

تفکیک سازندهای زمین‌شناسی با مقایسه بعد تراکم شبکه زهکشی و بعد فراکتال شبکه زهکشی (مطالعه موردی: دامنه‌های شمالی همدان)

علی‌رضا ایلدرمی

دانشیار گروه مهندسی طبیعت، دانشکده منابع طبیعی و محیط‌زیست، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران

نویسنده مسئول: a.ildoromi@malayeru.ac.ir *

نوع مقاله: کاربردی

پذیرش: ۱۴۰۰/۶/۱۶

دریافت: ۱۴۰۰/۳/۲

چکیده

سیستم شبکه هیدروگرافی در یک حوضه آبخیز تابعی از عوامل ساختمانی، لیتولوژی و توپوگرافی می‌باشد که بررسی آن در مدیریت منابع طبیعی از اهمیت خاصی برخوردار است. هدف از این پژوهش مقایسه عملکرد دو روش بدون بعدسازی پارامترهای کمی ژئومورفولوژی تراکم شبکه زهکشی و بعد فراکتال آن‌ها در تفکیک سازندهای زمین‌شناسی سطحی در دامنه‌های شمالی الوند همدان است. ابتدا با بررسی نقشه زمین‌شناسی منطقه و تصاویر ماهواره‌ای Google Earth و مشاهدات میدانی چهار واحد زمین‌شناسی شامل، گرانیت الوند، هورنفلس کلریت‌دار، سنگ‌آهک مارنی و شیست استرولیت‌دار انتخاب و در هر واحد ۲ پلات ۲*۲ کیلومتری به صورت تصادفی - سیستماتیک نصب و شبکه زهکشی و بعد فراکتال آن‌ها با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS و Fractalyse محاسبه شد. سپس جهت صحت‌سنجی از نمودار و زاویه انحراف و ضریب تعیین استفاده گردید. نتایج نشان می‌دهد که نسبت صحت‌سنجی در هر دو تکنیک بسیار خوب و شبیه هم و بین ۰/۹۷ تا ۰/۹۹ می‌باشد و بیانگر کارایی خوب هر دو تکنیک جهت شناسایی و تفکیک واحدهای زمین‌شناسی است. با توجه به بررسی نمودارهای QQ نزدیکی اعداد ضریب تعیین در تکنیک تراکم شبکه زهکشی به عدد ۱، زاویه انحراف کم و نزدیکی ارقام محاسباتی آن به صفر، نتایج نشان می‌دهد که تکنیک بدون بعدسازی تراکم زهکشی نسبت به تکنیک بعد فراکتال شبکه زهکشی برای شناسایی و تفکیک واحدهای زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه بهترین و مناسب‌ترین تکنیک است.

واژه‌های کلیدی: الوند همدان، بعد فراکتال، تراکم زهکشی، نمودار QQ

پیشگفتار

تکتونیک فعال و گسل‌های منطقه، دقیق‌سازی نقشه‌های زمین‌شناسی کوچک مقیاس به ویژه در اکتشاف معادن، راه سازی و تونل‌سازی، تفکیک واحدهای لیتولوژی و فرسایش‌پذیری سازندها بسیار مورد توجه محققین علوم زمین‌شناسی و ژئومورفولوژی کمی قرار گرفته است. الگوی شبکه زهکشی تحت تأثیر پارامترهای زمین‌شناسی، توپوگرافی و شیب، تکتونیک و اقلیم می‌باشد که ارزیابی هر یک از این عوامل باعث شناخت نحوه شکل‌گیری الگوی زهکشی در هر منطقه می‌شود. در این رابطه کمی‌سازی متغیرهای زمین‌شناسی به آسانی امکان‌پذیر نبوده، در حالی که بیشترین تأثیر را بر روی شکل‌گیری، ماهیت و فعالیت شبکه زهکشی دارند (محمدی و همکاران، ۱۳۹۸). روندهای خطی در علوم زمین به عنوان یک عنصر ژئومورفولوژیکی به خطواره‌ها معروفند و یک خطواره یک خط قابل ترسیم و ردیابی با سیمای مستقیم یا خمیده، نشان‌دهنده ساختارهای زمین‌شناسی خطی، مانند مرزهای

هندسه فراکتالی از جمله روش‌هایی است که به توصیف اشیایی می‌پردازد که خود متشابه یا متقارن هستند، این بدان معنا است که وقتی این اشیاء بزرگنمایی شوند به نظر می‌رسد که بین اجزای آن‌ها تشابه دقیقی برقرار است و این شباهت جزء به جزء تا بی‌نهایت ادامه می‌یابد (بأس، ۲۰۰۲). یکی از ویژگی‌های اساسی فراکتال که پایه و اساس تجزیه و تحلیل‌های فراکتالی است خود تشابهی آماری است که بیان‌کننده تشابه ظاهری در یک جهت یا همه جهات و مقیاس‌هاست (مندلورت، ۱۹۸۲). به عبارت دیگر خود تشابهی آماری بیان‌کننده حالتی است که الگوی مورد نظر در یک مقیاس معین در دیگر مقیاس‌ها نیز تکرار می‌شود و این خود تشابهی ممکن است به صورت تقریبی یا تصادفی وجود داشته باشد (پریگارین و همکاران، ۲۰۱۳). در سال‌های اخیر کاربرد تحلیل فراکتالی برخی عوارض و ساختارهای زمین‌شناسی از جمله شناخت

به تبع آن، تراکم زهکشی و عدد فراکتال نیز افزایش می‌یابد. کامیاب و همکاران (۱۳۹۷) در انطباق سنجی خواص ژئومورفولوژیک حوضه آبریز و ویژگی‌های چند فراکتالی شکل آبراهه نشان دادند که روابط معنی‌داری بین شاخص‌های ژئومورفولوژیک و تحلیل‌های چند فراکتالی وجود دارد و می‌توان جهت سایر حوضه‌های آبریز این نتیجه را به خوبی بسط و تعمیم داد. برزگری دهج و همکاران (۱۳۹۸) در مقایسه شاخص بدون بعد تراکم شبکه زهکش و بعد فراکتال شبکه زهکشی در جداسازی واحدهای سنگ‌شناسی حوضه آبخیز تفت، یزد، به این نتیجه رسیدند که تکنیک تراکم شبکه زهکش نسبت به تکنیک بعد فراکتال شبکه زهکش در شناسایی و تفکیک واحدهای زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه، نتایج بسیار خوبی ارائه داده است. محمدی خشویی و همکاران (۱۳۹۸) در مقایسه بعد فراکتال و ویژگی‌های ژئومورفولوژیک در مدیریت حوضه آبخیز عقدا نشان دادند که روابط معنی‌داری بین ابعاد فراکتال شکل حوضه و شبکه زهکشی با ویژگی‌های ژئومورفولوژیک وجود دارد و بالاترین ضریب همبستگی متعلق به روابط رگرسیونی بین مجموع طول آبراهه، مساحت و مساحت فرسایش‌پذیر حوضه با بعد فراکتال شبکه زهکشی دیده می‌شود. نظری صارم و همکاران (۱۳۹۹) در برآورد بعد فراکتالی ژئومورفولوژی کرانه‌های شمال خلیج فارس با استفاده از روش شمارش جعبه‌ای نشان دادند که از دیدگاه ژئومورفولوژی فراکتال، خورهای شمال خلیج فارس وارد مرحله لبه آشوبناکی شدند. جوکار سرهنگی و همکاران (۱۳۹۹) در بررسی ارتباط بین سازندهای زمین‌شناسی و فرم منحنی میزان نقشه‌های توپوگرافی در بخشی از البرز شمالی و جنوبی به این نتیجه رسیدند که فرم‌های منحنی میزان و سازندهای زمین‌شناسی منطقه در سطح ۰/۰۱ تفاوت معنی‌داری با یکدیگر دارند، به طوری که فرم‌های منحنی میزان صاف و ساده در سنگ‌های سخت و مقاوم و فرم‌های سینوسی متراکم در سازندهای سست تطابق داشته و از مقدار مورد انتظار بیشتر هستند. دونادیو و همکاران (۲۰۱۴) سه رودخانه را از دید فراکتالی الگوی هیدروگرافی مقایسه کردند و به این نتیجه رسیدند که رابطه زمین‌ساخت و فرسایش با عدد بعد فراکتال بسیار زیاد است. کاساک (۲۰۱۴) با مطالعه الگوی آبراهه‌ها نتیجه گرفت که با افزایش بعد فراکتالی یک الگوی آبراهه‌ای از مرتبه $X+1$.

سنگ‌شناسی و گسل می‌باشد (اموانیکی و همکاران، ۲۰۱۵). تحلیل آبراهه‌ها و وضعیت تراکم آن‌ها به عنوان یک خطواره مهم در صورتی که شواهد مناسبی از تکتونیک ناحیه در دسترس نباشد می‌تواند کلیدی برای شناسایی و ارزیابی فعالیت‌های تکتونیک، یک منطقه باشد (چرچی و همکاران، ۱۳۹۰). در یک بررسی با انطباق ابعاد فراکتالی تراکم شکستگی و مرکز سطحی زمین‌لرزه‌ها مشخص شده که تراکم شکستگی و زلزله‌های منطقه، چگونه و در چه جهتی افزایش و تراکم آبراهه‌های منطقه در کدام جهات کاهش می‌یابند (چرچی و همکاران، ۱۳۹۰). همچنین تحلیل فضایی لندفرم‌های بادی با استفاده از نظریه فراکتالی بیانگر این است که ارزیابی فراکتالی به طور نسبی واقعیت‌های مورفولوژیکی لندفرم‌های بادی را بیشتر مشخص می‌کند (شایان و همکاران، ۱۳۹۴). در محاسبه بعد فراکتال حوضه‌های زهکشی و رابطه آن با برخی خصوصیات ژئومورفولوژیکی حوضه نیز نشان داده شده که روابط معنی‌داری بین متغیرهای مورفولوژیکی و بعد فراکتال شبکه زهکشی در زیرحوضه‌ها وجود دارد (کرم و همکاران، ۱۳۹۴).

در دهه اخیر استفاده از تجزیه و تحلیل فراکتال برای توصیف کمی ژئومورفولوژیکی و هیدروولوژیکی حوضه‌های آبخیز افزایش یافته و هدف اصلی اکثر این بررسی‌ها یافتن رابطه‌ای ریاضی بین خصوصیات ژئومورفولوژیکی حوضه و مسائلی چون هیدروگراف واحد مصنوعی فراکتال، فرسایش‌پذیری سازندها، تکتونیک، شکستگی‌ها، لرزه‌ها، جداسازی لندفرم‌ها و تفکیک واحدهای زمین‌شناسی است که از آن جمله می‌توان به تحقیقات زیر در رابطه با موضوع فراکتال و زمین‌شناسی اشاره نمود: خلیفه سلطانی و همکاران (۱۳۹۵) به بررسی نقش ساختارهای زمین‌شناسی در ابعاد فراکتالی شکستگی‌ها و آبراهه‌ها در جنوب باختری لنجان اصفهان پرداختند. نتایج تحلیل فراکتالی شکستگی‌ها، بخش B را به عنوان پویاترین بخش گستره معرفی می‌کند، در حالی که نتایج تحلیل فراکتالی آبراهه‌ها، فعالیت زمین‌ساختی را در بخش A بیشتر تأیید می‌نماید. علیمردادی و همکاران (۱۳۹۷)، در محاسبه بعد فراکتال سازندهای زمین‌شناسی و بررسی ارتباط آن با حساسیت سازندها، نشان دادند که بین عدد فراکتال و حساسیت سازندهای حوضه به فرسایش ارتباط معناداری وجود دارد، به نحوی که با افزایش حساسیت سنگ‌شناسی

است به شکل رسوبات عمیق و باریک در این منطقه نهشته شده، که به درستی ژنز آن معلوم نیست. از نظر لیتولوژی سنگ‌های محدوده‌ی همدان شامل انواع دگرگونی (ناحیه‌ای-مجاورتی)، آذرین و رسوبی است (شکل ۱).

واحدهای زمین‌شناسی مورد بررسی

گرانیت الوند: مجموعه پلوتونیک الوند در بخش شمال غربی نوار دگرگونی سنندج - سیرجان واقع و متشکل از سنگ‌های نفوذی مافیک، حدواسط و فلسیک با سن‌های مختلف می‌باشد. گرانیت‌های پورفیروئیدی الوند که حجم اصلی توده اصلی را تشکیل می‌دهد در دوگامه تزریق شده‌اند (سپاهی‌گرو و همکاران، ۱۳۷۹). در سیستم‌های گرانیتی، کانی‌های گروه تورمالین، کانی‌های فرعی و یا کمیاب بیشتر وجود دارد. اما تورمالین در آپلیت‌ها و پگماتیت‌ها به شکل‌های گوناگونی دیده می‌شوند. وجود شکل‌های بلوری گوناگون در سنگ‌های گرانیتی نشان دهنده شرایط فیزیوشیمیایی رخ داده در منطقه، ماگماتیسیم طولانی مدت است، که موجب تبلور بلور در آن شده است (سپاهی‌گرو و همکاران، ۱۳۹۶). گرانیتوئیدها بخش عمده مجموعه پلوتونیک الوند را تشکیل می‌دهند و در داخل آن‌ها آنکلاوهای دانه ریز فراوانی وجود دارند، که دارای اندازه‌های بسیار متغییر از یک سانتی‌متر تا چند متر و به اشکال مدور، بیضی شکل، زاویه‌دار و کشیده می‌باشند. (شکیبا و همکاران، ۱۳۹۹). این توده متعلق به سه سری از ماگماهای مختلف است که منشأ آن‌ها را می‌توان به فرایندهای پترولوژیکی متفاوتی نسبت داد. لذا بر این اساس سه دسته از سنگ‌های اصلی شامل گابروها، گرانیت‌ها و گرانوتوئیدها در آن به خوبی قابل تفکیک است. گابروها دارای منشأ گوشته‌ای هستند، منشأ گرانیت‌ها پوسته قاره‌ای و گرانوتوئیدها، حاصل ذوب پوسته‌ای غنی از پلاژیوکلاز، مانند تونالیت‌ها و رسوبات دگرگون شده‌اند (شهبازی، ۱۳۸۹) گرانیت‌های الوند دارای بافت پورفیری بسیار مشخصی می‌باشند. بطوریکه بلورهای میکرولین پریتیت در آن گاهی به درازای ۱۰ سانتی‌متر می‌رسد (شکل ۲). منطقه مورد مطالعه دارای طیف ترکیب سنگ‌شناسی متشکل از سه گروه اصلی گرانیت پورفیری، گرانودیوریت، و گابرو دیوریت است. به رغم مطالعات گسترده زمین‌شناسی انجام شده در منطقه همدان هنوز نکات

تعداد و یا طول آبراهه‌ها از مرتبه $X+1$ افزایش می‌یابد. دوتا و همکاران (۲۰۱۴) در بررسی لندفرم‌های یخچالی در هیمالیا با استفاده از تحلیل چند فراکتالی نشان دادند که این لندفرم‌ها نسبت به لندفرم‌های رودخانه‌ای ساختار پیچیده‌ای دارند و با تحلیل فراکتالی می‌توان لندفرم‌های به وجود آمده توسط فرایندهای مختلف را تفکیک نمود. هوی و همکاران (۲۰۱۷) در بررسی ارتباط بین بعد فراکتال شبکه زهکشی و مراحل تکاملی فرسایش حوضه زرد چین نشان دادند که مقادیر فراکتالی شبکه زهکشی با مقادیر تحویل رسوب و رواناب حوضه رابطه‌ای مثبت و خطی دارد. بعلاوه تا کنون تحقیقات زیادی در رابطه با بعد فراکتال ژئومورفولوژی صورت گرفته که می‌توان به (فتاحی و همکاران، ۱۳۹۶؛ سلطانی و همکاران، ۱۳۹۸؛ فتاحی و همکاران، ۱۳۹۷؛ محمدی خشویی و همکاران، ۱۳۹۸؛ بی و همکاران، ۲۰۱۲؛ آریزا و همکاران، ۲۰۱۳؛ فاسبندا، ۲۰۱۳؛ کومار، ۲۰۱۴) اشاره نمود.

با توجه به مرور منابع، هدف از این پژوهش، محاسبه بعد فراکتالی شبکه‌های زهکشی و تراکم زهکشی و مقایسه - عملکرد و کارایی این دو تکنیک برای شناسایی و تفکیک چهار واحد زمین‌شناسی گرانیت الوند، هورنفلس کلریت‌دار، سنگ‌آهک مارنی و شیست استروولیت‌دار در دامنه‌های شمالی توده الوند همدان است، به طوری که بتوان با این تکنیک با صرف هزینه کمتر در مدت زمان کوتاه، به نتایج دقیق‌تری دست یافت.

مواد و روش‌ها

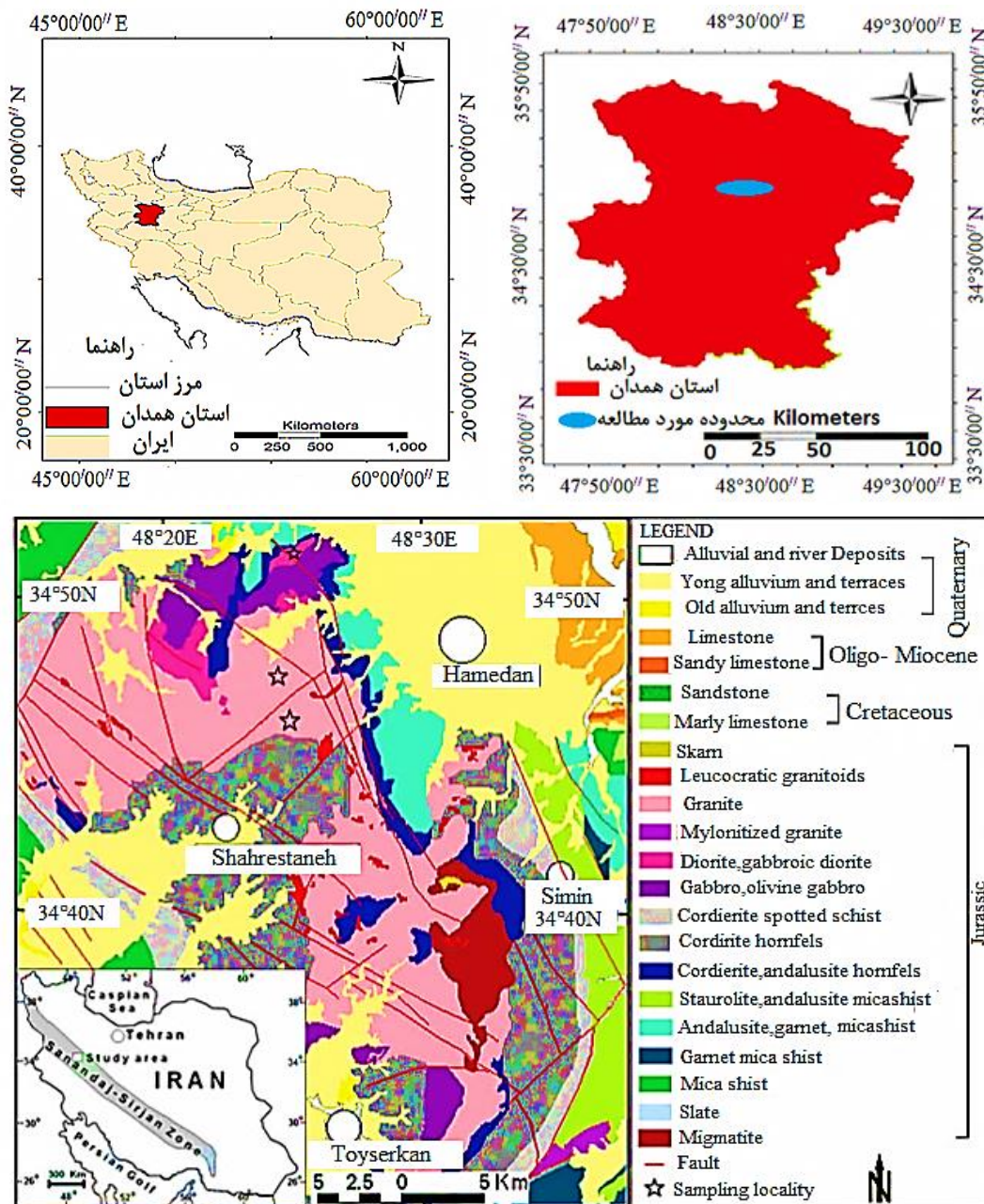
معرفی منطقه مورد مطالعه

توده کوهستانی الوند همدان در تقسیم‌بندی واحدهای زمین‌ساختی ایران در زون ساختاری سنندج - سیرجان جای دارد که به موازات رورانندی زاگرس گسترش دارد و جزء پر تکاپوترین پهنه ساختاری ایران است که فازهای دگرگونی و ماگماتیسیم مهمی را پشت سر گذاشته است. وجود سنگ‌های گوناگون دگرگونی، آذرین و رسوبی که اکثراً فاقد فسیل و به شکل بلوره و دگرگونه هستند موجب پیچیدگی زمین‌شناسی این منطقه شده است. از این رو سن نهشته‌های تخریبی دانه‌ریز که در یک ترف^۱ به شکل یک فرورفتگی طولانی که کمتر از یک ترانشه است و ژرفای آن از پهنایش بیشتر و پهنای آن از درازای آن بسیار کمتر

^۱.Trough (geology), a long depression less steep than a trench

بنابراین در توده گرانیتهی الوند قطعات دگرگونی زیادی وجود دارد که از نظر بافت و ترکیب کانی‌شناسی شباهت زیادی با سنگ‌های هورنفلس حاشیه توده الوند دارند و می‌توان آن‌ها را در ردیف بیگانه سنگ‌ها قرار داد. این میانبرها نیز معمولاً در حاشیه توده نفوذی و به ویژه در سقف توده فراوان و قطعات زاویه‌داری هستند که مرز مشخصی با سنگ میزبان خود دارند، و به صورت میانبار در توده اصلی نفوذ کرده و از شیست‌وارگی منطقه پیروی می‌کند (شکیبا و همکاران، ۱۳۹۹).

مبهمی درباره تکوین زمین‌شناسی آن وجود دارد. از جمله وجود بیگانه سنگ‌هایی از جنس گرونا تیت ۱ و سنگ‌های بسیار میکادار ۲ و بلورهای از آندالوزیت، سلیمانیت، کردیریت و گرونا است (شکل ۲- الف) که در برخی مکان‌ها بیگانه سنگ‌هایی از جنس گابرو نیز در آن مشاهده می‌شود. کانی‌های سازنده این سنگ‌ها عبارتند از فلدسپات‌های قلیائی، کوارتز، بیوتیت، کلریت، کمی گرونا و آندالوزیت، سلیمانیت، کردیریت که کانی‌های اخیر بیگانه بلورهایی هستند که در مورد ژنز آن‌ها ابهاماتی وجود دارد.



شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه در نقشه ایران، استان همدان و نقشه زمین‌شناسی باتولیت الوند همدان، اقتباس از (اشراقی و محمدی، ۲۰۰۳) و اقلیمی (۱۳۷۹) با تغییرات.



شکل ۲. الف) توده گرانیتی الوند و ب) توده‌های تیره آندالوزیت - کردیریت هورنفلس در مجاورت توده نفوذی الوند

میان لایه‌های نازکی از ماسه‌سنگ و سیلتستون با ضخامت کمتر از یک متر و لایه‌های ضخیم آهکی مشاهده می‌شود. لایه‌های ضخیم آهکی در اغلب نقاط با مرزبندی تندی بر روی مارن‌ها قرار گرفته است. سن این سنگ‌ها را به الیگومیوسن نسبت داده‌اند (امیری و همکاران، ۱۳۹۴). نهشته‌های کربناتی با ضخامت تقریبی ۷۰-۹۰ متر متحمل دگرریختی ناحیه‌ای شده و موجب نمایان شدن شیستوزیته چیره و از بین رفتن لایه‌بندی نخستین در آن‌ها شده است (شکل ۳- الف).

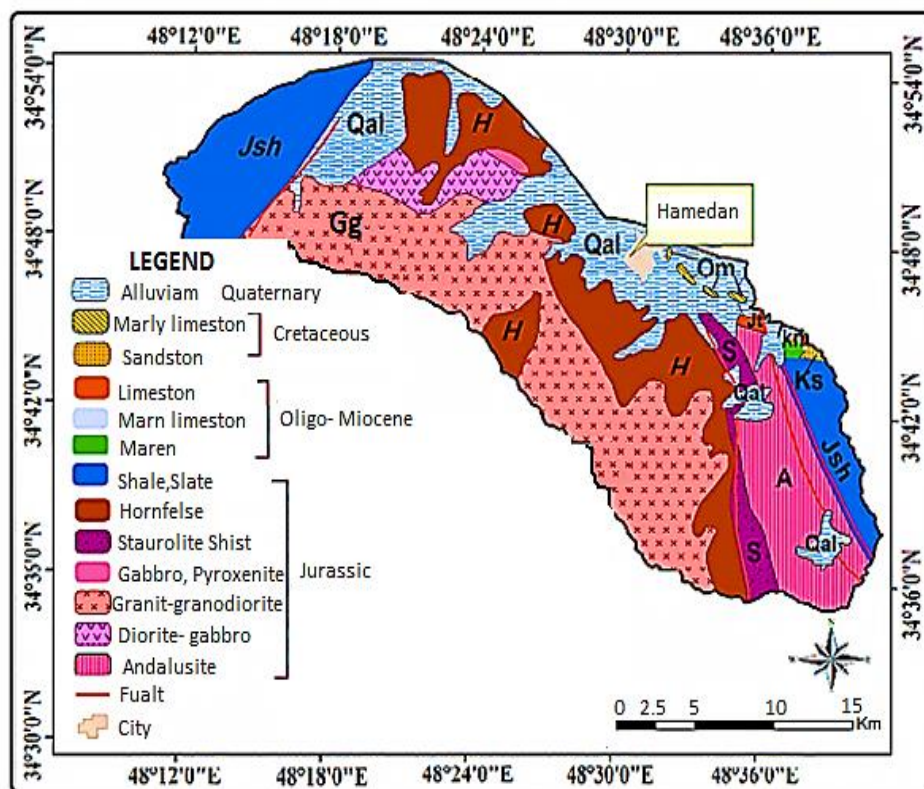
واحد شیست‌های استروولیت‌دار: محدوده همدان به طور عمده متشکل از سنگ‌های دگرگونی و پلوتونیک مزوزوئیک است. در این منطقه از غرب به شرق به ترتیب واحدهای متمایزی از توده‌های نفوذی، سنگ‌های دگرگونی مجاورتی و رگه‌های پگماتیستی و آپلیتی رخمون دارند که در برخی مناطق این سنگ‌ها حاوی گارنت می‌باشند. شیست‌ها در اثر دگرگونی مجاورتی اسلیت و فیلیت‌های منطقه بوجود آمده‌اند. (احمدی خلجی و همکاران، ۱۳۹۴). این واحد گسترده‌ترین شیست‌های منطقه را شامل می‌شود (شکل ۳- ب). شیست‌ها با داشتن پرفیروبلاست‌های استروولیت اثر شیستوزیته پیشین را در خود حفظ کرده‌اند و چنین به نظر می‌رسد که شیستوزیته بعداً در آن‌ها پدیدار شده است. در استروولیت شیست‌ها، رگه‌های کوارتزی و بلورهای استروولیت با اندازه‌های بسیار زیاد دیده می‌شود که گاهی حجم آن‌ها به ۴۰ درصد می‌رسد. در درون شیست‌ها لایه‌های کم ضخامتی از یک نوع سنگ بازیک که با بلورهای آمفیبول بسیار کشیده دیده می‌شود. به طور کلی توزیع واحدهای زمین‌شناسی جبهه شمالی توده کوهستانی الوند همدان در شکل (۴) نشان داده شده است.

هورنفلس‌های کردیریت‌دار: سنگ‌های دگرگونی منطقه طیف گسترده‌ای از دگرگونی‌های ناحیه‌ای تا دگرگونی همبری را در بر می‌گیرند. سنگ‌های دگرگونی ناحیه‌ای منطقه در بردارنده اسلیت، فیلیت، گارنت‌شیست، آندالوزیت‌شیست، استروولیت‌شیست و میگماتیت‌ها بوده و سنگ‌های دگرگونی همبری در بر گیرنده گارنت‌هورنفلس، کردیریت هورنفلس و فیروولیت گارنت هورنفلس هستند (سپاهی‌گرو و همکاران، ۱۳۹۷). در پیرامون توده پلوتونیک الوند دو گروه اصلی سنگ‌های دگرگونی ناحیه‌ای و سنگ‌های دگرگونی مجاورتی رخمون دارند. درجه دگرگونی سنگ‌های دگرگونی دیناموترمال در حد رخساره شیست‌سبز و آمفیبولیت است و دگرگونی مجاورتی در حد آلبیت- اپیدوت هورنفلس تا هورنبلند هورنفلس می‌باشد. سنگ‌های متاپلیتی مهم‌ترین سنگ‌های مجموعه دگرگونی هستند، اما میان لایه‌هایی از سنگ‌های متابازیت و متاکربنات هم قابل مشاهده است. اسلیت، فلایت، شیست و میگماتیت حجم اصلی مجموعه دگرگونی ناحیه‌ای را شکل داده‌اند که در شیست‌ها، کانی‌های فراوانی مانند میکاها، گارنت، آندالوزیت، سیلیمانیت، کیانیت و استروولیت یافت می‌شوند. به طور کلی سنگ‌های دگرگونی مجاورتی اغلب کردیریت- آندالوزیت هورنفلس هستند (شکیبا و همکاران، ۱۳۹۹). این واحد بسیار سخت بوده و با بلورهای بسیار مشخص و لکه‌های کردیریت هویت می‌یابند. برونزد بسیار مشخص این واحد در اطراف توده الوند در (شکل ۲- ب) دیده می‌شود.

سنگ‌آهک مارنی: این واحد از تناوب آهک‌های مارنی ورقه‌ای حاوی کانی‌های میکائی به رنگ کرم نازک لایه، دگرگونه و سنگ‌آهک ماسه‌ای سیاه‌رنگ است، که با ماسه سنگ‌های قاعده کرتاسه گذر تدریجی دارد. همراه آن‌ها



شکل ۳. الف) آهک‌های مارنی با کنگلومرای قاعده‌ای و ب) تشکیلات شیست و وضعیت شیستوزیته در دامنه‌های الوند



شکل ۴. نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه، اقتباس از ایلدرمی (۲۰۱۱) با تغییرات

روش تحقیق

- هدف از این بررسی تفکیک واحدهای زمین‌شناسی در دامنه شمالی توده کوهستانی الوند همدان با استفاده از تحلیل بعد فراکتال شبکه رودخانه‌ای و تراکم زهکشی در این منطقه است. لذا مراحل این تحقیق به شرح زیر انجام شده است:
- بررسی تصاویر ماهواره‌ای گوگل ارث
- ترسیم شبکه زهکشی در واحدهای زمین‌شناسی
- بررسی بعد فراکتال شبکه زهکشی
- بررسی تراکم شبکه زهکشی
- مقایسه تکنیک‌های بدون بعدسازی پارامترهای کمی ژئومورفولوژی (بعد فراکتال شبکه زهکشی و تراکم شبکه زهکشی)
- محاسبه نسبت صحت‌سنجی و رسم نمودار QQ و محاسبه ضریب‌ها و ارزیابی دقت و کارایی دو تکنیک
- مقایسه نتایج و انتخاب مناسب‌ترین تکنیک در تفکیک واحدهای سنگ‌شناسی منطقه

بعد فراکتال شبکه زهکشی و شاخص تراکم شبکه زهکشی

در این تحقیق ابتدا چهار واحد زمین‌شناسی شامل، گرانیته، هورنفلس کلریت‌دار، سنگ‌آهک مارنی و شیست استروولیت‌دار با استفاده از نرم‌افزار گوگل‌ارث با هم‌پوشانی نقشه زمین‌شناسی منطقه و تصاویر ماهواره‌ای و بازدیدهای میدانی انتخاب و تطابق داده شد. سپس بر اساس مشاهدات میدانی در هر واحد زمین‌شناسی تعداد ۸ پلات ۲*۲ کیلومتر (نمونه‌ها) تفکیک و در خارج از منطقه مورد مطالعه در هر واحد زمین‌شناسی نیز اقدام به پلات‌اندازی به تعداد ۸ عدد با ابعاد ۲*۲ کیلومتر (آزمون‌ها) شد. در مرحله بعد با استفاده از نرم‌افزار گوگل‌ارث و بازدید میدانی، آبراهه‌ها در هر یک از پلات‌ها با دقت ۱ متر ترسیم و بررسی شد. در ادامه با بررسی شبکه زهکشی پلات‌ها به صورت جداگانه و با استفاده از نرم‌افزار Fractalyse ابعاد فراکتال آن‌ها محاسبه شد. به منظور بررسی دقیق‌تر پس از محاسبه مساحت ۴ کیلومتر مربعی هر یک از پلات‌ها، مساحت آن‌ها با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS 10.3 محاسبه و طول شبکه در هر پلات تعیین شد. در این بررسی جهت محاسبه بعد فراکتال شبکه زهکشی از روابط محاسباتی زهکشی هورتون استفاده شده است. (هورتون، ۱۹۴۵). برای بررسی شبکه‌های رودخانه‌ای از روابط (۱، ۲ و ۳) استفاده شده است.

$$R_B = N_{W-1} / N_W \quad \text{رابطه ۱}$$

$$R_L = L_W / L_{W-1} \quad \text{رابطه ۲}$$

$$R_A = A_W / A_{W-1} \quad \text{رابطه ۳}$$

در روابط فوق R_B ، R_L و R_A به ترتیب ضرایب هورتون برای تعداد انشعاب، طول انشعاب و مساحت شبکه رودخانه‌ای هستند. N_W و L_W و A_W به ترتیب تعداد انشعابات، طول انشعابات و مساحت شبکه رودخانه می‌باشند. با توجه به روابط محاسباتی بعد فراکتال شبکه زهکشی می‌توان ابعاد فراکتال مساحت پلات‌های نمونه‌گیری و انشعاب رودخانه آن‌ها را با استفاده از روابط (۴ و ۵) محاسبه نمود (گارسیا رویز، ۱۹۹۲).

$$D_a = \ln R_B / \ln R_L \quad \text{رابطه ۴}$$

$$D_b = \ln R_B / \ln R_A \quad \text{رابطه ۵}$$

در این روابط D_B و D_a به ترتیب بعد فراکتالی انشعاب رودخانه و مساحت هر یک از پلات‌ها می‌باشند. ابتدا با

استفاده از روابط ساده هیدرولوژیکی تراکم زهکشی (D_d) برای هر یک از پلات‌ها محاسبه شد (تورکات، ۲۰۰۷).

$$D_d = \sum I_i / A \quad (\text{Km} / \text{Km}^2) \quad \text{رابطه ۶}$$

D_d : تراکم زهکشی، I_i : مجموع طول آبراهه‌ها بر حسب کیلومتر و A : مساحت پلات‌ها بر حسب کیلومتر مربع با استفاده از شکل ساده رابطه (۷) تراکم شبکه زهکشی در هر یک از پلات‌ها محاسبه شد.

رابطه ۷

(Km) مساحت پلات / (Km) طول شبکه زهکش = تراکم شبکه زهکش

ارزیابی دو تکنیک بدون بعدسازی پارامتر شاخص

تراکم شبکه زهکشی و بعد فراکتال شبکه زهکشی
در هر یک از تکنیک‌های مربوط به شاخص تراکم شبکه زهکشی و بعد فراکتال آن‌ها، ابتدا با استفاده از روش صحت‌سنجی، مقایسه نمونه و آزمون، تحلیل نموداری QQ، معادله خط، ضریب تعیین و زاویه انحراف محاسبه، ارزیابی و مقایسه شدند، تا کارایی و دقت هر یک از دو تکنیک به خوبی نشان داده شود.

تکنیک بعد فراکتال شبکه زهکشی و تراکم زهکشی

در این بررسی در هر واحد زمین‌شناسی بعد فراکتال شبکه زهکشی و تراکم شبکه‌های زهکشی مربوط به پلات‌های نمونه و پلات‌های آزمون محاسبه و میانگین‌گیری شد. جهت صحت‌سنجی نیز در هر واحد زمین‌شناسی برای بعد فراکتال شبکه زهکشی و تراکم شبکه زهکشی از رابطه‌های (۸ و ۹) استفاده شده است (برزرگری دهج و همکاران، ۱۳۹۸).

رابطه (۸) آزمون / نمونه = نسبت صحت‌سنجی بعد فراکتال شبکه زهکشی در هر واحد زمین‌شناسی

رابطه (۹) آزمون / نمونه = نسبت صحت‌سنجی تراکم شبکه زهکشی در هر واحد زمین‌شناسی

در این رابطه:

نمونه: میانگین بعد فراکتال شبکه‌های زهکشی و

تراکم شبکه زهکشی مربوطه به پلات‌های نمونه

آزمون: میانگین بعد فراکتال شبکه‌های زهکشی و

تراکم شبکه زهکشی مربوط به پلات‌های آزمون

در این رابطه N برابر با تعداد پیکسل‌هایی که در آن عارضه مورد نظر دیده می‌شود، ε^d ، اندازه هر پیکسل، و C ، ضریب ثابت است.

روش شمارش جعبه‌ای هندسه فراکتال

در بسیاری از پدیده‌های ژئومورفولوژیکی هم‌چون شبکه‌های رودخانه‌ای خود همانندی فراکتال قابل مشاهده است. به این معنی که هرچه با دقت بیشتری به تصویر فراکتال شبکه رودخانه‌ای نگاه شود، مورفولوژی آن در یک مقیاس مشخص در جزئیات شبیه شکل‌های دیگر در یک مقیاس دیگر است (فتاحی و همکاران، ۱۳۹۷). یکی از رایج‌ترین روش‌هایی که برای محاسبه تعداد پیکسل‌هایی که در آن عارضه مورد نظر دیده می‌شود، استفاده از روش شمارش پیکسلی (جعبه‌ای) می‌باشد. در این روش محدوده عارضه مورد نظر را بر روی یک شبکه پیکسلی قرار می‌دهند، و با تغییر اندازه پیکسل‌ها (ε)، تعداد پیکسل‌هایی که در آن عارضه مورد نظر دیده می‌شود (N)، شمارش می‌گردد و در نهایت با محاسبه شیب تغییرات دو پارامتر (N) و (ε)، عدد مربوط به بعد فراکتال محاسبه می‌گردد. در این روش، مجموعه از نقاط روی یک منحنی یا یک سطح با مربعاتی (همان جعبه‌ها) به طول و ضلع (ε)، پوشانده می‌شود. در واقع، کل فضای مورد نظر با استفاده از این روش شبکه‌بندی می‌شود. تعداد مربعاتی که هر قسمت از منحنی مورد نظر را می‌پوشاند محاسبه می‌گردد. این کار برای مربعات با طول اضلاع مختلف تکرار می‌شود. حد نهایی این قسمت زمانی است که (ε)، به صفر میل نماید. که در این صورت با استفاده از رابطه $L = N \cdot \varepsilon$ طول محاسبه شده به طول واقعی بسیار نزدیک می‌گردد. اگر اندازه خطی یک پدیده را در نظر بگیرید و آن را در هر جهت فضایی به مقدار (ε)، کاهش دهید، می‌توان $N(\varepsilon)$ جسم خود همانند را دید که تمام جسم اولیه را می‌پوشاند. یعنی $N(\varepsilon)$ تعداد ساختارهای خود همانند با اندازه خطی (ε)، است که تمام ساختار را می‌پوشاند که از رابطه (۱۱) به دست می‌آید (هوی و همکاران، ۲۰۱۷).

$$D = \lim_{\varepsilon \rightarrow 0} \log N(\varepsilon) / \log 1/\varepsilon \quad \text{رابطه ۱۱}$$

که در این رابطه D ، بعد فراکتالی N ، تعداد مربعات که شامل قسمتی از جسم فراکتالی مورد نظر می‌باشد.

نحوه مقایسه کارایی تکنیک‌های جداسازی واحدهای زمین‌شناسی

به منظور مقایسه کارایی تکنیک‌های تفکیک واحدهای زمین‌شناسی در این مرحله ابتدا با استفاده از روش مقایسه نمونه‌ها و آزمون‌های مربوطه و روش تحلیل آماری، و با استفاده از نرم‌افزار SPSS نمودارهای QQ مربوط به هر واحد زمین‌شناسی بین داده‌های تراکم شبکه زهکشی مربوط به پلات‌های نمونه و آزمون و همچنین بین داده‌های بعد فراکتال شبکه زهکشی مربوط به پلات‌های نمونه و آزمون ترسیم شد. سپس معادله خط، ضریب تعیین و زاویه انحراف آن‌ها محاسبه و مقایسه گردید، و در نهایت با بررسی و تحلیل داده‌های آماری حاصل از نمودارها و ضریب تعیین، کاربرد و کارایی دو تکنیک مورد ارزیابی قرار گرفت.

فراکتال و تعیین بعد آن

واژه فراکتال اولین بار توسط بنوا مندلبورت ریاضیدان فرانسوی لهستانی الاصل در سال ۱۹۷۵ از نظر ریاضی در مورد شکل سواحل انگلستان ابداع شده است. وی در تحقیق خود به این نتیجه رسید که هرگاه طول سواحل با مقیاس بزرگ اندازه گرفته شود بیش‌تر از زمانی است که مقیاس کوچک باشد. از لحاظ واژه، مندلبورت اصطلاح فراکتال را از واژه لاتین Fractus (به معنی شکسته) برگرفت تا بر ماهیت قطعه‌قطعه شونده که یکی از مشخصه‌های اصلی این فرم است، تاکید داشته باشد (مندلبورت، ۱۹۸۳). بنابراین واژه فراکتال به معنای سنگی است که به شکل نامنظم شکسته شده باشد. پدیده‌های فراکتال خود همانند هستند یعنی در مقیاس‌های متفاوت، جزئیات مشابهی از خود نشان می‌دهند. در بسیاری از پدیده‌های ژئومورفولوژیکی همچون شبکه رودخانه‌ای و خطوط ساحلی این خود همانندی فراکتال قابل مشاهده است. به این معنی که هر چه با دقت بیشتری به تصویر فراکتال نگاه شود، شکل‌ها در یک مقیاس مشخص در جزئیات، شبیه شکل‌های دیگر در یک مقیاس دیگر است. شاخص و اندازه کمی‌سازی مقیاس فراکتال، بعد فراکتال (d) می‌باشد که از طریق رابطه (۱۰) تحت عنوان فراکتال محاسباتی، قابل محاسبه است. بعد فراکتال بزرگ‌تر یعنی پدیده خیلی بی‌نظم است (کرم و همکاران، ۱۳۹۴).

$$N = \varepsilon^d + C \quad \text{رابطه ۱۰}$$

۶- از تکنیک لبه‌یابی کنی برای کشیدن نقشه لبه استفاده می‌شود. لبه‌ها مرزهایی هستند که در اطراف نواحی تصویر می‌باشند.

۷- مناطق مختلف مشخص شده در تصویر نشانه‌گذاری می‌شوند (یک مقدار به آن‌ها اختصاص داده می‌شود) و با رنگ‌های متفاوت رنگ‌آمیزی می‌شوند تا شبکه رودخانه از دیگر قسمت‌های تصویر تشخیص داده شوند. با انتخاب مقداری که به منطقه نشانه‌گذاری شده اختصاص می‌یابد، شخص می‌تواند کد اختصاص داده شده به شبکه آبراهه را استخراج نماید.

۸- با استفاده از تبدیل و استاندارد سازی به روش (SHT¹) و به کمک توپولوژی پیوستگی و همگرایی بر روی تصویر دودویی می‌توان طولانی‌ترین امتداد مسیر آبراهه را مشخص نمود.

معیار ارزیابی فراکتال محاسباتی و فراکتال ترسیمی

برای ارزیابی بعد فراکتال به عنوان یک فرمول تجربی با فراکتال ترسیمی، عمدتاً از ضریب همبستگی استفاده می‌شود. در مباحث آماری، ضریب همبستگی پیرسون، میزان همبستگی خطی بین دو متغیر تصادفی را می‌سنجد. مقدار این ضریب بین -۱ تا ۱ تغییر می‌کند که «۱» به معنای همبستگی مثبت کامل، «۰» به معنی نبود همبستگی و «-۱» به معنی همبستگی منفی کامل است. که در نمونه آن را با r_{xy} (روابط ۱۳ تا ۱۸) نشان می‌دهند.

$$r_{xy} = \frac{\overline{x \cdot y} - \bar{x} \cdot \bar{y}}{\sqrt{S^2_x \cdot S^2_y}} \quad \text{رابطه ۱۳}$$

$$\bar{x} = 1/n \sum x_i \quad \text{رابطه ۱۴}$$

$$\bar{y} = 1/n \sum y_i \quad \text{رابطه ۱۵}$$

$$\overline{xy} = 1/n \sum x_i y_i \quad \text{رابطه ۱۶}$$

$$S^2_y = \overline{y^2} - \bar{y}^2 \quad \text{رابطه ۱۷}$$

$$S^2_x = \overline{x^2} - \bar{x}^2 \quad \text{رابطه ۱۸}$$

که در آن:

x و y : داده‌های مشاهداتی و برآوردی y : میانگین داده‌های مشاهداتی یا برآوردی، x : میانگین داده‌های مشاهداتی یا برآوردی، S^2_y : واریانس داده‌های مشاهداتی یا برآوردی، S^2_x : واریانس داده‌های مشاهداتی یا برآوردی

با توجه به اعداد به دست آمده، نموداری به صورت لگاریتمی حاصل می‌شود، که محورهای افقی و عمودی آن به ترتیب معرف: $\log 1/\varepsilon$ و $\log N(\varepsilon)$ می‌باشد. شیب خط عبوری حاصله در منحنی لگاریتمی، بعد فراکتالی شی مورد نظر را بیان می‌کند (مولتنو، ۱۹۹۳). شاخص و اندازه کمی‌سازی مقیاس فراکتال، بعد فراکتال (d) می‌باشد که از رابطه (۱۲) تحت عنوان فراکتال محاسباتی، قابل محاسبه است. در این رابطه بعد فراکتال بزرگ‌تر بیانگر این است که پدیده خیلی بی‌نظم است (کرم و همکاران، ۱۳۹۴).

$$N = \varepsilon^d + c \quad \text{رابطه ۱۲}$$

در این رابطه N برابر با تعداد پیکسل‌هایی که در آن عارضه مورد نظر دیده می‌شود، ε : اندازه هر پیکسل، و c : ضریب ثابت است.

پردازش تصویر

با استفاده از این روش از کل تصویر پشت زمینه، تنها تصویر آبراهه تهیه و سپس تصاویر شبکه رودخانه پردازش و تجزیه و تحلیل فراکتال شده و خصوصیات فراکتال آن استخراج می‌شود. در روند پردازش تصویر ابتدا تصاویر آبراهه‌ها برای تجزیه و تحلیل فراکتال آماده و سپس با اجرای چندین گام به شرح زیر بر روی تصاویر آبراهه‌ها، از طریق کد تهیه شده در متلب محاسبات فراکتالی شبکه زهکشی انجام می‌پذیرد:

۱- خواندن و نشان دادن تصویر به حالت سیاه و سفید

۲- با استفاده از پنجره مورفولوژیک، روشنایی پشت زمینه تصویر تخمین زده می‌شود.

۳- در این مرحله پشت زمینه ایجاد شده در مرحله ۲ به عنوان یک سطح پارامتریک رنگی که رفتار ریاضی شکل را در منطقه مستطیلی تعیین شده نشان می‌دهد، به دست می‌آید.

۴- پشت زمینه از تصویر برداشته می‌شود و شدت آن تعدیل می‌یابد و در نهایت تصویر با یک پشت زمینه واحد به دست می‌آید.

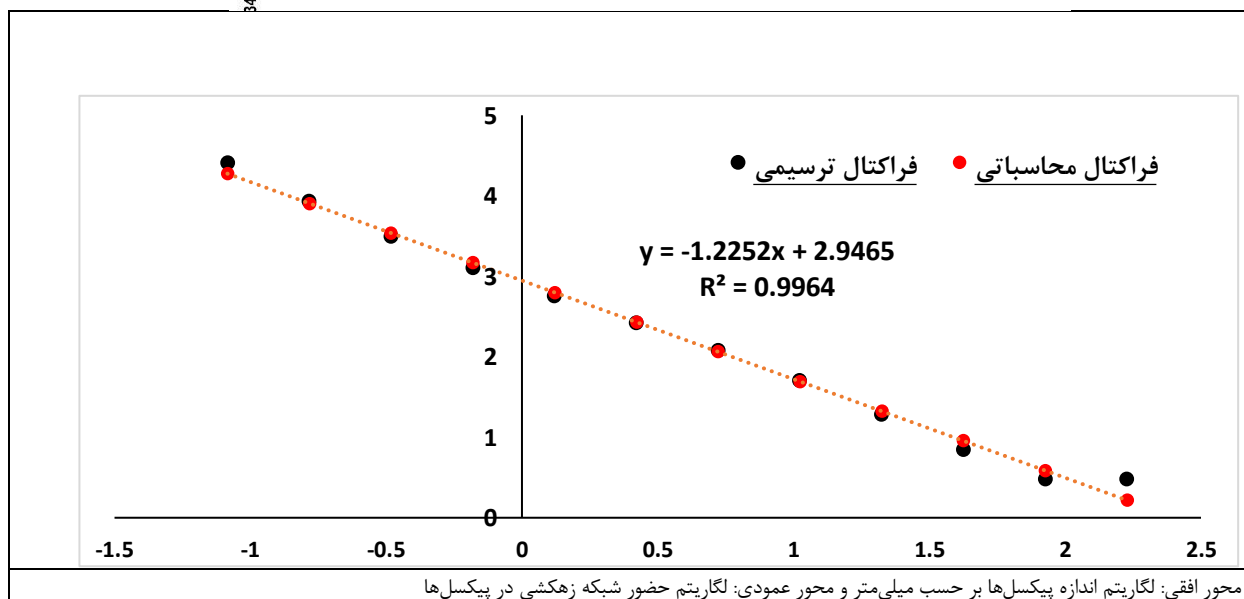
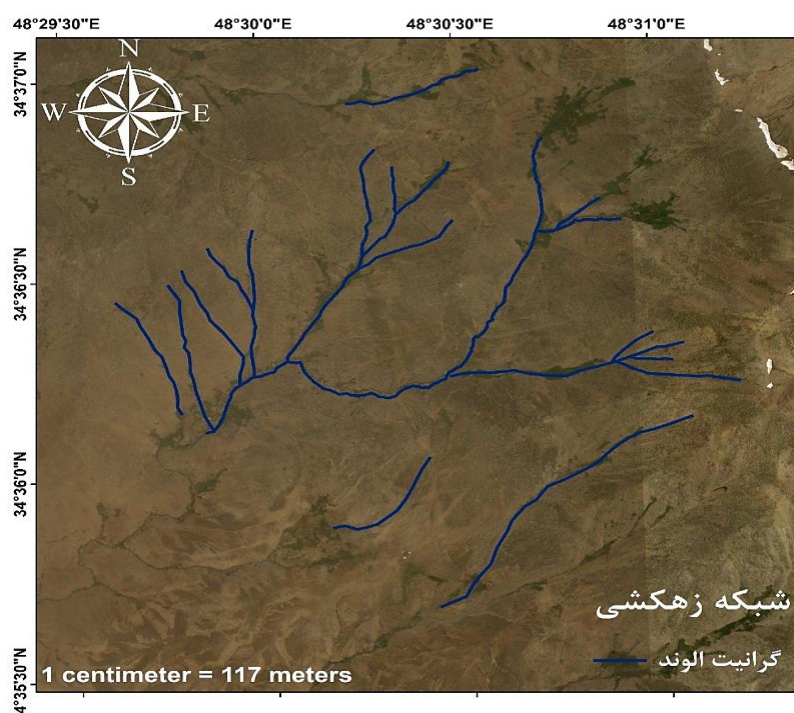
۵- نسخه دودویی تصویر به کمک آستانه‌سازی تولید می‌شود.

² Space of Homogenous Type

بحث و نتایج

در این بررسی برای هر یک از واحدهای زمین‌شناسی مورد مطالعه یک نمونه شبکه زهکش در اشکال زیر آورده شده است (شکل‌های ۵ تا ۸). سیستم شبکه هیدروگرافی تابعی از عوامل سنگ‌شناسی (سختی، نفوذپذیری، کیفیت و کمیت درزه‌ها و شکاف‌ها) و عوامل ساختمانی (وضعیت امتداد و شیب لایه‌ها، وجود یا عدم وجود گسل و ...) است. بنابراین مشخصات آبراهه‌ها (جهت جریان، تراکم، نوع و شکل) در رابطه و تاحدی منطبق با وضعیت سنگ و

ناهمواری‌های منطقه می‌باشد. با توجه به این امر ۴ واحد زمین‌شناسی گرانیت، هورنفلس کلریت‌دار، شیست استروولیت‌دار و آهک تعیین و از هر واحد دو پلات ۲*۲ کیلومتری به صورت تصادفی - سیستماتیک (آزمون-نمونه) انتخاب و بعد فراکتال هر یک از پلات‌ها که در واقع بیانگر شبکه زهکشی واحد مربوطه می‌باشد، محاسبه شد جدول (۱). در کنار بعد فراکتال هر واحد، مجموعه طول شبکه زهکشی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای استخراج و میانگین و تراکم شبکه زهکشی هر یک از پلات‌ها محاسبه گردید.

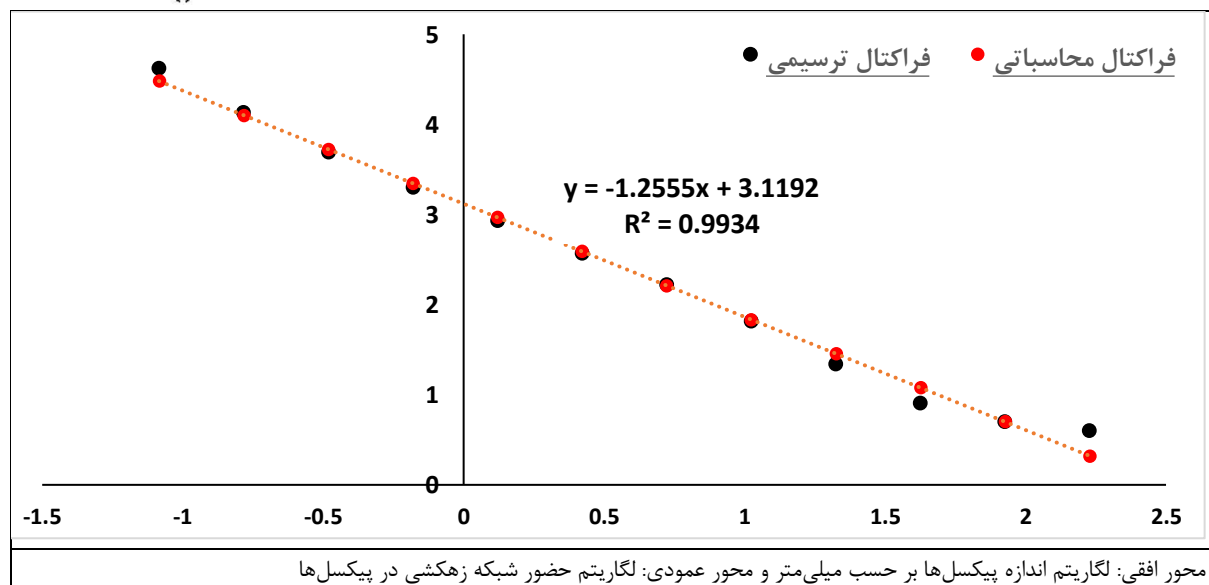
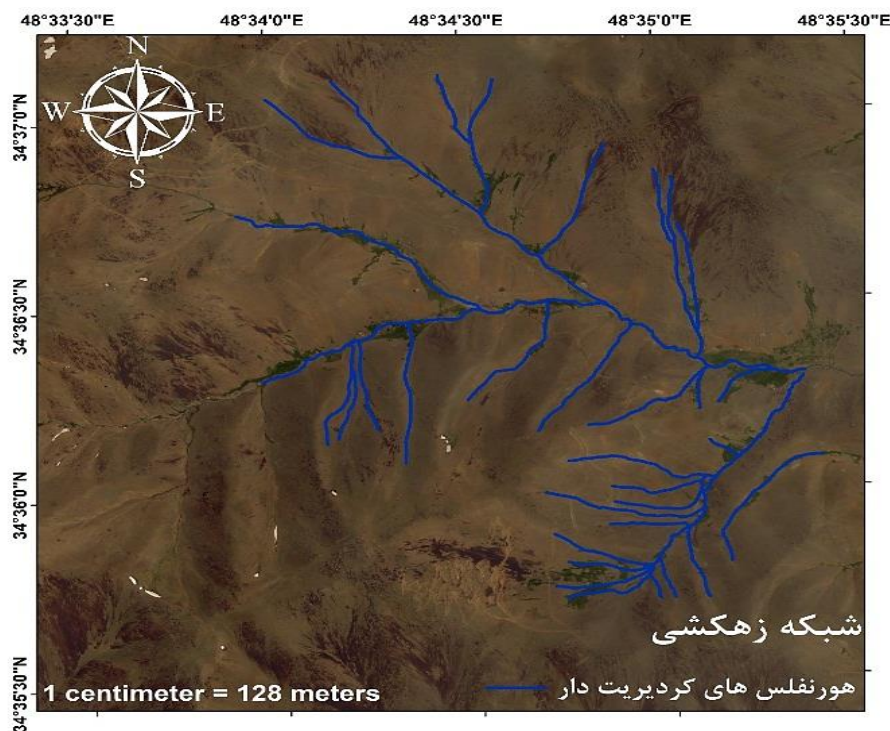


محور افقی: لگاریتم اندازه پیکسل‌ها بر حسب میلی‌متر و محور عمودی: لگاریتم حضور شبکه زهکشی در پیکسل‌ها

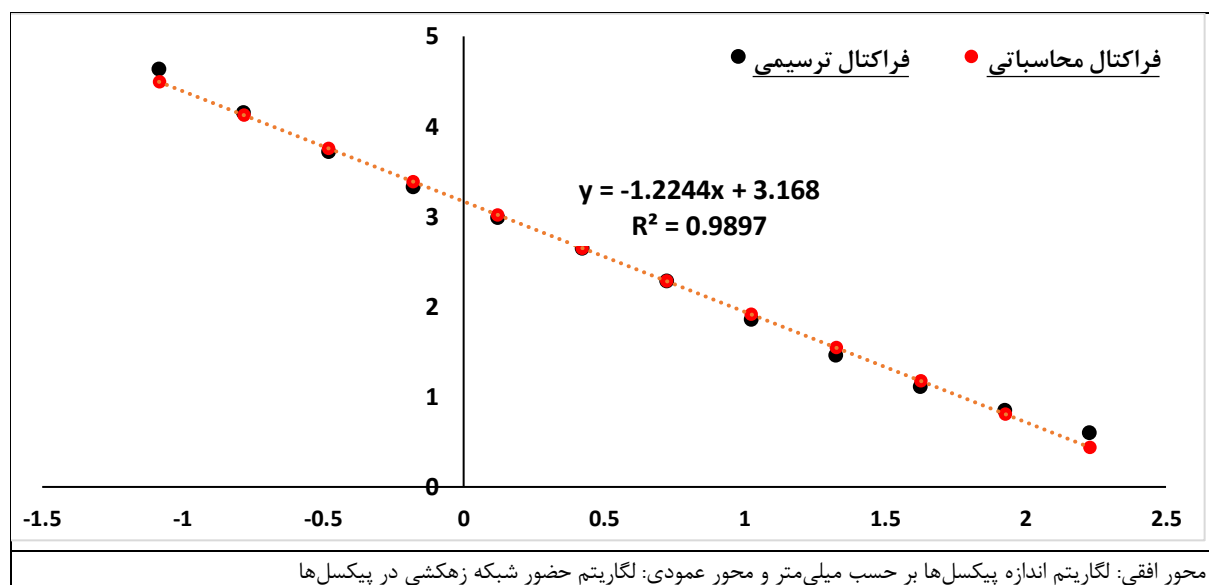
شکل ۵. تصویر شبکه زهکشی با استفاده از تصاویر گوگل ارث و شکل پلات آبراهه‌ها با دقت ۱ متر و نمودار بعد فراکتال شبکه زهکشی مربوط به واحد گرانیت الوند و محاسبه بعد فراکتال آن

شکل تقریباً راست گوشه و در آهک‌ها به شکل موازی و پراکنده است. ارزیابی تراکم زهکشی در چهار واحد زمین‌شناسی نشان می‌دهد که بیشترین تراکم زهکشی در دو واحد زمین‌شناسی هورنفلس کلریت‌دار و سنگ‌آهک ماری نسبت به دو واحد دیگر مشاهده می‌شود و بیانگر تراکم آبراهه‌ها و انشعاب آبراهه‌های بیشتر در این دو واحد زمین‌شناسی است.

در این بررسی جهت مقایسه بهتر بعد فراکتال شبکه زهکشی با تراکم شبکه زهکشی از روش استرال نیز استفاده شده است (شکل‌های ۵، ۶، ۷ و ۸). بررسی اشکال شبکه زهکشی منطقه نشان می‌دهد که هر شبکه زهکشی با توجه به واحدهای زمین‌شناسی و حساسیت آن‌ها به فرسایش دارای الگوی خاصی می‌باشد. به طوری که الگوی شبکه زهکشی در گرانیتهای عموماً به شکل شاخه درختی، در هورنفلس‌های کلریت‌دار، شیست‌های استروولیت‌دار به



شکل ۶. تصویر شبکه زهکشی با استفاده از تصاویر گوگل ارث و شکل پلات آبراهه‌ها با دقت ۱ متر و نمودار بعد فراکتال شبکه زهکشی مربوط به واحد هورنفلس‌های کلریت‌دار و محاسبه بعد فراکتال آن

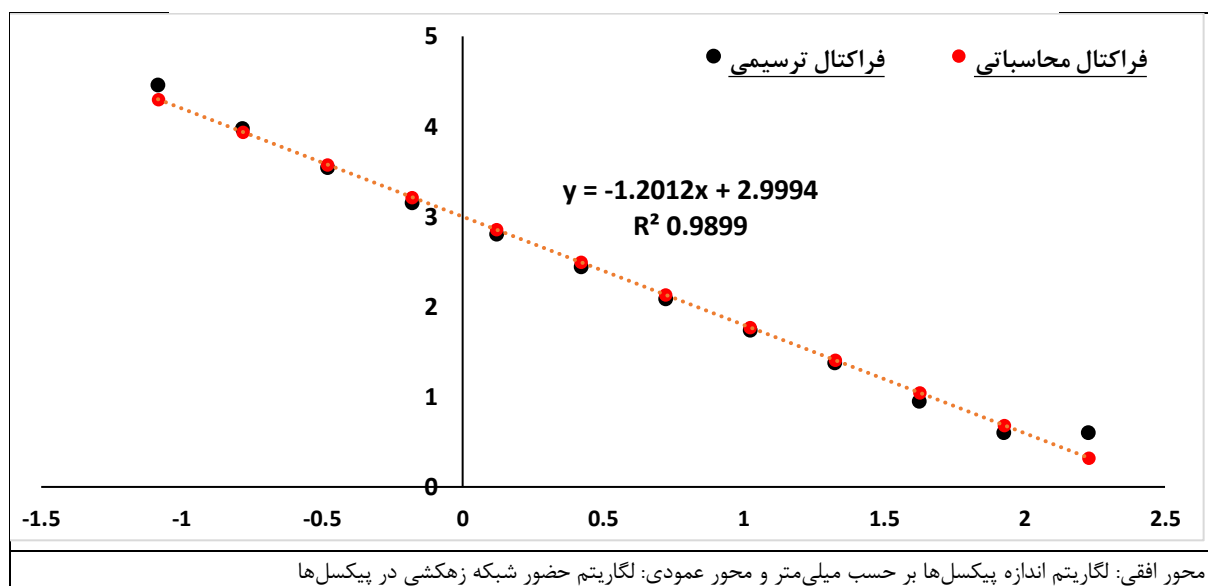
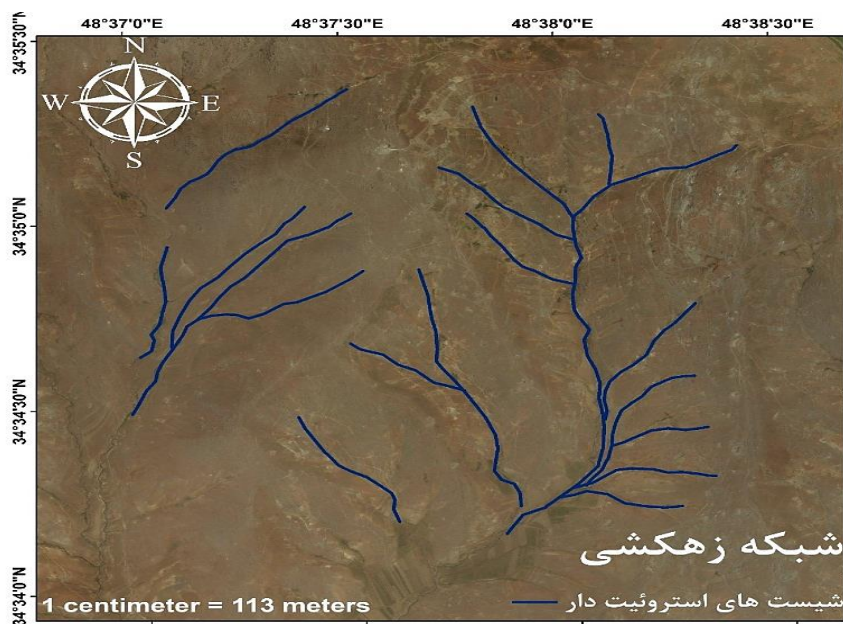


شکل ۷. تصویر شبکه زهکشی با استفاده از تصاویر گوگل ارث و شکل پلات آبراهه‌ها با دقت ۱ متر و نمودار بعد فراکتال شبکه زهکشی مربوط به واحد سنگ آهک مارنی و محاسبه بعد فراکتال آن

بعد فراکتال شبکه زهکشی

مقادیر بعد فراکتال و طول شبکه زهکشی سازندهای زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه در جدول (۱) ارائه شده است. بررسی ضریب همبستگی بین بعد فراکتال و میانگین طول شبکه زهکشی در پلات‌ها بیانگر ارتباط خوب بین آن‌هاست. بررسی میانگین طول شبکه زهکشی بعد فراکتال نشان می‌دهد که به ترتیب واحد هورنفلس کلریت‌دار، سنگ آهک مارنی، شیست استروولیت‌دار و گرانیت الوند دارای بیشترین ضریب همبستگی هستند و بیانگر این است

که هرچه طول و تراکم شبکه زهکشی افزایش می‌یابد بعد فراکتال آن هم افزایش می‌یابد که از مهم‌ترین دلایل آن می‌توان به عواملی چون شیب، مورفولوژی باتولیت الوند، وجود درزه‌ها و شکاف‌های فراوان در واحد زمین‌شناسی گرانیت و افزایش نفوذپذیری اشاره کرد، که موجب کاهش تراکم زهکشی و بعد فراکتال در گرانیت‌ها شده است. بعلاوه در آهک‌ها نیز وجود مارن (ترکیب آهک و رس) و در هورنفلس‌ها کاهش درزه‌ها و شکاف‌ها و در شیست‌ها، شیستوزیته بودن که موجب کاهش نفوذپذیری می‌شود، از دلایل مهم افزایش تراکم زهکشی و بعد فراکتال است.



شکل ۸. تصویر شبکه زهکشی با استفاده از تصاویر گوگل ارث و شکل پلات آبراهه‌ها با دقت ۱ متر و نمودار بعد فراکتال شبکه زهکشی در پیکسل‌ها واحد شیست های استروئیت‌دار و محاسبه بعد فراکتال آن

جدول ۱. مقادیر بعد فراکتال و طول شبکه زهکشی سازندهای زمین‌شناسی مورد مطالعه

واحد زمین‌شناسی	بعد فراکتال	میانگین طول شبکه زهکشی (کیلومتر)	ضریب همبستگی
گرانیت الوند	۱/۲۲	۱۰/۷۷	۰/۹۹۴۹
هورنفلس کلریت‌دار	۱/۳۳	۱۵/۹۱	۰/۹۹۷۵
سنگ آهک مارنی	۱/۳۱	۱۵/۵۳	۰/۹۹۶۹
شیست استروئیت‌دار	۱/۲۷	۱۲/۰۳	۰/۹۹۶۲

روش محاسباتی با استفاده از رابطه تراکم زهکشی نشان می‌دهد که در پلات‌های ۱ و ۳ با کمترین خطا و در پلات‌های ۴ و ۶ و ۷ دارای تطابق نسبتاً خوب و در پلات‌های ۲ و ۵ و ۸ با بیشترین خطا کمترین تطابق را

شاخص تراکم شبکه زهکشی و بعد فراکتال شبکه زهکشی
نتایج تحلیل آماری مقادیر RMSE و R^2 محاسبه تراکم زهکشی در پلات‌های ۸ گانه از طریق تصاویر گوگل ارث و

فراکتال آن‌ها وجود دارد. در گرانیته‌ها بعد فراکتال شبکه زهکشی از ۱/۲۳۳ تا ۱/۲۱۴ و در هورنفلس کلریت‌دار ۱/۳۴۵ تا ۱/۳۱۹، در سنگ‌آهک مارنی ۱/۳۰۷ تا ۱/۳۱۹ و در شیست استروولیت‌دار ۱/۲۷۵ تا ۱/۲۵۸ متغییر است (جدول ۳).

ارائه داده داند (جدول ۲). بررسی مقادیر محاسباتی بعد فراکتال شبکه زهکشی، تعداد و انشعاب آبراهه‌ها با استفاده از روابط ۱ تا ۷ بیانگر این است که در ترکیب هورنفلس‌ها و سنگ‌های آهکی مارنی بیشتر است و نشان می‌دهد که همبستگی مستقیم بین تعداد و انشعاب آبراهه‌ها و بعد

جدول ۲. نتایج برآورد خطای آماری در محاسبه تراکم زهکشی تصاویر گوگل ارث (مشاهداتی) و معده تراکم زهکشی (محاسباتی)

شماره پلات	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸
RMSE	۰/۸۵	۰/۹۸	۰/۷۸	۰/۹۴	۰/۹۷	۰/۹۳	۰/۹۲	۰/۹۶
R ²	۱/۱	۱/۴۱	۰/۹۶	۱/۲۵	۱/۳۷	۱/۲۹	۱/۲۱	۱/۴۸

جدول ۳. بعد فراکتال شبکه زهکش در واحدهای زمین‌شناسی در نمونه و آزمون

واحد زمین‌شناسی	شماره پلات	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	میانگین بعد فراکتال
گرانیت الوند	آزمون	۱/۲۲۷	۱/۲۲۲	۱/۲۲۴	۱/۲۱۸	۱/۲۲۱	۱/۲۲۲	۱/۲۲۵	۱/۲۱۹	۱/۲۲۲
	نمونه	۱/۲۳۳	۱/۲۱۸	۱/۲۲۸	۱/۲۱۹	۱/۲۲۵	۱/۲۱۸	۱/۲۲۱	۱/۲۱۴	۱/۲۲
هورنفلس کلریت‌دار	آزمون	۱/۳۲۵	۱/۳۴۱	۱/۳۲۴	۱/۳۲۷	۱/۳۲۴	۱/۳۲۴	۱/۳۳۱	۱/۳۳۹	۱/۳۳۱
	نمونه	۱/۳۲۴	۱/۳۴۵	۱/۳۲۷	۱/۳۲۴	۱/۳۲۴	۱/۳۱۹	۱/۳۳۱	۱/۳۳۲	۱/۳۲۸
سنگ‌آهک مارنی	آزمون	۱/۳۱۵	۱/۳۱۴	۱/۳۱۳	۱/۳۱۲	۱/۳۱۳	۱/۳۱۳	۱/۳۱۷	۱/۳۱۸	۱/۳۱۴
	نمونه	۱/۳۱۹	۱/۳۱۱	۱/۳۱۲	۱/۳۰۸	۱/۳۱۱	۱/۳۱۱	۱/۳۱۹	۱/۳۱۵	۱/۳۱۲
شیست استروولیت‌دار	آزمون	۱/۲۷۶	۱/۲۶۳	۱/۲۷۸	۱/۲۶۹	۱/۲۷۴	۱/۲۸۵	۱/۲۶۹	۱/۲۷۹	۱/۲۷۴
	نمونه	۱/۲۷۱	۱/۲۵۸	۱/۲۷۵	۱/۲۶۶	۱/۲۶۵	۱/۲۶۹	۱/۲۶۳	۱/۲۷۲	۱/۲۶۷

آزمون انجام و سپس معادله خط، ضریب تعیین و زاویه انحراف ارزیابی شد. نتایج نسبت صحت‌سنجی برای بعد فراکتال شبکه زهکشی و شاخص تراکم شبکه زهکشی در واحدهای زمین‌شناسی چهارگانه مورد مطالعه نشان‌دهنده بالا بودن مقادیر صحت‌سنجی و تشابه نتایج مورد بررسی در رابطه با مقادیر شبکه زهکشی و بعد فراکتال آن‌ها می‌باشد (جدول ۵). به طوری که مقادیر نسبت صحت‌سنجی ۰/۹۷ در شیست استروولیت‌دار و ۰/۹۹ در گرانیته‌ها و سنگ‌آهک مارنی و ۰/۹۸ در هورنفلس‌های کلریت‌دار بیانگر صحت داده‌های مورد استفاده است. نتایج نشان می‌دهد که نسبت صحت‌سنجی در هردو تکنیک بعد فراکتال شبکه زهکشی و تراکم زهکشی در چهار واحد زمین‌شناسی بسیار خوب و شبیه هم و بین ۰/۹۷ تا ۰/۹۹ می‌باشد که بیانگر کارایی خوب هردو تکنیک جهت شناسایی و تفکیک واحدهای زمین‌شناسی است که با نتایج بزرگ‌ری دهج و همکاران (۱۳۹۸)، علیمرادی (۱۳۹۵)، همایون‌نژاد و همکاران (۱۳۹۵) و دونادیو و همکاران (۲۰۱۴) مطابقت دارد.

بررسی مقادیر محاسباتی تراکم زهکشی با استفاده از رابطه (۶) در چهار واحد زمین‌شناسی نشان می‌دهد که بیشترین تراکم زهکشی در دو واحد زمین‌شناسی هورنفلس کلریت‌دار و سنگ‌آهک مارنی نسبت به دو واحد دیگر مشاهده می‌شود و بیانگر تراکم آبراهه‌ها و انشعاب آبراهه‌های بیشتر در این دو واحد زمین‌شناسی است. در حالی که در گرانیته‌ها و شیست استروولیت‌دار این مقادیر کمتر است. به طور کلی مقادیر تراکم زهکشی در گرانیته‌ها بین ۱۰/۹۸ تا ۱۱/۲۵، در هورنفلس کلریت‌دار ۱۵/۹۵ تا ۱۵/۴۵ و در سنگ‌آهک مارنی از ۱۵/۴۶ تا ۱۵/۶۲ و در شیست استروولیت‌دار بین ۱۲/۰۱ تا ۱۲/۰۳ متغیر است (جدول ۴).

مقایسه و ارزیابی تکنیک‌های پارامترهای ژئومورفولوژی کمی

نسبت صحت‌سنجی: جهت مقایسه و ارزیابی تکنیک‌های پارامترهای ژئومورفولوژی کمی ابتدا تحلیل آماری و بررسی نمودارهای QQ مربوط به هر واحد زمین‌شناسی بین داده‌های تراکم شبکه زهکشی مربوط به پلات‌های نمونه و

جدول ۴. تراکم شبکه زهکشی ($1/KM$) در واحدهای زمین‌شناسی در نمونه و آزمون

شماره پلات	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	میانگین تراکم زهکشی	واحد زمین‌شناسی
آزمون	۱۰/۷۴	۱۰/۳۷	۱۰/۷۴	۱۱/۱۲	۱۰/۷۲	۱۱/۰۸	۱۰/۸	۱۰/۶۲	۱۰/۷۷۳	گرانیت الوند
نمونه	۱۰/۷۲	۱۰/۳۲	۱۰/۷۱	۱۱/۲۵	۱۰/۶۸	۱۰/۹۸	۱۰/۸۲	۱۰/۶۴	۱۰/۷۶۵	
آزمون	۱۵/۹۳	۱۵/۸۹	۱۵/۹۲	۱۵/۹	۱۵/۸۹	۱۵/۹۳	۱۵/۹۱	۱۵/۹۲	۱۵/۹۱۱	هورنفلس کلریت‌دار
نمونه	۱۵/۹۱	۱۵/۸۷	۱۵/۹۵	۱۵/۹۴	۱۵/۸۸	۱۵/۸۹	۱۵/۹	۱۵/۸۸	۱۵/۹۰۲	
آزمون	۱۵/۶۳	۱۵/۶۳	۱۵/۴۶	۱۵/۴۷	۱۵/۴۵	۱۵/۴۸	۱۵/۵۸	۱۵/۵۵	۱۵/۵۳۱	سنگ آهک مارنی
نمونه	۱۵/۶۱	۱۵/۶۲	۱۵/۴۹	۱۵/۴۸	۱۵/۴۶	۱۵/۴۷	۱۵/۵۶	۱۵/۵۲	۱۵/۵۲۶	
آزمون	۱۲/۰۳	۱۲/۰۲	۱۲/۰۱	۱۲/۰۵	۱۲/۰۲	۱۲/۰۳	۱۲/۰۵	۱۲/۰۴	۱۲/۰۳۱	شیست استروولیت‌دار
نمونه	۱۲/۰۱	۱۲/۰۳	۱۲/۰۳	۱۲/۰۲	۱۲/۰۱	۱۲/۰۲	۱۲/۰۲	۱۲/۰۱	۱۲/۰۱۸	

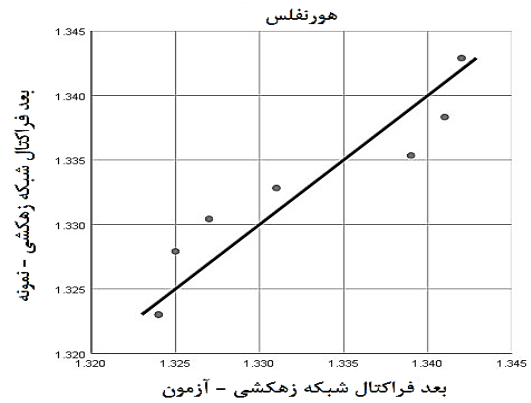
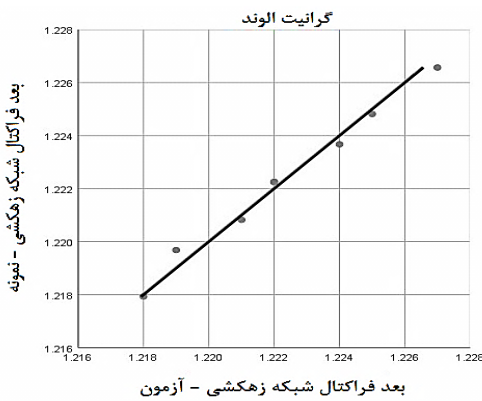
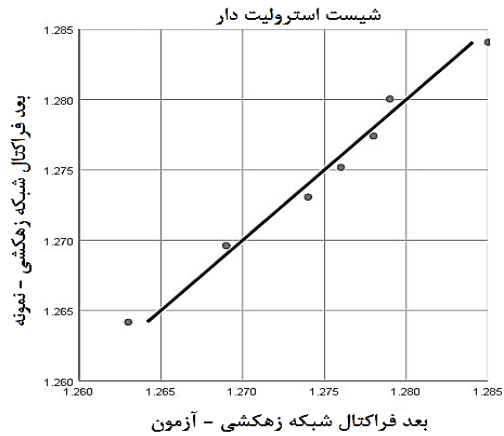
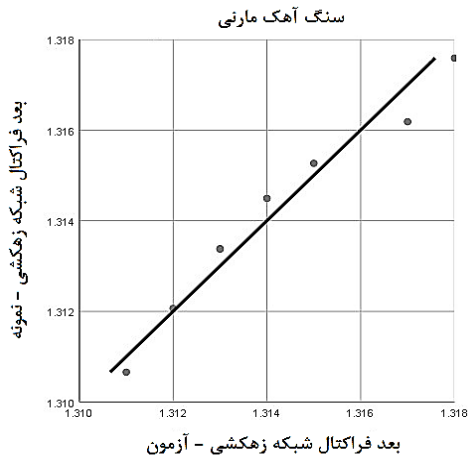
جدول ۵. نسبت صحت‌سنجی دو تکنیک بعد فراکتال و شاخص تراکم زهکشی در چهار واحد زمین‌شناسی منطقه

واحد زمین‌شناسی / نوع روش	گرانیت الوند	هورنفلس کلریت‌دار	سنگ آهک مارنی	شیست استروولیت‌دار
بعد فراکتال شبکه زهکشی	۰/۹۹	۰/۹۸	۰/۹۹	۰/۹۷
تراکم شبکه زهکشی	۰/۹۹	۰/۹۷	۰/۹۹	۰/۹۷

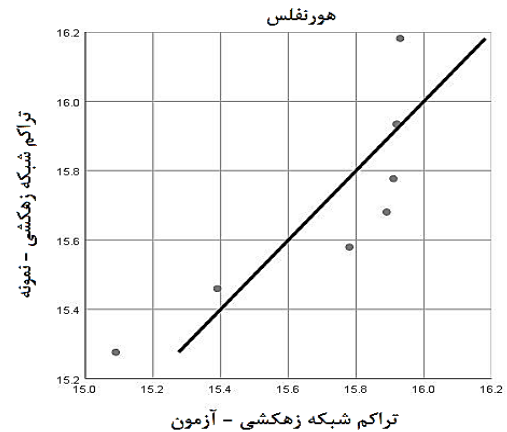
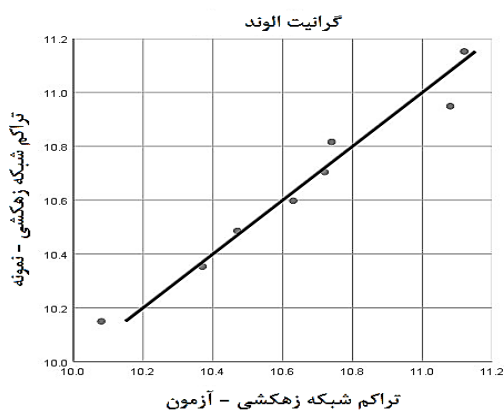
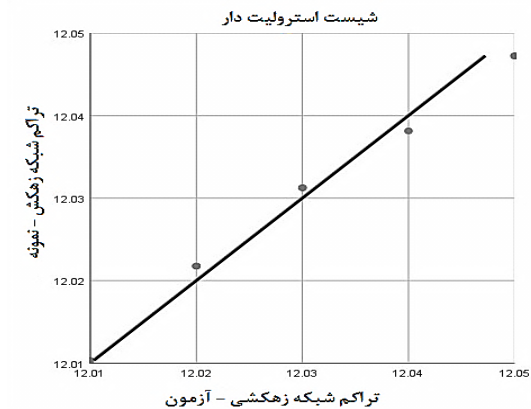
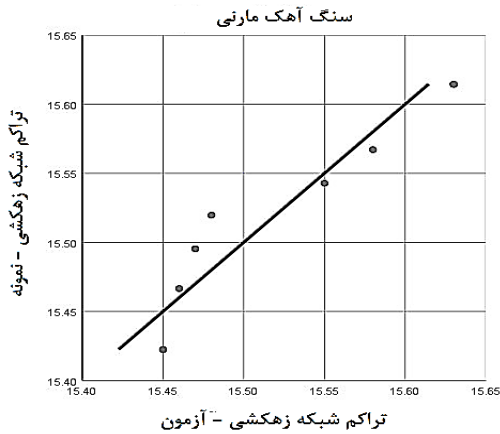
تحلیل آماری بعد فراکتال شبکه زهکش و شاخص تراکم زهکشی

بررسی داده‌های ضریب تعیین و زاویه انحراف در هریک از واحدهای زمین‌شناسی نشان می‌دهد که این مقادیر در تکنیک بعد فراکتال شبکه زهکشی تا حدودی بالا است. به طوری که زاویه انحراف در شیست استروولیت‌دار با مقدار $1/909$ ، در گرانیت $1/575$ ، در هورنفلس $1/528$ و در سنگ آهک مارنی $1/171$ می‌باشد (جدول ۶). در حالی که این مقادیر در تکنیک بعد تراکم شبکه زهکشی شیست استروولیت‌دار $0/125$ ، در گرانیت $0/810$ ، در هورنفلس $1/145$ و در سنگ آهک مارنی $0/344$ می‌باشد (جدول ۷). بنابراین زاویه انحراف در تکنیک بعد فراکتال شبکه زهکشی در شیست استروولیت‌دار و در تکنیک بعد تراکم شبکه زهکشی سنگ آهک مارنی زیاد می‌باشد. بررسی‌ها نشان می‌دهد که ضریب تعیین و همچنین زاویه انحراف در هر یک از واحدهای زمین‌شناسی قابل قبول و بسیار مناسب می‌باشد. ضریب تعیین (R^2) در هر چهار واحد زمین‌شناسی در تراکم شبکه زهکشی بیشتر از ضریب تعیین در هر چهار واحد زمین‌شناسی بعد فراکتال شبکه

زهکشی است (جدول‌های ۶ و ۷). تحلیل آماری و گرافیکی و مقایسه نمودارهای QQ در هر دو تکنیک بعد فراکتال شبکه زهکشی و تراکم شبکه زهکشی در چهار واحد زمین‌شناسی منطقه نشان می‌دهد که مقادیر محاسباتی و بعد فراکتال شبکه زهکشی، کمتر از تکنیک تراکم شبکه زهکشی می‌باشد (شکل‌های ۹ و ۱۰). به طوری که نسبت صحت‌سنجی در هر دو تکنیک بسیار خوب و شبیه هم و بین $0/97$ تا $0/99$ می‌باشد و بیانگر کارایی خوب هر دو تکنیک جهت شناسایی و تفکیک واحدهای زمین‌شناسی منطقه است. اما با توجه به بررسی نمودارهای QQ و نزدیکی اعداد ضریب تعیین در تکنیک تراکم شبکه زهکشی به عدد ۱، زاویه انحراف کم و نزدیکی ارقام محاسباتی آن به صفر، تکنیک بدون بعدسازی تراکم زهکشی نسبت به تکنیک بعد فراکتال شبکه زهکشی برای تفکیک واحدهای زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه بهترین و مناسب‌ترین تکنیک است. به طور کلی نتایج نشان داد که با افزایش بعد فراکتال، همراه با پارامتر شبکه زهکشی، دقت تفکیک واحدهای زمین‌شناسی نیز افزایش می‌یابد (جدول ۸).



شکل ۹. نمودار QQ بعد فراکتال شبکه زهکشی در چهار واحد زمین‌شناسی



شکل ۱۰. نمودار QQ تراکم شبکه زهکشی در چهار واحد زمین‌شناسی

جدول ۶. معادله خط، ضریب تعیین و زاویه انحراف در محدوده نمونه و آزمون در تفکیک واحدهای زمین‌شناسی به کمک بعد فراکتال شبکه زهکشی

واحد زمین‌شناسی	معادله خطی	R ²	زاویه نمودار (درجه)	زاویه انحراف (درجه)
گرانیت الوند	Y=0.26X-1.58	۰/۰۶۴	۴۱/۲۷	۱/۵۷۵
هورنفلس کلریت‌دار	Y=0.14X-1.53	۰/۰۱۴	۴۴/۲۳	۱/۵۲۸
سنگ‌آهک مارنی	Y=0.13X+1.71	۰/۰۳۳	۴۳/۷۶	۱/۱۷۱
شیست استرولیت‌دار	Y=0.51X-1.91	۰/۳۷۲	۴۴/۵۷	۱/۹۰۹
خط انطباق	Y=X	۱	۴۵	.

جدول ۷. معادله خط و ضریب تعیین و زاویه انحراف در محدوده نمونه و آزمون در تفکیک واحدهای زمین‌شناسی به کمک تراکم شبکه زهکشی

واحد زمین‌شناسی	معادله خطی	R ²	زاویه نمودار (درجه)	زاویه انحراف (درجه)
گرانیت الوند	Y=0.81x+1.93	۰/۳۹۲	۴۴/۹۸	۰/۸۱۰
هورنفلس کلریت‌دار	Y=0.34x-21.16	۰/۱۰۱	۴۸/۸۷	۰/۳۴۴
سنگ‌آهک مارنی	Y=1.14X+2.25	۰/۹۵۴	۴۴/۳۴	۱/۱۴۵
شیست استرولیت‌دار	Y=0.12X-13.24	۰/۰۱۳	۴۴/۶۳	-۰/۱۲۵
خط انطباق	Y=X	۱	۴۵	.

جدول ۸. مقایسه دو تکنیک بدون بعد سازی پارامترهای کمی ژئومورفولوژی در منطقه مورد مطالعه

نوع روش	پارامتر	گرانیت الوند	هورنفلس کلریت‌دار	سنگ‌آهک مارنی	شیست استرولیت‌دار
بعد فراکتال شبکه	زاویه انحراف	۱/۵۷۵	۱/۵۲۸	۱/۱۷۱	۱/۹۰۹
زهکشی	ضریب تعیین	۰/۲۵۲	۰/۱۱۸	۰/۱۸۲	۰/۶۱۰
تراکم شبکه زهکشی	زاویه انحراف	۰/۸۱۰	۰/۳۴۴	۱/۱۴۵	-۰/۱۲۵
	ضریب تعیین	۰/۶۲۵	۰/۳۱۷	۰/۹۹۷	۰/۱۱۳

نتیجه‌گیری

بعد فراکتال و مجموع طول کل آبراهه‌ها وجود دارد و با تحلیل ابعاد فراکتال می‌توان به بررسی سریع و با دقتی قابل قبول واحدهای زمین‌شناسی را تفکیک نمود. بعلاوه بررسی‌ها بیانگر این است که با محاسبه بعد فراکتال می‌توان واحدهای زمین‌شناسی با احتمال بالا و دقت خوبی انجام داد که این امر باعث کاهش هزینه‌ها و افزایش سرعت عمل می‌شود. بررسی‌ها نشان می‌دهد که بین میانگین طول شبکه زهکشی و بعد فراکتال آن‌ها به ترتیب در واحد هورنفلس کلریت‌دار، سنگ‌آهک مارنی، شیست استرولیت‌دار و گرانیت الوند دارای بیشترین ضریب همبستگی وجود دارد، در دامنه‌های شمالی الوند همدان هرچه طول، تعداد، انشعاب آبراهه‌ها و تراکم شبکه زهکشی افزایش یابد بعد فراکتال آن هم افزایش می‌یابد که از مهمترین دلایل آن می‌توان به تفاوت عواملی چون شیب، مورفولوژی، وجود درزها و شکاف‌ها، نفوذپذیری، شیب‌توزیته و ترکیب کانی‌شناسی اشاره نمود و بیانگر این است که با افزایش شاخص تراکم شبکه زهکشی در واحد سطح بعد فراکتال نیز افزایش می‌یابد. بعد فراکتال شبکه زهکشی و تعداد و انشعاب آبراهه‌ها در واحد هورنفلس‌ها و

در بسیاری از پدیده‌های ژئومورفولوژیکی همچون شبکه‌های رودخانه‌ای خود همانندی فراکتال قابل مشاهده است. به این معنی که هرچه با دقت بیشتری به تصویر فراکتال نگاه شود، شکل‌ها در یک مقیاس مشخص در جزئیات شبیه شکل‌های دیگر در یک مقیاس دیگر است. از آنجایی‌که متغیرهای زمین‌شناسی تأثیر گسترده‌ای بر ماهیت و فعالیت سیستم‌های شبکه آبراهه‌ای دارند، لذا ویژگی‌های زمین‌شناسی تأثیر بسیار زیادی در ویژگی‌های فیزیکی حوضه و شبکه آبراهه‌ها دارد. به عبارتی نقش سنگ‌شناسی و سازندهای زمین‌شناسی در کمی‌سازی شبکه زهکشی بسیار مشخص است. بنابراین می‌توان از روی شبکه زهکشی نیز ویژگی‌های زمین‌شناسی را تا حدودی بررسی و به نتایج مطلوبی دست یافت. لذا هدف از این پژوهش تفکیک سازندهای زمین‌شناسی در دامنه‌های شمالی توده کوهستانی الوند همدان با استفاده از بعد فراکتال شبکه زهکشی و شاخص تراکم زهکشی می‌باشد. نتایج نشان داد که بالاترین روابط معنی‌دار بین

اقلیمی، ب (۱۳۷۹) نقشه زمین‌شناسی، مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ همدان و گزارش حاشیه آن، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

امیری، م.، پیروان. ح، ر.، احمدی‌خلجی، ا (۱۳۹۴) طبقه‌بندی مارن‌های همدان و ارتباط گروه‌های مارنی منطقه با نوع و شدت فرسایش، نشریه مهندسی و مدیریت آبخیز، دوره ۷، شماره ۴، ص ۴۲۵-۴۴۱.

برزگری دهج، و.، زارع، م.، و اختصاصی، م (۱۳۹۸) مقایسه شاخص بدون بعد تراکم شبکه زهکش و بعد فراکتال شبکه زهکشی در جداسازی واحدهای سنگ‌شناسی (منطقه مورد مطالعه: حوضه آبخیز تفت، یزد). پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، دوره ۸، شماره ۳۱، ص ۹۶-۸۰.

جوکار سرهنگی، ع.، و بخشی، م (۱۳۹۹) ارتباط بین سازندهای زمین‌شناسی و فرم منحنی میزان نقشه‌های توپوگرافی در بخشی از البرز شمالی و جنوبی. فصل‌نامه جغرافیای طبیعی، دوره ۱۳، شماره ۵۰، ص ۸۱-۹۵.

چرچی، ع.، خطیب، م.، مظفرخواه، م.، و برجسته، آ (۱۳۹۰) استفاده از تحلیل فراکتالی برای تعیین پویایی تکتونیک شمال منطقه لالی در شمال شرق خوزستان. مجله زمین‌شناسی کاربردی پیشرفته، شماره ۱، ص ۳۷-۴۷.

خلیفه سلطانی، ا.، علوی، ا.، و قاسمی (۱۳۹۵) بررسی نقش ساختارهای زمین‌شناسی در ابعاد فراکتالی شکستگی‌ها و آبراهه‌ها در جنوب باختری لنجان- اصفهان. نشریه علوم زمین، سال ۲۶، شماره ۱۰۱، ص ۴۵-۵۶.

سپاهی‌گرو، ع.، سلامی، ص.، و معانی‌جو، م (۱۳۹۶) بررسی ریخت‌شناسی و سازوکار پیدایش گرهک‌های تورمالین در آپلیت‌های منطقه خاکو (همدان) با به‌کارگیری آنالیز فراکتال و سه‌بعدی، نشریه، پترولوژی، دوره ۸، شماره ۲۹، ص ۷۵-۸۸.

سپاهی‌گرو، ع.، ا.، جعفری، س.، ر.، مؤذن، م.، و شهبازی. ح (۱۳۹۷) بررسی شیمی کانی، دما فشارسنجی و سنگ‌زایی سنگ‌های میگماتیتهی منطقه همدان، نشریه پترولوژی، دوره ۹، شماره ۳۳، ص ۱۶۵-۱۹۰.

سپاهی‌گرو، ع.، ا.، و معین‌وزیری، ح (۱۳۷۹) مروری بر فازهای نفوذی و رگه‌های موجود در مجموعه نفوذی الوند، نشریه علوم دانشگاه تهران، دوره ۲، شماره پیاپی ۱۸، ص ۱۷۵-۱۸۶.

سلطانی، ش.، قهرودی تالی، م.، و صدوق، ح (۱۳۹۸) کاربرد سنجش از دور و مدل ریاضی فراکتال در بررسی رفتار و تغییرات لندفرم‌های ژئومورفولوژیکی رودخانه ارس. پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، دوره ۷، شماره ۴، ص ۹۲-۷۳.

سنگ‌های آهکی مارنی بیشتر است و همبستگی مستقیم بین تعداد و انشعاب آبره‌ها و بعد فراکتال آن‌ها را نشان می‌دهد. بیشترین تراکم زهکشی در دو واحد زمین‌شناسی هورنفلس کلریت‌دار و سنگ‌آهک مارنی نسبت به دو واحد دیگر مشاهده می‌شود که بیانگر تراکم آبراهه‌ها و انشعاب آبراهه‌های بیشتر در این دو واحد زمین‌شناسی است. نتایج نشان می‌دهد که نسبت صحت‌سنجی در هر دو تکنیک بعد فراکتال شبکه زهکشی و تراکم زهکشی در چهار واحد زمین‌شناسی بسیار خوب و شبیه هم و بین ۰/۹۷ تا ۰/۹۹ می‌باشد و بیانگر کارایی خوب هر دو تکنیک جهت شناسایی و تفکیک واحدهای زمین‌شناسی است. بررسی و تحلیل آماری و گرافیکی و مقایسه نمودارهای QQ در هر دو تکنیک بعد فراکتال شبکه زهکشی و تراکم شبکه زهکشی منطقه نشان می‌دهد که مقادیر محاسباتی و بعد فراکتال شبکه زهکشی، کمتر از تکنیک تراکم شبکه زهکشی می‌باشد و با توجه به به نزدیکی اعداد ضریب تعیین در تکنیک تراکم شبکه زهکشی به عدد ۱، زاویه انحراف کمتر و نزدیکی ارقام محاسباتی آن به صفر می‌توان نتیجه گرفت که تکنیک بدون بعدسازی تراکم زهکشی نسبت به تکنیک بعد فراکتال شبکه زهکشی برای شناسایی و تفکیک واحدهای زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه بهترین و مناسب‌ترین تکنیک است.

تشکر و قدردانی

این مقاله حاصل بخشی از طرح پژوهشی تحت عنوان تفکیک سازندهای زمین‌شناسی با مقایسه بعد تراکم شبکه زهکشی و بعد فراکتال شبکه زهکشی (مطالعه موردی: دامنه‌های شمالی همدان) مصوب دانشگاه ملایر در سال ۱۴۰۰ با شماره قرارداد ۸۹۵-۱-۸۴/۹ است که از حمایت دانشگاه ملایر در اجرای این پروژه قدردانی به عمل می‌آید. به‌علاوه نویسنده مقاله از سازمان زمین‌شناسی کشور برای همکاری در خصوص ارائه اطلاعات مورد نیاز کمال تشکر و قدردانی را دارد.

منابع

احمدی‌خلجی، ا.، و طهماسبی، ز (۱۳۹۴)، شیمی کانی گارنت در پگماتیت‌ها و سنگ‌های دگرگونی منطقه همدان، نشریه زمین‌شناسی اقتصادی، دوره ۷، شماره ۲، ص ۲۴۳-۲۵۸.

- شکیبا، س.، سیاهی‌گرو، ع.، ا.، قاسم‌پور، م.، ر. و کازو، ن (۱۳۹۹) کاربرد شیمی کانی‌های بیوتیت و ارتوپروکسن در بررسی شرایط تکتونو- ماگمایی انکلاوهای توده پلوتونیک الوند و سنگ میزبان آن‌ها، نشریه علوم زمین، دوره ۳۰، شماره ۱۱۸، ص ۲۲۵-۲۴۰.
- شهبازی، ح (۱۳۸۹) پترولوژی مجموعه سنگ‌های آذرین و میگماتیت‌های کمپلکس الوند و توده نفوذی الموقلاغ همدان و ارتباط بین آن‌ها، رساله دکتری، دانشگاه شهید بهشتی.
- شایان، س.، مقصودی، م.، گل‌علیزاده، م.، شریفی‌کیا، م. و نوربخش، ف (۱۳۹۴) تحلیل فضایی لندفرم‌های بادی با استفاده از نظریهٔ فراکتالی (مطالعهٔ موردی: ریگ اردستان). پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، دوره ۴۸، شماره ۲، ص ۲۳۱-۲۴۵.
- شایان، س.، یمانی، م.، و یادگاری، م (۱۳۹۴) مورفولیتولوژی توده الوند و نقش آن در مورفومتری و الگوی شبکه زهکشی. نشریه پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، سال ۴، شماره ۳، ص ۱-۱۶.
- علیمرادی، م.، اختصاصی، م.، تازه، م. و کریمی، ح (۱۳۹۷) محاسبهٔ بعد فراکتال سازندهای زمین‌شناسی و بررسی ارتباط آن با حساسیت سازندها. پژوهش‌های جغرافیای طبیعی (پژوهش‌های جغرافیایی)، دوره ۵۰، شماره ۲، ص ۲۴۱-۲۵۳.
- فتاحی، م. و طالب‌زاده، ز (۱۳۹۶) ارتباط بین ضریب فشردگی حوضه آبریز با ویژگی‌های فراکتال آن، نشریه تحقیقات منابع آب ایران، دوره ۱۳، شماره ۱، ص ۱۹۱-۲۰۳.
- فتاحی، م. و کامیاب، س (۱۳۹۷) انطباق سنجی خواص ژئومورفولوژیک حوضه آبریز و ویژگی‌های چند فراکتال شکل آبراهه. نشریه تحقیقات منابع آب ایران، دوره ۱۴، شماره ۵، ص ۳۳۹-۴۵۱.
- کرم، ا. و صابری، م (۱۳۹۴) محاسبه بعد فراکتال در حوضه‌های زهکشی و رابطه آن با برخی خصوصیات ژئومورفولوژیکی حوضه (مطالعه موردی: حوضه‌های آبریز شمال تهران). پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، سال ۴، شماره ۳، ص ۱۶۷-۱۵۳.
- کامیاب، س. و فتاحی، م (۱۳۹۷) انطباق سنجی خواص ژئومورفولوژیک حوضه آبریز و ویژگی‌های چند فراکتال شکل آبراهه، تحقیقات منابع آب ایران، دوره ۱۴، شماره ۵، ص ۳۱۱-۳۲۶.
- محمدی خشویی، م.، اختصاصی، م.، طالبی، ع. و حسینی، ز (۱۳۹۸) بررسی رابطه بین بعد فراکتال و ویژگی‌های مورفومتریکی شبکه زهکشی (مطالعه موردی: حوضه آبخیز دشت یزد-اردکان). نشریه خشک بوم، دوره ۹، شماره ۲، ص ۱۶-۱.
- محمدی خشویی، م.، و اختصاصی، م (۱۳۹۸) مقایسه بعد فراکتال و ویژگی‌های ژئومورفولوژیک در مدیریت حوضه آبخیز عقدا. پژوهش‌های فرسایش محیطی، دوره ۹، شماره ۱، ص ۸۴-۶۲.
- نظری صارم، م.، دبیری، ر.، انصاری، م. و وثوقی عابدینی، م (۱۳۹۹) برآورد بعد فراکتالی ژئومورفولوژی کرانه‌های شمال خلیج فارس با استفاده از روش شمارش جعبه‌ای، نشریه پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، دوره ۹، شماره ۳۴، ص ۱۷۴-۱۵۹.
- Ariza, V. A., Jiménez-Hornero, F., Gutiérrez, de., Ravé, E (2013) Multi-fractal analysis applied to the study of the accuracy of DEM-based stream derivation, *Geomorphology*, 197: 85-95.
- Baas, A. C. W (2002) Chaos, fractals and self-organization in coastal geomorphology: simulating dune landscapes in vegetated environments. *Journal of Geomorphology*, 48: 309-328.
- Bi, L., He, H., Wei, Z., Shi, F (2012) Fractal properties of landform in the Ordos block and surrounding areas. *Journal of China Geomorphology*, 175: 151-162.
- Dutta, S., Ghosh, D., Chatterjee, S (2014) Multifractal detrended fluctuation analysis of pseudorapidity and azimuthal distribution of pions emitted in high energy nuclear collisions, *Int. J. Mod. Phys, A* 29, 1450084.
- Donadio, C., Magdaleno, F., Mazzarella, A., Kondolf, G. M (2014) Fractal dimension of the hydrographic pattern of three large rivers in the Mediterranean morphoclimatic System: geomorphologic interpretation of Russian (USA), Ebro (Spain) and Volturno (Italy) Fluvial Geometry, *Pure and Applied Geophysics*, 172: 1975-1984.
- Eshraghi, S. A. and Mohammadi Gharai, M., 2003 - Geological Map of Tuyserkhan 1/100000, Geological Survey and Mineral exploration of Iran, Tehran.
- Fac-Beneda, J (2013) Fractal structure of the Kashubian hydrographic system, *Journal of Hydrology*, 488: 48 - 54.
- Garsia-Ruiz. Juan M (1992) Fractal Trees and Horton's Laws *Mathematical Geology*, 24.
- Horton, R. E (1945) Erosional Developments of Streams and Their Drainage Basin; Hydrophysical Approach to Quantitative Morphology: *Geol. Soc. Am. Bull*, 56: 275-370.
- Hui, Y., Changxing, S (2017) The Fractal Characteristics of Drainage Networks and Erosion Evolution Stages of Ten Kongduis in the Upper Reaches of the Yellow River, China. *Journal of Resources and Ecology*, 8: 165 -174.

- Ildoromi, A. R (2011) Evaluation of Watershed Stability using Geomorphologic and Tectonics Evidence (Case study: Alvand Mountain), *International Journal of Natural Resources and Marine Sciences* 2011, 1 (3): 175-186.
- Kusak, M (2014) Methods of fractal geometry used in the study of complex geomorphic networks, *AUC Geographica*, 49: 99-110
- Kumar, A (2014) Geomorphologic Instantaneous Unit Hydrograph Based Hydrologic Response Models for Ungauged Hilly Watershed in India, *Water Resources Management*, DOI-10.1007/s11269-014-0848-z.
- Mandelbrot, B. B (1983) *The fractal geometry of nature/Revised and enlarged edition*, New York, WH Freeman and Co. 495p.
- Mwaniki, M. W., Moeller, M. S., Schellmann, G (2015) A comparison of Landsat 8 (OLI) and Landsat 7 (ETM+) in mapping geology and visualizing lineaments: A case study of central region Kenya. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Information Sciences*.
- Prigarin, S. P., Sandau, K., Kazmierczak, M., Hahn, K (2013) Estimation of Fractal Dimension: A Survey with Numerical Experiments and Software Description, *International Journal of Biomathematics and Biostatistics*, 2: 167-180.
- Turcotte, D. L (2007) Self-organized Complexity in Geomorphology: Observations and Models, *Geomorphology*, 91: 302-310.

Separation of geological formations by comparing the density dimension of drainage network and fractal dimension of drainage network (Case study: Northern slopes of Hamedan)

A. R. Ildoromi

Assoc. Prof., Dept., of Natural Engineering, Malayer University, Malayer, Iran

* a.ildoromi@malayeru.ac.ir

Recieved: 2021/5/23 Accepted: 2021/9/7

Abstract

The hydrographic network system in a watershed is a function of structural, lithological and topographic factors that are of particular importance in the management of natural resources. The purpose of this study is to compare the performance of two methods without quantification of quantitative parameters in geomorphology including drainage network density and their fractal dimension in the separation of surface geological formations in the northern slopes of Alvand Hamedan. First, by examining the geological map of the region and satellite images of Earth Google and field observations, four geological units including Alvand granite, chlorite hornfels, marl limestone and sterolized schist were selected and in each unit 2 plots of 2 * 2 km were randomly selected. Systematic installation and drainage network and their fractal dimension were calculated using Fractalyse and ArcGIS software and then, QQ diagram, deviation angle and determination coefficient were used for validation. The results show that the validation ratio in both techniques is very good and similar and between 0.97 to 0.99 and indicates the good performance of both techniques to identify and separate geological units. However, considering the QQ diagrams and the proximity of the coefficient determination numbers in the drainage network density technique to 1, plus the low deviation angle and proximity of its computational figures to zero, the results show that the technique without dimensioning the drainage density compared to the fractal dimension technique Drainage network is the best and most appropriate technique for identifying and separating geological units in the study area.

Keywords: Alvand Hamedan, Drainage density, Fractal dimension, QQ diagram