

فرسایش پذیری سازندهای زمین شناسی با استفاده از تحلیل بعد فرکتال شبکه زهکشی (مطالعه موردی: دامنه های شمالی همدان)

علیرضا ایلدرمی* - دانشیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشگاه ملایر، ایران.
مهدی سپهری - دانشجوی دکتری آبخیزداری، دانشگاه یزد، ایران.

پذیرش مقاله: ۱۳۹۶/۰۵/۰۹ تأیید نهایی: ۱۳۹۷/۰۲/۲۰

چکیده

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 آبراهه‌های (جهت جریان، تراکم، نوع و شکل) تابعی از وضعیت سنگ و ناهمواری‌های هر منطقه می‌باشد. در این بررسی ابتدا ۴ سازند زمین‌شناسی شامل، گرانیب الوند، هورنفلس کلریت دار، سنگ آهک مارنی و شیست استروولیت دار انتخاب شد و در هر سازند یک پلات ۲ در ۲ کیلومتری به صورت تصادفی - سیستماتیک در هر سازند نصب و جهت بررسی شبکه زهکشی از روش استرالر و مقایسه بهتر از بعد فرکتال نیز استفاده شده است. همچنین به منظور بررسی فرسایش پذیری سنگ‌ها و نقش آنها در تخریب سازندهای دامنه شمالی توده کوهستانی الوند، مقاطع میکروسکوپی با نمونه‌گیری از سنگ‌های گرانیب، شیست و هورنفلس انجام شد. نقشه فرسایش پذیری تهیه و با نتایج حاصل از بعد فرکتال و شبکه زهکشی مقایسه گردید. بررسی مقایسه ارقام فرکتال به دست آمده از پلات‌های ۴ سازند نشان داد که بیشترین مقدار عدد بعد فرکتال معادل $1/33$ و $1/31$ به ترتیب مربوط به سازندهای هورنفلس کلریت دار و سنگ آهک مارنی می‌باشد که از تراکم زهکشی و همچنین توان فرسایشی بالاتری در منطقه برخوردار است. همچنین سازندهای شیست استروولیت دار با عدد فرکتال $1/27$ در رتبه بعدی از نظر مقاومت به فرسایش قرار داشته و نهایتاً سازندهای گرانیب الوند با کمترین مقدار عددی بعد فرکتال که معادل $1/22$ و کمترین تراکم آبراهه به عنوان مقاوم-ترین واحد سنگی یا سازند در منطقه همدان شناخته شده‌اند. به طور کلی نتایج نشان داد که با افزایش بعد فرکتال، همراه با پارامتر شبکه زهکشی، فرسایش پذیری سازندهای زمین‌شناسی نیز افزایش می‌یابد. به علاوه نتایج حاصله از بررسی کانی‌شناسی مقاطع میکروسکوپی نشان می‌دهد که سنگ‌های گرانیبی فرسایش پذیری کمتری نسبت به شیست، هورنفلس و آهک و مارن در مقابل فرسایش دارد.

واژگان کلیدی: تراکم زهکشی، سازند زمین‌شناسی، فرکتال، ژئومورفولوژی کمی، همدان.

مقدمه

تحلیل فرکتالی برخی عوارض و ساختارهای زمین شناسی می تواند برای تعیین پویایی تکتونیکی یک منطقه مورد استفاده گردد. هندسه فرکتال، که عنوان زبان ریاضی طبیعت بر آن نهاده شده است، می تواند به عنوان ابزار کمی مناسب جهت بررسی ژئومورفولوژی رودخانه ها و مدل سازی بسیاری از پدیده های پیچیده طبیعی به کار گرفته شود. مهم ترین ویژگی فرکتالی که در مورد این پدیده ها تحلیل می شود، بعد فرکتال است که اهمیت زیادی در شناخت رفتار و پیش بینی تغییرات مسیر رودخانه دارد (علمی زاده و همکاران، ۱۳۹۳: ۱۳۰). تحلیل آبراهه ها و وضعیت تراکم آنها در صورتی که شواهد مناسبی از تکتونیک ناحیه در دسترس نباشد می تواند کلیدی برای شناسایی پویایی یک منطقه باشد. آبراهه های همراه با یک سیستم گسله فعال اطلاعات ساختاری مفیدی را نشان می دهد (چرچی، و همکاران، ۱۳۹۰: ۳۷). ارزیابی فعالیت های تکتونیکی، در زمره موضوعات مورد علاقه محققین علوم زمین، به ویژه دانش ژئومورفولوژی تکتونیک است. در این راستا، روش های متفاوتی توسط پژوهشگران مختلف، به کار رفته است. این روش ها، همواره رو به توسعه بوده و طیف وسیعی از روش های ژئومورفومتری، تا روش های مبتنی بر استفاده از داده های دورسنجی و مدل رقومی ارتفاع را در بر می گیرند. دانش ژئومورفولوژی تکتونیک، مطالعه و بررسی تغییر شکل های ناشی از نیروهای عمودی و افقی زمین ساختی و اثرات آن بر چشم اندازهای سیاره زمین را بر عهده دارد (Bull, 2007: 5). ارزیابی میزان فرسایش و ارتباط آن با تاریخچه رسوبگذاری مناطق تحت فرسایش، روش های سنجش از دور و تجزیه و تحلیل مورفولوژیک استوار است. با وجود اینکه تجزیه و تحلیل مورفوتکتونیک مبتنی بر روش های سنجش از دور کم هزینه و سریع می باشند (گورابی و پاریزی، ۱۳۹۴: ۴۶۵). تأثیر شکل حوضه بر رواناب سطحی و هیدروگراف امری است محرز، از این رو عده زیادی از محققین این موضوع را مورد بررسی قرار داده اند. هندسه فرکتال نیز به عنوان یکی از روش های جدید می تواند در علم ژئومورفولوژی رودخانه ای به کار گرفته شود و به یافتن روابطی بین شکل حوضه و هیدروگراف کمک کند. اساسی ترین ویژگی فرکتالی که در مورد این پدیده ها تحلیل می شود، بعد فرکتال است که اهمیت زیادی در شناخت رفتار و پیش بینی تغییرات رودخانه دارد. این تحقیق به دنبال بررسی میزان انطباق هیدروگراف واحد مصنوعی فرکتال و هیدروگراف واحد مثلثی و ارتباط آن با میزان ضریب فشردگی حوضه می باشد (فتاحی و همکاران، ۱۹۱: ۱۳۹۶). هندسه فرکتالی به توصیف اشیایی می پردازد که خود متشابه یا متقارن هستند، این بدان معنا است که وقتی این اشیاء بزرگنمایی شوند به نظر می رسد که بین اجزای آنها تشابه دقیقی برقرار است و این شباهت جزء به جزء تا بی نهایت ادامه می یابد. این اشیا ساختاری خود مشابه در یک امتداد؛ اما در بازه مقیاس محدودی را نشان می دهند (Bass, 2002). باید تأکید داشت که امروزه ریاضیات ابزار قدرت مندی است در اختیار طبیعی دانان برای توصیف فرآیندها و پیچیدگی های موجود در طبیعت تا بتوانند این ناآرامی ها را در قالب ریاضی و روابط کمی درآورند و تا حدی آثار آن ها را پیش بینی کنند. بدین منظور و برای تبیین این پیچیدگی ها امروزه استفاده از هندسه فرکتال 2 و بعد فرکتالی اشکال و اجسام در شناخت غیر یکنواختی موجود در محیط های طبیعی رایج شده است (Kutlu, 2008: 445). همچنین در رابطه با هندسه فرکتال موضوعاتی در خارج از کشور مورد پژوهش قرار گرفته است که از آن جمله می توان به تحقیقات زیر اشاره نمود:

بارتلو و همکاران (۲۰۰۶) بعد تعمیم یافته فرکتالی را برای 6 رودخانه در جنوب ایتالیا محاسبه نمودند و نشان دادند که وجود بی نظمی باعث افزایش پیچیدگی تحلیل سری های زمانی شده است.

دامل و یالسنز (۲۰۰۷) به پیش بینی حجم سیلاب ها با استفاده از نظریه آشوب پرداختند و نشان دادند که مقادیر پیش بینی شده با نظریه آشوب نسبت به مقادیر پیش بینی شده با مدل سریهای زمانی، دقت فراوانی دارد.

کاساک (۲۰۱۴) با مطالعه الگوی آبراهه ها نتیجه گرفت که با افزایش بعد فرکتالی یک الگوی آبراهه ای از مرتبه $X+1$ تعداد و یا طول آبراهه ها از مرتبه $X+1$ افزایش می یابد.

Bi و همکاران (۲۰۱۲) از یک مدل سلولی فرکتالی برای تعیین بعد فرکتالی شبکه های رودخانه ای استفاده کردند و نشان دادند که این روش می تواند تغییرات ویژه خواص فرکتالی پستی و بلندی ها را نشان دهد. Ariza و همکاران (۲۰۱۳) اظهار داشتند، با وجود اینکه در نگاه اول مورفومتری رودخانه فوق العاده پیچیده به نظر میرسد؛ زیرا مشخص است که دو عارضه دقیقاً مشابه نمی باشند و از نظر بعضی جزئیات با یکدیگر تفاوت دارند این اشکال منحصر به فرد از ترکیب اجزایی نتیجه شده اند که امکان شناخت آنها را میسر می سازد اما به خاطر اینکه در هر یک از اشکال پیچیده، اجزا اصلی تشکیل دهنده آنها اساساً شبیه هم می باشند، می توان آنها را به روش سیستماتیک توضیح داده و طبقه بندی کرد. مطابق نظریه آشوب که به معنای نظم در بی نظمی شناخته می شود، پدیده های طبیعی هم چون رودخانه که در ظاهر دارای پیچیدگی و بی نظمی است، با استفاده از روابطی در قالب هندسه درختان فرکتالی می توان آن را منظم و بر اساس روال و منطق خاصی تعریف کرد. در میان مطالعات صورت گرفته در داخل کشور می توان به محققان زیر اشاره کرد.

چرچی و همکاران (۱۳۹۰) در پژوهش خود به این نتیجه رسیدند که انطباق ابعاد فرکتالی تراکم شکستگی و مرکز سطحی زمین لرزه ها نشان می دهد که از جنوب شرق به سمت شمال شرق تراکم شکستگی و زلزله های منطقه افزایش می یابد. از جنوب غرب به سمت شمال شرق تراکم آبراهه های منطقه کاهش می یابد. عامل تاثیر گذار وجود راندگی ها می باشد که باعث افزایش ارتفاع و تراکم شکستگی و زمین لرزه در منطقه شده است.

فتاحی و همکاران (۱۳۹۶) در پژوهش خود به این نتیجه رسیدند که هرچه ضریب فشردگی به ۱٫۵ نزدیکتر باشد یعنی حوضه دایره ای تر باشد هیدروگراف ها تطابق بیشتری دارند در واقع روش ابداعی هیدروگراف فرکتالی بهتر جواب می دهد، مانند زیرحوضه های ۵، ۷، ۸، ۹، ۱۱ و هر چه عدد ضریب فشردگی از ۱٫۵ فاصله بگیرد تطابق کمتر می شود مانند زیرحوضه های ۱، ۱۰.

شایان و همکاران (۱۳۹۴) در پژوهش با عنوان تحلیل فضایی لندفرم های بادی با استفاده از نظریه فرکتالی (مطالعه موردی: ریگ اردستان) به این نتیجه رسیدند که تحلیل فرکتالی به طور نسبی واقعیت های مورفولوژیکی لندفرم های بادی را تحلیل می کند.

کرم و همکاران (۱۳۹۴) در پژوهش خود به این نتیجه رسیدند که بعد فرکتال شبکه زهکشی زیرحوضه های 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 زیرحوضه ها می باشد. بررسی شاخص انتگرال هیپسومتریک نیز نشان داد که همه زیرحوضه ها دارای توپوگرافی جوان و پستی و بلندی زیادی هستند.

علمی زاده و همکاران (۱۳۹۳) در پژوهش خود با عنوان بررسی نظریه فرکتال در ژئومورفولوژی رودخانه ای: مطالعه موردی زرينه رود به این نتیجه رسیدند که بعد فرکتالی می تواند شاخص مناسبی برای بیان تغییرات رودخانه باشد و به عنوان پارامتر هندسی جدید وارد مدل های ریخت شناسی رودخانه ها گردد. از این روابط می توان جهت بررسی تغییرات انشعابات رودخانه ها و نیز حوضه آن ها در گذر زمان بهره جست. بنابراین با کمک بعد فرکتال می توان به پیش بینی مسائل مربوط هندسه رودخانه و همچنین فرایندهای فیزیکی درون رودخانه پرداخت.

خلیفه سلطانی و همکاران (۱۳۹۵) به بررسی نقش ساختارهای زمین شناسی در ابعاد فرکتالی شکستگی ها و آبراهه ها در جنوب باختری لنجان - اصفهان پرداختند. بررسی های ساختاری انجام شده در گستره نشان از وجود یک پهنه ترافشارشی راست بر در گستره مورد مطالعه دارد، که این به دلیل شکل گیری B و ایجاد گل ساخت مثبت در این بخش از گستره شده است. بنابراین افزایش فعالیت زمین ساختی بخش B پهنه ترافشارشی سبب برخاستگی زمین ساختی بخش گل ساخت مثبت و برخاستگی زمین ساختی حاصل از آن است.

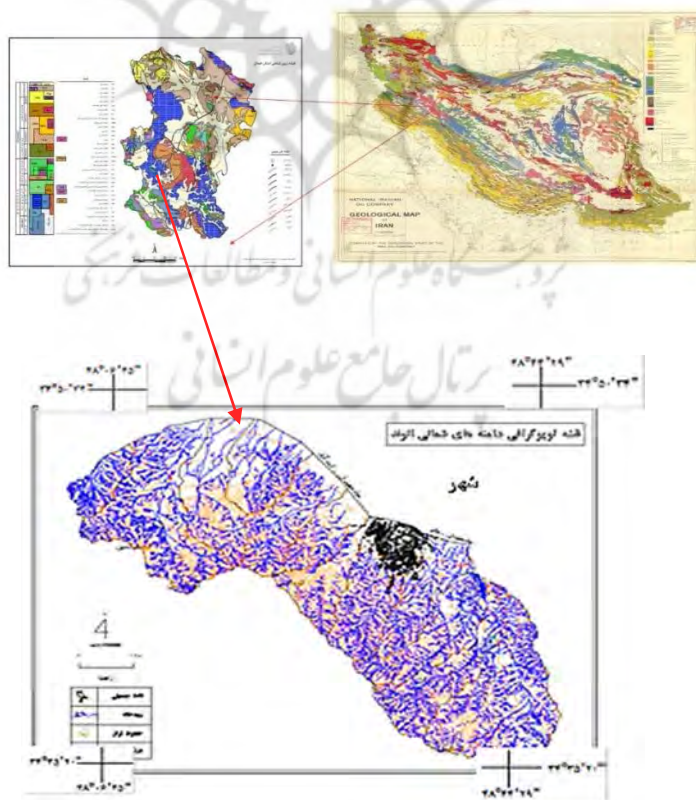
خسروی و همکاران (۱۳۹۵) در بررسی رفتار فرکتالی و ارتباط آن با خصوصیات هیدرومورفومتری حوزه‌های آبخیز دامنه شمالی بینالود به این نتیجه رسیدند که بعد فرکتال شبکه‌ی زهکشی زیرحوزه‌های مورد بررسی از روش سیستم شمارشی و ضرایب هورتون، با حداقل بعد فرکتال در زیرحوزه دره چشمه یورد و حداکثر آن در زیرحوزه ولنجک، دارای میانگین بعد ۱/۱۲۸ برای تمامی زیرحوزه‌ها می‌باشد.

هدف از این پژوهش محاسبه بعد فرکتالی برای شبکه‌های زهکشی در سازندهای مختلف زمین شناسی در استان همدان و مقایسه خواص مقیاسی و ابعاد فرکتالی و برقراری ارتباط بین ابعاد فرکتالی با ژئومورفیک سازندهای مختلف می‌باشد.

مواد و روش‌ها

معرفی منطقه مورد مطالعه

در نگاه کلی، محدوده مورد مطالعه در زون دگرگونی و ماگماتی مرکزی ایران قرار می‌گیرد (شکل ۱). در مقیاس کوچکتر توده کوهستانی الوند همدان در تقسیم‌بندی واحدهای زمین‌ساختی ایران در زون ساختاری سنندج - سیرجان جای دارد که به موازات روراندگی زاگرس از ارومیه، سنندج تا اسفندقه گسترش دارد. پهنه‌ی سنندج - سیرجان جزء پر تکاپوترین پهنه‌های ساختاری ایران است که فازهای دگرگونی و ماگماتیسم 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 رسوبی عمیق و باریک در این منطقه نهشته شده است به درستی معلوم نیست. از نظر لیتولوژی سنگ‌های محدوده‌ی همدان شامل انواع دگرگونی (ناحیه‌ای - مجاورتی)، آذرین و رسوبی است (شکل ۱).



شکل ۱: موقعیت منطقه مورد مطالعه در نقشه ایران و استان همدان

روش تحقیق

فرکتال و تعیین بعد آن

از نظر ریاضی، واژه فرکتال اولین بار توسط بنوا مندلبورت ریاضیدان فرانسوی لهستانی الاصل در سال ۱۹۷۵ ابداع شد. مندلبورت تحقیقات خود را از سال ۱۹۶۰ شروع کرد ولی اولین بار کلمه فرکتال را در مقاله‌ای در سال ۱۹۷۵ در مورد شکل سواحل انگلستان به کار برد. مندلبورت وقتی بر روی تحقیقی پیرامون طول سواحل انگلیس مطالعه می‌کرد به این نتیجه رسید که هر گاه طول سواحل با مقیاس بزرگ اندازه گرفته شود بیش تر از زمانی است که مقیاس کوچک باشد. از لحاظ واژه، مندلبورت اصطلاح فرکتال را از واژه لاتین Fractus (به معنی شکسته) برگرفت تا بر ماهیت قطعه قطعه شونده که یکی از مشخصه‌های اصلی این فرم است، تاکید داشته باشد. واژه فرکتال به معنای سنگی است که به شکل نامنظم شکسته شده باشد. پدیده‌های فرکتال خود همانند هستند یعنی در مقیاس‌های متفاوت، جزئیات مشابهی از خود نشان می‌دهند. در بسیاری از پدیده‌های ژئومورفولوژیکی هم چون شبکه رودخانه‌ای و خطوط ساحلی این خود همانندی فرکتال قابل مشاهده است. به این معنی که هر چه با دقت بیشتری به تصویر فرکتال نگاه شود، شکل‌ها در یک مقیاس مشخص در جزئیات شبیه شکل‌های دیگر در یک مقیاس دیگر است. شاخص و اندازه کمی‌سازی مقیاس فرکتال، بعد فرکتال (d) می‌باشد که از طریق فرمول (۱) تحت عنوان فرکتال محاسباتی، قابل محاسبه است. بعد فرکتال بزرگتر یعنی پدیده خیلی بی نظم است (کرم و همکاران، ۱۳۹۴: ۱۵۳).

$$N = \epsilon^d + c$$

(۱) N = تعداد پیکسل‌هایی که در آن عارضه مورد نظر دیده می‌شود.

ϵ = اندازه هر پیکسل

c = ضریب ثابت

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 فرکتال محاسبه می‌گردد.

معیار ارزیابی فرکتال محاسباتی و فرکتال ترسیمی

برای ارزیابی بعد فرکتال به عنوان یک فرمول تجربی با فرکتال 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 و در نمونه آن را با IXY (فرمول ۲) نشان می‌دهند.

$$r_{xy} = \frac{\overline{x \cdot y} - \bar{x} \cdot \bar{y}}{\sqrt{s_x^2 \cdot s_y^2}} \quad (2)$$

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum x_i \quad (3)$$

$$\bar{y} = \frac{1}{n} \sum y_i \quad (4)$$

$$\overline{xy} = \frac{1}{n} \sum x_i y_i \quad (۵)$$

$$s_y^2 = \overline{y^2} - \bar{y}^2 \quad (۶)$$

$$s_x^2 = \overline{x^2} - \bar{x}^2 \quad (۷)$$

که

X و Y: داده‌های مشاهداتی و برآوردی

 \bar{y} : میانگین داده‌های مشاهداتی یا برآوردی \bar{x} : میانگین داده‌های مشاهداتی یا برآوردی s_y^2 : واریانس داده‌های مشاهداتی یا برآوردی s_x^2 : واریانس داده‌های مشاهداتی یا برآوردی

سازندهای زمین شناسی مورد بررسی

گرانیت الوند

این گرانیت دارای بافت پوفیری بسیار مشخص می باشد. بطوریکه بلورهای میکروبلین پرتیت در آن گاهی به درازای ۱۰ سانتی متر می رسد (شکل ۲). از ویژگی‌های شایان توجه این گرانیت وجود بیگانه سنگ هایی^۱ از جنس گرونا تیت و از بیگانه سنگ های بسیار میکا دار^۲ و بیگانه بلورهائی از آندالوزیت، سلیمانیت، کزدیریت و گرونا است. در پاره‌ای جاها بیگانه سنگ هائی از جنس گابرو نیز در آن مشاهده می شود. کانی‌های سازنده این سنگ ها عبارتند از فلدسپات های قلیائی، کوارتز، بیوتیت، کلریت، کمی گرونا و آندالوزیت، سلیمانیت، کزدیریت که کانی‌های اخیر بیگانه بلورند. فلدسپات‌های قلیائی از نوع اورتور و میکروکلین و پلاژیوکلازها از جنس آلبیت تا الیگوکلازند. کانی‌های فرعی این سنگ ها عبارتند از زیرکن - آپاتیت، تورمالین، آلانیت و کانی های اوپاک (Farah Pour, ۱۹۹۷).



شکل ۲: توده گرانیتی الوند به شکل هورن، ارتفاع ۳۴۰۰ متر

^۱ Xenolith

^۲ Surticaceous Xenolith

هورنفلس‌های کردیریت دار

این واحد را یک نوع هورنفلس بسیار سخت تشکیل داده است که با بلورهای بسیار مشخص و لکه‌های کردیریت هویت می‌یابند. برونزد بسیار مشخص این واحد در دره سیمین و جنگل یار علی دیده می‌شود (شکل ۳). ابعاد کوردیریت گاهی تا ۴ سانتی متر نیز می‌رشد. بافت این سنگ‌ها پرفیروبلاستیک، و دارای زمینه گرانوبلاستیک هستند. در این واحد مجموعه کانی‌های زیر دیده می‌شود (Farah Pour, ۱۹۹۷).

Cordierite+ Alkalifeldspars+ Biotite+ Opaque mineral+ Muscovite
+Plagioclase+ Tourmaline+ Quartz.

در این سنگ‌ها کردیریت بر اثر نوعی متاسوماتیزم برگشتی، به دلیل نفوذ محلول‌های پنوماتولیتیکی، برخاسته از گرانیت به مجموعه‌ای از Tourmaline+ Muscovite+ Biotite+ Garnet تبدیل گشته است. در انواعی که قدری آندالوزیت نیز دارند، در پیرامون آندالوزیت، هاله‌ای با بافت Symplectitic از Muscovite+ Biotite+ Hercynite تشکیل شده که مانند کوردیریت حاصل نفوذ سیالات است. در درون این واحد مقدار کمی مرمر در کوه دره غار، واقع در شمال باختر روستای علی آباد دماق بروند دارد که دارای پاراژنز زیرند، (Farah Pour, ۱۹۹۷).

Calcite+ Wollastonite+ Diopside+ Opaque mineral+ dolomite.



شکل ۳: توده‌های تیره آندالوزیت - کردیریت هورنفلس در مجاورت توده نفوذی الوند (دید به سمت غرب)

سنگ آهک مارنی

این واحد از تناوب آهک‌های مارنی ورقه‌ای حاوی کانی‌های میکائی برنگ کرم نازک لایه، دگرگونه و سنگ آهک ماسه‌ای سیاه رنگ پدید آمده است. که با ماسه سنگ‌های قاعده کرتاسه گذر تدریجی دارد. ستبرای آن حدود ۹۰ - ۷۰ متر می‌باشد. این نهشته‌های کربناتی دگر ریختی ناحیه‌ای را تحمل کرده‌اند که سبب نمایان شدن شیبستوزیته چیره و از میان رفتن لایه‌بندی نخستین در آنها شده است (شکل ۴). بیش‌تر فسیل‌های موجود تعبیر شکل یافته‌اند. در روستای اولیاء در میان این آهک‌ها ماسه سنگ نازک لایه و ماسه سنگ توفی سبز و در روستاهای قشلاق گمار و شیر آباد گدازه ولکانیک بصورت میان لایه در این واحد دیده می‌شود. گسترش آن واحد بیش‌تر در نیمه شمالی برکه حاضر است (Farah Pour, 1997).



شکل ۴: آهک های مارنی با کنگلومرای قاعده ای، ارتفاع ۲۰۰۰ متر

واحد شیست های استروولیت دار

این واحد گسترده ترین شیست های منطقه را پدید می آورد. از باختر به شیست های لکه دار دگرگونی همبری و از سمت خاور بطور گسله کنار گرونا شیست ها جای می گیرند و یا بگونه ای تدریجی به آندالوزیت شیست ها تبدیل می شوند (شکل ۵). این شیست ها با داشتن پرفیروبلاست های استروولیت با ماکل مخصوص نفوذی^۳ مشخص می شوند. مجموعه کانی های این سنگ ها عبارتند از :

Garnet+ Staurolite+ Biotite+ Quartz+ Muscovite+ Chloritoid + Opaque mineral.
 بافت آنها پرفیروبلاستیک با زمینه لیپدوبلاستیک و گرانوبلاستیک است. استروولیت اثر یک شیستوزیته پیشین را در خود حفظ کرده است و چنین می نماید که پس از آن شیستوزیته پدیدار شده باشند. گرونا، هم در زمینه و هم در پیکر چرفیروبلاست، رشد نموده است. استروولیت به هیچ وجه با گرونا همزیستی ندارد و چنین گمان می رود که پس از گرونا همزیستی ندارد و همچنین پس از گرونا رشد کرده باشد و در اصل این کانی در یک حادثه گرمائی بوجود آمده است و در بعضی از سنگ ها دو نسل از استروولیت دیده شده که یک نسل آن پیش از فولیاسیون نخستین، همزمان با گرونا، رشد کرده و نسل دیگر پس از فولیاسون نخستین و در مواردی حتی پس از CRENULATION CLEAVAGE رشد کرده است. گرونا در برابر مجموعه استروولیت+ بیوتیت+ سیلمانیت ناپایدار است. پاره ای از آنها در اثر ورود سیالات گرانیته به مجموعه ای از سیلمانیت + بیوتیت+ سیلمانیت ناپایدار است و پاره ای از آنها در اثر ورود سیالات گرانیته به مجموعه ای از سیلمانیت+ بیوتیت + کوارتز تبدیل شده و بخشی از گروناهای اولیه با کیانیت موجود در این سنگ ها ترکیب و استروولیت+ کوارتز پدید آمده است. در استروولیت شیست ها رگه های کوارتزی شمار و اندازه بلورهای استروولیت بسیار زیاد می شود و گاهی حجم آن به ۴۰ درصد می رسد در درون این شیست-ها لایه های کم ضخامتی از یک نوع سنگ بازیک دیده می شود که دارای بلورهای آمفیبول بسیار کشیده اند. این سنگ ها در اصطلاح پتروگرافی (GARBEN . SCHIEFER^۴) نام دارند. که در خاور از ندریان، گردنه زاغه و خاور در کشین_ ابرو دیده شده اند و دارای پارائز زیرند (Farah Pour, ۱۹۹۷):

Amphibole+ Plagioclase(Andesine_Oligoclase)+ Epidote+ Sphene+ Rutile+ Quartz+Garnet+ Biotite+ Opaque mineral.

³. Penetration Twins

⁴. GARBEN SCHIEFER

دانه‌بندی، میزان تراکم و فشردگی، ناهمگن بودن جنس عناصر متشکله، نوع و جنس و سیمان بین دانه‌ها. در این رابطه بررسی شد.

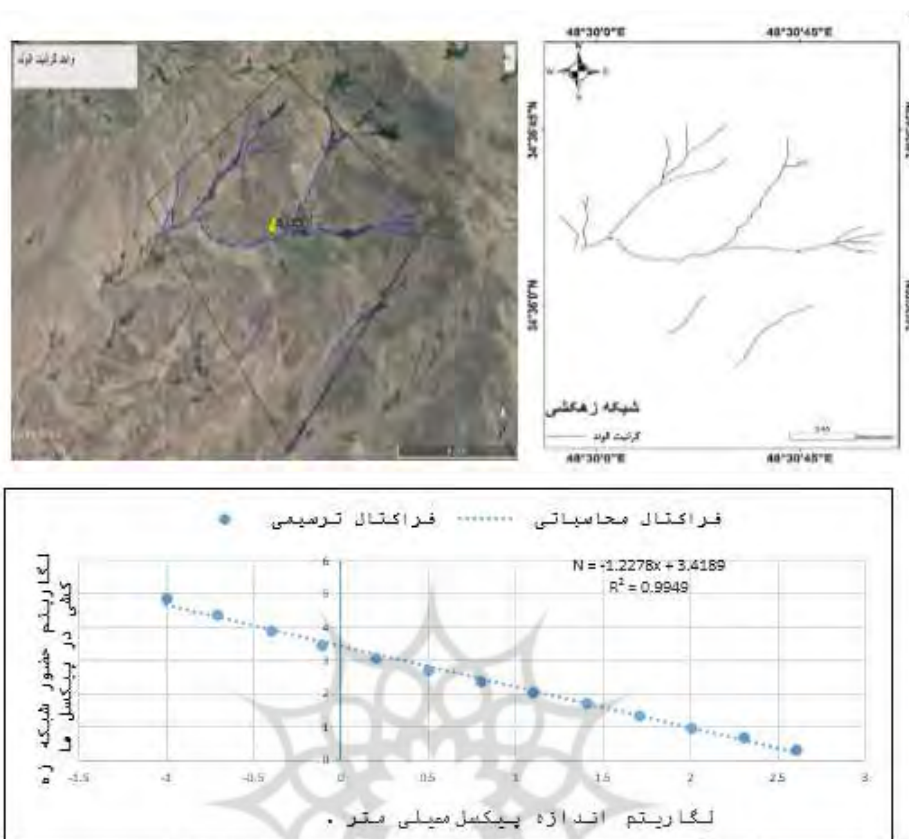
- نیروهای تکتونیک و تنش‌های حاصله که کلیه سنگ‌ها را تحت تأثیر قرار داده، از جمله حالت‌های شیستوزیته، فولیاسیون، چین خوردگی، گسلش و ... را در سنگ‌ها حاصل کرده است. که هر کدام از این ساخت‌ها می‌توانند تأثیری بر نحوه روند فرسایش داشته باشد و فرسایش پذیری سازندها را تحت تأثیر قرار بدهند. گسل‌های منطقه موجب خرد شدگی و افزایش سطوح ذرات، افزایش سرعت و واکنش شیمیایی شده است. بنابراین روند هوازدگی و به تبع آن تخریب فیزیکی در منطقه مورد مطالعه افزایش یافته و موجب ورود و جریان آب‌ها شده است.

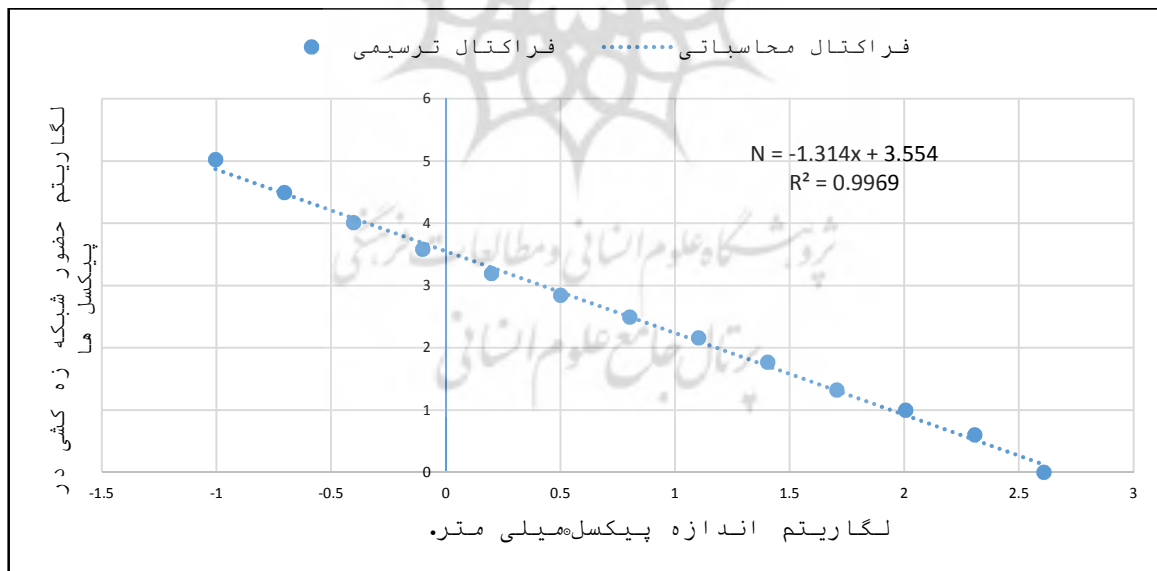
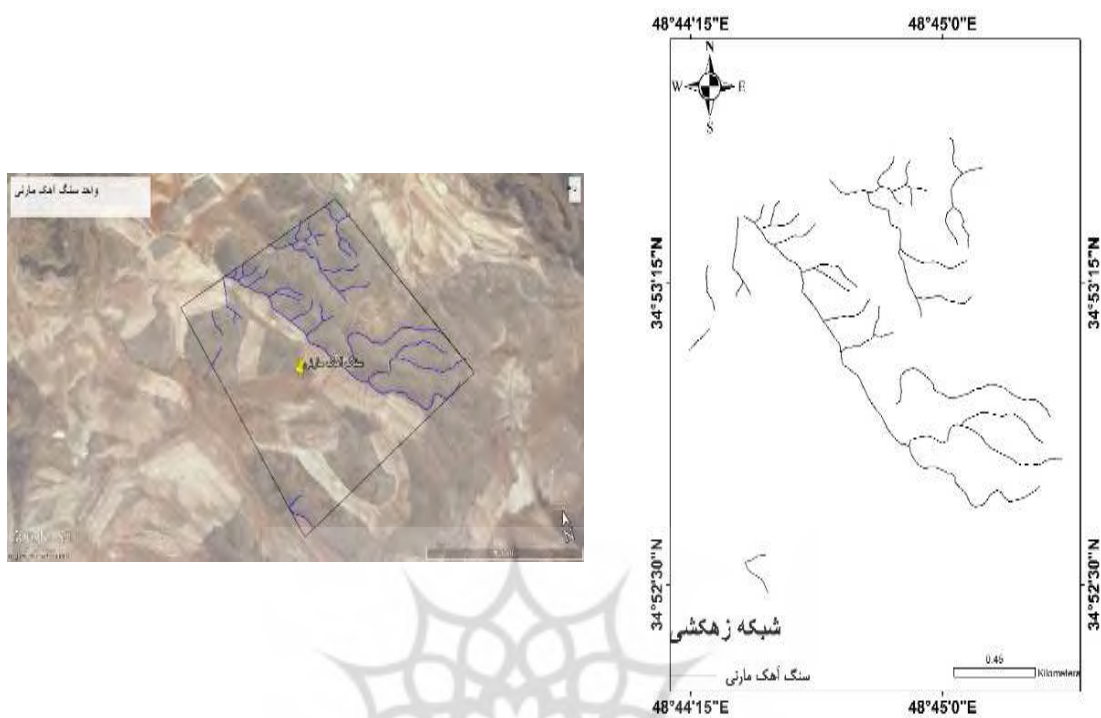
بررسی بافت و ترکیب کانی‌های سنگ‌های منطقه

عمده لیتولوژی منطقه مورد مطالعه با توجه به گسترش آنها شامل گرانیت، شیست و هورنفلس است. با توجه به بررسی‌های صحرایی و کانی‌شناسی نمونه‌های انجام شده از گرانیت‌ها چنین استنباط می‌شود که در سطح عرصه مورد بررسی توده گرانیتی محض وجود ندارد. بلکه شامل گرانیت گرانودیوریت، گرانیت گرانودیوریت است. ترکیب کانی‌شناسی آنها نشان دهنده وجود کوارتز، فلدسپات (پلاژیوکلاز)، بیوتیت (میکا) با درصد‌های متفاوت است و همین امر موجب تشکیل انواع گرانیت‌های منطقه شده است. دو کانی کوارتز و فلدسپات (پلاژیوکلاز) نقش مهمی در تقسیم‌بندی گرانیت‌های منطقه و از طرف دیگر سهم بسزایی در مقاوم بودن سنگ‌های گرانیتی یا برعکس دارند. به منظور بررسی دقیق و بیشتر از وضعیت آنها از مقاطع میکروسکوپی موجود جهت آنالیز کانی‌شناسی استفاده شده است.

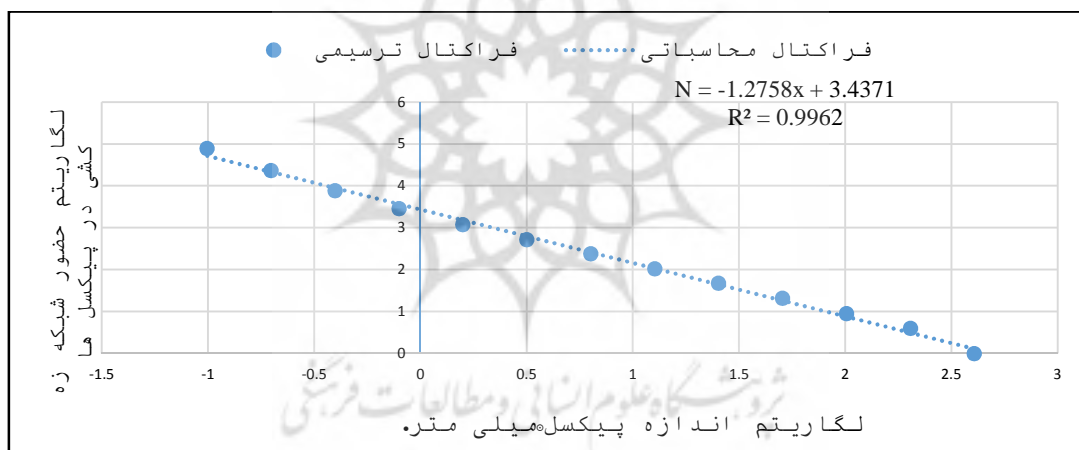
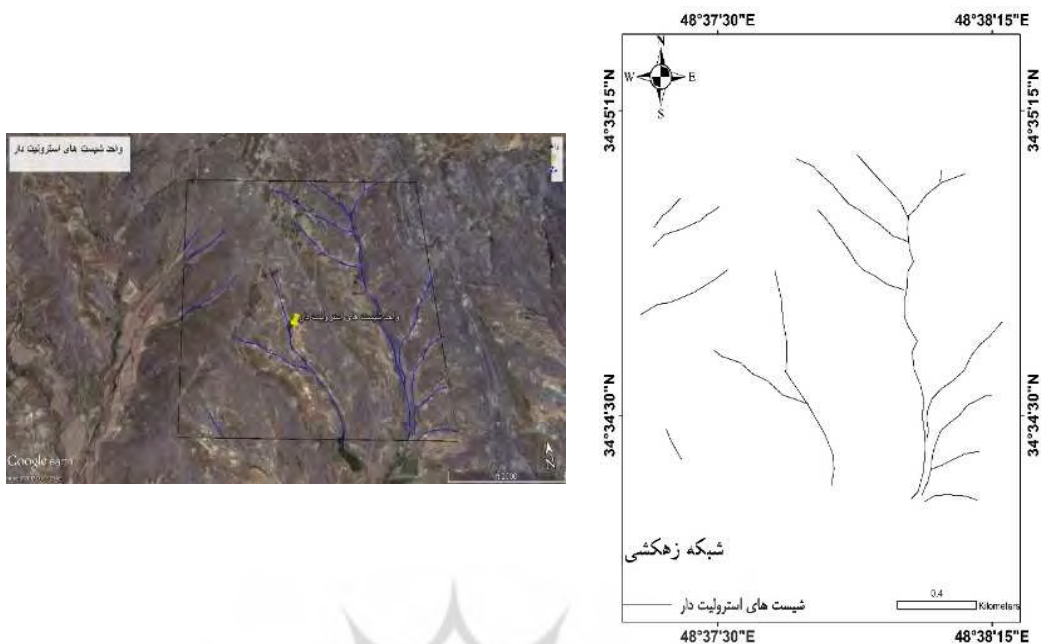
بحث و یافته‌ها

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 آبراهه‌های (جهت جریان، تراکم، نوع و شکل) در رابطه با وضعیت سنگ و ناهمواری‌های منطقه می‌باشد. با توجه به این امر ۴ سازند زمین‌شناسی و از هر سازند یک پلات ۲ در ۲ کیلومتری به صورت تصادفی - سیستماتیک انتخاب شد و بعد فرکتال هر یک از پلات‌ها که در واقع می‌تواند بیانگر شبکه زهکشی سازند مربوطه می‌باشد، در جدول (۱) نشان داده شده است. در کنار بعد فرکتال هر سازند، مجموعه طول شبکه زهکشی که با استفاده از تصاویر ماهواره ای استخراج شد، نیز به منظور مقایسه بهتر بعد فرکتال با شبکه زهکشی از روش استرالر نیز استفاده شده است (اشکال ۷، ۸، ۹، ۱۰).





شکل ۹: تصویر شبکه زهکشی مربوط به سازند سنگ آهک مارنی و محاسبه بعد فرکتال آن



شکل ۱۰: تصویر شبکه زهکشی مربوط به سازند شیست های استرولیت دار و محاسبه بعد فرکتال آن

جدول ۱: مقادیر بعد فرکتال و طول شبکه زهکشی سازندهای زمین شناسی مورد مطالعه

نام سنگ	محل برداشت نوع سنگ	کانی های اصلی	کانی های فرعی	بافت
هورنفلس در دگرگونی با حرارت بالا	آوند دگرگونی مجاورتی	کوارتز، پلاژیوکلاز	کانی های فلزی سرسیت بیوتیت، موسکوویت	هورنفلسی گرانوپلاستیک
گرانیت سنگ آتزه	آودین درونی	الکالی فلدسپات، پلاژیوکلاز	آپاتیت، سرسیت، کانی های فلزی آمفیبول - کلریت	کریستالین
گرانودیوریت	شاه نشین آودین درونی	کوارتز، فلدسپات، پلاژیوکلاز	کانی های فلزی، گارنت بیوتیت	کریستالین
شیست - گابرو سنگ شدیداً آتزه شده	شمال غرب سولان آودین درونی	گارنت، استرولیت، بیوتیت، مسکوویت، الیون، پیروکسین	سرسیت، کانی فلزی، کلریت کانی های اوپاک	کریستالین

جدول ۲- مشخصات و ویژگی های کانی ها، بافت سنگ های منطقه مورد مطالعه

ضریب همبستگی	مجموع طول شبکه زهکشی (کیلومتر)	بعد فرکتال	سازند زمین شناسی
۰/۹۹۴۹	۱۰/۷۷	۱/۲۲	گرانیت الوند
۰/۹۹۷۵	۱۵/۹۱	۱/۳۳	هورنفلس کلریت دار
۰/۹۹۶۹	۱۵/۵۳	۱/۳۱	سنگ آهک مارنی
۰/۹۹۶۲	۱۲/۰۳	۱/۲۷	شیست استرولیت دار

بررسی کانی شناسی نشان می دهد که سنگ های گرانیتی به دلیل فراوانی پلاژیوکلاز، و کوارتز و کمی بیوتیت ها (میکا) و ترکیب نسبتا همگن و بافت متوسط و فشردگی بشدت در مقابل تخریب فیزیکی و شیمیایی مقام هستند و حاصل آن تشکیل برونزدگی های برجسته به شکل هورن (شاخ) در منطقه است. شیست به دلیل شیستوارگی، وضعیت لایه ها و نفوذ آب در داخل آنها، ذوب و انجماد یخ در داخل این لایه ها به شدت تخریب شده و تحت تأثیر فرآیند هیدرولیز تشکیل رسهای فراوانی را در دامنه شمالی توده الوند داده است. گسل های موجود به ویژه گسل بین تشکیلات هورنفلس و شیست تأثیر بسزایی در ورود و جریان آب داشته و این فرآیند موجب افزایش تخریب در دامنه های مشرف به آن شده است. بنابراین با توجه به ویژگی های ذکر شده می توان سنگ های برونزده منطقه را در سه طبقه مقاوم، نیمه مقاوم و نا مقاوم تقسیم کرد (جدول ۲ و ۳).

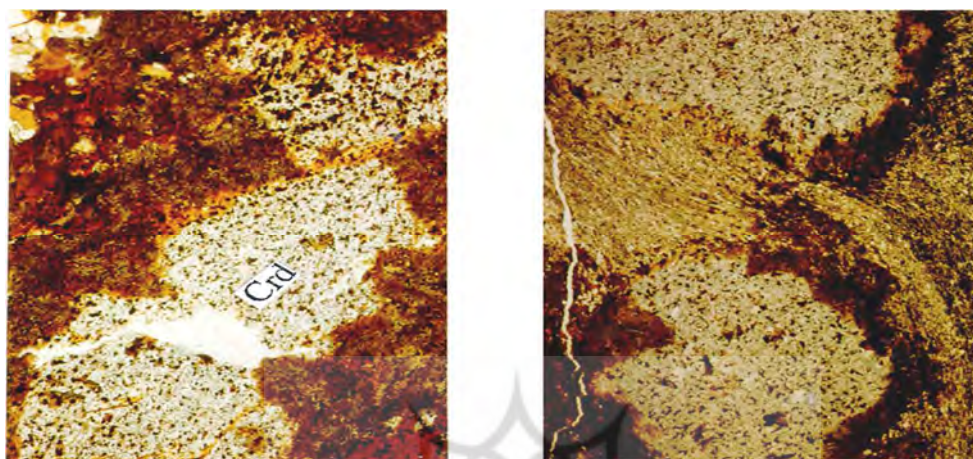
- ۱-مقاوم: و فرسایش پذیری کم : شامل گرانیت ها، گرانودیوریت ها، دیوریت و گابرو (رتبه ۳)
- ۲- نیمه مقاوم و فرسایش پذیری متوسط: شامل، شیل، شیست، های استرولیت دار (رتبه ۲)
- ۳- نامقاوم فرسایش پذیری زیاد: شامل آبرفت ها و مارن ها ، آهک ها، هورنفلس آندالوزیت (رتبه ۱)

جدول ۳- میانگین ترکیب شیمیایی سنگ های منطقه مورد مطالعه

اکسیدها	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	MgO	Na ₂ O	TiO ₂	MnO	P ₂ O ₅
میانگین نمونه ها	۶۳/۷۲	۱۷/۶۹	۰/۸۴	۶/۹	۴/۴۴	۲/۵۶	۱/۶۴	۰/۹۸۱	۰/۲۵	۰/۲۵۸

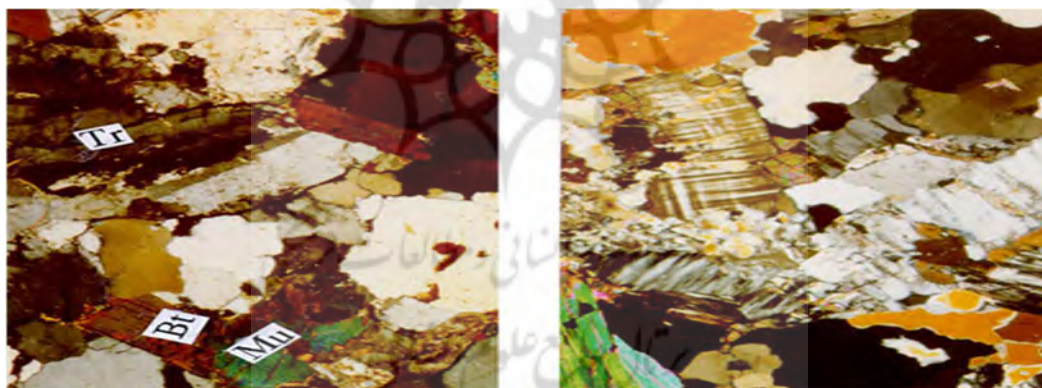
مقدار بالای SiO₂، Al₂O₃، K₂O و MgO را می توان به غنی بودن رس های منطقه از کلریت و ایلیت نسبت داد. از طرفی خصوصیات فوق با ترکیب رس مونت موریلونیت نیز سازگار است. که در سیستم زهکشی بسیار موثرند. بررسی ویژگی های مقاطع میکروسکوپی نشان از وجود کانیهای اصلی کوارتز (۲۰ درصد)، فلدسپات (۵۰ درصد) می دهد که در اثر تجزیه به کائولونیت تبدیل می شود، بعلاوه شامل پلاژیوکلاز (۲۰ درصد) و کانی های فرعی دیگر مانند روتیل و تورمالین و ... است. گرانودیوریت های منطقه دارای بلورهای درشت با بافت مشبک همراه با کانی های بیوتیت است که نقش مهمی در مقاوم سازی دارند و فرسایش پذیری کمتری دارند. اما در خصوص هورنفلس ها می توان چنین اظهار نظر نمود که بر اساس اطلاعات کانی شناسی موجود عمده تاً از نوع آندالوزیت کردیریت هورنفلس می باشد. که علاوه بر بلورهای درشت کردیریت، بلورهای آندالوزیت نیز گاه تا طول ۳۵ سانتی متر در آن دیده می شود. اندازه کردیریت ها نیز درشت بوده و تا ۲ سانتی متر می رسد. آنچه که از بررسی های کانی شناسی حاصل می شود این است که هورنفلس های منطقه در درجه حرارت های متفاوت به وجود آمده اند. به طوری که کردیریت هورنفلس در دمای بالا تشکیل شده (مانند منطقه خاکو) لذا از مقاومت بیشتری برخوردار است که وسعت کمتری را شامل می شوند. اما هورنفلس های آندالوزیت دار مانند منطقه سیمین و ابرو در درجه حرارت پائین تشکیل یافته لذا از مقاومت کمتری برخوردارند و این امر موجب تخریب شدید آنها شده است. هورنفلس هایی که فاقد کردیریت و آندالوزیت می باشند به شدت در حال تخریب هستند و این امر موجب تولید مواد تخریبی

فراوان شده که سطح وسیعی را شامل می‌شوند. همچنین شیست‌های منطقه به دلیل شیستوزیته و فراوانی بیوتیت و تجزیه آن‌ها توسط آب به شکل رس به شدت آسیب پذیر شده اند اما تقریباً بدون حضور آب شیست‌ها از مقاومت نسبتاً خوبی برخوردار هستند (اشکال ۴ الف، ب و ۵ الف، ب).



شکل ۴: الف بلورهای کردیریت با بافت پوئی کیلوبلاستیک (حاوی ادخال‌های بیوتیت و کانی‌های اوپاک) در خلاف جهت شیستوزیته قرار گرفته‌اند نور پلاریزه XPL, X20

شکل ۴: ب - پورفیروبلاست کردیریت با حاشیه سریستی و احتمالاً کلریتی در کنار کانی بیوتیت نور پلاریزه XPL, X20



ب

الف

شکل ۵: الف - مقطع میکروسکوپی از توده گرانیت-گرانودیوریت الوند درشت بلور میکروکلین با بافت مشبک در کنار کوارتز، مسکوویت دیده شود نور پلاریزه XPL, X20

شکل ۵: ب - مقطع میکروسکوپی، بلورهای سبز و تیره تورمالین در کنار کانی‌های بیوتیت و مسکوویت در آپلیت‌های نفوذی منطقه، نور پلاریزه XPL, X20

نتیجه گیری

فرکتال سیستم‌های غیر خطی و خود سازماندهی مفاهیم وابسته و مربوط به همی هستند که در سیستم‌های غیر خطی طبیعی و انسانی وجود دارد و به عنوان ابزاری برای حل مسائل پیچیده در اختیار انسان‌ها قرار می‌دهد. در دهه‌های اخیر دیدگاه‌های نوین در ژئومورفولوژی که مفاهیمی پیچیده و غیر خطی را که در طبیعت وجود دارد با نظریه فرکتال مرتبط می‌سازد. برخی از الگوهای گه در ژئومورفولوژی کمی بررسی می‌گردد مانند الگوی شبکه‌زده‌کشی، صرفنظر از مقیاس فضایی خود، شبیه خود هستند و از این رو واژه فرکتال نیز در خصوص آنها نیز بررسی می‌گردد (کرم و همکاران، ۱۳۹۴:

(۱۵۳). از این رو در این مطالعه که به بررسی ارتباط بین شبکه زهکشی سازندهای مختلف و بعد فرکتال آنها اقدام شد. مقایسه ارقام فرکتال به دست آمده از پلات های ۴ سازند مختلف گرانیته، هورنفلس کلریت دار، سنگ آهک مارنی و شیست های استروولیت دار نشان داد که بیش ترین مقدار عدد بعد فرکتال معادل ۱/۳۳ و ۱/۳۱ به ترتیب مربوط به سازندهای هورنفلس کلریت دار و سنگ آهک مارنی است که از تراکم زهکشی و همچنین توان فرسایشی بالاتری در منطقه برخوردار است. سازندهای شیست استروولیت دار با عدد فرکتال ۱/۲۷ در رتبه بعدی از نظر مقاومت به فرسایش قرار داشته و نهایتاً سازندهای گرانیته الوند با کمترین مقدار عددی بعد فرکتال که معادل ۱/۲۲ و کمترین تراکم آبراهه به عنوان مقاومترین واحد سنگی یا سازند در منطقه همدان شناخته می شود. باید در آخر به این نکته اشاره کرد که یکی از پارامترهایی که می تواند در مقدار عددی بعد فرکتال تاثیر گذار باشد، مربوط به نحوه انشعاب شبکه زهکشی می باشد که خود به سازند زمین شناسی ربط دارد، می باشد، به طوریکه در ۲ شبکه زهکشی با درجه رتبه بندی و طول یکسان، مقادیر بعد فرکتال آن ها متفاوت است. بررسی ویژگی های مقاطع میکروسکوپی وجود کانیه های اصلی کوارتز (۲۰ درصد)، فلدسپات (۵۰ درصد)، بعلاوه شامل پلازیوکلاز (۲۰ درصد) و کانی های فرعی دیگر مانند روتیل و تورمالین و ... نشان می دهد گرانیته و گرانودیوریت های منطقه دارای بلورهای درشت با بافت مشبک همراه با کانی های بیوتیت است که نقش مهمی در مقاوم سازی داشته و فرسایش پذیری کمتری دارند. نتایج حاصل از بررسی های کانی شناسی نشان می دهد که هورنفلس های آندولزیت دار در درجه حرارت پائین تشکیل یافته و از مقاومت کمتری برخوردارند و این امر موجب تخریب شدید آنها شده است. همچنین شیست های منطقه به دلیل شیستوزیته و فراوانی بیوتیت و تجزیه آن ها توسط آب به شکل رس به شدت آسیب پذیر شده اند اما تقریباً بدون حضور آب شیست ها از مقاومت نسبتاً خوبی برخوردار هستند.

فهرست منابع

- روستایی، شهرام، رجبی، معصومه و نسرین سمندر، ۱۳۹۴، بررسی نقش عوامل موثر در تحول ژئومورفولوژی مخروط افکنه و بستر اسکوچای، هیدروژئومورفولوژی، شماره ۲، بهار، صص ۴۱-۶۰.
- رجبی، معصومه و ابراهیم هاشمیان، ۱۳۹۶، ارزیابی فعالیت های زمین ساختی حوضه های آبریز دامنه جنوب غرب ارتفاعات سبلان با استفاده از اختصاصات ژئومورفولوژیک، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، سال سی و دوم، شماره اول، بهار ۹۶، شماره پیاپی ۱۲۴، صص ۹۳-۷۶.
- ده بزرگی، مریم و محمد مومنی، ۱۳۹۵، فعالیت زمین ساخت جوان در پهنه گسلی قم- زفره، ایران مرکزی، پژوهش های ژئومورفولوژی کمی، سال پنجم، شماره ۲، پاییز ۱۳۹۵، صص ۱۱۰-۱۲۹.
- چرچی، عباس، خطیب، محمد، مظفرخواه، محمد و آرش برجسته، ۱۳۹۰، استفاده از تحلیل فرکتالی برای تعیین پویایی تکتونیک شمال منطقه لالی در شمال شرق خوزستان، مجله زمین شناسی کاربردی پیشرفته، تابستان ۹۰، شماره ۱ جلد ۱، صص ۳۷-۴۷.
- خسروی، عذرا، سپهر، عادل و زهرا عبدالله زاده، ۱۳۹۵، رفتار فرکتالی و ارتباط آن با خصوصیات هیدرومورفومتری حوضه های آبریز دامنه ی شمالی بینالود، دوره ۳، شماره ۹، زمستان ۱۳۹۵، صفحه ۲۰-۱.
- خلیفه سلطانی، انیسه سادات، علوی، سید احمد و محمد رضا قاسمی، ۱۳۹۵، بررسی نقش ساختارهای زمی شناسی در ابعاد فرکتالی شکستگی ها و آبراهه ها در جنوب باختری لنجان -اصفهان، علوم زمین، سال بیست و ششم، شماره 101، صص ۴۵-۵۶.
- شایان، سیاوش، مقصودی، مهران، گل علیزاده، موسی، شریفی کیا، محمد و فاطمه نوربخش، ۱۳۹۴، تحلیل فضایی لندفرم های بادی با استفاده از نظریه فرکتالی (مطالعه موردی: ریگ اردستان)، پژوهش های جغرافیای طبیعی، دوره 48 شماره 2، تابستان 1395 صص ۲۴۵-۲۳۱.

- صمدی مقدم، رعنا و مریم ده بزرگی، ۱۳۹۵، ارزیابی نتوتکتونیک گسل کلرد با استفاده از GIS منطقه شیرگشت (ایران مرکزی)، جغرافیا و توسعه، شماره ۴۵، زمستان، صص ۱۵۹-۱۸۰.
- فتاحی، محمدهادی و زهرا طالب زاده، ۱۳۹۶، ارتباط بین ضریب فشردگی حوضه آبریز با ویژگی های فرکتال آن، تحقیقات منابع آب ایران، سال سیزدهم، شماره ۱، بهار ۱۳۹۶، صص ۱۹۱-۲۰۳.
- فرح پور، محمد، ۱۳۷۶، تجزیه و تحلیل پتروفابریک سنگ های دگرگونی باتولیت شرق الوند. Ph.D. پایان نامه. دانشگاه تربیت مدرس.
- علمی زاده، هیوا، ماه پیکر، امید و مریم سعادت‌مند، ۱۳۹۳، بررسی نظریه فرکتال در ژئومورفولوژی رودخانه ای: مطالعه موردی زربینه رود، پژوهش های ژئومورفولوژی کمی، سال سوم، شماره ۲، پاییز ۹۳، صص ۱۴۱-۱۳۰.
- کرم، امیر و میترا صابری، ۱۳۹۴، محاسبه بعد فرکتال در حوضه های زهکشی و رابطه آن با برخی خصوصیات ژئومورفولوژیکی حوضه (مطالعه موردی: حوضه های آبریز شمال تهران)، پژوهش های ژئومورفولوژی کمی، سال چهارم، شماره ۳، زمستان ۱۳۹۴، صص ۱۶۷-۱۵۳.
- گورابی، ابوالقاسم و اسماعیل پاریزی، ۱۳۹۴، تاثیر نو زمین ساخت بر تحول لندفرم های دامنه های جنوب غرب شیرکوه، پژوهش های ژئومورفولوژی کمی سال چهارم، شماره ۲، پاییز ۹۴، صص ۴۶۵-۴۷۹.
- مقامی مقیم، غلامرضا، ۱۳۹۵، تاثیر فعالیت های تکتونیک در ریخت شناسی حوضه آبریز رودخانه روئین در شمال شرق ایران، جغرافیا و توسعه، شماره ۴۳، تابستان، صص ۷۱-۹۰.
- همتی، فریبا، بهرامی، شهرام و محمد علی زنگنه، ۱۳۹۴، شواهد ژئومورفولوژیک زمین ساخت فعال در طاق‌دیس پیکلا، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، سال ۳۰، شماره ۳، پاییز، شماره ۱۱۸، صص ۲۰۷-۲۲۲.

- 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*, Volume 197, Pages 85-95.
- Baas, ACW., 2002, Chaos, fractals and self-organization in coastal geomorphology: simulating dune landscapes in vegetated environments. *Journal of Geomorphology* 48(1):309-328.
- Bartolo, S.G., Veltri, M. and Primavera L., 2006, Estimated generalized dimensions of river networks, *Journal of Hydrology*, 322, 181-191.
- 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.
- Bull, W.B., 2007, *Tectonic Geomorphology of Mountains: A New Approach to Paleoseismology*, Wiley-Blackwell, Oxford. Pp:5.
- Damle, C. and Yalcin, A., 2007, Flood Prediction Using Time Series Data Mining, *Journal of Hydrology* 333: 305-316.
- Gloaguen, R., Marpu, P.R., Niemeyer, I., 2007, Automatic extraction of Faults and Fractal analysis from remote sensing date, *Nonlinear processes Geophys*, 14, pp.131-138.
- Jordan, G., Meijninger, B. M. L., van Hinsbergen, D.J.J., Meulenkamp, J.E., van Dijk, P.M., 2005, Extraction of morphotectonic features from DEMs: Development and applications for study areas in Hungary and NW Greece, *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, Vol.7.
- Kusak, M., 2014, Methods of fractal geometry used in the study of complex geomorphic networks, *AUC Geographica*, 49, No. 2, pp. 99-110.
- Kutlu, T.; Ersahin, S. and Yetgin, B., 2008, Relations between solid fractal dimension and some physical properties of soils formed over alluvial and colluvial deposits, *J Food Agri Environment*, 6: 445-449.

- Shahzad, F., Mahmood, S.A., Gloaguen, R., 2009, Drainage Network and Lineament Analysis: An Approach for Potwar Plateau (Northern Pakistan), *Journal of Mountain Science*, 6, pp.14–24 (in Persian).
- Wobus, C., Whipple, K.X., Kirby, E., Snyder, N., Johnson, J., Spyropolou, K. B., Crosby, B.T., Sheehan, D., 2006, Tectonics from Topography: Procedures, Promise and Pitfalls, in Willett SD, Hovius N, Brandon MT and Fisher DM (eds.), *Tectonics, Climate and Landscape Evolution*, GSA Special Paper, 398, pp.55-74..

