

دانشگاه صنعتی شاهرود  
دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک  
گروه اکتشاف معدن

پایان نامه کارشناسی ارشد

**تلفیق لایه‌های ساختاری، زمین‌شناسی، ژئوشیمیایی و دگرسانی ناحیه تروود  
(معلمان - کلاته رشم) در محیط GIS به منظور اکتشاف ذخایر مس**

مریم سادات حسینی

اساتید راهنما:

دکتر بهزاد تخم‌چی

دکتر سوسن ابراهیمی

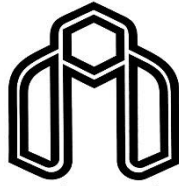
استاد مشاور:

مهندس رضا قاسمی

بهمن ۱۳۹۴



الله الرحمن



دانشگاه صنعتی شاهرود  
دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک  
گروه اکتشاف معدن

**تلفیق لایه‌های ساختاری، زمین‌شناسی، ژئوشیمیایی و دگرسانی ناحیه تروود  
(معلمان – کلاته‌رشم) در محیط GIS به منظور اکتشاف ذخایر مس**

نگارنده: مریم سادات حسینی

اساتید راهنما:

دکتر بهزاد تخم‌چی

دکتر سوسن ابراهیمی

استاد مشاور:

مهندس رضا قاسمی

پایان نامه ارشد جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

بهمن ۱۳۹۴

## دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک

### گروه اکتشاف معدن

پایان نامه کارشناسی ارشد خانم مریم سادات حسینی به شماره دانشجویی: ۹۲۰۵۳۲۴.

تحت عنوان:

تلفیق لایه‌های ساختاری، زمین شناسی، ژئوشیمیایی و دگرسانی ناحیه تروود (معلمان  
– کلاته رشم) در محیط GIS به منظور اکتشاف ذخایر مس

در تاریخ ۱۳۹۴/۱۱/۲۵ توسط کمیته تخصصی زیر جهت اخذ مدرک کارشناسی ارشد

مورد ارزیابی و با درجه ..... مورد پذیرش قرار گرفت.

امضاء	اساتید مشاور	امضاء	اساتید راهنما
	مهندس رضا قاسمی		دکتر بهزاد تخم‌چی
			دکتر سوسن ابراهیمی

امضاء	نماینده تحصیلات تکمیلی	امضاء	اساتید داور
	دکتر علی نجاتی کلاته		دکتر آرزو عابدی
			دکتر حمید آقاجانی

تقدیم به خدای بخشنده

و تقدیم به پدرم بابوسه بردستان پر مهرش

به او که نمی دانم از بزرگی اش بگویم یا مردانگی، سخاوت، مهربانی و...

مادر عزیزتر از جانم

که هستی من ز مستی اوست تا، مستم و هست، دارمش دوست

برادر مهربانم، که وجودش مایه آرامش است

و، همسرم

اسطوره زندگی ام، پناه خستگی ام و امید بودنم

سپاس خدای را که سخنوران، در ستودن او بمانند و شمارندگان، شمردن نعمت‌های او ندانند و کوشندگان، حق او را گزاردن نتوانند. و سلام و دورد بر محمد و خاندان پاک او، طاهران معصوم، هم آنان که وجودمان وامدار وجودشان است؛ و نفرین پیوسته بر دشمنان ایشان تا روز رستاخیز...

بدون شک جایگاه و منزلت معلم، اجل از آن است که در مقام قدردانی از زحمات بی شائبه ی او، با زبان قاصر و دست ناتوان، چیزی بنگاریم.

اما از آنجایی که تجلیل از معلم، سپاس از انسانی است که هدف و غایت آفرینش را تامین می‌کند و سلامت امانت‌هایی را که به دستش سپرده‌اند، تضمین؛ بر حسب وظیفه و از باب " من لم یشکر المنعم من المخلوقین لم یشکر الله عزّ و جلّ " ، از استادان فرهیخته و شایسته؛ آقای دکتر بهزاد تخم چی و خانم دکتر سوسن ابراهیمی که در کمال سعه صدر، با حسن خلق و فروتنی، از هیچ کمکی در این عرصه بر من دریغ نمودند و زحمت راهنمایی این رساله را بر عهده گرفتند؛ از استاد صبور و با تقوا، آقای مهندس رضا قاسمی، که با در اختیار گذاردن تجربیات گرانبهایش کمک شایانی در پیشبرد این پژوهش کرد و نیز از استادان فرزانه و دلسوز؛ آقای دکتر حمید آقاجانی و خانم دکتر آرزو عابدی که زحمت داوری این پایان‌نامه را متقبل شدند؛ کمال تشکر و قدردانی را دارم.

باشد که این خردترین، بخشی از زحمات آنان را سپاس گوید.

## تعهد نامه

اینجانب مریم سادات حسینی دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته مهندسی معدن گرایش اکتشاف دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه تلفیق لایه‌های ساختاری، زمین شناسی، ژئوشیمیایی و دگرسانی ناحیه تروود (معلمان – کلاته‌رشم) در محیط GIS به منظور اکتشاف ذخایر مس

تحت راهنمایی دکتر بهزاد تخم‌چی و دکتر سوسن ابراهیمی متعهد می‌شوم.

- تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است.
- در استفاده از نتایج پژوهشهای محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است.
- مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است.
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می‌باشد و مقالات مستخرج با نام « دانشگاه صنعتی شاهرود » و یا « **Shahrood University of Technology** » به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می‌گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که از موجود زنده (یا بافتهای آنها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری، ضوابط و اصول اخلاقی انسانی رعایت شده است.

### تاریخ

### امضای دانشجو

### مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامه های رایانه ای، نرم افزارها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می‌باشد. این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود.



## چکیده:

داده‌های حجیم و متنوعی از مطالعات مختلف اکتشافی حاصل می‌شوند که بدون سازماندهی دقیق نمی‌توان اطلاعات مفیدی جهت بارزسازی پتانسیل‌های معدنی از آن‌ها استخراج کرد. از آنجایی که عملیات پتانسیل‌یابی یک فرآیند مرحله‌ای در جهت کاهش ریسک و هزینه است، بنابراین بکارگیری سیستم تلفیقی در اکتشاف، دستیابی به اهداف فوق را میسر می‌سازد. در این پایان‌نامه، هدف شناسایی مناطق محتمل برای کانی‌زایی مس در ناحیه ترود - معلمان و به طور تفصیلی در محدوده دو برگه ۱:۱۰۰.۰۰۰ کلاته-رشم و معلمان است.

با توجه به مدل‌های مفهومی تهیه شده، در این تحقیق از لایه‌های اطلاعاتی سنگ‌شناسی، آنومالی ژئوشیمی، گسل، دایک، توده‌های نفوذی و آلتراسیون استفاده شد. بدین صورت که بعد از انجام پیش‌پردازش‌های لازم بر روی لایه‌های اطلاعاتی، نسبت به کلاس‌بندی هر لایه اقدام شد. در گام بعد با استفاده از روش تعیین توابع برآورد (دمپستر-شیفر) به ترکیب دو به دو کلاس‌های هر لایه اطلاعاتی پرداخته شد. در این روش با استفاده از دو عملگر ترکیب کننده AND و OR حدود بالا و پایین برای توابع برآورد محاسبه گردید. در نتیجه برای هر لایه اطلاعاتی دو حد بالا و پایین برای هر یک از توابع اعتماد، عدم اعتماد، عدم قطعیت و باور محاسبه شد. در گام آخر با ترکیب دو به دو لایه‌های اطلاعاتی با یکدیگر با استفاده از عملگرهای مذکور نسبت به تعیین توابع برآورد برای محدوده‌های مورد مطالعه اقدام شد و در نهایت محدوده‌هایی در فواصل ۷ کیلومتری شرق معدن چاه موسی، ۱۵ کیلومتری غرب معدن چشمه حافظ و ۵ کیلومتری غرب معدن مس کلوت با پتانسیل بالای وجود کانه‌زایی مس شناسایی شدند.

**کلمات کلیدی:** کانه‌زایی مس، ترکیب لایه‌های اطلاعاتی، توابع برآورد، کلاته-رشم،

معلمان.

## لیست مقالات مستخرج از پایان نامه:

۱- "شناسایی ارتباط کانی‌زایی فلزات با گسل‌های منطقه معلمان بر مبنای مطالعات

دورسنجی"، هفتمین همایش ملی انجمن زمین‌شناسی اقتصادی ایران، ۱۸ و ۱۹

شهریور ۱۳۹۴، دانشگاه دامغان.

۲- "بررسی شرایط زمین‌شناسی و ساختاری منطقه ترود - معلمان در استان سمنان

به منظور شناسایی کانی‌زایی مس"، نوزدهمین همایش انجمن زمین‌شناسی

ایران و نهمین همایش ملی زمین‌شناسی دانشگاه پیام نور، ۲۶ و ۲۷ اذر

ماه ۱۳۹۴، دانشگاه پیام نور تهران.

# فهرست

## فصل ۱ ..... ۱

۱-۱- مقدمه ..... ۲

۱-۲- هدف و ضرورت تحقیق ..... ۳

۱-۳- تاریخچه مطالعات ..... ۳

۱-۴- روش تحقیق ..... ۴

۱-۵- ساختار پایان نامه ..... ۵

## فصل ۲ ..... ۷

۱-۲- مقدمه ..... ۸

۲-۲- موقعیت جغرافیایی منطقه و راههای دسترسی به آن ..... ۹

۲-۳- زمین‌شناسی منطقه ..... ۱۰

۲-۴- گسل‌های منطقه ..... ۱۲

۲-۵- سیستم‌های شکستگی و ارتباط آن‌ها با تشکیل کانسارهای منطقه ..... ۱۴

۲-۶- ذخایر و اندیس‌های موجود در منطقه ..... ۱۵

۲-۷- شناسایی و مدل‌انواع کانی‌سازی محتمل مس در منطقه مورد مطالعه ..... ۱۶

۱-۲-۷-۲- مدل مفهومی اکتشاف کانسارهای مس گرمابی (رگه‌ای) ..... ۱۷

۲-۲-۷-۲- مدل مفهومی اکتشاف کانسارهای مس بازالتی (تیپ میشیگان) ..... ۱۸

## فصل ۳ ..... ۲۱

۱-۳- مقدمه ..... ۲۲

۲-۳- تهیه لایه‌های اطلاعاتی موثر در شناسایی نقاط با پتانسیل کانی‌زایی مس ..... ۲۴

- ۲۶ ..... لایه شکستگی ها و گسل های منطقه ۱-۲-۳
- ۲۷ ..... لایه اطلاعات واحدهای سنگی منطقه ۲-۲-۳
- ۲۹ ..... لایه توده های نفوذی و دایک های منطقه ۳-۲-۳
- ۳۰ ..... لایه اطلاعات اندیس ها و نقاط معدنی شناخته شده در منطقه ۴-۲-۳
- ۳۱ ..... لایه اطلاعات دگرسانی های منطقه ۵-۲-۳
- ۴۶ ..... لایه اطلاعات مربوط به آنومالی های ژئوشیمی محدوده مورد مطالعه ۶-۲-۳

#### فصل ۴ ..... ۴۹

- ۵۰ ..... ۱-۴- مدلسازی به روش توابع برآورد یا تخمین میزان اعتبار شواهد ۵۰
- ۵۰ ..... ۴-۱-۱- تخمین دانش محور توابع برآورد ۵۰
- ۵۶ ..... ۴-۱-۲- تخمین داده محور توابع برآورد ۵۶
- ۲-۴- تخمین داده محور توابع برآورد در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی به منظور
- ۵۹ ..... شناسایی مناطق با پتانسیل کانی زایی مس گرمابی ۵۹
- ۶۰ ..... ۴-۲-۱- لایه اطلاعاتی سنگهای درونگیر ۶۰
- ۶۲ ..... ۴-۲-۲- لایه اطلاعاتی دگرسانی های منطقه ۶۲
- ۶۳ ..... ۴-۲-۳- لایه اطلاعاتی آنومالی های ژئوشیمیایی ۶۳
- ۶۵ ..... ۴-۲-۴- لایه اطلاعاتی توده های نفوذی منطقه ۶۵
- ۶۷ ..... ۴-۲-۵- لایه اطلاعاتی گسل ها ۶۷
- ۶۸ ..... ۴-۲-۶- لایه اطلاعاتی دایک های منطقه مورد مطالعه ۶۸
- ۳-۴- تلفیق لایه های اطلاعاتی و تعیین حدود بالا و پایین توابع برآورد برای مناطق با پتانسیل
- ۷۱ ..... مطلوب کانی زایی مس گرمابی ۷۱

۴-۴- تخمین داده محور توابع برآورد در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی به منظور

۸۰ ..... شناسایی مناطق با پتانسیل کانی‌زایی مس بازالتی (میشیگان)

۸۱ ..... ۴-۴-۱- لایه اطلاعاتی سنگ‌های درونگیر

۸۲ ..... ۴-۴-۲- لایه اطلاعاتی دگرسانی

۸۳ ..... ۴-۴-۳- لایه اطلاعاتی آنومالی‌های ژئوشیمیایی

۸۵ ..... ۴-۴-۴- لایه اطلاعاتی توده‌های نفوذی منطقه

۸۶ ..... ۴-۴-۵- لایه گسل‌های منطقه

۸۷ ..... ۴-۴-۶- لایه اطلاعاتی دایک‌های منطقه مورد مطالعه

۴-۵- تلفیق لایه‌های اطلاعاتی و تعیین حدود بالا و پایین توابع برآورد برای مناطق با پتانسیل

۸۸ ..... مطلوب کانی‌زایی مس بازالتی (میشیگان)

۹۴ ..... ۴-۶- بررسی توابع برآورد برای یک نقطه انتخابی

۹۷ ..... ۴-۷- جمع‌بندی

۱۰۱ ..... فصل ۵

۱۰۵ ..... منابع

## فهرست شکل‌ها:

- شکل ۱-۲: نقشه ساختاری ایران که بر روی آن محدوده مورد مطالعه مشخص شده است ..... ۹
- شکل ۲-۲: راههای دسترسی مناطق معلمان و کلاته-رشم ..... ۱۰
- شکل ۱-۳: نقشه ۱:۲۵۰.۰۰۰ ترود ..... ۲۴
- شکل ۲-۳: نقشه‌های ۱:۱۰۰.۰۰۰ معلمان و کلاته-رشم ..... ۲۵
- شکل ۳-۳: گسل‌های محدوده مورد مطالعه ..... ۲۶
- شکل ۴-۳: نمایی از چگالی گسل‌ها در محدوده مورد مطالعه ..... ۲۷
- شکل ۵-۳: واحدهای سنگ میزبان کانی‌سازی مس گرمابی در منطقه مورد مطالعه ..... ۲۸
- شکل ۶-۳: واحدهای سنگ میزبان کانی‌سازی مس تپ میشیگان در منطقه مورد مطالعه ..... ۲۸
- شکل ۷-۳: دایک‌های شناسایی شده در منطقه مورد مطالعه ..... ۲۹
- شکل ۸-۳: توده‌های نفوذی شناسایی شده توسط برداشت ژئوفیزیک هوایی ..... ۳۰
- شکل ۹-۳: نشانه‌های معدنی شناسایی شده در محدوده مورد مطالعه ..... ۳۱
- شکل ۱۰-۳: نمودار انعکاس و جذب کانی‌های شاخص دگرسانی آرژلیک ..... ۳۸
- شکل ۱۱-۳: بارزسازی دگرسانی آرژلیک در محدوده مورد مطالعه با استفاده از روش نسبت بانندی ..... ۳۸
- شکل ۱۲-۳: بارزسازی دگرسانی آرژلیک با استفاده از روش ترکیب رنگی کاذب ..... ۳۹
- شکل ۱۳-۳: بارزسازی دگرسانی آرژلیک با استفاده از روش LS-Fit ..... ۴۰
- شکل ۱۴-۳: نمودار انعکاس و جذب کانی‌های شاخص دگرسانی پروپلیتیک ..... ۴۱
- شکل ۱۵-۳: بارزسازی دگرسانی پروپلیتیک با استفاده از روش نسبت بانندی ..... ۴۲
- شکل ۱۶-۳: بارزسازی دگرسانی پروپلیتیک با استفاده از روش ترکیب رنگی کاذب ..... ۴۲
- شکل ۱۷-۳: بارزسازی دگرسانی پروپلیتیک با استفاده از روش LS-Fit ..... ۴۳
- شکل ۱۸-۳: نمودار جذب و انعکاس کانی‌های شاخص دگرسانی کربناتی ..... ۴۴

- شکل ۳-۱۹: بارزسازی دگرسانی کربناتی با استفاده از روش نسبت باندی ..... ۴۴
- شکل ۳-۲۰: بارزسازی دگرسانی کربناتی با استفاده از روش ترکیب رنگی کاذب ..... ۴۵
- شکل ۳-۲۱: بارزسازی دگرسانی کربناتی با استفاده از روش LS-Fit ..... ۴۶
- شکل ۳-۲۲: موقعیت قرارگیری نقاط برداشت نمونه‌های ژئوشیمی در محدوده مورد مطالعه. ۴۸
- شکل ۳-۲۳: نقشه آنومالی‌های ژئوشیمیایی عناصر مختلف در محدوده مورد مطالعه ..... ۴۸
- شکل ۴-۱: روابط میان توابع برآورد ..... ۵۱
- شکل ۴-۲: حد پایین تابع اعتماد برای واحدهای سنگی میزبان مس گرمابی ..... ۶۱
- شکل ۴-۳: حد بالای تابع اعتماد برای واحدهای سنگی میزبان مس گرمابی ..... ۶۱
- شکل ۴-۴: حد پایین تابع اعتماد برای لایه دگرسانی‌های منطقه ..... ۶۳
- شکل ۴-۵: حد بالای تابع اعتماد برای لایه دگرسانی‌های منطقه ..... ۶۳
- شکل ۴-۶: حد پایین تابع اعتماد برای لایه آنومالی ژئوشیمیایی ..... ۶۴
- شکل ۴-۷: حد بالای تابع اعتماد برای لایه آنومالی ژئوشیمیایی ..... ۶۵
- شکل ۴-۸: حد بالای تابع اعتماد برای لایه توده‌های نفوذی ..... ۶۶
- شکل ۴-۹: حد پایین تابع اعتماد برای لایه توده‌های نفوذی ..... ۶۷
- شکل ۴-۱۰: حد بالای تابع اعتماد برای لایه گسل‌های منطقه ..... ۶۸
- شکل ۴-۱۱: حد پایین تابع اعتماد برای لایه گسل‌های منطقه ..... ۶۹
- شکل ۴-۱۲: حد پایین تابع اعتماد لایه اطلاعاتی دایک‌های منطقه ..... ۷۰
- شکل ۴-۱۳: حد بالای تابع اعتماد لایه اطلاعاتی دایک‌های منطقه ..... ۷۰
- شکل ۴-۱۴: حد بالای تابع اعتماد برای مناطق با پتانسیل بالای کانی‌زایی مس گرمابی ..... ۷۳
- شکل ۴-۱۵: حد بالای تابع عدم اعتماد برای مناطق با پتانسیل بالای کانی‌زایی مس گرمابی ..... ۷۴

- شکل ۴-۱۶: حد بالای تابع عدم قطعیت برای مناطق با پتانسیل بالای کانی‌زایی مس گرمابی  
 ۷۵ .....
- شکل ۴-۱۷: حد پایین تابع اعتماد برای مناطق با کانی‌زایی پتانسیل مس گرمابی ..... ۷۷
- شکل ۴-۱۸: حد پایین تابع عدم اعتماد برای مناطق با پتانسیل کانی‌زایی مس گرمابی ..... ۷۸
- شکل ۴-۱۹: حد پایین تابع عدم قطعیت برای مناطق با پتانسیل کانی‌زایی مس گرمابی ..... ۷۹
- شکل ۴-۲۰: مقادیر تابع اعتماد برای لایه اطلاعاتی سنگ‌های درونگیر کانی‌زایی مس میشیگان  
 ۸۲ .....
- شکل ۴-۲۱: مقادیر تابع اعتماد برای لایه اطلاعاتی دگرسانی کربناتی ..... ۸۳
- شکل ۴-۲۲: حد بالای تابع اعتماد برای لایه آنومالی ژئوشیمی ..... ۸۴
- شکل ۴-۲۳: حد پایین تابع اعتماد برای لایه آنومالی ژئوشیمی ..... ۸۴
- شکل ۴-۲۴: مقادیر تابع باور برای لایه توده‌های نفوذی منطقه ..... ۸۵
- شکل ۴-۲۵: مقادیر تابع باور برای لایه گسل‌های منطقه ..... ۸۶
- شکل ۴-۲۶: مقادیر تابع باور برای لایه دایک‌های منطقه مورد مطالعه ..... ۸۷
- شکل ۴-۲۷: حد بالای تابع اعتماد برای کانی‌زایی مس میشیگان در منطقه مورد مطالعه ..... ۸۹
- شکل ۴-۲۸: حد بالای تابع عدم اعتماد برای کانی‌زایی مس میشیگان در منطقه مورد مطالعه ۹۰
- شکل ۴-۲۹: حد بالای تابع عدم قطعیت برای کانی‌زایی مس میشیگان در منطقه مورد مطالعه  
 ۹۱ .....
- شکل ۴-۳۰: حد پایین تابع اعتماد برای کانی‌زایی مس میشیگان در منطقه مورد مطالعه ... ۹۲
- شکل ۴-۳۱: حد پایین تابع عدم اعتماد برای کانی‌زایی مس میشیگان در منطقه مورد مطالعه  
 ۹۳ .....
- شکل ۴-۳۲: حد پایین تابع عدم قطعیت برای کانی‌زایی مس میشیگان در منطقه مورد مطالعه  
 ۹۳ .....



شکل ۴-۳۳: نقشه تابع اعتماد در کانی‌زایی مس گرمابی در منطقه مورد مطالعه و نمایش نقطه

مجهول ..... ۹۴

شکل ۴-۳۴: نقشه تابع عدم اعتماد در کانی‌زایی مس گرمابی در منطقه مورد مطالعه و نمایش

نقطه مجهول ..... ۹۵

شکل ۴-۳۵: نقشه تابع عدم قطعیت در کانی‌زایی مس گرمابی در منطقه مورد مطالعه و نمایش

نقطه مجهول ..... ۹۵

شکل ۴-۳۶: شمای گرافیکی تئوری توابع برآورد ..... ۹۶

## فهرست جدول‌ها

- جدول ۱-۲: تعدادی از ذخایر و اندیس‌های کشف شده مس در منطقه تروود..... ۱۵
- جدول ۱-۳: تعدادی از ترکیب‌های رنگی کاذب که در تکنیک سنجش از دور مورد استفاده قرار می‌گیرد ..... ۳۴
- جدول ۲-۳: برخی از نسبت‌های بانندی مورد استفاده در علوم زمین ..... ۳۵
- جدول ۱-۴: لایه‌های اطلاعاتی استفاده شده در این تحقیق..... ۵۹
- جدول ۲-۴: مقادیر توابع برآورد محاسبه شده برای واحدهای سنگی میزبان مس گرمابی .... ۶۰
- جدول ۳-۴: مقادیر توابع برآورد محاسبه شده برای آلتراسیون‌های آرژیلیک و پروپلیتیک..... ۶۲
- جدول ۴-۴: جدول اطلاعاتی کلاس‌های مختلف لایه اطلاعاتی آنومالی ژئوشیمی و مقادیر توابع برآورد آن‌ها..... ۶۳
- جدول ۵-۴: مقادیر توابع برآورد محاسبه شده برای کلاس‌های مختلف توده‌های نفوذی..... ۶۵
- جدول ۶-۴: مقادیر توابع برآورد برای کلاس‌های مختلف لایه گسل‌های منطقه..... ۶۷
- جدول ۷-۴: مقادیر توابع برآورد برای کلاس‌های مختلف لایه اطلاعاتی دایک‌های منطقه .... ۶۹
- جدول ۸-۴: لایه‌های اطلاعاتی مورد استفاده در شناسایی مناطق با پتانسیل کانی‌زایی مس بازالتی و مقادیر توابع برآورد آن‌ها..... ۸۰
- جدول ۹-۴: مقادیر توابع باور تعیین شده برای لایه اطلاعاتی سنگ‌های درونگیر..... ۸۱
- جدول ۱۰-۴: مقادیر توابع باور تعیین شده برای لایه اطلاعاتی دگرسانی ..... ۸۲
- جدول ۱۱-۴: مقادیر توابع برآورد تعیین شده برای لایه اطلاعاتی آنومالی ژئوشیمی ..... ۸۳
- جدول ۱۲-۴: مقادیر توابع برآورد برای لایه توده‌های نفوذی منطقه ..... ۸۵
- جدول ۱۳-۴: مقادیر توابع برآورد برای لایه گسل‌های منطقه..... ۸۶
- جدول ۱۴-۴: مقادیر توابع برآورد برای لایه اطلاعاتی دایک‌های منطقه ..... ۸۷

فصل ۱

کلیات

## ۱-۱- مقدمه

ایران به لحاظ کانی‌سازی مس از پتانسیل معدنی بسیار خوبی برخوردار است. بزرگترین کمر بند شناخته شده مس در ایران، کمر بند آتشفشانی- ماگمایی ارومیه- دختر می‌باشد. کانسار مس پورفیری سرچشمه که در نیمه جنوبی این زون قرار دارد بزرگترین معدن مس پورفیری ایران و از جمله معادن بزرگ مس دنیا محسوب می‌شود (کریم‌پور و سعادت، ۱۳۸۱).

چهارگوش ۱:۲۵۰۰۰۰ ترود در استان سمنان واقع شده‌است و جزئی از زون ساختاری ایران مرکزی می‌باشد (نبوی، ۱۳۵۵). این زون که محل قدیمی‌ترین قاره ایران است، در دوران پالئوزوئیک و اوایل مزوزوئیک خاصیت پلاتفرمی داشته ولی در اواخر دوران مزوزوئیک و سنوزوئیک تبدیل به زون کوهزایی بسیار فعالی می‌گردد (درویش زاده، ۱۳۷۰). اثرات این کوهزایی در منطقه ترود، فعالیت ماگمایی بسیار گسترده‌ای بوده‌است که کمر بند آتشفشانی- ماگمایی ترود - چاه شیرین با روند شمال‌شرق - جنوب‌غرب (به موازات گسل‌های ترود و انجیلو) را در حاشیه شمالی کویر مرکزی ایران تشکیل می‌دهد (درویش زاده، ۱۳۷۰). مطالعات انجام شده توسط سازمان زمین‌شناسی کشور و شرکت‌های معدنی نشان می‌دهد چهارگوش زمین‌شناسی ترود از لحاظ کانی‌سازی مس پتانسیل بسیار خوبی را داراست.

از آنجا که بخش عمده‌ای از مساحت ایران را مناطق کویری پوشانده‌است و به دلایل متفاوتی، کمتر مورد توجه مطالعات اکتشافی قرار گرفته‌است، به این منظور ناحیه ترود (بخش معلمان و کلاته) از دیدگاه پتانسیل‌یابی مس مورد تحقیق و بررسی قرار خواهد گرفت. در این تحقیق از سیستم اطلاعات جغرافیایی استفاده شده‌است که به مدیریت، آنالیز و پخش اطلاعات جغرافیایی می‌پردازد و در نهایت لایه‌های اطلاعاتی مفیدی را ارائه می‌دهد که می‌تواند در فهم بهتر ارتباط بین لایه‌ها کمک شایانی نماید.

## ۱-۲- هدف و ضرورت تحقیق

منطقه تروود - معلمان به عنوان یکی از مناطق مستعد کانه‌زایی فلزات از جمله مس شناخته شده‌است. در این منطقه تاکنون مطالعات اکتشافی ژئوشیمیایی و ژئوفیزیکی به منظور شناسایی اندیس‌ها و کانسارهای فلزی از جمله طلا، آهن و به خصوص مس صورت گرفته‌است (کی‌نژاد و همکاران، ۱۳۸۹). با این وجود نیاز به استفاده از روش‌های جدید از جمله سیستم اطلاعات جغرافیایی جهت پی‌جویی کانی‌سازی به خصوص مس محسوس است.

در این تحقیق جهت یافتن مناطق با پتانسیل بالای مس، از سیستم اطلاعات جغرافیایی و تعیین وزن معیارهای مؤثر در کانی‌زایی مس استفاده خواهد شد. ترکیب لایه‌های اطلاعاتی می‌تواند مناطق با پتانسیل بالای مس را مشخص‌تر نماید. روش‌ها و توابع مختلفی برای ترکیب لایه‌ها وجود دارد که می‌توان به مدل منطق فازی و شبکه عصبی به عنوان مهم‌ترین آن‌ها اشاره نمود. در این تحقیق پس از انتخاب روش و تابع بهینه، لایه‌های اطلاعاتی موجود را ترکیب کرده و از نتیجه آن به منظور پتانسیل‌یابی مس در منطقه موردنظر استفاده می‌کنیم. همچنین در این تحقیق سعی بر آنست که عدم قطعیت نیز مدل گردد.

## ۱-۳- تاریخچه مطالعات

در این ناحیه تاکنون مطالعات متعددی به منظور تهیه انواع نقشه‌های زمین‌شناسی و ژئوشیمی انجام شده‌است که در ادامه به اختصار ذکر می‌گردد.

- تهیه نقشه ژئوشیمی ۱:۱۰۰.۰۰۰ منطقه کلاته در طول جغرافیایی ۵۴:۰۰ تا ۵۴:۳ درجه و عرض جغرافیایی ۳۵:۰۰ تا ۳۵:۵ درجه در پروژه دامغان - تربت حیدریه با همکاری مشاوران خارجی (سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۱۳۷۴)

- تهیه نقشه ژئوشیمی ۱:۱۰۰.۰۰۰ منطقه معلمان در طول جغرافیایی ۵۴:۳۰ تا ۵۵:۰۰ درجه و عرض جغرافیایی ۳۵:۰۰ تا ۳۵:۵ درجه در پروژه دامغان - تربت حیدریه با همکاری مشاوران خارجی (سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۱۳۷۴)
- تهیه نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰.۰۰۰ معلمان در طول جغرافیایی ۵۴:۳ تا ۵۵:۰۰ درجه و عرض جغرافیایی ۳۵:۰۰ تا ۳۵:۵ درجه (اشراقی و جلالی، ۱۳۸۵).
- تهیه نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰.۰۰۰ کلاته در طول جغرافیایی ۵۴:۰۰ تا ۵۴:۳ درجه و عرض جغرافیایی ۳۵:۰۰ تا ۳۵:۵ درجه (اشراقی و جلالی، ۱۳۸۵).

## ۱-۴- روش تحقیق

در این تحقیق سعی بر آنست با انجام مطالعات علمی و تخصصی به کمک روش‌ها و توابع کارآمد، به پتانسیل‌یابی مس در محدوده برگه‌های ۱:۱۰۰.۰۰۰ کلاته - رشم و معلمان پرداخته شود. نقشه پتانسیل‌های مس به کمک نرم‌افزار جی‌آی‌اس تهیه خواهد شد. نرم‌افزار جی‌آی‌اس به عنوان یکی از ابزارهای جغرافیایی کارآمد، با داشتن بانک اطلاعات گسترده، تحولی در علم معدنکاری و اکتشاف معدن پدید آورده‌است. این نرم‌افزار می‌تواند مجموعه وسیعی از اطلاعات مربوط به یک محدوده با ساختارهای متفاوت را با یکدیگر ترکیب نموده و متناسب با هدف کاربر خروجی مربوطه را حاصل نماید. در این تحقیق با استفاده از داده‌های زمین‌شناسی، ژئوفیزیک، ژئوشیمی و تصاویر ماهواره‌ای، لایه‌هایی اطلاعاتی مرتبط با کنای زایی مس استخراج شده و سپس در محیط این نرم‌افزار به کمک توابعی همچون بیزین، به تلفیق این لایه‌های اطلاعاتی پرداخته خواهد شد. در گام بعدی به منظور ایجاد نوآوری در تحقیق، عدم قطعیت نیز مدل خواهد شد. این کار به کمک تئوری دمپستر - شیفر انجام می‌شود و در نهایت محدوده مورد نظر به سه بخش آنومال، فاقد آنومالی و محدوده‌های مبهم تقسیم می‌گردد. مزیت این فرآیند اینست که می‌توان با افزایش دانش در مورد محدوده‌های مبهم، ابهام را کاهش داده یا به طور کل از بین برد و این بدان معنی می‌باشد که در نهایت با افزایش

دانش در مورد نقاط ناشناخته و انجام مجدد فرآیند پتانسیل‌یابی می‌توان تا حد قابل توجهی نقاط ابهام را به دسته آنومالی یا فاقد آنومالی اختصاص داد.

## ۱-۵- ساختار پایان نامه

این پایان‌نامه در قالب پنج فصل تهیه شده‌است. فصل اول شامل کلیاتی در مورد هدف، ضرورت و روش تحقیق می‌باشد. در فصل دوم به موقعیت جغرافیایی و زمین‌شناسی منطقه پرداخته خواهد شد. فصل سوم به تقسیم‌بندی انواع کانسارهای مس و احتمال حضور این کانسارها در منطقه اختصاص خواهد یافت. در فصل چهارم به تهیه نقشه‌های برآورد با استفاده از تئوری تعیین توابع برآورد (دمستر - شیفر) در منطقه اشاره می‌شود و فصل پنجم به نتیجه‌گیری و ارائه پیشنهادات اختصاص خواهد یافت.





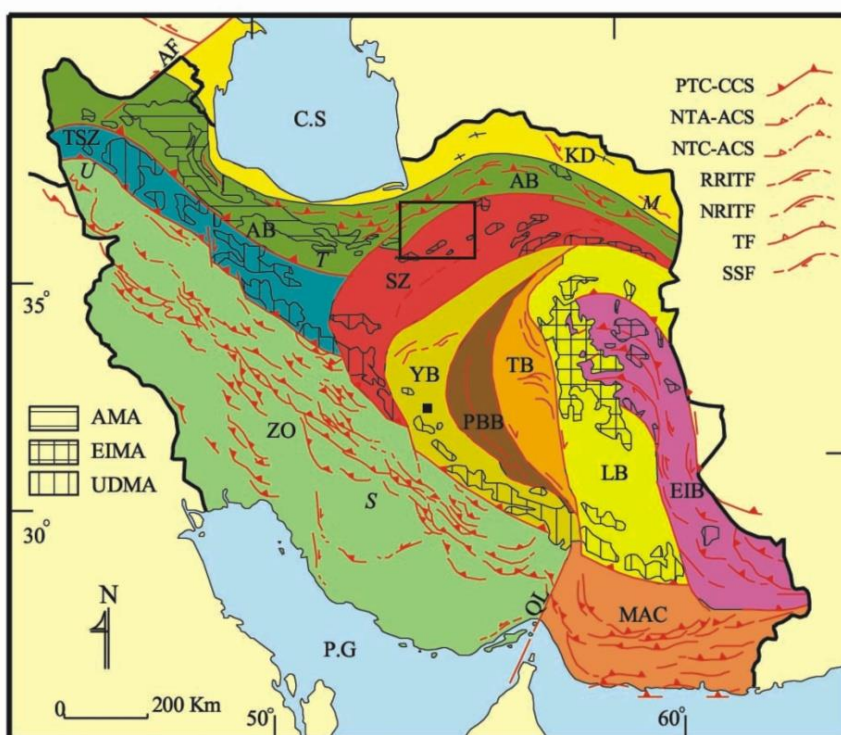
## فصل ۲

**زمین‌شناسی و مدل‌های ذخایر**

**مس محتمل در منطقه**

## ۲-۱- مقدمه

استان سمنان در دامنه جنوبی زون زمین‌شناسی البرز (مرکزی - خاوری) و در حاشیه شمالی کویر بزرگ واقع شده‌است و به دو پهنه ساختاری البرز و ایران مرکزی تعلق دارد (شکل ۱-۲) (درویش زاده، ۱۳۷۰). در شمال سمنان "گسل سمنان" به عنوان حد جداکننده زون البرز از ایران مرکزی شناخته شده‌است، در حالیکه در ۳۰ کیلومتری شرق سمنان، گسل عطاری به عنوان مرز دو پهنه ساختاری - رسوبی ایران مرکزی معرفی شده‌است. گسل‌های سمنان و عطاری دو حادثه مهم تکتونیکی هستند که در راستای تقریبی شمال‌شرقی - جنوب‌غربی از بخش‌های شمالی استان سمنان عبور می‌کنند (درویش زاده، ۱۳۷۰). مطالعات انجام شده در نواحی شمال (البرز) و جنوب (ایران مرکزی) گسل‌های سمنان و عطاری، نشان می‌دهد؛ تفاوت‌های زمین‌شناسی چندان آشکاری بین بخش شمالی استان سمنان (البرز) و بخش جنوبی آن (ایران مرکزی) وجود ندارد، به بیان دیگر بخش البرز استان سمنان، به واقع چین‌های حاشیه‌ای ایران مرکزی می‌باشند. با این وجود، فعالیت‌های تکتونیکی و حوضه‌های رسوبی محدود به زون‌های گسلی، سبب گردیده تا در لیتولوژی و ضخامت واحدهای سنگی تفاوت‌هایی ایجاد گردد (کی‌نژاد و همکاران، ۱۳۸۹).



Generalized Tectonic Map of Iran (after Alavi, 1991).

Abb.:A.B.-Alborz belt. A.F.-aras fault. AM-Alborz magmatic assemblage. C.S.-Caspian sea. E.I.B.-East Iran belt E.I.M.A.-East Iran magmatic assemblage. K.D.-Kopeh Dagh. L.B.-Lut block. M-Mashhad. M.A.P.-Makran accretionary prism. NTA-ACS-Neo-Tethian arc-collision suture. NTC-ACS-Neo-Tethian arc-continent-arc collision suture. NRITF-Non rotational-related intracontinental transfer fault. O.L.-Oman line. P.B.B.-Posht-Badamblock. P.G.-Persian Gulf. PTC-CCS-Paleo-Tethian continent-continent collisional suture. RRITF-Rotational-related intracontinental transfer fault. S-Shiraz. S.B.-Sabzevar block. SSF-Strike slip fault. T-Tehran. T.B.-Tabas block. T.Q.B.-Tabriz-Qom belt. U-Uromieh. UDMA-Uromieh-Dokhtar magmatic assemblage. Y.B.-Yazd block. Z.O.-Zagros orogen. Bandar-e-Anzali sheet indicated by black rectangle.

شکل ۱-۲: نقشه ساختاری ایران که بر روی آن محدوده مورد مطالعه مشخص شده است (Alavi, 1991).

## ۲-۲- موقعیت جغرافیایی منطقه و راه‌های دسترسی به آن

منطقه معلمان و کلاته در حدود ۴۰۰ کیلومتری شرق تهران و حدود ۱۰۰ کیلومتری جنوب-غرب شاهرود واقع شده است. این منطقه در موقعیت جغرافیایی  $55^{\circ}:00'$  تا  $54^{\circ}:30'$  طول شرقی و  $35^{\circ}:00'$  تا  $35^{\circ}:30'$  عرض شمالی قرار دارد. این منطقه از شمال به کوه‌های دزینا، انارو، تبرکوه و کوه دوگوش از شرق به روستای بیدستان، از غرب به کلاته - رشم و از جنوب به چاله‌کویر محدود می‌شود.

راه اصلی ارتباطی با منطقه، محور تهران - سبزوار - مشهد است. راه‌های ارتباطی احداث شده در منطقه عبارتند از:

- جاده آسفالتی اصلی دامغان به جندق که روستای معلمان در فاصله ۱۱۵ کیلومتری جنوب دامغان واقع گردیده است.

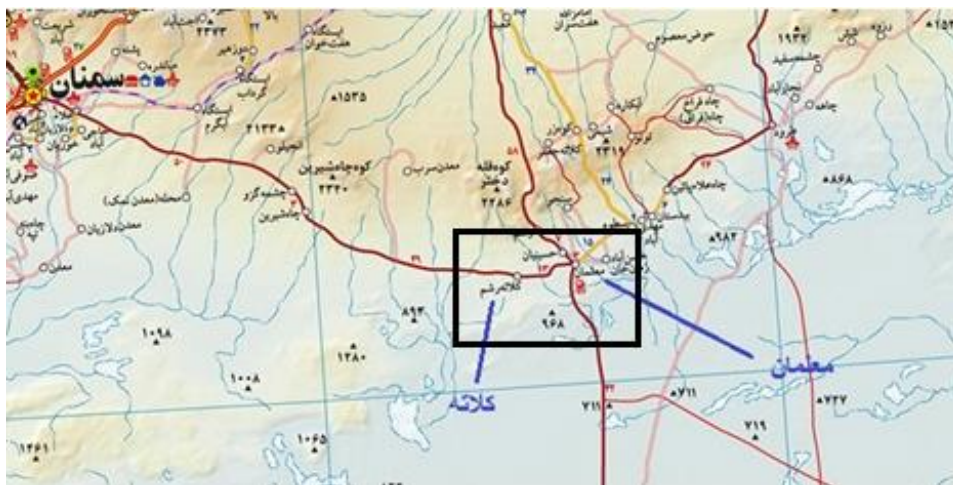
- جاده شوسه معلمان - ترود که در میانه منطقه از غرب به شرق احداث شده است.

- راه آسفالت سرد دامغان به کوه زر، شیمی و باغو.

- جاده خاکی درجه سه یا کوهستانی کوه زر به ترود.

دیگر راه‌های ارتباطی منطقه به صورت جاده‌های خاکی کوهستانی و مال‌رو هستند و روستاها و

مناطق کوهستانی را به یکدیگر و به جاده‌های آسفالتی مرتبط می‌نمایند. شکل ۲-۲ موقعیت راه‌های منطقه را نشان می‌دهد.



شکل ۲-۲: راه‌های دسترسی مناطق معلمان و کلاته-رشم (وزارت راه و شهرسازی جمهوری اسلامی ایران، ۱۳۷۶)

## ۲-۳- زمین‌شناسی منطقه

ناحیه معلمان - کلاته از دیدگاه زمین‌شناسی ساختاری ایران، در بخش شمالی پهنه ایران

مرکزی قرار گرفته است. در تقسیم‌بندی نوگل‌سادات و الماسیان (۱۹۹۳) این ناحیه در نیمه شمالی

واحد تکتونو - رسوبی ایران مرکزی و در زیر پهنه بخش مرکزی ماگمایی جای دارد.

هوشمندزاده و همکاران (۱۳۵۷) نیمه شمالی ورقه را رشته کوه ترود - چاه شیرین نامیده‌اند که میان دو گسل اصلی ترود و انجیلو واقع شده و در کناره شمالی فرو افتادگی کویر بزرگ جای دارد. به طور کلی گستره منطقه را می‌توان در دو زیر پهنه ساختاری زیر تفکیک نمود (اشراقی، ۱۳۷۷).

### الف) زیر پهنه ترود - چاه شیرین

زیر پهنه ترود - چاه شیرین از سنگ‌های دگرگونی پالئوزوئیک و مزوزوئیک همچین نهشته‌های آذرین - رسوبی ترشیری آغازین (پالئوژن) تشکیل شده‌است و غالباً در نیمه شمالی منطقه جای گرفته‌است. در این زیر پهنه ساختمان‌های زمین‌شناسی و روند کلی لایه‌ها تقریباً شرقی - غربی است و همسویی نسبی با امتداد پهنه گسل ترود در منطقه دارد. نهشته‌های دوران سنوزوئیک با بیشترین فعالیت‌های ماگمایی در منطقه همراه بوده و در طی دوره ترشیری آغازی (ائوسن - الیگوسن) حجم زیادی از سنگ‌های آذرین را به جای گذاشته‌است. از شمال شرق ترود تا جنوب عباس‌آباد، در یک روند شمال شرقی - جنوب غربی باریکه‌ای از سنگ‌های دگرگونی با رخساره شیست، گنایس، آمفیبولیت و مرمر برونزد دارد. این رخداد دگرگونی را به پرکامبرین نسبت داده‌اند ولی مقایسه منطقه‌ای نشان می‌دهد؛ که در دگرگونی این سنگ‌ها رویداد تکتونیکی تریاس بالا (سیمرین پیشین) نقش بیشتری داشته‌است (اشراقی، ۱۳۷۷). گدازه‌های آتشفشانی و توده‌های نفوذی ائوسن - الیگوسن واحدهای سنگی جوانتر در منطقه هستند. این توده‌های نفوذی با ترکیب اسیدی تا حدواسط از سنگ‌های گرانیت، گرانودیوریت و دیوریت تشکیل شده‌است و عمدتاً در برگه‌های کلاته و معلمان توزیع و پراکندگی بیشتری دارند. جایگیری توده‌های الیگوسن درون سنگ‌های آتشفشانی و آذرآواری ائوسن، با ایجاد هاله دگرگونی همراه بوده‌است که در مواردی به کانی‌سازی سرب - روی، مس و مس - طلا منجر شده‌است (اشراقی، ۱۳۷۷).

نوار آتشفشانی - رسوبی عباس‌آباد متشکل از تناوب سنگ‌های آتشفشانی، آذرآواری و میان لایه‌های رسوبی به سن ائوسن میانی - فوقانی، ادامه نوار ماگمایی سبزوار در لبه شمال شرقی زون

ساختاری ایران مرکزی است که از داورزن در غرب سبزوار تا سه راهی بیارجمند در شرق میامی، در طول آزادراه شاهرود - سبزوار امتداد دارد. این نوار، در غرب عباس‌آباد به سمت جنوب غرب و به سوی بیارجمند تغییر روند داده و در ادامه به نوار ماگمایی بیارجمند - ترود - معلمان در جنوب و جنوب‌شرق شاهرود می‌پیوندد. وجود نشانه‌هایی از کانی‌زایی مس در سنگ‌های آتشفشانی این نوار، سبب شده که از دیرباز زمین‌شناسان به آن توجه خاصی داشته باشند (Spies et al, 1983).

### ب) زیر پهنه حوضه رسوبی کم‌ژرف نئوژن

این گستره بخشی از حوضه رسوبی جندق را در بر می‌گیرد که در جنوب منطقه واقع شده است. در این حوضه، نهشته‌های دریایی بسیار کم‌ژرف و تبخیری دوره میوسن - پلیوسن برجای گذاشته شده‌است.

### ۲-۴- گسل‌های منطقه

گسل‌های منطقه بیشتر دارای روند شمال‌شرقی - جنوب‌غربی بوده و برخی با روند شمال‌غربی - جنوب‌شرقی و شمالی - جنوبی می‌باشند.

- گسل ترود: در منطقه مورد مطالعه، یک دسته گسل شکل گرفته‌است که راستایی نزدیک به N60-70E دارند و میل آن‌ها نیز به سوی شمال تا شمال‌غرب است. مهمترین آن‌ها گسل ترود است که یک گسل اصلی و قدیمی است. این گسل از زمان پرکامبرین تاکنون چندین بار فعال شده‌است و در آخرین حرکت خود به گونه امتدادی - شیبی عمل کرده‌است (هوشمندزاده و همکاران، ۱۳۵۷).

- گسل سرکویر: این گسل به موازات گسل ترود ایجاد شده و گسترش آن از مناطق جنوبی معلمان تا کوه کاهوان دیده می‌شود، این گسل که به‌طور عمده در مناطق آبرفتی پوشیده

شده است، ساز و کاری مشابه گسل ترود دارد و به احتمال زیاد در اعماق با گسل ترود یکی می شود (هوشمندزاده و همکاران، ۱۳۵۷).

- گسل باغو: در شمال منطقه با راستای N70-90E و شیب نزدیک به قائم واقع شده است و در طولی حدود ۲۰ کیلومتر در منطقه معلمان قابل ردیابی است. سیستم گسل باغو پس از ائوسن پدید آمده و جایگیری رگه های دربردارنده مواد کانه دار در این شکستگی ها تقریبا همزمان انجام گرفته است (هوشمندزاده و همکاران، ۱۳۵۷).

- گسل رشم - پیرمردان: این گسل نیز راستایی تقریبا موازی با گسل اصلی ترود دارد و از غرب منطقه (مجاور روستای رشم) تا امامزاده پیرمردان و خاور آن گسترش یافته است، این گسل ساز و کاری معکوس داشته و شیب رو رانده به سمت شمال دارد (هوشمندزاده و همکاران، ۱۳۵۷).

- گسل دره حسن امرو: این گسل ظاهرا ساز و کاری معکوس داشته و توده های نفوذی و آهک کرتاسه و سنگ های میلونیتی شده را در پهنای گسله خود در سطح زمین نمایان کرده است. این گسل در جنوب ده جعفر و امرو شیب ۸۰ درجه به جنوب دارد (هوشمندزاده و همکاران، ۱۳۵۷).

- گسل های فرعی دیگری در زیر پهنه ترود - چاه شیرین پدید آمده که نهشته های کرتاسه و ائوسن را جابجا کرده است و حاکی از تاثیر شدید نیروهای کششی در منطقه است (هوشمندزاده و همکاران، ۱۳۵۷).

## ۲-۵- سیستم‌های شکستگی و ارتباط آن‌ها با تشکیل کانسارهای

### منطقه

منطقه معلمان و کلاته را شبکه‌ای از شکستگی‌ها با آرایش متنوع در بر گرفته‌است که گسل ترود در جنوب و گسل رباعی - کوه زر در شمال، مهمترین این ساختارها هستند. هر دو گسل، امتداد لغز راستگرد با مولفه شیبی معکوس و با راستای تقریبی شمال شرقی - جنوب غربی می‌باشند.

در قسمت غرب منطقه، گسل‌هایی با راستای شمالی - جنوبی تا شمال غربی - جنوب شرقی وجود دارند که شیب تندی به سمت شرق داشته و گسل‌هایی عادی با حرکات امتدادلغز هستند. در این منطقه گسل‌های اصلی ترود و رباعی - کوه زر کنترل کننده سیمای ساختاری غالب بوده‌اند. گسل‌های امتدادلغز این منطقه را می‌توان در چارچوب یک وضعیت زمین‌ساختی فشاری - لغزشی که از اواخر ائوسن تا عهد حاضر بر منطقه حکم فرماست، در نظر گرفت (خادمی و شهریاری، ۱۳۸۶).

دایک‌های منطقه با ترکیب بازیک در دو جهت عمده شمال شرقی - جنوب غرب و شمال غربی - جنوب شرقی، دارای بیشترین مقدار هستند. جهت اول موازی راستای گسل‌های منطقه و جهت دوم در سازگاری با رژیم فشاری - لغزشی کنونی است.

مورفولوژی درزه‌ها، اغلب شبیه دایک‌ها است، زیرا در اغلب موارد هر ساز و کاری که قادر به ایجاد دایک‌ها باشد، درزه‌ها را نیز تولید می‌کند. عوامل موثر در تشکیل درزه‌ها تکتونیک و ماگماتیسم می‌باشند. در بیشتر قسمت‌های منطقه، راستای دسته درزه‌ها موازی با امتداد گسل‌ها و دایک‌ها هستند. رگه‌های اقتصادی مهم منطقه در راستای شمال شرقی - جنوب غربی و شمال غربی - جنوب شرقی هستند که اغلب این رگه‌ها شیب تندی دارند، کانی‌سازی در رگه‌های کم شیب‌تر به مقدار کمتری تشکیل شده‌است. زمین‌ساخت و ماگماتیسم مانند همه محیط‌های مشابه زمین‌ساختی جهان، در تعامل بایکدیگر پتانسیل معدنی مس و کانسارهای با ارزش فراوانی در منطقه فراهم آورده‌اند. این



فرآیندها سیالات گرمایی لازم را از طریق آب‌های دگرگونی و یا چرخه آب‌های زیرزمینی در مجاورت منابع گرمایی، تامین کرده و سپس مجاری صعود آنها را با ایجاد و توسعه شبکه شکستگی‌های ساختاری و هیدرولیک فراهم ساخته‌اند. توزیع و جایگذاری اغلب رگه‌های معدنی با راستاهای ساختارهای برشی امتدادلغز بزرگ منطقه، از جمله گسل ترود، موازی و هم مسیر هستند (کی‌نژاد و همکاران، ۱۳۸۹).

## ۲-۶- ذخایر و اندیس‌های موجود در منطقه

با توجه به گزارش‌های موجود از کانی‌سازی مس در منطقه ترود، ذخایر و اندیس‌های مس در این منطقه به دو گروه تقسیم می‌شوند؛ ذخایر رگه‌ای و ذخایر پراکنده و رگچه‌ای (احتمالاً تیپ میشیگان) که موقعیت و ویژگی‌های برخی از این ذخایر در جدول ۱-۲ خلاصه شده‌است.

جدول ۱-۲: تعدادی از ذخایر و اندیس‌های کشف شده مس در منطقه ترود.

عیار	بافت، ساخت و کانی‌سازی	سنگ میزبان	موقعیت ذخیره	نام ذخیره
عیار مس ۲٪	کالکوسیت- مس طبیعی	داسیت- آندزیت ائوسن	۸ کیلومتری شمال غرب ترود	۱- معدن چاه موسی (قربانی، ۱۳۸۷)
عیار مس ۱/۵٪	کالکوسیت، کولیت، مس طبیعی، مالاکیٹ	آندزیت ائوسن	۳۰ کیلومتری شمال غرب ترود	۲- کانسار مس قله سوخته (سازمان زمین-شناسی و اکتشافات معدنی، ۱۳۷۸)
	کالکوسیت و مالاکیٹ	آندزیت پورفیری و سنگهای آذرآواری	۱۳۵ کیلومتری جنوب شرق سمنان	۳- کانسار مس چاه فراخ (سازمان زمین-شناسی و اکتشافات معدنی، ۱۳۷۸)
	کالکوسیت، مالاکیٹ	آندزیت با بافت پورفیری	۴/۵ کیلومتری جنوب غرب کانسار کلوت	۸- کانسار مس مهران کویر (قربانی، ۱۳۸۷)
	کالکوسیت	سنگ‌های آتشفشانی با بافت پورفیری	۳ کیلومتری جنوب غرب کانسار کلوت	۹- کانسار مس مهران کویر (قربانی، ۱۳۸۷)

عیار مس ۲/۶٪	کالکوسیت، مگنتیت و پورفیری	آندزیت با بافت	۶ کیلومتری شرق	۱۰- کانسار مس	چاه‌آباد سرکویر (قربانی، ۱۳۸۷)
کالکوسیت و مالاکیٹ	آندزیت‌های تیره و تراکی	۷/۵ کیلومتری	کانسار کلوت	۱۱- کانسار مس	کلوت‌بلند (سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی، ۱۳۷۸)
عیار مس ۱٪ و سرب ۱/۳۶٪	کالکوسیت، مالاکیٹ، گالن و کالکوپیریت	آندزیت و توف داسیتی	۳۳ کیلومتری غرب ترود	۱۲- کانسار مس چشمه	حافظ (قربانی، ۱۳۸۷)
کالکوسیت، مالاکیٹ و آزوریت	داسیت-آندزیت	در بلندیهای بخش شرقی کانسار چاه موسی	۱۳- کانسار مس چاله	کفتر (سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی، ۱۳۷۸)	
عیار مس ۵/۳٪	تراکی آندزیت تا پیروکسن آندزیت	۵ کیلومتری شمال	کانسار چاه موسی	۱۴- کانسار چاه حامد	اکتشافات معدنی، (۱۳۷۸)

## ۲-۷- شناسایی و مدل انواع کانی‌سازی محتمل مس در منطقه مورد

### مطالعه

به منظور شناسایی مقدماتی انواع کانسارهای موجود در یک محدوده اکتشافی، اولین گام بررسی نقشه‌های زمین‌شناسی منطقه می‌باشد. با مطالعه و بررسی نقشه‌های زمین‌شناسی محدوده مورد نظر از دیدگاه تکتونیکی، سنگ‌شناسی و سن واحدهای زمین‌شناسی، همچنین آگاهی از شرایط تشکیل کانسارهای مورد نظر، می‌توان محدوده اکتشافی را جهت انجام مطالعات دقیق‌تر کوچک نمود. با توجه به این ویژگی‌ها، دو برگه ۱:۱۰۰۰۰۰ کلاته و معلم‌ان از نقشه ۱:۲۵۰۰۰۰ منطقه ترود به منظور انجام مطالعات تکمیلی انتخاب گردید.

جهت شناسایی و پی‌جویی کانسارهای مختلف، مدل‌سازی ذخایر معدنی نقش بسزایی خواهد داشت. مدل‌سازی، روشی است که منجر به ساده‌سازی، کلی‌نگری و سهولت‌بخشی در فرآیند شناخت رخدادهایی است که دارای ویژگی‌های مشترک می‌باشند. در اکتشافات مقدماتی و اولیه، شناسایی مناطقی که باید در مراحل بعدی مورد توجه قرار گیرند با استفاده از مدل‌سازی پتانسیل معدنی صورت می‌گیرد. مدل‌سازی پتانسیل معدنی در واقع یافتن مناطقی است که با معیارها و ملاک‌های مشخصی احتمال حضور ذخیره در آن صدق می‌کند. در طراحی مدل مفهومی، مطالعه مجموعه‌های ساختاری و زمین‌ساختمانی ناحیه مورد مطالعه ضروری است. علاوه بر این مطالعه و بازبینی یافته‌ها درباره سیستم‌های زمین‌شناسی همچون گسل‌ها و سایر عوارض زمین‌شناسی، که می‌توانند به عنوان کنترل‌کننده‌های کانی‌سازی وابسته به نواحی هدف مطرح باشند، مفید است. همچنین تجزیه و تحلیل توزیع فضایی و پراکندگی ذخایر معدنی مشابه ذخیره هدف نیز باید مورد توجه قرار گیرد.

با توجه به مطالعات و بررسی‌های انجام شده در نقشه‌های زمین‌شناسی محدوده مورد مطالعه، همچنین اندیس‌ها و ذخایر کشف شده در جدول ۱-۲، نقش مهم توده‌های نفوذی و سنگهای آتشفشانی و نیز گسل‌ها و شکستگی‌ها در کانی‌سازی مس در منطقه ترود محرز می‌باشد. در این پایان‌نامه با توجه به شواهد کانه‌زایی موجود در منطقه و همچنین سایر شرایط لازم برای کانه‌زایی فلز مس، بررسی تکمیلی دو نوع کانه‌زایی مس گرمابی و میشیگان مد نظر قرار گرفت. لذا با توجه به تاثیرات مهم فعالیت‌های ماگمایی-آتشفشانی و تکتونیک در منطقه مورد مطالعه، مدل‌های ذخایری که می‌تواند با این نوع فعالیتها مرتبط باشد به اختصار توضیح داده می‌شود (حسینی پاک، ۱۳۷۹).

## ۲-۷-۱- مدل مفهومی اکتشاف کانسارهای مس گرمابی (رگه‌ای)

سنگ میزبان این نوع کانی‌سازی از نوع آتشفشانی و توده‌های نفوذی ترشیری است که در محیط‌های فرورانش جزایر قوسی و حاشیه قاره‌ها تشکیل می‌شوند. دگرسانی‌های معمول این نوع ذخایر آرژیلیک، سیلیسی، هماتیتی و پروپیلیتیک است. این کانسارها با طول زیاد و عرض کم در

شکاف‌ها و بریدگی‌های طبقات جای گرفته و رگه‌هایی را تشکیل می‌دهند که معمولاً شیب زیادی دارند. این رگه‌ها تا ۱۰۰۰ متر طول، تا ۱۰ متر عرض و معمولاً تا عمق ۵۰۰ تا ۶۰۰ متری گسترش می‌یابند. کانی‌سازی اغلب به صورت رگه و رگچه‌ای است و حاوی کالکوپیریت، انارژیت، پیریت، مولیبدنیت، کالکوسیت، مگنتیت، هماتیت، بورنیت و طلا است. وجود آنومالی عناصر مس، سرب، روی، نقره، طلا، آهن، آرسنیک، آنتیموان و جیوه راهنمای ژئوشیمی مناسبی در اکتشاف این نوع ذخایر می‌باشد. در بین روش‌های ژئوفیزیکی، برداشت‌های مغناطیس‌سنجی هوابرد در مقیاس ناحیه‌ای به منظور شناسایی زون‌های برشی و برداشت‌های رادیومتری به دلیل افزایش پتاسیم در زون‌های دگرسانی توصیه می‌شود. همچنین در مراحل اکتشاف عمومی استفاده از روش‌های پلاریزاسیون القایی، مقاومت مخصوص و گرانی‌سنجی نیز مفید است.

در اکتشاف این تیپ ذخایر در مقیاس ناحیه‌ای تشخیص محیط‌های تکتونیکی مناسب و همچنین شرایط ساختمانی سازگار با تشکیل این تیپ ذخایر از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. اساس این نوع برداشت‌ها بر شواهد سطحی استوار است که از طریق سنجش از دور قابل ثبت می‌باشد. وجود مناطق کلاهدک آهنی، افزایش دانسیته شکستگی‌ها، وجود خطواره‌ها و از همه مهمتر آثار گسترده دگرسانی‌ها از رخدادهای با اهمیت تلقی می‌شود که می‌تواند در برداشت‌های دورسنجی مورد بررسی قرار گیرد.

## ۲-۷-۲- مدل مفهومی اکتشاف کانسارهای مس بازالتی (تیپ میشیگان)

سنگ میزبان این نوع ذخایر جریان گدازه‌های بازالتی زیردریایی عمیق تا کم عمق، آندزیت، برش‌ها و توف‌ها، ماسه سنگ قرمز، ماسه سنگ توفی، کنگلومرا، رخساره‌های آهکی و شیل‌های سیاه رنگ مزوزوئیک و سنوزوئیک است و غالباً در ریفتهای درون قاره‌ای و ریفتهای حاشیه قاره‌ها تشکیل می‌شوند. سنگهای میزبان اغلب متحمل دگرسانی کلریتی و کربنات-ژئولیت شده‌اند. کانی-

سازی به صورت برشی با پرشدگی بادامکی شکل است و شامل مس آزاد، کالکوزین، کالکوپیریت و گاهی بورنیت می‌باشد.

در اکتشافات ژئوشیمیایی آنومالی عناصر بور، کبالت، نقره، روی و کادمیم قابل مشاهده است. همچنین در این ذخایر نسبت مقادیر مس به روی بالاست. در بارزسازی دگرسانی‌های مرتبط این نوع ذخایر از پردازش تصاویر ماهواره‌ای می‌توان استفاده نمود.



## فصل ۳

**تهیه نقشه پتانسیل مطلوب کانی سازی**

**مس در منطقه مورد مطالعه**

### ۳-۱- مقدمه

نقشه پتانسیل معدنی در اکتشاف ذخایر معدنی از اهمیت بالایی برخوردار است. تهیه نقشه پتانسیل معدنی از مسائل تصمیم‌گیری چند معیاره مکانی است که به منظور تهیه آن کارشناس مربوطه، متناسب با مقیاس محدوده مورد مطالعه از معیارهای مختلفی استفاده می‌کند (Carter, 1994). مراحل اصلی تهیه نقشه پتانسیل معدنی شامل موارد زیر می‌باشد (Karimi et al, 2008):

الف) تعیین فاکتورهای موثر در تشخیص کانی‌سازی

ب) آماده‌سازی لایه‌های اطلاعات

ج) تهیه نقشه‌های فاکتور

د) تلفیق نقشه‌ها و ارزیابی نتایج

در فرآیند اکتشاف ذخایر معدنی، داده‌های زمین‌شناسی، ژئوشیمی، ژئوفیزیک و حفاری در مقیاس‌های مختلف، با روش‌ها و دقت‌های متفاوت به صورت کمی و کیفی تولید می‌شوند. بررسی محتوای این داده‌ها نشان می‌دهد که اصول فیزیکی و شیمیایی حاکم بر تشکیل نهشته‌های معدنی، بسیار پیچیده‌تر از آن است که بتوان به وسیله توابع ریاضی به مدل‌سازی آن‌ها پرداخت. از سوی دیگر در فرآیند تلفیق داده‌های زمین‌شناسی، ژئوشیمی، ژئوفیزیک و دورسنجی، دانش کارشناسی نقش بسزایی دارد. این اطلاعات معمولاً به صورت کیفی ارائه می‌شود و سپس اطلاعات کیفی به مقادیر کمی تبدیل می‌شوند. (علایی مقدم و همکاران، ۱۳۹۳). به طور کلی مدل‌های متداول معرفی ذخایر معدنی به سه دسته‌ی دانش محور، داده محور و مدل‌های ترکیبی تقسیم می‌شوند (Carranza, 2008).



روش‌های دانش محور همچون روش منطق فازی<sup>۱</sup> (Karimi et al, 2008)، توابع نظر شهودی<sup>۲</sup> (توابع برآورد) (Moon, 1990)، گربه وحشی<sup>۳</sup> (Caranza & Hale, 2002)، بر پایه نقطه نظرات کارشناس در مورد اهمیت هریک از نقشه‌های فاکتور تهیه شده از منطقه مورد مطالعه می‌باشد. روش-های داده محور مانند شبکه عصبی<sup>۴</sup> (Porwal et al, 2003)، توابع نظر شهودی (Carranza et al, 2005)، رگرسیون لجستیکی<sup>۵</sup> (Porwal et al, 2010)، وزن‌های نشانگر<sup>۶</sup> (Carter et al 1989, Porwal et al, 2010) و ماشین بردار پشتیبان<sup>۷</sup> (Zuo & Carranza, 2010) بر پایه رابطه مکانی موجود میان فاکتورهای تهیه نقشه پتانسیل معدنی و ذخایر شناخته شده در منطقه بدست می‌آیند.

برخی محققان روش‌هایی ابداع کرده‌اند که ترکیبی از مدل‌های داده محور و دانش محور است. شبکه عصبی فازی<sup>۸</sup> (Porwal et al, 2004)، توابع نظر شهودی (Carranza et al, 2008)، وزن‌های نشانگر فازی<sup>۹</sup> (Porwal et al, 2006, Cheng & Agterberg 1999)، روش ترکیبی ارزیابی جامع فازی چند سطحی<sup>۱۰</sup> و روش تحلیل رابطه فازی نامتقارن<sup>۱۱</sup> (Zou et al, 1999) نمونه‌هایی از این روش‌های ترکیبی هستند.

امروزه پیاده‌سازی روش‌های مدلسازی ذخایر معدنی در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی<sup>۱۲</sup> (GIS) انجام می‌شود، زیرا GIS امکان دریافت، ذخیره، بازیابی، به‌روزرسانی، نمایش، پردازش و تجزیه و تحلیل داده‌های گوناگون و حجیم مکان مرجع مرتبط با فعالیت‌های اکتشاف معدن را فراهم می‌آورد (علایی مقدم و همکاران، ۱۳۹۳). در این تحقیق به منظور تهیه نقشه پتانسیل مطلوب کانی‌سازی

---

<sup>1</sup> Fuzzy Logic

<sup>2</sup> Evidential Belief Function

<sup>3</sup> Wild Cat

<sup>4</sup> Neural Network

<sup>5</sup> Logistic Regression

<sup>6</sup> Weight of Evidence

<sup>7</sup> Support Vector Machine

<sup>8</sup> Fuzzy Neural Network

<sup>9</sup> Fuzzy Weight of Evidence

<sup>10</sup> Multiple Fuzzy Comprehensive Evaluation

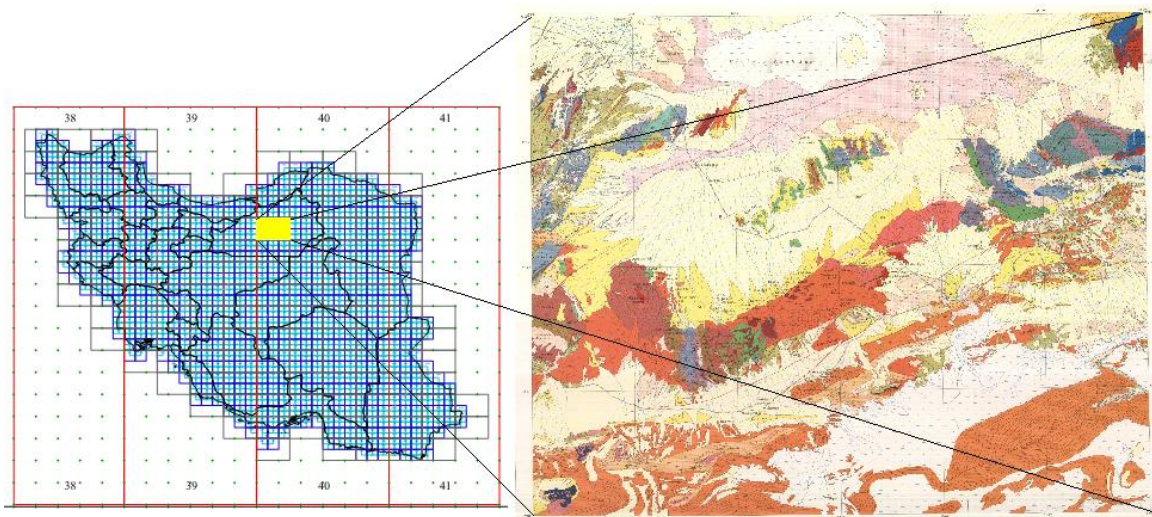
<sup>11</sup> Asymmetric Fuzzy Relation Analysis

<sup>12</sup> Geographic Information System

مس در دو محدوده معلمان و کلاته-رشم، از داده‌های زمین‌شناسی، ژئوشیمی، ژئوفیزیک و دورسنجی استفاده شده‌است.

## ۳-۲- تهیه لایه‌های اطلاعاتی موثر در شناسایی نقاط با پتانسیل کانی-زایی مس

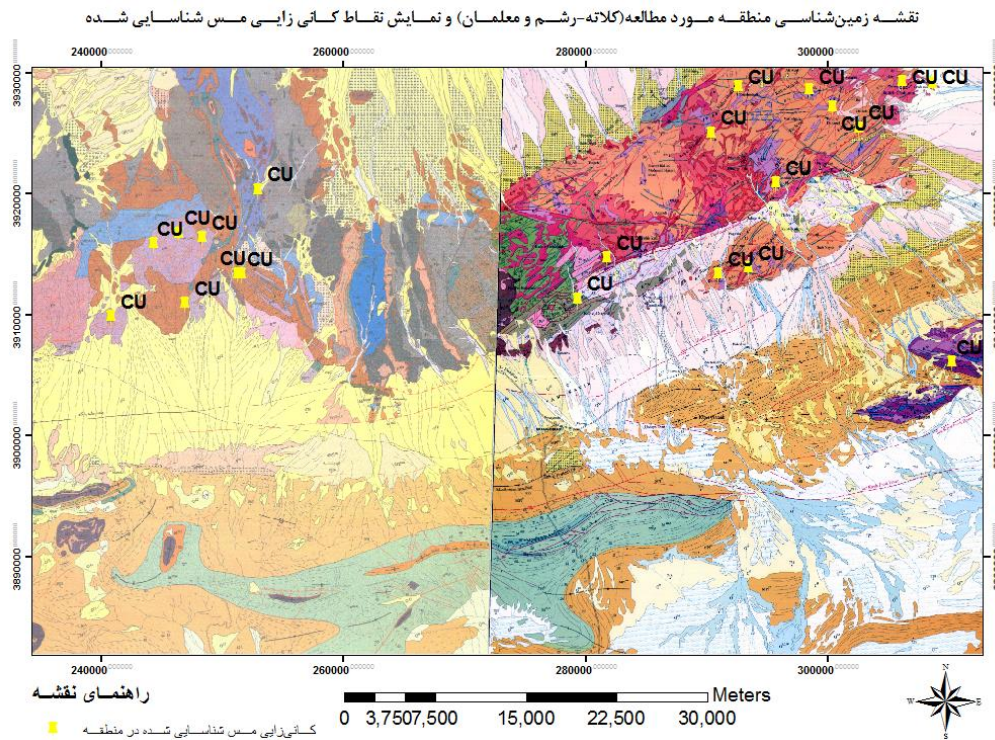
در این تحقیق ابتدا با استفاده از نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۵۰.۰۰۰ ترود (شکل ۳-۱) کانی‌زایی مس از لحاظ زمین‌شناسی و تکتونیکی مود بررسی قرار گرفت.



شکل ۳-۱: نقشه ۱:۲۵۰.۰۰۰ ترود (علوی و هاشم زاده، ۱۳۵۴)

فعالیت‌های تکتونیکی در این منطقه عملکرد بسیاری داشته، بنابراین زمین‌شناسی آن تا حدی پیچیده می‌باشد. بخش اعظم شمال منطقه از زمین‌های کویری و رس تشکیل شده‌است و نیمه جنوبی را ماسه‌سنگ، کنگلومرا و ژپس در بر گرفته‌است. محدوده حائز اهمیت، بخش میانی نقشه می‌باشد که تقریباً در بازه ۴۵ درجه و ۱۵ دقیقه تا ۴۵ درجه و ۴۵ دقیقه عرض جغرافیایی قرار گرفته‌است. این محدوده عمدتاً از سنگ‌های آتشفشانی داسیت و آندزیت ائوسن و الیگوسن تشکیل شده‌است. همچنین توده‌هایی با ترکیب دیوریت، گرانیت و گرانودیوریت به داخل سنگ‌های آتشفشانی نفوذ کرده‌است. بخش قابل ملاحظه دیگر وجود سنگ‌های کربناته می‌باشند که به وسیله توده‌های نفوذی دیوریتی قطع شده‌اند. سنگ‌های کربناته عموماً از جنس آهک بوده و متعلق به دوران کرتاسه

می باشند. نشانه‌های معدنی، معادن فعال و غیرفعال مس در این محدوده به وفور قابل مشاهده می باشد. با توجه به اطلاعات نقشه زمین شناسی ۱:۲۵۰.۰۰۰ ترود، قسمت میانی به عنوان محدوده مستعد کانی زایی مس انتخاب گردید. این منطقه بخشی از دو برگه ی ۱:۱۰۰.۰۰۰ معلمان و کلاته (شکل ۳-۲) می باشد.

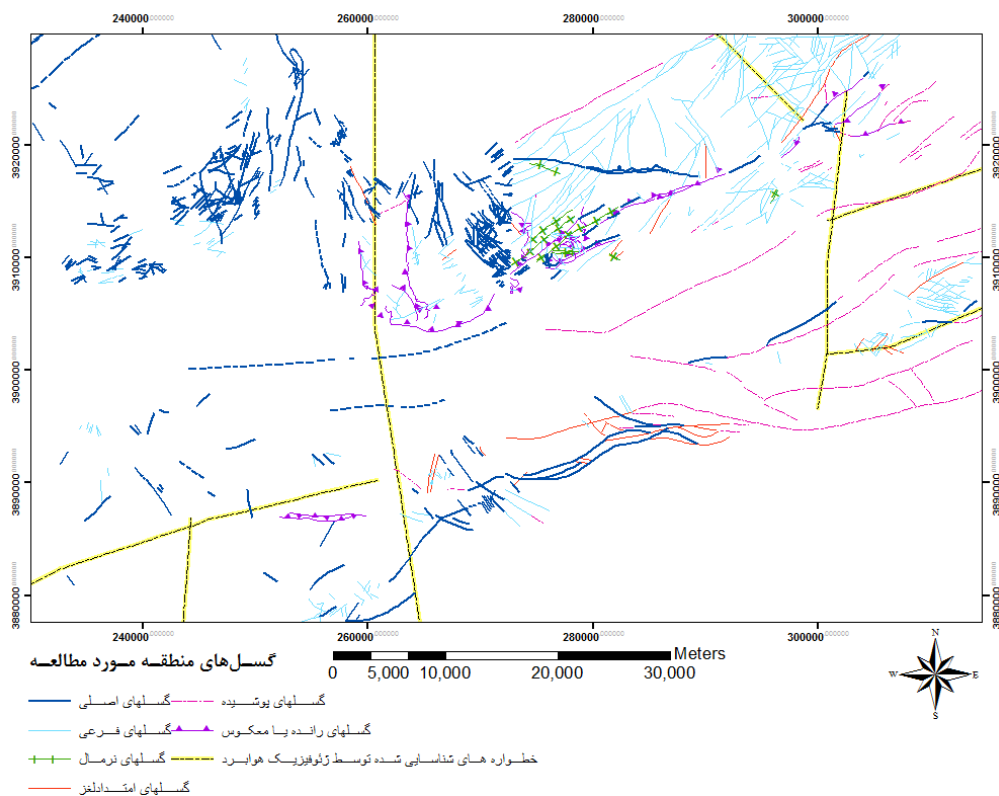


شکل ۳-۲: نقشه های ۱:۱۰۰.۰۰۰ معلمان و کلاته-رشم (اشراقی و همکاران، ۱۳۸۴)

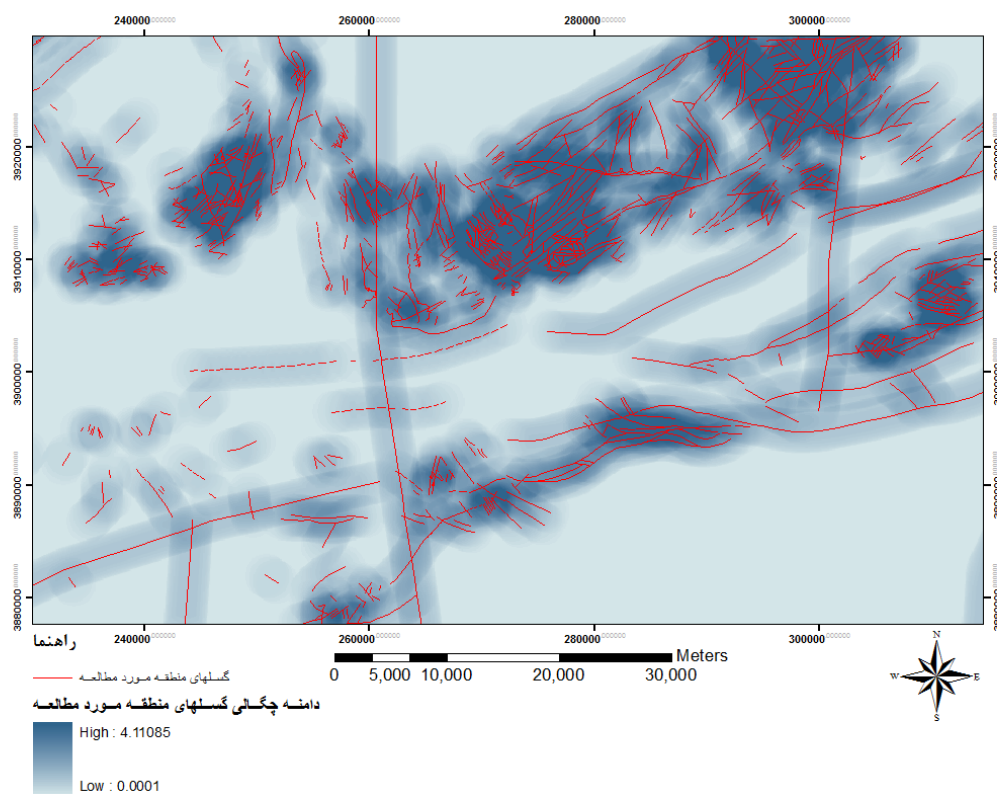
با در دست داشتن اطلاعاتی از جمله نقشه های زمین شناسی رقومی کلاته-رشم و معلمان، نقشه های رقومی آنومالی ژئوشیمی برخی عناصر مرتبط با کانی زایی مس، داده های مربوط به برداشت های مغناطیس سنجی هوابرد و تصاویر مربوط به سنجنده استر به تهیه لایه های موثر در شناسایی مناطق مستعد برای کانی زایی مس پرداخته می شود. لایه های اطلاعاتی موثر در شناسایی مناطق کانی زایی مس به شرح زیر می باشند:

### ۳-۲-۱- لایه شکستگی‌ها و گسل‌های منطقه

با توجه به اینکه شناخت عناصر ساختاری مانند گسل‌ها و شکستگی‌ها و به خصوص محل تلاقی گسل‌های اصلی با سایر گسل‌های اصلی و فرعی، می‌تواند محل مناسبی برای نفوذ ماگما و متعاقب آن کانه‌زایی احتمالی باشد، این لایه اطلاعاتی، به عنوان یک لایه راهنما جهت شناخت و اکتشاف ذخایر معدنی استفاده می‌شود. این لایه اطلاعاتی با استفاده از نقشه‌های زمین‌شناسی ۱:۱۰۰,۰۰۰ معلمان و کلاته-رشم و داده‌های مربوط به ژئوفیزیک هوایی استخراج شده‌است. شکل‌های ۳-۳ و ۳-۴ لایه رقمی گسل‌های منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهند.



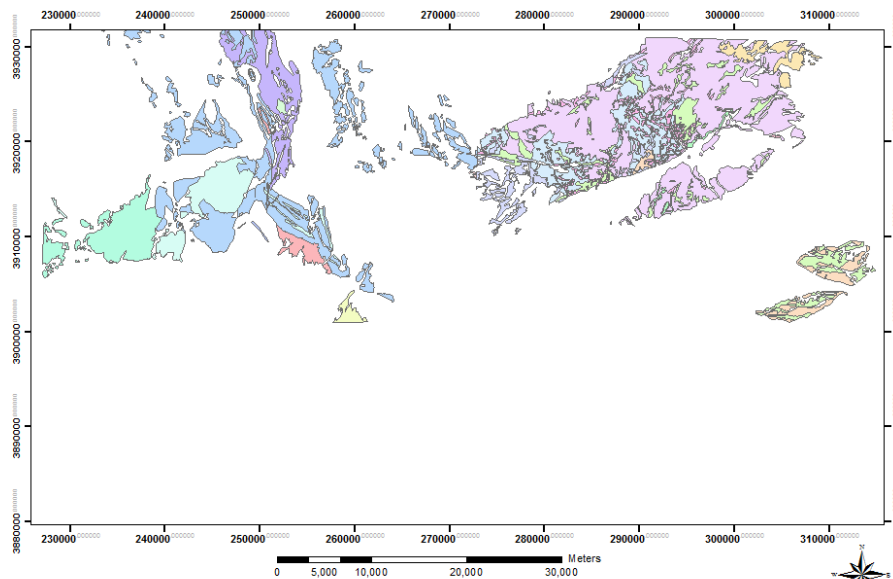
شکل ۳-۳: گسل‌های محدوده مورد مطالعه



شکل ۳-۴: نمایی از چگالی گسل‌ها در محدوده مورد مطالعه

### ۳-۲-۲- لایه اطلاعات واحدهای سنگی منطقه

این لایه اطلاعاتی از نقشه‌های زمین‌شناسی رقومی استخراج گردید. با توجه به مدل‌های مفهومی ارائه شده از تیپ‌های کانی‌زایی مس (بخش ۲-۷)، واحدهای سنگ درونگیر مناسب انتخاب و از لایه واحدهای سنگی رقومی منطقه استخراج گردید. شکل‌های ۳-۵ و ۳-۶ نقشه‌های واحدهای سنگی مرتبط با هر یک از تیپ‌های کانی‌سازی محتمل در منطقه را نشان می‌دهد.



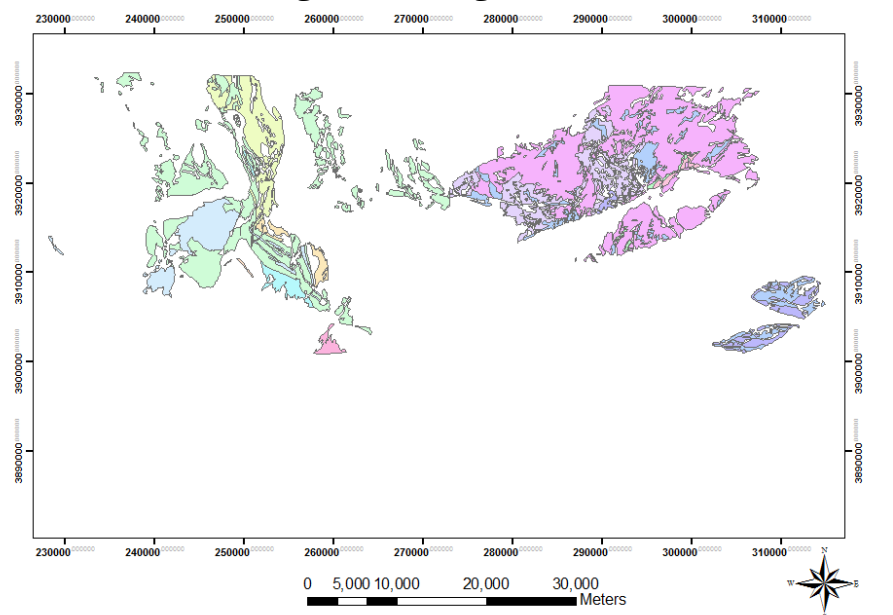
**Legend**

Cu veins rock study area

**Describe**

- |  |   |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>Altered dacite and dacitic - andesite rocks</li> <li>Andesite , dacite to andesite lava and volcanic breccia</li> <li>Basalt , andesite - basalt , spilitic basalt</li> <li>Brecciated andesitic lava , andesitic lava with related tuff ,red to dark brown volcanic breccia</li> <li>Brown mega porphyritic andesitic lava that vesiculars are filled by calcite zeolite opal and malac</li> <li>Brown micro porphyritic andesite</li> <li>Buff marl , conglomerate and megaporphyritic andesite</li> <li>Dark green metamorphosed andesite-basaltic lava , meta-tuff , green schist , micaschist , quartzite , marble and ultrabasic rocks</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Intermediate to basic submarine lavas and volcanoclastic rocks ; andesite , andesitic dacite , trachyandesite , minor spilitic basalt</li> <li>Light brown and green dacite , dacitic andesite and quartz andesite</li> <li>Massive trachyandesite , trachyandesite basalt , minor andesitic dacite rocks</li> <li>Meta-diorite</li> <li>Micro-diorite - granodiorite</li> <li>Porphyritic andesite</li> <li>Quartz diorite , quartz monzodiorite</li> <li>Quartz trachy andesite , trachyandesite , quartz latite</li> <li>Spilitic keratophyre ( trachyandesitic basalt , trachyandesite , minor dacitic andesite ) with a few beds of sandstone and volcanic rocks</li> <li>Trachyandesite rocks</li> </ul> |
|--|---|

شکل ۳-۵: واحدهای سنگ میزبان کانی سازی مس گرمابی در منطقه مورد مطالعه.



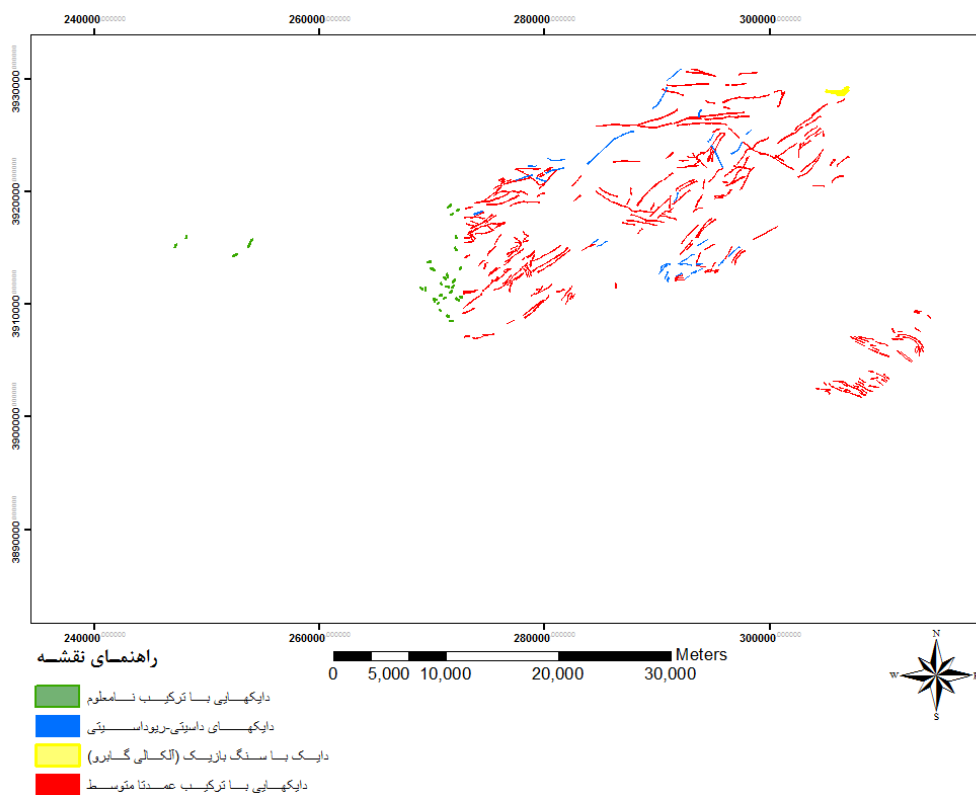
**Legend**

- |   |   |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>Andesite , dacite to andesite lava and volcanic breccia</li> <li>Basalt , andesite - basalt , spilitic basalt</li> <li>Brecciated andesitic lava , andesitic lava with related tuff ,red to dark brown volcanic breccia</li> <li>Brown mega porphyritic andesitic lava that vesiculars are filled by calcite zeolite opal and malac</li> <li>Brown micro porphyritic andesite</li> <li>Buff marl , conglomerate and megaporphyritic andesite</li> <li>Conglomerate sandstone , andesitic tuff , marl and volcanic rocks</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Dark green metamorphosed andesite-basaltic lava , meta-tuff , green schist , micaschist , quartzite , marble and ultrabasic rocks</li> <li>Intermediate to basic submarine lavas and volcanoclastic rocks ; andesite , andesitic dacite , trachyandesite , minor spilitic basalt</li> <li>Latite to andesitic lavas</li> <li>Massive trachyandesite , trachyandesite basalt , minor andesitic dacite rocks</li> <li>Porphyritic andesite</li> <li>Spilitic keratophyre ( trachyandesitic basalt , trachyandesite , minor dacitic andesite ) with a few beds of sandstone and volcanic rocks</li> <li>Trachyandesite rocks</li> </ul> |
|---|---|

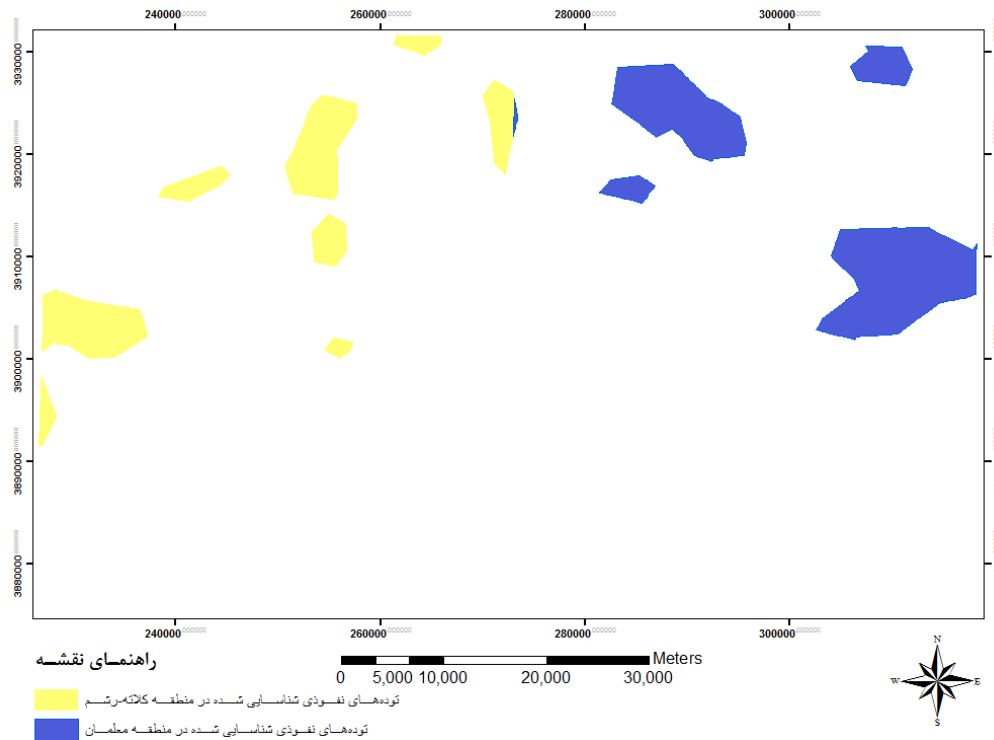
شکل ۳-۶: واحدهای سنگ میزبان کانی سازی مس تیپ میشیگان در منطقه مورد مطالعه.

### ۳-۲-۳- لایه توده‌های نفوذی و دایک‌های منطقه

مطالعات و بررسی‌های انجام شده در کنسارهای مشابه نشان می‌دهد، بین شکستگی‌ها و توده‌های نفوذی و انواع ذخایر فلزی ارتباط مستقیمی وجود دارد؛ که در بررسی روند شکستگی‌ها و موقعیت توده‌های نفوذی و یافتن پتانسیل مس در منطقه مورد نظر کمک شایانی خواهد کرد. در این تحقیق لایه اطلاعاتی مربوط به توده‌های نفوذی از اطلاعات ژئوفیزیک هوایی و لایه اطلاعاتی مربوط به دایک‌های منطقه از نقشه‌های زمین‌شناسی استخراج و رقمی گردید. شکل‌های ۳-۷ و ۳-۸، نقشه دایک‌ها و توده‌های نفوذی منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.



شکل ۳-۷: دایک‌های شناسایی شده در منطقه مورد مطالعه.

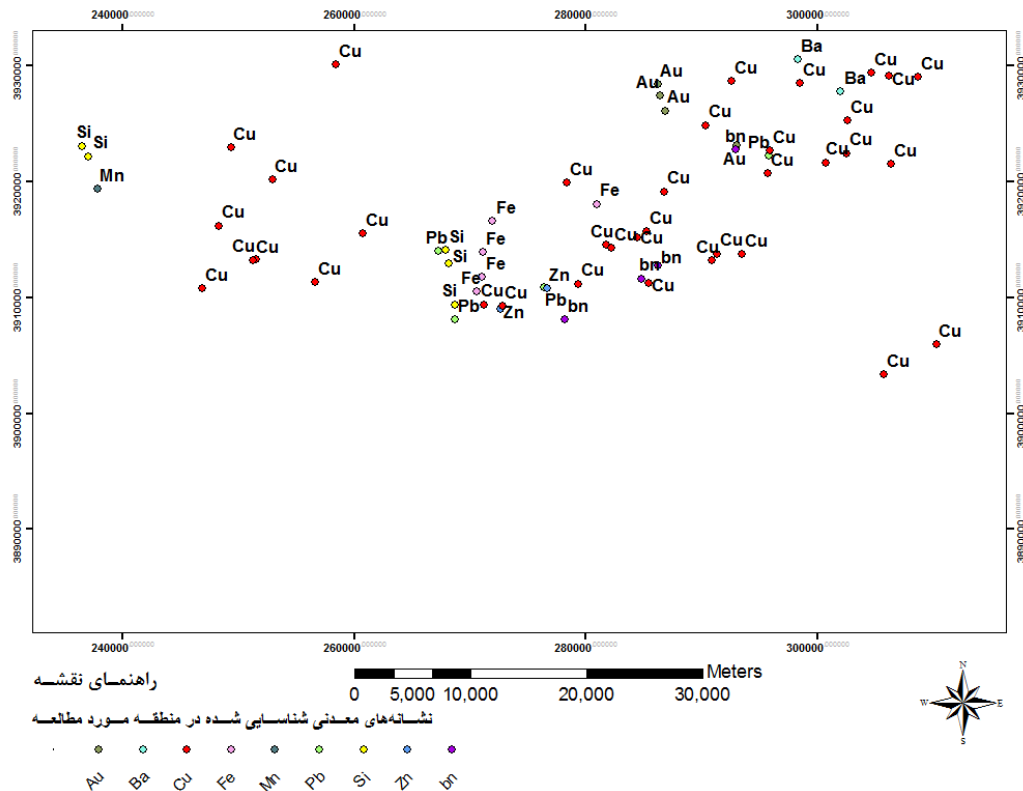


شکل ۳-۸: توده‌های نفوذی شناسایی شده توسط برداشت ژئوفیزیک هوایی.

### ۳-۲-۴- لایه اطلاعات اندیس‌ها و نقاط معدنی شناخته شده در منطقه

از معادن و پتانسیل‌های شناخته شده مس، می‌توان به‌عنوان نقاط معلوم و یک لایه‌ی اطلاعاتی در پتانسیل‌یابی نقاط مجهول استفاده کرد. با کمک اطلاعات موجود از معادن فعال، غیرفعال و نشانه‌های معدنی می‌توان به وجود یا عدم وجود پتانسیل مس در سایر نقاط محدوده مورد مطالعه پی برد. به همین دلیل پس از گردآوری اطلاعات موجود از اندیس‌ها و نقاط معدنی شناخته شده در منطقه، نسبت به رقومی‌سازی این اطلاعات و وارد کردن آن‌ها در محیط نرم‌افزار GIS اقدام نموده و لایه اطلاعاتی مربوطه مطابق با شکل ۳-۹ تهیه گردید.





شکل ۳-۹: نشان‌های معدنی شناسایی شده در محدوده مورد مطالعه

### ۳-۲-۵- لایه اطلاعات دگرسانی‌های منطقه

با توجه به اینکه کانی‌زایی عناصر مختلف، عموماً با دگرسانی سنگ‌های اطراف محیط کانی‌زایی همراه می‌باشد، لذا بررسی این لایه اطلاعاتی نقش مهمی در تشخیص این نوع ذخایر دارد. از آنجا که ذخایر گرمابی (رگه‌ای) و میشیگان با دگرسانی‌های آرژلیک، پروپیلیتیک و کربناتی همراه است، لذا به منظور شناسایی علائم این دگرسانی‌ها از تصاویر سنجنده استر استفاده شده است. سنجنش از دور و استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، دانشی است که با اندازه‌گیری اشعه الکترومغناطیسی حاصل از انعکاس نور خورشید از یک شیء با مشاهده آن از فاصله دور و بدون تماس فیزیکی با آن می‌تواند نتایج مفیدی از آن شیء استخراج کرد (نجفی دیسفانی، ۱۳۷۷). در این مطالعه ابتدا تصحیحات مورد نیاز بر روی تصاویر سنجنده استر منطقه مورد مطالعه اعمال گردید، سپس با بکارگیری روش‌های مختلف پردازش

تصاویر همچون ترکیب رنگی کاذب<sup>۱۳</sup>، نسبت بانندی<sup>۱۴</sup> و برازش کمترین مربعات رگرسیون شده<sup>۱۵</sup> به بارزسازی دگرسانی‌های مرتبط در محیط نرم‌افزار ENVI پرداخته شده‌است.

### ۳-۲-۵-۱- پیش پردازش تصاویر ماهواره‌ای

تصاویر خام سنجش از دور دارای خطا در هندسه و مقادیر ثبت شده برای پیکسل‌ها می‌باشد، که به خطای هندسی و خطای رادیومتریکی معروف می‌باشند. برخی از این خطاها در ایستگاه‌های گیرنده زمینی تصحیح می‌شوند ولی در نهایت کاربر باید تصاویر ماهواره‌ای را از نظر وجود این خطاها بررسی نماید. به‌طور کلی تصحیحات تصاویر ماهواره‌ای را می‌توان به دو دسته تصحیح رادیومتری<sup>۱۶</sup> و تصحیح هندسی<sup>۱۷</sup> تقسیم نمود (اکبری و شکاری، ۱۳۹۳).

خطای رادیومتری، خطایی است که در اثر اختلالات سنسور و یا نویزهای اتمسفری بوجود می‌آید. با اعمال تصحیح رادیومتریکی، داده‌ها به گونه‌ای در می‌آیند که نمایانگر انعکاس واقعی پدیده‌های روی سطح زمین می‌باشند. از جمله روش‌های اعمال تصحیح رادیومتریکی، روش باقیماده لگاریتمی (LR)<sup>۱۸</sup> و روش کالیبراسیون بازتابش متوسط نسبی داخلی (IARR)<sup>۱۹</sup> می‌باشد.

خطای هندسی معمولاً به دلیل حرکات ماهواره و زمین حین تصویربرداری، دید مایل، انحنای زمین، زاویه دید بزرگ سنجنده و عدم کالیبراسیون دقیق بر روی تصاویر بوجود می‌آیند. منظور از تصحیح هندسی یک تصویر، تغییر سیستم مختصات اجزای سازنده تصویر و انطباق آن با نقشه‌های نظیر یا تصویری است که قبلاً بر روی آن تصحیح هندسی صورت گرفته‌است. با اعمال تصحیح

---

<sup>13</sup> False Color Composite

<sup>14</sup> Band Ratio

<sup>15</sup> LS-Fit

<sup>16</sup> Radiometric Correction

<sup>17</sup> Geometric Correction

<sup>18</sup> Log Residual

<sup>19</sup> Internal Average Relative Reflectance

هندسی بر روی تصاویر ماهواره‌ای خطاهای هندسی نظیر جابجایی<sup>۲۰</sup>، تغییر مقیاس<sup>۲۱</sup>، اعوجاج<sup>۲۲</sup>، تغییر چشم‌انداز<sup>۲۳</sup>، چرخش<sup>۲۴</sup> و ... اصلاح می‌گردند. (اکبری و شکاری، ۱۳۹۳).

### ۳-۲-۵-۲-۳ پردازش تصاویر ماهواره‌ای جهت آشکارسازی زون‌های دگرسانی

پردازش تصاویر ماهواره‌ای در مفهوم شبیه فرآیند بارزسازی تصاویر ماهواره‌ای می‌باشد. با این تفاوت که فرآیند بارزسازی تصاویر، عموماً بر روی یک باند انجام می‌شود اما پردازش تصاویر ماهواره‌ای بر روی چند باند صورت می‌گیرد. در این فرآیند عملگرهای محاسباتی همچون جمع، تفریق، ضرب و تقسیم بر روی تصاویر اعمال می‌شوند تا تصویر جدید با وضوح و نمایش بهتری حاصل شود. برای انجام این تبدیلات از روش‌های مختلفی همچون ترکیب رنگی کاذب، نسبت باندی، آنالیز مولفه‌های انتخابی، آنالیز زاویه طیفی، برازش کمترین مربعات رگرسیون شده و فیلتر تطبیقی به منظور شناسایی مناطق دگرسان شده استفاده می‌شود. در این تحقیق با استفاده از سه روش ترکیب رنگی کاذب، نسبت باندی و برازش کمترین مربعات رگرسیون شده به شناسایی مناطق دگرسان شده پرداخته شد.

### ۳-۲-۵-۳-۳ ترکیب رنگی کاذب (False Color Composite)

یکی از معمول‌ترین تکنیک‌های مورد استفاده در پردازش تصاویر ماهواره‌ای، استفاده از ترکیب رنگی کاذب<sup>۲۵</sup> است. در این ترکیب رنگی از باندهای غیرمرئی نیز استفاده می‌شود و معمولاً برای تاکید بر روی عارضه و یا عوارض خاص به کار می‌روند. ترکیب‌های رنگی در ایجاد موزاییک تصویری مورد استفاده قرار می‌گیرند، ولی مهمترین کاربرد آن‌ها در تفسیر بصری و استخراج اطلاعات به صورت سنتی است. با دانستن ترکیب رنگی و همچنین نوع سنجنده یک مفسر با تجربه، بسیاری از عوارض را بر روی تصویر تشخیص می‌دهد. همچنین با مطالعه منحنی رفتار طیفی عوارض مورد نظر نیز می‌توان

---

<sup>20</sup> Shift

<sup>21</sup> Scale

<sup>22</sup> Skew

<sup>23</sup> Perspective

<sup>24</sup> Rotation

<sup>25</sup> False Color Composite

بخش‌هایی از طیف الکترومغناطیسی را که عوارض مذکور در آن‌ها بارزتر ظاهر می‌شوند، مشخص نمود و سپس باندهای مربوطه را از بین باندهای سنجنده انتخاب کرد. جدول ۳-۱ تعدادی از ترکیبات رنگی کاذب و موارد استفاده آن‌ها را نشان می‌دهد.

جدول ۳-۱: تعدادی از ترکیب‌های رنگی کاذب که در تکنیک سنجش از دور مورد استفاده قرار می‌گیرد (SankaranRajendran et al, 2011).

سنجنده	کاربرد	ترکیب
ASTER	دگرسانی پروپیلیتیک به رنگ سبز لجنی و دگرسانی آرژیلیک به رنگ صورتی نمایان می‌شود.	R:4 G:6 B:8
	دگرسانی آرژیلیک به رنگ قرمز، دگرسانی آرژیلیک پیشرفته به رنگ صورتی و دگرسانی سریسیتی به رنگ نارنجی دیده می‌شود.	R:4 G:5 B:6
	در این تصویر دگرسانی فیلیک به رنگ صورتی نمایان می‌شود.	R:4 G:6 B:5
	دگرسانی سریسیتی به رنگ زرد و کائولینیتی به رنگ قرمز است.	R:5 G:3 B:1
	دگرسانی سیلیسی به رنگ قرمز دیده می‌شود.	R:10 G:12 B:14
	در این ترکیب اکسیدهای آهن به رنگ آبی تیره نمایان می‌شوند.	R: $\frac{(2+4)}{3}$ G: $\frac{(5+7)}{6}$ B: $\frac{(7+9)}{8}$
ETM+	در این تصویر مناطق دارای پوشش گیاهی به رنگ سبز نمایان می‌شوند.	R:7 G:4 B:1
	مناطق دارای پوشش گیاهی با رنگ سبز، خاک‌های غیر حاصلخیز صورتی و آب‌ها آبی دیده می‌شوند.	R:7 G:4 B:2
	بارزسازی زون‌های گوسان مرتبط با کانی‌سازی.	R:2 G:3 B:4
	جداسازی خاک‌های غنی از اکسید آهن.	R:4 G:3 B:1
	در این تصویر مناطق همراه کانی‌های رسی و اکسید آهن با رنگ سفید و مناطقی که دارای کانی‌های رسی و فاقد اکسیدهای آهن با رنگ صورتی نمایان می‌شوند.	R: $\frac{5}{4}$ G: $\frac{3}{1}$ B: $\frac{5}{7}$
کانی رسی به رنگ صورتی، پوشش گیاهی به رنگ سبز تا زرد و اکسید آهن به رنگ آبی دیده می‌شود.	R: $\frac{5}{7}$ G: $\frac{4}{2}$ B: $\frac{3}{1}$	

### نسبت باندی (Band Ratio) ۳-۲-۴-۵-۴

از دیگر روش‌های رایج پردازش تصاویر ماهواره‌ای نسبت‌گیری باندی و در واقع تقسیم تصاویر می‌باشد. این روش اثرات توپوگرافی و سایه‌ها را از بین برده و یکسری از نویزها را نیز کاهش می‌دهد. قابلیت بالای نسبت‌گیری در بارزسازی خواص طیفی عوارض مختلف و میزان تفاوت آنها با یکدیگر

می‌باشد. همچنین استفاده از این تکنیک باعث اصلاح اولیه تابش مسیر جوی و یا جابجایی توسط سنجنده چند طیفی می‌شود. در واقع نسبت‌های طیفی، اطلاعات ترکیبی هدف را افزایش و دیگر اطلاعات سطح زمین مثل شیب زمین و تفاوت‌های بافت را کاهش می‌دهد، لذا برای جدا کردن مرز واحدهای سنگی و تشخیص لیتولوژی‌ها نیز به کار می‌رود (Huff et al, 1999).

همچنین از منحنی بازتاب طیفی کانی‌ها (اخذ شده از سازمان زمین‌شناسی آمریکا) نیز برای تعیین باندهای حداقل و حداکثر انعکاس به منظور تعیین نسبت باندی مناسب جهت تشخیص کانی مورد نظر استفاده می‌شود. بعضی از نسبت‌هایی که به طور معمول در علوم زمین و اکتشاف مواد معدنی مورد استفاده قرار می‌گیرند، در جدول ۳-۲ ارائه شده‌است.

جدول ۳-۲: برخی از نسبت‌های باندی مورد استفاده در علوم زمین (Ason & Rubinstein, 2007).

نسبت باندی	کاربرد	سنجنده
$\frac{Band6 + Band9}{Band7 + Band8}$	بارزسازی دگرسانی پروپیلیتیک (اپیدوت، کلریت، آمفیبول)	
$\frac{Band7 + Band9}{Band8}$	بارزسازی دگرسانی پروپیلیتیک	
$\frac{Band6 + Band8}{Band7}$	بارزسازی دولومیت	
$\frac{Band4}{Band6}$	بارزسازی دگرسانی فیلیک (موسکوویت)	ASTER
$\frac{Band13}{Band14}$	بارزسازی کربنات‌ها	
$\frac{Band13}{Band12}$	بارزسازی دگرسانی سلیسی	
$\frac{Band3}{Band1}$	بارزسازی اکسیدهای آهن و جداسازی سنگ‌های لیمونیت	
$\frac{Band5}{Band7}$	بارزسازی دگرسانی دارای بنیان OH، سنگ‌های آتزه غنی شده از رس و دگرسانی درجه بالای هیدروترمال یا کانی‌های رسی و دگرسانی آرژیلیک	ETM+
$\frac{Band5}{Band4}$	جداسازی گیاهان از غیر گیاهان	

### ۳-۲-۵-۵- برآزش کمترین مربعات رگرسیون شده (LS-Fit)

با فرض اینکه یک نمونه شامل متغیرهای  $x_i$  و  $y_i$  است که هر کدام دارای مقادیری می‌باشند. همچنین در صورتیکه که مقادیر  $y_i$  ناشناخته باشد، این روش می‌تواند این مقادیر مجهول را محاسبه کند. به طور مثال برای تخمین  $y_i$  بر اساس  $x_i$ ها از تابعی به شکل زیر استفاده می‌شود.

$$y_i = a_1 \times x_i + a_0 \quad (1-3)$$

هر مقدار ناشناخته  $y_i$  از طریق تخمین از مقادیر شناخته شده  $x_i$  محاسبه می‌شود. پارامترهای  $a_1$  و  $a_0$  ضرایب کمترین مربعات نامیده می‌شوند که از مقادیر نمونه  $x$  و  $y$  محاسبه می‌شوند. در هنگام محاسبات بین مقدار  $y_i$  و مقدار واقعی، اختلافی مشاهده می‌شود. این اختلاف به صورت باقیمانده و با نماد  $r_i$  نشان داده می‌شود. بر این اساس معادله فوق به شکل زیر تغییر می‌کند.

$$y_i = a_1 \times x_i + a_0 \times r_i \quad (2-3)$$

این تکنیک با فرض این است که باندهای به کار رفته به عنوان مقادیر ورودی می‌توانند رفتار سایر باندها را به صورت یک عبارت خطی بیان کنند. این مقدار در واقع باند پیشگویی شونده نامیده شده و به عنوان خروجی مدل در نظر گرفته می‌شود. با توجه به اینکه بعضی از کانی‌ها اثرهای انعکاسی خود را تنها در یک باند خاص نشان می‌دهند، لذا میان مقادیر محاسبه شده آنها توسط روش کمترین مربعات و مقدار واقعی، اختلافی وجود خواهد داشت که باقیمانده<sup>۲۶</sup> نامیده می‌شود.

روش *LS-Fit* بر اساس مقادیر باقیمانده مناطق حاوی کانی‌های مورد نظر در هر دگرسانی را استخراج می‌کند. به عبارت دیگر این روش با استفاده از روش پیش‌بینی خطی باند و بکارگیری حداقل مربعات، به پیش‌بینی یک باند بر اساس رفتار سایر باندها می‌پردازد. خروجی این الگوریتم دو باند تصویری باقیمانده<sup>۲۷</sup> و پیش‌بینی<sup>۲۸</sup> می‌باشند. تصویر پیش‌بینی بر اساس پیش‌بینی سایر باندها

<sup>26</sup> Residual

<sup>27</sup> Image Residual

<sup>28</sup> Image Prediction

بوده و به همین دلیل بیشترین شباهت را با سایر باندها دارد، اما تصویر باقیمانده خطای پیش‌بینی است و در واقع نشان دهنده اختلاف باند مذکور با سایر باندها می‌باشد. از این باند می‌توان برای بارزسازی و استخراج عوارض مختلف استفاده کرد (Sabins, 2003).

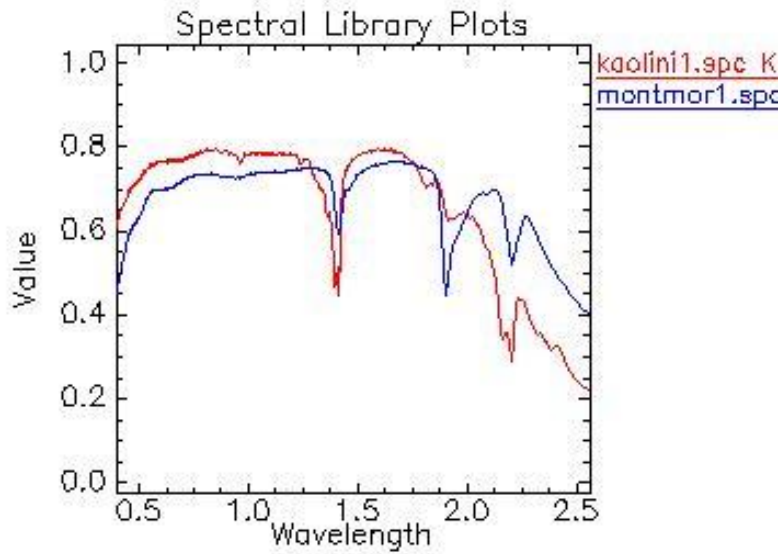
### ۳-۲-۵-۶ - آشکارسازی زون‌های دگرسانی منطقه مورد مطالعه

#### الف) بارزسازی دگرسانی آرژیلیک

دگرسانی آرژیلیک به وسیله کانی‌های رسی مشخص می‌شود. کانی‌های مهم این دگرسانی، کائولینیت، مونتموریونیت و ایلیت می‌باشند. این نوع دگرسانی در اثر عملکرد سیال اسیدی بر روی سنگ‌های غنی از آلومینیم ایجاد می‌شود، که می‌تواند مقدار قابل توجهی کاتیون قلیایی از سنگ خارج کند. اگر مقادیر کمی پتاسیم، کلسیم و منیزیم در سنگ باقی بماند، کانی‌های ایلیت، مونتموریونیت و کلریت تشکیل می‌شوند. این کانی‌ها در صورت وجود یا عدم وجود کائولینیت، دگرسانی آرژیلیک حد واسط را تشکیل می‌دهند. در صورتیکه سیالات اسیدی تر شوند ممکن است کائولینیت - دیکیت و گاهی پیروفیلیت تشکیل شود. هرگاه این کانی‌ها با دیاسپور، کوارتز یا سیلیس، آندالوزیت و یا به ندرت کوندوم همراه باشد، دگرسانی آرژیلیک پیشرفته را تشکیل می‌دهد. کانی سولفیدی اصلی که با دگرسانی رسی یافت می‌شود، پیریت است. مشاهده دگرسانی آرژیلیک می‌تواند به شناسایی مناطق با کانی‌زایی مس از نوع گرمابی کمک شایانی کند (Seedorf et al, 2005). جهت آشکارسازی دگرسانی آرژیلیک از روش‌های زیر استفاده گردید:

#### ❖ روش نسبت باندی

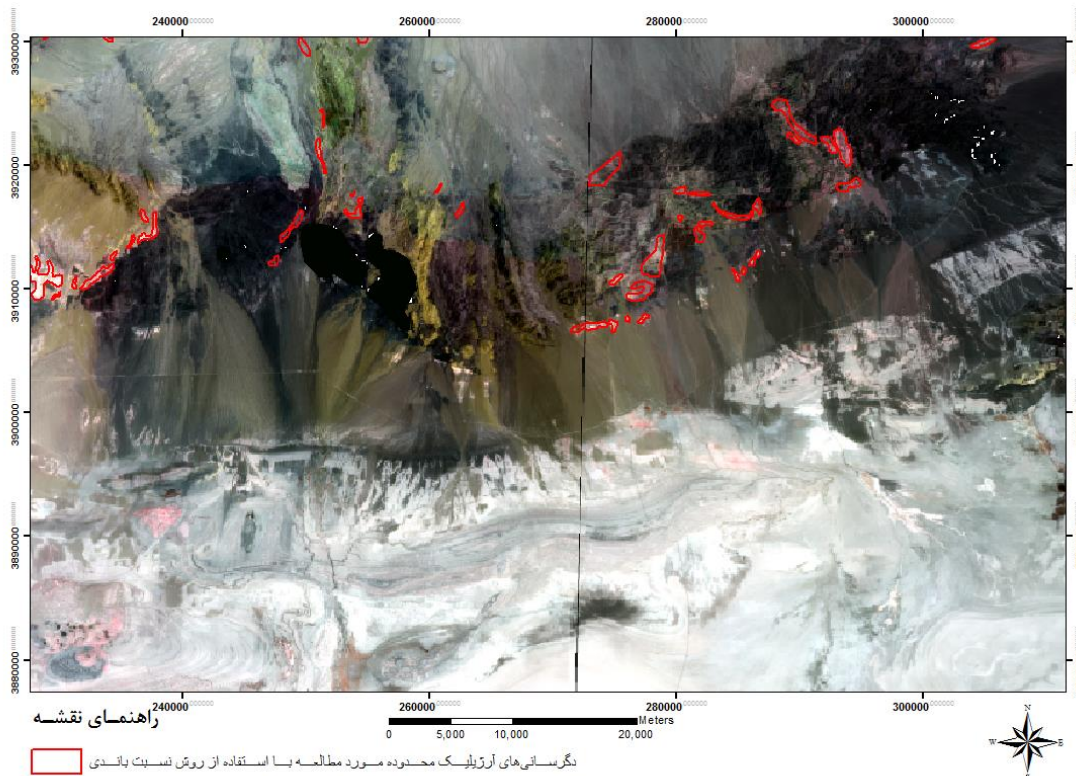
به منظور آشکارسازی دگرسانی آرژیلیک با استفاده از روش نسبت‌گیری باندی، نمودارهای جذب و انعکاس کانی‌های شاخص این زون (کائولینیت و مونت موریونیت) بررسی گردید (شکل ۳-۱۰) و در نتیجه نسبت باندی  $\frac{Band4+Band5}{Band6}$  (شکل ۳-۱۱) مورد استفاده قرار گرفت. در این تصویر دگرسانی آرژیلیک با رنگ قرمز مشخص شده است.



شکل ۳-۱۰: نمودار انعکاس و جذب کانی‌های شاخص دگرسانی آرژیلیک.

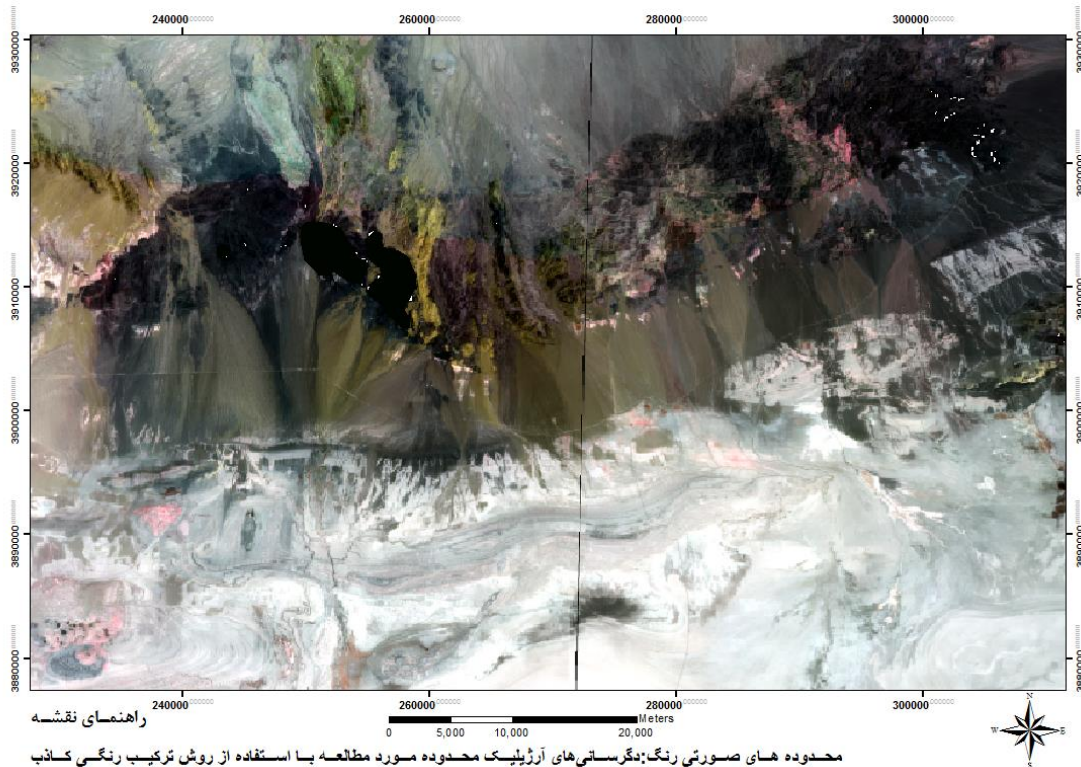
### ❖ روش ترکیب رنگی کاذب

برای آشکارسازی این دگرسانی با استفاده از این روش، از ترکیب رنگی (۴۶۸) RGB (شکل ۳-۱۲) استفاده شده است. در این ترکیب دگرسانی آرژیلیک به رنگ صورتی مشخص شده است.



شکل ۳-۱۱: بازسازی دگرسانی آرژیلیک در محدوده مورد مطالعه با استفاده از روش نسبت باندهای (در این تصویر محدوده‌های قرمز رنگ نشان دهنده دگرسانی آرژیلیک هستند).





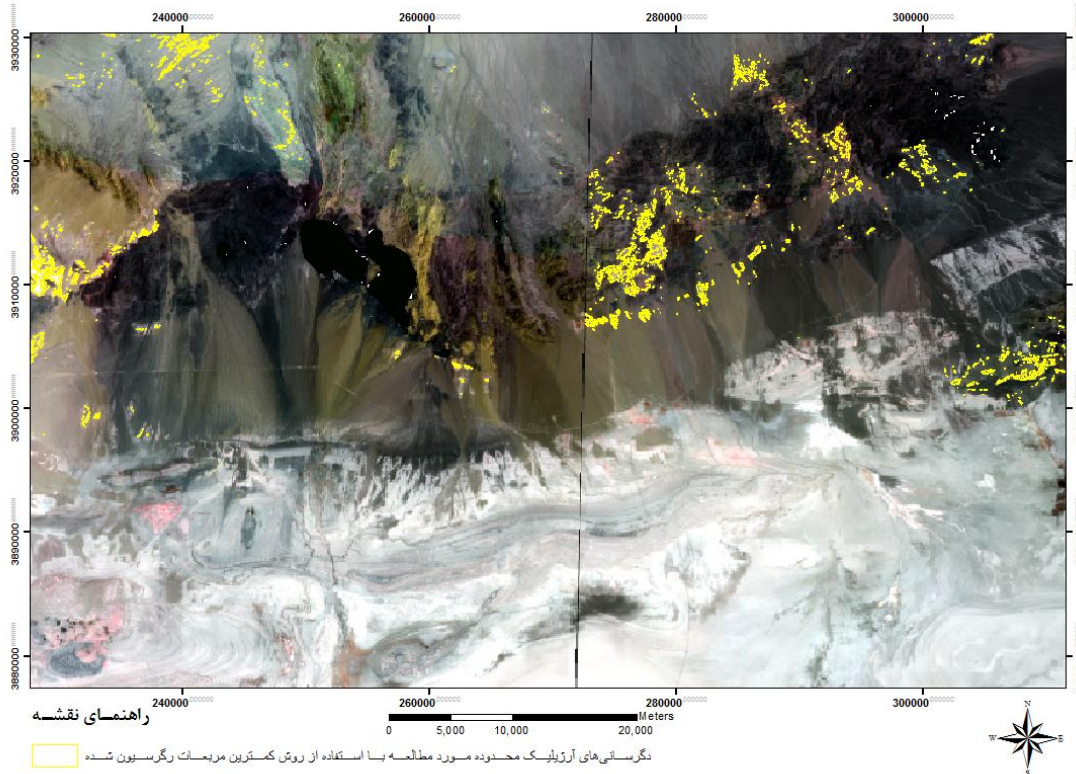
شکل ۳-۱۲: بازسازی دگرسانی آرژیلیک با استفاده از روش ترکیب رنگی کاذب (قسمت های صورتی رنگ نشان دهنده دگرسانی آرژیلیک هستند).

### ❖ روش برازش کمترین مربعات رگرسیون شده

در سنجنده استر به منظور آشکارسازی دگرسانی آرژیلیک با استفاده از روش LS-Fit از باند ۷

استفاده می گردد. زیرا در این باند کائولینیت دارای بازتاب می باشد. بخش های زرد رنگ شکل ۳-۱۳

زون دگرسانی آرژیلیک را در محدوده مورد مطالعه نشان می دهد.



شکل ۳-۱۳: بارزسازی دگرسانی آرژلیک با استفاده از روش LS-Fit (قسمت‌های زرد رنگ نشان دهنده دگرسانی آرژلیک هستند).

### ب) بارزسازی دگرسانی پروپلیتیک

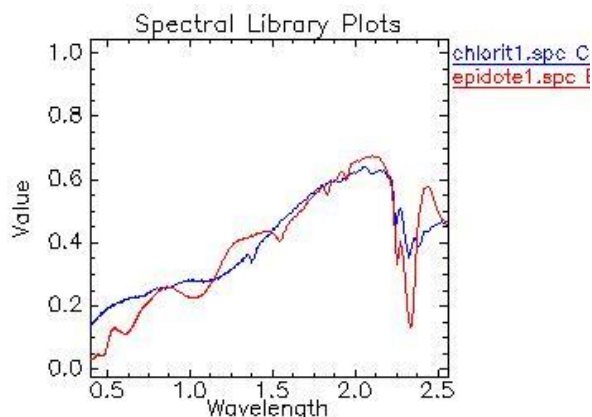
دگرسانی پروپلیتیک، خارجی‌ترین زون دگرسانی می‌باشد و معمولاً دارای بیشترین گستردگی در سنگ میزبان است. این زون به وسیله کانی‌های منیزیم و کلسیم‌دار مشخص می‌شود. کانی‌های اصلی مربوط به این دگرسانی اپیدوت، کلریت و کلسیت می‌باشند که در اثر دگرسانی کانی‌های مافیک حاصل می‌شوند. وجود این دگرسانی در شناسایی ذخایر مس نوع گرمابی نشانه مهمی محسوب می‌شود (Seedorf et al. 2005). به منظور آشکارسازی دگرسانی پروپلیتیک در منطقه مورد مطالعه از روش‌های زیر استفاده شده‌است:

#### ❖ روش نسبت بانندی

برای آشکارسازی این زون با استفاده از روش نسبت بانندی با توجه به باندهای جذب و بازتاب

کانی‌های شاخص این زون (شکل ۳-۱۴) می‌توان از نسبت بانندی  $\frac{Band6+Band9}{Band8}$  (شکل ۳-۱۵)

استفاده گردید. در این تصویر مناطق به رنگ بنفش نشان دهنده زون‌های دگرسانی پروپیلیتیک می- باشند.



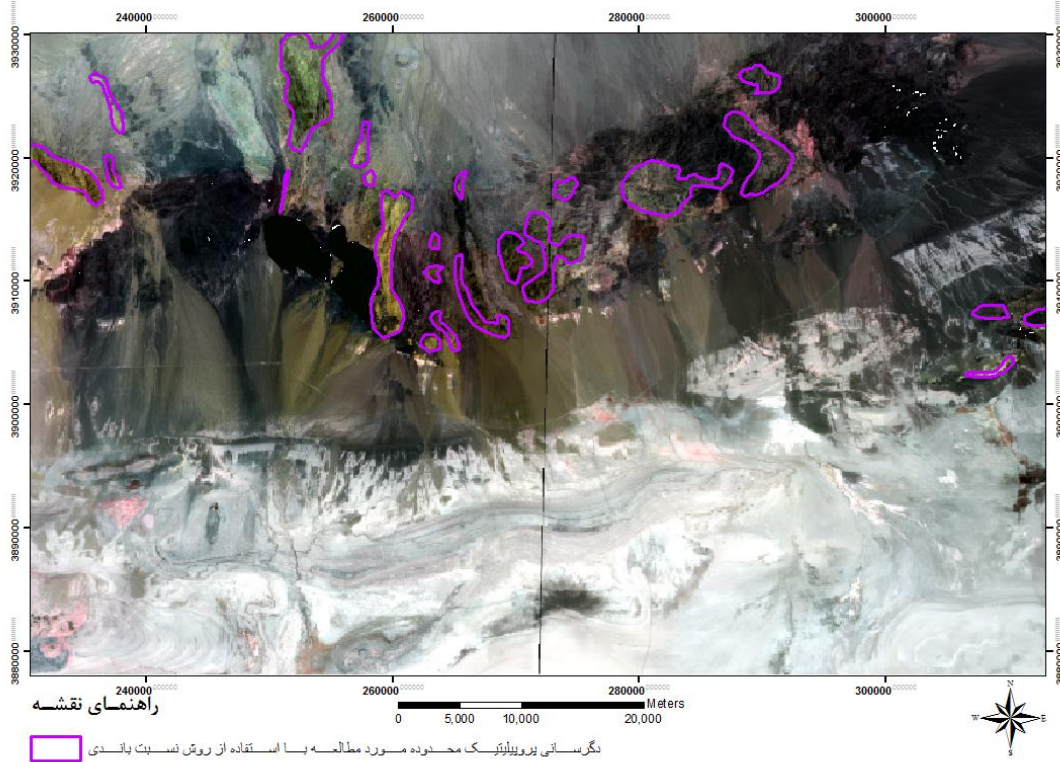
شکل ۳-۱۴: نمودار انعکاس و جذب کانی‌های شاخص دگرسانی پروپیلیتیک.

#### ❖ روش ترکیب رنگی کاذب

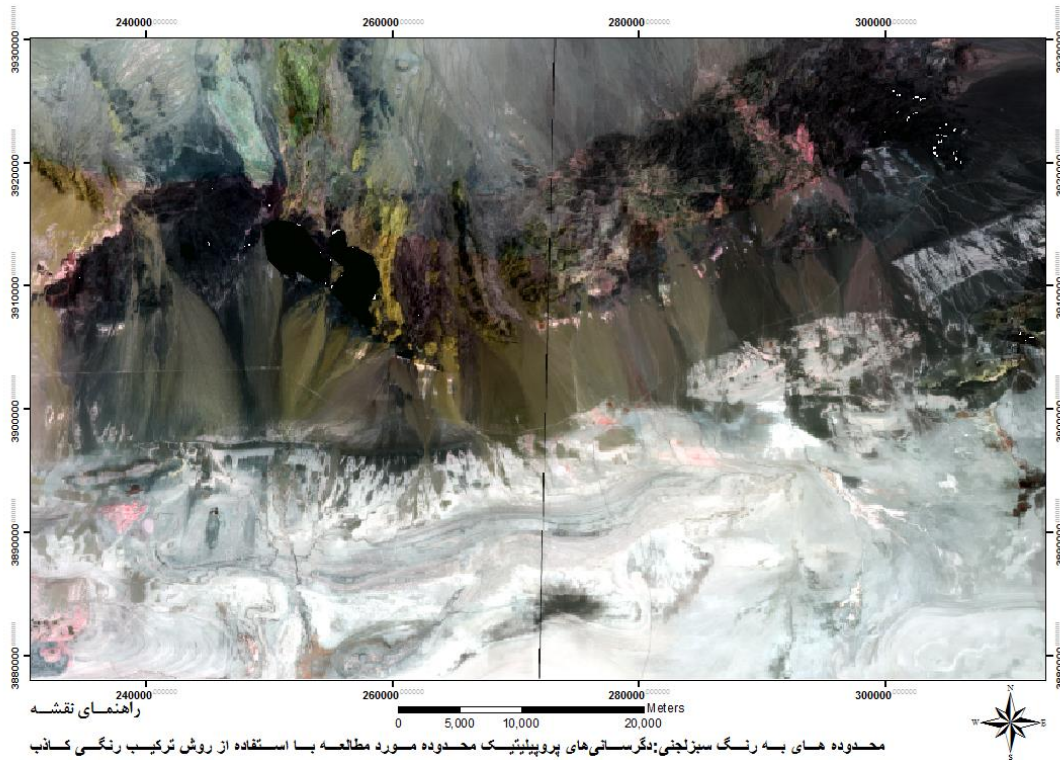
جهت نمایش این دگرسانی با استفاده از روش FCC از ترکیب رنگی (۴۶۸) RGB استفاده شده‌است. در این تصویر اپیدوت به رنگ سبز، کلریت‌ها به رنگ آبی و دگرسانی پروپیلیتیک به رنگ سبز لجنی مشاهده می‌شود (شکل ۳-۱۶).

#### ❖ روش برازش کمترین مربعات رگرسیون شده

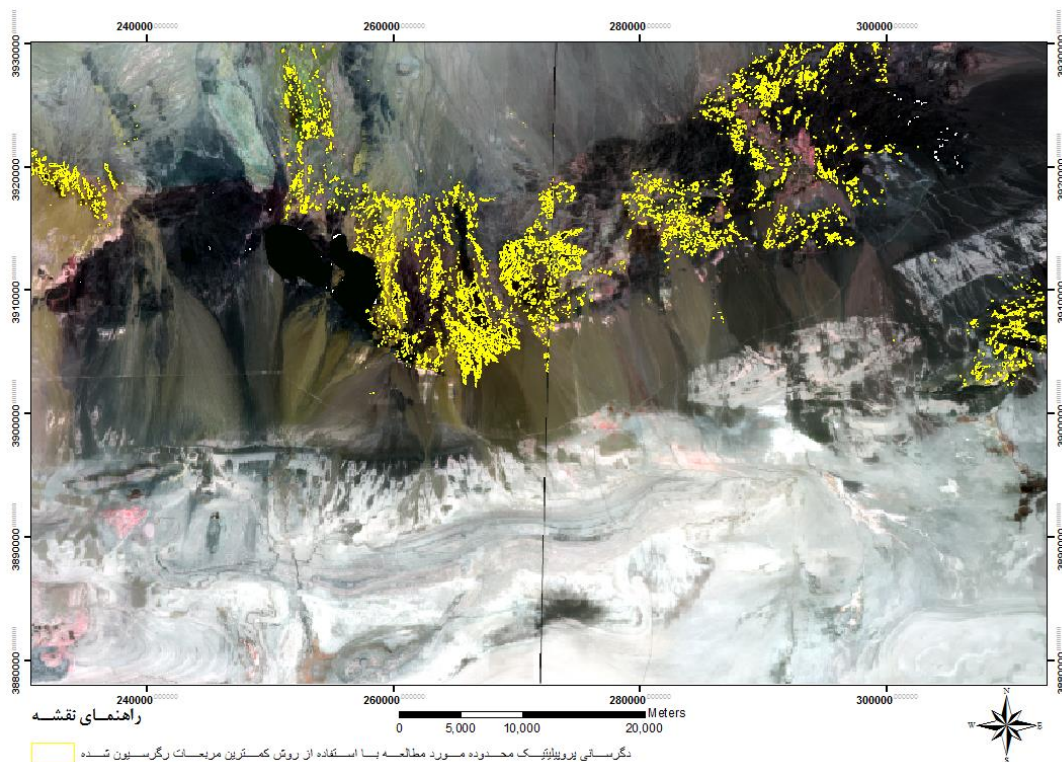
در سنجنده استر به منظور بارزسازی دگرسانی پروپیلیتیک با استفاده از روش LS-Fit از باند ۸ استفاده می‌گردد. زیرا در این باند کلریت دارای جذب است. قسمت‌های زرد رنگ شکل شماره ۳-۱۷، مناطق دارای دگرسانی پروپیلیتیک را نشان می‌دهد.



شکل ۳-۱۵: بارزسازی دگرسانی پروپیلیتیک با استفاده از روش نسبت بانندی (در این تصویر محدوده‌های بنفش رنگ نشان دهنده دگرسانی پروپیلیتیک می‌باشند).



شکل ۳-۱۶: بارزسازی دگرسانی پروپیلیتیک با استفاده از روش ترکیب رنگی کاذب (در این تصویر محدوده‌های به رنگ سبز لجنی نشان دهنده دگرسانی پروپیلیتیک هستند).



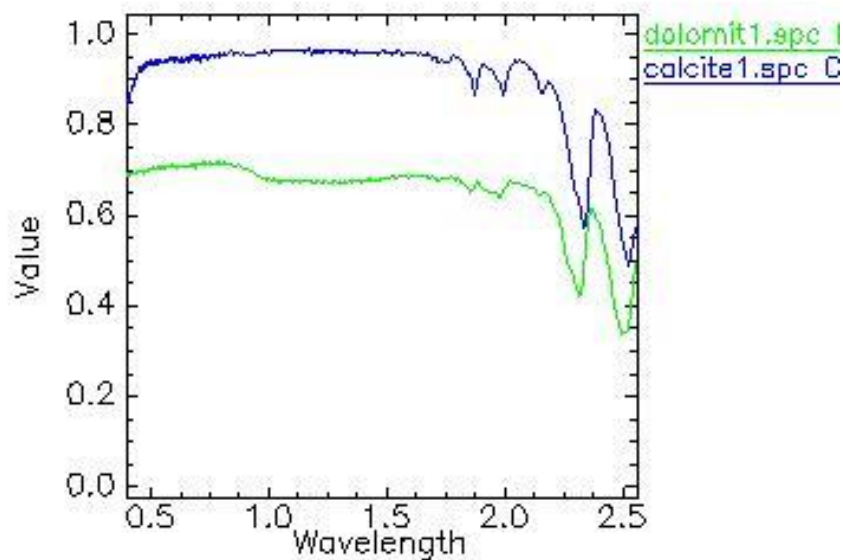
شکل ۳-۱۷: بارزسازی دگرسانی پروپیلیتیک با استفاده از روش LS-Fit (در این تصویر محدوده‌های زرد رنگ نشان دهنده دگرسانی پروپیلیتیک می‌باشند).

### ج) بارزسازی دگرسانی کربناتی

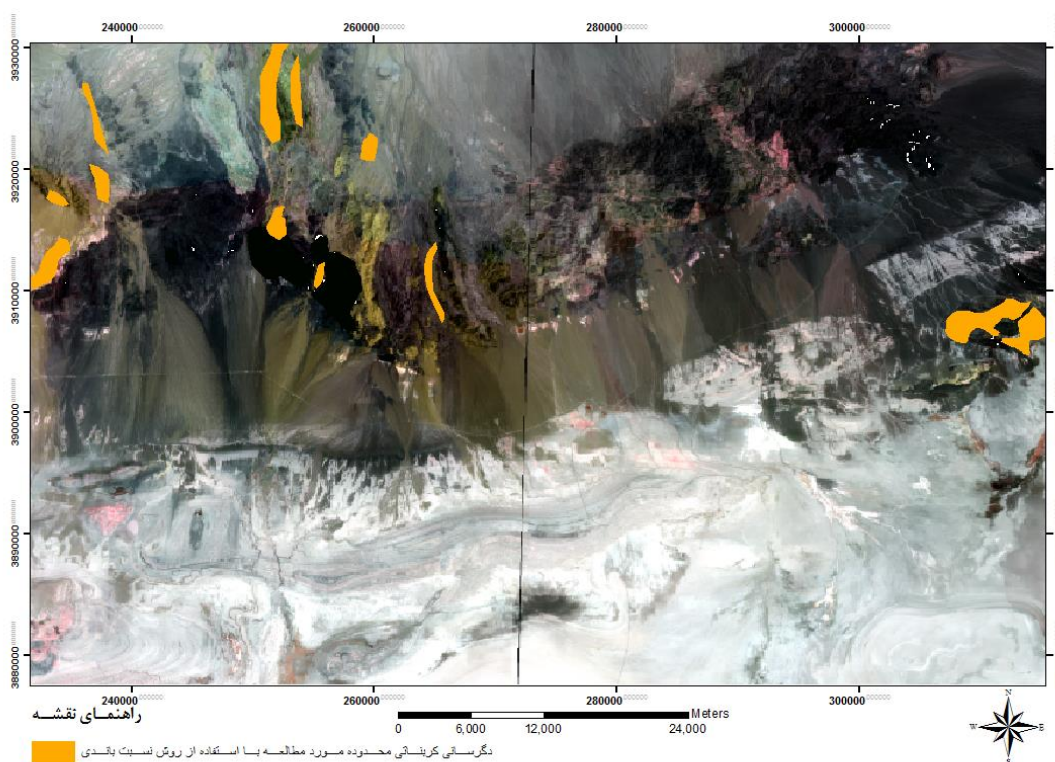
مهمترین کانی‌های دگرسانی کربناتی کلسیت، دولومیت و سیدریت می‌باشند. این دگرسانی یکی از نشانه‌های مهم وجود ذخایر مس تیپ میشیگان و ماسیوسولفید می‌باشد. برای آشکارسازی این زون دگرسانی از روش‌های زیر استفاده شده‌است:

#### ❖ نسبت بانندی

به منظور شناسایی این دگرسانی با استفاده از روش BR، با توجه به باندهای جذب و بازتاب کانی‌های شاخص این نوع دگرسانی (شکل ۳-۱۸) از نسبت بانندی  $\frac{Band13}{Band14}$  استفاده شده‌است. در شکل ۳-۱۹ محدوده‌های با رنگ نارنجی نشان‌دهنده زون‌های دگرسانی کربناتی می‌باشند.



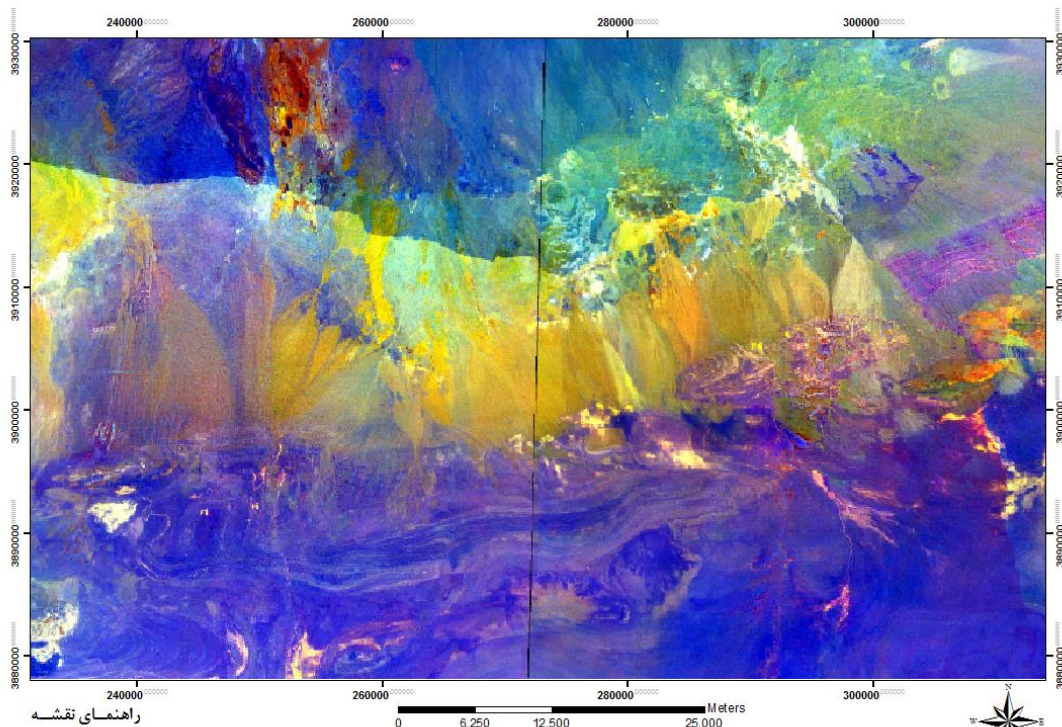
شکل ۳-۱۸: نمودار جذب و انعکاس کانی‌های شاخص دگرسانی کربناتی.



شکل ۳-۱۹: بارزسازی دگرسانی کربناتی با استفاده از روش نسبت باندی (در این تصویر محدوده‌های نارنجی رنگ نشان دهنده دگرسانی کربناتی می‌باشند).

### ❖ ترکیب رنگی کاذب

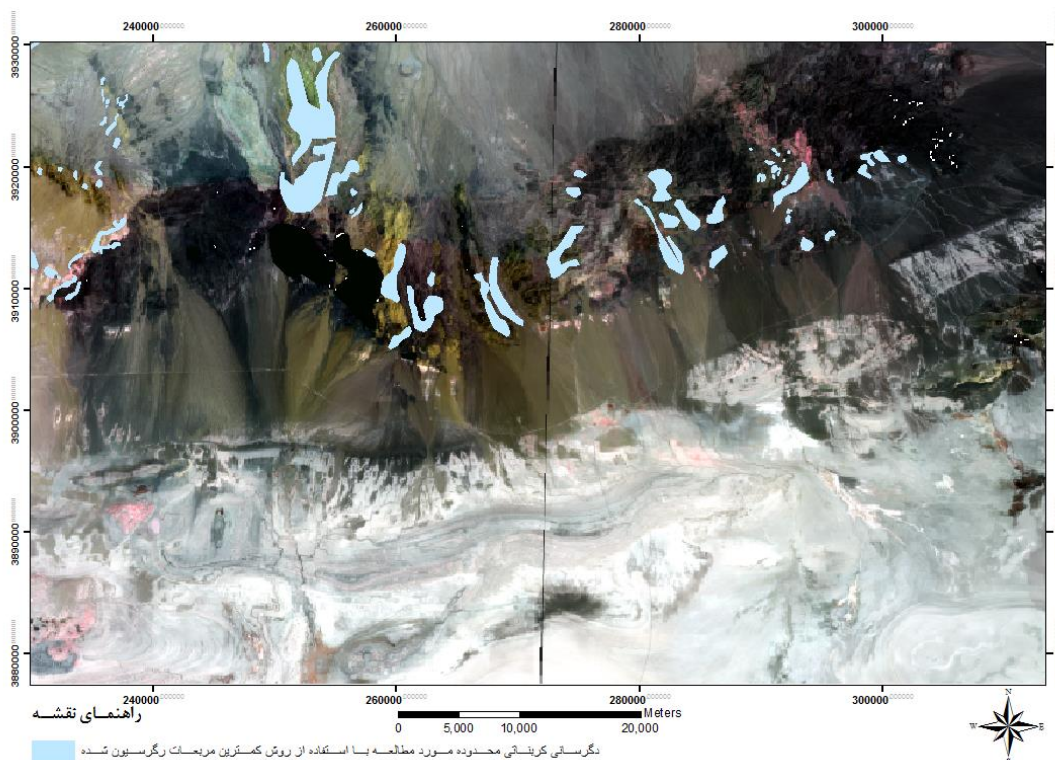
برای شناسایی این دگرسانی در محدوده مورد مطالعه با استفاده از روش ترکیب رنگی کاذب از ترکیب نسبت بانندی  $(\frac{4}{9}, \frac{4}{6}, \frac{7}{6})$  RGB استفاده شده است. در این تصویر (۳-۲۰) مناطق با رنگ نارنجی تا آجری نشان دهنده دگرسانی کربناتی می باشند.



راهنمای نقشه  
محدوده‌های به رنگ آجری: دگرسانیهای کربناتی محدوده مورد مطالعه با استفاده از روش ترکیب رنگی کاذب  
شکل ۳-۲۰: بارزسازی دگرسانی کربناتی با استفاده از روش ترکیب رنگی کاذب (در این تصویر محدوده‌های آجری رنگ نشان دهنده دگرسانی کربناتی می باشند).

### ❖ روش برازش کمترین مربعات رگرسیون شده

به منظور شناسایی دگرسانی کربناتی با استفاده از تصویر سنجنده استر و روش LS-Fit از باند ۴ این تصویر استفاده شده است، زیرا در این باند دولومیت دارای جذب است. بخش‌های آبی رنگ در شکل ۳-۲۱ نشان دهنده محدوده‌های دگرسان شده توسط این دگرسانی می باشد.



شکل ۳-۲۱: بازسازی دگرسانی کربناتی با استفاده از روش LS-Fit (در این تصویر محدوده‌های آبی رنگ نشان دهنده دگرسانی کربناتی می‌باشند).

### ۳-۲-۶- لایه اطلاعات مربوط به آنومالی‌های ژئوشیمی محدوده مورد مطالعه

ژئوشیمی اکتشافی با تکیه بر اصول رفتار شیمیایی عناصر و بررسی خصوصیات و روابط گروهی عناصر، به دنبال معرفی نقاط امید بخش و زون‌های احتمالی کانی‌سازی می‌باشد. بررسی‌های ژئوشیمیایی متناسب با مقیاس مورد مطالعه، می‌تواند در محیط‌های مختلف ژئوشیمیایی از جمله سنگ بستر، رسوبات آبراهه‌ای، خاک، آب‌های سطحی یا زیرزمینی و... انجام شود (حسینی پاک، ۱۳۸۱).

در برداشت‌های اکتشافی ژئوشیمی، رسوبات آبراهه‌ای به عنوان یکی از مهمترین محیط‌های نمونه‌برداری شناخته شده‌است، زیرا در این محیط، نمونه‌های برداشت شده ترکیبی از مواد حاصل از فرسایش یک یا چند توده واقع در بالادست حوضه آبریز است. به همین دلیل این نمونه‌ها معرف بسیار مناسبی از محیط‌های واقع در مسیر حرکت آب می‌باشند (Caranza, 2009).

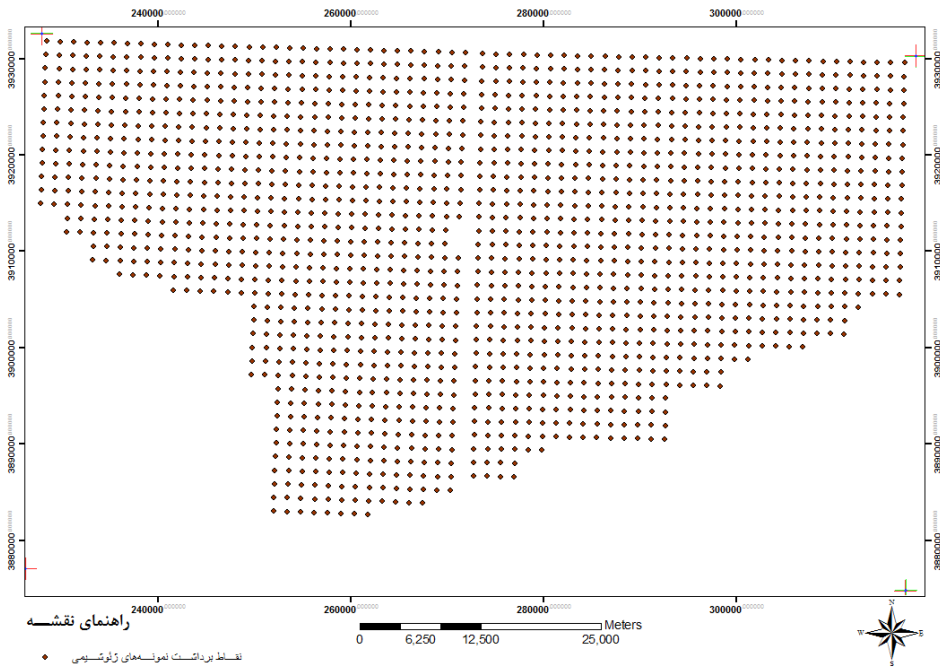


در محیط‌های هوازده بسیاری از کانی‌ها به ویژه کانی‌های سولفوری ناپایدارند و بر اثر اکسیداسیون و سایر واکنش‌های شیمیایی به سرعت تجزیه می‌شوند. این امر موجب پراکندگی بیشتر این کانی‌ها و عناصر معرف آنها می‌شود، به طوریکه گاهی حمل و نقل آنها تا مسافت نسبتاً دوری از حوضه آبریز ادامه می‌یابد. انتقال محلول‌های حاوی این عناصر تا فاصله‌های دور از حوضه آبریز، باعث افزایش وسعت هاله‌های ثانویه و به تبع آن سهولت در اکتشاف کنسارهای بالادست آن می‌شود. این ویژگی باعث می‌شود مطالعات ژئوشیمی در محیط رسوبات آبراهه‌ای از اهمیت بالایی برخوردار باشد.

به طور کلی مطالعات ژئوشیمیایی شامل مراحل مختلفی مانند طراحی شبکه نمونه‌برداری، نمونه‌برداری، آماده‌سازی نمونه‌ها، آنالیز نمونه‌ها، پیش پردازش داده‌ها و در نهایت تهیه نقشه پراکندگی عناصر و تعیین آنومالی‌ها می‌باشد (حسنی پاک و شرف الدین، ۱۳۸۰).

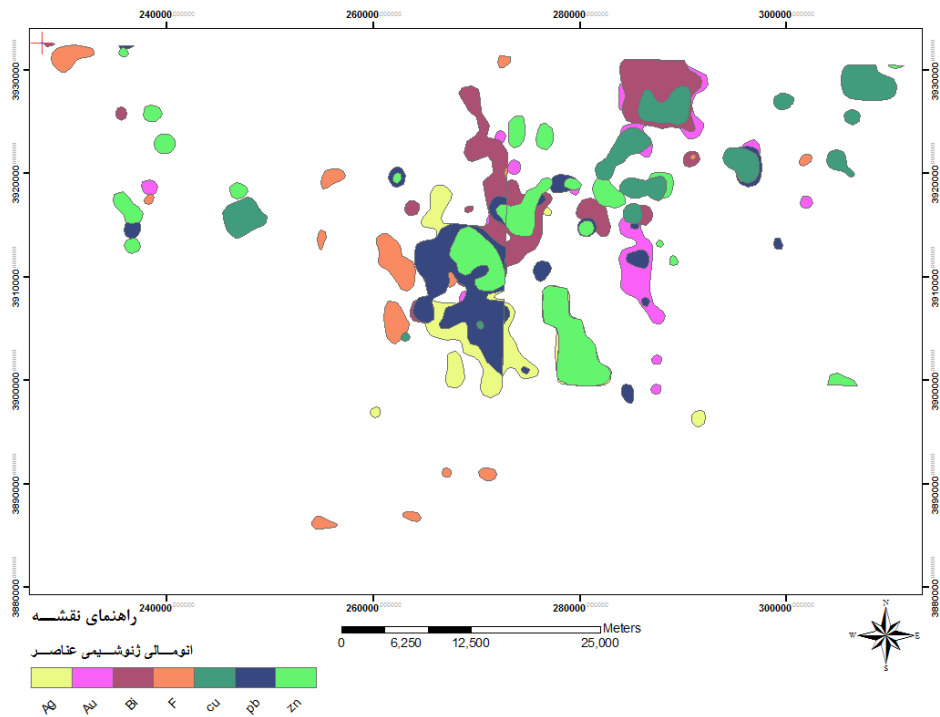
### ۳-۲-۶-۱ - داده‌های ژئوشیمی محدوده مورد مطالعه

داده‌های ژئوشیمیایی استفاده شده در این تحقیق، مربوط به نمونه‌های برداشت شده توسط سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور از ورقه‌های ۱:۱۰۰۰۰۰ معلمان و کلاته-رشم می‌باشد. اکتشافات ژئوشیمیایی در این محدوده با برداشت ۸۰۶ نمونه از رسوبات آبراهه‌ای در برگه ۱:۱۰۰۰۰۰ کلاته و ۸۱۸ نمونه از رسوبات آبراهه‌ای در برگه ۱:۱۰۰۰۰۰ معلمان انجام شده‌است. با توجه به اینکه هر یک از این محدوده‌ها دارای مساحتی در حدود ۲۵۰۰ کیلومترمربع می‌باشد، لذا چگالی نمونه-برداری به صورت یک نمونه به ازای هر ۳ تا ۴ کیلومترمربع می‌باشد. شکل ۳-۲۲ موقعیت برداشت نمونه‌ها را نشان می‌دهد.



شکل ۳-۲۲: موقعیت قرارگیری نقاط برداشت نمونه‌های ژئوشیمی در محدوده مورد مطالعه.

در این تحقیق لایه رقومی آنومالی‌های ژئوشیمیایی برخی عناصر مرتبط با کانی‌زایی مس از جمله مس، طلا، نقره، سرب، روی، مولیبدن و ... موجود می‌باشد. شکل ۳-۲۳ موقعیت قرارگیری این آنومالی‌ها را در محدوده مورد مطالعه نشان می‌دهد.



شکل ۳-۲۳: نقشه آنومالی‌های ژئوشیمیایی عناصر مختلف در محدوده مورد مطالعه

## فصل ۴

**تهیه نقشه‌های برآورد با استفاده**

**از تئوری دمپستر-شیفر**

## ۴-۱- مدلسازی به روش توابع برآورد یا تخمین میزان اعتبار شواهد

### ۴-۱-۱- تخمین دانش محور توابع برآورد

مفهوم ارزیابی و تعیین میزان احتمال و نیز درجه معرف بودن مجموعه‌ای از شواهد پیش‌گو، توسط تئوری دمپستر- شيفر بیان می‌گردد. این تئوری براساس تعمیم قانون احتمالات بیزین به وجود آمده و سپس براساس تئوری برآورد توابع مربوط به میزان اعتبار شواهد<sup>۲۹</sup> (EBF)، شکل گرفت. پس از ارائه این تئوری، حدود پایین و بالا احتمالات، به وسیله تابع اعتماد<sup>۳۰</sup> و تابع باور<sup>۳۱</sup> یا معقول بودن، تعریف شد. این توابع توسط افراد دیگر توسعه پیدا کرد و جهت مدلسازی و شناسایی مناطق امید- بخش اکتشاف مواد معدنی، در تلفیق داده‌ها و اطلاعات مورد استفاده قرار گرفت (یوسفی و کامکار، ۱۳۸۹).

براساس این روش جهت یک الگوی شاهد فضایی، که در ارزیابی میزان اهمیت یک موقعیت در مدلسازی پتانسیل معدنی استفاده می‌شود، چهار مقدار (توابع برآورد) در فاصله بین ۰ و ۱ براساس میزان شاهد بودن الگوی مورد نظر تعیین می‌گردد. این مقادیر شامل اعتماد (Bel)، عدم اعتماد<sup>۳۲</sup> (Dis)، عدم قطعیت<sup>۳۳</sup> (Unc) و باور (Pls) می‌باشند. توابع اعتماد و باور، به ترتیب نشان دهنده حدپایین و بالای میزان معرف بودن یک شاهد فضایی در یک موقعیت پیشنهاد شده، برای مطالعات اکتشافی می‌باشند. بنابراین توابع باور و اعتماد، نشان دهنده میزان مبهم بودن و غیر قطعی بودن ارزیابی هستند. تابع عدم قطعیت (Unc)، نشان دهنده عدم شناخت یا تردید در مورد یک شاهد فضایی در یک موقعیت، جهت پی‌جویی یک ذخیره خاص می‌باشد. مقدار تابع عدم قطعیت از اختلاف بین تابع اعتماد و تابع باور بدست می‌آید. تابع عدم اعتماد (Dis)، نشان دهنده میزان عدم معرف بودن

<sup>29</sup> Evidential Belief Function

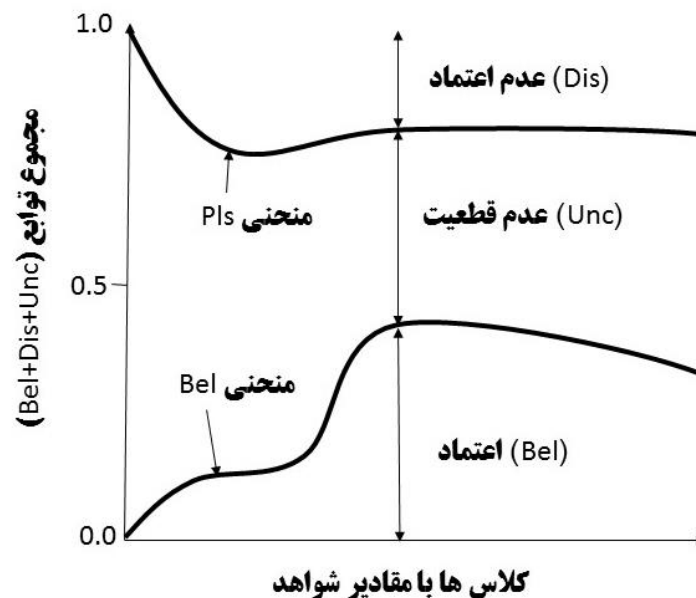
<sup>30</sup> Belief

<sup>31</sup> Plusibility

<sup>32</sup> Disbelief

<sup>33</sup> Uncertainty

یک شاهد فضایی در یک موقعیت برای پی‌جویی یک ذخیره خاص می‌باشد. شکل (۴-۱) روابط بین توابع برآورد را نشان می‌دهد.



شکل ۴-۱: روابط میان توابع برآورد (Carranza, 2008)

مجموع مقادیر توابع اعتماد، عدم قطعیت و عدم اعتماد برای یک شاهد فضایی برابر ۱ است. همچنین مجموع توابع باور و عدم اعتماد نیز برابر ۱ می‌باشد. بنابراین روابط  $Pls = Bel + Unc$  و  $Bel = Pls - Unc$  برقرار است.

میزان تابع عدم قطعیت، تحت تأثیر نسبت بین دو تابع اعتماد و عدم اعتماد (Bel و Dis) است. اگر تابع عدم قطعیت برابر صفر باشد، یعنی اطلاعات و دانش کافی و کامل در مورد شاهد فضایی وجود دارد، در این صورت مجموع دو تابع اعتماد و عدم اعتماد برابر یک و نسبت بین این دو تابع برای یک شاهد، حالت دوتایی خواهد داشت. یعنی مطابق با تئوری احتمالات  $Dis = 1 - Bel$  یا  $Bel = 1 - Dis$  است.

اگر عدم قطعیت برابر ۱ باشد، بدین معنی است که هیچ اطلاعات و دانشی در مورد شاهد فضایی وجود نداشته و عدم شناخت و ابهام به‌طور کامل وجود دارد. در این صورت توابع اعتماد و عدم

اعتماد برای شاهد مورد نظر برابر صفر می‌باشند. لذا در حالت عدم قطعیت کامل، دو تابع اعتماد و عدم اعتماد وجود ندارند. اگرچه در حالت طبیعی، معمولاً عدم قطعیت نه برابر صفر و نه برابر یک است، بنابراین  $0 < \text{عدم قطعیت} < 1$  و در نتیجه "عدم قطعیت - اعتماد - ۱ = عدم اعتماد" یا "عدم قطعیت - عدم اعتماد - ۱ = اعتماد" می‌باشد.

با توجه به اینکه عدم قطعیت معمولاً وجود دارد، نسبت بین تابع اعتماد و عدم اعتماد برای یک شاهد مشخص معمولاً دوتایی نیست؛ بنابراین برای یک شاهد مورد استفاده در محاسبات مدل‌سازی، نه تنها مقدار اعتماد، بلکه مقادیر عدم اعتماد و عدم قطعیت نیز باید تخمین زده شوند. در کاربرد روش دمپستر - شيفر در مدل‌سازی و نقشه برداری پتانسیل معدنی، معمولاً دو تابع از سه تابع اعتماد، عدم اعتماد و عدم قطعیت، به منظور تعیین میزان تأیید یا عدم تأیید یک شاهد فضایی در معرف بودن یک تیپ کانی‌سازی مورد جستجو و همچنین میزان عدم قطعیت آن شاهد فضایی در ابتدا تخمین زده می‌شوند. سپس تابع باور (Pls) به سادگی با استفاده از دو تابع دیگر محاسبه می‌شود. تابع باور در قانون تخمین دمپستر استفاده نمی‌شود. تخمین همزمان تابع باور (Bel) و تابع عدم باور (Dis) معمولاً مشکل است، زیرا وابستگی دوتایی بین این توابع باعث نادیده گرفتن عدم قطعیت (Unc) می‌شود. تخمین همزمان عدم اعتماد (Dis) و عدم قطعیت (Unc) نیز مشکل خواهد بود، زیرا عدم اعتماد و عدم قطعیت با یکدیگر تداخل خواهند داشت. بنابراین تخمین همزمان Bel و Unc معمولاً آسانتر است. درحالی‌که  $0 < \text{Unc} < 1$  است، Bel معمولاً کمتر یا معادل  $0/5$  برآورد می‌شود اما هرگز به صفر نمی‌رسد. ضمناً مقدار عدم قطعیت در شرایط زیر تخمین زده می‌شود:

- مقدار  $\text{Pls} = \text{Bel} + \text{Unc}$  بیشتر از  $0/5$  بوده اما برابر ۱ نیست.

- مقادیر تخمینی Bel و Unc بطور معکوس متغیر می‌باشند یعنی وقتی یکی بیشتر شود، دیگری کمتر می‌گردد و برعکس.

- مقادیر تخمینی Dis نیز با تخمین مقادیر Bel و Unc به طور معکوس تغییر می‌کند.

سه شرط فوق برای ارائه وابستگی‌ها و روابط واقع بینانه در حالت  $0 < Unc < 1$  مهم هستند. در مرحله اول عدم قطعیت بالاتر، اعتماد پایین‌تر را منجر می‌شود یا برعکس، در مرحله دوم اعتماد بالاتر، عدم اعتماد پایین‌تر را منجر خواهد شد و برعکس، بنابراین در حالت معمول یعنی در حالت  $0 < Unc < 1$ ، تخمین‌های Bel به سمت صفر میل می‌کنند؛ در حالی که  $Pls = Bel + Unc$  به سمت ۱ می‌رود. شرایط فوق برای تخمین دانش محور Bel و Unc در حالتی که برای ارتباط بین شاهد فضایی و کانی‌سازی، عدم قطعیت کامل وجود دارد (یعنی  $Unc = 1$ ) یا اطلاعات و دانش بطور کامل وجود دارد (یعنی  $Unc = 0$ ) به کار نمی‌رود.

مثالی از عدم قطعیت کامل ( $Unc = 1$ ) در نقشه برداری پتانسیل معدنی، وقتی است که داده فضایی وجود ندارد. همچنین هیچ حالت قطعیت کامل ( $Unc = 0$ ) در مدلسازی پتانسیل معدنی وجود ندارد زیرا اگر  $Unc = 0$  باشد، اساساً نیازی به مدلسازی پتانسیل معدنی نخواهد بود. پس از تخمین Bel و Unc در حالت  $0 < Unc < 1$ ، دو تابع باقی مانده یعنی Dis و Pls به سادگی براساس روابط بین توابع برآورد که در شکل ۴-۱ نشان داده شده، برآورد می‌شوند (یوسفی و کامکار ۱۳۸۹).

در روش دانش محور تعیین توابع برآورد همچون سایر روش‌های دانش محور، تخمین این توابع بر اساس دانش کارشناس خبره انجام می‌شود. در عمل پارامترهای تخمین زده شده در روش دانش محور توابع برآورد، در جدول خصوصیات همراه با نقشه‌های شاهد داده‌های فضایی مورد استفاده در مدلسازی پتانسیل معدنی، وارد می‌شوند. تخمین Bel شبیه تخمین امتیاز الگوهای شاهد مختلف در نقشه‌های چند کلاسه و همچنین تعیین امتیاز توابع عضویت فازی می‌باشد.

پس از تخمین کلیه توابع برآورد، باید این توابع که برای نقشه‌های شاهد مختلف برآورد شده‌اند با یکدیگر تلفیق شوند تا امتیاز هر سلول واحد از منطقه مورد مطالعه بدست آید. در این حالت برای هر نقشه شاهد فضایی  $X_i$  (از ۱ تا n)، چهار نقشه خصوصیت نشان دهنده توابع اعتماد، عدم اعتماد، باور و عدم قطعیت تولید می‌شود. نقشه‌های توابع برآورد تولید شده برای نقشه شاهد  $X_1$  می‌توانند با

نقشه‌های توابع برآورد تولید شده برای نقشه شاهد  $X_2$ ، براساس قانون دمپستر تلفیق شوند. این تلفیق می‌تواند به وسیله کاربرد عملگرهای AND و OR اجرا گردد. معادلات تلفیق نقشه‌های توابع برآورد تولید شده مربوط به دو نقشه شاهد فضایی  $X_1$  و  $X_2$  با استفاده از عملگر AND به صورت روابط ۱-۴ تا ۳-۴ بیان می‌گردد (Carranza, 2008).

$$Bel_{X_1X_2} = \frac{Bel_{X_1} Bel_{X_2}}{\beta} \quad (1-4)$$

$$Dis_{X_1X_2} = \frac{Dis_{X_1} Dis_{X_2}}{\beta} \quad (2-4)$$

$$Unc_{X_1X_2} = \frac{Unc_{X_1} Unc_{X_2} + Bel_{X_1} Unc_{X_2} + Bel_{X_2} Unc_{X_1} + Dis_{X_1} Unc_{X_2} + Dis_{X_2} Unc_{X_1}}{\beta} \quad (3-4)$$

در این معادلات  $\beta$  از رابطه ۴-۴ بدست می‌آید:

$$\beta = 1 - Bel_{X_1} Dis_{X_2} - Dis_{X_1} Bel_{X_2} \quad (4-4)$$

$\beta$  یک عامل نرمال کننده جهت اطمینان از حالت  $Bel + Unc + Dis = 1$  است. معادلات (۴-۴) و (۲-۴) افزایشی هستند. بنابراین نتیجه کاربرد عملگر AND در تلفیق نقشه‌های Bel و Dis، نقشه‌هایی است که در آن مقادیر خروجی به ترتیب نمایش دهنده میزان اعتماد و عدم اعتماد است. این نقشه‌ها برای یک موقعیت، که توسط شواهد فضایی ارزیابی شده، با استفاده از دو نقشه ورودی دارای انطباق فضایی تولید می‌شوند. در معادله (۳-۴) هر دو مورد جابجایی و اجتماع پذیری (شرکت پذیری) وجود دارد. بنابراین نتیجه کاربرد عملگر AND در تلفیق دو نقشه Unc، نقشه‌ای است که در آن مقادیر خروجی بوسیله شواهد فضایی با عدم قطعیت زیاد در هر یک از دو نقشه ورودی کنترل می‌گردد. بنابراین عملگر AND در ترکیب دو شاهد فضایی مکمل هم مثل  $X_1$  و  $X_2$ ، به منظور ارزیابی یک موقعیت در مدلسازی پتانسیل معدنی مناسب است (یوسفی و کامکار ۱۳۸۹).



بعد از بکاربردن معادلات ۱-۴ تا ۳-۴، مقدار  $Pls_{X_1, X_2}$  با استفاده از روابط موجود، قابل محاسبه است. تلفیق نقشه‌های تابع برآورد ایجاد شده مربوط به دو نقشه شاهد فضایی  $X_1$  و  $X_2$  با استفاده از عملگر OR به صورت روابط ۴-۵ تا ۴-۷ بیان می‌گردد (Carranza, 2008).

$$Bel_{X_1 X_2} = \frac{Bel_{X_1} Bel_{X_2} + Bel_{X_1} Unc_{X_2} + Bel_{X_2} Unc_{X_1}}{\beta} \quad (۵-۴)$$

$$Dis_{X_1 X_2} = \frac{Dis_{X_1} Dis_{X_2} + Dis_{X_1} Unc_{X_2} + Dis_{X_2} Unc_{X_1}}{\beta} \quad (۶-۴)$$

$$Unc_{X_1 X_2} = \frac{Unc_{X_1} Unc_{X_2}}{\beta} \quad (۷-۴)$$

در معادلات ۴-۵ تا ۴-۷، مقدار  $\beta$  از همان معادله ۴-۴ محاسبه می‌شود. روابط ۴-۵ و ۴-۶ هم جابجاپذیر و هم اجتماع‌پذیر هستند. با توجه به این‌که، معادله ۴-۷ دارای روند افزایشی است، بنابراین نتیجه کاربرد عملگر OR در تلفیق دو نقشه  $Unc$ ، نقشه‌ای است که در آن مقادیر خروجی به وسیله شواهد فضایی با عدم قطعیت پایین در هر یک از دو نقشه ورودی کنترل می‌گردد. بنابراین عملگر OR در ترکیب دو نقشه شاهد فضایی مکمل هم  $X_1$  و  $X_2$ ، به منظور ارزیابی یک موقعیت در مدلسازی پتانسیل معدنی مناسب است و خروجی ترکیب دو شاهد، مناطقی را معرفی می‌کند که در آن‌ها محل وجود حداقل یکی از دو شاهد تأیید شده است (یوسفی و کامکار ۱۳۸۹).

طبق قانون تلفیق دمپستر در هر زمان فقط دو نقشه از شواهد فضایی و توابع برآورد، قابل ترکیب می‌باشند. بنابراین برای تلفیق نقشه‌های شاهد  $X_3$  تا  $X_n$  باید نقشه‌ها را یکی پس از دیگری بکاربردن مناسب معادلات ۱-۴ تا ۴-۷ تلفیق نمود. در نهایت مقدار نهایی  $Bel$  به عنوان شاخصی برای کانی‌سازی در نظر گرفته می‌شود. به علاوه با توجه به اینکه معادله ۱-۴ افزایشده است درحالی که معادله ۴-۵ اجتماع‌پذیر و جابجاپذیر است، نقشه خروجی تلفیق  $Bel$  که از معادله ۱-۴ استنتاج شده

چندان مشابه نتایج تلفیق با معادله ۴-۵ نیست. این بدان معنی است که، مقادیر تلفیقی حاصل از توابع برآورد مختلف نباید بصورت مطلق و جداگانه تفسیر شوند؛ بلکه باید نسبت به هم مقایسه و تلفیق گردند. بنابراین در مدل‌سازی پتانسیل معدنی مقادیر تلفیق Bel، نشان دهنده میزان نسبی احتمال وقوع کانه‌زایی می‌باشد. قابلیت بارز نمایش داده‌های فضایی با استفاده از نقشه‌های عدم قطعیت، حتی در صورت نبود شواهد، برتری مدل‌سازی به روش توابع برآورد نسبت به سایر روش‌های مدل‌سازی است (Carranza, 2008). مانند مدل‌سازی به روش منطق فازی، در دسترس بودن عملگرهای مختلف و همچنین امکان اصلاح و استفاده از شبکه‌های تلفیق و استنتاج شواهد، از مزیت‌های مدل‌سازی به روش توابع برآورد نسبت به مدل‌سازی با استفاده از روش‌های همپوشانی شاخص‌های دوتایی و چند کلاسه می‌باشد. شاید تنها ضعف مدل‌سازی به روش توابع برآورد نسبت به دیگر روش‌های مدل‌سازی، این است که همزمان دو امتیاز برای هر الگوی شاهد (Bel و Unc) در نظر می‌گیرد. با این حال مدل‌سازی به روش توابع برآورد، با چهار نقشه خروجی مکمل هم، ارزیابی بهتری را از مدل پیش بینی پتانسیل معدنی به خصوص در مواردی که داده‌های ورودی مشکل دارند (در بعضی از قسمت‌های منطقه چگالی داده‌ها کم است)، فراهم می‌آورد. بنابراین این روش اطلاعات بیشتری را برای اکتشافات مراحل بعدی مهیا می‌کند.

#### ۴-۱-۲- تخمین داده محور توابع برآورد

برآورد توابع شاهد (EBF) که براساس تئوری ارزش دهی به شواهد و تعیین میزان مورد اعتماد بودن آنها می‌باشد، عموماً برای مدل‌سازی دانش محور پتانسیل معدنی بکار می‌رود (Dempster, 1967, 1968; Shafer, 1976). نوع تعدیل شده این روش می‌تواند برای مدل‌سازی داده محور نیز بکار رود که در اینجا تشریح می‌شود. تخمین توابع برآورد، محل‌های پیشنهادی و امید بخش برای پی‌جویی کانی‌سازی از نوع مورد جستجو را مشخص می‌سازد. این فرآیند شامل تخمین شاخص امید بخشی کانی‌سازی در معادله ۴-۸ است که در آن مقادیر  $wC_{ij}$  برای هر یک از کلاس‌های  $C_{ij}$  در

نقطه‌های شاهد  $X_i$  با در نظر گرفتن ذخیره شناخته شده از نوع مورد جستجو،  $D$ ، تعیین می‌شود. در این روش برای هر یک از ژامین الگو از ژامین نقشه‌های شاهد  $(X_i)$ ، یعنی هر کلاس  $C_{ji}$ ، هر یک از چهار تابع برآورد (EBF)، در دامنه صفر و یک به طور تخمینی تعیین می‌شوند. این توابع برای ارزیابی یک الگو (کلاس) و میزان امید بخش بودن آن در مدلسازی پتانسیل معدنی به کار می‌رود.

$$P_D = f(wC_{ji})_{i=1, \dots, n}^{j=1, \dots, m} = f(wC_{11}, \dots, wC_{mn}) \quad (8-4)$$

در روش داده محور تعیین توابع برآورد، مقدار تابع اعتماد برای هر الگو یا کلاس  $C_{ji}$  در هر نقشه شاهد فضایی  $X_i$  با در نظر گرفتن ذخایر شناخته شده از نوع  $D$ ، با استفاده از روابط (۹-۴) و (۱۰-۴) محاسبه می‌شود (Carranza et al, 2005).

$$Belief = \frac{W_{C_{ji}D}}{\sum_{j=1}^m W_{C_{ji}D}} \quad (9-4)$$

$$W_{C_{ji}D} = \frac{\frac{N(C_{ji} \cap D)}{N(C)}}{N(D) - N(C_{ji} \cap D)} \cdot \frac{N(T) - N(C_{ji})}{N(T)} \quad (10-4)$$

در رابطه ۱۰-۴ صورت کسر احتمال شرطی وجود ذخیره  $D$  در حالت حضور الگوی  $C_{ji}$  می‌باشد، یعنی ذخیره هدف و مورد جستجو در داخل الگوی شاهد  $C_{ji}$  حضور دارد. مخرج کسر در رابطه ۱۰-۴ نشان دهنده احتمال شرطی حضور ذخیره  $D$  در حالت عدم حضور الگوی شاهد  $C_{ji}$  است. یعنی ذخیره هدف و مورد جستجو در خارج از الگوی شاهد  $C_{ji}$  حضور دارد. بنابراین  $W_{C_{ji}D}$  وزن نسبی هر  $C_{ji}$  برای حضور  $D$  است و در مقایسه با حالتی که به طور شانسی مناطق انتخاب شوند، احتمال حضور ذخیره با بیشتر شدن این وزن افزایش می‌یابد. از این رو  $Bel_{C_{ji}}$  در رابطه ۹-۴ میزان شدت نسبی همراهی بین  $i$  ژامین کلاس در  $i$  امین نقشه شاهد فضایی  $X_i$  یعنی  $C_{ji}$  را با ذخیره  $D$  ارائه می‌دهد.

میزان عدم اعتماد برای هر الگو یا کلاس  $C_{ji}$  در هر نقشه شاهد فضایی  $X_i$  با در نظر گرفتن ذخایر شناخته شده از نوع  $D$ ، با استفاده از روابط (۴-۱۱) و (۴-۱۲) محاسبه می‌شود (Carranza et al, 2005).

$$Disbelief = \frac{W_{C_{ji}}\bar{D}}{\sum_{j=1}^m W_{C_{ji}}\bar{D}} \quad (۴-۱۱)$$

$$W_{C_{ji}}\bar{D} = \frac{\frac{N(C_{ji}) - N(C_{ji} \cap D)}{N(C_{ji})}}{\frac{N(T) - N(D) - [N(C_{ji}) - N(C_{ji} \cap D)]}{N(T) - N(C_{ji})}} \quad (۴-۱۲)$$

در روابط فوق  $\bar{D}$ ، یعنی سلول مورد نظر دارای ذخیره از نوع  $D$  نیست. صورت کسر در رابطه ۴-۱۲ احتمال شرطی عدم حضور ذخیره  $D$  در حالت حضور الگوی شاهد  $C_{ji}$  است. یعنی ذخیره هدف و مورد جستجو در خارج از الگوی شاهد  $C_{ji}$  حضور دارد. مخرج کسر در این رابطه احتمال شرطی عدم حضور ذخیره  $D$  در حالت عدم حضور الگوی شاهد  $C_{ji}$  است. بنابراین  $W_{C_{ji}}\bar{D}$  وزن نسبی هر  $C_{ji}$  برای حضور  $D$  است و با حضور  $C_{ji}$ ، احتمال عدم حضور ذخیره بیشتر از احتمال حضور ذخیره است. همچنین میزان عدم قطعیت نیز با استفاده از رابطه ۴-۱۳ محاسبه می‌شود.

$$Unc_{C_{ji}} = 1 - Bel_{C_{ji}} - Dis_{C_{ji}} \quad (۴-۱۳)$$

روش دانش محور در مناطقی که کار اکتشافی کمی صورت گرفته یا در مناطقی که کار اکتشافی صورت نگرفته، جهت مدلسازی پتانسیل معدنی مناسب می‌باشد؛ ولی روش مدلسازی داده محور تخمین توابع برآورد، در مناطقی که کار اکتشافی در حد متوسط و یا خوب صورت گرفته و چندین اندیس شناخته شده از نوع مورد جستجو وجود دارد، قابل استفاده است (یوسفی، کامکارروحانی، ۱۳۸۹).

بنابراین در روش داده محور تخمین توابع برآورد، از موقعیت ذخایر شناخته شده استفاده می‌شود. تخمین توابع برآورد داده محور، شبیه تخمین  $W_{C_{ji}}$  یعنی وزن  $i$  امین الگو از  $i$  امین نقشه شاهد ( $X_i$ ) با استفاده از سایر روش‌های داده محور، با توجه به مساحت ناحیه مورد مطالعه، صورت می‌گیرد.

## ۴-۲- تخمین داده محور توابع برآورد در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی به

### منظور شناسایی مناطق با پتانسیل کانی‌زایی مس گرمابی

روش داده محور تخمین توابع برآورد، زمانی مورد استفاده قرار می‌گیرد که تعدادی نقاط شاهد در محدوده مورد مطالعه وجود داشته باشد. با توجه به وجود بیش از ۲۱ کانسار و نشانه معدنی شناخته شده از نوع مس گرمابی (رگه‌ای)، تخمین میزان اعتماد به شواهد اکتشافی از روش داده محور توابع برآورد، برای این نوع ذخایر مورد استفاده قرار گرفت. لایه‌های اطلاعاتی مورد استفاده در این تحقیق، به‌منظور تخمین توابع برآورد جهت پتانسیل مس رگه‌ای در جدول (۴-۱) خلاصه شده‌است.

جدول ۴-۱: لایه‌های اطلاعاتی استفاده شده در این تحقیق

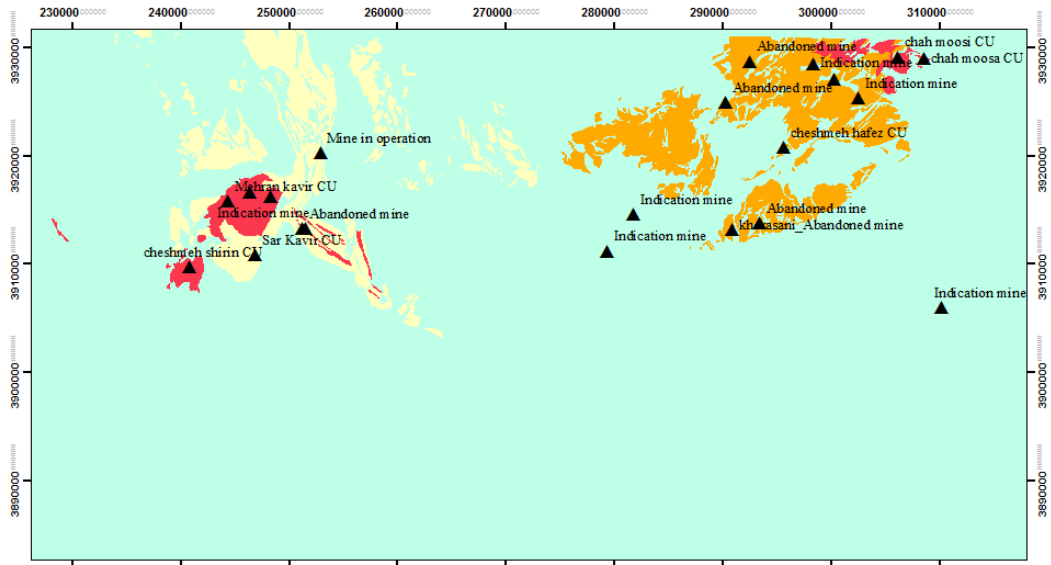
ردیف	لایه اطلاعاتی
۱	توده نفوذی فلسیک
	سنگ‌های ولکانیکی فلسیک
	سنگ‌های ولکانیکی مافیک
۲	پرولپتیک و آرژیلیک
	دگرسانی
۳	آنومالی مس
	آنومالی نقره
	آنومالی روی
	آنومالی سرب
	آنومالی طلا
۴	آنومالی بیسموت
	توده نفوذی
۴	مشخصه ژئوفیزیکی
۵	گسل‌های منطقه
۶	دایک‌های منطقه

## ۱-۲-۴- لایه اطلاعاتی سنگ‌های درونگیر

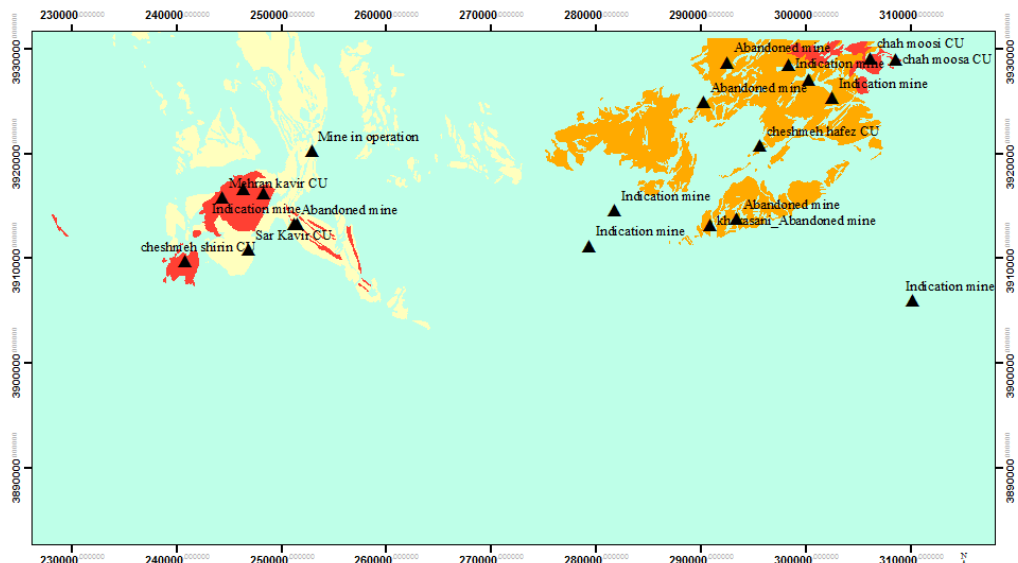
با توجه به مطالعات انجام شده، واحدهای سنگی مناسب برای تشکیل ذخایر مس گرمابی (رگه‌ای) مطابق جدول ۱-۴ می‌باشد. سپس با تخمین و محاسبه داده محور توابع برآورد، بر اساس روابط ۱-۳ تا ۳-۳، این مقادیر در جدول خصوصیات مربوط به نقشه‌های شاهد فضایی  $X_i$  مطابق با جدول ۲-۴ ذخیره می‌شوند. در مرحله بعد با استفاده از عملگرهای OR و AND تعریف شده، واحدهای سنگی به صورت دو به دو با یکدیگر تلفیق و در نهایت حدود بالا و پایین توابع برآورد برای یک لایه اطلاعاتی سنگ درونگیر محاسبه گردید. شکل‌های ۲-۴ و ۳-۴ حدود پایین و بالای تابع اعتماد برای واحدهای سنگی میزبان مس گرمابی (رگه‌ای) را نشان می‌دهد.

جدول ۲-۴: مقادیر توابع برآورد محاسبه شده برای واحدهای سنگی میزبان مس گرمابی

نوع واحد سنگی	اعتماد	عدم اعتماد	عدم قطعیت	باور
Ev,t	<b>0.050063</b>	<b>0.166748</b>	<b>0.78319</b>	<b>0.833252</b>
Et,v	<b>0.103132</b>	<b>0.166724</b>	<b>0.730144</b>	<b>0.833276</b>
Eba	<b>0.123195</b>	<b>0.166686</b>	<b>0.710118</b>	<b>0.833314</b>
Eap	<b>0.343799</b>	<b>0.166562</b>	<b>0.489639</b>	<b>0.833438</b>
dp	<b>0.326835</b>	<b>0.166536</b>	<b>0.506629</b>	<b>0.833464</b>



شکل ۴-۲: حد پایین تابع اعتماد برای واحدهای سنگی میزبان مس گرمابی.



شکل ۴-۳: حد بالای تابع اعتماد برای واحدهای سنگی میزبان مس گرمابی.

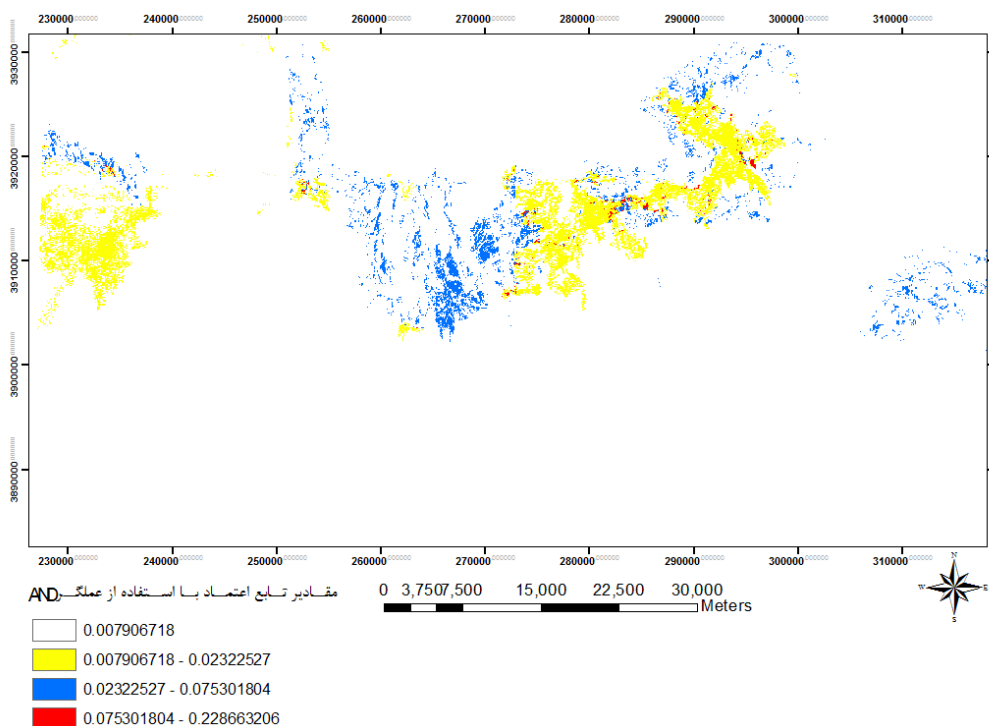
## ۲-۲-۴- لایه اطلاعاتی دگرسانی‌های منطقه

با توجه به مدل مفهومی ارائه شده در فصل ۲، مشاهده دگرسانی‌های آرژیلیک و پروپلیتیک از شواهد تشکیل این نوع ذخایر می‌باشند. به همین دلیل این لایه اطلاعاتی مطابق با توضیحات بخش ۲-۷-۱ با استفاده از پردازش تصاویر سنجنده استر تهیه گردید. جدول ۳-۴ مقادیر توابع محاسبه شده برای هر یک از این دگرسانی‌ها را نشان می‌دهد.

جدول ۳-۴: مقادیر توابع برآورد محاسبه شده برای آلتراسیون‌های آرژیلیک و پروپلیتیک

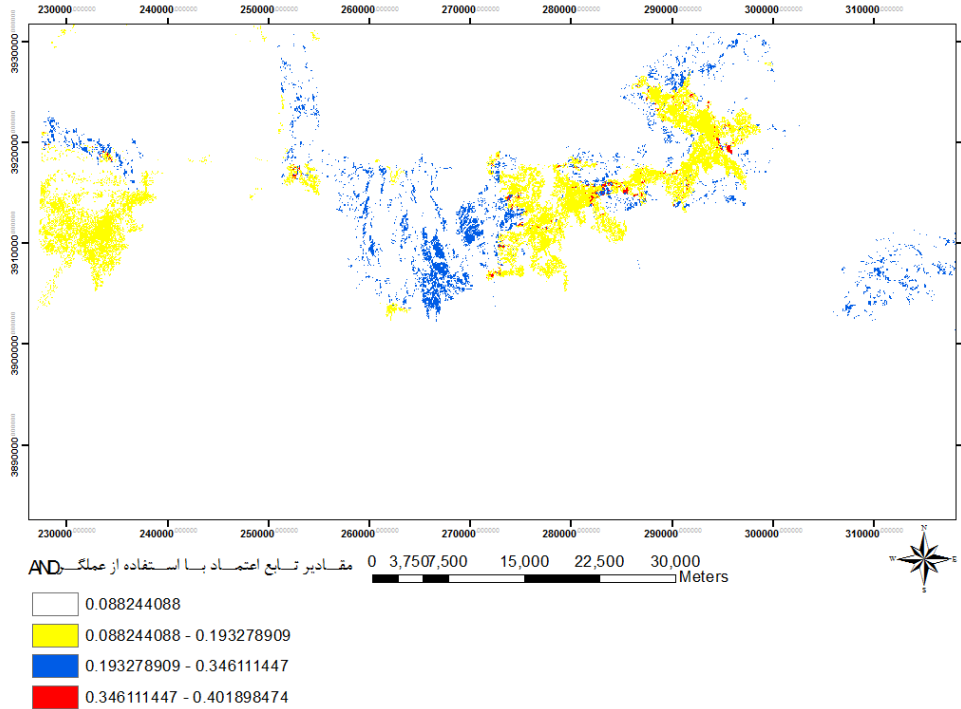
آلتراسیون	اعتماد	عدم اعتماد	عدم قطعیت	باور
خارج از محدوده آلتراسیون	<b>0.109618</b>	<b>0.49994</b>	<b>0.390442</b>	<b>0.50006</b>
آرژیلیک	<b>0.290134</b>	<b>0.50006</b>	<b>0.209806</b>	<b>0.49994</b>
پروپلیتیک	<b>0.308472</b>	<b>0.500038</b>	<b>0.19149</b>	<b>0.499962</b>

در ادامه با استفاده از عملگرهای OR و AND این دو کلاس با یکدیگر ترکیب شده و حدود پایین و بالای توابع برآورد برای لایه شاهد دگرسانی مطابق شکل ۴-۴ و ۴-۵ استخراج گردید.





شکل ۴-۴: حد پایین تابع اعتماد برای لایه دگرسانی‌های منطقه



شکل ۴-۵: حد بالای تابع اعتماد برای لایه دگرسانی‌های منطقه

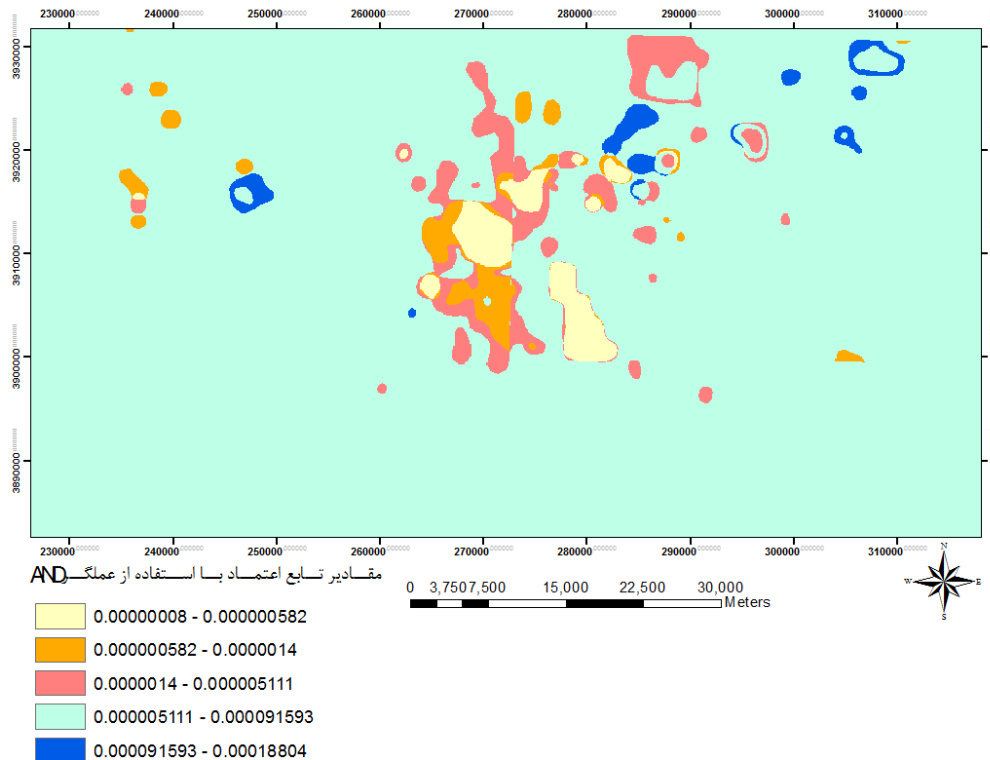
#### ۴-۲-۳- لایه اطلاعاتی آنومالی‌های ژئوشیمیایی

مطابق با مدل مفهومی ارائه شده در فصل گذشته برای کنسارهای مس رگه‌ای، از دیگر شواهد وجود این نوع ذخایر، حضور آنومالی‌های ژئوشیمیایی مس، طلا، نقره، سرب، روی و بیسموت می‌باشد. در این تحقیق با استفاده از نقشه آنومالی این عناصر، مقادیر توابع برآورد برای هر یک از عناصر محاسبه گردید (جدول ۴-۴).

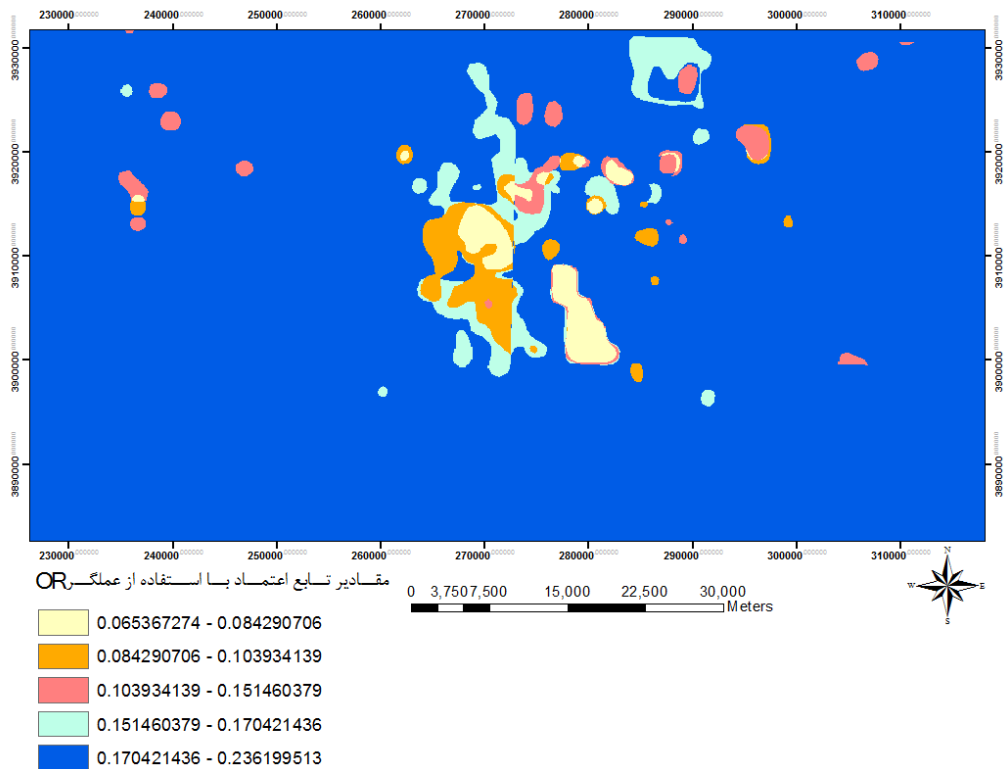
جدول ۴-۴: جدول اطلاعاتی کلاس‌های مختلف لایه اطلاعاتی آنومالی ژئوشیمی و مقادیر توابع برآورد آن‌ها

آنومالی ژئوشیمی	اعتماد	عدم اعتماد	عدم قطعیت	باور
روی	<b>0.051086</b>	<b>0.166692</b>	<b>0.782222</b>	<b>0.833308</b>
سرب	<b>0.078308</b>	<b>0.166685</b>	<b>0.755007</b>	<b>0.833315</b>
مس	<b>0.595129</b>	<b>0.16658</b>	<b>0.238291</b>	<b>0.238291</b>
بیسموت	<b>0.085621</b>	<b>0.166683</b>	<b>0.747696</b>	<b>0.833317</b>
طلا	<b>0.112451</b>	<b>0.166676</b>	<b>0.720873</b>	<b>0.833324</b>
نقره	<b>0.077404</b>	<b>0.166685</b>	<b>0.755911</b>	<b>0.833315</b>

سپس با استفاده از عملگرهای ترکیب کننده، کلاس‌های مختلف آنومالی ژئوشیمی با یکدیگر ترکیب شده و در حدود پایین (شکل ۴-۶) و بالای (شکل ۴-۷) توابع برآورد برای شاهد آنومالی ژئوشیمیایی محاسبه گردید.



شکل ۴-۶: حد پایین تابع اعتماد برای لایه آنومالی ژئوشیمیایی



شکل ۴-۷: حد بالای تابع اعتماد برای لایه آنومالی ژئوشیمیایی

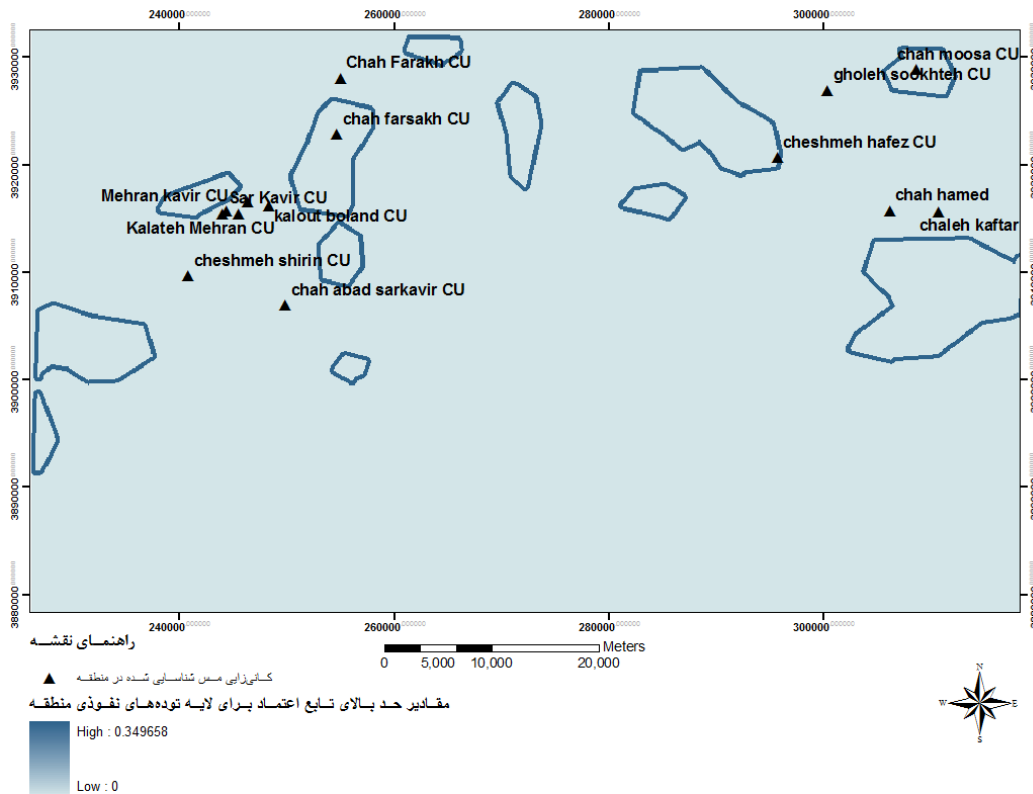
#### ۴-۲-۴- لایه اطلاعاتی توده‌های نفوذی منطقه

در منطقه مورد مطالعه توده‌های نفوذی با خاصیت مغناطیسی موجود در اعماق زمین با استفاده از برداشت‌های مغناطیس‌سنجی هوابرد شناسایی شده است. با توجه به اهمیت توده‌های نفوذی در تشکیل ذخایر معدنی، از این لایه اطلاعاتی به منظور شناسایی ذخایر مورد مطالعه استفاده شده است. به این منظور با اعمال ۲ بافر ۱۰۰ و ۵۰۰ متر در اطراف این توده‌های نفوذی، لایه مذکور به دو کلاس تقسیم‌بندی گردید؛ سپس مقادیر چهار تابع برآورد برای این کلاس‌ها مطابق جدول ۴-۵ محاسبه شد.

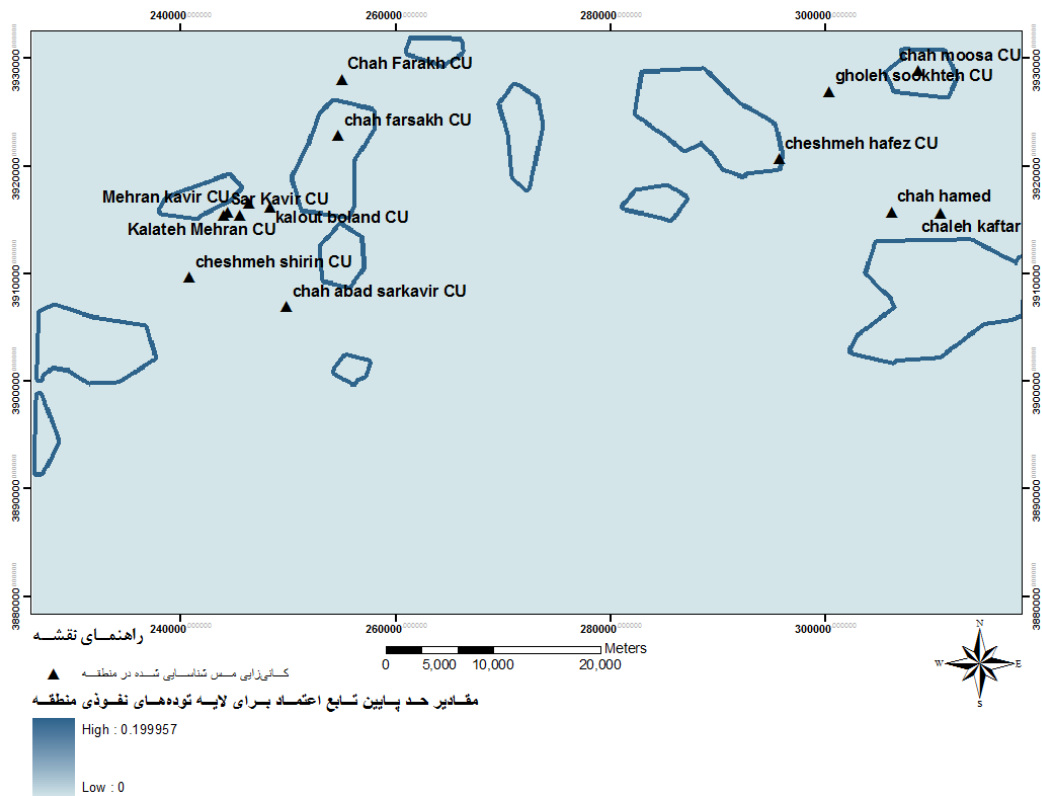
جدول ۴-۵: مقادیر توابع برآورد محاسبه شده برای کلاس‌های مختلف توده‌های نفوذی

فاصله از توده نفوذی	اعتماد	عدم اعتماد	عدم قطعیت	باور
100	0.600771	0.333309	0.065921	0.666691
500	0.358226	0.333323	0.308451	0.666677

به منظور استخراج یک لایه اطلاعاتی با عنوان توده نفوذی با استفاده از عملگرهای AND و OR کلاس‌های مذکور، ترکیب و حدود بالا و پایین مقادیر توابع برآورد برای لایه اطلاعاتی توده‌های نفوذی محاسبه گردید. شکل‌های ۴-۸ و ۴-۹ حدود بالا و پایین توابع مذکور همراه با موقعیت نقاط شاهد مس را برای این لایه اطلاعاتی نشان می‌دهد.



شکل ۴-۸: حد بالای تابع اعتماد برای لایه توده‌های نفوذی



شکل ۴-۹: حد پایین تابع اعتماد برای لایه توده های نفوذی

#### ۴-۲-۵ - لایه اطلاعاتی گسل ها

لایه رقومی گسل های منطقه با استفاده از نقشه های زمین شناسی و همچنین برداشت ژئوفیزیک هوابرد تهیه گردیده است. از آنجا که شکستگی ها و گسل ها و به خصوص محل تلاقی آنها از مناطق با اهمیت برای تشکیل ذخایری معدنی می باشند، لذا با اعمال بافرهای ۱۰۰، ۲۰۰، ۳۰۰ و ۴۰۰ متر در اطراف گسل ها، این لایه اطلاعاتی به ۴ کلاس تقسیم می گردد. مقادیر توابع برآورد برای هر کلاس مطابق با جدول ۴-۶ محاسبه شده است.

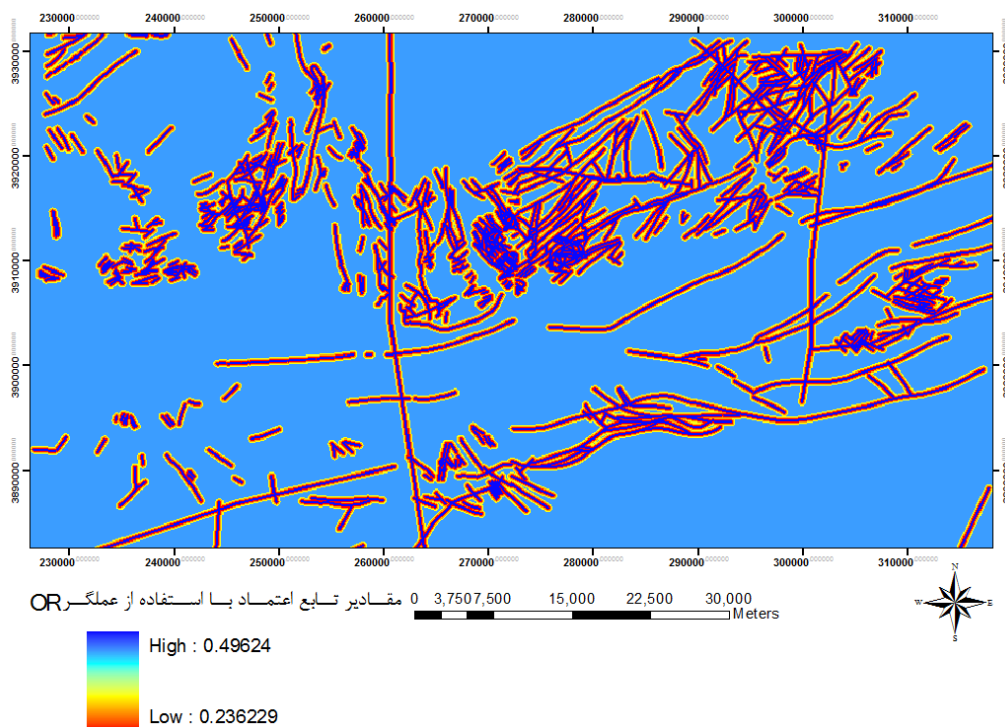
جدول ۴-۶: مقادیر توابع برآورد برای کلاس های مختلف لایه گسل های منطقه

شماره کلاس	فاصله از گسل	اعتماد	عدم اعتماد	عدم قطعیت	باور
0	0	0.082561007	0.250049488	0.667389506	0.749950512
1	100	0.546679767	0.249950534	0.2033697	0.750049466
2	200	0.128853749	0.250010851	۰.۶۲۱۱۳۵۴	0.749989149
3	300	0.184566588	0.250015234	0.565418178	0.749984766
4	400	0.139899885	0.250023323	0.610076792	0.749976677

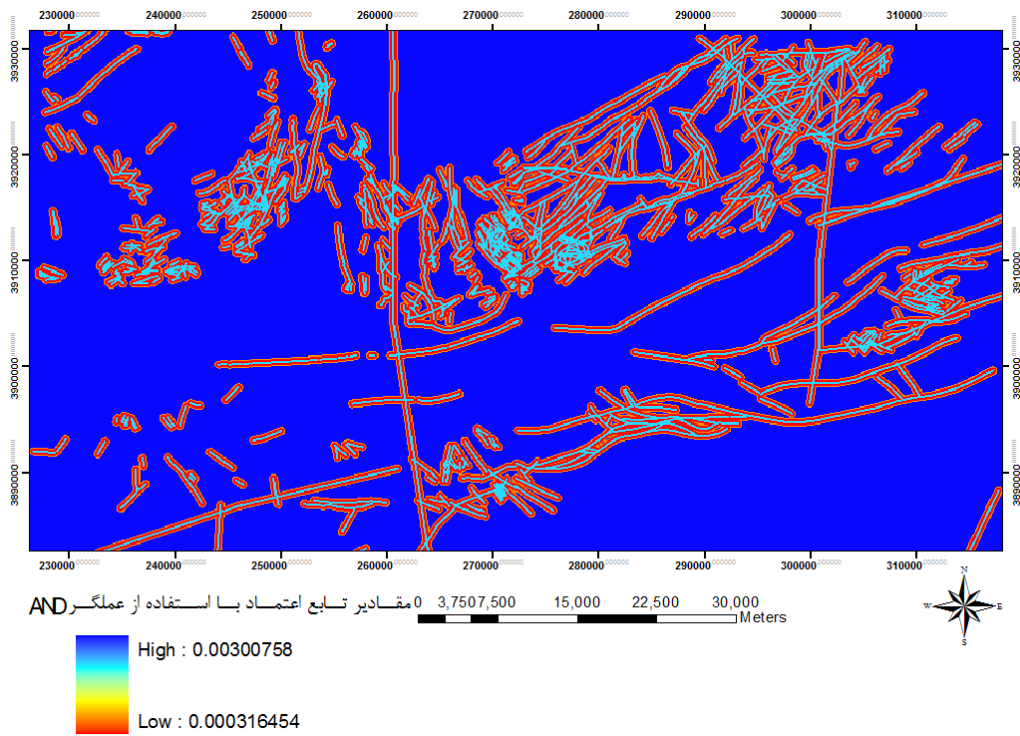
سپس مانند سایر لایه‌های اطلاعاتی حدود بالا و پایین توابع برآورد برای لایه اطلاعاتی گسل- های منطقه محاسبه گردید. شکل (۴-۱۰) و (۴-۱۱) حدود بالا و پایین این تابع اعتماد را برای این لایه اطلاعاتی نشان می‌دهد.

#### ۴-۲-۶- لایه اطلاعاتی دایک‌های منطقه مورد مطالعه

در این تحقیق با استفاده از نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه، نقشه رقومی دایک‌ها تهیه گردید. سپس با اعمال بافرهای ۱۰۰، ۲۰۰، ۳۰۰ و ۴۰۰ متر بر روی این لایه، مقادیر توابع برآورد مطابق با جدول شماره ۴-۷ محاسبه گردید. سپس با استفاده از عملگرهای OR و AND کلاس‌های مذکور با یکدیگر ترکیب شده و حدود بالا و پایین چهار تابع برآورد برای این لایه اطلاعاتی محاسبه گردید. شکل ۴-۱۲ و ۴-۱۳ حدود پایین و بالای تابع اعتماد را برای این لایه اطلاعاتی نشان می‌دهد.

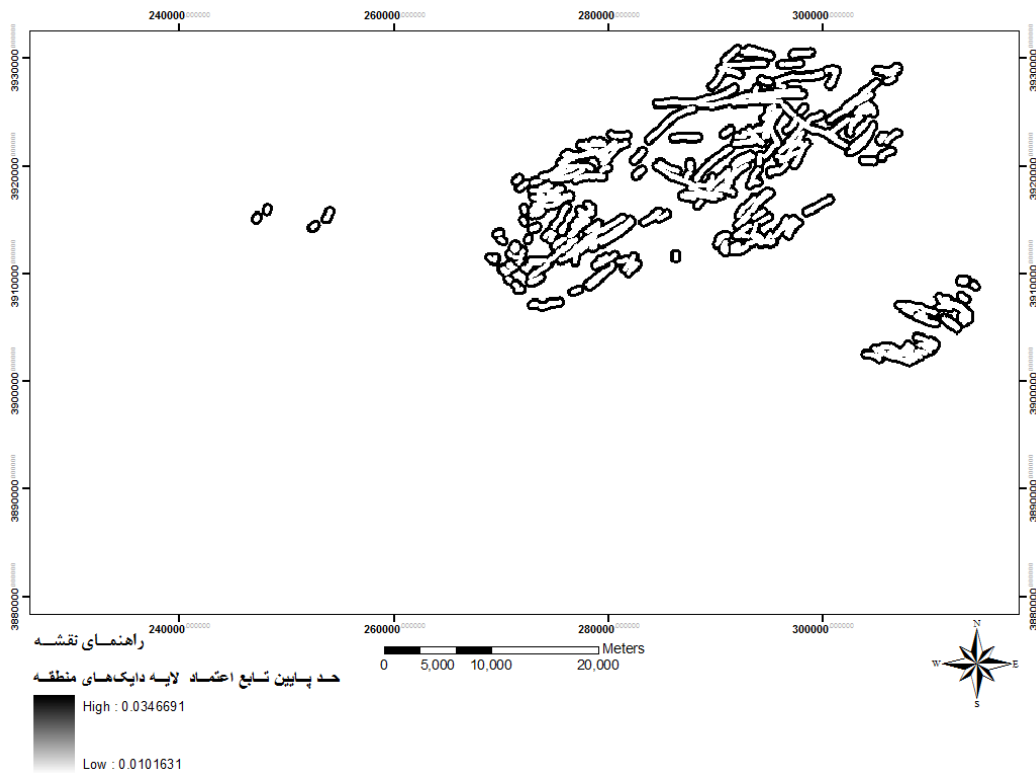


شکل ۴-۱۰: حد بالای تابع اعتماد برای لایه گسل‌های منطقه

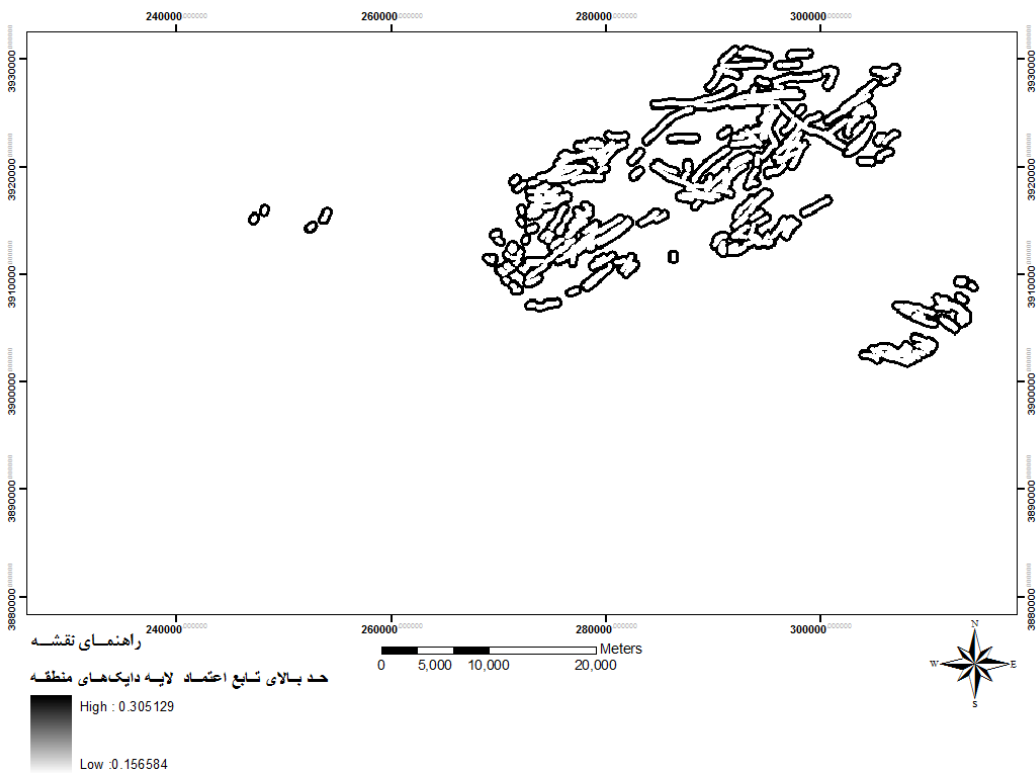


شکل ۴-۱۱: حد پایین تابع اعتماد برای لایه گسل‌های منطقه  
 جدول ۴-۷: مقادیر توابع برآورد برای کلاس‌های مختلف لایه اطلاعاتی دایک‌های منطقه

شماره کلاس	فاصله از دایک	اعتماد	عدم اعتماد	عدم قطعیت	باور
0	100	0.300282	0.166632	0.533087	0.833368
1	200	0.279271	0.166633	0.554096	0.833367
2	300	0.196832	0.166651	0.636517	0.833349
3	400	0.106367	0.166672	0.726961	0.833328
4	500	0.115704	0.16667	0.717626	0.83333



شکل ۴-۱۲: حد پایین تابع اعتماد لایه اطلاعاتی دایک‌های منطقه



شکل ۴-۱۳: حد بالای تابع اعتماد لایه اطلاعاتی دایک‌های منطقه



## ۴-۳- تلفیق لایه‌های اطلاعاتی و تعیین حدود بالا و پایین توابع برآورد

### برای مناطق با پتانسیل مطلوب کانی‌زایی مس گرمابی

پس از محاسبه حدود بالا و پایین توابع برآورد برای هریک از لایه‌های اطلاعاتی فوق، لایه‌ها به صورت دو به دو با استفاده از عملگر AND (به منظور تعیین حد پایین توابع برآورد) و عملگر OR (به منظور تعیین حد بالای توابع برآورد) تلفیق شده‌اند. ابتدا دو لایه اطلاعاتی آنومالی ژئوشیمی و دگرسانی با یکدیگر ترکیب شدند، سپس لایه اطلاعاتی دایک‌ها و گسل‌ها و پس از آن لایه اطلاعاتی توده‌های نفوذی و واحدهای سنگی منطقه با یکدیگر ترکیب شدند. در گام بعد نتایج تلفیق دو لایه دگرسانی و آنومالی ژئوشیمی با نتایج تلفیق دو لایه گسل و دایک ترکیب شد و در واقع چهار لایه از مجموع شش لایه اطلاعاتی موجود با یکدیگر ترکیب شدند. در گام آخر نتیجه ترکیب چهار لایه مذکور با نتیجه تلفیق لایه‌های توده‌های نفوذی و واحدهای سنگی منطقه تلفیق گردید.

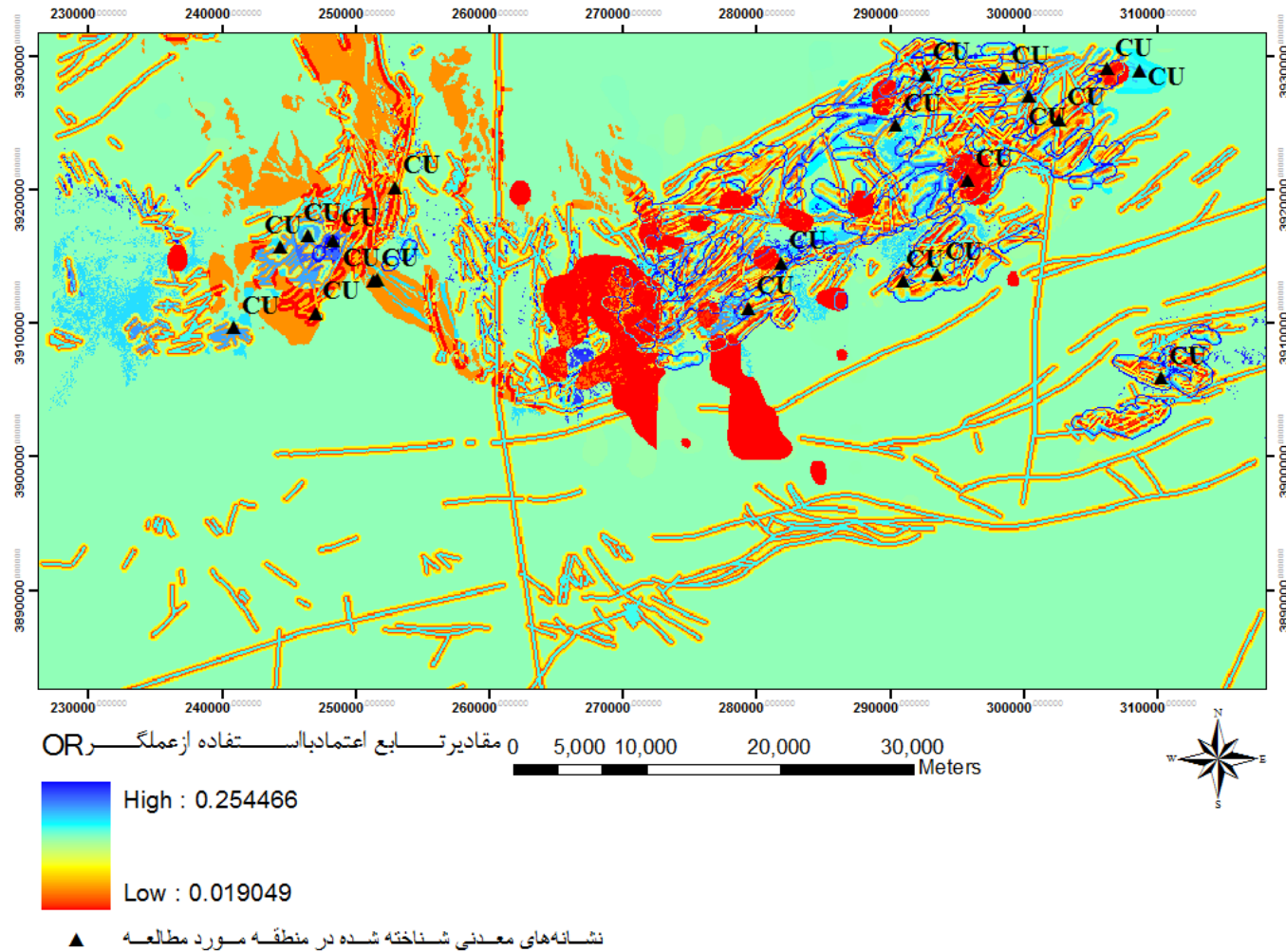
شکل‌های ۴-۱۴، ۴-۱۵، ۴-۱۶، نقشه‌های حدود بالای توابع اعتماد، عدم اعتماد، عدم قطعیت را برای مناطق با پتانسیل مطلوب کانی‌زایی مس گرمابی نشان می‌دهد. شکل ۴-۱۴ مناطق به رنگ آبی دارای بالاترین حد اعتماد برای یافتن ذخایر مس گرمابی می‌باشند. این حالت که حاصل تلفیق با عملگر OR می‌باشد، خوش بینانه‌ترین حالت ممکن جهت پیدایش ذخایر تحت جستجو را ارائه می‌دهد.

در این شکل پس از تلفیق کلیه لایه‌های اطلاعاتی با عملگر OR، میزان تابع باور در بازه ۰/۰۱۹۰۴۹ تا ۰/۲۵۴۴۶۶ محاسبه گردید. بر این اساس با توجه به خاصیت افزایش دهنده عملگر OR، مناطق با رنگ سبز روشن تا زرد دارای بالاترین میزان اعتماد برای حضور کانی‌زایی مس گرمابی است. اما با توجه به اینکه در روش تعیین توابع برآورد (دمپستر- شيفر) دو مقدار دیگر عدم قطعیت و عدم اعتماد نیز تعریف شده است پس در این مرحله نمی‌توان در خصوص پتانسیل مطلوب بودن این

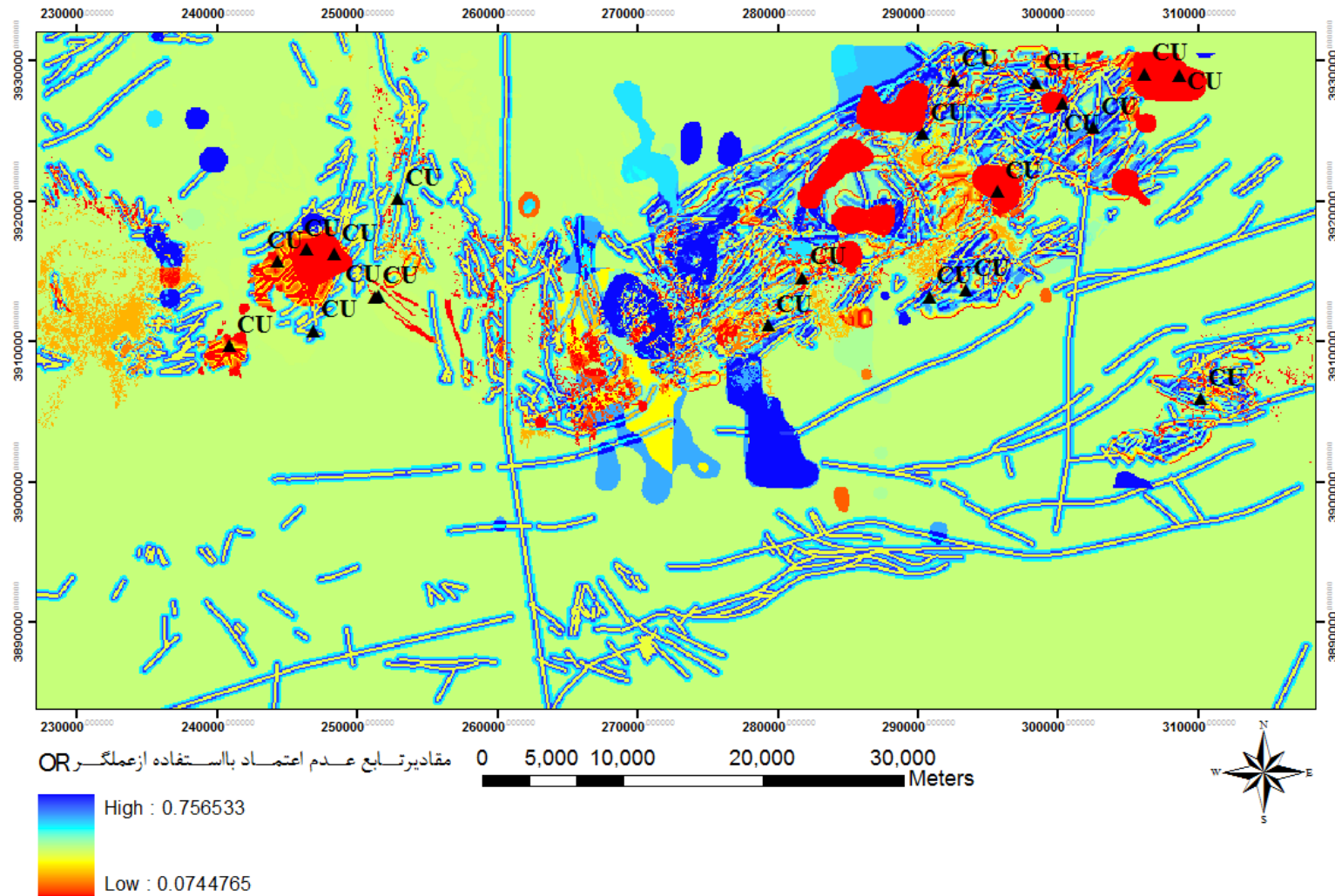
مناطق اظهار نظر کرد. بلکه بایستی مقادیر دو تابع عدم اعتماد و عدم قطعیت را نیز در تصمیم‌گیری در این خصوص در نظر گرفت.

شکل ۴-۱۵ نشان دهنده حد بالای مقادیر تابع عدم اعتماد است. این تابع از تلفیق لایه‌های اطلاعاتی با استفاده از عملگر OR که خاصیت افزایشنده دارد بدست آمده است. مقادیر تابع عدم اعتماد در حالت ترکیب با عملگر افزایشنده در بازه  $0/0744765$  تا  $0/756533$  قرار گرفته است. بدین معنی که در نقاطی که مقادیر تابع عدم اعتماد بالا است، به احتمال زیاد کانی‌زایی مورد نظر در آن نقطه مشاهده نخواهد شد. اما به منظور اظهار نظر قطعی در خصوص هر نقطه بایستی مقادیر تابع اعتماد و عدم قطعیت را نیز در نظر گرفت. زیرا ممکن است در نقطه مورد بررسی میزان عدم اعتماد بیشینه باشد اما در همان نقطه مجموع توابع اعتماد و عدم قطعیت بیشتر از تابع عدم اعتماد باشد.

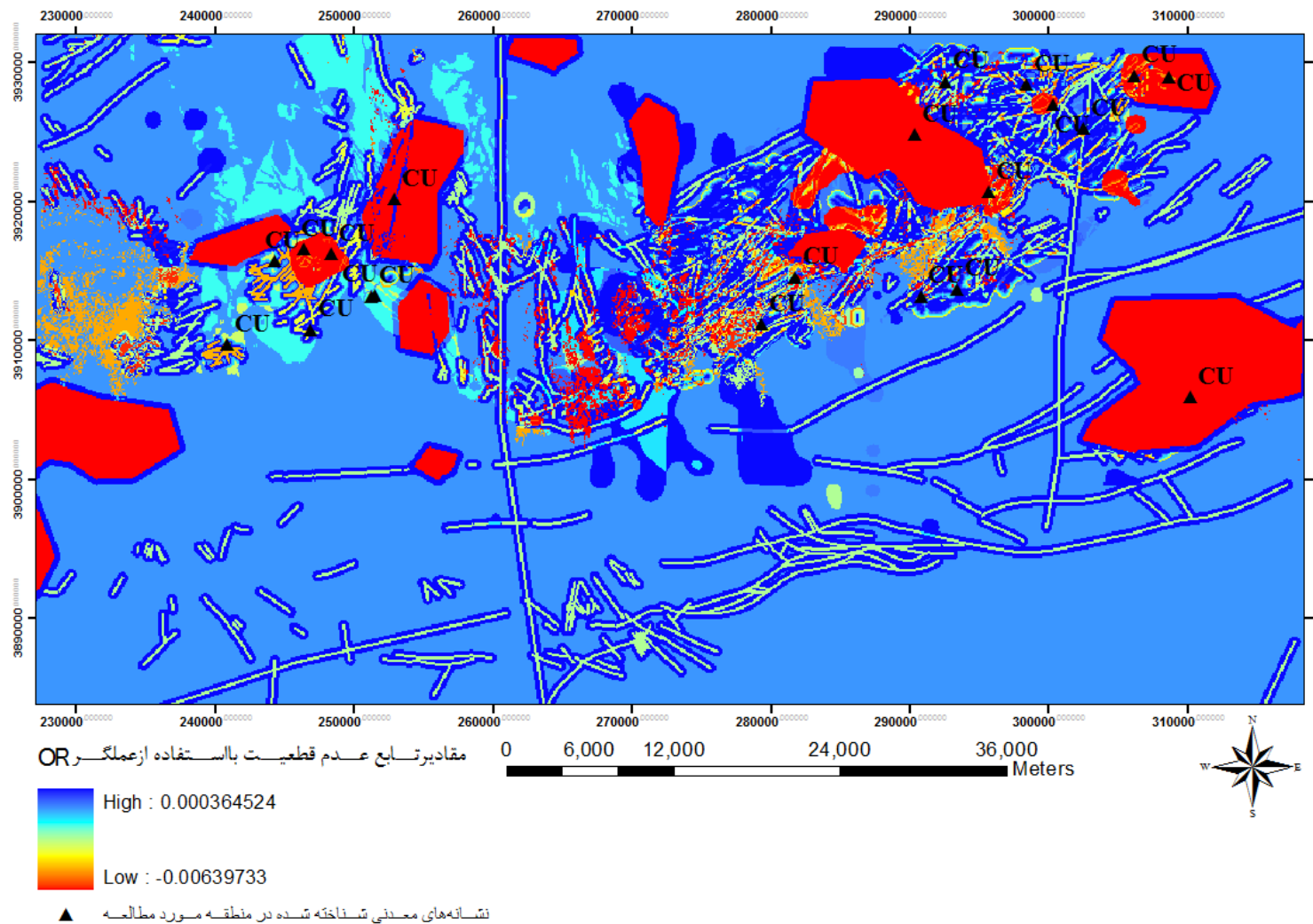
شکل ۴-۱۶ حد بالای مقادیر تابع عدم قطعیت را نشان می‌دهد. این تابع نیز حاصل تلفیق لایه‌های اطلاعاتی با استفاده از عملگر OR است. مقادیر تابع عدم قطعیت در این حالت در بازه  $0/0000001$  تا  $0/0003645$  قرار گرفته است. نقاطی با میزان عدم قطعیت پایین بیانگر وجود اطلاعات کافی و مناسب در آن نقطه است و بالعکس مناطق با میزان عدم قطعیت بیشینه بیانگر نبود اطلاعات کافی در آن نقطه می‌باشد



شکل ۴-۱۴: حد بالای تابع اعتماد برای مناطق با پتانسیل بالای کانی‌زایی مس گرمابی



شکل ۴-۱۵: حد بالای تابع عدم اعتماد برای مناطق با پتانسیل بالای کانی‌زایی مس گرمابی

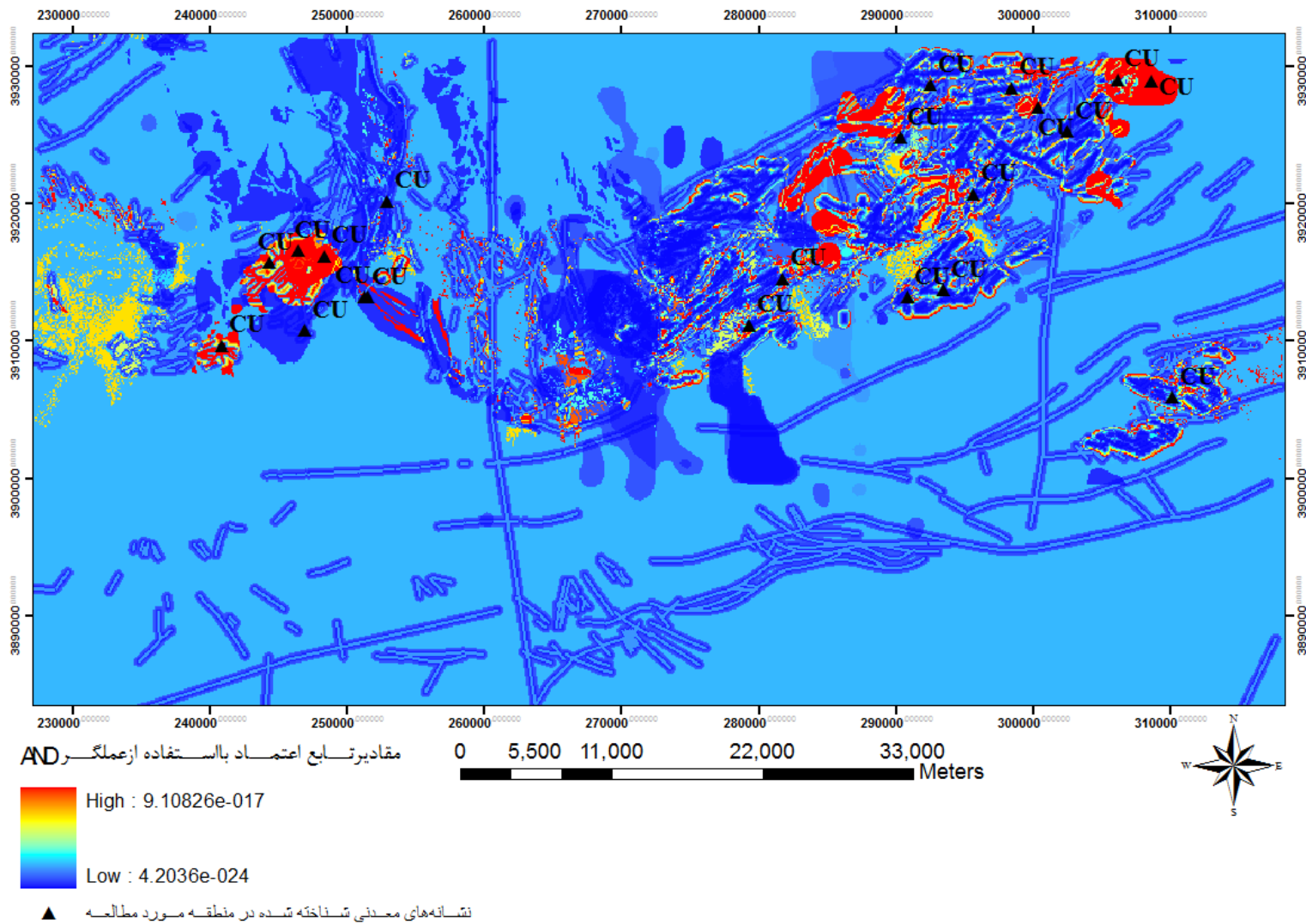


شکل ۴-۱۶: حد بالای تابع عدم قطعیت برای مناطق با پتانسیل بالای کانی‌زایی مس گرمایی

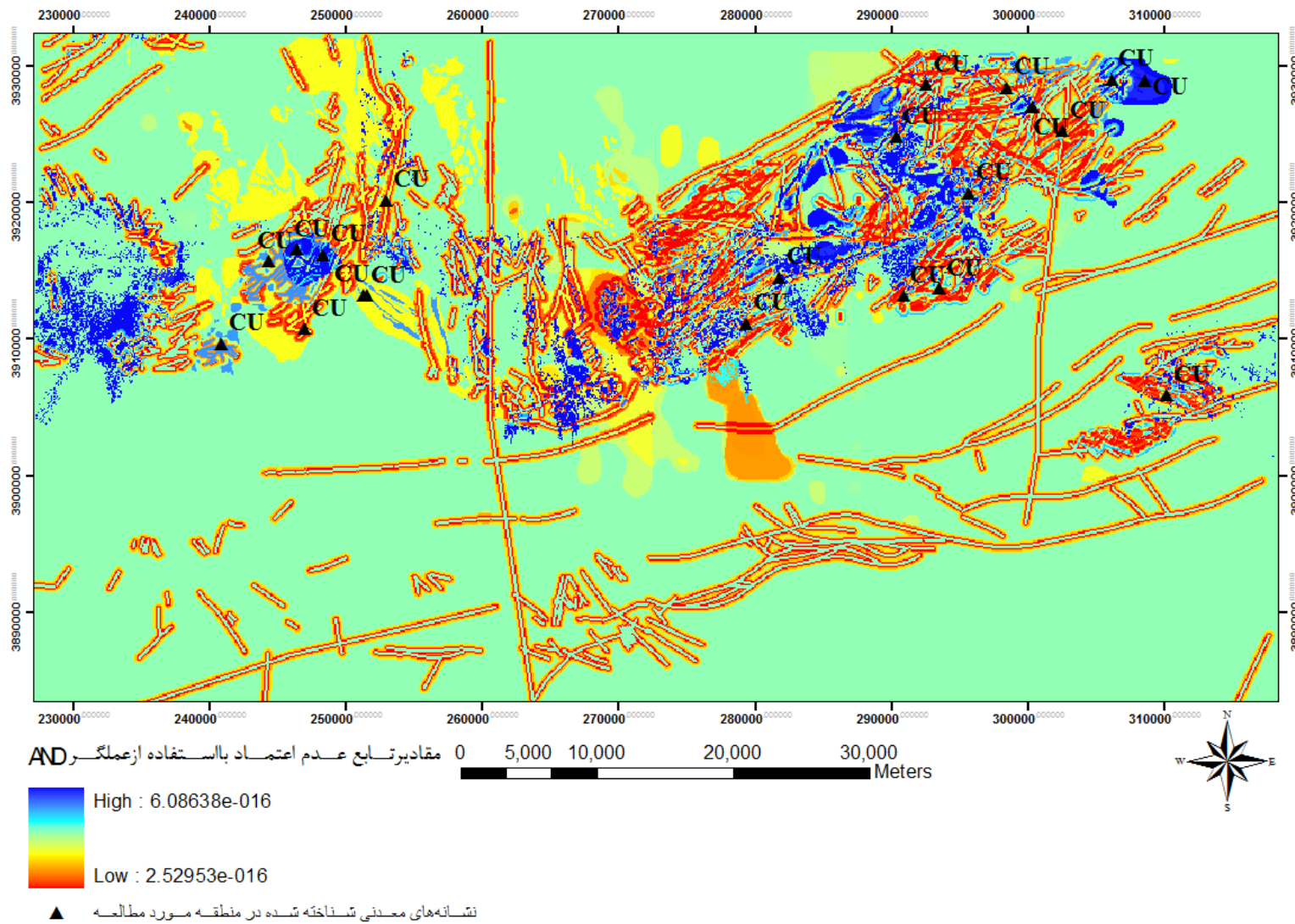
شکل‌های ۱۷-۴، ۱۸-۴ و ۱۹-۴ نیز حدود پایین توابع اعتماد، عدم اعتماد و عدم قطعیت مناطق با پتانسیل کانی‌زایی مس گرمابی را نشان می‌دهد. شکل ۱۷-۴ نشان دهنده حد پایین تابع اعتماد است. این تابع از تلفیق کلیه لایه‌های اطلاعاتی با استفاده از عملگر AND بدست آمده است. در واقع این حالت بدبینانه‌ترین شرایط را برای حضور کانی‌زایی در نظر می‌گیرد. در این شکل مناطق قرمز رنگ نشان‌دهنده میزان بالای اعتماد است. همانطور که پیش از این گفته شد، بالا بودن میزان اعتماد برای حضور کانی‌زایی مس کافی نمی‌باشد و بایستی دو عامل عدم اعتماد و عدم قطعیت نیز بررسی گردند.

شکل ۱۸-۴ حد پایین تابع عدم اعتماد برای مناطق با پتانسیل کانی‌زایی مس را نشان می‌دهد. این تابع نیز حاصل تلفیق لایه‌های اطلاعاتی با استفاده از عملگر AND است. این عملگر خاصیت کاهنده داشته و بدبینانه‌ترین حالت ممکن برای حضور پتانسیل مثبت کانی‌زایی را محاسبه می‌کند.

شکل ۱۹-۴ حد پایین تابع عدم قطعیت را برای مناطق با پتانسیل کانی‌زایی مورد جستجو نشان می‌دهد. عدم قطعیت پایین بیانگر وجود اطلاعات بیشتر در مورد آن منطقه است. در واقع مناطقی که عدم قطعیت بالا دارند میزان شواهد تایید کننده کانی‌زایی در آن نقطه یا کم است و یا شواهد موجود یکدیگر را تایید نمی‌کنند.

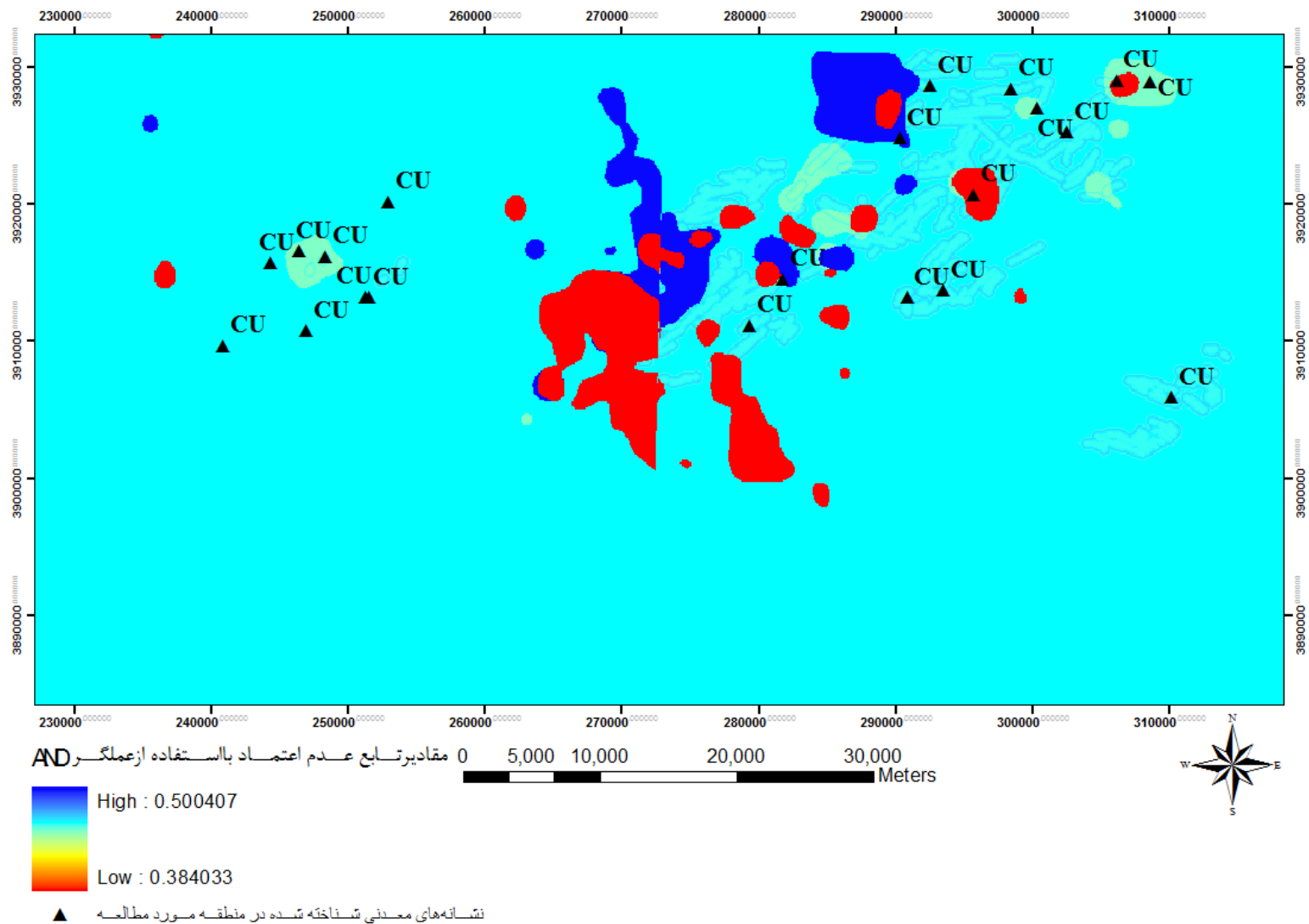


شکل ۴-۱۷: حد پایین تابع اعتماد برای مناطق با کانی‌زایی پتانسیل مس گرمابی



شکل ۴-۱۸: حد پایین تابع عدم اعتماد برای مناطق با پتانسیل کانی‌زایی مس گرمابی





شکل ۴-۱۹: حد پایین تابع عدم قطعیت برای مناطق با پتانسیل کانی‌زایی مس گرمابی

#### ۴-۴- تخمین داده محور توابع برآورد در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی به

##### منظور شناسایی مناطق با پتانسیل کانی‌زایی مس بازالتی (میشیگان)

به منظور یافتن پتانسیل کانی‌زایی مس بازالتی، و به دلیل عدم اطلاعات موجود از این نوع ذخایر در منطقه مورد مطالعه، از روش دانش محور تعیین توابع استفاده شده است. لایه‌های اطلاعاتی استفاده شده در جدول ۴-۸ ارائه شده است.

جدول ۴-۸: لایه‌های اطلاعاتی مورد استفاده در شناسایی مناطق با پتانسیل کانی‌زایی مس بازالتی و مقادیر توابع برآورد آن‌ها

ردیف	لایه اطلاعاتی	مقدار اعتماد	مقدار عدم اعتماد	مقدار عدم قطعیت
۱	سنگ درونگیر	سنگ‌های ولکانیک	۰/۸	۰/۱
		مافیک	۰/۸	۰/۱
		بازالت	۰/۸	۰/۱
		سنگ‌های آهکی	۰/۲	۰/۷
		برش	۰/۶	۰/۳
		توف	۰/۴	۰/۵
۲	دگرسانی کربناتی	ماسه‌سنگ توفی	۰/۴	۰/۵
			۰/۱۲۵	۰/۶۷۵
۳	مشخصه ژئوشیمی	دگرسانی کربناتی	۰/۸	۰/۱
		آنومالی مس	۰/۴	۰/۴
		آنومالی نقره	۰/۴	۰/۴
۴	مشخصه ژئوفیزیکی (توده نفوذی)	آنومالی روی	۰/۴	۰/۴
			۰/۰۴	۰/۴۵
۵	گسل	۰/۶	۰/۲	۰/۲
۶	دایک	۰/۷	۰/۲	۰/۱

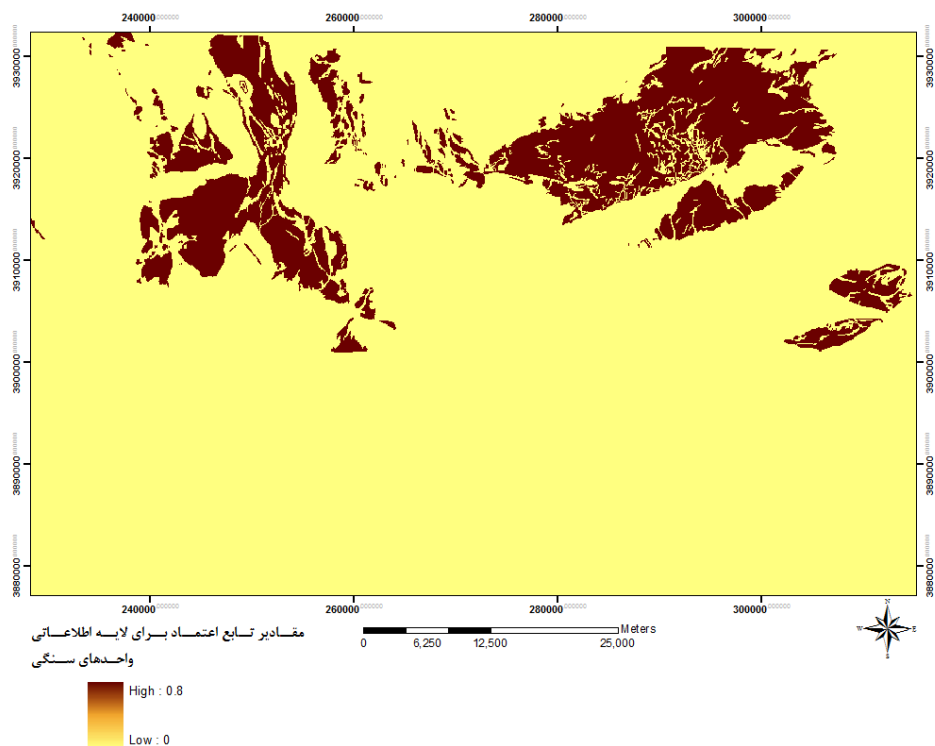
#### ۴-۴-۱- لایه اطلاعاتی سنگ‌های درونگیر

با توجه به مطالعات انجام شده، واحدهای سنگی مناسب برای تشکیل ذخایر مس بازالتی در جدول ۴-۸ خلاصه شده‌است. این مقادیر در جدول خصوصیات مربوط به نقشه‌های شاهد فضایی  $X_i$  مطابق با جدول ۴-۹ ذخیره می‌شوند.

جدول ۴-۹: مقادیر توابع باور تعیین شده برای لایه اطلاعاتی سنگ‌های درونگیر

واحدسنگی	جنس	اعتماد	عدم اعتماد	عدم قطعیت
<b>Ec,s,m,t</b>	ماسه سنگ توفی	0.4	0.5	0.1
<b>EOM,c,v</b>	سنگ‌های آهکی	0.2	0.7	0.1
<b>Ev,t</b>	برش	0.6	0.3	0.1
<b>Et,v</b>	سنگ‌های آتشفشانی مافیک	0.8	0.1	0.1

سپس با استفاده از عملگرهای OR و AND، واحدهای سنگی به صورت دو به دو با یکدیگر تلفیق و در نهایت حدود بالا و پایین توابع برآورد برای لایه اطلاعاتی سنگ درونگیر محاسبه می‌شود. شکل (۴-۲۰) مقادیر تابع اعتماد را برای این لایه اطلاعاتی نشان می‌دهد.



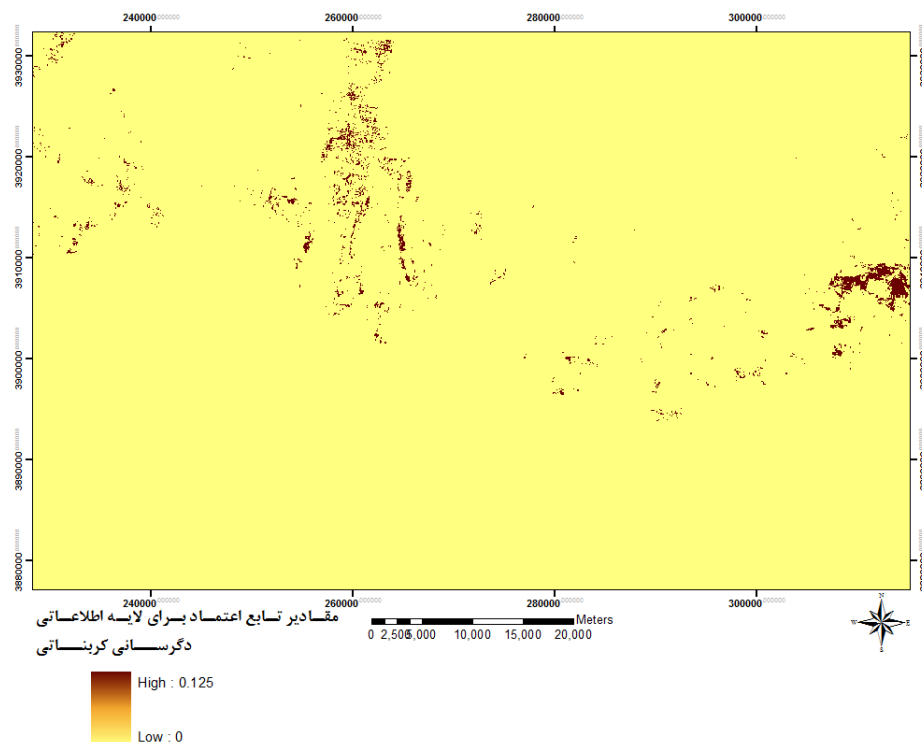
شکل ۴-۲۰: مقادیر تابع اعتماد برای لایه اطلاعاتی سنگ‌های درونگیر کانی‌زایی مس میشیگان

#### ۲-۴-۴- لایه اطلاعاتی دگرسانی

با توجه به مدل مفهومی ارائه شده در فصل ۲، وجود دگرسانی کربناتی یکی از شواهد تشکیل این نوع ذخایر می‌باشد. لذا لایه اطلاعاتی این دگرسانی با استفاده از پردازش تصاویر سنجنده استر تهیه گردید. جدول (۴-۱۰) مقادیر توابع برآورد برای این لایه اطلاعاتی را نشان می‌دهد. همچنین شکل (۴-۲۱) محدوده‌های دگرسانی کربناتی و مقادیر تابع اعتماد آن را نشان می‌دهد.

جدول ۴-۱۰: مقادیر توابع باور تعیین شده برای لایه اطلاعاتی دگرسانی کربناتی

باور	عدم قطعیت	عدم اعتماد	اعتماد	آلتراسیون
۰/۳۲۵	۰/۲	۰/۶۷۵	۰/۱۲۵	کربناتی



شکل ۴-۲۱: مقادیر تابع اعتماد برای لایه اطلاعاتی دگرسانی کربناتی

#### ۴-۴-۳- لایه اطلاعاتی آنومالی‌های ژئوشیمیایی

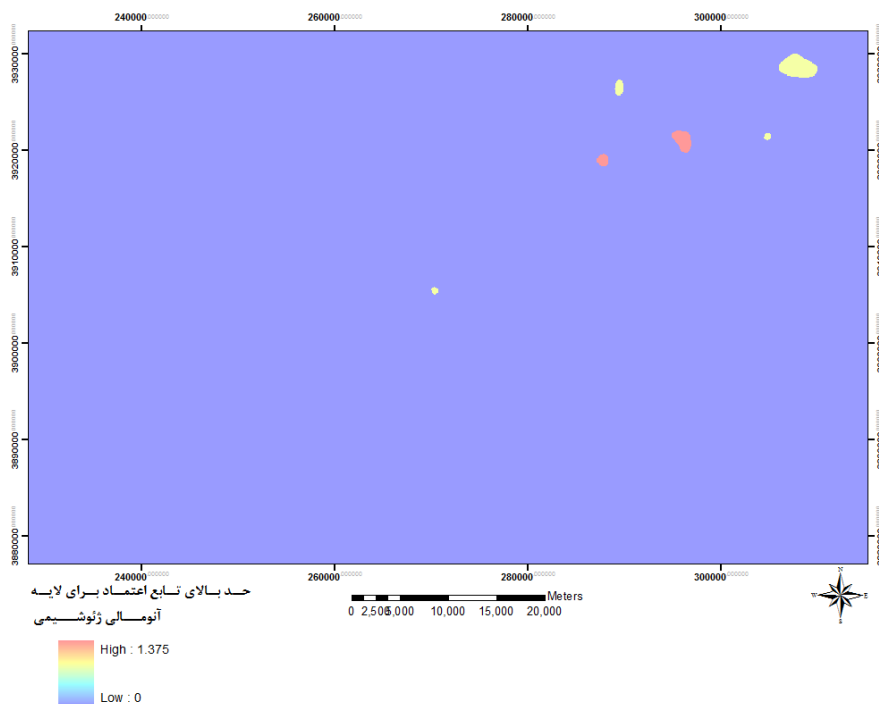
مطابق با مدل مفهومی ارائه شده در فصل ۲ برای ذخایر مس بازالتی، از دیگر شواهد حضور این نوع ذخایر، وجود آنومالی ژئوشیمیایی عناصر مس، نقره و روی می‌باشد. در این بخش با توجه به استفاده از روش دانش محور تعیین توابع برآورد، مقادیر این توابع در جدول ۴-۱۱ ارائه شده است.

جدول ۴-۱۱: مقادیر توابع برآورد تعیین شده برای لایه اطلاعاتی آنومالی ژئوشیمی

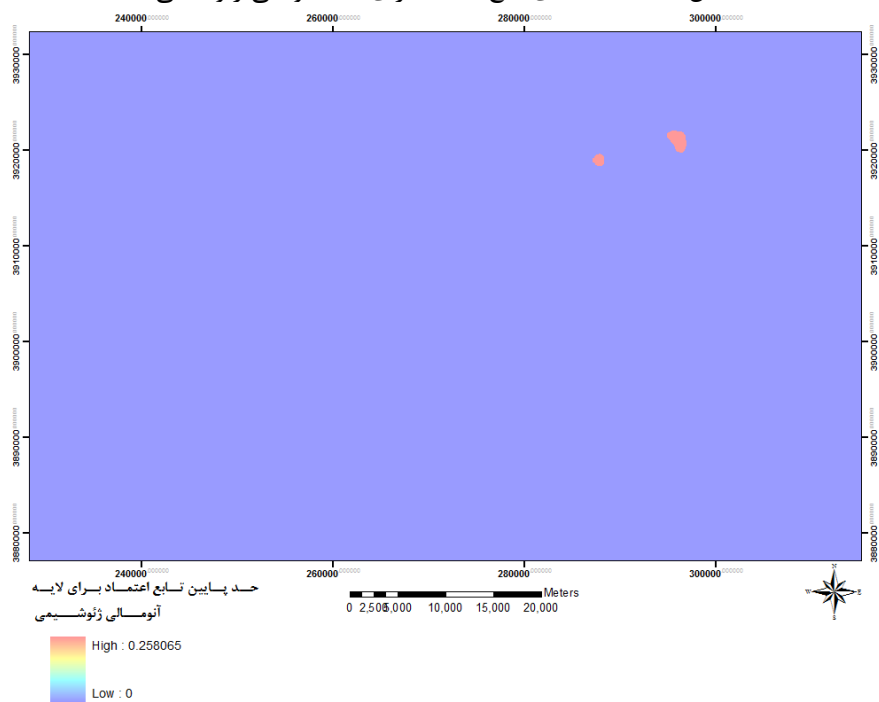
آنومالی ژئوشیمی	اعتماد	عدم اعتماد	عدم قطعیت	باور
روی	۰/۴	۰/۴	۰/۲	۰/۶
مس	۰/۸	۰/۱	۰/۱	۰/۹
نقره	۰/۴	۰/۴	۰/۲	۰/۶

پس از ترکیب ۳ کلاس از لایه آنومالی ژئوشیمی، حدود بالا و پایین توابع اعتماد با استفاده از

عملگرهای OR و AND تعیین گردید (شکل ۲۲-۴ و ۲۳-۴).



شکل ۲۲-۴: حد بالای تابع اعتماد برای لایه آنومالی ژئوشیمی



شکل ۲۳-۴: حد پایین تابع اعتماد برای لایه آنومالی ژئوشیمی

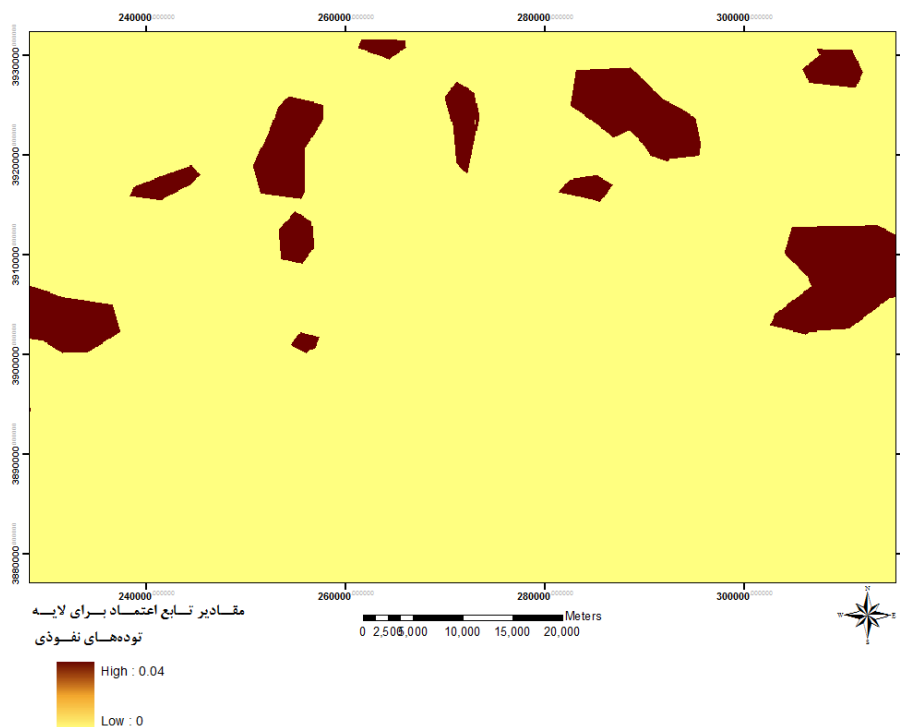
#### ۴-۴-۴ - لایه اطلاعاتی توده‌های نفوذی منطقه

در منطقه مورد مطالعه، توده‌های نفوذی با خاصیت مغناطیسی موجود در اعماق زمین با آنومالی-های مغناطیس‌سنجی هوابرد شناسایی شده‌است. با توجه به اهمیت توده‌های نفوذی در تشکیل ذخایر معدنی، از این لایه اطلاعاتی به منظور شناسایی ذخایر مورد جستجو استفاده گردید. مقادیر توابع برآورد برای این لایه اطلاعاتی در جدول ۴-۱۲ آورده شده‌است.

جدول ۴-۱۲: مقادیر توابع برآورد برای لایه توده‌های نفوذی منطقه

لایه اطلاعاتی	اعتماد	عدم اعتماد	عدم قطعیت
توده نفوذی	۰/۰۴	۰/۴۵	۰/۵۴۶

شکل ۴-۲۴ نقشه مقادیر تابع باور برای این لایه اطلاعاتی، در شناسایی مناطق با پتانسیل کانی-زایی مس بازالتی را نشان می‌دهد.



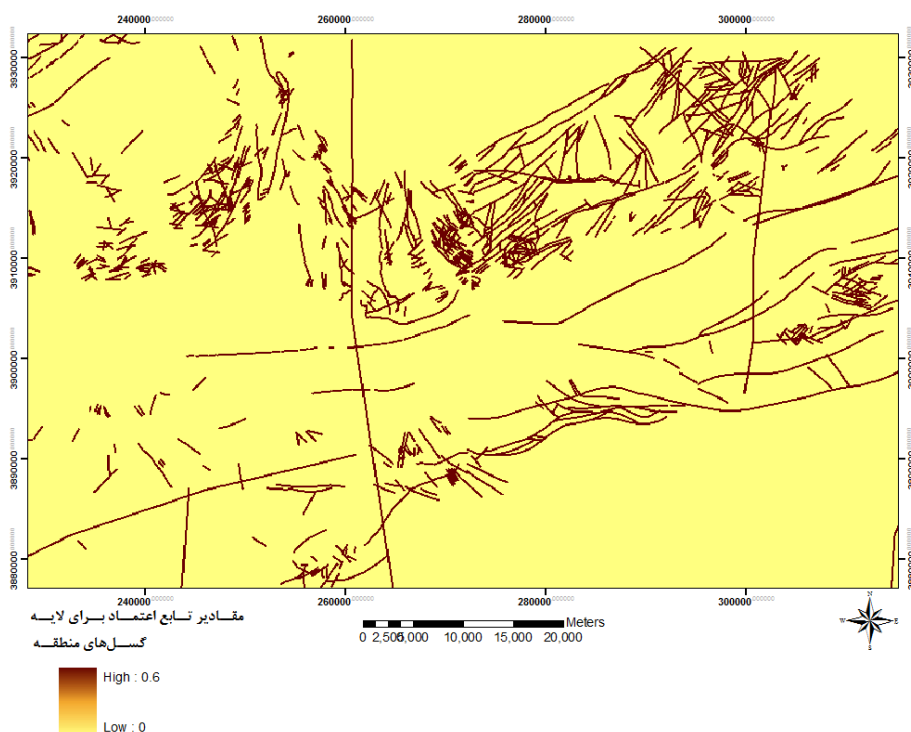
شکل ۴-۲۴: مقادیر تابع باور برای لایه توده‌های نفوذی منطقه

#### ۴-۵- لایه گسل‌های منطقه

شکستگی‌ها و گسل‌ها و به خصوص محل تلاقی آن‌ها، از مناطق با اهمیت برای تشکیل ذخایر معدنی می‌باشند. بنابراین، لایه رقومی گسل‌های منطقه با استفاده از نقشه‌های زمین‌شناسی و همچنین برداشت ژئوفیزیک هوابرد تهیه گردید. مقادیر توابع برآورد برای این لایه اطلاعاتی بر اساس روش دانش محور در جدول ۴-۱۳ ارائه شده‌است. همچنین شکل ۴-۲۵ نقشه مقادیر تابع باور برای این لایه اطلاعاتی را نشان می‌دهد.

جدول ۴-۱۳: مقادیر توابع برآورد برای لایه گسل‌های منطقه

لایه اطلاعاتی	اعتماد	عدم اعتماد	عدم قطعیت	باور
گسل	۰/۶	۰/۲	۰/۲	۰/۸



شکل ۴-۲۵: مقادیر تابع باور برای لایه گسل‌های منطقه

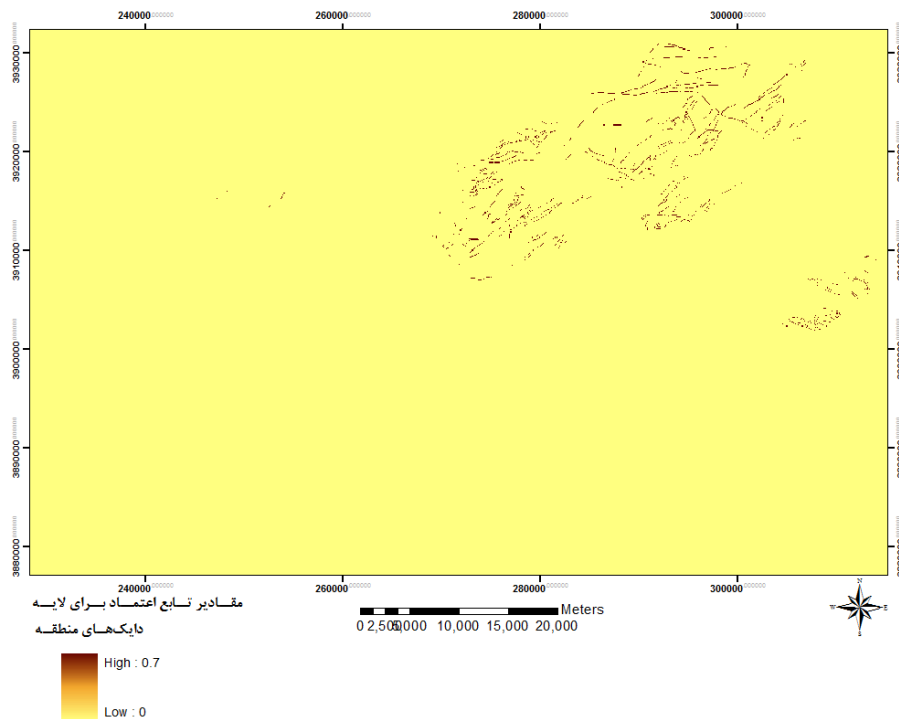


#### ۴-۴-۶- لایه اطلاعاتی دایک‌های منطقه مورد مطالعه

در این تحقیق با استفاده از نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه، نقشه رقومی دایک‌ها تهیه گردید. سپس با توجه به استفاده از روش دانش محور، مقادیر توابع برآورد برای پتانسیل یابی مس بازالتی (میشیگان) برای این لایه به شرح جدول ۴-۱۴ تعیین گردید. شکل ۴-۲۶ مقدار تابع باور را برای این لایه اطلاعاتی نشان می‌دهد.

جدول ۴-۱۴: مقادیر توابع برآورد برای لایه اطلاعاتی دایک‌های منطقه

لایه اطلاعاتی	اعتماد	عدم اعتماد	عدم قطعیت
دایک	۰/۷	۰/۲	۰/۱



شکل ۴-۲۶: مقادیر تابع باور برای لایه دایک‌های منطقه مورد مطالعه

## ۴-۵ - تلفیق لایه‌های اطلاعاتی و تعیین حدود بالا و پایین توابع برآورد برای

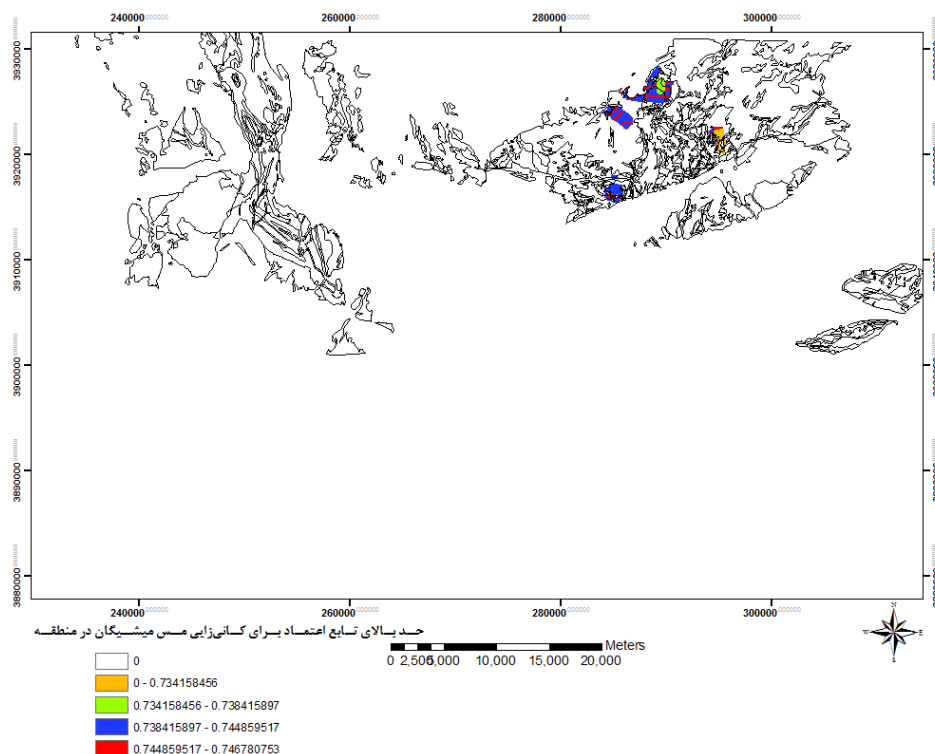
### مناطق با پتانسیل مطلوب کانی‌زایی مس بازالتی (میشیگان)

در این روش با استفاده از دانش کارشناس خبره، مقادیر اولیه توابع برآورد تعیین شد. سپس در مورد لایه‌های اطلاعاتی چند کلاسی، همچون لایه سنگ‌های درونگیر و آنومالی‌های ژئوشیمی، با استفاده از عملگرهای OR و AND و ترکیب دو به دو لایه‌های اطلاعاتی حدود بالا و پایین توابع برآورد محاسبه گردید. ابتدا ۶ کلاس لایه سنگ‌های درونگیر، به صورت دوه‌دو با یکدیگر ترکیب شدند و در نهایت یک لایه اطلاعاتی برای سنگ‌های درونگیر این نوع کانی‌زایی استخراج گردید. همچنین لایه اطلاعاتی آنومالی‌های ژئوشیمیایی که شامل ۳ کلاس نقره، مس و روی می‌باشد نیز دو به دو با یکدیگر ترکیب شدند.

با استفاده از عملگرهای OR و AND، لایه‌های واحدهای سنگی با لایه آنومالی‌های ژئوشیمی، گسل‌ها با دایک‌ها و دگرسانی‌ها با توده‌های نفوذی ترکیب شدند؛ سپس به منظور یافتن ذخایر مس بازالتی، نتایج ترکیب این لایه‌ها با یکدیگر ترکیب شده و مقادیر توابع برآورد برای منطقه مورد مطالعه محاسبه گردید. شکل ۴-۲۷، ۴-۲۸ و ۴-۲۹ نقشه حدود بالا توابع اعتماد، عدم اعتماد و عدم قطعیت را برای یافتن این نوع ذخیره در منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهند. حدود بالای توابع برآورد از تلفیق لایه‌های اطلاعاتی با استفاده از عملگر OR بدست می‌آید.

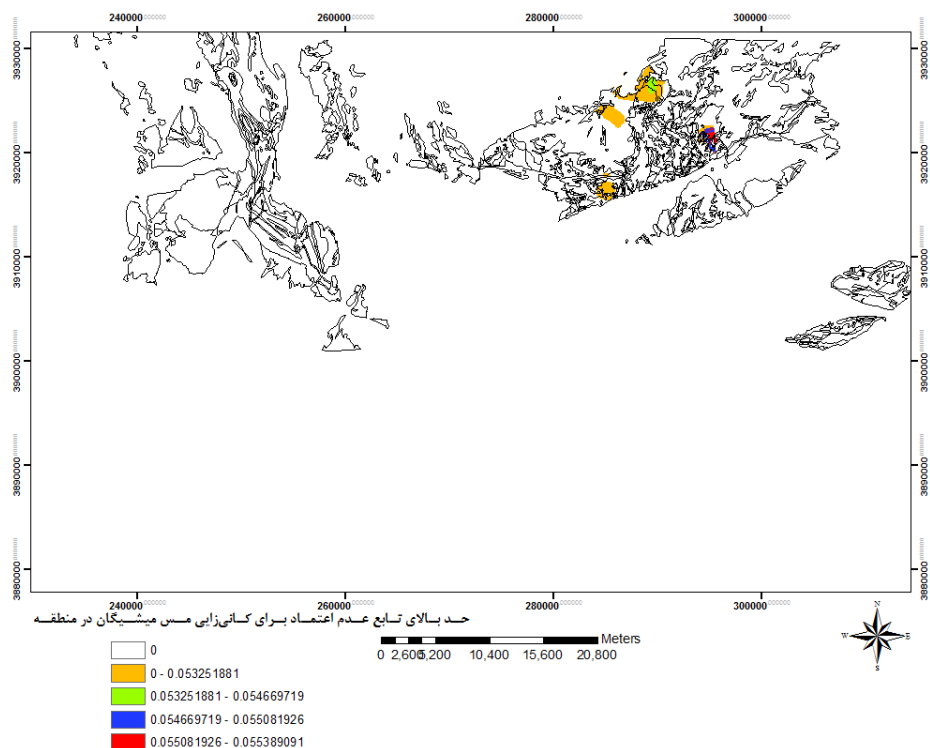
در شکل ۴-۲۷ مناطق به رنگ قرمز، بنفش و آبی تیره مناطقی هستند که تابع اعتماد در آنجا دارای بیشینه مقدار خود می‌باشد. همچنین سایر مناطق به رنگ کرمی مناطق با میزان اعتماد صفر هستند. یعنی با توجه به لایه‌های اطلاعاتی موجود و توابع باور اولیه تعریف شده برای آن‌ها، احتمال وجود کانی‌زایی مورد نظر در این مناطق صفر است. نکته قابل توجه این است که در این سطح لایه‌های

اطلاعاتی این میزان صفر شده است و ممکن است در صورت بهبود و یا افزایش لایه‌های اطلاعاتی نتایج تغییر کند.



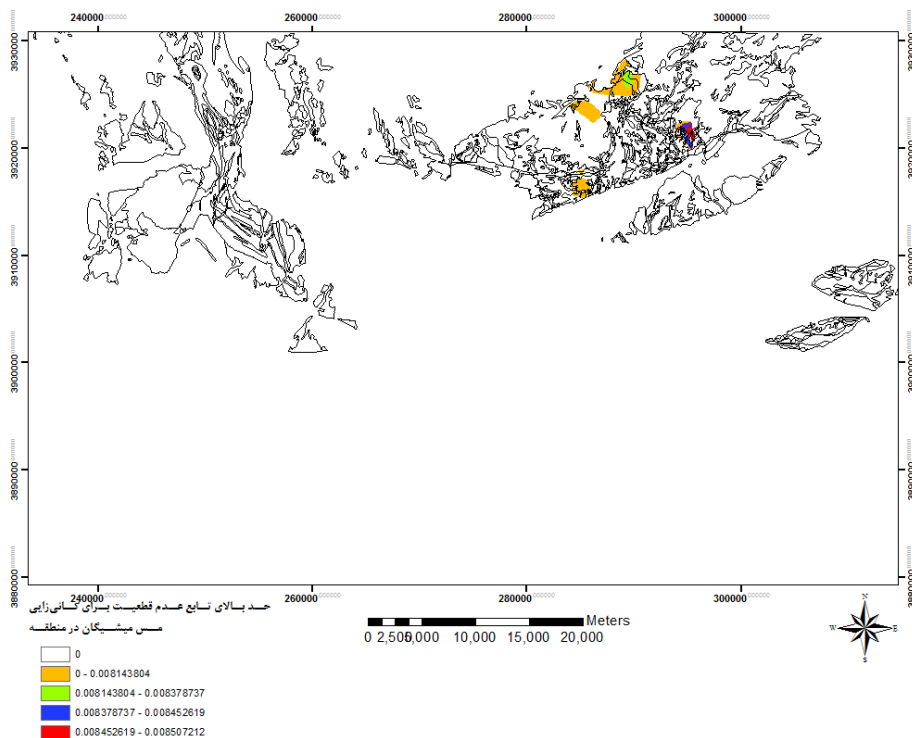
شکل ۴-۲۷: حد بالای تابع اعتماد برای کانی‌زایی مس میشیگان در منطقه مورد مطالعه

شکل ۴-۲۸ حد بالای تابع عدم اعتماد را برای کانی‌زایی مس میشیگان در منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. مناطق به رنگ زرد و قرمز مقادیر عدم اعتقاد کمتری را نشان می‌دهد. کم‌تر بودن عدم اعتماد، خود به تنهایی نمی‌تواند بیانگر وجود کانی‌زایی در آن نقطه باشد. بلکه بایستی مقادیر دو تابع اعتماد و عدم قطعیت نیز در آن نقطه در نظر گرفته شود.



شکل ۴-۲۸: حد بالای تابع عدم اعتماد برای کانی‌زایی مس می‌شگان در منطقه مورد مطالعه

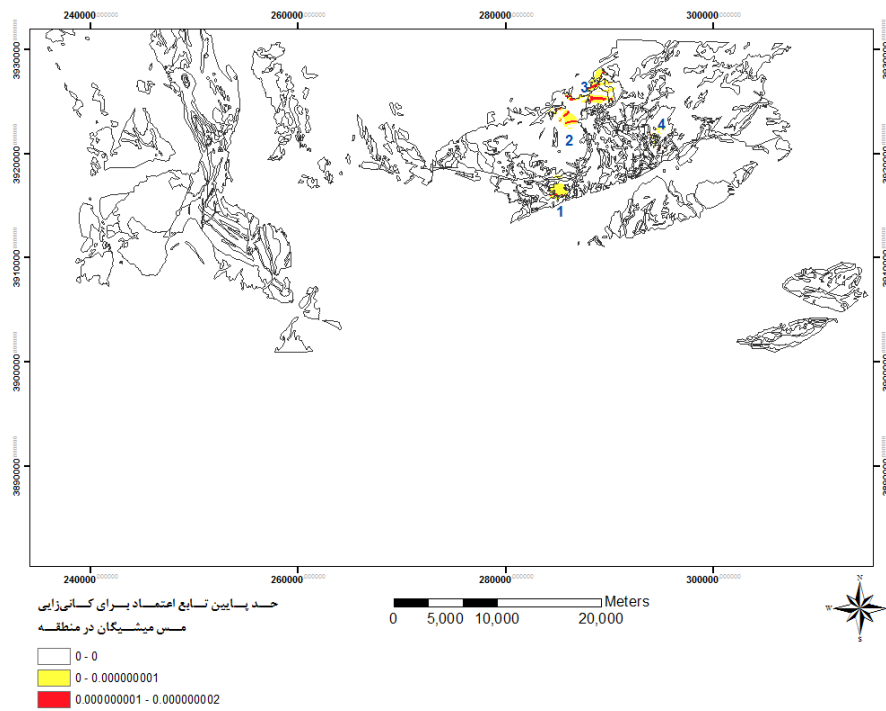
شکل ۴-۲۹ حد بالای تابع عدم قطعیت را نشان می‌دهد. مناطق به رنگ زرد و قرمز دارای عدم قطعیت پایین می‌باشد. پایین بودن عدم قطعیت به تنهایی دلیل کافی برای حضور کانی‌زایی نیست. بلکه باید مجموع آن با تابع اعتماد بزرگتر از مقدار عدم اعتماد در آن نقطه شود. همچنین در صورتیکه میزان عدم قطعیت در یک نقطه بزرگتر از میزان اعتماد در همان نقطه باشد، بایستی با بهبود یا افزایش لایه‌های اطلاعاتی میزان عدم قطعیت را کاهش داد.



شکل ۴-۲۹: حد بالای تابع عدم قطعیت برای کانی‌زایی مس میشیگان در منطقه مورد مطالعه

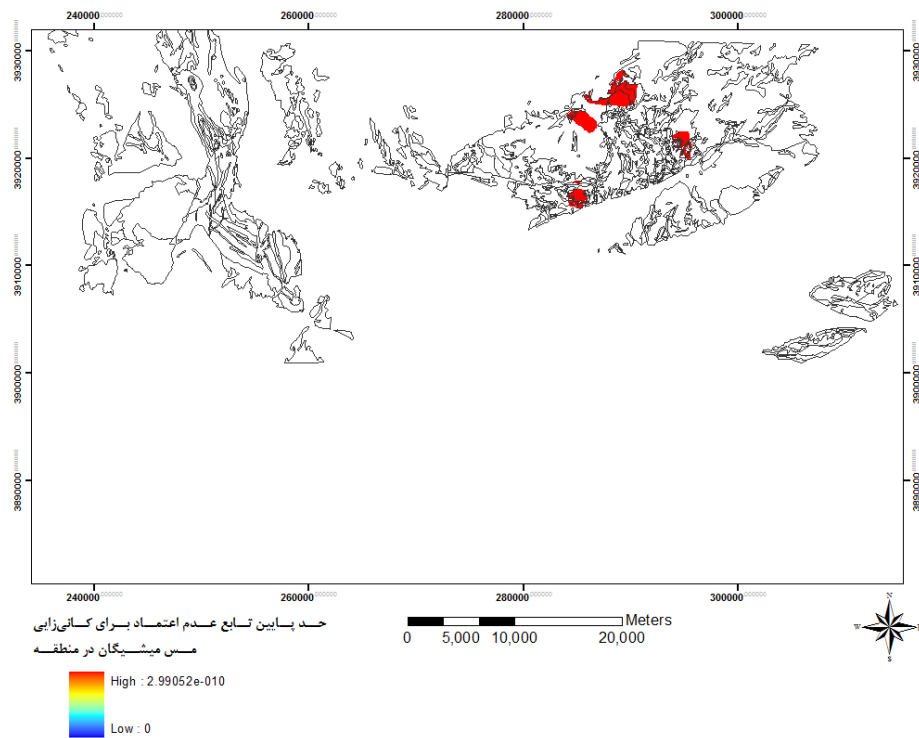
شکل‌های ۴-۳۰، ۴-۳۱ و ۴-۳۲ حدود پایین توابع اعتماد، عدم اعتماد و عدم قطعیت را برای کانی‌زایی مس میشیگان در منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد. حدود پایین توابع برآورد از تلفیق لایه‌های اطلاعاتی با استفاده از عملگر AND محاسبه می‌شود. این عملگر خاصیت کاهنده دارد و بدبینانه‌ترین حالات ممکن را برای کانی‌زایی مود جستجو در نظر می‌گیرد.

در شکل ۴-۳۰ نقاط آبی رنگ محدوده‌هایی با میزان اعتماد بالا می‌باشد. بالا بودن میزان اعتماد دلیلی برای حضور کانی‌زایی در آن نقاط نیست. همانطور که پیش از این گفته شد بایستی مقادیر تابع عدم قطعیت و عدم اعتماد نیز در تعیین وضعیت هر نقطه در نظر گرفته شود.

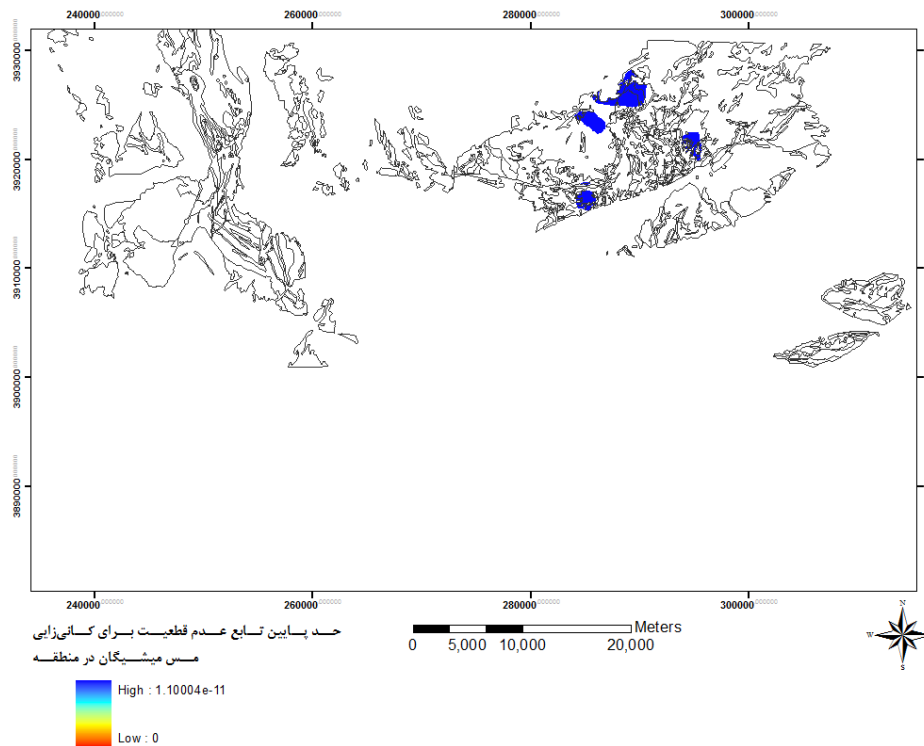


شکل ۳۰-۴: حد پایین تابع اعتماد برای کانی‌زایی مس میشیگان در منطقه مورد مطالعه

شکل ۳۱-۴ نشان دهنده حد پایین تابع عدم اعتماد در کانی‌زایی مس میشیگان در این منطقه می‌باشد. مناطق آبی رنگ بیشینه مقدار تابع عدم اعتماد در منطقه می‌باشد. شکل ۳۲-۴ نیز نشان دهنده حد پایین تابع عدم قطعیت در کانی‌زایی مس میشیگان در منطقه است.



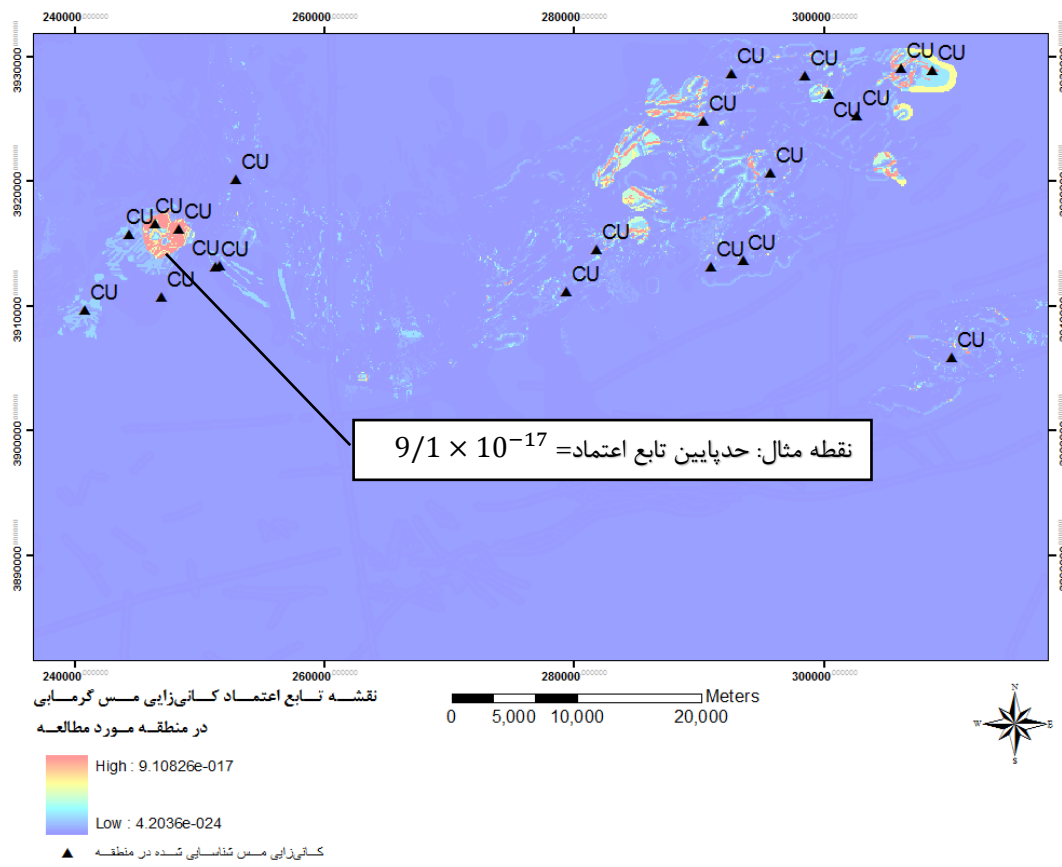
شکل ۴-۳۱: حد پایین تابع عدم اعتماد برای کانی‌زایی مس میشیگان در منطقه مورد مطالعه



شکل ۴-۳۲: حد پایین تابع عدم قطعیت برای کانی‌زایی مس میشیگان در منطقه مورد مطالعه

## ۴-۶- بررسی توابع برآورد برای یک نقطه انتخابی

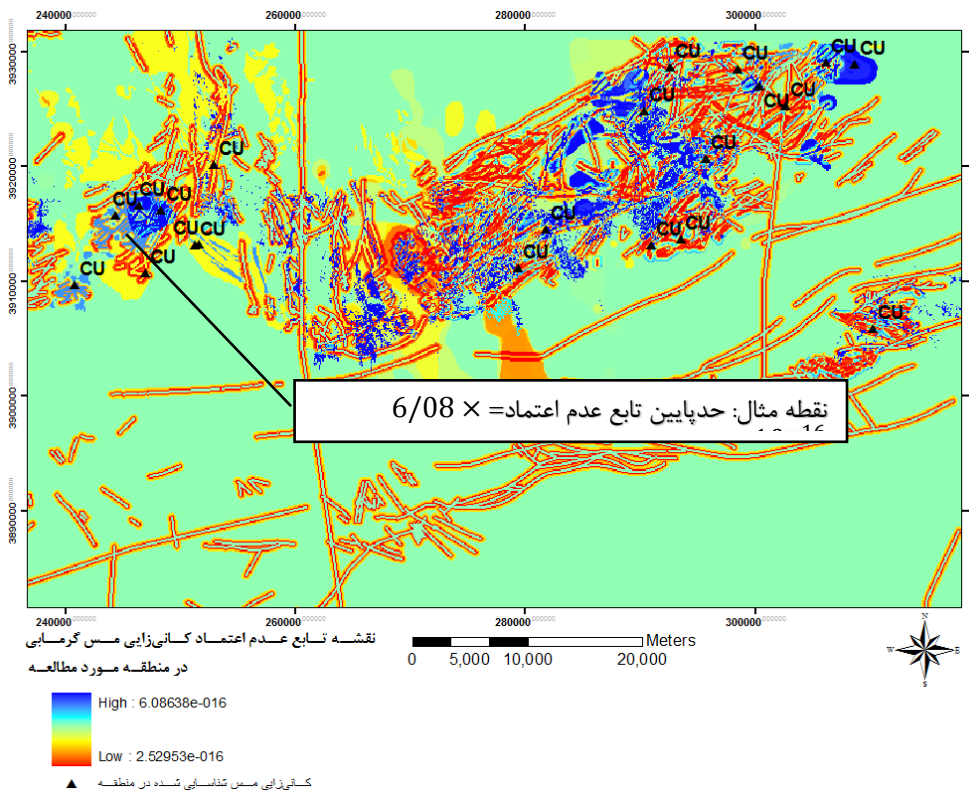
در شکل ۴-۳۳ نقطه مثال به عنوان یک نقطه مجهول در نقشه حد پایین تابع اعتماد کانی‌زایی مس گرمابی در منطقه مورد مطالعه در نظر گرفته شده است. مقادیر توابع اعتماد، عدم اعتماد و عدم قطعیت در شکل‌های مربوطه نشان داده شده است.



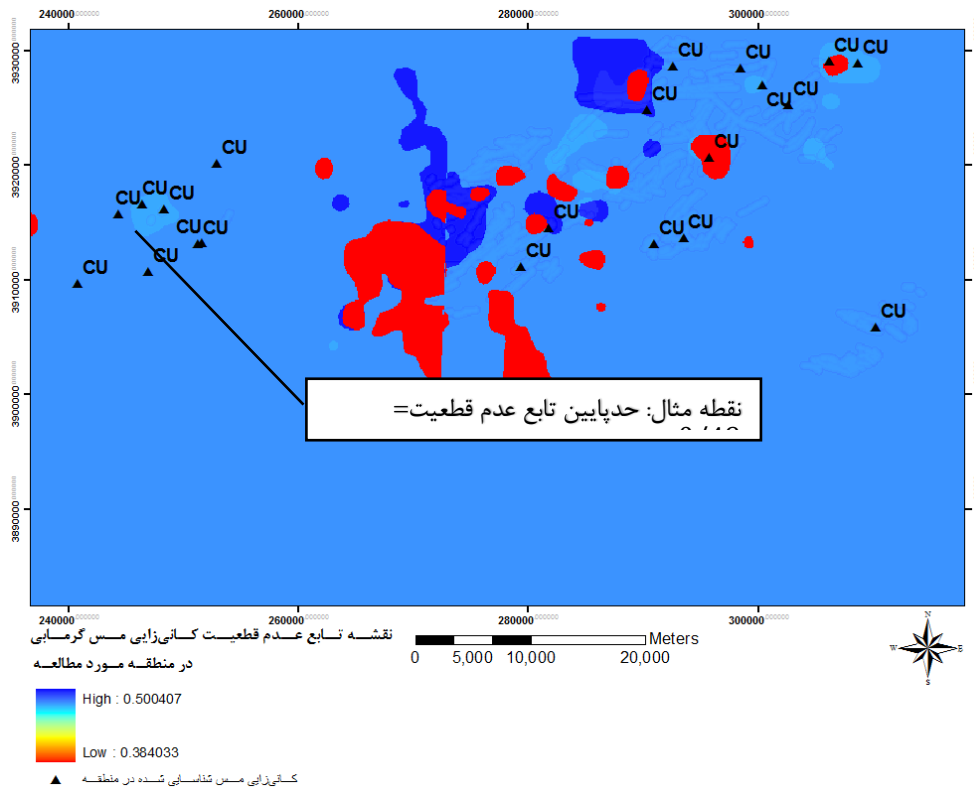
شکل ۴-۳۳: نقشه تابع اعتماد در کانی‌زایی مس گرمابی در منطقه مورد مطالعه و نمایش نقطه مجهول

در شکل ۴-۳۴ و ۴-۳۵ نقشه تابع اعتماد و کانی‌زایی مس گرمابی در منطقه مورد مطالعه و نقطه مجهول نشان داده شده است. مقادیر عدم قطعیت و عدم اعتماد در این نقطه بر روی نقشه‌های مربوطه نشان داده شده است. در ادامه برای تعیین وضعیت این نقطه به بررسی این مقادیر پرداخته می‌شود.



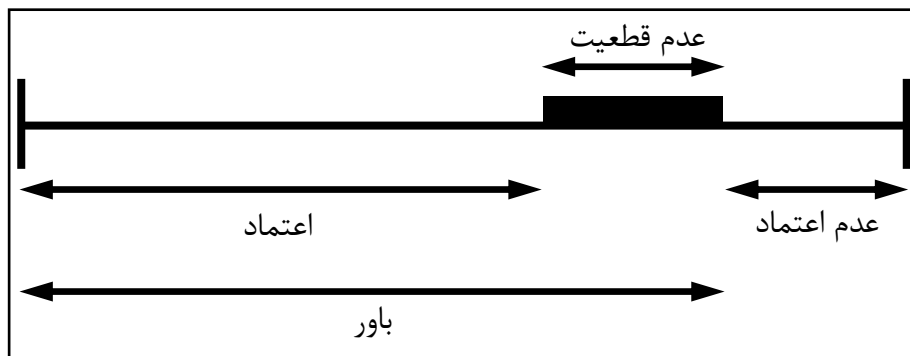


شکل ۴-۳۴: نقشه تابع عدم اعتماد در کانی‌زایی مس گرمابی در منطقه مورد مطالعه و نمایش نقطه مجهول



شکل ۴-۳۵: نقشه تابع عدم قطعیت در کانی‌زایی مس گرمابی در منطقه مورد مطالعه و نمایش نقطه مجهول

شکل ۴-۳۶ رابطه میان سه تابع باور، عدم باور و عدم قطعیت را نشان می‌دهد. همانطور که قابل مشاهده است رابطه زیر در تئوری دمپستر-شیفر برقرار است.



شکل ۴-۳۶: شمای گرافیکی تئوری توابع برآورد (Kuncheva, 2000)

با توجه به شکل ۴-۳۶ داریم:

$$Belief + Uncertainty + Disbelief = 1 \quad (۹-۴)$$

همچنین مقادیر توابع برآورد برای نقطه مجهول به شرح زیر می‌باشد:

$$Bel = 9.1 * 10^{-17}$$

$$Disbelief = 6.8 * 10^{-16}$$

$$Uncertainty = 0.49$$

با توجه به شکل ۴-۳۶ اگر مجموع مقادیر اعتماد و عدم قطعیت بزرگتر از مقدار تابع عدم اعتماد

باشد، نقطه مورد نظر دارای پتانسیل مثبت است. در اینجا داریم:

$$Belief + Uncertainty > Disbelief \quad (۱۰-۴)$$

در نقطه مجهول رابطه ۴-۱۰ برقرار است. اما برقراری این رابطه شرط کافی برای پتانسیل مثبت بودن این نقطه نمی‌باشد. نکته قابل توجه در شکل ۴-۳۶ این است که به منظور پتانسیل مثبت بودن هر نقطه، بایستی حداقل میزان باور برابر با میزان عدم قطعیت باشد. یعنی اگر مجموع توابع عدم قطعیت و اعتماد بزرگتر از تابع عدم اعتماد باشد، اما تابع عدم قطعیت نیز بزرگتر از تابع باور باشد، در مورد پتانسیل مثبت بودن آن نقطه نمی‌توان به خوبی اظهار نظر کرد و در چنین شرایطی با ابهام مواجه هستیم (رابطه ۴-۱۱). در چنین شرایطی بایستی با بهبود و یا افزایش لایه‌های اطلاعاتی میزان عدم قطعیت را کاهش داده تا به پاسخ نهایی دست یافت.

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Belief} + \text{Uncertainty} > \text{Disbelief} \\ \text{Belief} < \text{Uncertainty} \end{array} \right. \rightarrow \text{ambiguity} \quad (4-11)$$

#### ۴-۷- جمع‌بندی

این پایان‌نامه با هدف یافتن نقاط با پتانسیل کانی‌زایی مس گرمابی (رگه‌ای) و میشیگان در منطقه کلاته-رشم و معلمان انجام شد. در این تحقیق پس از تهیه مدل‌های مفهومی این دو تیپ کانی‌زایی از لایه‌های اطلاعاتی واحدهای سنگی، آنومالی ژئوشیمیایی، گسل‌ها، دایک‌ها، توده‌های نفوذی برداشت شده توسط ژئوفیزیک هوابرد و آلتراسیون‌های شناسایی شده در منطقه استفاده شد.

به منظور بارزسازی دگرسانی‌های آرژیلیک و پروپلتیک منطقه از روش برازش کمترین مربعات رگرسیون شده و برای مناطق دگرسانی کربناتی از روش نسبت باندی استفاده گردید. علت انتخاب این روش‌ها، همخوانی و مطابقت بیشتر نواحی دگرسانی بارز شده با واحدهای سنگی و توده‌های نفوذی موجود در منطقه مورد مطالعه می‌باشد. لایه اطلاعاتی گسل‌های منطقه با استفاده از نقشه‌های زمین-شناسی و برداشت‌های ژئوفیزیک هوابرد تهیه گردید. لایه اطلاعاتی رقومی دایک‌های منطقه با استفاده از

نقشه زمین‌شناسی تهیه گردید. لایه اطلاعاتی توده‌های نفوذی برداشت شده توسط مغناطیس‌سنجی هوارد به عنوان یکی از لایه‌های اطلاعاتی موجود بوده و مورد استفاده قرار گرفت. لایه آنومالی‌های ژئوشیمیایی نیز به عنوان یک لایه اطلاعاتی موجود مورد استفاده قرار گرفت. لایه اطلاعاتی واحدهای سنگی درونگیر کانی‌زایی مس توسط نقشه‌های زمین‌شناسی رقومی و تهیه گردید.

پس از انجام پیش پردازش‌های لازم و آماده‌سازی لایه‌های اطلاعاتی به منظور تلفیق این لایه‌ها از تئوری تعیین توابع برآورد (دمپستر- شیفر) استفاده گردید. تئوری توابع برآورد تعمیمی از نظریه‌ی احتمال بیزین است که، امکان یک مدل‌سازی قوی از عدم قطعیت از نوع نامشخص بودن را فراهم می‌نماید. این تئوری با تعیین توابع اعتماد، عدم اعتماد و عدم قطعیت فضای مورد بررسی را به سه فضای قطعی، غیر قطعی و مبهم تقسیم می‌کند. در واقع در پتانسیل‌یابی مواد معدنی با استفاده از این روش می‌توان وضعیت یک نقطه یا منطقه را در خصوص پتانسیل مطلوب بودن به سه صورت تعریف کرد.

(۱) نقطه مورد نظر معرف پتانسیل مثبت کانی‌زایی است. (قطعی)

(۲) نقطه مورد نظر معرف پتانسیل مثبت کانی‌زایی نیست. (غیر قطعی)

(۳) با توجه به اطلاعات موجود نمی‌توان در خصوص نقطه مورد نظر اظهار نظر کرد. (ابهام)

در این تحقیق ابتدا لایه‌های اطلاعاتی کلاس بندی شدند. در گام بعد کلاس‌های هر لایه اطلاعاتی به صورت دو به دو با یکدیگر ترکیب شدند. ترکیب دو به دو کلاس‌های هر لایه با دو عملگر OR و AND انجام شد. علت این امر تعیین حدود بالا و پایین توابع برآورد بوده است. پس از ترکیب دو به دو کلاس‌های هر لایه، نتایج نیز با یکدیگر ترکیب شدند. در کلیه مراحل ترکیب، به طور جداگانه از دو عملگر OR و AND استفاده گردید. در نهایت برای هر یک از لایه‌های اطلاعاتی حد بالای چهار تابع اعتماد، عدم اعتماد، عدم قطعیت و باور با استفاده از عملگر OR و حد پایین این توابع با استفاده از عملگر AND محاسبه گردید. در گام آخر با ترکیب همه لایه‌های اطلاعاتی با یکدیگر حدود بالا و پایین توابع برآورد

برای منطقه مورد مطالعه محاسبه گردید. در واقع مقادیر اعتماد، عدم اعتماد و عدم قطعیت برای کلیه نقاط محاسبه گردید. با استفاده از دو شرط زیر وضعیت هر نقطه برای معرفی به عنوان پتانسیل معدنی باید مشخص می‌شود.

(۱) مجموع مقادیر تابع اعتماد و عدم قطعیت برای نقطه مورد نظر بزرگتر از مقدار تابع عدم اعتماد محاسبه شده در آن نقطه باشد.

(۲) مقدار تابع اعتماد بزرگتر یا حداقل مساوی میزان عدم قطعیت باشد.

در شرایطی که شرط دوم برقرار نیست یا به بیان دیگر عدم قطعیت مقادیر بالایی دارد، بایستی نسبت به بهبود لایه‌های اطلاعاتی یا افزایش آن‌ها اقدام کرد. در نهایت نقاطی که مجموع مقادیر تابع اعتماد و عدم قطعیت آن‌ها بیشتر از میزان تابع عدم اعتماد تعیین شده برای آن نقاط باشد، به عنوان نقطه‌ای پذیرفتنی معرفی می‌گردد.



## فصل ۵

# نتیجه‌گیری و پیشنهادات

## نتیجه‌گیری

این پایان‌نامه با هدف یافتن نقاط با پتانسیل کانی‌زایی مس گرمابی (رگه‌ای) و میشیگان در منطقه کلاته-رشم و معلمان انجام شد. در این تحقیق پس از تهیه مدل‌های مفهومی این دو تیپ کانی‌زایی از لایه‌های اطلاعاتی واحدهای سنگی، آنومالی ژئوشیمیایی، گسل‌ها، دایک‌ها، توده‌های نفوذی برداشت شده توسط ژئوفیزیک هوابرد و آلتراسیون‌های شناسایی شده در منطقه استفاده شد. پس از انجام پیش‌پردازش‌های لازم و آماده‌سازی لایه‌های اطلاعاتی به منظور تلفیق این لایه‌ها، برای شناسایی مناطق با پتانسیل کانی‌زایی مس گرمابی از تئوری داده محور تعیین توابع برآورد (دمپستر- شيفر)، و برای شناسایی مناطق با پتانسیل کانی‌زایی مس میشیگان از تئوری دانش محور تعیین توابع برآورد استفاده شد. بر اساس مطالعات انجام شده نتایج زیر قابل ارائه می‌باشد:

- نقاط ۱ تا ۶ مشخص شده در شکل ۴-۱۷ پتانسیل‌های وجود ذخایر مس گرمابی را بر اساس روش تلفیق و تعیین داده محور توابع برآورد نشان می‌دهد.
- نقاط ۱ تا ۴ مشخص شده در شکل ۴-۳۰ پتانسیل‌های وجود ذخایر مس میشیگان را بر اساس روش تلفیق و تعیین دانش محور توابع برآورد نشان می‌دهد.
- نتایج حاصل از تعیین توابع بر اساس روش داده محور، حدوداً تا ۳۵ درصد با معادن شناخته شده فعلی تطابق دارند، اما میزان عدم قطعیت در این نقاط بالا می‌باشد.
- نتایج حاصل از تعیین توابع بر اساس روش دانش محور، حدوداً تا ۳۰ درصد با معادن شناخته شده فعلی تطابق دارند. میزان عدم قطعیت در این نقاط بسیار پایین‌تر از روش داده محور است.
- در این پایان‌نامه نتایج حاصل از تلفیق و تعیین توابع برآورد با استفاده از روش دانش محور از مطلوبیت بیشتری نسبت به روش داده محور برخوردار است. علت این موضوع استفاده از دانش



قبلی در مراحل تلفیق دو به دو لایه‌های اطلاعاتی با یکدیگر و همچنین تعیین میزان اولیه توابع برآورد می‌باشد. به همین دلیل به منظور کاهش میزان عدم قطعیت در روش داده محور بایستی نسبت به تقویت و بهبود لایه‌های اطلاعاتی اقدام نمود.

## پیشنهادات

بر اساس مطالعات انجام شده، پیشنهادات زیر ارائه می‌گردد:

- در محدوده‌هایی با مقادیر بالای تابع اعتماد و مقادیر پایین تابع عدم اعتماد، در صورتیکه مقدار عدم قطعیت از مقدار اعتماد بیشتر باشد، باید نسبت به افزایش لایه‌های اطلاعاتی و یا استفاده از لایه‌های اطلاعاتی ترکیبی اقدام نمود. این موضوع در شکل‌های ۴-۱۴ و ۴-۱۷ قابل مشاهده است.
- در محدوده طول جغرافیایی ۵۴ درجه و ۱۱ دقیقه و ۱۳ ثانیه تا ۵۴ درجه و ۱۴ دقیقه و ۳۳ ثانیه و عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۲۱ دقیقه و ۵ ثانیه تا ۳۵ درجه و ۲۱ دقیقه و ۲۱ ثانیه، واقع در غرب معدن مس کلوت، محدوده با پتانسیل بالای کانی‌زایی مس گرمابی شناسایی شده است، اما با توجه به بالا بودن مقدار عدم قطعیت، پیشنهاد می‌شود با افزودن لایه‌های اطلاعاتی جدید و یا استفاده از لایه‌های اطلاعاتی ترکیبی، میزان عدم قطعیت را کاهش داده و سپس در خصوص پتانسیل مثبت بودن محدوده معرفی شده اظهار نظر کرد.
- در شرق معدن مس چاه موسی با طول جغرافیایی ۵۴ درجه و ۵۴ دقیقه و ۳۳ ثانیه طول جغرافیایی و ۳۵ درجه و ۲۸ دقیقه و ۵۴ ثانیه عرض جغرافیایی نیز محدوده با پتانسیل بالای کانی‌زایی مس گرمابی شناسایی شده است، اما در این نقطه نیز با توجه به بالا بودن مقدار عدم قطعیت، پیشنهاد می‌شود با افزودن لایه‌های اطلاعاتی جدید و یا استفاده از لایه‌های اطلاعاتی

ترکیبی، میزان عدم قطعیت را کاهش داده و سپس در خصوص پتانسیل مثبت بودن محدوده معرفی شده اظهار نظر کرد.

- در فاصله حدود ۱۵ کیلومتری غرب معدن مس چشمه حافظ، محدوده‌ای با میزان اعتماد بالا و عدم اعتماد پایین شناسایی شده است. در این محدوده که حدوداً در طول جغرافیایی ۵۴ درجه و ۳۵ دقیقه و عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۲۳ دقیقه قرار گرفته است، میزان عدم قطعیت بالاتر از تابع اعتماد است. پیشنهاد می‌شود در این محدوده نیز به منظور تعیین وضعیت کانی‌زایی مس، مطالعات تکمیلی و یا برداشت‌های صحرایی انجام شود. همچنین می‌توان با استفاده از لایه‌های اطلاعاتی دیگر و یا استفاده از لایه‌های ترکیبی مقادیر توابع برآورد را بهبود بخشید.
- در خصوص چهار نقطه معرفی شده به عنوان پتانسیل مس میشیگان، پیشنهاد می‌شود با انجام مطالعات صحرایی و بررسی‌های تکمیلی، میزان قطعیت در خصوص پتانسیل مطلوب بودن این نقاط افزایش یابد.

## منابع

اشراقی ص.، جلالی ع.، ۱۳۸۵، نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰.۰۰۰ کلاته- رشم- معلمان، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

اشراقی ص.ع.، جلالی ع. و جعفریان م.ب.، ۱۳۸۴، نقشه‌های ۱:۱۰۰.۰۰۰ معلمان و کلاته-رشم، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

اشراقی ص.ع.، ۱۳۷۷، گزارش نقشه زمین‌شناسی منطقه ترود- معلمان، طرح اکتشاف طلا.

اکبری الف.، شکاری بادی ع.، ۱۳۹۳، پردازش و استخراج اطلاعات از داده‌های ماهواره ای، چاپ سوم، ویرایش اول، انتشارات دانشگاه حکیم سبزواری، سبزواری.

حسن‌پور م.، سعادت س.، ۱۳۸۱، زمین‌شناسی اقتصادی کاربردی، چاپ دوم، انتشارات دانشگاه فروسى مشهد، ص ۴۷۱.

حسنی پاک ع.الف.، ۱۳۸۱، اصول اکتشافات ژئوشیمیایی، انتشارات دانشگاه تهران تهران.

حسنی پاک ع.الف.، شرف‌الدین، م.، ۱۳۸۰، تحلیل داده‌های اکتشافی، انتشارات دانشگاه تهران، تهران.

حسنی پاک ع. ا.، شجاعت ب.، ۱۳۷۹، مدلسازی کانسارهای فلزی - غیرفلزی و کاربرد اکتشافی آن، انتشارات دانشگاه تهران، تهران، ص ۱۹۳.

خادمی م.، شهریاری س.، ۱۳۸۶، کانسارهای منطقه ترود و ارتباط تشکیل آن‌ها با سیستم‌های شکستگی منطقه، اولین کنگره زمین‌شناسی کاربردی ایران، مشهد.

درویش زاده ع.، ۱۳۷۰، زمین شناسی ایران، انتشارات امیرکبیر، ۹۰۱ صفحه.

سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۱۳۷۸، طرح اکتشاف مواد معدنی با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای و ژئوفیزیک هوایی، تلفیق نقشه زمین شناسی استان سمنان و تهیه بانک اطلاعات زمین شناسی و معدنی آن با بهره‌گیری از سیستم اطلاعات جغرافیایی GIS.

شرکت جیانگ سی جمهوری خلق چین با نظارت گروه ژئوشیمی سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۱۳۷۴، نقشه ۱:۱۰۰.۰۰۰ ژئوشیمی مناطق کلاته- رشم- معلمان.

علایی مقدم س.، و همکاران، پاییز ۹۳، مدلسازی فرآیند تهیه نقشه پتانسیل معدنی با استفاده از سامانه استنتاجگر فازی (منطقه مورد مطالعه: کانسار مس چاه فیروزه)، نشریه علوم زمین، شماره ۹۳، ص ۵۳ تا ۶۶.

علوی م.، هاشم‌زاده آ.، ۱۳۵۴، نقشه ۱:۲۵۰.۰۰۰ منطقه ترود، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی ایران.

قربانی م.، ۱۳۸۷، زمین شناسی اقتصادی (کانسارها و نشانه‌های معدنی ایران)، انتشارات آراین زمین، تهران.

کی‌نژاد آ.، پورکرمانی م.، آراین م.، سعیدی ع.، لطفی م.، ۱۳۸۹، بررسی شکستگی‌های شمال منطقه ترود- معلمان و ارتباط آن با کانی‌زایی منطقه، فصلنامه زمین، سال پنجم، شماره ۲، صفحه ۸۲.

نبوی م. ح.، ۱۳۵۵، دیباچه‌های بر زمین‌شناسی ایران؛ انتشارات سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۱۰۹ صفحه.

نجفی دیسفانی، م.، ۱۳۷۷، *پرزش کامپیوتری تصاویر سنجش از دور (ترجمه)*، انتشارات سمت، تهران.

نوگل سادات م.، الماسیان م.، ۱۹۹۳، *گزارش نقشه تکتونیک ایران با مقیاس ۱:۱۰۰.۰۰۰*، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

وزارت راه و شهرسازی جمهوری اسلامی ایران، ۱۳۷۶، *نقشه راه‌های روستاهای کشور*.

هوشمندزاده ع.، علوی نایینی م.، حقی پور ع.، ۱۳۵۷، *تحول پدیده‌های زمین‌شناسی ناحیه ترود (از پرکامبرین تا عهد حاضر)*، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

یوسفی م.، کامکارروحانی ا.، ۱۳۸۹، *اصول روش‌های مدلسازی پتانسیل معدنی*، انتشارات دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود.

Alavi, M. 1991. *Tectonic map of the Middle East. Geological Survey of Iran*. Tehran.

Ason T. I. Di., Rubinstein, N., 2007, *Hydrothermal alteration mapping using ASTER data in the Infiernillo porphyry deposit*, Argentina. *Ore Geology Reviews*, Vol. 32, pp. 275–290.

Bonham-Carter, G., Agterberg, F. & Wright, D., 1989- *Weights of evidence modeling: a new approach to mapping mineral potential*, Statistical applications in the Earth Sciences, Geological Survey of Canada Paper, 89–9: 171–183.

Bonham-Carter, G., 1994- *Geographic Information Systems for Geoscientists: Modelling with GIS*. Pergamon, Ontario, Canada. p 398.

Carranza, E. & Hale, M., 2002- *Wildcat mapping of gold potential, Baguio district, Philippines*. Transactions of the Institution of Mining and Metallurgy (Section B—Applied Earth Science),111:100–105.

Carranza, E. M., Woldai, T. & Chikambwe, E. M., 2005- *Application of Data\_Driven Evidential Belief Functions to Prospectivity Mapping for Aquamarinr-Bearing Pegmatites, Lundazi District, Zambia*, Natural Resources Research, Vol.141:47-63.

Carranza, E.J.M., 2008- *Geochemical anomaly and mineral prospectivity mapping in GIS. Handbook of Exploration and Environmental Geochemistry*, vol. 11, Elsevier, Amsterdam, p. 351.

Carranza, E. M., Ruitenbeek, F. A., Hecker, C., Meijde, M. V. & Meer, F. D., 2008- *Knowlede-guided data-driven evidential belief modeling of mineral prospectivity in Cabo de gata, SE Spain*, International Journal of applied Earth Observation and Geoinformation, 10:374–387.

Caranza, E. J. M., 2009, *Geochemical anomaly and mineral prospectivity mapping in GIS ,Handbook of Exploration and Environmental Geochemistry*, Elsevier B.V., Vol. 11.

Cheng, Q. & Agterberg, F., 1999- *Fuzzy weights of evidence and its application in mineral potential mapping*. Natural Resources Research, 8: 27–35.

Dempster, A.P., 1967- *Upper and lower probabilisties induced by a multivalued mapping*. Annals of Mathematical Statistics 38(2): 325-339.

Dempster, A.P., 1968- *A generalization of Baysian inference*. Jornal of the Royal Statistical Society B30(2): 205-247.

Huff, P., Bennett, R., Chapman, P., Edmond, G., Botstad, G., Neville, R., Peppin, W., Perry S., 1999, *an old problem revisited with Hyperspectral Technology*. Pros, of the 13th International, Conference, Applied Geologic Remote Sensing.

Karimi, M., Menhaj, M. & Mesgari, M., 2008- *Mineral potential mapping of copper minearls using fuzzy logic in GIS invironment*, Beijing ,China: ISPRS 2008.

Kuncheva L.I., 2000- *Fuzzy classifier design studies in fuzziness and soft computing*, Springer Verlag, Heidelberg.

Moon, W., 1990- *Integration of geophysical and geological data using evidential belief function*. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing,28: 711–720.

Oh, H. & Lee, S., 2008- *Reginoal Probablistic and statistical mineral potential mapping of gold-silver deposit using GIS in the Gangreung area*, Korea, Resource Geology, 58: 171-178.

Porwal, A., Carranza, E. & Hale, M., 2003- *Artificial neural networks for mineral-potential mapping: a case study from Aravalli Province,Western India*, Natural Resources Research, 12: 156–171.

Porwal, A., Carranza, E. M. & Hale, M., 2004- *A Hybrid Neuro-Fuzzy Model for Mineral Potential Mapping*, Mathematical Geology, 803–825.

Porwal, A., Carrenza, E. & Hale, M., 2006- *A Hybrid fuzzy weight-of-evidence model for mineral potential mapping*. Natural Resources Research, 15: 1–14.

Porwal, A., Gonzalez-Alvarez, I. M., McCuaig, T. & Mamuse, A., 2010- *Weights of evidence and logistic regression modeling of magmatic nickel sulfde prospectivity in the Yilgarn Craton*, Western Australia, Ore Geology Reviews, 38: 184–196.

Sabins, F. F., 2003, *Remote Sensing: Principles and Interpretation*, 3<sup>rd</sup> ed., New York: W.H Freeman and Company.

Seedorff, E., Dilles, J. H., Proffett, J. M., Einaudi, M. T., Zurcher, L., Stavast, W.J. A., Johnson, D. A., Barton, M. D., 2005, *Porphyry deposits: Characteristics and origin of hypogene features*, Economic Geology 100<sup>th</sup> Anniversary Volume, pp. 251–298.

Sankaran Rajendran, A., Thirunavukkarasu, G., Balamurugan, K. S., 2011, *Discrimination of iron ore deposits of granulite terrain of Southern Peninsular India using ASTER data*, Journal of Asian Earth Sciences, Vol. 41, pp. 99–106.

Shafer, G., 1976- *A mathematical Theory of Evidence*. Princeton University Press, Princeton, N.J.

Spies, O., Lensch, G And Mihem, A., 1983, *Chemistry of the post-ophiolitic tertiary volcanics between Sabzevar and Quchan*, NE – IRAN. Iran, report no.51, p. 247-260.

Zuo, R., Cheng, Q. & Agterberg, F., 2009- *Application of a hybrid method combining multilevel fuzzy comprehensive evaluation with asymmetric fuzzy relation analysis to mapping prospectivity*, Ore Geology Reviews, 35: 101–108.

Zuo, R. & Carranza, E., 2010- *Support vector machine: A tool for mapping mineral prospectivity*, *Computers & Geosciences*, 2010(IN PRESS), pp.1–9.



## Abstract

There are several and different data resulted in exploratory studies that cannot be extracted useful information from it without accurate organization for detection of mineral potential. Finding potential is a stepwise process in order to reduce risk and cost. So using a fusion system makes it possible to achieve the above objectives. The aim of this thesis is identifying possible areas of copper mineralization in the Toroud - moaleman area and in detail on Geological map at a scale of 1:100000 of Kalateh-Reshm and moaleman. According to the developed conceptual models, the data layers of lithological, geochemical anomalies, faults, dykes, intrusive and alteration were used in this thesis. So that after performing the preprocessing on data layers, each layer was classified.

In the next step pairwise fusion was done on the data layers by determining the Evidential Belief Function method (Dempster-Shafer). In this method the limit of lower and upper the evidential function estimated by using the AND and OR fusion operators. At last the limit of upper and lower evidential function estimated for each data layers. In the final step, pairwise fusion the data layers together was done by using using the AND & OR fusion operators, the belief, disbelief, uncertainty and plausibility functions were calculated. Finally the areas that located on 7 km from East of ChahMossa copper mine, 15 km from west of CheshmeHafez copper mine and on 5 km from west of Kalout copper mine identified by high potential copper mineralization.

Key words: Copper mineralization, Data layers fusion, Evidential function, Kalate-Reshm and Moaleman.



Shahrood University of Technology  
Faculty of Mining, Petroleum and Geophysics engineering

MSc Thesis Mining Exploration  
**Data layers fusion of structural, geological,  
geochemical and alteration in GIS for copper exploration**

By: Maryam Sadat Hosseini

Supervisors:

Dr Behzad Tokhmchi

Dr Susan Ebrahimi

Advisor:

Mr. Reza Ghasemi

**2016 February**