

شناسایی و پی جویی ناهنجاری‌های زمین‌شیمیایی همراه با کانی‌سازی مس در چهارگوش ۱:۱۰۰۰۰۰ نطنز (شمال اصفهان)، ایران

زهرا اعلمی‌نیا^۱، مهین منصوری اصفهانی^{۲*}، سیدحسین طباطبایی^۲، نگار ماهرو بختیاری^۲

۱- گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران

۲- دانشکده مهندسی معدن، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران

(دریافت مقاله: ۹۶/۵/۷، نسخه نهایی: ۹۶/۱۰/۹)

چکیده: در نقشه یکصد هزار زمین‌شناسی، نطنز در شمال شرق اصفهان و در پهنه ساختاری ارومیه-دختر قرار دارد. این چهارگوش، پنجره مناسبی برای کانی‌سازی مس، سرب و روی است. در این پژوهش، توزیع فضایی ناهنجاری‌های زمین‌شیمیایی عناصر کانی ساز و عناصر همراه به کمک روش آماری بررسی شدند. در این راستا، حوضه آبریز در محیط سامانه GIS، رسم و پس از رقیق کردن، با روش فرکتال عیار-مساحت، حدآستانه عناصر شناسایی و ناهنجاری‌ها مشخص شدند. نتایج نمایانگر توزیع مناسب عناصر سرب، روی، آرسنیک و آنتیموان در نزدیکی نشانه‌های معدنی مس موجود در منطقه مورد بررسی هستند. علاوه بر این، ناهنجاری‌های بخش جنوبی نقشه، می‌تواند مکان جدیدی را برای پی جویی‌های اکتشافی آینده معرفی کند.

واژه‌های کلیدی: /ارومیه دختر؛ نطنز؛ رسوب آبراهه؛ کانه‌های مس‌دار؛ فرکتال.

مقدمه

گستره مورد بررسی از برگه زمین‌شناسی نطنز با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ واقع در استان اصفهان تشکیل شده است که متعلق به بخش میانی کمربند آتشفشانی- ماگمایی ارومیه- دختر است و برای پی جویی کانی‌سازی‌های فلزی پتانسیل خوبی دارد. اهمیت این ناحیه با حضور نشانه‌های متعدد کانی-سازی‌های موجود در نقشه نامبرده تایید می‌شود. به منظور جستجو و معرفی مناطق امیدبخش بیشتر در مقیاس ناحیه‌ای، اطلاعات زمین‌شیمی عناصر مستخرج از رسوبات آبراهه‌ای از روش تحلیل حوضه آبریز بررسی و تصحیح و پهنه‌های مستعد کانی‌سازی با روش فرکتال بارزسازی شدند. این ناهنجاری‌های ضعیف در سطح تاکنون شناسایی نشده بودند. سرانجام با اطلاعات زمین‌شناسی و زمین‌ساختی ناحیه ترکیب و چندین کانی‌سازی جدید معرفی شدند. بررسی‌های صورت

پی‌جوئی‌های زمین‌شیمیایی براساس داده‌های رسوب‌های آبراهه‌ای روشی مقرون به صرفه از نظر زمان و هزینه است. این روش ابزار مهمی برای شناسایی حوضه‌های آبریز، منابع ناهنجاری و ذخایر پنهان در مراحل نخستین پی‌جوئی است [۱-۵] و در مناطقی که مکان‌نگاری و شبکه آبراهه گسترش یافته‌ای داشته باشند نقش بیشتری دارد. به منظور مدل‌سازی ناهنجاری‌های تک‌عنصری و در واقع شناسایی حوضه‌های آبریز ناهنجاری برای یک عنصر ویژه، باقیمانده‌های تصحیح رقیق شدگی تجزیه و تحلیل می‌شوند. مهم‌ترین گام در پردازش و بررسی زمین‌شیمی در رسوب‌های آبراهه، تعیین مقدار حدآستانه برای جداکردن مقادیر ناهنجاری از زمینه است که به روش‌های مختلفی از جمله فرکتال [۶، ۷] انجام می‌شود تا مناطق و نواحی امید بخش کانی‌سازی شناسایی گردد.

گرفته در این پژوهش با استفاده از اطلاعات زمینی فضایی در سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) تهیه شده است.

زمین‌شناسی

ناحیه مورد بررسی در بین طول‌های شرقی $30^{\circ} 51'$ تا 52° و عرض‌های شمالی $30^{\circ} 33'$ تا 34° واقع است (شکل ۱). این منطقه از نظر ساختاری در بخش میانی نوار ارومیه دختر قرار دارد و بیشتر از سنگ‌های آذرین پوشیده شده است. بر پایه برگه زمین‌شناسی نطنز با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰، قدیمی‌ترین رخنمون‌های سنگی منطقه، سازندهای رسوبی مراد و ریزو مربوط به دوران پرکامبرین هستند که در شرق شهرستان نطنز قرار دارند (شکل ۱ الف). این سازندها به ترتیب تناوبی از شیل و ماسه سنگ، و تناوبی از دولومیت چرت‌دار و سنگ‌های بازی دارند. دولومیت‌های خاکستری به همراه نوارها و گرهک‌های چرت‌دار و گاهی لایه‌هایی از ماسه سنگ آرکوزی قرمز رنگ و شیل بر سازندهای مراد و ریزو دیده می‌شوند و در افق‌های بالاتر توسط لایه‌هایی از دولومیت متوسط تا نازک لایه و سنگ آهک با میان لایه‌های شیل پوشیده شده‌اند. سن سنگ‌های رسوبی نامبرده مربوط به دوران پالئوزوئیک است [۸]. رخنمون‌های معادل سازند نیور به سن سیلورین، روند شمال غرب جنوب شرق نشان می‌دهند و از سنگ‌های آتشفشانی دگرگون شده شامل متاندزیت و متابازالت، به همراه سنگ‌های آذرآواری، ماسه سنگ قرمز، شیل با میان لایه‌های ماسه سنگ آرکوزی روشن پوشیده شده‌اند. سنگ‌های رسوبی ماسه سنگ هماتیته و شیل با سن تریاس و ژوراسیک به همراه معادل سازندهای شتری (دولومیت خاکستری و قهوه‌ای رنگ)، نایبند (تناوبی از شیل نازک لایه و ماسه سنگ با میان لایه‌های دولومیتی) و سازند شمشک (تناوبی از ماسه سنگ خاکستری-سبز رنگ و شیل) همراه با لایه‌هایی از جوش سنگ با قلوه‌های سیلیسی و ماسه سنگ روشن، بر این سازندها قرار دارند. این مجموعه سنگ‌ها به طور پراکنده و گسترده در ناحیه نطنز رخنمون دارند (شکل ۱). سنگ‌های کرتاسه با توجه به اهمیت در کانسازسازی بعنوان یک واحد جداگانه بر نقشه بصورت رخنمون‌های پراکنده و مجزا مشخص شده‌اند. این واحد با پیشروی آب در حوضه رسوبی کرتاسه پیشین و با نهشته‌های

جوش سنگ قرمز ماسه سنگ و شیل شروع شده و با لایه‌های آهکی اوربیتولین‌دار ضخیم لایه و شیل‌های تیره رنگ، میان لایه‌های آهک نازک لایه ادامه می‌یابد [۸]. بخش عمده رخنمون‌های منطقه به واحد آتشفشانی ائوسن با روند شمال-غرب-جنوب شرقی تعلق دارد که در بخش میانی و کرانه شرقی کمان ارومیه-دختر قرار گرفته‌اند. سنگ‌های آذرین بیشتر ترکیب حدواسط و گاهی بازی با تنوع آندزیت، تراکی‌آندزیت، داسیت و بازالت دارند. این سنگ‌ها در شمال نطنز، هسته یک طاق‌دیس را تشکیل می‌دهند. سنگ‌های آذرآواری، توف و ایگنمریت با ترکیب تراکیت، داسیت و ریولیت به همراه سنگ‌های رسوبی از جنس جوش سنگ، ماسه سنگ و سنگ آهک نومولیت‌دار بر سنگ‌های آتشفشانی نامبرده قرار می‌گیرند. ماسه سنگ قرمز، شیل، مارن، سنگ گچ و جوش سنگ قاعده معادل سازند قرمز زیرین قم به سن الیگوسن بیشتر در بخش شمال شرقی کاشان برونزد دارند. سنگ‌های رسوبی معادل سازند قم مربوط به الیگومیوسن شامل لایه‌های سنگ آهک ماسه‌ای، تناوبی از سنگ آهک و مارن به همراه سنگ گچ و گاهی شیل خاکستری تیره بخش‌هایی از ناحیه نطنز را به خود اختصاص داده‌اند. سنگ‌های نفوذی با ترکیبی از گرانیت، گرانودیوریت، تونالیت، مونزودیوریت، کوآرتزیدیوریت تا گابرو به سن پس از ائوسن تا میوسن سنگ‌های آتشفشانی ائوسن را قطع نموده‌اند و با گسترش نسبتاً بسیار در ناحیه دیده می‌شوند. مجموعه سنگ‌های رسوبی مارن سنگ گچ‌دار، ماسه سنگ و جوش سنگ معادل سازند قرمز بالایی مربوط به میوسن-پلیوسن و سنگ‌های جوش سنگ و ماسه سنگ پلیوسن [۸] چهار گوشه‌ی ناحیه مورد بررسی را تشکیل می‌دهند (شکل ۱). رسوب‌هایی از قبیل تراورتن، پادگانه‌های قدیمی، تپه‌های ماسه‌ای کم ارتفاع و مرتفع، مخروط افکنه‌ها و پهنه‌های رسی و نمکی و نیز پهنه‌های ماسه‌ای بادی مربوط به عهد حاضر همه رسوب‌ها و واحدهای نام برده را می‌پوشانند و رخنمون‌های گسترده و پراکنده‌ای را نشان می‌دهند.

زمین‌ساخت و کانی‌سازی منطقه

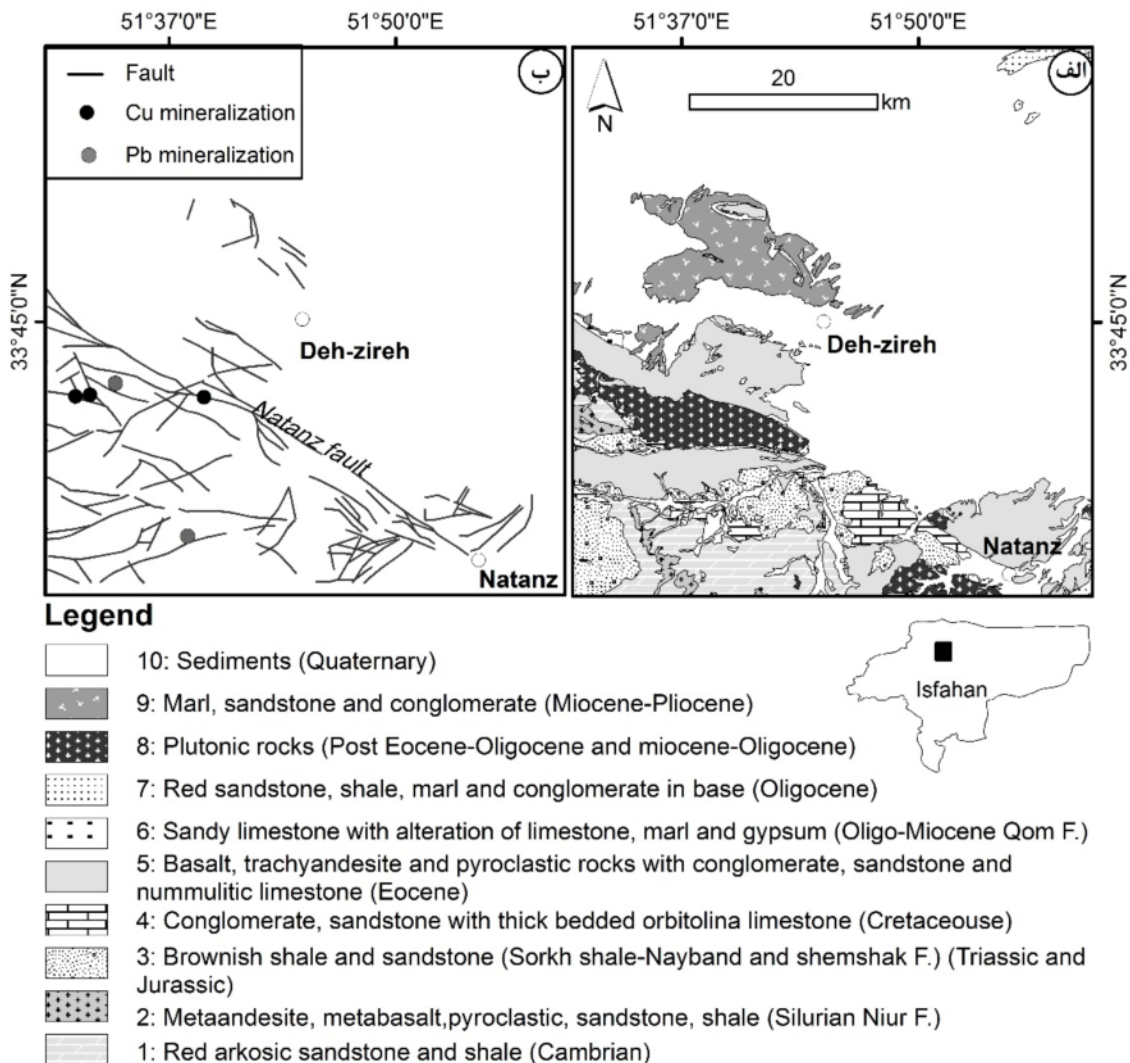
منطقه مورد بررسی دستخوش رخدادهای زمین‌ساختی گسل سراسری نطنز با راستای شمال غرب-جنوب شرق شده است.

بیشتر نشانه‌های مس در غرب منطقه در مرز توده نفوذی جوان با واحدهای رسوبی قدیمی دیده می‌شود (شکل ۱).

روش بررسی

بررسی‌های اکتشافی در مقیاس ناحیه‌ای و شناسایی نواحی امیدبخش معدنی با استفاده از اطلاعات زمین‌شیمی رسوب‌های آبراهه‌ای در کل حوضه آبریز با گسترش ۲۵۰۰ کیلومتر مربع واقع در برگه زمین‌شناسی نطنز با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ انجام شده است. در این پژوهش، از مقادیر مس، طلا، سرب و روی به دست آمده از برداشتهای زمین‌شیمیایی ۴۳۴ نمونه (جزء ۸۰- مش) استفاده شده است. چگالی نمونه برداری ۲ تا ۳ نمونه برای هر ۱ کیلومتر مربع است.

افزون بر آن، تعدادی گسل با روند شمال شرق- جنوب شرق نیز باعث جابجایی و یا قطع لایه‌های موجود در منطقه شده است (شکل ۱ ب). گسل‌ها بیشتر از نوع عادی هستند و بخش‌هایی از گسل نطنز از نوع گسل معکوس باعث روراندگی رسوب‌های آهکی کرتاسه بر رسوب‌های آتشفشانی و آذرآواری ائوسن در شمال غرب نطنز شده است. از جمله ساختارهای زمین‌شناسی مربوط به عملکرد شواهد زمین‌ساختی در منطقه می‌توان به چین خوردگی‌هایی بصورت طاق‌دیس و ناودیس در رسوب‌های مربوط به الیگوسن و پلیوسن در شمال ناحیه اشاره کرد. بر اساس نقشه زمین‌شناسی نطنز، چندین نشانه معدنی مس و سرب در پنجره مورد بررسی وجود دارد (شکل ۱ ب).

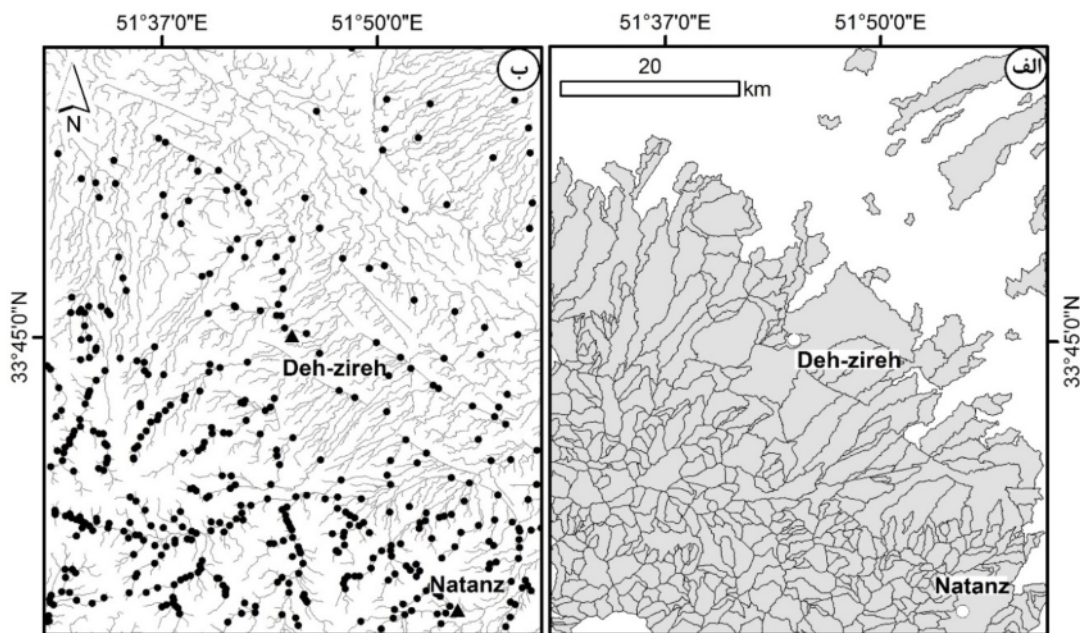


شکل ۱ موقعیت پهنه نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ نطنز [۸] در استان اصفهان، الف) واحدهای زمین‌شناسی نقشه یکصد هزار بر اساس ترکیب و سن زمین‌شناسی، که به ده جامعه سنگی تعریف و رقمی شده‌اند. ب) گسل‌ها و نشانه‌های معدنی مس، سرب و روی در ناحیه مورد بررسی.

های آبراهه‌ای بر آبراهه‌ها در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی مشخص گردید (شکل ۲ ب).

در این پژوهش، نخست اثر زمینه بر نمونه‌های رسوب آبراهه‌ای به کمک روش تحلیل حوضه آبریز نمونه، حذف شده است. حوضه آبریز با ایجاد چندضلعی‌های معرف حوضه، برآورد نسبت‌های مساحت واحدهای سنگی، برآورد عیارهای تک-عنصری زمینه محلی قابل انتساب به واحد سنگی، تصحیح بازمانده‌ای تک عنصری برای رقیق‌شدگی پایین دستی و رده-بندی بر اساس بازمانده‌های تک عنصری تصحیح رقیق‌شدگی تحلیل شده است. به منظور برآورد تراکم تک عنصری زمینه ناشی از سنگ‌شناسی برای هر نمونه حوضه آبریز، از روش محاسبه میانگین وزن‌دار استفاده شد. پس از محاسبه مقادیر زمینه عناصر مس، طلا، سرب، روی، آرسنیک و آنتیموان برای هر یک از ده واحد سنگی، محاسبات آماری و چگونگی توزیع عناصر بررسی شدند. مدل ناهنجاری‌های زمین‌شیمیایی می‌تواند با در نظر گرفتن همبستگی فضایی و تغییرپذیری داده‌های زمین‌شیمیایی و یا هندسه و ویژگی‌های مستقل از مقیاس چشم‌اندازهای زمین‌شیمیایی بهبود یابد [۹]. بسیاری از پژوهشگران توزیع فضایی داده‌های زمین‌شیمیایی رسوب‌های

اطلاعات واحدهای سنگی و ساختارهای منطقه مورد بررسی مربوط به نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ نظنز است. واحدهای سنگی این نقشه، بررسی و با هدف کاهش جزئیات داده‌های ورودی، آشکار ساختن بهتر و برقراری ارتباط معنادار میان آنها با کانی‌سازی، دوباره رده‌بندی شدند. از اینرو، به دلیل اهمیت ترکیب سنگ‌های موجود در حوضه آبریز بالادست واحدهای زمین‌شناسی، با توجه به ترکیب و نوع سنگ، سن، نقش و اهمیت آنها در حوضه آبریز در ده رده کلی (جامعه سنگی) تعریف شده (راهنمای شکل ۱) و نقشه جدید جوامع سنگی در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی گردآوری و بصورت برداری رقمی شدند (شکل ۱ الف). سپس گسل‌ها، گستره‌های معدنی فعال، متروکه و نشانه‌های معدنی در نقشه ترسیم شدند (شکل ۱ ب). بجای رقمی سازی رودخانه‌ها از نقشه مکان-نگاری، از مدل ارتفاعی رقمی (DEM) برای تعیین خودکار شبکه‌های آبراهه‌ای استفاده شد و مدل ارتفاعی رقمی منطقه در مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ تهیه گردید. حوضه آبریز نمونه، براساس مدل ارتفاع رقمی و نقاط نمونه برداری، رقمی و رسم شد (شکل ۲ الف). به منظور بررسی چگونگی توزیع عناصر مس، طلا، سرب، روی، آرسنیک و آنتیموان، موقعیت مکانی نمونه-



شکل ۲ الف) ایجاد چند ضلعی‌های معرف حوضه‌های آبریز نمونه به کمک نرم افزار GIS. ب) نمایش شبکه آبراهه‌ها بکمک تصویر مدل رقمی ارتفاع (DEM) و نمایش جایگاه نمونه‌های رسوب آبراهه‌ای بر آن.

شناسی هر حوضه آبریز موثر است. هاوکز (۱۹۷۰) علت آن را اثر رقیق‌شدگی پایین دستی تراکم‌های شیمیایی رسوب‌های آبراهه‌ای می‌داند [۱۱]. در بررسی زمین‌شیمیایی رسوب‌های آبراهه‌ای، برای شناسایی ناهنجاری موجود در هر حوضه آبریز از رابطه زیر استفاده می‌شود [۱۱]:

$$Y_a A_a = A_i (Y_i - Y'_i) + Y'_i A_a \quad (1)$$

که $Y_a A_a$ رتبه ناهنجاری و $A_i (Y_i - Y'_i)$ قابلیت تولید حوضه آبریز در نظر گرفته می‌شود که با عبارتهای تک عنصری (Y_i) اندازه‌گیری شده زمینه در ۴۳۴ نمونه رسوب آبراهه‌ای i و مساحت حوضه آبریز نمونه (A_i) ارتباط دارد، Y_a عیار ناهنجاری و A_a مساحت ناهنجاری است.

نخست قابلیت تولید برای هر حوضه آبریز نمونه محاسبه می‌شود که معرف بازماندهای زمین‌شیمیایی تصحیح رقیق-شدگی نیز هست. بازماندهای زمین‌شیمیایی می‌توانند مثبت (منابع ناهنجاری) یا منفی (تهی شدگی) باشند [۱۳]. برای برآورد قابلیت تولید، مرتبه آبراهه در محل نمونه‌ها جایگزین خوبی برای مساحت کل حوضه آبریز مکان‌های منفرد نمونه-برداری است که سامانه اطلاعات جغرافیایی می‌تواند آن را خودکار تعیین کند [۱۱]. جهت تحلیل حوضه آبریز نمونه، عیار زمینه تک عنصری ناحیه‌ای ناشی از جوامع سنگی بالا دست به روش میانگین وزن دار محاسبه می‌شود (رابطه ۲).

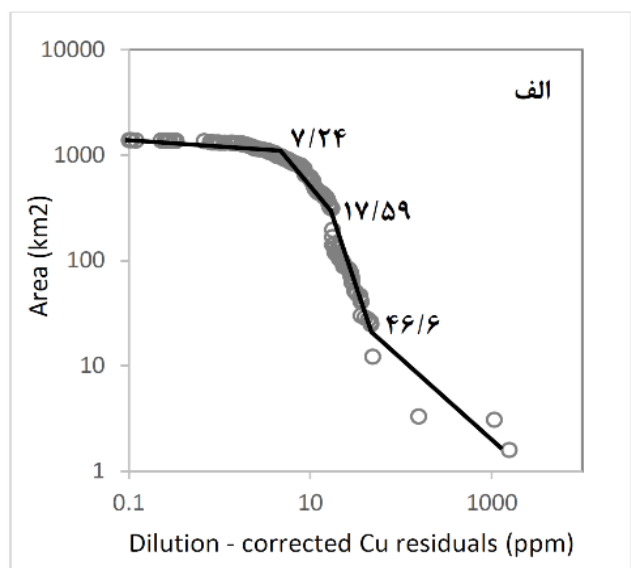
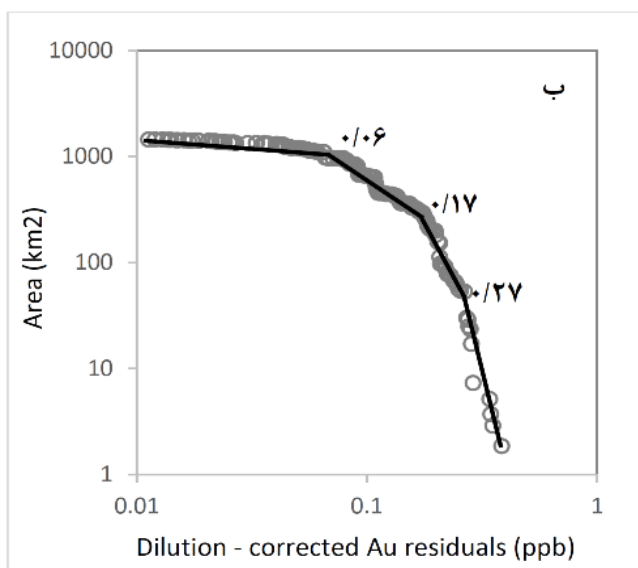
$$M_j = \sum_{i=1}^n Y_i X_{ij} / \sum_{i=1}^n X_{ij} \quad (2)$$

آبراهه‌ای را چندفرکتالی در نظر گرفته‌اند. در نتیجه روش فرکتالی عیار - مساحت را می‌توان برای رده‌بندی ناهنجاری‌ها در باقیمانده‌های تک عنصری به کار برد. در روش فرکتالی عیار - مساحت سطوح تراکم‌های زمین‌شیمیایی (v) و مساحت‌های انباشتی (A) محصور شده توسط هر سطح تراکم زمین-شیمیایی $A(v)$ به ترتیب در راستای محوره‌های x و y به صورت لگاریتمی رسم می‌شوند (شکل‌های ۳ و ۴). شکست در شیب خطوط راست برآزش شده به نمودار لگاریتمی رابطه عیار-مساحت گستره‌های مختلفی از مقادیر آستانه را نشان می‌دهد [۱۰]. در این پژوهش، ناهنجاری‌ها با تجزیه فرکتالی رده بندی شدند و مکان آنها بر نقشه شناسایی و مشخص شد.

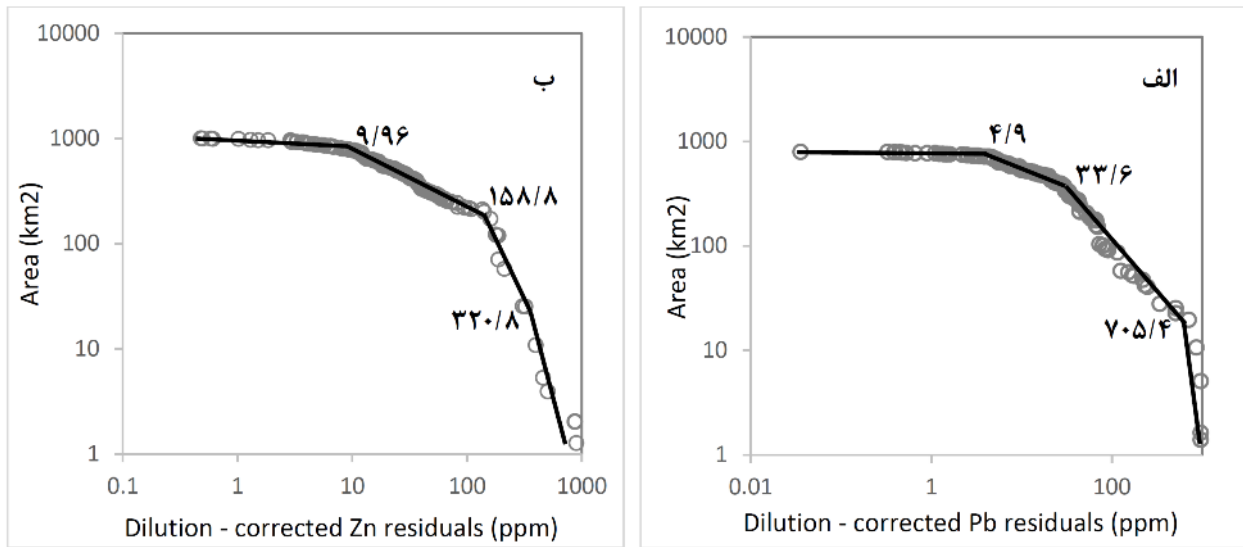
بحث و بررسی

بررسی داده‌های زمین‌شیمیایی رسوب‌های آبراهه‌ای در حوضه آبریز نمونه

تراکم‌های تک عنصری در رسوب‌های آبراهه‌ای در هر نقطه از مکان برداشت‌های زمین‌شیمیایی معرف مواد برآمده از فرسایش و هوازدگی منابع بالادست هستند [۱۱]. علت اصلی تغییر عیارهای تک عنصری وجود واحدهای سنگی نواحی بالادست نقاط نمونه‌برداری است، بطوریکه مقادیر تراکم‌های زمین-شیمیایی نمونه‌های رسوب آبراهه‌ای ارتباط مثبتی با مساحت جوامع سنگی و ارتباط منفی با مساحت کلی یک حوضه آبریز دارد [۱۲]. بعبارتی، عیار زمینه زمین‌شیمیایی وابسته به زمین



شکل ۳ منحنی لگاریتمی عیار-مساحت در پهنه چهارگوش ۱:۱۰۰۰۰۰ نطنز برای (الف) مس و (ب) طلا.



شکل ۴ منحنی لگاریتمی عیار- مساحت در پهنه چهارگوش ۱:۱۰۰۰۰۰ نطنز برای (الف) سرب و (ب) روی.

آمده در جدول ۱ ارائه شده است. پس از محاسبه میانگین وزن‌دار مشخص شد که بیشترین مقادیر M_j مس در سنگ‌های رسوبی آواری با سن تریاس و ژوراسیک (واحد شماره ۳) به مقدار ۳۳/۶۴ ppm و طلا در رسوبات تخریبی کرتاسه (واحد شماره ۴) به مقدار ۰/۸۹ ppm وجود دارد. بیشترین مقادیر M_j سرب، روی و آرسنیک در سنگ‌های رسوبی آتشفشانی سیلورین (واحد شماره ۲) که در غرب منطقه مورد بررسی رخنمون دارند بترتیب ۵۷/۶۴، ۱۲۸/۸۹ و ۴/۶۵ ppm به دست آمد (جدول ۱). بیشترین مقادیر M_j آنتیموان در سنگ‌های رسوبی آواری با سن تریاس و ژوراسیک (واحد شماره ۳) به مقدار ۴/۴۵ ppm وجود دارد.

در این رابطه M_j میانگین وزن دار عیار واحد زمین شناسی زام X_{ij} و $(j=1, 2, \dots, m)$ مساحت واحد سنگی زام در حوضه آبریز نام $(i=1, 2, \dots, n)$ است [۹]. بنابراین عیارهای تک عنصری زمینه محلی Y_i' به دست آمده از واحد سنگی زام در نمونه نام در هر حوضه آبریز از رابطه زیر برآورد می‌شود:

$$Y_i' = \frac{\sum_{j=1}^m M_j X_{ij}}{\sum_{j=1}^m X_{ij}} \quad (3)$$

که M_j عیار تک عنصری میانگین وزن دار است. نتایج تحلیل حوضه آبریز برای عناصر مس، طلا، سرب، روی، آرسنیک و آنتیموان پس از بررسی و پردازش برای هر جامعه سنگی بصورت مجزا رده‌بندی و آماده تحلیل آماری - شدند، بطوریکه مقادیر زمینه عناصر نامبرده بر هر یک از ۱۰ جامعه سنگی بصورت جداگانه مشخص شدند. نتایج به دست

جدول ۱ مقدار زمینه محاسبه شده به روش میانگین وزن‌دار در جامعه‌های منفرد سنگی در ناحیه مورد بررسی. ده جامعه سنگی در راهنمای شکل ۱ معرفی شده‌اند.

عیارهای میانگین محاسبه شده (M_j بر حسب ppm) در واحدهای منفرد سنگی										جامعه سنگی عنصری
۱۰	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	
۲۳/۴۵	۲۲/۴۰	۳۱/۴۹	۲۰/۸۳	۲۷/۷۳	۳۱/۰۵	۱۹/۷۶	۳۳/۶۴	۳۰/۲۵	۲۸/۰	مس
۰/۸۹	۰/۸۷	۰/۸۳	۰/۸۶	۰/۸۸	۰/۸۳	۰/۹۰	۰/۸۳	۰/۷۸	۰/۸۷	طلا
۲۹/۵۲	۲۵/۰۷	۲۶/۰۳	۱۹/۶۹	۲۸/۱۵	۲۶/۶۰	۳۱/۴۷	۳۲/۶۷	۵۷/۶۴	۳۷/۸۰	سرب
۱۰۰/۱۲	۹۵/۰۳	۷۰/۷۱	۸۲/۸۹	۹۰/۳۰	۷۹/۰۴	۱۰۱/۳۰	۷۸/۰۴	۱۲۸/۸۹	۱۰۷/۷۶	روی
۳/۶	۳/۲۹	۳/۵۴	۳/۵۰	۳/۳۴	۳/۸۵	۳/۵۱	۴/۰۴	۴/۶۵	۳/۹۷	آرسنیک
۴/۰۷	۳/۸۹	۴/۱۱	۴/۰۳	۴/۰۵	۴/۱۱	۳/۹۸	۴/۴۵	۳/۸	۴/۲۸	آنتیموان

بررسی توزیع آماری داده‌های زمین‌شیمیایی رسوب‌های آبراه‌های

محاسبات آماری و چگونگی توزیع عناصر مس، طلا، سرب، روی، آرسنیک و آنتیموان پس از محاسبه مقادیر زمینه این عناصر در حوضه آبریز نمونه، برای هر یک از ده جامعه سنگی، به کمک نمودارهای ستونی فراوانی برآورد شدند. روش‌های آماری مختلفی برای تعیین مقادیر زمینه، حد آستانه و ناهنجاری وجود دارد که هر یک دارای امتیازها و مشکلاتی هستند. در بعضی از روش‌ها، افزایش یا کاهش تراکم عنصر ملاک اصلی و در برخی، احتمال پیدایش تراکم عنصر در نظر گرفته می‌شود. در این پژوهش با توجه به مقادیر کوچک عددی، از روش فرکتال عیار-مساحت برای عناصر مس، طلا، سرب، روی، آرسنیک و آنتیموان استفاده شده و اطلاعات زمین‌شیمیایی هر عنصر دسته‌بندی شده است (جدول ۲). مکان ناهنجاری‌ها به کمک نرم افزار GIS بر نقشه‌های

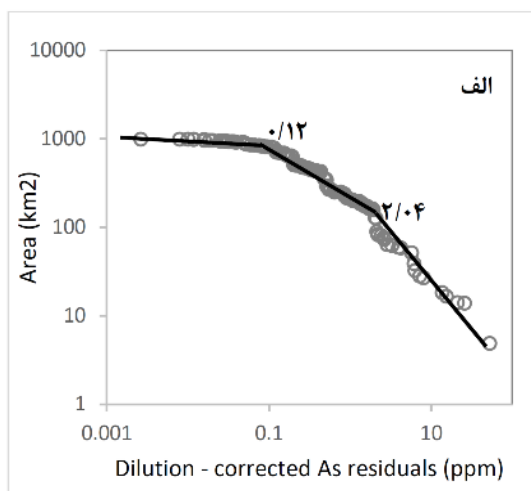
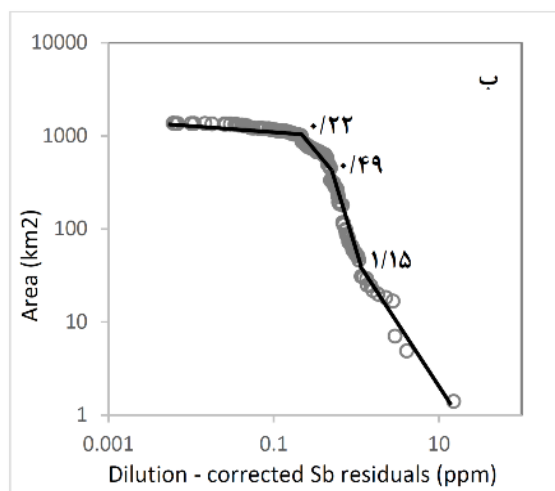
توصیفی پیشگو نمایان شده است.

نتایج به دست آمده از روش فرکتالی عیار-مساحت برای مقادیر باقیمانده‌های عناصر مس و طلا در شکل ۳، برای سرب و روی در شکل ۴ و برای آرسنیک و آنتیموان در شکل ۵ نشان داده شده است. چنان که دیده می‌شود نمودار لگاریتمی مدل عیار-مساحت برای باقیمانده‌های مثبت مس، طلا، سرب، روی، آرسنیک و آنتیموان الگوهای چند فرکتالی را در داده‌ها نشان می‌دهد.

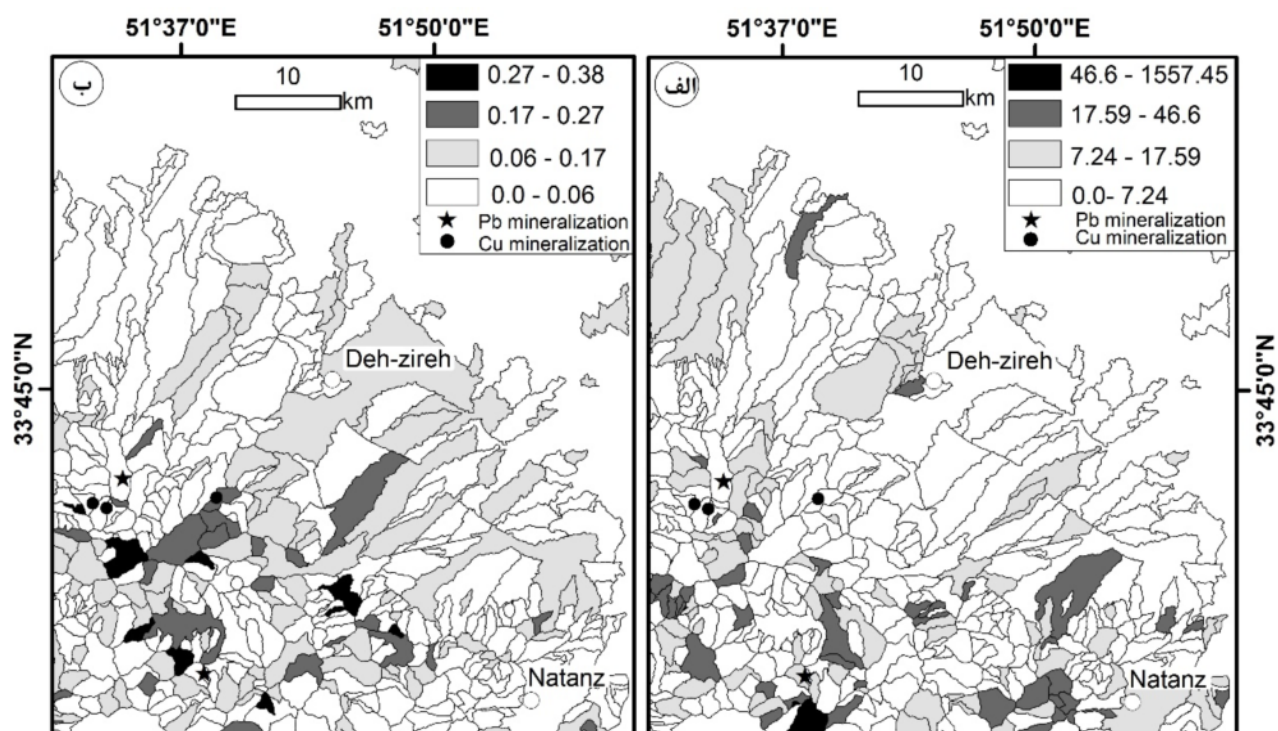
در نمودارهای مس ۴ خط راست و برای طلا ۳ خط راست (شکل ۳) و در نمودارهای سرب و روی ۴ خط راست (شکل ۴) و در نمودارهای آرسنیک ۵ خط و آنتیموان ۴ خط (شکل ۵) بر مدل عیار-مساحت برازش شده که به ترتیب نشان دهنده حضور تعداد جامعه آماری است که از طریق مقادیر آستانه در نقطه شکست شیب خطوط راست از هم جدا شده‌اند که بر اساس آنها نقشه ناهنجاری رسم شده است (شکل‌های ۶-۸).

جدول ۲ مقادیر آماری محاسبه شده برای عناصر مس، طلا، سرب، روی، آرسنیک و آنتیموان برآمده از رسوب‌های آبراه‌های پنجره یکصد هزار نطنز.

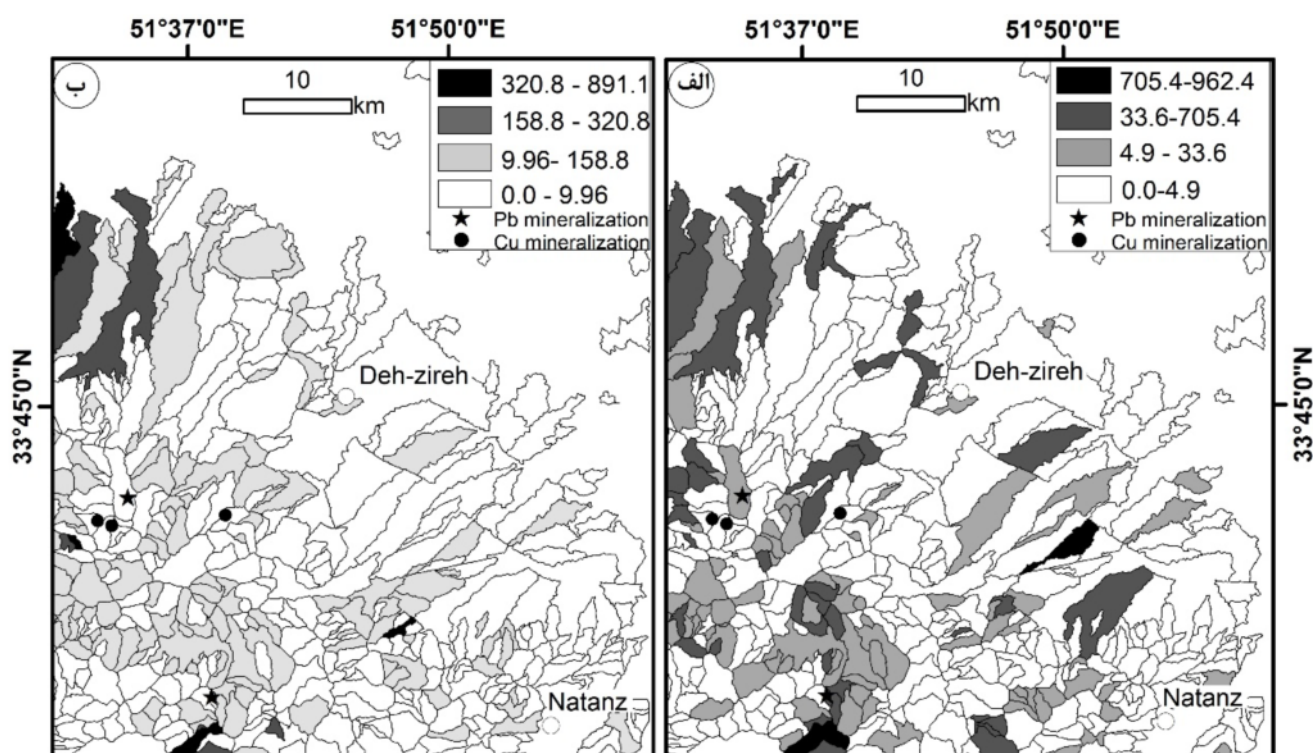
محاسبات	Cu (ppm)	Au (ppb)	Pb (ppm)	Zn (ppm)	As (ppm)	Sb (ppm)
کمترین	۸,۱۸	۰,۵۵	۱۰	۱۳	۱,۸۲	۱
بیشترین	۱۵۸۵,۳۱	۱,۲۵	۱۰۰۰	۱۰۰۰	۶۰,۱۹	۱۹,۴۲
میانگین	۹۱,۳۶	۰,۸۵	۴۸,۶۷	۱۰۱,۷۳	۴,۲۳	۴,۱۹
میانه	۲۹,۸۵	۰,۸۶	۲۵,۰۰	۸۶,۰۰	۳,۵۶	۴,۱۳
انحراف معیار	۹۱,۶	۰,۱۴	۱۰۸,۰۱	۸۵,۲۳	۴,۲۹	۰,۹۶
چولگی	۱۴,۸۱	-۰,۱۵	۷,۱۲	۶,۹۳	۱۰,۴۱	۹,۳۷



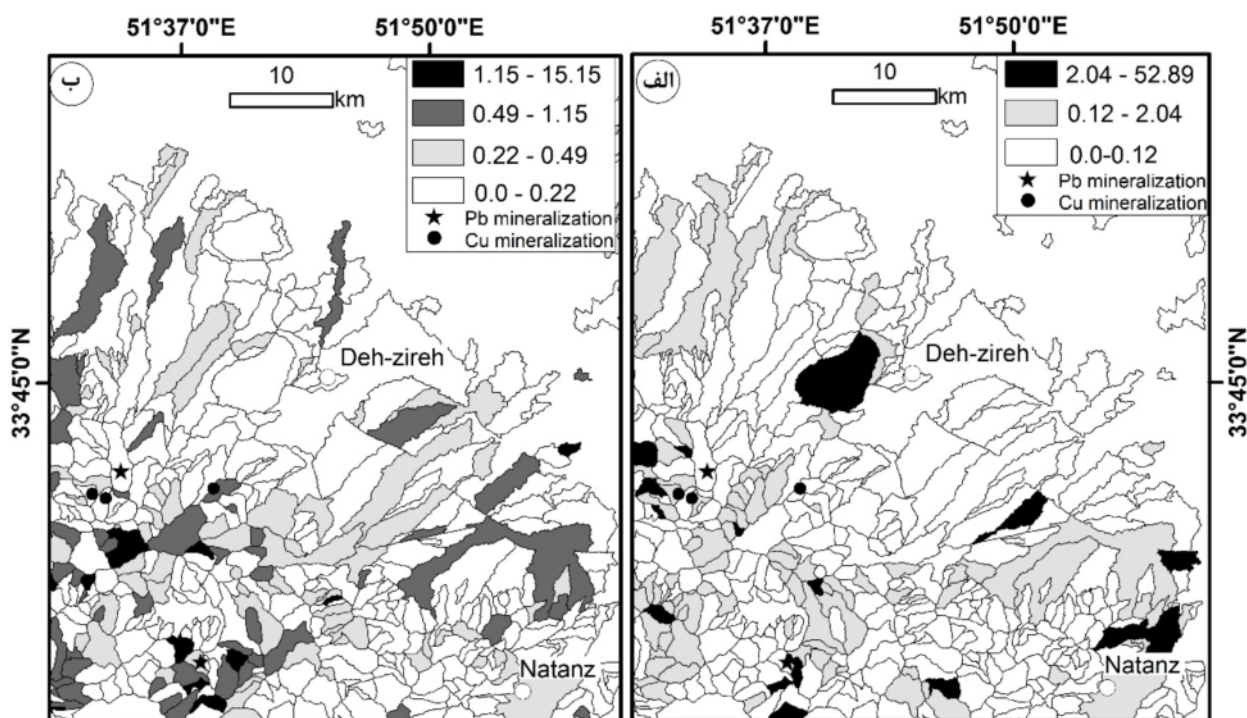
شکل ۵ منحنی لگاریتمی عیار-مساحت در پهنه چهارگوش ۱:۱۰۰۰۰۰ نطنز برای (الف) آرسنیک و (ب) آنتیموان.



شکل ۶ نقشه‌های توزیع فضایی مقادیر باقیمانده الف) عنصر مس و ب) عنصر طلا با استفاده از روش فرکتالی عیار- مساحت.



شکل ۷ نقشه‌های توزیع فضایی مقادیر باقیمانده الف) عنصر سرب و ب) عنصر روی با استفاده از روش فرکتالی عیار- مساحت.



شکل ۸ نقشه‌های توزیع فضایی مقادیر باقیمانده (الف) عنصر آرسنیک و (ب) عنصر آنتیموان با استفاده از روش فرکتالی عیار- مساحت.

پراکنده در سنگ‌های آهکی - دولومیتی دیده می‌شود، کنده- کاری‌های پراکنده معدنی نیز در آنها به چشم می‌خورد که به نظر می‌رسد که خاستگاه گرمابی دارند. براساس نتایج برآمده از برداشت‌های میدانی، در بخش جنوبی، حضور تراورتن و همچنین کانی‌سازی مس در دو منطقه در ۸ کیلومتری شمال غرب نطنز و ۷/۵ کیلومتری جنوب غرب کمجان، می‌تواند نتیجه تأثیر محلول‌های گرمابی در نزدیکی توده‌های نفوذی و نیز سنگ‌های رسوبی و آتشفشانی در منطقه‌ی مورد بررسی باشد (شکل‌های ۹ الف و ب).

بیشترین ناهنجاری مس و آرسنیک رسوب‌های آبراه‌های در بخش جنوب و مرکز پنجره مورد بررسی و طلا و آنتیموان در نیمه جنوبی آن دیده می‌شود. در ائوسن شدیدترین فاز آتشفشانی و پس از آن نفوذ توده‌های کوچک اسیدی تا حد واسط از نوع گرانیت تا کوارتز دیوریت در قسمت جنوبی منطقه نطنز رخ داده است که نتیجه این نفوذ هنوز به صورت چشمه‌های تراورتن‌ساز در منطقه دیده می‌شود. در شمال غرب نطنز درون سنگ‌های آتشفشانی داسیتی، رگه‌های سیلیسی دربردارنده کالکوپیریت با روند شمالغرب - جنوب شرق دیده می‌شود. در جنوب غربی روستای کمجان مس و سرب بصورت



شکل ۹ الف- رخنمونی از رگه سیلیسی مس‌دار در سنگ‌های آتشفشانی منطقه ، ب- نمایی از سنگ میزبان کربناتی به همراه کانی‌سازی مس (مالاکیت) واقع در بخش جنوبی منطقه مورد بررسی.

catchment basin mapping of geochemical anomalies using stream sediment data for mineral potential modeling", Journal of Geochemical Exploration, 128 (2013) 88–96.

[4] El-Makky A.M., Sediek K.N., "Stream sediments geochemical exploration in the northwestern part of Wadi Allaqi Area, South Eastern Desert, Egypt", Nat. Resour. Res. 21 (2012) 95–115.

[5] Mansouri Esfahani M., Erfan A.R., Alaminia Z., Jafar Kupayi M., Akhavan Karazian M., "Identifying of copper anomalies using stream sediment exploration in the 1:100000 geological map of Natanz (North-East Esfahan)", 4th international mine and mining industries congress and 6th Iranian mining engineering conference, Tehran-Iran, (2016).

[6] Darehshiri A., Panji M., Mokhtari A.M., "Identifying geochemical anomalies associated with Cu mineralization in stream sediment samples in Gharachaman area, northwest of Iran", Journal of African Earth Sciences, 110 (2015) 92-99.

[7] Afzal P., Khakzad A., Moarefvand P., Omran N.R., Esfandiari B., Alghalandis Y.F., "Geochemical anomaly separation by multifractal modeling in Kahang (Gor Gor) porphyry system, Central Iran", Journal of Geochemical Exploration, 104, (2010) 34–46.

[8] Khalatbari Jafari M., Alavi Mahabadi S., "Geological map of the Natanz quadrangle 1:100000", Geological Survey of Iran, Tehran, (1998).

[9] Carranza E.J.M., "Geochemical anomaly and mineral prospectively mapping in GIS", Handbook of Exploration and Environmental Geochemistry, Elsevier, Amsterdam, vol. 11, (2009).

[10] Beus A. A., Grigorian S. V., "Geochemical Exploration Methods for Mineral Deposits", Illinois: Applied Publishing company, United States, (1997).

[11] Yousefi M., Shahrestani S.H., "Geochemical anomaly and mineral prospectively mapping in GIS (in Persian)", Elmo-Danesh, (2014) 365p.

[12] Bai J., Porwal A., Hart C., Ford A., Yu L., "Mapping geochemical singularity using multifractal analysis: application to anomaly definition on stream sediments data from Funin Sheet, Yunnan, China", Journal of Geochemical Exploration, 104, (2010) 1–11.

[13] Carranza E.J.M., "Mapping of anomalies in continuous and discrete fields of stream sediment geochemical landscapes", Geochemistry: Exploration, Environment, Analysis, 10, (2010) 171–187.

برداشت

براساس نقشه برداری عناصر مس، طلا، سرب، روی، آرسنیک و آنتیموان ارتباط مناطق امید بخش با واحدهای زمین‌شناسی بالادست بررسی شد و مناطق دارای ناهنجاری در برگه ۱:۱۰۰۰۰۰۰ نطنز شناسایی و مشخص شده‌اند. نتایج این پژوهش نشان داد که این روش برای شناسایی ناهنجاری‌های ضعیف نیز می‌تواند مناسب باشد. بر اساس نتایج به دست آمده از اجرای روش فرکتال، مکان ناهنجاری‌ها با ترکیب سنگ میزبان کانی‌سازی همخوانی خوبی دارد.

نزدیکی ناهنجاری‌های مس، سرب، روی و آرسنیک در غرب منطقه مورد بررسی به توده‌های نفوذی جوانتر از ائوسن می‌تواند بیانگر ارتباط میان کانی‌سازی این ناحیه با آن‌ها باشد. وجود چندین اثر معدنی در غرب نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰۰ نطنز (شکل ۱) این موضوع را تایید می‌کند. در نزدیکی توده نفوذی در بخش جنوبی منطقه نیز ناهنجاری‌های مس، سرب و آرسنیک شباهت زیادی با ناهنجاری‌های بخش غربی منطقه مورد بررسی دارد که می‌تواند یک هدف اکتشافی در نظر گرفته شود. ناهنجاری‌های متعددی در رسوب‌های آبراهه بخش جنوبی پنجره مورد بررسی، در واحدهای رسوبی قدیمی پالئوزوئیک، مزوزوئیک دیده می‌شود. علاوه بر ناهنجاری‌های مس، طلا، سرب، روی، آرسنیک و آنتیموان، وجود گسل‌های متعدد و سنگ میزبان کربناتی مناسب و آتشفشانی در جنوب منطقه مورد بررسی، نیز برای پتانسیل مناسب این ناحیه را کارهای اکتشافی پیشنهاد می‌کند.

قدردانی

نگارندگان از دانشگاه‌های اصفهان و صنعتی اصفهان بخاطر پشتیبانی از این پژوهش، صمیمانه قدردانی می‌کنند. آنها همچنین از دکتر احمد رضا مختاری بابت ارائه نظرات مفید و ارزشمندشان و از مهندس احمد رضا عرفان، بابت همکاری در انجام بخشی از محاسبات آماری و نیز از محمد جعفر کوپائی و محمد اخوان خرازیان که در رقومی کردن واحدهای زمین شناسی برگه ۱:۱۰۰۰۰۰۰ نطنز همکاری داشته‌اند تشکر می‌کنند.

مراجع

- [1] Yilmaz H., "Geochemical exploration for gold in western Turkey: success and failure", Journal of Geochemical Exploration, 80 (2003) 117–135.
- [2] Yilmaz H., "Stream sediment geochemical exploration for gold in the Kazdağ Dome in the Biga Peninsula, Western Turkey", Turkish Journal Earth Science, 16 (2007) 33–55.
- [3] Yousefi M., Carranza E.J.M., Abolghasem Kamkar-Rouhani A., "Weighted drainage