

تغییرات هیدرومورفولوژیک رودخانه چشمه علی دامغان در بازه زمانی ۱۹۶۱ تا ۲۰۲۳

محمد مهدی حسین‌زاده* - دانشیار، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران.
شهرام بهرامی - دانشیار، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران.
پگاه بابایی - کارشناسی ارشد ژئومورفولوژی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران.

پذیرش مقاله: ۱۴۰۳/۰۷/۲۴ تأیید نهایی: ۱۴۰۳/۱۲/۰۱

چکیده

تغییرات الگوی رودخانه، یکی از مهمترین مسائل مهندسی رودخانه است که فعالیت‌ها و سازه‌های عمرانی را در حاشیه رودخانه‌ها تحت تأثیر قرار می‌دهد. محدوده مورد مطالعه در این پژوهش رودخانه چشمه علی است که از الحاق جریان رودخانه‌های آستانه و دامغانرود و جریان خروجی از مظهر چشمه علی در محل روستای آهوانو شکل می‌گیرد. محدوده مورد مطالعه به طول ۱۰ کیلومتر به ۷ بازه مجزا تفکیک گردید. در ادامه تغییرات پلاتفرم کانال و تغییرات آن براساس مساحت کانال در سال‌های مختلف همچنین پویایی کانال در بازه‌های مختلف زمانی مطالعه شد. در این پژوهش تأثیرات ویژگی‌های زمین‌شناسی بر مورفولوژی رودخانه برای هر یک از بازه‌ها مورد تحلیل قرار گرفت. نتایج بررسی پویایی کانال نشان داد که بیشترین جابجایی جانبی در سالهای ۲۰۰۳ و ۲۰۱۳ رخ داده است. همچنین بیشترین جابجایی جانبی در بازه ۷ به میزان ۰/۶۵ متر در سال و در مقابل، بازه ۱ کمترین جابجایی جانبی به میزان ۰/۲۷ متر در سال رخ داده است. در واقع بازه ۱ پایدارتر از بازه ۷ بوده است. تنوع در سازندهای زمین‌شناسی در دو طرف رودخانه با تغییرات مورفولوژیکی مشاهده شده مرتبط است، و نشان می‌دهد که تفاوت سازندهای زمین‌شناسی می‌تواند به طور قابل توجهی بر رفتار رودخانه و پایداری در طول زمان تأثیر بگذارد. یافته‌ها روند واضحی از تغییرات مورفولوژیکی و هیدرولوژیکی در سیستم رودخانه در شش دهه گذشته را نشان می‌دهد. کاهش مساحت کانال در چندین بازه نشان‌دهنده عوامل تنش‌زای محیطی بالقوه مؤثر بر پایداری رودخانه شامل اثرات انسانی یا ویژگی‌های توپوگرافی در غالب تغییرات شیب، موقعیت کانال از جهت محدودیت کانال و ویژگی‌های زمین‌شناسی بوده است. کاهش قابل توجه در مساحت و عرض کانال نشان‌دهنده گرایش به سوی زیستگاه‌های رودخانه‌ای با ثبات تر و بالقوه با تغییرات کمتر است.

واژگان کلیدی: تغییرات مورفومتری، پویایی کانال، رودخانه چشمه علی، دامغان.

مقدمه

مسیر رودخانه‌ها و اشکال مرتبط با آن یکی از اشکال دائمی چشم انداز محسوب می‌شوند (یونوس و همکاران، ۲۰۱۹). دینامیک رودخانه‌ها، ناشی از تعامل بین جریان آب و رسوب و شرایط مجاور رودخانه (به عنوان مثال، توپوگرافی، شیب، رسوبات و پوشش گیاهی) است که می‌تواند تحت تاثیر شرایط انسانی و طبیعی قرار گیرد (تورن و همکاران، ۲۰۰۵). تغییر دینامیک رودخانه‌ها ممکن است به تنظیمات مورفولوژیکی در مقیاس بازه در دوره‌های زمانی کوتاه و یا در فواصل زمانی طولانی (از ده‌ها تا هزاران سال) رخ دهد و کل سیستم رودخانه را بسته به شدت، گسترش و نوع اختلال درگیر کند (رینالدی و همکاران، ۲۰۱۵). تغییرات کانال رودخانه از دیرباز با هدف شناسایی علل آن‌ها و تعیین روابط بین تغییرات محیطی و تأثیرات آن در رودخانه‌ها، توجه دانشمندان را به خود جلب کرده است؛ زیرا رودخانه‌های آبرفتی سیستم‌های پویایی هستند که شکل خود را در مقابل نیروهای طبیعی و انسانی اعمال شده بر رودخانه تنظیم می‌کنند. شکل کانال یا مورفومتری کانال به‌عنوان یک ابزار تشخیصی در ارزیابی لندفرم‌های رودخانه‌ای شناخته شده است. جغرافیدان‌ها، ژئومورفولوژیست‌ها و زمین‌شناسان از شکل کانال به‌عنوان یک پارامتر مهم در طبقه‌بندی، آنالیز و پیش‌بینی پاسخ‌های رودخانه‌ای استفاده کرده‌اند (اسماعیلی و همکاران، ۱۳۹۶). در سال‌های اخیر تغییرات ایجاد شده در سیستم رودخانه‌ای خسارات محیطی ناشی از فرآیندهای رودخانه‌ای را در بسیاری از کشورها افزایش داده و موجب توجه و حساسیت مدیران شده هر چند تغییر جزء جدایی‌ناپذیر تمام سامانه‌های رودخانه‌ای است (حسین زاده و اسماعیلی، ۱۳۹۷). بررسی الگوی رودخانه‌ها برای درک شرایط کنونی و پتانسیل تغییرات احتمالی آن‌ها در آینده ضروری است و تنها از این راه، واکنش طبیعی آن‌ها نسبت به تغییرات طبیعی، یا انسانی، میزان جابه‌جایی، تغییرات ابعاد و الگوی آن‌ها تشخیص داده می‌شود.

جابجایی کانال‌های رودخانه در تراس‌های دشت سیلابی و فرسایش گاه به گاه سواحل تراس یک فرآیند طبیعی است (کومو و همکاران، ۲۰۰۸). فرسایش کرانه رودخانه و تغییرات الگوی کانال دو فرآیند هیدروژئومورفولوژیک مهم هستند که نقش مهمی در تحول لندفرم‌های رودخانه ای ایفا می‌کنند (کو و بریرلی، ۲۰۱۴). ورود حجم زیادی از رسوب تولید شده توسط فرآیندهای دامنه‌ای، حفر کرانه و جابجایی کانال به عنوان یک تهدید بالقوه برای حیات جانوری و گیاهی در نظر گرفته می‌شود (فوکس و همکاران، ۲۰۱۶). مهاجرت کانال با توجه به ارتباط آن با برخی رویدادهای هیدروژئولوژیکی، یک فرآیند غیرمستمر است (نانسون و هیکن، ۱۹۸۳). سرعت مهاجرت جانبی کانال به مقاومت در برابر فرسایش کرانه مقعر (نانسون و هیکن، ۱۹۸۶)، مدت و بزرگی جریان‌ها (اودگارد، ۱۹۸۷)، شعاع انحنا کانال (نانسون و هیکن، ۱۹۸۳، اودگارد، ۱۹۸۷) و ظرفیت جریان برای انتقال رسوبات (نانسون و هیکن، ۱۹۸۶؛ پوهانگ و همکاران، ۲۰۰۹) بستگی دارد. به واسطه افزایش شهرنشینی و فعالیت‌های کشاورزی وقوع فرسایش کناره‌ای و تولید رسوب از کرانه کانال به سیستم رودخانه‌ای افزایش یافته است (کونارد و همکاران، ۲۰۱۱). بنابراین، درک روابط بین تولید رسوب و فرآیندهای موثر در حاشیه و داخل رودخانه از طریق بررسی‌های کمی می‌تواند زمینه مدیریت رودخانه را فراهم سازد.

مطالعه تغییرات مورفولوژیکی کانال‌های رودخانه‌ای به منظور راهکارهای کنترلی مناسب برای حل مشکلات دینامیکی این نواحی، اهمیت دارد. تغییر در پارامترهای هندسی و مورفومتری کانال می‌تواند ناشی از تغییرات توسط بشر، تغییر در رژیم هیدرولوژی رودخانه، تغییرات اکولوژیکی (اوککه و همکاران، ۲۰۲۲) و یا ناشی از ژئومورفولوژی منطقه باشد (لیلی و همکاران، ۲۰۲۲). فرسایش کرانه رودخانه و تغییرات الگوی کانال دو فرآیند هیدروژئومورفولوژیک مهم هستند که نقش مهمی در تحول لندفرم‌های رودخانه‌ای ایفا می‌کنند. بیشتر رودخانه‌های جهان به دلیل فعالیت‌های طبیعی و انسانی در معرض تغییرات هستند. کاربری‌های اراضی در حاشیه رودخانه‌ها، به طور قابل توجهی بر فرسایش ساحل رودخانه تأثیر می‌گذارد. هرگونه تغییرات سریع در الگوهای کاربری اراضی، پاسخ رودها و کانال‌ها را نسبت به رژیم‌های نامتعادل هیدروژئومورفیک به دنبال دارد. فرآیندهای ژئومورفولوژیکی فعال در یک سیستم رودخانه‌ای عمدتاً کاهش و افزایش کرانه

است که در مقیاس بازه به عنوان حرکت جانبی کانال در سراسر دشت سیلابی دیده می‌شود. این حرکت جانبی شامل مهاجرت، انحراف، برش‌های پیچ و خم، موانع رسوبی نقطه‌ای و جابجایی کانال است (مگدنلو و همکاران، ۲۰۱۱). آگاهی و درک تغییرات مورفولوژی کانال و دینامیک طبیعی سیستم‌های رودخانه‌ای برای اهداف برنامه‌ریزی، حفاظت و بازسازی کانال‌های رودخانه‌ها بسیار مهم است (اسماعیلی و دلیری، ۱۳۹۸). با آگاهی از میزان تغییرات در پارامترهای هندسی رودخانه و ویژگی‌های جریان در یک منطقه می‌توان آینده تحول و تغییرات رودخانه‌ها را پیش‌بینی نمود. بررسی تغییرات ژئومورفیک رودخانه‌ها یکی از مباحثی است که مورد توجه ژئومورفولوژیست‌ها بوده است.

اصغری سراسکانرود (۱۳۹۵) به بررسی پتانسیل تغییرات مورفولوژیک رودخانه شهر چای ارومیه پرداخته و به این نتیجه رسید که تغییرات الگوی رودخانه در طول بازه زمانی مورد مطالعه بسیار کم بوده و تحلیل پایداری رودخانه نیز نشان داد که میزان تنش برشی کل بیشتر از تنش برشی بحرانی می‌باشد و پتانسیل رودخانه برای ایجاد تغییرات مورفولوژیک بالا می‌باشد.

مقصودی و همکاران (۱۳۹۶) تغییرات الگوی پیچان رودی رودخانه مارون مطالعه کرده و به این نتیجه رسیدند که تغییر جهت و الگوی رودخانه در بازه‌های مدنظر تابع مسائل زمین‌شناسی و توپوگرافی، اقلیم، تکتونیک و هیدرولوژی منطقه زاگرس بوده است. رضایی مقدم و همکاران (۱۳۹۶) پلان قوسی و تنوع در شاخص سینوسی رودخانه کلیبر چای را بررسی کرده‌اند. نتایج نشان داد که کانال در پلان قوسی دارای الگوهای کانال راست، مئاندری، موجی و گیسویی (قیطانی) است. پلان قوسی رودخانه در رابطه با فرآیندهای فعال مختلف در کانال رودخانه و ارتباط متقابل بین پارامترهای هیدرولوژیکی و مواد رسوبی رودخانه است.

رضایی مقدم و همکاران (۱۳۹۶) تحولات مورفولوژیکی الگوی رودخانه آزادرود را با استفاده از شاخص‌های هندسی مطالعه کرده‌اند. نتایج نشان داد که شرایط تقریباً پایداری در بیشتر بازه‌های رودخانه آزادرود حاکم است و بجز در برخی بازه‌ها که فرسایش جزئی دارند، ناپایداری‌های حادی در سایر بخش‌ها دیده نمی‌شود.

گورابی و همکاران (۱۳۹۷) در ارزیابی تاثیر تغییرات هیدروژئومورفولوژی و کاربری زمین در پایداری آبراهه زنجان رود به این نتیجه رسیدند که مورفولوژی رودخانه روند نسبتاً پایداری داشته است. مهمترین عوامل دخیل در این روند توسعه کشاورزی، گسترش اقدامات مدیریتی جهت تثبیت آبراهه با مقاصد کشاورزی و زیرساختی و احداث سد بوده است. خوش رفتار و همکاران (۱۳۹۸) ویژگی‌های الگوی پیچانرودهای قزل اوزن در محدوده شهرستان ماهنشان-زنجان را مورد مطالعه قرار داده‌اند. این مطالعه نشان داد که رودخانه به طور میانگین در هر چهار دوره از انحنای قوس‌های خود کاسته است. همچنین تعداد قوس‌ها در سال ۱۳۷۳ نسبت به سال ۱۳۹۴ افزایش چشمگیری داشته است.

عرفانی پورقاسمی و همکاران (۱۴۰۰) عوامل مؤثر بر تغییرات مورفولوژیک بخشی از آبراه حوضه کشف رود را با استفاده از مدل هیدرولیکی HEC-RAS مورد مطالعه قرار داده‌اند. نتایج تحلیل‌های مورفولوژی رودخانه نشان داد که خصوصیات هیدرولیکی جریان مانند سرعت جریان، عدد فرود و غیره هرچند از بازه‌ای به باز دیگر تغییر کرده ولی در تحقیق حاضر تأثیر چندانی در فرسایش نداشته‌اند. در تحقیق حاضر شوری خاک، تراکم پوشش گیاهی و وضعیت مئاندری بازه‌ها بیشترین تاثیر را در فرسایش کناره‌ای داشته‌اند.

اسفندیاری درآباد و همکاران (۱۴۰۱) تغییرات مورفولوژیکی و خطر سیلاب رودخانه گیویچای را با استفاده از شاخص‌های ژئومورفومتری و مدل هک رس مورد ارزیابی قرار داده‌اند. این مطالعه نشان داد که الگوی رودخانه گیوی چای از نوع مئاندری توسعه یافته می‌باشد اما بسته به شرایط زمین‌شناختی، ژئومورفولوژیکی و آنتروپوژنیک از تغییرپذیری مکانی زیادی برخوردار است.

حسین زاده و همکاران (۱۴۰۱) تغییرات زمانی و پایداری پلانفرم آبراهه رود نکا در مازندران مورد بررسی قرار داده‌اند. در این مطالعه برای بررسی تغییرات از سه شاخص مورفومتری، مورفولوژی و مورفودینامیک با استفاده از روش ترانسکت

استفاده کرده اند. نتایج گویای تغییرات محدود در این رودخانه بوده است. مرادی نژاد و همکاران (۱۴۰۱) روند تغییرات هندسی رودخانه قره چای را در سال های ۱۳۴۷ تا ۱۴۰۰ مطالعه نموده و به این نتیجه رسیدند که الگوی کلی رودخانه در این بازه زمانی تغییرات عمده‌ای در پروفیل طولی و مقدار پارامترهای مورفولوژی رودخانه ایجاد نشده است و رودخانه پایدار بوده است.

حسین زاده و گلستانی (۱۴۰۲) تغییرات الگوی شریانی رودخانه جاجرود بر اساس شاخص های شریانی بریس، ریچاردز و واربودن (حداصل سد لتیان تا سد ماملو) را مطالعه کرده اند. بر اساس مقادیر میانگین شاخص شریانی رودخانه جاجرود، از سال ۱۳۳۴ تا ۱۳۷۲ مقادیر شاخص شریانی کاهش و بعد از آن تا سال ۱۳۹۷ افزایشی بوده است. بررسی تاثیر سد جاجرود بر الگوی شریانی نشان داد که مقادیر شاخص شریانی بریس و ریچاردز قبل از احداث سد با مقادیر آنها بعد از احداث سد اختلاف معناداری وجود دارد.

چانگ در سال ۲۰۰۸ به بررسی شکل کانال و مورفولوژی رودخانه از دیدگاه ژئومورفیک پرداخته شد و با کمی سازی رودخانه و مدل جریان و رسوب به یک برآورد از شکل و مورفولوژی رودخانه از گذشته، حال و آینده دست یافت. در این کار از بررسی میزان دبی بار رسوب، شیب بستر و تحلیل ژئومورفیک پاسخ رودخانه استفاده شده است. کلین و همکاران (۲۰۱۰) تاثیر حفاظت کریدورهای رودخانه در ورمونت را مطالعه کرده اند. این مطالعه نشان داد که برای احیا زیستگاه‌های آبی، کیفیت آب و خدمات اکوسیستم ساحلی نیازمند حفاظت کریدورهای رودخانه‌ای مبتنی بر ویژگی های ژئومورفیک رودخانه، ویژگی ها و عملکردهای تالاب و دشت سیلابی و فعالیت‌های مدیریتی کانال است.

مگدنلو و همکاران (۲۰۱۱) تاثیر دینامیک پیچانرودی را در یک کریدور رودخانه در حال تغییر بررسی کرده اند. این مطالعه نشان داد که کریدور رودخانه دارای پویایی پیچ و خم کانال رودخانه در حال تغییر و تحول و تجزیه و تحلیل است. کونارد و همکاران در سال ۲۰۱۱ به بررسی دینامیک کانال در رودخانه میدل گرین، واشنگتن از سال ۱۹۳۶ تا ۲۰۰۲ پرداختند و به این نتیجه رسیدند که فعالیت های انسانی بر پویایی و مهاجرت کانال تاثیر می گذارند. نتایج نشان داد که دبی های زیاد برای ایجاد زیستگاه های کانال و دشت سیلابی جدید در رودخانه گرین میانی ضروری است، اما پوشش زمین/استفاده از زمین و پوشش گیاهی در کریدور رودخانه نیز عوامل موثری برای حفظ پویایی کانال هستند.

یونوس و همکاران در سال ۲۰۱۹ ویژگی های جابجایی کانال رودخانه یامونا را از سال ۱۹۵۴ تا ۲۰۱۵ در مجاورت آگرا مورد بررسی قرار داده اند. با کاهش میزان دبی رودخانه در چند دهه اخیر ظرفیت فرسایشی رودخانه و رفتار جابجایی متعاقب آن کاهش یافته است. شاخص‌های سینوسیته نشان می‌دهند که طول رودخانه بعد از سال ۱۹۵۴ هم افزایش و هم کاهش یافته است.

ویتکوفسکی در سال ۲۰۲۰ تاثیر انسان بر تغییر الگوهای کانال را بررسی و به این نتیجه رسید که چگونه عوامل مختلف می‌توانند تغییرات در الگوی کانال را تعیین کنند، و اینکه تخریب حفاظ‌های کرانه، بازسازی طبیعی و تشکیل الگوی شریانی یا انشعابی را ممکن می‌سازد.

وودرینگ و همکاران (۲۰۲۱) نقش تکتونیک و فرآیندهای رودخانه ایی را در تغییرات الگوی پیچانرودی در رودخانه میوز یکی از شاخه های راین مورد مطالعه قرار داده اند. نتایج نشان داد که الگوهای سینوسی رودخانه راین عمدتاً ناشی از تفاوت‌های سنگ‌شناسی و کاهش نرخ حفر بستر مربوط می‌شوند. بنابراین، سینوسیته می‌تواند نشانگر حرکات تکتونیکی باشد، اما شیب، سنگ‌شناسی زیرسطحی و ترکیب رسوبی کرانه رودخانه نیز بر روی سینوسی شدن رودخانه تاثیرگذار است. اوککه و همکاران (۲۰۲۲) تاثیر پوشش گیاهی و ساختمان سنگ شناسی را بر فرسایش کرانه ایی با استفاده از مدل BSTEM و داده‌های لندست سنجش از دور در بازه زمانی ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۹ در نیجریه مورد ارزیابی قرار داده اند. نتایج نشان داد که نرخ بالای فرسایش کرانه ناشی از تغییرات سریع در کاربری زمین بوده که از علفزار و جنگل به زمین های

زراعی، ساخته شده و زمین برهنه تبدیل شده است همچنین پوشش گیاهی کرانه تأثیر مکانیکی بر پایداری کرانه رودخانه دارد.

لیلپی و همکاران (۲۰۲۲) در یک مطالعه مروری تأثیر پوشش گیاهی بر رودخانه های پیچانرودی را مطالعه کرده اند. نتایج نشان داد که رشد و گسترش گیاهان حاشیه رودخانه، تنظیمات گسترده ای را برای سیستم های پیچانرودی پایدار از طریق حفظ رسوبات ریزدانه دشت سیلابی، برداشت رسوب و تقویت مکانیکی سواحل کانال فراهم می کند. اگرچه حذف پوشش گیاهی کرانه و حوضه آبخیز توسط انسان به دلیل افزایش شهرنشینی، جنگل زدایی، خشکسالی و آلودگی می تواند عملکرد جریان ها را به قبل از پوشش گیاهی بازگرداند.

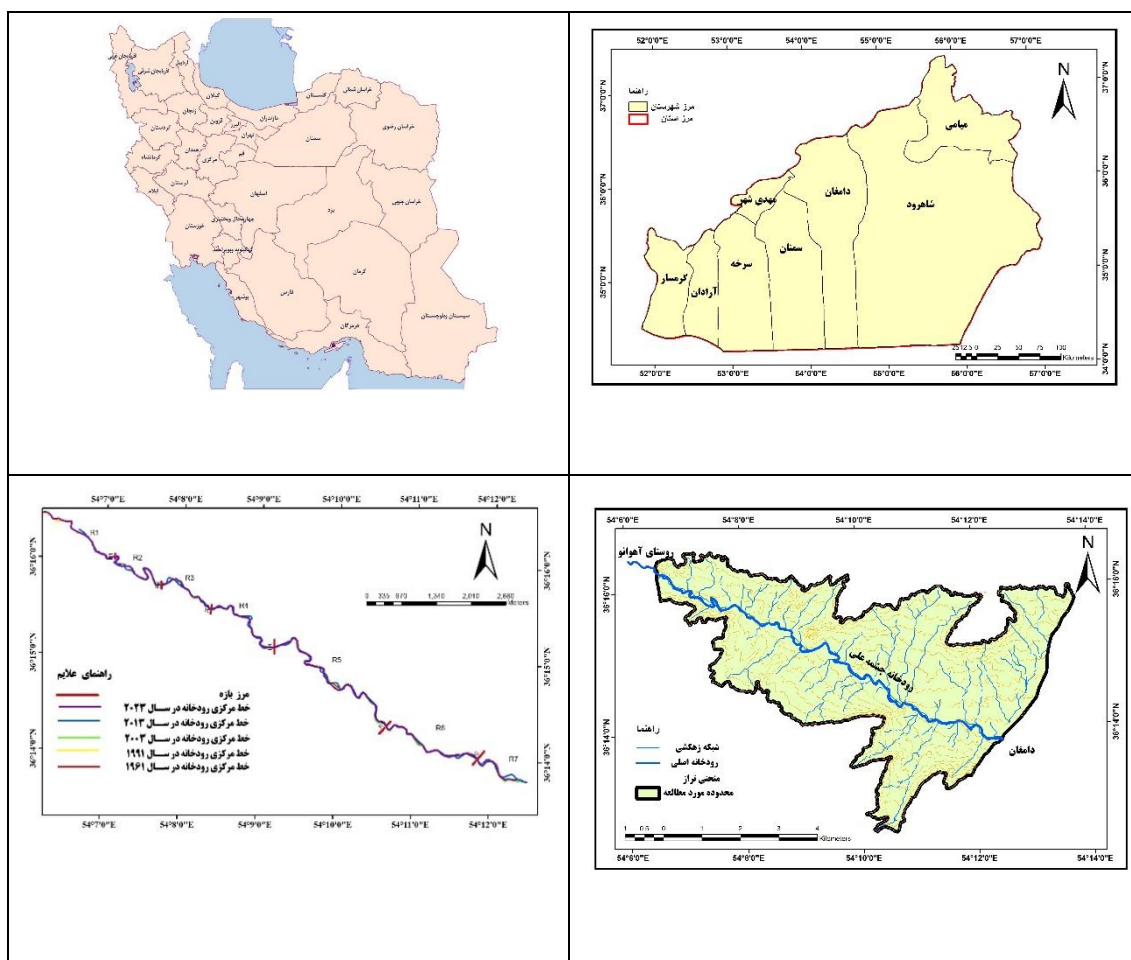
بررسی مطالعات قبلی نشان می دهد که جنبه های مختلف مرتبط با رودخانه های موجود در ایران از جمله ارزیابی ژئومورفیک و بررسی تغییرات رودخانه، بررسی پتانسیل تغییرات مورفولوژیک و الگوی رودخانه، پهنه بندی و بررسی اثرات مورفولوژیکی سیلاب های رودخانه و تعیین حریم رودخانه، بررسی الگوهای رودخانه ای متاندری، شریانی و آنابرنچینگ با استفاده از شاخص های شریانی و خمیدگی، طبقه بندی ژئومورفولوژیک رودخانه ها در حوضه های کوهستانی، ارزیابی تأثیر تغییرات هیدروژئومورفولوژی و کاربری زمین در پایداری آبراهه، ارزیابی آسیب پذیری سیستم های رودخانه ای و شبیه سازی سیلاب های رودخانه با استفاده از مدل هیدرولیکی مورد بررسی قرار گرفته است.

بررسی مقالات خارجی نشان داد که حوضه های مورد توجه پژوهشگران شامل بررسی رابطه قدرت جریان با مورفولوژی و جابجایی کانال، احیا زیستگاه های آبی، کیفیت آب، خدمات اکو سیستم ساحلی و حفاظت کریدورهای رودخانه ای، تأثیر فعالیت های انسانی بر پویایی پیچ و خم کانال رودخانه، استفاده از مدل های هیدرولیکی برای ارزیابی سریع فرسایش کرانه رود، تأثیر پوشش گیاهی ریبارین بر فرسایش رودخانه ای و نقش تکتونیک و فرآیندهای رودخانه ایی در تغییرات الگوی پیچانرودی بوده است. همانطور که از مقایسه مطالعات در ایران با سایر کشورها استنباط می شود تنوع موضوعات به ویژه نقش انسان بر مورفولوژی رودخانه خیلی پررنگ تر است.

از این رو هدف این تحقیق بررسی تغییرات مورفولوژیک و پویایی کانال در طول ۶۰ سال اخیر و ارتباط ویژگی های زمین شناسی منطقه با تغییرات پلانفرم رودخانه چشمه علی دامغان بوده است. در ارتباط با رودخانه چشمه علی دامغان مطالعه ایی در خصوص مورفولوژی و تغییرات ژئومورفیک رودخانه ایی انجام نشده است.

موقعیت حوضه آبخیز آستانه دامغان رود

حوضه آبخیز آستانه در بخش شمالی استان سمنان و شمال غرب شهرستان دامغان بین عرض های $12,76''$ $11' 36''$ تا $26,19''$ $19' 36''$ شرقی و طول های $44,45''$ $2' 54''$ تا $40,57''$ $16' 54''$ شمالی قرار دارد (شکل ۱). حوضه مذکور از نقطه نظر آبخیزداری در قسمت جنوبی حوضه آبخیز دامغانرود و به مساحتی برابر 16130 هکتار مکان یابی گردیده است. محدوده مورد مطالعه در این پژوهش رودخانه چشمه علی است که از الحاق جریان رودخانه های آستانه و دامغانرود و جریان خروجی از مظهر چشمه علی در محل روستای آهوانو شکل می گیرد. این رودخانه دارای جریان دائمی است و تا رسیدن به سد مخزنی دامغان در انتهای بازه مطالعاتی، دارای جهت عمومی جریان از شمال شرق به جنوب غرب می باشد (طرح تفصیلی - اجرایی حوضه آبخیز آستانه، ۱۳۹۷).



شکل ۱: نقشه منطقه مورد مطالعه در حوضه چشمه علی در استان سمنان

مرتفع ترین نقطه آن مربوط به انبان کوه به ارتفاع بیش از ۱۸۰۰ متر از سطح دریا در ارتفاعات قسمت شرقی حوضه حوضه قرار دارد و پایین ترین نقطه به ارتفاع حدود ۱۱۸۵ متر در خروجی حوضه و در محل ذخیره گاه سد دامغان واقع است. قسمت انتهایی شمالی این حوضه چشمه علی و قسمت انتهایی جنوبی آن دریاچه سد دامغان است. شیب دامنه‌ها و یال‌ها در نیمه شمالی این حوضه به صورت تند بوده و اما در نیمه جنوبی حوضه از شیب کم تا نسبتاً مسطح برخوردار است. شبکه آبراهه‌ها عمدتاً به شکل دندریتی و موازی و از تراکم نسبی زیادی برخوردار است و نیز دره‌ها بویژه در مناطق شمالی دارای بسترهای پر شیب بوده و عمدتاً منشأ فرسایشی دارند. فاصله شهر دامغان تا خروجی آن بطور تقریبی برابر ۱۱ کیلومتر و در سمت چپ جادهٔ مواصلاتی سمنان- دامغان واقع شده است. راه دسترسی به حوضه جاده آسفالتی دامغان به چشمه علی آستانه می باشد که پس از عبور از سیاه کوه دامغان و گردنه مربوط به این کوه وارد حوضه شده و پس از عبور از چشمه علی به سوی شمال از این حوضه خارج میشود. روستاهای واقع در این حوضه شامل آهوانو، باباحافظا، آستانه و چشمه علی است که به ترتیب از جنوب به سوی شمال در منطقه وجود دارند.

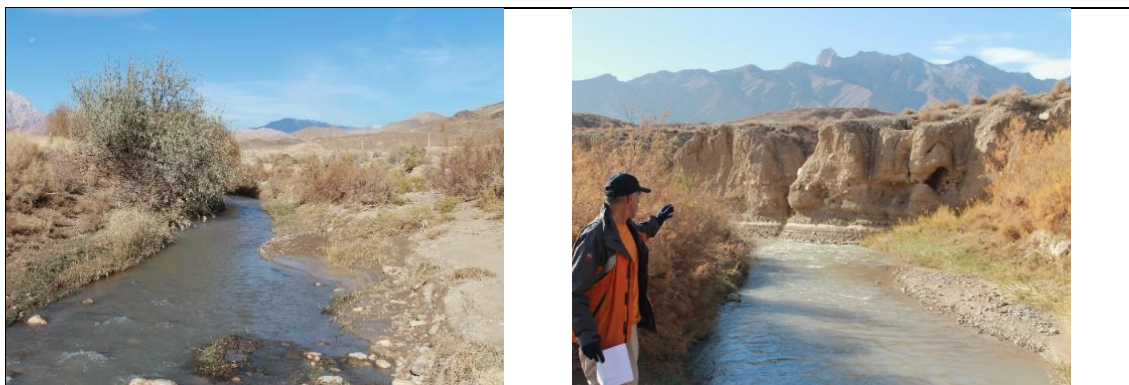
متوسط بارندگی سالانه منطقه از حدود ۱۰۰ میلی‌متر در جنوب حوضه آبخیز تا ۲۰۰ میلی‌متر در ارتفاعات غربی آن متغیر باشد. بیشترین سهم بارش مربوط به فصل بهار با ۳۵,۷۴ درصد و پس از آن زمستان با ۳۱,۷۷ درصد است. این در حالی است که کمترین بارش به فصل تابستان با ۱۳,۱۳ درصد اختصاص یافته است. میانگین درجه حرارت سالانه منطقه ۱۰,۳ درجه سانتی‌گراد است. اقلیم منطقه از نیمه خشک سرد در غرب تا فراخشک سرد در شرق حوضه آبخیز مورد مطالعه تغییر می‌کند.

از دیدگاه زمین‌شناسی ایران، این منطقه بخش کوچکی از دامنه جنوبی واحد رسوبی- ساختاری البرز است. روند کلی حوضه آبریز مزبور شمال شرقی - جنوب غربی بوده و روستای آهوانو در نزدیکی خروجی حوضه قرار دارد. ساختارهای زمین‌شناسی موجود در محدوده مورد مطالعه (اعم از چین و گسل)، همانند اکثر بخش‌های البرز شرقی، از روند شمال شرقی- جنوب غربی پیروی می‌کنند. واحدهای سنگی- رسوبی این منطقه که در معرض چین‌خوردگی و گسلش قرار گرفته‌اند، عمدتاً متعلق به دوران مزوزوئیک و سنوزوئیک می‌باشد (آقابی، ۱۳۸۳).

از دیدگاه سنگ‌شناسی، واحدهای سنگی برونزد یافته در ناحیه عمدتاً از نوع سنگ‌های آذرین و رسوبی می‌باشد. پالئوزوئیک در منطقه شامل واحدهای سنگی کربناته و ماسه سنگی دونین (سازندهای پادها، سببزار، بهرام) می‌شود. نهشته‌های دوران مزوزوئیک در منطقه، در بردارنده رسوبات دولومیتی تریاس پیشین و میانی (سازند الیکا)، نهشته‌های رودخانه‌ای - دلتایی رتین ژوراسیک زیرین (سازند شمشک)، رسوبات دریایی کم عمق ژوراسیک میانی - بالایی (سازندهای دلچای و لار) می‌باشد. سنوزوئیک تناوبی از نهشته‌های دریایی کم عمق و رسوبات آواری خشکی، همراه با سنگ‌های ولکانوئیک (سازندهای فجن، زیارت، کرج و نهشته‌های آواری و پلایایی نئوژن) را در بردارد (طرح تفصیلی- اجرایی حوزه آبخیز آستانه، ۱۳۹۷).

روش تحقیق

در ابتدا ویژگی‌های مورفولوژیک و هیدرولوژیک، وضعیت پوشش گیاهی ریپارین و اشکال ژئومورفیک رودخانه ای به تفکیک در بازه‌های مورد مطالعه براساس روش RHA و بر پایه برداشت میدانی (۱۴۰۲/۹/۹) استخراج گردید (شکل ۲).





شکل ۲: تصاویر برداشت میدانی از بازه‌های مختلف رودخانه چشمه علی در استان سمنان

محدوده انتخابی از رودخانه چشمه علی دامغان به طول ۱۰ کیلومتر از چشمه علی تا سد شهید شاهچراغی به ۷ بازه مجزا تفکیک گردید. با هدف بررسی تغییرات الگو و پلان هوایی رودخانه، منابع تصویری متوالی از سنوات گذشته تا به امروز (تصاویر ماهواره ای سال های ۲۰۰۳، ۲۰۱۳ و ۲۰۲۳ از نرم افزار گوگل ارث و عکس های هوایی سال های ۱۹۶۱ و ۱۹۹۱ از سازمان نقشه برداری کشور)، مورد مقایسه قرار گرفت. در ادامه کرانه های رودخانه در تمامی تصاویر ماهواره ای و عکس های هوایی سال های مورد نظر ترسیم شد. لایه های بدست آمده به نرم افزار ARC GIS وارد و عمل ژئورفرنس روی آن انجام شد. در نهایت مسیر رودخانه در ۷ بازه مجزا در ۵ بازه زمانی ذکر شده به صورت ۵ لایه مجزا تهیه و مورد بررسی قرار گرفت. به منظور تحلیل مورفولوژیکی رودخانه، تغییرات پلاتفرم کانال و تغییرات آن براساس مساحت کانال و ترسیم کرانه های راست و چپ رودخانه در سال های مختلف، همچنین پویایی کانال در بازه های مختلف زمانی برای هر یک از بازه های رودخانه محاسبه گردید. اطلاعات و داده ها به نرم افزار EXCEL منتقل و جداول و نمودارها ترسیم شدند.

به منظور بررسی پویایی کانال (مهاجرت جانبی کانال) خط مرکزی کانال در بازه های مختلف و برای سالهای مختلف، ابتدا خط وسط رودخانه برای هر یک از سال های مورد مطالعه ترسیم گردید (مگدئلو و همکاران، ۲۰۱۱) و سپس با روی هم گذاری آنها مساحت جابجا شده کانال با استفاده از رابطه ۱ محاسبه شد. رابطه ۱) $CA = (SA) / (LT1) / (T2 - T1)$
 CA : میزان فعالیت کانال، SA : مساحت جابجا شده در طی دو زمان، $LT1$: طول کانال در زمان اول، $T1$: زمان اول (سال اول)، $T2$: زمان (سال دوم).

جهت تعیین نوع الگو کانال از روش بریرلی و فریس ۲۰۰۵ استفاده شد در این روش کانال‌های با نسبت سینوسیته کمتر از ۱/۰۵ به عنوان الگوی مستقیم، نسبت بین ۱/۳ - ۱/۰۶ به عنوان الگوی سینوسی و بزرگتر از ۱/۳ نیز به عنوان رودخانه های پیچانرودی نامیده می شوند (حسین زاده و اسماعیلی، ۱۳۹۷). در انتها ارتباط بین زمین شناسی حاشیه رودخانه با تغییرات رودخانه و ناپایداری کانال و تغییرات الگو در بازه‌های ۷ گانه در سال‌های مورد مطالعه مورد مقایسه و نقش آن‌ها در تغییرات کانال مورد تحلیل قرار گرفت.

بحث و یافته‌ها

در ابتدا این پژوهش ویژگی های مورفولوژیک و هیدرولوژیک، وضعیت پوشش گیاهی ریبارین و اشکال ژئومورفیک رودخانه ای به تفکیک در بازه های مورد مطالعه براساس روش RHA و بر پایه برداشت میدانی استخراج گردید (جدول ۱). بر اساس یافته های فوق الگوی رودخانه چشمه علی در بازه های ۲ و ۵ پیچانرودی و در بازه های دیگر سینوسی بوده است. عمق آب در بازه های مختلف یکسان نبوده و مهمترین دلیل این تفاوت ناشی از تفاوت عرض کانال بوده است. در بازه

هایی که محدودیت کانال وجود نداشته، شرایط برای تعریض کانال فراهم بوده و عمق کاهش پیدا کرده است. در بازه‌هایی که ضریب پیچانرودی افزایش داشته نیز عرض کانال کاهش یافته است.

جدول ۱: مورفومتری کانال در مقاطع بازه‌های مورد مطالعه

بازه	مقطع	مقطع عرض دره	الگو	ضریب پیچانرودی	عرض دبی لبالی (متر)	عمق آب (سانتی متر)	شیب بستر	
							%	درجه
بازه ۱	مقطع ۱	دره نامتقارن	سینوسی	۱/۱	۵,۸۰	۳۰	۰/۴	۰/۲۲
	مقطع ۲	عمیق					۰/۴	۰/۲۲
بازه ۲	مقطع ۳	مقعر	پیچانرودی	۱/۶	۳,۵۰	۲۷	۰/۸	۰/۴۵
	مقطع ۴	مقعر					۰/۸	۰/۴۵
بازه ۳	مقطع ۵	دره U شکل	سینوسی	۱/۱	۲,۴۰	۳۸	۰/۷	۰/۴۰
	مقطع ۶	دره نامتقارن					۰/۷	۰/۴۰
بازه ۴	مقطع ۷	مقعر	سینوسی	۱/۳	۵,۵۰	۲۳	۱	۰/۵۷
	مقطع ۸	دره نامتقارن					۱	۰/۵۷
	مقطع ۹	مقعر					۱	۰/۵۷
بازه ۵	مقطع ۱۰	مقعر	پیچانرودی	۱/۴	۴,۹۰	۲۰	۰/۹	۰/۵۱
	مقطع ۱۱	دره U شکل					۰/۹	۰/۵۱
	مقطع ۱۲	مقعر					۰/۹	۰/۵۱
بازه ۶	مقطع ۱۳	مقعر	سینوسی	۱/۱	۶,۷۰	۲۷	۰/۹	۰/۵۱
	مقطع ۱۴	دره نامتقارن					۰/۹	۰/۵۱
بازه ۷	مقطع ۱۵	دره نامتقارن	سینوسی	۱/۲	۴,۵۰	۳۰	۱/۱	۰/۶۳
	مقطع ۱۶	مقعر					۱/۱	۰/۶۳

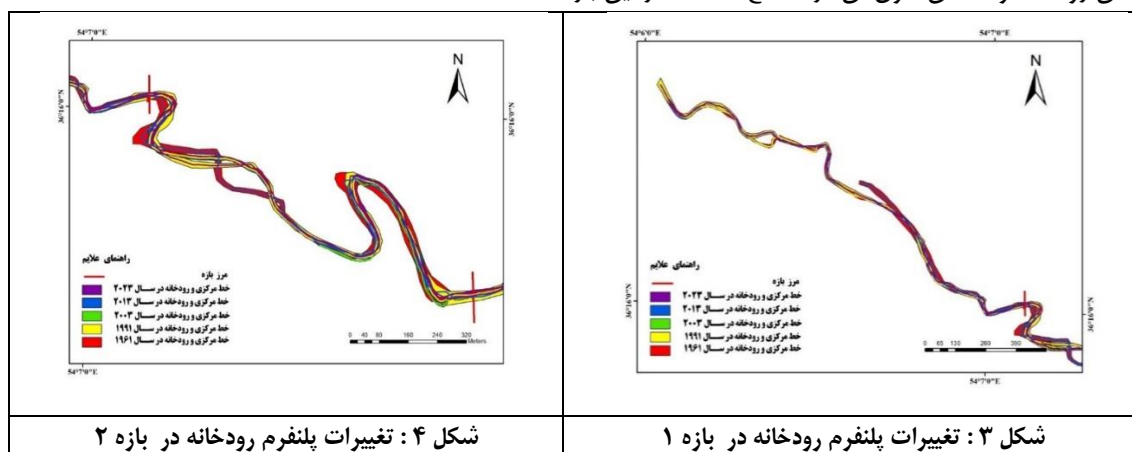
تغییرات رودخانه بر اساس داده‌های مساحت بازه‌های مختلف بدست آمده از تصاویر مربوط به سال‌های مختلف مورد بررسی قرار گرفت (جدول ۲).

جدول ۲: تغییرات پلان بر اساس مساحت کانال در سال‌های مورد مطالعه

بازه	۱۹۶۱	۱۹۹۱	۲۰۰۳	۲۰۱۳	۲۰۲۳
بازه ۱	۲۱۷۰۹/۴۷	۳۱۶۴۹/۷۳	-	۱۷۵۰۴/۴۸	۱۶۰۰۴/۳۰
بازه ۲	۳۶۸۰۵/۲۵	۲۹۴۷۸/۲۵	۴۲۷۲/۹۷	۱۵۲۳۵/۳۱	۱۵۱۲۹/۳۵
بازه ۳	۱۹۸۲۳/۹۸	۲۷۶۲۱/۴۵	۵۰۱۲/۱۹	۹۰۴۰/۵۸	۱۳۳۰۷/۰۷
بازه ۴	۲۹۵۷۱/۳۲	۲۶۰۸۰/۳۷	۹۳۲۲/۸۷	۱۸۴۴۴/۶۱	۱۸۳۴۵/۶۰
بازه ۵	۸۸۵۰۲/۷۱	۷۱۰۴۸/۱۹	۲۱۴۰۴/۵۶	۴۴۷۶۰/۵۵	۴۵۵۸۸/۶۳
بازه ۶	۵۳۰۶۴/۳۷	۵۲۶۲۴/۳۸	۱۲۷۰۲/۹۹	۲۷۹۸۹/۳۶	۲۵۵۶۲/۱۳
بازه ۷	۳۷۲۸۲/۷۲	۴۱۶۵۴/۲۱	۷۵۳۷/۷۵	۱۶۷۶۹/۶۶	۱۶۴۹۸/۴۵

داده‌های بدست آمده نشان داد که در بازه ۱ افزایش مساحت کانال در سال ۱۹۹۱ مشاهده شده است (شکل ۳). در این بازه عرض کانال افزایش پیدا کرده و همچنین طول کانال در مقاطع مختلف به دلیل افزایش ضریب خمیدگی افزایش داشته است. در سال ۲۰۰۳ به دلیل نبود تصویر سال ۲۰۰۳ مطالعه نشد و بررسی تغییرات از سال ۱۹۹۱ تا ۲۰۱۳ مقایسه شد. روی هم گذاری این دو تصویر در بازه ۱ نشان می‌دهد که در بازه زمانی ۲۲ سال، مساحت پلنفرم کانال (سطح اشغال روی زمین) به شدت کاهش یافته و از ۳۱۶۴۹/۷۳ کیلومتر مربع به ۱۷۵۰۴/۴۸ کیلومتر مربع کاهش یافته است. این کاهش به واسطه کاهش ضریب خمیدگی و حذف قوس‌ها همچنین به دلیل کاهش عرض کانال در این بازه است. مقایسه پهنه رودخانه در سال ۲۰۲۳ نسبت به ۲۰۱۳ نشان داد که مجدد کاهش مساحت پلنفرم کانال رخ داده است. این

کاهش نسبت به دوره های قبلی کمتر بوده و مهم ترین دلیل این کاهش به واسطه کاهش ضریب خمیدگی و مستقیم شدن رودخانه و کاهش طول آن در مقاطع مختلف در این بازه است.



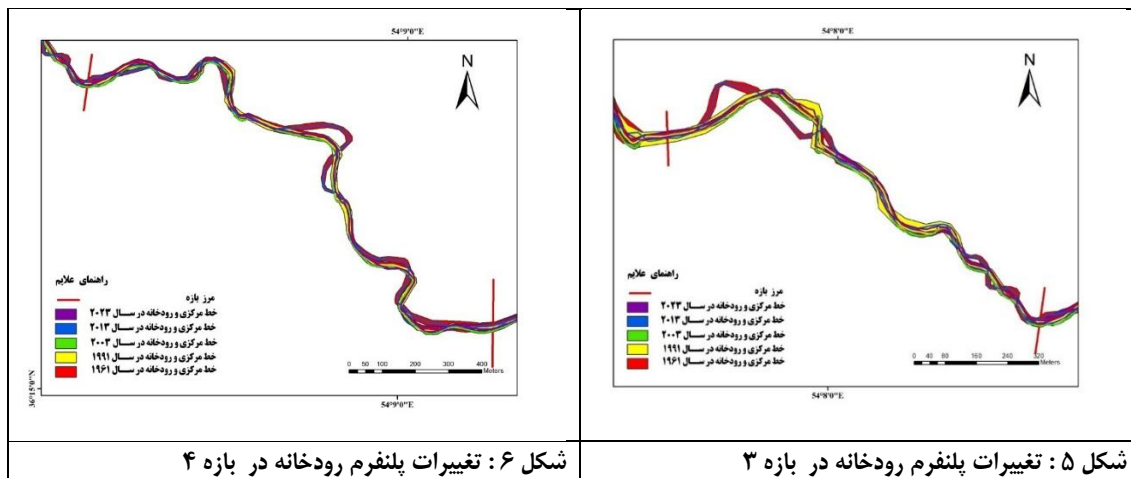
شکل ۴: تغییرات پلنفرم رودخانه در بازه ۲

شکل ۳: تغییرات پلنفرم رودخانه در بازه ۱

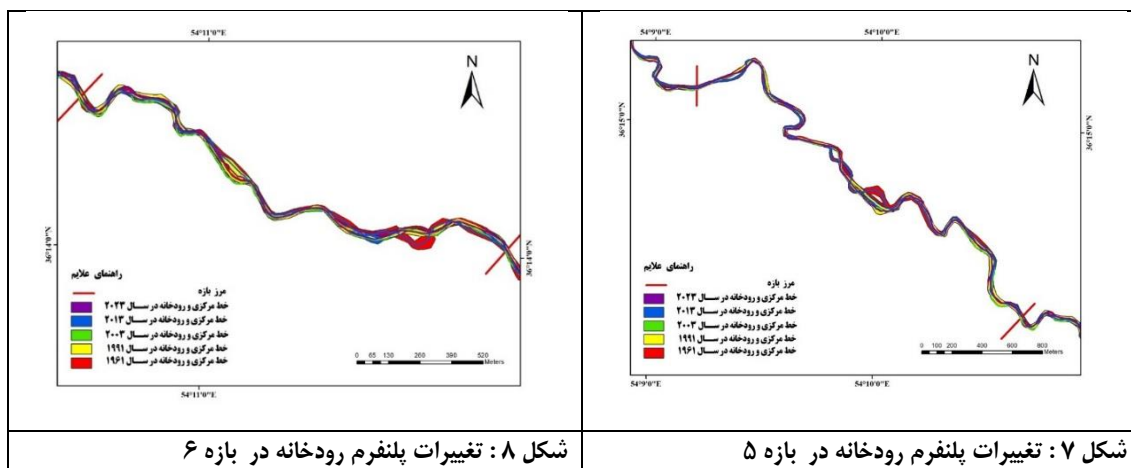
در بازه ۲ کاهش مساحت کانال در سال ۱۹۹۱ مشاهده شده است. در این بازه عرض کانال کاهش پیدا کرده و همچنین طول کانال در مقاطع مختلف به دلیل کاهش ضریب خمیدگی کاهش داشته است (شکل ۴). در سال ۲۰۰۳ مساحت پلنفرم کانال به شدت کاهش یافته و از $29478/25$ کیلومتر مربع به $4272/97$ کیلومتر مربع کاهش یافته است. این کاهش به واسطه کاهش ضریب خمیدگی و کاهش قوس ها و همچنین به دلیل کاهش عرض کانال در این بازه است. مقایسه پهنا رودخانه در سال ۲۰۱۳ نسبت به ۲۰۰۳ نشان داد که افزایش مساحت پلنفرم کانال و کاهش طول آن در مقاطع مختلف رخ داده است. در سال ۲۰۲۳ نسبت به ۲۰۱۳ نشان داد که کاهش جزئی مساحت پلنفرم کانال رخ داده است. این کاهش نسبت به دوره های قبلی کمتر بوده و مهمترین دلیل این کاهش ضریب خمیدگی و مستقیم شدن رودخانه در مقاطع مختلف در این بازه است.

در بازه ۳ افزایش مساحت کانال در سال ۱۹۹۱ مشاهده شده است. در این بازه عرض کانال افزایش پیدا کرده و همچنین طول کانال در مقطع مختلف به دلیل کاهش ضریب خمیدگی کاهش داشته است (شکل ۵). در سال ۲۰۰۳ مساحت پلنفرم کانال به شدت کاهش یافته و از $27621/45$ کیلومتر مربع به $5012/19$ کیلومتر مربع کاهش یافته است. این کاهش به واسطه کاهش ضریب خمیدگی و حذف قوس ها همچنین به دلیل کاهش عرض کانال در این بازه است. مقایسه پهنا رودخانه در سال ۲۰۰۳ نسبت به سال ۲۰۱۳ نشان داد که کاهش مساحت پلنفرم کانال و کاهش ضریب خمیدگی و حذف قوس ها شده است. در سال ۲۰۲۳ افزایش طول بازه و مستقیم شدن رودخانه و کاهش ضریب خمیدگی در مقاطع مختلف در این بازه است.

در بازه ۴ کاهش مساحت کانال در سال ۱۹۹۱ مشاهده شده است. در این بازه عرض کانال تغییری نکرده و همچنین طول کانال در مقطع مختلف به دلیل کاهش ضریب خمیدگی کاهش داشته است. در سال ۲۰۰۳ مساحت پلنفرم کانال (سطح اشغال روی زمین) به شدت کاهش یافته و از $26080/37$ کیلومتر مربع به $9322/87$ کیلومتر مربع کاهش یافته است و روی هم گذاری و بررسی تغییرات سال ۱۹۹۱ و ۲۰۰۳ تغییرات چشمگیری وجود نداشته است (شکل ۶). در سال ۲۰۱۳ نسبت به ۲۰۰۳ افزایش طول بازه در سال ۲۰۱۳ رخ داده است و مساحت پلنفرم کانال (سطح اشغال روی زمین) تغییرات چندانی نداشته است و عرض بازه افزایش داشته است. مقایسه پهنا رودخانه در سال ۲۰۲۳ نسبت به ۲۰۱۳ نشان داد که مجدد کاهش مساحت پلنفرم کانال رخ داده است و تغییرات چندانی دیده نشده است.

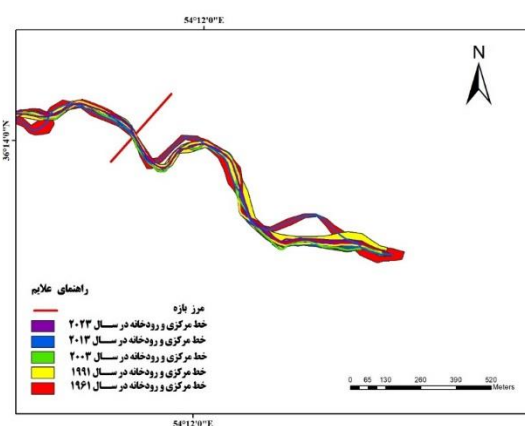


در بازه ۵ کاهش مساحت کانال در سال ۱۹۹۱ مشاهده شده است. در این بازه عرض کانال کاهش پیدا کرده و همچنین طول کانال در مقاطع مختلف به دلیل کاهش ضریب خمیدگی کاهش داشته است (شکل ۷). در سال ۲۰۰۳ روی هم گذاری این دو تصویر در بازه ۵ نشان می دهد که مساحت پلنفرم کانال به شدت کاهش یافته و از $71048/19$ کیلومتر مربع به $21404/56$ کاهش یافته است. این کاهش به واسطه کاهش عرض کانال در این بازه است. در سال ۲۰۱۳ مساحت پلنفرم کانال تغییراتی چندانی نداشته و در بعضی قسمت ها عرض کانال مقداری افزایش یافته است. در سال ۲۰۲۳ نسبت به ۲۰۱۳ نشان داد که مجدد کاهش مساحت پلنفرم کانال رخ داده است. این کاهش نسبت به دوره های قبلی کمتر بوده و مهمترین دلیل این کاهش به واسطه کاهش عرض کانال در مقاطع مختلف در این بازه بوده است.



در بازه ۶ کاهش مساحت کانال در سال ۱۹۹۱ مشاهده شده است. در این بازه عرض کانال کاهش پیدا کرده و همچنین طول کانال در مقاطع مختلف به دلیل کاهش ضریب خمیدگی کاهش داشته است (شکل ۸). در سال ۲۰۰۳ روی هم گذاری این دو تصویر در بازه ۶ نشان می دهد که مساحت پلنفرم کانال (سطح اشغال روی زمین) به شدت کاهش یافته و از $52624/38$ به $12702/99$ کاهش یافته است. این کاهش به واسطه کاهش عرض کانال در این بازه بوده است. در سال ۲۰۱۳ مساحت پلنفرم کانال تغییراتی چندانی نداشته و در بعضی قسمت ها عرض کانال مقداری افزایش یافته است. در سال ۲۰۲۳ نسبت به ۲۰۱۳ نشان داد که مساحت پلنفرم تغییر چندانی نداشته است.

در بازه ۷ افزایش مساحت کانال در سال ۱۹۹۱ مشاهده شده است. در این بازه عرض کانال افزایش پیدا کرده و همچنین طول کانال در مقاطع مختلف به دلیل افزایش ضریب خمیدگی افزایش داشته است (شکل ۹). در سال ۲۰۰۳ روی هم گذاری این دو تصویر در بازه ۷ نشان می‌دهد که مساحت پلنفرم کانال (سطح اشغال روی زمین) به شدت کاهش یافته و از $41654/21$ کیلومتر مربع به $7537/75$ کیلومتر مربع کاهش یافته است. این کاهش به واسطه کاهش عرض کانال در این بازه بوده است. در سال ۲۰۱۳ مساحت پلنفرم کانال افزایش داشته و کاهش ضریب خمیدگی بوده است. در سال ۲۰۲۳ نسبت به سال ۲۰۱۳ نشان داد که مجدد کاهش مساحت پلنفرم کانال رخ داده است. این کاهش نسبت به دوره های قبلی کمتر بوده و مهمترین دلیل این کاهش به واسطه کاهش ضریب خمیدگی و مستقیم شدن رودخانه و کاهش طول آن در مقاطع مختلف در این بازه است.

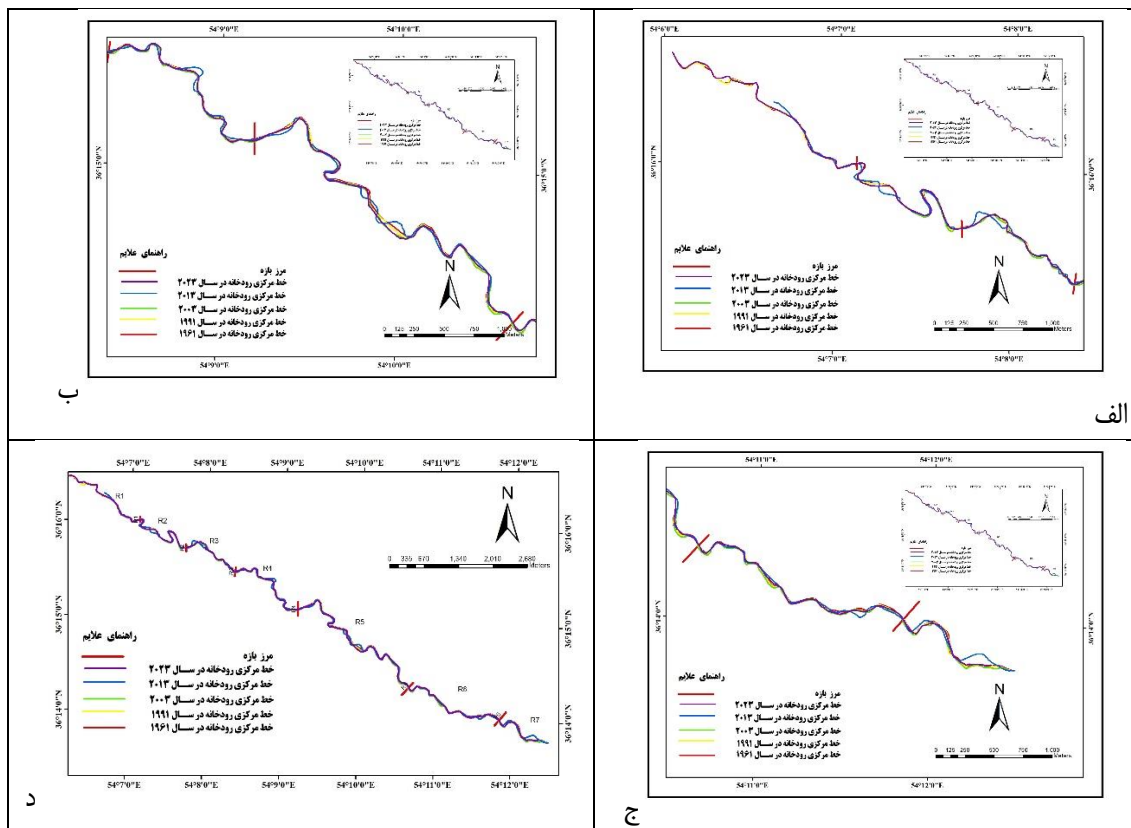


شکل ۹: تغییرات پلنفرم رودخانه در بازه ۷

پویایی کانال: مهاجرت جانبی کانال یا پویایی آن از طریق اندازه گیری حرکت جانبی محور مرکزی کانال تعیین می‌شود (مگدنلو و همکاران، ۲۰۱۱). به منظور بررسی پویایی کانال، خط مرکزی کانال در بازه های مختلف و برای سالهای مختلف روی هم گذاری شده و با توجه به رابطه ۱ مقادیر پویایی محاسبه گردید (شکل ۱۰). نتایج بدست آمده نشان داد که در ۵ بازه زمانی مورد مطالعه، بیشترین پویایی کانال در بازه زمانی ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۳ مشاهده شده است (جدول ۳).

جدول ۳: میزان پویایی کانال در بازه مختلف در سال های مورد مطالعه (مقادیر بر حسب متر در سال)

	بازه ۱	بازه ۲	بازه ۳	بازه ۴	بازه ۵	بازه ۶	بازه ۷
۱۹۹۱-۱۹۹۱	۰/۳۹	۰/۴۲	۰/۵۰	۰/۳۹	۰/۴۸	۰/۳۳	۰/۷۳
۱۹۹۱-۲۰۰۳	-	۰/۳۷	۰/۶۳	۰/۴۹	۰/۵۰	۰/۷۴	۰/۷۹
۲۰۰۳-۲۰۱۳	-	۲/۱۳	۱/۶۵	۱/۶۳	۲/۶۹	۱/۰۸	۰/۸۹
۲۰۱۳-۲۰۲۳	۰/۲۷	۰/۲۸	۰/۳۴	۰/۳۸	۰/۵۴	۰/۵۶	۰/۶۵
۱۹۹۱-۲۰۲۳	۰/۰۹	۰/۲۰	۰/۲۷	۰/۱۹	۰/۲۲	۰/۱۸	۰/۴۲



شکل ۱۰: میزان پویایی کانال در بازه زمانی ۱۹۶۱-۲۰۲۳ در بازه های مورد مطالعه: الف) بازه های ۱ تا ۳؛ ب) بازه های ۴ و ۵؛ ج) بازه های ۶ و ۷؛ د) بازه های ۱ تا ۷.

پویایی کانال در بازه های زمانی مختلف

تغییرات پویایی کانال در بازه زمانی ۲۰۱۳ تا ۲۰۲۳ در بازه های مورد مطالعه محاسبه و نتایج در جدول ۵-۵ ارائه شده است. داده های بدست آمده نشان می دهد که بازه ۷ بیشترین پویایی با مقدار پویایی $0/65$ و بعد از آن به ترتیب بازه های ۵ و ۶ به ترتیب مقادیر $0/56$ و $0/54$ در مرتبه ۲ و ۳ از نظر پویایی کانال قرار دارد و کمترین میزان تغییرات مربوط به بازه ۱ با مقدار پویایی $0/27$ است.

نتایج نرخ پویایی در رودخانه چشمه علی دامغان نشان داد که در بازه زمانی ۲۰۱۳ تا ۲۰۲۳ از بازه ۱ تا بازه ۷ افزایشی بوده است. یعنی هرچقدر از بالا دست به سمت پایین دست و به انتهای محدوده مورد مطالعه نزدیک تر می شویم میزان پویایی و جابجایی کانال بیشتر شده است (جدول ۴).

جدول ۴: میزان پویایی کانال در بازه زمانی ۲۰۱۳-۲۰۲۳ در بازه های مورد مطالعه

بازه	مساحت تقاطع خط مرکزی (۲۰۱۳_۲۰۲۳)	طول خط مرکزی در ابتدا دوره (T1)	طول بازه زمانی (t1) و (T2)	نرخ پویایی کانال (CA)
بازه ۱	۵۶۹۱/۳۰	۲۱۳۹/۸۴	۱۰	۰/۲۷
بازه ۲	۴۷۲۶/۶۹	۱۷۰۷/۲۴	۱۰	۰/۲۸
بازه ۳	۴۴۳۰/۶۵	۱۲۹۱/۸۰	۱۰	۰/۳۴
بازه ۴	۷۱۳۱/۹۵	۱۹۰۱/۱۴	۱۰	۰/۳۸
بازه ۵	۲۰۱۲۹/۵۶	۳۷۲۳/۹۸	۱۰	۰/۵۴
بازه ۶	۱۲۲۲۷/۸۰	۲۲۰۱/۷۵	۱۰	۰/۵۶
بازه ۷	۸۱۹۲/۴۲	۱۲۵۱/۶۴	۱۰	۰/۶۵

نتایج تغییرات پویایی کانال در بازه زمانی ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۳ در بازه های مورد مطالعه نشان می دهد که بازه ۵ بیشترین پویایی با مقدار پویایی ۲/۶۹ و بعد از آن به ترتیب بازه های ۲ و ۳ و ۴ به ترتیب مقادیر ۲/۱۳ و ۱/۶۵ و ۱/۶۳ در مرتبه ۲ و ۳ و ۴ از نظر پویایی کانال قرار دارد و کمترین میزان تغییرات مربوط به بازه ۷ با مقدار پویایی ۰/۸۹ است. بر اساس نتایج نرخ پویایی نشان داد که در بازه زمانی ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۳ از بازه ۱ تا بازه ۷ کاهش یافته است. یعنی هرچه قدر از بالا دست به سمت پایین دست و به انتهای محدوده مورد مطالعه نزدیک تر می شویم میزان پویایی و جابجایی کانال کمتر شده است (جدول ۵).

جدول ۵: میزان پویایی کانال در بازه زمانی ۲۰۰۳-۲۰۱۳ در بازه های مورد مطالعه

بازه	مساحت تقاطع خط مرکزی (۲۰۱۳-۲۰۰۳)	طول خط مرکزی در ابتدا دوره (T1)	طول بازه زمانی (t1) و (T2)	نرخ پویایی کانال (CA)
بازه ۱	۱۱۵۲/۲۲	-	-	-
بازه ۲	۲۰۶۳۰/۷۶	۹۶۷/۱۲	۱۰	۲/۱۳
بازه ۳	۲۱۴۸۸/۰۰	۱۳۰۴/۷۱	۱۰	۱/۶۵
بازه ۴	۲۱۸۶۳/۴۷	۱۳۴۱/۲۱	۱۰	۱/۶۳
بازه ۵	۵۱۶۱۶/۹۴	۱۹۲۲/۱۱	۱۰	۲/۶۹
بازه ۶	۲۴۸۰۰/۵۱	۲۳۰۲/۷۳	۱۰	۱/۰۸
بازه ۷	۳۳۵۰۶/۹۲	۳۷۷۳/۳۵	۱۰	۰/۸۹

بر اساس تغییرات پویایی کانال در بازه زمانی ۱۹۹۱ تا ۲۰۰۳ در بازه های مورد مطالعه، بازه ۷ بیشترین پویایی با مقدار پویایی ۰/۷۹ و بعد از آن به ترتیب بازه های ۳ و ۶ به ترتیب مقادیر ۰/۶۳ و ۰/۷۴ در مرتبه ۲ و ۳ از نظر پویایی کانال قرار دارد و کمترین میزان تغییرات مربوط به بازه ۲ با مقدار پویایی ۰/۳۷ است.

نرخ پویایی در رودخانه چشمه علی دامغان در بازه زمانی ۱۹۹۱ تا ۲۰۰۳ از بازه ۱ تا بازه ۷ روند افزایشی داشته است. یعنی بازه های بالادست نرخ پویایی بیشتری نسبت به بازه های انتهایی داشته است (جدول ۶).

جدول ۶: میزان پویایی کانال در بازه زمانی ۱۹۹۱-۲۰۰۳ در بازه های مورد مطالعه

بازه	مساحت تقاطع خط مرکزی (۱۹۹۱-۲۰۰۳)	طول خط مرکزی در ابتدا دوره (T1)	طول بازه زمانی (t1) و (T2)	نرخ پویایی کانال (CA)
بازه ۱	-	۲۱۷۹/۸۷	۱۲	-
بازه ۲	۷۷۱۳/۷۴	۱۷۲۶/۰۲	۱۲	۰/۳۷
بازه ۳	۹۸۵۰/۶۶	۱۳۰۷/۶۱	۱۲	۰/۶۳
بازه ۴	۱۱۲۲۱/۱۱	۱۹۰۱/۳۵	۱۲	۰/۴۹
بازه ۵	۲۲۰۵۸/۲۴	۳۶۹۵/۸۴	۱۲	۰/۵۰
بازه ۶	۱۹۶۱۱/۸۲	۲۱۹۷/۱۴	۱۲	۰/۷۴
بازه ۷	۱۰۰۷۸/۷۹	۱۰۵۹/۶۶	۱۲	۰/۷۹

تغییرات پویایی کانال در بازه زمانی ۱۹۶۱ تا ۱۹۹۱ در بازه های ۱ تا ۷ نشان می دهد که بازه ۷ بیشترین پویایی با مقدار پویایی ۰/۷۳ و بعد از آن به ترتیب بازه های ۲ و ۵ به ترتیب مقادیر ۰/۴۲ و ۰/۴۸ در مرتبه ۲ و ۳ از نظر پویایی کانال قرار دارد و کمترین میزان تغییرات مربوط به بازه ۶ با مقدار پویایی ۰/۳۳ است. در این بازه زمانی نیز نرخ پویایی از بالادست به سمت بازه انتهایی روند افزایشی داشته است (جدول ۷).

جدول ۷: میزان پویایی کانال در بازه زمانی ۱۹۹۱-۱۹۶۱ در بازه های مورد مطالعه

بازه	مساحت تقاطع خط مرکزی (۱۹۹۱-۱۹۶۱)	طول خط مرکزی در ابتدا دوره (T1)	طول بازه زمانی (t1) و (T2)	نرخ پویایی کانال (CA)
بازه ۱	۱۱۴۸۷/۱۳	۹۸۸/۴۳	۳۰	۰/۳۹
بازه ۲	۲۲۱۴۲/۷۹	۱۷۳۶/۸۷	۳۰	۰/۴۲
بازه ۳	۲۰۹۴۳/۴۱	۱۳۸۵/۷۰	۳۰	۰/۵۰
بازه ۴	۲۳۲۸۱/۵۷	۱۹۶۶/۰۹	۳۰	۰/۳۹
بازه ۵	۵۳۷۰۵/۵۰	۳۷۲۱/۱۷	۳۰	۰/۴۸
بازه ۶	۲۲۰۷۱/۹۲	۲۲۲۲/۶۰	۳۰	۰/۳۳
بازه ۷	۲۸۵۲۴/۲۲	۱۳۰۲/۴۹	۳۰	۰/۷۳

به منظور بررسی نرخ پویایی در وضعیت کلی، تغییرات پویایی کانال در بازه زمانی ۱۹۶۱ تا ۲۰۲۳ در بازه های مورد مطالعه نیز بررسی و نشان داد که بازه ۷ بیشترین پویایی با مقدار پویایی ۰/۴۲ و بعد از آن به ترتیب بازه های ۳ و ۵ به ترتیب مقادیر ۰/۲۷ و ۰/۲۲ در مرتبه ۲ و ۳ از نظر پویایی کانال قرار دارد و کمترین میزان تغییرات مربوط به بازه ۱ با مقدار پویایی

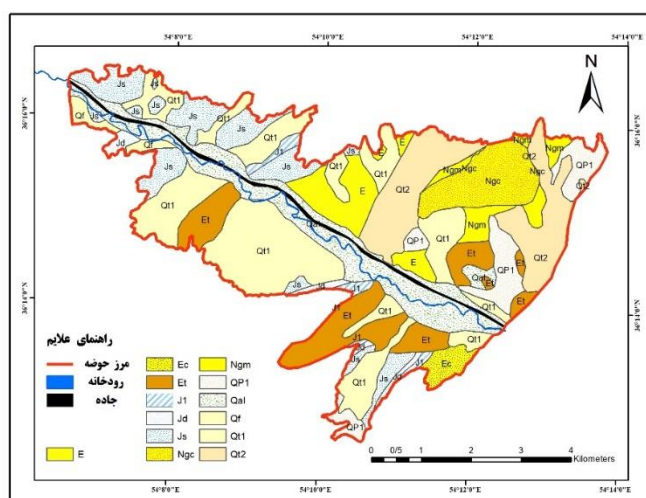
۰/۰۹ است. بررسی میزان پویایی در این بازه زمانی ۶۰ ساله نشان داد که بیشترین تغییرات مربوط به بازه های انتهایی بوده و بازه های بالادست کمترین تغییر را داشته اند (جدول ۸).

جدول ۸: میزان پویایی کانال در بازه زمانی ۲۰۲۳-۱۹۶۱ در بازه های مورد مطالعه

بازه	مساحت تقاطع خط مرکزی (۱۹۶۱-۲۰۲۳)	طول خط مرکزی در ابتدا دوره (T1)	طول بازه زمانی (t1) و (T2)	نرخ پویایی کانال (CA)
بازه ۱	۱۱۵۲۰/۲۲	۲۰۹۱/۴۷	۶۲	۰/۰۹
بازه ۲	۲۰۶۳۰/۷۶	۱۷۰۴/۲۰	۶۲	۰/۲۰
بازه ۳	۲۱۴۸۸/۰۰	۱۲۷۵/۸۸	۶۲	۰/۲۷
بازه ۴	۲۱۸۶۳/۴۷	۱۸۹۰/۲۹	۶۲	۰/۱۹
بازه ۵	۵۱۶۱۶/۹۴	۳۷۱۱/۰۳	۶۲	۰/۲۲
بازه ۶	۲۴۸۰۰/۵۱	۲۲۰۰/۹۰	۶۲	۰/۱۸
بازه ۷	۳۳۵۰۶/۹۲	۱۲۹۱/۴۰	۶۲	۰/۴۲

زمین شناسی بازه های مورد مطالعه: بررسی نقشه زمین شناسی منطقه مورد مطالعه در بازه های ۷ گانه نشان داد که در بازه ۱ سازندهای غالب به ترتیب Js شامل سنگ های آتشفشانی و بازالت و شیل و ماسه سنگ و ذغال سنگ به مقدار ۱/۵ درصد و Qf شامل آهک آب شیرین به مقدار ۰/۶ درصد و Qt2 شامل پادگانه های آبرفتی جوان به مقدار ۰/۸ درصد می باشد (شکل ۱۱).

در بازه ۲ سازندهای غالب شامل Jd شامل آهک نازک و آهک مارنی به مقدار ۰/۶ درصد و Js شامل سنگ های آتشفشانی و بازالت و شیل و ماسه سنگ و ذغال سنگ به مقدار ۱/۲ درصد و Qf شامل پادگانه های آبرفتی جوان به مقدار ۰/۴ درصد می باشد و Qt1 شامل تراس های قدیمی به مقدار ۱/۳ درصد و Qt2 شامل پادگانه های آبرفتی جوان به مقدار ۱/۲ درصد می باشد.



شکل ۱۱: نقشه زمین شناسی منطقه مورد مطالعه در بازه های ۷ گانه

در بازه ۳ سازندهای غالب و نوع سنگ های تشکیل دهنده سازندهای فوق به ترتیب JS شامل سنگ های آتشفشانی و بازالت و شیل و ماسه سنگ و ذغال سنگ به مقدار ۳/۴ درصد و Qf شامل آهک آب شیرین به مقدار ۰/۲ درصد و Qt1 شامل تراس های قدیمی به مقدار ۳/۲ درصد و Qt2 شامل پادگانه های آبرفتی جوان به مقدار ۱/۳ درصد می باشد (جدول ۹).

جدول ۹: درصد سازندهای زمین شناسی مختلف به تفکیک بازه در حاشیه رودخانه چشمه علی (مقادیر به درصد است)

سازند	بازه ۱	بازه ۲	بازه ۳	بازه ۴	بازه ۵	بازه ۶	بازه ۷
E	-	-	-	-	۴/۶	۱	-
Ec	-	-	-	-	-	۰/۲	۱/۴
Et	-	-	-	۲/۵	۱/۲	۴/۸	۱/۱
J1	-	-	-	۰/۵	۰/۴	۰/۴	-
Jd	-	۰/۶	-	-	۰/۴	۰/۵	-
Js	۱/۵	۱/۲	۳/۴	۲/۳	۱/۴	۱/۴	-
Ngc	-	-	-	-	-	۱/۴	۱
Ngm	-	-	-	-	-	۱/۸	۱/۲
Qf	۰/۶	۰/۴	۰/۲	-	-	-	-
QP1	-	-	-	-	-	۱/۷	۴/۵
Qt1	-	۱/۳	۳/۲	۶	۹/۷	۶	۱/۲
Qt2	۰/۸	۱/۲	۱/۳	۲/۱	۸/۴	۷/۵	۷/۸

در بازه ۴ سازندهای غالب و نوع سنگ های تشکیل دهنده به ترتیب Et شامل توف و شیل ترکیبی و ژئیس به مقدار ۲/۵ درصد و J1 شامل آهک توده ای و ضخیم به مقدار ۰/۵ درصد و JS شامل سنگ های آتشفشانی و بازالت و شیل و ماسه سنگ و ذغال سنگ به مقدار ۲/۳ درصد و Qt1 شامل تراس های قدیمی به مقدار ۶ درصد و Qt2 شامل پادگانه های آبرفتی جوان به مقدار ۲/۱ درصد می باشد.

در بازه ۵ سازندهای غالب به ترتیب E شامل توف و شیل و ماسه سنگ و ژئیس به مقدار ۴/۶ درصد و Et شامل توف و شیل ترکیبی و ژئیس به مقدار ۱/۲ درصد و J1 شامل آهک توده ای و ضخیم به مقدار ۰/۴ درصد و Jd شامل آهک نازک و آهک مارنی به مقدار ۰/۴ درصد و JS شامل سنگ های آتشفشانی و بازالت و شیل و ماسه سنگ و ذغال سنگ به مقدار ۱/۴ درصد و Qt1 شامل آهک آب شیرین به مقدار ۹/۷ درصد و Qt2 شامل پادگانه های آبرفتی جوان به مقدار ۸/۴ درصد می باشد.

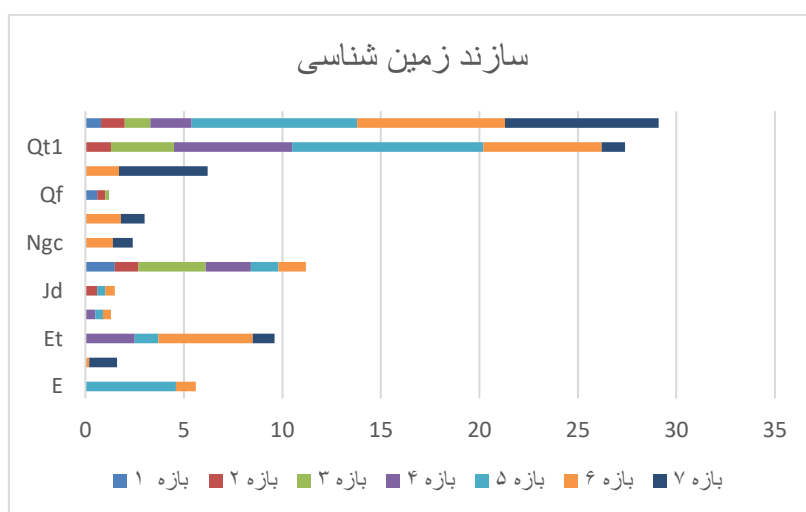
در بازه ۶ سازندهای غالب و نوع سنگ های تشکیل دهنده سازندها به ترتیب E شامل توف و شیل و ماسه سنگ و ژئیس به مقدار ۱ درصد و Ec شامل کنگلومرا ائوسن به مقدار ۰/۲ درصد و Et شامل توف و شیل ترکیبی و ژئیس به مقدار ۴/۸ درصد و J1 شامل آهک توده ای و ضخیم به مقدار ۰/۴ درصد و Jd شامل آهک نازک و آهک مارنی به مقدار ۰/۵ درصد و JS شامل سنگ های آتشفشانی و بازالت و شیل و ماسه سنگ و ذغال سنگ به مقدار ۱/۴ درصد و Ngc شامل کنگلومرا به مقدار ۱/۴ درصد و Ngm شامل مارن ژئیبسی و ماسه سنگ به مقدار ۱/۸ درصد و Qp1 شامل کنگلومرا به مقدار ۱/۷ درصد و Qt1 شامل آهک آب شیرین به مقدار ۶ درصد و Qt2 شامل پادگانه های آبرفتی جوان به مقدار ۷/۵ درصد می باشد.

در بازه ۷ سازندهای غالب به ترتیب Ec شامل کنگلومرا ائوسن به مقدار $1/4$ درصد و Et شامل توف و شیل ترکیبی و ژیبس به مقدار $1/1$ درصد و Ngc شامل کنگلومرا به مقدار ۱ درصد و Ngm شامل مارن ژیبسی و ماسه سنگ به مقدار $1/2$ درصد و $Qp1$ شامل کنگلومرا به مقدار $4/5$ درصد و $Qt1$ شامل آهک آب شیرین به مقدار $1/2$ درصد و $Qt2$ شامل پادگانه های آبرفتی جوان به مقدار $7/8$ درصد می باشد.

سازندهای زمین شناسی منطقه براساس سنی در جدول ۱۰ ارائه شده است. براساس نتایج بدست آمده سازند غالب در بازه ۱ و ۲ و ۳ کواترنر، و ژوراسیک و در بازه ۴ و ۵ کواترنر، پالئوژن و ژوراسیک و در بازه ۶ کواترنر، نئوژن، پالئوژن و ژوراسیک و در بازه ۷ کواترنر، نئوژن و پالئوژن می باشد. به طور کلی سازند های غالب به ترتیب کواترنر، پالئوژن، ژوراسیک و نئوژن می باشد (شکل ۱۲).

جدول ۱۰: درصد سازندهای زمین شناسی براساس نوع سازند

سازند	بازه ۱	بازه ۲	بازه ۳	بازه ۴	بازه ۵	بازه ۶	بازه ۷	جمع
کواترنر (ماسه، رس، تراس)	۱/۴	۲/۹	۴/۷	۸/۱	۱۸/۱	۱۵/۲	۱۳/۵	۶۳/۹
نئوژن (کنگلومرا، ماسه سنگ)	-	-	-	-	-	۳/۲	۲/۲	۵/۴
پالئوژن (کنگلومرا، توف، شیل)	-	-	-	۲/۵	۵/۸	۶	۲/۵	۱۶/۸
ژوراسیک (آهک توده ای، ذغال، شیل، سنگ های آتشفشانی)	۱/۵	۱/۸	۳/۴	۲/۸	۲/۲	۲/۳	-	۱۴



شکل ۱۲: نمودار مقادیر سازندهای زمین شناسی در بازه های مورد مطالعه (درصد)

بحث

این مطالعه بر ویژگی‌های مورفولوژیکی و هیدرولوژیکی سیستم‌های رودخانه‌ای متمرکز است، به طور خاص پوشش گیاهی ساحلی و اشکال ژئومورفیک را در بخش‌های مختلف یک رودخانه در طول زمان تجزیه و تحلیل می‌کند. در این تحقیق از روش ارزیابی زیستگاه رودخانه (RHA) استفاده شده همچنین از داده‌های میدانی برای ارزیابی تغییرات مورفولوژی رودخانه و دینامیک کانال از سال ۱۹۶۱ تا ۲۰۲۳ استفاده شده است.

- تغییرات مورفولوژیکی: تجزیه و تحلیل نشان دهنده تغییرات قابل توجهی در مورفولوژی کانال در بازه‌های مختلف رودخانه است. در بازه ۱ افزایش عرض و طول کانال به دلیل افزایش انحنا تا سال ۲۰۰۳ وجود داشت و به دنبال آن کاهش قابل توجهی در مساحت پلانفرم کانال از ۳۱۶۴۹ کیلومتر مربع در سال ۱۹۹۱ به ۱۷۵۰۴ کیلومتر مربع در سال ۲۰۱۳ مشاهده شد. این روند کاهش با شدت بیشتر تا سال ۲۰۲۳ ادامه یافت. در بازه ۲ الگوی مشابهی با کاهش شدید مساحت کانال از ۲۹۴۷۸ کیلومتر مربع در سال ۲۰۰۳ به ۴۲۷۲ کیلومتر مربع مشاهده شد. داده‌ها نشان می‌دهد که کاهش انحنا و عرض کانال به این تغییرات کمک کرده است. در بازه ۳ در ابتدا تا سال ۲۰۰۳ افزایشی در مساحت کانال وجود داشت و به دنبال آن تا سال ۲۰۱۳ کاهش قابل توجهی داشت. با این حال، تا سال ۲۰۲۳ مقداری تعدیل پیدا کرده و روند افزایشی در مساحت کانال مشاهده شد. بازه‌های ۴ تا ۷ درجات مختلفی از تغییرات مورفولوژیکی را نشان می‌دهند که به طور کلی با کاهش سطح و عرض کانال در طول زمان مشخص می‌شود. این شرایط نشان دهنده تغییرات مورفولوژی رودخانه و عدم تعادل رودخانه را به دنبال داشته است. این نتایج را می‌توان در مطالعات مگدنلو و همکاران (۲۰۱۱) و اسماعیلی و همکاران (۱۳۹۸) مشاهده کرد.

- دینامیک هیدرومورفولوژیکی: این مطالعه همچنین پویایی کانال را از طریق محاسبه جابجایی جانبی کانال در بازه‌های زمانی مختلف بررسی کرده است. بیشترین جابجایی جانبی بین سال‌های ۲۰۰۳ و ۲۰۱۳ مشاهده شد، به ویژه در بازه ۷ که مقدار جابجایی جانبی ۰/۶۵ متر در سال را نشان می‌دهد. این یافته‌ها نشان می‌دهد که این بخش تنظیمات مورفولوژیکی قابل توجهی را در این دوره تجربه کرد. در مقابل، بازه ۱ کمترین جابجایی جانبی را نشان داد (۰،۲۷)، که نشان دهنده شرایط پایدارتر در مقایسه با سایر بازه‌ها است. نتایج مطالعه اسماعیلی و همکاران (۱۳۹۸) نیز نشان دهنده تفاوت بازه‌های مختلف از نظر پویایی کانال به واسطه شرایط محیطی است.

- تأثیرات زمین‌شناسی: ترکیب زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه نقش مهمی در شکل‌گیری مورفولوژی رودخانه ایفا می‌کند. تشکیلات زمین‌شناسی غالب شامل نهشته‌های کواترنر و سنگ‌های ژوراسیک در بخش‌های مختلف است. ویژگی‌های سنگ‌شناسی بر نرخ‌های فرسایش و انتقال رسوب تأثیر می‌گذارد که برای درک دینامیک رودخانه بسیار مهم است. تنوع در سازندهای زمین‌شناسی در دو طرف رودخانه چشمه علی دامغان با تغییرات مورفولوژیکی مشاهده شده مرتبط است و نشان می‌دهد که تفاوت سازندهای زمین‌شناسی می‌تواند به طور قابل توجهی بر رفتار رودخانه و پایداری یا ناپایداری در طول زمان تأثیر بگذارد. نتایج مشابه را می‌توان در مطالعات وودرینگ و همکاران (۲۰۲۱) و اوککه و همکاران (۲۰۲۲) مشاهده کرد. کرانه چپ و راست از نظر مجاورت با سازندها شرایط یکسانی ندارد به طوری که کرانه راست به دلیل مجاورت با سازندهای پالئوژن شرایط کمتری برای جابجایی داشته است. به دلیل قدمت و مقاومت سازندهای قدیمی‌تر در مناطقی که در تماس با رودخانه بوده اشکال ژئومورفیک تراس و پرتگاه غالب بوده در صورتی که مجاورت سازندهای کواترنر باعث تشکیل دشت سیلابی شده است.

نتیجه‌گیری

در این مطالعه تغییرات مورفولوژی کانال رودخانه چشمه علی دامغان حداقل چشمه علی تا ابتدای سد شهید شاهچراغی برای بازه‌های زمانی ۲۰۲۳-۱۹۶۱ مورد مطالعه قرار گرفت. بررسی الگوی رودخانه در رودخانه مورد مطالعه نشان داد که بازه ۲ و بازه ۵ دارای الگوی پیچانرودی و بقیه بازه‌ها الگوی سینوسی داشته‌اند. یافته‌ها روند واضحی از تغییرات

مورفولوژیکی و هیدرولوژیکی در سیستم رودخانه چشمه علی را در شش دهه گذشته نشان می‌دهد. کاهش مساحت کانال در چندین بازه نشان‌دهنده عوامل تنش‌زای محیطی بالقوه مؤثر بر پایداری رودخانه مانند اثرات انسانی یا ویژگی‌های توپوگرافی در غالب تغییرات شیب و موقعیت کانال از جهت محدودیت کانال بوده است. کاهش قابل توجه در مساحت و عرض کانال نشان‌دهنده گرایش به سوی زیستگاه‌های رودخانه‌ای با ثبات تر و بالقوه با تغییرات کمتر است. نتایج بررسی پویایی کانال نشان داد که بیشترین جابجایی جانبی در سالهای ۲۰۰۳ و ۲۰۱۳ رخ داده است. همچنین بیشترین جابجایی جانبی در بازه ۷ به میزان ۰/۶۵ متر در سال و در مقابل، بازه ۱ کمترین جابجایی جانبی به میزان ۰/۲۷ متر در سال رخ داده است. در واقع بازه ۱ پایدارتر از بازه ۷ بوده است. افزایش تحرک و پویایی کانال در بازه‌های خاص، فرآیندهای ژئومورفیک فعال را نشان می‌دهد که ممکن است توسط عوامل خارجی مانند تغییرات کاربری زمین یا تأثیرات آب و هوایی هدایت شوند. عوامل زمین‌شناسی نقش حیاتی در تأثیرگذاری بر خصوصیات فیزیکی و رفتار دینامیکی رودخانه داشته است. همچنین تغییرات پلانفرم کانال و سطح اشغال شده توسط رودخانه در بازه‌های مختلف و در بازه‌های زمانی مختلف متفاوت بوده است. به طور خلاصه، با توجه به تغییرات مورفولوژیکی و هیدرولوژیکی در سیستم رودخانه چشمه علی دامغان در شش دهه گذشته، ضرورت نظارت و راهبردهای مدیریت مداوم برای حفظ اکوسیستم رودخانه و تضمین مدیریت پایدار منابع آب احساس می‌شود. ضروری است. مطالعات آتی باید بر ادغام مدل‌سازی هیدرولوژیکی با ارزیابی‌های اکولوژیکی تمرکز کنند تا پیامدهای این تغییرات مورفولوژیکی بر تنوع زیستی و خدمات اکوسیستم را درک کنند.

منابع

- آقائباتی، علی، ۱۳۸۳. زمین‌شناسی ایران، انتشارات سازمان زمین‌شناسی کشور.
- اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان سمنان، ۱۳۹۷. طرح تفصیلی-اجرائی حوزه آبخیز آستانه، گزارش زمین‌شناسی و ژئومورفولوژی
- اسفندیاری درآباد، ف.، خیری زاده، م.، و رحیمی، م.، ۱۴۰۱. ارزیابی تغییرات مورفولوژیکی و خطر سیلاب رودخانه گیوی چای با استفاده از شاخص‌های ژئومورفومتری و مدل *HEC-RAS*، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، دوره ۱۱ شماره ۱، صص ۴۳-۱۹.
- -اسماعیلی، ر.، و دلیری، ر.، ۱۳۹۸. تحلیل مورفولوژیکی و مورفودینامیکی پیچانرودهای رودخانه سلمان رود، استان گیلان. پژوهش‌های دانش زمین، سال دهم، شماره ۳۹، صص. ۱۴۱ - ۱۵۳.
- -اسماعیلی، رضا؛ لرستانی، قاسم و بازیار، غفور (۱۳۹۶). اثرات احداث سد بر ویژگی‌های پیچان رودی قسمت‌های میانی گرگان رود. پژوهش‌های جغرافیایی طبیعی، دوره ۴۹، شماره ۴، صص. ۶۵۷ - ۶۶۶.
- اصغری سراسکانرود، صیاد، ۱۳۹۵. بررسی پتانسیل تغییرات مورفولوژیک رودخانه شهر چای ارومیه، جغرافیا و برنامه‌ریزی، دوره ۲۰ شماره ۵۷، صص ۶۲-۴۹.
- حسین زاده، م.م.، و اسماعیلی، ر.، و نبی زاده بهنمیری، م.، ۱۴۰۱. تحلیل تغییرات زمانی و پایداری پلانفرم آبراه رود نکا-مازندران. اطلاعات جغرافیایی، دوره ۳۱(۱۲۴)، صص ۳۹-۵۲.
- -حسین زاده، م.م.، و اسماعیلی، ر.، ۱۳۹۷. ژئومورفولوژی رودخانه ایی، مفاهیم، فرم‌ها و فرآیندها. چاپ اول، تهران، انتشارات دانشگاه شهید بهشتی.
- حسین زاده، م.م.، و گلستانی، ع.، (۱۴۰۲). بررسی تغییرات الگوی شریانی رودخانه جاجرود بر اساس شاخص‌های شریانی بریس، ریچاردز و واربردن (حداصل سد لتیان تا سد ماملو، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، ۱۲ (۱)، ۱۳۲-۱۵۱.
- -خوش رفتار، ر.، احمدی ترکمانای، ا.، فیض الله پور، م.، و حامدی، ن.، ۱۳۹۸. بررسی پیچان رودهای قزل اوزن در محدوده شهرستان ماه‌نشان - زنجان. پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، سال هفتم، شماره ۴، صص. ۱۵ - ۳۰.

- رضائی مقدم، م. ح.، نیکجو، م. ر.، و ملکی، ح.، ۱۳۹۶. بررسی تحولات مورفولوژیکی الگوی رودخانه آزاد رود با استفاده از شاخص‌های هندسی، *جغرافیا و برنامه ریزی محیطی*، دوره ۲۸ شماره ۴، صص ۱-۱۶.
- رضائی مقدم، م. ح.، نیکجو، م. ر.، مختاری، د.، فاخری فرد، ا. و خوشدل، ک.، (۱۳۹۷). بررسی پلان قوسی و تنوع در شاخص سینوسی رودخانه کلیبر چای. *جغرافیا و برنامه‌ریزی*، ۲۲ (۶۶)، ۸۱-۱۰۱.
- عرفانی پورقاسمی، و.، دستورانی، م. ت.، حاجی بیگلو، م.، و رحیمی آغ چشمه، ف.، ۱۴۰۰. بررسی و اولویت‌بندی عوامل مؤثر بر تغییرات مورفولوژیک بخشی از آبراه حوضه کشف رود، *پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز*، دوره ۱۲ شماره ۲۴، صص ۲۴۹-۲۶۱.
- گورابی، ا. ق.، یمانی، م.، و حسینی، س. ج.، ۱۳۹۷. ارزیابی تأثیر تغییرات هیدروژئومورفولوژی و کاربری زمین در پایداری آبراهه ی زنجان رود، *هیدروژئومورفولوژی*، دوره ۵ شماره ۱۶، صص ۸۱-۱۰۰.
- مقصودی، م.، زمان زاده، س. م.، یمانی، م.، و حاجی زاده، ع. ح.، ۱۳۹۶. ارزیابی تغییرات الگوی پیچان رودی رودخانه مارون و تحلیل هیدروژئومورفولوژی منطقه مطالعه موردی: رودخانه مارون (از سرچشمه تا ورودی آن به رودخانه جراحی). *جغرافیای طبیعی*، ۱۰(۱)، شماره ۳۵، صص ۱-۲۸. [SID. https://sid.ir/paper/502550/fa](https://sid.ir/paper/502550/fa)
- مرادی نژاد، ا. و حسینی، س. ا.، ۱۴۰۱. روند تغییرات هندسی رودخانه قره‌چای در سال‌های ۱۳۴۷ تا ۱۴۰۰، *مدل سازی و مدیریت آب و خاک*، دوره ۲ شماره ۴، صص ۷۷-۹۰.
- Chang, H. (2008). *River Morphology and River Channel Changes*, *Trans. Tianjin Univ.* 14, 254–262, DOI: 10.1007/s12209-008-0045-3
- Fox, G. A., Purvis, R. A. & Penn, C. J. (2016). *Streambanks: A net source of sediment and phosphorus to streams and rivers*. *J. Environ. Manag.* 181, 602–614 .
- -Lelpi, A., Lapôtre, M. G., Gibling, M. R., & Boyce, C. K. (2022). *The impact of vegetation on meandering rivers*. *Nature Reviews Earth & Environment*, 3(3), 165-178.
- Kline, M., & Cahoon, B. (2010). *Protecting river corridors in Vermont 1*. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 46(2), 227-236.
- Konrad, C., Berge, H., Fuerstenberg, R., Steff, K., Olsen, T., & Guyenet, J. (2011). *Channel dynamics in the Middle Green River, Washington, from 1936 to 2002*. *Northwest Science*, 85 (1), 1-14.
- Kuo, C. W. & Brierley, G. (2014). *The influence of landscape connectivity and landslide dynamics upon channel adjustments and sediment flux in the Liwu Basin, Taiwan*. *Earth Surf. Process. Landf.* 39, 2038–2055.
- Kummu, M., Lu, X. X., Rasphone, A., Sarkkula, J., & Koponen, J. (2008). *Riverbank changes along the Mekong River: remote sensing detection in the Vientiane– Nong Khai area*. *Quaternary International*, 186(1), 100-112.
- Magdaleno, F., & Fernández-Yuste, J. A. (2011). *Meander dynamics in a changing river corridor*. *Geomorphology*, 130(3-4), 197-207.
- Nanson, G.C., & Hickin, E.J. (1983). *Channel migration and incision on the Beatton River*. *Journal of Hydraulic Engineering, ASCE* 109 (3), 327–337.
- Nanson, G.C., & Hickin, E.J. (1986). *A statistical analysis of bank erosion and channel migration in Western Canada*. *Geological Society of America Bulletin* 97 (8), 497–504.
- Odgaard, A.J. (1987). *Streambank erosion along two rivers in Iowa*. *Water Resources Research*, 23 (7), 1225–1236.
- Okeke, A. U., Uno, J., Academe, S., Emenike, P. C., Abam T. K. S. & Omole, D. O. (2022). *An integrated assessment of land use impact, riparian vegetation and lithologic variation on streambank stability in a peri-urban watershed (Nigeria)*, *Scientific Reports*, doi.org/10.1038/s41598-022-15008-w

- *Po-Hung, Y., Namgyu, P., Kuang-An, Ch., HAmn-Ching, Ch., & Briaud, J.L, (2009). Maximum migration distance of meander channel in sand using hyperbolic function approach. Journal of Hydraulic Engineering, ASCE 135 (8), 629–639.*
- *Rinaldi, M.; Surian, N., & Comiti, F, (2015). Bussettini, M. A methodological framework for hydromorphological assessment, analysis and monitoring (IDRAIM) aimed at promoting integrated river management. Geomorphology, 251, 122–136.*
- *Thorne, C.; Hey, R.; Newson, M, (2005). Applied Fluvial Geomorphology for River Engineering and Management; John Wiley and Sons Ltd.: Hoboken, NJ, USA, 2005.*
- *Witkowski, K. (2020). Man's impact on the transformation of channel patterns, River Res Applic, DOI: 10.1002/rra.3702.*
- *Woolderink, H.A.G., Cohen, K.M., Kasse, C., Kleinhans, M.G. & Van Balen, R.T. (2021) .Patterns in river channel sinuosity of the Meuse, Roer and Rhine rivers in the Lower Rhine Embayment rift-system, are they tectonically forced, Geomorphology, 375, 107550. doi.org/10.1016/j.geomorph.2020.107550*
- *Yunus, A. P., Jie, D., Armugha, K., Sravanthi, N., and Rao, L. A. K. & Hao, C. (2019) Channel migration characteristics of the Yamuna River from 1954 to 2015 in the vicinity of Agra, India: A case study using remote sensing and GIS, International Journal of River Basin Management, <https://doi.org/10.1080/15715124.2019.1566238>.*