



بررسی الگوی پیچان رودی رودخانهی آجی چای با استفاده از شاخص‌های زاویه‌ی مرکزی و ضریب خمیدگی (محدوده‌ی بین بخشایش تا خواجه)

معصومه رجیبی^۱، شهرام روستایی^{۲*}، بهاره اکبری^۳

۱- استاد، ژئومورفولوژی، برنامه‌ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

۲- استاد، ژئومورفولوژی، برنامه‌ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

۳- دانشجوی کارشناسی ارشد، ژئومورفولوژی، برنامه‌ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

تأیید نهایی مقاله: ۱۳۹۸/۰۷/۱۴

وصول مقاله: ۱۳۹۷/۰۱/۲۸

چکیده

رودخانه‌ها از سرچشمه تا حوضه‌های انتهایی بسترهای متفاوتی را تجربه می‌کنند که بالتبع در هر کدام از این شرایط و مناطق، رفتاری کاملاً متفاوت را به نمایش می‌گذارند و در نتیجه الگوهای متفاوتی را به خود می‌گیرند. محدوده مورد بررسی این پژوهش، بخشی از رودخانه آجی چای در محدوده‌ی بخشایش تا خواجه به طول تقریبی ۵۰ کیلومتر است. در مسیر رودخانه‌ی آجی چای نیز مانند همه رودخانه‌ها بدون برنامه‌ریزی و در نظر گرفتن پیامدهای ناشی از تغییر مسیر رودخانه در حریم آن کاربری‌های زیادی از جمله ساخت و سازها، انواع کشت و غیره صورت می‌گیرد که در پی تغییر بستر رودخانه تحت تأثیر عوامل مختلف پیامدهای سنگین و زیانباری به بار می‌آورد هدف این تحقیق بررسی کمی خصوصیات و الگوی پیچان‌های مسیر مورد مطالعه می‌باشد، جهت رسیدن به این هدف و تعیین الگوی رودخانه از شاخص‌های مورفومتری ضریب خمیدگی و زاویه مرکزی به عنوان روش مورد بررسی و نقشه‌های توپوگرافی با مقیاس ۱/۵۰۰۰۰ خواجه و بخشایش و نقشه‌ی زمین‌شناسی به مقیاس ۱/۱۰۰۰۰۰ خواجه و تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ و نرم‌افزار Arc GIS، به عنوان مواد و ابزار تحقیق استفاده شده است. نتایج به‌دست آمده نشان می‌دهد که میانگین کل زاویه‌ی مرکزی در سه بازه ۱۲۶/۱ درجه می‌باشد که طبق نظریه‌ی کورنایس در رده ۱۵۸-۸۵ قرار می‌گیرد که شمالی رودخانه در این رده پیچان‌رود توسعه‌یافته می‌باشد. میانگین ضریب خمیدگی در سه بازه‌ی مورد بررسی نیز ۱/۲۵ می‌باشد که بر اساس جدول لئوپولد و ولمن در رده ۲-۱/۲۵ قرار می‌گیرد

که این رده از لحاظ ضریب خمیدگی الگوی پیچان رودی به خود می‌گیرد، بنابراین با توجه به اینکه رودخانه مورد بررسی در مسیر دارای شیب تقریباً یکنواخت و هموار قرار گرفته است عامل توپوگرافی به ویژه شیب، عامل اصلی گسترش الگوی پیچان رودی می‌باشد.

کلمات کلیدی پیچان رود، مورفومتری، شاخص زاویه‌ی مرکزی، شاخص ضریب خمیدگی، رودخانه آجی‌چای.

۱- مقدمه

مورفولوژی رودخانه علم شناخت سیستم رودخانه از نظر شکل و فرم کلی، ابعاد و هندسه‌ی هیدرولیکی، راستا و پروفیل طولی بستر و نیز روند و نحوه‌ی تغییرات آن می‌باشد (چورلی و همکاران، ۱۳۷۹). یکی از موضوعات مهم در ژئومورفولوژی توجه به تغییراتی است که در شکل و الگوی کانال‌های جریان‌ی و در طول مسیر آنها به وقوع می‌پیوندد و ممکن است سبب متروک شدن بخشی از دیواره کانال‌ها یا پیوستن بعضی فضاها‌ی متروک کانال‌ها به فضای اصلی شود (یمانی و حسین‌زاده، ۱۳۸۳: ۱۴۵).

پلان رودخانه، شمای کلی رودخانه و انشعابات آن از سرچشمه تا مصب می‌باشد که از نظر ساختار مورفولوژیکی رودخانه در سه کلاس رودخانه‌های مستقیم^۱، شریانی^۲ (چند شاخه) و پیچان‌رودی^۳ تقسیم‌بندی می‌شود. در این بین الگوی پیچان‌رودی به دلیل فراوانی آن در طبیعت بیشترین توجه را به خود جلب کرده است (یمانی و حسین‌زاده، ۱۳۸۱: ۱۱۰). جهت توصیف الگوی آبراهه‌های پیچان‌رود یکسری پارامترهای هندسی نظیر طول و عرض پیچان‌رود، عرض رودخانه و طول گذر رودخانه‌ی مرتبط با پلان رودخانه تعریف شده است که با تجزیه و تحلیل فراوانی و اندازه‌ی این خصوصیات در طول رودخانه و در زمان‌های

1- Straight

2- Braiding

3- Meandering

مختلف روند تغییرات رودخانه در بعد مکان و زمان قابل بررسی خواهد بود (بیدنهارد و همکاران، ۱۹۹۷: ۱۲۱ و لنکستر و بارز^۱، ۲۰۰۲: ۴).

مورفولوژی رودخانه به فاکتورهای متعددی چون تغییرات جریان آب، شیب بستر، سطح مقطع رودخانه، زمین‌شناسی منطقه، تکتونیک یا مورفوتکتونیک منطقه و نیز زمان لازم برای شکل‌گیری و تغییر شکل رودخانه، بستگی دارد (لئوپولد و همکاران^۲، ۱۹۶۴: ۲۱). با بررسی و شناخت دقیق این عوامل می‌توان الگوی رفتاری صحیح رودخانه را به دست آورد و به واکنش طبیعی و تغییرات احتمالی و گوناگون بستر رودخانه پی برد. چنین مطالعاتی می‌تواند در تامین اطلاعات پایه برای طرح‌های آمایش سرزمین، حفاظت محیط زیست و کنترل سیلاب کمک کند. به منظور برنامه‌ریزی صحیح و بهره‌برداری درست از منابع زیستی، مطالعه‌ی وضعیت هندسی، ریخت‌شناسی و غیره رودخانه‌ی آجی‌چای در بازه مطالعاتی (بخشایش تا خواجه) ضروری به نظر می‌رسد.

یمانی و حسین‌زاده (۱۳۸۳: ۱۴۵) در تحقیقی به عنوان بررسی الگوی پیچان رودی رودخانه تالار با استفاده از شاخص‌های ضریب خمیدگی و زاویه مرکزی پرداخته‌اند و به این نتیجه رسیده‌اند که میانگین ضریب خمیدگی این رودخانه ۱/۳۹ و میانگین زاویه مرکزی ۱۲۹/۱ درجه می‌باشد که با توجه به روش لئوپولد و کورنایس قوس‌های این رودخانه در زمره‌ی الگوی پیچان‌رودی توسعه‌یافته قرار می‌گیرند. ارشد و همکاران (۱۳۸۶: ۱۸۰) تغییرات مورفولوژیکی رودخانه کارون را مطالعه کرده و به این نتیجه رسیده‌اند که خصوصیات قوس‌ها در طول رودخانه در حال تغییر است و مقدار عرض قوس‌ها در مناطق مختلف از یک حالت خطی پیروی نکرده بلکه در بخش‌های مختلف کاملاً متغیر می‌باشد. رضایی‌مقدم و خوشدل (۱۳۸۸: ۱۰۱) در تحقیقی به عنوان بررسی پیچ‌وخم‌های مئاندرهای اهرچای در محدوده‌ی دشت ازومدل ورزقان پرداخته‌اند و به این نتیجه رسیده‌اند که رودخانه به علت شیب بسیار کم حالت مئاندری پیدا کرده است. رضایی‌مقدم و همکاران (۱۳۹۱:

1- Biedenharn et al and Lancaster. Bars

2- Leopold, et al.

۸۲) در پژوهشی به بررسی الگوی پیچان رودی رودخانه‌ی قزل‌اوزن پرداخته‌اند و به این نتیجه رسیدند که تغییرات ضریب خمیدگی و زاویه‌ی مرکزی در یک دامنه‌ی محدود مشاهده می‌شود که نشان‌دهنده‌ی وجود قوس‌های تقریباً مشابه در طول مسیر رودخانه است و همچنین بر اساس شاخص زاویه‌ی مرکزی الگوی پیچان رودی رودخانه از نوع توسعه‌یافته است. میرزاوند و همکاران (۱۳۹۴: ۱۵۲) در تحقیقی الگوی پیچان رودی رودخانه‌ی بابل‌رود و سجادرود با استفاده از شاخص‌های لئوپولد و کورنایس بررسی کرده و به این نتیجه رسیده‌اند که میانگین ضریب خمیدگی برابر ۲/۴۶ می‌باشد که بیانگر بالا بودن نسبت پیچ و خم‌دار بودن رودخانه است که در زمره‌ی الگوی پیچان رودی تکامل‌یافته قرار می‌گیرد. برتولدی و بیلی^۱ (۲۰۰۲: ۲۹۳) در بررسی اثر شدت سیل بر مورفولوژی بخشی از رودخانه‌ی سیسنا نتیجه‌گیری کرده‌اند که به طور طبیعی سیلاب‌های بزرگ جزء موثرترین فاکتورهای جابجایی طولی پیچان‌رودها بوده و روی طول موج قوس نیز تأثیرگذارند. اما در مورد سیلاب‌های کوچک‌تر اصل بر جابجایی عرضی خم پیچان‌رود بوده و عمده تأثیر بر روی دامنه‌ی موج قوس است. سارما^۲ (۲۰۰۵: ۲۲۶) در مطالعه مورفولوژی و فرایندهای رودخانه‌ای براهماپوترا در هند به این نتیجه رسید که توسعه بسترهای قیطانی در جایی که رودخانه وارد دشت می‌گردد به علت باز شدن جریان و انتخاب مسیرهای متفاوت به علت شیب بسیار کم و پهنای بسیار زیاد بستر می‌باشد. زامولی و همکاران^۳ (۲۰۱۰: ۲۳۱) نقش نئوتکتونیک را در کنترل سینوسی رودخانه و الگوی مجرا در حاشیه غربی دشت هانگبرین مطالعه کرده‌اند و به این نتیجه رسیده‌اند که شاخص سینوسیته ابزار بسیار حساسی برای نشان دادن فعالیت‌های نئوتکتونیک است. سونگ و همکاران^۴ (۲۰۱۶: ۴۲) مقاله‌ای تحت عنوان آزمایش بر روی توسعه‌ی کوتاه‌مدت مئاندرهای رودخانه‌ای نوشته‌اند و دریافتند هلالی شکل بودن کانال رودخانه‌ها با توجه به جریان‌های بالا و عرض ثابت رودخانه‌ها در

1- Bartholdy and Billi

2- Sarma

3- Zamolyi. et.al.,

4- Xiaolong Song, Guoqiang, Yuchuan, Dong

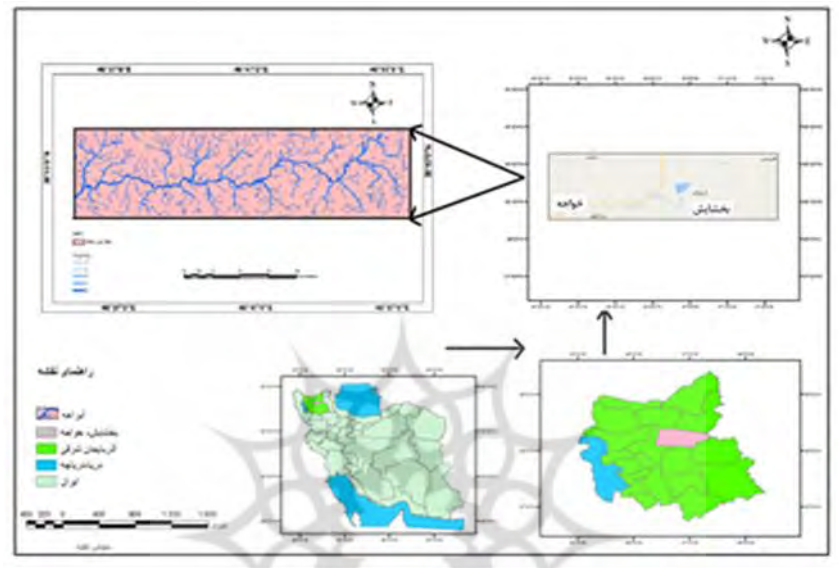
ارتباط با سینوسیته و دبی جریان و اقتباس کانال رودخانه‌ها به شرایط هیدرودینامیک مورفولوژی نشان داده شده است.

در مسیر رودخانهی آجی‌چای نیز مانند همه‌ی رودخانه‌ها بدون برنامه‌ریزی و در نظر گرفتن پیامدهای ناشی از تغییر مسیر رودخانه در حریم آن کاربری‌های زیادی از جمله ساخت‌وسازها، انواع کشت و غیره صورت می‌گیرد که در پی تغییر بستر رودخانه تحت تأثیر عوامل مختلف پیامدهای سنگین و زیانباری به بار می‌آورد.

۲- مواد و روش

رودخانه آجی‌چای از رودخانه‌های مهم حوضه‌ی آبریز دریاچه ارومیه می‌باشد که با وسعتی معادل ۱۳۸۵۳ کیلومتر مربع بیش از ۲۵ درصد مساحت کل این حوضه‌ی آبریز را می‌پوشاند (طلوعی و همکاران، ۱۳۹۰: ۹۳). محدوده‌ی مورد بررسی بر روی قسمتی از رودخانه آجی‌چای بین بخشایش تا خواجه به طول تقریبی ۵۰ کیلومتر می‌باشد که از نظر موقعیت نسبی در استان آذربایجان شرقی و شمال شرق تبریز و از نظر موقعیت جغرافیایی بین عرض شمالی ۱۰' ۳۸° تا ۲۰' ۳۸° و طول شرقی ۳۷' ۴۶° تا ۵۷' ۴۶° واقع شده است. شکل (۱) نقشه‌ی موقعیت منطقه‌ی مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

در این پژوهش به دلیل طولانی بودن محدوده‌ی مورد بررسی و جهت بررسی جزئیات بیشتر و دقیق‌تر، محدوده‌ی مورد نظر به سه بازه که عمدتاً منطبق بر ویژگی‌های مورفولوژیکی رودخانه، طول رودخانه، تغییرات الگوی رودخانه و توپوگرافی منطقه هستند، تقسیم گردیده است. شکل (۲) موقعیت محدوده‌ی مورد مطالعه را به تفکیک بازه‌ها بر روی تصویر گوگل ارث نشان می‌دهد.



شکل (۱) نقشه‌ی موقعیت جغرافیایی محدوده‌ی مورد مطالعه
Fig (1) Geographical location map of the study area



شکل (۲) بازه‌های مورد مطالعه (گوگل ارث، ۲۰۱۶)
Fig (2) Study intervals (Google Earth 2016)

برای انجام این تحقیق از نقشه‌های توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح شامل برگ خواجه و بخشایش به ترتیب شامل شیت‌های III 5366 و II 5366، نقشه‌ی زمین‌شناسی به مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰۰ سازمان زمین‌شناسی برگ خواجه (خوجا)، تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ و نرم‌افزارهای Arc GIS، استفاده شده است. جهت استخراج مسیر رودخانه 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. مشخصات هندسی پیچان‌رودها از قبیل طول موج، طول قوس و شعاع انحنای دایره که مماس بر مسیر رودخانه است جهت محاسبه ضریب خمیدگی و زاویه مرکزی اندازه گرفته و با استفاده از توابع موجود مقدار مشخصات هر یک از دایره‌ها به دست آمد. از روابط ۱ و ۲ به ترتیب جهت استخراج زاویه مرکزی و ضریب خمیدگی استفاده شده است:

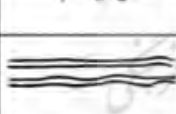
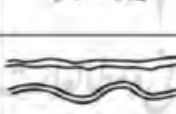

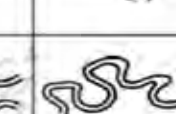
$$c/R\pi = \Theta 180 \quad (1)$$

Θ زاویه مرکزی، C انحنای مئاندر، R شعاع دایره‌ی فرضی، π عدد صحیح ۳/۱۴ (رضایی مقدم و همکاران، ۱۳۹۱: ۹۲).

$$S = c/v \quad (2)$$

S ضریب خمیدگی، C طول موج، V طول قوس (لثوپلد و ولمن، ۱۹۸۷: ۲۸۲).

در نهایت میزان توسعه‌ی پیچان‌رودی با توجه به شکل شماره (۳) مربوط به شاخص ضریب خمیدگی و جدول شماره (۱) مربوط به شاخص زاویه‌ی مرکزی مشخص گردید.

میزان ضریب خمیدگی	۱ - ۱/۵	۱/۵ - ۱/۲۵	۱/۲۵ - ۲	≥ ۲
نمای رودخانه				
نوع رودخانه	مستقیم	مستوی	پیچان‌رودی	پیچان‌رودی شدید

شکل (۳) تقسیم‌بندی رودخانه برحسب میزان ضریب خمیدگی (یمانی و همکاران، ۱۳۸۹: ۱۶)

Fig (3) River segmentation by bending coefficient

جدول (۱) انواع رودخانه بر طبق نظر کورنایس (حقی آبی، ۱۳۸۳: ۱۲۵)

Table (1) The types of rivers according to Corneis

میزان زاویه مرکزی به درجه	شکل رودخانه
—	رودخانه‌ی مستقیم
۰-۴۱	رودخانه‌ی شبه‌پیچان‌رودی
۴۱-۸۵	رودخانه‌ی پیچان‌رودی توسعه‌نیافته
۸۵-۱۵۸	رودخانه‌ی پیچان‌رودی توسعه‌یافته
۱۵۸-۲۹۶	رودخانه‌ی پیچان‌رودی بسیار توسعه‌یافته
بیش از ۲۹۶	رودخانه‌ی نعل اسبی یا شاخ‌گاو ^۱

۳- بحث و نتایج

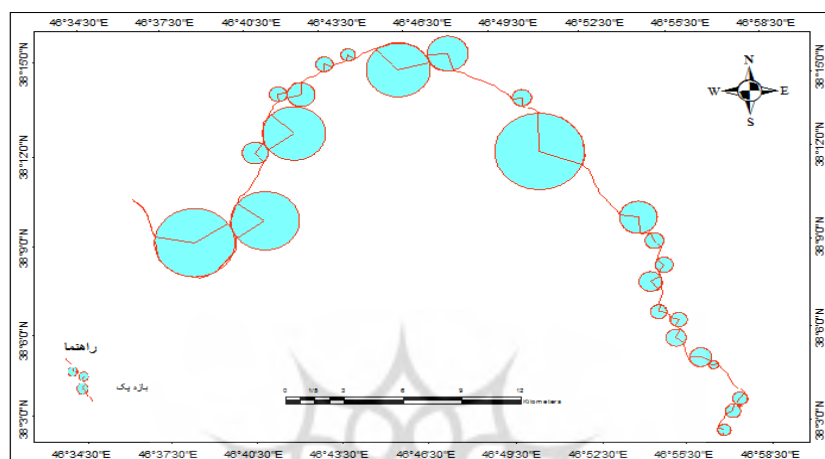
- بررسی کمی پیچ‌های آجی‌چای با استفاده از شاخص زاویه مرکزی

بازه‌ی اول محدوده‌ی بین بخشایش تا روستای جانقور را شامل می‌شود این واحد که قسمت شرقی محدوده‌ی مورد مطالعه را در بر می‌گیرد به طول ۱۵/۸ کیلومتر می‌باشد که در بین سه بازه، کوتاه‌ترین مسیر را دارا می‌باشد. این بازه در اکثر قسمت‌های مسیر خود خصوصیات کانال‌های شریانی و در بعضی قسمت‌ها خصوصیات کانال‌های مستقیم و مئاندری دارد. بر روی این بازه ۲۴ حلقه پیچان‌رود با دوایر مماس بر مسیر رودخانه برازش داده شد (جدول ۲) و (شکل ۴).

جدول (۲) پارامترهای زاویه مرکزی پیچان‌رودهای رودخانه آجی‌چای در بازه اول

Table (2) Central Angle Parameters of the Ajichai River Inlets in the first Interval

نمونه	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴
درجه	۱۱۲	۱۲۰	۱۷۸	۱۵۷	۹۶	۸۴	۹۲	۸۲	۹۱	۹۳	۱۵۸	۱۰۷	۱۱۴	۸۳
نمونه	۱۵	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۰	۲۱	۲۲	۲۳	۲۴	۲۵	۲۶	۲۷	۲۸
درجه	۱۰۰	۱۱۷	۷۰	۷۵	۱۰۶	۱۰۲	۸۲	۱۰۷	۷۳	۲۴۶				



شکل (۴) تغییرات زاویه‌ی مرکزی با دوایر برازش شده بر پیچان رودها در بازه‌ی اول

Fig (4) Central angle variations with circles fitted to the twists in the first interval



شکل (۵) نمودار درجه انحنای رودخانه در بازه‌ی اول طبق شاخص زاویه‌ی مرکزی

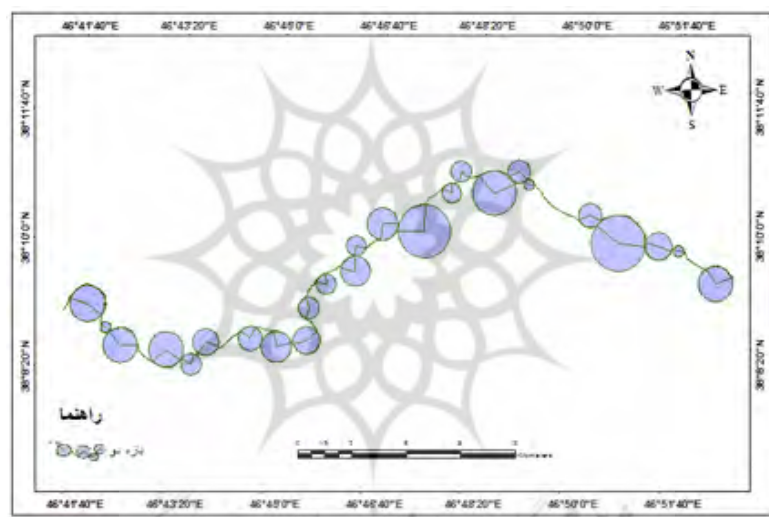
Fig (5) River curvature degree curve in the first interval according to the central angle index

بازه‌ی دوم که در قسمت مرکزی محدوده‌ی مورد مطالعه قرار گرفته است فاصله‌ای به طول ۱۶/۲۰ کیلومتر از جانقور تا ساخسلو را شامل می‌شود. رودخانه در این بازه دارای جریان تقریباً شرقی- غربی می‌باشد. روی این بازه ۲۵ حلقه‌ی پیچان رود با دوایر برازش داده شد (شکل ۶).

جدول (۳) پارامترهای زاویه مرکزی پیچان رودهای رودخانه آجی چای در بازه‌ی دوم

Table (3) Central Angle Parameters of the Ajichai River Inlets in the Second Interval

نمونه	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴
درجه	۱۰۰	۱۵۴	۱۸۰	۱۴۹	۱۳۲	۱۴۱	۱۱۴	۱۱۳	۶۹	۶۱	۹۴	۱۰۰	۹۱	۷۷
نمونه	۱۵	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۰	۲۱	۲۲	۲۳	۲۴	۲۵	۲۶	۲۷	۲۸
درجه	۷۶	۱۴۵	۲۰۴	۸۵	۷۸	۱۰۵	۷۵	۱۰۲	۱۳۵	۱۶۲	۲۱۴			



شکل (۶) تغییرات زاویه‌ی مرکزی با دوایر برازش شده بر پیچان رودها در بازه‌ی دوم

Fig(6) Central angle variations with circles fitted to twists in the second interval



شکل (۷) نمودار درجه‌ی انحنا‌ی رودخانه در بازه‌ی دوم طبق شاخص زاویه‌ی مرکزی

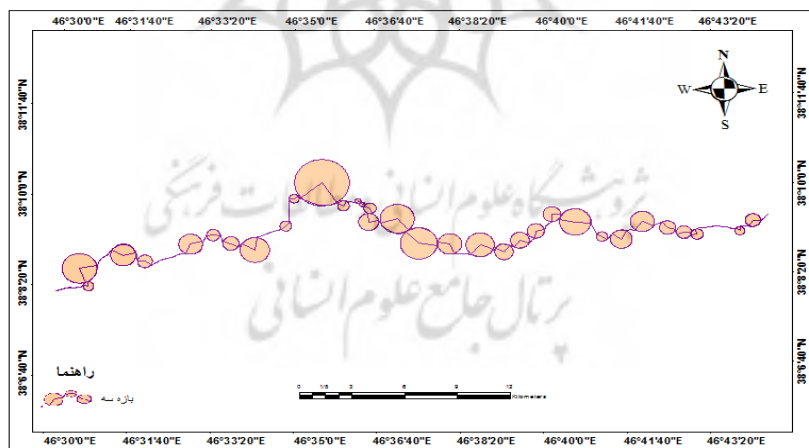
Fig (7) River curvature degree graph in the second interval according to the central angle index

بازهی سوّم که در قسمت غربی محدودهی مورد مطالعه واقع گردیده است با طول ۲۰/۶۵ کیلومتر از ساخسلو تا خواجه را دربر می‌گیرد و طول‌ترین بازه مورد بررسی است. جهت جریان رودخانه نیز کاملاً شرقی- غربی می‌باشد. بر روی این بازهی ۳۳ حلقه‌ی پیچان‌رود با دوایر برازش داده شد (شکل ۸).

جدول (۴) پارامترهای زاویه‌ی مرکزی پیچان‌رودهای رودخانهی آجی‌جای در بازه‌ی سوّم

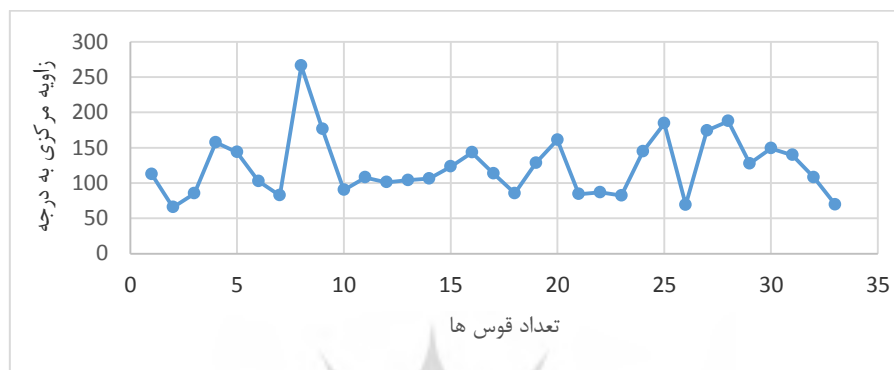
Table (4) Central Angle Parameters of the Ajichai River Inlets in the Third Interval

نمونه	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴
درجه	۱۱۲	۶۶	۸۵	۱۵۷	۱۴۴	۱۰۳	۸۲	۲۶۶	۱۷۶	۹۰	۱۰۸	۱۰۱	۱۰۴	۱۰۶
نمونه	۱۵	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۰	۲۱	۲۲	۲۳	۲۴	۲۵	۲۶	۲۷	۲۸
درجه	۱۲۳	۱۴۳	۱۱۴	۸۵	۱۲۸	۱۶۱	۸۴	۸۷	۸۲	۱۴۵	۱۸۵	۶۹	۱۷۴	۱۸۸
نمونه	۲۹	۳۰	۳۱	۳۲	۳۳									
درجه	۱۲۸	۱۴۹	۱۴۰	۱۰۸	۶۹									



شکل (۸) تغییرات زاویه‌ی مرکزی با دوایر برازش شده بر پیچان‌رودها در بازه‌ی سوّم

Fig(8) Central angle variations with circles fitted to twists in the third interval



شکل (۹) نمودار درجه انحناى رودخانه در بازه‌ی سوم طبق شاخص زاویه‌ی مرکزی

Fig (9) Degree curvature of river in third interval according to central angle index

همان‌گونه که در جدول (۵) ملاحظه می‌گردد در بازه‌ی اول بیش‌ترین فراوانی زاویه‌ی مرکزی ۶۲/۵ درصد می‌باشد که مربوط به الگوی پیچان‌رودی توسعه‌یافته است، ۸/۳۳ درصد آن مربوط به الگوی پیچان‌رودی خیلی توسعه‌یافته است و الگوی پیچان‌رودی توسعه نیافته نیز ۲۹/۱۶ درصد را به خود اختصاص داده است. در این بازه هیچ قوسی در الگوی شبه پیچان‌رودی و نعل اسبی قرار نگرفته است. و الگوی مستقیم نیز در این بازه دیده نمی‌شود.

جدول (۵) تغییرات مقادیر زاویه‌ی مرکزی در سه بازه‌ی مورد مطالعه

Table (5) Changes in central angle values over the three study periods

شکل رودخانه‌ی مورد مطالعه	میانگین (درجه)	نعل اسبی	پیچان‌رود خیلی توسعه یافته	پیچان‌رود توسعه یافته	پیچان‌رود شبه پیچان رود	مستقیم شکل رودخانه
زاویه‌ی مرکزی (درجه)	۲۹۶ به بالا	۱۵۸-۲۹۶	۸۵-۱۵۸	۴۱-۸۵	۰-۴۱	—
توسعه یافته	۱۱۰/۲ درصد	۸/۳ درصد	۶۲/۵ درصد	۲۹/۱ درصد	۰ درصد	—
توسعه یافته	۱۱۸/۲ درصد	۱۶ درصد	۵۶ درصد	۲۸ درصد	۰ درصد	—
توسعه یافته	۱۲۳/۱ درصد	۱۸/۱ درصد	۵۷/۵ درصد	۲۴/۲ درصد	۰ درصد	—

در بازه‌ی دوم بیش‌ترین فراوانی زاویه‌ی مرکزی با ۵۶ درصد به الگوی پیچان‌رودی توسعه یافته تعلق دارد، این در حالی است که الگوی پیچان‌رودی خیلی توسعه یافته نیز با

افزایش تقریباً دو برابری نسبت به بازه اول به ۱۶ درصد رسیده است. الگوی پیچان رودی توسعه‌نیافته با کاهش تقریباً یک درصد نسبت به بازه‌ی بالادست خود ۲۸ درصد از فراوانی زاویه‌ی مرکزی را به خود اختصاص داده است. در این بازه نیز همانند بازه‌ی اول هیچ قوسی از رودخانه دارای الگوی شبه‌پیچان رودی و نعل اسبی نمی‌باشد. در بازه‌ی سوم نیز بیش‌ترین فراوانی زاویه‌ی مرکزی به الگوی پیچان‌رودی توسعه‌نیافته با فراوانی ۵۷/۵ درصد تعلق دارد که نسبت به بازه‌ی قبلی خود ۱/۵ درصد افزایش داشته است. الگوی پیچان‌رودی خیلی توسعه‌نیافته با افزایش دو درصدی به ۱۸/۱ درصد فراوانی رسیده است، در حالی که همچنان در ادامه مسیر بازه‌های قبلی این بازه نیز در هیچ قسمتی الگوی شبه‌پیچان‌رودی و نعل اسبی ندارد. الگوی پیچان‌رودی توسعه‌نیافته نیز ۲۴/۲۴ درصد از فراوانی زاویه‌ی مرکزی را به خود اختصاص داده است که روند نزولی را نسبت به دو بازه‌ی قبلی در پیش گرفته است. در الگوی توسعه‌نیافته شاهد روند کاهشی و در الگوی خیلی توسعه‌نیافته شاهد روند افزایشی می‌باشیم.

از مقایسه‌ی سه بازه‌ی مورد بررسی از نظر شاخص زاویه مرکزی در حالت کلی این نتیجه حاصل می‌شود که هر سه بازه دارای الگوی پیچان‌رودی توسعه‌نیافته می‌باشند به طوری که میانگین هر سه بازه (به ترتیب ۱۱۰/۲، ۱۱۸/۲، ۱۲۳/۱) در رده‌ی الگوی پیچان‌رودی توسعه‌نیافته (۸۵-۱۵۸) قرار دارد. در هر سه بازه بیش‌ترین فراوانی زاویه مرکزی (بازه‌ی اول: ۶۲/۵، بازه‌ی دوم: ۵۶، بازه‌ی سوم: ۵۷/۵) به الگوی پیچان‌رودی توسعه‌نیافته تعلق دارد.

- بررسی کمی پیچ‌های آجی‌چای با استفاده از شاخص ضریب خمیدگی

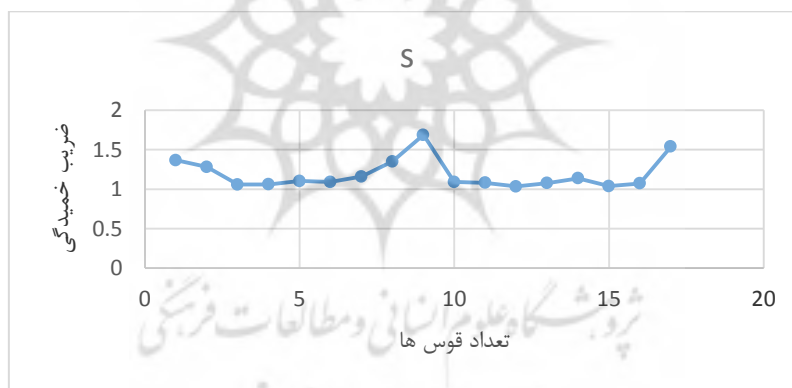
ضریب خمیدگی مبین میزان توسعه‌ی پیچان‌رودی در طول مسیر می‌باشد. براساس این شاخص، اگر ضریب سینوسیته یک رودخانه بین ۱ تا ۱/۰۵ باشد، رودخانه از نوع مستقیم است، اگر بین ۱/۰۶ تا ۱/۲۵ باشد از نوع سینوسی است، و اگر بین ۱/۲۶ تا ۲ باشد، از نوع پیچان‌رودی است و اگر بیشتر از ۲ باشد، از نوع پیچان‌رودی شدید است (یمانی و

همکاران، ۱۳۸۹: ۱۶). طبق شکل ۳ و جدول ۹ میانگین ضریب خمیدگی در سه بازه‌ی مورد بررسی ۱/۲۵ می‌باشد که در رده ۲- ۱/۲۵ قرار می‌گیرد که این رده از لحاظ ضریب خمیدگی الگوی پیچان‌رودی به‌خود می‌گیرد، بنابراین رودخانه مورد بررسی دارای الگوی پیچان‌رودی تا پیچان‌رودی توسعه‌یافته می‌باشد.

جدول (۶) پارامترهای شاخص ضریب خمیدگی رودخانه‌ی آجی‌چای در بازه‌ی اول

Table (6) Curvature coefficient index parameters in the first interval

نمونه	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹
ضریب خمیدگی	۱/۳۶۶	۱/۲۸۱	۱/۰۵۹	۱/۰۶۰	۱/۱۰۳	۱/۰۹۱	۱/۱۵۹	۱/۳۵۰	۱/۶۸۷
نمونه	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵	۱۶	۱۷	
ضریب خمیدگی	۱/۰۹۰	۱/۰۸۱	۱/۰۳۴	۱/۰۷۵	۱/۱۳۸	۱/۰۳۸	۱/۰۷۳	۱/۵۴۹	



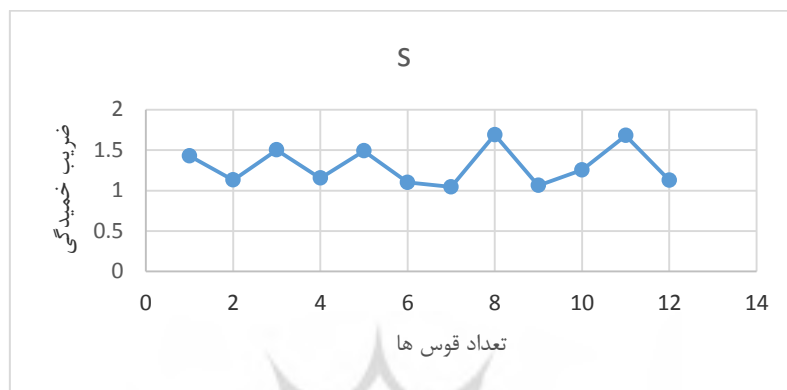
شکل (۱۰) نمودار ضریب خمیدگی رودخانه‌ی آجی‌چای در بازه‌ی اول

Fig (10) Curve coefficient diagram of Ajichai River in the first interval

جدول (۷) پارامترهای شاخص ضریب خمیدگی رودخانه‌ی آجی‌چای در بازه‌ی دوم

Table (7) Curvature coefficient index parameters in the second interval

نمونه	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸
ضریب خمیدگی	۱/۴۳۰	۱/۱۳۰	۱/۵۰۳	۱/۱۵۴	۱/۴۹۱	۱/۱۰۱	۱/۰۴۶	۱/۶۹۱
نمونه	۹	۱۰	۱۱	۱۲				
ضریب خمیدگی	۱/۰۶۳	۱/۲۵۶	۱/۶۸۰	۱/۱۲۸				



شکل (۱۱) نمودار ضریب خمیدگی رودخانه‌ی آجی‌چای در بازه‌ی دوم

Fig(11) Curve coefficient diagram of Ajichai River in the second interval

جدول (۸) پارامترهای شاخص ضریب خمیدگی رودخانه آجی‌چای در بازه سوم

Table(8) Curvature coefficient index parameters in the third interval

نمونه	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸
ضریب خمیدگی	۱/۵۱۲	۱/۰۳۸	۱/۰۴۴	۱/۶۱۶	۱/۰۹۳	۱/۲۱۷	۱/۱۴۸	۱/۷۱۷
نمونه	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵	۱۶
ضریب خمیدگی	۱/۴۶۳	۱/۰۵۶	۱/۰۲۰	۱/۱۷۰	۱/۵۵۱	۱/۰۵۱	۱/۲۱۳	۱/۳۵۷



شکل (۱۲) نمودار ضریب خمیدگی رودخانه آجی‌چای در بازه‌ی سوم

Fig (12) Curve coefficient diagram of Ajichai River in the third interval

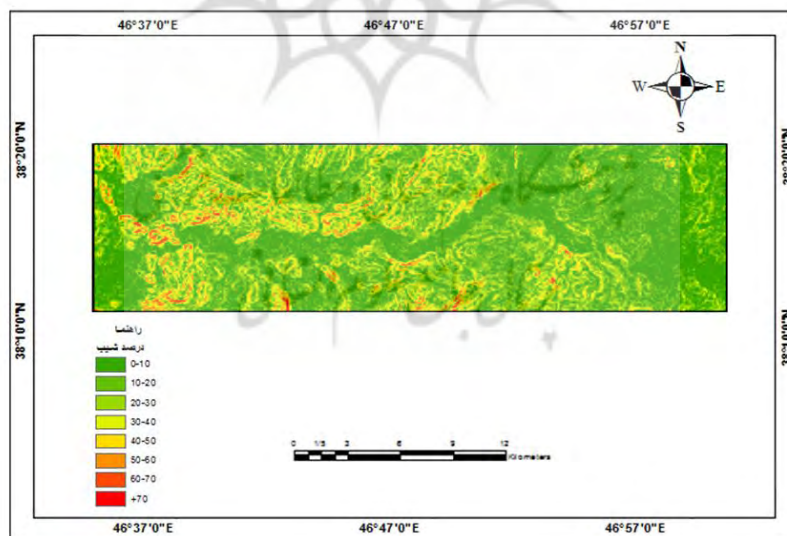
جدول (۹) تغییرات مقادیر ضریب خمیدگی در سه بازه‌ی مورد مطالعه

Table (9) Changes in Curvature coefficient values in the three studied periods

الگوی جریان	میانگین	>۲	۱/۲۵-۲	۱/۰۶-۱/۲۵	۱-۱/۰۵	ضریب خمیدگی
الگوی جریان	پیچان رودی شدید	پیچان رودی	سینوسی	مستقیم		
سینوسی	۱/۱۸	—	۲۹/۴	۵۲/۹	۱۷/۶	بازه‌ی اول
پیچان رودی	۱/۳۰	—	۵۰	۴۱/۶	۸/۳	بازه‌ی دوم
پیچان رودی	۱/۲۶	—	۳۷/۵	۳۱/۲	۳۱/۲	بازه‌ی سوم

– شیب محدوده‌ی مورد مطالعه

شیب منطقه به‌جز در قسمت‌های غربی و جنوب‌غربی و خط‌الرأس‌ها غالباً یکنواخت بوده و این شیب کم باعث شده است که رودخانه در بیش‌تر مسیر طی شده الگوی مئاندری به خود بگیرد. کم‌ترین درصد شیب در سمت بخشایش و بیش‌ترین مربوط به خواجه می‌باشد (شکل (۱۳)).



شکل (۱۳) نقشه‌ی شیب محدوده‌ی مورد مطالعه

Fig (13) Slope map of the study area

- لیتولوژی محدوده‌ی مورد مطالعه

براساس داده‌های جمع‌آوری شده و مشاهدات میدانی صورت گرفته و با توجه به اطلاعات موجود در نقشه‌های زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰:۱:۱۰۰۰۰۰ خواجه و تبریز، لیتولوژی محدوده‌ی مورد مطالعه از نظر میزان مقاومت و سختی در مقابل فرسایش در رده‌ی سنگ‌های با مقاومت پایین قرار می‌گیرد جدول (۱۰).

جدول (۱۰) طبقه‌بندی سنگ‌ها براساس سختی آن‌ها
Table (10) Classify the rocks according to their hardness

درجه	نوع سنگ‌ها	سختی
سست	ماسه، واریزه، ماسه‌ریز، زغال سنگ استخراج شده، آبرفت	۰/۵
نرم	زمین‌های آواری، شیل خردشده، قلوها و قطعات سنگی محکم‌شده، زغال سنگ، رس سخت شده	۱/۵
به مقدار کافی نرم	شیل نرم، سنگ آهک خیلی نرم، نمک طعام، ژپس، خاک متراکم، مارن معمولی، ماسه سنگ‌های خرد شده، قلو، زمین‌های سنگی (سخت شده)	۲
با سختی کم	انواع مختلف شیل (ضعیف)، مارن متراکم	۳

۴- نتیجه‌گیری

براساس نتایج به‌دست آمده از شاخص‌های مورفومتریک در محدوده‌ی مورد بررسی، از مقایسه‌ی سه بازه‌ی مورد بررسی از نظر شاخص زاویه مرکزی این نتیجه حاصل می‌شود که هر سه بازه دارای الگوی پیچان‌رودی توسعه‌یافته می‌باشند به طوری که میانگین هر سه بازه (به ترتیب بازه‌ی اول ۱۱۰/۲، بازه‌ی دوم ۱۱۸/۲، بازه‌ی سوم ۱۲۳/۱) در رده‌ی الگوی پیچان‌رودی توسعه‌یافته (۸۵-۱۵۸) قرار دارد و میانگین کل زاویه‌ی مرکزی در سه بازه ۱۲۶/۱ درجه می‌باشد.

میانگین ضریب خمیدگی در سه بازه‌ی مورد بررسی نیز ۱/۲۵ می‌باشد که در رده‌ی ۱/۲۵-۲ قرار می‌گیرد که این رده از لحاظ ضریب خمیدگی الگوی پیچان‌رودی به خود

می‌گیرد، بنابراین رودخانه مورد بررسی دارای الگوی پیچان‌رودی تا پیچان‌رودی توسعه یافته می‌باشد.

یافته‌های پژوهش حاکی از آن است که محدوده‌ای که رودخانه‌ی مورد بررسی در آن جریان دارد از نظر دیدگاه ژئومورفولوژی به عنوان یک واحد دشت با درجات شیب کم محسوب می‌شود که دارای شیب تقریباً یکنواخت و هموار می‌باشد. با توجه به اینکه وجود شیب کم، عاملی مهم و تأثیرگذار در گسترش پیچ‌وخم‌های توسعه‌یافته و تشکیل پیچان‌رود می‌باشد در نتیجه عامل توپوگرافی و سپس وجود سازنده‌های تبخیری و تخریبی از قبیل گچ، نمک، مارن و غیره در تعیین الگو و مورفولوژی رودخانه در محدوده‌ی مورد بررسی بیشترین اثر را داشته است. همچنین از لحاظ لیتولوژی در این محدوده‌ی یکنواختی و همگنی جنس بستر، از ویژگی‌های بارز می‌باشد. با توجه به اینکه مواد تبخیری و تخریبی (گچ، نمک، مارن و ماسه) بخش عمده‌ای از محدوده را می‌پوشاند که از نظر میزان مقاومت و سختی در مقابل فرسایش در رده سنگ‌های با مقاومت پایین قرار می‌گیرد و همچنین همه واحدهای چینه‌شناسی موجود در منطقه مربوط به دوران سنوزوئیک است که عمدتاً شامل طبقات مارن و گچ و ماسه‌سنگ هستند عامل فرسایش کناری در پیچ و خم‌دار شدن مسیر رودخانه، به دلیل وجود رسوبات سست و فرسایش‌پذیر تأثیرگذار بوده است.

۵- منابع

-Reference

- Arshad, S., Morid, S, and Mir Abolghasemi, H. (2008). Assessing the trend of morphologic changes of rivers using remote Sensing: (Case study: Karun river between Gotvand and Farsiat) *Journal: Agric. Sci. Natur. Resour*, Vol. 14(6), Feb-March, 180-194.
- Bartholdy, J., and Billi, P, (2002). *Morphodynamics of a pseudo meandering gravel bar reach. geomorphology*. 42: 293-310.
- Biedenharn D.S., Elliot, C.M. and Watson, C.C. (1997). *The WES stream investigation and stream bank stabilization handbook*. US. Army Engineering. P 286.
- Chorley, R., Schumm, S, Sugden, D., (2000), *Geomorphology (Domestic Processes Coastal Waterway and Wind)*, Translation by: Motamed, A, Vol. 4, the Publication of Samt, Tehran.
- Geographical organization of the Armed Forces, (1996). *Topographic map of Bakhshayesh* in 1/50000 scale(2).
- Geographical organization of the Armed Forces (2004). *Topographic map of Khajeh* in 1/50000 scale(2).
- Haghi Abi, H., (2004). Theories of the Creation and Evolution of Meanders, Vol. 1, *University of Lorestan*, 125-137.
- Iranian geological organization, *Geological map of Khoja* in 1/00000 scale.
- Lancaster, S.T., R.L, Bars (2002). A simple model of river meandering and its comparison to natural channels. *Hydrol.process* No. 16, 1-26.
- Leopold, L.B, and Wolman, and J.P, Miller, (1964). *Fluvial Processes in Geomorphology*, San Farnisco, W.H. Freeman and Co, 21-22.
- Leopold, L.B., and Wolman, M.G., (1987). *River channel Pattern: Braided, Meandering and Straight*, US. Geo Survey, No. 282.
- Mirzavand, M, Ghasemeih, H, Nazari samani, A, Vali, Ai, and Sadatinjad, S.J, (2015). Examining Meandering Pattern of River, Using the Indexes of Curvature Coefficient and Central Angle (Case Study: Babolrud and Sajjadrud Rivers), *Journal: Watershed Management Research*, Vol. 6, PP.152-161.

- Rezaei Moghaddam, M.H, and Khoshdel, K., Plain, Varzeghan, *Geography and Environmental Planning*, 20rd Year, Vol 1, 101-112.
- Rezaei Moghaddam, M.H, Sarvati, M.R, and Asghari Saraskanrud, S, (2012), Examining Meandering Pattern of River, Using the Indexes of Curvature Coefficient and Central Angle (Case Study: Ghezel Ozen River: Range between 30km From Mianeh City to Political Border Zanjan), *Geography Society of Iran*, 10rd Year, vol. 1, 85-102.
- Sarma, J.N., (2005), Flovial process and morphology of the Brahaputra River in sAssam, *Geomorphology*, 70 (3-4), 226-26.
- Tolouei, S, Hosseinzadeh Dalir, A, Ghorbani, MA, Fakheri Fard, A, and Salmasi, F, (2011). Spatial and Temporal Estimation of Suspended Sediment Load in Aji-chayRiver Using Geostatistics and Artificial Neural Network, *Journal of water and soil Sci*, Vol. 21, 93-104.
- Xiaolong Song, Guoqiang, Yuchuan, Dong (2016). Experiments on the short-term development of sine-generated meandering rivers, *Journal of Hydro-environment Research*, 11 (2016) 42-58.
- Yamani, M, and Hoseinzadeh, M.M, (2004). Examining Meandering Pattern of River, Using the Indexes of Curvature Coefficient and Central Angle (Case Study: Talar River), *Geographical Research*, 19rd Year, vol. 2, 144-154.
- Yamani, M, Hosseinzadeh, M.M., (2001). The Study About Morphological Changes of Talar River in Mazandaran Coastal Plains, *Geographical Research Quarterly*, No. 43, 109-122.
- Yamani, M, Dolati, J, and, Zarei, A, (2010). Influence Hydrogeomorphic Factors on Temporal and Spatial Variations of the Middle Part of the Atrak River, *Geographical Research*, 25rd Year, vol. 4, 1-24.
- Zámolyi A.B.Székely, e. Draganits, G. Timá (2010). Neotectonic control on river sinuosity at the western margin of the Little Hungarian Plain, *Geomorphology* 122, (3-4) 231-243.