

تأثیر تغییرات کاربری اراضی بر دینامیک رودخانه کلیبرچای (مسیر پیغام تا روستای کیارق)

صیاد اصغری سراسکانرود*؛ پیام فتح اله اتی کندی^۱

۱- گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

(پژوهشی)

پذیرش مقاله: ۱۴۰۱/۱/۲۸ تأیید نهایی مقاله: ۱۴۰۱/۱۰/۱۷

چکیده

رودخانه‌ها پدیده‌هایی فعال هستند که دائماً بستر و کناره‌های خود را دستخوش تغییر قرار می‌دهند. رودخانه کلیبرچای از مهم‌ترین رودخانه در منطقه ارسباران است که زهکش اصلی حوزه کلیبرچای به رودخانه دائمی ارس هست. این مطالعه با هدف تعیین کمی تغییرات کاربری اراضی بر روی دینامیک رودخانه در امتداد رودخانه کلیبرچای در آذربایجان شرقی، برای یک دوره ۲۰ سال (۲۰۰۰-۲۰۲۰) انجام شده است. مورفولوژی و بررسی کانال رودخانه کلیبرچای برای سال‌های ۲۰۰۰ و ۲۰۱۰ و ۲۰۲۰ با استفاده از تصاویر ماهواره لندست، مورد ارزیابی قرار گرفته است. از شاخص‌های تفاضل آب نرمال شده و شاخص اصلاحی تفاضل آب نرمال شده و نیز جهت آشکارسازی و تعیین نوع کاربری‌ها، از طریق روش طبقه‌بندی نظارت‌شده استفاده شده است. از تصاویر ماهواره Google Earth، برای ارزیابی نتایج شاخص‌های مورد استفاده، بهره گرفته شد. تغییرات دینامیک جانبی مجرای رودخانه کلیبرچای در طول ۲۰ سال گذشته با استفاده از روش ترانسکت و ضریب خمیدگی و نرخ مهاجرت مجرا و مورد بررسی قرار گرفت. طی بازه زمانی ۲۰ سال، علی‌رغم ایجاد میانبرها و مهاجرت جانبی، میانگین مقادیر سینوزیته و شعاع انحنای مجرای رودخانه کلیبرچای تغییرات چشمگیری نداشته است. روند بازه‌ها بیشتر از الگوی مئاندری پیروی می‌کنند و تنها ترانسکت شماره ۷ از الگوی مئاندری به الگوی سینوسی تغییر حالت داده است. این امر نشان می‌دهد که رودخانه در تعادل دینامیک می‌باشد و در ۲۰ سال گذشته تغییرات زیادی را تجربه نکرده است. در تحلیل کاربری اراضی هر چه از سال ۱۳۷۹ به سمت سال ۱۳۹۹ حرکت نماییم بر میزان اراضی مراتع افزوده شده و از میزان اراضی بایر و بیرون‌زدگی سنگی کاسته شده است. همچنین در بازه زمانی ۲۰ ساله به مقدار جنگل و اراضی جنگلی منطقه مطالعاتی افزوده شده است که با توجه به خالی شدن برخی از روستاها به خاطر مهاجرت و خالی شدن سکنه در روستاها و غیرقابل دسترس بودن مناطق جنگلی قابل قبول به نظر می‌رسد.

واژه‌های کلیدی: تغییرات کاربری اراضی، دینامیک رودخانه، رودخانه کلیبرچای، روش ترانسکت، طبقه‌بندی نظارت‌شده.

مقدمه

رودخانه‌ها دائماً در حال تغییر و تحول هستند و نه تنها در سیمای کلی زمین نقش دارند، بلکه شکل زیستن انسان در کره زمین را نیز تعیین می‌نمایند (خسروی و همکاران، ۱۳۹۳). رودخانه به عنوان سیستمی پویا، مکان و خصوصیات مورفولوژیکی خود را همواره برحسب زمان، عوامل ژئومورفیک، زمین‌شناختی، هیدرولوژیکی و گاه در اثر دخالت بشر تغییر می‌دهد. رودخانه و فرآیندهای رودخانه-ای به عنوان مهم‌ترین سیستم‌های ژئومورفیک در سطح زمین فعال هستند (Bag, 2019). از موضوعات کلیدی و اساسی در علم مهندسی و مدیریت رودخانه مقوله مورفولوژی مجرای رودخانه‌ها می‌باشد که به کمک آن می‌توان به مجموعه اطلاعات سودمندی در خصوص شکل هندسی، فرم بستر، پروفیل طولی، مقاطع عرضی و تغییر شکل و مکان آن‌ها در طی زمان نائل شد. تغییر در مورفولوژی رودخانه ممکن است مشکلات بسیاری از جمله تغییر مسیر رودخانه، طغیان مناطق اطراف، آسیب رساندن به سازه‌های هیدرولیک و همچنین برخی از اثرات زیست‌محیطی را ایجاد کند (Cahyongsin, 2019). تغییرپذیری رودخانه در کوتاه‌مدت ممکن است تدریجی و پیوسته باشد، ولی در درازمدت یا تحت شرایط خاص ناپیوسته و ناگهانی است (Slater et al, 2015). از سوی دیگر پاسخ‌های مورفولوژیکی رودخانه‌ها نسبت به تغییرات ممکن است، شامل تغییرات کوچک در هندسه کانال جریان یا به صورت تغییرات بزرگ و گسترده باشد، که شامل تغییر تدریجی یا ناگهانی روزانه یا در بازه‌های زمانی هزارساله است (Slater et al, 2019). در رابطه با تغییرات کاربری اراضی بر دینامیک رودخانه پژوهش‌های متفاوتی انجام گرفته است. در این راستا: ایامی احمدآباد و همکاران (۱۳۹۸) برای

بررسی پلان فرم و دینامیک جانبی بخشی از مجرای رودخانه زرینه‌رود از چهار شاخص زاویه مرکزی کورنیس، ضریب خمیدگی، آهنگ مهاجرت مجرا و ترانسکت استفاده نمودند. نتایج این مطالعه نشان داد که سالانه به طور متوسط ۱۱/۶ هکتار از اراضی مجاور رودخانه تخریب شده‌اند. همچنین مهاجرت جانبی مجرای این رودخانه بین ۱/۵ تا ۲ متر در سال برآورد گردید. مقصودی و همکاران (۱۳۹۶) در پژوهشی به ارزیابی تغییرات پیچان‌رودی رودخانه مارون از سرچشمه آن تا ابتدای رودخانه جراحی به طول تقریبی ۲۸۰ کیلومتری جهت استخراج مورفومتری آن براساس دو شاخص ضریب خمیدگی و زاویه مرکزی پرداختند. نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که رودخانه مارون طبق شاخص ضریب خمیدگی از نوع سینوسی و از نظر شاخص جهت جریان نیز از نوع شرقی - غربی است. همچنین علت تغییر جهت و الگوی رودخانه مارون، مسائل زمین‌شناسی و توپوگرافی، اقلیم، تکنیک و هیدرولوژی منطقه زاگرس تشخیص داده شد که در پروفیل طولی رودخانه مارون متفاوت است. اصغری سراسکانرود (۱۳۹۳) در طی پژوهشی به بررسی و تحلیل الگوهای متفاوت رودخانه شهر چای ارومیه پرداخته است. ایشان از معیارهای ضریب خمیدگی و زاویه مرکزی برای بررسی شکل هندسی رودخانه استفاده نموده است. نتایج حاصل از این مطالعه نشان داد است که رودخانه شهر چای یک رودخانه شریانی بوده که نحوه شکل‌گیری بازه ساحلی و بازه کوهستانی با یکدیگر متفاوت هست. شریفی کیا و همکاران (۱۳۹۲) طی مطالعاتی به آشکارسازی تغییرات و الگوی مکانی رودخانه هیرمند و تحلیل مورفولوژیکی آن پرداختند. آن‌ها الگوی تغییرات مکانی رودخانه در نیم‌قرن گذشته (۱۳۳۴ - ۱۳۹۰) از طریق تحلیل تصاویر سنجنش از دوری دو

سرعت و بزرگی فراتر از توانایی‌های مقابله‌ای ساکنان به وجود آورده است. با توجه به موضوعات اشاره شده تغییرات جانبی کانال رودخانه کلیبر چای در طول ۲۰ سال در بازه‌های چندگانه مورد بررسی قرار گرفت. بدین منظور ابتدا مسیری از رودخانه به طول ۱۸ کیلومتر از روستای پیغام در بالادست تا روستای کیارق در پایین دست انتخاب شده است و عملیات صحرائی برای بررسی اطلاعات به دست آمده از روی تصاویر ماهواره‌ای صورت پذیرفته است. روش‌های مختلفی برای بررسی تغییرات و جابجایی‌های صورت گرفته در مجرای رودخانه وجود دارد که می‌توان به تحلیل پلی‌گون، روش شعاع انحنا" و روش ترانسکت اشاره کرد (Rap et al, 2003). پس از اینکه مجرای رودخانه کلیبر چای از روی تصاویر ماهواره‌ای استخراج شد، جهت سهولت کار و درک بهتر تغییرات مورفولوژیکی مجرای رودخانه به بازه‌های مختلفی تقسیم‌بندی شد. رودخانه کلیبرچای در محدوده مطالعاتی، براساس موضوع تحقیق، با توجه به روش ترانسکت، خطوطی با فواصل مشخص از هر دو طرف مجرای به‌عنوان خطوط مبنا ترسیم شده است. این خطوط برای دوره‌های زمانی مورد مطالعه ثابت بوده و از این رو می‌توان جابجایی‌های مجرای نسبت به این خطوط را به‌صورت کمی محاسبه کرد. به‌عبارت دیگر روش ترانسکت، شامل ترسیم یک سری از ترانسکت‌های عمود بر دشت سیلابی رودخانه و اندازه‌گیری فاصله بین نقاط متقاطع بین خط مرکزی کانال و ترانسکت برای چهارچوب زمانی بعدی می‌باشد (Geradiniovali, 2017).

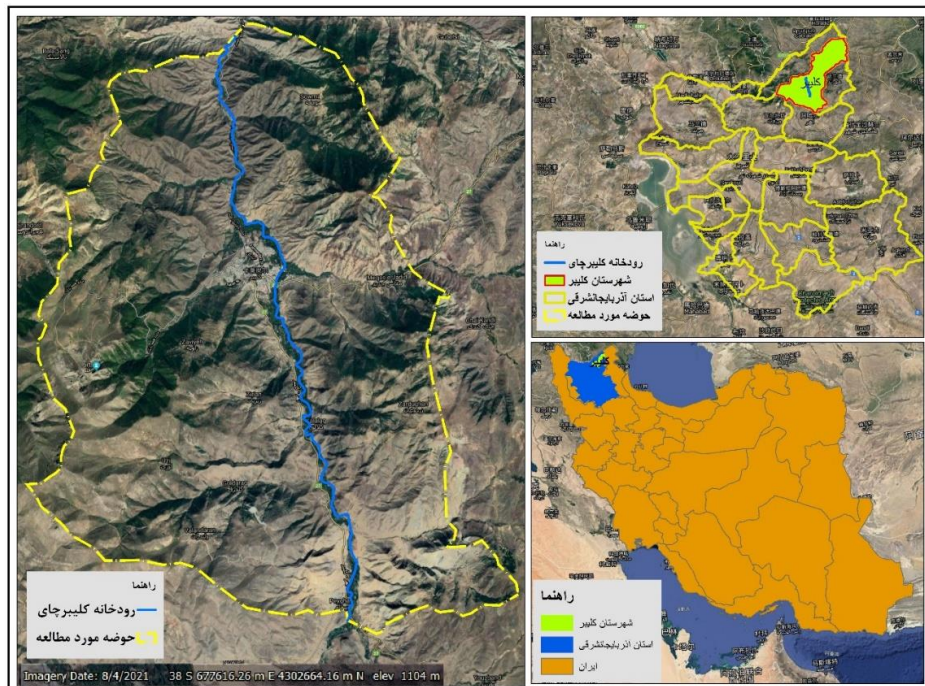
منطقه مورد مطالعه

شهرستان کلیبر در ۱۵۰ کیلومتری تبریز در استان آذربایجان شرقی و از نظر مختصات جغرافیایی متریک (UTM) در زون ۳۸ و بین طول‌های

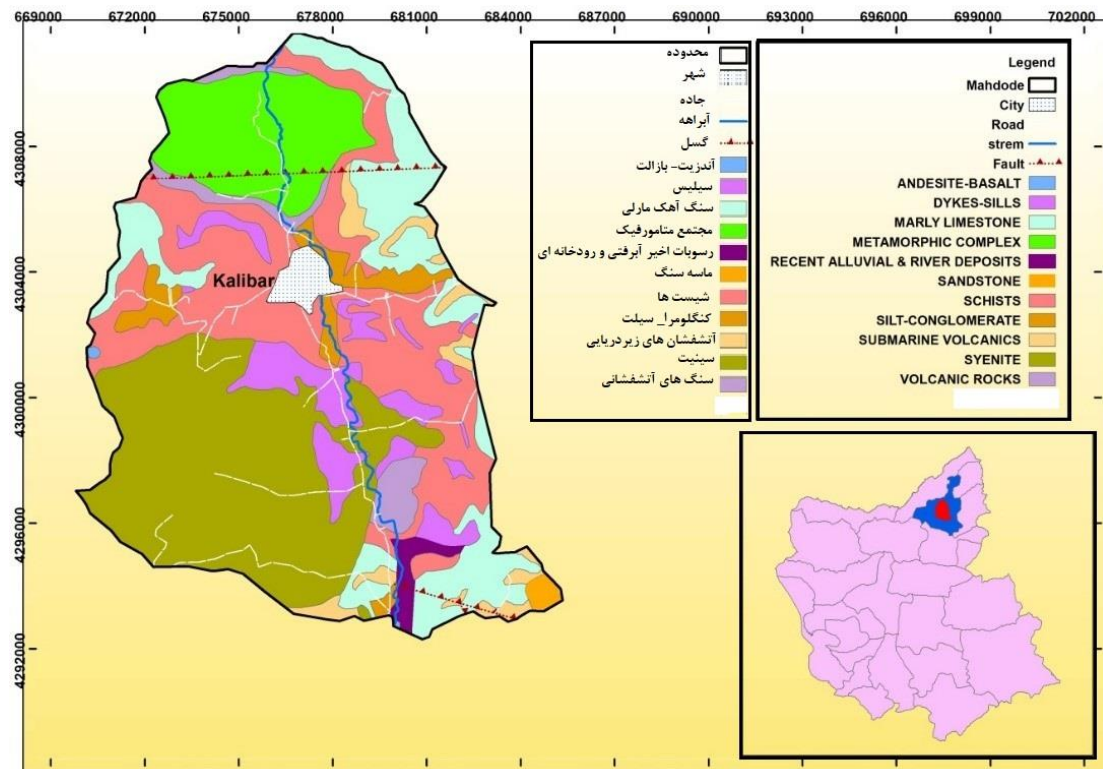
زمانه مورد بررسی قرار دادند. نتایج تحقیق این محققان در خصوص عوامل ایجابی تغییر در الگوی فضایی و هندسی رودخانه، علاوه بر تأیید و تأکید بر عوامل ثابت محیطی، مسئله خشک‌سالی‌های پی‌درپی و انسداد بستر توسط ماسه‌های انباشته شده (حاصل از عمل باد) را عامل محوری و مؤثر این تغییرات می‌دانند. شهبازی (۱۳۸۸) عوامل مؤثر در ناپایداری بستر رودخانه‌ای در کرمانشاه را با استفاده از عکس‌هایی هوایی در چند بازه‌ی زمانی مورد ارزیابی قرار داد. نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که زمین‌ساخت به‌صورت دخالت گسل و منطبق شدن آن با مسیر رودخانه، تغییرات رودخانه را کنترل کرده و تغییرات عرضی این رودخانه به وسیله گسل محدود شده است. ناباجیت هازاریکا و همکاران (Nabajik Hazarika et al, 2015) به پژوهش با عنوان: ارزیابی تأثیرات تغییرات کاربری اراضی ناشی از پویایی رودخانه بر روی دشت‌های رودخانه براهماپوترا علیا، هند، با استفاده از تکنیک‌های RS-GIS پرداخته‌اند. در این پژوهش برای تغییرات از یک دوره ۴۰ ساله با استفاده از نقشه توپوگرافی و داده‌های لندست استفاده کرده‌اند و تغییرات کاربری اراضی با استفاده از طبقه‌بندی ترکیبی در محیط GIS استفاده کرده‌اند. در این پژوهش با کمی سازی نرخ مهاجرت از ساحل نشان داده شده که مسیرهای رودخانه بی‌ثبات هستند. به‌طور کلی تغییر کاربری اراضی نشان می‌دهد که مناطق زراعی و کشاورزی افزایش یافته و از شدت مراتع کاسته شده است. تأثیر پویایی رودخانه در سکونتگاه‌ها نیز مشهود است. از دست دادن زمین‌های کشاورزی و زمین‌های مسکونی منجر به از دست دادن معیشت و مهاجرت داخلی در منطقه مورد مطالعه شده است؛ و در نتیجه تغییر کاربری اراضی در دهه‌های اخیر، چالش‌های زیست‌محیطی جدیدتری را با

دشت سیلابی رودخانه کلیبرچای می‌باشد که شامل آبرفت‌های جوان، رسوبات دشت، تراس‌ها و مخروط افکنه‌ها می‌باشد و جنس آن‌ها عمدتاً شامل قلوه‌سنگ، گراول و ماسه می‌باشد. در قسمت‌های محدودی از منطقه در محدوده بین روستای قشلاق و مجتمع خدماتی و رفاهی ارسباران نیز تراس‌های قدیمی با QT رخنمون یافته است و از نظر لیتولوژی، کنگلومرایی با سیمان رسی و ماسه‌ای نسبتاً سست است. حوضه مورد مطالعه به مختصات جغرافیایی $45/40$ تا $47/5$ طول شرقی و $38/40$ تا $39/8$ عرض شمالی، در زون ساختاری البرز-آذربایجان قرار دارد که اصطلاحاً به کوه‌های قراداغ موسوم است. آبراهه اصلی کلیبرچای که بازه مورد مطالعه در آن قرار دارد، از روستای پیغام در جنوب شهر کلیبر شروع می‌شود و تا روستای کیارق در پایین‌دست و شمال شهر کلیبر ادامه دارد. این رودخانه بعد از پیوستن به رودخانه مرز رود که زهکشی اصلی ارتفاعات قندوان باشی و سایگرام داغی است، به رودخانه مرزی ارس می‌ریزد.

692505 تا 716706 متر شرقی و عرض‌های 4285157 تا 4308293 متر شمالی واقع شده است. و ارتفاع 1100 متری از سطح دریا واقع شده است. بارندگی سالانه این شهرستان از 250 میلی‌متر تا 500 میلی‌متر است. تلاقی رشته‌کوه‌های البرز و زاگرس و قرار گرفتن مبدأ رشته‌کوه‌های مرکزی ایران در آذربایجان شرقی همراه با برخورداری آن از تأثیر چهار اقلیم، تنوع و غنای زیادی را در ساختار گیاهی و جانوری آن فراهم کرده است و از لحاظ آب‌وهوایی اقلیمی نیمه‌خشک و نیمه مرطوب معتدل دارد. (مبارکی و اسلامی، ۱۳۹۴). بازه مطالعاتی رودخانه کلیبرچای بیشتر از نوع رودخانه‌های با بستر آبرفتی است و بخش اعظمی از کناره‌های رودخانه منطبق بر آبرفت‌های عهد حاضر و جوان هست. واحد Q1 انباشته‌های خیلی جوان موجود در بستر و کناره‌های مجرای اصلی و انشعابات می‌باشند و عمدتاً شامل آبرفت‌های با اندازه‌های متغیر هستند. واحد Q2 گسترده‌ترین سازند موجود در کناره‌ها و



شکل ۱: نقشه موقعیت حوضه مورد مطالعه



شکل ۲: نقشه زمین‌شناسی

مواد و روش‌ها

مهم‌ترین داده‌های پژوهش حاضر عبارت‌اند از: نقشه‌های توپوگرافی مقیاس ۱:۵۰۰۰۰، نقشه زمین‌شناسی به مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ سازمان زمین‌شناسی کشور و مدل رقومی ارتفاعی ۳۰ متری منطقه مورد مطالعه جهت بررسی وضعیت ویژگی‌های توپوگرافی استفاده شده است. از تصاویر ماهواره‌ی لندست ۷ گذر ۱۶۸ ردیف ۰۳۳ تاریخ ۱۶

آوریل ۲۰۰۰، لندست ۷ گذر ۱۶۸ ردیف ۰۳۳ مارس ۲۰۱۰ و تصاویر ماهواره‌ی لندست ۸ گذر ۱۶۸ ردیف ۰۳۳ آوریل ۲۰۲۰ جهت استخراج مسیر رودخانه کلیبرچای و همچنین بازسازی کاربری اراضی استفاده شد. در پژوهش حاضر، محیط رودخانه اعم از مسیر، بستر و پارامترهای آن مورد بررسی قرار گرفت. شعاع انحناء برای هر مقطع در محیط اتوکد براساس دایره مماس بر قوس‌های موردنظر اندازه‌گیری شد.

جدول ۱: اطلاعات تصاویر ماهواره لندست ۵ و ۸

نوع سنجنده	مسیر	گذر	درصد پوشش ابر	زمان (گرینویچ)	تاریخ	قدرت تفکیک مکانی
لندست ۷	۱۶۸	۰۳۳	۰/۲	۷:۲۵:۱۰	۲۰۰۰/۰۴/۲۳	۳۰ متر
لندست ۷	۱۶۸	۰۳۳	۰/۶	۶:۵۰:۱۸	۲۰۱۰/۰۳/۱۰	۳۰ متر
لندست ۸	۱۶۸	۰۳۳	۰	۷:۴۵:۲۳	۲۰۲۰/۰۴/۲۲	۳۰ متر

(منبع: متادیتا تصاویر)

در این مطالعه از شاخص‌های MNDWI, NDWI جهت تفکیک آب‌های سطحی، به‌منظور بازسازی

مجرای رودخانه کلیبرچای استفاده شد. شاخص تفاضل آب نرمال شده (NDWI)، اولین شاخص

گردید. از نرم‌افزار Arc GIS جهت ایجاد پایگاه داده، تحلیل‌های مکانی- فضایی و از نرم‌افزار ENVI جهت پردازش تصاویر ماهواره‌ای استفاده گردید. تصحیحات اتمسفری برای از بین بردن اثرات پخش و جذب امواج الکترومغناطیس در محدوده امواج مرئی و مادون قرمز انجام می‌گردد. جهت انجام تصحیحات اتمسفری مرحله اول محاسبه مقدار رادیانس است و از مقدار رادیانس به فرآیند تصحیحات اتمسفری موردنظر خواهیم رسید. در این مطالعه با استفاده از نرم‌افزار ENVI، تصحیح اتمسفری با روش FLAASH بر روی تصاویر انجام شد. بدین ترتیب که ابتدا تصویر با استفاده از رابطه ۳ به رادیانس و سپس با استفاده از رابطه ۴ به بازتاب تبدیل گردید. پس از نرمال کردن، تصویر برای اعمال شاخص‌ها آماده می‌باشد.

رابطه ۳)

$$L_{\lambda} = M_L \times Q_{cal} + A_L$$

رابطه ۴)

$$\rho_{\lambda} = \frac{(\pi \times L_{\lambda} \times d^2)}{E_{sun} \cos \theta}$$

که در روابط ۳ و ۴، L_{λ} رادیانس طیفی در بالای اتمسفر، برحسب $(m^2 \times sr \times \mu m)$ W/ (وات بر مترمربع در استرادیان در میکرومتر)، M_L و A_L رادیانس، Q_{cal} باند خام، ρ_{λ} معرف بازتاب، E_{sun} میانگین بازتابش خورشید بر فراز جو برحسب $(m^2 \times \mu m)$ W/ (وات بر مترمربع در میکرومتر)، θ زاویه اوج خورشیدی برحسب درجه، d فاصله زمین تا خورشید و π ۳/۱۴۱۵۹۲ می‌باشند. برای تفکیک آب‌های سطحی از پدیده‌های دیگر، سه روش اصلی به صورت، استفاده از اطلاعات باندهای طیفی (Rundquist et al, 1987)، طبقه‌بندی نظارت شده و نظارت نشده (Lu and Weng, 2009) استفاده از شاخص‌های آب (Jiang et al, 2014) وجود دارد.

استخراج آب در تصاویر و داده‌های سنجش‌ازدور می‌باشد، که توسط مک فیتز در سال ۱۹۹۶ پیشنهاد شده است. با توجه به انعکاس بالای آب در باند سبز و انعکاس پایین آن در باند مادون قرمز نزدیک، در این شاخص از این دو باند استفاده شده است. در این شاخص مقادیر مثبت گویای آب و مقادیر منفی گویای پدیده‌های دیگر به جز آب مانند خاک و پوشش گیاهی است (مک فیتز و همکاران، ۱۹۹۶). این شاخص به صورت رابطه ۱ محاسبه می‌شود:

رابطه ۱)

$$NDWI = \frac{(GREEN - NIR)}{(GREEN + NIR)}$$

NIR یک باند مادون قرمز نزدیک و Green باند سبز می‌باشد.

ژو با جایگذاری باند مادون قرمز میانی (باند پنجم سنجنده TM) با باند مادون قرمز نزدیک در شاخص NDWI به MNDWI رسید. معادله‌ای ژو به منظور کاهش و حذف نویز و به صورت رابطه ۲ ارائه شد:

رابطه ۲)

$$MNDWI = \frac{(GREEN - MIR)}{(GREEN + MIR)}$$

MIR باند مادون قرمز میانی و Green باند سبز می‌باشد. در این شاخص مقادیر مثبت گویای آب و مقادیر منفی گویای پدیده‌های دیگر به جز آب مانند خاک و پوشش گیاهی است (Jho, 2006). از تصاویر Google Earth، برای ارزیابی نتایج شاخص‌های مورد استفاده، بهره گرفته شد. همچنین در بخشی از مرحله نیز جهت آشکارسازی و تعیین نوع کاربری‌ها، از طریق روش طبقه‌بندی نظارت شده Maximum Likelihood استفاده شده است. جهت پردازش تصاویر و تجزیه و تحلیل داده‌ها نیز از نرم‌افزارهای ArcGIS، Envi، و Excel استفاده



شکل ۳: محاسبه پارامترهای ژئومورفیک و هیدرولیک رودخانه کلیبرچای

ارزیابی صحت کلی و ضریب کاپا

هیچ تحقیق تا زمانی که دقت آن مورد ارزیابی قرار نگرفته است، تکمیل نیست و برای کسب اطمینان از نسبت صحت نقشه استخراج شده از تصاویر ماهواره‌ای دقت آن باید مورد ارزیابی قرار گیرد (Lisand and kifer, 2001). نتایج حاصل از آشکارسازی مجرای رودخانه کلیبرچای با استفاده

از شاخص‌های NDWI, MNDWI نشان داد که شاخص NDWI، در تصاویر سنجنده OLI با صحت کلی ۹۸/۱۵ و ضریب رونوشت ۰/۹۵ و در تصاویر سنجنده ETM با صحت کلی ۹۶/۳۶ و ضریب کاپای ۰/۹۱ نسبت به سایر شاخص‌های مورد استفاده از دقت بیشتری برخوردار است.

جدول ۲: مقدار صحت کلی و ضریب کاپا

	ETM		OLI	
	صحت کلی (درصد)	ضریب کاپا	صحت کلی (درصد)	ضریب کاپا
NDWI	۹۶/۳۶	۰/۹۱	۹۸/۱۵	۰/۹۵
MNDWI	۹۴/۲۳	۰/۸۹	۹۴/۱۳	۰/۹۳

کلیبرچای در بازه زمانی مورد مطالعه (۱۳۹۹-۱۳۷۹) رسم و سپس مساحت بین آن دو با استفاده از توابع نرم‌افزار Arc GIS محاسبه شد. نحوه محاسبه این شاخص در شکل ۵ آمده است. جهت محاسبه آهنگ جابجایی مسیر رودخانه می‌توان از رابطه ۵ استفاده کرد (رضایی مقدم و همکاران، ۱۳۹۵).

به‌منظور درک بهتر تغییرات و دینامیک مجرای رودخانه کلیبرچای از معیار آهنگ یا نرخ مهاجرت (Rm) استفاده شده است. برای محاسبه این معیار لایه خطی مسیر رودخانه در دو بازه زمانی و همچنین لایه پلی گونی حفاصل دو مسیر رودخانه در دو بازه زمانی متفاوت مورد نیاز است. بدین منظور دو خط ثابت در اطراف مجرای رودخانه

رابطه ۵)

$$R_m = (A / L) / y$$

که در آن R_m نرخ مهاجرت؛ A مساحت موجود بین دو خط مرکزی مجرا؛ L طول خط مرکزی مجرا در زمان t_1 ؛ و y تعداد سال است. این شاخص برای محاسبه میزان جابجایی یا مهاجرت مجرای رودخانه در دشت سیلابی خود از دو خط مجرای رودخانه در سال‌های مختلف و مساحت بین این دو مجرا استفاده می‌کند. روش ترانسکت^۶ نیز یکی از روش‌هایی است که برای ارزیابی تغییرات و جابجایی‌های رخ داده در کانال رودخانه‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد (رضایی مقدم و همکاران، ۱۳۹۵). در این روش خطوطی با فواصل مشخص در هر دو طرف مسیر رودخانه به‌عنوان خطوط مبنا رسم می‌گردد. این خطوط برای دوره‌های زمانی مورد مطالعه ثابت هستند و جابجایی‌های کانال رودخانه نسبت به این خطوط به‌صورت کمی محاسبه می‌شوند. برای بررسی و ارزیابی تغییرات جانبی رودخانه کلیبرچای با استفاده از روش ترانسکت، در محیط نرم‌افزار Arc GIS ابتدا دو خط در دو طرف مجرای رودخانه کلیبرچای رسم گردید. هم‌چنین به‌منظور بررسی دقیق تغییرات جانبی مجرای این رودخانه، در بخش‌های مختلف این رودخانه، خط‌هایی تقریباً عمودی بر مجرای رودخانه رسم شد، به‌طوری که این خطوط، خط‌های جانبی رسم شده در کنار رودخانه را قطع کنند. به‌منظور محاسبه مساحت سمت راست و چپ ترانسکت‌ها برای هر دوره زمانی، مجرای رودخانه کلیبرچای در سال‌های ۱۳۷۹ و ۱۳۹۹ به‌طور جداگانه با لایه ترانسکت قطع داده شد. این فرآیند سبب جدا شدن هر ترانسکت به دو قسمت سمت راست و سمت چپ مجرای رودخانه گردید. پس از انجام این عملیات مساحت سمت راست و چپ هر ترانسکت محاسبه شد. زمانی که مسیر رودخانه به سمت راست جابجا شود مساحت

ترانسکت سمت راست کاهش و مساحت ترانسکت سمت چپ افزایش خواهد یافت. برعکس هنگامی که مسیر رودخانه به‌طرف چپ جابجا شود، مساحت ترانسکت سمت راست افزایش و مساحت ترانسکت طرف چپ کاهش می‌یابد. هم‌چنین در طول زمانی که مسیر رودخانه جابجایی نداشته باشد، مساحت ترانسکت‌ها در طی سال‌های مورد مطالعه ثابت خواهد بود. با استفاده از روش می‌توان میزان فرسایش و رسوب‌گذاری رودخانه را نیز ارزیابی نمود (باشکوه، ۱۳۹۸). از معیارهای زاویه مرکزی و ضریب خمیدگی غالباً برای ارزیابی و نحوه توسعه مائندرها استفاده می‌شود. به‌منظور کمی کردن میزان توسعه مائندری رودخانه‌های آبرفتی و تعیین الگوی رفتاری و تغییرات آن در طول زمان، می‌بایست ویژگی‌های هندسی مجرای رودخانه‌ها از قبیل زاویه مرکزی، شعاع مائندرها، طول موج، طول دره و ضریب خمیدگی (سینوسیته)، اندازه‌گیری و تجزیه و تحلیل گردد تا بتوان تغییرات حادث شده در مسیر مجرای رودخانه را در گذشته نسبت به حال تعیین نمود. بدین منظور برای هر یک از قوس‌های مائندرها مجرا دایره‌هایی برازش می‌گردد و مشخصه‌های هندسی مائندرها مورد محاسبه قرار می‌گیرد. ضریب خمیدگی یا سینوسیته برای هر قوس براساس رابطه ۶ محاسبه می‌شود (مقصودی و همکاران، ۱۳۸۹).

رابطه ۶)





$$S = \frac{L}{\lambda/2}$$

که در این رابطه S : ضریب خمیدگی یا سینوسیته، L : طول قوس یا خم و $\lambda/2$ نصف طول موج است (جدول ۱). ممکن است، در طی یک دوره زمانی خاص در مقطعی از یک رودخانه مقدار ضریب خمیدگی و زاویه مرکزی ثابت یا تغییرات ناچیزی داشته باشد درحالی که تغییراتی در مجرای رودخانه اتفاق افتاده باشد (باشکوه، ۱۳۹۸). یکی از

و دینامیک مجرای رودخانه کلیبرچای از معیار آهنگ یا نرخ مهاجرت و روش ترانسکت استفاده شد.

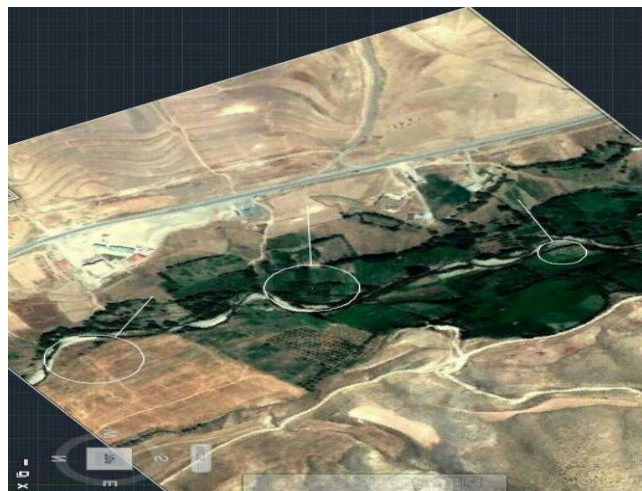
معیارهایی که می‌تواند جهت بررسی اندازه تغییرات جانبی مکانی و زمانی مسیر رودخانه‌ها از آن استفاده نمود، شاخص نرخ مهاجرت مجرای رودخانه است. بدین منظور جهت ارزیابی تغییرات

جدول ۳: تقسیم‌بندی رودخانه‌ها برحسب ضریب خمیدگی (راهنمای مطالعات ریخت‌شناسی رودخانه‌ها، ۱۳۹۱)

ضریب پیچشی	۱-۱/۰۵	۱/۰۶-۱/۲۵	۱/۲۵-۲	>۲
شمای رودخانه				
نوع رودخانه	مستقیم	سینوسی	پیچانرودی	پیچانرودی شدید

مقاطع برداشته‌شده از ماهواره لندست را بعد از استخراج و منطبق دادن به کمک گوگل ارث در اتوکد هم مقیاس کرده و سپس دایره مماس بر قوس‌های موردنظر را رسم کرده و شعاع انحناء را به دست می‌آید.

شعاع انحناء
شعاع انحناء را برای هر ترانسکت (ترانسکت‌ها براساس تقسیم‌بندی به شبکه‌های مساوی در محیط GIS ترسیم شده است). براساس مقاطع انتخابی در محیط اتوکد و با استفاده از تصاویر گوگل ارث به دست می‌آوریم. در این روش ابتدا



شکل ۴: نحوه اندازه‌گیری شعاع انحناء

سنجنده OLI با صحت کلی ۹۸/۱۵ و ضریب کاپای ۰/۹۵ و در تصاویر سنجنده ETM با صحت کلی ۹۶/۳۶ و ضریب کاپای ۰/۹۱ نسبت به سایر شاخص‌های مورد استفاده از دقت بیشتری

بحث و نتایج
نتایج حاصل از آشکارسازی مجرای رودخانه کلیبرچای با استفاده از شاخص‌های MNDWI، NDWI نشان داد که شاخص NDWI، در تصاویر

بررسی دینامیک عرضی مجرای رودخانه با استفاده از شاخص‌های ژئومورفولوژیکی براساس میزان مهاجرت مجرای عرضی رودخانه کلیبرچای در بازه زمانی ۲۰ ساله از سال ۱۳۷۹ تا ۱۳۹۹ به‌طور متوسط در حدود ۰/۳۲ متر در سال بوده است (جدول ۴). بیشترین مقدار میانگین جابجایی جانبی مجرا بین سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۰ با مقدار ۰/۵۱ متر در سال مربوط به ترانسکت شماره ۱ است. کمترین مقدار جابجایی مجرا نیز مربوط به ترانسکت شماره ۱۵ با مقدار ۰/۱ متر در سال می‌باشد (جدول ۴).

برخوردار است (جدول ۱). هم‌چنین جهت مقایسه صحت و دقت شاخص‌های مورد استفاده برای مجرای رودخانه کلیبرچای با استفاده از یک دستگاه جی پی اس و کنترل از طریق تصاویر گوگل ارث استفاده گردید. نتایج حاصل از این داده‌ها با مجرای مشخص‌شده رودخانه کلیبرچای توسط شاخص NDWI تطابق بیشتری داشت. بدین‌جهت از شاخص تفاضل آب نرمال شده (NDWI) برای آشکارسازی مجرای رودخانه استفاده گردید.

جدول ۴: مقادیر شاخص نرخ مهاجرت، طول مجرا و تغییرات آن در رودخانه کلیبرچای (۲۰۲۰-۲۰۰۰)

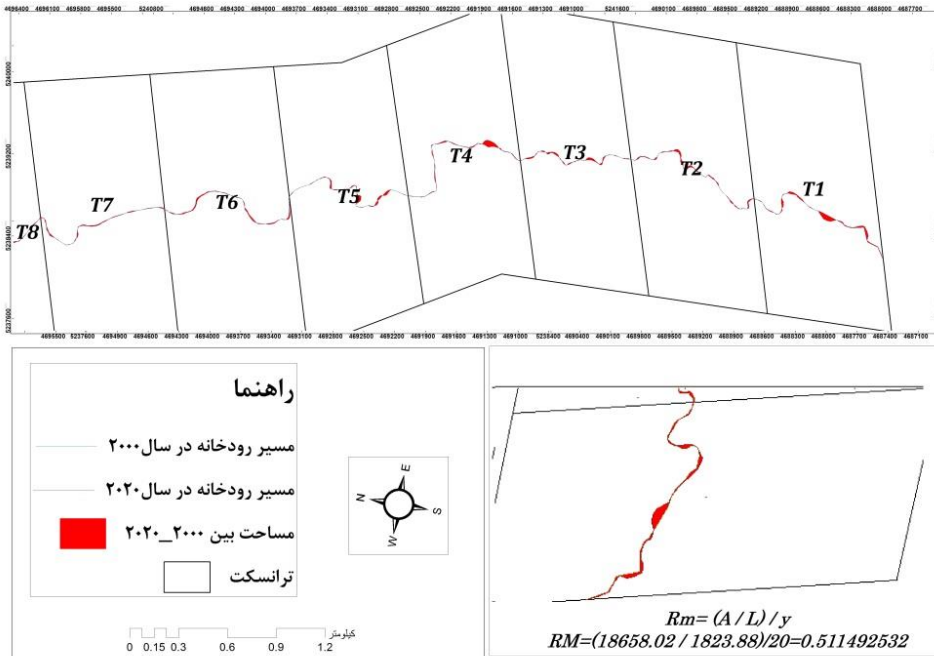
ترانسکت	طول مجرا در سال ۲۰۰۰ (M)	طول مجرا در سال ۲۰۲۰ (M)	نسبت طول مجرا سال ۲۰۰۰ به ۲۰۲۰ (M)	مساحت بین مجرای سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۰ (M)	میزان نرخ مهاجرت (M)
T1	۱۸۲۳/۸۸	۱۸۸۵/۲۷	۶۱/۳۹	۱۸۶۵۸/۰۲	۰/۵۱
T2	۱۶۹۱/۹۵	۱۷۲۸/۶۱	۳۶/۶۶	۱۱۳۳۳/۸۱	-۰/۳۲
T3	۱۳۲۶/۹۹	۱۳۲۱/۴۴	۵۷/۴۵	۸۲۸۶/۱۲	۰/۳۲
T4	۱۷۵۷/۵۵	۱۷۱۱/۹۰	-۴۵/۶۵	۱۲۸۴۳/۷۵	-۰/۳۶
T5	۱۶۷۷/۳۷	۱۶۸۶/۱۲	۸/۷۵	۹۹۲۸/۴۱	-۰/۲۹
T6	۱۷۲۸/۸۲	۱۷۳۱/۲۸	۲/۴۶	۱۰۴۲۳/۲۰	۰/۳۰
T7	۱۵۵۳/۴۲	۱۵۴۴/۴۹	-۸/۹۳	۷۲۱۱/۰۶	-۰/۲۳
T8	۱۷۵۴/۲۱	۱۷۵۲/۲۹	-۱/۹۲	۱۲۵۳۷/۹۹	-۰/۳۵
T9	۱۶۸۲/۷۱	۱۶۷۹/۷۶	-۲/۹۵	۱۱۷۲۷/۰۶	-۰/۳۴
T10	۱۵۹۰/۴۱	۱۵۵۵/۵۷	-۳۴/۸۴	۹۰۲۲/۱۹	-۰/۲۸
T11	۱۹۴۱/۲۳	۱۹۴۶/۸۷	۵/۶۴	۱۳۲۸۹/۱۰	-۰/۳۴
T12	۱۴۵۹/۱۵	۱۴۷۴/۸۹	۱۵/۷۴	۵۰۳۳/۱۰	-۰/۱۷
T13	۱۴۲۵/۱۵	۱۴۴۵/۲۷	۲۰/۱۲	۱۲۱۰/۱۰	-۰/۴۲
T14	۱۷۴۰/۲۹	۱۷۲۱/۸۸	-۱۸/۴۱	۱۴۲۹۳/۰۷	-۰/۴۱
T15	۱۸۷۰/۷۸	۱۸۴۱/۸۹	-۲۸/۸۹	۳۹۴۷/۳۰	-۰/۱۰
T16	۲۴۶۴/۲۱	۲۴۹۰/۵۷	۲۶/۳۶	۱۲۸۶۰/۲۹	-۰/۲۶
T17	۲۰۵۹/۶۰	۲۰۴۸/۳۳	-۱۱/۲۷	۱۰۲۵۰/۴۴	-۰/۲۴
T18	۱۹۹۵/۴۸	۱۹۴۷/۴۴	-۴۸/۰۴	۱۱۵۷۲/۱۵	-۰/۲۸
T19	۲۹۶۵/۹۵	۲۹۳۵/۱۰	-۳۰/۸۵	۲۱۳۰۰/۶۱	-۰/۳۵

فرسایش کناره‌ای نیز در بخشی از ترانسکت‌ها (ترانسکت ۱ و ترانسکت ۷)، دلیل بر تغییرات مجرا هستند. درواقع مقادیر زیاد و غیرمعمول آهنگ مهاجرت در برخی از ترانسکت‌ها علاوه بر فرسایش

در منطقه مورد مطالعه، تغییرات مجرا با توجه به روند گذشته به دلیل تغییر مسیر رودخانه بر اثر سدکردن توسط اهالی منطقه و افزودن این اراضی برای زیر کشت بردن بوده است. فرایندهای

کلیرچای، تغییر مسیر مجرا می تواند به عنوان یک مخاطره جدی محسوب شود و باعث برهم زدن تعادل و عدم پویایی رودخانه بشود.

کناره‌ای، مربوط به زیر کشت بردن حاشیه رودخانه احداث جاده در بستر رودخانه نیز بوده است. از این رو، در ترانسکت‌های مورد مطالعه رودخانه



شکل ۵: محاسبه میزان نرخ مهاجرت مجرا (Rm)



شکل ۶: وضعیت ترانسکت شماره یک در رودخانه کلیرچای

(Perzjouski et al, 2006). با توجه به مورفولوژی رودخانه کلیبرچای و تحلیل شکل پلان فرم رودخانه در بازه‌های مورد مطالعه نشان می‌دهد که، رودخانه کلیبرچای در محدوده مورد مطالعه بیشتر از الگوی پیچان‌رودی عادی تبعیت می‌کند. با این حال در بعضی از ترانسکت‌ها گرایش به الگوی سینوسی نیز دیده می‌شود، با بررسی محدوده دوام چندان نمی‌یابد و پس از طی مسافتی نسبتاً کوتاه دوباره خم‌هایی در رودخانه ایجاد می‌شود. در جدول ۵ ضریب خمیدگی یا ضریب پیچشی رودخانه کلیبرچای در بازه زمانی ۲۰ ساله از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۰ در محدوده مورد مطالعه برای ۱۹ ترانسکت به‌طور جداگانه محاسبه گردید و نتایج حاصل نشانگر فرم پیچان‌رودی رودخانه در اکثر ترانسکت‌ها در بازه مورد مطالعه است.

ضریب خمیدگی نشان‌دهنده نسبت طول خط محور رودخانه به طول دره یا طول چم هست و میزان تکامل چم را نشان می‌دهد. معمولاً در طول یک رودخانه تعداد معتنا به چم با مشخصات گوناگون شکل گرفته و این چم‌ها در طول زمان نیز در حال توسعه به سمت افزایش شدت و ضریب خمیدگی هست. یکی از عوامل تعیین نوع رودخانه، بررسی خم‌ها و ضریب خمیدگی آن‌ها هست. ضریب خمیدگی بزرگ‌تر از ۱/۲۵ تا ۲ بیانگر پیچشی بودن رودخانه و کمتر از آن مستقیم بودن رودخانه و بازه مورد نظر است. براساس معیار ولفرت (Velferd, 1997) در مورد تقسیم‌بندی رودخانه‌ها برحسب میزان ضریب پیچشی، چهار نوع رودخانه شامل مستقیم، سینوسی، پیچان‌رودی و پیچان‌رودی شدید معرفی شده است

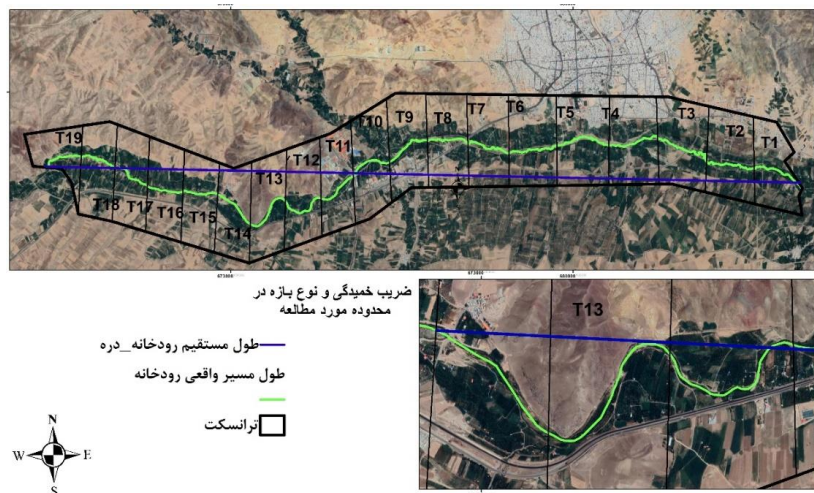
جدول ۵: ارزیابی ضریب خمیدگی رودخانه کلیبرچای (۲۰۲۰)

نوع بازه	ضریب خمیدگی (S)	طول مستقیم (LS)(km)	طول انحنا (LA)(km)	سال (T)	ترانسکت T
سینوسی	۱/۲۳	۱/۳۰	۱/۶۰	۲۰۰۰	T۱
سینوسی	۱/۲۳	۱/۰۱	۱/۲۵	۲۰۲۰	T۲
پیچان‌رودی	۱/۳۳	۱/۲۷	۱/۶۹	۲۰۰۰	T۳
پیچان‌رودی	۱/۳۲	۰/۹۹	۱/۳۱	۲۰۲۰	T۴
سینوسی	۱/۱۵	۱/۰۹	۱/۲۶	۲۰۰۰	T۵
سینوسی	۱/۱۵	۰/۸۵	۰/۹۸	۲۰۲۰	T۶
پیچان‌رودی	۱/۵۰	۱/۱۶	۱/۷۵	۲۰۰۰	T۷
پیچان‌رودی	۱/۸۱	۰/۹۰	۱/۳۶	۲۰۲۰	T۸
پیچان‌رودی	۱/۴۲	۱/۱۷	۱/۶۷	۲۰۰۰	T۹
پیچان‌رودی	۱/۴۴	۰/۹۱	۱/۳۰	۲۰۲۰	T۱۰
سینوسی	۱/۳۹	۱/۲۴	۱/۷۲	۲۰۰۰	T۱۱
سینوسی	۱/۳۹	۰/۹۶	۱/۳۴	۲۰۲۰	T۱۲
پیچان‌رودی	۱/۲۷	۱/۲۲	۱/۵۵	۲۰۰۰	T۱۳
پیچان‌رودی	۱/۲۵	۰/۹۶	۱/۲۰	۲۰۲۰	T۱۴
سینوسی	۱/۵۲	۱/۱۵	۱/۷۵	۲۰۰۰	T۱۵
سینوسی	۱/۵۲	۰/۸۹	۱/۳۶	۲۰۲۰	T۱۶
پیچان‌رودی	۱/۳۶	۱/۲۲	۱/۶۸	۲۰۰۰	T۱۷
پیچان‌رودی	۱/۳۶	۰/۹۵	۱/۳۰	۲۰۲۰	T۱۸
پیچان‌رودی	۱/۳۳	۱/۱۹	۱/۵۹	۲۰۰۰	T۱۹
پیچان‌رودی	۱/۳۳	۰/۹۲	۱/۲۳	۲۰۲۰	T۲۰
پیچان‌رودی	۱/۵۱	۱/۲۸	۱/۹۴	۲۰۰۰	T۲۱
سینوسی	۱/۵۱	۱	۱/۵۱	۲۰۲۰	T۲۲
پیچان‌رودی	۱/۸	۱/۳۴	۱/۴۵	۲۰۰۰	T۲۳
پیچان‌رودی	۱/۰۸	۱/۰۴	۱/۱۳	۲۰۲۰	T۲۴
پیچان‌رودی	۱/۲۱	۱/۱۷	۱/۴۲	۲۰۲۰	T۲۵

پیچان رودی	۱/۲۲	۰/۹۰	۱/۱۰	۲۰۰۰	
سینوسی	۱/۳۳	۱/۳۰	۱/۷۴	۲۰۲۰	T۱۴
سینوسی	۱/۳۳	۱/۰۱	۱/۳۵	۲۰۲۰	
سینوسی	۱/۳۰	۱/۴۳	۱/۸۷	۲۰۰۰	T۱۵
سینوسی	۱/۳۰	۱/۱۱	۱/۴۵	۲۰۲۰	
سینوسی	۱/۲۹	۱/۸۴	۲/۴۶	۲۰۰۰	T۱۶
سینوسی	۱/۲۹	۱/۴۲	۱/۹۱	۲۰۲۰	
پیچان رودی	۱/۱۷	۱/۷۵	۲/۰۵	۲۰۰۰	T۱۷
پیچان رودی	۱/۱۸	۱/۳۵	۱/۶۰	۲۰۲۰	
سینوسی	۱/۳۲	۱/۵۰	۱/۹۹	۲۰۰۰	T۱۸
سینوسی	۱/۳۳	۱/۱۶	۱/۵۵	۲۰۲۰	
سینوسی	۱/۳۶	۲/۱۶	۲/۹۴	۲۰۰۰	T۱۹
سینوسی	۱/۳۶	۱/۶۷	۲/۲۸	۲۰۲۰	

گلوگاهی و ایجاد اشکال ژئومورفیکی نعل اسبی نشده است. کانال‌های متروک یا برکه‌های قوسی شکل مجاور رود کنار و دشت سیلابی ناشی از همین رخداد میانبرهای شوت (میان پشته‌ای) می‌باشند که از پراکندگی فضایی زیادی برخوردار بوده و نشان‌دهنده دینامیک عرضی بالای مجرای رودخانه در این بازه می‌باشند. در طی ۲۰ سال گذشته، به دلیل کاهش محسوس دبی، مخصوصاً دبی‌های پیک، فراوانی میانبرهای شوت کاهش یافته است. از این رو، علی‌رغم کاهش دینامیک جانبی مجرا، مقادیر ضریب خمیدگی در سایر ترانسکت‌ها تغییرات محسوس را در مجرای رودخانه کلیبرچای ایجاد نکرده‌اند.

بررسی‌های انجام‌گرفته در ۲۰ سال گذشته از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۰ در ترانسکت‌های مختلف، ضریب خمیدگی تنها در ترانسکت شماره ۱۱، مقادیر ضریب خمیدگی و شعاع انحنا در طی دوره زمانی ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۰ دارای بیشترین میزان تغییرات در مقایسه با سایر بازه‌ها و دوره زمانی بعدی می‌باشد. در طی این دوره زمانی، تحول مئاندري دیده نمی‌شود و مسیر رودخانه از حالت مئاندرها به حالت سینوسی تغییر یافته است. و علت آن در قسمت‌های مختلف این بازه در نتیجه فرایندهای فرسایش و یا در نتیجه ایجاد میانبرها دچار کاهش ناگهانی شده است. در ترانسکت شماره ۱۳، هرچند که الگوی رودخانه از نوع مئاندري نسبتاً شدید می‌باشد؛ اما توسعه مئاندرها منجر به میانبر



شکل ۷: میزان ضریب خمیدگی بازه‌های رودخانه کلیبرچای در ۱۹ ترانسکت مورد مطالعه

زمین‌های کشاورزی فراوان‌تر هستند. به طوری که بیشترین مقدار تغییر مساحت در ترانسکت ۱۹ به میزان ۱/۴۳ هکتار در بازه زمانی ۲۰ سال به دلیل تجاوز به حریم رودخانه و تغییر مصنوعی مسیر رودخانه بوده است. مقادیر بزرگ‌تر تغییرات مساحت، حاصل از شاخص ترانسکت بیانگر فرسایش شدید در محدوده ترانسکت‌های دشتی و زمین‌های کشاورزی مجاور رودخانه کلیبرچای است.

آمار و اطلاعات بدست آمده از محاسبه تغییرات مساحت ترانسکت‌ها در بازه زمانی مورد مطالعه جدول ۶ نشان می‌دهد که در مجموع حدود ۶/۱۴ هکتار از زمین‌های مجاور رودخانه کلیبرچای در بازه زمانی مورد مطالعه (۲۰۲۰-۲۰۰۰) فرسایش یافته‌اند. یعنی به طور میانگین سالانه حدود ۰/۳۰ هکتار از این اراضی تخریب شده است. نتایج حاصل از روش ترانسکت، جدول ۵ نشان می‌دهد که مقادیر بزرگ‌تر تغییرات مساحت در محدوده باغات و

جدول ۶: مقادیر محاسباتی تغییرات مورفولوژیکی مجرای رودخانه کلیبرچای با استفاده از روش ترانسکت

ترانسکت	جهت نسبت به مجرا	مساحت در سال ۲۰۰۰ (هکتار)	مساحت در سال ۲۰۱۰ (هکتار)	تغییرات مساحت از ۲۰۰۰_۲۰۱۰
T1	R1	۱۱۵/۹۰	۱۱۵/۹۲	۰/۰۲۱۰
	L1	۷۹/۰۵	۷۹/۰۳	-۰/۰۱۸۶
T2	R2	۱۰۰/۴۸	۱۰۰/۱۴	-۰/۳۴۵
	L2	۹۱/۰۰	۹۱/۳۵	۰/۳۴۸
T3	R3	۹۵/۷۰	۹۵/۵۶	-۰/۱۴۰
	L3	۸۴/۹۳	۸۵/۰۷	۰/۱۴۲
T4	R4	۹۴/۴۴	۹۴/۵۸	۰/۱۴۸
	L4	۸۷/۱۴	۸۷/۰۰	-۰/۱۴۵
T5	R5	۹۱/۲۷	۹۱/۰۲	-۰/۲۵۱
	L5	۹۴/۸۰	۹۵/۰۶	۰/۲۵۳
T6	R6	۱۰۲/۱۹	۱۰۲/۵۲	۰/۳۳۵
	L6	۱۰۰/۳۲	۹۹/۹۹	-۰/۳۳۲
T7	R7	۱۰۷/۱۰	۱۰۷/۴۶	۰/۳۷۶
	L7	۹۳/۳۸	۹۳/۱۱	-۰/۲۷۳
T8	R8	۹۵/۴۰	۹۵/۴۵	۰/۰۵۰۶
	L8	۹۲/۳۸	۹۲/۳۳	-۰/۰۴۷
T9	R9	۹۳/۴۳	۹۳/۱۴	-۰/۲۸۷
	L9	۱۰۰/۳۸	۱۰۰/۶۷	۰/۳۹۰
T10	R10	۷۹/۳۰	۷۹/۶۵	۰/۳۵۲
	L10	۱۱۷/۸۸	۱۱۷/۵۳	-۰/۳۴۹
T11	R11	۹۰/۱۲	۹۰/۶۷	۰/۵۴۹
	L11	۱۲۸/۱۹	۱۲۷/۶۵	-۰/۵۴۶
T12	R12	۸۹/۳۰	۸۹/۲۳	-۰/۰۷۶
	L12	۱۴۲/۳۲	۱۴۲/۴۰	۰/۰۹۷۸
T13	R13	۶۳/۶۶	۶۴/۲۶	۰/۵۹۷
	L13	۱۲۵/۵۲	۱۲۴/۹۲	-۰/۵۹۵
T14	R14	۷۱/۲۶	۷۱/۰۷۲	-۰/۱۸۷
	L14	۱۳۱/۷۵	۱۳۱/۹۴	۰/۱۹۰
T15	R15	۱۲۳/۶۰	۱۲۴/۱۳	۰/۵۲۶
	L15	۸۲/۴۵	۸۱/۹۳	-۰/۵۲۳
T16	R16	۱۵۶/۸۵	۱۵۶/۶۹	-۰/۱۵۹
	L16	۱۱۶/۴۰	۱۱۶/۵۶	۰/۱۶۳

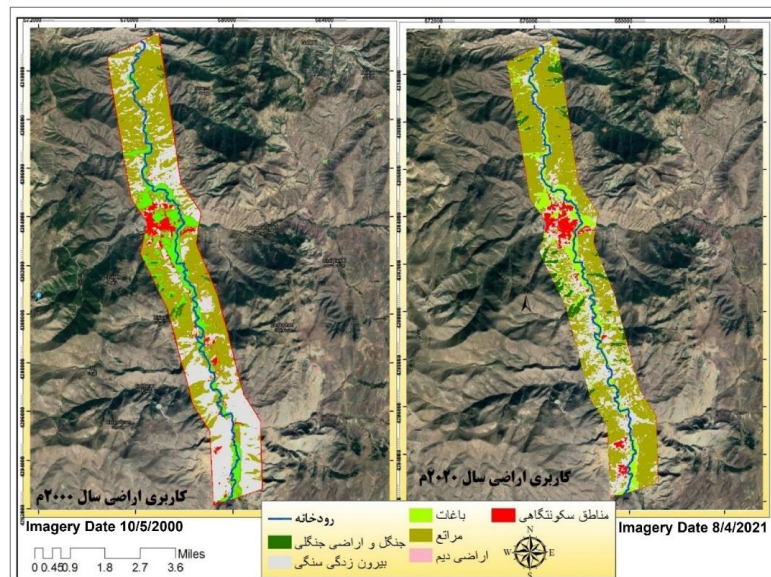
۰/۰۷۹۲	۱۴۶/۲۶	۱۴۶/۱۹	R۱۷	T۱۷
-۰/۰۷۶	۱۴۵/۰۳	۱۴۵/۱۱	L۱۷	
-۰/۴۵۹	۱۵۶/۹۸	۱۵۶/۵۲	R۱۸	T۱۸
-۰/۴۵۶	۱۰۸/۶۱	۱۰۹/۰۷	L۱۸	
-۱/۴۳۸	۱۴۶/۲۷	۱۴۴/۸۹	R۱۹	T۱۹
-۱/۴۳۳	۱۵۷/۴۱	۱۵۸/۸۵	L۱۹	

پراکندگی انواع کاربری در سطح حوضه به این صورت است که مراتع کوهستانی با دارا بودن ۳۴/۸۴ درصد بیش‌ترین و کاربری اراضی کشاورزی دیم کم‌ترین میزان کاربری به میزان ۲/۶۸ درصد از سطح حوضه را شامل می‌شود. بنابراین بیشترین تغییرات در بخش مراتع و اراضی بایر اتفاق افتاده است به عبارتی هر چه از سال ۱۳۷۹ به سمت سال ۱۳۹۹ حرکت نماییم بر میزان اراضی مراتع افزوده شده و از میزان اراضی بایر و بیرون زدگی سنگی کاسته شده است. در این میان نکته جالب توجه این است که در بازه زمانی ۲۰ ساله به مقدار جنگل و اراضی جنگلی منطقه مطالعاتی افزوده شده است. که مقدار آن از ۷۰/۴۳ هکتار در سال ۱۳۷۹ به ۱۸۰/۳۲ هکتار در سال ۱۳۹۹ افزایش یافته است، به عبارتی در حدود ۱۰۹/۸۹ هکتار در طی ۲۰ سال به مساحت جنگل‌های منطقه اضافه شده که با توجه به خالی شدن برخی از روستاها به خاطر مهاجرت و خالی شدن سکنه در روستاها و غیرقابل دسترس بودن مناطق جنگلی قابل قبول به نظر می‌رسد. شکل ۱۰ نوع کاربری اراضی و جدول ۶ مساحت هرکدام را نشان می‌دهد.

با توجه به تهیه نقشه کاربری اراضی در سال ۲۰۰۰ در منطقه مورد مطالعه با استفاده از روش طبقه‌بندی نظارت شده، می‌توان به این نتیجه رسید که قسمت‌های شمال شرق و شمال غرب حوضه مورد مطالعه به دلیل افزایش ارتفاع و نبود شرایط مناسب جهت کشت و زرع، مراتع کوهستانی فزونی می‌گیرد و از کل مساحت بازه مورد مطالعه، ۲۲۴۵/۰۵ کیلومترمربع از کل مساحت را به خود اختصاص داده است که مقدار هرکدام از کاربری‌ها در سال ۲۰۰۰ به ترتیب کاربری باغات (۵۳۲/۳۰ هکتار)، اراضی جنگلی (۷۰/۴۳ هکتار)، مراتع (۲۱۹۰/۱۳ هکتار)، اراضی دیم (۹/۴۴ هکتار)، مناطق مسکونی (۱۵۰/۰۳ هکتار) و بیرون‌زدگی سنگی (۱۱۶۰/۹۹ هکتار) هست که در مقایسه با کاربری اراضی در سال ۲۰۲۰ به مقدار باغات، اراضی جنگلی، مناطق مسکونی و مراتع اضافه شده است و در مقابل از مقدار بیرون‌زدگی سنگی و اراضی دیم کاسته شده است. (جدول ۷). ابتدای بازه مورد مطالعه به سمت پایین با کاهش ارتفاع و ایجاد شرایط مناسب جهت کشاورزی، کاربری اراضی به دو صورت کشاورزی و در حاشیه رودخانه به صورت باغ و مراتع مرغوب است؛ بنابراین درصد

جدول ۷: مساحت کاربری (هکتار)

سال	باغات	اراضی جنگلی	مراتع	اراضی دیم	مناطق مسکونی	بیرون‌زدگی سنگی
۲۰۰۰	۵۳۲/۳۰	۷۰/۴۳	۲۱۹۰/۱۳	۹/۴۴	۱۵۰/۰۳	۱۲۲۰/۵۴
۲۰۲۰	۵۵۷/۵۷	۱۸۰/۳۲	۲۲۴۵/۰۵	۴/۵۵	۱۹۰/۱۰	۱۱۶۰/۹۹



شکل ۸: نقشه کاربری اراضی منطقه مورد مطالعه (۲۰۲۰-۲۰۰۰)

نتیجه گیری

در پژوهش حاضر دینامیک جانبی مجرای رودخانه کلیبرچای در طی ۲۰ سال گذشته مورد بررسی قرار گرفت. بدین منظور مجموعه‌ای از متغیرهای کمی ژئومورفومتریکی با یافته‌های میدانی ترکیب شد. با توجه به این نتایج، تحولات مورفولوژیکی مجرای رودخانه کلیبرچای را می‌توان به صورت زیر خلاصه نمود: در طی بازه‌های زمانی مورد مطالعه (۲۰۲۰-۲۰۰۰)، علی‌رغم ایجاد میانبرها و مهاجرت جانبی، میانگین مقادیر سینوزیته و شعاع انحناي مجرای رودخانه تغییرات چشمگیری نداشته‌اند. این امر نشان می‌دهد که رودخانه در تعادل دینامیک هست. در طی ۲۰ سال گذشته، یک‌روند کاهش در نرخ مهاجرت جانی مجرای رودخانه دیده می‌شود. کاهش دینامیک جانبی مجرا مخصوصاً در بازه‌هایی که باغات در حاشیه رودخانه به صورت متمرکز بوده‌اند قابل توجه بوده است. روند کاهش تحرک جانبی مجرا در طی ۲ دهه اخیر (دوره زمانی ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۰) محسوس‌تر بوده است و در طی این دوره برای تعداد زیادی از مئاندرها مقدار زاویه مرکزی تغییرات چندانی نداشته است. تنگ‌شدگی

کلی مجرا که در درجه اول ناشی از کاهش دینامیک جانبی مجرا بوده است. این امر منجر به غلبه فرایندهای فرسایشی بر نهشته‌گذاری شده است. اشغال و استقرار پوشش گیاهی طبیعی بر روی پشته‌های نقطه‌ای فعال و دست‌اندازی اراضی کشاورزی به اراضی حاشیه‌ای و دشت سیلابی رودخانه و احداث جاده در بستر اصلی رودخانه از دیگر عوامل مهم تنگ‌شدگی مجرای رودخانه کلیبرچای محسوب می‌شوند. تمایل به الگوی مئاندري در بازه‌هایی که سابقاً رفتار آستانه‌های مئاندري - گیسویی نشان می‌دادند و تنها در بازه هفتم از ترانسکت هفتم الگوی مجرا از حالت مئاندري به حالت سینوسی تغییر پیدا کرده است. نتایج حاصل از دو شاخص نرخ مهاجرت مجرا و روش ترانسکت نیز تأیید می‌کند که در مجموع، تغییرات عرضی مجرای رودخانه کلیبرچای از سال ۱۳۷۹ الی ۱۳۹۹ از آهنگ پایینی برخوردار است. هر چه از سال ۱۳۷۹ به سمت سال ۱۳۹۹ حرکت نماییم بر میزان اراضی بایر افزوده شده و از میزان مراتع کاسته شده است. همچنین در این میان نکته جالب توجه این است که در بازه زمانی ۲۰ ساله به

جنگلی منطقه اضافه شده که با توجه به خالی شدن برخی از روستاها به خاطر مهاجرت و خالی شدن سکنه در روستاها و غیرقابل دسترس بودن مناطق جنگلی و همچنین تغییر نوع کشت از سنتی به صنعتی قابل قبول به نظر می‌رسد.

مدیریت حوضه آبخیز، شماره ۷(۱۳)، ص ۲۷۱-۲۸۳.

-رضایی مقدم، م.، نیکجو، م.، ولیزاده کامران، خ.، بلوآسی، ا. و بلوآسی، م.، ۱۳۹۳. کاربرد مدل شبکه عصبی مصنوعی در پهنه‌بندی خطر زمین لغزش، نشریه جغرافیا و برنامه‌ریزی، شماره ۲۱(۵۹)، ص ۸۹-۱۱۱.

-رضایی مقدم، م.، ثروتی، م. و اصغری سراسکانرود، ص.، ۱۳۹۱. بررسی تغییرات الگوی هندسی رودخانه قزل‌اوزن با استفاده از تحلیل هندسه فراکتال، نشریه جغرافیا و برنامه‌ریزی، شماره ۱۶(۴۰)، ۱۱۹-۱۳۹.

-فتح اله اتی‌کندی، پ.، ۱۳۹۶. مکانیزم وقوع فرسایش کناره‌ای در رودخانه کلپیرچای - آذربایجان شرقی، پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد ژئومورفولوژی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی تهران، ایران.

-معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی، ۱۳۹۱. راهنمای مطالعات ریخت‌شناسی رودخانه‌ها، شماره ۵۹۲.

-وزارت نیرو و معاونت آب و آبفا، ۱۳۹۸. راهنمای شکل هندسی مقطع و راستای رودخانه، شماره ۳۶۶(۱)، ص ۱-۱۷۴.

-یاسی، م.، ۱۳۸۸. مهندسی رودخانه پیشرفته، انتشارات دانشگاه ارومیه، ص ۲۷.

-یمانی، م. و حسین زاده، م.م.، ۱۳۸۳. بررسی الگوهای پیچان‌رودی رودخانه تالار با استفاده از شاخص‌های ضریب خمیدگی و زاویه مرکزی،

مقدار جنگل و اراضی جنگلی منطقه مطالعاتی افزوده شده است. که مقدار آن از ۷۰/۴۳ هکتار در سال ۱۳۷۹ به ۱۸۰/۳۲ هکتار در سال ۱۳۹۹ افزایش یافته است، به عبارتی در حدود ۱۰۹/۸۹ هکتار در طی ۲۰ سال به مساحت جنگل و اراضی

منابع

-اصغری سراسکانرود، ص.، ۱۳۹۳. بررسی پتانسیل تغییرات مورفولوژیک رودخانه شهرچای ارومیه، نشریه جغرافیا و برنامه‌ریزی، شماره ۲۰(۵۷)، ص ۴۹-۶۲.

-اصغری سراسکانرود، ص. و پوراحمد، م.، ۱۳۹۴. شناسایی و استخراج تغییرات رودخانه زرینه رود با استفاده از پردازش تصاویر ماهواره‌ای، نشریه هیدروژئومورفولوژی، شماره ۲(۵)، ص ۱-۱۶.

-ایامی احمدآباد، ا.، ۱۳۹۸. ارزیابی الگوی بستر و میزان تغییرات هندسی رودخانه زرینه رود با استفاده از روش ترانسکت، پایان‌نامه کارشناسی-ارشد، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه محقق اردبیلی.

-پیروزی، ا.، مددی، ع.، اصغری سراسکانرود، ص. و رضایی مقدم، م.، ۱۳۹۹. آشکارسازی تغییرات مجرای گیوی چای در بازه زمانی ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۹، ۳۴ نشریه جغرافیا و برنامه‌ریزی، شماره ۲، ص ۱۹-۴۱.

-حسین زاده، م.، خالقی، س. و فتح اله اتی‌کندی، پ.، ۱۳۹۸. طبقه‌بندی مورفولوژیکی رودخانه کلپیرچای با استفاده از مدل راسگن، نشریه هیدروژئومورفولوژی دانشگاه تبریز، شماره ۲۱، ص ۴۳-۶۴.

-رضایی مقدم جباری، ا. و پیروزی‌نژاد، ن.، ۱۳۹۵. بررسی الگوهای رودخانه‌ای مئاندری، شریانی و آنابرنچینگ با استفاده از شاخص‌های شریانی و خمیدگی در رودخانه گاماسیاب، پژوهشنامه

طی سه دهه اخیر (مطالعه موردی: پایین دست سد میل مغان)، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، شماره ۴، ص ۷۶-۸۹.

فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، شماره ۷۳، ص ۱۵۴-۱۴۴.

-یمانی، م، رحیمی، م. و ویسی، ع.، ۱۳۹۶. مورفومتری و مقایسه تغییرات عرضی رودخانه ارس

-Abate, M., Nyssen, J., Steenhuis, T.S., Moges, M.M., Tilahun, S.A., Enku, T., Adgo, E., Amsler Mario, L., Ramonell, C.G. and Toniolo, H.A., 2005. Morphologic changes in the Parana River channel (Argentina) in the light of the climate variability during the 20th century, *Geomorphology*, v. 70(2), p. 257-278.

-Asghari Sarasekanrood, S., 2017. Analysis of pattern Shape of the Kalghan Chay River (Kalghan Dam Interbound to the Qarango River). *Quantitative Geomorphology*, v. 6(2), p. 116-132.

-Bag, R., Mondal, I. and Bandyopadhyay, J., 2019. Assessing the oscillation of channel geometry and meander migration cardinality of Bhagirathi River, West Bengal, India, *Journal of Geographical Sciences*, v. 29(4), p. 613-634.

-Batalla, R.J., Geradiniovali, A., Cahyongsin, M., Llena, M. and Vericat, D., 2019. Recent geomorphological evolution of a natural river channel in a Mediterranean Chilean basin. *Geomorphology*, v. 30(3), p. 322-337.

-Batalla, R.J., Iroume, A., Hernandez, M., Llena, M. and Vericat, D., 2018. Recent geomorphological evolution of a natural river channel in a Mediterranean Chilean basin, *Geomorphology*, v. 30(3), p. 322-337.

-Chaiwongsaen, N., Nimnate, P. and Choowong, M., 2019. Morphological Changes of the Lower Ping and Chao Phraya Rivers North and Central Thailand: Flood and Coastal Equilibrium

Analyses. *OpenGeosci*, v. 11(1), p. 152-171.

-Giardino, J.R. and Rap, A.A., 2013. Channel changes and floodplain management in the meandering middle Ebro River, Spain, v. 117, p. 247-260.

-Hazarika, N.C., Erwin, S.O. and Schmidt, J.C., 2013. Spatial and temporal patterns in channelchange on the Snake River downstream from Jackson Lake dam, Wyoming. *Geomorphology*, v. 200, p. 132-142.

-Jho, I.P. and Limon, H.F., 2006. Meandering channel migration in the GIS environment: A case study of the Sabine River in the USA. *Environmental Monitoring and Assessment*, v. 152(1-4), p. 155-165, M University.

-Mcfeeters, S.K., 1996. The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features, *International Journal of Remote Sensing*, v. 17(7), p. 1425-1432.

-Mcfeeters, S.K., 1996. The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features, *International Journal of Remote Sensing*, v. 17(7), p. 1425-1432.

-Slater, J., Duc, T.A., Cho, H.S. and Choi, S.U., 2015. Characterization and prediction of

Xu, H. (2006) Modification of normalised difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery, *International Journal of Remote Sensing*, v. 27(14), p. 3025- 3033.