

An Investigation of Morphological Changes of Azadroud River Pattern using Geometric Indices

Mohammad Hossein Rezaei Moghadam ^{1*}, Mohammad Reza Nikjoo ², Hesam Maleki ³

¹ Department of Geomorphology, University of Tabriz, Tabriz, Iran

² Department of Geomorphology, University of Tabriz, Tabriz, Iran

³ Student of geomorphology, University of Tabriz, Tabriz, Iran

Abstract

River pattern variations are one of the most important river engineering issues. In order to achieve this goal, using field observations, a 1: 1000 topographic map was prepared and extracted using Landsat and Google Earth satellite images in the GIS environment of the studied areas. By digitizing the river route in AutoCAD, the geometric parameters of the river (central angle, relative radius, plan shape, torsional coefficient) were calculated on the images. The results indicated that in Azad River, the winding river at 40% relative has a radius of more than 3.5. In 30% relative radius bends in river is 1.5 to 3.5. In addition, about 30 percent of the stress concentration around the inner corners is the main river. According to the findings, the probability of serious and significant changes in the period of study, Azad River is small. Intervals that are unstable are likely to need special attention in the context of their privacy be determined. Among the intervals, there are nine critical intervals that include intervals of 58,56,47,41,29,26,24,20,18. Therefore, it is necessary to determine the bed boundaries.

Key words: Morphological Changes, River Patterns, Sirvan Catchment, Azad River, Winding River.

بررسی تحولات مورفولوژیکی الگوی رودخانه آزاد رود با استفاده از شاخص‌های هندسی

محمدحسین رضائی مقدم^{*}، استاد گروه ژئومورفولوژی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

محمد رضا نیکجو، دانشیار گروه ژئومورفولوژی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

حسام ملکی، دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

وصول: ۱۳۹۴/۱۰/۰۵ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۴/۲۷، صص ۱-۱۶

چکیده

تغییرات الگوی رودخانه یکی از مهم‌ترین مسائل مهندسی رودخانه است که بر فعالیت‌ها و سازه‌های عمرانی حاشیه رودخانه تأثیر می‌گذارد. مطالعه تغییرات مورفولوژیکی کانال‌های رودخانه‌ای به منظور یافتن راهکارهای کنترلی مناسب برای حل مشکلات دینامیکی این نواحی اهمیت دارد. هدف اصلی مقاله حاضر بررسی تحولات مورفولوژیکی و الگوی رودخانه‌ای آزاد رود از راه شاخص‌های هندسی و تصاویر ماهواره‌ای است؛ برای دستیابی به این هدف، نقشه توپوگرافی ۱:۱۰۰۰ منطقه با استفاده از برداشت‌های میدانی تهیه و با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست و گوگل‌ارث در محیط GIS، بازه‌های مطالعه استخراج شدند. با رقوم‌سازی مسیر رودخانه در اتوکد، شاخص‌های هندسی رودخانه (زاویه مرکزی، شعاع نسبی، شکل پلان، ضریب پیچشی) ۵۹ بازه روی تصاویر محاسبه شدند. نتایج نشان می‌دهند شعاع نسبی ۴۰ درصد قوس‌های مثانداری در رودخانه آزاد رود بیش از ۳/۵ و تمرکز تنش در ناحیه انتهایی قوس خارجی است و نگرانی خاصی درباره این بازه‌ها وجود ندارد. شعاع نسبی ۳۰ درصد قوس‌های پیچان‌رود بین ۱/۵ تا ۳/۵ است و بنابراین تمرکز تنش در حدود ۳۰ درصد پیچ‌وخم رودخانه در ابتدای قوس داخلی و انتهای قوس خارجی است. همچنین تمرکز تنش در حدود ۳۰ درصد پیچ‌وخم تنه اصلی رودخانه در سراسر قوس داخلی است و باید توجه ویژه‌ای به این پیچان‌رودها داشت. شرایط تقریباً پایداری در بیشتر بازه‌های رودخانه آزاد حاکم است و بجز در برخی بازه‌ها که فرسایش جزئی دارند، ناپایداری‌های حادی در سایر بخش‌ها دیده نمی‌شود. لازم است در تعیین حریم بستر به ۹ بازه بحرانی ۱۸، ۲۰، ۲۴، ۲۶، ۲۹، ۴۱، ۴۷، ۵۶ و ۵۸ توجه ویژه شود.

واژه‌های کلیدی: تحولات مورفولوژیکی، الگوی رودخانه، حوضه سیروان، آزاد رود، پیچان‌رود.

مقدمه

الگوی پیچان‌رودی به علت فراوانی آن در طبیعت بیشترین توجه را به خود جلب کرده است (Thorne, Biedenharn et al., 1997: 57) (۲۰۰۲)، رفتار مورفولوژیکی رودخانه‌های بزرگ را بررسی و چارچوبی برای مطالعه در این زمینه ارائه کرده که تأکید آن بر پایش منظم ویژگی‌های مورفولوژیک رودخانه با استفاده از روش‌های نوین است.

پیچان‌رودها در محدوده‌هایی که دیواره دشت‌های سیلابی از مواد سست تشکیل شده‌اند، تعیین‌کننده بیلان رسوبات در مسیر جریان رودخانه‌ها و باتوجه‌به ویژگی‌های محل تشکیل، تعیین‌کننده میزان فرسایش در بخش‌های میانی و کناره دشت‌های سیلابی هستند. باتوجه‌به مسائل و مشکلاتی که این چشم‌اندازهای رودخانه‌ای در مسیر تشکیل پدید می‌آورند، پژوهشگران مختلف پژوهش‌هایی برای گشودن راز تشکیل و آثار توسعه آنها انجام داده‌اند؛ از جمله Amslera و همکاران (۲۰۰۵)، Abad و Marcelo (۲۰۰۶)، Deak و Tarkanyi (۲۰۰۶)، Ruter و Olsen (۲۰۰۷)، Malik و Marcin (۲۰۰۷)، Verhaar و همکاران (۲۰۰۸)، Lofthouse و Andre (۲۰۰۸)، Makaske و همکاران (۲۰۰۹)، Zamolyi و همکاران (۲۰۱۰) و Phillips (۲۰۱۱) که مئاندرها و الگوهای رودخانه‌ای مناطق مختلف جهان را بررسی کرده‌اند. پژوهشگران یادشده مورفولوژی رودخانه‌ها که الگوهای مختلفی مانند مئاندری شدن، مستقیم‌شدن و حالت قیطانی بستر را تعیین می‌کنند، به کمک شاخص‌های هندسی مطالعه و بررسی کرده‌اند.

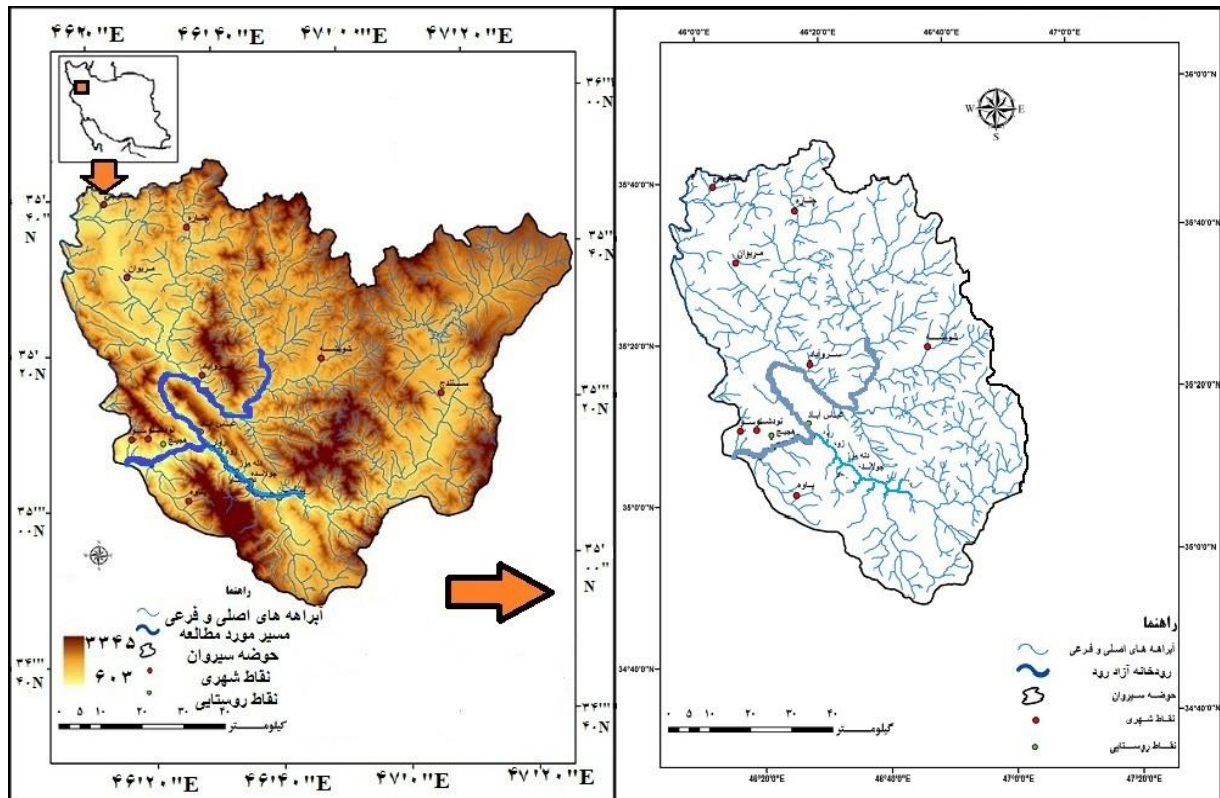
اگرچه مورفولوژی الگوی بستر رود طی زمان تابع عوامل متعددی مانند جنس سازندهای

رودخانه‌ها سیستم‌های کاملاً پویایی هستند که الگوی مورفولوژیک آن‌ها به‌طور پیوسته در طول زمان تغییر می‌کند و از این‌رو، فرسایش کناری و آسیب‌رسانی به تأسیسات ساحلی و جابه‌جایی مرزها را در پی دارند. اگرچه عوامل مختلفی مانند انحراف آبراهه در کناره‌ها، کف‌کنی رود، فعالیت‌های انسانی، اختلاف سازند بستر و سیل‌خیزی باعث تخریب دیواره، کف بستر و تغییر الگوی مجاری می‌شوند (یمانی و شرفی، ۱۳۹۱: ۳۶) غالباً یک یا دو عامل، تغییرات را کنترل می‌کنند. بررسی الگوی رودخانه‌ها برای درک شرایط کنونی و پتانسیل تغییرات احتمالی آن‌ها در آینده ضروری است و تنها از این راه، واکنش طبیعی آن‌ها نسبت به تغییرات طبیعی و یا اقدام‌های ناشی از طرح‌های اصلاح مسیر و تثبیت کناره‌ها پیش‌بینی و میزان جابه‌جایی، تغییرات ابعاد و الگوی آنها تشخیص داده می‌شود (چورلی و همکاران، ۱۳۷۹: ۲۱۱). مورفولوژی رودخانه‌ها از دیدگاه‌های مختلف از جمله زمین‌شناسی، نوع مسیر، لایه‌بندی، دانه‌بندی مصالح بستر و سواحل و قدرت و انرژی سیلاب‌ها درخور بررسی است (Breach, 2008: 16). رودخانه‌ها در طول خود با تغییرات شیب مواجه هستند و گاهی شیب بسیار تندی در بازه‌های بالادست و کوهستانی دارند که به علت تبعیت رودخانه از توپوگرافی زمین است. شیب در طول رودخانه کاهش می‌یابد؛ به‌طوری‌که شیب کم رودخانه در بازه‌های انتهایی موجب شریانی و پیچان‌رودی شدن آن می‌شود. طبق نظر بسیاری از ژئومورفولوگ‌ها، بسترهای رودخانه‌ای با ضریب قوس پیچان‌رودی بیشتر از ۱/۵، حالت مئاندری شدیدی دارند (Leopold and Wolman, 1997: 102). در بین الگوهای رودخانه،

منطقه مطالعه شده

حوضه رودخانه سیروان با مساحت ۹۶۴۰ کیلومترمربع در جنوب غربی استان کردستان و بین مختصات جغرافیایی $34^{\circ}40'$ تا $35^{\circ}40'$ عرض شمالی و $46^{\circ}20'$ تا $47^{\circ}20'$ طول شرقی قرار دارد. مساحت حوضه این رودخانه در استان کردستان ۷۴۵۰ کیلومترمربع است که ۲۱۸۵ کیلومترمربع آن در استان کرمانشاه واقع شده است که تقریباً یک پنجم آن در منطقه کوهستانی قرار دارد. حوضه سیروان از دیدگاه زمین‌شناسی در دو پهنه سنندج - سیرجان و زاگرس مرتفع قرار دارد و گسل زاگرس، خط تقسیم این دو پهنه است. بخشی از حوضه این رودخانه در محدوده کرمانشاه، جزو زاگرس رورانده و بقیه حوضه که از غرب میروان شروع می‌شود و تا شرق سنندج ادامه می‌یابد، جزو پهنه سنندج - سیرجان است. منطقه مطالعه شده در پژوهش حاضر، آزاد رود است که از زیرحوضه‌های نیمه جنوبی بخش غربی حوضه سیروان محسوب می‌شود (شکل ۱) و ازدامنه‌های کوه چهل چشمه سرچشمه می‌گیرد و با جهت شمالی - جنوبی در جنوب غربی سروآباد، در روستای قلعه جی با رودخانه گاران تلاقی می‌کند و در نهایت، با عبور از یک کانیون به سمت غرب تغییر مسیر می‌دهد و از جنوب شهر نوسود وارد خاک کشور عراق می‌شود. این رودخانه دارای جریان آب دائمی است و حوضه این رودخانه از نظر توپوگرافی جزو حوضه‌های کوهستانی محسوب می‌شود. منطقه از نظر اقلیمی عموماً دارای آب‌وهوای نیمه خشک، زمستان سرد با برف و یخبندان و تابستان معتدل است. رژیم بارندگی منطقه، مدیترانه‌ای است و بخش اعظم بارندگی در فصل سرد سال اتفاق می‌افتد.

زمین‌شناسی، دبی سیلاب، تغییرات ایجاد شده به وسیله عوامل انسانی، پوشش گیاهی، توپوگرافی و حرکت‌های تکتونیکی است، بررسی‌های آماری الگوهای پیچان رودی نشان می‌دهند مورفولوژی از تعدادی قواعد زمین‌آماری تبعیت می‌کند؛ به عبارتی، الگوی سینوسی بستر رودها تابع نقش غالب فرایندها و مجموعه عواملی است که طی زمان اعمال می‌شوند (نوحه‌گر و یمانی، ۱۳۸۴: ۶۶). در ایران نیز پژوهشگرانی مانند عشقی (۱۳۸۲)، یمانی و حسین‌زاده (۱۳۸۳)، نوحه‌گر و یمانی (۱۳۸۴)، بیاتی خطیبی (۱۳۸۵)، محمودی و همکاران (۱۳۸۷)، رضایی مقدم و خوشدل (۱۳۸۸)، حسین‌آبادی و بجستان (۱۳۸۸)، رضایی مقدم و همکاران (۱۳۹۱)، شایان و دهستانی (۱۳۹۱)، مهندسان مشاور یکم (۱۳۹۱)، بیاتی خطیبی (۱۳۹۲)، کهربائیان و همکاران (۱۳۹۳) و رضایی مقدم و همکاران (۱۳۹۵) مائندهای رودخانه‌ای و زاویه مرکزی آن‌ها را بررسی کرده‌اند که بیان‌کننده کاربرد الگوهای زمین‌آماری در تعیین الگوی پیچان رودهاست. مطالعه تحولات مورفولوژیکی پیچان رودها یکی از مهم‌ترین مسائل کنترل و مدیریت رودخانه‌هاست. آزاد رود یکی از سرشاخه‌های حوضه بزرگ سیروان در غرب ایران و نیمه جنوبی بخش غربی استان کردستان است که تغییرات بسیاری طی دهه‌های اخیر داشته و هر گونه شناخت درباره این تحولات دارای اهمیت اساسی از نظر مهندسی کنترل رود است. پرسش اصلی پژوهش حاضر اینست که تحولات مورفولوژی بستر و الگوی رودخانه آزاد طی دهه‌های اخیر چگونه بوده است؟ و این تحولات در کدام بازه‌ها بیشتر بوده‌اند و بازه‌های بحرانی رودخانه کدامند؟



شکل ۱. منطقه جغرافیایی مطالعه‌شده و موقعیت آن در کشور و استان

مواد و روش‌ها

GIS ترسیم شد. اطلاعات هیدرولوژیکی و هندسی رودخانه و نقشه توپوگرافی با مقیاس ۱:۱۰۰۰ تهیه شدند.

۲. با رقوم‌سازی مسیر رودخانه در محیط نرم‌افزار اتوکد، شاخص‌های هندسی رودخانه (زاویه مرکزی، شعاع نسبی، شکل پلان، ضریب پیچشی) ۵۹ بازه روی تصاویر محاسبه شدند.

۳. برای محاسبه شاخص‌های هندسی به پلان مسیر رودخانه نیاز است؛ بنابراین مسیر رودخانه با استفاده از تصاویر و نقشه‌های موجود روی مدارک یادشده ترسیم و با عملیات میدانی کنترل شد.

۴. پلان رودخانه با مختصات دارکردن تصاویر ماهواره‌ای در محیط نرم‌افزار GIS استخراج و

روش عمومی پژوهش حاضر، تجربی با تأکید بر مطالعه‌های میدانی و هدف اصلی آن، بررسی تحولات مورفولوژیکی و الگوی رودخانه آزاد رود با استفاده از شاخص‌های هندسی رودخانه است. در پژوهش حاضر از مواد و ابزارهایی مانند نقشه توپوگرافی بزرگ مقیاس ۱:۱۰۰۰، تصاویر ماهواره‌ای لندست رقوم‌ی شده در محیط نرم‌افزارهای GIS و DEM با دقت ۳۰ متر از بازه مطالعه‌شده و برداشت‌های ناشی از پیمایش میدانی در ۵۹ بازه از مسیر بستر رودخانه استفاده شد. مراحل انجام پژوهش به شرح زیر است:

۱. موقعیت بازه‌ها با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست و گوگل‌ارث جستجو و شناسایی و موقعیت دقیق بازه‌ها با پیمایش میدانی کنترل و در نرم‌افزار

محاسبه و اندازه‌گیری می‌شود؛ برخی شاخص‌ها در بررسی تحولات مورفولوژیکی و طبقه‌بندی الگوی رودخانه‌ها استفاده می‌شوند و اهمیت دارند (دولتی، ۱۳۸۷: ۱۲۷). از آنجاکه باید رودخانه پدیده‌ای پویا و دارای سیر تکامل در نظر گرفته شود، تغییرات هندسی ایجادشده در رودخانه آزاد سبب بروز رفتار هیدرولیکی جدید در رودخانه شده است.

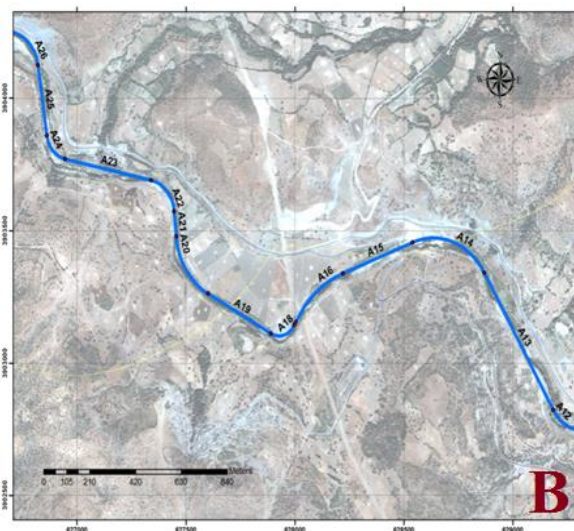
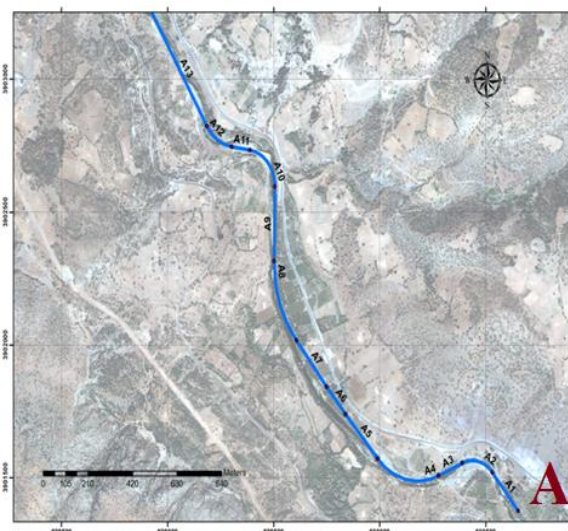
بازه‌بندی رودخانه آزاد رود برای استخراج شاخص‌های هندسی ارائه شده است (شکل ۲). معیار اصلی بازه‌بندی، تغییرات پلان رودخانه است؛ به شکلی که کمترین تغییر در پلان رودخانه سبب ایجاد بازه جدیدی می‌شود. محاسبه‌ها و بررسی‌های کامل درباره ۵۹ بازه از رودخانه آزاد انجام و نتایج در جدول (۱) آورده شده است.

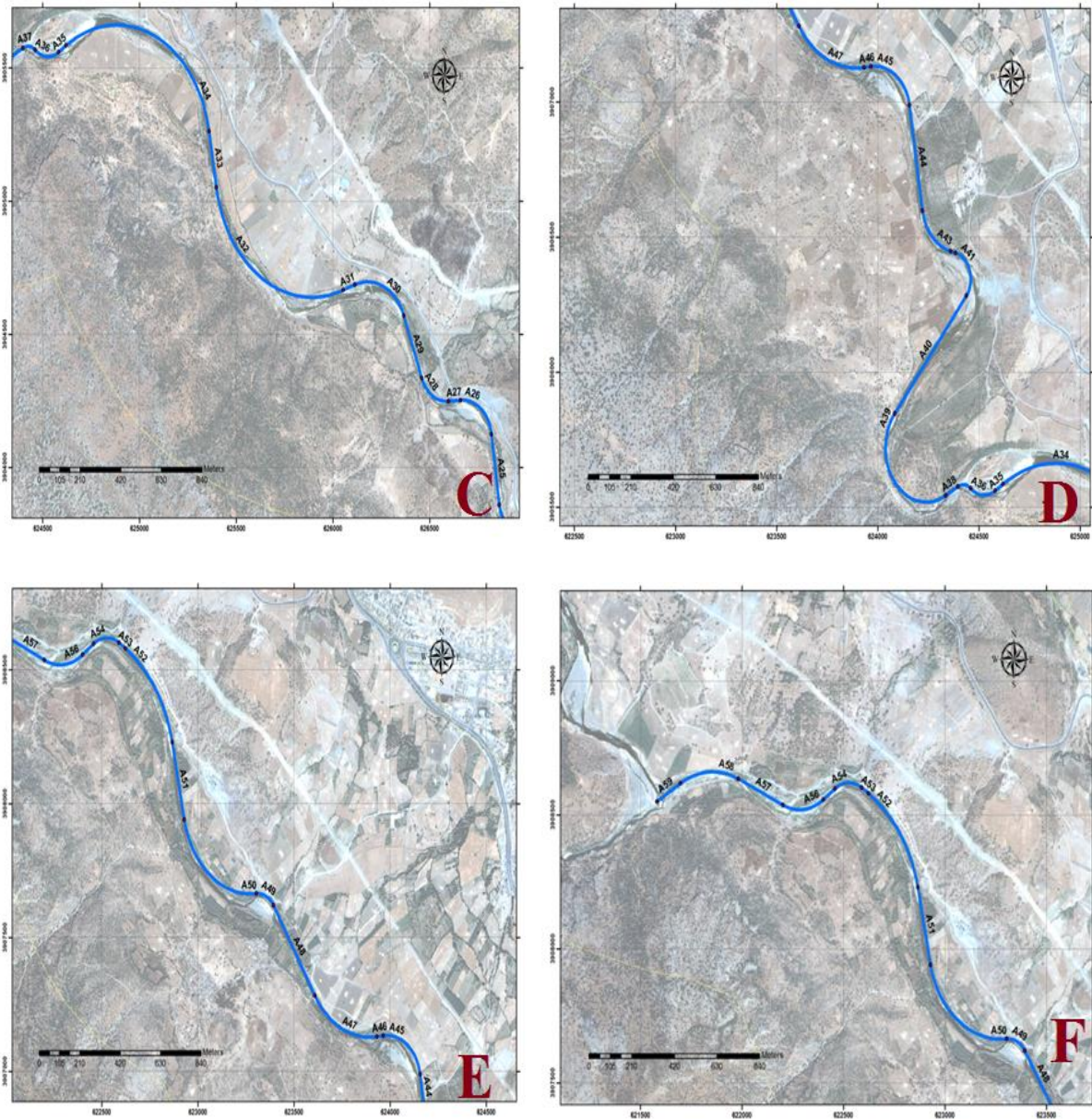
شاخص‌های هندسی رودخانه در محیط نرم‌افزار اتوکد اندازه‌گیری شدند.

۵- تحلیل جامعی روی عوامل مورفولوژیکی رودخانه انجام و اطلاعات لازم نظیر زاویه قوس‌ها، طول و عرض متوسط قوس‌ها استخراج و شاخص‌های لازم برای تحلیل نظیر شعاع نسبی و ضریب پیچشی بازه‌های متوالی رودخانه محاسبه شدند. تغییرات پلان رودخانه، معیار بازه‌بندی قرار گرفت و در مجموع، ۵۹ بازه محاسبه و بررسی شدند.

یافته‌های پژوهش

طبقه‌بندی و شناسایی طبقات هیدرولیکی و هیدروفیزیکی رودخانه‌ها به شکل شاخص‌های کمی





شکل ۲. بازه‌بندی رودخانه آزاد برای استخراج شاخص‌های هندسی در محدوده منطقه مطالعه. A: ابتدای منطقه مطالعه
 پلان رودخانه مستقیم و مناندر توسعه‌نیافته، B: پلان رودخانه مستقیم و شبه‌ماندری، C: پلان رودخانه مستقیم و
 سینوسی، D: ماندری، E: مستقیم و سینوسی، F: شبه‌ماندری

جدول ۱. شاخص‌های هندسی استخراج شده و محاسباتی رودخانه آزاد

شماره بازه	کیلومتر از		طول بازه	طول مستقیم	زاویه (درجه)	شعاع (متر)	ضریب پیچشی	عرض متوسط	شعاع نسبی	نوع رودخانه بر اساس			تغییر طول
	ابتدا	انتهای								شکل پلان	ضریب پیچشی	زاویه مرکزی	
۱	۰+۰۰/۰۰	۱+۸۹/۰۱	۱۸۹/۰۱					۷۵/۳۷		مستقیم	مستقیم	مستقیم	
۲	۱+۸۹/۰۱	۳+۴۵/۵۳	۱۵۶/۵۲	۱۴۶/۲۳	۷۲/۷۰	۱۲۳/۳۶	۱/۰۳	۷۱/۱۹	۴/۳۶	مماندري	مستقیم	توسعه نیافته	گسترش
۳	۳+۴۵/۵۳	۴+۶۶/۶۲	۱۲۱/۰۹					۴۴/۳۲		مستقیم	مستقیم	مستقیم	
۴	۴+۶۶/۶۲	۴+۸۱/۱۶	۳۱۴/۵۴	۲۹۵/۰۶	۷۰/۵۱	۲۵۵/۵۸	۱/۰۱	۴۵/۹۹	۱۴/۴۱	مماندري	مستقیم	شبه مماندري	گسترش
۵	۷+۸۱/۱۶	۱۰+۰۷/۶۵	۲۲۶/۴۹					۴۲/۵۷		مستقیم	مستقیم	مستقیم	
۶	۱۰+۰۷/۶۵	۱۱+۴۲/۹۹	۱۳۵/۳۴	۱۳۵/۳۳	۳/۰۰	۲۵۸۲/۸۲	۱/۰۲	۴۱/۳۴	۵/۷۱	مماندري	مستقیم	شبه مماندري	گسترش
۷	۱۱+۴۲/۹۹	۱۳+۶۷/۶۴	۱۳۵/۳۴					۵۶/۹۱		مستقیم	مستقیم	مستقیم	
۸	۱۳+۶۷/۶۴	۱۶+۹۱/۱۴	۳۲۲/۵۰	۳۱۶/۰۹	۳۹/۶۹	۴۶۵/۵۶	۱/۰۲	۴۶/۰۹	۷/۸۱	مماندري	مستقیم	توسعه نیافته	گسترش
۹	۱۶+۹۱/۱۴	۱۹+۷۲/۱۲	۲۸۰/۹۸					۴۳/۸۸		مستقیم	مستقیم	مستقیم	
۱۰	۱۹+۷۲/۱۲	۲۱+۶۹/۵۲	۱۹۷/۴۰	۱۸۰/۹۶	۸۲/۰۶	۱۳۷/۸۴	۱/۰۳	۴۹/۸۲	۷/۳۰	مماندري	مستقیم	توسعه نیافته	گسترش
۱۱	۲۱+۶۹/۵۲	۲۲+۵۶/۶۰	۸۷/۰۸					۳۰/۱۸		مستقیم	مستقیم	مستقیم	
۱۲	۲۲+۵۶/۶۰	۲۴+۰۰/۱۱	۱۴۳/۵۱	۱۳۸/۹۷	۵۰/۱۹	۱۶۳/۸۴	۱/۰۱	۴۲/۰۴	۲۹/۵۸	مماندري	مستقیم	شبه مماندري	گسترش
۱۳	۲۴+۰۰/۱۱	۳۰+۰۶/۶۸	۶۰۶/۵۷					۳۵/۶۴		مستقیم	مستقیم	مستقیم	
۱۴	۳۰+۰۶/۶۸	۳۳+۸۴/۴۶	۳۷۷/۷۹	۳۴۸/۷۳	۷۸/۷۷	۲۷۴/۸۱	۱/۰۰	۳۷/۷۸	۰۱/۱۹	مماندري	مستقیم	شبه مماندري	میانبری توسط شوت
۱۵	۳۳+۸۴/۴۶	۳۷+۲۵/۱۷	۳۴۰/۷۱					۴۵/۹۷		مستقیم	مستقیم	مستقیم	
۱۶	۳۷+۲۵/۱۷	۴۰+۱۶/۱۸	۲۹۱/۰۱	۲۵۸/۰۲	۴۰/۴۱	۴۱۲/۶۴	۱/۰۴	۵۰/۳۱	۰/۹۷	مماندري	مستقیم	توسعه نیافته	میانبری توسط شوت
۱۷	۴۰+۱۶/۱۸	۴۰+۲۷/۶۰	۱۱/۴۲					۶۰/۴۶		مستقیم	مستقیم	مستقیم	
۱۸	۴۰+۲۷/۶۰	۴۱+۵۲/۵۱	۱۲۴/۹۱	۱۱۲/۹۸	۸۸/۰۴	۸۱/۲۹	۱/۱۳	۳۸/۹۱	۲/۶۶	مماندري	سینوسی	توسعه یافته	چرخش
۱۹	۴۱/۵۲/۵۱	۴۴+۷۷/۷۶	۳۲۵/۲۵					۴۲/۱۸		مستقیم	مستقیم	مستقیم	
۲۰	۴۴+۷۷/۷۶	۴۷+۵۰/۲۱	۲۷۲/۴۵	۲۶۱/۳۳	۵۷/۰۶	۲۷۳/۵۵	۱/۱۶	۵۷/۷۶	۳/۲۹	مماندري	سینوسی	توسعه یافته	چرخش

۲۱	۴۷+۵۰/۲۱	۴۸+۴۴/۴۱	۹۴/۲۱					۵۹/۱۳		مستقیم	مستقیم	مستقیم	مئاندري
۲۲	۴۸+۴۴/۴۱	۵۰+۱۴/۹۴	۷۰/۵۲	۱۵۹/۲۱	۷۳/۰۵	۱۳۳/۷۵	۱/۰۲	۳۸/۹۳	۶/۵۶	مئاندري	مستقیم	توسعه نیافته	گسترش
۲۳	۵۰+۱۴/۹۴	۵۴+۱۷/۵۶	۴۰۲/۶۲					۴۳/۴۰		مستقیم	مستقیم	مستقیم	مئاندري
۲۴	۵۴+۱۷/۵۶	۵۵+۴۷/۴۴	۱۲۹/۸۸	۱۲۱/۹۸	۶۹/۸۷	۱۰۶/۵۰	۱/۰۷	۳۶/۱۶	۳/۳۱	مئاندري	سینوسی	توسعه نیافته	چرخش
۲۵	۵۵+۴۷/۴۴	۵۸+۱۶/۲۱	۲۶۶/۷۷					۳۶/۶۸		مستقیم	مستقیم	مستقیم	مئاندري
۲۶	۵۸+۱۶/۲۱	۶۰+۴۲/۳۵	۲۶۶/۱۴	۲۰۵/۶۶	۸۵/۶۵	۱۵۱/۲۸	۱/۰۳	۶۸/۰۱	۲/۸۳	مئاندري	مستقیم	توسعه نیافته	چرخش
۲۷	۶۰+۴۲/۳۵	۶۱+۰۴/۶۵	۶۲/۳۰					۵۲/۹۲		مستقیم	مستقیم	مستقیم	میانبری
۲۸	۶۱+۰۴/۶۵	۶۲+۷۹/۱۶	۱۷۴/۵۱	۱۶۳/۰۱	۷۲/۷۹	۱۳۳/۳۷	۱/۰۲	۳۸/۸۶	۱/۰۰	مئاندري	مستقیم	شبه مئاندري	توسط شوت
۲۹	۶۲+۷۹/۱۶	۶۵+۳۲/۰۲	۲۵۲/۸۵					۵۴/۴۱		مستقیم	مستقیم	مستقیم	مئاندري
۳۰	۶۵+۳۲/۰۲	۶۸+۳۸/۹۷	۳۰۶/۹۵	۲۷۸/۰۴	۸۷/۴۰	۲۰۱/۲۲	۱/۰۴	۵۴/۷۸	۳/۲۵	مئاندري	مستقیم	توسعه نیافته	چرخش
۳۱	۶۸+۳۸/۹۷	۶۹+۰۳/۸۵	۶۴/۸۸					۵۸/۴۲		مستقیم	مستقیم	مستقیم	مئاندري
۳۲	۶۹+۰۳/۸۵	۷۷+۶۹/۳۹	۸۶۵/۵۴	۷۶۲/۱۳	۹۸/۸۵	۵۰۱/۷۱	۱/۰۳	۳۹/۴۲	۳/۱۳	مئاندري	مستقیم	توسعه نیافته	چرخش
۳۳	۷۷+۶۹/۳۹	۷۹+۸۲/۲۹	۲۱۲/۹۰					۳۷/۷۳		مستقیم	مستقیم	مستقیم	مئاندري
۳۴	۷۹+۸۲/۲۹	۸۹+۳۶/۱۴	۹۵۳/۸۵	۸۰۷/۰۸	۱۱۲/۸۱	۴۸۴/۴۵	۱/۰۱	۷۰/۵۶	۷/۰۳	مئاندري	مستقیم	شبه مئاندري	گسترش
۳۵	۸۹+۳۶/۱۴	۸۹+۸۱/۶۶	۴۵/۵۲					۵۵/۵۲		مستقیم	مستقیم	مستقیم	مئاندري
۳۶	۸۹+۸۱/۶۶	۹۱+۱۲/۵۶	۱۳۰/۹۰	۱۲۲/۰۷	۷۳/۶۷	۱۰۱/۸۹	۱/۰۹	۶۲/۲۶	۳/۵۰	مئاندري	سینوسی	توسعه نیافته	چرخش
۳۷	۹۱+۱۲/۵۶	۹۱+۸۰/۵۹	۶۸/۰۳	۶۳/۹۴	۶۹/۴۸	۵۶/۱۰	۱/۰۲	۴۹/۳۵	۳/۹۳	مئاندري	مستقیم	شبه مئاندري	گسترش
۳۸	۹۱+۸۰/۵۹	۹۲+۴۹/۲۱	۶۸/۶۱					۳۷/۳۲		مستقیم	مستقیم	مستقیم	مئاندري
۳۹	۹۲+۴۹/۲۱	۹۸+۰۲/۴۹	۵۵۳/۳۸	۳۹۴/۴۴	۱۵۷/۷۱	۲۰۱/۰۱	۱/۰۸	۳۹/۸۹	۶/۱۶	مئاندري	سینوسی	توسعه نیافته	گسترش
۴۰	۹۸+۰۲/۴۹	۱۰۳+۶۵/۲۰	۵۶۲/۷۶					۸۰/۹۰		مستقیم	مستقیم	مستقیم	مئاندري
۴۱	۱۰۳+۶۵/۲۰	۱۰۵+۶۵/۳۶	۲۰۰/۱۱	۱۶۸/۱۱	۱۵۱/۱۱	۹۹/۶۰	۱/۰۸	۶۸/۲۲	۲/۶۸	مئاندري	سینوسی	توسعه نیافته	چرخش
۴۲	۱۰۵+۶۵/۳۶	۱۰۵+۹۰/۴۷	۲۵/۱۱					۵۶/۷۱		مستقیم	مستقیم	مستقیم	مئاندري

۴۳	۱۰۵+۹۰/۴۷	۱۰۸+۰۶/۸۲	۲۱۶/۳۵	۲۰۴/۳۵	۶۶/۶۶	۱۸۵/۹۷	۱/۰۴	۷۵/۱۵	۳/۹۷	مئاندری	مستقیم	توسعه نیافته	گسترش
۴۴	۱۰۸+۰۶/۸۲	۱۱۲+۰۲/۳۵	۳۹۵/۵۳					۴۵/۵۰		مستقیم	مستقیم	میانبری	
۴۵	۱۱۲+۰۲/۳۵	۱۱۴+۶۶/۸۶	۲۶۴/۵۱	۶۱/۷۱	۱۸۷/۲۰	۱۷۳/۸۰	۱/۰۵	۸۷/۱۶	۰/۹۲	مئاندری	مستقیم	توسعه نیافته	توسط شوت
۴۶	۱۱۴+۶۶/۸۶	۱۱۵+۰۰/۰۹	۳۳/۲۳					۸۸/۵۸		مستقیم	مستقیم	مئاندری	
۴۷	۱۱۵+۰۰/۰۹	۱۱۸+۷۶/۱۷	۳۷۶/۰۸	۳۵۶/۸۲	۶۴/۰۲	۳۳۶/۵۷	۱/۱۲	۳۷/۳۲	۳/۷۳	مئاندری	سینوسی	توسعه یافته	گسترش
۴۸	۱۱۸+۷۶/۱۷	۱۲۲+۷۷/۷۴	۴۰۱/۵۷					۴۵/۷۲		مستقیم	مستقیم	میانبری	
۴۹	۱۲۲+۷۷/۷۴	۱۲۳+۸۱/۸۴	۱۰۴/۱۰	۹۹/۰۳	۶۲/۴۰	۹۵/۵۹	۱/۰۲	۹۵/۵۷	۰/۵۱	مئاندری	مستقیم	شبه مئاندری	توسط شوت
۵۰	۱۲۳+۸۱/۸۴	۱۲۸+۹۲/۹۲	۵۰۹/۰۸	۴۶۶/۰۱	۸۲/۷۱	۳۵۲/۶۵	۱/۰۱	۵۵/۷۵	۰/۵۰	مئاندری	مستقیم	شبه مئاندری	توسط شوت
۵۱	۱۲۸+۹۰/۹۲	۱۳۱+۸۶/۳۰	۲۹۵/۳۹					۵۳/۷۳		مستقیم	مستقیم	مئاندری	
۵۲	۱۳۱+۸۶/۳۰	۱۳۶+۲۳/۹۳	۴۳۷/۶۳	۴۲۶/۵۲	۴۴/۸۹	۵۵۸/۵۷	۱/۰۳	۶۵/۰۰	۰/۴۰	مئاندری	مستقیم	توسعه نیافته	توسط شوت
۵۳	۱۳۶+۲۳/۹۳	۱۳۶+۶۳/۸۵	۳۹/۹۲					۸۸/۸۷		مستقیم	مستقیم	مئاندری	
۵۴	۱۳۶+۶۳/۸۵	۱۳۸+۰۴/۸۸	۱۴۱/۰۲	۱۳۲/۷۲	۶۸/۲۲	/%۵۷ ۱۱۷	۱/۰۲	۶۲/۳۸	۱/۰۸	مئاندری	مستقیم	شبه مئاندری	توسط شوت
۵۵	۱۳۸+۰۴/۸۸	۱۳۸+۷۴/۰۹	۶۹/۲۱					۸۲/۲۷		مستقیم	مستقیم	مئاندری	
۵۶	۱۳۸+۷۴/۰۶	۱۴۰+۸۴/۸۱	۲۱۰/۷۲	۲۰۱/۳۶	۵۶/۸۷	۲۰۱/۶۷	۱/۱۲	۷۸/۵۶	۲/۹۱	مئاندری	سینوسی	توسعه یافته	چرخش
۵۷	۱۴۰+۸۴/۸۱	۱۴۳+۲۵/۳۱	۲۴۰/۵۰					۶۲/۳۵		مستقیم	مستقیم	مئاندری	
۵۸	۱۴۳+۲۵/۳۱	۱۴۶+۲۲/۳۴	۲۹۶/۹۳	۲۸۵/۸۲	۵۴/۶۰	۳۱۱/۵۹	۱/۳۶	۴۰/۲۵	۱/۱۵	مئاندری	پیچان رودی	توسعه یافته	توسط شوت
۵۹	۱۴۶+۲۲/۲۴	۱۴۷+۵۵/۸۰	۱۳۳/۵۶					۵۵/۳۵		مستقیم	مستقیم	مستقیم	

معمولاً یک بازه مستقیم حداقل دو بازه مئاندری است. طول بازه‌های مستقیم و مئاندری اهمیت بیشتری دارد و بر اساس جدول (۲)، درصد بازه‌های مئاندری رودخانه آزاد بیشتر است.

همه رودخانه‌های محدوده مطالعه شده شرایط مشابهی از نظر تعداد بازه‌های مستقیم و مئاندری داشتند و درصد بازه‌های مستقیم و مئاندری آنها تقریباً برابر بود؛ این امر بسیار بدیهی است، زیرا

جدول ۲. نتایج بررسی نوع رودخانه آزاد بر اساس شکل

پلان

نوع	تعداد	درصد	طول	درصد
مستقیم	۲۹	۴۹/۱۵	۶۰۸۳/۶۹	۴۱/۲۳
مئاندر (پیچان‌رود)	۳۰	۵۰/۸۵	۸۶۷۲/۱۲	۵۸/۷۷
شریانی	۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰

از میان ۵۹ بازه مطالعه‌شده در رودخانه آزاد بر اساس ضریب پیچشی بازه‌ها، نوع مستقیم با ۷۵/۸۴ درصد بیشترین و مئاندری کمترین را به خود اختصاص داده است (شکل ۳). از نظر زاویه مرکزی قوس‌ها، بازه‌های مستقیم بیشترین طول و درصد را در بازه‌های مطالعه‌شده به خود اختصاص داده‌اند و شبه‌مئاندرهای این رودخانه با تعداد ۱۵ بیشترین درصد را پس از بازه‌های مستقیم دارند و مئاندرهای توسعه‌یافته و شاخ‌گای در میان بازه‌های مطالعه‌شده مشاهده نمی‌شوند (شکل ۴).

جدول ۳. نتایج بررسی نوع رودخانه آزاد بر اساس ضریب

پیچشی

نوع	تعداد	درصد	طول	درصد
مستقیم	۵۰	۸۴/۷۵	۱۲۴۶/۵۴	۸۴/۴۴
سینوسی	۸	۱۳/۵۶	۱۹۹۸/۳۳	۱۳/۵۴
پیچان‌رودی	۱	۱/۶۹	۲۹۶/۹۳	۲/۰۱
پیچان‌رودی شدید	۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰

جدول ۴. نتایج بررسی نوع رودخانه آزاد بر اساس زاویه

مرکزی قوس‌های آن

نوع	تعداد	درصد	طول	درصد
مستقیم	۲۹	۴۹/۱۵	۶۰۸۳/۶۹	۴۱/۲۳
شبه‌مئاندری	۱۰	۱۶/۹۵	۲۹۲۱/۷۸	۱۹/۸۰
مئاندری توسعه‌نیافته	۱۵	۲۵/۴۹	۴۴۶۹/۲۴	۳۰/۲۹
مئاندری توسعه‌یافته	۵	۸/۴۷	۱۲۸۱/۰۹	۸/۶۸
مئاندری بسیار توسعه‌یافته	۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
شاخ‌گای	۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰

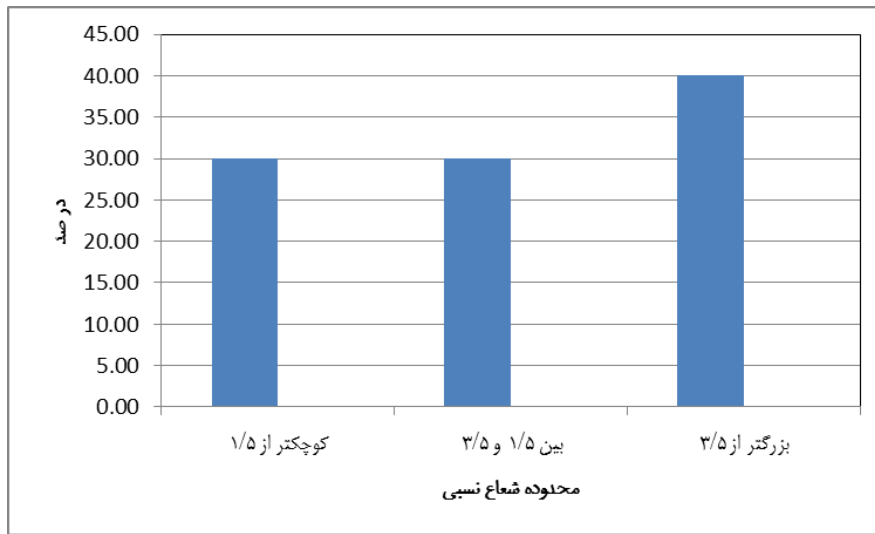
مقادیر جدول (۵) گویای اینست که ۴۰ درصد مئاندرهای رودخانه آزاد دارای شعاع نسبی بیش از ۳/۵ هستند؛ از این‌رو، تمرکز تنش در ناحیه انتهایی قوس خارجی این پیچان‌رودهاست و نگرانی خاصی درباره این بازه‌ها وجود ندارد. شعاع نسبی ۳۰ درصد مئاندرهای رودخانه بین ۱/۵ تا ۳/۵ و بنابراین در حدود ۳۰ درصد پیچ‌های رودخانه، تمرکز تنش در ابتدای قوس داخلی و انتهای قوس خارجی است. همچنین در حدود ۳۰ درصد پیچ‌های تنه اصلی رودخانه، تمرکز تنش در سراسر قوس داخلی است و باید توجه ویژه‌ای به این پیچان‌رودها شود.

جدول ۵. خلاصه نتایج بررسی شکل رودخانه آزاد بر

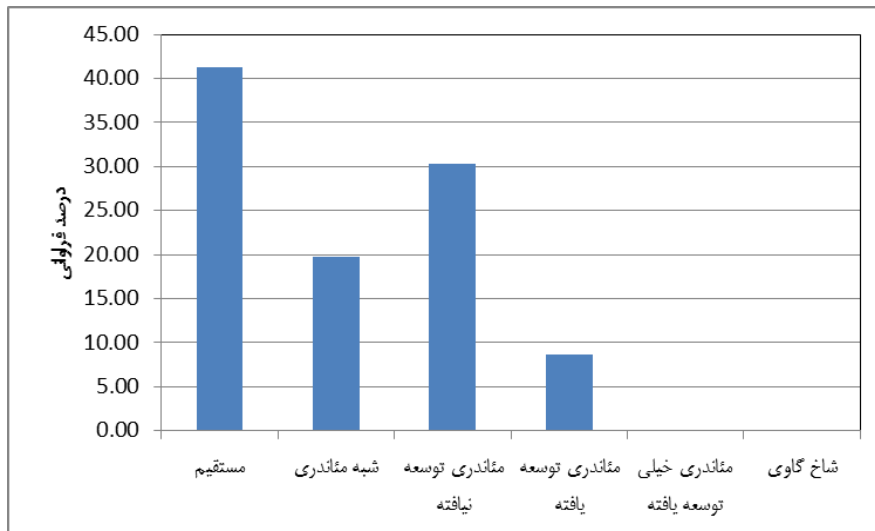
حسب شعاع نسبی

محدوده شعاع نسبی	تعداد	درصد
کوچکتر از ۱/۵	۹	۳۰/۰۰
بین ۱/۵ و ۳/۵	۹	۳۰/۰۰
بزرگتر از ۳/۵	۱۲	۴۰/۰۰

با بررسی دقیق‌تر نتیجه گرفته می‌شود بیشتر مئاندرها ضریب پیچشی کمتر از ۱/۴ دارند و این مطلب گویای توسعه‌نیافتن قوس‌ها با وجود شکل پر پیچ‌وخم آن‌ها و فاصله‌نگرفتن زیاد قوس‌ها از حالت مستقیم است. بررسی‌ها نشان می‌دهند ۴۰ درصد محدوده‌های شعاع نسبی رودخانه آزاد رود بیشتر از ۵/۳، حدود ۳۰ درصد بین ۵/۱ تا ۵/۳ و ۳۰ درصد هم کمتر از ۵/۱ بوده است (شکل ۴). بر اساس بررسی‌های انجام‌شده در طول رودخانه آزاد رود و نتایج محاسبه‌ها از نظر درصد فراوانی، بازه‌های مستقیم فراوان‌ترین بازه‌ها هستند (شکل ۵).



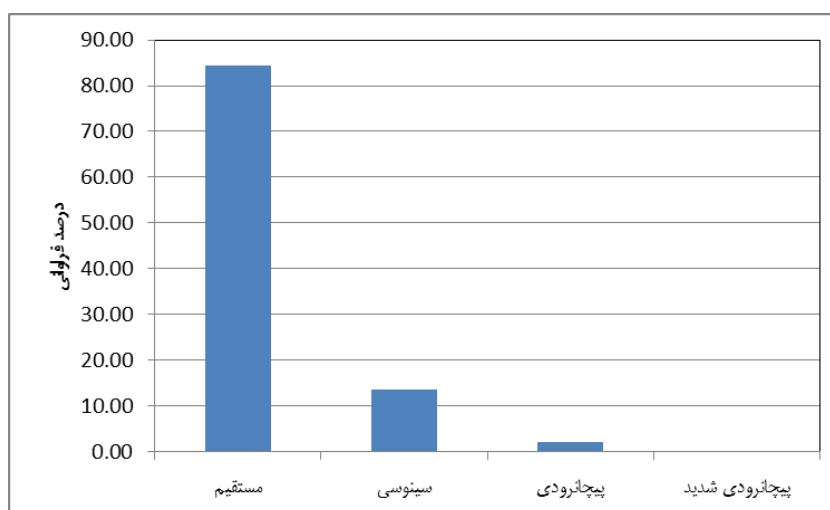
شکل ۴. درصد محدوده‌های شعاع نسبی در طول رودخانه آزاد



شکل ۵. درصد فراوانی انواع رودخانه‌ها در طول رودخانه آزاد

همچنان باید در زمره بازه‌های مستقیم قرار گیرند. فرسایش کناری تدریجی، آسیب‌رسانی به تأسیسات ساحلی از جمله پل‌های ساخته‌شده روی رودخانه، منازل مسکونی ساخته‌شده در حریم رودخانه و جابه‌جایی مرزها را در پی دارد. شکل (۷) سازه‌های مسکونی در بستر و پل‌های ساخته‌شده روی بازه مستقیم رودخانه آزاد رود را نشان می‌دهد.

شکل (۶) نشان می‌دهد بازه پیچان‌رودی شدیدی در محدوده بازه‌های مطالعاتی رودخانه وجود ندارد و بیش از ۸۰ درصد بازه‌ها به بازه مستقیم نزدیک هستند. بنابراین می‌توان تقسیم‌بندی بر اساس شکل پلان را با دقت بررسی کرد و به عبارتی این تقسیم‌بندی نشان می‌دهد برخی پیچ‌های در نظر گرفته شده بر اساس شکل پلان، فاصله زیادی از حالت مستقیم نگرفته‌اند و



شکل ۶. درصد فراوانی انواع رودخانه‌ها بر اساس ضریب پیچشی در طول رودخانه آزاد



شکل ۷. سازه‌های مسکونی در بستر و پل‌های ساخته‌شده روی بازه مستقیم رودخانه آزاد رود

حسین‌زاده (۱۳۸۳)، کهربائیان و همکاران (۱۳۹۳: ۵۳) و رضایی مقدم و همکاران (۱۳۹۵: ۲۷۲) مبنی بر بهره‌گیری شاخص‌های هندسی برای بررسی تحولات مورفولوژیکی رودخانه‌ها و تعیین الگوهای رودخانه مطابقت دارند و استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و شاخص‌های هندسی رودخانه موجب دستیابی به نتایج دقیق‌تر می‌شوند.

پیمایش طولی رودخانه آزاد نشان می‌دهد عوامل مختلف پایداری، پوشش گیاهی، جنس مصالح بستر و کناره‌ها در نقاط مختلف این رودخانه با نتایج حاصل مطابقت دارند. نتایج بررسی‌های صحرایی نیز پایداری این رودخانه را نشان می‌دهند و به عبارتی، شرایط تقریباً پایداری در تمام بازه‌های رودخانه آزاد حاکم است و تنها در برخی نقاط، فرسایش جزئی دیده می‌شود. این نتایج با نتایج پژوهشگرانی مانند Ruter و Olsen (۲۰۰۷)، Phillips (۲۰۱۱)، یمانی و

بررسی و پیش‌بینی روند تغییرات مورفولوژی رودخانه در آینده و آثار ناشی از آن بر رودخانه و محیط اطراف آن و معرفی بازه‌های بحرانی

بر اساس یافته‌ها، منطقه مطالعه شده کوهستانی بوده، بستر و حاشیه رودخانه تا حدودی تثبیت شده و برداشت نشدن رسوبات حاشیه رودخانه موجب کاهش تغییرات در بازه‌های مطالعاتی شده است. بازه‌های فرسایشی با بررسی رسوبات در طول مسیر بازه‌های

مطالعاتی شناسایی شدند. همچنین بازه‌های بحرانی با بررسی شاخص‌های مورفولوژی، شناسایی شدند و روند تغییرات رودخانه در آینده مشخص شد. بر اساس بازه‌بندی انجام شده و یافته‌های پژوهش، لازم است در تعیین حریم بستر به بازه‌هایی توجه شود که احتمال ناپایداری در آنها وجود دارد و بازه‌های بحرانی در نظر گرفته می‌شوند. بازه‌های دارای حالت بحرانی محدوده مطالعه شده آزاد رود در جدول (۶) آمده است.

جدول ۶. ویژگی‌های بازه‌های بحرانی محدوده رودخانه آزاد

شماره بازه	کیلومتر از		طول بازه (متر)	طول مستقیم	زاویه (درجه)	شیب (متر)	میانگین عمق	میانگین عرض	میانگین مساحت	نوع رودخانه بر اساس			بازو
	ابتدا	انتهای								شکل	ضریب ضریب	زاویه مرکزی	
۱۸	+۴۰ ۲۷,۶۰	۴۱+۵۱,۵۲	۱۲۴/۹۱	۱۱۲/۹۸	۸۸/۰۴	۸۱/۲۹	۱/۱۳	۳۸/۹۱	۲/۶۶	متاندری	سینوسی	متاندر	چرخش
												توسعه یافته	
۲۰	+۴۴ ۷۷,۷۶	۴۷+۵۰,۲۱	۲۷۲/۴۵	۲۶۱/۳۳	۵۲/۰۶	۲۷۳/۵۵	۱/۱۶	۵۷/۷۶	۳/۱۹	متاندری	سینوسی	متاندر	چرخش
												توسعه یافته	
۲۴	+۵۴ ۱۷,۵۶	۵۵+۴۷,۴۴	۱۲۹/۸۸	۱۲۱/۹۸	۶۲/۸۲	۱۰۶/۵۵۰	۱/۰۷	۳۶/۱۶	۳/۲۱	متاندری	سینوسی	متاندر	چرخش
												نیافته	
۳۶	+۸۹ ۸۱,۶۶	۹۱+۱۲,۵۶	۱۳۰/۹۰	۱۲۲/۰۷	۷۳/۶۷	۱۰۱/۸۱	۱/۰۹	۶۲/۲۶	۳/۵۰	متاندری	سینوسی	متاندر	چرخش
												نیافته	
۳۹	+۹۲ ۴۹,۲۱	۹۸+۰۲,۴۹	۵۵۳/۲۸	۳۹۴/۴۴	۱۵۷/۷۱	۲۰۱/۰۱	۱/۰۸	۳۹/۸۹	۶/۴	متاندری	سینوسی	متاندر	گسترش
												نیافته	
۴۱	+۱۰۳ ۶۵,۲۵	۶۵,۳۶+۱۰۵	۲۰۰/۱۱	۱۶۸/۱۱	۱۱۵/۱۱	۹۹/۹۶۰	۱/۰۸	۶۸/۲۲	۲/۶۸	متاندری	سینوسی	متاندر	چرخش
												نیافته	
۴۷	+۱۱۵ ۰۰,۰۹	۱۱۸+۷۶,۱۷	۲۷۶/۰۸	۳۵۶/۸۲	۶۴/۰۲	۳۳۶/۵۷	۱/۱۲	۳۱/۳۲	۳/۸۳	متاندری	سینوسی	متاندر	گسترش
												نیافته	
۵۶	+۱۳۸ ۷۴,۰۹	۱۴۰+۸۴,۸۱	۲۱۰/۷۲	۲۰۱/۲۶	۵۹/۸۷	۲۰۱/۶۲	۱/۱۲	۷۶/۵۶	۲/۹۱	متاندری	سینوسی	متاندر	چرخش
												نیافته	
۵۸	+۱۴۳ ۲۵,۳۱	۱۴۶+۲۲,۲۴	۲۹۶/۹۳	۲۸۵/۸۲	۵۴/۶۰	۳۱۱/۵۹	۱/۳۶	۴۰/۲۵	۱/۱۵	متاندری	پیچانرودی	متاندر	میانبری
												توسعه یافته	توسط شوت

نتیجه‌گیری

به‌طورکلی مورفولوژی رودخانه‌ها از دو نظر اهمیت دارد:

۱. از جنبه زمین‌شناسی و سازندهای مسیر بستر و دره آن که بر مورفولوژی بستر تأثیر می‌گذارند؛
۲. از جنبه هیدرولوژیکی و فعالیت‌های انسانی که تغییرات هندسی بستر رودخانه را شامل می‌شوند.

نتایج پژوهش نشان می‌دهند فرسایش کناری در رودخانه‌های دشتی عامل پیچ‌وخم‌دار شدن مسیر رودخانه به علت رسوبات سست و فرسایش‌پذیر است؛ درحالی‌که مسیر رودخانه در مناطق کوهستانی حاصل روند گسل‌ها و شکاف‌هایی است که از پیش وجود داشته‌اند و در اثر فرایندهای فرسایشی به بهترین شکل تعریض و تعمیق شده‌اند و به عبارتی فرسایش در رودخانه‌های این مناطق در درجه دوم اهمیت قرار دارد. باتوجه‌به اینکه فعالیت‌های کشاورزی عمدتاً در این محدوده انجام می‌شوند، هر گونه تغییر در مؤلفه‌های مورفولوژی باعث بر هم خوردن تعادل دینامیکی می‌شود و واکنش مورفودینامیکی محیط را در پی خواهد داشت؛ از این رو، لازم است هرگونه اقدام یا اقدام‌های ساماندهی در محدوده باتوجه‌به متغیرهای مورفولوژیکی منطقه انجام شوند.

سپاسگزاری

نویسندگان مقاله حاضر از شرکت آب منطقه‌ای استان کردستان و مهندسان مشاور یکم که بخشی از اطلاعات لازم برای پژوهش حاضر را در اختیار ایشان قرار داده‌اند، سپاسگزاری می‌کنند.

منابع

- بیاتی خطیبی، مریم، (۱۳۸۵). بررسی علل تشکیل و توسعه پیچان‌رودها در دره‌های نواحی کوهستانی، رشد آموزش جغرافیا، شماره ۷۵، صص ۴۱-۳۴.
- بیاتی خطیبی، مریم، (۱۳۹۲). برآورد خطر وقوع سیلاب‌ها در مسیر پیچان‌رودها مورد: رودخانه شور (واقع در دامنه‌های شرقی کوهستان سهند)، جغرافیا و توسعه، شماره ۳، صص ۴۸-۳۷.
- حسین‌آبادی حسین و محمود شفای بجستان، (۱۳۸۸). بررسی عمق آبستگی محتمل در مئاندرهای رودخانه کارون، هشتمین سمینار بین‌المللی مهندسی رودخانه، دانشگاه اهواز.
- چورلی، ریچارد؛ جی، استانی؛ شوم، دیوید و سون ای (۱۳۷۹). ژئومورفولوژی و فرایندهای دامنه‌ای، آبراهه‌های ساحلی و بادی، ترجمه احمد معتمد، انتشارات سمت، تهران.
- دولتی، جواد، (۱۳۸۷). بررسی تغییرات ژئومورفولوژیکی بخش میانی رودخانه اترک با استفاده از GIS، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران، تهران.
- رضایی مقدم، محمدحسین و کاظم خوشدل، (۱۳۸۸). بررسی پیچ‌وخم‌های مئاندر اهر چای در محدوده دشت آزمدل ورزقان، جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، شماره پیاپی ۳۳، صص ۱۱۲-۱۰.
- رضایی مقدم، محمدحسین؛ ثروتی، محمدرضا؛ صیاد اصغری سراسکانرود، (۱۳۹۱). بررسی الگوی پیچان‌رودی رودخانه قزل‌اوزن با استفاده از

گرگان‌رود در مجاورت شهر گنبد، سومین کنفرانس مدیریت منابع آب.

مهندسان مشاور یکم (۱۳۹۱). مطالعات تعیین حد بستر، حریم و ساماندهی رودخانه‌های استان کردستان، گزارش مطالعات تخصصی هیدرولیک، رسوب و ریخت‌شناسی رودخانه‌ها، بخش اول.

نوحه‌گر، احمد و مجتبی یمانی، (۱۳۸۴). بررسی وضعیت ژئومورفولوژیکی پیچان‌رود و نقش آن در فرسایش بستر و کناره‌های رودخانه میناب. پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۵۱، صص ۸۴-۶۵.

یمانی، مجتبی و محمدمهدی حسین‌زاده، (۱۳۸۳). بررسی الگوهای پیچان‌رودی رودخانه تالار با استفاده از شاخص‌های ضریب خمیدگی و زاویه مرکزی، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، شماره پیاپی ۷۳، صص ۱۵۴-۱۴۴.

یمانی، مجتبی و سیامک شرفی، (۱۳۹۱). پارامترهای هندسی و نقش آنها در تغییرات زمانی - مکانی بستر رودها نمونه موردی: هررود سرچشمه رود کرخه در استان کردستان، مجله جغرافیا و توسعه، شماره ۲۶، صص ۴۸-۳۵.

Abad, J.D. and Marcelo H. Garcia (2006), River meander: A toolbox for re-meandering of channelized streams, Computers & Geosciences, 32: 92-101.

Amslera, M.L.T., Carlos G.R., Horacio A.T. (2005), Morphologic changes in the Parana River channel, (Argentina) in the light of the climate, variability during the 20th century. Geomorphology, 70: 257-278.

Biedenharnd, S.E.C.M. and Watson, C.C. (1977), The WES stream investigation and

شاخص‌های ضریب خمیدگی و زاویه مرکزی، فصلنامه جغرافیا، انجمن جغرافیای ایران، سال دهم، شماره ۳۴، صص ۱۰۲-۸۵.

رضایی مقدم، محمدرحیم؛ جباری، ایرج؛ نوشین پیروزی‌نژاد، (۱۳۹۵). بررسی الگوهای رودخانه‌های مئاندری، شریانی و آنابرنچینگ با استفاده از شاخص‌های شریانی و خمیدگی در رودخانه گاماسیاب، پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز، سال هفتم، شماره ۱۳، صص ۲۸۳-۲۷۲.

شایان، سیاوش و هدیه دهستانی، (۱۳۹۱). تحلیل عوامل تأثیرگذار بر تغییرات الگوی هندسی و مورفولوژی رودخانه کشکان، پژوهش‌های فرسایش محیطی، سال دوم، شماره ۸، صص ۳۴-۲۱.

عشقی، ابوالفضل، (۱۳۸۲). نقش عوامل مورفودینامیکی هریرود و عملکرد فرسایش انسانی در تغییرات خط مرز شمال‌شرق کشور، وزارت دفاع و پشتیبانی نیروهای مسلح در زمینه دورسنجی و علوم جغرافیایی، مجله سپهر، شماره ۴۷، صص ۴۶-۴۳.

کهربائیان، پروین؛ بهنیا، ابوالفضل؛ حجت شاکری، زارع؛ محسن رضایی عارفی، (۱۳۹۳)، تحولات مورفولوژیکی و الگوی پیچان‌رودی بستر رودخانه مرزی هریرود با استفاده از RS، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، سال سوم، شماره ۳، صص ۵۳-۶۴.

محمودی، امین؛ طهماسبی، ابوالفضل؛ قره محمودلو، مجتبی؛ سعید جعفری، (۱۳۸۷). بررسی تغییرات مورفولوژیکی رودخانه

- Makaske B., Derald, G., Smith, H.J.A. Berendsen, A.G. de Boer, M.F. van Nielen-Kiezebrink, T.L. (2009), Hydraulic and sedimentary processes causing anastomosing morphology of the upper Columbia River, British Columbia, Canada, *Geomorphology*, Vol. 111, 194-205.
- Phillips, J.D. (2011), Universal and local controls of avulsions in southeast Texas rivers, *geomorphology*, 130: 17-28.
- Ruther, N. and N.R.B. Olsen (2007), Modelling freeforming meander evolution in a laboratory channel using three-dimensional computational fluid dynamics, *Geomorphology*, 89: 308-319.
- Thorne, C.R. (2002), analysis of large alluvial rivers *Geomorphology*, Vol. 44, No. 5, 203-219.
- Verhaar, P.M., Pascale M.B., Robert I.F., Trevor B.H. (2008). A modified morphodynamic model for investigating the response of rivers to short-term climate change. *Geomorphology*, 101: 674-682.
- Zamolyi, A.B., Székely, E. Draganits, G.T. (2010), Neotectonic control on river sinuosity at the western margin of the Little Hungarian Plain, *Geomorphology*, 122(3-4), 231-243.
- stream bank stabilization band book U.S. Army Engineering.
- Breach, S.J.R. (2008) Translated by: Rezaeimoghaddam, M. and Saghafi, M., River and floodplains, Vol Processes and dynamic Ministry of culture and Islamic Guidance press.
- Deak, A. and Gábor T. (2006), Chiral self-assembly of methyltin (IV)- naproxenates: Combining dative Sn-O bonds, secondary Sn-O interactions and C-H-O hydrogen bonding to make an inter-helical meander-shaped network and a cross-linked Z-shaped ribbon, *Journal of Organometallic Chemistry*, 691: 1693-1702.
- Leopold B. and Wolman M. (1997), Meandears, *Geo. Soc America. Bun. No. 102: 147-164.*
- Lofthouse, C. and André R. (2008), Rifflepool sequences and meander morphology. *Geomorphology*, 99: 214-223.
- Malik, I. and Marcin, M. (2007), Bank erosion history of a mountain stream determined by means of anatomical changes in exposed tree roots over the last 100 years Bílá Opava River (Czech Republic), *Geomorphology*, 98: 126-142.