



## آشکارسازی تغییرات مورفولوژی رودخانه با استفاده از عکس‌های هوایی و تصاویر ماهواره‌ای چند زمانه (مطالعه موردی بخشی از رودخانه قزل‌اوزن از روستای پیرچم تا روستای گیلوان)

سیداحمد حسینی<sup>۱</sup> محمودرضا طباطبائی<sup>۲</sup>

۱- استادیار پژوهشی پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران، (نویسنده مسوول: sahosseini@yahoo.com)  
۲- استادیار پژوهشی پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران  
تاریخ ارسال: ۹۷/۰۷/۱۰ تاریخ پذیرش: ۹۸/۱۰/۰۳  
صفحه: ۱۸۶ تا ۱۹۷

### چکیده

جریان‌های سیلابی سبب فرسایش و ترسیب مواد رسوبی در رودخانه‌ها می‌گردند و هریک از این عوامل باعث تغییر شکل در مورفولوژی رودخانه می‌شود. این تغییر شکل سالانه به فعالیت‌های ساکنان حاشیه رودخانه و تأسیسات مجاور آن صدماتی وارد نموده و در مسیر رودخانه نیز مشکلاتی به‌همراه می‌آورد. از این لحاظ تشخیص فرسایش‌پذیری و پهنه‌بندی آن در یک رودخانه از مواردی است که جهت مدیریت و کنترل فرسایش رودخانه‌ای مورد استفاده خواهد بود. در این تحقیق ضمن بررسی شرایط و عوامل مؤثر در فرسایش و رسوب‌گذاری بازه‌ای از رودخانه‌ی قزل‌اوزن، حدفاصل روستای پیرچم تا روستای گیلوان، به‌طول حدود ۱۵ کیلومتر، ابتدا اطلاعات مختلف هیدرولیکی، خاکشناسی، فیزوگرافی، توپوگرافی و زمین‌شناسی بازه‌ی موردپژوهش جمع‌آوری شد و سپس توسط تصاویر ماهواره‌های IRS و Landsat و نیز عکس‌های هوایی در دوره‌ی زمانی ۱۳۴۷ تا ۱۳۸۹، پلان و الگوی جابجایی رودخانه در محیط GIS بررسی شد. در این بررسی پس از تقسیم‌بندی محدوده‌ی مورد پژوهش به ۱۰ بازه‌ی مختلف، موقعیت مکانی خطوط ساحلی طرفین رودخانه و عرض جابجایی رودخانه در مقاطع زمانی مختلف، و مناطق بحرانی تخریب یا رسوب‌گذاری شده در هر بازه مشخص شدند. به‌موازات آن با استفاده از اطلاعاتی نظیر ظرفیت جذب رطوبت خاک، پوشش گیاهی و بافت خاک حاشیه رودخانه‌ی مورد پژوهش و همچنین خصوصیات هیدرولیکی جریان‌های اتفاق افتاده، عوامل مؤثر بر فرسایش در بازه‌های مختلف رودخانه‌ی قزل‌اوزن، مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. بررسی تغییرات شکل رودخانه و مشخصه‌های هندسی آن نشان داد رودخانه قزل‌اوزن در ۹/۹۵ کیلومتر از محدوده‌ی مورد پژوهش حالت سینوسی و پیچان‌رودی دارد، و تقریباً ۸۵ درصد پیچان‌رودها در محدوده ضریب پیچشی ۱/۰۶ تا ۱/۵ قرار دارند. تعداد پیچان‌رودهای بازه‌ی موردپژوهش، از ۱۹ پیچان‌رود در سال ۱۳۴۷ به ۱۵ پیچان‌رود در سال ۱۳۸۹ کاهش یافته است. با توجه به معیار زاویه مرکزی قوس‌ها، بیشترین فراوانی زاویه مرکزی در این بازه (۴۰٪) در دسته ۱۵۸-۸۵ درجه‌ای قرار گرفت که مربوط به حالت پیچان‌رودی توسعه‌یافته است و بیشترین مقدار زاویه در سال ۱۳۴۷ حدود ۱۳۹ درجه و در سال ۱۳۸۹ حدود ۱۸۲ درجه می‌باشد و لذا این محدوده از رودخانه قزل‌اوزن، یک رودخانه ماندردی جوان و پویا است. نتایج نشان داد ناپایداری‌ترین بازه قزل‌اوزن در ناحیه چندشاخگی آن که در بازه شماره ۵ قرار دارد، دیده می‌شود. از اینرو کاهش شیب و کم شدن توان هیدرولیکی رودخانه سبب ایجاد پدیده چندشاخگی در این بازه شده است. متوسط شعاع حلقه‌های پیچان‌رودی در سال ۱۳۸۹ بیشتر بود و این امر ناشی از فرسایش‌پذیری کناره رودخانه که غالباً آبرفتی و مارنی است می‌باشد و حاکی از توسعه شعاعی حلقه‌های پیچان‌رود است. با مقایسه خط مرکزی رودخانه در سال‌های ۱۳۴۷ و ۱۳۸۹ نیز ملاحظه گردید که حالات مختلف فرسایش ساحلی و میان‌بری در حلقه‌های ماندردی وجود دارد. لذا با توجه به ارزیابی‌های میدانی از عوامل هیدرولیکی مرتبط با ناپایداری کناره‌ها در طول مسیر رودخانه، می‌توان به فرسایش پنجه دیواره‌ها، که ناشی از سرعت زیاد جریان در پای این دیواره‌ها و ریزش آن، و وقوع فرسایش خندقی در بالای دیواره‌ها به‌واسطه زهکنی نامناسب زمین‌های کشاورزی مشرف به رودخانه می‌باشد، اشاره نمود.

واژه‌های کلیدی: داده‌های رقومی، رودخانه، عکس‌های هوایی، فرسایش کناره‌ای، مورفولوژی، GIS، RS

### مقدمه

می‌باشند. در همین راستا کلماس (Y)، مورفولوژی رودخانه را حاصل به تعادل رسیدن شرایط رسوب و جریان دانسته است. تحقیقات انجام‌شده توسط لین نشان می‌دهد که دبی انتقال رسوب، قطر ذرات رسوب، فرسایش و رسوب‌گذاری در رودخانه تابع دبی جریان و شیب رودخانه است. شوم و همکاران (۱۵) از پارامتر توان رودخانه‌ای (Stream Power) که به‌صورت  $\omega = \tau_0 u$  یا  $W = \rho Q \frac{S}{B}$  تعریف می‌شود، برای بررسی مورفولوژی رودخانه‌ها استفاده نمودند. بررسی نتایج به‌دست‌آمده توسط شوم و خان و همچنین سایر تحقیقات دیگر نشان می‌دهد که مبنای واحدی

توجه به الگوی رودخانه در بسیاری از مسائل طراحی و مهندسی رودخانه، ازجمله تعیین محل پل‌ها، محل انجام عملیات بهسازی مسیر، ایجاد تأسیساتی نظیر ایستگاه پمپاژ و سایر ابنیه‌های عمرانی مهم می‌باشد. برای درک بهتر مسائل هیدرولیکی رودخانه‌های آبرفتی، داشتن دانش کافی در مورد الگوی رودخانه از قبیل شکل آبراهه، هندسه آبراهه، شکل بستر و ویژگی‌های نیمرخ آن ضروری است. رودخانه‌ها تحت تأثیر عوامل و متغیرهای مختلف از نظر ابعاد، شکل، راستا و الگو در تغییر هستند. عواملی همچون بده جریان، بده رسوب، دانه‌بندی مواد بستر و کناره‌ها بر تغییرات مذکور اثرگذار

رودخانه از حالت شریانی مستقیم به مئاندری ضعیف تغییر شکل داده است.

ساندرا (۱۳) در بررسی خود، تغییرات کانال رودخانه‌های Tay و Tummel را در اسکاتلند در شرایط کوتاه و میان‌مدت با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی و عکس‌های هوایی بررسی کرد و نتیجه گرفت در شرایط میان‌مدت، میانگین عرض کانال رودخانه‌ها، و در شرایط کوتاه‌مدت روند تغییر شکل رودخانه‌ها کاهش یافته است.

نجات (۹)، در مقاله‌ای با عنوان بررسی توسعه فرسایش کناره‌ای رودخانه فورگ آمریکا با پردازش رقومی تصاویر ماهواره‌ای بیان می‌کند که تهیه نقشه‌ای از وضعیت تغییرات اراضی متأثر از جریان سیلابی رودخانه فورگ در یک دوره ۸ ساله به روشنی فرسایش خاک را در منطقه نشان می‌دهد. بررسی تصاویر پردازش شده نهایی نشانگر شدت بیشتر توسعه فرسایش کناره‌ها در بیرونی‌ترین قسمت پیچان رود است که بیانگر حجم و شدت بالای جریان در هنگام وقوع سیل در این رودخانه می‌باشد.

جواهری و همکاران (۶) روند تغییرات مورفولوژیکی رودخانه کارون را بر اساس چهار سری تصاویر ماهواره‌ای Landsat و IRS بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که خصوصیات قوس‌ها در حال تغییر است و تراکم و اندازه انحنای قوس‌ها به سمت پایین دست جابه‌جا شده است.

طلائی و همکاران (۱۶)، در پژوهشی تحت عنوان بررسی ارتباط ویژگی‌های مورفولوژیکی و پوشش گیاهی با میزان فرسایش رودخانه‌ای در حوزه قره‌سو (استان اردبیل) به منظور تعیین روش‌های مدیریتی مناسب، ویژگی‌های مورفولوژیکی، فرسایش و پوشش گیاهی و رابطه بین آن‌ها در رودخانه‌ها و مسیل‌ها، رودخانه‌های این حوزه را مورد بررسی قرار دادند. در این زمینه به کارگیری روش‌های بیومهندسی و مدیریت کاشت و نگهداری گونه‌های بومی و طبیعی منطقه مورد توجه قرار گرفته است.

ظهیری (۱۸)، در تحقیقی با عنوان بررسی تغییرات مورفولوژیکی رودخانه جراحی (از محل ارتباط رودخانه اعلا با رودخانه مارون تا هور شادگان) جهت مطالعه دقیق‌تر تغییرات مورفولوژیکی، رودخانه جراحی به شش بازه تقسیم و اثر عواملی از قبیل برداشت شن و ماسه از رودخانه و نیز وجود سازه‌های متقاطع با رودخانه که از جمله عوامل انسانی مؤثر بر تغییرات مورفولوژیکی می‌باشد، مورد پژوهش قرار گرفته و در پایان مشخص شد که از بین تمامی عوامل فوق، عامل برداشت شن و ماسه بیشترین تأثیر را در تغییرات مورفولوژیکی رودخانه داشته است و وجود سازه‌های متقاطع نیز تأثیر متفاوتی بر فرسایش در بازه‌های مختلف ایفا نموده است.

غریب‌رضا و معصومی (۴)، طی تحقیقی تحت عنوان مورفولوژی رودخانه زهره و تغییرات آن در جلگه ساحلی هندوچان با استفاده از مطالعات GIS و پیمایش‌های میدانی، واحدهای رسوبی و خصوصیات هندسی رودخانه را در بازه زمانی حدود ۳۵ سال مورد بررسی قرار دادند. که بر اساس آن

برای بررسی مورفولوژی رودخانه‌ها با این روش به دست نیامده است.

شوم (۱۵) بر اساس پارامترهای شیب، مقدار سینوزیته، میزان و نوع انتقال مواد رسوبی، نسبت عرض به عمق رودخانه، پایداری نسبی پلان رودخانه و نسبت بار بستر به معلق، نمودار کیفی برای بررسی وضعیت مورفولوژیکی و نحوه تغییرات آن ارائه نموده است. بر اساس دیاگرام شوم بیشترین پایداری نسبی مورفولوژی در رودخانه‌های مستقیم و کمترین آن در رودخانه‌های چند شاخه است.

حسینی و همکاران (۵) پس از مقایسه وضعیت پلان رودخانه قزل‌اوزن و تعیین عرض جابجایی رودخانه در مقاطع زمانی مختلف، مناطق بحرانی تخریب یارسوبگذاری شده را مشخص نمودند. به موازات آن با استفاده از اطلاعاتی نظیر بافت خاک، پوشش گیاهی حاشیه رودخانه‌ی مورد مطالعه و همچنین خصوصیات هیدرولیکی جریان‌های اتفاق افتاده، عوامل مؤثر بر فرسایش در بازه‌ی مورد مطالعه را تجزیه و تحلیل نمودند. از عوامل هیدرولیکی مرتبط با ناپایداری کناره‌ها در طول مسیر رودخانه، به فرسایش پنجه دیواره‌ها، که ناشی از سرعت زیاد جریان در پای این دیواره‌ها و ریزش آن، و وقوع فرسایش خندقی در بالای دیواره‌ها به واسطه زهکشی نامناسب زمین‌های مشرف به رودخانه اشاره نمودند.

آندریاس و همکاران (۱) با استفاده از تکنیک سنجش از دور به مطالعه روند فرسایش در رودخانه در مسیر رودخانه گنگ در کشور بنگلادش پرداختند. آن‌ها برای این منظور از نقشه‌های ۱:۲۵۰۰۰۰ و ۱:۵۰۰۰۰ و تصاویر ماهواره‌ای لندست TM و MSS مربوط به دوره‌های (۱۹۷۷، ۱۹۷۳، ۱۹۸۰) استفاده کردند. که در تهیه پردازش تصاویر ماهواره‌ای از واضح‌سازی تصاویر با تکنیک FCC (False Color Composite) استفاده کردند و ترکیب باندهای ۴-۷-۵ برای تصاویر MSS و ۳-۴-۲ و ۴-۵-۷ برای تصاویر TM اعمال شد. تحقیق آن‌ها جابجایی متناوب سواحل جانبی این رودخانه را نشان داد.

سارکر و همکاران (۱۴) در زمینه شناسایی تغییرات مورفولوژی رودخانه‌ها با استفاده از RS اقداماتی را بر روی رودخانه Gorai بنگلادش انجام دادند. در این تحقیق با استفاده از سه دوره زمانی ۱۵ ساله تصاویر Landsat، و در نظر داشتن خصوصیات هیدرولیکی جریان نظیر حجم جریان سالانه عبور کرده و مشخصات مورفولوژیکی رودخانه نظیر میزان جابجایی مئاندرهای رودخانه، تغییرات پلان حادث شده در رودخانه را مشخص و اندازه‌گیری نمودند. در نهایت روابطی مابین دبی جریان‌های اتفاق افتاده و درجه سینوزیته رودخانه ارائه کردند.

دونگو و همکاران (۳) درباره آشکارسازی تغییرات خط ساحلی دلتای رودخانه زرد چین با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای تحقیقی انجام دادند. در این تحقیق شش سری تصاویر ماهواره‌ای TM و MSS استخراج شد و برای طبقه‌بندی آنها از روش طبقه‌بندی نظارت نشده تصاویر ماهواره‌ای استفاده گردید. نتایج پژوهش یانگ نشان داد

کناره‌ای و تخریب اراضی کشاورزی حاشیه رودخانه می‌گردند، با استفاده از بررسی‌های میدانی و کاربرد داده‌های سنجش‌ازدور و نرم‌افزار ARC GIS پرداخته شده است.

### مواد و روش‌ها منطقه مورد مطالعه

رودخانه بزرگ قزل‌اوزن یکی از دو شاخه مهم سفیدرود است، که آب‌های مناطق وسیعی از استان‌های کردستان، همدان، اردبیل، آذربایجان و زنجان را پس از طی مسافتی حدود ۶۶۰ کیلومتر، جمع‌آوری نموده و در محل سد منجیل به‌همراه رودخانه شاهرود به سفیدرود می‌پیوندد. رودخانه قزل‌اوزن از سه بخش فوقانی، میانی و پایانی تشکیل شده است. بخش تحتانی رودخانه قزل‌اوزن در امتداد رشته‌کوه‌های البرز قرار داشته و از میان دره طویلی در امتداد جنوب شرقی به سمت منجیل جریان می‌یابد.

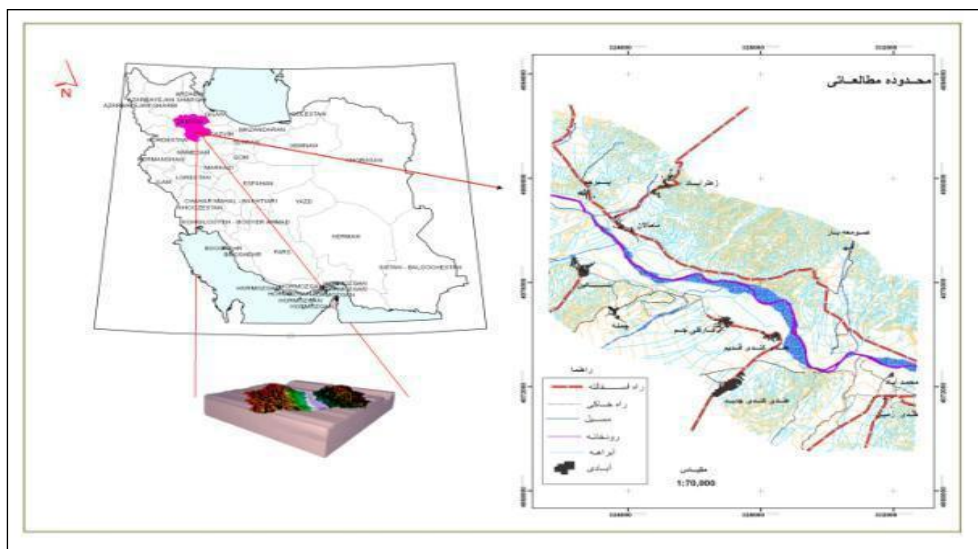
محدوده مورد پژوهش به طول تقریبی ۱۵ کیلومتر، در بخش پایانی رودخانه قزل‌اوزن، بین ۰۷'، ۴۹° تا ۰۸'، ۴۹° طول شرقی و ۴۵'، ۳۶° تا ۵۳'، ۳۶° عرض شمالی واقع شده است که بین روستای گیلوان تا روستای پیرچم قرار دارد. آبدهی قزل‌اوزن در ایستگاه گیلوان و در یک دوره ۳۶ ساله به‌طور متوسط ۳۹۶۵ میلیون مترمکعب در سال و متوسط آبدهی لحظه‌ای آن ۱۱۱/۱ مترمکعب در ثانیه و حداکثر آبدهی لحظه‌ای آن تا ۶۱۷ مترمکعب در ثانیه اندازه‌گیری گردیده است. نتایج تحلیل سیل نشان می‌دهد مقادیر سیل با دوره برگشت ۱۰۰ و ۵۰۰ ساله در این ایستگاه به‌ترتیب برابر با ۱۱۴۷ و ۱۴۵۰ مترمکعب در ثانیه می‌باشد.

با توجه به بازدیدهای میدانی و مشاهده تغییرات مورفولوژیکی صورت‌گرفته، این بازه از رودخانه جهت بررسی علل تغییرات مورفولوژیکی انتخاب گردید. شکل یک موقعیت محدوده مورد پژوهش را در کشور و استان نشان می‌دهد.

طبقه‌بندی‌های ژئومورفولوژیکی، عرصه‌های تحت فرسایش و رسوب‌گذاری حاشیه رودخانه را معرفی کردند. ایشان با استفاده از عکس‌های هوایی، تصاویر ماهواره‌ای، آمار و اطلاعات جاماب و نقشه توپوگرافی منطقه، مورفولوژی رودخانه زهره را نیز مورد بررسی قرار دادند. نتایج تحقیق آنها نشان داد که از سال ۱۳۴۶ تاکنون دو مورد قطع‌شدگی کانال رودخانه رخ داده و تعداد پیچش‌ها از ۴۳ به ۴۸ مورد افزایش پیدا کرده است. همچنین ضریب خمیدگی از ۳/۵۹ به ۳/۰۶ کاهش یافته و شعاع انحنا رودخانه و طول موج پیچش‌ها به‌ترتیب ۲۶ و ۰/۰۶ درصد افزایش پیدا کرده است.

ارشد (۲) در تحقیقی با عنوان بررسی روند تغییرات مورفولوژیکی رودخانه‌ها با استفاده از سنجش‌از دور در بازه‌ای از رودخانه کارون، روند تغییرات مورفولوژیکی رودخانه کارون در بازه گتوند تا ایستگاه فارسیات بر اساس چهار سری تصویر ماهواره‌ای Land sat-TM و IRS-LISS-III در دوره زمانی ۱۳۸۲-۱۳۶۹ مورد بررسی قرار داد که روش افزایش کنتراست به روش بسط خطی اشباع‌شده به‌همراه فیلترگذاری با فیلتر بارزسازی لبه به‌عنوان روشی مناسب در تعیین مرز بین آب و زمین تشخیص داده شد. نتایج نشان داد که خصوصیات قوس‌ها در طول رودخانه در حال تغییر است و مقدار جابجایی جانبی قوس‌ها در مناطقی به ۱۹۵۰ متر در طول ۱۳ سال می‌رسد.

شناخت روند تغییرات و جابجایی رودخانه در دهه‌های گذشته، جهت برنامه‌ریزی‌های آینده ضروری است. با استفاده از امکانات سنجش‌از دور، تصاویر ماهواره‌ای و عکس‌های هوایی با حداقل هزینه کرد و در کمترین زمان ممکن می‌توان به این اهداف رسید. در پژوهش حاضر با بهره‌گیری از نتایج کلیه تحقیقات انجام‌شده، و باهدف بررسی روند تغییرات مورفولوژی در بازه‌ای از رودخانه قزل‌اوزن، به بررسی مشخصات هندسی رودخانه، که هرساله دچار فرسایش



شکل ۱- موقعیت محدوده مورد پژوهش در کشور و استان  
Figure 1. Location of the research area in the country and province

به منظور بررسی تغییرات مورفولوژی از ضریب سینوسی که توسط مولارد در سال ۱۹۷۳ ارائه نمود استفاده گردید.

(۱)

$$P = LC/\lambda$$

P: ضریب سینوسی شدن آبراهه

LC: طول بستر در مسیر مماندر

$\lambda$ : طول محور مماندر

با کاربرد این رابطه چنانچه ضریب سینوسی شدن (P) برابر یک باشد، بستر رودخانه دارای شکل مستقیم است و چنانچه ضریب سینوسی شدن (P) معادل ۱/۵ باشد، شکل بستر در بین دو حالت مستقیم و مماندگی در حال تغییر است. اگر این ضریب ۳ یا بیشتر باشد، شکل بستر کاملاً مماندگی است. گفتنی است لئوپولد و ولمن (۸) در تحلیل تعدادی از رودخانه‌های آمریکا بیان داشتند که مقدار ضریب پیچشی، می‌تواند از ۱ تا ۲/۸ تغییر کند. والفرت (۱۷) نیز برحسب میزان ضریب پیچشی چهار نوع رودخانه را به شرح جدول یک تقسیم‌بندی نموده است.

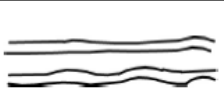



در مطالعه و بررسی رودخانه‌های پیچان‌رودی، به منظور کمی نمودن میزان توسعه پیچان‌رودی رودخانه‌های آبرفتی و تعیین الگوی رفتاری و تغییرات آن در طول زمان، باید مشخصات هندسی رودخانه نظیر زاویه مرکزی، شعاع پیچان‌رود، طول موج، طول دره و ضریب خمیدگی اندازه‌گیری و تجزیه و تحلیل شود، تا بتوان تغییرات ایجادشده در مسیر رودخانه را طی گذشت زمان مشخص نمود. بر این اساس با استفاده از مسیرهای ترسیمی، تغییرات مکانی مسیر رودخانه در گذشته و حال مشخص و نسبت به هم مقایسه شدند. شکل ۲ نحوه بازه‌بندی رودخانه قزل‌اوزن جهت استخراج پارامترهای ریخت‌شناسی را نشان می‌دهد.

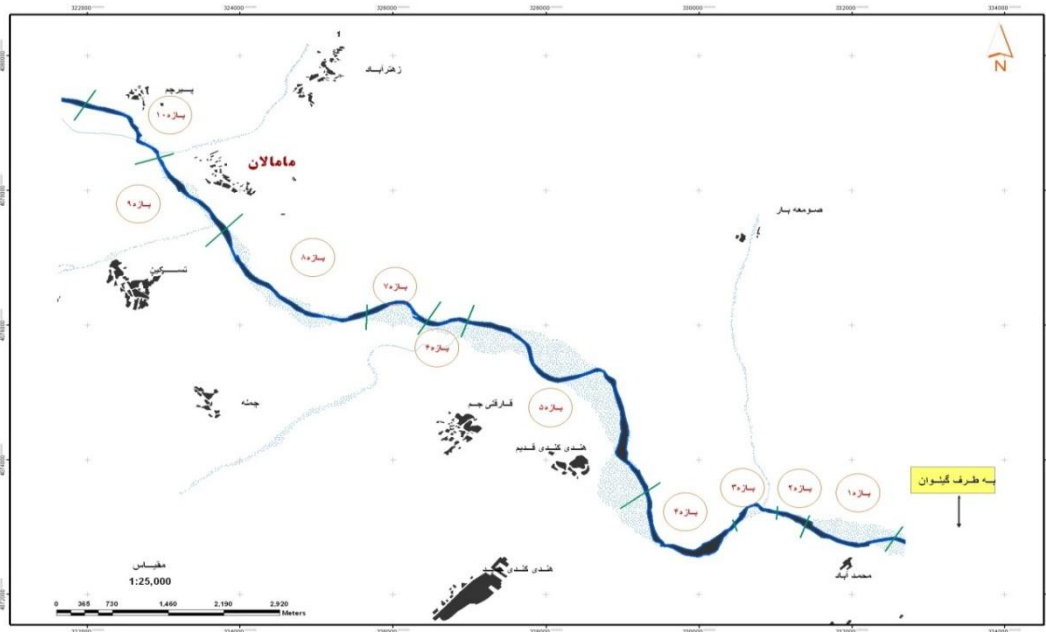
پس از تهیه عکس‌های هوایی و تصاویر ماهواره‌ای منطقه در سال‌های ۱۳۴۷ و ۱۳۸۹، پردازش‌های اولیه نظیر زمین مرجع‌نمودن با خطای جذر میانگین مربعات (RMSE) کمتر از ۰/۵، در محیط Arc GIS، انجام گردید. در مرحله بعد محدوده‌های انواع اراضی با استفاده از روش (Screen On) digitizing تعیین گردید و نسبت به ترسیم پلان آبراهه در دو جناح چپ و راست اقدام گردید. با روی هم‌گذاری نقشه‌ها، روند تغییرات بستر و تحول مورفولوژی رودخانه در مقاطع مختلف زمانی تعیین گردید. به منظور کمی نمودن میزان توسعه پیچان‌رودی رودخانه‌های آبرفتی و تعیین الگوی رفتاری و تغییرات آن در طول زمان، باید مشخصات هندسی رودخانه‌ها نظیر زاویه مرکزی، شعاع پیچان‌رود، طول موج، طول دره و ضریب خمیدگی اندازه‌گیری و تجزیه و تحلیل شود، تا بتوان تغییرات ایجادشده در مسیر رودخانه را طی گذشت زمان مشخص نمود. در خصوص بررسی بهتر وضعیت مورفولوژی رودخانه، تشریح و مقایسه مشخصات هندسی اندازه‌گیری‌شده، با توجه به تغییرات پلان رودخانه قزل‌اوزن، محدوده‌ی موردپژوهش به ۱۰ بازه تقسیم شد، بطوریکه بازه‌های شماره ۱، ۵ و ۱۰ نیز خود به زیر بازه‌های کوچک‌تر تقسیم گردیدند. به منظور تحلیل‌های کمی در هر یک از بازه‌ها، پارامترهای هندسی نظیر طول پیچان‌رود، ضریب سینوسی، زاویه مرکزی، شعاع و شعاع نسبی پیچان‌رودها در دو دوره زمانی ۱۳۴۷ تا ۱۳۸۹ (دوره زمانی مصوب طرح تحقیقاتی) با ترسیم دایره‌های مماس بر پیچان‌رودها، اندازه‌گیری و مورد مقایسه قرار گرفتند.

ضریب پیچشی (ضریب سینوسی) که نسبت طول دره به طول موج هر پیچان‌رود بوده، یکی از معیارهای کمی است که در تقسیم‌بندی شکل رودخانه استفاده شد. این پارامتر نشان‌دهنده نسبت طول خط محور رودخانه به طول دره یا طول خم رودخانه است و میزان تکامل پیچ‌ها را نشان می‌دهد.

جدول ۱- تقسیم‌بندی رودخانه برحسب ضریب پیچشی

Table 1. River Classification by meandering coefficient

ضریب پیچشی	۱ - ۱/۰۵	۱/۰۶ - ۱/۲۵	۱/۲۵ - ۲	> ۲
شمای رودخانه				
نوع رودخانه	مستقیم	سینوسی	پیچان‌رودی	پیچان‌رودی شدید



شکل ۲- نحوه بازبندی رودخانه قزل‌اوزن جهت استخراج پارامترهای ریخت‌شناسی  
Figure 2. Distribution of Ghezel\_Ouzan River to extract morphological parameters

**نتایج و بحث**  
نتایج حاصل از محاسبات پارامترهای هندسی و مورفولوژیکی در بازه‌های مختلف قزل‌اوزن، طی سال‌های ۱۳۴۷ و ۱۳۸۹ با استفاده از عکس‌هایی هوایی و تصاویر ماهواره‌ای در جداول ۲ و ۳ ارائه شده‌اند.

جدول ۲- نتایج پارامترهای ریخت‌شناسی رودخانه قزل‌اوزن در بازه‌های موردپژوهش در سال ۱۳۴۷ با استفاده از عکس‌هایی هوایی ۱:۲۰۰۰۰  
Table 1. The results of morphological parameters of the Ghezel\_Ouzan River in the studied basins in 1968 using aerial photos of 1: 20000

شعاع (متر)	عرض (متر)	زاویه قوس (درجه)	طول رودخانه (متر)	طول مستقیم کمان (متر)	طول کمان (متر)	مختصات انتهای بازه		فاصله از مبدأ (کیلومتر)		زیر بازه	بازه
						y	X	ابتدا	انتهای		
۳۴۳/۹	۵۸	۶۹	۶۵۴/۲	۶۱۹/۵	۶۵۸/۲	۴۰۷۲۷۶۱	۳۳۲۶۴۲	۰	-۰/۶۵	-۱	۱
۰	۵۱	۰	۴۵۶/۲	۰	۰	۴۰۷۲۷۰۸	۳۳۲۲۱۹	-۰/۶۵	۱/۱۱	۲-۱	
۰	۴۶	۰	۳۹۸/۸	۰	۰	۴۰۷۷۴۳۰	۳۳۳۷۸۳	۱/۱۱	۱/۶۱	۲	۲
۲۳۳/۹	۶۹	۱۳۹	۶۹۷/۳	۵۶۶/۹	۷۳۲	۴۰۷۶۱۴۰	۳۳۵۶۶۹	۱/۶۱	۲/۳۱	۳	۳
۵۰۳/۱	۷۶	۱۶۲	۱۷۶۰/۲	۱۲۴۸/۸	۱۷۸۹	۴۰۷۶۰۴۵	۳۳۶۳۸۸	۲/۳۱	۴/۰۷	۴	۴
۰	۶۲	۰	۱۴۳/۹	۰	۰	۴۰۷۴۰۲۷	۳۳۹۰۴۱	۴/۰۷	۴/۲۱	۱-۵	
۱۷۱/۱	۶۰	۱۵۵	۴۸۰/۸	۳۵۹/۷	۴۸۶	۴۰۷۴۹۸۴	۳۳۸۹۱۴	۴/۲۱	۴/۶۹	۲-۵	
۰	۵۷	۰	۱۲۹۲/۹	۰	۰	۴۰۷۵۳۰۴	۳۳۸۷۱۰	۴/۶۹	۵/۹۸	۳-۵	
۲۲۲/۵	۵۵	۸۶	۶۶۳/۶	۵۴۵/۵	۵۷۰/۵	۴۰۷۵۱۵۴	۳۳۸۱۳۷	۵/۹۸	۶/۶۵	۴-۵	۵
۰	۵۹	۰	۵۹۸/۱	۰	۰	۴۰۷۵۴۴۳	۳۳۷۸۳۷	۶/۶۵	۷/۲۵	۵-۵	
۴۷۵/۹	۶۱	۴۴	۵۹۵	۵۸۳/۱	۵۹۸	۴۰۷۵۶۸۷	۳۳۷۷۲۸	۷/۲۵	۷/۸۴	۶-۵	
۰	۵۴	۰	۴۶۸/۲	۰	۰	۴۰۷۵۹۶۶	۳۳۷۲۶۴	۷/۸۴	۸/۳۱	۷-۵	
۰	۵۱	۰	۵۳۵/۹	۰	۰	۴۰۷۴۰۸۸	۳۳۸۹۶۰	۸/۳۱	۸/۸۵	۶	۶
۳۹۷/۵	۶۳	۱۳۰	۸۷۹/۳	۷۲۸/۹	۹۱۵/۲	۴۰۷۳۱۳۸	۳۳۹۲۰۳	۸/۸۵	۹/۷۲	۷	۷
۱۱۹۹/۹	۷۵	۱۲۷	۲۵۲۳/۳	۲۱۳۰/۸	۲۶۴۰/۵	۴۰۷۳۰۴۱	۳۳۰۴۷۳	۹/۷۲	۱۲/۲۶	۸	۸
۰	۶۸	۰	۱۴۹۵/۷	۰	۰	۴۰۷۳۰۶۰	۳۳۱۴۳۸	۱۲/۲۶	۱۳/۷۵	۹	۹
۱۲۵/۸	۵۹	۹۰	۳۳۷/۸	۲۱۲/۴	۲۳۵/۷	۴۰۷۸۵۵۷	۳۳۲۹۳۸	۱۳/۷۵	۱۴/۰۹	-۱۰	۱
۳۶۰/۴	۵۲	۹۴	۵۰۲/۸	۴۸۳/۸	۵۴۲/۴	۴۰۷۹۰۹۰	۳۳۲۵۲۱	۱۴/۰۹	۱۴/۵۹	-۱۰	۱۰
۰	۵۴	۰	۷۲۱/۱	۰	۰	۴۰۷۹۳۳۹	۳۳۱۷۲۵	۱۴/۵۹	۱۵/۳۲	-۱۰	۳

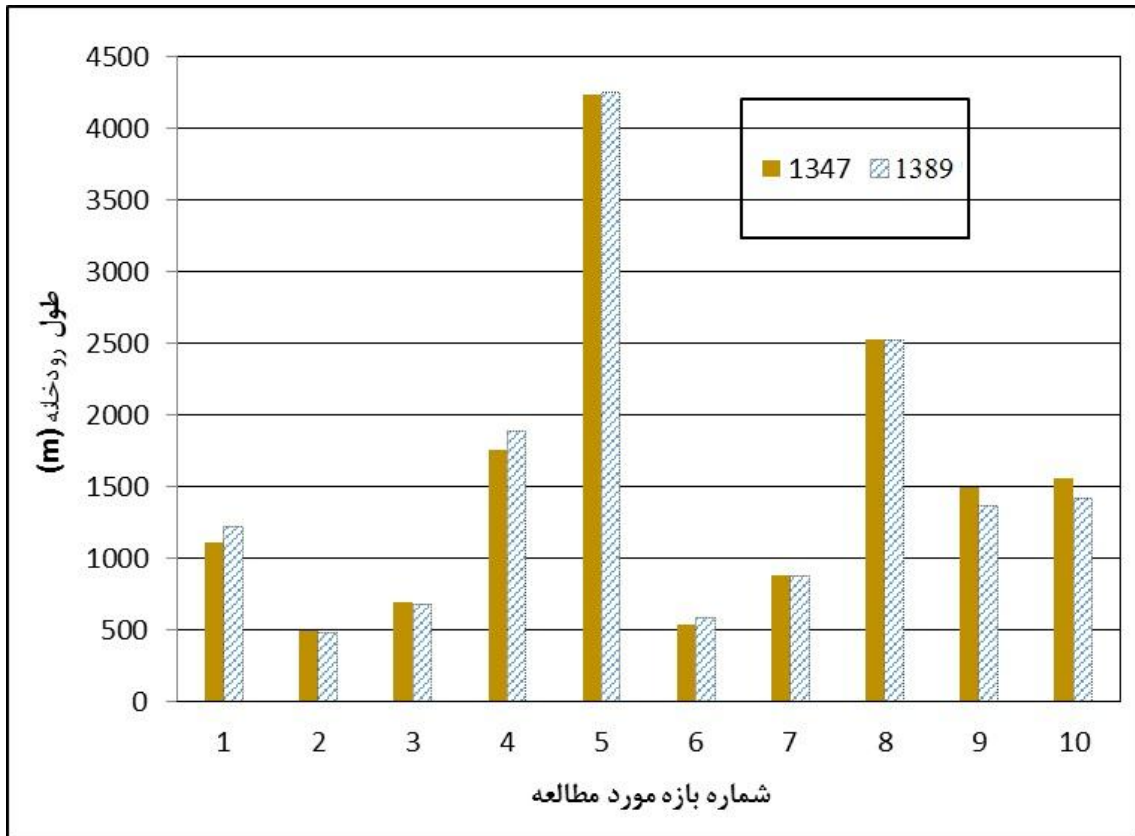
جدول ۳- نتایج پارامترهای ریخت‌شناسی رودخانه قزل‌اوزن در بازه‌های مورد پژوهش در سال ۱۳۸۹ شمسی (۲۰۱۰ میلادی) با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای

Table 3. The results of morphological parameters of the Ghezel\_Ouzan River in the studied basins in 2010 using satellite imagery

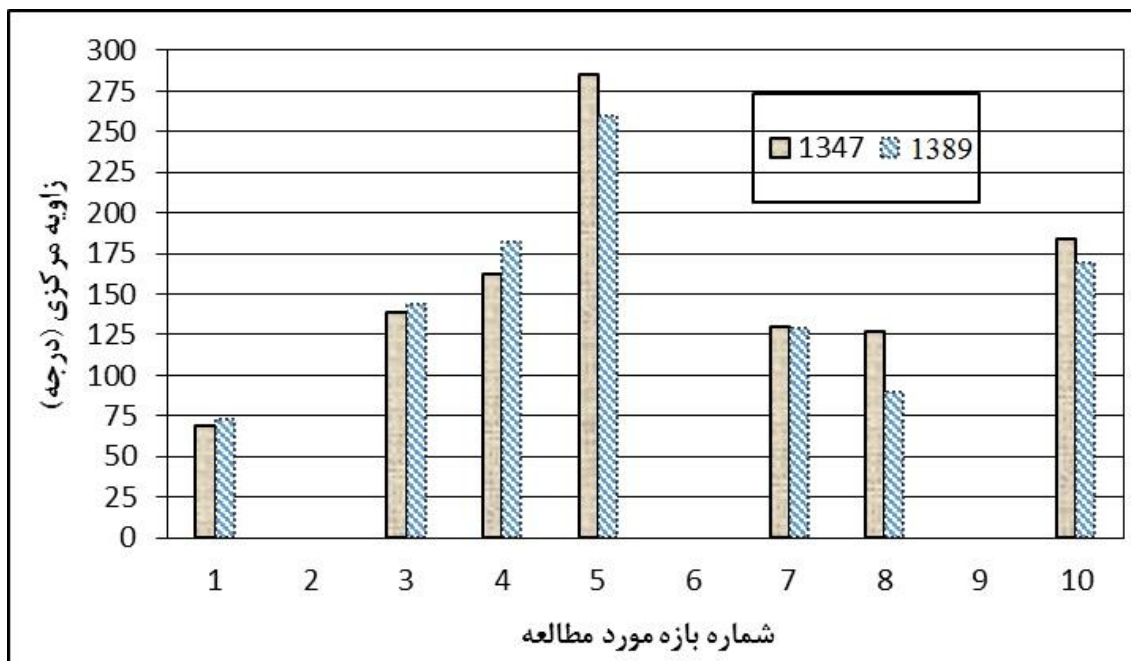
شعاع (متر)	عرض (متر)	زاویه قوس (درجه)	طول رودخانه (متر)	طول مستقیم کمان (متر)	طول کمان (متر)	مختصات انتهای بازه		فاصله از مبدأ (کیلومتر)		زیر بازه	بازه
						X	Y	ابتدا	انتهای		
۵۸۵/۶	۵۶	۷۳	۱۲۱۹/۲	۱۱۳۹/۹	۱۲۱۷/۵	۴۰۷۸۴۹۲	۳۲۲۹۳۹	.	۱/۲	۱	۱
.	۶۶	.	۴۸۰/۳	.	.	۴۰۷۷۴۳۰	۳۲۳۷۸۳	۱/۲	۱/۷	۲	۲
۳۴۳/۵	۴۵	۱۴۴	۶۸۳/۶	۵۳۱/۱	۶۹۷/۱	۴۰۷۶۱۴۰	۳۲۵۶۶۹	۱/۷	۲/۴	۳	۳
۵۶۹/۳	۹۲	۱۸۲	۱۸۹۲/۸	۱۲۳۷/۳	۱۸۳۹/۷	۴۰۷۶۰۴۵	۳۲۶۳۸۸	۲/۴	۴/۳	۴	۴
.	۷۶	.	۱۶۶۳/۳	.	.	۴۰۷۴۰۲۷	۳۲۹۰۴۱	۴/۳	۵/۹	۱-۵	
۱۸۵/۶	۷۵	۱۴۲	۷۴۶/۲	۵۷۱/۷	۷۴۹/۵	۴۰۷۵۳۰۴	۳۲۸۷۱۰	۵/۹	۶/۷	۲-۵	۵
۲۵۰/۶	۷۴	۱۱۸	۸۸۵/۹	۷۳۷/۵	۸۷۸/۹	۴۰۷۵۴۴۳	۳۲۷۸۳۸	۶/۷	۷/۶	۳-۵	
.	۷۰	.	۹۵۳/۵	.	.	۴۰۷۵۹۶۶	۳۲۷۲۴۶	۷/۶	۸/۵	۴-۵	
.	۵۵	.	۵۸۶/۷	.	.	۴۰۷۴۰۸۸	۳۲۸۹۶۰	۸/۵	۹/۱	۶	۶
۳۹۸/۲	۵۸	۱۲۹	۸۸۲/۲	۷۲۲/۲	۸۹۳/۷	۴۰۷۳۱۳۸	۳۲۹۲۰۳	۹/۱	۹/۹	۷	۷
۱۱۳۳/۲	۶۵	۹۰	۲۵۲۸/۱	۲۲۸۲/۱	۲۵۳۲/۷	۴۰۷۳۰۴۱	۳۳۰۴۷۳	۹/۹	۱۲/۵	۸	۸
.	۶۵	.	۱۳۷۰/۷	.	.	۴۰۷۳۰۶۰	۳۳۱۴۳۸	۱۲/۵	۱۳/۹	۹	۹
.	۴۷	.	۳۰۲/۱	.	.	۴۰۷۸۵۵۷	۳۳۲۹۲۸	۱۳/۹	۱۴/۲	۱-۱۰	
۱۱۶/۷	۴۷	۱۰۰	۲۲۰/۴	۱۹۹/۷	۲۲۷/۴	۴۰۷۹۰۹۰	۳۳۲۵۲۱	۱۴/۲	۱۴/۴	۲-۱۰	۱۰
۳۲۶	۴۶	۶۹	۸۹۳/۱	۶۷۸/۸	۷۲۳/۸	۴۰۷۹۳۳۶	۳۳۱۷۳۵	۱۴/۴	۱۵/۳	۳-۱۰	

نبوده است. فاصله طولی دو پیچان رود متناوب نسبت به هم در سال ۱۳۴۷ به مراتب کمتر از سال ۱۳۸۹ است. بیشترین فراوانی زاویه مرکزی در قزل‌اوزن (۴۰٪) در دسته ۱۵۸-۸۵ درجه‌ای قرار می‌گیرد که مربوط به حالت پیچان‌رودی توسعه‌یافته است. بیشترین مقدار زاویه در سال ۱۳۴۷ حدود ۲۸۵ درجه، و در سال ۱۳۸۹ حدود ۲۶۰ درجه می‌باشد، (شکل ۴).

بررسی‌ها نشان داد تعداد پیچان‌رودهای قزل‌اوزن در محدوده مورد پژوهش از ۱۹ پیچان‌رود در سال ۱۳۴۷ به ۱۵ پیچان‌رود در سال ۱۳۸۹ کاهش یافته است. این موضوع نشان‌دهنده حذف ۴ پیچان‌رود در طول ۴۲ سال در طول ۱۵ کیلومتر از محدوده مورد بررسی می‌باشد. بخش عمده‌ای از پیچان‌رودهای حذف‌شده در محدوده میانی (بازه ۵) که دارای شیب طولی بیشتری بوده، قرار داشته و تعداد پیچان‌رودهای حذف‌شده در سایر بخش‌های ابتدایی و انتهایی چندان زیاد



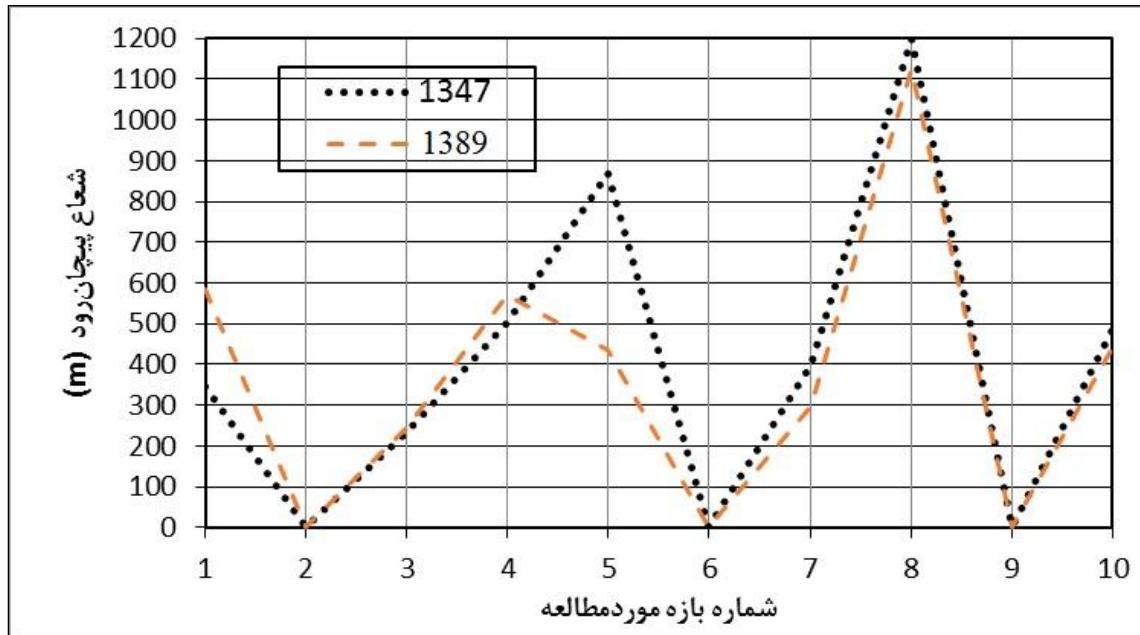
شکل ۳- مقایسه تغییرات طول خط مرکزی طی دوره زمانی ۱۳۴۷ و ۱۳۸۹  
Figure. 3. Comparison of changes in the length of the central line during the period of 1968 and 2010



شکل ۴- نمایش تغییرات زاویه مرکزی رودخانه قزل‌اوزن در بازه‌های مختلف در سال‌های ۱۳۴۷ و ۱۳۸۹  
Figure. 4. Showing changes of the central angle of the Ghezel\_Ouzan River in different periods in 1968 and 2010

از ۵۰۰ متر است. بیشینه اندازه شعاع نیز، ۱۱۲۳ متر می‌باشد (شکل ۵). همان‌طور که ملاحظه می‌شود در قسمت انتهایی بازه‌ی مورد پژوهش، شعاع‌های بزرگ‌تر بیشتر به چشم می‌خورد و علت این امر، فرسایش‌پذیری کناره رودخانه است که در بازه دشت سیلابی قرار دارد.

بررسی نتایج نشان داد در سال ۱۳۴۷ شعاع حدود ۸۵٪ از حلقه‌ها بزرگ‌تر از ۲۰۰ متر می‌باشد و ۱۵٪ حلقه‌ها، شعاع بیشتر از ۵۰۰ متر دارند. بیشینه اندازه شعاع در این سال، ۱۲۰۰ متر است. لذا در سال ۱۳۸۹ حدود ۵۸٪ از حلقه‌ها بزرگ‌تر از ۲۰۰ متر می‌باشند، و در ۴۲٪ حلقه‌ها، شعاع بیشتر



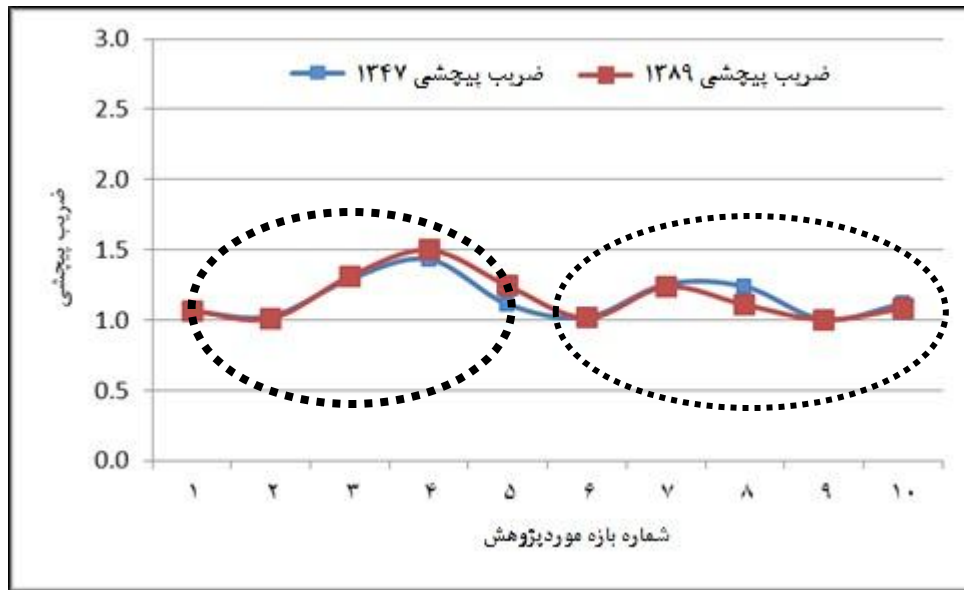
شکل ۵- تغییرات شعاع پیچان‌رودهای محدوده مورد پژوهش رودخانه قزل‌اوزن در طی سال‌های ۱۳۴۷ و ۱۳۸۹  
Figure 5. Changes in the radius of waves in the research area of Ghezal\_Ouzan River during the years 1968 and 2010

قزل‌اوزن بر اساس ضریب پیچشی در سال‌های ۱۳۴۷ و ۱۳۸۹ در جدول ۴ و شکل ۶ ارائه گردیده است.

**شاخص پیچان‌رودی (سینوسی یا ضریب پیچشی)**  
خلاصه نتایج بررسی نوع بازه‌های مورد پژوهش در رودخانه

جدول ۴- خلاصه نتایج بررسی نوع بازه‌های مورد پژوهش در رودخانه قزل‌اوزن بر اساس ضریب پیچشی در سال‌های ۱۳۴۷ و ۱۳۸۹  
Table 4. Summary of Ghezal\_Ouzan River results based on Meandering coefficient in different intervals in the years 1968 and 2010

نوع رودخانه بر اساس ضریب پیچشی ۱۳۸۹	نوع رودخانه بر اساس ضریب پیچشی ۱۳۴۷	ضریب پیچشی ۱۳۸۹	ضریب پیچشی ۱۳۴۷	بازه مورد پژوهش
سینوسی	سینوسی	۱/۰۷	۱/۰۶	۱
مستقیم	مستقیم	۱/۰۱	۱/۰۳	۲
پیچان‌رودی	پیچان‌رودی	۱/۳۱	۱/۲۹	۳
پیچان‌رودی	پیچان‌رودی	۱/۵۰	۱/۴۳	۴
سینوسی	سینوسی	۱/۲۴	۱/۱۱	۵
مستقیم	مستقیم	۱/۰۲	۱/۰۲	۶
سینوسی	پیچان‌رودی	۱/۲۴	۱/۲۶	۷
سینوسی	سینوسی	۱/۱۱	۱/۲۴	۸
مستقیم	مستقیم	۱	۱	۹
سینوسی	سینوسی	۱/۰۸	۱/۱۲	۱۰



شکل ۶- تغییرات ضریب پیچشی کل پیچان‌رودهای رودخانه قزل‌اوزن در سال‌های ۱۳۴۷ و ۱۳۸۹  
Figure. 6. Changes in the Meandering coefficient of the whole Ghezel\_Ouzan River waves in the years 1968 and 2010

سال ۱۳۸۹ در بازه‌های ۷، ۸، ۹ و ۱۰ نسبت به سال ۱۳۴۷ کاهش پیدا کرده است. علت کاهش نوسانات ضریب پیچشی رودخانه به دلایل تغییرات کاربری اراضی و تغییر الگوی کشت می‌باشد.

نتایج بررسی رودخانه قزل‌اوزن از نظر شکل ظاهری نشان داد که بازه مورد مطالعه طبق نظر پترسون (۱۰)، جزء رودخانه‌های جوان و پویا است. ناپایداری‌ترین بازه قزل‌اوزن در ناحیه چندشاخگی آن که در بازه ۵ قرار دارد، دیده شد. کاهش شیب بستر و کم‌شدن توان هیدرولیکی رودخانه سبب ایجاد پدیده چندشاخگی در این بازه شده است.

بررسی تغییرات شکل رودخانه و مشخصه‌های هندسی آن مشخص نمود که رودخانه قزل‌اوزن در ۹/۹۵ کیلومتر از محدوده‌ی موردپژوهش حالت سینوسی و پیچان‌رودی دارد و طبق نظریه والفرت (۱۷) دارای ضریب پیچشی بیشتر از ۱/۰۵ می‌باشد. بر این اساس رودخانه قزل‌اوزن در دو دوره ۱۳۴۷ و ۱۳۸۹ در گروه رودخانه پیچان‌رودی قرار دارد. در بازه ۷ الگوی رودخانه در حال گذر از حالت پیچان‌رودی به سمت سینوسی و در بعضی مناطق مستقیم است. دامنه تغییرات ضریب پیچشی محدوده مطالعاتی رودخانه قزل‌اوزن بین یک و ۱/۵ در نوسان بوده، تقریباً ۸۵ درصد پیچان‌رودها در محدوده ضریب پیچشی ۱/۰۶ تا ۱/۵ قرار گرفته‌اند.

با توجه به جدول ۴ دامنه تغییرات ضریب پیچشی محدوده مطالعاتی رودخانه قزل‌اوزن، بین ۱ تا ۱/۵ در نوسان بوده، و تقریباً ۸۵ درصد پیچان‌رودها در محدوده ضریب پیچشی ۱/۰۶ تا ۱/۵ قرار گرفته‌اند. بر این اساس رودخانه قزل‌اوزن در دو دوره ۱۳۴۷ و ۱۳۸۹ در گروه رودخانه پیچان‌رودی قرار می‌گیرد. در محدوده بازه ۷ الگوی رودخانه در حال گذر از حالت پیچان‌رودی به سمت سینوسی و در پاره‌ای از بخش‌ها به سمت مستقیم متمایل است.

بررسی نمودارهای ترسیمی نشان داد که در سال ۱۳۸۹ نوسان و تغییر ضریب پیچشی رودخانه قزل‌اوزن در بخش‌های انتهایی (بازه‌های ۷ و ۸) کمتر شده که علت آن حذف تعدادی از پیچان‌رودهای رودخانه و به طبع، تغییرات ایجادشده در مورفولوژی رودخانه قزل‌اوزن در طول ۴۲ سال گذشته است. بررسی مقایسه ضریب پیچشی در سال‌های ۱۳۴۷ تا ۱۳۸۹ نشان‌دهنده نوسان‌های ضریب پیچشی رودخانه قزل‌اوزن در کل محدوده مطالعاتی در دو دوره زمانی است. این شکل به خوبی نشان می‌دهد که در سال ۱۳۴۷ در محدوده روستای گیلوان تا حوالی روستای قارقلی ۳ (پیچان‌رودهای شماره یک تا ۶) نوسان‌های ضریب پیچشی رودخانه بالا بوده است. در سال ۱۳۸۹ در همین محدوده نوسان‌های ضریب پیچشی رودخانه بیشتر شده است. نوسانات ضریب پیچشی رودخانه در



شکل ۷- مقایسه بازه ۵ در دو مقطع زمانی (عکس سمت راست، سال ۱۳۸۹ و عکس سمت چپ، سال ۱۳۴۷)  
Figure. 7. Comparison of the basin 5 at two time period (right photo, 2010, and left photo, 1968)

متوسط زاویه مرکزی و ضریب خمیدگی در بازه کوهستان بیشتر بوده که با تحقیقات حاضر همخوانی دارد.

نتیجه بررسی‌ها نشان می‌دهد حریم بستر رودخانه در ۴۲ سال گذشته هم از نظر وسعت و هم از نظر مورفولوژی دستخوش تغییر شده است. نتایج نشان داد مساحت حریم بستر در سال پایه ۱۳۳۴ معادل ۵۶۱۱۴۵۲ مترمربع بوده و مطابق نقشه حریم بستر در سال ۱۳۴۷، وسعت حریم بستر به ۴۸۲۱۷۹۵ مترمربع، معادل ۱۴/۱ درصد کاهش نشان پیدا کرده است.

قدرت هیدرودینامیکی رودخانه قزل‌اوزن بسیار کمتر از آن است که بتواند سنگ‌های بسیار سخت مسیر خود را در بازه کوهستانی فرسایش دهد. ناپایداری‌ترین بازه قزل‌اوزن در ناحیه چندشاخگی هزاردره دیده می‌شود. کاهش شیب رودخانه و کم شدن توان هیدرولیکی آن سبب ایجاد پدیده چندشاخگی در این بازه شده است. بیشترین مهاجرت حلقه‌های مئاندر به‌میزان ۸۵۰ متر در ناحیه هارون‌آباد تا کوه کن سفلی در پرپود زمانی ۴۲ ساله اتفاق افتاده است. در این محدوده، رودخانه به شکل مئاندر کانالی مشاهده می‌شود.

نقشه مورفولوژی مسیر بستر رودخانه نشان می‌دهد رودخانه در بخش اعظمی از مسیر خود حالت مئاندری را حفظ نموده، لذا وسعت مناطق فرسایشی در مقایسه با مناطق در حال ترسیب بسیار کمتر است و فرسایش به‌صورت موضعی در قوس‌های بیرونی صورت گرفته، اما ترسیب مواد در قوس‌های داخلی پیچانرود نیز مشاهده می‌گردد.

بررسی تغییرات شکل رودخانه و مشخصه‌های هندسی آن نشان داد که مقادیر متوسط طول موج، شعاع و طول قوس در بازه دشت سیلابی بیشتر است و این امر حاکی از قدرت تحرک رودخانه در آبرفت و تشکیلات مارنی می‌باشد. ضریب سینوزیته که از نظر پدیده‌شناسی به‌عنوان ضریب فرسایش‌پذیری حاشیه رودخانه محسوب می‌گردد، در بازه سنگی نسبت به بازه دشت سیلابی بیشتر است. به‌عبارت‌دیگر رودخانه در بازه کوهستان در مسیر پیچ و خم‌دارتر جریان دارد.

نتایج نشان داد ضریب پیچشی در بازه بالادست ۷ و ۸ و ۱۰ بیش از ناحیه پایین‌دست و مجاور روستای گیلوان است. دلیل این امر نه به خاطر فرسایش رودخانه‌ای، بلکه بدین‌علت است که رودخانه در مسیر پرپیچ‌وخم که از روند گسل‌ها و شکاف‌های تکتونیکی تبعیت می‌کند جریان دارد. با مقایسه خط مرکزی رودخانه در سال‌های ۱۳۴۷ و ۱۳۸۹ ملاحظه گردید که حالات مختلف فرسایش ساحلی و میان‌بری در حلقه‌های مئاندر وجود دارد. از عوامل هیدرولیکی مرتبط با ناپایداری کناره‌ها در طول مسیر رودخانه، می‌توان به فرسایش پنجه دیواره‌ها، که ناشی از سرعت زیاد در پای این دیواره‌ها و ریزش آن می‌باشد، و وقوع فرسایش خندقی در بالای دیواره‌ها به‌واسطه زهکشی نامناسب زمین‌های مشرف به رودخانه اشاره نمود. مقایسه نتایج با سایر تحقیقات انجام‌شده نشان داد متوسط اندازه ذرات حمل‌شده به پایین‌دست کاهش‌یافته و بیشتر ذرات در بالادست ترسیب می‌گردند. از طرفی روابط نمایی، بهترین معادله را برای بیان ژئومتری کانال در رودخانه مورد پژوهش به‌دست می‌دهند. در تحقیقات رورده و همکاران (۱۲)، با استفاده از عکس هوایی و تصویر ماهواره‌ای ماهیت، مکان و زمان وقوع تغییرات جانبی آبراهه بابلرود را تعیین نمودند. نتایج این تحقیق، بر تغییرات شدید در آبراهه طی ۶۰ سال گذشته بواسطه حذف کاربری‌های بایر و کم‌شدن مساحت سایر کاربری‌ها به نفع کاربری مسکونی با نوسان در میزان دبی و رسوب رودخانه دلالت دارد.

پیروان و همکاران (۱۱) نیز که تغییرات مورفولوژی بخش پایانی قزل‌اوزن از محل سد استور تا سد سفیدرود در طی سال‌های ۱۳۳۴ تا ۱۳۷۱ به طول تقریبی ۱۹۵ کیلومتر را بررسی نمودند، تغییرات شکل رودخانه و مشخصه‌های هندسی آن نشان داد متوسط طول موج، شعاع و طول قوس در بازه دشت سیلابی بیشتر است و این امر حاکی از قدرت تحرک رودخانه در بستر و کناره‌های آبرفتی و مارنی فرسایش‌پذیر خود می‌باشد. همچنین ملاحظه شد که مقادیر

## تشکر و قدردانی

طرح تحقیقاتی بررسی روند تغییرات پلان رودخانه‌ها با استفاده از داده‌های سنجش‌ازدور تقدیر و تشکر به عمل می‌آورند.

نویسندگان مقاله از کلیه زحمات و حمایت‌های صورت گرفته توسط پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری در انجام

## منابع

1. Andreas Laliberte, D. Johnson, N. Harris and G. Casady. 2001. Stream change analysis using remote sensing and Geographic Information Systems. *Journal of Range Management*. 54: 22-50.
2. Arshad, S., S. Moorid and H. Mirabolghasemi. 2007. Investigation of change detection in the rivers Morphologic Using RS (Karoon River Case Study). *Seasonal of Agricultural Sciences and Natural Resources*, 14(6): 180-194 (In Persian).
3. Donoghue, D.N.M. and I. Shennan. 1987. A Preliminary Assessment of Landsat Thematic Mapper Imagery for Mapping Vegetation and Sediment Distribution in the Wash Estuary. *International Journal of Remote Sensing*, 8: 1101-1108.
4. Gharibreza, M. and H. Masomi. 2006. Zohreh river morphology and detection in coast flat hendijan. Seventh international river engineering conference, Ahvaz, Iran, (In Persian).
5. Hosseini, S.A., M.R. Tabatabaieia and M. Habibi. 2012. Investigation of Meandering Using RS (Ghezel Ouzan River Case Study). Final report soil conservation and watershed management research institute, 274 pp (In Persian).
6. Javaheri, N., SM. Kashefipour and M. Ghomaeshi. 2004. Predicting change in the morphology of Meander Rivers (Case study of Karun River). 7<sup>th</sup> International River Engineering Seminar. Ahvaz, Iran.
7. Klemas, V., J.F. Borchardt and W.M. Treasure. 1973. Suspended Sediment Observations from ERTS-1. *Remote Sensing of Environment*, 2: 205- 221.
8. Leopold, L.B. and M.G. Wolman. 1991. River channel patterns-braided, meandering and straight. U.S. Geological Survey, Professional Paper, 212 pp.
9. Nejabat, M. 2003. Investigation bank erosion in Forge River using RS. Proceeding of the eighth soil science congress, Rasht, Iran.
10. Petersen, M. 1986. *River Engineering*; Newjersey, 580 pp.
11. Peyrovan, H.R. and M. Habibi. 2012. Investigation of hydraulic and geometric characteristics in Ghezel Ouzan River. Final report soil conservation and watershed management research institute, (In Persian).
12. Roordeh, H., Q. Lorestani and M. Cheraghi. 2016. Investigation of lateral changes of waterway and bed Babolrood in Babol city. *Journal of Watershed Management Research*, 7(14): 96-105 (In Persian).
13. Sandra J. 2000. Medium and short-term channel planform changes on the Rivers Tay and Tummel, Scotland. *Journal of Geomorphology*, 34(Issues 3-4): 195-208.
14. Sarker, M.H, M.M. Kamal and K. Hassan. 1999. The Morphological Changes of a distributary of Ganges inresponse to the Declining Flow using Remote Sensing, Proceedings of the 20<sup>th</sup> Asian Conference on RemoteSensing, Vol.1.
15. Schum, S.A. and H.R. Khan. 1977. Experimental study of channel patterns. *Geological Society of America Bulletin*, 83: 1755-1770.
16. Talaei, R. and A. Hosseini. 2007. Investigation of relationship among morphological and plant cover with river erosion in Ghara-Sou (Ardabil Province). 7th International River Engineering Conference, Shahid Chamran University, Ahvaz.
17. Wolfert, H. 2001. Geomorphologic change and river rehabilitation. Case studies on lowland fluvial systems in the Netherlands. Ph.D. Thesis Universities Utrecht, Altera Scientific Contributions, 6: 200 pp.
18. Zahiri, J. and A. Jafari. 2006. Investigation of change detection in Jarrahi River in Iran. 7<sup>th</sup> international river engineering conference, Ahvaz, Iran, (In Persian).

## Detection of River Morphological Changes Using Aerial Photographs and Multi-Time Satellite Imagery (Case Study of Part of the Ghezel\_Ouzan River from Pircham Village to Gilvan Village)

Seyed Ahmad Hosseini and Mahmoud Reza Tabatabaei

1- Assistant Professor, Department of River and Coastal Engineering, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, Tehran, Iran, (Corresponding author: sahosseini@yahoo.com)

2- Assistant Professor, Soil Conservation and Watershed Management Research

Received: 2 October, 2018

Accepted: 24 December, 2019

### Abstract

Floods cause erosion and sequestration of sedimentary material in rivers, and each of these factors causes deformation in river morphology. This change in shape annually damages the activities of the residents of the riverbank and its adjacent facilities, and it also presents problems along the river. In this regard, erodibility detection and zoning in a river is one of the issues that will be used to manage and control river erosion. This study was done on a 15 km downstream reach of Ghezel-Ozan River in north of IRAN. This part of the river in terms of geomorphology, is an alluvial river with fine to coarse bed material and due to geometric, hydraulic, geological and bed and side material conditions. Then the IRS and Landsat satellites images as well as aerial photos from 1968 to 2010, the plan and pattern of river displacement in GIS environment were investigated. In this study, after dividing the study area into 10 different intervals, the location of the riverbanks and river displacement widths at different time points, and the critical or degraded or deposited critical areas in each interval were determined. In addition, using factors such as soil moisture uptake capacity, vegetation cover and soil texture of the studied river margin as well as the hydraulic properties of the flows occurring, the factors affecting erosion at different intervals of the studied river were analyzed. Investigations of river deformation and geometrical characteristics of the river showed that the Ghezel-Ozan River at 9.95 km was in the range of sinusoidal and meandering coefficient, and approximately 85% of the windings were in the range of meandering coefficient of 1.06 to 1.5. The number of Meander in the study period has decreased from 19 Meander in 1968 to 15 Meander in 2010. According to the criteria of the central angle arches, the most frequent central angle within this range (40%) were ranked in categories relating to meander developed 158-85, And the highest angle in 1968 is about 139 degrees and in 2010 is about 182 degrees and so this area is from the Ghezel-Ozan River, a young and dynamic Meander river. The results showed that the most unstable reach in the multi-thickness region is in the 5th reach. Decreasing the slope and decreasing the hydraulic power of the river have caused a multifaceted phenomenon in this area. The average radius of Meander was higher in 2010, due to the erosion of the riverbank, which is often alluvial and marl, indicating the radial development of Meander. Comparing the central line of the river in 1968 and 2010, it was also observed that there are different states of coastal erosion and shortening in the meander rings. Hydraulic factors associated with the instability of the banks along the river can be the erosion of the under of the walls due to the high velocity of flow at the bottom of these walls and its fall, and the occurrence of gully erosion over the walls due to inadequate drainage of farmland.

**Keywords:** Aerial photos, Bank erosion, Digital data, GIS and RS, Ghezel\_Ouzan River Morphology