

پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، سال هشتم، شماره ۳، زمستان ۱۳۹۸  
صص. ۱۴۵-۱۳۲

## بررسی تغییرات ژئومورفولوژیکی مائدرهای رودخانه‌ای با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای در بازه زمانی ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۸ (مطالعه موردی: رودخانه بشار)

علی شهریار\* - استادیار ژئومورفولوژی، گروه جغرافیا، دانشگاه یزد.  
محمد شریفی پیچون - استادیار ژئومورفولوژی، گروه جغرافیا، دانشگاه یزد.  
زهره اسفندیاری - دانشجوی کارشناسی ارشد ژئومورفولوژی، گروه جغرافیا، دانشگاه یزد.

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

### چکیده

رودخانه‌ها به عنوان مهم‌ترین عامل موثر در تنوع ژئومورفولوژیکی عوارض سطح زمین به شمار آمده و تحت تاثیر عوامل و متغیرهای مختلف پیوسته در حال تغییر می‌باشند. در این پژوهش تغییرات هیدروژئومورفولوژی رودخانه بشار از منظر مائدرشدگی آن مورد بررسی واقع شده که برای این منظور ابتدا با استفاده از فاکتورهای هندسی و زاویه مرکزی، مائدرهای رودخانه مشخص و مورد بررسی قرار گرفت است. در این تحقیق از روش سنجش از دور برای نمایش تغییرات ۲۸ ساله رودخانه استفاده شده است در ادامه با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست مرز حوضه آبخیز بشار جدا و طی سال‌های ۱۹۹۰ و ۲۰۱۸ در نرم افزار ENVI به صورت طبقه‌بندی نظارت شده به روش Maximum likelihood یا حداکثر احتمال طبقه‌بندی صورت گرفت. سپس مسیر رودخانه رقومی گردید و تغییرات در هر دو دوره به تفصیل مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که ۶۲ درصد مسیر رودخانه از سال ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۸ جابجایی داشته است و ۳۸ درصد دیگر بدون تغییر باقی مانده است. بنا به نتایج بدست آمده میزان تغییرات در سال ۱۹۹۰ حاکی از فعال بودن عوامل تغییرات هیدرولیکی رودخانه مانند حجم دبی، سرعت جریان و... در این بازه زمانی بوده است، ولی با این وجود فعالیت‌های انسانی عامل اصلی تغییرات تا سال ۲۰۱۸ به حساب می‌آیند.

واژگان کلیدی: هیدروژئومورفولوژی، مائدر، یاسوج، رودخانه بشار.

## مقدمه

شناسایی شکل و ساختمان رودخانه، مورفولوژی رودخانه نامیده می‌شود به طوری که با شناخت مورفولوژی رودخانه می‌توان اطلاعات بسیار مفیدی از رودخانه به دست آورد (حق‌آبی و عزیزیان، ۱۳۹۱). مورفولوژی یک رودخانه تحت تاثیر عوامل متفاوتی مثل سرعت جریان، فرسایش و نحوه رسوب‌گذاری قرار دارد. در مطالعه مورفولوژی رودخانه می‌توان اطلاعاتی از قبیل شکل هندسی آبراهه، شکل بستر و پروفیل طولی رودخانه به دست آورد. رودخانه‌ها با استفاده از معیارهای مختلفی تقسیم‌بندی می‌شوند که از متداول‌ترین معیارهای مربوط به مورفولوژی رودخانه، شکل ظاهری (هندسی) یا پلان رودخانه می‌باشد. رودخانه به عنوان سیستمی پویا، مکان و خصوصیات مورفولوژیکی خود را همواره برحسب زمان، عوامل ژئومورفیک<sup>۱</sup>، زمین‌شناختی، هیدرولوژیکی<sup>۲</sup> و گاه در اثر دخالت بشر تغییر میدهد (رضایی‌مقدم و همکاران، ۱۳۹۱). تغییرات رودخانه‌ای به صورت فرسایش یا رسوب‌گذاری در بستر، تخریب دیواره‌ها، تغییر در راستای جریان، تغییر و جابجایی مآندرها و تغییر در فرم رودخانه مشخص می‌شوند (فروغی و همکاران، ۱۳۸۰). کلیه رودخانه‌ها در معرض تغییر و تحول قرار دارند و از جمله مباحث مهم در حفاظت از رودخانه، شناخت شکل رودخانه (مورفولوژی)، تثبیت سواحل و بستر رودخانه و کنترل سیلاب می‌باشد. با توجه به اینکه کلیه رودخانه‌ها در معرض تغییر و تحول قرار دارند و معمولاً مسیری انحنادار را طی می‌کنند به آن پیچان‌رود یا "مآندر"<sup>۳</sup> گفته می‌شود که متداول‌ترین الگو بر اساس شکل و پلان بستر در طبیعت هستند. این نوع رودخانه‌ها شامل ترکیبی از یک سری پیچ‌های پیوسته است که توسط مسیرهای کوتاه و مستقیم به هم متصل می‌شود و عموماً در محل جلگه‌ها و دشت‌های سیلابی تشکیل می‌شوند (حق‌آبی و عزیزیان، ۱۳۹۱). کانال‌های مآندری دارای شکل هندسی است که تغییرات زیادی می‌کنند، طول موج مآندرها دارای نوساناتی هستند که از مکانی به مکان دیگر متفاوت هستند. حتی مستقیم‌ترین کانالها دارای پیچ و خم هستند (سلبی<sup>۴</sup>، ۱۹۸۳). به نظر برابود<sup>۵</sup> و همکاران (۲۰۰۲) رودخانه‌ها سیستم پویایی هستند و فعالیت آب روان می‌تواند بستر و لبه رودخانه‌ها را تغییر دهد بخصوص که تمایل دارند تغییر را در مکانهای جانبی (کناره‌ها صورت دهند. رودخانه‌های آبرفتی به سه دسته مستقیم، پیچان‌رودی و شریانی تقسیم می‌شوند. در نوع مستقیم؛ این الگو در طبیعت بسیار نامتعادل بوده و عموماً در دره‌های V شکل، گسل‌ها و درزه‌ها یافت می‌شود. در الگوی شریانی؛ از تنه اصلی بستر رودخانه چند مسیر جدا شده، سپس آب‌های جاری بعد از طی مسافتی دوباره به یکدیگر ملحق می‌شوند که چنین الگویی در مناطقی با دبی تشنجی و فصلی، میزان فرسایش بالا و پوشش گیاهی ناچیز تشکیل می‌شود. در بسیاری از مناطق جهان، پژوهش‌های زیادی در مورد پدیده مآندری شدن رودخانه‌ها انجام گرفته اما به دلیل پیچیدگی فرایندهای حاکم بر این پدیده که ناشی از تفاوت در ویژگی‌های زمین‌شناسی، خاک‌شناسی، مورفولوژیک، هیدرولوژیک، پوشش گیاهی، شرایط اقلیمی و بسیاری از عوامل شناخته شده یا ناشناخته دیگر می‌باشد، از این رو هر محقق ممکن است با نتایج مختلفی روبرو شود.

تورنه<sup>۶</sup> (۱۹۹۱)، در مطالعه فرسایش ساحلی و مهاجرت مآندر در رودخانه‌های می‌سی‌سی‌پی ایالات متحده آمریکا بیان می‌کند که با مراجعه به مهاجرت پیچ‌های رودخانه‌های می‌سی‌سی‌پی در آمریکا، اهمیت خصایص ساحل در عقب نشینی ساحل، ژئومتری مجرا و تغییر شکل مآندر مشخص می‌شود، نتایج تحقیق نشان داده که چگونه ماهیت مواد بر روی ساحل بیرونی هم از نظر سرعت و هم از نظر پراکندگی فرسایش ساحل در یک خمیدگی تأثیر می‌گذارد، سرعت و جهت مهاجرت

<sup>1</sup>-Geomorphic

<sup>2</sup>-Hydrogeomorphologic

<sup>3</sup>-Meandr

<sup>4</sup>-Selby

<sup>5</sup>-Briaud

<sup>6</sup>-Torne

هر انحنای رودخانه، روی هم رفته تغییرات زیادی بر الگوی تحول کانال اعمال می‌کند. ساندر<sup>۱</sup> (۲۰۰۰)، در بررسی‌های خود تغییرات کانال رودخانه‌های تی و تومل در اسکاتلند را در شرایط کوتاه و میان مدت با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی و عکس‌های هوایی بررسی کرد و نتیجه گرفت در شرایط میان مدت، میانگین عرض کانال رودخانه‌ها و در شرایط کوتاه مدت روند تغییر شکل رودخانه‌ها کاهش یافته است. تایمر<sup>۲</sup> (۲۰۰۳)، روش‌های کنترل تغییرات رودخانه‌های پیچان رودی را بر روی رودخانه‌ی تیس‌زا بررسی نمود و نتیجه گرفت که پیچان رودی شدن رودخانه به شدت تحت تأثیر موقعیت گسل‌ها و فرونشست‌های غیرعادی است. رنگزن و همکاران<sup>۳</sup> (۲۰۰۲)، امکان پایش و ارزیابی کمی تغییرات مسیر رودخانه ایندوس در پاکستان را با استفاده از تصاویر ماهواره‌های لندست مورد بررسی قرار دادند. این محققین برای تشخیص خط ساحلی رودخانه، تصویر باند هفت باند مادون قرمز NIR تصویر MSS ماهواره لندست را مورد پردازش قرار داده و این باند را به عنوان بهترین محدوده طیفی برای جداسازی آب و خاک معرفی نمودند. چو و همکاران<sup>۴</sup> (۲۰۰۶)، با بررسی افزایش تغییرات الگوی رودخانه‌ی زرد کنونی هوانگ‌هو در قسمت دلتایی چین با استفاده از تصاویر سنجش از دور پرداختند و نتیجه گرفتند که در دوره‌ی زمانی ۱۹۷۶-۲۰۰۰ میلادی بیشترین فرسایش در بالای دماغه دیالوکو و شینگ یانگو رخ داده و به طرف خط ساحلی حدود چهار و نیم و هفت متر عقب نشینی داشته است. پان<sup>۵</sup> (۲۰۱۳)، تغییرات حوضه رودخانه بانکو را با استفاده از فن آوری سنجش از دور و نقشه‌های توپوگرافی و تصاویر ماهواره‌های لندست (سنجنده‌های MSS و ETM) در دوره‌های زمانی مختلف مورد مطالعه قرار داده و شاخص مورفولوژیکی رودخانه از جمله ضریب خمیدگی، تقارن مقطع عرضی، نسبت پیچان‌رودی و ضریب بریدگی را از تصاویر ماهواره‌ای استخراج نمودند و نتایج نشان داد که شاخص‌های مورفولوژیکی رودخانه در فواصل زمانی مورد بررسی در حال تغییر بوده و این تغییرات در نواحی مختلف متفاوت می‌باشد. لی و همکاران<sup>۶</sup> (۲۰۱۴)، در بررسی معیارهای توسعه چشم انداز ژئومورفولوژیکی در سیستم زمین‌های خشک با تصاویر ماهواره لندست با سنجنده ETM مشاهده کردند که حداکثر پشته‌های رسوبی شن و ماسه در پایانه‌های رودخانه‌های آبرفتی می‌باشد. جوآن<sup>۷</sup> (۲۰۱۶) به بررسی تغییرات هندسی بستر رودخانه‌ای اچفالیا<sup>۸</sup> در جنوب لوئیزیانا<sup>۹</sup> از ۱۸۸۰ میلادی تا به حال پرداخته و بیان می‌دارد که بستر رودخانه در بخش‌های مختلف تغییرات محسوسی پیدا کرده است.

ارشد و همکاران (۱۳۸۶)، با استفاده از تکنیک‌های سنجش از دور، تغییرات مورفولوژیکی رودخانه‌ی کارون از گنوند تا بند قیر را طی چندین سال مورد بررسی قرار دادند و نتایج آن‌ها نشان داد که خصوصیات قوس‌ها در طول رودخانه در حال تغییر بوده به طوری که مقدار جابجایی عرضی قوسها در مناطقی به ۱۹۵۰ متر در طول ۱۳ سال می‌رسد. همچنین تراکم و اندازه‌ی انحنای قوس‌ها به سمت پایین دست جابجا شده‌اند. تغییرات زمانی ضریب خمیدگی قوس‌ها در محدوده‌ی قوس‌ها در محدوده‌ی گنوند تا بند قیر کاملاً مشهود بوده و این در حالی است که در بازه‌ی بند قیر تا فارسیات این تغییرات ناچیز می‌باشد. بهرامی (۱۳۸۷)، با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای روند تغییرات مسیر رودخانه کارون را در محدوده شوشتر تا اهواز را مورد مطالعه قرار داده و بیان می‌کند که رودخانه کارون دارای تغییرات گوناگونی هم از نظر طولی و هم عرضی می‌باشد و این نوع تغییرات در همه سابت‌های ردیابی شده به یک اندازه نمی‌باشد و الگوی تغییرات مؤاندری بیشتر بوده و

<sup>1</sup> -Sandra

<sup>2</sup> -Timer

<sup>3</sup> -Rangzan & et al

<sup>4</sup> -Chu & et al

<sup>5</sup> -Pan

<sup>6</sup> -Li & et al

<sup>7</sup> -Joann

<sup>8</sup> -Atchafalya

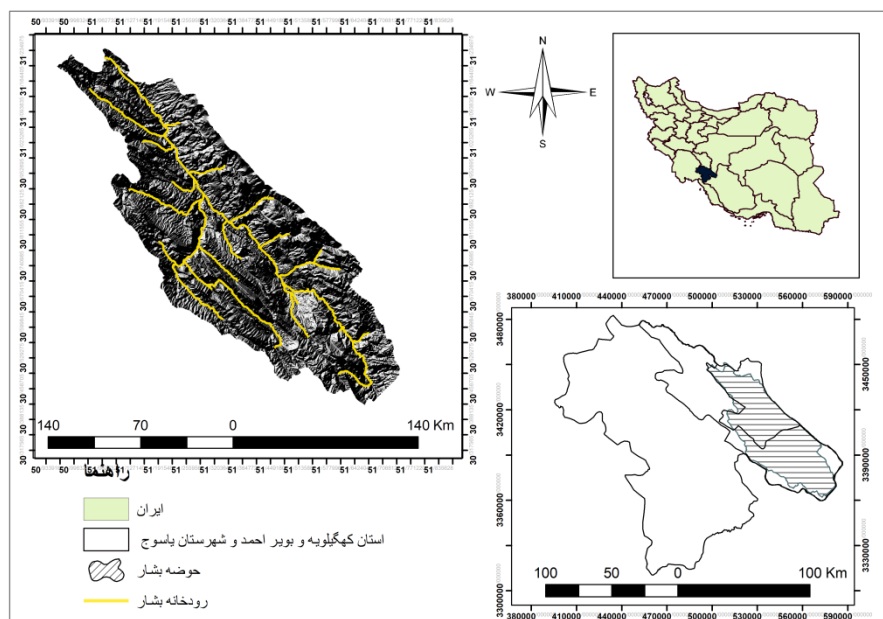
<sup>9</sup> -Louisiana

این تغییرات بیشتر در شاخه شطیپ مشاهده می‌شود. کاشانی‌زنوزی و همکاران (۱۳۹۲)، در پژوهشی بهره‌گیری از روش آماری هیدروژئومورفولوژی در برآورد رسوب تولیدی حوضه‌ی آبخیز زنوزچای را مورد بررسی قرار داده‌اند و به نقش عوامل پوشش گیاهی، تندی شیب و نفوذ پذیری خاک در شکل‌گیری رخساره خاک و برآورد حجم رسوب در یکی از زیر شاخه‌های این حوضه براساس روش SCS پرداختند. نتایج نشان داد که در بازه‌ی زمانی ۳۵ ساله مقدار رسوب در دو حوضه محاسباتی به ترتیب دارای ضریب اطمینان ۸۵ و ۹۱ درصدی است. تقوی‌مقدم و همکاران (۱۳۹۴)، در آشکارسازی تغییرات بستر رودخانه "مند" بوشهر با استفاده از تحلیل‌های آماری مورفومتری بستر با استفاده از سنجش از دور به بررسی رودخانه بخصوص الگوی پیچان رودی به طور خاص پرداخته‌اند، و با توجه به فرسایش کناری سواحل، بستر رودخانه و ته نشست رسوبات در هنگام وقوع و فروکش جریان سیل و ضوابط مورد نظر در منطقه به پهنه بندی و مدیریت منطقه مورد مطالعه در ارتباط با مورفودینامیک رودخانه‌ها مطالعاتی پرداخته‌اند. مقصودی و همکاران (۱۳۹۶)، در پژوهشی به تغییرات الگوی پیچان رودی مارون بر اساس دو شاخص ضریب خمیدگی و زاویه مرکزی برای تغییر انحنای رودخانه و وضعیت شکل رودخانه پرداخته‌اند و به این نتیجه رسیدند که طبق این دو شاخص مذکور، رودخانه مارون از نوع سینوسی بوده و به علت شیب کم پرفیل طولی رودخانه در بازه‌های زمانی، الگوی رودخانه بیشتر و سریع‌تر از سایر بازه‌ها تغییر الگو می‌دهد علت تغییر الگوی آن از نظر مسائل زمین شناسی و توپوگرافی، اقلیم، تکتونیک و هیدرولوژی منطقه زاگرس است و دبی بالای رودخانه و نزولات جوی بر الگوی رودخانه موثر بوده است. در این پژوهش نیز دیدگاه آن است که رودخانه پدیده‌ای پویا و دارای سیر تکامل خاص خود است و تغییرات پارامترهای هندسی ایجاد شده در آن سبب بروز رفتارهای جدید هیدرولیکی می‌شود. نکته مهم آن است که گذشت زمان و دخالت‌های انسانی در کناره‌ها و بستر رودخانه، روند این تغییرات را از حالت طبیعی خارج می‌کند به طوری که در بسیاری از رودخانه‌ها، رفتاری دیده می‌شود که در گذشته آن‌ها بسیار نادر یا بی‌سابقه بوده است. ضروری است که با شناسایی و استخراج تغییرات ژئومورفولوژی مسیر رودخانه بشار در بازه زمانی ۲۸ ساله در پهنه‌های لیتولوژیکی و مقایسه تاثیر این عوامل در شکل‌گیری مائدر در این منطقه به مدیریت منابع آب و ساماندهی رودخانه در سازمان‌های مربوطه پرداخت و مسیر احتمالی رودخانه و جهت فرسایش کناره‌ای رودخانه را در بخش‌های مختلف پیش‌بینی نمود تا مکان‌یابی صحیحی برای زمین‌های کشاورزی و مسکونی در نظر گرفته شود.

#### موقعیت منطقه مورد مطالعه

رودخانه بشار یکی از سر شاخه‌های رودخانه خرسان بوده و در شهرستان یاسوج و قسمتی از شهرستان سپیدان در استان فارس جریان دارد این حوضه با مختصات جغرافیایی  $30^{\circ}$  و  $15^{\circ}$  تا  $30^{\circ}$  و  $50^{\circ}$  عرض شمالی و  $51^{\circ}$  و  $25^{\circ}$  تا  $48^{\circ}$  طول شرقی، آب‌های قسمتی از این منطقه مرتفع را جمع‌آوری نموده و وارد رودخانه خرسان می‌نماید (شکل ۱). رودخانه بشار با طول حدود ۱۵۰ کیلومتر، از دامنه‌های غربی رشته کوه زاگرس که شاخه‌های اولیه آن واقع در کوه‌های شمال غربی سپیدان استان فارس است، سرچشمه می‌گیرد و طی مسیر جنوب به شمال غربی خود با گذر از مناطق مجاور شهر یاسوج به رودخانه کبکیان می‌پیوندد. مساحت حوضه بشار ۳۰۹۹ کیلومتر مربع و حداکثر ارتفاع آن مربوط به ارتفاعات یاسوج ۴۲۸۳ متر و حداقل ارتفاع آن ۱۳۲۰ متر است. این رودخانه به دلیل موقعیت کوهستانی رشته کوه‌های زاگرس و برخورداری از رژیم بارندگی مناسب برخورداری است. حوضه بشار به علت گسل خوردگی، از نظر زمین شناسی نسبت به سایر مناطق استان پیچیده‌تر است. این بخش به سبب ارتفاع زیاد کوه دنا، جزئی از زاگرس مرتفع در نظر گرفته می‌شود و در نتیجه عملکرد گسل شمالی-جنوبی، دنا، از سایر قسمت‌های استان جدا می‌شود و تنها جایی است که رسوبات دوران اول زمین شناسی و نهشته کنگلومرای سازند بختیاری و جوان‌ترین سازندها را می‌توان در آن دید. در سایر، نقاط سنگ‌ها مربوط به دوران دوم و سوم زمین شناسی و عصر حاضر قرار دارند (پایگاه ملی داده‌های علوم زمین، ۱۳۹۱). بیشترین ارتفاع منطقه در کوه‌های شرقی جای دارد که از نهشته‌های جوان کواترنری تشکیل شده و در جنوب، کنگلومرای بختیاری و در برخی

نقاط سازند پابده، گورپی، پابده گچساران، بختیاری دیده می‌شود از جمله سازندی که به وفور در این حوضه دیده می‌شود سازند آسماری است که حکایت از کارستی بودن منطقه دارد.



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی حوضه آبخیز بشار

## مواد و روش‌ها

در این پژوهش از روش میدانی و سنجش از دور استفاده شده است و استفاده از نرم افزار ArcGIS، Auto Cad، تصاویر گوگل ارث، مدل رقومی ارتفاعی ۲۰ متر و رسم نمودارها و آمارها و داده‌های اقلیمی (دما و بارش) منطقه و تحلیل‌های اقلیمی و هیدرولوژیکی حوضه و استفاده از نقشه‌های پایه که شامل نقشه‌های توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ زمین شناسی، ۱:۱۰۰۰۰۰ صورت گرفته است. در روش میدانی به بازدید از منطقه و کسب دید کلی برای برآورد میزان تغییرات پرداخته شده، لذا برای شناسایی عوارض، انطباق نقشه‌ها، صحت و سنجش داده‌ها، تصاویر با واقعیت زمینی، ثبت اطلاعات مکانی با GPS، بررسی خصوصیات هندسی پدیده‌ها، تهیه عکس از عوارض و بررسی نحوه تغییرات، به بازدید میدانی پرداخته شد. برای مطالعه و بررسی روند تغییر مسیر رودخانه‌ی بشار، از تصاویر ماهواره‌ی سنجنده‌های ETM و TM سال ۱۹۹۰ و ۲۰۱۸ در چند باند و مقایسه استفاده گردید. در استفاده از سنجش از دور با استفاده از تصاویری که از سازمان فضایی آمریکا بدست آمد به پردازش اطلاعات با استفاده از تصحیحات اتمسفری و طبقه‌بندی تصاویر پرداخته شد و نهایت به مقایسه مسیر به دست آمده از تصاویر پرداخته، تا میزان تغییرات مشخص گردد.

به منظور بررسی میزان تغییرات مسیر رودخانه بشار با استفاده از سنجش از دور، ابتدا تصاویر ماهواره‌ای منطقه مورد نظر دریافت و با استفاده از نرم افزار ENVI مورد پردازش واقع شد. برای این منظور تصویر منطقه مورد مطالعه برش زده شد و از روش Flaash تصحیحات اتمسفری روی تصاویر انجام گرفت. در مرحله بعد برای شناخت کلی از منطقه طبقه بندی نظارت نشده به روش میانگین (K-means یا means-C) صورت گرفت سپس در مرحله بعد برای طبقه بندی نظارت

شده با استفاده از طبقات ساخته شده به وسیله ROI<sup>۱</sup> از روش Maximum likelihood یا حداکثر احتمال که یکی از دقیق‌ترین و پر استفاده‌ترین روش نظارت شده است استفاده گردید با مشخص شدن پهنه‌های آبی در کلاس‌های مشخص شده در تصاویر ماهواره‌ای، تصاویر برای مشخص شدن میزان تغییرات به محیط نرم افزار ArcGIS فراخوانی شد. برای جدا سازی پیکسل‌های آب موجود در تصاویر به پهنه‌های آبی عدد ۱ و دیگر کلاس‌های موجود عدد ۰ تعلق گرفت. برای مشخص شدن حداکثر تغییرات در طول مسیر رودخانه با توجه به عرض رودخانه، بافر ۱۰۰ متری در طول مسیر زده شد. سپس از روش Thaning برای جداسازی مسیر رودخانه از دیگر قسمت‌های دارای آب استفاده شد. بعد از تبدیل آن به لایه وکتور قسمت‌های نامشخص که عرض آن‌ها زیر ۳۰ متر بود در تصویر با استفاده از تصاویر Google Earth ترسیم گردید. سپس دو تصویر از سال ۱۹۹۰ و ۲۰۱۸ بر روی هم منطبق شدند.

برای طبقه‌بندی و شناسایی خصوصیات هیدرولیکی و مورفولوژیک رودخانه‌ها، پارامترهای هندسی کمی رودخانه اندازه گیری و محاسبه می‌شود. در بررسی رودخانه‌های پیچان رودی برای تعیین الگوی رفتاری رودخانه و چگونگی تغییرات آن در طول زمان از روش کورنیش و شناخت الگوی رفتاری رودخانه از طریق تصاویر ماهواره‌ای استفاده شده است. برای به دست آوردن طول موج رودخانه بر روی پلان رودخانه در نرم افزار ArcGIS ابتدا نقاط تغییر انحنای مسیر رود مشخص گردید و سپس دو نقطه مشخص شده به وسیله یک پاره خط به هم متصل شده که طول این پاره خط در محیط GIS قابل محاسبه می‌باشد. این طول معادله نصف طول موج هر قوس رودخانه می‌باشد زاویه‌ی مرکزی و میانگین حسابی آن برای قوس‌های دو دوره زمانی با استفاده از فرمول کورنیش در رابطه ۱ محاسبه می‌گردد.

$$S = \frac{L}{\lambda/2} \quad \text{رابطه ۱}$$

که در آن S ضریب خمیدگی L طول قوس و  $\lambda/2$  نصف طول موج می‌باشد.

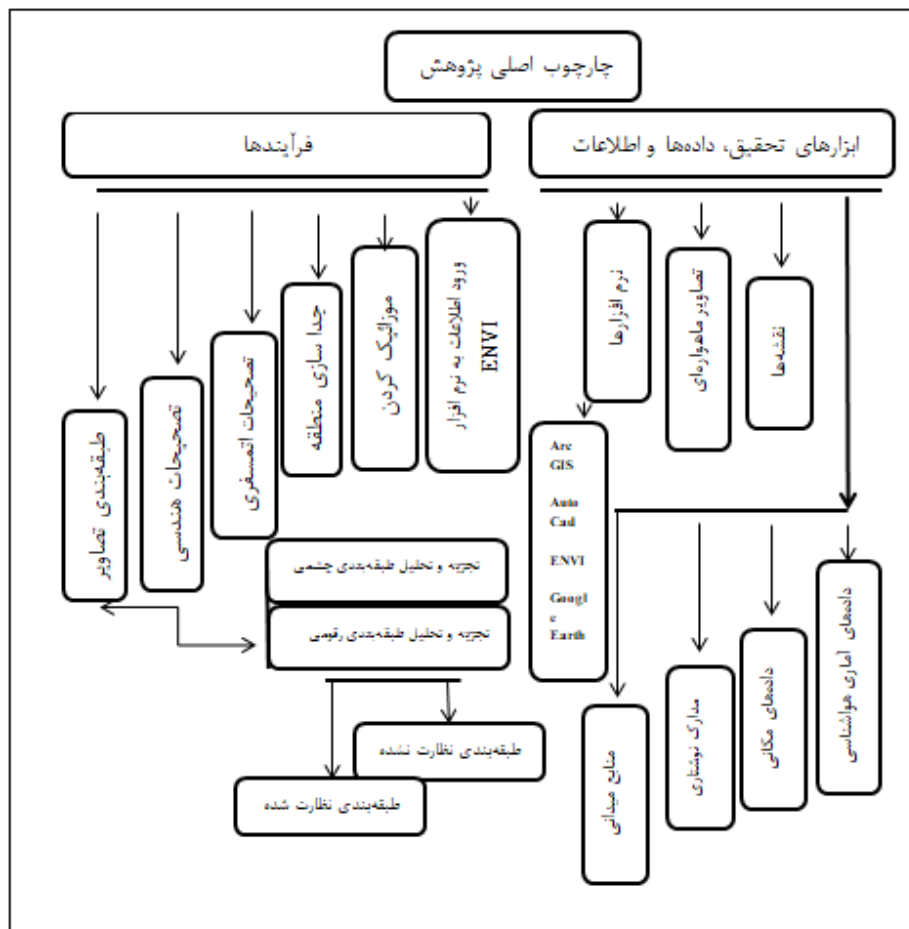
در ادامه زاویه‌ی مرکزی قوس‌ها مشخص می‌شود و روی هر کدام از بازه‌ها با استفاده از رابطه ۲ محاسبه می‌گردد.

$$A = \frac{180L}{R\pi} \quad \text{رابطه ۲}$$

در این رابطه نیز A زاویه‌ی مرکزی، R شعاع دایره برداش شده می‌باشد.

اولین مرحله بررسی مآندره‌های رودخانه بشار، تعیین تعداد مآندره‌های موجود در طول مسیر مورد مطالعه می‌باشد. شناسایی مآندرها، در این پژوهش با استفاده از روش برازش حلقه‌های مآندری کورنیش، انجام گردید و مآندره‌های موجود در حوضه با توجه به این پارامتر شناسایی شد. در سنجش از دور طبقه‌بندی رقومی بر پایه اختلاف‌های طیفی پدیده‌های گوناگون بر باندهای مختلف طیفی استوار است. در این شیوه از استخراج اطلاعات از داده‌های ماهواره‌ای، پیکسل‌های مختلف یک تصویر، براساس خصوصیات طیفی‌شان دسته بندی می‌گردند. طبقه‌بندی نظارت شده و طبقات تعریف شده توسط کاربر شامل گروهی از پیکسل‌های دارای همگنی و تشابه زیادتری هستند تا میزان دقت هر چه بیشتر بالا رود و قدرت تفکیک پدیده‌ها افزایش یابد.

<sup>۱</sup> - Region Of Intersect



شکل ۲: چارچوب کلی، ابزارها و روش‌های مورد استفاده در پژوهش

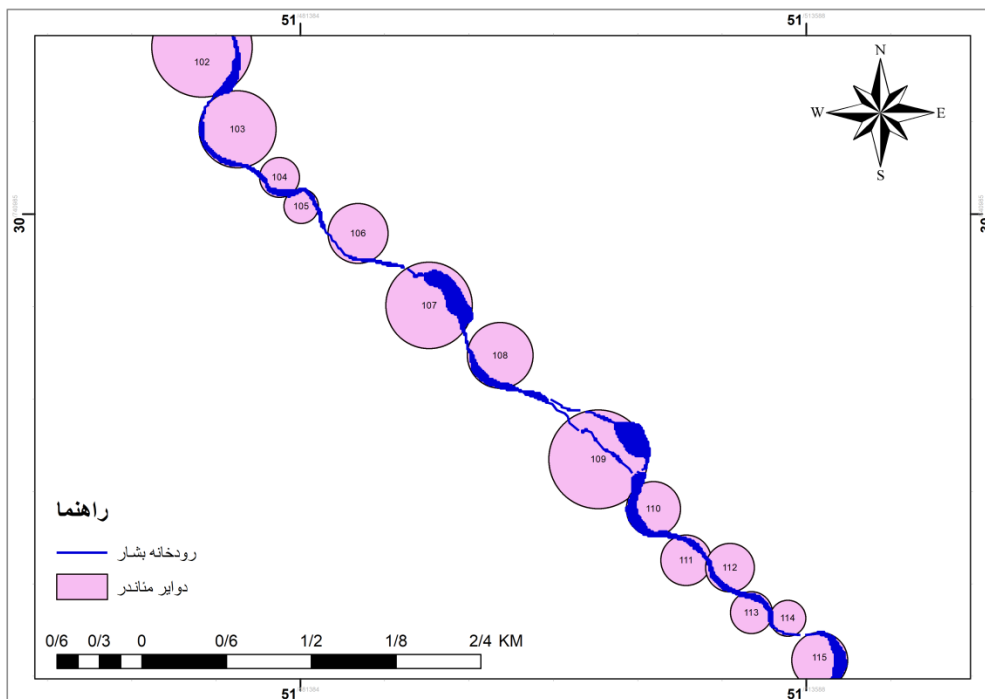
### یافته‌های تحقیق

#### محاسبه مشخصات مآندره‌های رودخانه بشار

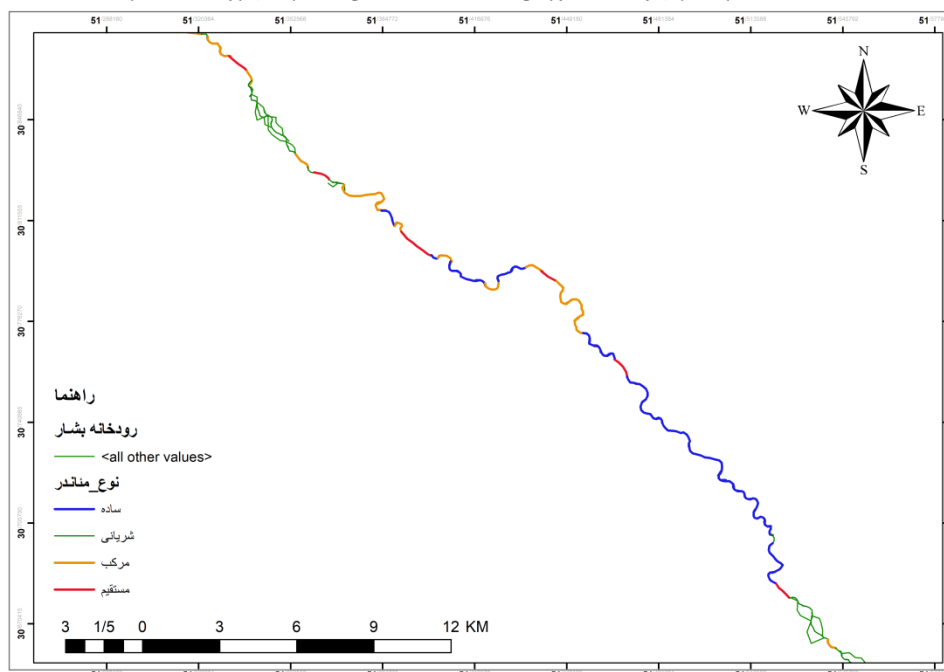
با اندازه‌گیری زاویه‌ی مرکزی مآندرها در نرم افزار اتوكد، اطلاعات و مشخصات آن‌ها محاسبه گردید و تعداد مآندره‌های رودخانه از سرچشمه تا انتها مشخص شد. سپس با استفاده از روش کورنیش، زاویه مرکزی هر مآندر محاسبه و با تعیین میزان توسعه یافتگی هر پیچان رود، مآندره‌هایی که در آینده پتانسیل بالایی جهت قطع شدگی دارند را می‌توان پیش بینی نمود (شکل ۳).

#### تعیین نوع مآندرها در رودخانه بشار و میزان توسعه یافتگی آن‌ها

مآندرها بر اساس نوع مسیر آن‌ها به چهار دسته مآندر ساده، مستقیم، مرکب و مآندر شریانی تقسیم می‌شوند (حق‌آبی و همکاران، ۱۳۹۱). با توجه به اطلاعات بدست آمده از مسیر استخراج شده رودخانه در نرم افزار ArcGIS از تصویر ماهواره‌ای سال ۲۰۱۸ (شکل ۳)، نوع مآندره‌های رودخانه ترسیم و مشخص شد. (شکل ۴).



شکل ۳: اندازه گیری و بدست آوردن مشخصات هندسی مآندره‌های رودخانه بشار

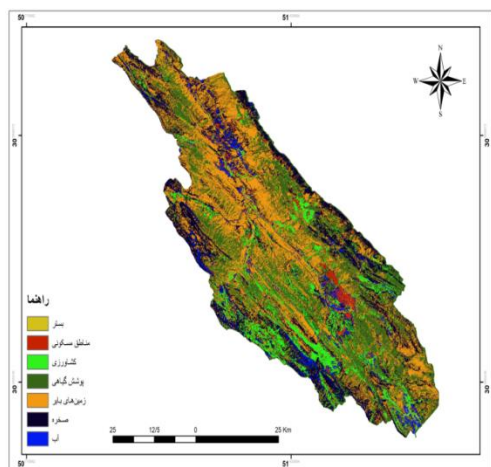


شکل ۴: انواع مآندره‌های رودخانه بشار، مرکب، شریانی، ساده

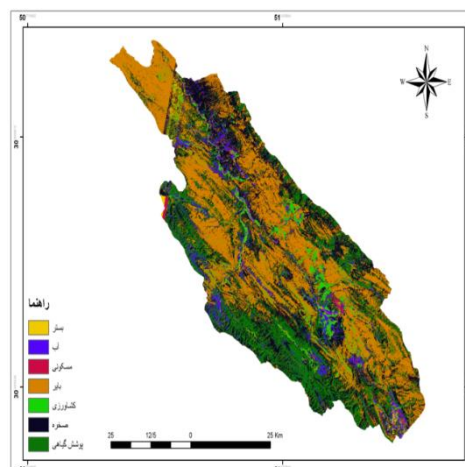
### نتایج حاصل از طبقه‌بندی تصاویر و ارزیابی روش Thining

یکی از روش‌های شناسایی مسیر رودخانه، طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای بر اساس میزان انعکاس اجسام می‌باشد. پس از رقومی کردن مسیر رودخانه در دو دوره زمانی ۱۹۹۰، ۲۰۱۸ در محیط ENVI با ایجاد ROI و مشخص نمودن عوارض موجود در منطقه طبقه‌بندی نظارت شده به روش Maximum likelihood بر روی تصاویر اعمال گردید (شکل ۵ و ۶).



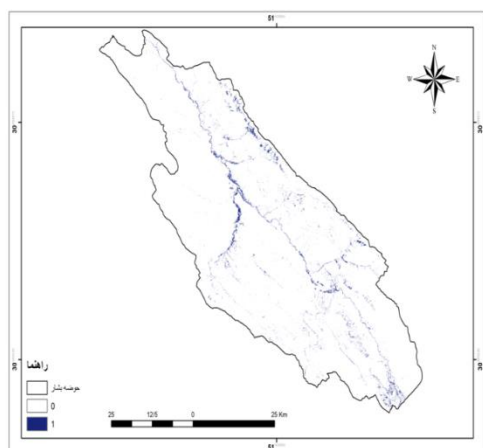


شکل ۶: نقشه طبقه‌بندی نظارت شده تصاویر لندست ۲۰۱۸

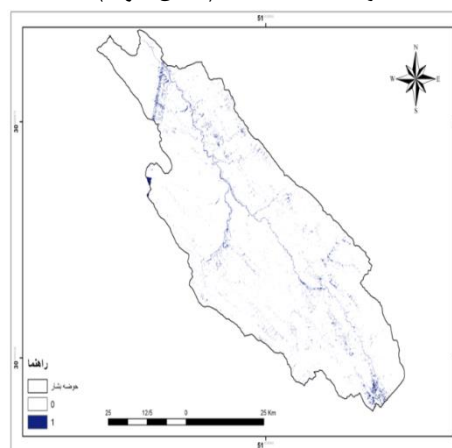


شکل ۵: نقشه طبقه‌بندی نظارت شده تصاویر لندست ۱۹۹۰

از میان روش‌های طبقه‌بندی نظارت شده روش طبقه‌بندی حداکثر احتمال، تاکنون به عنوان دقیق‌ترین و پر استفاده‌ترین روش نظارت شده ذکر شده است (علوی پناه، ۱۳۸۵)، به منظور جدا سازی پیکسل‌های آب و شناسایی پهنه‌های آبی از تصاویر ماهواره‌ای، از روش باینری در GIS استفاده شد که در این روش به پیکسل‌های آب عدد یک و به پیکسل‌های فاقد آب عدد صفر نسبت داده شد (شکل ۷ و ۸).

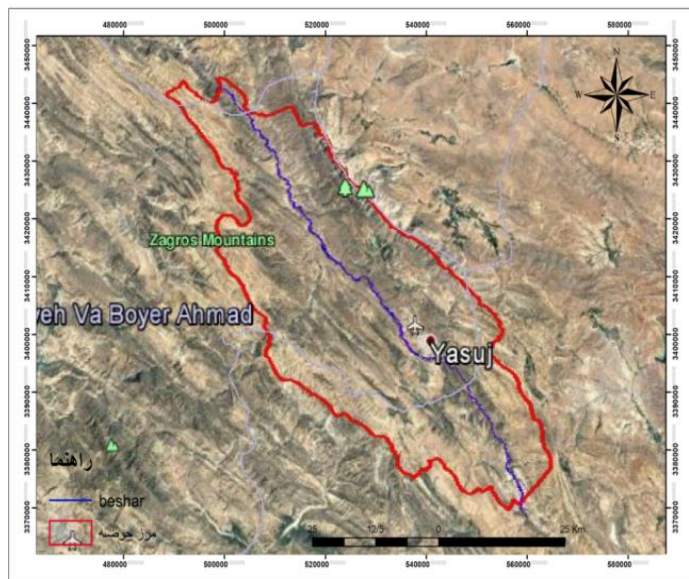


شکل ۸: جدا سازی پیکسل‌های آب از تصویر طبقه‌بندی شده لندست سال ۲۰۱۸

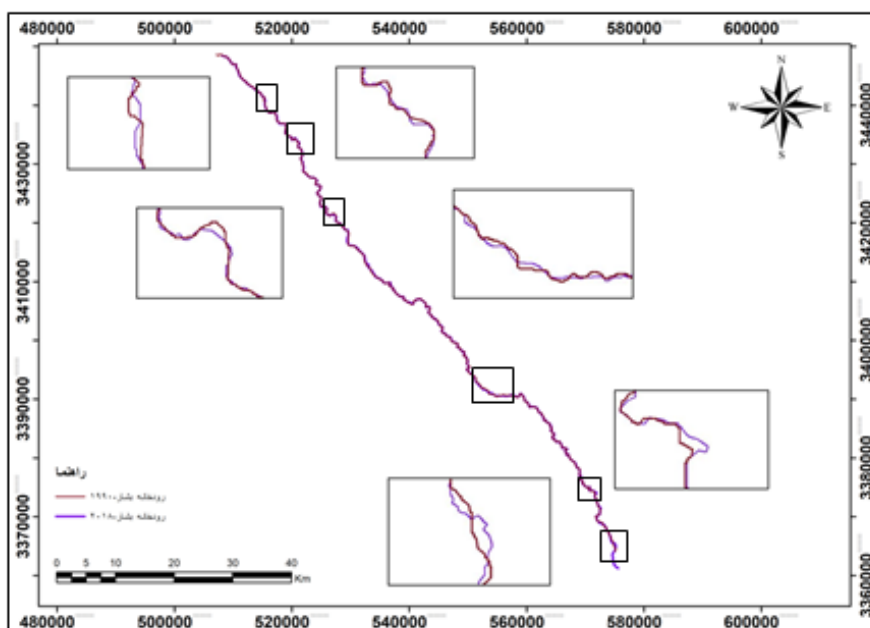


شکل ۷: جدا سازی پیکسل‌های آب از تصویر طبقه‌بندی شده لندست سال ۱۹۹۰

برای استفاده از ابزار Thining در ArcGIS باید مسیر رودخانه به صورت پیوسته در بیاید از آنجا که مناطق کمتر از ۳۰ متر در تصاویر ماهواره‌ای مشخص نبود این قسمت‌ها با استفاده از تصاویر گوگل ارث طی سال ۲۰۱۸ و ۱۹۹۰ ترسیم گردید (شکل ۹) بعد ترسیم مسیر رودخانه در دو دوره و تبدیل آن‌ها به THIN مسیرهای بدست آمده روی هم قرار گرفت تا میزان تغییرات آن مشخص شود (شکل ۱۰).



شکل ۹: ترسیم حوضه و مسیر رودخانه در گوگل ارث



شکل ۱۰: جدا سازی حریم ۱۰۰ متری از پیکسل‌های آب از لندست ۲۰۱۸ و اعمال Thinning (نقشه نهایی، مسیر رقومی و Overly شده رودخانه بشار در ArcGIS)

### بررسی روند تغییرات مسیر رودخانه بشار

به منظور تعیین میزان تغییرات مسیر رودخانه و اینکه در کدام دوره فرسایش پذیری بیشتر رخ داده است فاصله اقلیدسی در جاهایی از مسیر رودخانه که از اختلاف و تغییرپذیری بیشتری برخوردار بوده است، اندازه گیری شد. بنابراین برای محاسبه اندازه اقلیدسی ابتدا در جاهایی که مسیر رودخانه دارای اختلاف زیادی بود دو نقطه برداشت و اختلاف فاصله آن اندازه گیری شد و بعد سیستم مختصات آن نیز مشخص گردید. سپس در نرم افزار Excel میزان اختلاف دو نقطه محاسبه و نمودار مربوطه ترسیم گردید که فاصله و میزان تغییرات مسیر در دو سال را نشان می‌دهد. در این منطقه از هر دو مسیر رودخانه در سال‌های ۱۹۹۰ و ۲۰۱۸ حدود چهار نقطه با فاصله تقریباً ۳٫۵ کیلومتری برداشت شد و اختلاف این دو نقطه

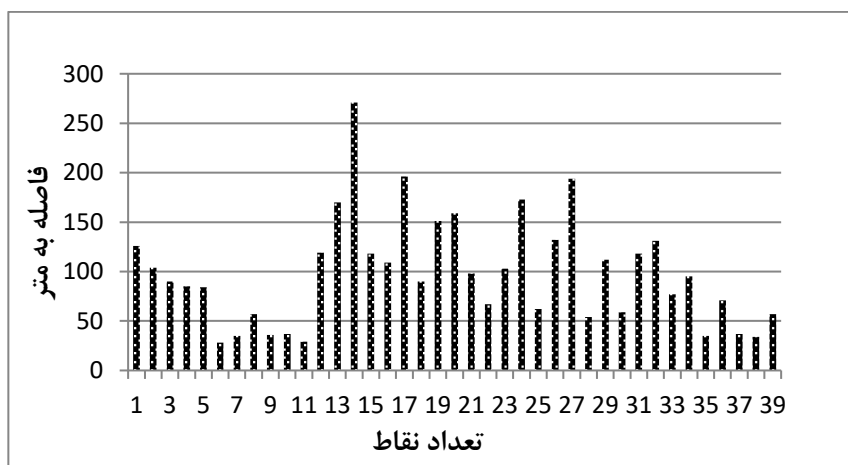
اندازه گیری و به صورت نمودار نشان داده شد (شکل ۱۲). نمودار بدست آمده از فاصله اقلیدسی بیانگر تغییر پذیری بیشتر در قسمت میانه و پایین دست رودخانه می‌باشد. با توجه به این که هر چه به قسمت پایین دست رودخانه رفته شود میزان دبی و حجم آب به دلیل پیوستن شاخه فرعی افزایش می‌یابد سرعت جریان آب نیز افزایش پیدا کرده و شیب تندتر می‌شود همچنین لیتولوژی نیز در قسمت‌های مختلف متفاوت است و تغییر می‌کند و بر میزان دخالت عوامل غیر طبیعی افزوده می‌شود که این عوامل تغییر پذیری بیشتری را در پی خواهند داشت بنابراین نمودار (شکل ۱۳) ترسیم شده، آن را تایید می‌کند.

حال برای آن که نشان داده شود در کدام دوره زمانی رودخانه بشار از میزان فرسایش و سطح بیشتری برخوردار بوده برای هر دو دوره زمانی طبق رابطه ۳ (چو و همکاران، ۲۰۰۶) نمودار رسم گردید (شکل ۱۳).

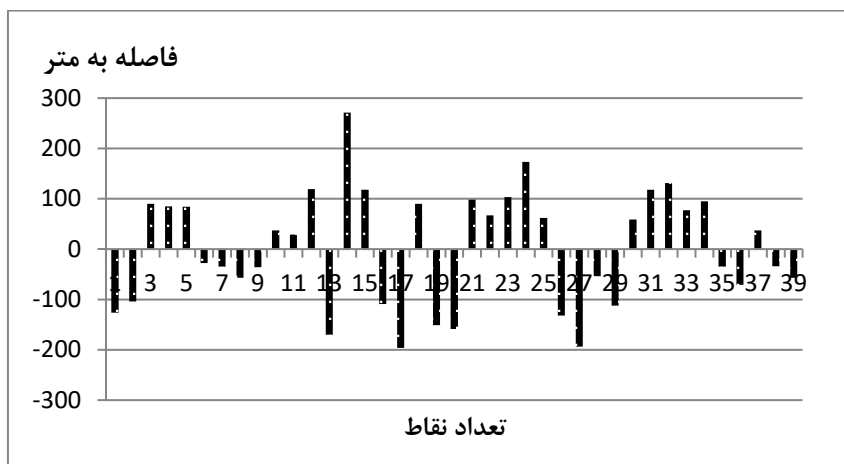
$$S = (x_1 - x_2) + (y_1 - y_2) \quad \text{رابطه ۳}$$

با توجه به نمودار (شکل ۱۳) ستون‌هایی که نشان دهنده اعداد مثبت می‌باشند تغییرات را در سال ۱۹۹۰ نشان می‌دهند و اعداد منفی تغییرات در سال ۲۰۱۸ را نشان می‌دهند. میزان تغییرات در سال ۱۹۹۰ کمی بیشتر از تغییرات در سال ۲۰۱۸ است. برای این که درصد تغییرات نشان داده شود نمودار خطی (شکل ۱۴) ترسیم گردید.

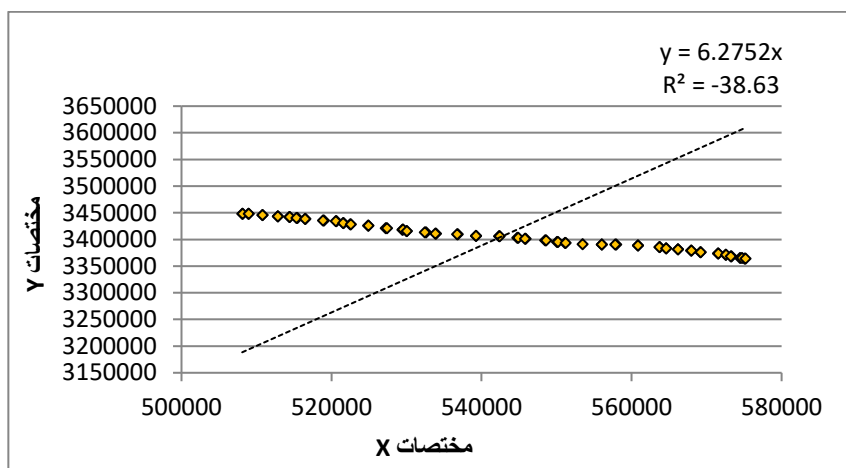
شکل ۱۴ بیانگر درصد تغییرات مسیر رودخانه بشار طی سری زمانی ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۸ می‌باشد به طوری که طی این دوره زمانی حدود ۶۱ درصد مسیر رودخانه با تغییرات همراه بوده است. اگر مسیر این رودخانه تغییر نمی‌کرد نقاط به صورت خط مستقیم روی هم قرار می‌گرفت. هر چه این نقاط از هم فاصله داشته باشند نشان دهنده تغییرات بیشتر می‌باشد و ضریب  $(R^2)$  نشان دهنده قسمت تغییر نیافته از مسیر رودخانه است با کم شدن این میزان از ۱۰۰ درصد میزان واقعی تغییر بدست می‌آید. برای این که این تغییرات به صورت کمی نشان داده شود محور  $X$  و  $Y$  دقیقاً اعدادی قرار گرفت که از مختصات نقاط برداشته شده در نقشه بدست آمده بود. گسستگی و فاصله بین نقاط نشان دهنده‌ی افزایش تغییرات در رودخانه است (شکل ۱۴).



شکل ۱۱: نمودار فاصله اقلیدسی از مسیر رودخانه بشار در دوره زمانی (۱۹۹۰ و ۲۰۱۸)



شکل ۱۲: تغییرات مآندر در سری زمانی ۱۹۹۰ و ۲۰۱۸



شکل ۱۳: درصد تغییرات مآندر در سال ۱۹۹۰ و ۲۰۱۸

### نتیجه گیری

تغییرات هیدرومورفولوژی رودخانه بشار طی دوره زمانی ۲۸ ساله (۱۹۹۰-۲۰۱۸) مورد بررسی قرار گرفته شد. مسیر رودخانه بشار با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و انجام روش Flaash در نرم افزار Envi و طبقه بندی تصاویر و انتقال آن به نرم افزار ArcGIS بدست آمد. با توجه به نتایج به دست آمده از زاویه‌ی مرکزی کورنایس (شکل ۳)، انواع مآندره‌های رودخانه مشخص گردید. در شناسایی انواع مآندرها به چهار دسته تقسیم گردید که ۲۰ درصد مآندره‌های رودخانه از نوع مرکب و ۱۵ درصد از آن از نوع مستقیم و ۱۵ درصد آن از نوع شریانی و ۵۰ درصد آن از نوع ساده می‌باشد (شکل ۴). با روی هم قرار دادن دو مسیر رودخانه میزان تغییرات آن نشان داده شد. در شکل ۱۰ میزان تغییرات با چشم قابل دیدن است که در این بازه زمانی ۲۸ ساله این تغییرات بسیار چشمگیر است. مآندرهایی که در کنار آنها فعالیت انسانی مانند کشاورزی با تغییر کاربری و ساخت و ساز یا برداشت شن و ماسه صورت گرفته بیشترین جابجایی و تغییر مسیر را داشته‌اند. تقریباً می‌توان گفت در طول مسیر رودخانه شاید به ندرت جایی دیده شود که مورد استفاده انسان قرار نگرفته باشد. البته فرسایش طبیعی نیز هنوز به صورت فعال در منطقه وجود دارد. در جاهایی که یک جریان فرعی وارد رودخانه می‌شود و در قسمت‌هایی که افزایش ناگهانی شیب رودخانه وجود دارد میزان فرسایش بشدت افزایش می‌یابد. میزان تغییرات رودخانه با استفاده از ۴۰ نقطه و محاسبه میزان اختلاف مختصات جغرافیایی نقاط در دو مسیر بدست آمد این تغییرات از ۲۵ متر تا ۲۷۰ متر متغیر بوده است و میزان این تغییرات در میانه رودخانه به مراتب بیشتر از قسمت بالا دست و پایین دست می‌باشد (شکل

(۱۱). در نمودار شکل ۱۲ میزان تغییرات با استفاده از موقعیت نقاط در طول مسیر رودخانه به صورت منفی و مثبت مشخص شد که نمودارها هر کدام تغییرات را طی سال‌های مورد مطالعه نشان می‌دهد. با مقایسه نمودار مشخص شد که میزان تغییرات در سال ۱۹۹۰ بیشتر از سال ۲۰۱۸ می‌باشد. در نهایت میزان این تغییرات در اکسل با توجه به اطلاعات به دست آمده ۶۱ درصد بدست آمد که این عدد نشان دهنده‌ی میزان تغییرات زیاد در طول این ۲۸ سال است و این نشان دهنده‌ی فعال بودن عوامل طبیعی و انسانی در طول این مسیر می‌باشد (شکل ۱۳).

## منابع

- ارشد صالح، سعید مرید؛ هادی میر ابوالقاسمی، ۱۳۸۶، بررسی روند تغییرات مورفولوژیکی رودخانه‌ها با استفاده از سنجش از دور، مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی، شماره ششم، صص ۱۸۰-۱۹۴.
- بهرامی صاحب، ۱۳۸۷، بررسی روند تغییرات مسیر رودخانه کارون با استفاده از تصاویر ماهواره ای ۱۹۹۱، ۲۰۰۰ *IRS*، ۱۹۷۴ *Landsat*، مطالعه موردی اهواز، پایان نامه کارشناسی ارشد جغرافیا، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، گروه جغرافیا، دانشگاه اصفهان.
- تقوی مقدم، ابراهیم؛ محمدعلی زنگنه‌اسدی، ابراهیم بهشتی؛ جاوید و نادیا بقائی نژاد، ۱۳۹۴، آشکارسازی تغییرات بستر رودخانه مند بوشهر با استفاده از تحلیل‌های آماری مورفومتری بستر و سنجش از دور، اولین کنگره بین المللی زمین، فضا و انرژی پاک، اردبیل، دانشگاه محقق اردبیلی.
- حق‌آبی، امیرحمزه؛ عزیزیان، امیرحسین، ۱۳۹۱، بررسی انواع رودخانه‌ها، فرسایش و رسوب در آن‌ها. دانشگاه لرستان، اولین همایش ملی و اولین همایش بین المللی محیط زیست، کشاورزی، منابع طبیعی، صص ۲-۴.
- رضائی مقدم، محمدحسین؛ ثروتی، محمدرضا؛ اصغریسراسکان رود، صیاد، اصغری، ۱۳۹۱، بررسی تغییرات شکل هندسی رودخانه قزل‌اوزن با تأکید بر عوامل ژئومورفولوژیک و زمین‌شناسی، جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، دوره ۲۳، شماره ۲، صفحات ۱-۱.
- علوی پناه، کاظم، ۱۳۸۵، کاربرد سنجش از دور در علوم زمین (علوم خاک)، موسسه انتشارات و چاپ دانشگاه تهران، چاپ دوم.
- فروغی، عبدالمجید؛ بنی‌حیب، محمدابراهیم؛ شفاعی بجستانی، محمود؛ ساجدی سابق، مسعود، ۱۳۸۰، کاربرد صفحات مستغرق برای ساماندهی و تثبیت رودخانه‌های فصلی، سومین کنفرانس هیدرولیک ایران، دانشگاه تهران. صفحات ۱-۸.
- کاشانی زنوزی، لیلا؛ حسن احمدی و علی اکبر نظری سامانی، ۱۳۹۲، بهره‌گیری از روش آماری هیدروژئومورفولوژی در برآورد رسوب تولیدی حوزه آبخیز (مطالعه موردی: حوزه‌های آبخیز زنوزچای و زیلبرچای) دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم تحقیقات تهران. پژوهش‌نامه مدیریت حوزه آبخیز سال ششم، شماره ۱۲.
- *Chu, Z. X. X., G. Sun, S. k. Zhai, K. H. XU. 2006. Changing Pattern of Accretion/Erosion of the Modern Yellow River (Huanghe) Subaerial delta. China: Based on Remote Sensing Images. 294: 13-30.*

- Briaud J. L. , Chen H. C. , Park S. , Shah A.(2002) *Develop Guidance for Design of New Bridges and Mitigation of Existing Sites in Severely Degrading and Migrating Streams Project Summary Report 2105-S, Project 0-2105.*
- Joann ,M.(2016), *The changing geomorphology of the Atchafalaya River, Louisiana: A historical perspective, Geomorphology, no252, pp112-127.*
- Kaufmann ,M. , Tobias, S. , Schulin, R. 2009. *Quality evaluation of restored soils with a fuzzy logic expert system. Geoderma. 151:290-302 .*
- Li, J. , M. E. Donselaar, S. E. Hosseini Aria, R. Koenders and A. M. Oyen. 2014. *Landsat imagery-based visualization of the geomorphological development at the terminus of a dryland river system. Quat. Int .۱۰۰ :۳۵۲ .*
- Pan, S. 2013“ *Application of Remote Sensing and GIS in Studying Changing River Course in Bankura District, West Bengal”*, *International Journal of Geometrics and Geosciences, Vol. 4, Issue 1, pp. 149-163.*
- Rangzan ,K. M. , M. Toolae Nezhad and S. Piraste. 2002. *Study the effects of rivers migration on civil structure in Khuzestan Plain using satellite data. Proc. of 7 th International Conference of River Engineering in Ahvaz. 169-181 .*
- Selby M. J. ,(1983). *Earths changing surface.Oxford University Publication.*
- Timer ,G. 2003. *Controls on channel sinuosity changes. A case study of the Tisza River, The Great Hungarian plain .*