

ارزیابی تغییرات الگوی پیچان رودی رودخانه مارون و تحلیل هیدروژئومورفولوژی منطقه مطالعه موردی: رودخانه مارون (از سرچشمه تا ورودی آن به رودخانه جراحی)

مهران مقصودی*

دانشیار گروه جغرافیای طبیعی (ژئومورفولوژی) دانشکده جغرافیا دانشگاه تهران، تهران، ایران

سید محمد زمان زاده

استادیار گروه جغرافیای طبیعی (ژئومورفولوژی) دانشکده جغرافیا دانشگاه تهران، تهران، ایران

مجتبی یمانی

استاد گروه جغرافیای طبیعی (ژئومورفولوژی) دانشکده جغرافیا دانشگاه تهران، تهران، ایران

عبدالحسین حاجی زاده

دانشجوی دکتری گروه جغرافیای طبیعی (ژئومورفولوژی) دانشکده جغرافیا دانشگاه تهران، تهران، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۳/۳۰

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۵/۷

چکیده

رودخانه‌ها نقش مهمی در تغییرات لند فرم‌ها بازی می‌کنند و تأثیر بسزایی بر بهره‌برداری انسانی از محیط‌های پیرامون خود دارند. بررسی تغییرات بستر و مورفومتری رودخانه‌ها از مباحث علم ژئومورفولوژی رودخانه‌ای است. ارزیابی مورفومتری رودخانه از نگاه علوم زمینی و ژئومورفولوژی در مدیریت توسعه پایدار منطقه مهم بوده و از نگاه تغییر شکل بر لند فرم‌های منطقه مؤثر است. در این تحقیق به رودخانه مارون پرداخته می‌شود که در جنوب غربی کشور قرار دارد و از ارتفاعات حدود ۳۰۰۰ متر از سطح دریا سرچشمه می‌گیرد. این رودخانه بعد از عبور از سازندهای زمین‌شناسی زون زاگرس چین خورده وارد دشت بهبهان در جنوب شرقی خوزستان می‌شود و پس از عبور از ناهمواری تپه ماهوری وارد رودخانه جراحی و سپس وارد خلیج فارس می‌شود. در این مقاله کل رودخانه مارون از سرچشمه آن تا ابتدای رودخانه جراحی به طول تقریبی ۲۸۰ کیلومتری جهت استخراج مورفومتری آن بر اساس دو شاخص ضریب خمیدگی و زاویه مرکزی انتخاب گردید. بر اساس تعدد رودخانه‌های دائمی ورودی به رودخانه مارون و ناهمواری منطقه، رودخانه مارون به ۵ بازه مختلف تقسیم شد. در این مقاله برای ارزیابی ضریب خمیدگی از نقطه تغییر انحنا استفاده شده است. علاوه بر دو شاخص مذکور، شاخص جهت جریان طراحی و برای کلیه مسیر رودخانه به دست آورده شده است. در شاخص زاویه مرکزی، میانگین زاویه مرکزی نیز توسط مؤلفان طراحی و به دست آمد که از آن می‌توان برای پیش‌بینی وضعیت مکانی شکل رودخانه نسبت به وضعیت فعلی آن استفاده نمود. طبق شاخص ضریب خمیدگی رودخانه مارون از نوع سینوسی و از نظر شاخص جهت جریان نیز از نوع شرقی-غربی است. به علت شیب کم پروفیل طولی رودخانه در بازه‌های انتهایی، الگوی رودخانه بیشتر و سریع‌تر از سایر بازه‌ها تغییر الگو می‌دهد. علت تغییر انحنا و از جمله دلایل تغییر جهت و الگوی رودخانه در بازه‌های مورد نظر مسائل زمین‌شناسی و توپوگرافی، اقلیم، تکتونیک و هیدرولوژی منطقه زاگرس است، که در پروفیل طولی رودخانه مارون

متفاوت است. دبی بالای رودخانه و نیز نزولات جوی بر الگوی رودخانه مارون به خصوص در بازه‌های ابتدایی مؤثر بوده است.

واژگان کلیدی: رودخانه مارون، مورفومتري، زاویه مرکزی، ضریب خمیدگی، هیدروژئومورفولوژی

مقدمه

ژئومورفولوژی به‌عنوان رشته‌ای از علوم زمین با ماهیت زمین‌شناسی، مهندسی هیدرولوژی و فیزیک با رویکرد تمرکز بر روی فرایندهای تولید، حرکت و ذخیره‌سازی رسوب‌ها در روی عوارض و خصیصه سازی آن‌ها با رشته‌های علوم طبیعی فرق دارد. (سیر^۱ و همکاران، ۲۰۰۳). آنالیز ژئومورفولوژیکی به معنای اندازه‌گیری هندسه سه‌بعدی لند فرم‌ها است (سینگ^۲، ۲۰۱۱)، که امروزه مطالعات ژئومورفولوژیکی یکی از بهترین روش‌های بررسی رفتارهای دراز مدت رودخانه و تغییرات مهم و عمده آن‌ها به‌صورت تدریجی یا تشدید در مورفولوژی آبراهه است (یزدان پناه و مقیمی، ۱۳۹۱). بخش عمده‌ای از شهرها و آبادی‌ها در امتداد رودخانه‌ها و به‌ویژه در روی پادگانه‌های رودخانه‌ای استقرار یافته‌اند. از دلایل اصلی این استقرار دسترسی به آب این رودها به‌منظور بهره‌برداری زراعی، شرب و صنعتی و از طرفی مساعد بودن توپوگرافی و خاک این زمین‌ها است (یمانی و حسن‌زاده، ۱۳۸۳). ماندری شدن یکی از مهم‌ترین مسائل رودخانه است که فعالیت‌های بشری را در حاشیه رودخانه‌ها تحت تأثیر قرار می‌دهد (رضایی مقدم و همکاران، ۱۳۹۱). بررسی و شناخت ماندری و مورفومتري رودخانه‌ها و حوضه‌ها در زمینه مسائل مختلفی از جمله برای تخمین آبدهی رودخانه‌ها، پیش‌بینی سیلاب، مدیریت منابع آب، برنامه‌ریزی برای بهره‌برداری از سدها، مدیریت زراعی اراضی پایین‌دست و سایر پروژه‌های منابع آب و آبخیزداری حائز اهمیت است (فرجی و همکاران، ۱۳۹۱). الگوهای متفاوت رودخانه‌ها تحت تأثیر عوامل مختلفی نظیر تکتونیک، لیتولوژی، اقلیمی، هیدرولوژیکی می‌باشد. این عوامل متناسب با نوع رودخانه منطقه تأثیرهای متفاوت بر شکل الگوها می‌گذارد، به‌جز این عوامل، تأثیر عوامل انسانی نیز نقش مهمی در تغییرات شکل و الگوی رودخانه‌ها بازی می‌کنند به‌صورتی که فعالیت‌های انسانی نظیر کانال‌سازی، سد سازی، تغییرات مسیر آبراهه‌ها، تأثیرات غیرمستقیم کاربری اراضی قابل‌بررسی است (گرگوری^۳، ۲۰۰۶). بسیار واضح است که تغییرات دبی جریان به‌تنهایی در تشکیل الگوهای مختلف مسیر جریان تأثیر عمده‌ای ندارد چرا که همه انواع الگوهای مجاری را می‌توان در شرایط آزمایشگاهی و با ثابت بودن دبی ایجاد نمود و بسیاری از رودخانه‌ها با داشتن رژیم دبی معین نیز الگوهای متنوعی از مجاری را در امتداد جریان از خود نشان می‌دهند (بریج، ۱۳۸۷) بنابراین در نظر داشتن همه پارامترهای غالب نتایج بهتر و صحیح‌تری به دنبال دارد. بسته به طبیعت موادی که رودخانه در آن جریان می‌یابد سه نوع کانال رودخانه‌ای (۱) بستر سنگی؛ (۲) نیمه کنترل؛ (۳) آبرفتی وجود دارد. کانال‌های با بستر سنگی در موقعیت و در دراز مدت ثابت هستند اگر این بستر ضعیف باشد می‌تواند جابجایی جانبی داشته باشد ولی

1- Sear

2- Singh

3- Gregory

در بیشتر حالت‌ها ثابت هستند کانال‌های نیمه کنترل به رودخانه‌هایی اشاره دارد که به‌طور جانبی توسط بستر صخره‌ای یا آبرفت‌های مقاوم کنترل می‌شود الگو ممکن است وقتی که کانال با مواد مقاوم‌تر مواجه شود تغییر کند و در شرایط محلی نیز می‌تواند بسیار پایدار باشد یا از کنترل‌های بستر سنگی جابجا شود ولی کانال‌های آبرفتی به تغییرات عمده الگوی مستعد هستند و جابجایی‌های مهمی در موقعیت کانال دارد (شوم^۱، ۱۹۸۵). این پژوهش بر اساس روش‌های ریاضی و هندسی پیچان‌رودی رودخانه‌ها متمرکز و یکی از ویژگی‌های حائز اهمیت این پژوهش است که به خاطر تأثیرات کلی مسیر رودخانه در نقاط پایین‌دست آن کل مسیر رودخانه مارون از سرچشمه تا انتهای آن به‌صورت یکپارچه ارزیابی می‌شود که در کمتر پژوهشی به این موضوع اشاره می‌کند و معمولاً به‌صورت موضعی به آن پرداخته شده است در این مقاله نیز بحث تئوری خطاها در ژئومورفولوژی متناسب با روابط مقاله به‌صورت خلاصه آورده شده است در این مقاله نیز به‌طور خلاصه به بحث هیدروژئومورفولوژی منطقه و دلایل تغییرات الگوهای رودخانه پرداخته شد.

مبانی نظری

در مورد الگوی پیچان‌رودی رودخانه‌ها پژوهش‌های زیادی انجام گرفته است که می‌توان آن‌ها را به سه دسته زیر تقسیم کرد: الف) پژوهش‌های که فقط یک دوره زمانی مورفومتری رودخانه را مطالعه کردند؛ ب) پژوهش‌های که تغییرات جابجایی بستر رودخانه را در چند دوره زمانی مختلف پژوهش و مورد مقایسه قرار دادند؛ ج) پژوهش‌های که به آثار تغییرات بستر رودخانه در کاربری اراضی پرداخته شده است. نقطه مشترک این پژوهش‌ها استفاده از عکس‌های هوایی و تصاویر ماهواره‌ای و نیز به‌کارگیری شاخص زاویه مرکزی و ضریب خمیدگی در محاسبه‌های آن است. همچنین در بعضی از پژوهش‌ها آثار پارامترهای مختلف را بر روی تغییرات الگوی جریان‌ها در نظر می‌گیرند. از جمله این پژوهش‌ها می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

یمانی و همکاران (۱۳۹۴) در پژوهشی تغییرات عرضی رودخانه ارس را در یک بازه سی‌ساله با استفاده از عکس‌های هوایی و تصاویر ماهواره‌ای مورد بررسی قرار دادند. نتایج حاصله تغییرات و جابجایی عرضی زیادی را طی ۲۶ سال (۱۹۸۷ تا ۲۰۱۳) نشان داد و پایین بودن شیب رودخانه و جریان رودخانه بر روی بستر آبرفتی جوان فرسایش‌پذیر از مهم‌ترین دلایل تغییرات عرضی بوده است. کهربائیان و همکاران (۱۳۹۳) تغییرات مورفولوژیکی و الگوی پیچان‌رودی بستر رودخانه هریرود را با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندن ست و عکس‌های هوایی سال ۱۳۵۳ با استفاده از روش تاریخی - تجربی بررسی نمودند. در این پژوهش آشکار شد که تعداد پیچان‌رودها از ۱۷۲ در سال ۱۳۵۳ به ۱۶۶ در سال ۱۳۸۷ کاهش یافت و نیمرخ عرضی آن در طول این دوره زمانی تغییرات زیادی داشته است. اصغری سراسکانرود (۱۳۹۲) الگوهای رودخانه شهر چای ارومیه را نیز با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندن ست، نقشه‌های توپوگرافی، نقشه‌های زمین‌شناسی و نیز بازدیدهای میدانی و با استفاده از پارامترهای زاویه مرکزی و ضریب خمیدگی مورد بررسی و تحلیل قرار داد. بیان کرد که

^۱ - Schumm

رودخانه شهر چای یک رودخانه مئاندری بوده و عملکرد رودخانه در مناطق ساحلی با مناطق کوهستانی متفاوت است. یمانی و شرفی (۱۳۹۱) در پژوهشی عوامل مؤثر در فرسایش کناری رودخانه هریرود را با استفاده از روش تحلیلی- تجربی و مقایسه تاریخی را در دو بازه زمانی ۱۳۳۴ و ۱۳۸۶ مورد مطالعه قرار دادند و به بررسی آثار این تغییرات در راه‌های ارتباطی، اراضی زراعی و سازه‌های انسانی پرداخته شد. یافته‌ها نشان داد تغییرات مورفولوژی و فرسایش کناری رودخانه از بالادست به طرف پایین دست کاهش یافته است که ساختمان زمین‌شناسی و لیتولوژی بستر و کناره رودخانه مهم‌ترین عوامل تغییر پایداری بستر به شمار می‌روند. رضایی مقدم و همکاران (۱۳۹۱) در پژوهشی به بررسی الگوی پیچان رودی رودخانه قزل‌اوزن با استفاده از شاخص‌های ضریب خمیدگی و زاویه مرکزی پرداخته‌اند. نتایج نشان داد که در طول سه دوره مورد بررسی روند تغییرات رودخانه در بازه‌های مورد مطالعه کاملاً متفاوت است. به طوری که میزان تغییرات در بازه اول در طول سه دوره بسیار زیاد بوده و بازه دوم کمترین میزان تغییرات را در سه دوره داشته است. مقادیر زاویه مرکزی و ضریب خمیدگی نشان می‌دهد که در کل بازه‌های بررسی شده، تغییرات ضریب خمیدگی و زاویه مرکزی (به جز نسبت اندک در مناطق کوهستانی) در یک دامنه محدود مشاهده می‌شود که نشان‌دهنده وجود قوس‌های تقریباً مشابه در طول مسیر رودخانه است و همچنین بر اساس شاخص زاویه مرکزی الگوی پیچان رودی رودخانه از نوع توسعه یافته است. همچنین مقصودی و همکاران (۱۳۸۹) رودخانه خرم‌آباد را با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و نرم‌افزاری از جهت تغییرات مورفولوژیکی در سال‌های ۱۳۳۴ تا ۱۳۸۴ مورد بررسی قرار دادند. نتایج مطالعات نشان داد که تعداد ۱۷ مئاندر از سال ۱۳۳۴ تا ۱۳۷۷ حذف شده و بعد از آن تعداد مئاندرها افزایش یافت و تغییرات کاربری اراضی اطراف رودخانه باعث تغییر در تغییرات شکل و پلان رودخانه شد. شمسی و ایمان شعار (۱۳۸۸) به بررسی رابطه بین پارامترهای هندسی مئاندرهای رودخانه سیستان و ضریب سینوسیته پرداخته‌اند. در این مقاله ارتباط بین مشخصات هندسی مئاندر و پارامتر سینوسیته که خود تابعی از شیب دره و شیب کانال است، به لحاظ نظری مشخص شد. سپس بر اساس داده‌های میدانی مربوط به رودخانه سیستان که یک رودخانه مئاندری می‌باشد و بر اساس مدل ریاضی به دست آمده، مشخصات هندسی مئاندرهای این رودخانه محاسبه و تعیین شد. در پایان مقادیر محاسبه شده با مقادیر مشاهده شده در بازه‌های مختلف رودخانه سیستان، مقایسه شدند. این مطالعه نشان می‌دهد که نتایج مدل یاد شده، همخوانی مناسبی با داده‌های صحرایی این رودخانه دارند. در پژوهش‌های خارجی نیز می‌توان به پژوهش کورنایس^۱ (۱۹۸۰) اشاره کرد که در آن تقسیم بندی کلی از پیچان رودی رودخانه بر اساس زاویه مرکزی به صورت جدول ۱ ارائه داده است.

¹ - Kornise

جدول ۱: انواع رودخانه‌های آبرفتی با تغییر

شکل رودخانه	زاویه مرکزی (درجه)
رودخانه مستقیم	تعریف نشده یا صفر
شبه پیچان رود	$0 < \alpha \leq 41$
پیچان رود توسعه نیافته	$41 < \alpha \leq 85$
پیچان رود توسعه یافته	$85 < \alpha \leq 158$
خیلی توسعه یافته	$158 < \alpha \leq 296$
نعل اسبی یا شاخ گاوی	بیشتر از ۲۹۶

منبع: کورنایس ۱۹۸۰

از جمله سایر پژوهش‌ها می‌توان به لین^۱ (۱۹۵۷)، کیسترا^۲ و همکاران (۲۰۰۵)، لئوپولد و ولمن^۳ (۱۹۶۴) برتولدی و بیلی^۴ (۲۰۰۲)، میلر^۵ (۱۹۶۴) و چیتاله^۶ (۱۹۷۰)، روسگن^۷ (۱۹۹۴)، زامولی^۸ و همکاران (۲۰۱۰)، نام برد که معروف‌ترین طبقه‌بندی در مورد طبقه‌بندی رودخانه‌ها بر اساس ضریب خمیدگی طبقه‌بندی لئوپولد-ولمن است که رودخانه‌ها را در سه دسته: الف) رودخانه‌های مستقیم؛ ب) رودخانه‌های پیچان رودی؛ ج) رودخانه‌های شریانی طبقه‌بندی کرد (شکل ۱). شکل ۱ بخش‌های کوتاهی از رودخانه مارون هستند. شکل الف مربوط به بازه ۴ است که حد فاصل روستای قدمگاه تا سد تنظیمی شهدا می‌باشد در این قسمت عمق متوسط پادگانه ۲۰ متر با عرض متوسط ۱۵۰ متر است. در شکل ب نیز بخشی از رودخانه در بازه ۱ را نشان می‌دهند که تقریباً حالت پیچان رودی دارد. شکل ج نیز در بازه ۵ قرار دارد این بازه تحت تأثیر فعالیت‌های کشاورزی، فعالیت دو سد مارون و شهدا الگوهای متفاوتی را تجربه می‌کند. وضعیت فعلی شکل ج مربوط به کم شدن جریان آب در بستر رودخانه می‌باشد.



ب) الگوی پیچان‌رودی (در بازه ۱)



الف) الگوی مستقیم (در بازه ۴ نزدیک سد شهدا)

1 - Lane

2 - Keesstra, Huissteden, Vandenberghe, Dam, Pleizier,

3 - Leopold and wolman

4- Bartholdy, Billi

5- Miller

6 - chitale

7 -Rosghen

8 Zanolvi, Szekely, Draganits, Timar



ج) الگوی شریانی (بازه ۵)

شکل ۱: انواع کانال‌های رودخانه‌ای الف) مستقیم ب) پیچان‌رودی ج) شریانی

میزان گیسویی شدن به دو طریق عمده اندازه‌گیری می‌شود:

- ۱) محاسبه متوسط تعداد مجاری فعال و یا موانع ماسه‌ای گیسوی در مقطع عرضی مجرا؛
- ۲) محاسبه نسبت مجموعه طول مجرا در یک مقطع به اندازه مستقیم طول همان مقطع (ضریب سینوسیته). در جدول زیر شیوه‌های متفاوتی برای تعیین میزان گیسویی شدن آمده است (بریج^۱، ۱۳۸۷).

جدول ۲: شاخص‌های گیسویی شدن

محقق	شاخص گیسویی
بریس (۱۹۶۰، ۱۹۶۴)	(مجموعه طول موانع یا جزایر در قطعه مورد نظر) / طول خط وسط قطعه مورد نظر
هاروارد و همکاران (۱۹۷۰)	متوسط تعداد مجاری در چندین مقطع - برش عرضی دره
انجلوند و اسکوگارد (۱۹۷۳)، پارکر (۱۹۷۶)، فوجیتا (۱۹۸۹)	مرحله مد جریان = تعداد ردیف‌های موانع ماسه‌ای متناوب (و مسیر سینوسی جریان) = ۲ (تعداد موانع گیسوی) به علاوه تعداد موانع جانبی در هر مقطع عرضی - برش عرضی دره
راست (۱۹۷۸)	تعداد مجاری گیسوی در هر خمیدگی با طول موج متوسط = مد - ۱
موسلی (۱۹۸۱)	سینوسیته کل = طول قطعات مجزا تقسیم بر طول کمربند مجزا شاخص گیسوی = تعداد مجراهای گیسوی در مقطع عرضی
ریچاردز (۱۹۸۲)	سینوسیته کل = مجموع طول مجراها تقسیم بر طول دره
آشمور (۱۹۹۱)	متوسط تعداد مجراهای فعال در هر مقطع - برش عرضی دره
فریند و سینها (۱۹۹۳)	نسبت گیسوی شدن مجرا = مجموع طول مجراها تقسیم بر طول عریض‌ترین مجرا

منبع: بریج، ۱۳۸۷.

در این پژوهش برای میزان گیسویی شدن از ضریب خمیدگی استفاده شده است. همچنین بر اساس پژوهش‌های پیتز^۲ (۱۹۸۶) نیز ضریب خمیدگی طبق جدول زیر برای رودخانه‌ها تقسیم‌بندی می‌شود. در جدول ۳ جهت افزایش دقت محاسبه‌ها علامت مساوی با هر مقدار از ضریب خمیدگی با مقدار کم بازه در نظر گرفته شده است.

¹ - Bridge

² - Petts

جدول ۳: تقسیم‌بندی رودخانه‌ها برحسب ضریب خمیدگی

ضریب پیچشی	$1 \leq S < 1.06$	$1.06 \leq S < 1.25$	$1.25 \leq S < 2$	§
نوع رودخانه	مستقیم	سینوسی	پیچان‌رودی	پیچان‌رودی شدید

منبع: پیترز، ۱۹۸۶ با تغییر

این طبقه‌بندی که توسط لئوپولد و ولمن (۱۹۵۷) در بالا اشاره شد در حال حاضر چندان رضایت‌بخش نیست زیرا طبقات ارائه‌شده کاملاً منحصر به فرد نبوده و عوامل متعددی جهت الگوهای متفاوت مجزا باید مورد توجه قرار گیرند (بریج ۱۳۸۷). در این پژوهش بر اساس نظر لئوپولد و ولمن عمل شده است. ویژگی‌های کانال توسط فاکتورهای محلی و تغییرات سیستماتیک پایین‌دست در ویژگی‌های کانال تأثیر می‌پذیرد (مونتگومری^۱، بولتون، ۲۰۰۳). در جدول ۴ ویژگی‌های کانال‌های کوهستانی، دشت‌های سیلابی آورده شده است

جدول ۴: طبقه‌بندی کانال‌ها و ویژگی‌های آن‌ها

ویژگی‌های کانال‌ها	کانال‌های کوهستانی	کانال‌های دشت‌های آبرفتی		
		مخروط افکنه‌های آبرفتی	دشت سیلابی	دلنا
مواد بستر کانال	سنگی - گراول	گراول	ماسه‌ای	گلی
الگوی کانال	شریانی	بریده بریده	پیچان‌رودی - مستقیم	دوشاخه شدن ^۲ ، مستقیم، پیچان‌رودی
مواد حمل شده	جریان‌های آواری و خزشی	خزشی	خزشی و معلق	معلق
عمق کانال	متغیر	کم عمق	کم عمق تا عمیق	عمیق
شیب کانال	پرشیب‌تر از ۱/۱۰۰	۱/۵۰۰ - ۱/۵۰	۱/۲۰۰۰ - ۱/۱۰۰	کم شیب‌تر از ۱/۱۰۰۰

(مستودا^۳، ۲۰۰۴)

همان‌طور که می‌دانیم بیش از ۳۰ درصد سطح خشکی‌های زمین جزء مناطق خشک بوده که ساکنان بسیاری را در خود جای داده است (توماس^۴، ۲۰۱۱) و نقش مهمی را در تغییرات لند فرم‌ها و تأثیر زیادی در استفاده انسانی از محیط‌های حاشیه‌ای دارد (توت و نانسون^۵، ۲۰۱۱).

منطقه مورد مطالعه

مشخصات جغرافیایی: رودخانه‌ها در مناطق اقلیمی از جمله مناطق مرطوب، خشک، نیمه‌خشک، کوهستانی، استوایی مختلفی وجود دارند که بعضی از آن‌ها از چندین منطقه اقلیمی می‌گذرند و بعضی از آن‌ها از منطقه مرطوب سرچشمه گرفته

¹ - Montgomery and Bolton

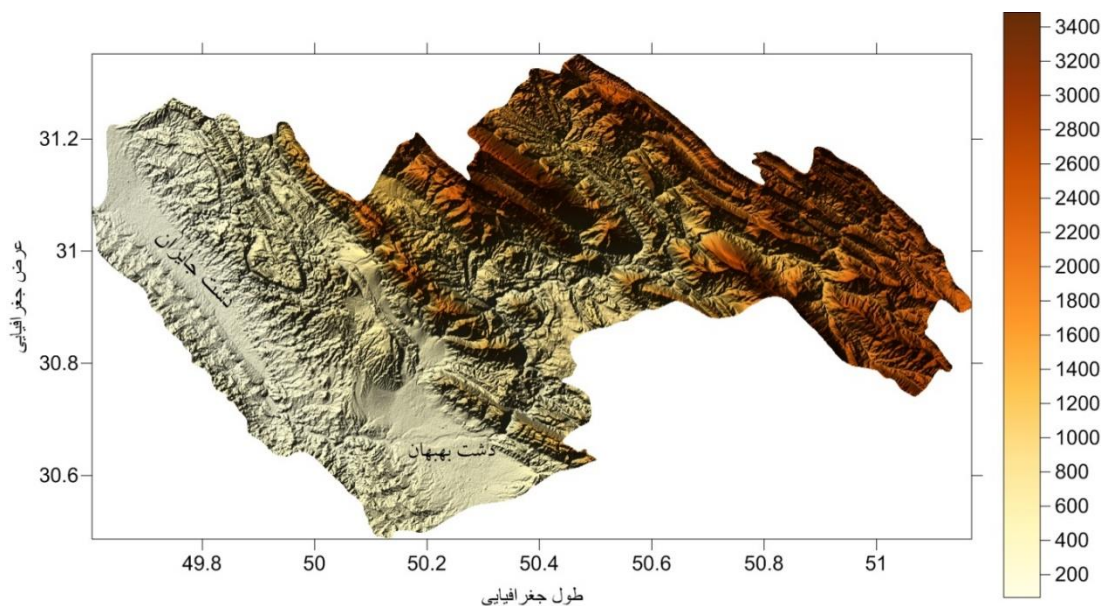
² - Bifurcated

³ - Matsuda

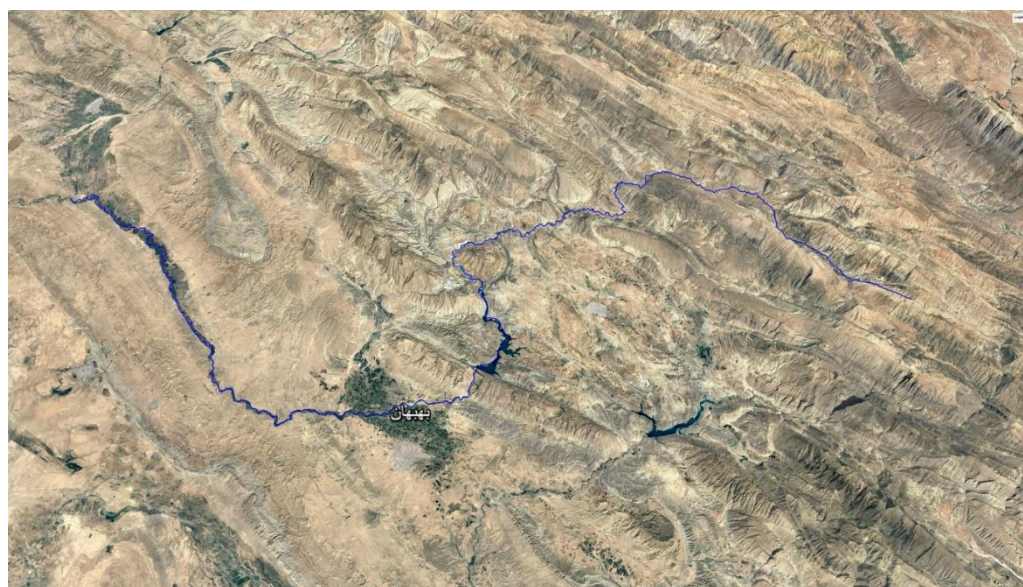
⁴ - Thomas

⁵ - Tooth and Nanson

و به مناطق خشک و بیابانی ختم می‌شود. (ویپل^۱، ۲۰۰۴). رودخانه منطقه مورد مطالعه نیز دارای چنین ویژگی است که در قسمت‌های بالادست میزان بارش‌های جوی و چشمه‌های کارستی فراوان است و در مناطق پایین دست وارد منطقه خشک و نیمه‌خشک با میزان بارندگی متوسط ۲۵۰ میلی‌متر و کمتر می‌شود. رودخانه مارون در استان کهگیلویه و بویر احمد و استان خوزستان قرار دارد. محدوده رودخانه در این پژوهش حد فاصل سرچشمه رودخانه مارون با مختصات تقریبی استان خوزستان تا محل ورودی رودخانه مارون به رودخانه جراحی با مختصات جغرافیایی $\phi: 31^{\circ}04'28.77''$ است (شکل ۲ و ۳).
 $\lambda: 49^{\circ}36'11.09''$ $\phi: 30^{\circ}46'2.2''$
 $\lambda: 50^{\circ}03'54.08''$



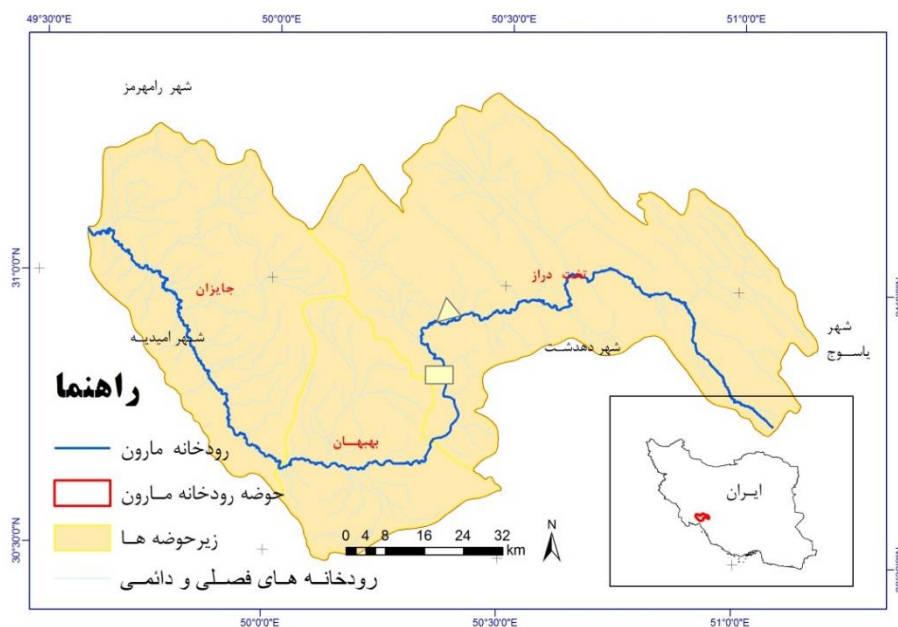
شکل ۲: نمایش ظاهری توپوگرافی حوضه رودخانه مارون منبع: نگارندگان



شکل ۳: مسیر رودخانه مارون در گوگل ارث

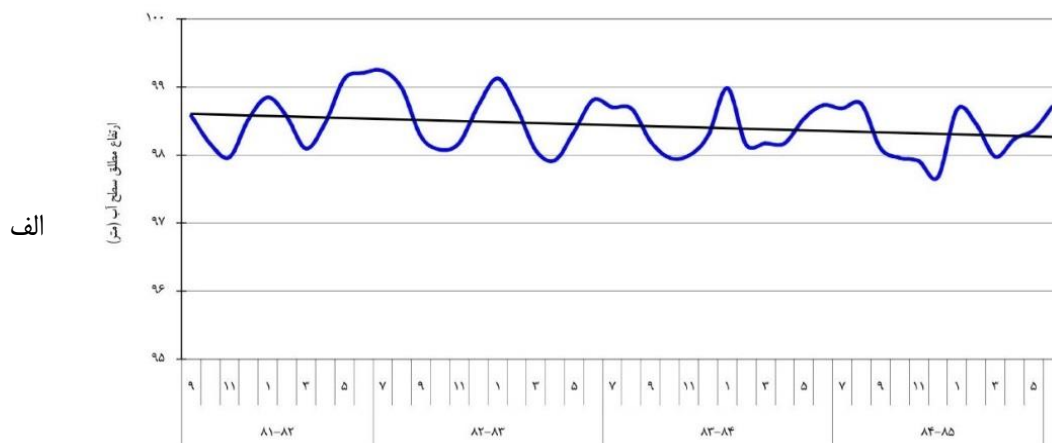
^۱ - Whipple

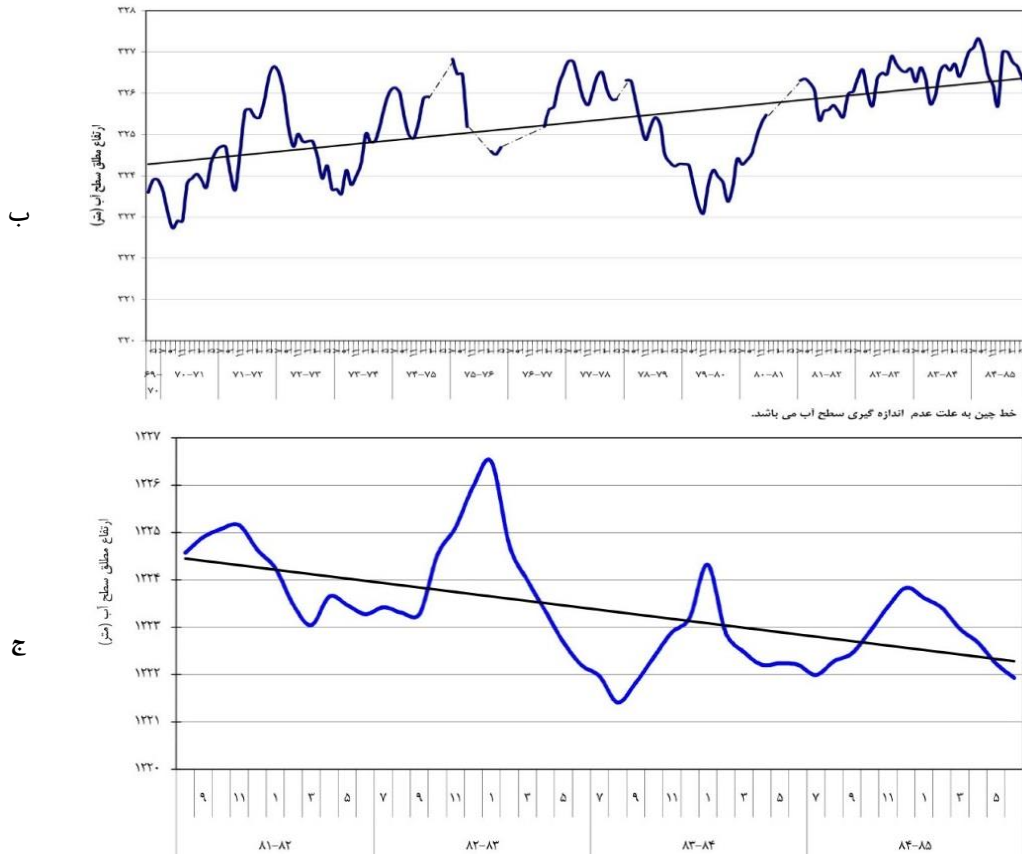
هیدرولوژی مارون: رودخانه مارون از ارتفاعهای زاگرس و از چشمه سارهای کوههای سادات و نیل (نیر) سرچشمه گرفته این رودخانه پس از طی مسیری پرشیب کوهستانی از ارتفاعهای حدود ۳۱۰۰ متری سرچشمه گرفته و بعد از الحاق چندین رودخانه فرعی دیگر در ارتفاع حدود ۳۵۰ متری از سطح دریا به دشت بهبهان رسیده و پس از مشروب کردن آن وارد مسیر کوهستانی با دامنه‌های کم ارتفاع می‌شود. رودخانه مارون از طریق تنگ تکاب (محل احداث سد مارون) وارد دشت بهبهان می‌شود و پس از عبور از حدود ۴۵ کیلومتری مسیر کوهستان در جهت شمال غربی ادامه یافته و وارد دشت باریک و کشیده جایزان می‌شود این رودخانه در پایین دست دشت جایزان با دریافت چندین شاخه فرعی دیگر و اتصال به رودخانه الله (اعلا) رودخانه جراحی را تشکیل می‌دهد. رودخانه جراحی پس از مشروب کردن دشت خلف آباد وارد دشت شادگان شده و به خلیج فارس می‌ریزد. حوضه مارون به علت کمی پوشش گیاهی در ارتفاعها و شیب زیاد و همچنین سازندهای زمین‌شناختی مرکب از رسوبها تبخیری و مارن و آهک، فرسایش پذیر بوده و در نتیجه رسوب رودخانه بسیار زیاد است (معروفی، طبری، ۱۳۹۰). نتایج سالانه رسوبها معلق محاسبه شده برای ایستگاههای شاخص رسوب سنجدی ایستگاههای ایدنک (۵۱۷۱ هزار تن) و بهبهان (۸۳۱۷ هزار تن) در دوره آماره (۱۳۶۵-۱۳۷۰) است. برآورد میزان فرسایش خاک در ایستگاههای شاخص رسوب سنجدی ایدنک (۲۰۸۰ تن در کیلومتر مربع - علامت مثلث در شکل ۴) و ایستگاه رسوب سنجدی بهبهان (۲۳۵۲ تن در کیلومتر مربع علامت مربع در شکل ۴) است (حسینی زارع، سعادت، ۱۳۸۴). دبی رودخانه مارون به طور متوسط حدود ۵۵ مترمکعب در ثانیه می‌باشد که در سالهای اخیر کاهش یافته است. زیر حوضه‌های رودخانه مارون شامل سه زیر حوضه تخت دراز در استان کهگیلویه و بویراحمد و زیر حوضه‌های بهبهان و جایزان در استان خوزستان می‌باشد. در محدوده مطالعاتی جایزان منحنی‌های هم عمق ۱ تا ۱۰ متر این دشت را پوشش داده است و بیانگر این مطلب می‌باشد که عمق سطح آب در این محدوده زیاد نیست. در محدوده بهبهان منحنی‌های هم عمق ۳ تا ۳۰ متر وجود دارد و به سمت قسمت میانی دشت میزان عمق سطح آب کاهش می‌یابد و از حاشیه ارتفاعها غربی به سمت مرکز دشت عمق سطح آب کمتر می‌شود. در محدوده تخت دراز نیز منحنی هم عمق ۱۰ تا ۳۰ متر محدوده شمال شرقی منطقه را پوشش داده است. طبق مطالعات میدانی عمق اکثر چاه‌های حفر شده در این سه حوزه در عمق‌های کمتر از ۱۰ می‌باشد. به علت برداشت‌های غیرمجاز و خشک‌سالی‌های اخیر این عمق افزایش یافته است.



شکل ۴: زیر حوضه‌های رودخانه مارون و آبراهه‌ها منبع: نگارندگان

طبق گزارش بهنگام سازی مطالعات پایه آب وزارت نیرو، (۱۳۸۸). شکل‌های زیر مربوط به نمودارهای هیدرو گراف واحد آبخوان سه زیر حوضه فوق است. بازه‌های ۱، ۲ و ۳ در زیر حوضه تخت دراز و بازه ۴ در زیر حوضه بهبهان و بازه ۵ نیز در زیر حوضه جایزان قرار دارد. سطح آبخوان جایزان نسبت آبخوان‌های بهبهان و تخت دراز کمترین ارتفاع را دارد ولی سطح آبخوان تخت دراز بیشتر ارتفاع را نسبت به سایر آبخوان‌ها در حوضه مارون را به خود اختصاص داده است. نوسان‌های سطح آبخوان در سال‌های مختلف نیز در آبخوان جایزان کمترین و آبخوان تخت دراز بیشترین مقدار خود را دارد.



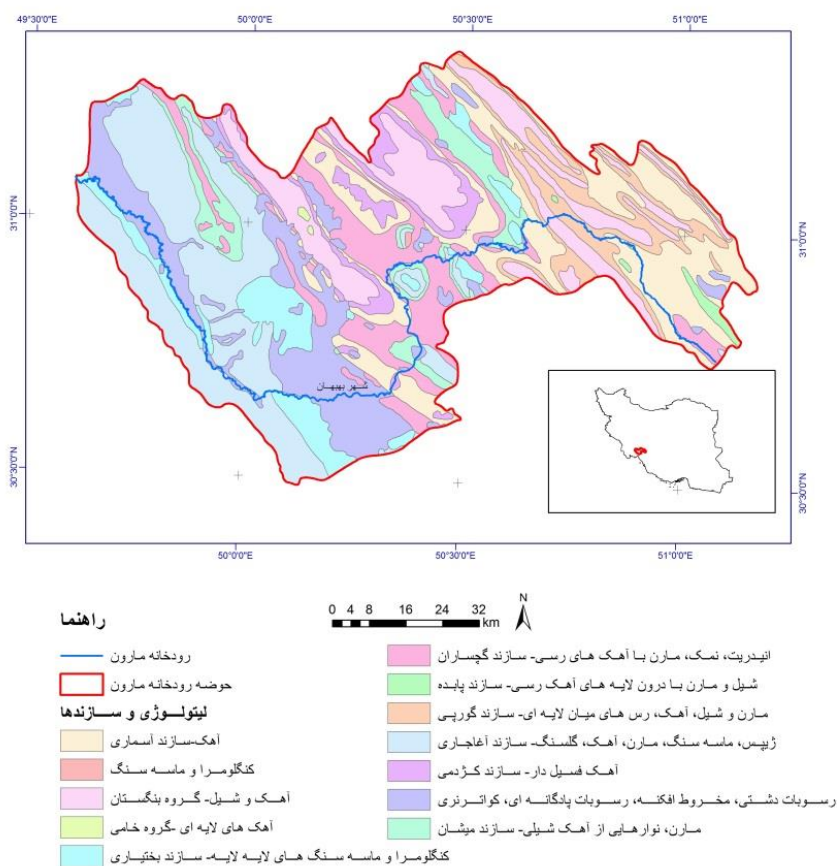


شکل ۵-الف: نمودار هیدرو گراف واحد آبخوان آبرفتی محدوده جایزان ب: نمودار هیدرو گراف واحد آبخوان آبرفتی محدوده بهبهان
ج: نمودار هیدرو گراف واحد آبخوان آبرفتی محدوده تخت دراز منبع: نگارندگان

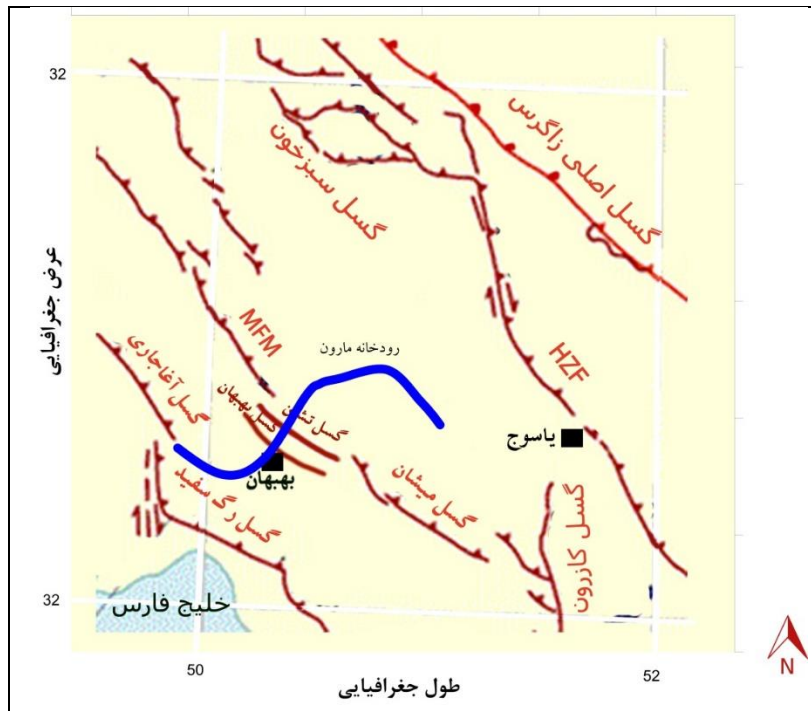
اقلیم مارون: حوضه آبی مارون بسته به ارتفاع دارای اقلیم متفاوتی است با توجه به سیستم تقسیم‌بندی آب‌وهوا در سیستم کوپن سه نوع اقلیم مدیترانه‌ای سرد (ارتفاعات بالاتر از ۲۵۰۰ متر)، نیمه گرمسیری (ارتفاعات بین ۱۰۰۰ تا ۲۵۰۰ متر) و نیمه‌خشک گرم با تابستانه‌ای خشک (ارتفاعات کمتر از ۱۰۰۰ متر) قابل تشخیص است (محمدیاری و همکاران، ۱۳۹۳).

زمین‌شناسی و گسل‌های حوضه رودخانه مارون: حوضه آبخیز مارون در دنباله جبال زاگرس واقع و از ته‌نشست‌های دوره کرتاسه تا دوره پلیوسن تشکیل یافته است این ته‌نشسته‌ها بقایای دریایی کم‌عمق می‌باشند که قبلاً منطقه را می‌پوشانیده است. سنگ‌های غالب تشکیل‌دهنده آن عبارتند از مارن، شیل، گچ، کنگلومرا و آهک است ته‌نشست‌های اخیر عبارتند از آبرفت‌های رودخانه‌ای، دشت‌های سیلابی و مخروط‌های افکنه است. حوضه‌های ناودیس‌ی اغلب توسط نهشته‌های آبرفتی که حاصل فرسایش تشکیلات مذکور می‌باشد پوشیده شده است. بر اساس مطالعات چینه‌شناسی، رسوب‌های که در محدوده توسعه رودخانه مارون وجود دارند متعلق به دوران آئو-الیگوسن، میوسن، پلیوسن و دوران چهارم می‌باشند. سازندهای تشکیل‌دهنده حوضه مارون شامل سازند سروک پابده، گورپی، آسماری، میشان،

آغاجاری و واحد سنگی آبرفتی می‌باشد (قربانی، ۱۳۸۵). در شکل شماره ۶ نقشه زمین‌شناسی و در شکل شماره ۷ نیز گسل‌های فعال منطقه آورده شده است.



شکل ۶: نقشه زمین‌شناسی منطقه منبع: نگارندگان



شکل ۷: نقشه گسل‌های حوضه رودخانه مارون (قریشی، ۱۳۹۳)

بررسی شاخص‌ها

شاخص‌ها: در این مقاله دو شاخص ضریب خمیدگی و زاویه مرکزی برای بررسی پیچان رودی رودخانه مارون محاسبه می‌شود علاوه بر این دو، شاخص دیگری به نام شاخص جهت جریان نیز به دست آورده می‌شود، این شاخص اولین بار توسط نویسندگان مقاله طراحی شده است. همچنین یکی از موارد بهبود روابط این پژوهش که توسط نویسندگان به دست آمده است میانگین گرفتن از فراوانی زاویه مرکزی در هر بازه می‌باشد که با دانستن این مقدار می‌توان بررسی کرد که پیچان رود در چه مرحله زمانی از تشکیل شکل رودخانه است. همچنین در محاسبه ضریب خمیدگی نقاط عطف منحنی در این پژوهش ارائه می‌شود. در بخش‌های بعدی هر کدام از این شاخص‌ها به طور کامل توضیح داده شده است.

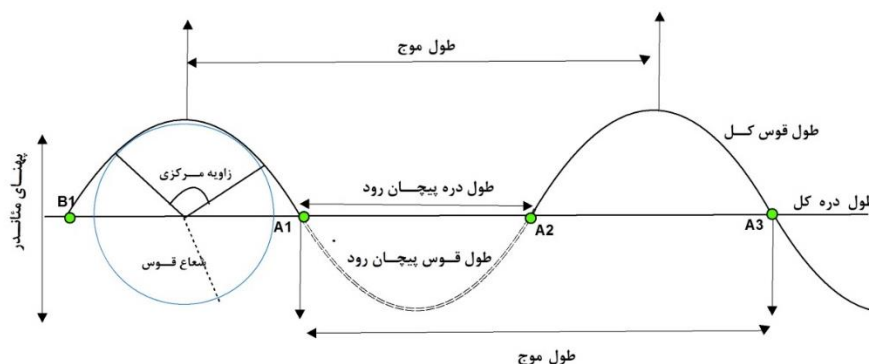
الف) ضریب خمیدگی: شاخص ضریب خمیدگی (پیچشی، سینوسیته^۱) یکی از معیارهای کمی است که در تقسیم‌بندی شکل رودخانه مورد استفاده قرار می‌گیرد. (یمانی، همکاران، ۱۳۹۰)، با استفاده از فرمول $S = L / (\lambda/2)$ یعنی با تقسیم کردن طول قوس بر نصف طول موج، ضریب خمیدگی برای هر پیچان رود به دست می‌آید. قبل از محاسبه این ضریب یکسری از تعاریف در زیر آورده شده است:

(۱) **طول قوس:** فاصله منحنی بین دو نقطه عطف متوالی؛ (۲) **طول دره:** فاصله مستقیم بین دو نقطه عطف متوالی؛

(۳) **نقاط عطف:** با این فرض که مسیر رودخانه پیوسته است، می‌توان گفت نقطه‌ای از مسیر جریان (تابع) می‌باشد که

¹ Sinuosity

رودخانه در آن نقطه انحنا (تقعر، تحدب) داده است؛ ۴) **طول موج**: فاصله بین دو قله متوالی یا دو نقطه تکراری را گویند؛ ۵) **نقطه تغییر انحنا**: نقطه‌ای که انحنا مسیر از مثبت به صفر (یا منفی) و برعکس و یا از منفی به صفر یا برعکس تغییر می‌یابد (شکل ۸). مطابق شکل شماره ۸ می‌توان ضریب خمیدگی را برابر با نسبت بین طول قوس به طول دره در هر پیچان رود دانست.



شکل ۸: شاخص زاویه مرکزی و ضریب خمیدگی برای یک پیچان رود ریاضی منبع: نگارندگان

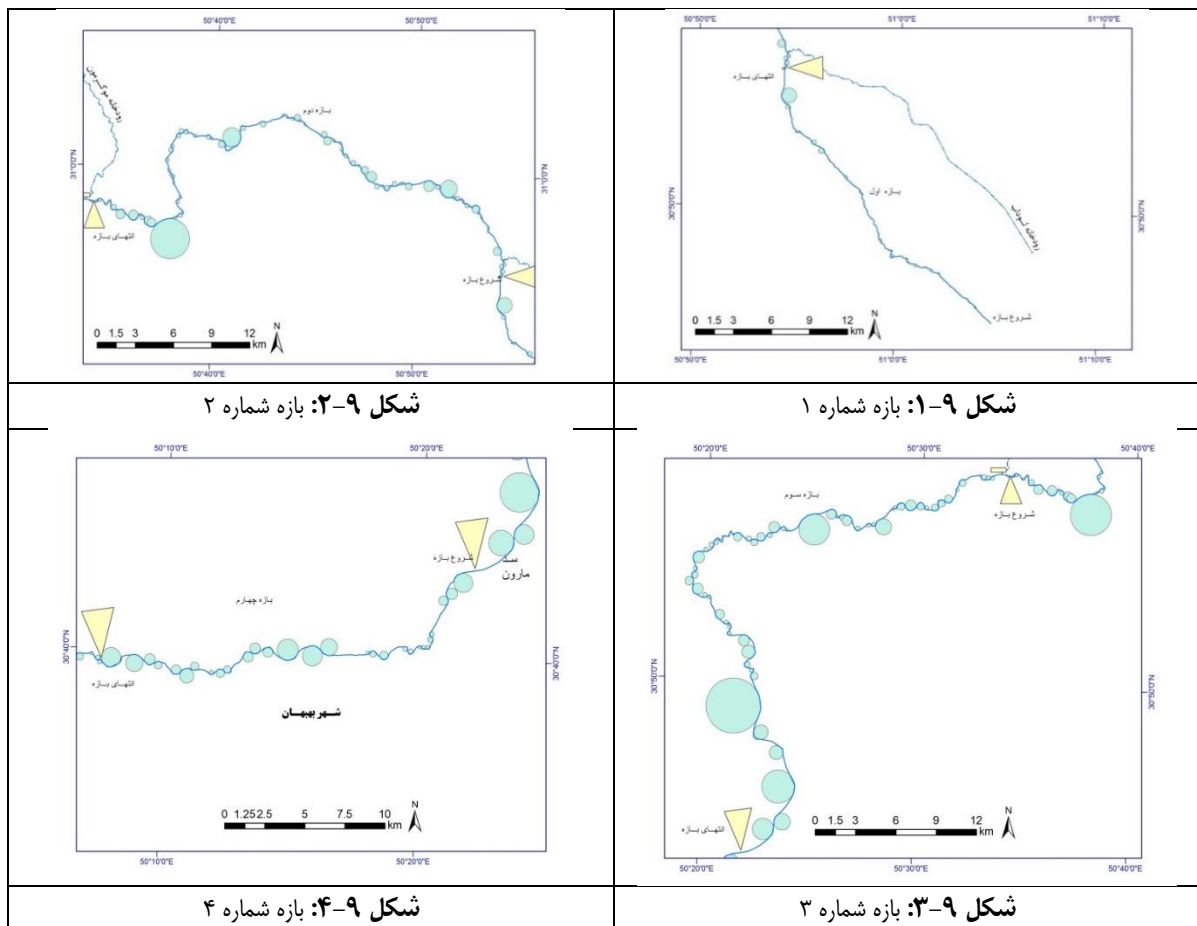
ب) زاویه مرکزی: زاویه مرکزی یک معیاری جهت تقسیم‌بندی و شناسایی میزان توسعه پیچان رودی رودخانه استفاده می‌شود (مقصودی، همکاران، ۱۳۸۹) که از نظر ریاضی بین زاویه صفر الی ۳۶۰ درجه می‌تواند تغییر نماید (شکل ۸) (جدول ۱).

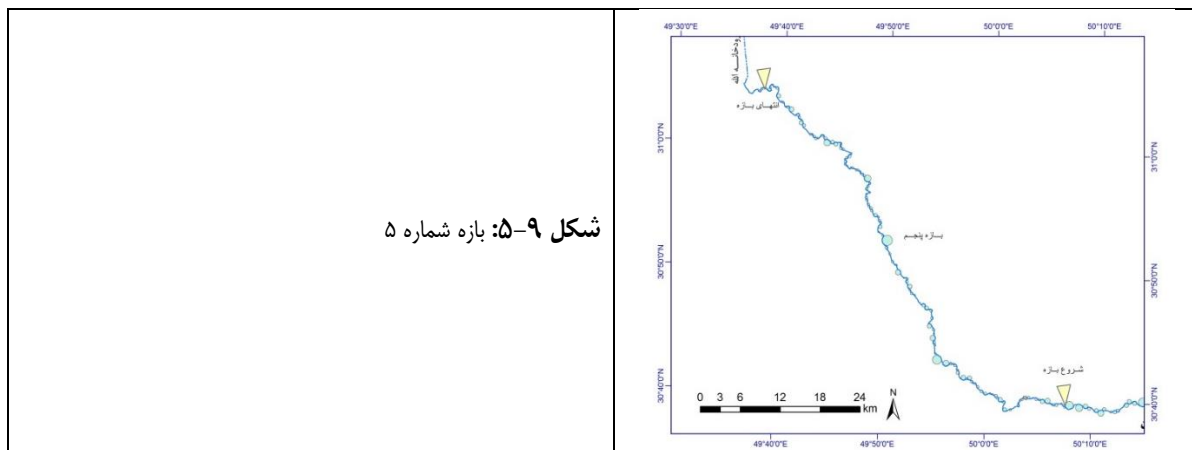
ج) شاخص جهت جریان: این پارامتر که توسط نگارندگان طراحی شده است بر اساس تغییر جهت جریان در مقیاس بزرگ مکانی به دست می‌آید، به این صورت که جهت رودخانه تا زمانی که به‌طور محسوس تغییر جهت ندهد ثابت در نظر گرفته می‌شود، ۸ جهت اصلی جغرافیایی (شمال، شمالی شرقی، ...، شمالی غربی) را برای آن در نظر گرفت. این شاخص را می‌توان برای مقایسه بین رودخانه‌ها، مدیریت آن‌ها و نیز محدوده پژوهش‌های علمی در نظر گرفت. این شاخص متأثر از توپوگرافی، اقلیم، لیتولوژی منطقه است.

داده‌ها و روش‌ها

در این پژوهش، از داده‌ها و ابزارهای DEM، نقشه‌های توپوگرافی، نرم‌افزارهای Arc GIS، گوگل ارث، مطالعات کتابخانه‌ای و بازدیدهای میدانی استفاده شده است. مسیر رودخانه به‌طور دقیق از روی نرم‌افزار گوگل ارث با کیفیت بالا و نقشه‌های توپوگرافی استخراج شد و صحت بعضی از قسمت‌های آن در بازدیدهای میدانی مورد تأیید قرار گرفت سپس این مسیر پس از پردازش وارد محیط نرم‌افزار Arc GIS شد و مسیر رودخانه به‌صورت لایه‌های رقومی استخراج گردید. سپس کلیه پیچان‌رودهای موجود در بازه‌ها شناسایی شد. جهت بالا بردن دقت، انتخاب پیچان‌رودها هم‌زمان با مشاهده مسیر رودخانه از روی گوگل ارث به‌دست‌آمده است و در بخشی از مسیر رودخانه که موقعیت مکانی پیچان‌رودها به خاطر

تغییر فصول، تغییرات شدت آب رودخانه و دامنه مانداری تغییر می کند صرف نظر شد و به صورت خط مستقیم در نظر گرفت. در نظر گرفتن کل مسیر رودخانه در این پژوهش ارتباط بین بازه ها و تفسیر تأثیرات آن ها را ساده تر می کند. در طبیعت، پیچان رودهای کاملاً دایره با شعاع ثابت به ندرت یافت می شود و معمولاً به صورت پیچان رودهای مرکب در نظر گرفته می شود که ترکیبی از قوس های دایره ای ممتد با شعاع های مختلف است. در این پژوهش فرض بر این است که کلیه پیچان رودها از نوع دایره ای می باشند که دارای شعاع ثابت (R) و انحنا ی ثابتی (معکوس شعاع) می باشد. هر خط مستقیم نیز دارای انحنای صفر و شعاع بی نهایت است که در این پژوهش در شاخص خمیدگی و زاویه مرکزی پیچان رود مستقیم در نظر گرفته می شود که به ترتیب در شاخص خمیدگی دارای ضریب خمیدگی کمتر از ۱/۰۶ و در شاخص زاویه مرکزی دارای زاویه مرکزی صفر است این موارد نیز تنها توسط مؤلفان ارائه شده است. معیار انتخاب پیچان رودها بر اساس تغییر انحنای مسیر تابع (در اینجا مسیر رودخانه) می باشد که خطوط مستقیم فاقد انحنای و خطوط دایره ای شکل دارای انحنای ثابت است این طرح توسط نویسندگان برای بار اول طراحی شده است و مزیت آن این است که کلیه بخش های رودخانه در پارامترها لحاظ می شود و همچنین مشخص کردن نقاط تغییر انحنای راحت می باشد. در ادامه تعداد بازه ها و تعداد پیچان رودها استخراج و در شکل ۹ و جدول ۵ آورده شده است:





شکل ۹-۵: بازه شماره ۵

شکل ۹: محدوده بازه‌ها و دواير مماس بر رودخانه مارون منبع: نگارندگان

جدول ۵: اطلاعات کلی بازه‌های رودخانه

کل بازه‌ها	۵	۴	۳	۲	۱	بازه
۵۳۰	۲۱۷	۴۳	۸۸	۱۲۶	۵۶	تعداد پیچان رود
۲۸۸	۱۰۵	۳۲	۶۳	۵۸	۳۱	طول (کیلومتر)
--	تپه ماهوری و دشتی	دشتی	تقریباً کوهستانی	کوهستانی	کوهستانی	توپوگرافی منطقه

منبع: نگارندگان

سپس در هر پیچان رود نقاط تغییر مقدار انحنا آن شناسایی شد سپس برای هر یک از این انحناها یک قوس دایره‌ای ساده برازش داده شد که به بهترین نحو بر این قوس انطباق داشته باشد، سپس پارامترهای هندسی این قوس طبق روابط ریاضی و هندسی محاسبه شد.

یافته‌های پژوهش

در این بخش محاسبه‌های نتایج و مطالعات حاصل از پردازش داده‌ها و بازدیدهای میدانی آورده می‌شود. در کنار این نتایج عوامل مؤثر بر الگوی پیچان رودی رودخانه‌ها در سه زیر حوضه‌ها و پروفیل طولی رودخانه مارون ارائه شد.

بازه‌های رودخانه

در این مطالعه رودخانه مارون به ۵ بازه تقسیم شده است. بازه اول از سرچشمه رودخانه مارون تا روستای آباده با مختصات جغرافیایی $30^{\circ}55'32''$, $50^{\circ}54'23''$ ، بازه دوم از روستای آباده تا روستای قلعه دختر با مختصات جغرافیایی $30^{\circ}58'39''$, $50^{\circ}34'01''$ ، بازه سوم از روستا قلعه دختر تا سد مارون با مختصات جغرافیایی $30^{\circ}43'04''$, $50^{\circ}21'54''$ ، بازه چهارم در دشت بهبهان قرار دارد که از سد مارون تا روستای کوتک با مختصات جغرافیایی $30^{\circ}39'45''$, $50^{\circ}07'32''$ و سرانجام بازه ۵ از روستای کوتک تا انتهای رودخانه مارون با مختصات جغرافیایی $31^{\circ}04'28''$, $49^{\circ}37'18''$ است. آب رودخانه در بازه اول از ذوب برف‌ها و چشمه‌سارها و بارندگی منشأ می‌گیرد و در بین طاقدیس‌ها جریان دارد. در بازه دوم

رودخانه لوداب به رودخانه مارون می‌پیوندد و بر دبی آن افزوده می‌شود در بازه سوم نیز بعد از اتصال رودخانه موگرمون به آن دبی رودخانه و قدرت فرسایش آن افزایش می‌یابد. بازه چهارم، در دشت بهبهان واقع می‌شود و در شروع آن سد مارون احداث گردیده است. این بازه در نزدیکی شهر بهبهان قرار داشته و مسطح در نظر گرفته می‌شود. بازه پنجم در بخش تقریباً ناهمواری و در بین طاقدیس‌ها جریان دارد. به جزء بازه چهارم سایر بازه‌ها در محدوده کوهستانی تا تقریباً کوهستانی قرار دارند. رودخانه‌های فصلی و موقتی نیز در زمان‌های بارندگی نیز به رودخانه مارون می‌ریزد.

بازه اول: تعداد پیچان‌رودها در این بازه به علت اینکه رودخانه هنوز مسیر ثابتی ندارد و تغذیه آن از چشمه‌سارها و ذوب برف‌ها بیشتر منشأ می‌گیرد نمی‌توان تعداد پیچان‌رود دقیقی برای آن در نظر گرفت زیرا در فصول مختلف و شدت بارندگی‌های متفاوت و فعالیت‌های کشاورزی این پیچان‌رودها می‌تواند تغییر یابد، ولی بعضی از پیچان‌رودهای آن با توجه به مشاهده مسیر جریان از روی تصاویر گوگل ارث می‌تواند جزء پیچان‌رودهایی باشد که توسط جریان رودخانه و فرایندهای رودخانه‌ای ایجاد شده و تقریباً پایدار هستند. این بازه در بین دو طاقدیس واقع بوده که ارتفاع بین ۲۵۰۰ تا ۳۰۰۰ متر را دارند.

بازه دوم: تعداد پیچان‌رودهای آن ۹۱ و طول آن نیز ۵۶ کیلومتر است مسیر رودخانه در این بازه تقریباً مشخص و در طول فصول سال و فعالیت‌های کشاورزی تغییر بارزی نمی‌یابد. رودخانه لوداب که یکی از رودخانه‌های منطقه که از ارتفاعات بالای ۲۲۰۰ متر سرچشمه می‌گیرد جزء رودخانه فرعی رودخانه مارون می‌باشد. رودخانه بعد از طی حدود ۲۵ کیلومتر به سمت شمال غربی در بین دو طاقدیس مسیر خود را به سمت غرب تغییر می‌دهد و رودخانه طاقدیس‌ها را به صورت عرضی قطع می‌نماید.

بازه سوم: تعداد پیچان‌رودهای آن ۶۶ و طول آن نیز ۶۳ کیلومتر است. این بازه یک تغییر فاحش در جهت آن مشاهده می‌شود ابتدا جهت شرق به غرب و سپس جهت شمالی جنوبی را پیدا می‌کند. رودخانه موگرمون در ابتدای بازه به رودخانه مارون اضافه می‌شود و بر دبی آن می‌افزاید و قدرت فرسایش‌کنندگی آن را افزایش می‌دهد.

بازه چهارم: این بازه دارای ۲۹ پیچان‌رود و طول آن ۳۲ کیلومتر است. شروع این بازه از سد مارون واقع در تنگ تکاب^۱ در طاقدیس پاییز شروع می‌شود. این بازه در دشت بهبهان واقع است. ابتدای بازه در یک پادگانه عمیق در جریان است و در ابتدای آن تغییر بستر کمی دارد و تقریباً از اواسط آن مسیر رودخانه وارد یک دشت سیلابی می‌شود به عبارتی بازه در ابتدای دامنه قرار دارد و بعد از آن از عمق آن کاسته و عرض آن افزایش می‌یابد. همچنین به علت برداشتهای مصالح در بعضی از قسمت‌های آن عرض رودخانه بسیار تعریض شده است. این بازه در یک آبخوان دشت بهبهان واقع است و سطح آب زیرزمینی آن بالا است. در این بازه آثار سکونت‌های پیش از تاریخ نظیر سایت‌های چاه نفت، شهر تاریخی ارجان، سایت تپه سبز، تپه مهتاج و غیره وجود دارد. تغییرات شدت و فرسایش رودخانه‌ای می‌تواند در الگوهای استقرارگاهی سایت‌های

^۱ - محل نبرد سردار ایرانی آریوبرزن با سپاه اسکندر مقدونی است.

پیش از تاریخ و تاریخی مؤثر باشد. در این بخش عمیق‌ترین پادگانه رودخانه مارون بعد از سد مارون قرار دارد و در بدنه این قسمت قنات‌های انتقال آب به شهر تاریخی ارجان و زمین‌های کشاورزی اطراف نیز مشاهده شده است (مقصودی و همکاران، ۱۳۹۵).

بازه پنجم: این بازه نیز در دشت جایزان و در بین دو طاق‌دیس واقع است ابتدای بازه تقریباً غربی - شرقی و سپس به سمت شمال تغییر جهت می‌دهد تا به رودخانه الله (اعلا) می‌رسد که بعد از آن رودخانه جراحی را تشکیل می‌دهد. این بازه تقریباً در بخش تپه ماهورهای منطقه جایزان واقع و پهنای مائندری رودخانه نسبت به سایر بازه‌ها بیشتر است و رودخانه در فصول مختلف و بسته به میزان بارندگی رودخانه شکل خود را بین سینوسی تا بریده بریده تغییر می‌دهد. این بازه دارای ۱۵۰ پیچان رود و طول رودخانه نیز حدود ۱۰۵ کیلومتر است.

ضریب خمیدگی

در جدول ۶ پارامترهای مربوط به شاخص خمیدگی به دست آمده است. بر اساس جدول ۶ می‌توان جدول ۲ را به صورت زیر برای بازه‌های رودخانه استخراج کرد. بر اساس جدول ۸ می‌توان گفت که میانگین ضریب خمیدگی رودخانه در محدوده سینوسی است اما روند همه ۵ بازه به سمت پیچان‌رودی شدن می‌باشد که بازه ۱ و بازه ۵ بیشترین میانگین خمیدگی را دارند. در فواصل کوتاه از بازه‌ها می‌توان بعضی از مسیر رودخانه را از نوع مستقیم یا سایر انواع رودخانه در جدول ۲ دانست. طبق ضریب خمیدگی کل بازه در جدول ۷، می‌توان گفت هر بازه صرف‌نظر از پیچان‌رودی داخلی، به جز بازه اول، سایر بازه‌ها از نوع پیچان‌رودی است که بازه اول در انتهای سینوسی و در ابتدای پیچان‌رودی می‌باشد و بازه‌های ۲ و ۳ نیز به سمت پیچان‌رودی شدید پیش می‌روند. ضریب خمیدگی کل رودخانه با درصد خطایی از نوع پیچان‌رودی شدید است.

جدول ۶: ضریب خمیدگی بازه‌ها

پارامتر	بازه ۱	بازه ۲	بازه ۳	بازه ۴	بازه ۵
تعداد پیچان رود	۵۶	۱۲۶	۸۸	۴۳	۲۱۷
میانگین طول موج	۵۲۸	۴۴۹	۷۳۱	۷۳۴	۴۷۱
حداکثر طول موج	۴۱۱۹	۱۶۱۳	۳۵۸۱	۲۳۰۲	۱۷۰۲
حداقل طول موج	۴۶	۶۲	۱۲۵	۱۶۱	۷۹
میانگین طول دره (متر)	۴۶۸	۳۹۶	۶۴۱	۶۴۰	۳۹۸
حداکثر طول دره	۳۷۰۹	۱۴۷۷	۳۳۸۱	۲۲۳۰	۱۵۸۰
حداقل طول دره	۲۷	۵۱	۱۱۴	۱۳۶	۶۴
میانگین خمیدگی	۱/۲۴	۱/۱۶	۱/۱۷	۱/۱۴	۱/۱۹
حداکثر ضریب خمیدگی	۱/۹۸	۱/۷۶	۱/۹۹	۱/۸۲	۲/۳۲
حداقل ضریب خمیدگی	۱	۱	۱	۱	۱
قوس‌های با ضریب خمیدگی کمتر از میانگین (درصد)	۷۰	۶۲	۳۷/۵	۶۰	۶۲
قوس‌های با ضریب خمیدگی کمتر از ۱/۰۶	۱۹/۶۴	۳۵/۷	۳۴	۲۷/۹	۳۴
قوس‌های با ضریب خمیدگی بین ۱/۰۶ و ۱/۲۵	۵۱/۷۸	۴۲/۸۸	۴۱	۵۸/۲	۳۷
قوس‌های با ضریب خمیدگی بین ۱/۲۵ و ۲	۲۸/۵۷	۲۱/۴۲	۲۵	۱۳/۹	۲۸
قوس‌های با ضریب خمیدگی بالای ۲ درصد	صفر	صفر	صفر	صفر	۱

منبع: یمانی و همکاران با تغییر، ۱۳۸۳

جدول ۷: ضریب خمیدگی کل

بازه	۱	۲	۳	۴	۵	کل بازه‌ها
طول جریان (کیلومتر)	۳۱	۵۸	۶۳	۳۲	۱۰۵	۲۸۸
طول دره (کیلومتر)	۲۵	۳۳	۳۴	۲۴	۶۸	۱۴۶
ضریب خمیدگی کل بازه	۱,۲۴	۱,۷۶	۱,۸۵	۱,۳۳	۱,۵۴	۱,۹۷

جدول ۸: نوع رودخانه مارون بر اساس میانگین ضریب خمیدگی

شماره بازه	۱	۲	۳	۴	۵
میانگین ضریب خمیدگی	۱/۲۴	۱/۱۶	۱/۱۷	۱/۱۴	۱/۱۹
نوع رودخانه	سینوسی	سینوسی	سینوسی	سینوسی	سینوسی

منبع: نگارندگان

زاویه مرکزی (درجه)

در جدول زیر برای هر بازه پارامترهای حداقل و حداکثر زاویه مرکزی به همراه میانگین آن بازه و نیز متوسط شعاع آن آورده شده است. در ستون دوم جدول زیر یعنی مسیرهای فاقد انحنا که توسط نویسندگان اضافه شده است نشان‌دهنده پیچان‌رودهایی است که زاویه مرکزی آن‌ها صفر یا نزدیک به صفر و یا به عبارتی ضریب خمیدگی آن‌ها کمتر از ۱/۰۶ (نشان‌دهنده مستقیم بودن رودخانه) می‌باشد. مجموع ستون دوم (تعداد خطوط مستقیم) و ستون سوم (تعداد پیچان‌رودها) برابر با سطر دوم جدول ۶ است.

جدول ۹: زاویه مرکزی بازه‌ها

بازه	مسیرهای فاقد انحنا (خط مستقیم)	تعداد پیچان‌رود (دایره مماس)	حداقل (درجه)	حداکثر (درجه)	میانگین (درجه)	متوسط شعاع
۱	۳۱	۲۵	۶۴	۱۶۵	۱۱۷	۹۸
۲	۳۵	۹۱	۴۹	۱۷۰	۱۰۱	۱۷۱
۳	۲۲	۶۶	۵۵	۱۶۴	۹۹	۲۹۲
۴	۱۴	۲۹	۴۸	۱۶۹	۹۵	۳۰۶
۵	۶۷	۱۵۰	۵۷	۱۷۳	۱۱۰	۱۷۶
کل بازه‌ها	۱۶۹	۳۶۱	۴۸	۱۷۳	۲۸۲	۲۰۱

منبع: نگارندگان

فراوانی زاویه مرکزی در بازه‌ها: در جدول زیر تعداد پیچان‌رودهای بازه‌ها بر اساس طبقه‌بندی زوایا و همچنین میانگین آن‌ها آورده شده است. در این جدول پارامتر میانگین اولین بار توسط مؤلفان مقاله ارائه می‌شود که هدف از آن‌ها مشخص شدن وضعیت شکل رودخانه نسبت به حالت‌های قبل و بعد آن است. طبق جدول ۱۰ در بازه اول، رودخانه فاقد دو حالت شبه پیچان‌رودی و نعل اسبی می‌باشد ولی دارای بیشتری فراوانی در حالت پیچان‌رودی توسعه‌یافته است و درصد کمی از رودخانه به صورت خیلی توسعه‌یافته و توسعه‌نیافته است ولی طبق اطلاعات سرچشمه می‌توان این نتایج را تقریباً متناقض با واقعیت دانست زیرا در سرچشمه‌های رودخانه‌ها به علت وابستگی به میزان ریزش‌های جوی و آب‌های سطحی

و چشمه‌ها و وجود تغییرات انسانی، مسیر ثابت و پایداری را طی نمی‌کند. در بازه ۲ نیز نظیر بازه اول و سایر بازه‌ها رودخانه فاقد حالت شبه پیچان رودی و نعل اسبی می‌باشد. در این بازه رودخانه بیشتر حالت پیچان رودی توسعه‌نیافته و توسعه‌یافته را دارد، که طبق میانگین زاویه مرکزی رودخانه در اوایل توسعه‌یافتگی است. در بازه ۳ رودخانه فقط دو حالت پیچان رودی توسعه‌نیافته و توسعه‌یافته را تجربه می‌کند و کمتر از ۲ درصد آن به خیلی توسعه‌یافته است. طبق میانگین زاویه مرکزی، این بازه نیز در اوایل پیچان رودی توسعه‌یافته می‌باشد ولی نسبت به بازه ۲ توسعه‌یافتگی آن بیشتر است. بازه ۴ در دشت بهبهان قرار دارد که دو سد مارون در ابتدای بازه و سد شهدا تقریباً در وسط بازه و نیز زمین‌های مسکونی و کشاورزی و طرح‌های دولتی مورفولوژی طبیعی آن را تغییر داده است و تا حدودی می‌توان گفت ثابت و پایدار است اما در بخش‌هایی از آن به علت برداشت مصالح شن و ماسه، پهنای رودخانه عریض‌تر شده است (شکل ۱۰). این بازه نیز در حالت پیچان رودی توسعه‌نیافته و توسعه‌یافته قرار دارد. بازه ۵ بیشتر در منطقه تپه ماهوری بهبهان و بیرون از شهر قرار دارد. این بازه نیز در دو حالت پیچان رودی توسعه‌نیافته و توسعه‌یافته قرار دارد ولی میزان توسعه‌یافتگی آن بیشتر از سایر بازه‌ها است همچنین با در نظر نگرفتن بازه اول، بازه ۵ بیشترین درصد را در حالت خیلی توسعه‌یافته را به خود اختصاص داده است.



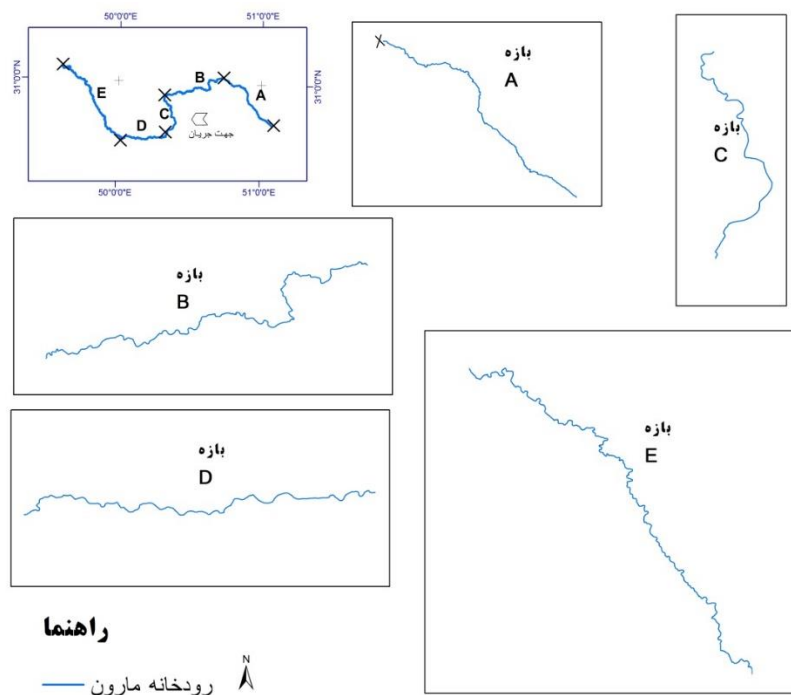
شکل ۱۰: برداشت مصالح و عریض شدن پهنای رودخانه

جدول ۱: فراوانی زاویه مرکزی بازه‌ها به همراه میانگین آن‌ها

بازه	تعریف نشده (صفر درجه)	تعداد پیچان رود	$0 < \alpha \leq 41^\circ$	$41^\circ < \alpha \leq 85^\circ$	$85^\circ < \alpha \leq 158^\circ$	$158^\circ < \alpha \leq 296^\circ$	$296^\circ < \alpha$
۱	۳۱	۲۵	۰	۱۶ درصد	۶۸ درصد	۱۶ درصد	۰
میانگین			۰	۷۵	۱۱۶	۱۶۳	۰
۲	۳۵	۹۱	۰	۳۴ درصد	۶۰ درصد	۶ درصد	۰
میانگین			۰	۶۹	۱۱۳	۱۶۴	۰
۳	۲۲	۶۶	۰	۳۹ درصد	۵۹ درصد	۲ درصد	۰
میانگین			۰	۷۰	۱۱۶	۱۶۴	۰
۴	۱۴	۲۹	۰	۳۵ درصد	۶۲ درصد	۳ درصد	۰
میانگین			۰	۷۲	۱۰۴	۱۶۹	۰
۵	۶۷	۱۵۰	۰	۲۵ درصد	۶۹ درصد	۶ درصد	۰
میانگین			۰	۷۱	۱۱۹	۱۶۵	۰
کل	۱۶۹	۳۶۱	۰	۳۰ درصد	۶۵ درصد	۵ درصد	۰
میانگین			۰	۷۱	۱۱۶	۱۶۵	۰

منبع: نگارندگان

جهت جریان: این پارامتر بر اساس تغییر جهت جریان در مقیاس بزرگ مکانی به دست می‌آید به این صورت که جهت رودخانه تا زمانی که به طور اساسی تغییر جهت ندهد ثابت در نظر گرفته می‌شود. بر اساس شکل زیر رودخانه مارون از سرچشمه تا رودخانه جراحی ۵ جهت فاحش را دارد و در شکل شماره ۱۱ نشان داده شده است. در جدول شماره ۱۱ نیز جهت بازه‌ها به همراه اختلاف ارتفاع و شیب رودخانه و طول افقی آن آورده شده است. با در نظر گرفتن مختصات جغرافیایی نقطه سرچشمه ($\phi: 30^\circ 46' 2.2''$) و مختصات جغرافیایی نقطه پایانی رودخانه ($\phi: 31^\circ 04' 28.77''$) و خط واصل بین این دو نقطه، جهت کلی جریان رودخانه (با در نظر گرفتن چهار جهت اصلی) شرقی - غربی می‌کند.



شکل ۱۱: بازه‌های شاخص جهت جریان منبع: نگارندگان

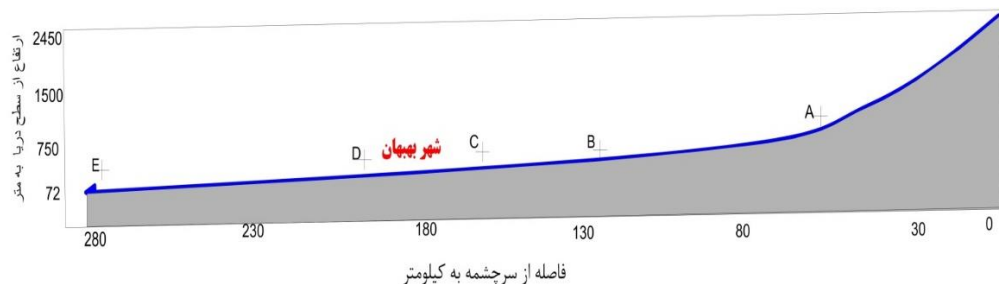
جدول ۱۱: شاخص جهت جریان

E	D	C	B	A	بازه
جنوب شرقی - شمال غربی	شرقی - غربی	شمالی - جنوبی	شمال شرقی - جنوب غربی	جنوب شرقی - شمال غربی	جهت
۱۷۰	۱۵۰ متر	۲۰۰ متر	۸۵۰ متر	۱۴۰۰ متر	اختلاف ارتفاع تقریبی
۶۱ کیلومتر	۳۱ کیلومتر	۲۵ کیلومتر	۴۰ کیلومتر	۴۶ کیلومتر	طول افقی
۰,۳	۰,۵	۱	۲,۱	۳	شیب تقریبی

منبع: نگارندگان

رودخانه‌های زاگرس به‌طور کلی دارای عدم انطباق با زمین‌شناسی منطقه است رودخانه مارون در زون زاگرس چین‌خورده و زاگرس چین‌خورده (دشت خوزستان) قرار داد قسمت بالایی این رودخانه در بین طاق‌دیس‌های زاگرس و قسمت پایینی آن در بخش مسطح و هموار قرار دارد به همین دلیل طاق‌دیس‌ها و دشت بودن مسیر حوضه در جهت و امتداد رودخانه تأثیرگذار می‌باشد در بخش بالایی حوضه رودخانه مارون به علت بالا بودن ارتفاع حوضه میزان دما کاهش و میزان نزولات جوی افزایش می‌یابد و باعث افزایش دبی رودخانه می‌شود و خود می‌تواند از طریق نیروی جریان و حجم و بافت رسوب باعث تغییرات الگوی رودخانه گردد ولی برای اثبات و بررسی دقیق این موارد باید پژوهش‌های میدانی و کتابخانه‌ای فراوانی انجام داد که جزء اهداف این پژوهش نیست.

هیدروژئومورفولوژی منطقه: از آنجایی که هیچ دو رودخانه‌ای دقیقاً مثل هم نیست ولی اصول کلی هیدروژئولوژی و ژئومورفولوژی به همراه درک محتوای تاریخی و معاصر فردی هر رودخانه جهت ارزیابی واکنش‌های زیستی، فیزیکی به فعالیت‌های انسانی می‌تواند استفاده قرار گیرد (مونتگومری^۱، بولتون، ۲۰۰۳). تنوع الگوهای کانالی تابعی از محدوده بزرگی از شرایط هیدروژئولوژیکی، خصوصیات رسوبی، زمین‌شناسی است بنابراین الگوی رودخانه کلیدی برای سایر خصوصیات رودخانه (مورفولوژیک، دینامیک) است (شوم، ۱۹۸۵). شکل ۱۲ مربوط به پروفیل طولی رودخانه مارون است. شیب متوسط رودخانه کمتر از ۱/۵ درصد و شیب هندسی دو نقطه ابتدا و انتهای رودخانه حدود ۱/۷ درصد است. شیب رودخانه در طول مسیر در بازه‌های مختلف فرق می‌کند و از سرچشمه تا انتهای بازه ۳ حدود ۲ درصد و از ابتدای بازه ۴ تا انتهای بازه ۵ حدود ۰/۵ درصد می‌باشد، بنابراین طبق توپوگرافی منطقه شیب قسمت بالایی مسیر رودخانه که در بخش کوهستانی قرار دارد بیشتر از شیب قسمت پایینی رودخانه که در دشت و مناطق نسبتاً هموار قرار دارد بیشتر است. در قسمت‌های پایین دست رودخانه مارون، به علت شیب کم منطقه رودخانه بیشتر می‌تواند از حالت مستقیم به سایر الگوهای رودخانه تغییر الگو دهد. در قسمت‌های بالادست صرف‌نظر از سایر عوامل، عوامل وجود طاقدیس‌ها و نیز شیب پروفیل طولی رودخانه بر الگوی رودخانه مؤثر است. رسوبات دانه‌درشت رودخانه مارون (در حد قلوه‌سنگ و تخته‌سنگ) تقریباً تا اواسط بازه ۵ نهشته شده است و پس از آن رسوبات دانه‌ریز در پادگانه رودخانه و مناطق پست اطراف آن قرار دارد.



شکل ۱۲: نیمرخ طولی رودخانه مارون منبع: نگارندگان

طول رودخانه مارون حدود ۲۸۰ کیلومتر است و از سرچشمه تا سد مارون حدود ۱۵۰ کیلومتر و از سد مارون تا ابتدای رودخانه جراحی حدود ۱۳۰ کیلومتر می‌باشد طبق شکل شماره ۲ و ۳ می‌توان حوضه مارون را بیشتر حالت کوهستانی در نظر گرفت در قسمت‌های پایین دست، رودخانه وارد دشت خوزستان می‌شود که توپوگرافی ضعیف و همواری دارد دشت‌های بهبهان و جایزان در قسمت‌های سفلی حوضه قرار دارد که سکونت‌های پیش از تاریخ و تاریخی بسیاری در آن وجود دارد همان‌طور که در شکل‌های بالا می‌شود شکل حوضه تقریباً مستطیل نامنظم با ابعاد تقریبی ۱۴۰ کیلومتر طول و ۵۰ کیلومتر عرض و مساحت ۷۳۰۰ کیلومتر مربع در دو استان کهگیلویه و بویر احمد و استان خوزستان قرار دارد. آب رودخانه مارون در بالادست از کیفیت مطلوبی برخوردار است و رودخانه‌های دائمی به آن ملحق می‌شود ولی در پایین دست به علت عبور

¹ - Montgomery and Bolton

از سازندهای گچی و آهکی از کیفیت آن کاسته می‌شود ولی باین وجود در کنار رودخانه مارون شهرهای مهمی چون بهبهان، جایزان، رامشیر، شادگان به وجود آمده است. همچنین در پایین دست سد مارون سکونت‌گاه‌های پیش از تاریخ و تاریخی بسیاری طبق شواهد میدانی، مصاحبه‌ها، مطالعات کتابخانه‌ای حفاری و کشف شده است که بعضی از آن‌ها به هزاره ۸ پیش از میلاد نیز برمی‌گردد (گزارش باستان‌شناسی، ۱۳۹۵).

بررسی خطاها

طبق مطالعات نویسندگان، مبحث خطاها در پژوهش‌های ژئومورفولوژیکی به ندرت بررسی می‌شود در صورتی که برای بالا بردن دقت کمی و پیش‌بینی اثرات فرایندها نیاز است یکسری از خطاها و اشتباه‌ها به دقت مورد مطالعه قرار گیرد تا روند پیش‌بینی و بررسی فرایندها با صحت بیشتری انجام گیرد. اختلاف بین کمیت اندازه‌گیری شده با مقدار واقعی آن کمیت را خطا گویند. این اختلاف ناشی از نقص در دستگاه‌های اندازه‌گیری، روش اندازه‌گیری، عوامل طبیعی، عوامل انسانی است. چنانچه مقدار اختلاف بیشتر از حد مجاز باشد به آن اشتباه گویند. اشتباه باید از مشاهدات اندازه‌گیری حذف شود ولی مقدار خطاها (اتفاقی، سیستماتیک) را باید حذف و یا به حداقل رساند که جهت رسیدن به این هدف می‌باید مقدار عوامل خطرزا و روش‌های فرموله کردن خطاهای آن‌ها را شناسایی و میزان تصحیحات آن‌ها را در نتایج اعمال نمود (رنجبر و حاجی‌زاده، ۱۳۹۴). در پژوهش حاضر عوامل غالب خطا را می‌توان شامل: (۱) رقومی کردن رودخانه؛ (۲) نقاط تغییر انحنا و ترسیم برازش دوایر؛ (۳) محاسبه طول قوس؛ (۴) داده‌های کسب‌شده از بازدیدهای میدانی دانست.

هر کدام از عوامل فوق می‌باید کمتر از مقدار مجاز باشد و باید از روش‌ها و روابطی استفاده کرد که مقدار این خطاها را حذف یا به حداقل رساند. تنها خطاهای موجود در روش این پژوهش بعد از رقومی کردن مسیر رودخانه نحوه ترسیم دایره و ترسیم طول وتر دایره است که برای کاهش این خطاها می‌باید با بزرگنمایی بالا از مسیر رقومی شده دایره‌ها را برازش و نقاط تغییر انحنا را مشخص نمود. همچنین برای کاهش خطاهای رقومی کردن مسیر رودخانه می‌باید از نقشه‌ها، تصاویر و مدل‌های ارتفاعی دقیق و با رزولوشن بالا استفاده نمود که در هنگام کار بتوان با بزرگنمایی بالا، این مسیر را رقومی کرد. همچنین جهت کنترل صحت و دقت داده‌ها می‌باید بازدیدهای میدانی را طبق اهداف پژوهش و برنامه‌های کاری دقیق انجام داد در بازدیدهای میدانی باید در حد امکان داده‌های برداشت شده پراکندگی خوبی داشته باشند و از داده‌هایی که احتمال غیرطبیعی و مصنوعی بودن آن‌ها وجود دارد اجتناب شود. برای مثال طبق قانون انتشار خطاها برای پارامتر ضریب سینوسیته می‌توان گفت:

$$S = (C / L) \quad (1)$$

$$\sigma_s = f(\sigma_c, \sigma_L) \quad (2)$$

$$\sigma_s = f(\sigma_c, \sigma_L) = \sqrt{\left(\frac{\partial S}{\partial C}\right)^2 \sigma_c^2 + \left(\frac{\partial S}{\partial L}\right)^2 \sigma_L^2} \quad \text{Error Propagation Law (3)}$$

$$\sigma_s = \sqrt{\left(\frac{1}{L}\right)^2 \sigma_c^2 + \left(\frac{-C}{L^2}\right)^2 \sigma_L^2} = \frac{1}{L} \sqrt{\sigma_c^2 + \left(\frac{C}{L}\right)^2 \sigma_L^2} \quad (4)$$

بنابراین طبق رابطه (۴) می‌توان نتیجه گرفت که خطای ضریب سینوسیته وابسته به مشاهدات L, C است و صحت مشاهده L مهم‌تر از صحت مشاهده C می‌باشد زیرا نسبت $\frac{C}{L} \geq 1$ است. بنابراین باید در محاسبات کمیت L با دقت بیشتری محاسبه شود.

نتیجه‌گیری

با توجه به جداول یافته‌ها و بر اساس شاخص خمیدگی الگوی رودخانه مارون به‌طور کلی از نوع سینوسی است که می‌توان پیچان رودی شدن آن را با توجه به نزدیکی میانگین ضریب خمیدگی به پیچان رودی، در آینده پیش‌بینی کرد. در بازه ۱ بیشترین حالت نزدیکی به پیچان رودی را دارد که وجود توپوگرافی طاق‌دیس‌امکان توسعه عرضی به رودخانه نسبت به سایر بازه را کمتر می‌دهد. این بازه نسبت به سایر بازه‌ها تغییر جهت جریان فاحش کمتری در درون بازه نسبت به سایر بازه‌ها دارد. بازه ۱ و ۲ می‌تواند در زمان‌های تغییرات فاحش در ورودی آب، الگوی شریانی را نیز پیدا کند. در بازه ۴ و ۵ به علت ساخت دو سد بزرگ، الگوی رودخانه در زمان‌های خشک‌سالی و باز شدن دریچه‌های سد تغییر می‌کند. در این دو بازه به‌خصوص بازه ۵ می‌توان الگوی شریانی را برخلاف محاسبه‌ها مشاهده کرد که علت تفاوت آن را می‌توان در اختلاف زمان‌های بازدید میدانی و محاسباتی دانست. در درون بازه‌ها می‌توان حالت‌های مختلف نوع رودخانه نظیر مستقیم، پیچان رودی، پیچان رودی شدید رودخانه را مشاهده کرد که جهت رسیدن به این نوع شکل رودخانه می‌باید بازه‌های رودخانه کوتاه‌تر انتخاب گردد. به‌طور کلی و بر اساس نتایج جداول و طبق شاخص زاویه مرکزی رودخانه مارون در بازه‌ها فاقد خطوط مستقیم (طولانی) و نعل اسبی است و پیچان‌رودهای آن از نوع توسعه‌نیافته و توسعه‌یافته است که در آینده به سمت توسعه‌یافتگی پیش می‌رود. بر اساس جهت جریان و مختصات سرچشمه و پایانی در یک تقسیم‌بندی می‌توان رودخانه مارون را از نوع شرقی-غربی دانست. این نوع تقسیم‌بندی می‌تواند در مدیریت بهینه رودخانه‌ها و مقایسه آن‌ها کمک نماید. روش‌های استخراج مورفومتری رودخانه‌ها نیاز به فرمول‌سازی دقیق‌تر و روش‌های جدیدی دارد که مورفومتری رودخانه را آسان‌تر و کاربردی‌تر ارائه دهد تا ماحصل آن در مدیریت آبی رودخانه‌ها اثربخشی بیشتری را داشته باشد. با داشتن جهت جریان هر رودخانه‌ای می‌توان محدوده مکانی هر مطالعه رودخانه‌ای را بر اساس یک بازه یا چند بازه مشخص نمود و دلایل مختلف تغییرات را در بازه را متناسب به علل تغییر جهت تجزیه و تحلیل نمود. بازه‌هایی که در بین طاق‌دیس‌ها واقع هستند مورفومتری آن‌ها تحت تأثیر طاق‌دیس‌ها نیز قرار می‌گیرد و جهت کلی آن‌ها را مشخص می‌کند. عوامل تکتونیک، لیتولوژی و فرسایش در مورفومتری رودخانه مارون دخیل هستند که جهت اثبات دقیق و کمی این نتیجه می‌توان پژوهش‌های به‌صورت میدانی و در بازه‌های کوتاه‌تر از پژوهش انجام داد. در بعضی از قسمت‌های رودخانه مارون نظیر تنگ تکاب، رودخانه از نوع عرضی است. شهرها و روستاهای فعلی کنار رودخانه و نیز سکونتگاه‌های پیش از تاریخ آن متأثر از آب رودخانه و میزان شدت و قدرت فرسایش آن است در صورتی که مدیریت صحیحی در مورد مورفومتری رودخانه و پیش‌بینی‌های لازم در آینده صورت نگیرد مسائل زیست‌محیطی و انسانی در پی خواهد داشت. طبق شاخص جهت جریان

جهت کلی رودخانه شرقی - غربی است. بالا بودن دبی رودخانه و وسعت حوضه رودخانه مارون تأثیرات زیادی بر الگوی رودخانه گذاشته است.

تقدیر و تشکر

این مقاله از رساله دکتری استخراج شده است. از جناب آقای دکتر عباس مقدم استادیار پژوهشگاه سازمان میراث فرهنگی و گردشگری به خاطر راهنمایی ارزشمند و در اختیار قرار دادن امکانات سفر تشکر می‌گردد. همچنین از مدیریت بهره‌برداری سد مارون مهندس مکاری بهبهانی به خاطر امکانات اسکان قدردانی می‌شود.

منابع

- ۱- اصغری سراسکانرود، صیاد (۱۳۹۲): بررسی و تحلیل الگوهای متفاوت رودخانه شهر چای ارومیه، دو فصل‌نامه ژئومورفولوژی کاربردی ایران، صص ۷۵-۸۸.
- ۲- بریج، جان اش (۱۳۸۷): رودخانه‌ها و دشت‌های سیلابی، ترجمه رضایی مقدم، محمدحسین، ثقفی، مهدی، چاپ اول، انتشارات سمت.
- ۳- حسینی زارع، نادر، سعادت، نغمه (۱۳۸۴): برآورد فرسایش و رسوب با استفاده از اطلاعات رسوب سنجی و محاسبه رسوب بار معلق در حوضه‌های آبریز رودخانه‌های استان خوزستان، سومین همایش ملی فرسایش و رسوب (مقاله شفاهی).
- ۴- رضایی مقدم، محمدحسین، ثروتی، محمدرضا، اصغری سراسکانرود، صیاد (۱۳۹۱): بررسی الگوی پیچان‌رودی رودخانه قزل‌اوزن با استفاده از شاخص‌های ضریب خمیدگی و زاویه مرکزی، فصل‌نامه جغرافیا، دوره جدید سال دهم، شماره ۳۴، صص ۸۵-۱۰۲.
- ۵- رنجبر، ابوالفضل، حاجی‌زاده، عبدالحسین (۱۳۹۴): تئوری خطاها، چاپ دوم، تهران، انتشارات ماهواره.
- ۶- شمسی، احمد طاهر، ایمان شعار، فرهاد (۱۳۸۸): بررسی رابطه بین پارامترهای هندسی مآندره‌های رودخانه و ضریب سینوسیته، نشریه مهندسی عمران و محیط‌زیست، دوره ۴۱، شماره ۲، صص ۱۹-۲۶.
- ۷- فرجی، عبدالله، دوستکامیان، مهدی، نوروزی، خدیجه (۱۳۹۱): بررسی ویژگی‌های مورفومتری و فیزیوگرافی حوضه رودخانه ایزدخواست با استفاده از GIS، اولین همایش بین‌المللی بحران‌های زیست‌محیطی ایران و راهکارهای بهبود آن، دانشگاه آزاد علوم تحقیقات اهواز.
- ۸- قربانی، مژگان (۱۳۸۵): گزارش پروژه بررسی روند تغییرات کمی آب مخزن سد مارون و شناسایی عوامل مؤثر احتمالی در افزایش اتریفیکاسیون مخزن، سازمان مجری؛ آموزشکده فنی صنعت آب و برق خوزستان.
- ۹- قریشی، منوچهر (۱۳۹۳): پژوهش و بررسی نو زمین‌ساخت، لرزه زمین‌ساخت و خطر زمین‌لرزه-گسلش در گستره چهارگوش بهبهان، پژوهش و بررسی لرزه‌زمین‌ساخت ایران‌زمین: بخش دوازدهم، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، مجری فنی: منوچهر قرشی.
- ۱۰- کهربائیان، پرویز، بهنیافر، ابوالفضل، شاکری زارع، حجت، رضایی عارفی، محسن (۱۳۹۳): تحولات مورفولوژیکی و الگوی پیچان‌رودی بستر رودخانه مرزی هریرود با استفاده از RS، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، سال سوم، شماره ۳، صص ۵۳-۶۴.

- ۱۱- گزارش بهنگام سازی تلفیق مطالعات منابع آب حوضه آبریز رودخانه‌های هنديجان - جراحی (۱۳۸۸): جلد سوم، تجزیه و تحلیل آمار و اطلاعات و بیلان آب، معاونت مطالعات پایه منابع آب، شرکت سهامی سازمان آب و برق خوزستان.
- ۱۲- گزارش پانزدهمین گردهمایی سالانه باستان‌شناسی ایران (۱۳۹۵): برگزار کننده: سازمان میراث فرهنگی، صنایع‌دستی و گردشگری، پژوهشکده باستان‌شناسی، موزه ملی ایران.
- ۱۳- محمدیاری، فاطمه، پورخیزاب، حمیدرضا، توکلی، مرتضی، اقدر، حسین (۱۳۹۳): تهیه نقشه پوشش گیاهی و پایش تغییرات آن با استفاده از تکنیک‌های سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، مطالعه موردی: شهرستان بهبهان، فصلنامه علمی پژوهشی سپهر، دوره ۲۳، شماره ۹۲.
- ۱۴- معروفی، صفر، طبری، حسین (۱۳۹۰): آشکار سازی روند تغییرات دبی رودخانه مارون با استفاده از روش‌های پارامتری و نا پارامتری، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، سال ۲۶، شماره دوم، شماره پیاپی ۱۰۱.
- ۱۵- مقصودی، مهران، زمان زاده، سید محمد، یمانی، مجتبی، حاجی‌زاده، عبدالحسین (۱۳۹۵): تحلیل عوامل محیطی در مکان‌گزینی سکونت‌گاه‌های پیش از تاریخ، چهارمین همایش ملی انجمنی ایرانی ژئومورفولوژی، تهران، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، آبان ماه.
- ۱۶- مقصودی، مهران، شرفی، سیامک، مقامی، یاسر (۱۳۸۱): روند تغییرات مورفولوژیکی رودخانه خرم‌آباد با استفاده از RS، GIS، Autocad، فصل‌نامه مدرس علوم انسانی، شماره ۶۸، صص ۲۹۴-۲۷۵.
- ۱۷- یزدان پناه اسرمی، مهدی، استاد راهنما: مقیمی، ابراهیم، علوی پناه، سید کاظم (۱۳۹۱): پایان‌نامه جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد، در رشته ژئومورفولوژی و برنامه‌ریزی محیطی، آشکارسازی تغییرات هندسی رودخانه قم رود (از سد کوچری تا سد پانزده خرداد)، دانشگاه تهران، تهران، ص ۵.
- ۱۸- یمانی، مجتبی، حسن‌زاده، محمد مهدی (۱۳۸۳): بررسی الگوی پیچان‌رودی رودخانه تالار با استفاده از شاخص‌های ضریب خمیدگی و زاویه مرکزی، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی شماره ۷۳، صص ۱۴۴-۱۵۴.
- ۱۹- یمانی، مجتبی، رحیمی، مسعود، ویسی، عبدالکریم (۱۳۹۴): مورفومتری و مقایسه تغییرات عرضی رودخانه ارس طی سه دهه اخیر، مطالعه موردی: پایین‌دست سد میل مغان، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، سال سوم، شماره ۴، بهار ۹۴، صص ۷۴-۸۹.
- ۲۰- یمانی، مجتبی، شرفی، سیامک (۱۳۹۰): ژئومورفولوژی و عوامل مؤثر در فرسایش کناری رودخانه هریرود در استان لرستان، مجله جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، سال ۲۳، پیاپی ۴۵، شماره ۱، صص ۱۵-۳۲.
- ۲۱- یمانی، مجتبی، شرفی، سیامک (۱۳۹۱): پارامترهای هندسی و نقش آن‌ها در تغییرات زمانی - مکانی بستر رودها نمونه موردی: رودخانه هریرود سرشاخه رود کرخه در استان کردستان، مجله جغرافیا و توسعه، شماره ۲۶.
- 22- Gregory, K.L., (2006): The Human Role in Changing River Channels, *Journal of Geomorphology* 79, pp: 172-191.
- 23- Leopold, L. C.; Wolman, M. G.; Miller, J. P.(1964): *Fluid Process in Geomorphology*, Freeman publishers, San francisco, pp.522.
- 24- Matsuda, I., (2004): *River Morphology and Channel Processes*. Fresh Surface Water - Vol. 1. Pp. 1-5 - Encyclopedia of Life Support Systems.
- 25- Montgomery, D.R., Bolton, S.M., (2003): *Hydro Geomorphic Variability River Restoration*, 39-80. American Fisheries Society.
- 26- Petts, G. E., et al, (1986): *Historical Change Alluvial River*, John Wiley and Sons
- 27- Schumm, S. A., (1985): *Patterns of Alluvial Rivers*, *Earth Planet. Sci.* 13: 5-27.
- 28- Sear, A., David. Newson, D., Malcolm, and Thorne, R., Colin, (2003): *Guidebook of Applied Fluvial Geomorphology*, R&D Technical Report FD1914, Publishing Organization Defra, London.
- 29- Singh, V., (2011): *Basin Morphometry of Maingra River, District Gwalior, Madhya Pradesh Indian*, *Internationa Journal of Geomatics and Geosciences*, Vol. 1., No. 4.
- 30- Thomas D.S.G. (Ed). (2011): *Front Matter*. In: *Arid Zone Geomorphology: Process, Form and Change in Dry Lands*, 3rd Edition, John Wiley & Sons, Ltd, Chichester, UK. doi: 10.1002/9780470710777.Fmatter.

- 31- Tooth S. and G.C. Nanson. (2011): Distinctiveness and Diversity of Arid Zone River Systems. In: Arid Zone Geomorphology: Process, Form and Change in Drylands, 3rd Edition (Thomas 32- D.S.G. Ed.), John Wiley & Sons, Ltd, Chichester, UK. doi: 10.1002/9780470710777.ch12.
- 32- Whipple, K. (2004): Alluvial Channels and Their Landforms, Surface Processes and Landscape Evolution, 12.163/12.463.