Archive of SID

تهیه نقشه پتانسیل ذخایر معدنی مس با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS)

نوشته : محمد کریمی*، محمد جواد ولدان‌زوج* ، حمید عبادی* و نادر صاحب الزمانی**

*دانشکده مهندسی ژئودزی و ژئوماتیک، دانشگاه صنعتی‌خواجه نصیرالدین طوسی، تهران، ایران؛
** شرکت ملی صنایع مس ایران.

Mineral Potential Mapping of Copper Minerals Using Geographical Information System (GIS)

By: M. Karimi* , M.J. Valadan Zoej* , H. Ebadi* & N. Saheb Zamani**

*Faculty of Geodesy & Geomatics Engineering, K. N. Toosi University of Technology (KNTU), Tehran, Iran.
**National Iranian Copper Industries Company

تاریخ دریافت:۲۷/ ۰۲/ ۱۳۸۳ تاریخ پذیرش:۱۴/ ۰۵/ ۱۳۸۶

چکیده

با توجه به وسعت زیاد کشور و گستردگی مناطق پتانسیل‌دار ذخایر معدنی (وجود کمربند آتشفشانی ارومیه ـ دختر در ایران)، وجود یک نگرش سامان‌مند برای شناسایی رخدادهای (اندیس) معدنی و تبدیل رخدادهای قابل تبدیل به معدن، ضروری به‌نظر می‌رسد. نبود یک تفکر سامان‌مند و راهکارهای مناسب در تولید، آماده‌سازی، پردازش و تلفیق حجم وسیع اطلاعات از منابع گوناگون، در مقیاس‌های متفاوت و با قالب‌های مختلف شناسایی، ارزیابی و اولویت‌بندی پتانسیل‌های معدنی کشور را با مشکل مواجه می‌سازد.

از آنجا که بیشتر اطلاعات مرتبط با فعالیت‌های اکتشاف ذخایر معدنی، مکان‌مرجع است، سامانه اطلاعات جغرافیایی(GIS) می‌تواند به‌عنوان علم و فناوری بهینه برای تهیه نقشه پتانسیل معدنی قرار بگیرد. تعیین عوامل تشخیص کانی‌سازی، آماده‌سازی اطلاعات، تهیه نقشه‌های عاملی و تلفیق نقشه‌ها در یک شبکه استنتاجی مناسب از مراحل اصلی تهیه نقشه پتانسیل معدنی به شمار می‌روند. در این تحقیق با بررسی مدل‌های متداول تلفیق نقشه، مدل‌های همپوشانی شاخص و منطق فازی به عنوان مدل‌های مناسب در اکتشاف ذخایر معدنی در مرحله نیمه تفصیلی (مقیاس ناحیه‌ای) و تفصیلی تعیین شدند و یک مدل تلفیقی که ترکیبی از مدل‌های بولین، همپوشانی شاخص و منطق فازی است، پیشنهاد شد. در آزمون عملی انجام شده، نقشه پتانسیل معدنی کانسار مس ریگان بم با استفاده از مدل‌های منتخب در شبکه‌های استنتاجی مختلف تهیه شده و۳ شبکه استنتاجی مناسب (یک الگو به روش فازی و دو الگو به روش تلفیقی) با ۷۵ درصد تطابق انتخاب شدند. مدل پیشنهادی ارائه شده در کانسار مس ریگان‌بم، می‌تواند با تغییرات لازم در کانسارها و رخدادهای معدنی دیگر برای تعیین زون‌های دارای پتانسیل بالای کانی‌سازی و سرانجام تعیین محل چاه‌های حفاری مورد استفاده بهینه قرار گیرد.

کلید واژه‌ها : سامانه اطلاعات جغرافیایی، نقشه پتانسیل معدنی، نقشه عاملی، شبکه استنتاجی، ذخایر مس

Abstract

Considering the vast area of Iran and extent of her potential mineral reserves (existence of volcanic belt of Urumieh-Dokhtar), a systematic view for mineral deposit exploration and mineral potential mapping is essential. Lack of a systematic view and appropriate models for collecting, managing and integrating various geo-spatial data from different sources based on various formats make it difficult to identify, evaluate and proioritize mineral potentials.

Since most of the data related to mineral deposit exploration activities are geo-spatial, Geographical Information System

www.SID.ir

Archive of SID

(GIS) can describe and analyze interactions, make predictions with models, and provide support for decision-makers. Mineral potential mappig composes of different steps including: identifying mineralization recognition criteria, data perparation and structuring, producing factor maps and integrating factor maps in the appropriate inference networks. In this research conventional models for integrating factor maps have been investigated. Index overlay and fuzzy logic models are selected to be appropriate models for mineral deposit exploration in semi-detailed (regional study) and detailed stages. An integrated model was also proposed based on Boolean, index overlay and fuzzy logic models . For experimental test, the mineral potential map of Rigan Bam copper deposit with appropriate methods in different inference networks have been produced and 3 appropriate inference networks (one network by Fuzzy Logic model and two networks by integrated models) were selected. Results of three selected networks are in a good accordance with drilling results (%75). Proposed model in Rigan Bam copper deposit capability with required variation can be used for other mineral potential areas and site selection of drilling wells.

Key words : GIS, Mineral potenial mapping, Factor map, Inference networks, Copper deposits

مقدمه

ذخایر معدنی از جمله ثروت‌های طبیعی هر کشور به شمار می‌رود که برنامه‌ریزی سامان‌مند و جامع برای شناسایی، ارزیابی و اولویت‌بندی پتانسیل‌های معدنی و ایجاد سرمایه‌گذاری بخش‌خصوصی و دولتی را در این زمینه تقویت می‌کند. مطالعات اکتشاف ذخایر معدنی یک فعالیت چند مرحله‌ای است که در مقیاسی کوچک آغاز و به مقیاسی بزرگ تبدیل می‌شود. در هر مرحله مطالعات زمین‌شناسی، زمین‌شیمی، زمین‌فیزیک و حفاری در سطوح کاربردی مختلف انجام می‌گیرد. با تلفیق نتایج در هر مرحله، محدوده موردمطالعه کوچک‌تر می‌شود و سرانجام به انتخاب محل‌هایی به عنوان هدف برای حفاری، به منظور دست‌یافتن به ذخایر معدنی پایان می‌پذیرد (کریمی، ۱۳۸۱).

داده‌های گردآوری شده از مطالعات توپوگرافی، زمین‌شناسی، ژئوشیمی، زمین فیزیک (ژئوفیزیک) و حفاری، حجم عظیمی از اطلاعات را به دست می‌دهند که تا وقتی به درستی سازماندهی و نمایش داده نشوند، نتایج مفید و قابل اطمینانی را نشان نمی‌دهند. پیش از دهه ۸۰، انتخاب، ارزیابی و ترکیب شواهد و مدارک ذخایر معدنی بر روی میزهای سبک و مجهز به سیستم روشنایی انجام می‌گرفت. در طول دهه ۸۰ با توجه به پیشرفت‌های به‌دست آمده در زمینه سخت‌افزار و نرم افزار، سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) تحولی چشمگیر را در علوم زمین ایجاد کرد (Bonham, 1994).

سامانه اطلاعات جغرافیایی(GIS) دارای قابلیت‌های مختلفی از جمله اخذ، ذخیره‌سازی، بازیابی، بهنگام‌رسانی، پردازش، نمایش، کاربرد و تبادل اطلاعات مکان مرجع است. از آنجا که بیشتر اطلاعات مرتبط با فعالیت‌های اکتشاف ذخایر معدنی، مکان‌مرجع هستند، استفاده از GIS و ابزارها و فن‌های آن ضمن آنکه در سازماندهی، بهنگام‌سازی، تحلیل و نمایش اطلاعات مورد استفاده قرار می‌گیرد، توانایی انطباق و تلفیق داده‌های مکان‌مرجع که از منابع گوناگون جمع‌آوری می‌گردند، را دارند. به این ترتیب می‌توان اثرات متقابل را تفسیر و تحلیل کرده و با کمک مدل‌های تلفیق نقشه، پیش‌بینی‌های موردنظر را انجام داد و از آن به عنوان تکیه‌گاهی در تصمیم‌گیری استفاده کرد. این تحقیق در نظر دارد تا با استفاده از سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی به عنوان بستر مناسبی برای به خدمت‌گیری اطلاعات مکان‌مرجع، با پردازش، مدل‌سازی و تلفیق اطلاعات مربوطه، روش بهینه تهیه نقشه پتانسیل معدنی را با استفاده از GIS ارائه دهد. در این تحقیق همچنین نحوه استفاده از مدل‌های تلفیق نقشه و به‌کارگیری و پیاده سازی آنها در محیط GIS تشریح شده است.

تهیه نقشه پتانسیل معدنی

ذخایر معدنی، توده‌ها یا انباشت‌های یک یا چندین ماده مفید هستند که در بیشتر مناطق به صورت پراکنده در پوسته زمین توزیع شده‌اند (Carranza,2001). واژه پتانسیل معدنی که در این تحقیق به کار رفته، مجموعه‌ای از خصوصیات منتسب شده به یک ناحیه خاص است که احتمال وجود ذخایر معدنی یا تشکیل کانی‌سازی را بیان می‌کند.

تعیین عوامل تشخیص کانی‌سازی، آماده‌سازی اطلاعات، تهیه نقشه‌های عاملی و تلفیق نقشه‌ها از مراحل اصلی تهیه نقشه پتانسیل معدنی به شمار می‌روند. به منظور تهیه نقشه پتانسیل معدنی ابتدا عوامل مؤثر در کانه‌زایی،

www.SID.ir

Archive of SID

شناسایی و یک الگوی هدفمند با عنوان مدل مفهومی ذخیره معدنی براساس نوع ماده معدنی مورد نظر طراحی می‌شود. مدل مفهومی ذخایر معدنی برای تهیه و تدارک چارچوب نظری برای هدایت مطالعات پتانسیل معدنی به کمک GIS ضروری به نظر می‌رسد. عوامل تشخیص ذخایر معدنی و الگوهای کانه‌زایی برای اکتشاف هر نوع ماده معدنی متغیر است.

بعد از تعیین عوامل کانی‌سازی، کلیه لایه‌های اطلاعاتی موردنظر در محیط GIS آماده‌سازی می‌شوند. با توجه به بررسی‌های انجام شده، به طور معمول در نقشه‌های رقومی و غیر رقومی تهیه شده برای مطالعات اکتشاف معدنی، مشکلات عمده زیر وجود دارد.

- عدم مکان‌مرجع بودن نقشه‌های موجود
- عدم دقت نقشه مبنا در بعضی از نقشه‌های موجود
- عدم تفکیک لایه‌های اطلاعاتی مورد نظر از یکدیگر و عدم وجود استاندارد برای نمادهای استفاده شده در نقشه‌های موجود
- وجود الگو در عوارض سطحی مانند دگرسانی و واحد سنگی
- پیوسته نبودن عوارض خطی مانند گسل و آبریز
- وجود خطای ظاهری از هم ردشدگی، به هم نرسیدگی(Gap وSliver)
- وجود عوارض تکراری در فایل رقومی
- عدم انطباق عوارض واقع در لبه ورقه‌های نقشه
- وجود سلیقه‌های متفاوت در ذخیره سازی اطلاعات توصیفی و مشکل بودن استخراج اطلاعات توصیفی

نقشه پتانسیل معدنی از تلفیق لایه‌های اطلاعاتی با توجه به نحوه عملکرد و ارزش لایه‌ها تهیه می‌شود. به همین منظور لازم است با انجام یک سری پردازش‌ها، نقشه (نقشه‌های) عامل هر لایه اطلاعاتی تهیه شود. نحوه عملکرد و اهمیت نسبی شواهدکنترل‌کننده کانی‌سازی، با استفاده از مدل مفهومی زمین‌شناسی و کانی‌سازی ذخیره معدنی مربوط و دانش کارشناسی و به‌وسیله انطباق لایه‌های مختلف اطلاعاتی با یکدیگر تعیین می‌شود. برای مثال با انطباق لایه اطلاعاتی گسل‌هایی با روند NE – SW با نقشه سنگ‌های میزبان، می‌توان ارتباط یا عدم ارتباط این نوع گسل‌ها را با کانی‌سازی تا حدودی مشخص کرد. به این ترتیب بیشینه شعاع تأثیر و روند تأثیر گسل‌ها در فواصل مشخص، تعیین می‌شود. انطباق لایه‌های مختلف به راحتی در GIS امکان‌پذیر است. به طور کلی روش‌های معمول پردازش داده‌ها به منظور تهیه نقشه‌های عاملی موردنیاز را می‌توان در موارد زیر تقسیم‌بندی و ارائه کرد.

• رده‌بندی مجدد نقشه : تعدادی از لایه‌های اطلاعاتی که در مرحله آماده‌سازی اطلاعات، آماده ورود به محیط GIS می‌شوند رده‌های زیادی دارند. با توجه به نقش هر رده در تهیه نقشه پتانسیل معدنی، می‌توان رده‌های هر نقشه را به چندین رده خلاصه کرد.

• تولید نقشه‌های مجاورت (Proximity Map) : به منظور تهیه نقشه عاملی عوارض نقطه‌ای و خطی، بایستی این عوارض را به عوارض سطحی تبدیل کرد. به همین دلیل با توجه به نحوه تأثیر هر عارضه نقطه‌ای، خطی و یا سطحی، می‌توان یک یا چندین بافر حول عارضه موردنظر ایجاد کرد.

• مدل‌سازی هندسی و توپولوژیکی : از ویژگی‌های هندسی وتوپولوژیکی عوارض می‌توان در تهیه نقشه عاملی استفاده کرد. نمونه‌هایی از پردازش‌هایی که با استفاده از مدل‌سازی‌های هندسی و توپولوژیکی عوارض می‌توان انجام داد شامل تعیین واحدهای سنگی مجاور دایک‌ها، تعیین همبری واحدهایی که بین دو توده نفوذی معینی قرار دارند ، گسل‌های واقع در راستای مشخص و ... است.

• انجام عملیات بر روی جدول‌های اطلاعات توصیفی : در انجام مطالعات زمین‌شیمیایی و زمین فیزیک، نقاط برداشت مهم‌ترین عارضه موردنیاز به شمار می‌رود. به ازای هر نقطه، پارامترهای مختلفی جمع‌آوری می‌شود. محاسبه پارامترهایی که تابعی از پارامترهای اندازه‌گیری شده باشد، در این قسمت مدنظر است.

• استخراج بی‌هنجاری: در مطالعات تفصیلی با استفاده از مقادیر پارامترهای اندازه‌گیری شده برای نقاط برداشت، نقشه رستری(Raster) مربوط به پارامترهای موردنظر تهیه می‌شود. برای مثال با درون یابی میزان عیار مس مربوط به نقاط برداشت زمین‌شیمی، می‌توان نقشه رستری توزیع عیار مس را تهیه کرد و با استفاده از روش‌های موجود، بی‌هنجاری‌های مختلف را در یک نقشه تعیین و از هم تفکیک کرد.

• تبدیل قالب نقشه‌های فاکتور(عاملی) به قالب رستر : با توجه به ماهیت مدل‌های تلفیق نقشه، استفاده از نقشه‌های رستری در مقایسه با نقشه‌های برداری در تهیه نقشه پتانسیل معدنی ترجیح دارند. بنابراین در این مرحله کلیه نقشه‌های عاملی که در قالب برداری هستند، به قالب (فرمت) رستری تبدیل می‌شوند.

در مرحله نهایی بایستی نقشه‌های عاملی را طبق الگوهای هدفمند با هم تلفیق کرد. با تلفیق این عوامل، نقشه پتانسیل‌معدنی تهیه می‌شود. اصول فیزیکی و شیمیایی حاکم بر تشکیل انباشته‌های معدنی در بیشتر موارد پیچیده‌تر از آن است که بتوان از یک نظریه بیان‌شده به طور ریاضی به صورت مستقیم برای تلفیق نقشه‌های عاملی استفاده کرد. پیش‌بینی انباشته‌های معدنی بیشتر بر روابط تجربی با کمک مدل مفهومی ذخایر متکی هستند. در این تحقیق تعدادی از مدل‌های تلفیق نقشه‌ها که برای اجرا در GIS مناسب هستند و در اکتشاف ذخایر معدنی به کار گرفته شده‌اند، بررسی و مدل‌های مناسب برای تهیه نقشه پتانسیل معدنی در مرحله تفصیلی تعیین می‌شود.

www.SID.ir

Archive of SID

بررسی مدل‌های تلفیق نقشه

به طورکلی مدل‌های تلفیق نقشه بر پایه داده‌ها و یا بر پایه دانش‌کارشناسی هستند. مدل (مدل‌های) مناسب برای تلفیق نقشه فاکتورها با توجه به مدل مفهومی ذخیره معدنی، دانش‌کارشناسی، داده‌های موجود و ویژگی‌های مدل‌های تلفیق نقشه تعیین می‌شود. روش‌های متداول تلفیق اطلاعات اکتشاف ذخایرمعدنی شامل مدل‌های بولین، همپوشانی شاخص، وزن‌های نشانگر و منطق‌فازی هستند.

در روش بولین، با استفاده از عملگرهای AND و OR منطقی، لایه‌های اطلاعاتی مختلف که به صورت دوتایی هستند، تلفیق می‌شوند و یک نقشه دوتایی تهیه می‌شود. در این روش برخلاف سهولت و سادگی آن، امکان وزن‌دهی داده‌ها و تلفیق نقشه‌های عاملی مطابق با یک الگوی هدفمند وجود ندارد و نمی‌توان مناطق انتخاب‌شده در نقشه خروجی را اولویت بندی کرد.

در روش وزن‌های نشانگر، با استفاده از نشانه‌ها و رخدادهای معدنی(نقاط مدل) و روش‌های‌آماری که در آنها از قانون بیز(Bayesian Theory) استفاده می‌شود، لایه‌های اطلاعاتی مورد نظر وزن‌دهی و تلفیق می‌شود. این روش با توجه به نیاز به نقاط مدل وعدم تأثیر مستقیم دانش کارشناسی در وزن‌دهی نقشه عامل‌ها، روش مناسبی برای مطالعات تفصیلی نیست.

در روش همپوشانی شاخص، نقشه پتانسیل معدنی از میانگین وزن‌دار نقشه‌های وزن‌دهی شده با استفاده از رابطه ۱تهیه می‌شود.

$$S = \frac{\sum W_i * S_{ij}}{\sum W_i} \qquad (۱)$$

در این رابطه Wi وزن i امین نقشه و Sij وزن j امین رده از i امین نقشه است. روش همپوشانی شاخص امکان ترکیب انعطاف پذیرتر نقشه‌های عاملی را در مقایسه با روش بولین فراهم می‌سازند. نقطه ضعف این روش ماهیت افزوده خطی آن است.

در اغلب موارد واقعی، مرز بین مناطقی که برای وقوع تشکیل کانی‌سازی مطلوب و نامطلوبند، غیر دقیق و در نتیجه فازی است. در روش فازی، به هر پیکسل از هر نقشه، بر اساس قضاوت ذهنی درباره اهمیت نسبی نقشه‌ها و رده‌های موجود در هر نقشه یک وزن (مقدار عضویت فازی) مشخص منتسب می‌شود. به عبارت دیگر به هر پیکسل یا مکان‌خاص وزن خاصی بین صفر تا یک داده می‌شود. برای مثال در تهیه نقشه عاملی گسل می‌توان مقدار وزن هر نقطه از نقشه را بر حسب فاصله گسل به صورت یک تابع عضویت فازی نوشت. این تابع علاوه بر نشان دادن اهمیت فاصله از گسل بایستی اهمیت نقشه عاملی گسل‌ها را نسبت به سایر عامل‌ها از جمله سنگ میزبان، دگرسانی و... تعیین کند. معمولاً از پنج عملگر فازی AND، OR، Algebraic Sum ، Algebreic Product و Gamma Operation برای ترکیب مجموعه داده‌های اکتشاف ذخایر معدنی استفاده می‌کنند. هر یک از این عملگرها در زیر به‌طور خلاصه شرح داده می‌شود.

عملگر فازی AND: این عملگر هم ارز با عملگر منطقی AND بر روی مقادیر مجموعه کلاسیک به صورت رابطه ۲ تعریف می‌شود.

$$W_{\text{Combination}} = MIN(W_A, W_B, W_C, \ldots) \qquad (۲)$$

در این رابطه W_B ، W_A و W_C بیانگر مقادیر عضویت فازی عامل A ، B و C در یک موقعیت خاص است. این عملگر با پدید آمدن یک برآورد محافظه‌کارانه، در مواقعی که دو یا چند شاهد لازم برای اثبات یک فرضیه باید با هم وجود داشته باشند، مناسب است.

عملگر فازی OR: این عملگر هم ارز با عملگر منطقی OR بر روی مقادیر مجموعه کلاسیک به صورت رابطه ۳ تعریف می‌شود. این عملگر در جایی که عوامل موردنظر در تشخیص کانی‌سازی کم باشند و حضور هر عامل مثبت می‌تواند برای اظهار مطلوبیت کافی باشد، به کار می‌رود.

$$W_{\text{Combination}} = MAX(W_A, W_B, W_C, \ldots) \qquad (۳)$$

عملگر فازی ضرب (FAP : Fuzzy Algebraic Product): این عملگر به صورت رابطه ۴ تعریف می‌شود:

$$W_{\text{Combination}} = \prod_{i=1}^{n} W_i \qquad (۴)$$

در این روش n عامل کنترل‌کننده کانی‌سازی ترکیب می‌شوند و Wi بیانگر وزن لایه i ام است. این عملگر اثرکاهشی دارد و عملگر فوق هنگامی که دو عامل یکدیگر را تضعیف می‌کنند، به کار می‌رود. دراین روش بر خلاف فازی AND وOR کلیه مقدارهای عضویت نقشه‌های ورودی در نقشه خروجی تأثیر می‌گذارند.

عملگر فازی جمع جبری (Fuzzy Algebraic Sum: FAS) : این عملگر به صورت رابطه ۵ تعریف می‌شود. این عملگر اثر افزاینده دارد و هنگامی که اثر ترکیب دو یا چند قسمت از شواهد که یک فرضیه را تأیید می‌کنند و یکدیگر را تقویت می‌کنند، به کار می‌رود.

$$W_{\text{Combination}} = 1 - \left(\prod_{i=1}^{n} (1 - W_i)\right) \qquad (۵)$$

عملگر فازی گاما (Fuzzy Gamma Operation: FOG): در این

www.SID.ir

Archive of SID

روش که ترکیبی از روش‌های FAP و FAS است، عامل‌های کنترل‌کننده کانی‌سازی طبق رابطه ۶ تلفیق می‌شوند:

$$W_{Combination} = (FAS)^{\gamma} * (FAP)^{1-\gamma} \quad (۶)$$

در این رابطه مقدار γ بین عدد صفر تا یک تعیین می‌شود(Bonham,1994). انتخاب صحیح و آگاهانه γ مقدارهایی را در خروجی به وجود می‌آورد که یک سازگاری انعطاف پذیر میان گرایش‌های کاهشی و افزایشی دو عملگر فازی Product و Sum را دارد.

با توجه به ویژگی های مدل های بررسی‌شده، با استفاده از دو مدل همپوشانی شاخص و منطق فازی می‌توان نقشه‌های عامل را طبق الگوهای‌هدفمند با هم تلفیق کرد و نقشه پتانسیل معدنی تهیه کرد. در این تحقیق به کارگیری تلفیقی از مدل‌های موجود پیشنهاد می‌شود. به همین دلیل علاوه بر این دو مدل ، یک مدل ترکیبی از مدل‌های بولین، همپوشانی شاخص و منطق فازی نیز بررسی می‌شود.

آزمون عملی

در این تحقیق با توجه به اهمیت ذخایر مس پورفیری، این نوع ذخایر مورد بررسی قرار گرفته‌اند. ذخایر مس پورفیری معمولاً در کمربندهای کوهزایی قرار دارند و کانسارهای از نوع افشان، با عیار پایین و تناژ بالا هستند. بیشتر این کانسارها دارای ۰/۳ تا ۱ درصد مس و تناژی تا ۱۶۰۰ میلیون تن هستند. ذخایر مس پورفیری محصول عظیم سامانه‌های گرمابی وابسته به توده‌های نیمه ژرف هستندکه کانی‌سازی آن در بخش‌هایی که در ژرفای (۲-۱ km) سطح زمین قرار دارد، صورت می گیرد (Asadi, 2000).

محدوده کانسار ریگان بم در ۸۰ کیلومتری جنوب ریگان و ۱۷۵ کیلومتری جنوب خاوری شهرستان بم واقع شده است. در شکل ۱ موقعیت این کانسار در کشور مشخص شده است. این محدوده در بخش جنوب خاوری زون فرورانش ارومیه- دختر واقع شده است. با توجه به پتانسیل قوی کانی‌سازی مس در این زون و قرارگیری کانسارهای بزرگ مس پورفیری مانند سرچشمه، میدوک، دره زار و سونگون ضرورت پی‌جویی و اکتشاف در این زون کاملاً منطقی است.

مطالعات پی‌جویی اولیه این منطقه در مقیاس‌های ۱:۲۵۰۰۰۰ (چهارگوش جهان‌آباد) و ۱:۱۰۰۰۰۰ (ورقه نگیسان) توسط سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور و شرکت اینترکان در سال ۱۳۵۵ انجام شده است. در سال ۱۳۶۲ سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور مطالعات نیمه تفصیلی محدوده ریگان بم را در مقیاس ۱:۲۰۰۰۰ در دستور کار خود قرار داد. شواهد و آثار سطحی کانی‌سازی و دگرسانی‌های منطقه حاکی از بالا بودن پتانسیل کانی‌سازی در این محدوده است. روند عمومی واحدهای سنگی و گسترش گسل‌ها و دگرسانی‌ها در منطقه، همان روند ساختارهای زون ارومیه- دختر است.

مدیریت امور اکتشافات شرکت ملی صنایع مس ایران بررسی تفصیلی نشانه مس بالا را در سال ۱۳۷۷ آغاز کرد. با توجه به نتایج مطالعات در این کانسار، آتشفشانی محدوده کانسار شامل واحدهای آتشفشانی-آواری با سن ائوسن است. پلوتونیسم محدوده شامل توده‌های نفوذی و آذرین اسیدی میکروگرانیت، گرانیت و گرانودیوریت الیگومیوسن هستند که در چندین مرحله عمل کرده‌اند. ماگماتیسم‌های جوان پلیوستوسن با ترکیب اولیوین – بازالت علاوه بر آنکه به صورت گدازه سنگ‌های آذرین ائوسن و الیگومیوسن را پوشانیده‌اند، گاهی به صورت دایک و آپوفیرهای نیمه‌ژرف، سنگ های قدیمی را قطع کرده‌اند و به نظر می‌رسد که در ایجاد تراورتن‌ها و کانی‌سازی مرحله پایانی، نقش داشته باشند. نتایج این مطالعات در شکل ۱ ارائه شده است (گزارش مطالعات زمین‌شناسی کانسار ریگان بم، ۱۳۷۸).

در این کانسار سنگ‌های ائوسن شامل مجموعه‌ای از سنگ‌های گدازه‌ای و آذرآواری با ترکیب آندزیتی تا آندزیت داسیت است که گاه به صورت ریوداسیت ظاهر می‌شوند. سنگ‌های آتشفشانی به صورت یک هاله در اطراف توده‌های نفوذی و گاه به صورت پراکنده در منطقه نمایان هستند. توده‌های نفوذی با ماهیت‌های مختلف و با ترکیب سنگ‌شناختی گوناگون در سطح منطقه پراکنده‌اند. توده‌های با ترکیب اسیدی غالباً باردار هستند و از نظر زمانی با گرانیت زاهدان هم‌ارز هستند. در مجموع ترکیب سنگ‌شناختی سنگ‌های نفوذی از گرانودیوریت تا گرانیت در نوسان است. تزریق این توده‌های نفوذی از نظر زمانی به بعد از ائوسن، الیگومیوسن نسبت داده شده است. تأثیر فرایندهای زمین‌ساختی ماگمایی در منطقه سبب ایجاد مجموعه‌ای درهم از توده‌های نفوذی میکروگرانیتی و دایک‌های دیابازی با ترکیب بازالتی تا آندزیتی بازالتی شده است و چنین به نظر می‌رسد که کانی‌سازی بیشتر در این مجموعه رخ داده است. در این تحقیق با توجه به مساحت کوچک، موقعیت قرارگیری، دگرسانی ضعیف و نبود کانی‌سازی، واحدهای سنگی گرانیت، گرانیت – گرانودیوریت و گرانودیوریت به عنوان سنگ دیواره و واحد سنگی میکروگرانیت به عنوان توده نفوذی در نظر گرفته شده است.

از دیگر سنگ‌های نفوذی جوان در سطح منطقه از دایک‌ها و آپوفیزهای با ترکیب بازالتی تا آندزیت بازالتی می‌توان نام برد که در سطح منطقه به فراوانی دیده می‌شوند. این سنگ‌ها از نظر زمانی با آخرین فاز آلپی در ارتباط بوده و زمان بعد از میوسن برای آن در نظر گرفته شده است. کمی دورتر و در خارج از منطقه سنگ‌های فوق به صورت پهنه‌های بازالتی روی سنگ‌های قدیمی‌تر دیده می‌شوند و حتی در بعضی جاها که به صورت مجموعه با سنگ‌های گرانیتی دیده شده‌اند، نیز چهره تیره را به خوبی از خود بروز

www.SID.ir

Archive of SID

داده‌اند. بنابراین می‌توان گفت که دایک‌ها و مجموعه‌ای از سنگ‌های میکروگرانیتی و دیابازی محدوده زون منشأ گرما را مشخص می‌کنند.

ماگمای میزبان به هنگام تزریق و سرد شدن، مواد کانی‌ساز خود را به صورت پورفیری، پراکنده، رگه، رگچه و استوک‌ورک در درز و شکاف‌های ایجاد شده در متن سنگ میزبان میکروگرانیت جای داده است. زمین‌ساخت و هجوم محلول‌های تأخیری و باردار، موجب تغییر در ماهیت سنگ میزبان و شکل‌گیری انواع دگرسانی در ناحیه شده است. این عمل با دگرسانی نوع فیلیک (کوارتز – سریسیت) و مقدار کمی آرژیلیک در سنگ میزبان همراه است. علاوه بر دگرسانی‌های فوق، دگرسانی سیلیسی و پروپیلیتی نیز در منطقه مشاهده می‌شود. عیار مس در سنگ‌میزبان حدود ۰/۳۵ درصد با عیار حد ۰/۲۵ است و کانی‌سازی عموماً کالکوپیریت در زون هیپوژن، کانی‌های اکسیدی و کربنات‌های مس مانند مالاکیت، آزوریت و تنوریت در زون اکسید است.

گسل‌های موجود در این کانسار به انواع گسل‌های فشاری، گسل‌های کششی و گسل‌های راستا لغز چپ‌گرد تقسیم‌بندی می‌شوند. گسل‌های فشارشی در جهت NW-SE هستند و آثار برشی‌شدن در این نوع گسل‌ها قابل‌توجه است. گسل‌های کششی در جهت NE-SW بوده و آثار دگرسانی شدید در حوالی این گسل‌ها مشاهده شده است.

در اکتشافات زمین‌شیمیایی کانسار ریگان‌بم، ۲۲۲ نمونه برجا به منظور تجزیه چهار عنصر مس، مولیبدن، سرب و روی برداشت شده است. بی‌هنجاری‌های مس و مولیبدن در این محدوده انطباق خوبی با یکدیگر دارند(میزان همبستگی بین دو عنصر فوق ۴۰ درصد محاسبه شده است) و شواهد زمین‌شناسی و کانی‌سازی را در سطح این منطقه تأیید می‌کنند (گزارش اکتشافات ژئوشیمیایی ریگان بم، ۱۳۷۸). مطالعات زمین فیزیک این کانسار، شامل برداشت‌های زمین‌فیزیک به روش مغناطیس‌سنجی و زمین‌الکتریک می‌باشد. در برداشت‌های زمین‌الکتریک پارامترهای شارژابیلیته و مقاومت‌ظاهری به روش آرایش مستطیلی (Rectangle) اندازه‌گیری شده است. زون‌های بی‌هنجاری شدت کل میدان مغناطیسی و مقاومت ظاهری تطابق کمتری با شواهد زمین‌شناسی و کانی‌سازی دارند ولی زون بی‌هنجاری شدت شارژابیلیته تطابق بهتری با شواهد فوق دارد (نتایج مطالعات ژئوفیزیکی بر روی کانسار مس ریگان بم، ۱۳۷۸).

با توجه به مدل مفهومی ذخایر مس پورفیری و ویژگی‌های خاص مطالعات انجام‌شده در کانسار ریگان بم، عوامل کنترل‌کننده کانی‌سازی مس پورفیری ریگان بم تعیین شد (شکل ۲). پس از تعیین عوامل کنترل‌کننده کانی‌سازی مس پورفیری ریگان بم، لایه‌های اطلاعاتی موردنیاز در محیط GIS آماده‌سازی شدند(جدول ۱). پس از آماده‌سازی لایه‌های اطلاعاتی موردنیاز، با انجام پردازش‌های لازم که در بخش ۲ تشریح شدند، نقشه عاملی مورد نظر تهیه شد (شکل ۳). نحوه وزن‌دهی نقشه‌های عوامل کانسار ریگان بم در جدول ۲ ارائه شده است.

در خصوص نحوه وزن‌دهی نقشه‌های فاکتور نکات زیر در نظر گرفته شده است:

• در مطالعات تفصیلی با توجه به واضح بودن مرز تقریبی واحد سنگی میکروگرانیت و انواع دگرسانی‌ها به نظر می‌رسد که احتیاجی به ایجاد بافر وجود ندارد، ولی در مطالعات پی‌جویی اولیه معمولاً برای این عوارض بافر ایجاد می‌شود.

• عارضه دایک و مجموعه‌ای از سنگ‌های میکروگرانیتی و دیابازیک نقش زون منشأ گرما را دارد. از آنجا که هر چه به واحدهای سنگی تأمین‌کننده گرما نزدیک می‌شویم گرما بیشتر و نقش آن نیز بالاتر است، بر این اساس وزن چند ضلعی‌های مربوط به این عوارض، ۰/۳ در نظر گرفته‌شد و حول این عوارض، ۴ بافر به فواصل ۱۰۰، ۲۰۰، ۳۰۰ و ۶۰۰ متر با وزن های ۰/۸، ۰/۷، ۰/۶ و ۰/۱ ایجاد شد.

• در خصوص نقشه عامل بی‌هنجاری زمین‌شیمی (ژئوشیمی) با توجه به انطباق مناسب بین این دو لایه و هم‌زاد بودن دو عنصر فوق، نقشه هاله مرکب جمعی (شاخص‌های افزایشی: CuZscore + MoZscore) دو عنصر فوق تهیه شد. نقشه شاخص‌های افزایشی دو عنصر فوق با نقشه بی‌هنجاری‌های عناصر مس و مولیبدن همخوانی مناسبی داشت و تطابق بهتری با سنگ میزبان و دگرسانی را نسبت به هر یک از بی هنجاری‌های عناصر مس و مولیبدن داشت.

• با انطباق نقشه عامل بی‌هنجاری زمین‌مغناطیسی و بی هنجاری‌های موجود در نقشه عامل دایک‌ها، مشخص شد که این نقشه در تهیه نقشه پتانسیل معدنی ریگان بم تأثیر چندانی ندارد و فقط نقش یک تأییدکننده را دارد. در تهیه نقشه پتانسیل معدنی ریگان بم این لایه به گونه‌ای با نقشه عامل زمین‌الکتریک تلفیق شد که تأثیر زیادی را نداشته باشد.

• در خصوص نقشه عامل بی‌هنجاری زمین‌الکتریک، با استفاده از میزان شارژابیلیته و مقاومت ظاهری نقاط، نقشه رستری عامل فلزی تهیه گردید. با تطابق این نقشه با سنگ میزبان و دگرسانی‌ها مشخص گردید که بی‌هنجاری عامل فلزی همپوشانی خوبی با بی هنجاری‌های شارژ ابیلیته و مقاومت ظاهری و شواهد کانی‌سازی در منطقه دارد. به این ترتیب نقشه بی‌هنجاری عامل فلزی به عنوان نقشه بی‌هنجاری زمین‌فیزیک انتخاب شد.

لازم به توضیح است که در وزن‌های ارائه شده در جدول ۲، وزن به صورت مضربی از وزن رده در وزن نقشه عامل در نظر گرفته شده است. با توجه به اهمیت نسبی عوارض و استفاده از دانش کارشناسی وزن نقشه‌های عامل سنگ

www.SID.ir

Archive of SID

میزبان، دگرسانی، زون‌های کانی‌سازی، زون گرمابی، گسل، بی‌هنجاری زمین‌شیمی، بی‌هنجاری زمین‌الکتریک، بی‌هنجاری زمین‌مغناطیس، به ترتیب برابر با ۱، ۱، ۰/۹، ۰/۳، ۰/۷، ۰/۹، ۰/۹ و ۰/۷ تعیین شده است.

به منظور تهیه نقشه پتانسیل معدنی، باید نقشه‌های عوامل مورد نظر در یک شبکه استنتاجی با هم تلفیق شوند. شبکه استنتاجی وسیله‌ای مهم برای شبیه‌سازی و فرایندهای فکری منطقی یک کارشناس است. با بررسی مدل مفهومی ذخایر مس پورفیری و دانش کارشناسی موجود در کانسار ریگان بم، ۱۶ شبکه استنتاجی که برای تهیه نقشه پتانسیل معدنی کانسار فوق مناسب به نظر می‌رسند، تعیین شدند. شبکه‌های استنتاجی فوق در شکل ۴ و عامل‌های اصلی تهیه نقشه پتانسیل معدنی در ۱۶ شبکه استنتاجی مورد نظر در جدول ۳ نمایش داده شده‌اند. در این مرحله نقشه‌های پتانسیل معدنی موردنظر با استفاده از مدل‌های همپوشانی شاخص، فازی و ترکیبی (۱۶ نقشه) تهیه شد. نقشه‌های فوق به صورت نقشه‌های رستری با درجه خاکستری در بازه [0,1] می‌باشند. به منظور ارزیابی نقشه‌های فوق، هر نقشه به سه رده بی‌هنجاری، حد واسط و حد زمینه تفکیک شد. بازه سه رده فوق به ترتیب برابر با [0.9,1] ، [0.7,0.9] و [0,0.7] تعریف شدند.

در کانسار ریگان‌بم، پس از انجام مطالعات اکتشافی، ۸ چاه اکتشافی حفاری شده است. در این قسمت اطلاعات مربوط به این چاه‌ها در محیط GIS آماده‌سازی شد. به منظور ارزیابی نتایج حفاری، نیمرخ تغییرات میزان عیار مس، در عمق هر چاه رسم شد (شکل ۵).

در این مرحله همچنین مقادیر پیکسل های(درجه خاکستری) مربوط به ۸ چاه اکتشافی در ۱۶ نقشه پتانسیل معدنی استخراج شد. نتایج فوق در جدول ۴ ارائه شده است. با توجه به مقادیر پیکسل‌های هر چاه، رده آن چاه تعیین شد. به عبارت دیگر از نقطه نظر نقشه پتانسیل معدنی کلاس هر چاه با توجه به مقادیر هر پیکسل در یکی از سه رده بی‌هنجاری، حد واسط و حدزمینه تعیین شد. لازم به توضیح است که با توجه ویژگی مدل‌های بولین و همپوشانی شاخص، نقشه پتانسیل معدنی فقط در محدوه اشتراک نقشه‌های عاملی(فاکتور) تهیه شده است و در دیگر مناطق، درجه خاکستری برابر صفر و یا غیر قابل محاسبه است. در این مرحله، رده تعیین‌شده برای هر چاه با وضعیت هر چاه مقایسه شد. در صورتی که رده چاه با وضعیت موجود چاه همخوانی داشته باشد، امتیاز مثبت (+) و در غیر این صورت امتیاز منفی (–) به چاه مربوطه داده شد. نتایج ارزیابی فوق در جدول ۴ ارائه شده است.

با بررسی نتایج حفاری می‌توان گفت که سه الگوی شماره ۷ و ۸ و ۹ در ۴ چاه اکتشافی (۵۰ در صد) و ۱۰ الگوی شماره ۱، ۲، ۳، ۵، ۱۱، ۱۲، ۱۳، ۱۴، ۱۵ و ۱۶ در ۵ چاه (۶۲/۵ درصد) و سه الگوی شماره ۴، ۶ و ۱۰ در ۶ چاه (۷۵ درصد) همپوشانی مناسبی را دارند. به این ترتیب در تلفیق نقشه‌های کانسار مس پورفیری ریگان‌بم الگوی شماره ۴ (روش فازی) و الگوهای شماره ۶ و ۱۰ (روش ترکیبی) به عنوان الگوهای مناسب با درصد تطابق ۷۵ درصد انتخاب می‌شوند. نقشه‌های پتانسیل سه الگوی فوق در شکل ۶ ارائه شده است. موقعیت ۸ چاه اکتشافی در روی نقشه‌های فوق مشخص شده است.

در ارزیابی نقشه‌های فوق می‌توان نکات ذیر را مطرح کرد:

- نتیجه واقعی حفاری چاه شماره ۲ و ۷ در منطقه ریگان بم ضعیف بوده است. این موضوع در کلیه نقشه‌های پتانسیل معدنی تأیید شده است.
- نتیجه حفاری چاه‌های شماره ۳ و ۸ در منطقه مورد مطالعه به ترتیب متوسط و ضعیف بوده است. این موضوع در نقشه‌های پتانسیل معدنی منتخب تأیید شده است. نتایج چاه‌های فوق به ترتیب در ۱۴ و ۹ نقشه پتانسیل معدنی با نتایج حفاری همخوانی مناسبی دارد.
- نتایج واقعی حفاری چاه شماره ۷ در منطقه ریگان بم خیلی ضعیف بوده است. موقعیت این چاه در محدوده مطالعات زمین‌شیمی و زمین‌فیزیک وجود ندارد. بنابراین این چاه در نقشه‌های پتانسیل معدنی مشاهده نمی‌شود. در ارزیابی چاه فوق، این چاه با نقشه بی‌هنجاری زمین‌شناسی مطابقت داده شد و نتیجه‌ای مثبت را نشان داد.
- مساحت منطقه مورد مطالعه ۲/۴ کیلومتر مربع است که محدوده مطالعات زمین‌شناسی، زمین‌شیمی و زمین‌فیزیک در این منطقه در ۰/۵۵۲ کیلومتر مربع اشتراک دارد. مساحت مجموع رده‌های بی‌هنجاری و حد واسط در سه نقشه منتخب پتانسیل معدنی (الگوی شماره ۴، ۶ و ۱۰) به طور متوسط برابر با ۰/۱۶۰ کیلومتر مربع است. همان‌گونه که قبلاً ذکر شد یک کانسار نمونه مس پورفیری، رخنمونی کشیده یا نامنظم به ابعادی در حدود ۲*۱/۵ کیلومتر دارد. مقایسه مساحت بی‌هنجاری با مساحت یک کانسار نمونه مس پورفیری نشان می‌دهد که مساحت کانی‌سازی در منطقه کم است که در رابطه با مطالعات تفصیلی‌تر و استخراج در این منطقه باید مطالعات ارزیابی اقتصادی کانسار انجام گیرد.

نتیجه‌گیری

مراکز دولتی و خصوصی متولی اکتشافات معدنی در کشور، برای تهیه پتانسیل معدنی با بهره‌گیری از سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی، می‌توانند علاوه بر جمع‌آوری و تولید اطلاعات یکپارچه، استاندارد و سازماندهی شده، در جهت شناسایی و اکتشاف شاخص‌های پتانسیل‌دار گام بردارند. در تعیین عوامل تشخیص کانی‌سازی، بررسی مدل مفهومی ذخایر معدنی و به طور خاص ویژگی‌های خاص در کانسار موردمطالعه ضروری است و یک چارچوب نظری به منظور هدایت مطالعات پتانسیل معدنی به کمک GIS ایجاد می‌کند. پیشنهاد می‌شود که در استفاده از مدل‌های تلفیق اطلاعات

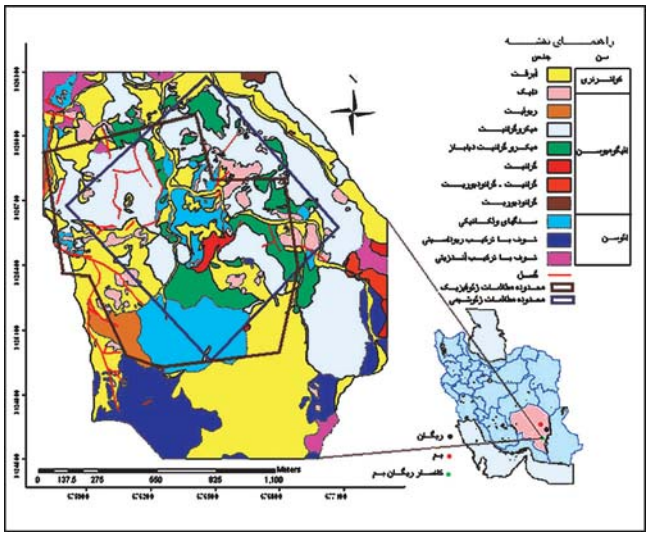
www.SID.ir

Archive of SID

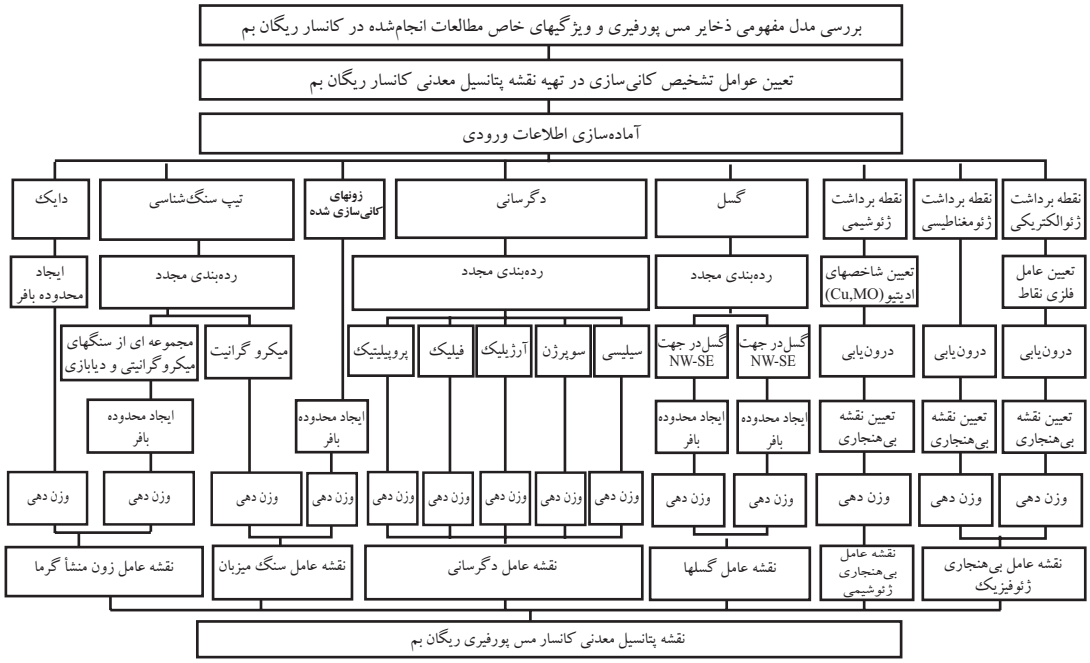
اکتشاف ذخایرمعدنی با توجه به ماهیت عملگرها و نتیجه تلفیق دو یا چند نقشه عاملی از نظر زمین‌شناسی و اکتشاف، از عملگرهای مناسب در یک شبکه استنتاجی که توسط مدل‌مفهومی ذخیره‌معدنی و نظرکارشناس تهیه می‌گردد، استفاده‌شود. در این تحقیق طراحی مدل مفهومی و فرایند تهیه نقشه پتانسیل‌معدنی برای ذخایر معدنی مس پورفیری بوده است. با بررسی مدل مفهومی سایر عناصرفلزی، فرایند تهیه نقشه پتانسیل‌معدنی ذخایر معدنی مس را می‌توان برای آنها گسترش داد.

سپاسگزاری

نویسندگان مقاله، از مدیریت و کارشناسان محترم امور اکتشافات و مهندسی توسعه شرکت ملی صنایع مس ایران به خاطر همفکری‌های صمیمانه ایشان در جهت انجام بهتر این تحقیق، تشکر و قدردانی می‌نمایند.



شکل ۱- موقعیت محدوده مورد مطالعه در نقشه ایران و نقشه زمین شناسی - معدنی کانسار ریگان بم
(از نقشه زمین شناسی - معدنی کانسار ریگان بم - مهندسین مشاور کان ایران، ۱۳۷۸)



شکل ۲- مراحل تفصیلی نقشه پتانسیل معدنی کانسار مس پورفیری ریگان بم

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۱- وضعیت اطلاعات موجود و مورد نیاز در آماده‌سازی اطلاعات کانسار ریگان بم به منظور تهیه نقشه پتانسیل معدنی

لایه‌های اطلاعاتی موردنیاز (مقیاس ۱:۵,۰۰۰)	نقشه‌های مرجع
تیپ سنگ‌شناسی / دگرسانی / دایک / گسل / زون های کانی‌سازی	۶ شیت نقشه زمین‌شناسی در مقیاس ۱:۱,۰۰۰ وضعیت موجود : رقومی در محیط AutoCad 2000 و غیر مکان مرجع مساحت منطقه مورد مطالعه: ۲/۴ کیلو متر مربع
نقطه برداشت زمین‌شیمی	داده های خام مربوط به نقاط برداشت زمین‌شیمی (شبکه برداشت ۵۰ متری) وضعیت موجود : رقومی در محیط EXCEL مساحت منطقه مورد مطالعه: ۰/۸ کیلو متر مربع
نقطه برداشت زمین‌مغناطیس / نقطه برداشت زمین‌الکتریک	نقشه شدت کل میدان مغناطیس، شارژ ابیلیته و مقاومت ظاهری در مقیاس ۱:۲/۰۰۰ وضعیت موجود : رقومی در محیط AutoCad 2000 و غیر مکان‌مرجع مساحت منطقه مورد مطالعه: ۰/۹کیلو متر مربع

جدول۲- جدول وزن‌دهی نقشه‌های فاکتور (عاملی) کانسار ریگان بم

وزن	رده‌های نقشه عاملی	عنوان نقشه عاملی	وزن	رده‌های نقشه عاملی	عنوان نقشه عاملی
0.63 0.49 0.35 0.21 0.07	بافر ۵۰ متری بافر ۱۰۰ متری بافر ۱۵۰ متری بافر ۲۰۰ متری بافر ۸۰۰ متری	ساختارها (گسل‌ها)	0.9 0.8 0.8 0.4 0.4	فیلیک سیلیسی سوپرژن پروپیلیتیک آرژیلیک	دگرسانی
0.81 0.54 0.09	بی‌هنجاری حدواسط حد زمینه	بی‌هنجاری زمین الکتریک	0.81 0.54 0.09	بی‌هنجاری حدواسط حد زمینه	بی‌هنجاری زمین‌شیمی
0.54 0.36 0.06	بی‌هنجاری حدواسط حد زمینه	بی‌هنجاری زمین‌مغناطیس	0.81 0.63 0.45 0.09	جندضلعی‌های زون‌های کانی‌سازی بافر 50 متری بافر 100 متری بافر 600 متری	محل تجمع کانه‌ها
0.09 0.24 0.21 0.18 0.03	پلی‌گون واحدسنگی بافر ۱۰۰ متری بافر ۲۰۰ متری بافر ۳۰۰ متری بافر ۶۰۰ متری	دایک‌ها	0.09 0.24 0.21 0.18 0.03	چندضلعی واحد سنگی بافر 100 متری بافر 200 متری بافر 300 متری بافر 600 متری	مجموعه‌ای از سنگ‌های میکروگرانیتی و دیابازی
			0.9	میکروگرانیت	سنگ میزبان

جدول ۳- نحوه تلفیق عوامل اصلی در شبکه‌های استنتاجی تهیه نقشه پتانسیل معدنی کانسار ریگان‌بم

بی هنجاری زمین‌شناسی	بی‌هنجاری زمین‌فیریک	زون گرمابی	سنگ میزبان	مدل
-	همپوشانی شاخص	همپوشانی شاخص	همپوشانی شاخص	۱: همپوشانی شاخص
همپوشانی شاخص	همپوشانی شاخص	همپوشانی شاخص	همپوشانی شاخص	۲: همپوشانی شاخص
-	,فازی گاما $\gamma = 0.8$	فازی گاما , $\gamma = 0.6$	فازی جمع	۳: منطق فازی
فازی گاما , $\gamma = 0.9$	, فازی گاما $\gamma = 0.8$	فازی گاما , $\gamma = 0.6$	فازی جمع	۴: منطق فازی
همپوشانی شاخص	, فازی گاما $\gamma = 0.8$	OR	همپوشانی شاخص	۵: روش تلفیقی
همپوشانی شاخص	, فازی گاما $\gamma = 0.8$	OR	فازی جمع	۶: روش تلفیقی
فازی گاما , $\gamma = 0.9$	فازی گاما , $\gamma = 0.8$	OR	همپوشانی شاخص	۷: روش تلفیقی
فازی گاما , $\gamma = 0.9$	فازی گاما , $\gamma = 0.8$	OR	فازی جمع	۸: روش تلفیقی
همپوشانی شاخص	فازی گاما , $\gamma = 0.8$	OR	همپوشانی شاخص	۹: روش تلفیقی
همپوشانی شاخص	فازی گاما , $\gamma = 0.8$	OR	فازی جمع	۱۰: روش تلفیقی
فازی گاما , $\gamma = 0.9$	فازی گاما , $\gamma = 0.8$	OR	همپوشانی شاخص	۱۱: روش تلفیقی
فازی گاما , $\gamma = 0.9$	فازی گاما , $\gamma = 0.8$	OR	فازی جمع	۱۲: روش تلفیقی
-	فازی گاما , $\gamma = 0.8$	OR	همپوشانی شاخص	۱۳: روش تلفیقی
-	فازی گاما , $\gamma = 0.8$	OR	فازی جمع	۱۴: روش تلفیقی
-	فازی گاما , $\gamma = 0.8$	OR	همپوشانی شاخص	۱۵:روش تلفیقی
-	فازی گاما , $\gamma = 0.8$	OR	فازی جمع	۱۶: روش تلفیقی

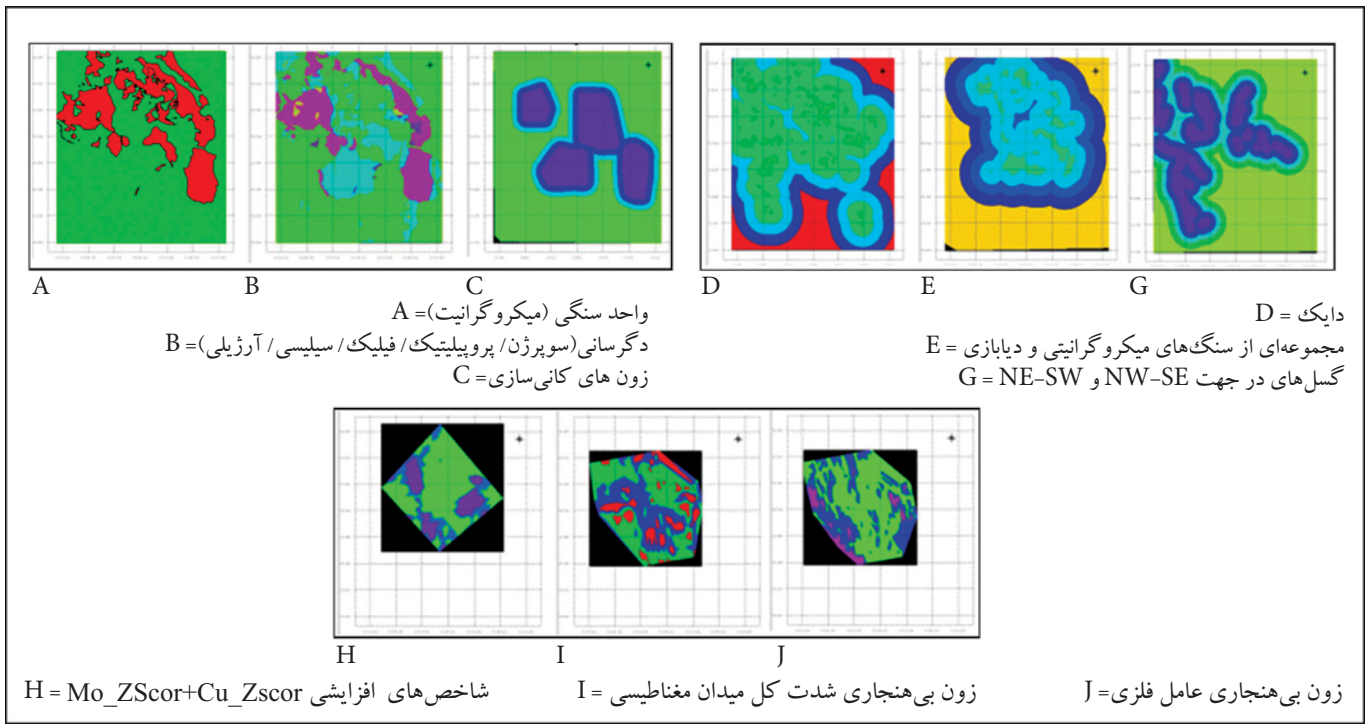
www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۴- مقایسه و ارزیابی تهیه نقشه پتانسیل معدنی به روش‌های همپوشانی شاخص، فازی و ترکیبی (۱۶ الگوی مختلف) با نتایج حفاری در کانسار مس پورفیری ریگان‌بم

		روش همپوشانی شاخص				روش فازی				روش ترکیبی							
شماره چاه	وضعیت چاه	وزن‌چاه‌دار روش ۱	ارزیابی	وزن‌چاه‌دار روش ۲	ارزیابی	وزن‌چاه‌دار روش ۳	ارزیابی	وزن‌چاه‌دار روش ۴	ارزیابی	وزن‌چاه‌دار روش ۵	ارزیابی	وزن‌چاه‌دار روش ۶	ارزیابی	وزن‌چاه‌دار روش ۷	ارزیابی	وزن‌چاه‌دار روش ۸	ارزیابی
۱	خوب	۰/۶۷	–	۰/۸۱	–	۰/۸۸	+	۰/۸۴	–	۰/۸۱	–	۰/۷۷	–	۰/۷۸	–	۰/۷۶	–
۲	ضعیف	۰	+	۰/۳۲	+	۰/۴۹	+	۰/۴۲	+	۰/۳۲	+	۰/۴۰	+	۰/۳۵	+	۰/۴۵	+
۳	متوسط	۰/۵۳	–	۰/۸۱	+	۰/۷۹	–	۰/۸۱	+	۰/۷۴	+	۰/۷۲	+	۰/۷۵	+	۰/۷۶	+
۴	متوسط	۰/۴۰	–	۰/۵۲	–	۰/۷۷	+	۰/۷۰	+	۰/۵۸	–	۰/۵۹	–	۰/۶۰	–	۰/۶۱	–
۵	ضعیف	۰/۵۰	+	۰/۶۴	+	۰/۷۶	–	۰/۷۲	–	۰/۶۹	+	۰/۶۷	+	۰/۷۳	–	۰/۷۵	–
۶	متوسط	۰/۶۸	+	۰/۷۶	+	۰/۹۰	–	۰/۸۴	+	۰/۹۰	–	۰/۸۸	+	۰/۹۰	–	۰/۸۹	–
۷	خیلی ضعیف	۰/۰	+	۰/۰	+	۰/۰	+	۰/۰	+	۰/۰	+	۰/۰	+	۰/۰	+	۰/۰	+
۸	ضعیف	۰/۳۸	+	۰/۷۱	–	۰/۶۴	+	۰/۶۵	+	۰/۵۷	+	۰/۶۲	+	۰/۶۲	+	۰/۶۱	+
جمع		۵		۵		۵		۶		۵		۶		۴		۴	

		روش ترکیبی (ادامه)															
شماره چاه	وضعیت چاه	وزن‌چاه‌دار روش ۹	ارزیابی	وزن‌چاه‌دار روش ۱۰	ارزیابی	وزن‌چاه‌دار روش ۱۱	ارزیابی	وزن‌چاه‌دار روش ۱۲	ارزیابی	وزن‌چاه‌دار روش ۱۳	ارزیابی	وزن‌چاه‌دار روش ۱۴	ارزیابی	وزن‌چاه‌دار روش ۱۵	ارزیابی	وزن‌چاه‌دار روش ۱۶	ارزیابی
۱	خوب	۰/۸۷	–	۰/۹۲	+	۰/۸۴	–	۰/۹۱	+	۰/۹۳	+	۰/۹۰	+	۰/۹۱	+	۰/۹۰	+
۲	ضعیف	۰/۴۵	+	۰/۴۹	+	۰/۵۵	+	۰/۵۸	+	۰/۳۹	+	۰/۵۲	+	۰/۴۹	+	۰/۴۷	+
۳	متوسط	۰/۸۵	+	۰/۸۵	+	۰/۸۶	+	۰/۸۸	+	۰/۸۷	+	۰/۸۷	+	۰/۸۵	+	۰/۸۸	+
۴	متوسط	۰/۷۶	+	۰/۷۷	+	۰/۷۴	+	۰/۷۸	+	۰/۷۳	+	۰/۷۲	+	۰/۷۳	+	۰/۷۷	+
۵	ضعیف	۰/۷۴	–	۰/۷۸	–	۰/۸۱	–	۰/۸۱	–	۰/۷۴	–	۰/۷۴	–	۰/۷۷	–	۰/۸۰	–
۶	متوسط	۰/۹۱	–	۰/۹۳	–	۰/۹۲	–	۰/۹۲	–	۰/۸۹	–	۰/۹۰	–	۰/۸۷	–	۰/۸۸	–
۷	خیلی ضعیف	۰/۰	+	۰/۰	+	۰/۰	+	۰/۰	+	۰/۰	+	۰/۰	+	۰/۰	+	۰/۰	+
۸	ضعیف	۰/۷۰	–	۰/۶۸	+	۰/۵۵	+	۰/۷۳	–	۰/۷۴	–	۰/۷۲	–	۰,۷۲	–	۰/۷۳	–
جمع		۴		۶		۵		۵		۵		۵		۵		۵	

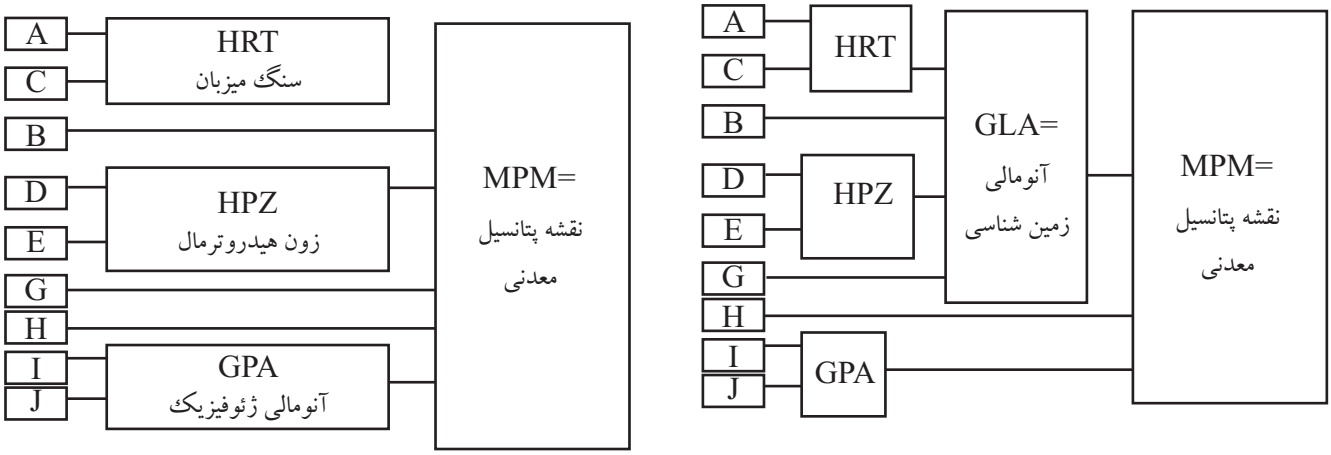


A = واحد سنگی (میکروگرانیت)
B = دگرسانی(سوپرژن/ پروپیلیتیک/ فیلیک/ سیلیسی/ آرژیلی)
C = زون های کانی‌سازی
D = دایک
E = مجموعه‌ای از سنگ‌های میکروگرانیتی و دیابازی
G = گسل‌های در جهت NW-SE و NE-SW
H = شاخص‌های افزایشی Mo_ZScor+Cu_Zscor
I = زون بی‌هنجاری شدت کل میدان مغناطیسی
J = زون بی‌هنجاری عامل فلزی

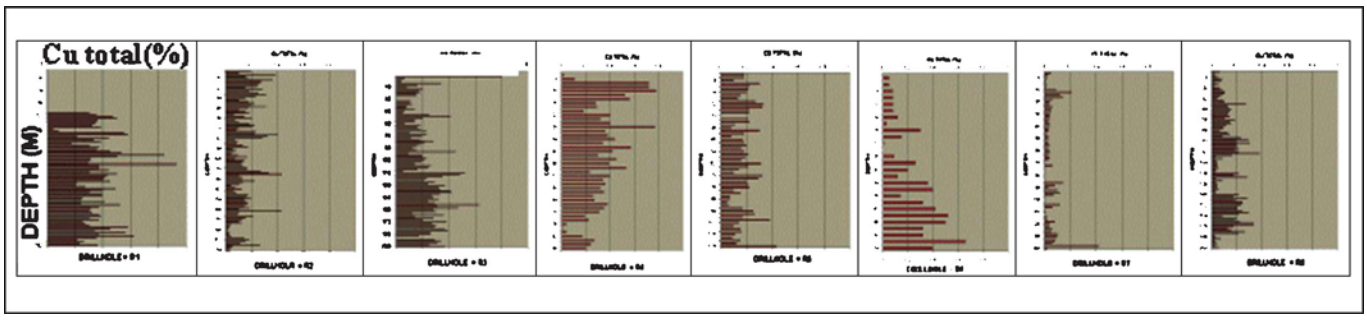
شکل ۳- نقشه‌های عاملی (فاکتور) کانسار ریگان بم(A,B,C,D,E,G,H,I,J)

www.SID.ir

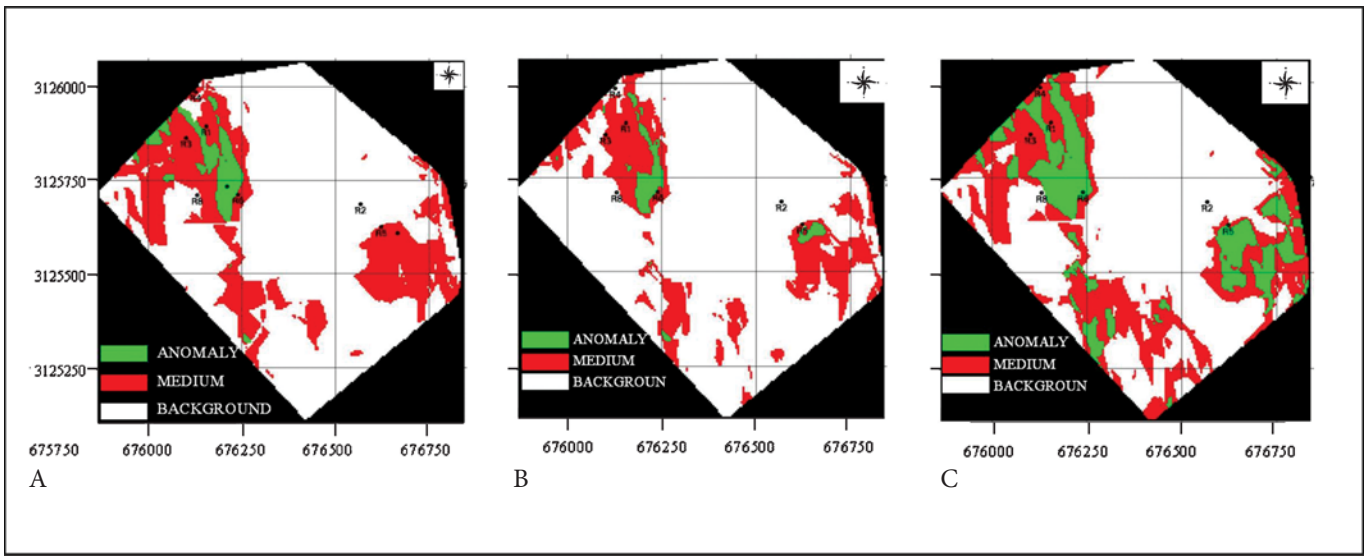
Archive of SID



شکل ۴- شبکه‌های استنتاجی تهیه نقشه پتانسیل معدنی کانسار ریگان‌بم



شکل۵- نیمرخ تغییرات میزان عیار مس، در عمق چاه‌های حفاری کانسار ریگان‌بم



شکل ۶- نقشه‌های پتانسیل معدنی کانسار مس پورفیری ریگان‌بم (مقیاس تقریبی نمایش نقشه‌ها ۱:۱۸۰۰۰)

A : منطق فازی (الگوی شماره ۴)، B : روش ترکیبی (الگوی شماره ۶) و C : روش ترکیبی (الگوی شماره ۱۰)

www.SID.ir

Archive of SID

کتابنگاری

کریمی، م.، ۱۳۸۱- طراحی و اجرای یک سیستم اطلاعات جغرافیایی طراحی برای اکتشاف معادن مس در مرحله تفصیلی، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی نقشه‌برداری، دانشگاه صنعتی خواجه‌نصیرالدین طوسی، ۱۲۰ صفحه

کریمی، م.، ولدان‌زوج، م. ج.، دلاور، م. ر.، و منصوریان، ع.، ۱۳۸۲- طراحی مدل مفهومی سیستم اطلاعات جغرافیایی شرکت ملی صنایع مس ایران(CuGIS)- ارائه شده در ششمین کنفرانس بین‌المللی مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی اصفهان

گزارش اکتشافات ژئوشیمیایی ریگان بم، شرکت مهندسین مشاور کان ایران، ۱۳۷۸

گزارش نتایج مطالعات ژئوفیزیکی بر روی کانسار مس ریگان بم، شرکت مهندسین مشاور صمان کاو ، ۱۳۷۸

گزارش نقشه زمین‌شناسی -معدنی کانسار مس ریگان بم، مهندسین مشاور کان ایران، ۱۳۷۸

References

Asadi, H.H, 2000- The Zarshuran gold deposit model applied in a mineral exploration GIS in Iran, PhD Thesis, ITC, Netherlands, 190 pp.

Bonham, C., 1994- Geographic Information System for geoscientists, Pergamon (modeliing with GIS), Ontario, 380 pp.

Carranza, J., 2001- Geographical-Constrained Mineral Potential Mapping, PhD Thesis, ITC, Netherlands, 480 pp.

Karimi, M., Valadan Zoej, M.J., Mansourian, A. & Saheb Zamani, N., 2003-Design and Implementation of National Iranian Copper Industries Company Geographical Information System (CuGIS), accepted to be published in Proc. Conference ASPRS 2003, Alaska, USA

www.SID.ir