

محاسبه‌ی بعد فرکتال در حوضه‌های زهکشی و رابطه‌ی آن با برخی خصوصیات ژئومورفولوژیکی حوضه (مطالعه موردی: حوضه‌های آبریز شمال تهران)

امیر کرم - دانشیار دانشکده جغرافیا، دانشگاه خوارزمی
میترا صابری* - کارشناس ارشد ژئومورفولوژی، دانشگاه خوارزمی

پذیرش مقاله: ۱۳۹۴/۰۲/۰۲ تأیید نهایی: ۱۳۹۴/۰۸/۱۲

چکیده

آبراهه‌ها مسیرهای شاخه‌ای کاتوره‌ای هستند که بخش آب را بر روی سطح ناهموار زمین میسر می‌سازند. بسته به خواص ژئومورفولوژیکی و توپوگرافی منطقه، آبراهه‌ها خواص جهان‌شمول آماری بخصوصی از خود نشان می‌دهند. این خواص جهان‌شمول در خصوصیات آماری و فرکتالی شکل ظاهری این آبراهه‌ها کدگذاری می‌گردند. در این مقاله مقدار بعد فرکتالی برای آبراهه‌های شمال تهران، همچنین مورفولوژی آبراهه‌ها و حوضه‌های آبریز با اندازه‌گیری کمیت‌های مختلفی از قبیل: انتگرال هیپسومتریک، نسبت کشیدگی، شاخص رودخانه اصلی و میزان پیچ و خم جبهه کوهستان مورد تحلیل قرار گرفته است. برای این منظور داده‌های مورد نیاز در محیط GIS و نرم‌افزار Arc Map وارد شدند، و از نرم‌افزار Spss نیز برای تحلیل‌های آماری استفاده شد. نهایتاً روابط همبستگی و رگرسیونی بین برخی خصوصیات مورفولوژیکی و بعد فرکتال محاسبه گردید. نتایج نشان داد که روابط معنی‌داری بین این متغیرهای مورفولوژیکی و بعد فرکتال شبکه‌ی زهکشی در زیرحوضه‌های مورد مطالعه وجود دارد. نتایج بررسی‌ها نشان داد که بعد فرکتال شبکه‌ی زهکشی زیرحوضه‌های مورد بررسی از روش سیستم شمارشی و ضرایب هورتون، با حداقل بعد فرکتال در زیرحوضه دره چشمه یورد و حداکثر آن در زیرحوضه ولنجک، دارای میانگین بعد ۱/۱۲۸ برای تمامی زیرحوضه‌ها می‌باشد. بررسی شاخص انتگرال هیپسومتریک نیز نشان داد که همه‌ی زیرحوضه‌ها دارای توپوگرافی جوان و پستی‌وبلندی زیادی هستند.

واژگان کلیدی: بعد فرکتال، شبکه زهکشی، توپوگرافی، خواص هندسی حوضه‌ها، تهران.

مقدمه

اصولاً هر پدیده درجهان دارای نظم می‌باشد. اگرچه ممکن است در آن بی‌نظمی دیده شود، اما در دل هر بی‌نظمی، نظم وجود دارد که با تغییر دیدگاه ما قابل دسترسی است. تا چند دهه پیش، دانشمندان هر پدیده‌ای را به صورت مجموعه‌ای دارای رفتار سیستماتیک، منطبق و متأثر از قوانین جبری طبیعت و به شیوه‌ای مشخص و کاملاً قابل پیش‌بینی می‌دانستند. باگذشت زمان و پیشرفت علوم، عدم توجیه بسیاری از رویدادهای طبیعی به واسطه دیدگاه‌های جبرگرایانه قبلی، باعث شد تا دید برخی دانشمندان نسبت به این موضوع تغییر کرده و در پی آن، نظریاتی مانند نظریه مکانیک کوانتومی، نظریه نسبیت و نظریه آشوب^۱ پدید آمدند.

واژه فرکتال^۲ مشتق از واژه لاتینی فرکتوس^۳ به معنی سنگی که به شکل نامنظم شکسته و خرد شده، می‌باشد. فرهنگستان لغت و زبان فارسی کلمه "برخال" را برای فرکتال تصویب کرده است. فرکتال‌های هندسی اشکالی هستند که برخلاف اشکال هندسی اقلیدسی به هیچ وجه منظم نیستند. این شکل‌ها اولاً سرتاسر نامنظم‌اند و ثانیاً میزان بی‌نظمی آن‌ها در همه مقیاس‌ها یکسان است. مندل بروت در توضیح نظریه خود با انتخاب اصطلاح فرکتال، در واقع بر یکی از مشخصه‌های اصلی این اشکال هندسی که ناشی از ماهیت قطعه‌قطعه شونده‌ی آن‌هاست، تأکید نموده است. به اعتقاد او، جهان هستی و تمامی پدیده‌های طبیعی به نوعی فرکتال می‌باشند؛ ابرها به صورت کره نیستند، کوه‌ها همانند مخروط نمی‌باشند، سواحل دریا دایره شکل نیستند، پوست درخت صاف نیست و صاعقه به صورت خط مستقیم حرکت نمی‌کند.

با مشاهده اشکال موجود در طبیعت مشخص می‌شود که هندسه اقلیدسی قادر به تبیین و تشریح اشکال پیچیده و ظاهراً بی‌نظم طبیعی نیست. هندسه‌ی اقلیدسی (احجام کامل کره‌ها، هرم‌ها، مکعب‌ها و استوانه‌ها) بهترین راه نشان دادن عناصر طبیعی نیستند. ابرها، کوه‌ها، خطوط ساحلی و تنه‌ی درختان همه با احجام اقلیدسی در تضاد هستند و نه صاف بلکه ناهموار هستند. این بی‌نظمی در تمامی مقیاس‌های کوچک و بزرگ در ساختار فرکتال‌ها به عنوان یکی از مهم‌ترین خصوصیات آن‌ها دیده می‌شود. شواهد تجربی نشان می‌دهد که هندسه‌ی فرکتالی برخلاف هندسه‌ی اقلیدسی روش بهتری برای توضیح و شبیه‌سازی پدیده‌های طبیعی به دست می‌دهد. ادبیات موضوعی آشوب و مفاهیم مرتبط با آن، همچون فرکتال‌ها، در علم ژئومورفولوژی نسبتاً جدید است. هوگت^۴ (۱۹۸۸) کاربرد این نظریه را در ژئومورفولوژی بیان کرد. مالانسون و همکاران^۵ (۱۹۸۸) نظریه آشوب را در جغرافیای طبیعی بررسی کردند. فیلیپس^۶ (۱۹۹۲) اثر بالا آمدن آب سواحل دریا و تأثیر آن بر سیستم ژئومورفیک اراضی مرطوب را مطالعه کرد. خاصیت فرکتالی آبراهه‌ها برای اولین بار در منبع بریر^۷ (۱۹۹۲) گزارش شده است که مشاهدات وی محدود به مقیاس‌های کوچک و نیز تعداد کمی از نمونه‌ها بود. پس از آن فهر^۸ (۲۰۰۷) شبیه‌سازی‌های عددی بسیاری جهت مطالعه آبراهه‌ها بر روی مناظر ساختگی غیرهمبسته انجام داد که در تطابق با رفتار بزرگ‌مقیاس مناظر طبیعی به دست آمده از تصویربرداری ماهواره‌ای بود. در ژئومورفولوژی رودخانه‌ای بررسی کاملی از دیدگاه هندسه‌ی فرکتالی و نظریه خودسامان‌یافته جهت مدل‌سازی شبکه‌ی رودخانه‌ای صورت گرفته است. این تحلیل‌ها بر اساس قوانین هورتون^۹ (۱۹۴۵) که با استفاده از نسبت انشعاب و نسبت طول رودخانه، و نیز قوانین طول و مساحت حوضه توسط هک^{۱۰} (۱۹۵۷) که فرکتال خودهمانند را در الگوی رودخانه‌ها نشان

^۱. Chaos Theory

^۲. Fractal

^۳. Fractus or fractura

^۴. Huggett

^۵. Malanson et al

^۶. Phillips

^۷. Breyer

^۸. Fehr

^۹. Horton

^{۱۰}. Hack

می‌دهند، صورت پذیرفته است (ویلسون^۱، ۱۹۹۸)، کلاپس و همکاران^۲، ۱۹۹۶) و رینالدو و همکاران^۳، (۱۹۹۳). تجزیه‌و-تحلیل فرکتال‌ها وسیله‌ای برای سنجش و مقایسه تأثیر ساختار نزدیک به سطح توپوگرافی و تنوع ساختاری عمودی و جانبی فراهم می‌کند (پلیتر^۴، ۱۹۹۹). شبکه‌های رودخانه‌ای ساختارهای درخت‌مانند فرکتالی هستند که روابط توانی بسیاری بین اجزاء ژئومورفیک آن‌ها برقرار است. پلیتر (۱۹۹۹) در مقاله خود یک معادله‌ی پخش به‌عنوان مدل تحول توپوگرافی زمین به‌وسیله فرآیندهای فرسایشی با انتقال محدود را معرفی کرده است که منجر به تولید توپوگرافی فرکتالی و شبکه‌ی رودخانه‌ای فرکتالی می‌گردد، و راه‌حل‌های این معادله را با توپوگرافی واقعی مقایسه نموده است. بیشترین تجزیه‌و تحلیل فرکتالی و مدل خودسامان‌یافته از شبکه‌های رودخانه‌ای توسط (تالینگ^۵، ۲۰۰۰) و (ونزیانو و نومان^۶، ۲۰۰۰) انجام گرفته است (باس^۷، ۲۰۰۲). در ایران نظریه آشوب و مفاهیم مرتبط به آن در ژئومورفولوژی، اول به‌وسیله رامشت (۱۳۸۲) مطرح شد، و بسط و کامل‌تر آن بعداً در مقاله‌ای با عنوان "نظریه کیاس (آشوب) و کاربرد آن در ژئومورفولوژی" به‌وسیله وی ارائه گردید. همچنین (کرم ۱۳۸۹) در مقاله خود با عنوان "نظریه آشوب، فرکتال و سیستم‌های غیرخطی در ژئومورفولوژی"، اشاره به این موضوع دارد که رفتار آشوبناک در اغلب سیستم‌های دینامیکی پیچیده‌ی طبیعی و ژئومورفیک، از جمله جریان‌های سطحی، حرکت توده‌ای، سیستم خاک و... دیده می‌شود، و دیدگاه‌های جدید در ژئومورفولوژی تلاش می‌کنند رفتار پیچیده‌ی آشوبناک در سیستم‌های مذکور را از طریق نظریه‌ی آشوب و مفاهیم مرتبط با آن تبیین کنند.

هدف این پژوهش محاسبه بعد فرکتالی برای شبکه‌های زهکشی در حوضه‌های آبریز مورد مطالعه و مقایسه خواص مقیاسی و ابعاد فرکتالی و برقراری ارتباط بین ابعاد فرکتالی و برخی خصوصیات ژئومورفیک حوضه‌ها می‌باشد.

معرفی محدوده‌ی مورد مطالعه

محدوده‌ی مورد مطالعه متشکل از ۲۰ زیرحوضه شامل: درکیا، امامه، اهر، فرحزاد، حصارک شایمیران، گلابدره، دارآباد، درکه، دربند، ولنجک، دره چشمه یورد، حصارک نیاوران، وردیج وریش، کند، سوهانک، گرمابدر، افجه، شمشک، لاوارک شمالی - جنوبی و کن، از زیرحوضه‌های آبریز شمال تهران می‌باشد که امتداد غربی - شرقی دارند و در دامنه‌های جنوبی رشته‌ی البرز در شمال شهر تهران قرار دارند. شکل (۱) محدوده‌ی مورد مطالعه و زیر حوضه‌ها را در منطقه نشان می‌دهد. تهران در حاشیه شمالی واحد زمین‌ساختی ایران مرکزی و در مرز پایکوه‌های جنوبی واحد مورفوتکتونیک البرز مرکزی واقع شده است. قرارگرفتن این شهر در مرز این دو واحد ساختمانی موجب شده که از هر دو به‌طور مستقیم و غیرمستقیم تأثیر پذیرد. زیربنای شهر تهران را مخروط‌افکنه‌های پایکوهی البرز تشکیل می‌دهند. این مخروط‌افکنه‌ها بر روی سنگ‌پایه آتشفشانی - رسوبی دوران سوم زمین‌شناسی استقرار یافته‌اند و طی دوره‌ی چهارم زمین‌شناسی همواره تحت تأثیر فعالیت‌های تکتونیک اخیر، متحول شده و در نهایت مورفولوژی کنونی منطقه تهران تکوین یافته است. رودخانه‌های جاری در این حوضه‌ها جریان‌های حیاتی شهر تهران را تشکیل می‌دهند. جریان آب آن‌ها تقریباً دائمی بوده و شاید علت اصلی شکل‌گیری شهر تهران در این موقعیت جغرافیایی وابسته به شرایط هیدروژئومورفولوژیکی موجود و وابسته به ارتفاعات شمالی آن بوده است. عمده‌ترین زیرحوضه‌های کوچکی که دامنه‌های جنوبی ارتفاعات شمالی تهران را تحت پوشش دارند به ترتیب از مغرب به مشرق شامل حوضه‌های کن، فرحزاد، درکه، دربند و تعدادی زیرحوضه کوچک‌تر می-

1. Wilson

2. Claps et al

3. Rinaldo et al

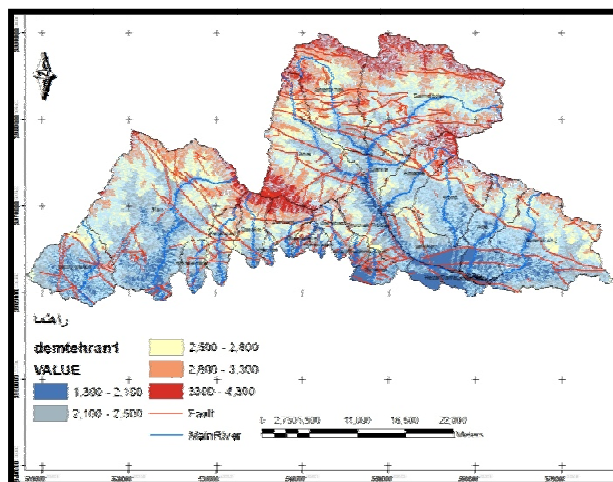
4. Pelletier

5. Talling

6. Venziano & Neumann

7. Baas

باشد. مجموع مساحت زیرحوضه‌های شمالی مورد مطالعه حدود ۳۹۳/۱۸ کیلومترمربع است. مرز واحد کوهستانی شمال تهران و مخروط‌های پایکوهی آن را گسل شمالی تهران تشکیل می‌دهد. این خط گسل تقریباً با مرز خط تغییر شیب پای کوهستان و دشت تهران انطباق دارد.



شکل ۱: محدوده‌ی مورد مطالعه و عوارض طبیعی زیر حوضه‌ها

مواد و روش‌ها

الف) مواد و داده‌ها:

برای محاسبه و تعیین بعد فرکتالی حوضه‌های زهکشی شمال تهران، از منابع مورداستفاده که شامل نقشه‌های توپوگرافی با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰، مطالعات کتابخانه‌ای، نقشه‌های زمین‌شناسی و... استفاده شده است. به منظور دستیابی به شبکه‌های زهکشی موردنظر، ابتدا کلیه‌ی لایه‌های اطلاعاتی موردنیاز از نقشه‌های مذکور توسط نرم‌افزار Arc GIS تهیه گردید. سپس ویرایش رودخانه‌ها از قبیل اتصال بین آبراهه‌ها در محل گسستگی‌ها و نیز محاسبه رتبه و طول هر کدام از آبراهه‌ها صورت پذیرفت. در نهایت با استفاده از قوانین هورتون اقدام به محاسبه‌ی بعد فرکتالی شاخه‌ی اصلی رودخانه و انشعابات آن گردید. برای بررسی رابطه‌ی بعد فرکتال با خصوصیات ژئومورفیک از شاخص‌هایی چون، انتگرال هیپسومتریک، نسبت کشیدگی، پیچ‌وخم رودخانه و پیچ‌وخم پیشانی کوهستان، برای هر کدام از زیر حوضه‌ها استفاده شد و نتایج حاصل با استفاده از نرم‌افزار SPSS مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

ب) روش‌شناسی:

آشوب و بعد فرکتال:

کیاس^۱ (آشوب) در لغت به معنای درهم‌ریختگی، آشفتگی و بی‌نظمی است، و هم‌ارز کلمه تلاطم (آشفتگی) در علم مکانیک می‌باشد. این واژه به معنی فقدان هرگونه ساختار منظم است و در محاورات روزمره به مفهوم سازمان نیافته و ناکاراست و جنبه منفی‌ای در بردارد. با بهبود نگرش دانشمندان و روشن شدن ابعاد علمی و نظری آن، امروزه دیگر بی‌نظمی و آشوب به مفهوم سازمان نیافتگی و درهم‌ریختگی تلقی نمی‌گردد؛ بلکه بی‌نظمی وجود جنبه‌های غیرقابل پیش‌بینی و اتفاقی در پدیده‌های پویاست که ویژگی خاص خود را داراست. در واقع رفتار آشوبناک از وابستگی شدید دینامیک سیستم به شرایط اولیه ناشی می‌گردد. دانشمندان به نقش خلاقانه بی‌نظمی و آشوب تأکید کرده و جهان را مجموعه‌ای از سیستم‌هایی می‌دانند که به شیوه‌های خود سازمانده و تصادفی عمل می‌کنند. این در شرایطی است که این سیستم‌ها از نظم به بی‌نظمی و از بی‌نظمی به نظم ختم می‌شوند. از دید هندسی، فرکتال به شیئی گفته می‌شود که

^۱. Chaos

چهار ویژگی را دارا باشد: دارای خاصیت خود مشابهی باشد، در مقیاس کوچک بسیار پیچیده باشد، بعد آن عدد صحیح نباشد و شاخصی برای اندازه‌گیری می‌باشد.

فرکتال شکل هندسی پیچیده‌ای است که دارای جزییات مشابه در ساختار خود در مقیاس‌های متفاوت می‌باشد و بی-نظمی در آن از دور و نزدیک به یک اندازه است. جسم فرکتال هندسی، از دور و نزدیک یکسان دیده می‌شود. مثلاً وقتی به یک کوه نگاه می‌کنیم شکلی شبیه به یک مخروط می‌بینیم که روی آن مخروط‌های کوچک‌تر و بی‌نظمی دیده می‌شود، ولی وقتی نزدیک می‌شویم همین مخروط‌های کوچک شبیه کوه هستند و یا شاخه‌های یک درخت شبیه خود درخت هستند. چندین تعریف دیگر برای بعد فرکتال وجود دارد: اگر اندازه خطی یک جسم را در نظر آورید و آن را در هر جهت فضایی به ε کاهش دهید می‌توان $N(\varepsilon)$ جسم خود همانند رادیکه تمام جسم اولیه را می‌پوشانند. یعنی $N(\varepsilon)$ تعداد ساختارهای خود همانند با اندازه خطی ε که تمام ساختار را می‌پوشانند. این تعریف رایج‌ترین تعریف بعد فرکتال یعنی بعد هاسدروف^۱ است که از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$D = \lim_{\varepsilon \rightarrow 0} \frac{\log N(\varepsilon)}{\log \frac{1}{\varepsilon}} \quad \text{رابطه (۱)}$$

در این بعد، برخلاف اشکال اقلیدسی، درازای فرکتالها به درازای مقیاس به کاررفته برای اندازه‌گیری بستگی دارد (طایفه علی گودرز، ۱۳۸۳). یکی از کاربردهای هندسه‌ی فرکتالی بررسی رابطه بین بعد فرکتال و ویژگی‌های پدیده‌ی موردنظر است. محاسبه بعد فرکتال شبکه‌های زهکشی از طریق محاسبات زهکشی هورتون نیز حاصل می‌شود. هورتون در سال ۱۹۳۲ برای بررسی شبکه‌های رودخانه‌ای، روابط زیر را ارائه نمود:

$$R_B = N_{W-1} / N_W \quad \text{رابطه (۲)}$$

$$R_L = L_W / L_{W-1} \quad \text{رابطه (۳)}$$

$$R_A = A_W / A_{W-1} \quad \text{رابطه (۴)}$$

در روابط ۲، ۳ و ۴، R_A ، R_L ، R_B به ترتیب ضرایب هورتون برای تعداد انشعابات، طول انشعابات و مساحت یک شبکه رودخانه‌ای هستند. N_W ، L_W و A_W به ترتیب تعداد انشعابات، طول انشعابات و مساحت شبکه رودخانه می‌باشند. با توجه به روابط فوق ابعاد فرکتال مساحت و انشعابات رودخانه‌ای از روابط ۵ و ۶ حاصل می‌شوند (کارسیا رویز و اوتالورا، ۱۹۹۲).

$$D_a = \ln R_B / \ln R_L \quad \text{رابطه (۵)}$$

$$D_b = \ln R_B / \ln R_A \quad \text{رابطه (۶)}$$

در این روابط D_a و D_b به ترتیب بعد فرکتالی انشعابات رودخانه و مساحت حوضه می‌باشند که در این تحقیق بعد فرکتالی طبق فرمول ذکر شده برای حوضه‌های موردنظر محاسبه خواهد شد (لاربرا و روسو^۲، ۱۹۸۹؛ فدر و همکاران^۳، ۱۹۸۹).

۱. Hausdorff

۲. Garcia-Ruiz and Otalora

۳. La Barbera and Rosso

۴. Feder et.al

شاخص‌های ژئومورفولوژیکی:

شاخص‌های ژئومورفولوژیکی از جمله: شاخص نسبت شکل حوضه، انتگرال هیپسومتریک، پیچ و خم رودخانه و شاخص پیچ و خم پیشانی کوهستان، در ۲۰ زیر حوضه شمال تهران با توجه به فرمول‌های ارائه شده در زیر محاسبه شده‌اند.

شاخص نسبت شکل حوضه (BS)

شاخص نسبت شکل حوضه از رابطه‌ی زیر حاصل می‌شود

$$BS = BI / Bw \quad \text{رابطه‌ی (۷)}$$

BS: شاخص شکل حوضه؛ BI: اندازه طول حوضه از انتهای‌ترین مقسم آب تا خروجی حوضه؛ Bw: پهنای حوضه در پهن‌ترین قسمت (رامیرز^۱، ۱۹۹۸).

شاخص انتگرال هیپسومتریک (Hi)

این شاخص از رابطه‌ی (۸) حاصل می‌شود:

$$Hi = (A - \min H) / (\max H - \min H) \quad \text{رابطه‌ی (۸)}$$

A: ارتفاع متوسط، Min H: حداقل ارتفاع، Max H: حداکثر ارتفاع (Rockwel, Keller, Johnson 1985).

شاخص پیچ و خم رودخانه (S)

این شاخص از رابطه‌ی (۹) حاصل می‌شود:

$$S = C/V \quad \text{رابطه‌ی (۹)}$$

S: میزان سینوسیته یا پیچ و خم رودخانه، C: طول رودخانه، V: طول دره (Wells & Bullard & Menges 1989)

شاخص پیچ و خم پیشانی کوهستان (S_{mf})

این شاخص از رابطه‌ی (۱۰) حاصل می‌شود:

$$S_{mf} = L_{mf} / L_s \quad \text{رابطه‌ی (۱۰)}$$

در رابطه ارائه شده بالا L_{mf} طول پیشانی کوهستان در محل حد بین کوهستان و کوهپایه (خط کنیک) و L_s طول خط مستقیم پیشانی کوهستان می‌باشد (بول و مک فادن^۲، ۱۹۷۷).

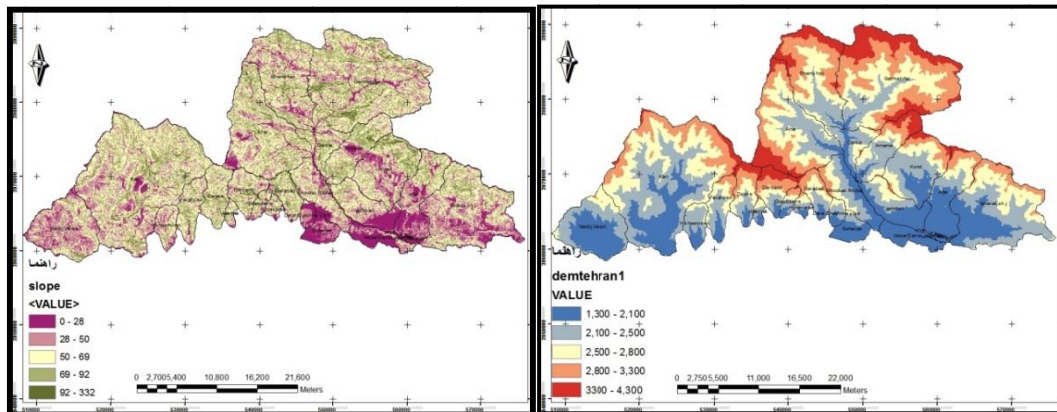
بحث و یافته‌های پژوهش

جهت بررسی توزیع ارتفاعی حوضه‌ها، ابتدا نقشه توپوگرافی هر کدام از حوضه‌ها در محیط نرم‌افزاری GIS رقومی شده‌اند. با تبدیل این داده‌ها به داده‌های رستری، ابتدا مدل رقومی ارتفاعی زیرحوضه‌ها (DEM) و سپس نقشه شیب هر کدام از زیرحوضه‌ها تهیه گردید (شکل ۲).

چشم‌گیرترین موضوع در زیرحوضه‌ها با توجه به جهت ناهمواری، جهت شمالی و جنوبی ناهمواری‌ها می‌باشد. از سمت جنوب به شمال، ارتفاع زمین افزایش می‌یابد به طوری که اختلاف ارتفاع بین قسمت‌های پست حدود ۱۳۰۰ متر و قسمت‌های مرتفع تا ۴۳۰۰ متر دیده می‌شود. شیب جغرافیایی در این زیرحوضه‌ها از پایین‌ترین ۰ تا بیشترین شیب ۳۳۲ درصد می‌باشد.

^۱ . Ramirez

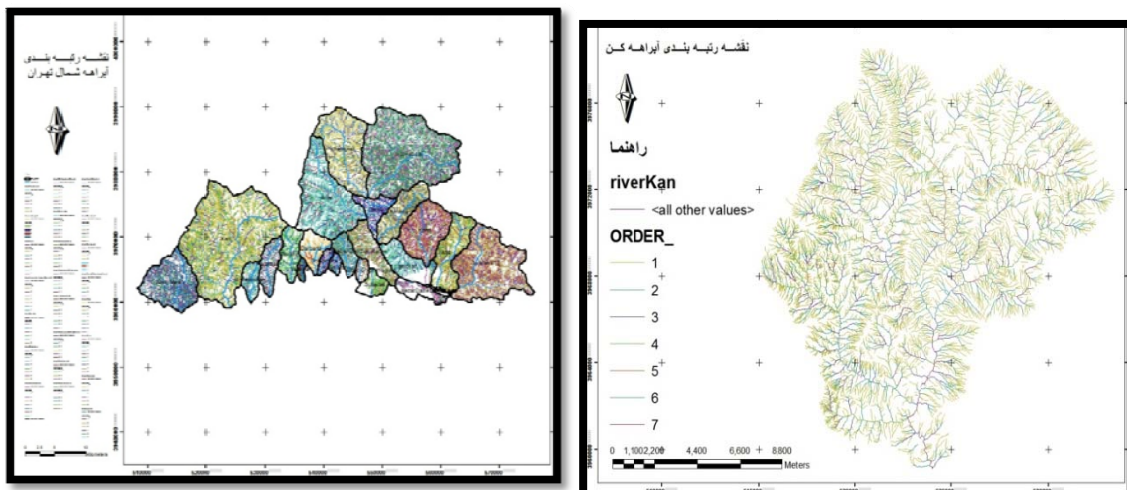
^۲ . Bull & McFadden



شکل ۲: نقشه مدل رقومی ارتفاعی (DEM) زیرحوضه‌های مورد مطالعه شکل ۳: نقشه شیب زیرحوضه‌های مورد مطالعه

رتبه‌بندی آبراهه‌ها

در یک حوضه زهکشی کوچک‌ترین سرشاخه با مرتبه ۱ مشخص می‌شود. درجایی که دو کانال مرتبه ۱ به هم می‌پیوندند، یک کانال مرتبه ۲ تشکیل می‌شود و درجایی که دو کانال مرتبه ۲ به هم متصل می‌شوند، یک کانال مرتبه ۳ شکل می‌گیرد و الی آخر. رودخانه اصلی که همه دبی آب و رسوب از آن عبور می‌کند، قطعه با بالاترین مرتبه است (هورتون، ۱۹۴۵). شماره مرتبه به‌طور مستقیم با اندازه حوضه آبریز، ابعاد کانال و دبی آبراهه در آن مکان از سیستم متناسب است. تعداد قطعات هر مرتبه به‌صورت $N_1, N_2, N_3, \dots, N_u$ قابل تعیین هستند. طول آبراهه و تعداد آن به تفکیک زیرحوضه‌ها در جدول (۱) کامل آورده شده است. نقشه رتبه‌بندی آبراهه زیرحوضه‌ها در شکل (۴) نشان داده شده و در این حوضه نقشه‌ی حوضه‌ی کن برای نمونه بزرگ‌شده و رتبه‌بندی آن به‌صورت شکل (۵) می‌باشد.



شکل ۴: نقشه رتبه‌بندی آبراهه حوضه شمال تهران

شکل ۵: نقشه رتبه‌بندی آبراهه حوضه کن

نسبت انشعاب

نسبت تعداد قطعات یک مرتبه ویژه، به تعداد قطعات مرتبه بالاتر، نسبت انشعاب نامیده می‌شود (Keller & Pinter ۲۰۰۲). این نسبت به علت تغییرات تصادفی در هندسه حوضه آبریز دقیقاً از مرتبه‌ای به مرتبه دیگر یکسان نخواهد بود. نسبت انشعاب درون یک حوضه با افزایش رده کاهش می‌یابد، زیرا با افزایش رده، درصد آبراهه‌هایی که به هم

می‌پیوندند و رده‌بالا تر را ایجاد می‌کنند افزایش می‌یابد. مقدار میانگین این نسبت برای حوضه‌های سطح ۲ و برای حوضه‌های کوهستانی بین ۳ تا ۴ متغیر است (ساویندرا^۱، ۱۹۹۸). نسبت انشعاب برای حوضه‌های آبریزی که ساختارهای زمین‌شناختی آن‌ها را دستخوش تغییر کرده‌اند، متغیر است. نسبت انشعاب پایین از ویژگی‌های حوضه‌هایی است که آشفستگی‌های ساختاری کمتری دارند و الگوی زهکشی در آن‌ها غیرطبیعی نیست. نسبت انشعاب زیرحوضه‌ها در جدول (۱) آمده است.

شاخص نسبت شکل حوضه (BS)

حوضه‌هایی با تکتونیک فعال، شکل کشیده‌ای دارند. شکل حوضه در طول زمان با توقف میزان بالآمدگی و کاهش فعالیت، به تدریج دایره شکل می‌شود (بول و مک فادن، ۱۹۷۷). حوضه‌هایی که با مقادیر زیاد یعنی بیشتر از ۴ مشخص می‌شوند، از نظر تکتونیکی فعال هستند.

زمانی که BS بین ۳ تا ۴ باشد، حوضه‌ها از نظر فعالیت زمین ساختی نیمه فعال هستند و مقادیر کمتر از ۳، حوضه‌های دایره‌ای شکل را نشان می‌دهند که از نظر فعالیت، غیرفعال اند (هامدونی و همکاران^۲، ۲۰۰۸). حوضه‌ی امامه نمونه‌ای از حوضه‌های با تکتونیک فعال و حوضه‌ی درکیا، لاوارک شمالی-جنوبی و سوهانک از نظر فعالیت، غیرفعال می‌باشند. که شرح آن در جدول (۲) آمده است.

شاخص انتگرال هیپسومتریک (Hi):

نتایج کسب‌شده از این شاخص برای مناطق مختلف از حداکثر ۰/۵ تا نزدیک به صفر متغیر است. مقادیر بالاتر شاخص، بیانگر توپوگرافی جوان و وجود پستی‌وبلندی زیاد نسبت به میانگین شبکه‌ی زهکشی است و با برش‌های عمیق، برجستگی‌های ناهموار، سطوح بالآمده و بریده شده توسط شبکه زهکشی مشخص می‌شود. مقادیر پایین‌تر شاخص، تعادل در فرآیندهای ژئومورفیک و گذر از مرحله بلوغ به پیری را بیان می‌کند که برجستگی‌های نسبی هموار از ویژگی‌های آن است. ارتباط بین شاخص Hi و درجه‌ی بریدگی، سبب شده تا به‌عنوان معیاری برای تشخیص چرخه‌ی مرحله فرسایش چشم‌انداز، مورداستفاده قرار گیرد. در اینجا محاسبه شاخص Hi برای تمام زیر حوضه‌ها مقادیر عددی زیر ۰/۵ که بیانگر توپوگرافی جوان می‌باشد را نشان می‌دهد. که شرح آن در جدول (۲) آمده است. در این شاخص، همه‌ی حوضه‌ها، نشان‌دهنده‌ی مقادیر نزدیک به هم می‌باشد و تقریباً همه‌ی حوضه‌ها، بیانگر توپوگرافی جوان و وجود پستی‌وبلندی زیاد نسبت به میانگین شبکه‌ی زهکشی می‌باشد.

شاخص پیچ و خم رودخانه (S):

به نظر می‌رسد هر چه مقدار پیچ‌وخم آبراهه یا رودخانه‌ای بیشتر باشد به حالت تعادل نزدیک‌تر بوده، درحالی‌که مستقیم بودن مسیر رودخانه بیشتر حاکی از جوان بودن منطقه و فعالیت‌های عصر حاضر تکتونیکی و یا نئوتکتونیکی است. بالا بودن مقادیر عددی این شاخص، نزدیک شدن رودخانه به حالت تعادل را نشان می‌دهد، درحالی‌که مقادیر کم این شاخص، بیانگر فعالیت تکتونیکی در منطقه مطالعاتی موردنظر می‌باشد. در محاسبه شاخص S حوضه‌های اهر و درکیا با بالاترین مقادیر عددی به حالت تعادل نزدیک‌تر بوده و حوضه‌های دربند، درکه، کند و حصارک شایمیران، بیشتر حاکی از جوان بودن و بیانگر فعالیت تکتونیکی در منطقه می‌باشد. شرح آن در جدول (۲) آمده است.

^۱ . Savindra

^۲ . Hamdouni et al

شاخص پیچ‌وخم پیشانی کوهستان (S_{mf}):

این شاخص گویای توازن و تعادل بین شدت و قدرت رود برای ایجاد یک پیشانی کوهستان نامنظم از یک سو و حرکات تکتونیکی قائم و جوان جهت ایجاد پیشانی مستقیم از سوی دیگر بوده و به‌سادگی از طریق عکس‌های هوایی و یا نقشه‌های توپوگرافی قابل محاسبه است. زیادی پیچ و خم پیشانی کوهستان (شاخص S_{mf}) بیانگر سکون تکتونیکی آن پیشانی می‌باشد. این شاخص برای مناطق بسیار فعال تکتونیکی با مقادیر کمتر از $1/4$ ، و برای جبهه‌های کوهستانی غیرفعال تکتونیکی از حدود ۳ بیشتر می‌باشد (کلر و پنتر^۱، ۱۹۹۶). در محاسبه شاخص S_{mf} بیشتر حوضه‌ها از نظر تکتونیک فعال می‌باشند و حوضه دره چشمه یورد ($1/11$) در که ($0/26$) و گلابدره ($0/3$) با بالاترین شاخص بسیار فعال همراهند و حوضه‌ی لاوارک شمالی - جنوبی ($3/07$) از نظر تکتونیکی غیرفعال می‌باشد. شرح آن در جدول (۲) آمده است. مطابق جدول در این شاخص، حوضه‌هایی که کوهستانی‌اند و به دشت‌ها مشرف نمی‌باشند، محاسبه نشده‌اند.

جدول ۱: مشخصات حوضه‌های شمال تهران و بعد فرکتال محاسبه‌شده برای حوضه‌های زهکشی

مشخصات حوضه	کند	سوهاک	گرماپدر	افچه	شمشک	لاوارک شمالی جنوبی	کن	درکیا	امامه	اهر
تعداد ایرلنما با رتبه ۱	۱۷۷۸	۲۰۲	۲۴۲۹	۱۲۶۵	۱۲۰۴	۲۷۵۷	۳۳۵۸	۲۶۵	۱۰۲۳	۱۶۴۶
تعداد ایرلنما با رتبه ۲	۲۵۸	۹۸	۷۳۲	۲۲۲	۲۵۳	۵۱۳	۷۹۳	۷۹	۱۷۸	۲۳۹
تعداد ایرلنما با رتبه ۳	۸۰	۵۲	۱۵۶	۷۵	۶۰	۱۱۹	۱۸۰	۱۵	۳۹	۷۲
تعداد ایرلنما با رتبه ۴	۱۶	-	۲۵	۱۸	۱۵	۲۶	۳۰	۳	۹	۲۰
تعداد ایرلنما با رتبه ۵	۳	-	۸	۳	۹	۷	۹	۱	۱	۶
تعداد ایرلنما با رتبه ۶	۲	-	۳	۳	۲	۱۱	۶	۲۲	۲	۲
تعداد ایرلنما با رتبه ۷	-	-	۳	۱	۲	۳	۳	-	-	۳
تعداد ایرلنما با رتبه ۸	-	-	-	-	-	-	-	-	-	۱
تعداد کل ایرلنما	۲۱۵۶	۳۵۲	۳۵۶۷	۱۵۸۸	۱۵۳۶	۲۳۳۶	۳۹۱۸	۳۸۸	۱۲۵۳	۲۰۱۹
مجموع طول ایرلنما با رتبه ۱	۳۹۹۹۵/۱۶	۱۰۰۰۵۳۷/۲	۳۳۳۳۷/۲۲	۲۶۵۳۵/۹۳	۳۷۲۵۲/۲۳۵	۶۲۶۴۱۰/۱۰۹	۱۰۰۰۲۵۶/۲۹	۵۵۵۶۳/۲	۳۳۷۶۳/۳۱	۳۸۱۷۱۰/۷۵
مجموع طول ایرلنما با رتبه ۲	۵۶۱۵/۷۹	۲۱۲۰۶/۴	۲۳۳۶/۷۱	۶۲۶۳/۷۵	۱۰۲۱۹/۲۸	۱۶۵۷۰/۲۹۴	۲۱۹۴۴/۷۸	۲۳۴۴/۷۶	۵۲۱۰/۱۶۳	۱۲۱۳۹/۱۵
مجموع طول ایرلنما با رتبه ۳	۵۳۱۴/۱۸۵	۱۰۶۵۵/۷	۵۳۱۳/۷۹	۳۲۹۵/۱۶	۲۱۶۱۳/۲۲	۶۵۳۹/۷۲	۱۲۱۰۱/۵۱	۱۳۳۵/۱۵	۲۳۸۱۶/۲	۵۸۱۷/۵۳
مجموع طول ایرلنما با رتبه ۴	۱۷۸۰/۳	-	۲۰۸۰/۲۵۷	۱۲۰۵۵/۳۳	۲۳۳۷/۳۳	۳۷۱۹/۱۸۵	۶۲۶۴/۱۲۷	۳۶۲۱/۹	۶۶۶/۱۵	۱۷۸۶۶/۷
مجموع طول ایرلنما با رتبه ۵	۱۷۷۶/۲۳	-	۱۵۶۷/۲۵۴	۱۲۰۸۵/۲۲	۷۵۰۲/۶۹	۱۱۷۳/۵۳	۱۵۱۲۳/۱	۳۶۶/۱۰۸	۱۸۸۱۹/۳۳	۱۶۰۹۵/۴
مجموع طول ایرلنما با رتبه ۶	۳۶۲/۲۶	-	۱۱۳۵/۴	۳۹۹/۷۵	۱۱۵۰/۵۲۳	۱۵۴۲/۲۲	۲۸۷/۶	۳۷۸/۱۶۸	۹۰۷۵/۲	۵۶۲۲/۹۹
مجموع طول ایرلنما با رتبه ۷	-	-	۸۲۳/۲۷	۲۵/۳۸	۸۱۵/۲۶	۲۸۹/۱۳	۹۰۳/۷۷	-	-	۷۶۰/۱۹۷
مجموع طول ایرلنما با رتبه ۸	-	-	-	-	-	-	-	-	-	۲۰۳/۱۷
مجموع طول کل ایرلنما	۵۰۶۶۷/۱۱	۷۶۱۵/۲۹	۱۴۳۶۳/۵۹	۳۸۹۰/۲۹۵	۵۶۵۰/۷۲	۹۰۷۵۲/۲۲	۱۵۲۱۳۵/۲۷	۱۴۰۹۳/۵۹	۳۳۶۸۱/۱	۷۱۰۳۳۶/۵
نسبت کشیدگی R_b	۳/۸۸۱	۳/۸۷۲	۳/۱۲۶	۳/۱۲۸۶	۲/۹-۳	۳/۱۱	۳/۳-۵	۱/۷-۹	۱/۲۶۷	۳/۸۵۸
نسبت طولی ایرلنما R_L	۲/۶	۲/۰-۳/۹	۲/۱۲۳	۲/۰-۴	۱/۸۸۵	۲/۶۶۶	۲/۱۸۴	۲/۱۸۴	۱/۹۱۴	۲/۱۸۳
بعد فرکتال D	۱/۳۹۳	-۱/۶۵	۱/۳۸۸	-۱/۳۶	۱/۰-۹۱	۱/۰-۸۸	۱/۰-۷۴	۱/۰-۲۱	۱/۳۵۹	۱/۰-۴۲

مأخذ: نگارندگان

ادامه جدول ۱: مشخصات حوضه‌های شمال تهران و بعد فرکتال محاسبه شده برای حوضه‌های زهکشی

مشخصات حوضه	فرحزاد	حصارک شایمیران	گلایدره	دارآباد	درکه	دریند	ولنجک	دره چشمه یورد	حصارک نیاوران	وردیج وریش
تعداد ایراهه‌ها یا رتبه ۱	۳۳۷	۲۳۶	۹۰	۳۹۸	۳۰۰	۲۶۲	۶۲	۳۴	۹۳	۱۸۵۴
تعداد ایراهه‌ها یا رتبه ۲	۷۴	۴۹	۲۲	۸۷	۵۴	۵۴	۱۶	۲۵	۱۸	۴۱۱
تعداد ایراهه‌ها یا رتبه ۳	۱۷	۸	۷	۱۹	۱۲	۱۲	۳	۲۸	۵	۹۰
تعداد ایراهه‌ها یا رتبه ۴	۳	۲	۱	۵	۴	۳	۲	۳۱	۲	۱۸
تعداد ایراهه‌ها یا رتبه ۵	۲	۲	۲	۲	۲	۳	-	-	-	۷
تعداد کل ایراهه‌ها	۴۳۳	۲۹۷	۱۲۲	۵۱۱	۳۷۲	۳۳۴	۸۴	۱۲۸	۱۱۸	۲۲۸۴
مجموع طول ایراهه‌ها یا رتبه ۱	۹۱۲۲۱/۷۴	۶۶۹۲۷/۴۵	۲۸۵۷۲/۱	۱۰۴۱۱۲/۸۴	۱۰۷۹۱۴/۵۷	۸۹۷۱۴/۵۴	۱۹۹۰۵/۳	۲۰۳۱۶/۵	۲۵۶۶۲/۶۵	۲۴۲۴۲۲/۳۷
مجموع طول ایراهه‌ها یا رتبه ۲	۲۸۰۵۰/۲۲	۱۸۲۲۵/۸۶	۷۰۵۴/۵۴	۳۱۳۲۵/۲۲	۲۱۱۴۴/۰۹	۱۹۳۹۵/۶۴	۴۰۸۰/۶۸	۳۵۷۲/۲۱	۹۱۴۴/۸۴	۹۴۷۹۴/۵۵
مجموع طول ایراهه‌ها یا رتبه ۳	۹۹۰۴/۸۷	۴۵۴۹/۸۱	۴۱۹۵/۵۸	۱۰۰۹۹/۷۴	۹۴۹۲/۱۶	۹۷۱۲/۸۲	۲۶۷۰/۳۲	۲۱۳۰/۵۳	۲۵۷۷/۰۲	۴۹۴۰۷/۱
مجموع طول ایراهه‌ها یا رتبه ۴	۴۷۷۸/۴	۷۱۶۷/۰۷	۲۸۱۰/۰۸	۳۹۱۱/۰۱	۲۱۶۰/۹۹	۵۵۱۵/۹۸	۱۹۳۸/۹۶	۱۷۹۵/۳۳	۱۶۸۵/۵	۲۴۹۷۶/۹۲
مجموع طول ایراهه‌ها یا رتبه ۵	۶۴۷۵/۶۶	۱۷۱۸/۶۹	۵۵۴/۲	۶۱۶۸/۵۷	۶۵۹۷/۸۲	۲۹۷۹/۴۱	-	-	-	۱۱۴۵۱/۲۶
مجموع طول ایراهه‌ها یا رتبه ۶	-	-	-	-	-	-	-	-	-	۶۸۹۲/۵۹
مجموع طول کل ایراهه‌ها	۱۴۰۴۲۰/۹	۹۸۶۰۸/۸۹	۴۴۱۸۶/۵	۱۵۵۶۱۷/۴۱	۱۴۷۳۱۰/۶۴۵۸۰۷	۵۱۴۹/۵	۲۸۵۹۵/۲	۲۷۸۱۴/۶	۴۰۰۷۱/۰۲	۵۴۹۰۴۵/۹۱
نسبت انشعاب R_b	۲/۶۲۵	۲/۲۹	۲/۵۸۹	۲/۷۵۱	۲/۴۹۸	۲/۰۵۶	۲/۱۵۵	۲/۰۲۹	۲/۵۹۴	۲/۴۱۲
نسبت طولی ایراهه R_l	۱/۹۳	۲/۴۹	۲/۶۷۷	۲/۰۲۲	۲۰۵۵۲	۲/۳۹	۲/۱۶۴	۲/۲۳۶	۲/۴۷۳	۲/۲۰۵
بند فرکتال D	۱/۱۸۳	۱/۳۷	۰/۹۹	۱/۱۷	۰/۹۹۶	۱/۲۹	۱/۵۹۹	۰/۰۲۴	۱/۱۲۲	۱/۵۵۲

مأخذ: نگارندگان

جدول ۲: نتایج محاسبات شاخص‌های ژئومورفولوژیکی زیر حوضه‌های شمال تهران

شاخص H_i	شاخص B_s	شاخص S	شاخص S_{mf}	زیر حوضه
۰/۳۴	۰/۵۴	۱/۰۹	-	درکیا
۰/۴۳	۲/۹	۰/۵۱	-	امامه
۰/۴۱	۱/۳۲	۱/۱۹	-	اهر
۰/۴۴	۲/۶۶	۰/۵۱	۲/۱۲	فرحزاد
۰/۴۴	۱/۹۷	۰/۵	۲/۱۹	حصارک شایمیران
۰/۴۴	۲/۵	۰/۵۱	۰/۰۳	گلایدره
۰/۴۸	۱/۳۷	۰/۵۳	۱/۷۶	دارآباد
۰/۴۵	۲/۳۲	۰/۵	۰/۲۶	درکه
۰/۵	۱/۲۷	۰/۵	۱/۱۹	دریند
۰/۴۴	۲/۳۶	۰/۵۱	۱/۹۹	ولنجک
۰/۴۳	۱/۶۹	۰/۵۲	۱/۱۱	دره چشمه یورد
۰/۴۳	۱/۶۷	۰/۵۱	۱/۷۵	حصارک نیاوران
۰/۴۵	۱/۰۲	۰/۵۴	۲/۹۱	وردیج وریش
۰/۳۴	۱/۲۳	۰/۵	-	کند
۰/۳۳	۰/۸۵	۰/۶۸	۱/۷۱	سوهانک
۰/۴۲	۱/۰۷	۰/۵۱	-	گرمايدر
۰/۳	۲/۱۴	۰/۵۵	-	افچه
۰/۴	۱/۷۴	۰/۵	-	شمشک
۰/۴	۰/۷۲	۰/۷۵	۳/۰۷	لاوارک شمالی جنوبی
۰/۴۳	۱/۱۱	۰/۵۱	۱/۱۸	کن

مأخذ: نگارندگان

محاسبه‌ی رگرسیون خطی رابطه‌ی بعد فرکتال و شاخص‌های ژئومورفولوژیک

با توجه به محاسبات انجام شده با نرم‌افزار SPSS، رگرسیون خطی بین بعد فرکتال (متغیر وابسته) و معیارها (متغیر مستقل) که شامل: طول آبراهه‌ها، تعداد آبراهه‌ها، مساحت حوضه، شیب متوسط حوضه، طول دره، عرض دره، اختلاف ارتفاع، ارتفاع متوسط، طول آبراهه اصلی، شاخص S، شاخص BS، شاخص S_{mf} و شاخص H_i می‌باشد، که در اینجا به علت حجم زیاد متغیرها تعداد و طول آبراهه‌ها و شاخص‌های ژئومورفولوژیکی هر کدام به صورت جداگانه، به همراه (ضریب همبستگی و ضریب تعیین) آن ضرایب ثابت و متغیر معیارها در زیر محاسبه شده و به صورت جدول ارائه شده‌اند.

الف) رگرسیون خطی بین بعد فرکتال و تعداد کل آبراهه‌ها، تعداد آبراهه‌ها از رتبه ۱-۶.

طبق نتایج به دست آمده از رگرسیون خطی، رابطه‌ی معنی دار بسیار بالایی وجود دارد (ضریب همبستگی ۰/۹۹ و ضریب تعیین ۰/۹۸). که در اینجا، تعداد کل آبراهه‌ها، تعداد آبراهه‌های با رتبه ۲ و ۳، با بعد فرکتال ارتباط مستقیمی برقرار کرده‌اند، و آبراهه‌های ۱، ۴، ۵ و ۶، با بعد فرکتال رابطه عکس دارند.

جدول ۳: رگرسیون خطی بین بعد فرکتال و تعداد آبراهه‌ها

B	Model
۱/۵۲۲	ضریب
۰/۰۰۲	تعداد کل آبراهه‌ها
-۰/۰۰۲	تعداد آبراهه با رتبه ۱
۰/۰۰۲	تعداد آبراهه با رتبه ۲
۰/۰۰۸	تعداد آبراهه با رتبه ۳
-۰/۰۹۸	تعداد آبراهه با رتبه ۴
-۰/۰۲۰	تعداد آبراهه با رتبه ۵
-۰/۰۲۱	تعداد آبراهه با رتبه ۶
R Square	R
0/987	0/994

مأخذ: نگارندگان

ب). رگرسیون خطی بین بعد فرکتال و مجموعه طول کل آبراهه‌ها، طول آبراهه‌ها از رتبه ۱-۶. رگرسیون خطی در این گروه نیز، رابطه‌ی معنی دار بالایی وجود دارد (ضریب همبستگی ۰/۷۲ و ضریب تعیین ۰/۵۲). مجموعه طول کل آبراهه‌ها، آبراهه‌های با رتبه ۴، ۵ و ۶، ارتباط مستقیمی را با متغیر وابسته، که بعد فرکتال می‌باشد، را نشان می‌دهد. آبراهه‌ها با رتبه ۱، ۲ و ۳ نسبت معکوسی را با بعد فرکتال، نشان می‌دهد.

جدول ۴: رگرسیون خطی بین بعد فرکتال و طول آبراهه‌ها

B	Model
۰/۷۷۱	ضریب
۱/۳۸۷E-۶	مجموع طول کل آبراهه
-۳/۸۴۳E-۶	طول رتبه آبراهه با رتبه ۱
-۳/۱۶۵ E-۶	طول رتبه آبراهه با رتبه ۲
-۷/۴۱۷ E-۶	طول رتبه آبراهه با رتبه ۳
۳/۵۶۴ E-۵	طول رتبه آبراهه با رتبه ۴
۷/۵۵۰ E-۵	طول رتبه آبراهه با رتبه ۵
۱/۷۱۷ E-۵	طول رتبه آبراهه با رتبه ۶
R Square	R
۰/۵۲۳۹	۰/۷۲۷

مأخذ: نگارندگان

ج). رگرسیون خطی بین بعد فرکتال و شیب متوسط حوضه، ارتفاع متوسط، اختلاف ارتفاع، عرض دره، مساحت حوضه، شاخص S، شاخص BS، شاخص S_{mf} و شاخص H_i ، طول آبراهه اصلی.

رگرسیون خطی در این گروه، رابطه‌ی معنی‌دار بسیار بالایی وجود دارد (ضریب همبستگی $0/99$ و ضریب تعیین $0/98$). همچنین بین بعد فرکتال و شیب حوضه، ارتفاع متوسط، طول آبراهه اصلی، عرض دره و شاخص S_{mf} ارتباط مستقیمی برقرار است و با بیشتر شدن متغیرها، بعد فرکتال بیشتر می‌شود و بلعکس. بین بعد فرکتال و مساحت حوضه، اختلاف ارتفاع، شاخص S ، شاخص BS ، و شاخص Hi رابطه‌ی معکوس وجود دارد، یعنی هرچه میزان مساحت حوضه، اختلاف ارتفاع و شاخص‌های مذکور بیشتر شود بعد فرکتال مساحت کمتر می‌شود و عکس آن نیز صادق می‌باشد.

جدول ۵: نتایج رگرسیون خطی بین بعد فرکتال و برخی شاخص‌های ژئومورفولوژیکی

B	Model
۱/۱۸۳	ضریب
-۰/۰۰۴	اختلاف ارتفاع
۰/۰۲۹	شیب متوسط حوضه
۰/۰۰۶	ارتفاع متوسط
-۸/۹۳۲ E	مساحت حوضه
۴/۸۶۶ E -۵	طول آبراهه اصلی آبراهه
۰/۰۰۱	عرض دره
-۱۰/۶۰۲	شاخص S
۱/۲۷۱	شاخص BS
۰/۰۲۳	شاخص S_{mf}
-۲۲/۱۷۳	شاخص Hi
R Square	R
۰/۹۱۷	۰/۹۵۸

مأخذ: نگارندگان

نتیجه‌گیری

نتایج بررسی‌ها نشان داد که بعد فرکتال شبکه‌ی زهکشی زیرحوضه‌های موردبررسی از $0/۳۴$ تا $۱/۵۹۹$ متغیر است. حداقل بعد فرکتال در زیرحوضه دره چشمه یورد و حداکثر آن در زیرحوضه ولنجک محاسبه گردید. میانگین بعد فرکتال برای تمامی زیرحوضه‌ها برابر $۱/۱۲۸$ می‌باشد. در این مقاله برای محاسبه بعد فرکتالی در زیرحوضه‌های شمال تهران از روش سیستم شماری و ضرایب هورتون استفاده شد. نتایج نشان داد که بین ابعاد فرکتالی به‌دست‌آمده از زیرحوضه‌های شمال تهران و خصوصیات ژئومورفیک حوضه‌ها از قبیل: انتگرال هیپسومتریک، نسبت شکل حوضه، پیچ‌وخم رودخانه و پیچ‌وخم پیشانی کوهستان، روابط معنی‌داری وجود دارد.

بررسی شاخص انتگرال هیپسومتریک نشان داد که همه‌ی زیرحوضه‌ها، مقادیر نزدیک و بیشتر از $0/۳$ دارند و لذا دارای توپوگرافی جوان و پستی‌وبلندی زیادی هستند. شاخص نسبت شکل حوضه نشان داد که، حوضه‌های امامه، فرحزاد، ولنجک، افجه، گلابدره و درکه، تقریباً از نظر تکتونیکی نیمه فعال هستند و مابقی حوضه‌ها، فعالیت تکتونیکی کمتری دارد. در شاخص پیچ و خم رودخانه، حوضه‌های اهر و درکیا با بالاترین مقادیر عددی به حالت تعادل نزدیک‌تر بوده و حوضه‌های دربند، درکه، کند و حصارک شایمیران، بیشتر حاکی از جوان بودن و بیانگر فعالیت نسبی تکتونیکی در منطقه می‌باشد. در محاسبه شاخص S_{mf} اغلب زیرحوضه‌های موردبررسی دارای فعالیت تکتونیکی بالا و نسبتاً بالا می‌باشند. لازم به ذکر است که به علت فقدان جبهه‌ی کوهستانی، این شاخص برای برخی زیرحوضه‌ها محاسبه شده است. علاوه بر این، روابط رگرسیون خطی بین بعد فرکتال شبکه‌ی زهکشی با شاخص‌های ژئومورفولوژیکی از جمله: طول آبراهه‌ها، تعداد آبراهه‌ها، مساحت حوضه، شیب متوسط حوضه، طول دره، عرض دره، اختلاف ارتفاع، ارتفاع متوسط، طول آبراهه اصلی، شاخص S ، شاخص BS ، شاخص S_{mf} و شاخص Hi محاسبه گردید. نتایج نشان داد که در رگرسیون خطی رابطه‌ی معنی‌دار بسیار بالایی R^2 برابر $(0/۹۴۴)$ بین تعداد کل آبراهه‌ها و تعداد آبراهه‌ها از رتبه ۶-۱ وجود دارد. رگرسیون خطی بین مجموع طول کل آبراهه‌ها و طول آبراهه‌ها از رتبه ۶-۱، ارتباط نسبتاً بالایی $(0/۷۲۷)$ را نشان می‌-

دهد. رگرسیون خطی بین شیب متوسط حوضه، ارتفاع متوسط، اختلاف ارتفاع، عرض دره، مساحت حوضه، شاخص S، شاخص BS، شاخص S_{mf} و شاخص Hi، طول آبراهه اصلی نیز ارتباط بسیار بالایی (۰/۹۵۸) را نشان می‌دهد. بسیاری از نظریه‌های فیزیکی که توصیف‌گر پدیده‌های بحرانی هستند، در دل خود الگوهایی را نشان می‌دهند که دارای خواص هندسی و آماری یکسانی با بسیاری از الگوهای دیده‌شده بر روی زمین است. آبراهه‌ها تنها یکی از این الگوها هستند. مطالعات وسیع‌تر، می‌تواند به سمت مدل‌سازی شبکه آبراهه‌ها و تغییرات آن هدایت شود. همچنین استفاده از مفاهیم فرکتالی در دیگر الگوهای ژئولوژی و ژئومورفولوژی، از قبیل: خواص هندسی گسل‌ها، لبه‌ی ساحل‌ها، مئاندرها و... اطلاعات و دیدگاه جدیدی را وارد عرصه‌ی ژئومورفولوژی می‌کند. بعد فرکتال شبکه‌ی زهکشی شاخص هندسی نسبتاً جدیدی است که مقادیر الگوهای نسبتاً مشخصی را در رابطه با ویژگی‌های شبکه‌های زهکشی و خصوصیات ژئومورفولوژیک نشان می‌دهد. بررسی حاضر نشان داد که روابط معنی‌داری بین ابعاد فرکتال زهکشی و خصوصیات مورفولوژیک در زیرحوضه‌های بررسی وجود دارد. به عبارت دیگر، خصایص ژئومورفولوژیکی از جمله توپوگرافی، زمین‌شناسی، تعداد و رتبه‌های شبکه‌ی زهکشی، برخی خصوصیات مورفولوژیک بستر رودخانه‌ها، شکل زیرحوضه‌ها و... تأثیر خود را در ابعاد فرکتالی شبکه‌ی زهکشی نشان می‌دهند. گارسیا (۱۹۹۲)، فرونتیر (۱۹۹۰) و اونیر (۱۹۸۹) در حوضه‌های زهکشی به نتایج مشابه دست‌یافته‌اند. در مقاله خانابایی و همکاران بعد فرکتال رابطه مثبتی با مساحت حوضه را نشان می‌دهد به طوری که حوضه سرخون با بیشترین مساحت، بعد فرکتال بزرگ‌تر (۱/۹۴) و حوضه راهدار با کمترین مساحت، بعد فرکتال کوچک‌تر (۱/۲۵) دارد. عامل شکل حوضه نیز رابطه مثبتی با بعد فرکتال شبکه زهکشی دارد. همبستگی این دو عامل R^2 برابر ۰/۹۷ را نشان می‌دهد. با توجه به جدید بودن موضوع فرکتال‌ها در ژئومورفولوژی و ضعف مطالعات در این زمینه پیشنهاد می‌شود مطالعات گسترده‌تری در رابطه با ابعاد فرکتالی پدیده‌های ژئومورفولوژیکی در کشور صورت پذیرد.

منابع

- آرین مهران، پیام علوم زمین، مرکز انتشارات جهاد دانشگاهی واحد شهید بهشتی، ۱۳۸۳، شماره ۳۳ و شماره ۳۰، صص ۱۳ تا ۱۶.
- حبیب‌اللهیان، محمود و رامشت، محمدحسین (۱۳۹۱)؛ کاربرد شاخص‌های ارزیابی تکتونیک جنبه در برآورد وضعیت تکتونیک بخش علیای زاینده‌رود، فصلنامه جغرافیا و توسعه، سال دهم، شماره ۲۶.
- خانابایی، ز. ۱۳۹۰ "تعیین و مقایسه ابعاد فرکتالی در حوضه‌های زهکشی" پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه خوارزمی.
- رامشت، م. ح. ۱۳۸۲، "نظریه کیاس در ژئومورفولوژی"، مجله جغرافیا و توسعه، بهار و تابستان ۱۳۸۲، زاهدان.
- عاشورلو، د. ۱۳۸۷ "تعیین اندازه پیکسل جهت محاسبه خصوصیات فیزیوگرافی حوضه آبریز برای نقشه‌های توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ ایران، فصلنامه زمین‌شناسی ایران، شماره هشتم.
- طایفه علی‌گودرز، م. ۱۳۸۳، "تحلیل و طراحی آنتن میکرواستریپ فرکتالی با کاربرد مخابرات بی‌سیم" پایان‌نامه کارشناسی ارشد، بخش مهندسی دانشگاه تربیت مدرس تهران.
- کرم، ا. ۱۳۸۹، "نظریه آشوب، فرکتال و سیستم‌های غیرخطی در ژئومورفولوژی"، فصلنامه جغرافیای طبیعی، شماره ۸.
- مقصودی، م. باقری سجاده، ۱۳۸۹، "راندگی گیلانغرب با استفاده از شاخص‌ها و شواهد ژئومورفولوژیک"، جغرافیای توسعه - شماره ۲۱.

- مقصودی، مهران و همکاران (۱۳۹۰): بررسی تکتونیک فعال حوضه آبخیز کفرآور با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک و شواهد ژئومورفولوژیکی، مجله جغرافیا و توسعه، شماره ۲۵.
- Abedini.M.j, M.R. Shaghaghian,(2009), "Exploring scaling laws in surface topography" *Chaos, Solitons and Fractals* 42 papers 2373–2383
- Avnir, D. (Ed.), 1989, *The Fractal Approach to Heterogeneous Chemistry: John Wiley & Sons, Chichester*, 441 p.
- Andreas, C.W.Baas.(2002) "Chaos, fractals and self-organization in coastal geomorphology", *simulating dune landscapes in vegetated environments* *Geomorphology* 48, pages 309–328
- Baas.Andreas C.W.(2002) *Chaos, fractals and self-organization in coastal geomorphology: simulating dune landscapes in vegetated environments* *Geomorphology* 48 pages 309–328
- Bull, W.B., McFadden, L.D., 1977. Tectonic geomorphology north and south of the Garlock fault, California. In: Doehring, D.O. (Ed.), *Geomorphology in Arid Regions. Proceedings of the Eighth Annual Geomorphology Symposium. State University of New York, Binghamton*, pp. 115–138.
- Cheng Y.C. (1999) . " Self-similarity dimensions of the Taiwan Island landscape ", *Computers & Geosciences* 25 ,pages 1043-1050.
- Cunha.A.H,R.P. Santos. (2009) "The use of fractal geometry to determine the impact of inlet migration on the dynamics of a seagrass landscape Estuarine, Coastal and Shelf Science 84pages 584–590.
- Keller, E.A., Pinter, N., 1996, *Active, Tectonics: Earthquake, Uplift and Landscape*, Prentice Hall Publication, London.
- Keller, E. A. & Pinter, N., 2002- "Active Tectonics: Earthquakes, Uplift and Landscape", Prentice Hall, New Jersey.
- Gagnon, J.-S. S. Lovejoy, D. Schertzer (2006). "Multifractal earth topography". *Nonlin. Processes Geophys* 13, pages 541–570.
- Garcia-Ruiz. Juan M, (1992). "Fractal Trees and Horton's Laws" *Mathematical Geology*, vol 24
- Hamdouni, R.E., Irigaray, C., Fernandez, T., Chacon, J. , Keller E.A., 2008, *Assessment of Relative Active Tectonic, South West Border of the Sierra Nevada (Southern Spain)*, *Geomorphology*, 96, 150-173.
- Frontier, S., 1990, *Applications of Fractal Theory to Ecology*, In P. Legendre and C. Legendre (Eds.), *Developments in Numerical Ecology: NATO ASI Series*, Springer, Berlin.
- Horton, R.E., 1945, *Erosional Developments of Streams and Their Drainage Basin; Hydrophysical Approach to Quantitative Morphology: Geol. Soc. Am. Bull.*, v.56, p.275-370.
- Juan M.Garcia-Ruiz and Fermin Otolora 1992 "Fractal Trees and Horton's Laws" *Mathematical Geology*, Vol.24, p61-71
- Krein . Andreas ,(2003) *The use of fine sediment fractal dimensions and colour to determine sediment sources in a small watershed Catena* 53 165–174
- Kumar Pal. Pradip. (2008) *Geomorphological, Fractal Dimension and b – value mapping in Northeast India* "Geophys. Union, pages.41-54.
- La Barbera, P., and Rosso, R., 1989, *On the fractal Dimension of stream Networks: Water Res. Res.*, v.25, p.735-741.
- Murray. Brad, Fonstad. Mark A. (2007). "Complexity (and simplicity) in landscapes", *Geomorphology* 91 pages 173–177.
- Pelletier, Jon D. (1999). "Self-organization and scaling relationships of evolving river networks" *Jornal april* 10, *Geophysical research*, , pages 7359-7375.
- Pelletier. Jon D. (2007). "Fractal behavior in space and time in a simplified model of fluvial landform evolution" *Geomorphology* 91 pages 291–301.
- Ramirez-Herrera, MT., 1998. "Geomorphic assessment of active tectonic in the Acambay Graben, Mexican volcanic belt". *Earth Surface Processes and Landforms* 23, pages 317-332.
- Rockwell, T.K., Keller, E.A., Johnson, D.L., 1985. Tectonic geomorphology of alluvial fans and mountain fronts near Ventura, California. In: Morisawa, M. (Ed.), *Tectonic Geomorphology. Proceedings of the 15th Annual Geomorphology Symposium. Allen and Unwin Publishers, Boston, MA*, pp. 183–207.

- Savindra Singh, 1998- *Geomorphology, Department of Geology, University of Allahabad India, Printed at Artiorinters Sarvodaya Nagar, Allahpur, p.330-353.*
- Turcotte. Donald L, (2007) " *Self-organized complexity in geomorphology: Observations and models* ", *Geomorphology*.pages 91 302–310
- Toshita Kamar,Nick Patel,Arunabh Talwar (2010)"*Spontaneous regression of thoracic malignancies*"*Respiratory Medicine*,Volume 104, Issue10,Pages1543-1550.
- Wlson,Thomash.Jovita Dominic.(1998)."*Fractal interrelationships between topography and structure*" " *Earth Surf. Process. Landforms*23,pages 509–525.
- Wells, S.G., Bullard, T.F., Menges, T.M., Drake, P.G., Karas, P.A., Kelson, K.I., Ritter, J.B.,Wesling, J.R., 1988. *Regional variations in tectonic geomorphology along segmented convergent plate boundary, Pacific coast of Costa Rica. Geomorphology 1, 239–265.*