پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمّی، سال هشتم، شماره ۳، زمستان ۱۳۹۸
صص. ۱۳۱-۱۱۵

# بررسی تغییرات مکانی– زمانی مورفولوژی رودخانه سیلاخور در استان لرستان

سیامک شرفی*– استادیار ژئومورفولوژی گروه جغرافیا، دانشگاه لرستان.
حبیب آرین تبار– دکتری ژئومورفولوژی، دانشگاه رازی کرمانشاه.
زهرا کمالی– دکتری زمین شناسی، دانشگاه بیرجند.

پذیرش مقاله: ۱۳۹۸/۰۱/۱۷ تائید نهایی: ۱۳۹۸/۰۹/۰۲

## چکیده

**تغییرات هیدرولوژیک طبیعت به‌تدریج موجب تغییر موقعیت و مورفولوژی رودخانه‌ها می‌شود. یکی از این تغییرات، پیچان‌رودی شدن رودخانه‌هاست که در مکان ها و زمان های مختلفی در طول مسیر یک رودخانه اتفاق می افتد. رودخانه سیلاخور در دشتی به همین نام در شمال شرقی استان لرستان قرار دارد که عوامل متعددی مانند ساختار زمین شناسی به ویژه تکتونیک فعال و عوامل انسانی باعث تغییرات مکانی- زمانی رودخانه شده اند. در این تحقیق با هدف شناسایی تغییرات مکانی- زمانی در یک دوره ۲۰ ساله(۲۰۱۵-۱۹۹۵) در بازه ای به طول ۶۱ کیلومتر، از تصاویر ماهواره ای، نقشه های زمین شناسی و توپوگرافی جهت برآورد تغییرات استفاده شده است. به طوری که ابتدا با استفاده از تصاویر ماهواره ای بستر رودخانه(تغییرات مکانی) در ۳ دوره زمانی ۱۹۹۵، ۲۰۰۵ و ۲۰۱۵ در نرم افزار ENVI استخراج شد. سپس با استفاده از ابزار Union در نرم افزار Arc GIS تغییرات زمانی(مقدار فرسایش، رسوبگذاری و محدوده های بدون تغییر) رودخانه در ۳ دوره زمانی ۲۰۰۵-۱۹۹۵، ۲۰۱۵-۲۰۰۵ و ۲۰۱۵-۱۹۹۵ نسبت به همدیگر دیگر برآورد شدند. نتایج هم پوشانی مسیر رودخانه در ۳ دوره زمانی مورد مطالعه نشان داد که در برخی نقاط محدوده بستر رودخانه افزایش یا کاهش یافته و در برخی نقاط بدون تغییر بوده است. اما با توجه به ماهیت مئاندری بودن رودخانه در دشت سیلاخور، عمده تغییرات در بازه ۲ و ۳ رودخانه بوده است. هم چنین تغییرات زمانی رودخانه نشان می دهد که در بازه های اول، دوم و سوم در ۳ دوره زمانی مورد مطالعه، ساحل راست رودخانه عمدتا فرسایشی و ساحل چپ در حال افزایش(رسوبگذاری) بوده است. برآورد میزان فرسایش، رسوبگذاری و محدوده های بدون تغییر رودخانه نیز نشان داد که بیشترین میزان فرسایش در بازه زمانی ۲۰۰۵-۱۹۹۵، بیشترین مقدار افزایش(رسوبگذاری) در بازه های زمانی ۲۰۰۵-۱۹۹۵ و ۲۰۱۵-۲۰۰۵ و بیشترین مساحت بدون تغییر در بازه زمانی ۲۰۰۵-۲۰۱۵ بوده است.**

***واژگان کلیدی: تغییرات مکانی- زمانی، مورفولوژی، رودخانه سیلاخور.***

---

* نویسنده مسئول: E-mail: sharafi.si@lu.ac.ir

**مقدمه**

رودخانه ها پدیده هایی فعال و از مهم ترین عوامل موثر در فرآیندهای ژئومورفولوژیک زمین و چرخه فرسایش هستند(ایلدرمی و شیخی پور، ۱۳۹۵، ۴۷؛ حجازی و همکاران، ۱۳۹۵، ۷۳) که اکوسیستم آنها کاملا پویا بوده و مرزهای جانبی و مشخصات مورفولوژیکی آنها در طول زمان و به طور پیوسته حال تغییر است(کسلر و همکاران[۱]، ۲۰۱۳، ۱). رودخانه های طبیعی تحت تاثیر عوامل و متغیرهای مختلف، دائما از نظر ابعاد، شکل، راستا و الگو در حال تغییر هستند(ساسانی و همکاران، ۱۳۸۴، ۱). بستر و ویژگی های مورفولوژی رودخانه می تواند بر حسب زمان و تحت تاثیر عواملی مانند سیل، تکتونیک، ساخت سد، تغییرات اقلیمی، کاربری اراضی و گاه دخالت بشر تغییر کند(رضایی مقدم و همکاران، ۱۳۹۱، ۱؛ شایان و همکاران، ۱۳۹۶، ۲۴). هم چنین میزان شیب، حجم آب، سرعت آب و طبیعت رودخانه از دیگر عواملی هستند که عهده دار تغییر شکل و اندازه رودخانه ها می باشند(ساینات و همکاران[۲]، ۲۰۱۲، ۱).

الگو یا مورفولوژی رودخانه از نظر مفهومی، علم شناخت سیستم های رودخانه ای از نظر شکل هندسی، خصوصیات بستر رودخانه، نیمرخ طولی و مطالعهٔ تغییرات کانال رودخانه ها به عنوان یک فرآیند طبیعی در رودخانه های آبرفتی است(اسماعیلی، ۱۳۹۰، ۸۷؛ کومو و همکاران[۳]، ۲۰۰۸، ۱۰۰). از طریق بررسی مورفولوژی رودخانه ها می توان شرایط کنونی و پتانسیل تغییرات احتمالی از جمله تغییرات مکانی و زمانی بستر و مورفولوژی آن را در آینده بهتر درک نمود(یمانی و حسین زاده، ۱۳۸۱، ۱۱۰). از این رو انجام هر گونه تحلیل هیدرولیکی بر روی رودخانه، نیازمند دسترسی به مشخصات دقیق مورفولوژیکی آن رودخانه می باشد و شناخت تغییرات ایجاد شده در رودخانه ها و اثرات آن بر مورفولوژی بستر و اراضی مجاور رودخانه، برای مدیریت رودخانه ها ضروری است.

با توجه به اهمیت تغییرات مورفولوژیکی رودخانه ها، پژوهشگران مختلفی در داخل و خارج از کشور به بررسی تغییرات مورفولوژی رودخانه ها در بازه های زمانی مختلف و علل این تغییرات پرداخته اند.

مورایس و همکاران[۴](۲۰۱۶) تغییرات مکانی–زمانی کانال رودخانه پیچانرودی پیکس در برزیل را با استفاده از عکس های هوایی، تصاویر ماهواره ای و نقشه های تاریخی بررسی نموده اند. نتایج نشان داد که در همه قوس ها درجه سینوسیتی از ۲٫۶ به ۱٫۷ کاهش، میانگین طول موج قوس ها از ۲۰۰ به ۵۰۰ متر افزایش و شکل پلان رودخانه بسیار ساده تر شده است. هم چنین میزان تغییرات با شدت بیشتری از فرآیندها از پایین دست به طرف بالا دست افزایش یافته است.

بروشکه و سکوتی(۲۰۱۷) تغییرات مکانی– زمانی رودخانه زرینه رود را با استفاده از عکس های هوایی، تصاویر ماهواره ای اسپات، نقشه های توپوگرافی و مطالعات میدانی بررسی نموده اند. نتایج نشان داد که محدوده بستر رودخانه از ۵۶۱٫۱ به ۲۲۱٫۳ هکتار کاهش یافته و مورفولوژی رودخانه و شکل خم های رودخانه تکامل یافته اند. هم چنین از سال ۱۹۶۷ تا ۲۰۱۱ مساحت عوارض طبیعی داخل بستر مانند تپه های ماسه ای از ۱۳٫۶۸ به ۲٫۸۶ هکتار کاهش یافته که نشان دهنده نوسانات زیاد تخلیه و تغییرات در شرایط هیدرولوژیکی و هیدرولیکی رودخانه است.

یوسفی و همکاران(۲۰۱۸) با استفاده از تصاویر ماهواره ای لندست قبل و بعد از سیلاب شدید سال ۲۰۱۶، به بررسی اثرات سیلاب بر روی مورفولوژی رودخانه کارون پرداخته و نتیجه گرفتند که سیلاب اثرات قابل توجهی بر روی عرض کانال، جابجایی زیاد رسوبات کانال و فرسایش کناری شدید در قوس های پیچانرودها داشته است.

---

۱ - Kessler et al

۲ - Sainath et al

۳ - Kummu et al

۴ - Morais et al

محمد و همکاران[۱](۲۰۱۸) با استفاده از تصاویر ماهواره ای با قدرت تفکیک بالا، به تحلیل زمانی- مکانی تغییرات مورفولوژیکی و تشخیص فرسایش رودخانه کلیم در مالزی پرداخته اند.

مقصودی و همکاران(۱۳۸۹) روند تغییرات الگوی مورفولوژیکی رودخانه خرم آباد را در ۳ دوره زمانی با استفاده از سنجش از دور و GIS را بررسی نمودند. نتایج نشان داد که ۱۷ مئاندر از سال ۱۳۳۴ تا ۱۳۷۷ حذف شده و تعداد مئاندرها از سال ۱۳۷۷ تا ۱۳۸۴ از ۵۱ به ۵۳ افزایش یافته است. هم چنین تغییرات کاربری اراضی اطراف رودخانه و به طور کلی دخل و تصرف انسان در بستر رودخانه، را مهم ترین عامل این تغییرات بیان کرده اند.

یمانی و شرفی(۱۳۹۱) با استفاده از عکس های هوایی و تصاویر ماهواره ای و اندازه گیری پارامترهای هندسی، تغییرات مورفولوژیکی رودخانه هررود در استان لرستان را در یک بازه زمانی ۵۲ ساله مطالعه کرده اند.

شرفی و همکاران(۱۳۹۳) با استفاده از تصاویر ماهواره ای مسیر رودخانه اترک را در یک بازه زمانی ۲۰ ساله استخراج و با استفاده از پارامترهای هندسی به تحلیل میزان تغییرات پرداختند. نتایج تحقیق نشان داد که مسیر رودخانه در برخی نقاط تغییر نموده و این تغییرات در برخی نقاط(روستای ترشکلی) به نفع ترکمنستان و در نقاط دیگر(روستای داشلی برون) به نفع ایران بوده است.

میرزاوند و همکاران(۱۳۹۴) الگوی پیچانرودی رودخانه های بابل رود و سجاد رود در استان مازندران با استفاده از شاخص های لئوپلد و کورنایس را مورد مطالعه قرار داده اند. نتایج نشان داد که میانگین ضریب خمیدگی در محدوده مورد مطالعه برابر با ۲,۴۶ می باشد که این رقم بیانگر بالابودن نسبت پیچ و خم دار بودن رودخانه است.

سراسکانرود و پوراحمد(۱۳۹۴) تغییرات رودخانه زرینه رود با استفاده از تصاویر ماهواره ای در بازه زمانی ۱۹۸۹ تا ۲۰۱۴ را بررسی نموده و نتیجه گرفتند که به علت کاهش بسیار محسوس دبی رودخانه از سال ۲۰۰۰ تا سال ۲۰۱۴، پتانسیل رودخانه برای ایجاد تغییرات مورفولوژیک در بخش های مختلف بسیار پایین است و بیشترین میزان تغییرات در سال ۱۹۸۹ اتفاق افتاده است.

شایان و همکاران(۱۳۹۶) با بررسی تحلیل عوامل مورفولوژیکی در تغییرات الگوی مکانی- فضایی رودخانه الوند در استان کرمانشاه نتیجه گرفتند که در تمام بخش های مورد بررسی، محور رودخانه تغییرپذیری بین 15 تا 21 درجه را تحمل کرده است.

رودخانه سیلاخور در شمال شرقی استان لرستان، در دشتی به همین نام جریان دارد که از فعال ترین مناطق تکتونیکی ایران است. این رودخانه تحت تاثیر تکتونیک فعال، مخروط افکنه های فعال و فعالیت های انسانی مانند برداشت شن و ماسه، دارای تغییر و جابجایی بستر می باشد. بنابراین هدف از این پژوهش، شناسایی تغییرات مورفولوژیکی رودخانه سیلاخور در یک بازه زمانی ۲۰ ساله(۲۰۱۵-۲۰۰۵- ۱۹۹۵) در بازه ای به طول ۶۱ کیلومتر، برآورد میزان فرسایش، رسوبگذاری و محدوده بدون تغییر رودخانه در سه بازه زمانی مورد مطالعه و هم چنین شناسایی فرآیندهای تغییر دهنده شکل و الگوی رودخانه مورد مطالعه می باشد.

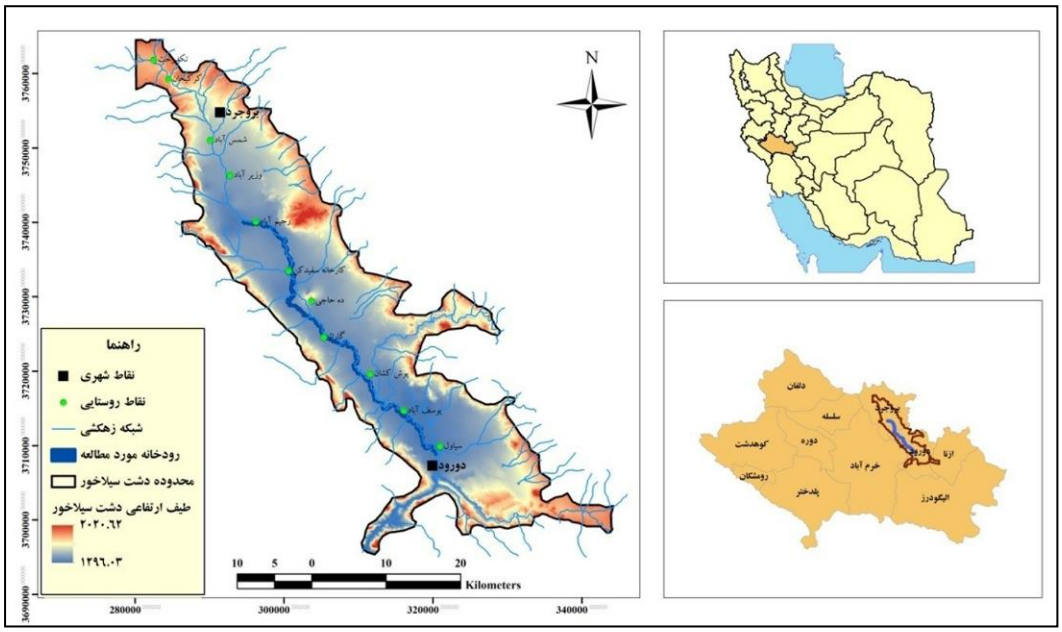
## مواد و روش ها

### محدوده مورد مطالعه

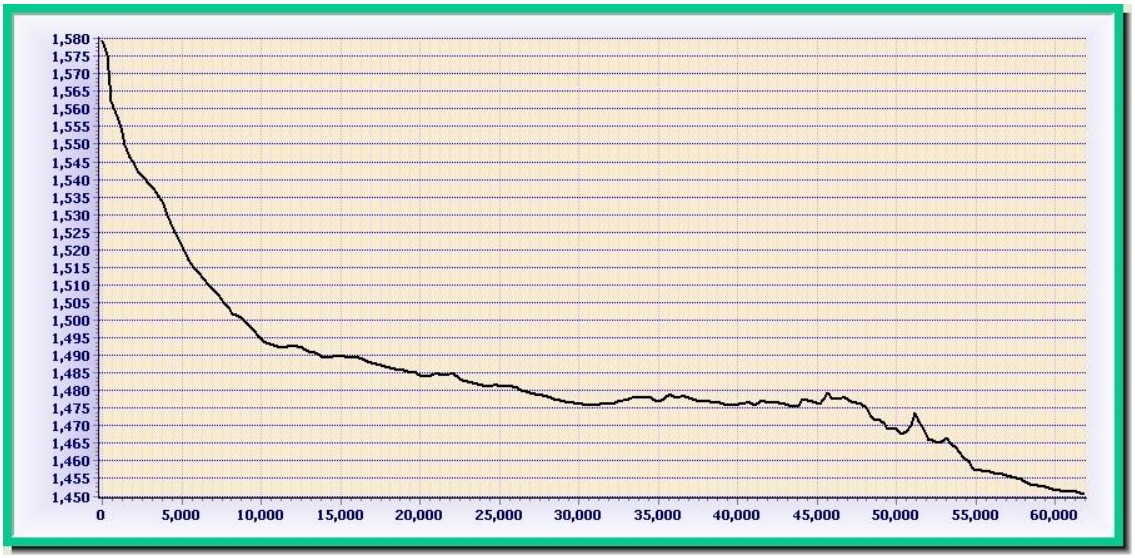
دشت سیلاخور با درازای ۵۰ کیلومتر، پهنای ۲۴ کیلومتر و مساحت ۱۲۱۴ کیلومتر مربع در شمال شرقی استان لرستان واقع شده است. این دشت بین طول جغرافیایی ۴۸ درجه و ۳۵ دقیقه تا ۴۸ درجه و ۵۷ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۳ درجه و ۴۷ دقیقه تا ۳۳ درجه و ۵۹ دقیقه شمالی واقع شده است(شکل ۱). دشت وسیع سیلاخور بیشتر مساحت شهرستان‌های بروجرد و دورود را در بر می‌گیرد و بزرگ‌ترین زمین هموار استان لرستان در غرب ایران است و از قطب‌های

[۱] - Mohammad et al

کشاورزی و باغداری منطقه نیز به شمار می‌رود. طول آن شرقی – غربی و خاک آن بسیار مرغوب و حاصلخیز است. شهرهای اشترینان، بروجرد، چالانچولان و دورود در محدوده دشت قرار دارند. رودخانه سیلاخور از غرب به شرق در داخل دشت جریان دارد و شاهرگ حیات این منطقه محسوب می شود. دشت سیلاخور بر روی گسل اصلی جوان زاگرس واقع شده و منطقه‌ای زلزله خیز است. بازه مورد مطالعه رودخانه سیلاخور با طول ۶۱ کیلومتر در بخش میانی دشت واقع شده که ارتفاع مسیر عبور رودخانه از ۱۴۵۰ در پایین دست دشت تا ۱۵۸۰ در بالادست متغیر است(شکل ۲).




**شکل ۱: موقعیت رودخانه رودخانه سیلاخور در استان لرستان**




**شکل ۲: نیمرخ طولی بازه مورد مطالعه رودخانه سیلاخور**

## زمین شناسی و تکتونیک دشت سیلاخور

منطقه مورد مطالعه در پهنه چین خورده- رانده زاگرس(طالبیان و جکسون[۱]، ۲۰۰۴)، در مسیر گسل دورود به عنوان یکی از شاخه های گسلی از گسل جوان زاگرس با نرخ فعالیت لرزه‌ای بالا واقع شده است. دشت سیلاخور در بخش جنوب شرقی مرز بین دو گسل دورود و تراست اصلی زاگرس و در بخش شمال شرقی با آرایش پلکانی بین دو گسل جبهه کوهستانی مرز سنندج- سیرجان و گسل دورود محصور شده است. این گسل به طول تقریبی ۱۲۱ کیلومتر امتداد لغز راست‌گرد با مولفه شیب‌لغز نرمال است که به واسطه دامنه و گسترش خود، منشا پیدایش مجموعه ای از گسل های فرعی و بعضا در مقیاس محلی شده است(فاطمی عقدا، ۱۳۸۶) و در برخی از مناطق به صورت پنهان در زیر رسوبات آبرفتی کواترنر مدفون شده است(چالنکو و براود[۲]، ۱۹۷۴)، بر همین اساس این گسل را گسل کواترنری می‌گویند(حسامی[۳]، ۲۰۰۱). این دشت در شمال به گسل قلعه حاتم ختم می شود، در این قسمت به دلیل آرایش پلکانی دو گسل دورود و قلعه حاتم یک حوضه pull-apart را تشکیل داده‌اند به طوری که به دلیل عملکرد این دو گسل، حداقل ۱۰ متر افتادگی دارد. همچنین شمال شرقی این دشت توسط گسل محسن بن علی احاطه شده است(فاطمی عقدا، ۱۳۸۶).

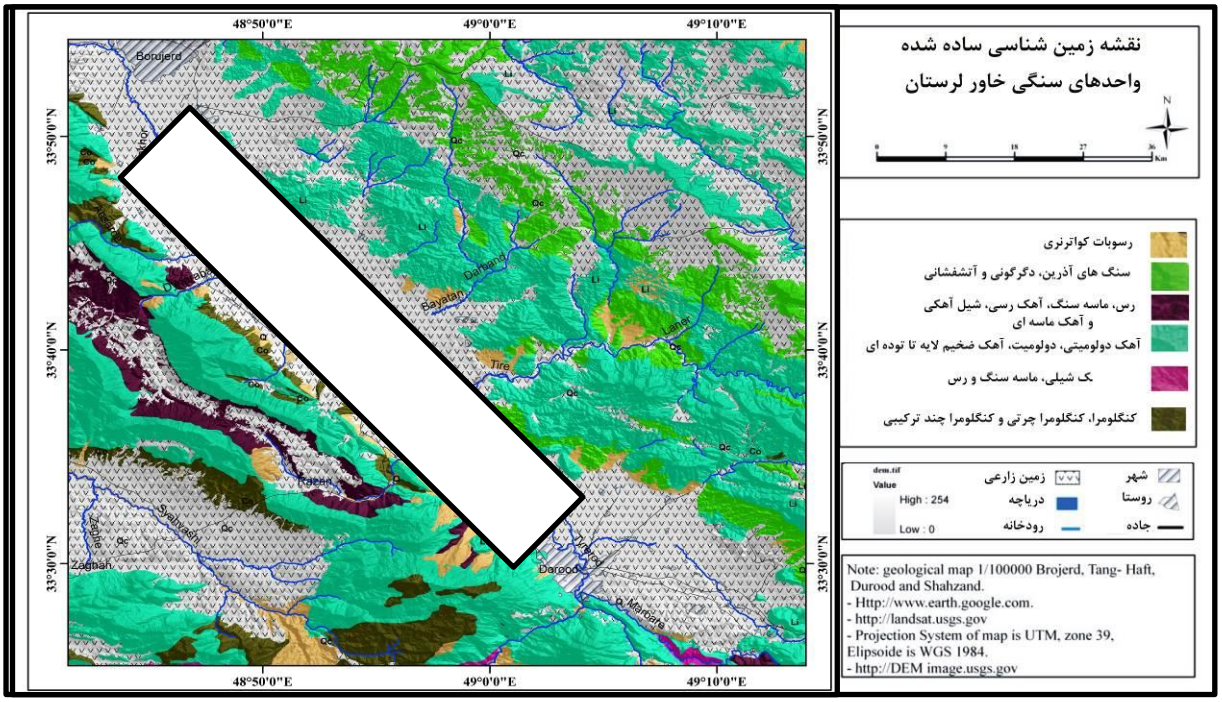
دشت سیلاخور توسط آبرفتهای کواترنر پسین که شامل پادگانه های بلند و قدیمی، پادگانه های کوتاه و جوان و رسوبات رودخانه ای می باشد، تشکیل شده است(بهیاری، ۱۳۷۸). جنس پادگانه های قدیمی بیشتر از کنگلومرا، ماسه های دانه درشت، سیلت و رس بوده که با توجه به ویژگی و موقعیت، تشکیل شکل های ویژه ای را داده اند. ضخامت متوسط آنها حدود ۲۰ متر است، در اثر عملکرد گسل در سطح دشت می‌توان شواهد مورفوتکتونیکی مانند پرتگاه‌های گسلی با ارتفاع متغیر چند سانتی‌متر تا ۶ متر، تپه ماهورها و رشد چین ها را مشاهده نمود. آبرفت های عهد حاضر در این منطقه، بسته به جایگاه رسوبگذاری، ترکیب و اندازه رسوبات و نوع گسترش، متفاوت می باشند. رسوبات کفه ماسه‌ای، تا ماسه‌ای سیلتی و آبرفت های رودخانه‌ای از انواع این رسوبات هستند که در دشت سیلاخور و بستر رودخانه تشکیل گردیده اند. به دلیل گسترش رودها در این دشت، آبرفت های رودخانه ای فراوان می باشند. هم چنین این دشت در بالا دست، به ارتفاعات منطقه دگرگونه و در پایین دست به ارتفاعات زاگرس خرد شده منتهی می شود که با توجه به ویژگی های این ارتفاعات، اشکال ژئومورفولوژیکی متفاوتی دیده می شود. شکل ۳، ویژگی های زمین شناسی محدوده مورد مطالعه را نشان می دهد.

---

۱ - Talebian and Jackson

۲ - Tchalenko and Braud

۳ - Hessami



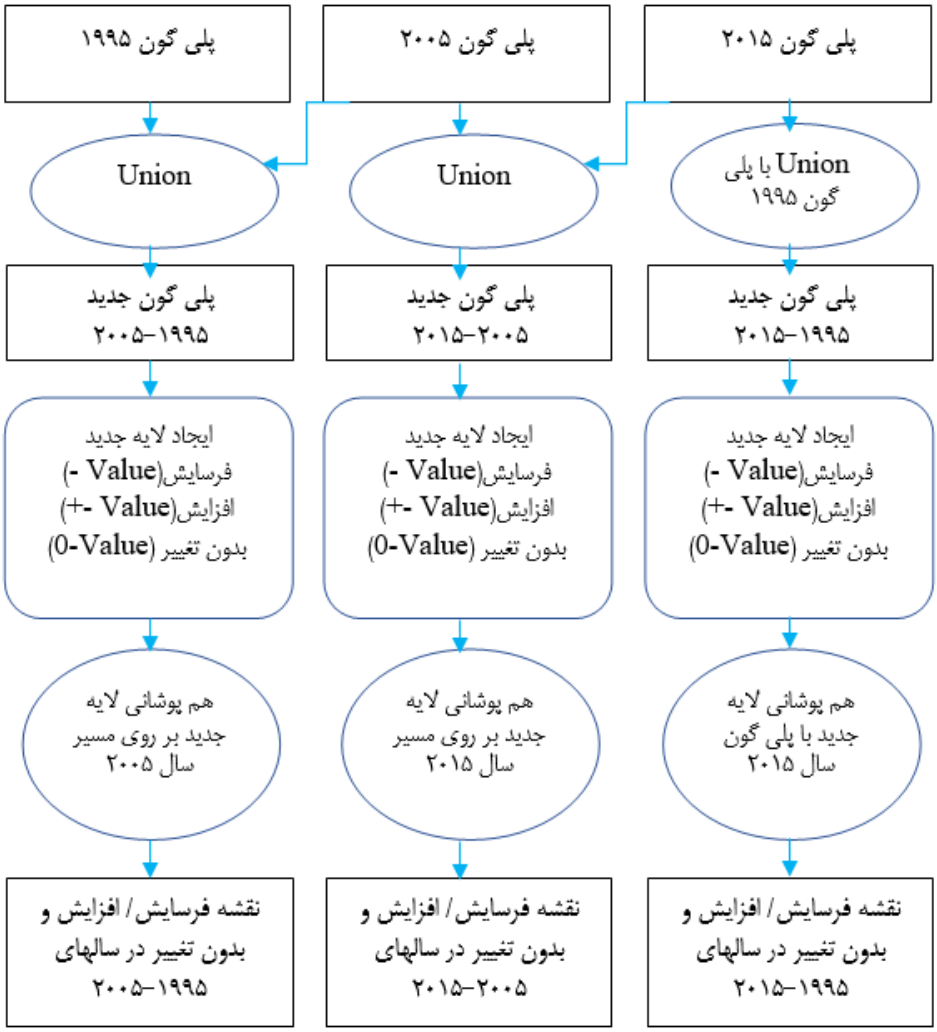

**شکل ۳: زمین شناسی دشت سیلاخور**

## روش کار

بررسی تغییرات مکانی- زمانی مورفولوژی رودخانه سیلاخور در چهار مرحله انجام گرفته است. در مرحله اول ابزارهای مورد نیاز مانند تصاویر ماهواره ای، نقشه های زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰، نقشه های توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ و GPS جهت استفاده در مراحل مختلف تحقیق تهیه و گردآوری شد. مرحله دوم گردآوری اطلاعات مربوط به تغییرات دوره‌ای الگوی مسیر رودخانه مورد مطالعه می باشد که این مرحله با استخراج مسیر رودخانه از تصاویر ماهواره‌ای در نرم افزار ENVI انجام شد. در این مرحله، تصاویر ماهواره ای لندست ۸ محدوده مورد مطالعه مربوط به سالهای ۱۹۹۵، ۲۰۰۵ و ۲۰۱۵ تهیه و عملیات پردازش به دلیل دبی ثابت رودخانه و نداشتن جریان طغیانی در هر ۳ دوره زمانی بر روی تصاویر تیرماه انجام گرفت. سپس تصاویر مورد استفاده تصحیح رادیومتریک یعنی کالیبره شدند. منظور از تصحیح رادیومتریک این است که همه مقادیر پیکسل ها(digital number) باید تبدیل به Reflectant شوند. در ادامه از هر یک از تصاویر شاخص MNDWI گرفته شد و سپس با استفاده local thresholding و هم چنین اپراتورهای مورفولوژی، مسیر رودخانه استخراج گردید. در مرحله سوم، با استفاده از ابزار union در محیط نرم افزار Arc GIS و براساس توضیحات داده شده در شکل ۴، محدوده های فرسایشی، رسوبگذاری و بدون تغییر در ۳ بازه زمانی ۲۰۰۵-۱۹۹۵، ۲۰۱۵-۲۰۰۵ و ۲۰۱۵-۱۹۹۵ تعیین شد. به این صورت که ارزش منفی در جدول توصیفی لایه ها در هر بازه زمانی مورد مطالعه بیانگر فرسایش رودخانه در جایی که کاهش محدوده پلی گون وجود دارد(جابجایی زمین های اطراف رودخانه)، ارزش مثبت بیانگر افزایش(رسوبگذاری) در جایی که حرکت اطراف رودخانه یا تغییر مکان رودخانه وجود دارد و ارزش صفر بیانگر ناحیه بدون تغییر جایی که پلی گون محدوده رودخانه هیچ تغییری را در بازه های زمانی مورد مطالعه نشان نمی دهد(لانگت و همکاران[۱]، ۲۰۱۹: ۱۳). در مرحله چهارم و پس از مشخص شدن نقاط دارای تغییر مسیر رودخانه و برآورد مساحت میزان

[۱] - Langat et al

فرسایش، افزایش(رسوبگذاری) و ناحیه بدون تغییر در ۳ بازه زمانی مورد مطالعه، مطالعات میدانی جهت بررسی علل تغییرات و شواهد مورفوتکتونیکی وجود اسکارپهای گسلی انجام گرفت. در این مرحله، شواهد تکتونیکی و فعالیت های انسانی موثر بر تغییرات مورفولوژی رودخانه مورد بررسی قرار گرفت. در پایان، به تحلیل نتایج به دست آمده از تغییرات الگوی مورفولوژی رودخانه، تغییرات میزان فرسایش، افزایش(رسوبگذاری) و محدوده بدون تغییر رودخانه و علل تغییرات مورفولوژی پرداخته شد.



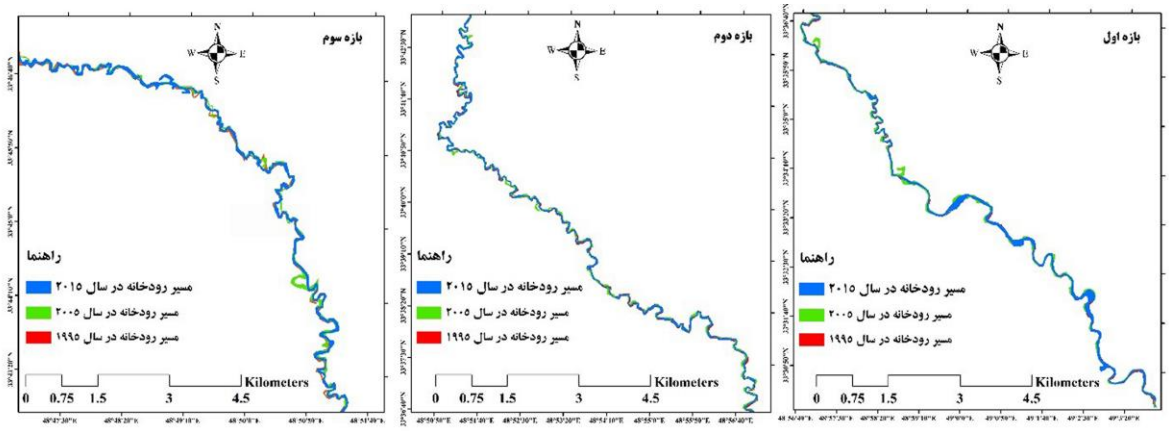

**شکل ۴: مراحل برآورد میزان فرسایش، رسوبگذاری و محدوده بدون تغییر رودخانه سیلاخور با استفاده از ابزار Union(لانگت و همکاران، ۲۰۱۹)**

## یافته ها و بحث

### بررسی تغییرات مکانی رودخانه در ۳ بازه زمانی مورد مطالعه

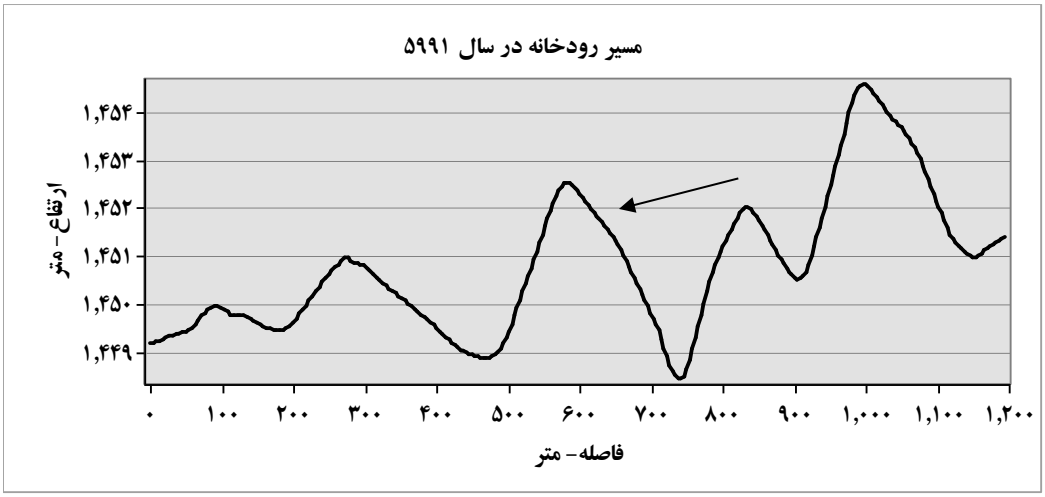
با توجه به اینکه برای مشخص کردن تغییرات مکانی و محاسبه میزان فرسایش، رسوبگذاری و محدوده های بدون تغییر رودخانه نیاز به استخراج پلان مسیر رودخانه می باشد، با استفاده از تصاویر ماهواره ای مسیر رودخانه در سال های ۱۹۹۵، ۲۰۰۵ و ۲۰۱۵ در محیط نرم افزار ENVI استخراج گردید(شکل ۵). سپس مسیر استخراج شده در دوره های زمانی مورد مطالعه، وارد محیط نرم افزار Arc GIS شده و هم پوشانی شدند. لازم به ذکر است که به دلیل طولانی بودن مسیر رودخانه، به ۳ بازه تقسیم شده است.

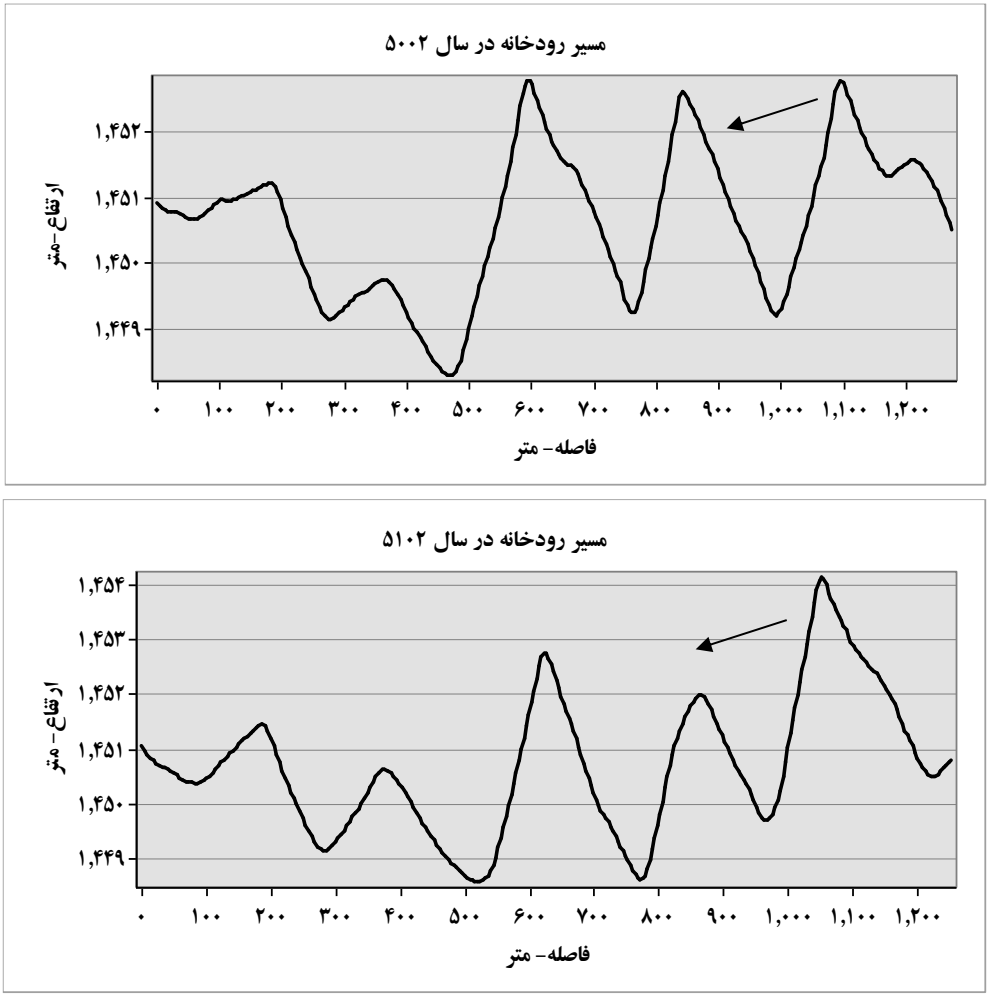
همان طور که در شکل ۵ نشان داده شده است رنگ قرمز مسیر رودخانه در سال ۱۹۹۵، رنگ سبز سال ۲۰۰۵ و رنگ آبی سال ۲۰۱۵ را نشان می دهد. هم پوشانی مسیر رودخانه در ۳ دوره زمانی مورد مطالعه بیانگر این است که مسیر و بستر رودخانه در هر ۳ دوره زمانی تغییراتی داشته است. به طوری که در برخی نقاط محدوده بستر رودخانه افزایش یا کاهش یافته و در برخی نقاط بدون تغییر بوده است. اما با توجه به ماهیت مئاندری بودن رودخانه در دشت سیلاخور، عمده تغییرات در بازه ۲ و ۳ رودخانه بوده است.



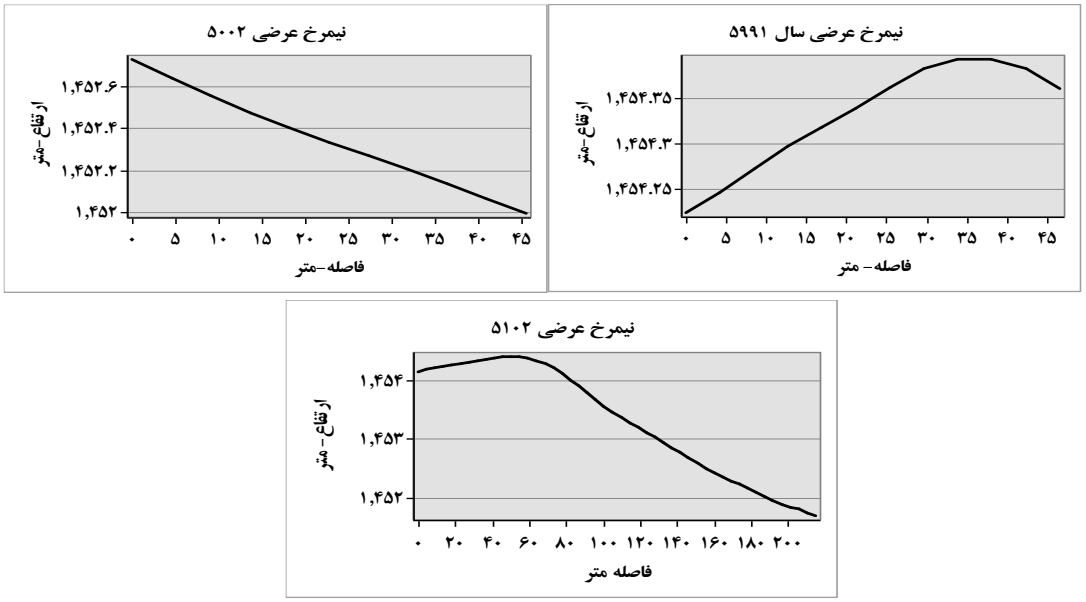

**شکل ۵: تغییرات مکانی بستر رودخانه سیلاخور در بازه زمانی مورد مطالعه**

بررسی نیمرخ طولی نقاطی که در هر سه دوره زمانی تغییر داشته اند، بیانگر این است که با وجود تغییرات جانبی رودخانه(فرسایش کناری) به شکل فرسایش و رسوبگذاری، از نظر عمق بستر نیز رودخانه تغییرات داشته است. به عبارت دیگر، عمل حفر و رسوبگذاری در بستر رودخانه نیز انجام شده است(شکل ۶). همان طور که در نیمرخ های طولی مشاهده می شود در بازه ای به طور ۱,۲ کیلومتر از بخش اول رودخانه، تغییرات ارتفاعی در مکانی که رودخانه تغییرات جانبی و جابجایی بستر داشته است، رخ داده است. در سال ۱۹۹۵، تغییرات ارتفاعی بین ۱۴۵۴,۵ تا ۱۴۴۸,۵ متر از سطح دریا بوده است. به عبارتی رودخانه در این بازه، ۶ متر اختلاف ارتفاع داشته است. در سال ۲۰۰۵ تغییرات ارتفاعی بین ۱۴۴۸ تا ۱۴۵۳ در نوسان بوده (۵ متر اختلاف ارتفاع) و موقعیت نقاط دارای تغییرات ارتفاعی نیز در مقایسه با سال ۱۹۹۵ متفاوت بوده است. در سال ۲۰۱۵، تغییرات ارتفاعی بین ۱۴۴۸,۵ تا ۱۴۵۴,۲ متر از سطح دریا متغییر بوده، اما روند تغییرات مشابه سال ۲۰۰۵ بوده است. بنابراین نیمرخ های طولی بازه مورد مطالعه، بیانگر تغییرات بستر و عمق رودخانه هستند. هم چنین نیمرخ عرضی رودخانه در این بازه، بیانگر تغییرات عرضی و ارتفاعی بستر در موقعیت مکانی ذکر شده در شکل ۷ است. عرض بستر در سال های ۱۹۹۵ و ۲۰۰۵، حدود ۴۵ متر و در سال ۲۰۱۵ حدود ۲۰۰ متر بوده، یعنی در سال ۲۰۱۵، عرض رودخانه حدود ۱۵۵ متر پهن تر شده است. تغییرات ارتفاعی بستر در سال های ۱۹۹۵ و ۲۰۰۵ حدود ۰/۵ متر و در سال ۲۰۱۵ حدود ۲/۵ متر بوده است.





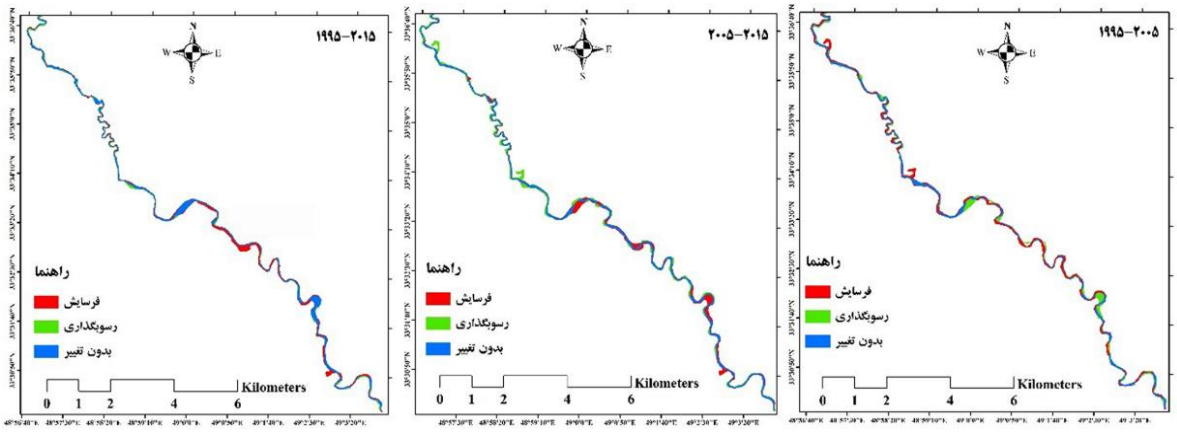

**شکل ۶: تغییرات مکانی(ارتفاعی) مسیر رودخانه در سه دوره زمانی مورد مطالعه در بازه ای به طول ۱۲۰۰ متر(موقعیت مکانی ۴۰,۰۱- ۳۳,۵۴). فلش ها جهت جریان رودخانه را نشان می دهند.**



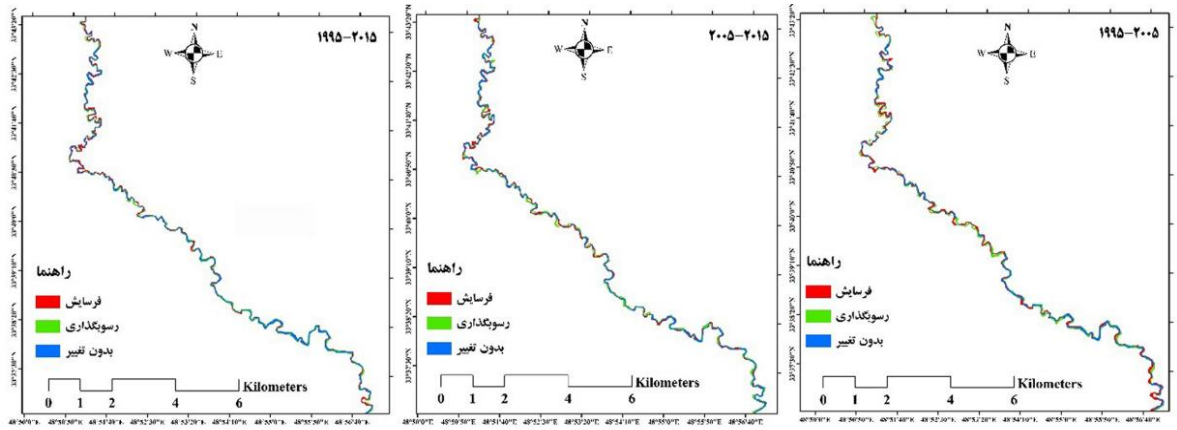

**شکل ۷: نیمرخ عرضی رودخانه در نقطه ای که در هر ۳ دوره زمانی تغییرات رخ داده است(موقعیت مکانی ۴۹,۰۱- ۳۳,۳۳).**

### تغییرات زمانی الگوی مورفولوژی رودخانه سیلاخور

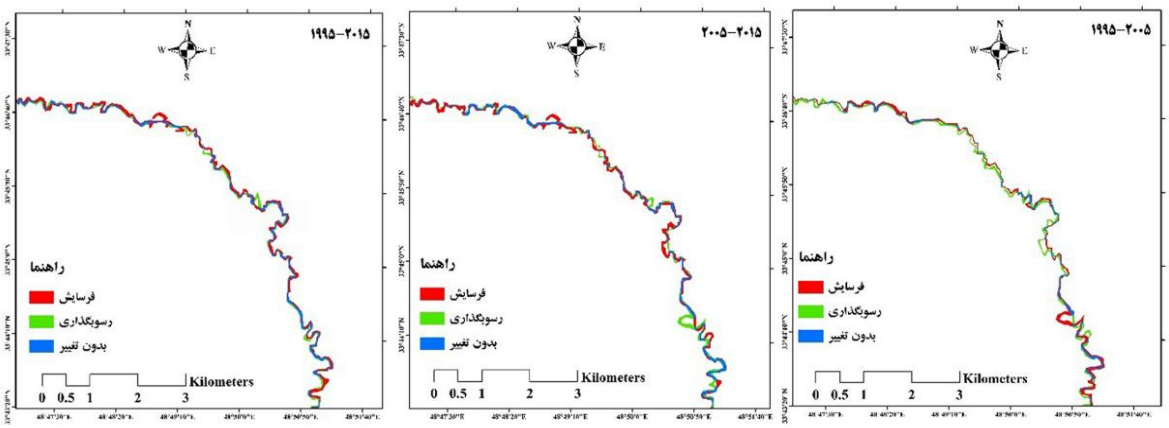
پس از شناسایی تغییرات مکانی رودخانه سیلاخور، جهت بررسی تغییرات زمانی رودخانه سیلاخور در بازه های زمانی مورد مطالعه، با استفاده از ابزار union در محیط نرم افزار Arc GIS و براساس توضیحات داده شده در شکل ۴، محدوده های فرسایشی، رسوبگذاری و بدون تغییر رودخانه تعیین شدند. رنگ آبی بستر فعال رودخانه، رنگ قرمز محدوده فرسایش یافته و کانال فعلی رودخانه و رنگ سبز محدوده افزایش یافته و رسوبگذاری شده را نشان می دهد. بررسی شکل های ۸، ۹ و ۱۰ نشان می دهد که رودخانه دارای نیروی تخریبی و فرسایشی بوده و کانال رودخانه در هر ۳ دوره زمانی در حال جابجایی بوده است. اما تفاوت هایی در جابجایی ها در هر نقطه و در هر دوره زمانی در مقایسه با دیگر دوره های زمانی، به صورت فرسایش، رسوبگذاری و یا بدون تغییر مشاهده می شود. اما به طور کلی در بازه های اول، دوم و سوم در ۳ دوره زمانی مورد مطالعه، ساحل راست رودخانه عمدتا فرسایشی و ساحل چپ در حال افزایش(رسوبگذاری) بوده است.




**شکل ۸: تغییرات زمانی میزان فرسایش، رسوبگذاری و محدوده های بدون تغییر رودخانه سیلاخور در بازه اول**




**شکل ۹: تغییرات زمانی میزان فرسایش، رسوبگذاری و محدوده های بدون تغییر رودخانه سیلاخور در بازه دوم**




**شکل ۱۰: تغییرات زمانی میزان فرسایش، رسوبگذاری و محدوده های بدون تغییر رودخانه سیلاخور در بازه سوم**

پس از محاسبه میزان فرسایش، رسوبگذاری و محدوده های بدون تغییر رودخانه، براساس شکل ۱۱ و جدول ۱، بیشترین میزان فرسایش در بازه زمانی ۲۰۰۵- ۱۹۹۵، بالاترین مقدار افزایش(رسوبگذاری) در بازه های زمانی ۲۰۰۵-۱۹۹۵ و ۲۰۱۵-۲۰۰۵ و بیشترین محدوده بدون تغییر در بازه زمانی ۲۰۰۵-۲۰۱۵ بوده است. هم چنین بیشترین تغییرات رودخانه سیلاخور در بین بازه های زمانی مورد مطالعه، مربوط به بازه زمانی ۲۰۰۵ نسبت به ۲۰۱۵ و کمترین تغییر در بازه زمانی ۱۹۹۵ نسبت به ۲۰۱۵ بوده است.

**شکل ۱۱: تغییرات زمانی میزان فرسایش، رسوبگذاری و محدوده های بدون تغییر رودخانه سیلاخور در بازه های زمانی مورد مطالعه**

**جدول ۱: تغییرات زمانی رودخانه سیلاخور براساس میزان فرسایش، افزایش(رسوبگذاری) و محدوده های بدون تغییر**

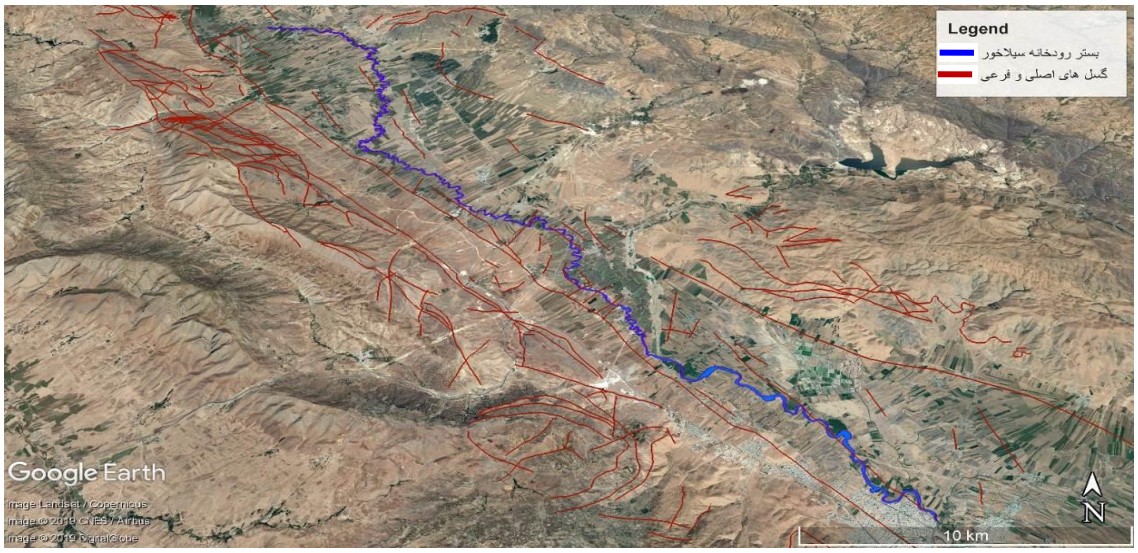
| بازه زمانی / پارامتر | ۱۹۹۵-۲۰۱۵ | ۲۰۰۵-۲۰۱۵ | ۱۹۹۵-۲۰۰۵ |
|---|---|---|---|
| فرسایش(هکتار) | ۱۶۹ | ۱۶۶ | ۲۱۱ |
| رسوبگذاری(هکتار) | ۱۰۲ | ۱۵۵ | ۱۵۵ |
| بدون تغییر(هکتار) | ۲۵۵ | ۲۵۸ | ۲۰۲ |

**علل تغییرات مورفولوژیکی رودخانه سیلاخور**

**- تاثیر ساختارهای زمین شناسی بر تغییرات بستر رودخانه سیلاخور**

جهت بررسی تاثیر احتمالی ساختارهای زمین‌شناسی در تغییرات بستر رودخانه، از نقشه های زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ به همراه فیلتر گذاری بر روی تصاویر ماهواره Aster با قدرت تفکیک ۱۵ متر در ۴ جهت ۰ ،۴۵، ۹۰ و ۱۳۵ درجه نقشه گسل ها و ساختارهای عمده زمین شناسی استخراج شد و با روی هم گذاری لایه ها، مسیر آبراهه ها مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفت. بررسی ها نشان داد که رودخانه سیلاخور که در دشت سیلاخور در جهت شمال غرب به جنوب شرق جریان دارد، از مسیر گسل دورود تبعیت می نماید و در راستای آن جریان دارد و گسل دورود در ساحل جنوب غربی رودخانه امتداد یافته است و رودخانه مذکور تنها در یک نقطه راستای گسل را قطع نموده تا اینکه در محل شهر دورود بطور کلی آن را قطع نموده و رو به جنوب تغییر مسیر می دهد. این امر نشان از بالاتر بودن ساحل چپ نسبت به ساحل راست می باشد.

هم پوشانی نقشه گسل ها و مسیر رودخانه سیلاخور نشان می دهد که در بخش شمالی منطقه بیشتر مسیر رودخانه در مسیر شاخه های گسلی با روندهای شمال غرب- جنوب شرق هم جهت با گسل دورود و برخی شاخه های گسلی تقریبا عمود بر گسل می باشند که می توانند جز شکستگی های ریدل و آنتی ریدل محسوب گردند. شکستگی ها بطور عمومی در دو دسته مشخص دیده می‌شوند که یک دسته از آنها (به تقریب) موازی با گسله هستند و دسته دیگر زاویه‌ای منفرجه با آن می‌سازند و دسته اول به‌طور عمومی فراوان‌تر و پیوسته‌تر از دسته دوم هستند. تمامی ساختارهای شکستگی در فرادیواره گسل دورود مسیر رودخانه را تحت تاثیر قرار داده‌اند. 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(شکل ۱۲). مقادیر به دست آمده از شاخص های ژئومورفیک در نتیجه مطالعه کمالی و همکاران(۱۳۹۷) حاکی از فعالیت های نوزمین ساختی گسل در منطقه است و محدوده مورد مطالعه براساس طبقه بندی LAT در کلاس یک قرار می گیرد که نشان دهندۀ فعالیت های زمین ساختی شدید است و بخش شمالی گسل نسبت به یخش جنوبی فعال تر است.

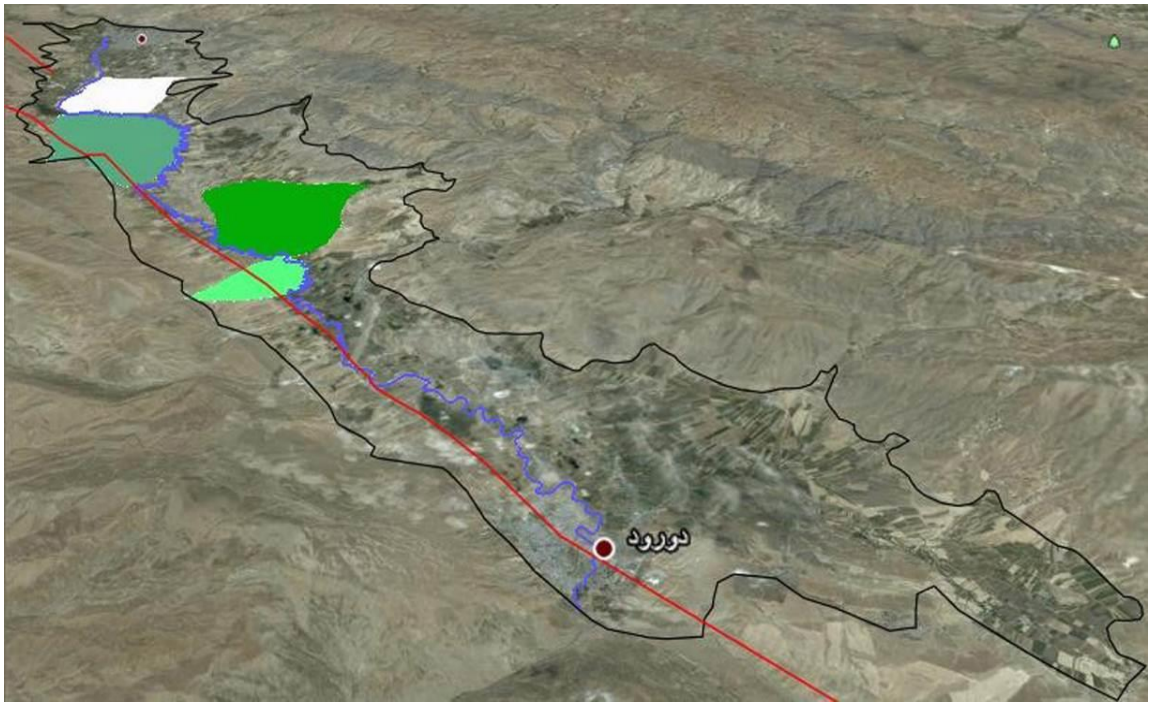



**شکل ۱۲: حالت مئاندری بازه مورد مطالعه رودخانه سیلاخور در ارتباط با گسل های اصلی و فرعی محدوده دشت سیلاخور**

**- تاثیر مخروط افکنه ها بر تغییرات بزرگ مقیاس رودخانه سیلاخور**

گسل دورود با جابجایی راست بر و انحراف مسیر رودخانه های جاری در طول خود تا حدودی زیادی در جای گیری مخروط افکنه ها نقش ایفا می کند. براساس مطالعات کمالی و همکاران(۱۳۹۷) فعالیت های تکتونیکی باعث انحراف مسیر رودخانه

به سمت راست در راس مخروط افکنه ها و رسوبگذاری در این قسمت و در مجموع تغییر مکان رسوبگذاری به راس مخروط افکنه(مخروط های بخش جنوبی) شده است. هم چنین فرآیندهای تکتونیکی به ویژه عملکرد گسل مهمترین عامل در شکل گیری و توسعهٔ مخروط افکنه ها بوده است. تکتونیک عامل اصلی تاثیرگذار در وسعت مخروط افکنه های منطقه مورد مطالعه است و هیچ ارتباط معناداری بین وسعت مخروط افکنه ها با مساحت حوضهٔ آبریز آنها وجود ندارد.
اما وجود مخروط افکنه های بزرگ در اطراف رودخانه سیلاخور بیانگر این است که منحنی های بزرگ رودخانه از قاعده مخروط افکنه های مسیر خود تبعیت می نمایند. همانطور که در شکل ۱۳ مشاهده می شود مخروط افکنه های بزرگ واقع در شمال دشت سیلاخور انحناء های بزرگی در بستر رودخانه سیلاخور بوجود آورده اند.

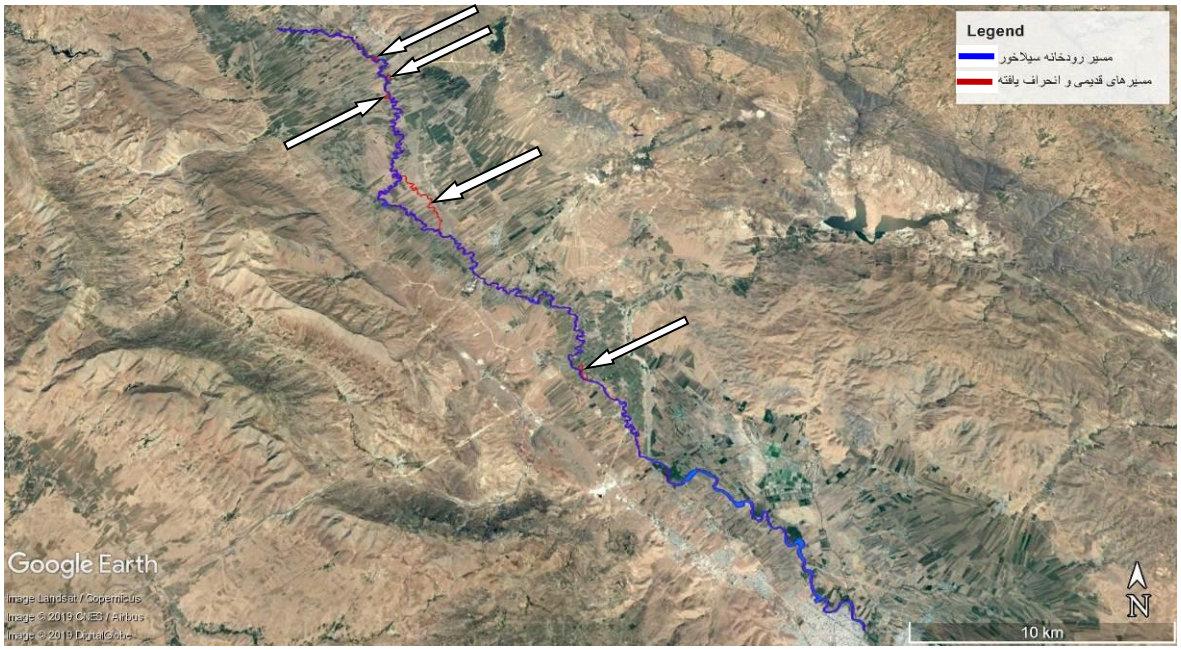



**شکل ۱۳: مخروط افکنه های حاشیه رودخانه سیلاخور که در روند تغییرات شکل آن تاثیر گذاشته اند**

**- فعالیت های انسانی و تغییرات مسیر رودخانه سیلاخور**

مئاندرهای رودخانه سیلاخور، دارای حرکات عرضی و طولی هستند که این حرکت باعث ایجاد تغییرات در مسیر رودخانه و موجب فرسایش در کناره ها و بستر رودخانه شده اند. در بعضی از کناره ها به خصوص در جاهایی که مواد ریزدانه سُست هستند، این تغییرات بیشتر مشهود می باشد. در این حالت کناره های آن بصورت تکه های کوچک و بزرگ در قسمت مقعر رودخانه می افتد و در آب به رسوب قابل حمل تبدیل می گردد. شکل ۱۴، قطع شدگی[۱] که از مهمترین خصوصیات رودخانه های مئاندری بوده و در مئاندرهای رودخانه سیلاخور هم اتفاق افتاده است، را نشان می دهد.

[۱] -cutoffs




**شکل ۱۴: مسیرهای قدیمی و انحراف یافته رودخانه سیلاخور**

این قسمت ها به علت پرشدن به وسیله مواد سیلابی، توسط کشاورزان اشغال شده است. بیشتر این موارد در میان روستای چالانچولان بوزازنا رخ داده است که علاوه بر تغییرات مورفولوژی بستر رودخانه، مشکلات دیگری را از لحاظ اجتماعی، اقتصادی برای ساکنین ایجاد نموده است. با توجه به عکسهای هوایی سال ۱۳۳۵ و تصاویر سالهای اخیر گوگل ارث دشت سیلاخور و مقایسه آنها، تغییرات قابل توجهی در سه دهه در بستر این رودخانه اتفاق افتاده است که عمده ترین دلیل آن وجود فعالیتهای انسانی می باشد. به این صورت که بعد از به هم خوردن نظام ارباب و رعیتی در منطقه، در محدوده اطراف رودخانه مردم و کشاورزان محلی برای تصرف اطراف رودخانه و تبدیل آن به مزارع روی آورده اند و چون هیچ نهادی در آن زمان هنوز بوجود نیامده بود، باعث شد که حریم رودخانه به وسیله افراد محلی به مزارع تبدیل شود. این عمل به تنگ شدگی شدید بستر رودخانه منجر شد، به نحوی که در حال حاضر حتی مجرای هشت متری را در میان روستاهای حاشیه رودخانه می توان مشاهده کرد. در صورتی که در این مناطق حریم رودخانه در گذشته بیش از یک کیلومتر هم می رسیده است که فقط بستر رودخانه بوده است. سلطانی گردفرامرزی و همکاران(۱۳۹۵)، تغییرات کاربری اراضی اطراف رودخانه و به طور کلی دخل و تصرف انسان در بستر رودخانه گاماسیاب را عامل اصلی تغییرات مورفولوژی این رودخانه معرفی کرده اند. هم چنین برداشت شن و ماسه از بستر رودخانه سیلاخور توسط اهالی منطقه و وجود چند کارخانه ماسه شویی در بستر و حریم رودخانه از دیگر دلایل تغییرات شکل رودخانه به صورت فرسایش و یا رسوبگذاری در دوره های زمانی مورد مطالعه و زمان کنونی می باشد. علاوه بر این عوامل باید سیلاب های مخرب را نیز به عنوان یکی از عوامل تغییر بستر و مورفولوژی رودخانه ذکر کرد.

## نتیجه گیری

بررسی تغییرات مکانی- زمانی رودخانه سیلاخور که در دشتی به همین نام در شمال شرقی لرستان و یکی از فعال ترین مناطق تکتونیکی ایران قرار گرفته است، نشان می دهد که رودخانه سیلاخور هم از نظر مکانی و هم زمانی تغییرات زیادی تحت تاثیر عوامل مختلف داشته است. بررسی این تغییرات با استفاده از تصاویر ماهواره ای در سه بخش رودخانه، در یک بازه زمانی ۲۰ ساله بین سال های ۲۰۱۵-۱۹۹۵ و در ۳ سال متفاوت ۱۹۹۵، ۲۰۰۵ و ۲۰۱۵ انجام شده است.

هم پوشانی مسیر رودخانه در ۳ دوره زمانی مورد مطالعه حاکی از این است که سواحل چپ و راست رودخانه در این بازه زمانی جابجا شده و باعث جابجایی مسیر رودخانه شده اند، به طوری که قطع شدگی مئاندرهای رودخانه در چند نقطه دیده

می شود یعنی رودخانه مسیر و بستر خود را عوض نموده است. اما با توجه به ماهیت مئاندری بودن رودخانه در دشت سیلاخور، عمده تغییرات در بازه ۲ و ۳ یعنی بخش میانی و ابتدایی رودخانه بوده است. یافته های مطالعه خوش رفتار و همکاران(۱۳۹۸) در ارتباط با بررسی پیچانرودهای رودخانه قزل اورن در محدوده شهرستان ماه نشان استان زنجان نشان می دهد که مسیر رودخانه در ۴ دوره زمانی مورد مطالعه تغییر کرده است.

بررسی تغییرات زمانی رودخانه نشان می دهد که رودخانه دارای نیروی تخریبی و فرسایشی بوده و کانال رودخانه در هر ۳ دوره زمانی در حال جابجایی بوده است. اما تفاوت هایی در جابجایی ها در هر نقطه و در هر دوره زمانی در مقایسه با دیگر دوره های زمانی، به صورت فرسایش، رسوبگذاری و یا بدون تغییر مشاهده می شود. اما به طور کلی در بازه های اول، دوم و سوم در ۳ دوره زمانی مورد مطالعه، ساحل راست رودخانه عمدتا فرسایشی و ساحل چپ در حال افزایش(رسوبگذاری) بوده است. ترسیم و تحلیل نیمرخ طولی و عرضی رودخانه در بازه ای که در هر سه دوره زمانی مورد مطالعه جابجایی بستر وجود داشته، بیانگر این است که علاوه بر جابجایی مسیر رودخانه(تغییرات مکانی)، در عمق بستر رودخانه نیز تغییر ایجاد شده است.

هم چنین محاسبه میزان تغییرات زمانی(فرسایش، رسوبگذاری و محدوده های بدون تغییر) بیانگر این است که بیشترین میزان فرسایش در بازه زمانی ۲۰۰۵- ۱۹۹۵، بیشترین مقدار رسوبگذاری در بازه های زمانی ۲۰۰۵-۱۹۹۵ و ۲۰۱۵-۲۰۰۵ و بیشترین محدوده بدون تغییر در بازه زمانی ۲۰۰۵-۲۰۱۵ بوده است. هم چنین بیشترین تغییرات رودخانه سیلاخور در بین بازه های زمانی مورد مطالعه، مربوط به بازه زمانی ۲۰۰۵ نسبت به ۲۰۱۵ و کمترین تغییر در بازه زمانی ۱۹۹۵ نسبت به ۲۰۱۵ بوده است. نتایج مطالعه لانگت و همکاران(۲۰۱۹) در مورد پایش تغییرات دینامیکی کانال رودخانه تانا در کشور کنیا نیز بیانگر تغییرات میزان فرسایش، رسوبگذاری و محدوده های بدون تغییر رودخانه در هر ۴ دوره زمانی مورد مطالعه بوده است.

تحلیل عوامل موثر در تغییرات مکانی- زمانی رودخانه مورد مطالعه نیز بیانگر این است که تکتونیک فعال، سازندهای زمین شناسی فرسایش پذیر(عمدتا آبرفتی)، وجود مخروط افکونه هایی فعال که باعث انحراف های بزرگ در مسیر رودخانه شده اند، وجود چندین کارخانه ماسه شویی در طول مسیر رودخانه، تغییرات کاربری اراضی محدوده اطراف رودخانه و به طور کلی دخل و تصرف انسان در مسیر و بستر رودخانه اصلی ترین دلایل تغییرات مکانی- زمانی رودخانه بوده اند.

## منابع


- اسماعیلی، رضا، ۱۳۹۰، کاربرد بازیافت ژئومورفیک رود در مدیریت رودخانه(مطالعه موردی: البرز شمالی- حوضه آبریز لاویج رود)، پژوهش های فرسایش محیطی، شماره ۱ (۴)، ۱۰۸-۸۷.
- اصغری سراسکانرود، صیاد؛ پوراحمد، مهدی، ۱۳۹۴، شناسایی و استخراج تغییرات رودخانهٔ زرینه رود در فاصله سال های ۱۹۸۹ تا ۲۰۱۴ با استفاده از پردازش تصاویر ماهواره ای، هیدروژئومورفولوژی، شماره ۵، ۱۶-۱.
- ایلدرمی، علیرضا؛ شیخی پور، آزاده، ۱۳۹۵، بررسی تغییرات مورفولوژی رودخانه و نقش آن در فرسایش و رسوبگذاری با استفاده از HEC-RAS(مطالعه موردی: رودخانه خرم آباد- دوآب ویسیان)، پژوهش های ژئومورفولوژی کمی، سال پنجم، شماره ۳، ۱۶۳-۱۴۶.
- بهیاری، مهدی، ۱۳۷۸، بررسی ساختار تکتونیک برخوردی در منطقه جنوب نهاوند، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده علوم پایه.
- حجازی، اسدالله؛ مدیری، مهدی؛ رحیمی، مسعود؛غ مهرورز، ارسلان، ۱۳۹۵، بررسی تغییرات مجرای رودخانه ارس با استفاده از روش ترانسکت در طی بازه زمانی ۲۰۱۴- ۱۹۸۷ و تاثیر سازه های احداثی در اصلاح مسیر رودخانه(از اصلاندوز تا پارس آباد)، جغرافیا و مخاطرات محیطی ۵ (۲۰)، ۸۹-۷۳.

- خوش رفتار، رضا؛ احمدی، اصغر؛ فیضیض اله پور، مهدی؛ حامدی، نسرین، ۱۳۹۸، بررسی پیچان‌رودهای قزل‌اوزن در محدوده‌ی شهرستان ماه‌نشان–زنجان، پژوهش های ژئومورفولوژی کمی، ۷ (۴)، ۳۰–۱۵.
- رضایی مقدم، محمد حسین؛ ثروتی، محمدرضا؛ اصغری سراسکانرود، صیاد، ۱۳۹۱، بررسی تغییرات شکل هندسی رودخانه قزل اوزن با تاکید بر عوامل ژئومورفولوژی و زمین شناسی، جغرافیا و برنامه ریزی محیطی، ۴۶(۲)، ۱۴–۱.
- ساسانی، فاطمه، حسین افضلی مهر و منوچهر حیدرپور، ۱۳۸۴، بررسی تاثیر فاکتور تنش برشی بر تغییر مکان های جانبی در طول بازه های قوس دار در یک رودخانه درشت دانه، پنجمین کنفرانس هیدرولیک ایران، ۸–۱.
- سلطانی گردفرامرزی، سمیه؛ عسگری ورزیده، سمیه؛ تازه، مهدی، ۱۳۹۵، بررسی روند تغییرات مورفولوژیکی بخشی از رودخانه گاماسیاب با استفاده از سنجش از دور و GIS، نشریه پژوهش های کاربردی علوم آب، ۲ (۳)، ۲۰–۱۳.
- شایان، سیاوش؛ شریفی کیا، محمد؛ ناصری، ناهید، ۱۳۹۶، تحلیل عوامل مورفولوژیکی در تغییرات الگوی مکانی–فضایی رودخانه الوند، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، ۳۲ (۱)، ۳۶–۲۴.
- شرفی، سیامک؛ شامی، ابوالفضل؛ یمانی، مجتبی، ۱۳۹۳، بررسی تغییرات مورفولوژیکی رودخانه اترک در بازه زمانی ۲۰ ساله، آمایش جغرافیایی فضا، ۴ (۱۴)، ۱۴۷–۱۲۷.
- فاطمی عقدا، سید محمود، ۱۳۸۶، شناسایی روند گسل دورود در مناطق آبرفتی، بنیاد مسکن انقلاب اسلامی(پژوهشکده سوانح طبیعی).
- کمالی، زهرا، هیهات، محمودرضا، نظری، حمید، خطیب، محمدمهدی، ۱۳۹۷، بررسی گسل دورود(جنوب باختر ایران) بر پایهٔ مطالعات ریخت زمین شناختی و ژئومورفولوژیک مخروط افکنه ها، جغرافیا و توسعه، شماره ۵۳، ۶۸–۵۱.
- کمالی، زهرا، هیهات، محمودرضا، نظری، حمید، خطیب، محمدمهدی، ۱۳۹۷، تحلیل ناهمسانی جنبشی گسل دورود(جنوب باختر ایران) با استفاده از فرکتال، کرنل و شواهد ریخت زمین ساختی، علوم زمین، شماره ۱۰۹، ۲۲–۷.
- مقصودی، مهران؛ شرفی، سیامک؛ مقامی، یاسر، ۱۳۸۹، روند تغییرات الگوی مورفولوژیکی رودخانه خرم آباد با استفاده از RS، GIS و Auto CAD، مدرس علوم انسانی– برنامه ریزی و آمایش فضا، ۱۴(۳)، ۲۹۴–۲۷۵.
- میرزاوند، محمد؛ قاسمیه، هدی؛ نظری سامانی، علی اکبر؛ ولی، عباسعلی؛ ساداتی نژاد، سید جواد، ۱۳۹۴، بررسی الگوی پیچانرودی رودخانه ها با استفاده از شاخص های لئوپلد و کورنایس(مطالعه موردی: رودخانهٔ بابل رود و سجاد رود)، پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز، ۶ (۱۱)، ۱۶۱–۱۵۲.
- یمانی، مجتبی، حسین زاده، محمد مهدی، ۱۳۸۱، بررسی تغییرات الگوی رودخانه تالار در جلگه ساحلی دریای مازندران، پژوهش های جغرافیایی، شماره ۴۳، ۱۲۲–۱۰۹.
- یمانی، مجتبی؛ شرفی، سیامک، ۱۳۹۱، پارامترهای هندسی و نقش آنها در تغییرات زمانی– مکانی بستر رودها مطالعه موردی: رودخانه ی هررود سرشاخه رود کرخه در استان لرستان، جغرافیا و توسعه، ۱۰ (۲۶)، ۴۸–۳۴.
- *Brooshkeh, E, Sokuti, R. 2017, Temporal and Spatial Variations of Zarrineh-Rood River Morphology Using RS and GIS. J Geogr Nat Disast 7: 185. doi: 10.4172/2167-0587.1000185.*
- *Hessami, k. 2001, Active Faults Map in Iran, International Seismology and Earthquake Engineering Institute, Tehran.*
- *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.*

- *Kummu, M., Lu, X. X., Rasphone, A., Sarkkula, J., & Koponen, J. 2008, River bank changes along the Mekong River: remote sensing detection in the Vientiane–Nong Khai area. Quaternary International, 186(1), 100-112.*
- *Langat, P. K., Kumar, L., & Koech, R. 2019, Monitoring river channel dynamics using remote sensing and GIS techniques. Geomorphology, 325, 92-102.*
- *Mohamad, N., Khanan, M. F. A., Musliman, I. A., Kadir, W. H. W., Ahmad, A., Rahman, M. Z. A., ... & Zain, R. M. 2018, Spatio-temporal analysis of river morphological changes and erosion detection using very high resolution satellite image. In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science (Vol. 169, No. 1, p. 012020). IOP Publishing.*
- *Morais, E. S., Rocha, P. C., & Hooke, J. 2016, Spatio-temporal variations in channel changes caused by cumulative factors in a meandering river: The lower Peixe River, Brazil. Geomorphology, 273, 348-360.*
- *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 (IJAIS)-ISSN: 2249-0868. Foundation of Computer Science FCS, New York, USA. Volume 2– No.3, PP. 1-7.*
- *Talebian, M. and Jackson, J. 2004, A reappraisal of earthquake focal mechanisms and active shortening in the Zagros mountains of Iran, Geophysical Journal International 156: 506-526.*
- *Tchalenko, J. S. and Braud, J. 1974, Seismicity and structure of the Zagros (Iran): the Main Recent Fault between 33° and 35°N. Philosophical Transactions of the Royal Society of London., Vol. 227, p. 1-25.*
- *Yousefi, S., Mirzaee, S., Keesstra, S., Surian, N., Pourghasemi, H. R., Zakizadeh, H. R., & Tabibian, S. 2018, Effects of an extreme flood on river morphology (case study: Karoon River, Iran). Geomorphology, 304, 30-39.*