

آشکارسازی تغییرات بستر رودخانه و بررسی مورفولوژی رودخانه‌ای با توجه به تأثیر ساختارهای زمین‌شناسی (مطالعه موردی: زربینه رود)

عقیل مددی^۱

ابراهیم بهشتی جاوید^۲

محمدحسین فتحی^۳

چکیده

محیط‌های رودخانه‌ای به دلیل وجود شرایط مناسب زیستی مانند وجود خاک حاصل خیز و آب در دسترس، همواره مورد توجه انسان‌ها بوده است. این محیط‌ها از نظر فعالیت‌های فرسایشی از مناطق پویا و فعال هستند. شناخت شرایط فرسایش کناری، ترک بستر، تغییرات رخ داده در بستر جریان، الگوی رودخانه و مواردی از این قبیل می‌تواند کمک مهمی در مدیریت این عرصه از طبیعت باشند. در این پژوهش سعی کرده‌ایم که با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای (لندست) و داده‌های توپوگرافیک و زمین‌شناسی تغییرات مورفولوژیکی رخ داده در دو بخش مکانی از بستر زربینه رود (جیغاتو) را بررسی و ارزیابی کنیم. نرم‌افزارهای ArcGIS و ENVI از مهم‌ترین ابزارهای مورد استفاده در تحقیق بودند که جهت آماده‌سازی و استخراج داده‌ها مورد استفاده قرار گرفتند. طبق نتایج به‌دست آمده از پژوهش قسمت دوم از منطقه مورد مطالعه که در یک منطقه دشتی واقع شده است، به‌شدت تحت تأثیر گسل‌ها قرار دارد و روند کلی جریان رودخانه در چندین نقطه به ناچار تغییر مسیر داده، از مسیر گسل پیروی کرده است. هم‌چنین الگوی رودخانه در بخش‌هایی که تحت تأثیر گسل قرار گرفته‌اند، به‌صورت مستقیم و در مواردی از نوع سینوسی است. در حالی که در سایر بخش‌ها الگوی عمومی رودخانه از نوع پیچان‌رودی است. در سه دوره زمانی مورد مطالعه در هر دو بخش مکانی ۱ و ۲ از مساحت بستر رودخانه کاسته شده است. به‌گونه‌ای که مساحت بستر رودخانه از ۶/۵ کیلومترمربع به ۵/۴۳ کیلومترمربع در بخش ۱ و از ۶/۱۹ کیلومتر به ۴/۸۷ کیلومترمربع در بخش ۲ کاسته شده است. میزان فرسایش کناره‌ای در بخش ۱ بین سال ۱۹۷۵ تا ۱۹۸۹ حدود ۲/۴ کیلومترمربع و بین سال‌های ۱۹۸۹ تا ۲۰۱۰ حدود ۲/۴۴ کیلومترمربع است. این مقدار برای بخش دوم به‌ترتیب ۲ و ۱/۴۹ کیلومترمربع است. در مقابل این تخریب بخش‌های زیادی از رودخانه نیز به‌دلیل تغییر مسیر و جابه‌جایی بستر خشک شده و یا به‌صورت دریاچه‌های مئاندری در حواشی رودخانه باقی مانده است که برای سال‌های ۱۹۷۵ تا ۱۹۸۹ و ۱۹۸۹ تا ۲۰۱۰ به‌ترتیب برابر با ۳/۴۴ و ۲/۴۸ کیلومترمربع در بخش ۱ و برای بخش ۲ ۳/۲۹ و ۱/۵۲ کیلومترمربع است.

واژه‌های کلیدی: تغییرات مورفولوژیکی، فرسایش کناره‌ای، تغییر بستر، زربینه رود

۱- دانشیار دانشگاه محقق اردبیلی

۲- دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی دانشگاه محقق اردبیلی (نویسنده مسئول)

۳- دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی دانشگاه محقق اردبیلی

مقدمه

به دلیل عوامل مختلفی مثل عوامل آتمسفری، مورفولوژیک و انسانی، یک سلسله تغییرات مداوم در لندفرم‌های سطح زمین رخ می‌دهد. فرایندهای سایندگی در سطح زمین، مانند فرسایش و هوازدگی، علت این نوع تغییرات در اشکال سطحی هستند (سایناد^۱ و همکاران، ۲۰۱۲: ۱). در محیط‌های گوناگونی مثل محیط یخچالی، رودخانه‌ای، ساحلی، بیابانی و غیره به دلیل وجود پدیده‌های مختلف دینامیکی همواره شاهد این‌گونه تغییرات هستیم. این تغییر و تحول لندفرم‌ها گاهی به دلیل شدت و سرعت زیاد و گاهی به سبب تأثیر قرار دادن محیط زیست انسان بسیار حایز اهمیت هستند. جمعیت انسانی معمولاً با توجه به وجود شرایط مطلوب زیست در محل برخورد دو محیط متفاوت مثل هیدروسفر و لیتوسفر بیشترین تمرکز را دارند. وجود شهرهای پرجمعیت در نواحی ساحلی و حواشی رودخانه‌های پر آب نشانگر همین مطلب مهم است اما همین مناطق به خاطر برخورد نیروهای دو محیط همواره در حال تغییر و تحول هستند. رودخانه‌ها، به‌ویژه حواشی بستر آنها از این قاعده مستثنی نبوده و به دلیل وجود عوامل مختلف محیطی در حال فرسایش محیط و در نتیجه تغییر بستر و جابه‌جایی هستند. به‌طور کلی رودخانه‌ها تحت تأثیر عواملی از قبیل ویژگی‌های زمین-شناسی، هیدرولوژیکی، ژئومورفولوژیکی و نحوه بهره‌برداری از آنها در معرض تغییر و تحول هستند (فاطمی عقدا و همکاران، ۱۳۸۰، ۱۶۳). 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 (رضایی مقدم و همکاران، ۱۳۹۱: ۱).

تغییر شکل نیم‌رخ طولی و عرضی بستر رودخانه، تغییر شیب دره و بستر، تغییر پهنا، ایجاد پادگانه‌های آبرفتی، تغییر محل و مقدار رسوب‌گذاری، ایجاد دریاچه‌های مئاندری، تغییر مکان جانبی و ناگهانی بستر را از جمله تغییر و تحولات یک محیط رودخانه‌ای می‌توان دانست. میزان شیب، حجم آب، سرعت آب و طبیعت رودخانه^۲ عواملی هستند که عهده‌دار تغییر شکل و اندازه رودخانه‌ها هستند (سایناد و همکاران، ۲۰۱۲: ۱). همه ساله به دلیل فرسایش کناری و جابه‌جایی مرزهای رودخانه، سطح زیادی از اراضی مسکونی و تأسیسات ساحلی در معرض نابودی و تخریب قرار می‌گیرند (رنگزن و همکاران، ۱۳۸۷: ۱) و وجود چنین مسائلی ضرورت مطالعه نحوه تغییر و تحول رودخانه‌ها و جابه‌جایی جانبی آنها را توجیه می‌کند. در سال‌های اخیر در بین پژوهش‌های صورت گرفته گرایش زیادی به سمت استفاده از انواع تکنیک‌های جدید به جهت حل مسائل و مشکلات انسانی وجود داشته است. سیستم اطلاعات جغرافیایی و علم سنجش از دور، از جمله این

1- Sainath

2- Nature of river

موارد هستند و می‌توانند برای تعیین وضعیت فرسایش کناره‌ای و تغییرات رودخانه کمک کنند. در این پژوهش سعی شده است تا رودخانه زرینه‌رود از نظر تغییرات الگوی رودخانه، تعیین فرسایش کناره‌ای رخ داده در آن، تعیین مناطق پر خطر از نظر فرسایش کناره‌ای و نیز تأثیر ساختارهای زمین‌شناسی در این تغییرات مورد ارزیابی و پژوهش قرار گیرد، به همین منظور دو بخش مکانی از رودخانه انتخاب شده و وضعیت بستر رودخانه در سه بخش زمانی (سال‌های ۱۹۸۵، ۱۹۸۹ و ۲۰۱۰) مورد پژوهش قرار گرفته است.

پژوهش‌های مختلفی در داخل و خارج کشور در مورد تغییرات بستر رودخانه، عوامل ایجادکننده آن و فرسایش کناره‌ای صورت گرفته است که به پاره‌ای از این موارد اشاره می‌کنیم.

چیچ^۱ و همکاران (۲۰۰۶) در مطالعه جلگه ساحلی تایوان دریافتند که حرکت پادگانه‌ها بر اثر حرکات نفوتکتونیک، موجب شکل‌گیری حرکات موجی رودخانه شده است. سایناس^۲ و همکاران (۲۰۱۲) با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و نقشه‌های توپوگرافیک، آشکارسازی تغییرات مسیر رودخانه و تعیین مناطق مستعد فرسایش را برای رودخانه پراوارا^۳ انجام دادند و در نهایت با ارایه نقشه‌ای مناطق مستعد را از نظر فرسایش‌پذیری مشخص کردند و مناطق خطرپذیر را به‌صورت پهنه‌هایی بر روی نقشه معین کردند.

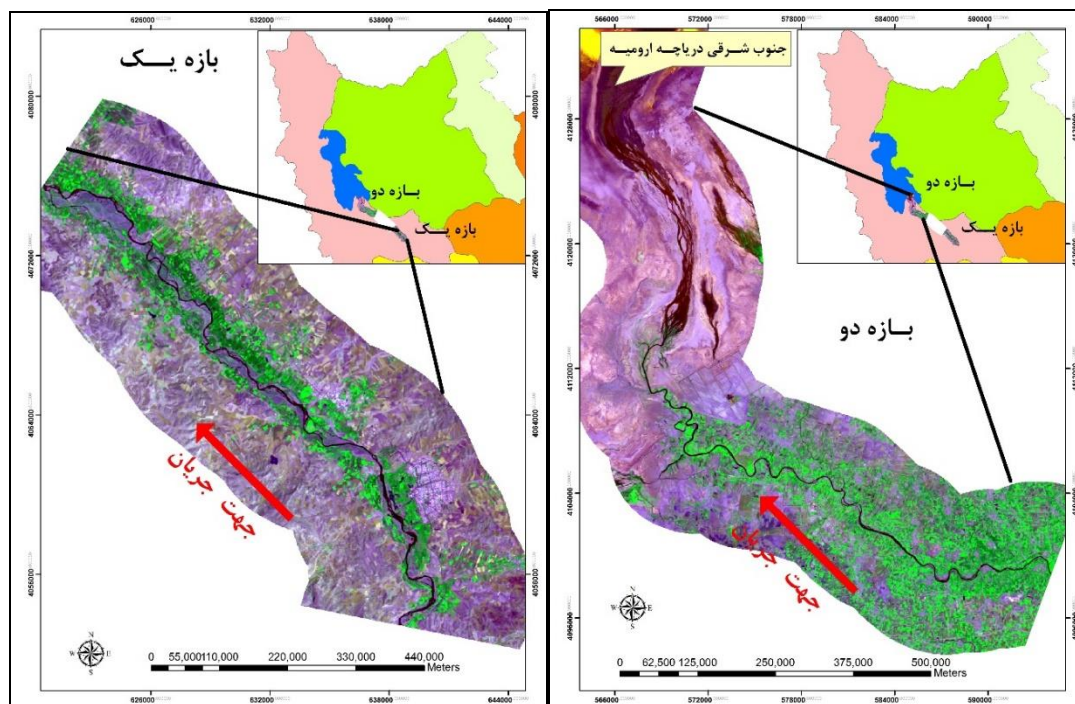
غریب‌نیا و معصومی در سال ۱۳۸۵ با استفاده از عکس‌های هوایی و تصاویر ماهواره لندست واحدهای رسوبی و خصوصیات هندسی رودخانه زهره و تغییرات آن در جلگه ساحلی هندیجان را بررسی کردند. نتایج کار ایشان نشان داد که از سال ۱۳۴۶ تاکنون ۲ مورد قطع شدگی در کانال رودخانه رخ داده و تعداد پیش‌ش‌ها از ۴۳ به ۴۶ مورد افزایش پیدا کرده است. هم‌چنین طی بازه زمانی یاد شده سالانه ۱۵/۳ هکتار از اراضی پیرامون رودخانه فرسایش یافته و در قبال آن ۱۰ هکتار رسوب‌گذاری مشاهده شده است (غریب‌نیا و معصومی، ۱۳۸۵: ۶). حسینی تودشکی و همکاران (۱۳۹۰) بخش‌هایی از رودخانه قزل اوزن را از نظر کشف و توصیف ناهنجاری‌های زمین‌ریختی (ژئومورفیک) و انطباق آنها با ساختارها و نقش ساختارها در ایجاد دگرشکلی‌های فعال، مورد بررسی کردند. نتایج به‌دست آمده نشان می‌دهد که چین‌های با روند شمال‌غربی- جنوب شرقی و شمال شرقی- جنوب غربی بیشترین تأثیر را در انحناى مسیر رودخانه قزل اوزن داشته‌اند. بی‌هنجاری‌های زمین‌ریختی دیگر بر اثر عملکرد گسل‌های با روندهای شمال غربی- جنوب شرقی، شمال شرقی- جنوب غربی، شمالی- جنوبی و شرقی- غربی پدید آمده‌اند. رضایی‌مقدم و همکاران (۱۳۹۱) به بررسی تغییرات شکل هندسی رودخانه قزل‌اوزن پرداختند. در این تحقیق، بیشترین تأکید آنها بر عوامل ژئومورفولوژیک

1- Chich
2- Sainath
3- Pravara

و زمین‌شناسی منطقه بود. نتایج کار نشان‌دهنده این موضوع بود که طول زیاد رودخانه و عبور از تشکیلات مارنی و فرسایش‌پذیر، باعث شده که هندسه رودخانه در بخش دشتی شدیداً تحت تأثیر لیتولوژی بستر شکل بگیرد و فرسایش کناری و توان رودخانه نقش عمده در پیچان‌رودی رودخانه داشته باشد. در بخش کوهستانی عناصر زمین‌ساختی حایز اهمیت است و هندسه بستر تحت تأثیر عوامل زمین‌ساختی از قبل طراحی شده است و الگوی مسیر رودخانه از این عوامل تبعیت می‌کند. از دیگر کارهای انجام شده در این زمینه می‌توان به مواردی از قبیل: تورن^۱ (۲۰۰۲)، برایل^۲ (۲۰۰۵)، سارما^۳ (۲۰۰۵)، کریسپارکر^۴ (۲۰۰۸)، اسوات^۵ و همکاران (۲۰۰۸)، گابریل^۶ (۲۰۰۹)، زامولی^۷ و همکاران (۲۰۰۹) نوحه‌گر و یمانی (۱۳۸۴) پورآصف (۱۳۸۵)، شیروانی و همکاران (۱۳۸۵)، رضایی‌مقدم و خوشدل (۱۳۸۸)، جعفریگلو و همکاران (۱۳۹۱)، فتحی و همکاران (۱۳۹۲) اشاره کرد.

محدوده‌ای که در این پژوهش مورد بررسی و پژوهش قرار گرفته است دو بخش از زربینه‌رود (جغاتو) به طول‌های ۳۸ و ۵۰ کیلومتری است که بخش اول در منطقه‌ای نیمه‌کوهستانی و بخش دوم در منطقه‌ای دشتی قرار گرفته‌است. زربینه‌رود با طول ۲۳۰ کیلومتر یکی از طویل‌ترین و پرآب‌ترین رودهای شمالغرب کشور است. این رود از کوه‌های چهل چشمه در سقز سرچشمه می‌گیرد و پس از گذر از شهرستان‌های بوکان، تکاب، شاهین دژ و میاندوآب در جنوب دریاچه ارومیه ضمن تشکیل یک دلتای وسیع به عرض حدود ۱۰ کیلومتر در مراتع باتلاقی تالاب قره‌قشلاق به دریاچه ارومیه می‌ریزد. در طول این مسیر چندین رودخانه فصلی از جمله خورخوره، ساروق، هولاسو، هاچه‌سو، محمودآباد، آجرلو و لیلان‌چای نیز به زربینه‌رود ملحق می‌شوند. در شکل (۱) موقعیت زربینه‌رود و تصویر کلی از منطقه به‌صورت یک تصویر ماهواره‌ای نشان داده شده است.

1- Thorne
2- Brierley
3- Sarma
4- Chris Parker
5- Aswath
6- Gabrielle
7- Zámolyi



شکل (۱) نقشه مربوط به زیرینه رود (بازه‌های شماره ۱ و ۲)

داده‌ها و روش شناسی

برای استخراج مسیر رودخانه در بخش‌های زمانی مشخص نیاز به داشتن تصاویر ماهواره‌ای همان تاریخ هست. برای استخراج مسیر رودخانه، سه بخش زمانی از تصاویر ماهواره لندست در سال‌های ۲۰۱۰، ۱۹۸۹، ۱۹۷۵، مورد استفاده قرار گرفته است. علاوه بر این امر از نقشه‌های زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ شاهین‌دژ (خلقی خسرقی، ۱۳۷۰)، مراغه (علوی نائینی و شهرابی، ۱۳۵۸)، میان‌دوآب (خدابنده، ۱۳۸۳) و عجب‌شیر (سلطانی سیسی، ۱۳۸۴) نیز جهت استخراج نوع سازندها، ساختارهای زمین‌شناسی و گسل‌ها استفاده شده است، تا از این طریق (در صورت وجود ارتباط بین ناهنجاری‌های ناگهانی ایجاد شده در بستر رودخانه با این ساختارها) عوامل مورد ارزیابی قرار گیرند.

روش‌شناسی

در این پژوهش با توجه به هدفی که در نظر گرفته شده بود پس از تهیه نقشه‌های زمین‌شناسی و تصاویر منطقه، کار پردازش تصاویر و استخراج اطلاعات از آنها صورت گرفت. برای استخراج مسیر رودخانه در بخش‌های زمانی در نظر گرفته شده از شاخص $NDWI^1$ و WI^2 استفاده شده است. همچنین برای بررسی تأثیر احتمالی

1- Normalized Difference Water Index

2- Water Index

ساختارهای زمین‌شناسی بر روی ناهنجاری‌های بستر رودخانه، پس از این که نقشه‌های زمین‌شناسی منطقه زمین مرجع شدند، گسل‌ها و ساختارهای زمین‌شناسی مهم محدوده مطالعه شدند و به‌همراه سازندهای منطقه استخراج شدند. پس از این که مسیر رودخانه در هر یک از بخش‌های زمانی و مکانی استخراج شد، مسیرهای استخراج شده با ساختارهای زمین‌شناسی منطقه انطباق داده شدند تا روند تغییرات رخ داده در بستر رودخانه به‌همراه دلایل احتمالی آن، مورد ارزیابی و بررسی قرار گیرند و تعیین مناطق فرسایش یافته و در معرض تهدید مورد ارزیابی و بررسی قرار گیرند.

پردازش تصاویر و استخراج مسیر رودخانه

برای این‌که بتوانی مسیر رودخانه را از زمین‌های پیرامونی جدا کرده و استخراج کنیم، از دو شاخص NDWI و WI استفاده شده‌است (رابطه ۱ و ۲).

$$WI = \frac{(B_1 + B_2 + B_3)}{(B_5 + B_6 + B_7)} \quad \text{رابطه (۱)}$$

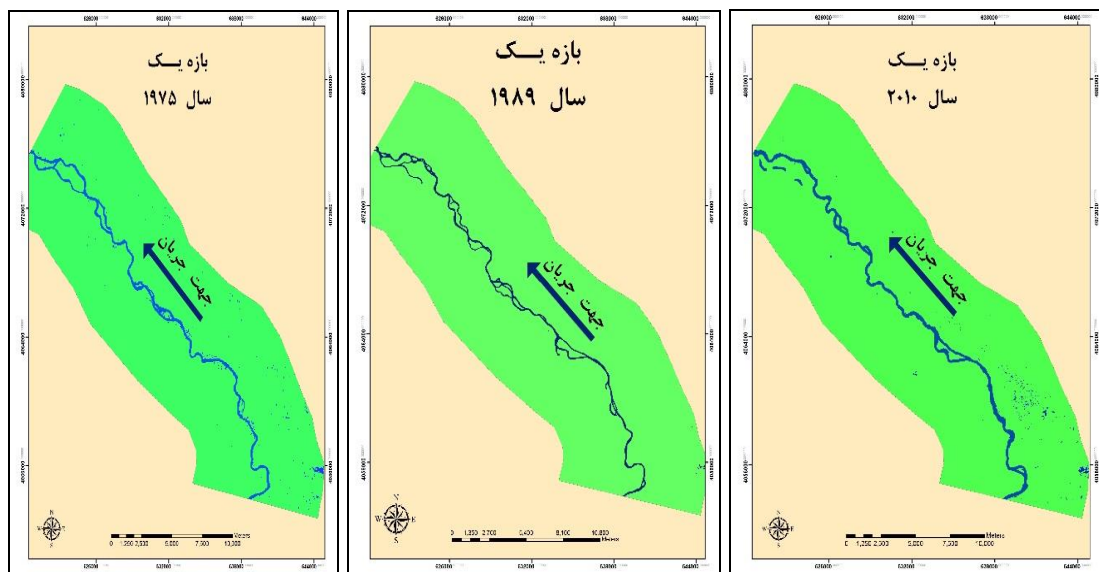
در این رابطه B_i شماره باند تصویر ماهواره لندست و WI شاخص آب برای استخراج مسیر رودخانه است. طبق این رابطه تمامی باندهای مرئی تقسیم بر باندهای نامرئی می‌شوند و پهنه‌های آبی از غیره تفکیک می‌شوند (رضایی مقدم و همکاران، ۱۳۹۱: ۵).

علاوه بر شاخص فوق برای استخراج مسیر رودخانه برای رسیدن به نتیجه بهتر و افزایش دقت کار از تفاضل نرمالیزه شده شاخص آب نیز برای استخراج پهنه‌های آبی استفاده شد که به‌صورت رابطه ۲ تعریف شده است.

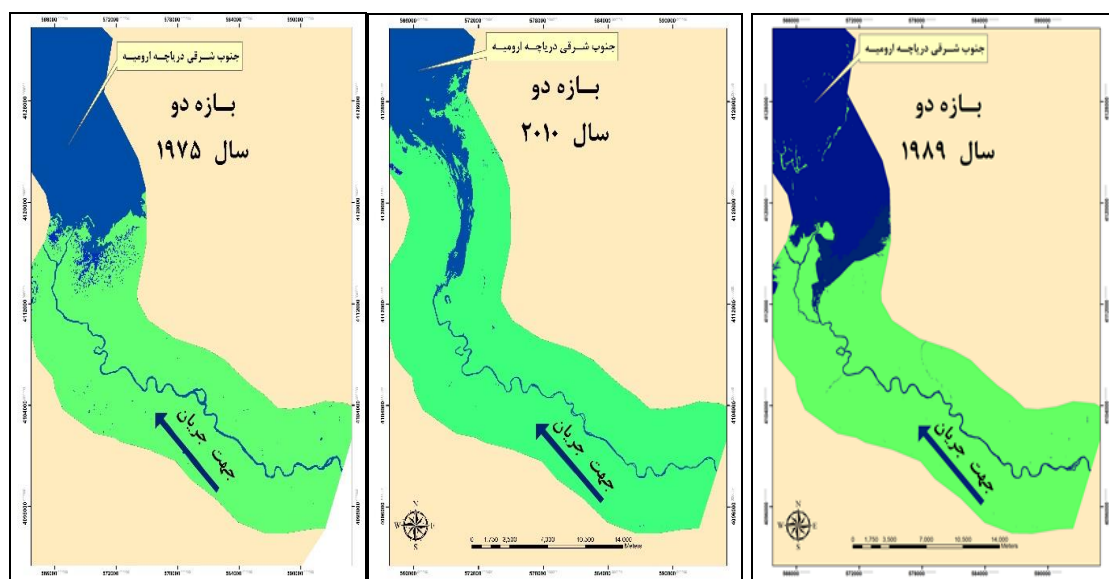
$$NDWI = \frac{(Band_2 - Band_4)}{(Band_2 + Band_4)} \quad \text{رابطه (۲)}$$

در این رابطه $Band_2$ باند ۲ ماهواره لندست با انعکاس طیفی سبز و $Band_4$ باند ۴ ماهواره لندست با انعکاس طیفی مادون قرمز نزدیک است (مک فترس^۱، ۲۰۱۳: ۲).

برای اجرای فرمول‌های فوق از محیط نرم‌افزار Erdas Imaging استفاده شد و نهایتاً مسیر رودخانه در بخش‌های زمانی و مکانی در نظر گرفته شده به‌دست آمد. شکل ۲ وضعیت رودخانه را در بخش مکانی شماره یک در سال‌های ۱۹۷۵، ۱۹۸۹، ۲۰۱۰ و شکل ۳ وضعیت رودخانه را در بخش مکانی دوم در سال‌های ۱۹۷۵، ۱۹۸۹، ۲۰۱۰ نشان می‌دهد.



شکل (۲) بخش یک - مسیر رودخانه در سال‌های ۱۹۷۵، ۱۹۸۹ و ۲۰۱۰



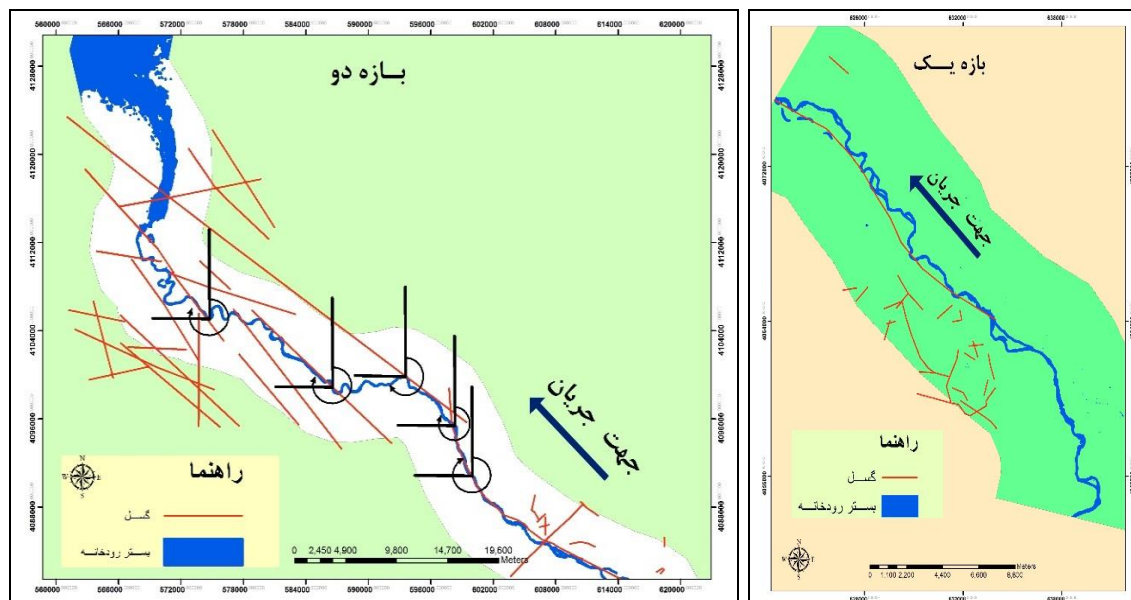
شکل (۳) بخش دو - مسیر رودخانه در سال‌های ۱۹۷۵، ۱۹۸۹ و ۲۰۱۰

استخراج ساختارهای زمین‌شناسی

برای این‌که بتوانی تأثیر احتمالی ساختارهای زمین‌شناسی در تغییرات بستر رودخانه را مورد ارزیابی قرار داد، با استفاده از نقشه‌های زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ منطقه، نقشه گسل‌ها و ساختارهای عمده زمین‌شناسی استخراج شد و با روی هم‌گذاری لایه‌ها، مسیر آبراهه مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفت. روی هم‌گذاری نقشه گسل‌ها و رودخانه نشان می‌دهد که در بخش مکانی اول که منطقه شرایط نیمه‌کوهستانی دارد، بیشتر مسیر

رودخانه در مسیر یک گسل که روند شمال غربی- جنوب شرقی دارد، قرار گرفته است و پدیده زمین شناسی دیگری در این محدوده وجود ندارد.

اما وضعیت در بخش دوم از مسیر رودخانه به شکل دیگری است. در این بخش از رودخانه چندین گسل با امتداد تقریبی شمال غربی - جنوب شرقی مسیر رودخانه را قطع کرده است. وجود چنین عاملی باعث شده تا در مناطق برخورد گسل و رودخانه با ایجاد شکست و انحنا مسیر کلی رودخانه تغییر کند و رودخانه در جهت متفاوت نسبت به قبل جریان یافته و از مسیر گسل پیروی کند. در شکل ۴ و ۵ وضعیت رودخانه و گسل‌ها در دو بخش مورد نظر به همراه مهم‌ترین نا هنجاری‌های آن ارایه شده است. همان‌طور که در نقشه مربوط به بخش دوم مشخص شده است در مناطقی که مسیر رودخانه با گسل انطباق دارد، رودخانه از مسیر گسل پیروی کرده است که شرح وضعیت این تغییر مسیرها در جدول شماره ۱ آمده است.

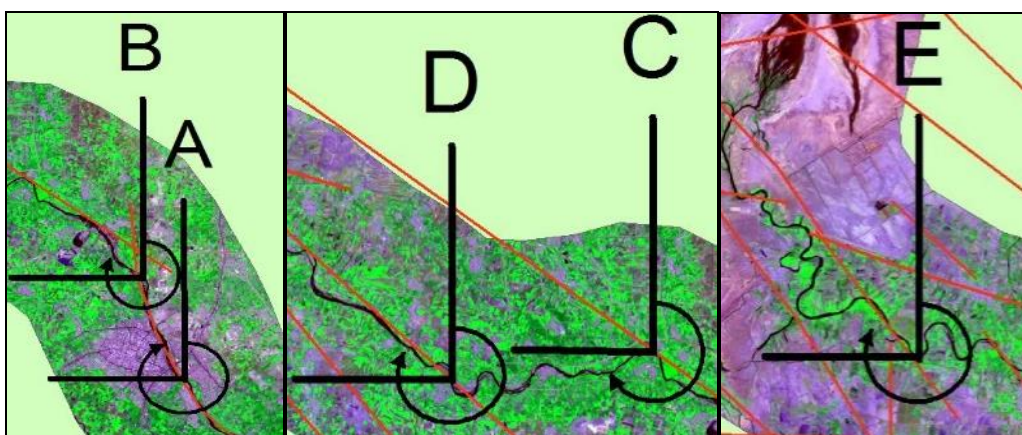


شکل (۴) نقشه وضعیت گسل‌های منطقه نسبت به رودخانه

در جدول ۱ زاویه بخش‌های مختلف رودخانه که تحت تأثیر گسل‌ها تغییر مسیر داده‌اند، به صورت زاویه‌ای نسبت به شمال نشان داده شده است. همان‌طور که در شکل ۵ مشخص است و نیز طبق اطلاعات جدول (۱) ساختارهای زمین شناسی در تعیین مسیر رودخانه در این بخش نقش مهمی را داشته و زمانی که رودخانه با گسل‌ها برخورد داشته است، به ناچار از مسیر آن پیروی کرده و تغییر مسیر داده است.

جدول (۱) زاویه بخش‌های مختلف رودخانه

کد بخش	زاویه نسبت به شمال
A	۳۳۵ درجه
B	۳۰۵ درجه
C	۲۵۰ درجه
D	۳۱۵ درجه
E	۳۲۵ درجه



شکل (۵) نمونه ای از تأثیر ساختارها بر روی رودخانه و تغییر بستر

شاخص سینوسیته

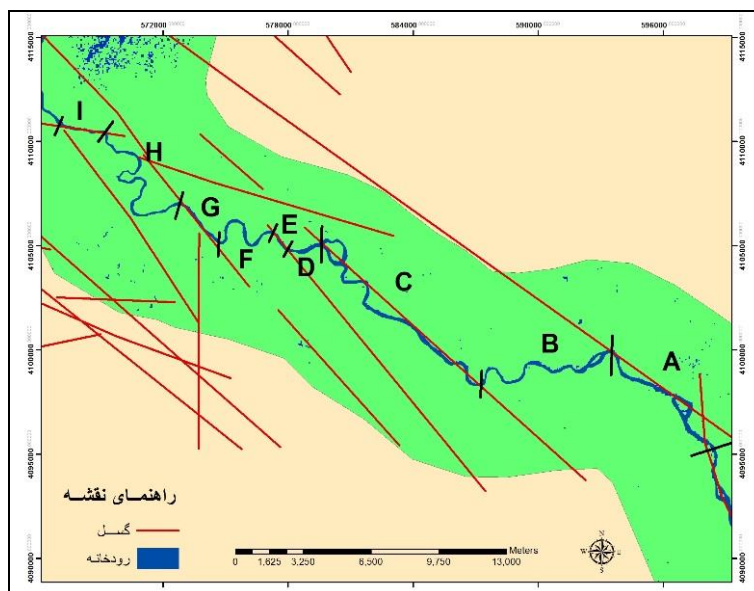
در بخش دوم رودخانه، به علت جریان یافتن در امتداد و مسیر گسل‌ها، به نسبت سایر بخش‌ها، مسیر مستقیم‌تری را طی کرده و انحنای کمتری دارد. برای نشان دادن این امر از ضریب سینوسیته رودخانه استفاده شده است. بر اساس این شاخص، اگر ضریب سینوسیته یک رودخانه بین ۱ تا ۱/۰۵ باشد، رودخانه از نوع مستقیم است، اگر بین ۱/۰۶ تا ۱/۲۵ از نوع سینوسی است، بین ۱/۲۶ تا ۲ باشد، از نوع پیچان‌رودی است و اگر بیشتر از ۲ باشد، از نوع پیچان‌رودی شدید است (یمانی و همکاران ۱۳۸۹). رابطه (۳) نحوه محاسبه این شاخص را نشان می‌دهد (جعفر بیگلو و همکاران، ۱۳۹۱).

$$S = C/V \quad \text{رابطه (۳)}$$

در این رابطه، S ضریب سینوسیته، C طول رودخانه در بخش مورد بررسی و V طول دره رودخانه به خط مستقیم.

ارزیابی و اندازه‌گیری‌های صورت گرفته در بخش‌های مختلف رودخانه بر اساس شاخص فوق در جدول (۲) آمده است. طبق اطلاعات جدول ۲ و نقشه ارائه شده (شکل ۶) در مناطقی از رودخانه که مسیر آن با گسل‌ها

و شکستگی‌های زمین منطبق شده است، الگوی رودخانه از نوع مستقیم و سینوسی و در مناطق دیگر از نوع پیچان‌رودی است.



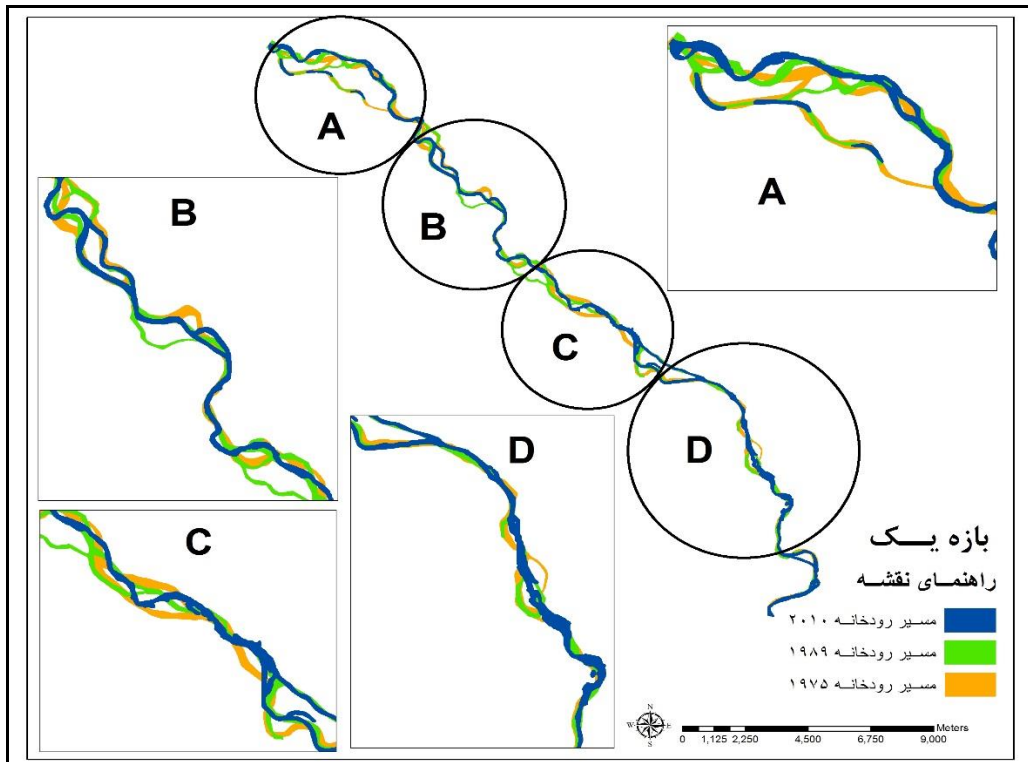
شکل (۶) بخش‌های اندازه‌گیری سینوسیته رودخانه

جدول (۲) جدول شاخص ضریب سینوسیته

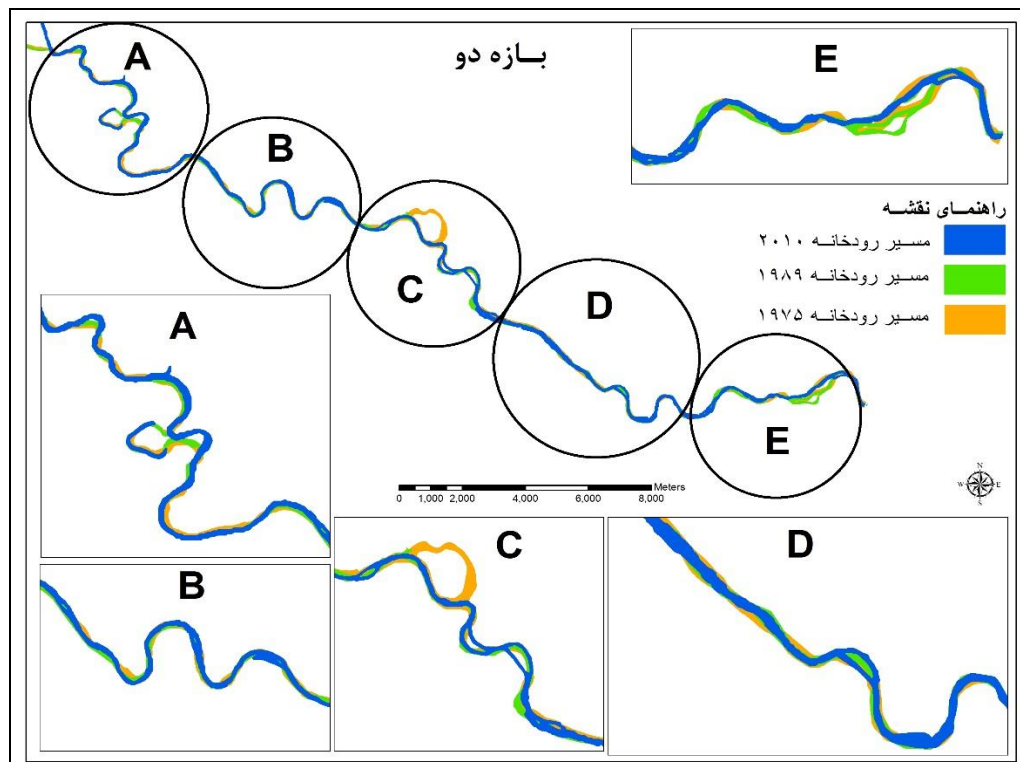
کد بخش	ضریب سینوسیته	انطباق با گسل	الگوی رودخانه در بخش
A	۱/۰۸	*	سینوسی
B	۱/۳		پیچان‌رودی
C	۱/۱۲	*	سینوسی
D	۱/۵۲		پیچان‌رودی
E	۱/۰۳	*	مستقیم
F	۱/۸		پیچان‌رودی
G	۱/۰۰۱	*	مستقیم

تغییر بستر رودخانه و فرسایش کناره‌ای

تغییرات فرسایشی رودخانه می‌تواند به صورت رسوب‌گذاری و هم‌چنین برداشت مواد و کاوش سواحل و مواردی از این قبیل باشد. برای این‌که بتوانیم مناطقی را که با رسوب‌گذاری و ترک بستر مواجه شده‌اند و هم‌چنین در مقابل، مناطقی را که با عمل کاوش و ایجاد بستر جدید روبه‌رو شده‌اند، مشخص کنیم، مسیر رودخانه را در سه بازه زمانی روی هم‌گذاری کرده، تغییرات رخ داده در آن را مورد بررسی و مطالعه قرار دادیم. در شکل ۷ و ۸ مسیر رودخانه در سه بازه زمانی در بخش‌های شماره یک و دو نشان داده شده و تغییرات رخ داده در آن مشهود است.



شکل (۷) تغییرات رخ داده در بخش یک در سه دوره زمانی (۱۹۷۵، ۱۹۸۹، ۲۰۱۰)



شکل (۸) تغییرات رخ داده در بخش دو در سه دوره زمانی (۱۹۷۵، ۱۹۸۹، ۲۰۱۰)

تحلیل‌های آماری صورت گرفته بر روی بخش‌ها، از نظر مساحت بستر جریان در سال مشخص، مساحت بستر ترک شده و مساحت فرسایش کناره‌ای رخ داده در جدول ۳ آمده است. طبق اطلاعات جدول ۳ در بازه زمانی ۱۹۷۵ تا ۱۹۸۹ نسبت به دوره زمانی ۱۹۸۹ تا ۲۰۱۰ تغییرات رخ داده در بستر رودخانه در هر دو بازه شماره یک و دو محسوس‌تر بوده است. علت این امر را می‌توان در ساخت سد و ایجاد بندهای انحرافی دانست که در سال‌های اخیر در این منطقه ایجاد شده است. برای نمونه می‌توان به سد انحرافی نوروزلو (در بالادست شهر میان‌دوآب) و سد شهید کاظمی بوکان اشاره کرد. این دو سد با ذخیره حجم عظیمی از آب رودخانه و انتقال آن به دشت‌های پیرامونی برای امور کشاورزی و مصارف شرب و صنعتی نقش به‌سزایی را در کاهش مقدار آب رودخانه در بخش‌های پایین دست داشته‌اند. از این رو می‌توان نتیجه گرفت که به سبب کاهش حجم رواناب رودخانه، قدرت فرسایشی و تخریب آن نسبت به سال‌های قبل از احداث سدها (۱۳۵۰) کاهش یافته است.

جدول (۳) وضعیت فرسایشی و تغییرات رودخانه در سه بخش زمانی

بخش مکانی	بخش زمانی	مساحت بستر جریان (km ²)	زمین‌های فرسایش یافته نسبت به دوره قبل	بستر ترک شده (km ²) نسبت به دوره قبل	بستر بدون تغییر (km ²) نسبت به دوره قبل
	سال ۱۹۷۵	۶/۵ Km	-	-	-
بخش ۱	سال ۱۹۸۹	۵/۴۷ Km	۲/۴۱ Km	۳/۴۴ Km	۳/۰۶ Km
	سال ۲۰۱۰	۵/۴۳ Km	۲/۴۴ Km	۲/۴۸ Km	۲/۹۹ Km
بخش ۲	سال ۱۹۷۵	۶/۱۹ Km	-	-	-
	سال ۱۹۸۹	۴/۹ Km	۲Km	۳/۲۹Km	۲/۹Km
	سال ۲۰۱۰	۴/۸۷ Km	۱/۴۹Km	۱/۵۲Km	۳/۳۸Km

نتیجه‌گیری

بررسی تغییرات بستر زرينه‌رود در دو بخش مکانی و سه بخش زمانی (۱۹۷۵، ۱۹۸۹، ۲۰۱۰) و تحلیل شرایط مورفولوژیکی رودخانه در بخش‌ها، بررسی الگوی بستر و بررسی تأثیر ساختارهای زمین‌شناسی از مهم‌ترین اهداف این پژوهش بود که مورد ارزیابی قرار گرفت. تصاویر ماهواره لندست در سال‌های مورد مطالعه، نقشه‌های زمین‌شناسی در مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ از مهم‌ترین داده‌های مورد استفاده در پژوهش بودند.

بررسی و تطبیق مسیر رودخانه در سال‌های مورد مطالعه با گسل‌های منطقه نشان‌دهنده این مطلب بود که در بخش دوم رودخانه که در یک منطقه دشتی واقع شده است، به‌شدت تحت تأثیر ساختارهای زمین‌شناسی قرار دارد به‌گونه‌ای که باعث تغییر مسیر رودخانه در محل تقاطع با گسل‌ها شده است. هم‌چنین نواحی‌ای از رودخانه که در امتداد گسل و یا در مسیر آن جریان داشته‌اند، الگوی رودخانه از نوع مستقیم و در مواردی از

نوع سینوسی است. در مقابل سایر بخش‌های آن الگوی غالب رودخانه از نوع پیچان‌رودی تا پیچان‌رودی شدید است و رودخانه در چندین شاخه مجزا جریان دارد.

در سه دوره زمانی مورد مطالعه در هر دو بخش شماره ۱ و ۲ از مساحت بستر رودخانه نسبت به دوره قبل کاسته شده است به‌گونه‌ای که مساحت بستر رودخانه از ۶/۵ کیلومترمربع به ۵/۴۳ کیلومترمربع در بخش ۱ و از ۶/۱۹ کیلومتر به ۴/۸۷ کیلومترمربع در بخش ۲ رسیده است. این امر نشانگر رسوب‌گذاری در نواحی پیرامونی رودخانه و نیز کاهش توان فرسایش رودخانه است. هم‌چنین در بخش یک بین سال ۱۹۷۵ تا ۱۹۸۹ حدود ۲/۴ کیلومترمربع از زمین‌های پیرامونی رودخانه فرسایش یافته و تخریب شده‌اند. این مقدار در بین سال‌های ۱۹۸۹ تا ۲۰۱۰ حدود ۲/۴۴ کیلومترمربع است. در مقابل این تخریب بخش‌های زیادی از رودخانه نیز به‌دلیل تغییر مسیر و جابه‌جایی بستر خشک شده و یا به‌صورت دریاچه‌های مئاندردی در حواشی رودخانه باقی مانده است که برای سال‌های ۱۹۷۵ تا ۱۹۸۹ و ۱۹۸۹ تا ۲۰۱۰ به‌ترتیب برابر با ۳/۴۴ و ۲/۴۸ کیلومتر مربع است. در بخش شماره ۲ میزان تغییرات رخ داده در بستر نسبت به بخش ۱ کمتر است زیرا هم از مقدار زمین‌های تخریب‌شده کناره‌ای و هم از میزان زمین‌هایی که دچار ترک بستر شده‌اند کاسته شده است. طبق اطلاعات جدول شماره ۳ بین سال‌های ۱۹۷۵ تا ۱۹۸۹ میزان فرسایش کناره‌ای و ترک بستر به‌ترتیب برابر با ۲ و ۳/۲۹ کیلومتر مربع است. در بین سال‌های ۱۹۸۹ تا ۲۰۱۰ این مقادیر برای هر دو مورد فرسایش کناره‌ای و ترک بستر کاهش یافته و به‌ترتیب به ۱/۴۹ و ۱/۵۲ کیلومترمربع رسیده است.

منابع

- پورآصف، فرشته (۱۳۸۸)، مروری بر روش‌های مختلف طبقه‌بندی رودخانه‌ها و کاربرد آنها برای رودخانه‌های کارون و دز، هفتمین سمینار بین‌المللی مهندسی رودخانه، صص ۱-۷.
- جعفریگلو، منصور؛ باقری سیدشکری، سجاده؛ نگهبان، سعید؛ صفراد، طاهر (۱۳۹۱)، بررسی تغییرات بستر و ویژگی‌های ژئومورفولوژیکی رودخانه گیلانغرب در سال‌های ۱۳۴۴ تا ۱۳۸۱، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، شماره ۲، پاییز ۱۳۹۱، صص ۱۰۲-۸۷.
- حسینی تودشکی، وحید؛ پورکرمانی محسن، آرین؛ خسروتهرانی، خسرو (۱۳۹۰)، تأثیر ساختارها بر روی رودخانه قزل‌اوزن، مجله علوم زمین، پاییز ۹۰، سال بیست و یکم، شماره ۸۱، صفحه ۵۵ تا ۶۰.
- خداینده، علی‌اکبر (۱۳۸۳)، نقشه زمین‌شناسی میاندوآب، مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰، سازمان زمین‌شناسی و اکتشاف معدن کشور.
- خلقی خسرقی، محمدحسین (۱۳۷۰)، نقشه زمین‌شناسی شاهین دژ، مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰، سازمان زمین‌شناسی کشور.
- رضایی مقدم، محمدحسین؛ روتی، محمدرضا؛ اصغری سراسکانرود، صیاد (۱۳۹۱)، بررسی تغییرات شکل هندسی رودخانه قزل‌اوزن با تأکید بر عوامل ژئومورفولوژیک و زمین‌شناسی، جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، سال ۲۳، پیاپی ۴۶، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۱، صص ۱-۱۴.
- رضایی مقدم، محمدحسین؛ خوشدل، کاظم (۱۳۸۸)، بررسی پیچ و خم‌های مائندر اهرچای در محدوده ازومدل ورزقان، جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، شماره ۳۳، صص ۱۰۱-۱۱۲.
- رنگزن، کاظم؛ صالحی، بهرام؛ سلحشوری، پرویز (۱۳۸۷)، بررسی تغییرات پایین‌دست سد کرخه قبل و بعد از ساخت سد با استفاده از تصاویر چندزمانه Landsat، همایش ژئوماتیک ۸۷، انتشارات سیویلیکا.
- سلطانی سیسی، غلامعلی (۱۳۸۴)، نقشه زمین‌شناسی عجب‌شیر، مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰، سازمان زمین‌شناسی و اکتشاف معدن کشور
- شیروانی، کورش؛ محمدرضا، یزدانی (۱۳۸۵)، بررسی وضعیت رسوب‌گذاری و فرسایش‌پذیری رودخانه‌ها و مسیل‌های عمده استان اصفهان، اولین همایش مهندسی مسیل‌ها.

- علوی نائینی، منصور؛ شهرابی، مصطفی (۱۳۵۸)، نقشه زمین‌شناسی مراغه، مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰، سازمان زمین‌شناسی و اکتشاف معدن کشور.
- غریب‌رضا، محمدرضا؛ معصومی، حمیدرضا (۱۳۸۵)، مورفولوژی رودخانه زهره و تغییرات آن در جلگه ساحلی هندبجان، هفتمین سمینار بین‌المللی مهندسی رودخانه، انتشارات سیویلیکا، دانشگاه شهید چمران اهواز.
- فاطمی عقدا، سید محمود؛ فیاضی؛ فرج‌اله؛ علیپور، داریوش (۱۳۸۰)، بررسی زمین‌شناسی مهندسی از رودخانه کرخه (روستای عبدالخان تا الهایی)، نشریه علوم دانشگاه تربیت معلم، جلد ۱، شماره ۳ و ۴ پاییز و زمستان ۱۳۸۰.
- فتحی، محمدحسین؛ سرمستی، نادر؛ ایاسه، فریبا؛ اشرفی‌فینی، زهرا (۱۳۹۲)، بررسی تغییرات روند خطوط ساحلی با پردازش تصاویر ماهواره‌ای چندطیفی و شاخص NDWI مطالعه موردی: دریاچه تکتونیک اورمیه، سی و دومین گردهمایی و نخستین کنگره بین‌المللی، تخصصی علوم زمین، بهمن ۱۳۹۲.
- نوحه‌گر، احمد؛ یمانی، مجتبی (۱۳۸۴)، بررسی وضعیت ژئومورفولوژیکی پیچانرود و نقش آن در فرسایش بستر و کناره‌های رودخانه میناب (پایین دست سد میناب)، پژوهش‌های جغرافیایی بهار ۱۳۸۴، دوره ۳۷ شماره ۵۱، صص ۶۵-۸۴.
- یمانی، مجتبی؛ دولتی، جواد؛ زارعی، علیرضا (۱۳۸۹)، تأثیرگذاری عوامل هیدروژئومورفیک در تغییرات زمانی و مکانی بخش میانی رودخانه اترک، تحقیقات جغرافیایی زمستان ۱۳۸۹؛ سال بیست و پنجم شماره ۴ (پیاپی ۹۹)، صص ۱-۲۴.
- Aswath, M.V., V.R. Satheesh, (2008), **Factors Influencing the Sinuosity of Pannagon River Kottayam, Kerala, India: An assessment using remote sensing and GIS**, Environmental Monitoring and Assessment, 138(1-3), PP.173-180.
- Brierley, G.J, Fryirs, K.A., (2005), **Geomorphology and River Management Application of the River Styles Framework**, Black well Publishing, Oxford, UK. PP. 398.
- Chich, C., Shanchen, W., Wu, L., Lin, C., (2006), **Active Deformation Front Delineated by Drainage Pattern Analysis and Vertical Movement rates, Southwestern Coastal Plain Taiwan**, Journal of Asian Earth Sciences, Vol. 47, PP. 89-109.
- Chris parker and et al, (2008), **The effects of variability in bank material properties on river bank stability**. Goodwin Creec, Mississippi. Journal home page.

- Gabrielle. CL. David and et al, (2009), **The impacts of ski slope development on stream channel morphology in white river national Forest, Colorado, USA-** Journal home page, *Geomorphology*. PP. 375- 388.

- McFeeters S. K., 2013, **Using the Normalized Difference Water Index (NDWI) within a Geographic Information System to Detect Swimming Pools for Mosquito Abatement: A Practical Approach.** *Remote Sensing* 2013, 5, PP. 3544–3561.

- Sainath P.A, Shashikant I.B, Pragati P.D, Ravindra D.G., (2012), **River Change Detection and Bank Erosion Identification using Topographical and Remote Sensing Data. International**, *Journal of Applied Information Systems (IJ AIS)*-ISSN: 2249-0868. Foundation of Computer Science FCS, New York, USA. Volume 2– No.3, PP. 1-7.

- Sarma, J.N., (2005), **Floviai process and morphology of the Brahaputra River in Assam**, *Geomorphology*, 70 (3-4), PP. 226-26.

- Thorne, C.R., (2002), **Geomorphic analysis of large alluvial rivers**, *Geomorphology*, vol. 44, No. 5, PP. 203 - 219.

- Zamolyi, A.B., Szekely, E., Draganits and G. Timar, (2009), **Neotectonic control on river sinuosity at the western margin of the Little Hungarian Plain**, *Geomorphology*, 122 (3-4), PP. 231-243.