

بررسی تغییرات الگوی هندسی رودخانه قزل‌اوزن با استفاده از تحلیل هندسه فراکتال

محمدحسین رضایی مقدم^۱

محمدرضا ثروتی^۲

صیاد اصغری سراسکانرود^۳

چکیده

محققان علم ژئومورفولوژی رودخانه همواره در پی روش‌های جدیدی برای بررسی ژئومورفولوژی رودخانه‌ای و تغییرات الگوی مسیر رودخانه‌ها می‌باشند، هندسه فراکتال یکی از روش‌های جدیدی است که می‌تواند در علم ژئومورفولوژی رودخانه‌ای به کار گرفته شود. اهمیت اصلی هندسه فراکتال در این است که مدل و توصیفی ریاضی برای بسیاری از اشکال پیچیده که در طبیعت یافت می‌شوند ارائه می‌کند. هدف این تحقیق تحلیل فراکتالی مسیر رودخانه قزل‌اوزن و تغییرات صورت گرفته حدفاصل میانه تا زنجان می‌باشد، بدین منظور از تصاویر ماهواره‌ای ETM+ و IRS در سه دوره زمانی ۲۰۰۷ و ۲۰۰۴، ۲۰۰۰ استفاده شد، جهت تحلیل فراکتالی مسیر مورد مطالعه به سه بازه تقسیم گردید که هر بازه به لحاظ خصوصیات مورفولوژیکی از بازه دیگری متفاوت می‌باشد. برای تعیین بعد فراکتالی از روش بعد شمارش خانه استفاده شد. نتایج این تحقیق نشان داد که بازه اول (بازه شریانی) بیشترین میزان تغییرات در سال‌های مورد بررسی را داشته و بازه دوم (بازه

۱- استاد گروه جغرافیای طبیعی دانشگاه تبریز.

۲- دانشیار دانشگاه شهید بهشتی.

۳- دانشجوی دکتری جغرافیای طبیعی ژئومورفولوژی.

کوهستانی) کمترین میزان تغییرات را داشته است و بازه سوم (بازه نیمه‌کوهستانی) حالت بینابنی داشته است.

واژگان کلیدی: تغییرات رودخانه، الگوی هندسی، هندسه فراکتال، رودخانه قزل اوزن.

مقدمه

نظارت بر تغییرات مورفولوژیک، اساس و پایه حل مشکلات و مسائل ژئومورفولوژی کاربردی می‌باشد و طراحی و شناسایی فرایندهای آنها ضروری است. ژئومورفولوگ‌ها معمولاً به عنوان یک اصل ضروری به تشریح گذشته و حال پرداخته و آینده فرایندها را پیش‌بینی می‌کنند تا ماهیت و سرعت تغییرات را درک نمایند (کوک و ورنکمپ^۱، ۱۹۹۰: ۱۰۲). نظارت بر تغییرات مسیر و الگوی هندسی رودخانه‌ها به منظور کسب شناخت دقیق و بررسی معضلات و مخاطرات احتمالی در جهت حفظ و بهره‌برداری بهینه از منابع طبیعی ضروری می‌باشد و جزو اولویت‌های مطالعات ژئومورفولوژی است. رفتار رودخانه‌ها به عنوان یکی از پدیده‌های طبیعی پیچیده همواره مورد توجه محققان بوده است. محققان علم مهندسی رودخانه همواره نیازمند مدلی مناسب برای تبیین، توجیه و پیش‌بینی رفتار رودخانه‌ها در گذر زمان بوده‌اند و در سال‌های اخیر هندسه فراکتال به عنوان یک گزینه‌ای مناسب جهت مدل‌سازی هندسه، تغییرات رودخانه‌ها و نیز بررسی فرایندهای فیزیکی درون رودخانه مطرح گردیده است. از سوی دیگر تعدادی از محققین قابلیت هندسه فراکتالی را در توجیه رفتار فیزیکی و دینامیک رودخانه آزموده‌اند و بررسی‌های محققان ذات و طبیعت فراکتالی این فرایندها را نیز ثابت نموده است (باربرا و روسو^۲، ۱۹۸۹؛ بنویس و مونتگومری^۳، ۱۹۹۶؛ چانگ و کامئی^۴، ۲۰۰۵؛ بارتلو و همکاران^۵، ۲۰۰۶؛ شن و همکاران^۶، ۲۰۱۱).

- 1- Cook and Doornkamp
- 2- La Barbera Rosso
- 3- Beauvais and Montgomery
- 4- Chang P. and Kamae
- 5- De Bartolo et al
- 6- Shen et al.

پدیده‌های ناهموار با اشکال نامنظم و بی‌قاعده، از اصول هندسه اقلیدسی پیروی نمی‌کنند. هندسه‌ای که برای این پدیده‌ها و ابعاد ناصحیح آنها به کار می‌رود هندسه فراکتال نامیده می‌شود. 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^۱، 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 انعطاف‌ناپذیر صورت می‌گرفته است (راچر و فلور^۲، ۱۹۹۳: ۸۵۶) اشیاء فراکتالی عموماً خود-متشابه^۳ می‌باشند. این به 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^۴) آغاز گردد و به درجات کوچکتری از تشابه (تشابه تصادفی یا آماری^۵) ختم گردد که روش‌های مختلفی برای تحلیل ریاضی آنها پدید آمده است (نیکویی و همکاران، ۱۳۸۷: ۲). در حقیقت تمامی منحنی‌های پیچیده در طبیعت ایده 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^۶، ۱۹۹۳: ۳۵۶۳).

بعد از مطرح شدن مفهوم هندسه فراکتال توسط مندلبروت^۷ (۱۹۸۲) بسیاری از نویسندگان تحلیل فراکتال را در شبکه‌های رودخانه‌ای به کار برده‌اند و نشان دادند که توزیع شبکه‌های رودخانه‌ای فراکتالی می‌باشد، اما مطالعات بسیار کمی در خصوص تحلیل

-
- 1- Turcotte
 - 2- Roach and Fowler
 - 3- Self Similar
 - 4- Deterministic Self Similarity
 - 5- Statistical Self Similarity
 - 6- Nikora et al
 - 7- Mandelbrot

فراکتالی مسیر رودخانه صورت گرفته است و بیشتر مطالعات بر روی الگوی زهکشی شبکه‌های رودخانه‌ای متمرکز شده است (تارباتون^۱، ۱۹۸۸؛ باربارا و روسو^۲، ۱۹۸۹؛ آلن و همکاران^۳، ۱۹۹۵؛ شن و همکاران^۴، ۲۰۰۲؛ بارتلو و همکاران^۵، ۲۰۰۶). تحلیل فراکتالی مسیر رودخانه نیز توسط اسنو^۳ (۱۹۸۹)، واسکوز و همکاران^۴ (۱۹۹۴)؛ بیووایز و مونتگومری^۵ (۱۹۹۶) شن و همکاران (۲۰۱۱)، صورت گرفته است.

رودخانه‌های مئاندری در مقیاس هندسه فراکتالی به طور کاملاً واضحی خود متشابه‌اند (یعنی نامتقارن هستند) به عبارتی در این رودخانه‌ها سینوسیته در مسیرهای منحنی طویل‌تر مجرا کمتر از سینوسیته مسیرهای منحنی و کوتاه‌تر است شکل هندسی رودخانه‌های شریانی نیز از جهت هندسه فراکتالی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است (بریچ، ۱۳۷۸: ۲۹۵ به نقل از ساپوژنیکف^۶ و همکاران ۱۹۹۸، جورجیو و ساپوژنیکف، ۱۹۹۸). شکل هندسی رودخانه‌های شریانی نیز به طور کاملاً واضحی از جهت فضایی نامتقارن بوده و در مقیاس هندسه فراکتالی خود متشابه است (بریچ، ۱۳۷۸: ۲۹۵) با این وجود، در مورد این نتایج به دقت باید بحث کرد، چرا که رودخانه‌هایی که توسط این محققان مورد مطالعه قرار گرفته‌اند، هم دارای مجاری شریانی و هم مجاری به هم پیوسته بوده‌اند و نیز مشاهدات آنها تنها در وضعیت یک مرحله خاص از نحوه جریان انجام شده است.

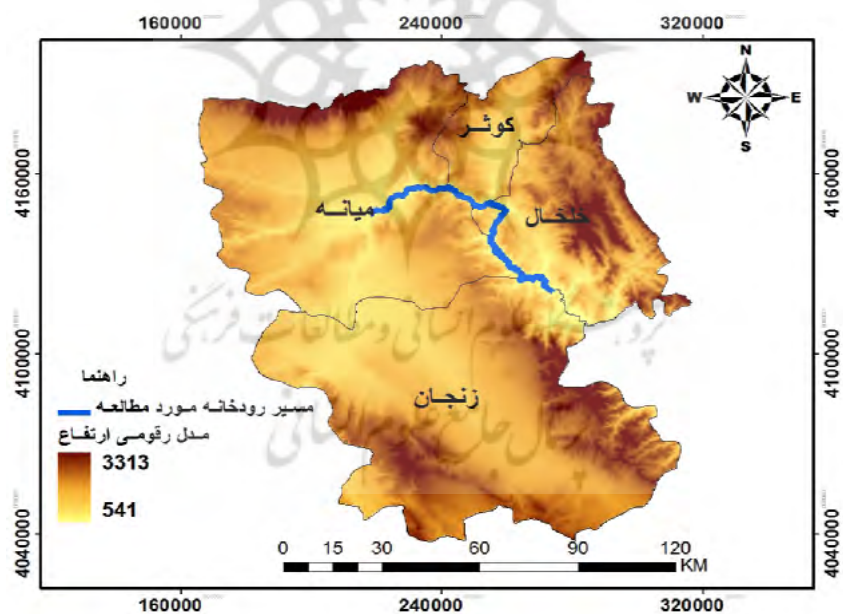
با توجه به این که استفاده از روش‌ها و مدل‌های قدیمی به طور کاملاً دقیق ویژگی‌های مورفولوژیکی رودخانه‌ها را انعکاس نمی‌دهند این تحقیق سعی می‌کند از روش‌های جدید جهت بررسی تغییرات رودخانه‌ای استفاده کند. بنابراین این تحقیق در پی ایجاد یک چارچوب مناسب جهت بکارگیری هندسه فراکتال در مهندسی رودخانه می‌باشد، نوآوری تحقیق اخیر در نگاه تحقیق به استفاده از قابلیت‌های هندسه فراکتال و معرفی زمینه‌های بکری در این عرصه جهت فعالیت تحقیقات آتی در مهندسی رودخانه می‌باشد. هدف این

- 1- Tarboton
- 2- Allen et al
- 3- Snow
- 4- Ijjasz-Vasquez
- 5- Beauvais and montgomery
- 6- Sapozhnikov

تحقیق تحلیل فراکتالی مسیر رودخانه قزل اوزن حد فاصل میانه تا زنجان می باشد که سعی دارد تغییرات شکل گرفته در الگوی هندسی رودخانه را در سه دوره مورد مطالعه توسط هندسه فراکتال تحلیل بکند.

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 حوضه آبخیز آن نزدیک به ۴۹۴۰۰ کیلومترمربع است (عبدی، ۱۳۸۵: ۹) محدوده مطالعاتی بین طول های جغرافیایی ۴۸° ۴۷' تا ۴۸° ۲۷' و عرض های جغرافیایی ۳۷° ۱۲' تا ۳۷° ۲۵' قرار دارد.



شکل شماره (۱) نقشه موقعیت جغرافیایی و مدل ارتفاعی رقومی (DEM) منطقه مورد مطالعه

مواد و روش‌ها

در این تحقیق جهت بررسی تغییرات بعد فراکتالی الگوی هندسی مسیر رودخانه قزل اوزن در سه دوره از تصاویر ماهواره‌ای ETM+ سال ۲۰۰۰، ETM+ سال ۲۰۰۴ و IRS سال ۲۰۰۷، نقشه‌های توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰، نقشه‌های زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ و مدل رقومی ارتفاع (DEM) منطقه مورد مطالعه استفاده شده است. به جهت این که الگوی رودخانه در تمام طول مسیر مورد مطالعه به یک شکل نمی‌باشد و جهت جلوگیری از خطای احتمالی در محاسبه بعد فراکتالی، مسیر مورد مطالعه به سه بازه تقسیم گردید که ملاک تقسیم‌بندی ژنتیک و مورفولوژی خاص، و الگوی متفاوت هر بازه نسبت به بازه دیگر می‌باشد به طوری که هر بازه نسبت به بازه دیگری کاملاً متمایز می‌باشد. جهت آماده‌سازی تصاویر برای تعبیر و تفسیر و کاهش خطاها، عملیات پیش پردازش بر روی تصاویر انجام گرفت. پیش پردازش‌های اعمال شده شامل تصحیحات رادیو متریک، هندسی و ژئورفرنس نمودن تصاویر می‌باشد. تصحیح هندسی تصویر و زمین مرجع کردن آن بر اساس نقشه‌های توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ و حدود ۳۰ نقطه کنترل زمینی مشابه صورت گرفت تصحیح هندسی فوق‌الذکر با استفاده از الگوریتم نزدیک ترین همسایه^۱ انجام شد. در مرحله بعدی برای استخراج خطوط کناره رود از تصاویر محدوده طیف مرئی استفاده شد. همچنین برای استخراج محل برخورد آب و خشکی از یک باند منفرد نیز استفاده شد. چرا که ویژگی انعکاسی آب در باند مادون قرمز انعکاسی تقریباً صفر است و انعکاس پوشش زمین در این محدوده خیلی بیشتر از آب است (وینارسو و بوده‌مین^۲، رسولی، ۱۳۸۷). بررسی هیستوگرام آستانه انعکاس آب در باندهای مادون قرمز تصویر ETM+ نشان داد که از ۸ باند انعکاسی ETM+ باند ۵ مادون قرمز میانی با قدرت تفکیک ۳۰ متر برای استخراج خط برخورد خشکی و آب مناسب‌تر است. با تفسیر بصری تصاویر مربوطه مشخص شد که مغایرت و اختلاف شدیدی بین محدوده آب و اطراف آن وجود دارد. این عمل به علت میزان زیاد جذب انرژی مادون قرمز میانی به وسیله آب و انعکاس شدید مادون قرمز میانی به

1- Neighborhood Nearest

2- Winarso and Budhiman

وسيله ساير پوشش‌های زمين (گياه، نمک و مناطق لم يزرع) در اين محدوده است (رسولی، ۲۰۰۷ و رسولی، ۱۳۸۷: ۵۲۳). نتيجه تحليل‌های صورت گرفته بر روی تصاویر ماهواره‌ای نشان داد که باند ۵ مادون قرمز میانی و ترکیب رنگی مجازی (۲-۴-۷) بهترین روش برای استخراج مسیر الگوی رودخانه می‌باشد بنابراین اساس کار جهت محاسبات فراکتالی در نظر گرفته شد.

روش‌های محاسبه مولفه‌های فراکتالی

روش‌های مختلفی جهت محاسبه بعد فراکتال (کلینبرگ^۱، ۱۹۹۴: ۶۴) می‌تواند به کار گرفته شوند که از آن جمله می‌توان به بعد خود متشابهی^۲ (Ds)، بعد اندازه‌گیری شده (d) و بعد شمارش خانه^۳ (Db) (گرس برگر^۴، ۱۹۸۳) 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 زیادتز از سایر شیوه‌ها است، و همچنین الگوریتم آن قابلیت استخراج نتایجی با بیشترین اطمینان را می‌دهد (لیبویچ و تیبور^۵، ۱۹۸۹: ۳۸۸؛ بوزکویسکی و همکاران^۶، 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

- 1- Klinkenberg
- 2- Self similarity
- 3- Box counting
- 4- Grass berger
- 5- Liebovitch and Tibor
- 6- Buczkowski et al

به بهترین وجه اطلاعات را به نمایش می‌گذارد تقریباً برابر بعد شمارش خانه (Db) است (شکل ۳).

بعد فراکتال از طریق رابطه زیر حاصل می‌شود (استوان^۱، ۱۹۹۴: ۴۰۹).

رابطه ۱

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

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

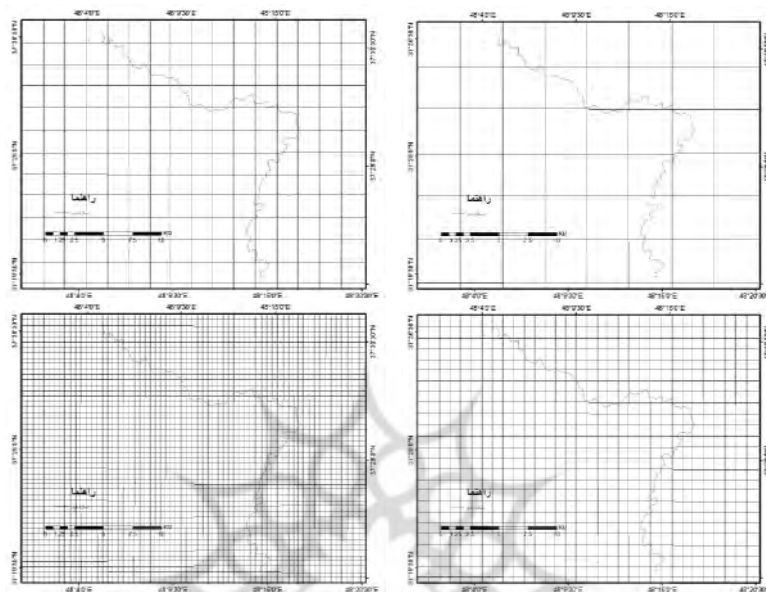
رابطه ۲

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

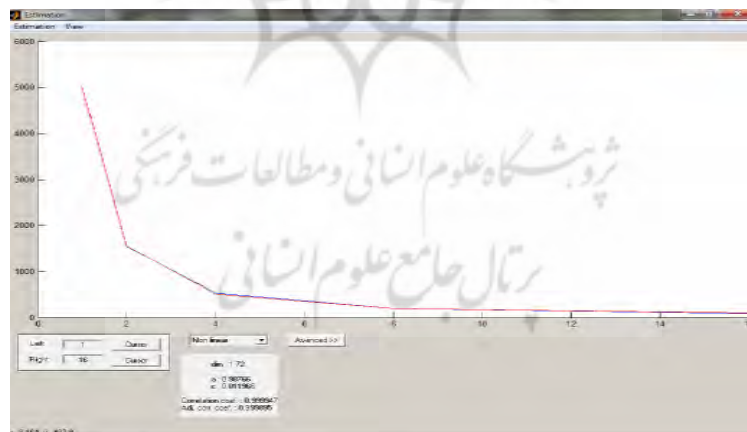
$\frac{1}{s}$

برابر تعداد خانه‌ها در امتداد پایین شبکه است.





شکل (۳) نحوه محاسبه بعد رودخانه به روش بعد شمارش خانه با تغییر مقیاس (بازه دوم محدوده مورد مطالعه از تصویر لندست ۲۰۰۴)



شکل شماره (۴) نمودار غیرخطی جهت محاسبه شاخص‌های فراکتالی رودخانه قزل اوزن (بازهدوم محدوده مورد مطالعه از تصویر لندست ۲۰۰۴) منحنی تجربی به رنگ آبی و منحنی محاسبه شده به رنگ قرمز می‌باشد

در شکل ۴ نمودار غیر خطی جهت تحلیل فراکتال توسط نرم‌افزار Fractalyse نشان داده شده است، که در این نمودار محور X نشان‌دهنده اندازه شبکه و محور Y نشان‌دهنده تعداد نقاط موجود در هر پنجره می‌باشد، گام بعدی منحنی آزمایشی (تجربی) با منحنی تئوریکی که مطابق با قانون فراکتال است، برازش داده می‌شود که همبستگی بین تعداد و اندازه شبکه را نشان می‌دهد.

$$N = sD \quad \text{رابطه ۳}$$

که D بعد فراکتال و یا در این مورد همبستگی بعد می‌باشد. رابطه‌های آورده شده در قسمت بالاتر نمی‌تواند کلیه ویژگی‌های فراکتالی اشکال و پدیده‌ها را نشان بدهند بنابراین جهت تحلیل دقیق‌تر از رابطه زیر استفاده گردید.

$$N = asD + c \quad \text{رابطه ۴}$$

که α در این فرمول خلاصه‌ای از انواع مختلف انحرافات رودخانه مورد بررسی در این تحقیق (قزل‌اوزن) را از قانون فراکتال را بیان می‌کند (توماس و همکاران^۲، ۲۰۰۷) که نشان‌دهنده میزان انحراف شکل مورد نظر از قانون فراکتال می‌باشد، که براساس حالت ریاضی فراکتال‌ها 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^۳، ۲۰۰۴: ۸۵؛ توماس و همکاران، ۲۰۰۷). 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 می‌دهد (توماس و همکاران، ۲۰۰۸: ۲۲). معادلات رگرسیون غیرخطی استفاده شده جهت برازش شامل معادلات زیر می‌باشد:

$$y = x^d \quad \text{رابطه ۵}$$

-
- 1- Emirical
 - 2- Thomas et al
 - 3- Frankhauser

$$y = x^d + c \quad \text{رابطه ۶}$$

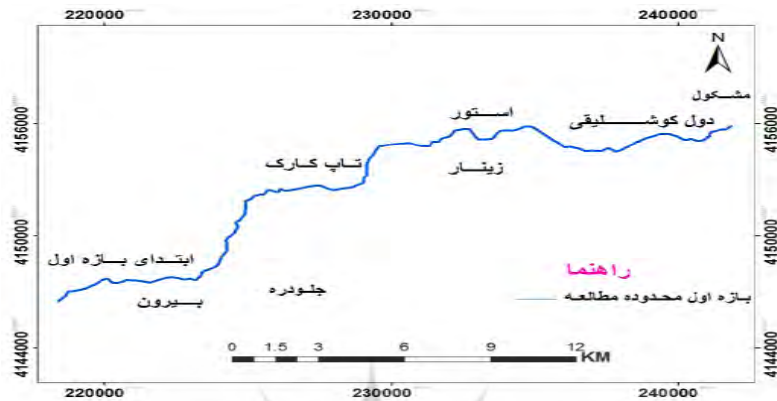
$$y = a^x x^d \quad \text{رابطه ۷}$$

$$y = a^x x^d + c \quad \text{رابطه ۸}$$

بهترین برازش با منحنی تجربی برای محاسبه α ، D و c از معادله ۸ 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 (تانیر و پوماین، ۲۰۰۵ به نقل از توماس و همکاران، ۲۰۰۸: ۲۲).

بحث و نتایج

بازه اول مسیر مورد مطالعه از محدوده بین روستای بیرون (۳۰ کیلومتری شهرستان میانه) تا مشکول را شامل می‌شود (شکل ۵) این محدوده بازه دشتی بوده و الگوی مسیر رودخانه شریانی می‌باشد. باید توجه داشت که رودخانه در عین شریانی بودن دارای مسیرهای پر پیچ و خم زیادی است. ولی چون بر اساس توصیه محققین از جمله فریند و سینها^۱ (۱۹۹۳) در رودخانه‌های شریانی می‌توان مسیرهای عریض‌تر رودخانه را به عنوان شاخه اصلی فرض و اقدام به محاسبات مورفولوژیکی نمود، بر این اساس با رعایت نکته مذکور شاخه اصلی جهت محاسبه و تحلیل فراکتالی در نظر گرفته شد. بررسی پلان عمومی بازه مورد نظر از تصاویر ماهواره‌ای نشان‌دهنده جزایر رسوبی متعدد می‌باشد که مشخصه سیستم‌های شریانی می‌باشد.



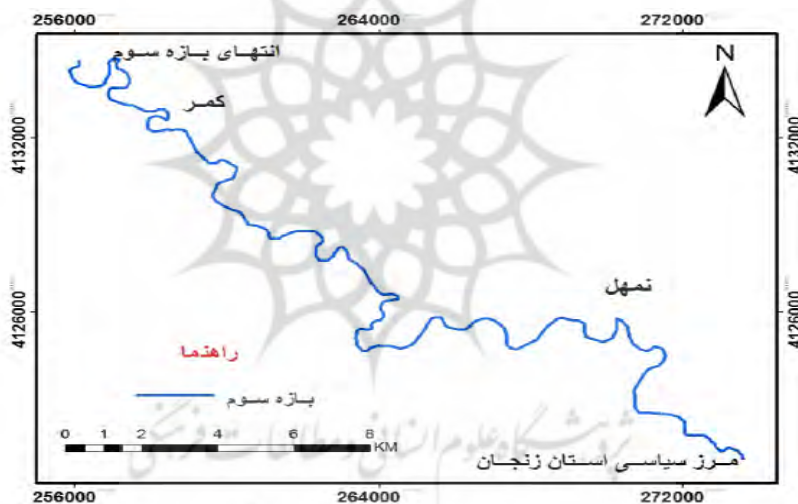
شکل شماره (۵) بازه اول محدوده مورد مطالعه

بازه دوم محدوده بین مشکول تا روستای ابابیان را دربرمی‌گیرد (شکل شماره ۶). قسمت عمده این بازه بیش از ۸۰ درصد بازه در منطقه کوهستانی می‌باشد. بررسی پلان عمومی رودخانه از تصاویر ماهواره‌ای نشان می‌دهد که رودخانه در یک مسیر پر پیچ و خم‌دار جریان داشته و الگوی مسیر به صورت تک‌مجرایی می‌باشد که ناشی از عمق بسیار زیاد رودخانه در مقایسه با عرض بسیار کم آن می‌باشد. که الگوی این بازه جزو رودخانه‌های مئاندری تک‌مجرایی می‌باشد.



شکل شماره (۶) بازه دوم محدوده مورد مطالعه

بازه سوم (شکل ۷) نیز محدوده بین روستای کمر تا ابتدای مرز سیاسی استان زنجان را شامل می‌شود (شکل ۶) این بازه در داخل محدوده نیمه‌کوهستانی می‌باشد. و شدت ارتفاعات در این بازه نسبت به بازه دوم کاهش می‌یابد در این بازه الگوی شریانی بر الگوی پیچان رودی اثر نموده و به این ترتیب درجه سینوسی و منظمی رودخانه را تغییر داده است. چون محدوده تغییرات متغیرهای گوناگون موثر بر شکل‌گیری الگوهای هندسی پیوسته است لذا تقسیم‌بندی الگوی این محدوده به صورت الگوی پیچان رودی در حال تبدیل به الگوی شریانی می‌باشد. باید توجه داشت که متغیرهای الگوی شریانی در این محدوده در اهمیت بسیار ناچیز می‌باشد که می‌توان گفت مرحله ابتدایی آن می‌باشد.



شکل شماره (۷) بازه سوم محدوده مورد مطالعه

تحلیل فراکتالی الگوی بازه‌های مورد مطالعه

جهت محاسبه پارامترهای فراکتالی لازم است که تعداد مربع‌های حاوی مسیر رودخانه با تغییر ابعاد مربع‌ها مورد بررسی قرار گیرد که نتیجه این کار در جدول ۱ نشان داده شده است همانطور که مشخص می‌باشد تعداد مربع‌ها در یک بازه مشخص در سال‌های مختلف تغییر

کاملاً محسوسی دارد ولی تعداد مربع‌ها نمی‌تواند دلیل محکمی برای تغییرات بازه مورد نظر در سال‌های مورد بررسی قلمداد گردد جهت بررسی دقیق‌تر تغییرات رودخانه، مولفه‌های تحلیل فراکتالی مخصوصاً میزان بعد فراکتالی باید مورد مقایسه گردد.

جدول شماره (۱) تغییر S و مقدار N در هر بازه برای محاسبه مولفه‌های تحلیل فراکتالی در رودخانه قزل‌اوزن

| S | سال ۲۰۰۰ | | | سال ۲۰۰۴ | | | سال ۲۰۰۷ | | |
|-----|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| | N (بازه اول) | N (بازه دوم) | N (بازه سوم) | N (بازه اول) | N (بازه دوم) | N (بازه سوم) | N (بازه اول) | N (بازه دوم) | N (بازه سوم) |
| ۱ | ۴۳۶۱ | ۳۷۱۹ | ۴۹۷۶ | ۴۴۳۶ | ۳۷۹۸ | ۵۳۶۱ | ۴۳۳۰ | ۳۶۱۰ | ۴۷۵۲ |
| ۲ | ۱۴۱۵ | ۱۲۲۲ | ۱۶۲۰ | ۱۴۴۷ | ۱۲۶۸ | ۱۷۶۳ | ۱۳۸۴ | ۱۱۹۵ | ۱۵۵۴ |
| ۴ | ۵۱۳ | ۴۴۸ | ۵۹۵ | ۵۳۰ | ۴۵۸ | ۶۵۰ | ۵۲۰ | ۴۳۰ | ۵۷۱ |
| ۸ | ۲۲۰ | ۱۷۹ | ۲۳۳ | ۲۱۰ | ۱۸۷ | ۲۴۸ | ۱۹۶ | ۱۷۹ | ۲۲۳ |
| ۱۶ | ۹۲ | ۸۰ | ۹۴ | ۸۹ | ۸۲ | ۱۰۱ | ۹۸ | ۸۱ | ۹۷ |
| ۳۲ | ۴۳ | ۳۳ | ۴۲ | ۴۰ | ۳۷ | ۴۳ | ۴۰ | ۳۶ | ۴۳ |
| ۶۴ | ۱۸ | ۱۵ | ۱۸ | ۱۸ | ۱۶ | ۱۸ | ۱۸ | ۱۶ | ۱۶ |
| ۱۲۸ | ۱۰ | ۸ | ۸ | ۱۰ | ۸ | ۸ | ۱۰ | ۸ | ۸ |
| ۲۵۶ | ۵ | ۴ | ۴ | ۵ | ۴ | ۴ | ۵ | ۴ | ۴ |
| ۵۱۲ | ۲ | ۲ | ۲ | ۲ | ۲ | ۲ | ۲ | ۲ | ۲ |

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 ۲ نشان داده شده است براساس پارامتر a تمامی بازه‌ها در سال‌های مورد بررسی 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^1) (R S) بسیار بالا که در جدول ۲ آورده شده است، جهت تحلیل فراکتالی قابل اطمینان می‌باشد. بررسی میزان انحراف (مولفه C) منحنی تئوریک و واقعی هم نشان می‌دهد که میزان انحراف در حد بسیار کم می‌باشد و بدیهی است که میزان انحراف در جدول ۲ نمی‌تواند نتیجه را متأثر سازد.

جدول شماره (۲) مولفه‌های تحلیل فراکتالی مسیر رودخانه قزل اوزن به وسیله رگرسیون غیرخطی برای سال‌های ۲۰۰۰، ۲۰۰۴ و ۲۰۰۷

| مولفه‌های بررسی شده | بازه اول | | | بازه دوم | | | بازه سوم | | |
|---------------------|----------|--------|--------|----------|--------|--------|----------|--------|--------|
| | ۲۰۰۰ | ۲۰۰۴ | ۲۰۰۷ | ۲۰۰۰ | ۲۰۰۴ | ۲۰۰۷ | ۲۰۰۰ | ۲۰۰۴ | ۲۰۰۷ |
| a | ۰/۹۸۷ | ۰/۹۸۹ | ۰/۹۸۷ | ۰/۹۸۸ | ۰/۹۸۹ | ۰/۹۸۸ | ۰/۹۸۹ | ۰/۹۹۰ | ۰/۹۸۹ |
| c | ۰/۰۱۱۹ | ۰/۰۱۰۰ | ۰/۰۱۲۰ | ۰/۰۱۰۳ | ۰/۰۱۰۴ | 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 |
| S R Ad | ۰/۹۹۹ | ۰/۹۹۹ | ۰/۹۹۹ | ۰/۹۹۹ | ۰/۹۹۹ | ۰/۹۹۹ | ۰/۹۹۹ | ۰/۹۹۹ | ۰/۹۹۹ |

بررسی جدول ۳ نشان می‌دهد که بیشترین بعد فراکتالی برای بازه اول به دست آمده است همانطوری که گفته شد این بازه شریانی می‌باشد و رودخانه در این بازه دارای چندین مسیر می‌باشد بنابراین از پیچیدگی بیشتری نسبت به سایر بازه‌ها برخوردار می‌باشد. کمترین میزان بعد فراکتالی برای بازه دوم به دست آمد این بازه یک بازه کاملاً کوهستانی می‌باشد و رودخانه در یک دره عمیقی جریان دارد و الگوی رودخانه در تمامی طول بازه به صورت کاملاً تک‌مجرایی بوده و از لحاظ هندسی از پیچیدگی کمتری نسبت به سایر بازه‌ها برخوردار می‌باشد که به این علت است که رودخانه از یک مسیر مشخص عبور می‌کند، بازه سوم نسبت به دو بازه قبلی حالت بینابینی دارد و در یک منطقه نیمه‌کوهستانی قرار دارد و مسیر رودخانه عموماً به صورت مائندری در حالت تبدیل به شریانی می‌باشد که بعد فراکتالی به دست آمده نیز این حالت را نسبت به سایر بازه‌ها نشان می‌دهد.

بررسی روند تغییرات بازه‌های مورد مطالعه به وسیله بعد فراکتالی (جدول ۳) نشان می‌دهد که بازه اول بیشترین میزان تغییرات را در شکل هندسی خود داشته است مقایسه بعد فراکتالی به دست آمده در سال‌های ۲۰۰۰، ۲۰۰۴ و ۲۰۰۷ موید این مطلب می‌باشد. این بازه چون به صورت یک بازه شریانی می‌باشد، عموماً بازه‌های شریانی ناپایدار تصور می‌شوند 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 می‌گردد از طرف دیگر بررسی سازندهای واقع در کناره‌های مسیر رودخانه در بازه اول (بازه دشت سیلابی) نشان می‌دهد که بستر رودخانه از تشکیلات فرسایش‌پذیر و سست تشکیل شده است، فرسایش عمیق و خندقی و نیز لغزش‌های 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 می‌گردد که این حالت به وسیله تحلیل هندسه فراکتالی کاملاً نشان داده شده است.

بازه دوم کمترین میزان تغییرات را از لحاظ بعد فراکتالی داشته است این بازه همان طور که گفته شد یک بازه کاملاً کوهستانی است و یک بازه پایدار تصور می‌گردد. بررسی تصاویر ماهواره‌ای در سال‌های مختلف نیز نشان‌دهنده این مطلب می‌باشد جهت بررسی دقیق‌تر و مطمئن شدن از بعد فراکتالی به دست آمده سازندهای واقع در بازه دوم مورد بررسی قرار گرفت در بازه کوهستانی، لیتولوژی عمده، شامل سنگ‌های آذرین و آذر آوری ائوسن به همراه طبقات رسوبی شیلی و ماسه سنگی می‌باشد که بسیار مقاوم بوده و کمترین میزان تغییرات را در سال‌های مورد بررسی داشته‌اند. با توجه به ماهیت بعد فراکتالی که شباهت الگوی هندسی پدیده‌ها را نشان می‌دهد، الگوی هندسی مسیر رودخانه در بازه دوم در طول سه دوره بررسی براساس بعد فراکتالی به دست آمده (جدول ۳) شبیه به هم می‌باشد و این یعنی تغییرات رخ داده بسیار کم می‌باشد.

بازه سوم چون یک بازه بینابینی بین بازه‌های مطالعه شده دارد میزان تغییرات نیز نسبت به بازه شریانی کمتر و نسبت به بازه کوهستانی بیشتر می‌باشد، بعد فراکتالی به دست آمده در سال‌های مطالعه شده این حالت را نشان می‌دهد.

بنابراین مطالعات انجام گرفته بر روی رودخانه قزل اوزن در قسمت مورد مطالعه موید این نکته است که مقاطعی که دارای کناره‌های 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 به دست آمده و میزان تغییرات در سال‌های متوالی نیز به خاطر این عامل بسیار کم می‌باشد در مورد مقاطعی که کناره‌های فرسایش‌پذیر داشته باشند، بستر عریض و کم عمق می‌باشد و بعد فراکتالی بازه مورد نظر نیز بیشتر به دست آمده و میزان تغییرات در سال‌های متوالی نیز به خاطر این عامل بیشتر می‌باشد و لذا یک رابطه خطی بین بعد فراکتال به دست آمده و ویژگی‌های مورفولوژیکی بازه مورد نظر مشاهده می‌گردد.

جدول شماره (۳) تغییرات بعد فراکتالی به دست آمده برای بازه‌های 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 |

نتیجه‌گیری

بررسی الگوی رودخانه در محدوده مورد مطالعه نشان می‌دهد که رودخانه از سه الگوی متمایز تشکیل شده است، الگوی بازه اول شریانی می‌باشد، در بازه دوم الگوی رودخانه به صورت تک‌مجربایی بوده و بازه سوم به صورت الگوی پیچان رودی در حال تبدیل به الگوی شریانی می‌باشد. در هر کدام از بازه‌ها رودخانه رفتارهای متفاوتی از خود نشان می‌دهد که این امر ناشی از تفاوت در ویژگی‌های لیتولوژیکی، رژیم جریان، بیلان رسوب و ویژگی‌های مورفولوژیکی بازه مورد نظر می‌باشد.

تحلیل فراکتالی قسمتی از مسیر رودخانه قزل اوزن نشان داد که الگوی هندسی رودخانه در هر سه بازه خاصیت فراکتالی داشته و بنابراین می‌تواند تغییرات الگوی هندسی رودخانه در سال‌های مختلف توسط هندسه فراکتال تحلیل گردند، تحلیل بعد فراکتالی به عنوان شاخص‌ترین مولفه جهت تحلیل فراکتالی نشان داد که تغییرات رودخانه در بازه‌های مورد

مطالعه کاملاً متفاوت می‌باشد به طوری که بیشترین میزان بعد فراکتالی و بیشترین میزان تغییرات مربوط به بازه اول و کمترین میزان تغییرات مربوط به بازه دوم بوده و بازه سوم نیز حالت بینابینی دارد. بررسی مورفولوژی رودخانه توسط تصاویر ماهواره‌ای نشان داد که نتایج به دست آمده از تحلیل فراکتالی با واقعیت‌های مورفولوژیکی رودخانه قزل اوزن در سه بازه مورد نظر کاملاً منطبق می‌باشد.

با توجه به این که رودخانه‌های شریانی عمدتاً وضعیت پایدار و ثابتی ندارند و جهت جریان و موقعیت جزایر رسوبی و عرض رودخانه‌ها دائماً در معرض تغییر و تحول است، در مقابل رودخانه‌هایی که کناره‌ها و بستر آنها متشکل از سازندهای مقاوم باشد از پایداری و ثبات بیشتری برخوردار می‌باشند، بنابراین می‌توان بازه اول را که ترکیبی از شکل شریانی و پیچان رودی در بستر آبرفتی می‌باشد به عنوان بازه ناپایدار و بازه‌های دوم و سوم را که رودخانه توسط سنگ بستر و کناره‌ها محدود شده است را به عنوان بازه نسبتاً پایدار معرفی نمود. و چون سازندهای فرسایش‌پذیر بخش بسیار زیادی از بازه اول را تشکیل می‌دهند می‌توان پیش‌بینی نمود که تغییرات احتمالی صورت گرفته در آینده در بازه شریانی خواهد بود و از آنجایی که این محدوده عمدتاً زمین‌های کشاورزی می‌باشد هر گونه تغییر در مولفه‌های ریخت‌شناسی محدوده باعث به هم خوردن تعادل دینامیکی گشته و عکس‌العمل مورفودینامیک محیط به صورت تعرض آب بر زمین‌های کشاورزی اطراف سواحل رودخانه و فرسایش بسیار شدید خواهد بود. بنابراین لازم است که هر گونه اقدامات ساماندهی در محدوده مورد نظر با توجه به متغیرهای مورفولوژیکی منطقه صورت بگیرد.

منابع

- ۱- بریج، جان، اس (۱۳۸۷) «رودخانه‌ها و دشت‌های سیلابی»، ترجمه محمدحسن رضایی مقدم و مهدی ثقفی، انتشارات سمت.
- ۲- رسولی، علی‌اکبر (۱۳۸۷)، «مبانی سنجش از دور کاربردی با تأکید بر پردازش تصاویر ماهواره‌ای»، انتشارات دانشگاه تبریز، چاپ اول.
- ۳- عبدی، پ (۱۳۸۵)، «ارزیابی عملکرد آبشکن‌های احداثی بر روی رودخانه‌ها در استان زنجان»، هفتمین کنگره بین‌المللی مهندسی عمران.
- ۴- نیکویی، احسان؛ حیدری، مهدی؛ طالب بیدختی، ناصر و حکمت‌زاده، علی‌اکبر (۱۳۸۷)، «هندسه فراکتالی در مهندسی رودخانه: ایده‌ها»، مفاهیم اساسی و دستاوردها، چهارمین کنگره مهندسی عمران، دانشگاه تهران، اردیبهشت ۱۳۸۷.
- 5- Allen, M., Brown, G.J., Miles, N.J., (1995), "Measurement of Boundary Fractal Dimensions: *Review of Current Techniques*", Powder Technology, 84(1) pp 1-14.
- 6- Beauvais, A., Montgomery, D.R., (1996), "Influence of Valley Type on the Scaling Properties of River Plan Forms", *Water Resour, Res.* 32, pp 1441-1448.
- 7- Buczkowski, S., Hildgen P., Cartilier, L., (1998), "Measurement of Fractal Dimension by Box-Counting a Critical Aanalysis of Data Scatter", *Physica A* 252(1), pp 23-34.
- 8- Cook, R.U. and Doornkamp, J.C. (1990), "*Geomorphology in Environment Management*", Second Edition, Clarendon Press, Oxford. Pp. 100-105
- 9- De Bartolo, S.G., Veltri. M. and Primavera, L. (2006), "Estimated Generalized Dimensions of River Network", *Journal of Hydrology*, 322 pp 181-191.
- 10- 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

- 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, Vol. 2 "Structures", **Brussels**, 79-105.
- 12- Friend, P.F. and Sinha, R., (1993), "Bariding and meandering Parameters", In: Braided Rivers, Edited by: Best, J.L. and Bristow, C.S., **The Geological Society**, London, No. 75, Pp.105-111.
- 13- Grassberger, P., (1983), "On efficient Box Counting Slgorithms", **Int. J. Mod. Phys. C** 4, 515-523.
- 14- Klinkenberg, B. (1994), "A Review of Methods Used to Determine the Fractal Dimensions of Linear Features", **Mathematical Geology**, Vol 26(1). Pp 23-46.
- 15- La Barbera. P. and Ross, R. (1989), "On the Fractal Dimension of Stream Networks", **Water Resources Research**, 25(4) pp 735-741.
- 16- 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.
- 17- 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.
- 18- Rasouli, A.A. (2007), "Modeling of Urmia Lake Coastal Change by Appling an Integrated RS/GIS Approach", GIS for the Coastal Zone; **A Selection of Papers from CoastGIS 2006**, University of Wollongong: 13-16 July 2006, Australia.
- 19- Roach, D.E., Fowler, A.D., (1993), "Dimensionality Analysis of Patterns: Fractal Measurements", **Computer & Geosciences**, 19 (26), pp 849-869.
- 20- Shang P. and kamae S. (2005), "Fractal Nature of Time Series in the Sediment Transport Phenomenon", **Chaos Solitions & Fractals** 26, pp 997-1007.
- 21- 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.
- 22- Shen, X.H., Zou, L.J., Li, H.S., (2002), “Successive Shift box-counting Method for Calculating Fractal Dimension and Its Application in Identification of Fault”, *Acta Geol, Sin.-Engl.* 76, pp 257-263.
- 23- Snow, R.S., (1989), “Fractal Sinuosity of Stream Channels”, *Pure Appl. Geophys*, 131, 99-109.
- 24- Stevan H. Strogatz (1994), “Nonlinear Dynamics and Chaos (with Applications to Physics”, *Biology, Chemistry, and Engineering*), Persuse Books, Reading, Massachussts, P 505.
- 25- Tarboton, D.G., (1996). “Fractal River Networks, Horton's Laws and Tokunaga Cyclicity”, *J. Hydrol*, 187, pp 105-117.
- 26- 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*, It Is Internet Doc and Is No Page Number.
- 27- 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*, 413, 24 p.
- 28- Turcotte, D.L., (1992), “**Fractal and Chaos in Geology and Geophysics**”, Geophysics Cambridge University Press, Combridge, P 121.
- 29- Winarso, G.M. and Budhiman, S. (2001), “The Potential Application of Remote Sensing Data for Coastal Study”, *22nd Asian Conference on Remote Sensing*, 5-9 November 2001, Singapore.