

تعیین ارتباط بین کانه‌زائی مس و عناصر ساختاری به منظور تعیین مناطق با پتانسیل مناسب با استفاده از تکنیک‌های سنجش از دور و GIS، مطالعه موردی منطقه شهر بابک، استان کرمان

کاظم رنگزن، علیرضا زراسوندی* و علی مهرابی

گروه سنجش از دور و GIS - دانشگاه شهید چمران اهواز

*گروه زمین‌شناسی - دانشگاه شهید چمران اهواز

پست الکترونیکی: kazemrangzan@scu.ac.ir

چکیده

به منظور ایجاد راهنمایی برای اکتشاف ذخایر مس پورفیری در یک مقیاس منطقه‌ای، ارتباط مکانی بین انواع ذخایر مس منطقه و اشکال زمین‌شناسی در بخش جنوبی کمربند آتشفشانی ایران مرکزی (منطقه شهر بابک) مورد بررسی قرار گرفت. در این مطالعه از تصاویر ماهواره لندست TM استفاده گردید. پس از اصلاحات مختلف بر روی تصویر، با استفاده از تکنیک‌های سنجش از دور از جمله ترکیب باندهای ۷۴۱ و ۷۵۴، تحلیل مؤلفه‌های اصلی، مدل رقومی ارتفاع و فیلترگذاری لایه‌های زمین‌شناسی، شکستگی‌ها، توده‌های نفوذی و حواشی توده‌ها و نواحی دگرسانی استخراج گردید. ارتباط مکانی بین اندیس‌های معدنی به خصوص پورفیری‌های مس با شکستگی‌ها، حواشی توده‌های نفوذی و مراکز نفوذی‌ها از روش وزن‌های نشان‌گر بطور کمی اندازه‌گیری و تعیین گشت. بر این اساس بیشترین ارتباط بین اندیس‌های معدنی و پورفیری‌های مس با شکستگی‌ها، حواشی توده‌های نفوذی و مراکز نفوذی‌ها به ترتیب در فواصل ۱ کیلومتری و ۲/۵ کیلومتری و ۱ کیلومتری می‌باشد. همچنین بیشترین ارتباط بین نفوذی‌ها با شکستگی‌ها، و حواشی توده‌های نفوذی به ترتیب در فواصل ۱ کیلومتری و ۱/۵ کیلومتری می‌باشد. پس می‌توان گفت که مناطق بین گسل‌های محلی امتداد لغز زون‌های مناسبی برای جای‌گیری نفوذی‌های پورفیری و کانه‌زایی مس می‌باشند. در نهایت با استفاده از روش منطق فازی و بر اساس نتایج به دست آمده از روش وزن‌های نشان‌گر، اقدام به تعیین مناطق با پتانسیل مناسب نموده، که بر این اساس منطقه مورد مطالعه به چهار منطقه خوب، متوسط، ضعیف و نامناسب از لحاظ پتانسیل مس پورفیری تقسیم شد.

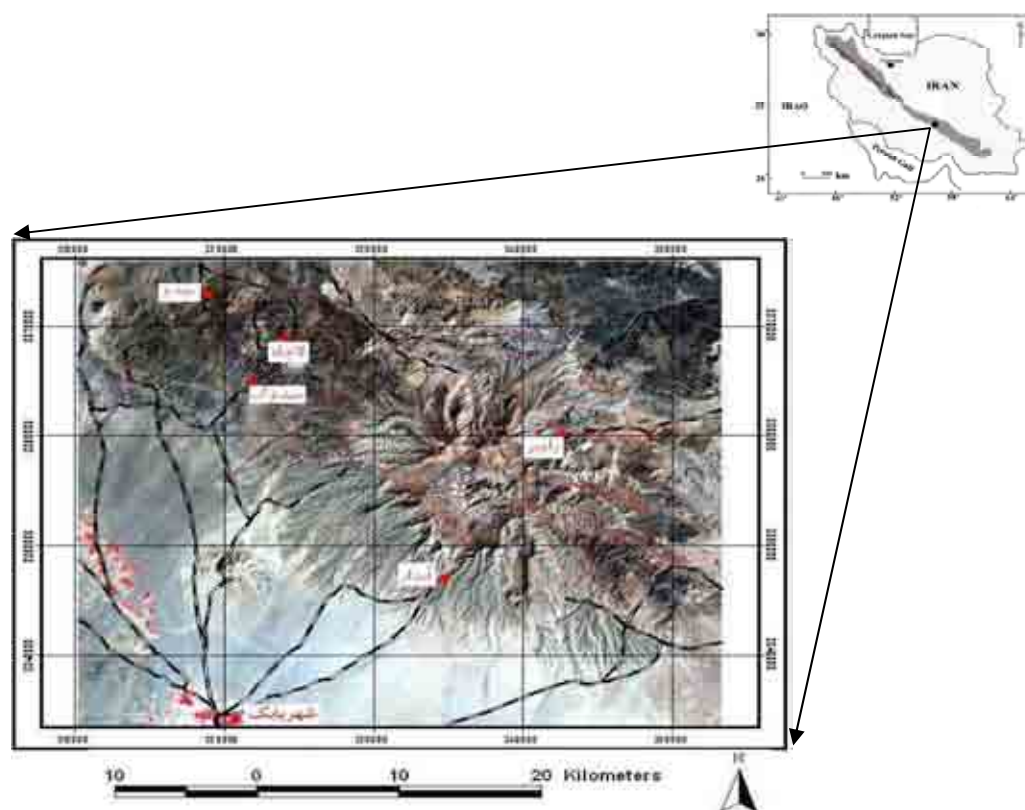
واژه‌های کلیدی: مس پورفیری، سنجش از دور، تعیین ارتباط، وزن‌های نشان‌گر، منطق فازی

مقدمه

راستای شناخت هرچه بهتر و دقیق‌تر این ذخایر، امری ضروری به نظر می‌آید. بنابراین با توجه به تأثیر عوامل تکتونیکی و عناصر ساختاری در تمرکز و پیدایش ذخائر مس و ارتباط این عناصر در کانه‌زایی مس پورفیری، تعیین این ارتباط لازم به نظر می‌آید. تحقیق حاضر نیز با هدف تعیین این ارتباط و در ادامه، اولویت‌بندی برای اکتشاف و تعیین مناطق دارای پتانسیل مناسب برای اکتشاف مس پورفیری در بخشی از کمربند آتشفشانی ایران مرکزی (منطقه شهر بابک)، صورت گرفته است. در این راستا تکنیک‌های سنجش از دور و GIS به عنوان ابزارهای سودمند مورد استفاده قرار گرفتند. مطالعات بسیار زیادی در این مورد در ایران و دنیا صورت گرفته است که از آن جمله می‌توان به، [۲، ۳، ۴ و ۵] اشاره نمود. در این تحقیق سعی گردید اهداف زیر دنبال شود:

- ۱- تعیین عوامل ساختاری و پارامترهای مؤثر در کانه‌زایی مس پورفیری.
- ۲- تهیه و یا گردآوری داده‌های مورد نیاز جهت تعیین ارتباط.
- ۳- بارزسازی نواحی آلتراسیون هیدروترمال [۶] با استفاده از پردازش تصاویر ماهواره‌های منطقه.
- ۴- طبقه‌بندی سازندهای زمین‌شناسی بر اساس میزان مطلوبیت در کانه‌زایی مس.
- ۵- تهیه اطلاعات مربوط به کلیه اندیس‌های مس موجود در محدوده مورد مطالعه.
- ۶- تعیین ارتباط بین عناصر ساختاری و کانه‌زایی مس پورفیری با استفاده از روش وزن‌های نشان‌گر.
- ۷- در نهایت تعیین مناطق دارای پتانسیل مطلوب برای مس پورفیری در محدوده مورد مطالعه، با استفاده از منطق فازی.

منطقه مورد مطالعه در قسمت جنوبی زون ساختاری ارومیه دختر و شمال شرق شهر بابک در استان کرمان واقع می‌باشد. شکل ۱ موقعیت منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. به لحاظ شرایط آب و هوایی و ژئومورفولوژیکی دارای آب و هوای سرد و خشک و از دو قسمت عمده دشت و کوهستانی تشکیل شده است. کمربند آتشفشانی- نفوذی ارومیه- دختر با طول ۲۰۰۰ کیلومتر و عرض متوسط ۲۰۰ کیلومتر با روند عمومی شمال غرب- جنوب شرق به موازات زاگرس و سندج- سیرجان قرار گرفته است. در میوسن با بسته شدن نئوتیس در میوسن بیشترین فعالیت ماگمایی با ماهیت گرانیتوئیدی در ایران به وقوع پیوست که شرایط مساعدی را جهت کانه‌زایی مس به خصوص تیپ پورفیری فراهم نموده است. تقریباً تمامی کانسارهای مس پورفیری ایران در زون آتشفشانی- نفوذی ایران (ارومیه- دختر) و در محدوده‌های سنی از الیگوسن پائینی تا میوسن بالایی قرار گرفته‌اند. تعیین ارتباط کمی و کیفی بین نقاط معدنی شناخته شده با عناصر ساختاری در کمان‌های ماگمایی مانند ارومیه- دختر یکی از مهم‌ترین فاکتورهای یک برنامه اکتشافی می‌باشد، این عملیات برای کشورهایی که داده‌های ساختاری و زمین‌شناسی زیادی در محدوده مناطق معدنی خود دارند بسیار حائز اهمیت می‌باشد، بنابراین فرض شده که راه‌هایی برای تهیه نقشه‌های پتانسیل معدنی در صورت بودن اطلاعات ساختاری و زمین‌شناسی منطقه و نبود داده‌های ژئوشیمیایی و اکتشاف زمینی سیستماتیک وجود دارد. با توجه به مشخص شدن ارتباط نزدیک کانه‌زایی مس با ساختارهای تکتونیکی و توده‌های نفوذی گرانیتوئیدی [۱ و ۲] تعیین این ارتباط در



شکل ۱- محدوده مورد مطالعه

مدلسازی داده‌های مکانی

کرد که $T = D_p + D_A$ و T کل محدوده‌ای است که مطالعه شده است. ارتباط مکانی بین مجموعه نقاط و محدوده‌های دوتایی را با توجه به رابطه زیر می‌توان مشخص نمود:

$$\text{ارتباط مکانی مثبت} = \frac{(\% \text{occ. in } D_p)}{(D_p \text{ کل مساحت قرار گرفته در } \%)} > 1$$

$$\text{ارتباط مکانی منفی} = \frac{(\% \text{occ. in } D_p)}{(D_p \text{ کل مساحت قرار گرفته در } \%)} < 1$$

$$\text{بدن ارتباط مکانی} = \frac{(\% \text{occ. in } D_p)}{(D_p \text{ کل مساحت قرار گرفته در } \%)} = 1$$

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

ارتباط مکانی بین نهشته‌های معدنی با شکستگی‌ها، حواشی و مراکز نفوذی‌ها با استفاده از روش [۳] وزن‌های نشان‌گر مورد آزمایش قرار می‌گیرد. البته پایه ریاضی این تکنیک پیچیده بوده و در این تحقیق از نوع ساده شده این روش که توسط [۷] ارائه شده است استفاده می‌شود. مبنای این روش بر حضور یا عدم حضور یک پدیده نقطه‌ای (مانند اندیس‌ها و نهشته‌های مس پورفیری) در یک محدوده است که این محدوده می‌تواند فواصل مشخص از شکستگی‌ها و یا پلوتون‌های منطقه باشد، و بر اساس وزن دهی بین این نقاط و محدوده‌ها عمل می‌کند و این وزن‌ها به صورت W^+ (وزن دهی به پدیده‌های درون محدوده (D_p) و W^- (وزن دهی به پدیده‌های بیرون از محدوده (D_A) می‌باشد. باید توجه

صورت *Real*، از صفر تا یک و به صورت بایت^۱، 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 [۹].

یک مجموعه فازی، با استفاده از درجه عضویت فازی مشخص می‌شود (که به آن احتمال نیز گفته می‌شود). چهار تابع عضویت درجات فازی وجود دارد که *S* شکل، *J* شکل، خطی و تعریف شده توسط کاربر، از این گونه‌اند [۱۰]. ترکیب لایه‌ها به روش فازی مفهومی را از میزان مطلوب بودن گزینه‌ها بیان می‌کند. به عنوان مثال اگر گزینه‌ها به صورت خوب، متوسط و ضعیف و با منطق فازی تعریف شوند، با ترکیب آن‌ها می‌توان مجموعه فازی را به دست آورد، که توصیف کننده میزان مطلوبیت است [۱۱]. به طور کلی ادغام فازی به دو روش ترکیب خطی وزنی و میانگین وزنی درجه‌ای، انجام می‌شود. اساس روش ترکیب خطی وزنی بر مبنای مفهوم میانگین وزنی بوده، که در این روش علاوه بر تغییرپذیری در فاکتورها، توازن بین فاکتورها نیز پیوسته حفظ می‌شود. ترکیب لایه‌ها به روش فازی مفهومی را از میزان مطلوب بودن گزینه‌ها بیان می‌کند. به عنوان مثال اگر گزینه‌ها به صورت خوب، متوسط و ضعیف و با منطق فازی تعریف شوند، با ترکیب آن‌ها می‌توان مجموعه فازی را به دست آورد، که توصیف کننده میزان مطلوبیت است [۱۱]. به طور کلی ادغام فازی به دو روش ترکیب خطی وزنی و میانگین وزنی درجه‌ای، انجام می‌شود. اساس روش ترکیب خطی وزنی بر مبنای مفهوم میانگین وزنی بوده، که در این روش علاوه بر تغییرپذیری در فاکتورها، توازن بین فاکتورها نیز پیوسته حفظ می‌شود.

$$(۱) \quad W^+ = \frac{\text{لگاریتم (در صد کاتسارها در } D_p)}{\text{(درصد کل منطقه اشغال شده توسط } D_p)}$$

$$W^+ = \frac{\text{لگاریتم (در صد کاتسارها در } D_A)}{\text{(درصد کل منطقه اشغال شده توسط } D_A)}$$

در فرمول بالا D_p محدوده درون محدوده و D_A محدوده بیرون محدوده می‌باشد. که پس از وزن‌دهی، واریانس وزن‌ها از طریق فرمول زیر محاسبه می‌گردد:

$$(۲) \quad s^2(W^+) = \frac{1}{mD_p} + \frac{1}{bD_p}$$

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

در فرمول بالا mD_p تعداد پیکسل‌های درون محدوده شامل اندیس مس، می‌باشد. و bD_p تعداد پیکسل‌های بدون اندیس مس و درون محدوده می‌باشد. سپس برای هر محدوده دوتایی ضریب (*C*) از رابطه زیر به دست می‌آید:

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

سپس انحراف معیار را محاسبه نموده

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

در مواردی که نقاط و رخنمون‌ها نسبتاً کم باشند (مانند این تحقیق) نسبت $C/s(C)$ مبنای کار قرار می‌گیرد [۸]. براین اساس هر چه نسبت به دست آمده 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 می‌توان در نظر گرفت.

منطق فازی

در نظریه مجموعه کلاسیک عضویت، یک مجموعه به صورت درست یا غلط تعریف می‌شود. با این حال، عضویت یک مجموعه فازی، با مقیاس گروه‌بندی شده به

تلفیق توابع عضویت فازی

با در دست داشتن دو یا چند نقشه با توابع عضویت فازی برای مجموعه مشابه، عملگرهای متنوعی را می‌توان برای ترکیب کردن مقادیرهای عضویت با یکدیگر به کار گرفت. از جمله این عملگرها می‌توان به عملگر فازی AND، عملگر فازی OR، حاصل ضرب جبری فازی، جمع جبری فازی و عملگر گامای فازی اشاره نمود.

روش کار

به منظور تعیین ارتباط بین عوامل مختلف و موثر در کانه زائی مس، به خصوص تیپ پورفیری مراحل زیر در الویت قرار گرفت:

۱- بر حسب این که عوامل پلیگون، خط و یا نقطه می‌باشند، بعد از رقومی کردن به صورت لایه‌های و کتوری جداگانه ذخیره گردیدند.

۲- نقشه‌های و کتوری تهیه شده از عناصر موثر در کانه‌زایی، به رستر تبدیل گشته و سپس نقشه فواصل مشخص (بافرهای ۵۰۰ متری) از هر یک از پدیده‌ها تهیه می‌گردد.

۳- اندازه‌گیری تعداد نقاط درون هر محدوده دوتایی با روی هم اندازی لایه رستری نقاط معدنی بر روی لایه رستری محدوده‌های دوتایی.

۴- محاسبه وزن‌ها و ضرایب براساس معادلات (۱) و (۲).

۵- محاسبه ضریب C و C_(s).

بعد از انجام مراحل بالا به منظور پتانسیل‌یابی مس پورفیری از پنج لایه اطلاعاتی، شکستگی‌ها و گسل‌های موجود در منطقه، توده‌های نفوذی منطقه، حواشی نفوذی‌ها، سازندهای زمین‌شناسی مناسب و نواحی آلتراسیون هیدروترمالی به عنوان لایه‌های ورودی

به محیط GIS استفاده گردید. و برای ایجاد مجموعه‌های فازی برای فواصل مناسب از اشکال ساختاری و نقطه‌ای، از تحلیل‌های تعیین ارتباط مکانی صورت گرفته در بخش مدل سازی داده‌های مکانی استفاده گردید، و بعد از تعریف درجات عضویت فازی به هر کدام از لایه‌ها، نقشه‌های نشان‌گر فازی تهیه گردید و با تلفیق این نقشه‌ها به طور فازی، در نهایت نقشه پتانسیل منطقه تهیه می‌گردد. قابل ذکر است که مراحل کار در نرم‌افزار Arcview 3.2 و با استفاده از تکنیکی به نام مدل کننده داده‌های مکانی می‌باشد، همچنین اندازه پیکسلی استفاده شده در تحلیل‌های رستری GIS، ۱۰۰×۱۰۰ متر می‌باشد.

زمین‌شناسی منطقه

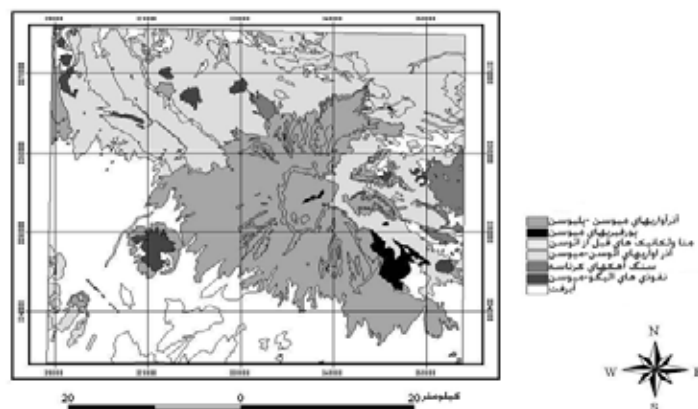
محدوده مورد مطالعه واقع در بخش جنوبی کمربند آتشفشانی ایران مرکزی (ارومیه- دختر)، بین عرض جغرافیای ۳۰°۷/۵ تا ۳۰°۳۰' شمالی و طول جغرافیایی ۵۵° تا ۵۵°۳۰' شرقی در شمال شرق شهرستان شهر- بابک در استان کرمان می‌باشد (شکل ۱)

معدن میدوک که یکی از معادن فعال مس پورفیری منطقه می‌باشد در ۴۵ کیلومتری جاده انار- شهر بابک قرار دارد. مساحت محدوده مورد مطالعه ۱۹۹۷/۹۱ کیلومتر مربع می‌باشد. نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه با استفاده از نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ در قالب فایل وکتوری در آورده شده است (شکل ۲).

کمربند آتشفشانی- نفوذی ایران مرکزی به نام کمربند آتشفشانی ارومیه- دختر (بزمان) به صورت یک کمربند با راستای شمال غرب- جنوب شرق از آذربایجان (سهند و سبلان) تا بزمان- تفتان در بلوچستان امتداد دارد. این کمربند ۲۰۰۰ کیلومتر طول و با عرض ۱۵۰ کیلومتر به موازات منطقه رورانده زاگرس گسترش دارد. فعالیت آتشفشانی در این کمربند از کرتاسه شروع شده و در دوره

ذخایر مس پورفیری منطقه و اکثر رخداد‌های مس مرتبط شده‌اند. در بسیاری از نواحی نیز هاله‌های دگرسانی وسیعی در اطراف این توده‌های نفوذی که اغلب به صورت باتولیت‌های کوچک و استوک دیده می‌شوند تشکیل شده است. در ادامه دایک‌ها و استوک‌های دیوریتی- کوارتز دیوریتی در میوسن بالایی تکمیل کننده چرخه پلوتونیزم در منطقه بوده‌اند [۱۴]. منطقه مورد مطالعه دارای سه کانسار مهم مس پورفیری تحت عنوان میدوک، سارا و چاه مسی بوده [۴] و ۸۱ اندیس مس در منطقه شناخته شده است (جدول ۱).

اٹوسن به نهایت شدت خود می‌رسد. فوران‌های گدازه‌های اٹوسن از نوع کالک-آلکالن و زیر دریایی در نواحی جنوب غرب یزد از نوع اسپلیت آندزیتی شروع شده [۱۳] و در پی آن انواع سنگ‌های آتشفشانی نظیر آندزیت، لاتیت، ریولیت و توف تزریق شده‌اند. قسمت اعظم گستره مورد مطالعه را واحدهای آندزیتی اٹوسن به همراه واحدهای آتشفشانی- رسوبی اٹوسن پوشانده است. از سیماهای بارز این منطقه وجود حجم عظیمی از سنگ‌های ولکانیکی اٹوسن (عمدتاً آندزیت) می‌باشد که به عنوان میزبان اصلی اکثر کانه‌زایی‌ها و دگرسانی‌های منطقه همواره مدنظر بوده‌اند. در الیگوسن میانی تا میوسن تزریق توده‌های دیوریتی تا گرانودیوریتی موجب تشکیل



شکل ۲- نقشه رقومی زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه (واحدهای زمین‌شناسی از [۱۲])

درصد بالایی از شکستگی‌های منطقه روند NE-SW و NW-SE دارند، بنابراین فیلترهای هم جهت با روندهای مذکور، بیشترین کاربرد را در تشخیص عناصر شکستگی ایفا نموده‌اند. با استفاده از روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی که یکی از تکنیک‌های کارآمد علم سنجش از دور بوده، با جمع‌آوری و متراکم ساختن اطلاعات پدیده‌های موجود در باندهای مختلف در تعدادی باند با مؤلفه کمتر، نواحی آلتراسیون هیدروترمال موجود بارزسازی و استخراج گردیدند.

آنالیز داده‌ها

نقشه‌های پایه در این مطالعه نقشه شکستگی‌ها، زمین‌شناسی و دگرسانی بودند که با کمک سنجش از دور استخراج گردیدند. ترکیب باندی مناسب برای بررسی‌های لیتولوژی و زمین‌شناسی ۷۵۴ در نظر گرفته شد که از نظر تمایز سازندها و لیتولوژی‌ها، این باند، باند مناسب می‌باشد.

همچنین در مورد فیلترها و روش‌های بارزسازی لبه‌ها به کار گرفته شده در این تحقیق، با توجه به این که

جدول ۱- مشخصات اندیس‌های مس موجود در منطقه [۱۵]

درصد عیار مس	مختصات (UTM)		نام	درصد عیار مس	مختصات (UTM)		نام
	Y	X			Y	X	
	۳۳۶۴۵۶۵/۵۰	۳۲۱۹۸۶/۸۴۳۷	جنوب شرق	۱/۵۲	۳۳۶۷۳۶۰/۰۰	۳۲۴۶۳۱/۲۱۸۷	* میدوک
	۳۳۶۴۳۹۷/۰۰	۳۲۰۹۸۶/۰۳۱۲	جنوب میدوک	۱/۲۷	۳۳۶۵۱۱۵/۷۵	۳۲۱۶۰۷/۱۲۵۰	چاه مسی
	۳۳۶۷۷۳۷/۰۰	۳۲۱۱۱۵/۳۱۲۵	شمال غرب	۰/۱۵	۳۳۷۰۲۴۵/۷۵	۳۲۱۲۲۱/۳۷۵۰	* سارا
	۳۳۶۹۳۲۳/۷۵	۳۲۴۴۴۰/۶۵۶۲	لاتلا		۳۳۵۰۹۳۸/۵۰	۳۱۷۲۳۶/۳۴۳۷	شرق مدوار
	۳۳۵۴۴۱۱/۰۰	۳۳۸۰۲۸/۳۷۵۰	* آبدرا		۳۳۶۴۵۱۶/۷۵	۳۰۹۱۳۲/۸۴۳۷	کهنوکارها
	۳۳۴۴۷۷۸/۵۰	۳۳۳۶۲۹/۵۹۳۷	* آبدرا ۲		۳۳۳۹۶۵۸/۰۰	۳۱۳۸۵۹/۳۷۵۰	غرب شهر بابک
	۳۳۵۳۶۲۲/۰۰	۳۳۷۴۳۲/۳۱۲۵	رگه سیلیکاتی		۳۳۶۲۹۶۰/۲۵	۳۱۱۸۱۱/۰۶۲۵	کنگ
	۳۳۷۴۹۰۸/۵۰	۳۴۰۳۵۳/۷۱۸۷	رشکن		۳۳۷۰۱۱۸/۲۵	۳۱۴۶۰۸/۵۹۳۷	دره تنگله
	۳۳۴۳۵۱۳/۰۰	۳۴۸۲۹۱/۱۲۵۰	جنوب غرب		۳۳۶۶۰۲۵/۰۰	۳۲۳۹۰۶/۳۱۲۵	جنوب رگه
	۳۳۵۹۷۹۶/۷۵	۳۴۷۷۱۶/۵۶۲۵	حسین آباد		۳۳۴۸۲۹۷/۷۵	۳۱۸۲۹۹/۴۳۷۵	کوه گلاب
	۳۳۵۱۶۶۱/۷۵	۳۴۷۰۱۷/۰۳۱۲	جنوب غرب		۳۳۶۱۷۹۹ ۵۰	۳۱۸۵۰۸/۵۳۱۲	هرناشک
	۳۳۵۱۹۶۸/۰۰	۳۴۶۲۰۰/۲۱۸۷	درخونی		۳۳۶۴۷۰۷/۵۰	۳۲۰۰۰۳/۴۰۶۲	جنوب میدوک
	۳۳۴۳۳۶۷/۰۰	۳۴۹۴۸۰/۰۹۳۷	گلاب		۳۳۶۸۷۰۳/۷۵	۳۱۸۷۸۴/۴۶۸۷	رگه سیلیکاتی
	۳۳۴۶۲۹۲/۵۰	۳۴۹۱۰۱/۰۶۲۵	کوه مدوار		۳۳۷۱۵۷۹/۷۵	۳۱۸۳۰۸/۸۱۲۵	در بیدویه
	۳۳۶۴۱۷۲/۰۰	۳۵۵۲۶۴/۱۵۶۲	جنوب شرق		۳۳۶۵۸۳۱/۲۵	۳۱۹۷۱۲/۳۷۵۰	شرق ایستگاه
	۳۳۴۹۵۴۷/۲۵	۳۵۳۷۳۹/۶۲۵۰	بادامستان		۳۳۶۶۱۹۵/۵۰	۳۱۸۴۹۴/۵۶۲۵	غرب ایستگاه
	۳۳۵۶۷۷۷/۲۵	۳۵۴۸۱۱/۱۸۷۵	گوری		۳۳۶۱۸۷۷/۰۰	۳۲۲۰۸۵/۰۰۰۰	شمال غرب بندوان
					۳۳۶۲۵۰۸/۷۵	۳۲۱۲۹۵/۰۶۲۵	شمال کمکویی

* مناطق ستاره دار دارای ذخایر پورفیری می‌باشند

ارتباط بین نفوذی‌ها با امتداد شکستگی‌ها

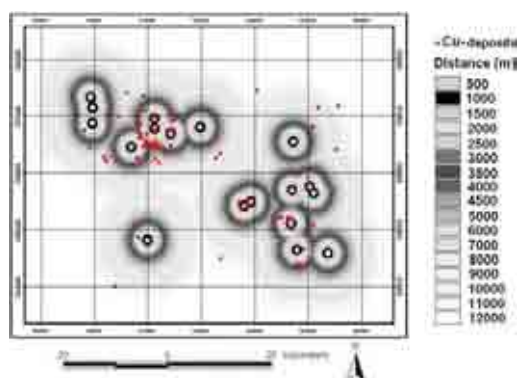
بین شکستگی‌ها و نفوذی‌های پورفیری بر اساس ضرایب C به دست آمده از جدول ۲، ارتباط مکانی مثبت می‌باشد. از لحاظ آماری این ارتباط مکانی مثبت از ۵۰۰ تا ۱۵۰۰ متری می‌باشد، اما بر اساس ضریب $C(s)$ ، در فاصله ۱۰۰۰ متری بیشترین ارتباط وجود دارد. در شکل ۳ بافرهای ۵۰۰ متری تهیه شده در اطراف شکستگی‌ها، و فاصله مطلوب توده‌های نفوذی از امتداد شکستگی‌ها، قابل مشاهده می‌باشد.

با استفاده از این روش ارتباط بین نهشته‌های

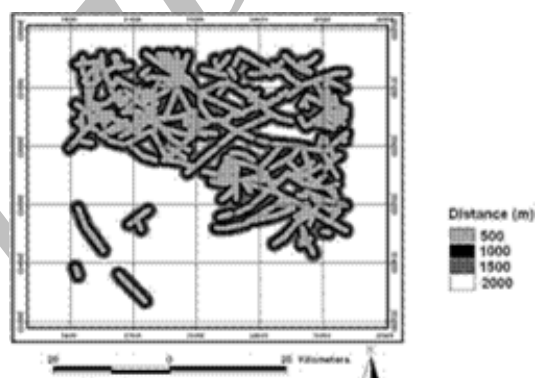
مس با امتداد شکستگی‌ها، ارتباط بین نهشته‌های مس با مرکز توده‌های نفوذی، ارتباط بین نفوذی‌های پورفیری با حواشی نفوذی‌ها، ارتباط بین نهشته‌های مس با حواشی نفوذی‌ها نیز تعیین گشت که در شکل‌های ۴ تا ۷ آمده‌اند.

جدول ۲- تغییرات وزن ها و تباین‌ها برای فواصل تجمعی از امتداد شکستگی‌ها نسبت به مراکز توده‌های نفوذی پورفیری

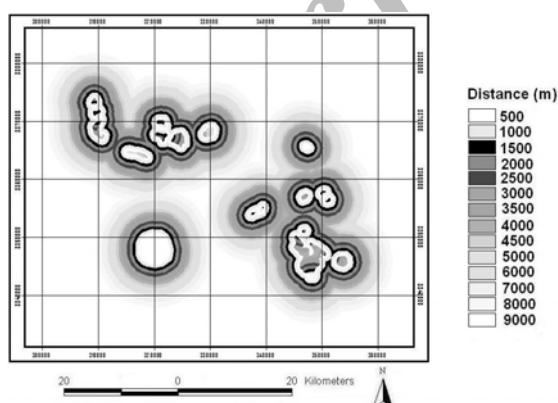
C/s(C)	s(C)	C	s(W ⁻)	W ⁻	s(W ⁺)	W ⁺	No. points	Area-Km ²	Distance buffer (m)
۱/۵۶۵۸	۰/۴۷۷۰	۰/۷۴۶۹	۰/۳۵۴۹	-۰/۳۴۵۸	۰/۳۱۸۸	۰/۴۰۱۲	۱۰	۶۳۱,۹۱	۵۰۰
۲/۳۶۲۴	۱/۰۳۰۲	۲/۴۳۳۷	۱/۰۰۷	-۱/۹۷۷۷	۰/۲۴۴۶	۰/۴۵۶۱	۱۷	۱۰۱۷/۸۱	۱۰۰۰
۱/۸۳۲۵	۱/۸۳۲۵	۱/۰۳۰۴	۱/۰۰۱	-۱/۶۱۷۱	۰/۲۴۴۲	۰/۲۷۱۲	۱۷	۱۲۲۱	۱۵۰۰
							۱۸	۱۳۳۷/۸۵	۲۰۰۰



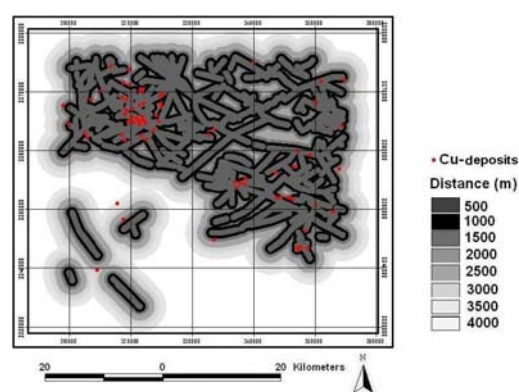
شکل ۵- بافرهای ۵۰۰ متری اطراف توده‌های نفوذی، و نمایش فاصله مطلوب نهشته‌های مس از مراکز توده‌های نفوذی پورفیری در منطقه مورد مطالعه



شکل ۳- بافرهای ۵۰۰ متری اطراف شکستگی‌ها، و نمایش فاصله مطلوب توده‌های نفوذی از امتداد شکستگی‌ها



شکل ۶- بافرهای ۵۰۰ متری اطراف حواشی نفوذی‌ها، و نمایش فاصله مطلوب توده‌های نفوذی پورفیری از حواشی نفوذی‌ها در منطقه مورد مطالعه



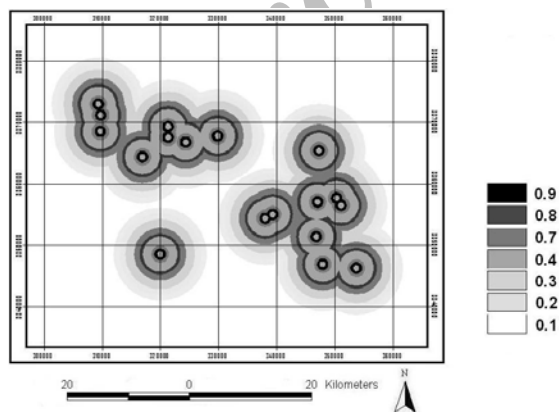
شکل ۴- بافرهای ۵۰۰ متری اطراف شکستگی‌ها، و نمایش فاصله مطلوب نهشته‌های مس پورفیری از امتداد شکستگی‌ها

اختصاص درجات عضویت فازی، از ارتباط تعیین شده در جدول ۷ استفاده می گردد.

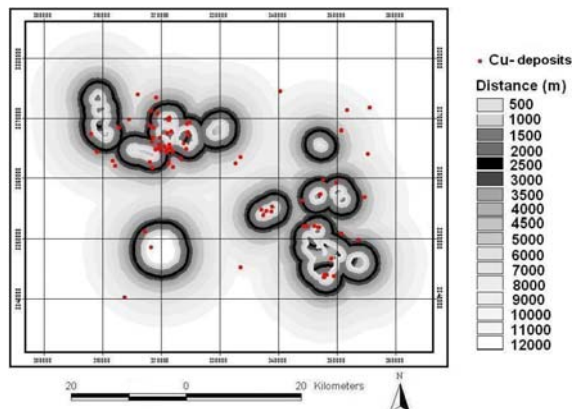
درجات عضویت فازی برای مجموعه کلاس‌های فواصل مختلف از اشکال ساختاری و واحدهای متفاوت آلتراسیون هیدروترمال و زمین‌شناسی در جدول ۸ لحاظ شده است. بنابراین تمامی لایه‌ها به روش منطق فازی وزن دهی و درجه‌بندی شدند که نتیجه کار در جدول ۸ مشاهده می‌شود، و سپس بر اساس این جدول نقشه‌های نشان‌گر درجه عضویت فازی برای هر یک از لایه‌های مؤثر در کانه زایی مس پورفیری تهیه می‌گردد (اشکال ۸ الف، ب، ج، د، و).

جدول ۳- ارتباط مکانی مطلوب بین نهشته‌های مس پورفیری و اشکال ساختاری منطقه

ارتباط مکانی (m)	اشکال ساختاری
۱۰۰۰	امتداد شکستگی‌ها
۲۵۰۰	حاشیه نفوذی‌ها
۱۰۰۰	مرکز توده‌های نفوذی



شکل ۸ الف- نقشه نشان‌گر درجات عضویت فازی مربوط به مراکز توده‌های نفوذی منطقه



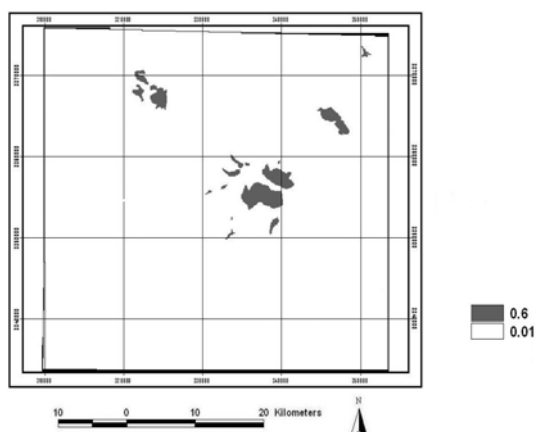
شکل ۷- بافرهای ۵۰۰ متری اطراف حواشی نفوذی‌ها، و نمایش فاصله مطلوب نهشته‌های مس از حواشی نفوذی‌ها در منطقه مورد مطالعه

پتانسیل یابی از روش منطق فازی

به منظور پتانسیل یابی مس پورفیری از پنج لایه اطلاعاتی، شکستگی‌ها و گسل‌های موجود در منطقه، توده‌های نفوذی منطقه، حواشی نفوذی‌ها، سازندهای زمین‌شناسی مناسب و نواحی آلتراسیون هیدروترمالی به عنوان لایه‌های ورودی به محیط GIS استفاده گردید.

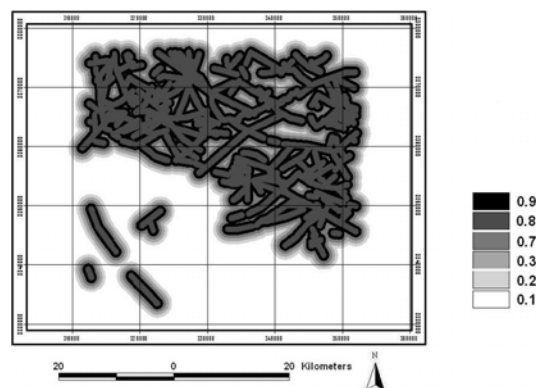
ایجاد مجموعه‌های فازی

برای ایجاد مجموعه‌های فازی برای فواصل مناسب از اشکال ساختاری و نقطه‌ای، از تحلیل‌های تعیین ارتباط مکانی استفاده گردید. بر اساس ارتباط مکانی بین نهشته‌های مس پورفیری و اشکال ساختاری منطقه، چندین کلاس فاصله تعریف و برای این کلاس‌ها براساس قضاوت ذهنی، درجه عضویت فازی تعریف می‌شود. جدول ۷ نشان‌دهنده ارتباط مکانی مطلوب بین نهشته‌های مس پورفیری و اشکال ساختاری منطقه می‌باشد که بر اساس روش وزن‌های نشان‌گر به دست آمده است. در این بخش برای تهیه نقشه‌های مختلف و میزان مطلوبیت آن‌ها در کانه‌زایی مس پورفیری بر اساس

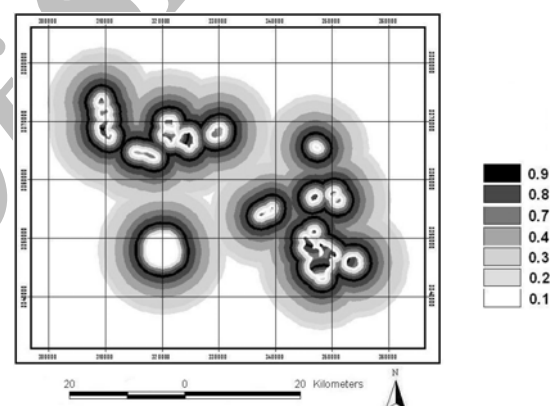


شکل ۸ و- نقشه نشان‌گر درجات عضویت فازی مربوط به نواحی آلتراسیون هیدروترمال منطقه

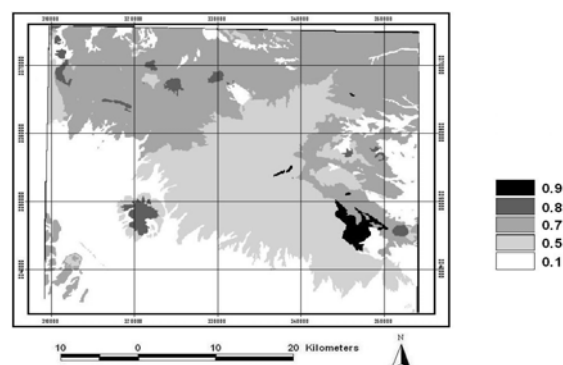
نقشه‌های نشان‌گر می‌توانند در یک سلسله مراحل با یکدیگر ترکیب شوند همان گونه که در شبکه استنتاجی در شکل ۱۱ رسم شده است. برای ترکیب این نقشه‌ها از عملگرهای فازی مختلفی می‌توان استفاده کرد که ترکیب عملگرهای مختلف نتایج متفاوتی در بردارد، برای تهیه نقشه پتانسیل مس پورفیری بنا بر نوع مدل ذخیره این ماده معدنی و با در نظر گرفتن تأثیر متفاوت نقشه‌های نشان‌گر در کانه‌زایی و بر اساس نمونه کارهای قبلی [۲] برای ترکیب نقشه‌ها از عملگر فازی گاما استفاده گردید. بنابراین همان طور که در شکل ۱۱ مشاهده می‌شود، ابتدا با ترکیب سه نقشه نشان‌گر مربوط به شکستگی‌ها، مراکز و حاشیه توده‌های نفوذی نقشه حد واسط زون‌های مناسب برای جایگیری توده‌های نفوذی پورفیری، ایجاد شده و سپس با ترکیب دو نقشه نشان‌گر مربوط به سنگ‌های میزبان مناسب و نواحی آلتراسیون هیدروترمال مناسب، نقشه حد واسط دیگری که نشان دهنده زون‌های مناسب برای سیستم‌های هیدروترمالی می‌باشد، ایجاد می‌گردد. در نهایت با تلفیق این دو نقشه حدواسط، نقشه پتانسیل مس پورفیری تهیه می‌گردد. بنابراین با تهیه نقشه نهایی پتانسیل مس پورفیری (شکل ۹)، منطقه مورد مطالعه به لحاظ میزان



شکل ۸ ب- نقشه نشان‌گر درجات عضویت فازی مربوط به شکستگی‌های منطقه



شکل ۸ ج- نقشه نشان‌گر درجات عضویت فازی مربوط به حواشی باتولیت‌های منطقه



شکل ۸ د- نقشه نشان‌گر درجات عضویت فازی مربوط به سازندهای زمین‌شناسی منطقه

پتانسیل مس به ۱۰ کلاس متفاوت تقسیم می‌گردد. در این تقسیم بندی هرچه درجه عضویت فازی به عدد یک نزدیکتر باشد، از نظر میزان مطلوبیت برای پتانسیل مس، بهتر می‌باشد. البته مناطق دارای ضریب کمتر از ۰/۴ مناسب برای کانه‌زایی نمی‌باشند، زیرا در هنگام درجه بندی 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

جدول ۴- کلاس های واحدها و فواصل و درجات عضویت فازی برای اشکال ساختاری، سازندهای زمین‌شناسی و واحدهای آلتراسیون هیدروترمال منطقه مورد مطالعه

امتداد شکستگی‌ها		حواشی نفوذی‌ها		مراکز توده‌های نفوذی		سازندهای زمین‌شناسی		واحدهای آلتراسیون هیدروترمال	
کلاس	درجه	کلاس	درجه	کلاس	درجه	کلاس	درجه	کلاس	درجه
فاصله (km)	عضویت فازی	فاصله (km)	عضویت فازی	فاصله (km)	عضویت فازی	واحدها*	عضویت فازی	واحدها**	عضویت فازی
<۰/۵	۰/۸	۲-۲/۵	۰/۹	۰/۵-۱	۰/۹	LMPPI	۰/۹	A	۰/۶
۰/۵-۱	۰/۹	۱/۵-۲ و ۲/۵-۳/۵	۰/۸	۳-۳/۵	۰/۸	OMMBI	۰/۸	U	۰/۰۱
۱-۱/۵	۰/۷	۱-۱/۵ و ۳/۵-۴/۵	۰/۷	۱-۱/۵ و ۳/۵-۴/۵	۰/۷	CPM & EMVR	۰/۷		
۱/۵-۲	۰/۳	۴/۵-۶	۰/۴	<۰/۵ و ۱/۵-۳	۰/۴	LMPCV	۰/۵		
۲-۲/۵	۰/۲	۶-۷ و ۰/۵-۱	۰/۳	۴/۵-۶	۰/۳	ML & RA	۰/۱		
>۲/۵	۰/۱	۸-۹ و <۰/۵ و >۹	۰/۲	۶-۸	۰/۲				
			۰/۱	>۸	۰/۱				

LMPPI = پورفیری‌های میوسن تا پلیوسن

LMPCV = پورفیری‌های میوسن تا پلیوسن

ML = آهک‌های میوسن

MMBI = توده‌های الیگو-میوسن

EMVR = آذر آواری‌های ائوسن تا میوسن

CPM = متاولکانیک‌های کرتاسه

RA = سوبات حاضر

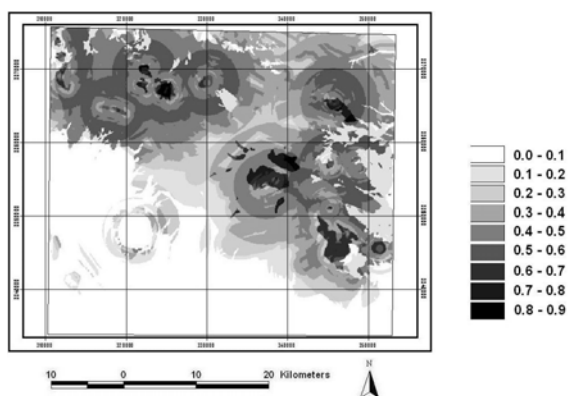
A = دگرسانی گرمابی

U = تازه

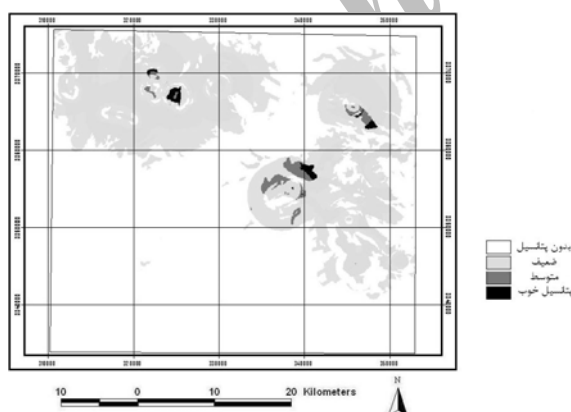
در شکل ۱۱ رسم شده است. برای ترکیب این نقشه‌ها از عملگرهای فازی مختلفی می‌توان استفاده کرد که ترکیب عملگرهای مختلف نتایج متفاوتی در بردارد، برای تهیه نقشه پتانسیل مس پورفیری بنا بر نوع مدل ذخیره این ماده

تلفیق نقشه‌های نشان‌گر و تهیه نقشه پتانسیل منطقه نقشه‌های نشان‌گر می‌توانند در یک سلسله مراحل با یکدیگر ترکیب شوند همان گونه که در شبکه استنتاجی

بر اساس این طبقه‌بندی جدید، تنها ۷/۱ کیلومتر مربع از کل مساحت منطقه مورد مطالعه که ۰/۳۵ درصد از کل منطقه را شامل می‌شود، از لحاظ پتانسیل مس خوب بوده، ۱۵/۵ کیلومتر مربع برابر با ۰/۸۷ درصد از منطقه نیز پتانسیل متوسط داشته و ۶۳۹/۱ کیلومتر مربع با ۳۱/۹ درصد از منطقه مورد مطالعه در رتبه بعدی قرار دارد، و ۶۶/۸۸ درصد از منطقه نیز از لحاظ پتانسیل مس نامناسب می‌باشد.



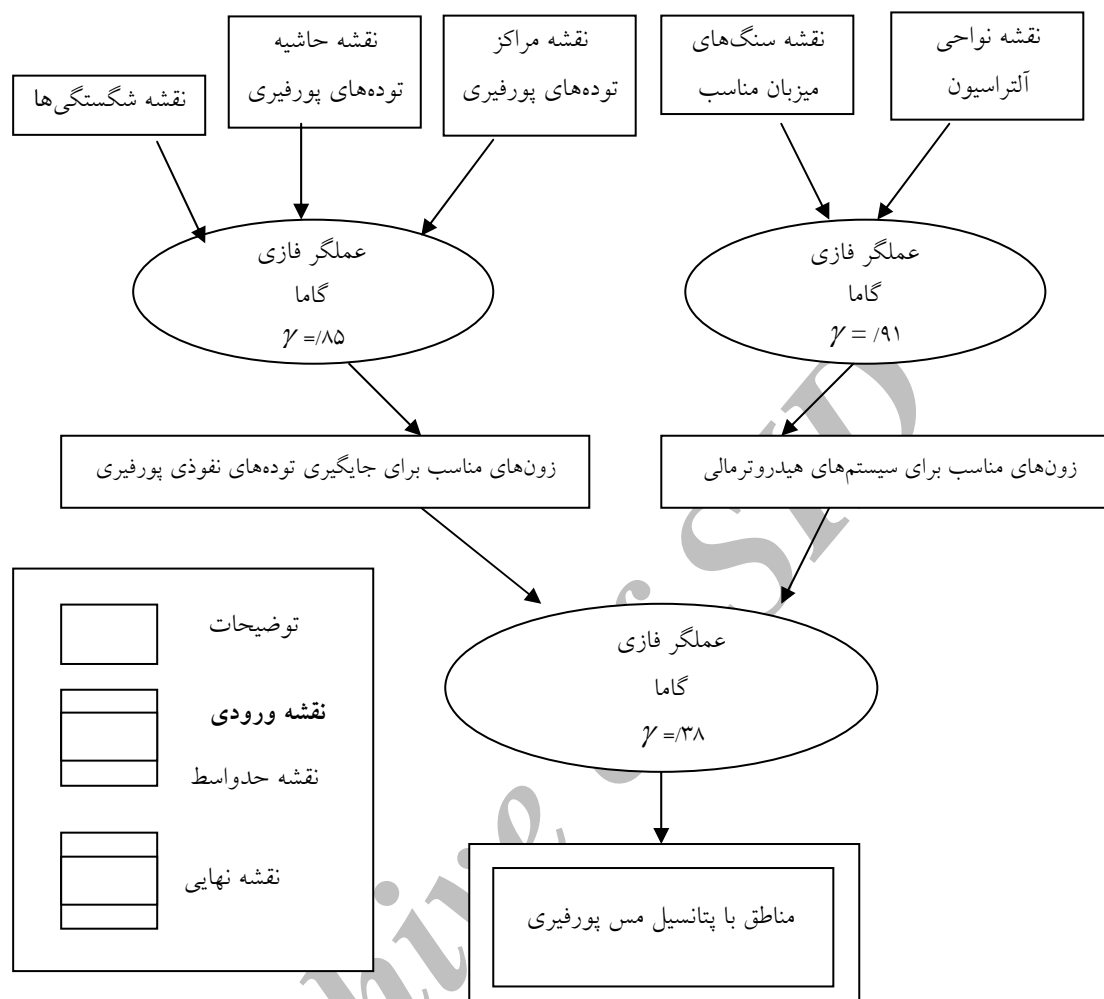
شکل ۹- نقشه پیش بینی فازی پتانسیل مس پورفیری



شکل ۱۰- نقشه نهایی پتانسیل مس پورفیری منطقه مورد مطالعه

معدنی و با در نظر گرفتن تأثیر متفاوت نقشه‌های نشان‌گر در کانه‌زایی و بر اساس نمونه کارهای قبلی [۲] برای ترکیب نقشه‌ها از عملگر فازی گاما استفاده گردید. بنابراین همان طور که در شکل ۱۱ مشاهده می‌شود، ابتدا با ترکیب سه نقشه نشان‌گر مربوط به شکستگی‌ها، مراکز و حاشیه توده‌های نفوذی نقشه حد واسط زون‌های مناسب برای جایگیری توده‌های نفوذی پورفیری، ایجاد شده و سپس با ترکیب دو نقشه نشان‌گر مربوط به سنگ‌های میزبان مناسب و نواحی آلتراسیون هیدروترمال مناسب، نقشه حد واسط دیگری که نشان دهنده زون‌های مناسب برای سیستم‌های هیدروترمالی می‌باشد، ایجاد می‌گردد. در نهایت با تلفیق این دو نقشه حدواسط، نقشه پتانسیل مس پورفیری تهیه می‌گردد.

بنابراین با تهیه نقشه نهایی پتانسیل مس پورفیری (شکل ۹)، منطقه مورد مطالعه به لحاظ میزان پتانسیل مس به ۱۰ کلاس متفاوت تقسیم می‌گردد. در این تقسیم‌بندی هرچه درجه عضویت فازی به عدد یک نزدیکتر باشد، از نظر میزان مطلوبیت برای پتانسیل مس، بهتر می‌باشد. البته مناطق دارای ضریب کمتر از ۰/۴ مناسب 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 و تعیین اولویت در اکتشاف، از درجه 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 ۹).



شکل ۱۱- شبکه استنتاجی چگونگی تلفیق نقشه‌های نشان‌گر برای تهیه نقشه پیش بینی پتانسیل مس پورفیری

فرآیندهای ماگمایی و هیدروترمالی می‌باشد بلکه تکتونیک ناحیه‌ای، محلی و رژیم‌های تکتونیک در زمان تشکیل این کانسارها نیز اهمیت بسیار زیادی دارد. بسیاری معتقد هستند که کانسارهای مس پورفیری در مقایسه با سایر کانسارهای هیدروترمالی به طرز جالب توجهی همزاد با توده های نفوذی پورفیری می‌باشند که در امتداد سیستم‌های گسلی امتداد لغز کمان‌های قاره‌ای و جزیره‌ای می‌باشند. بنابراین به منظور بررسی جایگاه مناسب جایگیری نفوذی‌های پورفیری و کانسارهای مس همراه آن‌ها، شناسایی محل‌های مرکز سیالات ماگمایی درون پوسته بسیار با اهمیت می‌باشد [۲] به طور کلی مهاجرت

بحث

کانسارهای مس پورفیری را می‌توان محصول سرد شدن سیستم‌های هیدروترمالی همراه با نفوذی‌های کم عمق پورفیری جایگیر شده در کمان‌های ماگمایی مرتبط با فرورانش دانست [۱۶] به طور کل می‌توان مدل کانسارهای هیدروترمالی را به دو صورت بررسی نمود. یکی مدل ژنتیکی مرتبط با فرآیندهای زمین‌شناسی و ژئوشیمیایی و دیگری مدل ژنتیکی در ارتباط با فرآیندهای دگرشکلی پوسته‌ای و محیط‌های ژئودینامیکی می‌باشد. مطالعات اخیر [۱۷ و ۱۸] نشان می‌دهد که تشکیل و جایگیری کانسارهای مس پورفیری نه تنها تحت تأثیر

داده‌های حاصل در محیط GIS می‌تواند کمک بسیار شایانی به تعیین این ارتباط به لحاظ کیفی و کمی نماید. بنابراین با توجه به نظرات بالا و با مشخص شدن مدل ذخیره معدنی منطقه مورد مطالعه، و مکانیسم تشکیل کانسارهای مس پورفیری عوامل مؤثر در کانه‌زایی مس پورفیری منطقه را می‌توان به موارد زیر تقسیم نمود:

۱. شکستگی‌ها و گسل‌های موجود در منطقه.
۲. توده‌های نفوذی منطقه.
۳. حواشی توده‌ها.
۴. سازندهای زمین‌شناسی میزبان مناسب.
۵. نواحی آلتراسیون هیدروترمالی که جهت دستیابی به یک الگوی مشخص ارتباط هر کدام از این عوامل با یکدیگر تعیین و مورد بررسی قرار گرفت.

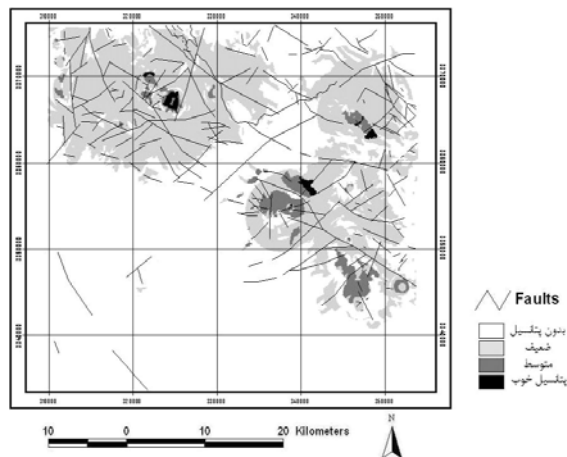
با نگاهی ساده به تصویر ماهواره‌ای، رزدیاگرام، نقشه شکستگی‌های استخراج شده به همراه ارتباط بین نهشته‌های مس دار با شکستگی‌ها (شکل ۱۲)، می‌توان دریافت که تمامی کانه‌زایی‌ها مرتبط با دو سیستم آتشفشانی می‌باشند که در تقاطع گسل اصلی شهر بابک با سری‌های گسلی با روند شمال شرق- جنوب غرب و شمال غرب- جنوب شرق می‌باشند. با روی هم‌اندازی نقشه پتانسیل مس پورفیری به دست آمده با نقشه شکستگی‌های منطقه (شکل ۱۳)، مشاهده می‌شود که مناطق دارای پتانسیل خوب بیشتر در محدوده‌های با تراکم بالای شکستگی‌ها قرار دارد، بنابراین ارتباط و تأثیر شکستگی‌ها در کانه‌زایی مس پورفیری به اثبات می‌رسد.

سیالات ماگمایی توسط مکانیک و ترمودینامیک آن‌ها کنترل می‌شود. سیالات عموماً از زون‌های پرفشار به مناطق کم فشار با درجه حرارت پایینتر مهاجرت می‌کنند در چنین شرایطی سیالات ماگمایی بیش از آن که متمرکز گردند، پراکنده می‌شوند. بر اساس [۱۸] این الگوی گسل‌ها/شکستگی‌ها، زون‌های برشی و تنش‌های متفاوت مکانی می‌باشند که باعث متمرکز شدن ماگما و یا حرکت آن در نواحی کم عمق پوسته می‌شوند. لذا بررسی هندسه و مکانیسم گسل‌های مرتبط با کانسارهای مس پورفیری، جهت مطالعه مکان‌های مناسب برای جایگیری توده‌های پورفیری می‌تواند بسیار با اهمیت تلقی شود [۱۳] در این راستا [۲] زون‌های برشی، حوضه‌های جدایش کششی^۱ و انقطاع در امتداد گسل‌های امتداد لغز را مکان‌هایی بسیار مناسب جهت نفوذ توده‌های تفریق یافته پورفیری و تشکیل کانسارهای مس پورفیری معرفی می‌کند. بر این اساس تعیین و مشخص نمودن روابط مکانی و زمانی گوناگون بین این توده‌ها و این گسل‌ها همواره مدنظر بوده‌اند [۲].

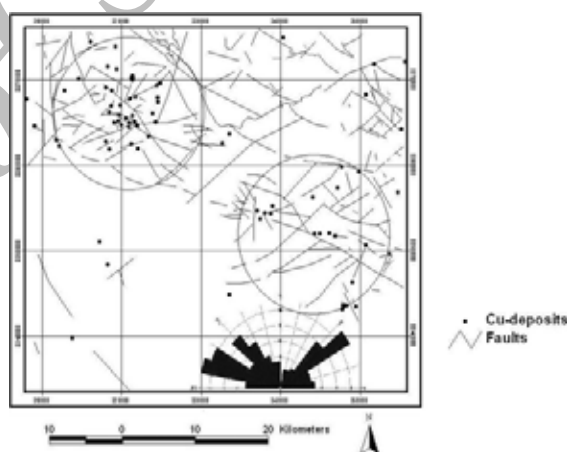
اکثر ذخایر مس ایران به خصوص پورفیری‌ها در زون ولکانو- پلوتونیک ارومیه- دختر واقع می‌باشند که ارتباط مکانی و زمانی بسیار جالبی با گسل‌های امتداد لغز و توده‌های نفوذی گرانیتوئیدی میوسن در این زون دارند [۱۴] در این راستا منطقه معدنی شهر بابک (محدوده میدوک) جهت تعیین این ارتباط انتخاب گردید. نگاه کلی به 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

پورفیری و اندیس‌های معدنی با شکستگی‌ها و گسل‌های امتداد لغز منطقه هر دو در فاصله ۱ کیلومتری به دست آمده است. به علاوه ارتباط مکانی بین نفوذی‌ها و اندیس‌های معدنی و پورفیری‌های منطقه در فاصله ۱ کیلومتری تعیین شده است.

این مشاهدات حداقل دو مفهوم را در بر دارد. اول این که، یکی بودن فاصله مناسب برای نفوذی‌ها و اندیس‌های معدنی در ارتباط با شکستگی‌ها و گسل‌های امتداد لغز، مبین این فرضیه است که مناطق بین گسل‌های امتداد لغز زون‌های مناسبی برای جای‌گیری نفوذی‌های پورفیری می‌باشد. همچنین فرضیه مناسب بودن این مناطق برای کانه‌زایی مس را نیز تقویت می‌نماید. دومین مفهومی که از این مشاهدات برداشت می‌شود، این است که کانه‌زایی مس در ارتباط مکانی و زمانی با نفوذی‌های منطقه می‌باشد. نتایج به دست آمده از آنالیز داده‌های مکانی نشان می‌دهد که ارتباط مکانی بین نفوذی‌ها و اندیس‌های معدنی و پورفیری‌ها با حواشی آن‌ها به ترتیب در فواصل ۱/۵ و ۲/۵ کیلومتری می‌باشد. این مشاهدات بر جای‌گیری پلوتون‌های پورفیری و اندیس‌های معدنی به ترتیب در فاصله ۱/۵ و ۲/۵ کیلومتری از حواشی باتولیت‌ها دلالت دارد. همچنین بیشترین محل تمرکز نهشته‌های مس پورفیری در امتداد شکستگی‌ها (شکستگی‌های کشتی ناشی از گسل‌های اصلی) و در فاصله ۱ کیلومتری از آن‌ها می‌باشد. جهت حصول اطمینان از صحت مناطق مشخص شده، موقعیت مکانی سه کانسار اصلی میدوک، سارا و چاه مسی بررسی گردید، که در محدوده‌های پیش بینی شده با پتانسیل خوب، می‌باشند (شکل ۱۴). همچنین با انجام عملیات صحرائی در محدوده‌های با پتانسیل خوب در بخش مرکزی منطقه مورد مطالعه، وجود پتانسیل مس پورفیری به اثبات رسید.



شکل ۱۲- نقشه شکستگی‌های استخراج شده به همراه ارتباط بین نهشته‌های مس دار با شکستگی‌ها



شکل ۱۳- ارتباط شکستگی‌ها با مناطق پتانسیل‌یابی شده مس پورفیری

نتیجه‌گیری

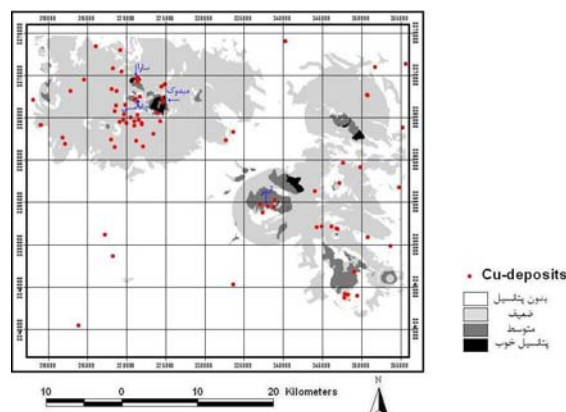
مطالعه حاضر نشان می‌دهد که به طور کلی دو سیستم کانه‌زایی، آتشفشانی و تراکم شکستگی در منطقه مورد مطالعه به چشم می‌خورد که عمدتاً در شمال غرب و جنوب شرق منطقه قرار دارند. این دو منطقه منطبق با دو سیستم آتشفشانی بزرگ می‌باشد که سیستم شمال غربی با مرکزیت میدوک و سارا و سیستم جنوب شرق با مرکزیت آبدر می‌باشد. در این مطالعه ارتباط مکانی نفوذی‌های

porphyry copper potential mapping, north of Shahr-e-Babak, Iran, *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, (2002) 65-74.

- [5] Ranjbar, H., Honarmand, M. and Moezifar, Z., Application of the Crosta technique for porphyry copper alteration mapping, using ETM⁺ data in the southern part of the Iranian volcanic sedimentary belt, *Journal of Asian Earth Sciences*, (2004).

[۶] رنگزن، کاظم، مهرابی، علی و زراسوندی، علیرضا، کاربرد مطالعات دورسنجی در بارزسازی رخنمون‌های اکسید آهن و لاتریت شرق خوزستان (منطقه دهدشت) با استفاده از روش کروستا، بیست و سومین گردهمایی علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی کشور، تهران، ۱۳۸۳.

- [7] 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)*, (1997) 115-126.
- [8] Bohnam Carter, G.F., *Geographic information systems for geoscientists. Modelling with GIS*, Pergamon, Oxford, (1994) 398.
- [9] Wang, F. and Hall, G.B., Fuzzy representation of geographical boundaries in GIS. *International Journal of Geographical Information Science*, 10, 5 (1996) 573-590.
- [10] Richards, J.P., Boyce, A.J. and Pringle, M.S., Geologic evolution of the Escondida



شکل ۱۴- موقعیت چهار کانسار اصلی میدوک، سارا، چاه مسی و آبدر در ارتباط با مناطق پتانسیل‌یابی شده

مراجع

- [۱] مهرابی، علی، رنگزن، کاظم و زراسوندی، علیرضا، محل مناسب تشکیل ذخایر مس پورفیری کجاست؟ مطالعه موردی در بخش جنوبی کمربند آتشفشانی ایران مرکزی، نهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ۱۳۸۴.
- [2] Carranza, E.J.M., Geologically-Constrained Mineral Potential Mapping. PhD Thesis, Delft University of Technology, The Netherlands, (2002) 480.
- [3] 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*, (1989) 171-183.
- [4] Tangestani, H. and Moore, F., The use of Dempster-Shafer model and GIS in integration of geoscientific data for

- [۱۵] اصفهانی نژاد، مژگان، رحیمی، مانا، گزارش تهیه نقشه پتانسیل مواد معدنی در گستره برکه ۱/۱۰۰۰۰ شهر بابک با بهره‌گیری از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)، سازمان زمین‌شناسی کشور، ۱۳۷۹.
- [16] Titley, S. R., and Beane, R. E, Porphyry copper deposits. Part 1. Geologic setting, petrology, and tectogenesis: Part2. Hydrothermal alteration and mineralization: *Economic Geology*, 75th anniversary volume, (1981) 214-269.
- [17] Eastman, J.R; Kyem, P.A, K; Toledano, J., Jin, W. GIS and Decision Making 1st ed., UNITAR. (1993) 108-112.
- [18] Padilla Garza, R.A., Titley, S.R. and Francisco Pimentel, B., Geology of the Escondida porphyry copper deposit, Antofagosta region. *Chile. Economic Geology*. 96, (2001) 307-344.
- area, northern Chile: a model and temporal localization of porphyry Cu mineralization. *Economic Geology*, 98 (2001) 1515-1533.
- [11] Malczewski, J. *GIS and MultiCriteria Decision Analysis*, 1st edition. John Wiley & Sons INC. (1999) 392.
- [12] Geological Map of the Shahr-e-Babak area (1:100,000). Geological Survey of Iran publication.
- [13] 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, (2004) 280.
- [14] Zarasvandi, A., Liaghat, S. and Zentilli, M., Geology of the Darreh-Zerreshk and Ali-Abad porphyry copper deposit, central Iran, *International Geology Reviews*, 47, 6 (2005) 620-646.