



بررسی الگو و دینامیک رودخانهی قره‌سو اردبیل محدوده‌ی پل سامیان تا سد سبلان

صیاد اصغری سراسکانرود^۱، عقیل مددی^۲، زهره باشکوه^۳، احسان قلعه^۴

۱-دانشیار گروه جغرافیای طبیعی، رشته ژئومورفولوژی، دانشکده‌ی ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

۳-دانش آموخته‌ی کارشناسی ارشد، رشته ژئومورفولوژی، دانشکده‌ی ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

۴-دانشجوی دکتری، رشته ژئومورفولوژی، دانشکده‌ی ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

تأیید نهایی مقاله: ۱۳۹۹/۰۵/۲۰

وصول مقاله: ۱۳۹۸/۰۹/۱۲

چکیده

رودخانه‌ها از مهم‌ترین عوامل تغییردهنده‌ی چشم‌اندازهای سطح زمین به شمار می‌آیند. رودخانه‌ها همیشه در حال تغییر و تحول هستند که در برخی موارد این تغییرات می‌توانند منجر به مخاطرات جدی شوند. در این پژوهش، مورفولوژی و تغییرات جانبی بازه‌ای از مجرای رودخانه‌ی قره‌سو (پل سامیان تا سد سبلان) با چهار شاخص ضریب خمیدگی، زاویه‌ی مرکزی کورنیس، نرخ مهاجرت مجرا و روش ترانسکت طی دوره‌های زمانی ۲۰۰۰، ۲۰۱۰ و ۲۰۱۹ میلادی مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج حاصل از چهار شاخص ارزیابی شده، نشان می‌دهد رودخانه‌ی قره‌سو در بازه‌ی مطالعاتی در بیشتر قسمت‌ها دارای الگوی مماندیری توسعه‌یافته می‌باشد. مماندرهای منطبق بر دشت‌های منطقه عمدتاً از نوع مماندرهای آزاد هستند و از پتانسیل زیادی برای توسعه و جابجایی برخوردار می‌باشند؛ در حالی که مماندرهای بازه‌های کوهستانی از نوع محصور بوده و زاویه مرکزی این مماندرها در طی دوره‌های زمانی مطالعاتی تقریباً ثابت باقی مانده است. در بازه‌ی مطالعاتی از رودخانه‌ی قره‌سو فرآیند توسعه و جابجایی مماندرها دارای آهنگ بسیار پایینی می‌باشد و در طی دهه‌ی اخیر دینامیک عرضی مجرای رودخانه به‌طور محسوسی کاهش یافته است. همچنین نتایج تحقیق نشان داد که در طی ۱۹ سال گذشته در مجموع ۲۲/۴۵ هکتار از اراضی حاشیه‌ی رودخانه‌ی قره‌سو در بازه‌ی مطالعاتی در نتیجه فرآیندهای فرسایشی از دست رفته‌اند. میانگین نرخ جابجایی طی سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۰ در حدود ۰/۵ متر در سال بوده است. مقدار این شاخص برای دوره‌ی زمانی ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۹ به حدود ۰/۳ متر در سال کاهش یافته است. با توجه به محاسبات صورت گرفته، مقدار این شاخص در طی ۱۹ سال گذشته (از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۹ میلادی) در حدود ۰/۴ متر در سال بالغ می‌شود.

کلمات کلیدی: الگو و دینامیک رودخانه، جابجایی جانبی، سنجش از دور و GIS، رودخانه‌ی قره‌سو، اردبیل

۱-مقدمه

یکی از مهم‌ترین ثروت‌های یک ملت، آبی می‌باشد که به صورت جاری در رودخانه‌های آن کشور در حال جریان است و به دلیل تأثیر آن در استقرار، مکان‌گزینی و توسعه‌ی آبادی‌ها، شهرها، شبکه‌های ارتباطی و کشاورزی از گذشته دارای اهمیت شایان توجهی بوده‌اند و به‌همین خاطر، انسان به سیستم‌های رودخانه‌ای به عنوان یکی از حیاتی‌ترین عناصر تشکیل‌دهنده‌ی سطح زمین، از جنبه‌های متنوعی توجه نموده است (یمانی و همکاران، ۱۳۸۱:۱۱۰). رودخانه و فرآیندهای رودخانه‌ای به عنوان مهم‌ترین سیستم‌های ژئومورفیک در سطح زمین فعال هستند (بگ^۱، ۲۰۱۹:۵۴). از موضوعات کلیدی و اساسی در علم مهندسی و مدیریت رودخانه مقوله‌ی مورفولوژی مجرای رودخانه‌ها می‌باشد که به کمک آن می‌توان به مجموعه اطلاعات سودمندی در خصوص شکل هندسی، فرم بستر، پروفیل طولی، مقاطع عرضی و تغییر شکل و مکان آنها در طی زمان نائل شد. تغییر در مورفولوژی رودخانه ممکن است مشکلات بسیاری از جمله تغییر مسیر رودخانه، طغیان مناطق اطراف، آسیب رساندن به سازه‌های هیدرولیک و همچنین برخی از اثرات زیست‌محیطی را ایجاد کند (چایونگسین و همکاران^۲، ۲۰۱۹:۱۲). تغییرپذیری رودخانه در کوتاه مدت ممکن است تدریجی و پیوسته باشد، ولی در درازمدت یا تحت شرایط خاص ناپیوسته و ناگهانی است (ماتياس و همکاران^۳، ۲۰۱۵:۱۳۱۵). از سوی دیگر پاسخ‌های مورفولوژیکی رودخانه‌ها نسبت به تغییرات ممکن است، شامل تغییرات کوچک در هندسه کانال جریان یا به صورت تغییرات بزرگ و گسترده باشد، که شامل تغییر تدریجی یا ناگهانی روزانه یا در بازه‌های زمانی هزار ساله است (اسلاتر و همکاران^۴، ۲۰۱۹:۲۲). یکی از عواملی که می‌تواند ثبات رودخانه‌ها را به شدت مختل سازد ساخت سدها است (لیاگات و همکاران^۵، ۲۰۱۷:۱۵۱۵). تغییرات جریان توسط سد می‌تواند بر میزان، زمان‌بندی و مدت زمان جریان‌های بالا و پایین‌دست تأثیر بگذارد (فیاس و همکاران^۶، ۲۰۱۴:۲۸). برای مدیریت پایدار سیستم‌های رودخانه‌ای، لازم است ویژگی‌های تغییر در مورفولوژی رودخانه در مقیاس‌های مختلف زمانی و مکانی بررسی شود (مینه‌های^۷، ۲۰۱۹:۱۴). مطالعات متعددی در مورد بررسی الگو و دینامیک رودخانه‌ای در داخل و خارج از کشور صورت گرفته است. خوش‌رفتار و همکاران (۱۳۹۸)، به بررسی پیچان رودهای قزل‌اوزن در محدوده‌ی شهرستان ماه‌نشان زنجان با استفاده از شاخص‌های هندسی و تصاویر ماهواره‌ای پرداختند. با توجه به نتایج مطالعه، قزل‌اوزن از نوع رودخانه‌ی پیچان‌رود توسعه یافته است و در طی بازه‌ی زمانی مورد مطالعه (۱۳۷۳-۱۳۹۴)، از مقدار زاویه‌ی مرکزی پیچان رود خیلی توسعه‌یافته کاسته شده و پیچان رود توسعه‌یافته و

1- Bag
2- Chaiwongsaen et al.
3- Matyas et al.
4- Slater et al.

5- Liaghat et al.
6- Feyisa
7- Minh Hai

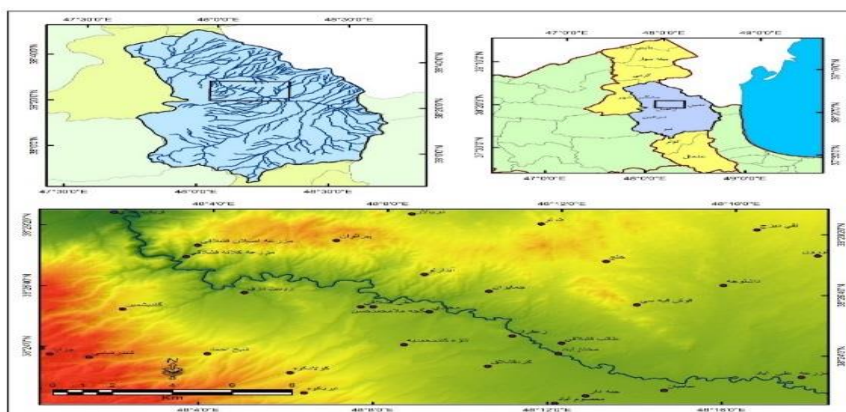
توسعه‌نیافته افزوده شده است. رجبی و همکاران (۱۳۹۸) در تحقیقی الگوی پیچان رودی رودخانه‌ی آجی‌چای را با استفاده از شاخص‌های ضریب خمیدگی و زاویه مرکزی مورد مطالعه قرار دادند. نتیجه این تحقیق نشان داد که از نظر شاخص زاویه مرکزی و ضریب خمیدگی دارای الگوی پیچان رودی توسعه‌یافته است. این تحقیق نشان داد با توجه به این که رودخانه در مسیر دارای شیب تقریباً یکنواخت و هموار قرار گرفته است، عامل توپوگرافی به ویژه شیب عامل اصلی گسترش الگوی پیچان رودی می‌باشد. باتلا و همکاران^۱ (۲۰۱۸)، در مطالعه‌ای به تحلیل ژئومورفولوژیکی رودخانه‌ی نیوبل پرداختند. در این مطالعه تغییرات اخیر در مورفولوژی رودخانه طی سال‌های ۲۰۰۳-۲۰۱۶، مورد بررسی قرار گرفته است. طبق نتایج مطالعه، عامل اصلی کنترل‌کننده‌ی تکامل این رودخانه در سال‌های اخیر، سنگ بستر می‌باشد. لانگات^۲ (۲۰۱۹)، در مطالعه‌ی دینامیک و تحول رودخانه تانا (طولانی‌ترین رودخانه کنیا) را بررسی کرده و بیان کرده‌اند که نیروهای حرکتی بالقوه جهت تغییرات مورفولوژیکی رودخانه، شامل: تغییرات رژیم هیدرولوژیکی، شیوه‌های استفاده از زمین‌های بالادست، گرادیان کانال و تغییرات پوشش گیاهی حاشیه رودخانه است. هدف از پژوهش حاضر، بررسی تغییرات مورفولوژیکی (الگو و دینامیک) بازه‌ای از رودخانه‌ی قره‌سو (پل سامیان تا سد سبلان) در بازه‌ی زمانی ۱۹ ساله (۲۰۰۰-۲۰۱۹) می‌باشد. در این زمینه با توجه به وجود سد مخزنی سبلان در پایین دست بازه مطالعاتی، بررسی الگو و دینامیک جانبی مجرا از اهمیت زیادی برخوردار خواهد بود. در این تحقیق علاوه بر استفاده از روش جدید ترانسکت از تصاویر ماهواره‌ای برای استخراج الگو و مسیر رودخانه با شاخص‌های سنجش از دوری استفاده شده است. همچنین از روش‌های کلاسیک تحلیل مورفولوژی در جهت بررسی رفتار رودخانه استفاده می‌شود. جهت بررسی و تحلیل دقیق نتایج از داده‌های دبی جریان و رسوب رودخانه نیز استفاده شده است. در این تحقیق میانگین نرخ مهاجرت مجرا و مقدار مساحت جابجا شده کناره‌های رودخانه برای بازه زمانی ۱۹ ساله (سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۹) محاسبه شده است.

۲- مواد و روش

۲-۲- معرفی منطقه‌ی مورد مطالعه

بازه‌ی مطالعاتی رودخانه‌ی قره‌سو با طول حدود ۵۱ کیلومتر مربع در مختصات جغرافیایی ۴۸ درجه و ۲ دقیقه تا ۴۸ درجه و ۱۸ دقیقه طول شرقی و ۳۸ درجه و ۲۲ دقیقه تا ۳۸ درجه و ۳۰ دقیقه عرض شمالی در محدوده‌ی سیاسی- اداری شهرستان اردبیل واقع شده است. شکل ۱ موقعیت منطقه‌ی مورد مطالعه در استان اردبیل را نشان می‌دهد. منطقه‌ی مطالعاتی در تقسیم‌بندی زمین‌شناسی ایران در زون البرز- آذربایجان جای گرفته است. نخستین حرکات تکتونیکی که در تشکیل ناهمواری‌های منطقه موثر واقع شده در آخر کرتاسه (حرکت لارامید)

رخ داده است. سه واحد آبرفتی کواترنری یعنی واحدهای Qal، Qt2 و Qt1 منطبق بر بستر و دشت سیلابی رودخانهی قره‌سو و بخش‌هایی از دشت اردبیل می‌باشند. میانگین بارش در منطقه‌ی مورد مطالعه از حداقل ۲۶۷ میلی‌متر در اراضی پست منطقه‌ی مطالعاتی (دشت اردبیل) تا حداکثر ۵۱۱ میلی‌متر در ارتفاعات سبلان متغیر است. متوسط ارتفاع حوضه‌ی قره‌سو ۱۷۶۵ متر می‌باشد. مرتفع‌ترین نقطه‌ی حوضه‌ی قره‌سو قله سبلان با ارتفاع مطلق ۴۸۱۱ متر از سطح آزاد دریاهاست. کم‌ارتفاع‌ترین نقطه حوضه نیز در مصب رودخانه (در محل الحاق به رودخانه‌ی ارس) در حدود ۷۶۰ متر می‌باشد.



شکل (۱): موقعیت جغرافیایی منطقه‌ی مورد مطالعه

Figure (1): Geographical location of the study area

۳-۲- داده‌های مورد استفاده

برای بررسی مورفولوژی منطقه‌ی مورد مطالعه از نقشه‌های توپوگرافی به مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ منطقه‌ی مورد مطالعه استفاده گردید. جهت تحلیل ویژگی‌های زمین‌شناسی، بررسی لیتولوژی مجرا، و تحلیل‌های زمین‌ساختی موثر بر تغییرات مجرا نقشه‌های زمین‌شناسی مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ منطقه‌ی مورد مطالعه تهیه گردید. از تصاویر ماهواره‌ای لندست (بازه‌ی زمانی ۲۰ ساله)، برای استخراج مسیر رودخانه با استفاده از شاخص‌های سنجش از دوری استفاده شد. و همچنین از تصاویر ماهواره‌ای Google Earth، برای ارزیابی نتایج شاخص‌های مورد استفاده، بهره گرفته شد. مدل رقومی ارتفاع منطقه (DEM) و داده‌های اقلیمی و هیدرومتری ایستگاه‌های هیدرومتری سامیان، ارباب‌کندی، دوست‌بیگلو و مشیران به منظور ارزیابی هیدرولوژیکی رودخانه‌ی قره‌سو استفاده شد. نحوه‌ی استفاده و روش‌های مورد استفاده با جزئیات در ادامه آورده شده است.

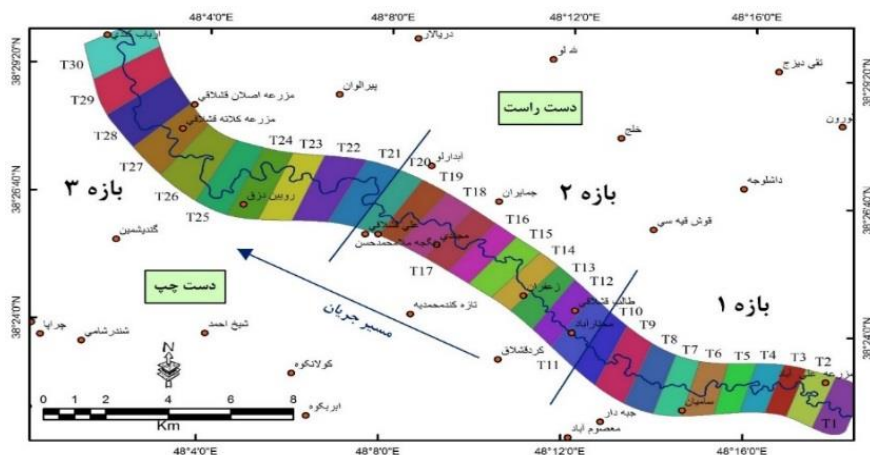
جدول (۱): اطلاعات تصاویر ماهواره لندست ۵ و ۸ (منبع: متادیتا تصاویر)

Table (1): Landsat Satellite Image Information 5 and 8 (Source: Metadata Images)

نوع سنجنده	مسیر	گذر	درصد پوشش ابر	زاویه خورشید	زمان (گرینویچ)	تاریخ	قدرت تفکیک مکانی
لندست ۸	۱۶۷	۳۳	۰	۱۲/۹۰۵۹۶۳۶۷	۷:۲۵:۱۰	۱۰/۰۶/۲۳	۳۰ متر
لندست ۵	۱۶۷	۳۳	۰	۱۱/۳۹۱۸۸۷۳۱	۶:۵۰:۱۸	۱۰/۰۶/۱۰	۳۰ متر

پس از اینکه مجرای رودخانه‌ی قره‌سو از روی تصاویر ماهواره‌ای استخراج شد، جهت سهولت کار و درک بهتر تغییرات مورفولوژیکی مجرا نسبت به بازه‌بندی رودخانه اقدام گردید. رودخانه‌ی قره‌سو در محدوده‌ی مطالعاتی را می‌توان بر اساس توزیع ناهمواری‌ها، شیب و عرض دشت سیلابی به سه بازه مجزا تقسیم‌بندی نمود (شکل ۲). این بازه‌بندی می‌تواند در درک تحول پلان‌فرم و روند تغییرات مورفولوژیکی مورفولوژیکی مجرای رودخانه متمرکز واقع شود.

بازه ۱: این بازه از ابتدای محدوده‌ی مطالعاتی رودخانه‌ی قره‌سو (پایین‌دست روستای دولت‌آباد و بالادست پل سامیان) تا محدوده‌ی تقریبی روستای طالب قشلاقی امتداد می‌یابد. این محدوده شامل ترانسکت‌های شماره ۱ تا شماره ۱۰ می‌باشد. بازه ۲: این بازه از محدوده‌ی روستای طالب قشلاقی تا محدوده‌ی تقریبی روستای علی قشلاقی امتداد می‌یابد. این محدوده شامل ترانسکت‌های شماره ۱۱ تا ۲۰ می‌باشد. بازه ۳: این بازه از محدوده‌ی روستای علی قشلاقی تا بالادست سد سبلان امتداد می‌یابد و شامل ترانسکت‌های شماره ۲۱ تا ۳۰ می‌باشد. در این بازه، رودخانه‌ی قره‌سو در دره‌ای تنگ و کم‌عرض و عمیق جریان می‌یابد که توسط کوهستان‌های پیرامون احاطه شده است.



شکل (۲): بازه‌بندی مجرای رودخانه‌ی قره‌سو در محدوده‌ی مطالعاتی به همراه ترانسکت‌های ترسیم شده
 Figure (2): Ductal reconnection of the Gharasu River in the study area with plotted transects

۲-۴- شاخص‌های مورد استفاده برای کمی کردن الگو و شکل مسطحاتی مجرای رودخانه

مجرای بازه‌ی مورد مطالعه از رودخانه قره‌سو از طریق پردازش تصاویر ماهواره‌ای استخراج شد. در این زمینه، چندین روش برای تفکیک و جداسازی آب از سایر عوارض موجود است که از جمله می‌توان به شاخص تفاضل آب نرمال شده^۱ اشاره کرد (رضایی مقدم و همکاران، ۱۳۹۵: ۲۵):

$$NDWI = (Green - NIR) / (Green + NIR) \quad (1)$$

در رابطه‌ی فوق *NIR* یک باند مادون قرمز نزدیک و *Green* باند سبز می‌باشد.

به منظور کمی کردن میزان توسعه‌ی مماندیری رودخانه‌های آبرفتی و تعیین الگوی رفتاری و تغییرات آن در طول زمان، می‌بایست ویژگی‌های هندسی مجرای رودخانه‌ها از قبیل زاویه‌ی مرکزی، شعاع مماندر، طول موج، طول دره و ضریب خمیدگی (سینوسیته)، اندازه‌گیری و تجزیه و تحلیل گردد تا بتوان تغییرات حادث شده در مسیر مجرای رودخانه را در گذشته نسبت به حال تعیین نمود. بدین منظور برای هر یک از قوس‌های مماندرهای مجرا دایره‌هایی برآزش می‌گردد و مشخصه‌های هندسی مماندرها مورد محاسبه قرار می‌گیرد. ضریب خمیدگی یا سینوسیته برای هر قوس بر اساس رابطه‌ی ۲ حاصل می‌گردد (مقصودی و همکاران، ۱۳۸۹: ۲۸۱ و رضایی مقدم و همکاران، ۱۳۹۱: ۹۰).

$$S = \frac{L}{\lambda/2} \quad (2)$$

که در این رابطه *S*: ضریب خمیدگی یا سینوسیته، *L*: طول قوس یا خم و $\lambda/2$ نصف طول موج است.

علاوه بر این، زاویه مرکزی قوس‌ها از طریق رابطه‌ی ۳ حاصل می‌شود:

$$A = \frac{180L}{R\pi} \quad (3)$$

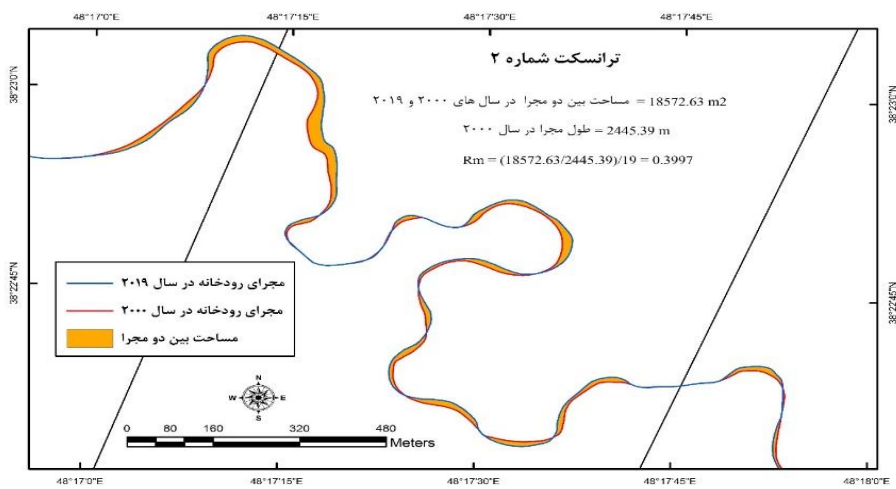
که در این رابطه *A*: زاویه مرکزی، *R*: شعاع دایره برآزش شده و π عدد بی (۳/۱۴) می‌باشد.

جهت محاسبه‌ی نرخ جابجایی کانال رابطه‌ی ۴ می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد (رضایی مقدم و همکاران، ۱۳۹۵: ۱۹):

$$R_m = (A / L) / y \quad (4)$$

1- Normalized difference water index (NDWI)

که در آن Rm نرخ مهاجرت؛ A مساحت موجود بین دو خط مرکزی مجرا؛ L طول خط مرکزی مجرا در زمان t و λ تعداد سال است. این شاخص برای محاسبه میزان جابجایی یا مهاجرت مجرای رودخانه در دشت سیلابی خود از دو خط مجرای رودخانه در سال‌های مختلف و مساحت بین این دو مجرا استفاده می‌کند (شکل ۳).



شکل (۳): نحوه‌ی محاسبه شاخص نرخ مهاجرت مجرا (Rm)
Figure (3): How to calculate the conduit migration rate index (Rm)

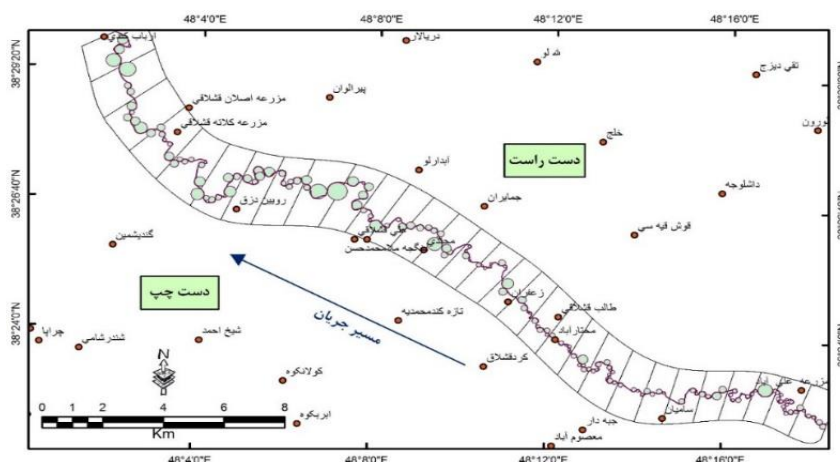
همچنین روش ترانسکت^۱ یکی از روش‌هایی محسوب می‌شود که به منظور ارزیابی تغییرات و جابجایی‌های اتفاق افتاده در کانال رودخانه‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد (رضایی مقدم و همکاران، ۱۳۹۵). در این تحقیق، با توجه به روش ترانسکت، خطوطی با فواصل مشخص از هر دو طرف مجرا به عنوان خطوط مبنا ترسیم شد. این خطوط برای دوره‌های زمانی مورد مطالعه ثابت بوده و بنابراین جابجایی‌های کانال نسبت به این خطوط می‌تواند به صورت کمی محاسبه شود. به عبارت دیگر روش ترانسکت، شامل ترسیم یک سری از ترانسکت‌های عمودبر دشت سیلابی رودخانه و اندازه‌گیری فاصله بین نقاط متقاطع بین خط مرکزی کانال و ترانسکت برای چهارچوب (دوره‌های-مقاطع) زمان بعدی می‌باشد (اسفندیاری و همکاران، ۱۳۹۵ به نقل از گرادینو و لی، ۲۰۱۱).

۳- بحث و نتایج

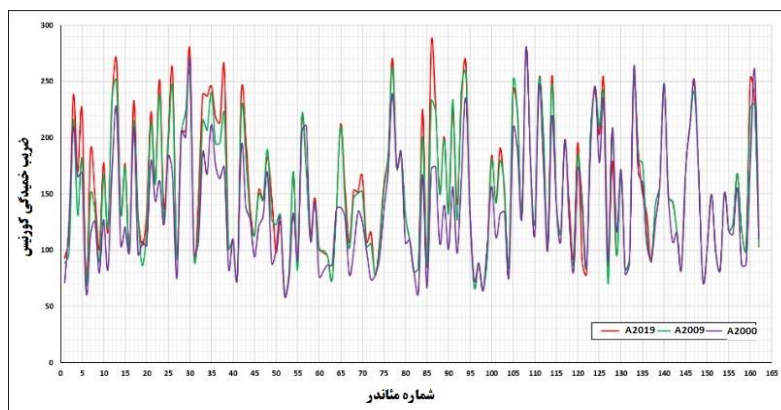
۳-۱- ارزیابی مورفولوژی رودخانه با استفاده از شاخص زاویه‌ی مرکزی و ضریب خمیدگی

به منظور کمی‌سازی و اندازه‌گیری تغییرات مئاندرها در طی سه دوره‌ی زمانی ۲۰۰۰، ۲۰۱۰ و ۲۰۱۹ میلادی، دایره‌هایی به هر یک از قوس‌های مئاندرهای رودخانه‌ی قره‌سو برآزش داده شد. بر این اساس تعداد ۱۶۲ مئاندر

در کل بازه‌ی مطالعاتی از رودخانه قره‌سو شناسایی گردید. در شکل ۴ دایره‌های برازش داده شده بر مئاندرهای رودخانه قره‌سو نشان داده شده است. همچنین در شکل ۵ مقادیر و روند تغییرات این شاخص در امتداد رودخانه قره‌سو ارائه شده است. برای کل مجرای رودخانه‌ی قره‌سو در بازه‌ی مطالعاتی میانگین شعاع مئاندرها در طی سال‌های ۲۰۰۰، ۲۰۱۰ و ۲۰۱۹ به ترتیب برابر با ۱۱۱/۰۲، ۱۰۰/۹۰ و ۹۹/۴۰ متر بوده است که یک روند کاهشی را نشان می‌دهد. همچنین میانگین طول قوس‌ها در طی این سال‌ها به ترتیب ۲۵۴/۲۹، ۲۵۰/۱۴ و ۲۵۱/۷۴ متر بوده است. به همین دلیل، میانگین زاویه‌ی مرکزی در طی سال‌های مورد مطالعه دارای روند افزایشی می‌باشد به طوری که از مقدار ۱۳۸/۵۰ در سال ۲۰۰۰ به ۱۵۳/۰ در سال ۲۰۱۰ و به ۱۵۷/۴۱ در سال ۲۰۱۹ رسیده است. این امر نشان‌دهنده‌ی توسعه‌ی مئاندرهای مجرای رودخانه‌ی قره‌سو در دشت سیلابی خود می‌باشد. مقادیر میانگین شاخص زاویه‌ی مرکزی در رودخانه مطالعاتی نشان می‌دهد که آهنگ توسعه مئاندرها در طی دوره‌ی زمانی ۱۰ ساله اول (۲۰۰۰ تا ۲۰۱۰) بسیار سریع‌تر از دوره‌ی زمانی دوم (۲۰۱۰ تا ۲۰۱۹) بوده است. به طوری که می‌توان گفت آهنگ توسعه‌ی مئاندرها در طی دوره‌ی زمانی ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۰ در حدود سه برابر آهنگ توسعه‌ی مئاندرها در دوره‌ی زمانی ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۹ می‌باشد. براساس نتیجه به دست آمده در این بخش، رودخانه در مسیر مورد مطالعه در بازه‌های سه‌گانه رفتار متفاوتی از نظر تغییرات شاخص‌های زاویه مرکزی و ضریب خمیدگی نشان می‌دهد.



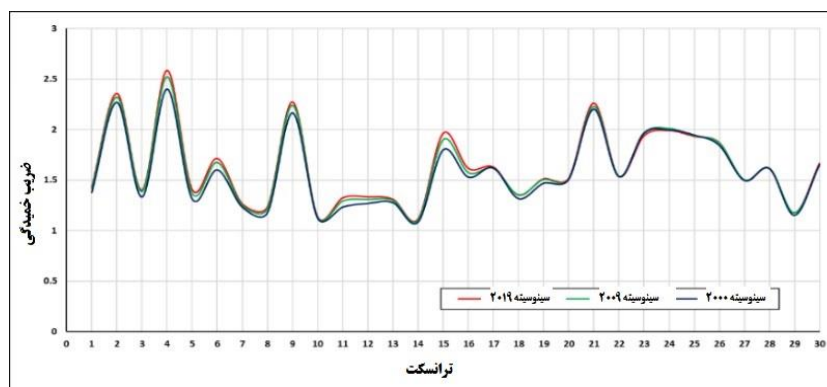
شکل (۴): برازش دایره بر مئاندرهای مجرای رودخانه‌ی قره‌سو در سال ۲۰۱۹ میلادی
 Figure (4): Fitting circles on the meanders of the Gharasu River Canal in 2019



شکل (۵): زاویه‌ی مرکزی و روند تغییرات آن در طی سه دوره‌ی زمانی ۲۰۰۰، ۲۰۱۰ و ۲۰۱۹

Figure (5): Central angle and the trend of its changes over the three time periods of 2000, 2010 and 2019

میانگین ضریب خمیدگی برای کل بازه‌ی مطالعاتی از رودخانه‌ی قره‌سو برای دوره‌های زمانی ۲۰۰۰، ۲۰۱۰ و ۲۰۱۹ به ترتیب برابر با ۱/۵۸، ۱/۶۱ و ۱/۶۳ می‌باشد. در شکل ۶ تغییرات مکانی و زمانی شاخص ضریب خمیدگی در طول رودخانه قره‌سو ارائه شده است. حداکثر مقدار این شاخص در بازه‌ی ۱ و محدوده‌ی ترانسکت ۴ دیده می‌شود. به طوری که مقدار این شاخص در طی سال‌های ۲۰۰۰، ۲۰۱۰ و ۲۰۱۹ به ترتیب در حدود ۲/۴۰، ۲/۵۲ و ۲/۵۸ بوده است که از نوع مئاندري شديد است. این ترانسکت در بالادست پل سامیان واقع شده است. در محدوده‌ی این ترانسکت مجرای رودخانه از واحد کوهستان، واقع در دست راست مجرای رودخانه، فاصله‌ی زیادی دارد و در نتیجه به صورت آزادانه قادر به فرسایش کناره و پیشروی در دشت سیلابی پیرامون رودخانه می‌باشد.

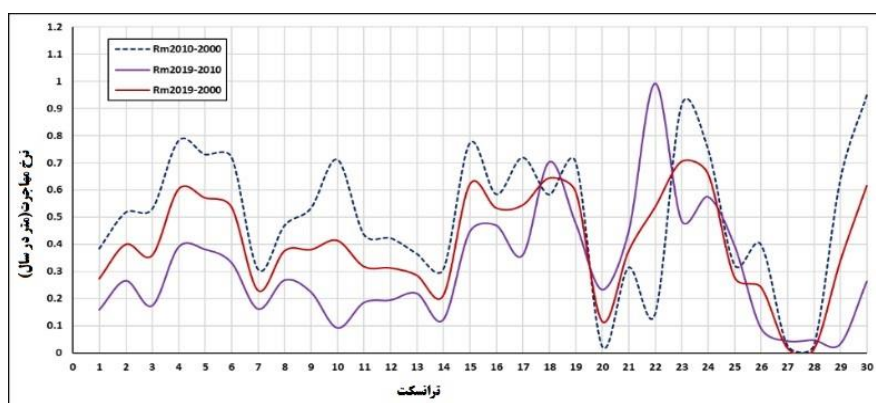


شکل (۶): تغییرات مکانی و زمانی شاخص ضریب خمیدگی در بازه‌ی مطالعاتی از رودخانه‌ی قره‌سو

Figure (6): Spatial and temporal variations of the bending coefficient index over the study period of the Gharasu River

۳-۲- ارزیابی مورفولوژی رودخانه با استفاده از شاخص نرخ مهاجرت

شکل ۷ روند تغییرات مکانی و زمانی مقادیر شاخص نرخ مهاجرت در امتداد ترانسکت‌های مجرای بازه‌ی مطالعاتی از رودخانه‌ی قره‌سو را نشان می‌دهد. میانگین شاخص نرخ مهاجرت (Rm) بازه‌ی مطالعاتی از رودخانه‌ی قره‌سو در طی سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۰ در حدود ۰/۵ متر در سال بوده است. مقدار این شاخص برای دوره‌ی زمانی ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۹ به حدود ۰/۳ متر در سال کاهش یافته است. با توجه به محاسبات صورت گرفته، مقدار این شاخص در طی ۱۹ سال گذشته (از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۹ میلادی) در حدود ۰/۴ متر در سال بالغ می‌شود. آنچه قابل ملاحظه و محسوس است، مربوط به کند شدن دینامیک جانبی مجرا در دوره‌ی زمانی ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۹ نسبت به دوره‌ی زمانی ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۰ است. در واقع نبود میان‌برها در بازه‌ی مطالعاتی رودخانه‌ی قره‌سو را می‌توان به پایین بودن نرخ مهاجرت و جابجایی مئاندرها و در کل، دینامیک پایین تغییرات عرضی رودخانه نسبت داد. بیشترین مقدار شاخص مهاجرت جانبی در طی دوره‌ی زمانی ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۰ با مقدار ۰/۹ متر در سال در ترانسکت ۳۰ اتفاق افتاده است. افزایش ناگهانی مقادیر این شاخص در محدوده‌ی ترانسکت ۳۰ نسبت به ترانسکت‌های بالادست مربوط به شرایط ژئومورفولوژیکی و لیتولوژیکی می‌باشد. در طی دوره‌ی زمانی ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۹ بیشترین مقدار این شاخص با حدود ۰/۹۹ متر در سال در ترانسکت ۲۲ اتفاق افتاده است. این امر نه به دلیل فرسایش کناره بلکه به دلیل یک تغییر مسیر مجرا در عرض دره‌ی خود در یک مقیاس محدود اتفاق افتاده است. این فرایند باعث کوتاه شدگی مجرا در یک مقطع محدود نیز شده است.



شکل (۷): روند تغییرات مکانی و زمانی شاخص نرخ مهاجرت (Rm) در طول مجرای رودخانه‌ی قره‌سو

Figure (7): Spatial and temporal trends of migration rate index (Rm) along the Gharasu River Canal

۳-۳- ارزیابی میزان تغییرات مجرای رودخانه با استفاده از روش ترانسکت

بر اساس محاسبات صورت گرفته با استفاده از روش ترانسکت در طی ۱۹ سال گذشته در مجموع تقریباً ۲۲/۴۵ هکتار از اراضی حاشیه‌ی رودخانه‌ی قره‌سو در بازه‌ی مطالعاتی در نتیجه فرایندهای فرسایشی از دست رفته‌اند. این مقدار در طی دوره‌ی زمانی ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۰ در حدود ۱۳/۷۵ هکتار و در طی دوره‌ی زمانی ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۹ در حدود ۱۰/۲۲ هکتار بوده است. این روش نیز نشان‌دهنده‌ی این است که اولاً آهنگ تغییرات جانبی رودخانه‌ی قره‌سو در بازه مطالعاتی در طی ۱۹ سال گذشته آهسته و کند بوده است و ثانیاً این روند در طی دهه اخیر کاهش محسوس‌ی یافته است. این کاهش مخصوصاً در بازه‌ی ۱ محسوس‌تر بوده است. به طوری که مجموع اراضی فرسایش یافته بازه‌ی ۱، یعنی ترانسکت‌های ۱ تا ۱۰، در طی دوره‌ی زمانی ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۰ بالغ بر ۴/۸۵ هکتار بوده است. در حالی که در طی دوره‌ی زمانی ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۹ به حدود ۱/۶۸ هکتار کاهش یافته است.

جدول (۲) مقادیر محاسبانی تغییرات مورفولوژیکی مجرای رودخانه‌ی قره‌سو با استفاده از روش ترانسکت
Table (2): Computational Values of Morphological Changes of Gharasu River Canal Using Transect Method

ترانسکت	جهت	مساحت در سال ۲۰۰۰ به هکتار	مساحت در سال ۲۰۱۰ به هکتار	مساحت در سال ۲۰۱۹ به هکتار	تغییرات مساحت از ۲۰۱۰ تا ۲۰۰۰	تغییرات مساحت از ۲۰۱۹ تا ۲۰۱۰	تغییرات مساحت از ۲۰۱۹ تا ۲۰۰۰
T _۱	R _۱	۱۱۶/۷۳	۱۱۶/۴۶	۱۱۶/۴۰	-۰/۲۶۶	-۰/۰۶۲	-۰/۳۲۹
	L _۱	۹۴/۰۲	۹۴/۲۹	۹۴/۳۵	۰/۲۶۶	۰/۰۶۲	۰/۳۲۹
T _۲	R _۲	۹۸/۰۷	۹۷/۴۳	۹۷/۱۰	-۰/۶۳۵	-۰/۳۲۸	-۰/۹۶۳
	L _۲	۹۵/۵۰	۹۶/۱۴	۹۶/۴۷	۰/۶۳۵	۰/۳۲۸	۰/۹۶۳
T _۳	R _۳	۵۵/۸۳	۵۵/۵۸	۵۵/۵۵	-۰/۲۵۱	-۰/۰۲۹	-۰/۲۷۹
	L _۳	۷۹/۹۵	۸۰/۲۰	۸۰/۲۳	۰/۲۵۱	۰/۰۲۹	۰/۲۷۹
T _۴	R _۴	۸۱/۹۸	۸۱/۲۲	۸۰/۸۶	-۰/۷۶۱	-۰/۳۶۴	-۱/۱۲۵
	L _۴	۷۷/۹۳	۷۸/۷۰	۷۹/۰۶	۰/۷۶۱	۰/۳۶۴	۱/۱۲۵
T _۵	R _۵	۷۷/۵۶	۷۷/۲۲	۷۷/۱۲	-۰/۳۴۷	-۰/۱۰۱	-۰/۴۴۷
	L _۵	۸۷/۵۴	۸۷/۸۹	۸۷/۹۹	۰/۳۴۷	۰/۱۰۱	۰/۴۴۷
T _۶	R _۶	۹۶/۸۷	۹۶/۶۵	۹۶/۷۷	-۰/۲۱۲	-۰/۱۱۵	-۰/۰۹۷
	L _۶	۱۰۱/۵۲	۱۰۱/۷۴	۱۰۱/۶۲	۰/۲۱۲	۰/۱۱۵	۰/۰۹۷
T _۷	R _۷	۹۲/۸۱	۹۲/۴۹	۹۲/۳۶	-۰/۳۲۴	-۰/۱۳۱	-۰/۴۵۴
	L _۷	۱۰۱/۶۹	۱۰۲/۰۱	۱۰۲/۱۴	۰/۳۲۴	۰/۱۳۱	۰/۴۵۴
T _۸	R _۸	۱۲۰/۰۰	۱۱۹/۵۶	۱۱۹/۳۳	-۰/۴۴۳	-۰/۲۳۱	-۰/۶۷۳
	L _۸	۱۰۹/۵۲	۱۰۹/۹۷	۱۱۰/۲۰	۰/۴۴۳	۰/۲۳۱	۰/۶۷۳
T _۹	R _۹	۱۲۸/۵۲	۱۲۷/۶۱	۱۲۷/۳۷	-۰/۹۰۵	-۰/۲۴۵	-۱/۱۵۰
	L _۹	۱۳۶/۶۴	۱۳۷/۵۴	۱۳۷/۷۹	۰/۹۰۵	۰/۲۴۵	۱/۱۵۰

ادامه‌ی جدول (۲): مقادیر محاسباتی تغییرات مورفولوژیکی مجرای رودخانه‌ی قره‌سو با استفاده از روش ترانسکت

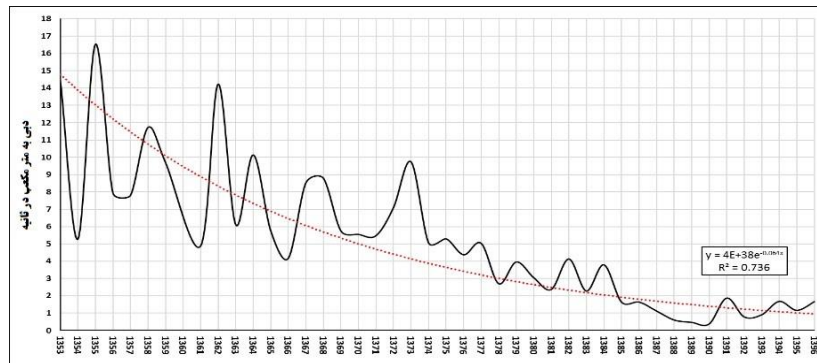
Continued Table (2): Computational Values of Morphological Changes of Gharasu River Canal Using Transect Method

تغییرات مساحت از ۲۰۱۹ تا ۲۰۰۰	تغییرات مساحت از ۲۰۱۹ تا ۲۰۱۰	تغییرات مساحت از ۲۰۱۰ تا ۲۰۰۰	مساحت در سال ۲۰۱۹ به هکتار	مساحت در سال ۲۰۱۰ به هکتار	مساحت در سال ۲۰۰۰ به هکتار	جهت	ترانسکت
-۰/۷۷۸	-۰/۰۷۱	-۰/۷۰۸	۱۲۰/۲۴	۱۲۰/۳۱	۱۲۱/۰۱	R۱۰	T۱۰
۰/۷۷۸	۰/۰۷۱	۰/۷۰۸	۸۰/۴۰	۸۰/۳۳	۷۹/۶۲	L۱۰	
-۰/۴۷۳	-۰/۱۴۲	-۰/۳۳۱	۱۲۷/۵۵	۱۲۷/۶۹	۱۲۸/۰۲	R۱۱	T۱۱
۰/۴۷۳	۰/۱۴۲	۰/۳۳۱	۹۴/۲۸	۹۴/۱۴	۹۳/۸۱	L۱۱	
-۰/۴۶۹	-۰/۱۴۰	-۰/۳۲۹	۱۲۷/۳۰	۱۲۷/۴۴	۱۲۷/۷۷	R۱۲	T۱۲
۰/۴۶۹	۰/۱۴۰	۰/۳۲۹	۷۲/۳۱	۷۲/۱۷	۷۱/۸۴	L۱۲	
-۰/۴۷۹	-۰/۱۸۷	-۰/۲۹۲	۱۱۱/۶۵	۱۱۱/۸۴	۱۱۲/۱۳	R۱۳	T۱۳
۰/۴۷۹	۰/۱۸۷	۰/۲۹۲	۹۰/۳۹	۹۰/۲۰	۸۹/۹۱	L۱۳	
۰/۰۱۱	-۰/۰۶۹	۰/۰۸۰	۱۰۱/۲۲	۱۰۱/۲۹	۱۰۱/۲۱	R۱۴	T۱۴
-۰/۰۱۱	۰/۰۶۹	-۰/۰۸۰	۸۰/۲۸	۸۰/۲۱	۸۰/۲۹	L۱۴	
-۰/۲۴۰	-۰/۱۵۲	-۰/۰۸۸	۸۳/۱۴	۸۳/۲۹	۸۳/۲۸	R۱۵	T۱۵
۰/۲۴۰	۰/۱۵۲	۰/۰۸۸	۱۳۶/۶۶	۱۳۶/۵۰	۱۳۶/۴۲	L۱۵	
-۰/۴۱۷	-۰/۱۸۲	-۰/۲۳۶	۸۵/۶۵	۸۵/۸۳	۸۶/۰۷	R۱۶	T۱۶
۰/۴۱۷	۰/۱۸۲	۰/۲۳۶	۱۰۷/۹۵	۱۰۷/۷۷	۱۰۷/۵۳	L۱۶	
-۱/۵۹۲	-۰/۴۸۱	-۱/۱۱۱	۱۱۵/۰۱	۱۱۵/۴۹	۱۱۶/۶۰	R۱۷	T۱۷
۱/۵۹۲	۰/۴۸۱	۱/۱۱۱	۱۰۷/۸۵	۱۰۷/۳۷	۱۰۶/۲۶	L۱۷	
-۱/۵۱۷	-۰/۸۵۰	-۰/۶۶۷	۱۱۵/۱۴	۱۱۵/۹۹	۱۱۶/۶۶	R۱۸	T۱۸
۱/۵۱۷	۰/۸۵۰	۰/۶۶۷	۱۳۰/۰۲	۱۲۹/۱۷	۱۲۸/۵۱	L۱۸	
-۱/۴۶۰	-۰/۵۷۰	-۰/۸۹۰	۱۳۴/۵۳	۱۳۵/۱۰	۱۳۵/۹۹	R۱۹	T۱۹
۱/۴۶۰	۰/۵۷۰	۰/۸۹۰	۷۹/۵۸	۷۹/۰۱	۷۸/۱۲	L۱۹	
-۰/۲۴۸	-۰/۲۳۴	-۰/۰۱۵	۱۳۴/۰۰	۱۳۴/۲۳	۱۳۴/۲۵	R۲۰	T۲۰
۰/۲۴۸	۰/۲۳۴	۰/۰۱۵	۷۳/۴۹	۷۳/۲۶	۷۳/۲۵	L۲۰	
-۱/۶۸۱	-۰/۹۷۱	-۰/۷۱۰	۱۰۲/۹۶	۱۰۳/۹۳	۱۰۴/۶۴	R۲۱	T۲۱
۱/۶۸۱	۰/۹۷۱	۰/۷۱۰	۱۵۶/۰۲	۱۵۵/۰۵	۱۵۴/۳۴	L۲۱	
-۲/۰۶۲	-۱/۸۱۴	-۰/۲۴۸	۱۴۴/۴۱	۱۴۶/۲۲	۱۴۶/۴۷	R۲۲	T۲۲
۲/۰۶۲	۱/۸۱۴	۰/۲۴۸	۱۷۴/۰۲	۱۷۲/۲۱	۱۷۱/۹۶	L۲۲	
-۲/۰۳۹	-۰/۷۱۵	-۱/۳۲۴	۸۲/۳۰	۸۳/۰۱	۸۴/۳۴	R۲۳	T۲۳
۲/۰۳۹	۰/۷۱۵	۱/۳۲۴	۱۹۱/۱۰	۱۹۰/۳۸	۱۸۹/۰۶	L۲۳	
-۱/۹۰۵	-۱/۱۴۰	-۰/۷۶۵	۸۴/۵۳	۸۵/۶۷	۸۶/۴۳	R۲۴	T۲۴
۱/۹۰۵	۱/۱۴۰	۰/۷۶۵	۱۸۷/۰۹	۱۸۵/۹۵	۱۸۵/۱۹	L۲۴	

ادامه‌ی جدول (۲): مقادیر محاسباتی تغییرات مورفولوژیکی مجرای رودخانه‌ی قره‌سو با استفاده از روش ترانسکت
Continued Table (2): Computational Values of Morphological Changes of Gharasu River Canal Using Transect Method

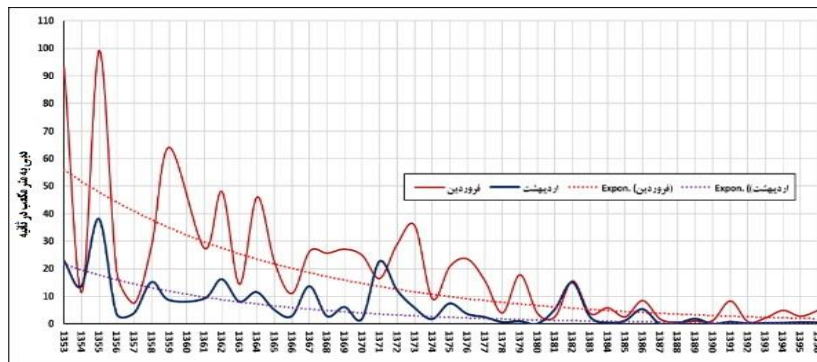
ترانسکت	جهت	مساحت در سال ۲۰۰۰ به هکتار	مساحت در سال ۲۰۱۰ به هکتار	مساحت در سال ۲۰۱۹ به هکتار	تغییرات مساحت از ۲۰۱۰ تا ۲۰۰۰	تغییرات مساحت از ۲۰۱۹ تا ۲۰۱۰	تغییرات مساحت از ۲۰۱۹ تا ۲۰۰۰
T۲۵	R۲۵	۱۸۲/۱۱	۱۸۲/۱۹	۱۸۱/۸۱	۰/۰۷۵	-۰/۳۸۲	-۰/۳۰۷
	L۲۵	۱۰۳/۹۷	۱۰۳/۸۹	۱۰۴/۲۷	-۰/۰۷۵	۰/۳۸۲	۰/۳۰۷
T۲۶	R۲۶	۱۷۰/۶۹	۱۷۱/۲۹	۱۷۱/۲۰	۰/۵۹۴	-۰/۰۹۰	۰/۵۰۴
	L۲۶	۱۵۸/۷۹	۱۵۸/۲۰	۱۵۸/۲۹	-۰/۵۹۴	۰/۰۹۰	-۰/۵۰۴
T۲۷	R۲۷	۱۴۷/۶۹	۱۴۷/۶۹	۱۴۷/۷۰	۰/۰۰۱	۰/۰۰۹	۰/۰۱۰
	L۲۷	۱۴۲/۴۴	۱۴۲/۴۴	۱۴۲/۴۳	-۰/۰۰۱	-۰/۰۰۹	-۰/۰۱۰
T۲۸	R۲۸	۲۲۰/۸۷	۲۲۰/۸۷	۲۲۰/۸۸	-۰/۰۰۳	۰/۰۰۹	۰/۰۰۶
	L۲۸	۱۲۴/۴۲	۱۲۴/۴۲	۱۲۴/۴۲	۰/۰۰۳	-۰/۰۰۹	-۰/۰۰۶
T۲۹	R۲۹	۱۶۵/۶۲	۱۶۵/۹۸	۱۶۵/۹۸	۰/۳۶۱	۰/۰۰۳	۰/۳۶۳
	L۲۹	۱۵۵/۸۹	۱۵۵/۵۳	۱۵۵/۵۲	-۰/۳۶۱	-۰/۰۰۳	-۰/۳۶۳
T۳۰	R۳۰	۱۲۹/۶۶	۱۲۸/۸۹	۱۲۹/۳۰	-۰/۷۷۶	۰/۴۱۰	-۰/۳۶۶
	L۳۰	۱۶۹/۳۴	۱۷۰/۱۲	۱۶۹/۷۱	۰/۷۷۶	-۰/۴۱۰	۰/۳۶۶

در مورد کاهش محسوس نرخ تغییرات جانبی مجرای رودخانه در بازه‌ی ۱ کاهش دبی رودخانه‌ی قره‌سو در طی سال‌های اخیر نقش قاطع و تعیین‌کننده‌ای داشته است. در طی سال‌های اخیر دبی رودخانه‌ی قره‌سو در بازه‌ی مطالعاتی کاهش بسیار شدیدی داشته است. در شکل ۹ تغییرات میانگین سالانه دبی رودخانه‌ی قره‌سو در ایستگاه سامیان (نزدیک پل سامیان) ارائه شده است. کاهش شدید دبی رودخانه‌ی قره‌سو در این ایستگاه به طور مشخصی قابل مشاهده است. این کاهش مخصوصاً از سال ۱۳۸۳ به نحو بارزی اتفاق افتاده است. این کاهش شدید علاوه بر خشکسالی‌های دهه‌ی اخیر و برداشت و انحراف آب از رودخانه‌ی قره‌سو، مربوط به بهره‌برداری از سد یامچی در بالادست این رودخانه می‌باشد. همچنین در شکل ۹ تغییرات میانگین دبی ماهانه رودخانه‌ی قره‌سو در ایستگاه سامیان برای دو ماه فروردین و اردیبهشت (به عنوان ماه‌های با بیشترین میزان دبی رودخانه) ارائه شده است. روند کاهشی دبی‌های ماهانه‌ی رودخانه در این نمودار به روشنی قابل مشاهده است. بنابراین کاهش محسوس نرخ تغییرات جانبی مجرای رودخانه‌ی قره‌سو در بازه‌ی مطالعاتی، مخصوصاً بازه‌ی ۱، در ارتباط با کاهش بسیار شدید دبی رودخانه می‌باشد.



شکل (۸): تغییرات میانگین دبی سالانه رودخانهی قره‌سو در ایستگاه هیدرومتری سامیان

Figure (8): Changes in the annual mean discharge of the Gharasu River at the Samian Hydrometric Station



شکل (۹): تغییرات میانگین دبی ماهانه رودخانهی قره‌سو در ایستگاه هیدرومتری سامیان

Figure (9): Changes in Monthly Average Discharge of Gharasu River at Samian Hydrometric Station

۴- نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد که در رودخانهی قره‌سو در بازه مطالعاتی ۱۹ ساله در بیشتر قسمت‌ها دارای یک الگوی مئاندری توسعه‌یافته می‌باشد. مئاندرهای بازه‌ی ۱ از نوع مئاندرهای آزاد می‌باشند و از پتانسیل زیادی جهت توسعه و پیشروی در دشت سیلابی برخوردار می‌باشند. نتایج دو شاخص ضریب خمیدگی و زاویه مرکزی کورنیس نیز نشان می‌دهد که مئاندرهای رودخانه در این بازه در طی دوره‌های زمانی مطالعاتی توسعه یافته‌اند به طوری که برای اکثر مئاندرها زاویه‌ی مرکزی در طی ۱۹ سال گذشته یک روند افزایشی را نشان می‌دهد. با وجود این، این فرایند دارای سرعت عمل بسیار پایینی بوده است و مئاندرها از تحرک و جابجایی چندانی برخوردار نیستند. این روند در طی دهه‌ی اخیر (دوره‌ی زمانی ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۹) محسوس‌تر بوده است و در طی این دوره برای تعداد زیادی از مئاندرها مقدار زاویه مرکزی تغییرات چندانی نداشته است. در بازه‌ی ۲ عرض دشت سیلابی و

فعالیت‌های انسانی تعیین‌کننده‌ی تغییرات مکانی زاویه مرکزی مئاندرها بوده است. به طوری که در مقاطعی رودخانه دارای دشت سیلابی نسبتاً وسیعی می‌باشد و برعکس در مقاطعی رودخانه در بستری تنگ و باریک در حال جریان است و مئاندرهای رودخانه از نوع محصور می‌باشند. در بازه‌ی ۳ علی‌رغم درجه ناهمواری بالا، الگوی رودخانه از نوع مئاندری توسعه یافته می‌باشد. تفاوت اساسی مئاندرهای این بازه نسبت به مئاندرهای بازه‌های دیگر مربوط به محصور بودن این مئاندرها می‌باشد و در نتیجه مئاندرهای این بازه در اکثر مقاطع از نوع مئاندرهای غیرفعال می‌باشند. به طوری که مقدار زاویه مرکزی کورنیس برای اکثر مئاندرهای رودخانه در این بازه در طی سه دوره زمانی مطالعاتی ثابت و بدون تغییر بوده است. نتایج حاصل از دو شاخص نرخ مهاجرت مجرا و روش ترانسکت نیز تأیید می‌کند که در مجموع، تغییرات عرضی مجرای رودخانه‌ی قره‌سو از آهنگ پایینی برخوردار است. همچنین، این دو شاخص مشابه شاخص ضریب خمیدگی و زاویه مرکزی کورنیس، نشان می‌دهند که در دهه‌ی اخیر دینامیک عرضی به شدت کاهش یافته است. با وجود این در حالت تطبیقی و مقایسه‌ای، این دو شاخص تحرک‌هایی را در بازه‌های کوهستانی نیز نشان می‌دهند که عمدتاً ناشی از تغییرات عرض رودخانه (به صورت تنگ شدگی و عریض شدگی) و همچنین انحراف‌ها و تغییر مسیرهای کوچک مقیاس بوده است. دلیل اساسی کاهش دینامیک عرضی مجرای رودخانه‌ی قره‌سو، مخصوصاً در بازه‌ی دشتی ۱، مربوط به کاهش بسیار شدید دبی رودخانه‌ی قره‌سو در طی سال‌های اخیر می‌باشد. این کاهش دبی می‌تواند دلایل متعددی مانند خشکسالی‌ها داشته باشد اما مهم‌ترین دلیل آن مربوط به احداث سد یامچی بر روی رودخانه‌ی بالخلی‌چای می‌باشد. این سد علاوه بر ذخیره‌ی حجم زیادی از آب و رسوب در بالادست خود، دبی‌های اوج رودخانه را نیز به شدت کاهش می‌دهد و در نتیجه دینامیک عرضی رودخانه کاهش پیدا می‌کند. با توجه به موارد فوق‌الذکر می‌توان گفت که در آینده با ادامه روند فعلی، دینامیک عرضی مجرا در بازه‌ی ۱ و بالادست بازه‌ی ۲ باز هم کاهش خواهد یافت. اما، دینامیک عرضی در بازه‌های کوهستانی با توجه به دریافت رواناب‌های دامنه‌های شرقی و غربی خود همچنان پابرجا باقی خواهد ماند.

۵-منابع

- Amsler Mario, L., Ramonell, C.G., & Toniolo, H.A. (2005). Morphologic changes in the Parana' River channel (Argentina) in the light of the climate variability during the 20th century. *Geomorphology*, 70(2), 257-278.
- Asghari Sarasekanrood, S. (2017). Analysis of pattern Shape of the Kalghan Chay River (Kalghan Dam Interbound to the Qarangoo River). *Quantitative Geomorphology*, 6(2), 116-132.
- Bag, R., Mondal, I., & Bandyopadhyay, J. (2019). Assessing the oscillation of channel geometry and meander migration cardinality of Bhagirathi River, West Bengal, India. *Journal of Geographical Sciences*, 29 (4), 613-634.
- Batalla, R.J., Iroume, A., Hernandez, M., Llena, M., & Vericat, D. (2018). Recent geomorphological evolution of a natural river channel in a Mediterranean Chilean basin. *Geomorphology*, 30(3), 322-337.
- Chaiwongsaen, N., Nimnate, P., & Choowong, M. (2019). Morphological Changes of the Lower Ping and Chao Phraya Rivers North and Central Thailand: Flood and Coastal Equilibrium Analyses. *OpenGeosci*, 11(1): 152-171.
- Deputy of Strategic Planning and Monitoring. (2012). Guide to River Morphological Studies, 592.
- Dewan, A., Corner, R., Saleem, A., Rahman, M.M., Haider, M R., & Sarker, M.H. (2017). Assessing channel changes of the Ganges-Padma River system in Bangladesh using Landsat and hydrological data. *Geomorphology*, 27(6), 257-279.
- Esfandiari Darabad, F., Rahimi, M., Lotfi, K., & Ebadi, E. (2019). Detecting lateral changes of the Ghezel Ozan River channel from 1993 to 2013. *Journal of Geographical Sciences*, 20(57), 113- 124.
- Esmaili, R., Hosseinzadeh, M.M., & Motavoli, S. (2011). Field Techniques in River Geomorphology, Lahout Publishing Institute Publications. First Edition.
- Feyisa, G., Meilby, H., Fensholt. R., & Proud, S. (2014). Automated water extraction index: a new technique for surface water mapping using landsat imagery. *Remote sensing of environment*, 14(1), 23-35.
- Kibet Langat, F., Kumar, L., & Koech, R. (2019). Monitoring river channel dynamics using remote sensing and GIS techniques. *Geomorphology*, 32(5), 92-102.
- Maghsoudi, M., Sharifi, S., & Maghami, Y. (2010). Trend of Morphological Pattern Changes in Khorramabad River Using RS, GIS and Auto Cad. *Lecturer of Humanities - Space Planning and Preparation*, 14(3), 275-294.
- Matyas, M.L.A. (2015). Methods of analysis the riverbed evolution case study of two tributaries of the upper Vistula River. *Oddzial w Krakowie*, 11(3), 1313-1327.

- Minh Hai, D., Umeda Sh., & Yuhi, M. (2019). Morphological Changes of the Lower Tedor River. *Japan water*, 18(52), 2-17.
- Oorschot, M.V., Kleinhans, M., Buijse, T., Geerling, G., & Middelkoop, H. (2018). Combined effects of climate change and dam construction on riverine ecosystems. *Ecological Engineering*, 12(1), 329-344.
- Rahimi, M. (2017). Evaluation of the Impact of Land Use Changes on the Morphology of the Gharasu River Canal from Sabalan Dam to the Ahar Chai River Crossing. A Ph.D. dissertation on the geomorphology of environmental management trends under the guidance of Dr. Mohammad Hossein Rezaei Moghadam, *Faculty of Planning and Environmental Sciences*, University of Tabriz.
- Rajabi, M., Roostaei, S., & Akbari, B. (2019). Investigation of Meandering Pattern of Aji-Chay River Using Central Angle Indices and Curvature coefficient (Area between Bakhshayesh and Khajeh). *Journal of Hydrogeomorphology*, 5(20), 21-40.
- Rezaei Moghadam, M.H., Khairizadeh, M., & Rahimi, M. (2016). Investigation of the lateral displacement of the Aras River channel from 2000 to 2014 (15 km west of Aslanduz city to the river exit of the Iranian political range). *Geography and environmental planning*, 27(3), 15-32.
- Yamani, M., & Sharifi, S. (2012). Geomorphology and Effects of Lateral Erosion on Herood River in Lorestan Province. *Journal of Geography and Environmental Planning*, 23(45), 15-32.