دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز

بررسی الگوی پیچان‌رودی رودخانه‌ها با استفاده از شاخص‌های لئوپولد و کورنایس (مطالعه موردی: رودخانه‌ی بابل‌رود و سجاد رود)

محمد میرزاوند[۱]، هدی قاسمیه[۲]، علی‌اکبر نظری سامانی[۳]، عباسعلی ولی[۴] و سید جواد ساداتی نژاد[۵]

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد دانشگاه کاشان، (نویسنده مسوول: mmirzavand23@yahoo.com)
۲ و ۴- استادیار و دانشیار، دانشگاه کاشان
۳ و ۵- دانشیار، دانشگاه تهران

تاریخ دریافت: ۹۱/۲/۱۱ تاریخ پذیرش: ۹۲/۲/۳

چکیده

بخش عمده‌ای از شهرها و روستاها در امتداد رودخانه‌ها و به‌ویژه در روی پادگانه‌های رودخانه‌ای استقرار یافته‌اند. این زمین‌ها تحت تأثیر دینامیک رودخانه و تغییرات دبی، همواره در معرض خطراتی از جمله سیلاب و ناپایداری بستر در نتیجه‌ی حرکات پیچان-رودی هستند. لذا بررسی الگوی پیچان‌رودی رودخانه‌ها به‌منظور جلوگیری از خطرات احتمالی امری ضروری است. در این پژوهش محدوده مورد بررسی، رودخانه‌ی بابل‌رود و سجادرود واقع در جلگه‌ی ساحلی مازندران در نظر گرفته شد. به‌منظور تعیین الگوی این رودخانه‌ها از ضریب خمیدگی (به روش لئوپولد) و نیز زاویه‌ی مرکزی (به روش کورنایس)، به‌عنوان ابزار غیرفیزیکی و از نقشه‌های توپوگرافی و عکس‌های هوایی به‌عنوان ابزار فیزیکی تحقیق استفاده شد. در نهایت نتایج تحقیق نشان داد که میانگین ضریب خمیدگی در محدوده‌ی مورد مطالعه برابر۲/۴۶ می‌باشد این رقم بیانگر بالا بودن نسبت پیچ وخم‌دار بودن رودخانه است همچنین نشان‌دهنده این است که سرعت تکامل پیچان رودها از نظر زمانی و مکانی یکسان نیست. از طرفی با توجه به نتیجه‌ی به دست آمده از شاخص ضریب خمیدگی، ۷۱/۷۶ درصد از قوس‌های این رودخانه در زمره‌ی الگوی پیچان‌رودی تکامل‌یافته قرار می‌گیرند. ضرایب به دست آمده از طریق این مدل‌ها، ضرورت تثبیت میان‌مدت و کوتاه‌مدت بستر را از طریق روش‌های مدیریتی و مهندسی سازه ایجاب می‌کند.

واژه‌های کلیدی: الگوی پیچان‌رودی، رودخانه‌ی بابل‌رود، رودخانه‌ی سجادرود، دینامیک رودخانه، ضریب خمیدگی، زاویه‌ی مرکزی

مقدمه

در یک رودخانه تحت تأثیر عوامل مختلف و مؤثر بر سیستم رودخانه، شکل، الگو، عرض، عمق، طول، راستا، پلان و غیره به مرور زمان و در واکنش به ورودی‌ها تغییر می‌کند. برخی تغییرات ناگهانی هستند و برخی دیگر نیز به مرور زمان مشخص می‌شوند. گاهی تغییرات مورفولوژی و گاهی هیدرولیک، رودخانه را تحت تأثیر قرار می‌دهند (۶). یک آبراهه‌ی طبیعی عموماً متشکل از مئاندرهای متفاوت بوده که با بخش‌های مستقیم کوتاه به هم متصل شده‌اند (۱۶). کانال‌های مئاندری دارای شکل هندسی هستند که زیاد تغییر می‌کنند. اما بعضی از آنها دارای خصوصیاتی هستند که ارتباطی به اندازه رودخانه ندارد (۱۸). به‌طورکلی مئاندرها به شکل‌های مختلف در جریانهای طبیعی قابل مشاهده هستند (۷،۱). محققین مختلف، تئوری‌های متفاوتی را جهت بیان دلیل پیدایش مئاندر در رودخانه‌ها ارائه کرده‌اند و همچنان این مطالعات در حال گسترش است. از مهم‌ترین تئوری‌های ارائه شده می‌توان به تئوری‌های زیر اشاره کرد:

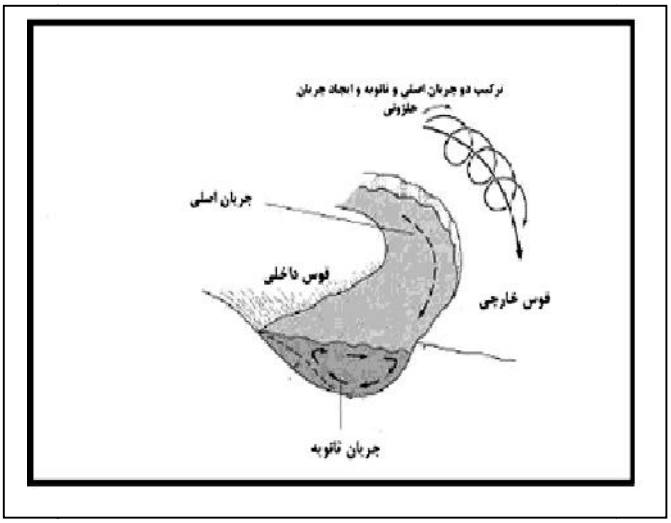
۱- تئوری‌های هیدرودینامیکی که مبین پایداری یا ناپایداری جریان هستند. ۲- تئوری حداقل توان رود تئوری فرسایش سواحل در اثر تلاطم عرضی یا موضعی جریان (۸). ۳- تئوری اثر جریان عرضی یا ثانویه. ۴- تئوری تأثیر نیروی کوریولیس حاصل از چرخش زمین. ۵- تئوری اثر نوسانات اجباری.

قابل ذکر است که موارد بالا فقط تعدادی از تئوری‌های موجود می‌باشند و هنوز نمی‌توان هیچکدام از تئوری‌های فوق را بیانگر علت قطعی تولید مئاندر دانست و شاید بتوان موارد فوق را یک شرط لازم در تولید مئاندر بیان کرد. پس از ایجاد مئاندر در رودخانه عوامل مختلفی در توسعه‌ی آن تاثیرگذار می‌باشند. کانال‌های آبرفتی مستقیم ممکن است دارای شیب‌های تند و یا ملایمی باشند، حتی مستقیم‌ترین کانال‌ها دارای تالوگ پیچ و خم‌داری هستند (۲۰). به نظر برایدو و همکاران (۳) رودخانه‌ها سیستم‌های پویایی هستند و فعالیت آب جاری می‌تواند مناطق بالاتر از بستر و لبه رودخانه را تغییر دهد به‌خصوص تمایل دارند که تغییر را در مکان‌های جانبی صورت دهند (۳). وجود نیروی گریز از مرکز در خم باعث ایجاد اختلاف ارتفاعی در سطح آب در دو سوی یک مقطع می‌شود که این اختلاف هد ایجاد شده موجب شکل‌گیری جریانی در جهت عرضی داخل مقطع می‌شود که به جریان ثانویه موسوم است. ترکیب این جریان با جریان طولی آبراهه، جریان حلزونی را به وجود می‌آورد

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-05-30]

(۱۲). شکل ۱ جریان ثانویه و طولی و نیز جریان ترکیبی چرخشی در یک قوس رودخانه را به‌طور شماتیک نمایش می‌دهد. این الگوی جریان تحت تأثیر عوامل زیادی می‌باشند از جمله این عوامل می‌توان به موارد زیر اشاره کرد (۱۹).

۱- زاویه‌ی مرکزی قوس ۲- نسبت عمق جریان به عرض مقطع جریان ۳- نسبت شعاع انحناء مرکزی قوس به عرض مقطع جریان ۴- جنس مواد بستر و کناره‌ها ۵- شرایط جریان در ورودی‌ها.



شکل ۱- نمایی از جریان‌های موجود در پیچان‌رودها (۱۱)

برای شناخت رفتار رودخانه‌ها باید از علوم مختلفی استفاده کنیم. یکی از علومی که ارتباط نزدیکی با شکل و سیستم شکل‌زایی رودخانه دارد، ژئومورفولوژی می‌باشد. یکی از مهم‌ترین مباحث آن نیز دوره ژئومورفیک یا سیکل تغییرات شکل زمین است (۲۲). محققان زیادی الگوی ژئومورفولوژی رودخانه‌ها را مورد بررسی قرار داده‌اند. پیروان و همکاران (۱۵) طی تحقیقات خود در زمینه‌ی ویژگی‌های هندسی- هیدرولیکی پیچان‌رودهای رودخانه‌ی قزل اوزن سفلی به این نتیجه رسیدندکه بستر رودخانه در جزلان‌دشت تا آستاگل حالت شریانی پیدا کرده است و در منطقه‌ی هارون‌آباد تا کوه‌کن فرسایش کناری به شکل مهاجرت حلقه‌های مئاندری بوده است (۱۵). حبیبی و تلوری (۹) فرایند فرسایش و تغییر شکل رودخانه را در ارتباط با عوامل هیدرولیکی، فیزیکی، انسانی و مورفولوژی بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که عامل انسانی بیشترین تأثیر را روی تغییر شکل رودخانه دارد (۹).

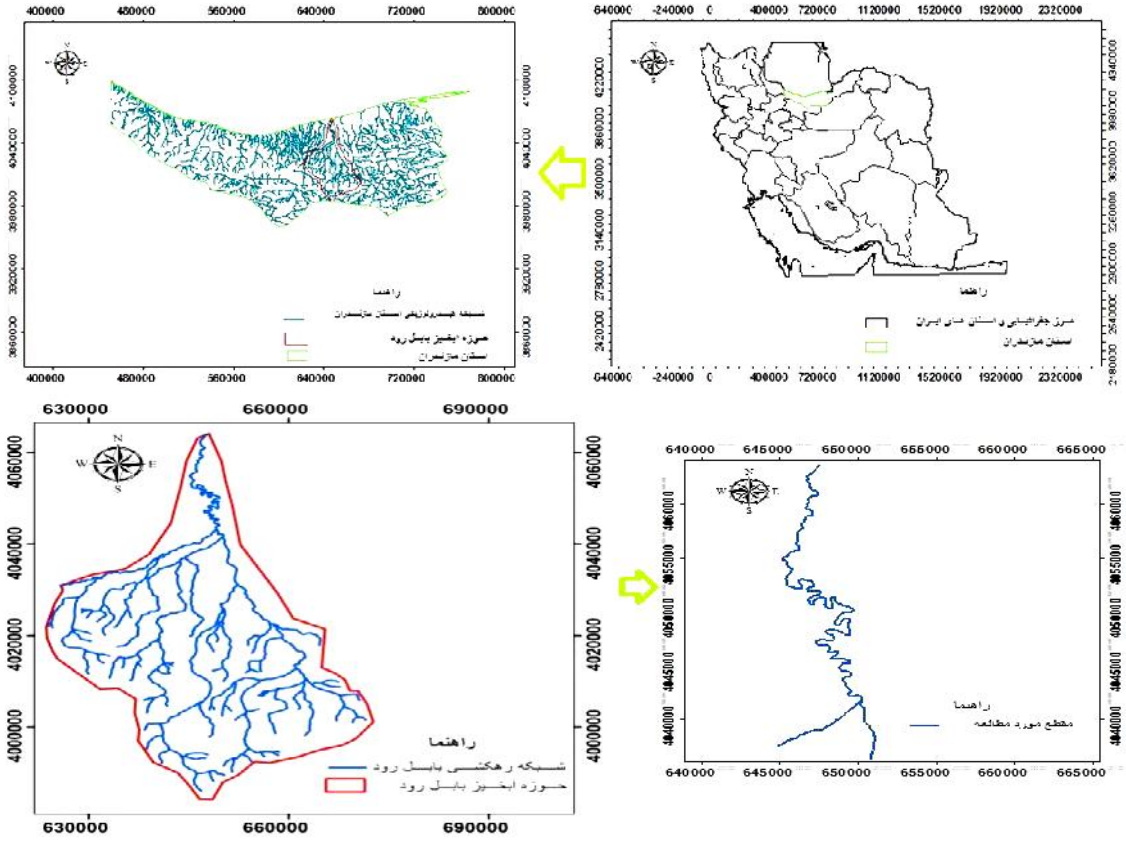
نیری (۱۴) طی تحقیق خود تغییرات مجاری زرینه‌رود و سیمینه‌رود را ناشی از عملکرد انسانی دانست و شکل تغییرات را تابعی از طرح اولیه‌ی رودخانه معرفی نمود (۱۴). یمانی و حسین‌زاده (۲۲) طی مطالعات خود در رودخانه‌ی تالار به این نتیجه رسیدند که ۶۰/۴ درصد وسعت این رودخانه در زمره‌ی پیچان‌رود توسعه‌یافته قرار گرفته است (۲۲). حسینی و همکاران (۱۰) طی تحقیقات خود در زمینه‌ی پیش‌بینی درجه‌ی سینوسی بودن رودخانه‌های مارپیچی با بافت بستر درشت‌دانه، اهمیت بهره‌برداری و توزیع منابع آب در برنامه‌ریزی کشاورزی را مطرح نمود و بیان کرد که پیش‌بینی مشخصات قوسی امری ضروری است. همچنین بیان نمود که در مناطق آهکی مئاندر ایجاد نمی‌شود. چون اختلاف لیتولوژی وجود ندارد و مئاندر در جایی به وجود می‌آید که سازندهایی با تناوب شیل و ماسه‌سنگ باشد (۱۰). رضایی مقدم و همکاران (۱۷) طی تحقیقی به بررسی تغییرات شکل هندسی رودخانه قزل اوزن با تأکید بر عوامل ژئومورفولوژیک و زمین‌شناسی پرداختند. نتیجه این تحقیق نشان داد که طول زیاد رودخانه و عبور از تشکیلات مارنی و فرسایش‌پذیر، باعث شده که هندسه رودخانه در بازه دشتی شدیداً تحت تأثیر لیتولوژی بستر شکل بگیرد و فرسایش کناری و توان رودخانه نقش عمده در پیچان‌رودی رودخانه داشته باشد. در بازه کوهستانی مسائل زمین‌ساختی حائز اهمیت است و هندسه بستر تحت تأثیر پارامترهای زمین‌ساختی از قبل طراحی شده است و الگوی مسیر رودخانه از این عوامل تبعیت می‌کند (۱۷). رضایی مقدم و خوشدل (۱۷) با تحقیقات خود در رودخانه‌ی اهرچای به این نتیجه رسیدند که ۶۹/۱۱ درصد این رودخانه در محدوده‌ی دشت ازومدل ورزقان در زمره‌ی پیچان‌رود توسعه‌یافته قرار گرفته است (۱۸). بروکس (۴) طی پژوهشی به بررسی جابه‌جایی کانال رودخانه سرخ در منطقه‌ی منیتوبا کانادا پرداختند و به این نتیجه رسیدند که جابه‌جایی مئاندرها در شیب با درجه‌های ۰/۷ تا ۲ درصد اتفاق می‌افتد (۴). میلار و کویک (۱۳) و اسوات و همکاران (۲)، معیار شیب طولی و سینوسیته رودخانه را مورد بررسی قرار داده و نتیجه گرفتند سینوسیته به شیب

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-05-30]

وابسته است به طوری که رودخانه‌های با شیب بیشتر دارای سینوسیته کمتر و رودخانه‌های با شیب کمتر دارای سینوسیته بزرگتری هستند (۱۳،۲). دلال اوغلی (۵) به تحلیل ضریب خمیدگی رودخانه در محدوده دشت اهر پرداخت و گرانولومتری را از بستر رودخانه انجام داد و به این نتیجه رسید که اندازه دانه‌های قسمت‌های مئاندری کوچکتر ولی در رودخانه‌هایی که حالت شریانی دارند، قطر دانه‌ها بیشتر می‌باشد (۵). بنابراین با توجه به مطالعات انجام شده در این زمینه و با توجه به اهمیتی که پیچان رودها در مورفولوژی رودخانه‌ها ، تخریب اراضی و غیره دارند، در این پژوهش وضعیت پیچانرودی رودخانه‌های بابلرود و سجادرود به دلیل اهمیتی که پدیده پیچانرودی در تخریب اراضی این منطقه و تغییر مسیر رودخانه دارد، مورد بررسی قرار گرفته است. هدف از انجام این پژوهش تعیین مناطقی از رودخانه‌های مورد بررسی می‌باشد که دارای وضعیت پیچان رودی بالایی هستند تا با برنامه‌ریزی درست از اثرات نامطلوب این توسعه پیچان‌رودی به درستی جلوگیری شود.

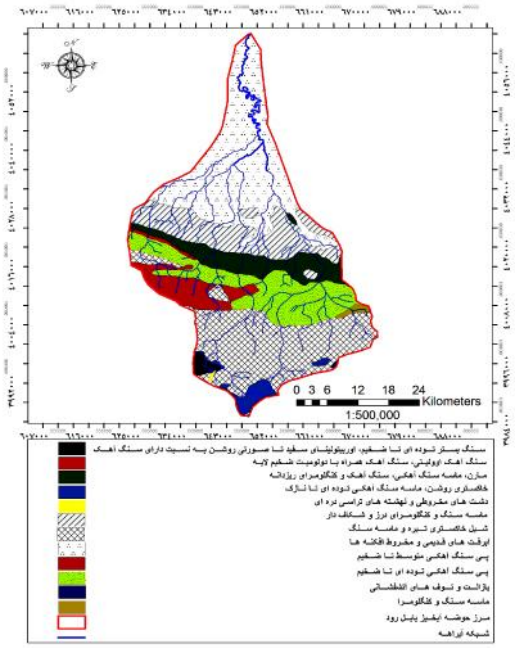
مواد و روش‌ها

مواد: منطقه‌ی مورد مطالعه در شمال سلسله جبال البرز و در جنوب دریای مازندران قرار دارد. این محدوده در مختصات جغرافیایی ۵۲ درجه و ۳۷ دقیقه و ۳۰ ثانیه تا ۵۲ درجه و ۴۵ دقیقه طول شرقی و ۳۶ درجه و ۴۵ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۲۲ دقیقه و۳۰ ثانیه عرض شمالی قرار گرفته است (شکل ۲). مساحت حوزه‌ی آبخیز بابل‌رود ۱۹۷۵/۸۱ کیلومترمربع است و مهم‌ترین رودخانه‌هایی که در این حوزه جاری هستند، عبارتند از بابلرود به طول ۸۵ کیلومتر، کلارود به طول ۵۸ کیلومتر و سجادرود به طول ۴۸ کیلومتر. شیب متوسط حوزه‌ی مورد بررسی ۸ درصد و ارتفاع بلندترین نقطه‌ی حوزه‌ی آبخیز مورد بررسی برابر ۳۷۰۱ متر میانگین ارتفاع ۱۸۶۰/۵ می‌باشد. همچنین شیب متوسط رودخانه بابل‌رود ۰/۳ درجه است (۸). حوزه آبخیز بابلرود در زون البرز قرار گرفته است که این زون در شمال ایران تقریباً شرقی- غربی می‌باشد که بخشی از رشته جبال آلپ- هیمالیا است که در طی حرکات کوهزایی آلپ پایانی به صورت فعلی درآمده است. رسوبات موجود در این حوزه شامل رسوبات دوران سوم (دوره نئوژن) و کواترنری بود که در قسمت‌های شمالی حوزه قابل رؤیت و از نظر سنگ‌شناسی شامل کنگلومرا، افق‌های ماسه سنگی و مارن سیلتی می‌باشد. رسوبات دوران چهارم در این منطقه شامل آبرفت‌های قدیمی و مخروط‌افکنه است (۸) (شکل ۳).



شکل ۲- نمایی از منطقه‌ی مورد مطالعه

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-05-30]



شکل ۳- نمایی از نقشه زمین‌شناسی و شبکه آبراهه منطقه‌ی مورد مطالعه

روش تحقیق

در این تحقیق رودخانه‌های بابل‌رود و سجادرود به‌منظور بررسی وضعیت پیچان‌رودی به‌عنوان یک رودخانه در نظر گرفته شد. همانطورکه در شکل ۲ مشاهده می‌شود، رودخانه سجادرود یکی از سرشاخه‌های رودخانه بابل‌رود می‌باشد. ابتدا با استفاده از نقشه‌ی توپوگرافی منطقه، مسیر مورد نظر از منطقه مورد مطالعه رقومی شد. سپس طول مورد بررسی این رودخانه با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS9.3 روی نقشه ۱:۲۵۰۰۰، برابر ۷۱/۱۷ کیلومتر به دست آمد که از این مقدار ۷/۰۲ کیلومتر مربوط به رودخانه‌ی سجادرود و ۶۶/۱۵ کیلومتر مربوط به رودخانه‌ی بابل‌رود می‌باشد. در این پژوهش به‌منظور تعیین وضعیت پیچان‌رودی رودخانه‌های مورد نظر، مورفولوژی رودخانه‌ی بابل‌رود و سجادرود به کمک ضریب‌خمیدگی و زاویه‌ی‌مرکزی مورد بررسی قرار گرفت. برای انجام این کار از نقشه‌های ۱:۲۵۰۰۰ سازمان نقشه‌برداری کشور که از روی عکس‌های هوایی با مقیاس ۱:۴۰۰۰۰ سال ۱۳۷۳، تهیه شده، استفاده شد. بنابراین ابتدا نوع پیچان‌رودها از نظر اصلی و یا کاذب از عکس‌های هوایی سال ۱۳۶۳ همان سازمان تعیین شد. بدین منظور، پیچان‌رودهایی که در مناطق کوهستانی و به خاطر تکتونیک و غیره بوجود آمده بودند را مشخص نمودیم. به دلیل این که این مناطق بسیار کند تغییر شکل می‌دهند و به دلیل نبود سکونت‌گاه و اراضی کشاورزی در این مناطق، خطرات چندانی را متوجه انسان‌ها نمی‌کنند، بنابراین این پیچان‌رودها از مطالعه ما حذف شدند. در گام بعدی پیچان‌رودهایی که در اصطلاح ژئومورفولوژی، اصلی هستند را مشخص نمودیم. به این صورت که پیچان‌رودهایی که در مناطق دشتی قرار دارند را پیچان رود اصلی در نظر گرفته شد. سپس به‌منظور استخراج پارامترهای هندسی رود، مسیر رودخانه‌ی بابل‌رود و سجادرود در نرم‌افزار ArcGIS مشخص شد (شکل ۲) پس از رقومی کردن مسیر رودخانه با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS، در محیط نرم‌افزار به‌صورت گرافیکی روی هر یک از قوس‌های رودخانه بابل‌رود و سجادرود، دوایری برازش داده شد و به‌منظور دست‌یابی به نتیجه‌ی مطلوب، تلاش شده دوایر بیشترین تطابق را با قوس‌های رودخانه داشته باشند (شکل ۴). آنگاه بر اساس این دوایر، پارامترهای طول قوس، طول موج و شعاع انحناء جهت محاسبه ضریب‌خمیدگی لئوپولد و زاویه مرکزی کورنایس به‌دست آمد که فرمول‌های آنها به‌صورت زیر است (۲۱).

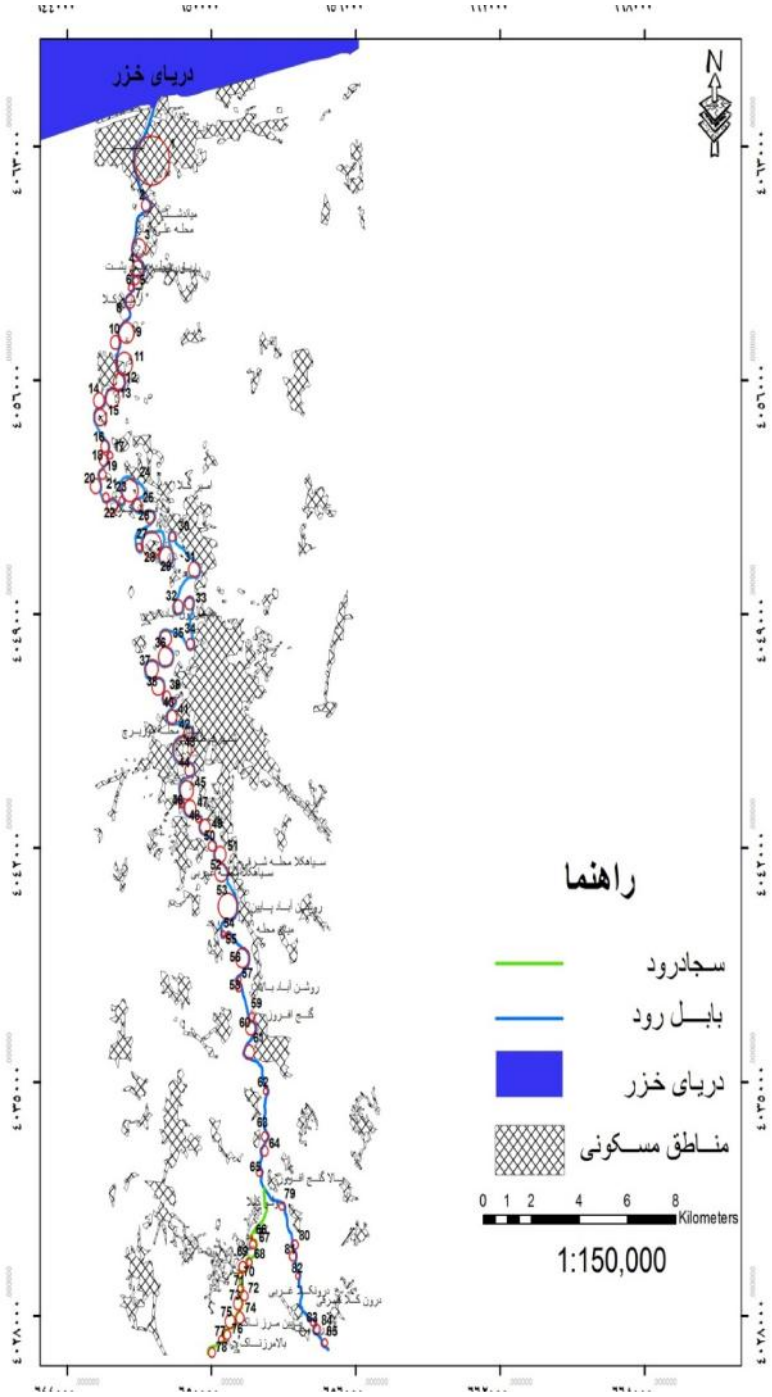
$$S - \frac{L}{\lambda/2} \quad (۱)$$

که در آن: S: ضریب خمیدگی، L: طول قوس، λ: طول موج

$$A = \frac{180 \times L}{\pi \times R} \quad (۲)$$

که در آن: A: زاویه مرکزی، R: شعاع انحناء، π: عدد پی می‌باشد.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-05-30]

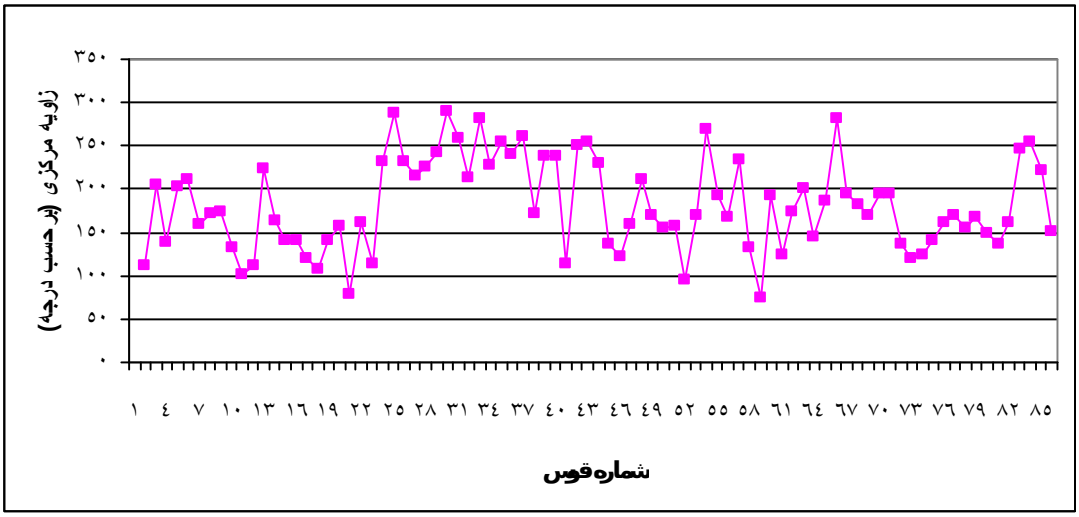


شکل ۴- رودخانه‌های بابل رود و سجاد رود به همراه دوایر برازش داده شده به مئاندرها

نتایج و بحث

نتایج بررسی‌های به عمل آمده در رودخانه‌ی بابل‌رود و سجادرود در مورد دو پارامتر ضریب‌خمیدگی لئوپولد و زاویه مرکزی کورنایس از ۸۵ نقطه در شکل ۵ و جدول ۱ نشان داده شده است.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-05-30]



شکل ۵- نمودار منحنی مئاندرهای بابل‌رود و سجادرود طبق زاویه مرکزی کورنایس

جدول ۱- مشخصه‌های ضریب خمیدگی قوس‌ها در رودخانه‌ی بابل‌رود و سجادرود

نام رودها	میانگین ضریب خمیدگی	حداکثر ضریب خمیدگی	حداقل ضریب خمیدگی	قوس‌های با ضریب خمیدگی کمتر از حد میانگین (درصد)	قوس‌های با ضریب خمیدگی بالای ۲ درصد	قوس‌های با ضریب خمیدگی بالای ۱/۵ درصد
بابل‌رود و سجادرود	۲/۴۶	۵/۰۴	۱/۰۹	۶۲/۳۵	۳۵/۲۹	۷۱/۷۶

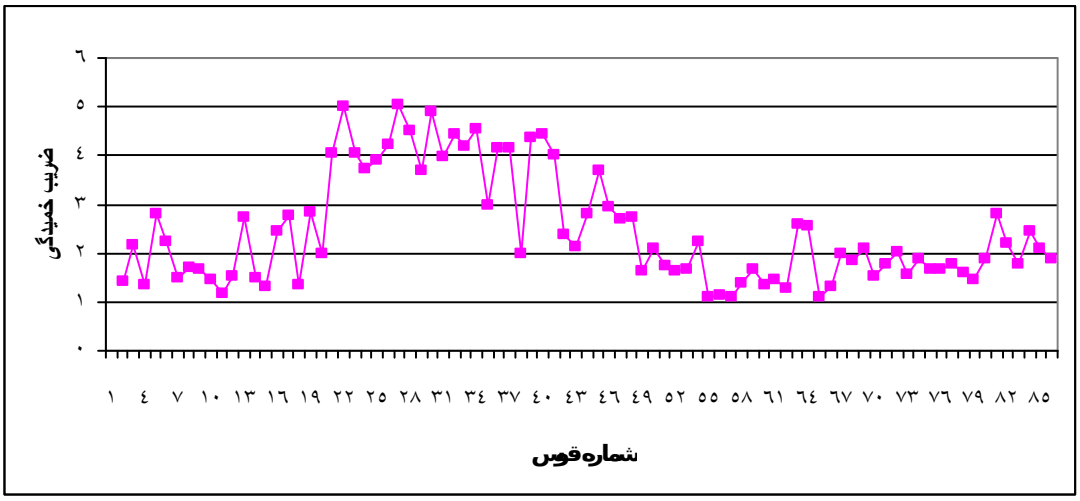
با توجه به جدول ۱ مشاهده می‌شود که میانگین ضریب خمیدگی قوس‌های رودخانه بابل‌رود و سجادرود ۲/۴۶ می‌باشد که این نکته بیانگر پیچ و خم‌دار بودن مسیر این رودخانه‌ها است. همچنین بر اساس اندازه‌گیری‌های به عمل آمده میانگین زاویه‌ی مرکزی قوس‌های رودخانه‌ی بابل‌رود و سجادرود ۱۸۱/۴۴ به‌دست آمد. این میزان نشان می‌دهد در منطقه پیچان‌رودهای خیلی توسعه یافته زیادی داریم. با توجه به تقسیم‌بندی کورنایس (۱۴) درصد فراوانی زاویه‌ی مرکزی قوس‌های پیچان‌رودی رودخانه‌ی بابل‌رود و سجادرود محاسبه گردید که نتایج محاسبات در جدول ۲ نشان داده شده است.

جدول ۲- میزان رشد قوس‌های پیچان‌رودی در رودخانه‌ی بابل‌رود و سجادرود بر اساس زاویه‌ی مرکزی

شکل رودخانه	درصد فراوانی در رودخانه بابل‌رود و سجادرود	زاویه مرکزی (درجه)
شبه پیچان‌رود	-----	۰ -۴۱
پیچان‌رود توسعه‌نیافته	۲/۳۵	۴۱ – ۸۵
پیچان‌رود توسعه‌یافته	۳۱/۷۶	۸۵ – ۱۵۸
پیچان‌رود خیلی توسعه‌یافته	۶۵/۸۸	۱۵۸ – ۲۹۶
نعل‌اسبی	------	۲۹۶ به بالا

بنابراین با توجه به شکل ۵، جدول ۲ و محاسبات انجام شده، بیشترین درصد فراوانی به میزان ۶۵/۸۸ درصد مربوط به زاویه‌ی مرکزی ۲۹۶-۱۵۸ است که پیچان‌رود خیلی توسعه‌یافته محسوب می‌شود (۱۱). دومین فراوانی به میزان ۳۱/۷۶ درصد مابین زاویه‌ی مرکزی ۱۵۸-۸۵ درجه و پیچان‌رود توسعه‌یافته است و کمترین فراوانی محدوده مورد مطالعه به زاویه‌ی مرکزی ۸۵-۴۱ درجه و پیچان‌رود توسعه‌نیافته مربوط می‌شود که برابر ۲/۳۵ درصد به‌دست آمد، همچنین بر اساس طبقه‌بندی جدول ۲ (۱۱)، هیچ موردی در درجه‌های ۴۱-۰ (شبه‌پیچان‌رودی) و ۲۹۶ درجه به بالا (نعل اسبی) قرار نگرفته است.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-05-30]



شکل ۶- نمودار سینوسیته‌ی بابل‌رود و سجادرود (بر اساس ضریب خمیدگی شاخص لئوپولد و همکاران)

همچنین با استفاده از شاخص ضریب خمیدگی، نمودار سینوسیته‌ی بابل‌رود و سجادرود در شکل ۶ نشان داده شده است. با توجه به شکل ۵ میانگین سینوسیته در مقاطع مورد مطالعه در رودخانه بابل‌رود و سجادرود ۲/۴۶ می‌باشد. ۶۲/۳۵ درصد حالت مئاندری با سینوسیته‌ی کمتر از میانگین است. درحالی‌که ۷۱/۷۶ درصد از مئاندرها سینوسیته‌ی بیشتر از ۱/۵ را در منطقه نشان می‌دهند. بنابر مطالعاتی که یمانی و حسین‌زاده (۲۲) انجام داده‌اند این محدوده نباید شیب بیشتر از ۲ درصد داشته باشد که همانطورکه در بالا اشاره شد، شیب متوسط منطقه ۰/۳ درجه اندازه‌گیری شده است. بنابراین این مئاندرها در مناطقی تشکیل می‌شوند که سطح دارای شیب بسیار کم باشد. در رودخانه‌ی بابل‌رود بر اساس شکل ۴، از قوس۲۰ تا ۴۰ ضریب‌خمیدگی بالا بوده و نشان‌دهنده‌ی پیچان‌رودهایی هستند که در زمره‌ی پیچان‌رودهای بسیار توسعه‌یافته می‌باشند و بقیه‌ی قوس‌های رودخانه‌ی بابل‌رود در زمره‌ی پیچان‌رود توسعه‌نیافته تا توسعه‌یافته قرار دارند. همچنین پیچان‌رودهای رودخانه‌ی سجادرود که به بابل‌رود می‌ریزد، از قوس ۶۵ تا ۷۸ در زمره پیچان‌رودهای توسعه‌یافته قرار می‌گیرند. با توجه به نتایج مطالعات حبیبی و تلوری (۹) که عامل انسانی را مهمترین عامل در تغییر شکل رودخانه میدانند، در منطقه گنج افروز در قوس‌های شماره‌ی ۶۲-۵۹ نیز عامل انسانی با بهره‌برداری بیش از حد از منابع قرضه موجود در قوس پیچان‌رودهای منطقه باعث تغییر در شکل رودخانه شده است و در حقیقت عامل انسانی در این منطقه عامل تشدید تخریب در رودخانه می‌باشد و نتیجه آن برهم زننده تعادل مورفولوژی رودخانه می‌باشد. نتایج نشان می‌دهد که ۶۵/۸۸ درصد از پیچان‌رودهای منطقه در زمره پیچان‌رودهای خیلی توسعه‌یافته هستند، این در حالی است که در بررسی الگوی پیچان‌رودی رودخانه تالار توسط یمانی و حسین‌زاده ۶۰/۴ درصد از پیچان‌رودها در زمره پیچان‌رود توسعه‌یافته هستند. بنابراین با توجه به نتایج تحقیقات یمانی و حسین‌زاده (۲۲) در حوزه‌ی مازندران و نتایج این پژوهش می‌توان بیان نمود که رودخانه‌های حوزه‌ی مازندران هنوز شرایط تشکیل اشکال نعل اسبی را ندارند. همچنین نتایج بدست آمده از تحقیقات سامانی و همکاران (۲۲) این نتیجه را که تفاوت لیتولوژی سازندهای زمین‌شناسی از مهم‌ترین عوامل توسعه پیچان‌رودها هستند را تأیید میکند چرا که همانطورکه در بالا اشاره شد، رودخانه بابل‌رود و سجادرود در بستری از مواد سست و سخت جریان دارد و همین تفاوت لیتولوژی باعث شکل‌گیری درجات متفاوتی از پیچان‌رودها در این دو رودخانه شده است (شکل ۳). با توجه به اینکه در این تحقیق بررسی الگوی ژئومورفولوژیکی رودخانه‌های سجادرود و بابل‌رود از مناطق با شیب بالا به سمت مناطق دشتی انجام گرفت، هر چه از سمت کوهستان به سمت دشت و مناطق با شیب کم نزدیک می‌شویم، پیچان‌رودها توسعه بیشتری می‌یابند، بنابراین آنچه از این پژوهش استنباط می‌شود این است که در صورت وجود اختلاف لیتولوژی، هرچه شیب کمتر می‌شود، پیچان‌رودها توسعه‌ی بیشتری می‌یابند. به همین دلیل با توجه به نتایج به دست آمده از شکل ۵، توسعه‌یافته‌ترین پیچان‌رودها در این تحقیق در محدوده‌ی شهر بابل وجود دارند که شیب رودخانه در این منطقه زیر ۲ درصد می‌باشد. این نتیجه با تحقیقات بروکس (۴) مطابقت دارد. همچنانکه میلار و کویک (۱۳) و اسوات و همکاران (۲) در تحقیقات خود نشان دادند که سینوسیته به شیب وابسته است به‌طوری‌که رودخانه‌های با شیب بیشتر دارای سینوسیته کمتر و رودخانه‌های با شیب کمتر دارای سینوسیته بزرگتری هستند. ولی در سرشاخه‌ی بابل‌رود و در طول

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-05-30]

رودخانه‌ی سجادرود به خاطر بالا بودن شیب مسیر رودخانه، پیچان رودهای بسیار توسعه یافته وجود ندارد. ولی این بدان معنی نیست که هر چه شیب کم شود توسعه پیچان‌رودها بیشتر خواهد شد، بلکه درصورتی‌که لیتولوژی سازندهایی که در محل عبور رودخانه وجود دارند حساس به فرسایش و متغیر باشند این توسعه اتفاق خواهد افتاد. همانطورکه رضایی‌مقدم و همکاران (۱۹) در پژوهشی نشان دادند که عبور رودخانه از تشکیلات مارنی و فرسایش‌پذیر، باعث شده که هندسه رودخانه در بازه دشتی شدیداً تحت تأثیر لیتولوژی بستر شکل بگیرد و فرسایش کناری و توان رودخانه نقش عمده در پیچان‌رودی رودخانه داشته باشد، بیشتر لیتولوژی منطقه عبور رودخانه بابلرود و سجادرود از جنس رسوبات رودخانه‌ای بوده و حساس به فرسایش رودخانه‌ای می‌باشد (شکل ۳).

پیچان‌رودهای خطرساز نتیجه فرسایش رودخانه‌ای در دوره‌ی کواترنر روی سازندهای با لیتولوژی و مقاومت متفاوت در برابر فرسایش می‌باشند. بنابراین عوامل زمین‌شناسی، ژئومورفیک و تکتونیک اگرچه از نظر وقوع، بطئی به نظر می‌رسند، ولی از نظر ایجاد تغییرات بنیادی در مسائل هیدرولیکی، هیدروژئولوژیکی و زیست محیطی بسیار با اهمیت بوده و بدون شناخت دقیق آنها اجرای برنامه‌های مختلف مخصوصاً طرح‌های ساماندهی رودخانه ناقص بوده و ممکن است رودخانه‌ها را به‌عنوان یک موجود پویا به عکس‌العمل‌های طبیعی و غیر قابل کنترل وادار نماید. باتوجه به این‌که درجه سینوسیته در منطقه مورد مطالعه بالا بوده و پیچان‌رودهای بسیار توسعه‌یافته این پتانسیل را دارند که در طی یک جریان کاتاستروفیک باعث ایجاد اشکال نعل‌اسبی شوند و احتمالاً باعث خساراتی نیز شوند، رودخانه‌ی بابل‌رود نیز در منطقه‌ی بابل این پتانسیل را دارد که در صورت وقوع سیلاب‌های با دوره بازگشت بیش از ظرفیت آبراهه، باعث قطع‌شدگی مسیر رودخانه شده و خسارات زیادی را به وجود آورد. بنابراین با توجه به تفسیر تصاویر هوایی منطقه‌ی مورد بررسی و نتایج حاصل از این پژوهش، درصورت بروز جریانهایی که بیش از ظرفیت مجرای رودخانه باشند، اراضی کشاورزی و مسکونی زیادی در معرض خطر قرار خواهند گرفت. بنابراین لازم است که مطالعات دقیقی نسبت به شناسایی مناطق پرخطر و اقدامات لازم شامل فرهنگ‌سازی در جهت بهره‌برداری اصولی از رودخانه، جلوگیری از بهره‌برداری بیش از حد از منابع قرضه‌ی شن و ماسه در قوس‌های محدب پیچان‌رودها، انجام عملیات بیومکانیکی در مسیر رودخانه، جلوگیری از انجام فعالیت‌های کشاورزی و ساخت و ساز در حریم رودخانه صورت گیرد.

منابع

1. Abulghasemi, M. 2005. Controlling the entrance sediment to the river basins next to the meandering rivers, PhD thesis, University of Tarbiat Modarres, Iran. 110 pp. (In Persian)
2. Aswath, M.V. and V.R. Satheesh. 2008. Factors Influencing the Sinuosity of Pannagon River Kottayam, Kerala, India: An assessment using remote sensing and GIS, Environmental Monitoring and Assessment. 138: 173-180.
3. Briaud, J.L., H.C. Chen, S. Park and A. Shah. 2002. Develop Guidance for Design of New Bridges and Mitigation of Existing Sites in Severely Degrading and Migrating Streams Project Summary Report 2105-S, Project 0-2105.
4. Brooks, G.R. 2003. Holocene lateral channel migration and incision of the Red River,Manitoba, Canada Geomorphology. 54: 197-215.
5. Dalal Oghla, A. 1992. Geomorphology of Chale Ahar, Ms. Thesis, Faculty of Human and Social Sciences, University of Tabriz, Iran.
6. Esmaili, A. and Kh. Abdollahi. 2010. Watershed management and soil preservation, Mohaghegh Ardabili Publications, 578 pp. (In Persian)
7. Ferreirda Da Silva, A.M. 2006. On why and how do rivers meander, journal of Hydraulic Research. 44: 579-590.
8. Friedkin, J.F. 1945. A Laboratory Study of the Meandering of Alluvial Rivers. U.S. Army Engineers Waterways Experiment Station, Vicksburg, MS.
9. Ghasemie, H. 2005. Investigation of efficiency of Muskingum and Modified Models in flood routing (case study: Babolrud River), MSc thesis, University of Mazandaran, Iran.110 pp. (In Persian)
10. Habibi, M. and A. Talouri. 2001. Controlling the erosion and recycling the lands in rivers and floodways, first national conference of structures, University of Shiraz, Iran. (In Persian)
11. Hosseyni, S.A., A.R.K. Samani., H. Afzalimehr and M. Heydarpur. 2003. Predicting the degree of sinuosity of meandering rivers with the coarse texture, the fourth Iranian Conference of Hydraulics, University of Tabriz, Iran. (In Persian)
12. Jabarzade, M., J. Atari., M.R. Majdzade and M. Abulghasemi. 2008. Study, eddy current testing and its role in the formation of horizontal sedimentary deposits in arc, the 4th national congress of civil engineering, Tehran University. 8 pp. (In Persian)
13. Karamisheva, R.D., J.F. Lyness., W.R.C. Myers and J.O. Sullivan. 2006. Sediment Discharge in meandering compound channels, journal of Hydraulic Research. 44: 603-613.
14. Kornish, M.R.S. 1980. Meander Travel in Alluvial Streams, in Proceeding of the International Work Ship on Alluvial River Problems. India. Sarita Prakashan Meerut, New Delhi. 4: 35-82.
15. Millar, R.G. and M.c. Quik. 1993. Effect of bank stability on geometry of gravel rivers, Journal of Hydraulic Engineering-asce .119: 1343-1363.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-05-30]

16. Nayeri, H. 2004. An study on the formation and the current Morphodynamic of the cumulative plain of Miandoab, M.Sc. Thesis, Faculty of Human and Social Sciences, University of Tabriz, Iran. 108 pp. (In Persian)
17. Peyrovan, H.R., M. Habibi, J.M.V. Samani and A.H. Haghi Abi. 1998. A survey of the geometrical-hydraulic features of the twisting rivers of the downstream Ghezelozon River and the chronological changes and its morphology, the first conference on Hydraulics in Iran, Khorramabad. Iran. (In Persian)
18. Pirestani, M. 2005. A survey of the flow pattern and leaching, in the opening of the waterway of the channels with a curvature, PhD Dissertation, Islamic Azad University, Iran. 140 pp.
19. Rezaei Moghadam, M.H., M.R. Sarvati and S. Asghari Sareskanrood. 2011. Investigation of geometric alterations of Gezel Ozan River considering Geomorphologic and Geologic parameters, Journal of Geography and Environmental Planning. 46: 1-14. (In Persian)
20. Rezaei Moghadam, M.H. and K. Khoshdel. 2005. A survey of the geomorphological risks in Uzumdel and Razghan plains, International conference of the Earth's risk and natural disasters, University of Tabriz, Iran. (In Persian)
21. Safarpur, G.A. and S.A.A. Salehi Neyshaburi. 2005. Hydrodynamic study of the pattern of chaotic flow in river arc, using three-dimensional numerical model, The Sciences and Water Resources Engineering Association, Iranian Water Resources Research. 1: 65-77 pp. (In Persian)
22. Samani, A., H. Afzalimehr and M. Heydarpour. 2003. Prediction of the sinusoidal of the meanderic river with coarse textured bed. 4th Conference of hydraulic, University of Shiraz, Iran. (In Persian)
23. Selby, M.J. 1985. Earth's Changing Surface, Clarendon Press Oxford. 607 p.
24. Telvari, A.R. 2004. River engineering and improvement, Tehran University Press. 490 pp. (In Persian)
25. Yamani, M. and M.M. Hosseinzade. 2004. Examining the meandering river pattern of Taller River, using the indexes of curvature coefficient and central angle, Geographical Research Periodical, 73: 143-154. (In Persian)

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-05-30]

Examining Meandering Pattern of River, Using the Indexes of Curvature Coefficient and Central Angle (Case Study: Babolrud and Sajjadrud Rivers)

Mohammad Mirzavand[1], Hoda Ghasemieh[2] Ali Akbar Nazari Samani[3], Abbasali Vali[4] and Seyed Javad Sadatinejad[5]

1- Graduated M.Sc., University of Kashan, (Corresponding author: mmirzavand23@yahoo.com)
2 and 4- Assistant Professor and Associate Professor, University of Kashan
3 and 5- Associate Professor, University of Tehran
Received: April 30, 2012 Accepted: April 23, 2013

Abstract:
A great number of towns and villages are established along the rivers and especially on the terraces made by rivers. Under the influences of the river's dynamic and discharge changes, these lands are constantly exposed to dangers such as the flood and instability of the river bed caused by the river meandering movements. Therefore, examining the meandering pattern of the rivers is necessary in order to prevent possible dangers. In this article, the study areas are Babolrud and Sajjadrud rivers in Mazandaran province in Iran which are situated on the coastal plains of Mazandaran. In this study, methodology was to use curvature coefficient (applied by Leopold and Wellman) and the central angle (cournice approach), as non-physical tools and topographical maps and aerial photographs were used as physical tools of the study. In the end, the results of the study showed that the average curvature coefficient within the area under study is equal to 2.46. This figure indicates that the ratio of the river's meandering is high. It also shows that the rate of meandering river evolution is not the same regarding time and location. On the other hand, with regard to the obtained results of the index of curvature coefficient, 71.6 percent of the curves of this river fall into the category of evolved meandering pattern. The coefficients obtained from these models, necessitate the medium-term and long-term stabilization of the river bed, using management approaches and structural engineering.

Keywords: Meandering pattern, Babolrud River, Sajjadrud River, Dynamic of the River, Curvature Coefficient, Central Angle

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-05-30]