نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی سال هجدهم، شماره ۴۹، تابستان ۹۷

پایش و بررسی علل تغییرات زمانی و مکانی بستر رودخانه بالهارود براساس پارامترهای هندسی

دریافت مقاله: ۹۶/۹/۱۰ پذیرش نهایی: ۹۷/۱/۲۲

صفحات: ۱۲۵-۱۱۱

طیبه کیانی: استادیار گروه ژئومورفولوژی دانشگاه خوارزمی [۱]
t.kiani@khu.ac.ir
محسن پوربشیر هیر: دانش آموخته کارشناسی ارشد ژئومورفولوژی دانشگاه خوارزمی
Mohsen.pourbashir@gmail.com

چکیده

رودخانه‌ها و آبراهه‌ها سیستمی کاملا پویا بوده و الگوی مورفولوژیک آن‌ها به‌طور پیوسته در طول زمان تغییر می‌کند که گاهی اوقات، فرسایش کناره‌ای و آسیب‌رسانی به تأسیسات ساحلی و جابجایی مرز را به دنبال دارند. ازاین‌رو بررسی رفتار هیدرولوژیکی آن باید همواره مورد توجه باشد. ایران دارای چندین رودخانه مرزی با همسایگان خود است که مطالعه آن‌ها از رویکرد تغییر بستر باید همواره موردتوجه باشد. در این تحقیق رودخانه مرزی بالهارود که ۶۲ کیلومتر از مرز ایران با جمهوری آذربایجان در استان اردبیل را تشکیل می‌دهد با رویکرد تغییر بستر از طریق مطالعه شاخص‌های هیدرومورفولوژی ضریب سینوسیته، شعاع خمش و زاویه مرکزی برای بازه زمانی ۱۳۳۴ و ۱۳۹۵ به ترتیب با استفاده از نقشه پروتکل ۱/۲۵۰۰۰ و تصاویر ماهواره‌ای ETM مطالعه گردید و شاخص‌های مذکور در نرم‌افزار اتوکد و Arc map محاسبه شد. نتایج نشان می‌دهد که الگوی پیچان‌رودی بالهارود در طی بازه زمانی ۶۱ ساله شدیدتر شده و میزان تغییرات بستر رودخانه بسیار بالا بوده است به‌طوری‌که فقط در مورد شاخص ضریب خمیدگی تعداد خم‌های رودخانه از ۵۹۱ خم در سال ۱۳۳۴ به ۸۵۷ عدد در سال ۱۳۹۵ رسیده که بیانگر تغییر شدید مورفولوژی رودخانه است. مقادیر شعاع خمیدگی در کل بازه، مؤید وجود قوس‌های تقریبا مشابه در می باشد. این شاخص برای سال ۱۳۳۴ نشان‌دهنده حالت پیچان‌رودی‌تر بخش پایاب نسبت به سراب و برعکس این حالت برای سال ۱۳۹۵ است؛ که می‌تواند به دلیل تغییر شرایط اقلیمی و تکتونیکی باشد. همچنین مجموع عواملی مانند: دخالت‌های انسانی، ماهیت خشکی اقلیم، پوشش گیاهی، بافت سست، در روند تغییر بستر دخیل هستند به‌طوری‌که بیشتر تغییرات در محدوده مناطق مسکونی با پوشش گیاهی ضعیف‌تر رخ داده است که انجام اقدامات حفاظتی ازجمله تثبیت سواحل و افزایش پوشش گیاهی و شناخت موانع دست‌اندازی به حریم رودخانه از اهمیت زیادی برخوردار است.

کلید واژگان : ضریب خمیدگی، زاویه مرکزی، تغییر بستر رودخانه، بالهارود، GIS.

۱- **مسئول مقاله**: دانشگاه خوارزمی، دانشکده علوم جغرافیایی، گروه ژئومورفولوژی ۰۲۱۸۸۳۲۹۲۲

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1397.18.49.9.2]
[DOI: 10.29252/jgs.18.49.111]

مقدمه

مورفولوژی رودخانه‌ها از منظرهای مختلف قابل‌بررسی است ازجمله زمین‌شناسی، نوع مسیر، لایه‌بندی، دانه‌بندی مصالح بستر و سواحل و قدرت و انرژی سیلاب‌ها (Breach, 2008). در بخش‌های مختلف یک محدوده‌ی مکانی، رودخانه که به حالات مختلف جاری می‌گردد (بیاتی خطیبی و زاهدی، ۱۳۸۷). ازاین‌رو، سیستم‌های رودخانه‌ای بزرگ به‌ندرت از یک نوع الگوی ویژه تبعیت می‌کنند (Edgardo, 2008) و الگوی مورفولوژیک آن‌ها به‌طور پیوسته در طول زمان تحت تاثیر گسل‌ها و درزه‌ها و غیره تغییر می‌کند (huggett,2007)، از طرفی رودخانه‌های مئاندری از پدیده‌های ژئومورفیک پویا در سطح زمین هستند به‌طوری‌که مرتبا تغییر مسیر می‌دهند (لوچی[2] و همکاران، ۲۰۱۰) به همین دلیل می‌تواند فرسایش کناره‌ای و آسیب‌رسانی به تأسیسات ساحلی و جابجایی مرز را به دنبال داشته باشد. اگرچه عوامل متعددی مانند انحراف آبراهه در کناره‌ها، فرسایش عمقی کف رود، اختلاف سازند بستر و سیل‌خیزی، باعث تخریب دیواره و تغییر الگوی مجاری رود می‌شود (یمانی و شرفی، ۱۳۹۱) ولی معمولاً یک یا دو عامل غالب این تغییرات را کنترل می‌کنند. بستر رودخانه‌ها در طول زمان به دلیل تحولات دینامیکی و تاثیرات ناشی از آن تغییرات نسبتا زیادی دارند به‌ویژه رودهایی که سیلابی هستند می‌توانند مزید بر این علت شده و خسارات جدی به تاسیسات انسانی و اراضی کشاورزی وارد سازند. مورفولوژی الگوی بستر رودخانه‌ها در طی زمان تابع عوامل متعددی همچون جنس سازندهای زمین‌شناسی، دبی سیلاب، پوشش گیاهی و توپوگرافی است. اما بررسی‌های تغییر بستر رودخانه‌ها نشان می‌دهد که این نوع مورفولوژی از یک سری قواعد تبعیت می‌کنند به‌عبارت‌دیگر، الگوی تغییر بستر رودخانه‌ها (پیچان‌رودی) تابع فرآیندهای غالب و مجموعه عواملی است که در طی زمان اعمال می‌شود (نوحه‌گر و یمانی، ۱۳۸۲). این تغییرات به‌خصوص برای رودخانه‌های مرزی بسیار حائز اهمیت و درخور توجه است به‌طوری‌که یکی از موضوعات محوری در مطالعات جغرافیای سیاسی به شمار می‌رود. مطالعات در زمینه مورفولوژی رودخانه‌ها به‌منظور شناسایی کلی شکل، فرآیند توسعه و روند تغییرات آن جهت تحلیل پایداری و فرسایش کناره‌ای رودخانه‌ها و دستیابی به قانونمندی کلی صورت می‌گیرد (احمدی، ۱۳۹۳). بنابراین درک طبیعت و میزان تغییرات انجام‌یافته موجب می‌شود علل فرسایش کناره‌های رودخانه را شناسایی و روند این پدیده را در آینده ارزیابی نمایندکه برای رسیدن به این هدف باید متغیرهایی را که در سیستم‌های رسوبی رودخانه‌ای دخیل هستند تحلیل و ارزیابی کرد.

رودخانه‌ها دارای اهمیت بسیار بالای اکولوژیکی هستند و رگ‌های حیاتی ارتباطی جهان به‌شمار می‌روند. محل رویش تعداد زیادی از گیاهان و زیستگاه‌های متنوعی از آبزیان بوده و ساختار زیست‌محیطی پیچیده‌ای دارند. رودخانه‌ها به‌عنوان بخشی از ثروت طبیعی هر کشوری نقش بسیار بااهمیتی در توسعه هر کشور دارد. مساله مرزبندی رودخانه‌هایی که از قلمرو دو یا چند کشور عبور می‌کنند یا قلمرو آنها را از یکدیگر جدا می‌سازند و نحوه بهره‌برداری و تعیین حقابه هر کشور از رودخانه‌های مشترک از جمله مسایلی هستند که حیطه و عمل حقوق بین‌الملل آب را گسترش داده و آن را به یکی از شاخه‌های با اهمیت حقوق بین‌الملل تبدیل کرده است و از جمله موضوعات مورد مناقشه و اختلاف میان کشورهای مختلف است که مخاصمات مسلحانه بین کشورها

2 - Luchi

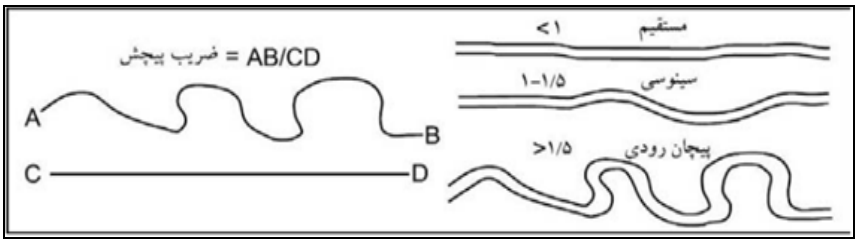
[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1397.18.49.9.2]
[DOI: 10.29252/jgs.18.49.111]

را موجب شده و صلح و امنیت بین‌المللی را در مناطق کم‌آب و بحران‌زده به‌شدت تهدید می‌کند؛ در هیچ جای دنیا به‌اندازه منطقه خاورمیانه مسئله آب بر شکل‌گیری مسائل سیاسی، معیشتی و اقتصادی مؤثر نبوده است. منطقه غرب آسیا و به‌طورکلی خاورمیانه جزو یکی از خشک‌ترین اقلیم‌های جهان بوده و ایران نیز در این منطقه، شدیدا نیازمند آب و رودخانه‌های جاری در آن است به همین سبب از دیرباز رودخانه‌ها و نحوه استفاده از آب آن‌ها با اهمیت بوده است.

منطقه موردمطالعه در تحقیق حاضر بستر رودخانه بالهارود است که از کوههای آجارود سرچشمه می‌گیرد و با رسیدن به مرز حدود ۶۰ کیلومتر مرز مشترک دو کشور ایران و جمهوری آذربایجان را تشگیل می دهد و پس از طی این مسافت از خط مرزی گذشته و به دریاچه چاله محمود می‌ریزد؛ در رودخانه مذکور تغییرات در مسیر آب یا جابجایی آن و خصوصا تغییر بستر آن به چشم می‌خورد به‌طوری‌که در سال‌های گذشته براثر فرسایش خاک حریم بالهارود، به‌تدریج و به‌طور طبیعی در ۹ نقطه از مسیر رودخانه، خط مرز به‌طور چشم‌گیری تغییریافته و باعث شده است که زمین‌های کشاورزی عملا از دسترس کشاورزان ایرانی به نفع کشور جمهوری آذربایجان، خارج شود و موجبات نگرانی کشاورزان ایرانی را فراهم آورده است؛ به طوری که سرپرست فرمانداری شهرستان گرمی از مذاکره مقام های ایران و جمهوری آذربایجان به منظور اصلاح انحراف رودخانه مرزی بالهارود و آزادسازی اراضی کشاورزی مرزنشینان خبر داده است. بنابراین مطالعه تغییرات مورفولوژی رودخانه مذکور به‌منظور اتخاذ راهکارهای کنترلی مناسب جهت حل مشکلات دینامیکی این رودخانه اهمیت زیادی دارد. چگونگی ایجاد حالت پیچان‌رودی در یک سیستم رودخانه‌ای و تفاوت‌های آن‌ها یکی از نکات مهم مورفولوژی و مهندسی رودخانه است. پیچان‌رودها متداول‌ترین الگو بر اساس شکل و پلان بستر در طبیعت هستند (Ritter et al,2002). در هنگام تخلیه زیاد در آبراهه‌ها، گرداب‌های چرخنده‌ای درون آب به وجود می‌آید که سبب کاهش و افزایش پی‌درپی شدت جریان می‌شود. تحت این شرایط، جریان تندتر سبب فرسایش حوضچه‌ها شده و موجب کاهش سرعت متوسط جریان در آن‌ها می‌شود و با کم شدن شدت جریان، رسوب‌گذاری نسبی روی می‌دهد. با تکرار این حالت نوسان‌های جانبی جریان توسعه‌یافته و سبب گسترش پیچ‌وخم رودخانه می‌گردد. در مطالعات مختلف مربوط به الگوی پیچ‌وخم رودخانه‌ها از شاخص‌های ضریب خمیدگی، زاویه مرکزی و شعاع خم‌ها استفاده می‌شود. به انحنا یا تغییر جهت مسیر رودخانه خم می‌گویند. ضریب خمیدگی یک رودخانه، نسبت طول رودخانه (در امتداد مرکز کانال یا خط القعر) به عمق دره است که رودخانه در آن جریان دارد. ویژگی‌های اصلی یک رودخانه مئاندری به شکل، اندازه و توسعه خم‌های آن وابسته است (گارد[۳]، ۲۰۰۵). شکل زیر وضعیت رودخانه‌ها را بر اساس ضریب خمیدگی نشان می‌دهد. همچنین ضریب خمیدگی بیش از ۲ نیز نشان دهنده وضعیت پیچان رودی توسعه یافته است (پیتز، ۱۳۶۵). همچنین هرچه این مقدار به یک نزدیک باشد نشان دهنده فعال بودن منطقه از نظر تکتونیکی و نقش گسل در تعیین مسیر رودخانه است (زامولی[۴] و همکاران، ۲۰۱۵) شکل(۱).

۳- Garde
۴ -Zamoliy

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1397.18.49.9.2]
[DOI: 10.29252/jgs.18.49.111]



شکل (۱): وضعیت ضریب پیچشی رودخانه ها (تلوری، ۱۳۷۱)

زاویه مرکزی نیز معیاری برای تقسیم‌بندی و شناسایی میزان توسعه پیچان‌رودی یک رودخانه می‌باشد که نسبت بین شعاع خمیدگی و طول قوس جریان است که با استفاده از جدول (۱) می‌توان زاویه مرکزی قوس را اندازه‌گیری کرد (تلوری، ۱۳۷۱).

جدول (۱): میزان توسعه حالت پیچان‌رودی بر اساس زاویه مرکزی کورنیاس

شکل رودخانه	زاویه مرکزی (درجه)
رودخانه شبه پیچان‌رود	۴۱>
رودخانه پیچان‌رود توسعه نیافته	۴۱-۸۵
رودخانه پیچان‌رود توسعه یافته	۸۵-۱۵۸
رودخانه بیش از حد توسعه یافته	۱۵۸-۲۹۶
رودخانه نعل اسبی	بیش از ۲۹۶

در زمینه مطالعات الگوهای رودخانه‌ای مطالعات مختلفی صورت گرفته است به‌عنوان‌مثال در تحقیقی عشقی و قنبرزاده (۱۳۹۳) سیستم‌های رودخانه‌ای را موردمطالعه قرار داده و تأثیر مؤلفه‌های مختلف را در تغییر بستر و مسیر رودخانه بررسی کردند. نتایج تحقیق آن‌ها نشان داد که شکل هندسی رودخانه‌ها تحت تأثیر عواملی همچون مقاومت بستر رود و پوشش گیاهی به‌صورت مئاندری درآمده و سپس با اتصال جانبی تغییر مسیر گسترده‌ای در آن به وقوع می‌پیوندد به‌عبارت‌دیگر نقش عوامل ژئومورفولوژیکی در شکل هندسی رودخانه‌ها بسیار مؤثر بوده و تغییر مسیر آن‌ها را تحت‌الشعاع قرار می‌دهد. همچنین فیروزی (۱۳۸۷) در پایان‌نامه کارشناسی ارشد خود با عنوان «مطالعه هیدروکلیمای حوضه آبخیز گرمی چای به‌منظور کنترل سیلاب » به بررسی ویژگی‌های هیدروکلیمایی یکی از زیر حوضه‌های بالهارود پرداخته و درنهایت تغییرات کاربری اراضی بستر رود را به‌عنوان عامل اصلی تغییر بستر رود معرفی نموده است. در تحقیقی دیگر تورنث[۵] (۲۰۱۳) در رابطه با کانال‌های کوچک رودخانه‌ای در جنوب شرق اسپانیا، تأثیر عوامل مختلف در تغییر بستر و عرض کانال‌هایی با جریان کم را بررسی و اظهار کرد که درمجموع به‌طرف پایین‌دست این تغییرات پیوسته افزایش می‌یابد و هر چه به پایین‌دست رودخانه پیش می‌رویم میزان تغییرات بستر رود به واسطه مکانیسم ترسیب

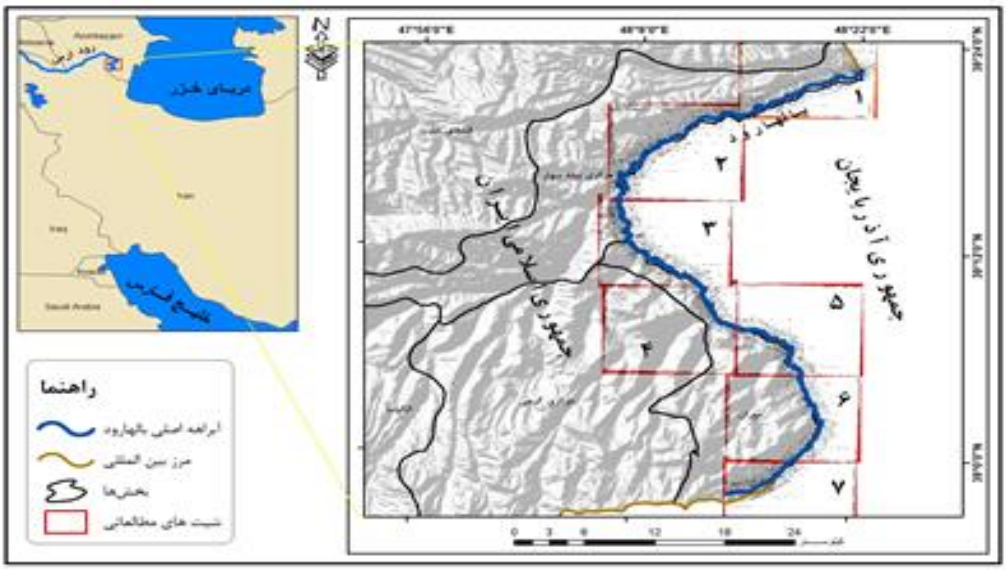
۵ -Thornes

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1397.18.49.9.2]
[DOI: 10.29252/jgs.18.49.111]

بیشتر در این بخش، روند افزایشی دارد و به نظر می‌رسد به تأثیر عوامل زمین‌شناسی و بافت بستر و پوشش گیاهی در میزان تغییرات بستر توجه کمتری شده است که این عوامل نیز به‌عنوان عوامل تأثیرگذار باید بیشتر موردتوجه قرار می‌گرفت امری که در تحقیق حاضر موردتوجه قرار گرفت تا با بررسی شاخص‌های هیدرومورفولوژی، جابه‌جایی بستر رود و تأثیر عوامل مذکور، تحلیل شده و مورد ارزیابی قرار گیرد. هوک[۶] و همکارانش (۲۰۱۴)، تغییرات در رودخانه‌های مئاندری را بررسی و سرعت جریان، عامل انسانی و بافت رسوبات بستر را به عنوان عوامل مهم در تغییر بستر این رودخانه‌ها معرفی کردند.

روش تحقیق

حوضه آبخیز رودخانه بالهارود تقریباً به شکل بیضی بوده که به سمت شمال کشیدگی داشته و در شمال غربی شهرستان اردبیل واقع‌شده است و مساحت این حوضه ۱۴۸۸۰۰ هکتار است. حوضه آبخیز این رودخانه یکی از زیر حوضه‌های رودخانه ارس می‌باشد. حداقل ارتفاع حوضه از سطح دریای آزاد ۷۵ متر و حداکثر آن ۲۲۰۴ متر بر اساس نقشه ۱/۵۰۰۰۰ گسترده شده است. رودخانه اصلی بالهارود در قسمتی از مسیر خود به طول ۶۲/۵ کیلومتر تا شهر بیله سوار مرز جمهوری اسلامی ایران و جمهوری آذربایجان را تشکیل می‌دهد که از بیله سوار به بعد از کشور ایران خارج شده و وارد خاک آذربایجان می‌گردد. بستر رودخانه مذکور برای مطالعه دقیق‌تر در محیط نرم‌افزار Arc Map به پارسل هایی تقسیم گردید که در شکل (۲) دیده می‌شود.

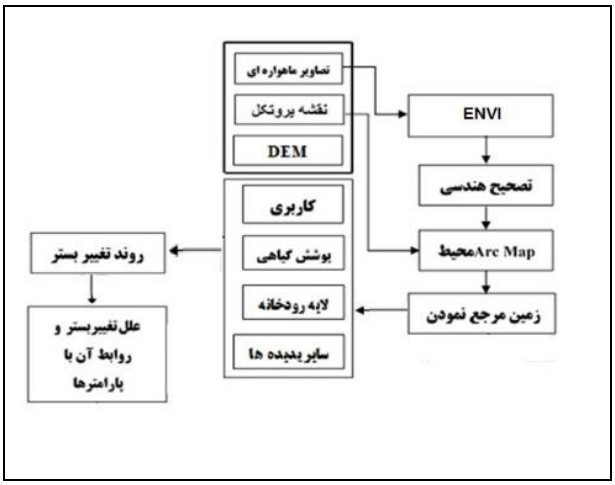


شکل (۲): محدوده موردمطالعه

۶ -Hooke

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1397.18.49.9.2]
[DOI: 10.29252/jgs.18.49.111]

بررسی دقیق الگوی پیچان‌رودی و مورفولوژیک رودخانه به‌عنوان پارامتری که می‌تواند منعکس‌کننده شرایط پویایی رودخانه و تغییرات ناشی از آن باشد در این مطالعه مدنظر قرار گرفت. بدین منظور با استفاده از مطالعات مختلف خصوصیات هندسی و هیدرومورفولوژی رودخانه بالهارود در دو بازه زمانی (۱۳۳۴-۱۳۹۵) موردمطالعه قرار گرفت. برای تطبیق روند مورفولوژی و تغییرات بستر رودخانه از تصاویر ماهواره‌ای ETM مربوط به سال ۱۳۹۵ و نقشه‌های پروتکل ۱/۲۵۰۰۰ رودخانه بالهارود به سال ۱۳۳۴ به‌عنوان دو بازه زمانی برای مقایسه روند تغییر مورفولوژیک رودخانه استفاده شد و الگوی پیچان‌رودی با استفاده از شاخص‌های ضریب سینوسیته (خمیدگی)، زاویه مرکزی و شعاع خمیدگی مورد ارزیابی قرار گرفت. در مطالعات ابتدا با استفاده از نرم‌افزار ENVI، ترکیب رنگ طبیعی از باندهای تصاویر ماهواره‌ای ایجاد شد و پس از اعمال تصحیح خطاهای اتمسفری، تصاویر مطلوب‌تری تهیه گشت و مسیر رودخانه در هر دو بازه استخراج و با یکدیگر برازش داده شدند و در ادامه، پیچان‌رودها استخراج و کدگذاری شدند تا شاخص‌های هندسی و آماری آن‌ها محاسبه شود. در این خصوص تحلیل تصاویر ماهواره‌ای همراه با بازدیدهای میدانی و برداشت و کنترل زمینی جهت تدقیق اطلاعات، انجام گرفت. سپس با استفاده از نرم‌افزار Auto Cad به‌صورت گرافیکی، پارامترهای هندسی رودخانه شامل دایره محاط بر پیچان‌رود شکل(۳)، طول موج خم‌ها، ضریب خمیدگی، زاویه مرکزی قوس‌ها و طول دره برای هر دو بازه زمانی به تفکیک شیت های مطالعاتی شکل(۲)، محاسبه شدند تا الگوی مسیر رودخانه تعیین گردد که بر این اساس رودخانه‌های "پیچان‌رودی شدید" با بیشترین پتانسیل تغییر بستر و رودهای با مورفولوژی "مستقیم" دارای کمترین میزان پتانسیل تغییر هستند. در شکل(۳) روند کلی مربوط به روش کار نشان داده شده است.



شکل (۳): مدل مفهومی مراحل انجام تحقیق

نتایج

نتایج تحلیل‌ها در محیط نرم‌افزاری Arc Map به تفکیک هر شیت به شرح زیر می‌باشد:

ضریب خمیدگی (سینوسیته):

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1397.18.49.9.2]
[DOI: 10.29252/jgs.18.49.111]

بر اساس این ضریب که نشان دهنده میزان توسعه پیچان‌رودی در مسیر رودخانه است (بیدنهارن[۷] و همکـاران، ۲۰۱۰)، انواع الگوی رودخانه برای هریک از شیت های مطالعاتی در جدول (۲) آورده شده است.

جدول (۲): تعداد هریک از الگوهای خم‌های بالهارود بر اساس ضریب سینوسیته

انواع الگوی خم‌ها	سال ۱۳۹۵										سال ۱۳۳۴									
	شیت۱	شیت ۲	شیت ۳	شیت ۴	شیت ۵	شیت ۶	شیت ۷	مجموع	درصد	شیت۱	شیت ۲	شیت ۳	شیت ۴	شیت ۵	شیت ۶	شیت ۷	مجموع	درصد
مستقیم	۷	۰	۷	۰	۰	۰	۳	۱۷	۱/۹۸	۱	۲	۴	۰	۱	۲	۰	۱۰	۱,۶۹
سینوسی	۶۲	۷۵	۸۸	۳۱	۴۹	۷۰	۷۱	۴۴۶	۵۲/۰۴	۷۵	۱۰۸	۷۸	۲۹	۶۸	۳۱	۲۰	۴۰۹	۶۹,۲۰
پیچان رودی	۲۶	۱۰۱	۶۸	۲۷	۴۹	۸۷	۳۶	۳۹۴	۴۵/۹۷	۱۵	۲۴	۳۲	۸	۱۸	۵۶	۱۲	۱۶۵	۲۷,۹۱
پیچان رودی شدید	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۴	۰	۱	۱	۰	۱	۰	۷	۱,۱۸
مجموع	۹۵	۱۷۶	۱۶۳	۵۸	۹۸	۱۵۷	۱۱۰	۸۵۷	۱۰۰	۹۵	۱۳۴	۱۱۵	۳۸	۸۷	۹۰	۳۲	۵۹۱	۱۰۰

مقادیر نسبتا یکسان ضریب خمیدگی در کل بازه، مؤید وجود قوس‌های تقریبا مشابه در طـول مسـیر رودخانـه است که این مطلب نشان دهنده این است که در مقیاس هندسه فراکتالی خودمتشـابه هسـتند. بـه عبـارتی در این رودخانه ضریب خمیدگی در مسیرهای منحنی ای که طولانی‌تـر هسـتند، کمتـر از سینوسـیته مسـیرهای منحنی کوتاه‌تر است (بارتولد[۸]، ۲۰۰۲). با توجه به جدول (۲) تعداد خم‌های رودخانـه صـرف‌نظر از نـوع آن‌هـا (مستقیم، سینوسی، پیچان‌رودی و پیچان‌رودی شدید) افزایش یافته است بـه‌طوری‌کـه از تعـداد ۵۹۱ خـم در سال ۱۳۳۴ به ۸۵۷ عدد در سال ۱۳۹۵ رسیده که بیانگر تغییر شدید مورفولوژی رودخانه بـه سـمت افـزایش میزان خمیدگی (پیچان‌رودی شدن) در کل رودخانه می باشد.

نکته‌ای که حائز اهمیت است از بین رفتن خم‌هایی با حالت پیچان‌رودی شدید است به‌طوری‌که از تعداد ۷ عدد از این نوع پیچان‌رود در سال ۱۳۳۴، امروزه این نوع پیچان‌رود دیگر دیده نمی‌شـود بـه نظـر مـی‌رسـد کـه بـا گسترش بیش‌ازپیش این پیچان‌رودها و تبدیل آن‌ها به دریاچه‌های نعل اسبی[۹] و بازگشـت بـه مسـیر مسـتقیم ابتدایی دیگر امروزه این نوع پیچان‌رود وجود ندارد اما آثار قطع شدگی آن‌ها که از ویژگی‌های مهم رودخانه‌های پیچان‌رودی می‌باشد (سلبی[۱۰]، ۱۹۹۰) در بستر رودخانه‌ها قابل مشاهده باشد که این خـود تاییـدی بـر تغییـر مورفولوژیک بالای این رودخانه است که در شکل (۴) این حالت دیده می‌شود.

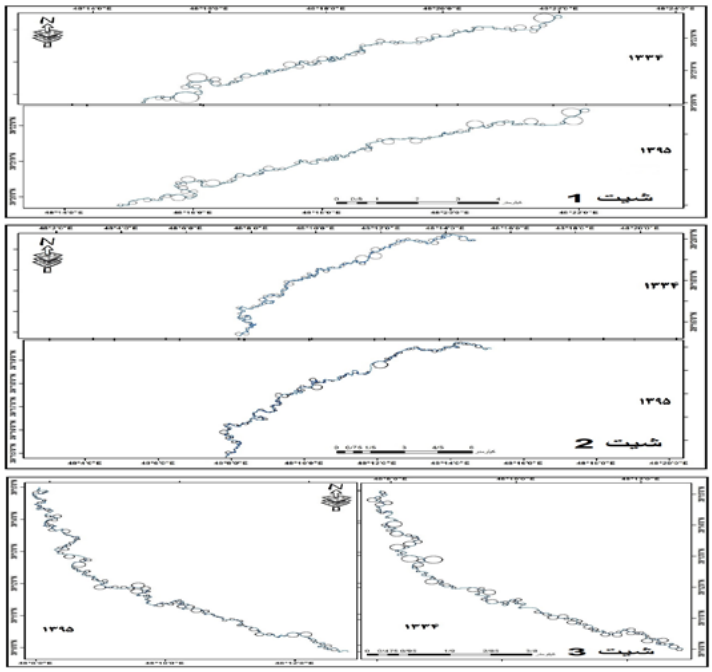
۷ -Biedenharn
۸ -Bartholdy
۹ -Ox Bow
۱۰- Selby

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1397.18.49.9.2]
[DOI: 10.29252/jgs.18.49.111]

شکل (۴): احداث جاده خاکی در بستر خشک‌شده پیچان‌رود

شعاع خمیدگی:

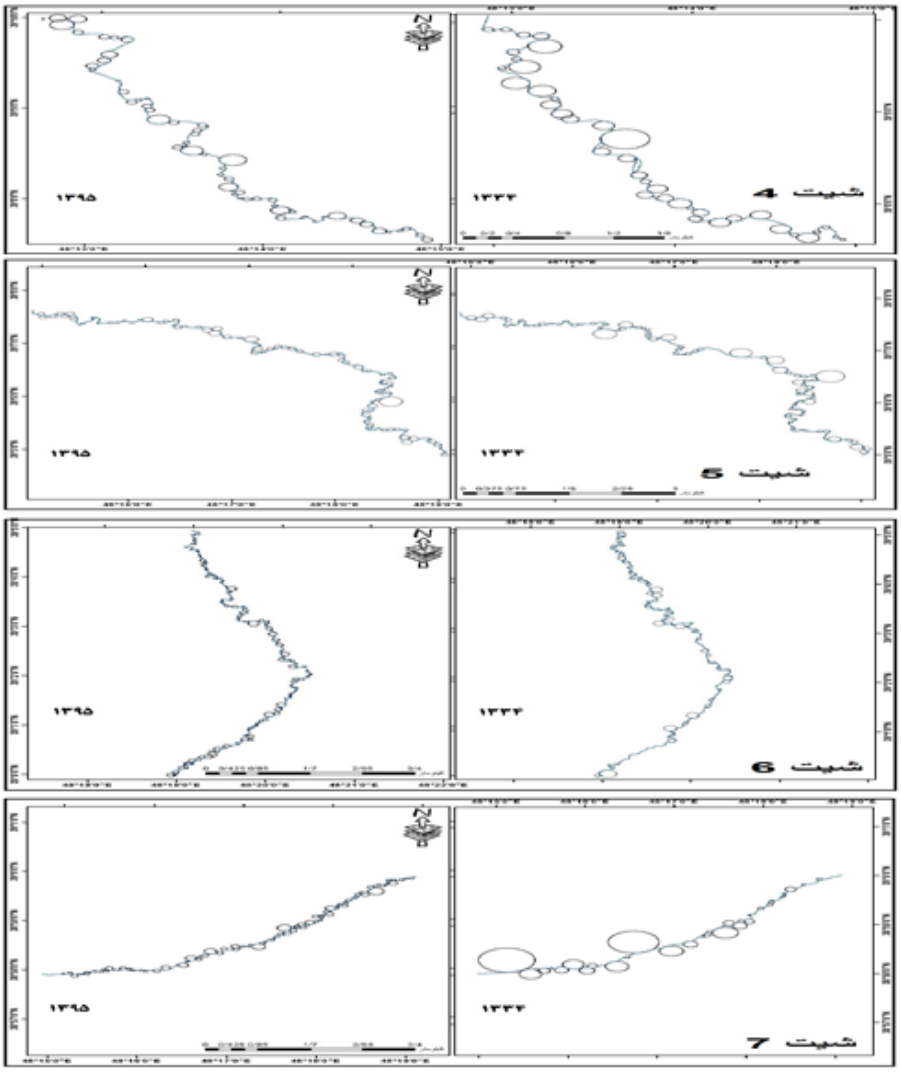
به‌منظور تعیین شعاع قوس‌های پیچان‌رودی بعدازاینکه مسیر رودخانه ترسیم گردید، بر هر یک از قوس‌های رودخانه دوایری برازش داده می‌شود که بیشترین و بهترین تطابق را با قوس داشته باشد. بعد از ترسیم دوایر، شعاع خمیدگی به دست می‌آید (یمانی و شرفی، ۱۳۹۱). که با ترسیم این دوایر منطبق با مسیر آبراهه‌های پیچ‌وخم دار می‌توان این ضریب را به دست آورد (ماکاسکی[۱۱] و همکاران، ۲۰۰۹) ترسیم این دوایر در محیط نرم‌افزار اتوکد انجام گرفت که در اشکال (۵) و (۶) دیده می شود و میانگین آن برای هریک از شیت ها به تفکیک سال در جدول (۳) نشان داده شده است.



شکل (۵): دوایر برازش شده بر قوس‌های خمیدگی شیت های ۱، ۲ و۳ به تفکیک سال

۱۱- Makaske

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1397.18.49.9.2]
[DOI: 10.29252/jgs.18.49.111]



شکل (۶): دوایر برازش شده بر قوس‌های خمیدگی شیت های ۴، ۵، ۶ و ۷ به تفکیک سال

جدول (۳): مقادیر میانگین شعاع خمیدگی به تفکیک سال و شیت

شیت / سال	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	میانگین
۱۳۳۴	۶۳/۰۱	۶۵/۴	۶۵/۱	۶۷/۸۶	۴۷/۵۱	۳۶/۹۱	۱۰۳/۶۲	۶۴/۲
۱۳۹۵	۵۹/۱۳	۴۴/۹۶	۴۰/۸۸	۴۰/۴	۴۰/۵۷	۲۷/۱۸	۳۶/۷	۴۱/۴

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1397.18.49.9.2]
[DOI: 10.29252/jgs.18.49.111]

با توجه به اینکه هر چه شعاع دایره مماس بر خم رودخانه کوچک‌تر باشد خم رودخانه پیچان‌رودی‌تر می‌شود، پایین بودن میانگین شعاع قوس‌ها در سال ۹۵ نسبت به سال ۳۴ نشان‌دهنده تغییر مورفولوژی رودخانه بالهارود به حالت پیچان‌رودی است. این شاخص برای سال ۱۳۳۴ نشان‌دهنده حالت پیچان‌رودی‌تر بخش پایاب (آبریز) یعنی شیت‌های ۱ و ۲ نسبت به سراب (آبخیز) یعنی شیت‌های ۷ و ۶، و برعکس این حالت برای سال ۱۳۹۵ است؛ که عوامل مختلفی می‌تواند در بروز این حالت دخیل باشد به‌طور مثال می‌توان به تغییر شرایط اقلیمی و تکتونیکی اشاره کرد، در زمان حاضر این رودخانه در فصول پرآبی باریکه آبی بیش نیست که خشک شدن آن در فصول خشک سال، باعث می‌شود که این رودخانه در مسیرهای منتهی به خروجی حوضه جریان نداشته باشد و این عامل سبب عدم وجود رودخانه به‌عنوان عامل دینامیکی تغییر شکل بستر می‌شود و به همین دلیل برای سال ۱۳۹۵ مقادیر شعاع خمیدگی برای این بخش از بستر بیشتر از مقادیر آن برای بخش‌های سراب حوضه به‌دست‌آمده است و یا از طرف دیگر فعال شدن فعالیت تکتونیکی بعد از سال ۱۳۳۴ در بخش‌های سراب حوضه باعث اثرگذاری در تغییرمسیرهای جانبی رودخانه شده و به‌صورت مزید بر این علت عمل کرده است. به‌طوری‌که در سال ۱۳۳۴ مقادیر شعاع خمیدگی نشان می‌دهد که بخش‌های پایاب حوضه پیچان‌رودی‌تر از بخش‌های سراب بوده است.

زاویه مرکزی کورنیاس:

برای رودخانه بالهارود میزان زاویه مرکزی برای هر شیت در جدول(۴) نشان داده‌شده که گویای افزایش چشمگیر تعداد شبه پیچان‌رودهای توسعه‌یافته است. این روند به‌طور مثال در شیت شماره ۲ به‌خوبی خود را نشان می‌دهد؛ به‌طوری‌که تعداد شبه پیچان‌رود توسعه‌نیافته کاهش‌یافته و در عوض شبه پیچان‌رودهای توسعه‌یافته به‌صورت چشمگیری (از ۲۴ عدد به ۱۰۱ عدد) افزایش‌یافته است. به‌عبارت‌دیگر شبه پیچان‌رودهای توسعه‌نیافته تبدیل به حالت توسعه‌یافته شده‌اند.

جدول (۴): مقادیر زاویه مرکزی خم‌های بالهارود

	سال ۱۳۹۵								سال ۱۳۳۴							
حالت خم	شیت۱	شیت ۲	شیت ۳	شیت ۴	شیت ۵	شیت ۶	شیت ۷	مجموع	شیت۱	شیت ۲	شیت ۳	شیت ۴	شیت ۵	شیت ۶	شیت ۷	مجموع
شبه پیچانرود	۱	۲	۴	۰	۱	۲	۰	۱۰	۷	۰	۷	۰	۰	۰	۳	۱۷
شبه پیچانرود توسعه نیافته	۷۴	۱۰۸	۷۸	۲۹	۶۷	۳۱	۲۰	۴۰۸	۶۲	۷۵	۸۸	۳۱	۴۹	۶۸	۶۹	۴۴۲
شبه پیچانرود توسعه یافته	۱۵	۲۴	۳۲	۸	۱۸	۵۶	۱۲	۱۶۵	۲۵	۱۰۱	۶۸	۲۷	۴۹	۸۸	۳۷	۳۹۵
شبه پیچانرود خیلی توسعه یافته	۵	۰	۱	۱	۱	۱	۰	۹	۱	۰	۰	۰	۰	۱	۱	۳
نعل اسبی	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰

نتیجه‌گیری

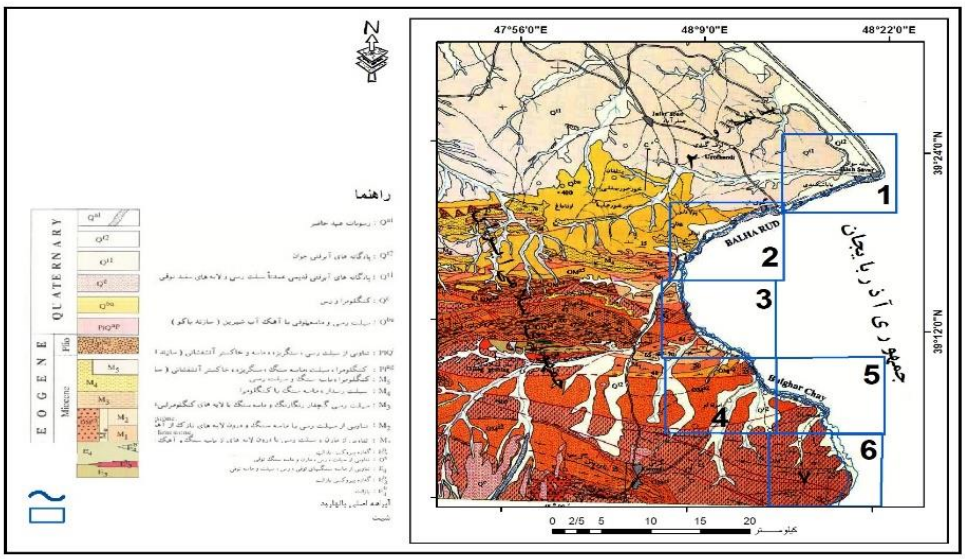
بحث در مورد سیستم‌های رودخانه‌ای می‌تواند بسیار پیچیده باشد به همین دلیل در تحلیل‌ها بایستی هم بر ارتباط با لیتولوژی و هم بر توان رودخانه توجه شود. چنانچه یکی از اقدامات مهم در این زمینه، تلاش در جهت

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1397.18.49.9.2]
[DOI: 10.29252/jgs.18.49.111]

یافتن یک ارتباط قوی بین رفتار هیدرولوژیکی با ساختار زمین‌شناسی و استفاده از این ارتباط با اهداف مختلف در تحقیقات بوده است.

لیتولوژی و تغییر بستر

یکی از عوامل مهم در میزان فرسایش‌پذیری بستر و کناره‌های رودخانه، جنس طبقات زمین است. سازندهای واقع در کناره‌های مسیر بالهارود عمدتا شامل سازندهای جوان کواترنری و نهشته‌های آبرفتی شامل مارن ها، پادگانه‌های کهن و جوان است که فرسایش عمیق و خندقی و نیز لغزش‌های شایع در این سازند سبب شده که رودخانه در این بازه‌ها از ناپایداری بالایی برخوردار باشد. این حالت به‌جز در بخش سراب حوضه (شیت های ۷، ۶ و۵) که منطقه‌ای نسبتا کوهستانی است، در کل بستر رودخانه قابل‌مشاهده است. در بازه کوهستانی، لیتولوژی عمده، شامل سنگ‌های آذرین و آذر آوری ائوسن به همراه طبقات (رسوبی شیلی و ماسه‌سنگی است مورفولوژی رودخانه و پیچان‌رودی آن تحت تاثیر عوامل زمین ساختی و زمین‌شناختی قرار دارد. در میان حلقه‌های مئاندر این بخش، تعدادی از حلقه‌ها اندازه بسیار بزرگ نشان می‌دهند شکل(۶). این حلقه‌های بزرگ مئاندر در مناطقی که سازندهای زمین‌شناسی از مقاومت بالایی برخوردارند تشکیل می‌شوند (معماریان، ۱۳۷۴) که می‌توان در این خصوص به دوایر شیت های ۳ و ۴ اشاره کرد که به دلیل سازند کنگلومرا (OM^{el}) و گدازه پروکسن بازالت (E^{b}_{3}) حلقه‌های مئاندر اندازه بسیار بزرگی دارند شکل (۶). در تایید این نکته می‌توان اشاره کرد به مطالعات انجام‌گرفته توسط فیروزی (۱۳۸۷) بر روی رودخانه بالهارود در قسمت موردمطالعه که مؤید این نکته است که در مقاطع با کناره‌های مقاوم به فرسایش، فرسایش بستر تاثیر کرده و رودخانه بستری عمیق و کم‌عرض پیدا کرده است. در مورد مقاطعی که کناره‌های فرسایش پذیر داشته باشند، بستر عریض و کم‌عمق می‌باشد.

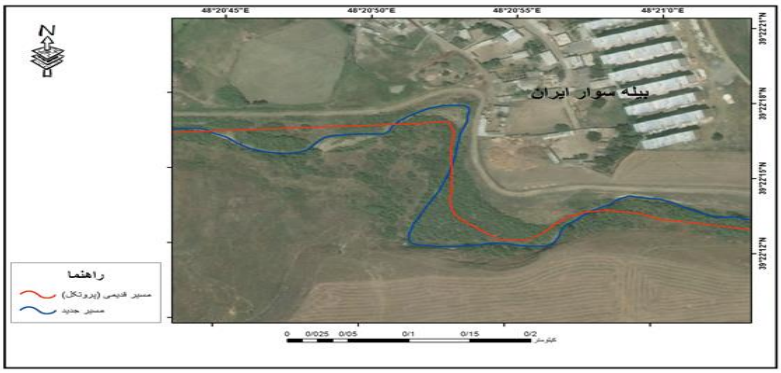


شکل (۷): نقشه زمین‌شناسی ورقه مغان ۱:۱۰۰۰۰۰

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1397.18.49.9.2]
[DOI: 10.29252/jgs.18.49.111]

سرعت آب (توان) و تغییر بستر

تغییرات توان رودخانه‌ای و فرآیند متوالی کاوش و تراکم بار در مسیر کانال رودخانه که به نحوی ناشی از تغییرات شیب و اثر جریان‌های فرعی است، سبب تغییر جهت ناگهانی رودخانه شده و الگوی هندسی جریان رودخانه را بر هم زده و سبب پخش وسیع آب و یا انحراف آن در یک مقطع رودخانه شده است. این حالت به‌خوبی در محل دشت سیلابی دیده می‌شود شکل(۷). در مواقعی که میزان بارها افزایش چشم‌گیر نشان می‌دهد سبب چندشاخگی رودخانه و یا شریانی شدن آن گردیده است شکل(۸).



شکل (۷): برهم خوردن الگوی هندسی رودخانه

شکل (۸): الگوی شریانی درحال توسعه

با بررسی پارامترهای مذکور در این تحقیق می‌توان گفت که رودخانه بالهارود یک رودخانه پیچان‌رود نسبتا توسعه‌یافته است. نتایج نشان داد که میزان تغییرات مورفولوژیک رودخانه بسیار بالاست و مجموع عواملی مانند: ماهیت خشکی اقلیم، پوشش گیاهی، بافت سست بستر، اقدامات تخریبی انسان و غیره در روند تغییر بستر دخیل هستند به‌طوری‌که بیشتر تغییرات در محدوده مناطق مسکونی و با پوشش گیاهی فقیرتر رخداده است و

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1397.18.49.9.2]
[DOI: 10.29252/jgs.18.49.111]

باعث تغییر بستر رودخانه می‌شود و این عامل باعث از دسترس خارج شدن زمین‌های هر دو کشور ایران و آذربایجان به نفع طرف مقابل می‌شود که بر اساس نتایج به‌دست‌آمده حدود ۱۴۸/۵ هکتار از خاک‌های سرزمینی ایران به نفع جمهوری آذربایجان و همچنین حدود ۱۰۴/۹ هکتار از خاک جمهوری آذربایجان به نفع ایران، از دسترس این کشورها خارج‌شده است که دراین‌بین سهم ایران بیشتر است و از طرف دیگر با توجه به اینکه بیشتر این زمین‌ها، شامل زمین‌های کشاورزی و زراعی بوده که مردم از آن برای امرارمعاش استفاده می‌کردند، موجبات نارضایتی و اعتراض کشاورزان ایرانی شده که لازم است در این خصوص مذاکرات با طرف‌های مقابل هر چه سریع‌تر انجام گیرد.. مقادیر زاویه مرکزی و ضریب خمیدگی نشان می‌دهد که در کل بازه، تغییرات ضریب خمیدگی و زاویه مرکزی (به‌جز نسبت اندک در برخی مناطق) در یک دامنه محدود مشاهده می‌شود که نشان‌دهنده وجود قوس‌های تقریباً مشابه در طول مسیر رودخانه است.

با توجه به مرتفع و کوهستانی بودن حوضه، بسیاری از نزولات جوی به‌صورت برف نزول می‌کند که در برخی سال‌ها، برف تا اواخر فصل گرم هم دوام می‌آورد که از مهم‌ترین منشأ تأمین آب رودخانه محسوب می‌شود و آبدهی رودخانه را در یک سیکل زمانی ۱۲ ماهه تنظیم می‌کند. با ذکر این توضیحات مشخص می‌شود که نوسان مقدار دبی در حوضه کاملاً در ارتباط با بارش و دما است به‌گونه‌ای که می‌توان گفت در فصل بهار عوامل درجه حرارت و بارش، تنظیم‌کننده جریان رودخانه‌ای هستند از طرفی ماهیت خشک و نیمه خشک حوضه سبب می‌شود در هنگام بروز بارش‌های طغیانی جریانات سیلابی در منطقه رخ دهد؛ که یکی از عوامل کاوشی بستر رودخانه محسوب می‌شود.

برداشت بی‌رویه علوفه از مراتع برای تغذیه دام و طیور در فصل سرد و چرای زودرس در فصل بهار باعث شده چهره پوشش گیاهی کم تراکم شود و با شروع بارندگی، جریان‌های انتقال آب سریعاً شروع به فعالیت می‌کنند که بر مورفولوژی رودخانه تأثیر مستقیم می‌گذارد که بر تغییر رفتاری و بستر و مورفولوژی مجرا منجر می‌گردد. در بخش‌هایی از مسیر رود که شیب بسیار کمی دارد سرریز شدن رودها از محل قوس‌های پیچان‌رودی در مواقع سیلابی شدن رود، به تغییر مسیر آن‌ها منجر می‌شود.

به‌طورکلی شرایط مناسب برای فرسایش ساحلی ازجمله فقر پوشش گیاهی، بافت ریزدانه، شیب کم و غیره سبب ایجاد شرایط مناسب برای تغییرات مورفولوژیکی رودخانه بالهارود شده است.

روند فرسایش تاکنون در جهان به‌صورت مدل ریاضی درنیامده است و پی بردن به اینکه فرسایش بعدی در کجا و در چه مقطعی به وقوع خواهد پیوست جز بامطالعه رفتار طولانی‌مدت رودخانه از طریق تفسیر عکس‌های هوایی در مقاطع زمانی مختلف و جمع‌آوری اطلاعات محلی از طریق افراد ذیصلاح بومی امکان‌پذیر نمی‌باشد. ساختن مدل فیزیکی رودخانه در مقاطعی که در معرض تخریب بیشتر قرار دارند نیز می‌تواند اطلاعاتی کیفی به ما بدهد، با علم به این مطالب گفتنی است که تاکنون راه‌حل‌های شناخته‌شده جهانی جهت جلوگیری از فرسایش دیواره‌ها عبارت‌اند از: تثبیت سواحل و کانالیزه کردن.

در پایان ذکر این نکته در مورد تحقیق حاضر و همچنین برای همه مطالعاتی که با اهداف آبخیزداری و مدیریت منابع آب‌وخاک انجام می‌شوند ضروری است و آن‌هم اینکه، آنچه مسلم است پایدارسازی و از سویی اصلاح مسیر بستر و تقویت گونه‌های گیاهی سازگار و اصلاح شیوه‌های کشت و آبیاری و جلوگیری از دست‌کاری‌های

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1397.18.49.9.2]
[DOI: 10.29252/jgs.18.49.111]

مخرب بشر و استفاده از سازه‌های انسان‌ساخت حفاظتی، راهکارهای اجرایی چندمنظوره خواهند بود که هر یک مطالعات جداگانه و مفصلی را می‌طلبد. در این میان، تعیین حریم برای تمرکز فعالیت‌های کشاورزان و مردم محلی و توجه به اولویت‌های مطالعاتی، سریع‌ترین و کوتاه‌مدت‌ترین راهکار اجرایی برای نیل به اهداف مدیریتی به شمار می‌رود.

منابع

احمدی، لیلا، (۱۳۹۳)، **ارزیابی فرسایش و رسوب در حوضه شیراز با روش بی‌ثباتی (پایان‌نامه کارشناسی ارشد)**، دانشگاه شیراز، ص ۳۰.

بیاتی خطیبی، مریم. مجید زاهدی، (۱۳۸۷)، **هیدرولوژی**، انتشارات سمت، تهران.

تلوری، عبدالرسول، (۱۳۷۱)، **شناخت فرسایش کناری رودخانه در دشت های رسوبی**، موسسه تحقیقات جنگل ها و مراتع، ص ۲۸.

عشقی، ابوالفضل، هادی قنبرزاده، (۱۳۹۳)، **ویژگی‌های جغرافیایی آسیای میانه و قزاقستان**، نشر نیما، ۴۳.

فیروزی، داور، (۱۳۸۷)، **مطالعه هیدروکلیمای حوضه آبخیز گرمی چای به منظور کنترل سیلاب (پایان‌نامه کارشناسی ارشد)**، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اردبیل.

معماریان، حسین، (۱۳۷۴)، **زمین شناسی مهندسی و ژئوتکنیک**، انتشارات دانشگاه تهران، چاپ پنجم، ۹۵۳.

نوحه‌گر، احمد، مجتبی یمانی، (۱۳۸۴)، **بررسی وضعیت ژئومورفولوژیکی پیچان‌رود و نقش آن در فرسایش بستر و کناره‌های رودخانه میناب**، فصلنامه پژوهش‌های جغرافیایی، ۵۱: ۸۵-۶۵.

یمانی، مجتبی، سیامک شرفی، (۱۳۹۱)، **پارامترهای هندسی و نقش آن‌ها در تغییرات زمانی و مکانی بستر رودها مطالعه موردی رودخانه هرود سرشاخه رود کرخه در استان کردستان**، مجله جغرافیا و توسعه، ۲۶.

Bartholdy,j., and Billi, p., (2002) **Morph dynamics of a pseudo meandering gravel bar reach.** Geomorphology. Vol: 42 . : 293-310.

-Biedenharn D.S., Elliot, C.M. and Watson, C.C (2010)**. The WES streaminvestigation and stream bank stabilization handbook. US.** Army Engineering. P 286.

-Breach, J. S., (Translated by: Rezaei moghaddam, M. and Saghafi, M.), (2008)**, Rivers and floodplains, Vol. 1: Processes and dynamic, Ministry of culture and Islamic Guidance press Geomorphologie,** Supplementband 36:233–244.

-Edgardo, M. L., (2008), **Patterns of Anabranching Channels: The Ultimate End-Member Adjustment of Mega Rivers,** Geomorphology:130-145.

Garde, r.j, (2005), **River morphology,** published by new age intemational (p) ltd. P: 209-211.

Hooke, J.M, (2014)**, complexity self – organization and variation in Behaniour in meandering rivers,** geomorphology 91: 236-258.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1397.18.49.9.2]
[DOI: 10.29252/jgs.18.49.111]

Huggett, R. J., (2007), **Fundamentals of Geomorphology, 2th Ed, Rutledge Publication.**

Luchi, R, Hooke, JM, Zolezzi, G, Bertoldi, W, (2010), **widthvariations and mid-channel bar inception in meanders: river Bollin (UK),** Geomorphology 119: 1-8.

Makaske bart, derald g, smith, (2009)**, hydraulic and sedimentary processes causing anastomosing morphology of the upper Colombia river,** geomorphology vol: 111: 194- 205.

Petts, G,E. et al, (1986), **historical changes in large Alluvial River,** John Wiley & Sons, USA.

Ritter, F. D., Kochel, C. & Mill, R. J., (2002), **Process Geomorphology, 4th Ed, McGraw-Hill**, New York.

Selby, M.J, (1990), **Earth changing surface**, Oxford University Publication.

Thornes, J. B. (2013), **Structural instability and ephemeral channel behavior.** Zeitschrift fur.

Zamoliy, A, Szekely, B, Drganits, E, Timar, G, (2015), **neotectonic control on river sinuosity at the western margin of the little hongarian plain,** Geomorphology 122: 231-243.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.22287736.1397.18.49.9.2]

[DOI: 10.29252/jgs.18.49.111]