودخانه شرایط توپوگرافیک در نظر گرفته شد. بازه‌های ۱ و ۳ شرایط توپوگرافی دشتی و بازه‌های ۲ و ۴ توپوگرافی کوهستانی دارد. با توجه به طول رودخانه، بازه یک به ۸ بخش، بازه دو به ۱۰ بخش، بازه سه به ۸ بخش و بازه ۴ به ۱۵ بخش مساوی تقسیم گردید. تجزیه و تحلیل، اندازه‌گیری طول کانال، طول حوضه با استفاده از نرم افزار Arc GIS طبق فرمول $TSI = \frac{CL}{AL}$ محاسبه گردید. در فرمول ذکر شده TCI شاخص سینوسی توپوگرافیک، CL طول کانال رودخانه و AL طول هوایی ابتدای و انتهای کانال است. که در آن TSI شاخص سینوسیته توپوگرافیک، CL

طول کانال رودخانه و AL طول هوایی شروع و انتهای کانال است. این بدان معناست که شاخص سینوسیته را می‌توان به‌عنوان نسبت طول کانال به طول محور دره (برایس^۱، ۱۹۶۴) محاسبه کرد. لئوپولد^۲ و ولمن^۳ (۱۳۵۷) سینوسیته رودخانه را از نسبت طول رودخانه در خط القعر دره به طول محور ابتدا و انتهای رودخانه می‌داند. داده‌های ویژگی رودخانه با استفاده از تصاویر سنجش‌ازدور و مدل رقومی ارتفاعی تولید شد. شاخص سینوسیته نسبت طول کانال به طول محور پریپیچ‌وخم کمربند است. با توجه به نظر برایس پلان رودخانه‌های به سه دسته تقسیم می‌شوند. الف) شاخص سینوسیته زیر ۱ الگوی مستقیم ب) شاخص بین ۱/۰۵ تا ۱/۳ پیچان‌رود ج) شاخص ۱/۳ و یا بالاتر ب به‌عنوان مئاندر.

یافته‌ها و بحث

تنوع ناهمواری باعث تنوع پلان رودخانه‌ها می‌گردد. تنوع پلان رودخانه باعث اختلاف فرسایش در انواع شکل و پلان رودخانه می‌شود. رودخانه در پلان‌های سینوسی قدرت فرسایش بیشتری دارند. مخصوصاً در قسمت مقعر پلان‌های سینوسی که با کناره‌ها تماس پیدا می‌کنند مواد را از بستر جدا و با خود با عنوان رسوب حمل می‌کنند. اندازه و نوع مواد بستر و کناره‌ها در فرسایش و رسوب در کانال رودخانه‌ها موثر است. طول دوره‌های خشک و مرطوب در فرسایش کناری رودخانه سهم به‌سزایی دارند. شناسایی اشکال رودخانه‌ها در برنامه‌ریزی و نگهداری مناطق اطراف رودخانه و مراقبت از بستر آن‌ها، ما را یاری می‌نماید. برای تجزیه و تحلیل با فرمول TCI پلان سینوسی رودخانه محاسبه گردید. در جدول ارزش تحلیل سینوسیته رودخانه (جدول شماره ۲) محاسبه و اعداد و ارقام جهت تحلیل آماده گردید.

¹ . Brice

² . Leopold

³ . Wolman

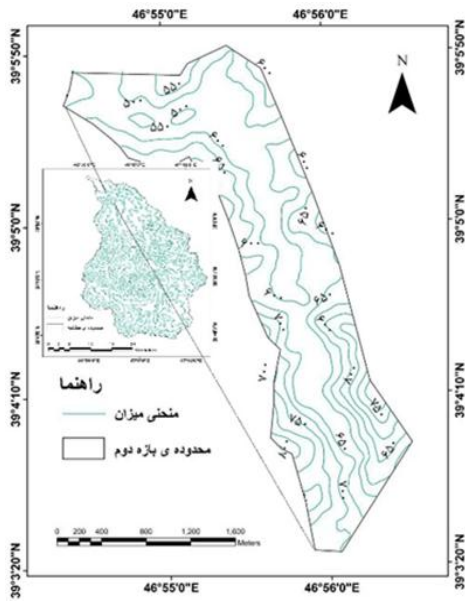
جدول شماره ۱: جمع بندی نتایج سینوسیته بازه‌ها

معیار الگوها بازه	کمتر از ۱	بین ۱ تا ۱.۳	۱.۳ به بالا
بازه یک	۰	۸	۰
بازه ۲	۰	۴	۶
بازه ۳	۰	۸	۰
بازه ۴	۰	۵	۱۰
درصد	۰	۷۰ درصد	۳۰ درصد

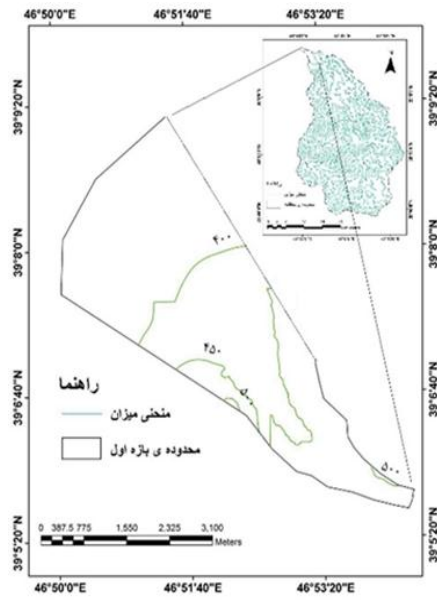
جدول شماره ۲: ارزش تجزیه و تحلیل سینوسیته از طول رودخانه برای بخش‌های بازه‌های رودخانه کلیبر چای

بازه ۲				بازه ۱			
سینوسیته	طول مستقیم ابتدا و انتها، به متر	طول رودخانه به متر	بخش	سینوسیته	طول مستقیم ابتدا و انتها، به متر	طول رودخانه به متر	بخش
۱/۰۷	۶۷۹	۷۲۳/۷	بخش ۱	۱/۲۴	۸۳۳/۷	۱۰۳۷/۶	بخش ۱
۱/۲۶	۵۷۴	۷۲۳/۷	بخش ۲	۱/۲۶	۸۲۳/۸	۱۰۳۷/۶	بخش ۲
۱/۸۴	۳۹۳/۶	۷۲۳/۷	بخش ۳	۱/۱۳	۹۱۶	۱۰۳۷/۶	بخش ۳
۱/۳۸	۵۲۴/۳	۷۲۳/۷	بخش ۴	۱/۰۷	۹۴۱	۱۰۳۷/۶	بخش ۴
۱/۳۵	۵۳۵	۷۲۳/۷	بخش ۵	۱/۰۸	۹۵۸/۵	۱۰۳۷/۶	بخش ۵
۱/۵۳	۴۷۳	۷۲۳/۷	بخش ۶	۱/۰۵	۹۸۹	۱۰۳۷/۶	بخش ۶
۱/۲۸	۵۶۶/۷	۷۲۳/۷	بخش ۷	۱/۰۵	۹۹۲	۱۰۳۷/۶	بخش ۷
۱/۶۹	۴۲۸/۴	۷۲۳/۷	بخش ۸	۱/۰۷	۹۷۲	۱۰۳۷/۶	بخش ۸
۱/۱۸	۶۱۴/۴	۷۲۳/۷	بخش ۹				
۱/۱۵	۶۳۱/۸	۷۲۳/۷	بخش ۱۰				
بازه ۴				بازه ۳			
سینوسیته	طول مستقیم ابتدا و انتها،	طول رودخانه به متر	بخش	سینوسیته	طول مستقیم ابتدا و انتها،	طول رودخانه به متر	بخش

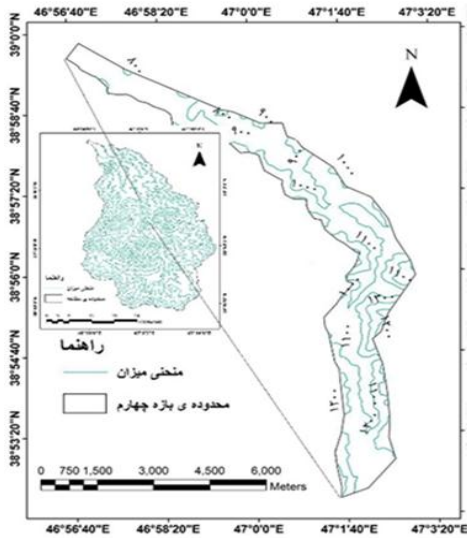
	به متر				به متر		
۱/۱۵	۱۴۶۰	۱۶۸۳	بخش ۱	۱/۱۷	۵۹۶	۱۱۰۶/۵	بخش ۱
۱/۲۶	۱۳۳۲	۱۶۸۳	بخش ۲	۱/۱۱	۹۹۸/۳	۱۱۰۶/۵	بخش ۲
۱/۴۸	۱۱۳۵/۵	۱۶۸۳	بخش ۳	۱/۱۲	۹۸۷/۶	۱۱۰۶/۵	بخش ۳
۱/۳۶	۱۲۳۶	۱۶۸۳	بخش ۴	۱/۱	۱۰۰۶/۵	۱۱۰۶/۵	بخش ۴
۱/۷۲	۹۷۸/۳	۱۶۸۳	بخش ۵	۱/۲۴	۸۹۶/۷	۱۱۰۶/۵	بخش ۵
۱/۹	۸۸۳/۳	۱۶۸۳	بخش ۶	۱/۱	۱۰۰۲	۱۱۰۶/۵	بخش ۶
۲/۰۵	۹۱۷/۵	۱۶۸۳	بخش ۷	۱/۱۲	۸۹۴	۱۱۰۶/۵	بخش ۷
۱/۵	۱۱۱۵/۲	۱۶۸۳	بخش ۸	۱/۱۸	۹۴۱	۱۱۰۶/۵	بخش ۸
۲/۱۲	۷۹۲/۳	۱۶۸۳	بخش ۹				
۱/۶۵	۱۰۲۰/۵	۱۶۸۳	بخش ۱۰				
۱/۴۳	۱۱۸۰/۸	۱۶۸۳	بخش ۱۱				
۱/۳۳	۱۲۶۷/۵	۱۶۸۳	بخش ۱۲				
۱/۲۶	۱۳۳۷	۱۶۸۳	بخش ۱۳				
۱/۴۱	۱۱۹۷	۱۶۸۳	بخش ۱۴				
۱/۲	۱۳۹۷/۸	۱۶۸۳	بخش ۱۵				



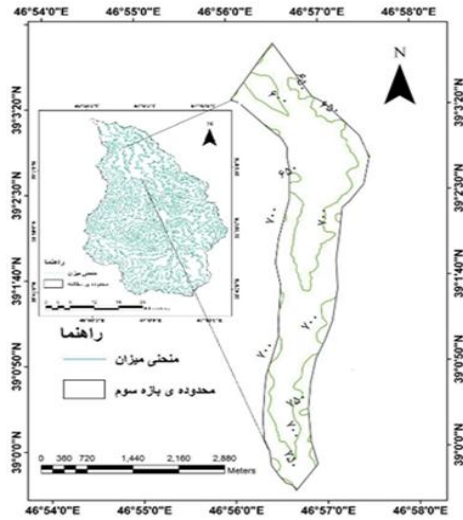
نقشه شماره ۵: نقشه توپوگرافی منطقه در بازه دو



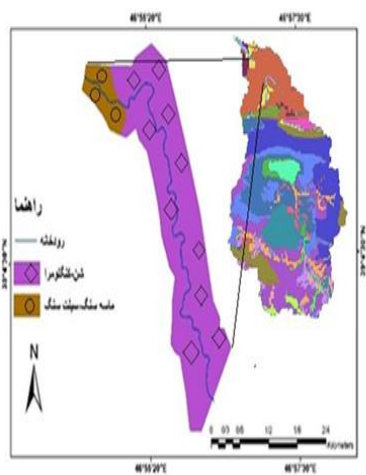
نقشه شماره ۴: نقشه توپوگرافی منطقه در بازه یک



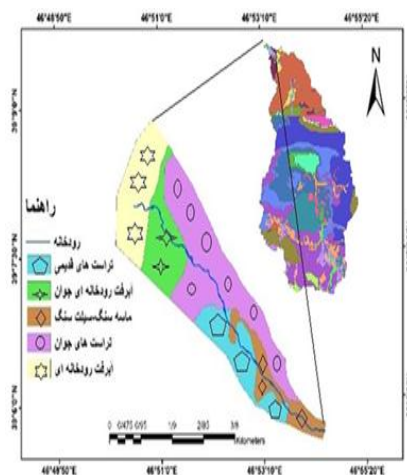
شکل شماره ۷: نقشه توپوگرافی منطقه بازه چهار



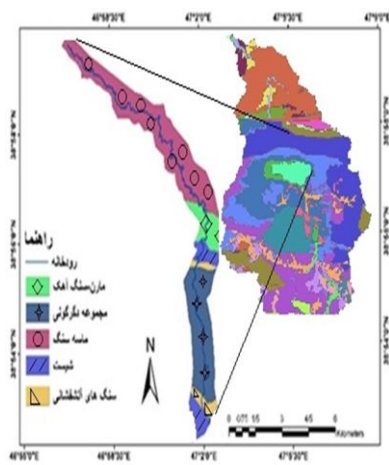
شکل شماره ۶: نقشه توپوگرافی منطقه بازه سه



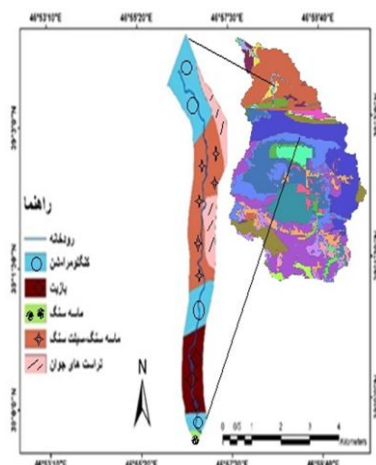
نقشه شماره ۹: نقشه لیتولوژی منطقه در بازه دو



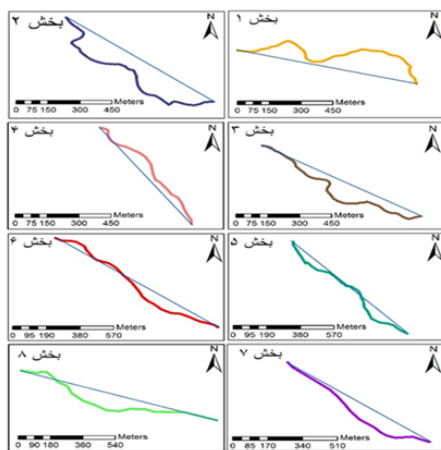
نقشه شماره ۸: نقشه لیتولوژی منطقه در بازه یک



شکل شماره ۱۱: نقشه لیتولوژی بازه چهار

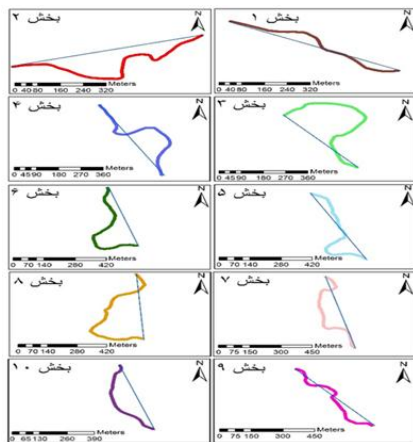


شکل شماره ۱۰: نقشه لیتولوژی منطقه بازه سه



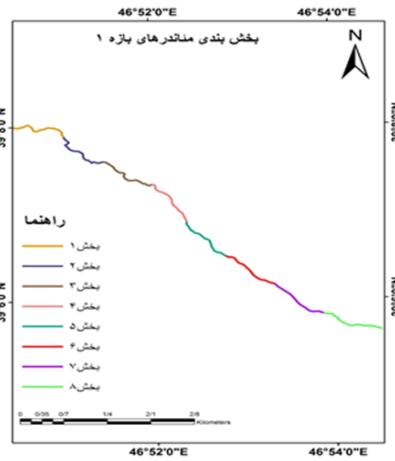
شکل شماره ۱۳: شماتیک محاسبه منادریهای رودخانه در

بازه ۱



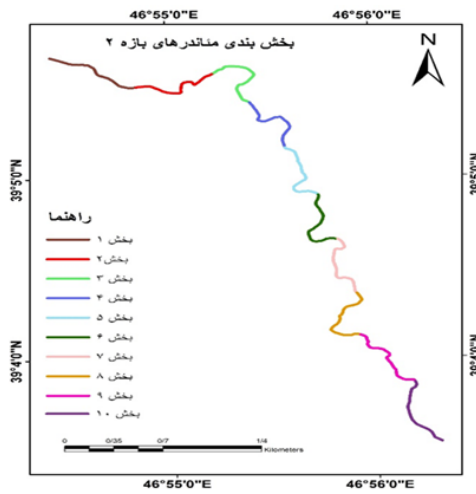
شکل شماره ۱۳: شماتیک محاسبه منادریهای رودخانه در

بازه ۲



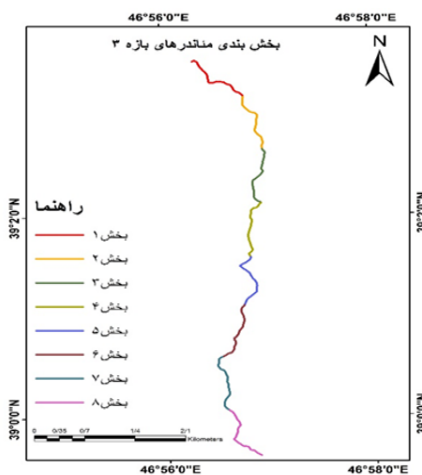
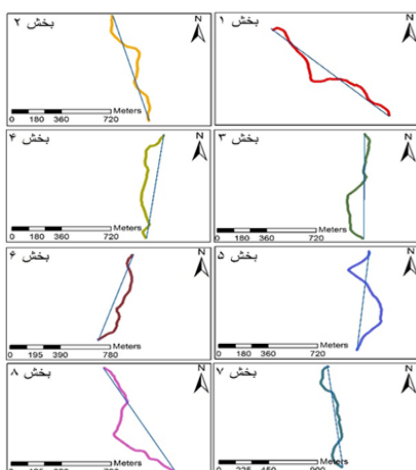
شکل شماره ۱۲: بخش بندی منادریهای رودخانه در

بازه ۱



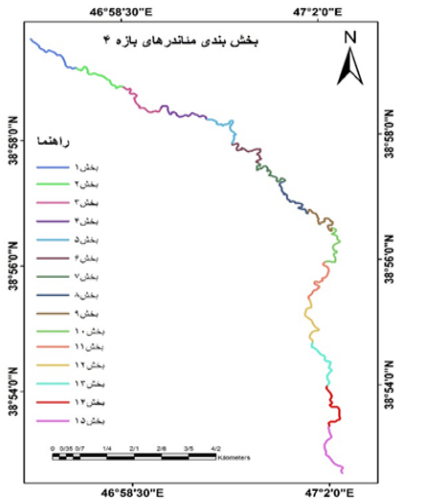
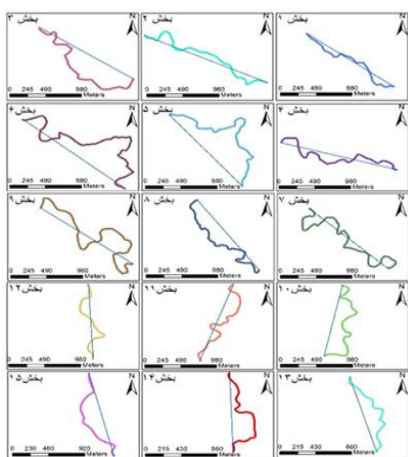
شکل شماره ۱۲: بخش بندی منادریهای رودخانه در

بازه ۲



شکل شماره ۱۷: شماتیک محاسبه منادریهای رودخانه در بازه ۳

شکل شماره ۱۶: بخش بندی منادریهای رودخانه در بازه ۳



شکل شماره ۱۸: شماتیک محاسبه منادریهای رودخانه در بازه ۴

شکل شماره ۱۹: بخش بندی منادریهای رودخانه در بازه ۴

تحلیل‌های آماری صورت گرفته بر روی بخش‌ها، از نظر شکل پلان رودخانه، در جدول ۱، ۲، ۳ و نقشه شکل‌های ۴، ۵، ۶، ۷، ۸، ۹، ۱۰، ۱۱، ۱۲، ۱۳، ۱۴، ۱۵، ۱۶، ۱۷، ۱۸ و ۱۹ است. طبق اطلاعات جدول و شکل‌های رودخانه کلیبر بازه‌ها، از لحاظ پلان قوسی شکل متفاوتی دارند. این شرایط از اختلاف لیتولوژی، شکل بستر، میزان دبی، رسوب، نیمرخ عرضی بستر و شیب رودخانه ناشی می‌شود. با توجه به جدول شماره ۳ در بازه یک ۸ مورد، بازه دو ۴ مورد، در بازه سه ۸ مورد و در بازه چهارم ۵ مورد در بین سینوسی ۱ تا ۱/۳ قرار گرفته است. نشان می‌دهد رودخانه در کل حالت پیچان‌رود دارد. البته حالت پیچان‌رودی بازه‌های یک و سه بیشتر از دو و چهار است. در واقع تمام نمونه‌های بازه یک و سه در الگوی پیچان‌رود قرار می‌گیرند. بازه‌های دو و چهار بیشترین درصدشان در الگوی مئاندری قرار می‌گیرند. ۲۵ مورد از کل رودخانه در پیچان‌رودی قرار گرفته است. ۱۶ نمونه از کل رودخانه در گروه مئاندری قرار دارد (شکل ۵). به بیشترین شاخص سینوسی ۱ تا ۱/۳ قرار می‌گیرد. پیش‌رودخانه در بازه دو و چهار بیشتر از بازه یک و سه رودخانه است. مسیر عبور رودخانه در بازه یک و سه آبرفتی است. شیب آن در این بازه‌ها به ترتیب ۰/۸ در صد و ۰/۹ درصد است. مسیر بازه‌های دو و چهار کوهستانی و شیب آن به ترتیب ۱/۴ درصد و ۱/۳ درصد است. دلیل آن عبور رودخانه از منطقه کوهستانی است. بیشتر مواد رسوبی در بازه‌های چهارگانه به طرف پایین دست نقل مکان می‌کند و باعث تغییرات کناری و کف بستر منجر می‌شود. (شکل ۸). در بازه سه و چهار رودخانه بار زیادی از سنگریزه، شن، شن و ماسه، به عنوان بار بستر حمل می‌کند. هم‌زمانی در فرسایش و رسوب باعث افزایش جابجایی کانال و سینوسی آن می‌گردد (شکل ۱۴). قسمت‌هایی از کانال رودخانه که مستقیم هستند نشانه‌هایی از فرسایش عمقی دیده می‌شود و سرعت رودخانه بیشتر در این بخش دیده می‌شود (شکل ۶). به طور کلی بستر بسیاری از رودخانه‌ها به وسیله تجربه‌های خشن مانند سیل و مهاجرت کانال به صورت گسترده تخریب می‌شوند. توسعه کانال‌های غیرمستقیم به عنوان یک نتیجه، از عقب‌نشینی کناری رخ می‌دهد (نانون^۱، ۱۹۸۳، پیزوتو^۲، ۱۹۹۴،

^۱ . Nanson

^۲ . Pizzuto

اسک^۱، ۱۹۹۸). تخریب کانال از نظر فرسایش محل با توجه به انرژی رودخانه و نیروهای فرسایشی صورت می‌گیرد و توزیع اندازه دانه و نوع مواد کناری در تخریب بستر تأثیر دارد (شکل ۸). تخریب کناری و حمل مواد بستر به وسیله انسجام و عدم انسجام مواد بستر و کناره‌ها کنترل می‌شود (اسک، ۱۹۹۸). افزایش فرسایش‌پذیری بستر ممکن است به دلیل فرآیند هوازدگی، تورم و انقباض خاک و اثرات رطوبت و خشکی در طول دوره فرسایش باشد (پیزوتو^۲ ۱۳۹۴). با توجه به تحقیق استولوم، الگوی پیچ‌وخم رودخانه‌ها با پلان قوسی رودخانه مکرر با خودتنظیمی تغییر می‌یابد. این نشان می‌دهد که بلندترین سطح فرایندها به وسیله خود سازمان از فرایندهای فیزیکی فرسایش و رسوب در سیستم شکل می‌گیرند (استولوم^۳، ۱۹۹۸). چنین فرآیندهای عملیاتی و مشکلات نیز در بستر رودخانه کلیبر رخ می‌دهد شاخص سینوسی در بازه‌های دو و چهار رودخانه زیاد است. شاخص سینوسی کمتر از یک در هیچ‌کدام از بازه‌ها نیست. به نظر نالدی برخی از ساختار رودخانه شدت جریان در مجراهای مئاندری را نشان می‌دهد. نابرابری‌های پلان رودخانه نشان از تفاوت دبی، اندازه جریان و اشکال جریان در مجراها است. حمل مقدار زیاد رسوب معلق با درجه شکل سینوسی رودخانه ارتباط دارد و تخلیه رسوب به کم بودن عمق رودخانه مربوط می‌شود. بار رسوبی و توزیع اندازه ذرات در شکل کانال موثر است. به‌طور کلی الگوی کانال رودخانه تقریباً محدب، مئاندری و قیطانی در نظر گرفته می‌شود. این موضوع نشان می‌دهد که در طبیعت به‌هیچ‌عنوان رودخانه‌ای به صورت خط مستقیم وجود ندارد. بازه‌های دو و چهار رودخانه کلیبر مقداری آبرفت درروی سنگ‌بستر (رسوبی و آتش‌فشانی) (شکل ۵) و در بازه‌های یک و سه درروی آبرفت (شکل ۶) است. ناهمگنی اندازه مواد بستر باعث فرسایش و رسوب در بستر رودخانه کلیبر می‌شود. اندازه بزرگ پرپیچ و مئاندر به علت فرسایش و فرآیندهای رسوبی با سیل‌های بهاری و پاییزی منطقه رخ دهد.

¹ . ASCE

² . Pizzuto

³ . Stolum



شکل ۲۱: فرسایش عمقی و کناری در رودخانه‌های مستقیم

شکل ۲۰: نمونه‌ای از مآندرهای رودخانه منطقه



شکل ۲۳: توزیع اندازه دانه و نوع مواد در بستر رودخانه

شکل ۲۲: هم‌زمانی در فرسایش و رسوب باعث جابه‌جایی و افزایش سینوسی می‌شود.

نتیجه‌گیری

رودخانه به لحاظ پویایی در صدد رسیدن به یک تعادل پایدار است. در حالت تعادل معمولاً فرسایش در یک بازه در بالادست رودخانه تقریباً با میزان رسوب‌گذاری در بازه

دیگری در پایین دست برابری می‌کند. حتی اگر به رودخانه‌هایی که ظاهراً پایدار به نظر می‌رسند نیز دقت گردد تغییرات مسیر رودخانه در دوره زمانی بلندمدت قابل مشاهده خواهد بود. اگر دخالت‌ها و فعالیت‌های انسانی این تعادل را بر هم زند باعث افزایش نرخ فرسایش در رودخانه خواهد شد و منافع سایر انسان‌ها و حیات جانوری رودخانه را به مخاطره خواهد انداخت. رودخانه قادر به تخریب اراضی ارزشمند کشاورزی، جاده‌ها و سایر سازه‌های احداث شده در حاشیه آن خواهد بود. دیواره و کرانه تمامی رودخانه‌ها درجه‌ای از فرسایش‌پذیری را دارا هستند. چون فرسایش امری کاملاً طبیعی است. این عقیده که بتوان فرسایش کناری را به‌طور کامل مهار نمود تا حدودی غیرواقع بینانه است. سیلاب‌های بزرگ با دبی‌های بالا قادر به تغییر خط کرانه رودخانه هستند. لذا در مدیریت سواحل رودخانه بحث بر سر عدم وقوع فرسایش نیست بلکه آنچه اهمیت دارد شناخت میزان، شدت و محل‌های فرسایش است. بنابراین درک رفتار رودخانه در برابر تغییرات هیدرولیکی، هیدرولوژیکی و نیز تغییراتی که در بالادست و در سطح حوزه آبخیز رودخانه روی می‌دهند ضروری است. جابه‌جایی قوس بستر از خصوصیت‌های بارز مجاری مئاندری است. این جابه‌جایی به دلیل تخریب و انتقال مواد از کناره‌های کاو و برجای گذاشتن آن‌ها در کناره‌های کوژ است. در نتیجه‌ی این سازوکار، کناره‌های کاو در مئاندرها معمولاً به شکل قائم‌درمی‌آیند و کناره‌های کوژ هم به‌صورت دشت سیلابی در داخل بستر توسعه می‌یابند (هیکن^۱، ۱۹۷۴: ۴۳۲ و گریگوری^۲، ۱۹۷۷). برای این منظور ۴۱ مورد از قسمت‌های رودخانه با شاخص سینوسی محاسبه شد. در بازه یک، ۸، بازه دو ۴، در بازه سه ۸ و در بازه چهارم ۵ مورد در بین سینوسی ۱ تا ۱/۳ قرار گرفته است. طبق اهدافی که در پژوهش مدنظر بود ۲۵ مورد از کل رودخانه در پیچان‌رودی قرار گرفته است. این اعداد نشان می‌دهد رودخانه در کل حالت پیچان‌رود دارد. البته حالت پیچان‌رود در بازه‌های یک و سه بیشتر از بازه‌های دو و چهار است. در واقع تمام نمونه‌های بازه یک و سه در الگوی پیچان‌رود قرار می‌گیرند. عمل مئاندری شدن باعث افزایش طول آبراهه و در نتیجه استهلاک انرژی جریان در مسیری طولانی‌تر می‌گردد. قوس‌های ایجاد شده در یک پیچ

^۱ .Hickin

^۲ .Gregory

رودخانه ممکن است به قدری تند گردد که قوس قبلی را قطع کرده و باعث ایجاد مناطق حائل کوچکی در بین قوس قدیم و جدید گردد که با وقوع سیلاب بعدی این منطقه به زیرآب رفته و یا شسته شود و نهایتاً مسیری جدیدتر و مستقیم تشکیل گردد. قسمت‌های محاسبه شده بازه‌های دو و چهاردر الگوی مئاندری قرار می‌گیرند. یعنی سینوسیته آن‌ها بیشتر از $1/3$ است. ۱۶ نمونه از کل رودخانه در گروه مئاندری قرار دارد. پیچش رودخانه در بازه دو و چهار بیشتر از بازه یک و سه می‌امتداد رودخانه است. پیچان بودن رودخانه باعث افزایش فرسایش در کناره‌ها و بستر رودخانه شده است. مسیر عبور رودخانه در بازه یک و سه آبرفتی است و شیب آن در این بازه‌ها به ترتیب $0/8$ در صد و $0/9$ درصد است. مسیر بازه‌های دو و چهار کوهستانی و شیب آن به ترتیب $1/4$ درصد و $1/3$ درصد است و دلیل تفاوت شیب عبور رودخانه از مسیرهای توپوگرافی مختلف است. این مقدار شیب هم در بالا رفتن میزان فرسایش کناره‌ها و بستر رودخانه کمک می‌کند. شرایط و شکل دیواره جزء کوچکی از مشکل فرسایش و تخریب است. عوامل مختلف دیگری ممکن است بحث پایداری و استحکام دیواره‌ها را تحت تأثیر قرار دهند. هرگونه تغییری در کاربری اراضی بالادست که منجر به تغییر شرایط جریان و افزایش سرعت جریان ورودی و لزوماً افزایش انرژی جریان در رودخانه گردد باعث فرسایش دیواره‌هایی خواهند شد که در شرایط قبلی جریان پایدار بوده‌اند. از عوامل بسیار موثر در بحث فرسایش کناری، مسئله پوشش گیاهی حاشیه رودخانه است به طوری که تخمین زده می‌شود که گیاهان قادرند مقاومت برشی دیواره‌ها را تا هزاران برابر افزایش دهند. درخت بید به لحاظ شرایط بیولوژیکی و سرعت رشد از متداول‌ترین گیاهان در بحث حفاظت کرانه‌ها است.

منابع:

- خالقی، سمیه، روستایی، شهرام، خورشیددوست، علی محمد، رضایی مقدم محمدحسین، قربانی محمدعلی، (۱۳۹۵)، قابلیت اتومای سلولی در شبیه‌سازی میزان تحول و فرسایش در سیستم رودخانه‌ای (مطالعه موردی: حوضه آبریز ليقوان)، *نشریه جغرافیا و برنامه‌ریزی*، دوره ۲۰، شماره ۵۸، زمستان ۱۳۹۵، صفحه ۱۳۸-۱۱۹.
- خوشدل، کاظم، رضائی مقدم، محمدحسین، بهبودی، عبدالله، (۱۳۹۳)، مورفومتری مائندره‌های اهر چای در دشت ازومدل ورزقان و پیامدهای ژئومورفولوژیکی طغیان و سرریز شدن آب، *فضای جغرافیایی*، سال چهاردهم، شماره ۵۴، بهار ۹۳، صفحات، ۶۱-۴۷.
- رضایی مقدم، محمدحسین، ثروتی، محمدرضا، اصغری سراسکانرود، صیاد، (۱۳۹۱)، بررسی تغییرات الگوی هندسی رودخانه قزل اوزن با استفاده از تحلیل هندسه فراکتال، *نشریه جغرافیا و برنامه‌ریزی*، دوره ۱۶، شماره ۴۰، تابستان ۱۳۹۱، صفحه ۱۳۹-۱۱۹.
- رضائی مقدم، محمدحسین، خوشدل، کاظم (۱۳۸۸)، بررسی پیچ‌وخم‌های مائندر اهر چای در محدوده ازومدل ورزقان، جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، شماره ۳۳، صص. ۱۰۱-۱۱۲.
- رضائی مقدم، محمدحسین، محمدی فر، عادل، ولی زاده کامران، خلیل، (۱۳۹۲)، بررسی کمی پیچان‌رودهای رودخانه آجی چای در محدوده خواجه تا ونیار، *نشریه جغرافیا و برنامه‌ریزی*، سال ۱۷، شماره ۴۴، صص ۱۷۸-۱۶۱.
- سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح، نقشه‌های توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ منطقه.
- عاشوری، محمد، رضایی مقدم، محمدحسین، پیری، زهرا، (۱۳۹۲)، بررسی تغییرات بستر رودخانه پیش و پس از احداث سد با استفاده از HEC RAS و GIS (مطالعه موردی پایین‌دست سد ستارخان اهر)، *پژوهش‌های جغرافیای طبیعی*، سال ۴۵، شماره ۱، بهار ۹۲، صص ۸۷-۱۰۰.
- فاطمی عقدا، سید محمود. فرج اله فیاضی، داریوش علی پور، (۱۳۸۰)، بررسی زمین‌شناسی مهندسی از رودخانه کرخه (روستای عبدالخان تا الهایی)، *نشریه علوم دانشگاه تربیت‌معلم*، جلد ۱، شماره ۳ و ۴ پاییز و زمستان ۱۳۸۰.

-یمانی، مجتبی، حسین زاده، مهدی، (۱۳۸۳)، بررسی الگوی پیچان رودی رودخانه تالار با استفاده از شاخص‌های ضریب خمیدگی و زاویه مرکزی، *فصلنامه تحقیقات جغرافیایی*، شماره ۷۳، تابستان ۸۳، صص ۱۴۴-۱۵۴.

- Brice, J. C., (1964); Channel Patterns and Terraces of the Loup Rivers in Nebraska; Physiographic and Hydraulic Studies of Rivers; Geological Survey Professional Paper 422-D, 1964.
- Gregory, K. J & Hoque, N., 1977, **River Channel Changes**, John Wiley & Sons, New York .
- Hickin, E. J., 1974, The Development of Meanders in Natural River Channels, *American Journal of Science*, Vol. 247, No. 4, PP. 414-442.
- Leopold, L. B., and Wolman, M. G., (1957); River channel patterns braided, meandering, and straight: U.S. Geol. Survey Prof. Paper 282-B, 85, 1957.
- Leopold, L.B., Wolman, M.G., Miller, J.P., **Fluvial Processes in Geomorphology**, Freeman, San Francisco, 522 pp., 1964.
- Nanson, G. C., and Hickin, E. J., "Channel migration and incision on the Beatton River." *J. Hydr. Engrg.*, ASCE, 109, pp 327-337, 1983.
- Rosgen, D.L., A classification of natural rivers. *Catena*, 22(3), pp.169-199. 1994.
- Sapkale, J.B., Brick kilns of Umbraj and its impact on the lower reaches of river Taralil; *International Journal of Environment and Development*, vol. 7, No.1, pp 23-33, 2010.
- Sapkale, J.B., Human Interferences and Variations in Sinuosity Index of Tarali Channel, Maharashtra, India, Paripex, *Indian Journal of Research*, Vol. 3, Issue 5, pp 36-37, 2014.
- Schumm, S. A., Geologic implications of river pattern variability (abs.): American Association, *Petroleum Geologists Bull.*, Vol. 56, no. 3, p. 652, 1972.
- Schumm, S., The Fluvial System. Wiley, New York, 338 pp., 1977.
- Toy, T.J. and Hadley R.F; **Geomorphology and reclamation of disturbed lands**, Academic Press Inc. London; Pg. 120-121., 1987.