

بررسی اثرات احداث سد سهند بر شرایط هیدرولوژیکی رودخانه و تحلیل تغییرات شکل هندسی مجرای قرائقوچای (از بازه پایین دست سد سهند تا روستای خراسانک)

صیاد اصغری سراسکانرود*: دانشیار ژئومورفولوژی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل

الناز پیروزی: دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل

نوع مقاله: پژوهشی

تاریخچه مقاله (تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۱/۱۰ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۵/۰۳)

DOR: 20.1001.1.22517812.1400.11.3.2.4

چکیده

رودخانه و فرایندهای رودخانه‌ای در سطح زمین، مهم‌ترین سیستم‌های ژئومورفیک فعال است که در اثر کنترل‌کننده‌های محیطی و دستکاری‌های انسانی در سیستم‌های طبیعی، طی مقاطع زمانی و مکانی مختلف، تغییرات متفاوتی را از خود نشان می‌دهند. این تغییرات و جابه‌جایی‌ها مشکلاتی را برای کاربری‌های انسانی و اکولوژیکی ایجاد می‌کند و از مباحث مهم در ژئومورفولوژی رودخانه‌ای محسوب می‌شود. هدف پژوهش حاضر، بررسی اثرات احداث سد سهند بر شرایط هیدرولوژیکی رودخانه قرائقوچای از بازه پایین دست سد سهند تا روستای خراسانک و تحلیل تغییر شکل هندسی مجرا، در بازه زمانی ۱۳۷۴ تا ۱۳۹۷ است. این پژوهش متکی بر کارهای میدانی، استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، داده‌های هیدرومتری، نقشه‌های توپوگرافی و زمین‌شناسی است. شرایط هیدرولوژیکی رودخانه با استفاده از ۲۶ شاخص هیدرولوژیکی، در دو دوره قبل از احداث سد و بعد از احداث آن محاسبه شد. سپس برای بررسی رابطه معناداری شاخص‌ها، از آزمون آماری T جفتی استفاده شد. به منظور بررسی تغییرات شکل مجرا نیز از پارامترهای بررسی شکل هندسی رودخانه شامل ضریب خمیدگی و زاویه مرکزی استفاده و میزان مهاجرت مجرا با استفاده از روش ترانسکت محاسبه شد. با توجه به نتایج مطالعه، از لحاظ شاخص‌های هیدرولوژیکی Q5، Q10، Q15، دبی حداقل، دبی حداکثر و دبی مد، بین دو دوره قبل و بعد از احداث سد تفاوت معناداری دیده می‌شود. میانگین ضریب خمیدگی در سال ۱۳۷۴، ۱/۱۵ بود و در سال ۱۳۹۷ به مقدار ۱/۱۸ افزایش یافت و الگوی رودخانه از پیچان‌رودی بسیار توسعه یافته به توسعه یافته تبدیل شد. میانگین آهنگ مهاجرت مجرای رودخانه در طی بازه زمانی ۲۴ ساله مورد مطالعه، در حدود ۰/۱۴۳ متر در سال بود. بیشترین مقدار جابه‌جایی عرضی مجرا، در ترانسکت یک به میزان ۰/۴۱ متر در سال و کمترین جابه‌جایی در ترانسکت یازده، به مقدار ۰/۰۲۲ متر در سال است. در نتیجه، مشخص شد که رودخانه قرائقوچای در بازه مطالعاتی، تغییرات مورفولوژیکی و جابه‌جایی مجرا داشته است و عوامل مؤثر این تغییرات به طور عمده شامل تغییرات دبی به ویژه در زمینه احداث سد، فرسایش پذیر بودن سازندهای بستر و کنار رودخانه و عوامل مختلف انسانی است.

واژگان کلیدی: پارامترهای هیدرولوژیکی، سد سهند، شکل مجرا، قرائقوچای.

۱- مقدمه

رودخانه به عنوان سیستمی پویا، مکان و خصوصیات مورفولوژیکی خود را همواره بر حسب زمان، عوامل ژئومورفیک، زمین‌شناختی، هیدرولوژیکی و گاه در اثر دخالت بشر تغییر می‌دهد (Rezaee Moghadam et al, 2012 & Fatemi Aghda et al, 2003). اثرات ناشی از عوامل طبیعی در تنظیم رودخانه، در طولانی‌مدت نمایان می‌شود؛ با این وجود، استثناءهای اندکی - عوامل طبیعی مانند سیلاب رودخانه، لغزش زمین یا زمین‌لرزه - نیز وجود دارد که می‌تواند تغییراتی را در مدت زمان بسیار کوتاه در کانال ایجاد کند (Chaiwongsaen et al, 2019). در مقابل، فعالیت‌های انسانی می‌تواند بر جریان‌ها و فرآیندهای طبیعی، تأثیر معنی‌دار و سریعی داشته باشند (Rinaldi and Simon, 1998)؛ از این رو در طی زمان، تغییرات فراوانی در مورفولوژی و دینامیک سیستم رودخانه صورت می‌گیرد (Kondolf and Piegay, 2003). یکی از مهم‌ترین عواملی که می‌تواند ثبات رودخانه‌ها را به شدت مختل سازد، ساخت سدها است (Liaghat et al, 2017). سدها رژیم جریان و رسوبی رود را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Nelson et al, 2013 & Overeem et al, 2013 & Minear, 2010 & Surian and Rinaldi, 2003) و رژیم جریان بسیاری از رودخانه‌ها، به طور چشمگیری از رژیم جریان طبیعی خود خارج می‌شود (Oorschot et al, 2018). بنابراین، می‌توان گفت تغییرات جریان توسط سد می‌تواند بر میزان، زمان‌بندی و مدت زمان جریان‌های بالا و پایین دست تأثیر بگذارد (Clarke et al, 2008). در نتیجه، این عوامل شکل، اندازه و مورفولوژی کلی رودخانه را تعیین می‌کند (Grant et al, 2003). پاسخ‌های مورفولوژیکی رودخانه‌ها نسبت به تغییرات، به صورت فرسایش یا رسوب‌گذاری در بستر، تخریب دیواره‌ها، تغییر راستای جریان، تغییر و جابه‌جایی مماندرها و تغییر در فرم رودخانه نمودار می‌شود (Foroughi et al, 2001 & Kheirizadeh, 2015). تغییر در مورفولوژی رودخانه ممکن است مشکلات بسیاری ایجاد کند؛ از جمله تغییر مسیر رودخانه، طغیان مناطق اطراف، آسیب رساندن به سازه‌های هیدرولیک و داشتن برخی از اثرات زیست‌محیطی. برای مدیریت پایدار، وجود چنین مسائلی ضرورت مطالعه نحوه تغییر و تحول رودخانه‌ها و جابه‌جایی جانبی آنها را توجیه می‌کند. بنابراین، لازم است ویژگی‌های تغییر در مورفولوژی رودخانه در مقیاس‌های مختلف زمانی و مکانی بررسی شود (Minh Hai, 2019) و بررسی این تغییرات مورفولوژیکی در زمینه‌های بسیاری اهمیت دارد و می‌تواند در جریان مدیریت علمی رودخانه‌ها و فرآیندهای رودخانه‌ای، مدیران را از اطلاعات جدید مطلع سازد (Yu et al, 2004).

رودخانه قراقرق، پرآب‌ترین و به لحاظ وسعت حوضه آبریز، وسیع‌ترین حوضه در سطح شهرستان هشترو به شمار می‌رود. در رودخانه قراقرق‌چای تغییر نسبی مسیر و شکل مجاری رود، تهدید پایداری سازه‌های مجاور رودخانه، تخریب کناره‌ها و اراضی موجود در حاشیه رودخانه به خصوص فرسایش کناره، از جمله چشم‌اندازهایی قابل مشاهده است که Asghari Saraskanrood (۲۰۱۵) و Khaleghi و همکاران (۲۰۱۷) به آن اشاره داشته‌اند. به علاوه، سد سهند یکی از بزرگ‌ترین سدهای خاکی کشور است که به منظور تأمین آب کشاورزی و نوشیدنی منطقه هشترو، بر روی این رودخانه احداث شده‌است و احداث سد و پیامدهای مرتبط با آن، می‌تواند بستر مناسبی را برای تشدید تغییرات هیدرولوژی و مورفولوژیکی رودخانه‌ای ایجاد کند. بنابراین، با توجه به اینکه ناپایداری و دینامیک رودخانه می‌تواند به اراضی کشاورزی و تأسیسات مجاور رودخانه خسارت وارد کند و با در نظر گرفتن این امر که آشکارسازی تغییرات و تحلیل دینامیک رودخانه‌ای، همچنین بررسی ویژگی‌های ژئومورفولوژیکی سیستم‌های رودخانه‌ای و چگونگی تحول

آن، یکی از نیازهای اساسی برای برنامه‌ریزان محیطی و منطقه‌ای است؛ هدف این پژوهش، بررسی اثرات احداث سد سهند بر شرایط هیدرولوژیکی رودخانه قراقرقچای، مشخص کردن مؤلفه‌های هندسی رودخانه و بررسی جابه‌جایی و تغییرات شکل مجرای این رودخانه است.

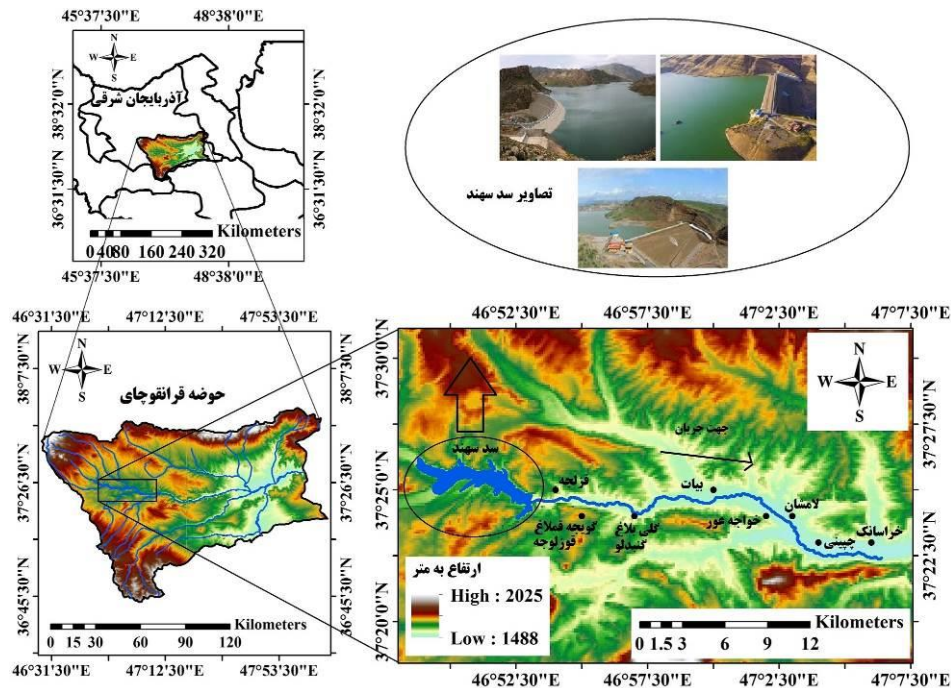
مطالعات مختلفی توسط محققان داخلی و خارجی در زمینه ژئومورفولوژی رودخانه‌ای و به ویژه در زمینه اثرات احداث سد، محاسبه شاخص‌های مورفولوژیکی، تغییر مسیر و برآورد آهنگ مهاجرت رودخانه صورت گرفته است که از جمله آنها می‌توان به موارد زیر اشاره کرد: Mostafazadeh و همکاران (۲۰۱۹)، در مطالعه‌ای اثرات احداث سد بوکان را بر شاخص‌های هیدرولوژیک رودخانه زرينه‌رود بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که احداث سد به تغییر در شاخص‌های جریان در دوره‌های بعد از احداث سد منجر شده است. Esfandiary و همکاران (۲۰۲۰) نیز با استفاده از روش ترانسکت و شاخص‌های مورفولوژیکی، به آشکارسازی تغییرات جانبی مجرای رودخانه قزل اوزن در بازه زمانی ۱۹۹۳ تا ۲۰۱۳ پرداختند و به این نتیجه رسیدند که میانگین مهاجرت رودخانه در ۲۰ سال گذشته، در حدود ۴/۴۷ متر در سال بوده است. Dewan و همکاران (۲۰۱۷)، به ارزیابی تغییرات مجرای دو رودخانه گنگ و پادما در بنگلادش پرداختند. نتایج بررسی آنها نشان داد که در طی این بازه زمانی، پلان‌فرم مجرای هر دو رودخانه دچار تنگ‌شدگی، بازشدگی و تنظیم کانال شده است. Batalla و همکاران (۲۰۱۸)، در مطالعه‌ای به تحلیل ژئومورفولوژیکی رودخانه نیوبل پرداختند. طبق نتایج مطالعه، عامل اصلی کنترل‌کننده تکامل این رودخانه در سال‌های اخیر، نوع سازندهای بستر و کنار رودخانه است. Kibet Langat (۲۰۱۹) در مطالعه‌ای به بررسی دینامیک و تحول رودخانه تانا پرداخت و بیان کرد که نیروهای حرکتی بالقوه برای تغییرات مورفولوژیکی رودخانه شامل تغییرات رژیم هیدرولوژیکی، شیوه‌های استفاده از زمین‌های بالادست (کاربری اراضی)، گرادیان کانال و تغییرات پوشش گیاهی حاشیه رودخانه است. Li و همکاران (۲۰۲۰)، در مطالعه‌ای مهاجرت جانبی رودخانه زرد میانی را در بازه زمانی ۱۹۸۶ تا ۲۰۰۱ بررسی کردند. با توجه به نتایج مطالعه، عرض مجرا به دلیل وقوع سیلاب‌های مکرر کاهش یافته است. بر اساس پیشینه مطالعات انجام‌شده در زمینه ژئومورفولوژی رودخانه‌ای، ملاحظه می‌شود که بحث مطالعه تغییرات هیدرولوژیکی و مورفولوژیکی و جابه‌جایی عرضی رودخانه اهمیت زیادی دارد. در این مطالعه سعی شده است به بررسی تغییرات هیدرولوژیکی ناشی از احداث سد سهند، تحلیل الگوهای متفاوت رودخانه با استفاده از روابط کمی و آشکارسازی تغییرات جانبی مجرای رودخانه قراقرقچای در بازه زمانی ۱۳۷۴ تا ۱۳۹۷ پرداخته شود.

۲- منطقه مورد مطالعه

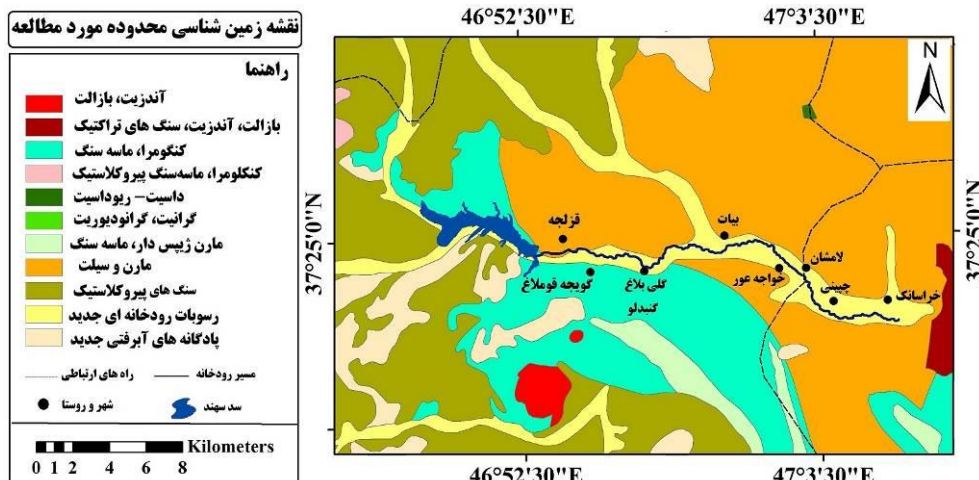
حوضه رودخانه قراقرقچای به عنوان یکی از زیرحوضه‌های قزل اوزن، در موقعیت جغرافیایی ۴ درجه و ۲ دقیقه تا ۴۷ درجه و ۵۵ دقیقه طول شرقی و ۳۶ درجه و ۵۵ دقیقه تا ۳۷ درجه و ۵ دقیقه عرض شمالی قرار دارد. این رودخانه از ارتفاعات ۲۳۰۰ تا ۳۲۰۰ متری سهند در شمال غرب و ارتفاعات ۲۰۰۰ متری جنوب غربی شهرستان سرچشمه می‌گیرد و پس از سیراب کردن منطقه هشت‌رود، از جنوب غربی شهرستان خارج و پس از ملحق شدن به رودخانه‌های شهرچای و آیدوغموش در نزدیک شهرستان میانه، به رودخانه قزل اوزن می‌پیوندد (شکل ۱). کوه بزداغ با ارتفاع ۳۲۰۰ متر، مرتفع‌ترین بخش حوضه و محل اتصال آن به قزل اوزن در ۱۰۴۳ متر، پست‌ترین نقطه حوضه است و شیب متوسط رودخانه در حوضه قراقرق ۰/۹ است. اقلیم این محدوده نیز متأثر از موقعیت جغرافیایی و ویژگی‌های توپوگرافی محلی

است. به ترتیب طبق روش تقسیم‌بندی دومارتن و اقلیم‌نمای آمبرژه، این محدوده دارای اقلیم نیمه‌خشک و نیمه‌خشک سرد است. متوسط بارش در آن نیز ۳۷۳/۵ میلی‌متر است و بیشترین بارندگی محدوده، در فصل بهار - فروردین و اردیبهشت ماه، به ترتیب با میانگین بارندگی ۴۲/۳۰-۴۲/۰۴ میلی‌متر - اتفاق می‌افتد. فصل زمستان، دومین فصل پر باران محدوده است و نزولات جوی آن، به طور عمده به صورت بارش‌های برف است. متوسط رطوبت نسبی منطقه نیز ۵۵ درصد است که حداکثر رطوبت نسبی در بهمن ماه و حداقل آن در مردادماه می‌باشد. متوسط تبخیر سالانه از سطح آزاد آب منطقه، ۱۹۱۴ میلی‌متر است. سرما حدود پنج ماه (آبان تا اسفند) از سال را در بر می‌گیرد و بهمن، سردترین ماه سال و مرداد، گرم‌ترین ماه سال است.

سازندهای زمین‌شناسی حوضه قرائقو به صورت میوسن ۷۲ درصد، پلیوسن ۲ درصد، رسوبات کواترنری ۱۳ درصد و بقیه آن، سنگ‌های نفوذی آذرین است. بخش زیادی از دره اصلی و دره‌های فرعی قرائقوچای، بر روی مواد آذرآواری تشکیل شده‌است، اما قله‌های منفرد و بخش‌های مرتفع و ابتدای حوضه، از آندزیت‌ها و بازالت‌های حاصل از فعالیت‌های آتشفشان دوران دوم تشکیل شده‌است. در سایر بخش‌های حوضه نیز می‌توان تشکیلات دیگری مانند ماسه سنگ‌های قرمز را مشاهده کرد که عمدتاً با کنگلومرا، مارن و سنگ‌های سیلیتی و گاهی با ژئپس همراه است. سد سهند با ارتفاع ۴۷ متر از بستر رودخانه و ۵۹ متر از پی، از نوع سد خاکی با هسته ناتراوای رسی و حجم مفید ۱۳۵ میلیون مترمکعب است که در سال ۱۳۸۵، بر روی رودخانه قرائقوچای در مختصات $37^{\circ} 24' 42''$ شمالی $53^{\circ} 46' 06''$ شرقی به منظور تأمین آب کشاورزی و نوشیدنی منطقه هشت‌رود بهره‌برداری شد. محدوده مورد مطالعه، بازه‌ای از رودخانه قرائقوچای از پایین‌دست سد سهند تا روستای خراسانک، به طول ۲۵/۶۰ کیلومتر است. مسیر مورد مطالعه متشکل از سازندهای آندزیت، بازالت، داسیت، کنگلومرا، ماسه سنگ، مارن، پادگانه‌های آبرفتی جدید و رسوبات رودخانه‌ای است (شکل ۲). در محدوده مورد مطالعه دو رود سراسکانرود و کلقان به رودخانه قرائقو می‌پیوندد. سراسکانرود، با توجه به اینکه رودخانه کوچکی است، آورد رسوبی زیادی ندارد و آورد رسوبی رودخانه کلقانچای نیز به دلیل احداث سد بر روی آن کم می‌باشد.



شکل ۱: نقشه موقعیت محدوده مورد مطالعه



شکل ۲: نقشه زمین‌شناسی محدوده مورد مطالعه

۳- مواد و روش

در راستای دستیابی به اهداف پژوهش، از نقشه توپوگرافی، تصاویر google earth و تصاویر سنجنده TM و OLI ماهواره لندست ۵ و ۸، شماره گذر ۱۶۷ و ردیف ۳۴، به ترتیب مربوط به تاریخ‌های هیجده جولای ۱۹۹۵ و یک جولای سال ۲۰۱۸، نقشه توپوگرافی با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰، نقشه‌های زمین‌شناسی با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰، داده‌های هیدرولوژیکی ایستگاه چینی (پایین دست سد سهند) و داده‌های میدانی استفاده شد. به منظور پردازش تصاویر و تجزیه و تحلیل داده‌ها نیز از نرم‌افزارهای Arc GIS 10.5، ENVI 5.3، Excel و Spss استفاده شد. ابتدا با استفاده از تصاویر لندست و بعد از اجرای تصحیحات هندسی و اتمسفری (با استفاده از روش FLAASH)، با توجه به شاخص‌های آب - که شامل

NDWI، MNDWI، AWEI_no shadow، AWEI_shadow و WRI است - به استخراج مسیر رودخانه در سال ۱۳۷۴ و ۱۳۹۷ پرداخته شد (جدول ۱). با توجه به ضریب کاپا (۰/۹۷) و صحت کلی (۹۹/۲۱)، مسیر رودخانه استخراج شده توسط شاخص MNDWI تأیید و استفاده شد.

جدول ۱: شاخص‌های مورد استفاده در این تحقیق

منبع	مقدار پیکسل‌های آب	رابطه	شاخص
(McFeeters, 1996)	بزرگ‌تر از صفر	$(Green-NIR)/(Green+NIR)$	NDWI
Xu (2006)	بزرگ‌تر از صفر	$(Green-MIR)/(Green+MIR)$	MNDWI
(Feyisa et al, 2014)	بزرگ‌تر از صفر	$4 \times (Green-SWIR1) - (0.25 \times NIR + 2.75 \times SWIR2)$	AWEI_no shadow
(Feyisa et al, 2014)	بزرگ‌تر از صفر	$Blue + 2.5 \times Green - 1.5 \times (NIR + SWIR1) - 0.25 \times SWIR2$	AWEI_shadow
(Shen and Li, 2010)	بزرگ‌تر از یک	$(Green+Red)/(NIR+SWIR1)$	WRI

تغییرات هیدرولوژیکی، به تدریج به تغییر موقعیت و مورفولوژی رودخانه‌ها منجر می‌شود (Maghsoudi et al, 2010)؛ به همین دلیل، روش‌های مبتنی بر شاخص‌های هیدرولوژیکی ساده‌ترین و پرکاربردترین روش‌های ارزیابی رژیم هیدرولوژیکی و برآورد جریان در سطح جهان است و برای مطالعه تغییرات رژیم هیدرولوژیکی ناشی از تغییر اقلیم و فعالیت‌های انسانی مانند تغییر کاربری اراضی، بهره‌برداری بی‌رویه از منابع آب سطحی و احداث سد استفاده می‌شود (Sadodin et al, 2019). در مطالعه‌ی حاضر نیز به منظور بررسی تغییرات هیدرولوژیکی منطقه مطالعاتی، داده‌های ایستگاه چپینی (از سال ۱۳۷۴ تا ۱۳۹۷) با استفاده از ۲۶ شاخص هیدرولوژیکی بررسی شد (جدول ۲). در این راستا، داده‌های دبی - که به صورت روزانه بود - برای هر سال مرتب و رتبه‌بندی شد (از بیشترین به کمترین) و بعد با استفاده از فرمول ویبول (رابطه ۱)، احتمال وقوع آنها مشخص شد.

$$Vibol = \frac{M}{N+1} \times 100$$

رابطه ۱

در این رابطه، M ستون‌های سورت‌بندی شده و N تعداد روزهای سال یعنی ۳۶۵ است. سپس مقادیر هر یک از شاخص‌ها با توجه به ضرایب و توضیحات مربوطه محاسبه شد. در ادامه برای بررسی معناداری تغییرات، با آزمون آماری T جفتی به تحلیل آماری شاخص‌ها پرداخته شد.

جدول ۲: شاخص‌های هیدرولوژیکی مورد استفاده در پژوهش

شاخص‌ها	واحد	توضیحات
Q5	(m ³ s ⁻¹)	برابر است با میزان دبی جریانی که در ۵ درصد ایام سال، دبی مساوی یا بیش از مقدار مذکور باشد.
Q10	(m ³ s ⁻¹)	برابر است با میزان دبی جریانی که در ۱۰ درصد ایام سال، دبی مساوی یا بیش از مقدار مذکور باشد.
Q15	(m ³ s ⁻¹)	برابر است با میزان دبی جریانی که در ۱۵ درصد ایام سال، دبی مساوی یا بیش از مقدار مذکور باشد.
Q25	(m ³ s ⁻¹)	برابر است با میزان دبی جریانی که در ۲۵ درصد ایام سال، دبی مساوی یا بیش از مقدار مذکور باشد.
Q35	(m ³ s ⁻¹)	برابر است با میزان دبی جریانی که در ۳۵ درصد ایام سال، دبی مساوی یا بیش از مقدار مذکور باشد.
Q45	(m ³ s ⁻¹)	برابر است با میزان دبی جریانی که در ۴۵ درصد ایام سال، دبی مساوی یا بیش از مقدار مذکور باشد.
Q50	(m ³ s ⁻¹)	برابر است با میزان دبی جریانی که در ۵۰ درصد ایام سال، دبی مساوی یا بیش از مقدار مذکور باشد.
Q55	(m ³ s ⁻¹)	برابر است با میزان دبی جریانی که در ۵۵ درصد ایام سال، دبی مساوی یا بیش از مقدار مذکور باشد.
Q65	(m ³ s ⁻¹)	برابر است با میزان دبی جریانی که در ۶۵ درصد ایام سال، دبی مساوی یا بیش از مقدار مذکور باشد.
Q75	(m ³ s ⁻¹)	برابر است با میزان دبی جریانی که در ۷۵ درصد ایام سال، دبی مساوی یا بیش از مقدار مذکور باشد.
Q85	(m ³ s ⁻¹)	برابر است با میزان دبی جریانی که در ۸۵ درصد ایام سال، دبی مساوی یا بیش از مقدار مذکور باشد.
Q90	(m ³ s ⁻¹)	برابر است با میزان دبی جریانی که در ۹۰ درصد ایام سال، دبی مساوی یا بیش از مقدار مذکور باشد.
Q95	(m ³ s ⁻¹)	برابر است با میزان دبی جریانی که در ۹۵ درصد ایام سال، دبی مساوی یا بیش از مقدار مذکور باشد.
دبی	(m ³ s ⁻¹)	با تقسیم کردن Q5 و Q95 به دست می‌آید.
Q90/Q5		
دبی نرمال	(m ³ s ⁻¹)	مقدار جریانی که در ۱/۴ از ایام سال به تعداد ۹۱ روز از سال دبی مساوی یا بالاتر از آن است.
در حالت پربابی		
دبی نرمال در	(m ³ s ⁻¹)	مقدار جریانی که در ۳/۴ از ایام سال به تعداد ۲۷۴ روز از دبی مساوی یا بالاتر از آن است.
حالت کم آبی		
دبی عادی	(m ³ s ⁻¹)	مقدار جریانی که در نیمی از ایام سال، یعنی ۱۸۲=۳۶۵*۱/۲، روز دبی مساوی یا بالاتر از آن است.
دبی میانگین	(m ³ s ⁻¹)	$Q = \sum v/t$ ؛ که در آن Q دبی میانگین، v مجموع حجم آب و t زمان است.
دبی مد	(m ³ s ⁻¹)	مقدار جریان یا محدوده‌ای از دبی است که بالاترین فراوانی وقوع را در طول سال داشته باشد.
دبی میانه	(m ³ s ⁻¹)	اگر دبی‌های هر سال را به صورت نزولی مرتب کنیم، دبی در روزهای ۱۸۲ و ۱۸۳ دبی میانه خواهد بود.
دبی حداقل	(m ³ s ⁻¹)	کمترین دبی در طول سال است که با مرتب کردن دبی مربوط به هر سال به دست می‌آید.
دبی حداکثر	(m ³ s ⁻¹)	بیشترین دبی در طول سال است که با مرتب کردن دبی مربوط به هر سال به دست می‌آید.
دبی سالانه	(m ³ s ⁻¹)	مجموع دبی‌ها در طول یک سال است.
روزهایی با	(day)	تعداد روزهایی از داده است که دبی‌ها برابر صفر باشد.
دبی صفر		
دبی صفر به	(%)	با درصدگیری از داده‌های دبی صفر، از رابطه‌ی $100 * 366 / \text{مفردی} = \text{مفردی درصد}$ به دست می‌آید.
درصد		
انحراف معیار	(m ³ s ⁻¹)	از فرمول $A = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$ ، به دست می‌آید و $\bar{x}$ مقادیر دبی روزانه، $\bar{x}$ مقادیر متوسط دبی و n تعداد داده-
دبی‌های جریان		های موجود در دوره آماری است.

منابع: (Alizadeh, 2015 & Uday Kumar and Jayakumar, 2018 & Mostafazadeh et al, 2019 & Owolabi et al, 2020).

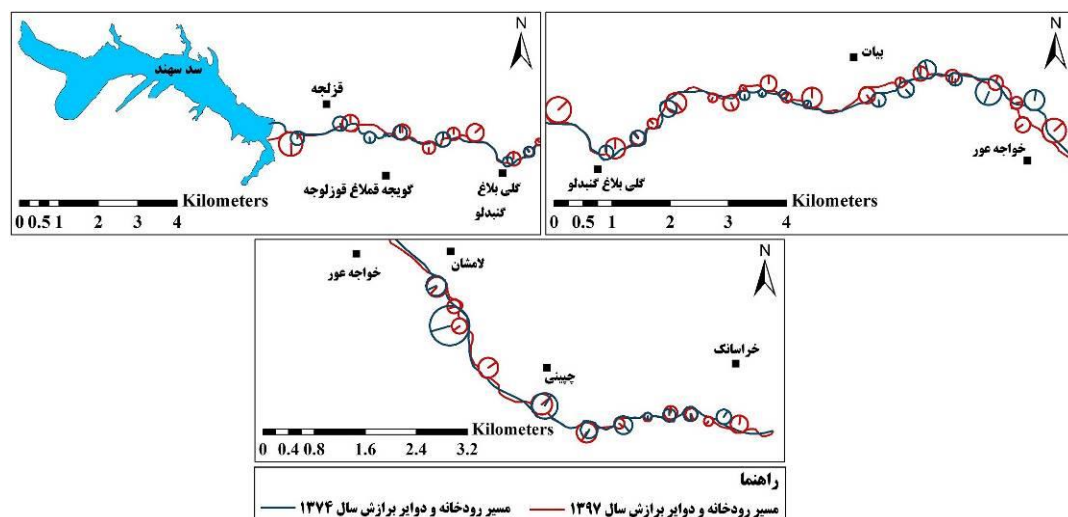
پارامترهای هندسی رودخانه به طور متوسط تغییر می‌یابد؛ چرا که رودخانه یک عارضه هندسی دینامیک است (Sharifi Paichoon and Parnoon, 2018). با استفاده از ترسیم قوس‌های مماس بر مئاندرهای رودخانه (شکل ۳)، شاخص‌های ژئومورفولوژی رودخانه و تغییرات آنها شامل ضریب خمیدگی، زاویه مرکزی، شعاع پیچان‌رودها، طول موج و طول دره اندازه‌گیری شد. ضریب خمیدگی، یکی از معیارهای کمی است که از آن در تقسیم‌بندی شکل رودخانه استفاده می‌شود و با استفاده از ضریب پیتز رابطه ۲ به دست می‌آید:

$$S = \frac{L}{\lambda/2} \quad \text{رابطه ۲}$$

که در این رابطه، S ضریب خمیدگی، L طول قوس و $\lambda/2$ نصف طول موج است. زاویه مرکزی قوس‌های زده شده بر روی هر کدام از بازه‌ها نیز با استفاده از ضریب کورنیاس (رابطه ۳) محاسبه شد:

$$A = \frac{180L}{R\pi} \quad \text{رابطه ۳}$$

که در این رابطه، A زاویه مرکزی، L طول موج قوس و R شعاع دوایر برازش شده است (Asghari Saraskanrood, 2017 & Khoshraftar et al, 2019 & Esfandiary & Rahimi, 2019). طول قوس یا طول دره، با نصف طول موج هر قوس از رودخانه معادل است (Khoshraftar et al, 2019). پارامتر شعاع نسبی نیز از نسبت شعاع دایره محاط بر قوس رودخانه به عرض بستر آن محاسبه می‌شود (Shayan and Dehestani, 2013).



شکل ۳: دوایر برازش شده بر پیچان‌رودها

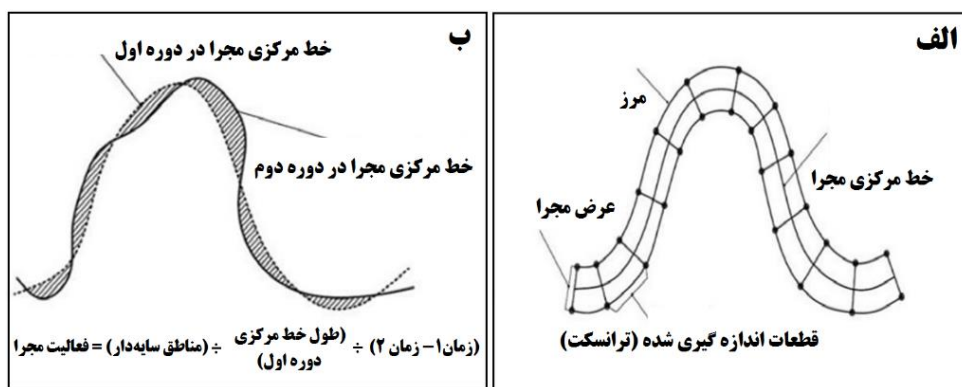
با استفاده از روش ترانسکت و محاسبه آهنگ مهاجرت رودخانه، تغییرات جانبی مجرا بررسی می‌شود. روش ترانسکت، شامل ترسیم یک سلسله از ترانسکت‌های عمود بر دشت سیلابی رودخانه و اندازه‌گیری فاصله بین نقاط متقاطع بین خط مرکزی کانال و ترانسکت برای دوره‌های زمانی است (Rahimi et al, 2017 & Giardino and Lee, 2017). برای اجرای روش ترانسکت، خطوطی با فواصل مشخص از هر دو طرف مجرا به عنوان خطوط مبنا ترسیم شد و این خطوط برای دوره‌های زمانی مورد مطالعه ثابت بود؛ به همین علت، جابه‌جایی مجرا نسبت به این خطوط به

صورت کمی قابل محاسبه است. هنگامی که مجرا در جهت راست جابه‌جا شود، مساحت ترانسکت سمت راست مجرا کاهش می‌یابد و بر مساحت ترانسکت سمت چپ مجرا افزوده می‌شود و برعکس (شکل ۴). در این پژوهش، بازه مورد مطالعه از مجرای رودخانه قرانقوچای، بر اساس مورفولوژی و روند تغییرات مجرا به دوازده ترانسکت تقسیم‌بندی و شاخص‌های کمی برای هر ترانسکت محاسبه شد. برای محاسبه آهنگ جابه‌جایی مجرا نیز از رابطه ۴ استفاده شد.

$$Rm = \left(\frac{A}{L}\right)/Y$$

رابطه ۴

در این رابطه، Rm شدت جابه‌جایی عرضی، A مساحت موجود بین دو خط مرکزی مجرا، L طول خط مرکزی مجرا و Y تعداد سال است (Shields et al, 2000 & Magdaleno et al, 2011).



شکل ۴: الف) نحوه درونیابی خط مرکزی مجرا، ب) نحوه استخراج آهنگ مهاجرت رودخانه
منبع: (Shields et al, 2000 & Magdaleno et al, 2011)

۴- یافته‌ها (نتایج)

بررسی شرایط هیدرولوژیکی ناشی از احداث سد سهند

در رویکردهای موجود برای ارزیابی اثرات سدها، تقریباً به طور انحصاری بر روابط تجربی مربوط به هیدرولوژی پیش از احداث سد و پاسخ پس از ایجاد سد تأکید می‌شود که معمولاً با توجه به تغییرات هندسی مقطع عرضی، اندازه دانه یا ذخیره‌سازی و انباشت رسوب تعریف می‌شود. با توجه به نتایج حاصل از محاسبه شاخص‌های دبی با احتمال وقوع مختلف و تحلیل آزمون آماری T (جدول ۳)، می‌توان گفت از لحاظ شاخص‌های $Q5$ ، $Q10$ و $Q15$ ، میان دو دوره قبل و بعد از احداث سد سهند تفاوت معناداری وجود دارد. میانگین شاخص‌های $Q5$ ، $Q10$ و $Q15$ در دوره قبل از احداث سد، به ترتیب $0/0008$ ، $0/09$ و $0/111$ بود و در دوره بعد از احداث سد، مقادیر این شاخص‌ها به ترتیب به مقدار $0/592$ ، $0/709$ و $0/872$ افزایش یافت. تغییر در شاخص‌های $Q5$ ، $Q10$ و $Q15$ ، می‌تواند بر فراوانی تغییرات رژیم‌های رسوبی نقش داشته باشد. همچنین می‌توان گفت که در سایر دبی‌های با احتمال وقوع مختلف، شاهد افزایش مقادیر شاخص‌ها در دوره بعد از احداث سد هستیم.

با توجه به نتایج محاسبه سایر شاخص‌های هیدرولوژی در دو دوره قبل و بعد از احداث سد سهند (جدول ۴)، دبی نرمال پراچی، دبی مد و دبی حداقل در دوره بعد از احداث سد افزایش یافت و مقدار متوسط دیگر شاخص‌ها کاهش.

افزایش میزان دبی پرآبی، احتمال فرسایش کناری رودخانه و تشکیل موانع طولی و جزایر رسوبی را با نهشته گذاری رسوبات در رودخانه افزایش می دهد. به علاوه طبق نتایج، از نظر دبی حداقل بین دو دوره تفاوت معناداری وجود دارد. از نظر ژئومورفولوژیکی، جریان های کمینه می تواند فراوانی رژیم های رسوب در رودخانه، ذخیره سازی و رسوب و انتقال، و زمان لازم برای ثبات کانال ها و کنار رودخانه را متأثر سازد. همچنین در زمان جریان کم، تنش برشی در کانال ها ضعیف است که امکان نهشته گذاری رسوبات و سنگ های ریز را فراهم می کند. در مقدار دبی حداکثر نیز بین دو دوره تفاوت معناداری وجود دارد. با توجه به مطالعه Graf (۲۰۰۶) - که در زمینه اثرات هیدرولوژیکی و مورفولوژی ناشی از احداث سد انجام شده است - دبی حداکثر، بر فراوانی تحرک بستر کانال و حمل بار بستری، فرسایش کنار رودخانه و مورفولوژی کلی کانال تأثیر می گذارد و تعداد و اندازه سطوح عملکردی را متحول می سازد. همچنین از لحاظ شاخص های دبی مد نیز اختلاف معناداری بین دو ایستگاه وجود دارد و این شاخص می تواند به فراوانی رژیم های رسوب در کانال، حمل بار بستری کانال و فرسایش کنار رودخانه منجر شوند؛ بنابراین، مورفولوژی کلی کانال و تغییرات سیلاب در پایین دست سد، تحت تأثیر احداث سد بوده و احداث سد و پیامدهای مرتبط با آن، بستر مناسبی را برای تشدید تغییرات هیدرولوژی و مورفولوژیکی رودخانه ای ایجاد کرده است؛ از جمله این تغییرات می توان به رسوب گذاری و فرسایش در بخش هایی از رودخانه، جابه جایی مئاندرها، کف کنی و تخریب دیواره ها در پایین دست اشاره کرد (شکل ۵).

جدول ۳: شاخص‌های دبی با احتمال وقوع مختلف در دو دوره قبل و بعد از احداث سد سهند

شاخص‌ها	سال	میانگین	تفاوت میانگین	حداکثر	حداقل	انحراف معیار	خطا یا فاصله میانگین	ضریب t	درجه آزادی	سطح معناداری
Q5	۱۳۷۴	۰/۰۰۰۸	-۰/۵۹۱	۰/۰۱	۰	۰/۰۰۲	۰	-۳/۷۴۴	۱۱/۰۰۱	۰
	۱۳۹۷	۰/۵۹۲		۱/۶۲	۰	۰/۵۷۴	۰/۱۵۷			
Q10	۱۳۷۴	۰/۰۹	-۰/۶۳۹	۰/۶	۰	۰/۱۸۰	۰/۰۵۲	-۳/۳۵۶	۱۲/۷۶۷	۰/۰۰۱
	۱۳۹۷	۰/۷۰۹		۱/۹۹	۰	۰/۶۳۴	۰/۱۸۳			
Q15	۱۳۷۴	۰/۱۱۱	-۰/۷۶۱	۱	۰	۰/۲۹۶	۰/۰۸۵	-۳/۴۵۳	۱۴/۷۷۴	۰/۰۰۵
	۱۳۹۷	۰/۸۷۲		۲/۱۳	۰	۰/۷۰۳	۰/۲۰۳			
Q25	۱۳۷۴	۰/۷۷۹	-۰/۴۵۱	۳/۰۶	۰	۱/۱۲۱	۰/۳۲۳	-۱/۱۲۲	۲۰/۲۲۲	۰/۳۱۲
	۱۳۹۷	۱/۲۳۰		۲/۶۲	۰	۰/۸۲۶	۰/۲۳۸			
Q35	۱۳۷۴	۲/۵۴۰	۰/۸۲۷	۵/۶	۰/۷	۱/۴۶۳	۰/۴۲۲	۱/۶۷۸	۱۸/۰۵۴	۰/۱۶۳
	۱۳۹۷	۱/۷۱۳		۳/۲۱	۰/۰۶	۰/۸۸۱	۰/۲۵۴			
Q45	۱۳۷۴	۴/۵۰۴	۲/۰۵۲	۷/۴	۱/۷۴	۱/۵۲۸	۰/۴۴۱	۴/۰۰۵	۱۷/۸۴۰	۰/۳۱۱
	۱۳۹۷	۲/۴۵۱		۳/۸۹	۰/۹۶۸	۰/۹۰۲	۰/۲۶۰			
Q50	۱۳۷۴	۵/۰۸۶	۲/۳۳۰	۸/۳	۱/۸۱	۱/۶۷۱	۰/۴۸۲	۴/۲۱۴	۱۷/۲۷۷	۰/۲۹۶
	۱۳۹۷	۲/۷۵۶		۴/۱۴	۱/۱۶	۰/۹۳۵	۰/۲۷۰			
Q55	۱۳۷۴	۵/۴۵۵	۲/۴۱۱	۸/۳	۱/۸۹	۱/۶۹۱	۰/۴۸۸	۴/۲۸۴	۱۷/۵۴۱	۰/۳۰۱
	۱۳۹۷	۳/۰۴۴		۴/۴۱	۱/۲۶	۰/۹۷۱	۰/۲۸۰			
Q65	۱۳۷۴	۶/۴۸۶	۲/۸۱۱	۱۰/۱	۲/۲۴	۲/۰۵۰	۰/۵۹۱	۴/۱۸۹	۱۶/۸۱۹	۰/۲۴۸
	۱۳۹۷	۳/۶۷۵		۵/۵۸	۱/۳۸	۱/۰۹۶	۰/۳۱۶			
Q75	۱۳۷۴	۹/۱۴۳	۳/۸۵۹	۱۵/۲	۵	۲/۷۵۳	۰/۷۹۴	۳/۱۹۳	۲۱/۶۰۸	۰/۷۶۱
	۱۳۹۷	۵/۲۸۴		۱۴/۶	۱/۷	۳/۱۵۳	۰/۹۱۰			
Q85	۱۳۷۴	۱۷/۳۷۲	۹/۶۶۴	۳۴/۸	۶/۷	۷/۶۵۲	۲/۲۰۹	۳/۳۷۳	۲۱/۲۴۱	۰/۲۶۱
	۱۳۹۷	۷/۷۰۸		۲۷/۴	۳/۲۸	۶/۳۱۹	۱/۸۲۴			
Q90	۱۳۷۴	۲۴/۱۲۱	۱۳/۵۷۵	۴۰/۴	۱۰/۱	۱۰/۶۴۸	۳/۰۷۴	۳/۰۴۱	۲۱/۹۴۲	۰/۳۵۸
	۱۳۹۷	۱۰/۵۴۵۰		۴۵/۴	۳/۷۷	۱۱/۲۱۱	۳/۲۳۶			
Q95	۱۳۷۴	۳۲/۳۰۸	۱۹/۰۱۷	۵۵/۲	۱۳/۵	۱۴/۸۳۲	۴/۲۸۱	۳/۰۸۴	۲۱/۹۷۲	۰/۳۵۰
	۱۳۹۷	۱۳/۲۹۰		۶۰/۹	۴/۰۷	۱۵/۳۶۸	۴/۴۳۶			

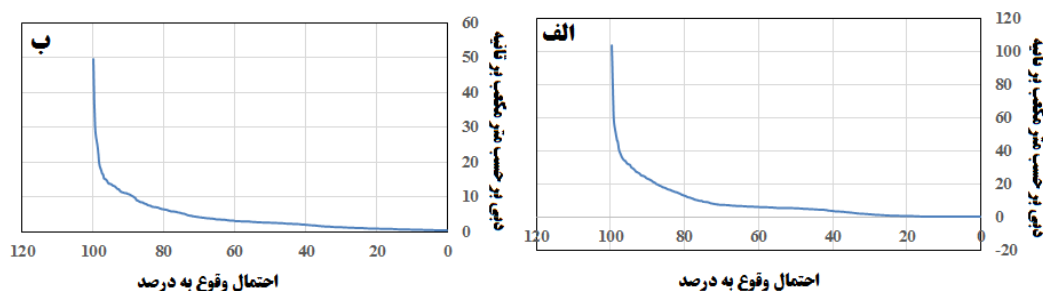
جدول ۴: سایر شاخص‌های هیدرولوژی در دو دوره قبل و بعد از احداث سد سهند

سطح معناداری	درجه آزادی	ضریب t	خطا یا فاصله میانگین	انحراف معیار	حداقل	حداکثر	تفاوت میانگین	میانگین	سال	شاخص‌ها
۰/۳۰۵	۲۰/۲۱۲	-۱/۱۳۸	۰/۳۲۴	۱/۱۲۴	۰	۳/۰۶	-۰/۴۵۸	۰/۷۶۹	۱۳۷۴	دبی
			۰/۲۳۸	۰/۸۲۷	۰	۲/۶۲		۱/۲۲۷	۱۳۹۷	نرمال پرآبی
۰/۶۹۲	۲۱/۸۷۸	۳/۲۷۶	۰/۷۹۶	۲/۷۵۸	۵	۱۵/۲	۳/۸۳۵	۹/۰۲۹	۱۳۷۴	دبی
			۰/۸۵۸	۲/۹۷۲	۱/۷	۱۳/۹		۵/۱۹۴	۱۳۹۷	نرمال کم آبی
۰/۳۴۲	۱۷/۵۱۹	۴/۲۹۶	۰/۴۷۶	۱/۶۴۵	۱/۸۱	۸/۳	۲/۳۵۱	۵/۱۱۸	۱۳۷۴	دبی
			۰/۲۷۲	۰/۹۴۲	۱/۱۶	۴/۱۴		۲/۷۶۶	۱۳۹۷	عادی
۰/۱۱۸	۲۰/۵۶۲	۳/۵۰۳	۰/۹۱۷	۳/۱۷۸	۴/۰۵۰	۱۴/۹۶	۴/۰۴۲	۸/۲۵۸	۱۳۷۴	دبی
			۰/۶۹۹	۲/۴۲۴	۱/۷۴۱	۱۱/۵۰		۴/۲۱۵	۱۳۹۷	میانگین
۰/۳۴۳	۱۷/۴۷۲	۴/۳۰۲	۰/۴۷۴	۱/۶۴۵	۱/۸۱	۸/۳	۲/۳۵۲	۵/۱۱۷	۱۳۷۴	دبی میانه
			۰/۲۷۰	۰/۹۳۸	۱/۱۶	۴/۱۴		۲/۷۶۵	۱۳۹۷	
۰	۱۱	-۳/۶۳۹	۰	۰	۰	۰	-۰/۴۹۸	۰	۱۳۷۴	دبی مد
			۰/۱۳۷	۰/۴۷۴	۰	۱/۲		۰/۴۹۸	۱۳۹۷	
۰	۱۰	-۳/۱۴۰	۰	۰	۰	۰	-۰/۴۰۱	۰	۱۳۷۴	دبی
			۰/۱۳۳	۰/۴۴۳	۰	۱/۲		۰/۴۰۱	۱۳۹۷	حداقل
۰	۱۴/۳۴۳	۳/۰۷۲	۱۷/۲۵۳	۵۹/۷۶۸	۲۵/۴۲	۱۹۵/۸	۵۶/۹۷۵	۱۰۳/۷۲۵	۱۳۷۴	دبی
			۶/۸۹۷	۲۳/۵۸۰	۱۴/۷	۹۰/۸		۴۶/۷۵	۱۳۹۷	حداکثر
۰/۱۱۷	۲۰/۵۵۳	۳/۴۹۳	۳۳۴/۹۵۳	۱۱۶۰/۳۱۲	۱۴۷۸/۴۷	۵۴۶۳/۲۷	۱۴۷۱/۰۰۳	۳۰۱۴/۲	۱۳۷۴	دبی
			۲۵۵/۲۱۵	۸۸۴/۰۹۳	۶۳۵/۵۸۸	۴۲۰۰/۵۸		۱۵۴۳/۲۶	۱۳۹۷	سالانه
۰/۳۰۳	۱۸/۴۹۸	۳/۵۶۹	۲/۱۳۹	۷/۴۱۰	۲/۷۳۲	۲۷/۸۶۸	۱۴/۳۶۷	۱۹/۳۷۶	۱۳۷۴	دبی صفر
			۳/۴۰۶	۱۱/۸۱۱	۰	۳۳/۸۷۹		۵/۰۰۹	۱۳۹۷	به درصد
۰/۳۰۳	۱۸/۴۹۸	۳/۵۶۹	۷/۸۳۰	۲۷/۱۲۴	۱۰	۱۰۲	۵۲/۵۸۳	۷۰/۹۱۶	۱۳۷۴	روزهائی
			۱۲/۴۷۹	۴۳/۲۳۱	۰	۱۲۴		۱۸/۳۳۳	۱۳۹۷	با دبی صفر
۰/۱۷۰	۲۱/۱۱۲	۳/۲۴۳	۱/۶۱۰	۵/۵۷۹	۴/۶۶۰	۲۱/۵۹۸	۶/۷۲۹	۱۱/۱۱۴	۱۳۷۴	انحراف
			۱/۳۰۸	۴/۵۳۱	۲/۴۴	۱۸/۶۱		۵/۳۸۵	۱۳۹۷	معیار
۰/۹۵۷	۱۹/۵۵۰	۰/۹۶۷	۰/۶۷۹	۲/۳۲۲	۲/۲۱۷	۱۰/۱۶۵	۱/۱۴۱	۵/۰۱۸	۱۳۷۴	شاخص
			۰/۹۷۰	۳/۳۶۲	۱/۳۷۱	۱۴/۰۹۹		۳/۸۷۷	۱۳۹۷	Q90/Q 50



شکل ۵ (الف، ب، ج و د): فرسایش کنار رودخانه در سازندهای سست و فرسایش‌پذیر؛ ه و ن: زیر بری شدید و ریزش دیواره به درون رودخانه؛ و، ی: نهشته‌گذاری رسوبات و تشکیل موانع طولی

برای بررسی بیشتر تأثیر احداث سد، منحنی تداوم جریان برای دو دوره قبل و بعد از احداث سد تهیه شد (شکل ۶). با بررسی منحنی تداوم جریان می‌بینیم که قبل از احداث سد، دبی با شیب بالا (احتمال وقوع ۳۳ درصد) $1/92$ ، دبی با شیب متوسط (احتمال وقوع ۶۶ درصد) $5/56$ و دبی با شیب پایین (احتمال وقوع ۱۰۰ درصد) $103/27$ است و بعد از احداث، دبی با شیب بالا (احتمال وقوع ۳۳ درصد) برابر با $1/47$ ، دبی با شیب متوسط (احتمال وقوع ۶۶ درصد) برابر با $3/78$ و دبی با شیب پایین (احتمال وقوع ۱۰۰ درصد) برابر با $49/46$ است. بنابراین، کاهش جریان اوج به تغییر شاخص‌های مورفولوژیکی مانند نیمرخ عرضی و طولی و شاخص‌های هیدرولیکی مانند عمق آب و سرعت جریان منجر شده است.



شکل ۶: الف) منحنی تداوم جریان قبل از احداث سد، ب) منحنی تداوم جریان بعد از احداث سد

بررسی تغییرات مورفولوژی رودخانه از سال ۱۳۷۴ تا ۱۳۹۷

میانگین ضریب خمیدگی نیز از $1/15$ در سال ۱۳۷۴، به $1/18$ در سال ۱۳۹۷ افزایش یافت و در سال ۱۳۷۴، $21/43$ از الگوی رودخانه به صورت مستقیم بود (ضریب خمیدگی $1-1/05$)، ولی در سال ۱۳۹۷ هیچ الگوی مستقیمی در مسیر وجود نداشت. بر پایه تقسیم‌بندی Petts (۱۹۸۶)، پلان‌فرم مجرا در هر دو دوره، به صورت سینوسی (ضریب خمیدگی

۱/۵-۱/۰۵) است و وجود لیتولوژی‌های فرسایش‌پذیر، به فرسایش کناری و خمیده شدن بستر منجر شده‌است. با توجه به مقادیر زاویه مرکزی و بر پایه تقسیم‌بندی Kornis (۱۹۸۰)، در سال ۱۳۷۴ مسیر مورد مطالعه از رودخانه قرانقو به صورت پیچان‌رود بسیار توسعه‌یافته (زاویه مرکزی ۲۹۶-۱۵۸) بود و در سال ۱۳۹۷ به پیچان‌رود توسعه‌یافته (زاویه مرکزی ۱۵۸-۸۵) رسید. دلیل این امر، حذف تعدادی از خمیدگی و ایجاد قوس‌های جدید در دوره دوم است. با توجه به شیب کم بستر و آبرفتی بودن آن، مئاندرها از نوع آزاد و دشتی است.

با کاهش میانگین زاویه مرکزی در سال ۱۳۹۷، میانگین شعاع دواير نیز کاهش یافت. شعاع قوس‌های بزرگ‌تر نیز به علت فرسایش‌پذیری بستر رودخانه است. اگرچه دبی سیلابی رودخانه توسط سد سهند مهار شده، هنوز رودخانه در قسمت‌های پیچان‌رودی قابلیت فرسایش دارد و پیچان‌رودهای توسعه‌یافته، در سازندهایی با مقاومت کم گسترش یافته‌اند. با افزایش قوس مئاندرها و تمرکز انرژی رودخانه در یک نقطه مشخص، شدت فرسایش به حداکثر خود می‌رسد و در جایی که قوس مئاندر به طرف کناره‌ها متمرکز و با دیواره کنار بستر مماس می‌شود، مقدار انبوهی از مواد کناری به داخل بستر سرازیر و با شدت گرفتن انرژی مئاندري در محدوده خمیدگی و قوس مئاندر، پهنای دشت سیلابی به دلیل فرسایش افزایش می‌یابد. به طور کلی، روند تغییرات زاویه مرکزی و ضریب خمیدگی پیچان‌ها، تفاوت‌های بارزی با یکدیگر دارد.

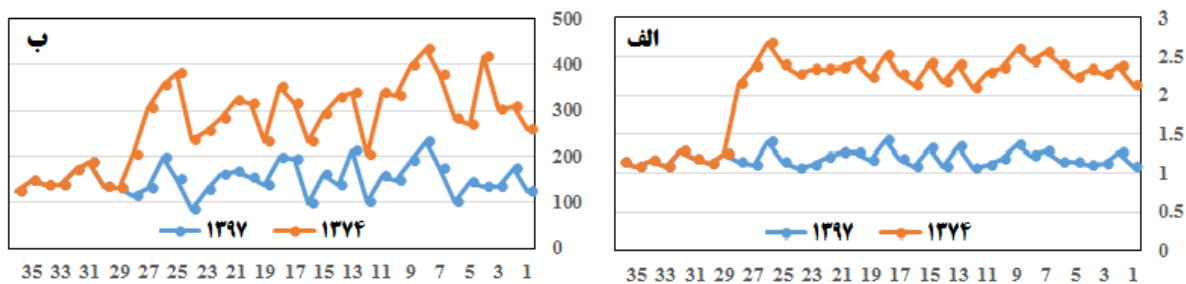
میانگین طول موج و طول دره در سال ۱۳۹۷ نسبت به ۱۳۷۴ کاهش یافت و کاهش طول موج، بیانگر کاهش فاصله پیچان‌رودهای متوالی نسبت به هم است؛ یعنی تعداد پیچان‌رودها افزایش یافته‌است که با توجه به افزایش تعداد پیچان‌رودها از ۲۸ به ۳۶، این امر تأیید می‌شود. به علاوه با توجه به وجود سازندهای سست و فرسایش‌پذیر، کاهش طول موج و شعاع حلقه‌ها را می‌توان حاصل کاهش نیروی جریان در اثر احداث سد در بخش پایین‌دست آن دانست که به شدت رفتار مورفولوژیکی رودخانه را متأثر ساخته است. پارامترهای مورفولوژیکی رودخانه، در جدول ۵ و تغییرات ضریب خمیدگی و تغییرات زاویه مرکزی، در شکل ۷ نمایش داده شده‌است.

جدول ۵: بررسی پارامترهای مورفولوژیکی رودخانه

مشخصه‌های ضریب خمیدگی	سال	تقسیم‌بندی رودخانه برحسب ضریب خمیدگی						حد اقل	حد اکثر	میانگین	تفاوت میانگین	انحراف معیار	نوع بازه
		مستقیم	سینوسی	پیچان- رودی	پیچان- رودی شدید	پیچان- رودی	پیچان- رودی شدید						
۱۳۷۴	۲۱/۴۳	۷۸/۵۷	-	-	-	۱/۰۲	۱/۲۹	۱/۱۵	-۰/۰۳	۰/۰۸	سینوسی		
۱۳۹۷	-	۱۰۰	-	-	-	۱/۰۶	۱/۴۲	۱/۱۸		۰/۱۰	سینوسی		

مشخصه‌های زاویه مرکزی	سال	تقسیم‌بندی رودخانه برحسب زاویه مرکزی						حد اقل	حد اکثر	میانگین	تفاوت میانگین	انحراف معیار	نوع بازه
		شبه پیچان- رودی	پیچان- رودی	پیچان- رودی	پیچان- رودی	پیچان- رودی	پیچان- رودی						
۱۳۷۴	-	-	۶۰/۷۱	۳۹/۲۹	-	۸۸/۱۵	۲۸۲/۸۶	۱۵۸/۸۷	۹/۰۱	۴۳/۱۴	بسیار توسعه یافته		
۱۳۹۷	-	-	۶۱/۱۱	۳۸/۸۹	-	۸۴/۹۹	۲۳۲/۶۰	۱۴۹/۸۶		۳۳/۳۸	توسعه یافته		

سایر پارامترهای هندسی	سال	تعداد مئاندر		میانگین طول موج (متر)		میانگین طول دره (متر)		میانگین شعاع دایره (متر)	
		۲۸	۳۶	۳۶۳/۹۵	۳۴۰/۱۵	۳۱۶/۶۶	۲۸۸/۸۸	۱۳۶/۵۲	۱۳۵/۵۸
۱۳۷۴	۲۸	۳۶	۳۶۳/۹۵	۳۴۰/۱۵	۳۱۶/۶۶	۲۸۸/۸۸	۱۳۶/۵۲	۱۳۵/۵۸	
۱۳۹۷									

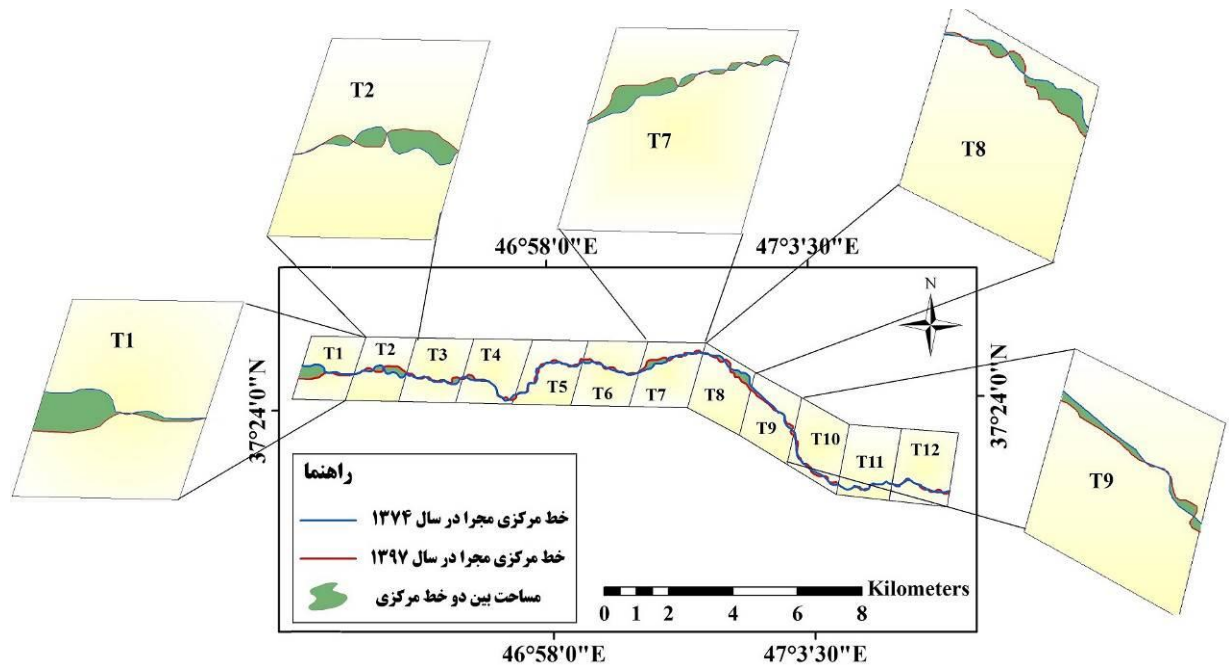


شکل ۷: الف) تغییرات ضریب خمیدگی و ب) تغییرات زاویه مرکزی

بررسی کمی تغییرات جانبی مجرای رودخانه از سال ۱۳۷۴ تا ۱۳۹۷

مجرای رودخانه به دوازده ترانسکت، تقسیم‌بندی (شکل ۸) و شاخص‌های کمی برای هر ترانسکت محاسبه شد (جدول ۶). باتوجه به نتایج، میانگین جابه‌جایی عرضی مجرای رودخانه در حدود ۰/۱۴۳ متر در سال است. بیشترین مقدار تغییرات جانبی در ترانسکت اول، به میزان ۰/۴۱ متر بود و در این ترانسکت در طی بازه زمانی مورد مطالعه، ۳۰/۳۱- هکتار از ساحل راست کاسته و به ساحل چپ افزوده شد. مسیر رودخانه در ترانسکت یک - که بلافاصله بعد از

سد سهند قرار دارد - منطبق بر مارن و سیلت و رسوبات رودخانه‌ای جدید است. رسوبات آبرفتی، بیشترین پتانسیل فرسایش‌پذیری را دارد و حساسیت نهشته‌های مارنی و ماسه سنگ در مقابل فرسایش نیز نسبتاً کم است. بنابراین، تحت تأثیر احداث سد، در نزدیک سد این سازندهای فرسایش‌یافته، عرض رودخانه و مقدار مهاجرت عرضی رودخانه نیز تقریباً افزایش یافت.



شکل ۸: نقشه محدوده ترانسکت‌ها و نمایش واضح‌تر تعدادی از آنها

جدول ۶: شاخص‌های کمی مجرای رودخانه

ترانسکت	جهت نسبت به مجرا	مساحت در سال ۱۳۷۴ (هکتار)	مساحت در سال ۱۳۹۷ (هکتار)	میزان تغییرات (هکتار)	شدت جابه جایی مجرا (m/y)
T1	R	۱۵۳/۶۴	۱۲۳/۳۳	-۳۰/۳۱	۰/۴۱
	L	۱۷۶/۰۶	۲۰۶/۸۹	۳۰/۳۱	
T2	R	۱۴۸/۵۵	۱۵۸/۷۲	۱۰/۱۷	۰/۲۴
	L	۱۷۰/۰۶	۱۵۹/۸۹	-۱۰/۱۷	
T3	R	۱۲۲/۹۳	۱۲۹/۲۶	۶/۳۳	۰/۰۹
	L	۲۷۷/۱۶	۲۷۰/۸۳	-۶/۳۳	
T4	R	۹۰/۹۶	۹۴/۲۵	۳/۲۸	۰/۰۸
	L	۲۶۶/۴۹	۲۶۳/۲۱	-۳/۲۸	
T5	R	۱۸۶/۵۷	۱۹۱/۰۷	۴/۴۹	۰/۰۷
	L	۱۶۷/۹۱	۱۶۳/۴۲	-۴/۴۹	
T6	R	۲۱۱/۰۱	۲۱۶/۸۶	۵/۸۵	۰/۰۸
	L	۱۵۵/۷۶	۱۴۹/۹۱	-۵/۸۵	
T7	R	۲۶۷/۵۸	۲۷۹/۲۹	۱۱/۷۰	۰/۱۷

	L	۹۸/۳۳	۸۶/۶۲	-۱۱/۷۰	
T8	R	۳۱۴/۱۸	۳۰۰/۲۲	-۱۳/۹۵	۰/۲۴
	L	۴۴/۱۰	۵۸/۰۵	۱۳/۹۵	
T9	R	۲۱۵/۴۷	۲۱۰/۵۱	-۴/۹۶	۰/۱۱
	L	۱۱۵/۴۶	۱۲۰/۴۲	۴/۹۶	
T10	R	۵۹/۰۱	۶۱/۵۵	۲/۵۴	۰/۰۸
	L	۲۹۶/۲۴	۲۹۳/۷۰	-۲/۵۴	
T11	R	۵۷/۶۱	۵۶/۴۲	-۱/۱۹	۰/۰۲
	L	۳۰۵/۹۱	۳۰۷/۱۱	۱/۱۹	
T12	R	۹۶/۴۸	۹۲/۶۹	-۳/۷۸	۰/۰۶
	L	۳۱۲/۶۶	۳۱۶/۴۴	۳/۷۸	

کمترین جابه‌جایی نیز در ترانسکت یازده به مقدار ۰/۰۲ متر است. این ترانسکت از رسوبات فرسایش‌پذیر عبور می‌کند، با این وجود به علت دور شدن از سد از مقدار جابه‌جایی عرضی آن کاسته می‌شود. در محدوده‌هایی از مسیر رودخانه که دور از سد قرار دارند و مقدار جابه‌جایی آن زیاد است، فعالیت‌های انسانی دخیل می‌باشد (شکل ۹). از نمونه دخالت‌های انسانی در رودخانه، می‌توان به احداث پل‌ها اشاره کرد. پایه‌های پل‌ها مشابه یک سد یا بند عمل می‌کند و به پس‌زدگی آب و رسوب‌گذاری در بالادست، محدود کردن مقطع عبور جریان و در پی آن، افزایش سطح آب در بخش بالادست پل و تشدید سیلاب، انحراف جریان، آبستگي و ایجاد گودال در مجاورت سازه منجر می‌شود. از دیگر عوامل انسانی، تجاوز به حریم رودخانه به صورت تغییر کاربری اراضی در حریم رودخانه، توسعه کشاورزی در حریم و بستر رودخانه و پمپاژ آب آن برای آبیاری اراضی زراعی و باغ‌های موجود در اطراف رودخانه است. اکثر مراتع، حریم و بستر رودخانه از قرائن‌وچای تا روستای خراسانک زیر کشت غیرقانونی است. می‌توان گفت وجود پیچ و خم‌های رودخانه، سرعت زیاد جریان آب و تجاوز کشاورزان به حریم رودخانه، به کناره‌شویی، کف‌کشی و در برخی مناطق دیگر به بالا آمدن سطح آب و ورود آب به اراضی و باغ‌های حاشیه رودخانه منجر شده‌است. به علاوه، با توجه به این موضوع که آب مورد نیاز برای آبیاری زمین‌های کناره رودخانه به طور عمده از طریق پمپاژ از رودخانه تأمین می‌شود و در حاشیه رودخانه در مسیر مورد مطالعه، تعداد زیادی موتور پمپ کار گذاشته شده‌است؛ این موتورها آب را با فشار زیاد پمپاژ می‌کنند. آب پمپاژ شده نیز به کمک نهرهای آبیاری به زمین‌ها هدایت می‌شود. بنابراین، مقدار قابل توجهی از آب آبیاری به طرف بستر اصلی برمی‌گردد و با برگشت پساب کشاورزی، به اشکال مختلف فرسایش کناره‌ای منجر می‌شود. استفاده از اراضی حریم رودخانه به عنوان جاده‌های دسترسی یا مجرای عبور فاضلاب، ساخت‌وسازها در حریم رودخانه و محدود کردن مجاری جریان به علت حجم خاک‌ریزی ناشی از گسترش اراضی حاشیه، از سایر موارد تجاوز به حریم رودخانه در محدوده مطالعه است. همچنین، شش معدن برداشت از بستر رودخانه در مسیر مورد مطالعه وجود دارد. برداشت شن و ماسه به پایین افتادن سطح آب، افزایش سرعت جریان آب در بالادست، افزایش ظرفیت حمل رسوب، فرسایش، انحراف جریان و بی‌نظمی در نیمرخ طولی و عرضی و در نهایت،

ناپایداری بستر منجر شده است. به علاوه، برداشت مصالح از رودخانه در بازه مطالعاتی، به شسته شدن و بیرون زدگی پایه پل ها در مسیر منجر شده است.



شکل ۹: نمونه هایی از دخالت های انسانی در بستر و اطراف رودخانه قرائقو؛ الف: پس زدگی آب و رسوب گذاری در بالادست، محدود کردن مقطع عبور جریان، انحراف جریان، آبخستگی و ایجاد گودال در مجاورت پل؛ ب: توسعه کشاورزی در حریم و بستر رودخانه، ج: ایجاد چاله در نتیجه برداشت شن و ماسه از بستر رودخانه

۵- بحث و نتیجه گیری

رودخانه ها، سیستم هایی پویاست و مسیر آنها نیز به طور مداوم در حال تغییر است. تغییرات مورفولوژی، الگوی هندسی و هیدرولوژیکی رودخانه ها، مشکلاتی را برای کاربری های انسانی و اکولوژیکی ایجاد می کند. در این پژوهش، به ارزیابی شرایط هیدرولوژیکی رودخانه قرائقو به ویژه در زمینه احداث سد سهند و اثرات آن بر مورفولوژی مجرا در طی یک دوره زمانی ۲۴ ساله (۱۳۷۴-۱۳۹۷) پرداخته شد. با توجه به نتایج حاصل از محاسبه شاخص های هیدرولوژیکی و تحلیل آزمون آماری T، از لحاظ شاخص های Q5، Q10 و Q15، دبی حداقل، دبی حداکثر و دبی مد، بین دو دوره قبل و بعد از احداث سد تفاوت معناداری دیده می شود. احداث سد سهند به تغییراتی اساسی همچون کاهش دبی در فصل پرآبی، افزایش دبی در فصل کم آبی و کاهش مواد رسوبی در پایین دست منجر شده است و این تغییرات، تعادل طبیعی رودخانه را دگرگون می کند و بر ویژگی های هندسی و ژئومورفولوژیکی آن تأثیر می گذارد. bayati khatibi (۲۰۰۸) نیز در مطالعه ای که در آن به بررسی نحوه تأثیر سد سهند بر تغییر مورفولوژی بستر رودخانه قرائقو پرداخته است، چنین پیش بینی می کند که تغییرات عمده در مقطع عرضی، طولی بستر جریان، همچنین تغییر در میزان و مکان رسوب گذاری و فرسایش، از پیامدهای احداث سد سهند خواهد بود. با توجه به شاخص ضریب خمیدگی می توان گفت که پلان فرم رودخانه در هر دو بازه زمانی مورد مطالعه به صورت سینوسی است و با در نظر گرفتن مشخصه های زاویه مرکزی، به ترتیب در سال ۱۳۷۴ به صورت پیچان رود بسیار توسعه یافته و در سال ۱۳۹۷، از نوع پیچان رود توسعه یافته است. نتایج حاصل از تغییرات جانبی مجرا نیز نشان داد که میانگین آهنگ مهاجرت مجرای رودخانه در طی بازه زمانی ۲۴ ساله، در حدود ۰/۱۴۳ متر در سال است. بیشترین مقدار تغییرات جانبی، در ترانسکت اول به میزان ۰/۴۱ متر بود و در این ترانسکت در طی بازه زمانی مورد مطالعه، ۳۰/۳۱- هکتار از ساحل راست کاسته و به ساحل چپ افزوده شد. بررسی ویژگی های مورفولوژی بستر مجرا نشان می دهد که جابه جایی های عرضی اغلب در قسمت هایی از مسیر رودخانه اتفاق می افتد که بستر رودخانه دارای مشخصه های سیلاب دشتی است و در این مناطق، بستر رودخانه عریض تر شده و شیب کاهش یافته است. بیشترین گسترش اراضی کشاورزی و باغ ها نیز در این مناطق قابل مشاهده است.

در حالت کلی، تغییرات در پلان رودخانه قرائقو در بازه زمانی و مکانی مورد مطالعه، به صورت گسترش مئاندرهای موجود، جابه‌جایی مسیر رودخانه و تشکیل مئاندرهای کوچک بوده‌است. شکل‌گیری الگو و تغییرات مورفولوژیکی رودخانه قرائقو در بازه زمانی و مکانی مورد مطالعه، بیشتر تحت تأثیر فرآیندهای هیدرولوژیکی ناشی از احداث سد - کاهش قابل ملاحظه رواناب در رودخانه و انباشت بار رسوبی در مسیر بستر - و شرایط لیتولوژیکی بستر و کناره‌های رودخانه است.

همچنین انسان از طریق برداشت مصالح رودخانه‌ای، تجاوز به حریم رودخانه به صورت تغییر کاربری، کشاورزی در اراضی حاشیه رودخانه و پمپاژ آب برای کشاورزی زمین‌های حاشیه و احداث پل، به تغییر الگوی مجرای قرائقو در بازه مورد مطالعه پرداخته‌است. Asghari Saraskanrood (۲۰۱۵) نیز در مطالعه خود، برداشت بیش از حد مصالح را دلیل افزایش سینوزیته، تغییر در نیمرخ طولی و عرضی، جابه‌جایی مسیر، فرسایش و ناپایداری مجرای قرائقو از بازه پایین دست سد سهند تا روستای خراسانک عنوان کرده‌است. Nouri Najafi و همکاران (۲۰۱۸) در مطالعه خود بیان کردند که در دوره بعد از احداث سد سهند، تغییرات کاربری اراضی در محدوده اطراف این سد به نفع اراضی کشاورزی - به ترتیب افزایش ۳۸ و ۳۲ درصدی سهم اراضی کشاورزی آبی و دیم - بوده و از میزان مراتع، در حدود ۵۶ درصد کاسته شده‌است. در نهایت، می‌توان گفت که رعایت حریم و بستر رودخانه قرائقو در ساخت وسازها با کاربری‌های مختلف، همچنین رعایت بستر و حریم رودخانه در ایجاد باغ‌ها و محصولات زراعی متناسب با اهداف مهندسی رودخانه و مدیریت بهره‌برداری اراضی بستر و پیرامون به ویژه برداشت شن و ماسه، نیازمند مدیریت است.

منابع

1. Alizadeh, A., 2015. Principles of Applied Hydrology, 39th Edition, Ferdowsi University of Mashhad, 946 p. (In persian)
2. Asghari Saraskanrood, S., 2015. Analyzing the Effects of Gravel and Sand Mining on the Morphology of Grango River (Between Sahand Dam to Khorasanak Village), *Hydrogeomorphology*, 1(1), 21-39. (In persian)
3. Asghari Saraskanrood, S., 2017. Analysis of the channel shape of the Kolghan Chay River (the distance between Kolghan and its annexation to the Garanqou River), *Quantitative geomorphology research*, 6(2), 116-132. (In persian)
4. Batalla, R. J.; Iroume, A.; Hernandez, M.; Lena, M.; & D. Vericat, 2018. Recent geomorphological evolution of a natural river channel in a Mediterranean Chilean basin, *Geomorphology*, 303, 322-337.
5. Bayati khatibi, M., 2008. Investigation on Morphologic Changes in the Gharanghou River Channel, on Erosive and Sedimentary Characteristics, Related to Sahand, s Dam Case Study: Gharanghou-Chay, the Eastern Slope of the Sahand Mountain (The North - West, IRAN), *Geography and Development Iranian Journal*, 6(11), 199-220. (In persian)
6. Chaiwongsaen, N.; Nimnate, P.; & M. Choowong, 2019. Morphological Changes of the Lower Ping and Chao Phraya Rivers, North and Central Thailand: Flood and Coastal Equilibrium Analyses, *OpenGeosci*, 11 (1), 152-171.
7. Clarke, K. D.; Pratt, T. C.; Randall, R. G.; Dave, A.; & K. E. Smokorowski, 2008. Validation of the Flow Management Pathway: Effects of Altered Flow on Fish Habitat and Fishes Downstream from a Hydropower Dam. Tech. rep., Northwest Atlantic Fisheries Center, St.

- John's, Oceans and Environment Branch Fisheries and Oceans Canada St. John's, NL. Canadian Technical Report of Fisheries and Aquatic Sciences, PP 1-119.
8. Dewan, A.; Corner, R.; Saleem, A.; Rahman, M. M.; Haider, M. R.; Rahman, M. M.; & M. H. Sarker, 2017. Assessing channel changes of the Ganges-Padma River system in Bangladesh using Landsat and hydrological data, *Geomorphology*, 276, 257-279.
 9. Esfandiary, F., & M. Rahimi., (2019). Analysis of river lateral channel movement using quantitative geomorphometric indicators, Qara-Sou River. *Environment Earth Sciences*. 78, 1-14.
 10. Esfandiary, F.; Rahimi, M.; Lofty, K.; & E. Ebadi, 2020. Lateral Change Detection of Ghezlozan River Channel from 1993 to 2013, *Researches in Geographical Sciences*, 20 (57), 113-124. (In persian)
 11. Fatemi Aghda, S. M.; Fayazi, F. A.; & D. Alipour, 2003. Investigation on the Engineering Geology Part of Karkheh from Abdol-Khan to Elhai Village, *Quarterly Journal of Science Kharazmi University*, 18(53), 163-179. (In persian)
 12. Feyisa, G.; Meilby, H.; Fensholt, R.; & S. Proud, 2014. automated water extraction index: a new technique for surface water mapping using landsat imagery, *Remot sensing of enviroment*, 140, 23-35.
 13. Foroughi, A. M.; Bani razi, M.; Bani Habib, M. A.; & M. Sajedi, 2001. Application of submerged plates for organizing and stabilizing seasonal rivers. 3rd Iranian Hydraulic Conference. University of Tehran, Tehran. Iran. (In persian)
 14. Giardino, J. R., & A. A. Lee., (2011). Rates of channel migration on the Brazos River, Submitted to the Texas Water Development Board. Department of Geology & Geophysics. Texas A & M University. 1-45.
 15. Graf. W. L., 2006. Downstream hydrologic and geomorphic effects of large dams on American rivers, *journal of Geomorphology*, 79, 336-360.
 16. Grant, G. E.; Schmidt, J. C.; & S. L. Lewis, 2003. A Geological Framework for Interpreting Downstream Effects of Dams on Rivers, *Water Science and Application*, 7, 203-219.
 17. Khaleghi, S.; Hosseinzadeh, M. M.; & F. Vahedifar, 2017. Analysis and Assessment of Bank Erosion and Stability in Qaranqoo River using BEHI Model, *Hydrogeomorphology*, 10(3), 145-164. (In persian)
 18. Kheirizadeh, M., 2015. Morphodynamic analysis and lateral changes in the duct of the Zarrineh Rood River (from Shahin Dezh to Lake Urmia), Doctoral dissertation, Tabriz University. 192 p. (In persian)
 19. Khoshraftar, R.; Ahmadi Torkamanay, A.; Feyzollahpour, M.; & N. Hamed, 2019. A Study of Gezel Ozan River Meanders in Mahnesan County-Zanjan province, *Quantitative geomorphology research*, 7 (4), 15-30. (In persian)
 20. Kibet Langat, F.; Kumar, L.; & R. Koech, 2019. Monitoring river channel dynamics using remote sensing and GIS techniques, *Geomorphology*, 325, 92-102.
 21. Kondolf, M., & H. Piegay., (2003). Tools in fluvial geomorphology. John Wiley & Sons Ltd. 688 P.
 22. Li, J.; Zhang, Y.; & Q. Ji, 2020. Lateral Migration in a Wandering Reach of the Middle Yellow River in Response to Different Boundary Conditions, *Appl. Sci*, 10 (5229), 1-13.
 23. Liaghat, A.; Adib, A.; & H. R. Gafouri, 2017. Evaluating the Effects of Dam Construction on the Morphological Changes of Downstream Meandering Rivers (Case Study: Karkheh River), *Engineering, Technology & Applied Science Research*, 7(2), 1515-1522.
 24. Magdaleno, F.; Yuste, J.; & A. Fernandez, 2011. Meander dynamics in a changing river corridor, *Geomorphology*, 130, 197-207.

25. Maghsoudi, M.; Sharafi, S.; & Y. Maghami, 2010. Change detection of Khoram abad river morphological pattern with RS, GIS and AUTO CAD, *Spatial planning (Modares human sciences*, 14 (3), 275- 294. (In persian)
26. 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*, 17(7), 1425-1432.
27. Minear, J. T., 2010. The Downstream Geomorphic Effects of Dams: A Comprehensive and Comparative Approach, requirements for the degree of Doctor of Philosophy in Landscape Architecture and Environmental Planning University of California, Berkeley, 201 p.
28. Minh Hai, D.; Umeda, Sh.; & M. Yuhi, 2019. Morphological Changes of the Lower Tedor River. Japan. over 50 Years, *water*, 11(1852), 2-17.
29. Mostafazadeh, R.; Esfandiyari Darabad, Shahmoradi, R.; Nasiri Khiavi, A.; & A. Ebadi, 2019. Investigating the Effect of Bukan's Dam Construction on Hydrological Indices of Zarrinehrood River Based on the Flow Duration Curve, *Water and soil science*, 29(4), 147-159. (In persian)
30. Nelson, N. C.; Erwin, S. O.; & J. Schmidt, 2013. Spatial and Temporal Patterns in Channel Change on the Snake River Downstream from Jackson Lake Dam, Wyoming, *Geomorphology*, 20, 132-142.
31. Nouri Najafi, F.; Veisi, H.; & R. Mirzaee, 2018. Changes in land use and ecosystem services in Sahand dam using remote sensing technique, *Environmental Sciences*, 16(1), 207-224. (In persian)
32. Oorschot, M. V.; Kleinhans, M.; Buijse, T.; Geerling, G.; & H. Middelkoop, 2018. Combined effects of climate change and dam construction on riverine ecosystems, *Ecological Engineering*, 120, 329-344.
33. Overeem, I.; Kettner, A. J.; & J. P. M. Syvitski, 2013. Impacts of Humans on River Fluxes and Morphology, *Treatise on Geomorphology*, 9(1), 828-842.
34. Owolabi, S. T.; Madi, K.; Kalumba, A. M.; & B. Fanta Alemaw, 2020. Assessment of recession flow variability and the surficial lithology impact: a case study of Buffalo River catchment, *Eastern Cape, South Africa, Environ Earth Sci*, 178(79), 1-19.
35. Rahimi, M.; Hejazi, A.; Modiri, M.; & A. Mehrvarz, 2017. Investigation of Channel Change of Aras River by Using Transect Method from 1987 to 2014 and the Effects of Built Structures on the Modification of River Route (Case Study: From Aslandoz to Parsabad), *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 20(5), 73 - 89. (In persian)
36. Rezaee Moghadam, M. H.; Sarvati, M. R.; & S. Asghari Sareskanrood, 2012. Studying of Role of geological and geomorphologic factors on the geometry of river of Gezel Ozan, *Geography and Environmental Planning*, 23(20), 1-14. (In persian)
37. Rinaldi, M., & A. Simon., (1988). Bed-level adjustments in the Arno River, central Italy. *Geomorphology*, 22 (1), 57-71.
38. Sadodin, A.; Khosravi, GH.; Ownegh, M.; Bahremand, A.; & H. Mostafav, 2019. Classification and identification of changes in river flow regime using the Indicators of Hydrologic Alteration (IHA) Case study: (The Khormarud River- Tilabad Watershed- Golestan Province), *Iranian Journal of Eco Hydrology*, 6(3), 651-671. (In persian)
39. Sharifi Paichoon, M., & F. Parnoon., (2018). Morphometry and Studying of the Changes of Geometrical Parameters in the Qaresou River between 1959-2014. *Hydrogeomorphology*. 4(13), 43-62. (In persian)
40. Shayan, S., & H. Dehestani., (2013). Calculations of Geometric Parameters and Investigations of its Geomorphological Changes Pattern in Kashkan River. *Environmental Erosion Research Journal*. 2(8), 21-34. (In persian)
41. Shen, L., & C. Li., (2010). Water body Extraction from lansat ETM+ Imagery Using Adaboost Algorithm. Geoinfirmatics. 18th International Conference on Geoinformatics, Beijing, China. 8-20 June 2010: 1-4.

42. Shields, F.; Douglas, S.; Andrew, S.; & J. Lyle, 2000. Reservoir effects on downstream river channel migration, *Environmental Conservation*, 27(1), 54-66.
43. Surian, N., & M. Rinaldi., (2003). Morphological Response to River Engineering and Management in Alluvial Channels in Italy. *Geomorphology*. 50(4), 307- 326.
44. Uday Kumar, A., & K. V. Jayakumar., (2018). Assessment of hydrological alteration and environmental flow requirements for Srisaillam dam on Krishna River, India, *Water Pol*, 20(6), 1176-1190.
45. Xu, H., 2006. Modification of normalised difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery, *International Journal of Remote Sensing*, 27(14), 3025-3033.
46. Yu, F.; Price, K. P.; Ellis, J.; & D. Kastens, 2004. Satellite Oservations of Seasonal Vegetation Growth in Central Asia:19821990”, *Photogrammetric Engineering and Remot Sensing*, 70(4), 461-469.

Investigation of the effects of construction of Sahand dam on the hydrological conditions of the river and analysis of changes in the geometric shape of Qaranqoochay canal (from the lower reaches of Sahand dam to Khorasanak village)

Sayyad Asghari Saraskanrood¹: Associate professor of Geomorphology, Department of Physical Geography, Faculty of Social Sciences, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil

Elnaz Piroozi: Ph.D. Student in Geomorphology, Department of Physical Geography, Faculty of Social Sciences, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil

Article History (Received: 2021/03/30

Accepted: 2021/07/25)

Extended abstract

1- Introduction

River and river processes are considered the most significant geomorphic systems active on the earth's surface. Over time, many changes in the morphology and dynamics of the river system can occur. The effects of river adjustment caused by the natural factors require a much longer period to reveal. However, there are few exceptions that natural factors such as river floods, landslides, or earthquakes can induce channel adjustments in a concise time. In contrast, human activities can significantly impact natural processes and trends, resulting in a compressed time scale for river adjustments. Consequently, the flow regime of many rivers has been dramatically altered from their natural flow regime.

Redirection, deformation of the canal, destruction of the banks and lands along the river are observed in Qaranqoochay river. Therefore, the purpose of this study is to investigate the effects of Sahand Dam construction on the hydrological conditions of the Qaranqoochay River, determine the geometric components of the river, and investigate the displacement and shape changes of the Qaranqoochay River Canal.

2- Methodology

In this research, the topography map with a scale of 1:50000, geology map with a scale of 1:100000, google earth and Landsat images, hydrological data from and field data are used. ENVI 5.3, Arc GIS 10.5, Excel, and SPSS software were also used for image processing and data analysis.

To study the hydrological conditions of the study area, the data of the Chapini station were studied using 26 hydrological indices. Then, a paired T-test was used for statistical analysis of indices to study the significance of indices changes and, consequently, the effect of dam construction. The geomorphological parameters of the river and their variations, including bending coefficient and central angle, were measured. The curvature coefficient is one of the few criteria used in river shape segmentation using $s = 1/(y.2)$, i.e., dividing the valley length by wavelength for each arc (Pitt's coefficient). It is calculated. The central angle of the arcs on each of the intervals was calculated using the relation $A = 180L / R\pi$, where A is the central angle, R, of the fitted circle radius (Kornias coefficient). The lateral changes of the canal were investigated using the transect method and calculation of river migration rate. According to the Transect method, lines with distinct distances from both sides of the duct are depicted as baselines. These lines are constant for the periods studied and can be calculated quantitatively for duct movements relative to these lines.

3- Results

According to the results of calculating hydrological indices and T-test analysis, in terms of hydrology Q5, Q10, Q15, minimum flow, maximum flow, and Mode flow, between the two periods before and after the construction of the dam, a significant difference was seen. It can be stated that the construction of Sahand Dam and the changes in the flow by the dam can affect the amount, timing and it affects the duration of upstream and downstream currents. Also, it can provide suitable bedding for intensifying hydrological changes and, subsequently, river morphological changes. Downstream changes include

¹ Corresponding Author: s.asghari@uma.ac.ir

sedimentation and erosion in parts of the river, displacement of meanders, flooring, and wall demolition.

The average curvature coefficient had increased from 1.15 in 1995 to 1.18 in 2018, and in 1995, 21.43 of the river patterns were straight (curvature coefficient 1-1/05), but in 2018, there is no direct pattern in the path. The plan of the duct in both periods is sinusoidal (curvature coefficient 1/5-1.05). According to the values of the central angle, in 1995, the studied route from Qaranqoo river was Highly developed as a meandering river (central angle 296-158), and in 2018 it was extended to the meandering river (central angle 158-85), it arrives. With the decrease of the average central angle in 2018, the average radius of the circles has also decreased. The average wavelength and valley length in 2018 compared to 1995, and the decrease in wavelength indicates a decrease in the distance of successive turns.

The average rate of river canal migration during the 24 years studied was about 0.143 m per year. The duct's maximum amount of transverse displacement in transect one is 0.41 m per year, and the lowest amount of displacement in transect eleven is 0.022 m per year.

4- Discussion & Conclusions

In general, the changes in the plan of the Qaranqoo river in the studied time and place period have been in the form of expansion of existing meanders, shifting of the river course, and formation of small meanders. Formation and morphological changes of the Qaranqoo river in the studied time and place period are mostly influenced by hydrological processes caused by dam construction (significant reduction of runoff in the river and accumulation of sediment load in the bed path) and lithological conditions of the bed and side. Of the river. Also, human beings have changed the pattern of the Qaranqoo canal in the studied area by harvesting river materials, encroaching on the river area in the form of land-use change, farming in river lands, and pumping water for agricultural lands along the rivers, construction of bridges.

Key Words: Hydrological parameters, Sahand dam, duct shape, Qaranqoochay.