

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک

رساله دکتری اکتشاف مواد معدنی

تولید نقشه‌های پیشگوی اکتشافی بوسیله روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره مکانی فازی و
ارائه مدل عدم قطعیت، مطالعه موردی: ذخایر ماسیوسولفاید بوانات

نگارنده:

رضا قاسمی

استاد راهنما:

دکتر بهزاد تخم‌چی

استاد مشاور:

پروفسور گریگور بورگ

خرداد ماه ۱۳۹۷

دانشگاه صنعتی شاهرود

دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک

گروه مهندسی اکتشاف معدن

رساله دکتری آقای رضا قاسمی

تحت عنوان: تولید نقشه‌های پیشگوی اکتشافی بوسیله روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره مکانی فازی و ارائه مدل عدم قطعیت، مطالعه موردی: ذخایر ماسیوسولفاید بوانات

در تاریخ ۱۳۹۷/۰۳/۳۰ توسط کمیته تخصصی زیر جهت اخذ رساله دکتری مورد ارزیابی و با درجه عالی مورد پذیرش قرار گرفت.

امضاء	اساتید مشاور	امضاء	اساتید راهنما
	نام و نام خانوادگی: پروفسور گریگور بورگ		نام و نام خانوادگی: دکتر بهزاد تخم‌چی

امضاء	نماینده تحصیلات تکمیلی	امضاء	اساتید داور
	نام و نام خانوادگی: دکتر مهرداد سلیمانی منفرد		نام و نام خانوادگی: دکتر محمد عطائی
			نام و نام خانوادگی: دکتر ابوالقاسم کامکار روحانی
			نام و نام خانوادگی: دکتر سیدحسن طباطبایی
			نام و نام خانوادگی:

تقدیم بہ

ہمسرم؛ اسوہ عشق و فداکاری کہ ہمیشہ با انرژئی مثبت، پشتوانہ استوار من بوده است.

دختر عزیزم؛ کہ امید بخش زندگیم بوده و دقائق زیادی را بہ واسطہ تحریر این رسالہ از او دریغ کردم.

روح پاک پدرم و گوہر جان مادرم؛ کہ ہرچہ دارم از آنہاست.

شکر و قدردانی:

بادرود و سپاس به درگاه خداوند متعال و یکتا که توفیق انجام این پژوهش را به بنده ارزانی کرد، لازم می‌دانم مراتب قدردانی و سپاس خود را نسبت به اساتید ارجمند، مدیران و همکاران گرامی ابراز نمایم.

▪ از جناب آقایان دکتر تخم‌چی و پروفسور کریگور بورگ، بخاطر راهنمایی‌های ارزشمندشان و فراهم نمودن بستری مناسب جهت انجام این پژوهش، چه در ایران و چه در کشور آلمان، کمال شکر را می‌نمایم.

▪ همچنین از جناب آقای مهندس فتوی‌مدیرکل و دکتر ژنوئیکس سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی و آقای دکتر صادقی رییس گروه سامانه اطلاعات مکانی، بخاطر ایجاد فضای پژوهشی بسیار مفید که سبب ارتقاء سطح دانش‌های محققین اکتشافی و معدنی این مرز بوم گردیده کمال شکر و سپاسگزاری را دارم.

▪ از خانمها دکتر موسوی، دکتر محبی، دکتر رضایی، مهندس عرفاتی و آقایان مهندس جباری، مهندس بهمنی، مهندس بیاتانی و مهندس شیرخانی، همکاران محترم بخاطر کمک‌ها و راهنمایی‌های بسیار ارزشمندشان کمال شکر و سپاسگزاری را

دارم.

تعهدنامه

اینجانب رضا قاسمی دانشجوی دوره دکترای مهندسی معدن گرایش اکتشاف معدن دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه " تولید نقشه‌های پیشگوی اکتشافی بوسیله روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره مکانی فازی و ارائه مدل عدم قطعیت، مطالعه موردی: ذخایر ماسیوسولفاید بوانات " تحت راهنمایی آقای دکتر بهزاد تخم‌چی 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 بوده‌اند 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 اخلاق انسانی رعایت شده است.

تاریخ ۱۳۹۷/۰۳/۳۰

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامه‌های رایانه‌ای، 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.
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی‌باشد.

چکیده

هدف اصلی این تحقیق معرفی یک رویکرد تصمیم‌گیری چند منظوره مبتنی بر سامانه اطلاعات مکانی (GIS) جهت انتخاب محیط‌های مطلوب برای ذخایر ماسیوسولفاید است. افزایش در صحت خروجی نقشه‌های نواحی امیدبخش اکتشافی و همچنین کاهش مساحت فضای جستجو در اکتشاف، از اهداف اصلی پی‌جویی مواد معدنی است. انتخاب صحیح روش تلفیق داده‌های اطلاعاتی که با ماهیت داده‌های مورد استفاده بیشترین تطابق را داشته باشد، اولین قدم در این راه است. با توجه به این که داده‌های اکتشافی عموماً به صورت دوطرفه به یکدیگر وابسته‌اند و با توجه به شرط ارتباط یک طرفه در داده‌های مورد ارزیابی در روش تحلیل سلسه مراتبی، در این رساله از روش تحلیل شبکه‌ای استفاده شد که می‌تواند ارتباط دوطرفه بین معیارها و زیرمعیارها را مدل کند. همچنین از روش شباهت به گزینه ایده‌آل (TOPSIS) جهت انتقال نتایج به فاصله اعداد صفر و یک و اولویت‌بندی گزینه‌ها در GIS استفاده شد. در ادامه از روش ترکیب اطلاعات عملگر میانگین وزنی مرتبه یافته راهنمایی شده توسط دانش کارشناسی، که در آن اوزان مستقل از معیارها هستند، استفاده شده و نتایج با روش‌های دیگر مقایسه شد. در پایان به وسیله روش ترکیب اطلاعات دمپستر شیفر تصحیح شده با دانش، مساحت محدوده‌های پیشنهادی دیگر روش‌ها محدود شده و مدل‌سازی عدم قطعیت در محدوده مورد مطالعه انجام شد.

در این تحقیق، از داده‌های اکتشافی مربوط به منطقه بوانات در استان فارس جهت تهیه نقشه نواحی امیدبخش اکتشافی ذخایر ماسیوسولفاید استفاده شد. داده‌های مورد استفاده شامل: داده‌های زمین‌شناسی، دورسنجی، رسوبات آبراهه‌ای و ژئوفیزیکی است. در عمل تلاش شده است که به صورتی که در مقایسه با روش‌های مرسوم دیگر، بالاترین میزان صحت نتایج با کمترین مساحت جستجوی پیشنهادی محقق گردد تا کمترین میزان از دست دادن اندیس‌ها و معادن در نتایج محقق گردد.

نتایج تحقیق نشان می‌دهد که با توجه به اندیس‌ها و معادن شناخته شده و همچنین اعتبارسنجی حاصل از بازدیدهای صحرایی، محدوده‌های پیشنهادی توسط روش تحلیل شبکه‌ای در مقایسه با روش

تحلیل سلسله مراتبی که فقط برای مقایسه و اثبات بهبود در نتایج آورده شده و هر دو روش دانش محور هستند و به وسیله روش شباهت به گزینه ایده آل تقویت شده اند، دارای صحت بیشتر و همچنین مساحت کمتری هست. مساحت محدوده های پیشنهادی در روش های تحلیل سلسله مراتبی و تحلیل شبکه ای به ترتیب $1138/4$ و $952/6$ کیلومتر مربع بوده اند، که کاهش 17 درصدی در مساحت و البته با توجه به اعتبارسنجی صورت گرفته، افزایش بیش از 6 درصدی در صحت، حاصل عملکرد تحلیل شبکه ای بود. شاخص منحنی مشخصه عملکرد سیستم (ROC) در تحلیل سلسله مراتبی برابر $0/7609$ بوده که در تحلیل شبکه ای به $0/8275$ بهبود یافته است.

با استفاده از رویکرد تحلیل سلسله مراتبی - عملگر میانگین وزنی مرتبه یافته، در مقایسه با روش عملگر میانگین وزنی مرتبه یافته، 9% از مساحت منطقه جستجو کاهش داده شد. این رویکرد همچنین دقت نتایج را 9 درصد افزایش داد. در مقایسه با سایر روش های دانش محور مانند روش تحلیل سلسله مراتبی، رویکرد ترکیبی تحلیل سلسله مراتبی - عملگر میانگین وزنی مرتبه یافته، مساحت منطقه جستجو را 1% کاهش داد و دقت نتایج را 14% افزایش داد. با استفاده از تغییر متغیرهای زبانی فازی بر اساس مدل مفهومی ماسیوسولفاید، یعنی انتخاب α متناسب با مدل مفهومی، این رویکرد تمام معادن کشف شده را با دقت 100% درست پیش بینی کرد و منطقه پیشنهاد شده در مقایسه با روش تحلیل سلسله مراتبی به نصف ($851/6$ کیلومتر مربع) کاهش یافت.

با استفاده از رویکرد داده محور تصحیح شده با دانش کارشناسی دمپستر - شیفر (توابع برآورد)، عدم قطعیت در محدوده مطالعاتی با توجه به داده ها در هر پیکسل نقشه محاسبه شد. محدوده پیشنهادی توسط این رویکرد 206 کیلومتر مربع است که به مقدار زیادی وسعت محدوده پیشنهادی کاهش داده شد. دقت طبقه بندی این رویکرد برابر با 89% بوده است که با توجه به استفاده از عملگر بدینانه And در مرحله تلفیق نهایی، بسیار قابل اعتماد است. این میزان با استفاده از عملگر Or به دقت $95/46\%$ میرسد. با توجه به نتایج حاصل از این رویکرد، اگر منحنی مشخصه عملکرد سیستم ترسیم

گردد، مساحت زیر منحنی برابر عدد $0/7629$ خواهد بود که این مقدار با توجه به این که با داده‌های آزمایشی کنترل شده و نه داده‌های آموزشی، صحت قابل توجهی را نشان می‌دهد.

کلمات کلیدی: تصمیم‌گیری چندمعیاره، تحلیل شبکه‌ای، میانگین وزنی مرتبه یافته راهنمایی شده توسط دانش کارشناسی، دمپستر- شيفر داده‌محور تصحيح شده با دانش، مقدار عضویت فازی.

لیست مقالات مستخرج از رساله دکتری

مقالات مجله

1. **Reza Ghasemi**, Behzad Tokhmechi & Gregor Borg. (2018). Evaluation of effective factors in window optimization of fry analysis to identify mineralization pattern: Case study of Bavanat region, Iran. *Journal of Mining and Environment*, 9(1), 195-208 (Published online).
2. **Reza Ghasemi**, Behzad Tokhmechi & Gregor Borg. A new linguistic quantifier knowledge-guided OWA approach for mineral prospectivity mapping: A case study of the Bavanat Region, Iran. *Arabian Journal of Geosciences*, Submitted 11 Mar 2018 (Under Review).

۳. **رضا قاسمی**، بهزاد تخم‌چی، و گریگور بورگ، (۱۳۹۷) "بهبود در نقشه های نواحی امیدبخش اکتشافی با استفاده از رویکرد ترکیبی فرایند تحلیل شبکه‌ای- تاپسیس"، فصل‌نامه علوم زمین (پذیرش شده).

مقالات کنفرانسی

۱. **رضا قاسمی**، بهزاد تخم‌چی، و گریگور بورگ، (۱۳۹۴) "بررسی همبستگی فضایی هاله‌های دگرسانی دورسنجی و کانه‌زایی ماسیوسولفاید به روش فاصله نزدیک فازی در منطقه بوانات"، سی و چهارمین گردهمایی و دومین کنگره بین‌المللی تخصصی علوم زمین، تهران.
۲. **رضا قاسمی**، بهزاد تخم‌چی، و گریگور بورگ، (۱۳۹۵) "بارسازی آنومالیهای ژئوشیمیایی مس در منطقه سوریان به روش ترکیبی موجک- لجستیک و رویکرد فازی"، سی و پنجمین گردهمایی ملی علوم زمین، تهران.

فهرست مطالب

فصل اول

مقدمه

- ۱-۱ تعریف مسئله ۲
- ۲-۱ رویکردهای متداول در حل مسئله ۳
- ۳-۱ رویکرد رساله در حل مسئله ۱۱
- ۴-۱ نوآوری‌های تحقیق ۱۲
- ۵-۱ سوال‌های تحقیق و جمع‌بندی ۱۵

فصل دوم

داده‌های تحقیق و نحوه آماده‌سازی

- ۱-۲ مقدمه ۱۸
- ۲-۲ معرفی محدوده مورد مطالعه ۱۸
- ۳-۲ داده‌های مورد استفاده ۲۰
- ۱-۳-۲ لایه اطلاعاتی ژئوفیزیکی ۲۱
- ۲-۳-۲ لایه اطلاعاتی تصاویر ماهواره‌ای ۲۲
- ۳-۳-۲ لایه اطلاعاتی نقشه‌های زمین‌شناسی ۲۳
- ۴-۳-۲ لایه اطلاعاتی ژئوشیمی اکتشافی ۲۴
- ۴-۲ آماده‌سازی مدل مفهومی ۲۶
- ۱-۴-۲ مشخصات عمومی کانسارهای ماسیوسولفاید ۲۶
- ۲-۴-۲ کنترل‌کننده‌های کانه‌زایی ۳۱
- ۳-۴-۲ کانسارهای همراه ذخایر ماسیوسولفاید ۳۱
- ۴-۴-۲ تیپ پلیتیک مافیک (بشی) ۳۲

۳۲	..... ۵-۴-۲ مشخصات کلی تیپ بشی
۳۴	..... ۶-۴-۲ مشخصات اکتشافی ماسیوسولفایدهای منطقه بوانات (مس-روی-نقره)
۳۷	..... ۷-۴-۲ مدل مفهومی مورد استفاده
۴۲	..... منبع اجزاء سیال کانه‌دار
۴۲	..... منبع حرارتی سیالات
۴۲	..... مسیره‌های حرکت سیالات
۴۳	..... مکانیزم‌های رسوبگذاری
۴۴	..... ۵-۲ آماده‌سازی داده‌ها
۴۴	..... ۱-۵-۲ آستانه‌گذاری و فازی‌سازی موجک- لجستیک داده‌های ژئوشیمی اکتشافی
۴۷	..... ۲-۵-۲ آماده‌سازی و فازی‌سازی داده‌های دورسنجی به‌وسیله روش فیلترگذاری تطبیقی و تابع اِس‌مال
۵۰	..... ۳-۵-۲ آماده‌سازی داده‌های زمین‌شناسی
۵۱	..... آنالیز فرای
۵۳	..... ۴-۵-۲ آماده‌سازی داده‌های ژئوفیزیک
۵۴	..... ۵-۵-۲ داده‌های اندیس‌ها و معادن

فصل سوم

عملگر میانگین وزنی مرتبه یافته

۵۸	..... ۱-۳ مقدمه
۶۰	..... ۲-۳ روش‌شناسی تحقیق
۶۰	..... ۱-۲-۳ روش تحلیل سلسله مراتبی
۶۲	..... ۲-۲-۳ روش میانگین وزنی مرتبه یافته
۶۹	..... ۳-۲-۳ رویکرد ترکیبی تحلیل سلسله مراتبی- عملگر میانگین وزنی مرتبه یافته
۷۱	..... ۳-۳ حاصل پیاده‌سازی روش
۷۲	..... ۱-۳-۳ تخصیص وزن برای معیارها
۸۰	..... ۴-۳ تحلیل نتایج

۵-۳ جمع‌بندی..... ۸۴

فصل چهارم

فرایند تحلیل شبکه‌ای

۱-۴ مقدمه..... ۸۶

۲-۴ روش شناسی تحقیق..... ۸۷

۱-۲-۴ فرایند تحلیل شبکه‌ای..... ۸۷

ساخت مدل و تبدیل مسئله به یک ساختار شبکه‌ای..... ۸۹

انتخاب گزینه برتر..... ۹۳

۲-۲-۴ روش شباهت به گزینه ایده‌آل..... ۹۵

الگوریتم شباهت به گزینه ایده‌آل..... ۹۵

۳-۴ حاصل پیاده سازی رویکرد تحلیل شبکه‌ای- شباهت به گزینه ایده‌آل..... ۹۷

۴-۴ تحلیل نتایج..... ۱۰۸

۵-۴ جمع بندی..... ۱۰۹

فصل پنجم

مدل سازی عدم قطعیت

(روش ترکیب دمپستر- شيفر)

۱-۵ مقدمه..... ۱۱۲

۲-۵ روش‌شناسی تحقیق..... ۱۱۴

۱-۲-۵ روش ترکیب دمپستر- شيفر..... ۱۱۴

۲-۲-۵ مفاهیم اعتقاد، شک، اعتماد و درجه نایقینی..... ۱۱۶

۳-۲-۵ قاعده ترکیب دمپستر..... ۱۱۷

۴-۲-۵ مدل‌سازی عدم قطعیت توسط توابع برآورد داده محور تصحیح شده توسط دانش..... ۱۱۸

۳-۵ حاصل پیاده سازی روش..... ۱۲۳

۴-۵ تحلیل نتایج..... ۱۳۲

۵-۵ جمع‌بندی..... ۱۳۶

فصل ششم

اعتبارسنجی نتایج

۱-۶ روش‌شناسی تحقیق..... ۱۳۸

۱-۱-۶ منحنی مشخصه عملکرد سیستم..... ۱۳۹

۲-۱-۶ معیارهای دقت و بازخوانی..... ۱۴۱

۳-۱-۶ معیار اف..... ۱۴۲

۲-۶ حاصل پیاده سازی روش..... ۱۴۳

۳-۶ مقایسه و تحلیل نتایج مدلها..... ۱۴۶

۴-۶ عملیات صحرایی..... ۱۴۷

محدوده شماره ۵..... ۱۴۸

محدوده شماره ۹..... ۱۴۹

محدوده شماره ۱۵..... ۱۵۱

محدوده شماره ۱۷..... ۱۵۲

محدوده شماره ۲۳..... ۱۵۳

محدوده شماره ۲۵..... ۱۵۴

محدوده شماره ۳۳..... ۱۵۵

محدوده شماره ۳۶..... ۱۵۶

محدوده شماره ۴۴..... ۱۵۸

محدوده شماره ۴۷..... ۱۶۱

۵-۶ نمودار شاخص دگرسانی ایشی کاوا حاصل از نتایج آنالیزهای آزمایشگاهی..... ۱۶۸

۶-۶ مقایسه محدوده‌های معرفی شده توسط رویکردهای مختلف..... ۱۷۰

۷-۶ جمع‌بندی..... ۱۷۱

فصل هفتم

نتیجه گیری و پیشنهادات

۱-۷ نتیجه گیری	۱۷۴
۲-۷ پیشنهادات.....	۱۷۸

پیوست الف

گزارش کامل عملیات صحرائی

محدوده شماره ۱	۱۸۲
محدوده شماره ۲	۱۸۳
محدوده شماره ۳	۱۸۴
محدوده شماره ۴	۱۸۵
محدوده شماره ۵	۱۸۶
محدوده شماره ۶	۱۸۸
محدوده شماره ۷	۱۸۹
محدوده شماره ۸	۱۸۹
محدوده شماره ۹	۱۹۰
محدوده شماره ۱۰	۱۹۲
محدوده شماره ۱۱	۱۹۳
محدوده شماره ۱۲	۱۹۵
محدوده شماره ۱۳	۱۹۵
محدوده شماره ۱۴	۱۹۶
محدوده شماره ۱۵	۱۹۷
محدوده شماره ۱۶	۱۹۷
محدوده شماره ۱۷	۱۹۸
محدوده شماره ۱۸	۲۰۰

۲۰۱.....	محدوده شماره ۱۹.....
۲۰۲.....	محدوده شماره ۲۰.....
۲۰۳.....	محدوده شماره ۲۱.....
۲۰۴.....	محدوده شماره ۲۲.....
۲۰۵.....	محدوده شماره ۲۳.....
۲۰۷.....	محدوده شماره ۲۴.....
۲۰۸.....	محدوده شماره ۲۵.....
۲۰۹.....	محدوده شماره ۲۶.....
۲۱۰.....	محدوده شماره ۲۷.....
۲۱۱.....	محدوده شماره ۲۸.....
۲۱۱.....	محدوده شماره ۲۹.....
۲۱۲.....	محدوده شماره ۳۰.....
۲۱۳.....	محدوده شماره ۳۱.....
۲۱۳.....	محدوده شماره ۳۲.....
۲۱۴.....	محدوده شماره ۳۳.....
۲۱۶.....	محدوده شماره ۳۴.....
۲۱۷.....	محدوده شماره ۳۵.....
۲۱۸.....	محدوده شماره ۳۶.....
۲۲۰.....	محدوده شماره ۳۷.....
۲۲۱.....	محدوده شماره ۳۸.....
۲۲۲.....	محدوده شماره ۳۹.....
۲۲۲.....	محدوده شماره ۴۰.....
۲۲۳.....	محدوده شماره ۴۱.....
۲۲۳.....	محدوده شماره ۴۲.....

۲۲۴.....	محدوده شماره ۴۳.....
۲۲۶.....	محدوده شماره ۴۴.....
۲۲۹.....	محدوده شماره ۴۵.....
۲۳۰.....	محدوده شماره ۴۶.....
۲۳۳.....	محدوده شماره ۴۷.....

پیوست ب

مطالعات میکروسکوپی مقاطع

۲۳۶.....	مقدمه.....
۲۳۶.....	مقاطع نازک.....
۲۵۴.....	مقاطع صیقلی.....

پیوست ج

آنالیزهای آزمایشگاهی منتخب

۲۶۲.....	مقدمه.....
۲۶۲.....	آنالیزهای XRF.....
۲۶۵.....	آنالیزهای ICP.....
۲۶۸.....	آنالیزهای طلا.....
۲۶۸.....	مختصات نمونه های برداشت شده.....
۲۷۰.....	مراجع.....

فهرست جدول‌ها

- جدول ۱-۱ روش‌ها/مدل‌های مختلف تلفیق داده/اطلاعات، استفاده شده در پتانسیل‌یابی‌های اکتشافی ۴
- جدول ۱-۲ مقایسه مزایا و معایب روش‌های تلفیق اطلاعات. ۵
- جدول ۱-۲ رده‌بندی‌های سنگ‌شناسی توالی میزبان ۲۸
- جدول ۲-۲ مشخصات کانسار ماسیوسولفاید بوانات. ۳۶
- جدول ۳-۲ ساختار دسته بندی شده مدل مفهومی کانسارهای ماسیوسولفاید تیپ بشی برای استفاده در تلفیق ۳۸
- جدول ۴-۲ معادن و اندیس‌های معدنی استفاده شده در آنالیز فرای. ۵۱
- جدول ۵-۲ ساختار ارزش‌های فازی مورد استفاده برای داده‌های استخراجی از داده ژئوفیزیک ۵۴
- جدول ۶-۲ مشخصات معادن و اندیس‌های معدنی با تیپ کلنه‌زایی مشابه ماسیوسولفاید ۵۵
- جدول ۱-۳ پارامتر آلفا و ارتباط آن با متغیرهای زبانی مختلف. ۶۶
- جدول ۲-۳ ساختار دسته بندی شده مدل مفهومی کانسارهای ماسیوسولفاید تیپ بشی و ارزش‌های مورد استفاده. ۷۳
- جدول ۳-۳ مقیاس‌های مورد استفاده در مقایسه زوجی در میزان اهمیت نسبی معیارهای اصلی. ۷۵
- جدول ۴-۳ ساختار سلسله مراتبی معیارها و زیرمعیارها برای پی‌جویی ذخایر ماسیوسولفاید تیپ بشی. ۷۵
- جدول ۵-۳ ماتریس مقایسه زوجی معیارهای اصلی. ۷۶
- جدول ۶-۳ نتایج حاصل از چهار روش مختلف با توجه به کانسارهای شناخته شده. ۸۰
- جدول ۱-۴ مقیاس‌های مقایسه زوجی استفاده شده در مسئله. ۹۰
- جدول ۲-۴ جدول مقایسه‌ای رویکرد تحلیل شبکه‌ای (ارتباطات مستقیم خوشه زمین‌شناسی). ۹۹
- جدول ۳-۴ جدول مقایسه‌ای رویکرد تحلیل شبکه‌ای (ارتباطات مستقیم خوشه ژئوشیمی آبراهه‌ای). ۱۰۰
- جدول ۴-۴ جدول مقایسه‌ای رویکرد تحلیل شبکه‌ای (ارتباطات مستقیم خوشه دگرسانی‌های دورسنجی). ۱۰۰
- جدول ۵-۴ جدول مقایسه‌ای رویکرد تحلیل شبکه‌ای (ارتباطات مستقیم خوشه ژئوفیزیک). ۱۰۱
- جدول ۶-۴ جدول مقایسه‌ای رویکرد تحلیل شبکه‌ای (اثر ارتباطات خارجی خوشه‌ها با معیار کنترلی زمین‌شناسی). ۱۰۱
- جدول ۷-۴ جدول مقایسه‌ای رویکرد تحلیل شبکه‌ای (اثر ارتباطات خارجی عناصر خوشه‌ها با معیار کنترلی ولکانیک‌های مافیک). ۱۰۱

- جدول ۴-۱۱ وزن‌های منتج از رویکرد تحلیل شبکه‌ای برای هر یک از عناصر شبکه..... ۱۰۵
- جدول ۵-۱ داده‌های اولیه ورودی به بخش داده‌محور و مقادیر توابع برآورد در آنها..... ۱۲۶
- جدول ۵-۲ داده‌های بافردهی شده در بخش داده‌محور تصحیح شده بوسیله دانش و مقادیر توابع برآورد در آنها..... ۱۲۷
- جدول ۶-۱ خروجی طبقه‌بندی به کلاس‌های مثبت و منفی (ماتریس درهم ریختگی)..... ۱۳۹
- جدول ۶-۲ مقایسه نتایج حاصل از رویکردهای مختلف..... ۱۴۶
- جدول ۶-۳ لیست و مشخصات نمونه‌های برداشت شده..... ۱۴۹
- جدول ۶-۴ لیست و مشخصات نمونه‌های برداشت شده..... ۱۵۰
- جدول ۶-۵ لیست و مشخصات نمونه‌های برداشت شده..... ۱۵۲
- جدول ۶-۶ لیست و مشخصات نمونه‌های برداشت شده..... ۱۵۳
- جدول ۶-۷ لیست و مشخصات نمونه‌های برداشت شده..... ۱۵۴
- جدول ۶-۸ لیست و مشخصات نمونه‌های برداشت شده..... ۱۵۶
- جدول ۶-۹ لیست و مشخصات نمونه‌های برداشت شده..... ۱۵۷
- جدول ۶-۱۰ لیست و مشخصات نمونه‌های برداشت شده..... ۱۵۹
- جدول ۶-۱۱ لیست و مشخصات نمونه‌های برداشت شده..... ۱۶۱
- جدول ۶-۱۲ مختصری از مشاهدات و نتایج بازدید صحرایی در کل محدوده‌های اکتشافی..... ۱۶۳
- جدول ۶-۱۳ ارتباط مکانی محدوده‌های مختلف منطقه مورد مطالعه با یکدیگر در یک سیستم کانه‌زایی ماسیوسولفاید..... ۱۶۵
- جدول ۶-۱۴ مقایسه آماری نتایج حاصل از رویکردهای مورد استفاده..... ۱۷۱
- جدول ۱ لیست و مشخصات نمونه‌های برداشت شده..... ۱۸۲
- جدول ۲ لیست و مشخصات نمونه‌های برداشت شده..... ۱۸۴
- جدول ۳ لیست و مشخصات نمونه‌های برداشت شده..... ۱۸۵
- جدول ۴ لیست و مشخصات نمونه‌های برداشت شده..... ۱۸۶
- جدول ۵ لیست و مشخصات نمونه‌های برداشت شده..... ۱۹۰
- جدول ۶ لیست و مشخصات نمونه‌های برداشت شده..... ۱۹۷
- جدول ۷ لیست و مشخصات نمونه‌های برداشت شده..... ۱۹۸

- جدول ۸ لیست و مشخصات نمونه‌های برداشت شده. ۲۰۲
- جدول ۹ لیست و مشخصات نمونه‌های برداشت شده. ۲۰۳
- جدول ۱۰ لیست و مشخصات نمونه‌های برداشت شده. ۲۰۵
- جدول ۱۱ لیست و مشخصات نمونه‌های برداشت شده. ۲۰۷
- جدول ۱۲ لیست و مشخصات نمونه‌های برداشت شده. ۲۰۸
- جدول ۱۳ لیست و مشخصات نمونه‌های برداشت شده. ۲۱۳
- جدول ۱۴ لیست و مشخصات نمونه‌های برداشت شده. ۲۱۴
- جدول ۱۵ لیست و مشخصات نمونه‌های برداشت شده. ۲۱۷
- جدول ۱۶ لیست و مشخصات نمونه‌های برداشت شده. ۲۱۸
- جدول ۱۷ لیست و مشخصات نمونه‌های برداشت شده. ۲۲۱
- جدول ۱۸ لیست و مشخصات نمونه‌های برداشت شده. ۲۲۳
- جدول ۱۹ لیست و مشخصات نمونه‌های برداشت شده. ۲۲۵
- جدول ۲۰ لیست و مشخصات نمونه‌های برداشت شده. ۲۲۶
- جدول ۲۱ لیست و مشخصات نمونه‌های برداشت شده. ۲۲۹
- جدول ۲۲ لیست و مشخصات نمونه‌های برداشت شده. ۲۳۰
- جدول ۲۳ لیست و مشخصات نمونه‌های برداشت شده. ۲۳۳
- جدول ۲۴ آنالیزهای منتخب XRF ۲۶۲
- جدول ۲۵ آنالیزهای منتخب ICP ۲۶۵
- جدول ۲۶ آنالیزهای منتخب طلا ۲۶۸
- جدول ۲۷ مختصات نمونه‌های برداشت شده ۲۶۸

فهرست شکل‌ها

- شکل ۱-۱ مثلث مرتبط با زمان، هزینه و خروجی (دقت)..... ۳
- شکل ۲-۱ فرایند کلی انجام رساله..... ۱۴
- شکل ۱-۲ موقعیت محدوده مورد مطالعه در ایران و زون‌های ساختاری ایران..... ۱۹
- شکل ۲-۲ نقشه زمین‌شناسی محدوده مورد مطالعه، برگرفته از نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۵۰,۰۰۰ اقلید..... ۲۰
- شکل ۳-۲ داده‌های ژئوفیزیک هوایی با فاصله پرواز ۷/۵ کیلومتر در محدوده مورد مطالعه..... ۲۲
- شکل ۴-۲ تصویر ماهواره‌ای استر محدوده مورد مطالعه (ترکیب ۸-۶-۴)..... ۲۴
- شکل ۵-۲ موقعیت نمونه‌های آبراهه‌ای بر روی آبراهه‌های موجود در محدوده مطالعاتی..... ۲۵
- شکل ۶-۲ داده‌های تجمیع شده مورد استفاده در تحقیق..... ۲۶
- شکل ۷-۲ ارتباط مکانی بخش‌های مختلف یک توده ماسیوسولفاید، جمع بندی و گردآوری شده از..... ۲۸
- شکل ۸-۲ محیط تشکیل کانسارهای ماسیوسولفاید در محیط‌های واگرا و همگرا..... ۳۰
- شکل ۹-۲ مقطع شماتیک کانسارهای تیپ بشی..... ۳۴
- شکل ۱۰-۲ مدل مفهومی عمومی برای ذخایر ماسیوسولفاید و منابع استخراج هر فاکتور..... ۴۱
- شکل ۱۱-۲ الف) اعمال حدود آستانه‌ای بر روی سیگنال داده‌های ژئوشیمی آبراهه‌ای، ب) ضرایب سیگنال قبل از آستانه‌گذاری موجب، ج) ضرایب سیگنال بعد از آستانه‌گذاری موجب..... ۴۴
- شکل ۱۲-۲ نمودار فازی‌سازی عنصر مس در برگه سوریان بر اساس عیار..... ۴۶
- شکل ۱۳-۲ نقشه فازی داده‌های ژئوشیمی آبراهه‌ای برگه سوریان در محدوده مورد مطالعه برای عنصر مس..... ۴۶
- شکل ۱۴-۲ نمودار نحوه فازی‌سازی تابع اسمال توسط پارامترهای مختلف..... ۴۸
- شکل ۱۵-۲ نقشه فاصله هر پیکسل تا دگرسانی سیلیسی توسط تابع فاصله اقلیدسی..... ۴۸
- شکل ۱۶-۲ نقشه فازی‌سازی شده فاصله هر پیکسل، از دگرسانی سیلیسی..... ۴۹
- شکل ۱۷-۲ نقشه نهایی فازی فاصله هر پیکسل از دگرسانی سیلیسی بر اساس فاصله بارزش در مدل مفهومی..... ۴۹
- شکل ۱۸-۲ نقشه نهایی فازی واحدهای زمین‌شناسی..... ۵۰
- شکل ۱۹-۲ رزدباگرام داده‌های فرای مرتبط با کانسارهای ماسیوسولفاید موجود در منطقه بوانات..... ۵۱
- شکل ۲۰-۲ همبستگی فضایی گسل‌های با روند تعیین شده با معادن و اندیسه‌های معدنی (مقیاس ۱:۲۵۰,۰۰۰)..... ۵۲

- شکل ۲-۲۱ نمونه‌های از همبستگی فضایی گسل با آزمون ۳۰۰ درجه با پشته‌های کانهدار معدن جیان..... ۵۲
- شکل ۲-۲۲ نقشه فازی چگالی گسل‌های انتخابی (مقیاس ۱:۱۰۰,۰۰۰)..... ۵۳
- شکل ۲-۲۳ نقشه ارزش‌های فازی داده‌های استخراجی از داده ژئوفیزیک..... ۵۴
- شکل ۳-۱ نحوه استفاده از عملگر میانگین وزنی مرتبه یافته در تجمیع داده‌های مکانی..... ۶۷
- شکل ۳-۲ نمونه گروهی از متغیرهای زبانی برای افزایش مقدار عضویت فازی..... ۶۸
- شکل ۳-۳ نقشه‌های مختلف تولید شده با رویکرد عملگر میانگین وزنی مرتبه یافته توسط متغیرهای زبانی فازی مختلف: الف) به شدت بدبینانه، ب) بسیار بدبینانه، ج) بدبینانه، د) بینابین، و) خوش‌بینانه، ه) بسیار خوش‌بینانه، ی) به شدت خوش‌بینانه..... ۷۸
- شکل ۳-۴ نقشه‌های مختلف تولید شده با رویکرد تحلیل سلسله مراتبی- عملگر میانگین وزنی مرتبه یافته توسط متغیرهای زبانی فازی مختلف: الف) به شدت بدبینانه، ب) بسیار بدبینانه، ج) بدبینانه، د) بینابین، و) خوش‌بینانه، ه) بسیار خوش‌بینانه، ی) به شدت خوش‌بینانه..... ۷۹
- شکل ۳-۵ نقشه پیشگوی اکتشافی ذخایر ماسیوسولفاید تیپ بشی، آماده شده توسط رویکرد تحلیل سلسله مراتبی- عملگر میانگین وزنی مرتبه یافته مبتنی بر دانش کارشناسی با استفاده از متغیرهای زبانی فازی..... ۷۹
- شکل ۳-۶ نمودار پراکندگی درصد پیشنهاد شده در مقایسه با درصد کانسارهای شناخته شده صحیح، بر اساس مقادیر مختلف α : الف) رویکرد عملگر میانگین وزنی مرتبه یافته، ب) رویکرد تحلیل سلسله مراتبی- عملگر میانگین وزنی مرتبه یافته..... ۸۳
- شکل ۴-۱ مقایسه روش‌های: الف) تحلیل شبکه‌ای و ب) تحلیل سلسله مراتبی..... ۸۸
- شکل ۴-۲ ساختار شبکه‌ای طراحی شده با توجه به مدل مفهومی ذخایر ماسیوسولفاید تیپ بشی برای حل مسئله..... ۹۸
- شکل ۴-۳ نقشه نواحی امیدبخش اکتشافی ذخایر تیپ ماسیوسولفاید نوع بشی با استفاده از رویکرد تحلیل سلسله مراتبی- شباهت به گزینه ایده‌آل..... ۱۰۶
- شکل ۴-۴ نقشه نواحی امیدبخش اکتشافی ذخایر تیپ ماسیوسولفاید نوع بشی با استفاده از رویکرد تحلیل شبکه‌ای- شباهت به گزینه ایده‌آل..... ۱۰۷
- شکل ۴-۵ نمودار مقایسه منحنی مشخصه عملکرد سیستم برای دو رویکرد تحلیل شبکه‌ای- شباهت به گزینه ایده‌آل و تحلیل سلسله مراتبی- شباهت به گزینه ایده‌آل..... ۱۰۸
- شکل ۵-۱ نمایش مجموعه‌ای روش ترکیب دِمپستر- شِیفر..... ۱۱۵
- شکل ۵-۲ شکل کلی توابع در فاصله [۰,۱] در تئوری دِمپستر- شِیفر..... ۱۱۷
- شکل ۵-۳ نمایش تصویری روابط بین پارامترهای تئوری دِمپستر- شِیفر..... ۱۱۷
- شکل ۵-۴ نمونه فرضی محل اندیس‌ها و معادن بر روی نقشه‌های شاهد و نحوه محاسبه عدم قطعیت در روش صرفاً داده محور..... ۱۲۰

- شکل ۵-۵ ساختار تولید نقشه‌های توابع برآورد به روش دمپستر-شیفر. ۱۲۸.....
- شکل ۵-۶ نقشه تابع اعتقاد برای اکتشاف ذخایر ماسیوسولفاید در منطقه بوانات. ۱۲۹.....
- شکل ۵-۷ نقشه تابع اعتماد برای اکتشاف ذخایر ماسیوسولفاید در منطقه بوانات. ۱۳۰.....
- شکل ۵-۸ نقشه تابع عدم اعتقاد برای اکتشاف ذخایر ماسیوسولفاید در منطقه بوانات. ۱۳۱.....
- شکل ۵-۹ نقشه تابع عدم قطعیت برای اکتشاف ذخایر ماسیوسولفاید در منطقه بوانات. ۱۳۲.....
- شکل ۵-۱۰ موقعیت نقاط آزمایشی بازدید شده بر روی نقشه تابع اعتقاد. ۱۳۴.....
- شکل ۵-۱۱ منحنی مشخصه عملکرد سیستم برای تابع اعتقاد. ۱۳۵.....
- شکل ۵-۱۲ مقایسه منحنی مشخصه عملکرد سیستم برای رویکردهای مختلف. ۱۳۶.....
- شکل ۶-۱ نمایش شماتیک نحوه کارکرد منحنی مشخصه عملکرد سیستم. ۱۴۰.....
- شکل ۶-۲ نمودار مقایسه منحنی مشخصه عملکرد سیستم برای دو رویکرد مختلف. ۱۴۱.....
- شکل ۶-۳ تفاوت ارزیابی به روش بازخورد و دقت. ۱۴۲.....
- شکل ۶-۴ منحنی مشخصه عملکرد سیستم برای رویکردهای مختلف مدل‌سازی. ۱۴۴.....
- شکل ۶-۵ منحنی دقت برای رویکردهای مختلف مدل‌سازی در آستانه‌گذاری‌های مختلف. ۱۴۴.....
- شکل ۶-۶ منحنی بازخورد برای رویکردهای مختلف مدل‌سازی در آستانه‌گذاری‌های مختلف. ۱۴۵.....
- شکل ۶-۷ منحنی معیار اف برای رویکردهای مختلف مدل‌سازی در آستانه‌گذاری‌های مختلف و پیدا کردن آستانه‌ای که بالاترین مقدار F را دارد. ۱۴۵.....
- شکل ۶-۸ موقعیت محدوده‌های صحرایی بازدید شده در منطقه مطالعاتی بوانات. ۱۴۸.....
- شکل ۶-۹ الف) لنزهای هماتیته بر روی آهک‌ها و متاولکانیک‌ها. ب) کانه‌زایی کالکوپیریت در یک متاولکانیک. ۱۴۹.....
- شکل ۶-۱۰ لنزهای عظیم هماتیته بر بخش فوقانی متاولکانیک‌ها. ۱۴۹.....
- شکل ۶-۱۱ الف) دولومیت و آهک شدیداً سلیسی شده. ب) رگه‌های سیلیس متاخر که می‌تولند حاوی آهن و یا فاقد آن باشد. ۱۵۱.....
- شکل ۶-۱۲ سینه کار معدن. ۱۵۱.....
- شکل ۶-۱۳ الف) کانه‌زایی مس مالاکیته. ب) کانه‌زایی مس به همراه منگنز و آهن در بخشی شدیداً آلتره. ۱۵۲.....
- شکل ۶-۱۴ الف) بخش منگن‌دار. ب) کانه‌زایی مس. ۱۵۳.....

- شکل ۱۵-۶ الف) کانه‌زایی مس مالاکیتی و کالکوپیریت و اکسید آهن. ب) آلتراسیون اکسید آهن. ۱۵۴.....
- شکل ۱۶-۶ الف) بخش‌های آهن هماتی. ب) واریزه‌های فراوان چرت. ۱۵۵.....
- شکل ۱۷-۶ الف) آغشتگی آهن. ب) توالی لیتولوژی‌های مختلف. ۱۵۵.....
- شکل ۱۸-۶ الف) رگه‌های آهن‌دار موجود در آهک‌ها. ب) تناوب متاولکانیک و بخش آهن‌دار. ۱۵۶.....
- شکل ۱۹-۶ رخنمون‌های آهن در بخش زیرین متاولکانیک. ۱۵۶.....
- شکل ۲۰-۶ الف) کانه‌زایی گالن، پیریت، کالکوپیریت، بورنایت، مالاکیت و لیمونیت. ب) کانه‌زایی مس. ۱۵۷.....
- شکل ۲۱-۶ الف) کانه‌زایی گالن در داخل رگه سیلیسی. ب) کانه‌زایی پیریت، کالکوپیریت و هیدروکسید آهن در رگه سیلیسی. ۱۵۸.....
- شکل ۲۲-۶ کانه‌زایی کوولین و هیدروکسید آهن. ۱۵۸.....
- شکل ۲۳-۶ الف) کانه‌زایی مس مالاکیتی. ب) کانه‌زایی اکسید آهن و مس. ۱۵۹.....
- شکل ۲۴-۶ الف) اکسید آهن دانه درشت. ب) کانه‌زایی مالاکیت و اکسید آهن دانه‌ریز. ۱۵۹.....
- شکل ۲۵-۶ الف) پیریت و کالکوپیریت توده‌ای. ب) کانه‌زایی مالاکیت به همراه منگنز. ۱۶۰.....
- شکل ۲۶-۶ الف) کانه‌زایی پیریت و کالکوپیریت. ب) کانه‌زایی کالکوپیریت، کوولین و اسفالریت. ۱۶۰.....
- شکل ۲۷-۶ الف) کانه‌زایی پیریت، کالکوپیریت و میکا در متن سیلیسی. ب) کانه‌زایی کالکوپیریت، پیریت، کوولین و اسفالریت. ۱۶۰.....
- شکل ۲۸-۶ الف) کانه‌زایی کالکوپیریت، پیریت و تیتانیت. ب) شکل ۴۴-۶ کانه‌زایی کالکوپیریت، پیریت، تیتانیت و کلینوپیروکسن. ۱۶۱.....
- شکل ۲۹-۶ الف) همراهی پیریت و کالکوپیریت فراوان در نمونه‌ها. ب) اکسید آهن قرمز رنگ. ۱۶۲.....
- شکل ۳۰-۶ کانه‌زایی پیریت و کالکوپیریت به مقدار فراوان در نمونه. ۱۶۲.....
- شکل ۳۱-۶ بلور پیریت به همراه کالکوپیریت، باریت و کربنات آهن-منیزیم. ۱۶۲.....
- شکل ۳۲-۶ زون استرینگر که در بالا بوسیله لایه‌های آهن پوشیده شده است. ۱۶۶.....
- شکل ۳۳-۶ بخش استوک ورکی موجود در نزدیکی توده اصلی. ۱۶۶.....
- شکل ۳۴-۶ پوشیده شدن بخش دگرگونی، سولفاید توده‌ای و استوک ورک توسط گوسن‌ها. ۱۶۷.....
- شکل ۳۵-۶ وجود بخش آهن‌دار در بالای بخش کاملاً آلتره. ۱۶۷.....
- شکل ۳۶-۶ بخش‌های آلتره مختلف از جمله کلریتی و لیمونیتی. ۱۶۷.....

- شکل ۳۷-۶ بخش استوک ورکی و مقایسه آن با استوک ورک موجود در معدن ویندی کراگی در بریتیش کلمبیا..... ۱۶۸
- شکل ۳۸-۶ نمودار باکس پلات نمونه‌های برداشت شده ۱۶۹
- شکل ۳۹-۶ مقایسه بصری نتایج حاصل از رویکردهای مورد استفاده..... ۱۷۰
- شکل ۱ بخش توفی با ریزدانه‌های کالکوپیریت..... ۱۸۲
- شکل ۲ مرز بین آهک سیلیسی شده با توده متاولکانیکی و هماتیت..... ۱۸۲
- شکل ۳ بخش مرز بین آهک سیلیسی شده با توده متاولکانیکی ۱۸۳
- شکل ۴ آهک سیلیسی شده..... ۱۸۳
- شکل ۵ آهک سیلیسی شده..... ۱۸۳
- شکل ۶ بخش هماتیتی بر روی آهک سیلیسی..... ۱۸۳
- شکل ۷ عکس پانوراما از منطقه..... ۱۸۳
- شکل ۸ شلیست و اسلیت به همراه لایه‌های سیلیسی..... ۱۸۴
- شکل ۹ دورنمای آهک بر بخش فوقانی لایه آهن‌دار..... ۱۸۵
- شکل ۱۰ بخش شلیستی دارای لایه‌های سطحی آهن..... ۱۸۵
- شکل ۱۱ بخش آندزیتی..... ۱۸۵
- شکل ۱۲ بخش آهن‌دار بر روی آندزیت‌ها..... ۱۸۵
- شکل ۱۳ واریزه‌های فراوان هماتیت..... ۱۸۶
- شکل ۱۴ آهک لایه‌ای..... ۱۸۶
- شکل ۱۵ لنزهای هماتیتی بر روی آهک و متاولکانیک‌ها..... ۱۸۶
- شکل ۱۶ کانه‌زایی آهن در کنار متاولکانیک‌ها..... ۱۸۶
- شکل ۱۷ لنزهای عظیم هماتیتی بر بخش فوقانی متاولکانیک‌ها..... ۱۸۷
- شکل ۱۸ لایه آهک در زیر لنز آهنی..... ۱۸۷
- شکل ۱۹ ترانشه حاصل از جاده و آشکار شدن لایه‌های آهن، آهک و متاولکانیک و تقدم و تاخر آنها..... ۱۸۷
- شکل ۲۰ لنز آهن‌دار بر فراز قله‌های کم ارتفاع آهکی..... ۱۸۷
- شکل ۲۱ کانه‌زایی کالکوپیریت در بخشهای مختلف یک متاولکانیک..... ۱۸۷

- شکل ۲۲ حضور پیریت، کالکوپیریت و کالکوسیت در بخش‌های مختلف مقطع ۱۸۸
- شکل ۲۳ عکس پانوراما از توده عظیم آهن هماتیته ۱۸۸
- شکل ۲۴ تناوب آهک، لایه هماتیته و متاولکانیک ۱۸۸
- شکل ۲۵ قله‌های هماتیته بر روی آهک‌ها ۱۸۹
- شکل ۲۶ قرارگیری مجدد آهک جدیدتر بر روی لنزهای آهن ۱۸۹
- شکل ۲۷ بخش آهکی بالایی لنز آهن ۱۹۰
- شکل ۲۸ شیست‌های آهن‌دار ۱۹۰
- شکل ۲۹ دورنمای سه تپه حاوی آهن ۱۹۱
- شکل ۳۰ دولومیت و آهک شدیداً سیلیسی شده ۱۹۱
- شکل ۳۱ رگه‌های سیلیس متاخر که می‌تولند حاوی آهن و یا فاقد آن باشد. ۱۹۱
- شکل ۳۲ رگه‌های هماتیته که در متن آهک وجود دارد و همچنین آهک حاوی اکسید پیریت ۱۹۲
- شکل ۳۳ رگه‌های سیلیسی متعدد ۱۹۲
- شکل ۳۴ کانه‌زایی آهن در بخش‌های سیلیسی ۱۹۲
- شکل ۳۵ عکس پانورامای یکی از تپه‌های حاوی آهک سیلیسی ۱۹۲
- شکل ۳۶ بخش شیستی بر روی آهک ۱۹۳
- شکل ۳۷ آهک با رگه‌های متعدد ۱۹۳
- شکل ۳۸ کانه‌زایی آهن در بخش‌های سیلیسی ۱۹۳
- شکل ۳۹ آهک سیلیسی با رگه‌های متعدد ۱۹۴
- شکل ۴۰ لایه آهن در بین آهک ۱۹۴
- شکل ۴۱ مرز بین آهک و بخش آهن‌دار ۱۹۴
- شکل ۴۲ آهک‌های بخش بالایی کانه‌زایی ۱۹۴
- شکل ۴۳ کانه‌زایی سطحی آهن ۱۹۴
- شکل ۴۴ رخنمون آهن در بخش پایین آهک ۱۹۵
- شکل ۴۵ محل ذخیره سنگ آهن ۱۹۶

- شکل ۴۶ بخش سیلیسی مرتبط با کانه‌زایی ۱۹۶
- شکل ۴۷ کانه‌زایی آهن هماتیته ۱۹۶
- شکل ۴۸ سینه کار معدن ۱۹۷
- شکل ۴۹ گستردگی لاتریت در کل محدوده ۱۹۸
- شکل ۵۰ کانه‌زایی پیریت در بخش‌های مختلف مقطع ۱۹۸
- شکل ۵۱ دید کلی محدوده معدنی ۱۹۹
- شکل ۵۲ کانه‌زایی آهن و منگنز در سینه کار ۱۹۹
- شکل ۵۳ کانه‌زایی مس مالاکیته ۱۹۹
- شکل ۵۴ کانه‌زایی مس به همراه منگنز و آهن در بخشی شدیداً آلتره ۱۹۹
- شکل ۵۵ بخش منگن‌دار ۲۰۰
- شکل ۵۶ کانه‌زایی مس ۲۰۰
- شکل ۵۷ عکس پانورامای محدوده معدنی ۲۰۰
- شکل ۶۰ رخنمون کانه‌زایی آهن و منگنز ۲۰۱
- شکل ۶۱ کانه‌زایی آهن و منگنز ۲۰۱
- شکل ۶۲ توده آهک شدیداً سیلیسی ۲۰۲
- شکل ۶۳ بخش اکسید آهنی و آلتره و در بخش پایینی کاملاً برشی ۲۰۲
- شکل ۶۴ رگه‌های سیلیسی مختلف در چند فاز ۲۰۳
- شکل ۶۵ رگه‌های سیلیسی مس‌دار ۲۰۴
- شکل ۶۶ عکس پانورامای محدوده ۲۰۴
- شکل ۶۷ آغشتگی آهن در بخش‌های مختلف ۲۰۵
- شکل ۶۸ ترانشه‌های حفر شده در معدن ۲۰۶
- شکل ۶۹ کانه‌زایی مالاکیته، کالکوپیریت و اکسید آهن ۲۰۶
- شکل ۷۰ کانه‌زایی مس مالاکیته و کالکوپیریت و اکسید آهن ۲۰۶
- شکل ۷۱ آلتراسیون اکسید آهن ۲۰۶

- شکل ۷۲ کانه‌زایی مس مالاکییتی و اکسید آهن ۲۰۷
- شکل ۷۳ کانه‌زایی کالکوپیریت آلتیره، آهن و دیجنایت ۲۰۷
- شکل ۷۴ کانه‌زایی پیریت آلتیره و اکسید آهن ۲۰۷
- شکل ۷۵ حضور کانیه‌های تیتانیوم در مقطع ۲۰۷
- شکل ۷۶ کانه‌زایی احتمالی لاتریت و همچنین آهن هماتیتی و لیمونیتی ۲۰۷
- شکل ۷۷ بخش‌های آهن هماتیتی ۲۰۸
- شکل ۷۸ واریزه‌های فراوان چرت ۲۰۸
- شکل ۷۹ عکس پانوراما از منطقه ۲۰۸
- شکل ۸۰ آغشتگی آهن ۲۰۹
- شکل ۸۱ توالی لیتولوژی‌های مختلف ۲۰۹
- شکل ۸۲ شیست‌های سبز و قرمز ۲۰۹
- شکل ۸۳ ترانشه‌های متعدد در محدوده ۲۰۹
- شکل ۸۴ ترانشه‌های متعدد در محدوده ۲۱۰
- شکل ۸۵ کانه‌زایی مس مالاکییتی ۲۱۰
- شکل ۸۶ رگه‌های سیلیسی در بخش‌های دگرگونی ۲۱۰
- شکل ۸۷ کانه‌زایی آهن سطحی در نزدیکی رگه‌های سیلیسی ۲۱۱
- شکل ۸۸ دهانه تونل‌های بزرگ و کوچک معدن ۲۱۲
- شکل ۸۹ بخش داخلی تونل معدن ۲۱۲
- شکل ۹۰ لایه‌های آهن‌دار در منطقه ۲۱۲
- شکل ۹۱ اثر تاریخی ثبت شده در فهرست آثار ملی ۲۱۲
- شکل ۹۲ موقعیت تجهیزات معدن عنبرکوه ۲۱۳
- شکل ۹۳ کانه‌زایی آهن به صورت ضعیف و غیراقتصادی ۲۱۴
- شکل ۹۴ دورنمای چند تپه آهن‌دار ۲۱۵
- شکل ۹۵ بخش دگرگونی منطقه ۲۱۵

- شکل ۹۶ رگه‌های آهن‌دار موجود در بخش‌های مختلف..... ۲۱۵
- شکل ۹۷ تپه آهن‌دار..... ۲۱۵
- شکل ۹۸ تناوب متاولکانیک و بخش آهن‌دار..... ۲۱۵
- شکل ۹۹ رگه‌های آهن‌دار موجود در آهک‌ها..... ۲۱۶
- شکل ۱۰۰ بخش‌های با میزان آهن بیشتر و گسترده‌تر..... ۲۱۶
- شکل ۱۰۱ رخنمون‌های آهن در بخش زیرین متاولکانیک..... ۲۱۶
- شکل ۱۰۳ رخنمون کنگلومرایی..... ۲۱۸
- شکل ۱۰۴ پوشش برفی در منطقه..... ۲۱۸
- شکل ۱۰۵ پیت معدن روباز جیان..... ۲۱۹
- شکل ۱۰۶ کانه‌زایی مس..... ۲۱۹
- شکل ۱۰۷ کانه‌زایی در مرز بخش آلتزه و شیست..... ۲۱۹
- شکل ۱۰۸ بخش کاملاً سیلیسی شده..... ۲۱۹
- شکل ۱۰۹ کانه‌زایی گالن، پیریت، کالکوپیریت، بورنایت، مالاکیت و لیمونیت..... ۲۱۹
- شکل ۱۱۰ پیریت، کالکوپیریت و هیدروکسید آهن در رگه سیلیسی..... ۲۱۹
- شکل ۱۱۱ کانه‌زایی کوولین و هیدروکسید آهن..... ۲۲۰
- شکل ۱۱۲ کانه‌زایی پیریت، کالکوپیریت و هیدروکسید آهن..... ۲۲۰
- شکل ۱۱۳ کانه‌زایی گالن در داخل رگه سیلیسی..... ۲۲۰
- شکل ۱۱۴ رگه سیلیسی در داخل شیست‌ها..... ۲۲۱
- شکل ۱۱۵ شیست‌های ورقه‌ای..... ۲۲۱
- شکل ۱۱۶ قطعاتی از بخش استوک ورکی..... ۲۲۱
- شکل ۱۱۷ رگه سیلیسی گاهاً حاوی اکسید آهن..... ۲۲۲
- شکل ۱۱۸ شیست غیرمتورق..... ۲۲۲
- شکل ۱۱۹ کانه‌زایی مس مالاکیتی..... ۲۲۲
- شکل ۱۲۰ رگه سیلیسی به همراه آغشتگی سطحی آهن..... ۲۲۳

- شکل ۱۲۱ رگه‌های سیلیسی متعدد در منطقه..... ۲۲۴
- شکل ۱۲۲ اکسید آهن در رگه‌های سیلیسی..... ۲۲۴
- شکل ۱۲۳ رگه‌های سیلیسی متعدد در منطقه..... ۲۲۵
- شکل ۱۲۴ احاطه شدن کالکوپیریت بوسیله اکسید توام آهن و مس احاطه شده..... ۲۲۵
- شکل ۱۲۵ بلورهای پیریت احاطه شده توسط اکسید آهن و مس..... ۲۲۶
- شکل ۱۲۶ کانهازایی پیریت و اکسید تیتانیوم..... ۲۲۶
- شکل ۱۲۷ تونل‌های قدیمی حفر شده..... ۲۲۷
- شکل ۱۲۸ کانهازایی مس مالاکیتی..... ۲۲۷
- شکل ۱۲۹ کانهازایی اکسید آهن و مس..... ۲۲۷
- شکل ۱۳۰ اکسید آهن دانه درشت..... ۲۲۷
- شکل ۱۳۱ کانهازایی مالاکیت و اکسید آهن دانهریز..... ۲۲۷
- شکل ۱۳۲ پیریت و کالکوپیریت توده‌ای..... ۲۲۸
- شکل ۱۳۳ کانهازایی مالاکیت به همراه منگنز..... ۲۲۸
- شکل ۱۳۴ کانهازایی پیریت و کالکوپیریت..... ۲۲۸
- شکل ۱۳۵ کانهازایی کالکوپیریت، کولین و اسفالریت..... ۲۲۸
- شکل ۱۳۶ کانهازایی پیریت، کالکوپیریت و میکا در متن سیلیسی..... ۲۲۸
- شکل ۱۳۷ کانهازایی کالکوپیریت، پیریت، کولین و اسفالریت..... ۲۲۸
- شکل ۱۳۸ کانهازایی کالکوپیریت، پیریت و تیتانیت..... ۲۲۹
- شکل ۱۳۹ کانهازایی کالکوپیریت، پیریت، تیتانیت و کلینوپیروکسن..... ۲۲۹
- شکل ۱۴۰ شیست مالاکیت‌دار..... ۲۳۰
- شکل ۱۴۱ ترانشه‌های متعدد در منطقه..... ۲۳۱
- شکل ۱۴۲ کانهازایی مس مالاکیت و آزوریتی به همراه پیریت و کالکوپیریت..... ۲۳۱
- شکل ۱۴۳ شیست قرمز رنگ مالاکیت‌دار..... ۲۳۱
- شکل ۱۴۴ کانهازایی تیتانیت (سیلیکات تیتانیوم-کلسیم)..... ۲۳۱

- شکل ۱۴۵ کان‌زایی تیتانیت و آرسنات مس-آهن ۲۳۱
- شکل ۱۴۶ کان‌زایی آکانتیت (سولفید نقره) و شکستگی‌های مرتبط با فعالیت کف دریا ۲۳۲
- شکل ۱۴۷ کان‌زایی کالکوپیریت که توسط هیدروکسید مس و آهن و در اطراف با بیوتیت، کلسیت احاطه شده است ۲۳۲
- شکل ۱۴۸ کان‌زایی اکسید تیتانیوم ۲۳۲
- شکل ۱۴۹ کان‌زایی گزنوتایم به همراه اکسید تیتانیوم، آرسنات مس و آهن و آپاتیت ۲۳۲
- شکل ۱۵۰ کان‌زایی کالکوپیریت احاطه شده توسط آرسنات و اکسید مس و آهن که از حاشیه شروع به اکسایش کرده است .. ۲۳۲
- شکل ۱۵۱ بخش کان‌دار (پیریت و کالکوپیریت) ۲۳۳
- شکل ۱۵۲ اکسید آهن قرمز رنگ ۲۳۳
- شکل ۱۵۳ همراهی پیریت و کالکوپیریت فراوان در نمونه‌ها ۲۳۴
- شکل ۱۵۴ کان‌زایی پیریت و کالکوپیریت به مقدار فراوان در نمونه ۲۳۴
- شکل ۱۵۵ بلور پیریت به همراه کالکوپیریت، باریت و کربنات آهن-منیزیم ۲۳۴

فصل اول

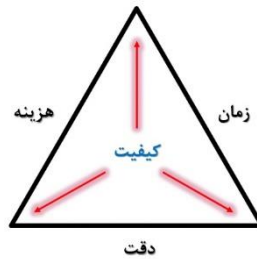
مقدمه

۱-۱ تعریف مسئله

مدل‌سازی پتانسیل معدنی^۱، طبق تعریف عبارت از اندازه‌گیری و به نقشه درآوردن احتمال وجود ذخایر معدنی در یک منطقه است (Carranza, 2017). ترکیب نقشه‌های ناهنجاری که توسط تجزیه و تحلیل داده‌های اکتشافی زمین مرجع از چند منبع به دست آمده است، به طور معمول از تلفیق نقشه‌های هم‌اندازه و هم‌مقیاس با یکدیگر و پیدا نمودن موقعیت‌های احتمالی کانه‌زایی توسط همپوشانی ناهنجاری‌ها انجام می‌شود (Bonham-Carter & Agterberg, 1990). در صورت هم‌مقیاس نبودن نقشه‌ها، بوسیله روش‌های تبدیل، تصاویر دارای رزلوشن پایین به تصاویری با رزلوشن بالا و بالعکس، نقشه‌ها هم‌مقیاس می‌شوند (Kirton *et al.*, 2006; Sun *et al.*, 2018).

توفیق در هر پروژه، بر اساس یک مدل سه‌گانه که با به تعادل رسیدن ظریفی مابین این سه عامل زمان، هزینه و خروجی (دقت) در وسط مثلث آهنین، محقق می‌شود (شکل ۱-۱) (Weaver, 2007). کیفیت می‌تواند عامل چهارمی باشد که به "مثلث آهنین" افزوده می‌شود. یک پروژه خوب باید سریع، دقیق و کم‌هزینه باشد. معمولاً رسیدن به دو عامل از سه عامل عملی است. نقطه بهینه در مثلث سه‌وجهی در وسط این پارامترها قرار دارد. این مثلث همچنین به این معنی است که ما نمی‌توانیم بر یک جنبه تکیه کنیم بدون این که هیچ تأثیری روی دو جنبه دیگر و البته کیفیت داشته باشیم (Weaver, 2007). دقت نتایج، یک عامل مهم برای ارزیابی رویکردهای مختلف است (Bonham-Carter *et al.*, 1989, 2002). در هر پروژه اکتشاف معدنی، دقت نتایج به طور مستقیم بر زمان و فضای منطقه جستجو تأثیر می‌گذارد. در صورت استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره، می‌توان علاوه بر افزایش دقت، زمان و هزینه صرف شده برای پروژه را کاهش داد.

¹ Mineral Potential Mapping (MPM)



شکل ۱-۱ مثلث مرتبط با زمان، هزینه و خروجی (دقت).

با توجه به این موضوع، در تهیه نقشه‌های پتانسیل معدنی سه عامل مهم مورد نظر به شرح زیراند که لازم است برای بهینه شدن آن‌ها تحقیقات بیشتری انجام شود:

- کاهش مساحت محدوده پیشنهادی برای مرحله اکتشافی بعد.
- افزایش دقت و صحت محدوده پیشنهادی برای مرحله اکتشافی بعد.
- مشخص نمودن میزان عدم قطعیت و یا میزان اعتقاد به محدوده‌های پیشنهادی.

تقریباً تمامی محققین با رویکردهای مختلف بر روی موارد اول و دوم متمرکز شده‌اند و مورد سوم کمتر مورد توجه قرار گرفته است.

۲-۱ رویکردهای متداول در حل مسئله

برای اکتشاف ذخایر ناشناخته و تولید نقشه‌های پیشگو، روش‌های متنوعی برای تلفیق لایه‌های اطلاعاتی مختلف استفاده گردیده است که از آن جمله می‌توان به موارد ذیل اشاره نمود: منطق فازی^۱، رگرسیون لجستیک^۲، مدل بی‌زین^۳، وزن‌های نشانگر^۴، همپوشانی شاخص^۵، توابع برآورد^۶، شباهت به گزینه ایده‌آل^۷

¹ Fuzzy logic

² Logistic regression

³ Bayesian

⁴ Weight of evidence

⁵ Index overlay

⁶ Evidential belief function

⁷ TOPSIS

و تحلیل سلسله مراتبی^۱. در جداول ۱-۱ و ۲-۱ تعدادی از روش‌های تلفیق اطلاعات به همراه مراجع و همچنین مزایا و معایب اصلی آن‌ها آورده شده است.

روش	مراجع از قدیم تا کنون
دانش محور	
منطق بولین	Bonham-Carter (1994), Thiart and De Wit (2000), Harris <i>et al.</i> (2001b).
همپوشانی	Bonham-Carter (1994), Carranza <i>et al.</i> (1999), Thiart and De Wit (2000).
شاخص دو کلاسه	Bonham-Carter (1994), Harris <i>et al.</i> (2001b), Chica-Olmo <i>et al.</i> (2002), De Araujo and Macedo (2002), Billa <i>et al.</i> (2004), Harris <i>et al.</i> (2008).
همپوشانی شاخص چند کلاسه	An <i>et al.</i> (1991), Gettings and Bultman (1993), Bonham-Carter (1994), Nykanen <i>et al.</i> (2008a,b), González-Alvarez <i>et al.</i> (2010).
منطق فازی	Moon (1990, 1993), Chung and Moon (1991), Moon <i>et al.</i> (1991), An <i>et al.</i> (1992, 1994a, b), Chung and Fabbri (1993), Wright and Bonham-Carter (1996), Tangestani and Moore (2002), Chen (2004), Rogge <i>et al.</i> (2006).
اعتقاد شهودی	
داده محور دو متغیره	
وزن‌های نشانگر	Bonham-Carter <i>et al.</i> (1988, 1989), Agterberg and Bonham-Carter (1990, 2005), Agterberg <i>et al.</i> (1990, 1993a), Fallon <i>et al.</i> (2010).
آنالیز اعتقاد شهودی	Chung and Fabbri (1993), An <i>et al.</i> (1994b), Carranza and Hale (2003), Carranza <i>et al.</i> (2005, 2008a, b, c, 2009), Carranza (2008, 2009a, 2011), Carranza and Sadeghi (2010).
داده محور چند متغیره	
آنالیز تفریقی	Chung (1977), Prelat (1977), Bonham-Carter and Chung (1983), Harris and Pan (1999), Pan and Harris (2000), Harris <i>et al.</i> (2003), Carranza (2008).
تجزیه و تحلیل مشخصه	Botbol <i>et al.</i> (1977, 1978), McCammon <i>et al.</i> (1983, 1984), Harris (1984), Pan and Harris (1992a, 2000).
آنالیز رگرسیون لجستیک	Chung (1978, 1983), Bonham-Carter and Chung (1983), Carranza <i>et al.</i> (2008a), Oh and Lee (2008), Fallon <i>et al.</i> (2010), Porwal <i>et al.</i> (2010a), Chen <i>et al.</i> (2011).
آنالیز مطلوبیت	Pan (1993a, b, c), Pan and Portefield (1995), Pan and Harris (1992, 2000), Rostirolla <i>et al.</i> (1998), Chen (2004).
آنالیز نسبت احتمال	Chung and Fabbri (1993), Chung <i>et al.</i> (2002), Oh and Lee (2008).
شبکه عصبی	Singer and Kouda (1996, 1997, 1999), Harris and Pan (1999), Oh and Lee (2010).

¹ Analytical hierarchy process

در جدول ۱-۲ مزایا و معایب روش‌های مختلف تلفیق اطلاعات با یکدیگر مقایسه گردیده است.

جدول ۱-۲ مقایسه مزایا و معایب روش‌های تلفیق اطلاعات.

مرجع	معایب	مزایا	روش ترکیب
Xiong & Zue, 2018	نتایج غیرقابل اعتماد به علت نسبت کم سلول‌های دارای ذخیره به کل سلول‌ها	عدم دخالت نظر شخصی	رگرسیون لجستیک
Yousefi & Carranza, 2017	نقصان در مدل نمودن عدم قطعیت مناطق با داده کم و یا فاقد داده	مدل نمودن عدم قطعیت، بهینگی مساحت خروجی در عملگر ضرب فازی	منطق فازی
Carranza, 2008	بیش از اندازه به داده متکی است و در مناطق سبز نتایج قابل اتکائی ارائه نمی‌دهد	در انتخاب فاکتورهای وزن دهی، ساده تر از روش رگرسیون، تاکید برهمبستگی فضایی با تمرکز بر ویژگی‌های زمین شناسی، در مناطق وسیع با تعداد کم نقاط آموزشی، قابل قبول است ولی نیاز به تفسیر محتاطانه و مفروضات ضمنی دارد	وزن‌های نشانگر
Bishop, 2006	احتیاج به دانش اولیه، اتکای بیش از اندازه به داده، حجم عملیات ریاضی بسیار زیاد، زون ابهام همپوشانی جوامع	روشی ترسیمی، بارز نمودن خصوصیات درونی مدل از جمله استقلال شرطی متغیرها	بیزین
Carranza, 2008	احتیاج به دانش بسیار قوی ارتباطات پیچیده معیارهای اکتشافی هر تیپ خاص کانه‌زایی با یکدیگر دارد	منعطف و حساس در مکان یابی نسبت به مدل‌های قبلی	همپوشانی شاخص
Carranza <i>et al.</i> , 2005	محدودیت ترکیب اطلاعات آن فقط به اشتراک و اجتماع	مدل نمودن عدم قطعیت	تابع برآورد

Aruldoss et al., 2013	شرط استقلال متغیرها، از دست رفتن اطلاعات مهم به علت استفاده از عملگر تجمیع، نیاز به تعداد زیادی مقایسه‌های زوجی	انعطاف پذیر، بصری، چک شدن تناقضات، بدون تعصب در تصمیم گیری	تحلیل سلسله مراتبی
Aruldoss et al., 2013	زمانبر، پشتیبانی نکردن نایقینی	عدم نیاز به استقلال عناصر، پیش بینی دقیق به علت مدل نمودن بازخورد، سادگی، انعطاف پذیری، به کارگیری معیارهای کمی و کیفی به طور همزمان و قابلیت بررسی سازگاری در قضاوت‌ها	تحلیل شبکه‌ای ^۱
تقی پورجاری ، ۱۳۸۸	اگر مشخصات ایده آل معلوم نباشد غیر قابل استفاده است	استفاده همزمان از شاخص‌ها و معیارهای عینی و ذهنی، استفاده همزمان از معیارهای کمی و کیفی، ساده و سرعت آن مناسب، منطبق با روش‌های تجربی، قدرت مکانی شدن بالا	تاپسیس

به دلیل اینکه منطق تعلق قطعی نمی‌تواند به خوبی میزان قطعیت ذهن انسان را به موضوعی خاص نشان دهد، لطفی‌زاده در سال ۱۹۶۵ تئوری منطق فازی را ارائه نمود و این منطق بسیاری از مشکلات مدل نمودن عدم قطعیت موجود در ذهن انسان به یک موضوع خاص را مرتفع نمود (Zadeh, 1965). ولی سال‌ها طول کشید که تئوری مجموعه‌های فازی و سیستم‌های فازی پرکاربرد شود. پس از سال‌ها، استفاده از این منطق در مقالات مختلف علوم زمین که همیشه با عدم قطعیت عجین بوده، مورد استقبال قرار گرفت. یکی از ابتدایی‌ترین موارد استفاده از تابع رگرسیون لجستیک در اکتشاف، توسط بنهام کارتر و چنگ صورت گرفت. آنها از تابع لجستیک جهت تلفیق لایه‌های اطلاعاتی جهت اکتشاف اورانیوم در منطقه دریاچه کاسمره استفاده نمودند (Bonham-Carter & Chung, 1983). در این روش، تعداد ذخایر و وجود یا عدم وجود ذخایر معدنی در یک سلول، می‌تواند به عنوان متغیرهای وابسته مرتبط به متغیرهای زمین شناسی در مدل رگرسیون در نظر گرفته شوند (Carranza, 2001). علی‌رغم مزیت این روش که به نظر کارشناس وابسته نیست، می‌توان به معایبی از جمله غیر دقیق بودن نتایج به علت

¹ Analytic Network Process (ANP)

نسبت بسیار کم سلول‌های دارای کانسار، به سلول‌های فاقد آن و همچنین عدم استفاده از دانش کارشناسی، اشاره نمود.

شاید کتاب بنهام کارتر (۱۹۹۴) تحت عنوان سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی برای دانش

پژوهان علوم زمین، یکی از اولین مراجع در استفاده از سامانه اطلاعات مکانی در علوم زمین مرتبط با اکتشاف باشد که مطعی برای ورود این علم به دنیای اکتشاف بود. در این کتاب، مدل‌سازی به کمک سامانه اطلاعات مکانی تشریح شده، که تأثیر شگرفی در میزان استفاده از سامانه اطلاعات مکانی در علوم زمین داشته است. او در این کتاب مدل‌های بیزین، منطق فازی، همپوشانی شاخص و وزن‌های نشانگر را به‌طور کامل و با مثال‌های عملی توضیح داده است (Bonham-Carter, 1994). روش وزن‌های نشانگر یکی از پرکاربردترین روش‌های داده محور است (Carranza, 2017). با وجود این، مشکل عمده روش‌های بیزین و وزن‌های نشانگر در این است که بیش از اندازه به داده متکی‌اند و با داده‌های اکتشافی کم، نتایج قابل اتکائی ارائه نمی‌دهند. واقعیت این است که روش‌های منطق فازی و همپوشانی شاخص نیز برای رسیدن به نتایج دقیق، احتیاج به دانش بسیار قوی در مورد ارتباطات پیچیده معیارهای اکتشافی هر تیپ خاص کانه‌زایی با یکدیگر دارند. به همین دلیل انتخاب معیارها و وزن‌ها، در نتیجه نهایی بسیار حساس و تأثیرگذاراند. چنگ و همکاران در سال ۱۹۹۶ با استفاده از مدل فرکتال، روشی جدید که توسعه یافته روش وزن‌های نشانگر بود را جهت اکتشاف طلا در بریتیش کلمبیا به کار گرفتند (Cheng *et al.*, 1996). پس از آن در سال ۱۹۹۹ رینز^۱ از روش وزن‌های نشانگر استفاده کرد تا مناطق امیدبخش طلای اپی ترمال را در آمریکا مشخص نماید (Raines, 1999). هریس کار بنهام کارتر را در سال ۲۰۰۰، با انتشار کتابی مفید به نام ساختن اطلاعات برای اکتشاف کانسارها تکمیل نمود (Harris, 2000). در این کتاب چند روش تلفیق جدید نیز ارائه گردید.

¹ Gary L. Raines

در سال ۲۰۰۶ پوروال^۱ و همکاران از طبقه‌بندی کننده بیزین جهت ساخت نقشه‌های پتانسیل فلزات پایه استفاده نموده‌اند (Porwal *et al.*, 2006). متأسفانه در این روش حجم عملیات ریاضی بسیار زیاد است و احتیاج به پردازشگرهای قوی در محیط گرافیکی سامانه اطلاعات مکانی دارد، همچنین با توجه به همپوشانی جوامع در بخشی از نمودار فراوانی تجمعی دو جامعه، میزان عدم قطعیت پاسخ نیز می‌تواند بالا باشد. کارانزا تحقیق بیشتر در مدل‌سازی و ارزیابی عدم قطعیت در ارتباط با مدل‌های پیشگوی ناهنجاری ژئوشیمیایی و یا معدنی را لازم می‌داند و حصول نتایج مفیدی، با استفاده از تابع برآورد^۲ در مدل نمودن عدم قطعیت را پیش‌بینی می‌کند و خواستار مطالعات بیشتری در ردیابی و رصد انتشار عدم قطعیت از نقشه‌های ورودی به نقشه خروجی می‌گردد (Carranza, 2008). او در سال ۲۰۱۰ از تابع استدلال شهودی فازی برای پیدا کردن معادن ناشناخته ماسیوسولفاید در سوئد استفاده نمود (Carranza & Sadeghi, 2010). علی‌رغم مدل نمودن عدم قطعیت در این روش، ابزار ترکیب اطلاعات آن، فقط به اشتراک^۳ و اجتماع^۴ محدود می‌باشد. این موضوع در مدل تلفیق لایه‌های اطلاعاتی اکتشافی که ارتباطات پیچیده‌ای با یکدیگر دارند، نقطه ضعف بزرگی به شمار می‌آید.

از محققین داخلی که در این موضوع تحقیقاتی داشته‌اند موارد زیر را می‌توان نام برد. پازند و همکاران با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی، پتانسیل‌های پورفیری مس در منطقه اهر را مورد بررسی قرار دادند (Pazand *et al.*, 2011). در سال ۲۰۱۲، پازند و همکاران از روش شباهت به گزینه ایده‌آل برای بررسی همین موضوع استفاده کردند (Pazand *et al.*, 2012). عابدی و همکاران جهت جمع‌داده‌های ژئوفیزیکی و همچنین داده‌های ماهواره‌ای، زمین‌شناسی و ژئوشیمیایی، از رویکرد تحلیل سلسله مراتبی فازی و همچنین شباهت به گزینه ایده‌آل به صورت مجزا استفاده کردند (Abedi *et al.*, 2013; Abedi & Norouzi, 2016). همچنین پازند و همکاران در سال ۲۰۱۴ از رویکرد تحلیل

¹ Alok Porwal

² Evidencial Belif Function(EBFs)

³ AND

⁴ OR

شبکه‌ای فازی در زون اهر- ارسباران بهره بردند (Pazand *et al.*, 2014). قربانی و همکاران در زون تکتونیکی کرمان-کاشمر از تکنیک تحلیل سلسله مراتبی برای تهیه نقشه‌های پتانسیل معدنی عناصر نادر خاکی بهره جستند (Ghorbani *et al.*, 2014). تعدادی از محققین پا را فراتر گذاشته اند و از روش‌های ترکیبی در سامانه اطلاعات مکانی استفاده کرده اند که عموماً از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره استفاده نموده که عموماً در علومی به غیر از تهیه نقشه‌های پتانسیل معدنیست. در سال ۲۰۰۹ میکائیل و همکاران از ترکیب دو روش تحلیل سلسله مراتبی^۱ و تاپسیس^۲ برای پیدا نمودن بهینه‌ترین مکان برای عملیات معدنکاری زیرزمینی استفاده نمودند (Mikaeil *et al.*, 2009). این روش، روش ترکیبی مناسبی به نظر می‌آید زیرا هم از مزیت مقایسه دودویی تحلیل سلسله مراتبی استفاده می‌کرد، هم از قدرت مکانی روش شباهت به گزینه ایده‌آل بهره می‌جست. جعفری‌راد و بوش (Rad & Busch, 2011) نیز از روش تاپسیس فازی خاصی برای تولید نقشه‌های اکتشاف مس پورفیری در ایران استفاده نمودند که استفاده از توانایی روش شباهت به گزینه ایده‌آل نتایج خوبی حاصل نمود. از موارد مشابه دیگر می‌توان به (احدی و غضنفری راد، ۱۳۹۰) و چوندهاری^۳ و شانکار^۴ (Choudhary & Shankar, 2012) که از روش‌های فازی تحلیل سلسله مراتبی- تاپسیس برای انتخاب مکان نیروگاه حرارتی در هند در سال ۲۰۱۲ استفاده کرده اند و همچنین اگر بخواهیم به موارد جدیدتر اشاره کنیم، در سال ۲۰۱۴ از روش ترکیبی تحلیل سلسله مراتبی - تاپسیس در انتخاب مواد ترکیب الیاف طبیعی برای اجزای اهرم ترمز خودرو استفاده کرده اند، اشاره نمود (Mansor *et al.*, 2014). همچنین در سال ۲۰۱۴ برای انتخاب بهترین روش بازیابی پلاستیک‌ها، وینود^۵ و پراساننا^۶ از تجمیع دو روش تحلیل سلسله مراتبی و تاپسیس، بهره برده و مقاله‌ای ارائه نمودند (Vinodh & Prakash, 2014). دو محقق با نامهای پازند و هزارخانی در حوضه علوم زمین نیز از رویکرد ترکیبی تحلیل سلسله مراتبی- شباهت به گزینه

¹ Analytical Hierarchy Process(AHP)

² TOPSIS

³ Devendra Choudhary

⁴ Ravi Shankar

⁵ S. Vinodh

⁶ M. Prasanna

ایده‌آل برای پتانسیل‌یابی مس پورفیری در منطقه سیه‌رود استفاده کردند (Pazand & Hezarkhani, 2015). از دیگر محققین ایرانی حوضه اکتشاف معدن که از روش تحلیل سلسله مراتبی فازی برای اکتشاف ذخایر اکسید آهن-مس-طلا^۱ در طاهرآباد استفاده نمودند، می‌توان به نجفی و همکاران اشاره نمود (Najafi *et al.*, 2014). مشکل اصلی این روش این بود که با توجه به این که معیارهای اکتشافی از یکدیگر مستقل نیستند و ارتباطات پیچیده دارند و شرط اولیه استفاده از این روش، ارتباط صرفاً خطی و یک‌طرفه بین معیارها و زیرمعیارهاست، نتایج خیلی قابل اعتماد نخواهند بود.

با وجود تحقیقات و راه‌کارهای ارائه شده فوق، با این حال در عمل، مشکلات مطرح شده مربوط به هر روش تلفیق همچنان باقیست. در اغلب و یا شاید بهتر باشد بگوییم تمامی مقالاتی که به روش تحلیل سلسله مراتبی در زمینه اکتشاف معادن به کار رفته است، هیچ‌گونه توجهی به شرط اولیه این روش نشده است و این شرط، شرط ارتباط یک‌طرفه و عمودی بین معیارها و زیرمعیارهاست. در روش تحلیل سلسله مراتبی تمامی معیارها باید از هم کاملاً مستقل باشند و همان‌طور که می‌دانیم در داده‌های اکتشافی، وابستگی خاصی بین مثلاً یک لیتولوژی خاص و خروجی داده‌های ژئوفیزیکی و یا ژئوشیمیایی وجود دارد. با وجود چنین مشکلی در علمی به غیر از پی‌جوئی، تعدادی از محققین، به دنبال استفاده از روش تحلیل شبکه‌ای^۲ رفته‌اند که نسخه پیشرفته تحلیل سلسله مراتبی است. مضاف بر اینکه شرط استقلال معیارها و زیر معیارها در این روش وجود ندارد و ارتباطات و وابستگی‌های تمامی معیارها و زیرمعیارها در این روش به صورت دوطرفه قابل مدل نمودن است. در سال ۲۰۱۲ بویوکوزخان^۳ و سیفسی^۴ از روشی ترکیبی تحلیل شبکه‌ای فازی^۵ و تاپسیس فازی^۶ برای شناسایی تأمین‌کنندگان بی‌تجربه قطعات استفاده نمودند (Büyükoğuzkan & Çiğci, 2012). همچنین سوکلی^۷ و همکاران روش تحلیل شبکه‌ای فازی

¹ Iron Oxide Copper- Gold (IOCG)

² Analytic Network Process (ANP)

³ Gulcin Buyukozkan

⁴ Gizem Cifci

⁵ Fuzzy ANP

⁶ Fuzzy TOPSIS

⁷ Mehmet Sevkli

توسعه یافته را در انتخاب بهترین استراتژی در صنایع هوایی ترکیه استفاده نمودند (Sevкли *et al.*, 2012).

۳-۱ رویکرد رساله در حل مسئله

هدف از انجام این رساله، تهیه نقشه‌های پتانسیل مواد معدنی به روش‌های ترکیبی است به نحوی که مساحت محدوده‌های پیشنهادی نسبت به روش‌های معمول کاهش یابد و دقت و صحت نتایج نیز به نسبت، افزایش یابد. این موضوع با مدل‌سازی عدم قطعیت در هر پیکسل از نقشه نهایی محقق می‌گردد. در نهایت به صورت توامان هم از مساحت مناطق معرفی شده نهایی نسبت به رویکردهای دیگر (حتی درصدی کم) کاسته شود و هم میزان تطابق مدل نهایی با اندیس‌ها و معادن شناخته شده (صحت نتایج)، افزایش پیدا کند.

اهمیت و ضرورت انجام این رساله وقتی مشخص می‌شود که در یک پروژه اکتشافی بخواهیم با میزان منابع مالی محدود و همچنین زمان انجام کم، عملیات شناسایی و پی‌جویی مواد معدنی را انجام دهیم و به صورت سریع محدوده‌های نهایی اکتشافی مرحله بعد را معرفی کنیم. با کاهش مساحت جستجو، زمان انجام و همچنین هزینه انجام پی‌جویی کاهش پیدا می‌کند: همچنین با افزایش صحت در نتایج نیز این دو فاکتور کاهش پیدا می‌کند و با توجه به مثلث دقت، زمان و هزینه (شکل ۱-۱)، کیفیت انجام پروژه ارتقا می‌یابد.

با توجه به معایب و مزایای هر روش، نوع ترکیب روش‌ها مشخص گردید. بدین ترتیب که با توجه به مشکل محاسبه عدم قطعیت در روش‌های مختلف، از روش تابع برآورد داده محور تصحیح شده به وسیله دانش در این زمینه استفاده گردید. همچنین بدلیل ضعف روش تحلیل سلسله مراتبی در مدل نمودن روابط داخلی بین معیارها و زیرمعیارها و همچنین ضعف در مدل نمودن بازخورد، به جای آن از روش تحلیل شبکه‌ای که در زمینه مدل کردن این روابط بهتر عمل می‌کند، استفاده گردید. همچنین،

به دلیل مزیت روش شباهت به گزینه ایده آل در اعمال وزن ها در محیط سامانه اطلاعات مکانی و مقایسه بین ایده آل ترین حالت و بدترین حالت، از این روش پس از تحلیل شبکه ای استفاده گردید. در پایان، از روش توابع برآورد برای مدل نمودن عدم قطعیت و همچنین کاهش فضای جستجوی حاصل از هر روش، استفاده شد. در نهایت یک رویکرد داده محور تصحیح شده به روش دانش کارشناسی ارائه شده است. فرایند کلی انجام این تحقیق در شکل ۱-۲ آورده شده است.

۴-۱ نوآوری های تحقیق

با توجه به مطالب فوق، می توان در مورد نوآوری های انجام شده در این تحقیق به شرح ذیل جمع بندی کرد:

- استفاده از رویکردی که اوزان معیارها، مستقل از معیارها هستند (میانگین وزنی مرتبه یافته راهنمایی شده توسط دانش کارشناسی)^۱ از نوآوری های این رساله است. با توجه به اینکه نتایج این رویکرد تا حدودی زیادی بر واقعیات منطبق است، استقلال اوزان از معیارها، موضوع جالب توجهی در این بخش از نوآوری رساله است.
- نتایج نهایی برخلاف کارهای قبلی، با میزان عدم قطعیت عجین هستند و نمایش داده می شوند. این موضوع که مساحت نهایی محدوده های معرفی شده توسط رویکرد تحلیل شبکه ای- شباهت به گزینه ایده آل، بوسیله رویکرد توابع برآورد، کاهش پیدا کند، پیشتر انجام نشده است. نتایج کاهش مساحت فضای جستجو و همچنین افزایش دقت نتایج را به صورت توامان نشان می دهد که موضوع قابل توجهی در کاهش هزینه های اکتشافی و زمان انجام پی جویی است.

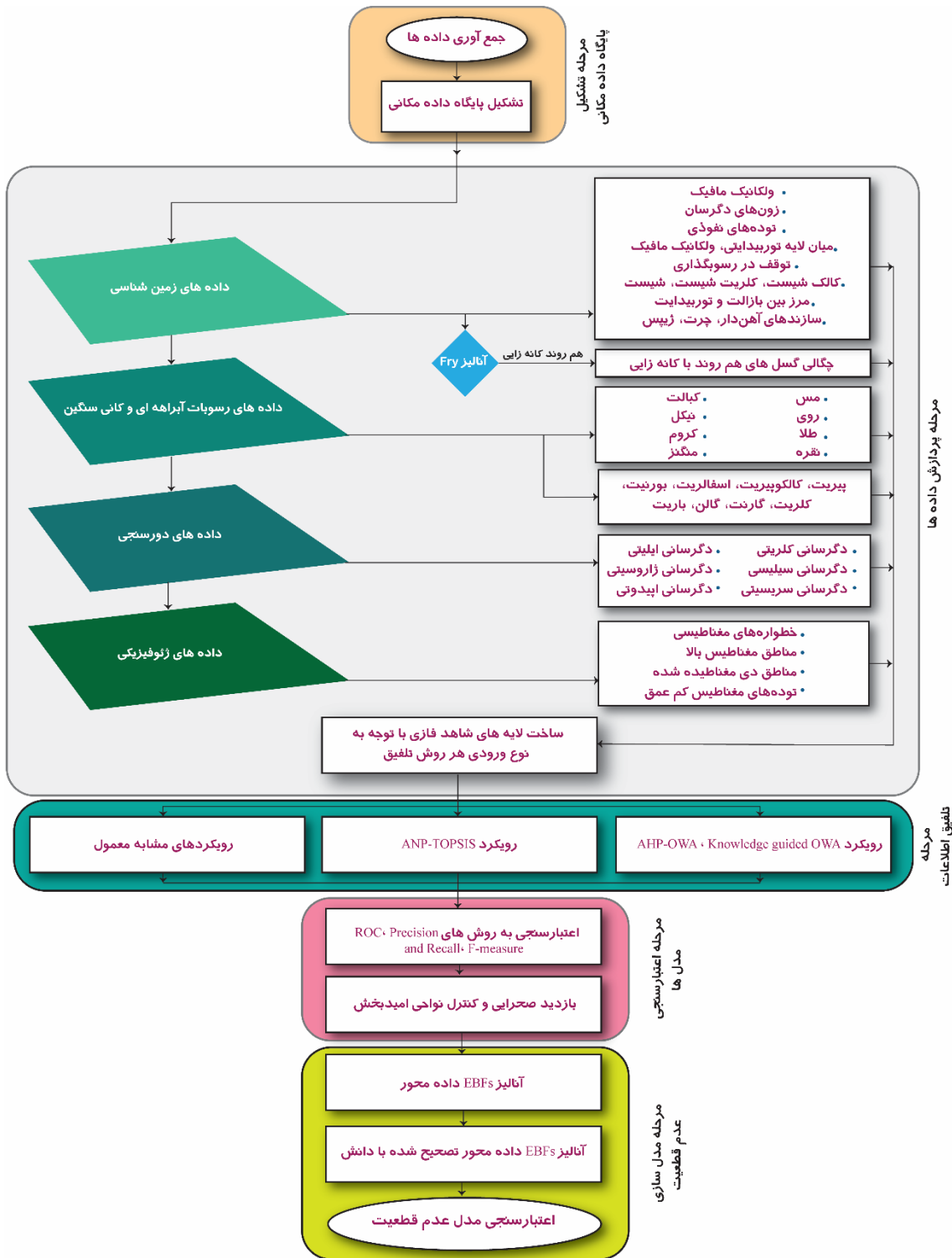
^۱ Knowledge-guided OWA

- استفاده از رویکرد ترکیبی تحلیل شبکه‌ای و شباهت به گزینه ایده‌آل برای مدل تصمیم‌گیری پتانسیل اکتشافی (نقشه‌های پتانسیل مواد معدنی) که تاکنون این رویکرد کمتر در این بخش مورد توجه قرار گرفته است.
- استفاده از روش‌های اعتبارسنجی جدیدی علاوه بر اعتبارسنجی صحرایی، مانند منحنی مشخصه عملکرد سیستم، معیار دقت^۱، معیار بازخوانی^۲ و معیار F^۳ در نتایج نهایی رویکردهای مختلف تلفیق که معیار F بر خلاف روش‌های معمول در اعتبارسنجی نتایج، علاوه بر مناطق کانه‌زا و مناطق غیر کانه‌زا را نیز مورد اعتبارسنجی قرار می‌دهد.

¹ Precision

² Recall

³ F-measure



شکل ۱-۲ فرایند کلی انجام رساله.

۱-۵ سوال‌های تحقیق و جمع‌بندی

در اینجا در ارتباط با تهیه نقشه‌های پتانسیل معدنی و ایرادهای هر کدام از رویکردهای تولید آنها می‌توان به جمع‌بندی ذیل در مورد سوال‌های تحقیق رسید:

سوال اول: با توجه به این‌که معیارهای اکتشافی مستقل از یکدیگر نیستند، استفاده از آنالیز تحلیل شبکه‌ای چه میزان می‌تواند نسبت به رویکرد تحلیل سلسله‌مراتبی در نتایج بهبود حاصل نماید؟

سوال دوم: برای مناطق سبز که میزان اطلاعات اکتشافی قبلی در آن منطقه کم است، استفاده از چه روشی بر روی نتایج بدست آمده از روش تحلیل شبکه‌ای می‌تواند در بخش مکانی تحقیق، نتایج معتبرتری ارائه کند؟

سوال سوم: آیا مناطق معرفی شده نهایی برای مطالعات اکتشافی تفضیلی، به یک میزان مورد اعتماد هستند؟ به چه روشی می‌توان میزان اعتماد به پاسخ را مدل نمود؟

سوال چهارم: چگونه می‌توان طوری میزان اعتماد به پاسخ را در نتایج اعمال نمود به صورتی که مساحت محدوده معرفی شده کاهش یابد؟

سوال پنجم: آیا در شرایط وابستگی اوزان به معیارها رویکرد ترکیبی تحلیل شبکه‌ای - شباهت به گزینه ایده‌آل پاسخ بهتری حاصل می‌گردد یا زمانیکه اوزان مستقل از معیارها (رویکرد میانگین وزنی مرتبه یافته) هستند؟

فصل دوم

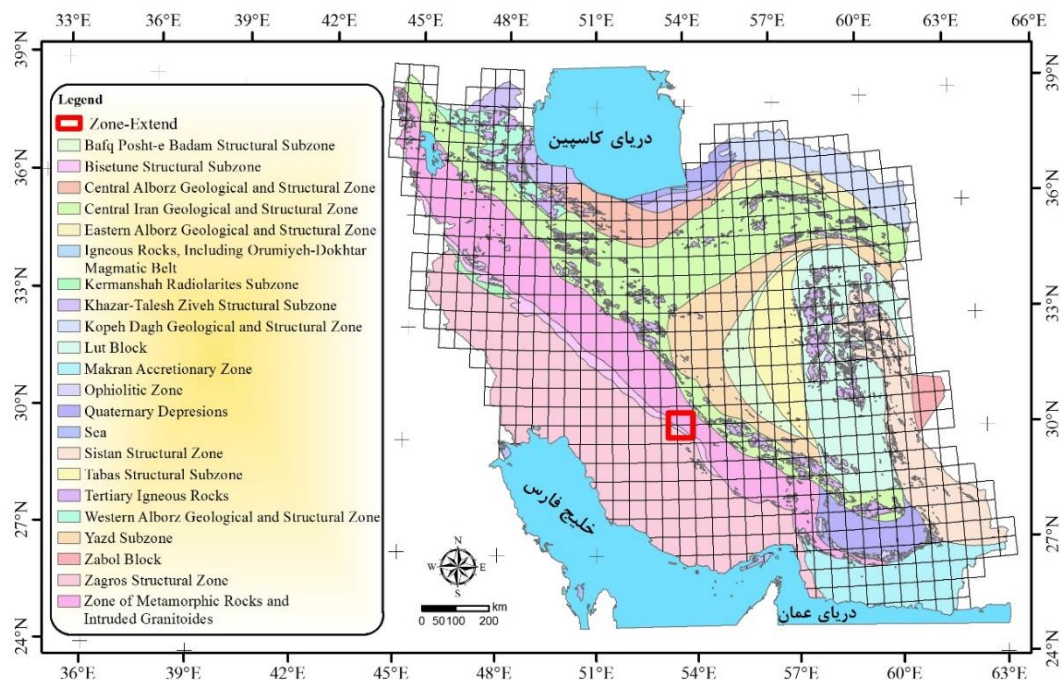
داده‌های تحقیق و نحوه آماده‌سازی

۱-۲ مقدمه

هدف از نگارش این فصل از رساله، معرفی داده‌های موجود در محدوده مورد مطالعه، نحوه آماده‌سازی مدل مفهومی، نحوه آماده‌سازی داده‌ها و همچنین چگونگی استخراج و استفاده از شواهد اکتشافی آنها است. خروجی حاصل از این فصل رساله، برای استفاده در تلفیق لایه‌ها استفاده می‌شود.

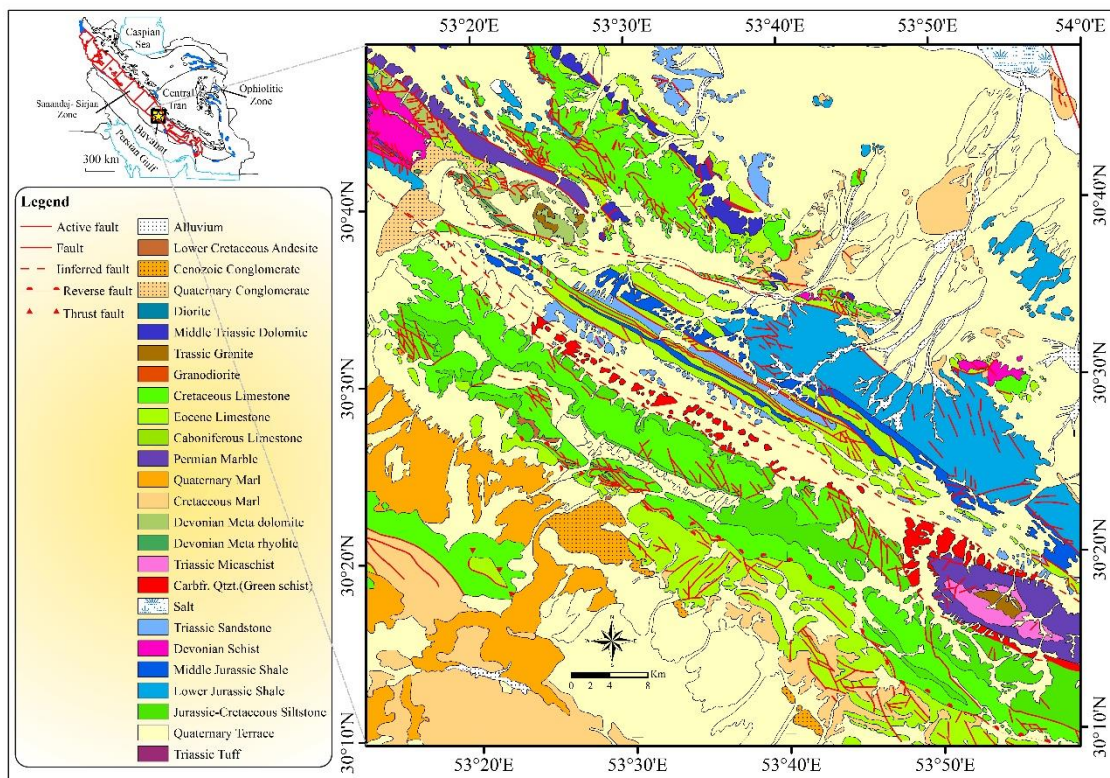
۲-۲ معرفی محدوده مورد مطالعه

محدوده مورد مطالعه شامل بخش‌هایی از تقریباً چهار برکه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰،۰۰۰ به مساحت تقریبی ۱۵۰۰ کیلومتر مربع می‌باشد که در بخشی از زون ساختاری سنندج- سیرجان، زیر زون ساختاری بیستون قرار دارد (شکل ۱-۲). این محدوده شامل بخش‌هایی از برکه‌های با مقیاس ۱:۱۰۰،۰۰۰ با نام‌های جیان، ده بید، سوریان و سعادت آباد است. وجود چند اندیس معدنی تیپ ماسیو سولفاید با نام‌های چیر، مزایجان و... و همچنین یک معدن با تیپ ماسیو سولفاید (کانسار مس جیان)، قرار گرفتن در زون‌های ساختاری مرتبط و همچنین وجود لیتولوژیهای مناسب کانه‌زایی مسوسولفاید در این زون می‌تواند شواهد خوبی برای پتانسیل بودن این منطقه باشد.



شکل ۱-۲ موقعیت محدوده مورد مطالعه در ایران و زون‌های ساختاری ایران.

کانسار مس جیان که یکی از معادن اصلی در پهنه بوانات هست، در نوار شرقی زون دگرگونی سنندج-سیرجان و در فاصله ۱۹۵ کیلومتری شمال شرق شهر شیراز قرار دارد. این مجموعه آتشفشانی-رسوبی دگرگون شده است. این کمپلکس سن پرموتریاس و امتداد شمال غرب - جنوب شرق دارد. از نظر زمین‌شناسی محدوده فوق بیشتر شامل متابازالت، کلریت-مسکویت شیست، کلریت-کوارتز شیست، میکاشیست و گرافیت شیست است (شکل ۲-۲). مهمترین کانی سولفیدی موجود در آن پیریت و کالکوپیریت است. کلریت-کوارتز شیست و کلریت-مسکویت شیست، سنگ‌های دربرگیرنده کانه‌زایی هستند. آثار گسترده شدادی و سرباره‌های ذوب به همراه آثار کانه‌زایی مس، روی و نقره در جنوب غرب و جنوب شرق شهر سوریان وجود دارد (رجب زاده و اسماعیلی، ۱۳۹۲). شکل ۲-۲ نقشه زمین‌شناسی یکپارچه شده محدوده مورد مطالعه را در مقیاس ۱:۲۵۰,۰۰۰ نشان می‌دهد.



شکل ۲-۲ نقشه زمین‌شناسی محدوده مورد مطالعه، برگرفته از نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۵۰,۰۰۰ اقلید.
(Houshmandzadeh & Soheili, 1990)

۳-۲ داده‌های مورد استفاده

لایه‌های اطلاعاتی مورد استفاده در این تحقیق به شرح ذیل هستند:

- نقشه‌های زمین‌شناسی
- ژئوفیزیک اکتشافی هوایی
- ژئوشیمی اکتشافی
- دورسنجی و تصاویر ماهواره‌ای

در ادامه در خصوص هر کدام از این لایه‌های اطلاعاتی به اختصار توضیح داده می‌شود.

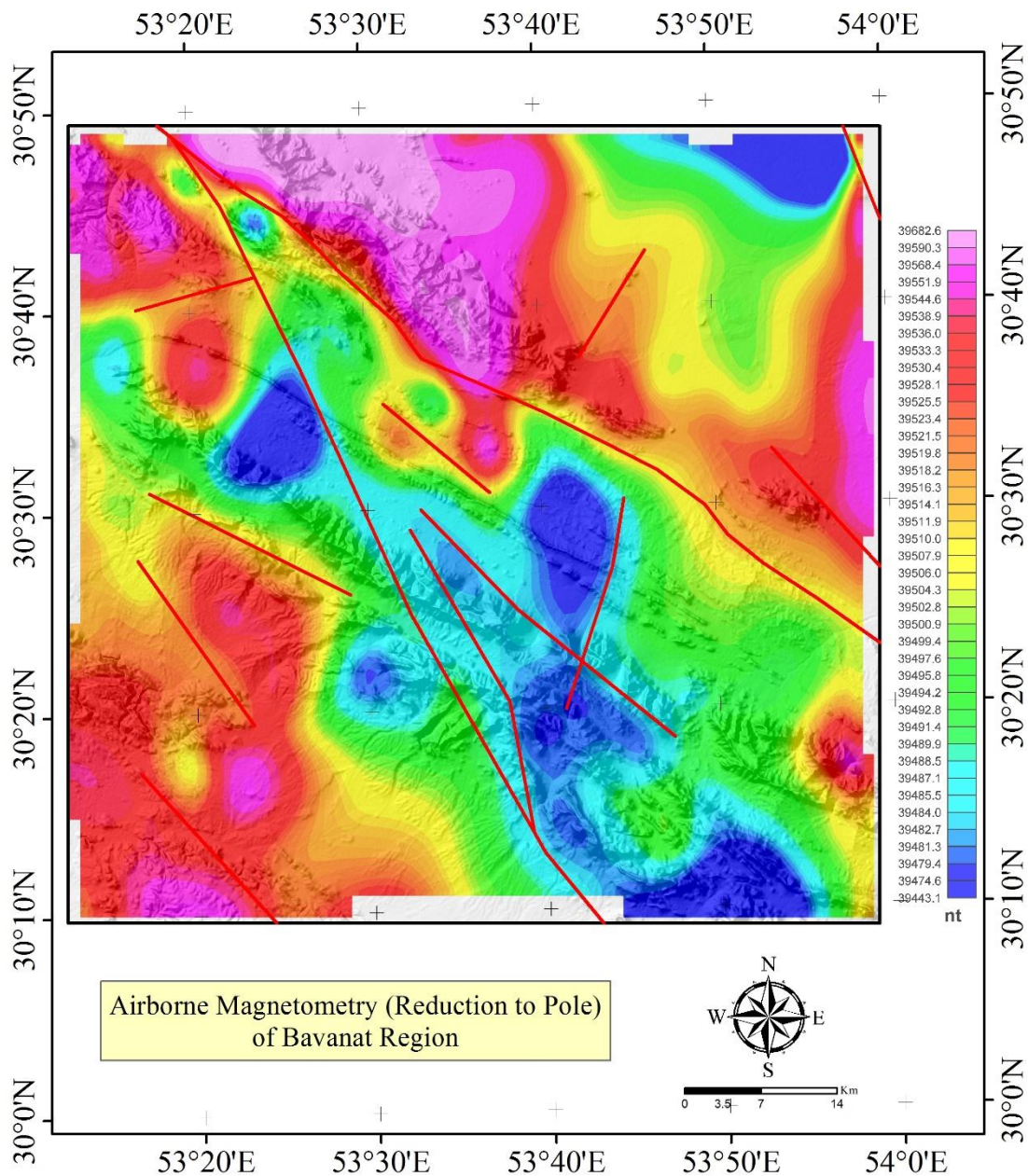
۲-۳-۱ لایه اطلاعاتی ژئوفیزیکی

در لایه ژئوفیزیکی از داده‌های مگنتومتری ۷/۵ کیلومتر هوا برد استفاده گردید (شکل ۲-۳). از این لایه برای شناسایی ساختارهای اصلی (گسل‌ها)، مناطق آنومال مغناطیس^۱، مناطق وامغناطیده شده^۲ و همچنین توده‌های با خاصیت مغناطیسی کم عمق^۳ استفاده شد (شکل ۲-۳). همانطور که در شکل دیده می‌شود، در بخش شمالی و شمال غربی محدوده، خاصیت مغناطیسی بیشتر از مناطق دیگر است و در بخش جنوبی، مرکزی و شمال شرقی، خاصیت مغناطیسی توده‌ها پایین تر است. لازم به توضیح است برای سه بعدی سازی گسل‌ها تلاش شد ولی به دلیل رزولو شن پایین داده‌های ۷/۵ کیلومتر، خروجی مناسب و قابل استفاده‌ای برای تلفیق حاصل نشد.

¹ High magnetic area

² De-magnetised zone

³ Shallow magnetic body



شکل ۲-۳ داده‌های ژئوفیزیک هوایی با فاصله پرواز ۷/۵ کیلومتر در محدوده مورد مطالعه.

۲-۳-۲ لایه اطلاعاتی تصاویر ماهواره‌ای

در این لایه اطلاعاتی از تصویر ماهواره‌ای داده‌های سنجنده آستر^۱ ماهواره ترا^۲ استفاده گردید (شکل ۲-۴).

سنجنده آستر داده‌های با قدرت تفکیک مکانی (۱۵ تا ۹۰ متر) در ۱۴ باند مختلف تصویری، اخذ

^۱ ASTER

^۲ Terra

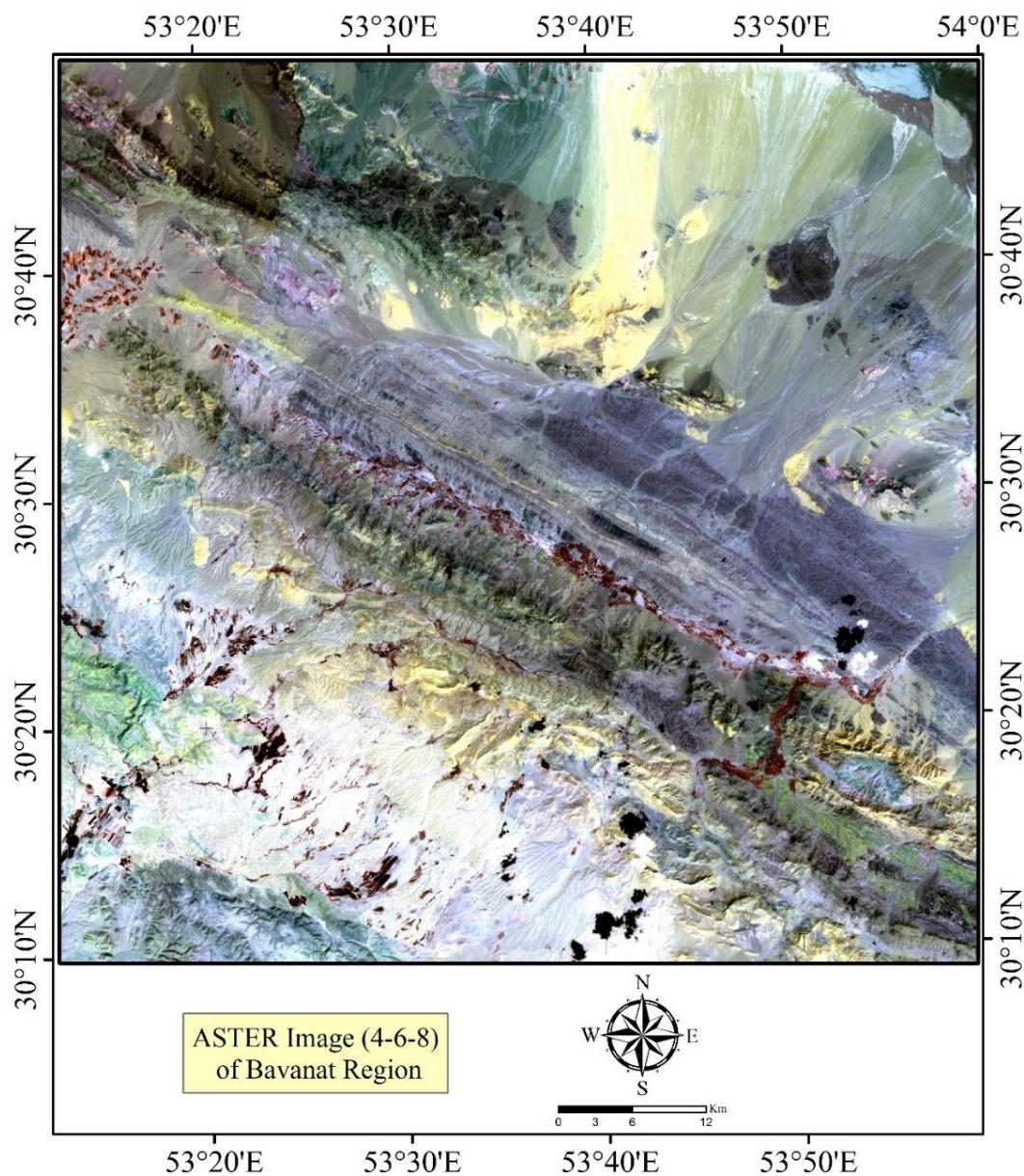
می‌نماید که از محدوده مرئی طیف امواج الکترومغناطیس تا مادون قرمز حرارتی (از طول موج ۰/۵۲ تا ۱۱/۶۵ میکرومتر) را شامل می‌شود. از تصاویر استر می‌توان به‌عنوان ابزاری نیرومند در اکتشاف ذخایر معدنی در مراحل ابتدایی به‌منظور کانی‌شناسی مقدماتی و تهیه نقشه‌های دگرسانی، با هزینه کم و دقت بالا استفاده نمود (Di Tommaso & Rubinstein, 2007). به کارگیری تصاویر استر با قدرت تفکیک بالا و باندهایی که منطقه وسیعی از طیف الکترومغناطیس را پوشش می‌دهند، زمین‌شناسان را قادر به تولید نقشه‌های زمین‌شناسی دقیق در راستای کاهش هزینه‌های مبتنی بر کارهای میدانی خواهد نمود. برای شناسایی سنگ‌ها و کانی‌های مختلف سطح زمین، محدوده طیفی ۱/۵ تا ۲/۵ میکرون بسیار مهم است زیرا منحنی بازتاب طیفی کانی‌ها در محدوده مادون قرمز کوتاه تغییرات بسیار شدیدی از خود نشان می‌دهد.

از این لایه اطلاعاتی در شناسایی دگرسانی‌های مختلف (کلریتی، سیلیسی، سربیتی، ایلیتی، ژاروسیتی و اپیدوتی)، خطواره‌ها (گسل‌ها) به روش تشخیص فیلترگذاری تطبیقی^۱، استفاده گردید. در مناطق شمال غربی و جنوب شرقی این محدوده، دگرسانی‌های پروپلتیک و سیلیسی بیشتر به چشم می‌آیند.

۲-۳-۳ لایه اطلاعاتی نقشه‌های زمین‌شناسی

در این لایه اطلاعاتی از نقشه‌های زمین‌شناسی با مقیاس ۱:۱۰۰,۰۰۰ سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی استفاده می‌گردد.

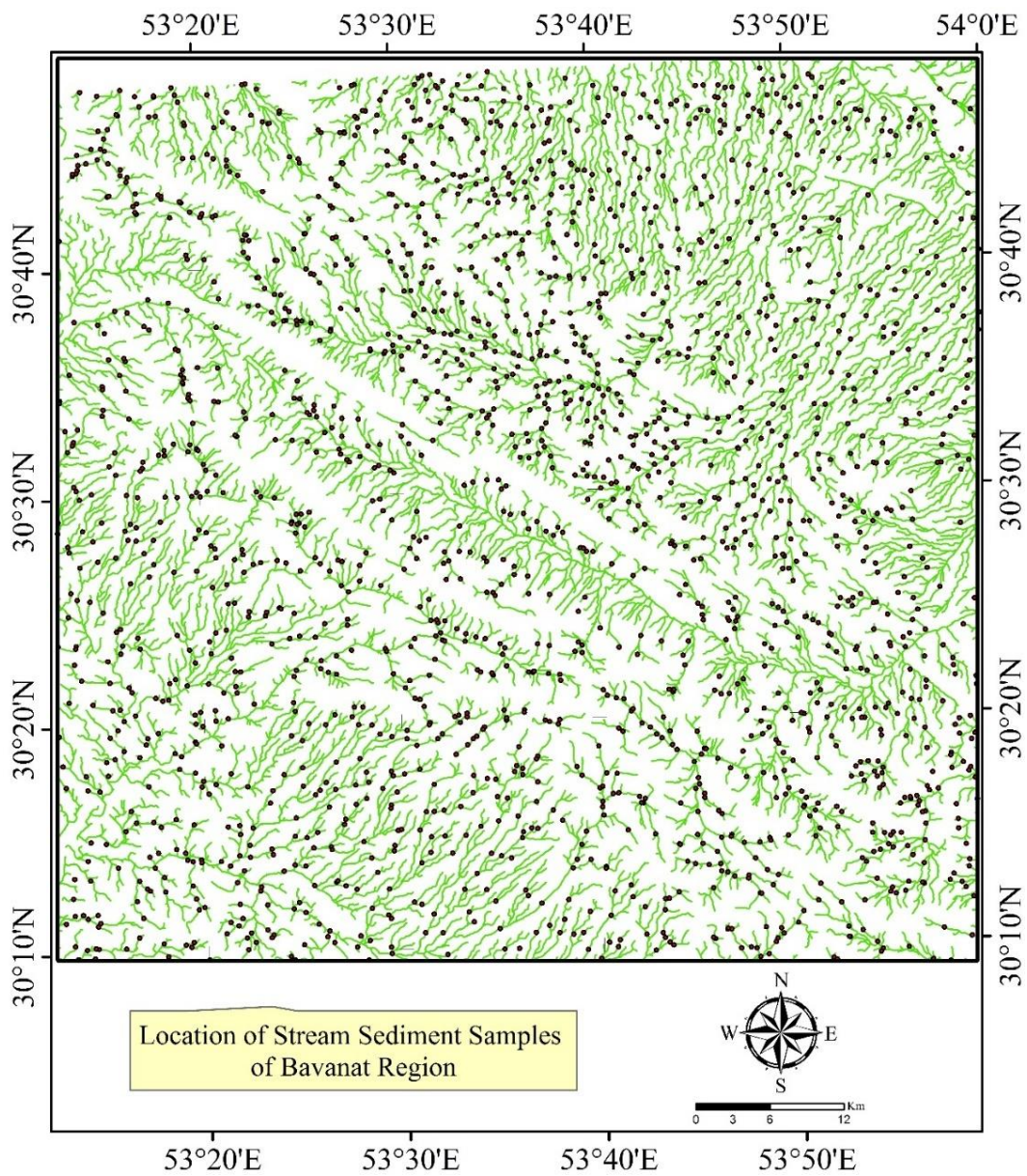
^۱ Match Filtering (MF)



شکل ۴-۲ تصویر ماهواره‌ای استر محدوده مورد مطالعه (ترکیب ۴-۶-۸).

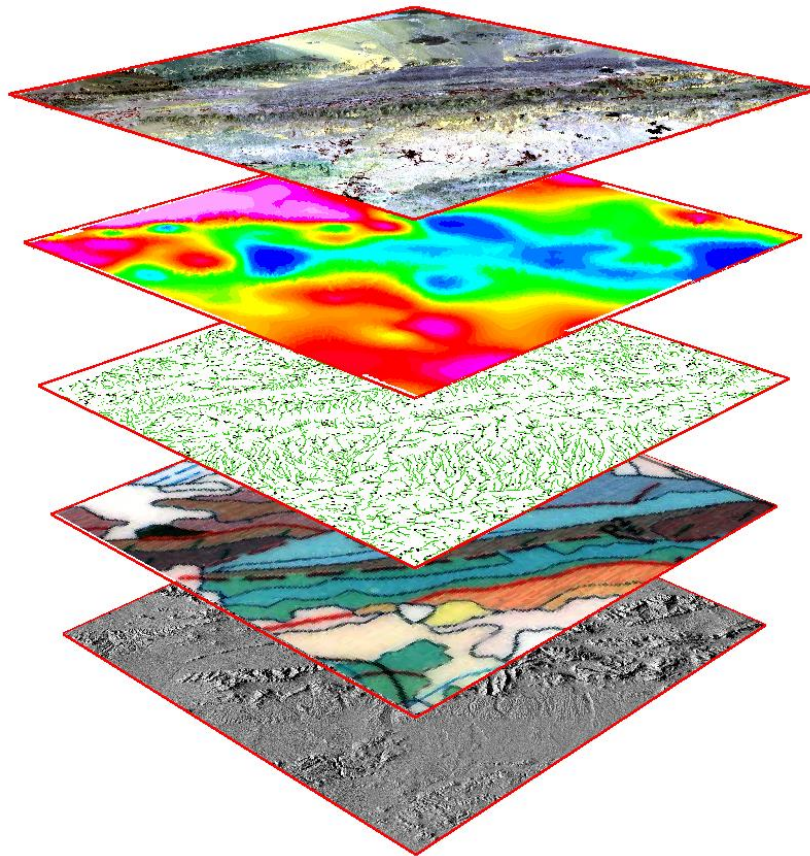
۴-۳-۲ لایه اطلاعاتی ژئوشیمی اکتشافی

این لایه از اطلاعات ژئوشیمی اکتشافی آبراهه‌ای سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی در مقیاس ۱:۱۰۰,۰۰۰ استفاده گردید (شکل ۴-۵). تمامی داده‌ها در بخش ژئوشیمی سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی تولید گردیده است. در برگه جیان ۶۷۵ نمونه آبراهه‌ای، در برگه سوریان ۸۶۹ نمونه، برگه سعادت آباد ۹۲۳ نمونه و در برگه ده بید ۳۰۰ نمونه برداشت شده است.



شکل ۲-۵ موقعیت نمونه‌های آبراه‌های بر روی آبراهه‌های موجود در محدوده مطالعاتی.

شکل ۲-۶ لایه‌های اطلاعاتی مختلف مورد استفاده در این تحقیق را نشان می‌دهد.



شکل ۲-۶ داده‌های تجمیع شده مورد استفاده در تحقیق.

۴-۲ آماده‌سازی مدل مفهومی

در این بخش از تحقیق، مطالبی که برای ساخت مدل مفهومی مهم است آورده می‌شود.

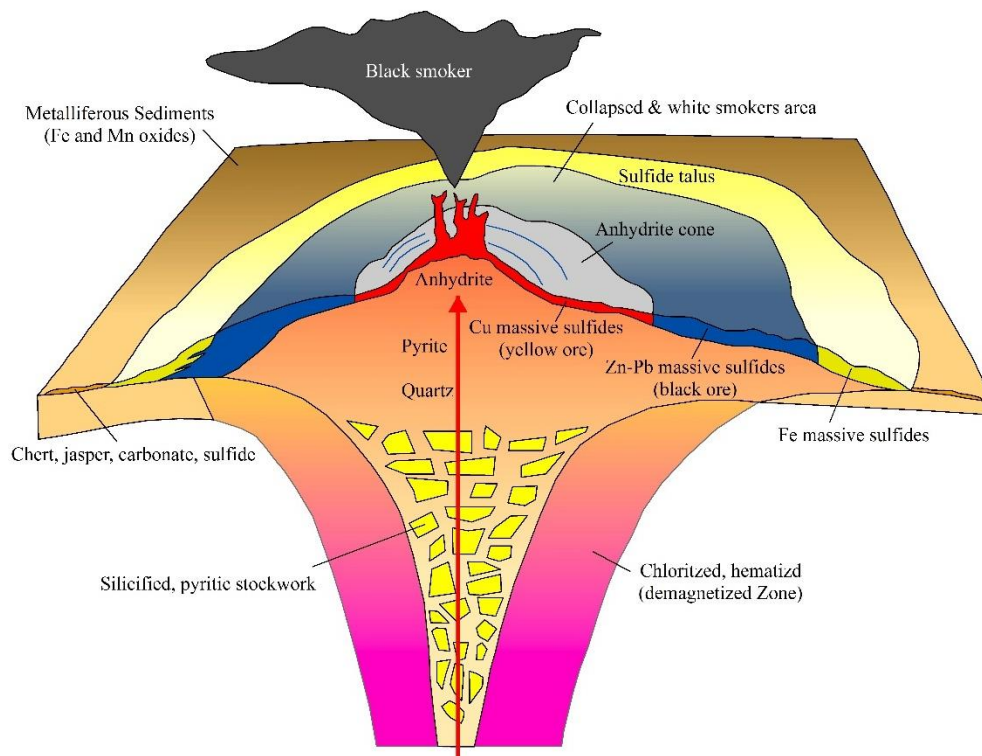
۴-۲-۱ مشخصات عمومی کانسارهای ماسیوسولفاید

کانسارهای ماسیوسولفاید آتشفشانزاد^۱ یا ماسیوسولفاید با میزبان آتشفشانی^۲ یا همراه با سنگ‌های آتشفشانی بر اساس تعریف حاوی پهنه‌ها یا عدسی‌هایی از کانی‌های سولفید توده‌ای هستند که بیش از ۶۰ درصد کانی‌های سولفیدی دارند و به‌صورت چینه‌کران بر روی کف دریا یا زیر آن و در نتیجه ته نشست فلزات از چرخش محلول‌های گرمابی در محیط‌های آتشفشانی فعال زیر دریایی تشکیل می‌شوند

^۱ VMS

^۲ VHMS

(Franklin *et al.*, 2005). این ذخایر معمولاً به عنوان لnzهای سولفید چندفلزی عظیم و در محیط دریایی یا در نزدیکی دریا در محیط آتشفشانی زیردریایی شکل می‌گیرند و بر اساس فلزات محتوی، محتوای طلا یا سنگ میزبان طبقه بندی می‌شوند. ذخایر ماسیوسولفاید منابع اصلی Ag, Pb, Cu, Zn و Au و منابع مهمی برای Co, Sn, Se, Mn, Cd, In, Bi, Te, Ga و Ge هستند (Galley *et al.*, 2007). به بخش استوک ورکی رگه‌ها در مخروط برشی شده، زون استرینگر می‌گویند که در زیر لnz سولفیدی قرار دارد و خود می‌تواند حاوی نهشته‌های معدنی باشد (Ash *et al.*, 2013). ذخایر ماسیوسولفاید تیپ بشی با سازندهای بازالتی ناشناخته در ارتباط هستند. این تیپ ذخایر در حاشیه‌های میان اقیانوسی در نزدیکی حاشیه‌های قاره‌ای در زونهای گسترش پشت قوسی و در حقیقت در ریفت های درون قاره‌ای تشکیل می‌شوند. آنها بوسیله بخش گسترده‌ای از توریدایت‌ها در لایه شامل کانه، کانه‌های مس- روی مملو از کبالت، سیل‌های ساب ولکانیک، توده‌های کانه‌دار ورقه‌ای، عدم وجود کنترل کننده ساختاری مشخص، مقادیر کم مس، روی، نقره و طلا، غنی‌شدگی سرب و ذخایر نسبتاً بزرگ فلزی شناخته می‌شوند (Dergatchev *et al.*, 2011). مایعات غنی از فلزات، با ۳۵۰ تا ۴۰۰ درجه سانتیگراد حرارت، با برخورد با آب دریای سرد (۲ درجه سانتیگراد) غنی از اکسیژن، مخلوط می‌شوند. درجه حرارت در عرض چند ثانیه از ۳۰۰ تا ۱۰۰ درجه و کمتر می‌شود. این تغییرات شدید دما باعث می‌شود مواد جامد از مایع جدا شوند. این فرآیند نهشته‌های معدنی سولفید مانند پیریت، کالکوپیریت، گالن و اسفالریت را تولید کند. مس از درجه حرارت ۴۰۰ درجه تا ۳۰۰ درجه شروع به نهشته شدن می‌کند. به این ترتیب که لایه‌هایی از سولفات خالص را (مانند گالن و اسفالریت) در نزدیکی خروجی ایجاد می‌کنند. رسوبات پیریت‌دار در طول سکانس و پس از آن از انتها که اسفالریت وجود دارد شروع به رسوب می‌کنند. فراتر از آن گوگرد و اکسید آهن یا هماتیت و سیلیس همه شرایط را برای رسوب کردن مهیا می‌بینند. سولفیدهای مختلف فلزات در دماهای متفاوت از ماگما جدا می‌شوند: اول، مس و طلا، بعد روی، سپس سرب و در نهایت آهن نهشته می‌شوند (شکل ۲-۷) (Kelley, 2001; Colín-
(García, *et al.*, 2016).



شکل ۲-۷ ارتباط مکانی بخش‌های مختلف یک توده ماسیوسولفاید، جمع بندی و گردآوری شده از (Tivey, 2007; Galley *et al.*, 2007; Piercey *et al.*, 2010; Colin-Garcia *et al.*, 2016; Pehrsson *et al.*, 2016)

بر مبنای محتوی فلزات پایه، این کانسارها به سه گروه تقسیم می‌شوند (Galley *et al.*, 2007): الف) گروه مس-روی، ب) گروه روی-مس، پ) گروه روی-سرب-مس. از نظر نوع و نسبت سنگ‌های میزبان نیز به شش دسته تقسیم می‌شوند (Franklin *et al.*, 1998): نوع قبرس، نوع نوراندا، نوع کوروکو، نوع بشی، نوع بثورست و نوع رسوبی-بروندمی. در جدول ۱-۲ تقسیم‌بندی براساس سنگ‌شناسی غالب میزبان و محیط تکتونیکی ارائه شده است.

جدول ۱-۲ رده‌بندی‌های سنگ‌شناسی توالی میزبان (راستاد و موسیوند، ۱۳۹۶).

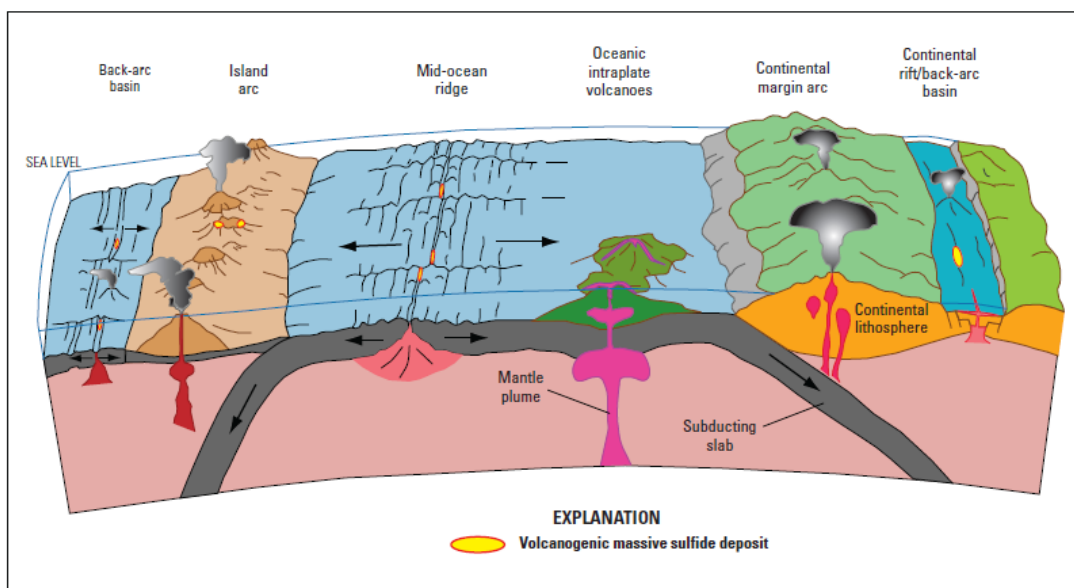
کاکس و سینگر (۱۹۸۶)	باری و هانینگتون (۱۹۹۹)	فرانکلین و همکاران (۲۰۰۵)	گالی و همکاران (۲۰۰۷)	موزیر و همکاران (۲۰۰۹)	شانکس تری و همکاران (۲۰۰۹)
	بایمدال - سیلیسیکلاستیک	سیلیسیکلاستیک - فلسیک	فلسیک - سیلیسیکلاستیک	فلسیک	سیلیسیکلاستیک - فلسیک
	بایمدال - فلسیک	بایمدال - فلسیک	بایمدال - فلسیک	فلسیک	بایمدال - فلسیک

کوروکو	بایمدال مافیک	بایمدال مافیک	بایمدال مافیک	بایمدال مافیک	بایمدال مافیک
بشی	مافیک- سیلیسیکلاستیک	پلتیک-مافیک	پلتیک-مافیک	مافیک	سیلیسیکلاستیک- مافیک
قبرسی	مافیک	مافیک	بک آرک مافیک	مافیک	مافیک-اولترامافیک

از لحاظ زمانی این کانسارها در شش دوره زمانی شامل آرکئن، پالئوپروتروزوئیک، پالئوزوئیک، مزوزوئیک و سنوزوئیک پایانی تشکیل شده‌اند (Franklin *et al.*, 2005). با این حال، عمده این کانسارها مربوط به فانروزوئیک هستند ولی کانسارهای نوع بایمدال مافیک بیشتر در آرکئن هستند. از لحاظ مکانی، اغلب این کانسارها در کمربندهای کوهزایی تشکیل می‌شوند. کشور ایران هم تعداد زیادی از این کانسارها را دارا می‌باشد که اطلاعات کافی در این زمینه وجود ندارد (راستاد و موسیوند، ۱۳۹۶).

کانسارهای ماسیوسولفاید به یک محیط تکتونیکی خاص و یک زمان زمین‌شناسی محدود نمی‌باشند و در هر دو محیط تکتونیکی واگرا و همگرا تشکیل می‌شوند (شکل ۲-۸). به‌طور معمول این نهشته‌ها در حوضه‌های گسترش کف اقیانوس‌ها و محیط‌های کمانی تشکیل می‌شوند (Galley *et al.*, 2007). در اغلب جایگاه‌های تکتونیک، این نهشته‌ها در محیطی آتشفشانی کششی مرتبط با ریف‌زایی (داخل کمان یا محیط پشت کمان)، در کمان‌های اقیانوسی یا نزدیک همگرایی پوسته اقیانوسی با پوسته قاره‌ای تشکیل شده‌اند. ۸۰ درصد این نهشته‌ها در دنیا در توالی‌های مرتبط با کمان رخ می‌دهند و بقیه آن‌ها در توالی‌های افیولیتی هستند (Franklin *et al.*, 1998).

نهشته‌های ماسیوسولفاید به‌صورت تصادفی اتفاق نمی‌افتند، بلکه در زمان‌های خاص در دریا و حوضه‌های کششی فعال آتشفشانی تشکیل می‌شوند. این نهشته‌ها در هر دو محیط آتشفشان زیر دریایی مافیک و فلسیک اتفاق می‌افتند و در هر دو توالی آتشفشانی-آواری و توالی به‌طور عمده گدازه‌ای که همراه یا بدون سنگ‌های رسوبی باشند اتفاق می‌افتند (راستاد و موسیوند، ۱۳۹۶).



شکل ۲-۸ محیط تشکیل کانسارهای ماسیوسولفاید در محیط‌های واگرا و همگرا.
(Barrie, 2012)

از نظر مکانی عموماً همراه با گسل‌های نیمه عمیق بوده و در دهانه‌های خروجی آتشفشان اتفاق می‌افتند. به دلیل تعدد سامانه‌های همرفتی، عموماً کانه‌زایی در طول گسل‌های همزمان با آتشفشان و رسوب گذاری به صورت متعدد و خوشه‌ای رخ می‌دهد. از نظر ترکیب سنگ میزبان و همراه این نهشته‌ها در داخل توربیدایت‌ها تا گریوک‌های همی‌پلاژیک قرار دارند و با بازالت به صورت بین لایه قرار دارند. البته به مقدار کم، سنگ میزبان شیپ دولومیتی نیز معمول است. توده‌های نفوذی نیمه عمیق و سیل مانند و چند فازی که به عنوان معادل نفوذی یک اتاق ماگمایی عمیق توالی آتشفشان را تغذیه می‌کنند در این تشکیل این ذخایر نقش عمده بازی می‌کنند (راستاد و موسیوند، ۱۳۹۶). در سنگ دیواره در کمربین کانسار دگرسانی شدید مشاهده می‌شود در حالیکه در کمربالا به غیر از موارد خفیف دگرسانی خاصی وجود ندارد (Franklin *et al.*, 2005). در کانسارهای با سنگ میزبان مافیک، پهنه دگرسان کلریتی در مرکز قرار دارد و بخش سرسیتی در اطراف آن است. پهنه استیرینگر کانه‌دار و سنگ‌های دگرسان در بخش زیرین نهشته‌هایی که تحت تاثیر محوشدگی تکتونیک قرار نگرفته‌اند، وجود دارد. این پهنه حاوی رگه‌های سولفیدی-کوارتزی متصل به هم است. پهنه‌های سیلیسی محلی نیز در نزدیکی و

داخل پهنه‌های کانه‌دار وجود دارد (راستاد و موسیوند، ۱۳۹۶). این نهشته‌ها عموماً حاوی پیریت، کالکوپیریت، پیروتیت، اسفالریت و گالن هستند (Seal *et al.*, 2001) که عمده‌ترین آنها پیریت است که در برخی موارد پیروتیت نیز غالب است. وجود منشا حرارت و عمق کم و نزدیک به سطح بودن این منشا حرارتی دو عامل اساسی برای تشکیل این کانسارها می‌باشند. چنین خصوصیتی عموماً در شرایط کافت و تشکیل ریفت فراهم می‌شود. وجود اتاق ماگمایی و نفوذی‌های نیمه عمیق به‌عنوان منشا گرمایی برای فعال شدن سامانه گرمایی کانه‌ساز لازم است (راستاد و موسیوند، ۱۳۹۶). با سرد شدن تدریجی خروجیها ابتدا مس، سپس روی و در پایان سرب ته‌نشین می‌شوند. مناطق عمیق از نظر مس غنی‌تر هستند ولی در مناطق کم عمق سرب و روی غنی‌تر است.

۲-۴-۲ کنترل‌کننده‌های کانه‌زایی

چهار کنترل‌کننده در این کانسارها وجود دارند که شامل این موارد می‌شوند: الف) منبع گرمایی مناسب به وسیله نفوذی‌های نیمه عمیق، ب) منطقه واکنشی دما بالا به‌عنوان منبع برخی فلزات، پ) گسل‌های همزمان با فعالیت آتشفشانی، ت) دگرسانی کم‌پایین کانسار توسط سیالات کانه‌زا (راستاد و موسیوند، ۱۳۹۶).

۲-۴-۳ کانسارهای همراه ذخایر ماسیوسولفاید

کانسارهای تیپ بشی می‌توانند معادل بعضی از نهشته‌های نوع رسوبی-بروندمی باشند با این تفاوت که ارتباط ژنتیکی مستقیم کانسار با فعالیت‌های آذرین در کانسارهای رسوبی-بروندمی وجود ندارد. کانسارهای منگنز آتشفشانی-بروندمی نیز از این جمله می‌باشند (راستاد و موسیوند، ۱۳۹۶). بعضی از کانسارهای ماسیوسولفاید آرکن ممکن است با سازند آهن نواری همراه با آتشفشان تشکیل شده باشند. کانسارها ماسیوسولفاید آرکن از نظر مکانی همراه با نهشته‌های طلای مزوترمال پهنه‌های برشی یا

کواترتز- طلای با سولفیداسیون پایین و نهشته‌های سازند آهن نواری آگوما هستند (Taylor *et al.*, 1999).

۴-۴-۲ تیپ پلیتیک مافیک (بشی)

در این تیپ از ذخایر ماسیوسولفاید توالی‌های بازالتی- پلیتی همراه بارسوبات بسیار ریزدانه در محیط های پشت کمانی بالغ و توالی‌های کمانی به هم افزوده (حوضه پشت کمانی بالغ اقیانوسی) حاوی بازالت و رسوبات پلیتی با مقادیر مساوی بوده و یا پلیت‌ها بیشتر هستند. سیل‌های مافیک تا حدود ۲۵ درصد توالی میزبان را شامل می‌شوند. همچنین سنگ‌های فلسیک کمیاب بوده و یا کمتر از ۵ درصد هستند. رسوبات شامل آرژیلیت کربناتی، سیلت استون، وکستون هستند که در پشته‌های میان اقیانوسی و یا حوضه‌های پشت کمانی توسط رسوبات ریزدانه، سیل‌ها و گدازه‌های مافیک- اولترامافیک پوشیده شده اند (Franklin *et al.*, 2005).

در پهنه سنندج سیرجان در منطقه بوانات توالی‌های قبل، همزمان و بعد از ریفت دیده می‌شوند که شامل توالی‌های رسوبی- آتشفشانی پالئوزوئیک مثل کمپلکس توتک (قبل از ریفت)، توالی‌های آتشفشانی- رسوبی تریاس- ژوراسیک شامل مجموعه‌های سوریان، چاه گز و کولی کش (همزمان با ریفت) و توالی‌های رسوبی کرتاسه- سنوزوئیک (بعد از ریفت) می‌باشند.

۴-۴-۵ مشخصات کلی تیپ بشی

مشخصات معمول تیپ بشی را می‌توان به صورت ذیل دسته بندی کرد (Cox & Singer, 1986) ;
(راستاد و موسیوند، ۱۳۹۶):

نام های دیگر: سیلیسیکلاستیک-مافیک، پلیتیک-مافیک.

سنگ میزبان و همراه: سنگ‌های رسوبی آواری، آتشفشانی دریایی، گدازه‌ها و توف‌های بازالتی، برش آندزیتی، شیل سیاه، سیلت‌استون، ماسه سنگ، سنگ‌های کربنات‌دار، چرت قرمز، سازندهای آهن دار و سنگ‌های گابرویی.

دامنه سنی: در هر سنی، ولی عموماً پروتروزوئیک، کامبرین، پرمین، تریاس، ژوراسیک و کرتاسه.

محیط ته‌نشست: سنگ‌های تخریبی همراه با سنگ‌های آتشفشانی زیردریایی و گاهی کربناته.

خاستگاه تکتونیکی: محیط‌های کششی اقیانوسی مثل حوضه‌های پشت کمانی، پشته‌های میان اقیانوسی نزدیک حاشیه قاره یا حوضه‌های ریفتی مراحل اولیه جدایش قاره.

دگرسانی: به علت دگرگونی مشکل است ولی کلریتی‌زاسیون سنگ دیواره و گاهی سیلیسی شدن، گوسن و سریسیتی.

محصولات اصلی و فرعی: مس، سرب، روی و نقره اصلی و طلا، نیکل، کبالت، قلع، منگنز، منیزیم، مولیبدن و کادمیوم فرعی.

کانی‌شناسی: پیریت، پیروتیت، کالکوپیریت، اسفالریت، کبالتیت، مگنتیت، گالن، بورنیت، تتراهدریت، کوبانیت، استانیت، مولیبدنیت، آرسنوپریت و مارکاسیت.

باطله: کوارتز، کلسیت، سیدریت، آلبیت، تورمالین، گرافیت و بیوتیت.

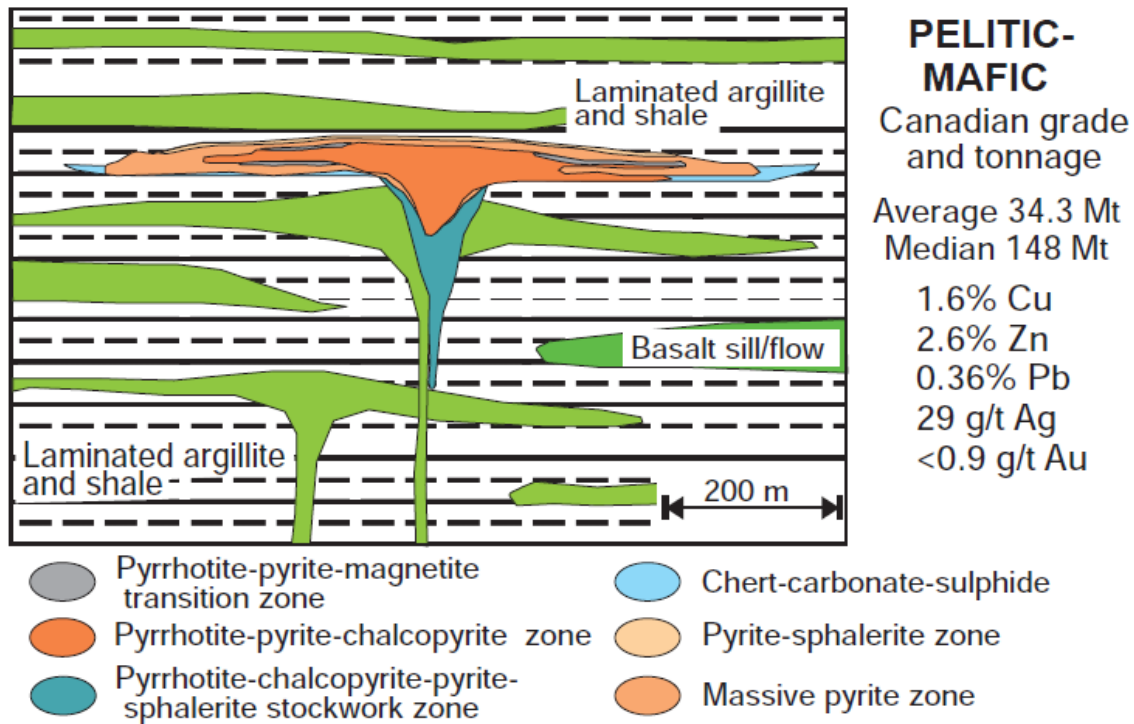
کنترل‌کننده‌ها: گسل‌های نرمال همزمان با آتشفشان و رسوب‌گذاری با شیب تند.

راهنمای ژئوشیمیایی: مس، روی، نقره، هاله‌های منگنز و غنی‌شدگی آن.

راهنمای ژئوفیزیکی: روش‌های الکترومغناطیسی یا پلاریزان القایی برای تشخیص سولفیدها و روش مگنتومتري برای شناسایی بخش‌های کم عمق غنی از مگنتیت و پیروتیت.

اهمیت اقتصادی: منابع مهم مس، روی و نقره هستند.

شکل ۲-۹ مقطع عمودی یک کانسار تیپ بشی را نشان می‌دهد.



شکل ۲-۹ مقطع شماتیک کانسارهای تیپ بشی.
(Galley *et al.*, 2007)

۲-۴-۶ مشخصات اکتشافی ماسیوسولفایدهای منطقه بوانات (مس-روی-نقره)

کانسار بوانات (جیان) در ۵۰ کیلومتری جنوب شرق ده بید در پهنه سندرچ-سیرجان جنوبی قرار دارد که در مجموعه سوریان به سن ژوراسیک زیرین و وسعتی در حدود ۳۶ کیلومتر در دره بوانات رخ داده است. ادامه این کانه‌زایی در منطقه هرات نیز به صورت کلاهای آهنی و لایه‌ای و عدسی شکل در داخل واحدهای آتشفشانی بازیک رخ داده است. سنگ میزبان اصلی کانه‌زایی سنگ‌های آذرآواری و پلیتی مانند کلریت-شیست می‌باشند که مقادیر زیادی فلدسپار، کلریت، کوارتز و کلسیت دارند. سن کانه‌زایی احتمالاً ژوراسیک زیرین است. مهم‌ترین دگرسانی‌های کانسار بوانات عمدتاً کلریتی و کلریتی-سرسیستی و مقداری کربناتی و سرسیستی است که دگرسانی کلریتی در مرکز و دگرسانی کلریتی-سرسیستی در حاشیه قرار دارد. کانی‌های کلریت در پهنه استرینگر بلافاصله در زیر بخش‌های غنی از

آهن دیده می‌شوند. دگرسانی آرژیلی ثانویه نیز در مواقعی دیده می‌شود. چهار رخساره معدنی از کمرباطین به سمت کمربالا در کانسار فوق دیده می‌شود: الف) رخساره رگه-رگچه‌ای یا استرینگر که در زیر مجموعه دهانه‌ای قرار دارد و حاوی رگ و رگچه‌های کوارتزی-کربناتی-سولفیدی و دگرسانی شدید کلریتی است (حاوی پیریت، کالکوپریت، پیروتیت و مقدار کمی اسفالریت و گالن)، ب) رخساره مجموعه دهانه‌ای با بافت برشی، پ) رخساره لایه‌ای نواری غنی از پیریت، کالکوپریت، پیروتیت و حاوی گاهاً قطعات کلریتی یا کوارتزی از پهنه استرینگر، ت) رخساره گرمابی-بروندمی آهن و منگن‌دار که در بالا و روی بخش‌های معدنی سولفید توده‌ای به همراه هماتیت قرمز رنگ و در زمینه کوارتزی ریز و چرتی قرار دارد (راستاد و موسیوند، ۱۳۹۶).

مطالعات زمین‌شناسی، سنگ‌شناسی، کانی‌شناسی و ژئوشیمیایی منطقه بوانات نشان می‌دهد که ماسیوسولفاید بوانات از فرسایش آتشفشانی زیردریایی در توالی رسوبات آتشفشانی سوریان در مراحل اولیه توسعه یک حوضه ریفت قاره در منطقه بوانات (کمربند جنوبی سنندج - سیرجان) در زمان پرمو-تریاس به وجود آمده است. پس از آن، کمپلکس سوریان و سولفیدهای وابسته به آن، تحت رخساره‌های آمفیبولیت و شرایط رخساره شیست سبز قهقرایی تغییر شکل پیدا کرده و دگرگون شده‌اند. ذخائر بوانات، در مقایسه با انواع مختلف ذخایر ماسیوسولفاید در مناطق دیگر، نشان می‌دهند که شباهت‌های زمین‌شناسی، ژئوشیمیایی، بافتی و کانی‌شناسی زیادی به ذخایر تیپ بشی دارند. ویژگی‌های مشخصی از ذخایر بوانات، از جمله: الف) رخداد آن در یک ساختار آتشفشانی - رسوبی، ب) کانسار استراتیفرم ورقه‌ای که توسط سنگ‌های رسوبی کلاسیک و آتشفشانی‌های مافیک میزبانی می‌شود، پ) توده‌های معدنی غنی از پیریت و کلکوپریت، ت) مقدار بالای Co در پیریت و نسبت بالای Co / Ni در کانسار و ث) ویژگی‌های بافتی، قویاً نشان می‌دهند که رسوب بوانات مشابه ذخایر تیپ بشی هستند (Mousivand et al., 2007). کانسار مس جیان یکی از کانسارهای مهم ماسیوسولفاید تیپ بشی در پهنه بوانات است، که در لبه شرقی زون دگرگونی سنندج-سیرجان و در فاصله ۱۹۵ کیلومتری شمال شرق شیراز در مجموعه آتشفشانی-رسوبی دگرگون شده کمپلکس سوریان با سن پرموتریاس واقع شده

است. واحدهای سنگی منطقه اغلب شامل متابازالت، کلریت- مسکویت شیست، کلریت -کوارتز شیست، میکاشیست و گرافیت شیست است. پیریت مهمترین کانی سولفیدی و کالکوپیریت کانی اصلی مس در این کانسار است که به شکلهای افشان و رگچه ای اغلب در سنگهای کلریت -کوارتز شیست و کلریت- مسکویت شیست کانه زایی شده اند. مجموعه سنگهای آتشفشانی- رسوبی کمپلکس سورپان از پهنه سنندج - سیرجان به صورت نوار باریکی با امتداد شمال غرب - جنوب شرق به موازات دره بوانات در شمال شرق استان فارس رخنمون دارد. وجود سرباره‌های ذوب و آثار گسترده شدادی به همراه آثار کانه زایی مس، روی و نقره در جنوب غرب و جنوب شرق شهر سورپان نشانگر سابقه و رونق معدنکاری در زمانهای قدیم در این منطقه است (رجب زاده و اسماعیلی، ۱۳۹۲). از تحقیقاتی که با اهداف پی جویی و تعیین منشأ مس، سرب، روی و باریت در منطقه بوانات صورت گرفته می توان به کارهای (اویسی و یوسفی، ۱۳۷۵) و همچنین (تقی پور، ۱۳۷۹) و (موسیوند، ۱۳۸۹) در قالب پایان نامه‌های دانشگاهی اشاره کرد. مشخصات کانسار ماسیوسولفاید بوانات در جدول ۲-۲ آورده شده است.

جدول ۲-۲ مشخصات کانسار ماسیوسولفاید بوانات (موسیوند و همکاران، ۱۳۹۲).

پهنه ساختاری	سنندج - سیرجان جنوبی
محیط زمین ساختی	کافت درون کمانی آغازین
ماهیت ماگما	تولئیتی
سنگ‌های میزبان	آذرآواری، شیل سیاه، بازالت، بازالت-آندزیت، آهک، کنگلومرا
سنگ درونگیر	آذرآواری، شیل سیاه، بازالت
سن کانه‌زایی و سنگ میزبان	ژوراسیک زیرین
شکل هندسی پیکره‌های معدنی	صفحه‌ای شکل
ساخت و بافت	توده‌ای، نواری، لامینه، دانه پراکنده، رگه‌ای و انواع ساخت و بافت‌های ناشی از دگرشکلی
کانی‌های معدنی	پیریت، کالکوپیریت، پیروتیت، اسفالریت، مارکاسیت، گالن، کوبانیت

کلریت، کوارتز، کربنات، سریسیت	کانی‌های باطله
کلریتی، سریسیتی، کربناتی، آرژیلی، سیلیسی، آلبیتی	دگرسانی
کبالت و سلنیوم زیاد	ژئوشیمی ماده معدنی
پلیتیک مافیک یا بشی	تیپ کانه‌زایی

۲-۴-۷ مدل مفهومی مورد استفاده

برای آماده سازی مدل مفهومی، در این تحقیق از طیفی از مطالعات مختلف استفاده شده است. هدف این بوده که علاوه بر اکتشاف کانه‌زایی‌های تیپ بشی شناخته شده موجود در منطقه بر اساس مطالعات منطقه‌ای، کانسارهای احتمالی مشابه با تیپ عمومی ماسیوسولفایدها را نیز شناسایی نمود. برای این منظور از منابع ذیل استفاده شده است:

- مشخصات عمومی کانسارهای ماسیوسولفاید که در دنیا مورد پذیرش قرار گرفته‌اند.
- مشخصات اختصاصی تیپ بشی که در دنیا مورد پذیرش قرار گرفته‌اند.
- مشخصات اختصاصی کانسارهای ماسیوسولفاید موجود در منطقه که محققین قبلی در مطالعات خود اثبات نموده‌اند.

با توجه به موارد فوق، داده‌های موجود در منطقه و همچنین ساختار هر روش تلفیق، مدل مفهومی

جدول ۲-۳ به صورت موردی در هر روش تلفیق در فصلهای بعد مورد استفاده قرار گرفت.

مفهوم "سیستم کانه‌زایی" برای هدف‌گذاری در اکتشاف به تمامی فاکتورهای زمین‌شناسی که ذخیره معدنی را تولید و نگهداری می‌کند و بر فرایندهایی که در آماده کردن اجزا کانسار از یک منبع، انتقال و انباشت آنها در فرم متمرکزتر و سپس حفظ آنها در طول دوران‌های زمین‌شناسی بعدی، اطلاق می‌شود (Carranza, 2017). بنابراین یک سیستم کانه‌زایی برای رسیدن به اهداف اکتشافی، سه عنصر (یا فرایندهای زمین‌شناسی) مهم برای تشکیل ذخایر معدنی را مورد سنجش قرار می‌دهد.

جدول ۲-۳ ساختار دسته بندی شده مدل مفهومی کانسارهای ماسیوسولفاید تیپ بشی برای استفاده در تلفیق (Cox & Singer, 1986; Edwards & Atkinson, 1986; Bliss, 1992; Large, 1992; Bonham-Carter, 1995; Bonham-Carter, 1997; Galley, 2003; Franklin *et al.*, 2005; Mousivand *et al.*, 2007; Bonnet & Corriveau, 2007; Carr & Cathless, 2008; Solomon, 2008; Dergatchev *et al.*, 2011; Edwards, 2012; Shanks & Thurston, 2012; Robb, 2013; Tornos *et al.*, 2015; Pirajno *et al.*, 2016; Mousivand *et al.*, 2013; Mousivand *et al.*, 2012; Rajabzadeh & Esmaeili, 2013; Mousivand *et al.*, 2016; Asadi & Moore, 2017; Johnson *et al.*, 2017)

بخش های سیستم کانه زایی	تئوری	عملی (قابل نمایش)	زیر معیار	ماخذ اطلاعات	توضیحات
منبع اجزاء سیال کانه دار (فلزات، گوگرد و کلرید)	ولکانیک های مافیک (منبع مس و روی)	ولکانیک های مافیک	بازالت	زمین شناسی	مخصوص تیپ بشی
			بازالت آندزیتی	سطحی	
			مناطق مغناطیس بالا	مگنتومتري	
منبع حرارتی	شسته شدگی فلزی	ناهنجاری های فلزی کاهشی	مس	ژئوشیمی	همه تیپ ها
			روی	ناحیه ای	
			دگرسانی ناحیه ای به نقشه درآمده (سیلیسی، آلبیتی، کلریتی)	زمین شناسی سطحی	
منبع حرارتی	تعامل بین آب دریا و سنگ	مناطق شسته شده در مناطق مغناطیس بالا	کلریتی	تصاویر استر	همه تیپ ها
			سیلیسی		
			مناطق مغناطیس کم در واحدهای مغناطیس بالا	مگنتومتري	
منبع حرارتی	ماگماتیسیم مافیک همزمان	ولکانیک های مافیک	بازالت	زمین شناسی	مخصوص تیپ بشی
			بازالت آندزیتی	سطحی	
			مناطق مغناطیس بالا	مگنتومتري	
مسیرها و ساختار مسیر	رسوب گذاری متوسط تا عمیق همزمان با ماگماتیسیم مافیک	توده های نفوذی	نفوذی ها	زمین شناسی سطحی	همه تیپ ها
			میان لایه توربیدیتی در ولکانیزم مافیک	زمین شناسی سطحی	
			دگرسانی ناحیه ای به نقشه درآمده (سیلیسی، آلبیتی، کلریتی)	زمین شناسی سطحی	
مسیرهای حرکت سیالات	دگرسانی ناحیه ای (آلبیتی، پروپیلیتی و سیلیسی)	دگرسانی ناحیه ای به نقشه درآمده (سیلیسی، آلبیتی، کلریتی)	کلریتی	تصاویر استر	همه تیپ ها
			سیلیسی		

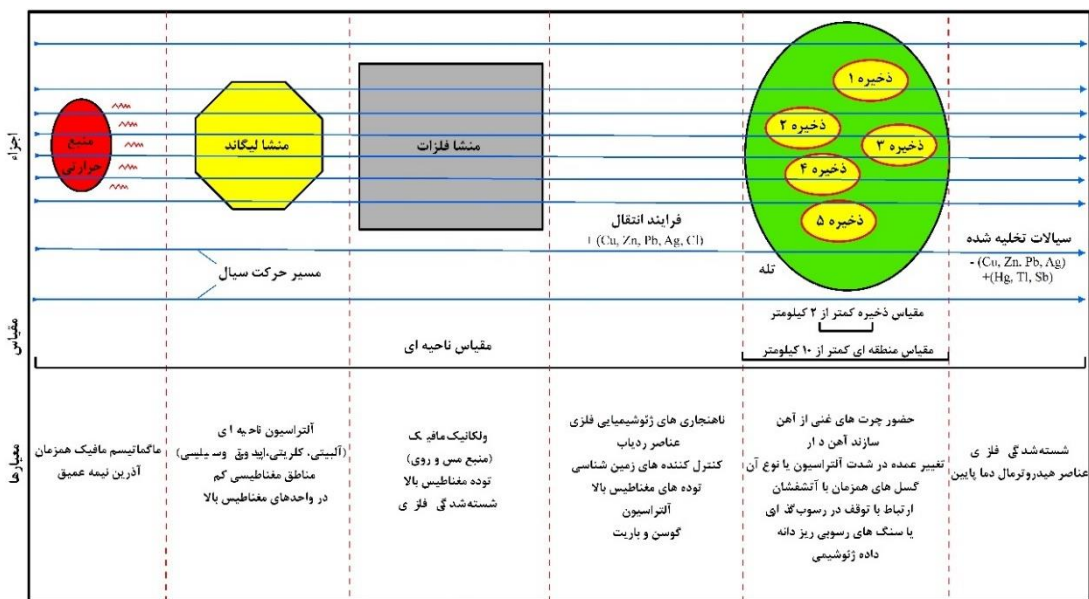
توضیحات	ماخذ اطلاعات	زیر معیار	معیار		بخش‌های سیستم کانه‌زایی
			عملی (قابل نمایش)	تئوری	
همه تیپ‌ها	زمین‌شناسی سطحی	زون‌های دگرسانی کلریتی، سربستی و سربست-کلریتی	زون‌های دگرسانی کلریتی و سربستی	مسیرهای حرکت سیالات	مسیرها و ساختار مسیر
	تصاویر استر	سربستی			
		سیلیسی			
همه تیپ‌ها	زمین‌شناسی سطحی	چگالی گسل‌ها	گسل‌های همزمان با آتشفشان		
همه تیپ‌ها	تصاویر استر	سازند آهن‌دار	تغییر عمده در شدت دگرسانی یا نوع آن	رسوب گذاری حاصل از مخلوط شدن سیالات هیدروترمال با آب سرد دریا	مکانیزم‌های رسوبگذاری
		آرژیلیک			
		آرژیلیک پیشرفته			
		ژاروسیت			
		سربستی			
		پروپلیتیک			
		سیلیسی			
		گوسن (مگنتیت، هماتیت و گوئیت)			
همه تیپ‌ها	زمین‌شناسی سطحی	هیاتوس	ارتباط با توقف در رسوب گذاری یا سنگ‌های رسوبی ریز دانه	تجمع کانی در طول دوره رسوب گذاری آرام	
همه تیپ‌ها	زمین‌شناسی سطحی	مرز بین توربیدایت و بازالت	توزیع افق‌های مینرالیزه، معمولاً مرتبط با واحدهای رسوبی ریز دانه	تمرکز رسوبات در امتداد افق‌های خاص چینه‌شناسی	
همه تیپ‌ها	زمین‌شناسی سطحی	سازند آهن‌دار، ژپس، انیدرید، چرت و باریت	حضور چرت‌های غنی از آهن، سازند آهن‌دار و دیگر سنگ‌های برون‌دمی	رسوب گذاری محلی مرتبط با کانه‌زایی	
	مگنتومتری	مناطق مغناطیس بالا			

توضیحات	ماخذ اطلاعات	زیر معیار	معیار		بخش‌های سیستم کانه‌زایی
			عملی (قابل نمایش)	تئوری	
همه تیپ‌ها	زمین‌شناسی سطحی	سازند آهن‌دار	گوسن و باریت	وجود کانه‌زایی	مکانیزم‌های رسوبگذاری
	تصاویر استر	گوسن (مگنتیت، هماتیت و گوئیتیت)			
	مگنتومتری	توده‌های مغناطیسی کم عمق	توده‌های مغناطیس بالا		
	زمین‌شناسی سطحی	مرز بین توریدایت و بازالت	کنتراست سنگ‌شناسی		
مخصوص تیپ بشی	ژئوشیمی رسوبات آبراهه‌ای	مس	ناهنجاری‌های ژئوشیمیایی فلزی عناصر ردیاب	وجود کانه‌زایی	مکانیزم‌های رسوبگذاری
		روی			
		طلا			
		نقره			
		کبالت			
		نیکل			
		کروم			
		منیزیم			

به عنوان مثال: منبع فلزات، مسیرهای سیالات کانه‌دار و تله‌ها. این اجزای کلیدی باید به معرفی‌های مکانی یا معیارهای قابل نمایش در سامانه اطلاعات مکانی ترجمه شود (Porwal & Kreuzer, 2010; McCuaig & Hronsky, 2010; Porwal & Carranza, 2015). توسعه در روش‌های پی‌جویی منابع معدنی مورد انتظار مبتنی بر سامانه اطلاعات مکانی را می‌توان به دو مرحله اصلی تقسیم کرد: الف) مرحله اول (عمدتاً در طول سال‌های ۱۹۷۷ تا ۲۰۰۶): به تحقیق در روش‌های عددی قوی برای تجزیه

و تحلیل و پردازش شواهد فضایی اختصاص داده شده، ب) مرحله دوم (عمدتاً در طول سال های ۲۰۰۷ تاکنون): که به تحقیق در مورد مدل های کانساری قوی اختصاص یافته است. کانادایی ها بر روی مرحله اول متمرکز شدند و استرالیایی ها بر روی مرحله دوم. مرز بین این دو مرحله، فازی است، زیرا همپوشانی قوی بین آنها وجود دارد (Carranza, 2017).

پژوهشگرانی که در توسعه روش های پی جویی منابع معدنی مورد انتظار مبتنی بر سامانه اطلاعات مکانی مشارکت داشته اند، قطعاً تلاش می کنند تا هم مدل های کانساری و همچنین مدل های ریاضی قوی را توسعه دهند (Carranza, 2017). برای تهیه مدل، یک روش ارزیابی سیستم کانه زایی برای سیستم های ماسیوسولفاید نوع بشی آماده شد (شکل ۲-۱۰). روش مورد استفاده از معیارهای زمین شناسی قابل استفاده (عملیاتی) که از یک مدل متالوژنی ماسیوسولفاید تبعیت می کند، استفاده می کند (Huston, & van der Wielen, 2011). چهار بخش کلیدی زیر شناسایی شده اند: الف) منبع اجزاء سیال کانه دار (فلزات، گوگرد و کلرید)؛ ب) منبع حرارتی؛ پ) مسیرهای سیالات و معماری مسیر؛ و ت) مکانیزم های رسوب گذاری.



شکل ۲-۱۰ مدل مفهومی عمومی برای ذخایر ماسیوسولفاید و منابع استخراج هر فاکتور.

منبع اجزاء سیال کانه‌دار

در سیستم های ماسیوسولفاید، سنگ های ولکانیک مافیک (به عنوان منابع متداول فلزات اشباع، نظیر مس و روی)، تعامل بین آب دریا و سنگ و شسته‌شدگی فلزی مولفه‌های مهم برای آماده‌سازی سیال کانه‌دار هستند. این موضوع از تصاویر ماهواره‌ای، داده‌های ژئوشیمی آبراه‌های، نقشه‌های زمین‌شناسی و داده‌های ژئوفیزیک هوایی با فاصله پرواز ۷٫۵ کیلومتر استخراج شده است.

منبع حرارتی سیالات

منبع حرارتی انرژی لازم برای انتقال فلزات، مایعات و لیگاندها را به محل ذخیره تامین می‌کند. حرارت از ماگماتیزم مافیک همزمان منبع اصلی انرژی در سیستم‌های ماسیوسولفاید است. حرارت سنگ های نفوذی نیمه عمیق نیز یکی دیگر از منابع اصلی تامین این انرژی است. این بخش از نقشه‌های زمین‌شناسی و داده‌های ژئوفیزیک هوایی با فاصله پرواز ۷٫۵ کیلومتر استخراج شده است.

مسیرهای حرکت سیالات

تغییرات در نفوذ پذیری و تخلخل سنگ ها و همچنین شکستگی‌ها می توانند مسیرهای جریان سیال را کنترل کنند. مسیرهای احتمالی جریان سیال می تواند یکی از موارد ذیل باشند:

- مسیرهای سیالات مانند گسل ها و شکستگی های با نفوذ پذیری بالا؛ و
- رسوب‌گذاری متوسط تا عمیق به همراه ماگماتیزم مافیک همزمان.

در این تحقیق برای شناسایی مسیرهای احتمالی سیالات بر روی رویکرد مختلف تمرکز کردیم. در اولین روش از نقشه های زمین شناسی استفاده شد و در رویکرد دوم از دورسنجی استفاده شد، به ویژه تفسیر تصاویر استر برای تشخیص تغییرات کانی‌شناسی که می تواند تغییرات دگرسانی دیواره در مجاورت مسیرهای حرکت سیال را نمایان سازد.

مکانیزم‌های رسوبگذاری

در این تحقیق از پنج مکانیزم رسوبگذاری استفاده شد که از فاکتورهای مهم برای ذخایر ماسیوسولفاید تیپ بشی هستند:

- رسوب‌گذاری ناشی از مخلوط شدن یک سیال هیدروترمال بالارونده با آب سرد دریا: نشان‌های چنین فرایندی می‌تواند از نقشه‌های نقشه زمین‌شناسی و تصاویر ماهواره‌ای استر استخراج شود، در حالیکه اجتماع کانه‌های دما بالا می‌تواند معرف زون تغذیه‌کننده^۱ باشد.
- کانیزایی در طول دوره رسوبگذاری آرام: این مورد را می‌توان با وقفه در رسوب‌گذاری و یا حضور سنگ‌های رسوبی ریز دانه (مانند سیلت‌استون و شیل) نشان داد. همچنین می‌توان آن‌را از نقشه‌های زمین‌شناسی سطحی شناسایی کرد.
- تجمع رسوبات در امتداد افق‌های خاص چینه‌شناسی: توزیع افق‌های مینرالیزه، توسط واحدهای رسوبی ریز دانه و یا قطع‌شدگی در لیتولوژی مانند مرز بین واحدهای بازالت و توربیدایت از نقشه‌های زمین‌شناسی سطحی استنباط شده است.
- رسوب‌گذاری در مقیاس محلی مرتبط با کانی‌سازی: وجود چرت‌های آهن‌دار، سازندهای آهن‌دار و... می‌تواند نشانه این موضوع باشد. این مشخصه از نقشه‌های زمین‌شناسی و داده‌های ژئوفیزیک مگنتومتری شناسایی شد.
- وجود کانه‌زایی را می‌توان همچنین با تجمع فلزات در ناهنجاری‌های ژئوشیمیایی و یا شناسایی غلظت‌های بالا از عناصر ردیاب تعیین کرد.

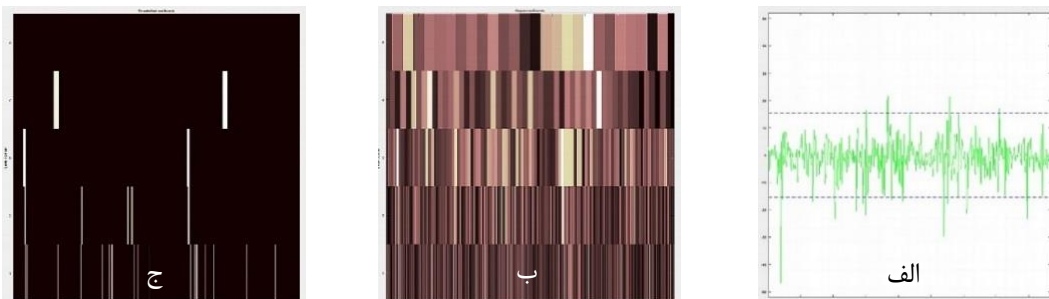
¹ Feeder zone

۲-۵ آماده‌سازی داده‌ها

با توجه به مقیاس و دقت عمومی داده‌ها، اندازه ۱۰۰ متر برای ابعاد هر پیکسل تصویر در بخش تلفیق در نظر گرفته شد. نظر به مدل مفهومی آماده شده و همچنین با توجه به داده‌های موجود در منطقه مورد مطالعه، موارد ذیل، برای پی‌جویی ذخایر ماسیوسولفاید، به‌خصوص تیپ بشی، مهم تشخیص داده شد و از داده‌ها استخراج شد که به اختصار بیان می‌شود:

۲-۵-۱ آستانه‌گذاری^۱ و فازی‌سازی موجک- لجستیک داده‌های ژئوشیمی اکتشافی

پس از ترسیم آبراهه‌ها و حوضه‌های آبریز به روش تبدیل موجک آستانه‌گذاری انجام شد. ابتدا داده‌های فراوانی عناصر مختلف بوسیله تبدیل لگاریتم، نرمال سازی گردید. سپس با استفاده از موجک دابچیز یک در پنج مرحله، حدود آستانه مشخص و آستانه گذاری (نوفه‌زدایی) انجام گردید. بخش الف از شکل ۲-۱۱ نمایانگر چگونگی اعمال حدود آستانه‌ای بر روی سیگنال مرتبط به داده‌های ژئوشیمی آبراهه‌ای است. در بخش‌های ب و ج از شکل ۲-۱۱ ضرایب سیگنال قبل و بعد از آستانه‌گذاری نمایش داده شده‌اند. همانطور که مشاهده می‌شود پس از آستانه‌گذاری موجک، به میزان زیادی بخش‌های آنومال در پنج ردیف تجزیه، ظاهر می‌شوند.



شکل ۲-۱۱ الف) اعمال حدود آستانه‌ای بر روی سیگنال داده‌های ژئوشیمی آبراهه‌ای، ب) ضرایب سیگنال قبل از آستانه‌گذاری موجک، ج) ضرایب سیگنال بعد از آستانه‌گذاری موجک.

^۱ Denoising

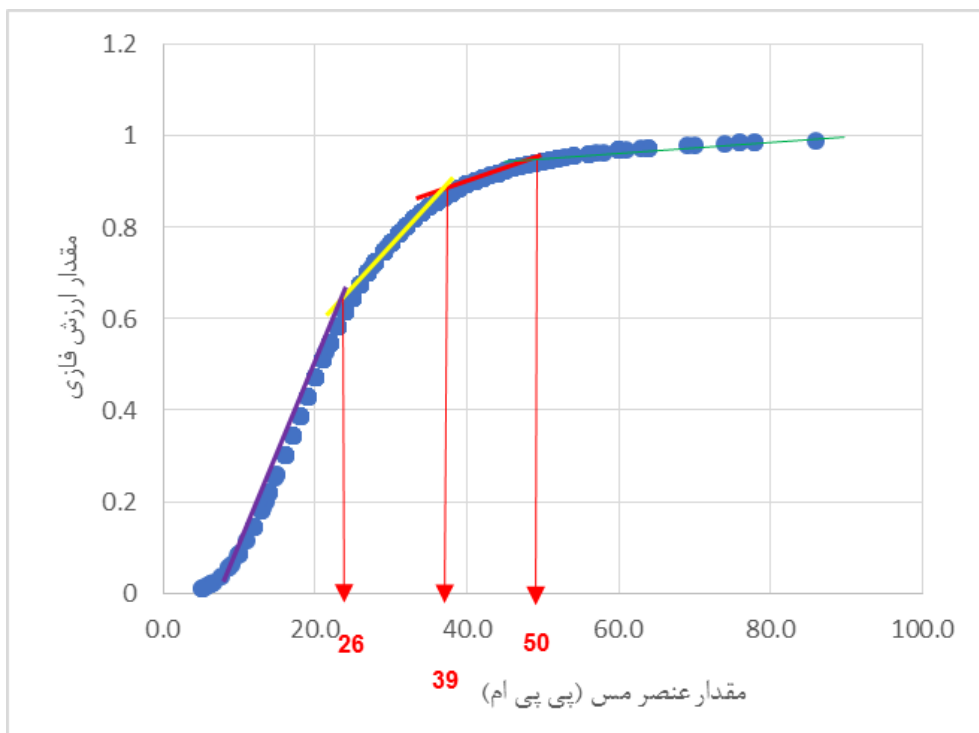
به روش تبدیل موجک، مناطق آنومال برای عناصر مس، روی، نقره، طلا، کبالت، نیکل، کروم و منگنز مشخص شد. پس از آن توسط تابع لجستیک (Yousefi & Carranza, 2016; Yousefi & Nykanen, 2015)، فازی سازی داده ها انجام شد و میزان ارزش فازی داده های ژئوشیمی آبراهه ای در نقشه های شاهد برای ورود به بخش تلفیق به وسیله این تابع آماده و در مرحله تلفیق استفاده شد. نمودار مقدار فازی ارزش هر نمونه در مقابل لگاریتم غلظت ترسیم شد. برای اعتبار سنجی نتایج تابع لجستیک بر روی داده های تحقیق، با نتایج حدود آستانه ای حاصل از موجک نیز مقایسه شد. نتایج نشان می دهد که متناظر نقاط شکست نمودار بر روی محور افقی، حدود آستانه ای غلظت هر عنصر است که با حدود آستانه معرفی شده توسط تبدیل موجک به طور تقریبی برابر است. (شکل ۲-۱۲).

$$F = \frac{1}{1 + e^{-s(x-i)}} \quad (1-2)$$

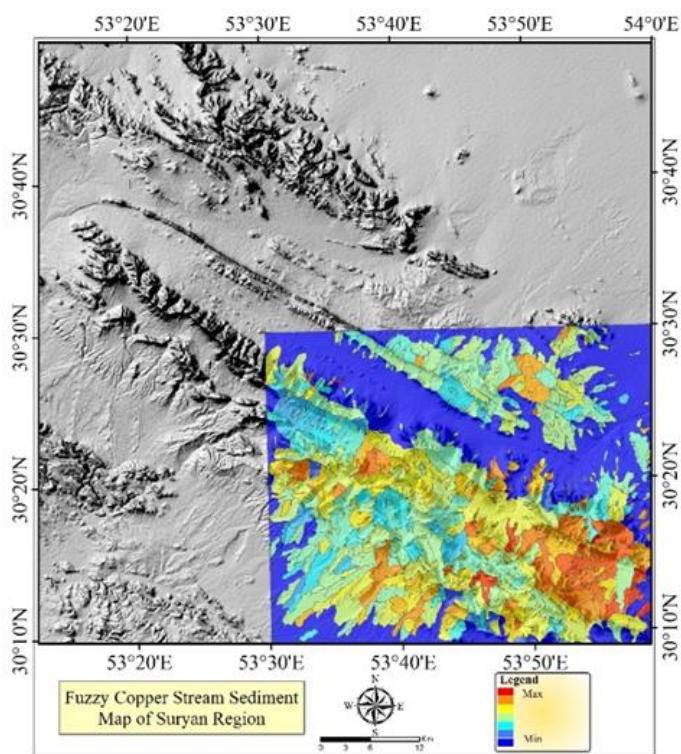
$$s = \frac{9.2}{MAX x - MIN x} \quad (2-2)$$

$$i = \frac{MAX x + MIN x}{2} \quad (3-2)$$

با توجه به این که محدوده مورد مطالعه در چهار برگه با مقیاس ۱:۱۰۰,۰۰۰ قرار می گیرد و با توجه به این که هر برگه از نظر کارشناس برداشت نمونه، زمان برداشت، آزمایشگاه، حد تشخیص و... با برگه مجاور متفاوت است، تمامی مراحل پردازش و فازی سازی داده ها در هر برگه جداگانه انجام شد. به عنوان مثال، شکل ۲-۱۳ نقشه فازی داده های ژئوشیمی آبراهه ای عنصر مس در برگه سوریان را نشان می دهد.



شکل ۲-۱۲ نمودار فازی سازی عنصر مس در برگه سوریان بر اساس عیار.



شکل ۲-۱۳ نقشه فازی داده‌های ژئوشیمی آبراه‌های سوریان در محدوده مورد مطالعه برای عنصر مس.

۲-۵-۲ آماده‌سازی و فازی‌سازی داده‌های دورسنجی به‌وسیله روش فیلترگذاری

تطبیقی^۱ و تابعِ اسمال^۲

دگرسانی‌های کلریتی، سیلیسی، سربستی، ایلیتی، ژاروسیتی و اپیدوتی به‌روش تشخیص فیلترگذاری تطبیقی از تصاویر استر استخراج شده‌اند. در تولید لایه‌هایی مانند دگرسانی که فاصله از مرز اهمیت دارد، ابتدا بوسیله الگوریتم فاصله اقلیدسی^۳، نقشه فاصله از عارضه ساخته شد و سپس به منظور فازی‌سازی فاصله، از تابع اسمال که حالت عکس تابع لارج^۴ می‌باشد، استفاده شده است در این روش به منظور فازی‌سازی فاصله از تابع اسمال (Tsoukalas, & Uhrig, 1996)، که یک ابزار فازی‌ساز برای فواصل کوچک غیرفازی است، استفاده می‌گردد که از رابطه زیر استفاده می‌شود. این بدان معناست که: بالاترین مقادیر عضویت فازی دقیقاً در نزدیکترین محل به عارضه تخصیص داده می‌شوند و بلافاصله پس از کمی دور شدن، مقدار عضویت به شدت کاهش می‌یابد (شکل ۲-۱۴).

$$\mu(x) = 1/(1+(x/f_2)^{f_1}) \quad (۴-۲)$$

که در آن f_1 ، مقدار حدود و f_2 ، نقطه مرکزی می‌باشد که به‌صورت تجربی تعیین می‌گردند.

نقطه مرکزی: مقدار غیرفازی تعریف شده توسط کاربر است که به عضویت فازی ۰٫۵ تخصیص داده می‌شود و بر اساس مدل مفهومی و ارزش عارضه مورد نظر در تیپ کان‌زایی مشخص می‌شود.

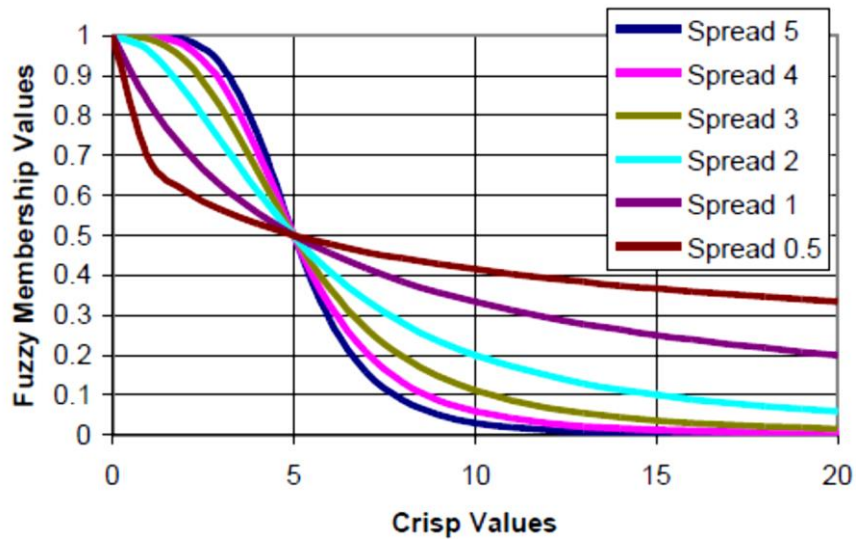
حدود: مقادیر بزرگتر آن در اطراف نقطه میانی، شیب نمودار را تندتر می‌نماید و مقادیر کوچکتر آن در اطراف نقطه میانی، شیب نمودار را کمتر می‌نماید. مقدار پیش فرض، عدد ۵ برای نقطه شروع است. به طور معمول مقادیر بین ۰ و ۱۰ متغیر است. شکل‌های ۲-۱۵ تا ۲-۱۷، نقشه‌های فاصله از عارضه و همچنین فازی‌سازی شده دگرسانی سیلیسی را نشان می‌دهند.

¹ Matched Filtering (MF)

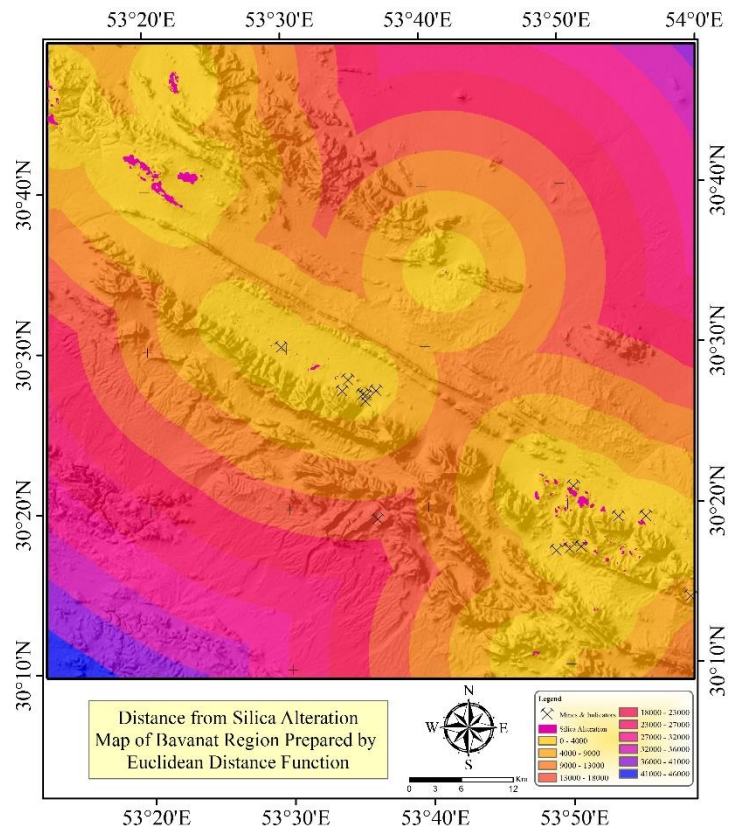
² Small

³ Euclidean distance

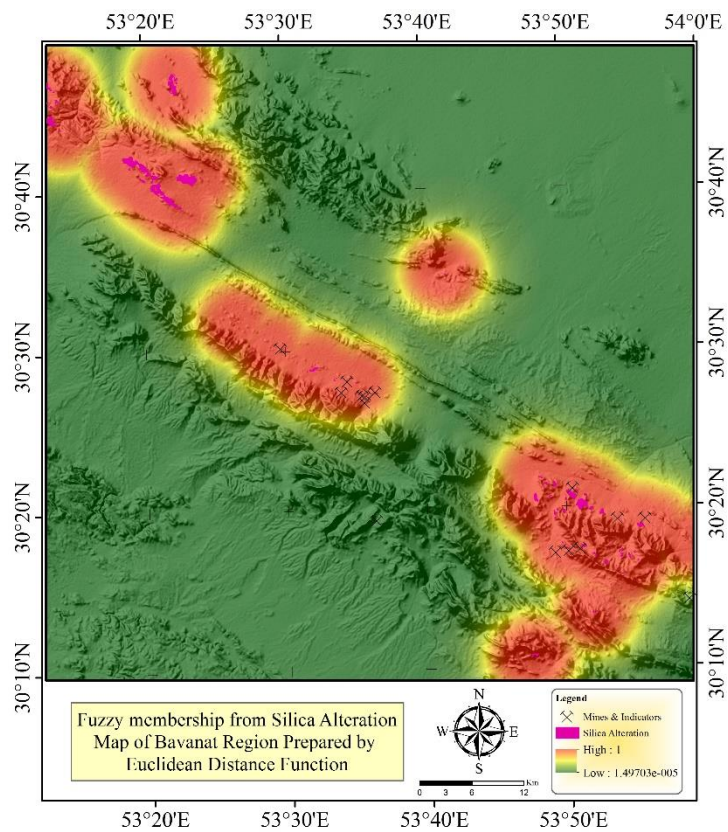
⁴ Large



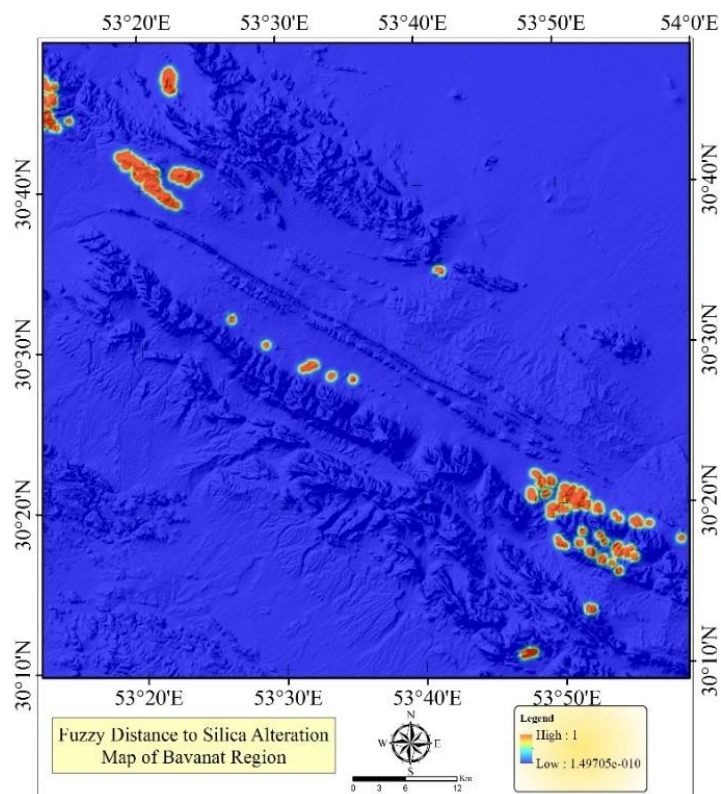
شکل ۲-۱۴ نمودار نحوه فازی‌سازی تابع اسمال توسط پارامترهای مختلف



شکل ۲-۱۵ نقشه فاصله هر پیکسل تا دگرسانی سیلیسی توسط تابع فاصله اقلیدسی.



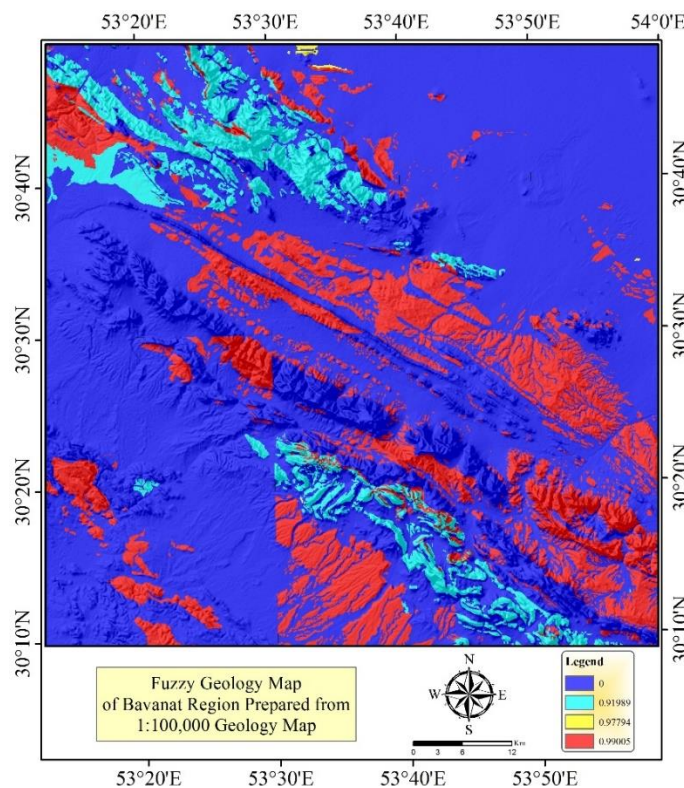
شکل ۲-۱۶ نقشه فازی سازی شده فاصله هر پیکسل، از دگرسانی سیلیسی.



شکل ۲-۱۷ نقشه نهایی فازی فاصله هر پیکسل از دگرسانی سیلیسی بر اساس فاصله بارزش در مدل مفهومی.

۳-۵-۲ آماده‌سازی داده‌های زمین‌شناسی

برای انتخاب واحدهای زمین‌شناسی مهم از نقشه زمین‌شناسی با مقیاس ۱:۱۰۰,۰۰۰، از جدول ۳-۲ استفاده شد. از این نقشه‌ها، لیتولوژی‌های پر ارزش برای کانه‌زایی ذخایر ماسیوسولفاید که پتانسیل بازی نمودن نقش منبع حرارتی^۱ و همچنین سنگ میزبان را دارند، با دسته بندی ذیل انتخاب و استفاده گردید: الف) ولکانیک مافیک، ب) زون‌های دگرسان، پ) توده‌های نفوذی، ت) میان لایه توربیدایتی، ولکانیک مافیک، ث) توقف در رسوبگذاری، ج) کالک شیست، کلریت شیست، شیست، چ) مرز بین بازالت و توربیدایت و ح) سازندهای آهن‌دار، چرت، ژئپس. پس از آن توسط تابع لجستیک (Yousefi & Carranza, 2015; Nykanen, 2016)، فازی‌سازی داده‌ها انجام شد و میزان ارزش فازی داده‌های زمین‌شناسی در نقشه‌های شاهد برای ورود به بخش تلفیق آماده و در مرحله تلفیق استفاده شد (شکل ۲-۱۸).



شکل ۲-۱۸ نقشه نهایی فازی واحدهای زمین‌شناسی.

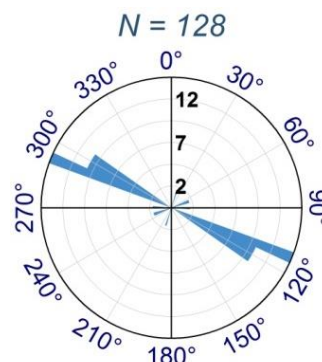
¹ Heat source

آنالیز فرای^۱

برای بدست آوردن امتداد ساختارهایی که احتمالاً با کانه‌زایی در ارتباط هستند، از آنالیز فرای استفاده شد. در این آنالیز، از هفت معدن و اندیس معدنی در منطقه سندنج- سیرجان جنوبی که از نظر تیپ کانه‌زایی ماسیوسولفاید تایید شده‌اند، استفاده شد (جدول ۲-۴) و با توجه به نتایج این آنالیز، روند عمومی گسل‌های که ظاهراً با کانه‌زایی مرتبط هستند، با آزمون ۲۹۰ تا ۳۱۰ درجه تشخیص داده شد (شکل ۲-۱۹) که این گسلها انتخاب (شکل ۲-۲۰) و بر اساس فاصله تا آنها و به‌وسیله تابع فاصله و همچنین لجستیک، فازی‌سازی شد (شکل ۲-۲۲). شکل ۲-۲۱ نمونه‌ای از همبستگی فضای کانه‌زایی را با این روند از گسل‌ها نشان می‌دهد.

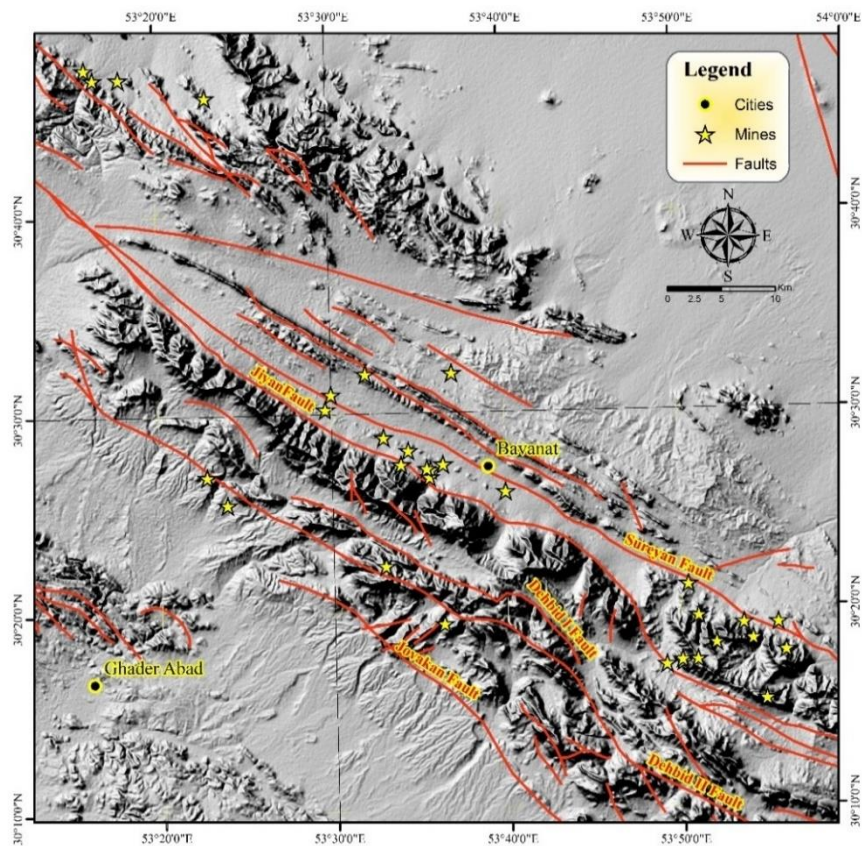
جدول ۲-۴ معادن و اندیس‌های معدنی استفاده شده در آنالیز فرای.

ردیف	نام معدن یا اندیس	تیپ کانه‌زایی	عنصر کانه‌زایی	طول	عرض
۱	معدن جیان	ماسیو سولفاید	Cu-Zn-Ag	749159	3371750
۲	جعفریه (چیر)	ماسیو سولفاید	Cu	773088	3361324
۳	مزایجان (کوره مسی)	ماسیو سولفاید	Cu	771146	3353855
۴	جنوب مُنج ۱	ماسیو سولفاید	Cu	778267	3357794
۵	جنوب مُنج ۲	ماسیو سولفاید	Cu	781448	3357845
۶	جشنیان	ماسیو سولفاید	Cu	739375	3377280
۷	معدن چاه گز	ماسیو سولفاید	Pb-Zn-Cu	۸۹۰۹۲۹	۳۲۷۱۳۶۹

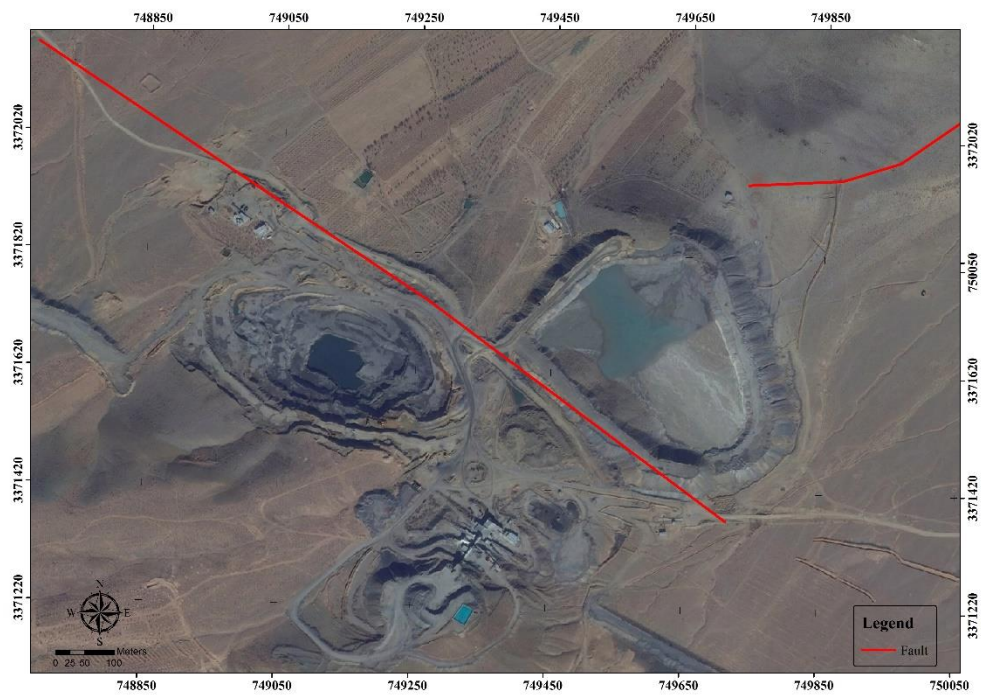


شکل ۲-۱۹ رزدياگرام داده‌های فرای مرتبط با کانسارهای ماسیوسولفاید موجود در منطقه بوانات.

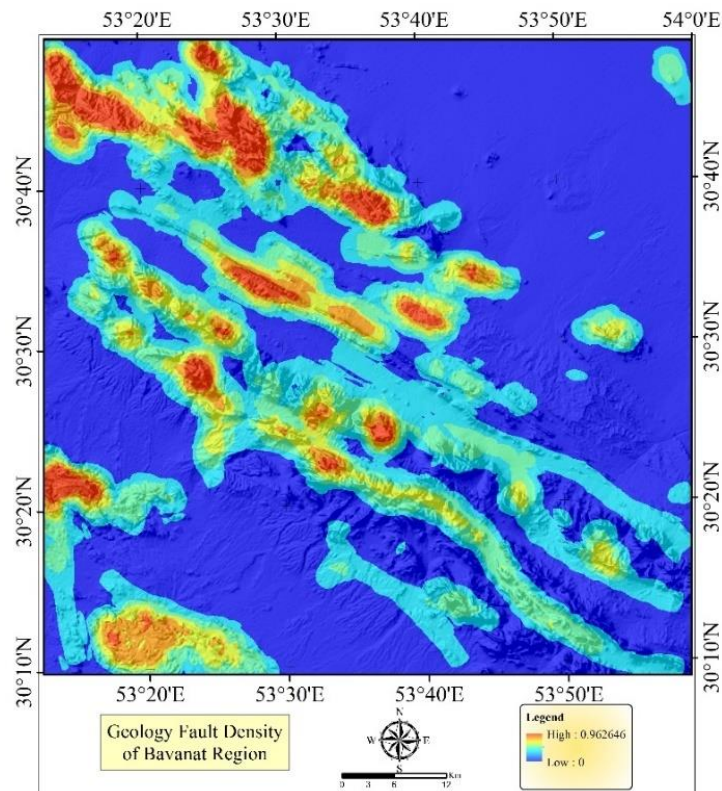
^۱ Fry Analysis



شکل ۲۰-۲ همبستگی فضایی گسل‌های با روند تعیین شده با معادن و اندیس‌های معدنی (مقیاس ۱:۲۵۰,۰۰۰).



شکل ۲۱-۲ نمونه‌ای از همبستگی فضایی گسل با آزیموت ۳۰۰ درجه با پشته‌های کانهدار معدن جیان.



شکل ۲-۲۲ نقشه فازی چگالی گسل‌های انتخابی (مقیاس ۱:۱۰۰,۰۰۰).

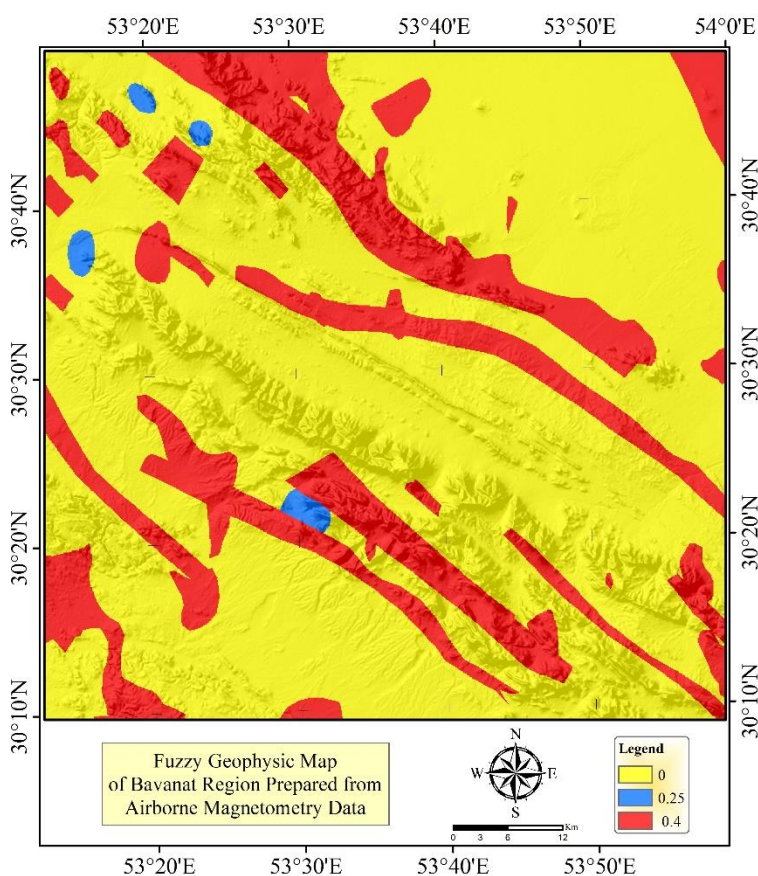
۲-۵-۴ آماده‌سازی داده‌های ژئوفیزیک

ساختارهای اصلی (گسل‌ها)، مناطق آنومال مغناطیس، مناطق کم‌مغناطیس درون توده‌های مغناطیسی و همچنین توده‌های با خاصیت مغناطیسی کم‌عمق که از داده‌های ژئوفیزیک هوایی مغناطیسی با فاصله پرواز ۷/۵ کیلومتر استخراج شده‌اند. میزان ارزش فازی داده‌های این بخش در نقشه‌های شاهد برای ورود به بخش تلفیق به‌وسیله عملگر ضرب فازی^۱ و با توجه به جدول ۲-۵ اعمال شد (McCuaig *et al.*, 2010; Huston & van der Wielen, 2011; Gerner *et al.*, 2012). تعیین گردید. لازم به توضیح است که به دلیل دقت کم و مقیاس متفاوت داده‌های مگنتومتري ۷/۵ کیلومتر، ارزش‌های فازی کمتری به آن‌ها نسبت داده شد (شکل ۲-۲۳).

^۱ Fuzzy product

جدول ۲-۵ ساختار ارزش‌های فازی مورد استفاده برای داده‌های استخراجی از داده ژئوفیزیک.

وزن فازی	اطمینان	کاربردی بودن	اهمیت	ماخذ اطلاعات	زیرمعیار
۰,۴	۰,۵	۱	۰,۸	مگنتومتري	مناطق مغناطيس بالا
۰,۲۵	۰,۵	۰,۷	۰,۷	مگنتومتري	مناطق وامغناطیده
0.4	1	0.8	0.5	مگنتومتري	توده‌های مغناطیسی کم عمق



شکل ۲-۲۳ نقشه ارزش‌های فازی داده‌های استخراجی از داده ژئوفیزیک.

۲-۵-۵ داده‌های اندیس‌ها و معادن

در محدوده مورد مطالعه ۱۵ معدن و اندیس معدنی با تیپ مشابه ماسیوسولفاید وجود دارد که مشخصات

این داده در جدول ۲-۶ آورده شده است.

جدول ۲-۶ مشخصات معادن و اندیس‌های معدنی با تیپ کلنه‌زایی مشابه ماسیوسولفاید

ردیف	نوع	عنصر کانه زایی	طول	عرض	نام
۱	معدن	Cu	773088	3361324	جعفریه (چیر)
۲	معدن	Cu	771146	3353855	مزایجان (کوره مسی)
۳	اندیس	Cu	739375	3377280	جشنیان
۴	اندیس	Cu	778267	3357794	جنوب مُنج ۱
۵	معدن	Cu	781448	3357845	جنوب مُنج ۲
۶	معدن	Cu	749159	3371750	جیان
۷	اندیس	Cu-Au	750516	3357472	کوپان
۸	اندیس	Cu	774021	3354336	شرق مزایجان ۱
۹	اندیس	Py-Cu	772649	3354074	شرق مزایجان ۲
۱۰	اندیس	Cu	786619	3348619	چاه بزو
۱۱	اندیس	Cu	749068	3371076	سوریان ۱
۱۲	اندیس	Cu	747072	3373530	سوریان ۲
۱۳	اندیس	Cu	750309	3372282	سوریان ۳
۱۴	اندیس	Cu	748802	3371864	سوریان ۴
۱۵	اندیس	Cu	746420	3372224	سوریان ۵

فصل سوم

عملکر میا نکلین وزنی مرتبه یافته

روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره در تحقیق، ابزار مفیدی هستند که در آن مجموعه‌ای از معیارهای متضاد متعدد، کاربران را با استفاده از یک یا چند متغیر تصمیم‌گیری، با محاسبات خاص راهنمایی می‌کنند (Ishizaka & Siraj, 2017). روش‌هایی که در آن دانش کارشناسی استفاده می‌شود، دانش محور نامیده می‌شوند ولی روش‌هایی که فقط تکیه بر داده‌های اکتشافی دارند، داده محور نامیده می‌شوند (Harris, 2000; Carranza, 2008; Bonham-Carter, 2014). روش‌های دانش محور در مناطقی استفاده می‌شوند که ذخایر شناخته شده کمی در آن موجود است (Bonham-Carter, 1994) این مناطق اصطلاحاً مناطق سبز نامیده می‌شوند (Carranza, 2010). تمایز کامل بین نواحی که برای ایجاد لایه‌های شاهد، مناسب یا غیر مناسب‌اند، بسیار مشکل است. نظریه مجموعه فازی، رویکردی مناسب و مفید برای حل مسائلی است که با یک پدیده خاص ارتباط دارد که در آن هیچ تمایز مشخصی بین نواحی مناسب و نامناسب وجود ندارد (Zadeh, 1965; Eastman, 1999; Bartel, 2000). در این میان، تجزیه و تحلیل تصمیم‌گیری چند معیاره مبتنی بر سامانه اطلاعات مکانی به عنوان یک روش که می‌تواند نقشه‌های معیار و عدم قطعیت را با هم ترکیب و برای جمع‌آوری و ارزیابی کلی گزینه‌ها، استفاده شود، شناخته شده است (Malczewski, 1999, 2006a; Elliott & Petrova, 2006). فرآیند تصمیم‌گیری را می‌توان در چهار مرحله انجام داد (Jankowski, 1995): الف) تعریف مشکل، ب) جستجوی گزینه‌ها و انتخاب معیارها، ج) ارزیابی گزینه‌ها و د) انتخاب گزینه‌ها. تعریف معیارها تا حد زیادی توسط میزان سهولت دسترسی به داده‌ها محدود می‌شود (Meng *et al.*, 2011). رویکردهای مختلفی در روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره وجود دارد. در سال ۱۹۸۰، ساعتی روش تحلیل سلسه مراتبی را پیشنهاد نمود (Saaty, 1980). این روش در حال حاضر یکی از پرکاربردترین رویکردها است. این روش در ارتباط با روش وزن‌دهی افزایشی ساده^۱ است. روش عملگر میانگین وزنی مرتبه یافته^۲ یکی دیگر از

^۱ Simple Additive Weighting (SAW)

^۲ Ordered Weighted Averaging (OWA)

روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره است که می‌توان از مفهوم مجموعه‌های فازی استفاده کند (Yager, 1988). این عملگر می‌تواند دو گروه وزن داشته باشد: الف) وزن‌های اهمیت معیارها و ب) وزن‌های ترتیب. کارشناس تصمیم‌گیرنده می‌تواند طیف وسیعی از نقشه‌های مختلف تصمیم‌گیری را با تغییر در وزن‌های ترتیب تولید کند (Boroushaki & Malczewski, 2008). از محققینی که از رویکرد میانگین وزنی مرتبه یافته در سامانه اطلاعات مکانی استفاده نمودند، می‌توان موارد ذیل را نام برد (Jiang and Eastman, 2000; Araujo & Macedo, 2002; Rinner & Malczewski, 2002; Malczewski *et al.*, 2003; Rashed & Weeks, 2003; Calijuri *et al.*, 2004; Makropoulos & Butler, 2006; Malczewski, 2006b; Boroushaki & Malczewski, 2008; Meng *et al.*, 2011; Jelokhani-Niaraki & Malczewski, 2015). عملگر میانگین وزنی مرتبه یافته می‌تواند دو گروه مختلف از روش‌های تصمیم‌گیری را در محیط سامانه اطلاعات مکانی توسعه دهد: الف) منطق بولین و ب) عملگر ترکیب خطی وزن‌دار^۱ (Meng *et al.*, 2011). توسعه تحلیل سلسله مراتبی توسط یاگر و کلمن در سال ۱۹۹۹ با استفاده از عملگرهای میانگین وزنی مرتبه یافته پیشنهاد شد (Yager & Kelman, 1999). توانایی رویکرد ترکیبی تحلیل سلسله مراتبی- میانگین وزنی مرتبه یافته^۲ امکان تعامل مفید بین کارشناسان و تصمیم‌گیرندگان را برای همه سناریوهای جایگزین احتمالی و همچنین تحلیل و درک بهتر از شایستگی گزینه‌ها فراهم می‌آورد (Meng *et al.*, 2011). متغیرهای زبانی فازی بخشی از زبان محاوره‌ای انسان هستند و تعاملات بین کامپیوتر و انسان را فراهم می‌کنند (Boroushaki & Malczewski, 2008; Appel *et al.*, 2017). توانایی تصمیم‌گیری جامع در روش تحلیل سلسله مراتبی زمانی که از ارتباط متغیرهای زبانی فازی و رویکرد تحلیل سلسله مراتبی استفاده شود، افزایش می‌یابد. این موضوع می‌تواند یک ابزار تصمیم‌گیری قوی چند منظوره را فراهم کند (Boroushaki & Malczewski, 2008). این دو روش و ترکیب آن دو در ادامه مختصراً توضیح داده می‌شوند. در این فصل از رساله از رویکرد تحلیل سلسله مراتبی- عملگر میانگین وزنی برای تولید نقشه‌های پتانسیل مواد

¹ Weighted Linear Combination (WLC)

² AHP-OWA

معدنی در شرایط بسیار بدبینانه تا بسیار خوشبینانه استفاده شد و نتایج با روش‌های صرفاً داده محور و دانش محور مقایسه صورت پذیرفت. با استفاده از پارامتر α میزان عدم قطعیت موجود در ذهن تصمیم‌گیرنده به سیستم تصمیم‌گیری ورود کرد در پایان از رویکرد عملگر میانگین وزنی مرتبه یافته راهنمایی شده توسط دانش کارشناسی استفاده شد و بهبود در نتایج مورد بررسی قرار گرفت.

۲-۳ روش‌شناسی تحقیق

۱-۲-۳ روش تحلیل سلسله مراتبی

نخستین مورد استفاده از این روش با هدف سهولت در تصمیم‌گیری‌های پیچیده افراد انجام شده است. پس از آن، با توجه به قدرت این رویکرد، اعتبارش با توجه به استفاده وسیع از آن، افزایش یافت (Forman & Gass, 2001; Habibi *et al.*, 2008). این روش سه مرحله مهم دارد: الف) تشکیل سلسله مراتب با تقسیم مسئله به معیارهای کنترل‌کننده اصلی، ب) مقایسه دودویی بین اجزا و ج) محاسبه میزان تقدم وزن‌ها (Meng *et al.*, 2011).

ماتریس مقایسه دودویی $A = [a_{pq}]_{n \times n}$ که a_{pq} مرتبه عضو سطر و ستون i ، j است، که پس از مقایسه دودویی معیارها تشکیل می‌شود. در ماتریس دو طرفه A تمامی عناصر قطر اصلی یک است. بعد از تعداد $n(n-1)/2$ مقایسه دودویی، وزن‌های $w_j = [w_1, w_2, \dots, w_n]$ به دست می‌آیند که $j = 1, 2, \dots, n$. اگر R_i وزن نهایی برتری i امین گزینه باشد، این وزن به صورت ذیل محاسبه می‌شود (Meng *et al.*, 2011):

$$R_i = \sum_{j=1}^n w_j x_{ij} \quad (1-3)$$

که w_j وزن تجمعی است که شامل وزن تمامی اهداف مسئله و جداول توصیفی است و x_{ij} وزن جدول توصیفی i امین مورد است.

برای محاسبه اوزان نسبی از روش بردار ویژه استفاده شد. این روش از بین روش های محاسبه وزن نسبی، دقیق تر است. در این روش W_i به گونه ای تعیین می شود که رابطه زیر برقرار باشد (Saaty, ۱۹۸۰):

$$A \cdot W = \lambda \cdot W \quad (2-3)$$

که در آن λ و W به ترتیب مقدار ویژه ماتریس مقایسه زوجی A می باشد و در حالتی که ابعاد ماتریس بزرگتر باشد، محاسبه این مقادیر بسیار وقت گیر است. لذا برای محاسبه λ مقدار دترمینان ماتریس $A-I$ مساوی با صفر قرار داده می شود و با قرار دادن بزرگ ترین مقدار λ حاصله در رابطه زیر مقادیر W محاسبه می شود.

$$(A - \lambda_{max} \cdot I) * W = 0 \quad (3-3)$$

وزن نهایی هر گزینه، از مجموع حاصل ضرب وزن هر معیار در امتیاز گزینه مورد نظر به دست می آید. جمع امتیازهای به دست آمده برای هر گزینه از رابطه زیر محاسبه می شود (عطائی، ۱۳۹۴):

$$A_{AHP\text{Score}} = \sum_{j=1}^n a_{ij} \cdot W_j \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (4-3)$$

که در این رابطه a_{ij} بیانگر میزان اهمیت نسبی گزینه i به ازای معیار C_j و W_j معرف اهمیت معیار C_j است. در پایان لازم است که مقادیر گزینه ها و وزن شاخص ها با استفاده از روابط ۳-۵ و ۳-۶ نرمال شوند.

$$\sum_{i=1}^m a_{ij} = 1 \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (5-3)$$

$$\sum_{j=1}^n W_j = 1 \quad (6-3)$$

برای اعتبارسنجی نتایج قضاوت کارشناس، از اندیس ناسازگاری^۱ و با فرمول محاسبه‌ای ذیل استفاده می‌شود (Borouhaki & Malczewski, 2008):

$$II = (\lambda_{max} - n) / (n - 1) \quad (7-3)$$

که λ_{max} بزرگترین مقدار ویژه و ماتریس A دارای n ستون است. ضریب ناسازگاری^۲ می‌تواند از رابطه ۳-۳ محاسبه شود:

$$IR = II / RI \quad (8-3)$$

که RI مشخص کننده ناسازگاری برای ماتریس مقایسه دودویی است. اگر کوچکتر از ۰,۱ باشد، مناسب است و اگر بزرگتر و یا مساوی ۰,۱ باشد، مقدار مناسب نیست و باید دوباره عملیات مقایسه تکرار شود (Borouhaki & Malczewski, 2008).

۳-۲-۲ روش میانگین وزنی مرتبه یافته

یکی از مسائل مهم در مسائل تصمیم سازی، ترکیب معیارها و تشکیل تابع تصمیم می‌باشد از یک سو گاهی می‌خواهیم که معیارها برآورده شود و از سوی دیگر در بعضی موارد می‌خواهیم که حداقل یکی از آن‌ها برآورده شود. این دو موضوع به استفاده از عملگرهای "و"^۳ و "یا"^۴ برای ترکیب توابع معیار، برمی‌گردند. عملگر میانگین وزنی مرتبه یافته عملگری است که در میان دو حالت ذکر شده قرار می‌گیرد

¹ Inconsistency Index (II)

² Inconsistency Ratio

³ AND

⁴ OR

و به همین جهت می‌توان به آن عملگر Orand گفت. این عملگر اولین بار توسط یاگر معرفی شده است (Yager, 1991, 1994a, 1994b, 1999).

وقتی قرار است که همه معیارها برآورده شوند، x باید A_1 و A_2 و ... و A_n برآورده کند. پس باید معیارها را با هم and کرد. وقتی می‌خواهیم حداقل یکی از معیارها برآورده شود. x باید A_1 یا A_2 یا ... یا A_n را برآورده کند، بنابراین باید معیارها را با هم or کرد. در خیلی مواقع ما چیزی بین این دو حالت می‌خواهیم، مثلاً این که بیشتر یا خیلی از یا حداقل نصف یا بیشتر از چهار تا از معیارها برآورده شوند. عملگر میانگین وزنی مرتبه یافته به ما امکان می‌دهد که به راحتی درجه and بودن و or بودن را در جمع‌آوری تنظیم کنیم.

فرض کنید A_1 و A_2 و ... و A_n معیارهای مورد نظر باشند هر یک از A_i ها مجموعه‌های فازی هستند، به‌طور مثال معیار A_1 می‌تواند معیار "بزرگی" باشد و این که x چقدر بزرگ است را با معیار A_1 و به‌صورت $A_1(x)$ می‌سنجیم که می‌تواند عددی بین صفر و یک باشد. به عبارت دیگر اگر x یکی از انتخاب‌های ممکن باشد، این که x چقدر معیار A_i را برآورده می‌کند برابر $A_i(x)$ خواهد بود. در تصمیم‌گیری با معیارهای چندگانه هدف این است که از ترکیب همه معیارها، یک تابع تصمیم $D(x)$ بسازیم که مشخص کند x تا چه حد همه معیارها را، یا حداقل یکی از آن، یا بیشتر آن‌ها را، یا ... برآورده می‌کند:

$$D(x) = F(A_1(x), A_2(x), \dots, A_n(x)) \quad (9-3)$$

این همان ترکیب تصمیم‌گیری است؛ که این عملگر برای ترکیب تصمیم‌گیری می‌باشد.

تعریف عملگر میانگین وزنی مرتبه یافته

تعریف: این عملگر از بعد n ، یک نگاشت $F: R^n \rightarrow R$ با یک بردار n تایی $w = [w_1, w_2, \dots, w_n]$ با

$$\text{شرط} \begin{cases} w_j \in [0,1] \\ \sum_j w_j = 1 \end{cases} \text{ می‌باشد (Yager, 1991, 1994a, 1994b, 1999) به‌طوری‌که:}$$

$$F(a_1, \dots, a_n) = \sum_{j=1}^n w_j b_j \quad (10-3)$$

که در آن b_j ، زامین عنصر در میان a_i ها می‌باشد (Fullér, 1996).

نکته مهم و اساسی در ارتباط با این عملگر این است که یک وزن مانند W_j به یک شناسه خاص a_j وابسته نیست. بلکه به یک مکان مرتب‌شده وابستگی دارد. در واقع همین نحوه مرتب‌سازی است که به این عملگر، خاصیت غیرخطی می‌بخشد؛ زیرا اضافه شدن یک عنصر جدید به a_i ها، بسته به این که این افزایش در نحوه مرتب‌سازی b_j ها چه تأثیری داشته باشد، ممکن است نحوه تخصیص وزن‌ها را به کلی دگرگون نماید. در صورتی که اگر وزن‌های مختص شناسه‌ها تعریف شوند، دیگر این اتفاق نمی‌افتد. اگر B یک بردار n تایی باشد که اعضای آن را b_j ها تشکیل می‌دهند، می‌توان عملگر OWA را به صورت زیر توصیف نمود:

$$F(a_1, \dots, a_n) = WB \quad (11-3)$$

بطور خلاصه می‌توان گفت که ویژگی‌های فوق این عملگر را در رده عملگرهای میانگین‌گیری قرار می‌دهد. به منظور طبقه‌بندی عملگرهای مختلف میانگین وزنی مرتبه یافته با توجه به موقعیتشان بین AND و OR یک سنجش از orness در ارتباط با بردار w توسط یاگر بشرح ذیل معرفی شده است (Herrera & Herrera-Viedma, 1997):

$$orness(w) = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (n-i)w_i \quad (12-3)$$

$$orness(w) = \frac{1}{n-1} * [(n-1)w_1 + \dots + w_{n-1}] \quad (13-3)$$

$$orness(w) = w_1 + \frac{n-2}{n-1} * w_2 + \dots + \frac{1}{n-1} * w_{n-1} \quad (14-3)$$

بنابراین برای هر " w "، $orness(w)$ در فاصله واحد قرار می‌گیرد. لازم بذکر است که هر چه w به OR نزدیکتر باشد مقدارش به یک نزدیکتر است در حالیکه آن به AND نزدیکتر باشد مقدارش به صفر

نزدیکتر است. بنابراین با ملاحظه بردارهای $w_* = (0;0;0;\dots;0;1)^T$ و $w^* = (1;0;0;0; \dots; 0)^T$ و

$$w_A = \left(\frac{1}{n}; \frac{1}{n}; \dots; \frac{1}{n}\right)^T \text{ ما داریم (Erdoğmuş \& Koç, 2006):}$$

$$orness(w^*) = 1 \text{ و } orness(w_*) = 0 \text{ و } orness(w_A) = 0.5 \quad (۱۵-۳)$$

و یک سنجش از $andness$ به صورت $andness = 1 - orness$ تعریف شده است.

بطور کلی اگر یک عملگر با بیشتر اوزان مخالف صفر متمایل به ارزش های بالا باشد، یک عملگر

$$orness(w) \geq 0.5 \text{ } orlike \text{ خواهد بود که خواهیم داشت:}$$

و وقتی که اکثر اوزان مخالف صفر متمایل به ارزش های پایین باشد، عملگر OWA یک عملگر

$$andness(w) \geq 0.5 \text{ } andlike \text{ خواهد بود که خواهیم داشت:}$$

در این رویکرد حتی تغییرات کوچک در وزن دهی و روش ممکن است تأثیر قابل توجهی در رتبه معیارها و ممکن است به تبع آن، تغییر در نتایج شود (فیض زاده و همکاران، ۲۰۱۲). همانطور که می بینیم، برخلاف عملگرهای بولین که در آن تقاطع یا نشان دهنده کمترین همپوشانی و عملگر یونیون^۱ نشان دهنده بالاترین همپوشانی در تصمیم گیری است، روش OWA می تواند یک طیف کامل از حالات ممکن بین همپوشانی (AND) و (OR) را عرضه می نماید (Gorsevski et al., 2012).

روشی که در این محیط سامانه اطلاعات مکانی می توان استفاده نمود، که توسعه یافته آن به یک مکان تصمیم گیری است، روش میانگین وزنی مرتبه یافته مکانی^۲ نامیده می شود (Makropoulos & Butler, 2006). مزیت اصلی روش پیشنهادی، الحاق نگرش مکانی متغیر به فرایند تصمیم گیری است (شکل ۱-۳).

¹ Union

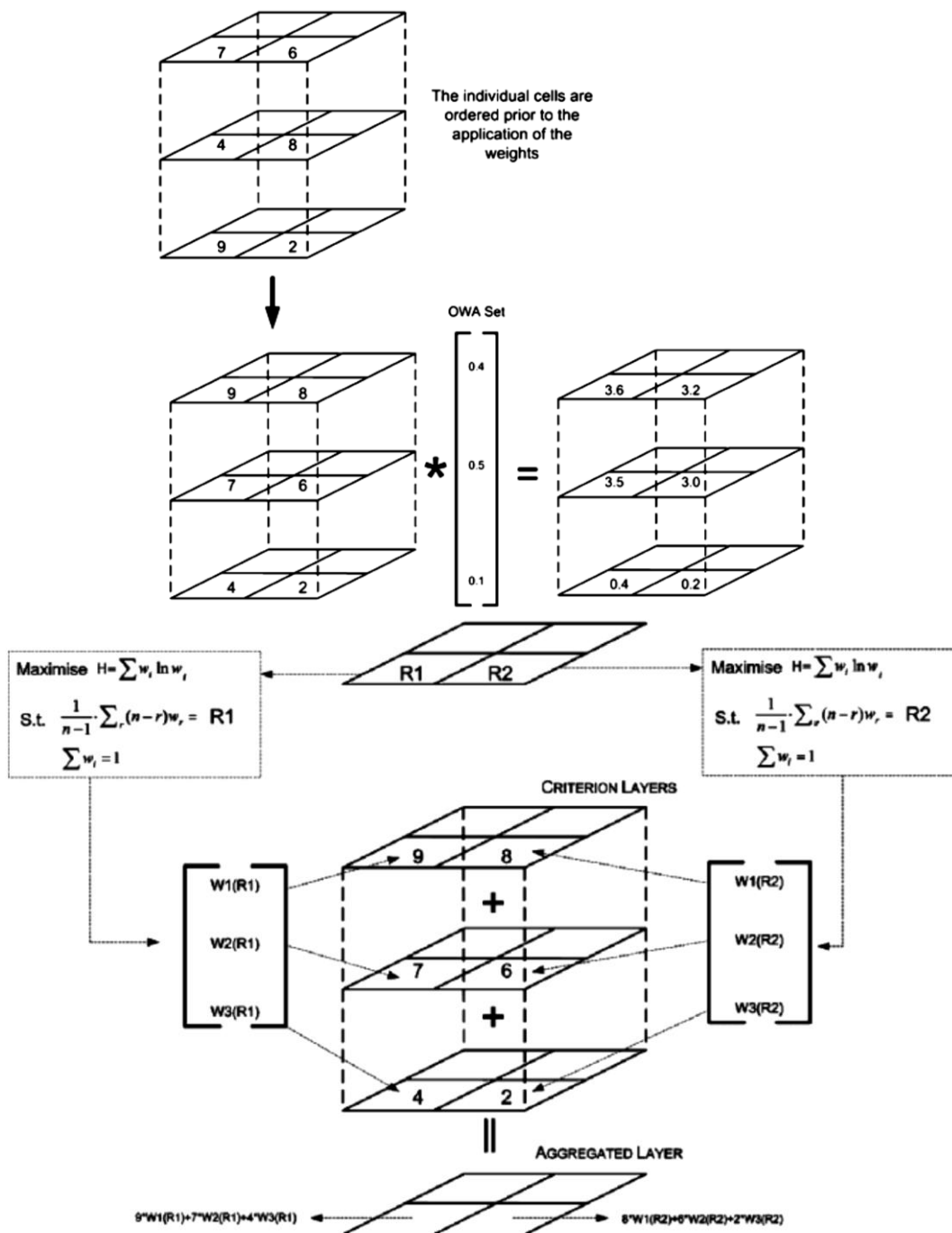
² Spatial Ordered Weighted Averaging (SOWA)

چند نوع مختلف متغیرهای زبانی مطلق و نسبی وجود دارند که براساس چگونگی تشریح پدیده توسط متغیر، دسته‌بندی می‌شوند (Zadeh, 1983). برای تعیین مقادیر ترتیب‌ها می‌توان از متغیرهای زبانی فازی استفاده نمود. به عنوان مثال: حداقل ۷، تقریباً ۶، بیش از ۳،... نمونه‌هایی از متغیرهای مطلق هستند. هنگامی که از مقادیر نسبی استفاده می‌کنیم (به عنوان مثال: چند، تعداد زیاد، بیش از نیمی، حدود ۸۵/۱۰۰)، آنها را متغیرهای نسبی می‌نامیم. این متغیرها به عنوان مجموعه فازی اعداد را از ۰ تا ۱ تشریح می‌کنند (Malczewski, 2006b).

متغیرهای فازی توانایی تبدیل زبان معمول انسان به جملات ریاضی را دارا هستند (Boroushaki & Malczewski, 2008). نمایش فواصل به عنوان یک زیر مجموعه فازی می‌تواند با این جملات انجام شود (جدول ۳-۱): باید تمامی شرایط را ارضا کند (همه)، باید مقدار زیادی از شرایط را ارضا کند (تعداد زیادی)، باید بیشتر شرایط را ارضا کند (بیشتر)، باید نیمی از شرایط را ارضا کند (نصف)، باید تعدادی از شرایط را ارضا کند (تعدادی)، باید تعداد معدودی از شرایط را ارضا کند (تعداد کمی) و حداقل باید یکی از شرایط ارضا شود (حداقل یکی) (Meng et al., 2011).

جدول ۳-۱ پارامتر آلفا و ارتباط آن با متغیرهای زبانی مختلف.

α	متغیر زبانی	نوع تصمیم	v_j	روش تلفیق	OR-ness	Trade-off
$\alpha \rightarrow 0$	حداقل یکی	به شدت خوش بینانه	$v_1=1, v_j=0$ بقیه	(حداکثر) "OR"	1	0
0.1	تعداد کمی	بسیار خوش بینانه	متغیر است	متغیر است	متغیر است	متغیر است
0.5	تعدادی	خوش بینانه	متغیر است	متغیر است	متغیر است	متغیر است
1	نصف	بینابین	1/n	ترکیب خطی وزن‌دار	0.5	1
2	بیشتر	بدبینانه	متغیر است	متغیر است	متغیر است	متغیر است
10	تعداد زیادی	بسیار بدبینانه	متغیر است	متغیر است	متغیر است	متغیر است
$\alpha \rightarrow \infty$	همه	به شدت بدبینانه	$v_n=1, v_j=0$ بقیه	(حداقل) "AND"	0	0



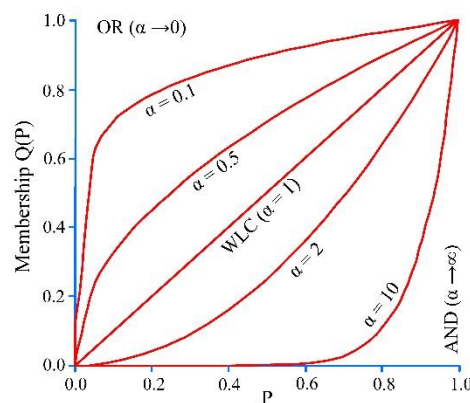
شکل ۱-۳ نحوه استفاده از عملگر میانگین وزنی مرتبه یافته در تجمیع داده‌های مکانی (Grabisch, 1996).

در مورد مقدار مجموعه فازی ۰ نشان دهنده ۰٪ است و ۱ نشانگر ۱۰۰٪، که احتمال دارد متغیر زبانی Q باشد. این موضوع بیان کننده یک مجموعه فازی Q است که، برای هر عدد p از ۰ تا ۱، $Q(p)$ نشان دهنده درجه سازگاری p با اهمیتی است که Q آن را تعریف می‌کند. اگر مثلاً Q به عنوان "بیشتر"

تعیین شده باشد و اگر $Q(0.72) = 0.85$ باشد می توان گفت که ۷۲٪ تنها به میزان ۰,۸۵ تناسب با مفهوم "بیشتر" دارد (Malczewski, 2006b). روش یاگر مورد استفاده محاسبه کاهش/ افزایش پارامتری اعداد از ۰ تا ۱، در فرمول ذیل آورده شده است (Yager, 1997).

$$\text{For all } \alpha > 0: Q(p) = P^\alpha \quad (16-3)$$

$Q(p)$ مجموعه فازی اعداد از صفر تا یک است (شکل ۳-۲). اگر α به سمت صفر میل کند، مقدار تابع عضویت از عملگر بیشینه بولین تبعیت می کند (حداقل یک شرط ارضا شود). اگر α برابر یک باشد، مقدار عضویت از عملگر ترکیب خطی وزن دار تبعیت می کند و اگر α به سمت بی نهایت میل کند، مقدار عضویت از عملگر کمینه بولین تبعیت می کند (تمامی شرایط ارضا شود).



شکل ۳-۲ نمونه گروهی از متغیرهای زبانی برای افزایش مقدار عضویت فازی.

اهمیت معیارها توسط وزن های این عملگر مشخص نمی شوند. درجه خوشبینانه قضاوت تصمیم گیرنده می تواند با وزن های این عملگر بوسیله وزن های ترتیب مشخص می شوند (Jelokhani-Niaraki & Malczewski, 2015). وزن های ترتیب پس از محاسبه فرمول ذیل از وزن های جداول توصیفی گرفته می شوند (Yager, 1997; Malczewski, 2006b; Jelokhani-Niaraki & Malczewski, 2015).

$$v_j = \left(\sum_{k=1}^j u_k \right)^\alpha - \left(\sum_{k=1}^{j-1} u_k \right)^\alpha \quad (17-3)$$

که در آن u_k برابر f مین وزن جدول توصیفی است که دوباره مرتب شده است.

$$0 \leq v_j \leq 1 \text{ and } \sum_{j=1}^n v_j = 1. \quad (18-3)$$

پارامتر α به مجموعه‌ای از وزن‌های ترتیب ارتباط دارد. با تغییر در مقدار این پارامتر، سناریوهای مختلفی از متغیرهای زبانی و وزن‌های ترتیب مرتبط به آنها از "حداقل یکی" تا "همه موارد" به وجود می‌آیند (جدول ۱-۳). عملگرهای تلفیق مانند عملگر خطی وزن دار، "یا" و "و" منطق بولین از عملگرهای شناخته شده هستند. این عملگرها می‌توانند موقعیت‌های خاص عملگر میانگین وزنی مرتبه یافته را مانند عملگرهای "بیشینه"^۱ و "کمینه"^۲ بوجود بیاورند (Meng *et al.*, 2011). امتیاز روش میانگین وزنی مرتبه یافته با محاسبه فرمول ۱۴-۳ و با متغیرهای ذیل حاصل می‌شود (Yager, 1997; Meng *et al.*, 2011; Malczewski, 2006b):

w_j وزن جدول توصیفی و x_{ij} مقدار ارزش جدول توصیفی

$$OWA_i = \sum_{j=1}^n \left(\left(\sum_{k=1}^j u_k \right)^\alpha - \left(\sum_{k=1}^{j-1} u_k \right)^\alpha \right) z_{ij} \quad (19-3)$$

$i = 1, 2, \dots, m, z_{i1} \geq \dots \geq z_{in}$

که با مرتب کردن امتیاز جدول توصیفی x_{i1} تا x_{in} به دست می‌آیند.

۳-۲-۳ رویکرد ترکیبی تحلیل سلسله مراتبی - عملگر میانگین وزنی مرتبه یافته^۳

دو رویکرد تحلیل سلسله مراتبی و عملگر میانگین وزنی مرتبه یافته، دو رویکرد هستند که می‌توانند با یکدیگر به صورت ترکیبی اجرا شوند (Borouhaki & Malczewski, 2008). در حقیقت می‌توان یک ساختار سلسله مراتبی از موضوع تصمیم‌گیری ایجاد کرد که توسط آن اولویت‌بندی هر پیکسل از تصویر را با محاسبه به روش ترکیب خطی وزن دار^۴ محاسبه کرد. همچنین با استفاده از متغیرهای زبانی در

¹ Union

² Intersection

³ AHP-OWA

⁴ Weighted Linear Combination (WLC)

عملگر میانگین وزنی مرتبه یافته، می‌توانیم پایه‌ای برای روش تحلیل سلسله مراتبی بنا کنیم (Yager, 1999 & Kelman). در مرحله اول، فرایند ترکیبی، بوسیله رویکرد تحلیل سلسله مراتبی از کارشناس می‌خواهد تا ساختار سلسله مراتبی را بسازد. بعد از آن مقایسه زوجی برای مشخص نمودن وزن‌های معیارها و زیرمعیارها انجام می‌شود. مرحله دوم تصمیم‌گیری بوسیله رویکرد عملگر میانگین وزنی مرتبه یافته است. در این مرحله سه عملیات انجام می‌شود: الف) انتخاب متغیر زبانی، ب) محاسبه مجموعه‌ای از وزن‌های ترتیب با توجه به Q و ج) محاسبه وزن نهایی برای هر λ امین پیکسل با توجه به فرمول ۳-۲۱ (Boroushaki & Malczewski, 2008; Meng et al., 2011).

$$s_{iq} = \sum_{k=1}^l v_{k(q)} \cdot z_{ik(q)} \quad (20-3)$$

For each $i = 1, 2, \dots, m$. & $q = 1, 2, \dots, p$

$$v_{k(q)} = \left(\sum_{k=1}^l u_{k(q)} \right)^{\alpha(q)} - \left(\sum_{k=1}^{l-1} u_{k(q)} \right)^{\alpha(q)} \quad (21-3)$$

$z_{ik(q)}$ بوسیله مرتب‌سازی دوباره ارزش جداول توصیفی در q امین هدف به دست می‌آید، $u_{k(q)}$ ، $z_{ik(q)}$ k امین وزن جدول توصیفی دوباره مرتب شده در q امین هدف است و $\alpha(q)$ پارامتر مرتبط با متغیر زبانی در q امین هدف است. با توجه به وزن هر یک از گزینه‌ها در هدف یا همان s_{iq} ، وزن نهایی λ امین گزینه را می‌توان با معادله زیر محاسبه کرد:

$$AHP - OWA_{(i)} = \sum_{q=1}^p v_q z_{iq} \quad i=1, 2, \dots, m \quad (22-3)$$

$$v_{k(q)} = \left(\sum_{q=1}^p u_q \right)^{\alpha(q)} - \left(\sum_{q=1}^{p-1} u_q \right)^{\alpha(q)} \quad (23-3)$$

z_{iq} ، بوسیله مرتب‌سازی دوباره ارزش جداول توصیفی در q امین ردیف هدف به دست می‌آید، u_q ، s_{iq} q امین وزن جدول توصیفی دوباره مرتب شده و $\alpha(q)$ پارامتر مرتبط با متغیر زبانی در q امین هدف با توجه به ساختار سلسله مراتبی است (Boroushaki & Malczewski, 2008).

۳-۳ حاصل پیاده‌سازی روش

در کلیه بخش‌های دانش محور این رساله تا انتها که نیاز به دانش کارشناسی زمین‌شناسی بود، از چهار کارشناس استفاده شد که سه نفر از آن‌ها در زمره بهترین کارشناسان حوزه ماسیوسولفاید دنیا قرار دارند و این کارشناسان توسط پرسشنامه‌های تهیه شده، کمک به سزایی در تحریر این بخش داشتند. این افراد عبارتند از: الف) پروفیسور دیوید هیوستون از سازمان زمین‌شناسی استرالیا، ب) پروفیسور گریگور بورگ از دانشگاه مارتین لوتر هاله ویتنبرگ آلمان و ج) دکتر فرناندو تورنوس از شورای عالی تحقیقات علمی اسپانیا. نفر چهارم مولف و به عنوان نماینده‌ای از کارشناسان داخلی و با برگرفتن از مدل مفهومی کانسارهای ماسیوسولفاید منطقه بوانات، مقاله‌ها، پایان‌نامه‌ها و گزارش‌های تخصصی استفاده شد. در تجمیع تصمیم‌گیری‌ها از روش دلفی استفاده شد.

در این بخش از رساله، از روش ترکیبی تحلیل سلسله مراتبی - عملگر میانگین وزن دار که ترکیب دو روش تصمیم‌گیری چند معیاره است، استفاده شد و در پایان مقایسه‌ای برای نتایج حاصل از استفاده هر روش به تنهایی، با نتایج حاصل به صورت ترکیبی انجام شد. کدنویسی مربوطه در محیط ArcGIS و به زبان پایتون انجام شد. وزن‌دهی اولیه معیارها در ابتدا به صورت دانش محور و براساس مدل مفهومی ذخایر ماسیوسولفاید تیپ بشی تعریف شد. وزن‌های اولیه هر یک از معیارها بوسیله سه پارامتر اهمیت معیار^۱ (I)، کاربردی بودن معیار^۲ (A) و اطمینان از داده آن معیار^۳ (C) و با استفاده از عملگر ضرب فازی^۴ ساخته شد. پارامتر اهمیت، میزان اهمیت این معیار را در یک سیستم کانه‌زایی ماسیوسولفاید نشان می‌دهد. پارامتر کاربرد، به میزان اعتماد به این موضوع که نقشه‌ها و داده‌های موجود تا چه حد می‌توانند میزان مطلوب بودن یک منطقه را به درستی به نقشه درآورده و منعکس کنند، بر می‌گردد. پارامتر اطمینان، کیفیت داده و مشخصات مکانی منبع داده را نشان می‌دهد (McCuaig *et al.*, 2010;).

¹ Importance

² Applicability

³ Confidence

⁴ Fuzzy product

Huston & van der Wielen, 2011; Gerner *et al.*, 2012). تمامی ارزش‌ها به صورت موضوعی در یک مقیاس فازی بین صفر و یک قرار داده شد به صورتی که، ارزش ۰,۲۵ برای ارزش‌های پایین، ۰,۵ برای ارزش‌های متوسط، ۰,۷۵ برای ارزش‌های زیاد و عدد ۱ برای اختصاص ارزش کامل استفاده شد. جدول ۲-۳ وزن‌های استفاده شده، معیارهای آنها و زیرمعیارهای آنها را نشان می‌دهد.

۱-۳-۳ تخصیص وزن برای معیارها

در رویکرد مورد استفاده در این بخش، هر دو حالت دانش محور و داده محور مورد استفاده قرار گرفت. تخصیص وزن معیارهای اصلی یکی از کلیدی‌ترین مراحل است (Meng *et al.*, 2011). وزن‌دهی اولیه معیارها در ابتدا به صورت دانش محور و براساس مدل مفهومی ذخایر ماسیوسولفاید تیپ بشی تعریف شد (McCuaig *et al.*, 2010; Huston & van der Wielen, 2011; Gerner *et al.*, 2012). پس از آن به روش داده محور ترکیب شده است و وزن‌های نهایی استخراج شده است. وزن‌های اولیه زیرمعیارها براساس جدول ۲-۳ و باتوجه به جدول ۲-۳، به ترتیب، به صورت موردی تخصیص داده شده است. ساختار سلسله مراتبی برای پی‌جویی کانسارهای ماسیوسولفاید تیپ بشی برای معیارهای اصلی آماده شد که براساس هدف، دارای شش معیار اصلی است: الف) معیار زمین‌شناسی، ب) معیار ساختاری، ج) معیار ژئوشیمیایی، د) معیار کانی‌شناسی، ه) معیار دورسنجی و ی) معیار ژئوفیزیکی.

جدول ۲-۳ ساختار دسته بندی شده مدل مفهومی کانسارهای ماسیوسولفاید تیپ بشی و ارزش‌های مورد استفاده.

وزن اولیه	اطمینان	کاربردی بودن	اهمیت	ماخذ اطلاعات	زیرمعیار
۰,۸	۱	۱	۰,۸	زمین‌شناسی سطحی	بازالت
					بازالت آندزیتی
۰,۴	۰,۵	۱	۰,۸	مگنتومتری	مناطق مغناطیس بالا
۰,۸	۱	۱	۰,۸	زمین‌شناسی سطحی	مجموعه دگرسانی‌های ناحیه‌ای (کلریتی، آلبیتی، سربستی و سیلیسی)
۰,۵۶	۰,۷	۱	۰,۸	تصاویر استر	کلریتی
					سیلیسی
۰,۲۵	۰,۵	۰,۷	۰,۷	مگنتومتری	مناطق وامغناطیده
۱	۱	۱	۱	زمین‌شناسی سطحی	بازالت
					بازالت آندزیتی
۰,۷	۱	۱	۰,۷	زمین‌شناسی سطحی	نفوذی‌ها
۰,۸	۱	۱	۰,۸	زمین‌شناسی سطحی	واحدهای هم‌مرز توریدایت و ولکانیک مافیک
۰,۵۶	۰,۷	۰,۸	۱	تصاویر استر	سربستی
					سیلیسی
۰,۶۴	۱	۰,۸	۰,۸	زمین‌شناسی سطحی	چگالی گسل‌های با روند خاص

۰,۳۲	۰,۵	۰,۸	۰,۸	تصاویر استر	آرژلیک
					آرژلیک پیشرفته
					ژاروسیت
					سرسیستی
					پروپلیتیک
					سیلیسی
					گوسن (مگنتیت، هماتیت و گوئیت)
۰,۸	۱	۱	۰,۸	زمین‌شناسی سطحی	هیاتوس
۰,۸	۱	۱	۰,۸	زمین‌شناسی سطحی	مرز بین توربیدایت و بازالت
۰,۵۶	۱	۰,۸	۰,۷	زمین‌شناسی سطحی	سازند آهن دار، ژئیس، انیدرید، چرت و باریت
۰,۴	۱	۰,۸	۰,۵	مگنتومتري	توده‌های مغناطیسی کم عمق
۰,۵۸	۰,۸	۰,۸	۰,۹	ژئوشیمی رسوبات آبراهه‌ای	مس
					روی
					طلا
					نقره
					کبالت
					نیکل
					کروم
					منیزیم

برای حل این مسئله، پس از مقایسه زوجی معیارهای اصلی، از متغیرهای زبانی (Saaty, 1980) برای بالانس کردن معیارها و هدف استفاده شد.

برای مقایسه زوجی معیارها از مقیاسهای نشان داده شده در جدول ۳-۳ استفاده شد که مقیاسها

از ۱ تا ۹ می‌باشند. به عنوان مثال: کدام معیار برای پی‌جویی ذخایر ماسیوسولفاید با اهمیت‌تر است؟

زمین‌شناسی یا ژئوشیمی؟ و میزان اهمیت و برتری یکی بر دیگری چه مقدار است؟ اگر زمین‌شناسی از ژئوشیمی بسیار مهم‌تر است، پس ارزش ۹ را در جدول قرار داده شد. اگر زمین‌شناسی مقداری از ژئوشیمی مهم‌تر است، عدد ۷ قرار داده شد و... اگر زمین‌شناسی از ژئوشیمی بسیار کم‌اهمیت‌تر است، پس عدد ۱/۹ را قرار داده شد. در جدول ۳-۴، کلاس‌بندی معیارهای اصلی نسبت به یکدیگر بر اساس دانش کارشناسی، نشان داده شده است.

جدول ۳-۳ مقیاس‌های مورد استفاده در مقایسه زوجی در میزان اهمیت نسبی معیارهای اصلی.
(Saaty, 1980)

متغیر زبانی	شدت اهمیت
بسیار مهم	۹
اهمیت خیلی زیاد	۷
اهمیت زیاد	۵
اهمیت متوسط	۳
اهمیت مساوی	۱
برای مقایسه بین ارزشهای بالایی	۲ و ۴ و ۶ و ۸
ارزش‌های معکوس	عکس اعداد بالا

جدول ۳-۴ ساختار سلسله مراتبی معیارها و زیرمعیارها برای پی‌جویی ذخایر ماسیوسولفاید تیپ بشی.

معیار	زیرمعیار
زمین‌شناسی	ولکانیک‌های مافیک
	زون‌های دگرسانی
	سنگ‌های نفوذی
	واحدهای هم‌مرز توریدایت و ولکانیک مافیک
	توقف در رسوب‌گذاری
	کالک شیست، کلریت شیست و شیست
	مرز بین بازالت و توریدایت
ساختاری	سازند آهن‌دار، چرت و ژئوپس
	چگالی گسل‌های با روند خاص
ژئوشیمی	مس
	روی
	طلا

	نقره
	کبالت
	نیکل
	کروم
	منگنز
کانی شناسی	پیریت، کالکوپیریت، اسفالریت، بورنیت، کلریت، گارنت، گالن و باریت
دورسنجی	دگرسانی کلریتی
	دگرسانی سیلیسی
	دگرسانی سریسیتی
	دگرسانی ایلیتی
	دگرسانی ژاروسیتی
	دگرسانی اپیدوتی
ژئوفیزیکی	مناطق وامغناطیده
	مناطق مغناطیس بالا
	توده‌های مغناطیسی کم عمق

با توجه به جدول ۳-۵ وزن‌های نهایی به روش تحلیل سلسله مراتبی قابل مشاهده است. مقدار فاکتور CR برابر $0/0002$ است که با توجه به این که از $0,1$ کوچکتر است، پس مقایسه زوجی دارای اعتبار خوبی است. برای محاسبات از فرمول‌های $3-3$ و $4-3$ استفاده شد.

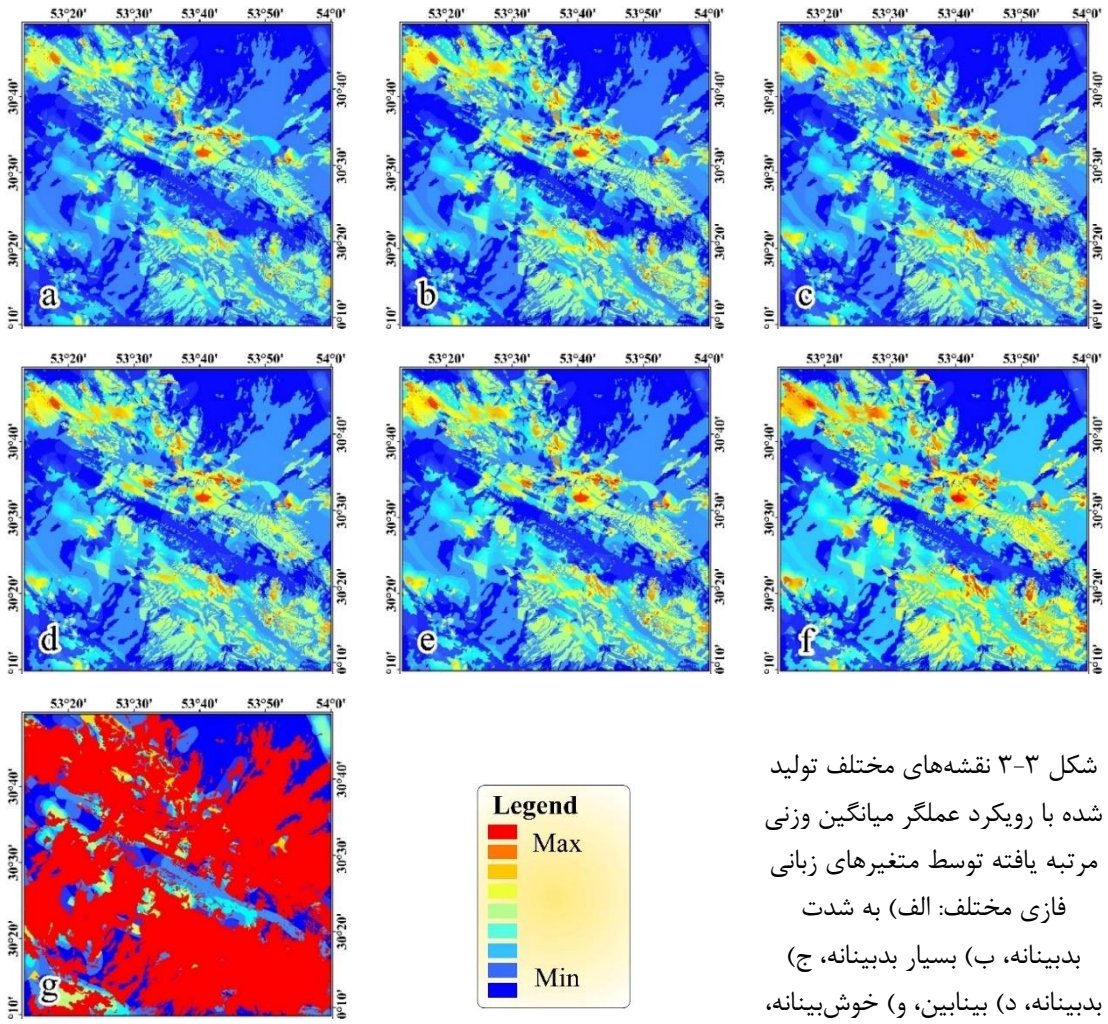
جدول ۳-۵ ماتریس مقایسه زوجی معیارهای اصلی.

معیار	زمین شناسی	ساختاری	ژئوشیمی	کانی شناسی	دورسنجی	ژئوفیزیکی	وزن
زمین شناسی	۱	۱	۰,۸۸۹	۰,۸۸۹	۱	۱,۲۵	۰,۱۶۵۶
ساختاری		۱	۰,۸۸۹	۰,۸۸۹	۱	۱,۲۵	۰,۱۶۸۳
ژئوشیمی			۱	۱,۲	۱,۱	۱,۱۲۵	۰,۱۸۴۷
کانی شناسی				۱	۱,۱۲۸	۱,۱۲۵	۰,۱۷۴۵
دورسنجی					۱	۱,۲۵	۰,۱۶۳۶
ژئوفیزیکی						۱	۰,۱۴۳۱
ضریب سازگاری							۰,۰۰۰۲

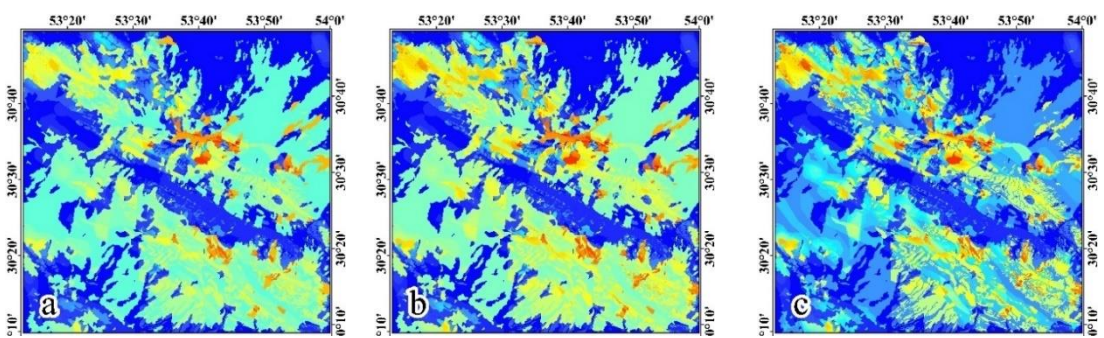
بعد از اعمال عملگر میانگین وزنی مرتبه یافته بر روی وزنهای اولیه، وزنهای نهایی تعیین شد. با تغییر متغیرهای زبانی، ممکن است نتایج مختلفی در روش میانگین وزنی مرتبه یافته و تحلیل سلسله مراتبی -

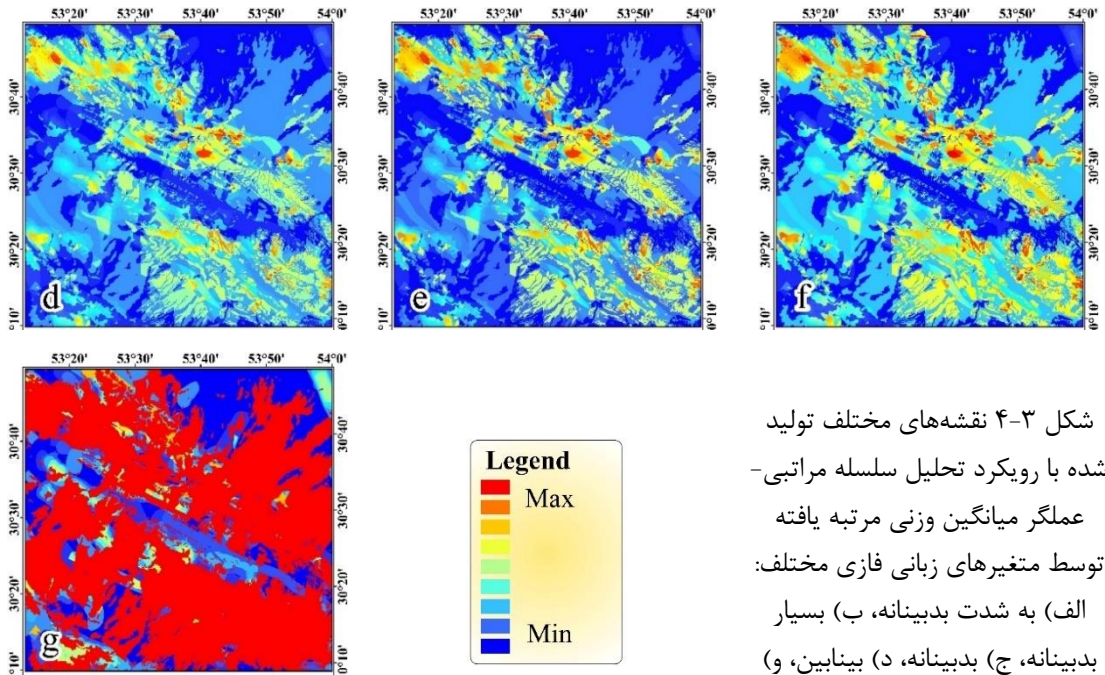
عملگر میانگین وزنی مرتبه یافته تولید شود (Meng *et al.*, 2011). بر اساس این که چه متغیر زبانی انتخاب شود (مثلاً "حداقل یکی" یا "همه موارد") و چه وزن‌های اولیه‌ای انتخاب شده است، نقشه‌های نهایی مختلف پیشگوی ذخایر ماسیوسولفاید تولید می‌شود. با استفاده از متغیرهای زبانی مختلف در تصمیم‌گیری، حالت‌های "به شدت خوش بینانه"، "بسیار خوش بینانه"، "کمی خوش بینانه"، "بینابین"، "کمی بدبینانه"، "بسیار بدبینانه" و "به شدت بدبینانه" شکل گرفت (شکل‌های ۳-۳ و ۴-۳) برای رسیدن به نتایج با صحت بیشتر، رویکرد تحلیل سلسله مراتبی - عملگر میانگین وزنی مرتبه یافته مبتنی بر دانش کارشناسی^۱ طراحی شد. در واقع در این رویکرد، با دخالت بیشتر دانش کارشناسی در مورد مدل مفهومی ذخایر ماسیوسولفاید بر روی داده‌ها و بخشهایی که داده محور کار می‌کنند، صحت نتایج افزایش داده شد. داده‌ها و نقشه‌های شاهد به دو بخش تقسیم شد: الف) شاهدهایی که باید حتماً در یک ذخیره معدنی تیپ ماسیوسولفاید حضور داشته باشد، ب) شاهدهایی که حضور آنها در یک کانسار ماسیوسولفاید ضروری نیست ولی حضور آنها در کنار حضور موارد بخش الف، می‌تواند احتمال حضور کانسار را بیشتر کند. نقشه‌های شاهد بخش الف با عملگر میانگین وزنی مرتبه یافته و متغیر زبانی "تعداد زیادی" و همچنین نقشه‌های شاهد بخش ب با عملگر میانگین وزنی مرتبه یافته و متغیر زبانی "تعداد کمی" با هم تلفیق شدند. در پایان بخش‌های الف و ب بوسیله عملگر میانگین وزنی مرتبه یافته با هم تلفیق شدند و نقشه نهایی پیشگوی ذخایر ماسیوسولفاید بوسیله روش تحلیل سلسله مراتبی - عملگر میانگین وزنی مرتبه یافته مبتنی بر دانش کارشناسی، آماده شد (شکل ۳-۵). نقشه تولید شده دارای بیشترین میزان ارزش در پیکسل‌های نقشه‌های شاهد پر اهمیت و کمترین میزان ارزش در پیکسل‌های نقشه‌های شاهد کم اهمیت که این موضوع باعث افزایش صحت نتایج خروجی می‌گردد. در حقیقت با تغییر در عملگرهای مورد استفاده با توجه به مدل مفهومی ذخایر ماسیوسولفاید، نتایج با میزان صحت بیشتری به دست می‌آوریم.

¹ Knowledge-guided OWA

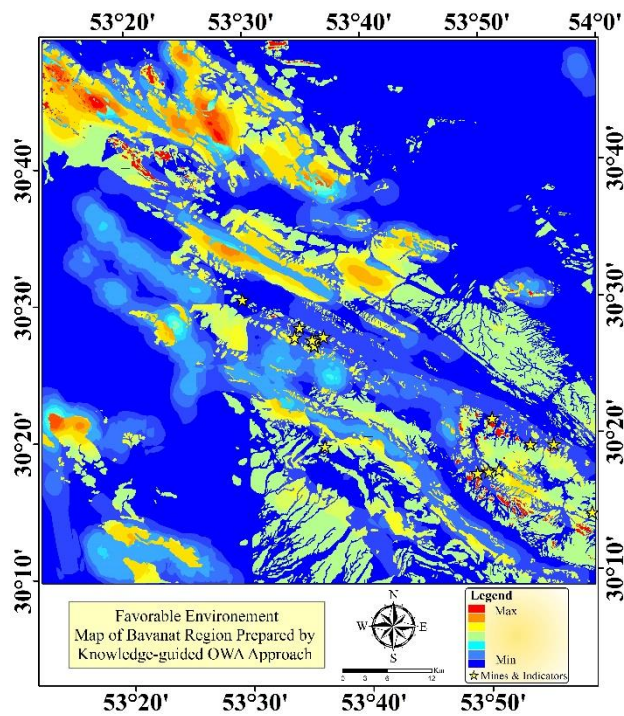


شکل ۳-۳ نقشه‌های مختلف تولید شده با رویکرد عملگر میانگین وزنی مرتبه یافته توسط متغیرهای زمانی فازی مختلف: الف) به شدت بدبینانه، ب) بسیار بدبینانه، ج) بدبینانه، د) بینابین، و) خوش‌بینانه، ه) بسیار خوش‌بینانه، ی) به شدت خوش‌بینانه.





شکل ۳-۴ نقشه‌های مختلف تولید شده با رویکرد تحلیل سلسله مراتبی- عملگر میانگین وزنی مرتبه یافته توسط متغیرهای زبانی فازی مختلف: (الف) به شدت بدبینانه، (ب) بسیار بدبینانه، (ج) بدبینانه، (د) بینابین، (و) خوش‌بینانه، (ه) بسیار خوش‌بینانه، (ی) به شدت خوش‌بینانه.



شکل ۳-۵ نقشه پیشگوی اکتشافی ذخایر ماسیوسولفاید تیپ بشی، آماده شده توسط رویکرد تحلیل سلسله مراتبی- عملگر میانگین وزنی مرتبه یافته مبتنی بر دانش کارشناسی با استفاده از متغیرهای زبانی فازی.

۴-۳ تحلیل نتایج

با بررسی بصری همبستگی فضایی بین معادن و اندیس‌های معدنی موجود در محدوده مورد مطالعه، مشاهده می‌شود که تطابق خوبی بین نتایج رویکرد تحلیل سلسله مراتبی- عملگر میانگین وزنی مرتبه یافته مبتنی بر دانش کارشناسی با این مکان‌ها وجود دارد (شکل ۳-۵). مشاهدات صحرایی (رخنمون های پیریت، کالکوپیریت و آهن دار) و نتایج آنالیزهای شیمیایی نیز مؤید این موضوع است. نتایج رویکرد تحلیل سلسله مراتبی- عملگر میانگین وزنی مرتبه یافته مبتنی بر دانش کارشناسی و تحلیل سلسله مراتبی- عملگر میانگین وزنی مرتبه یافته بهتر از نتایج رویکردهای صرفاً دانش محور و یا صرفاً داده محور است (جدول ۳-۶).

جدول ۳-۶ نتایج حاصل از چهار روش مختلف با توجه به کانسارهای شناخته شده.

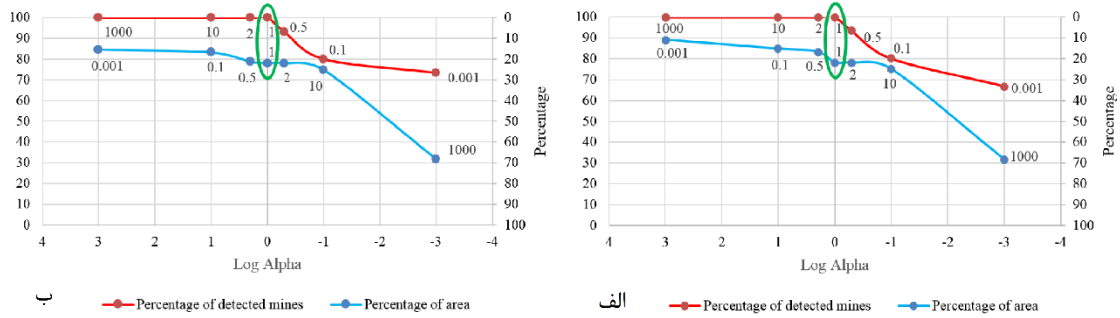
مقدار آلفا	مساحت محدوده پیشنهادی (کیلومتر مربع)	درصد مساحت از کل (کیلومتر مربع)	تعداد کانسارهای درست پیش بینی شده	درصد کانسارهای درست پیش بینی شده از کل	رویکرد
۱۰۰۰	۳۷۳۰,۴۲	۶۸,۲۲	۱۵	۱۰۰	
۱۰	۱۳۵۹,۹۷	۲۴,۸۷	۱۵	۱۰۰	
۲	۱۲۰۴,۰۹	۲۲,۰۲	۱۵	۱۰۰	
۱	۱۱۹۷,۷۵	۲۱,۹۰	۱۵	۱۰۰	عملگر میانگین وزنی مرتبه یافته (داده محور)
۰,۵	۹۰۷,۱۷۲	۱۶,۵۹	۱۴	۹۳,۳۳	
۰,۱	۸۳۲,۸۷۳	۱۵,۲۳	۱۲	۸۰	
۰,۰۰۱	۵۹۹,۱۶۹	۱۰,۹۶	۱۰	۶۶,۶۷	
-	۸۴۵,۴۱	۱۵,۴۶	۱۲	۸۰	تحلیل سلسله مراتبی (دانش محور)
۱۰۰۰	۳۷۳۰,۴۲	۶۸,۲۲	۱۵	۱۰۰	تحلیل سلسله مراتبی-
۱۰	۱۳۷۰,۷۹	۲۵,۰۷	۱۵	۱۰۰	عملگر میانگین وزنی مرتبه یافته (داده و دانش محور)
۲	۱۱۹۹,۵۹	۲۱,۹۴	۱۵	۱۰۰	

۱۰۰	۱۵	۲۱,۹۲	۱۱۹۷,۷۵	۱	
۹۳,۳۳	۱۴	۲۱,۱۴	۱۱۵۶,۰۸	۰,۵	
۸۰	۱۲	۱۶,۶۷	۹۱۱,۴۱	۰,۱	
۷۳,۳۳	۱۱	۱۵,۳۲	۸۳۸,۰۲۳	۰,۰۰۱	
۱۰۰	۱۵	۱۵,۵۷	۸۵۱,۶	-	تحلیل سلسله مراتبی - عملگر میانگین وزنی مرتبه یافته مبتنی بر دانش کارشناسی

رویکرد تحلیل سلسله مراتبی پارامتر آلفا ندارد. به همین دلیل مقدار عدم قطعیت موجود ذهن تصمیم گیرنده نمی تواند در لایه های ورودی این رویکرد در طی روند تلفیق، وارد شود. این رویکرد فقط می تواند ۸۰٪ از کانسارهای کشف شده را به درستی پیش بینی کند. با ورود مقدار عدم قطعیت ذهن تصمیم گیرنده (α) در رویکرد داده محور عملگر میانگین وزنی مرتبه یافته، این میزان از ۶۶/۶۷٪ تا ۱۰۰٪ تغییر می کند (برای مقادیر مختلف α از بسیار خوش بینانه تا بسیار بدبینانه). مساحت محدوده پیشنهادی برای اکتشاف بیشتر حدود ۵۹۹ کیلومتر مربع تا ۳۷۳۰ کیلومتر مربع برای مقادیر مختلف α است. با استفاده از رویکرد تحلیل سلسله مراتبی - عملگر میانگین وزنی مرتبه یافته (ترکیبی از دانش و داده)، میزان پیش بینی درست برای مقادیر مختلف α به میزان ۷۳/۳۳٪ - ۱۰۰٪ افزایش یافت. در رویکرد تحلیل سلسله مراتبی - عملگر میانگین وزنی مرتبه یافته با تغییر متغیرهای زبانی فازی و با توجه به مدل مفهومی، بهترین نتایج را نشان می دهد. با انتخاب α مناسب، تمامی کانسارهای کشف شده با دقت ۱۰۰٪ به وسیله رویکرد تحلیل سلسله مراتبی - عملگر میانگین وزنی مرتبه یافته راهنمایی شده درست پیش بینی شده است. نکته قابل توجه این است که منطقه پیشنهاد شده توسط این رویکرد از نظر مساحت، نصف مساحت مناطق پیش بینی شده توسط رویکردهای صرفاً مبتنی بر دانش یا صرفاً مبتنی بر داده است. بنابراین، با توجه به نتایج این بخش از تحقیق، روش ترکیبی با رویکرد تحلیل

سلسله مراتبی - عملگر میانگین وزنی مرتبه یافته مبتنی بر دانش کارشناسی، نتایج معتبرتری را نسبت به روش‌های صرفاً مبتنی بر دانش و یا مبتنی بر داده به دست آورد.

تعریف مقدار α مناسب، می‌تواند یک کار چالش برانگیز باشد. به لحاظ تجربی، نمی‌توان گفت که از بین دو نوع متغیر زبانی فازی مختلف، کدامیک برای ارزیابی مناسبتر است، چرا که هیچ شاهدهی برای نشان دادن آن وجود ندارد (Malczewski, 2006b). رویکرد تحلیل سلسله مراتبی - عملگر میانگین وزنی مرتبه یافته یک روش برای رسیدن به یک راه حل بهینه نیست (Meng et al., 2011). این مسئله می‌تواند مرتبط به دقت داده‌های مورد استفاده باشد، که می‌تواند متغیر زبانی فازی را از پیش بینی بسیار خوش بینانه تا بسیار بدبینانه تغییر دهد. شکل ۳-۶ نمودارهای پراکندگی از درصد منطقه پیشنهاد شده در مقایسه با درصد کانسارهای شناخته شده معرفی شده توسط رویکردهای عملگر میانگین وزنی مرتبه یافته و تحلیل سلسله مراتبی - عملگر میانگین وزنی مرتبه یافته را نشان می‌دهد. هنگامیکه درصد مساحت منطقه پیشنهاد شده افزایش می‌یابد، درصد کانسارهای شناخته شده معرفی شده، افزایش خواهد یافت. پس از رسیدن به یک نقطه، اگر منطقه پیشنهاد شده بیش از ۱۱۹۷/۷۵ کیلومتر مربع افزایش یابد، درصد کانسارهای شناخته شده معرفی شده، افزایش نمی‌یابد (جدول ۳-۶). این نکته می‌تواند به عنوان نقطه بهینه منطقه پیشنهاد شده در این رویکرد مورد استفاده قرار گیرد. پس از مقایسه مناطق پیشنهادی با رویکرد تحلیل سلسله مراتبی - عملگر میانگین وزنی مرتبه یافته (۱۱۹۷/۷۵ کیلومتر مربع) و رویکرد جدید عملگر میانگین وزنی مرتبه یافته مبتنی بر دانش کارشناسی (۸۵۱/۶ کیلومتر مربع)، می‌توان نشان داد که به دلیل دخالت بیشتر دانش اکتشافی در تنظیم عملگرهای فازی، رویکرد جدید عملگر میانگین وزنی مرتبه یافته مبتنی بر دانش کارشناسی دارای نتایج بهینه‌تر از رویکردهای قبلی است.



شکل ۳-۶ نمودار پراکندگی درصد پیشنهاد شده در مقایسه با درصد کانسارهای شناخته شده صحیح، بر اساس مقادیر مختلف α : الف) رویکرد عملگر میانگین وزنی مرتبه یافته، ب) رویکرد تحلیل سلسله مراتبی- عملگر میانگین وزنی مرتبه یافته.

با استفاده از رویکرد تحلیل سلسله مراتبی- عملگر میانگین وزنی مرتبه یافته، در مقایسه با رویکرد عملگر میانگین وزنی مرتبه یافته، ۹٪ از مساحت منطقه پیشنهادی جستجو کاهش پیدا کرد. این رویکرد همچنین دقت نتایج را تا ۹ درصد را در مقایسه با رویکرد عملگر میانگین وزنی مرتبه یافته افزایش داده است. این رویکرد در مقایسه با سایر رویکردهای دانش محور مانند تحلیل سلسله مراتبی، منطقه جستجو پیشنهادی را ۱٪ کاهش داد و دقت نتایج را ۱۴٪ افزایش داد. با استفاده از متغیرهای زبانی فازی و با توجه به مدل مفهومی این تیپ کانسار، رویکرد جدید عملگر میانگین وزنی مرتبه یافته مبتنی بر دانش کارشناسی به نتایج فوق العاده‌ای دست یافت. این رویکرد تمامی کانسارهای کشف شده قبلی را با دقت ۱۰۰٪ پیش بینی کرد. منطقه پیشنهاد شده به نصف مساحت قسمت قبلی پیشنهاد شده (۸۵۱/۶ کیلومتر مربع) کاهش یافت. یکی دیگر از مزایای رویکرد ما این است که ما در تلفیق از روش مبتنی بر بردار استفاده کردیم. این مسئله می‌تواند دقت نتایج را با از بین بردن معایب مبتنی بر رستر، افزایش دهد.

۳-۵ جمع‌بندی

رویکرد تحلیل سلسله مراتبی - عملگر میانگین وزنی مرتبه یافته نتایج بهتری نسبت به رویکردهای صرفاً داده یا دانش محور، مانند تحلیل سلسله مراتبی و عملگر میانگین وزنی مرتبه یافته از خود نشان داد. رویکرد عملگر میانگین وزنی مرتبه یافته راهنمایی شده توسط دانش کارشناسی بهبود در نتایج را بیشتر حاصل کرد. دلیل این موضوع، ورود بیشتر دانش در محاسبات است.

در پایان، برای مطالعات بیشتر، استفاده از رویکرد تحلیل شبکه‌ای و ترکیب آن با رویکرد عملگر میانگین وزنی مرتبه یافته، می‌تواند نتایج جالبی در پی داشته باشد زیرا که تعامل تمامی معیارها و زیرمعیارهای مربوط به مدل مفهومی به وسیله رویکرد تحلیل شبکه‌ای بهتر مدل می‌شود.

فصل چهارم

فرایند تحلیل شبکه ای

افزایش در صحت خروجی نقشه‌های نواحی امیدبخش اکتشافی و همچنین کاهش مساحت فضای جستجو در اکتشاف از اهداف اصلی پی‌جویی اکتشافی است. انتخاب صحیح روش تلفیق داده‌های اطلاعاتی که با ماهیت داده‌های مورد استفاده بیشترین تطابق را داشته باشد، اولین قدم در این راه است. روش تحلیل سلسله مراتبی در سال ۱۹۷۲ با رویکرد مقایسه زوجی بین معیارهای مختلف موثر در یک فرآیند و به صورت ساختار سلسله مراتبی ارائه گردید (Saaty, 1972). همچنین با استفاده از محاسبه نرخ ناسازگاری^۱، میزان عدم تشابه قضاوت‌های مختلف یک کارشناس را با هدف مشخص شدن و تصحیح آن، نمایش می‌دهد که با موضوع مقادیر ویژه^۲ مرتبط است (Saaty, 1977; Ishizaka, & Labib, 2011). هی بین‌بین^۳ و همکاران در سال ۲۰۱۲ روشی را در کاربرد از این روش در داده‌های علوم زمین با منابع مختلف اطلاعاتی ارائه کرد که بر استدلال مبتنی بر مورد بنا نهاده شده بود (He et al., 2012). در سال ۲۰۱۴، پیتیر ماچاریا از این رویکرد در مکانیابی مسیر بهینه لوله‌های نفت استفاده کرد (Macharia, 2014). اسدی هارونی و همکاران در سال ۲۰۱۶ از ترکیب روش شباهت به گزینه ایده‌آل و تحلیل سلسله مراتبی برای به نقشه درآوردن مناطق پتانسیل‌دار طلا-مس پورفیری استفاده نموده‌اند. پژوهشگران دیگری از توسعه یافته فازی این رویکرد در پژوهش‌های خود استفاده کرده‌اند (Wang et al., 2017; Zhang et al., 2011; Singh & Sharma, 2008).

از جنبه نظری، رویکرد فرایند تحلیل سلسله مراتبی، زمانی ارزشمند است که ساختار تصمیم‌گیری یک‌طرفه باشد (جعفرنژاد، ۱۳۸۳). معیارهای ارزیابی در یک مسئله همیشه مستقل از یکدیگر نیستند و عموماً با یکدیگر در تعامل دوطرفه هستند (مؤمنی، ۱۳۸۳). اغلب پژوهشگران حوضه علوم زمین و نقشه‌های نواحی امیدبخش اکتشافی، به این موضوع توجهی نداشته‌اند که شرط اولیه استفاده از رویکرد

¹ Inconsistency Index (II)

² Eigenvalue

³ He Binbin

تحلیل سلسله مراتبی، عدم وابستگی دوطرفه معیارها و زیر معیارها به یکدیگر است (Saaty, 2004). برای رفع این مشکل توماس ال. ساعتی رویکرد جدیدی با نام فرایند تحلیل شبکه‌ای را ارائه داده که شرط وابستگی یک طرفه رویکرد تحلیل سلسله مراتبی در آن اهمیتی ندارد (Saaty, 1990; Saaty, 2006; Saaty & Peniwati, 2013). در داده‌های اکتشافی که عموماً در تهیه نقشه‌های نواحی امیدبخش اکتشافی استفاده می‌شود، شرط استقلال دوطرفه منابع اطلاعاتی برقرار نیست؛ لذا استفاده از رویکرد تحلیل سلسله مراتبی می‌تواند گمراه کننده و موجب حصول نتایج توأم با خطا باشد. داده‌های ژئوفیزیکی سعی در برداشت مشخصه‌های فیزیکی زمین دارند که این موضوع به جنس زمین‌شناسی سنگ وابستگی زیادی دارد. داده‌های ژئوشیمی آبراهه‌ای و دورسنجی نیز همچون داده‌های ژئوفیزیکی مستقل از جنس سنگ نبوده و به آن وابسته‌اند. همچنین پر واضح است که این داده‌ها از ساختارهای منطقه تاثیر پذیر بوده و مستقل از آن نیستند. در این بخش از تحقیق، از رویکرد تحلیل شبکه‌ای و متعاقب آن از روش شباهت به گزینه ایده‌آل برای رده بندی نتایج حاصل استفاده شد؛ زیرا خروجی رویکرد تحلیل شبکه‌ای ممکن است در گستره ۰ تا ۱ نبوده و روش شباهت به گزینه ایده‌آل این مشکل را به وسیله شباهت به ایده‌آل مثبت و منفی، حل می‌کند. با استفاده از این دو رویکرد، سعی در بهینه نمودن دو فاکتور صحت و مساحت جستجو شد تا بالاترین میزان صحت نتایج با کمترین میزان مساحت جستجو محقق گردد.

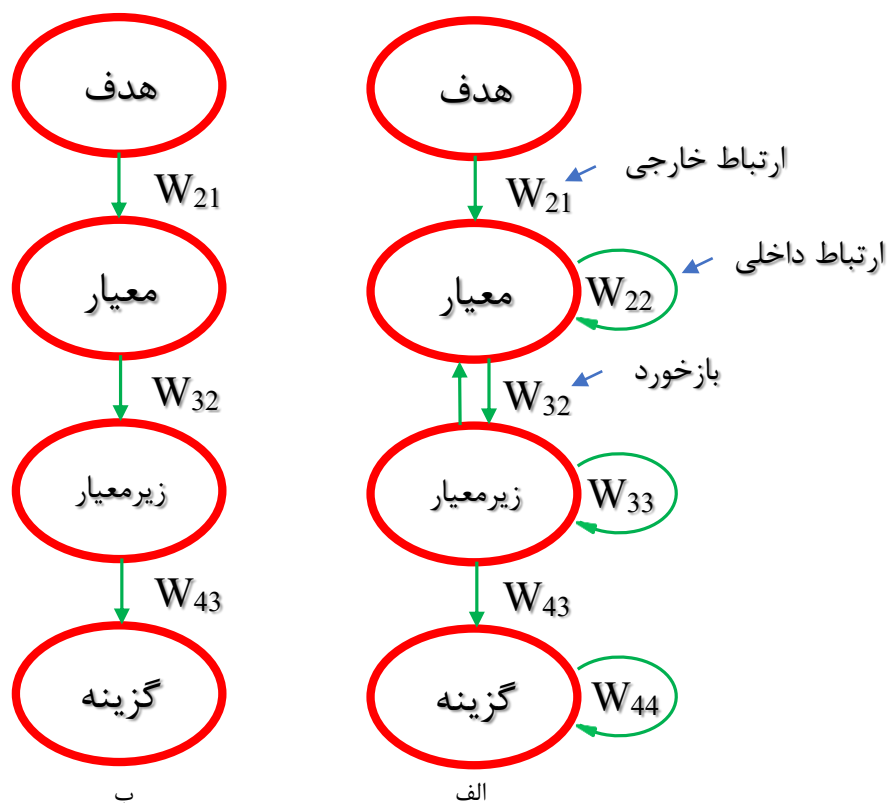
۲-۴ روش شناسی تحقیق

۱-۲-۴ فرایند تحلیل شبکه‌ای^۱

باتوجه به محدودیت روش تحلیل سلسله مراتبی در عدم توانایی این رویکرد برای لحاظ نمودن وابستگی بین معیارها، زیر معیارها و گزینه‌ها، در سال ۱۹۹۱ پروفیسور توماس ال. ساعتی (Saaty, 1991)، رویکرد دیگری را توسعه داد که به رویکرد فرایند تحلیل شبکه‌ای معروف شد (Yuksel, 2007). فرایند تحلیل

^۱ Analytical Network Process (ANP)

شبکه‌ای یکی از روش‌های پرکاربرد در تصمیم‌گیری چند معیاره است. این رویکرد در واقع گسترش یافته روش تحلیل سلسله مراتبی است: بدین معنا که اگر وابستگی‌های بین عناصر موجود در تحلیل، غیر از حالت یک طرفه خطی، دوطرفه هم باشد (مثلاً وابستگی از بالا به پایین و یا برعکس)، وزن معیارها به گزینه‌ها و وزن گزینه‌ها به معیارها وابسته است (شکل ۴-۱). ماتریس‌های مختلف W هر کدام به صورت مجزا، ارتباطات دو بخش مختلف را مدل می‌کنند.



شکل ۴-۱ مقایسه روش‌های: الف) تحلیل شبکه‌ای و ب) تحلیل سلسله مراتبی (Sevkil, 2012).

در چنین حالتی، مسئله از حالت سلسله مراتبی خارج می‌شود و تشکیل یک سیستم غیرخطی شبکه‌ای می‌دهد و قوانین و روش‌های تحلیل سلسله مراتبی در مورد آن قابل کاربرد نیست (مومنی، ۱۳۹۰). در واقع این روش "شبکه" را به جای "سلسله مراتب" جایگزین می‌کند و فرایند تحلیل سلسله مراتبی را بهبود می‌بخشد. فرآیند تحلیل شبکه‌ای را می‌توان از نظر توانایی مدل نمودن روابط بین معیارها و عناصر، کامل‌ترین روش تصمیم‌گیری چند معیاره دانست. این روش تمامی ویژگی‌های مثبت تحلیل

سلسه مراتبی را مانند جمله سادگی، انعطاف پذیری، به کارگیری معیارهای کمی و کیفی به طور همزمان و قابلیت بررسی سازگاری در قضاوتها داراست علاوه بر آن می تواند ارتباطات پیچیده (وابستگی های متقابل و بازخورد) بین عناصر تصمیم را بوسیله ساختار شبکه ای مدل نماید (زبردست، ۱۳۸۹). این روش نه تنها می تواند مقایسه دودویی از زیر معیارها را تحت معیارهای اصلی انجام دهد، بلکه به فرد تصمیم گیرنده این امکان را می دهد که تمام زیر معیارهای پنهان که با یکدیگر در تعامل هستند را به طور مستقل مقایسه نماید (Sevкли، 2012). فرایند تحلیل شبکه ای دارای چهار مرحله است (Carlucci & Schiuma, 2009)، که در ادامه شرح داده می شوند.

ساخت مدل و تبدیل مسئله به یک ساختار شبکه ای

باید مسئله به طور مشخص و روشن به یک ساختار منطقی و شبکه ای تبدیل شود. در این ساختار، گره ها خوشه و عناصر درون یک خوشه، عناصر گفته می شوند که ممکن است با یک یا تمامی عناصر خوشه های دیگر مرتبط باشند. ارتباطها با پیکان نمایش داده می شوند. ممکن است عناصر درون یک خوشه بین خود دارای وابستگی درونی و ارتباط متقابل باشند. این گونه ارتباطها به وسیله یک کمان متصل به خوشه مانند شکل ۴-۱ نشان داده می شوند.

تشکیل ماتریس مقایسه زوجی و تعیین بردارهای اولویت

همانند روش تحلیل سلسه مراتبی، مقایسات زوجی انجام می شود. بر اساس میزان اهمیت برای تحقق هدف مسئله، عناصر تصمیم در هر یک از خوشه ها و همچنین خود خوشه ها بوسیله مقیاس های جدول ۴-۱، دو به دو مورد مقایسه قرار می گیرند. تصمیم گیرندگان (کارشناسان) با توجه به دانش خود و یا مراجع علمی مختلف، در مورد مقایسه زوجی عناصر و یا خود خوشه ها دوجه دو تصمیم گیری می کنند. علاوه بر این دو مقایسه، وابستگی متقابل بین عناصر یک خوشه نیز دوجه دو انجام می گیرد. تأثیر هر

عنصر بر روی عنصر دیگر به وسیله بردار ویژه ارائه می‌شود. معیارها و خوشه‌ها با استفاده از یکی از اتصالات یک‌طرفه، دوطرفه و یا حلقه به یکدیگر متصل می‌شوند. وابستگی‌های یک‌طرفه و دوطرفه نشان‌دهنده تأثیر بین خوشه‌هاست که به ترتیب با پیکان‌های یک‌طرفه و دوطرفه نشان داده می‌شوند. حلقه نشان‌دهنده وابستگی درون‌گروهی در یک خوشه است. اگر فرض کنیم ماتریس A ماتریس مقایسه زوجی معیارها باشد، بردار اهمیت داخلی (ضرایب) که نشانگر اهمیت نسبی عناصر یا خوشه‌هاست از طریق رابطه زیر به دست می‌آید (Carlucci & Schiuma, 2009):

$$A_w = \lambda_{max} w \quad (1-4)$$

که در آن W : بردار ویژه (ضریب اهمیت) و λ_{max} : بزرگترین مقدار ویژه عددی است. ساعتی برای محاسبه بردار ویژه W ، چندین روش ارائه کرده است. یکی از این روش‌ها روش تقریب میانگین هندسی است.

جدول ۱-۴ مقیاس‌های مقایسه زوجی استفاده شده در مسئله
(Saaty, 1980)

شرح اهمیت	شدت اهمیت نسبی	رتبه
دو موضوع به طور مساوی نسبت به هم نقش داشته‌اند.	اهمیت مساوی	۱
تجربه و قضاوت کمی طرفدار یکی از موضوعات نسبت به دیگری است.	اهمیت متوسط	۳
تجربه و قضاوت به مقدار زیادی طرفدار یکی از موضوعات نسبت به دیگری است.	اهمیت زیاد	۵
یکی از موارد بر دیگری خیلی زیاد ارجحیت دارد. این قدرت در عمل نشان داده شده است.	اهمیت خیلی زیاد	۷
شواهد در بالاترین مرتبه ممکن از تأیید، طرفدار یک موضوع بر دیگری است.	بسیار مهم	۹
زمانیکه هیچ کلمه خوبی برای توصیف قضاوت وجود ندارد، به عباراتی میانه روی در مقایسه عددی هست.	برای مقایسه بین ارزشهای بالایی	۲ و ۴ ۶ و ۸

تشکیل ابرماتریس و تبدیل آن به ابرماتریس حد

بردارهای اولویت داخلی (W های محاسبه شده) در ستون‌های مناسب از یک ماتریس بزرگ وارد می‌شوند. ابرماتریس^۱ (در واقع یک ماتریس تقسیم‌بندی شده)، ماتریسی است که هر بخش از آن، ارتباط بین دو خوشه در یک سیستم را نشان می‌دهد. ساختار عمومی یک ابرماتریس در شکل ۲-۴ نشان داده شده است (Saaty, 1999).

$$\begin{array}{c}
 C_1 \dots \dots \dots C_k \dots \dots \dots C_n \\
 \\
 e_{11} \ e_{12} \ \dots \ e_{1m1} \ \dots \ e_{k1} \ e_{k2} \ \dots \ e_{kmk} \ e_{n1} \ e_{n2} \ \dots \ e_{nmn} \\
 \\
 \begin{array}{c}
 e_{11} \\
 e_{12} \\
 \vdots \\
 e_{1m1} \\
 \vdots \\
 \vdots \\
 \vdots \\
 e_{k1} \\
 \vdots \\
 e_{k2} \\
 \vdots \\
 \vdots \\
 e_{kmk} \\
 \vdots \\
 C_n \\
 \\
 e_{n1} \\
 e_{n2} \\
 \vdots \\
 \\
 e_{nmn}
 \end{array}
 \begin{array}{c}
 \left[\begin{array}{cccc}
 W_{11} & \dots & W_{1k} & \dots & W_{1n} \\
 \vdots & & \vdots & & \vdots \\
 \vdots & & \vdots & & \vdots \\
 W_{k1} & \dots & W_{kk} & \dots & W_{kn} \\
 \vdots & & \vdots & & \vdots \\
 \vdots & & \vdots & & \vdots \\
 W_{n1} & \dots & W_{nk} & \dots & W_{nn}
 \end{array} \right]
 \end{array}
 \end{array}
 \quad W =$$

شکل ۲-۴ فرمت استاندارد یک ابر ماتریس
(Saaty, 1999).

در شکل ۲-۴، CN نشان‌دهنده خوشه N ام است. e_{Nn} ، عنصر n ام در خوشه N ام و W_{ij} ماتریس شامل وزن‌های نسبی بردارهای w تأثیر عناصر در خوشه N ام نسبت به خوشه j است. در حالت وابستگی داخلی که خوشه i ام هیچ تأثیری بر خوشه j ام خودش نداشته باشد W_{ij} صفر می‌شود. رابطه ۲-۴ یک ابرماتریس اولیه را نشان می‌دهد. با جایگزینی بردار اولویت‌های داخلی عناصر و خوشه‌ها در ابر ماتریس اولیه، ابر ماتریس بدون وزن به دست می‌آید. برای اینکه به شکل اولیه ابرماتریس فرم بگیرد، W به شکل بردار

^۱ Super matrix

اولویت‌های محلی نرمالایز می‌شود. اجزای یک ابرماتریس با قرار دادن این بردار اولویت نرمال به‌عنوان یک نمایش سلسله مراتبی از هدف، معیارها، زیر معیارها و گزینه‌ها ایجاد می‌شود (Saaty & Vargas, 2001).

$$W = \begin{matrix} & \begin{matrix} G & F & SF & A \end{matrix} \\ \begin{matrix} Goal(G) \\ Factors(F) \\ Subfactors(SF) \\ Alternatives(A) \end{matrix} & \begin{bmatrix} \vec{0} & \vec{0} & \vec{0} & \vec{0} \\ W_{21} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & W_{32} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & W_{43} & I \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (۲-۴)$$

که در آن W ، ابرماتریس است که عناصر آن ماتریس‌های زیر هستند: W_{21} یک بردار است که نشان‌دهنده تأثیر هدف در معیارها است، W_{32} یک ماتریس است که نشان‌دهنده تأثیر معیارها در هر یک از زیر معیارها است، W_{43} یک ماتریس است که نشان‌دهنده تأثیر زیر معیارها بر هر یک از گزینه‌هاست و I ماتریس همانی است. اگر هرگونه وابستگی میان معیارهای W وجود داشته باشد، ماتریس W_{22} یک ماتریس غیر صفر خواهد بود. برای تشکیل ابر ماتریس وزن‌دار، بردار ویژه از ماتریس مقایسه زوجی خوشه‌های سطر با توجه به خوشه ستون محاسبه می‌شود. این عملیات بردار ویژه برای هر خوشه ستون را تشکیل می‌دهد. اولین بردار ویژه ورودی مربوطه برای هر خوشه ستون، در همه عناصر در خوشه اول آن ستون ضرب می‌شود، دومین آن‌ها در همه عناصر در خوشه دوم آن ستون و کار ادامه پیدا می‌کند و خوشه در هر ستون از ابرماتریس، در نتیجه نتایج ابرماتریس وزن‌دار، وزن داده می‌شوند (Yuksel & Dagdeviren, 2007).

در مرحله بعد، ابرماتریس وزن‌دار^۱ از طریق ضرب مقادیر ابرماتریس بدون وزن در ماتریس خوشه‌ای محاسبه می‌شود. سپس از طریق نرمالیزه کردن ابرماتریس وزن‌دار، ابرماتریس از نظر ستونی به حالت تصادفی تبدیل می‌شود.

¹ Weighted Super Matrix

در مرحله سوم و نهایی، ابرماتریس حد^۱ با به توان رساندن تمامی عناصر ابرماتریس وزن دار تا زمانی که واگرایی حاصل شود (از طریق تکرار) به دست می آید یا به عبارت دیگر تمامی عناصر ابرماتریس همانند هم شوند، محاسبه می شود (زبردست، ۱۳۸۹):

$$\lim_{k \rightarrow \infty} W^k \quad (۳-۴)$$

ابرماتریس حد، اهمیت نسبی تمام اجزاء نسبت به هم را نشان می دهد و ابرماتریس وزن دار برای پیدا کردن ارزشی از ارزش های ابرماتریس و ارزشی که هر خوشه می گیرد، استفاده می شود. نتایج تصمیم گیری نهایی از ارزش های ماتریس حد به دست می آید.

اهمیت نسبی عنصر i به عنصر j توسط $a_{ij} = w_i/w_j$ در ماتریس مقایسه زوجی نشان داده می شود. ماتریس مقایسه دودویی A و عناصر آن در رابطه ذیل مشاهده می شود (Sevкли , 2012):

$$A = \begin{bmatrix} 1 & w_1/w_2 & w_1/w_{n-1} & w_1/w_n \\ & \dots & & \\ w_2/w_1 & 1 & w_2/w_{n-1} & w_2/w_n \\ & \vdots & \ddots & \vdots \\ w_{n-1}/w_1 & w_{n-1}/w_2 & 1 & w_{n-1}/w_n \\ & \dots & & \\ w_n/w_1 & w_n/w_2 & w_n/w_{n-1} & 1 \end{bmatrix} \quad (۴-۴)$$

$$= \begin{bmatrix} 1 & a_{12} & a_{2(n-1)} & a_{1n} \\ & \dots & & \\ 1/a_{12} & 1 & a_{2(n-1)} & a_{2n} \\ & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1/a_{1(n-1)} & 1/a_{2(n-1)} & 1 & a_{(n-1)n} \\ & \dots & & \\ 1/a_{1n} & 1/a_{2n} & 1/a_{(n-1)n} & 1 \end{bmatrix}$$

انتخاب گزینه برتر

اگر ابرماتریس تشکیل شده در مرحله قبل، کل شبکه را در نظر گرفته باشد، یعنی گزینه ها نیز در ابرماتریس لحاظ شده باشند، اولویت کلی گزینه ها از ستون مربوط به گزینه ها در ابرماتریس حد نرمالیزه

^۱ Limit Super Matrix

شده قابل استنتاج است. محاسبات بعدی برای انتخاب اولویت کلی گزینه‌ها انجام می‌شود. گزینه‌ای که بیشترین اولویت کلی را دارد، برترین گزینه برای موضوع مورد نظر انتخاب می‌شود.

در مدل تحلیل شبکه‌ای هر عنصری قابلیت این را دارد که بر روی عناصر دیگر اثر بگذارد. مثلاً فرض کنید هدف یافتن تاثیرگذارترین عنصر باشد. در مدل تحلیل سلسله مراتبی تنها معیارها که رده بالاتر از زیرمعیارها هستند، حق اظهار نظر در مورد عناصر پایینی را دارد. ولی در مدل تحلیل شبکه، نه تنها معیار، بلکه حتی خود عناصر هر خوشه هم حق دارند در مورد خودشان اظهار نظر کنند. فلسفه این مدل تصمیم‌گیری این است که همواره برای مقایسه دو عامل، یک عامل به‌عنوان قاضی در نظر گرفته شود. در مرحله مقایسه زوجی در مدل تحلیل شبکه‌ای معیارها با همدیگر به صورت زوجی و تک به تک مقایسه می‌شوند تا مشخص شود برای موضوع ما کدام معیار مهم‌تر است. این مقایسه براساس یک "معیار کنترلی" انجام می‌پذیرد. فرض کنید که قصد براین است که دو عنصر ولکانیکهای مافیک و مقدار عنصر مس مقایسه شوند. در ابتدا ولکانیکهای مافیک متغیر مستقل و عنصر مس متغیر وابسته فرض می‌شود. در این حالت سوال این است که ولکانیکهای مافیک چقدر بر عنصر مس تاثیر می‌گذارد یا برعکس مقدار عنصر مس چقدر به ولکانیکهای مافیک وابسته است؟ این که از چه نظر اثر می‌گذارد و یا وابسته است همان ملاک ما در هدف مورد مطالعه ماست یعنی از نظر پی‌جویی ذخایر ماسیوسولفاید تیپ بشی. حال مقایسه برعکس انجام می‌شود. مقدار عنصر مس متغیر مستقل و ولکانیکهای مافیک متغیر وابسته فرض می‌شود. باز همین سوال از خود مطرح می‌شود. از نظر پی‌جویی ذخایر ماسیوسولفاید تیپ بشی، مقدار عنصر مس چقدر بر روی وجود ولکانیکهای مافیک تاثیر می‌گذارد یا ولکانیکهای مافیک چقدر به مقدار عنصر مس وابسته است؟ با توجه به این مقایسات، جداول مقایسه‌ای تکمیل می‌شوند.

حال فرض کنید قصد براین است که از نظر مقدار عنصر مس مقایسه انجام شود. پرسش این است: از نظر "میزان مس" وجود ولکانیک مافیک بهتر است یا مثلاً وجود سازندهای آهن‌دار؟ مقدار مس همان معیاری است که ما بوسیله آن این دو مقایسه می‌شوند که به این معیار "معیار کنترلی" می‌گویند.

ممکن است این بار آن‌ها از نظر "میزان عنصر روی" مقایسه شوند. در اینجا هم مقدار عنصر روی، معیار کنترلی است. باید بدانیم که روابط بین عناصر از نوع علت و معلولی است و از نوع روابط همبستگی نیست.

۴-۲-۲ روش شباهت به گزینه ایده‌آل^۱

تکنیک تصمیم‌گیری ترتیب اولویت‌ها با استفاده از شباهت به حالت ایده‌آل یا تاپسیس یک روش رتبه‌بندی تصمیم‌گیری چند معیاره، با رتبه‌بندی مکان‌های جایگزین بر اساس عملکرد کلی آن‌هاست. تاپسیس به‌عنوان یک روش تصمیم‌گیری چند شاخصه، روشی ساده ولی کارآمد در اولویت‌بندی محسوب می‌شود. این روش در سال ۱۹۹۲ توسط چن و هوانگ مطرح شده است. از امتیازات مهم این روش آن است که به‌طور همزمان می‌توان از شاخص‌ها و معیارهای عینی و ذهنی استفاده نمود. الگوریتم شباهت به گزینه ایده‌آل یک تکنیک چند شاخصه بسیار قوی برای اولویت‌بندی گزینه‌ها از طریق شبیه نمودن به جواب ایده‌آل می‌باشد. در این روش علاوه بر در نظر گرفتن فاصله یک گزینه A_i از نقطه ایده‌آل، فاصله از نقطه منفی هم در نظر گرفته می‌شود. بدان معنی که گزینه انتخابی باید دارای کمترین فاصله از راه حل ایده‌آل بوده و درعین حال دارای دورترین فاصله از راه حل ایده‌آل منفی باشد.

الگوریتم شباهت به گزینه ایده‌آل

قدم اول: تشکیل ماتریس داده‌ها بر اساس m گزینه و n شاخص (Tavana & Hatami-Marbini, 2011):
در حقیقت n معیار مختلف تاثیرگذار در هدف تعیین می‌گردد که تعداد m انتخاب بر ای آن معیارها وجود دارد. عنصر a_{ij} نشان‌دهنده ارزش شاخص j م برای گزینه i ام است.

¹ Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS)

شاخص‌ها

$$A_{ij} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{m1} & a_{m2} & \dots & a_{mn} \end{bmatrix} \text{گزینه‌ها} \quad (5-4)$$

قدم دوم: استاندارد نمودن داده‌ها (بی مقیاس کردن) و تشکیل ماتریس استاندارد از طریق رابطه زیر:

$$r_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sqrt{\sum_{k=1}^m a_{kj}^2}} \quad (6-4)$$

قدم سوم: تعیین وزن هر یک از شاخص‌ها (w_i) بر اساس $\sum_{i=1}^n w_i = 1$. در این راستا شاخص‌های دارای اهمیت بیشتر از وزن بالاتری برخوردارند. این اوزان از خروجی روش تحلیل شبکه‌ای به دست می‌آید. درواقع ماتریس (v) حاصل ضرب مقادیر استاندارد هر شاخص در اوزان مربوط به خود می‌باشد.

$$V_{ij} = \begin{bmatrix} w_1 r_{11} & w_2 r_{12} & \dots & w_n r_{1n} \\ w_1 r_{21} & w_2 r_{22} & \dots & w_n r_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ w_1 r_{m1} & w_2 r_{m2} & \dots & w_n r_{mn} \end{bmatrix} \quad (7-4)$$

قدم چهارم: تعیین فاصله i امین گزینه از گزینه ایده آل (بالاترین عملکرد هر شاخص) که آن را با (A^*) نشان می‌دهند.

$$A^* = \{ \max v_{ij} | j \in J \}, (\min v_{ij} | j \in J') \quad (8-4)$$

$$A^* = \{v_1^*, v_2^*, \dots, v_n^*\}$$

قدم پنجم: تعیین فاصله i امین گزینه حداقل (پایین‌ترین عملکرد هر شاخص) که آن را با (A^-) نشان می‌دهند.

$$A^- = \{ (\min v_{ij} | j \in J), (\max v_{ij} | j \in J') \} \quad (9-4)$$

$$A^- = \{v_1^-, v_2^-, \dots, v_n^-\}$$

قدم ششم: تعیین معیار فاصله‌ای برای گزینه ایده آل (S_i^*) و گزینه حداقل (S_i^-):

$$S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^-)^2} \quad (10-4)$$

$$S_i^* = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^*)^2}$$

قدم هفتم: تعیین ضریبی که برابر است با فاصله آلترناتیو حداقل، تقسیم بر مجموع فاصله گزینه حداقل S_i^- و فاصله گزینه ایده آل S_i^* که آن را با C_i^* نشان داده و از رابطه زیر محاسبه می‌شود.

$$C_i^* = \frac{S_i^-}{S_i^- + S_i^*} \quad (11-4)$$

قدم هشتم: رتبه‌بندی گزینه‌ها بر اساس میزان C_i^* .

میزان فوق بین $0 \leq C_i^* \leq 1$ در نوسان است. در این راستا $C_i^* = 1$ نشان‌دهنده بالاترین رتبه و

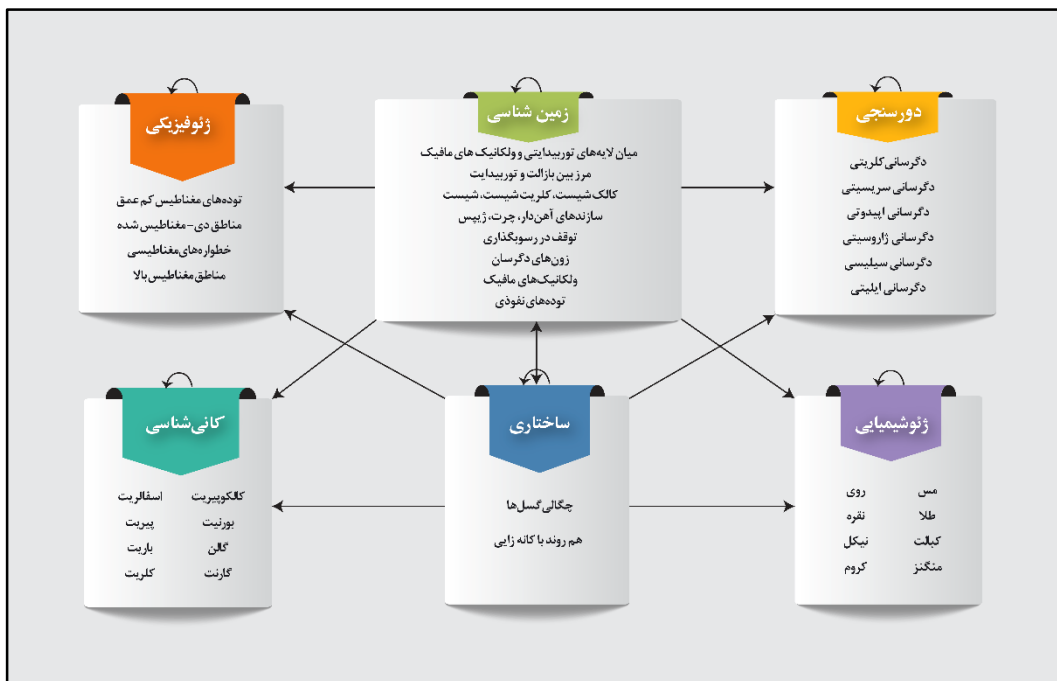
$C_i^* = 0$ نیز نشان‌دهنده کمترین رتبه است.

۳-۴ حاصل پیاده سازی رویکرد تحلیل شبکه‌ای - شباهت به گزینه ایده‌آل

برای پیاده سازی در این بخش، به دلیل ارتباطات دوطرفه در روابط زمین‌شناسی بین عناصر و خوشه‌ها از روش تحلیل شبکه‌ای استفاده شد. برای رده‌بندی نهایی گزینه‌ها در انتهای روش تحلیل شبکه‌ای از روش شباهت به گزینه ایده‌آل استفاده شد. از روش تحلیل سلسه مراتبی نیز برای مقایسه نتایج بین دو رویکرد و اثبات بهبود در نتایج استفاده شد.

تعیین روابط در مدل تحلیل شبکه‌ای می‌تواند از طریق شناخت عمیق از موضوع و منطقه مورد مطالعه انجام شود که این موضوع در این تحقیق براساس مدل مفهومی ذخایر ماسیوسولفاید تیپ بشی و همچنین مطالعات قدیمی صورت گرفته در منطقه انجام پذیرفته است بر اساس این موضوع، مدل شبکه‌ای پی‌جویی ذخایر ماسیوسولفاید تیپ بشی آماده گردید (شکل ۴-۲). پس از انجام مقایسات

زوجی که در جداول ۲-۴ تا ۷-۴ آورده شده، ابرماتریس، ابرماتریس وزن دار و ابرماتریس حد تشکیل داده شد (جدول ۸-۴ تا ۱۰-۴) سپس محاسبات مربوط به وزن‌های هر عنصر از خوشه‌ها انجام شد. در این بخش از روش بردارهای ویژه برای محاسبه ضرایب اهمیت و وزن‌ها استفاده شد (جدول ۴-۱۱). پس از اعمال وزن‌های حاصل از مدل تحلیل شبکه‌ای، نقشه نواحی امیدبخش اکتشافی ذخایر تیپ ماسیوسولفاید نوع بشی به دو روش تحلیل سلسله مراتبی و تحلیل شبکه‌ای آماده گردید (شکل ۴-۳) از روش شباهت به گزینه ایده‌آل (Luukka, 2017) برای رده‌بندی نهایی پیکسل‌ها استفاده شد و بوسیله روش نقاط شکست طبیعی^۱ کلاسه‌بندی شد. از نتایج روش تحلیل سلسله مراتبی صرفاً برای مقایسه نتایج و برتری روش تحلیل شبکه‌ای نسبت به این روش، استفاده شده‌است.



شکل ۴-۲ ساختار شبکه‌ای طراحی شده با توجه به مدل مفهومی ذخایر ماسیوسولفاید تیپ بشی برای حل مسئله.

¹ Natural breakpoint

جدول ۴-۲ جدول مقایسه‌ای رویکرد تحلیل شبکه‌ای (ارتباطات مستقیم خوشه زمین‌شناسی).

عنوان	ولکانیک مافیک	زون‌های دگرسان	توده‌های نفوذی	میان لایه توربیدیتی، ولکانیک مافیک	توقف در رسوبگذاری	کالک شیست، کلریت شیست، شیست	مرز بین بازالت و توربیدایت	سازندهای آهن‌دار، چرت، ژیپس
ولکانیک مافیک	۱	۰/۳۳۳	۱	۳	۵	۰/۳۳۳	۳	۱
زون‌های دگرسان		۱	۳	۳	۵	۰/۳۳۳	۱	۱
توده‌های نفوذی			۱	۱	۳	۰/۳۳۳	۱	۳
میان لایه توربیدیتی، ولکانیک مافیک				۱	۳	۰/۱۱۱	۱	۰/۳۳۳
توقف در رسوبگذاری					۱	۰/۱۱۱	۰/۱۴۲۹	۰/۱۴۲۹
کالک شیست، کلریت شیست، شیست						۱	۹	۵
مرز بین بازالت و توربیدایت							۱	۳
سازندهای آهن‌دار، چرت، ژیپس								۱

جدول ۳-۴ جدول مقایسه‌ای رویکرد تحلیل شبکه‌ای (ارتباطات مستقیم خوشه ژئوشیمی آبراه‌های).

عنوان	مس	روی	طلا	نقره	کبالت	نیکل	کروم	منگنز
مس	۱	۳	۹	۵	۵	۹	۹	۹
روی	۱	۱	۷	۳	۳	۷	۷	۷
طلا	۱	۱	۱	۰/۳۳۳	۰/۳۳۳	۳	۳	۳
نقره	۱	۱	۱	۱	۱	۳	۳	۳
کبالت	۱	۱	۱	۱	۱	۳	۳	۳
نیکل	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۳	۱
کروم	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱
منگنز	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱

جدول ۴-۴ جدول مقایسه‌ای رویکرد تحلیل شبکه‌ای (ارتباطات مستقیم خوشه دگرسانی‌های دورسنجی).

عنوان	دگرسانی کلریتی	دگرسانی سیلیسی	دگرسانی سریسیتی	دگرسانی ایلیتی	دگرسانی ژاروسیتی	دگرسانی اپیدوتی
دگرسانی کلریتی	۱	۱	۳	۹	۹	۵
دگرسانی سیلیسی	۱	۱	۳	۹	۹	۵
دگرسانی سریسیتی	۱	۱	۱	۵	۵	۳
دگرسانی ایلیتی	۱	۱	۱	۱	۱	۰/۳۳۳
دگرسانی ژاروسیتی	۱	۱	۱	۱	۱	۰/۳۳۳
دگرسانی اپیدوتی	۱	۱	۱	۱	۱	۱

جدول ۴-۵ جدول مقایسه‌ای رویکرد تحلیل شبکه‌ای (ارتباطات مستقیم خوشه ژئوفیزیکی).

عنوان	خطواره‌های مغناطیسی	مناطق مغناطیس بالا	مناطق دی-مغناطیس شده	توده‌های مغناطیس کم عمق
خطواره‌های مغناطیسی	۱	۵	۳	۱
مناطق مغناطیس بالا		۱	۰/۳۳۳	۰/۲
مناطق دی-مغناطیس شده			۱	۰/۳۳۳
توده‌های مغناطیس کم عمق				۱

جدول ۴-۶ جدول مقایسه‌ای رویکرد تحلیل شبکه‌ای (اثر ارتباطات خارجی خوشه‌ها با معیار کنترلی زمین‌شناسی).

عنوان	زمین‌شناسی	ژئوفیزیکی	ژئوشیمیایی	کانی‌شناسی	دورسنجی	ساختاری
ژئوشیمیایی	۰/۳۳۳	۷	۱	۵	۱	۳
زمین‌شناسی	۱	۹	۳	۵	۳	۵
ژئوفیزیکی		۱	۰/۱۴۲۹	۰/۳۳۳	۰/۱۴۲۹	۰/۲
کانی‌شناسی				۱	۰/۱۴۲۹	۱
دورسنجی					۱	۳

جدول ۴-۷ جدول مقایسه‌ای رویکرد تحلیل شبکه‌ای (اثر ارتباطات خارجی عناصر خوشه‌ها با معیار کنترلی ولکانیک‌های مافیک).

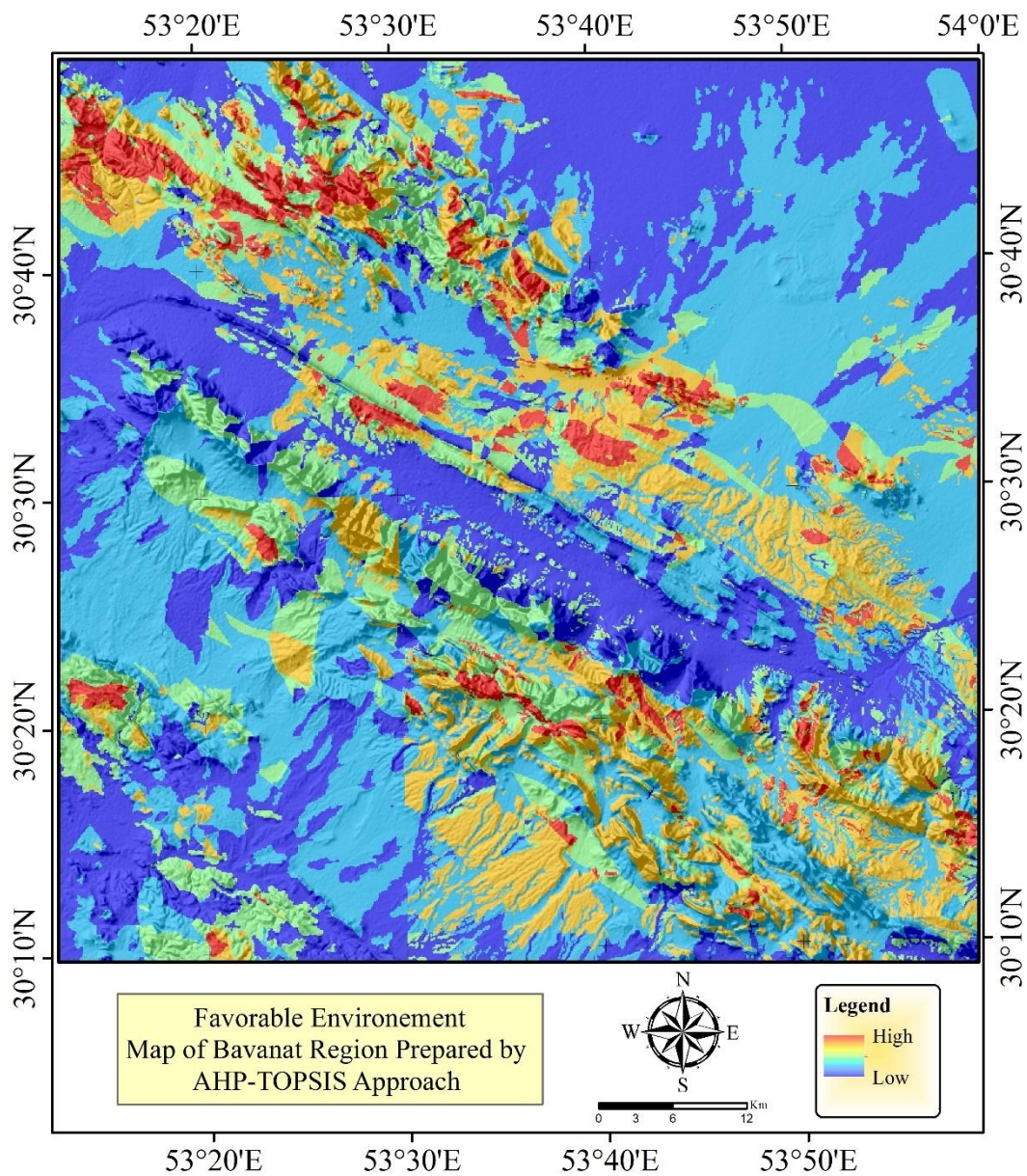
عنوان	مس	روی	طلا	نقره	کبالت	نیکل	کروم	منگنز
مس	۱	۳	۹	۵	۵	۹	۹	۹
روی		۱	۷	۳	۳	۷	۷	۷
طلا			۱	۰/۳۳۳	۰/۳۳۳	۳	۳	۳
نقره				۱	۱	۳	۳	۳
کبالت					۱	۳	۳	۳
نیکل						۱	۳	۱
کروم							۱	۱
منگنز								۱

جدول ۴-۱۱ وزن‌های منتج از رویکرد تحلیل شبکه‌ای برای هر یک از عناصر شبکه.

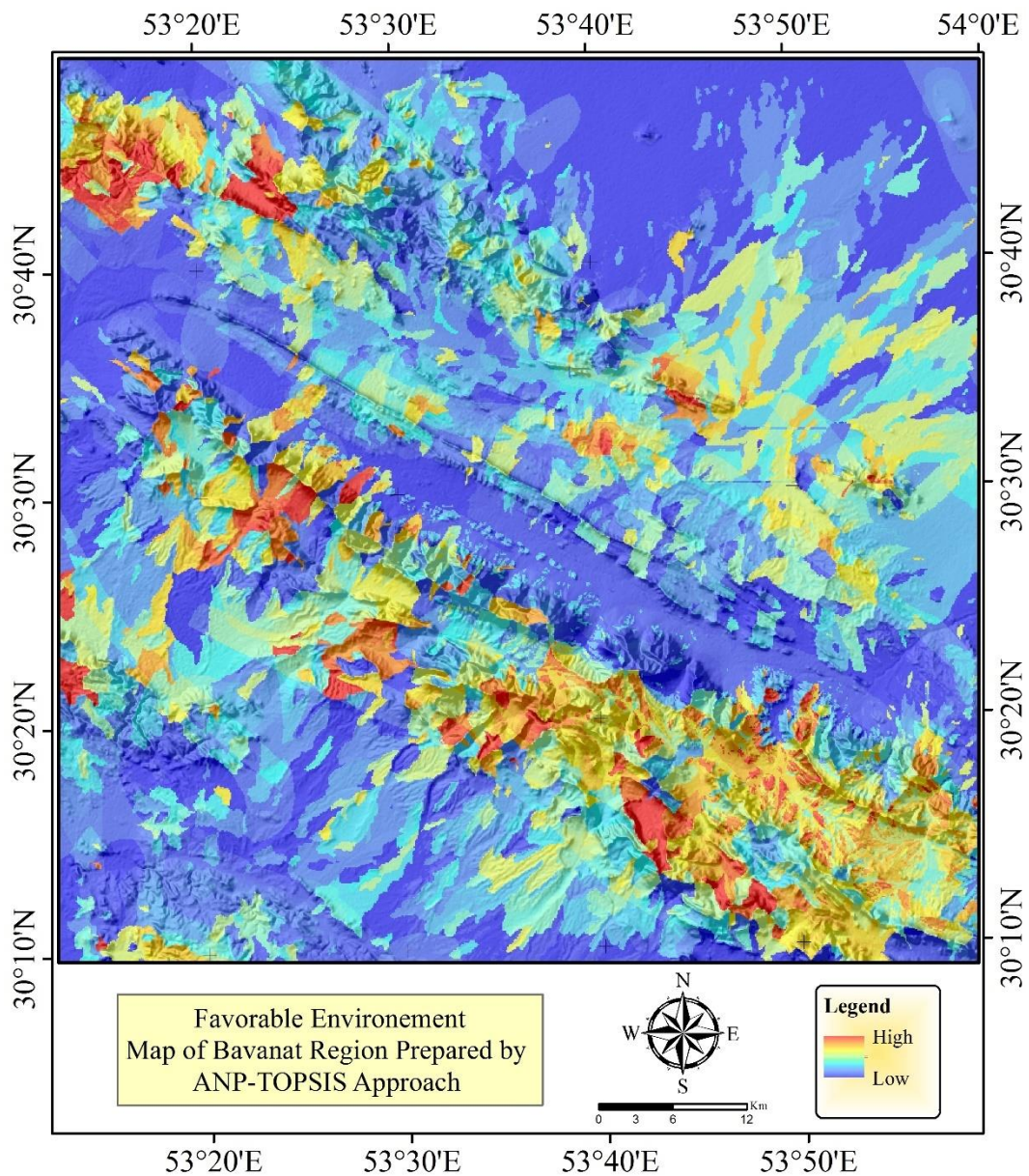
زمین شناسی	ژئوشیمیایی	ژئوفیزیکی	آلتراسیون
ولکانیک‌های مافیک	مس ۰/۰۱۶۶۸۶	توده‌های مغناطیس ۰/۰۶۱۳۲۰	دگرسانی سیلیسی ۰/۰۵۹۹۹۸
زون‌های دگرسان	روی ۰/۰۱۷۲۹۱	مناطق دی-مغناطیس شده ۰/۰۴۹۹۲۸	دگرسانی ژاروسیتی ۰/۰۳۸۳۹۰
توده‌های نفوذی	طلا ۰/۰۱۶۳۷۴	خطواره‌های مغناطیسی ۰/۰۴۰۵۰۱	دگرسانی اپیدوتی ۰/۰۴۰۶۳۷
میان لایه‌های توریدایتی و ولکانیک‌های مافیک	کبالت ۰/۰۱۵۶۳۳	توده‌های مغناطیس کم عمق ۰/۰۳۹۰۴۹	دگرسانی اپلیتی ۰/۰۳۸۳۹۰
وقفه در رسوبگذاری	نقره ۰/۰۱۵۱۱۴	ساختاری ۰/۰۴۱۶۵۶	دگرسانی کلریتی ۰/۰۵۹۹۹۸
کالک شیبست، کلریت شیبست، شیبست	منگنز ۰/۰۲۱۲۰۳	گسل‌های زمین شناسی ۰/۰۲۵۷۱۶	دگرسانی سرسیتی ۰/۰۴۷۱۰۵
مرز بین بازالت و توریدایت	نیکل ۰/۰۱۶۴۲۰	کانی شناسی ۰/۰۳۸۰۲۶	
سازندهای آهن‌دار، چرت، ژئپس	کروم ۰/۰۱۶۲۴۷	کانی‌های سنگین ۰/۰۵۴۶۷۸	

مقایسه نتایج روش‌های تحلیل شبکه‌ای و تحلیل سلسله مراتبی با توجه به ذخایر و اندیس‌های شناخته شده موجود در منطقه به صورت بصری انجام گرفت (شکل‌های ۳-۴ و ۴-۴). به دلیل این که تشخیص پیکسل‌های درست و غلط به صورت بصری خیلی ساده نیست از روش آنالیز مشخصه عملکرد سیستم نیز استفاده شد که نتایج در شکل ۴-۵ مشاهده می‌شود. همانطور که مشاهده می‌شود، در رویکرد تحلیل شبکه‌ای میزان مساحت تحت پوشش منحنی مشخصه عملکرد سیستم بیشتر از رویکرد تحلیل سلسله مراتبی بوده که این موضوع مؤید این حقیقت است که رویکرد تحلیل شبکه‌ای نتایج دقیق‌تر و صحیح‌تری

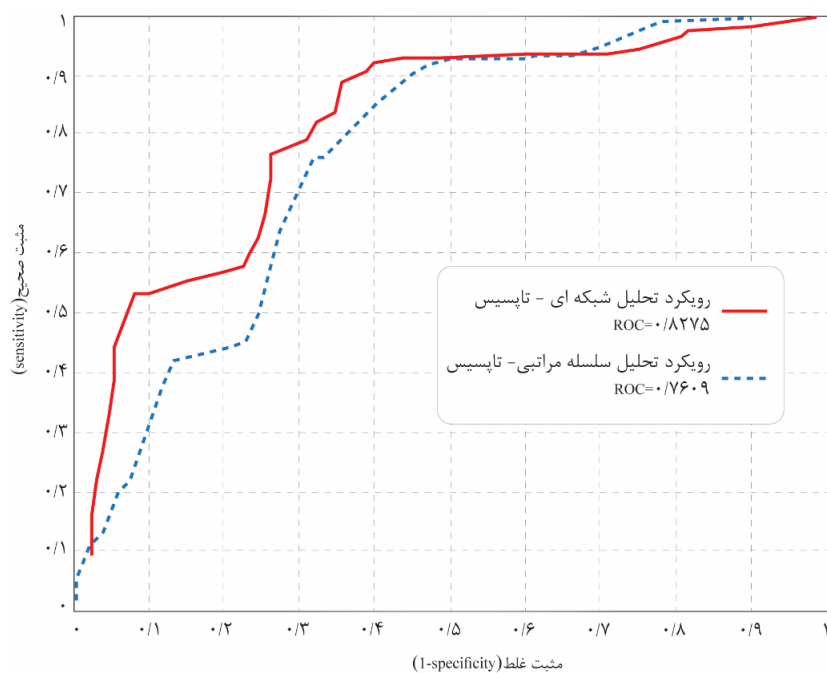
نسبت به رویکرد تحلیل سلسله مراتبی در تهیه نقشه‌های نواحی امیدبخش اکتشافی از خود نشان می‌دهد. مقدار عددی مشخصه عملکرد سیستم در رویکرد تحلیل شبکه‌ای برابر ۰/۸۲۷۵ است که در رویکرد تحلیل سلسله مراتبی برابر ۰/۷۶۰۹ بوده است. این موضوع نشان دهنده این است که مساحت بخش زیرین نمودار در رویکرد تحلیل شبکه‌ای بیشتر از رویکرد تحلیل سلسله مراتبی است. این موضوع موید صحت نتایج خروجی در این روش است.



شکل ۳-۴ نقشه نواحی امیدبخش اکتشافی ذخایر تیپ ماسیوسولفاید نوع بشی با استفاده از رویکرد تحلیل سلسله مراتبی - شباهت به گزینه ایده‌آل.



شکل ۴-۴ نقشه نواحی امیدبخش اکتشافی ذخایر تیپ ماسیوسولفاید نوع بشی با استفاده از رویکرد تحلیل شبکه‌ای- شباهت به گزینه ایده‌آل.



شکل ۴-۵ نمودار مقایسه منحنی مشخصه عملکرد سیستم برای دو رویکرد تحلیل شبکه‌ای-شبهات به گزینه ایده‌آل و تحلیل سلسله مراتبی-شبهات به گزینه ایده‌آل.

۴-۴ تحلیل نتایج

نتایج تحقیق نشان می‌دهد که محدوده‌های پیشنهادی توسط رویکرد تحلیل شبکه‌ای-شبهات به گزینه ایده‌آل در مقایسه با روش تحلیل سلسله مراتبی-شبهات به گزینه ایده‌آل که هر دو رویکرد دانش محور هستند، دارای صحت بیشتر و همچنین مساحت کمتری است. بر اساس این نتایج، میزان مساحت محدوده‌های پیشنهادی با استفاده از این رویکرد از $1138/4$ کیلومتر مربع در رویکرد تحلیل سلسله مراتبی به $952/6$ کیلومتر مربع در رویکرد تحلیل شبکه‌ای، 17% درصد کاهش و میزان صحت نتایج بیش از 6% افزایش پیدا کرده است. شاخص منحنی مشخصه عملکرد سیستم برای رویکرد تحلیل سلسله مراتبی برابر $0/7609$ بوده که بوسیله رویکرد تحلیل شبکه‌ای به $0/8275$ بهبود یافته است.

۴-۵ جمع بندی

نتایج اصلی حاصل از این فصل به صورت ذیل قابل ارائه است:

- رویکرد تحلیل شبکه‌ای - شباهت به گزینه ایده‌آل نتایج قابل قبول تری نسبت به رویکرد تحلیل سلسله مراتبی - شباهت به گزینه ایده‌آل در تولید نقشه‌های نواحی امیدبخش معدنی نشان می‌دهد. علت این موضوع، وجود روابط بین زیر معیارهای یک خوشه و تعامل میان معیارهای مختلف و همچنین بهینه شدن اولویت‌ها به وسیله بازخورد است.
- مسائل مرتبط با تصمیم‌گیری در نقشه‌های نواحی امیدبخش معدنی به تنهایی بوسیله ساختار سلسله مراتبی قابل مدل نمودن نیست زیرا که شرط یک طرفه بودن ارتباطات در این رویکرد، پیش فرض است و معیارهای اکتشافی بعضاً ارتباط دوطرفه دارند.
- به دلیل پوشیده بودن ذخایر بوسیله رسوبات و آبرفت در منطقه مورد مطالعه، رخنمون کمتری از کانه‌زایی در سطح دیده می‌شود. این موضوع تاحدی بر مقدار عددی مشخصه عملکرد سیستم نهایی تاثیر داشته و باعث کاهش آن می‌شود که البته در هر دو روش تلفیق، یکسان بوده و به برتری نسبی هر روش به دیگری تاثیری ندارد ولی در مناطقی که کانه‌زایی رخنمون‌های بیشتری دارد، به عبارت دیگر، عملیات اکتشافی قبلی منجر به اکتشاف رخنمون‌های بیشتری شده است، رویکرد تحلیل شبکه‌ای احتمالاً می‌تواند میزان مشخصه عملکرد سیستم بیشتری را نتیجه‌گیری نماید.

فصل پنجم

مدل سازی عدم قطعیت

(روش ترکیب دستر-سینفر)

چنانکه می‌دانیم موارد موجود در ذهن انسان همیشه با عدم قطعیت همراه بوده است. برای تبدیل این ذهنیات به ریاضیات مشکل موجود این بود که ریاضیات و مجموعه‌ها بسیار مشخص و معلوم بودند؛ ولی داده‌های ذهنی نامعلوم و در حاله‌ای از ابهام. مرحوم زاده در سال ۱۹۶۵ این مشکل را با ارائه منطق فازی حل نمود که در ادامه با مطرح شدن مفهوم عدم قطعیت تکمیل گردید (Zade, 1965). میزان عدم قطعیت ذهن انسان نسبت به یک موضوع، میزان عدم اطمینان و ابهام موجود در ذهن انسان نسبت به آن موضوع را نشان می‌دهد. عدم قطعیت در تعریفی ساده می‌تواند مبهم، نامطمئن، نامعلوم و نادقیق تعریف شود و می‌تواند در اشکال مختلف به‌وجود آید (مشیری و همکاران، ۱۳۸۰). عدم قطعیت یکی از ویژگی‌های اطلاعات است (Zade, 1965). علاوه بر منابع طبیعی عدم قطعیت، روش دانش محور تولید نقشه پتانسیل‌های معدنی^۱ نیز گرفتار و متحمل عدم قطعیت دیگری در قضاوت موضوعی تحلیل می‌شوند و آن زمانی است که هیچ ارزش ثابت قابل اعتمادی از ارزش‌های شواهد مربوط به اهمیت نسبی عارضه‌های زمین شناسی وجود ندارد که به طور مستقیم بتوان اندازه‌گیری نمود (Yousefi & Carranza, 2015). هدف از تجزیه و تحلیل عدم قطعیت، مشخص نمودن احتمال نتایج خروجی و همچنین عدم قطعیت به مدل هست (Chen et al., 2011). یکی از روش‌های متکی بر داده^۲ روش دمپستر-شیفر (Dempster, 1968؛ Shafer, 1976) است که برای تلفیق داده‌های اکتشافی در محیط سامانه اطلاعات مکانی می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. این روش نسبت به روش منطق فازی که روش مرسوم در تلفیق داده‌های اکتشافی است دارای یک مزیت عمده است و آن این‌که به کارشناس اجازه می‌دهد تا عدم قطعیت^۳ یا نایقینی در تخمین را به دلیل تفاوت بین تخمین محتاطانه^۴ و تخمین خوش‌بینانه^۵ و عدم قطعیت‌های مربوطه برای اطمینان بیشتر ارائه نماید. این تئوری با توجه به اعتقاد

¹ Mineral Prospectivity Mapping (MPM)

² Data Driven

³ Uncertainty

⁴ Belief

⁵ Plausibility

زاده، به بینش و استدلال ذهن بشری نزدیک بوده و روش دقیقی برای تخمین کمی عدم قطعیت می‌باشد. روش اعتقادی دمپستر- شیفر یک رویکرد انعطاف‌پذیر است که امکان نمایش عدم قطعیت در داده‌ها را فراهم می‌نماید. نظریه اعتقاد روش دمپستر- شیفر یک مکانیسم جایگزین برای نظریه منطق فازی برای نمایش دانش و ترکیب نقشه‌ها است. از توابع برآورد^۱ به این دلیل در نقشه‌های پتانسیل معدنی استفاده می‌کنیم (Carranza & Sadeghi, 2010) که این توابع نمایش واضحی از عدم قطعیت نقشه‌های شاهد فراهم می‌کند (An et al., 1994). مشاهدات میدانی نشان می‌دهد که بالاترین تطابق نشان داده‌شده در تصاویر خروجی این روش، با ذخایر شناخته‌شده وجود دارد و برخی از اهداف اکتشافی جدید نیز برای پروژه‌های اکتشافی دقیق‌تر معرفی نموده است؛ بنابراین، می‌توان به این نتیجه رسید که تئوری تابع برآورد، می‌تواند یک مدل مفید در مناطقی همچون ایران که به‌خوبی مورد بررسی اکتشافی، قرار نگرفته‌اند، باشد (Tangestani, 2002).

با توجه به مدل‌سازی عدم قطعیت، محدوده‌هایی معرفی می‌گردد که اگر عدم قطعیت به هر لایه صفر بود، میزان مساحت محدوده‌های پیشنهادی مثلاً X می‌شود، حال با این فرض که هر لایه میزانی عدم قطعیت دارد، خروجی نهایی چه مساحتی از X را شامل می‌شود و در نهایت مشخص می‌گردد که مدل‌سازی عدم قطعیت چه میزان در کم شدن مساحت محدوده‌های پیشنهادی و به تبعیت از آن صرفه‌جویی در هزینه و زمان، اثرگذار بوده است. در این فصل از رساله از تئوری اعتقاد دمپستر- شیفر، به‌عنوان یک رویکرد داده محور تصحیح شده به‌وسیله دانش کارشناسی برای مدل‌سازی عدم قطعیت حضور ماده معدنی در منطقه تحت بررسی استفاده شد. در ابتدا از روش صرفاً داده محور دمپستر- شیفر استفاده شد و معایب و مشکلات در نتایج، تحقیق را به سمت استفاده از رویکرد داده محور تصحیح شده به‌وسیله دانش کارشناسی راهنمایی کرد که پس از استفاده از این رویکرد، نتایج مورد بررسی و مقایسه

¹ EBFs

قرار گرفت. ضمناً خروجی نتایج بر روی محدوده‌های معرفی شده توسط رویکردهای دیگر، اعمال شد تا بتوان محدوده‌هایی با میزان اعتقاد بالا و عدم قطعیت پایین برای مطالعات صحرایی معرفی کرد.

۲-۵ روش‌شناسی تحقیق

۱-۲-۵ روش ترکیب دمپستر-شیفر

این تئوری در ابتدا براساس تعمیم قانون احتمالات بیزی تعریف شد، سپس به عنوان تئوری توابع استدلال شهودی (توابع برآورد) مربوط به میزان اعتبار شواهد شناخته شد و با تعریف دو تابع اعتقاد^۱ و اعتماد^۲، حدود بالا و پایین احتمالات تعیین شد. ابزار اصلی در روش ترکیب دمپستر-شیفر^۳، توابع برآورد^۴ می‌باشند. تئوری دمپستر-شیفر از دو جنبه برای کسانی که بر روی ترکیب اطلاعات توأم با عدم قطعیت کار می‌کنند حائز اهمیت می‌باشد. این تئوری روشی انعطاف‌پذیر و مناسب برای بازنمایی عدم قطعیت از طریق مفهوم جهل^۵ ارائه می‌نماید که این روش را جامع‌تر از تئوری احتمالات می‌گرداند.

این تئوری قاعده‌ای به نام قانون دمپستر برای ترکیب اطلاعات توأم با عدم قطعیت^۶ ارائه می‌نماید. بدین دلیل روشی مناسب برای ترکیب اطلاعات توأم با عدم قطعیت است.

فرض کنیم Ω یک فضای متناهی و 2^Ω مجموعه توانی آن فضا باشد (شکل ۱-۵) در این صورت

تابع اعتقاد:

$$bel: 2^\Omega \rightarrow [0,1] \quad (1-5)$$

شرایط زیر را ارضاء می‌کند:

¹ Belief function

² Plausibility function

³ Dempster-Shafer

⁴ Belife function

⁵ Ignorance

⁶ Dempster's Rule of Combination

$$bel(\phi) = 0$$

$$\forall n \geq 1, \forall A_1, A_2, \dots, A_n \subseteq \Omega$$

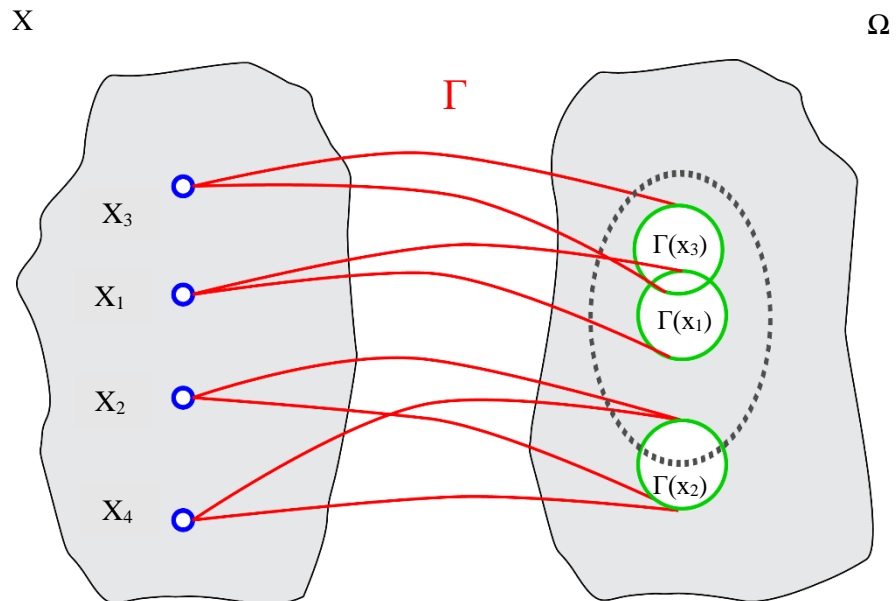
$$bel(A_1 \cup A_2 \cup \dots \cup A_n) \geq \sum_i bel(A_i) - \sum_{i>j} bel(A_i \cap A_j) \quad (2-5)$$

$$\dots - (-1)^n bel(A_1 \cap A_2 \cap \dots \cap A_n)$$

مثلاً برای $n=2$ خواهیم داشت:

$$bel(A_1 \cup A_2) \geq bel(A_1) + bel(A_2) \quad (3-5)$$

$$\Gamma: X \rightarrow \Omega$$



شکل ۱-۵ نمایش مجموعه‌ای روش ترکیب دیمپستر- شیفِر (کاووسی، ۱۳۹۲)

تعریف تابع اعتقاد: از دیدگاهی دیگر، می‌توان یک تابع اعتقاد را با یک تابع دیگر که «تخصیص اعتقاد پایه»^۱ یا به اختصار bba نامیده می‌شود، تعریف نمود. این تابع m نامیده می‌شود و به صورت زیر توصیف می‌گردد (مشیری و همکاران، ۱۳۸۰):

$$m: 2^\Omega \rightarrow [0,1]$$

$$\sum_{A \subseteq \Omega} m(A) = 1 \quad (4-5)$$

^۱ Basic Belief Assignment

در این صورت می توان تابع اعتقاد bel را به صورت زیر تعریف نمود:

$$bel(A) = \sum_{\phi \neq B \subseteq A} m(B), \forall A \subseteq \Omega \quad (5-5)$$

۲-۲-۵ مفاهیم اعتقاد، شک، اعتماد و درجه نایقینی

تابع اعتقاد^۱ (تخمین محتاطانه یا حداقل برآورد) به صورت ذیل است:

$$bel_i(A) = \sum_{A_j \subseteq A} m_i(A_j) \quad (6-5)$$

تابع شک^۲ (میزان اعتقاد به عدم وقوع رخداد یا عدم اعتقاد):

$$disbt_i(A) = bel_i(A^c) \quad (7-5)$$

تابع اعتماد^۳ (تخمین خوش بینانه یا برآورد دست بالا):

$$pls_i(A) = 1 - disbt_i(A) \quad (8-5)$$

تابع درجه نایقینی^۴ (عدم قطعیت):

$$unc_i(A) = pls_i(A) - bel_i(A) \quad (9-5)$$

چنانکه مشاهده می شود در این مدل، عدم قطعیت به طول بازه $[bel, pls]$ بستگی دارد (شکل های ۵-

۲ و ۳-۵). اگر این مقدار صفر باشد آنگاه:

$$bel = pls = probability \quad (10-5)$$

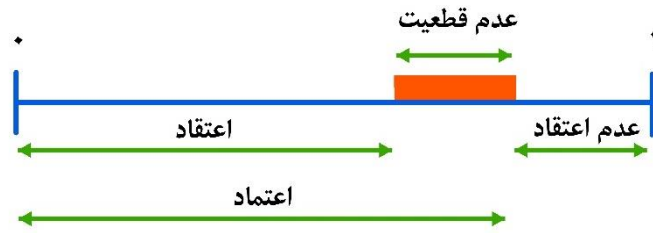
بنابراین مشاهده می شود که $[0,0]$ به معنای عدم وقوع و $[1,1]$ به معنای وقوع قطعی یک رخداد است.

¹ Belief

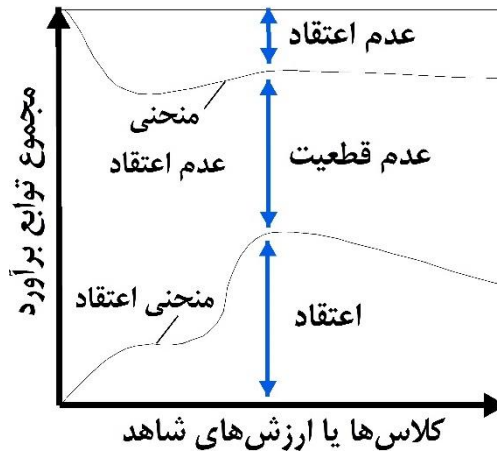
² Disbelief

³ Plausibility

⁴ Uncertainty



شکل ۵-۲ شکل کلی توابع در فاصله [0,1] در تئوری دمپستر- شیفتر (Khatri, 2013)



شکل ۵-۳ نمایش تصویری روابط بین پارامترهای تئوری دمپستر- شیفتر (Carranza, 2009)

۵-۲-۳ قاعده ترکیب دمپستر

این قاعده یک عملیات شرکت پذیر^۱ و جابجایی پذیر^۲ است که یک زوج تابع اعتقاد را که در Ω تعریف شده اند، به تابع اعتقادی دیگری در Ω می نگارد.

$$Belx_1x_2 = \frac{Belx_1Belx_2 + Belx_1Uncx_2 + Belx_2Uncx_1}{\beta}$$

$$Disx_1x_2 = \frac{Disx_1Disx_2 + Disx_1Uncx_2 + Disx_2Uncx_1}{\beta} \quad (۱۱-۵)$$

$$Uncx_1x_2 = \frac{Uncx_1Uncx_2}{\beta}$$

¹ Associative
² Commutative

$$\beta = 1 - Belx1Disx2 - Disx1Belx2$$

$$Bel + Unc + Di = 1$$

برای تلفیق نقشه‌های n بعدی، لایه سوم تا لایه n ام هر لایه اطلاعاتی جدید با نتیجه تلفیق دو لایه قبلی به صورت ذیل مورد تلفیق قرار می‌گیرد.

فرض می‌کنیم bel_1 و bel_2 دو تابع اعتقاد در Ω باشند که m_1 و m_2 ، bba متناظر آن‌ها هستند. در این صورت $bel_1 \cap bel_2$ از طریق $m_{1 \cap 2}$ تعریف می‌شود:

$$m_{1 \cap 2}(A) = \sum_{B \cap C = A} m_1(B)m_2(C), \quad \forall A \subseteq \Omega \quad (12-5)$$

۴-۲-۵ مدل‌سازی عدم قطعیت توسط توابع برآورد داده محور تصحیح شده

توسط دانش^۱

در ابتدا از روش داده محور استفاده می‌شود و سپس با اشاره به مشکلات این روش در این محدوده مطالعاتی، از رویکرد داده محور تصحیح شده توسط دانش استفاده می‌شود. بدین منظور فرض می‌کنیم یک تعداد سلول‌های واحد موجود در یک منطقه به مساحت T برابر $N(T)$ باشد و ذخایر شناخته شده از نوع D در این منطقه، تعداد سلول‌های دربرگیرنده‌شان $N(D)$ است (شکل ۴-۵). کدنویسی مربوط به این بخش در محیط ArcGIS و به زبان پایتون انجام شده است.

فرض کنید که تعداد i نقشه شاهد فضایی X_i (۱ تا n) که هر کدام دارای z الگو (۱ تا m) هستند، هرزآمین الگو از i امین نقشه شاهد فضایی X_i ، یعنی هر کلاس C_{ji} دارای تعداد سلول واحد $N(C_{ji})$ می‌باشد. تعداد سلول‌های تحت پوشش ذخایر شناخته شده از نوع D برابر $N(C_{ji} \cap D)$ است. پس تعداد سلول‌های C_{ji} که با سلول‌های تحت پوشش ذخایر شناخته شده D تطابق ندارد، یعنی -

¹ Knowledge guided data driven method

$N(C_{ji})$ و $N(C_{ji} \cap D)$ نیز قابل اندازه‌گیری است. بنابراین روابط زیر در روش داده‌محور EBFs به صورت ذیل است (Carranza et al., 2005):

میزان اعتقاد هر کلاس در هر نقشه شاهد برابر:

$$Bel_{C_{ji}} = \frac{N(C_{ji} \cap D)}{N(C_{ji})} \quad (۱۳-۵)$$

و میزان عدم اعتماد هر کلاس:

$$Dis_{C_{ji}} = \frac{N(C_{ji}) - N(C_{ji} \cap D)}{N(C_{ji})} \quad (۱۴-۵)$$

$$Unc_{C_{ji}} = 1 - \frac{N(C_{ji} \cap D)}{N(C_{ji})} - \frac{N(C_{ji}) - N(C_{ji} \cap D)}{N(C_{ji})} \quad (۱۵-۵)$$

$$= 1 - Bel_{C_{ji}} - Dis_{C_{ji}}$$

$$Pls_{C_{ji}} = Bel_{C_{ji}} + Unc_{C_{ji}} \quad (۱۶-۵)$$

رابطه‌های بالا به صورت زیر تعریف شد:

$$Bel_{C_{ji}} = \frac{W_{C_{ji}D}}{\sum_{j=1}^m W_{C_{ji}D}} \quad (۱۷-۵)$$

$$W_{C_{ji}D} = \frac{\frac{N(C_{ji} \cap D)}{N(C_{ji})}}{\frac{N(D) - N(C_{ji} \cap D)}{N(T) - N(C_{ji})}} \quad (۱۸-۵)$$

مقدار تابع عدم اعتقاد نیز برابر:

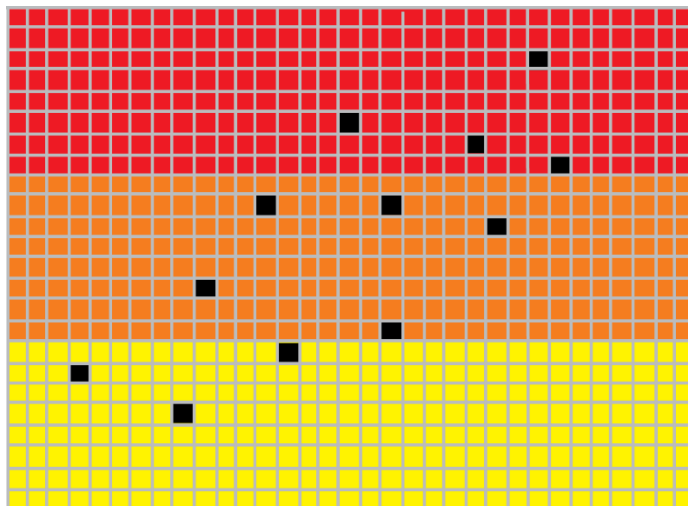
$$Dis_{C_{ji}} = \frac{W_{C_{ji}\bar{D}}}{\sum_{j=1}^m W_{C_{ji}\bar{D}}} \quad (۱۹-۵)$$

$$W_{C_{ji}\bar{D}}$$

$$= \frac{\frac{N(C_{ji}) - N(C_{ji} \cap D)}{N(C_{ji})}}{\frac{N(T) - N(D) - [N(C_{ji}) - N(C_{ji} \cap D)]}{N(T) - N(C_{ji})}} \quad (۲۰-۵)$$

$$\begin{aligned}
 Unc_{C_{ji}} &= 1 - \frac{W_{C_{ji}D}}{\sum_{j=1}^m W_{C_{ji}D}} - \frac{W_{C_{ji}\bar{D}}}{\sum_{j=1}^m W_{C_{ji}\bar{D}}} \\
 &= 1 - Bel_{C_{ji}} - Dis_{C_{ji}}
 \end{aligned}
 \tag{۲۱-۵}$$

که در آن‌ها \bar{D} یعنی سلول مورد نظر ذخیره از نوع D ندارد و $W_{C_{ji}\bar{D}}$ وزن نسبی هر C_{ji} برای حضور D است.



شکل ۴-۵ نمونه فرضی محل اندیس‌ها و معادن بر روی نقشه‌های شاهد و نحوه محاسبه عدم قطعیت در روش صرفاً داده محور. (Carranza, 2009)

کلاس‌های شاهد C : قرمز = R ، نارنجی = O ، زرد = Y

$$N(T) = 792, \quad N(D) = 12, \quad N(CR) = 264, \quad N(CR \cap D) = 4$$

$$N(CO) = 264, \quad N(C \cap D) = 5, \quad N(CY) = 264, \quad N(CY \cap D) = 3$$

تخمین داده محور Bel_{Cj} :

$$Bel_{CR} = 0.333, \quad Bel_{CO} = 0.467, \quad Bel_{CY} = 0.210$$

تخمین داده محور $Disc_{Cj}$:

$$Dis_{CR} = 0.333, \quad Dis_{CO} = 0.333, \quad Dis_{CY} = 0.334$$

تخمین داده محور $Uncc_{Cj}$:

$$Unc_{CR} = 0.345, \quad Unc_{CO} = 0.201, \quad Unc_{CY} = 0.456$$

شاهد‌های کاذب ارتباط فضایی بین ذخایر معدنی هدف و کلاس‌های مشخص داده، مدل سازی داده محور در محیط سامانه اطلاعات مکانی برای اکتشاف مواد معدنی را تضعیف می‌نماید. در این تحقیق، از توابع اعتقاد شهودی داده محور استفاده می‌شود و پس از آن این مشکلات، بر اساس قضاوت اکتشافگر، تصحیح می‌گردد (Carranza *et al.*, 2008). در این روش با توجه به دانش اکتشافی از ارتباط ژنتیکی بین ذخایر معدنی از نوع مورد پی‌جویی و ویژگی های زمین شناسی فضایی (سنگ شناسی، چگالی گسل، آنومالی‌های رسوبات آبراهه‌ای و دگرسانی)، ارتباطات فضایی کاذب نشان داده شده در نقشه شواهد اصلی، توسط تصحیح داده‌های مکانی ورودی، از طریق برخی از ویژگی های پایه‌ای محیط سامانه اطلاعات مکانی به منظور استخراج شواهد، تصحیح می‌شود. با استناد به دانش از فرآیندهای زمین شناسی در شکل گیری ذخایر معدنی در تیپ کانه‌زایی مورد نظر و آگاهی از چگونگی عملکرد توابع در ترکیب نقشه‌های شاهد در تلفیق نقشه‌ها، عملیات طوری هدایت می‌شود که فرآیندهای زمین شناسی در شکل گیری مواد معدنی هم‌تیپ مورد درخواست در مدل سازی، نمود پیدا کند، به طوری که شواهد کاذب فیلتر شده به نقشه خروجی احتمال وقوع کانسار در هر پیکسل در یک منطقه مورد مطالعه، منتقل نشود.

زمانیکه ارتباط فضایی بین ذخایر شناخته شده و واحدهای زمین شناسی کاذب است، بر اساس نظر کارشناسی، به نظر می‌رسد که یا مرزهای واحدهای نقشه زمین شناسی نادرست است یا ذخایر با سنگ های مدفون مرتبط هستند. در چنین مواردی با توجه به مطالعات قبلی از نظر ارتباط واقعی کانه‌زایی با واحدهای خاص، با انجام عملیات بافر دهی طوری آنرا تصحیح می‌کنند که ذخایر در داخل و یا نزدیکی بخش بافر قرار گیرند. دلیل این کار این است که مناطق بافر باید منطقاً مقادیر مختلف توابع اعتقاد را به عنوان لیتولوژی‌های مختلف نقشه زمین شناسی داشته باشند و به این دلیل که این موارد ناشی از عدم قطعیت شواهد اولیه مربوط هستند، نباید به نقشه‌های شاهد منتقل گردند

(Carranza *et al.*, 2008). این رویکرد داده محور تصحیح شده به وسیله دانش¹ نامیده شده است. چنین منطقی در مورد نقشه گسل‌های منطقه نیز صادق و قابل اجراست که با تصحیح آن‌ها بوسیله دانش اکتشافی، میزان تابع اعتقاد در خروجی افزایش می‌یابد. روش کار در مورد داده‌های رسوبات آبراهه‌ای و دگرسانی‌های منتج از تصاویر ماهواره‌ای هم به همین طریق می‌باشد. یعنی در بعضی موارد که اندیس‌ها و معادن شناخته شده با دگرسانی‌های منتج از تصاویر ماهواره‌ای تطابق ندارند، در صورتی که اکثر موارد جانمایی درستی دارند، نشان از شواهد کاذب دارند. برای تصحیح این مورد به سبک دیگری رفتار می‌کنیم. لازم است که به منظور بررسی و فیلتر شواهد کاذب در عملیات تلفیق، نتایج عملگرهای مختلف AND (فرمول‌های ۲۲-۵ تا ۲۴-۵) و OR (فرمول‌های ۲۵-۵ تا ۲۷-۵) را برای مقدار تابع اعتقاد (Carranza *et al.*, 2008) رصد کنیم و بهترین گزینه را از نظر میزان موفقیت انتخاب کنیم، تا به این روش، شواهد کاذب فیلتر گردد و میزان تابع اعتقاد افزایش یابد.

اعتقاد ترکیب AND دو نقشه برابر:

$$Bel_{X_1X_2} = \frac{Bel_{X_1}Bel_{X_2}}{\beta}$$

$$\beta = 1 - Bel_{X_1}Dis_{X_2} - Dis_{X_1}Bel_{X_2} \quad \text{پارامتر} \quad (22-5)$$

عدم اعتماد ترکیب AND دو نقشه برابر:

$$Dis_{X_1X_2} = \frac{Dis_{X_1}Dis_{X_2}}{\beta} \quad (23-5)$$

عدم قطعیت ترکیب AND دو نقشه برابر:

$$Unc_{X_1X_2} = \frac{Unc_{X_1}Unc_{X_2} + Bel_{X_1}Unc_{X_2} + Bel_{X_2}Unc_{X_1} + Dis_{X_1}Unc_{X_2} + Dis_{X_2}Unc_{X_1}}{\beta} \quad (24-5)$$

اعتقاد ترکیب OR دو نقشه برابر:

$$Bel_{X_1X_2} = \frac{Bel_{X_1}Bel_{X_2} + Bel_{X_1}Unc_{X_2} + Bel_{X_2}Unc_{X_1}}{\beta} \quad (25-5)$$

¹ Knowledge guided data driven

عدم اعتماد ترکیب OR دو نقشه برابر:

$$Dis_{X_1X_2} = \frac{Dis_{X_1}Dis_{X_2} + Dis_{X_1}Unc_{X_2} + Dis_{X_2}Unc_{X_1}}{\beta} \quad (26-5)$$

عدم قطعیت ترکیب OR دو نقشه برابر:

$$Unc_{X_1X_2} = \frac{Unc_{X_1}Unc_{X_2}}{\beta} \quad (27-5)$$

۳-۵ حاصل پیاده سازی روش

با توجه به این که داده‌های ورودی به محیط تحلیل توابع برآورد باید به اندازه کافی دارای صحت و دقت خوبی بوده و کنترل کننده واقعی از کانه‌زایی در منطقه باشند و برای جلوگیری از بوجود آمدن آنومالیهای کاذب در این تحلیل، با توجه به یافته‌های تحقیقاتی ذیل تصمیم‌گیری انجام شد:

- در منطقه بوانات از میان دگرسانیهای دورسنجی فقط دگرسانیهای سیلیسی و پروپلیتیک با موقعیت معادن و اندیس‌های منطقه همبستگی فضایی خوبی نشان می‌شوند (Ghasemi *et al.*, 2016).
- فقط آنومالی عناصر مس، روی و طلا در منطقه بوانات در داده‌های رسوبات آبراهه‌ای با موقعیت اندیس‌ها و معادن همبستگی فضایی بیشتری دارند (قاسمی و همکاران، ۱۳۹۵).
- گسل‌های با روند آزیموتی حدود ۲۹۰-۳۱۰ درجه در منطقه بوانات، با معادن و اندیس‌های معدنی همبستگی فضایی بیشتری دارند (Ghasemi *et al.*, 2018).
- داده‌های مگنتومتري هوابرد فاصله پرواز زیادی دارند (۷/۵ کیلومتر) و دقت آنها برای تعیین میزان عدم قطعیت که کار حساسی است، مناسب نیست.
- تعداد معادن و اندیس‌های معدنی کم بوده و برای انتخاب ۷۰٪ از آنها برای داده‌های آموزشی، عملاً تعداد کمی داده برای بخش داده‌های آزمایشی باقی خواهد ماند.

برای ورود داده‌ها تصمیمات ذیل اتخاذ شد:

- دگرسانیه‌های سیلیسی و پروپلیتیک برای ورودی انتخاب شدند.
 - آنومالی عناصر مس، روی و طلا در داده‌های رسوبات آبراهه‌ای انتخاب شدند.
 - گسل‌های با روند عمومی حدود ۳۱۰-۲۹۰ درجه و نزدیک به آنها انتخاب شدند.
 - داده‌های مگنتومتري از لیست ورودی‌ها حذف شد.
 - معادن و اندیس‌های معدنی برای داده‌های آموزشی و داده‌های حاصل از بازدید صحرایی از مناطق معرفی شده توسط روش‌های تلفیق قبلی که شامل مناطق دارای کانه‌زایی و مناطق فاقد کانه‌زایی هستند، به عنوان داده آزمایشی انتخاب شدند.
- جدول ۵-۱ داده‌های ورودی به بخش داده‌محور و مقدار توابع برآورد در آنها را نشان می‌دهد. داده‌هایی که با فونت کوچکتر نشان داده شده‌اند، به دلیل میزان تابع اعتقاد پایین (پایینتر از زمینه) و عدم قطعیت بالا (بالا‌تر از زمینه)، نمی‌توانند در تحلیل شرکت داده شوند؛ زیرا سبب ایجاد آنومالی کاذب می‌شوند. لذا داده‌های برجسته شده در جدول، در مرحله بعد تفکیک و برای مرحله بعد انتخاب می‌شوند. همانطور که مشاهده می‌شود، مثلاً در داده‌های زمین‌شناسی، تعداد پنج ذخیره معدنی در بخش شیست و کالک- شیست قرار می‌گیرد و تعداد نه ذخیره در بخش زمینه قرار می‌گیرند که عموماً آبرفتها و واحدهای زمین‌شناسی غیر مرتبط با ذخایر ماسیوسولفاید هستند. براساس دانش اکتشافی، چنین موضوعی ممکن نیست و دلیل این اشکال، عدم دقت و یا صحت در نقشه زمین‌شناسی است. لذا به‌وسیله بافردهی در اطراف واحدهای زمین‌شناسی می‌توان فضایی ایجاد کرد که به‌وسیله آن این اشکال را برطرف کرد و مقدار تابع اعتقاد را در این بخش افزایش داد که بالطبع در بخش زمینه، این عدد کاهش می‌یابد و به واقعیت نزدیکتر شود. عامل دیگری که در حذف یا نگه داشتن بعضی داده‌ها دخیل است این است که حتی با وجود بافردهی در اطراف آن داده، ذخیره خاصی در محدوده بافر قرار نمی‌گیرد و یا تعداد آنها آنقدر کم است که از مقدار تابع اعتقاد در آن از مقدار تابع اعتقاد در بخش زمینه کمتر می‌شود که در این صورت داده ورودی حذف می‌شود. در داده‌های چگالی گسل با بافردهی، تعدادی ذخیره در محدوده بافر قرار می‌گیرد ولی این تعداد آنقدر کم است که مقدار تابع اعتقاد بدست آمده

برای آنها از مقدار بخش زمینه کمتر می‌شود و عدم قطعیت بالا می‌رود و به همین دلیل حذف می‌شوند. اگر با بافردهی تعداد قابل توجهی ذخیره در داخل محدوده بافر قرار می‌گیرد، آن داده حذف نمی‌شود (جدول ۵-۲). همانطور که ملاحظه می‌شود، با افزایش مقدار فاصله بافر، ممکن است تعدادی ذخیره در این محدوده قرار بگیرند که باعث افزایش مقدار تابع اعتقاد در این بخش و کاهش مقدار تابع اعتقاد در بخشهای زمینه می‌شود. شبیه به این موضوع را می‌توان در داده‌های دیگر نیز اعمال کرد (جدول ۵-۲).

برای تلفیق نهایی توابع برآورد برای کانسارهای ماسیوسولفاید، کلیه اطلاعات از مرحله داده محور تصحیح شده به‌وسیله دانش، در دو گروه فرآیندهای تشکیل کانه^۱ و زمین شناسی دسته بندی شدند. گروه فرآیندهای تشکیل کانه شامل دو زیر بخش داده‌های رسوبات آبراه‌ای و داده‌های دورسنجی می‌شود. براساس این دسته بندی، داده‌ها به‌وسیله قوانین ترکیب دمپستر-شیفر و بر طبق شکل ۵-۵ با هم تلفیق شدند. نقشه توابع برآورد شواهد داده‌های رسوبات آبراه‌ای و دگرسانیهای حاصل از دورسنجی با عملگر OR از قوانین ترکیب دمپستر-شیفر با هم تلفیق شده و نقشه توابع برآورد فرآیندهای تشکیل کانه تولید شد. این نقشه و نقشه توابع برآورد شاهد نقشه زمین‌شناسی با کمک عملگر AND از قوانین ترکیب دمپستر-شیفر با هم تلفیق شده و نقشه توابع برآورد برای اکتشاف ذخایر ماسیوسولفاید تولید گردید (شکل ۵-۶). شکل ۵-۶ نقشه تابع اعتقاد، شکل ۵-۷ نقشه تابع اعتماد، شکل ۵-۸ نقشه تابع عدم اعتقاد و شکل ۵-۹ نقشه مدلسازی عدم قطعیت را در منطقه بوانات برای اکتشاف ذخایر ماسیوسولفاید نشان می‌دهند.

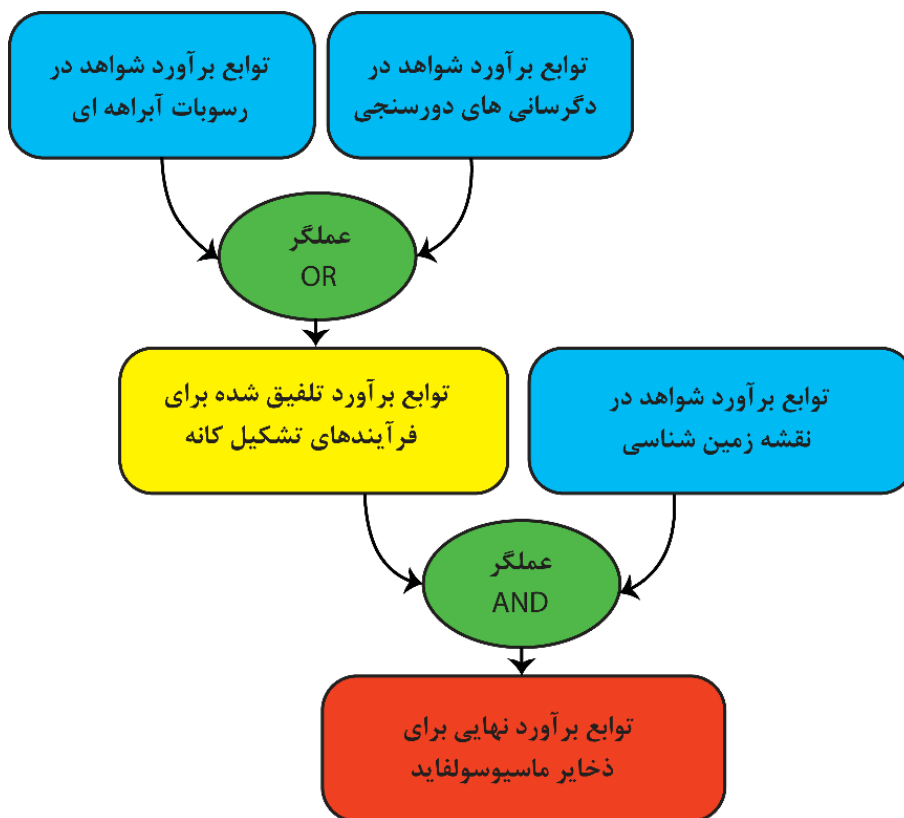
¹ Ore Forming Processes (OFP)

جدول ۵-۱ داده‌های اولیه ورودی به بخش داده‌محور و مقادیر توابع برآورد در آنها.

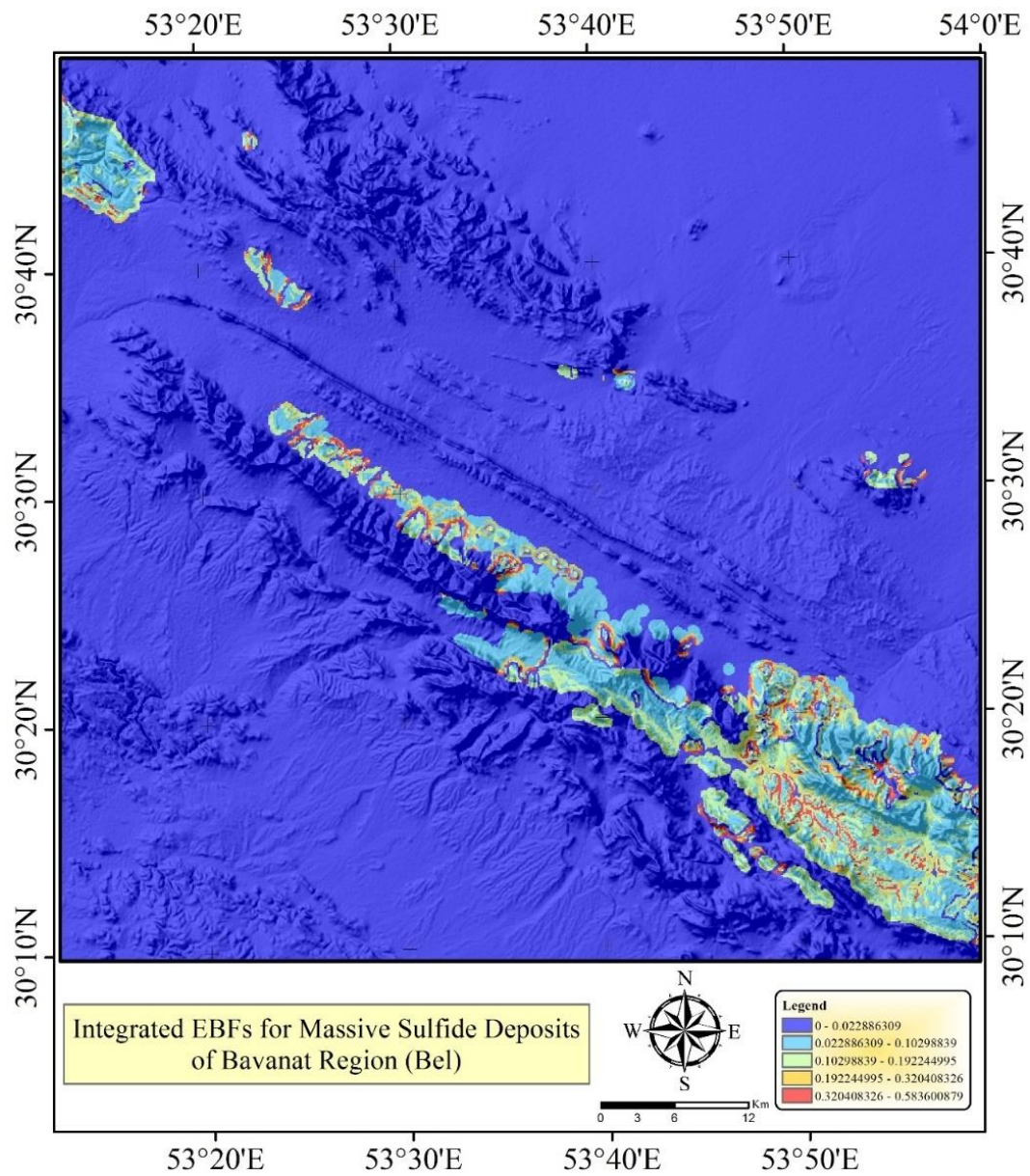
نوع داده	منبع	زیرمجموعه	علامت اختصاری	N(T)	N(D)	N(Cij)	N(Cij∩D)	WCijD	WCijD'	BelCij	DisCij	UncCij		
زمین شناسی	نقشه زمین شناسی	ولکانیکهای مافیک	Geo1	546818	15	2791	0	0.0000	1.0000	0.0000	0.1111	0.8889		
		زونهای دگرسان	Geo2	546818	15	15	0	0.0000	1.0000	0.0000	0.1111	0.8889		
		توده های نفوذی	Geo3	546818	15	381	0	0.0000	1.0000	0.0000	0.1111	0.8889		
		میان لایه توریدیتی، ولکانیک مافیک	Geo4	546818	15	23	0	0.0000	1.0000	0.0000	0.1111	0.8889		
		توقف در رسوبگذاری	Geo5	546818	15	72232	0	0.0000	1.0000	0.0000	0.1111	0.8889		
		کالک شیبست، کلریت شیبست، شیبست	Geo6	546818	15	28579	5	9.0668	0.9998	0.8664	0.1111	0.0225		
		مرز بین بازالت و توریدیت	Geo7	546818	15	2	0	0.0000	1.0000	0.0000	0.1111	0.8889		
		سازندهای آهن دار، چرت، ژئیس	Geo8	546818	15	42386	1	0.8501	1.0000	0.0812	0.1111	0.8077		
		واحدهای دیگر (زمینه)	Other units	546818	15	400409	9	0.5485	1.0000	0.0524	0.1111	0.8365		
		چگالی گسل	Fault	546818	15	23298	0	0.0000	1.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	
		ژئوشیمی	رسوبات آبراهه ای	مس	Cu	546818	15	156291	6	1.6658	1.0000	0.5544	0.2500	0.1956
				روی	Zn	546818	15	88944	0	0.0000	1.0000	0.0000	0.2500	0.7500
طلا	Au			546818	15	12680	0	0.0000	1.0000	0.0000	0.2500	0.7500		
مناطق دیگر (زمینه)	Other areas			546818	15	288903	9	1.3391	1.0000	0.4456	0.2500	0.3044		
دگرسانی پروپلیتیک	Propylitic			546818	15	840	0	0.0000	1.0000	0.0000	0.3333	0.6667		
دگرسانی سیلیسی	Silica			546818	15	1641	0	0.0000	1.0000	0.0000	0.3333	0.6667		
دورسنجی	تصاویر استر	مناطق دیگر (زمینه)	Other areas	546818	15	1043	0	0.0000	1.0000	0.0000	0.3333	0.6667		

جدول ۵-۲ داده‌های بافردهی شده در بخش داده‌محور تصحیح شده بوسیله دانش و مقادیر توابع برآورد در آنها.

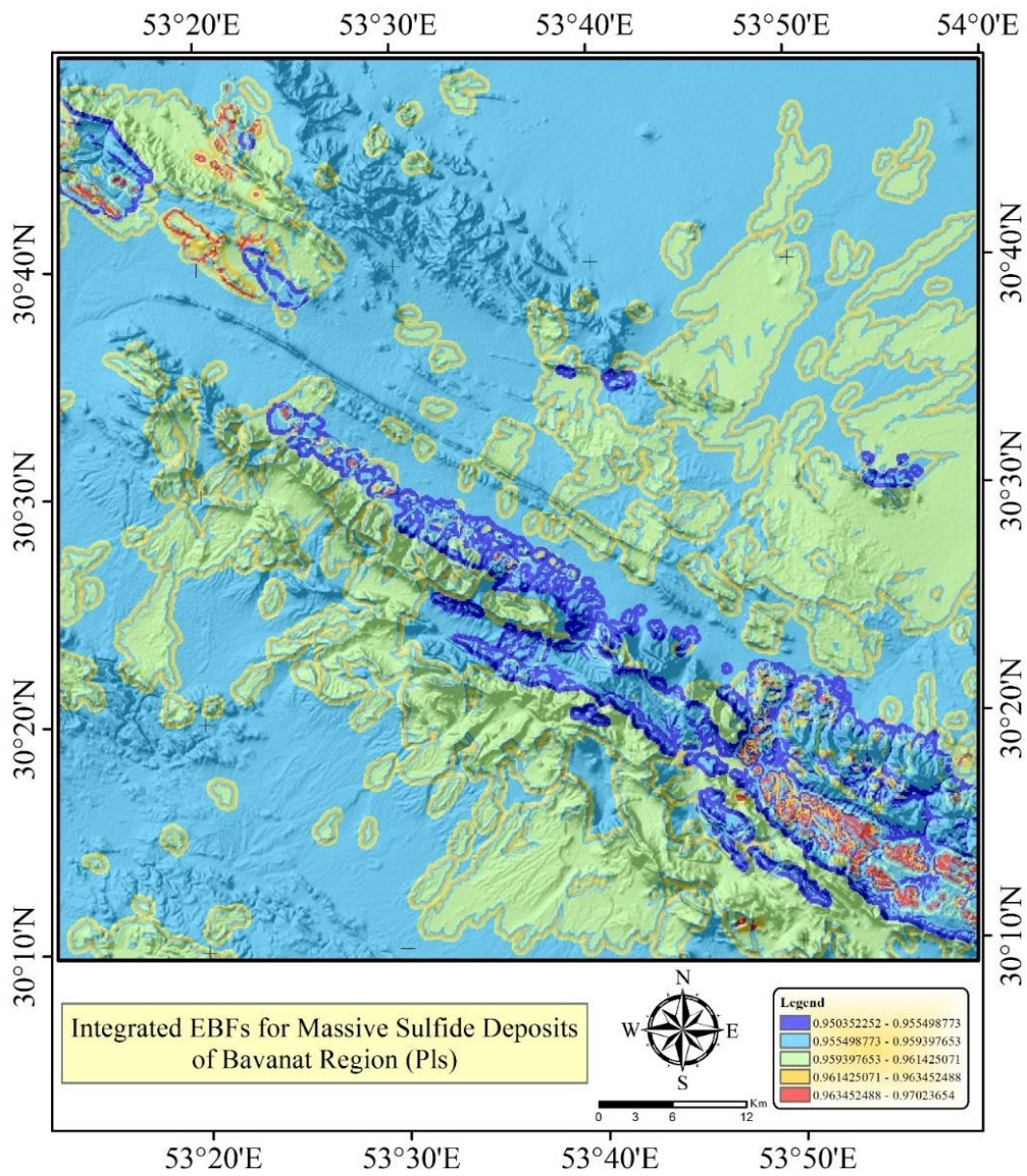
Uncij	DisCij	BelCij	WCijD'	WCijD	N(Cij/D)	N(Cij)	N(D)	N(T)	علامت اختصاری	زیرمجموعه	نوع داده
0.8000	0.2000	0.0000	1.0000	0.0000	0	15	15	546818	Geo2	زون‌های دگرسان	زمین‌شناسی
0.5366	0.2000	0.2634	0.9998	9.0558	5	28612	15	546818	Geo6	کالک شیبست، کلریت شیبست، شیبست	
0.8000	0.2000	0.0000	1.0000	0.0000	0	195	15	546818	Geo2-400	بافر زون‌های دگرسان	
0.0637	0.1999	0.7363	0.9997	25.3136	9	30590	15	546818	Geo6-400	بافر کالک شیبست، کلریت شیبست، شیبست	ژئوشیمی
0.7997	0.2001	0.0003	1.0002	0.0087	1	487406	15	546818	Other units	واحدهای دیگر (زمینه)	
0.6832	0.1111	0.2057	1.0000	1.6629	6	156488	15	546818	Cu	مس	
0.8889	0.1111	0.0000	1.0000	0.0000	0	55816	15	546818	Zn	روی	
0.8889	0.1111	0.0000	1.0000	0.0000	0	42586	15	546818	Cu200	بافر ۲۰۰ متری مس	
0.4793	0.1111	0.4096	0.9999	3.3112	3	38387	15	546818	Cu400	بافر ۴۰۰ متری مس	
0.8889	0.1111	0.0000	1.0000	0.0000	0	17213	15	546818	Zn200	بافر ۲۰۰ متری روی	
0.8889	0.1111	0.0000	1.0000	0.0000	0	15935	15	546818	Zn400	بافر ۴۰۰ متری روی	
0.6025	0.1111	0.2864	1.0000	2.3148	2	34078	15	546818	Cu600	بافر ۶۰۰ متری مس	
0.8889	0.1111	0.0000	1.0000	0.0000	0	14634	15	546818	Zn600	بافر ۶۰۰ متری روی	
0.7906	0.1111	0.0983	1.0000	0.7946	4	171681	15	546818	Other areas	مناطق دیگر (زمینه)	دورسنجی
0.8889	0.1111	0.0000	1.0000	0.0000	0	1171	15	546818	Propylitic	دگرسانی پروپلینیک	
0.8889	0.1111	0.0000	1.0000	0.0000	0	1636	15	546818	Silica	دگرسانی سیلیسی	
0.4762	0.1110	0.4128	0.9991	43.5117	4	4532	15	546818	Propylitic 200	بافر ۲۰۰ متری دگرسانی پروپلینیک	
0.8889	0.1111	0.0000	1.0000	0.0000	0	4157	15	546818	Propylitic 400	بافر ۴۰۰ متری دگرسانی پروپلینیک	
0.7040	0.1111	0.1849	0.9996	19.4925	2	4282	15	546818	Propylitic 600	بافر ۶۰۰ متری دگرسانی پروپلینیک	
0.6656	0.1111	0.2233	0.9995	23.5369	2	3551	15	546818	Silica 200	بافر ۲۰۰ متری دگرسانی سیلیسی	
0.7961	0.1111	0.0928	0.9998	9.7794	1	3965	15	546818	Silica 400	بافر ۴۰۰ متری دگرسانی سیلیسی	
0.8029	0.1111	0.0859	0.9998	9.0586	1	4278	15	546818	Silica 600	بافر ۶۰۰ متری دگرسانی سیلیسی	
0.8886	0.1112	0.0003	1.0004	0.0266	5	519246	15	546818	Other areas	مناطق دیگر (زمینه)	



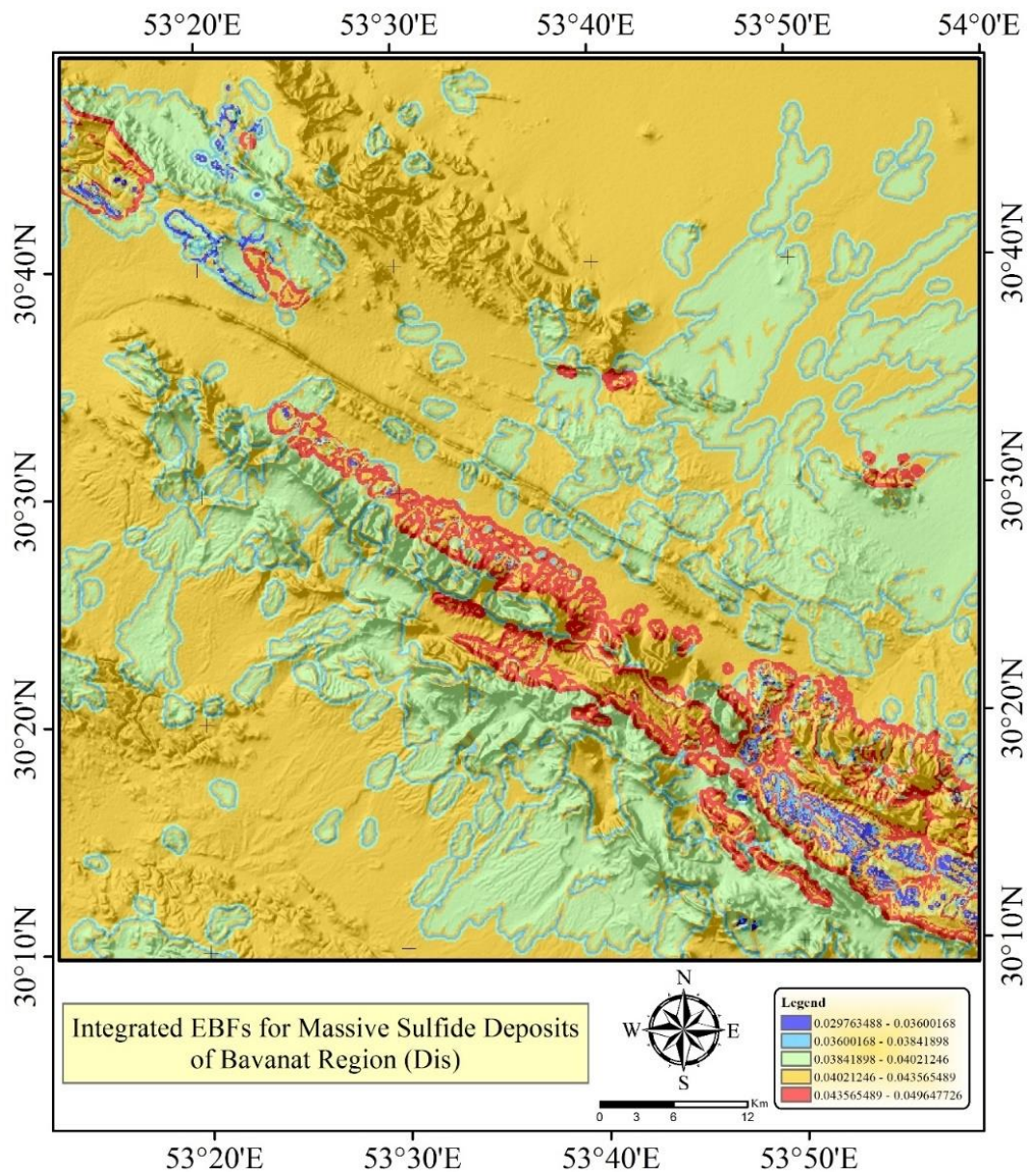
شکل ۵-۵ ساختار تولید نقشه‌های توابع برآورد به روش دمپستر-شیفر.



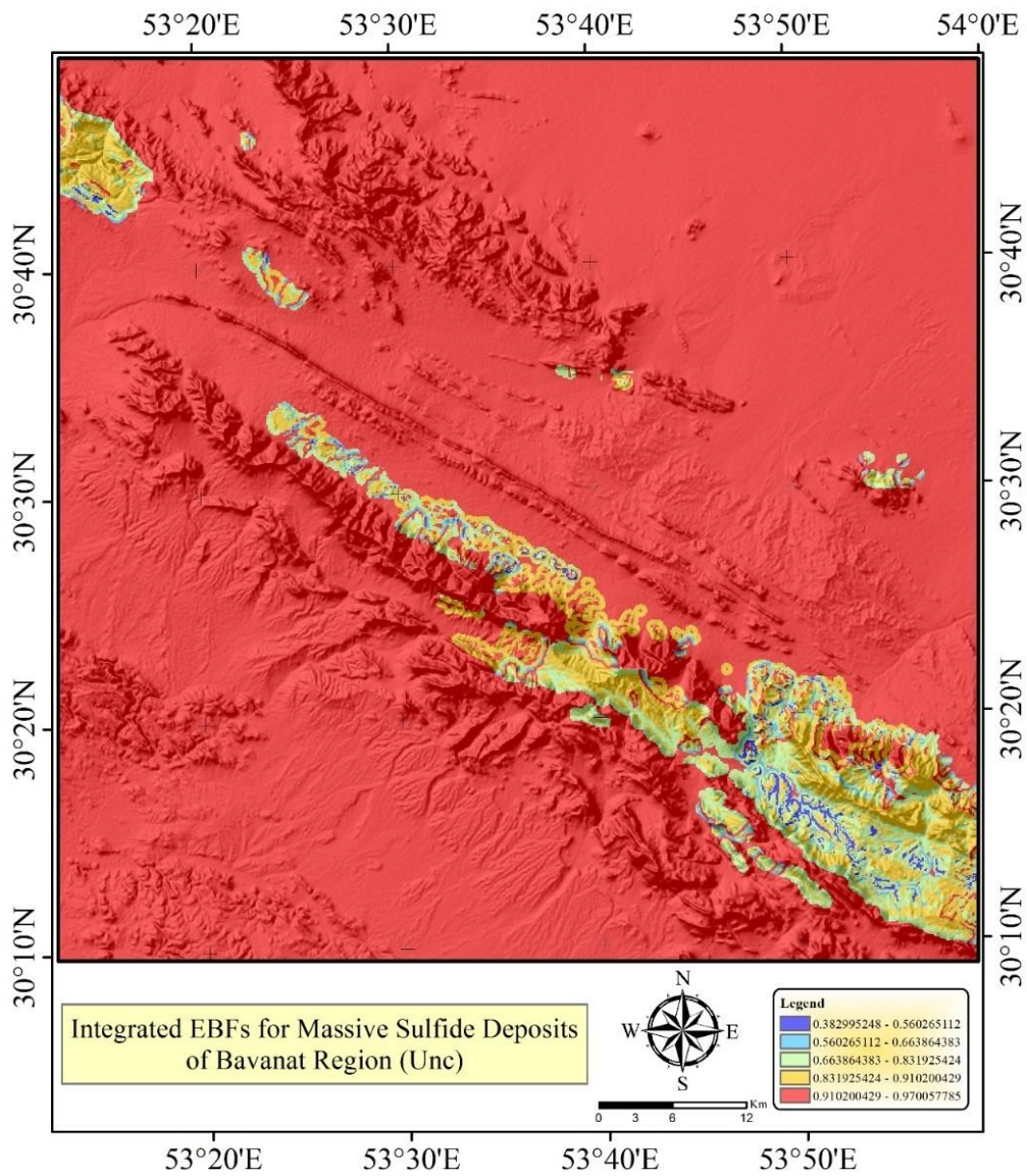
شکل ۵-۶ نقشه تابع اعتقاد برای اکتشاف ذخایر ماسیوسولفاید در منطقه بوانات.



شکل ۷-۵ نقشه تابع اعتماد برای اکتشاف ذخایر ماسیوسولفاید در منطقه بوانات.



شکل ۵-۸ نقشه تابع عدم اعتقاد برای اکتشاف ذخایر ماسیوسولفاید در منطقه بوانات.



شکل ۹-۵ نقشه تابع عدم قطعیت برای اکتشاف ذخایر ماسیوسولفاید در منطقه بوانات.

۴-۵ تحلیل نتایج

در شروع کار برای تحلیل توابع برآورد، تعداد ۱۵ اندیس و معدن شناخته شده برای داده‌های آموزشی استفاده شده است و به دلیل کم بودن تعداد این داده‌ها، از داده‌های بازدید صحرایی برای داده‌های

آزمایشی، استفاده شد. پس از انجام مدلسازی و تلفیق به وسیله رویکردهای مختلف قبلی، مجموعاً ۴۷ محدوده برای بازدید صحرایی مشخص شد.

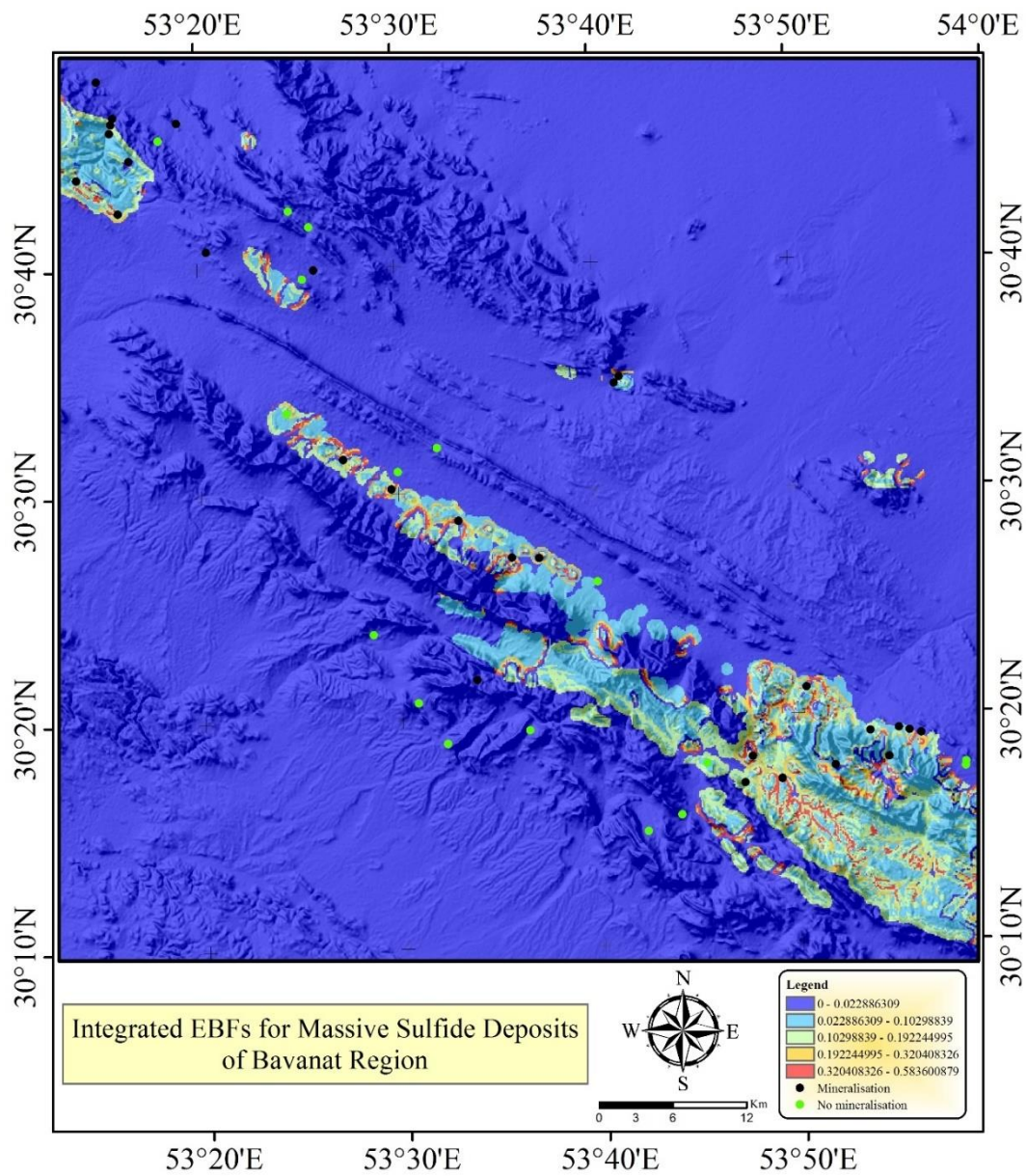
۳۰ مورد از این موارد دارای کانه‌زایی بوده که به صورت رخنمون ماده معدنی در مشاهدات صحرایی تایید شده است. یک مورد فاقد دسترسی بوده که از مجموع ۲۹ محدوده قابل دسترسی دارای رخنمون، ۲۴ مورد آن، توسط تحلیل توابع اعتقاد شهودی، درست ارزیابی شده است (شکل ۵-۱۰). همچنین از ۱۷ محدوده فاقد کانه‌زایی، یک محدوده غیرقابل دسترسی بوده که از ۱۶ مورد باقیمانده، همه موارد توسط تحلیل توابع اعتقاد شهودی، به درستی رد شده است و به عنوان محدوده امیدبخش مشخص نشده است. در مجموع از ۴۵ محدوده قابل دسترسی، ۴۰ مورد توسط تحلیل توابع اعتقاد شهودی درست پیش بینی شده است که این موضوع دقت و صحت بالای نتایج این رویکرد را نشان می‌دهد.

دقت طبقه‌بندی این رویکرد برابر با ۸۹٪ بوده است که با توجه به استفاده از عملگر بدبینانه And در مرحله تلفیق نهایی، بسیار قابل اعتماد است. این میزان با استفاده از عملگر Or به دقت ۹۵/۴۶٪ می‌رسد و مساحت محدوده معرفی شده در حالت And، تا ۲۰۶ کیلومتر مربع کاهش داشته است.

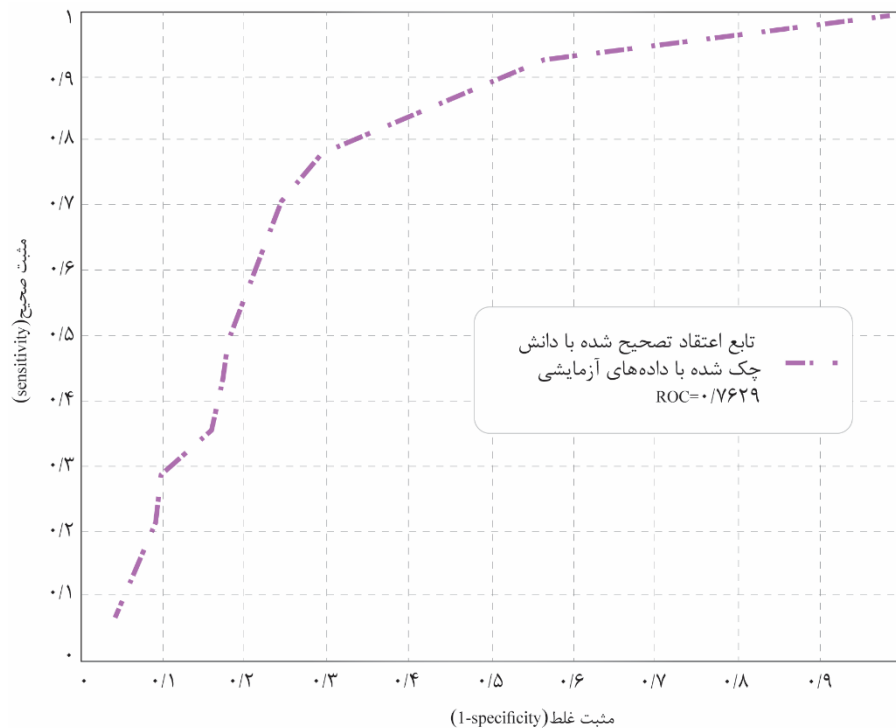
نتایج نشان می‌دهد که: الف) با استفاده از نقشه‌های تصحیح شده به جای نقشه‌های اصلی، نتایج بهتری در تولید نقشه‌های تابع برآورد برای هر شاهد حاصل می‌گردد. ب) همچنین روش داده محور تصحیح شده بوسیله دانش کارشناسی^۱، نتایج بهتری نسبت به حالتی که صرفاً از روش‌های داده محور استفاده شده، در تولید نقشه‌های تلفیق شده از شواهد مختلف خواهد داشت. ج) با توجه به نتایج حاصل از این رویکرد اگر منحنی مشخصه عملکرد سیستم^۲ ترسیم شود (شکل ۵-۱۱)، مساحت زیر منحنی برابر عدد ۰,۷۶۲۹ خواهد بود که این مقدار با توجه به این که با داده‌های آزمایشی محاسبه شده است نه داده‌های آموزشی، مقدار مناسبی از صحت نتایج را نشان می‌دهد.

¹ Knowledge Guided Data Driven Method

² Receiver operating characteristic (ROC)

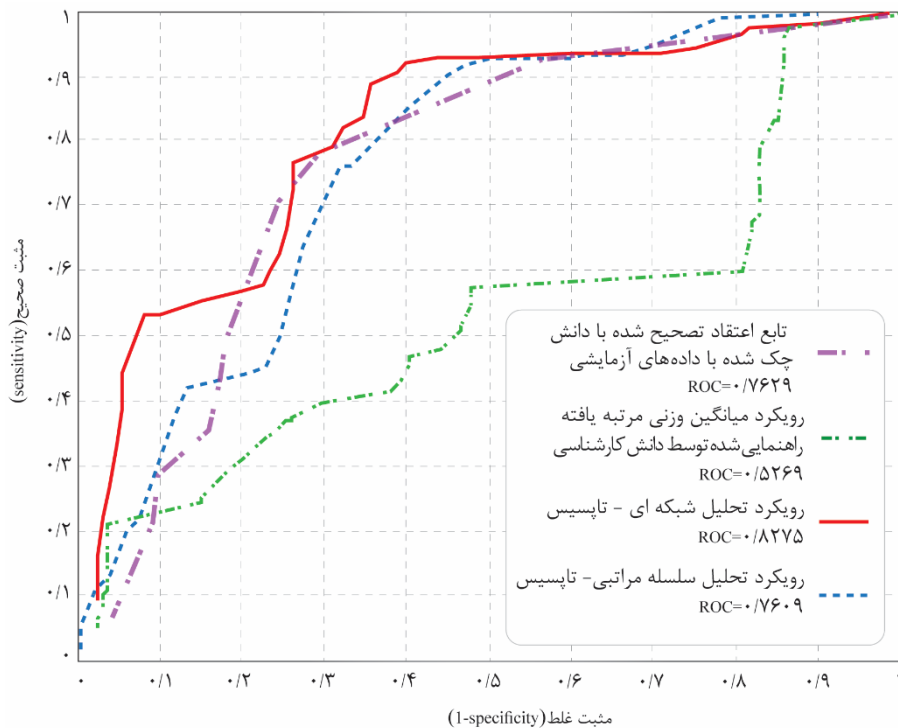


شکل ۵-۱۰ موقعیت نقاط آزمایشی بازدید شده بر روی نقشه تابع اعتقاد.



شکل ۵-۱۱ منحنی مشخصه عملکرد سیستم برای تابع اعتقاد.

همچنین اگر منحنی مشخصه عملکرد سیستم برای رویکردهای مختلف ترسیم شود (شکل ۵-۱۲)، مشاهده می‌شود که خروجی این رویکرد در مقایسه با رویکرد تحلیل سلسله مراتبی که یک رویکرد کاملاً دانش محور است، نتایج خوبی داشته است. نکته حائز اهمیت این است که داده‌های مورد استفاده در تهیه منحنی مشخصه عملکرد سیستم تابع اعتقاد، داده‌های آزمایشی هستند نه داده‌های آموزشی ولی در رویکردهای دیگر از داده‌های آموزشی این روش استفاده شده است که این موضوع نشانگر نتایج بسیار مناسب این رویکرد است.



شکل ۵-۱۲ مقایسه منحنی مشخصه عملکرد سیستم برای رویکردهای مختلف.

۵-۵ جمع بندی

نتایج حاصل از تئوری اعتقاد دمپستر- شيفر داده محور تصحيح شده به وسيله دانش کارشناسی برای مدل سازی عدم قطعیت حضور ماده معدنی در منطقه نشان می دهد که این رویکرد نتایج بهتری از روش های صرفاً داده محور دمپستر- شيفر ارائه می کند. میزان تابع اعتقاد توسط این رویکرد افزایش و میزان تابع عدم قطعیت در پیکسل های مختلف، کاهش چشمگیری داشته است. با اعمال خروجی نتایج این رویکرد بر روی محدوده های معرفی شده توسط رویکردهای دیگر، هم در مناطق معرفی شده، میزان اعتقاد بالا و عدم قطعیت پایین آمد و هم میزان مساحت محدوده معرفی شده کاهش چشمگیر و صحت نتایج نیز افزایش یافت.

فصل ششم

اعتبار سنجی نتایج

۱-۶ روش‌شناسی تحقیق

بدون اعتبارسنجی، که مهم‌ترین گام در مدلسازی است، مدل هیچگونه ارزش علمی نخواهد داشت. میزان برازش خوب و مهارت در پیش‌بینی بوسیله میزان موفقیت روش در پیش‌بینی، مورد ارزیابی قرار می‌گیرد (Chung & Fabbri, 2003; Van Westen *et al.*, 2003). در این تحقیق، اعتبارسنجی نهایی مدل، بر پایه سه نوع روش مختلف انجام گرفت:

- ارزیابی با روش‌های معمول، براساس میزان تطابق چشمی مدل با معادن، کانسارها و اندیس‌های معدنی شناخته شده قبلی: که به صورت میزان درصد معادن واقع شده در مناطق معرفی شده محاسبه می‌شود (این بخش در فصل‌های مربوط به هر رویکرد آورده شده است). به دلیل این‌که تشخیص پیکسل‌های درست و غلط به صورت بصری خیلی ساده نیست از روش دوم هم استفاده شد.
- بر اساس میزان تطابق آماری مدل با معادن، کانسارها و اندیس‌های معدنی شناخته شده قبلی: در این رویکرد، با استفاده از روش‌های آماری منحنی مشخصه عملکرد سیستم^۱، دقت^۲، بازخوانی^۳ و معیار اف^۴، میزان تطابق نتایج با داده‌های واقعی مناطق کانه‌دار مشخص می‌شود. به دلیل این‌که ممکن است اندیس معدنی و یا معدنی در منطقه هنوز کشف نشده باشد، از روش سوم هم استفاده شد.
- بر مبنای بازدید صحرایی از مناطق معرفی شده و مشاهده کانه‌زایی در سرزمین: بدین معنی که مناطق معرفی شده نهایی برای بازدید صحرایی مورد بازدید قرار گرفت و براساس مشاهده

¹ Receiver Operating Characteristic (ROC)

² Percision

³ Recall

⁴ F-measure

شواهد کانه‌زایی و انجام آنالیز و آزمایش‌های مربوطه (SEM¹, XRD, XRF, ICP, ...) میزان

دقت و صحت مدل مورد ارزیابی قرار گرفت.

کلیه کدنویسی‌های این بخش در محیط متلب انجام گرفته است.

۶-۱-۱-۱ منحنی مشخصه عملکرد سیستم

منحنی‌های مشخصه عملکرد سیستم در سال ۱۹۵۰ توسعه پیدا کردند. این منحنی‌ها اولین بار برای تشخیص سیگنال رادیویی دارای اغتشاش^۲ مورد استفاده قرار گرفتند. در آمار، یک منحنی مشخصه عملکرد سیستم، یک نمودار گرافیکی است که توانایی تشخیص یک سیستم طبقه‌بندی را نمایش می‌دهد (Anaesthetist, 2011). منحنی مشخصه عملکرد سیستم با قرار دادن میزان تشخیص‌های مثبت صحیح (TPR) در برابر میزان تشخیص‌های مثبت غلط (FPR) در تنظیمات آستانه مختلف ایجاد می‌شود. به عبارت دیگر، منحنی مشخصه عملکرد سیستم می‌تواند با ترسیم توابع توزیع تجمعی از احتمال صحیح در محور y در مقایسه با عملکرد توزیع تجمعی احتمال اشتباه در محور x حاصل شود (Fawcett, 2006; Peres & Cancelliere, 2014; Peres *et al.*, 2015; Zuo, 2017). آنالیز مشخصه عملکرد سیستم ابزاری مناسب برای انتخاب مدل‌های احتمالاً بهینه فراهم می‌کند که می‌تواند در مدل‌های تصمیم‌گیری به کار برده شود. مقدار این دو کمیت از فرمول‌های ۶-۱ و ۶-۲ و با استفاده از جدول ۶-۱ محاسبه می‌شود.

جدول ۶-۱ خروجی طبقه‌بندی به کلاس‌های مثبت و منفی (ماتریس درهم ریختگی).

کلاس تخصیص داده شده مدل			
منفی	مثبت		
منفی غلط (FN)	مثبت صحیح (TP)	مثبت	کلاس واقعی
منفی صحیح (TN)	مثبت غلط (FP)	منفی	

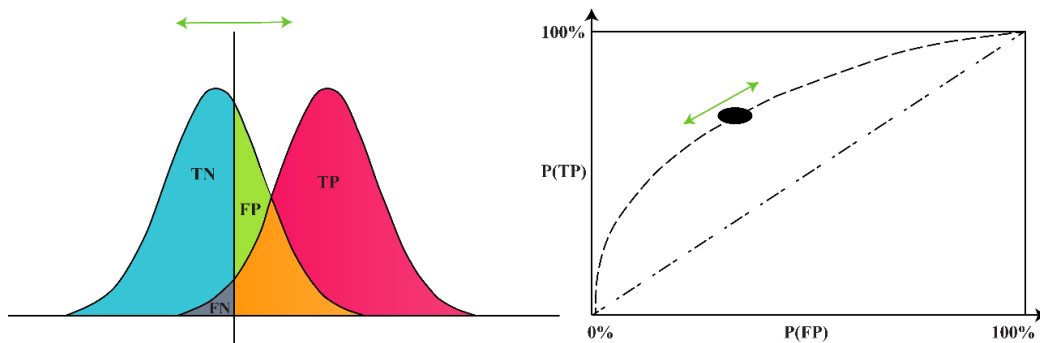
¹ Scanning Electron Microscopy (SEM)

² Noise

$$TPR=TP/ (TN+FP) \quad (1-6)$$

$$FPR=FP/ (TP+FN) \quad (2-6)$$

دو پارامتر حساسیت^۱ و ویژگی^۲ کمیت‌های آماری برای ارزیابی یک کلاس باینری هستند. حساسیت که از آن به نام بازخورد^۳ هم نام می‌برند، عبارتست از کسری از جوابهای مثبت که به درستی تشخیص داده شده اند. در حالیکه ویژگی عبارتست از کسری از جوابهای منفی است که به درستی تشخیص داده شده‌اند. در شکل‌های ۱-۶ و ۲-۶ به ترتیب نمایش شماتیک نحوه کارکرد منحنی مشخصه عملکرد سیستم و همچنین نمودار مقایسه منحنی برای دو رویکرد مختلف نشان داده شده‌اند که مساحت زیر منحنی، مبین میزان تطابق خروجی روش با واقعیت است و هرچه بزرگتر باشد، دقت طبقه‌بندی نیز بالاتر است.

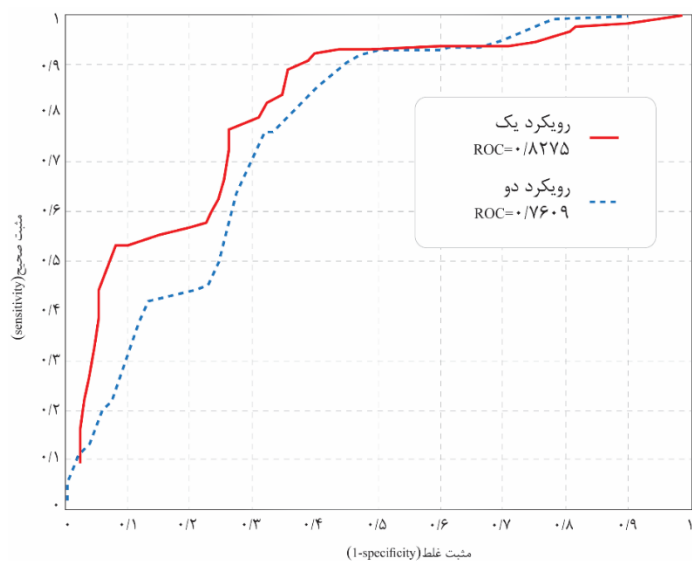


شکل ۱-۶ نمایش شماتیک نحوه کارکرد منحنی مشخصه عملکرد سیستم.

¹ Sensitivity

² Specificity

³ Recall



شکل ۶-۲ نمودار مقایسه منحنی مشخصه عملکرد سیستم برای دو رویکرد مختلف.

۶-۱-۲ معیارهای دقت و بازخوانی^۱

دقت و بازخوانی مفاهیم پایه‌ای و معیارهای کاربردی در حوزه بازیابی اطلاعات هستند که میزان تناسب اطلاعات گرفته شده از سیستم را با نیاز کاربر تعیین می‌کنند (Hariri et al., 2014). برای بیان این دو معیار می‌توان از اصطلاحات بیان شده در ماتریس درهم ریختگی^۲ استفاده کرد (روابط ۳-۶ و ۴-۶).

دقت P برابر تعداد نمونه‌های مثبت حقیقی سیستم تقسیم بر تعداد کل مثبت‌های پیش بینی شده توسط سیستم است.

بازخوانی R برابر تعداد نمونه‌های مثبت حقیقی سیستم تقسیم بر تعداد کل نمونه‌های مثبت حقیقی است.

$$P = TP / (TP + FP)$$

(۳-۶)

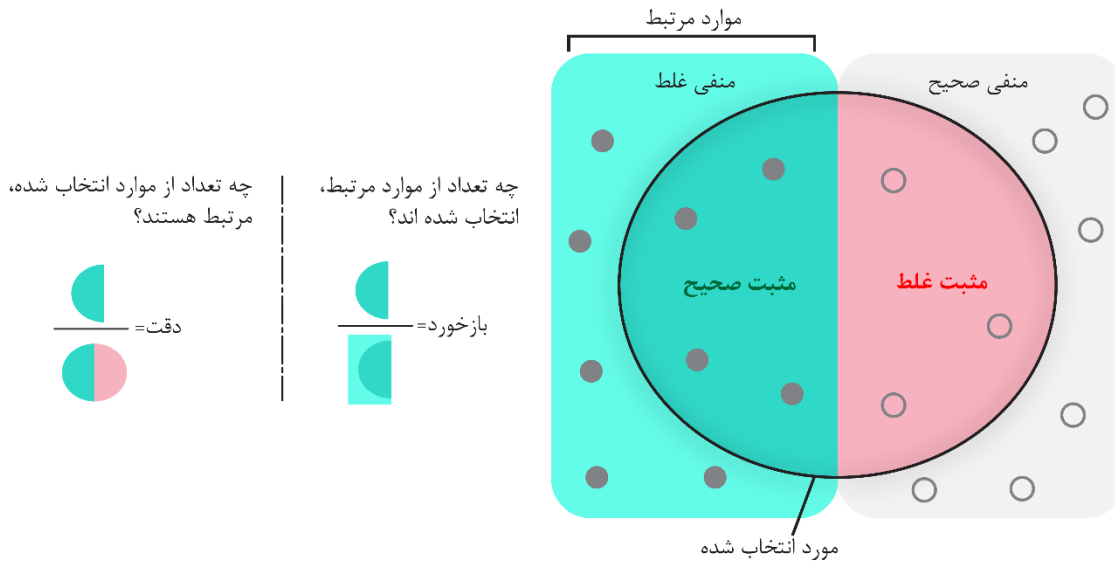
¹ Precision and Recall

² Confusion matrix

$$R = TP / (TP + FN)$$

(۴-۶)

در شکل ۳-۶ تفاوت ارزیابی به دو روش بازخورد و دقت به صورت مصور نمایش داده شده است.



شکل ۳-۶ تفاوت ارزیابی به دو روش بازخورد و دقت.

۳-۱-۶ معیار اف^۱

معیار اندازه‌گیری دیگری وجود دارد که می‌توان با آن دقت و بازخوانی را در مقابل هم سبک و سنگین کرد (Schutze, 2013). در حقیقت به جای دو معیار دقت و بازخوانی، می‌توان از یک معیار ترکیبی برای ارزیابی کارایی سیستم به نام معیار اف استفاده نمود (Kessler, 2012):

$$F = 2PR / (P + R)$$

(۵-۶)

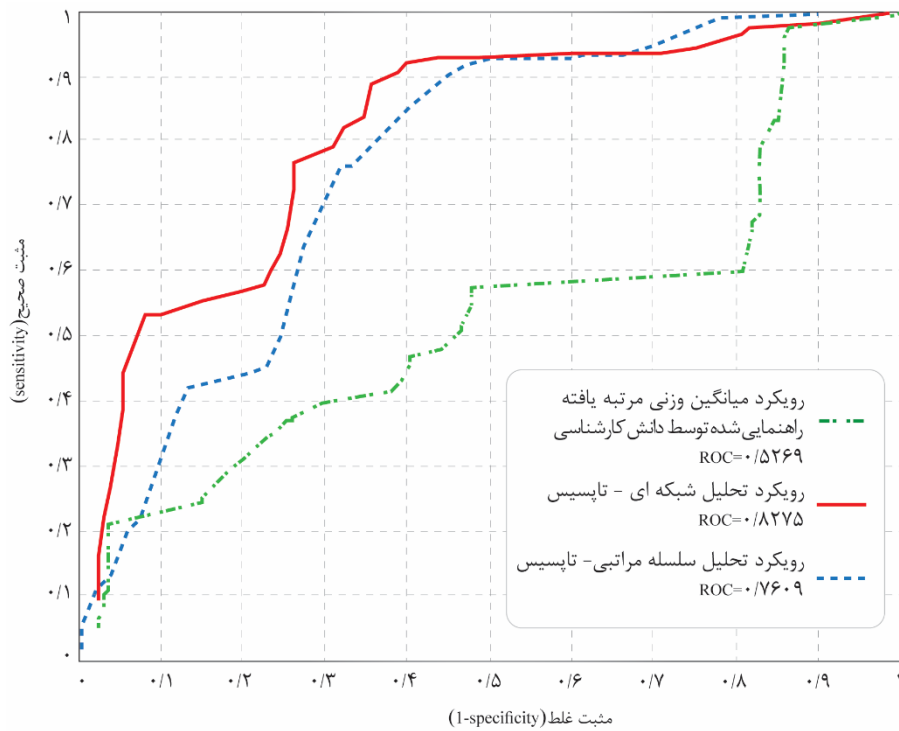
این معیار از معیارهای معمول ارزیابی است به خصوص در زمانی که مجموعه‌ها نامتعادل هستند. این معیار، به ویژه زمانی که موارد مرتبط به نظام بازخوانی اطلاعات اندک هستند (Ye, 2012) به معیارهای

^۱ F-measure

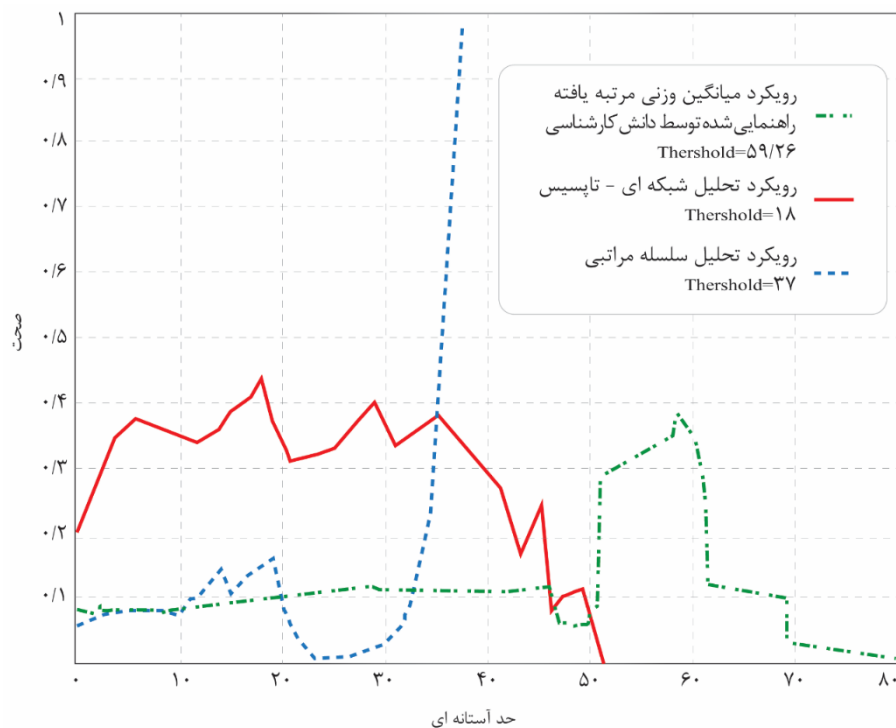
دقت ارجح هستند (Manning *et al.*, 2008). معیار اف در حقیقت میانگین هارمونیک بین دقت و بازخوانی است (Sasaki, 2007).

۶-۲ حاصل پیاده سازی روش

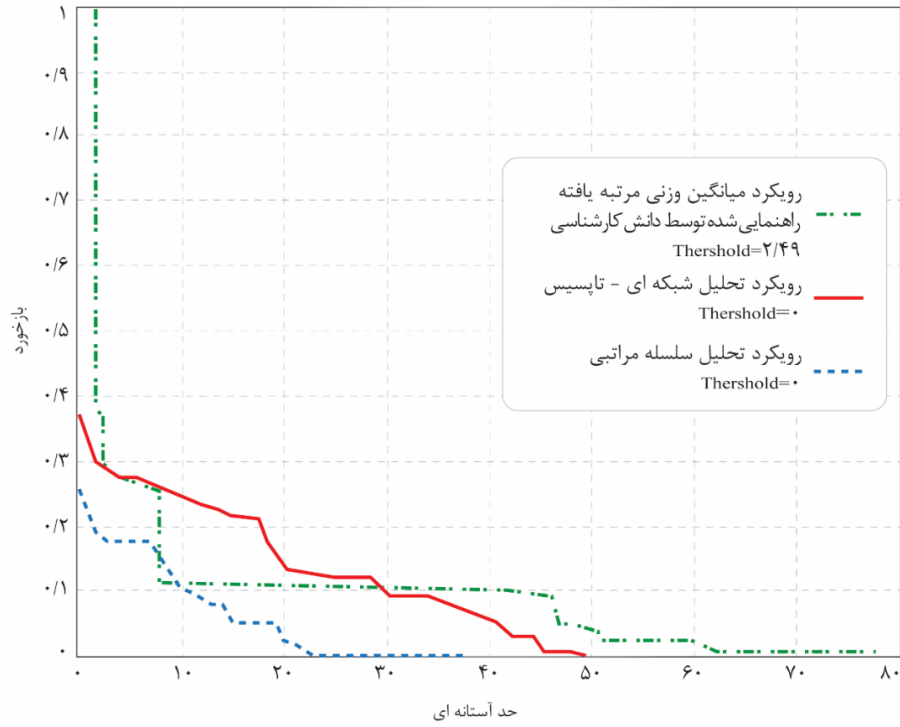
با توجه به خروجی هر روش مدل سازی، ماتریس‌های مربوطه آماده شد و بوسیله گدهای نوشته شده خروجی گرفته شد. در گد، میزان دقت، بازخوانی و توامان دقت-بازخوانی برای ارزش‌های مختلف خروجی مدل رصد می‌شود و بهترین آستانه برای رسیدن به بالاترین صحت در نتایج جستجو می‌شود. نتایج حاصل از خروجی هر رویکرد در نمودارهای موجود در شکل‌های ۶-۴ تا ۶-۷ به ترتیب برای مشخصه عملکرد سیستم، بازخورد، دقت و معیار اف آورده شده است. نتایج نشان می‌دهد که استفاده جداگانه از دقت و بازخورد نمی‌تواند معیار خوبی برای ارزیابی نتایج مدل به ما ارائه دهد زیرا در دو رویکرد مختلف ممکن است رفتار منحنی‌ها دوگانه و غیر قابل مقایسه باشد. زمانیکه از دقت و بازخوانی (معیار اف)، به صورت همزمان استفاده می‌کنیم، نسبت به زمانیکه از این معیارها به تنهایی استفاده می‌شود، می‌تواند نتایج بهتری داشته باشد.



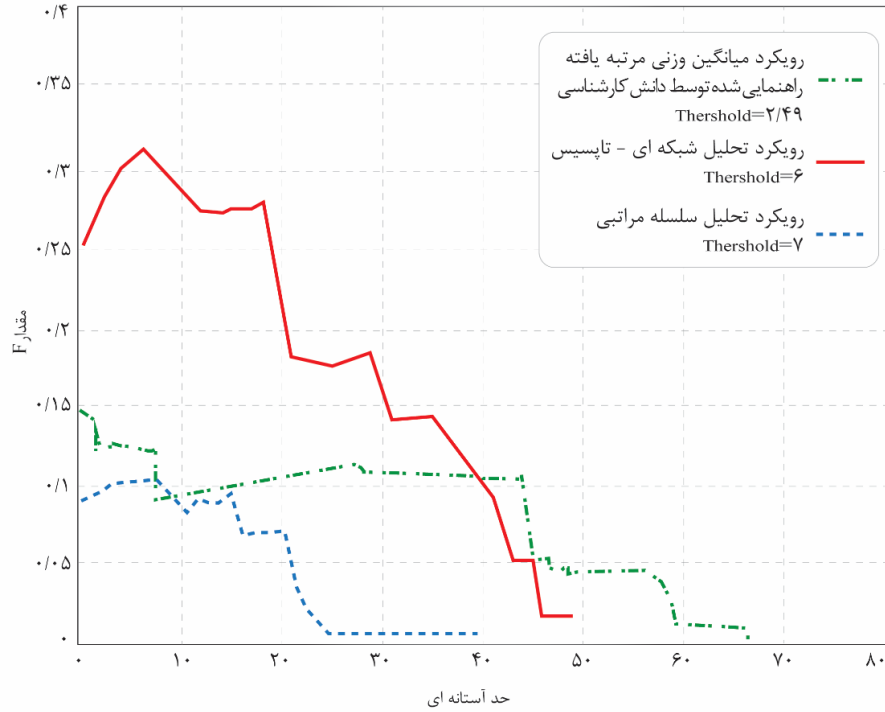
شکل ۴-۶ منحنی مشخصه عملکرد سیستم برای رویکردهای مختلف مدل سازی .



شکل ۵-۶ منحنی دقت برای رویکردهای مختلف مدل سازی در آستانه گذاری های مختلف.



شکل ۶-۶ منحنی بازخورد برای رویکردهای مختلف مدل سازی در آستانه گذاری های مختلف.



شکل ۶-۷ منحنی معیار اف برای رویکردهای مختلف مدل سازی در آستانه گذاری های مختلف و پیدا کردن آستانه ای که بالاترین مقدار F را دارد.

۳-۶ مقایسه و تحلیل نتایج مدل‌ها

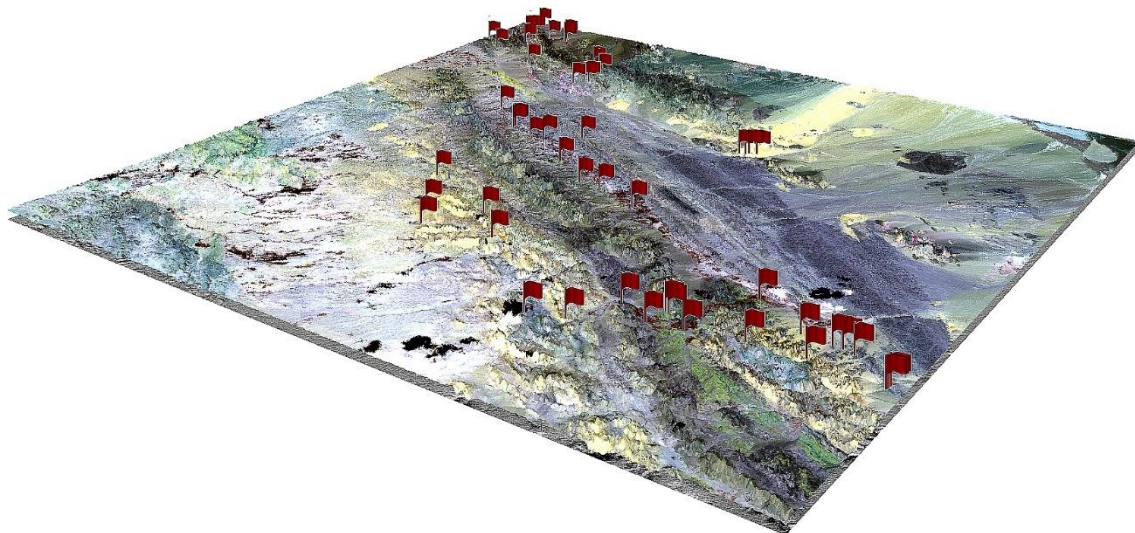
با توجه به شکل‌های ۴-۶ تا ۷-۶ بیشترین مقدار بازخورد، دقت و اف برای رویکردهای مختلف به دست آمده است. بالاترین میزان مشخصه عملکرد سیستم مربوط به رویکرد تحلیل شبکه‌ای- شباهت به گزینه ایده‌آل است (شکل ۴-۶) که برابر $0/8275$ است و بعد از آن رویکرد تحلیل سلسله مراتبی با $0/7609$ و سپس رویکرد میانگین وزنی مرتبه یافته راهنمایی شده توسط دانش کارشناسی که برابر با $0/5269$ است. لذا میزان تطابق رویکرد تحلیل شبکه‌ای- شباهت به گزینه ایده‌آل با واقعیات، از بقیه رویکردها بیشتر است. مضاف براین که بالاترین میزان اف در بین بقیه رویکردها متعلق به این رویکرد است (شکل ۷-۶). مساحت محدوده معرفی شده در رویکرد تحلیل سلسله مراتبی- شباهت به گزینه ایده‌آل برابر $1138/4$ کیلومتر مربع است و با استفاده از رویکرد تحلیل شبکه‌ای- شباهت به گزینه ایده‌آل $952/56$ کیلومتر مربع است. هرچند در رویکرد میانگین وزنی مرتبه یافته راهنمایی شده توسط دانش کارشناسی میزان مساحت محدوده معرفی شده حدود $851/6$ کیلومتر مربع است که میزان کمی است ولی میزان کم مساحت زیر منحنی مشخصه عملکرد سیستم در آن، کفه ترازوی قضاوت را به سمت رویکرد تحلیل شبکه‌ای- شباهت به گزینه ایده‌آل سنگین می‌کند (جدول ۲-۶).

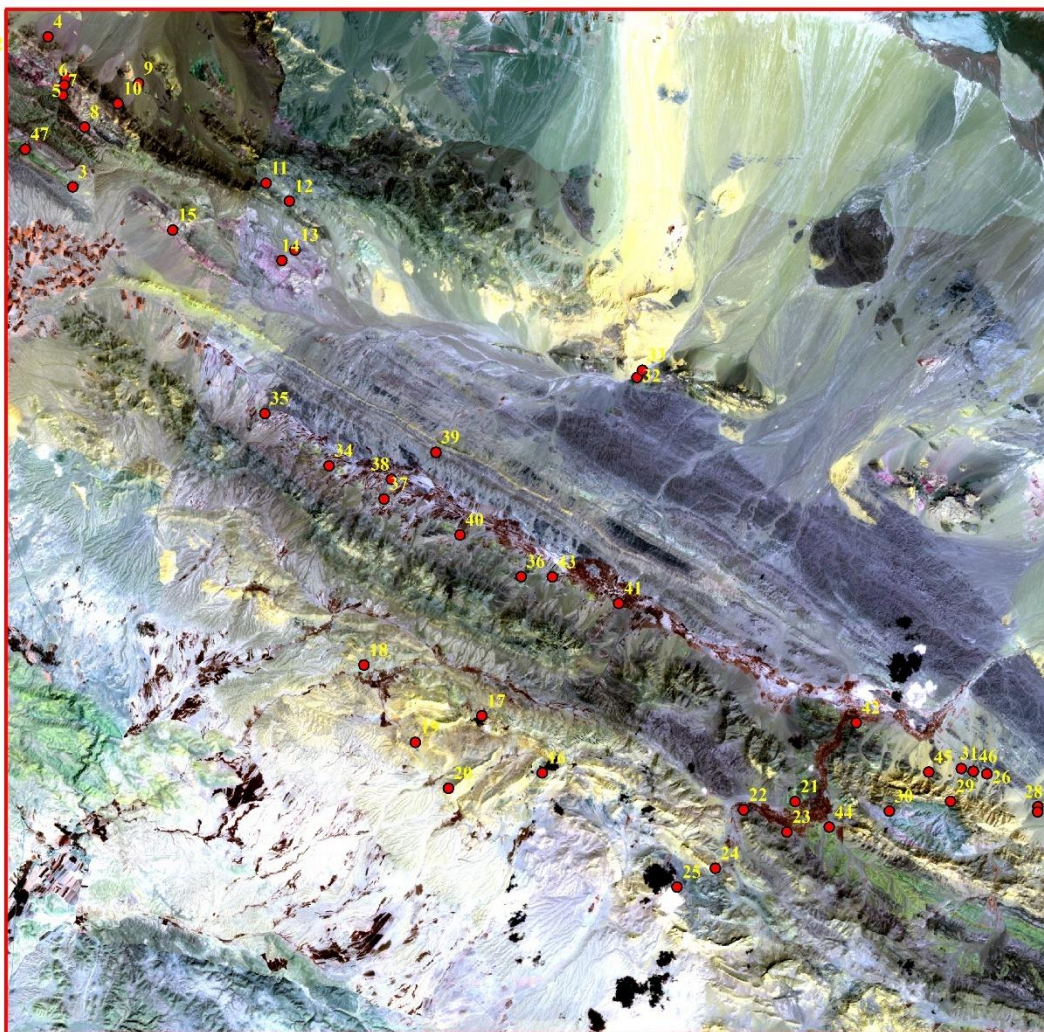
جدول ۲-۶ مقایسه نتایج حاصل از رویکردهای مختلف.

ROC	درصد اندیس‌های درست پیش‌بینی شده از کل	تعداد اندیس‌های درست پیش‌بینی شده	درصد از کل منطقه	مساحت محدوده معرفی شده	نام رویکرد
$0/5269$	۱۰۰	۱۵	$15/57$	$851/6$	Knowledge-guided OWA
$0/7609$	۸۰	۱۲	$15/46$	$1138/4$	AHP-TOPSIS
$0/8275$	۱۰۰	۱۵	$17/41$	$952/56$	ANP-TOPSIS

۴-۶ عملیات صحرائی

پس از مشخص شدن مناطق امیدبخش به وسیله مدل‌های مختلف، مجموعاً ۴۷ محدوده امیدبخش برای بازدید صحرائی و کنترل میدانی معرفی شد که در این مناطق، تعدادی معرفی شده توسط یک روش و تعدادی معرفی شده توسط چند روش مدلسازی مختلف بوده‌اند (شکل ۶-۸). در ذیل به شرح مختصری از بازدید چند محدوده امید بخش اشاره می‌شود و شرح کامل بازدید از تمامی محدوده‌ها به انضمام عکس‌های صحرائی، مقاطع و آنالیزهای منتخب، در پیوست الف و ب ارائه می‌شود:





شکل ۶-۸ موقعیت محدوده‌های صحرایی بازدید شده در منطقه مطالعاتی بوانات.

محدوده شماره ۵

این محدوده واقع در نزدیکی اسفندآباد می‌باشد که حاصل از مدلسازی به روش‌های ANP-TOPSIS و AHP-TOPSIS و AHP-OWA می‌باشد. لیتولوژی غالب منطقه آهک و دولومیت با لنزهای هماتیتی است. لنزهای عظیم هماتیتی بر بخش فوقانی آهک و متاولکانیک‌ها قرار دارند. تعداد سه نمونه در این محدوده برداشت گردید که مشخصات آنها در جدول ۶-۳ آورده شده است. شکل‌های ۶-۹ تا ۶-۱۰ تصاویر مشاهدات صحرایی انجام شده در محدوده را نشان می‌دهند.

جدول ۳-۶ لیست و مشخصات نمونه‌های برداشت شده.

ردیف	نام نمونه	لیتولوژی و مشاهدات
۱	Han-2	بخش هماتیته بالای متاولکانیک آتره
۲	Han-3	متاولکانیک دارای کالکوپیریت فراوان
۳	HanSec-4	متاولکانیک دارای کالکوپیریت فراوان



شکل ۹-۶ الف) لنزهای هماتیته بر روی آهک‌ها و متاولکانیک‌ها. ب) کانه‌زایی کالکوپیریت در یک متاولکانیک.



شکل ۱۰-۶ لنزهای عظیم هماتیته بر بخش فوقانی متاولکانیک‌ها.

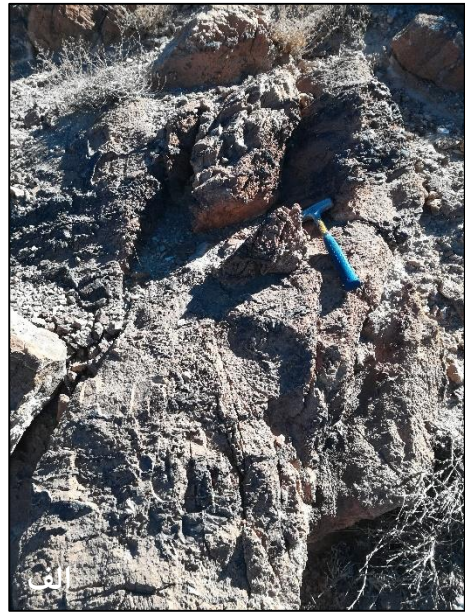
محدوده شماره ۹

این محدوده در نزدیکی اسفندآباد واقع است که حاصل از مدلسازی به روش‌های ANP-TOPSIS و AHP-TOPSIS و AHP-OWA می‌باشد. لیتولوژی غالب منطقه دولومیت سیلیسی شده با رگه‌های سیلیسی آهن‌دار، اسلیت، فیلیت، متاولکانیک و آندزیت است. دو تپه کوچک و یک تپه بزرگ با جنس

آهک و دولومیت شدیداً سیلیسی شده با رگه‌های سیلیسی جدیدتر آهن‌دار و بدون آهن (سفید) که در بخش‌هایی اکسید پیریت هم در متن سنگ دیده می‌شود. تعداد ۱۰ نمونه در این محدوده برداشت گردید که مشخصات آنها در جدول ۴-۶ آورده شده است. شکل ۶-۱۱ تصاویر مشاهدات صحرایی انجام شده در محدوده را نشان می‌دهد.

جدول ۴-۶ لیست و مشخصات نمونه‌های برداشت شده.

ردیف	نام نمونه	لیتولوژی و مشاهدات
۱	AAO-1	آهک روشن رنگ بدون آهن
۲	AAO-2	آهک آهن‌دار در متن سنگ
۳	AAO-3	آهک سیلیسی با رگه‌های متقاطع آهن‌دار
۴	AAO-4	رگه‌های آهن به صورت Chip Sampling
۵	AAO-5	آهک روشن رنگ بدون آهن
۶	AAO-6	رگه سیلیسی کاملاً روشن بدون آهن
۷	AAO-7	آهک روشن رنگ بدون آهن
۸	AAO-8	آهک روشن رنگ بدون آهن
۹	AAO-9	اسلیت و فیلیت سیلیسی شده حاوی اکسید پیریت
۱۰	AAO-10	اسلیت و فیلیت سیلیسی شده حاوی اکسید پیریت



شکل ۶-۱۱ الف) دولومیت و آهک شدیداً سیلیسی شده. ب) رگه‌های سیلیس متاخر که می‌تولند حاوی آهن و یا فاقد آن باشد.

محدوده شماره ۱۵

این محدوده واقع در نزدیکی دهبید می‌باشد که حاصل از مدلسازی به روش‌های ANP-TOPSIS و AHP-TOPSIS و AHP-OWA می‌باشد و یک معدن هماتیت با نام بژدانه می‌باشد. لیتولوژی غالب منطقه دولومیت با لنزهای آهن و همچنین ریولیت است. لایه کلیدی سیلیسی همانند چند محدوده قبلی به عنوان شاخص حضور آهن شناسایی شد. شکل ۶-۱۲ تصویر مشاهدات صحرایی انجام شده در محدوده را نشان می‌دهد.



شکل ۶-۱۲ سینه کار معدن.

محدوده شماره ۱۷

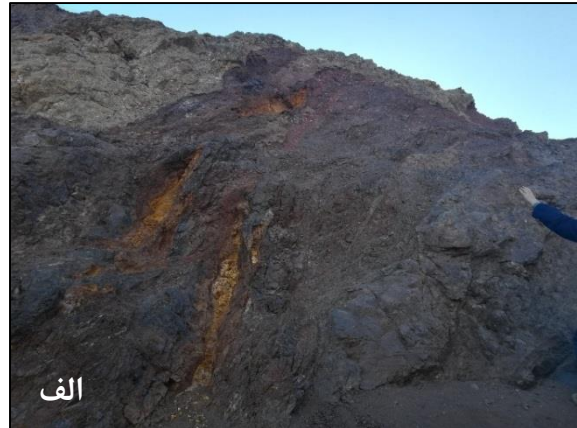
این محدوده واقع در نزدیکی قلعه سنگی می‌باشد که حاصل از مدلسازی به روش‌های AHP-TOPSIS و AHP-OWA و ANP-TOPSIS می‌باشد. این منطقه یک محدوده معدنی به نظر می‌رسد که است. لیتولوژی غالب منطقه آندزیت لاوا و لایه‌های توفی و در بخشی آهک است. کانه‌زایی منگنز و آهن (لیمونیت، هماتیت) در بخش آلتزه و همچنین مالاکیت در محدوده مشاهده می‌شود. تعداد سه نمونه در این محدوده برداشت گردید که مشخصات آنها در جدول ۵-۶ آورده شده است. شکل‌های ۶-۱۳ تا ۶-۱۴ تصاویر مشاهدات صحرایی انجام شده در محدوده را نشان می‌دهند.

جدول ۵-۶ لیست و مشخصات نمونه‌های برداشت شده.

ردیف	نام نمونه	لیتولوژی و مشاهدات
۱	Dar-1	بخش آلتزه لیمنیتی و هماتیتی
۲	Dar-2	بخش منگنزدار سیاه رنگ
۳	Dar-3	بخش منگنزدار قهوه‌ای رنگ



شکل ۶-۱۳ الف) کانه‌زایی مس مالاکیتی. ب) کانه‌زایی مس به همراه منگنز و آهن در بخشی شدیداً آلتزه.



شکل ۶-۱۴ الف) بخش منگنزدار. ب) کانه‌زایی مس.

محدوده شماره ۲۳

این محدوده واقع در نزدیکی سروستان می‌باشد که حاصل از مدلسازی به روش‌های ANP-TOPSIS و AHP-TOPSIS و AHP-OWA می‌باشد. لیتولوژی غالب منطقه آهک، لایه‌های توفی دگرگونی، فیلیت، سیلت استون دگرگونی و شیست سبز است. در این معدن متروکه کانه‌زایی مس مالاکیتی و همچنین کالکوپیریت، و لیمونیت در فیلیت و شیست سبز مشاهده شد. همچنین رگه‌های سیلیسی در بخش آلتزه دیده شد. تعداد سه نمونه در این محدوده برداشت گردید که مشخصات آنها براساس جدول ۶-۶ است. شکل ۶-۱۵ تصاویر مشاهدات صحرایی انجام شده در محدوده را نشان می‌دهد.

جدول ۶-۶ لیست و مشخصات نمونه‌های برداشت شده.

ردیف	نام نمونه	لیتولوژی و مشاهدات
۱	Maz-2	رگه لیمونیتی و آلتزه
۲	Maz-3	بخش مالاکیت، کالکوپیریت و اکسید آهن
۳	MazSec-4	بخش مالاکیت، کالکوپیریت و اکسید آهن



شکل ۶-۱۵ الف) کانه‌زایی مس مالاکیتی و کالکوپیریت و اکسید آهن. ب) آلتراسیون اکسید آهن.

محدوده شماره ۲۵

این محدوده واقع در نزدیکی کوپان می‌باشد که حاصل از مدلسازی به روش‌های ANP-TOPSIS و AHP-TOPSIS می‌باشد. لیتولوژی غالب منطقه ولکانیک و ولکانوکلاستیک کنگلومرای مرتبط به آهک تیره خاکستری است. کانه‌زایی اکسید آهن و منگنز و لاتریت در سطح وسیع در منطقه مشاهده می‌شود. واریزه‌های فراوان چرت وجود دارد. در بخش‌هایی سیلیسی شدن در حجم زیاد موجود است. در بخش بالایی آهک و در زیر آن آلتراسیون اکسید آهن هماتیته در بخش زیرین قرار دارد. تعداد یک نمونه در این محدوده برداشت گردید که مشخصات آنها براساس جدول ۶-۷ است. شکل‌های ۶-۱۶ تا ۶-۱۷ تصاویر مشاهدات صحرائی انجام شده در محدوده را نشان می‌دهند.

جدول ۶-۷ لیست و مشخصات نمونه‌های برداشت شده.

ردیف	نام نمونه	لیتولوژی و مشاهدات
۱	Ros-2	از بخش لاتریتی و اکسید آهن



شکل ۶-۱۶ (الف) بخش‌های آهن هماتیته. (ب) واریزه‌های فراوان چرت.



شکل ۶-۱۷ (الف) آغشتگی آهن. (ب) توالی لیتولوژی‌های مختلف.

محدوده شماره ۳۳

این محدوده واقع در نزدیکی بوانات می‌باشد که حاصل از مدلسازی به روش‌های ANP-TOPSIS و AHP-TOPSIS و AHP-OWA می‌باشد. لیتولوژی غالب منطقه شیست، اسلیت، متاولکانیک و آهک (کمپلکس کولی‌گش) است. تپه‌های مختلف با کانه‌زایی آهن هماتیته در رگه‌های سیلیسی در واحدهای آهکی و متاولکانیکها به وفور وجود دارد. بخش آهکی در بالای بخش‌های دیگر قرار دارد که در زیر آن عموماً برشی است. در طرف مقابل هم چندین تپه با مشخصات قبل وجود دارد. تعداد دو نمونه در این محدوده برداشت گردید که مشخصات آنها براساس جدول ۶-۸ است. شکل‌های ۶-۱۸ تا ۶-۱۹ تصاویر مشاهدات صحرائی انجام شده در محدوده را نشان می‌دهند.

جدول ۶-۸ لیست و مشخصات نمونه‌های برداشت شده.

ردیف	نام نمونه	لیتولوژی و مشاهدات
۱	AAO7-1	آهک و دولومیت لیمونیتی با رگه‌های آهن
۲	AAO7-2	از رگه‌های آهن‌دار



شکل ۶-۱۸ الف) رگه‌های آهن‌دار موجود در آهک‌ها. ب) تناوب متاولکانیک و بخش آهن‌دار.



شکل ۶-۱۹ رخنمون‌های آهن در بخش زیرین متاولکانیک.

محدوده شماره ۳۶

این محدوده واقع در نزدیکی شهر بوانات می‌باشد که حاصل از مدلسازی به روش‌های ANP-TOPSIS و AHP-TOPSIS و AHP-OWA می‌باشد. لیتولوژی غالب منطقه متادیوریت، متاگرانودیوریت، کالک شیست و فلدسپار شیست است. این محدوده یک معدن روباز ماسیوسولفاید با نام جیان است که به

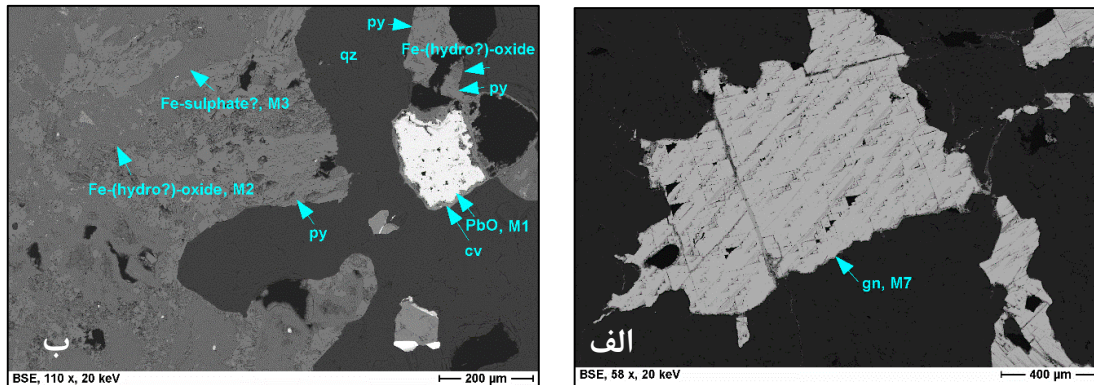
نوعی در منطقه شناخته شده و شاخص است. آلتراسیون‌های آرژیلیکی، اپیدوتی-کلریتی و سیلیسی قابل مشاهده است. ماده معدنی در مرز شیست و بخش آلتزه قرار گرفته است که به صورت پیریت، کالکوپیریت و به ندرت مالاکیتی دیده می‌شود. تعداد چهار نمونه در این محدوده برداشت گردید که مشخصات آنها در جدول ۹-۶ آورده شده است. شکل‌های ۶-۲۰ تا ۶-۲۲ تصاویر مشاهدات صحرایی انجام شده در محدوده را نشان می‌دهند.

جدول ۹-۶ لیست و مشخصات نمونه‌های برداشت شده.

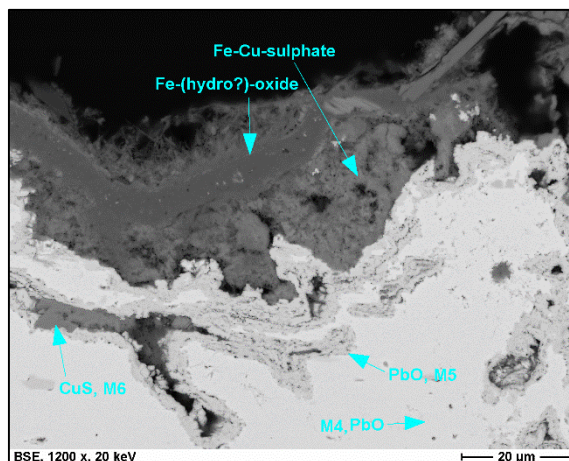
ردیف	نام نمونه	لیتولوژی و مشاهدات
۱	Su-1	بخش پیریت و کالکوپیریت‌دار
۲	Jyan-10	شیست پیریت‌دار
۳	Jyan-11	بخش آهن‌دار، گالن، مالاکیت، پیریت، بورنایت و لیمونیت دار
۴	Jyan-15	گرافیت شیست کاملاً سیلیسی



شکل ۶-۲۰ الف) کانه‌زایی گالن، پیریت، کالکوپیریت، بورنایت، مالاکیت و لیمونیت. ب) کانه‌زایی مس.



شکل ۶-۲۱ الف) کانه‌زایی گالن در داخل رگه سیلیسی. ب) کانه‌زایی پیریت، کالکوپیریت و هیدروکسید آهن در رگه سیلیسی.



شکل ۶-۲۲ کانه‌زایی کولین و هیدروکسید آهن.

محدوده شماره ۴۴

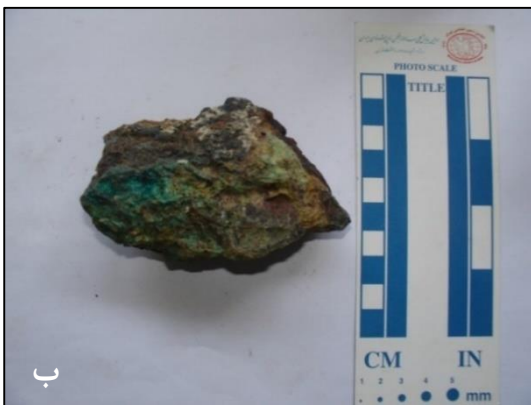
این محدوده واقع در معدن مزایجان (کوره مسی) می‌باشد که حاصل از مدلسازی به روش‌های ANP-TOPSIS و AHP-OWA می‌باشد. لیتولوژی غالب منطقه آهک، توف دگرگونی، فیلیت و سیلت استون دگرگونی است. بخش شدیداً آلتزه در کنار رگه سیلیسی دو متری که در اطراف آن مالاکیت‌زایی شده است. منگنز هم به صورت دندریتی دیده می‌شود. تونل قدیمی معدنکاری در محدوده وجود دارد. تعداد شش نمونه از این محدوده برداشت گردید که مشخصات آنها در جدول ۶-۱۰ آورده شده است. شکل های ۶-۲۳ تا ۶-۲۸ تصاویر مشاهدات صحرائی انجام شده در محدوده را نشان می‌دهند.

جدول ۶-۱۰ لیست و مشخصات نمونه‌های برداشت شده.

ردیف	نام نمونه	لیتولوژی و مشاهدات
۱	Mazay-21	بخش کالکوپیریت و پیریت‌دار
۲	Mazay-22	بخش شیست سیلیسی فاقد مس
۳	Mazay-23	بخش اکسید آهن درشت دانه و پر از پیریت
۴	Mazay-24	بخش اکسید آهن ریز دانه و پر از پیریت و مقداری مالاکیت
۵	Mazay-25	بخش سیلیسی مالاکیت‌دار
۶	Mazay-26	بخش سیلیسی مالاکیت‌دار تیره با منگنز بیشتر



شکل ۶-۲۳ الف) کانه‌زایی مس مالاکیتی. ب) کانه‌زایی اکسید آهن و مس.



شکل ۶-۲۴ الف) اکسید آهن دانه درشت. ب) کانه‌زایی مالاکیت و اکسید آهن دانه‌ریز.

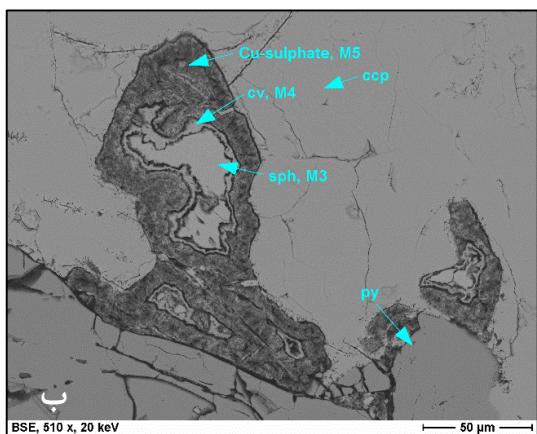


ب

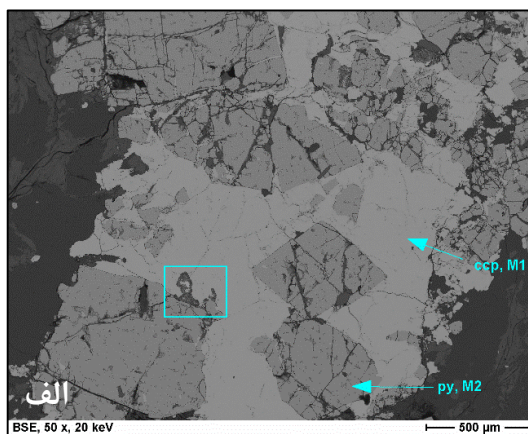


الف

شکل ۲۵-۶ الف) پیریت و کالکوپیریت توده‌ای. ب) کانه‌زایی ملاکیت به همراه منگنز.

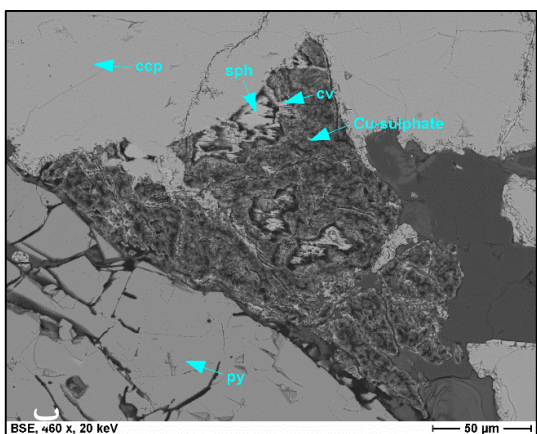


ب

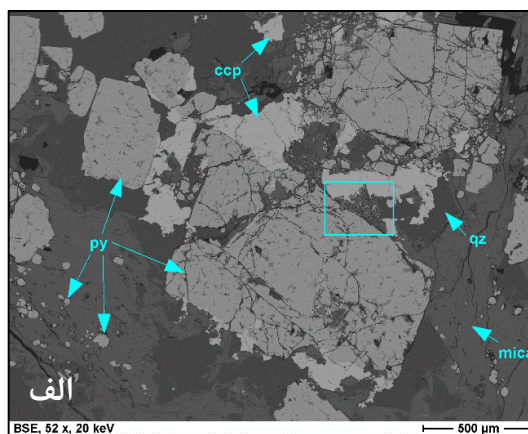


الف

شکل ۲۶-۶ الف) کانه‌زایی پیریت و کالکوپیریت. ب) کانه‌زایی کالکوپیریت، کوولین و اسفالریت.

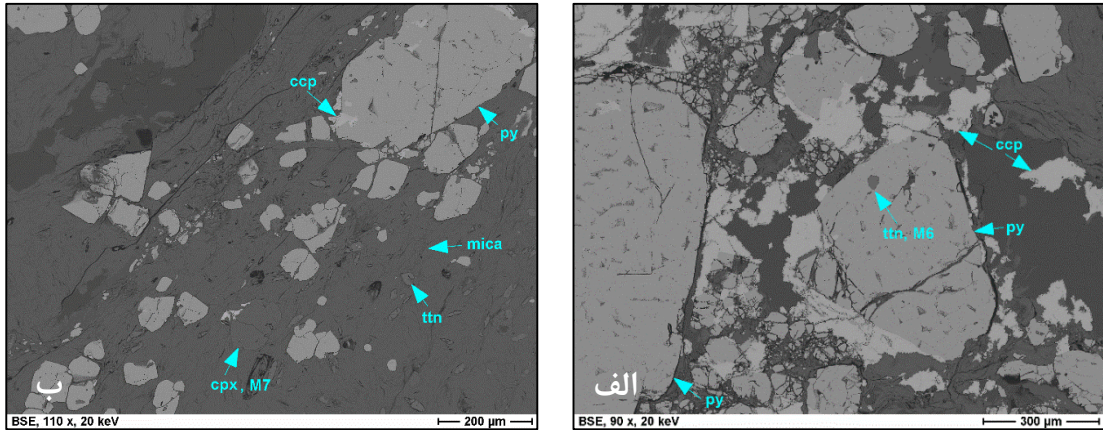


ب



الف

شکل ۲۷-۶ الف) کانه‌زایی پیریت، کالکوپیریت و میکا در متن سیلیسی. ب) کانه‌زایی کالکوپیریت، پیریت، کوولین و اسفالریت.



شکل ۶-۲۸ الف) کانه‌زایی کالکوپیریت، پیریت و تیتانیت. ب) شکل ۶-۴۴ کانه‌زایی کالکوپیریت، پیریت، تیتانیت و کلینوپیروکسن.

محدوده شماره ۴۷

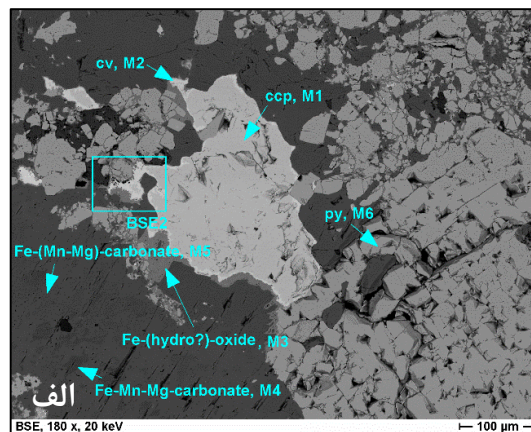
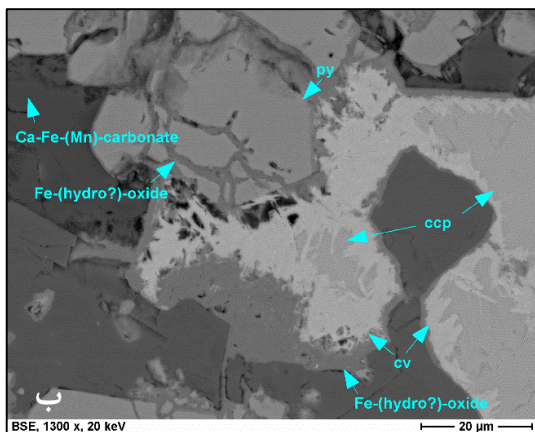
این محدوده در نزدیکی هنشگ واقع است و حاصل مدلسازی به روش‌های ANP-TOPSIS و AHP-OWA می‌باشد. لیتولوژی غالب منطقه اسلیت، شیست و متاولکانیک است. کانه‌زایی پیریت، کالکوپیریت به همراه کانه‌زایی آهن به وفور مشاهده می‌شود. تعداد سه نمونه در این محدوده برداشت شده که مشخصات آنها در جدول ۶-۱۱ آورده شده است. شکل‌های ۶-۲۹ تا ۶-۳۱ تصاویر مشاهدات صحرائی انجام شده در محدوده را نشان می‌دهند.

جدول ۶-۱۱ لیست و مشخصات نمونه‌های برداشت شده.

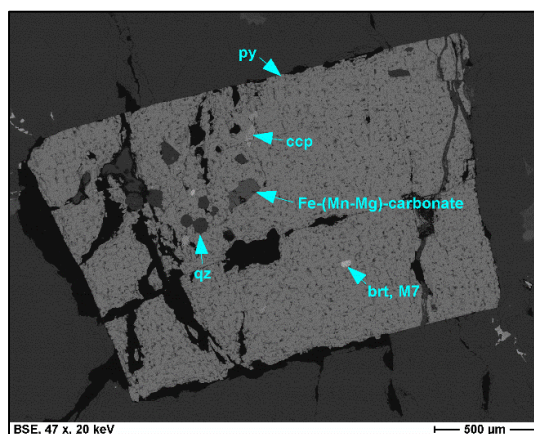
ردیف	نام نمونه	لیتولوژی و مشاهدات
۱	Hanesh-17	بخش شدیداً پیریت، کالکوپیریت و منگنز دار
۲	Hanesh-18	بخش شدیداً آلتره و زرد رنگ
۳	Hanesh-19	بخش قرمز رنگ به همراه آهن



شکل ۶-۲۹ الف) همراهی پیریت و کالکوپیریت فراوان در نمونه‌ها. ب) اکسید آهن قرمز رنگ.



شکل ۶-۳۰ کانه‌زایی پیریت و کالکوپیریت به مقدار فراوان در نمونه.



شکل ۶-۳۱ بلور پیریت به همراه کالکوپیریت، باریت و کربنات آهن-منیزیم.

جدول ۶-۱۲ به اختصار نمایانگر مشاهدات و نتایج صحرایی حاصل از کل محدوده‌های اکتشافی است.

جدول ۶-۱۲ مختصری از مشاهدات و نتایج بازدید صحرایی در کل محدوده‌های اکتشافی.

محدوده	روش مدل‌سازی	کانه‌زایی مشاهده شده
۱	ANP-TOPSIS	پیریت، کالکوپیریت و هماتیت
۲	AHP-OWA و ANP-TOPSIS	پیریت و کالکوپیریت
۳	AHP- و AHP-TOPSIS و ANP-TOPSIS OWA	آهن
۴	AHP-OWA	هماتیت
۵	AHP- و AHP-TOPSIS و ANP-TOPSIS OWA	هماتیت
۶	AHP- و AHP-TOPSIS و ANP-TOPSIS OWA	هماتیت
۷	AHP- و AHP-TOPSIS و ANP-TOPSIS OWA	آهن
۸	AHP- و AHP-TOPSIS و ANP-TOPSIS OWA	آهن
۹	AHP- و AHP-TOPSIS و ANP-TOPSIS OWA	اکسید پیریت و آهن
۱۰	AHP-TOPSIS و ANP-TOPSIS	هماتیت
۱۱	AHP-TOPSIS و ANP-TOPSIS	هماتیت
۱۲	AHP-TOPSIS و ANP-TOPSIS	هماتیت
۱۳	AHP- و ANP-TOPSIS و AHP-TOPSIS OWA	آهن
۱۴	AHP-OWA و AHP-TOPSIS	آهن
۱۵	AHP- و AHP-TOPSIS و ANP-TOPSIS OWA	هماتیت
۱۶	ANP-TOPSIS و AHP-TOPSIS	لاتریت و اکسید آهن
۱۷	ANP- و AHP-OWA و AHP-TOPSIS TOPSIS	منگنز و آهن (لیمونیت، هماتیت) و ملاکیت
۱۸	ANP-TOPSIS	فاقد کان‌زایی
۱۹	ANP-TOPSIS و AHP-TOPSIS	آهن، منگنز و رگه‌های سیلیسی
۲۰	ANP-TOPSIS	اکسید آهن و رگه‌های سیلیسی

رگه سیلیسی و مس مالاکیتی	AHP- و AHP-TOPSIS و ANP-TOPSIS OWA	۲۱
آغشتگی آهن	ANP-TOPSIS	۲۲
مس مالاکیتی، کالکوپیریت، لیمونیت و رگه‌های سیلیسی	AHP- و AHP-TOPSIS و ANP-TOPSIS OWA	۲۳
لاتریت، آهن هماتیته و لیمونیتی	AHP-TOPSIS و ANP-TOPSIS	۲۴
اکسید آهن، منگنز، لاتریت و سیلیسی شدن	AHP-TOPSIS و ANP-TOPSIS	۲۵
رگه‌های سیلیسی و مس مالاکیتی	ANP-TOPSIS	۲۶
رگه‌های سیلیسی عقیم	ANP-TOPSIS	۲۷
رگه‌های سیلیسی و کانه‌زایی سطحی آهن	ANP-TOPSIS	۲۸
آهن مگنتیتی	AHP-TOPSIS و ANP-TOPSIS	۲۹
آهن	AHP- و ANP-TOPSIS و ANP-TOPSIS OWA	۳۰
آهن و منگنز در سطح	AHP- و AHP-TOPSIS و ANP-TOPSIS OWA	۳۱
آهن غیراقتصادی و کم عیار	AHP- و AHP-TOPSIS و ANP-TOPSIS OWA	۳۲
آهن هماتیته در رگه‌های سیلیسی	AHP- و AHP-TOPSIS و ANP-TOPSIS OWA	۳۳
مگنتیت، هماتیت و منگنز حفره حفره و استوک ورکی به همراه رگه سیلیسی	ANP-TOPSIS	۳۴
-	AHP-OWA و ANP-TOPSIS	۳۵
پیریت، کالکوپیریت، گالن و مالاکیته	AHP- و AHP-TOPSIS و ANP-TOPSIS OWA	۳۶
مس مالاکیته در رگه سیلیسی، هماتیت، پیریت و بخش استوک ورکی	AHP-TOPSIS و ANP-TOPSIS	۳۷
اکسید آهن	ANP-TOPSIS	۳۸
کانه‌زایی خاصی مشاهده نشد	AHP-TOPSIS	۳۹
مس مالاکیته	AHP- و AHP-TOPSIS و ANP-TOPSIS OWA	۴۰
آهن و آغشتگی مس	AHP-OWA و AHP-TOPSIS	۴۱

اکسید آهن و مقدار کمی مالاکیت	AHP- و AHP-TOPSIS و ANP-TOPSIS OWA	۴۲
پیریت، کالکوپیریت، هماتیت، لیمونیت و مالاکیت	AHP-OWA	۴۳
رگه سیلیسی، کالکوپیریت، پیریت، مالاکیت و منگنز به صورت دندریتی	ANP-TOPSIS	۴۴
مالاکیت در رگه سیلیسی	AHP- و AHP-TOPSIS و ANP-TOPSIS OWA	۴۵
مالاکیت، پیریت و کالکوپیریت	AHP-TOPSIS و ANP-TOPSIS	۴۶
پیریت، کالکوپیریت به همراه کانه‌زایی آهن و منگنز	AHP- و AHP-TOPSIS و ANP-TOPSIS OWA	۴۷

با توجه به مشاهدات صحرایی، آنالیز آزمایشگاهی و مطالعات مقطع و SEM ارتباط مکانی محدوده‌های مختلف منطقه مورد مطالعه با یکدیگر در یک سیستم بزرگ کانه‌زایی ماسیوسولفاید، می‌تواند در جدول ۶-۱۳ خلاصه شود. به عبارتی، شواهد فوق میزان بالای شباهت هر محدوده اکتشافی را با یک بخش از یک سیستم ماسیوسولفاید نشان می‌دهد:

جدول ۶-۱۳ ارتباط مکانی محدوده‌های مختلف منطقه مورد مطالعه با یکدیگر در یک سیستم کانه‌زایی ماسیوسولفاید.

نام بخش	شماره محدوده اکتشافی
بخش ماسیوسولفاید مس	۳۶، ۳۷، ۴۲، ۴۳، ۴۴، ۴۶، ۴۷، ۲۳، ۲، ۱، ۵ و ۹
بخش ماسیوسولفاید سرب و روی	۳۶، ۲۳
بخش ماسیوسولفاید آهن	۳۶، ۳۸، ۴۱، ۴۲، ۴۳، ۴۴، ۴۵، ۴۷، ۱۹، ۲۰، ۲۱، ۲۳، ۳۰، ۲۹، ۲۶، ۱۵، ۱۳، ۱۲، ۳۳، ۳۴، ۸، ۲
بخش اکسیدهای آهن و منگنز	۳۶، ۳۸، ۴۱، ۴۲، ۴۳، ۴۴، ۴۵، ۴۷، ۱۶، ۲۵، ۲۴، ۱۷، ۱۸، ۱۹، ۲۰، ۲۲، ۲۱، ۲۳، ۳۰، ۲۹، ۲۶، ۳۱، ۲۸، ۱۳، ۱۴، ۱۵، ۱۲، ۳۲، ۳۳، ۳۴، ۸، ۳، ۲، ۱، ۴، ۵، ۶، ۷، ۹، ۱۱، ۱۰
بخش چرت، جاسپر و کریناتها	۲۵، ۱۹، ۳۷، ۳۸، ۴۴، ۴۶، ۱۷، ۱۸، ۲۰، ۲۳، ۳۰، ۳۱، ۱۴، ۳۳، ۳۲، ۳۴، ۱، ۴، ۵، ۶، ۹

بخش استوک وُرک‌های
کلریتی و سیلیسی

۳۷، ۴۱، ۴۲، ۳۶، ۴۲، ۴۴، ۴۵، ۴۷، ۱۹، ۲۰، ۳۰، ۲۶، ۳۳، ۳۴، ۲، ۱، ۹

بخش هماتیته و کلریتی

۳۶، ۳۸، ۴۱، ۴۲، ۴۳، ۴۴، ۴۵، ۴۷، ۱۶، ۲۵، ۲۴، ۱۷، ۱۸، ۱۹، ۲۰، ۲۲، ۲۱، ۲۳، ۳۰، ۲۹، ۲۶،
۳۱، ۲۸، ۱۳، ۱۴، ۱۵، ۱۲، ۳۲، ۳۳، ۳۴، ۸، ۳، ۲، ۴، ۵، ۶، ۷، ۹، ۱۱، ۳۷، ۴۱، ۴۲

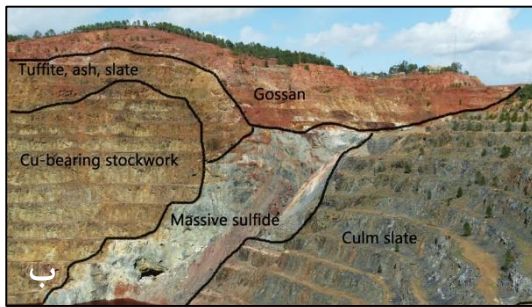
در شکل‌های ۳۲-۶ تا ۳۷-۶ نمونه‌هایی از شواهد ماسیوسولفاید مشاهده شده در محدوده اکتشافی (شکل الف) در مقایسه با نمونه تیپیک یک کانسار ماسیوسولفاید (شکل ب) آورده شده است.



شکل ۳۲-۶ زون استرینگر که در بالا بوسیله لایه‌های آهن پوشیده شده است.



شکل ۳۳-۶ بخش استوک ورکی موجود در نزدیکی توده اصلی.



شکل ۳۴-۶ پوشیده شدن بخش دگرگونی، سولفاید توده‌ای و استوک ورک توسط گوسن‌ها.



شکل ۳۵-۶ وجود بخش آهن‌دار در بالای بخش کاملاً آلتره.



شکل ۳۶-۶ بخش‌های آلتره مختلف از جمله کلریتی و لیمونیتی.



شکل ۶-۳۷ بخش استوک ورکی و مقایسه آن با استوک ورک موجود در معدن ویندی کراگی در بریتیش کلمبیا.

گزارش عملیات صحرایی تمامی محدوده‌ها و آنالیزهای آزمایشگاهی منتخب، در بخش پیوست الف و ب آورده شده است.

۵-۶ نمودار شاخص دگرسانی ایشی کاوا^۱ حاصل از نتایج آنالیزهای آزمایشگاهی

نمایش نموداری شاخص دگرسانی ایشی کاوا در مقابل شاخص کلریت-کربنات-پیریت^۲ به نام نمودار جعبه یا باکس پلات^۳ نامیده می‌شود. این نمودار برای توصیف روند تغییرات مختلف مربوط به ذخایر ماسیوسولفاید و برای کمک به تشخیص دگرسانی‌های هیدروترمال مرتبط با سولفیدهای توده‌ای از دگرسانی‌های حاصل از فرایندهای دیاژنتیکی ناحیه‌ای استفاده می‌شود (Theart *et al.*, 2001; Large *et al.*, 2011). این ابزار، یک ابزار قدرتمند برای درک ارتباط بین کانی شناسی، ژئوشیمی سنگ و شدت دگرسانی در سیستم های دگرسانی منطقه‌بندی شده مرتبط به ذخایر ماسیوسولفاید است و به اکتشاف‌گران در تعیین برای حرکت به مرکز سیستم کانه‌زایی کمک می‌کند (Large *et al.*, 2001).

$$AI = 100(K_2O + MgO) / (K_2O + MgO + Na_2O + CaO) \quad (۶-۶)$$

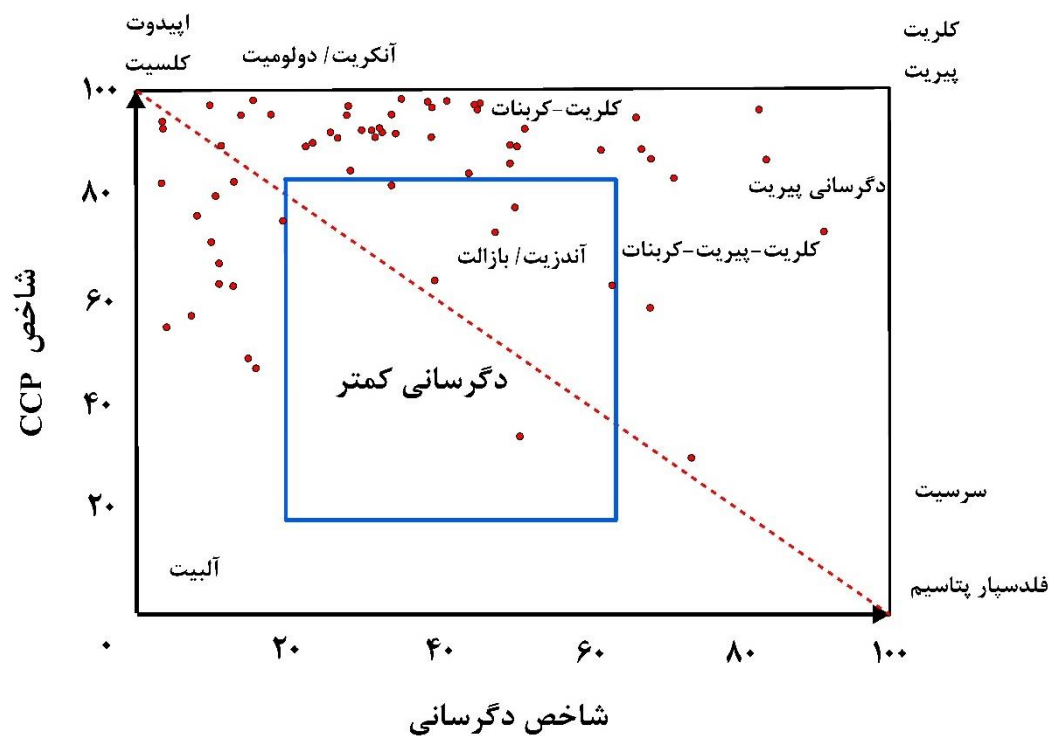
$$CCPI = 100 (MgO + FeO) / (MgO + FeO + Na_2O + K_2O) \quad (۷-۶)$$

^۱ Ishikawa Alteration Index (AI)

^۲ Chlorite-Carbonate-Pyrite Index (CCPI)

^۳ Box plot

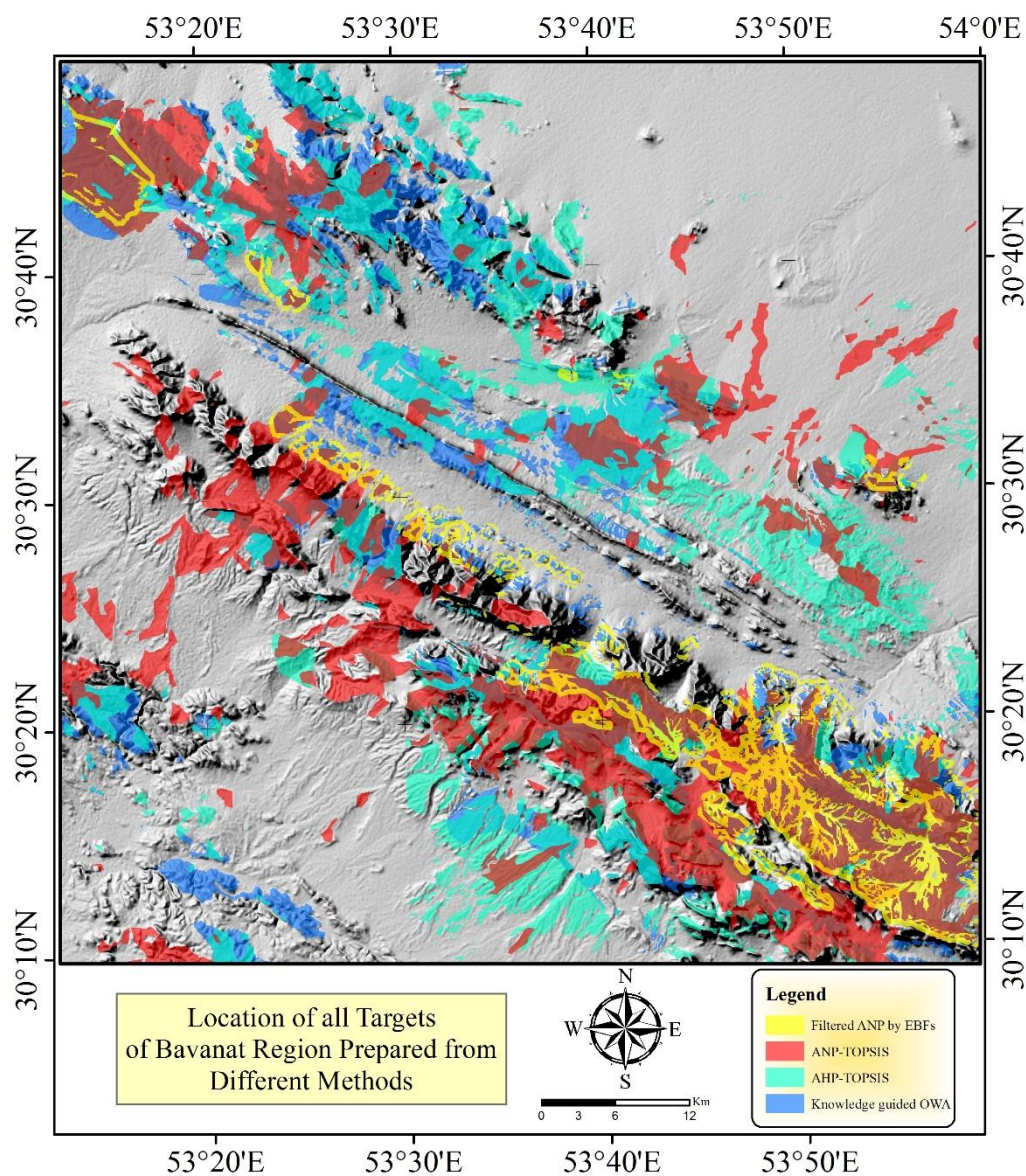
با توجه به شکل ۶-۳۸، نمودار باکس پلات نمونه‌ها نشان می‌دهد که بیشتر نمونه‌ها از بخش دگرسان شده (بخش بالای خط جداکننده قرمز) برداشت شده است و فعالیت‌های هیدروترمال مسبب پیدایش آنها است. نمونه‌های دیگر که با تعداد کمتر در بخش پایین خط قرمز قرار دارند، از سنگ میزبان و از بخش غیرآلتره برداشت شده است و حاصل فرایندهای معمول دیاژنز هستند. در بخش بالایی نمودار، هر چقدر به سمت گوشه بالا سمت راست می‌رویم، به مرکز لنز ماسیوسولفاید و بخش پر پیریت نزدیک می‌شویم. با توجه به این که نمونه‌ها از سطح برداشت شده است و نمونه‌ها حاصل از عملیات حفاری عمیق نیست، با مرکز لنز، مقداری فاصله دارد که این موضوع در نمودار قابل مشاهده است.



شکل ۶-۳۸ نمودار باکس پلات نمونه‌های برداشت شده

۶-۶ مقایسه محدوده‌های معرفی شده توسط رویکردهای مختلف

با توجه به نتایج و خروجی رویکردهای مختلف، مشاهده می‌شود که مساحت محدوده‌های معرفی شده توسط رویکرد تحلیل شبکه‌ای شباهت به گزینه ایده‌آل، به وسیله رویکرد دمپستر-شیفر تصحیح شده توسط دانش، کاهش چشمگیری پیدا می‌کند. این موضوع به دلیل این است که موضوع عدم قطعیت در تصمیم‌گیری دخالت داده شد و مناطق با عدم قطعیت بالا حذف شد. این موضوع در شکل ۶-۳۹ و جدول ۶-۱۴ قابل مشاهده است.



شکل ۶-۳۹ مقایسه بصری نتایج حاصل از رویکردهای مورد استفاده.

جدول ۶-۱۴ مقایسه آماری نتایج حاصل از رویکردهای مورد استفاده.

ردیف	نام رویکرد	پیشنهادی مساحت محدوده (کیلومتر مربع)	درصد صحت پیش‌بینی صحت درست	ROC/صحت
۱	Knowledge guided OWA	۸۵۱/۶	۱۰۰	۰/۵۲۶۹
۲	AHP-TOPSIS	۱۱۳۸/۴	۸۰	۰/۷۶۰۹
۳	ANP-TOPSIS	۹۵۲/۵۶	۱۰۰	۰/۸۲۷۵
۴	Filtered ANP by EBFs	۲۰۶	-	٪۸۹

۶-۷ جمع‌بندی

با توجه به نتایج دو روش اعتبارسنجی، رویکرد تحلیل شبکه‌ای- شباهت به گزینه ایده‌آل بیشترین تطابق با اندیس‌ها و معادن شناخته شده و همچنین کانه‌زایی‌های تاکنون شناخته نشده را دارا است که این موضوع به دلیل وجود ابزار مناسب مدل نمودن ارتباطات معیارها و زیرمعیارها در سطح یک و دو است. همچنین با توجه به مدلسازی عدم قطعیت و ورود نتایج آن در رویکرد تحلیل شبکه‌ای- شباهت به گزینه ایده‌آل (با عدم قطعیت تصحیح شده‌است)، نتایج آن تطابق بیشتری با کانه‌زایی‌های موجود در محدوده مورد مطالعه دارد که این به دلیل ورود عدم قطعیت در معیارهای تصمیم‌گیری است.

استفاده از روش اعتبارسنجی مشخصه عملکرد سیستم، نتایج خوبی حاصل می‌کند ولی با توجه به مبانی این روش، این تردید وجود دارد که شاید در مناطقی که معدن و اندیسی وجود ندارد، نتایج قابل اعتماد نباشد. برای حل این مشکل می‌توان از روش معیار اف استفاده کرد که در آن هم از مناطق کانه‌زا و هم غیرکانه‌زا استفاده می‌شود و به صورت توأم می‌توان معیارهای صحت و بازخوانی را رصد کند. علاوه بر موارد فوق در این روش و با استفاده از کد تهیه شده می‌توان مقادیر مناسب جهت آستانه‌گذاری بخش آنومال را نیز مشخص کرد.

فصل ہفتم

پیچہ گیری و پیشہادات

۷-۱ نتیجه گیری

هدف اصلی این رساله، استفاده از رویکردی است که همزمان بتواند مساحت فضای جستجوی پیشنهادی را به همراه افزایش دقت، کاهش دهد. این افزایش و کاهش توامان می‌تواند زمان انجام پروژه را کم کرده و هزینه انجام آن را نیز، با کاهش مواجه کند.

در روش عملگر میانگین وزنی مرتبه یافته، با ورود مقدار عدم قطعیت ذهن تصمیم گیرنده (α) در رویکرد داده محور عملگر میانگین وزنی مرتبه یافته، میزان پیش‌بینی صحیح اندیس‌ها از $66/67\%$ تا 100% تغییر می‌کند (برای مقادیر مختلف α از بسیار خوش بینانه تا بسیار بدبینانه). مساحت محدوده پیشنهادی برای اکتشاف بیشتر از حدود 599 کیلومتر مربع تا 3730 کیلومتر مربع برای مقادیر مختلف α است. با استفاده از رویکرد تحلیل سلسله مراتبی- عملگر میانگین وزنی مرتبه یافته (ترکیبی از دانش و داده)، میزان پیش‌بینی درست برای مقادیر مختلف α به میزان $73/33\%$ - 100% افزایش یافت. در رویکرد تحلیل سلسله مراتبی- عملگر میانگین وزنی مرتبه یافته با تغییر متغیرهای زبانی فازی و با توجه به مدل مفهومی، نتایج بهبود می‌یابد. با انتخاب α مناسب، تمامی کانسارهای کشف شده با دقت 100% به وسیله رویکرد تحلیل سلسله مراتبی- عملگر میانگین وزنی مرتبه یافته راهنمایی شده درست پیش-بینی شده است. نکته قابل توجه این است که منطقه پیشنهاد شده توسط این رویکرد از نظر مساحت، نصف مساحت مناطق پیش‌بینی شده توسط رویکردهای صرفاً مبتنی بر دانش یا صرفاً مبتنی بر داده است. هنگامیکه درصد مساحت منطقه پیشنهاد شده افزایش می‌یابد، درصد کانسارهای شناخته شده معرفی شده، افزایش خواهد یافت. پس از رسیدن به یک نقطه، اگر منطقه پیشنهاد شده بیش از $1197/75$ کیلومتر مربع افزایش یابد، درصد کانسارهای شناخته شده معرفی شده، افزایش نمی‌یابد. این نکته می‌تواند به عنوان بهترین نقطه برای منطقه پیشنهاد شده در این رویکرد مورد استفاده قرار گیرد. پس از مقایسه مناطق پیشنهادی با رویکرد تحلیل سلسله مراتبی- عملگر میانگین وزنی مرتبه یافته ($1197/75$ کیلومتر مربع) و رویکرد جدید عملگر میانگین وزنی مرتبه یافته مبتنی بر دانش

کارشناسی (۸۵۱/۶ کیلومتر مربع)، می توان نشان داد که به دلیل دخالت بیشتر دانش اکتشافی در تنظیم عملگرهای فازی، رویکرد جدید عملگر میانگین وزنی مرتبه یافته مبتنی بر دانش کارشناسی دارای نتایج بهتری از رویکردهای قبلی است. با استفاده از رویکرد تحلیل سلسله مراتبی- عملگر میانگین وزنی مرتبه یافته، در مقایسه با رویکرد عملگر میانگین وزنی مرتبه یافته، ۹٪ از منطقه پیشنهادی جستجو را کاهش دادیم. این رویکرد همچنین دقت نتایج را تا ۹ درصد در مقایسه با رویکرد عملگر میانگین وزنی مرتبه یافته، افزایش داده است. این رویکرد در مقایسه با سایر رویکردهای دانش محور مانند تحلیل سلسله مراتبی، منطقه جستجو پیشنهادی را ۱٪ کاهش داد و دقت نتایج را ۱۴٪ افزایش داد. با استفاده از متغیرهای زبانی فازی و با توجه به مدل مفهومی این تیپ کانسار، رویکرد جدید عملگر میانگین وزنی مرتبه یافته مبتنی بر دانش کارشناسی تمامی کانسارهای کشف شده قبلی را با دقت ۱۰۰٪ پیش بینی کرد. منطقه پیشنهاد شده به نصف مساحت قسمت قبلی پیشنهاد شده (۸۵۱/۶ کیلومتر مربع) کاهش یافت.

در استفاده از رویکرد دمپستر- شیفر تصحیح شده با دانش، در مجموع از ۴۵ محدوده قابل دسترسی، ۴۰ مورد توسط تحلیل توابع اعتقاد شهودی درست پیش بینی شده است که این موضوع دقت و صحت بالای نتایج این رویکرد را نشان می دهد. دقت طبقه بندی این رویکرد برابر با ۸۹٪ بوده است که با توجه به استفاده از عملگر بدبینانه And در مرحله تلفیق نهایی، بسیار قابل اعتماد است. این میزان با استفاده از عملگر Or به دقت ۹۵/۴۶٪ می رسد و مساحت محدوده معرفی شده در حالت And، تا ۲۰۶ کیلومتر مربع کاهش داشته است. با توجه به نتایج حاصل از این رویکرد اگر منحنی مشخصه عملکرد سیستم ترسیم شود، مساحت زیر منحنی برابر عدد ۰/۷۶۲۹ خواهد بود که این مقدار با توجه به این که با داده های آزمایشی محاسبه شده است نه داده های آموزشی، مقدار مناسبی از صحت نتایج را نشان می دهد. نکته حائز اهمیت این است که داده های مورد استفاده در تهیه منحنی مشخصه عملکرد سیستم تابع اعتقاد، داده های آزمایشی هستند نه داده های آموزشی ولی در رویکردهای دیگر از داده های آموزشی این روش استفاده شده است که این موضوع نشانگر نتایج بسیار مناسب این رویکرد است.

نتایج تحقیق نشان می‌دهد که محدوده‌های پیشنهادی توسط رویکرد تحلیل شبکه‌ای - شباهت به گزینه ایده‌آل در مقایسه با روش تحلیل سلسله مراتبی - شباهت به گزینه ایده‌آل که هر دو رویکرد دانش محور هستند، دارای صحت بیشتر و همچنین مساحت کمتری است. بر اساس این نتایج، میزان مساحت محدوده‌های پیشنهادی با استفاده از این رویکرد از $1138/4$ کیلومتر مربع در رویکرد تحلیل سلسله مراتبی به $925/6$ کیلومتر مربع در رویکرد تحلیل شبکه‌ای، 17% درصد کاهش و میزان صحت نتایج بیش از 6% افزایش پیدا کرده است. شاخص منحنی مشخصه عملکرد سیستم برای رویکرد تحلیل سلسله مراتبی برابر $0/7609$ بوده که بوسیله رویکرد تحلیل شبکه‌ای به $0/8275$ بهبود یافته است.

با توجه به توضیحات فوق، نتایج اصلی حاصل از این تحقیق به صورت ذیل قابل ارائه است:

- رویکرد تحلیل سلسله مراتبی - عملگر میانگین وزنی مرتبه یافته نتایج بهتری نسبت به روش صرفاً داده محور عملگر میانگین وزنی مرتبه یافته از خود نشان می‌دهد و موید این موضوع است که با ورود مقداری دانش کارشناسی بیشتر در بخش تحلیل سلسله مراتبی این رویکرد، میزان صحت و دقت نتایج بالاتر می‌رود.
- نتایج نشان می‌دهد، روش ترکیبی با رویکرد تحلیل سلسله مراتبی - عملگر میانگین وزنی مرتبه یافته مبتنی بر دانش کارشناسی، نتایج معتبرتری را نسبت به روش‌های صرفاً مبتنی بر دانش و یا مبتنی بر داده به دست آورد.
- در استفاده از رویکرد دمپستر - شیفر تصحیح شده با دانش نتیجه گرفته می‌شود که با استفاده از نقشه‌های تصحیح شده به جای نقشه‌های اصلی، نتایج بهتری در تولید نقشه‌های تابع برآورد برای هر شاهد حاصل می‌گردد و همچنین روش داده محور تصحیح شده بوسیله دانش کارشناسی، نتایج بهتری نسبت به حالتی که صرفاً از روش‌های داده محور استفاده شده، در تولید نقشه‌های تلفیق شده از شواهد مختلف خواهد داشت.

- رویکرد تحلیل شبکه‌ای- شباهت به گزینه ایده‌آل نتایج قابل قبول تری نسبت به رویکرد تحلیل سلسله مراتبی- شباهت به گزینه ایده‌آل در تولید نقشه‌های نواحی امیدبخش معدنی نشان می‌دهد. علت این موضوع، وجود روابط بین زیر معیارهای یک خوشه و تعامل میان معیارهای مختلف و همچنین بهینه شدن اولویت‌ها به وسیله بازخورد است.
- مسائل مرتبط با تصمیم‌گیری در نقشه‌های نواحی امیدبخش معدنی به‌تنهایی بوسیله ساختار سلسله مراتبی قابل مدل نمودن نیست زیرا که شرط یک طرفه بودن ارتباطات در این رویکرد، پیش فرض است و معیارهای اکتشافی بعضاً ارتباط دوطرفه دارند.
- با توجه به این که رویکرد تحلیل شبکه‌ای- شباهت به گزینه ایده‌آل یک رویکرد دانش محور است، آماده سازی اولیه مدل مفهومی که بتواند مشخصات کانسارهای تیپ منطقه را به خوبی نشان دهد، بسیار اهمیت دارد.
- نتایج در بخش مدل سازی عدم قطعیت به وسیله رویکرد دمپستر- شیفر داده محور تصحیح شده به وسیله دانش، بسیار امیدبخش بوده و اعمال نتایج این رویکرد بر روی نتایج تحلیل شبکه‌ای- شباهت به گزینه ایده‌آل، صحت نتایج را بسیار بالا می‌برد؛ تا جاییکه میزان ضریب منحنی مشخصه عملکرد سیستم محاسبه شده به وسیله داده‌های آزمایشی نیز عددی بالا و نزدیک به عدد محاسبه از رویکرد تحلیل سلسله مراتبی- شباهت به گزینه ایده‌آل است.
- عموماً در بخش‌های مختلف یک سیستم ماسیوسولفاید معدنکاران در حال برداشت بخش‌های فوقانی آهن این سیستم هستند که این موضوع اهمیت اکتشافات عمقی را در منطقه افزایش می‌دهد.
- همانطور که محققین قبلی نیز اذعان داشته‌اند، به دلیل پوشیده بودن ذخایر بوسیله رسوبات و آبرفت در منطقه مورد مطالعه، رخنمون کمتری از کانه‌زایی در سطح دیده می‌شود. این موضوع تاحدی بر مقدار عددی مشخصه عملکرد سیستم نهایی تاثیر داشته

و باعث کاهش آن می‌شود که البته در هر دو روش تلفیق، یکسان بوده و به برتری نسبی هر روش به دیگری تاثیری ندارد ولی در مناطقی که کانه‌زایی رخنمون‌های بیشتری دارد، به عبارت دیگر، عملیات اکتشافی قبلی منجر به اکتشاف رخنمون‌های بیشتری شده است، رویکرد تحلیل شبکه‌ای می‌تواند مشخصه عملکرد سیستم بیشتری را نتیجه‌گیری نماید.

۲-۷ پیشنهادات

در پایان، پیشنهادات ذیل برای مطالعات آینده ارائه می‌شود:

- تحقیق بیشتر در مدل‌سازی و ارزیابی عدم قطعیت در ارتباط با مدل‌های پیشگوی پتانسیل‌های معدنی ضروری به نظر می‌رسد. اگرچه استفاده از تابع برآورد مخصوصاً با روش داده محور تصحیح شده به‌وسیله دانش، در مدل نمودن عدم قطعیت، نتایج بسیار مثبتی ارائه می‌دهد، اما مطالعات وسیع‌تر و بیشتری در ردیابی و رصد انتشار عدم قطعیت از نقشه‌های ورودی به نقشه خروجی ضروری به نظر می‌رسد. که این موضوع، تحقیق بسیار جالب و جذابی خواهد بود.
- باتوجه به این‌که عملگرهای قانون ترکیب دمستر- شیفر فقط شامل عملگرهای AND و OR است و استفاده از عملگرهای دقیق‌تر تئوری فازی در مدل‌سازی داده‌های اکتشافی امری اجتناب ناپذیر است، به نظر می‌رسد که انجام توسعه در ایجاد تنوع در عملگرهای این روش ترکیب می‌تواند بسیار سودمند باشد.
- در بخش رویکرد تحلیل شبکه‌ای که نتایج قابل قبولی بدست آمده است، پیشنهاد می‌شود که با رویکرد میانگین وزنی مرتبه یافته به صورت ترکیبی استفاده شود. نتایج می‌تواند جالب و پربار باشد.

- در منطقه مورد مطالعه رسوبات کف اقیانوس که به صورت ثانویه بر روی ولکانیک‌های خروجی و لنزهای ماسیوسولفاید کف اقیانوس را پوشانده‌اند، کار اکتشاف و مشاهده مستقیم رخنون را مشکل کرده است که در صورت نبود چنین مورد پوشاننده و مزاحمی، میزان موفقیت در بازدید صحرائی بیشتر از این هم می‌شد. اما نکته مهم این است که در بیشتر مناطق پیشنهادی عموماً نشانه‌های حضور ماده معدنی و لنز ماسیوسولفاید در عمق دیده می‌شود که از این موارد می‌توان به حضور کفه‌های آهن‌دار بخش فوقانی یک توده، شکستگیهای پرشده سولفیدی، کفه های سیلیسی فوقانی، چرت و همچنین معادن فعال هماتیت و مگنتیت اشاره کرد. پیشنهاد می‌شود برای دسترسی به کلید راهنمای بخش سولفیدی که عمدتاً در زیر رسوبات و یا بخش‌های آهن‌دار مدفون هستند (احتمالاً به صورت جانبی)، روش ژئوفیزیک مگنتومتري و همچنین پس از آن در نقاط آنومال، حفاری عمقی و گریز صورت پذیرد تا اکتشاف دقیق‌تری در عمق صورت گیرد.

پوست الف

گزارش کامل عملیات صحرائی

محدوده شماره ۱

این محدوده واقع در نزدیکی گردنه کولی کش می‌باشد که حاصل از مدلسازی به روش ANP-TOPSIS می‌باشد. لیتولوژی غالب منطقه ماسه سنگ، کنگلومرا است. آهک‌های ضخیم لایه بر روی بخش متاولکانیکی قرار گرفته اند که در ادامه بخش هماتیته در زیر آهن‌ها قرار دارد. کانه‌زایی پیریت و کالکوپیریت در توف‌ها مشاهده می‌شود. احتمالاً در کارهای قدیمی معدنی در این منطقه از توف‌ها به عنوان بالاست استفاده می‌شده است. تعداد سه نمونه در این محدوده برداشت شد که مشخصات آنها براساس جدول ۱ است. شکل‌های ۱ تا ۷ تصاویر مشاهدات صحرایی انجام شده در محدوده را نشان می‌دهند.

جدول ۱ لیست و مشخصات نمونه‌های برداشت شده.

ردیف	نام نمونه	لیتولوژی و مشاهدات
۱	Kol-3	توف و ماسه سنگ با دانه‌های ریز کالکوپیریت
۲	KolSec-4	توف و ماسه سنگ با دانه‌های ریز کالکوپیریت
۳	Kol-5	بخش هماتیته مرز بین آهک سیلیسی و توده متاولکانیکی



شکل ۲ مرز بین آهک سیلیسی شده با توده متاولکانیکی و هماتیت



شکل ۱ بخش توفی با ریزدانه‌های کالکوپیریت



شکل ۴ آهک سیلیسی شده



شکل ۳ بخش مرز بین آهک سیلیسی شده با توده متاولکانیکی



شکل ۶ بخش هماتیتی بر روی آهک سیلیسی



شکل ۵ آهک سیلیسی شده



شکل ۷ عکس پانوراما از منطقه

محدوده شماره ۲

این محدوده واقع در نزدیکی گردنه کولی کش می باشد که حاصل از مدلسازی به روش های ANP- TOPSIS و AHP-OWA می باشد. لیتولوژی غالب منطقه اسلیت، شیست و متاولکانیک است. سینه

کار فعال تولید بالاست در بخشی از منطقه وجود دارد. دانه‌های پیریت و کالکوپیریت در شیست سبز دیده می‌شود. تعداد دو نمونه در این محدوده برداشت شد که مشخصات آنها براساس جدول ۲ است. شکل ۸ تصویر مشاهدات صحرایی انجام شده در محدوده را نشان می‌دهد.

جدول ۲ لیست و مشخصات نمونه‌های برداشت شده.

ردیف	نام نمونه	لیتولوژی و مشاهدات
۱	KOL-1	شیست سیلیسی و متاولکانیک
۲	KOL-2	هماتیت



شکل ۸ شیست و اسلیت به همراه لایه‌های سیلیسی

محدوده شماره ۳

این محدوده واقع در نزدیکی منطقه هنشگ و شمال بنگشت می‌باشد که حاصل از مدلسازی به روش‌های ANP-TOPSIS و AHP-TOPSIS و AHP-OWA می‌باشد. لیتولوژی غالب منطقه شیست، اسلیت و متاولکانیک است. آهک‌ها بر روی بخش شیست متورق و بعد آندزیتی قرار دارند که بخش‌هایی از آندزیت‌ها به صورت سطحی آهن‌دار هستند. شکل‌های ۹ تا ۱۲ تصاویر مشاهدات صحرایی انجام شده در محدوده را نشان می‌دهند.



شکل ۱۰ بخش شیستی دارای لایه‌های سطحی آهن



شکل ۹ دورنمای آهک بر بخش فوقانی لایه آهن‌دار



شکل ۱۲ بخش آهن‌دار برروی آندزیت‌ها



شکل ۱۱ بخش آندزیتی

محدوده شماره ۴

این محدوده واقع در نزدیکی اسفندآباد می‌باشد که حاصل از مدلسازی به روش‌های AHP-OWA می‌باشد. لیتولوژی غالب منطقه آهک متامورف به همراه واریزه‌های هماتیت است. تعداد یک نمونه در این محدوده برداشت شد که مشخصات آنها براساس جدول ۳ است. شکل‌های ۱۳ تا ۱۴ تصاویر مشاهدات صحرایی انجام شده در محدوده را نشان می‌دهند.

جدول ۳ لیست و مشخصات نمونه‌های برداشت شده.

ردیف	نام نمونه	لیتولوژی و مشاهدات
۱	Han-1	بخش هماتیتی



شکل ۱۴ آهک لایه‌ای



شکل ۱۳ آواریزه‌های فراوان هماتیت

محدوده شماره ۵

این محدوده واقع در نزدیکی اسفندآباد می‌باشد که حاصل از مدلسازی به روش‌های ANP-TOPSIS، AHP-TOPSIS و AHP-OWA می‌باشد. لیتولوژی غالب منطقه آهک و دولومیت با لنزهای هماتیتی است. لنزهای عظیم هماتیتی بر بخش فوقانی آهک و متاولکانیک‌ها قرار دارند. تعداد سه نمونه در این محدوده برداشت شد که مشخصات آنها براساس جدول ۴ است. شکل‌های ۱۵ تا ۲۳ تصاویر مشاهدات صحرائی انجام شده در محدوده را نشان می‌دهند.

جدول ۴ لیست و مشخصات نمونه‌های برداشت شده.

ردیف	نام نمونه	لیتولوژی و مشاهدات
۱	Han-2	بخش هماتیتی بالای متاولکانیک آتره
۲	Han-3	متاولکانیک دارای کالکوپیریت فراوان
۳	HanSec-4	متاولکانیک دارای کالکوپیریت فراوان



شکل ۱۶ کانه‌زایی آهن در کنار متاولکانیک‌ها



شکل ۱۵ لنزهای هماتیتی بر روی آهک و متاولکانیک‌ها



شکل ۱۷ لنز های عظیم هماتیتهی بر بخش فوقانی متاولکانیکها



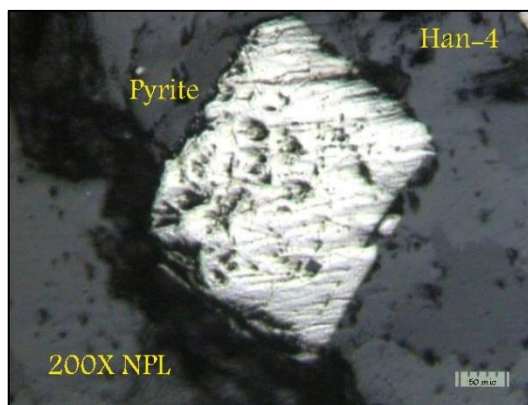
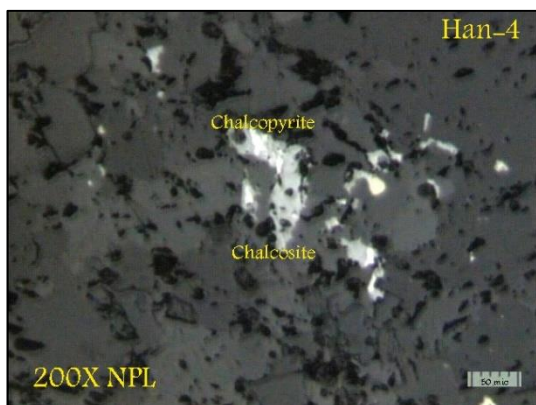
شکل ۱۹ ترانشه حاصل از جاده و آشکار شدن لایه های آهن، آهک و متاولکانیک و تقدم و تاخر آنها

شکل ۱۸ لایه آهک در زیر لنز آهنی



شکل ۲۱ کانهزایی کالکوپیریت در بخشهای مختلف یک متاولکانیک

شکل ۲۰ لنز آهن دار بر فراز قله های کم ارتفاع آهکی



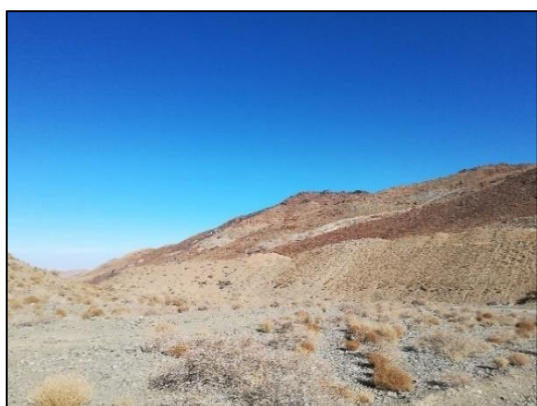
شکل ۲۲ حضور پیریت، کالکوپیریت و کالکوسیت در بخش‌های مختلف مقطع



شکل ۲۳ عکس پانوراما از توده عظیم آهن هماتیته

محدوده شماره ۶

این محدوده واقع در نزدیکی اسفندآباد می‌باشد که حاصل از مدلسازی به روش‌های ANP-TOPSIS، AHP-TOPSIS و AHP-OWA می‌باشد. لیتولوژی غالب منطقه آهک و دولومیت با لنزهای هماتیته است. در منطقه تناوب آهک، لایه هماتیته و متاولکانیک‌ها دیده می‌شوند. شکل‌های ۲۴ و ۲۵ تصاویر مشاهدات صحرائی انجام شده در محدوده را نشان می‌دهند.



شکل ۲۴ تناوب آهک، لایه هماتیته و متاولکانیک



شکل ۲۵ قله‌های هماتی بر روی آهک‌ها

محدوده شماره ۷

این محدوده واقع در نزدیکی اسفندآباد می‌باشد که حاصل از مدلسازی به روش‌های ANP-TOPSIS، AHP-TOPSIS و AHP-OWA می‌باشد. لیتولوژی غالب منطقه شیست، اسلیت و متاولکانیک است. در این منطقه قرارگیری مجدد آهک‌ها بر روی لنزهای آهن نشان‌دهنده جدیدتر بودن آن‌ها نسبت به توده‌های آهن‌دار است. شکل ۲۶ تصویر مشاهدات صحرایی انجام شده در محدوده را نشان می‌دهد.



شکل ۲۶ قرارگیری مجدد آهک جدیدتر بر روی لنزهای آهن

محدوده شماره ۸

این محدوده واقع در نزدیکی اسفندآباد می‌باشد که حاصل از مدلسازی به روش‌های ANP-TOPSIS و AHP-TOPSIS و AHP-OWA می‌باشد. لیتولوژی غالب منطقه شیست، اسلیت و متاولکانیک است.

در این محدوده یک معدن آهن به نام ماد سنگ (ماد کانسار) فعال می‌باشد. شکل‌های ۲۷ و ۲۸ تصاویر مشاهدات صحرایی انجام شده در محدوده را نشان می‌دهند.



شکل ۲۸ شیست‌های آهن‌دار



شکل ۲۷ بخش آهکی بالایی لنز آهن

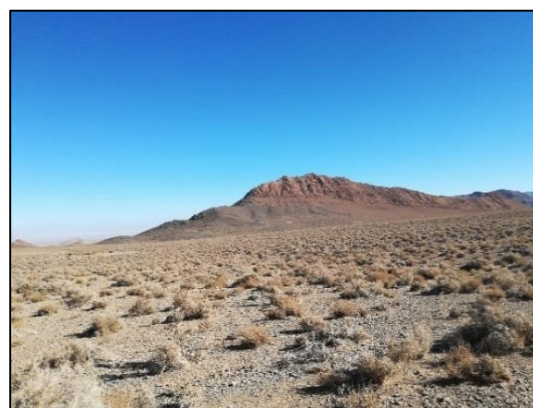
محدوده شماره ۹

این محدوده واقع در نزدیکی اسفندآباد می‌باشد که حاصل از مدلسازی به روش‌های ANP-TOPSIS، AHP-TOPSIS و AHP-OWA می‌باشد. لیتولوژی غالب منطقه دولومیت سیلیسی شده با رگه‌های سیلیسی آهن‌دار، اسلیت، فیلیت، متاولکانیک و آندزیت است. دو تپه کوچک و یک تپه بزرگ با جنس آهک و دولومیت شدیداً سیلیسی شده با رگه‌های سیلیسی جدیدتر آهن‌دار و بدون آهن (سفید) که در بخش‌هایی اکسید پیریت هم در متن سنگ دیده می‌شود. تعداد ۱۰ نمونه در این محدوده برداشت شد که مشخصات آنها براساس جدول ۵ است. شکل‌های ۲۹ تا ۳۵ تصاویر مشاهدات صحرایی انجام شده در محدوده را نشان می‌دهند.

جدول ۵ لیست و مشخصات نمونه‌های برداشت شده.

ردیف	نام نمونه	لیتولوژی و مشاهدات
۱	AAO-1	آهک روشن رنگ بدون آهن

آهک آهن‌دار در متن سنگ	AAO-2	۲
آهک سیلیسی با رگه‌های متقاطع آهن‌دار	AAO-3	۳
رگه‌های آهن به صورت Chip sampling	AAO-4	۴
آهک روشن رنگ بدون آهن	AAO-5	۵
رگه سیلیسی کاملاً روشن بدون آهن	AAO-6	۶
آهک روشن رنگ بدون آهن	AAO-7	۷
آهک روشن رنگ بدون آهن	AAO-8	۸
اسلیت و فیلیت سیلیسی شده حاوی اکسید پیریت	AAO-9	۹
اسلیت و فیلیت سیلیسی شده حاوی اکسید پیریت	AAO-10	۱۰



شکل ۲۹ دورنمای سه تپه حاوی آهن



شکل ۳۱ رگه‌های سیلیس متاخر که می‌تولند حاوی آهن و یا فاقد آن باشد.

شکل ۳۰ دولومیت و آهک شدیداً سیلیسی شده



شکل ۳۲ رگه‌های هماتیته که در متن آهک وجود دارد و همچنین آهک حاوی اکسید پیریت



شکل ۳۴ کانه‌زایی آهن در بخش‌های سیلیسی

شکل ۳۳ رگه‌های سیلیسی متعدد



شکل ۳۵ عکس پانورامای یکی از تپه‌های حاوی آهک سیلیسی

محدوده شماره ۱۰

این محدوده واقع در نزدیکی اسفندآباد می‌باشد که حاصل از مدلسازی به روش‌های ANP-TOPSIS و AHP-TOPSIS می‌باشد. لیتولوژی غالب منطقه آهک‌های گاهاً متامورف شده با لنزهای کمیاب هماتیت است. شکل‌های ۳۶ تا ۳۸ تصاویر مشاهدات صحرایی انجام شده در محدوده را نشان می‌دهند.



شکل ۳۷ آهک با رگه‌های متعدد



شکل ۳۶ بخش شیستی بر روی آهک



شکل ۳۸ کانه‌زایی آهن در بخش‌های سیلیسی



محدوده شماره ۱۱

این محدوده واقع در نزدیکی دهبید می‌باشد که حاصل از مدلسازی به روش‌های ANP-TOPSIS و AHP-TOPSIS می‌باشد. لیتولوژی غالب منطقه آهک و دولومیت با لنزها و لایه‌های هماتیتی است. لنزهای هماتیتی بر در کنار آهک‌ها قرار دارند. شکل‌های ۳۹ تا ۴۳ تصاویر مشاهدات صحرایی انجام شده در محدوده را نشان می‌دهند.

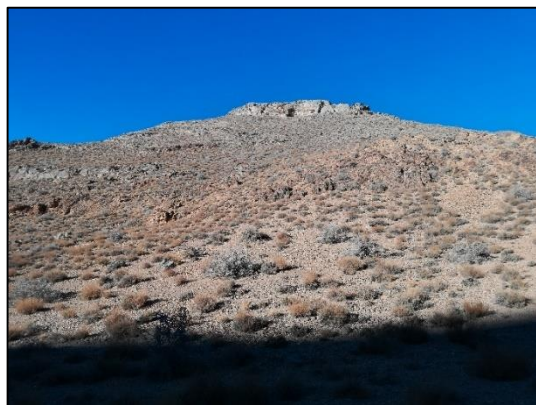


شکل ۳۹ آهک سیلیسی با رگه‌های متعدد



شکل ۴۱ مرز بین آهک و بخش آهن‌دار

شکل ۴۰ لایه آهن در بین آهک

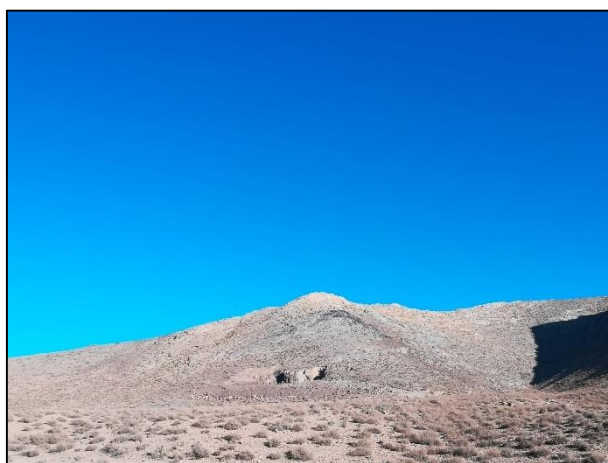


شکل ۴۳ کانه‌زایی سطحی آهن

شکل ۴۲ آهک‌های بخش بالایی کانه‌زایی

محدوده شماره ۱۲

این محدوده واقع در نزدیکی دهبید می باشد که حاصل از مدلسازی به روش های ANP-TOPSIS و AHP-TOPSIS می باشد. لیتولوژی غالب منطقه آهک دگرگون شده است. شکل ۴۴ تصویر مشاهدات صحرائی انجام شده در محدوده را نشان می دهد.



شکل ۴۴ رخنمون آهن در بخش پایین آهک

محدوده شماره ۱۳

این محدوده واقع در نزدیکی دهبید می باشد که حاصل از مدلسازی به روش های AHP-TOPSIS ، ANP-TOPSIS و AHP-OWA می باشد و یک محدوده معدنی می باشد. لیتولوژی غالب منطقه دولومیت با لنزهای آهن است. شکل ۴۵ تصویر مشاهدات صحرائی انجام شده در محدوده را نشان می دهد.



شکل ۴۵ محل ذخیره سنگ آهن

محدوده شماره ۱۴

این محدوده واقع در نزدیکی دهبید می باشد که حاصل از مدلسازی روش های AHP-TOPSIS و AHP-OWA می باشد و یک محدوده معدنی می باشد. لیتولوژی غالب منطقه دولومیت با لنزهای آهن است. لایه کلیدی سیلیس همانند چند محدوده قبلی به عنوان شاخص حضور آهن شناسایی شد. شکل های ۴۶ و ۴۷ تصاویر مشاهدات صحرایی انجام شده در محدوده را نشان می دهند.



شکل ۴۷ کانه زایی آهن هماتیته



شکل ۴۶ بخش سیلیسی مرتبط با کانه زایی

محدوده شماره ۱۵

این محدوده واقع در نزدیکی دهبید می‌باشد که حاصل از مدلسازی به روش‌های ANP-TOPSIS، AHP-TOPSIS و AHP-OWA می‌باشد و یک معدن هماتیت با نام بژدانه می‌باشد. لیتولوژی غالب منطقه دولومیت با لنزهای آهن و همچنین ریولیت است. لایه کلیدی سیلیسی همانند چند محدوده قبلی به عنوان شاخص حضور آهن شناسایی شد. شکل ۴۸ تصویر مشاهدات صحرایی انجام شده در محدوده را نشان می‌دهد.



شکل ۴۸ سینه کار معدن

محدوده شماره ۱۶

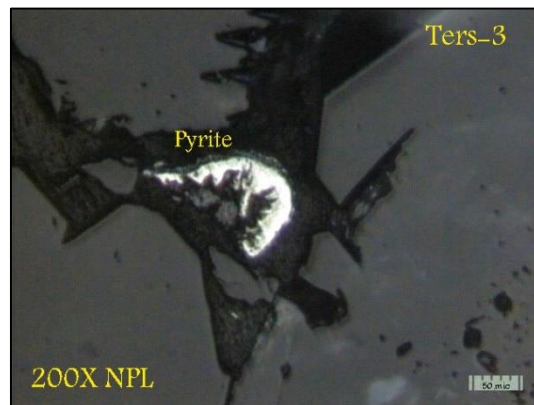
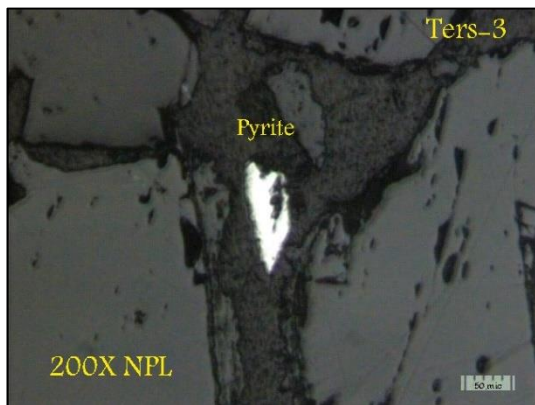
این محدوده واقع در نزدیکی قلعه سنگی می‌باشد که حاصل از مدلسازی به روش‌های AHP-TOPSIS و ANP-TOPSIS می‌باشد. لیتولوژی غالب منطقه ولکانیک ولکانوکلاستیک و کنگلومرای مرتبط به آهک تیره خاکستری است. محدوده بسیار گسترده لاتریتی در منطقه قابل مشاهده است. تعداد سه نمونه در این محدوده برداشت شد که مشخصات آنها براساس جدول ۶ است. شکل‌های ۴۹ و ۵۰ تصاویر مشاهدات صحرایی انجام شده در محدوده را نشان می‌دهند.

جدول ۶ لیست و مشخصات نمونه‌های برداشت شده.

ردیف	نام نمونه	لیتولوژی و مشاهدات
۱	Ter-1	از بخش لاتریتی
۲	Ter-2	از بخش لاتریتی با کربنات سیلیسی شده
۳	TerSec-3	از بخش لاتریتی با کربنات سیلیسی شده



شکل ۴۹ گستردگی لاتریت در کل محدوده



شکل ۵۰ کانه‌زایی پیریت در بخش‌های مختلف مقطع

محدوده شماره ۱۷

این محدوده واقع در نزدیکی قلعه سنگی می‌باشد که حاصل از مدلسازی به روش‌های AHP-TOPSIS ، AHP-OWA و ANP-TOPSIS می‌باشد. این منطقه یک محدوده معدنی به نظر می‌رسد که است. لیتولوژی غالب منطقه آندزیت لاوا و لایه‌های توفی و در بخشی آهک است. کانه‌زایی منگنز و آهن (لیمونیت، هماتیت) در بخش آلتره و همچنین مالاکیت در محدوده مشاهده می‌شود. تعداد سه نمونه در این محدوده برداشت شد که مشخصات آنها براساس جدول ۷ است. شکل‌های ۵۱ تا ۵۷ تصاویر مشاهدات صحرائی انجام شده در محدوده را نشان می‌دهند.

جدول ۷ لیست و مشخصات نمونه‌های برداشت شده.

ردیف	نام نمونه	لیتولوژی و مشاهدات
۱	Dar-1	بخش آلتره لیمونیتی و هماتیتی

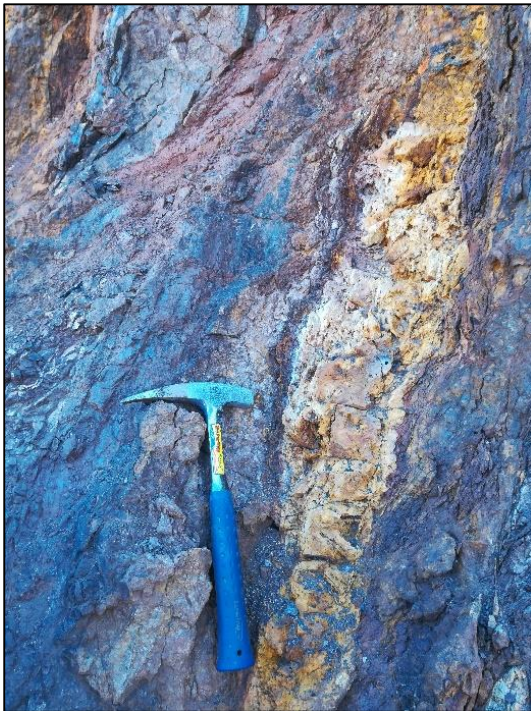
بخش منگنزار سیاه رنگ	Dar-2	۲
بخش منگنزار قهوه‌ای رنگ	Dar-3	۳



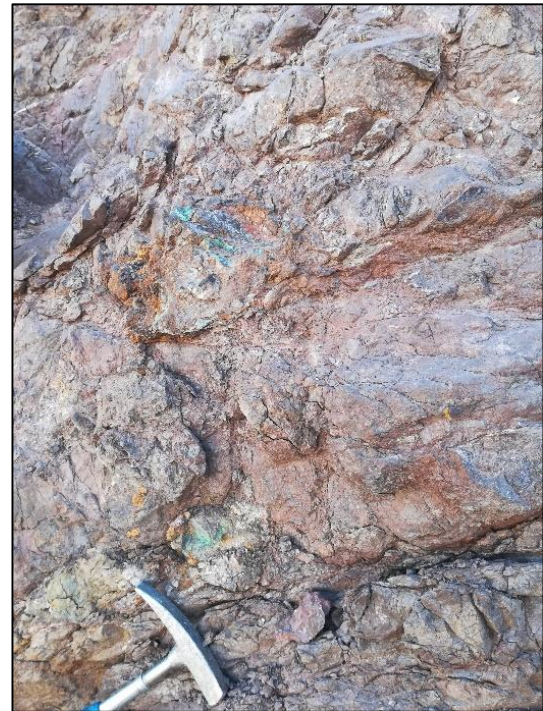
شکل ۵۲ کانہ‌زایی آهن و منگنز در سینه کار



شکل ۵۱ دید کلی محدوده معدنی



شکل ۵۴ کانہ‌زایی مس به همراه منگنز و آهن در بخشی شدیداً آلتزه



شکل ۵۳ کانہ‌زایی مس مالاکیتی



شکل ۵۶ کانه‌زایی مس



شکل ۵۵ بخش منگنزدار



شکل ۵۷ عکس پانورامای محدوده معدنی

محدوده شماره ۱۸

این محدوده واقع در نزدیکی صمدجان می‌باشد که حاصل از مدلسازی به روش‌های ANP-TOPSIS می‌باشد. لیتولوژی غالب منطقه آهک و هوازدگی بخشی آهن‌دار است که در نزدیکی یک توده گابرویی قرار دارد. کانه‌زایی خاصی در منطقه مشاهده نشد. شکل‌های ۵۸ و ۵۹ تصاویر مشاهدات صحرایی انجام شده در محدوده را نشان می‌دهند.



شکل ۵۹ نمایش تناوب از بالا آهک، آلتراسیون اکسید آهن و در پایین توده گابرویی



شکل ۵۸ توده گابرویی موجود در منطقه

محدوده شماره ۱۹

این محدوده واقع در نزدیکی قلعه سنگی می‌باشد که حاصل از مدلسازی به روش‌های AHP-TOPSIS و ANP-TOPSIS می‌باشد. لیتولوژی غالب منطقه آهک و باندهای چرتی است. کانه‌زایی آهن و منگنز در بخش پایین آهک‌ها مشاهده گردید. رگه‌های سیلیسی در بخش‌های مختلف دیده می‌شود. شکل های ۶۰ و ۶۱ تصاویر مشاهدات صحرائی انجام شده در محدوده را نشان می‌دهند.



شکل ۶۱ کانه‌زایی آهن و منگنز



شکل ۶۰ رخنمون کانه‌زایی آهن و منگنز

محدوده شماره ۲۰

این محدوده واقع در نزدیکی ابوتوربیه می‌باشد که حاصل از مدلسازی به روش ANP-TOPSIS می‌باشد. لیتولوژی غالب منطقه شامل باندهای آهکی است. توده بزرگ آهک کاملاً سیلیسی شده به همراه رگه های زیاد سیلیسی که نشان‌دهنده چندانفازه بودن تزریق سیلیس است در آن قابل مشاهده است. تعداد دو نمونه در این محدوده برداشت شد که مشخصات آنها براساس جدول ۸ است. در بخشی از توده کاملاً برشی شده است. شکل‌های ۶۲ تا ۶۴ نقشه زمین‌شناسی با مقیاس ۱:۱۰۰,۰۰۰ و تصویر ماهواره‌ای محدوده را نشان می‌دهند.

جدول ۸ لیست و مشخصات نمونه‌های برداشت شده.

ردیف	نام نمونه	لیتولوژی و مشاهدات
۱	ANP4S1	از رگه سیلیسی و برشی شده
۲	ANP4Sec2	از رگه سیلیسی و برشی شده



شکل ۶۳ بخش اکسید آهنی و آلتره و در بخش پایینی کاملاً برشی



شکل ۶۲ توده آهک شدیداً سیلیسی



شکل ۶۴ رگه‌های سیلیسی مختلف در چند فاز

محدوده شماره ۲۱

این محدوده واقع در نزدیکی سروستان می‌باشد که حاصل از مدلسازی به روش‌های ANP-TOPSIS، AHP-TOPSIS و AHP-OWA می‌باشد. لیتولوژی غالب منطقه فیلیت و متاولکانیک است. رگه سیلیسی موجود در فیلیت‌ها و متاولکانیک‌ها دارای کانه‌زایی مس مالاکیتی است. تعداد یک نمونه در این محدوده برداشت شد که مشخصات آنها براساس جدول ۹ است. شکل‌های ۶۵ و ۶۶ تصاویر مشاهدات صحرائی انجام شده در محدوده را نشان می‌دهند.

جدول ۹ لیست و مشخصات نمونه‌های برداشت شده.

ردیف	نام نمونه	لیتولوژی و مشاهدات
۱	Maz-1	رگه سیلیسی مالاکیت دار



شکل ۶۵ رگه‌های سیلیسی مس‌دار



شکل ۶۶ عکس پانورامای محدوده

محدوده شماره ۲۲

این محدوده واقع در نزدیکی سروستان می‌باشد که حاصل از مدلسازی به روش ANP-TOPSIS می‌باشد. لیتولوژی غالب منطقه آهک، فیلیت، شیست سبز و توف‌های دگرگونی است. آغشتگی آهن در بخش‌هایی از آهک‌ها و شیست‌ها مشاهده شد. شکل ۶۷ تصاویر مشاهدات صحرایی انجام شده در محدوده را نشان می‌دهد.



شکل ۶۷ آغشتگی آهن در بخش‌های مختلف

محدوده شماره ۲۳

این محدوده واقع در نزدیکی سروستان می‌باشد که حاصل از مدلسازی به روش‌های ANP-TOPSIS، AHP-TOPSIS و AHP-OWA می‌باشد. لیتولوژی غالب منطقه آهک، لایه‌های توفی دگرگونی، فیلیت، سیلت استون دگرگونی و شیست سبز است. در این معدن متروکه کانه‌زایی مس مالاکیتی و همچنین کالکوپیریت، و لیمونیت در فیلیت و شیست سبز مشاهده شد. همچنین رگه‌های سیلیسی در بخش آلتزه دیده شد. تعداد سه نمونه در این محدوده برداشت شد که مشخصات آنها براساس جدول ۱۰ است. شکل‌های ۶۸ تا ۷۵ تصاویر مشاهدات صحرایی انجام شده در محدوده را نشان می‌دهند.

جدول ۱۰ لیست و مشخصات نمونه‌های برداشت شده.

ردیف	نام نمونه	لیتولوژی و مشاهدات
۱	Maz-2	رگه لیمونیتی و آلتزه
۲	Maz-3	بخش مالاکیت، کالکوپیریت و اکسید آهن
۳	MazSec-4	بخش مالاکیت، کالکوپیریت و اکسید آهن



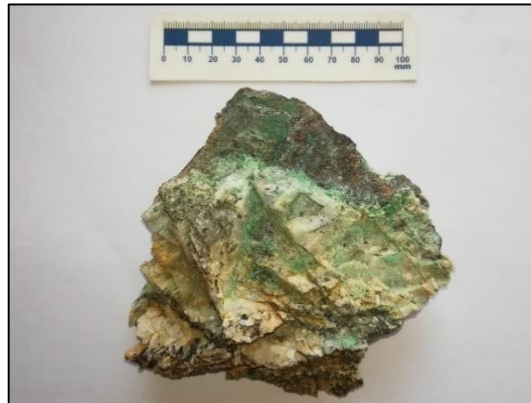
شکل ۶۹ کانه‌رایی مالاکیت، کالکوپیریت و اکسید آهن



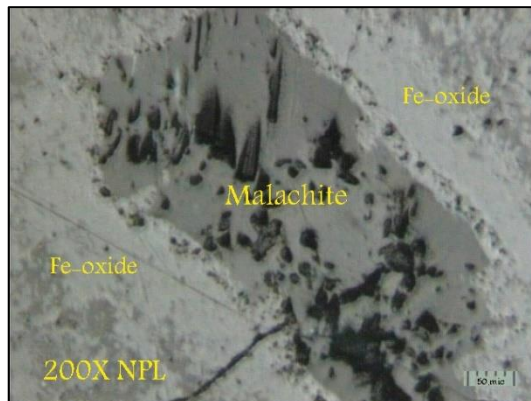
شکل ۶۸ ترانشه‌های حفر شده در معدن



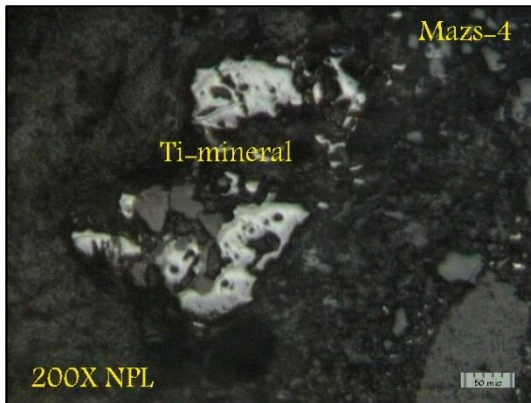
شکل ۷۱ آلتراسیون اکسید آهن



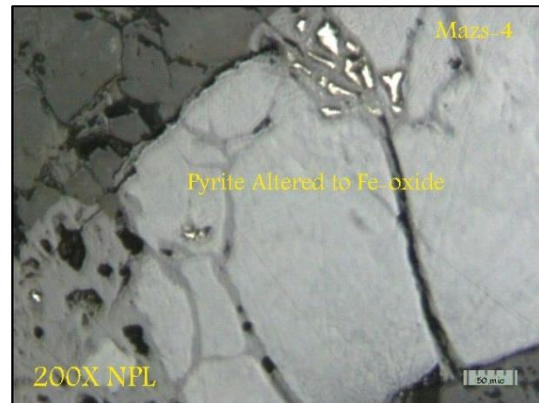
شکل ۷۰ کانه‌زایی مس مالاکیتی و کالکوپیریت و اکسید آهن



شکل ۷۳ کانه‌زایی کالکوپیریت آلتیره، آهن و دیجنایت



شکل ۷۲ کانه‌زایی مس مالاکییتی و اکسید آهن



شکل ۷۵ حضور کانیه‌های تیتانیوم در مقطع

شکل ۷۴ کانه‌زایی پیریت آلتیره و اکسید آهن

محدوده شماره ۲۴

این محدوده واقع در نزدیکی سروستان می‌باشد که حاصل از مدلسازی به روش‌های ANP-TOPSIS و AHP-TOPSIS می‌باشد. لیتولوژی غالب منطقه آهک و کنگلومرا است. کانه‌زایی احتمالی لاتریت و همچنین آهن هماتیتی و لیمونیتی به وسعت زیاد قابل مشاهده است. تعداد یک نمونه در این محدوده برداشت شد که مشخصات آنها براساس جدول ۱۱ است. شکل ۷۶ تصاویر مشاهدات صحرایی انجام شده در محدوده را نشان می‌دهد.

جدول ۱۱ لیست و مشخصات نمونه‌های برداشت شده.

ردیف	نام نمونه	لیتولوژی و مشاهدات
۱	Ros-1	از بخش لاتریتی و کانی تیره درون آن



شکل ۷۶ کانه‌زایی احتمالی لاتریت و همچنین آهن هماتیتی و لیمونیتی

این محدوده واقع در نزدیکی کوپان می‌باشد که حاصل از مدلسازی به روش‌های ANP-TOPSIS و AHP-TOPSIS می‌باشد. لیتولوژی غالب منطقه ولکانیک و ولکانو کلاستیک کنگلومرای مرتبط به آهک تیره خاکستری است. کانه‌زایی اکسید آهن و منگنز و لاتریت در سطح وسیع در منطقه مشاهده می‌شود. واریزه‌های فراوان چرت وجود دارد. در بخش‌هایی سیلیسی شدن در حجم زیاد موجود است. در بخش بالایی آهک و در زیر آن آلتراسیون اکسید آهن هماتیته در بخش زیرین قرار دارد. تعداد یک نمونه در این محدوده برداشت شد که مشخصات آنها براساس جدول ۱۲ است. شکل‌های ۷۷ تا ۸۱ تصاویر مشاهدات صحرایی انجام شده در محدوده را نشان می‌دهند.

جدول ۱۲ لیست و مشخصات نمونه‌های برداشت شده.

ردیف	نام نمونه	لیتولوژی و مشاهدات
۱	Ros-2	از بخش لاتریتی و اکسید آهن



شکل ۷۸ واریزه‌های فراوان چرت



شکل ۷۷ بخش‌های آهن هماتیته



شکل ۷۹ عکس پانوراما از منطقه



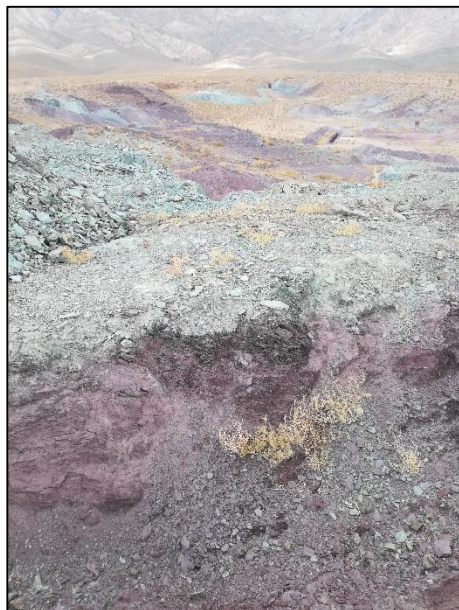
شکل ۸۱ توالی لیتولوژی‌های مختلف



شکل ۸۰ آغشتگی آهن

محدوده شماره ۲۶

این محدوده واقع در نزدیکی سروستان می‌باشد که حاصل از مدلسازی به روش ANP-TOPSIS می‌باشد. لیتولوژی غالب منطقه ماسه سنگ و آهک است. یک محدوده معدنی متروکه که ترانشه‌های متعددی را دارا می‌باشد. شیست سبز و قرمز و ولکانیک آندزیتی که رگه‌های سیلیسی در آن وجود دارد و مس مالاکیتی در آن دیده می‌شود. شکل‌های ۸۲ تا ۸۵ تصاویر مشاهدات صحرایی انجام شده در محدوده را نشان می‌دهند.



شکل ۸۳ ترانشه‌های متعدد در محدوده



شکل ۸۲ شیست‌های سبز و قرمز



شکل ۸۵ کانه‌زایی مس مالاکیتی



شکل ۸۴ ترانشه‌های متعدد در محدوده

محدوده شماره ۲۷

این محدوده واقع در نزدیکی سروستان می‌باشد که حاصل از مدلسازی به روش ANP-TOPSIS می‌باشد. لیتولوژی غالب منطقه ماسه سنگ و آهک است. رگه‌های سیلیسی در بخش‌های دگرگونی وجود دارد که عقیم هستند و کانه‌زایی خاصی ندارند. شکل ۸۶ تصاویر مشاهدات صحرایی انجام شده در محدوده را نشان می‌دهد.



شکل ۸۶ رگه‌های سیلیسی در بخش‌های دگرگونی

محدوده شماره ۲۸

این محدوده واقع در نزدیکی سروستان می‌باشد که حاصل از مدلسازی به روش ANP-TOPSIS می‌باشد. لیتولوژی غالب منطقه ماسه سنگ، آهک و شیل است. رگه‌های سیلیسی موثر در کانه‌زایی سطحی آهن مشاهده می‌شود. شکل ۸۷ تصویر مشاهدات صحرایی انجام شده در محدوده را نشان می‌دهد.



شکل ۸۷ کانه‌زایی آهن سطحی در نزدیکی رگه‌های سیلیسی

محدوده شماره ۲۹

این محدوده واقع در نزدیکی سروستان می‌باشد که حاصل از مدلسازی به روش‌های ANP-TOPSIS و AHP-TOPSIS می‌باشد. لیتولوژی غالب منطقه آهک، میکاشیست، متادولریت، کوارتز و گارنت است. کانه‌زایی آهن مگنتیتی در معدن متروکه غارکان گوهر که توسط اداره میراث فرهنگی استان فارس در فهرست آثار تاریخی قرار گرفته است. شکل‌های ۸۸ تا ۹۱ تصاویر مشاهدات صحرایی انجام شده در محدوده را نشان می‌دهند.



شکل ۸۹ بخش داخلی تونل معدن



شکل ۸۸ دهانه تونل‌های بزرگ و کوچک معدن



شکل ۹۱ اثر تاریخی ثبت شده در فهرست آثار ملی



شکل ۹۰ لایه‌های آهن‌دار در منطقه

محدوده شماره ۳۰

این محدوده واقع در نزدیکی سروستان می‌باشد که حاصل از مدل‌سازی به روش‌های ANP-TOPSIS، ANP-TOPSIS و AHP-OWA می‌باشد. در این محدوده معدنی فعال (معدن عنبر کوه)، لیتولوژی غالب منطقه آمفی‌بولیت شیست با لنزهای آهکی، متادولریت، کوارتز، گارنت و میکاشیست است. شکل ۹۲ تصویر مشاهدات صحرائی انجام شده در محدوده را نشان می‌دهد.



شکل ۹۲ موقعیت تجهیزات معدن عنبرکوه

محدوده شماره ۳۱

این محدوده واقع در نزدیکی سروستان می باشد که حاصل از مدلسازی به روش های ANP-TOPSIS ، AHP-TOPSIS و AHP-OWA می باشد. لیتولوژی غالب منطقه شیل، آهک ماسه ای و ماسه سنگ است. کانه زایی آهن و منگنز در سطح لیتولوژی دیده می شود. تعداد یک نمونه در این محدوده برداشت شد که مشخصات آنها براساس جدول ۱۳ است.

جدول ۱۳ لیست و مشخصات نمونه های برداشت شده.		
ردیف	نام نمونه	لیتولوژی و مشاهدات
۱	Smon-1	از بخش آهن و منگنزار سطحی

محدوده شماره ۳۲

این محدوده واقع در نزدیکی بوانات می باشد که حاصل از مدلسازی به روش های ANP-TOPSIS ، AHP-TOPSIS و AHP-OWA می باشد. لیتولوژی غالب منطقه کنگلومرا و آهک است. دو تپه کنار هم که در بخش های آهکی کانه زایی آهن دیده می شود ولی در حد اقتصادی نیست. شکل ۹۳ تصویر مشاهدات صحرائی انجام شده در محدوده را نشان می دهد.



۹۳ کانه‌زایی آهن به صورت ضعیف و غیراقتصادی

محدوده شماره ۳۳

این محدوده واقع در نزدیکی بوانات می‌باشد که حاصل از مدلسازی به روش‌های ANP-TOPSIS ، AHP-TOPSIS و AHP-OWA می‌باشد. لیتولوژی غالب منطقه شیست، اسلیت، متاولکانیک و آهک (کمپلکس کولی‌گش) است. تپه‌های مختلف با کانه‌زایی آهن هماتیته در رگه‌های سیلیسی در واحدهای آهکی و متاولکانیکها به وفور وجود دارد. بخش آهکی در بالای بخش‌های دیگر قرار دارد که در زیر آن عموماً برشی است. در طرف مقابل هم چندین تپه با مشخصات قبل وجود دارد. تعداد دو نمونه در این محدوده برداشت شد که مشخصات آنها براساس جدول ۱۴ است. شکل‌های ۹۴ تا ۱۰۱ تصاویر مشاهدات صحرائی انجام شده در محدوده را نشان می‌دهند.

جدول ۱۴ لیست و مشخصات نمونه‌های برداشت شده.

ردیف	نام نمونه	لیتولوژی و مشاهدات
۱	AAO7-1	آهک و دولومیت لیمنیتی با رگه‌های آهن
۲	AAO7-2	از رگه‌های آهن‌دار



شکل ۹۵ بخش دگرگونی منطقه



شکل ۹۴ دورنمای چند تپه آهن‌دار



شکل ۹۶ رگه‌های آهن‌دار موجود در بخش‌های مختلف



شکل ۹۸ تناوب متاولکانیک و بخش آهن‌دار



شکل ۹۷ تپه آهن‌دار



شکل ۹۹ رگه‌های آهن‌دار موجود در آهک‌ها



شکل ۱۰۰ بخش‌های با میزان آهن بیشتر و گسترده‌تر



شکل ۱۰۱ رخنمون‌های آهن در بخش زیرین متاولکانیک

محدوده شماره ۳۴

این محدوده واقع در نزدیکی سوریان می‌باشد که حاصل از مدلسازی به روش ANP-TOPSIS می‌باشد. لیتولوژی غالب منطقه کوارتزیت، میکاشیست، کالک شیست و متاولکانیک است. این محدوده تپه‌ای با

مشخصات ولکانیکی و میکاشیستی است که در بخش‌هایی در آن آهک وجود دارد که در بخش‌هایی نیز رگه‌ای سیلیسی وجود دارد و در نزدیکی آن کانی زایی مگنتیت، هماتیت و منگنز حفره حفره و استوک ورکی مشاهده می‌شود. تعداد یک نمونه در این محدوده برداشت شد که مشخصات آنها براساس جدول ۱۵ است. شکل ۱۰۲ تصویر مشاهدات صحرایی انجام شده در محدوده را نشان می‌دهد.

جدول ۱۵ لیست و مشخصات نمونه‌های برداشت شده.

ردیف	نام نمونه	لیتولوژی و مشاهدات
۱	ANP1-1	از بخش منگنز دار و هماتیتی



شکل ۱۰۲ رگه سیلیسی با کانه‌زایی آهن مگنتیتی

محدوده شماره ۳۵

این محدوده واقع در نزدیکی سوریان می‌باشد که حاصل از مدلسازی به روش‌های ANP-TOPSIS و AHP-OWA می‌باشد. لیتولوژی غالب منطقه کوارتزیت، میکاشیست، کالک شیست، متاولکانیک، کنگلومرا و ماسه سنگ است. به علت بارش برف سنگین در منطقه متاسفانه شناسایی لیتولوژی‌های مختلف ممکن نبود و فقط در بخش‌هایی رخنمون کنگلومرای دیده می‌شود. شکل‌های ۱۰۳ و ۱۰۴ تصاویر مشاهدات صحرایی انجام شده در محدوده را نشان می‌دهند.



شکل ۱۰۴ پوشش برفی در منطقه



شکل ۱۰۳ رخنمون کنگلومرایی

محدوده شماره ۳۶

این محدوده واقع در نزدیکی شهر بوانات می‌باشد که حاصل از مدلسازی به روش‌های ANP-TOPSIS ، AHP-TOPSIS و AHP-OWA می‌باشد. لیتولوژی غالب منطقه متادیوریت، متاگرانودیوریت، کالک شایست و فلدسپار شایست است. این محدوده یک معدن روباز ماسیوسولفاید با نام جیان است که به نوعی در منطقه شناخته شده و شاخص است. آلتراسیون‌های آرژیلیکی، اپیدوتی-کلریتی و سیلیسی قابل مشاهده است. ماده معدنی در مرز شایست و بخش آلترا قرار گرفته است که به صورت پیریت، کالکوپیریت، گالن و به ندرت مالاکیتی دیده می‌شود. تعداد چهار نمونه در این محدوده برداشت شد که مشخصات آنها براساس جدول ۱۶ است. شکل‌های ۱۰۵ تا ۱۱۳ تصاویر مشاهدات صحرایی انجام شده در محدوده را نشان می‌دهند.

جدول ۱۶ لیست و مشخصات نمونه‌های برداشت شده.

ردیف	نام نمونه	لیتولوژی و مشاهدات
۱	Su-1	بخش پیریت و کالکوپیریت‌دار
۲	Jyan-10	شایست پیریت‌دار
۳	Jyan-11	بخش آهن‌دار، گالن، مالاکیت، پیریت، بورنیت و لیمونیت‌دار
۴	Jyan-15	گرافیت شایست کاملاً سیلیسی



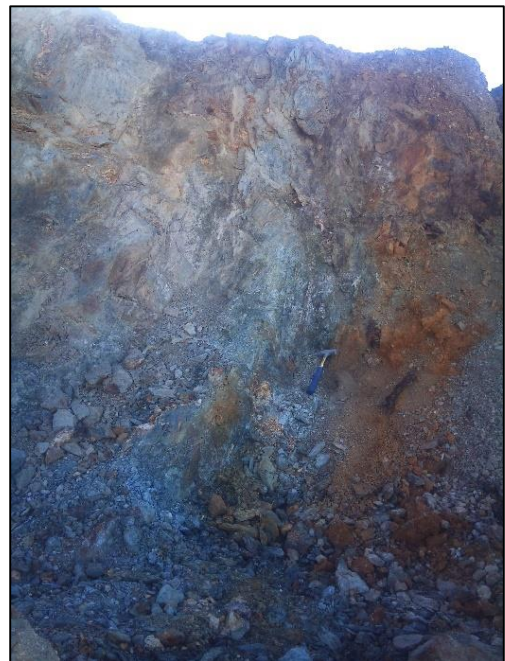
شکل ۱۰۶ کانه‌زایی مس



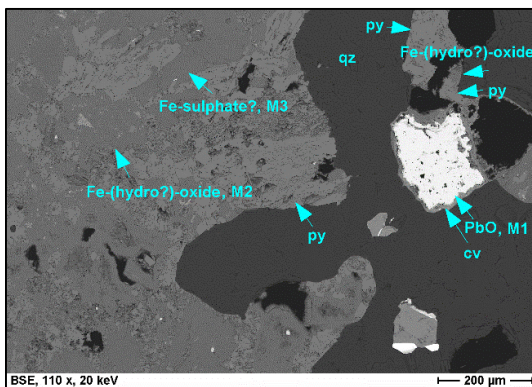
شکل ۱۰۵ پیت معدن روباز جیان



شکل ۱۰۸ بخش کاملاً سیلیسی شده



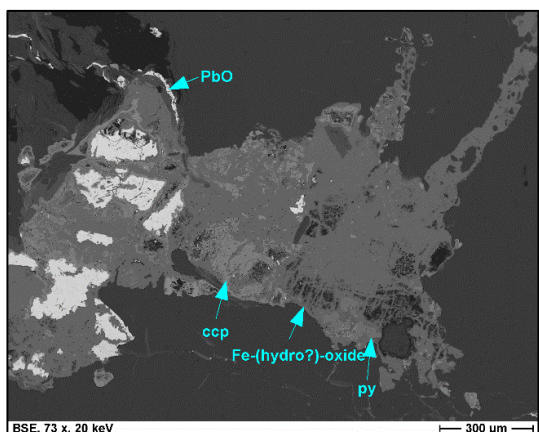
شکل ۱۰۷ کانه‌زایی در مرز بخش آلتزه و شیست



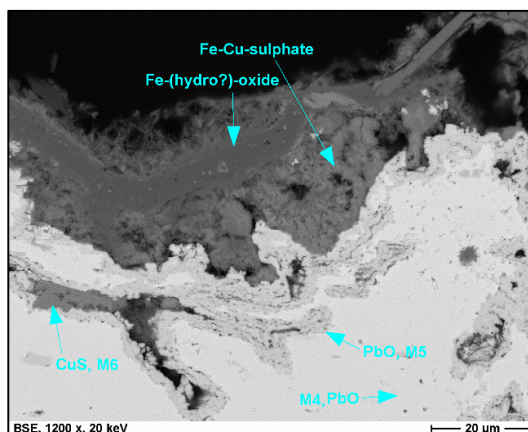
شکل ۱۱۰ پیریت، کالکوپیریت و هیدروکسید آهن در رگه سیلیسی



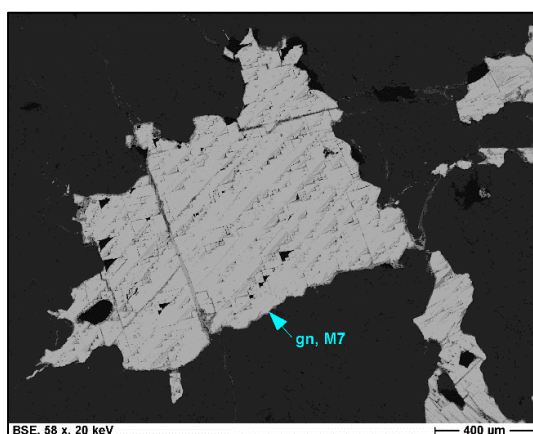
شکل ۱۰۹ کانه‌زایی گالن، پیریت، کالکوپیریت، بورنایت، ملاکیت و لیمونیت



شکل ۱۱۲ کانه‌زایی پیریت، کالکوپیریت و هیدروکسید آهن



شکل ۱۱۱ کانه‌زایی کوولین و هیدروکسید آهن



شکل ۱۱۳ کانه‌زایی گالن در داخل رگه سیلیسی

محدوده شماره ۳۷

این محدوده واقع در نزدیکی جشنیان می‌باشد که حاصل از مدلسازی به روش‌های ANP-TOPSIS و AHP-TOPSIS می‌باشد. لیتولوژی غالب منطقه میکاشیست، کالک شیست (گرین شیست‌های سوریان)، کوارتزیت و متاولکانیک است. در بخش پایین تپه شیست با گاهی پرشدگی سیلیسی وجود دارد. حالت استوک ورکی دیده می‌شود. کانه‌زایی مس مالاکیتی در رگه سیلیسی، هماتیت و پیریت وجود دارد. تعداد سه نمونه در این محدوده برداشت شد که مشخصات آنها براساس جدول ۱۷ است. شکل‌های ۱۱۴ تا ۱۱۶ تصاویر مشاهدات صحرایی انجام شده در محدوده را نشان می‌دهند.

جدول ۱۷ لیست و مشخصات نمونه‌های برداشت شده.

ردیف	نام نمونه	لیتولوژی و مشاهدات
۱	Jash-1	بخش سیلیسی
۲	Jash-3	شیست بارور سیلیسی
۳	Jash-4	در بخش سیلیسی با پیریت و مالاکیت



شکل ۱۱۵ شیست‌های ورقه‌ای



شکل ۱۱۴ رگه سیلیسی در داخل شیست‌ها



شکل ۱۱۶ قطعاتی از بخش استوک ورکی

محدوده شماره ۳۸

این محدوده واقع در نزدیکی جشنیان می‌باشد که حاصل از مدلسازی به روش ANP-TOPSIS می‌باشد. لیتولوژی غالب منطقه آهک است. شیست غیر متورق با دگرگونی کم دیده می‌شود. رگه سیلیسی خیلی نازک با مقداری آلتراسیون اکسید آهن قابل مشاهده است. شکل‌های ۱۱۷ و ۱۱۸ تصاویر مشاهدات صحرائی انجام شده در محدوده را نشان می‌دهند.



شکل ۱۱۸ شیست غیرمتورق



شکل ۱۱۷ رگه سیلیسی گاهاً حاوی اکسید آهن

محدوده شماره ۳۹

این محدوده واقع در نزدیکی جشنیان می باشد که حاصل از مدلسازی به روش AHP-TOPSIS می باشد. لیتولوژی غالب منطقه ماسه سنگ و سیلت استون است. در منطقه کانه‌زایی خاصی مشاهده نشد.

محدوده شماره ۴۰

این محدوده واقع در نزدیکی جشنیان می باشد که حاصل از مدلسازی به روش‌های ANP-TOPSIS ، AHP-TOPSIS و AHP-OWA می باشد. لیتولوژی غالب منطقه گرانودیوریت، کالک شیست و شیست است. در محدوده یک اندیس قدیمی مس مشاهده شد که قبلاً در آن ترانشه حفر شده است. شکل ۱۱۹ تصویر مشاهدات صحرایی انجام شده در محدوده را نشان می دهد.



شکل ۱۱۹ کانه‌زایی مس ملاکیتی

محدوده شماره ۴۱

این محدوده واقع در نزدیکی مهدی‌آباد می‌باشد که حاصل از مدلسازی به روش‌های AHP-TOPSIS و AHP-OWA می‌باشد. لیتولوژی غالب منطقه گرانودیوریت، کالک شیست و شیست است. رگه سیلیسی موجود دارای مقداری کانه‌زایی آهن و آغستگی مس است. شکل ۱۲۰ تصویر مشاهدات صحرایی انجام شده در محدوده را نشان می‌دهد.



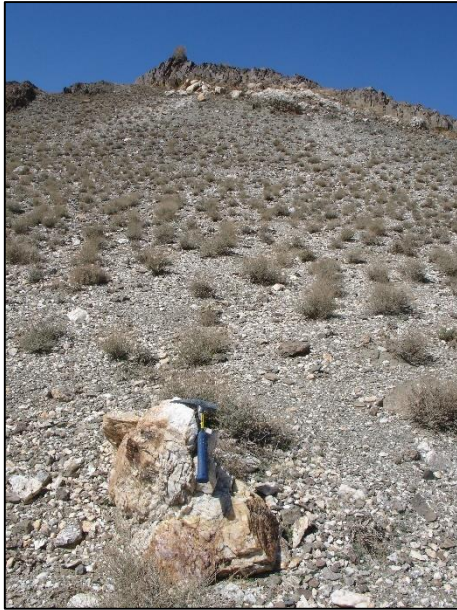
شکل ۱۲۰ رگه سیلیسی به همراه آغستگی سطحی آهن

محدوده شماره ۴۲

این محدوده واقع در جعفریه (چیر) می‌باشد که حاصل از مدلسازی به روش‌های ANP-TOPSIS و AHP-TOPSIS و AHP-OWA می‌باشد. لیتولوژی غالب منطقه متادیوریت، متاگرانودیوریت و کالک شیست است. رگه‌های سیلیسی در شیست‌های ورقه‌ای کانه‌زایی اکسید آهن و مقدار کمی مالاکیت ایجاد نموده است. آینه گسل در چند نقطه از منطقه قابل مشاهده است. تعداد یک نمونه در این محدوده برداشت شد که مشخصات آنها براساس جدول ۱۸ است. شکل‌های ۱۲۱ و ۱۲۲ تصاویر مشاهدات صحرایی انجام شده در محدوده را نشان می‌دهند.

جدول ۱۸ لیست و مشخصات نمونه‌های برداشت شده.

ردیف	نام نمونه	لیتولوژی و مشاهدات
۱	Jafarieh16	از بخش سیلیسی با پیریت و مقداری مالاکیت



شکل ۱۲۱ رگه‌های سیلیسی متعدد در منطقه



شکل ۱۲۲ اکسید آهن در رگه‌های سیلیسی

محدوده شماره ۴۳

این محدوده واقع در نزدیکی سوریان می‌باشد که حاصل از مدلسازی به روش AHP-OWA می‌باشد. لیتولوژی غالب منطقه متادیوریت، متاگرانودیوریت و کالک شیبست است. رگه‌های سیلیسی متعدد در واحد شیبستی مشاهده می‌شود. کانه‌زایی پیریت، کالکوپیریت، هماتیت، لیمونیت و مالاکیت در محدوده

مشاهده شد. تعداد سه نمونه در این محدوده برداشت شد که مشخصات آنها براساس جدول ۱۹ است.

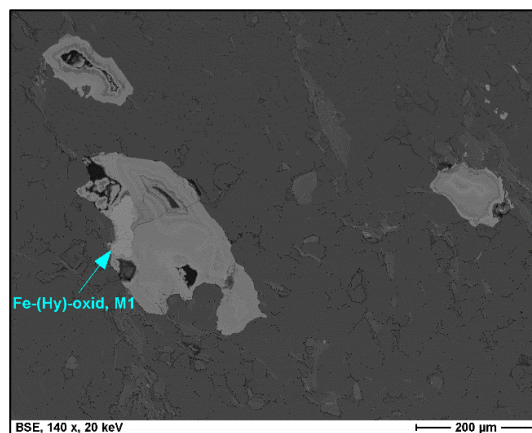
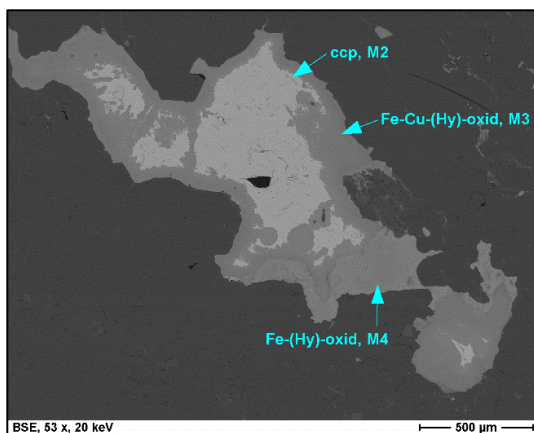
شکل‌های ۱۲۳ تا ۱۲۶ تصاویر مشاهدات صحرایی انجام شده در محدوده را نشان می‌دهند.

جدول ۱۹ لیست و مشخصات نمونه‌های برداشت شده.

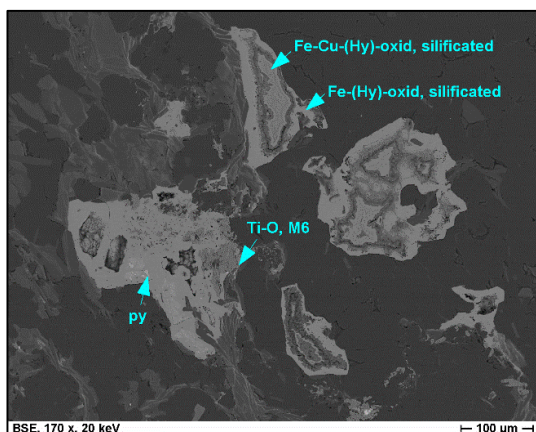
ردیف	نام نمونه	لیتولوژی و مشاهدات
۱	Sur-7	بخش هماتیت، لیمونیت و اکسید پیریت
۲	Sur-8	کالکوپیریت و مالاکیت و بخش آتره شده
۳	Sur-9	رگه اصلی سیلیس با مالاکیت، اکسید پیریت و پیریت



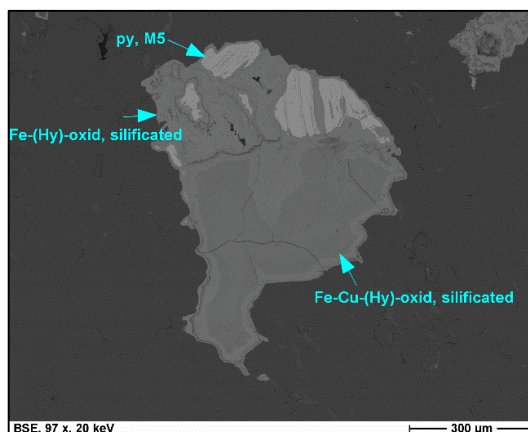
شکل ۱۲۳ رگه‌های سیلیسی متعدد در منطقه



شکل ۱۲۴ احاطه شدن کالکوپیریت بوسیله اکسید توام آهن و مس احاطه شده



شکل ۱۲۶ کانه‌زایی پیریت و اکسید تیتانیوم



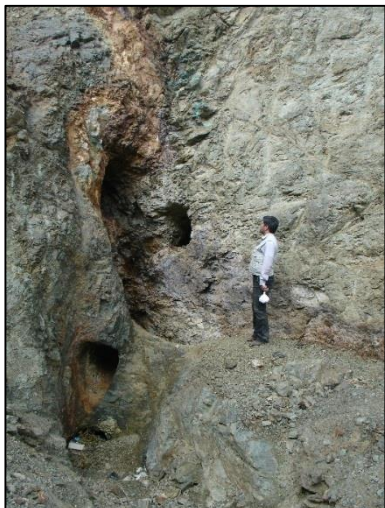
شکل ۱۲۵ بلورهای پیریت احاطه شده توسط اکسید آهن و مس

محدوده شماره ۴۴

این محدوده واقع در معدن مزایجان (کوره مسی) می‌باشد که حاصل از مدلسازی به روش‌های ANP- TOPSIS و AHP-OWA می‌باشد. لیتولوژی غالب منطقه آهک، توف دگرگونی، فیلیت و سیلت استون دگرگونی است. بخش شدیداً آلتزه در کنار رگه سیلیسی دو متری که در اطراف آن مالاکیت‌زایی شده است. منگنز هم به صورت دندریتی دیده می‌شود. تونل قدیمی معدنکاری در محدوده وجود دارد. تعداد شش نمونه در این محدوده برداشت شد که مشخصات آنها براساس جدول ۲۰ است. شکل‌های ۱۲۷ تا ۱۳۹ تصاویر مشاهدات صحرائی انجام شده در محدوده را نشان می‌دهند.

جدول ۲۰ لیست و مشخصات نمونه‌های برداشت شده.

ردیف	نام نمونه	لیتولوژی و مشاهدات
۱	Mazay-21	بخش کالکوپیریت و پیریت‌دار
۲	Mazay-22	بخش شیبست سیلیسی فاقد مس
۳	Mazay-23	بخش اکسید آهن درشت دانه و پر از پیریت
۴	Mazay-24	بخش اکسید آهن ریز دانه و پر از پیریت و مقداری مالاکیت
۵	Mazay-25	بخش سیلیسی مالاکیت‌دار
۶	Mazay-26	بخش سیلیسی مالاکیت‌دار تیره با منگنز بیشتر



شکل ۱۲۷ تونل‌های قدیمی حفر شده



شکل ۱۲۹ کانه‌زایی اکسید آهن و مس



شکل ۱۲۸ کانه‌زایی مس ملاکیتی



شکل ۱۳۱ کانه‌زایی ملاکیت و اکسید آهن دانه‌ریز



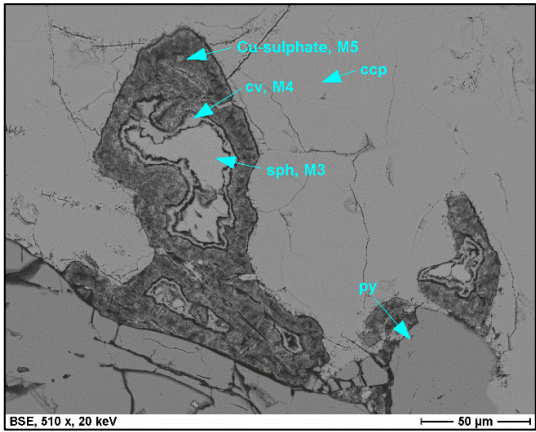
شکل ۱۳۰ اکسید آهن دانه درشت



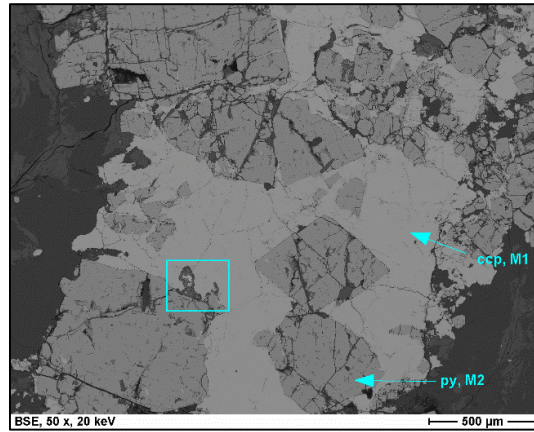
شکل ۱۳۳ کانه‌زایی مالاکیت به همراه منگنز



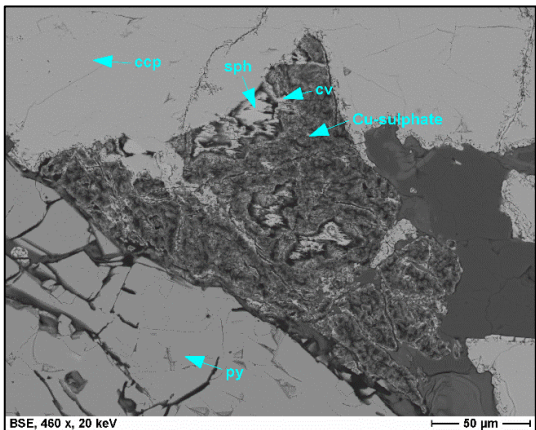
شکل ۱۳۲ پیریت و کالکوپیریت توده‌ای



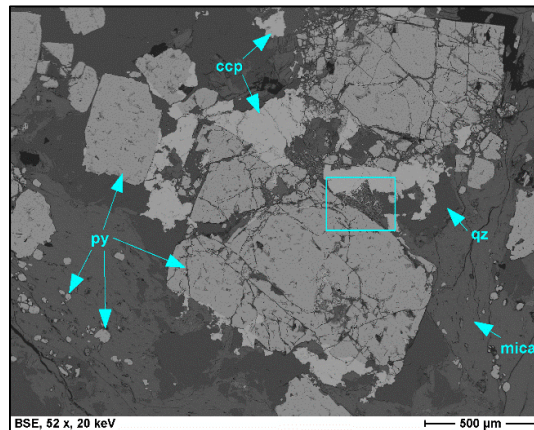
شکل ۱۳۵ کانه‌زایی کالکوپیریت، کوولین و اسفالریت



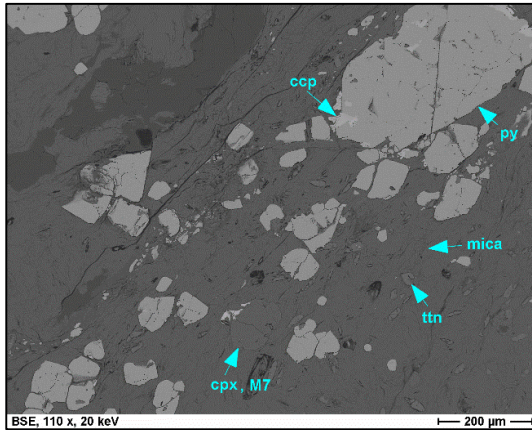
شکل ۱۳۴ کانه‌زایی پیریت و کالکوپیریت



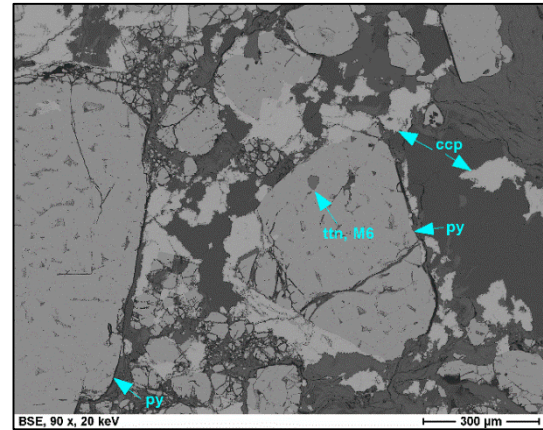
شکل ۱۳۷ کانه‌زایی کالکوپیریت، پیریت، کوولین و اسفالریت



شکل ۱۳۶ کانه‌زایی پیریت، کالکوپیریت و میکا در متن سیلیسی



شکل ۱۳۹ کانه‌زایی کالکوپیریت، پیریت، تیتانیت و کلینوپیروکسن



شکل ۱۳۸ کانه‌زایی کالکوپیریت، پیریت و تیتانیت

محدوده شماره ۴۵

این محدوده واقع در نزدیکی سروستان می‌باشد که حاصل از مدلسازی به روش‌های ANP-TOPSIS و AHP-TOPSIS و AHP-OWA می‌باشد. لیتولوژی غالب منطقه متادیوریت، متاگرانودیوریت و کالک شایست است. رگه سیلیسی با عرض چهار متر به رنگ قهوه‌ای روشن وجود دارد. ملاکیت در مرز بین سیلیس و شایست قرار دارد. مگنتیت و هماتیت نیز قابل مشاهده است. تعداد سه نمونه در این محدوده برداشت شد که مشخصات آنها براساس جدول ۲۱ است. شکل ۱۴۰ تصویر مشاهدات صحرائی انجام شده در محدوده را نشان می‌دهد.

جدول ۲۱ لیست و مشخصات نمونه‌های برداشت شده.

ردیف	نام نمونه	لیتولوژی و مشاهدات
۱	Monj-27	بخش مگنتیت و هماتیتی
۲	Monj-28	بخش شایست بیوتیت دار
۳	Monj-29	بخش شایست ملاکیت‌دار



شکل ۱۴۰ شلیست مالاکیت‌دار

محدوده شماره ۴۶

این محدوده واقع در نزدیکی سروستان می‌باشد که حاصل از مدلسازی به روش‌های ANP-TOPSIS و AHP-TOPSIS می‌باشد. لیتولوژی غالب منطقه آهک و ماسه سنگ است. تعداد زیادی ترانشه حفر شده است. شلیست‌های سبز و قرمز که در برخی مناطق مالاکیت‌زایی وجود دارد و همچنین مقداری پیریت و کالکوپیریت دارد. تعداد سه نمونه در این محدوده برداشت شد که مشخصات آنها براساس جدول ۲۲ است. شکل‌های ۱۴۱ تا ۱۵۰ تصاویر مشاهدات صحرایی انجام شده در محدوده را نشان می‌دهند.

جدول ۲۲ لیست و مشخصات نمونه‌های برداشت شده.

ردیف	نام نمونه	لیتولوژی و مشاهدات
۱	Monj-31	شلیست سبز مالاکیت‌دار
۲	Monj-32	شلیست قرمز مالاکیت‌دار
	Monj-33	بخش مالاکیت، آزوریت، کالکوپیریت و پیریت

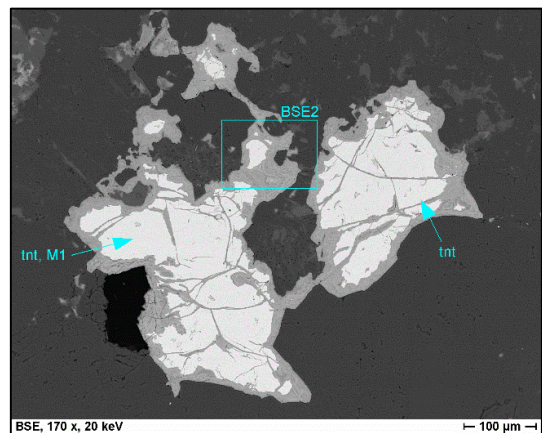
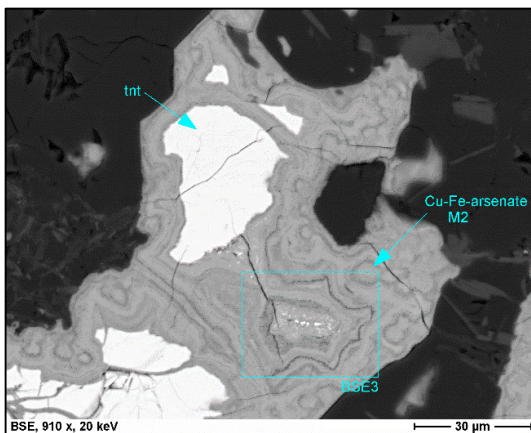


شکل ۱۴۱ ترانسه‌های متعدد در منطقه



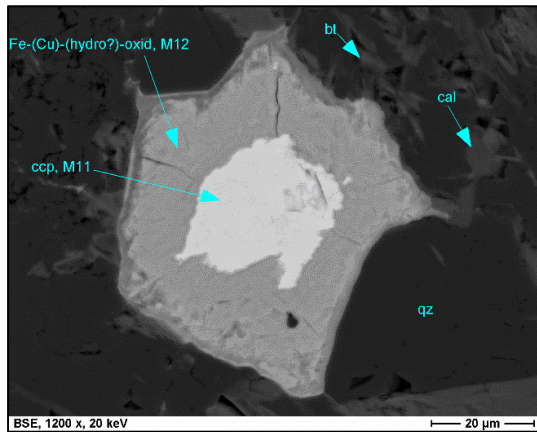
شکل ۱۴۳ شیست قرمز رنگ ملاکیت‌دار

شکل ۱۴۲ کانه‌زایی مس ملاکیت و آزوریتی به همراه پیریت و کالکوپیریت

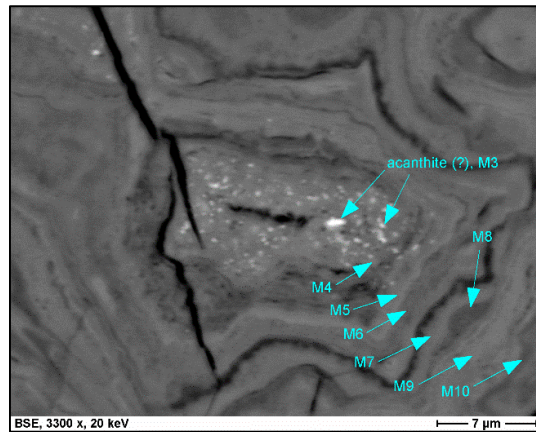


شکل ۱۴۵ کانه‌زایی تیتانیت و آرسنات مس-آهن

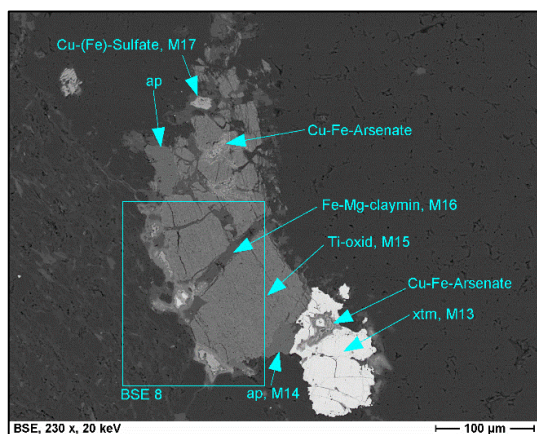
شکل ۱۴۴ کانه‌زایی تیتانیت (سیلیکات تیتانیوم-کلسیم)



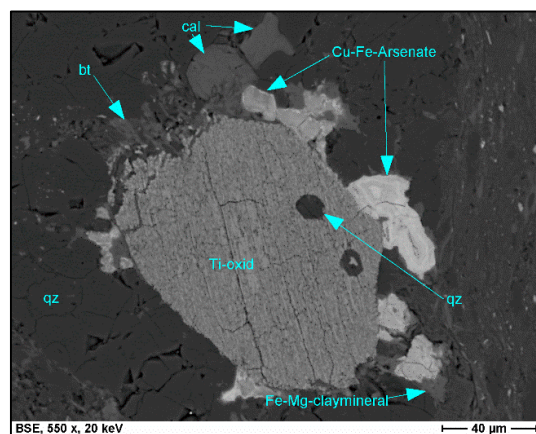
شکل ۱۴۷ کانه‌زایی کالکوپیریت که توسط هیدروکسید مس و آهن و در اطراف با بیوتیت، کلسیت احاطه شده است



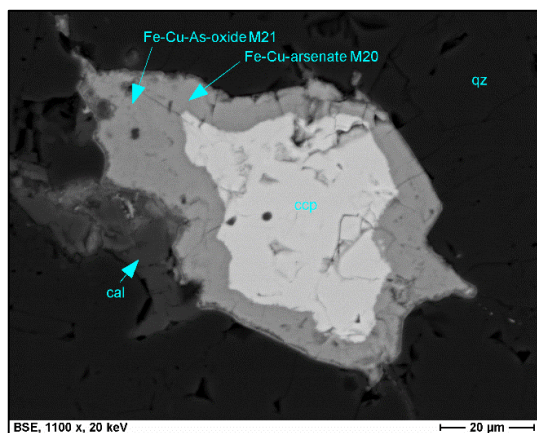
شکل ۱۴۶ کانه‌زایی آکانتیت (سولفید نقره) و شکستگی‌های مرتبط با فعالیت کف دریا



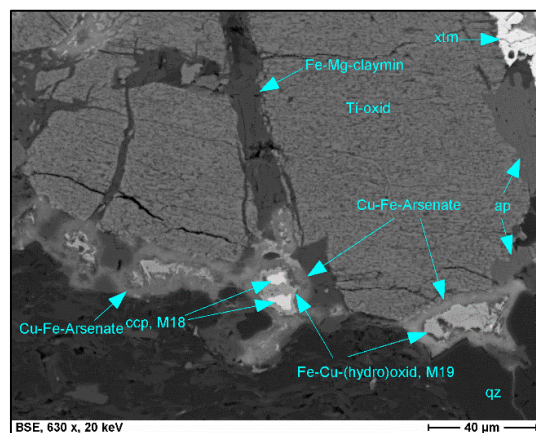
شکل ۱۴۹ کانه‌زایی گزنوتايم به همراه اکسید تیتانیوم، آرسنات مس و آهن و آپاتیت



شکل ۱۴۸ کانه‌زایی اکسید تیتانیوم



شکل ۱۵۰ کانه‌زایی کالکوپیریت احاطه شده توسط آرسنات و اکسید مس و آهن که از حاشیه شروع به اکسایش کرده است



این محدوده واقع در نزدیکی هنشگ می‌باشد که حاصل از مدلسازی به روش‌های ANP-TOPSIS و AHP-TOPSIS و AHP-OWA می‌باشد. لیتولوژی غالب منطقه اسلیت، شیست و متاولکانیک است. کانه‌زایی پیریت، کالکوپیریت به همراه کانه‌زایی آهن و منگنز به وفور مشاهده می‌شود. تعداد سه نمونه در این محدوده برداشت شد که مشخصات آنها براساس جدول ۲۳ است. شکل‌های ۱۵۱ تا ۱۵۵ تصاویر مشاهدات صحرایی انجام شده در محدوده را نشان می‌دهند.

جدول ۲۳ لیست و مشخصات نمونه‌های برداشت شده.

ردیف	نام نمونه	لیتولوژی و مشاهدات
۱	Hanesh-17	بخش شدیداً پیریت، کالکوپیریت و منگنز دار
۲	Hanesh-18	بخش شدیداً آلتره و زرد رنگ
۳	Hanesh-19	بخش قرمز رنگ به همراه آهن



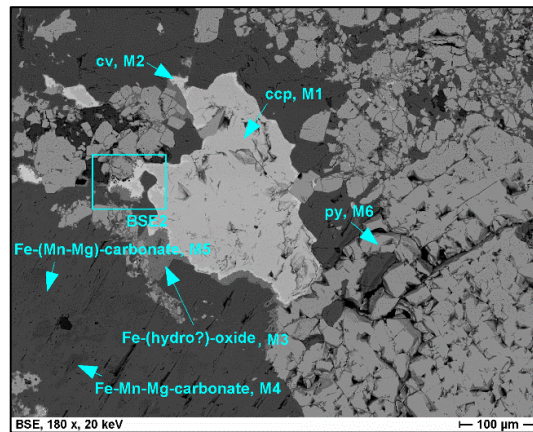
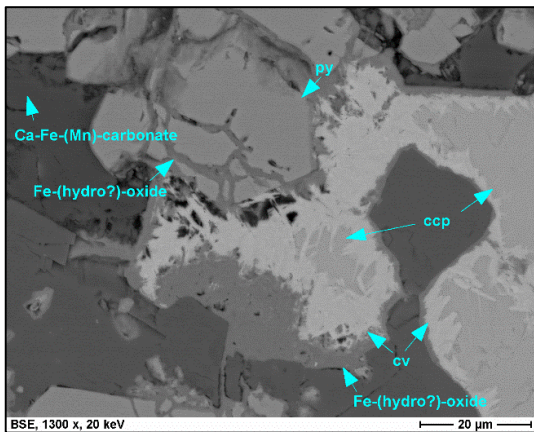
شکل ۱۵۲ اکسید آهن قرمز رنگ



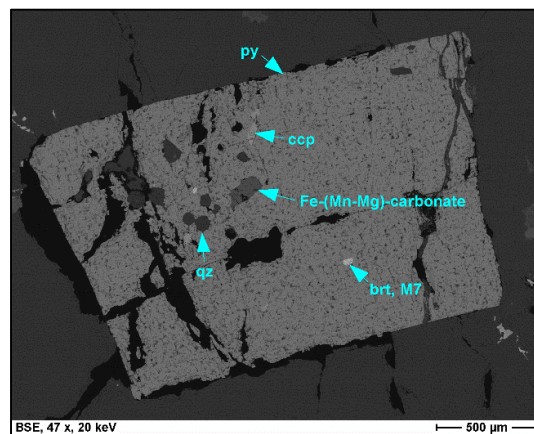
شکل ۱۵۱ بخش کانه‌دار (پیریت و کالکوپیریت)



شکل ۱۵۳ همراهی پیریت و کالکوپیریت فراوان در نمونه‌ها



شکل ۱۵۴ کانه‌زایی پیریت و کالکوپیریت به مقدار فراوان در نمونه



شکل ۱۵۵ بلور پیریت به همراه کالکوپیریت، باریت و کربنات آهن-منیزیم

پوست ب

مطالعات میکروسکوپی مقاطع

مقدمه

در این بخش از پیوست‌های رساله، به دلیل صرفه‌جویی در تعداد صفحات، نتایج مطالعه تعدادی از مقاطع صیقلی و میکروسکوپی انجام شده در این تحقیق آورده می‌شود.

مقاطع نازک

شماره نمونه: HAN-17-2-1

بافت سنگ: بافت این واحد، از نوع درشت بلور و گرانوبلاستیکی به صورت دولومیت‌های اسپارایتی می‌باشد.

کانی‌ها: دولومیت، کلسیت، کانی‌های کدر، کوارتز، کانی‌های رسی.

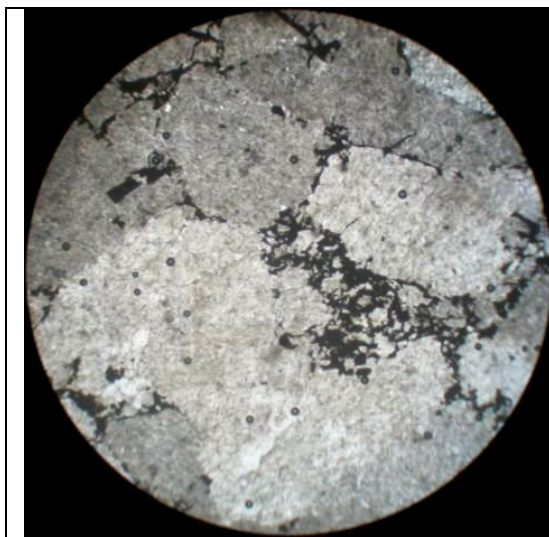
زمینه سنگ: در این واحد زمینه‌ی اولیه و خاصی مشاهده نمی‌شود. تنها می‌توان گفت که در میان درشت بلورهای دولومیت، مقادیری ناخالصی از نوع کوارتز آواری و کلسیت و همچنین مقادیر زیادی کانی‌های کدر قابل تشخیص است.

دگرسانی و هوازدگی: سولفیدی.

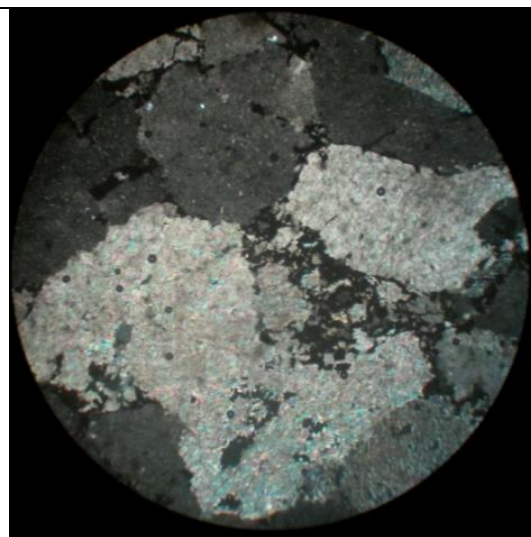
در این واحد، دگرسانی چندان قابل تشخیص نیست؛ اما جانشینی مقادیر زیادی کانی کدر درون رخ‌های دولومیت‌ها، شکستگی‌ها و فضاهای ثانویه مشاهده می‌شود. در واقع، کانی‌های کدر به صورت یک فاز ثانویه در فضاهای جدید که محصول رخدادهای بعدی هستند، حضور دارند.

اما نکته با اهمیت در این واحد، حضور یک فاز کانه زایی سولفیدی به صورت کانیهای کدر بی شکل است. این کانیهای کدر اغلب درون فضاهای ثانویه موجود در حاشیه‌ی گرانوبلاست‌های دولومیت، و همچنین درون رخ‌ها، رگچه‌ها و درزه-شکستگی‌ها را پر نموده است. حضور کانیهای کدر درون سیستم رخ‌های رمبوه‌درال دولومیت‌ها و همچنین جانشین در حاشیه‌ی بلورهای گرانوبلاستیکی دولومیت، می‌تواند شواهدی از ثانویه و تاخیری بودن کانه زایی نسبت به سنگ میزبان باشد. در واقع، واحد اولیه کربناته، بر اثر رخدادهای دیازنز و دگرگونی، تبلور مجدد و دولومیتیزاسیون رو متحمل شده است.

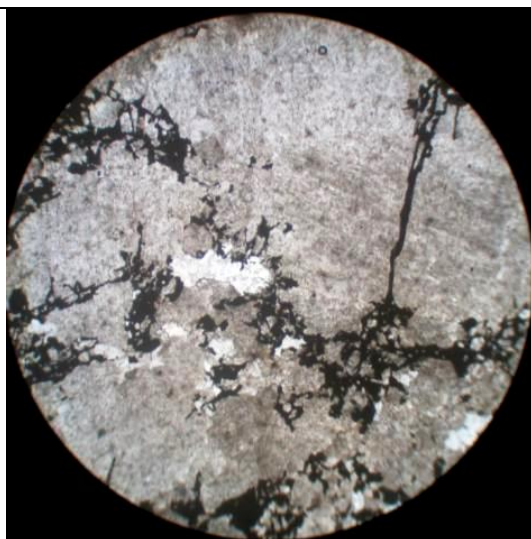
نام سنگ: یک واحد کربناته و دگرگون شده از نوع دولومیت اسپارایتی با بافت گرانوبلاستیکی می‌باشد که کانه زایی درون فضاهای بین بلوری شکل گرفته است.



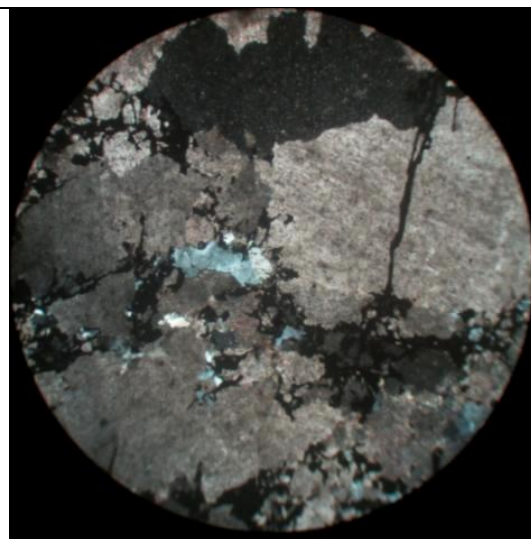
تصویر ۱- نمای عمومی از بافت گرانوبلاستیکی متشکل از درشت بلورهای دولومیت که در فضای بین آنها کانیهای کدر به صورت پر کننده فضاهای بین بلوری مشاهده می‌شوند (عرض تصویر: ۳ mm)



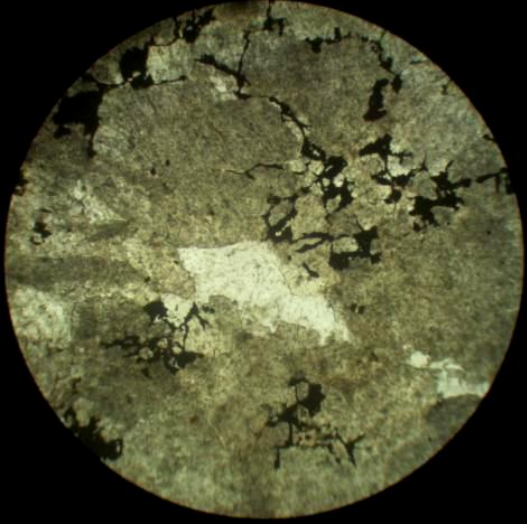
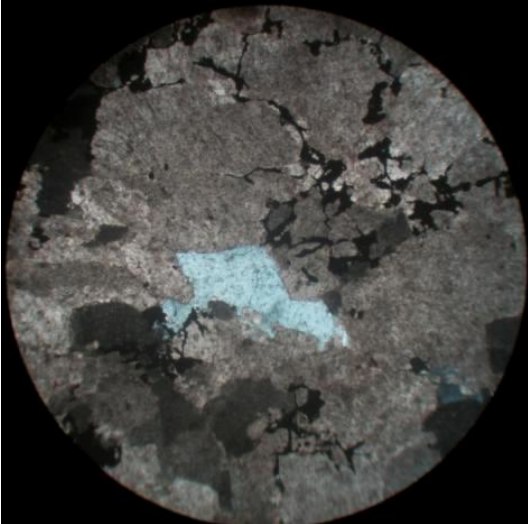
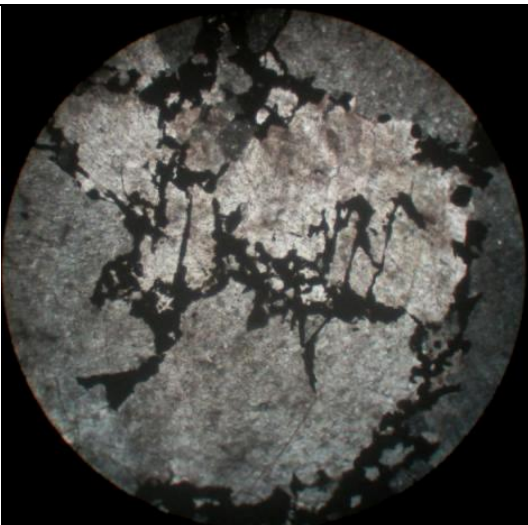
تصویر ۲- همان تصویر ۱ در PPL (عرض تصویر: ۳ mm)

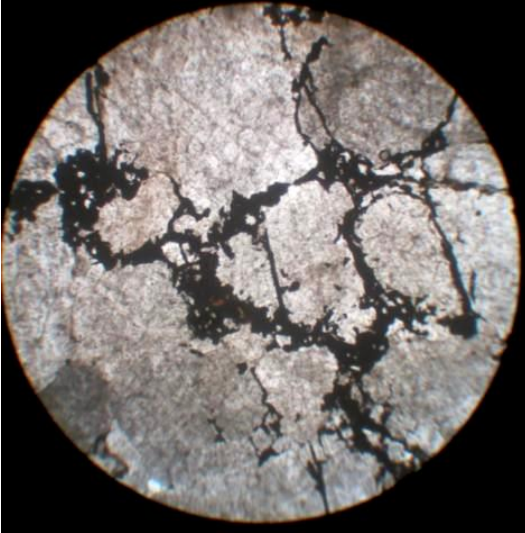


تصویر ۳- نمای دیگری از گرانوبلاستهای دولومیت همراه با ناخالصی‌هایی از کوارتز که در میان آنها مشاهده می‌شود (عرض تصویر: ۳ mm)



تصویر ۴- همان تصویر ۳ در PPL (عرض تصویر: ۳ mm)

	<p>می‌شود. کانیهای کدر به صورت پرکننده فضاهای ثانویه و همچنین به صورت رگچه‌ای حضور دارند (عرض تصویر: ۳ mm)</p>
 <p>تصویر ۵- کوارتزهای موجود در میان دولومیت‌های گرانوبلاستیک به صورت بی شکل از فرم فضاهای بین دولومیت‌ها تبعیت می کنند. کانیهای کدر درون فضاهای ثانویه قرار دارند (عرض تصویر: ۳ mm)</p>	 <p>تصویر ۶- همان تصویر ۵ در PPL. (عرض تصویر: ۳ mm)</p>
 <p>تصویر ۷- نمای نزدیک از جانشینی کانیهای کدر درون بخش‌های دولومیتی شده. گاهی کانیهای کدر در فضای</p>	 <p>تصویر ۸- همان تصویر ۷ در PPL. (عرض تصویر: ۱,۵ mm)</p>

	<p>میان رخ‌های ریمبوهدرال دولومیت‌ها جانشین شده‌اند (عرض تصویر: ۱,۵ mm)</p>
 <p>تصویر ۱۰- همان تصویر ۷ در PPL (عرض تصویر: ۳ mm)</p>	 <p>تصویر ۹- یک نمای عمومی از جاننشینی کانیهای کدر درون فضاهای بین بلورهای دولومیت. به نظر می‌رسد فضاهای ثانویه بر اثر دولومیتی شدن واحد اولیه شکل گرفته باشند (عرض تصویر: ۳ mm)</p>

شماره نمونه: HAN-17-2

بافت سنگ: بافت اولیه‌ی این واحد، از نوع گرانوبلاستیکی و متشکل از درشت بلورهای دولومیت می‌باشد.

کانی‌ها: دولومیت، کانی‌های کدر، کوارتز، کلسیت، ژیپس (?).

زمینه سنگ: در این واحد، بافت گرانوبلاستیکی مشاهده شده و زمینه‌ی خاصی را نمی‌توان تشخیص داد.

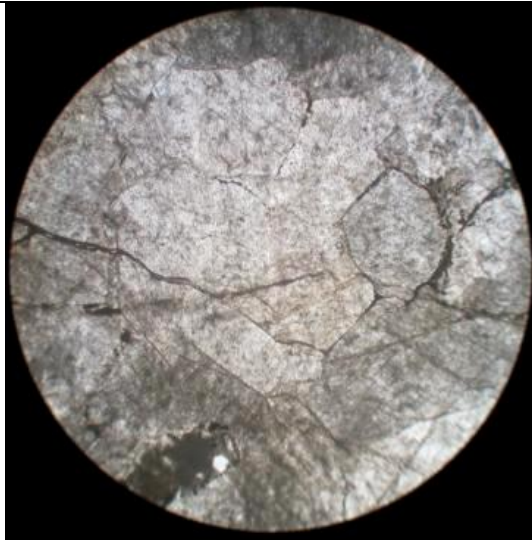
دگرسانی و هوازدگی: سولفیدی، سیلیسی.

دگرسانی در این واحد، عمدتاً از نوع سولفیدی می‌باشد. در واقع کانیهای کدر درون رگه-رگچه‌ها و همچنین فضاهای ثانویه را اشغال نموده‌اند. در فضاهای خالی موجود در سنگ، گاهی کوارتزهای درشت تا متوسط بلور نیز شکل گرفته است.

توصیف: این نمونه از یک واحد کربناته است که متحمل دگرگونی و همچنین یک فاز کانه‌زایی سولفیدی شده است.

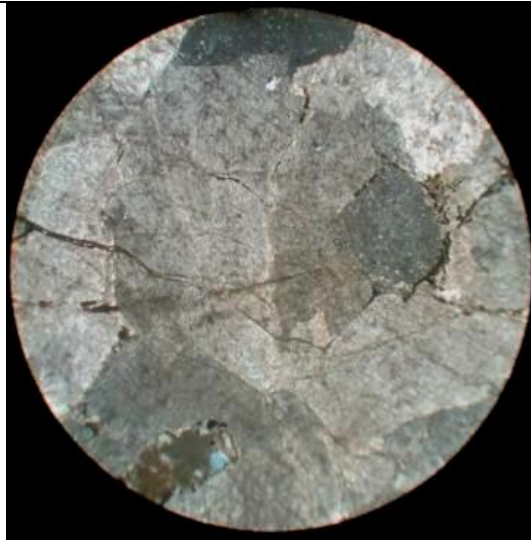
در این واحد، حضور یک فاز کانه‌زایی سولفیدی به صورت کانیه‌های کدر فراوان قابل توجه می‌باشد. این کانیه‌های کدر اغلب درون فضاهای ثانویه موجود در سنگ بویژه درون رگه-رگچه‌ها و درزه-شکستگی‌ها و همچنین حاشیه‌ی گرانوبلاست‌های دولومیت جای گرفته‌اند. این کانیه‌های کدر به صورت ثانویه و تاخیری نسبت به سنگ میزبان جانشین شده‌اند. در واقع، واحد اولیه کربناته بر اثر رخداد‌های دگرگونی، تبلور مجدد و دولومیتی‌زاسیون را متحمل شده است. در این رخدادها، تبدیل کلسیت به دولومیت باعث می‌گردد تا به دلیل کوچک‌تر بودن شعاع یونی منیزیم نسبت به کلسیم، فضاهای خالی متعددی در حاشیه‌ی دولومیت‌ها و درون سطوح رخ‌ها ایجاد گردد. با نفوذ فاز سولفیدی به درون این واحد، سولفیدها به درون شکستگی‌ها و این فضاهای ثانویه وارد شده‌اند.

نام سنگ: یک واحد کربناته و دگرگون شده از نوع دولومیت اسپارایتی با بافت گرانوبلاستیکی می‌باشد که کانه‌زایی به صورت ثانویه و بافت رگه-رگچه‌ای و شکافه پرکن، درون فضاهای خالی آن شکل گرفته است.



تصویر ۲- همان تصویر ۱ در PPL (عرض تصویر:

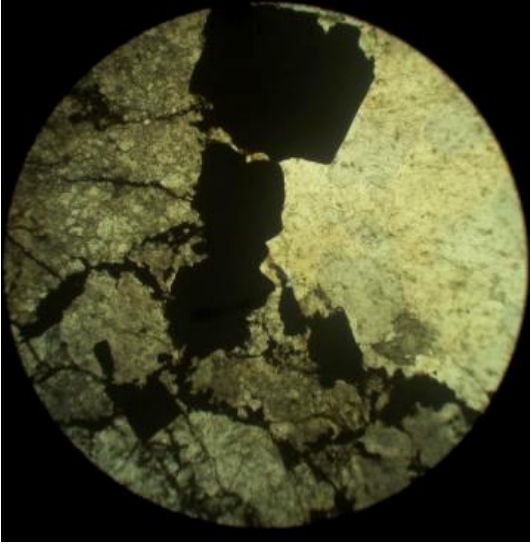
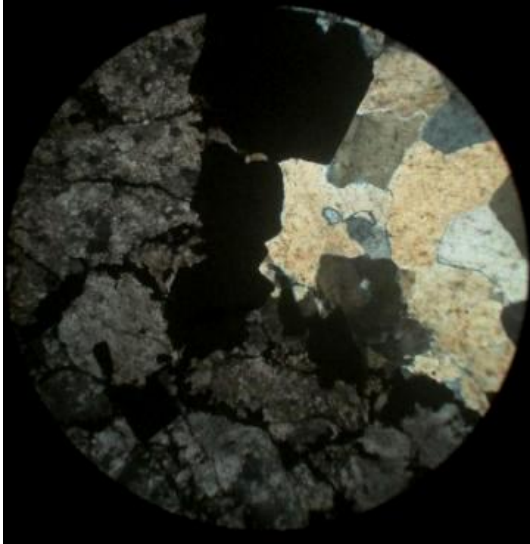
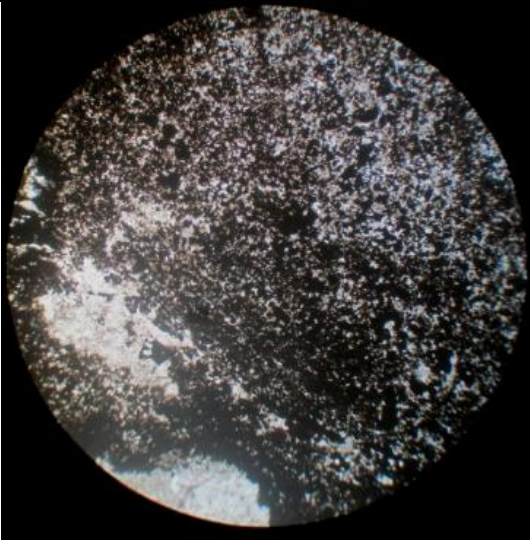
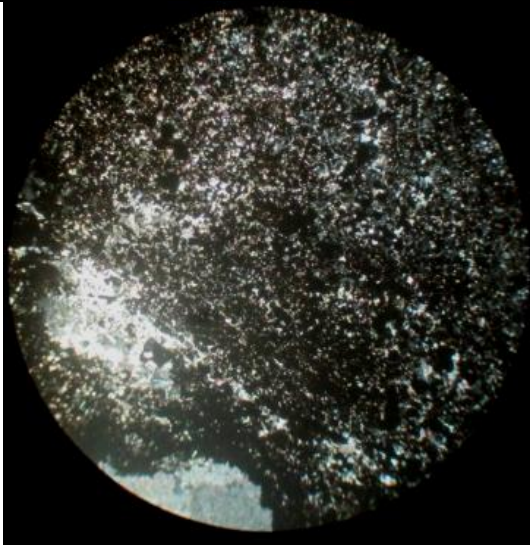
5 mm)

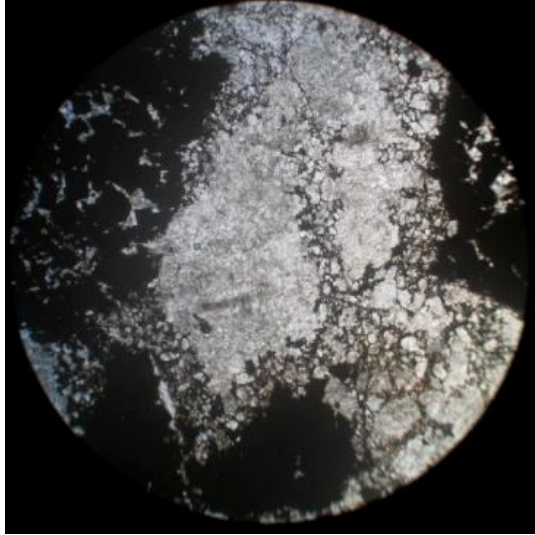
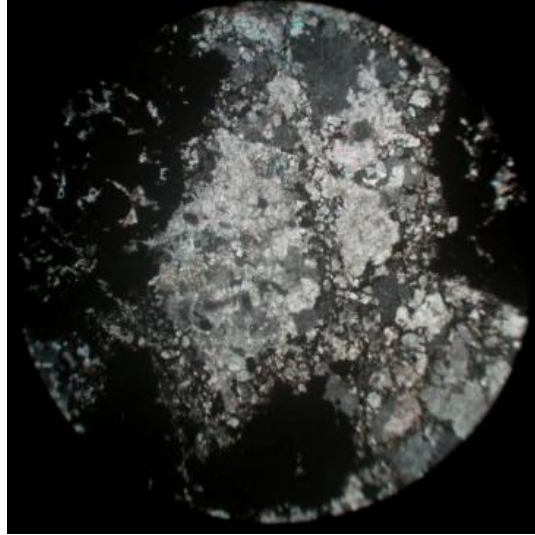
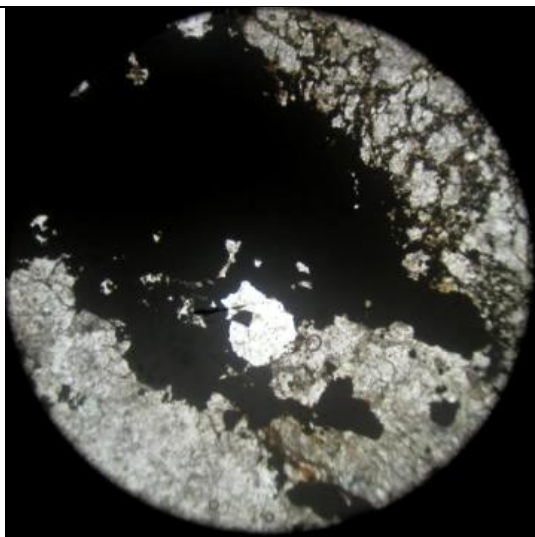
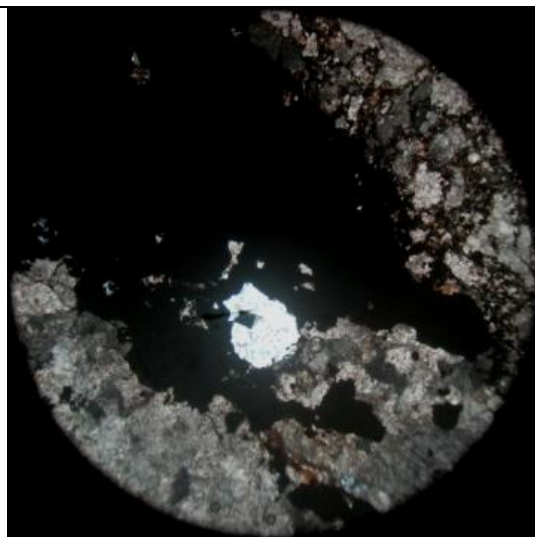


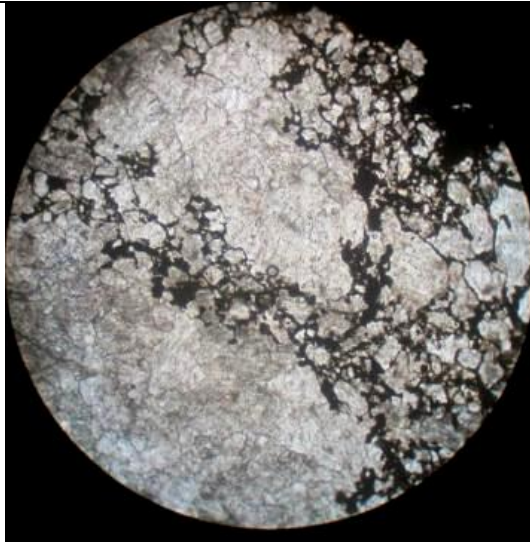
تصویر ۱- نمای عمومی از بافت گرانوبلاستیکی و

اسپارایتی متشکل از درشت بلورهای دولومیت. در

فواصل میان دولومیت‌ها و درون درزه-شکستگیها،

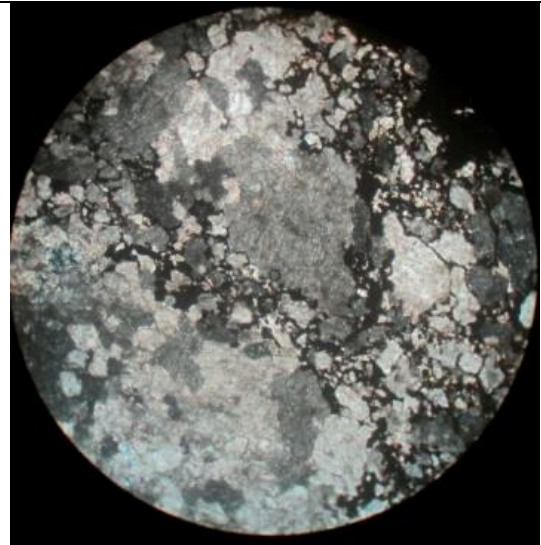
	<p>مقادیری کانیهای کدر نیز مشاهده می شود (عرض تصویر: ۵ mm)</p>
 <p>تصویر ۳- همان تصویر ۳ در PPL (عرض تصویر: ۳ mm)</p> <p>(۳)</p>	 <p>تصویر ۳- نمایی از حفرات پر شده از کوارتز همراه با کانیهای کدر خودشکل. درون شکستگیها و فواصل بلوری موجود در واحد میزبان دولومیتی و گرانوبلاستیکی، کانیهای کدر جانشین شده اند (عرض تصویر: ۳ mm)</p>
 <p>تصویر ۶- همان تصویر ۵ در PPL. (عرض تصویر: ۳ mm)</p>	

	<p>تصویر ۵- نمایی از بخش های کانه دار که مجموعه های ریزبلوری از کانیهای کدر همراه با ریزبلورهای دولومیت قابل تشخیص هستند (عرض تصویر: ۳ mm)</p>
 <p>تصویر ۸- همان تصویر ۷ در PPL. (عرض تصویر: ۳ mm)</p>	 <p>تصویر ۷- جانشینی کانیهای کدر در میان بلورهای دولومیت (عرض تصویر: ۳ mm)</p>
 <p>تصویر ۱۰- همان تصویر ۷ در PPL. (عرض تصویر: ۳ mm)</p>	 <p>تصویر ۹- نمایی از جانشینی کانیهای کدر و کمی کوارتز در میان میزبان دولومیتی (عرض تصویر: ۳ mm)</p>



تصویر ۱۲- همان تصویر ۱۱ در PPL. (عرض تصویر:

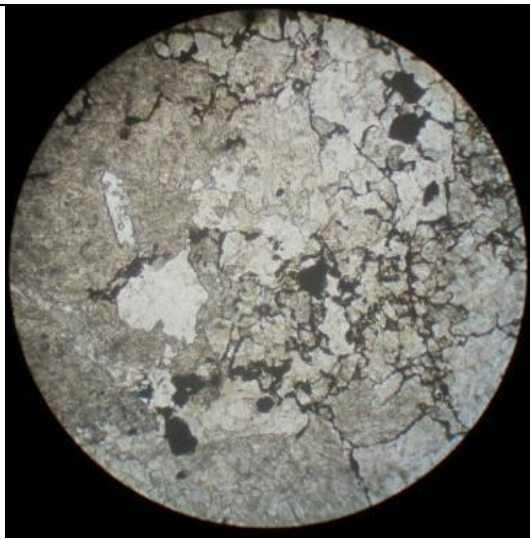
۱,۵ mm)



تصویر ۱۱- نمای نزدیکتر از نفوذ مجموعه‌های کانیه‌های

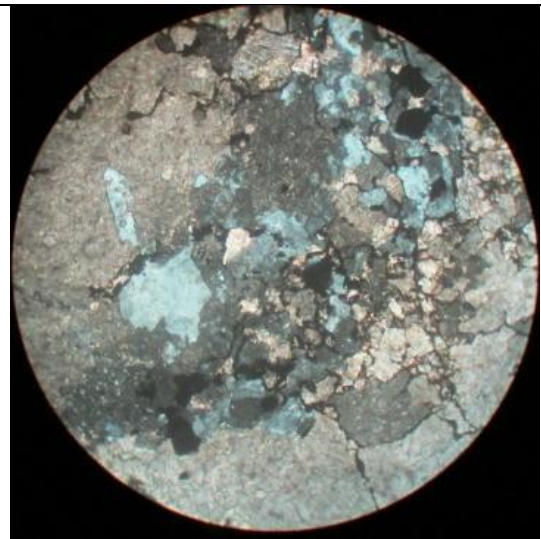
کدر در میان بلورهای دولومیت (عرض تصویر: mm

۱,۵)



تصویر ۱۴- همان تصویر ۱۳ در PPL. (عرض تصویر:

۱,۵ mm)



تصویر ۱۳- مجموعه ریزبلورهای کوارتز و احتمالاً ژئپس

همراه با کانیه‌های کدر، در میان زمینه‌ی دولومیتی

مشاهده می‌شود (عرض تصویر: ۱,۵ mm)

بافت سنگ: بافت این واحد از نوع برگوارگی و موجوارگی کاملاً آشکار و جهت یافته، متشکل از نوارهای روشن و تیره می‌باشد. این واحد توسط رگه‌های سیلیسی کانه‌دار قطع و جابجا شده است.

کانی‌ها: کوارتز، کلریت، کانیه‌های کدر، اپیدوت، فلدسپار، بیوتیت، زیرکن، اسفن.

زمینه سنگ: این واحد از نوارهای روشن و تیره تشکیل شده و زمینه خاصی ندارد.

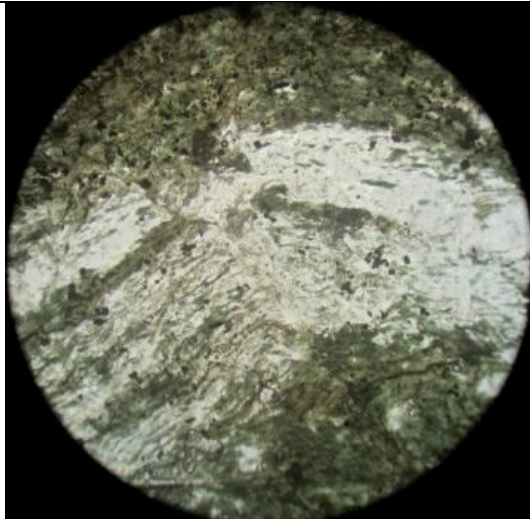
دگرسانی و هوازدگی: سیلیسی، سولفیدی.

عمده کانی‌های واحد میزبان، در طی دگرگونی ناحیه‌ای یک واحد احتمالاً ولکانیکی تا پیروکلاستیکی اولیه شکل گرفته است. اما رگه‌های کوارتزی حاوی کانی‌های کدر فراوان متن سنگ را قطع کرده‌اند. این مجموعه‌های کوارتز-سولفیدی بخش‌هایی از سنگ را متاثر نموده‌اند. در واقع، بخش عمده‌ی کانی‌های کدر در طی کانه‌زایی به واحد اولیه و دگرگونه وارد شده است.

توصیف: نمونه مورد مطالعه، از یک واحد دگرگونه با بافت کاملاً جهت یافته و دارایی شایسته آشکار و همچنین موج‌وارگی (کرینیولیشن) برداشت گردیده است.

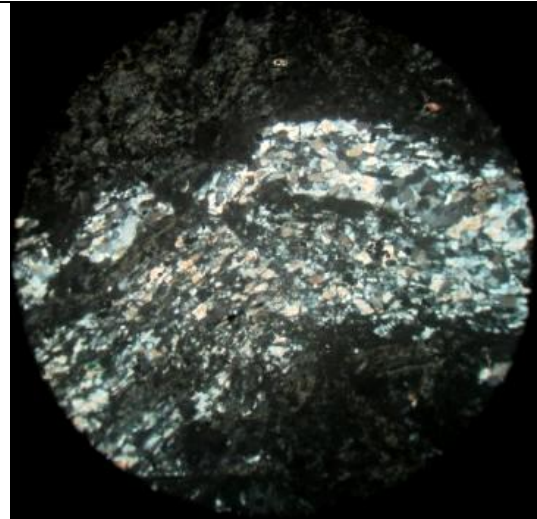
در بخش تیره سنگ، مجموعه‌ای از کانی‌های کلریت و مقادیر کمتری اپیدوت و بیوتیت، همراه با کانی‌های کدر ریزبلور مشاهده می‌شود. این بخش‌ها موج‌وارگی و برگوارگی را بسیار واضح‌تر از بخش‌های روشن نمایان می‌سازند.

نام سنگ: یک واحد احتمالاً پیروکلاستیکی اولیه با ترکیب حدواسط تا اسیدی که دگرگون شده و به مجموعه با اپیدوت-کلریت-کوارتز شایسته تبدیل شده است. در این واحد، کانه زائی سولفیدی درون رگه‌های کوارتزی و همچنین بخش‌های شکسته و خرد شده ی سنگ مشاهده می‌شود.



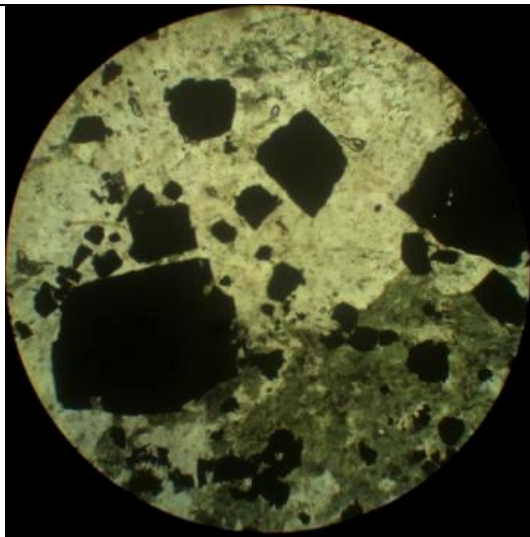
تصویر ۱- نمای عمومی از بافت جهت یافته متشکل از

تصویر ۲- همان تصویر ۱ در PPL (عرض تصویر):
(۳ mm)



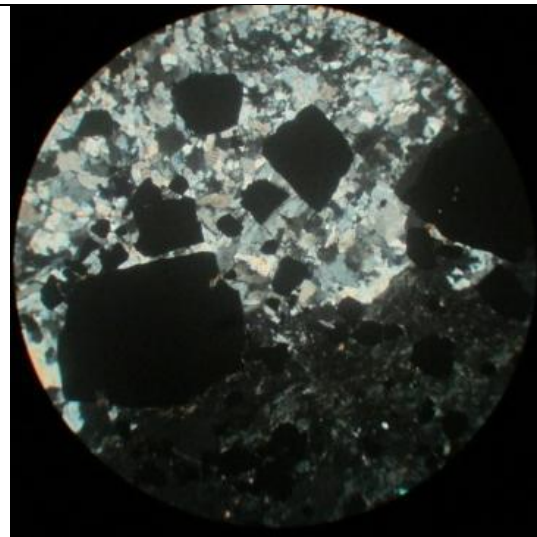
نوارهای روشن و تیره که ایجاد بر گوارگی و موجواری نموده اند. بخشهای تیره از کلریت و کمی اپیدوت و کانیهای کدر، و بخشهای روشن از کوارتز با مقادیر کمی کلریت و کانی کدر تشکیل شده است (عرض تصویر):

(۳ mm)



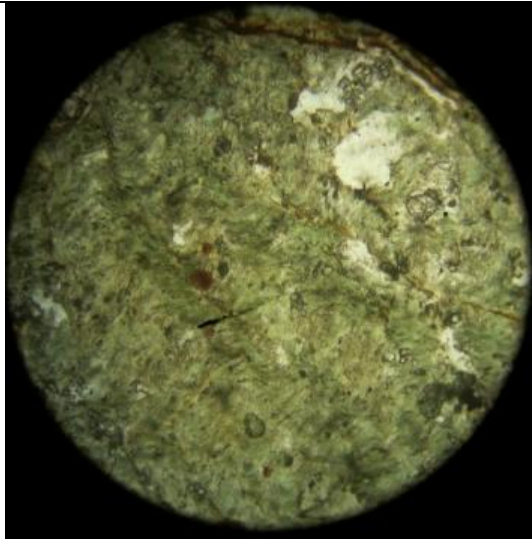
تصویر ۳- بخشهای حاوی کوارتز و همچنین نوارهای

تصویر ۴- همان تصویر ۳ در PPL (عرض تصویر):
(۳ mm)



کلریتی، توسط درشت بلورهای خودشکل کانیهای کدر

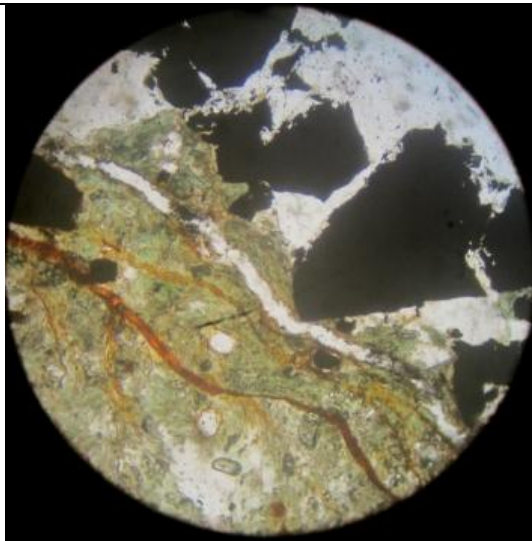
اورپرینت شده اند (عرض تصویر: ۳ mm)



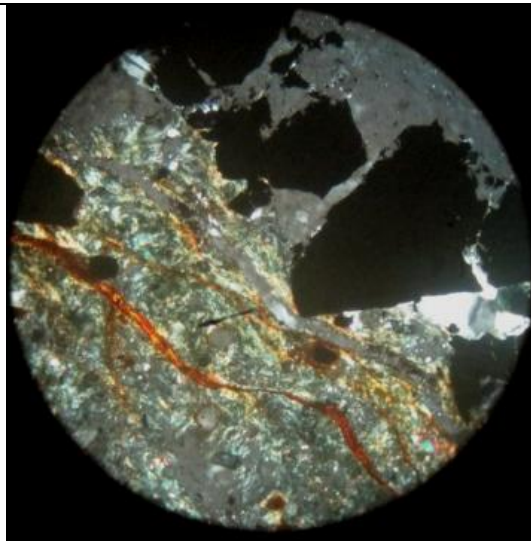
تصویر ۶- همان تصویر ۵ در PPL. (عرض تصویر:
۱,۵ mm)



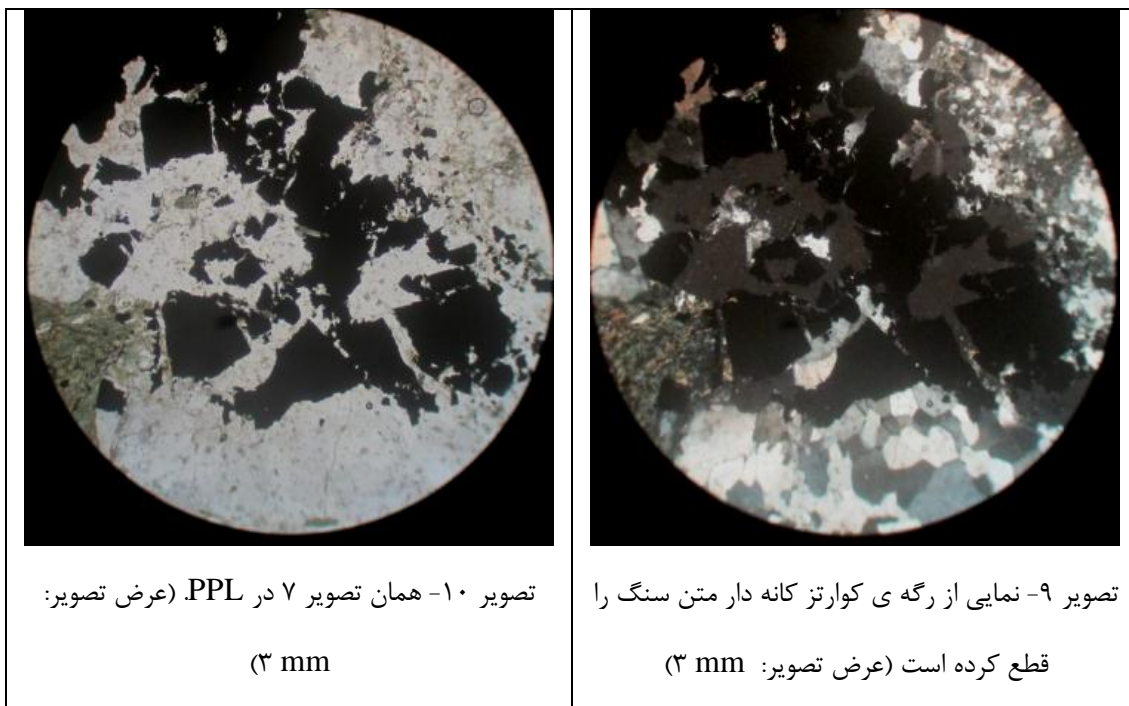
تصویر ۵- نمای نزدیک از بخشهای کلریتی که
موجوارگی در آنها به خوبی قابل تشخیص است.
مقادیری کمی اپیدوت و کانی کدر اکسید شده نیز در
این میان حضور دارد (عرض تصویر: ۱,۵ mm)



تصویر ۸- همان تصویر ۷ در PPL. (عرض تصویر:
۱,۵ mm)



تصویر ۷- نمای نزدیک از مرز بین بخشهای کلریتی و
یک رگه کوارتزی کانه دار. کانیهای کدر درشت بلور و
عمدتا خودشکل اغلب در بخش کوارتز قرار دارد. درون
رگه-رگچه های تاخیری، اکسید-هیدروکسیدهای آهن
مشاهده می شود (عرض تصویر: ۱,۵ mm)



شماره نمونه: JYAN-11-9

بافت سنگ: این نمونه از یک کانسنگ سیلیسی-سولفیدی با بافت متوسط بلور می باشد.

کانی‌ها: کوارتز، کانی‌های کدر، اکسید-هیدروکسیدهای آهن.

زمینه سنگ: تمام بافت این واحد به صورت یکدست و متوسط بلور بوده و زمینه خاصی ندارد.

دگرسانی و هوازدگی: سیلیسی، سولفیدی، اکسید-هیدروکسیدهای آهن.

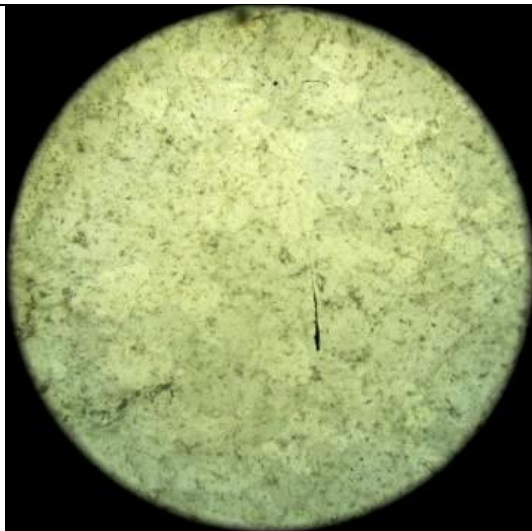
این واحد، محصول دگرسانی و کانه زایی می باشد. تمام بافت این واحد را کوارتزهای متوسط تا ریزبلور همراه با کانیهای کدر تشکیل داده اند. در واقع یک فاز سیلیسی-سولفیدی باعث ایجاد این نمونه شده است. مقادیری اکسید-هیدروکسیدهای آهن در جایگاه کانی‌های کدر وجود دارد که نشان‌دهنده ی اکسیده شدن کانی‌های سولفیدی اولیه می‌باشد.

توصیف: نمونه از یک کانسنگ سیلیسی و سولفیدی برداشت شده است. در این نمونه، واحد میزبان کانسنگ سیلیسی-سولفیدی دیده نمی‌شود و به نظر می‌رسد که مقطع میکروسکوپی تنها از بخش سیلیسی و کانه‌دار تهیه شده است.

بیش از ۸۰ درصد از حجم این نمونه را بلورهای کوارتز تشکیل داده‌اند. کوارتزها با ابعاد متوسط تا ریزبلور به صورت هم بعد و با بافت گرانولار در کنار یکدیگر حضور دارند. ابعاد کوارتزها از ۰,۲ میلی‌متر تا حدود ۱ میلی‌متر می‌باشد.

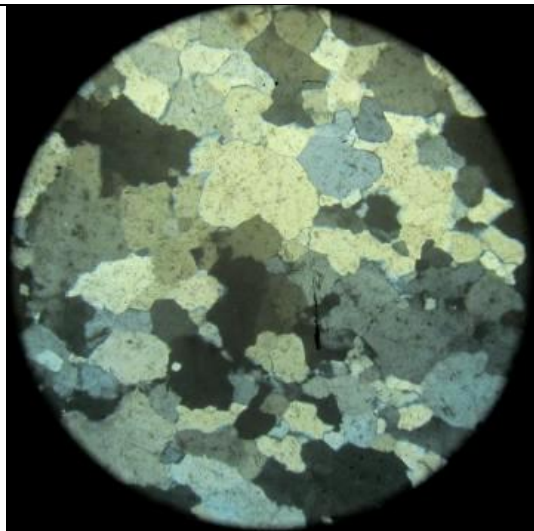
درون بخش‌هایی از مجموعه‌های کوارتز، مقادیری کانی کدر مشاهده می‌شود. کانی‌های کدر با بافت شکافه پرکن در میان بخش‌های سیلیسی قرار گرفته‌اند. فرم این کانی‌های کدر از فرم فضاهای خالی تبعیت می‌نمایند. برخی از کانی‌های کدر تا حدودی اکسیده شده و در جایگاه آنها مجموعه‌های اکسید-هیدروکسیدی آهن تشکیل شده است.

نام سنگ: نمونه از یک کانسنگ سیلیسی-سولفیدی با بافت گرانولار و شکافه پرکن می‌باشد.



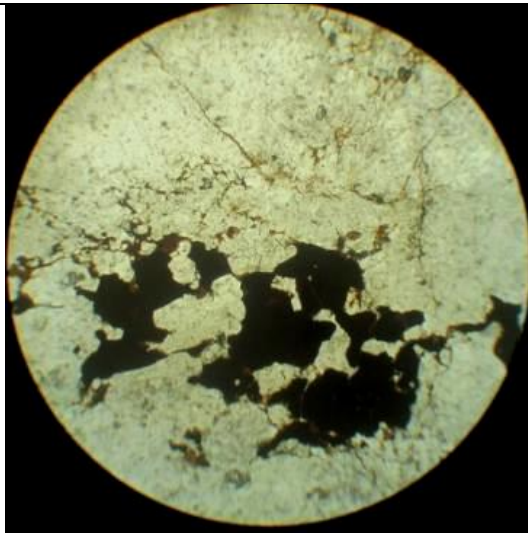
تصویر ۲- همان تصویر ۱ در PPL (عرض تصویر:

۳ mm)



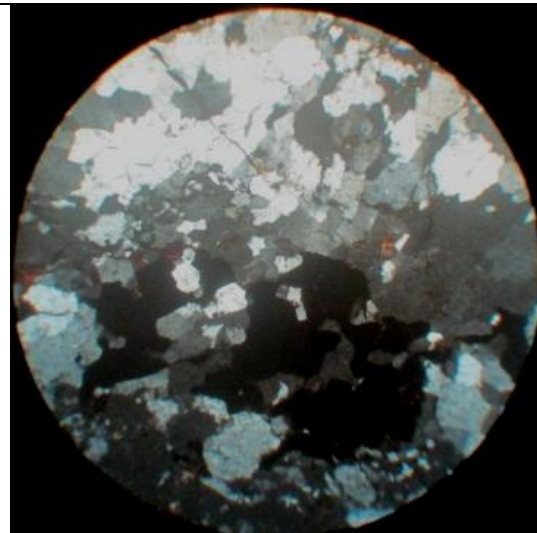
تصویر ۱- بافت عمومی در کوارتزها که به صورت هم بعد و ریز بلور با خاموشی ساده تا کمی موجی مشاهده

می‌شود (عرض تصویر: ۳ mm)

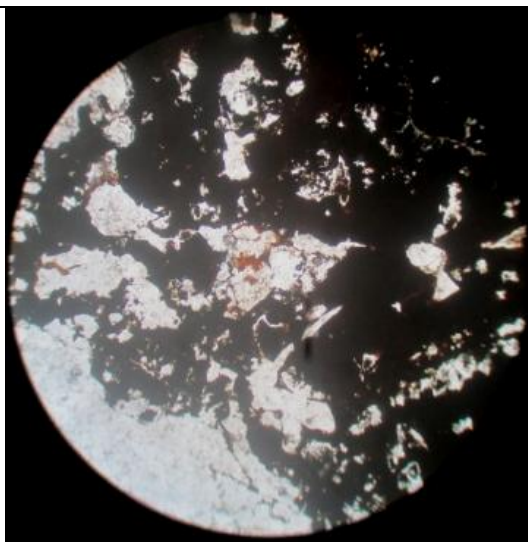


تصویر ۴- همان تصویر ۳ در PPL (عرض تصویر: mm

(۳

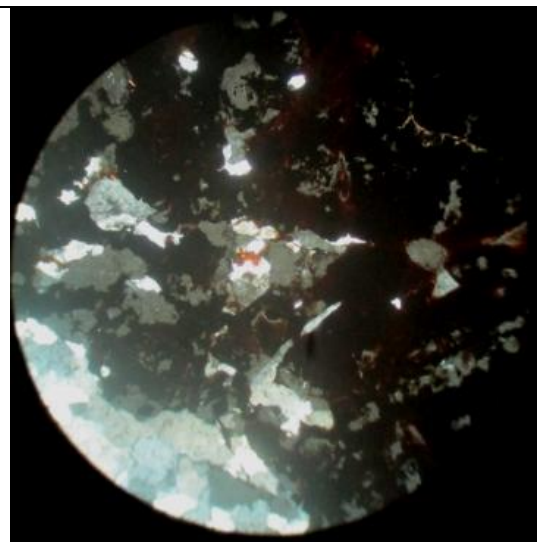


تصویر ۳- نمای دیگری از مجموعه های کوارتز که در میان آنها کانیهای کدر با بافت شکافه پرکن جای گرفته اند. کانیهای کدر از حاشیه و درون شکستگیهای تاخیری، آغشتگی به اکسید-هیدروکسیدهای آهن را نشان میدهند (عرض تصویر: mm ۳)

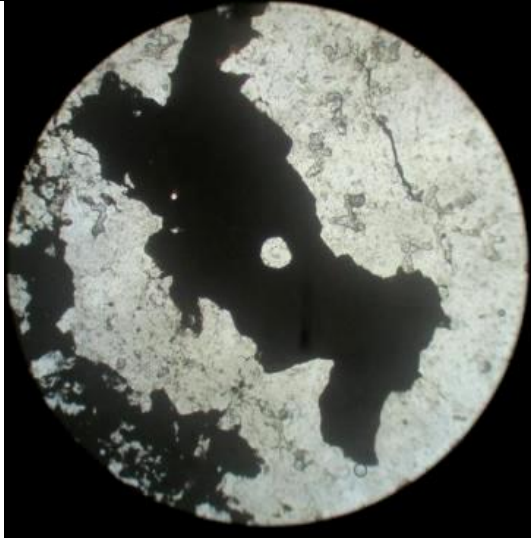


تصویر ۶- همان تصویر ۵ در PPL. (عرض تصویر: mm

(۳

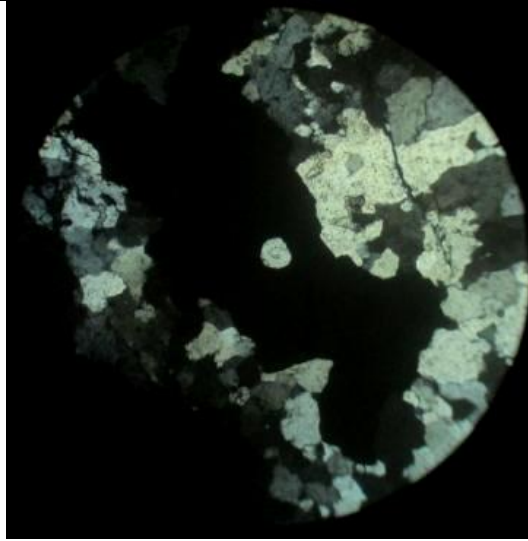


تصویر ۵- مجموعه کانیهای کدر به صورت شکافه پرکن درون بخش های حاوی کوارتز جای گرفته اند. در فواصل میان آنها مقادیری کوارتز به صورت بی شکل قرار دارد (عرض تصویر: mm ۳)



تصویر ۸- همان تصویر ۷ در PPL. (عرض تصویر:

۳ mm)



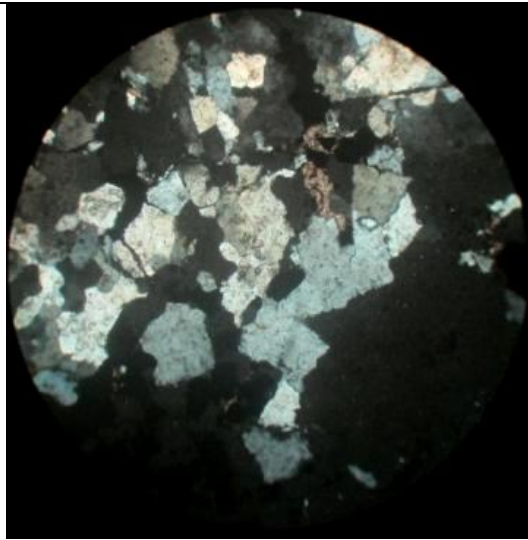
تصویر ۷- مجموعه کانیهای کدر با بافت پرکننده فضاهای خالی در میان بلورهای کوارتز مشاهده می شود

(عرض تصویر: ۳ mm)



تصویر ۱۰- همان تصویر ۷ در PPL. (عرض تصویر:

۳ mm)



تصویر ۹- نمای دیگری از حضور کانیهای کدر و کمی کلسیت در میان بلورهای کوارتز درون بخش سیلیسی

(عرض تصویر: ۳ mm)

بافت سنگ: این نمونه از یک واحد به شدت سیلیسی شده با کانه زایی ضعیف می باشد.

کانی‌ها: کوارتز، کانی‌های کدر، سربیسیت، مسکوویت، مالاکیت، اکسید-هیدروکسیدهای آهن.

زمینه سنگ: در این واحد دو فاز از کوارتز را می توان تشخیص داد. کوارتزهای ریزبلور در زمینه‌ی میان قطعاتی از کوارتزهای متوسط بلور قرار دارند.

دگرسانی و هوازدگی: سیلیسی، کانی کدر، مالاکیت، اکسید-هیدروکسیدهای آهن.

این واحد، محصول دگرسانی و کانه زایی می باشد. تقریباً تمام بافت این واحد را کوارتز تشکیل داده است. کوارتزها به دو صورت متوسط بلور در زمینه‌ای از کوارتزهای ریزبلور قابل تفکیک هستند. همچنین مالاکیت درون فضاهای تاخیری وجود دارد که نشان‌دهنده‌ی اکسیده شدن کانی‌های سولفیدی اولیه می باشد. رگچه‌های بسیار باریکی از مالاکیت متن سنگ را قطع نموده است.

توصیف: نمونه از یک واحد به شدت سیلیسی شده برداشت شده است. شدت سیلیسی شدن در این واحد به حدی هست که نمیتوان آثاری از واحد اولیه را تشخیص داد.

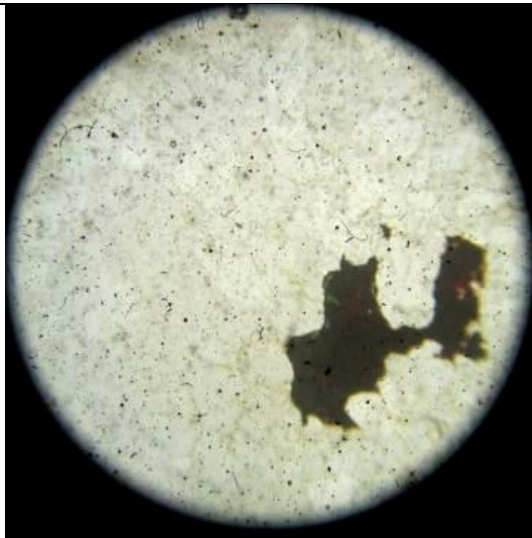
درون این مجموعه‌های کوارتز کانی‌های کدر با بافت شکافه پرکن گاهی حضور دارند. این کانی‌های کدر، بی شکل بوده و فرم آنها از فرم فضاهای موجود در میان کوارتزهای این بخش‌ها تبعیت نموده است. این کوارتزها دارای خاموشی موجی خفیف هستند.

برخی از کانی‌های کدر تا حدودی اکسیده شده و در جایگاه آنها مجموعه‌های اکسید-هیدروکسیدی آهن تشکیل شده است. مقادیری مالاکیت نیز گاهی مشاهده می شود.

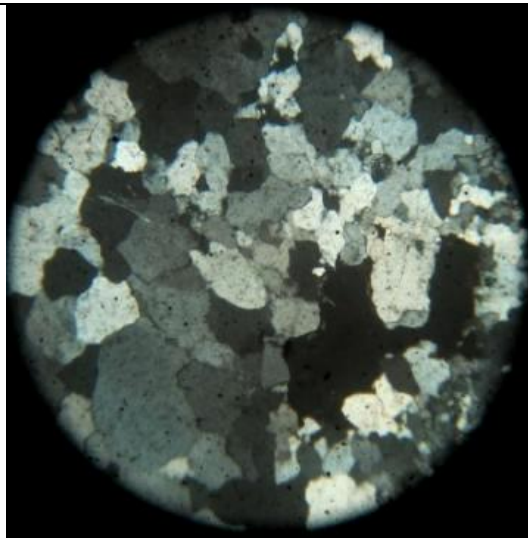
رگچه‌های باریک و پراکنده‌ای از مالاکیت، متن سنگ را قطع کرده‌اند. این رگچه‌ها تاخیری تر از بخش‌های سیلیسی سنگ هستند.

بطور کلی، به نظر می رسد که هجوم یک فاز سیلیسی به یک واحد میزبان نامشخص، موجب تشکیل کوارتز درون فضاهای خالی و رگه‌ها به صورت متوسط بلور شده و سپس توسط یک فاز سیلیسی ریزبلور در برگرفته شده است.

نام سنگ: نمونه از یک واحد به شدت سیلیسی- و کمی حاوی کانی‌های کدر با بافت شکافه پرکن می باشد.



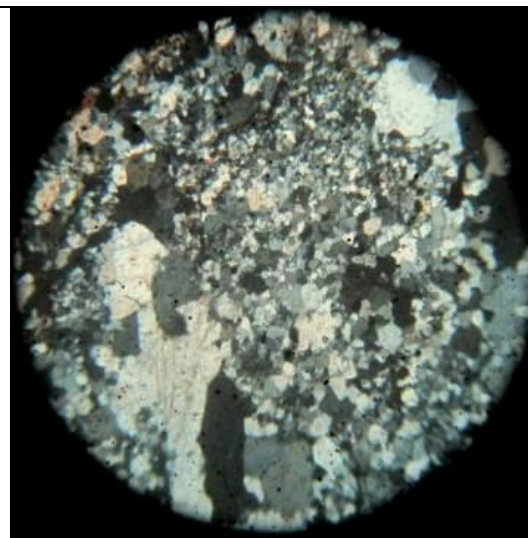
تصویر ۲- همان تصویر ۱ در PPL (عرض تصویر:
۳ mm)



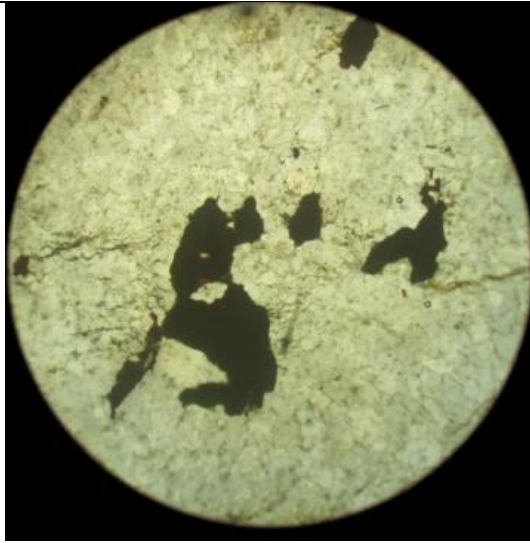
تصویر ۱- نمایی از بخش‌های سیلیسی شده و حاوی
مقادیر کمی کانه زایی: کوارتزهای هم بعد بلور با
حاشیه‌های کمی مضرس شده که در فضاهای میان آنها
به صورت شکافه پرکن کانیهای کدر جای گرفته اند
(عرض تصویر: ۳ mm)



تصویر ۴- همان تصویر ۳ در PPL (عرض تصویر: ۵
mm)

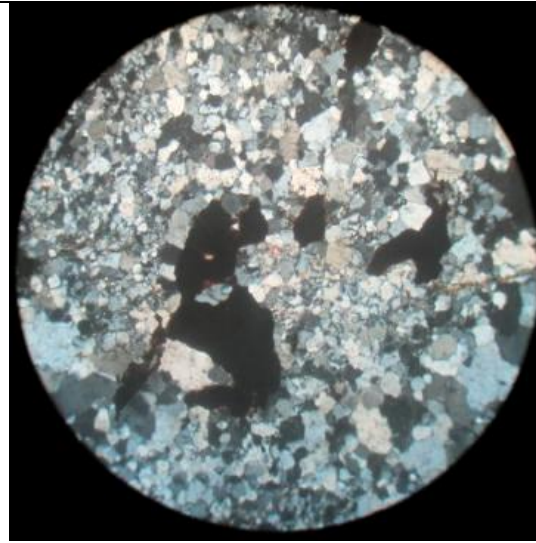


تصویر ۳- نمایی از کوارتزهای ریزبلور و باز تبلور یافته در
میان کوارتزهای درشت بلور. در زمینه ی ریزبلور مقادیر
کمی سریسیت و کانیهای کدر نیز وجود دارند (عرض
تصویر: ۵ mm)



تصویر ۶- همان تصویر ۵ در PPL. (عرض تصویر:

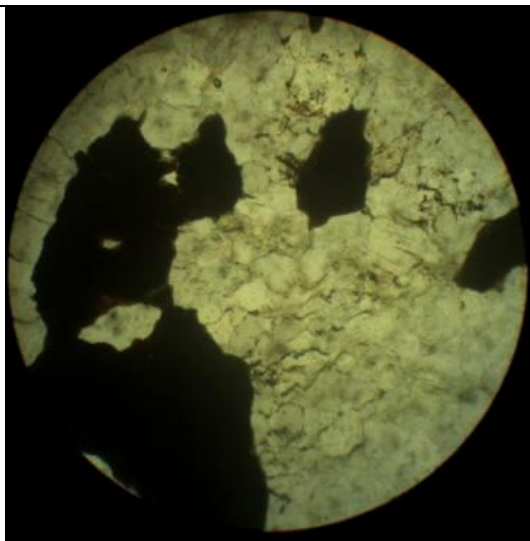
۳ mm)



تصویر ۵- حضور کانیه‌های کدر در میان زمینه ای ریزبلور

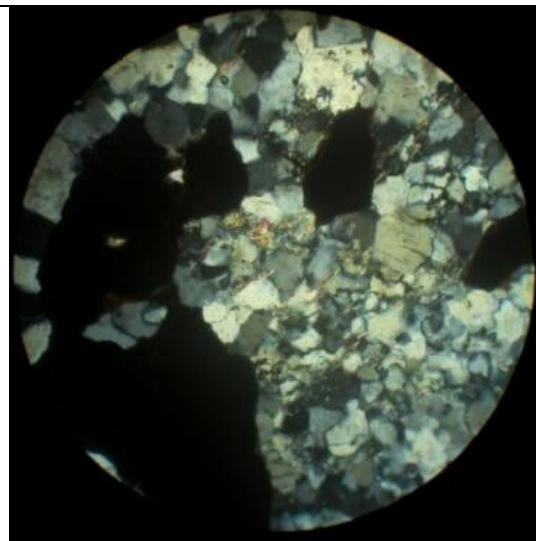
از کوارتز همراه با مقادیر کمی مسکوویت (عرض تصویر:

۳ mm)



تصویر ۸- همان تصویر ۷ در PPL. (عرض تصویر:

۱,۵ mm)



تصویر ۷- نمای نزدیک تری از مجموعه کانیه‌های کدر در

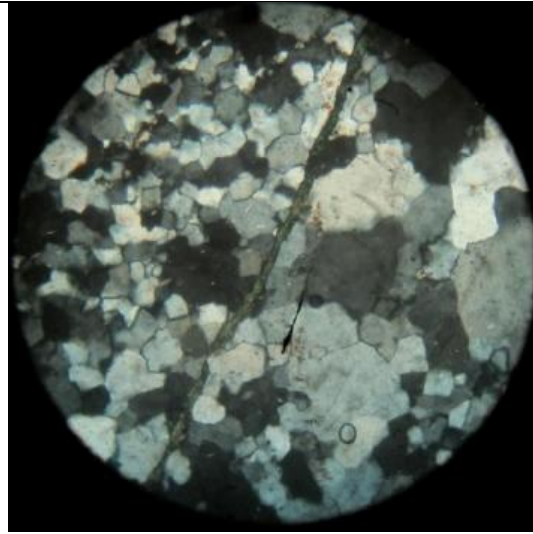
زمینه ای از کوارتز و مقادیر کمی مسکوویت (عرض

تصویر: ۱,۵ mm)



تصویر ۱۰- همان تصویر ۷ در PPL. (عرض تصویر:

۱,۵ mm)



تصویر ۹- رگچه بسیار باریک مالاکیت، زمینه ای از

کوارتز پلی کریستالین را قطع نموده است (عرض تصویر:

۱,۵ mm)

مقاطع صیقلی


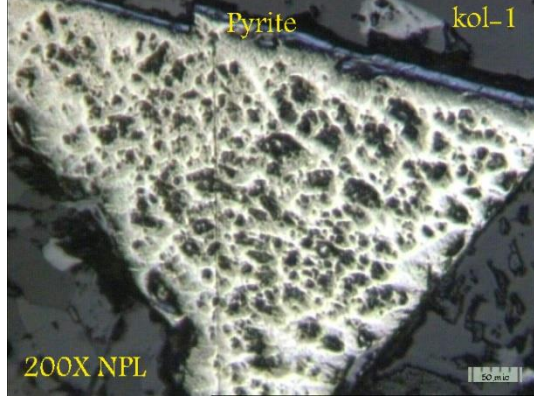
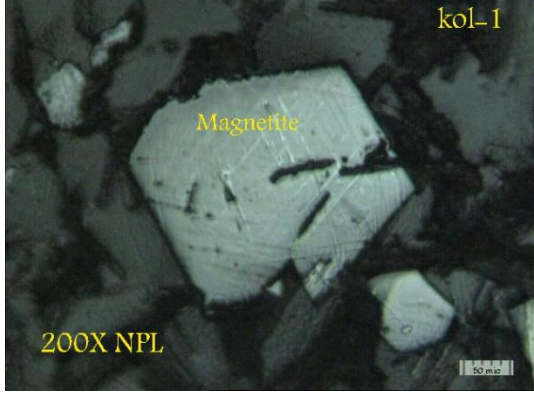
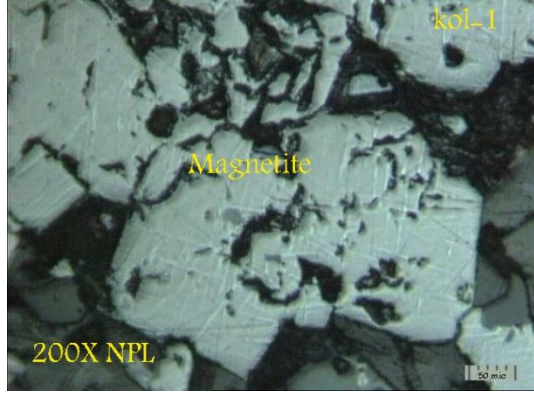
مقطع KOL-1

منیتیت: تجمع کریستالهای اتومورف این کانی در نقطه‌ای از نمونه مشاهده می‌شود. اندازه این کریستالها مابین ۱۰ الی ۲۰۰ میکرون متغیر بوده و از طریق سطوح کریستالوگرافی طبق پدیده مارتیتیزاسیون (martitization) آلتراسیون بسیار ضعیفی را به کانی هماتیت نشان می‌دهند. میزان فراوانی کانی حدود یک درصد است.

ایلمنیت: این کانی به شکل تیغه‌های باریک و کشیده در اندازه‌ای مابین ۳ الی ۸۰ میکرون با فراوانی حدود ۳ درصد در متن نمونه پراکنده‌اند.

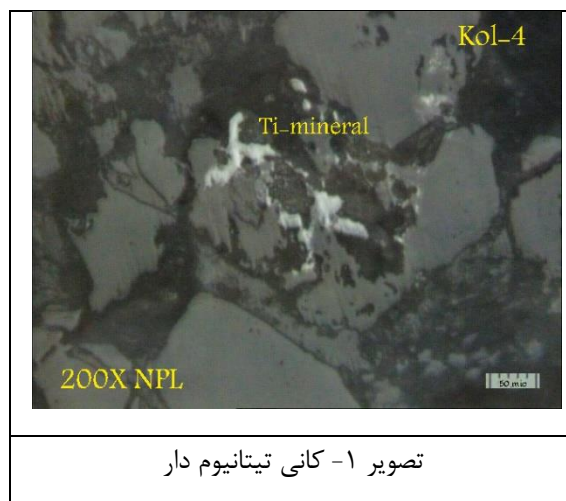
پیریت: کریستالهای درشت و اتومورف پیریت در اندازه‌ای مابین ۲۰۰ الی ۶۰۰ میکرون به مقدار کم و انگشت شمار تشکیل شده‌اند. این کریستالها با چشم غیرمسلح در شکاف سنگ میزبان قابل مشاهده

هستند. اغلب کریستالها فاقد آلتراسیون بوده ولی چند عدد از این بلورها از حاشیه در حال آلتراسیون سوپرژن و جایگزینی توسط اکسیدهای آبدار و ثانویه آهن هستند.

 <p>kol-1 Pyrite Altered to Fe-oxide 200X NPL 50 mic</p>	 <p>kol-1 Pyrite 200X NPL 50 mic</p>
<p>تصویر ۲- بلور پیریت آلتیره شده به اکسید آهن</p>	<p>تصویر ۱- بلورهای پیریت</p>
 <p>kol-1 Magnetite 200X NPL 50 mic</p>	 <p>kol-1 Magnetite 200X NPL 50 mic</p>
<p>تصویر ۴- بلور مگنتیت</p>	<p>تصویر ۳- کانی مگنتیت</p>

مقطع KOL-4

به مقدار بسیار کم لکه های کوچکی از اکسیدهای آبدار و ثانویه آهن در حفرات سنگ میزبان استقرار یافته اند. اسپینل های تیتانیوم دار در این نمونه به شکل ذرات کوچک و به مقدار بسیار کم در متن نمونه پراکنده اند. بطور کلی این نمونه از لحاظ حضور کانیه های فلزی بسیار متغیر است.



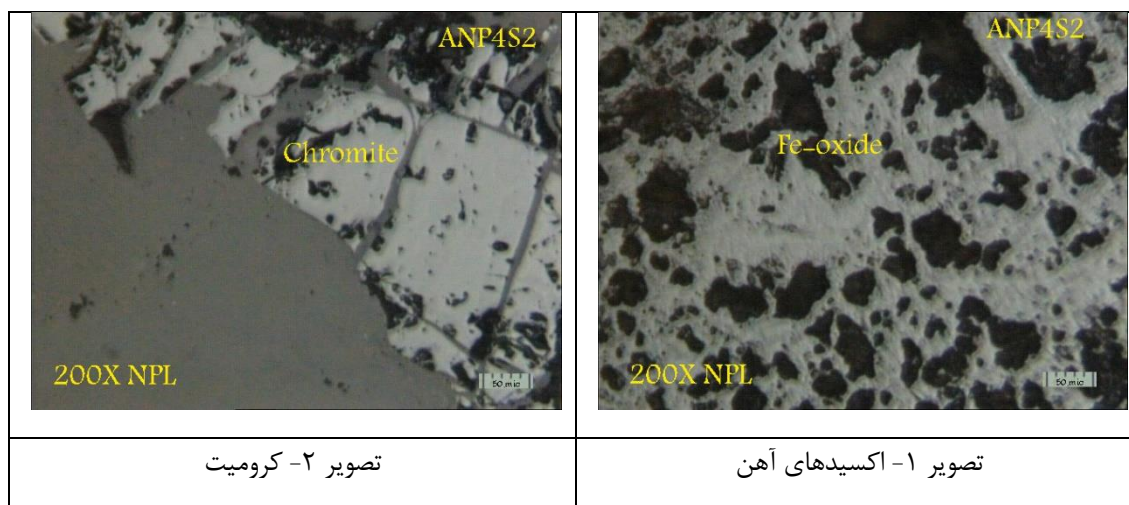
تصویر ۱- کانی تیتانیوم دار

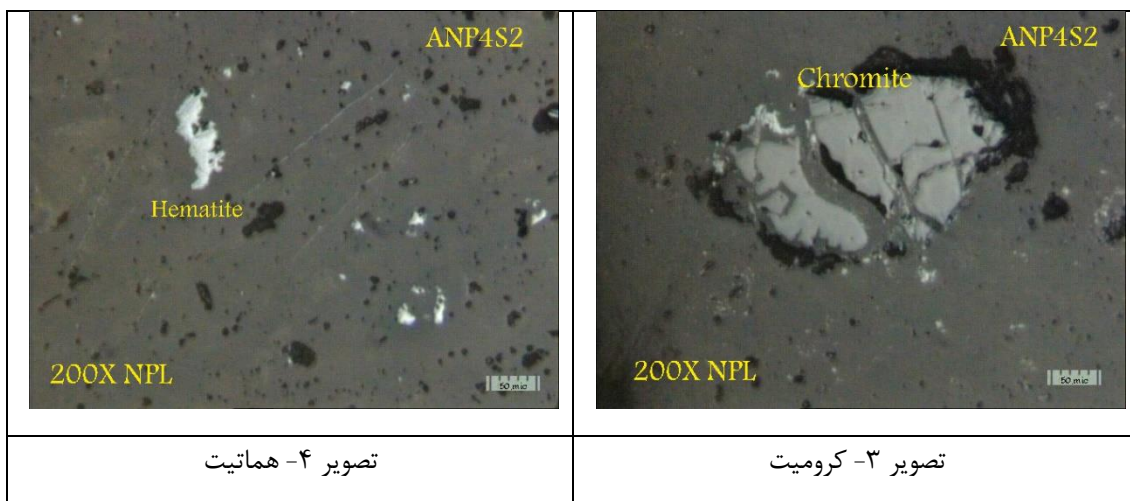
مقطع ANP4S2

کرومیت: کریستالهای اتومورف و نیمه اتومورف این کانی حداکثر در اندازه ۴۰۰ میکرون در متن نمونه پراکنده اند. شکستگی های کاتاکلاستیک در کریستالها کاملاً مشخص است. این کانی حداکثر ۱ درصد از نمونه را به خود اختصاص داده است.

هماتیت: ذرات کوچکی از کریستالهای این کانی حداکثر در اندازه ۷۰ میکرون در فضاهای باز سنگ میزبان با بافت Open Space کانی سازی کرده است. میزان فراوانی این کانی حدود ۱ درصد است.

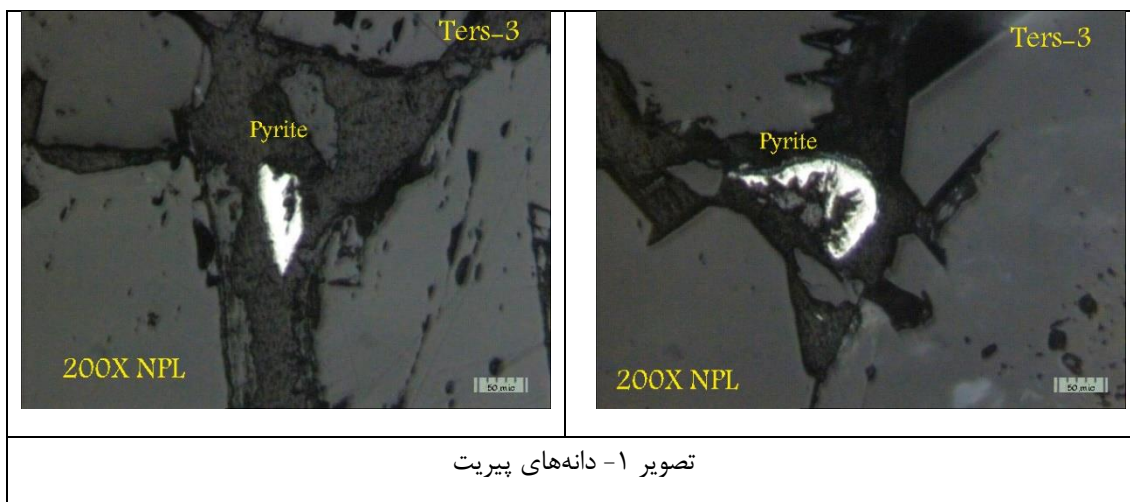
اکسیدهای آبدار و ثانویه آهن به شکل لکه های درشت و با فراوانی حدود ۳ درصد در حفرات و فضاهای باز سنگ میزبان استقرار یافته اند.





Ters-3

تنها کانی فلزی موجود در این نمونه کریستالهای کوچک پیریت است که حداکثر در اندازه ۷۰ میکرون و به تعداد انگشت شمار در فضاهای باز سنگ میزبان کانی سازی کرده است.



Maz.4

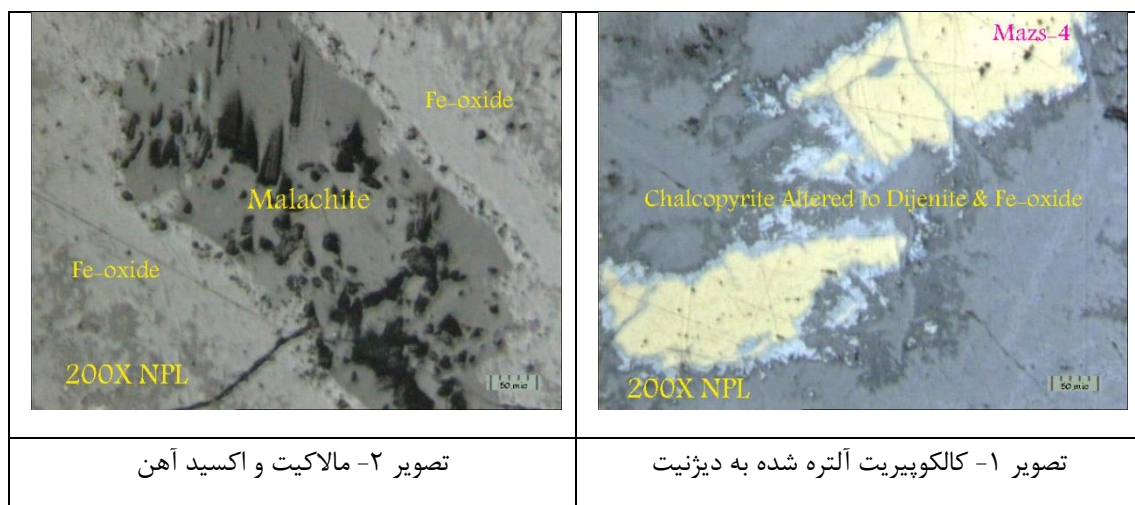
کالکوپیریت: کانی فلزی اصلی در این نمونه کریستالهای کالکوپیریت است که به شکل لکه درشتی در نمونه دستی مشاهده می شود این کانی از طریق شکستگی ها و اطراف و حواشی تحت آلتراسیون سوپرژن در حال جایگزینی توسط کریستالهای کوچک دیژنیت و به مقدار کمتر کوولیت است این کانی

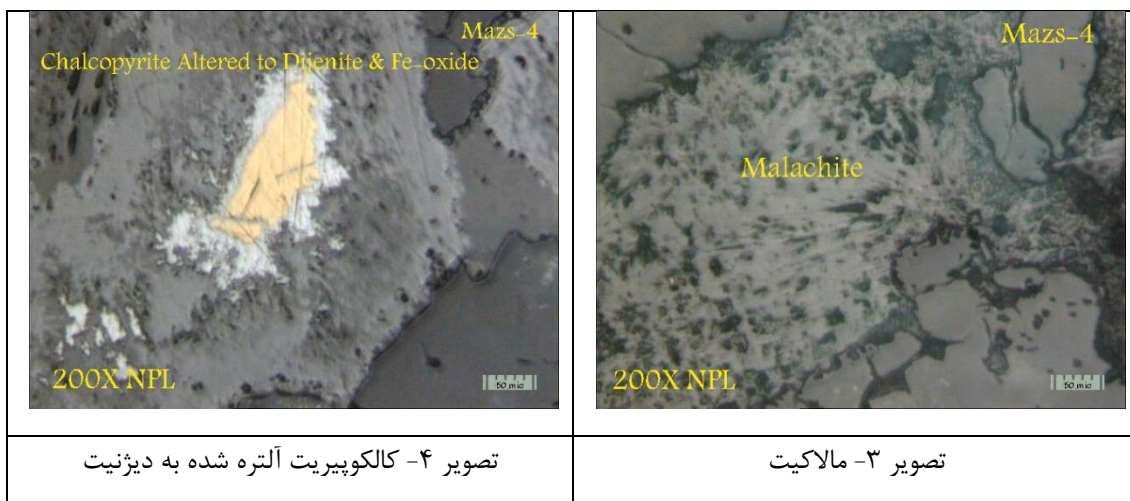
متعاقباً با حاشیه ضخیمی توسط اکسیدهای آبدار و ثانویه آهن جایگزین شده است. در حال حاضر باقی مانده کریستالهای کالکوپیریت به شکل جزایری دیده می شوند که حدود ۱۰ درصد نمونه را به خود اختصاص داده اند.

مالاکیت: این کانی علاوه بر این که به شکل آغشتگی در سطح نمونه دیده می شود به شکل تجمع چندین کریستال لکه های درشتی را ایجاد کرده است که در فضاهای باز سنگ میزبان با بافت Open Space کانی سازی کرده اند. حدود ۵ درصد نمونه توسط این کانی اشغال شده است. این کانی در نمونه دستی با چشم غیرمسلح قابل رویت است.

کریستالهای نسبتاً درشتی از اسپینل های تیتانیم دار در اندازه ای مابین ۳ الی ۱۵۰ میکرون با فراوانی حدود ۲ درصد در متن نمونه پراکنده اند. این کانی را گاه به صورت تجمع چندین کریستال مشاهده می کنیم.

پیریت: به ندرت و به تعداد انگشت شمار کانی پیریت حداکثر در اندازه ۵۰۰ میکرون در این نمونه تشکیل شده است که تحت تاثیر آلتراسیون سوپرژن توسط اکسیدهای آبدار و ثانویه آهن جایگزین شده و در حال حاضر کریستالهای بسیار کوچکی از پیریت باقی مانده است. بافت این کانی پرکننده فضای باز (open Space) است.

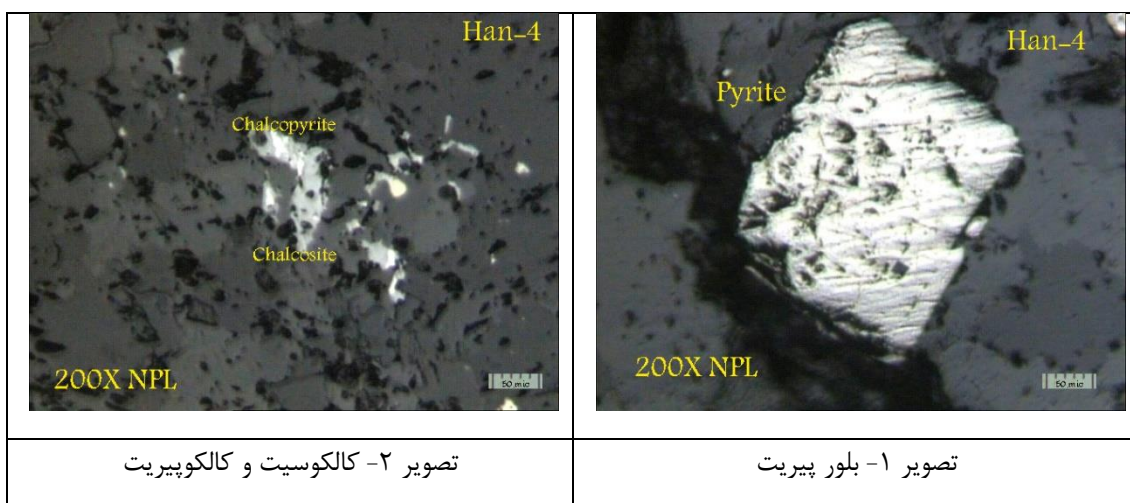


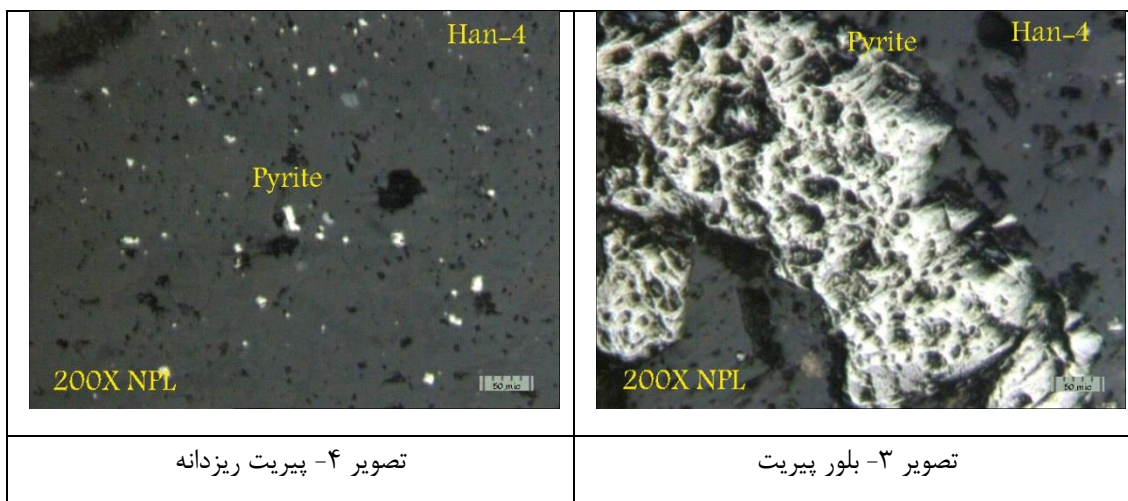


Han-4

پیریت: کانی فلزی اصلی در این نمونه است که اغلب به شکل اتومورف و به ندرت با شکل هندسی نامشخص تشکیل شده است. اندازه این کریستالها مابین ۲۰ الی ۶۰۰ میکرون متغیر بوده و علاوه بر آن به شکل ذرات کوچک با اندازه کمتر از ۱۰ میکرون نیز نسبتاً فراوان دیده می شوند. کریستالها فاقد آلتراسیون بوده و حدود ۵ درصد از نمونه را فرا گرفته اند.

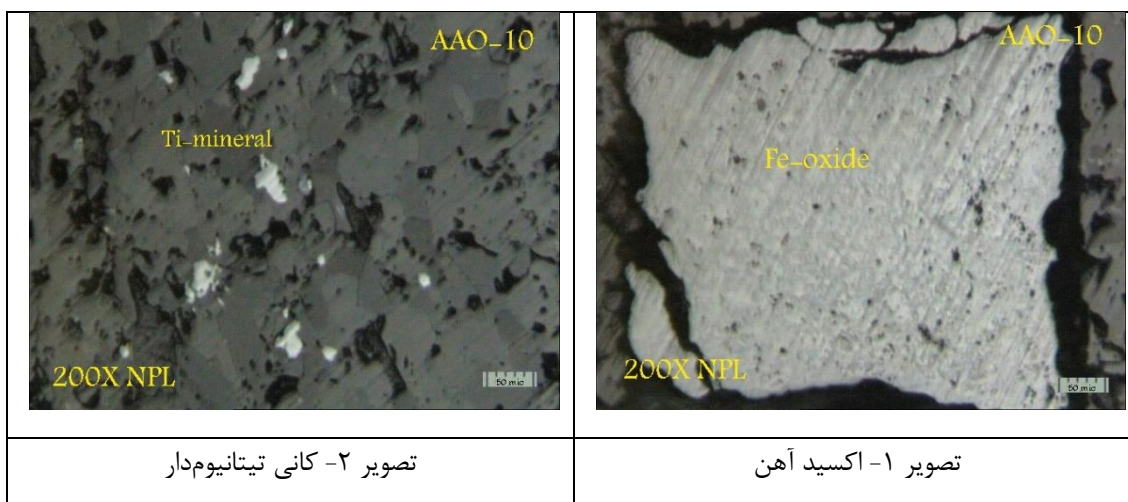
به ندرت و به تعداد انگشت شمار کریستالهای کوچکی از کالکوسیت هم رشد با کالکوپیریت با بافت Open Space در فضاهای خالی سنگ میزبان کانی سازی کرده اند.





AAO-10

لکه های درشت اکسیدهای آبدار و ثانویه آهن تا حدود ۱ میلی متر اغلب با شکل هندسی نامشخص با فراوانی حدود ۷ درصد تشکیل شده اند. احتمال می رود این اکسیدها حاصل آلتراسیون سوپرژن کریستالهای پیریت باشد. اسپینل های تیتانیوم دار به شکل ذرات کوچک به مقدار نسبتاً کم در متن نمونه پراکنده اند.



پوستج

آنالیزهای آزمایشگاهی منتخب

مقدمه

در این بخش از پیوست‌های رساله، به دلیل صرفه‌جویی در تعداد صفحات، تعدادی از آنالیزهای آزمایشگاهی نمونه‌ها به صورت انتخابی آورده می‌شود.

تعداد ۱۵ عدد از ۴۰ نمونه آنالیزهای آزمایشگاهی طلا به صورت منتخب آورده می‌شود. همچنین

از ۶۰ نمونه ICP، تعداد ۳۳ نمونه از آنالیزهای آزمایشگاهی انتخاب و آورده شده است. و در پایان از ۶۳ نمونه XRF، تعداد ۱۹ نمونه از آنالیزهای آن آورده شده است.

آنالیزهای XRF

جدول ۲۴ آنالیزهای منتخب XRF

CaO	MgO	Fe2O3	Al2O3	SiO2	%
0.98	2.19	17.28	9.66	47.34	Maz0.753
0.83	2.78	11.38	14.57	54.03	MONJ31
1.83	4.37	28.25	7.56	40.64	SUR9
12.07	4.60	7.74	11.78	35.57	MAZY26
0.91	0.51	45.54	5.29	19.54	MAZY24
0.19	0.24	10.30	1.02	72.22	JYAN12
12.17	2.82	5.34	11.37	45.50	MAZY25
15.99	0.49	3.85	7.70	59.45	JASH1
1.33	1.00	62.72	2.77	16.85	DAR-1
0.57	5.99	36.98	10.64	29.30	MAZY23
5.58	0.75	1.37	2.16	85.35	JASH4
0.43	0.21	82.49	0.68	2.36	MAZ-2
2.88	1.82	68.46	0.70	9.27	HAN-2
5.65	0.86	62.76	1.31	8.24	HAN.1
14.87	0.85	59.66	0.59	2.59	BEJ-1
2.52	1.58	53.52	14.94	11.69	HANESH
1.73	1.38	42.45	0.60	43.00	KOL-2
29.72	4.08	29.94	0.92	7.00	KOL-5
41.41	0.69	19.46	0.44	1.37	MONJ27

Cl	As2O3	ZnO	SiO	CuO	P2O5	MnO	TiO2	SO3	K2O	Na2O
0.75	0.75	0.75	0.75	10.36	0.26	0.75	1.27	1.67	0.75	2.80
0.13	0.75	0.75	0.75	6.94	0.14	0.75	0.62	1.10	1.66	0.99
0.75	0.75	0.40	0.75	6.11	0.12	0.20	0.40	1.71	0.67	0.75
0.75	0.75	0.10	0.75	5.93	0.15	0.26	0.50	8.46	0.66	1.49
0.75	0.75	0.75	0.75	5.78	7.61	0.75	0.65	0.24	0.33	0.30
0.75	0.75	0.33	0.75	4.64	0.75	0.75	0.75	8.21	0.08	0.75
0.75	0.75	0.75	0.75	2.68	0.11	0.17	0.44	4.06	0.61	2.05
0.75	0.75	0.75	0.75	1.79	0.10	0.17	0.31	0.10	0.26	3.31
0.75	0.75	0.75	0.75	1.71	0.08	0.40	0.27	0.19	0.28	0.75
0.75	0.75	0.75	0.75	1.69	0.13	0.75	1.31	3.18	0.20	0.75
0.75	0.75	0.75	0.75	0.96	0.75	0.75	0.75	0.37	0.08	1.15
0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.27	0.75	0.26	0.75	0.75
0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.11	4.02	0.75	0.75	0.12	0.75
0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	5.06	2.02	0.75	0.48	0.28	0.75
0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	3.57	0.61	0.75	0.16	0.75	0.75
0.22	0.75	0.11	0.14	0.75	1.98	0.74	0.49	0.38	0.75	0.40
0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.09	2.76	0.75	0.75	0.19	0.75
0.75	0.38	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.15	0.75	0.75
0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	2.57	0.75	0.08	0.75	0.75

L.O.I.*	PbO	Cu	Fe	S	PbS	ZnS	ZrO2	NiO	BaO	Cr2O3
5.90	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
4.42	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
7.37	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
10.30	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
12.85	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
1.01	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
12.30	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
5.98	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
12.10	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
9.64	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
2.54	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
13.00	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
12.27	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
12.46	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.59	0.75
16.80	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
10.88	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
7.50	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
27.47	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
33.56	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75

آنالیزهای ICP

جدول ۲۵ آنالیزهای منتخب ICP

Sur 9	Jash 4	Jash 1	Mazy 23	Mazy 25	Mazy 26	Mazy 24	Sur 8	Monj 31	Jyan 11	ppm
1.66	0.88	0.38	0.38	0.38	0.38	0.50	27.08	55.60	85.72	Ag
6.23	50.26	37.86	12.05	9.79	12.63	126.88	16.24	210.00	5.51	As
4.56	6.80	12.49	48.46	35.36	11.64	68.34	45.30	32.95	21.34	B
286.23	9.39	22.35	50.62	129.14	73.25	78.09	621.98	365.37	10.91	Ba
1.39	1.83	8.14	78.28	103.92	272.95	109.03	104.20	20.43	36.38	Co
152.20	158.21	165.58	149.97	112.49	246.81	201.50	190.77	155.41	174.42	Cr
0.38	0.38	3.06	54.11	3.16	5.73	69.56	52.67	18.50	17.62	Cs
4550.75	6967.60	13333	13333	13333	13333	13333	13333	13333	13333	Cu
1.50	1.50	1.50	3.16	4.47	2.23	11.21	9.42	6.06	1.50	Hf
0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	Hg
0.75	0.75	1.27	1.10	2.84	10.42	2.10	1.84	81.03	1.17	Li
65.95	253.95	774.73	478.03	1003.03	1500.21	478.46	1432.71	498.92	124.83	Mn
1.49	4.30	1.34	1.69	0.38	0.38	3.28	3.42	76.94	118.93	Mo
13.16	10.60	18.28	64.44	97.09	170.85	63.08	191.03	100.55	43.26	Ni
151.52	269.43	676.53	930.93	878.42	589.93	1491.90	1939.99	559.15	593.84	P
97.89	1.50	8.33	24.90	1.50	1.50	101.30	243.78	802.65	25915.80	Pb
965.46	2706.18	732.44	13333	13333	13333	2376.75	13333	13333	13333	S
378.10	74.45	1120.25	13333	3428.98	3947.43	5953.14	4086.52	4278.78	43.32	Ti
1.56	0.75	2.76	33.85	3.76	5.29	42.96	32.06	13.23	12.41	U
102.24	15.43	48.24	235.10	375.14	732.43	425.81	4517.34	272.33	3865.24	Zn
3.75	6.42	28.09	51.83	82.15	28.55	26.40	195.51	240.80	3.75	Zr
41.00	41.00	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	178.	0.08	577	Au

Jyan 13	Mazy 22	Monj 29	ANP1-1	Monj 32	Hanesh	Mazy 21	Hanesh	Monj 33	Jash 3	Sur 7
0.38	0.38	0.38	27.84	0.38	0.38	2.96	8.31	2.02	1.22	14.93
2.19	8.61	0.75	20.67	30.92	63.32	45.11	204.46	875.69	206.71	37.27
8.49	14.98	11.00	37.71	12.26	15.52	69.74	61.60	8.31	12.31	48.60
15.55	44.42	150.60	1337.09	456.83	210.60	400.26	291.60	74.43	43.98	192.25
1.21	41.38	4.83	15.17	21.92	15.69	129.12	8.48	3.22	61.14	71.62
191.12	307.64	2084.40	45.69	134.87	140.16	101.25	25.96	104.97	135.83	90.95
0.38	6.56	3.97	85.88	7.41	10.50	87.14	85.45	0.38	7.23	64.48
153.05	157.51	169.27	220.70	381.66	390.03	918.82	975.73	3955.37	4011.42	4119.08
1.50	3.14	1.50	0.75	5.24	5.20	4.07	6.89	2.36	1.50	1.50
0.75	0.75	0.75	0.98	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
0.75	0.75	1.43	0.19	67.00	141.80	0.75	3.38	7.77	2.07	1.86
253.55	1493.69	814.70	5.88	1350.76	209.50	57.80	13333	1094.38	1387.16	576.57
3.30	0.92	0.38	3.64	1.19	1.04	3.40	0.38	2.37	0.62	5.45
39.43	107.80	231.29	13333	100.40	40.87	50.38	29.99	23.36	37.90	202.28
22.50	864.36	112.13	116.57	1072.11	4224.46	22.50	178.40	558.23	714.95	1124.38
57.09	24.38	1.50	6.72	57.22	152.03	112.93	110.54	32.75	33.11	3538.03
506.92	754.68	280.98	8.33	856.35	4438.90	13333	13333	356.89	714.41	1932.90
37.64	13333	792.49	0.97	5897.77	4478.05	2634.74	59.74	1162.66	1227.23	2030.00
0.75	5.17	3.89	3.20	6.69	7.64	54.30	51.80	1.78	5.00	39.05
34.92	173.30	40.13	149.65	167.47	172.13	202.67	189.64	46.86	94.90	2759.19
3.75	89.69	9.63	28.72	197.91	188.76	3.75	3.75	76.01	37.98	28.08
3.75	0.08	0.08	3.75	0.08	0.08	0.08	7.00	0.08	192.00	147.00

ANp4s1	AAo-4	Dar-1	Kol-5	Maz-3	Maz-2	Hanesh	Jash 2	Jyan 12	Jyan 14	Dar-2	Sur 6
0.38	0.38	26.25	0.38	18.42	0.38	0.38	0.38	0.38	0.38	34.73	0.54
2.60	7.96	121.25	416.09	8.77	1.50	17.05	12.34	34.15	75.24	66.92	11.50
105.78	160.21	466.15	120.96	143.22	469.53	83.61	13.24	10.55	13.74	195.47	10.24
31.75	399.69	123.84	1631.79	33.34	31.79	48.55	69.84	837.35	711.82	40.74	14.64
109.47	103.38	359.84	31.44	42.50	106.04	210.67	35.06	13.32	31.52	30.89	3.32
969.87	70.60	111.58	47.86	78.88	48.11	221.81	475.79	53.97	184.22	8.21	137.24
36.36	87.68	13333	72.02	13333	0.75	81.52	5.94	6.36	11.04	160.17	2.29
0.75	1.62	2.33	2.52	2.66	3.17	78.03	105.50	107.30	126.87	141.88	142.86
0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	11.28	3.51	6.47	13.74	0.75	1.50
0.38	0.38	1.04	0.63	0.38	1.37	0.75	0.75	0.75	0.75	0.51	0.75
0.80	0.71	2.75	1.35	0.63	3.54	167.61	8.68	19.69	60.44	0.96	1.22
4.13	5.36	54.59	6.09	9.01	1.95	4597.24	1239.88	4494.56	557.32	20.72	1118.32
2.59	0.75	35.15	10.93	8.85	3.21	0.38	0.54	2.29	2.34	1.05	4.31
244.08	196.35	453.82	120.36	935.35	59.59	806.21	200.91	45.43	106.77	1224.86	23.32
12.70	25.52	132.12	45.76	20.27	43.00	16108.20	311.93	688.21	1982.63	57.44	22.50
5.70	8.69	37.60	16.98	8.06	50.34	123.69	6.48	49.91	64.41	11.90	23.14
5.39	3.54	32.09	45.93	9.04	11.62	2778.38	31.95	234.64	2700.96	8.17	143.03
0.59	0.88	3.08	1.83	0.82	4.37	1811.67	4705.34	3538.21	5777.41	1.58	54.24
5.59	8.94	33.32	17.22	7.42	43.95	48.38	4.79	4.08	8.35	11.20	2.34
69.20	56.17	376.62	161.37	311.79	106.95	1022.74	111.90	64.17	168.80	407.54	9.61
7.32	14.01	105.48	42.38	30.26	49.40	168.96	72.65	166.10	292.18	26.83	5.09
187.06	110	0.08	0.08	0.08	146.28	0.08	3.75	5.00	3.75	0.08	3.75

آنالیزهای طلا

جدول ۲۶ آنالیزهای منتخب طلا

شماره نمونه	فراوانی طلا (ppb)
Su-2	100
jash1	152
jash3	192
jash4	41
sur7	147
sur8	178
sur9	41
jyan11	577
Dar-1	2537
ANP4S1	187
MaZ-1	53
MaZ-2	146
AAO-2	23
AAO-3	46
AAO-4	110

مختصات نمونه های برداشت شده

جدول ۲۷ مختصات نمونه های برداشت شده

عرض	طول	نام نمونه
30.826	53.186	Kol-3,4,5
30.792	53.207	Kol-1,2
30.806	53.251	Han-1
30.779	53.264	Han-2,3,4
30.775	53.318	AAO-1 تا AAO-10
30.325	53.607	Ter-1,2,3
30.363	53.563	Dar-1,2,3
30.317	53.537	ANP4-1,2
30.303	53.794	Maz-1
30.284	53.788	Maz-2,3,4
30.261	53.734	Ros-1
30.250	53.705	Ros-2
30.322	53.918	Smon-1
30.583	53.688	AAO7-1,2

30.526	53.454	ANP1-1
30.452	53.595	Su-1, Jyan-10,11,15
30.504	53.494	Jash-1,3,4
30.353	53.841	Jafarieh16
30.451	53.618	Sur-7,8,9
30.286	53.819	Mazay-21 ۱۳ Mazay-26
30.320	53.894	Monj-27,28,29
30.320	53.927	Monj-31,32,33
30.734	53.232	Hanesh-17,18,19

مراجع

احدی ح. و غضنفری راد ف. (۱۳۹۰) "ارایه ی یک مدل ترکیبی از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره فازی برای تعیین مکان احداث شهرک صنعتی تخصصی ریلی"، مجله تحقیق در عملیات و کاربردهای آن، سال هشتم، شماره ۴، ص ص ۱-۱۱ شاپا ۷۲۸۶-۲۲۵۱.

اویسی ب. و یوسفی ط. (۱۳۷۵) "پی‌جویی و اکتشاف نیمه تفصیلی ذخایر معدنی سرب و باریت (منطقه بوانات استان فارس)" علوم زمین سازمان زمین‌شناسی کشور.

تقی پور ن. (۱۳۷۹) "زمین‌شناسی و ژنز رخداد مس جیان- استان فارس"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد زمین‌شناسی اقتصادی دانشگاه شیراز، ص ۱۶۱.

تقی‌پور جاری ع. (۱۳۸۸) "امکان سنجی توسعه اشتغال با تأکید بر استقرار صنایع تبدیلی (مطالعه موردی: دهستان خانمیرا، شهرستان لردگان)" پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان.

جعفر نژاد ا.، رحیمی ح. (۱۳۸۳) "ارائه مدل ترکیبی پیشنهادی کیفیت خدمات (سروکوال) و تجزیه و تحلیل شبکه‌ای برای رتبه‌بندی مؤسسات ارائه‌دهنده خدمات: مطالعه موردی مؤسسات ارائه‌دهنده بیمه تحت نظر بیمه مرکزی"، فصلنامه مدیریت صنعتی، شماره ۵.

راستاد ا. و موسیوند ف. (۱۳۹۶) "کانسارهای سولفید آتشفشانزاد ایران" چاپ اول، انتشارات سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی، تهران، ص ۲۴۸.

رجب زاده م. و اسماعیلی س. (۱۳۹۲) "مطالعه کانه زایی کانسار مس جیان، استان فارس، با استفاده از داده‌های پتروگرافی و ژئوشیمیایی" مجله زمین‌شناسی اقتصادی، شماره ۱، جلد ۵، ص ص ۹۳ تا ۱۰۴.

زبردست ا. (۱۳۸۹) "کاربرد فرایند تحلیل شبکه‌ای ANP، در برنامه‌ریزی شهری و منطقه‌ای"، نشریه هنرهای زیبا - معماری و شهرسازی، شماره ۴۱.

عطائی م. (۱۳۹۴) "تصمیم‌گیری چندمعیاره" چاپ سوم، انتشارات دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ص. ۳۱۱-۳۲۸.

قاسمی ر. و تخم‌چی ب. و بورگ گ. (۱۳۹۴) "بررسی همبستگی فضایی هاله‌های دگرسانی دورسنجی و کانه‌زایی ماسیوسولفاید به روش فاصله نزدیک فازی در منطقه بوانات"، سی و چهارمین گردهمایی و دومین کنگره بین‌المللی تخصصی علوم زمین، تهران.

قاسمی ر. و تخم‌چی ب. و بورگ گ. (۱۳۹۵) "بازسازی آنومالیهای ژئوشیمیایی مس در منطقه سوریان به روش ترکیبی موجک-لجستیک و رویکرد فازی"، سی و پنجمین گردهمایی ملی علوم زمین، تهران. کاووسی ک. (۱۳۹۲) "جزوه درسی درس ترکیب داده‌ها"، تهران، دانشکده برق.

مشیری ب. و همکاران (۱۳۸۰)، "کاربرد نظریه ترکیب اطلاعات"، اولین همایش شهرهای الکترونیکی.

مؤمنی م. و آتش‌سوز ع. (۱۳۸۳) "طراحی مدلی جهت برنامه‌ریزی محصول با استفاده از QFD به‌کارگیری ANP؛ و برنامه‌ریزی آرمانی"، فصلنامه مدیریت صنعتی، شماره ۴.

References

Abedi, M., & Norouzi, G. H. (2016). A general framework of TOPSIS method for integration of airborne geophysics, satellite imagery, geochemical and geological data. *International journal of applied earth observation and geoinformation*, 46, 31-44.

Abedi, M., Torabi, S. A., & Norouzi, G. H. (2013). Application of fuzzy AHP method to integrate geophysical data in a prospect scale, a case study: Seridune copper deposit. *Bollettino di Geofisica Teorica ed Applicata*, 54(2).

An, P., Moon, W. M., Rencz, A. (1991) Application of fuzzy set theory for integration of geological, geophysical and remote sensing data. *Canadian Journal of Exploration Geophysics* 27, 1–11.

An, P., Moon, W. M., & Bonham-Carter, G. F. (1992, May). On knowledge-based approach of integrating remote sensing, geophysical and geological information. In *Geoscience and Remote Sensing Symposium, 1992. IGARSS'92. International (Vol. 1, pp. 34-38)*. IEEE.

An, P., Moon, W. M., & Bonham-Carter, G. F. (1994). An object-oriented knowledge representation structure for exploration data integration. *Nonrenewable Resources*, 3(2), 132-145.

An, P., Moon, W. M., & Bonham-Carter, G. F. (1994). Uncertainty management in integration of exploration data using the belief function. *Nonrenewable Resources*, 3(1), 60-71.

Anaesthetist web page, ROC curves, 2011.

Appel, O., Chiclana, F., Carter, J., & Fujita, H. (2017). A Consensus Approach to the Sentiment Analysis Problem Driven by Support-Based IOWA Majority. *International Journal of Intelligent Systems*.

Aruldoss, M., Lakshmi, T. M., & Venkatesan, V. P. (2013). A survey on multi criteria decision making methods and its applications. *American Journal of Information Systems*, 1(1), 31-43.

Asadi, S., & Moore, F. (2017). Fluid evolution in H₂O–CO₂–NaCl system and metallogenic analysis of the Surian metamorphic complex, Bavanat Cu deposit, Southwest Iran. *Mineralogy and Petrology*, 111(1), 145-161.

Asadi, H. H., Sansoleimani, A., Fatehi, M., & Carranza, E. J. M. (2016). An AHP–TOPSIS predictive model for district-scale mapping of porphyry Cu–Au potential: a case

study from Salafchegan Area (Central Iran). *Natural Resources Research*, 25(4), 417-429.

Ash, C., Alldrick, D., Ash, C., & Alldrick, D. (2013). I-Vein, Breccia, and Stockwork.

Barrie, C.T. and Hannington, M.D. (1999). Classification of volcanic-associated massive sulfide deposits based on host-rock composition. *Reviews in Economic Geology*, Volume 8, pages 1-11.

Barrie, C. T. (2012). Volcanogenic Massive Sulfide Occurrence Model. U.S. *Geological Survey Scientific Investigations Report 2010–5070–C*.

Bartel, A. (2000) Analysis of landscape pattern: towards a ‘top down’ indicator for evaluation of landuse, *Ecological Modelling*, 130: 87–94.

Biennial SGA Meeting and 10. *Quadrennial IAGOD Symposium*, London, 22–25 August (1999). A.A. Balkema, Rotterdam. 597–600.

Billa, M., Cassard, D., Lips, A. L., Bouchot, V., Tourlière, B., Stein, G., & Guillou-Frottier, L. (2004). Predicting gold-rich epithermal and porphyry systems in the central Andes with a continental-scale metallogenic GIS. *Ore Geology Reviews*, 25(1-2), 39-67.

Bishop, C. M. (2006). Periodic Variables. *Pattern recognition and machine learning*, 1.

Bonham-Carter, G. F. (1989). Weights of evidence modeling: a new approach to mapping mineral potential. *Statistical applications in the earth sciences*, 171-183.

Bonham-Carter, G.F. (1991) Integration of geoscientific data using GIS. In: Maguire, D.J., Goodchild, M.F., Rhind, D.W. (Eds.), *Geographic Information Systems: Principles and Applications*, vol.2., Longman, London, pp.171–184.

Bonham-Carter, G. F. (1994). Geographic Information Systems for geoscientists-modeling with GIS. *Computer methods in the geoscientists*, 13, 398.

Bonham-Carter, G. F. (1997). GIS methods for integrating exploration data sets. In *Proceedings of Exploration* (Vol. 97, pp. 59-64).

Bonham-Carter, G. F. (2014). *Geographic information systems for geoscientists: modelling with GIS* (Vol. 13). Elsevier.

Session of the International Statistical Institute (<http://www.stat.fi/isi99/proceedings.html>), 10–18 August 1999, Helsinki.

Bonham-Carter, G. F., & Chung, C. F. (1983). Integration of mineral resource data for Kasmere Lake area, Northwest Manitoba, with emphasis on uranium. *Journal of the International Association for Mathematical Geology*, 15(1), 25-45.

Bonham-Carter, G. F., & Chung, C. F. (1983). Integration of mineral resource data for Kasmere Lake area, Northwest Manitoba, with emphasis on uranium. *Journal of the International Association for Mathematical Geology*, 15(1), 25-45.

Bonham-Carter, G. F., Agterberg, F. P., & Wright, D. F. (1988). Integration of geological datasets for gold exploration in Nova Scotia. *Digital Geologic and Geographic Information Systems*, 15-23.

Bonham-Carter, G. F., Agterberg, F. P., & Wright, D. F. (1989). Weights of evidence modelling: a new approach to mapping mineral potential. *Statistical applications in the earth sciences*, 89(9), 171-183.

Bonnet, A. L., & Corriveau, L. O. U. I. S. E. (2007). Alteration vectors to metamorphosed hydrothermal systems in gneissic terranes. *Mineral Deposits of Canada: A Synthesis of Major Deposit-Types, District Metallogeny, the Evolution of Geological Provinces, and Exploration Methods*. Edited by WD Goodfellow. Geological Association of Canada, Mineral Deposits Division, Special Publication, 5, 1035-1049.

Borouhaki, S., & Malczewski, J. (2008). Implementing an extension of the analytical hierarchy process using ordered weighted averaging operators with fuzzy quantifiers in ArcGIS. *Computers & Geosciences*, 34(4), 399-410.

Borouhaki, S., & Malczewski, J. (2008). Implementing an extension of the analytical hierarchy process using ordered weighted averaging operators with fuzzy quantifiers in ArcGIS. *Computers & Geosciences*, 34(4), 399-410.

Büyüközkan, G., & Çifçi, G. (2012). A novel hybrid MCDM approach based on fuzzy DEMATEL, fuzzy ANP and fuzzy TOPSIS to evaluate green suppliers. *Expert Systems with Applications*, 39(3), 3000-3011.

Calijuri, M. L., Marques, E. T., Lorentz, J. F., Azevedo, R. F., & Carvalho, C. A. (2004). Multi-criteria analysis for the identification of waste disposal areas. *Geotechnical & Geological Engineering*, 22(2), 299-312.

Carlucci, D., & Schiuma, G. (2009). Applying the analytic network process to disclose knowledge assets value creation dynamics. *Expert Systems with*

Applications, 36(4), 7687-7694. Carr, P. M., Cathles, L. M., & Barrie, C. T. (2008). On the size and spacing of volcanogenic massive sulphide deposits within a district with application to the Matagami district, Quebec. *Economic Geology*, 103(7), 1395-1409.

Carranza, E. J. M. (2004). Weights of evidence modeling of mineral potential: a case study using small number of prospects, Abra, Philippines. *Natural Resources Research*, 13(3), 173-187.

Carranza, E. J. M. (2008). Geochemical anomaly and mineral prospectivity mapping in GIS (Vol. 11). Elsevier.

Carranza, E. J. M. (2009). Controls on mineral deposit occurrence inferred from analysis of their spatial pattern and spatial association with geological features. *Ore Geology Reviews*, 35(3-4), 383-400.

Carranza, E. J. M. (2009). Objective selection of suitable unit cell size in data-driven modeling of mineral prospectivity. *Computers & Geosciences*, 35(10), 2032-2046.

Carranza, E. J. M. (2010). Improved wildcat modelling of mineral prospectivity. *Resource Geology*, 60(2), 129-149.

Carranza, E. J. M. (2009). *Geochemical anomaly and mineral prospectivity mapping in GIS* (Vol. 11). Elsevier.

Carranza, E. J. (2011). From predictive mapping of mineral prospectivity to quantitative estimation of number of undiscovered prospects. *Resource Geology*, 61(1), 30-51.

Carranza, E. J. M. (2011). Geocomputation of mineral exploration targets. *Computers & Geosciences*, 37(12), 1907-1916.

Carranza, E. J. M. (2017). Keynote lecture: Developments in GIS-based Mineral Prospectivity Mapping: An Overview. Session II: *Contributions from Deterministic Modelling and Experimentations to*, 54.

Carranza, E. J. M., & Hale, M. (2000). Geologically constrained probabilistic mapping of gold potential, Baguio district, Philippines. *Natural Resources Research*, 9(3), 237-253.

Carranza, E. J. M., Hale, M. (2001a) Geologically-constrained fuzzy mapping of gold mineralization potential, Baguio district, Philippines. *Natural Resources Research* 10, 125–136.

Carranza, E. J. M., & Hale, M. (2001b). Logistic regression for geologically constrained mapping of gold potential, Baguio district, Philippines. *Exploration and Mining Geology*, 10(3), 165-175.

Carranza, E. J. M., Hale, M. (2002a) Mineral imaging with Landsat TM data for hydrothermal alteration mapping in heavily-vegetated terrane. *International Journal of Remote Sensing* 23, 4827– 4852.

Carranza, E. J. M., & Hale, M. (2002b). Spatial association of mineral occurrences and curvilinear geological features. *Mathematical Geology*, 34(2), 203-221.

Carranza, E. J. M., & Hale, M. (2002c). Where are porphyry copper deposits spatially localized? A case study in Benguet province, Philippines. *Natural Resources Research*, 11(1), 45-59.

Carranza, E. J. M., Hale, M. (2003) Evidential belief functions for geologically constrained mapping of gold potential, Baguio district, Philippines. *Ore Geology Reviews* 22, 117–132.

Carranza, E. J. M., & Sadeghi, M. (2010). Predictive mapping of prospectivity and quantitative estimation of undiscovered VMS deposits in Skellefte district (Sweden). *Ore Geology Reviews*, 38(3), 219-241.

Carranza, E. J. M., Hale, M., & Faassen, C. (2008). Selection of coherent deposit-type locations and their application in data-driven mineral prospectivity mapping. *Ore geology reviews*, 33(3-4), 536-558.

Carranza, E. J. M., Mangaoang, J. C., & Hale, M. (1999). Application of mineral exploration models and GIS to generate mineral potential maps as input for optimum land-use planning in the Philippines. *Natural Resources Research*, 8(2), 165-173.

Carranza, E. J. M., Owusu, E. A., & Hale, M. (2009). Mapping of prospectivity and estimation of number of undiscovered prospects for lode gold, southwestern Ashanti Belt, Ghana. *Mineralium Deposita*, 44(8), 915-938.

Carranza, E. J. M., Van Ruitenbeek, F. J. A., Hecker, C., van der Meijde, M., & van der Meer, F. D. (2008). Knowledge-guided data-driven evidential belief modeling of mineral prospectivity in Cabo de Gata, SE Spain. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 10(3), 374-387.

Carranza, E. J. M., Woldai, T., & Chikambwe, E. M. (2005). Application of data-driven evidential belief functions to prospectivity mapping for aquamarine-bearing pegmatites, Lundazi district, Zambia. *Natural Resources Research*, 14(1), 47-63.

Carranza, E. J. M., Wibowo, H., Barritt, S. D., & Sumintadireja, P. (2008). Spatial data analysis and integration for regional-scale geothermal potential mapping, West Java, Indonesia. *Geothermics*, 37(3), 267-299.

Chen, S. J., & Hwang, C. L. (1992). Fuzzy multiple attribute decision making methods. In *Fuzzy multiple attribute decision making* (pp. 289-486). Springer, Berlin, Heidelberg.

Chen, C., Dai, H., Liu, Y., & He, B. (2011, June). Mineral prospectivity mapping integrating multi-source geology spatial data sets and logistic regression modelling. In *Spatial Data Mining and Geographical Knowledge Services (ICSDM), 2011 IEEE International Conference on* (pp. 214-217). IEEE.

Chen, H., Wood, M. D., Linstead, C., & Maltby, E. (2011). Uncertainty analysis in a GIS-based multi-criteria analysis tool for river catchment management. *Environmental modelling & software*, 26(4), 395-405.

Cheng, Q., Agterberg, F. P., & Bonham-Carter, G. F. (1996). Fractal pattern integration for mineral potential estimation. *Nonrenewable Resources*, 5(2), 117-130.

Chica-Olmo, M., Abarca, F., & Rigol, J. P. (2002). Development of a decision support system based on remote sensing and GIS techniques for gold-rich area identification in SE Spain. *International Journal of Remote Sensing*, 23(22), 4801-4814.

Choudhary, D., & Shankar, R. (2012). An STEEP-fuzzy AHP-TOPSIS framework for evaluation and selection of thermal power plant location: *A case study from India*. *Energy*, 42(1), 510-521.

Chung, C. F. (1977) An application of discriminant analysis for the evaluation of mineral potential. In: Ramani, R.V. (Ed.), *Application of Computer Methods in the Mineral Industry*, Proceedings of the 14th APCOM Symposium, Society of Mining Engineers of American Institute of Mining, Metallurgical, and Petroleum Engineers, New York, pp. 299– 311.

Chung, C. F. (1978). Computer Program for the Logistic Model to Estimate the Probability of Occurrence of Discrete Events: (by) CF Chung. *Energie, Mines et Ressources Canada*.

Chung, C. F. (1983) SIMSAG; integrated computer system for use in evaluation of mineral and energy resources. *Mathematical Geology* 15, 47– 58.

CHUNG, C. J. F., & MOON, W. M. (1991). Combination rules of spatial geoscience data for mineral exploration. *Geoinformatics*, 2(2), 159-169.

Chung, C. J. F., & Fabbri, A. G. (1993). The representation of geoscience information for data integration. *Nonrenewable Resources*, 2(2), 122-139.

Chung, C. J. F., & Fabbri, A. G. (2003). Validation of spatial prediction models for landslide hazard mapping. *Natura Hazards*, 30(3), 451-472.

Chung, C. F., Fabbri, A. G., Sinding-Larsen, R. (Eds.), Quantitative Analysis of Mineral and Energy Resources, D. Reidel Publishing Company, Dordrecht, pp. 29– 36.

Chung, C. J. F., Fabbri, A. G., & Chi, K. H. (2002). A strategy for sustainable development of nonrenewable resources using spatial prediction models. In Deposit and geoenvironmental models for resource exploitation and environmental security (pp. 101-118). Springer, Dordrecht.

Colín-García, M., Heredia, A., Cordero, G., Camprubí, A., Negrón-Mendoza, A., Ortega-Gutiérrez, F.,... & Ramos-Bernal, S. (2016). Hydrothermal vents and prebiotic chemistry: a review. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 68(3), 599-620.

Cox, D. P., & Singer, D. A. (1986). Mineral deposit models (Vol. 1693). Washington, DC, USA: *US Government Printing Office*.

De Araújo, C. C., & Macedo, A. B. (2002). Multicriteria geologic data analysis for mineral favorability mapping: application to a metal sulphide mineralized area, Ribeira Valley Metallogenic Province, Brazil. *Natural Resources Research*, 11(1), 29-43.

Dempster, A.P.(1968). A generalization of Bayesian inference. *J. Roy. Statist. Soc.* 30, 205–247.

Dergatchev, A. L., Eremin, N. I., & Sergeeva, N. E. (2011). Volcanic-associated Besshi-type copper sulfide deposits. *Moscow University Geology Bulletin*, 66(4), 274-281.

Di Tommaso, I., & Rubinstein, N. (2007). Hydrothermal alteration mapping using ASTER data in the Infiernillo porphyry deposit, Argentina. *Ore Geology Reviews*, 32(1), 275-290.

Eastman, J.R. (1999) Idrisi 32. Guide to GIS and Image Processing, Volume 1, Clark Labs, Clark University, MA, p. 170.

Edwards, R., & Atkinson, K. (1986). Ore deposits geology and its influence on mineral exploration.

Edwards, R. (2012). Ore deposit geology and its influence on mineral exploration. Springer Science & Business Media.

Elliott, S., & Petrova, S. (2006). Multi-criteria Decision Making in Geographic Information Systems (Doctoral dissertation, Dissertation May 2004, < http://students.clarku.edu/spetrova/FinalDM_silvia_sarah.doc>, accessed 20 March).

Erdoğan, Ş., Aras, H., & Koç, E. (2006). Evaluation of alternative fuels for residential heating in Turkey using analytic network process (ANP) with group decision-making. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 10(3), 269-279.

Fawcett, T. (2006). An introduction to ROC analysis. *Pattern recognition letters*, 27(8), 861-874.

Franklin, J. M., Gibson, H. L., Jonasson, I. R., & Galley, A. G. (2005). Volcanogenic massive sulphide deposits. *Economic Geology 100th Anniversary Volume*, 98, 523-560.

Fallon, M., Porwal, A., & Guj, P. (2010). Prospectivity analysis of the plutonic Marymia greenstone belt, Western Australia. *Ore Geology Reviews*, 38(3), 208-218.

Forman, E. H., & Gass, S. I. (2001). The analytic hierarchy process—an exposition. *Operations research*, 49(4), 469-486.

Franklin, J.M., Hannington, M.D., Jonasson, I.R. and Barrie, C.T. (1998) Arc-related volcanogenic massive sulfide deposits. In: Metallogeny of volcanogenic arcs, *British Columbia Geol. Surv., Open-File 1998-8*.

Franklin, J. M., Gibson, H. L., & Jonasson, G. AG. (2005). Volcanogenic massive sulfide deposit. *Economic Geology 100th Anniversary Volume*, 523-560.

Galley, A. G., Fullér, R. (1996). OWA operators in decision making. *Exploring the limits of support systems, TUCS General Publications*, 3, 85-104.

Galley, A. G. (2003). Composite synvolcanic intrusions associated with Precambrian VMS-related hydrothermal systems. *Mineralium Deposita*, 38(4), 443-473.

Galley AG, Hannington M, Jonasson. (2007). Volcanogenic massive sulphide deposits. Mineral deposits of Canada: a synthesis of major deposit-types, district metallogeny, the evolution of geological provinces, and exploration methods. *Geol Assoc Can, Mineral Deposits Division, Special Publication 5*:141-161

Gerner, E. J., Huston, D. L., Lewis, B., Meixner, A. J., Mernagh, T. P., Schofield, A., & Whelan, J. A. (2012). An assessment of the uranium and geothermal prospectivity of the southern Northern Territory.

Gorsevski, P. V., Donevska, K. R., Mitrovski, C. D., & Frizado, J. P. (2012). Integrating multi-criteria evaluation techniques with geographic information systems for landfill site selection: a case study using ordered weighted average. *Waste management*, 32(2), 287-296.

Gettings, M. E., & Bultman, M. W. (1993). Quantifying favorableness for occurrence of a mineral deposit type using fuzzy logic; an example from Arizona (No. 93-392). US Geological Survey.

Ghanbari, Y., Hezarkhani, A., Ataei, M., & Pazand, K. (2014). Mineral potential mapping for rare earth elements mineralization with AHP method in the Kerman-Kashmar Tectonic Zone, Central Iran. *Journal of the Geological Society of India*, 83(4), 457-465.

Gonzalez-Alvarez, I., Porwal, A., Beresford, S. W., McCuaig, T. C., & Maier, W. D. (2010). Hydrothermal Ni prospectivity analysis of Tasmania, Australia. *Ore Geology Reviews*, 38(3), 168-183.

Ghasemi, R., Tokhmechi, B., & Borg, G. (2018). Evaluation of effective factors in window optimization of fry analysis to identify mineralization pattern: Case study of Bavanat region, Iran. *Journal of Mining and Environment*, 9(1), 195-208.

Habibi, K., Lotfi, S., & Koohsari, M. J. (2008). Spatial analysis of urban fire station locations by integrating AHP model and IO logic using GIS (a case study of zone 6 of Tehran). *J. Appl. Sci*, 8(19), 3302-3315.

Hannington, M. D., & Jonasson, I. R. (2007). Volcanogenic massive sulphide deposits (Doctoral dissertation).

He, B., C., & Liu, Y. (2012). Mineral prospectivity mapping method integrating multi-sources geology spatial data sets and case-based reasoning. *Journal of Geographic Information System*, 4(02), 77.

Herrera, F., & Herrera-Viedma, E. (1997). On the linguistic OWA operator and extensions. In *The ordered weighted averaging operators* (pp. 60-72). Springer US.

Houshmandzadeh, A., & Soheili, M. (1990). Geological map of Eqlid, scale 1: 250,000. Geological Survey of Iran, map, (G10).

Huston, D. L., & van der Wielen, S. (Eds.). (2011). An assessment of the uranium and geothermal prospectivity of east-central South Australia. Geoscience Australia.

Ishizaka, A., & Labib, A. (2011). Review of the main developments in the analytic hierarchy process. *Expert systems with applications*, 38(11), 14336-14345.

Ishizaka, A., & Siraj, S. (2017). Are multi-criteria decision-making tools useful? An experimental comparative study of three methods. *European Journal of Operational Research*.

Jankowski, P. (1995). Integrating geographical information systems and multiple criteria decision-making methods. *International journal of geographical information systems*, 9(3), 251-273.

Jelokhani-Niaraki, M., & Malczewski, J. (2015). Decision complexity and consensus in Web-based spatial decision making: A case study of site selection problem using GIS and multicriteria analysis. *Cities*, 45, 60-70.

Jiang, H., & Eastman, J. R. (2000). Application of fuzzy measures in multi-criteria evaluation in GIS. *International Journal of Geographical Information Science*, 14(2), 173-184.

Jianping, C., Gongwen, W., & Changbo, H. (2005). Quantitative prediction and evaluation of mineral resources based on GIS: a case study in Sanjiang region, southwestern China. *Natural resources research*, 14(4), 285-294.

Johnson, P.R., Zoheir, B.A., Ghebreab, W., Stern R.J., Barrie, C.T., Hamer, R.D. (2017). Gold-bearing volcanogenic massive sulphides and orogenic-gold deposits in the Nubian Shield. Geological Society of South Africa.

Kelley, D. S. (2001). Black smokers: incubators on the seafloor. *Earth: Inside and Out*, 183-189.

Kessler, W. (2012). Evaluation of Text Classification.

Kitron, U., Clennon, J. A., Cecere, M. C., Gürtler, R. E., King, C. H., & Vazquez-Prokopec, G. (2006). Upscale or downscale: applications of fine scale remotely sensed

data to Chagas disease in Argentina and schistosomiasis in Kenya. *Geospatial health*, 1(1), 49.

Khatri, K. B. (2013). *Risk and Uncertainty Analysis for Sustainable Urban Water Systems*. UNESCO-IHE, Institute for Water Education.

Large, R. R. (1992). Australian volcanic-hosted massive sulphide deposits; features, styles, and genetic models. *Economic Geology*, 87(3), 471-510.

Large, R. R., Gemmell, J. B., Paulick, H., & Huston, D. L. (2001). The alteration box plot: A simple approach to understanding the relationship between alteration mineralogy and litho-geochemistry associated with volcanic-hosted massive sulfide deposits. *Economic geology*, 96(5), 957-971.

Leite, E. P., & de Souza Filho, C. R. (2009). Artificial neural networks applied to mineral potential mapping for copper-gold mineralizations in the Carajás Mineral Province, Brazil. *Geophysical Prospecting*, 57(6), 1049-1065.

Luukka, P. (2017). Preference modeling using ideal solutions in TOPSIS by n-ary norm operators. In Real Option Workshop (p. 10).

Leite, E. P., & de Souza Filho, C. R. (2009). Probabilistic neural networks applied to mineral potential mapping for platinum group elements in the Serra Leste region, Carajás Mineral Province, Brazil. *Computers & Geosciences*, 35(3), 675-687.

Macharia, P. M. (2014, May). GIS analysis and spatial modelling for optimal oil pipeline route location. A case study of proposed isiolo nakuru pipeline route. In Proceedings of sustainable research and innovation conference (pp. 91-94).

Malczewski, J. (1999). *GIS and multicriteria decision analysis*. John Wiley & Sons.

Malczewski, J. (2006a). GIS-based multicriteria decision analysis: a survey of the literature. *International Journal of Geographical Information Science*, 20(7), 703-726.

Malczewski, J. (2006b). Ordered weighted averaging with fuzzy quantifiers: GIS-based multicriteria evaluation for land-use suitability analysis. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 8(4), 270-277.

Makropoulos, C. K., & Butler, D. (2006). Spatial ordered weighted averaging: incorporating spatially variable attitude towards risk in spatial multi-criteria decision-making. *Environmental Modelling & Software*, 21(1), 69-84.

Manning, C. D., Raghavan, P., & Schütze, H. (2008). Boolean retrieval. Introduction to information retrieval, 1-18.

Mansor, M. R., Sapuan, S. M., Edi Syams, Z., Abd Aziz, N., & Hambali, A. (2014). Application of Integrated AHP-TOPSIS Method in Hybrid Natural Fiber Composites Materials Selection for Automotive Parking Brake Lever Component. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 8(5), 431-439.

Meng, Y., Malczewski, J., & Boroushaki, S. (2011). A GIS-based multicriteria decision analysis approach for mapping accessibility patterns of housing development sites: a case study in Canmore, Alberta. *Journal of Geographic Information System*, 3(01), 50.

McCammon, R. B., Botbol, J. M., Sinding-Larson, R., & Bowen, R. W. (1984). The new characteristic analysis (NCHARAN) program (No. 1621). USGPO,.

McCuaig, T. C., Beresford, S., & Hronsky, J. (2010). Translating the mineral systems approach into an effective exploration targeting system. *Ore Geology Reviews*, 38(3), 128-138.

Mihalasky, M. J., & Bonham-Carter, G. F. (2001). Lithodiversity and its spatial association with metallic mineral sites, Great Basin of Nevada. *Natural Resources Research*, 10(3), 209-226.

Mikaeil, R., Naghadehi, M. Z., Ataei, M., & Khalokakaie, R. (2009). A decision support system using fuzzy analytical hierarchy process (FAHP) and TOPSIS approaches for selection of the optimum underground mining method. *Archives of Mining Sciences*, 54(2), 349-368.

Mosier, Dan L. Berger, Vladimir I. Singer, and A. Donald. (2009). Volcanogenic massive sulfide deposits of the world: Database and grade and tonnage models.

Moon, W. M. (1990). Integration of geophysical and geological data using evidential belief function. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 28(4), 711-720.

Moon, W. M. (1993). On mathematical representation and integration of multiple spatial geoscience data sets. *Canadian Journal of Remote Sensing*, 19(1), 063-067.

Mousivand, F., Rastad, E., Hoshino, K., & Watanabe, M. (2007). The Bavanat Cu-Zn-Ag orebody: first recognition of a Besshi-type VMS deposit in Iran. *Neues Jahrbuch für Mineralogie-Abhandlungen: Journal of Mineralogy and Geochemistry*, 183(3), 297-315.

Mousivand, F., Rastad, E., Hoshino, K., & Watanabe, M. (2007). The Bavanat Cu-Zn-Ag orebody: first recognition of a Besshi-type VMS deposit in Iran. *Neues Jahrbuch für Mineralogie-Abhandlungen: Journal of Mineralogy and Geochemistry*, 183(3), 297-315.

Mousivand, F., Rastad, E., Meffre, S., Peter, J. M., Mohajjel, M., Zaw, K., & Emami, M. H. (2012). Age and tectonic setting of the Bavanat Cu-Zn-Ag Besshi-type volcanogenic massive sulfide deposit, southern Iran. *Mineralium Deposita*, 47(8), 911-931.

Mousivand, F., & Rastad, E., & Emami, M. H., & Peter J. M. (2013). Formation of Various Types of Volcanogenic Massive Sulphide (VMS Deposits and Its Relationship with Tectono-Magmatic Evolution in the Sanandaj-Sirjan Zone. *Geosciences Scientific Quarterly Journal*.

Mousivand, F., & Rastad, E., & Emami, M. H., & Peter J. M., & Solomon, M (2016). Ore facies, alteration zoning and physico-chemical conditions of formation of the Bavanat Besshi-type Cu-Zn-Ag volcanogenic massive sulphide deposit. *Geosciences Scientific Quarterly Journal*.

Najafi, A., Karimpour, M. H., & Ghaderi, M. (2014). Application of fuzzy AHP method to IOCG prospectivity mapping: A case study in Taherabad prospecting area, eastern Iran. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 33, 142-154.

Pan, G., & Harris, D. P. (2000). *Information synthesis for mineral exploration*: Oxford Univ. Press, New York.

Pazand, K., & Hezarkhani, A. (2015). Porphyry Cu potential area selection using the combine AHP-TOPSIS methods: a case study in Siahrud area (NW, Iran). *Earth Science Informatics*, 8(1), 207-220.

Pazand, K., Hezarkhani, A., Ataei, M., & Ghanbari, Y. (2011). Combining AHP with GIS for predictive Cu porphyry potential mapping: a case study in Ahar Area (NW, Iran). *Natural resources research*, 20(4), 251-262.

Pazand, K., Hezarkhani, A., & Ataei, M. (2012). Using TOPSIS approaches for predictive porphyry Cu potential mapping: A case study in Ahar-Arasbaran area (NW, Iran). *Computers & Geosciences*, 49, 62-71.

Pazand, K., Hezarkhani, A., & Ghanbari, Y. (2014). Fuzzy analytical hierarchy process and GIS for predictive Cu porphyry potential mapping: a case study in Ahar–Arasbaran Zone (NW, Iran). *Arabian Journal of Geosciences*, 7(1), 241-251.

Pehrsson, S., Gibson, H. L., & Gilmore, K. (2016). A Special Issue on Volcanogenic Massive Sulfide Deposits of the Trans-Hudson Orogen: Preface. *Economic Geology*, 111(4), 803-816.

Peres, D. J., & Cancelliere, A. (2014). Derivation and evaluation of landslide-triggering thresholds by a Monte Carlo approach. *Hydrology and Earth System Sciences*, 18(12), 4913-4931.

Peres, D. J., Iuppa, C., Cavallaro, L., Cancelliere, A., & Foti, E. (2015). Significant wave height record extension by neural networks and reanalysis wind data. *Ocean Modelling*, 94, 128-140.

Pirajno, F., Chen, Y., Li, N., Li, C., & Zhou, L. (2016). Besshi-type mineral systems in the Palaeoproterozoic Bryah Rift-Basin, Capricorn Orogen, Western Australia: Implications for tectonic setting and geodynamic evolution. *Geoscience Frontiers*, 7(3), 345-357.

Piercey, S. J., Peter, J. M., Goodfellow, W. D., & Herrington, R. M. (2010). Zinc-rich volcanogenic massive sulphide (VMS) deposits. In Proceedings of the Zinc 2010 Meeting, *Irish Association for Economic Geology* (pp. 122-125).

Porwal, A., & Carranza, E. J. M. (2015). Introduction to the Special Issue: GIS-based mineral potential modelling and geological data analyses for mineral exploration.

Porwal, A. K., & Kreuzer, O. P. (2010). Introduction to the special issue: mineral

Porwal, A., Carranza, E. J. M., & Hale, M. (2006). Bayesian network classifiers for mineral potential mapping. *Computers & Geosciences*, 32(1), 1-16.

Porwal, A., Carranza, E. J. M., & Hale, M. (2006). A hybrid fuzzy weights-of-evidence model for mineral potential mapping. *Natural Resources Research*, 15(1), 1-14.

Prelat, A. E. (1977). Discriminant analysis as a method of predicting mineral occurrence potentials in central Norway. *Journal of the International Association for Mathematical Geology*, 9(4), 343-367.

Rad, A. R. J., & Busch, W. (2011). Porphyry copper mineral prospectivity mapping using interval valued fuzzy sets topsis method in central Iran. *Journal of Geographic Information System*, 3(04), 312.

Rashed, T., & Weeks, J. (2003). Assessing vulnerability to earthquake hazards through spatial multicriteria analysis of urban areas. *International Journal of Geographical Information Science*, 17(6), 547-576.

Robb, L. (2013). *Introduction to ore-forming processes*. John Wiley & Sons.

Rogge, D. M., Halden, N. M., & Beaumont-Smith, C. (2006). Application of data integration for shear hosted Au potential modelling: Lynn Lake Greenstone Belt, Northwestern Manitoba, Canada. *GIS for the Earth Sciences*, 44, 191-210.

Saaty, T. L. (1972). An eigenvalue allocation model for prioritization and planning. Energy Management and Policy Center, University of Pennsylvania, 28-31.

Saaty, T. (1980). *The Analytic Process: Planning, Priority Setting, Resources Allocation*.

Saaty, T. L. (1990). *Decision making for leaders: the analytic hierarchy process for decisions in a complex world*. RWS publications.

Saaty, T. L. (2004). Decision making—the analytic hierarchy and network processes (AHP/ANP). *Journal of systems science and systems engineering*, 13(1), 1-35.

Saaty, T. (2006). *Decision Making with the Analytic Network Process*. /Saaty T. Vargas L. NY: Springer.

Saaty, T. L., & Peniwati, K. (2013). *Group decision making: drawing out and reconciling differences*. RWS publications.

Sasaki, Y. (2007). The truth of the F-measure. *Teach Tutor mater*, 1(5).

Schutze, H. (2013). *Introduction to Information Retrieval: Relevance Feedback and Query Extention*. <http://www.cis.uni-uenchen.de/~hs/teach/13s/ir/pdf/09expand.pdf> (accessed Aug. 21, 2013).

Seal, R.R., Hammarstorm, J.M., Foley, N.K., Alpers, C.N. (2001). Geoenvironmental models for seafloor massive sulfide deposits, V.S., *Geol. Survey open file reposrt*, p. 196-212.

Sevкли, M., Oztekin, A., Uysal, O., Torlak, G., Turkyilmaz, A., & Delen, D. (2012). Development of a fuzzy ANP based SWOT analysis for the airline industry in Turkey. *Expert Systems with Applications*, 39(1), 14-24.

- Shafer, G.(1976). *A Mathematical Theory of Evidence*. Princeton University Press, New Jersey.
- Shanks, W. C., & Thurston, R. (Eds.). (2012). Volcanogenic massive sulphide occurrence model. US Department of the Interior, US Geological Survey.
- Shanks III, W. P., Dusel-Bacon, C., Koski, R., Morgan, L. A., Mosier, D., Piatak, N. M.,... & Slack, J. F. (2009). A New Occurrence Model for National Assessment of Undiscovered Volcanogenic Massive Sulfide Deposits (No. 2009-1235). *US Geological Survey*.
- Singer, D. A., & Kouda, R. (1996). Application of a feedforward neural network in the search for Kuroko deposits in the Hokuroku district, Japan. *Mathematical Geology*, 28(8), 1017-1023.
- Singer, D. A., & Kouda, R. (1997). Use of a neural network to integrate geoscience information in the classification of mineral deposits and occurrences. In *Proceedings of exploration* (Vol. 97, pp. 127-134).
- Singh, R., & Sharma, S. K. (2011). Title-Supplier Selection: Fuzzy-AHP Approach. *International Journal of Engineering Science and Technology*, 3(10).
- Solomon, M. (2008). Brine pool deposition for the Zn–Pb–Cu massive sulphide deposits of the Bathurst mining camp, New Brunswick, Canada. I. Comparisons with the Iberian pyrite belt. *Ore Geology Reviews*, 33(3), 329-351.
- Sun, P., Congalton, R. G., & Pan, Y. (2018). Improving the upscaling of land cover maps by fusing uncertainty and spatial structure information. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 84(2), 87-100.
- Tangestani, M. H., & Moore, F. (2002). The use of Dempster–Shafer model and GIS in integration of geoscientific data for porphyry copper potential mapping, north of Shahr-e-Babak, Iran. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 4(1), 65-74.
- Tavana, M., & Hatami-Marbini, A. (2011). A group AHP-TOPSIS framework for human spaceflight mission planning at NASA. *Expert Systems with Applications*, 38(11), 13588-13603.
- Taylor, C.D., Premo, W.R., Leventhal, J.S., Meier, A.L., Johnson, C.A., Newkirk, S.R., Hall, T.E., Lear, K.G. and Harrins, A.G. (1999). The Greens Creek deposit, southern Alaska: a VMS-SEDEX hybrid. In: *Mineral Deposits: Processes to Processing*. Fifth

Theart, H. F. J., Ghavami-Riabi, R., Mouri, H., & Gräser, P. (2011). Applying the box plot to the recognition of footwall alteration zones related to VMS deposits in a high-grade metamorphic terrain, South Africa, a lithogeochemical exploration application. *Chemie der Erde-Geochemistry*, 61(2), 104-113.

Thiart, C., & de Wit, M. (2000). Linking spatial statistics to GIS: exploring potential gold and tin models of Africa. *South African Journal of Geology*, 103(3-4), 215-230.

Tivey, M. K. (2007). Generation of seafloor hydrothermal vent fluids and associated mineral deposits. *Oceanography*, 20(1), 50-65.

Tornos, F., Peter, J. M., Allen, R., & Conde, C. (2015). Controls on the siting and style of volcanogenic massive sulphide deposits. *Ore Geology Reviews*, 68, 142-163.

Tsoukalas, L. H., & Uhrig, R. E. (1996). Fuzzy and neural approaches in engineering. *John Wiley & Sons, Inc.*

Van Westen, C. J., Rengers, N., & Soeters, R. (2003). Use of geomorphological information in indirect landslide susceptibility assessment. *Natural Hazards*, 30(3), 399-419.

Vinodh, S., Prasanna, M., & Prakash, N. H. (2014). Integrated fuzzy AHP–TOPSIS for selecting the best plastic recycling method: a case study. *Applied Mathematical Modelling*, 38(19), 4662-4672.

Wang, Y. M., Luo, Y., & Hua, Z. (2008). On the extent analysis method for fuzzy AHP and its applications. *European Journal of Operational Research*, 186(2), 735-747.

Weaver, P. (2007). The origins of modern project management. In *Fourth annual PMI college of scheduling conference* (pp. 15-18).

Wright, D. F., & Bonham-Carter, G. F. (1996). VHMS favourability mapping with GIS-based integration models, Chisel Lake-Anderson Lake area. *BULLETIN-GEOLOGICAL SURVEY OF CANADA*, 339-376.

Xiong, Y., & Zuo, R. (2018). GIS-based rare events logistic regression for mineral prospectivity mapping. *Computers & Geosciences*, 111, 18-25.

Yager, R. R. (1997). On the inclusion of importances in OWA aggregations. In *The ordered weighted averaging operators* (pp. 41-59). Springer US.

Yager, R. R. (1988). On ordered weighted averaging aggregation operators in multicriteria decisionmaking. *IEEE Transactions on systems, Man, and Cybernetics*, 18(1), 183-190.

Yager, R. R. (1991). Connectives and quantifiers in fuzzy sets. *Fuzzy sets and systems*, 40(1), 39-75.

Yager, R. R. (1994a). Aggregation operators and fuzzy systems modeling. *Fuzzy sets and systems*, 67(2), 129-145.

Yager, R. R. (1994b). On weighted median aggregation. *International Journal of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-based Systems*, 2(01), 101-113.

Yager, R. R., & Filev, D. P. (1999). Induced ordered weighted averaging operators. *Systems, Man, and Cybernetics, Part B: Cybernetics, IEEE Transactions on*, 29(2), 141-150.

Yager, R. R., & Kelman, A. (1999). An extension of the analytical hierarchy process using OWA operators. *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, 7(4), 401-417.

Ye, Nan, K. M. A. Chai, Wee Sun Lee and Hai Leong Chieu. (2012). Optimising F-easures: Table of Tow Approaches. *Proceeding of the 29th International Conference on Machine Learning*.

Yousefi, M., & Carranza, E. J. M. (2015). Prediction–area (P–A) plot and C–A fractal analysis to classify and evaluate evidential maps for mineral prospectivity modeling. *Computers & Geosciences*, 79, 69-81.

Yousefi, M., & Carranza, E. J. M. (2015). Fuzzification of continuous-value spatial evidence for mineral prospectivity mapping. *Computers & Geosciences*, 74, 97-109.

Yousefi, M., & Carranza, E. J. M. (2017). Union score and fuzzy logic mineral prospectivity mapping using discretized and continuous spatial evidence values. *Journal of African Earth Sciences*, 128, 47-60.

Yousefi, M., & Nykänen, V. (2016). Data-driven logistic-based weighting of geochemical and geological evidence layers in mineral prospectivity mapping. *Journal of Geochemical Exploration*, 164, 94-106.

Zadeh L. A.,(1965). *Fuzzy sets, Information and control* 8,338-353.

Zadeh, L. A. (1983). A computational approach to fuzzy quantifiers in natural languages. *Computers & Mathematics with applications*, 9(1), 149-184.

Zhang, N., Zhou, K., & Du, X. (2017). Application of fuzzy logic and fuzzy AHP to mineral prospectivity mapping of porphyry and hydrothermal vein copper deposits in the Dananhu-Tousuquan island arc, Xinjiang, NW China. *Journal of African Earth Sciences*, 128, 84-96.

Zuo, R. (2017). Selection of an elemental association related to mineralization using spatial analysis. *Journal of Geochemical Exploration*.

Abstract

The main purpose of this study is to introduce a geographic information system (GIS) based, multi-criteria decision analysis methods for selection of favourable environments for volcanic-hosted massive sulphide (VHMS) deposits. Accuracy increment and search space reduction are the main purposes in production of mineral prospectivity maps. Choice of the suitable method for information integration in the geographical information system which has the most consistent with the nature of the used data, is the first step in achieving to this goal. Due to the fact that exploratory data are not independent and most of them has feedback among criteria and sub-criteria and according to the one-way dependence condition of the evaluated data in the Analytic Hierarchy Process (AHP) approach, an Analytic Network Process (ANP) approach is assigned. Also, the technique for order of preference by similarity to ideal solution approach (TOPSIS) was used to transfer ANP results between zero and one and prioritize pixels in the geographic information system. In the following, the knowledge-guided ordered weighted averaging approach, which the weights are independent of the criterias, were used and the results were compared with other approaches results. In the end, the knowledge corrected Dempster Schafer approach, were used for uncertainty modelling and decreasing of suggested area.

In this research, the exploratory data related to the Bavanat Region in Fars province are used, in case of providing the mineral prospectivity model for massive sulfide deposits. The used data include geological data, remote sensing, stream sediment data and geophysical data. In practice, it has been attempted to achieve the highest accuracy of results with the least amount of proposed search area compared to other conventional methods in order to achieve the lowest loss of mines and mine indicators in the results. AHP as well as ANP approach, is knowledge-based approaches. Regarding to the field and official validation of results, the ANP results is more reliable and has less suggested search area than AHP approach. Based on the results, suggested areas of ANP are 17% less than AHP (1138.4 Km² in AHP has decreased to 952.6 Km² in ANP), while, the accuracy of the results has increased more than 6%. The receiver operating characteristic (ROC) curve index (area under the curve) shows that AHP approach ROC is 0.7609, which was improved by the ANP approach to 0.8275.

By using the AHP-OWA method, we decreased 9% of the search area, in comparison with the OWA approach. This approach increased also the accuracy of our results by 9%, which is more than the OWA approach. Our approach reduced the search area by 1% and increased of the accuracy of the results by 14%, in comparison to other knowledge-driven approaches such as the AHP approach. Application of new knowledge-guided OWA approach by changing linguistic variables according to the conceptual model of VHMS deposits made extraordinary results. This method predicted all discovered mines with 100% accuracy. The suggested area decreased to half part of the previous suggested area (851.6 Km²).

According to the input data, by using Dempster- Shafer knowledge-guided data driven approach, the uncertainty has modeled in each pixel of the map. The proposed area of this approach is 206 square kilometers, which greatly reduced the area of the proposed range. The classification accuracy of this approach is 89%, which is very reliable given the use of the pessimistic operator AND in the final integration stage. This amount achieved by using the OR operator with a precision of 95.46%. Regarding the results of this approach, if we plot the characteristic curve of the system's performance (ROC), the area under the curve will be equal to 0.7629, which, due to the test data is calculated (not the training data), it is a proper result.

Keywords: Multi-criteria decision making; Analytic Network Process (ANP); Knowledge-guided OWA; Knowledge guided data driven Dempster- Shafer; Fuzzy membership.



Shahrood University of Technology
Faculty of Mining, Petroleum and Geophysics Engineering
Ph.D. Thesis in Mineral Exploration

**Representation of mineral predictive maps using fuzzy spatial
multi criteria decision making methods and uncertainty modelling,
case study: Bavanat massive sulfide prospects**

By:
Reza Ghasemi

Supervisor:
Dr. Behzad Tokhmechi

Advisor:
Prof. Gregor Borg

June 2018