

دو فصلنامه‌ی ژئومورفولوژی کاربردی ایران

سال اول، شماره اول، بهار و تابستان ۱۳۹۲

تاریخ دریافت: ۹۱/۱۱/۱۲ تاریخ پذیرش: ۹۲/۳/۱۴

صص ۷۵ - ۸۸

بررسی و تحلیل الگوهای متفاوت رودخانه شهر چای ارومیه

صیاد اصغری سراسکانرود*، استادیار گروه ژئومورفولوژی دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران

چکیده

نظارت بر مسیر و الگوی هندسی رودخانه‌ها به منظور کسب شناخت دقیق و بررسی معضلات و مخاطرات احتمالی در جهت حفظ و بهره‌برداری بهینه از منابع طبیعی ضروری می‌باشد و جزو اولویت‌های مطالعات ژئومورفولوژی کاربردی است. رودخانه شهر چای یکی از مهم‌ترین رودخانه‌های آذربایجان غربی است؛ که شکل‌گیری هندسه بستر آن در بازه‌های مختلف با یکدیگر تفاوت فاحشی دارد. هدف‌این تحقیق بررسی و تحلیل الگوهای متفاوت رودخانه با استفاده از روابط کمی است. جهت رسیدن به این هدف ابتدا با توجه به خصوصیات مورفولوژیک، رودخانه به سه بازه متفاوت طبقه‌بندی گردید. از معیارهای ضریب خمیدگی، زاویه مرکزی پیچان‌ها و داده‌های دبی رودخانه در بازه زمانی بلند مدت برای بررسی شکل هندسی رودخانه استفاده شده است. نتیجه‌این تحقیق نشان داد که برای بررسی دلیل پیچان رودی یک منطقه باید مورفولوژی منطقه و عوامل مؤثر در تغییر الگو مورد توجه قرار بگیرد هم‌چنین رودخانه شهر چای یک رودخانه مئاندری بوده و نحوه شکل‌گیری پیچان‌ها در بازه کوهستانی و بازه ساحلی با یکدیگر متفاوت می‌باشد. در بازه ساحلی به خاطر مورفولوژی منطقه آزادی عمل رودخانه بیش‌تر بوده ولی در بازه کوهستانی رودخانه توسط دره محاط گشته و آزادی عمل رودخانه محدود می‌باشد.

واژگان کلیدی:

رودخانه شهری چای، ضریب خمیدگی، زاویه مرکزی، خصوصیات مورفولوژیک.

مقدمه

مهم‌ترین پدیده در فرآیندهای پوستی زمین جریان آب‌ها است و رودخانه‌ها نه تنها در سیمای کلی زمین نقش دارند، بلکه شکل زیستن انسان در کره زمین را نیز تعیین می‌نمایند (موریساوا^۱، ۱۹۶۸) مطالعات ژئومورفولوژی از مهم‌ترین مباحث علم مهندسی رودخانه می‌باشد، که به بیان شکل هندسی، فرم بستر، پروفیل طولی آبراهه، مقاطع عرضی، تغییر شکل‌ها و تغییر مکان رودخانه در طول زمان می‌پردازد (حافظی مقدس و همکاران، ۱۳۹۱). از سوی دیگر نظارت بر رفتار و تغییرات مورفولوژیک، اساس و پایه حل مشکلات و مسائل ژئومورفولوژی کاربردی می‌باشد و طراحی و شناسایی فرآیندهای آن‌ها ضروری می‌باشد. بسیاری از پژوهشگران بر این باورند که اصولاً طبقه‌بندی الگوی رودخانه و برقراری رابطه بین مورفولوژی و فرآیندهای صورت گرفته در رودخانه، پژوهشگران را در درک صحیح و هم‌چنین پیش‌بینی واکنش‌های ناشی از فعالیت‌های انسانی و عوامل طبیعی رودخانه، کمک خواهد کرد (مونتگومری و بافینگتون ۱۹۹۷: ۵۹۷). شکل مجرا موضوع اساسی در ژئومورفولوژی رودخانه‌ای می‌باشد؛ که براساس دو پارامتر گیسوی و سینوسی تعیین می‌گردد. محققان زیادی در مورد مورفولوژی سیستم رودخانه‌ای تحقیقاتی انجام داده‌اند تقسیمات مختلف و بحث‌های زیادی در مورد فرآیندهای مؤثر بر آن‌ها ارایه شده است (نیری، ۱۳۸۹: ۱۲). برای مثال الگوهای مجاری رودخانه‌ای در شیوه قدیمی به انواع مستقیم، مئاندری و گیسوی طبقه‌بندی می‌شدند (لئوپولد و ولمن، ۱۹۵۷)^۲ این طبقه‌بندی در حال حاضر چندان رضایت بخش نیست. زیرا، طبقات ارایه شده کاملاً منحصر به فرد نبوده و عوامل متعددی جهت تعیین الگوهای متفاوت مجرا باید مورد توجه قرار گیرند (بریچ، ۱۳۷۸ به نقل از چیتال ۱۹۷۰؛ کلرهایس و همکاران، ۱۹۷۶؛ راست، ۱۹۷۸؛ کینگتون، ۱۹۸۴). از طرف دیگر الگوهای ذکر شده کاملاً از یکدیگر مجزا نیستند. الگوی شریانی ممکن است، بر الگوی مستقیم یا پیچانرودی اثر نموده و به این ترتیب درجه سینوسی و منظمی رودخانه، تغییر می‌کند (فرگوسن، ۱۹۸۷)^۳. شواهد بسیار زیادی در منابع و مراجع مختلف می‌توان یافت که با تغییر متغیرهای مستقل رودخانه، الگوی آن به ترتیب از حالت مستقیم به پیچان رودی و سپس به شریانی تبدیل می‌شود. شکل‌های جدید سیستم‌های رودخانه‌ای مثل آنابرنچنیک^۴ توسط برایس^۵ (۱۹۸۴) و روسگن^۶ (۱۹۹۴) تشخیص داده شد؛ که اغلب برای تشریح فرآیندهای رودخانه‌ای مؤثر می‌شود. انواع الگوهای مجرا به الگوی مستقیم بسط داده شده، الگوی سینوسی، الگوی پیچان رودی و الگوی شریانی طبقه‌بندی می‌شوند (اصغری، ۱۳۹۱، ۲۸ - ۳۲). الگوهای متفاوت رودخانه‌ها تحت تأثیر عوامل متعددی طبیعی هم‌چون، تکتونیک، لیتولوژی، هیدرولوژیکی، اقلیمی و انسانی می‌باشد. این عوامل بسته به نوع رودخانه تأثیرات متفاوتی بر روی شکل الگوهای رودخانه‌ای می‌گذارند. علاوه بر عوامل طبیعی، عوامل انسانی نیز نقش بسیار مهمی بر روی شکل و الگوی مجاری رودخانه دارند؛ به‌طوری که فعالیت‌های مهندسی مثل کانال‌سازی، سدسازی، انحراف و ایجاد نهرها و اثرات غیرمستقیم در تغییر مجاری رودخانه‌ای از طریق کاربری اراضی مانند تسطیح زمین، کشاورزی متمرکز و وقوع آتش‌سوزی، خانه-سازی و شهرنشینی قابل تجزیه و تحلیل می‌باشد (گرگوری، ۲۰۰۶، ۱۷۲).

1. Morisow

2. Leopold. L. B, Wolman.M. G

3. Ferguson, R.I 1987 and 1984

4. Anabraching

5. Brice

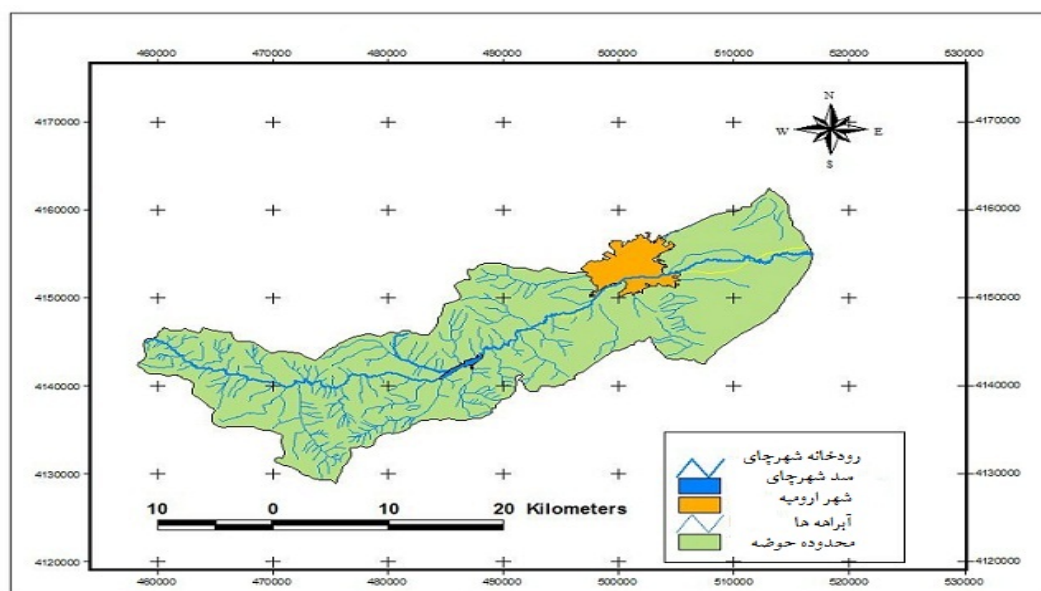
6. Rosgen

محققان بسیار زیادی در رابطه با الگوهای رودخانه‌ای کار کرده‌اند که از شاخص‌ترین آن‌ها می‌توان به، لئوپولد و ولمن (۱۹۵۷)، روسگن (۱۹۹۴)، برتولدی و بیللی^۱ (۲۰۰۲)، کیسترا و همکاران^۲ (۲۰۰۵)، زامولی و همکاران^۳ (۲۰۱۰)، (نواراتیل و همکاران، ۲۰۱۲) و از پژوهشگران داخلی به نوحه‌گر و محمودی (۱۳۸۱)، یمانی و حسین‌زاده (۱۳۸۳)، ارشد و همکاران (۱۳۸۶)، رضایی‌مقدم و خوشدل (۱۳۸۸)، مقصودی و همکاران (۱۳۸۹)، نیری (۱۳۸۹) و اصغری (۱۳۹۱) اشاره کرد.

این تحقیق در پی آن است که الگوهای مختلف رودخانه را مورد بررسی قرار بدهد و با مقایسه نتایج شاخص‌های کمی نحوه و دلیل شکل‌گیری پیچان‌ها را در بازه‌های مختلف از دیدگاه ژئومورفولوژی کاربردی مورد بررسی و تحلیل قرار بدهد.

منطقه مورد مطالعه

حوضه شهرچای یکی از حوضه‌های غربی دریاچه ارومیه است؛ که در طول جغرافیایی $44^{\circ} 17'$ تا $44^{\circ} 35'$ و عرض جغرافیایی $37^{\circ} 19'$ تا $37^{\circ} 35'$ قرار گرفته است (شکل ۱). رودخانه شهرچای به عنوان مهم‌ترین رودخانه این حوضه از ارتفاعات مرزی ایران و ترکیه سرچشمه می‌گیرد. این رودخانه پس از عبور از سمت جنوبی شهر ارومیه در سمت پایینی کشتیبان وارد دریاچه ارومیه می‌شود. طول رودخانه شهرچای ۶۰ کیلومتر و سطح حوضه آبریز آن ۹۶۰ کیلومترمربع است. این رودخانه دارای حجم رواناب سالیانه ۲۶۰ میلیون مترمکعب می‌باشد. رودخانه شهرچای ارومیه یکی از رودخانه‌های دائمی در ارومیه می‌باشد و آب آن در بهار به علت طغیان و خروج از مجرای رودخانه و شدت و سرعت جریان و در نهایت فرسایش بستر دارای مواد معلق فراوان بوده و همواره گل‌آلود و تیره رنگ است. اما، در تابستان به دلیل کاهش میزان آب و سرعت جریان دارای آبی زلال و صاف و قابل شرب است. در اطراف روستای هلوری، بستر رودخانه فراخ می‌شود و مجدداً پس از عبور از این دهکده باریک شده و به حدود ۳۵ متری می‌رسد. اما در محل بند و حوالی آن به ۵۰ متر می‌رسد.

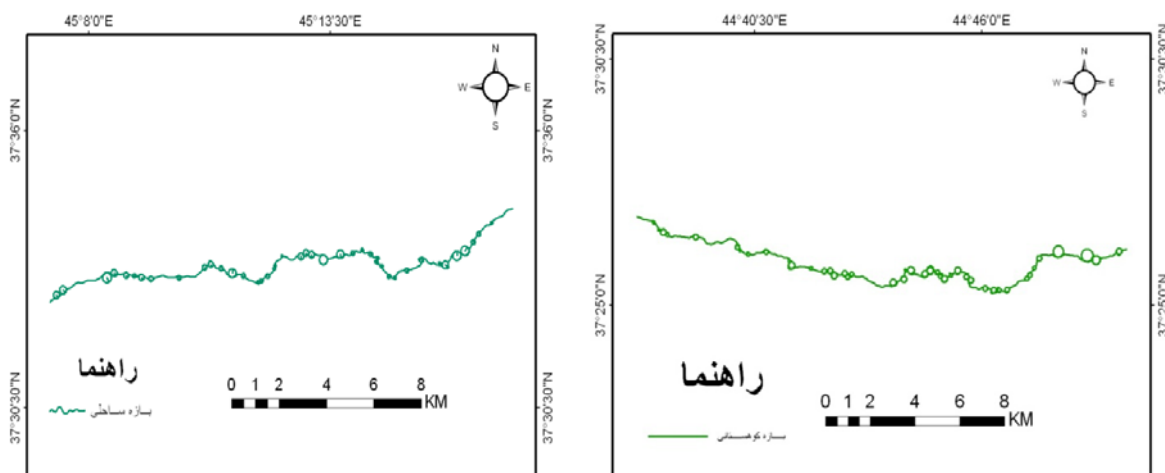


شکل شماره ۱: نقشه موقعیت منطقه مورد مطالعه

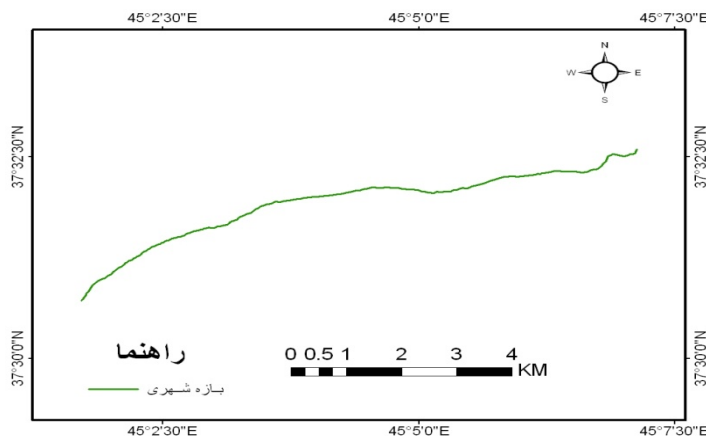
1. Bartholdy, J., and Billi, P.
2. Keesstra, S.D., J. van Huissteden, J. Vandenbergh, O. Van Dam, J. de Gier, I.D. Pleizier
3. Zámolyi A. B. Székely, E. Draganits, G. Timár

مواد و روش ها

در این تحقیق از نقشه‌های توپوگرافی، نقشه زمین‌شناسی و تصاویر ماهواره‌ای لندست ۷ سنجنده‌ی ETM+ سال ۲۰۰۷ م. و داده‌های دبی رودخانه در دو ایستگاه بند (۱۳۲۹ - ۱۳۸۹) و ایستگاه کشتیابان (۱۳۴۴ - ۱۳۹۰) استفاده شده است. همچنین جهت کنترل نتایج به دست آمده به وسیله روش‌های کمی از مطالعات میدانی جهت انطباق و صحت سنجی نتایج استفاده شده است. به دلیل مورفولوژی متفاوت رودخانه در بخش‌های مختلف و قرار گرفتن هر کدام از بازه‌ها در یک طبقه و به جهت این که در طول مسیر مورد مطالعه خصوصیات مورفولوژیک رودخانه به شدت تغییر می‌کند جهت انجام بررسی دقیق‌تر و علمی‌تر محدوده مورد مطالعه رودخانه به سه بازه تقسیم گردید، و بازه‌ها طوری انتخاب گردید که هر کدام در یک طبقه رودخانه‌ای قرار گرفته و از نظر فرسایش، رسوب‌گذاری، نحوه جابه‌جایی سواحل رودخانه و میزان پوشش گیاهی از الگوی یکسانی پیروی کنند و بازه مورد نظر از نظر فرآیندهای مورفولوژیکی دارای تجانس نسبی باشد. برای اساس سه بازه در محدوده مورد مطالعه شناسایی گردید بازه اول در محدوده کوهستانی رودخانه تا محل سد شهر چایی را در بر می‌گیرد (شکل ۲). بازه دوم به‌طور کامل در داخل شهر ارومیه قرار می‌گیرد (شکل ۴) و بازه سوم در محدوده دشت دریاچه ارومیه (شکل ۳) واقع می‌باشد. در این بازه رودخانه بستر آبرفتی جریان دارد فرسایش و رسوب‌گذاری باعث ایجاد جزایر رسوبی متعدد در این بازه شده است.



شکل ۲: بازه کوهستانی همراه با دواير برآزش شده بر پيچان‌رودها شکل ۳: بازه ساحلی همراه با دواير برآزش شده بر پيچان رودها



شکل شماره ۴: بازه شهری رودخانه

در مرحله بعد اقدام به استخراج مسیر رودخانه از روی تصاویر ماهواره‌ای گردید. پس از پردازش تصاویر فایل رقومی حاصل به محیط ARC GIS وارد و خط بستر و ساحل رودخانه به صورت لایه‌های رقومی مستقل استخراج شد. در مرحله بعد اقدام به شناسایی پیچان رودهای موجود شد. برای بازه کوهستانی ۳۸ پیچان رود و برای بازه کوهستانی ۴۱ پیچان رود تشخیص داده شد. برای بازه شهری هیچ پیچان رودی تشخیص داده نشد؛ که علت آن مستقیم‌سازی بستر رودخانه توسط شهرداری در جهت عمران رودخانه و زیباسازی شهری می‌باشد؛ که باعث حذف شدن پیچان‌ها و مستقیم کردن بستر می‌باشد. سپس نقاط عطف یا نقاط تغییر انحنای محور رودخانه برای هر سه بازه با دقت زیاد مشخص گردید. برای هر یک از قوس‌های رودخانه دوایری برازش شد؛ که بیش‌ترین و بهترین تطابق را با قوس داشته باشد. در ادامه مشخصات هندسی پیچان رودها از قبیل طول موج^۱، طول قوس^۲، شعاع انحنای^۳ و دامنه نوسان^۴ در محیط نرم افزار ARC GIS با استفاده از توابع موجود استخراج گردید. سپس با استفاده از رابطه زیر اندازه ضریب خمیدگی برای هر قوس محاسبه شد.

$$S = \frac{L}{\lambda / 2}$$

که در این رابطه S ضریب خمیدگی، L طول قوس، $\lambda/2$ نصف طول موج می‌باشد. سپس هر کدام از بازه‌ها بر حسب ضریب خمیدگی تقسیم‌بندی گردید.

جدول شماره ۱: تقسیم‌بندی رودخانه‌ها بر حسب ضریب خمیدگی (پیتز، ۱۳۶۵، ۲۵۱)

بیش‌تر از ۲	۱/۲۵ - ۲	۱/۰۶ - ۱/۲۵	۱ - ۱/۰۵	ضریب پیچشی
پیچان رودی شدید	پیچان رودی	سینوسی	مستقیم	نوع رودخانه

در ادامه زاویه مرکزی قوس‌های زده شده بر روی هر کدام از بازه‌ها با استفاده از رابطه زیر محاسبه گردید:

$$A = \frac{180L}{R\pi}$$

که در این رابطه A زاویه مرکزی، R شعاع دایره برازش داده شده می‌باشد. در نهایت میزان توسعه پیچان رودی به وسیله جدول ۳ کورنیس ۵ (۱۹۸۰) مشخص گردید (تلوری، ۱۳۷۱ص ۱۳۹).

جدول شماره ۲: میزان توسعه پیچان رودی به کمک زاویه مرکزی کورنیاس (۱۹۸۰)

زاویه مرکزی (درجه)	شکل رودخانه
$41 >$	رودخانه شبه پیچان رود
۴۱ - ۸۵	رودخانه پیچان رود توسعه نیافته
۸۵ - ۱۵۸	رودخانه پیچان رود توسعه یافته
۱۵۸ - ۲۹۶	رودخانه بیش از حد توسعه یافته
بیش از ۲۹۶	رودخانه نعل اسبی ^۱

۱. فاصله افقی بین دو نقطه متناظر از دو حلقه پیچان رود متوالی بر محور رودخانه.
۲. طول خط مرکزی رودخانه، از یک نقطه عطف تا نقطه عطف انحنای بعد.
۳. شعاع دایره ای که بر قسمت عمده انحنای پیچان رود مماس است.
۴. حداکثر فاصله عمودی بین دو انحنای متوالی واقع بر محور رودخانه.

هم‌چنین از داده‌های دبی آب رودخانه شهر چای در دو ایستگاه بند و کشتیبان جهت بررسی روند تغییرات دبی و تأثیر احتمالی آن بر تغییرات الگوی رودخانه در فاصله سال‌های ۱۳۲۹ تا ۱۳۸۹ ه. ش استفاده شده است.

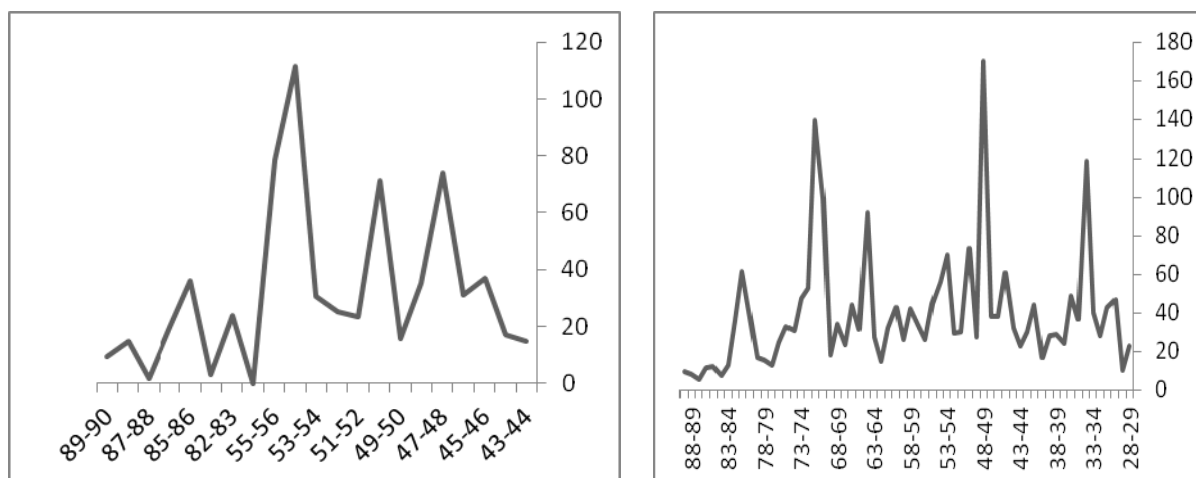
بحث و نتایج

بررسی ضریب پیچشی رودخانه

ضریب خمیدگی و زاویه مرکزی مبین میزان توسعه پیچان رودی در مسیر می‌باشد (بیدنهارد و همکاران، ۱۹۹۷). در جدول ۳ مقدار ضریب پیچشی رودخانه در بازه‌های مختلف محاسبه شده است. در بازه کوهستانی الگوی غالب رودخانه براساس ضریب پیچشی، پیچان رودی می‌باشد و کلیه پیچان رودهای رودخانه بین ۱/۲۵ تا ۲ می‌باشد. مقایسه بین حداقل و حداکثر ضریب پیچشی رودخانه نشان دهنده این است که تغییرات این عامل در بازه کوهستانی در یک مقدار محدود می‌باشد؛ که این نشان دهنده وجود قوس‌های تقریباً مشابه در طول بازه کوهستانی می‌باشد که دارای پتانسیل بسیار کمی برای تغییرات رودخانه می‌باشد. بستر رودخانه در این بخش توسط دامنه‌ها مسلط به دره و محصور بوده و شیب آبراهه نسبتاً بیش‌تر از بستر رودخانه در بازه ساحلی می‌باشد. بنابراین، حرکات پیچان رودی به حداقل رسیده و امکان تغییر مسیر آبراهه وجود ندارد. از طرفی رسوب‌گذاری نیز در این بخش انجام نمی‌گیرد و بستر رودخانه حالت پایداری دارد. در این بازه رودخانه معمولاً تابع وضعیت دره می‌باشد. بنابراین، تغییرات ضریب خمیدگی بسیار کم بوده و در نقاطی تغییرات دیده می‌شود که کناره‌ها فرسایش‌پذیر بوده و امکان گسترش جانبی رودخانه را برای تغییر پارامترهای هندسی قوس‌ها بدهد.

در بازه ساحلی الگوی غالب رودخانه براساس ضریب پیچشی، پیچان رودی می‌باشد. ولی، در این بازه الگوی پیچان رودی شدید نیز دیده می‌شود. مقایسه بین حداقل و حداکثر ضریب پیچشی رودخانه نشان‌دهنده این است که در این بازه تغییرات حداقل بسیار بیش‌تر از بازه کوهستانی می‌باشد. از عوامل اصلی در ایجاد الگوی پیچان رودی رودخانه در این بازه شیب کم دشت منتهی به دریاچه ارومیه و بافت رسوبی بسیار ریزدانه که بر روی دشت انباشتی دوره کواترنر رودخانه قرار گرفته است، می‌باشد. باید توجه داشت که مورفولوژی مجرای رودخانه توسط دبی شکل‌دهنده به مجرا (ساحل لبالب) مشخص می‌شود. تغییرات در بارش رواناب می‌تواند بزرگی دبی شکل‌دهنده به مجرا را تغییر داده و در نهایت ژئومتری مجرا را تغییر دهد. آگاهی از توزیع زمانی و مکانی تغییرات کاربری اراضی در حوضه اطلاعاتی را در مورد تغییر در مورفولوژی مجرا فراهم می‌آورد (کریستنر، ۲۰۰۹: ۱۱). ایجاد سد شهر چای در بالاتر از شهر ارومیه بر روی رودخانه باعث شده که دبی رودخانه به صورت تنظیمی ورارد رودخانه بگردد و در پایین دست رودخانه آب موجود در رودخانه به صورت کانال‌های انحرافی برای آبرسانی به باغات و زمین‌های کشاورزی مجاور استفاده می‌شود. در شکل‌های ۵ و ۶ روند تغییرات دبی رودخانه در دوايستگاه‌بند (بعد از سد شهر چای) و در ایستگاه کشتیبان (در محل ورود به دریاچه ارومیه) نشان داده شده است؛ همان‌طوری که از شکل‌ها نیز مشخص می‌باشد در هر دوايستگاه در طول زمان مورد بررسی دبی رودخانه دارای روند کاهشی می‌باشد. بنابراین، پتانسیل و قدرت رودخانه برای ایجاد تغییرات و بالطبع تغییر الگو و شرایط خمیدگی رودخانه بسیار کم می‌باشد و در بسیاری از مواقع

پیچان رودهای ایجاد شده مربوط به قبل از احداث سد شهر چای می‌باشند و این پیچان رودها تثبیت گشته‌اند و میزان تغییرات در حال حاضر در این منطقه بسیار کم و جزئی می‌باشد. در این بخش شیب رودخانه کم‌تر از بازه کوهستانی می‌باشد و پتانسیل لازم برای حرکات پیچان رودی رودخانه وجود دارد و ولی شرایط بالقوه موجود ناشی از دبی بسیار کم رودخانه و عدم وجود رسوب رودخانه تغییرات پیچان رودی را به حداقل مقدار ممکن رسانده است. بالا بودن ضریب خمیدگی در این بازه به علت وجود تشکیلات سست و با فرسایش‌پذیری بسیار بالا از یک طرف، و از طرف دیگر آزادی عمل بسیار بالای رودخانه برای جابه‌جایی در بستر بسیار عریض، میزان خمیدگی رودخانه را به شدت تحت تأثیر قرار می‌دهد. در حالی، که در بازه کوهستانی آزادی عمل رودخانه به علت محاط شدن توسط دره‌های باریک و عمیق و همچنین مقاومت بالای تشکیلات بسیار محدود می‌گردد و پتانسیل رودخانه را برای ایجاد تغییرات محدود می‌کند.

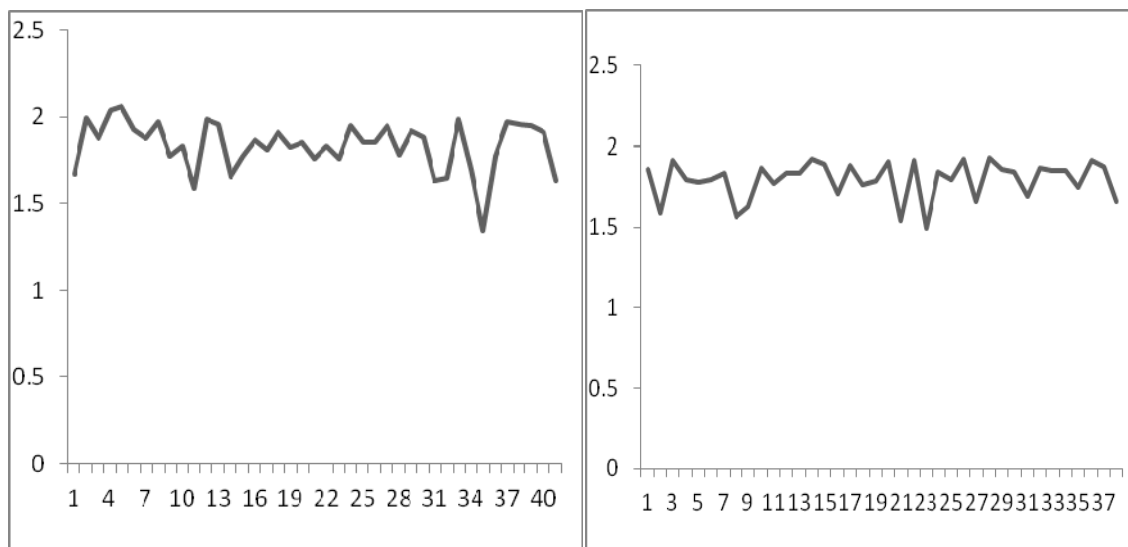


شکل ۵: روند دبی رودخانه در ایستگاه‌بند (۱۳۲۹ - ۱۳۸۹) شکل ۶: روند تغییرات دبی رودخانه در ایستگاه کشتیبان (۱۳۴۴ - ۱۳۹۰)^۱

جدول شماره ۳: مقادیر پارامترهای محاسبه شده ضریب خمیدگی برای بازه‌های رودخانه شهر چای

ضریب پیچشی	۱-۱/۰۵	۱/۲۵-۱/۰۶	۲-۱/۲۵	بیش‌تر از ۲	نوع رودخانه در بازه	میانگین بازه	حداقل بازه	حداکثر بازه
بازه کوهستانی	.	.	۱۰۰	.	پیچان رودی	۱/۷۹	۱/۴۹	۱/۹۳
بازه ساحلی	.	.	۹۵/۱	۴/۹	پیچان رودی	۱/۸۳	۱/۳۴	۲/۰۶
بازه شهری	مستقیم	.	.	.

۱. لازم به ذکر است که در فاصله زمانی سال‌های ۱۳۵۷ تا سال ۱۳۸۲ در ایستگاه کشتیبان هیچ‌گونه داده‌ای ثبت نشده است.



شکل شماره ۷: مقادیر ضریب خمیدگی پیچان‌های بازه کوهستانی (شکل شماره ۸): مقادیر ضریب خمیدگی پیچان‌های بازه ساحلی

بررسی شکل‌های ۷ و ۸ تغییرات مقادیر ضریب خمیدگی را در بازه کوهستانی و بازه ساحلی نشان می‌دهد. همان‌طوری که از شکل‌های مشخص می‌باشد تغییرات این ضریب در بازه ساحلی در یک مقدار مشخص می‌باشد. علت آن وجود تشکیلات با جنس کاملاً مشابه و عدم اختلاف تشکیلات در میزان مقاومت و همچنین عدم وجود ساختارها و خطواره‌ها (شکستگی‌ها و گسل‌ها) می‌باشد؛ که باعث ایجاد رفتار مشابه مورفولوژیکی رودخانه می‌شود. بی‌هنجاری‌ها در نواحی دشتی رودخانه عمدتاً به دلیل آزادی عمل رودخانه برای فعالیت مورفولوژیکی می‌باشد. در بازه کوهستانی نیز تغییرات ضریب خمیدگی زیاد نبوده و تقریباً از آهنگ منظمی برخوردار می‌باشد؛ که به دلیل عدم آزادی رودخانه و محاط شدن توسط کناره‌های مسلط به رودخانه می‌باشد. علت بی‌هنجاری در ضریب خمیدگی رودخانه در این بازه می‌تواند بر اثر عملکرد ساختارها و خطواره‌ها باشد. همچنین در مواردی که رودخانه در روی سنگ بستر و یا دیگر طبقات مقاوم جریان دارد، این طبقات مانع از مهاجرت و تغییر کانال رودخانه می‌شوند؛ که در این صورت آشفتگی‌هایی در سینوستی رودخانه ایجاد می‌شود. در جاهایی از بازه کوهستانی که در بستر و کناره‌های رودخانه تشکیلات فرسایش‌پذیر و سست وجود داشته باشند؛ عکس‌العمل مورفولوژیکی رودخانه باعث تغییر در مشخصات کمی پیچان‌ها بروز پیدا کرده است.

بررسی زاویه مرکزی

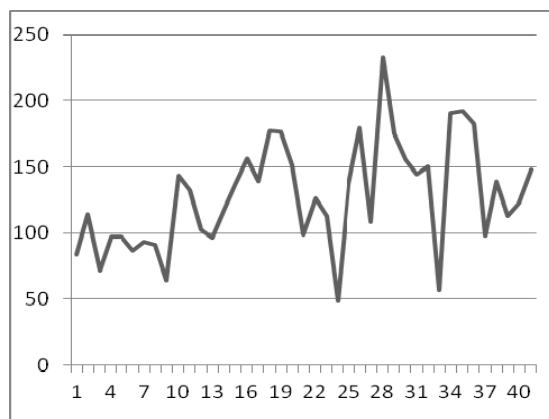
برای بررسی و مشخص کردن میزان توسعه پیچان رودی در رودخانه شهر چای از شاخص زاویه مرکزی کورنایس (۱۹۸۰) استفاده گردید. میزان توسعه پیچان رودی در هر بازه به‌طور جداگانه محاسبه گردید. براساس جدول ۴ در بازه کوهستانی ۵۷/۹ پیچان‌ها دارای زاویه مرکزی بین ۸۵ - ۱۵۸ می‌باشند. بنابراین، الگوی غالب پیچان‌ها در بازه کوهستانی به صورت پیچان رود توسعه یافته می‌باشد. پیچان رود بیش از حد توسعه یافته در ۳۷ درصد قوس‌های مطالعه شده، این بازه را در بر می‌گیرد و پیچان رود توسعه نیافته نیز ۵ درصد پیچان‌های مورد مطالعه را در بر می‌گیرد. در بازه ساحلی پیچان رود توسعه یافته ۶۸ درصد قوس‌های بررسی شده است. در این بازه مقدار پیچان‌های بیش از حد توسعه یافته کم‌تر از بازه کوهستانی بوده و تقریباً

۲۰ درصد قوس‌های مورد مطالعه را شامل می‌شود. ولی، پیچان رودهای توسعه نیافته در این بازه بیش‌تر از بازه کوهستانی می‌باشد. در هیچ کدام از بازه‌ها قطع شدگی و شبه پیچان رود مشاهده نگردید. با توجه به این که قطع شدگی از مهم‌ترین خصوصیات رودخانه‌های پیچان رودی می‌باشد (سلبی^۱، ۱۹۸۳: ۲۷۶) در بازه کوهستانی به علت عرض بسیار کم رودخانه و محاط شدن رودخانه امکان ایجاد قطع شدگی در قوس‌ها وجود ندارد در حالی که در بازه ساحلی احتمال برش پیچان رودها بسیار زیاد می‌باشد. چون تکامل پیچان رودها در نواحی دشتی با برش و ایجاد میانبر در مسیر خودشان همراه می‌باشند (ناگی و همکاران^۲، ۲۰۱۰). در این بازه ممکن است آثار قطع شدگی به وسیله مواد سیلابی، و هم‌چنین اجرای طرح‌های ساماندهی سواحل رودخانه آثار قطع شدگی را از بین برده باشد.

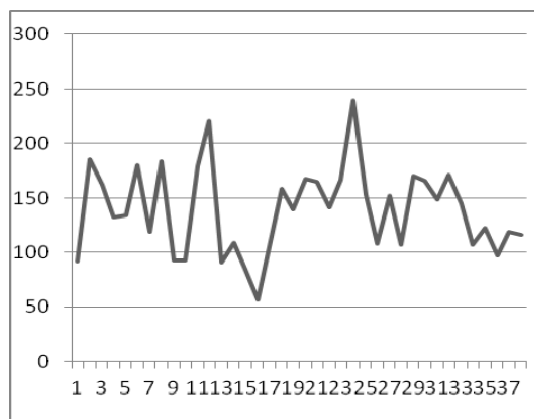
جدول شماره ۴: نتایج زاویه مرکزی برای بازه‌های رودخانه شهر چای

الگوی بازه	۲۹۶ < (درجه)	۱۵۸ - ۲۹۶ (درجه)	- ۱۵۸ ۸۵ (درجه)	۴۱ - ۸۵ (درجه)	۴۱ > (درجه)	A Max (درجه)	A Min (درجه)	میانگین A (درجه)	مسیر مطالعاتی
پیچان رود توسعه یافته	۰	۳۶/۸	۵۷/۹	۵/۳	۰	۲۳۹/۳۳	۵۶/۹	۱۳۸/۹	بازه کوهستان
مستقیم	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	بازه شهری
پیچان رود توسعه یافته	۰	۱۹/۷	۶۸/۲	۱۲/۱	۰	۲۳۲/۶	۴۸/۳	۱۲۷/۸	بازه ساحلی

روند تغییرات زاویه مرکزی بازه‌های کوهستانی و بازه ساحلی در شکل‌های ۹ و ۱۰ نشان داده شده است در هر دو بازه الگوی غالب رودخانه به صورت پیچان رود توسعه یافته می‌باشد. در بازه کوهستانی علت پیچان رودی رودخانه ناشی از پیچ و خم کوهستان می‌باشد و رودخانه مسیر پیچ و خم کوهستان را دنبال می‌کند. در حالی که، در بازه ساحلی علت پیچان رودی رودخانه ناشی از افزایش آزادی عمل رودخانه هست که باعث افزایش فرسایش کناری رودخانه شده و باعث توسعه و تکامل پیچان رودها می‌گردد. البته مکانیسم فوق در شرایط فراهم شدن مناسب دبی و رسوب امکان‌پذیر خواهد بود. در حالت فعلی پیچان رودهای منطقه با توجه به مطالعات میدانی کاملاً تثبیت گشته‌اند و کم‌ترین میزان تغییر و تحول دارند.



شکل شماره ۱۰: مقادیر زاویه مرکزی پیچان‌های بازه ساحلی



شکل شماره ۹: مقادیر زاویه مرکزی پیچان‌های بازه کوهستانی

1. Selby
2. Nagy et al

بررسی بازه شهری

توسعه شهرها نه تنها باعث تغییر در مؤلفه‌های هیدرولوژیکی رودخانه‌های موجود در نواحی شهر می‌شوند؛ بلکه اقدامات دیگری از قبیل دیوار کشی سواحل رودخانه، کانالیزه کردن مسیر رودخانه، از بین بردن پیچ و خم‌ها، مستقیم کردن مجرا، تغییر در پهنا و عمق رودخانه باعث تغییر در مؤلفه‌های مورفومتری و ویژگی‌های مورفولوژیکی رودخانه‌ها در نواحی شهری می‌گردد (نوراتیل و همکاران، ۲۰۱۲: ۲). همه‌این موارد در بازه شهری رودخانه شهر چای صورت گرفته است و یابین که در حال اجرا می‌باشد (شکل ۱۱). به همین خاطر الگوی رودخانه در این بازه خارج از عوامل کنترلی^۱ رودخانه بوده و توسط عوامل انسانی شکل گرفته است. الگوی رودخانه در این بازه به صورت الگوی مستقیم است. که در این الگو مسیر رودخانه مستقیم و یا حداکثر دارای ضریب سینوسیته یا خمیدگی قابل اغمازی است؛ که امکان یا پتانسیل تغییرات احتمالی در الگوی رودخانه به علت دیوار کشی‌های وسیع و سنگفرش کردن بستر رودخانه به هیچ عنوان وجود ندارد.



شکل شماره ۱۱: مستقیم‌سازی مسیر رودخانه و سنگفرش کردن بستر رودخانه

نتیجه گیری

با توجه به این که مئاندری شدن یکی از مهم‌ترین مسائل مهندسی رودخانه است؛ یافته‌های حاصل از این تحقیق می‌تواند در رابطه با نحوه دخل و تصرف در محیط‌های رودخانه‌ای، اقدامات ناشی از اجرای طرح‌های اصلاح مسیر، تثبیت کناره‌ها، اقدامات مهندسی بستر رودخانه‌ها و برداشت شن و ماسه از بستر رودخانه‌ها مفید واقع بشود. در بخشی از بازه ساحلی در صورت فراهم شدن دبی مناسب سواحل رودخانه به علت وجود تشکیلات سست و فرسایش پذیر ناپایدار بوده و میزان تغییرات رودخانه‌ای بیش تر می‌باشد و به دلیل وجود زمین‌های زراعی لازم است که اقدامات تثبیت مسیر در بخشی از این بازه صورت بگیرد. هم‌چنین در نواحی که

۱. منظور از عوامل کنترلی شامل، عوامل کنترلی درونی مانند شیب، توپوگرافی و نوع رسوبات و عوامل کنترلی بیرونی مانند تغییر اقلیم، تغییر در موجودی رسوب و تغییرات در پوشش گیاهی است (بریرلی و فریرز، ۲۰۰۵، ۱۸۶ و ۱۸۸).

پیچان‌ها دارای قدرت جابه‌جایی و گسترش زیادی می‌باشند، لازم است که با اقدامات مهندسی میزان رشد و گسترش پیچان‌ها محدود گردد؛ به این دلیل که گسترش پیچان‌ها باعث تخریب مزارع و هم‌چنین موجب افزایش بار رسوبی رودخانه می‌گردد. در بازه کوهستانی رودخانه به علت مقاومت تشکیلات زمین‌شناسی نسبت به فرسایش و هم‌چنین محاط بودن رودخانه در بستر باریک، فرسایش کناری در بستر صورت نمی‌گیرد و رودخانه عمل تعمیق بستر را انجام می‌دهد. در این بازه لازم است که با ساخت دیواره‌های بتنی یا سنگی در امتداد عرضی دره اولاً باعث بالا آمدن بستر رودخانه در بالادست گردیده، ثانیاً به دلیل به عمق رفتن بستر حرکات دامنه‌ای در دره‌های عمیق صورت می‌گیرد که در صورت ساحت دیواره‌های در امتداد عرضی دره باعث تثبیت دامنه‌ها شده و از بریدگی بیش از حد دامنه‌ها جلوگیری شده و میزان رسوب ورودی به دریاچه سد شهرچای نیز کاهش خواهد یافت.

چارلتون اظهار می‌دارد که هر چه قدر مقادیر عددی به دست آمده از ضریب خمیدگی بیش‌تر از $1/5$ باشد، حاکی از نزدیک شدن رودخانه به حالت تعادل، و هر چه قدر کم‌تر باشد دلیل فعال بودن تکتونیک می‌باشد (چارلتون، ۲۰۰۸: ۱۶). هم‌چنین زامولی اظهار می‌دارد که هرگاه مقدار ضریب خمیدگی به یک نزدیک باشد بیانگر فعال بودن منطقه از لحاظ تکتونیک و نقش گسل در تعیین مسیر رودخانه است. افزایش در مقدار آن بیانگر کاهش در فعالیت‌های تکتونیک و نزدیک شدن رودخانه به حالت تعادل است (زامولی و همکاران، ۲۰۰۹: ۵). باید توجه داشت که یافته‌های این محققین نمی‌تواند برای هر نوع بازه‌ای در یک رودخانه صحیح و درست باشد. ملاک درست و صحیح برای ارزیابی دلیل پیچان رودی، خمیدگی و تعادل رودخانه صرفاً نمی‌تواند به وسیله یک شاخص مورد ارزیابی قرار گیرد. کاملاً بدیهی است که نتیجه چنین بررسی برای همه بازه‌ها درست نخواهد بود. اصولاً برای بررسی دلیل پیچان رودی یک منطقه باید مورفولوژی منطقه و عوامل مؤثر در تغییر الگو مورد توجه قرار بگیرد. در بسیاری از نواحی کوهستانی که رودخانه‌ها جریان دارند دلیل اصلی خمیدگی رودخانه ناشی از محاط شدن رودخانه در دره‌های تنگ و عمیق بوده، که رودخانه امکان هیچ‌گونه کاهش یا افزایش در میزان ضریب خمیدگی خود را ندارد. در این نواحی مسائل زمین‌ساختی و زمین‌شناسی نقش عمده در پیچان رودی رودخانه دارد و قوس‌های رودخانه توسط فرسایش رودخانه‌ای حاصل نشده، بلکه از روند گسل‌ها و شکاف‌های که از قبل وجود داشته و به بهترین وجه ممکن در اثر فرآیندهای فرسایشی تعریض و تعمیق شده است، حاصل شده‌اند. در حالی که، در نواحی دشتی پیچان رودها عمدتاً تحت تأثیر فرسایش کناری ایجاد می‌شوند؛ که ناشی از تشکیلات زمین‌شناسی و سست بودن آن‌ها است. که در بازه کوهستانی و ساحلی رودخانه شهرچای چنین حالتی مشهود می‌باشد.

با توجه به این که میانگین ضریب خمیدگی رودخانه در هر دو بازه بیش‌تر از $1/5$ می‌باشد؛ در بازه ساحلی با توجه به قدرت فرسایشی و توان رودخانه برای ایجاد تغییرات، رودخانه شهرچای به مرحله تعادل خودش رسیده است. ولی این تعادل به شکل تعادل دینامیک^۱ می‌باشد. که به دلیل جریان و رسوب تنظیمی ناشی از سد شهرچای است در صورت برهم خوردن شرایط فعلی (تدارک دبی و رسوب) این تکامل شکننده خواهد بود. باید توجه داشت که ایجاد سدها در نقاط مختلف رودخانه تعادل دینامیکی بخشی از مسیر رودخانه را موجب می‌شوند؛ ولی، این تعادل ایجاد شده بسیار شکننده است که در صورت تغییر مؤلفه‌های مستقل و وابسته تعادل ایجاد شده را از بین خواهند برد. معمولاً بیش‌ترین میزان تغییرات و تعادل‌های ژئومورفولوژیکی

در حالت‌های آستانه‌ای^۱ به وقوع می‌پیوندند و در مورفولوژی رودخانه‌ای حالت آستانه‌ای با ایجاد سیلاب‌های رودخانه‌ای ایجاد می‌شود؛ که سدسازی باعث از بین بردن حالت آستانه‌ای می‌گردد. ولی در بازه کوهستانی مخصوصاً در نواحی قبل از سد شهر چای فعالیت رودخانه‌ای جهت رسیدن به مرحله تکاملی ادامه دارد. در این راستا وجود سازندهای بسیار مقاوم و همچنین تأثیر فعالیت‌های زمین‌ساختی می‌توانند در روند تعادلی رودخانه اختلال ایجاد کنند.

نتیجه بررسی شاخص زاویه مرکزی نشان داد که بیش‌ترین میزان قوس‌ها از نوع پیچان رود توسعه یافته در هر دو بازه می‌باشد. لذا، رودخانه شهر چای یک رودخانه مئاندری می‌باشد. در بازه کوهستانی به دلیل این که راس قوس‌های پیچان رودها، فرسایش‌ناپذیر و مقاوم می‌باشند؛ حلقه‌ها بیش‌تر تمایل به گسترش جانبی دارند. ولی، در بازه ساحلی به دلیل سست بودن و فرسایش‌پذیر بودن میزان توسعه حلقه‌ها می‌توان تا حدّ نهایی خودش که به صورت پیچان رود نعل اسبی می‌باشد، می‌تواند ادامه یابد. هرچند که در بازه سیلابی آثار قطع شدگی مشاهده نگردید که می‌تواند ناشی از اقدامات انسانی در دخل و تصرف زمین‌های اطراف پیچان رودها و یا از بین رفتن آثار بریدگی به وسیله سیلاب‌ها باشد.

منابع و ماخذ

- ۱ - اصغری، صیاد (۱۳۹۱)، بررسی روند تغییرات تکاملی رودخانه قزل اوزن با استفاده از مدل‌های فلوئال، رساله دکتری جغرافیایی طبیعی - ژئومورفولوژی، دانشگاه تبریز.
- ۲ - بریج، جان، اس (۱۳۸۷)، رودخانه‌ها و دشت‌های سیلابی، ترجمه محمد حسین رضایی مقدم و مهدی ثقفی، انتشارات سمت. صص ۲۷۲ - ۲۹۷.
- ۳ - تلوری، عبدالرسول (۱۳۷۱)، شناخت فرسایش کناری رودخانه‌ها در دشت‌های سیلابی، انتشارات موسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع، معاونت آموزش و تحقیقات وزارت جهاد سازندگی، ۱۳۹ صفحه.
- ۴ - حافظی مقدس، ناصر؛ سلوکی، حمیدرضا؛ جلیوند، رضا؛ رهنماری، جعفر (۱۳۹۱)، مطالعه ژئومورفولوژی مهندسی رودخانه سیستان، فصلنامه زمین‌شناسی کاربردی، سال ۸، شماره ۱ صص ۱ - ۱۸.
- ۵ - رضائی مقدم، محمد حسین. خوشدل، کاظم (۱۳۸۸)، بررسی پیچ و خم‌های مئاندر اهر چای در محدوده دشت ازومدل ورزقان، مجله جغرافیا و برنامه ریزی محیطی، سال بیستم، شماره ۱ صص ۱۰۱ - ۱۱۲.
- ۶ - مقصودی، مهران. شرفی، سیامک و مقامی یاسر (۱۳۸۹)، روند تغییرات مورفولوژیکی رودخانه خرم آباد با استفاده از **Auto Cad و GIS, RS**، فصلنامه مدرس علوم انسانی، شماره ۶۸، صص ۲۹۴ - ۲۷۵.
- ۷ - نوحه گر، احمد. محمودی، فرج الله (۱۳۸۱)، بررسی اثرات برداشت مصالح (شن و ماسه) بر شکل و بستر رژیم رودخانه میناب، پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۴۵ صص ۴۵ - ۵۸.
- ۸ - نیری، هادی (۱۳۸۹)، تحلیل دینامیک و شکل مجرا در حوضه آبریز رودخانه مهاباد چای، رساله دکتری جغرافیایی طبیعی - ژئومورفولوژی، دانشگاه تبریز.
- ۹ - یمانی، مجتبی و مهدی، حسین زاده (۱۳۸۳)، بررسی الگوی پیچان رودی رودخانه تالار با استفاده از شاخص‌های ضریب خمیدگی و زاویه مرکزی، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، سال نوزدهم، شماره ۲، صص ۱۴۴ - ۱۵۴.
- 10 - Aswath, M. V., 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 (1 - 3), p173 - 180.*
- 11 - Bartholdy, j., and Billi, p., (2002). *Morph dynamics of a pseudo meandering gravel bar reach. Geomorphology. Vol 42 . Pp 293 - 310.*
- 12 - Brice. J. C., (1984) *Plan from properties of meandering streams in river meandering, New York American society of civil engineers. M. Eliot 1 - 15.*
- 13 - Brierly, G. J., Fryirs, K., (2005), *Geomorphology and river management, Blackwell Publishing, 186 - 188.*
- 14 - Charlton, R., (2008), *Fundamentals Of Fluvial Geomorphology, Rutledge.*
- 15 - Christner. Jr, T. W., (2009), *An assessment of land use impacts on channel morphology in a western Minnesota watershed, ProQuest, A Ph.D thesis, Faculty of the Graduate School of the University of Minnesota, 182 pages.*
- 16 - Ferguson, R.I., (1987). *Hydraulic and sedimentary controls of channel pattern, in River channel ,Environment and process, edited by K.S. Richards, Pp.129 - 158, Blakwell, Madlen, Mass.*
- 17 - Gregory, K.J. (2006), *The human role in changing river channels, Journal of Geomorphology 79, 172 - 191.*

- 18 - Keesstra .S.D., J. van Huissteden, J. Vandenberghe, O. Van Dam, J. de Gier, I.D. Pleizier., (2005). Evolution of the morphology of the river Dragonja (SW Slovenia) due to land - use changes, *Geomorphology* Vol 69 p191 - 207.
- 19 - 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.
- 20 - Leopold, L.B., and Wolman, M.G., (1957). River channel pattern: Braiding Meandering and straight, *U.S. Geol. Surv. Prof. Pap.*, 262 - B, Pp39 - 85.
- 21 - Montgomery, D.R. and Buffington, J.M., (1997). channel - reach morphology in mountain drainage basins. *Geological Society of America Bulletin*, Vol 109, No 5, PP 596 - 611.
- 22 - Morisow, M., (1968). *Stream their dynamics and morphology*. Mc. Graw - Hill, New York.
- 23 - Navratil, O., P. Breil b, L. Schmitt c, L. Grosprêtre d, M.B. Albert. (2012) Hydrogeomorphic adjustments of stream channels disturbed by urban runoff (Yzeron River basin, France). *J. Hydrol.* (2012), doi:10.1016/j.jhydrol.2012.01.036
- 24 - Petts, G.E. et al (1986). *Historical Change Large Alluvial River*, John Wiley and Sons.
- 25 - Rosgen, D. L., (1994). A classification of natural rivers, *Catena* 22. Pp169 - 199.
- 26 - Zámolyi A. B. Székely , E. Draganits , G. Timár., (2010). Neotectonic control on river sinuosity at the western margin of the Little Hungarian Plain, *Geomorphology* 122, (3 - 4) pp231 - 243.