تعیین ارتباط بین عناصر ساختاری و کانی زایی مس به منظور پتانسیل یابی مناطق جدید با استفاده از تکنیک های سنجش از دور و GIS در محدودهٔ چهارگنبد، استان کرمان

رضا درخشانی*(۱) علی مهرابی(۲) زینب باغفلکی(۳)

(۱) استادیار، گروه زمین‌شناسی، دانشکدهٔ علوم پایه، دانشگاه شهید باهنر کرمان

(۲) دانشجوی دکتری، گروه زمین‌شناسی، دانشکدهٔ علوم پایه، دانشگاه شهید باهنر کرمان

(۳) عضو نظام مهندسی معدن استان کرمانشاه

چکیده هدف اصلی از این مطالعه، تعیین ارتباط بین عناصر ساختاری مؤثر و پتانسیل‌یابی مس در چهارگوش ۱:۱۰۰۰۰۰ چهارگنبد می‌باشد. منطقهٔ مورد مطالعه در بخش جنوبی کمربند آتشفشانی- رسوبی ایران مرکزی در نقشه ۱:۲۵۰۰۰۰ سیرجان قرار دارد. به دلیل حضور کانسارهای مس پورفیری و رگه‌ای شناخته شده در این منطقه، از جمله کانسارهای کوه‌پنج و چهارگنبد، این منطقه به عنوان یک منطقهٔ آزمایشی برای بررسی کاربرد روش‌های دورسنجی و سیستم اطلاعات جغرافیایی انتخاب شد. در این بررسی ابتدا عوامل و پارامترهای مؤثر در کانه‌زایی مس معرفی گردید و علت انتخاب هر پارامتر و نقش مؤثر آن در کانه‌زایی بررسی شد. بر این اساس پارامترها و عوامل مؤثر با توجه به مهیا بودن داده‌ها، مشخص گردیدند. این پارامترها به‌طور خلاصه شامل نواحی آلتراسیون هیدروترمال، شکستگی‌ها، توده‌های نفوذی، مراکز و حواشی نفوذی‌ها و لیتولوژی منطقه می‌باشند. سپس ارتباط مکانی بین پارامترهای مشخص شده و کانه‌زائی مس از روش وزن‌های نشانگر، به طور کمی اندازه‌گیری و تعیین شد. بر این اساس، بیشترین ارتباط بین پورفیری‌های مس با شکستگی‌ها، حواشی توده‌های نفوذی و مرکز نفوذی‌ها به ترتیب در فواصل ۱ کیلومتری، ۱/۵ کیلومتری و ۱ کیلومتری به‌دست آمد. پس از آن با استفاده از روش منطق فازی و بر اساس نتایج به‌دست آمده از روش وزن‌های نشانگر، اقدام به تعیین مناطق با پتانسیل مناسب نموده و منطقهٔ مورد مطالعه به چهار منطقهٔ خوب، متوسط، ضعیف و نامناسب از لحاظ پتانسیل مس پورفیری تقسیم گردید.

واژه‌های کلیدی مس پورفیری، تعیین ارتباط، منطق فازی، روش وزن های نشانگر، سنجش از دور.

*عهده دار مکاتبات

نشانی: دانشگاه شهید باهنر کرمان، دانشکدهٔ علوم پایه، گروه زمین شناسی

تلفن: ۰۳۴۱۲۵۱۰۶۴۳ **پست الکترونیکی:** derakhshani@mail.uk.ac.ir

Archive of SID

www.SID.ir

۱- مقدمه

در سال‌های اخیر، بنابر نظریهٔ تکتونیک صفحه‌ای و پیدایش ذخائر مس در ارتباط با صفحات لیتوسفری در زمین و به عبارتی وابستگی با لبه‌های آن‌ها، زون‌های فرورانش و محورهای گسترش آن‌ها در زمان و مکان تاکید شده است. نمونه توده‌های مس پورفیری را در چهارچوب الگوی تکتونیک صفحه‌ای به نواحی قوس‌های آتشفشانی و قوس‌های پشته‌ای که در طرف قاره جای دارند، به فرورانش پوستهٔ اقیانوسی نسبت می‌دهند [۱].

مطالعات اخیر [۴و۳و۲] نشان می‌دهد که تشکیل و جایگیری کانسارهای مس پورفیری، نه تنها تحت تأثیر فرآیندهای ماگمایی و هیدروترمالی می‌باشد، بلکه تکتونیک ناحیه‌ای، محلی و رژیم‌های تکتونیکی در زمان تشکیل این کانسارها نیز اهمیت بسیار زیادی دارد. بسیاری معتقدند که کانسارهای مس پورفیری در مقایسه با سایر کانسارهای هیدروترمالی به طرز جالب توجهی همزاد با توده‌های نفوذی پورفیری می باشند که در امتداد سیستم‌های گسلی امتداد لغز کمان‌های قاره ای و جزیره‌ای می‌باشند؛ بنابراین به منظور بررسی جایگاه مناسب جایگیری نفوذی های پورفیری و کانسارهای مس همراه آن‌ها، شناسایی محل های تمرکز سیالات ماگمایی درون پوسته بسیار با اهمیت می باشد [۵]؛ از این رو، بین عوامل تکتونیکی و ساختاری با زون‌های کانی‌سازی شده. ارتباط تنگاتنگی قابل پیش‌بینی است. بنابراین با توجه به تأثیر عوامل تکتونیکی و عناصر ساختاری در تمرکز و پیدایش ذخائر مس پورفیری، تعیین این ارتباط، لازم به نظر می‌آید. بررسی حاضر نیز با هدف تعیین این ارتباط و در ادامه، اولویت‌بندی برای اکتشاف و تعیین مناطق دارای پتانسیل مناسب برای اکتشاف مس در بخشی از کمربند آتشفشانی ایران مرکزی (محدوده ۱:۱۰۰۰۰۰ چهارگنبد) صورت گرفته است.

در بررسی حاضر، به منظور تعیین عناصر ساختاری مؤثر در کانه‌زائی مس پورفیری و با استفاده از فایل‌های رقومی مربوطه و تصویر ماهواره‌ای لندست منطقه، به شناسایی عناصر و پارامترهایی که در کانه‌زایی مس پورفیری مؤثر باشند، پرداخته و لایه‌های اطلاعاتی مرتبط تشکیل شده است. جهت تهیهٔ نقشه پتانسیل کانی‌زایی منطقه، از دو روش منطق فازی و وزن های نشانگر، استفاده شده است. سپس با استفاده از روش منطق فازی و بر اساس نتایج به‌دست آمده از روش وزن‌های نشانگر، اقدام به تعیین مناطق با پتانسیل مناسب شده است.

به منظور تعیین عوامل مؤثر در کانه‌زایی عنصری خاص، باید نوع مدل ذخیرهٔ معدنی مربوطه مشخص شود. ذخیره‌های معدنی، می‌توانند به صورت مختلف گروه‌بندی یا طبقه‌بندی شوند، واین امر به ویژگی‌های آن‌ها بستگی دارد. هیچ دو ذخیره‌ای از یک نوع، به طور کامل یکسان نیستند؛ بعضی اوقات نیز یک دسته ممکن است محدوده‌ای از نوسان و تغییر را در بر داشته باشد. مدل‌های ذخایر معدنی، برای تهیه و تدارک چهارچوب نظری و هدایت مطالعات پتانسیل‌یابی معدنی به کمک سیستم اطلاعات جغرافیایی، دارای اهمیت‌اند. آن‌ها به انتخاب داده‌ها و مدل‌سازی آن‌ها و تصمیم‌گیری اینکه کدام موارد بهسازی شده و به عنوان شاهد بیرون کشیده شوند و همچنین برای تصمیم‌گیری نحوهٔ وزن‌دار کردن اهمیت نسبی شواهد، در برآورد پتانسیل معدنی، کمک می‌کنند. در این بررسی با توجه به کانی‌زایی مس پورفیری به همراه مس، سرب و روی، رگه‌ای در کمربند سراسری که نقشهٔ چهارگنبد نیز بخشی از آن است، مدل اکتشافی براساس کانی‌زایی مس پورفیری قرار دارد؛ ولی در تعیین نقشه‌های نشانگر تا حدودی کانسارهای رگه‌ای نیز در نظر گرفته شده‌اند. متداول‌ترین میزبان کانی‌سازی پورفیری، سنگ‌های پلوتونیک اسیدی می باشند که از گرانیت به سوی گرانودیوریت تا تونالیت کوارتزمونزونیت دنبال می‌شود. اکثر ذخایر مس ایران، به خصوص پورفیری‌ها، در زون آتشفشانی ایران مرکزی واقع می‌باشند که ارتباط مکانی

Archive of SID

www.SID.ir

و زمانی بسیار جالبی با گسل‌های امتداد لغز و توده‌های نفوذی گرانیتوئیدی میوسن در این زون دارند [۶]. در این راستا، منطقهٔ معدنی چهارگنبد، جهت تعیین این ارتباط انتخاب گردید. نگاه کلی به این محدوده با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، نشان می‌دهد که ارتباط مکانی خاصی بین تمامی اندیس‌های شناخته شده و به خصوص پورفیری‌های مس با شکستگی‌ها در این منطقه وجود دارد. با توجه به وسعت منطقه و پراکندگی این ذخایر، استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و روش‌های دورسنجی به همراه ترکیب و مدل نمودن داده‌های حاصل در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی، می‌تواند کمک بسیار شایانی به تعیین این ارتباط به لحاظ کیفی و کمی نماید. لذا در این مقاله، نقش عوامل زیر در کانه‌زایی مس پورفیری منطقه، مورد بررسی قرار گرفته است:

الف- شکستگی‌ها و گسل‌های موجود در منطقه.

ب- توده‌های نفوذی منطقه.

ج- حواشی توده‌ها.

د- سازندهای زمین‌شناسی.

و- نواحی آلتراسیون هیدروترمالی.

۲- روش تحقیق

۲-۱- تهیهٔ لایهٔ شکستگی‌های منطقه

شکستگی‌ها به‌ویژه گسل‌ها می‌توانند به عنوان یکی از عوامل مهم و اساسی در تشکیل ذخایر معدنی باشند. شناخت عناصر ساختاری مانند گسل‌ها، شکستگی‌ها، چین‌خوردگی‌ها و همچنین محل تلاقی گسل‌های اصلی با گسل‌های دیگر که می‌تواند محل مناسبی برای نفوذ ماگما و سپس کانه‌زایی باشد، می‌توانند راهنمای شناخت و اکتشاف ذخایر معدنی باشند. برای استخراج شکستگی‌ها نظیر گسل‌ها و تعیین ارتباط آن‌ها، از تصویر ماهواره‌ای منطقه استفاده گردید. با توجه به این که این ساختارها بر روی تصویر ماهواره‌ای به صورت خطی خود را نشان می‌دهند، ممکن است با دیگر عوارض خطی نظیر خطوط آبراهه و جاده‌ها اشتباه گرفته شوند؛ بنابراین جهت تشخیص گسل‌ها و شکستگی‌های تکتونیکی بر روی تصویر ماهواره‌ای از ترکیب باندی ۱-۴-۷ و همین‌طور از علائم و نشانه‌هایی که این قبیل عوارض و ساختارها بر روی تصویر از خود نشان می‌دهند، کمک گرفته شد. این نشانه‌ها شامل موارد زیر است:

تغییر رنگ خاک‌ها، حالت خطی پوشش گیاهی، بخش‌های مستقیم رودخانه‌ها، گودی‌هایی که به صورت خطی قرار دارند و قطع‌شدگی امتداد برآمدگی‌ها.

یکی از روش‌های معمول دیگر برای استخراج شکستگی‌ها استفاده از تصویر سایه- برجسته (Shaded Relief) مربوط به مدل رقومی ارتفاع (Digital Elevation Model (DEM) می‌باشد، بدین‌صورت که با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی رقومی با مقیاس ۱/۲۵۰۰۰ مربوط به منطقه، در نرم افزار Rivertools 2.4 مدل ارتفاعی آن تهیه گردیده، آنگاه از روی DEM تهیه شده، تصویر سایه- برجسته استخراج شد. از این تصویر، برخی از شکستگی‌ها شناسایی و رقومی گردید. جهت بالا بردن دقت از نقشهٔ زمین‌شناسی منطقه نیز کمک گرفته شد.

۲-۲- تهیهٔ لایهٔ توده‌های نفوذی و حواشی این توده‌ها

بر اساس مطالعات صورت گرفتهٔ گذشته که در بخش‌های قبل به آن پرداخته شد، توده‌های نفوذی موجود در منطقه در کانه‌زایی مس مؤثر بوده است؛ بنابراین برای استخراج این عوامل از تصویر ماهواره‌ای منطقه استفاده شد. جهت تشخیص توده‌های نفوذی بر روی تصویر ماهواره‌ای از ترکیب باندی ۱-۵-۷ و همین‌طور از علائم و نشانه‌هایی که این قبیل عوارض و ساختارها بر روی تصویر از خود نشان می‌دهند، مانند تشکیل تپه‌های مدور و یا تغییر در زمینهٔ خاکستری تصویر به دلیل کانی‌های درشت کوارتز و میکای روشن موجود در سازندهای گرانیتی، کمک گرفته شد.

Archive of SID
www.SID.ir

همچنین به منظور دقت بیشتر از نقشهٔ زمین‌شناسی منطقه نیز کمک گرفته شد و در نهایت، مراکز و حاشیه نفوذی‌های منطقه در لایه‌های جداگانهٔ رقومی تهیه گردید.

۲-۳- تهیهٔ نواحی آلتراسیون هیدروترمالی

در این بررسی برای استخراج نواحی آلتراسیون هیدروترمال از روش کروستا (Crosta) استفاده گردید [۷]. روش کروستا مبتنی بر روش‌های آماری چندمتغیره بوده، و بر اساس بزرگی و علامت بردارهای ویژه مؤلفه‌های اصلی ((Principle Component (PC) استوار است و به صورت پیکسل‌های روشن و تیره در تصاویرPC بیان می‌گردد که به طور کلی باعث جمع‌آوری و متراکم ساختن اطلاعات پدیده‌های موجود در باندهای مختلف در تعدادی باند با مؤلفه کمتر می‌شود. در این بررسی، به منظور بارزسازی نواحی آلتراسیون هیدروترمال منطقه از ۴ باند ۱-۳-۴-۵ استفاده شد و از این‌ها تعداد ۴، PC تهیه گردید (جدول (۱)) که در این مورد، PC1؛ مبین توپوگرافی، PC2؛ نشان‌دهندهٔ اختلاف بین باندهای مرئی و مادون‌قرمز، PC3 پوشش گیاهی و PC4 نواحی آلتراسیون هیدروترمال منطقه را نشان می‌دهد. در تصویر PC4 ایجاد شدهٔ نواحی آلتراسیون هیدروترمال به صورت پیکسل‌های روشن، ظاهر می‌شوند؛ بنابراین بعد از نمایش و مشخص شدن مناطق آلتراسیون بر روی تصویر PC4، این مناطق در یک لایهٔ جداگانهٔ رقومی تهیه گردید. سپس با استفاده از روش طبقه‌بندی نظارت‌شده و در نرم‌افزار ENVI 4 بعد از تعیین نقاط نمونه که همان مناطق تیره می‌باشد، تصویر به دو کلاس تقسیم می‌شود. درنهایت، کلاس‌های ایجاد شده جهت تلفیق نهایی به بردار (Vector) تبدیل می‌شود.

۲-۴- تهیهٔ لایهٔ لیتولوژی

بسیاری از کانسارها با سازندهای خاص و یا واحدهای سنگ‌شناسی خاصی ارتباط دارند. شناسایی این واحدهای سنگ‌شناسی و چینه‌شناسی، توسط داده‌های سنجش از دور می‌تواند به اکتشاف کانسارهای موجود در آن‌ها کمک کند؛ لذا به منظور ایجاد این لایه که یکی از پارامترهای مؤثر در کانه‌زایی مس پورفیری می‌باشد، از تصویر ماهواره‌ای منطقه بهره‌گرفته شد. پس از پردازش‌های لازم که بر روی تصویر انجام گرفت، ترکیب باندی مناسب جهت تشخیص و تمایز لیتولوژی، ترکیب ۱-۴-۷ در نظر گرفته شد. پس از ایجاد این ترکیب بر اساس تمایز بصری و طیفی که لیتولوژی‌های مختلف در تصویر از خود نشان می‌دهند، اقدام به رقومی نمودن سازندهای منطقه گردید. به دلیل تأثیر متفاوت سازندهای مختلف در کانه‌زایی و وزن‌دهی این سازندها نیاز به تفکیک این سازندها به کلاس‌های جدید، به طوری که هر کلاس جدید، تأثیر متفاوتی در کانه‌زایی داشته، می‌باشد. بدین منظور، تمام سازندها به ۷ کلاس جدید تقسیم می‌گردد.

۳- تعیین ارتباط کمی و کیفی بین نقاط معدنی شناخته شده با عناصر ساختاری موجود درمنطقه

برای تعیین ارتباط، روش‌های متعددی وجود دارد؛ یکی از بهترین روش‌ها، روشی به نام وزن‌های نشانگر می‌باشد. ارتباط مکانی بین نهشته‌های معدنی با شکستگی‌ها با استفاده از روش وزن‌های نشانگر (Weights of Evidence) [۸] می‌تواند مورد آزمایش قرار گیرد. البته پایهٔ ریاضی این تکنیک، پیچیده بوده و در این تحقیق از نوع ساده شدهٔ این روش، ارائه شده توسط ترنر [۹] استفاده شد. مبنای این روش بر حضور یا عدم حضور یک پدیدهٔ نقطه‌ای (مانند اندیس‌ها و نهشته‌های مس پورفیری) در یک محدوده (Domain) می‌باشد که این محدوده می‌تواند فواصل مشخص از شکستگی‌ها و یا پلوتون‌های منطقه باشد و بر اساس وزن‌دهی بین این نقاط و محدوده‌ها عمل می‌کند. این وزن‌ها به‌صورت W^+ (وزن‌دهی به پدیده‌های درون-محدوده (D_P)) و W^- (وزن‌دهی به پدیده‌های بیرون از محدوده (D_A)) می‌باشند. باید توجه کرد $T = D_{P+} D_A$ و T کل محدودهٔ مطالعه شده است.

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۱ خلاصهٔ آماری تحلیل مؤلفهٔ اصلی، ۴ باند سنجنده ETM از منطقهٔ مورد مطالعه

Input Bands	ETM1	ETM3	ETM4	ETM5	Eigenvalues (%)
PC1	۰/۴۹۱۳	۰/۵۰۴۳	۰/۵۶۴۱	۰/۴۳۱۳	۷۶/۸۱
PC2	۰/۴۵۱۲	−۰/۳۶۴۸	۰/۱۰۱۳	−۰/۸۰۸۱	۲۰/۱۷
PC3	۰/۳۵۸۴	−۰/۲۱۸۴	۰/۸۱۴۲	۰/۴۰۰۹	۲/۴۵
PC4	۰/۶۵۳۱	۰/۷۵۱۵	−۰/۰۹۲۶	۰/۰۱۳۷	۰/۵۷

ارتباط مکانی بین مجموعهٔ نقاط و محدوده های دوتایی را با توجه به رابطهٔ زیر می‌توان مشخص نمود. اگر ارتباط مکانی مثبت :

(درصد رخدادهای قرارگرفته در درون محدوده)/
۱ < (درصد کل مساحت درون محدوده)

یااگرارتباط مکانی منفی:

(درصد رخدادهای قرارگرفته در درون محدوده)/
۱ > (درصد کل مساحت درون محدوده)

واگر بدون ارتباط مکانی :

(درصد رخدادهای قرارگرفته در درون محدوده)/
۱ = (درصد کل مساحت درون محدوده)

اما به دلیل این که مساحت رخنمون ها بسیار کوچک‌تر از محدوده‌هایی است که درون آن قرار دارند، برای نمایش تغییرات روابط بالا به صورت لگاریتمی ارائه می‌شود.

W^+ = لگاریتم (درصد کانسارهای درون محدوده) / (درصد کل مساحت درون محدوده)

W^- = لگاریتم (درصد کانسارهای برون محدوده) / (درصد کل مساحت برون محدوده)

پس از وزن دهی، واریانس وزن‌ها از طریق فرمول زیر محاسبه می گردد:

$$s^2(w+) = \frac{1}{mD_p} + \frac{1}{bD_p}$$

$$s^2(w-) = \frac{1}{mD_A} + \frac{1}{bD_A}$$

در فرمول بالا، mD_P تعداد پیکسل‌های (کوچک‌ترین واحد سازندهٔ تصویر) درون محدوده و شامل اندیس مس می باشد و bD_P تعداد پیکسل‌های بدون اندیس مس و درون محدودِه می باشد. سپس برای هر محدودهٔ دو تایی، ضریب تباین (C)از رابطهٔ زیر به دست می آید:

$$C = (W+) - (W-)$$

سپس انحراف معیار را محاسبه نموده :

$$s(C) = \sqrt{s^2(W+) + s^2(W-)}$$

در مواردی که نقاط و رخنمون ها نسبتاً کم باشند (مانند: تحقیق پیش‌رو) نسبت C/s(C) مبنای کار قرار می گیرد [۱۰]. براین اساس، هر چه مقدار نسبت به دست آمدهٔ بالا بزرگتر باشد. ارتباط مکانی مطلوب‌تر بوده؛به طوری که حداکثر نسبت به دست آمده برای یک محدوده ارتباط مکانی مطلوب‌تری را برای آن محدوده می توان در نظر گرفت. در این بررسی نیز از طرفی به منظور تعیین ارتباط بین نقاط معدنی مس و عوامل ساختاری چون شکستگی‌های منطقه، مراکز و حواشی توده‌های نفوذی و همچنین تعیین ارتباط بین مراکز نفوذی‌ها با شکستگی‌ها و حواشی نفوذی‌ها از روش بالا استفاده گردید.

به منظور تعیین ارتباط بین پدیده‌های مورد نظر، مراحل زیر برای تمامی پدیده‌ها اجرا شد:

۱- بر حسب این که پدیده‌ها پلی‌گون، خط و یا نقطه باشند، بعد از رقومی کردن به صورت لایه‌های وکتوری جداگانه ذخیره گردیدند.

۲- نقشه‌های وکتوری تهیه شده از عناصر مؤثر در کانه‌زایی، به رستر تبدیل گشته و سپس نقشهٔ فواصل مشخص (Buffer) ۵۰۰ متری از هر یک از پدیده‌ها تهیه می‌گردد.

۳- رقومی کردن اندیس‌های معدنی به صورت نقاط.

Archive of SID

www.SID.ir

۴- تبدیل وکتور به رستر در نقشهٔ نقاط معدنی.
۵- اندازه گیری تعداد نقاط درون هر محدودهٔ دوتایی با روی هم‌اندازی لایهٔ رستری نقاط معدنی بر روی لایهٔ رستری محدوده‌های دوتایی.
۶- محاسبهٔ وزن‌ها و ضرایب، بر اساس معادلات.
۷- محاسبهٔ ضریب C و Studentised C .

قابل ذکر است که مراحل کار در نرم‌افزار Arcview 3.2 و با استفاده از Extention به نام Spatial Data Modeller می‌باشد. همچنین اندازهٔ پیکسلی استفاده شده در تحلیل‌های رستری GIS، ۱۰۰×۱۰۰ متر می‌باشد.

۳-۱- ارتباط بین نفوذی‌ها با امتداد شکستگی‌ها

بین شکستگی‌ها و نفوذی‌های پورفیری بر اساس ضرایب C به دست آمده، ارتباط مکانی مثبت می‌باشد. از لحاظ آماری، این ارتباط مکانی مثبت از ۵۰۰ تا ۱۰۰۰ متری می‌باشد؛ اما بر اساس ضریب Studentised C، درفاصلهٔ ۱۰۰۰ متری، بیشترین ارتباط وجود دارد؛ بنابراین با وزن‌دار کردن کلاس‌ها می‌توان به واحدهایی دست یافت که بیشترین ارتباط را با نقاط نشان می‌دهند.

۳-۲- ارتباط بین نهشته‌های مس با امتداد شکستگی‌ها

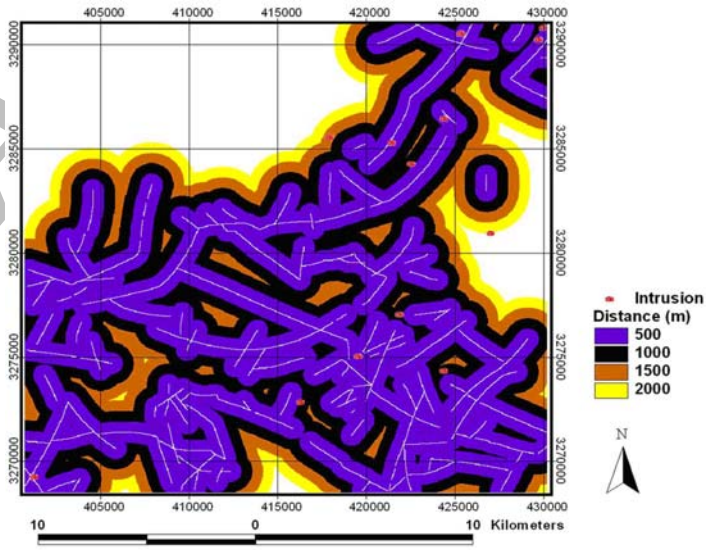
بر اساس ضرایب C به دست آمده، بین نهشته‌های مس‌پورفیری و شکستگی‌ها ارتباط مکانی مثبتی وجود دارد و تا فاصلهٔ ۳۰۰۰ متری از شکستگی‌ها ارتباط مثبت می‌باشد. بر اساس حداکثر ظریب Studentised C، فاصلهٔ ۱۰۰۰ متری، مطلوب ترین فاصله است.

۳-۳- ارتباط بین نهشته‌های مس با مرکز توده‌های نفوذی

با تهیهٔ بافرهای ۵۰۰ متری اطراف توده‌های نفوذی پورفیری وانداختن لایهٔ نهشته‌های مس بر روی آن تا فاصله ۷۰۰۰ متری از توده‌ها، ارتباط مکانی مثبت بوده و بیشترین ارتباط نیز در فاصله ۱۰۰۰ متری از توده‌های نفوذی است.

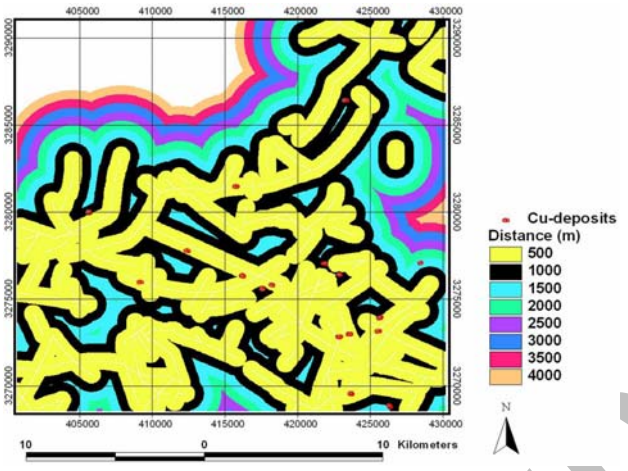
۳-۴- ارتباط بین نفوذی‌های پورفیری با حواشی نفوذی‌ها

بر اساس ضرایب C به‌دست آمده، بین توده‌های نفوذی پورفیری و حواشی باتولیت‌ها ارتباط مکانی مثبتی وجود دارد و تا فاصلهٔ ۵۰۰۰ متری از حواشی باتولیت‌ها ارتباط مثبت است. بر اساس حداکثر ظریب Studentised C، فاصلهٔ ۱۵۰۰ متری، مطلوب ترین فاصله می‌باشد.



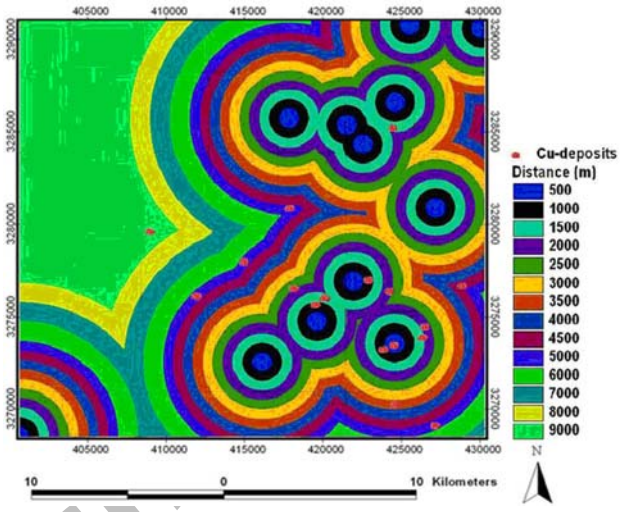
شکل ۱ بافرهای ۵۰۰ متری اطراف شکستگی‌ها و نمایش فاصلهٔ مطلوب توده‌های نفوذی از امتداد شکستگی‌ها

Archive of SID
www.SID.ir

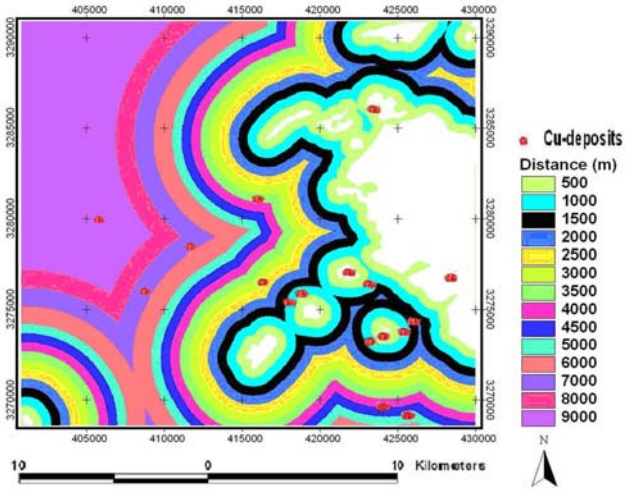


شکل ۲ بافرهای ۵۰۰ متری اطراف شکستگی‌ها، ونمایش فاصلهٔ مطلوب نهشته‌های مس پورفیری از امتداد شکستگی‌ها

++



شکل ۳ بافرهای ۵۰۰ متری اطراف توده‌های نفوذی و نمایش فاصلهٔ مطلوب نهشته‌های مس از مرکز توده‌های نفوذی پورفیری



شکل ۴ بافرهای ۵۰۰ متری اطراف حواشی نفوذی‌ها و نمایش فاصلهٔ مطلوب توده‌های نفوذی پورفیری از حواشی نفوذی‌ها

www.SID.ir

پس از تعیین وزن معیارهای مؤثر در پتانسیل‌یابی، بایستی لایه‌های اطلاعاتی را با هم ترکیب کرده تا به هدف بررسی در این مرحله، که همان یافتن مناطقی با پتانسیل بالای مس پورفیری است، برسیم. روش‌های مختلفی برای ترکیب لایه‌ها وجود دارد که می توان به مدل منطق فازی به عنوان مهم‌ترین آن‌ها اشاره نمود.

۴- روش منطق فازی

روش منطق فازی (Fuzzy Logic) اولین بار توسط پروفسور زاده [۱۱]، دانشمند ایرانی، عرضه شد. این نظریه قادر است به بسیاری از مفاهیم، متغیرها و سیستم‌هایی که نادقیق و مبهم هستند -چنانچه در عالم واقعیت نیز اکثراً چنین است- ماهیتی ریاضی ببخشد و زمینه را برای استدلال، استنتاج، کنترل و تصمیم‌گیری در شرایط عدم اطمینان فراهم آورد. در نظریهٔ مجموعه کلاسیک عضویت، یک مجموعه به صورت درست یا غلط تعریف می‌شود. با این حال، عضویت یک مجموعهٔ فازی، با مقیاس گروه‌بندی شده به صورت موجود، از صفر تا یک و به صورت بایت، از صفر تا ۲۵۶ بیان می‌شود. روش فازی، احتمال عضویت یک پیکسل را به مجموعه‌های فازی با توجه به تابع عضویت فازی ارزیابی می‌کند. مجموعه‌های فازی (و یا کلاس‌های فازی)، فاقد مرز مشخصی هستند و عضویت و یا عدم عضویت یک مکان در مجموعه‌ای خاص، به صورت تدریجی است.

۴-۱- تهیهٔ نقشه‌های نشانگر

در این بخش برای تهیهٔ نقشه‌های مختلف و میزان مطلوبیت آنها در کانه‌زایی مس پورفیری بر اساس اختصاص درجات عضویت فازی، از ارتباط تعیین شده در جدول(۲) استفاده می‌گردد. درجات عضویت فازی برای مجموعه کلاس‌های فواصل مختلف از اشکال ساختاری و واحدهای متفاوت آلتراسیون هیدروترمال و زمین‌شناسی در جدول(۳) لحاظ شده است. در این جدول، درجات عضویت فازی مطلوبترین کلاس فاصله به دست آمده از جدول(۲)، برای نقشه امتداد شکستگی‌ها ۰/۹ و برای کلاس‌هایی که ارتباط مکانی مثبت دارند به ترتیب ۰/۸ و ۰/۷ و برای کلاس‌هایی که ارتباط مکانی کم و منفی می‌باشد، این درجه‌بندی از ۰/۳ تا ۰/۱ کاهش می‌یابد. همچنین برای لایه حواشی و مراکز توده‌های نفوذی نیز به همین صورت وزن و درجهٔ عضویت فازی داده می‌شود. برای سازندهای زمین‌شناسی همزاد و مؤثر در کانه‌زایی مس پورفیری بر اساس میزان اهمیت آن‌ها (استفاده از نظر کارشناسی)، به ترتیب درجهٔ عضویت فازی ۰/۹ تا ۰/۷ داده می‌شود.

سنگ‌های ولکانوکلاستیک با سن میوسن پایینی تا پلیوسن نیز به دلیل دارا بودن پتانسیل کانه‌زایی مس پورفیری درجهٔ عضویت ۰/۵ می‌گیرند. دیگر سازندها که کمترین اهمیت را در کانه‌زایی دارند، درجه ۰/۱ می‌گیرند.

برای واحدهای آلتراسیون هیدروترمال که از طریق تکنیک‌های سنجش ازدور استخراج شده، به دلیل پایین‌تر بودن دقت روش PCA نسبت به روش تهیهٔ لایه‌های دیگر، درجهٔ عضویت فازی ۰/۶ داده شده و به مناطق غیردگرگون، درجهٔ عضویت ۰/۰۱ تعلق می‌گیرد.

جدول ۲ ارتباط مکانی مطلوب بین نهشته‌های مس پورفیری و اشکال ساختاری منطقه

ارتباط مکانی(m)	اشکال ساختاری
۱۰۰۰	امتداد شکستگی ها
۱۵۰۰	حاشیه نفوذی ها
۱۰۰۰	مرکز توده های نفوذی

Archive of SID
www.SID.ir

جدول ۳ کلاس‌های واحدها و فواصل و درجات عضویت فازی برای اشکال ساختاری، سازندهای زمین‌شناسی و واحدهای آلتراسیون هیدروترمال منطقهٔ مورد مطالعه

واحدهای آلتراسیون هیدروترمال		سازندهای زمین شناسی		مراکز توده‌های نفوذی		حواشی نفوذی‌ها		امتداد شکستگی‌ها	
درجهٔ عضویت فازی	کلاس واحدها**	درجهٔ عضویت فازی	کلاس واحدها*	درجهٔ عضویت فازی	کلاس (فاصلهkm)	درجهٔ عضویت فازی	کلاس (فاصلهkm)	درجهٔ عضویت فازی	کلاس (فاصلهkm)
۰/۶ ۰/۰۱	A U	۰/۹ ۰/۸ ۰/۷ ۰/۵ ۰/۱	LMPIP OMMBI CPM & EMVR LMPCV ML & RA	۰/۹ ۰/۸ ۰/۷ ۰/۴ ۰/۳ ۰/۲ ۰/۱	۰/۵–۱ ۳–۳/۵ ۱–۱/۵ و ۳/۵–۴/۵ <۰/۵ و ۳–۱/۵ ۴/۵–۶ ۶–۸ >۸	۰/۹ ۰/۸ ۰/۷ ۰/۴ ۰/۳ ۰/۲ ۰/۱	۲–۲/۵ ۱/۵–۲ ۲/۵–۳/۵ و ۱–۱/۵ ۳/۵–۴/۵ ۴/۵–۶ ۶–۷ ۰/۵–۱ و ۹–۸ <۰/۵ و >۹	۰/۹ ۰/۸ ۰/۷ ۰/۳ ۰/۲ ۰/۱	۰/۵–۱ <۰/۵ ۱–۱/۵ ۱/۵–۲ ۲–۲/۵ >۲/۵

* - LMPIP = L. Miocene – Pleistocene Intrusive Porphyries; LMPCV = L.Miocene – Pliocene Clastics/Volcanics; ML = Miocene Limestones; OMMBI = Oligocene – M. Miocene Batholithic Intrusives; EMVR = Eocene – Miocene Volcaniclastic Rocks; CPM = Cretaceous-Paleogene Metavolcanics; RA = Recent Alluvium.

**- A = Hydrothermal Alteration; U = Unaltered

۴-۲- تلفیق نقشه‌های نشانگر و تهیهٔ نقشهٔ پتانسیل منطقه

نقشه های نشانگر می توانند در یک سلسله مراحل با یکدیگر ترکیب شوند؛ همان‌گونه که در شبکهٔ استنتاجی در شکل(۵) رسم شده است. برای ترکیب این نقشه‌ها از عملگرهای فازی مختلفی می توان استفاده کرد که ترکیب عملگرهای مختلف، نتایج متفاوتی دربردارد. برای تهیهٔ نقشهٔ پتانسیل مس پورفیری بنا بر نوع مدل ذخیرهٔ این ماده معدنی و با در نظر گرفتن تأثیر متفاوت نقشه های نشانگر در کانه زایی و بر اساس نمونه کارهای قبلی [۴و۳] برای ترکیب نقشه ها از عملگر فازی گاما استفاده گردید. بنابراین همانطور که در شکل(۵) مشاهده می شود، ابتدا با ترکیب سه نقشه نشانگر مربوط به شکستگی ها، مراکز و حاشیه توده‌های نفوذی نقشهٔ حدّواسط زون‌های مناسب برای جای گیری توده های نفوذی پورفیری، ایجاد شده و سپس با ترکیب دو نقشه نشانگر مربوط به سنگ های میزبان مناسب و نواحی آلتراسیون هیدروترمال مناسب، نقشهٔ حدّواسط دیگری که نشان دهندهٔ زون‌های مناسب برای سیستم های هیدروترمالی می باشد، ایجاد می‌گردد. در نهایت، با تلفیق این دو نقشهٔ حدّواسط، نقشهٔ پتانسیل مس پورفیری، تهیه می گردد.

شکل(۶) نشان دهندهٔ نمودار جریانی روند اجرای شبکهٔ استنتاجی بر روی نقشه های نشانگر

Archive of SID

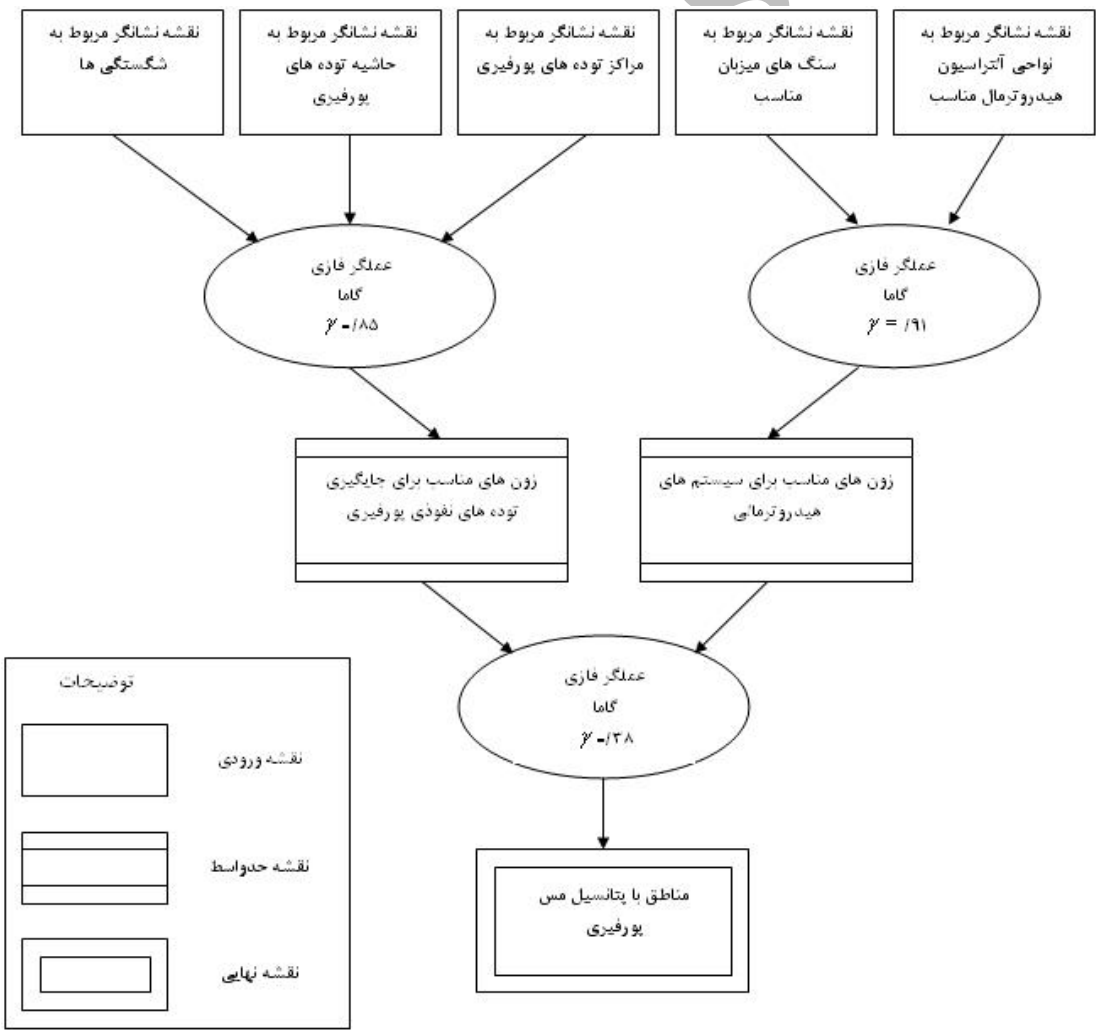
www.SID.ir

ورودی و تهیهٔ نقشهٔ پتانسیل مس پورفیری می باشد.

۵- بحث

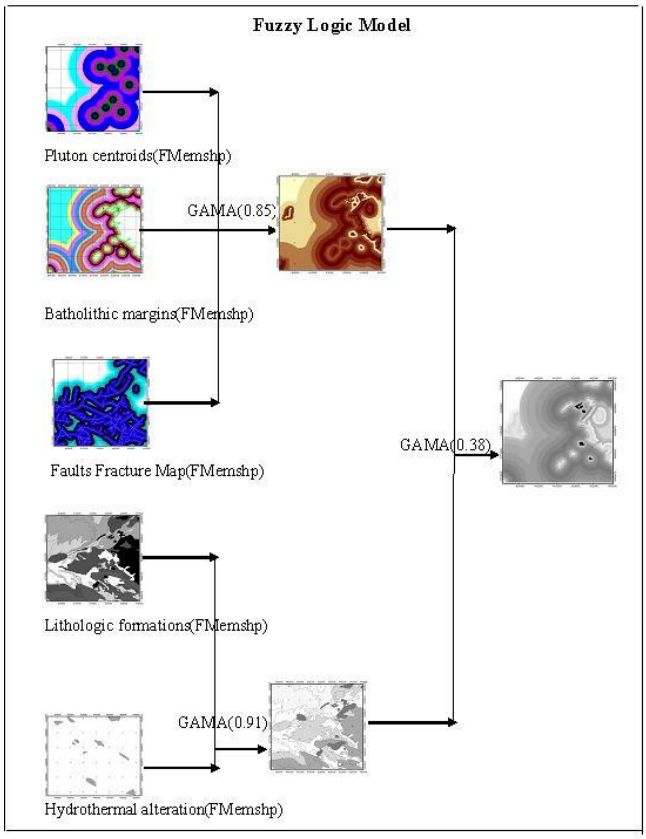
با تهیهٔ نقشهٔ نهایی فازی پتانسیل مس پورفیری (شکل(۷))، منطقهٔ مورد مطالعه به لحاظ میزان پتانسیل مس به ۹ کلاس متفاوت تقسیم می‌گردد.

در این تقسیم‌بندی هرچه درجهٔ عضویت فازی به عدد یک نزدیک‌تر باشد، از نظر میزان مطلوبیت برای پتانسیل مس، بهتر می‌باشد؛ البته مناطق دارای ضریب کم تر از ۰/۴مناسب برای کانه‌زایی نمی‌باشند، زیرا در هنگام درجه‌بندی نقشه‌های نشانگر اولیه، فواصلی که ارتباط مکانی منفی با نهشته‌های مس پورفیری داشته ضریب ۰/۴ یا پایین‌تر به آنها داده شده است. پس در مرحله بعد به منظور خلاصه‌سازی نقشه پتانسیل نهایی، طبقه‌بندی آن بر اساس میزان مطلوبیت در پتانسیل مس وتعیین اولویت در اکتشاف، از درجهٔ صفر تا ۰/۴ را منطقه بدون پتانسیل در نظر گرفته، از ۰/۴ تا ۰/۷ منطقه ضعیف، ۰/۷ تا ۰/۸ منطقه متوسط و ۰/۸ تا ۰/۹ منطقه خوب از لحاظ پتانسیل مس پورفیری شناخته می‌شود (شکل(۸)).

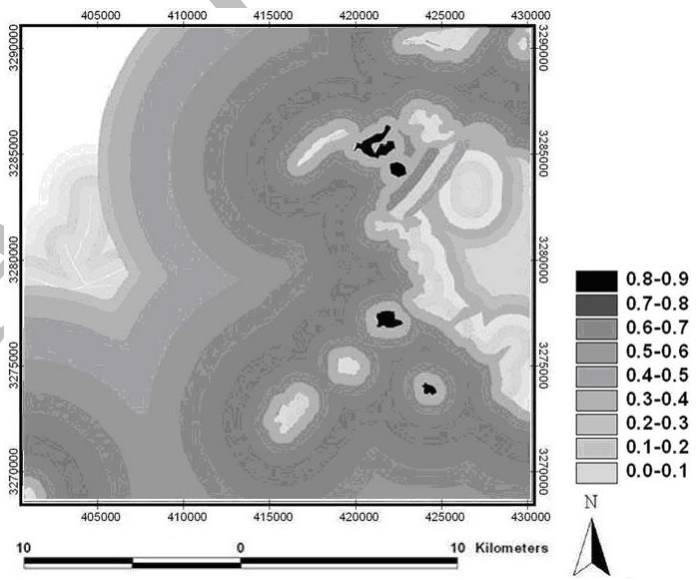


شکل ۵ شبکهٔ استنتاجی چگونگی تلفیق نقشه های نشانگر برای تهیه نقشه پیش بینی پتانسیل مس پورفیری

SID
www.SID.ir

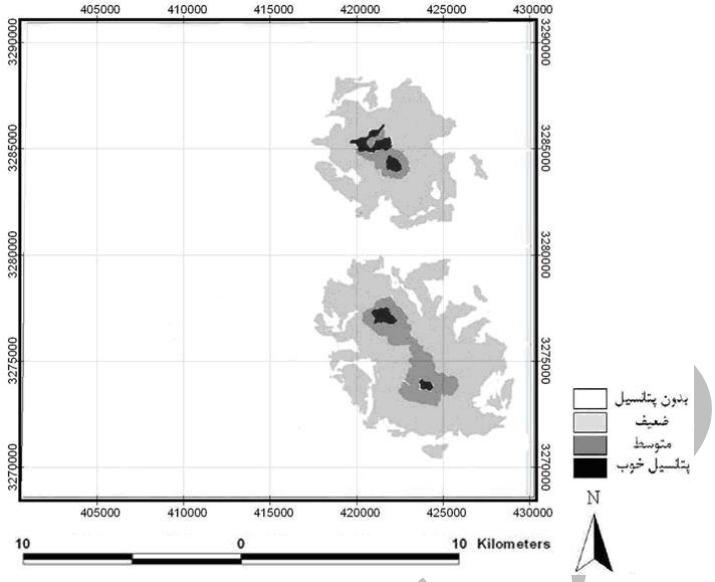


شکل ۶ نمودار جریانی روند اجرای شبکهٔ استنتاجی بر روی نقشه‌های نشانگر ورودی



شکل ۷ نقشهٔ پیش‌بینی فازی پتانسیل مس پورفیری منطقهٔ مورد مطالعه

Archive
www.SID.ir



شکل ۸ نقشه نهایی پتانسیل مس پورفیری منطقه مورد مطالعه

۶- نتیجه گیری:

۱- تصویر ماهواره‌ای، نقشهٔ شکستگی‌های استخراج شده به همراه ارتباط بین نهشته‌های مس‌دار با شکستگی‌ها، نشان می‌دهد که تمامی کانه‌زایی‌ها مرتبط با دو سیستم آتشفشانی می‌باشند که در تقاطع گسل اصلی چهارگنبد با سری‌های گسلی با روند شمال‌شرق- جنوب‌غرب وشمال‌غرب- جنوب‌شرق می‌باشند.

۲- بر اساس روش وزن‌های نشانگر، بیشترین ارتباط بین نهشته‌های معدنی با امتداد شکستگی‌ها، حواشی ومرکز نفوذی ها به ترتیب در فواصل ۱ کیلومتری، ۱/۵ کیلومتری و ۱ کیلومتری است. همچنین بیشترین ارتباط بین نفوذی‌ها با امتداد شکستگی‌ها در فاصلهٔ ۱ کیلومتری می‌باشد.

۳- ارتباط بین نهشته‌های معدنی با امتداد شکستگی‌ها، مرکز و حواشی نفوذی‌ها به ترتیب در فواصل صفر تا ۳۰۰۰ متری، صفر تا ۷۰۰۰ متری و صفر تا ۵۰۰۰ متری از پدیده‌ها، مثبت است. ارتباط بین توده‌های نفوذی پورفیری با امتداد شکستگی‌ها در فاصله ۵۰۰ تا ۱۵۰۰ متری مثبت می‌باشد.

۴- این نتایج حداقل دو مفهوم را دربر دارد. اول این که، یکی بودن فاصلهٔ مناسب برای نفوذی‌ها و اندیس‌های معدنی در ارتباط با شکستگی‌ها و گسل‌های امتداد لغز، مبین این فرضیه است که مناطق بین گسل‌های امتداد لغز زون های مناسبی برای جایگیری نفوذی‌های پورفیری می باشد؛ همچنین فرضیهٔ مناسب بودن این مناطق را برای کانه زایی مس تقویت می کند. دومین مفهومی که از این مشاهدات برداشت می شود، این است که کانه زایی مس در ارتباط مکانی و زمانی با نفوذی‌های منطقه می باشد.

Archive of SID
www.SID.ir

مراجع

1. Richards, J. P., Boyce, A. J., and Pringle, M. S., Geologic evolution of the Escondida area, northern Chile: a model and temporal localization of porphyry Cu mineralization: Economic Geology, v. 98, p. 1515-1533, 2001.

2. Derakhshani, R. and A. Mehrabi., Spatial Association of Copper Mineralization and faults/fractures in Southern part of Central Iranian Volcanic Belt. Trends in Applied Sciences Research, 4(3): 138-147 ,2009.

3. Derakhshani, R. and A. Mehrabi., Geologically- Constrained Fuzzy Mapping of Porphyry Copper Mineralization Potential, Meiduk District, Iran. Trends in Applied Sciences Research, 4(4): 229-240 ,2009.

4. Carranza, E.J.M., Geologically-Constrained Mineral Potential Mapping. PhD Thesis, Delft University of Technology, The Netherlands, 480 pp, 2002.

5. Tangestani.H. Moor,F. The use of Dempster–Shafer model and GIS in integration of geoscientific data for porphyry copper potential mapping, north of Shahr-e-Babak, Iran. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, p. 65-74, 2002.

6. Zarasvandi, A., - Magmatic and structural controls on localization of the Darreh-Zerreshk and Ali-Abad porphyry copper deposits, Yazd Province, Central Iran, PhD thesis, Shiraz University, Shiraz, Iran, 280p, 2004.

7. Rangzan, K., Mehrabi, A., and Zarasvandi, A."Application of remote sensing in enhancement of laterite iron oxide outcrops in East Khuzestan "(Dehdasht area). 23rd Conferences of Earth Sciences, Geological Survey of Iran, 2004.

8. Bonham-Carter, G. F., Agterberg, F. P., and Wright, D. F., Weights of evidence modelling: a new approach to mapping mineral potential, in Agterberg, F. P., and Bonham-Carter, G. F., eds., Statistical Applications in the Earth Sciences: Geol. Survey Canada Paper 89–9, p. 171–183, 1989.

9. Turner,D.D., Predictive GIS model for sediment-hosted gold deposits, North-Central Nevada, U.S.A, in Gubins, A. G., ed., Proc. Exploration 97: Fourth Decennial Intern. Conf. on Mineral Exploration (Toronto, Canada), p. 115–126, 1997.

10. Bohnam Carter, G.F., Geographic information systems for geoscientists. Modelling with GIS, Pergamon, Oxford, 398 P, 1994.

11. Zade, L.A., Fuzzy sets, IE information and control, v.8, pp. 338-353, 1965.

Archive of SID

www.SID.ir