

جداسازی آنومالی‌های ژئوشیمیایی از زمینه با استفاده از روش فرکتالی عیار-تعداد در محدوده وشنوه (جنوب قم)

زهرا محمدی اصل^۱، عبدالله سعیدی^{۲*}، مهران آیین^۳، علی سلگی^۴، طاهر فرهادی نژاده^۵

۱. دانشجوی دکتری، گروه علوم زمین، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران

۲. دکتری، استاد، پژوهشکده علوم زمین، تهران

۳. دکتری، استاد، گروه علوم زمین، دانشکده علوم پایه، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران

۴. دکتری، استادیار، گروه علوم زمین، دانشکده علوم پایه، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران

۵. دکتری، استادیار، بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی لرستان، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، خرم‌آباد

تاریخ دریافت: ۹۸/۰۱/۱۷

تاریخ پذیرش: ۹۸/۰۴/۳۰

چکیده

در این پژوهش به منظور مطالعات اکتشافات ناحیه‌ای از روش فرکتالی عیار-تعداد استفاده شده است و آنومالی‌های عناصر مس، سرب و روی بررسی شد. به این منظور ۸۰۰ نمونه از رسوبات آبراه‌های، برگه‌های زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ کپک و آران مورد استفاده قرار گرفت و نقشه آنومالی‌های این عناصر رسم شد. نتایج حاصل نشان می‌دهد، که مناطق دارای آنومالی‌های شدید مس در بخش‌های شمالی، مرکزی، جنوبی و باختر منطقه گسترش دارند، شدیدترین آنومالی‌های سرب در بخش باختر منطقه جای گرفته است. آنومالی‌های شدید بدست آمده عنصر روی در بخش‌های مرکز، جنوب و باختر منطقه جای گرفته‌اند. این آنومالی‌ها بر واحدهای سنگ‌شناسی گدازه‌های آندزیتی-بازالتی، برش‌های ولکانیکی، توف‌ها، داسیت‌ها و توده‌های کوچک مقیاس کوارتزهای دیوریتی و کوارتزهای مونزونیتی منطبق هستند. نقشه بدست آمده از ترکیب نقشه آنومالی‌ها و گسله‌های منطقه نشان می‌دهد که آنومالی‌ها در پهنه گسله‌ها و نقاط برخورد گسله‌ها دارای غلظت بیشتری هستند و گسله‌ها نقش اساسی در کانی‌زایی دارند.

واژه‌های کلیدی: روش فرکتالی، ژئوشیمیایی، عیار-تعداد، کانی‌زایی، گسل‌ها.

مقدمه

مورد استفاده قرار می‌گیرند. این روش‌ها را می‌توان به دو گروه اصلی تقسیم بندی کرد: گروه اول شامل روش‌هایی هستند که مبتنی بر فراوانی توزیع ژئوشیمیایی عناصر می‌باشند و شامل روش‌هایی از قبیل میانگین+دو برابر انحراف معیار (Nazarpour et al., 2015)، ترسیم هیستوگرام، نمودار

مهم‌ترین هدف در مطالعات ژئوشیمیایی تشخیص آنومالی از زمینه می‌باشد و روش اکتشافات ژئوشیمیایی آبراه‌های متداول‌ترین شیوه اکتشافات ژئوشیمیایی در مراحل مقدماتی است. روش‌های متفاوتی برای پردازش داده‌های ژئوشیمیایی

* نویسنده مرتبط: abdollahsaidi@yahoo.fr

نسبت تحت تاثیر جایگاه نکتونیک و ساختارهای منطقه تشکیل شده‌اند (فاضلی، ۱۳۸۱؛ محجل و رهامی، ۱۳۸۸؛ Richards, 2003).

در این مطالعه برای جداسازی آنومالی‌ها و مناطق امیدبخش و همچنین بررسی ارتباط بین حدود آستانه برای مس، سرب و روی از روش فرکتالی عیار-تعداد استفاده شد. و ارتباط کانی‌زایی با گسل‌های منطقه مورد بررسی قرار گرفته است. گستره مورد پژوهش گستره کوچکی از بخش میانی کمان ماگمایی ارومیه-دختر است. کمر بند کوهزایی زاگرس در نتیجه فرورانش پوسته اقیانوسی نئوتتیس به زیر ایران و در ادامه آن برخورد قاره‌ای در درازای کوهزایی آلپین در سنوزویک بوجود آمده است. این کمر بند کوهزایی شامل سه بخش تکتونیک موزی با روند NW-SE است که از شمال باختری تا جنوب خاوری گسترش یافته‌اند، این بخش‌ها شامل: کمان ماگمایی ارومیه-دختر (UDMA)، پهنه دگرگونی سندنج-سیرجان (SSMZ) و کمر بند چین خورده و رورانده زاگرس (ZFTB) (Berberian, 1976; Alavi, 1994; Arvin et al., 2007; Davoudian et al., 2007; Jahangiri, 2007) می‌باشند.

کمان ماگمایی ارومیه دختر با پهنای ۴ تا ۵۰ کیلومتر و درازای ۱۷۰۰ کیلومتر، موزی با کمر بند کوهزایی زاگرس گسترش یافته است (Berberian and Berberian, 1981). انواع مختلف سنگ‌های آتشفشانی و آتشفشانی با ژرفای کم دارای ویژگی‌های کالک-آلکالن تا آلکالن در سراسر UDMA، از آتشفشان سهند در شمال باختری تا آتشفشان بزمان در جنوب خاوری ایران گزارش شده است. فعالیت ماگمایی در این کمان در ائوسن آغاز شده است و تا کواترنری ادامه یافته است. فعالیت‌های ماگمایی گرانیتوئید کالک آلکالن در آن بیشتر در ائوسن-میوسن رخ داده است (Berberian and King, 1981; Hassanzadeh, 1993; Alavi, M., 1994) و بیشتر ذخایر نوع پورفیری Cu±Mo در ایران با این سنگ‌ها همراه هستند (Hezarkhani and Williams-Jones, 1998; Zarasvandi et al., 2005; Hezarkhani, 2006; Ayati et al., 2008; Sepahi and Malvandi, 2008). کم و بیش تمامی پژوهشگران از جمله

جعبه‌ای، آنالیز تک‌متغیره و چندمتغیره می‌باشند (Cheng and Agterberg, 1996). گروه دوم شامل روش‌هایی هستند که موقعیت فضایی نمونه‌ها و فرم هندسی ناهنجاری‌ها را در نظر گرفته‌اند، که شامل روش‌های زمین آمار و فرکتالی می‌باشند (Carranza, 2008; Afzal et al., 2011). با توجه به اینکه روش‌های آماری کلاسیک بر مبنای برخی کمیت‌ها مانند میانگین و انحراف معیار هستند، قادر به تشخیص آنومالی‌هایی با مقادیر بالای زمینه و آنومالی‌های ضعیف در مناطقی با ذخایر معدنی شناخته شده نیستند (Bai et al., 2010). روش‌های فرکتالی به دلایلی از جمله در نظر گرفتن توزیع فضایی داده‌ها، شکل هندسی آنومالی‌ها و استفاده از تمام داده‌ها بدون نادیده گرفتن تعدادی از آنها دارای کاربرد فراوانی در مطالعات سطحی زمین‌شناسی و ژئوشیمیایی می‌باشند (Cheng et al., 1994; Davis, 2002; Li et al., 2003).

برتری روش فرکتالی این است که از داده‌های واقعی برای جداسازی جوامع استفاده می‌شود، بدون آنکه پردازش‌های آماری مانند نرمال کردن داده‌ها که موجب عوض شدن ماهیت می‌شوند استفاده شود در نتیجه مدلسازی با این روش به واقعیت نزدیکتر است (Cheng et al., 1994). به‌طور کلی داده‌های ژئوشیمیایی رفتار مولتی فرکتالی دارند که بیانگر تغییرات زمین‌شناسی، ژئوشیمیایی، آلتراسیون، کانی‌سازی و به دنبال آن مراحل غنی‌شدگی یک عنصر است (Lima et al., 2003).

بسیاری از پژوهشگران، ساختارهای زمین‌شناسی از جمله گسل‌ها را مهمترین عامل موثر بر شکل‌گیری ذخیره مواد معدنی می‌دانند. مهمترین عوامل کنترل‌کننده ممکن است: پهنه‌های برشی اصلی و یا ساختارهای با شکستگی فراوان که به‌طور ذاتی وابسته به حرکات پهنه برشی اصلی است، مناطق تقاطع گسل‌ها با جهت مشابه یا متفاوت، پهنه‌های با تنش زیاد، ساختارهای چین خورده و مناطق فرورانش باشد (Tripp and Vearncombe, 2004; Mirzaie et al., 2015). در این مورد می‌توان به شکل‌گیری ذخایر مس پورفیری اشاره کرد که نه تنها تحت تاثیر فرآیندهای ماگماتیک و هیدروترمال بلکه به همان

دوباره فعال شده‌اند. اگرچه بیشتر سنگ‌های نفوذی ارومیه-دختر کالک آلکالن هستند، تعدادی از سنگ‌های ولکانیکی ترکیب آلکالن تا شوشونیتی در آن قابل دیدن می‌باشند (Arvin et al., 2007; Omrani et al., 2008).

این منطقه شامل سنگ‌های ولکانیکی آندزیت، تراکی آندزیت و توف‌های آندزیتی-داسیتی ائوسن و سنگ‌های رسوبی نئوژن است (محمدی اصل، ۱۳۹۶) که نشان‌دهنده منطقه برخورد و پس از برخورد می‌باشد. فرآیندهای فلزایی مربوط به اولیگوسن-میوسن در قسمت‌های مرکزی، شمال و باختر محدوده اتفاق افتاده است و در سنگ‌های آتشفشانی ائوسن و رسوبات کرتاسه جای گرفته‌اند (محمدی اصل، ۱۳۹۶).

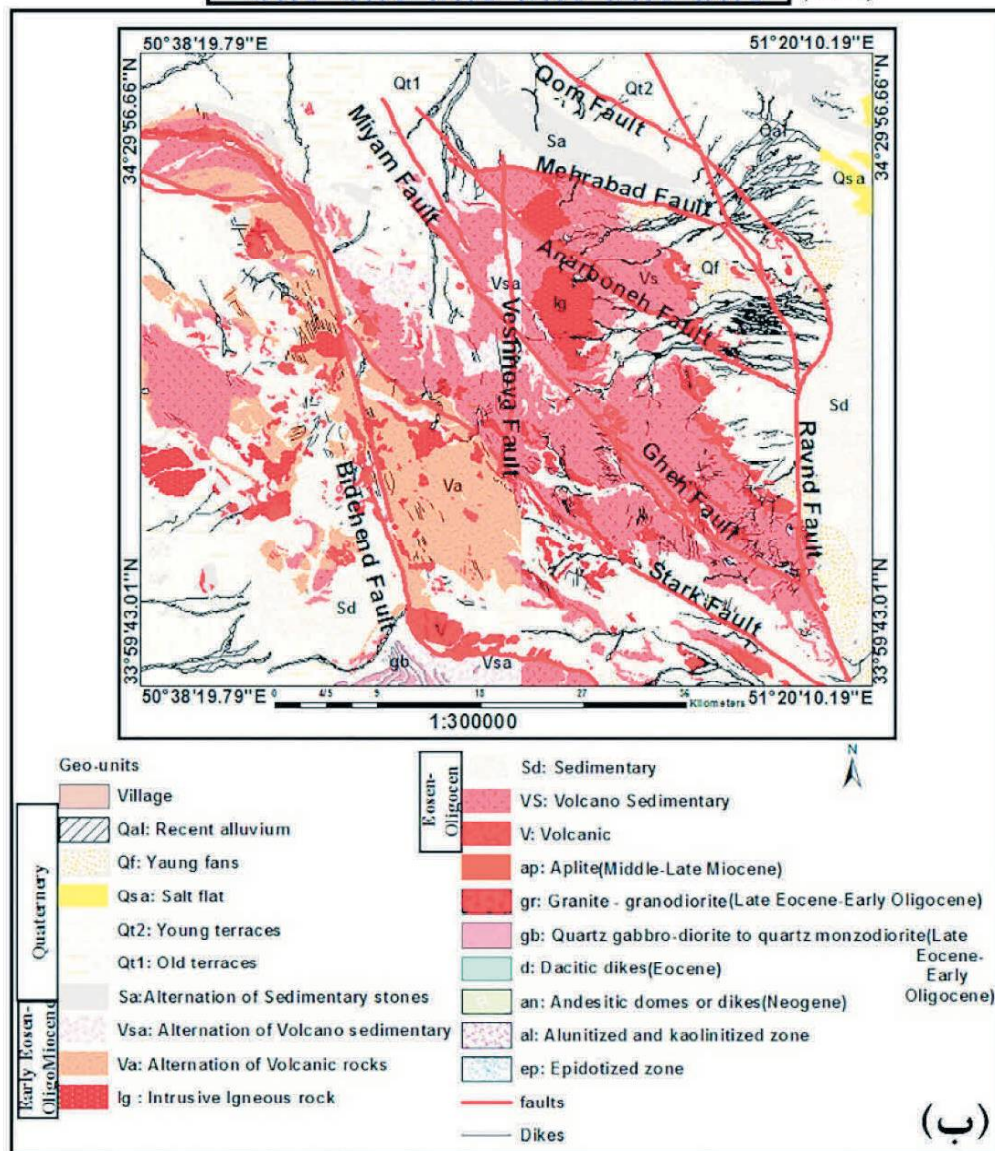
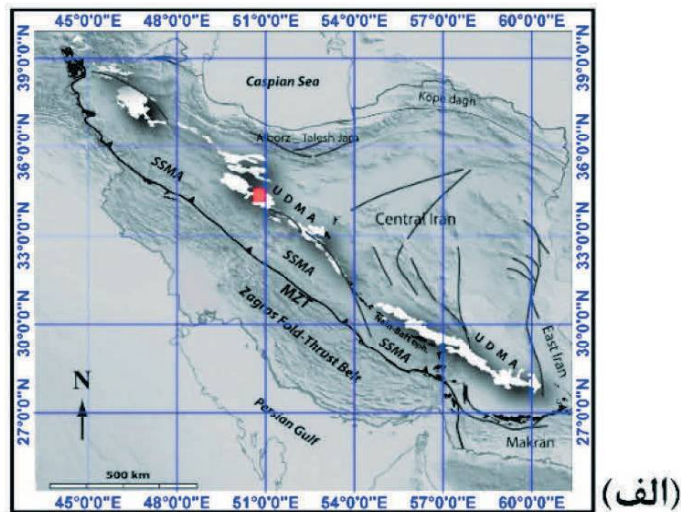
سنگ‌های آتشفشانی ائوسن پسین منطقه مورد مطالعه، به‌وسیله سیستم گسله امتداد لغز راستگردی شامل گسل‌های قم در شمال، راوند در خاور، بیدهند در باختر و گسل استرک در جنوب محدود شده‌اند و سنگ‌های آتشفشانی با سنگ‌های رسوبی جوان‌تر احاطه شده است. الگوی لوزی شکل برونزد سنگ‌های آتشفشانی ائوسن پسین در این منطقه (دبیری، ۱۳۸۵؛ سجودی کیسمی، ۱۳۷۲؛ شهریاری، ۱۳۸۶) و محدود شدن آن بین گسل‌های مزبور (شکل ۲-الف) نشان می‌دهد که در زمان ائوسن در اثر حرکت امتداد لغز راستگرد پاره گسل پی سنگی قم و کاشان در محل خمش یا پوشش این دو گسل، حوضه کششی ایجاد شده است. کشش و باز شدگی در محل پله شدگی گسل‌های قم و کاشان فرصتی برای بیرون آمدن مواد آتشفشانی از اعماق فراهم کرده است (شکل ۲-ب). با وجود اینکه فعالیت ماگمایی کالک-آلکالن در UDMA در ائوسن آغاز شد و تا میوسن ادامه یافته است، ولی فعالیت‌های آتشفشانی جوانتر بیشتر به‌وسیله سنگ‌های آلکالن مشخص می‌شود (Jamali et al., 2010). ترکیب سنگ‌های ماگمایی اولیگوسن-میوسن از نفوذی‌های دیوریت تا گرانیت، جریان‌های گدازه‌ای متوسط تا فلسیکی و سنگ‌های پیروکلاستیکی تغییر می‌کنند (امامی، ۱۳۷۵؛ امامی، ۱۳۷۹).

Berberian and King (1981) فعالیت آتشفشانی در این پهنه را نتیجه فرورانش پوسته اقیانوسی زاگرس در امتداد برخورد به زیر پوسته قاره‌ای ایران مرکزی و ذوب آنها در ژرفای زمین می‌دانند، در اثر این فرآیند مواد مذاب درونی تحت فشار از طریق شکاف‌های متعدد به سطح زمین راه یافته و در حاشیه پوسته قاره‌ای ایران مرکزی کوه‌های مرتفعی را تشکیل داده‌اند. گسل‌ها نقش مهمی در جایگیری نفوذی‌ها و همچنین کنترل کانی‌زایی مس پورفیری در UDMA داشته‌اند (Shahabpur, 1996; Shahabpur, 1999). تحلیل‌های خطی تصاویر ماهواره‌ای نشان داده است که ذخایر مس پورفیری در بخش جنوب خاوری UDMA بیشتر در محل برخورد گسل‌هایی با روند NNW-SSE و NW-SE با ساختارهای ژرف قدیمی رخ می‌دهد. این ارتباط ساختاری ممکن است برای شناسایی ذخایر کشف نشده ذخایر نوع پورفیری Cu ± Mo، مناطق دیگر UDMA، قابل استفاده باشد (Förster, 1978).

جایگاه زمین‌شناسی

منطقه مورد مطالعه در ۶۰ کیلومتری جنوب قم، خاور کهک و در مرز سه استان اصفهان، قم و مرکزی قرار دارد (شکل ۱). این منطقه گستره‌ای با وسعت ۳۵۳۰ کیلومتر مربع در مرکز نقشه‌های ۱:۱۰۰۰۰۰ زمین‌شناسی کهک و آران در عرض شمالی ۳۳° ۵۹' ۴۳" تا ۳۴° ۲۹' ۵۶" و درازای خاوری ۳۸' ۱۹" ۷۹" تا ۵۰' ۱۰" ۱۹" را در بر می‌گیرد. بیشترین واحدهای سنگی آن واحدهای آتشفشانی، آتشفشانی-رسوبی به سن ائوسن-میوسن و مجموعه سنگ‌های نفوذی هستند (امامی و امینی، ۱۳۷۵؛ قلمقاش و همکاران، ۱۳۷۵). گستره مورد مطالعه بر اساس طبقه‌بندی Bazin and Hubner (1969) در بخش میانی کمر بند ماگمایی ارومیه-دختر (کاشان، قم، اهر) جای گرفته است و بدلیل پیدایش ذخایر فلزی مانند مس، سرب، روی و منگنز در آن و همچنین ارتباط پهنه با سیستم گسل‌ها یک منطقه متالوژنی مهم بشمار می‌رود (Dargahi et al., 2010). فرآیندهای ماگمایی در طول ائوسن دارای بیشترین شدت بوده و سپس در طول زمان میوسن بالایی تا پلیوکواترنری

جداسازی آنومالی‌های ژئوشیمیایی از زمینه با استفاده از روش فرکانسی عیار ...



شکل ۱. الف) موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه، ب) نقشه زمین‌شناسی ناحیه مورد مطالعه برگرفته از نقشه‌های رقومی برگه‌های ۱:۱۰۰۰۰۰ زمین‌شناسی آران (امامی و امینی، ۱۳۷۵) و کهک (قلمقاش و همکاران، ۱۳۷۵)

مواد و روش‌ها

مواد معدنی در این منطقه دارد. از این رو با روش‌های سنتی نمی‌توان مناطق دارای آنومالی را با دقت بالا مشخص کرد و عدم تشخیص درست زمینه هر عنصر در منطقه، میزان آنومالی‌های حاصل دچار نوسان شده و سبب اشتباه اساسی در برآورد محدوده‌های امید بخش برای عملیات اکتشافی می‌شود (Barabási and Stanley, 1995). بنابراین در این مقاله برای جدا سازی آنومالی‌های مس، سرب و روی از روش فرکتالی عیار-تعداد استفاده شده است و سپس ارتباط بین ساختارهای گسلی و کانی سازی در نرم افزار ArcGis 10.3 مورد بررسی قرار گرفته است.

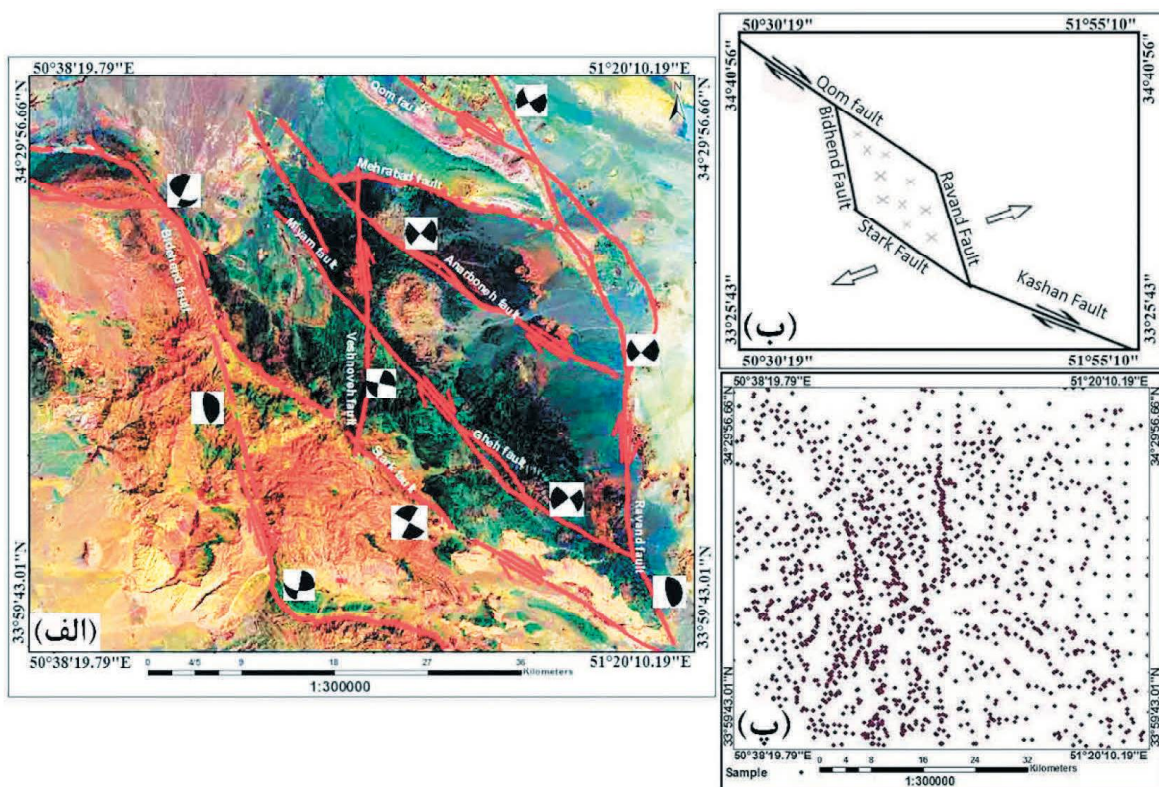
روش عیار-تعداد

(Mandelbrot (1983 و Agterberg et al. (1996 این روش را به منظور تعیین مقادیر آستانه‌ای و زمینه ژئوشیمیایی ارائه کرده‌اند. این مدل دارای فرم عمومی زیر است:

$$N(\geq \rho) \propto \rho - \beta$$

با توجه به قرارگیری برگه‌های ۱:۱۰۰۰۰۰ زمین‌شناسی آران و کهک بر روی نوار کمان ماگمایی ارومیه-دختر و وجود پتانسیل ذخایر پورفیری مس، سرب و روی در این پهنه جهت اکتشاف از داده‌های مربوط به ۸۰۰ نمونه رسوبات آبراه‌های برداشت شده (شکل ۲-پ) به وسیله سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور که به روش ICP-MS برای ۳۰ عنصر آنالیز شده‌اند، استفاده و سه عنصر مس، سرب و روی بررسی شدند.

مهمترین بحث در تحلیل داده‌های ژئوشیمیایی تعیین حدود آستانه هر عنصر در منطقه و جدایش آنومالی ژئوشیمیایی از زمینه می‌باشد. با توجه به اهمیت و پتانسیل منطقه، وجود گدازه‌های آندزیت-بازالت، برش‌های آتشفشانی، توده‌های کوچک مقیاس کوارتزهای دیوریتی، کوارتزهای مونزونیتی و تراس‌های قدیمی، بحث جدایش آنومالی‌های اصلی و شدید اهمیت زیادی در یافتن پتانسل‌های



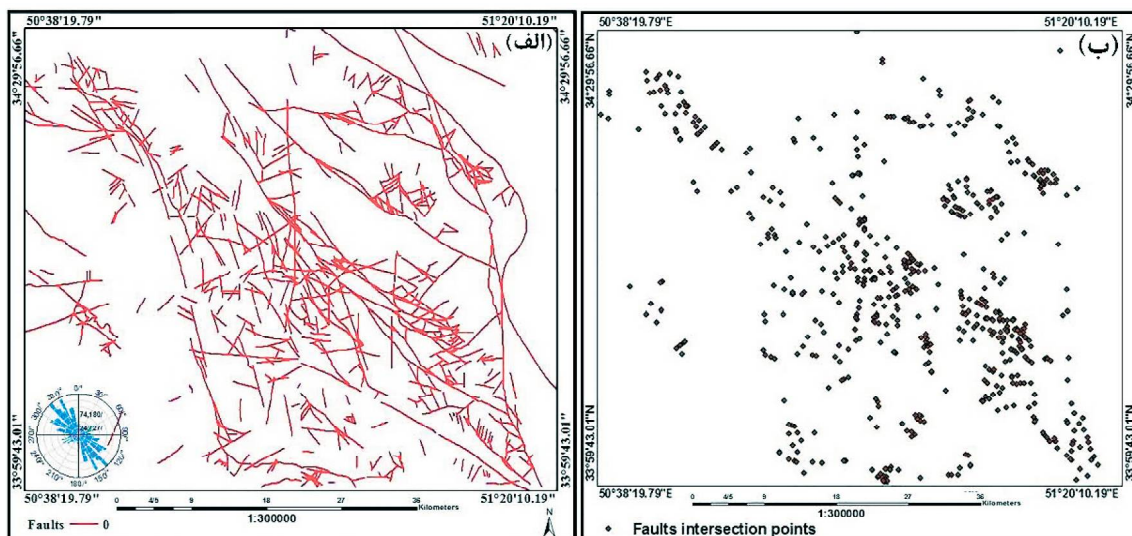
شکل ۲. الف) حرکت راست‌الغز راستگرد گسل پی‌سنگی قم-زفره باعث ایجاد کشش و حوضه در محل هم‌پوشانی دو گسل قم و کاشان شده و فضایی برای بیرون آمدن مواد آتشفشانی از اعماق فراهم گردیده است. ب) مدل فعالیت گسل‌ها و بالا آمدن مواد آتشفشانی، پ) نقشه نمونه‌های مورد استفاده

سیستم گسله

گسله‌های منطقه با استفاده از نقشه‌های رقمی ۱:۱۰۰۰۰۰ زمین‌شناسی آران (امامی و همکاران، ۱۳۷۵) و کهک (قلمقاش و همکاران، ۱۳۷۵)، پردازش تصاویر سنجنده Aster از ماهواره Terra، مدل رقمی ارتفاع زمین (DEM) ۱۰ متری منطقه در نرم افزار ENVI 5.1 و برداشت‌های صحرایی در محیط نرم افزار Arc Gis 10.3 آماده و نقشه گسله‌های منطقه و نقاط برخورد آنها تهیه شده است (شکل ۳).

گسل‌های منطقه دارای چهار روند کلی شمال باختری-جنوب خاوری (روند ارومیه-دختر)، شمال خاوری-جنوب باختری، خاوری-باختری و شمالی-جنوبی می‌باشند که گسل‌های شمال باختری-جنوب خاوری گسل‌های اصلی منطقه بشمار می‌آیند. این گسله‌ها که به دلیل واقع شدن در سیستم گسله راندگی جنوب قم، به وسیله دوبلکس گسلی احاطه شده‌اند، در مرزهای شمالی و جنوبی به وسیله گسل‌های امتداد لغز راستگرد قم با امتداد شمال باختری-جنوب خاوری و استرک (به نظر صفایی ۱۳۸۷) ادامه گسل کاشان می‌باشند) محدود شده است. مرزهای باختری و خاوری آن نیز به گسل‌های راستگرد نردبانی، راست پله بیدهند و راوند محدود شده است، که رژیم حاکم بر آنها امتداد لغز از نوع ترافشاری راستگرد می‌باشد. گسل‌های شمالی-جنوبی تحت تاثیر گسل‌های شمال خاوری-جنوب

در این رابطه $N(\geq p)$ تعداد نمونه‌های با مقدار عیار بیشتر و مساوی مقدار p را نشان می‌دهد، p نشان دهنده عیار عناصر و B نشان دهنده بعد فرکتالی عناصر است. اساس این روش بر رابطه عکس بین عیار و فراوانی تجمعی هر عیار و عیارهای بالاتر از آن است؛ به عبارتی هر چه عیار عنصری بیشتر باشد تعداد نمونه‌های دربرگیرنده آن کمتر می‌شود. برتری مهم این روش انجام محاسبات، پیش از تخمین و با داده‌های خام و دست نخورده اکتشافی می‌باشد (Mandelbrot, 1983; Mao et al., 2004; Deng et al., 2010). روش تحلیلی فرکتالی می‌تواند رابطه بین نتایج بدست آمده اطلاعات زمین‌شناسی، ژئوشیمیایی و کانی‌شناسی را نشان دهد (Cheng and Agterberg, 1996; Goncalves et al., 2009; Li et al., 2003; Carranza et al., 2001). و نمودارهای لگاریتمی بدست آمده از روش فرکتالی عیار-تعداد، بیانگر تغییرات و تفاوت‌های زمین‌شناختی می‌باشند. شکست‌های بین قطعه‌های خط مستقیم روی نمودار و مقادیر متناظر عیار عنصری p ، به عنوان مرز آستانه‌ای برای جدا کردن مقادیر ژئوشیمیایی در مؤلفه‌های مختلف استفاده می‌شود، که نشان دهنده عوامل موثر مختلفی مانند تفاوت‌های سنگ‌شناسی و فرایندهای ژئوشیمیایی است (Lima et al., 2003; Qingfei et al., 2008; Afzal et al., 2010).



شکل ۳. الف) نقشه گسل‌ها و نقاط تقاطع گسل‌ها و رزیدیاگرام آنها، ب) نقشه نقاط تقاطع گسل‌ها

بعد از مرتب‌سازی داده‌های عیار عناصر به صورت نزولی و تعیین فراوانی تجمعی هر عیار، نمودار لگاریتمی عیار در مقابل فراوانی تجمعی هر عنصر رسم شد و با برازش خطوط مستقیم و بدست آوردن نقاط شکست نمودارهای رسم شده حد آستانه هر عنصر تعیین شد (جدول ۱).

بر این اساس نمودار عیار-تعداد برای عنصر مس ۴ نقطه شکست و ۵ جامعه ژئوشیمیایی، برای عنصر سرب ۳ نقطه شکست و ۴ جامعه ژئوشیمیایی را نشان داد، و همچنین ۳ نقطه شکست و ۴ جامعه ژئوشیمیایی برای عنصر روی نشان داده است (شکل ۴).

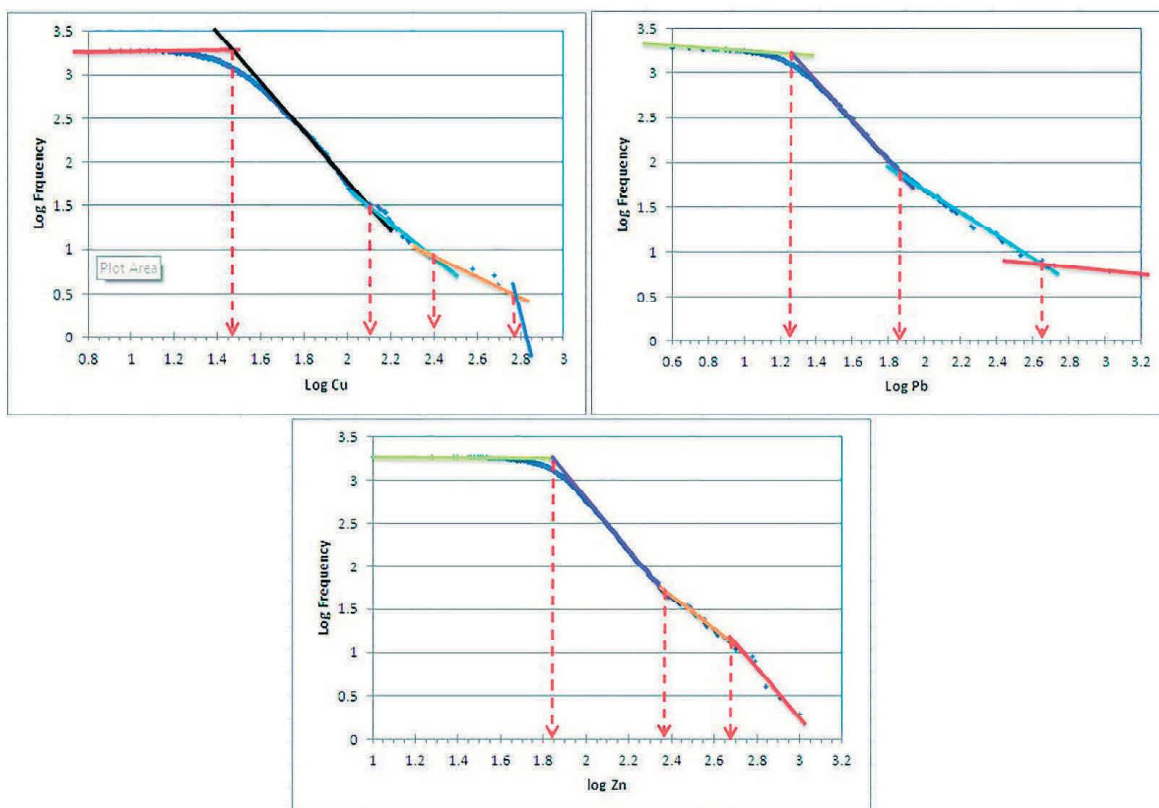
باختری به صورت چپگرد می‌لغزند و گسل‌های خاوری-باختری تحت تاثیر گسل‌های شمال باختری-جنوب خاوری به صورت راستگرد می‌لغزند (شکل ۲-الف).

بحث و نتیجه‌گیری

بر اساس مدل فرکتالی عیار-تعداد، نمودارهای تمام لگاریتمی چندین جمعیت ژئوشیمیایی برای عناصر Cu، Pb و Zn را نشان می‌دهند. هرکدام از جمعیت‌های ژئوشیمیایی، دارای توزیع متفاوت و منحصر به فردی هستند که نتیجه رفتار متفاوت عناصر در محیط‌های ژئوشیمیایی می‌باشد.

جدول ۱. حد آستانه‌های عناصر مس، سرب و روی بر اساس روش فرکتالی عیار-تعداد برحسب ppm

عیار-تعداد	حد آستانه	حد بی‌هنجاری کم	حد بی‌هنجاری متوسط	حد بی‌هنجاری شدید
مس	۲۸/۸۴۰۳۲	۱۹۹/۵۲۶۲	۲۵۱/۱۸۸۶	۳۵۴/۸۱۳۴
سرب	۱۷/۷۸۰۰۰	۷۰/۷۹۰۰۰	۴۴۶/۶۸۰۰۰	۱۰۵۸/۹۴۲۳۹
روی	۷۰/۷۹۰۰۰	۲۲۹/۰۹۰۰۰	۴۶۷/۷۴۰۰۰	۱۰۰۰/۰۰۰

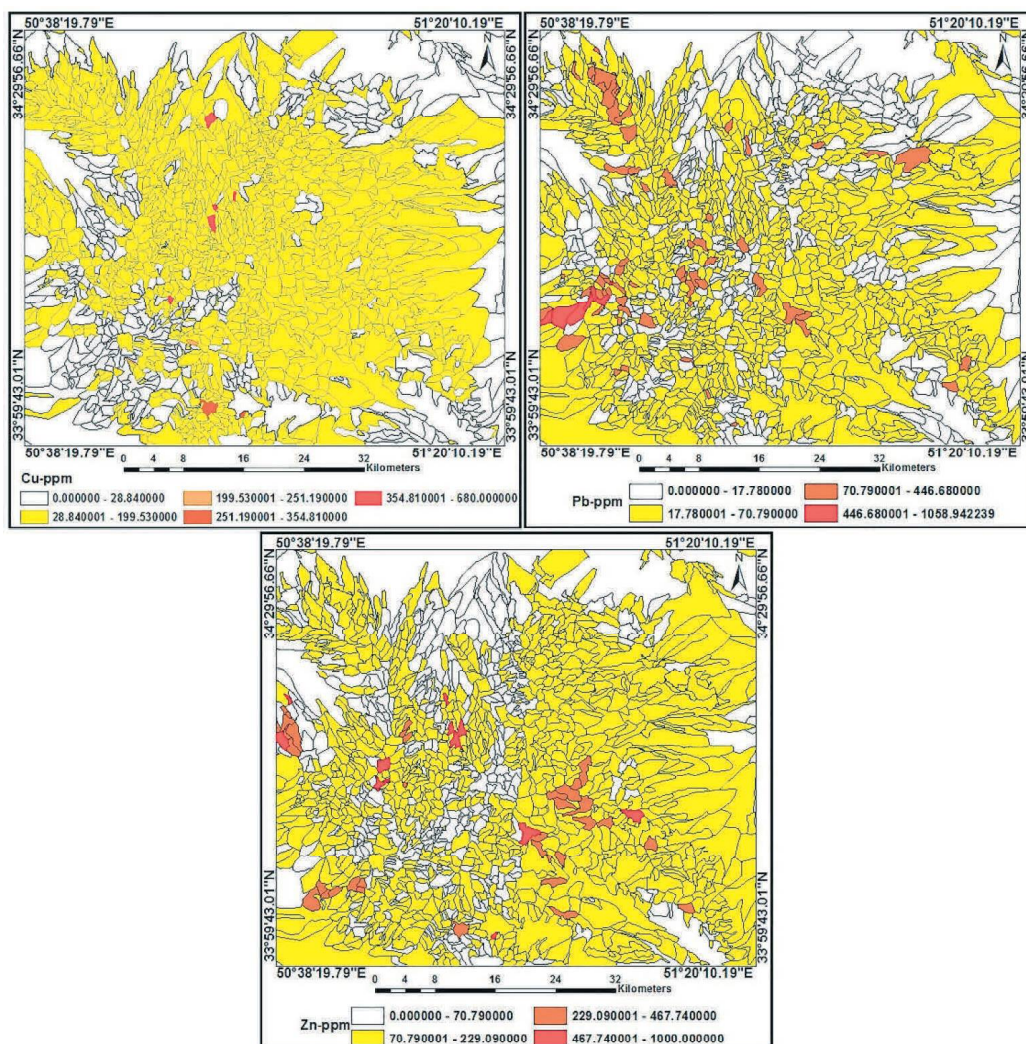


شکل ۴. نمودار فرکتالی لگاریتم عیار Cu، Pb و Zn در مقابل تعداد (فراوانی)

آنومالی شدید مس در بخش‌های شمالی (بزرگترین آنومالی)، مرکزی و جنوبی منطقه قرار گرفته است، که بر سنگ‌شناسی گدازه‌های آندزیتی-بازالتی، برش‌های آتشفشانی، توده‌های کوچک مقیاس کوارتزهای دیوریتی و کوارتزهای مونزونیتی و تراس‌های قدیمی منطبق هستند. آنومالی‌های با عیار شدید سرب در باختر منطقه جای گرفته است و بر واحدهای سنگ‌شناسی داسیتی و آندزیتی منطبق می‌باشند.

آنومالی‌های با عیار شدید عنصر روی در بخش‌های نزدیک به مرکز، جنوب و باختر منطقه جای گرفته‌اند و بر واحدهای سنگ‌شناسی گدازه‌های آندزیتی-بازالتی، برش‌های ولکانیکی، توف‌ها و توده‌های کوچک مقیاس کوارتزهای دیوریتی، کوارتزهای مونزونیتی منطبق هستند (شکل ۵).

جامعه ژئوشیمیایی اول Cu دارای شیب نزدیک به افق است و مقدار زمینه مس را در منطقه نشان می‌دهد، مقدار آن کمتر از ۲۸/۸۴ ppm است. جامعه ژئوشیمیایی با بیشترین اهمیت و دارای آنومالی شدید دارای عیار مس بیشتر از ۳۵۴/۸۱ ppm است. کمترین حد آستانه بدست آمده در نمودار عنصر سرب ۱۷/۷۸ ppm است که دارای شیبی نزدیک به افق است و نشان می‌دهد، که آنومالی زمینه دارای عیاری کمتر از این مقدار بوده و شدیدترین آنومالی آن دارای عیار بیشتر از ۱۰۵۸/۹۴۲۲ ppm با شیب تند می‌باشند. در نهایت مقدار حد آستانه زمینه و بالاترین حد آستانه بدست آمده برای عنصر روی به ترتیب ۷۰/۷۹ ppm و ۱۰۰۰ ppm می‌باشند. جایگاه آنومالی‌های تعیین شده به روش فرکتالی عیار - تعداد با عیار بالا و

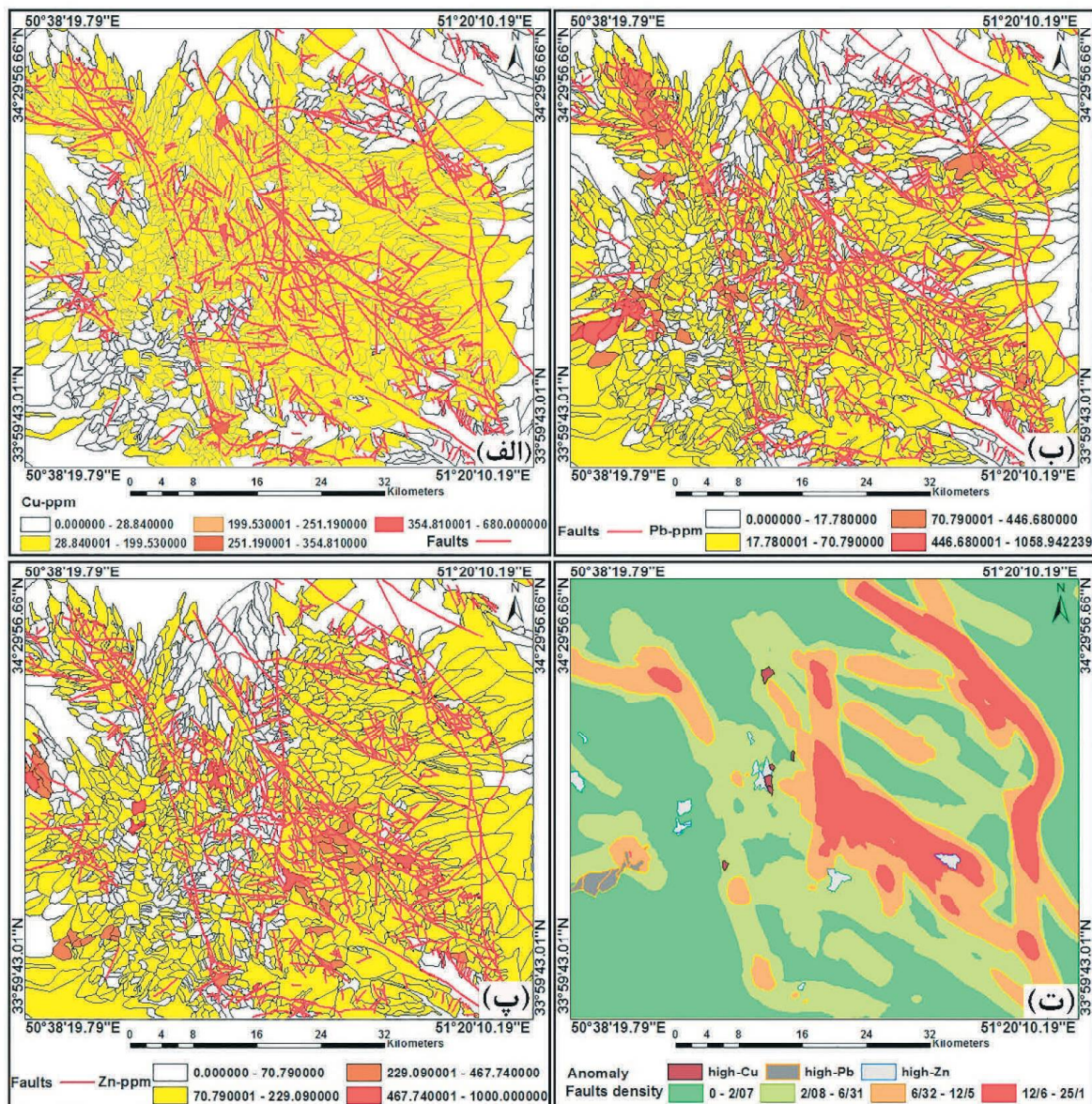


شکل ۵. نقشه آنومالی‌های به‌دست‌آمده عناصر Cu، Pb و Zn با استفاده از روش فرکتالی عیار-تعداد

معکوس است که موازی با روند کمان ماگمایی ارومیه-دختر پدید آمده است)، کانی‌زایی مالاکیت در سطح قابل دیدن است (شکل ۷)، که می‌تواند نشانه فعالیت‌های هیدروترمال در راستای این گسل باشد. در بخش‌های دیگری از این گسل وجود ژئودهای فراوان حاوی کانسارهای مواد معدنی (بیشتر مس به صورت مالاکیت) در سطح گسل و همچنین وجود ماده معدنی همراه با ژئودهای سیلیس که به صورت جایگزینی همراه با درزه و شکافها در سطح گسل می‌باشد، شاهدهی بر وجود سیستم هیدروترمالی در محدوده می‌باشد و ارتباط گسل‌ها با کانی‌زایی را تأیید می‌کند.

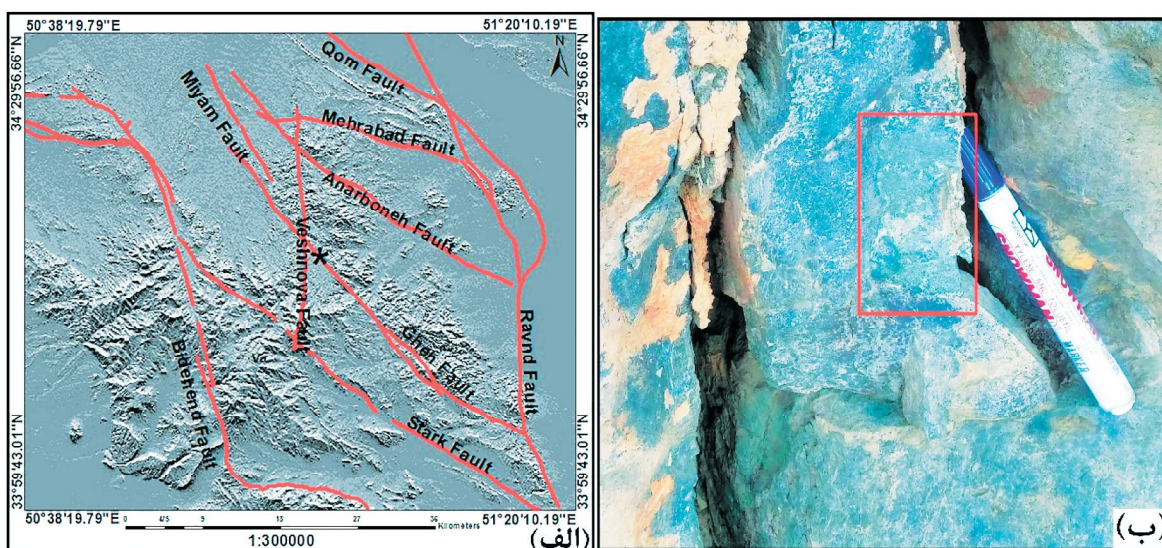
همپوشانی نقشه گسل‌ها و نقاط برخورد آنها با آنومالی‌ها نشان می‌دهد که آنومالی‌های شدید مس در بخش‌های شمالی و مرکزی منطبق بر گسل‌ها و نقاط برخورد آنها می‌باشند. آنومالی‌های سرب منطبق بر گسل‌ها و نقاط برخورد آنها می‌باشند. آنومالی‌های با عیار بالای روی در بخش‌های نزدیک به مرکز، خاور و جنوب منطقه منطبق بر گسل‌ها هستند (شکل ۶).

در تکه میانی امتداد گسل میهم، از گسل‌های اصلی محدوده (دارای روند N135 و شیب به سوی جنوب باختر، داری ساز و کار راست‌الغز راستگرد همراه با مولفه شیب لغز



شکل ۶. الف، ب و پ) نقشه‌های انطباق گسل‌ها با آنومالی‌های مس، سرب و روی منطقه، ت) نقشه تراکم گسل‌ها با آنومالی‌های منطقه

جداسازی آنومالی‌های ژئوشیمیایی از زمینه با استفاده از روش فرکتالی عیار ...



شکل ۷. الف) نقشه گسل‌های اصلی منطقه مورد مطالعه، ب) نمونه‌ای از کانی‌زایی مس در سطح گسل میم که جایگاه آن با علامت ستاره سیاه در شکل (الف) نشان داده شده است (کادر قرمز کانی‌زایی مس را نشان می‌دهد)

نتیجه‌گیری

می‌باشد. آنومالی‌های متوسط و شدید منطقه انطباق نسبی با گسل‌هایی با امتداد شمال باختری-جنوب خاور و نقاط برخورد آنها دارند.

انطباق خوبی بین آنومالی‌های مس و روی مشخص شده با رخساره‌های گدازه‌های آندزیتی-بازالتی ائوسن، برش‌های ولکانیکی و توده‌های کوچک مقیاس کوارتزهای دیوریتی، کوارتزهای مونزونیتی پس از برخورد قاره ای وجود دارد و آنومالی‌های سرب بر سنگ‌های داسیتی-آندزیتی منطبق هستند.

با توجه به اینکه منطقه در واحدهای سخت با شکستگی‌های فراوان جای گرفته است و در یک سیستم گسله برشی قرار دارد، گسلها و شکستگی‌های اصلی در محدوده معدنی و ششونه با ایجاد فضای مناسب، معبری را برای حرکت سیالات کانه‌ساز فراهم ساخته و افزون بر آن سبب تراکم موضعی کانی‌سازی شده‌اند. و از سوی دیگر با توجه به وجود نمونه‌هایی از اکسید مس بر روی سطح گسل و انطباق خوب محدوده‌های عیار بالا با گسل‌های اصلی و محل تقاطع گسل‌ها بنظر می‌رسد که گسل‌های با امتداد شمال باختری-جنوب خاوری و محل تقاطع گسل‌ها با یکدیگر به‌طور ثانویه در کانی‌زایی تاثیر داشته باشند.

استفاده از روش تحلیلی فرکتالی عیار-تعداد در برگه‌های زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ کهک و آران برای جداسازی آنومالی‌های عناصر مس، سرب و روی نشان‌دهنده توانایی بالای روش‌های فرکتالی و به ویژه مدل‌سازی‌های مولتی فرکتالی در جدایش جوامع ژئوشیمیایی و تعیین مراحل غنی‌شدگی این عناصر می‌باشد. از تلفیق نتایج حاصل از مدل فرکتالی با شواهد زمین‌شناسی دید بسیار بهتری از مراحل کانی‌زایی و نیز پراکندگی ثانویه عناصر بدست می‌آید.

نتایج نشان می‌دهد مهمترین آنومالی‌های مس با مقدار بیشتر از ۳۵۴/۸۱ ppm در بخش‌های شمالی، مرکزی و جنوبی منطقه گسترش دارند. شدیدترین آنومالی‌های سرب با عیار بیشتر از ۱۰۵۸/۹۴ ppm در بخش باختر منطقه جای گرفته است و در نهایت شدیدترین آنومالی بدست آمده برای عنصر روی بیشتر از ۱۰۰۰ ppm می‌باشند که در بخش‌های نزدیک به مرکز، جنوب و باختر منطقه جای گرفته‌اند.

مقایسه و همپوشانی نقشه آنومالی‌ها و گسل‌های منطقه نشان می‌دهد که آنومالی‌ها با گسل‌ها و نقاط برخورد گسل‌ها منطبق می‌باشند، به گونه‌ای که بزرگترین آنومالی مس در ارتباط با گسل میم که یکی از گسل‌های مهم منطقه است و نقطه برخورد آن با گسل شمالی-جنوبی و ششونه

Omran, N. R., Esfandiari, B. and Alghalandis, Y.F., 2010. Geochemical anomaly separation by multifractal modeling in Kahang (Gor Gor) porphyry system, Central Iran. *Journal of Geochemical Exploration*, 104, 1-2, 34-46.

- Afzal, P., Alghalandis, Y.F., Khakzad, A., Moarefvand, P. and Omran, N.R., 2011. Delineation of mineralization zones in porphyry Cu deposits by fractal concentration-volume modeling. *Journal of Geochemical Exploration*, 108, 3, 220-232.

- Agterberg, F.P., Cheng, Q., Brown, A. and Good, D., 1996. Multifractal modeling of fractures in the Lac du Bonnet Batholith, Manitoba. *Computer Geoscience*, 22, 5, 497-507.

- Alavi, M., 1994. Tectonics of the Zagros Orogenic belt of Iran, new data and interpretations: *Tectonophysics*, 220, 211-238.

- Arvin, M., Pan, Y., Dargahi, S., Malekizadeh, A. and Babaei, A., 2007. Petrochemistry of the Siah-Kuh granitoid stock southwest of Kerman, Iran: Implications for initiation of Neotethys subduction, *Journal of Asian Earth Sciences*, 30, 3-4, 474-489.

- Ayati, F., Yavuz, F., Noghreyan, M., Haroni, A. and Yavuz, R., 2008. Chemical characteristics and composition of hydrothermal biotite from the Dalli porphyry copper prospect, Arak, central province of Iran: *Mineralogy and Petrology*, 94, 107-122.

- Bai, J., Zhong, X., Jiang, S., Huang, Y. and Duan, X., 2010. Graphene nanomesh. *Nature nanotechnology*, 5, 3, 190.

- Barabási, A.L. and Stanley, H.E., 1995. *Fractal concepts in surface growth*. Cambridge University Press.

- Bazin, D. H., and Hubner, H., 1969. Cop-

تشکر و قدردانی

لازم می‌دانیم از سازمان زمین‌شناسی بخاطر همکاری‌هایشان تشکر نماییم.

منابع

- امامی، م. ه. و امینی، ب.، ۱۳۷۵. نقشه زمین‌شناسی چهارگوشه آران. مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰. انتشارات سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران.

- امامی، م. ه.، ۱۳۷۹. ماگماتیسم در ایران. انتشارات سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۶۰۸.

- دبیری، ر.، ۱۳۸۵. ژئوشیمی و پترولوژی سنگ‌های آتشفشانی شمال باختر کاشان، پایان‌نامه کارشناسی ارشد زمین‌شناسی، دانشگاه تربیت مدرس، ۱۳۵.

- سجودی کیسمی، ح.، ۱۳۷۲. بررسی زمین‌شناسی و پترولوژی سنگ‌های آذرین جنوب قم (منطقه نراق، بیدهند، سد پانزده خرداد) در پهنه ارومیه دختر، پایان‌نامه کارشناسی ارشد پترولوژی، دانشگاه تربیت‌معلم تهران، ۱۴۳.

- شهیری، ش.، ۱۳۸۶. ژئوشیمی و پترولوژی سنگ‌های آتشفشانی شمال خاور نراق، پایان‌نامه کارشناسی ارشد زمین‌شناسی، دانشگاه تربیت مدرس، ۱۰۲.

- صفایی، ه.، ۱۳۸۷. مطالعه و تهیه طرح جامع پهنه‌بندی و آسیب‌پذیری ناشی از زلزله شهرستان کاشان، دانشگاه اصفهان، ۲۳۰.

- فاضلی، آ.، ۱۳۸۱. بررسی تیپ کانی‌سازی مس در کانسار و شنوه (جنوب قم). پایان‌نامه کارشناسی ارشد، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه تربیت‌معلم تهران، ۱۵۷.

- قلمقاش، ج.، بحرودی، ع. و فنودی، م.، ۱۳۷۵. نقشه زمین‌شناسی چهارگوشه کهک. مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰. انتشارات سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران.

- محجل، م. و رهامی، ز.، ۱۳۸۸. ساختار گسل راوند و نقش آن در ایجاد حوضه کششی (pull-apart) در کمربند آتشفشانی ارومیه-دختر، فصلنامه زمین‌شناسی ایران، سال سوم، ۱۱، ۳۹-۴۵.

- محمدی اصل، ز.، ۱۳۹۶. نقش کنترل‌کننده‌های ساختاری در کانی‌زایی معدن مس و شنوه و رابطه جایگزینی این کانی‌ها با فرایندهای ژئودینامیکی، رساله دکتری، دانشگاه آزاد اسلامی علوم و تحقیقات، تهران، ایران، ۱۸۵.

- Afzal, P., Khakzad, A., Moarefvand, P.,

- per deposits in Iran; Ministry of Economy, Geology Survey of Iran, 13, 232.
- Berberian, M., 1976. Seismic Hazard Maps of Iran, Geological Survey of Iran.
 - Berberian, F., Berberian, M., 1981. Tectono-plutonic episodes in Iran. In: Gupta HK, Delany FM (eds) Zagros Hindu Kush Himalaya Geodynamic evolution, American Geophysical Union, Washington DC, 5-32.
 - Berberian, M. and King, G.C.P., 1981. Towards a paleo geography and tectonic evolution of Iran, Geological Survey of Iran, Report. No. 52.
 - Carranza, E.J.M., 2008. Geochemical anomaly and mineral prospectivity mapping in GIS, Elsevier, 11, 368.
 - Carranza, E.J.M., Owusu, E.A and Hale, M., 2009. Mapping of prospectively and estimation of number of undiscovered prospects for lode-gold, southwestern Ashanti Belt, Ghana. *Mineralium Deposita*, 44,8, 915-938.
 - Cheng, Q., Agterberg, F. P. and Ballantyne, S.B., 1994. The separation of geochemical anomalies from background by fractal methods, *Journal of Geochemical Exploration*, 51, 109-130.
 - Cheng, Q. and Agterberg, F.P., 1996. Multifractal modeling and spatial statistics. *Mathematical Geology*, 28,1, 1-16.
 - Dargahi, S., Arvin, M., Pan, Y. and Babaei, A., 2010. Petrogenesis of post-collisional A-type granitoids from the Urumieh-Dokhtar magmatic assemblage, Southwestern Kerman, Iran: Constraints on the Arabian-Eurasian continental collision, *Lithos*, 115,1-4, 190-204.
 - Davis, J.C., 2002. *Statistics and Data Analysis in Geology*, Wiley, New York, 638.
 - Davoudian, A.R., Hamedani, A., Shabanian, N. and Mackizadeh, M.A., 2007. Petrological and geochemical constraints on the evolution of the Cheshmeh-Sefid granitoid complex of Golpayegan in the Sanandaj-Sirjan zone, Iran: *Neues Jahrbuch für Mineralogie*, 184, 117-129.
 - Deng, J., Wang, Q., Yang, L., Wang, Y., Gong, Q. and Liu, H., 2010. Delineation and explanation of geochemical anomalies using fractal models in the Heqing area, Yunnan Province, China. *Computer Geoscience*, 105, 95-105.
 - Förster, H., 1978. Mesozoic-Cenozoic metallogenesis in Iran: *Journal of the Geological Society*, 135, 443-455.
 - Goncalves, M.A., Mateus, A. and Oliveira, V., 2001. Geochemical anomaly separation by multifractal modeling, *Journal of Geochemical Exploration*, 72,2, 91-114.
 - Hassanzadeh, J., 1993. Metallogenic and tectono magmatic events in the SE sector of the Cenozoic active continental margin of central Iran (Shahr e Babak area, Kerman Province) [Unpublished Ph.D. dissertation]: Los Angeles, CA, University of California.
 - Hezarkhani, A. and Williams-Jones, A.E., 1998. Controls of alteration and mineralization in the Sungun porphyry copper deposit, Iran: Evidence from fluid inclusion and stable isotopes: *Economic Geology*, 93, 651-670.
 - Hezarkhani, A., 2006. Fluid inclusion investigations of the Raigan porphyry copper system, Kerman-Bam, Iran: *International Geology Review*, 48, 255-270.
 - Jahangiri, A., 2007. Post-collisional Miocene adakitic volcanism in NW Iran: Geochemical and geodynamic implications: *Journal of Asian Earth Sciences*, 30, 433-447.
 - Jamali, H., Dilek, Y., Daliran, F., Yaghubpur, A. and Mehrabi, B., 2010. Metallogeny and

- tectonic evolution of the Cenozoic Ahar-Arasbaran volcanic belt, northern Iran: *International Geology Review*, 52,4-6, 608-630.
- Li, c., Ma, T. and Shi, J., 2003. Application of a fractal method relating concentrations and distances for separation of geochemical anomalies from background, *Journal of Geochemical Exploration*, v. 77,2-3, 167-175.
- Lima, A., De Vivo, B., Cicchella, D., Cortini, M. and Albanese, S., 2003. Multifractal IDW interpolation and fractal filtering method in environmental studies: an application on regional stream sediments of (Italy), Campania region. *Applied Geochemistry*, 18,12, 1853-1865.
- Mandelbrot, B.B., 1983. *The fractal geometry of nature*/revised and enlarged edition. New York, WH Freeman and Co, 495.
- Mao, Z., Peng, S., Lai, J., Shao, Y. and Yang, B., 2004. Fractal study of geochemical prospecting data in south area of Fenghuanshan copper deposit, Tongling Anhui. *Journal of Earth Science Environment*, 26,4, 11-14.
- Mirzaie, A., Shafiei Bafti, Sh. and Derakhshani, R., 2015. Fault control on Cu mineralization in the Kerman porphyry copper belt, SE Iran: A fractal analysis, *Jornal for Comprehensive Studies of Ore Genesis and Ore Exploration*, 71, 237-247.
- Nazarpour, A., Omran, N.R., Paydar, G.R., Sadeghi, B., Matroud, F. and Nejad, A.M., 2015. Application of classical statistics, logratio transformation and multifractal approaches to delineate geochemical anomalies in the Zarshuran gold district, NW Iran. *Chemie der Erde-Geochemistry*, 75,1, 117-132.
- Omrani, J., Agard, P., Whitechurch, H., Benoit, M., Prouteau, G. and Jolivet, L., 2008. Arc-magmatism and subduction history beneath the Zagros Mountains, Iran: A new report of adakites and geodynamic consequences. *Lithos*, 106,3-4, 380-398.
- Qingfei, W., Jun, D., Li, W., Jie, Z., Qingjie, G., Liqiang, Y., Lei, Z. and Zhijun, Z., 2008. Multifractal Analysis of Element Distribution in Skarn-type Deposits in the Shizishan Orefield, Tongling Area, Anhui Province, China. *Acta Geologica Sinica-English Edition*. 82,4, 896-905.
- Richards, J.P., 2003. Tectono-magmatic precursors for porphyry Cu-(Mo-Au) deposit formation. *Economic Geology*, 98, 1515-1533.
- Sepahi, A.A. and Malvandi, F., 2008. Petrology of the Bouein Zahra-Naein plutonic complex, Urumieh-Dokhtar belt, Iran: With special reference to granitoids of the Saveh plutonic complex: *Neues Jahrbuch für Mineralogie*, 185, 99-115.
- Shahabpur, J., 1996. Use of drainage trends as a prospecting tool in the central Iranian porphyry copper belt: *Canadian Mining and Metallurgical Bulletin*, 89, 70-75.
- Shahabpur, J., 1999. The role of deep structures in the distribution of some major ore deposits in Iran, NE of the Zagros thrust zone: *Journal of Geodynamics*, 28, 237-250.
- Tripp, G.I. and Vearncombe, J.R., 2004. Fault/fracture density and mineralization: a contouring method for targeting in gold exploration. *Journal Structural Geology*, 26, 6-7, 1087-1108.
- Zarasvandi, S., Liaghat, S. and Zentilli, M., 2005. Geology of the Darreh-Zerreshk and Ali-Abad porphyry copper deposits, central Iran: *International Geology Review*, 47, 620-646.