پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمّی، سال ششم، شماره ۳، زمستان ۱۳۹٦
صص. ۱۱٦-۱۰۵

شواهد ژئومورفولوژیکی اسارت و انحراف کواترنری رودخانه‌ها (مطالعه موردی حوضه قزل‌اوزن)

غلام حسن جعفری* – استادیار گروه جغرافیا، دانشگاه زنجان.
فاطمه بختیاری – کارشناس ارشد هیدروژئومورفولوژی، گروه جغرافیا، دانشگاه زنجان.

پذیرش مقاله: ۱۳۹۵/۰۶/۱۸ تائید نهایی: ۱۳۹۶/۰۹/۱۶

چکیده

هدف این مقاله بررسی شواهد ژئومورفولوژیکی اسارت و انحراف در رودخانه‌های حوضه قزل‌اوزن است. برای این منظور با کمک نقشه‌های توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ و زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ منطقه و با توجه به شواهد ژئومورفولوژیکی همچون، انحنای ۹۰ درجه‌ای و بیش‌تر در مسیر رودخانه، وضعیت تقارن و عدم تقارن توپوگرافی و حوضه‌ی زهکشی و وجود رسوبات آبرفتی مخروط‌افکنه‌ای قدیم در سراب رودخانه‌ها، پنج سرشاخه‌ای از قزل‌اوزن را که به‌احتمال‌قوی در طی کواترنری دچار اسارت یا انحراف شده بودند، شناسایی گردید. با مطالعات میدانی صحت برداشت‌های اولیه از نقشه‌های توپوگرافی، مورد آزمون قرار گرفت. نتایج حاکی از آن است که وجود شواهد فوق حاکی از تغییر مسیر رودخانه‌ها در طی کواترنری است و باعث ایجاد تنگ‌ها، پایین افتادن سطح اساس و افزایش رسوب در حوضه شده است. علاوه بر آن تغییر در دبی مقطعی قزل‌اوزن براثر تغییر مسیر سرشاخه‌ها، منجر به افزایش عمل حفر و حمل رسوبات مارنی شده که در اکثر نواحی این حوضه پراکنده‌شده‌اند. حفر بیشتر بستر اصلی، فرسایش قهقرایی در سرشاخه‌ها را افزایش داده و درمجموع بی‌ثباتی را برای کناره‌های این رودخانه به ارمغان آورده است.

واژگان کلیدی: اسارت رودخانه، انحراف رودخانه، سیستم رودخانه‌ای، قزل‌اوزن، منحنی میزان.

* نویسنده مسئول: E-mail: jafarihas@yahoo.com

مقدمه

اساس شناخت تغییرات در شکل‌های زمین، شناسایی و پی بردن به مفهوم مقدار جابه‌جایی رسوبات از ناحیه‌ای به ناحیه‌ای دیگر است، به‌طوری‌که این جابه‌جایی، مورفولوژی همه آن نواحی را تغییر دهد (چورلی و همکاران، ۱۹۸۵: ۱۱۱). یک سیستم رودخانه‌ای با اندازه‌ای معیّن، در سیر تکاملی خود تغییرات قابل‌توجهی را در حوضه‌ی آبریز، الگوی زهکشی، نیمرخ آبراهه‌ها و هندسه‌ی خود متحمل می شود. لذا داشتن اطلاعات کافی در مورد این تغییرات و روند تکاملی سیستم رودخانه‌ای، برای توجیه فرایندهای رودخانه‌ای از اهمیت بالایی برخوردار است (واندربرگ و مادی[۱]، ۲۰۰۰: ۳۳). این وظیفه‌ی ژئومورفولوژیست که اطلاعات فوق را در اختیار مدیریت رودخانه‌ها قرار دهد. چهره کنونی رودخانه‌ها در دوران کواترنری شکل‌گرفته و شناخت وضعیت کنونی، نیازمند شناخت وضعیت کواترنری آن‌ها می‌باشد (موسوی و تقی زاده، ۱۳۸۹). تغییر سطح اساس رودخانه‌ها یکی از ویژگی‌های اصلی دوران کواترنری می‌باشد که به دلیل آن فرسایی در این دوران بسیار فعّال بوده است (کمانه و همکاران، ۱۳۹۰). در مناطق کوهستانی متأثر از فرایند بالاآمدگی[۲]، اسارت رودخانه می‌تواند شبکه زهکشی را مجدداً سازمان دهد (ماذر[۳] و همکاران، ۲۰۰۰) و روند تکامل ژئومورفولوژیکی منطقه را متأثر سازد. افزایش قدرت فرسایشی رودخانه، افزایش دبی رودخانه اسیر کننده، افزایش مساحت حوضه آبریز و تشکیل زانوی اسارت[۴] ازجمله بدیهی‌ترین آثار اسارت رودخانه می‌باشد (هاموند[۵]، ۲۰۰۰: ۱). اسارت رودخانه یکی از مهم‌ترین تغییرات سیستم رودخانه‌ای است که می‌تواند زمینه تغییرات سایر قسمت‌های سیستم رودخانه‌ای را فراهم آورد. به همین خاطر اسارت رودخانه همواره یکی از مفاهیم موردعلاقه ژئومورفولوژیست‌ها بوده است (شیوم[۶]، ۱۹۷۷: ۲۷۹). اسارت رودخانه زمانی اتّفاق می‌افتد که یک سیستم رودخانه‌ای باقدرت حفر زیاد خود، سیستم رودخانه‌ای باقدرت فرسایشی کم را از مسیر خود منحرف نماید (سالا، ۲۰۰۴). عمل فرسایشی سریع رودخانه‌ی اسیر کننده نسبت به رودخانه اسیر شده موجب قطع آبراهه رودخانه اخیر و انحراف جریان آن به سمت رودخانه اسیر کننده می‌شود (سامرفیلد[۷]، ۱۹۹۱: ۴۱۰). در حالت اسارت یک شاخه از شبکه زهکشی توسط شاخه‌ای از حوضه آبریز همسایه ربوده می شود. این حالت معمولاً براثر فرسایش قهقرایی، تغییرات سطح‌مبنا یا نسبت سطح جریان و دلایل تکتونیکی رخ می‌دهد (قنواتی و بهشتی جاوید، ۱۳۹۲). انحراف عمدتاً توسط فرسایش تفریقی یا جانبی به وجود می‌آید (فرسایش نسبت به مقاومت سنگ‌ها) و به‌صورت فرسایش قهقرایی تعادل محیط را برهم می‌زند. رودخانه‌ها در طی زمان، خود شان را بر مناطق سست ازنظر لیتولوژیکی انطباق داده‌اند، این یعنی انطباق بر ساختمان سنگ شناسی. رودخانه‌ها جهت انطباق زمین شناسی مسیر خود را تغییر می‌دهند. اگر دو رودخانه‌ی نزدیک به هم مانند یک و دو در سطح متفاوت جاری باشند و جریان آب رودخانه دو، در سطح بالاتر از رودخانه یک قرار گیرد، در فاصله زمینی که دو آب جاری از هم جدا می شوند، شعبات رودخانه یک، روی شیب تندی جاری باشد به‌تدریج ناحیه‌ی ابتدایی آن می‌شود. شعبه‌ای از رودخانه که سه نامیده می‌شود، آن‌قدر پس‌روی می‌کند که به نقطه‌ی C در مسیر جریان آب رودخانه دو می‌رسد. ازآنجایی‌که شیب آب جاری دو تند است درنتیجه کلیه‌ی آب‌های دو وارد شعبه سه شده و بالاخره به رودخانه یک سرازیر خواهد شد. در چنین حالتی جریان آب، بستر خود را به شدّت حفر کرده و وضع خود را تثبیت نموده و کار اسارت را انجام داده است. در شکل مذکور رودخانه یک به‌وسیله‌ی شعبه‌ی خود به نام سه، رودخانه دو را به اسارت برده است و زانوی جدید آب جاری در نقطه‌ی C در مسیر رودخانه‌ی دو،

---

۱. Vanderberghe & Maddy

۲. Uplift

۳. Mather et al

۴. Elbow of Capture

۵. Hammond

۶. Schumm

۷. Summerfield

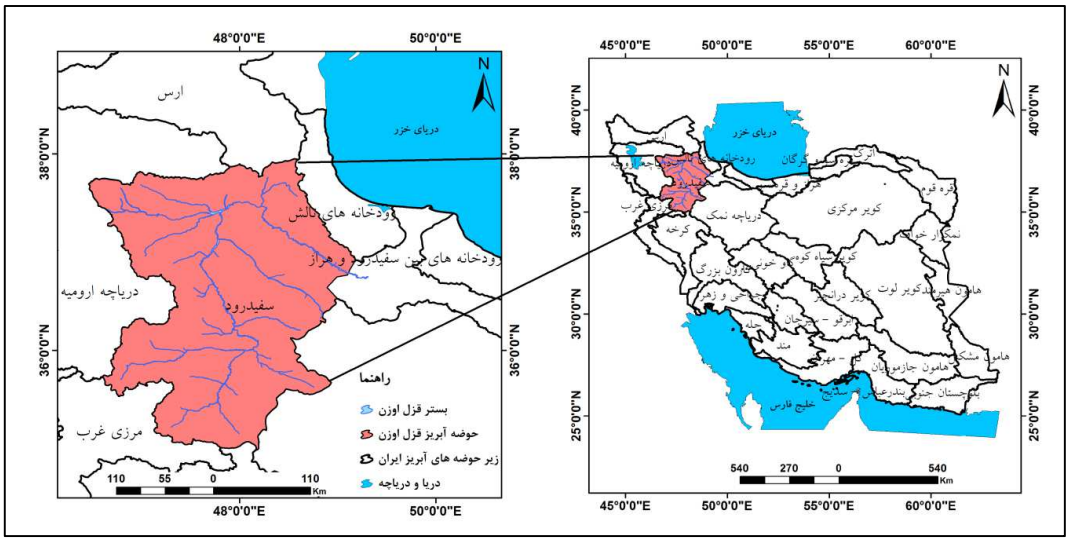
درّه بدون آب بوده که به‌ا صطلاح به آن درّه‌ی مرده یا خ شک می‌گویند. چنان‌که دو رودخانه‌ی یک و دو در همان م سیر قبلی یعنی نسبت به هم در یک اختلاف سطحی جاری بوده و رودخانه دو به حالت نیم‌رخ تعادل خود نرسیده باشد و چنانچه در ناحیه‌ی علیای آن مقداری مواد به‌طور غیرطبیعی در بستر انباشته شود که موجب بالا آمدن بستر رود گردد، در این موقع سطح درّه‌ای که رودخانه در آن جاری است به سطح گردنه‌هایی که در طرف دیگر حوضه‌ی رودخانه یک جاری ا ست می‌ر سد، در این وقت مانند سیلابی که بر روی مخروط‌افکنه جاری با شد، جریان آن به‌طرف رودخانه یک منحرف گشته که در چنین مواردی عمل انحراف صورت گرفته است (دریو، ۱۳۸۹: ۵۰). گرچه مطالعات جدید در مورد اسارت رودخانه‌ها سعی در کمّی نمودن تغییرات زمانی و مکانی آثار این پدیده دارند، آنچه از ادبیات پژوهش در این مورد برمی‌آید این است که اکثر این تحقیقات کیفی هستند. برخی محققان معتقدند که اسارت رودخانه‌ای یک پدیده نادر است و تنها در مقیاس‌های کوچک اتّفاق می‌افتد (پدرسون[۱]، ۲۰۰۱). شیوم (۱۹۷۷) در مقاله‌ای تحت عنوان سیستم‌های رودخانه‌ای ابراز داشته که اسارت رودخانه یکی از مهم‌ترین تغییرات سیستم رودخانه‌ای است که می‌تواند موجبات تغییرات سایر قسمت‌های سیستم رودخانه‌ای را فراهم آورد. به همین خاطر اسارت رودخانه همواره یکی از مفاهیم موردعلاقه ژئومورفولوژیست‌ها برای مطالعه بوده است. سامرفیلد (۱۹۹۱) در مقاله خود با عنوان ژئومورفولوژی جهانی، مقدمه‌ای برای مطالعه لندفرم‌ها بیان می‌دارد که عمل فر سایشی سریع رودخانه‌ی ا سیر کننده نسبت به رودخانه ا سیر شده موجب قطع آبراهه رودخانه اخیر و انحراف جریان آن به سمت رودخانه اسیر کننده می‌شود. ماسر و همکاران (۲۰۰۰) در مقاله‌ای با عنوان تغییرات کمّی طولانی مدّت سیستم‌های مخروط‌افکنه‌ای به این نتیجه ر سیدند که در مناطق کوهستانی متأثر از فرایند بالاآمدگی، ا سارت رودخانه می‌تواند شبکه زهکشی را مجدداً سازمان داده و روند تکامل ژئومورفولوژیکی منطقه را متأثر سازد. پدر سون (۲۰۰۱) در ا سارت‌های رودخانه‌ای بیان می‌دارد که جریان‌های ا سارتی تو صیفی از رویداد انحراف می‌با شند که طی آن آب از یک جریان تو سط جریان‌های دیگر در سطوح پایه پایین‌تر د ستگیر می شود. وی معتقد ا ست که الگوهای غیرمعمول زهکشی به‌وسیله‌ی انباشت و نهشته‌های رسوب و الگوهای سیکلی تشخیص داده می‌شوند. سالا (۲۰۰۴) در مقاله اسارت رودخانه در گودی۲ عنوان می‌کند که اسارت رودخانه زمانی اتّفاق می‌افتد که یک سیستم رودخانه‌ای باقدرت حفر زیاد خود، سی ستم رودخانه‌ای باقدرت فر سای شی کم را از م سیر خود منحرف نماید. یانیتس۳ و همکاران (۲۰۱۳) در مقاله‌ای با عنوان قدرت بریدگی بالا و سریع نا شی از ا سارت رودخانه راین سوئیس بیان می‌کنند که تکامل چشم‌اندازها به‌وسیله توسعه و سازمان‌دهی حوضه‌های زهکشی از طریق به ا سارت بردن رودخانه کنترل می‌شود. به‌موجب پدیده اسارت یکی از حوضه‌های رودخانه به قیمت از دست رفتن رودخانه دیگر تکامل می‌یابد. آن‌ها معتقدند که به‌احتمال‌زیاد ناپایداری در قسمت بالادست محل اسارت به کمتر از یک‌میلیون سال گذشته برمی‌گردد. هم‌چنین عنوان دا شته‌اند که اثر ا سارت حو ضه‌های زهک شی در ر شته‌کوه آلپ به‌مراتب کمتر از فر سایش نا شی از بالاآمدگی و یخبندان در دوره پلئیستوسن می‌باشد. رامشت (۱۳۸۵) به تحلیل تطبیقی رفتار رودخانه کر پرداخته و در آن به تطبیق رفتار رودخانه بر اساس شبکه عصبی می‌پردازد. محمودی (۱۳۸۸) در کتاب ژئومورفولوژی ساختمانی ا سارت و انحراف را چنین تعریف نموده؛ اسارت عبارت است از ربوده شدن بخشی از جریان به‌وسیله‌ی جریانی دیگر. همچنین انحراف را ورود ناگهانی یک جریان به جریان مجاورش تعریف نموده ا ست. خیام (۱۳۸۹) معتقد ا ست ا سارت‌ها و انحراف آب‌های جاری منجر به تنظیم شبکه‌ی آب‌ها می‌گردد، درنتیجه چنانچه شیب یکنواخت با شد شبکه‌ی آب‌های ا صلی همواره به صورت جریان‌های موازی شیب را تعقیب می‌کنند. عبا سی و علمی زاده (۱۳۸۹) در برر سی رفتار رودخانه در حو ضه انجیران از عوامل تکتونیکی یادکرده‌اند. نتایج حا صله نشان داد که منطقه‌ی موردمطالعه به شدّت از فعالیت‌های تکتونیکی کواترنری

۱. Pederson

۲. Goudie

۳. Yanites et al

متأثر شده است. مختاری (۱۳۸۹) در مقاله‌ای به بررسی اسارت رودخانه و آثار آن در سیستم رودخانه‌ای پرداخت؛ وضعیت کنونی سیستم رودخانه‌ای، نتیجه‌ی عملکرد هر دو فرایند انحراف و اسارت بوده است و مکانیسم‌های کنترل‌کننده‌ی آلوژنیک از قبیل فعالیت‌های تکتونیکی و حرکات توده‌ای در ایجاد این وضعیت نقش اساسی داشته‌اند. کمانه و همکاران (۱۳۹۰) به تحلیل فضایی حوضه‌ی کر با تکیه‌بر استدلال‌های ژئومورفیک و هیدرولوژیک پرداختند و به این نتیجه رسیدند که با توجّه به سیبرنتیک میان‌دادی حوضه، هم‌چنین محاسبه بیلان انرژی و ماده در سطح حوضه از طریق آنتروپی مثبت و منفی، می‌توان ورودی و خروجی حوضه را تعیین نمود. مددی (۱۳۹۰) به پژوهشی در ژئومورفولوژی خروسلوداغی با تأکید بر تطبیق و عدم تطبیق شبکه‌های رودخانه‌ای (شمال استان اردبیل) پرداخته و اشاره می‌کند که ارتباط شبکه آب‌ها با ساختمان زمین، نشان‌دهنده این واقعیت است که برخی از شبکه‌های زهکشی با ساختمان زمین شناسی انطباق دارد. داداش زاده و همکاران (۱۳۹۳) در مقاله‌ای با عنوان کیاس فرسایشی و تحولات پیش‌بینی‌نشده چاله اردبیل، بیان داشته‌اند که اسارت رودخانه یکی از مهم‌ترین تغییرات در سیستم رودخانه‌ای است که ممکن است به تغییرات در بخش‌های دیگر سیستم منجر شود. مفهوم کیاس به معنی نوعی از قوانین و مقررات در چارچوب یک‌روند نامنظم به‌کاربرده شده است. سیستم رودخانه‌ای قزل‌اوزن که در شمال غرب کشور واقع‌شده یکی از سیستم‌های رودخانه‌ای خزر است که در دوره‌های اخیر زمین شناسی دچار تحوّلات زیادی شده است. وقوع اسارت یکی از حلقه‌های این سیر تکاملی است. سرچشمه رودخانه قزل‌اوزن از ارتفاعات چهل چشمه کردستان بوده و با طولی بالغبر ۵۵۰ کیلومتر پس از عبور از استان‌های زنجان، آذربایجان شرقی و اردبیل ضمن دریافت شاخه‌های متعدّد در طول مسیر خود در استان گیلان با رودخانه شاهرود تلاقی و وارد مخزن سفیدرود می‌گردد. وسعت حوضه آبخیز آن نزدیک به ۴۹۴۰۰ کیلومترمربع است (رضایی مقدم و همکاران، ۱۳۹۰). این رودخانه بین استان کردستان، زنجان، آذربایجان شرقی، اردبیل، همدان و بخش کوچکی از استان‌های قزوین، آذربایجان غربی و گیلان قرارگرفته و در عرض‌های جغرافیایی ۳۴ درجه و ۵۵ دقیقه تا ۳۷ درجه و ۵۵ دقیقه عرض شمالی و ۴۶ درجه و ۲۷ دقیقه تا ۴۹ درجه و ۲۰ دقیقه طول شرقی گسترده شده است (شکل ۱).



شکل ۱: موقعیت حوضه آبریز قزل‌اوزن در بین حوضه‌های آبریز ایران

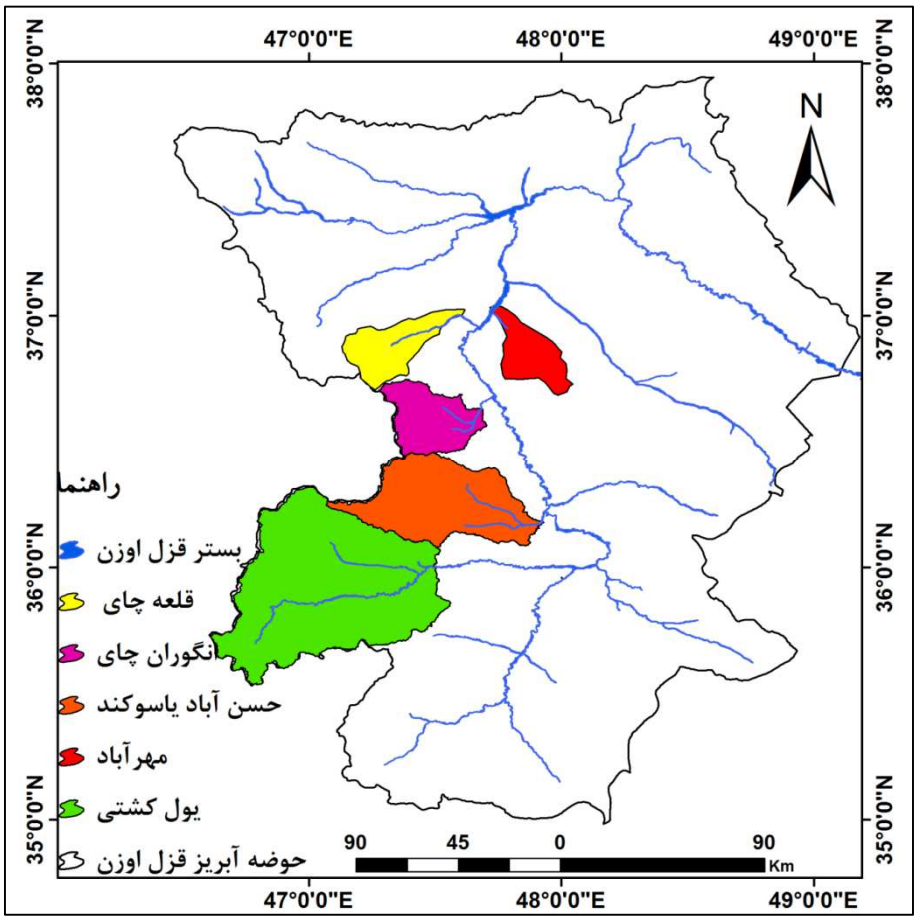
مواد و روش‌ها

در تحقیق حاضر، تحوّل شبکه‌ی رودخانه‌ای حوضه‌ی قزل‌اوزن از طریق فرایند اسارت یا انحراف موردمطالعه قرارگرفته است. به همین منظور برای ارزیابی دقیق‌تر، از نقشه‌های توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ و زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ منطقه استفاده گردید. در این تحقیق با کمک نقشه‌های توپوگرافی و با توجه به شواهد ژئومورفولوژیکی، ابتدا پنج قسمت که احتمال می‌رفت در آن‌ها تغییر کلی در مسیر سرشاخه‌های قزل‌اوزن به وقوع پیوسته، مشخص گردید. شواهدی همچون انحنای

۹۰ درجه‌ای و بیش‌تر در مسیر رودخانه، توپوگرافی نامتقارن دو طرف رودخانه، حوضه‌ی زهکشی نامتقارن و وجود رسوبات آبرفتی مخروط‌افکنه‌ای قدیمی در سرشاخه‌ی رودخانه‌ها از آن جمله می‌باشند. لیتولوژی دو طرف و امتداد رودخانه (بدون در نظر گرفتن انحنای ۹۰ درجه‌ای)، در نقشه‌های زمین شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ شناسایی و تجزیه‌وتحلیل شد. علاوه بر آن موقعیت گسل‌ها نسبت به رودخانه‌های اصلی بررسی گردید. وجود رسوبات مخروط‌افکنه‌ای قدیم در خط تقسیم آب حوضه‌ها به همراه انطباق اکثر رودخانه‌ها با گسل‌های منطقه دلیل بر ناپایداری مسیر رودخانه در نظر گرفته شد. سپس در مشاهدات میدانی داده‌ها و اطلاعات اسنادی بررسی و با وضعیت محیطی انطباق داده شد. در ادامه از شواهد وقوع اسارت یا انحراف، در نرم‌افزار Arc GIS لایه‌های مختلفی استخراج شد و مورد تجزیه‌وتحلیل قرار گرفت. درنهایت آثار و تبعات تغییر مسیر رودخانه در عملکرد سیستم رودخانه‌ای و تغییراتی که در اثر این پدیده در موقعیت و مورفولوژی آبراهه‌ها اتّفاق می‌افتد، بحث و بررسی‌شده است.

نتایج و بحث

در بررسی پدیده انحراف و اسارت در حوضه‌ی قزل‌اوزن پنج محدوده شناسایی و مورد تحلیل قرار گرفت. این پنج محدوده عبارت‌اند از: الف- رودخانه تلخه‌رود (مهرآباد)، ب- رودخانه قلعه‌چای، ج- رودخانه انگوران چای، د- رودخانه یول کشتی، ه- رودخانه گوران (شکل ۲).

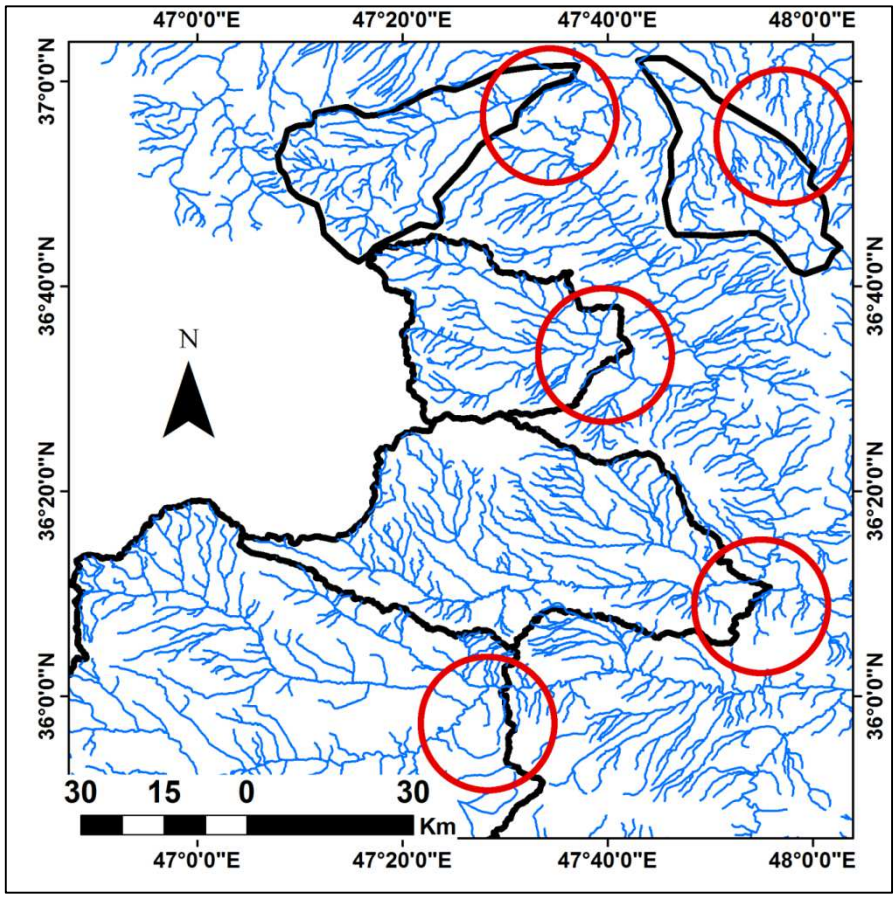


شکل ۲: حوضه‌های دارای پدیده اسارت در قزل‌اوزن

در این حوضه آبریز، به‌خصوص درجاهایی که عامل انحراف اتّفاق افتاده، لندفرم‌های بارزی شکل‌گرفته، این لندفرم‌ها معلول فرایندهای مختلفی بوده‌اند که هم‌اکنون نیز در حال تغییر و تحوّل می‌باشند. با گذر زمان، فرم‌های قدیمی از بین رفته و فرم‌های جدید تشکیل و نمایان شده‌اند. در آینده نیز احتمال وقوع چنین تغییر و تحوّلاتی بسیار زیاد است. یکی از

شواهد و عوامل مهم در میزان فرسایش‌پذیری بستر و کناره‌های رودخانه و وقوع پدیده اسارت، جنس طبقات زمین است. سازندهای واقع در کناره‌های مسیر رودخانه قزل‌اوزن از لیتولوژی‌های مشخصی تشکیل‌شده‌اند. لیتولوژی‌های متفاوت دو طرف رودخانه شرایط وقوع ا سارت را فراهم آورده ا ست. در صورتی‌که جریان آب از م سیری عبور نماید که سازندهای زمین شنا سی ازنظر مواد متفاوت با شد، در این صورت طبقات سخت مقاومت کرده و طبقات نرم و س ست در معرض تخریب قرار می‌گیرند و همین امر موجب انحراف مسیر جریان آب می‌شود. شواهد ژئومورفولوژیکی پدیده اسارت منعکس‌شده در نقشه‌های توپوگرافی ۱/۵۰۰۰۰ عبارت‌اند از (شکل ۳):

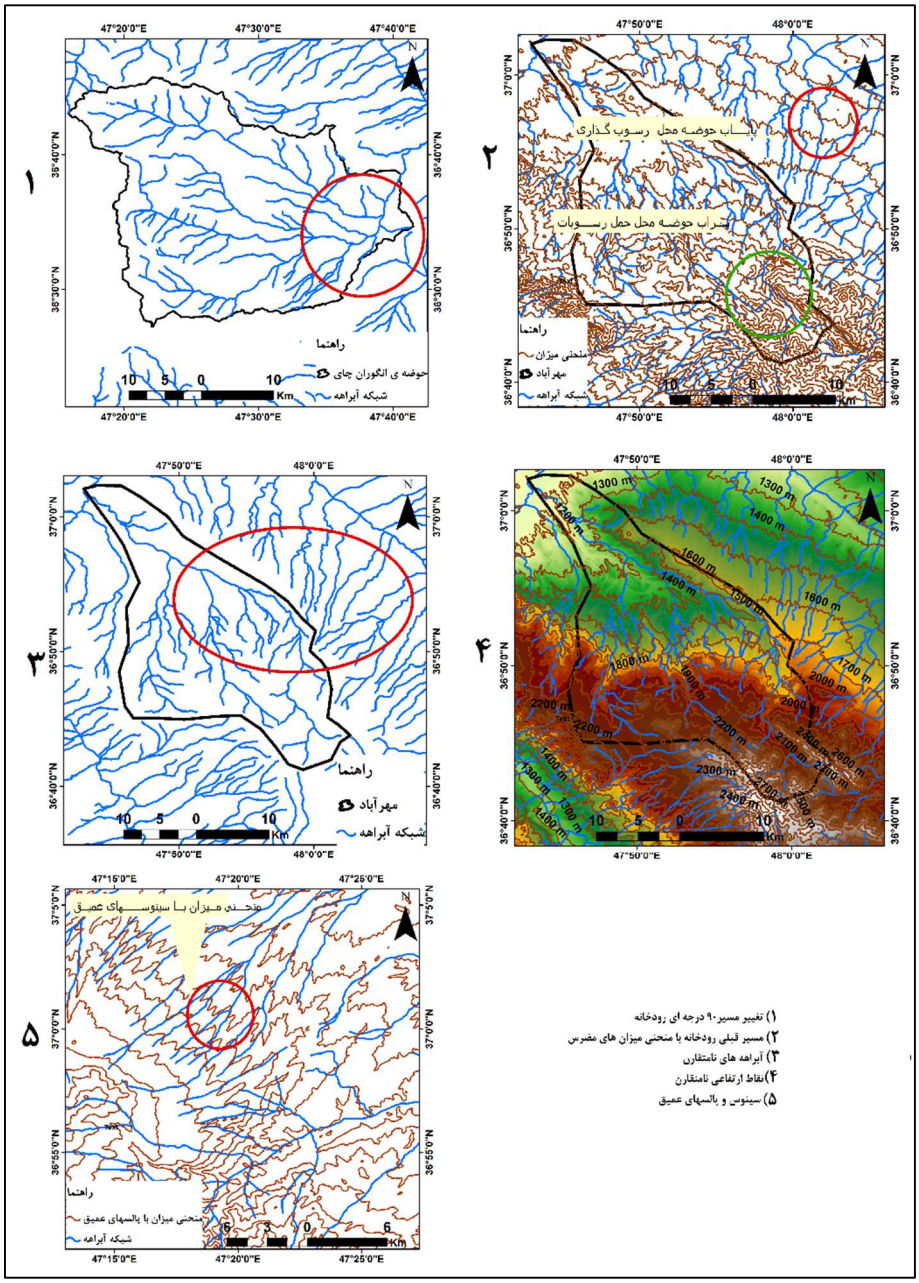
۱- تغییر م سیر با زوایای ۹۰ درجه یا بی شتر در امتداد رودخانه‌ها (شکل ۴-۱). در طی زمان، رودخانه‌ها در حو ضه آبریز خود ازنظر توپوگرافی، هیدرولوژیکی و شبکه آبراهه‌ای به‌نوعی تعادل د ست می‌یابند. در مسیرهای آبراهه‌ای که لیتولوژی همگن با شد مسیر آبراهه، کمتر دچار پیچ‌های تند تغییر مسیر می‌گردد. وجود این پیچ‌های تند که جهت مسیر رودخانه را ناگهان تغییر داده ناشی از اسارت یا انحرافی بوده که در مسیر رودخانه به وجود آمده است. با بررسی ۱۱۳ نقشه توپوگرافی، پنج منطقه که چنین ویژگی را داشته‌اند، شناسایی گردید.



شکل ۳: تغییر مسیر رودخانه‌های موردمطالعه در حوضه قزل‌اوزن

۲- قسمت ابتدایی و میانی رود یعنی سرچشمه و میاناب، مسیر حمل ر سوبات هستند و قسمت پایانی یا همان پایاب و گاهی در میاناب، محل برجای گذاری ر سوبات می‌با شند. ر سوبات آبرفتی، در سرچشمه‌ها قرار نمی‌گیرند، بودن آن‌ها در سراب، حاکی از تغییر مسیر رودخانه است. خطوط منحنی میزان در رسوبات آبرفتی که تا حدّی دیاژنز شده‌اند، با تضارس شکسته و بدون ایجاد قلل تظاهر می‌کند (رامشت، ۱۳۹۲)(شکل ۴-۲). وجود چنین الگویی از منحنی میزان و تأیید وجود چنین ر سوباتی در سراب رودخانه‌ها در مطالعات میدانی، حاکی از آن ا ست که محیط موردنظر در طی کواترنری محلی از

رسوب‌گذاری بوده تا کاوشی. چنین وضعیتی در دندی بعد از تغییر مسیر انگوران چای و در سراب بخشی از زنجان رود در مجاورت تلخه‌رود در مهرآباد کاملاً مشهود است.

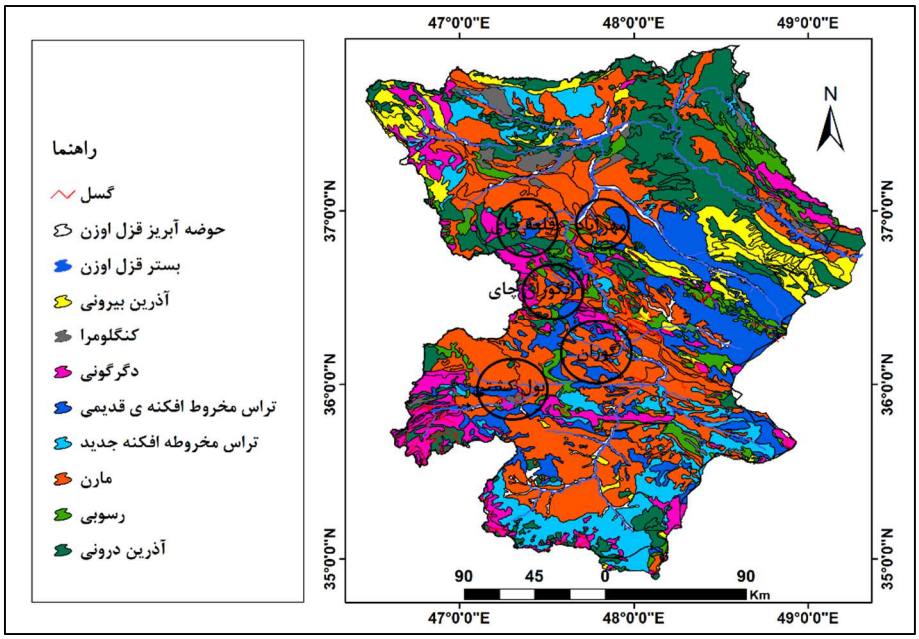


شکل٤: شواهد ژئومورفولوژیکی پدیده اسارت رودخانه‌های حوضه آبریز قزل‌اوزن

۳- آبراهه: یک حوضه باگذشت زمان تقریباً متقارن می‌شود یعنی ساحل سمت چپ و راست آن در طی زمان هم‌اندازه و متقارن می‌گردد. امکان دارد تکتونیک سبب برهم خوردن چنین وضعیت شود؛ امّا عامل اصلی در بخش‌های زیادی از قزل‌اوزن، تغییر مسیر رودخانه بوده است. کوتاه‌تر بودن طول آبراهه‌ها در یک‌طرف رودخانه نسبت به‌طرف دیگر در قزل‌اوزن، حاکی از تغییر مسیر رودخانه است. قسمتی که طول آبراهه‌ها خیلی کوتاه است امتداد مسیر قبلی رودخانه را نشان می‌دهد. در هر پنج حوضه ما این نمونه به‌خوبی بارز می‌باشد. به‌عنوان‌مثال در رودخانه مهرآباد، آبراهه‌ها به‌گونه‌ای هستند که ساحل سمت چپ دارای سرشاخه‌های متعددی است، درصورتی‌که ساحل سمت راست فاقد آبراهه می‌باشد (شکل ۴-۳).

۴- تفاوت ارتفاعی در ســواحل حوضــه‌های آبریز امر اجتناب‌ناپذیری اســت؛ امّا زمانی که تفاوت ارتفاع همراه با طول آبراهه‌ی کمتر و وجود ر سوبات آبرفتی دیاژنز شده در خط تق سیم آب با شد، حاکی از تغییر م سیر ۹۰ درجه‌ای رودخانه، ن سبت به م سیر قبلی ا ست. ساحلی که ارتفاع کمتری دارد درواقع امتداد م سیر قبلی را ن شان می‌دهد. چنین شاهدی در مکان‌هایی که به‌عنوان تغییر مســیر از آن‌ها یادشــده بســیار بارز هســتند؛ که بارزترین آن‌ها اطراف رودخانه تلخه‌رود در مهرآباد دیده می‌شود (شکل ۴-۴).

۵- بررســی خطوط منحنی میزان، حاکی از تغییر فرم آن‌ها در لیتولوژی همگن و پیوســته اســت. منحنی میزان ها یی با پالس‌های عمیق یا سینوس‌های عمیق در بین و پایین‌دست منحنی میزان‌های صاف تا سینوسی ساده در لیتولوژی های واحد و پیوســته دال بر تغییر شــرایط محیطی برای فرســایش آبی اســت (شــکل ۴-۵). منحنی‌های میزان صــاف دال بر طولانی‌تر بودن مدّت زمان تعادل فرایند اســت و هرچه پالس‌های عمیق داشــته باشــند یعنی تعادل محیطی به‌تازگی به‌هم‌خورده ا ست و فر سایش قهقرایی بر محیط غالب شده ا ست. چنین شرایطی در بسیاری از مناطق غربی قزل‌اوزن و مناطقی که شواهد دیگر ا سارت و انحراف در آنجاها مورد تأیید قرار گرفت دیده می شود. علاوه بر نقشه‌های توپوگرافی، بررسی نقشه زمین‌شناسی هریک از محدوده‌ها نیز شواهدی از تغییر مسیر رودخانه داشت که در ادامه به‌طور مختصر به آن پرداخته‌شده است (شکل ۵).



شکل ۵: نقشه زمین‌شناسی حوضه آبریز قزل‌اوزن

الف-تلخه‌رود: با توجه به شــواهد ژئومورفولوژیکی، جهت جریان رودخانه طی دوره کواترنری از جنوب به ســمت شــمال بوده و رسوب‌گذاری مواد آبرفتی بر روی لیتولوژی مارن بوده است. این رودخانه درواقع از سرشاخه‌های زنجان رود بوده و از طریق زنجان رود به قزل‌اوزن می‌پیو سته؛ در صورتی‌که با تغییر م سیر رودخانه، شرقی- غربی شده و امروزه به صورت مســتقل به قزل‌اوزن می‌ریزد. رودخانه‌ها در ســرچشــمه خود با ایجاد و اتصــال آبراهه‌های کوچک، زمینه حمل رســوب را فراهم می‌کنند. بر این اساس وجود رسوبات آبرفتی درشت‌دانه در هر منطقه دال بر وجود رودخانه‌ای با دبی مناسب جهت حمل آن‌ها ا ست. قرارگیری این‌گونه ر سوبات دیاژنز نشده در خط تقسیم آب حو ضه‌ها حاکی از بستر قدیمی رودخانه‌ای ا ست که با تغییر م سیرش، این‌گونه ر سوبات را در سراب متروک گذا شته ا ست. ر سوبات آبرفتی در شت‌دانه‌ای در شمال حو ضه تلخه‌رود، منطقه خط تق سیم آن با حو ضه زنجان رود قرار دارد که حاکی از م سیر اولیه تلخه‌رود ا ست (شکل ۶). لیتولوژی غالب دره رودخانه تلخه‌رود تناوبی از مارن‌های قرمز و قهوه‌ای روشن، ژیپس و میان لایه‌های ماسه‌سنگ است

که درمجموع حساسیت متفاوتی به فرسایش دارند. با غلبه فرسایش تفریقی در منطقه، رودخانه تغییر مسیر داده و با پیدایش سطح اساس جدیدی که پایین‌تر از قبلی بوده، فرسایش قهقرایی تسلّط بیشتری پیداکرده و منجر به رخنمون میان لایه‌های ماسه‌سنگی-آهکی از بین رسوبات مارنی و کنگلومرایی شده است. براثر انحلال و تداوم فرسایش، یکسری لندفرم‌ها به وجود آورده همانند گراند کانیون‌ها، دره‌های U شکل و تنگ‌های بسیار عمیق و کم‌عرضی همانند تنگ اندآباد. اغتشاش گسل‌ها در رودخانه‌ی مهرآباد و وضعیت لیتولوژیکی منطقه نیز در تغییر مسیر آبراهه‌ها بسیار مؤثر بوده است. هنگامی‌که رودخانه عمود بر محور چین‌خوردگی یا طاقدیس جریان داشته باشد، رسوبات سست موجود در میان لایه‌های ماسه سنگی سریع‌تر فرسایش یافته و از محیط خارج می شود و میان لایه‌های ماسه سنگی به دلیل مقاومت بیش‌تر باقی می‌مانند. با ادامه چنین روندی جهت انطباق زمین‌شناسی، انحرافی در مسیر رودخانه به وجود می‌آید که رودخانه موازی با محور ناهمواری گردیده است. ساحل راست مسیر جدید دارای آبراهه‌هایی به طول بسیار کمتر از ساحل سمت چپ است علاوه بر آن اختلاف ارتفاع خط‌الرأس آن از رودخانه به کمتر از ۲۰۰ متر می‌رسد. لیتولوژی سرشاخه‌های مسیر اولیه رودخانه که به زنجان رود می‌ریخته، از رسوبات مخروط‌افکنه‌های قدیمی است که نشان‌دهنده تسلط فرایند آلوویالی در منطقه‌ای بوده است. چنین مکان‌هایی در شرایط کنونی سراب رودخانه بوده؛ یعنی جایی که فرایند فلوویالی تازه در حال شکل‌گیری است.

شکل ٦: رسوبات آبرفتی در خط تقسیم آب تلخه‌رود بر روی لیتولوژی مارنی (نگاه عکس به سمت جنوب)

ب- قلعه‌چای: در سراب حوضهٔ قلعه‌چای، برون‌زدگی بازالت‌ها در سطحی گسترده دیده می شود، بازالت‌ها سنگ‌های آذرین خروجی‌اند که عمدتاً متشکل از پلاژیوکلازهای کلسیم‌دار و پیروکسن، همراه یا بدون اولیوین هستند. معمولاً به رنگ خاکستری تیره تا سیاه و دارای بافت نهان‌بلورین می‌باشند. بازالت‌ها از فراوان‌ترین سنگ‌های آذرین پوسته زمین‌اند و سنگ اصلی پوسته‌ی اقیانوسی را تشکیل می‌دهند (صداقت، ۱۳۹۰). برون‌زدگی‌های بازالتی باعث برهم خوردن مورفولوژی منطقه شده و جزء سنگ‌های بسیار مقاوم به فرسایش هستند که به‌راحتی در مقابل عوامل فرسایشی واکنش نشان نمی‌دهند. در محل وقوع انحراف رودخانه، لیتولوژی غالب، سازند مارن قرمز و قهوه‌ای روشن بامیان لایه‌های ماسه سنگی با حساسیت بسیار زیاد در مقابل فرسایش است. شرایط ژئومورفولوژیکی و هیدرولوژیکی منطقه مثل وجود مارن بامیان لایه‌های ماسه‌سنگی و کنگلومرایی در قسمت‌های وسیعی از حوضه همراه با شرایط توپوگرافی کم عارضه منعکس‌شده در نقشه‌های توپوگرافی در دورتر از مسیر کنونی رودخانه، حاکی از آن است که در دوران کواترنری در قسمت‌های زیادی از منطقه شرایط متعادل‌تری وجود داشته است. ختم شدن منحنی میزان‌ها با پالس‌های بسیار عمیق و بلند به منحنی میزان‌های صاف تا سینوسی ساده، به همراه برون‌زد رسوبات میوسن، حاکی از وقوع ناتعادلی شدید و جدید در منطقه است که منجر به ناپایداری رسوبات و ساختار توپوگرافی منطقه شده است. این ناتعادلی بیشتر ناشی از تغییر وضعیت جریان ماده و انرژی بوده که به‌احتمال‌قوی در قزل‌اوزن رخ‌داده؛ به‌طوری‌که با توجه به شواهد زمین شناسی و

توپوگرافیکی، منجر به تغییر سطح اساس محلی سر شاخه‌های این رودخانه تا حدود ۲۰۰ متر شده و تسلط فرسایش قهقرایی در سرشاخه‌ها منجر به تغییر وضعیت فرایندی از آلوویالی به فلوویالی شده است.

ج- انگوران چای: رودخانه انگوران چای در نزدیکی دندی یک تغییر مسیر بیش از ۹۰ درجه‌ای دارد که در نوع خود بی‌نظیر است. شواهد میدانی، توپوگرافیکی و لیتولوژیکی حاکی از آن است که مسیر اولیه‌ی این رودخانه در امتداد جهت غالب کنونی آن یعنی شمال غربی- جنوب شرقی بوده است و رودخانه با طی مسیری حدود ۳۲ کیلومتری در نزدیک حلب به قزل‌اوزن می‌ریخته است ولی به علّت فرسایش قهقرایی دریکی از سرشاخه‌های قزل‌اوزن در تنگ ماه‌نشان باعث شده که آب‌های انگوران چای در نزدیکی دندی، جهتی غربی- شرقی گرفته و با یک زاویه بیش از ۹۰ درجه‌ای در فاصله‌ی نزدیک به ۱۰ کیلومتر به قزل‌اوزن بپیوندد (۲۲ کیلومتر کوتاه‌تر از قبل). در امتداد مسیر اولیه رودخانه، رسوبات آبرفتی مخروط‌افکنه‌های قدیمی وجود دارد که امروزه به‌عنوان معادن شن و ماسه مورد بهره‌برداری قرارگرفته است. مسیر جدید رودخانه بسیار باریک و عمیق با سر شاخه‌های بسیار کوتاه در لیتولوژی مقاوم ماسه سنگی و شیلی است که همه حاکی از فرسایش قهقرایی سر شاخه بوده که رودخانه انگوران چای را به اسارت برده است. در صورت انحراف در طول چنین مسیری، حتماً شیب ملایم‌تر و به خاطر تدریجی بودن انحراف نسبت به اسارت، سرشاخه‌های طولانی‌تری در مسیر جدید رودخانه وجود دارد. بقیه‌ی شواهدی که برای تلخه‌رود ذکر گردید در این مکان نیز وجود دارد.

د- پول کشتی: بستر این رودخانه رسوبات مارن، شیل، ماسه سنگ، کنگلومرا، بستر ریفتی و سنگ‌آهک می‌باشد. محل انحراف این رودخانه نیز همین رسوبات می‌باشند. شاخه‌ی اصلی قزل‌اوزن در این ناحیه رسوبات مخروط‌افکنه قدیمی را از بین برده و لایه‌های مارن و شیل برون‌زد نموده، ساختمان این رسوبات، بیش از همه نتیجه‌ی فشردگی سازند شیلی و ماسه سنگی در هسته‌ی طاقدیس‌هایی است که در این منطقه می‌باشد. می‌توان گفت عدم تشکیل شبکه‌ی رودخانه‌ای قابل‌توجه درروی این تشکیلات، علی‌رغم وسعت زیاد و لیتولوژی نامقاوم آن‌ها، تداوم بالاآمدگی ناهمواری‌ها و شدّت ناپایداری‌ها بر روی این سازند است. رسوبات مربوط به میوسن میانی و بالایی که بر روی ناهمواری‌های مجاور برون‌زد دارند، در اثر فرسایش از بین رفته و رسوبات فعلی ظاهر شده‌اند. شواهد ژئومورفولوژیکی مربوط به این رودخانه، حوضه زهکشی نامتقارن، انحنای ۹۰ درجه‌ای رودخانه در مسیر رودخانه و وجود توپوگرافی نامتقارن در دو طرف رودخانه می‌باشد.

ه- گوران: بستر این رودخانه در سنگ‌های آذرین درونی، مخروط‌افکنه‌های قدیمی، مارن و رسوبات مخروط‌افکنه‌ای جدید جریان دارد. در معبر این رودخانه تنگ‌های متعددی وجود دارند که به خاطر کوهستانی بودن منطقه، رودخانه از توپوگرافی زمین تبعیت می‌کند؛ بنابراین دلیل انحراف می‌تواند توپوگرافی، ناهمواری و هم‌چنین شیب منطقه باشد. جنس بستر رسوبات در محل انحراف، مارن، شیل، ماسه‌سنگ و کنگلومرا می‌باشد. شواهد ژئومورفولوژیکی این حوضه نیز مانند پول کشتی، حوضه زهکشی نامتقارن، انحنای ۹۰ درجه‌ای رودخانه در مسیر رودخانه و وجود توپوگرافی نامتقارن در دو طرف رودخانه می‌باشد.

نتیجه‌گیری

آثار ناشی از اسارت و انحراف به اشکال مختلف در رودخانه قزل‌اوزن دیده می شوند. پس‌روی سر شاخه‌های رتبه یک رودخانه‌ها بعد از عمل اسارت رودخانه و افزایش شیب بستر از آثار وقوع اسارت در حوضه‌ی قزل‌اوزن است. پیامدهای فرایند اسارت تغییر سطح اساس است؛ با تغییر سطح اساس باعث غلبه فرسایش قهقرایی در رودخانه‌ها می‌شود. رسوبات میوسن حوضه تناوب از لایه‌های شیل و مارن است؛ تأثیر فرسایش در این لایه‌ها، باعث پایین افتادن سطح اساس رودخانه‌های منطقه شده و رسوبات سطحی از بین رفته و رسوبات زیرین برون‌زد نمایند. ایجاد درّه‌های باریک و عمیق در بالادست نقطه اسارت یکی دیگر از آثار وقوع اسارت است. تنگ اندآباد که براثر اسارت تلخه‌رود ایجادشده نمونه‌ی بارزی از چنین اثرگذاری است.

تأثیرگذاری عوامل زمین‌شناسی و ژئومورفیک گرچه ازنظر وقوع، کند به نظر می‌رسند، ولی ازنظر ایجاد تغییرات بنیادی و هیدرولوژیکی بسیار بااهمیت‌اند. بررسی ویژگی‌های زمین‌شناسی و ژئومورفولوژیکی حوضه‌ی آبی قزل‌اوزن نشان داد که چشم‌انداز فعلی این سیستم رودخانه‌ای، حاصل تغییراتی است که در دوره‌های آخر زمین‌شناسی (کواترنر) رخ‌داده است. در قزل‌اوزن هر جا که رسوبات آبرفتی روی مارن‌ها را پوشانده، حاکی از شرایط آلوویالی در منطقه می‌باشد. حال اگر چنین مناطقی هنوز نیز تحت تأثیر چنین فرایندی نباشند حاکی از تغییر مسیر رودخانه است و براثر چنین شرایط متفاوتی اشکال و رسوبات متفاوتی را به وجود آورده است. اگر مسیر آبراهه‌ها در مارن‌ها تغییر نکرده باشد به‌مرورزمان، با عقب‌نشینی کنیک کوهستان، دشت سرهایی ایجاد می شود که باگذشت زمان از مواد آبرفتی پوشیده می شوند، امّا با تغییر مسیر رودخانه، شرایط حفر رسوبات آبرفتی و رخنمون مارن و حفر مجدد آن را فراهم می‌آورد. این تغییر مسیر ممکن است در طاقدیس یا ناودیس اتّفاق افتد، جریان آب برای رسیدن از یک ناودیس به ناودیس دیگر مجبور است از طاقدیس بگذرد که همین امر موجب ایجاد انحرافاتی در مسیر رود می‌گردد. گسل‌ها نیز در نواحی مرتفع موجب تغییر مسیر رودها می‌گردند و جریان آب نیز الزاماً مسیر گسل را دنبال می‌کند. حال اگر خود طاقدیس از رسوبات سست‌تر از ناودیس‌ها باشد، مسیر رودخانه جهت انطباق لیتولوژیکی تغییر می‌کند و تحولات زیادی را به دنبال دارد. شواهد ژئومورفولوژیکی منطقه نشان داد که وجود رسوبات مخروط‌افکنه‌ای قدیم در آبخیز رودخانه‌ها، حاکی از اثرگذاری اسارت‌ها و انحراف کواترنری رودخانه‌ها بر لیتولوژی و فرم‌زایی منطقه است. گاه مسیر جدیدی عمود بر مسیر قبلی بوده و توانسته رسوبات مخروط‌افکنه‌ای خود را برش دهند. بر این اساس نیروی فرسایشی رودخانه موجب شده‌اند که سطح اساس مناطق پایین بیفتد و رسوبات بالایی از بین رفته و رسوبات زیرین برون‌زد نمایند، رسوباتی که بیشتر از مارن و رس بوده و شرایط را برای فرسایش و انتقال مواد به سدها و آبریزهای پایین‌دست فراهم می‌نماید. چنین فرایندی گاه چنان رسوبات مارنی را از محیط تخلیه کرده که گویا دریابارهای فسیل‌شده را به ارمغان گذاشته است. همان‌طور که هاموند (۲۰۰۰) اشاره می‌کند، با انحراف یا اسارت رودخانه و افزایش مساحت حوضه زهکشی، دبی رودخانه نیز افزایش می‌یابد، چنین تغییری، فرسایش و جابه‌جایی بیش‌تر مواد را به همراه داشته و منجر به برهم خوردن محاسبات کمّی رسوبات منطقه می‌شود. چنین مکانیسمی باعث شده مخزن رسوب‌گیر ۱۲۰ ساله سد سفیدرود در همان ۳۵ سال اولیه پر گردد. درواقع با توجّه به روند رسوب‌گذاری در طی سال‌های بهره‌برداری از این سد، حدود نیمی از ظرفیت مفید آن ازدست‌رفته است (لشته‌نشایی، مهر مطلق، ۱۳۸۱ و لشته‌نشایی و همکاران، ۱۳۹۰). بررسی‌های میدانی حاکی از ادامه چنین روندی در قسمت‌های مختلف حوضه می‌باشد که بررسی بیشتری می‌طلبد. شواهدی مثل؛ تغییر مسیر رودخانه با زوایای ۹۰ درجه یا بیشتر، رسوبات آبرفتی دیاژنز شده در سراب رودخانه، شبکه آبراهه‌ای نامتقارن به‌گونه‌ای که طول آبراهه‌ها در یک‌طرف رودخانه خیلی کوتاه‌تر از طرف دیگر باشد، توپوگرافی نامتقارن (اختلاف ارتفاع یک‌طرف رودخانه از طرف دیگر آن بسیار زیاد باشد) و منحنی میزان‌ها با پالس‌های عمیق در بین یا پایین‌دست‌تر از منحنی‌های میزان‌هایی بدون پالس یا صاف و سینوسی ساده حاکی از اسارت یا انحراف و تغییر مسیری است که در رودخانه رخ‌داده است.

مراجع

- چورلی، ریچارد جی، شوم، استانلی ای، سودن، دیوید ای، ۱۹۸۵، ژئومورفولوژی (زمین‌شناسی)، جلد دوم، ترجمه: معتمد، ا، مقیمی، ا، چاپ دوم، انتشارات سمت، ۱۱۱ ص.
- داداش زاده، زهرا، گلی مختاری، لیلا و آرا، هایده، ۱۳۹۳، کیاس فرسایشی و تحوّلات پیش‌بینی‌نشده‌ی چاله‌ی اردبیل، جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، سال ۵، پیاپی ۵۵، شماره ۳، صص ۲۴۲-۲۳۱.
- دریو، ماکس، ۱۳۸۹، مبانی ژئومورفولوژی (اشکال ناهمواری‌های زمین)، ترجمه: خیام، م، چاپ هشتم، انتشارات مبنا، ۳۸۷ ص.

- رامشت، محمدحسین، ۱۳۸۵، تحلیل تطبیقی رفتار هیدرولوژیک رودخانه کر در شبکه ژئونرونتیک، مجله جغرافیا و توسعه‌ی ناحیه‌ای، شماره پنجم، صص ۶۹-۵۱.
- رامشت، محمدحسین، ۱۳۹۲، نقشه‌های ژئومورفولوژی (نقشه‌ها و نمادها)، چاپ ششم، انتشارات سمت، ۱۹۰ ص.
- رضایی مقدم، محمدحسین، ثروتی، محمدرضا و اصغری سراسکانرود، صیاد، ۱۳۹۰، بررسی مقایسه‌ای الگوی پیچان‌رود با استفاده از تحلیل هندسه فراکتالی و شاخص‌های زاویه مرکزی و ضریب خمیدگی (مطالعه موردی: رودخانه قزل‌اوزن)، پژوهش‌نامه مدیریت حوضه آبخیز، سال دوم، شماره ۳، صص ۱۸-۱.
- صداقت، محمود، ۱۳۹۰، زمین‌شناسی برای جغرافیا، چاپ نهم، انتشارات پیام نور، ۲۱۱ ص.
- عباسی، علیرضا و علمی زاده، هیوا، ۱۳۸۹، تجزیه‌وتحلیل نقش نئوتکتونیک در مورفولوژی و رفتار شبکه زهکشی (مطالعه موردی: حوضه انجیران)، جغرافیا و برنامه‌ریزی منطقه‌ای (دو فصلنامه)، سال اول، شماره اول، صص ۷۵-۵۷.
- قنواتی، عزت‌الله و بهشتی جاوید، ابراهیم، ۱۳۹۳، روش‌ها و تکنیک‌های جدید ترسیم نقشه‌های ژئومورفولوژی، چاپ تربیت‌معلم، انتشارات جهاد دانشگاهی واحد خوارزمی، ۳۰۳ ص.
- کمانه، سید عبدالعلی، نادری، صالح، طاهری، عبداله و ساکت، مجید، ۱۳۹۰. تحلیل فضایی حوضه کر با تکیه‌بر استدلال‌های ژئومورفیک و هیدرولوژیک، فصلنامه برنامه‌ریزی منطقه‌ای، سال اول، شماره ۱، صص ۸۴-۷۱.
- لشته‌نشایی، میر احمد، مهر مطلق، محسن، ۱۳۸۱، بررسی روند آبدهی و رسوب‌دهی رودخانه قزل‌اوزن، ششمین سمینار بین‌المللی مهندسی رودخانه دانشگاه شهید چمران اهواز، صص ۱۴۵-۱۳۹.
- لشته‌نشایی، میر احمد، مهرداد، میر عبدالحمید، عاطف یکتا، رضا و مهر مطلق، محسن، ۱۳۹۰، بررسی روند آبدهی و رسوب‌دهی رودخانه سفیدرود، اولین کنفرانس بین‌المللی و سومین کنفرانس ملّی سد و نیروگاه‌های برق‌آبی، صص ۹-۱.
- مددی، عقیل، ۱۳۹۰، پژوهشی در ژئومورفولوژی خروسلوداغی با تأکید بر تطبیق و عدم تطبیق شبکه‌های رودخانه‌ای (شمال استان اردبیل)، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، شماره ۹۸، صص ۱۲۴-۱۰۳.
- محمودی، فرج‌اله، ۱۳۸۸. ژئومورفولوژی ساختمانی، چاپ سوم، انتشارات دانشگاه پیام نور، ۱۶۳ ص.
- مختاری، داوود، ۱۳۸۹، اسارت رودخانه و آثار آن در سیستم رودخانه‌ای (مطالعه موردی: رودخانه باغلار در دامنه شمالی میشوداغ)، نشریه علمی- پژوهشی جغرافیا و برنامه‌ریزی (دانشگاه تبریز)، شماره ۳۲، صص ۱۸۹-۱۵۱.
- موسوی، سید حجت و تقی زاده، عبدالحکیم، ۱۳۸۹، فرم و فرایندهای رودخانه‌ای دشت خوزستان در کواترنر، رشد آموزش جغرافیا، دوره بیست و چهارم، شماره ۴، صص ۳۵-۳۰.
- *Hammond, K., 2000,"Stream Capture: A look at Natural Thieves" http://www.geo.msu.geo333/ hammond.htm.*
- *Mather, A.E., Harvey, A.M., Stokes, M., 2000, "Quantifying Long-term Catchments Changes of Alluvial Fan System " Geological Society of America Bulletin 112 (12): pp 1825-1833.*
- *Pederson, Darryll T., 2001," Stream Piracy Revisited: A Groundwater Sapping Solution" Department of Geosciences University of Nebraska Lincoln NE 68588-0340 USA. Pp 4-10.*
- *Sala, M., 2004, River Capture" In: A.S. Goudie (Ed.). Encyclopedia of Geomorphology, Routledge. Vol. 2.*
- *Schumm, S.A, 1977, "The Fluvial System" John Wiley & Sons New York Geological Journal Volume 13, Issue 1. 338 p.*
- *Summerfield, Michael A., 1991, "Global Geomorphology: An Introduction to the Study of Landforms" Longman Scientific and Technical England. New York 537 p.*
- *Vanderberghe, J., Maddy, D., 2000, "The Significance of Fluvial Achieves in Geomorphology" Geomorphology 33 127-130.*
- *Yanites, Brian J., Ehlers, Todd A., Becker, Jens K., Schnellmann Michael and Heuberger, Stefan. 2013 "High magnitude and rapid incision from river capture: Rhine River, Switzerland" Journal of Geophysical Research: Earth Surface, Vol. 118, 1060–1084.*