

ارائه مدل مناسب جهت تخمین درصد انواع کانی‌ها و بررسی فضایی آنها در منطقه مورد مطالعه با استفاده از تصاویر میکروسکوپی (مطالعه موردی: اسکارن جنوب غرب تفت)

سمیرا زندی فر

بخش بیابان، موسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

محمد ولی ولی زاده

دانشکده زمین شناسی، پردیس علوم، دانشگاه تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۴/۰۵ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۱/۳۱

zandifar@rifr-ac.ir

چکیده

امروزه روش‌های متعددی برای تعیین مقدار کانی‌ها و توزیع شبکه سه بعدی آنها در یک سنگ وجود دارد ولی روشی سریع، اقتصادی و دقیق که شبکه سه بعدی کانی‌های موجود در یک سنگ را نشان دهد، در دسترس نیست. در این تحقیق با استفاده از مقاطع میکروسکوپی و تهیه تصاویر رقومی پیوسته ۳۳ نمونه از اسکارن منطقه، مدل سه بعدی کانی‌ها ساخته شده است. لایه نازک ۱ سانتی متر از سطح نمونه‌ها برداشت شده و پس از هر مرحله لایه برداری تصویر رقومی مقطع میکروسکوپی تهیه شد. تصاویر تهیه شده در نرم افزار متلب پردازش شده و از آن جا که هدف پژوهش بررسی کانی‌های کلینتونیت، دیوپسید، وزوویانیت، گارنت و اپیدوت است، باند رنگی مربوط به هر کدام استخراج شد. ارزش‌های اجزاء تصویری این باندها به همراه مختصات سه بعدی برای مدل سازی سنگ در نرم افزار راک ورکس استفاده شد. شبکه هر کدام از کانی‌ها از حذف زمینه سنگ مدل با استفاده از انحراف معیار داده‌ها ساخته شد و با استفاده از نسبت حجم مدل فیلتر شده به حجم مدل اولیه مقدار هر کدام از کانی‌ها محاسبه شده است. مجموع مقادیر حجمی ۵ کانی گزینش شده، برابر ۵۸٫۷۷ درصد می‌باشد. در نتیجه باقیمانده درصد حجمی عبارت است از: آپاتیت، کوارتز، ترمولیت به مقدار کم، ولاستونیت، کلسیت به میزان قابل توجه و کانه‌های فلزی.

کلمات کلیدی: مدل سازی، تصاویر رقومی، شبکه سه بعدی، اسکارن، کانی

مقدمه

در حال حاضر در کشورهای پیشرفته مدل‌سازی از ضروری ترین ابزار کار برای پژوهشگران علوم وابسته به زمین به شمار می‌رود و به گونه‌ای گسترده در بررسی‌های ذخایر معدنی، سیالات درگیر، محاسبه مقدار عیار ماده معدنی، محاسبه نوع و مقدار تخلخل در مخازن نفتی و مطالعه تکنونیک مورد استفاده قرار می‌گیرد. (Hilpert and Miller, 2001; Wylie and Wood, 2005; Hersum and Marsh, 2006; Monteiro, et al., 2006)

این مدل‌ها در مقیاس‌های گوناگون و در موارد مختلف، توزیع فضایی پارامتر مورد مطالعه را نشان می‌دهند. با پیشرفت روش‌ها و الگوریتم‌های ریاضیاتی ساخت مدل‌های گوناگون، مدل‌سازی امروزه به یکی از توانمندترین روش‌ها در مطالعات توزیع سه بعدی شاخص‌های مورد مطالعه تبدیل شده است. در اغلب نرم‌افزارها مدل‌سازی براساس یک شبکه از پیش طراحی شده انجام می‌شود. شبکه مدل‌سازی سه بعدی، مجموعه‌ای از سلول‌ها با ابعاد کاملاً یکسان می‌باشد که تعداد این سلول‌ها به حدتفکیک داده‌های موجود بستگی دارد. هرچه فاصله حقیقی داده‌ها کمتر باشد، ابعاد واحد شبکه نیز کوچکتر شده و تعداد سلول‌ها بیشتر می‌گردد. محل برخورد خطوط تشکیل دهنده این شبکه که گره شبکه نامیده می‌شود، با استفاده از داده‌های موجود محاسبه می‌گردد.

این مقادیر جهت ارزش‌دهی به هر سلول مورد استفاده قرار می‌گیرد. ارزش‌های مربوط به سلول‌های مختلف در سه بعد فضایی معمولاً با استفاده از مقیاس رنگی نمایش داده می‌شود. این نمایش سه بعدی، تصویری از توزیع پارامتر مورد نظر را در فضا نشان می‌دهد. چنانچه بخشی از مدل برحسب نیاز کاربر حذف گردد، درصد حجم باقی‌مانده به سادگی با استفاده از تقسیم حجم باقی‌مانده به حجم کل مدل قابل محاسبه خواهد بود. بدیهی است که توزیع پارامترهای آماری مدل، راهنمای مناسبی جهت مطالعات تکمیلی می‌باشد.

هرچه تعداد داده‌های موجود بیشتر و فاصله آنها نسبت به ابعاد مدل کمتر باشد، مدل ساخته شده دقیقتر خواهد بود. انتخاب روش مناسب جهت مدل‌سازی، صحیح‌ترین تصویر از توزیع فضایی پارامتر مورد مطالعه را ایجاد می‌کند (زندی فر و همکاران، ۱۳۸۷). این مطالعه کاربرد روش مدل‌سازی در ابعاد کوچک و با دقت بسیار بالا را در تعیین مقادیر و مشخص نمودن شکل فضایی کانی‌ها در حجم سنگ نشان می‌دهد. با توجه به روش به کار رفته و استفاده از حجم بالای داده‌ها جهت مدل‌سازی، نتیجه نهایی حداکثر نزدیکی به توزیع واقعی کانیها را در سنگ خواهد داشت. این روش می‌تواند علاوه بر تعیین مقدار و توزیع کانی‌های موجود در سنگ، در مواردی مانند تعیین تخلخل سنگها (توکلی، ۱۳۹۵)، محاسبه عیار ماده معدنی و باطله کانسارها، مطالعه سیالات درگیر، مشخص کردن نام سنگ، زون‌بندی منطقه (Zandifar et al., 2008) و تعیین آرایش و جهت یافتگی سه بعدی کانیها نیز به کار رود.

روش کار

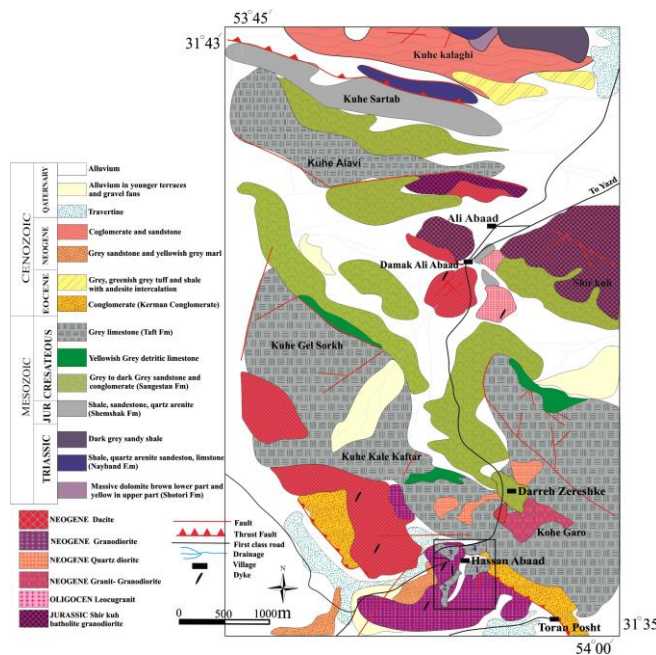
زمین شناسی منطقه مورد مطالعه

جانکوویک (۱۹۸۴) این منطقه را جزء نوار ماگماتیسم سنوزوئیک ایران مرکزی مشهور به ارومیه-دختر و همچنین بربریان و کینگ (۱۹۸۱) این ناحیه را قسمتی از نوار ماگمایی-متالورژیک ارومیه-دختر اعلام نموده‌اند. اسکارن حسن‌آباد در اثر نفوذ توده گرانودیوریتی با سن میوسن مربوط به نوار ارومیه-دختر در آهک‌های کرتاسه ایجاد شده است. این نوار ماگمایی-متالورژیک موازی نوار چین خوردگی-برخوردی زاگرس می‌باشد که در شمال شرقی این زون گسلی قرار دارد. ماگماتیسم و کانی‌زایی مرتبط با آن در نتیجه فرورانش در نوار برخوردی زاگرس ایجاد شده است (Berberian and King, 1981).

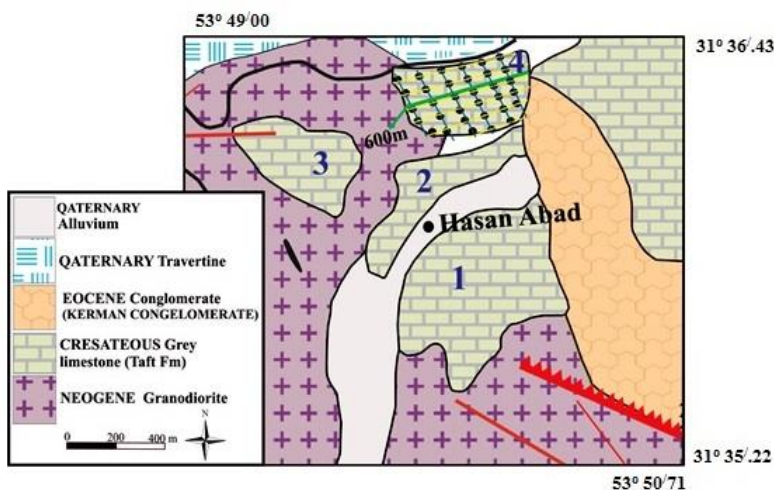
تراورتن‌های عهد حاضر که هم اکنون نیز از چشمه‌های تراورتن ساز در حال نهشته شدن است، تشکیل می‌دهند (شکل ۱).

دگرگونی در جنوب غرب تفت (روستای حسن آباد) در چهار منطقه مورد مطالعه قرار گرفته‌اند. پارائز کانی‌ها در هر منطقه تا اندازه‌ای با مناطق دیگر متفاوت است. در این منطقه هم برون اسکارن و هم درون اسکارن مشاهده شده‌است، اما عمدتاً برون اسکارن می‌باشند. چهار توده آهکی که دستخوش دگرگونی مجاورتی قرار گرفته‌اند در (شکل ۲) با شماره مشخص شده‌اند. توده ۱، ۲ و ۳ کاملاً آهکی بوده و توده آهکی ۴ تا اندازه‌ای دولومیتی می‌باشد.

قدیمی‌ترین واحد سنگی منطقه را سازند تخریبی نایبند به عنوان پی سنگ تشکیل داده است. فرسایش باتولیت شیر کوه و پی سنگ میزبان پس از فاز کوهزایی کیمبرین فوقانی منجر به انباشت انبوهی از ماسه سنگ و کنگلومرای سرخ با عنوان سازند سنگستان در گودال‌های گسلی باتولیت در ژوراسیک بالایی-ابتدای کرتاسه شده است. سازند سنگستان به تدریج جای خود را به سنگ‌های آهکی اریتولین‌دار کرتاسه زیرین ضخامت زیاد به نام سازند تفت می‌دهد. برخورد این دو سازند با باتولیت گرانیتی شیرکوه از نوع ناپیوستگی آذرین پی است. جوان‌ترین سنگ‌ها را آبرفت‌ها و همچنین



شکل ۱- نقشه زمین شناسی منطقه مورد مطالعه. موقعیت شکل ۲ با مربع در روی نقشه نشان داده شده است.



شکل ۲- نقشه زمین شناسی منطقه حسن آباد یزد؛ محل نمونه سنگ‌های برداشت شده جهت مدل سازی و زون بندی کانی‌های اسکارن منطقه ۴، در نقشه مشخص شده است.

تمام لحاظ مشابه یکدیگر هستند. نتیجه دگرگونی مجاورتی این آهک‌ها پیدایش کانی‌های ولاستونیت + گارنت + دیوپسید + وزوینایت + کلسیت + اپیدوت می‌باشند.

در منطقه چهار آهک تفت در برخی نقاط دولومیتی شده‌است. این دولومیت منشا ثانوی دارد و می‌تواند به صورت بلورهای شفاف سنگ آهک،

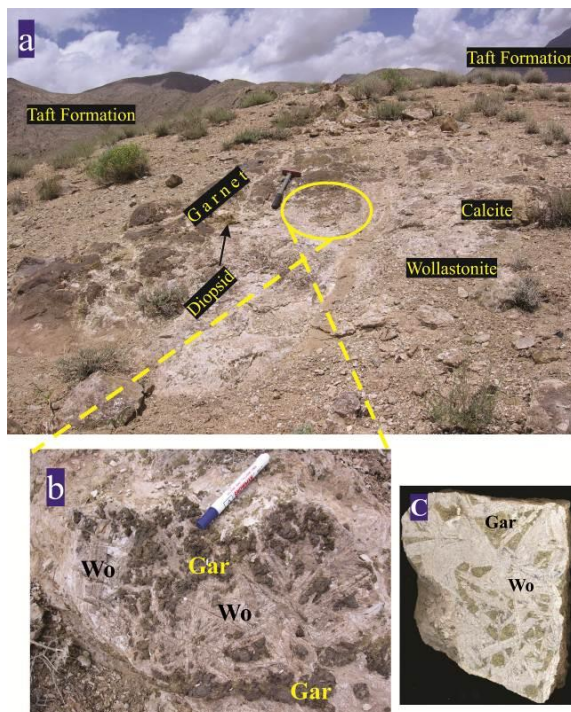
در منطقه یک دگرگونی مجاورتی آهک‌های سازند تفت (که در برخی نقاط این آهک‌ها دولومیتی شده‌اند) تبدیل به مرمر شده‌اند، که دارای گسترش زیاد می‌باشد. بلورها دانه‌ریز و انهدرال تا سابه‌درال هستند و بافت آن گرانوبلاستی است. تنوع کانی‌شناسی در آن محدود بوده و پارائز کانی‌های آن شامل: گارنت (گراسولار) + دیوپسید + وزوینایت + اپیدوت می‌باشد. مناطق دو و سه از

محدوده مطالعاتی حدود ۴۵۰ متر در ۲۴۰ متر می باشد (شکل ۲). نمونه برداری ها به صورتی است که تمام قسمت‌های منطقه دگرگون شده را پوشش دهند و توزیع یکنواختی را در منطقه داشته باشند، همچنین کلیه نمونه ها باید سالم و قابل شناسایی بوده و از نمونه های جایجا شده استفاده نگردد. تقریباً ۳۳ نمونه طبق اصول گفته شده (مانند شکل ۴) از محدوده های مختلف اسکارن تهیه گردید. در ابتدا تمام نمونه های مورد نظر در ابعاد چند سانتیمتری برش داده شدند و سپس مقاطع نازک میکروسکوپی از آن تهیه گردید و تصویر رقومی سطح آن توسط دوربین عکاسی ثابت بر روی میکروسکوپ پلاریزان، گرفته شد. سپس لایه نازک ۱ سانتی متر از سطح سنگ برداشت شده و این فرایند مجدداً تکرار گردید. این ضخامت برداشت شده، با توجه به ابعاد بلورهای مورد مطالعه انتخاب شده است. باید توجه داشت که تصاویر تهیه شده باید در کلیه خصوصیات تصویری شامل مواردی مانند نور، وضوح، شفافیت، حد تفکیک و اندازه کاملاً یکسان باشند. این فرایند برای هر نمونه ۸ بار تکرار می شود (این عدد نسبت به ابعاد منطقه و تعداد نمونه برداری ها مناسب می باشد (Hersums and Marsh, 2006) اما برای بالاتر بردن دقت می توان این فرایند را تا ۳۰ بار نیز انجام داد). در (شکل ۵ و ۶) تصاویر مقاطع میکروسکوپی متوالی دو نمونه سنگ (کانی های شاخص گارنت، کلینتونیت و وزوونایت است) به عنوان مثال آورده شده است. جهت انجام کلیه محاسبات ریاضیاتی و ساخت شبکه مختصات عکس در این مطالعه از نرم افزار متلب استفاده گردید. با توجه به توانایی های نرم افزار راکورکس و تخصصی بودن این نرم افزار، کار مدل سازی نهایی با استفاده از این نرم افزار انجام شد. این نرم افزار دارای توانایی های منحصر به فردی در زمینه مدل سازی بوده و در سایر مطالعات مدل سازی نتایج قابل قبولی از آن به دست آمده است (Wylie, 2005).

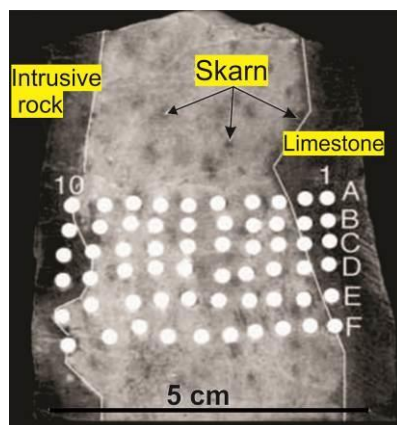
جانشین فسیل های سازنده های دارای فسیل و یا پر کننده شکستگی های کوچک بعدی پدیدار شود. این منطقه تا حد زیادی شبیه مناطق دو و سه می باشد. بواسطه جهت گیری ترجیحی میکاها در این منطقه، لایه های روشنی در برخی مناطق به چشم می خورد (البته به آسانی قابل مشاهده نیستند). این میکاها شامل کلینتونیت و تا اندازه ای بسیار محدود مارگاریت (افزیت) می باشند. در اینجا نیز چهار زون مشابه مناطق دو و سه و با اختلاف اندک در ترکیب کانی شناسی با هم تشخیص داده شده است، که از کنتاکت به سمت سنگ های میزبان عبارتند از: ۱- زون ولاستونیت- گارنت، ۲- زون ولاستونیت- دیوپسید، ۳- زون وزوونایت- دیوپسید و ۴- زون کلسیت- اپیدوت. شناسایی این کانی ها توسط مقاطع میکروسکوپی و مطالعات دقیق تر ۶۰ نمونه با پراش پرتو ایکس XRD در آزمایشگاه XRD دانشگاه تهران صورت پذیرفت. علاوه بر دگرگونی همبری- مناسوماتیسم، کانه زایی نیز رخ داده که اکثراً مربوط به اسکارن منطقه چهار می باشد. کانه زایی در این زون طبق مشاهدات صحرایی از نوع مس و آهن بوده، که کانه زایی مس به صورت بلورهای پراکنده کالکوپیریت، پیریت، مالاکیت و بورنیت و کانه زایی آهن به صورت پراکنده و نواری یا شبکه ای از مگنتیت و هماتیت رخ نمون دارد.

روش تحقیق

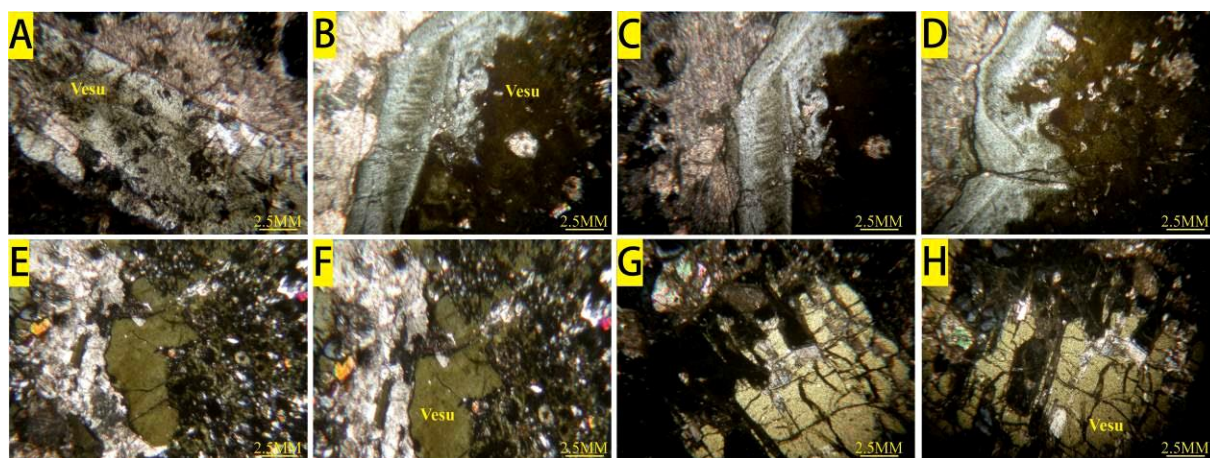
در این پژوهش برای معرفی روش و به دلیل گستردگی محدوده مطالعاتی، منطقه ۴ دگرگونی (شکل ۳) اسکارن حسن آباد برای این پژوهش انتخاب و مورد پایش و ارزیابی قرار گرفت (تنوع کانی شناسی نیز یکی از دلایل مهم این انتخاب می باشد). در این مطالعه از روش تهیه مقاطع متوالی از یک سنگ جهت مدل سازی آن استفاده گردیده است. در اینجا ۵ کانی (کلینتونیت، دیوپسید، وزوونایت، گارنت و اپیدوت) گزینش و مورد بررسی قرار گرفتند.



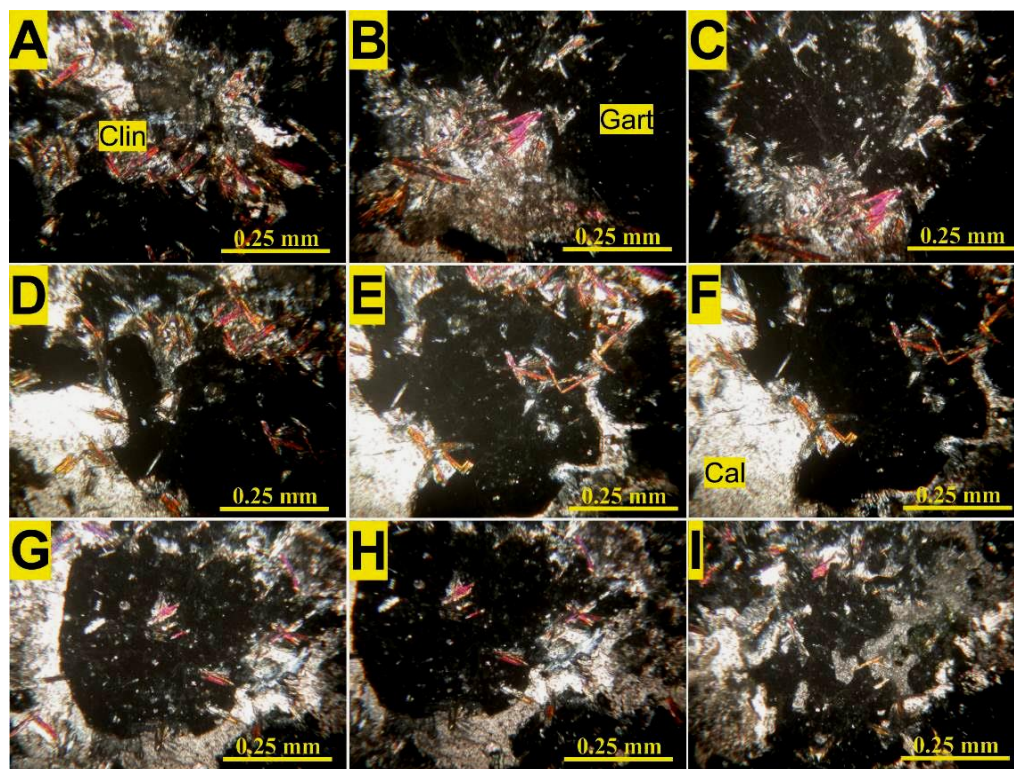
شکل ۳- a: نمایی کلی از منطقه ۴ دگرگونی روستای حسن آباد و تنوع کانی شناسی آن. b: تصویر بزرگتر از منطقه ای که در بخش a علامتگذاری شده است. c: یکی از نمونه های دستی انتخاب شده از بخش b. (Gar: گارنت، Wo: ولاستونیت).



شکل ۴- طریقه نمونه برداری از کنتاکت توده نفوذی به سمت آهک تفت.



شکل ۵- تصویر مقاطع میکروسکوپی متوالی از یک نمونه انتخابی جهت نشان دادن توزیع وزوویانیت (در نور پلاریزان)، (Vesu: وزوویانیت).



شکل ۶- تصویر متوالی مقاطع میکروسکوپی (در نور پلاریزان) از یک پروفیل انتخابی جهت نشان دادن توزیع کلینتونیوت و گارنت (Gar: گارنت، Clin: کلینتونیوت Cal: کلسیت).

بحث

زون بندی اسکارن ها از مقیاس میکرومتری تا کیلومتری گسترش دارد و منعکس کننده نفوذ سیال، عکس العمل سنگ دیواره، تغییرات دما و اختلاط سیال می باشد (Nakano, 1978; Ochiai, 1978). اغلب نهشته های اسکارن قابل توجه توسط فاصله از توده نفوذی و نیز زمان نسبی مرتبط با نفوذ، زون بندی می شوند (Meinert, 1998). در اغلب اسکارن ها یک الگوی زون بندی عمومی در محل کنتاکت بین اسکارن و آهک وجود دارد. تغییر در این الگوی عمومی منعکس کننده تفاوت در شیمی ماگما، ترکیب سنگ میزبان، عمق تشکیل و وضعیت اکسیداسیون می باشد (Meinert, 1998). از موارد مهم در مطالعه اسکارن ها، اندازه گیری مقدار کانی های اصلی هر قسمت جهت نامگذاری زون ها می باشد. به همین دلیل روشی که بتواند مقدار دقیقی توزیع کانی خاصی را در حجم سنگ نشان دهد، در مطالعات پترولوژی و زمین شناسی اقتصادی بسیار سودمند خواهد بود. امروزه روش های متعددی جهت تعیین میزان کانی های موجود در یک سنگ وجود دارد که غالباً پرهزینه، وقت گیر و در مواردی غیر کاربردی می باشند (Al-Kharusi and Blunt, 2007; Gryze et al., 2006).

جهت ساخت یک مدل سه بعدی نیاز به اطلاعات دقیقی از بخش های مختلف مدل می باشد تا نرم افزارهای تخصصی مدل سازی با استفاده از این نقاط معلوم، نقاط نامعلوم را در کل مدل بازسازی نمایند. در مقیاس های کوچک استفاده از صفحات اطلاعاتی جهت ساخت مدل نهایی در مطالعات گوناگون به کار رفته است (Al-Kharusi and Blunt, 2007; Vogel and Roth, 2001). روش های تهیه این صفحات به دو نوع مخرب^۱ و غیرمخرب^۲ تقسیم می گردند. از روش های غیرمخرب می توان به توموگرافی به کمک اشعه X^۳، و روبش فضایی رایانه ای^۴ اشاره نمود (Al-Kharusi and Blunt, 2007; Gryze et al., 2006). با توجه به هزینه بالای این آنالیزها، عدم دقت کافی دستگاه مورد نظر برای نمونه سنگی، حد تفکیک پایین و عدم رنگ بندی مناسب در اغلب این روش ها، در بسیاری از موارد روش های مخرب ارجحیت دارند. در مطالعات سطح الارضی و در مواردی که دسترسی آسان به حجم بالای نمونه ها امکان پذیر می باشد، مشکل از بین رفتن نمونه نیز وجود نخواهد داشت. هر عکس در سیستم رقمی نقشه بیتی^۵ از مجموعه اجزایی تشکیل شده که جزء تصویری^۶ نامیده می شوند. چنانچه یک عکس در سیستم مختصات دکارتی دوبعدی مکان یابی^۷ گردد، هر یک از اجزاء تصویری دارای مختصات منحصر به فرد خواهد بود. با توجه به اینکه تصاویر تهیه شده در بعد سوم نیز در کنار یکدیگر قرار دارند، هر جزء تصویری دارای مختصات X, Y و Z مخصوص به خود است.

همچنین هر نقطه در سیستم های رنگی RGB (قرمز، سبز، آبی) دارای مقادیر مربوط به ارزش های سه رنگ اصلی می باشد. در ابتدا هر عکس با باندهای کامل رنگی به نرم افزار متلب وارد شد. کلیه داده ها در این نرم افزار شکل ماتریسی دارند. در نتیجه هر ماتریس کامل عکس در این نرم افزار به صورت $m \times n \times 3$ شناخته می شود که در آن m و n تعداد پیکسل در راستای X و Y عکس است و عدد ۳ نشان دهنده باندهای رنگی قرمز، سبز و آبی است. از آنجا که رنگ کانی های مورد بررسی در مقاطع میکروسکوپی متنوع است،

لذا لازم است تا هر سه باند رنگی برقرار باشند و ارزش رنگی هر نقطه به عنوان پارامتر مدل در کنار مختصات قرار گیرد. ماتریس های مربوط به عکس های متوالی به صورت ستونی مرتب گردیده و ارزش های Z مربوط به شماره عکس در مقاطع متوالی و ارزش چهارم مربوط به مقدار عددی رنگ به آن اضافه شد. ماتریس نهایی در فایل اسکری^۸ استاندارد ذخیره و برای مدل سازی وارد نرم افزار راک ورکس شد.

در این روش هر نقطه مجهول، ارزش مربوط به نزدیکترین نقطه معلوم را خواهد داشت. این روش در مواردی که تغییرات پارامتر مورد نظر در داخل مدل ناگهانی است، بهترین روش مدل سازی محسوب می گردد. در این مطالعه با توجه به ماهیت کانیها در زمینه سنگ و مرزهای ناگهانی آنان این روش انتخاب گردید. نتایج تجربی نیز این روش مدل سازی را تأیید نمود.

نهایتاً ۳۳ مدل برای ۳۳ نمونه سنگی تهیه شد. مدل های به دست آمده توزیع کامل ارزش باند رنگی برای هر کانی را با مقیاس رنگی مربوطه نشان می دهد. بعد از انجام محاسبه پارامترهای آماری (جدول ۱، ۳، ۵، ۷، ۹) برای ۵ کانی مورد نظر در تمام مدل ها، با فیلتر گیری، مقدار هر کانی (جدول ۲، ۴، ۶، ۸، ۱۰) مشخص گردید. برای این کار باید بخش های دیگر غیر از کانی مورد نظر از مدل حذف گردد. بدین منظور از منحنی توزیع نرمال مدل های تهیه شده استفاده گردید.

با توجه به جدول های مورد نظر بسته به افزایش و یا کاهش کانی های گزینش شده در تمام پروفیل ها می توان با دقت خیلی بالایی زون بندی کانی ها در اطراف توده نفوذی را مشخص نمود.

در مورد گارنت طبق (جدول ۱) تا فاصله ۱۰۵ متری از توده نفوذی فراوانی گارنت خیلی زیاد می باشد (حدود ۳۱٪) و کم کم تا فواصل دورتر از توده نفوذی مقدار این کانی کمتر می شود. در مدل های آورده این مطلب به خوبی مشخص شده است. در اسکارن های منطقه گارنت یکی از مهمترین کانی های سیلیکاته می باشد و به دوصورت دیده می شود. به صورت اولیه و توده ای بیشتر در اسکارن های حسن آباد دیده می شود که گارنت های احاطه کننده ولاستونیت ها به صورت درشت بلور بوده و دارای زونینگ هستند و با دور شدن از توده نفوذی گارنت دانه ریز و ایزوتروپ جانشین گارنت انیزوتروپ و درشت بلور می شود و نیز به صورت رگه ای بیشتر در اسکارن دره زرشک و علی آباد وجود دارند.

برای دیگر کانی ها نیز این مقادیر محاسبه گردیده و به طور جداگانه در جداول مربوطه آورده شده است و به واسطه مقادیر بدست آمده از این کانی و حضور یا عدم حضور کانی های خاص اسکارن ساز شرایط دما و فشار حاکم بر منطقه دگرگونی با احتمال بالاتری قابل اندازه گیری است.

- 1- Destructive
- 2- Non-destructive
- 3- X-ray tomography
- 4- C-T Scanning
- 5- Bitmap
- 6- Pixel
- 7- Register

جدول ۱- محاسبه پارامترهای آماری (جمعیت بر حسب تعداد سلولها و سایر اعداد بر حسب گستره توزیع باند رنگ کانی گارنت در مدل می باشد)، فاصله ها از روی مسیر افقی مشخص شده در شکل ۲- اندازه گیری شده است.

پارامتر آماری	میانگین محاسبات آماری، نمونه ها تا فاصله ۱۰۵ متر	میانگین محاسبات آماری، نمونه ها تا فاصله ۲۲۲-۱۰۵ متر	میانگین محاسبات آماری، نمونه ها تا فاصله ۲۲۰-۲۲۲ متر	میانگین محاسبات آماری، نمونه ها تا فاصله ۳۲۰-۴۵۰ متر
جمعیت مدل	۴۱۶۵۱۲	۴۱۶۵۱۲	۴۱۶۵۱۲	۴۱۶۵۱۲
جمعیت زمینه	۲۵۷۹۵۹	۲۶۸۹۸۴	۲۹۰۲۱۲	۲۸۴۳۶۶
حداقل	۶۷	۵۳	۶۱	۴۵
حداکثر	۱۷۶	۱۵۷	۱۶۶	۱۵۴
گستره	۱۴۴	۱۷۵	۱۴۸	۱۶۹
میانگین	۱۶۱،۴۶	۱۵۲،۲۶	۱۶۰،۱۴	۱۴۵،۳۲
انحراف معیار	۱۶،۸۳	۱۵،۳۲	۱۶،۴۴	۱۴،۸۲
میانه	۱۴۴	۱۳۶	۱۳۷	۱۲۵
ضریب تغییرات	۰،۱۳۴	۰،۱۴۴	۰،۰۲۷	۰،۱۳۴
میانگین - انحراف معیار	۱۷۸،۲۹	۱۳۶،۹۴	۱۴۳،۷	۱۳۰،۵
میانگین - ۲ برابر انحراف معیار	۱۲۷،۸	۱۲۱،۶۲	۱۲۷،۲۶	۱۱۵،۶۸
میانگین + انحراف معیار	۱۷۸،۲۹	۱۶۷،۵۸	۱۷۶،۵۸	۱۶۰،۱۴
میانگین + ۲ انحراف معیار	۱۹۵،۱۲	۱۸۲،۹	۱۹۳،۰۲	۱۷۴،۹۶

جدول ۲- مقادیر حجمی محاسبه شده گارنت در ۳۳ نمونه.

شماره نمونه	مقدار گارنت (%)	شماره نمونه	مقدار گارنت (%)	شماره نمونه	مقدار گارنت (%)	شماره نمونه	مقدار گارنت (%)	شماره نمونه	مقدار گارنت (%)	شماره نمونه	مقدار گارنت (%)
۱	۳۱،۴	۷	۲۶،۴	۱۳	۲۸،۲	۱۹	۲۱،۳	۲۵	۱۲،۶	۳۱	۹،۵
۲	۳۳،۳	۸	۳۰،۱	۱۴	۲۳،۴	۲۰	۱۵،۵	۲۶	۱۴،۱	۳۲	۸،۳
۳	۳۴،۱	۹	۲۹،۸	۱۵	۲۵،۵	۲۱	۱۶،۶	۲۷	۹،۸	۳۳	۷،۹
۴	۲۸،۵	۱۰	۲۹،۳	۱۶	۲۷،۸	۲۲	۱۴،۶	۲۸	۱۲،۵		
۵	۲۹،۴	۱۱	۳۱،۷	۱۷	۲۵،۶	۲۳	۱۶،۴	۲۹	۷،۴		
۶	۳۳،۳	۱۲	۲۹،۱	۱۸	۲۸،۶	۲۴	۱۲،۳	۳۰	۱۱،۳		
میانگین = ۲۱،۶۶											

جدول ۳- محاسبه پارامترهای آماری (جمعیت بر حسب تعداد سلولها و سایر اعداد بر حسب گستره توزیع باند رنگ کانی دیوپسید در مدل می باشد)، فاصله ها از روی مسیر افقی مشخص شده در شکل ۲ اندازه گیری شده است.

پارامتر آماری	میانگین محاسبات آماری، نمونه ها تا فاصله ۱۰۵ متر	میانگین محاسبات آماری، نمونه ها تا فاصله ۲۲۲-۱۰۵ متر	میانگین محاسبات آماری، نمونه ها تا فاصله ۳۲۰-۲۲۲ متر	میانگین محاسبات آماری، نمونه ها تا فاصله ۳۲۰-۴۵۰ متر
جمعیت مدل	۴۱۶۵۱۲	۴۱۶۵۱۲	۴۱۶۵۱۲	۴۱۶۵۱۲
جمعیت زمینه	۲۵۷۹۵۹	۲۶۸۹۸۴	۲۹۰۲۱۲	۲۸۴۳۶۶
حداقل	۳۱	۵۳	۴۵	۲۹
حداکثر	۱۸۶	۱۸۶	۱۸۶	۱۸۶
گستره	۱۲۴	۱۳۵	۱۴۱	۱۱۹
میانگین	۱۲۱،۴۶	۱۳۰،۱۴	۱۴۲،۲۶	۱۲۵،۳۲
انحراف معیار	۱۲،۸۳	۱۴،۴۴	۱۶،۳۲	۱۹،۸۲
میانه	۱۲۴	۱۴۷	۱۲۶	۱۳۵
ضریب تغییرات	۰،۱۳۴	۰،۰۲۷	۰،۱۴۴	۰،۱۳۴
میانگین - انحراف معیار	۱۰۸،۶۳	۱۱۵،۷	۱۲۵،۹۴	۱۰۵،۵
میانگین - ۲ برابر انحراف معیار	۹۵،۸	۱۰۱،۲۶	۱۰۹،۶۲	۸۵،۶۸
میانگین + انحراف معیار	۱۳۴،۲۹	۱۴۴،۵۸	۱۵۸،۵۸	۱۴۵،۱۴
میانگین + ۲ انحراف معیار	۱۴۷،۱۲	۱۵۹،۰۲	۱۷۴،۹	۱۶۴،۹۶

جدول ۴- مقادیر حجمی محاسبه شده دیوپسید در ۳۳ نمونه.

مقدار دیوپسید (%)	شماره نمونه	مقدار دیوپسید (%)	شماره نمونه	مقدار دیوپسید (%)	شماره نمونه	مقدار دیوپسید (%)	شماره نمونه	مقدار دیوپسید (%)	شماره نمونه	مقدار دیوپسید (%)	شماره نمونه
۴,۶	۳۱	۲۴,۸	۲۵	۱۴,۹	۱۹	۱۰,۱	۱۳	۶,۴	۷	۵,۲	۱
۵,۳	۳۲	۲۳,۷	۲۶	۱۷,۸	۲۰	۱۲,۱	۱۴	۷,۱	۸	۶,۱	۲
۳,۳	۳۳	۱۶,۱	۲۷	۲۰,۳	۲۱	۱۲,۳	۱۵	۹,۸	۹	۶,۳	۳
		۱۱,۲	۲۸	۲۱,۶	۲۲	۹,۳	۱۶	۱۲,۳	۱۰	۴,۴	۴
		۷,۶	۲۹	۱۸,۲	۲۳	۱۰,۵	۱۷	۱۱,۷	۱۱	۳,۶	۵
		۴,۳	۳۰	۱۶,۹	۲۴	۱۱,۳	۱۸	۱۵,۱	۱۲	۴,۲	۶
میانگین = ۱۱,۱۶											

جدول ۵- محاسبه پارامترهای آماری (جمعیت بر حسب تعداد سلولها و سایر اعداد بر حسب گستره توزیع باند رنگ کانی وزوونایت در مدل می‌باشد)، فاصله ها از روی مسیر افقی مشخص شده در شکل ۲ اندازه‌گیری شده است.

پارامتر آماری	میانگین محاسبات آماری، نمونه‌ها تا فاصله ۱۰۵ متر	میانگین محاسبات آماری، نمونه‌ها تا فاصله ۱۰۵-۲۲۲ متر	میانگین محاسبات آماری، نمونه‌ها تا فاصله ۲۲۲-۳۲۰ متر	میانگین محاسبات آماری، نمونه‌ها تا فاصله ۳۲۰-۴۵۰ متر
جمعیت مدل	۴۱۶۵۱۲	۴۱۶۵۱۲	۴۱۶۵۱۲	۴۱۶۵۱۲
جمعیت زمینه	۲۵۷۹۵۹	۲۶۸۹۸۴	۲۹۰۲۱۲	۲۸۴۳۶۶
حداقل	۱۸	۴۲	۴۶	۱۶
حداکثر	۱۴۵	۱۸۵	۱۷۶	۱۳۴
گستره	۱۱۴	۱۴۵	۱۲۱	۱۱۰
میانگین	۱۱۲,۴۶	۱۴۸,۲۷	۱۴۲,۳۱	۱۱۵,۳۲
انحراف معیار	۱۱,۸۵	۱۴,۳۱	۱۴,۴۶	۱۱,۴۲
میانه	۱۲۹	۱۳۶	۱۵۷	۱۳۷
ضریب تغییرات	۰,۱۳۵	۰,۱۴۵	۰,۰۲۲	۰,۱۲۴
میانگین - انحراف معیار	۱۰۰,۶۱	۱۳۳,۶۹	۱۲۷,۸۵	۱۰۳,۹
میانگین - ۲ برابر انحراف معیار	۸۸,۷۶	۱۱۹,۶۵	۱۱۳,۳۹	۹۲,۴۸
میانگین + انحراف معیار	۱۲۴,۳۱	۱۶۲,۵۸	۱۵۶,۷۷	۱۲۶,۷۴
میانگین + ۲ انحراف معیار	۱۳۶,۱۶	۱۷۶,۸۹	۱۷۱,۲۳	۱۳۸,۱۶

جدول ۶- مقادیر حجمی محاسبه شده وزوونایت در ۳۳ نمونه.

شماره نمونه	مقدار وزوونایت (%)	شماره نمونه	مقدار وزوونایت (%)	شماره نمونه	مقدار وزوونایت (%)	شماره نمونه	مقدار وزوونایت (%)	شماره نمونه	مقدار وزوونایت (%)	شماره نمونه	مقدار وزوونایت (%)
۱	۱,۱	۷	۰,۴	۱۳	۱۴,۵	۱۹	۲۶,۸	۲۵	۲۰,۶	۳۱	۴,۶
۲	۱,۵	۸	۰,۵	۱۴	۱۶,۸	۲۰	۲۵,۶	۲۶	۱۸,۶	۳۲	۵,۳
۳	۰,۷	۹	۱,۹	۱۵	۱۶,۳	۲۱	۲۹,۸	۲۷	۱۵,۴	۳۳	۶,۱
۴	۱,۲	۱۰	۴,۰۵	۱۶	۲۶,۵	۲۲	۲۵,۸	۲۸	۱۲,۶		
۵	۱,۱	۱۱	۷,۰۲	۱۷	۲۴,۸	۲۳	۳۲,۹	۲۹	۱۵,۶		
۶	۰,۶	۱۲	۶,۴	۱۸	۲۷,۴	۲۴	۲۴,۷	۳۰	۹,۴		
میانگین = ۱۲,۹۲											

جدول ۷- محاسبه پارامترهای آماری (جمعیت بر حسب تعداد سلولها و سایر اعداد بر حسب گستره توزیع باند رنگ کانی کلینتونیست در مدل می‌باشد)، فاصله‌ها از روی مسیر افقی مشخص شده در شکل ۲ اندازه‌گیری شده است.

پارامتر آماری	میانگین محاسبات آماری، نمونه‌ها تا فاصله ۱۰۵ متر	میانگین محاسبات آماری، نمونه‌ها تا فاصله ۱۰۵-۲۲۲ متر	میانگین محاسبات آماری، نمونه‌ها تا فاصله ۲۲۲-۲۲۰ متر	میانگین محاسبات آماری، نمونه‌ها تا فاصله ۲۲۰-۴۵۰ متر
جمعیت مدل	۴۱۶۵۱۲	۴۱۶۵۱۲	۴۱۶۵۱۲	۴۱۶۵۱۲
جمعیت زمینه	۲۵۷۹۵۹	۲۶۸۹۸۴	۲۹۰۲۱۲	۲۸۴۳۶۶
حداقل	۱۰	۴	۹	۳
حداکثر	۹۷	۵۵	۸۴	۴۸
گستره	۱۰۱	۸۹	۹۵	۷۸
میانگین	۷۶	۵۹	۶۸	۵۱
انحراف معیار	۷،۳۵	۵،۲۱	۶،۲۵	۵،۰۱
میانه	۷۴	۵۶	۶۲	۴۸
ضریب تغییرات	۰،۱۴۲	۰،۱۲۳	۰،۰۱۲	۰،۱۱۲
میانگین- انحراف معیار	۶۸،۶۵	۵۳،۷۹	۶۱،۷۵	۴۵،۹۹
میانگین - ۲ برابر انحراف معیار	۶۱،۳	۴۸،۵۸	۵۵،۵	۴۰،۹۸
میانگین+ انحراف معیار	۸۳،۳۵	۶۴،۲۱	۷۴،۲۵	۵۶،۰۱
میانگین+۲ انحراف معیار	۹۰،۰۷	۶۹،۴۲	۸۰،۵	۶۱،۰۲

جدول ۸- مقادیر حجمی محاسبه شده کلینتونیست در ۳۳ نمونه.

شماره نمونه	مقدار کلینتونیست (%)	شماره نمونه	مقدار کلینتونیست (%)	شماره نمونه	مقدار کلینتونیست (%)	شماره نمونه	مقدار کلینتونیست (%)	شماره نمونه	مقدار کلینتونیست (%)	شماره نمونه	مقدار کلینتونیست (%)
۱	۱۰،۸	۷	۱۱،۸	۱۳	۸،۷	۱۹	۴،۱	۲۵	۱،۲	۳۱	۰
۲	۱۱،۱	۸	۱۱،۵	۱۴	۷،۵	۲۰	۴،۵	۲۶	۰،۶	۳۲	۰
۳	۱۳،۸	۹	۱۱،۸	۱۵	۷،۳	۲۱	۳،۷	۲۷	۰،۴	۳۳	۰،۰۱
۴	۹،۲	۱۰	۱۰،۰۵	۱۶	۶،۷	۲۲	۴،۲	۲۸	۰،۰۵		
۵	۱۲،۱	۱۱	۱۱،۰۲	۱۷	۷،۳	۲۳	۲،۲	۲۹	۰،۰۲		
۶	۱۳،۸	۱۲	۹،۴	۱۸	۶،۷	۲۴	۲،۳	۳۰	۰،۰۲		
میانگین = ۶،۱۷											

زمینه سنگ وجود خواهد داشت. از این رو لازم است تا این نقاط عطف که تغییرات عددی مدل در آنها ناگهانی است، به طریقی مشخص گردد. بدین منظور از منحنی توزیع نرمال مدل‌های تهیه شده استفاده گردید (شکل ۸). این نقاط عطف بر روی منحنی توزیع نرمال با مقادیر میانگین و انحراف معیار مطابقت دارند. از این حد در مطالعات گوناگون جهت فیلتر نمودن داده‌ها استفاده شده است (Cooper and Cowan, 2004; Zhou, 2007; Das et al., 2007). در این مطالعه نیز مدل‌های به دست آمده با استفاده از دو عدد مربوط به میانگین و انحراف معیار فیلتر گردید. با توجه به اینکه همواره مقدار زمینه سنگ از کانی بیشتر می‌باشد، مقادیر توزیع شده حول میانگین تا انحراف معیار داده‌ها نشان دهنده مقادیر مربوط به زمینه سنگ است. با کسر کردن این مقادیر از کل جمعیت مدل، مقادیر کانی در سنگ به دست خواهد آمد (شکل ۹).

در (شکل ۷) A, B, C, D از مجموع ۳۳ مدل تهیه شده ۸ مدل به عنوان نمونه آورده شده (انتخاب ۸ مدل بعد از انجام محاسبات و تعیین فواصل تشکیل و حذف انواع کانی‌ها نسبت به کنتاکت توده نفوذی بوده است، و از هر زون واکنش ۲ مدل برای نمونه آورده شده است). منحنی توزیع نرمال مربوط به هر محدوده واکنشی (زون‌های اسکارن) به طور میانگین از هر چهار زون در (شکل ۸) نشان داده شده است.

طبق جداول مقادیر حجمی ۵ کانی‌گزینه شده، مجموع کانی‌های گارنت، دیوپسید، و زوویانیت، کلینتونیست و اپیدوت برابر ۵۸،۷۷ درصد می‌باشد. در نتیجه باقیمانده درصد حجمی عبارت است از (طبق بررسی‌های میکروسکوپی و آزمایشات XRD این کانی‌ها در منطقه تایید شده‌اند): آپاتیت، کوارتز، ترمولیت به مقدار کم، و لاستونیست، کلسیت به میزان قابل توجه و کانه‌های فلزی.

با توجه به اینکه مدل‌سازی بر روی کانی‌های مشخصی از لحاظ باند رنگی صورت پذیرفته، لذا تغییرات ناگهانی در ارزش‌های مدل در نقاط مرز کانی با

جدول ۹- محاسبه پارامترهای آماری (جمعیت بر حسب تعداد سلولها و سایر اعداد بر حسب گستره توزیع باند رنگ کانی اپیدوت در مدل می‌باشد)، فاصله‌ها از روی مسیر افقی مشخص شده در شکل ۲ اندازه‌گیری شده است.

پارامتر آماری	میانگین محاسبات آماری، نمونه‌ها تا فاصله ۱۰۵ متر	میانگین محاسبات آماری، نمونه‌ها تا فاصله ۲۲۲ متر	میانگین محاسبات آماری، نمونه‌ها تا فاصله ۲۲۲-۱۰۵ متر	میانگین محاسبات آماری، نمونه‌ها تا فاصله ۲۲۲-۲۲۰ متر	میانگین محاسبات آماری، نمونه‌ها تا فاصله ۲۲۰-۴۵۰ متر
جمعیت مدل	۴۱۶۵۱۲	۴۱۶۵۱۲	۴۱۶۵۱۲	۴۱۶۵۱۲	۴۱۶۵۱۲
جمعیت زمینه	۲۵۷۹۵۹	۲۹۰۲۱۲	۲۶۸۹۸۴	۲۸۴۳۶۶	۲۸۴۳۶۶
حداقل	۴	۶	۱۷	۲۲	۲۲
حداکثر	۴۸	۵۳	۸۸	۹۷	۹۷
گستره	۷۸	۸۹	۹۹	۱۰۳	۱۰۳
میانگین	۵۶	۵۹	۸۹	۹۸	۹۸
انحراف معیار	۵,۳۶	۵,۲۵	۸,۲۱	۹,۰۸	۹,۰۸
میانه	۴۴	۵۶	۶۹	۷۴	۷۴
ضریب تغییرات	۰,۱۲۴	۰,۰۲۴	۰,۱۵۳	۰,۱۶۲	۰,۱۶۲
میانگین- انحراف معیار	۵۰,۶۴	۵۳,۷۵	۸۰,۷۹	۸۸,۲	۸۸,۲
میانگین - ۲ برابر انحراف معیار	۴۵,۲۸	۴۸,۵	۷۲,۵۸	۷۹,۸۴	۷۹,۸۴
میانگین+ انحراف معیار	۶۱,۳۶	۶۴,۲۵	۹۷,۲۱	۱۰۷,۰۸	۱۰۷,۰۸
میانگین+ ۲ انحراف معیار	۶۶,۷۲	۶۹,۵	۱۰۵,۴۲	۱۱۶,۱۶	۱۱۶,۱۶

جدول ۱۰- مقادیر حجمی محاسبه شده اپیدوت در ۳۳ نمونه.

شماره نمونه	مقدار اپیدوت (%)	شماره نمونه	مقدار اپیدوت (%)	شماره نمونه	مقدار اپیدوت (%)	شماره نمونه	مقدار اپیدوت (%)	شماره نمونه	مقدار اپیدوت (%)	شماره نمونه	مقدار اپیدوت (%)
۱	۰,۱	۷	۱,۴	۱۳	۲,۹	۱۹	۷,۹	۲۵	۱۴,۵	۳۱	۱۶,۵
۲	۰,۱۱	۸	۱,۵	۱۴	۳,۹	۲۰	۶,۸	۲۶	۱۶,۵	۳۲	۱۷,۹
۳	۰	۹	۱,۶	۱۵	۳,۷	۲۱	۸,۶	۲۷	۱۵,۶	۳۳	۱۶,۹
۴	۰	۱۰	۱,۴	۱۶	۱,۸	۲۲	۵,۵	۲۸	۱۴,۷		
۵	۱,۰۱	۱۱	۱,۳	۱۷	۴,۹	۲۳	۸,۶	۲۹	۱۳,۸		
۶	۱,۲	۱۲	۲,۶	۱۸	۳,۸	۲۴	۱۲,۷	۳۰	۱۶,۹		
میانگین = ۶,۸۶											

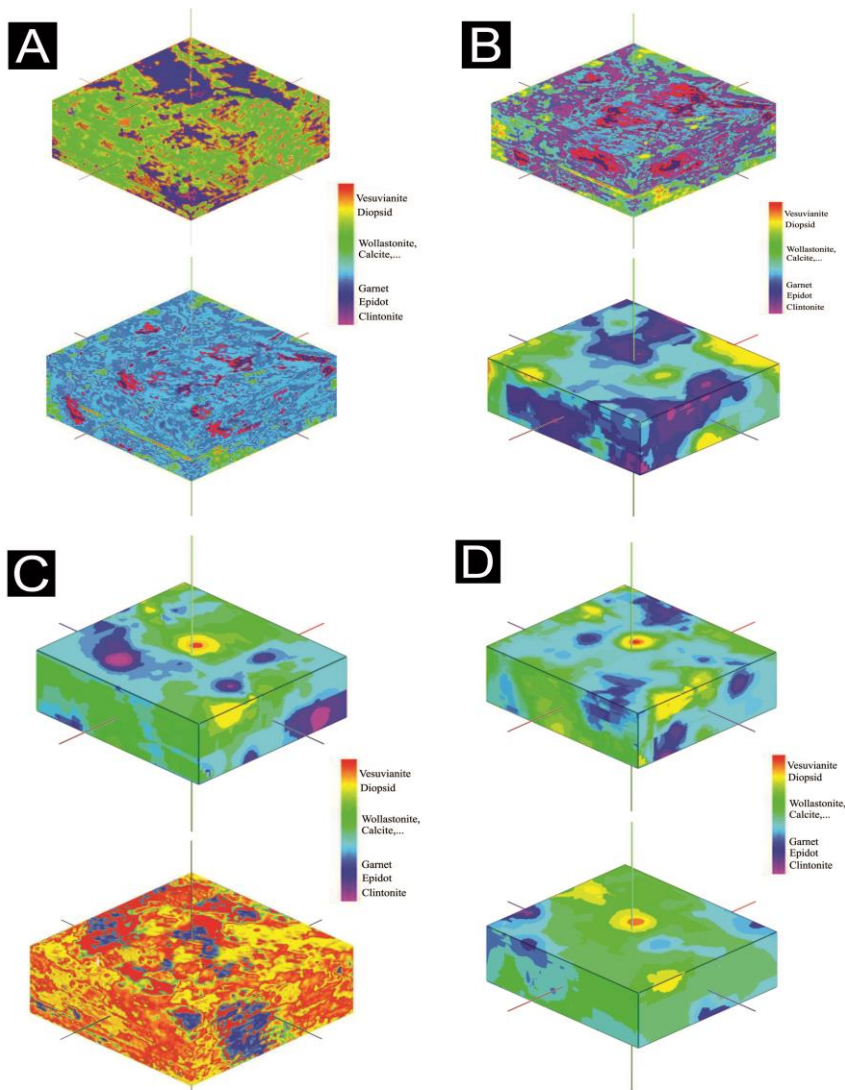
با توجه به مقدار حجمی میانگین ۲۰,۶ درصدی کانی‌های اپیک (این کانی‌ها عبارتند از: مالاکیت، کالکوپیریت، هماتیت، بورنیت، مگنتیت و غیره) می‌توانیم به آینده اقتصادی این منطقه امیدوار باشیم. به غیر از کانه‌های فلزی موجود، مقادیر فراوان ولاستونیت در منطقه مطالعاتی، این محدوده را از لحاظ بررسی‌های بیشتر جهت استخراج ولاستونیت به منظور مصرف در صنایع سرامیک سازی و ... حائز اهمیت می‌سازد (زندنی فر و همکاران، ۱۳۸۶).

با میانگین گرفتن از کل مدل‌های تهیه شده در منطقه یک مدل کلی و نهایی از محدوده دگرگونی بدست می‌آید. با فیلترینگ مدل نسبت به کانی‌های اپیک، مقدار نسبی کانی‌های اپیک موجود در سنگ مشخص می‌گردد. درصدگیری از این نسبت، طبق فرمول زیر میزان کانی‌های موجود در سنگ را بر حسب درصد نشان می‌دهد (شکل ۹).

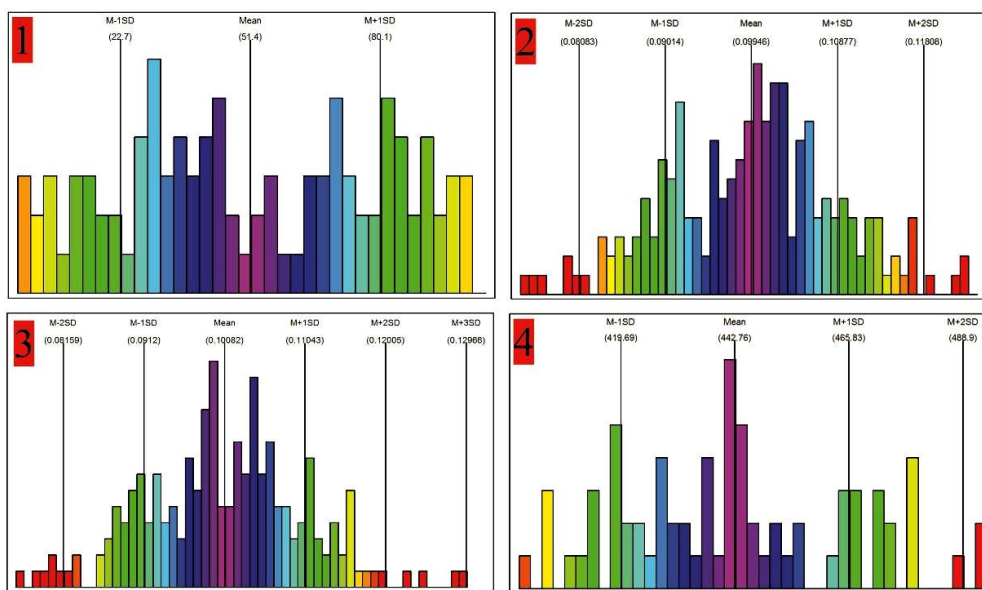
$$V = \frac{FMV}{MV} \times 100$$

رابطه ۱:

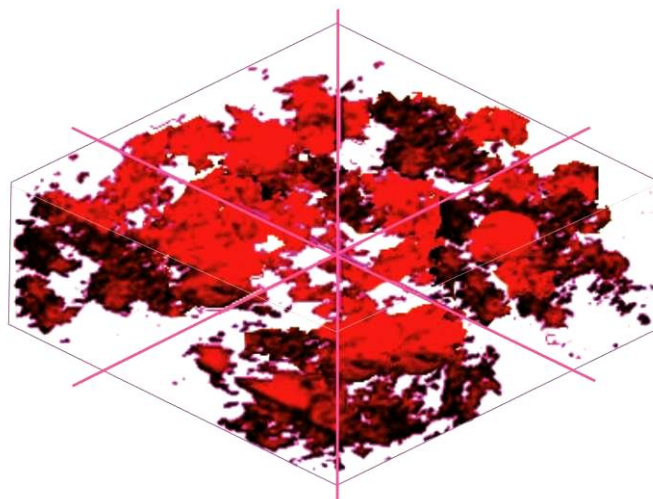
FMV: حجم مدل فیلتر شده (حجم کانی‌ها) MV: حجم کل مدل



شکل ۷- دو نمونه از مدل های ساخته شده از توزیع طیف رنگی کانی های موردنظر در نمونه های مورد مطالعه (ابعاد نمونه ها در حد چند سانتیمتر می باشد). A: تا محدوده ۱۵۰ متری، B: محدوده ۱۵۰-۲۲۲ متری، C: محدوده ۲۲۲-۳۲۰ متری، D: محدوده ۳۲۰-۴۵۰ متری.



شکل ۸- میانگین منحنی توزیع نرمال مربوط به محدوده ۱۰۵ متری (۱)؛ ۲۲۲-۳۲۰ متری (۲)؛ ۳۲۰-۴۵۰ متری (۳)؛ ۴۵۰-۴۵۰ متری (۴).



شکل ۹- مدل نهایی کانی های منطقه؛ زمینه مدل کانی های ایک (کانه های اقتصادی) می باشد.

نتیجه گیری

روش مورد بحث در این مقاله بر پایه تحلیل ریاضی و مدل سازی سه بعدی تصاویر پیوسته از مقاطع میکروسکوپی سنگ، مورد مطالعه قرار گرفته است. با بررسی توزیع سه بعدی کانی ها طبق مدل های به دست آمده میتوان به اطلاعات مفیدی از محیط تشکیل کانی ها در زمان تولید و نیز رخدادهایی که پس از آن ممکن است آن را تحت تأثیر قرار داده باشند، پی برد.

مجموع مقدار حجمی کانی های گارنت، دیوپسید، وزووانیت، کلینتونیت و اپیدوت برابر ۵۸٫۷۷ درصد می باشد که توزیع فضایی یکنواختی را در متن سنگ نشان نمی دهند. در نتیجه باقیمانده درصد حجمی عبارت است از: آپاتیت، کوارتز، ترمولیت به مقدار کم، ولاستونیت، کلسیت به میزان قابل توجه و کانه های فلزی.

مدل سازی شبکه سه بعدی که در بالا به طور موردی در تعدادی از کانی های منطقه حسن آباد در نمونه های میکروسکوپی انجام شد از لحاظ دقت در موارد جزئی تر حائز اهمیت می باشد. با توجه به این که این روش بیان عددی

توزیع شکل و مقدار کانی ها در سنگ است، از این روش می توان علاوه بر تعیین مقدار و توزیع شبکه سه بعدی کانی ها در موارد دیگری مانند محاسبه عیار ماده معدنی و باطله کانسارها، مطالعه سیالات درگیر، تعیین آرایش و جهت یافتگی سه بعدی کانیها استفاده کرد و همچنین در مطالعات کیفی معادن می تواند کاربردهای زیادی داشته باشد و با نمونه برداری های متناوب از یک کانی معدنی در مکان های مختلف یک کانسار به طوری که کل منطقه را پوشش دهد، می توان در حداقل زمان و با کمترین هزینه مقدار عیار ماده معدنی را تعیین کرد.

اگر تمام فرآیندهای بالا در مغزه های گمانه های اکتشافی مناطق مطالعاتی انجام شود، نتایج با دقت خیلی بالایی به دست خواهد آمد. ایجاد مدل سازی عیاری در مراحل تخمین ذخیره بسیار مهم می باشد. در حقیقت شناخت فضایی کانسار و نحوه کانی زایی اولین گام در انجام تخمین های زمین آماری کانسار می باشد.

منابع

- توکلی، و.، ۱۳۹۵، تعیین مقدار، نوع و توزیع تخلخل در سنگ های مخزنی با استفاده از ترکیب آنالیز تصاویر و مدل سازی سه بعدی. علوم زمین خوارزمی، جلد ۲، شماره ۱، ص ۱-۱۲.
- زندى فر، س.، ولى زاده، م.، و.، توکلی، و.، برقى، م. ع.، ۱۳۸۷، روشی نوین در تعیین مقدار کانیها، و توزیع شبکه سه بعدی آنها در بررسیهای سنگ شناسی، با استفاده از ریزمدل سازی، و بررسی موردی گارنت در اولین زون اسکارن حسن آباد یزد، مجله بلورشناسی و کانی شناسی ایران، جلد ۱۶، شماره ۴، ص ۵۳۳-۵۴۴.
- زندى فر، س.، ولى زاده، م.، و.، برقى، م. ع.، ۱۳۸۸، شرایط تشکیل بلورهای گارنت زونینگ دار در دگرگونی مجاورتی توده نفوذی حسن آباد، جنوب غربی تفت، مجله زمین شناسی اقتصادی، جلد ۱، شماره ۱، ص ۷۱-۸۲.
- Al-Kharusi, A.S. and Blunt M.J., 2007, Network extraction from sandstone and carbonate pore space images. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, vol 56, 219-231.
- Berberian, M. and King G. C. P., 1981. Towards a paleogeography and tectonic evolution of Iran. *Canadian Journal of Earth Sciences*. vol 18, 210-265.
- Cooper, G.R.J. and Cowan D.R., 2004. Filtering using variable order vertical derivatives. *Computers & Geosciences*. vol 30, 455-459.
- Das, N.N., Mohanty B.P., Cosh M.H. and Jackson T.J., 2007. Modeling and assimilation of root zone soil moisture using remote sensing observations in Walnut Gulch Watershed during SMEX04. *Remote Sensing of Environment*. Vol 5, no 1: 230- 245.
- Gryze, S.D., Jassogne L., Six, J., Bossuyt, H., Wevers, M. and Mercks, R., 2006. Pore structure changes during deposition of fresh residue: X-ray tomography analysis. *Geoderma*, vol 134: 82-96.

- Hersum, T.G. and Marsh B.D., 2006. Igneous microstructures from Kinetic models of crystallization. *Journal of volcanology and geothermal research*. Vol 154: 34-47.
- Hilpert, M. and Miller, C.T., 2001. Pore-morphology-based simulation of drainage in totally wetting porous media. *Advances in Water Resources*. Vol 24: 243-255.
- Jankovic, S., 1984. Metallogeny of the Alpine granitoids in the Tethyan-Eurasian metallogenic belt, in *Proceedings of the 27th International Geological Congress, Moscow, August 4–14, Utrecht Netherlands*. VNU Science Press. vol 51: 247–273.
- Monteiro, L.V.S., Xavier, R.P., Carvalho, E.R., Hitzman, N.W., Johnson, C.A., Filho, C.R.S. and Torresi I., 2006. Spatial and temporal zoning of hydrothermal alteration and mineralization in the Sosego iron oxide- copper – gold deposit, Carajas Mineral province, Brazil: paragenesis and stable isotope constraints. *Miner deposita*. Vol 26: 121-148.
- Meinert, L.D., 1998. Application of skarn deposit zonation models to mineral exploration. *Canadian Institute of Mining Metallurgy petroleum*. vol 6: 185-208.
- Nakano, T., 1978. The zoned skarn developed in diorite porphyry in the Shinyama area, Kamaishi mine, Japan. *Mining Geology*. vol 28: 99-109.
- Ochiai, K., 1978. A reaction model relating skarn zones and ore formation at the Nippo copper ore deposit, Kamaishi mine, northern Japan. *Economic Geology*. vol 82: 1001-1018.
- Vogel, H.J. and Roth, K., 2001. Quantitative morphology and network representation of soil pore Structure. *Advances in Water Resources*. vol 24: 233-242.
- Wylie, A.S. and Wood, J.R., 2005. Well-log tomography and 3-D imaging of core and log-curve amplitudes in a Niagaran reef, Belle River Mills field, St. Clair County, Michigan, United States. *AAPG Bulletin*. Vol 89, no 1,; 409–433.
- Zandifar, S.; Valizadeh, M. V.; Tavakoli, V., Barghi, M.A., 2008. A new method in quantity and 3D network determination of minerals in petrological studies with micromodeling; a case study from garnet at the first skarn zone of Hasan-Abad, Yazd. 2nd IASME/ Wseas International Conference on GEOLOGY and SEISMOLOGY, at Cambridge.
- Zarasvandi, A. and Liaghat, S., 2005. Geology of the Darreh-Zerreshk and Ali-Abaad Porphyry Copper Deposits, Central Iran. *International Geology Review*. Vol 47: 620–646.
- Zhou, G., 2007. A comparison of fractal dimension estimators based on multiple surface generation algorithms. *Computer and Geosciences*. Vo