

## بررسی تغییرات الگوی شریانی رودخانه جاجرود بر اساس شاخص‌های شریانی بریس، ریچاردز و واربرتون (حداصل سد لتیان تا سد ماملو)

محمد مهدی حسین‌زاده\* - دانشیار، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران شهید بهشتی، تهران.  
علی گلستانی - کارشناسی ارشد ژئومورفولوژی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران.

پذیرش مقاله: ۱۴۰۱/۰۷/۱۹      تأیید نهایی: ۱۴۰۲/۰۱/۲۸

### چکیده

بررسی الگوی رودخانه‌ها برای درک شرایط کنونی و پتانسیل تغییرات احتمالی آن‌ها در آینده ضروری است. جغرافیدان‌ها، ژئومورفولوژیست‌ها و زمین‌شناسان از شکل کانال به‌عنوان یک پارامتر مهم در طبقه‌بندی، آنالیز و پیش‌بینی پاسخ‌های رودخانه‌ای استفاده کرده‌اند. یکی از ابزارهای رفع این مشکلات طبقه‌بندی رودخانه‌ها است. منطقه مورد مطالعه بخشی از رودخانه جاجرود در شرق شهر تهران به طول ۱۹ کیلومتر (۱۷ بازه) بین دو سد لتیان و ماملو انتخاب گردید. در این مطالعه از تصاویر ماهواره‌ای (سال‌های ۱۳۸۳، ۲۰۰۶ و ۱۳۹۷ (۲۰۱۹))، عکس‌های هوایی (سال‌های ۱۳۳۴، ۱۳۵۰ و ۱۳۷۲) و بازدیدهای میدانی استفاده گردید. برای بررسی الگوی شریانی از شاخص‌های بریس، ریچاردز و واربرتون استفاده شد. به منظور بررسی تاثیر سد جاجرود بر الگوی شریانی رودخانه جاجرود از آزمون ویلکاکسون و بررسی تفاوت الگوی شریانی در بازه‌های مختلف از آزمون t جفتی استفاده شد. بر اساس مقادیر میانگین شاخص شریانی رودخانه جاجرود، از سال ۱۳۳۴ تا ۱۳۷۲ مقادیر شاخص شریانی کاهشی 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. بر اساس نتایج آزمون t جفتی در شاخص بریس و ریچاردز، مقادیر شاخص شریانی در بازه‌های مورد مطالعه از سال ۱۳۵۰ به بعد در مقاطع زمانی مختلف دارای اختلاف معناداری بوده است. بر اساس یافته‌های این مطالعه، مدل بریس و ریچاردز کارایی بیشتری نسبت به مدل واربرتون جهت مطالعه الگوی شریانی در منطقه مورد مطالعه داشته است.

واژگان کلیدی: شاخص شریانی، الگوی کانال شریانی، رودخانه جاجرود، سد لتیان.

## مقدمه

شکل کانال یا مورفومتری کانال به‌عنوان یک ابزار تشخیصی در ارزیابی اشکال ژئومورفیک 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، ۱۳۹۰: ۸۷). از طرفی انسان‌ها از ابتدای شکل‌گیری تمدن هموار از رودخانه برای بقای زندگی خود استفاده کرده (گارد، ۱۳۹۷: ۲۴) و رودخانه‌ها به‌عنوان شریان‌های حیاتی روی سطح زمین محسوب می‌شوند. در سال‌های اخیر تغییرات ایجادشده در سیستم رودخانه‌ای، خسارات محیطی ناشی از فرآیندهای رودخانه‌ای را در بسیاری از کشورها افزایش داده و موجب توجه و حساسیت مدیران به سامانه‌های رودخانه‌ای شده است. (حسین زاده و اسماعیلی، ۱۳۹۴: ۲۶۷). 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 (چورلی و همکاران، ۱۳۹۷: ۲۱۱). در دهه‌های اخیر، بسیاری از رودخانه‌ها با اغتشاشات فشرده انسانی، از جمله تقویت ساحل رودخانه، سدسازی، اشغال دشت سیلابی برای شهرنشینی و کشاورزی و موارد دیگر مواجه بوده‌اند؛ بنابراین خیلی سریع باید بدانیم میزان این تأثیرات چه مقدار است (نانسون و هانگ، ۲۰۱۶: ۲). زمانی که نرخ تغییر سریع است، مشکلات اساسی برای سازه‌های مصنوعی نزدیک به کانال رودخانه به وجود می‌آید و کرانه رودخانه می‌تواند منشاء مقادیر بالایی از رسوب به درون کانال رودخانه باشد (کسلر و همکاران، ۲۰۱۲: ۲۴). مدیریت سیستم‌های رودخانه‌ای و احیا و بازسازی جریان رودخانه، نیازمند درک صحیح از فرآیند در ژئومورفولوژی رودخانه و فعل‌وانفعالات بیوفیزیکی دارد. یکی از روش‌های جلوگیری از این مخاطرات و مدیریت رودخانه، طبقه‌بندی مبتنی بر فرآیند رودخانه‌ها است. اگرچه این امر در گذشته عمدتاً توصیفی بوده و بیش‌مبته بر فرآیند را ارائه نمی‌داده است. در نتیجه، هنگام انتخاب یک طبقه‌بندی مناسب برای کانال بر اساس اهداف، باید دقت شود که آیا توصیفی باشد یا فرآیند مبتنی بر نرم‌افزار؛ تا بتوان از نتایج آن در مدیریت سیستم‌های رودخانه‌ای و احیا و بازسازی جریان رودخانه استفاده نمود. با این‌وجود طبقه‌بندی نمی‌تواند جایگزین اندازه‌گیری‌های صحرائی و مستندات فرآیندهای رودخانه‌ای رخ‌داده در یک رودخانه شود. تاکنون تقریباً ۳۰ روش طبقه‌بندی رودخانه توسط پژوهشگران مختلف مورد استفاده قرار گرفته است، (بافینگتون و مونتگومری، ۲۰۱۳: ۷۵۴). پایه تقسیم‌بندی الگو بر اساس مستقیم، پیچان‌رودی و شریانی در سال ۱۹۵۷ توسط لئوپلد و ولمن بکار رفته است. در این طبقه‌بندی برای پیش‌بینی الگو از رابطه‌ای بین شیب و دبی لبالی کانال استفاده شده است (اسماعیلی و همکاران، ۱۳۹۰: ۸۹) اما این طبقه‌بندی قدیمی بوده و برای بسیاری از اهداف مناسب نیست. در سال ۱۹۸۱ شوم طیف وسیع‌تری از الگوهای کانالی ارائه کرده است که حاوی حدود کیفی از ویژگی‌های کانال است (اسماعیلی و همکاران، ۱۳۹۰). در سال ۱۹۹۹ توسط نانسون و هانگ الگوهای کانالی به چهار دسته مستقیم، پیچان‌رودی، شریانی و آناتوموسینگ (مجاری به‌هم‌پیوسته یا انشعابی) طبقه‌بندی شده‌اند (حسین زاده و اسماعیلی، ۱۳۹۴: ۲۳۶). بریرلی و فریرس در سال ۲۰۰۵ بر پایه مطالعات شوم، الگوی کانال را بر اساس سه معیار مرتبط به هم شامل تعداد کانال، سینوسیته و پایداری جانبی آن‌ها به پنج دسته شامل مستقیم، سینوسی، پیچان‌رودی، شریانی و آناتوموسینگ (مجاری به‌هم‌پیوسته یا انشعابی) طبقه‌بندی کردند (اسماعیلی و همکاران، ۱۳۹۰: ۹۰). بیچی و همکاران (۲۰۰۶) یک مدل مبتنی بر سیستم اطلاعات جغرافیایی برای پیش‌بینی الگوی کانال به‌عنوان تابعی از شیب و دبی ایجاد کردند که نشان می‌دهد کانال‌های ناپایدار با جابجایی جانبی (به‌عنوان مثال: الگوهای انشعابی و پیچان‌رودی) دارای سطوح دشت سیلابی جوان‌تر و پویاتر از کانال‌های پایدار و مستقیم هستند. سندرا جی (۲۰۰۰) بیان می‌کند که فقط با درک گذشته می‌توان تغییرات اخیر و مداوم در شکل کانال را در چشم‌انداز شناسایی کرد. بنابراین اقدام به شناسایی عوامل پیچیده‌ای کرد که بر ماهیت رودخانه‌های امروز تأثیر می‌گذارند. این اقدامات با توجه به اهمیت تغییرات کانال بر زیست

بوم‌های مجاور رودخانه، ارزیابی خسارت سیل و ضرورت درک پویایی کانال در رابطه با مدیریت و احیای رودخانه انجام شد (سندرا جی، ۲۰۰۰: ۲۰۵).

دارین (۲۰۰۵) به بررسی رودخانه بریتیش کلمبیا پرداخت و روند رسوب‌دهی و تأثیر آن بر الگوی رودخانه را در طی سال‌های ۱۹۵۲ تا ۲۰۰۳ بررسی کرد و نتیجه گرفت که نرخ رسوب ثابت نبوده و در دوران سیلابی بسیار شدیدتر است. همچنین روند تکاملی رودخانه را به دست آورد بر این اساس که با حذف پیچ‌وخم‌ها، الگوی آن به سمت تک کانالی شدن و مستقیم شدن پیش می‌رود. چانگ (۲۰۰۸) به بررسی شکل کانال و مورفولوژی رودخانه پرداخت و با کمی سازی فرآیندهای رودخانه، شیب بستر و مدل جریان و رسوب به یک برآورد از شکل و مورفولوژی رودخانه از گذشته حال و آینده دست‌یافت. اگوزی و اشمور (۲۰۰۸) با استفاده از یک شبیه‌سازی از رودخانه‌های انشعابی و مدل سازی با مقادیر مشخص از جریان و شیب، میزان انشعابی شدن را تخمین زده‌اند. در این مدل سازی به این نتیجه رسیدند که تعداد کانال در عرض محیط مرطوب بهترین مدل برای برآورد میزان انشعابی بودن است.

چالو و الکسیویسکی (۲۰۱۵) بر روی تعداد زیادی از رودخانه‌های شریانی در چین و روسیه و آمریکا پژوهش انجام داده و متوجه ارتباط بین شدت جریان، نوع رسوب، دمای آب و بار رسوب با تغییر اشکال کانال شدند. سارما و اچارجی (۲۰۱۸) با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی و عکس‌هایی سال‌های ۱۹۱۲ تا ۲۰۰۹ اقدام به محاسبه شاخص بریس برای رودخانه براهماپوترا در آسام کرده‌اند و به این نتیجه رسیدند که عرض کانال با میزان انشعابی بودن رابطه مثبت دارند. دونه و جرومک (۲۰۲۰) به بررسی تغییرات عرضی رودخانه و عوامل مؤثر بر این تغییرات از جمله آستانه تنش برشی و مقاومت کرانه پرداخته و مدل تغییر عرض کانال و آستانه تغییرات را گسترش داده‌اند.

بیرن و همکاران (۲۰۲۰) بر اساس شاخص‌های رسوب و هیدرولوژیک رودخانه به طبقه‌بندی انواع کانال پرداخته‌اند و بر اساس انطباق با شکل‌های مختلف کانال، به ۱۰ مدل کانال دست پیدا کردند که بین بار رسوب و اشکال ارتباط وجود داشته است. بیزی و همکاران (۲۰۲۱) با استفاده از قطر ذرات و اندازه‌گیری بار بستری و مدل اتصال رسوب در مقیاس شبکه به تحلیل تأثیر میزان غلظت رسوب بر مورفولوژی رودخانه و الگوی شریانی رودخانه وجوسا در آلبانی پرداختند. نتایج نشان داد که تأثیر غلظت رسوب به‌گونه‌ای است که کاهش این غلظت بر اثر عوامل انسانی باعث تک کانالی شدن رودخانه می‌شود. پانونه و دوینسنزو (۲۰۲۱) به بررسی جزایر و موانع میان کانالی در رودخانه‌های شریانی با توجه به اهمیت زیستی آن‌ها پرداخت و با استفاده از یک مدل عددی مبتنی بر معادله‌های تعادل رسوب و رگرسیون میزان بار بستر و قدرت جریان، بین نیمرخ بستر و قدرت جریان بر میزان انشعابی شدن کانال ارتباط برقرار کرده‌اند. یوچی و همکاران (۲۰۲۱) تأثیر سازه‌های انسانی بر رودخانه‌های شریانی را برای سال‌های ۱۹۸۵ تا ۲۰۰۶، ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۳ و ۲۰۱۳ تا ۲۰۱۹ در رودخانه لهاسا بررسی کردند و متوجه عدم تأثیر سازه‌های انسانی بر روند تکاملی الگوی شریانی شده‌اند.

پراسوجایا و شارما (۲۰۲۱) تغییرات مورفودینامیک بازه ماجولی در امتداد رودخانه براهماپوترا در هند را مورد مطالعه قرار داده و یک روش اصلاح شده جهت بررسی تحول الگوی شریانی را پیشنهاد داده‌اند. چینگ-روی (۲۰۲۱) در مقاله‌ای با عنوان هیدرودینامیک رودخانه‌های شریانی، ویژگی‌های بنیادین و مکانیزم‌های پیچیده، اکولوژی و مدیریت این نوع رودخانه‌ها را شرح داده و مورد بحث قرار داده است.

یمانی و حسین زاده (۱۳۸۱) مورفولوژی رودخانه تالار را در مقطع زمانی ۳۹ ساله با روش‌های تغییرات زمانی و مکانی و روش میدانی مطالعه کرده‌اند. این محققین نتیجه گرفته‌اند که رودخانه هنوز تعادل دینامیکی خود را به دست نیاورده است و همچنان در حال تغییر و جابجایی و ایجاد پیچ‌وخم‌های جدید و توسعه در قسمت‌های بالادست و تغییراتی خیلی کند و بطئی در قسمت پایین دست خود است. شکبیا و غواصیه (۱۳۹۰) با استفاده از عکس‌های هوایی، الگوی پیچانوردی رودخانه جاجرود را در قسمت پایین دست سد لتیان مورد بررسی قرار داده‌اند. گلستانی و انصاری (۱۳۹۷) به

بررسی چهار رودخانه بویرات، شور، دالکی و مند پرداخته و با به دست آوردن ضرایب و پارامتر قوس‌ها، میزان سینوسی بودن این چهار رودخانه را محاسبه کرده اند.

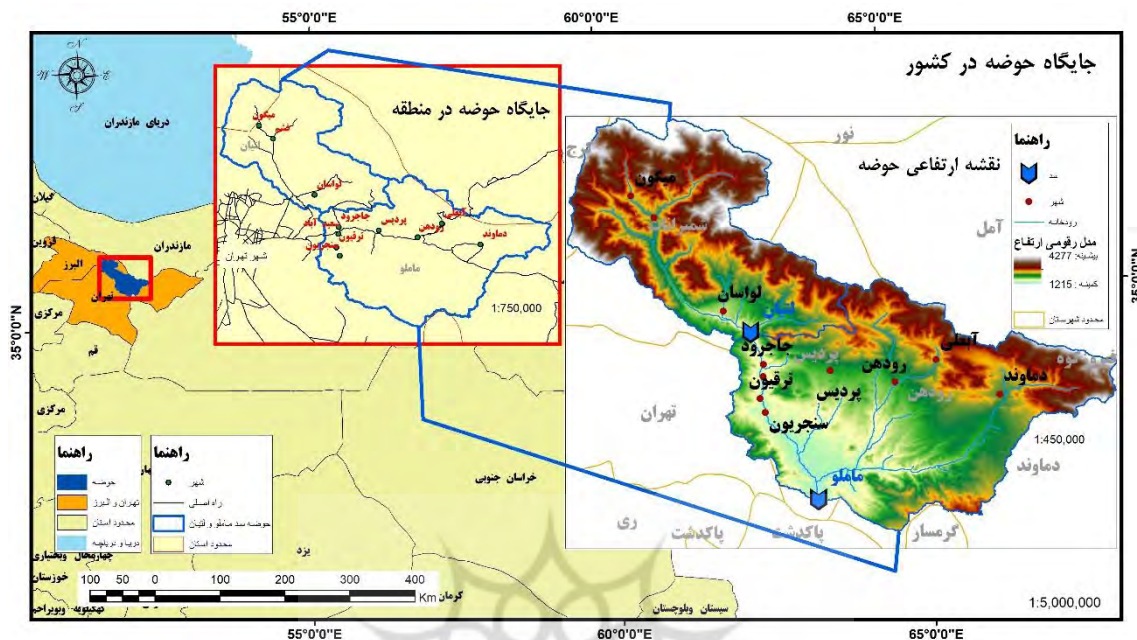
برومند و انصاری فر (۱۳۹۴) به بررسی فرسایش رودخانه جاجرود در پایین سد لتیان تا جاجرود و عکس‌العمل کانال رود از نقطه نظر الگو و نیمرخ طولی و عرضی، دخالت‌های بشر در تغییر الگوی رودخانه و در نهایت تعیین نقاط پایدار و ناپایدار مسیر رودخانه پرداختند. یمانی و همکاران (۱۳۹۴) با استخراج پلان و پارامترهای هندسی رودخانه ارس در سال‌های ۱۹۸۷ و ۲۰۱۳ و استفاده از روابط هندسی رودخانه متوجه جابه‌جایی و تغییرات زیاد در این بازه زمانی شدند به صورتی که در یکی از بازه‌ها ۱/۷ کیلومتر جابه‌جایی به وقوع پیوسته و الگوی پیچان‌رودی و سینوسی نیز رو به افزایش بوده است. رضایی مقدم و همکاران (۱۳۹۵) در پژوهشی با عنوان بررسی الگوهای رودخانه ای مئاندری، شریانی و آنابرنچینگ با استفاده از شاخص‌های شریانی و خمیدگی در رودخانه گاماسیاب از شاخص بریس برای مطالعه میزان توسعه الگوی شریانی رودخانه مورد مطالعه استفاده کرده اند. اسماعیلی و دلیری (۱۳۹۸) با هدف بررسی الگوی رودخانه شلمان رود گیلان، مورفومتری، مورفودینامیک و مورفولوژی آن را بررسی تا میزان تغییرات شکلی و مهاجرت را اندازه‌گیری کنند.

بررسی مطالعات صورت گرفته در خصوص الگوی رودخانه‌های ایران نشان می‌دهد که به طور غالب الگوی پیچان‌رودی مورد بررسی قرار گرفته است. به این منظور تغییرات الگوی شریانی در رودخانه جاجرود مورد مطالعه قرار گرفته است.

#### منطقه مورد مطالعه

حوضه ماملو (حوضه رودخانه جاجرود) در شرق شهر تهران در بین عرض‌های  $35^{\circ} 32' 42''$  تا  $35^{\circ} 03' 18''$  و طول جغرافیایی  $51^{\circ} 23' 37''$  تا  $52^{\circ} 14' 30''$  قرار گرفته است. رودخانه جاجرود از ارتفاعات البرز (کلون بستک) سرچشمه می‌گیرد و مهمترین شاخه‌های آن رودهای فشم، دماوند، میگون و آهار است. مساحت حوضه ماملو  $1772/82$  کیلومترمربع و شامل حوضه سد لتیان ( $701/19$  کیلومترمربع) هم می‌شود. بر روی کانال اصلی رودخانه جاجرود دو سد لتیان و ماملو احداث شده است. سد ماملو در نقطه انتهایی حوضه قرار گرفته و یک زیر حوضه برای حوضه جاجرود بشمار می‌آید. بازه مطالعاتی به طول ۱۹ کیلومتر در همین حوضه مابین سد لتیان و سد ماملو قرار گرفته است (شکل ۱).

در طول این بازه، شهر جاجرود و سعیدآباد قرار دارد و در پایین‌دست منطقه نیز روستاهای ترقیان و سنجریان قرار گرفته است. بعد از لتیان به سمت جنوب اشکال تپه‌ماهوری فراوانی متشکل از آهک و ماسه‌سنگ و کنگلومرا به چشم می‌خورد که پرتگاه‌های سنگی را شکل داده‌اند. در نقطه قرارگیری سد لتیان عرض دره بسیار کم می‌شود و به سمت پایین عرض دره افزایش یافته است. در این میان هر نقطه لایه‌های سنگی کم شده‌اند دشت سیلابی و کانال رود گسترش داشته و دشت‌های میان کوهی تشکیل شده که اتصال شاخه‌های فرعی هم در این تغییر شکل دخیل بوده است. از سد تا حدود روستای ترقیون تراس‌های قدیمی مربوط به اوایل دوران چهارم در ارتفاع بسیار بالا قابل مشاهده است که تا سطح فعلی رودخانه بسیار فاصله دارند. در همین حال در مسیر رود از بالا به پایین برون‌زدهایی از سنگ‌های توف سبز و آهک سفید مشاهده می‌شود که در برخی از نقاط بستر سنگی رودخانه نیز از همین سنگ‌ها تشکیل شده است. در قسمت‌های پایین دست حوضه لایه‌های قرمز رنگ متشکل از کنگلومرای قدیمی و ماسه‌سنگ که در قسمت‌های با خاک پوشیده شده است وجود دارد. سازندهای اصلی تشکیل‌دهنده منطقه شامل سازند سلطانیه، سازند زاگون، سازند باروت، سازند میلا، سازند کرج و مبارکه است.

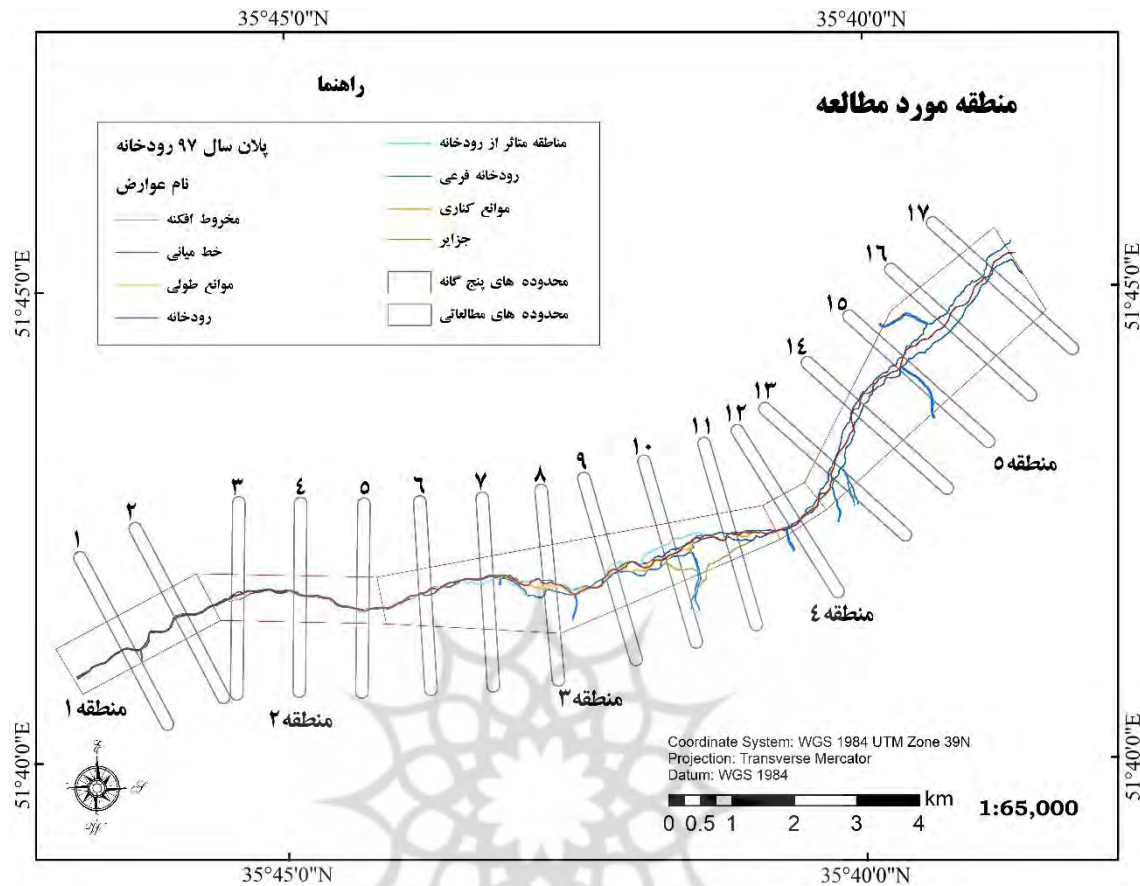


شکل ۱: محدوده مورد مطالعه در رودخانه جاجرود

در منطقه مطالعاتی دو ایستگاه هیدرومتری لتیان و سنجریان قرار دارد. دبی رودخانه جاجرود در بین دو سد لتیان و ماملو تحت تأثیر دبی خروجی سد لتیان است که بالاترین میزان آن در سال آبی ۱۳۷۳-۱۳۷۴ با ۲۰۶ مترمکعب بر ثانیه و کمترین آن در سال ۱۳۶۸-۱۳۶۹ با ۱۲ مترمکعب بر ثانیه اتفاق افتاده است

### روش تحقیق

در این مطالعه از تصاویر ماهواره‌ای، عکس‌های هوایی و بازدیدهای میدانی استفاده شده است. بر پایه بررسی‌های به عمل آمده منطقه به پنج منطقه اصلی و ۱۷ بازه تقسیم شد (شکل ۲). داده‌های استفاده‌شده در این پژوهش شامل عکس‌های هوایی سال ۱۳۳۴، ۱۳۵۰ و ۱۳۷۰ است که با دقت زمین مرجع شده و مورد استفاده قرار گرفته است، برای سال‌های ۱۳۸۳ و ۱۳۹۷ از عکس‌های نرم افزار گوگل ارث استفاده شده که برای سال ۱۳۸۳ تصاویر ژئو آی و برای سال ۱۳۹۷ تصاویر فناوری مکسار استفاده شده است.



شکل ۲: بازه های مورد مطالعه در رودخانه جاجرود

برای دسترسی و استخراج اطلاعات ابتدا تمامی سطوح قابل استخراج از عکس و تصاویر استخراج و ترسیم شد که شامل جزایر، خط مرکزی جریان، موانع کنار کانالی، انشعابات، مخروط‌های حاشیه‌ای، موانع میانی و تراس‌های کنار رودخانه است. در مرحله بعدی محدوده‌های پنج‌گانه مطالعاتی به ۱۷ بازه مطالعاتی تقسیم‌شده که طول هر محدوده ۲۰۰ متر است. به طور کلی، شاخص‌های شدت شریانی بودن رودخانه‌ها بر اساس یکی از چهار ویژگی زیر است: ابعاد و فراوانی موانع (مثال بریس، ۱۹۶۴؛ راست، ۱۹۷۸؛ جرمانوسکی و شوم، ۱۹۹۳)؛ تعداد کانال‌ها در مجموعه کانال‌های بازه (مثال هاوارد و همکاران، ۱۹۷۰؛ ریچاردز، ۱۹۸۲)؛ مجموع طول کانال در یک طول مشخص از رودخانه (مثال هونگ و داویس، ۱۹۷۹؛ موسلی، ۱۹۸۱؛ فرنند و سینها، ۱۹۹۳)؛ مجموع عرض تمام کانال‌های فعال در مقطع کانال (مثال هاوارد و همکاران، ۱۹۷۰؛ هونگ و داویس، ۱۹۷۹؛ واربروتون و داویس، ۱۹۹۴). شاخص تعداد کانال و سینوسیته کل در زمره شاخص‌هایی هستند که به طور معمول برای تشریح الگوی شریانی مورد استفاده قرار می‌گیرد (اگوزی و اشمور، ۲۰۰۸).

در این مطالعه برای بررسی میزان توسعه‌یافتگی الگوی شریانی از شاخص‌های بریس بر اساس رابطه ۱ (ابعاد و فراوانی موانع)، ریچاردز بر اساس رابطه ۲ (تعداد کانال‌ها در مجموعه کانال‌های بازه) و واربروتون بر اساس رابطه ۳ (مجموع عرض تمام کانال‌های فعال در مقطع کانال) استفاده شد که به ترتیب در شاخص بریس پارامترهای طول موانع و جزایر (a) و طول بازه مطالعاتی (L)، در شاخص ریچاردز پارامتر طول کانال‌های فرعی (l) در بازه و طول بازه مطالعاتی (L) و در شاخص واربروتن پارامتر نسبت عرض کانال فعال (b) به عرض کل کانال (B) در مقطع مورد مطالعه استفاده شده است (شکل ۳).

$$BI = \left( \frac{2 \sum (a_1 + a_2 + \dots + a_x)}{L} \right) \quad \text{رابطه ۱}$$

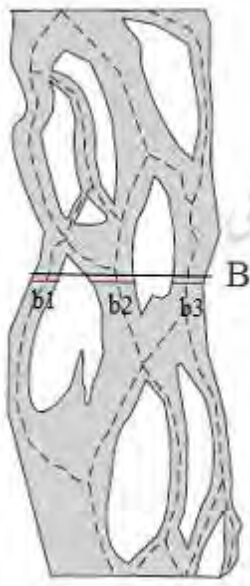
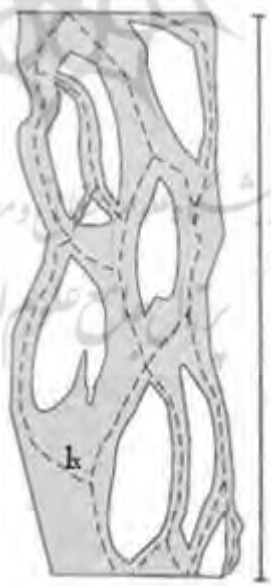
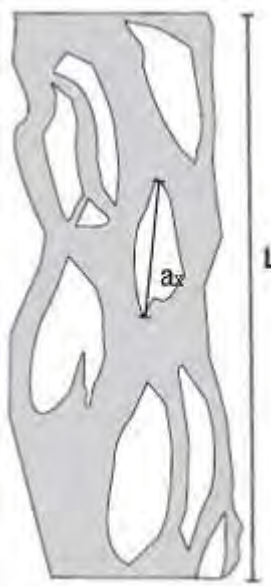
$$P = \frac{\sum (l_1 + l_2 + \dots + l_x)}{L} \quad \text{رابطه ۲}$$



$$Wr = \frac{\sum(b1+b2+\dots+bx)}{B} \quad (\text{رابطه ۳})$$

در این مطالعه تغییرات الگوی شریانی در طول بازه‌های مختلف (مقیاس مکانی) و تغییرات الگو در یک بازه دز بازه زمانی ۱۳۳۴ تا ۱۳۹۷ (مقیاس زمانی) مورد مقایسه قرار گرفت. در مرحله اول طول بازه‌ها به صورت استاندارد ۲۰۰ متر اتخاذ شد و قطر طولی موانع و جزایر برای شاخص بررسی اندازه‌گیری شد؛ در مرحله بعدی برای شاخص ریچاردز طول مجاری داخل کانال محاسبه و اندازه‌گیری شد و برای شاخص وارپورتون نیز عرض کانال فعال و عرض کل کانال در سه مقطع شروع، وسط و پایان بازه اندازه‌گیری شد و در پایان بر اساس روابط ۱ تا ۳ تغییرات الگوی شریانی در بازه‌های مختلف در طول رودخانه و در مقاطع زمانی مختلف محاسبه گردید.

بر اساس شاخص ریچاردز هرچه عدد خروجی بیشتر از یک باشد رودخانه شریانی‌تر است. در واقع با این روش سینوسیته کل محاسبه خواهد شد و هرچه به طول انشعاب‌ها افزود شود و طول کانال‌های فرعی افزایش پیدا کند عدد شاخص محاسبه شده بزرگ‌تر می‌شود؛ برای مثال با افزایش دو برابری طول انشعاب‌ها این عدد به دو می‌رسد. در شاخص بررسی دقیقاً مانند شاخص ریچاردز با افزایش طول موانع میانی، میزان شریانی شدن بیشتر می‌شود با این نسبت که اگر طول مانع دقیقاً برابر با طول بازه باشد این عدد به ۱ می‌رسد و با افزایش موانع و رشد مجموع طول موانع عدد افزایش می‌یابد. در شاخص وارپورتون الگوی شریانی بر اساس عرض کانال‌های منشعب به عرض کانال اصلی محاسبه می‌شود بنابراین با افزایش انشعاب‌های کانال و الگوی شریانی، مقادیر محاسبه شده به عدد یک نزدیک می‌شود.

شاخص وارپورتون	شاخص ریچاردز	شاخص بررسی
		
$Wr = \frac{\sum(b1 + b2 + \dots + bx)}{B}$	$P = \frac{\sum(l1 + l2 + \dots + lx)}{L}$	$BI = 2 \left( \frac{\sum(ax1 + ax2 + \dots + ax)}{L} \right)$

شکل ۳: شاخص‌های بررسی، ریچاردز و وارپورتون جهت بررسی میزان توسعه یافتگی الگو شریانی

جهت مقایسه تغییرات الگوی شریانی در بازه‌های مورد مطالعه در طول رودخانه از آزمون تی استفاده شد تا تغییرات الگو از بالادست تا پایین دست مورد مقایسه قرار گیرد و معناداری تغییرات در طول کانال بررسی شد. در خصوص تغییرات مقادیر شاخص شریانی در

بازه در طول زمان (مقیاس زمانی) از آزمون ویلکاکسون استفاده شد تا تغییرات شاخص قبل از احداث سد لتیان با بعد از احداث مورد مقایسه قرار بگیرد.

### یافته‌ها

در ابتدا بر اساس داده‌های موجود در بین سال‌های ۱۳۳۴ تا ۱۳۹۷ الگوی رودخانه جاجرود در بازه‌های مختلف بر پایه طبقه بندی بریرلی و فریرس (۲۰۰۵) به الگوی تک کانالی (مستقیم و پیچان‌رودی) و چند کانالی (شریانی) تقسیم‌بندی شده است (جدول ۱).

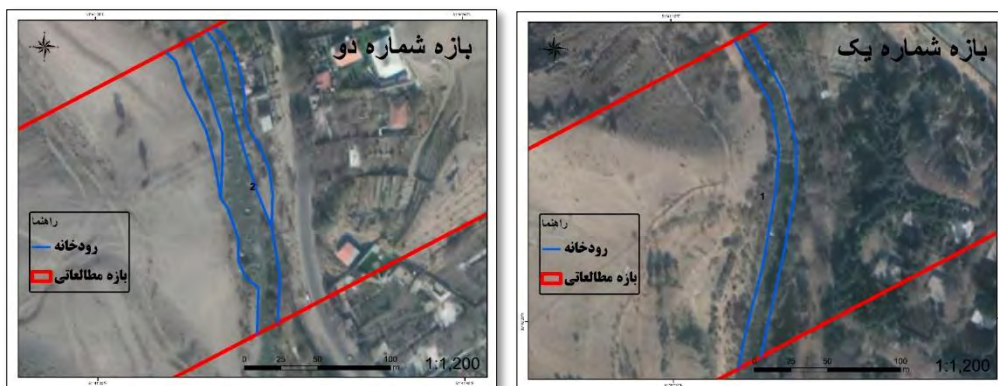
جدول ۱: مشخصات الگوی رودخانه جاجرود در بازه‌های مورد مطالعه از سال ۱۳۳۴ تا ۱۳۹۷

شماره بازه	سال ۱۳۳۴	سال ۱۳۵۰	سال ۱۳۷۲	سال ۱۳۸۳	سال ۱۳۹۷
۱	مستقیم	شریانی	مستقیم	مستقیم	مستقیم
۲	مستقیم	مستقیم	مستقیم	مستقیم	مستقیم
۳	شریانی	شریانی	شریانی	شریانی	شریانی
۴	شریانی	مستقیم	مستقیم	شریانی	مستقیم
۵	شریانی	مستقیم	شریانی	شریانی	شریانی
۶	شریانی	شریانی	مستقیم	مستقیم	مستقیم
۷	شریانی	شریانی	شریانی	مستقیم	مستقیم
۸	شریانی	شریانی	شریانی	شریانی	شریانی
۹	شریانی	مستقیم	مستقیم	شریانی	شریانی
۱۰	شریانی	شریانی	شریانی	شریانی	شریانی
۱۱	شریانی	شریانی	مستقیم	شریانی	شریانی
۱۲	شریانی	شریانی	مستقیم	شریانی	مستقیم
۱۳	شریانی	شریانی	شریانی	شریانی	مستقیم
۱۴	شریانی	—	مستقیم	شریانی	مستقیم
۱۵	شریانی	—	شریانی	شریانی	—
۱۶	شریانی	—	شریانی	شریانی	—
۱۷	شریانی	—	شریانی	شریانی	—

در سال ۱۳۳۴ که تصاویر اولیه این پژوهش مربوط به این سال هستند هیچ‌کدام از دو سد وجود ندارد و رودخانه در شرایط طبیعی خود جریان دارد و در سال ۱۳۵۰ که سری دوم تصاویر تهیه شده است سد بالادست منطقه مطالعاتی سد لتیان احداث و آب‌گیری شده است. سد دوم که در پایین دست منطقه قرار دارد در سال ۱۳۷۶ مراحل ساخت را آغاز و سال ۱۳۸۹ آب‌گیری کامل شده که مربوط به سری تصاویر سال ۱۳۸۳ و ۱۳۹۷ است.

**منطقه یک:** بازه‌های ۱ و ۲ مورد مطالعه در این منطقه در قسمت بالادست رودخانه واقع شده است. این دو بازه در تمامی سال‌های مورد مطالعه تک کانالی و تقریباً مستقیم بوده و به علت قرار گرفتن رودخانه در یک تنگ، تغییرات کناره رودخانه بسیار محدود بوده است. پوشش گیاهی اطراف بازه یک شامل درختان پراکنده و بوته‌ها مختلف کم ارتفاع است. هر دو طرف بازه دوم دارای زمین‌های کشاورزی بوده و حتی در قسمت چپ بر روی دامنه و موانع حاشیه رودخانه هم مزارع کشاورزی تشکیل شده است. در سال ۱۳۵۰ جاده اصلی آسفالت شده و سد بالادست نیز تکمیل و منطقه در محدود محافظتی سد قرار گرفته است. در این منطقه رسوبات غالب بستر رودخانه گراولی و در حاشیه آن دشت‌های سیلابی کوچک قرار دارد که بافاصله کمی دامنه شروع می‌شود (شکل ۴).





شکل ۴: بازه‌های مورد مطالعه شماره یک و دو در منطقه یک

**منطقه ۲:** بازه‌های ۳، ۴ و ۵ در این منطقه قرار دارد. از بازه ۳ به بعد دره باز شده و رودخانه دارای عرض بیشتر و الگوی رودخانه شریانی است. در سمت راست، دشت سیلابی بزرگتر با شیب ملایم واقع شده که در سال ۱۳۳۴ به طور کامل اختصاص به زمین‌های کشاورزی یافته است. اما در سمت چپ بعد از دشت سیلابی، ارتفاع زمین به طور ناگهانی افزایش پیدا می‌کند. ساحل سمت چپ رودخانه متأثر از زبانه‌های مخروط افکنه کوچک قدیمی یکی از انشعاب‌های فرعی است. در سال ۱۳۹۷ پل جدید در این بازه ساخته شده است ولی الگوی رودخانه همچنان شریانی است (شکل ۵). در بازه ۴ همانند بازه قبلی بستر رودخانه پهن‌تر و دارای الگوی شریانی است. حاشیه رودخانه دارای شیب ملایم و کاربری غالب زمین کشاورزی است. عارضه اصلی در سمت راست رودخانه دشت سیلابی وسیع است که در سال ۱۳۵۰ هم وجود داشته و در ادامه به دامنه محدود می‌گردد. از سال ۱۳۷۰ سیستم رودخانه به شدت تحت تأثیر فعالیت‌های انسانی از جمله گسترش باغ‌ها و افزایش دیوارهای تفکیک زمین و تصرف دشت سیلابی در دو طرف کانال قرار گرفته است. این روند در سال‌های ۱۳۸۳ و ۱۳۹۷ افزایش چشمگیری داشته است. بر اساس برداشت‌های میدانی، جنس رسوبات کرانه و بستر کانال، گراولی همراه با رسوبات ماسه‌ای و رسی است (شکل ۵).



شکل ۵: بازه‌های مورد مطالعه شماره سه و چهار در منطقه دو

بازه ۵ در حد فاصل دو پل قرار دارد که پل اول در بالادست بازه در سال ۱۳۳۴ وجود نداشته است و زمین‌های اطراف در سمت راست با شیب ملایم به سمت جاده دارای کشاورزی جالیزی و فصلی است اما در سمت چپ با افزایش شیب به صورت ناگهانی که باعث ایجاد پرتگاه‌های محدود در حاشیه دشت کوچک سیلابی شده است. الگوی رودخانه در سال

۱۳۵۰ با ایجاد زمین‌های کشاورزی به الگوی تک کانالی تبدیل شده و در سال‌های بعد به الگوی شریانی بازگشته است. بستر رودخانه در این منطقه دارای رسوبات درشت‌تر و گراول است (شکل ۶).

**منطقه ۳:** بازه‌های ۶ تا ۱۱ در این منطقه قرار دارند. بازه ۶ دارای الگوی شریانی بوده و پوشش کرانه راست زمین‌های کشاورزی و در سمت چپ رودخانه محدود به دیواره دامنه است. از سال ۱۳۷۰ به بعد رودخانه تحت تاثیر انحراف جریان به طرف راست جابجا شده و پوشش گیاهی نیز از بین رفته و الگوی رودخانه تک کانالی شده است. این روند تا سال ۱۴۰۰ ادامه دارد. در میان کانال موانع طولی قرار دارد که در سال‌های اخیر دارای پوشش محدود از درخت‌های بید شده است که با افزایش سن تنومند شده‌اند و کانال غربی متروک شده است (شکل ۶).



شکل ۶: بازه‌های مورد مطالعه شماره پنج و شش

بازه ۷ در سال‌های ۱۳۳۴ و ۱۳۵۰ دارای الگوی شریانی و فاقد هرگونه دست‌کاری انسانی است. کرانه رودخانه، در حاشیه راست و چپ ارتفاع پیدا کرده به گونه‌ای که سمت شرقی با بیرون زدگی‌های سنگی محاط شده است. در این بخش رسوبات ماسه‌ای بیشتری همراه با گراول وجود دارد. برای سال‌های ۱۳۷۲، ۱۳۸۳ و ۱۳۹۷ میزان پوشش گیاهی در موانع طولی افزایش یافته و در کرانه شرقی نیز به صورت کند و آرام دست‌کاری و کانال‌کشی‌های انسانی رو به افزایش بوده و الگوی شریانی به سمت الگوی تک کانالی تغییر یافته است (شکل ۷).

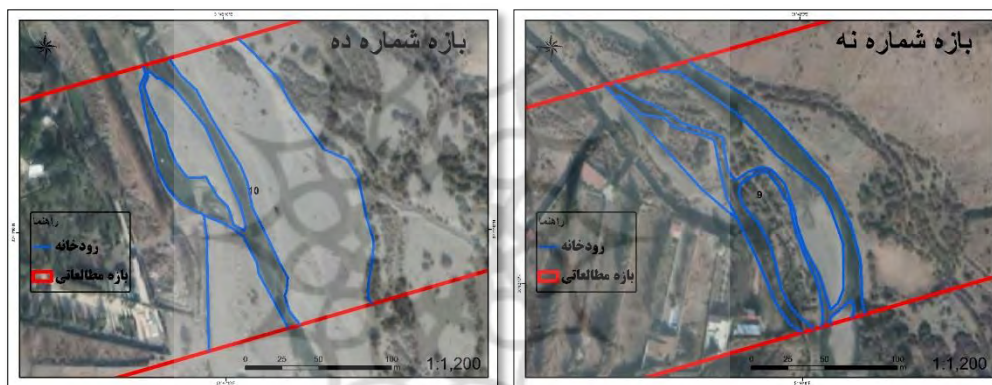
در بازه هشت عرض رودخانه افزایش یافته و در سال‌های ۱۳۳۴ و ۱۳۵۰ الگوی شریانی غالب بوده و دارای پوشش گیاهی بسیار محدودی است. با نزدیکی به سال‌های ۱۳۷۰ و بعد از آن، در سمت راست و داخل بستر رودخانه، ساخت‌وسازهای انسانی در حال افزایش بوده در صورتی که در حاشیه چپ کاربری کشاورزی غلبه داشته است (شکل ۷).



شکل ۷: بازه‌های مورد مطالعه شماره هفت و هشت

پیش آمدگی سنگی از کرانه راست در بازه نه باعث ایجاد کرانه مرتفع شده و دشت سیلابی موجود در این قسمت در سال‌های ۱۳۳۴ و ۱۳۵۰ کشاورزی و درخت‌های محدودی وجود دارد. در سال ۱۳۳۴ رودخانه دارای الگو شریانی بوده ولی در سال ۱۳۵۰ به صورت تک کانالی تبدیل شده است. در سال ۱۳۷۰ الگوی تک کانالی تداوم داشته ولی در سال‌های ۱۳۸۳ و ۱۳۹۷ الگو شریانی می‌شود و روند استفاده انسانی از بستر و دشت‌های اطراف رو به افزایش است. پوشش گیاهی طبیعی بوته‌ای نیز در سال‌های ۷۰ به بعد مدام و پیوسته افزایشی بوده است (شکل ۸).

عرض رودخانه در بازه ده نسبت به بازه های قبلی بیشتر شده است. در این قسمت یک شاخه فرعی نسبتاً بزرگ از سمت راست به رودخانه متصل می‌شود که تشکیل یک مخروط آبرفتی در این بازه داده است. الگوی رودخانه در این قسمت برای سال‌های ۱۳۳۴ و ۱۳۵۰ شریانی است. در سال‌های اخیر پوشش گیاهی در سمت راست و چپ در حال افزایش است و روند پیشروی زمین‌های کشاورزی و دست‌کاری انسانی در حاشیه سمت راست حتی تا بستر رود ادامه دارد. بستر رودخانه دارای رسوبات گراولی است اما کرانه با افزایش چشمگیر ماسه بوده و حاشیه کانال نیز دارای رسوبات ریز تا درشت هستند (شکل ۸).



شکل ۸: بازه‌های مورد مطالعه شماره نه و ده

بازه ۱۱ نیز یک شاخه فرعی دریافت کرده و دارای یک مخروط افکنه بوده و تقریباً شرایط بازه قبلی در این بازه نیز حاکم است. الگوی غالب در این بازه شریانی است اما در سال ۱۳۷۰ کانال دچار تغییر الگو شده است. وضعیت نوع رسوبات و پوشش گیاهی این بازه مشابه بازه شماره ده است (شکل ۹).

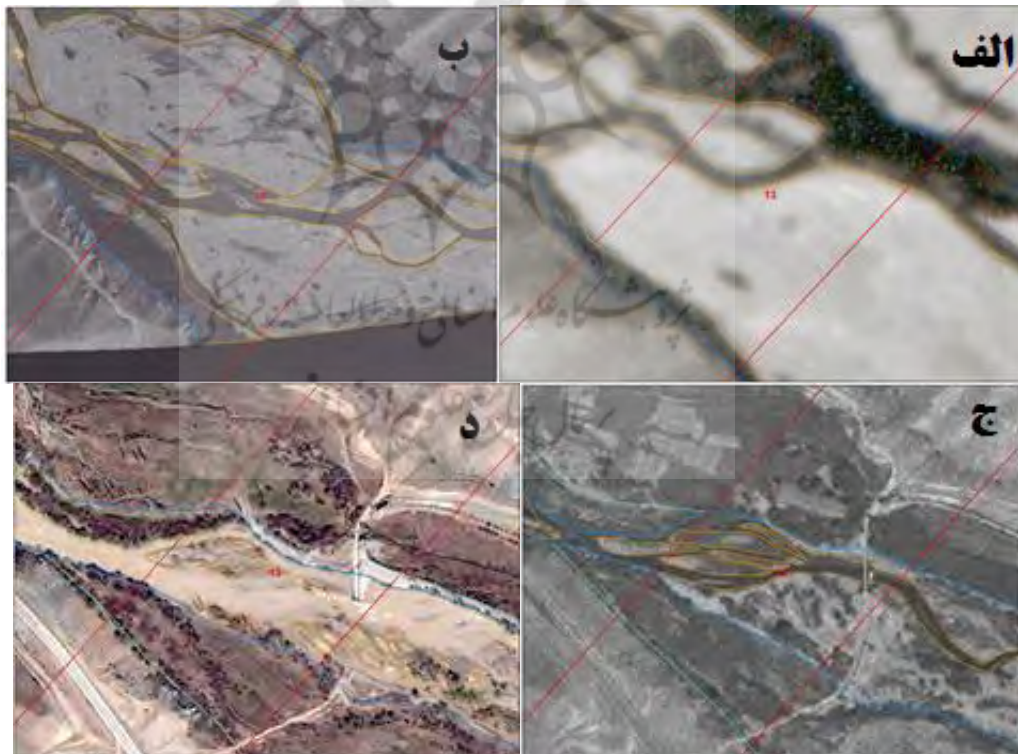
**منطقه ۴:** بازه ۱۲ در این منطقه قرار دارد. عرض رودخانه در این بازه نیز افزایش یافته و الگوی غالب شریانی است. پوشش گیاهی درختی و به همراه آن پوشش بوته‌های کم ارتفاع نیز بر روی موانع میانی در حال افزایش است. در سال ۱۳۷۰ بیشتر بستر عریض رودخانه با خاک‌ریزی و افزایش ارتفاع زیر کشت محصول رفته و محصولات به صورت درخت‌های میوه رو به افزایش است. بستر رودخانه گراولی است و دیواره‌ها نیز از رسوبات ماسه تا گراول تشکیل شده است که در برخی نقاط دارای رسوبات درشت‌تر نیز هستند (شکل ۹).





شکل ۹: بازه های مورد مطالعه شماره دوازده و دوازده

**منطقه ۵:** بازه های ۱۳ تا ۱۷ در این منطقه قرار دارد. در بازه ۱۳ در سال ۱۳۳۴ از عرض رودخانه کاسته شده و تمام عرض رودخانه بستر رود را تشکیل داد که با رسیدن به ارتفاعات و دیواره‌ها محاط شده است. در سال ۱۳۵۰ ساحل چپ دستخوش تغییرات است که با افزایش حجم پوشش گیاهی نیز همراه است. برای سال ۱۳۷۰ تأسیسات کشاورزی در ساحل چپ افزایش یافته است و یک پل در عرض رودخانه بر روی یکی از انشعاب‌ها ایجاد شده است. بستر این قسمت شامل رسوبات گراولی و ماسه است اما دیواره‌ها بیشتر متشکل از بیرون زدگی های سنگی و رسوبات کوه رفتی بوده و الگوی کانال جز در سال‌های پایانی همواره شریانی بوده است (شکل ۱۰).

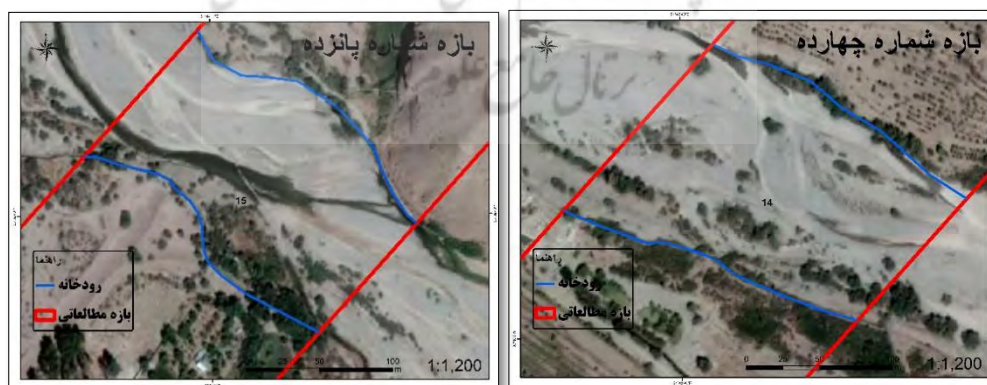




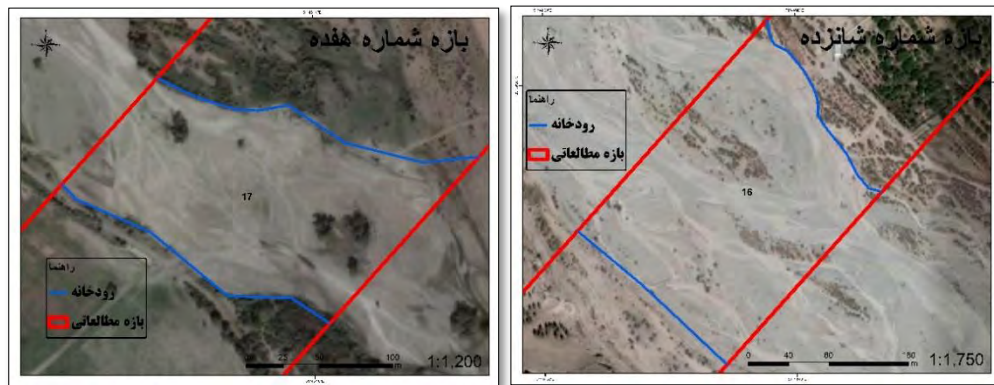
شکل ۱۰: بازه های شماره سیزده در سال الف (۱۳۳۴ ب) (۱۳۵۰ ج) (۱۳۷۰ د) (۱۳۸۳ ه) (۱۳۹۷

در بازه ۱۴ عرض رودخانه کاهش یافته و در ساحل غربی که به ظاهر یک مانع کناری قدیمی متصل به دامنه کم شیب ارتفاعات جانبی است از سال ۱۳۳۴ دارای پوشش گیاهی و باغ‌های دست کاشت است. در سال‌های بعد همراه با رشد پوشش گیاهی طبیعی، پوشش گیاهی دشت کاشت انسان نیز در ساحل راست افزایش نشان می‌دهد. رسوبات بستر و کناره در این بازه شامل رسوبات ماسه‌ای و گراولی هستند. الگوی شریانی این بازه در سال‌های اخیر به سمت تک کانالی شدن پیش رفته است (شکل ۱۱).

بازه های ۱۵، ۱۶ و ۱۷ همانند بازه چهارده هستند. در کرانه راست برای شماره ۱۵ و ۱۷ و در ساحل چپ برای بازه ۱۶ در سال ۱۳۷۰ کشاورزی محدودی وجود دارد که در سال ۱۳۳۴ وجود نداشته و پوشش گیاهی نیز افزایش چشمگیری داشته است. برای سال‌های ۱۳۸۳ تا زمان حاضر این بازه‌ها نزدیک سطح اساس جدید یعنی دریاچه سد دوم قرار گرفته‌اند. با ایجاد سد از ادامه کار تأسیسات انسانی جلوگیری شده است و پوشش گیاهی نیز رشد چشمگیری داشته الگوی این بازه‌ها الگوی شریانی بوده است (شکل ۱۲).



شکل ۱۱: بازه های مورد مطالعه شماره چهارده و پانزده

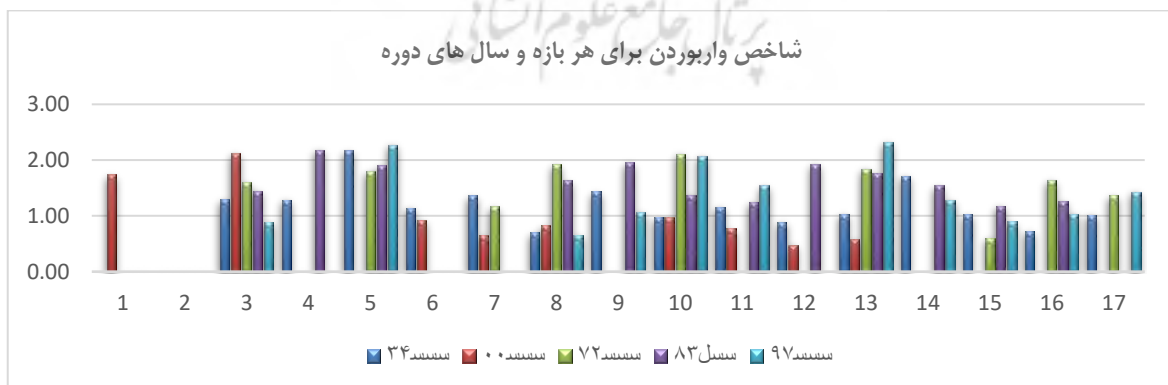


شکل ۱۲: بازه های مورد مطالعه شماره شانزده و شماره هفده

**محاسبه ضریب شریانی:** برای رودخانه جاجرود بر اساس شاخص های بریس، ریچاردز و وارپورتون میزان توسعه یافتگی الگو شریانی در پنج مقطع زمانی (۱۳۳۴، ۱۳۵۰، ۱۳۷۲، ۱۳۸۳ و ۱۳۹۷) در هفده بازه به تفکیک محاسبه گردید و روند تغییرات الگو در بازه ها در بازه زمانی فوق مورد تحلیل قرار گرفت (شکل های ۱۳ تا ۱۵ و جدول ۲).

جدول ۲: مقادیر ضرایب شریانی بر اساس شاخص های وارپورتون در رودخانه جاجرود

مقطع و سال	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵	۱۶	۱۷	میانگین
۳۴	۰	۰	۱/۳	۱/۳	۲/۲	۱/۱	۱/۴	۰/۷	۱/۴	۱	۱/۲	۰/۹	۱	۱/۷	۱	۰/۷	۱	۱
۵۰	۱/۷	۰	۲/۲	۰	۰	۰/۹	۰/۷	۰/۸	۰	۱	۰/۸	۰/۵	۰/۶	-	-	-	-	۰/۷
۷۲	۰	۰	۱/۶	۰	۱/۸	۰	۱/۲	۱/۹	۰	۲/۱	۰	۰	۱/۸	۰	۰/۶	۱/۶	۱/۴	۰/۸
۸۳	۰	۰	۱/۴	۲/۲	۱/۹	۰	۰	۱/۶	۲	۱/۴	۱/۳	۱/۹	۱/۸	۱/۵	۱/۲	۱/۳	۰	۱/۱
۹۷	۰	۰	۰/۹	۰	۲/۲	۰	۰	۰/۷	۱/۱	۲/۱	۱/۵	۰	۲/۳	۱/۳	۰/۹	۱	۱/۴	۰/۹

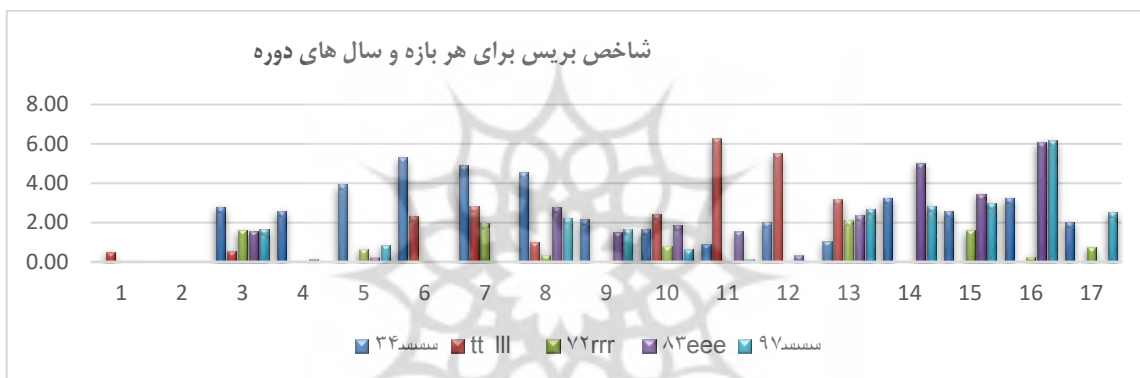


شکل ۱۳: ضرایب شریانی بر اساس شاخص های وارپورتون در رودخانه جاجرود



جدول ۳: مقادیر ضرایب شریانی بر اساس شاخص‌های بریس در رودخانه جاجرود

مقطع و سال	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵	۱۶	۱۷	میانگین
۳۴	۰	۰	۲/۸	۲/۶	۳/۹	۵/۳	۴/۸	۴/۶	۲/۲	۱/۷	-۰/۹	۲	۱/۱	۳/۳	۲/۶	۳/۲	۲	۲/۵
۵۰	-۰/۵	۰	-۰/۶	۰	۰	۲/۳	۲/۸	۱	۰	۲/۴	۶/۳	۵/۵	۳/۲	-	-	-	-	۱/۹
۷۲	۰	۰	۱/۶	۰	-۰/۶	۰	۱/۹	-۰/۴	۰	-۰/۸	۰	۰	۲/۱	۰	۱/۶	-۰/۳	-۰/۸	-۰/۶
۸۳	۰	۰	۱/۶	-۰/۶	-۰/۲	۰	۰	۲/۸	۱/۵	۱/۹	۱/۵	-۰/۴	۲/۴	۵	۳/۵	۶/۱	۰	۱/۶
۹۷	۰	۰	۱/۷	۰	-۰/۹	۰	۰	۲/۲	۱/۷	-۰/۶	-۰/۲	۰	۲/۷	۲/۹	۳	۶/۲	۲/۵	۱/۴

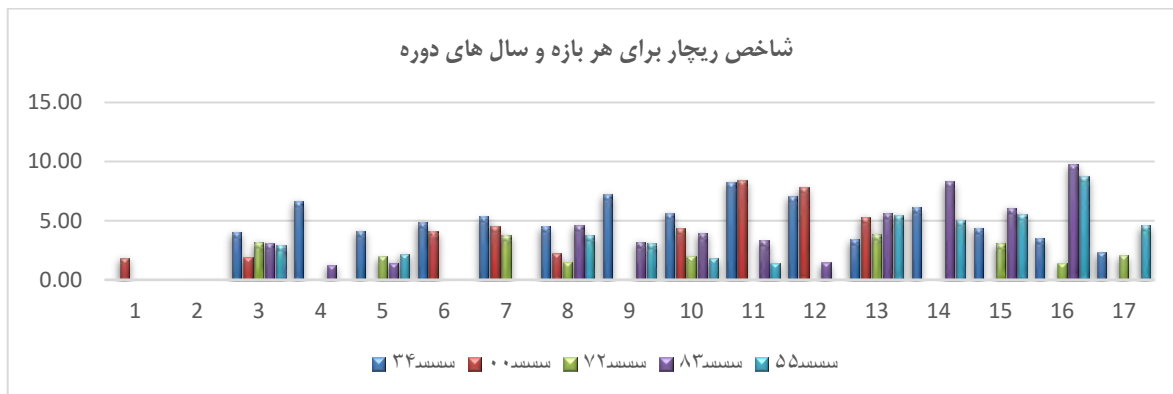


شکل ۱۴: ضرایب شریانی بر اساس شاخص‌های بریس در رودخانه جاجرود

جدول ۴: مقادیر ضرایب شریانی بر اساس شاخص‌های ریچاردز در رودخانه جاجرود

مقطع و سال	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵	۱۶	۱۷	میانگین
۳۴	۰	۰	۴/۸	۶/۶	۴/۲	۴/۹	۵/۳	۴/۵	۷/۳	۵/۶	۸/۳	۷	۳/۴	۶/۱	۴/۴	۳/۵	۲/۳	۴/۶
۵۰	۱/۸	۰	۱/۹	۰	۰	۴/۵	۴/۵	۲/۳	۰	۴/۳	۸/۵	۷/۸	۵/۳	-	-	-	-	۳/۱
۷۲	۰	۰	۳/۲	۰	۲	۰	۳/۸	۱/۵	۰	۲	۰	۰	۳/۸	۰	۳/۱	۱/۴	۲	۱/۳
۸۳	۰	۰	۳/۱	۱/۳	۱/۴	۰	۰	۴/۶	۳/۲	۴	۳/۳	۱/۵	۵/۶	۸/۳	۶/۱	۹/۸	۰	۳/۱
۹۷	۰	۰	۲/۹	۰	۲/۲	۰	۰	۳/۷	۳/۱	۱/۹	۱/۴	۰	۵/۴	۵/۱	۵/۶	۸/۷	۴/۶	۲/۶۲





شکل ۱۵: ضرایب شریانی بر اساس شاخص های ریچاردز در رودخانه جاجرود

به منظور بررسی تاثیر سد جاجرود بر الگوی شریانی رودخانه جاجرود با استفاده از شاخص های بریس، ریچاردز و واربرتون در پنج مقطع زمانی (۱۳۳۴، ۱۳۵۰، ۱۳۷۲، ۱۳۸۳ و ۱۳۹۷) از آزمون آماری ویلکاکسون استفاده شد. با توجه به ساخت سد قبل از سال ۱۳۵۰، مقادیر شاخص شریانی در سال ۱۳۳۴ (قبل از احداث سد) با مقادیر شاخص شریانی در سال های بعد از احداث سد مورد مقایسه قرار گرفت (جدول ۵). به منظور بررسی بازه های متفاوت در مقاطع زمانی متفاوت نیز از آزمون آماری t جفتی برای مقایسه دو گروه وابسته استفاده شد.

جدول ۵: نتایج آزمون های آماری ویلکاکسون و تی دوتایی برای سه شاخص بریس، ریچاردز و واربردن

شاخص	نوع آزمون	سال	۵۰-۳۴	۷۲-۳۴	۸۳-۳۴	۹۷-۳۴	۷۲-۵۰	۸۳-۵۰	۹۷-۵۰	۸۳-۷۲	۹۷-۷۲	۹۷-۸۳
بریس	ویلکاکسون	Z	-۰/۸۶	-۳/۱۸	-۱/۵۳	-۱/۹۳	-۲/۱	-۱/۱۸	-۱/۳۴	-۱/۸۵	-۲/۱۲	-۰/۸
		Sig	۰/۳۹	۰	۰/۱۳	۰/۰۵	۰/۰۴	۰/۲۴	۰/۲	۰/۱	۰/۰۳	۰/۴۲
	تی دوتایی	Sig	۰/۵۱	۰/۰۲	۰/۶	۰/۷۵	۰	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۸۱
ریچاردز	ویلکاکسون	Z	-۱/۸	-۳/۳	-۱/۶۸	-۱/۸۲	-۱/۸۹	-۰/۸۶	-۱/۳۳	-۱/۹۲	-۱/۹۶	-۱/۹۲
		Sig	۰/۰۷	۰	۰/۰۹	۰/۰۷	۰/۰۶	۰/۳۹	۰/۱۸	۰/۰۶	۰/۰۵	۰/۰۶
	تی دوتایی	Sig	۰/۳۶	۰/۲۴	۰/۲۴	۰/۴۱	۰/۰۲	۰/۱۲	۰/۰۶	۰/۰۲	۰/۰۳	۰/۶۴
واربردن	ویلکاکسون	Z	-۱/۳۳	-۱/۱۱	-۰/۵۷	-۰/۹۱	-۰/۵۶	-۱/۳۳	-۰/۴۵	-۰/۹۱	-۰/۴۷	-۰/۸
		Sig	۰/۱۳	۰/۲۷	۰/۵۷	۰/۳۶	۰/۵۷	۰/۱۸	۰/۶۶	۰/۳۶	۰/۶۳	۰/۴۲
	تی دوتایی	Sig	۰/۵۹	۰	۰/۰۳	۰/۰۴	۰/۰۱	۰/۱۵	۰/۰۹	۰/۲۷	۰/۳۲	۰/۹۷

### بحث

بر اساس مطالعات انجام شده در ۱۷ بازه به طول ۱۹ کیلومتر از رودخانه جاجرود برای سال های (۱۳۴۰، ۱۳۵۰، ۱۳۷۲، ۱۳۸۳، ۱۳۹۷) نشان می دهد این بازه ها دارای شرایط یکسان از نظر شاخص شریانی نبوده اند. این تغییرات الگوی رودخانه ممکن است بیانگر تغییرات شرایط محیطی در طول رودخانه و یا تأثیر سد ساخته شده بر رژیم رودخانه باشد؛ بر همین اساس میزان ضریب شریانی برای رودخانه مورد بررسی قرار گرفت. نتایج مطالعه نشان دهنده این موضوع است که در بازه های نزدیک به سد لتیان بازه های شماره ۱ و ۲ همیشه حالت تک کانالی داشته اند و فقط در سال ۱۳۵۰ به مقدار خیلی محدود شریانی شده است. این دو بازه حتی قبل از احداث سد نیز دارای الگوی شریانی نبوده است. در سال ۱۳۵۰ که حدود زمانی ساخت سد لتیان است بازه شماره یک به مقدار کم شریانی شده که احتمالاً بخاطر دستکاری های کانال در عملیات سدسازی بوده و بعد به صورت تک کانالی برگشته است. مهمترین دلیل وجود الگوی تک کانالی در بازه های

اول و دوم موقعیت کانال است که در داخل دره محدود شده است. بر اساس یافته‌های سارما و اچارجی (۲۰۱۸) [۱۴] بازه‌هایی که در منطقه کوهستانی واقع شده‌اند و دارای عرض کم هستند (مشابه بازه ۱ و ۲) به دلیل محصور بودن و عرض کم کانال شرایط ایجاد الگوی شریانی مهیا نبوده و در بیشتر مواقع رودخانه حالت تک کانالی دارد. برای سال ۱۳۳۴ که رژیم رودخانه کاملاً طبیعی است جز بازه‌های شماره ۱ و ۲ تمامی بازه‌ها الگوی شریانی دارند و روند آن حدوداً ثابت بوده است، البته با توجه به اختلاف نوع پارامترهای اندازه‌گیری شده برای شاخص‌ها، روند شریانی بودن و میزان تفاوت مقادیر در شاخص‌های ریچارد و واربرتون در سال ۱۳۳۴ اختلاف چندانی ندارد اما در شاخص بریس برای بازه‌های ۵، ۶، ۷ و ۸ مقادیر بیشتری را نسبت به دیگر بازه‌های شریانی نشان می‌دهد. این روند در سال ۱۳۵۰ که سد لتیان در حال بهره‌برداری است در تمامی شاخص‌ها برای بازه‌های ۳، ۴ و ۵ ضریب شریانی صفر و یا مقادیر پایینی است. توضیح شرایط فوق می‌تواند آبیگری و راه‌اندازی سد لتیان در همین بازه زمانی و خروجی محدود آب باشد که در نهایت منجر به تک کانالی شدن بازه‌های یاد شده از رودخانه شده است.

در سال ۱۳۷۲ مقادیر ضریب شریانی با هر سه روش در بازه‌های مورد مطالعه نسبت به سال‌های قبل و بعد، کمترین میزان ضریب شریانی را نشان می‌دهند (جدول ۲، ۳ و ۴). در این بازه زمانی در بازه‌های ۳، ۷، ۱۳ و ۱۷ مقادیر ضریب شریانی با هر سه شاخص بالا است. در این بازه‌ها مقدار شاخص در سال‌های قبل و بعد نیز بالاتر بوده و نشان می‌دهد با وجود کاهش کلی شاخص در این بازه زمانی، در این چند بازه همچنان الگوی شریانی البته با شدت کمتر حاکم باشد. میانگین شاخص شریانی در هفده بازه در سال ۱۳۷۲ کمترین میزان در پنج بازه زمانی مورد مطالعه بوده است. بر اساس داده‌های دبی ایستگاه‌های هیدرومتری موجود، بالا بودن مقادیر دبی در این مقطع زمانی نسبت به زمان‌های دیگر مهمترین دلیل کاهش بار رسوبی بستر و کاهش شاخص الگوی شریانی بوده است.

در سال ۱۳۸۳ میانگین شاخص شریانی نسبت به ۱۳۷۲ افزایش پیدا کرده است. در این سال به غیر از بازه‌های ۱، ۲، ۶، ۷ و ۱۷ در بقیه بازه‌ها افزایش شاخص شریانی مشاهده می‌شود. در این سال بالاترین میزان شاخص شریانی در بازه‌های انتهایی یعنی بازه‌های ۱۳ تا ۱۶ ایجاد شده است. مهمترین دلیل ایجاد این وضعیت می‌تواند ناشی از احداث سد ماملو در فاصله ایی نه چندان پایین تر از بازه‌های مذکور است. در سال ۱۳۹۷ مقادیر شاخص شریانی در تمامی بازه‌ها تقریباً مشابه سال ۱۳۸۳ است. این مقادیر نشان می‌دهد که وضعیت ایجاد شده ناشی از سد در تمامی بازه‌ها به ویژه بازه‌های انتهایی و نزدیک به سد ماملو ثابت بوده است.

در بین بازه‌های مورد مطالعه وضعیت بازه‌های ۴، ۵، ۶ و ۷ به دلیل عبور از منطقه مسکونی به شدت تحت تاثیر دخالت‌های انسانی قرار گرفته است. از سال ۱۳۵۰ تا ۱۳۹۷ به دلیل توسعه شهرنشینی و دخل و تصرف صورت گرفته در حریم رودخانه، عرض کانال محدود و عمق افزایش یافته است. بنابراین الگوی کانال در این بازه‌ها تک کانالی و شاخص شریانی کاهشی بوده است.

بعد از روستای سعیدآباد یعنی بازه‌های ۱۰ تا ۱۶ به دلیل واقع شدن در منطقه حفاظت شده خجیر و منطقه نظامی میزان دخالت‌های انسانی کاهش یافته و یا در بسیاری از مسیر رودخانه، حریم رودخانه آزادسازی شده و همین شرایط باعث شده رودخانه تعریض شود و شرایط افزایش شاخص شریانی فراهم باشد. به همین دلیل از سال ۱۳۷۲ الگوی شریانی در این مناطق افزایش یافته است. در این بین بازه ۱۷ از سال ۱۳۸۳ به بعد روند افزایش الگوی شریانی آن با اتمام ساخت سد ماملو شروع شده است. این بازه قبل از دریاچه سد ماملو واقع شده و در بعضی از مواقع زیر پوشش آب دریاچه قرار می‌گیرد.

### نتیجه گیری

نتایج بررسی الگوی شریانی در فاصله زمانی ۱۳۳۴ تا ۱۳۹۷ نشان داد که رودخانه جاجرود از بازه ۳ از حالت محصور خارج شده و شرایط گسترش کانال و تشکیل الگوی شریانی فراهم شده است. بر اساس مقادیر میانگین شاخص شریانی رودخانه جاجرود، از سال ۱۳۳۴ تا ۱۳۷۲ مقادیر شاخص شریانی کاهش یافته و بعد از آن تا سال ۱۳۹۷ افزایش یافته است. نتایج آزمون آماری ویلکاکسون به منظور بررسی تاثیر سد جاجرود بر الگوی شریانی نشان داد که مقادیر شاخص شریانی بریس و ریچاردز در سال ۱۳۳۴ (قبل از احداث سد) با مقادیر شاخص شریانی بریس و ریچاردز در سال ۱۳۷۲ یعنی بعد از احداث سد اختلاف معناداری وجود دارد و در بقیه سال ها فاقد معناداری بوده است. به منظور بررسی بازه های متفاوت در مقاطع زمانی متفاوت نیز از آزمون آماری t جفتی برای مقایسه دو گروه وابسته استفاده شد. بر اساس نتایج آزمون آماری t جفتی در شاخص بریس و ریچاردز، مقادیر شاخص شریانی در بازه های مورد مطالعه از سال ۱۳۵۰ به بعد در مقاطع زمانی مختلف دارای اختلاف معناداری بوده است (جدول ۵). بر اساس یافته های این مطالعه، مدل بریس و ریچاردز کارایی بیشتری نسبت به مدل واربرتون جهت مطالعه الگوی شریانی در منطقه مورد مطالعه داشته است. بازه های میانی منطقه مورد مطالعه یعنی در منطقه مسکونی الگوی رودخانه به شدت تحت تاثیر دخالت های انسانی قرار گرفته است. توسعه شهرنشینی و دخل و تصرف صورت گرفته در حریم رودخانه، تخلیه نخاله های ساختمانی، محدود کردن کانال و سازه های حفاظتی کناره رودخانه مهمترین دخالت هایی است که در این منطقه اعمال شده است.

### منابع

- اسماعیلی، ر.، حسین زاده، م. م. و متولی، ص.، ۱۳۹۰، تکنیک های میدانی در ژئومورفولوژی رودخانه ای، انتشارات لاهوت، تهران.
- اسماعیلی، ر. و دلیری، ر.، ۱۳۹۸، تحلیل مورفولوژیکی و مورفودینامیکی پیکان رودهای رودخانه سلمان رود، استان گیلان. پژوهش های دانش زمین، سال دهم، شماره ۳۹، صص. ۱۴۱ - ۱۵۳.
- رومند، س. و انصاری فر، م.، ۱۳۹۴، بررسی ژئومورفولوژی مهندسی رودخانه جاجرود (از سد لتیان تا جاجرود)، اولین کنفرانس بین المللی علوم جغرافیایی، آباده.
- چورلی، ر.ج.، شوم، ا. ا و سوندن، د.ا.، ۱۳۹۲، ژئومورفولوژی جلد سوم (فرایندهای دامنه ای، آبراهه ای، ساحلی و بادی)، ترجمه احمد معتمد، انتشارات سمت، تهران.
- حسین زاده، م. م. و اسماعیلی، ر.، ۱۳۹۴. ژئومورفولوژی رودخانه ای، مفاهیم، فرم ها و فرایندها. چاپ اول، تهران، انتشارات دانشگاه شهید بهشتی، تهران.
- شکیبیا، پ. و غواصیه، ا. ر.، ۱۳۹۰، بررسی مورفولوژی رودخانه های شریانی مطالعه موردی رودخانه جاجرود (پایین دست سد لتیان، اولین کنفرانس بین المللی و سومین کنفرانس ملی سد و نیروگاههای برق آبی، تهران).
- کارد، آ.ج.، ۱۳۹۷، ریخت شناسی رودخانه، ترجمه محسن نصر آبادی - مسعود سعیدی - ناصر رفیعی اسکویی، چاپ پارسیا، تهران.
- گلستانی، ع. و انصاری، ر.، ۱۳۹۷، بررسی مولفه هندسی پیکان رودها و میزان توسعه آن ها در استان بوشهر، یازدهمین سمینار بین المللی مهندسی رودخانه، اهواز.
- رضایی مقدم، م.ح.، جباری، ا. و پیروزی نژاد، ن.، ۱۳۹۵، بررسی الگوهای رودخانه ای متاندری، شریانی و آنابرنچینگ با استفاده از شاخص های شریانی و خمیدگی در رودخانه گاماسیاب، پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز، دوره: ۷، شماره: ۱۳، صص. ۲۷۲-۲۸۳.

- یمانی، م. و حسین‌زاده، م. م.، ۱۳۸۳، بررسی الگوی پیکان‌رودی رودخانه تالار با استفاده از شاخص‌های ضریب خمیدگی و زاویه مرکزی، تحقیقات جغرافیایی، دوره ۱۹، شماره ۲ (پیاپی ۷۳)، صص. ۱۴۴ - ۱۵۴.
- یمانی، م.، رحیمی، م. ویسی، ع.، ۱۳۹۷، مورفومتری و مقایسه تغییرات عرضی رودخانه ارس طی سه دهه اخیر مطالعه موردی: پایین‌دست سد میل مغان، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، سال ۳ شماره ۴، صص ۷۴-۸۹.
  - Beechie, T. ..., Liermann, M., Pollock, M.M., Baker, S. and Davies, ..., 2006, Channel pattern and river-floodplain dynamics in forested mountain river systems. *Geomorphology*, ..., pp. 124-1.1.
  - Brierly, GJJ and Fryirs, K. A., 2005, *Geomorphology and River Management Application of the River Style* UK Blackwell Publishing, London
  - Brice, .C., 1.6., *Channel patterns and terraces of the Loup Rivers in Nebraska. Geological Survey Professional Paper 422-D.*
  - Buffington, .. M. and Montgomery, D. R., 2013, *Geomorphic classification of rivers. Treatise on Geomorphology; Fluvial Geomorphology, San Diego, CA: Academic Press.*
  - Byrne, C. F., Pasternack, G. B., Guillon, H., and Lane, B. A., 2020, Sandoval-Solis S. Reach-scale bankfull channel types can exist independently of catchment hydrology. *Earth Surface Processes and Landforms*, 45, pp4 244-2200.
  - Chalov, S.R. and Alexeevsky, N. I., 2015, Braided rivers: structure, types and hydrological effects. *Hydrology Research*, 46 (2), pp. 25. -275.
  - Chang, HH H 28 , *River morphology and river channel changes. Trans. Tianjin Univ*, 14, pp. 2. -262.
  - Ching-Ruey, ..., 2021, Hydrodynamics of braiding river. *International Journal of Hydrology*, 5 (3), pp7 7791
  - Dunne, K. B. .. and Jerolmack, D. ..., 2020, What sets river width. *SCIENCE ADVANCES*, 16, pp. 1...
  - zgozi , R. and Ashmore, P., 2008, Defining and measuring braiding intensity. *Earth Surface Processes and Landforms*, 33, pp. 2121 - 2138.
  - Friend, PF. And Sinha, R., 1333, Braiding and meandering parameters. In *Braided Rivers, Best LL, Bristow CS (eds). The Geological Society London*, pp 105- 12.
  - Germanoski, D. and Schumm, SA., 1..., *Changes in braided river morphology resulting from aggradation and degradation. Journal of Geology*, 101, pp. 451-466.
  - Ham, D.G., 2005, *Morphodynamics and sediment transport in a wandering gravel-bed channel: Fraser River, British Columbia. The University of British Columbia. PhD thesis.*
  - Hong, LB. and Davies, TRH., 1999, *A study of stream braiding. Geological Society of America Bulletin*, 90(2), pp. 1... -1859.
  - Howard, AD., Keetch, M. And Vincent, C., 1770, *Topological and geometrical properties of braided streams. Water Resources Research*, 6, pp. 1644-1688.
  - Kessler, A. C., Gupta, S. Cñ Dolliver, H. A. S. and Thoma, D. P., 2012, Lidar Quantification of Bank Erosion in Blue Earth County, Minnesota. *Journal of Environmental Quality*, 41, pp. 1.. -20..
  - Mosley, PM., 1881, *Semi-determinate hydraulic geometry of river channels, South Island, New Zealand, Earth surface Processe and Landforms*, 6, pp. 127-177.
  - Nanson, GC. and Huang, HQ., 2016. *A philosophy of rivers: qquilibrium states, channel evolution, teleomatic change and least action principle. Geomorphology*, 302, pp. 3-1..
  - Pannone, M and Vincenzo, D.A., 2021, *Theoretical Investigation of qquilibrium Dynamics in Braided Gravel Beds for the Preservation of a Sustainable Fluvial Environment. Sustainability*, 13(3), pp. 12. 46.

- Prasujya, G. and Sharma, N., 2021, Spatio-temporal study of morpho-dynamics of the Brahmaputra River along its Majuli Island reach, *Environmental Challenges*, [https://doi.org/10.1016.j.envc.2021.10021](https://doi.org/10.1016/j.envc.2021.10021).
- Sarma, JNN and Acharjee, S., 2018, A Study on Variation in Channel width and Braiding intensity of the Brahmaputra River in Assam, *Indian Geosciences*, 8(9), pp333-361.
- Simone, B., Ferv, P., Schmitt, R., Pitlick, G., Gogay, H. and Castelletti, A., 2021, Sediment transport at the network scale and its link to channel morphology in the braided Josa River system. *Earth Surface Processes and Landforms*, 55, pp1-14.
- Richards, J. St. L., 2002, Rivers: Form and Processes in Alluvial Channels. Methuen, 858 pp.
- Rust, B.R.G., 1978, A classification of alluvial channel systems. *Fluvial Sedimentology*, *Journal of the Canadian Society of Petroleum Geologists*, Alberta; 1, 1-11.
- Warburton, J. and Davies, T.R.H., 1994, Variability of bedload transport and channel morphology in braided river hydraulic model. *Earth Surface Processes and Landforms*, 19, pp. 401-421.
- Winterbottom, S., 2000, Medium and short-term channel planform changes on the Rivers Tay and Tummel, Scotland. *Geomorphology*, 34, pp 195-220.
- You, Y., Li, ..., Gao, P. and Hu, T., 2021, Impacts of dams and land-use changes on hydromorphology of braided channels in the Lhasa River of the Qinghai-Tibet Plateau, China. *International Journal of Sediment Research*, 77, pp421-442.

