دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز

بررسی مقایسه ای الگوی پیچان رود با استفاده از تحلیل هندسه فراکتالی و شاخص های زاویه مرکزی و ضریب خمیدگی (مطالعه موردی: رودخانه قزل اوزن)

م. ح. رضایی مقدم[۱]، م. ر. ثروتی[۲] و ص. اصغری سراسکانرود[۳]

۱- استاد دانشگاه تبریز، نویسندهٔ مسئول: rezmogh@yahoo.com
۲- دانشیار دانشگاه شهید بهشتی تهران
۳- دانشجوی دکتری دانشگاه تبریز

چکیده

نظارت بر تغییرات مسیر و الگوی هندسی رودخانه ها به منظور کسب شناخت دقیق و بررسی معضلات و مخاطرات احتمالی در جهت حفظ و بهره برداری بهینه از منابع طبیعی ضروری می باشد و جزو اولویت های مطالعات ژئومورفولوژی است. رفتار رودخانه ها به عنوان یکی از پدیده های طبیعی پیچیده همواره مورد توجه محققان بوده است. محققان ژئومورفولوژی رودخانه ای همواره به دنبال روشهای جدید جهت بررسی تغییرات رودخانه ای می باشند. براین اساس این تحقیق سعی دارد کاربرد هندسه فراکتال را در بررسی تغییرات الگوی هندسی رودخانه قزل اوزن نشان دهد. هدف این تحقیق مقایسه نتایج هندسه فراکتال با نتایج شاخص های ضریب خمیدگی و زاویه مرکزی در بررسی تغییرات الگوی هندسی رودخانه می باشد. بدین منظور از تصاویر ماهواره ای +ETM و IRS در سه دوره زمانی ۲۰۰۰، ۲۰۰۴ و ۲۰۰۷ استفاده شد، جهت بررسی تغییرات مسیر مورد مطالعه به سه بازه تقسیم گردید، سپس با استفاده از شاخص های ضریب خمیدگی، زاویه مرکزی و تحلیل هندسه فراکتالی تغییرات الگوی هندسی رودخانه در بازه زمانی مورد مطالعه استخراج گردید. برای تعیین بعد فراکتالی از روش بعد شمارش خانه و برای تعیین خاصیت فراکتالی از مولفه های a و R استفاده گردید. میزان انحرافات بازه های مورد نظر نیز به وسیله مولفه C تعیین شد و برای تشخیص میزان تغییرات، بعد فراکتالی D بازه ها مقایسه گردید. نتیجه این تحقیق نشان داد که بازه اول، بیشترین میزان تغییرات را داشته و بازه دوم کمترین میزان تغییرات را در طول سالهای مورد مطالعه داشته است. این تحقیق نشان داد که نتایج شاخص های ضریب خمیدگی و زاویه مرکزی در بررسی تغییرات الگوی هندسی رودخانه کاملاً مطابق با تغییرات استخراج شده با هندسه فراکتال می باشد. بنابراین هندسه فراکتالی می تواند به عنوان روش ریاضی مناسب جهت بررسی های ژئومورفولوژی رودخانه ها بکار گرفته شود.

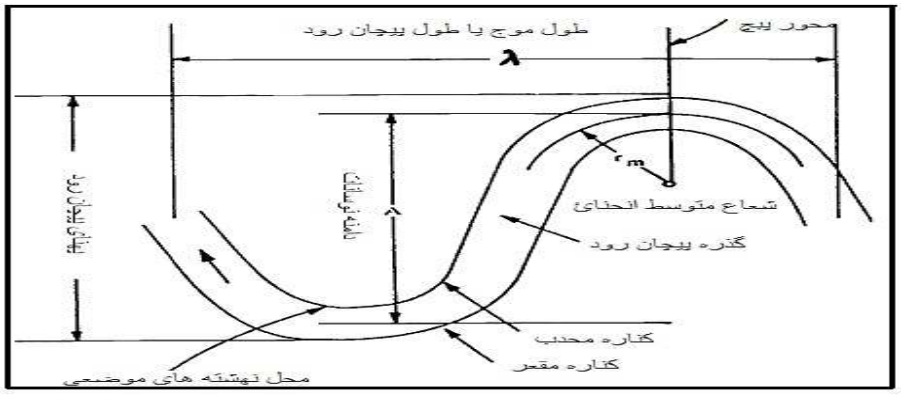
واژه های کلیدی: تغییرات الگوی هندسی، ضریب خمیدگی، زاویه مرکزی، هندسه فراکتال، رودخانه قزل اوزن

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-12]

مقدمه

نظارت بر تغییرات مورفولوژیک، اساس و پایه حل مشکلات و مسائل ژئومورفولوژی کاربردی می باشد و طراحی و شناسایی فرایندهای آنها ضروری است. ژئومورفولوگ ها معمولا به عنوان یک اصل ضروری به تشریح گذشته و حال پرداخته و آینده فرایندها را پیش بینی می کنند تا ماهیت و سرعت تغییرات را درک نمایند (۸). شناخت رفتار رودخانه و آگاهی از تغییرات آن لازمه و پیش نیاز مدیریت رودخانه می باشد که در این راستا انجام مطالعات مورفولوژی کاملا ضروری می باشد. یکی از موضوعات مهم در ژئومورفولوژی توجه به تغییراتی است که در شکل و الگوی آبراهه های جریانی و در طول مسیر آنها به وقوع می پیوندد و ممکن است سبب متروک شدن بخشی از دیواره کانال ها یا پیوستن بعضی فضا های متروک کانال ها به فضای اصلی شود (۳۱). رودخانه‌های آبرفتی در مسیر خود به طور عمده پیچ و خمهای بسیاری را شامل می‌شوند، این پیچ و خم ها در اکثر مواقع منظم نیستند ولی در قسمتهایی به صورت قرینه نیز مشاهده می شوند که به اینها پیچان رود(مئاندر) اطلاق می گردد (۱۰)، واژه مئاندر از رودخانه های پر پیچ و خم در جنوب غربی ترکیه به همین نام گرفته شده است (۱۳). این خمها (مئاندرها) در اثر حرکت افقی رودخانه به وجود آمده‌اند و خود باعث تغیرات آتی در مسیر رودخانه می‌شوند. در واقع در این رودخانه‌ها بررسی رفتار و نوع تغیر شکل پیچان رودها روشی برای دستیابی به تغیرات آتی در شکل رودخانه خواهد بود. جهت توصیف الگوی آبراهه های پیچانرود یکسری پارامترهای هندسی مرتبط با پلان رودخانه تعریف شده است (شکل ۱) که با تجزیه و تحلیل فراوانی و اندازه این خصوصیات در طول رودخانه و در زمان های مختلف روند تغیرات رودخانه در بعد مکان و زمان قابل بررسی خواهد بود (۶ و ۱۵). تاکنون محققین زیادی الگوی پیچانرودی و مورفولوژی رودخانه های پیچانرودی را مورد بررسی قرار داده اند که از آنجمله می توان به تلوری (۲۷)، نوحه گر و یمانی(۲۰)، یمانی و حسین زاده (۳۱)، ارشد و همکاران (۲)، رضائی مقدم و خوشدل (۲۱)، یمانی و همکاران (۳۲)، بیاتی خطیبی (۴)، لئوپولد و ولمن (۱۶)، یانگ و همکاران (۳۳)، برتولدی و بیلی (۳)، سارما (۲۳) و زامولی و همکاران (۳۴) را نام برد.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-12]



شکل ۱- مشخصات هندسی یک حلقه پیچان رود و شاخص های مطالعه شده در این تحقیق جهت محاسبه ضریب خمیدگی و زاویه مرکزی (۱۶).

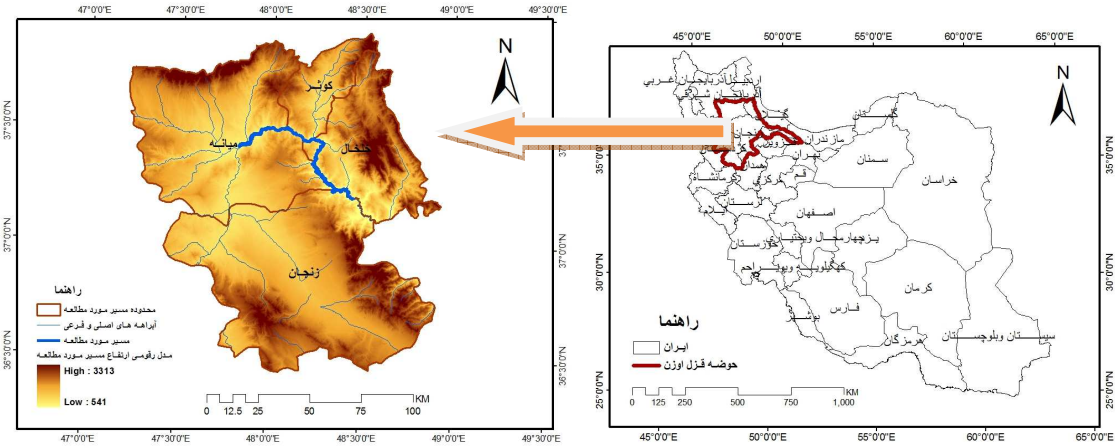
از طرف دیگر محققان علم ژئومورفولوژی و مهندسی رودخانه همواره نیازمند مدلی مناسب برای تبیین، توجیه و پیش بینی رفتار رودخانه ها در گذر زمان بوده اند و در سال های اخیر هندسه فراکتال به عنوان یک گزینه مناسب جهت مدل سازی هندسه، تغییرات رودخانه ها و نیز بررسی فرایندهای فیزیکی درون رودخانه مطرح گردیده است. هندسه فراکتال یکی از مهمترین روشهای ساختاری است که با تعیین بعد فراکتال ساختارهای خطی مثل گسلها، آبراهه ها و مسیر پر پیچ و خم رودخانه ها می توان بسیاری از خصوصیات آنها (میزان جابجایی، شناسایی میزان تغییرات و ...) را تخمین زد (۳۰). هندسه فراکتال برتری عمده ای با سایر شیوه های قبلی دارد که در آنها کمی سازی و شبیه سازی الگوهای پیچیده طبیعی از طریق روشهای توصیفی و مدل های عموما انعطاف ناپذیر صورت می گرفته است (۲۲) اشیاء فراکتالی عموماً خود- متشابه می باشند. این به آن معناست که الگویی مشابه در اجزاء مختلف این اشیاء به چشم می خورد. براساس میزان تشابه موجود در بین اجزاء گوناگون این اشیاء که می تواند 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 روش های مختلفی برای تحلیل ریاضی آن ها پدید آمده است (۱۹). در حقیقت تمامی منحنی های پیچیده در طبیعت ایده ی تکرار الگو در درون خود، را به همراه دارند ولی با این تفاوت عمده که در بعضی از منحنی های طبیعی همانند رودخانه ها الگوی تکرار شونده در سراسر رودخانه یکی نیست و در بخش های مختلف الگوی متفاوتی بوده که تکرار شده است (۱۸). بعد از مطرح شدن مفهوم هندسه فراکتال توسط مندلبروت در سال ۱۹۸۲ بسیاری از نویسندگان

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-12]

تحلیل فراکتال را در شبکه های رودخانه ای بکار برداند و نشان دادند که توزیع شبکه های رودخانه ای فراکتالی می باشد، اما مطالعات بسیار کمی در خصوص تحلیل فراکتالی مسیر رودخانه صورت گرفته است که از آن جمله می توان تحقیقات اسنو (۲۵)، واسکوز و همکاران (۹)، بیوواید و مونتگومری (۵) شن و همکاران (۲۴) را نام برد. هدف این تحقیق بررسی روند تغییرات الگوی مسیر رودخانه قزل اوزن و مقایسه تغییرات استخراج شده به وسیله شاخص های زاویه مرکزی و ضریب خمیدگی با نتایج هندسه فراکنال، و همچنین امکان سنجی کاربرد هندسه فراکتال در ژئومورفولوژی رودخانه ای می باشد.

منطقه مورد مطالعه

سرچشمه رودخانه قزل اوزن از ارتفاعات چهل چشمه کردستان بوده و با طولی بالغ بر ۵۵۰ کیلومتر پس از عبور از استان های زنجان، آذربایجان شرقی و اردبیل ضمن دریافت شاخه های متعدد در طول مسیر خود در استان گیلان با رودخانه شاهرود تلاقی و وارد مخزن سد سفیدرود می گردد. وسعت حوزه آبخیز آن نزدیک به ۴۹۴۰۰ کیلومترمربع است (۱) محدوده مطالعاتی بین طولهای جغرافیایی ۴۸ ´۴۷ ° تا ۴۸ ´۲۷ ° و عرض های جغرافیایی ۱۲ ´۳۷ ° تا ۲۵ ´۳۷ ° قرار دارد (شکل ۲).

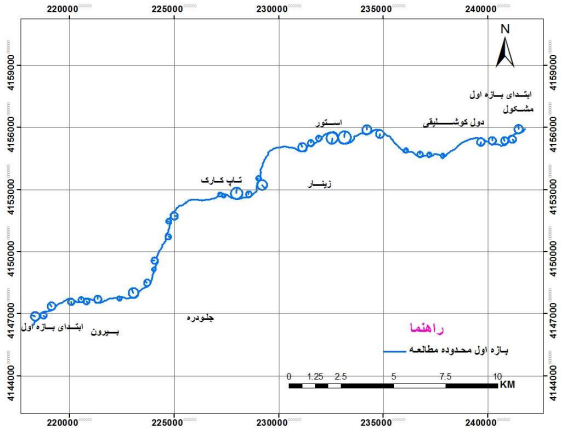


شکل ۲- نقشه موقعیت جغرافیایی و مدل ارتفاعی رقومی (DEM) منطقه مورد مطالعه.

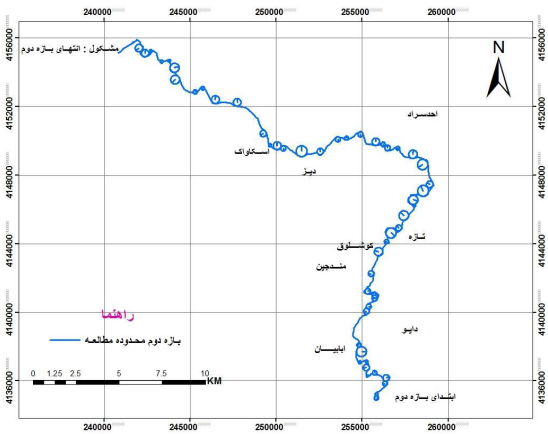
در این تحقیق به جهت این که الگوی رودخانه در تمام طول مسیر مورد مطالعه به یک شکل نمی باشد جهت بررسی دقیقتر تغییرات صورت گرفته و جلوگیری از خطای احتمالی در محاسبه ضریب خمیدگی، زاویه مرکزی و بعد فراکتالی مسیر مورد مطالعه به سه بازه تقسیم

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-12]

گردید که هر بازه به لحاظ ژنتیک و مورفولوژی خاص خود از بازه دیگر کاملا متمایز می باشد و بدین صورت میزان خطای احتمالی کاهش خواهد یافت. بازه اول مسیر مورد مطالعه از محدوده بین روستای بیرون (۳۰ کیلومتری شهرستان میانه) تا مشکول را شامل می شود (شکل ۳). این محدوده بازه دشتی بوده و الگوی مسیر رودخانه شریانی می باشد. بازه دوم محدوده بین مشکول تا روستای ابابیان را در بر می گیرد (شکل ۴). قسمت عمده این بازه بیش از ۸۰ درصد بازه در منطقه کوهستانی می باشد. که الگوی این بازه جزو رودخانه های مئاندری تک مجرایی می باشد. بازه سوم نیز محدوده بین روستای کمر تا ابتدای مرز سیاسی استان زنجان را شامل می شود (شکل ۵) این بازه در داخل محدوده نیمه کوهستانی می باشد. و شدت ارتفاعات در این بازه نسبت به بازه دوم کاهش می یابد در این بازه الگوی شریانی بر الگوی پیچانرودی اثر نموده و به این ترتیب درجه سینوسی و منظمی رودخانه را تغییر داده است. لذا الگوی این محدوده به صورت الگوی پیچان رودی در حال تبدیل به الگوی شریانی می باشد.

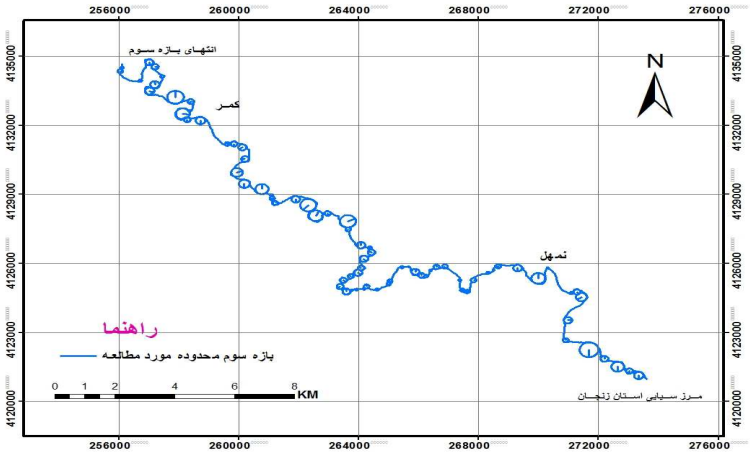


شکل ۳- بازه اول محدوده با دوایر برازش شده بر پیچان رودها.



شکل ۴- بازه دوم محدوده با دوایر برازش شده بر پیچان رودها.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-12]



شکل ۵- بازه سوم محدوده مورد مطالعه با دوایر برازش شده بر پیچان رودها.

مواد و روش ها

در این تحقیق جهت بررسی تغییرات الگوی هندسی مسیر رودخانه قزل اوزن در سه دوره از تصاویر ماهواره ای +ETM سال ۲۰۰۰، +ETM سال ۲۰۰۴ و IRS سال ۲۰۰۷ استفاده شده است، جهت آماده سازی تصاویر برای تعبیر و تفسیر و کاهش خطاها، عملیات پیش پردازش روی تصاویر انجام گرفت. پیش پردازش های اعمال شده شامل تصحیحات رادیو متریک، هندسی و ژئورفرنس نمودن تصاویر می باشد. تصحیح هندسی تصاویر و زمین مرجع کردن آن براساس نقشه های ۱:۵۰۰۰۰ و حدود ۳۰ نقطه کنترل زمینی مشابه صورت گرفت تصحیح هندسی فوق الذکر با استفاده از الگوریتم نزدیک ترین همسایه انجام شد. برای استخراج مسیر رودخانه از تصاویر سنجنده +ETM از تکنیک های ترکیب رنگی تصاویر (RBG: باند های ۲-۴-۷) و برای تصویر IRS از سنجنده Pan این ماهواره استفاده گردید. پس از پردازش تصاویر فایل رقومی حاصل به محیط ARC GIS وارد و خط بستر و ساحل رودخانه به صورت لایه های رقومی مستقل استخراج شد. در مرحله بعد اقدام به شناسایی پیچان رودهای موجود شد. بدین منظور تعداد ۳۷ پیچان رود برای بازه اول، ۵۱ پیچان رود برای بازه دوم و ۶۴ پیچان رود برای بازه سوم شناسایی گردید، سپس نقاط عطف یا نقاط تغییر انحنای محور رودخانه برای هر سه بازه با دقت زیاد مشخص گردید. برای هر یک از قوس های رودخانه دوایری برازش شد که بیشترین و بهترین تطابق را با قوس داشته باشد و در ادامه مشخصات هندسی پیچان رودها از قبیل طول موج، طول قوس، شعاع انحنائ و دامنه نوسان در محیط نرم افزار ARC GIS با استفاده از توابع موجود استخراج گردید. سپس با استفاده از رابطه ۱ اندازه ضریب خمیدگی برای هر قوس محاسبه شد.

$$S = \frac{L}{\lambda / 2} \qquad (۱)$$

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-12]

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

در ادامه زاویه مرکزی قوس های زده شده روی هر کدام از بازه ها با استفاده از رابطه ۲ محاسبه گردید.

$$A=\frac{180L}{R\pi} \qquad (۲)$$

در این رابطه نیز A زاویه مرکزی، R شعاع دایره برازش داده شده می باشد.

روش های محاسبه مولفه های فراکتالی

روشهای مختلفی جهت محاسبه بعد فراکتال (۱۴) می توانند به کار گرفته شوند که از آن جمله می توان به بعد خود متشابهی (Ds)، بعد اندازه گیری شده (d) و بعد شمارش خانه (D_b) (۱۲) را نام برد. یکی از پرکاربرد ترین روش ها، روش شمارش جعبه ای 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 می توان استفاده کرد و سرعت انجام محاسبات زیادتر از سایر شیوه ها است و همچنین الگوریتم آن قابلیت استخراج نتایجی با بیشترین اطمینان را می دهد (۷ و ۱۷). بعد شمارش خانه گسترش یافته شیوه محاسبه بعد اندازه و پوشاننده است و به این صورت ایجاد می شود که شبکه ای از خانه های مربع شکل روی تصویر مورد نظر قرار داده می شود اندازه شبکه با (s) مشخص می شود که مقیاس می باشد. تعداد خانه هایی که بخشی از تصویر را در خود دارد شمرده می گردد حاصل این شمارش N(s) تعداد خانه ها خواهد بود این روند با تغییر s به شبکه های ریزتر و شمارش تعداد خانه های در بردارنده تصویر N(s) تکرار می گردد، در مرحله بعد ترسیم Log N(s) در مقابل Log(1/s) است شیب خط مستقیم که به بهترین وجه اطلاعات را به نمایش می گذارد تقریبا برابر بعد شمارش خانه (D_b) است (شکل ۶). بعد فراکتال از طریق رابطه زیر حاصل می شود (۲۶).

$$D=\frac{Log\left[N(s)\right]}{Log(\frac{1}{s})} \qquad (۳)$$

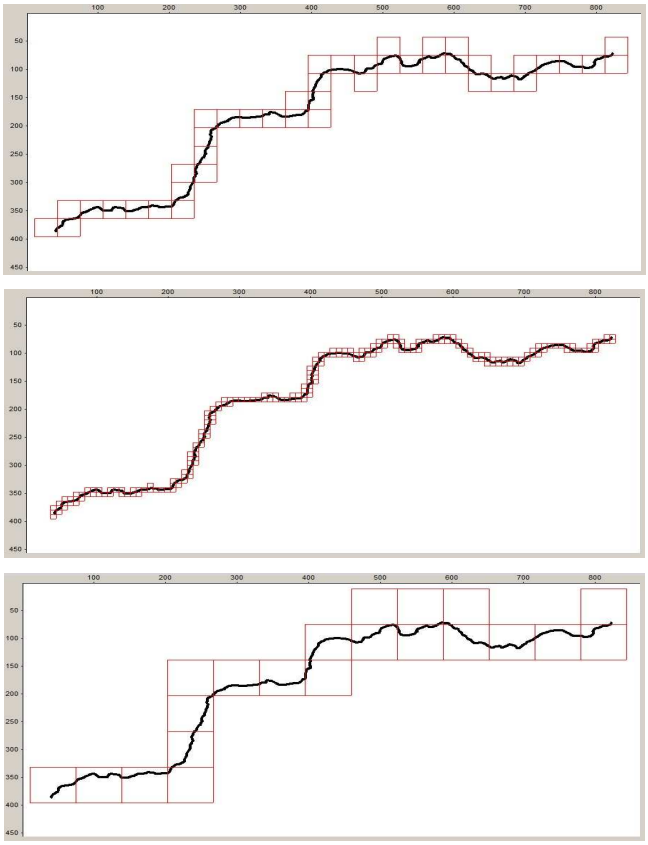
که در این رابطه s اندازه شبکه و N(s) تعداد خانه های در بردارنده تصویر می باشد.

شیب خط بعد شمارش خانه (D_b) با رابطه زیر داده می شود.

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

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

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-12]



شکل ۶- نحوه محاسبه بعد رودخانه به روش بعد شمارش خانه با تغییر مقیاس (بازه اول محدوده مورد مطالعه از تصویر لندست ۲۰۰۴).

در شکل ۷ نمودار غیرخطی 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.

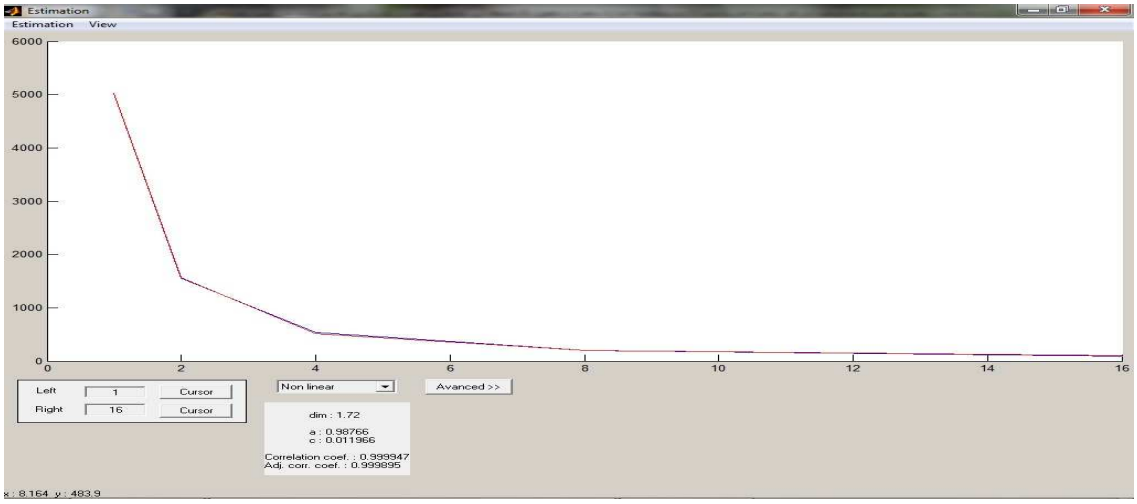
$$N = sD \qquad (۵)$$

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 ویژگیهای فراکتالی اشکال و پدیده ها را نشان بدهند بنابراین جهت تحلیل دقیقتر از رابطه زیر استفاده گردید.

$$N = asD + c \qquad (۶)$$

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.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-12]



شکل ۷- نمودار غیرخطی جهت محاسبه شاخص های فراکتالی رودخانه قزل اوزن توسط نرم افزار Fractalyse (بازه دوم محدوده مورد مطالعه از تصویر لندست ۲۰۰۴) 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 در این تحقیق (قزل اوزن) را از قانون فراکتال را بیان می کند (۲۸) 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 (۱۱ و ۲۸). 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 (۲۹). معادلات رگرسیون غیرخطی استفاده شده جهت برازش منحنی تخمین زاده شده با منحنی واقعی شامل معادلات زیر می باشد:

$$y = x\hat{}d \quad (۷)$$

$$y = x\hat{}d + c \quad (۸)$$

$$y = a^{x}x\hat{}d \quad (۹)$$

$$y = a^{x}x\hat{}d + c \quad (۱۰)$$

بهترین برازش با منحنی تجربی برای محاسبه α، d و c از معادله ۸ بدست 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 می توانیم نتیجه بگیریم که الگوی

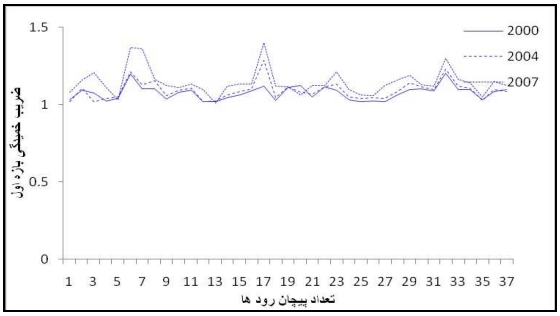
[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-12]

مورد نظر حالت فراکتالی نداشته و یا اینکه خاصیت چند فراکتالی دارد (۲۹).

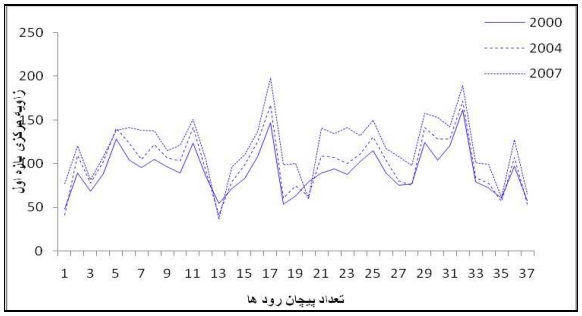
نتایج و بحث

بررسی پارامترهای زاویه مرکزی و ضریب خمیدگی نشان می دهد که رودخانه قزل اوزن در بازه های سه گانه رفتار متفاوتی از خود نشان می دهد، ضریب خمیدگی مبین میزان توسعه پیچان رودی در مسیر می باشد (۶) بررسی اشکال (۸، ۹، ۱۰، ۱۱، ۱۲ و ۱۳) مربوط به زاویه مرکزی و ضریب خمیدگی در سالهای ۲۰۰۰، ۲۰۰۴ و ۲۰۰۷ نشان می دهد که مقادیر متوسط زاویه مرکزی (A) و ضریب خمیدگی (S) در بازه کوهستانی (بازه ۲ و ۳) نسبت به بازه دشتی (بازه ۱) بیشتر است. این نکته بیانگر این است که مسیر رودخانه در منطقه کوهستانی پیچ و خم دار تر است. در بازه اول، رودخانه روی بستر عریض جریان دارد و رسوب گذاری زیاد موجب گردیده تا جزایر رسوبی روی بستر پیچان رودی به وجود آید و رودخانه در فصول کم آبی بدلیل عرض بسیار زیاد این بازه به شکل شریانی در آید. در واقع رودخانه در بازه های کوهستانی، در یک مسیر پیچ و خم دارتر جریان یافته است که به دلیل مقاومت تشکیلات زمین شناسی کناره رودخانه و عرض کم منتج از این عامل، می باشد. بررسی روند تغییرات ضریب خمیدگی و زاویه مرکزی در طول سالهای مورد مطالعه نشان می دهد که بازه اول در طول دوره مطالعه بیشترین میزان تغییرات را داشته است تغییرات قوس های مطالعه شده در این بازه کاملا به صورت مشهود می باشد، در بازه دوم میزان تغییرات بسیار کم می باشد به این دلیل که این بازه یک بازه کاملا کوهستانی می باشد، بازه سوم یک بازه نیمه کوهستانی می باشد تغییرات این بازه نسبت به بازه اول کمتر بوده و نسبت به بازه دوم بیشتر می باشد. این تحقیق به دنبال کاربرد هندسه فراکتال در مهندسی رودخانه می باشد به همین خاطر جهت بررسی و مقایسه تغییرات بدست آمده به وسیله شاخص های ضریب خمیدگی و زاویه مرکزی با تغییرات بدست آمده توسط تحلیل فراکتالی بازه های سه گانه توسط هندسه فراکتال بررسی شدند.

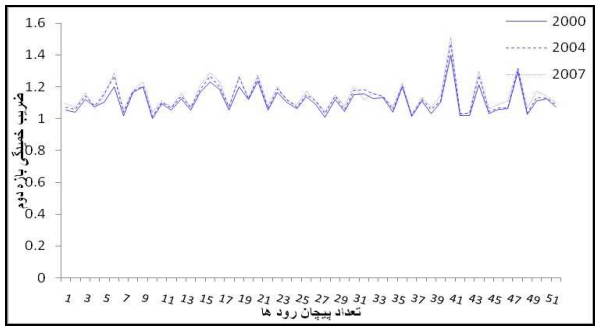
[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-12]



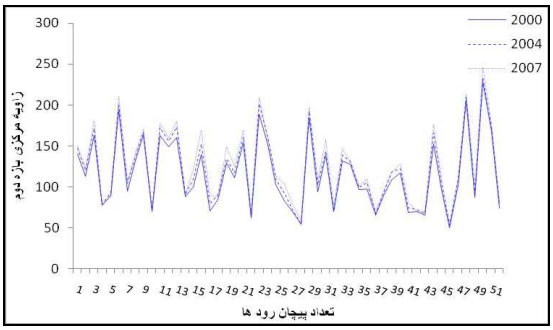
شکل ۸- مقایسه ضریب خمیدگی پیچان های بازه اول.



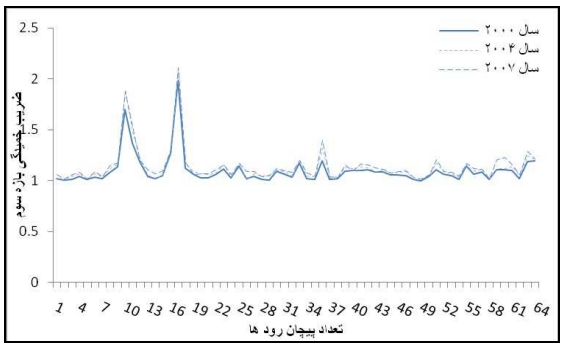
شکل ۹- مقایسه زاویه مرکزی پیچان های بازه اول.



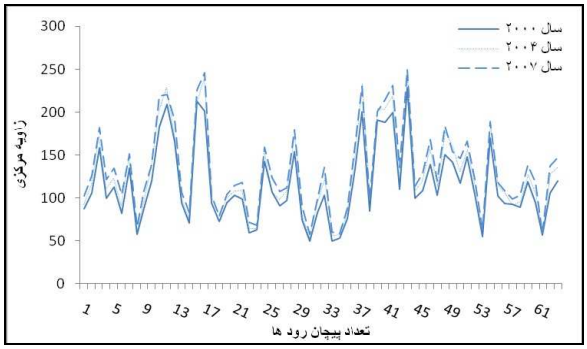
شکل ۱۰- مقایسه ضریب خمیدگی پیچان های بازه دوم.



شکل ۱۱- مقایسه زاویه مرکزی پیچان های بازه دوم.



شکل ۱۲- مقایسه ضریب خمیدگی پیچان های بازه سوم.



شکل ۱۳- مقایسه زاویه مرکزی پیچان های بازه سوم.

قبل از بررسی بعد فراکتالی بازه ها لازم است که فراکتال بودن رودخانه مورد سنجش قرار بگیرد که توسط مولفه a و R صورت می گیرد و همچنین میزان انطباق منحنی تجربی با منحنی تئوریکی نیز توسط مولفه c مورد سنجش قرار گرفت نتیجه محاسبات مولفه های فوق در

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-12]

جدول ۱ نشان داده شده است براساس پارامتر a تمامی بازه ها در سالهای مورد بررسی خاصیت فراکتالی دارند اگرچه خاصیت یک فراکتال کاملا تیپیک همچون منحنی کخ را ندارند ولی جهت بررسی ویژگیهای بازه مورد نظر به وسیله هندسه فراکتال کاملا عملی بوده و میزان نتایج به خاطر ضریب همبستگی (R) و ضریب تعین تعدیل شده (Ad R S) بسیار بالا که در جدول ۱ آورده شده است، جهت تحلیل فراکتالی قابل اطمینان می باشد. بررسی میزان انحراف (مولفه c) منحنی تئوریک و واقعی هم نشان می دهد (که برای بازه دوم در شکل ۵ نشان داده شده است) که میزان انحراف در حد بسیار کم می باشد و بدیهی است که میزان انحراف در جدول ۲ نمی تواند نتیجه را متاثر سازد.

جدول ۱- مولفه های تحلیل فراکتالی مسیر رودخانه قزل اوزن به وسیله رگرسیون غیر خطی برای سالهای ۲۰۰۰، ۲۰۰۴ و ۲۰۰۷

مولفه های	بازه اول			بازه دوم			بازه سوم		
بررسی شده	۲۰۰۰	۲۰۰۴	۲۰۰۷	۲۰۰۰	۲۰۰۴	۲۰۰۷	۲۰۰۰	۲۰۰۴	۲۰۰۷
A	۰/۹۸۷	۰/۹۸۹	۰/۹۸۷	۰/۹۸۸	۰/۹۸۹	۰/۹۸۸	۰/۹۸۹	۰/۹۸۹	۰/۹۸۹
C	۰/۰۱۱۹	۰/۰۱۰۰	۰/۰۱۲۰	۰/۰۱۰۳	۰/۰۱۰۴۰	۰/۰۱۰۹	۰/۰۰۹۳	۰/۰۰۸۴	۰/۰۱۰۰
R	۰/۹۹۹	۰/۹۹۹	۰/۹۹۹	۰/۹۹۹	۰/۹۹۹	۰/۹۹۹	۰/۹۹۹	۰/۹۹۹	۰/۹۹۹
Ad R S	۰/۹۹۹	۰/۹۹۹	۰/۹۹۹	۰/۹۹۹	۰/۹۹۹	۰/۹۹۹	۰/۹۹۹	۰/۹۹۹	۰/۹۹۹

جدول ۲- تغییرات بعد فراکتالی برای بازه های مختلف و مقایسه بعد فراکتالی هر بازه در سالهای ۲۰۰۰، ۲۰۰۴ و ۲۰۰۷

بازه ها	بازه اول			بازه دوم			بازه سوم		
سال	۲۰۰۰	۲۰۰۴	۲۰۰۷	۲۰۰۰	۲۰۰۴	۲۰۰۷	۲۰۰۰	۲۰۰۴	۲۰۰۷
D	۱/۶۴۱	۱/۶۲۶	۱/۶۵۶	۱/۶۱۷	۱/۶۱۲	۱/۶۱۴	۱/۶۲۵	۱/۶۰۸	۱/۶۲۲

بررسی جدول ۲ نشان می دهد که بیشترین بعد فراکتالی برای بازه اول بدست آمده است همانطوری که گفته شد این بازه شریانی می باشد و رودخانه در این بازه دارای چندین مسیر می باشد بنابراین از پیچیدگی بیشتری نسبت به سایر بازه ها برخوردار می باشد. کمترین میزان بعد فراکتالی برای بازه دوم بدست آمد این بازه یک بازه کاملا کوهستانی می باشد و رودخانه در یک دره عمیقی جریان دارد و الگوی رودخانه در تمامی طول بازه بصورت کاملا تک مجرایی بوده و از لحاظ هندسی از پیچیدگی کمتری نسبت به سایر بازه ها برخوردار می باشد که به این علت است که رودخانه از یک مسیر مشخص عبور می کند، بازه سوم نسبت به دو بازه قبلی حالت بینابینی دارد و در یک منطقه نیمه کوهستانی قرار دارد و

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-12]

مسیر رودخانه عموماً بصورت مئاندری در حالت تبدیل به شریانی می باشد که بعد فراکتالی بدست آمده نیز این حالت را نسبت به سایر بازه ها نشان می دهد.

بررسی روند تغییرات بازه های مورد مطالعه بوسیله بعد فراکتالی (جدول ۲) و شاخص های ضریب خمیدگی و زاویه مرکزی (جدول ۳) نشان می دهد که بازه اول بیشترین میزان تغییرات را در شکل هندسی خود داشته است مقایسه بعد فراکتالی بدست آمده در سالهای ۲۰۰۰، ۲۰۰۴ و ۲۰۰۷ موید این مطلب می باشد. این بازه چون بصورت یک بازه شریانی می باشد، عموما بازه های شریانی ناپایدار تصور می شوند به این دلیل که هر گونه تغییر در دبی رودخانه و دبی رسوبی و پارامترهای مورفولوژیکی باعث تغییر مسیر رودخانه و تغییر الگوی هندسی بازه می گردد از طرف دیگر بررسی سازندهای واقع در کناره های مسیر رودخانه در بازه اول (بازه دشت سیلابی) نشان می دهد که از چهار لیتولوژی مشخص تشکیل شده است، مارن های نئوژن، پادگان های کهن، پادگان های میانی، پادگان های جوان. که عموما جزو تشکیلات فرسایش پذیر و سست می باشند، فرسایش عمیق و خندقی و نیز لغزش های شایع در این سازند سبب شده که رودخانه در این بازه از ناپایداری بالایی برخوردار باشد. و مسیر رودخانه هر ساله شاهد تغییرات قابل توجه هست که این حالت به وسیله تحلیل هندسه فراکتالی و شاخص های مورفولوژیکی مطالعه شده در این تحقیق نشان داده شده است.

بازه دوم کمترین میزان تغییرات را از لحاظ بعد فراکتالی و شاخص های ضریب خمیدگی و شاخص زاویه مرکزی (جداول ۲ و ۳) داشته است این بازه همانطور که گفته شد یک بازه کاملا کوهستانی است و یک بازه پایدار تصور می گردد. بررسی تصاویر ماهواره ای در سالهای مختلف نیز نشان دهنده این مطلب می باشد جهت بررسی دقیقتر سازندهای واقع در بازه دوم مورد بررسی قرار گرفت در بازه کوهستانی، لیتولوژی عمده، شامل سنگ های آذرین و آذر آوری ائوسن به همراه طبقات رسوبی شیلی و ماسه سنگی می باشد که بسیار مقاوم بوده و کمترین میزان تغییرات را در سالهای مورد بررسی داشته اند. با توجه به ماهیت بعد فراکتال که شباهت الگوی هندسی پدیده ها را نشان می دهد، الگوی هندسی مسیر رودخانه در بازه دوم در طول سه دوره بررسی براساس بعد فراکتالی بدست آمده (جدول ۳) شبیه به هم می باشد و این یعنی تغییرات رخ داده بسیار کم می باشد. که این حالت دقیقا توسط شاخص های ضریب خمیدگی و زاویه مرکزی تایید گشته است.

بازه سوم یک بازه نیمه کوهستانی می باشد و از لحاظ بعد فراکتالی و شاخص های زاویه مرکزی و ضریب خمیدگی، یک بازه بینابینی بین بازه های مطالعه شده دارد میزان تغییرات نیز نسبت به بازه شریانی کمنر و نسبت به بازه

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-12]

کوهستانی بیشتر می باشد. بنابراین مطالعات انجام گرفته روی رودخانه قزل اوزن در قسمت مورد مطالعه موید این نکته است که مقاطعی که دارای کناره های مقاوم به فرسایش بوده، فرسایش بستر تاثیر کرده و رودخانه بستری عمیق و کم عرض پیدا کرده است. و بعد فراکتالی بازه مورد نظر نیز کمتر بدست آمده و میزان تغییرات شاخص های زاویه مرکزی و ضریب خمیدگی نیز در سالهای متوالی نیز به خاطر این عامل بسیار کم می باشد و در مورد مقاطعی که کناره های فرسایش پذیر داشته باشند، بستر عریض و کم عمق می باشد و بعد فراکتالی بازه مورد نظر نیز بیشتر بدست آمده و میزان تغییرات شاخص های زاویه مرکزی و ضریب خمیدگی در سالهای متوالی نیز به خاطر این عامل بیشتر می باشد و لذا یک رابطه خطی بین بعد فراکتال بدست آمده و شاخص های زاویه مرکزی و ضریب خمیدگی بازه مورد نظر مشاهده می گردد.

جدول ۳- تغییرات ضریب خمیدگی و زاویه مرکزی برای بازه های مختلف و مقایسه آنها برای هر بازه در سالهای ۲۰۰۰، ۲۰۰۴ و ۲۰۰۷

بازه ها	بازه اول			بازه دوم			بازه سوم		
سال	۲۰۰۰	۲۰۰۴	۲۰۰۷	۲۰۰۰	۲۰۰۴	۲۰۰۷	۲۰۰۰	۲۰۰۴	۲۰۰۷
A	۱/۰۵۴	۱/۰۹۲	۱/۱۴۵	۱/۱۱۱	۱/۱۳۱	۱/۱۴۴	۱/۱۰۱	۱/۱۲۷	۱/۱۴۹
S	۸۹/۴۴	۱۰۰/۸۲	۱۱۸/۶۵	۱۱۵/۲۸	۱۲۱/۴۷	۱۲۶/۴۴	۱۱۷/۷۹	۱۲۶/۵۵	۱۳۴/۰۸

نتیجه شاخص های ضریب خمیدگی، زاویه مرکزی و تحلیل هندسه فراکتالی قسمتی از رودخانه قزل اوزن در این تحقیق نشان داد که روند تغییرات الگوی هندسی هر کدام از بازه های مطالعه شده در این تحقیق با بازه دیگر کاملا متفاوت می باشد، بدین صورت که بازه اول بیشترین میزان تغییرات را در طول سالهای مورد مطالعه داشته است این بازه دارای الگوی شریانی می باشد با توجه به این که رودخانه های شریانی عمدتاً وضعیت پایدار و ثابتی ندارند و جهت جریان و موقعیت جزایر رسوبی و عرض رودخانه ها دائماً در معرض تغییر و تحول است، می توان پیش بینی نمود که تغییرات احتمالی صورت گرفته در آینده در بازه شریانی خواهد بود این بازه براساس روشهای مطالعه شده در این تحقیق یک بازه کاملا ناپایدار بوده و الگوی هندسی بازه هر ساله دچار تغییرات زیادی می گردد، بازه دوم کمترین میزان تغییرات در طول سالهای مورد بررسی داشته است این بازه یک بازه کوهستانی بوده رودخانه توسط سنگ بستر و کناره ها محدود شده است و میزان تغییرات در طول سالهای مورد بررسی بسیار کم

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-12]

می باشد و به صورت یک بازه پایدار می باشد. در بازه سوم میزان تغییرات در طول سالهای مورد بررسی در حالت متوسطی می باشد و میزان تغییرات در حدی نیست که تغییر فاحشی در الگوی رودخانه اتفاق افتاده باشد و به صورت یک بازه نسبتا پایدار می باشد.

این مطالعه توانایی هندسه فراکتال را در شناسایی تغییرات اتفاق افتاده در الگوی هندسی رودخانه قزل اوزن را نشان داد. تحلیل فراکتالی قسمتی از مسیر رودخانه قزل اوزن نشان داد که الگوی هندسی رودخانه در هر سه بازه خاصیت فراکتالی داشته و بنابراین می توانند تغییرات الگوی هندسی رودخانه در سالهای مختلف توسط هندسه فراکتال تحلیل گردند، نتایج بدست آمده از تحلیل فراکتالی با نتایج شاخص های ضریب خمیدگی و زاویه مرکزی در سه بازه مورد نظر کاملا منطبق می باشد. بنابراین هندسه فراکتال می تواند بعنوان یک روش جدید و پویا جهت استفاده در مطالعات ژئومورفولوژی رودخانه بکار گرفته شود. این مطالعه نشان داد که تحلیل فراکتالی الگوی مسیر رودخانه منطبق با واقعیت های مورفولوژیکی الگوی مسیر بازه ها در طبیعت می باشد، بنابراین گسترش تحقیقات ژئومورفولوژی در این زمینه باعث کشف و شناسایی ابعاد جدیدی از توانایی هندسه فراکتال در مدل سازی، پیش بینی و ممیزی اشکال ژئومورفیک خواهد شد، هندسه فراکتالی می تواند به عنوان ابزار ریاضی مناسب جهت بررسی ژئومورفولوژی رودخانه ها بکار گرفته شود. این تحقیق آغاز راه بسیار گسترده ای را در کاربرد هندسه فراکتال در علم پویایی ژئومورفولوژی می باشد، تحقیقات بعدی در این زمینه باید در مورد تحلیل تئوری ریاضی چند- فراکتال ها جهت پیش بینی شکل هندسی آتی رودخانه های پر پیچ و خم مانند قزل اوزن باشد.

منابع

1. Abdi, P. 2006. Evaluating the performance of constructed breakwaters on rivers in the Zanjan. Seventh International Congress on Civil Engineering. Tehran, Tarbiat Modarres University, School of Civil Engineering, pp: 9-16.
2. Arshad, S., S. Morid and H. Mir Abolghasemi. 2008. Assessing the trend of morphologic changes of river using remote sensing (Case study: Karun river between Gotvand and Farsiat), J. Agric. Sci. Natur. Resour., 14(6): 180-194.
3. Bartholdy, j. and P. Billi. 2002. Morphodynamics of a pseudo meandering gravel bar reach. Geomorphology. 42: 293-310.
4. Bayat Khatibi, M. 2011. Investigation on potential of flood occurrences on length of meandering river by using of LFH. Case study: Shor river (located on east slope of Sahand Mt) Geographical Research, 75: 1-18.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-12]

5. Beauvais, A. and D.R. Montgomery. 1996. Influence of valley type on the scaling properties of river planforms. Water Resour. Res., 32: 1441-1448.
6. Biedenharn, D.S., C.M. Elliot and C.C. Watson. 1997. The WES stream investigation and stream bank stabilization handbook. US. Army Engineering. 286 pp.
7. Buczkowski, S., P. Hildgen and L. Cartilier. 1998. Measurement of fractal dimension by Box-Counting a critical analysis of data scatter. Physica A 252(1): 23-34.
8. Cook, R.U. and J.C. Doornkamp. 1990. Geomorphology in environment management, Second Edition, Clarendon Press, Oxford. pp: 100-105.
9. 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, 209(3-4): 288-300.
10. Edwards, B.F. and D.H. Smith. 2001. River meandering dynamics. National Energy Laboratory, Morgantown, West Virginia, USA. 12 pp.
11. 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, "Structures", Brussels, 2: 79-105.
12. Grassberger, P. 1983. On efficient box counting algorithms. Int. J. Mod. Phys. C 4: 515-523.
13. Jansen, P. Ph. and P. Philippus. 1979. Principles of river engineering, Pitman, London.
14. Klinkenberg, B. 1994 A reviews of methods used to determine the fractal dimensions of linear Features, Mathematical Geology., 26(1): 23-46.
15. Lancaster, S.T. and R.L. Bars. 2002. A simple model of river meandering and its comparison to natural channels. Journal of Hydrol. Process, 16: 1-26.
16. Leopold. L.B. and M.G. Wolman. 1960. River meanders. Bulletin of the Geological Society of American, 71: 769-794.
17. Liebovitch, L.S. and T. Tibor. 1989. A fast algorithm to determine fractal dimensions by Box-Counting. Physics Letters A 141(8/9): 386-390.
18. Nikora, V., V.B. Sapozhinov and D.A. Noever. 1993. Fractal geometry of individual river channels and its computer simulation. Water Resour. Res., 29: 3561-3568.
19. Nikui, A., M. Heydari, N. Taleb Bidokhti and A. Hekmat zade. 2008. Fractal geometry in river engineering: the ideas, basic concepts and achievements, Civil Engineering Congress, Tehran University, May.
20. Nohegar, A. and M. Yamani. 2005. Reviwe of Meandering geomorphological situation and its role in the erosion of bed and sides river Minab(downstream Minab), Geographical Studies, 51: 65-85.
21. Rezaei Moghaddam, M.H. and K. Khoshdel. 2009. A Research on Sinuosity of Ahar Chay Meanders in Ozomdel Plain, Varzegan, East Azerbijan, Iran, Geography and Environmental Planning, 33(1):101-112.
22. Roach, D.E. and A.D. Fowler. 1993. Dimensionality analysis of patterns: Fractal measurements., Computer and Geosciences 19(26): 849-869.
23. Sarma, J.N. 2005. Flovial process and morphology of the Brahaputra River in Assam, India. Geomorpology, 70: 226-26

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-12]

24. Shen, X.H, L.J. Zou, G.F. Zhang, N. Su, W.Y. Wu and S.F. Yang. 2011. Fractal characteristics of the main channel of Yellow River and its relation to regional tectonic evolution, Geomorphology 127: 64-70.
25. Snow, R.S. 1989. Fractal sinuosity of stream channels. Pure Appl. Geophys. 131: 99-109.
26. Stevan, H.S. 1994. Nonlinear dynamics and chaos (with applications to physics, Biology, chemistry, and engineering). Persuse books, Reading, Massachustts. 505 pp.
27. Talori, A.R. 1991. Understanding of rivers erosion in flood plains, Research Institute of Forests and Pastures. 139 pp.
28. Thomas, I., P. Frankhauser and D. Badariotti. 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.
29. Thomas I., C. Tannier and P. Frankhauser. 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, nÂ°413, 24 pp.
30. Turcotte, D.L. 1992. Fractal and Chaos in Geology and Geophysics, Geophysics Combridge university press. Combridge. 121 pp.
31. Yamani, M. and M. Hosein zade. 2004. review of Meandering pattern of Talar river by Central Angles and Sinuosity Ratio Indices, Geographical Research, 19(2): 144-154.
32. Yamani, M., H. Elmizadeh, M. Maghsoudi, A. Mogimi and A. Nohegar. 2010. Investigation menader changes and river bed instability in the Northern plains of the Hormoz Strait Quarterly Journal Modares Human Sciences Spatial Planning. 215-232.
33. 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.
34. Zámolyi, A., B. Székely, E. Draganits and G. Timár. 2010. Neotectonic control on river sinuosity at the western margin of the Little Hungarian Plain, Geomorphology 122 (3-4): 231-243.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-12]

Compared Investigation Meandering Pattern by Fractal Geometrical Analysis and Central Angles and Sinuosity Ratio Indices

M.H. Rezaei Moghadam[1], M.R. Sarvati[2] and S. Asghari Sareskanrood[3]

1- Professor, University of Tabriz (Corresponding author: rezmogh@yahoo.com)
2- Associate Professor, University of Shahid Beheshti
3- Ph.D. Student, University of Tabriz

Abstract

Monitoring route changes and the geometric pattern of rivers is essential to accurately identify and evaluate eventual problems and risks in order to maintain and optimize utilization of natural resources and it is among the priorities of Geomorphology. Treat of Rivers have been considered as one of the natural complex always. Fluvial Geomorphology researchers are seeking new methods to evaluate changes in river always. On this basis, the study tries to demonstrate the application of fractal geometry in a geometric pattern of changes in ozone river trout. The purpose of this study is to compare the results of fractal geometry with the results Central Angel and Sinuosity Ratio indicator for studying of changes in the geometrical pattern of the river. For this purpose satellite images were used for the three time periods 2000, 2004 and 2007. The route of study for changes analysis was divided into three periods. Then, using multiple indicators of Sinuosity Ratio and central angle and the analysis of fractal geometry, geometric pattern of change was extracted from rivers in the study period. For determining fractal dimensions was used from box-counting. For determining the fractal properties of intervals was used from components a and R. range of Deviations of the desired intervals was determined by the component C. To detect changes of fractal dimensions (D), was compared the ranges. The result showed that the first interval has the highest rate of change and the second lowest range of the changes in studying years. The study results showed that the Sinuosity Ratio and central angle indicators in investigation changes in the geometric pattern of the river is fully consistent with the changes obtained with fractal geometry. Thus, fractal geometry can be used as a convenient mathematical tool for the study rivers Geomorphology.

Keywords: Geometric pattern changes, Sinuosity Ratio, Central angle, Fractal geometry, Gezel Ozan River

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-12]