

شناسایی و استخراج تغییرات رودخانه‌ی زرینه‌رود در فاصله‌ی سال‌های ۱۹۸۹ تا ۲۰۱۴ با استفاده از پردازش تصاویر ماهواره‌ای

صیاد اصغری سراسکانرود^{۱*}

مهدی پوراحمد^۲

چکیده

این تحقیق به منظور شناسایی و استخراج تغییرات قسمتی از رودخانه‌ی زرینه‌رود در فاصله‌ی سال‌های ۱۹۸۹ تا ۲۰۱۴ میلادی - مطابق با سال‌های ۱۳۶۸ تا ۱۳۹۳ هجری شمسی - با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست انجام گرفته است؛ تغییر مسیر و مورفولوژی مجرای رودخانه‌ها - که از ویژگی‌های مهم دشت‌های سیلابی بوده - و در مقیاس زمانی اتفاق می‌افتد، و مطالعه آن با استفاده از فن‌آوری سنجش از دور، نتایج مطلوب‌تری به دست می‌دهد در این تحقیق نیز از این تکنیک استفاده شده است. تصاویر پس از تصحیحات رادیومتریک و تصحیحات هندسی، جهت افزایش تباین به روش خطی بسط داده شده و در مرحله‌ی بعد با استفاده از روش‌های تحلیل مؤلفه‌های اصلی و ترکیب باندی بهترین مؤلفه و ترکیب باندی مشخص گردید. سپس با انتقال این مؤلفه‌ها و ترکیب باندی به محیط نرم‌افزار ArcGIS محدوده‌ی رودخانه در سال‌های مورد مطالعه استخراج و تجزیه و تحلیل شد. جهت تحلیل کمی تغییرات مسیر رودخانه، از شاخص‌های ضریب خمیدگی و بعد فراکتالی برای مقایسه‌ی سال‌های مورد مطالعه استفاده شد. نتایج تحقیق نشان می‌دهد به علت کاهش بسیار محسوس دبی رودخانه از سال ۲۰۰۰ تا سال ۲۰۱۴، پتانسیل رودخانه برای ایجاد تغییرات مورفولوژیک در بخش‌های مختلف بسیار پایین است. بیشترین میزان تغییرات در سال ۱۹۸۹ اتفاق افتاده است. ناپایداری مسیر رودخانه نیز در طی سال‌های مورد مطالعه به جز حذف یک پیچان‌رود از الگوی سال ۱۹۸۹، بسیار کم می‌باشد. همچنین نتایج روش‌های استخراج الگوی رودخانه نشان داد که جهت تشخیص خط مرزی رودخانه تحلیل مؤلفه‌های اصلی از روش‌های دیگر کارا تر است.

واژه‌های کلیدی: تغییرات رودخانه؛ ضریب خمیدگی؛ ناپایداری مجرا؛ زرینه‌رود؛ تحلیل مؤلفه‌های اصلی.

مقدمه

تغییر مسیر و مورفولوژی مجرای رودخانه‌ها از ویژگی‌های مهم دشتهای سیلابی است و چون این تغییرات در مقیاس زمانی اتفاق می‌افتند، بنابراین مطالعه‌ی آنها با فن‌آوری سنجش از دور نتایج بهتری در پی دارد (گوشال و همکاران^۱، ۲۰۱۰: ۱۷۹۸). برای بررسی و اندازه‌گیری روند و حجم تغییرات و نحوه‌ی تغییرات نیز می‌توان از عکس‌های هوایی، تصاویر ماهواره‌ای و تحلیل مدل رقومی استفاده کرد (لان و همکاران^۲، ۲۰۰۴: ۱۱۵). اکوسیستم رودخانه‌ها کاملاً پویا بوده و مرزهای جانبی و مشخصات مورفولوژیکی آنها در طول زمان و به طور پیوسته در حال تغییر است (کسلر و همکاران^۳، ۲۰۱۳: ۱). نظارت بر تغییرات مورفولوژیک، اساس و پایه‌ی حل مشکلات و مسائل ژئومورفولوژی کاربردی بوده و طراحی و شناسایی فرایندهای آنها ضروری است. ژئومورفولوگ‌ها برای درک ماهیت و سرعت تغییرات به تشریح گذشته و حال - به‌عنوان یک اصل ضروری - پرداخته و آینده‌ی فرایندها را پیش‌بینی می‌کنند (کوک^۴ و ورنکمپ^۵، ۱۹۹۰: ۷). از طرف دیگر مطالعات ژئومورفولوژی، از مهم‌ترین مباحث علم مهندسی رودخانه است که به بیان شکل هندسی، فرم بستر، پروفیل طولی آبراهه، مقاطع عرضی، تغییر شکل‌ها و تغییر مکان رودخانه در طول زمان می‌پردازد (حافظی مقدس و همکاران، ۱۳۹۱: ۲). محققان مختلف در سرتاسر جهان به قابلیت تصاویر ماهواره‌ای و تلفیق آن با سیستم اطلاعات جغرافیایی جهت فراهم کردن اطلاعات کامل از وضعیت رودخانه و پایش تغییرات مکانی آن در فواصل زمانی مختلف اشاره کرده‌اند (سوریان، ۱۹۹۹: ۱۱۳۶؛ رینالدی^۶، ۲۰۰۳: ۵۸۸؛ لی^۷ و همکاران، ۲۰۰۷: ۱۸۵؛ کوما و همکاران^۸، ۲۰۰۸: ۱؛ سارکار و همکاران^۹، ۲۰۱۲: ۶۳؛ پان^{۱۰}، ۲۰۱۳: ۱۴۹؛ ارشد و همکاران، ۱۳۸۶: ۱۸۰). پیشرفت‌های اخیر علوم سنجش از دور از جمله بهبود قدرت تفکیک مکانی، زمانی و طیفی تصاویر ماهواره‌ای سنجنده‌های مختلف از یک‌سو، و ابداع شاخص‌ها و فن‌آوری جدید در مطالعه‌ی رودخانه‌ها در طول دهه‌های گذشته از سوی دیگر باعث ایجاد نگرش مثبت محققان علوم رودخانه‌ای در استفاده از فن‌آوری سنجش از دور شده است (وایتون^{۱۱}، ۲۰۰۹: ۳؛ داس و ساراف^{۱۲}، ۲۰۰۷: ۳۶۲۰).

-
- 1- Ghoshal et al.,
 - 2- Lane et al.,
 - 3- Kessler et al.,
 - 4- Cook
 - 5- Doornkamp
 - 6- Rinaldi
 - 7- Lu
 - 8- Kummur et al.,
 - 9- Sarkar et al.,
 - 10- Pan
 - 11- Wheaton
 - 12- Das and Saraf

سارکار و همکاران^۱ (۲۰۱۲) با استفاده از سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دینامیک رودخانهی براهماپوترا در هند را در فاصله‌ی زمانی ۱۹۹۸ تا ۲۰۰۸ بررسی نمودند. آنها با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای IRS 1A LISS-I و IRS-P6 LISS_III و تحلیل آنها، عوامل مؤثر بر تغییرات مورفولوژی رودخانه در فاصله‌ی زمانی مورد مطالعه را شناسایی نموده و تصدیق کردند که تحلیل تصاویر ماهواره‌ای آخرین اطلاعات از وضعیت مورفولوژیکی رودخانه را در اختیار محققان قرار می‌دهد. پان^۲ (۲۰۱۳) تغییرات حوضه‌ی رودخانه‌ی بانکورا را با استفاده از فن‌آوری سنجش و نقشه‌های توپوگرافی و تصاویر ماهواره‌ای لندست (سنجنده‌های MSS و ETM) در دوره‌های زمانی مختلف از دور مورد مطالعه قرار داده، شاخص‌های مورفولوژیکی رودخانه از جمله ضریب خمیدگی، تقارن مقطع عرضی دره، نسبت پیچان‌رودی و ضریب بریدگی از تصاویر ماهواره‌ای را استخراج نمود. نتایج نشان داد که شاخص‌های مورفولوژیکی رودخانه در فواصل زمانی مورد بررسی در حال تغییر بوده و این تغییرات در نواحی مختلف متفاوت می‌باشد.

محمدی و همکاران (۱۳۸۵)، در پژوهشی اثرات سیل مرداد ۱۳۸۰ شرق گلستان بر مورفولوژی رودخانه‌ی مادرسو را بررسی نمودند. در این تحقیق برای بررسی خصوصیات مورفولوژیکی رودخانه در دوره‌ی قبل از وقوع سیل، از نقشه‌های توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰، تصاویر TM و ETM+ ماهواره‌ی لندست، عرض و عمق متوسط رودخانه و جهت بررسی وضعیت مورفولوژیکی رودخانه پس از وقوع سیل از نقشه‌های پلان و پروفیل طولی با مقیاس ۱:۲۰۰۰ و پروفیل عرضی با مقیاس ۱:۱۰۰ استفاده گردید. یافته‌های این محققان نشان داد که بعضی از خصوصیات مورفولوژیکی شامل طول قوس، طول موج، شعاع قوس و ضریب مئاندری در دو دوره‌ی قبل و بعد از سیل تفاوت معناداری با هم دارند. مقصودی و همکاران (۱۳۸۹)، با استفاده از عکس‌های هوایی و تصاویر ماهواره‌ی لندست سال‌های مختلف و مقایسه‌ی پارامترهای هندسی اندازه‌گیری شده‌ی آن سال‌ها روند تغییرات مورفولوژیکی رودخانه‌ی خرم‌آباد را بررسی کرده، نتیجه گرفتند پارامترهای هندسی به دست آمده در سه دوره‌ی مورد مطالعه، تغییرات شکل پلان رودخانه را نشان می‌دهد. این محققان علت این تغییرات را تغییر کاربری اراضی اطراف رودخانه دانسته‌اند. جعفری‌گل و همکاران (۱۳۹۱)، در تحقیقی تغییرات بستر و ویژگی‌های رودخانه‌ی گیلان غرب در سال‌های ۱۳۴۴ تا ۱۳۸۱ را با استفاده از عکس‌های هوایی، تصاویر ماهواره‌ی TM و IRS بررسی کردند. پس از محاسبه‌ی تغییرات بستر، تعداد مئاندرها و تغییرات طول رودخانه در سه دوره، نتیجه گرفتند به علت تأثیرات نوزمین‌ساخت، تغییرات رخ داده در طی دوره‌ی زمانی ۱۳۶۵ تا

1- Sarkar et al.,

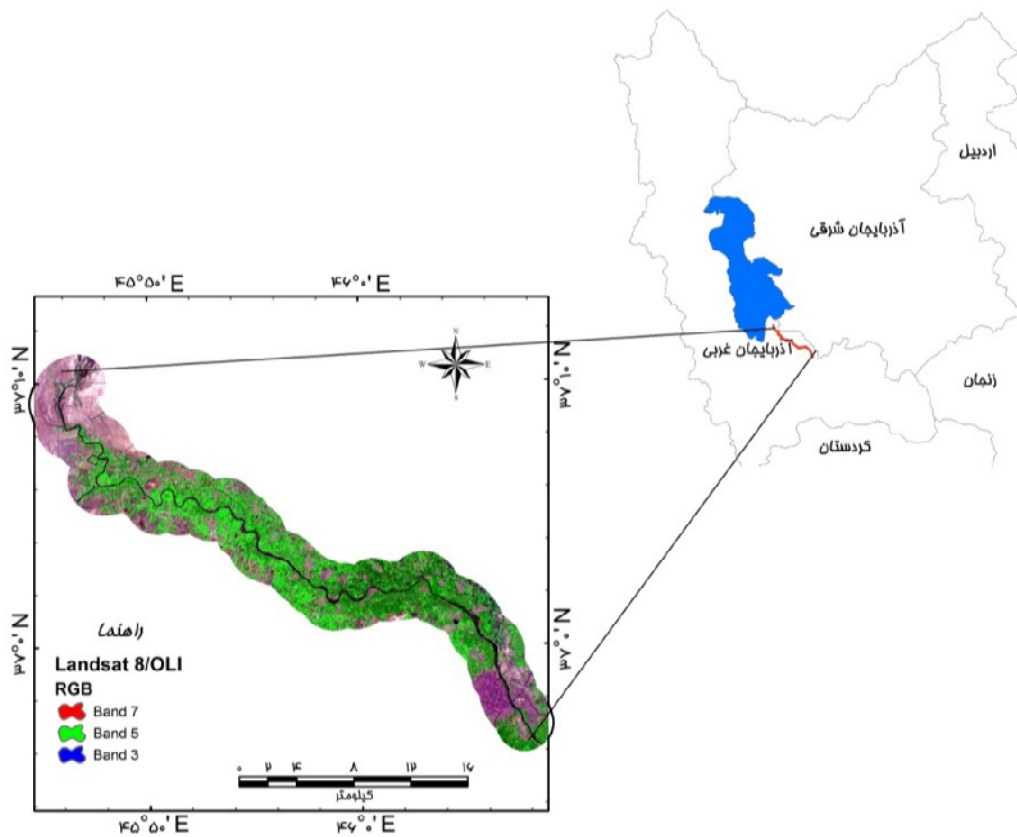
2- Pan

۱۳۸۱ شدیدتر از دوره‌ی دیگر بوده است. شریفی‌کیا و امیری (۱۳۹۲)، تغییرات الگوی مکانی رودخانه‌ی هیرمند را با استفاده از عکس‌های هوایی و تصاویر ماهواره‌ای IRS_P5 در بازه‌های زمانی مختلف بررسی نمود و نتیجه گرفتند محور رودخانه تغییرپذیری بین حداقل ۵ تا حداکثر ۳۱ درجه را تحمل کرده است.

با توجه به موارد ذکر شده، هدف این تحقیق شناسایی و استخراج تغییرات قسمتی از مسیر رودخانه‌ی زیرینرود در فاصله‌ی سال‌های ۱۹۸۹ تا ۲۰۱۴ میلادی مطابق با سال‌های ۱۳۶۸ تا ۱۳۹۳ هجری شمسی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست می‌باشد.

منطقه‌ی مورد مطالعه

منطقه‌ی مورد مطالعه قسمتی از رودخانه‌ی زیرینرود به طول ۵۹ کیلومتر از شهر میاندوآب تا دریاچه‌ی ارومیه در استان آذربایجان غربی می‌باشد (شکل ۱). رودخانه‌ی زیرینرود با نام محلی جغتو از دامنه‌ی جنوبی کوه‌های چهل چشمه در ۳۵ کیلومتری شمال‌شرقی مریوان سرچشمه گرفته و طول شهرستان‌های تکاب، شاهین‌دژ و میاندوآب را پیموده و سرانجام از گوشه‌ی جنوب شرقی به دریاچه‌ی ارومیه می‌ریزد. این رودخانه از نوع دائمی بوده و با طول ۳۰۲ کیلومتر، ارتفاع سرچشمه ۲۵۰۰ متر، ارتفاع ریزشگاه ۱۲۷۵ متر، شیب متوسط ۴ درصد، بارش متوسط سالانه ۳۸۰ میلی‌متر، میانگین آبدهی ماهانه ۱۳۹/۵ میلیون متر مکعب و متوسط آبدهی ۱۸۱۳ میلیون متر مکعب در سال، دارای رژیم سیلابی است. سد بوکان میزان آب خروجی این رودخانه را تنظیم می‌کند. در گذشته سیلاب‌های ناشی از این رودخانه روستاهای زیادی را در بر می‌گرفت. با توجه به نقشه‌ی زمین‌شناسی منطقه، این رودخانه از سنگ‌های دگرگون‌شده در جنوب و جنوب غربی سرچشمه گرفته و گرانیت، فیلیت و مرمر نیز پیرامون رودخانه را در بر گرفته‌اند. همچنین سنگ‌های آتشفشانی دگرگون شده در قسمت‌های شرقی رخنمون داشته و در بخش‌های مرکزی و غرب رودخانه، توف‌های کواترنری، ماسه سنگ، شیل و آهک به صورت پراکنده وجود دارند (علمی‌زاده و همکاران، ۱۳۹۳: ۱۳۳).



شکل (۱) منطقه‌ی مورد مطالعه

مواد و روش

در این تحقیق از نرم‌افزارهای ArcGIS10.2 جهت ایجاد پایگاه داده، رقومی کردن مسیر رودخانه و انجام تجزیه و تحلیل و از ENVI5 جهت پردازش تصاویر استفاده شده است. تصاویر ماهواره‌ای مورد استفاده در این تحقیق، مربوط به سنجنده TM ماهواره‌ی لندست ۵ در سال ۱۹۸۹ با باند طیفی و سنجنده‌ی ETM+ ماهواره‌ی لندست ۷ در سال‌های ۲۰۰۰، ۲۰۰۴، ۲۰۱۰ با باند طیفی و سنجنده‌ی OLI ماهواره‌ی لندست ۸ در سال ۲۰۱۴، با ۱۱ باند طیفی است. اندازه‌ی پیکسل تصاویر این ماهواره ۳۰ متر است و محدوده‌ای با ابعاد ۱۸۵ در ۱۸۵ کیلومتر در جهت عمود بر حرکت ماهواره را پوشش می‌دهد. همچنین برای تصحیح هندسی از تصویر باند ۸ سنجنده‌ی ETM+، گرفته شده در روز شانزدهم سال ۲۰۱۰ میلادی که دارای اندازه‌ی پیکسل ۱۵ متر است و منطقه‌ای به عرض ۱۸۵ کیلومتر را تصویربرداری می‌کند و از اطلاعات ژئورفرنس شده، استفاده شده است. به منظور بررسی تغییرات مسیر رودخانه از ضریب سینوزیته و برای کمی کردن میزان تغییرات از بعد فراکتالی مسیر رودخانه استفاده شده است.

برای انجام این تحقیق تصاویر پس از تصحیحات رادیومتریکی و هندسی، جهت افزایش تباين به روش خطی بسط داده شده، سپس با استفاده از روش‌های تحلیل مؤلفه‌های اصلی و ترکیب باندي بهترین مؤلفه و ترکیب باندي مشخص شد. با انتقال این مؤلفه‌ها و ترکیب باندي به نرم‌افزار محیط ArcGIS محدوده‌ی رودخانه در سال‌های مورد مطالعه استخراج گردیده و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت..

پیش‌پردازش داده‌های ماهواره‌ای

عملیات پیش‌پردازش مورد نیاز برای آماده‌سازی داده‌ها شامل دو مرحله‌ی کلی تصحیحات رادیومتریکی و تصحیحات هندسی است. به منظور انجام تصحیحات رادیومتریکی، داده‌های تصویر طی دو مرحله، ابتدا از Digital number به تابش طیفی^۱ و سپس به بازتاب طیفی^۲ تبدیل شدند. استفاده از مقادیر بازتاب در مقایسه با مقادیر رادیانس، دو مزیت دارد: اول اینکه می‌توان تأثیر کسینوس زاویه‌ی زینت خورشید متفاوت، به نسبت اختلاف زمانی بین برداشت داده‌ها را اندازه‌گیری کرد و دوم این که مقادیر مختلف تابش خورشیدی بیرون اتمسفر که ناشی از اختلاف‌های باند طیفی است، تصحیح می‌شود (چاندر و همکاران^۳، ۲۰۰۹: ۸۹۵). پس از تصحیحات رادیومتریکی، تصحیحات هندسی بر روی تصاویر پیاده شدند. برای تصحیح هندسی تصاویر، ابتدا نقاط کنترلی به تعداد قابل قبول و با پراکنش مناسب در هر دو تصویر مرجع و تصویر مورد استفاده انتخاب گردید؛ و پس از انجام این دو مرحله تصاویر برای انجام روش‌های تحقیق آماده شدند.

پردازش داده‌های ماهواره‌ای

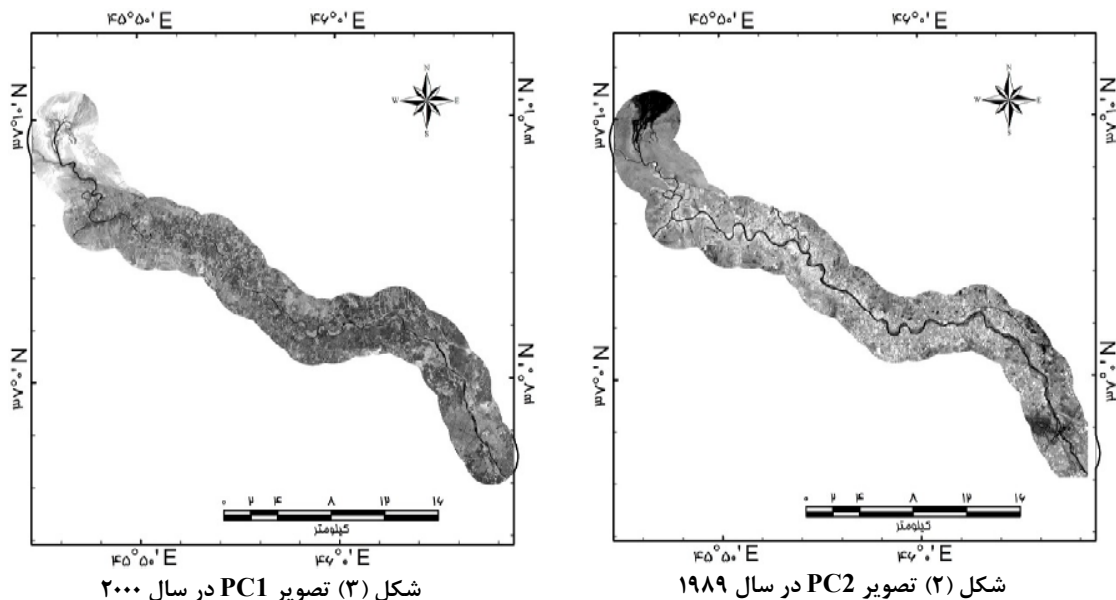
پردازش تصاویر ماهواره‌ای و خوارزمی‌های جداسازی آب و زمین در تصاویر ماهواره‌ای نقش مهمی در تحلیل‌های بعدی دارد. لذا برای ارزیابی بهترین خوارزمی جهت تفکیک و تشخیص خط ساحلی رودخانه‌ها در تصاویر ماهواره‌ای، دقت زیادی به کار رفت. بهترین محدوده‌ی امواج الکترومغناطیس برای جداسازی آب از زمین بخش مادون‌قرمز است. جذب تابش امواج مادون قرمز توسط آب و بازتابش زیاد آن توسط پوشش گیاهی و تا حدودی خاک، کنتراست خوبی بین آب و زمین ایجاد می‌کند (ویلسون^۴، ۱۹۹۷: ۴۸۵).

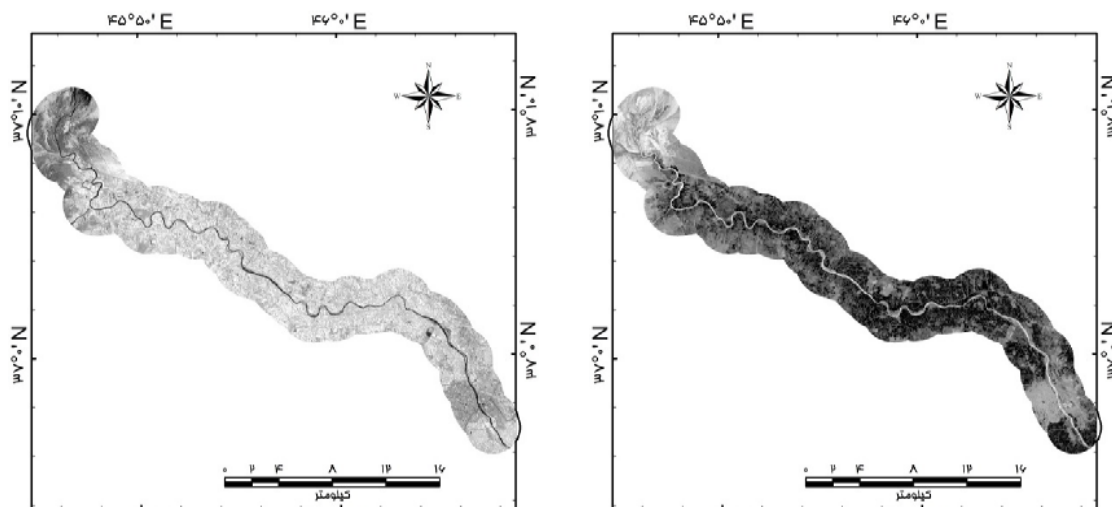
اغلب سنجنده‌ها برای به تصویر کشیدن سطح زمین در هر ناحیه‌ی طیفی نمی‌توانند از توان کامل خود استفاده کنند، از این رو، تصاویر تاریک و فاقد قابلیت نمایش مناسب هستند. چنانچه درجات خاکستری به گونه‌ای تغییر داده شود که در تمامی محور سیاه و سفید مکعب رنگ گسترده شود، تباين بین نواحی تاریک و

1- Radiance
2- Reflectance
3- Chander et al.,
4- Wilson

روشن افزایش یافته، موجب تفسیر بهتر تصویر می‌گردد. باید توجه داشت که روش بارزسازی روش مبتنی بر آزمون و خطاست (علوی‌پناه، ۱۳۹۰: ۴۸۷). نتایج حاصل از روش‌های مختلف برای جداسازی مرز رودخانه نشان داد که بسط کنتراست به روش خطی به دلیل وجود دامنه‌ی کامل درجه‌ی روشنایی مغایرت بین آب و سواحل را به خوبی نشان می‌دهد؛ بنابراین ابتدا بر روی هر یک از باندها بهبود کنتراست به روش خطی انجام گردید و سپس جهت تعیین حدود رودخانه از تحلیل مؤلفه‌های اصلی^۱ (PCA)، نسبت باندها و ترکیب باندها استفاده گردید.

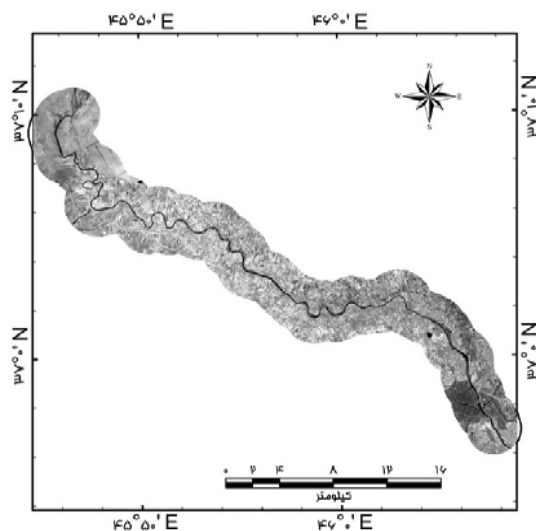
تحلیل مؤلفه‌های اصلی^۱ (PCA): روشی برای تبدیل و کاهش داده‌ها در سنجش از دور است (علوی‌پناه، ۱۳۹۰: ۴۹۶) که می‌توان داده‌های چندطیفی یا چند باندها را در یک فضای چندبعدی تصویر نمود، با توجه به وابستگی یا همبستگی باندهای همسایه به یکدیگر، از تحلیل مؤلفه‌های اصلی با هدف دستیابی به مقادیر و مؤلفه‌های (ویژگی‌های) جدیدی استفاده می‌شود که در آن‌ها واریانس داده‌ها بیشتر و بنابراین میزان اطلاعات بیشتر و وابستگی بین این مؤلفه‌ها کمتر از حالت اولیه‌ی تصاویر است (فاطمی و رضائی، ۱۳۹۱: ۱۲۳). در گذشته کاربرد تحلیل مؤلفه‌های اصلی صرفاً کاهش حجم داده‌ها بود، حال آنکه اطلاعات فراوان دیگری نیز با استفاده از PCA قابل استخراج است. یکی از مهم‌ترین اطلاعات قابل استخراج از تحلیل مؤلفه‌های اصلی، اطلاعات مربوط به تغییرات حادث شده در تصاویر چندزمانه‌ای است (علوی‌پناه، ۱۳۹۰: ۵۹۰).





شکل (۵) تصویر PC2 در سال ۲۰۱۰

شکل (۴) تصویر PC2 در سال ۲۰۰۴



شکل (۶) تصویر PC2 در سال ۲۰۱۴

یکی از روش‌های متداول برای تشخیص تغییرات به کمک داده‌های ماهواره‌ای نسبت‌گیری بانندی است: فرایند تقسیم پیکسل‌های یک باند تصویر بر باند دیگر آن را نسبت‌گیری بانندی گویند. استفاده از نسبت‌گیری بانندی قابلیت بالایی در بارزسازی خواص طیفی عوارض مختلف و حذف یا کاهش اثرات نامطلوب ناشی از تغییرات نوردهی دارد (فاطمی و رضائی، ۱۳۹۱: ۱۳۳).

محاسبه‌ی میزان سینوزیته و بعد فراکتالی مسیر رودخانه در سال‌های مختلف

بررسی میزان پیش‌مآندرها و سینوزیته‌ی مسیر رودخانه، مقایسه‌ی میزان انحنای مسیر قطعات مختلف رودخانه و در نتیجه اظهار نظر در مورد پیش‌مآندرها را آسان‌تر می‌سازد (بیاتی خطیبی، ۱۳۹۱: ۹۳).

جهت بررسی سینوزیته‌ی مسیر رودخانه از رابطه‌ی زیر استفاده شد:

$$S = T/L \quad (۱) \quad \text{رابطه‌ی}$$

رابطه (۱) S میزان سینوزیته، T طول سینوزیته و L مسافت طولی خط مستقیم است (بیاتی خطی، ۱۳۹۱: ۹۱).

جهت محاسبه‌ی بعد فراکتال می‌توان از روش‌های مختلفی استفاده نمود که از آن جمله می‌توان بعد خود متشابهی (D_s)، بعد اندازه‌گیری شده (d) و بعد شمارش خانه (Db) (گرس برگر^۱، ۱۹۸۳: ۵۱۸) را نام برد. در این تحقیق جهت تعیین بعد فراکتالی از روش بعد شمارش خانه با استفاده از نرم‌افزار Fractalyse استفاده شده است.

بحث و نتایج

بررسی تغییرات نواحی رودخانه

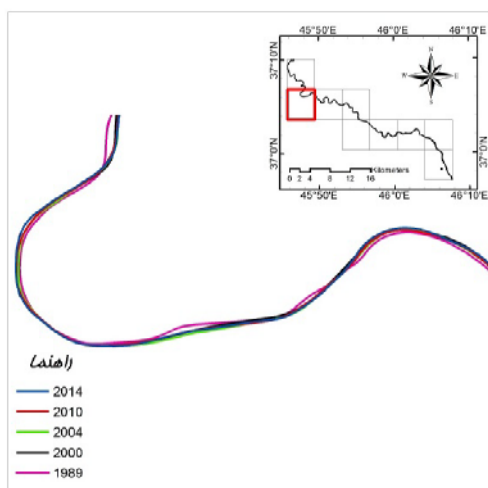
بررسی تغییرات مسیر رودخانه در سال‌های مورد مطالعه نشان‌دهنده‌ی پتانسیل بسیار پایین رودخانه در ایجاد تغییرات در محدوده‌ی رودخانه بخصوص از سال ۲۰۰۰ به بعد می‌باشد. دو عامل اساسی پتانسیل بسیار پایین تغییرات رودخانه عبارتند از: کاهش بسیار محسوس دبی رودخانه از سال ۲۰۰۰ تا سال ۲۰۱۴، به علت ایجاد سد در بالادست رودخانه و آبیگری بسیار زیاد مزارع اطراف از رودخانه است؛ به طوری که بستر رودخانه در سال‌های اخیر دارای باریکه‌ی بسیار کم پهنای آب بوده و هر چه به دریاچه‌ی ارومیه نزدیک می‌شود، میزان دبی شدیداً کاهش پیدا می‌کند. در ژئومورفولوژی رودخانه مهم‌ترین عامل ایجاد تغییرات رودخانه‌ای دبی‌های سیلابی است که با احداث سد این دبی‌ها شدیداً کاهش یافته و عامل محرکه برای ایجاد تغییرات رودخانه‌ای را از بین برده است. از طرف دیگر دیوارکشی و حفاظت از حریم باغات اطراف رودخانه باعث به حداقل رسیدن میزان تغییرات در محدوده‌ی مورد مطالعه می‌شود. الگوی سینوسی رودخانه از سال ۱۹۸۹ تا سال ۲۰۱۴ تغییرات فوق‌العاده کمی داشته است که هر چه به دریاچه‌ی ارومیه نزدیک می‌شویم این تغییرات کاهش بیشتری دارد. بنابراین، شکل‌گیری الگوی فعلی رودخانه به زمان قبل از احداث سد برمی‌گردد و در طی سال‌های مورد بررسی تغییرات معمولاً به صورت محلی می‌باشد.

برای بررسی دقیق‌تر، محدوده‌ی مورد مطالعه به ۹ مسیر طبقه‌بندی شده است؛ که مسیر اول از ساحل دریاچه شروع شده و به سمت بالادست رودخانه ادامه پیدا می‌کند. همان‌طوری که از اشکال ۷ و ۸ مشخص است، میزان تغییرات در هر دو مسیر ۱ و ۲ در طی سال‌های مورد بررسی بسیار کم بوده و بیشترین و شاخص‌ترین تغییرات اتفاق افتاده حذف یک پیچان رود از الگوی رودخانه است؛ به طوری که الگوی رودخانه

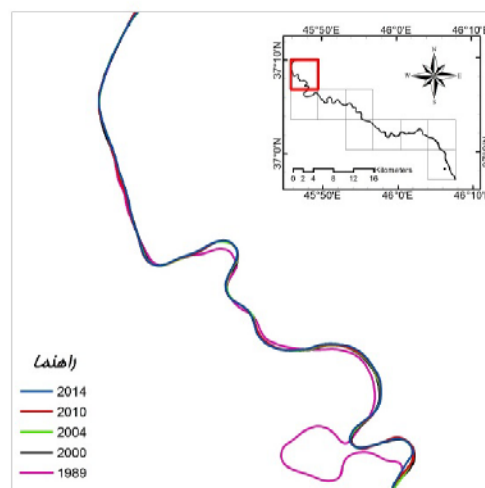
1- Grass Berger

در سال ۲۰۰۰ با از بین بردن پیچ مزبور مستقیم گشته است. الگوی کلی رودخانه در صورت فراهم شدن دبی مناسب به دلیل گسترش سازندهای بسیار فرسایش‌پذیر (تشکیلات رسی و سیل‌تی سدیمی) (شکل ۱۶) و بسیار ریز، مستعد تغییرات بسیار زیاد و وسیع رودخانه‌ای است؛ ولی عدم ورود دبی مؤثر در سال‌های مورد بررسی باعث کاهش زیاد تغییرات شده است.

دوم، وجود یک پیچان‌رود بسیار شاخص در ورودی رودخانه به دریاچه‌ی ارومیه می‌باشد. با توجه به این که محققان عمده‌تاً در بررسی رودخانه‌های دشت‌های سیلابی، میزان تغییر و تحول پیچان‌رودها را به عنوان یک شاخص عمده برای بیان تغییرات محسوب می‌کنند، مسیر دوم فقط یک پیچان‌رود را نشان می‌دهد. در پیچان‌رود قوس خارجی معمولاً شدیدترین تغییرات رودخانه‌ای اتفاق می‌افتد که باعث جابجایی بستر رودخانه و گسترش دشت‌های سیلابی محدوده‌ی رودخانه می‌شود. بررسی پیچان‌رود مسیر دوم نشان‌دهنده‌ی هیچ‌گونه تغییر مشخصی در طی سال‌های مورد بررسی نیست؛ به طوری که بررسی میزان خمیدگی و زاویه‌ی مرکزی پیچان‌رود مسیر دوم در سال‌های مورد بررسی تغییری را نشان نمی‌دهد. در طی بررسی میدانی نیز از پیچان‌رود مزبور و بررسی داغ‌آب‌های پیچان‌رود مورد نظر، تغییرات داغ‌آب‌ها در طی سال‌های مورد بررسی کمتر از ۵ متر تشخیص داده شد. به طوری که بررسی بستر رودخانه نشان‌دهنده‌ی کاهش بسیار محسوس در محدوده‌ی مزبور بوده و بستر فعال رودخانه در حال حاضر عمده‌تاً به صورت باریکه می‌باشد.



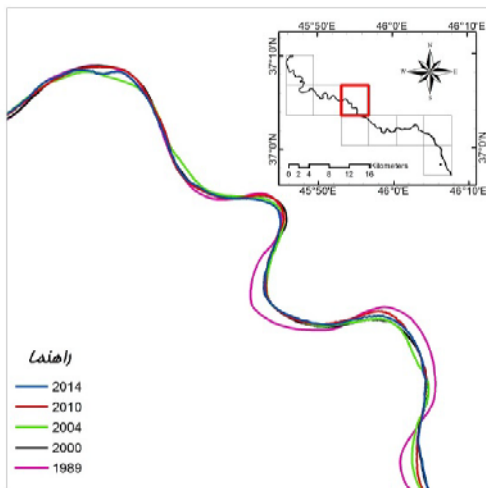
شکل (۸) رودخانه در مسیر دوم



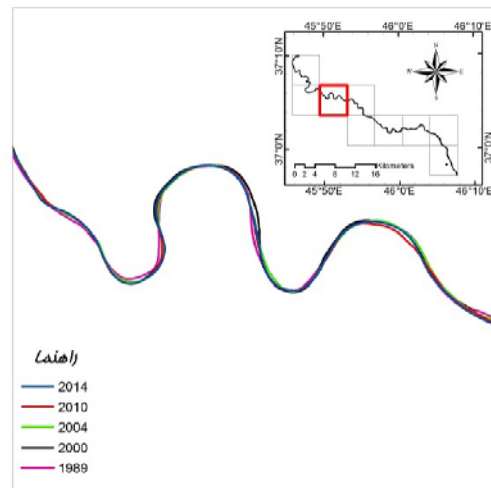
شکل (۷) رودخانه در مسیر اول

در مسیر سوم میزان تغییرات نسبت به مسیرهای ۱ و ۲ افزایش یافته است. بیشترین میزان تغییرات مربوط به سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۴ و بیشتر از سال‌های ۲۰۱۰ و ۲۰۱۴ است. با فاصله گرفتن از ساحل

دریاچه ارومیه و افزایش میزان دبی، تغییرات نیز بیشتر می‌شود. عامل اصلی تغییرات رودخانه‌ای در محدوده‌ی مورد بررسی عمدتاً تفاوت‌های محلی در کاربری و لیتولوژیکی بستر و سواحل رودخانه است. در مسیرهایی که میزان حفاظت از بستر و سواحل رودخانه بیشتر بوده، پتانسیل دبی رودخانه برای انجام تغییرات ژئومورفولوژیک بسیار پایین و به تبع آن میزان تغییرات بسیار کمتر شده است و در جاهایی که از سواحل رودخانه محافظت نشده است، میزان تغییرات به علت آزادی عمل رودخانه بیشتر بوده است. همچنین گسترش سازندهای فرسایش‌پذیر، هرچند به عنوان عامل کم اهمیت، در تغییرات رودخانه‌ای نقش داشته است. میزان تغییرات در مسیر چهارم نسبت به مسیر سوم در طی سال‌های مورد بررسی بسیار بیشتر بوده و به طوری که در سال ۱۹۸۹ نسبت به سال ۲۰۱۴ عمدتاً در نواحی قوس‌های رودخانه تا حدود ۱۰۰ متر بیشتر بوده است. مطلب مهم این است که در طی ۲۵ سال فقط یک قطع‌شدگی در مسیر رودخانه اتفاق افتاده که نشان‌دهنده‌ی دینامیک و توانایی کم رودخانه برای تغییر و تحول قوس‌های رودخانه است. از طرف دیگر با توجه به اینکه یکی از ویژگی‌های رودخانه‌های پیچان‌رودی زایش قوس‌های جدید در امتداد مسیر رودخانه است، در طی چهار مسیر مورد بررسی نیز هیچ قوس جدیدی ایجاد نشده است؛ حتی آستانه‌ی شروع قوس‌های جدید نیز در مسیر دیده نمی‌شود (اشکال ۹ و ۱۰).



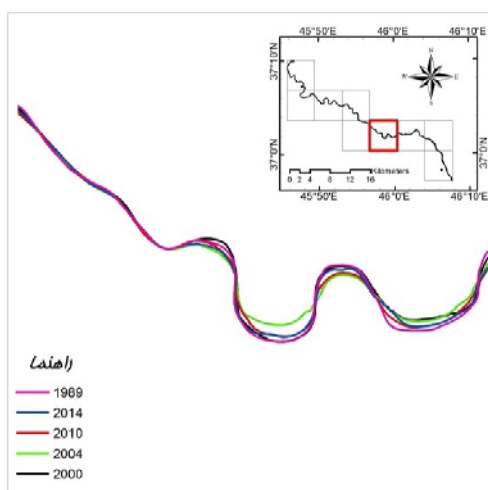
شکل (۱۰) رودخانه در مسیر چهارم



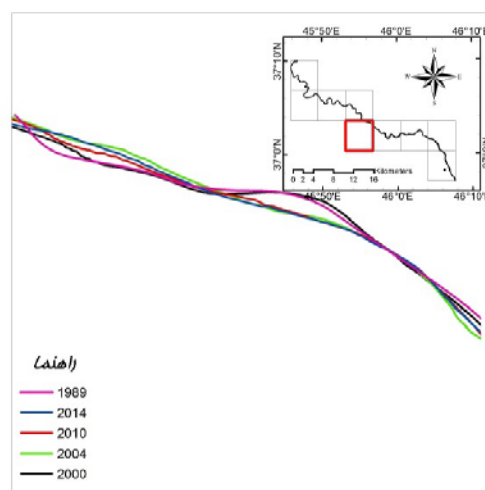
شکل (۹) رودخانه در مسیر سوم

بین مسیرهای مورد بررسی مسیر پنجم و ششم طی سال‌های مورد بررسی، بیشترین میزان تغییرات رودخانه‌ای را داشته، که عمدتاً به صورت تغییر مسیر و بستر رودخانه بوده است. در مسیر شماره‌ی پنجم آستانه‌ی شروع قوس خوردگی در مسیر رودخانه در سال ۲۰۰۰ ایجاد شده که این خمیدگی در سال‌های بعدی از بین رفته است. بررسی میدانی مسیر مورد مطالعه نشان داد که این قسمت از خمیدگی در سال

۲۰۰۰ به وسیله‌ی سیلاب به وجود آمده است. مسیر رودخانه به صورت تجاوز به باغات اطراف بوده که با انحراف مسیر رودخانه توسط کشاورزان به بستر اصلی، قوس خوردگی اصلی از بین رفته است. در مسیر ششم تغییرات رودخانه عمدتاً به صورت تغییر بستر رودخانه و کاهش و یا افزایش میزان قوس خوردگی پیچان‌رودها در سال‌های مختلف بوده است؛ که با توجه به دینامیک محلی و زمانی رودخانه، سینوزیته‌ی مائندهای مورد بررسی افزایش یا کاهش یافته است. به طوری که بیشترین میزان تغییرات عمدتاً در قوس‌های خارجی مائندهای رودخانه دیده می‌شود. کمترین میزان سینوزیته در سال ۲۰۰۴ و بیشترین میزان سینوزیته در سال ۱۹۸۹ بوده است (اشکال ۱۱ و ۱۲).

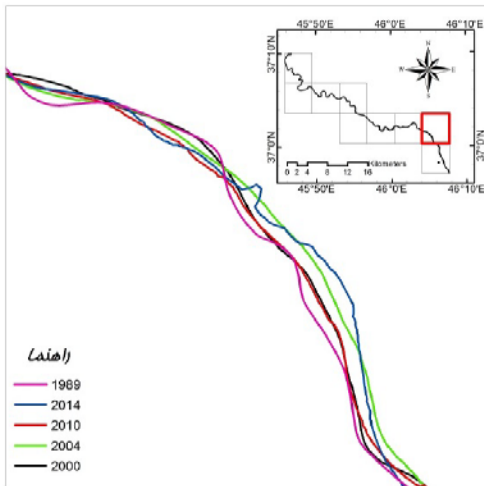


شکل (۱۲) رودخانه در مسیر ششم

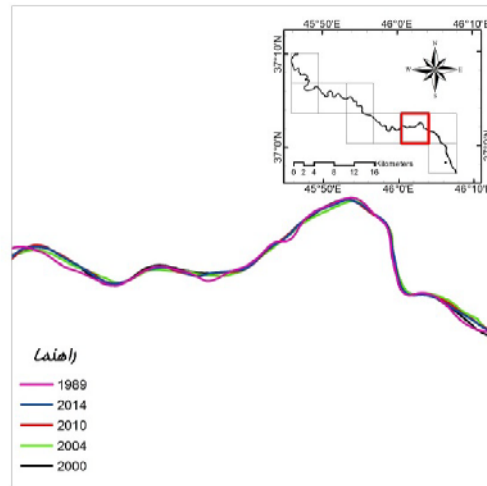


شکل (۱۱) رودخانه در مسیر پنجم

در مسیر هفتم میزان تغییرات رودخانه‌ای طی سال‌های مورد بررسی کم و تغییرات عرضی بستر رودخانه بین ۵ تا حداکثر ۱۵ بوده است؛ در حالی که میزان تغییرات در مسیر هشتم بیشتر و تغییرات عرضی بستر و مسیر رودخانه و پارامترهای پیچان‌رودی رودخانه تغییرات بیشتری داشته است. در این مسیر رودخانه عمدتاً به صورت شریانی است؛ به طوری که بستر رودخانه به وسیله‌ی جزایر موجود در آن به صورت پراکنده درآمده و فقط طی جریان‌های سیلابی بستر واحدی ایجاد می‌کند. بر همین اساس میزان خمیدگی رودخانه نیز در سال‌های مورد بررسی تغییرات زیادی داشته است (اشکال ۱۳ و ۱۴).

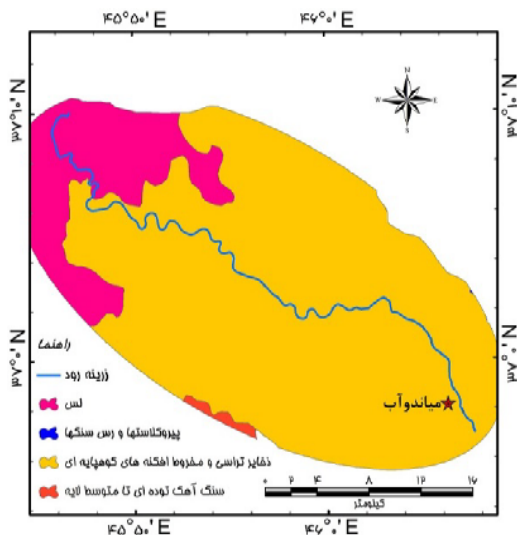


شکل (۱۴) رودخانه در مسیر هشتم

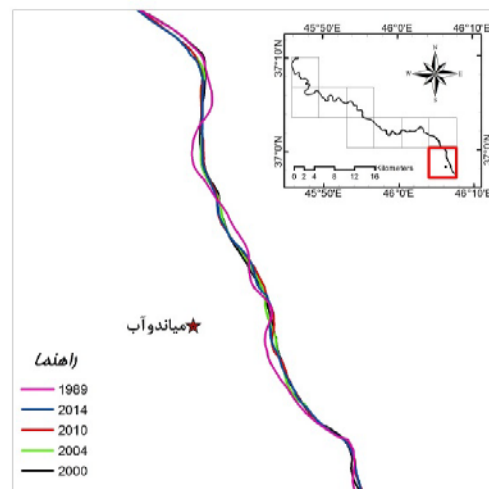


شکل (۱۳) رودخانه در مسیر هفتم

مسیر نهم رودخانه در داخل شهر میاندوآب قرار گرفته است. در این محدوده به علت دیوارکشی بتونی محدوده‌ی رودخانه، پتانسیل تغییرات رودخانه‌ای از بین رفته و تغییر بستر رودخانه طی سال‌های مورد بررسی عمدتاً در محدوده‌ی دیواره‌های محدودکننده‌ی رودخانه بوده است. تغییرات سال ۱۹۸۹ بسیار بیشتر از سال‌های ۲۰۰۰ به بعد است. مهم‌ترین عامل برتری دبی رودخانه در این سال نسبت به سال‌های دیگر، بیشتر بودن آزادی عمل رودخانه در این سال نسبت به سال‌های دیگر بوده است.



شکل (۱۶) سازندهای منطقه‌ی مورد مطالعه



شکل (۱۵) رودخانه در مسیر نهم

بررسی روند تغییرات بعد فراکتالی و ضریب سینوزیته‌ی رودخانه نیز در سال‌های مورد بررسی تأییدکننده‌ی نتایج بررسی مسیرهای نه‌گانه‌ی محدوده‌ی مورد مطالعه است؛ به طوری که میزان تغییرات در سال‌های مورد

بررسی بسیار کم بوده و تفاوت مسیرهای مورد بررسی بر مبنای بعد فراکتالی هم کم است که نشان‌دهنده‌ی تغییرات بسیار کم مسیر رودخانه در سال‌های مورد بررسی است (جدول ۱).

جدول (۱) روند تغییرات بعد فراکتالی و ضریب سینوزیته رودخانه در طی سال‌های مورد بررسی

سال					
۲۰۱۴	۲۰۱۰	۲۰۰۴	۲۰۰۰	۱۹۸۹	
۱/۲۶۲	۱/۲۶۱	۱/۲۵۸	۱/۲۶۱	۱/۲۶۴	خط مرکزی رودخانه (بعد فراکتالی)
۱/۳۲۴	۱/۳۳۱	۱/۳۲۶	۱/۳۲۵	۱/۳۲۷	سواحل و کناره‌های رودخانه (بعد فراکتالی)
۱/۴۵	۱/۴۴	۱/۴۲	۱/۴۵	۱/۴۸	سینوزیته

نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از تفسیر بصری روش‌های مورد استفاده در این تحقیق نشان می‌دهد که تحلیل مؤلفه‌های اصلی جهت تشخیص خط مرکزی رودخانه از روش‌های دیگر کاراتر است و در بین مؤلفه‌های اصلی، PC2 در سال ۱۹۸۹، PC1 در سال ۲۰۰۰، PC2 در سال ۲۰۰۴، PC2 در سال ۲۰۱۰، PC3 در سال ۲۰۱۴ کارایی بیشتری دارند. همچنین جهت تشخیص مسیر رودخانه - احتمالاً عمیق‌ترین قسمت رودخانه - روش نسبت‌گیری بانندی مناسب است. به طوری که در سال‌های ۱۹۸۹، ۲۰۰۰، ۲۰۰۴، ۲۰۱۰ (تصاویر ETM+ ماهواره‌ی لندست ۷) نسبت بانند ۵ به ۱ و در سال ۲۰۱۴ (تصویر OLI ماهواره‌ی لندست ۸) نسبت بانند ۶ به ۲ از سایر نسبت‌ها مناسب‌تر بوده است.

نتایج روش‌های مورد استفاده‌ی این تحقیق برای بررسی تغییرات رودخانه، نشان‌دهنده‌ی پتانسیل بسیار پایین رودخانه برای ایجاد تغییرات مورفولوژیک در بخش‌های مختلف است و دلیل آن کاهش بسیار محسوس دبی رودخانه از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۴ به علت ایجاد سد در بالادست رودخانه و آبیگری بسیار زیاد مزارع اطراف از رودخانه می‌باشد؛ به طوری که بستر رودخانه در سال‌های اخیر دارای باریکه‌ی بسیار کم پهنای آب بوده و هرچه رودخانه به دریاچه‌ی ارومیه نزدیک‌تر می‌شود، کاهش میزان دبی شدت بیشتری دارد. در ژئومورفولوژی رودخانه، مهم‌ترین عامل ایجاد تغییرات رودخانه‌ای دبی‌های سیلابی هستند که با احداث سد این دبی‌ها به شدت کاهش یافته و عامل ایجادکننده‌ی تغییرات رودخانه‌ای از بین رفته است. از طرف دیگر دیوارکشی و حفاظت از حریم باغات اطراف رودخانه باعث به حداقل رسیدن میزان تغییرات در محدوده‌ی مورد مطالعه شده است. ناپایداری مسیر رودخانه نیز در طی سال‌های مورد مطالعه به جز حذف یک پیچان‌رود از الگوی سال ۱۹۸۹ رودخانه، بسیار کم بوده است.

منابع

- ارشد، صالح؛ مرید، سعید و میرابوالقاسمی، هادی (۱۳۸۶)، «بررسی روند تغییرات مورفولوژیکی رودخانه‌ها با استفاده از سنجش از دور (مطالعه‌ی موردی: رودخانه‌ی کارون از گتوند تا فارسیات)»، مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی، جلد چهاردهم، شماره ششم، صص ۱۹۴-۱۸۰.
- جعفریگللو، منصور؛ باقری، سجاد؛ نگهبان، سعید و صفراد، طاهر (۱۳۹۱)، «بررسی تغییرات بستر و ویژگی‌های ژئومورفولوژیکی رودخانه گیلان غرب در سال‌های ۱۳۴۴ تا ۱۳۸۸»، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، شماره ۲، صص ۸۷-۱۰۲.
- حافظی مقدس، ناصر؛ سلوکی، حمیدرضا؛ جلیلود، رضا و رهنماد، جعفر (۱۳۹۱)، «مطالعه ژئومورفولوژی مهندسی رودخانه سیستان»، فصلنامه زمین‌شناسی کاربردی، شماره ۱، صص ۱۸-۱.
- شریفی‌کیا، محمد و مال‌امیری، نعمت (۱۳۹۲)، «آشکارسازی تغییرات الگوی مکان رودخانه هیرمند و تحلیل مورفولوژیکی آن»، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، شماره ۴، صص ۱۴۹-۱۶۰.
- علمی‌زاده، هیوا؛ ماه‌پیکر، امید و سعادت‌مند، مریم (۱۳۹۳)، «بررسی نظریه‌ی فراکتال در ژئومورفولوژی رودخانه‌ای، (مطالعه موردی: زرینه‌رود)»، سال سوم، شماره ۲، صص ۱۴۱-۱۳۰.
- علوی‌پناه، سیدکاظم (۱۳۹۰)، اصول سنجش از دور نوین و تفسیر تصاویر ماهواره‌ای و عکس‌های هوایی، چاپ دوم، انتشارات دانشگاه تهران.
- فاطمی، سیدباقر و رضائی، یوسف (۱۳۹۱)، مبانی سنجش از دور، چاپ سوم، انتشارات آزاده، تهران.
- محمدی استاد کلایه، امین؛ مساعدی، ابوالفضل و علاقمند، سینا (۱۳۸۵)، «بررسی اثرات سیل مرداد ۱۳۸۰ شرق گلستان بر مورفولوژی رودخانه‌ی مادرسو»، مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی، جلد چهاردهم، شماره اول، ویژه‌نامه منابع طبیعی.
- مقصودی، مهران؛ شرفی، سیامک و مقامی، یاسر (۱۳۸۹)، «روند تغییرات مورفولوژیکی رودخانه‌ی خرم‌آباد با استفاده از GIS, RS و Auto Cad»، فصلنامه‌ی مدرس علوم انسانی، شماره‌ی ۶۸، صص ۲۹۴-۲۷۵.
- یمانی، مجتبی؛ دولتی، جواد و زارعی، علیرضا (۱۳۸۹)، «تأثیرگذاری عوامل هیدروژئومورفیک در تغییرات زمانی و مکانی بخش میانی رودخانه اترک»، فصلنامه‌ی تحقیقات جغرافیایی، شماره ۹۹، صص ۱-۲۴.
- Chander, G.; Markham, B. & Helder, D. (2009), "Summary of Current Radiometric Calibration Coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI Sensors", Remote Sensing of Environment, Vol. 113, pp. 893-903.
- Cook, R.U. & Doornkamp, J.C. (1990), **Geomorphology in Environment Management**, Second Edition, Clarendon Press, Oxford.

- Grassberger, P. (1983), “**On Efficient Box Counting Algorithms**”. *Int. J. Mod. Phys. C*, 4, pp. 515–523.
- J.D. Das & A.K. Saraf (2007), “**Remote Sensing in the Map-ping of the Brahmaputra /Jamuna River Channel Patterns and Its Relation to Various Landforms and Tectonic Environment**”, *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 28, No. 16, pp. 3619-3631.
- Kessler, A.C.; Satish, C. & Melinda, K. (2013), “**Assessment of River Bank Erosion in Southern Minnesota Rivers Post European Settlement, Geomorphology**”, <http://dx.doi.org/10.1016/j.geomorph.2013.07.006>.
- L. Q. Li, X. X. Lu & Z. Chen (2007), “**River Channel Change during the Last 50 Years in the Middle Yangtze River: An Example of the Jianli Reach**”, *Geomorphology*, Vol. 85, No. 3-4, pp. 185-196.
- Lane, S.N.; Reid, S.C.; Westaway, R.M. and Hicks, D.M. (2004), **Remotely Sensed Topographic data for River Channel Research: The Identification, Explanation and Management of Errors, In Spatial Modelling of the Terrestrial Environment**; Kelly, R. E., Drake, N. A., Barr, S. L., Eds.; John Wiley & Sons, Ltd: West Sussex, UK, pp. 113-136.
- Kumm, M.; Lub, X. X.; Rasphonec, A.; Sarkkulad, J. and Koponen J. (2008), “**Riverbank Changes along the Mekong River: Remote Sensing Detection in the Vientiane-Nong Khai Area**”, *Quaternary International*, Vol. 186, No. 1, pp.1-18.
- Pan, S. (2013), “**Application of Remote Sensing and GIS in Studying Changing River Course in Bankura District, West Bengal**”, *International Journal of Geometrics and Geosciences*, Vol. 4, Issue 1, pp.149-163.
- Rinaldi, M. (2003), “**Recent Channel Adjustments in Alluvial Rivers of Tuscany, Central Italy**”, *Earth Surface Processes and Landforms*, Vol. 28, No. 6, pp. 587-608.
- Sarkar, A.; Garg, R. D. and Sharma, N. (2012), “**RS-GIS Based Assessment of River Dynamics of Brahmaputra River in India**”, *Journal of Water Resource and Protection*, Vol. 4, pp. 63-72.
- Subhajit Ghoshal, S.; Allan James, L.; Michael B. and Aalto, R. (2010), “**Channel and Floodplain Change Analysis Over a 100-Year Period: Lower Yuba River, California**”, *Remote Sensing*, Vol. 2, pp. 1797-1825; doi: 10.3390/rs2071797
- Surian, N. (1999), “**Channel Changes Due to River Regulation: The Case of the Piave River, Italy**”, *Earth Surface Processes and Landforms*, Vol. 24, No. 12, pp. 1135- 1151.
- Wheaton, J.M.; Brasington, J.; Darby, S. E.; Sear, D.A. (2009), **Accounting for Uncertainty in DEMs from Repeat Topographic Surveys: Improved Sediment Budgets**, *ESPL*, doi: 10.1002/esp.1886.
- Wilson, P.A. (1997), “**Rule-based Classification of Water in Landsat MSS Image Using the Variance Filter**”, *J. American Society for Photogrammetry and Remote Sensing*. Vol. 63, No. 5, pp. 485-491.