

## آشکارسازی تغییرات الگوی مکانی رودخانه هیرمند و تحلیل مورفولوژیکی آن

محمد شریفی کیا\* - استادیار گروه سنجش از دور، دانشگاه تربیت مدرس  
نعمت مال امیری - دانشجوی کارشناسی ارشد جغرافیا طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس

پذیرش مقاله: ۱۳۹۱/۰۷/۲۰      تأیید نهایی: ۱۳۹۲/۰۲/۲۵

### چکیده

هیرمند نام رودخانه‌ای حیات‌آفرین برای یکی از کانون‌های جمعیتی در گوشه شرقی کشور است که در منتهی‌الیه خود بخشی از مرز مشترک ایران و افغانستان را به طول ۳۰ کیلومتر تشکیل می‌دهد. خشکسالی‌های بی‌پای و زیرساخت‌های خاص مورفولوژیکی، بستر مناسبی برای تغییرپذیری در الگوی هندسی و استقرار فضایی مجرا و مسیر اصلی این رودخانه فراهم کرده است. درک و استخراج این تغییرات و معرفی ویژگی‌های مورفولوژیکی آن، به سبب فراهم‌آوری تغییر در حدود مرزی و چالش در الگوی بهره‌برداری مشترک از آب آن، موضوع مهم و مورد توجه پژوهش حاضر است. برای این امر، الگوی تغییرات مکانی رودخانه در نیم قرن گذشته (۱۳۴۴-۱۳۹۰)، از طریق تحلیل تصاویر سنجش از دوری دو زمانه مورد بررسی قرار گرفت. در این راستا، طول رودخانه با توجه به الگوی امروزی آن به ۱۳ مقطع فضایی تقسیم و تغییرات هندسی رودخانه برپایه نقشه‌های بُرداری مستخرج از تصاویر مقدم و مؤخر در هر یک از این مقاطع، به‌طور جداگانه مورد بررسی قرار گرفتند. یافته‌ها بیانگر رخداد تغییر در الگوی هندسی اغلب بخش‌های رودخانه است؛ به‌طوری که در تمامی مقاطع مورد بررسی، محور رودخانه تغییرپذیری بین حداقل ۵ تا حداکثر ۳۱ درجه را تحمل کرده است. تغییر در الگوی فضایی رودخانه نیز به دنبال تغییر در الگوی هندسی آن شکل گرفته، به‌طوری که سطح اشغال آن ۳۱/۵ درصد افزایش یافته و از رقم ۱/۹ میلیون مترمربع در سال ۱۳۴۴، به بیش از ۲/۵ میلیون مترمربع در سال ۱۳۹۰ رسیده است. همچنین یافته‌های پژوهش نشان داد، به سبب تغییر در الگوی فضایی رودخانه، مقادیر مشخصی از اراضی کشور در نوار مرزی واگذار و به‌طور متقابل، از اراضی همسایه به خاک کشور الحاق شده است. یافته‌های پژوهش درخصوص عوامل ایجابی تغییر در الگوی فضایی و هندسی رودخانه، علاوه بر تأکید بر عوامل ثابت محیطی، مسئله خشکسالی‌های پی‌درپی و انسداد بستر توسط ماسه‌های انباشته شده (حاصل از عمل باد) را عامل محوری و مؤثر این تغییرات می‌داند.

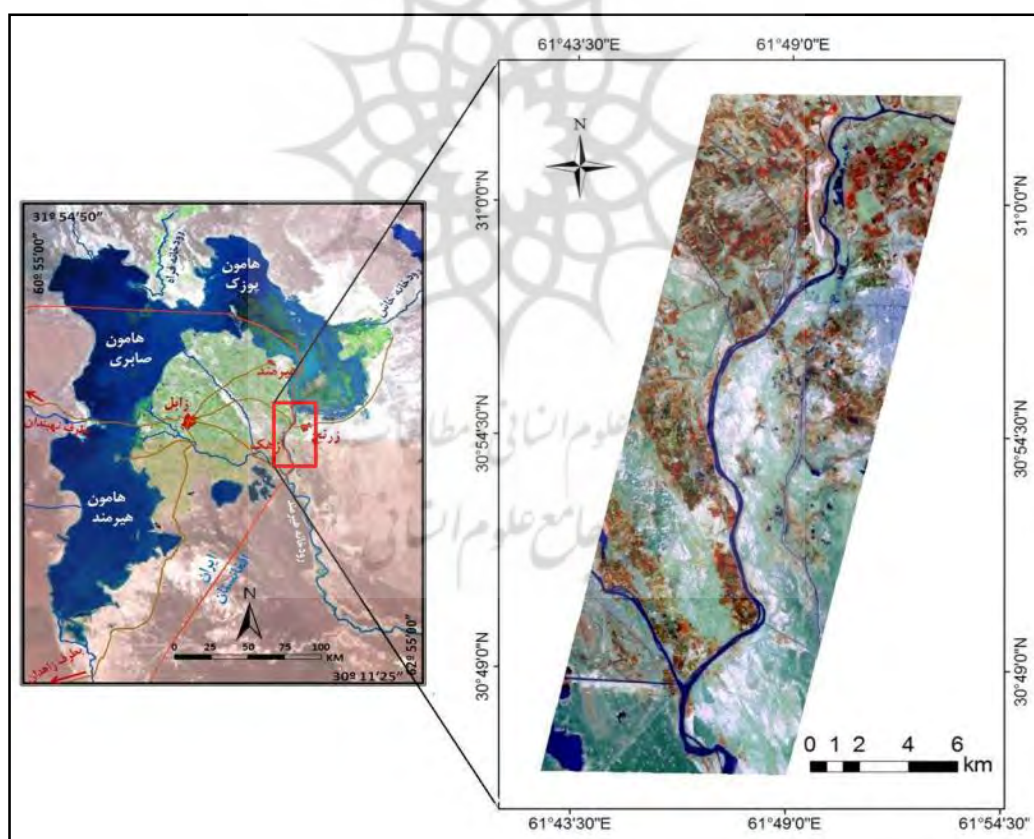
کلیدواژه‌ها: هیرمند، تغییرات هندسی، تصاویر سنجش از دوری، مورفولوژی بستر، الگوی فضایی.

## مقدمه

مرزهای رودخانه‌ای که مرزهای طبیعی دو یا چند واحد سیاسی هستند، به دلیل ماهیت تغییرپذیری و تنوع مورفولوژیکی خود، آثار محسوسی بر روابط کشورهای پیرامون مرز دارند. هیرمند و هریرود اصلی‌ترین مرزهای رودخانه‌ای در شرق کشور هستند که بخشی از مرز ایران و افغانستان روی آن قرار دارد (بدیعی و همکاران، ۱۳۹۰). رودخانه هیرمند واقع در مرز ایران و افغانستان، به دلایل مختلف از زمان شکل‌گیری مرز، همواره روابط دو کشور را تحت تأثیر قرار داده است. یکی از عوامل مؤثر در مسائل مرز رودخانه‌ای دو کشور، ناشی از شرایط مورفولوژیک رودخانه هیرمند و تغییر مسیرهای متعدد آن در ادوار کوتاه‌مدت است (بریمانی، ۱۳۸۲؛ مجتهد زاده، ۲۰۰۴؛ بدیعی ازندهای و همکاران، ۱۳۹۰). همچنین وقوع خشکسالی و کاهش جریان آب از سرچشمه‌های هیرمند، سبب کاهش جریان آب به سمت سیستان و وقوع بحران در این ناحیه شده است (شریفی کیا، ۲۰۱۳). رودخانه هیرمند دارای رژیم آبدی متغیر در طول سال است؛ به طوری که حدود ۸۴ درصد جریان آب رودخانه مربوط به ماه‌های بهمن تا خرداد است. همچنین میزان آبدی رودخانه در سال‌های مختلف به شدت تغییر می‌کند (حافظ نیا و همکاران، ۱۳۸۵). این تغییرات میزان آبدی، به همراه وقوع خشکی نسبی در بستر و انسداد آن از طریق انباشت خاک و ماسه، باعث ایجاد تغییرات در مسیر مسدود رودخانه و جابه‌جایی بستر آن در پیرامون مرز شده است. طبیعی است که این تغییر مسیرها قابلیت لازم برای چالش ارضی بین دو کشور را فراهم می‌آورد. همچنین رودخانه هیرمند منشأ حیاتی منطقه از نظر تأمین آب و تأمین غذای انسان و دام است. در این جریان حیاتی هرگونه تغییر در مورفولوژی آبراهه، به سبب شیب اندک دشت، پیامدهای ناگواری چون، تغییر در میزان آبدی در نقطه تقسیم آب و اختلاف بر سر حق آبه بین دو کشور را به دنبال دارد. شناخت و درک الگو و میزان تغییرات مورفولوژیکی حادث در این رودخانه، به همراه تحلیل فضایی الگوی روند تغییرات از طریق انجام مطالعات با تعمیق ابزاری و میدانی کافی، گامی الزامی برای پاسداری از حریم و بستر هیرمند و توأم، تحکیم مبانی زیست‌محیطی و اقتصادی - سیاسی پیامد آن برای کشور است. تغییرات رودخانه‌ها با هدف شناسایی علل آن، از حوزه‌های مورد توجه پژوهشگران است (ژاویجسک، ۲۰۱۰؛ گریگوری و همکاران، ۲۰۰۸). استخراج تغییرات مورفولوژیکی رودخانه، مورد توجه تعداد زیادی از محققان ایرانی بوده که به خصوص در سال‌های اخیر با ابزارهای رقومی، مطالعات شایسته‌ای در این زمینه انجام پذیرفته است (مقصودی و همکاران، ۱۳۸۹؛ پرتانی و همکاران، ۱۳۸۷؛ غریب رضا و همکاران، ۱۳۸۵؛ ارشد و همکاران، ۱۳۸۶؛ یمانی و همکاران، ۱۳۸۱). در خصوص هیرمند، تاکنون مطالعات مختلفی انجام گرفته است (بدیعی ازندهای و همکاران، ۱۳۹۰؛ حافظ نیا و همکاران، ۱۳۸۳؛ ابراهیم زاده و همکاران، ۱۳۸۳؛ ضیا توانا و همکاران، ۱۳۷۹؛ واعضی پور و همکاران، ۱۳۸۹)؛ اما موضوع بررسی تغییرات مورفولوژیکی حریم و بستر این رودخانه کمتر مورد توجه و بررسی واقع شده و گزارش‌ها یا مطالعات انتشار یافته‌ای در این زمینه در دسترس نیست. مبتنی بر این ضرورت، در این پژوهش مسئله آشکارسازی تغییرات مورفولوژیکی رودخانه و تحلیل فضایی آن، به کمک روش سنجش از دوری در یک بازه زمانی پنجاه‌وشش‌ساله (۱۳۴۴-۱۳۹۰) مورد بررسی قرار گرفته است.

### پهنه مورد مطالعه

قلمرو جغرافیایی این پژوهش محدود به امتداد طولی رودخانه هیرمند در مرز مشترک با کشور افغانستان به طول ۳۰ کیلومتر از محل تلاقی رودخانه با مرز در مختصات جغرافیایی ۳۰ درجه ۱۱ دقیقه و ۲۵ ثانیه تا ۳۱ درجه و ۵۴ دقیقه و ۵۰ ثانیه عرض شمالی و ۶۲ درجه و ۵۵ دقیقه تا ۶۰ درجه و ۵۵ دقیقه طول شرقی است. رودخانه هیرمند از ارتفاعات بابایغما در رشته کوه‌های هندوکش در جنوب غربی کابل سرچشمه می‌گیرد. طول هیرمند ۱۳۹۰ کیلومتر است. این رود پس از طی مسیر و ورود به مرز مشترک ایران و افغانستان به دو شاخه اصلی تقسیم می‌شود. از این دو شاخه، یکی به نام پریان مشترک وارد مرز ایران شده و در امتداد مرز دو کشور ادامه مسیر داده، به هامون پوزک افغانستان می‌ریزد. دومین شاخه اصلی رود هیرمند، در محل روستای زهک وارد ایران می‌شود و رودخانه سیستان را تشکیل می‌دهد. این شاخه اصلی نیز خود به دو شاخه فرعی تقسیم می‌شود که یکی به هامون صابری و دیگری به هامون پوزک می‌ریزد (میرزایی، ۱۳۸۶؛ شریفی کیا، ۲۰۱۳).



شکل ۱. نقشه منطقه مورد مطالعه

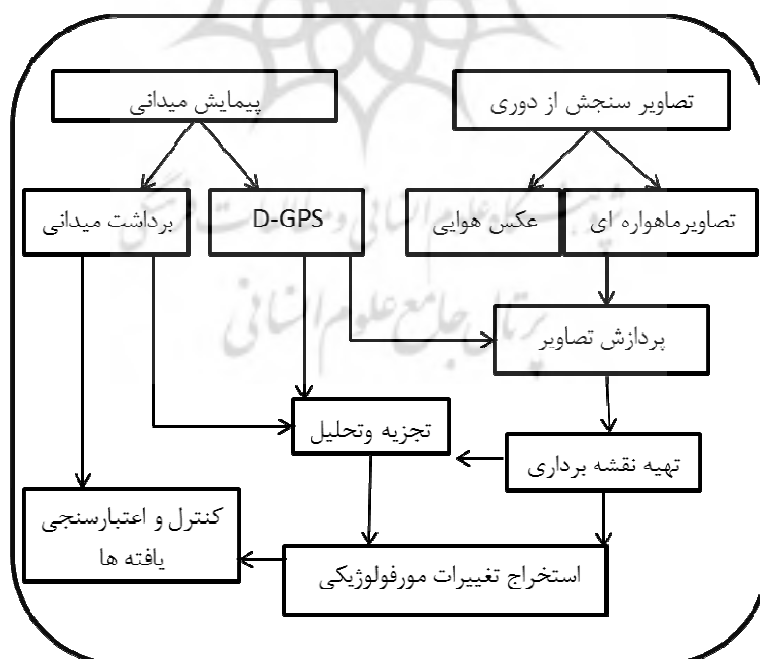
### مواد و روش‌ها

این پژوهش بر پایه روش آزمایشگاهی - پیمایشی انجام گرفته است. برای این امر، نخست به کمک روش‌های سنجش از دوری، اقدام به فراهم‌آوری زیرساخت داده‌ای شد. برای بررسی تغییرات مورفولوژی هیرمند در بازه زمانی مورد بررسی

(۱۳۴۴-۱۳۹۰)، تصویر ماهواره‌ای مربوط به سال ۱۳۹۰ (تصویر مؤخر)، پس از اعمال تصحیحات رادیومتریک برای تعدیل نویز و افزایش دامنه ارقام مورد پردازش قرار گرفت. اعمال تصحیحات هندسی روی این تصویر، به کمک نقاط حاصل از پیمایش میدانی (GPS) و نقاط دریافت شده از سازمان نقشه‌برداری، به همراه نقاط مستخرج از نقشه‌های توپوگرافی با خطای<sup>۱</sup> (RMSE) ۰/۰۱۷ پیکسل انجام گرفت. تصاویر مقدم (عکس‌های هوایی سال ۱۳۴۴) نیز بر مبنای تصاویر مؤخر، به روش تصویر به تصویر و به صورت تک به تک زمین مرجع و پس از آن موزاییک شدند. بر اساس این تصاویر، دو سری نقشه‌برداری تولیدی از مسیر رودخانه در سال پایه (۱۳۳۴) و سال مرجع (۱۳۹۰) تهیه شد. در مرحله آخر به کمک پیمایش میدانی، یافته‌های مستخرج از تصاویر کنترل و اعتبارسنجی شد (شکل‌های ۲ و ۳). تحلیل فضایی تغییرات مستخرج از تصاویر روی پلات فرم GIS انجام پذیرفته و به شکل نقشه‌های و جداول موضوعی ارائه شد.

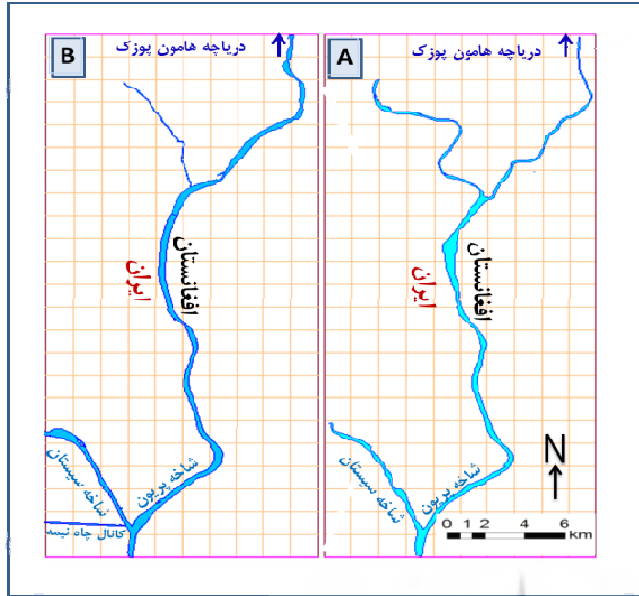
برای انجام این پژوهش از منابع داده‌ای ذیل بهره گرفته شده است:

- تصاویر ماهواره‌ای استریویی از ماهواره IRS-p5 هند و سنجنده کارتوست<sup>۲</sup> در گذر ۴۴۱ و سطرهای ۲۵۶، ۲۵۵، ۲۵۴ با دقت مکانی ۲/۵ متر، مربوط به بهار ۱۳۹۰، برگرفته از سازمان جغرافیایی کشور؛
- عکس‌های هوایی مربوط به سال ۱۹۵۵ با مقیاس تقریبی ۱:۵۰۰۰۰، برگرفته از سازمان جغرافیایی کشور؛
- داده‌های پیمایشی جمع‌آوری شده از عملیاتی میدانی به کمک D-GPS؛
- اسناد و گزارش‌های منتشر شده و منابع کتابخانه‌ای.



شکل ۲. نمودار مفهومی روش پژوهش

1. Root Mean Square Error  
 2. CARTOSAT  
 3. Differential Global Position System



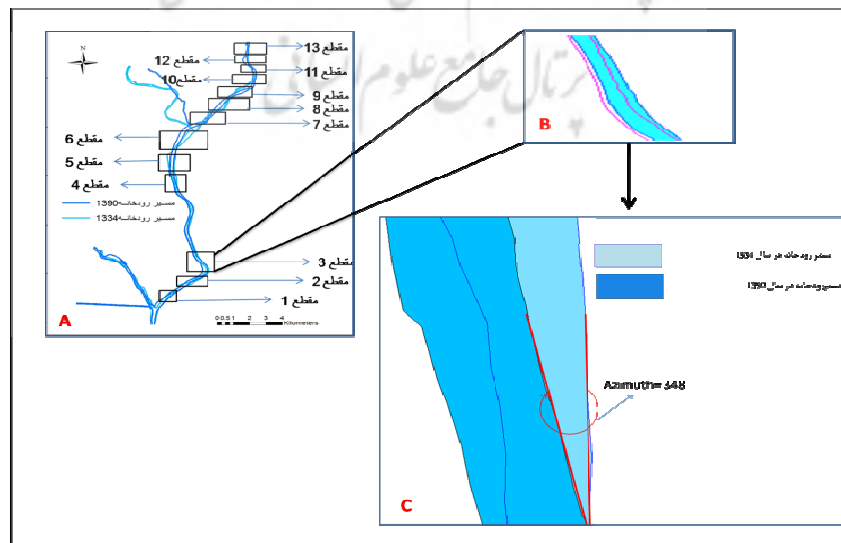
شکل ۳. مسیر رودخانه هیرمند در سال مقدم و مؤخر.

شکل A. مسیر رودخانه هیرمند در سال ۱۳۳۴

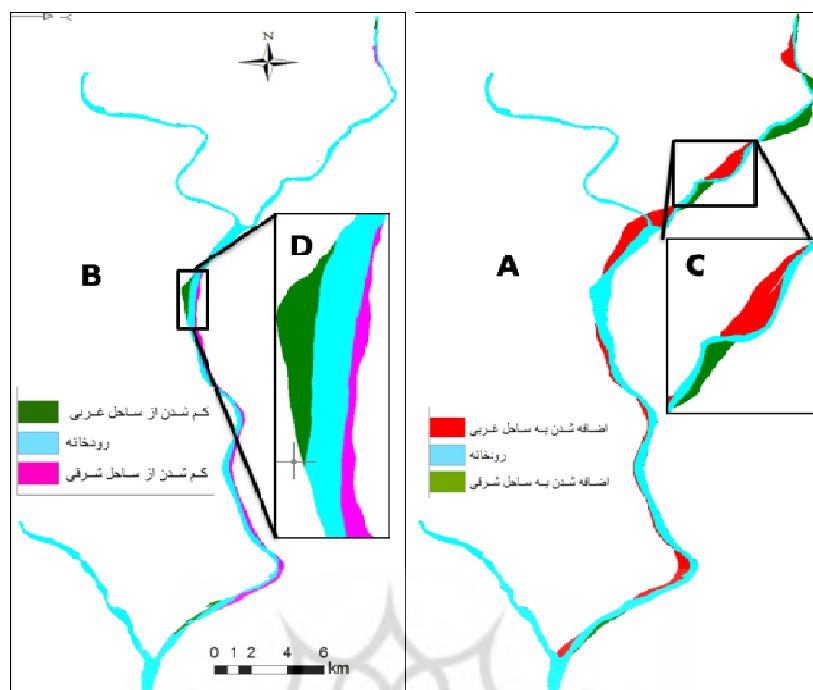
شکل B. مسیر رودخانه هیرمند در سال ۱۳۹۰

### استخراج تغییرات مورفولوژیکی رودخانه

برای استخراج تغییرات در الگوی هندسی و فضایی رودخانه، مسیر آن از نقطه مورد بررسی در بالادست تا نقطه انتهایی، و بر اساس الگوی اولیه استخراج تغییرات فضایی در نقشه مؤخر، به سیزده مقطع طولی تقسیم شد. هدف از این تقسیم‌بندی، استخراج الگوی هندسی رودخانه در هر یک از این مقاطع و تسهیل در تحلیل فضایی آن است. سپس برای استخراج تغییرات فضایی و الگوی هندسی، بُردارهای مسیر رودخانه در هر یک از مقاطع از دو نقشه مقدم و مؤخر در محیط نرم‌افزاری روی هم‌گذاری شده، تغییرات هندسی در زوایایی دو بردار بر مبنای ثابت انگاشتن بردار مقدم استخراج و آزیموت تغییر در محور آن محاسبه شد (شکل ۴). علاوه بر آن، اراضی اشغال شده و آزاده شده در مسیر رودخانه در بازه زمانی مورد مطالعه، استخراج و مورد تحلیل قرار گرفت (شکل ۵).



شکل ۴. A. نمای کلی از مقطع بندی رودخانه هیرمند؛ B. مقطع شماره ۳؛ C. چگونگی محاسبه آزیموت (مقطع شماره ۳)



شکل ۵. تغییر در عرصه فضایی بستر متأثر از تغییرات مسیر رودخانه. A و B تغییرات افزایشی و کاهش‌ی عرصه در پیرامون بستر اولیه را نشان می‌دهد. C و D نمای بزرگتری از عرصه واقع در چهار گوش انتخاب شده را معرفی می‌کند.

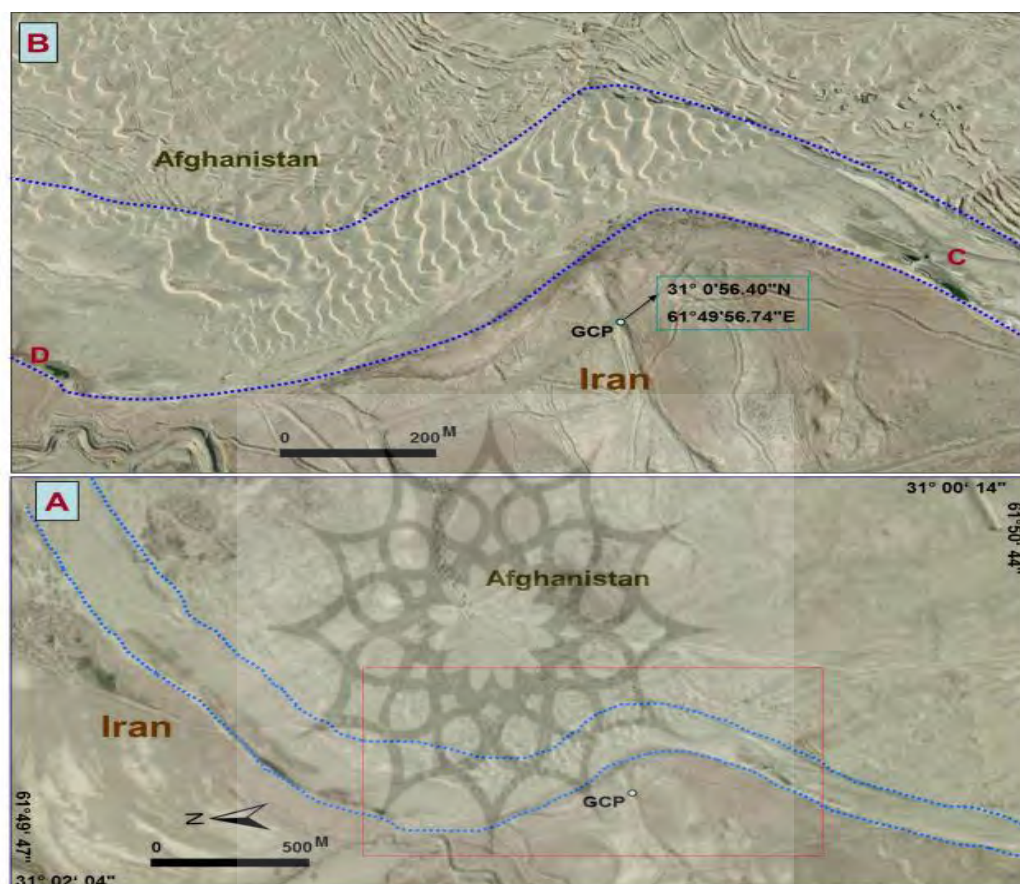
### تبیین دلایل تغییر مورفولوژی مسیر رودخانه هیرمند

در رودخانه‌ها، هرچند تغییر مورفولوژی آبراهه بیشتر متأثر از حمل بار رسوبی است (آنتونالی<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۰۴)، اما به‌طور کلی فعالیت‌های انسانی و تغییرات آب‌وهوا نیز، آثار زیادی بر روند هیدرومورفولوژی رودخانه داشته و باعث تغییر در مورفولوژی آن می‌شوند (وانگ<sup>۲</sup> و همکاران ۲۰۱۲). در تغییر مسیر رودخانه هیرمند، عوامل گوناگونی تأثیرگذار هستند. تأثیر سایش در تغییر مسیرهای هیرمند به توالی رسوبات منطقه بستگی دارد؛ زیرا در زیر لایه‌های سطحی سیلتی - رسی منطقه، لایه‌های ماسه‌ای وجود دارد که فاقد چسبندگی بوده (نبوی، ۱۳۵۶) و با سیلاب‌های مختلف، مقداری از ماسه سطوح زیرین ریزش کرده و سبب می‌شود تا قسمت‌های فوقانی نیز فرو بریزد که این عمل، سبب سهولت فرسایش هیرمند در مسیرهای جدید می‌شود (ابراهیم زاده و همکاران، ۱۳۸۳). همچنین جهت خاص (شمال غربی جنوب شرقی) بادهای ۱۲۰ روزه سیستان، به‌عنوان پدیده اقلیمی در شرایط ظهور خشکسالی‌های پی‌درپی، مقادیر زیادی رسوب از بستر خشکیده دریاچه را وارد اراضی شرقی می‌کند که رودخانه هیرمند در منتهی‌الیه عرصه ایرانی آن قرار دارد. حمل رسوبات ریزبافت و انباشت آن در آبراهه خشکیده رودخانه، منجر به انسداد مسیر شده که در مواردی، به انسداد کامل را در پی داشته است (شکل ۶). انسداد مسیر اصلی مجرا و همراهی و مساعدت شیب عمومی دشت سیستان، امکان انحراف در مسیر سیلاب‌های جاری در سال‌های پس از خشکسالی را به‌دنبال داشته است. در عین حال برخی یافته‌های مطالعاتی

1. Antonelli

2. Wang

مقدم، عواملی همانند سهولت فرسایش پذیری در آبرفت‌ها و نوع رسوب‌گذاری که ناشی از بافت و نوع خاک منطقه است را در تغییر پذیری میسر رودخانه مؤثر دانسته‌اند.



شکل ۶. انسداد بستر خشکیده رودخانه هیرمند توسط ماسه‌های روان؛ (A) تصویر ماهواره‌ای مربوط به سال ۲۰۰۲ برداشت شده از سایت Google Earth (خطوط آبی حدود سواحل مسیر خشکیده رودخانه را نشان می‌دهد)؛ (B) نمای نزدیک از محدوده مستطیل قرمز رنگ در تصویر A و مؤید تجمع ماسه و بادرفت در آبراهه و انسداد آن.

منبع: شریفی کیا، ۲۰۱۳

## یافته‌های پژوهش

یافته‌های پژوهش حاصل از آشکارسازی تغییرات به کمک تصاویر و تحلیل نقشه‌های بُرداری در بازه زمانی بیش از نیم قرن، مؤید تغییر گسترده در الگوی فضایی و عرصه رودخانه هیرمند است. این تغییرات در تمام بازه مورد بررسی رودخانه مشاهده شده و مقادیر آن نیز به‌طور پیوسته از جنوب به شمال در امتداد محور اصلی آبراهه متغیر بوده است. هرچند در اغلب موارد، تغییر جهت در محور اصلی آبراهه با مقادیر کمتر از ۵ درجه بوده است، به‌گونه‌ای که بخشی از ساحل در یک کرانه اشغال و در کرانه دیگر واگذار شده است، اما در مواردی آبراهه اصلی به‌طور کل تغییر مسیر داده و بستر قبلی را واگذار کرده است (شکل ۷).



شکل ۷. تغییر مسیر بخش شمالی شبکه رودخانه در بازه زمانی مورد مطالعه

این تغییرات به سبب مرزی بودن رودخانه، تغییرات خط مرز و تغییرات اراضی ملی را به دنبال داشته است. به طوری که در مواردی، اشغال اراضی داخلی و در موارد دیگر آزادسازی و اشغال اراضی کشور همسایه را پیامد داشته است. تجزیه و تحلیل یافته‌ها مؤید تغییر الگوی هندسی شبکه آبراهه در مقاطع طولی خاص و ثبات کلی آن از مبدأ مورد بررسی تا انتهای آن است. اندازه‌گیری به عمل آمده در این پژوهش مؤید تغییرپذیری مشهود محور اصلی در سطح سیزده مقطع طولی تبیین شده، به میزان حداقل ۵ تا حداکثر ۳۱ درجه به سمت مشرق (کشور افغانستان) یا مغرب (کشور ایران) است (جدول ۲). علاوه بر تغییر در الگوی هندسی، تغییر در الگوی فضایی و عرصه رودخانه نیز مشهود است. ارقام به دست آمده در این پژوهش، آشکار کرده است که سطح اشغال بستر رودخانه از  $\frac{1}{9}$  میلیون مترمربع در سال ۱۳۴۴ به بیش از  $\frac{2}{5}$  میلیون متر مربع در سال ۱۳۹۰ تغییر یافته است. این گسترش فضایی از طریق اشغال اراضی در دو ساحل شرقی و غربی ایجاد شده است. یافته پژوهش نشان‌دهنده آزادسازی بستر رودخانه در ساحل شرقی به میزان ۴۵۷ هزار متر مربع است (جدول ۱). همچنین در این ساحل افزون بر  $\frac{1}{9}$  میلیون متر مربع از اراضی، به اشغال بستر در آمده که مؤید حرکت تدریجی آن به سمت شرق است. در ساحل غربی نیز ۶۸۱ هزار متر مربع از اراضی بستر رهاسازی و بیش از ۹۱۳ هزار متر مربع اشغال شده است. تغییر در الگوی هندسی و عرصه فضایی رودخانه بر اساس سیزده مقطع ترسیم شده در جدول شماره ۲ آمده است.

جدول ۱. میزان تغییرات ساحل غربی و شرقی رودخانه هیرمند در دوره مورد مطالعه (ارقام هزار متر مربع)

تغییر در ساحل غربی		تغییر در ساحل شرقی	
افزایش	کاهش	افزایش	کاهش
۶۸۱	۹۱۳	۴۵۷	۱۹۷۰۷



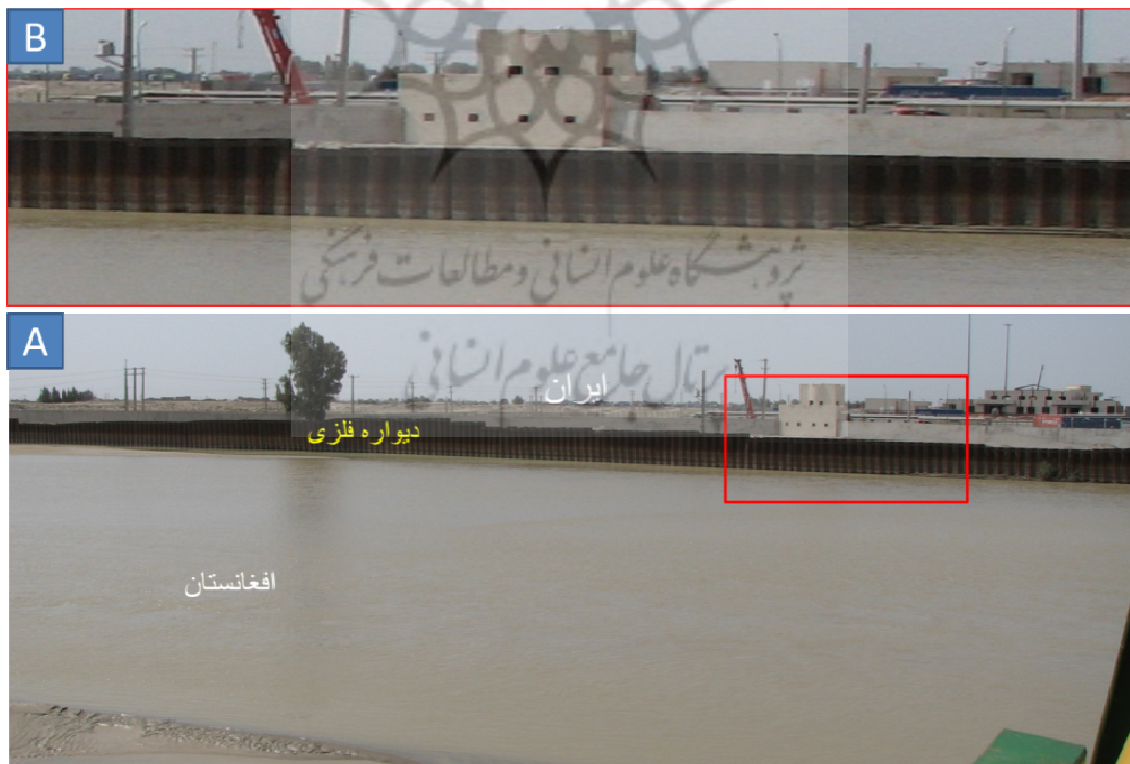
جدول ۲. تغییرات الگوی هندسی و عرصه فضایی رودخانه هیرمند در بازه زمانی مورد مطالعه

مقاطع طولی	تغییرات الگوی فضایی عرصه رودخانه در مقاطع طولی (مترمربع)			تغییرات الگوی هندسی (آزیموت)
	عرصه در سال ۱۳۳۴	عرصه در سال ۱۳۹۰	تفاضل	
۱	۱۶۱۹۳۳	۲۵۱۳۲۵	۸۹۳۹۲	۳۵۱
۲	۲۸۵۹۵۱	۲۶۶۶۸۱	-۱۹۲۷۰	۳۴۸
۳	۱۵۷۸۳۹	۱۴۴۳۰۱	-۱۳۵۳۸	۳۵۰
۴	۱۹۷۹۸۱	۱۸۷۰۸۴	-۱۰۸۹۷	۳۵۰
۵	۳۰۰۸۶۷	۱۶۸۱۷۶	-۱۳۲۶۹۱	۳۴۸
۶	۴۱۲۸۵۴	۵۰۰۲۹۴	۸۷۴۴۰	۳۴۵
۷	۱۳۶۹۶۸	۱۸۰۵۱۰	۴۳۵۴۲	۳۴۳
۸	۱۲۰۲۴۹	۲۸۲۱۰۵	۱۶۱۸۵۶	۳۴۳
۹	۹۹۴۵۲	۲۱۸۹۸۷	۱۱۹۵۳۵	۳۳۳
۱۰	۱۹۹۷۲	۶۰۸۹۵	۴۰۹۲۳	۳۲۹
۱۱	۲۷۹۵۴	۹۶۱۱۵	۶۸۱۶۱	۳۳۲
۱۲	۲۲۹۵۵	۸۸۳۳۶	۶۵۳۸۱	۳۳۹
۱۳	۲۷۲۰۶	۷۳۶۳۶	۴۶۴۳۰	۳۵۵
مجموع	۱۹۷۲۱۸۱	۲۵۱۸۴۴۵	۵۴۶۲۶۴	

## بحث و نتیجه گیری

رودخانه‌ها یکی از عناصر طبیعی به‌شمار می‌روند که مرز کشورها بر آنها منطبق می‌شود، اما رودخانه‌ها به‌دلیل ماهیت تغییرپذیری خود، سبب به‌وجود آمدن مسائلی برای کشورهای پیرامون مرز می‌شوند. رودخانه هیرمند واقع در مرز ایران و افغانستان، به‌دلایل مختلف همواره روابط دو کشور را تحت تأثیر قرار داده که یکی از عوامل مؤثر در بروز این مسئله، شرایط مورفولوژیکی رودخانه و تغییر مسیرهای متعدد آن در دوره‌های کوتاه‌مدت است. بر اساس یافته‌های این پژوهش، در طول ۵۶ سال گذشته، رودخانه هیرمند به‌سبب برخورداری از شرایط خاص توپوگرافیکی و لیتولوژیکی (دشت هموار رسی)، تغییرات هندسی و فضایی گسترده‌ای داشته است که جهت تغییرات مسیر رودخانه به‌طور عمده به‌سمت مشرق، یعنی خاک افغانستان بوده است. هرچند در مواردی این تغییرات نیز به آزادسازی اراضی بستر به سود کشور همسایه منجر شده، اما در موارد دیگر اشغال آن را پیامد داشته است. تغییرات بستر در این رودخانه، علاوه بر مساعدات شرایط ناهمواری و جنس بستر، از تغییرات هیدرولوژیکی و اقلیمی تأثیر پذیرفته است. خشکیده شدن پی در پی دریاچه هامون و حاکمیت شدید باد، امکان برداشت و حمل رسوبات ریزدانه و انتقال انباشت آن را در شبکه آبراهه خشکیده رودخانه در پی داشته است. مسدود شدن آبراهه در کنار فقدان حضور عوارض مورفولوژیکی کنترل‌کننده و مساعدات زیرساخت‌های فیزیکی (شیب اندک و بافت ریز رسی)، امکان حرکت آزاد آب در سطح، و واگذاری بستر اشغال شده و اتخاذ بستر جدید را به‌نبال

داشته است. امری که پیامد آن تغییرات مورفولوژیکی در فرم فضایی این رودخانه بوده است. هرچند تصاویر سنجش از دور با بسامد زمانی مناسب برای پایش الگوی استقرار تغییرات فضایی تپه‌های ماسه‌ای مستتر بر بستر خشکیده رودخانه در دسترس قرار نداشت، اما فرم فضایی تغییرات بستر و مقادیر انحای و چرخش محور آن (شکل ۵) تأثیرپذیری این الگوی از حضور تپه‌های ماسه‌ای را محتمل می‌شمارد. از دیگر یافته‌های پژوهش، تعیین مقدار  $31/5$  درصدی عرصه فضایی بستر و گسترش آن به سوی تأسیسات ساحلی است. به گونه‌ای که این تغییرات بخش زیادی از ساختارهای ارزشمند حاشیه رودخانه در هر دو سوی را تهدید می‌کند. به طوری که در ساحل غربی واقع در محل پل جدید الاحداث راه ابریشم طرف ایرانی، متحمل هزینه گزاف در ایمن‌سازی و احداث موانع برای پیشگیری از حرکت آب به طرف ساحل غربی و تخریب پل یا سازه‌ها و تأسیسات گمرک در حاشیه آن شده است (شکل ۸). همچنین بررسی‌های میدانی و مصاحبه با مسئولان دولتی در محل، آشکار کرد که تغییرات حاصل در عرصه فضایی رودخانه، علاوه بر پیامدهای سیاسی در جابه‌جایی حدود دو کشور، به تغییر در الگوی توزیعی آب در نقطه تقسیم آن بین دو آبراهه پریون مشترک (کانال جاری بر مرز دو کشور) و کانال سیستان که تأمین کننده آب برای بخش غربی هامون (هامون سیستان و بخشی از هامون صابری) و آب انتقالی به ذخیره‌گاه‌های چاه نیمه منجر شده است. در حال حاضر نیز اندیس‌های از چالش در نمای فیزیکی (استفاده از بلدوزر در ایجاد تغییرات در بستر) و سیاسی (اعتراض مقامات سیاسی) مشاهده شده است.



شکل ۸. موانع ساخته شده برای تعدیل فرسایش ساحل غربی هیرمند در محل پل ابریشم و گمرک میلک؛ (A) نمایی از دیواره فلزی ساخته شده؛ (B) نمای نزدیک از مستطیل قرمز در تصویر A معرف دیوار ساحلی و تأسیسات گمرک در ساحل غربی

## منابع

- ابراهیم زاده، ع.؛ لشگری پور، غ.ر.؛ مریدی، ع.ا. (۱۳۸۳). تأثیر عوامل زمین‌شناسی در تغییر مسیر رودخانه هیرمند و نقش تاریخی آن در جابه‌جایی سکونت‌گاه‌ها در سیستان، جغرافیا و توسعه، دوره دوم، شماره ۴، صص. ۲۰-۶.
- ارشد، ص.؛ مرید، س.؛ میرابولقاسمی، ه. (۱۳۸۶). بررسی روند تغییرات مورفولوژیکی رودخانه‌ها با استفاده از سنجش از دور؛ مطالعه موردی رودخانه کارون از گتوند تا فارس‌سیاب (۱۳۶۹-۸۲)، مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی، جلد چهارم، شماره ۶، صص. ۱۸۰-۱۹۵.
- بدیعی ازندهی، م.؛ رحیمی هرابادی، س.؛ گودرزی مهر، س. (۱۳۹۰). نقش تغییرات مورفولوژی رودخانه مرزی هیرمند در روابط سیاسی ایران و افغانستان، پژوهش‌های جغرافیای انسانی، شماره ۷۸، صص. ۲۲۰-۱۹۷.
- بریمانی، ف. (۱۳۸۲). توسعه روستایی در سیستان، پایان‌نامه دکترا، تهران: دانشگاه شهید بهشتی.
- پرتانی، ص.؛ مجدزاده طباطبایی، م.ر.؛ آیتی، ب.؛ موسوی نائینی، س.ع. (۱۳۸۷). بررسی اثرات زیست‌محیطی تغییرات مورفولوژی رودخانه با تمرکز بر سازه‌های کنترل سیلاب، دومین همایش تخصصی مهندسی محیط زیست، تهران: ۳۱ اردیبهشت تا ۱ خرداد ۱۳۸۷.
- حافظ نیا، م.ر.؛ مجتهدزاده، پ.؛ علی‌زاده، ج. (۱۳۸۵). هیدروپولیتیک هیرمند و تأثیر آن بر روابط سیاسی ایران و افغانستان، فصلنامه مدرس علوم انسانی، دوره ۱۰، شماره ۲، صص. ۵۷-۳۱.
- ضیا توانا، ح.؛ بریمانی، ف. (۱۳۷۹). تغییر مسیر رودخانه هیرمند و آثار فضایی آن، مجله علوم انسانی دانشگاه سیستان و بلوچستان، شماره ۱۰، صص. ۲۱۲-۱۹۷.
- غریب رضا، م.ر.؛ معصومی، ح. ر. (۱۳۸۵). مورفولوژی رودخانه زهره و تغییرات آن در جلگه ساحلی هندوچان، هفتمین سمینار بین‌المللی مهندسی رودخانه، اهواز: بهمن ۱۳۸۵.
- مقصودی، م.؛ شرفی، س.؛ مقامی، ی. (۱۳۸۹). روند تغییرات الگوی مورفولوژیکی رودخانه خرم‌آباد با استفاده از GIS، RS و Auto Cad، مدرس آمایش و برنامه‌ریزی فضا، دوره ۱۴، شماره ۳، صص. ۲۹۴-۲۷۵.
- میرزایی، م. ع. (۱۳۸۶). کلیات رودهای مرزی با تأکید بر ارس و هیرمند، رشد آموزش جغرافیا، دوره بیست و یکم، شماره ۴، صص. ۲۰-۲۳.
- نبوی، م.ح. (۱۳۵۶). دیباچه‌ای بر زمین‌شناسی ایران، تهران: سازمان زمین‌شناسی کشور.
- واعظی پور، ح.ع.؛ اژدری مقدم، م.؛ طالب بیدختی، ن. (۱۳۸۹). بررسی تغییرات مورفولوژی رودخانه سیستان، دومین کنفرانس سراسری مدیریت جامع منابع آب، کرمان: بهمن ۱۳۸۹.
- یمانی، م.؛ حسین‌زاده، م.م. (۱۳۸۱). بررسی تغییرات الگوی رودخانه تالار در جلگه ساحلی دریای مازندران، پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۴۳، صص. ۱۲۲-۱۰۹.
- Antonelli, C., Provansal, M., Vella, C., 2004, **Recent Morphological Channel Changes in a Deltaic Environment the Case of the Rhone River, France**, Journal Geomorphology, Vol. 57, PP. 385-402.

- Gregory, K.J., Benito, G., Downs, P.W., 2008, **Applying Fluvial Geomorphology to River Channel Management: Background for Progress towards a Palaeohydrology Protocol**, Journal Geomorphology, Vol. 98, PP. 153-172.
- Mojtahedzadeh, P., 2004, **Small Players of the Great Game**, Rutledge, Curzon, London.
- Sharifikia, M., 2013, **Environmental Challenges and Drought Hazard Assessment of Hamoun Desert Lake in Sistan Region, Iran, Based on the Time Series of Satellite Imagery**, Springer, Journal of Natural Hazard, Vol. 65, No. 1, PP. 201-217.
- Wang, J., Ishidaira, H., 2012, **Effects of Climate Change and Human Activities on in Flowing to the Hoban Reservoir in the Red River Basin**, the 18th Biennial Conference of International Society for Ecological Modeling, China.
- Zawiejska, J., Bartlomiej, W., 2010, **Twentieth-Century channel on the Dunajec River, Southern Poland: patterns, causes and contyols**, Journal Geomorphology, Vol. 117, 234-246

