

جغرافیا و توسعه شماره ۲۶ بهار ۱۳۹۱

وصول مقاله : ۱۳۹۰/۱/۱۵

تأیید نهایی : ۱۳۹۰/۱۰/۱۸

صفحات : ۳۵-۴۸

پارامترهای هندسی و نقش آنها در تغییرات زمانی- مکانی بستر رودها

مطالعه‌ی موردی: رودخانه‌ی هررود سرشاخه رود کرخه در استان لرستان

دکتر مجتبی یمانی^۱، سیامک شرفی^۲

چکیده

آبراهه‌ها سیستمی کاملاً پویا هستند و موقعیت، شکل و دیگر مشخصه‌های مورفولوژیکی آنها به طور پیوسته و در طول زمان تغییر می‌کند. در این پژوهش، مورفولوژی رودخانه‌ی هررود در استان لرستان با استفاده از روش مقایسه زمانی- مکانی مورد بررسی قرار گرفته است. با استفاده از عکس‌های هوایی سال ۱۳۳۴ و تصاویر ماهواره‌ای سال ۱۳۸۶ بستر هررود در دو دوره‌ی زمانی و در محیط نرم‌افزار Arc GIS رقومی گردیده و سپس در محیط نرم‌افزاری Auto Cad پارامترهای هندسی رودخانه مانند طول موج، ضریب خمیدگی، شعاع نسبی و نظایر آن برای بررسی تغییرات با روش برازش دایره‌های مماس بر قوس رودخانه اندازه‌گیری شده است. با توجه به تشابه نسبی ژئومورفیکی مسیر آبراهه به ۴ بازه‌ی تقسیم شده و سپس پارامترهای مذکور و تغییرات به وجود آمده در طول مسیر رود با توجه به شکل و الگوی رودخانه مورد مقایسه قرار گرفته‌اند.

پارامترهای هندسی به دست آمده در بازه‌های مورد مطالعه و مقایسه‌ی این پارامترها با یکدیگر نشان می‌دهد که بیشترین تغییرات در بازه‌ی ۱ به علت شریانی بودن رودخانه، فرسایش‌پذیر بودن سازندهای کنار بستر، افزایش بار رسوبی کف و در نهایت فرسایش کناری رودخانه روی داده است. از طرفی در بازه‌های ۲ و ۳ تغییرات کمتری دیده می‌شود اما این تغییرات نسبت به گذشته افزایش پیدا کرده و رودخانه حالت پیچان‌رودی پیدا کرده است. در نهایت در بازه‌ی ۴ به علت کوهستانی بودن و تأثیرپذیری مسیر رودخانه از عوامل توپوگرافی، الگوی رودخانه مستقیم بوده و فقط در چند قوس، تغییر به صورت خیلی جزئی دیده می‌شود. کلیدواژه‌ها: ژئومورفولوژی، رودخانه، هررود، پارامترهای هندسی، تغییرات رودخانه، استان لرستان.

مقدمه

تکراری در وسعت گسترده، امکان پایش تغییرات زمانی رودخانه‌ها را فراهم آورده و در کنار آن سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) پردازش آنها را تسریع و تسهیل ساخته است. از جمله آنها در مطالعه‌ای که بر روی رودخانه تجن با استفاده از عکس‌های هوایی، تصاویر ماهواره‌ای و مطالعات میدانی انجام گرفته است، تغییرات مورفولوژیکی این رودخانه را طی مدت ۳۵ سال (۱۳۷۹-۱۳۳۴) مورد بررسی قرار داده است. این تغییرات، مبین افزایش عرض رودخانه از ۱۶۳/۸ به ۵۴۰/۷ متر و مساحت پلان رودخانه از ۹۲۷/۴۳ به ۲۶۷۴/۹ هکتار می‌باشد. مطالعه دیگری نیز نشان می‌دهد که متوسط میزان اتلاف اراضی در یک دوره‌ی معین بر اثر فرسایش کناری رودخانه تجن در سواحل ایران ۳/۱ و در سواحل ترکمنستان ۳/۹ متر مکعب در متر در سال برآورد شده است (احمدیان‌یزدی، ۱۳۸۰).

در یک نگاه کلی به پیشینه‌ی تحقیق می‌توان دریافت که متغیرهای مؤثر در تغییرات مورفولوژی و فرسایش کناری رودخانه‌های مختلف در تحقیقات مشابه توسط محققان شناخته شده است. کارهای انجام شده عمدتاً توسط محققین خارجی صورت گرفته است. در ایران نیز کارهای متعددی در خصوص رودخانه‌ها و پدیده پیچان‌رودها صورت گرفته است و بیشتر این مطالعات در راستای مهندسی رودخانه به انجام رسیده است.

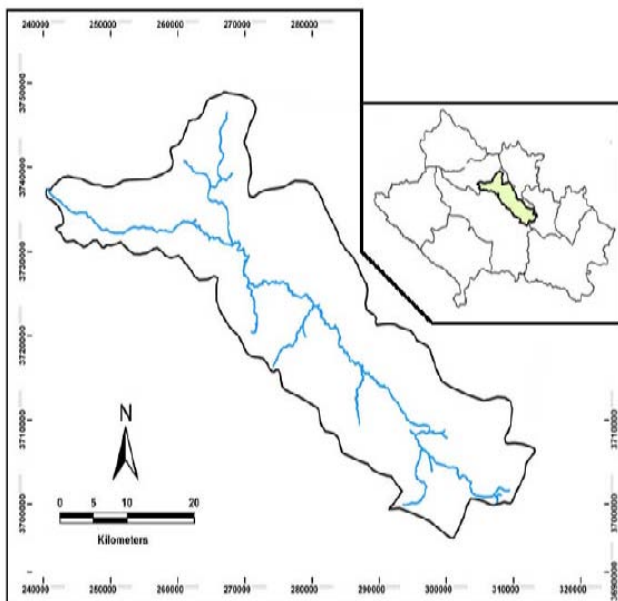
در این میان، تلوری (۱۳۷۱)، رنگزن (۱۳۸۱)، حقی‌آبی (۱۳۸۳)، غریب‌نیا (۱۳۸۵)، یمانی (۱۳۸۵)، غفاری (۱۳۸۵)، ارشد (۱۳۸۶)، شوم^۶ (۱۹۸۰)، ریدینگ^۷ (۱۹۹۶)، تورن (۲۰۰۲)، کریس پارکر^۸ (۲۰۰۸)، گابریل^۹ (۲۰۰۹) بر اساس مشخصه‌های هندسی، تعداد تعداد سدهای میان کانالی، میزان دبی جریان و آورد

رودخانه‌ها و آبراهه‌ها سیستمی کاملاً پویا هستند و موقعیت و شکل و دیگر مشخصه‌های مورفولوژیکی آنها به طور پیوسته در طول زمان در تغییر می‌باشد. به دلیل فرسایش کناری و جابجایی مرزهای رودخانه، هر ساله سطح زیادی از اراضی کشاورزی و نواحی مسکونی و تأسیسات ساحلی در معرض و تخریب قرار می‌گیرند (رنگزن و همکاران، ۱۳۸۷: ۱). عوامل متعددی باعث تخریب دیواره‌ها و کف رودخانه می‌شوند که از جمله آنها می‌توان به آب‌شستگی کناره‌ها، کف‌کنی، فرسایش و تخریب ناشی از ورود زه‌آب‌های کشاورزی و غیره اشاره کرد (آقارسی و همکاران، ۱۳۸۱: ۷۱۹). مجموعه‌ای از فاکتورها مانند شیب آبراهه، میزان جریان، مشخصات مصالح بستر، فرکانس و شدت سیلاب‌ها و... مورفولوژی رودخانه‌ها را در بُعد مکان و زمان تعیین می‌سازد. در همین راستا لئوپلد و ولمن^۱ (۱۹۵۷) از نظر ساختار مورفولوژیکی رودخانه‌ها را به ۳ دسته مستقیم، پیچان-رودی^۲ و چندشاخه (شریانی)^۳ تقسیم‌بندی کردند. این الگوها نیز متأثر از همین فاکتورها می‌باشند. در این بین، الگوی پیچان‌رود به دلیل فراوانی آن در طبیعت بیشترین توجه را به خود جلب کرده است (بیدن‌هارن^۴ و همکاران، ۱۹۷۷). تورن^۵ (۲۰۰۲) در یک تحقیق به لزوم مطالعه رفتار مورفولوژیکی رودخانه‌های بزرگ پرداخته و یک چارچوب مطالعاتی در این زمینه ارائه نموده که تأکید آن بر پایش منظم مشخصات مورفولوژیک رودخانه با استفاده از روش‌های نوین می‌باشد. برای رودخانه‌های بزرگ پایش منظم الگوی آبراهه‌ای و تحلیل تغییرات زمانی پارامترهای هندسی دشوار است. در سال‌های اخیر تکنیک سنجش از دور (RS) با قابلیت‌های خاص خود برای تهیه‌ی تصاویر

6- Schumm
7-Reading
8-Chris Parker
9-Gabrielle

1-Leopold and Wolman
2-Meandering
3-Braided
4-Biedenharn and et al
5-Thorne

از لحاظ تقسیمات کشوری منطقه مورد مطالعه در استان لرستان و شرق شهرستان خرم‌آباد واقع شده است (مهندسین مشاور آبدان فراز، ۱۳۸۰: ۱۰).
حوضه‌ی این رودخانه با شکلی تقریباً مستطیلی شکل از شرق به غرب گسترش یافته است. متوسط بارندگی سالانه آن در حدود ۵۰۰ میلی‌متر، متوسط درجه حرارت بین ۶ تا ۲۸ درجه، متوسط رطوبت نسبی ۰/۵۰، حداکثر ارتفاع ۳۶۰۰ متر، ارتفاع نقطه خروجی آن ۱۵۳۰ متر، مساحت آن ۱۱۲۳ کیلومتر مربع و طول رودخانه هررود از سرچشمه تا محل ایستگاه هیدرومتری کاکارضا ۸۳ کیلومتر بوده و آورد سالیانه آن بیش از ۳۰۰ میلیون متر مکعب است (شکل ۱).



شکل ۱: حوضه آبریز رودخانه هررود و موقعیت آن در استان لرستان
مأخذ: آبدانان فراز، مهندسین مشاور، ۱۳۸۰

مواد و روش‌ها

در این پژوهش مورفولوژی رودخانه‌ی هررود از طریق مقایسه‌ی زمانی و مکانی تغییرات صورت گرفته و با استفاده از اندازه‌گیری‌های کمی مورد بررسی قرار گرفته است. برای بررسی پلان رودخانه و مشخصات هندسی آن از عکس‌های هوایی سال ۱۳۳۴ سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح، تصاویر ماهواره‌ای IRS

رسوب، و غیره، تغییرات مورفولوژی رودخانه‌ها را بررسی کرده‌اند.

با این وصف بررسی دقیق الگوی پیچان‌رودی و مورفولوژی رودخانه‌ها به عنوان یک پارامتر مؤثر به منظور شناخت مخاطرات و راههای حفظ منابع و سرمایه‌های موجود در مناطق مختلف بسیار ضروری به نظر می‌رسد.

مسأله‌ی اصلی این پژوهش نیز تغییرات جانبی رودخانه مورد مطالعه بوده است که در سال‌های گذشته راه‌های ارتباطی، اراضی زراعی و خلاصه سازه‌های انسانی را در کناره‌های این رودخانه مورد تهدید قرار داده است. بنابراین باتوجه به وجود فرسایش کناری و تغییرات مورفولوژی رودخانه مورد بحث، هدف آن است تا ژئومورفولوژی رودخانه‌ی هررود و تغییرات آن در یک دوره‌ی زمانی ۵۲ ساله با اهداف زمینه‌های کاربردی در طرح‌های مختلف مهندسی رودخانه مورد مطالعه قرار گیرد. با این هدف، شناسایی متغیرهای مؤثر در ناپایداری‌های بستر برای شناخت الگوی رودخانه، روند تغییرات و جابجایی مسیر رودخانه در یک دوره‌ی زمانی طولانی‌مدت و بررسی عوامل و مکانیزم تغییرات بستر ضروری است و به نظر می‌رسد، بخش‌ها و مسیرهای بحرانی از نظر فرسایش کناری در رودخانه تشخیص داده شود. این کار با اقتباس از مطالعات قبلی و محاسبه‌ی پارامترهای هندسی رودخانه و پیمایش‌های میدانی پایه‌ریزی شده است.

محدوده‌ی مورد مطالعه

رودخانه‌ی هررود بین $15^{\circ} 48'$ تا 49° درجه طول شرقی و $32^{\circ} 22'$ الی $33^{\circ} 52'$ درجه عرض شمالی واقع شده است. این رودخانه قسمتی از سرشاخه‌های رودخانه کرخه را که در سلسله جبال زاگرس واقع شده تشکیل می‌دهد.

برای سال ۱۳۳۴ با استفاده از رقومی کردن دو طرف بستر رودخانه بر روی عکس‌های هوایی انجام شده است. همچنین میانگین عمق رودخانه در بازه‌های مورد مطالعه با استفاده از مشاهدات میدانی صورت گرفته است، بدین صورت که برای سال ۱۳۳۴ با استفاده از مشاهده پادگانه‌های قدیمی، اندازه‌گیری داغ آب سیلاب‌ها و همچنین مصاحبه از اهالی روستاهای مستقر در مسیر رودخانه، عمق رودخانه تخمین زده شده و برای سال ۱۳۸۶ اندازه‌گیری در چند نقطه از مسیر رودخانه انجام شده و سپس میانگین عمق رودخانه با استفاده از این اندازه‌گیری‌ها لحاظ شده است. پس از انجام این اندازه‌گیری‌ها مقایسه آماری بین مشخصات هندسی به دست آمده از دو دوره‌ی زمانی صورت گرفته است.

همچنین با استفاده از مسیرهای ترسیمی، تغییرات مکانی مسیر رودخانه در گذشته و حال مشخص و نسبت به هم مقایسه شده‌اند. به منظور روشن شدن بهتر وضعیت مورفولوژی رودخانه و تشریح مشخصات هندسی اندازه‌گیری شده و با توجه به شکل مقطع و تغییر خصوصیات مورفولوژیک رودخانه هررود در طول مسیر به ۴ بازه‌ی فرعی تقسیم شده است و در هر کدام از این بازه‌ها بررسی‌ها به صورت مجزا انجام شده است و در نهایت با توجه به نتایج به دست آمده به بررسی علل تغییرات مورفولوژی رودخانه پرداخته شده است. موقعیت این بازه‌ها در شکل ۲ نشان داده شده است.

سال ۱۳۸۶ (۲۰۰۷) با قدرت تفکیک ۵ متر، تصاویر ماهواره‌ای Aster سال ۱۳۸۴ (۲۰۰۵) با قدرت تفکیک ۱۵ متر و تصاویر گوگل ارث رودخانه مورد مطالعه استفاده شده است. با توجه به اینکه برای محاسبه پارامترهای هندسی نیاز به پلان مسیر رودخانه بوده است، بنابراین با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و عکس‌های هوایی موجود مسیر رودخانه در سال‌های ۱۳۳۴ و ۱۳۸۶ از روی مدارک مذکور ترسیم گردید. جهت مختصات‌دار کردن عکس‌های هوایی از نرم‌افزار Arc GIS و سیستم مختصات WGS 84 زون ۳۹ شمالی با استفاده از عارضه‌های ثابت مانند پل‌ها، روستاها و غیره انجام شده است. رقومی‌سازی مسیر رودخانه هررود بر روی عکس‌های هوایی و تصویر ماهواره‌ای در محیط نرم‌افزاری Arc GIS صورت گرفته و در نهایت وضعیت پلان رودخانه در دو دوره‌ی زمانی فوق‌الذکر استخراج شده است.

پارامترهای هندسی رودخانه نظیر طول موج، ضریب خمیدگی، زاویه مرکزی پیچان‌رودها، شعاع پیچان‌رود، شعاع نسبی، طول دره و غیره در دو دوره‌ی فوق‌الذکر با ترسیم دایره‌های مماس بر پیچان‌رودهای رودخانه در محیط نرم‌افزاری اتوکد^۱ اندازه‌گیری شده است. برای این منظور ابتدا مسیر رودخانه در دو دوره‌ی زمانی مورد مطالعه که در محیط نرم‌افزاری Arc GIS رقومی شده با فرمت اتوکد خروجی گرفته شده و سپس در محیط این نرم‌افزار پس از ترسیم دایره‌های مماس بر پیچان‌رودها، پارامترهای هندسی طول موج، طول دره، شعاع پیچان‌رود، شعاع نسبی و زاویه مرکزی استخراج گردیده است.

لازم به ذکر است که عرض بستر رودخانه در محیط نرم‌افزاری Arc GIS با استفاده از انطباق تصاویر ماهواره‌ای با تصاویر گوگل ارث برای سال ۱۳۸۶ و

جدول ۱: تغییرات پارامترهای هندسی رودخانه هررود (سال ۱۳۳۴)

پارامترهای هندسی / موقعیت محدوده	کله جوب تا دهنو	دهنو تا چغلوندی	چغلوندی تا چهارزاباشی	چهارزاباشی تا ایوان در
تعداد پیچان رود	۷۴	۵۹	۶۳	۳۴
میانگین عرض رودخانه (متر)	۴۴	۲۸/۵	۳۵	۲۸
میانگین عمق رودخانه (متر)	۴	۷	۸	۱۰
زاویه مرکزی (درجه)	۸۹	۱۲۰	۱۲۱	۸۹
میانگین شعاع دایره (متر)	۱۵۴	۱۵۴	۱۵۰	۲۰۷
میانگین طول موج (متر)	۲۱۱	۵۱۹	۵۲۱	۷۹۳
میانگین طول دره (متر)	۲۷۰	۷۹۷	۷۵۶	۸۹۶
شاخص پیچان رودی / خمیدگی	۱/۲۳	۱/۵۳	۱/۴۴	۱/۱۲
شعاع نسبی	۲/۲۸	۶/۲۷	۴/۸۶	۸/۹۳
نسبت طول دره به عرض	۱۱/۶۷	۳۲/۳۷	۲۵/۱	۳۶/۷۹
نسبت طول موج به عرض	۸/۸۷	۲۱/۱۱	۱۷/۱۶	۳۱/۹۷

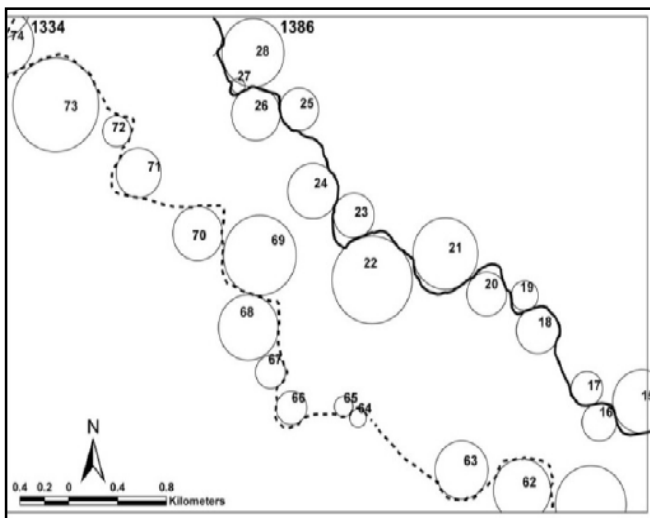
مأخذ: نگارندگان

جدول ۲: تغییرات پارامترهای هندسی رودخانه هررود (سال ۱۳۸۶)

پارامترهای هندسی / موقعیت محدوده	کله جوب تا دهنو	دهنو تا چغلوندی	چغلوندی تا چهارزاباشی	چهارزاباشی تا ایوان در
تعداد پیچان رود	۲۹	۶۳	۵۹	۴۱
میانگین عرض رودخانه (متر)	۸۱	۵۰	۵۴	۲۹
میانگین عمق رودخانه (متر)	۴	۷	۸	۱۱
زاویه مرکزی (درجه)	۱۰۷	۱۳۲	۱۲۵	۸۱
میانگین شعاع دایره (متر)	۱۶۸	۱۳۸	۱۴۱	۱۸۵
میانگین طول موج (متر)	۵۶۹	۴۸۷	۵۱۰	۷۲۳
میانگین طول دره (متر)	۷۴۹	۷۶۴	۷۷۴	۸۳۲
شاخص پیچان رودی / خمیدگی	۱/۳	۱/۶	۱/۵	۱/۱
شعاع نسبی	۱/۹	۴/۷	۳/۵	۷/۸
نسبت طول دره به عرض	۸/۷	۲۵/۱	۱۸/۵	۳۴
نسبت طول موج به عرض	۶/۷	۱۶	۱۲	۳۰

مأخذ: نگارندگان

برای به دست آوردن زاویه مرکزی و شعاع دایره پس از برازش دواپر مماس بر قوس رودخانه (شکل ۳)، زاویه مرکزی هر قوس در نرم افزار اتوکد محاسبه گردید و سپس میانگین حسابی برای ۴ بازه ی مورد مطالعه در دو دوره ی زمانی محاسبه و نتایج آنها با هم مقایسه شده است.



شکل ۳: تغییرات مورفولوژی رودخانه هررود از سال ۱۳۳۴ تا ۱۳۸۶ در قسمت پایانی بازه ی اول مأخذ: نگارندگان

با توجه به جداول ۱ و ۲ در بازه ی زمانی مورد مطالعه در ۴ بازه ی مطالعاتی رودخانه هررود به جز بازه ۴ که در سال ۱۳۳۴ در رده پیچان رودی توسعه یافته قرار داشته و در سال ۱۳۸۶ به پیچان رود توسعه نیافته تغییر یافته (به علت کوهستانی بودن بازه)، ۳ بازه دیگر با توجه به تقسیم بندی کورنیس از نظر توسعه ی پیچان رودی در رده ی پیچان رودی توسعه یافته قرار گرفته اند ولی میانگین زاویه مرکزی پیچان رودهای این ۳ بازه نسبت به سال ۱۳۳۴ افزایش یافته است، به عبارت دیگر میزان توسعه یافتگی پیچان رودهای سال ۱۳۸۶ نسبت به سال ۱۳۳۴ بیشتر است در حالی که میزان توسعه پیچان رودی بازه ۴، به علت کوهستانی بودن مسیر، از سال ۱۳۳۴ نسبت به سال ۱۳۸۶ کاهش یافته یعنی رودخانه به سمت پیچان رودی توسعه نیافته تغییر شکل داده است. همچنین با افزایش زاویه مرکزی

مقایسه پارامترهای هندسی

در این بخش، پارامترهای هندسی رودخانه مورد مطالعه در دو دوره ی زمانی ۱۳۳۴ و ۱۳۸۶ به شرح زیر با هم مقایسه شده و تجزیه و تحلیل شده اند.

تعداد پیچان رودها

تعداد پیچان رودهای رودخانه هررود از ۲۳۱ پیچان رود در سال ۱۳۳۴ به ۱۹۲ پیچان رود در سال ۱۳۸۶ کاهش یافته است. به عبارت دیگر در طول ۵۲ سال گذشته تعداد ۴۹ پیچان رود (حدود ۲۱٪) حذف شده است که بیشترین تعداد پیچان رودهای حذف شده در محدوده ی بازه شماره ۱ واقع شده اند. تغییرات تعداد پیچان رودها در بخش های بعدی رودخانه ی هررود بسیار اندک بوده است.

زاویه مرکزی - شعاع دایره

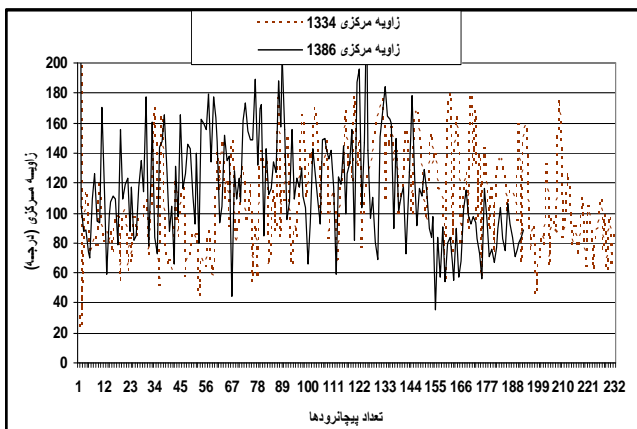
زاویه مرکزی به عنوان معیاری جهت تقسیم بندی و شناسایی میزان توسعه پیچان رودی یک رودخانه مورد استفاده قرار می گیرد. کورنیس^۱ برای بیان کیفی توسعه و پیشرفت پیچان رودی شدن رودخانه های آبرفتی و تمایز آنها از یکدیگر از معیار زاویه مرکزی استفاده نموده است. بر این اساس وی جدول (۳) را پیشنهاد نموده است (تلوری، ۱۳۷۱: ۱۰۰).

جدول ۳: استفاده از زاویه مرکزی برای تقسیم بندی توسعه

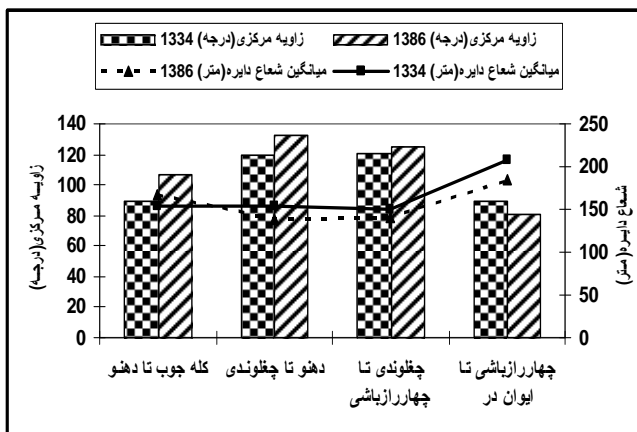
پیچان رودی رودخانه

زاویه مرکزی (درجه)	شکل رودخانه
۰	مستقیم
۰ - ۴۱	شبه پیچان رودی
۴۱ - ۸۵	پیچان رودی توسعه نیافته
۸۵ - ۱۵۸	پیچان رودی توسعه یافته
۱۵۸ - ۲۹۶	پیچان رودی زیاد توسعه یافته
۲۹۶ >	شاخ گاوی

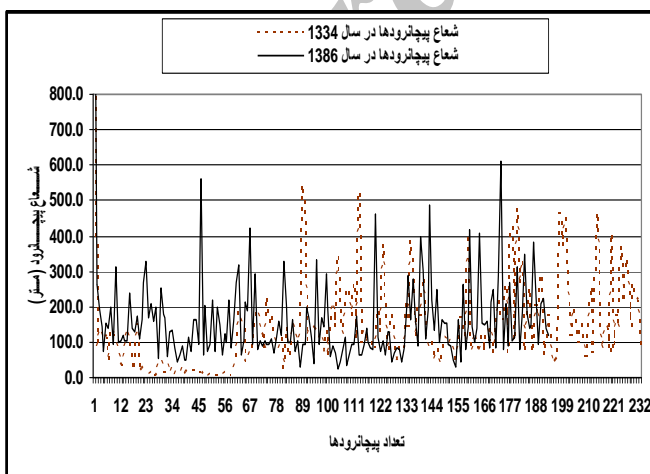
مأخذ: تلوری، ۱۳۷۱.



شکل ۴: تغییرات زاویه مرکزی و شعاع دایره مماس بر قوس‌های رودخانه هررود در دو دوره زمانی ۱۳۳۴ و ۱۳۸۶. مأخذ: نگارندگان

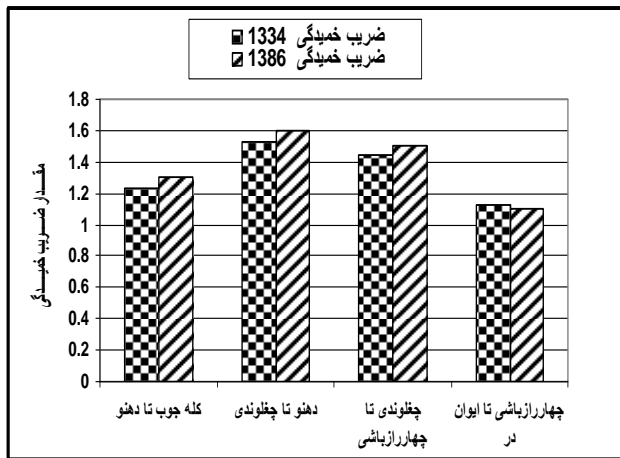


شکل ۵: تغییرات زاویه مرکزی پیچان‌رودهای رودخانه هررود در سال ۱۳۳۴ و ۱۳۸۶. مأخذ: نگارندگان



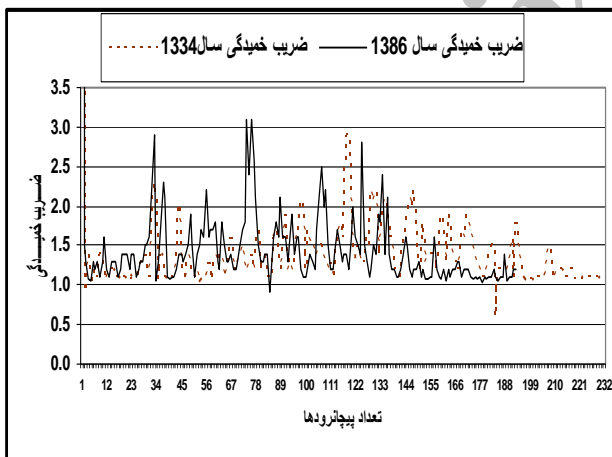
شکل ۶: تغییرات شعاع پیچان‌رودهای رودخانه هررود در سال ۱۳۳۴ و ۱۳۸۶. مأخذ: نگارندگان

رودخانه در ۳ بازه (کله جوب تا دهنو، دهنو تا چغلوئندی، چغلوئندی تا چهارآزباشی) در سال ۱۳۸۶، میانگین شعاع دایره مماس بر پیچان‌رودهای رودخانه در سال ۱۳۸۶ کاهش یافته است به جزء بازه اول که همراه با افزایش زاویه مرکزی در سال ۱۳۸۰، میانگین شعاع دایره‌ی مماس بر قوس‌ها نیز افزایش داشته است و به همین دلیل بیشترین تغییر شکل‌ها در این بازه تغییرات عرضی بستر بوده که علت آن فرسایش‌پذیر بودن سازندهای تشکیل‌دهنده‌ی بستر و کناره‌ها می‌باشد. در بازه‌ی ۴ نیز کاهش زاویه مرکزی در سال ۱۳۸۶ با کاهش میانگین شعاع نیز همراه بوده که این حالت نشان‌دهنده‌ی تغییرات بسیار کم مورفولوژی رودخانه در طول این مسیر می‌باشد. اما میزان این نسبت در دو بازه‌ی میانی نشان‌دهنده‌ی افزایش حالت سینوسی رودخانه‌ی هررود در ۵۲ سال گذشته می‌باشد (شکل‌های ۴ و ۵). تغییرات شعاع پیچان‌رودها نشان می‌دهد که شعاع پیچان‌رودها به جز بازه ۱ در ۳ بازه دیگر از سال ۱۳۳۴ نسبت به سال ۱۳۸۶ کاهش یافته است و در بازه‌ی ۱ به علت تغییر الگوی رودخانه از حالت شریانی به سمت پیچان‌رودی این نسبت افزایش یافته است. در سه بازه‌ی دیگر کاهش شعاع پیچان‌رودها به علت پیچان‌رودی بودن مسیر رودخانه است هر چند که در بازه‌ی ۴ کاهش شعاع پیچان‌رودها نسبت به سال ۱۳۳۴ به معنای تغییر مورفولوژی رودخانه در این بازه نیست بلکه تنها نشان‌دهنده‌ی توسعه شعاع حلقه‌های پیچان‌رودی در بعضی قوس‌ها است، چون که در واقع رودخانه در بازه‌ی کوهستانی در یک مسیر پیچ و خم‌دار جریان یافته است نه اینکه توسعه الگوی پیچان‌رودی رودخانه در اثر فرسایش کناری، باعث پیچ و خم پیدا کردن مسیر رودخانه شده باشد (شکل ۶).



شکل ۷: تغییرات ضریب خمیدگی رودخانه هررود در سال‌های ۱۳۳۴ و ۱۳۸۶. مأخذ: نگارندگان

شکل (۸) نیز نشان می‌دهد که در سال ۱۳۳۴ در محدوده‌ی بازه‌های ۲ و ۳ (دهنو تا چهاررازیاشی) نوسانات زیادی در ضریب خمیدگی رودخانه وجود نداشته است. در حالی که نوسانات ضریب خمیدگی در بازه‌ی ۴ بسیار کم بوده و در بازه‌ی ۱ نوسانات نسبت به بازه‌های ۲ و ۳ بیشتر بوده است.



شکل ۸: نوسانات ضریب خمیدگی پیکان‌رودهای رودخانه هررود در سال ۱۳۳۴. مأخذ: نگارندگان

طول موج و طول درّه

طول موج و طول درّه رودخانه دو پارامتر اصلی در طبقه‌بندی رودخانه و تعیین ضریب خمیدگی رودخانه‌ها هستند و معمولاً بین این دو پارامتر همبستگی بالایی وجود دارد. برای به دست آوردن طول موج و طول درّه

ضریب خمیدگی

شاخص ضریب خمیدگی (ضریب پیچشی) یکی از معیارهای کمی است که در تقسیم‌بندی شکل رودخانه مورد استفاده قرار می‌گیرد. با استفاده از فرمول $S = \frac{L}{\lambda \cdot 2}$ یعنی با تقسیم کردن طول دره بر طول موج، ضریب خمیدگی برای هر قوس محاسبه می‌شود (پیروان و همکاران، ۱۳۷۶: ۲۲۰). پیتز^۱ (۱۳۶۵) نیز برحسب میزان ضریب خمیدگی ۴ نوع رودخانه را به شرح جدول ۴ تقسیم‌بندی نموده است.

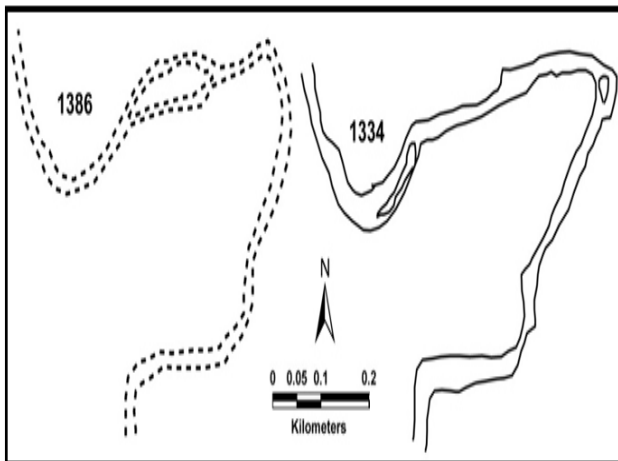
جدول ۴: تقسیم‌بندی رودخانه‌ها برحسب ضریب خمیدگی

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

مأخذ: تلوری، ۱۳۷۱.

با توجه به جدول فوق، رودخانه هررود در دو دوره‌ی زمانی مورد بررسی ۱۳۳۴ و ۱۳۸۶ در گروه رودخانه پیکان‌رودی و سینوسی قرار دارد، به طوری که در سال ۱۳۳۴ بازه‌های ۲ و ۳ در طبقه رودخانه‌های پیکان‌رودی و بازه‌های ۱ و ۴ در طبقه رودخانه‌های سینوسی قرار دارند. اما این نسبت در سال ۱۳۸۶ بدین صورت است که بازه‌ی ۱ نیز حالت پیکان‌رودی پیدا کرده اما بازه‌ی ۴ در همان حالت سینوسی باقی مانده است و علت آن کوهستانی بودن مسیر رودخانه در این بازه می‌باشد. همچنین تغییرات ضریب خمیدگی در سال ۱۳۳۴ بین ۰/۶ تا ۲/۹ در نوسان بوده در حالی که این میزان در سال ۱۳۸۶ بین ۰/۹ تا ۳/۱ در نوسان بوده است. بنابراین می‌توان گفت که تغییرات ضریب خمیدگی در یک دامنه‌ی محدود مشاهده می‌شود و نشان‌دهنده‌ی وجود قوس‌های تقریباً مشابه در طول رودخانه است (شکل ۷).

به عبارت دیگر شکل ۹ نشان می‌دهد که ماکزیمم طول موج در دوسری زمانی مورد مطالعه در بازه‌ی ۴ (چهار رازباشی تا ایوان در) قرار داشته است و علت آن را می‌توان به این صورت تشریح کرد که با افزایش فاصله دو پیچان رود متوالی در این محدوده و به عبارتی کاهش تراکم تعداد پیچان رودها در واحد طول، میزان ضریب خمیدگی نیز کاهش می‌یابد. در بازه ۲ و ۳ نیز طول موج در سال ۱۳۸۶ نسبت به سال ۱۳۳۴ کاهش یافته یعنی فاصله پیچان رودهای متوالی نسبت به هم کمتر شده است (شکل ۱۰).



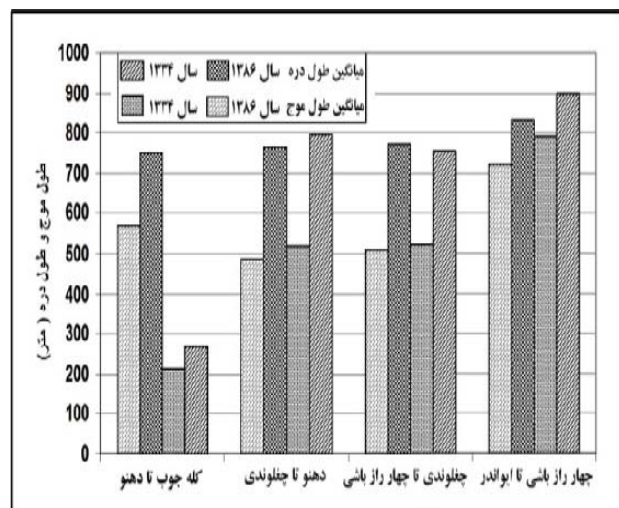
شکل ۱۰: کاهش طول موج در نتیجه تغییر مسیر و توسعه‌ی پیچان رودی در یکی از قوس‌های بازه‌ی ۳ طی دو دوره
مأخذ: نگارندگان

شعاع نسبی

شعاع نسبی، شعاع دایره محاط بر قوس رودخانه نسبت به عرض رودخانه است. شن^۱ (۱۳۶۳) با توجه به دامنه شعاع نسبی، تقسیم‌بندی جدول ۵ را ارائه نموده است. بر این اساس هر چه شعاع نسبی بزرگتر باشد، نشانه ملایم بودن قوس مربوطه است و شعاع نسبی کم نشان‌دهنده‌ی تحت فشار و ناپایدار بودن قوس رودخانه است.

روی نقشه محور مسیر رودخانه، ابتدا نقاط عطف یا نقاط تغییر انحنای محور رودخانه با دقت زیاد مشخص گردید و سپس با استفاده از نرم‌افزار اتوکد این دو پارامتر اندازه‌گیری شد.

بررسی تغییرات طول موج و طول دره‌ی رودخانه هررود نشان می‌دهد که در بازه ۱ میانگین تغییرات طول موج و طول دره در سال ۱۳۸۶ نسبت به سال ۱۳۳۴ بیش از دو برابر شده و علت آن را می‌توان به این صورت بیان کرد که قدرت مانور رودخانه در این محدوده به علت آبرفتی و سست بودن بستر نسبت به بازه‌های کوهستانی بیشتر است. همچنین در بازه‌های ۲، ۳ و ۴ میانگین طول موج در سال ۱۳۸۶ نسبت به سال ۱۳۳۴ کاهش یافته است اما میانگین طول دره در بازه ۳ در سال ۱۳۸۶ نسبت به سال ۱۳۳۴ افزایش یافته است یعنی خط مرکزی رودخانه در این بازه نسبت به سال ۱۳۳۴ کاهش یافته است، اما در بازه‌های ۲ و ۴ طول موج و طول دره در سال ۱۳۸۶ نسبت به سال ۱۳۳۴ کاهش یافته یعنی میزان تغییرات در این دو بازه کمتر بوده است (شکل ۹).



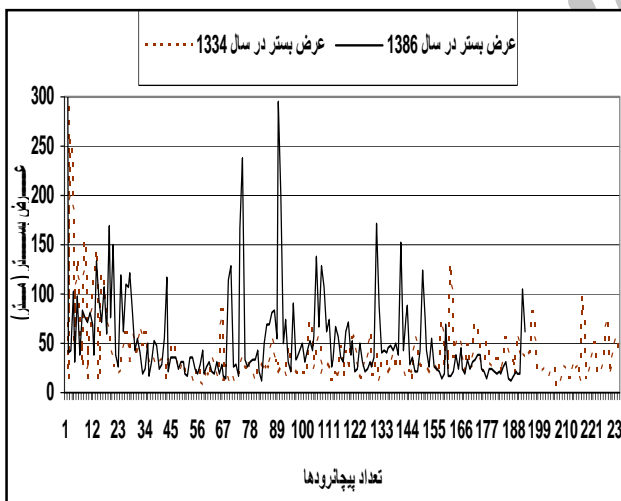
شکل ۹: تغییرات طول موج و طول دره در بازه‌های مورد

مطالعه رودخانه هررود (سال‌های ۱۳۳۴ و ۱۳۸۶)

مأخذ: نگارندگان

عرض رودخانه در رأس قوس‌ها

با توجه به اینکه اندازه‌گیری عرض رودخانه در کل مسیر (۸۰ کیلومتر) با نقشه‌برداری بسیار مشکل است و نقشه‌های با مقیاس بزرگ نیز موجود نمی‌باشد، بنابراین برای به دست آوردن عرض رودخانه در رأس قوس‌ها، سواحل رودخانه بر روی عکس‌های هوایی سال ۱۳۳۴ و تصاویر گوگل ارث سال ۱۳۸۶ در محیط نرم‌افزاری Arc GIS رقومی گردید و سپس در محیط همین نرم‌افزار عرض رودخانه برای هر قوس اندازه‌گیری شد. مقایسه عرض بستر در دوسری زمانی ۱۳۳۴ و ۱۳۸۶ در رودخانه‌ی مورد مطالعه نشان می‌دهد که عرض بستر در سال ۱۳۸۶ در بازه اول تقریباً دوبرابر شده و در بازه‌ی ۴ تغییر عرض بستر بسیار جزئی بوده است (حدود ۱ متر). در بازه‌های ۲ و ۳ نیز به دلایلی که در بالا تشریح شد در بستر رودخانه تغییرات عرض بستر چشم‌گیر بوده است. همچنین بیشترین تغییرات عرضی بستر رودخانه‌ی هررود در بازه‌ی ۱ و کمترین مقدار آن در بازه‌ی ۴ مشاهده می‌شود (شکل ۱۲).



شکل ۱۲: تغییرات عرض بستر در رأس قوس‌های رودخانه هررود در سال‌های ۱۳۳۴ و ۱۳۸۶. مأخذ: نگارندگان

تغییرات الگوی رودخانه و نسبت عرض به عمق

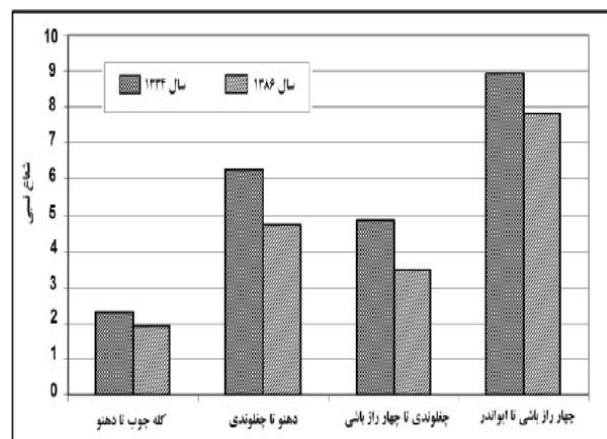
بر اساس الگوی جریان، رودخانه هررود به سه بخش تقسیم می‌شود. بخش اول حدفاصل روستای کله جوب تا دهنو (بازه ۱)، رودخانه دارای الگوی شریانی است و بیشترین تغییرات نیز در این بازه رخ داده است.

جدول ۵: نوع رودخانه بر مبنای شعاع نسبی

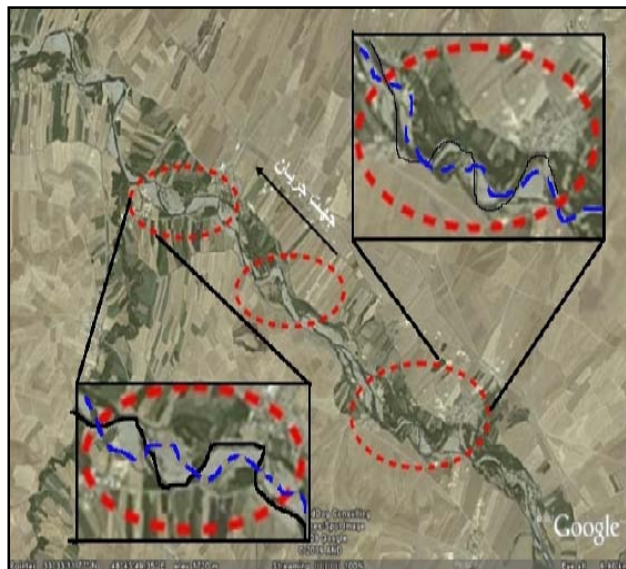
نوع چم	زاویه مرکزی (درجه)
آزاد	۴/۵-۵
محدود شده	۷-۸
تحت فشار	۲/۵-۳

مأخذ: شن، ۱۳۶۳.

با توجه به جدول فوق، بازه‌های مورد مطالعه‌ی رودخانه‌ی هررود در هر سه نوع چم قرار دارند و میزان شعاع نسبی آنها در سال ۱۳۸۶ نسبت به سال ۱۳۳۴ روند نزولی داشته است. به طوری که بازه‌ی ۱ در محدوده تحت فشار قرار دارد و کاهش تعداد پیچان رودها، افزایش ضریب خمیدگی و تغییرات عرضی به نوعی نشان‌دهنده‌ی تحت فشار بودن چم‌های رودخانه در این محدوده است و این مسأله وجود ناپایداری و توسعه و گسترش فرسایش کناری را در این بازه نشان می‌دهد. بازه‌های ۲ و ۳ در محدوده آزاد قرار دارند و کاهش شعاع نسبی آنها در سال ۱۳۸۶ بیانگر کاهش آزادی چم‌های رودخانه و در نتیجه تحت فشار قرار گرفتن چم‌های رودخانه در این بازه‌ها می‌باشد. اما چم‌های بازه ۴ در قسمت محدود شده قرار گرفته‌اند یعنی چم‌های رودخانه به علت کوهستانی بودن محدود شده و کاهش شعاع نسبی این بازه در سال ۱۳۸۶ به این دلیل است که در انتهای این بازه رودخانه دوباره حالت شریانی پیدا می‌کند و تغییرات مورفولوژیکی در آن دیده می‌شود (شکل ۱۱).



شکل ۱۱: تغییرات شعاع نسبی پیچان‌رودهای رودخانه هررود (سال‌های ۱۳۳۴ و ۱۳۸۶). مأخذ: نگارندگان



شکل ۱۴: تغییر بستر در محدوده‌ی بازه ۱ در سال ۱۳۸۶

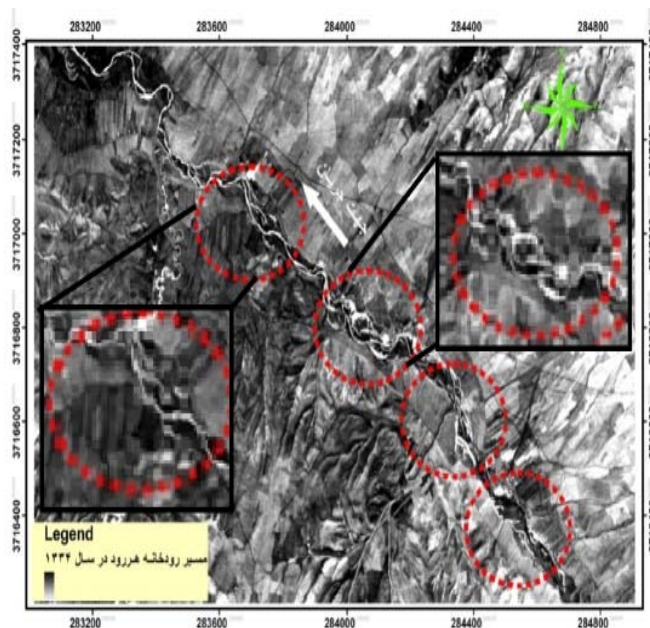
ماخذ: تصویر گوگل ارث، مقیاس تقریبی ۱:۵۰۰۰۰

نتیجه

بررسی پارامترهای هندسی رودخانه‌ها و تغییرات ایجاد شده در شکل و الگوی آنها می‌تواند روند تغییرات آینده را برآورد نماید. پارامترهای هندسی به دست آمده از رودخانه‌ی هررود نیز نشان‌دهنده‌ی تغییرات به وجود آمده در سری‌های زمانی در بازه‌های مورد مطالعه می‌باشد. این پارامترها نشان می‌دهند که بیشترین تغییرات در بازه‌ی ۱ به دلیل سازندهای فرسایش‌پذیر، افزایش بار رسوبی بستر، شریانی بودن رودخانه و پوشش گیاهی اندک روی داده‌است. نوسانات و تغییرات پارامترهایی مانند عرض بستر، تعداد پیچان‌رودها، طول موج و غیره اثبات‌کننده روند این تغییرات می‌باشد. در بازه‌ی ۲ و ۳ علی‌رغم افزایش دبی آب و رسوب و کاهش شیب، تغییرات کمتری ایجاد شده‌است. این تغییرات صرفاً در قسمت بالادست بازه‌ی ۲ و قسمت انتهایی بازه‌ی ۳ در تعدادی از قوس‌ها ایجاد شده‌است. این درحالی است که بخش پیچان‌رودی رودخانه هررود در حد فاصل این دو بازه قرار گرفته‌است. بنابراین با توجه به افزایش دبی آب و رسوب و نیز کاهش شیب که

بخش دوم حد فاصل روستای دهنو تا چهاررازباشی (بازه ۲ و ۳)، که رودخانه دارای الگوی پیچان‌رودی و در بعضی نقاط دارای الگوی مستقیم است و تغییرات چندانی در آن ایجاد نشده‌است. بخش سوم حدفاصل روستای چهاررازباشی تا ایوان در (بازه‌ی ۴)، که رودخانه در طول این مسیر دارای الگوی مستقیم بوده و تغییرات آن بسیار جزئی بوده‌است.

مقایسه متوسط عمق رودخانه نیز نشان می‌دهد که عمق رودخانه تغییرات چشمگیری نداشته‌است، اما مقایسه تغییرات نسبت عرض به عمق رودخانه هررود نشان‌دهنده‌ی تغییرات زیاد در بازه‌ی ۱ و تغییرات ناچیز در بازه‌ی ۴ است به طوری که نسبت عرض به عمق در این بازه در سال ۱۳۸۶ نسبت به سال ۱۳۳۴ کاهش یافته‌است اما در ۳ بازه‌ی دیگر این نسبت افزایش یافته‌است. اشکال (۱۳ و ۱۴) تغییرات عرض بستر را در سال‌های ۱۳۳۴ و ۱۳۸۶ و جدول ۶ تغییرات نسبت عرض به عمق رودخانه‌ی هررود در بازه‌های مورد مطالعه را نشان می‌دهد.



شکل ۱۳: الگوی شریانی در بازه ۱ هررود در سال ۱۳۳۴

(عکس هوایی مقیاس ۱:۵۵۰۰۰)

ماخذ: سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح، ۱۳۵۵

هندسی رودخانه، عوامل مؤثر در تغییرات الگو و مورفولوژی رودخانه‌ی هررود می‌توان استنباط نمود که با وجود افزایش دبی و رسوب از بازه‌ی ۱ به سوی بازه‌ی ۴، میزان تغییرات در راستای این بازه‌ها کاهش یافته است.

نتایج کلی نشانگر عدم وجود رابطه‌ی مستقیم بین عوامل هیدرولوژیکی و تغییرات مورفولوژی است و تأثیرگذارترین پارامتر بر تغییرات مورفولوژی و فرسایش کناری رودخانه‌ی مورد مطالعه، جنس سازنده‌های بستر و کناره‌ها می‌باشد. شکل ۲ تغییرات ایجاد شده در بازه‌ی زمانی مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

مهمترین عوامل در تغییرات مورفولوژی رودخانه‌ها می‌باشند، انتظار می‌رفت، بیشترین تغییرات در این بازه‌ها ایجاد می‌شد. در صورتی که شواهد این موضوع را نشان نمی‌دهند. بررسی‌ها و تلفیق داده‌های مورد بررسی نشان می‌دهد که دلیل اصلی آن وجود سازنده‌های نسبتاً مقاوم در مسیر این بخش از آبراهه می‌باشد. در بازه‌ی ۴ نیز با وجود شرایط مساعد برای تغییرات مورفولوژی و فرسایش کناری، کمترین تغییرات دیده می‌شود و نتایج بررسی‌ها نشان داد که عواملی از جمله، مقاومت سازنده‌ها به فرسایش، مستقیم بودن مسیر رودخانه و تأثیرات توپوگرافی متغیرهای اصلی تأثیرگذار می‌باشند. بنابراین، با توجه به پارامترهای

جدول ۶: تغییرات نسبت عرض به عمق رودخانه هررود در سال‌های ۱۳۳۴ و ۱۳۸۶

سال ۱۳۸۶			سال ۱۳۳۴			بازه‌ی مورد مطالعه
نسبت عرض به عمق	عمق متوسط (متر)	عرض متوسط (متر)	نسبت عرض به عمق	عمق متوسط (متر)	عرض متوسط (متر)	
۲۰/۲۵	۴	۸۱	۱۱	۴	۴۴	کله جوب تا دهنو
۷	۷	۴۹	۴	۷	۲۸/۵	دهنو تا چغلوندی
۶/۷	۸	۵۴	۴/۳	۸	۳۵	چغلوندی تا چهاررازباشی
۲/۶	۱۱	۲۹	۲/۸	۱۰	۲۸	چهاررازباشی تا ایوان‌در

مأخذ: نگارندگان

منابع

- ۱- آبدان فراز، شرکت مهندسين مشاور (۱۳۸۰). جلد دوم (گزارش هیدرولوژی و رسوب)، مطالعات مرحله‌ی اول سد مخزنی ایوشان، آب منطقه‌ای غرب، اداره‌ی کل امور آب استان لرستان.
- ۲- احمدیان یزدی، محمدجواد (۱۳۸۰). بررسی نقش پوشش گیاهی در کنترل فرسایش کناری پیچان رود تجن-هریرود، پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشکده مرتع و آبخیزداری دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.
- ۳- ارشد، صالح؛ سعید مرید؛ هادی ابوالقاسمی (۱۳۸۶). بررسی روند تغییرات مورفولوژیکی رودخانه‌ها با استفاده از سنجش از دور: مطالعه موردی رودخانه‌ی کارون از گتوند تا فارسیات (۸۲-۱۳۶۹)، مجله‌ی علوم کشاورزی و منابع طبیعی. جلد چهاردهم. شماره ششم.
- ۴- آقارضا، حشمت‌اله؛ امیر مرادی‌نژاد؛ غلامرضا گودرزی (۱۳۸۱). تأثیر پوشش گیاهی در حفاظت کناره‌های رودخانه قره‌چای استان مرکزی، ششمین سمینار بین‌المللی مهندسی رودخانه. دانشگاه شهید چمران اهواز.
- ۵- پیروان، حمیدرضا؛ مهدی حبیبی؛ جمال محمدولی سامانی؛ امیرحمزه حقی‌آبی (۱۳۷۶). بررسی ویژگی‌های هندسی-هیدرولیکی پیچان رودهای رودخانه‌ی قزل‌اوزن سفلی و تغییرات زمانی ریخت‌شناسی آن، اولین کنفرانس هیدرولیک ایران.
- ۶- تلوری، عبدالرسول (۱۳۷۳). رودخانه‌ها و مشخصات هندسی آنها، تحقیقات جهاد کشاورزی.
- ۷- تلوری، عبدالرسول (۱۳۷۱). شناخت فرسایش کناری رودخانه در دشت‌های رسوبی، چاپ اول. انتشارات مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع.
- ۸- دولتی، جواد (۱۳۸۷). بررسی تغییرات ژئومورفولوژیکی بخش میانی رودخانه اترک با استفاده از GIS، پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد. دانشگاه تهران. دانشکده‌ی جغرافیا.
- ۹- رنگزن، کاظم؛ بهرام صالحی؛ پروین سلحشوری (۱۳۸۷). بررسی تغییرات منطقه پایین‌دست سد کرخه قبل و بعد از ساخت سد با استفاده از تصاویر چندزمانه‌ی Land Sat، اولین همایش ژئوماتیک ایران.
- ۱۰- رنگزن، کاظم (۱۳۸۱). تأثیر مهاجرت رودخانه‌ها بر ساختمان‌های شهری در دشت خوزستان با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، ششمین کنفرانس بین‌المللی مهندسی رودخانه. دانشگاه شهید چمران اهواز.
- ۱۱- سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح (۱۳۳۴). عکس‌های هوایی با مقیاس ۵۵۰۰۰ : ۱.
- ۱۲- سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح (۱۳۸۴). تصاویر ماهواره‌ای Aster با قدرت تفکیک ۱۵ متر.
- ۱۳- سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح (۱۳۸۶). تصاویر ماهواره‌ای IRS با قدرت تفکیک ۵ متر.
- ۱۴- سازمان زمین‌شناسی کشور (۱۳۷۱). نقشه‌ی زمین-شناسی خرم‌آباد با مقیاس ۲۵۰۰۰ : ۱.
- ۱۵- غریب‌رضا، محمدرضا؛ حمیدرضا معصومی (۱۳۸۵). مورفولوژی رودخانه زهره و تغییرات آن در جلگه ساحلی هندیجان، هفتمین سمینار بین‌المللی مهندسی رودخانه. دانشگاه شهید چمران اهواز.
- ۱۶- غفاری، گلانه؛ کریم سلیمانی؛ ابوالفضل مساعدی (۱۳۸۵). بررسی تغییرات مورفولوژی کناری آبراهه با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (با برود مازندران)، پژوهش‌های جغرافیایی. شماره ۵۷.
- ۱۷- یمانی، مجتبی؛ محمدمهدی حسین‌زاده؛ احمد نوحه‌گر (۱۳۸۵). هیدرودینامیک رودخانه‌های تالار و بابل و نقش آن در ناپایداری و تغییرات مشخصات هندسی آنها، پژوهش‌های جغرافیایی. شماره ۵۵.
- 18- Schumm, S.A (1980). Planform of alluvial river problems, India, Sarita Prakashan Merrut, New Delhi.
- 19- Reading, H. G (1996). Sedimentary environments: Processes, Facies and Stratigraphy, 3rd Edition, Black well Science.
- 20- Biedenharnd, S, Elliot, C.M. and Watson, C. C (1977). The WES Stream investigation and stream bank Stabilization hand book, U. S. Army Engineering.
- 21- Thorne, C.R (2002). Geomorphic analysis of large alluvial rivers, J. Geomorphology, Vol 44, No 5, 203-219.
- 22- Gabrielle, CL., David and et al (2009). The impacts of ski slope development on stream channel morphology in white river national Forest, Colorado, USA- Journal home page, Geomorphology, 375- 388.
- 23- Chris parker and et al (2008). The effects of variability in bank material properties on river bank stability, Goodwin Creec, Mississippi, Journal home page.
- 24- Kornish, MRS (1980). Meander Travel in Alluvial Streams, (4) 35-82 in Proceeding of the International Work Ship on Alluvial River Problems. India. Sarita Prakashan Meerut, New Delhi.
- 25- Leopold, L.B and M.G, Wolman (1960). River Meanders, Geological Society of America Bulletin, V 71.
- 26- Petts, G.E. et al (1986). Historical Change Large Alluvial River, John Wiley and Sons.
- 27- Shen, H. W (1971) River Mechanics, Vol, I, and II, Colorado State University, For Collins Colorado.