

فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، سال ۳۰، شماره چهارم، زمستان ۱۳۹۴، شماره پیاپی ۱۱۹

Dr.S. Asghari Saraskanroud

دکترصیاد اصغری سراسکانرود، استادیار گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی

Dr.B. Zeinali

دکتربتول زینالی، استادیار گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی

s.asghari@Urmia.ac.ir

بررسی الگوی پیچان رودی رودخانه گرمی چای استان آذربایجان شرقی با استفاده از روش‌های ژئومورفولوژی و تحلیل فراکتال

چکیده

مسیر رودخانه‌های پیچان رودی نشان دهنده خصوصیات مورفولوژیکی این رودخانه‌ها می‌باشد که این مسیر، مستقیم نبوده و دارای خمیدگی‌های عمده با خصوصیات هندسی متفاوت و گاه‌آ‌ شبیه به هم در طول مسیر رودخانه می‌باشد. در سال‌های اخیر برای بیان این مسیر که دارای بعدی بین ۱ تا ۲ می‌باشد از هندسه‌ای به نام هندسه فراکتال استفاده می‌گردد. هدف این تحقیق، بررسی الگوی پیچان رودی رودخانه گرمی چای با استفاده از روش‌های ژئومورفولوژی و تحلیل فراکتال می‌باشد. بدین منظور رودخانه گرمی چای به دو بازه تقسیم گردید. سپس با استفاده از روش‌های ضریب خمیدگی و زاویه مرکزی، الگوی هندسی رودخانه در هر دو بازه تعیین گردید. در مرحله بعد با استفاده از هندسه فراکتال، بعد فراکتالی برای هر بازه تعیین گردید. نتایج نشان داد که رودخانه گرمی چای یک رودخانه پیچان رودی می‌باشد و بین بعد فراکتالی و پارامترهای ضریب خمیدگی و زاویه مرکزی ارتباط مستقیمی وجود دارد. بنابراین بعد فراکتالی نیز مانند سایر روش‌های شناسایی الگوی رودخانه‌ها می‌تواند به عنوان پارامتر هندسی جدید وارد مدل‌های ریخت‌شناسی رودخانه‌های پیچان رودی گردد.

واژگان کلیدی: پیچان رود، شاخص‌های ضریب خمیدگی و زاویه مرکزی، هندسه فراکتال، گرمی چای.

مقدمه

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، ۲). بسیاری از پژوهشگران بر این باورند که اصولاً طبقه بندی الگوی رودخانه و برقراری رابطه بین مورفولوژی و فرایندهای صورت گرفته در رودخانه، پژوهشگران را در درک صحیح و همچنین پیش بینی واکنش‌های ناشی از فعالیت‌های انسانی و عوامل طبیعی رودخانه، کمک خواهد کرد (مونتگومری و بافینگتون، ۱۹۹۷، ۵۹۷). محققان زیادی در مورد مورفولوژی سیستم رودخانه‌ای تحقیقاتی انجام داده اند و تقسیمات مختلف و بحث‌های زیادی در مورد فرایندهای موثر بر آنها ارائه شده است

(نیری، ۱۳۸۹، ۱۲) الگوهای مجاری معمولاً به وسیله نقشه یا عکس‌های هوایی و تصاویر ماهواره‌ای که الگوهای مجرا در آنها به طور لحظه‌ای نقش می‌بندد تعیین می‌شود. ولی چون امکان تهیه نقشه، عکس و تصاویر ماهواره‌ای هم زمان با افزایش و کاهش جریان به طور ممتد امکان پذیر نیست به این جهت توصیه شده است الگوی مجرا در هنگامی که جریان در حد وسط قرار دارد تعیین شود و مورد قبول اکثر محققان است (بریچ، ۱۳۷۸، ۲۸۴). رودخانه‌های آبرفتی در مسیر خود به طور عمده پیچ و خمهای بسیاری را شامل می‌شوند، این پیچ و خم‌ها در اکثر مواقع منظم نیستند ولی در قسمتهایی به صورت قرینه نیز مشاهده می‌شوند که به اینها پیچان رود (مآندر) اطلاق می‌گردد (ادوارد و اسمیت، ۲۰۰۱، ۱۲). این خمها (مآندرها) در اثر حرکت افقی رودخانه به وجود آمده‌اند و خود باعث تغییرات آتی در مسیر رودخانه می‌شوند، که با تجزیه و تحلیل فراوانی و اندازه خصوصیات پیچان‌ها در طول رودخانه و در زمان‌های مختلف روند تغییرات رودخانه در بعد مکان و زمان، و ویژگیهای الگوی هندسی رودخانه قابل بررسی خواهد بود (لانکستر و بارز، ۲۰۰۲، ۲). تاکنون محققین زیادی الگوی پیچانرودی و مورفولوژی رودخانه‌های پیچانرودی را مورد بررسی قرار داده‌اند که از آنجمله می‌توان به نوحه گر و یمانی (۱۳۸۲، ۶۴)؛ ارشد و همکاران (۱۳۸۶، ۱۸۰)؛ رضائی مقدم و خوشدل (۱۳۸۸، ۱۰۱)؛ یمانی و همکاران (۱۳۸۹، ۲۱۵)؛ رضایی مقدم و همکاران (۱۳۹۱، الف، ۸۵)؛ لئوپولد و ولمن^۱ (۱۹۶۰، ۷۶۹)؛ یانگ و همکاران^۲ (۱۹۹۹، ۱۴۶)؛ برتولدی و بیلی^۳ (۲۰۰۲، ۳۱۰)؛ سارما^۴ (۲۰۰۵، ۲۲۶)؛ زامولی و همکاران^۵ (۲۰۱۰، ۲۳۱) و هوک^۶ (۲۰۱۳، ۲۶۰) اشاره کرد. در این تحقیقات، محققین با استفاده از روشهای ژئومورفولوژی در نواحی مختلف، نحوه ایجاد، تغییر، تکامل و ویژگیهای پیچان رودها و الگوهای مختلف رودخانه‌ها را مورد بررسی قرار داده‌اند.

هندسه فراکتالی در واقع فضای موجود ریاضی که براساس هندسه اقلیدسی به فضاهای یک، دو و سه بعدی طبقه‌بندی می‌گردد را به صورت فضای فراکتالی که بی‌نظمی‌ها و خصوصیات اشکال را به یک بعد حقیقی که لزوماً یک عدد طبیعی نمی‌باشد، نمایش می‌دهد (قدم پور و طالب بیدختی، ۲۰۱۳، ۲) هندسه فراکتال یکی از مهمترین روشهای ساختاری است که با تعیین بعد فراکتال ساختارهای خطی مثل گسلها، آبراهه‌ها و مسیر پر پیچ و خم رودخانه‌ها می‌توان بسیاری از خصوصیات آنها (میزان جابجایی، شناسایی میزان تغییرات و...) را تخمین زد (تورکوتی^۷، ۱۹۹۲، ۱۲۱). هندسه فراکتال برتری عمده‌ای با سایر شیوه‌های قبلی دارد که در آنها کمی‌سازی و شبیه‌سازی الگوهای پیچیده طبیعی از طریق روشهای توصیفی و مدل‌های عموماً انعطاف ناپذیر صورت می‌گرفته است (راچر و فلور^۸، ۱۹۹۳، ۸۵۶) اشیاء فراکتالی عموماً خود-متشابه می‌باشند. این به

1. Leopold and Wolman
2. Yang et al
3. Bartholdy, and Billi
4. Sarma
5. Zamolyi et al
6. Hooke
7. Turcotte
8. Roach and Fowler

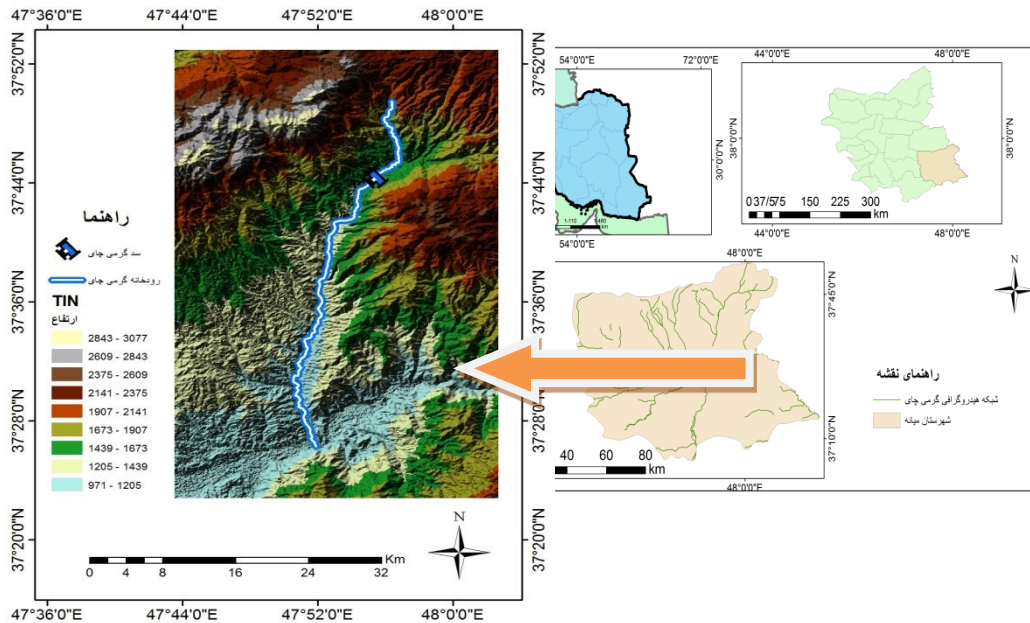
آن معناست که الگویی مشابه در اجزاء مختلف این اشیاء به چشم می‌خورد. براساس میزان تشابه موجود در بین اجزاء گوناگون این اشیاء که می‌تواند از صد در صد خود متشابه بودن (متشابه بودن قطعی) آغاز گردد و به درجات کوچکتری از تشابه (تشابه تصادفی یا آماری) ختم گردد که روش‌های مختلفی برای تحلیل ریاضی آن‌ها پدید آمده است (نیکویی و همکاران، ۲، ۱۳۸۷). در حقیقت تمامی منحنی‌های پیچیده در طبیعت ایده‌ی تکرار الگو در درون خود، را به همراه دارند ولی با این تفاوت عمده که در بعضی از منحنی‌های طبیعی همانند رودخانه‌ها الگوی تکرار شونده در سراسر رودخانه یکی نیست و در بخش‌های مختلف الگوی متفاوتی بوده که تکرار شده است (نیکورا و همکاران^۱، ۱۹۹۳، ۳۵۶۳). بررسی خصوصیات ژئومورفولوژیکی رودخانه‌ها عمدتاً با نگرش اقلیدسی همراه بوده است، مسیر رودخانه‌ها مستقیم نبوده و دارای خمیدگی‌های عمده‌ای در مسیر رودخانه همراه با تغییر مسیر می‌باشد با توجه به آن که در هندسه فراکتالی، منحنی‌های موجود در صفحه دارای بعدی بین ۱ تا ۲ بوده و تغییرات منحنی باعث تغییر در بعد آن در صفحه (بین خط مستقیم یا بعد ۱ و صفحه کامل یا بعد ۲) می‌گردد، به نظر می‌رسد، بعد فراکتالی می‌تواند شاخصی مناسب برای بیان تغییرات رودخانه‌های پیچان‌رودی در پلان بوده و به عنوان پارامتر هندسی جدید وارد مدل‌های ریخت‌شناسی رودخانه‌های پیچان‌رودی گردد (قدم پور و طالب بیدختی، ۳، ۱۳۹۰) برای مثال نیکورا (۱۹۹۱، ۱۳۲۷) نشان داد که بعد فراکتالی رودخانه‌ها دارای یک رابطه توانی با نسبت طول رودخانه به طول مسیر مستقیم یا نسبت شیب رودخانه به شیب مسیر مستقیم رودخانه دارد، نتیجه این تحقیق نشان داد که می‌توان به جای پارامتر میزان انحنا در مسیر رودخانه از بعد فراکتال استفاده نمود. لذا بعد فراکتالی می‌تواند به عنوان یک کمیت جدید به پارامترهای معرف نوار پیچان‌رود اضافه گشته و بیانگر میزان میزان سینوسی و پیچیده بودن رودخانه در پلان باشد هرچه رودخانه نامنظم‌تر و پیچیده‌تر باشد دارای بعد فراکتالی بیشتری می‌باشد. و هر چه مستقیم‌تر و خمیدگی کمتر و پیچان‌رودهای کمتری باشد دارای بعد فراکتالی کمتر و نزدیک به ۱ را خواهد داشت. محققین مختلف نشان داده‌اند که رودخانه‌های پیچان‌رودی دارای مفهوم فراکتالی می‌باشند که از آنجمله می‌توان تحقیقات زیر اشاره کرد؛ رضایی مقدم و همکاران (۱۳۹۱، ب، ۱۱۹) تغییرات الگوی هندسی رودخانه قزل اوزن را در سالهای ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۷ با استفاده از هندسه فراکتال مورد بررسی قرار دادند این محققین در این تحقیق مسیر رودخانه قزل اوزن را در محدوده مورد مطالعه به سه بازه کوهستانی، بازه دشتی و بازه نیمه کوهستانی تقسیم کرده، سپس با استفاده از روش شمارش جعبه، بعد فراکتالی رودخانه را محاسبه کردند نتیجه تحقیق نشان داد که حداکثر میزان بعد در سالهای مختلف مربوط به بازه دشتی به علت تغییرات زیاد بوده و حداقل تغییرات فراکتالی در سالهای مورد بررسی مربوط به بازه کوهستانی به علت تغییرات بسیار اندک رودخانه بوده است. ادی و همکاران^۲ (۱۹۹۴، ۲۸۸) با استفاده از خصوصیات خود تکراری فراکتالی، مسیر و مرز حوضه رودخانه‌های مختلف را مورد بررسی قرار دادند. در این تحقیق با استفاده از مدل شبیه‌سازی

شبکه‌های رودخانه‌ای و چشم انداز حوضه، ارتباط بین ویژگی خود تکراری فراکتالی مجرای اصلی و حوضه آبخیز نشان داده شد. بین و همکاران^۱ (۲۰۰۸، ۲۶۷) ساختار و نحوه تشکیل مآذره‌های رودخانه جبالینگ در چین را مورد مطالعه قرار دادند. در این تحقیق برای محاسبه بعد فراکتالی از روش شمارش جعبه‌ای استفاده شد نتیجه تحقیق نشان داد که بعد فراکتالی را می‌توان به عنوان یک ویژگی از بخش پیچان رودی این رودخانه معرفی کرد. شن و همکاران^۲ (۲۰۱۱، ۶۴) ویژگی‌های فراکتالی مجرای اصلی رودخانه زرد چین و ارتباط آن را با تکتونیک مورد بررسی قرار دادند، در این مطالعه با استفاده از روش تغییر تقسیم گر در مقیاس‌های مختلف، بعد فراکتالی رودخانه محاسبه شد نتایج تحقیق نشان داد که بالابودن بعد فراکتالی مربوط به مناطق حداکثر بالآمده و جزو مناطق فعال تکتونیک می‌باشند، لیانگ و همکاران^۳ (۲۰۱۲) روشهای مختلف محاسبه بعد فراکتالی برای بستر رودخانه‌های مختلف محاسبه کردند این محققین در این مطالعه از روشهای یارد استیک^۴، روش شمارش جعبه و روش تابع ساختار^۵ برای محاسبه بعد فراکتالی استفاده کردند. نتیجه این تحقیق نشان داد که روش تابع ساختار روش مناسبی برای محاسبه بعد فراکتالی پروفیل سطوح ناهموار رودخانه‌ها می‌باشد. بنابراین این تحقیق در پی آن است که اولاً خصوصیات پیچان رودی رودخانه گرمی چای را با استفاده از روش‌های کلاسیک ژئومورفولوژی بررسی کند و الگوهای رودخانه را در نواحی مختلف مشخص سازد، ثانیاً در پی معرفی روش جدید برای اضافه کردن به مدل‌های بررسی رودخانه‌های پیچان رودی می‌باشد، ثالثاً نتایج روش‌های کلاسیک ژئومورفولوژی را با نتایج هندسه فراکتالی مقایسه و تحلیل بکند.

منطقه مورد مطالعه

حوضه واحد هیدرولوژیک گرمی چای در مختصات جغرافیایی " ۵۶' ۲۶" تا " ۴۷' ۴۷" ۴۸' ۴۷" طول شرقی و " ۴۵' ۲۲' ۳۷" تا " ۵۸' ۴۸' ۳۷" عرض شمالی رودخانه گرمی چای دارای طول ۵۵ کیلومتر و ارتفاع آن در مبداء ۲۵۰۶ متر از سطح دریا برآورد شده است. مساحت این حوضه ۶۱۶۲۲.۱ هکتار که ۱/۳۴ درصد از مساحت استان آذربایجان شرقی را به خود اختصاص داده است. دو ایستگاه هیدرومتری ساری قمیش و چیتاب در حوضه احداث شده است. الگوی حوضه طرح شبکه آبراه‌های مربع مستطیلی و تراکم شبکه آبراه‌های در این واحد هیدرولوژیک ۰/۳۶ کیلومتر در کیلومتر مربع می‌باشد. احداث سد در رودخانه گرمی چای باعث تغییر در فرایندهای هیدرولوژیکی و مورفولوژیکی رودخانه در بالادست و پایین دست رودخانه شده است، جهت بررسی نحوه این تغییرات در بالادست و پایین دست سد، رودخانه گرمی چای به عنوان منطقه مورد مطالعه انتخاب شده است.

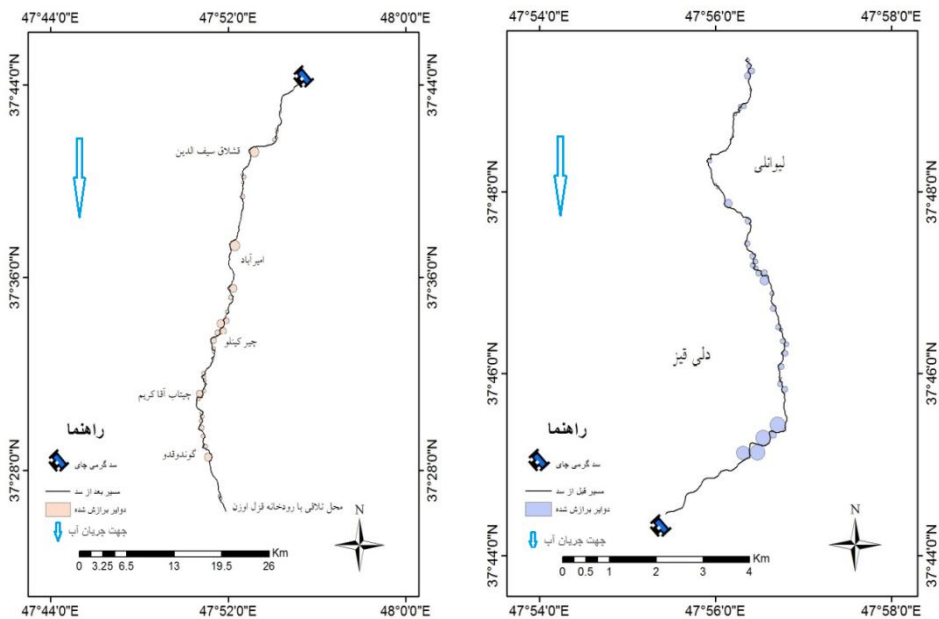
1. Bin et al
2. Shen et al
3. Liang
4. Yard Stick Method
5. Structure Function Method



شکل ۱- نقشه موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه (در سطح کشور، استان و شهرستان میانه) و مورفولوژی رودخانه گرمی چای

در این مطالعه به جهت مورفولوژی متفاوت رودخانه در بخشهای مختلف مسیر مورد مطالعه به دو بازه تقسیم گردید، در تقسیم بازه ها سعی گردید در تمام طول مسیر بازه با توجه به نقشه های توپوگرافی، نقشه زمین شناسی و تصویر ماهواره ای منطقه مطالعه بازه مورد نظر از نظر فرایندهای مورفولوژیکی دارای تجانس نسبی باشد. بر همین اساس رودخانه به دو بازه قبل از سد و بعد از سد طبقه بندی گردید. بازه قبل از سد محدوده بین بالاتر از روستای لیوانلی تا محل سد گرمی چای را شامل می شود. قسمت اعظم این بازه در داخل محدوده کوهستانی قرار دارد و عرض رودخانه به دلیل کوهستانی بودن و مقاومت تشکیلات زمین شناسی کم می باشد، در این بازه در قسمت اعظم مسیر، رودخانه به صورت تک مجرای می باشد که به خاطر محاط شدن رودخانه در دره باریک و تنگ می باشد.

بازه بعد از سد محدوده بین بعد از سد گرمی چای تا محل تلاقی گرمی چای به رودخانه قزل اوزن را شامل می شود. در این بازه عرض رودخانه به دلیل کاهش ارتفاعات بیشتر می باشد و در بخشهای از مسیر مورد مطالعه سیستم رودخانه ای شریانی دیده می شود. شستشوی زیاد و همگن در محدوده رسوبات کواترنری باعث مستقیم تر شدن مسیر و افزایش سرعت جریان و تبدیل رودخانه از حالت مآندری-شریانی به شریانی (رودخانه با جزایر متحرک) و سپس آناستوموزینگ (رودخانه با جزایر دائمی و پوشیده از علف و درختچه) شده و در نهایت باعث باز شدن قوس ها در این بازه شده است.



شکل ۲- مسیر بازه قبل از سد و بعد از سد رودخانه گرمی چای همراه با دواير برازش داده شده بر پيچانها

داده ها و روش پژوهش

در این تحقیق جهت بررسی الگوی هندسی مسیر رودخانه گرمی چای از تصاویر ماهواره‌ای ETM+ سال ۲۰۰۰، استفاده شده است، جهت آماده سازی تصاویر برای تعبیر و تفسیر و کاهش خطاها، عملیات پیش پردازش بر روی تصاویر انجام گرفت. پیش پردازش‌های اعمال شده شامل تصحیحات رادیومتریک، هندسی و ژئورفرنس نمودن تصاویر می‌باشد. برای استخراج مسیر رودخانه از تصاویر سنجنده ETM+ از تکنیک‌های ترکیب رنگی تصاویر (RBG: باندهای ۲-۴-۷) استفاده 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. بدین منظور تعداد ۴۵ پیچان رود برای بازه قبل از سد، ۳۹ پیچان رود برای بازه بعد از سد شناسایی گردید، سپس نقاط عطف یا نقاط تغییر انحنای محور رودخانه برای هر دو بازه با دقت زیاد مشخص گردید. برای هر یک از قوس‌های رودخانه دوایری برازش شد که بیشترین بهترین تطابق را با قوس داشته باشد و در ادامه مشخصات هندسی پیچان رودها از قبیل طول موج، طول قوس، شعاع انحنای و دامنه نوسان در محیط نرم افزار ARC GIS با استفاده از توابع موجود استخراج گردید. سپس با استفاده از رابطه شماره ۱ اندازه ضریب خمیدگی برای هر قوس محاسبه شد.

$$S = \frac{L}{\lambda / 2} \quad \text{رابطه (۱)}$$

که در این رابطه S ضریب خمیدگی، L طول قوس، $\lambda/2$ نصف طول موج می‌باشد.

در ادامه زاویه مرکزی قوس‌های زده شده بر روی هر کدام از بازه‌ها با استفاده از رابطه شماره ۲ محاسبه گردید.

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

در این رابطه نیز A زاویه مرکزی، R شعاع دایره برآزش داده شده می‌باشد.

روش‌های محاسبه مولفه‌های فراکتالی

روش‌های مختلفی جهت محاسبه بعد فراکتال (کلینبرگ^۱، ۱۹۹۴، ۶۴) می‌توانند به کار گرفته شوند که از آن جمله می‌توان به بعد خود متشابهی (DS)، بعد اندازه‌گیری شده (d) و بعد شمارش خانه (Db) (گرس برگر^۲، ۱۹۸۳، ۵۱۸) را نام برد. یکی از پرکاربردترین روش‌ها، روش شمارش جعبه‌ای است، استفاده از این روش برای محاسبه بعد فراکتالی نسبت به سایر روشهای معمول دیگر رواج بیشتری پیدا کرده است چرا که از این روش برای محاسبه بعد فراکتالی تمامی عناصر، ابعاد و اشکال مختلف می‌توان استفاده کرد و سرعت انجام محاسبات زیادتر از سایر شیوه‌ها است، و همچنین الگوریتم آن قابلیت استخراج نتایجی با بیشترین اطمینان را می‌دهد (لیوویچ و تیبور^۳، ۱۹۸۹، ۳۸۸؛ بوزکوویسکی و همکاران^۴، ۱۹۹۸، ۲۷). بعد شمارش خانه گسترش یافته شیوه محاسبه بعد اندازه و پوشاننده است و به این صورت ایجاد می‌شود که شبکه‌ای از خانه‌های مربع شکل روی تصویر مورد نظر قرار داده می‌شود اندازه شبکه با (s) مشخص می‌شود که مقیاس می‌باشد. تعداد خانه‌هایی که بخشی از تصویر را در خود دارد شمرده می‌گردد حاصل این شمارش $N(s)$ تعداد خانه‌ها خواهد بود این روند با تغییر s به شبکه‌های ریزتر و شمارش تعداد خانه‌های در بردارنده تصویر $N(s)$ تکرار می‌گردد، در مرحله بعد ترسیم $\log N(s)$ در مقابل $\log(1/s)$ است شیب خط مستقیم که به بهترین وجه اطلاعات را به نمایش می‌گذارد تقریباً برابر بعد شمارش خانه (Db) است (شکل ۴). بعد فراکتال از طریق رابطه زیر حاصل می‌شود (استوان^۵، ۱۹۹۴ ص ۴۰۹).

$$D = \frac{\log [N(s)]}{\log \left(\frac{1}{s}\right)} \quad \text{(رابطه ۳)}$$

که در این رابطه s اندازه شبکه و $N(s)$ تعداد خانه‌های در بردارنده تصویر می‌باشد.

شیب خط بعد شمارش خانه (Db) با رابطه زیر داده می‌شود.

$$D_b = \frac{[\log(N(s_2)) - \log(N(s_1))]}{\left[\log\left(\frac{1}{s_2}\right) - \log\left(\frac{1}{s_1}\right) \right]} \quad \text{(رابطه ۴)}$$

که در این رابطه $\frac{1}{s}$ برابر تعداد خانه ها در امتداد پایین شبکه است.

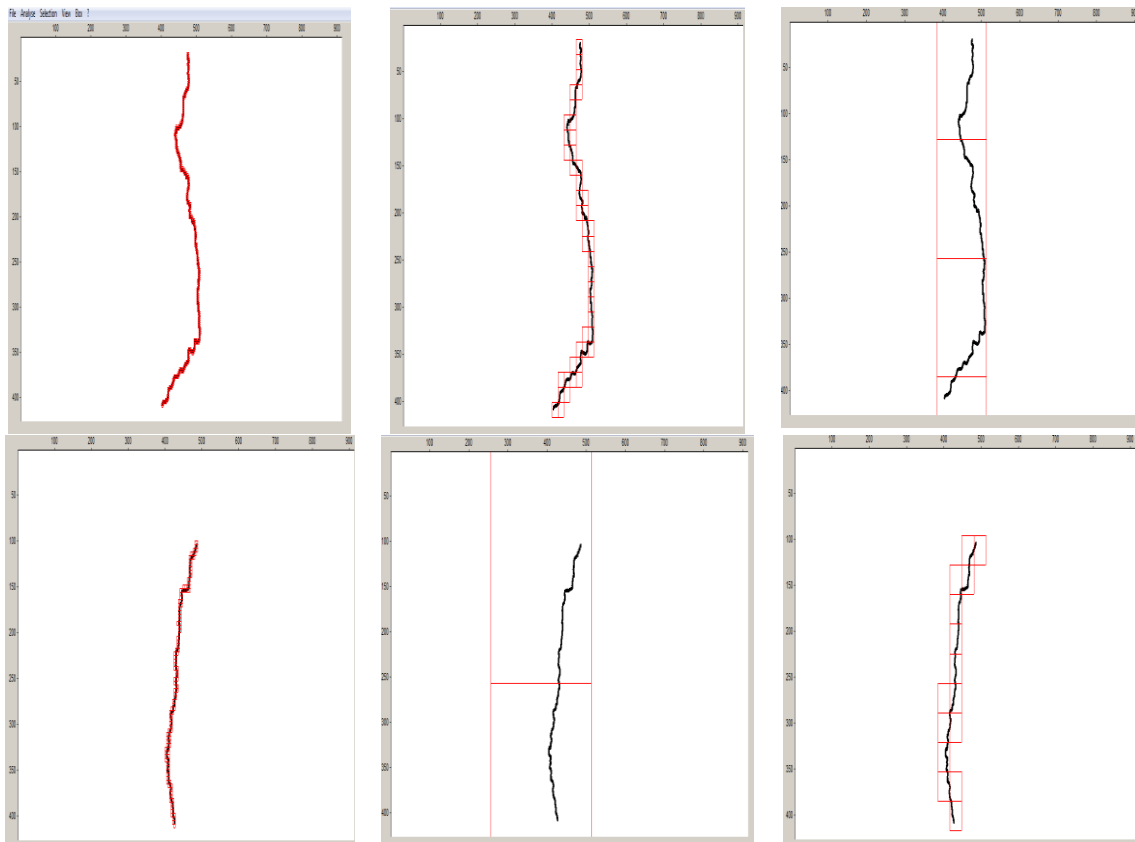
در شکل ۴ نمودار غیر خطی جهت تحلیل فراکتال توسط نرم افزار Fractalyse نشان داده شده است، که در این نمودار محور X نشان دهنده اندازه شبکه و محور Y نشان دهنده تعداد نقاط موجود در هر پنجره می باشد، گام بعدی منحنی آزمایشی (تجربی) با منحنی تئوریکی که مطابق با قانون فراکتال است، برازش داده می شود که همبستگی بین تعداد و اندازه شبکه را نشان می دهد.

$$N = sD \quad \text{(رابطه ۵)}$$

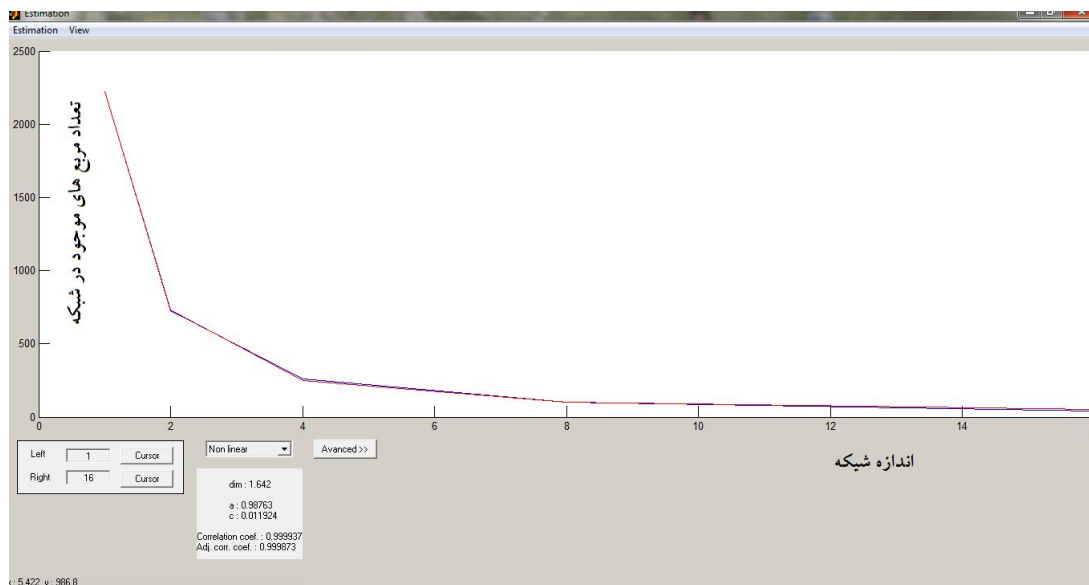
که در این رابطه D بعد فراکتال و یا در این مورد همبستگی بعد می باشد. رابطه های آورده شده در قسمت بالاتر نمی تواند کلیه ویژگی های فراکتالی اشکال و پدیده ها را نشان بدهند بنابراین جهت تحلیل دقیقتر از رابطه زیر استفاده گردید.

$$N = asD + c \quad \text{(رابطه ۶)}$$

که در این رابطه a انحرافات رودخانه مورد بررسی از قانون فراکتال و c میزان انطباق منحنی تخمین زده شده با منحنی واقعی را نشان می دهد.



شکل ۳- نحوه محاسبه بعد رودخانه به روش بعد شمارش خانه با تغییر مقیاس (بازه قبل از سد با اندازه جعبه های ۲، ۱۶ و ۱۲۸ (اشکال بالا) و بازه بعد از سد با اندازه جعبه های ۴، ۳۲ و ۲۵۶ (اشکال پایین))



شکل ۴- نمودار غیر خطی جهت محاسبه شاخص های فراکتالی رودخانه گرمی چای توسط نرم افزار Fractalyse (بازه قبل از سد) منحنی تجربی به رنگ آبی و منحنی محاسبه شده به رنگ قرمز می باشد.

که α در این فرمول خلاصه ای از انواع مختلف انحرافات رودخانه مورد بررسی را از قانون فراکتال بیان می کند (توماس و همکاران، ۲۰۰۷، ۳) که نشان دهنده میزان انحراف شکل مورد نظر از قانون فراکتال می باشد، که براساس قوانین ریاضی فراکتال ها باید تقریباً برابر با ۱ باشد. تجربه نشان داده است که وقتی α بیشتر از ۴ و یا کمتر از ۰/۱ باشد شکل مورد نظر خاصیت فراکتالی ندارد (فرانکهاuser، ۲۰۰۴، ۸۵؛ توماس و همکاران، ۲۰۰۷، ۳). جهت تخمین درست و قابل اطمینان بعد فراکتال پارامتر C لازم است که در نظر گرفته شود که این پارامتر میزان انطباق منحنی تخمین زده شده با منحنی واقعی را در روی محور Y نشان می دهد (توماس و همکاران، ۲۰۰۸، ۲۲). معادلات رگرسیون غیر خطی استفاده شده جهت برازش منحنی تخمین زده شده با منحنی واقعی شامل معادلات زیر می باشد :

$$y = x^d \quad \text{رابطه ۷}$$

$$y = x^d + c \quad \text{رابطه ۸}$$

$$y = a^x x^d \quad \text{رابطه ۹}$$

$$y = a^x x^d + c \quad \text{رابطه ۱۰}$$

بهترین برازش با منحنی تجربی برای محاسبه α ، D و C از معادله ۱۰ به دست آمد. همچنین دقت محاسبات فوق توسط ضریب همبستگی R در این تحقیق کنترل گردید که در این تحقیق وقتی R بیش از

۰/۹۹۹ بود جهت محاسبات فراکتالی قابل قبول بود. وقتی برازش بین دو منحنی (تجربی و تخمین زده شده) کمتر باشد می‌توانیم نتیجه بگیریم که الگوی مورد نظر حالت فراکتالی نداشته و یا اینکه خاصیت چند فراکتالی دارد (توماس و همکاران، ۲۰۰۸، ۲۲).

نتایج

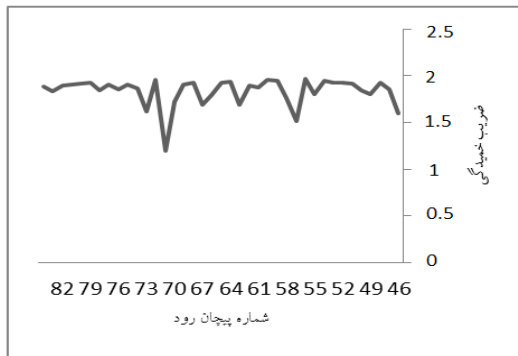
بررسی پیچان‌ها با استفاده از شاخص ضریب خمیدگی

بر اساس جدول ۱ در بازه قبل از سد میانگین ضریب خمیدگی ۱/۷۹ به دست آمد و ۸۴ درصد این بازه دارای خمیدگی زیاد می‌باشد، خمیدگی کم در این بازه دیده نشد و خمیدگی خیلی زیاد نیز ۱۳ درصد قوس‌ها را تشکیل می‌دهد و خمیدگی کمتر از ۱/۲ نیز در ۲ درصد بازه دیده می‌شود. بنابراین الگوی این بازه دارای خمیدگی زیاد می‌باشد، که از ویژگی‌های رودخانه‌های مآندری می‌باشد. در بازه بعد از سد میانگین ضریب خمیدگی ۱/۸۳ به دست آمد و ۹۷ درصد این بازه دارای خمیدگی زیاد می‌باشد، خمیدگی کم در این بازه دیده نشد و خمیدگی خیلی زیاد نیز در این بازه مشاهده نشد و خمیدگی کم نیز ۲/۵ درصد این بازه را تشکیل می‌دهد و خمیدگی کمتر از ۱/۲ نیز دیده نمی‌شود. الگوی این بازه نیز الگوی مآندری می‌باشد و شاخص ضریب خمیدگی نیز در این بازه این الگو را نشان می‌دهد. این بازه به دلیل تشکیلات فرسایش پذیر و شیب کم آن تغییرات مسیر مجرا بسیار زیاد می‌باشد و به علت پر شدن بوسیله مواد سیلابی اکثراً توسط کشاورزان اشغال شده است.

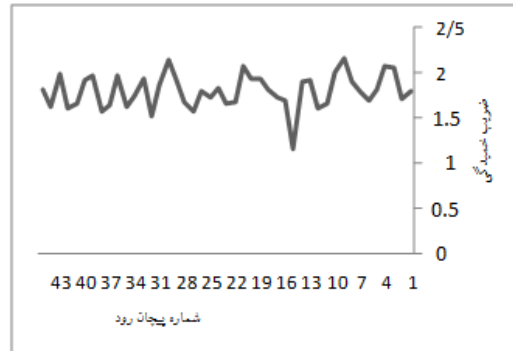
جدول ۱- مشخصه‌های مقادیر ضریب خمیدگی رودخانه گرمی چای

مسیر مطالعاتی الگوی مجرا	۱/۲ <	۱/۴ تا ۱/۲	۲ تا ۱/۵	۲ تا ۸/۲	میانگین حداکثر حداقل انحراف الگوی مجرا معیار				
					کم	زیاد	زیاد	خیلی زیاد	
بازه قبل از سد	۰	۰	۸۴/۴٪	۱۳/۴٪	۱/۷۹	۲/۱۵	۱/۱۵	۰/۱۹	پیچان رودی
بازه بعد از سد	۰	۲/۵۶٪	۹۷/۴۴٪	۰	۱/۸۳	۱/۹۶	۱/۲	۰/۱۴	پیچان رودی

در شکل ۵ تغییرات ضریب خمیدگی قبل از سد نشان داده شده است. با توجه به این شکل تغییرات ضریب خمیدگی در این بازه آهنگ منظمی دارد که نشان دهنده وجود قوس‌های تقریباً مشابه در طول مسیر می‌باشد و فقط در قوس شماره ۱۴ میزان ضریب خمیدگی کمتر از حد میانگین بازه می‌باشد. چون این بازه منطقه کوهستانی می‌باشد تغییرات ضریب خمیدگی زیاد نمی‌باشد و این تغییرات در جاهایی می‌باشد که لیتولوژی مقاومت کمتری نسبت به فرسایش دارد.



شکل ۶- تغییرات ضریب خمیدگی بازه بعد از سد



شکل ۷- تغییرات ضریب خمیدگی قبل از سد

در شکل ۶ تغییرات ضریب خمیدگی بازه بعد از سد و قبل از سد نشان داده شده است. با مقایسه نمودار ضریب خمیدگی بازه قبل از سد و بازه بعد از سد مشخص می‌گردد که در بازه قبل از سد نوسانات ضریب خمیدگی زیاد می‌باشد در حالی که در بازه بعد از سد نوسانات کمتر بود. در این بازه رودخانه به علت قرار گیری در محدوده دشتی و وجود تشکیلات فرسایش پذیر آزادی عمل بسیار بیشتری دارد. به همین خاطر الگوی مجرای رودخانه آشفته گردیده و رفتار مورفولوژیکی رودخانه تحت تاثیر این عوامل کاملاً تغییر پیدا کرده است.

بررسی شکل بازه ها با استفاده از شاخص زاویه مرکزی

بر اساس جدول ۵-۵ در بازه قبل از سد ۳۳/۳ درصد قوس ها مربوط به الگوی پیچان رودی توسعه نیافته و ۶۲/۲ درصد قوس های این بازه نیز الگوی پیچان رودی توسعه یافته را در می‌باشند و الگوی پیچان رودی زیاد توسعه یافته نیز ۴/۵ درصد این بازه را تشکیل می‌دهد و کمترین فراوانی را الگوی شبه پیچان رود دارا می‌باشد و این در حالی است که الگوی نعل اسبی در این بازه دیده نمی‌شود. بنابراین میزان توسعه پیچان رودی در این بازه به شکل پیچان رود توسعه یافته و یا در حال توسعه می‌باشد.

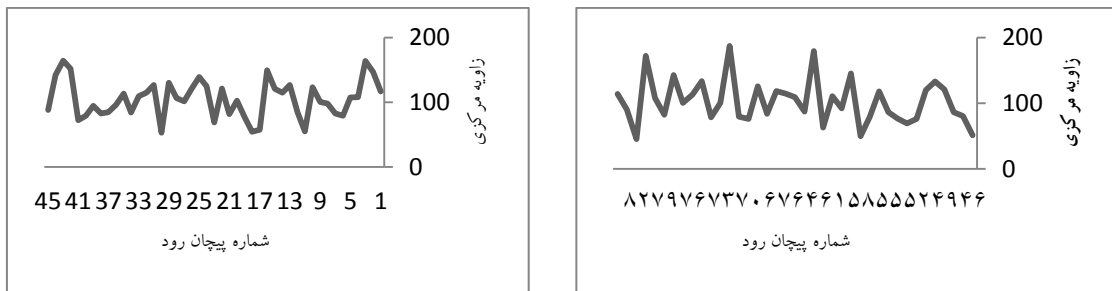
جدول ۲) مشخصه های مقادیر زاویه مرکزی و میزان توسعه پیچان رودها در بازه قبل از سد

شکل بازه	شبه پیچان رود	پیچان رود توسعه نیافته	پیچان رود توسعه یافته	پیچان رود زیاد توسعه یافته	نعل اسبی	میانگین	حداکثر	حداقل	انحراف معیار
زاویه مرکزی	< ۴۱	۴۱ - ۸۵	۸۵ - ۱۵۸	۱۵۸ - ۲۹۶	> ۲۹۶				
قبل از سد	۰	۳۳/۳٪	۶۲/۲٪	۴/۵٪	۰	۱۰۲/۵	۱۶۴/۱	۵۳	۲۸/۸
بازه بعد از سد	۰	۳۵/۸۹٪	۵۶/۴۱٪	۷/۶۹٪	۰	۱۰۴/۸	۱۸۷/۲	۴۵/۴	۳۳/۵
توسعه یافته									

در بازه بعد از سد ۳۵/۸ درصد قوس ها مربوط به الگوی پیچان رودی توسعه نیافته و ۵۶/۴ درصد قوس های این بازه نیز الگوی پیچان رودی توسعه یافته را دارا می‌باشند و الگوی پیچان رودی زیاد توسعه یافته نیز ۷/۶

بررسی الگوی پیچان رودی رودخانه گرمی چای ... / ۷۵

درصد این بازه را تشکیل می‌دهد. الگوی شبه پیچان رود و نعل اسبی در این بازه دیده نمی‌شود. بنابراین میزان توسعه پیچان رودی در این بازه به شکل پیچان رود توسعه یافته و یا توسعه نیافته می‌باشد. در اشکال ۷ و ۸ تغییرات زاویه مرکزی قوس‌های رودخانه نشان داده شده است با توجه به این شکل نوسانات زاویه مرکزی در دو بازه گرمی چای نشان داده شده است.



شکل ۷- تغییرات مقادیر شاخص زاویه مرکزی در بازه قبل از سد
شکل ۸- تغییرات مقادیر شاخص زاویه مرکزی در بازه بعد از سد

تحلیل فراکتالی رودخانه و مقایسه آن با نتایج شاخص‌های ژئومورفولوژی

جهت محاسبه بعد فراکتالی لازم است که تعداد مربع‌های حاوی مسیر رودخانه با تغییر ابعاد مربع‌ها مورد بررسی قرار گیرد که در این تحقیق تا $S=16$ آورده شده است میزان N در هر دو بازه در جدول ۳ آورده شده است به خاطر متفاوت بودن دو بازه به لحاظ هندسی مقادیر N در دو بازه با هم دیگر متفاوت می‌باشد. هر چه قدر که مقدار S به سمت اعداد بزرگتر میل کند مقادیر N در دو بازه تفاوت اندکی خواهند داشت تا این که در بزرگترین S در هر دو بازه مقدار N یک خواهد بود که به این مفهوم است که کل بازه در یک مربع جای خواهد گرفت.

جدول ۳- تغییر مقدار N و S در بازه بعد از سد و قبل از سد برای محاسبه مولفه‌های تحلیل فراکتالی

S	بازه قبل از سد	بازه بعد از سد
	N	N
۱	۲۲۲۵	۱۵۴۱
۲	۷۲۴	۵۰۴
۴	۲۶۳	۱۹۰
۸	۱۰۰	۷۸
۱۶	۴۳	۳۴

قبل از بررسی بعد فراکتالی بازه‌ها لازم است که فراکتال بودن رودخانه مورد سنجش قرار بگیرد که توسط مولفه a و R صورت می‌گیرد و همچنین میزان انطباق منحنی تجربی با منحنی تئوریک نیز توسط مولفه c مورد سنجش قرار گرفت نتیجه محاسبات مولفه‌های فوق در جدول ۴ نشان داده شده است براساس پارامتر a هر دو بازه خاصیت فراکتالی دارند اگر چه خاصیت یک فراکتال کاملاً تپیک همچون منحنی کخ را ندارند

ولی جهت بررسی ویژگیهای بازه مورد نظر به وسیله هندسه فراکتال کاملاً عملی بوده و میزان نتایج به خاطر ضریب همبستگی (R) و ضریب تعیین تعدیل شده (Ad R S) بسیار بالا که در جدول ۴ آورده شده است، جهت تحلیل فراکتالی قابل اطمینان می‌باشد. بررسی میزان انحراف (مولفه C) منحنی تثوریک و واقعی هم نشان می‌دهد (که برای بازه دوم در شکل ۵ نشان داده شده است) که میزان انحراف در حد بسیار کم می‌باشد و بدیهی است که میزان انحراف در جدول ۳ نمی‌تواند نتیجه را متاثر سازد.

جدول ۴- مولفه‌های تحلیل فراکتالی مسیر رودخانه گرمی چای به وسیله رگرسیون غیر خطی

مولفه‌های بررسی شده	A	C	R	Ad R S
بازه قبل از سد	۰/۹۸۷۶۳	۰/۰۱۱۹۲۴	۰/۹۹۹۹۳۷	۰/۹۹۹۸۷۳
بازه بعد از سد	۰/۹۸۲۸۶	۰/۰۱۶۵۳۶	۰/۹۹۹۸۷۹	۰/۹۹۹۷۵۸

بررسی جدول ۵ نشان می‌دهد که بعد فراکتالی بازه بعد از سد بیشتر از بازه قبل سد به دست آمده است همانطوری که گفته شد این بازه شریانی می‌باشد و رودخانه در این بازه پاره‌ای از نقاط دارای چندین مسیر می‌باشد بنابراین از پیچیدگی بیشتری نسبت به بازه قبل از سد برخوردار می‌باشد. بازه قبل از سد یک بازه کوهستانی می‌باشد و رودخانه در یک دره عمیقی جریان دارد و الگوی رودخانه بصورت تک مجرای بوده از لحاظ هندسی از پیچیدگی کمتری نسبت به بازه بعد از سد برخوردار می‌باشد که به این علت است که رودخانه از یک مسیر مشخص عبور می‌کند که بعد فراکتالی به دست آمده نیز این حالت را نشان می‌دهد.

جدول ۵- مقادیر بعد فراکتالی و مقایسه آن با شاخص‌های ژئومورفولوژی در بازه‌های رودخانه گرمی چای

مولفه‌های بررسی شده	بعد فراکتالی	ضریب خمیدگی	زاویه مرکزی
بازه قبل از سد	۱/۰۶۴۲	۱/۷۹	۱۰۲/۵
بازه بعد از سد	۱/۰۶۴۴	۱/۸۳	۱۰۴/۸

مقایسه نتایج تحلیل فراکتالی مسیر رودخانه در دو بازه با نتایج شاخص‌های ژئومورفولوژی (جدول ۵) نشان دهنده انطباق نتایج آن با نتایج شاخص‌های ژئومورفولوژی است همانطوری که جدول نشان می‌دهد میزان اختلاف دو بازه از نظر بعد فراکتالی بسیار کم می‌باشد که نشان دهنده شباهت دو بازه از نظر هندسه فراکتال می‌باشد. همچنین براساس شاخص‌های ضریب خمیدگی و زاویه مرکزی میزان اختلاف دو بازه بسیار کم می‌باشد که نشان دهنده تجانس نسبی دو بازه از نظر فرایندهای مورفولوژیکی می‌باشد.

نتیجه گیری

نتایج تحقیق نشان می‌دهد که براساس شاخص ضریب خمیدگی، ۸۴ درصد بازه قبل از سد و بیش از ۹۷ درصد بازه بعد از سد خمیدگی بین ۱/۵ تا ۲ را دارا می‌باشد، آزادی عمل رودخانه و وجود تشکیلات فرسایش پذیر باعث افزایش ضریب خمیدگی بازه بعد از سد شده است. همچنین براساس شاخص زاویه مرکزی در بازه

قبل از سد ۶۲ درصد پیچان‌های و در بازه بعد از سد ۵۶ درصد قوس‌های مورد بررسی الگوی پیچان رودی توسعه یافته را دارا می‌باشند. الگوی پیچان رودی زیاد توسعه یافته، در بازه بعد از سد درصد بیشتری دارد. با توجه به این که میزان توسعه پیچان رود تابعی از شرایط هیدرولوژیکی و زمین شناسی بستر رودخانه می‌باشد، در بازه بعد از سد شرایط لازم برای توسعه پیچان رود بیشتر از بازه قبل از سد می‌باشد، در بازه قبل از سد به علت مصور بودن رودخانه و مقاومت بالای تشکیلات زمین شناسی نسبت به بازه بعد از سد میزان توسعه پیچان رودی و به تبع آن تغییرات پیچان رودی محدود می‌باشد. بنابراین براساس شاخص‌های کلاسیک ژئومورفولوژی رودخانه گرمی چای یک رودخانه پیچان رودی بوده که براساس نتایج تحلیل هندسه فراکتالی، بین بعد فراکتالی و پارامترهای ضریب خمیدگی و زاویه مرکزی ارتباط مستقیمی وجود دارد. بنابراین بعد فراکتالی نیز مانند سایر روشهای شناسایی الگوی رودخانه ها می‌تواند به عنوان پارامتر هندسی جدید وارد مدل‌های ریخت شناسی رودخانه‌های پیچان رودی گردد. بنابراین استفاده از تئوری فراکتال ها و بسط و گسترش آن می‌تواند ویژگی‌های رفتار مورفولوژیکی رودخانه ها و اثرات عوامل مختلف طبیعی و انسانی را نشان بدهد. با این شرط که قبل از بررسی رودخانه ها لازم است که فراکتال بودن رودخانه مورد بررسی مورد آزمون قرار بگیرد به این خاطر که بسیاری از رودخانه ها خاصیت فراکتالی ندارند بنابراین بررسی آن توسط هندسه فراکتالی همراه با خطا خواهد بود و نتایج آن، نتایج روشهای ژئومورفولوژی را تایید نخواهند کرد. در بسیاری از موارد تغییر الگو هندسی رودخانه ها ناشی از عوامل مختلف باعث افزایش پیچیدگی و در نتیجه تغییر بعد فرکتالی آن می‌شود، بنابراین محاسبه بعد فرکتال به عنوان نماینده تغییرات مکانی الگوی مسیر رودخانه مورد بررسی می‌تواند تایید کننده وقوع تغییرات باشد.

منابع و مآخذ

۱. ارشد، صالح؛ مرید، سعید؛ میر ابوالقاسمی، هادی (۱۳۸۶) بررسی روند تغییرات مورفولوژیکی رودخانه ها با استفاده از سنجش از دور مطالعه موردی رودخانه کارون از گتوند تا فارسیات (۱۳۶۹-۸۲) مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی، جلد چهاردهم، شماره ششم، صص ۱۸۰-۱۹۴.
۲. بریچ، جان، اس (۱۳۸۷) رودخانه ها و دشت‌های سیلابی، ترجمه محمد حسین رضایی مقدم و مهدی ثقفی، انتشارات سمت.
۳. حافظی مقدس، ناصر؛ سلوکی، حمیدرضا؛ جلیلود، رضا؛ رهنما، جعفر (۱۳۹۱) مطالعه ژئومورفولوژی مهندسی رودخانه سیستان، فصلنامه زمین شناسی کاربردی، سال ۸، شماره ۱، صص ۱-۱۸.
۴. رضایی مقدم، محمد حسین؛ ثروتی، محمد رضا؛ اصغری سراسکانرود، صیاد (۱۳۹۱) بررسی تغییرات الگوی هندسی رودخانه قزل اوزن با استفاده از تحلیل هندسه فراکتال (محدوده بین ۳۰ کیلومتری شهرستان میانه تا مرز سیاسی استان زنجان)؛ نشریه جغرافیا و برنامه ریزی، سال ۱۶، شماره ۴۰، صص ۱۱۹-۱۳۹.
۵. رضایی مقدم، محمد حسین؛ ثروتی، محمد رضا؛ اصغری سراسکانرود، صیاد (۱۳۹۱) الف) بررسی الگوی پیچان رودی رودخانه قزل اوزن با استفاده از شاخص‌های ضریب خمیدگی و زاویه مرکزی (محدوده بین ۳۰ کیلومتری شهرستان میانه تا مرز سیاسی استان زنجان)، جغرافیا (فصلنامه علمی-پژوهشی انجمن جغرافیای ایران)، دوره جدید، سال دهم، شماره ۳۴، صص ۸۵-۱۰۲.
۶. رضائی مقدم، محمد حسین؛ خوشدل، کاظم، (۱۳۸۸)، بررسی پیچ و خم‌های مآندر اهر چای در محدوده دشت ازومدل ورزقان، مجله جغرافیا و برنامه ریزی محیطی، سال بیستم، شماره ۱، صص ۱۰۱-۱۱۲.

۷. قدم پور، زهرا؛ طالب بیدختی، زهرا، (۱۳۹۰)، محاسبه بعد فراکتالی در رودخانه‌های پیچان رودی با استفاده از روش شمارش جعبه ای، ششمین کنگره ملی مهندسی عمران، ۶ و ۷ اردیبهشت ماه دانشگاه سمنان، صص ۱-۷.
۸. نوحه گر، احمد؛ یمانی، مجتبی، (۱۳۸۲)، بررسی وضعیت ژئومورفولوژیکی پیچان رود و نقش آن در فرسایش بستر و کناره‌های رودخانه میناب (پایین دست میناب) پژوهش‌های جغرافیائی، شماره ۵۱، صص ۶۵-۸۵.
۹. نیری، هادی (۱۳۸۹)، تحلیل دینامیک و شکل مجرا در حوضه آبریز رودخانه مهاباد چای، رساله دکتری جغرافیایی طبیعی- ژئومورفولوژی، استاد راهنما شهرام روستایی، دانشگاه تبریز، دانشکده جغرافیا و برنامه ریزی. گروه جغرافیای طبیعی.
۱۰. نیکویی، احسان؛ حیدری، مهدی؛ طالب بیدختی، ناصر؛ حکمت زاده، علی اکبر، (۱۳۸۷)، هندسه فراکتالی در مهندسی رودخانه: ایده ها، مفاهیم اساسی و دستاوردها، چهارمین کنگره مهندسی عمران، دانشگاه تهران، اردیبهشت، صص ۸-۱.
۱۱. یمانی، مجتبی؛ علمی زاده، هیوا؛ مقصودی، مهران؛ مقیمی، ابراهیم؛ نوحه گر، احمد، (۱۳۸۹)، بررسی تغییرهای پیچان رودی و ناپایداری بستر رودها در جلگه شمالی تنگه هرمز، مجله مدرس، دوره چهاردهم، شماره چهارم، صص ۲۳۲-۲۱۵.
12. Bartholdy, J., and Billi, P., (2002). Morphodynamics of a pseudo meandering gravel bar reach. *Geomorphology*. Vol 42 . pp 293-310.
13. Bin, Z. H., Al, N., HUANG, Z., YI, C., & QIN, F., (2008). "Meanders of the Jialing River in China: Morphology and Formation", *Chinese Science Bulletin*, vol. 53, no. 2, 267-281.
14. Buczkowski, S., Hildgen P., Cartilier, L., (1998). Measurement of fractal dimension by Box-Counting a critical analysis of data scatter. *Physica A* 252(1), pp 23-34.
15. Ede J. Ijjasz-Vasquez, Rafael L. Bras, Ignacio Rodriguez-Iturbe., (1994). Self-affine scaling of fractal river courses and basin boundaries, *Physica A: Statistical and Theoretical Physics*, Volume 209, Issues 3-4, 1, pp 288-300.
16. Edwards, B. F. D. H. Smith., (2001). River meandering dynamics. National Energy Laboratory, Morgantown, West Virginia, USA. P12.
17. Frankhauser P., (2004). Comparing the morphology of urban patterns in Europe: a fractal approach, *European Cities - Insights on outskirts*, A. Borsdorf and P. Zembri (Eds), Report COST Action 10 Urban Civil Engineering, Vol. 2 "Structures", Brussels, 79-105.
18. Grassberger, P., (1983). On efficient box counting algorithms. *Int. J. Mod. Phys. C* 4, 515-523.
19. Hooke, J.M., (2013). River Meandering, *Geomorphology*, Volume 9, 2013, pp 260-288.
20. Klinkenberg, B., (1994). A review of methods used to determine the fractal dimensions of linear Features, *Mathematical Geology*., vol 26(1). pp. 23-46.
21. Lancaster, S. T., R. L. Bars., (2002). A simple model of river meandering and its comparison to natural channels. *Journal of Hydrol. Process* No (16). pp 1-26.
22. Leopold. L. B., Wolman.M. G., (1960). River meanders. *Bulletin of the Geological Society of American*, Vol. 71 Pp.769-794.
23. Liang, Z., Zeng, F., Guangxiang, X., (2012) Comparison of Fractal Dimension Calculation Methods for Channel Bed Profiles, *Procedia Engineering*, Vol 28, pp 252-257.
24. Liebovitch, L.S., Tibor, T., (1989). A fast algorithm to determine fractal dimensions by Box-Counting. *Physics Letters A* 141(8/9) pp 386-390.
25. 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.
26. Nikora V.I., (1991). " Fractal structures of river plan forms", *Water Resources. Research.*, Vol 27(6), PP 1327-1333.
27. Nikora, V., Sapozhinov, V.B., Noever, D.A., (1993). Fractal geometry of individual river channels and its computer simulation. *Water Resour. Res.* 29, Pp: 3561-3568.
28. Roach, D.E., Fowler, A.D., (1993). Dimensionality analysis of patterns: Fractal measurements. *Computer & Geosciences* 19 (26), pp 849-869.
29. Sarma.J.N., (2005). Fluvial process and morphology of the Brahmaputra River in Assam, India. *Geomorphology* 70, pp 226-236.
30. Shen ,X.H. , L.J. Zou, G.F. Zhang, N. Su, W.Y. Wu, S.F. Yang., (2011). Fractal characteristics of the main channel of Yellow River and its relation to regional tectonic evolution, *Geomorphology* 127, pp 64-70.
31. Snow, R.S., (1989). Fractal sinuosity of stream channels. *Pure Appl. Geophys.* 131, 99-109.
32. Stevan H. Strogatz., (1994). *Nonlinear dynamics and chaos (with applications to physics, Biology, chemistry, and engineering)*. Persuse books, Reading, Massachusetts. P 505.
33. Thomas I., Frankhauser P. and Badariotti D., (2007). Comparing the fractality of European urban districts: do national processes matter? Paper presented at ERSa meeting in Paris and at ECTQG meeting in Montreux, pp . 1-8.

34. Thomas I., Tannier C., Frankhauser P., (2008). Is there a link between fractal dimensions and other indicators of the built-up environment at a regional level, *Cybergeo: European Journal of Geography*, n°413, 24 pp 18-27.
35. Turcotte, D.L., (1992). *Fractal and Chaos in Geology and Geophysics*, Geophysics Cambridge university press. Cambridge.p121.
36. Yang, X., C. Michiel, J. Damenb and R.A. Van Zuidam., (1999). satellite remote sensing and geographic information system for Michiel C. J. Damen and monitoring morphodynamic of the active yellow river delta, China. *Applied Earth Observation and Geoinformation*, 1: 146-157.
37. 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), pp.231-243.