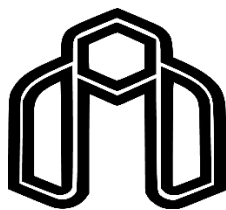


بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشگاه صنعتی شاهرود

دانشکده معدن نفت و ژئوفیزیک

پایان نامه کارشناسی ارشد

کاربرد ژئوشیمی معادن در تهیه نقشه پتانسیل مطلوب برای اکتشاف مس در ناحیه میلوپه-تنگوئیه

شمال شرقی سیرجان

نگارنده :

محمد جوادی

استاد راهنما :

دکتر منصور ضیایی

مشاور:

مهندس مهدی ضیایی

بهمن ۱۳۹۸

تقدیم به

پدر و مادر عزیزم

که همه‌ی آنچه اکنون هستم و امیدوارم که بشوم، مدیونِ پدر و مادرم هستم.

تقدیر و شکر

سپاس خدایی را که اول است بدون آنکه پیش از او اولی باشد و آخر است بدون آنکه پس از او

آخری باشد.

از تمامی اساتید ، دوستان و خانواده‌ام که در تمام دوران تحصیلی مرا حمایت کرده‌اند تقدیر و

تشکر می‌کنم.

تهدیه نامه

اینجانب محمد جوادی، دانشجوی کارشناسی ارشد رشته مهندسی معدن (اکتشاف معدن) دانشگاه صنعتی شاهرود، نویسنده رساله با عنوان " کاربرد ژئوشیمی معادن در تهیه نقشه پتانسیل مطلوب برای اکتشاف مس در ناحیه میلوپه-تنگوئیه شمال شرقی سیرجان"، تحت راهنمایی دکتر منصور یایی متعهد می‌شوم:

- تحقیقات در این رساله، توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است.
- در استفاده از نتایج پژوهش‌های دیگر پژوهشگران، به مرجع مورد استفاده استناد شده است.
- مطالب این رساله تاکنون توسط خود و یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است.
- حقوق معنوی این اثر به دانشگاه صنعتی شاهرود، تعلق دارد و مقالات مستخرج با نام دانشگاه صنعتی شاهرود یا Shahrood University of Technology به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آوردن نتایج اصلی رساله تاثیرگذار بوده‌اند، در مقالات مستخرج از رساله رعایت می‌گردد.
- در تمام مراحل انجام این رساله ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.
- در تمام مراحل انجام این رساله در مواردی که به حوزه اطلاعاتی شخصی افراد دسترسی یافته (یا استفاده شده است) اصل رازداری و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است.

محمد جوادی

بهمن ماه ۱۳۹۸

مالکیت نتایج و حق انتشار

* تمام حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامه‌های رایانه‌ای، نرم‌افزارها و تجهیزات ساخته شده، متعدد به دانشگاه صنعتی شاهرود می‌باشد. این مطلب باید به نحو مقتضی، در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود.

* استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در این رساله بدون ذکر منبع مجاز نمی‌باشد.

چکیده

آنومالی‌های مختلف نیازمند ارزیابی در اکتشافات ژئوشیمیایی عبارت‌اند از آنومالی کانی‌سازی پنهان، آنومالی روباز و آنومالی پراکنده زون کانی‌سازی پراکنده، در کشور ما اکتشاف ذخایر معدنی بیشتر محدود به آنومالی‌های روباز بوده است و آنومالی‌های عمقی به دلیل پنهان بودن، مشکلاتی در ارزیابی اکتشافی دارند، لذا این نوع ذخایر کمتر مورد توجه قرار گرفته‌اند؛ بنابراین ارزیابی آنومالی‌های ژئوشیمیایی گام مهمی در بهینه‌سازی عملیات اکتشاف محسوب می‌گردد. بسیاری از ذخایر هیدروترمال به دلیل تشکیل هاله‌های ژئوشیمیایی در اطراف آن‌ها از طریق مطالعات ژئوشیمی قابل تشخیص می‌باشند. یکی از روش‌های موجود برای تشخیص آنومالی‌های پنهان اقتصادی از غیراقتصادی روش زونالیت‌ه ژئوشیمیایی است. در این پژوهش به منظور کوچک کردن منطقه زیر پوشش عملیات اکتشافی با استفاده از روش رسوبات آبراه‌های، شبکه سیستماتیک نمونه‌برداری تشکیل گردید و سپس با استفاده از زونالیت‌ه ژئوشیمیایی شاخص‌های استاندارد (خاص ذخایر مس هیدروترمال بر اساس مدل کانسارهای مشابه مس طلا دار در معدن کافان ارمنستان) به صورت نقشه حاصل ضرب عناصر تحت کانساری و فوق کانساری به‌طور جداگانه محاسبه و با سایر نقشه‌های رده‌بندی آنومالی‌های ژئوشیمیایی به دست آمده مقایسه گردید و مشخص شد که آنومالی ژئوشیمیایی تحت کانساری و فوق کانساری در راستای ساختار گسل‌های شرقی- غربی ادامه دارد. در پایان نتایج به دست آمده با نتایج حاصل از تلفیق لایه‌های ژئوشیمیایی، مغناطیس هوایی، زمین‌شناسی و دورسنجی به روش فازی در منطقه مورد بحث و بررسی قرار گرفت و نقشه پتانسیل مطلوب منطقه برای اکتشاف مس تهیه گردید.

کلمات کلیدی: زونالیت‌ه ژئوشیمیایی، آنومالی، تحت کانساری، فوق کانساری، تلفیق، مس

لیست مقالات مستخرج از پایان نامه

۱. جوادی، م. عابدینی، م. ضیایی، م. ضیایی، م. (۱۳۹۸)، " کاربرد ژئوشیمی معادن برای اکتشاف ذخایر مس هیدروترمال ناحیه میلویه، شمال شرقی سیرجان " هشتمین کنفرانس مهندسی معدن ایران. دانشگاه بیرجند.

فهرست مطالب

فصل اول:	۱
مقدمه و کلیات تحقیق	۱
۱-۱- مقدمه	۲
۱-۲- مروری بر مطالعه	۳
۱-۳- هدف و ضرورت انجام تحقیق	۴
۱-۴- مراحل انجام تحقیق و ساختار پایان نامه	۴
فصل دوم	۷
زمین‌شناسی منطقه	۷
۲-۱- مقدمه	۸
۲-۲- جغرافیا و راههای دسترسی به منطقه	۸
۲-۳- شرایط آب و هوایی و پوشش گیاهی منطقه	۱۱
۲-۴- نقشه زمین‌شناسی تهیه شده از منطقه	۱۲
۲-۵- واحدهای مهم زمین‌شناسی منطقه	۱۲
۲-۵-۱- مجموعه افیولیتی اواخر کرتاسه - اوایل پالئوسن	۱۴
۲-۵-۲- واحد $KP^{v-vs(b)}$ (توالی آتش‌فشانی و آتش‌فشانی رسوبی بستر اقیانوسی)	۱۸
۲-۵-۳- واحد KP^{ts} (سنگهای توفی سیلتستونی، توفی شیلی و توفی سیلیسی)	۲۰
۲-۵-۴- واحد رادیولاریت (r)	۲۱
۲-۵-۴- آهکهای پلاژیک (KP^1)	۲۲
۲-۵-۵- واحد $Pa^{c,s}$ (سازند کرمان) سنوزوئیک - پالئوسن	۲۲
۲-۶- دگرسانی منطقه مورد مطالعه	۲۳

۲۷	فصل سوم.....
۲۷	اکتشافات ژئوشیمیایی
۲۸	۳-۱- مقدمه
۲۹	۳-۲- اکتشاف ذخایر پنهان
۳۰	۳-۳- هاله‌های ژئوشیمیایی
۳۲	۳-۴- تئوری زونالیته ژئوشیمیایی عناصر
۳۳	۳-۵- مدل‌سازی
۳۵	۳-۶- روش زونالیته ژئوشیمیایی
۳۸	۳-۷- روش نمونه‌برداری، آماده‌سازی و تجزیه رسوبات آبراهه‌ای
۴۰	۳-۸- روش آشکارسازی هاله‌های لیتو ژئوشیمیایی رسوبات آبراهه‌ای
۴۴	۳-۹- پیش‌پردازش، تحلیل و تفسیر داده‌های ژئوشیمیایی رسوبات آبراهه‌ای محدوده میلویه
۴۶	۳-۹-۱- روش نمونه‌برداری
۴۷	۳-۹-۲- محیط نمونه‌برداری
۴۸	۳-۹-۳- شبکه نمونه‌برداری
۴۸	۳-۹-۴- پردازش داده‌های ژئوشیمیایی
۴۹	۳-۹-۵- محاسبات آماری داده‌های خام
۵۳	۳-۹-۶- نرمال‌سازی داده‌های خام
۵۵	۳-۹-۷- بررسی آماری دومتغیره (تعیین ضرایب همبستگی)
۵۸	۳-۹-۸- بررسی‌های آماری چند متغیره (تجزیه و تحلیل خوشه‌ای)
۶۴	۳-۱۰- روش نمونه‌برداری و تجزیه نمونه‌ها
۶۸	۳-۱۱- تحلیل و پردازش داده‌های ژئوشیمیایی در زونهای A و B و C
۶۹	۳-۱۲- اکتشافات ژئوشیمیایی نیمه تفصیلی در آنومالی‌های B,C

۷۲	۳-۱۳-روش تحلیل مؤلفه اصلی PCA.....
۷۸	۳-۱۴-نتیجه‌گیری
۸۱	فصل چهارم
۸۱	تلفیق اطلاعات و تهیه نقشه‌ی پتانسیل مطلوب
۸۲	۴-۱-مقدمه
۸۳	۴-۲-مدل‌سازی (نقشه‌برداری) پتانسیل معدنی (MPM)
۸۴	۴-۳-روش‌های داده محور
۸۵	۴-۴-روش‌های دانش محور
۸۶	۴-۵-تئوری فازی
۸۷	۴-۵-۱- عملگرهای فازی
۹۰	۴-۵-۲- استنتاج گر فازی
۹۲	۴-۶- روش تحلیل سلسله مراتبی
۹۳	۴-۷-روش شاخص همپوشانی
۹۳	۴-۸- تهیه نقشه پتانسیل مطلوب محدوده مورد مطالعه
۹۵	۴-۸-۱- نقشه بافر گسل‌ها در فواصل مختلف
۹۷	۴-۸-۲- لایه‌ی دگرسانی منطقه
۹۷	۴-۸-۳- لایه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه
۹۸	۴-۸-۴- لایه ژئوفیزیک منطقه مورد مطالعه
۹۹	۴-۸-۵- لایه ژئوشیمیایی منطقه مورد مطالعه
۱۰۱	۴-۸-۶- نقشه پتانسیل مطلوب به دست آمده از روش فازی
۱۰۵	فصل پنجم
۱۰۵	نتیجه‌گیری و پیشنهاد

۱-۵- نتیجه‌گیری ۱۰۶

۲-۵- پیشنهاد ۱۰۷

فهرست شکل‌ها

- شکل ۱-۲ نقشه راه‌های دسترسی به منطقه مورد مطالعه ۹
- شکل ۲-۲- پهنه‌های ساختاری و کمربند افیولیتی در محدوده نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ سیرجان ۹
- شکل ۲-۳ - تصویر ماهواره‌ای نشان‌دهنده منطقه مورد مطالعه بر روی تصویر ماهواره‌ای لندست ۱۰
- شکل ۲-۴- تصویر ماهواره ای گوگل ارث از منطقه مورد مطالعه ۱۰
- شکل ۲-۵- تصویری از درختان منطقه ۱۱
- شکل ۲-۶- نقشه زمین‌شناسی تهیه شده ۱۲
- شکل ۲-۷- مقطع شماتیک توالی سنگی ۱۳
- شکل ۲-۸- توالی شماتیک مجموعه کامل افیولیتی ۱۴
- شکل ۲-۹- تصویر ماهواره‌ای (گوگل ارث) نشان‌دهنده پهنه دگرسانی گرمایی ۲۴
- شکل ۳-۱- موقعیت‌های گوناگون ذخایر معدنی ۲۹
- شکل ۳-۲- نقشه نقاط نمونه‌برداری آبراه‌های ژئوشیمیایی منطقه میلوپه ۳۹
- شکل ۳-۳- مدل های اکتشافات ژئوشیمیایی ۴۴
- شکل ۳-۴- نقشه تفکیک نقاط شروع و انتهای نمونه‌های آنومال روی آبراهه ها ۴۵
- شکل ۳-۵- محل نمونه برداری سیستماتیک از زون ها ۴۹
- شکل ۳-۶- دیاگرام خوشه‌ای مربوط به متغیرهای ژئوشیمیایی مختلف (بررسی‌های سطحی) ۶۰
- شکل ۳-۷- نقشه حاصل ضرب عناصر تحت کانساری ژئوشیمیایی محدوده میلوپه ۶۳
- شکل ۳-۸- نقشه حاصل ضربی عناصر فوق کانساری ژئوشیمیایی منطقه میلوپه ۶۳
- شکل ۳-۹- شبکه سیستماتیک و منظم نمونه‌برداری ۱۰۰*۴۰ متری در محدوده آنومالی A ۶۶
- شکل ۳-۱۰- شبکه سیستماتیک و منظم نمونه‌برداری ۱۰۰*۴۰ متری در محدوده آنومالی B, C ۶۶

- شکل ۳-۱۱- ساختار زون کانی سازی مس سولفید با منشأ سوپرژن ۶۷
- شکل ۳-۱۲- تصویر ماکروسکوپی از محل نمونه ۴۵۵ (آنومالی A) ۶۷
- شکل ۳-۱۳- تصویر ماکروسکوپی از محل نمونه ۴۷۲ (آنومالی A) ۶۸
- شکل ۳-۱۴- میدان ژئوشیمیایی و آنومالی‌های مربوط به عناصر شاخص مس در زون B و C ۷۰
- شکل ۳-۱۵- میدان ژئوشیمیایی و آنومالی‌های مربوط به ضرایب (PCA) مؤلفه دوم زون B و C ۷۶
- شکل ۳-۱۶- میدان ژئوشیمیایی و آنومالی‌های مربوط به ضرایب (PCA) مؤلفه چهارم زون B و C ۷۷
- شکل ۳-۱۷- میدان ژئوشیمیایی و آنومالی‌های مربوط به مناطق پرتانسیل در زون B و C ۷۷
- شکل ۳-۱۸- میدان ژئوشیمیایی و آنومالی‌های مربوط به مناطق پرتانسیل ۷۸
- شکل ۴-۱ سیستم استنتاج فازی ۹۲
- شکل ۴-۲ گسل‌های منطقه بر روی تصویر ماهواره‌ای گوگل ارث ۹۶
- شکل ۴-۳ لایه بافر گسل‌های منطقه مورد مطالعه ۹۶
- شکل ۴-۴ لایه سنجش از دور منطقه مورد مطالعه ۹۷
- شکل ۴-۵ مناطق انتخاب شده از نقشه زمینشناسی منطقه مورد مطالعه ۹۸
- شکل ۴-۶ مناطق انتخاب شده از نقشه ژئوفیزیک (مغناطیس هوائی ۱:۵۰۰۰۰) محدوده میلویه ۹۹
- شکل ۴-۷ لایه ژئوشیمی منطقه مورد مطالعه ۱۰۰
- شکل ۴-۹ نقشه پتانسیل مطلوب ۱۰۳

فهرست جداول

- جدول ۳-۱ پارامتر های آماری داده‌های خام ۵۲
- جدول ۳-۲ پارامتر های آماری داده های نرمال شده‌ی سطحی ۵۴
- جدول ۳-۳ ضرایب همبستگی پیرسون نتایج آنالیز سطحی ۵۷
- جدول ۳-۴ مشخصات پارامتر های ژئوشیمیایی آنومالی‌های هر آبراهه ۶۱
- جدول ۳-۵ مشخصات پارامتر های ژئوشیمیایی آنومالی عناصر اصلی مس در منطقه ۶۲
- جدول ۳-۶ مؤلفه های اصلی استخراج شده از داده‌ها ۷۴
- جدول ۳-۷ مقادیر ویژه درصد واریانس هر مؤلفه ۷۴
- جدول ۳-۸ نتایج حاصل از چرخش مؤلفه های انتخابی ۷۵
- جدول ۴-۱ تقسیم بندی اطلاعاتی و کلاسه بندی لایه ها ۹۴
- جدول ۴-۲ انواع لایه‌های اطلاعاتی و وزن فازی تعیین شده ۹۵

فصل اول:

مقدمه و کلیات تحقیق

بسیاری از ذخایر هیدروترمال به دلیل تشکیل هاله‌های ژئوشیمیایی در اطراف آن‌ها از طریق مطالعات ژئوشیمی قابل تشخیص است، یکی از روش‌های موجود برای تشخیص آنومالی‌های پنهان اقتصادی از غیراقتصادی روش زونالیته ژئوشیمیایی است (Ziaii *et al.*, 2011).

با استفاده از روش متالومتری^۱ و زونالیته ژئوشیمیایی، زمینه، آنومالی و تولید سطحی در مقیاس ناحیه‌ای محاسبه می‌شود، سپس بر اساس متالوژنی زون مورد مطالعه و طبق روش طیف ژئوشیمیایی عناصر (نسبت عناصر فوق کانساری به عناصر تحت کانساری) شاخص تفکیک بهینه مشخص می‌شود که در تهیه نقشه پتانسیل مطلوب کاربرد دارد. این روش‌ها اغلب در چین و روسیه و ایران استفاده شده است و در غرب تقریباً ناشناخته هستند به همین دلیل منابع انگلیسی این موضوع محدود است (Bonham-Carter, 1994).

در اکتشاف مواد معدنی به منظور کوچک کردن منطقه زیر پوشش عملیات اکتشافی بیشتر از مدل‌سازی پتانسیل معدنی برای تلفیق و ترکیب نتایج روش‌های مختلف اکتشافی به منظور تولید نواحی هدف و شناسایی نواحی امید بخش استفاده می‌شود (Carranza, 2009).

منطقه‌ی مورد مطالعه در موقعیت طول جغرافیایی ۴۵° ۲۹' تا ۴۵° ۲۹' شرقی و عرض‌های جغرافیایی ۲۵° ۴۵' تا ۲۹° ۳۳' شمالی در قسمت جنوبی ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ چهارگنبد و ۱:۲۵۰۰۰۰ ورقه سیرجان از نظر موقعیت ساختاری در حاشیه غربی قسمت میانی کمر بند آتش‌فشانی - نفوذی ارومیه - دختر قرار دارد. با تلفیق لایه‌های اطلاعاتی به روش دانش محور، منطق فازی و استفاده از روش‌های مربوط به شاخص زونالیته خاص مناطقی که دو نوع کانی سازی متفاوت پورفیری و پلی متال دارند و به صورت پلی فورمیشن ایجاد

¹ Metalometry

² Zonality

شده‌اند و با استفاده از لایه‌های ژئوشیمیایی، مغناطیس‌هوایی، زمین‌شناسی و دورسنجی، مدل نهایی ارائه می‌گردد، نتایج مدل ارائه شده در محیط GIS^۳ می‌تواند به‌عنوان راهنما در پروژه‌های معدنی مورد استفاده قرار گیرد.

۲-۱- مروری بر مطالعه

در اواخر دهه ۱۹۸۰ و دهه ۱۹۹۰ میلادی، پیشرفت‌های سریع و مهمی در روش‌های حل کامپیوتری مسائل زمین‌شناسی برای ترسیم اهداف اکتشافی صورت گرفت. در آن سال‌ها بود که در میزان کارایی و قابلیت‌های سخت‌افزاری و نرم‌افزاری کامپیوتر از جمله تکنولوژی سیستم اطلاعات جغرافیایی GIS (Bonham-Carter *et al.*, 1989) پیشرفت‌های قابل توجهی صورت گرفت. با توسعه رو به رشد تکنولوژی GIS در دهه‌های اخیر هزاره دوم، دو کتاب (Bonham-Carter, 1994)؛ و چندین مقاله اکتشافی و مستندهای مختلف به کمک GIS و یا مبتنی بر روش‌های کامپیوتری GIS برای مشخص نمودن اهداف اکتشافی منتشر شده است (Ziaii *et al.*, 2011) کاربرد روش زونالیته را در تهیه نقشه‌های پتانسیل مطلوب برای اکتشاف کانسارهای پنهان در مقیاس ناحیه‌ای، در ناحیه مس دار جبال بارز بررسی کردند. آن‌ها از روش (WofE^۴) وزن‌های نشانگر برای تهیه نقشه پتانسیل مطلوب و برای اکتشاف کانسارهای پنهان مس از روش‌های معمول ژئوشیمی و روش زونالیته به‌طور جداگانه جهت تلفیق نقشه‌های لیتوژئوشیمیایی، ساختارها، آلتراسیون‌ها و زمین‌شناسی استفاده کردند (Ziaii *et al.*, 2012)

بر اساس تئوری امکان، سیستم نرم‌افزاری پردازش و تحلیل داده‌ها را ارائه داده و گامی در جهت تشخیص این ذخایر برداشتند (Ziaii *et al.*, 2012; Solovov, 1987; Beus and Grigorian, 1977).

³ Geography Information System

⁴ Weight of evidence

۱-۳- هدف و ضرورت انجام تحقیق

مواد معدنی نقش بسیار زیادی در اقتصاد یک جامعه ایفا می‌کنند، امروزه با توجه به رشد جمعیت و پیشرفت صنعت نیاز به مواد معدنی روزبه‌روز افزایش می‌یابد، به همین دلیل اکتشاف کانسارهای پنهان یک امر بسیار ضروری و مهم برای یک کشور است. با توجه به اینکه منطقه مورد مطالعه در کمربند ارومیه دختر، اصلی‌ترین زون کانی‌زایی مس در ایران واقع شده مشخص کردن آنومالی‌های کاذب از آنومالی‌های اقتصادی یک امر بسیار مهم در منطقه است تا اینکه هزینه‌های اکتشاف کاهش پیدا کند و مناطق پتانسیل دار مشخص گردند، بررسی‌های صحرائی، زمین‌شناسی، کانی‌شناسی نشان داد که یک پهنه دگرسانی لیستونیتی متشکل از، سیلیس، کربنات و میکا به سمت جنوب‌شرق، توالی رسوبی-تخریبی قرمز رنگ سازند کرمان و سنگ‌های مجموعه افیولیتی کرتاسه-پالئوسن را قطع کرده است. با توجه به این‌که دگرسانی لیستونیتی مختص ذخایر مس پورفیری است، روش زونالیت‌ه ژئوشیمیایی آنومالی‌های عمیق و واقعی را از آنومالی‌های کاذب سطحی جدا می‌کند و کمک می‌کند یک نقشه پتانسیل مطلوب معدنی با دقت و صحت بیشتر تهیه شود.

۱-۴- مراحل انجام تحقیق و ساختار پایان‌نامه

مراحل انجام این پایان‌نامه به‌صورت زیر است:

- _ گردآوری نقشه‌های زمین‌شناسی منطقه و رقومی سازی و یکپارچه‌سازی آن‌ها و جدا کردن لایه‌های زمین‌شناسی مختص ذخایر پلی متال و ذخایر مس پورفیری
- _ گردآوری تصاویر ماهواره استر و پردازش و تفسیر آن به‌منظور شناسایی دگرسانی‌ها و مشخص کردن مناطق پتانسیل دار و یکپارچه‌سازی آن‌ها
- _ گردآوری نقشه‌های مغناطیس‌هوایی منطقه و یکپارچه‌سازی و رقومی سازی آن‌ها

_ اکتشافات ژئوشیمیایی ناحیه‌ای در محدوده میلوبه به وسعت تقریبی ۱۱ کیلومترمربع با نمونه‌برداری از رسوبات آبراهه‌ای طراحی و اجرا شد. تعداد ۱۰۰ نمونه از رسوبات آبراهه‌ای به روش سیستماتیک (Solovov & Kuznetov, 1987) برداشت شد. سپس برای آنالیز فرستاده شد و بعد از به دست آمدن نتایج آنالیز با استفاده از روش متالوژی و زونالیت‌ه ژئوشیمیایی زمینه، آنومالی و تولید سطحی در مقیاس ناحیه‌ای محاسبه شد، سپس بر اساس متالوژی زون مورد مطالعه و طبق روش طیف ژئوشیمیایی عناصر (نسبت عناصر فوق کانساری به عناصر تحت کانساری) شاخص تفکیک بهینه مشخص شد که با استفاده از این شاخص، نقشه پتانسیل مطلوب تهیه می‌شود.

_ وزن دهی به هر یک از لایه‌های رومی شده با استفاده از روش شاخص همپوشانی، یکی از روش‌های تئوری فازی

_ تلفیق لایه‌های اطلاعاتی و ارائه مدل نهایی از ساختار آنومالی‌ها

صحت سنجی مدل اکتشافی نهایی بر اساس بررسی شواهد صحرایی در راستای انتخاب و اولویت‌بندی زون‌های اکتشافی با جمع‌آوری اطلاعات موردنیاز شامل اطلاعات زمین‌شناسی از منطقه مورد مطالعه، تهیه داده‌های سنجش‌ازدور و داده‌های ژئوشیمیایی بانک اطلاعات تهیه شد و در مرحله بعد آماده‌سازی داده‌ها نظیر تصحیح داده‌های سنجش از دور و داده‌های ژئوشیمیایی (با استفاده از روش زونالیت‌ه ژئوشیمیایی شاخص‌های استاندارد به صورت نقشه حاصل ضرب عناصر تحت کانساری و فوق کانساری به‌طور جداگانه محاسبه و با سایر نقشه‌های رده‌بندی آنومالی‌های ژئوشیمیایی مقایسه شد و مشخص گردید که آنومالی چه وضعیتی دارد) صورت می‌گیرد، سپس به تفسیر و پردازش داده‌ها پرداخته می‌شود. پردازش داده‌های سنجش از دور ناحیه مورد مطالعه با استفاده از روش‌های نسبت باندی و آنالیز مؤلفه‌های اصلی برای تفکیک زون‌های پتانسیل دار انجام شد. سپس با بررسی اکتشافات ژئوشیمیایی ناحیه‌ای، نمونه‌برداری از منطقه مورد مطالعه انجام شده و تجزیه نمونه‌ها به روش چندعنصری و پردازش داده‌های حاصل از آنالیز با روش چند متغیره تحلیل فاکتوری به هدف تعیین مناطق

آنومالی مس صورت گرفت. در نهایت با تهیه لایه‌های اطلاعاتی در محیط GIS و نیز تهیه نقشه نهایی از تلفیق لایه‌های اطلاعاتی به دست آمده و بررسی آن‌ها، مناطق حفاری مشخص گردید.

در صورتی که در یک منطقه به‌اندازه کافی اندیس‌های شناخته شده وجود داشته باشد، از مدل‌سازی داده محور پتانسیل معدنی در تعیین مناطق هدف برای اکتشافات بعدی استفاده می‌شود. در این روش ابتدا کلیه خصوصیات اندیس‌های شناخته شده، از نوع کانی‌سازی مورد جستجو جمع‌آوری شده و ارتباط این خصوصیات با شواهد و الگوهای فضایی کمی می‌گردد. سپس نقاطی جستجو می‌شود که مشابه این خصوصیات، در آن مناطق حضور دارند. در این حالت می‌توان مناطقی را که دارای خصوصیات مشابه می‌باشند، به‌عنوان مناطق امیدبخش و مناسب برای پی‌جویی ذخیره هدف و مورد جستجو در نظر گرفت.

فصل دوم

زمین‌شناسی منطقه

۱-۲- مقدمه

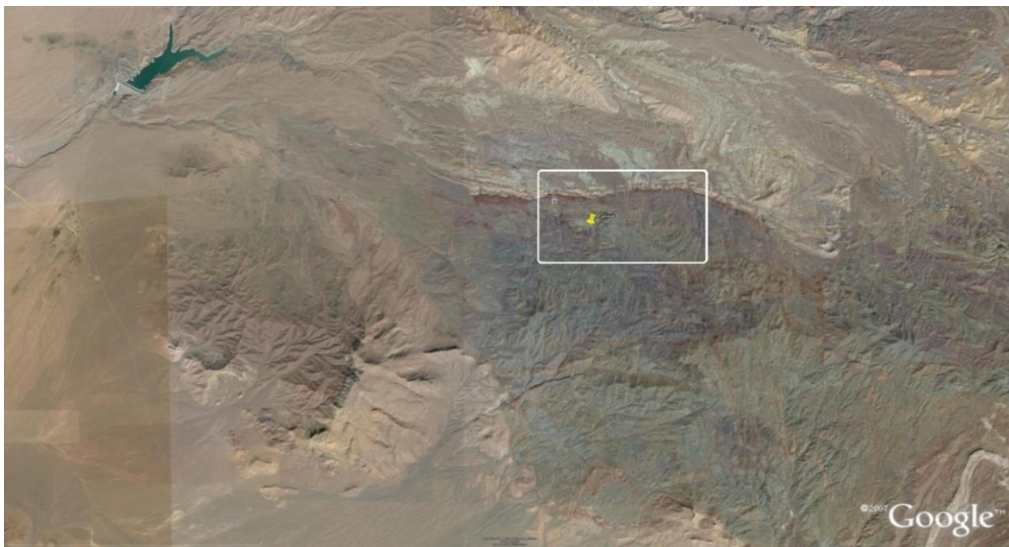
گستره مورد مطالعه در محدوده چهارگوش ۱:۲۵۰۰۰۰ سیرجان در استان کرمان واقع شده و جزئی از کمربند ارومیه - دختر است. در این مجموعه افیولیتی گسترش واحدهای سنگی مختلف، گاه از چند ده متر یا چند صد مترمربع فراتر نمی‌رود. غالباً مرزها یا همبری‌های واحدهای سنگی از نوع گسلی هستند. از سوی دیگر، واحدهای سنگی دارای تنوع ترکیبی زیادی هستند و در ضمن به واسطه ماهیت جایگیری مجموعه‌های افیولیتی، تقریباً این شانس را دارند که کلیه واحدهای سنگی نامتجانس در کنار هم قرار گیرند. در نتیجه برای تهیه نقشه زمین‌شناسی در این مناطق با توجه به هدف نهایی، از تصاویر ماهواره‌ای با دقت تفکیکی زیاد و همچنین پیمایش‌های زمینی یا صحرایی زیاد کمک گرفته شد تا نتیجه مطلوبی حاصل شود. در ضمن باید اظهار داشته که حداقل سنگ‌های قدیمی‌تر از کرتاسه در این منطقه رخنمون دارند.

۲-۲- جغرافیا و راه‌های دسترسی به منطقه

منطقه میلوپه در ۸۰ کیلومتری شمال شرق شهر سیرجان (شکل ۲-۱) و به عبارت دقیق‌تر در ۱۲ کیلومتری غرب روستای امیر آباد سوخک واقع شده است. منطقه مورد مطالعه بین طول‌های جغرافیایی ۴۵° ۲۹' تا ۴۵° ۵۶' شرقی و عرض‌های جغرافیایی ۲۵° ۲۹' تا ۴۵° ۲۹' شمالی قرار دارد و محدوده‌ای با وسعت یازده کیلومترمربع را در برمی‌گیرد. این منطقه در نگاهی وسیع‌تر، در بخش مرزی پهنه ماگمایی ارومیه-دختر (در شمال) و پهنه افیولیتی شمال شرق سیرجان یا به عبارتی کلی‌تر دهشیر-بافت (در جنوب) واقع شده است (به شکل‌های ۲-۲ تا ۴-۲ نگاه کنید). لیکن محدوده مطالعاتی میلوپه به‌طور خاص بخشی از پهنه افیولیتی شمال شرق سیرجان است. با توجه به توضیح ارائه شده و شواهد زمین‌شناسی که در مباحث آتی در این گزارش ارائه خواهد شد، حوادث زمین‌شناسی منطقه میلوپه در واقع متأثر از حوادث زمین‌شناسی‌ای است که هر دو پهنه در طول دوره حیات زمین‌شناسی خود پشت سر گذاشته‌اند.



شکل ۲-۳ - تصویر ماهواره‌ای نشان‌دهنده منطقه مورد مطالعه بر روی تصویر ماهواره‌ای لندست (بخش‌های بنفش رنگ پهنه یا کمر بند افیولیتی شمال شرق سیرجان). موقعیت منطقه مورد مطالعه بر روی این تصویر با کادر مستطیلی شکل نشان داده شده است.



شکل ۲-۴ - تصویر ماهواره‌ای نشان‌دهنده منطقه مورد مطالعه بر روی تصویر ماهواره‌ای گوگل‌ارث (بخش‌های بنفش رنگ پهنه یا کمر بند افیولیتی شمال شرق سیرجان).

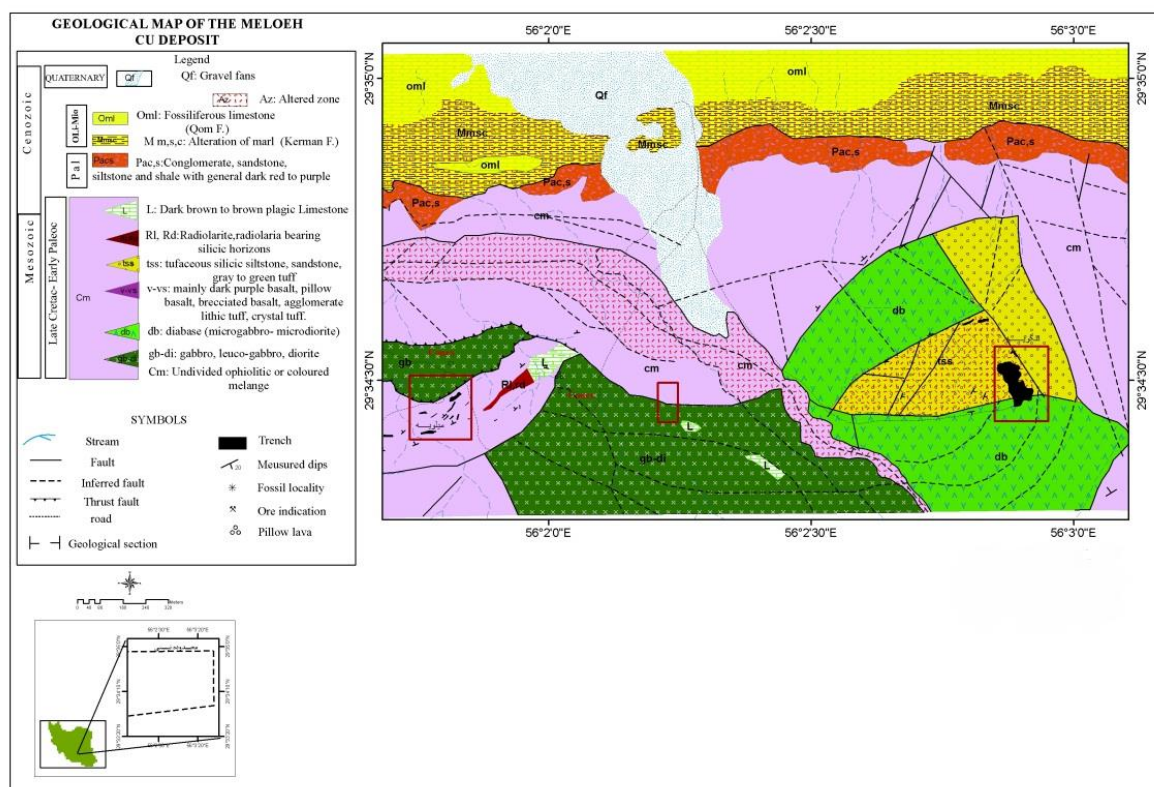
۳-۲- شرایط آب و هوایی و پوشش گیاهی منطقه

محدوده مورد مطالعه دارای ریخت‌شناسی یا مورفولوژی نسبتاً کم ارتفاع و تپه ماهوری است دارای آب و هوای نسبتاً معتدل است. وجود پوشش گیاهی (شکل ۲-۵) متشکل از درختان بادام کوهی، بنه، آرجین، تاغ و همچنین بوته‌زارها شامل دُرمنه، گون و ... مؤید این موضوع است. منابع آبی در این منطقه فقط چشمه‌های خودجوش هستند که از پهنه‌های گسلی سرچشمه گرفته‌اند و سطح ایستابی آب در عمق ۲ تا ۲۵ متری در ترانشه‌های معدنی قابل مشاهده است. رودخانه دائمی در این منطقه وجود ندارد و عمدتاً، رودخانه‌ها فصلی هستند و در ماه‌های پر بارش، به مقدار اندک، آب در آن‌ها جاری می‌شود (به استثنای دوره‌های سیلابی کم تعداد).



شکل ۲-۵- تصویری از درختان زردآلو، گلابی و توت همراه با چند درخت بادام کوهی در پیرامون چشمه بچاقچی

۴-۲- نقشه زمین‌شناسی تهیه شده از منطقه



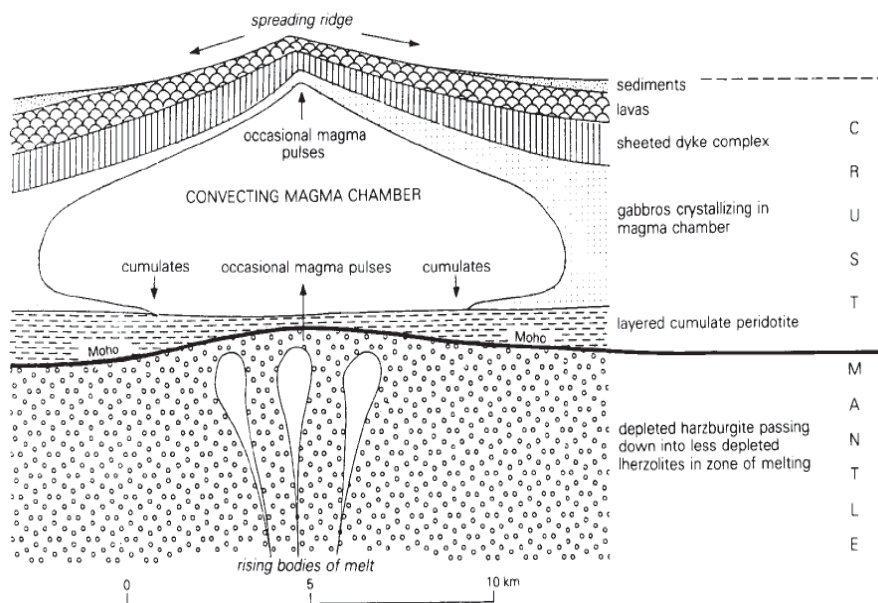
شکل ۲-۶- نقشه زمین‌شناسی تهیه شده بر اساس پیمایش‌های صحرائی انجام شده و بر پایه تصاویر ماهواره‌ای.

۵-۲- واحدهای مهم زمین‌شناسی منطقه

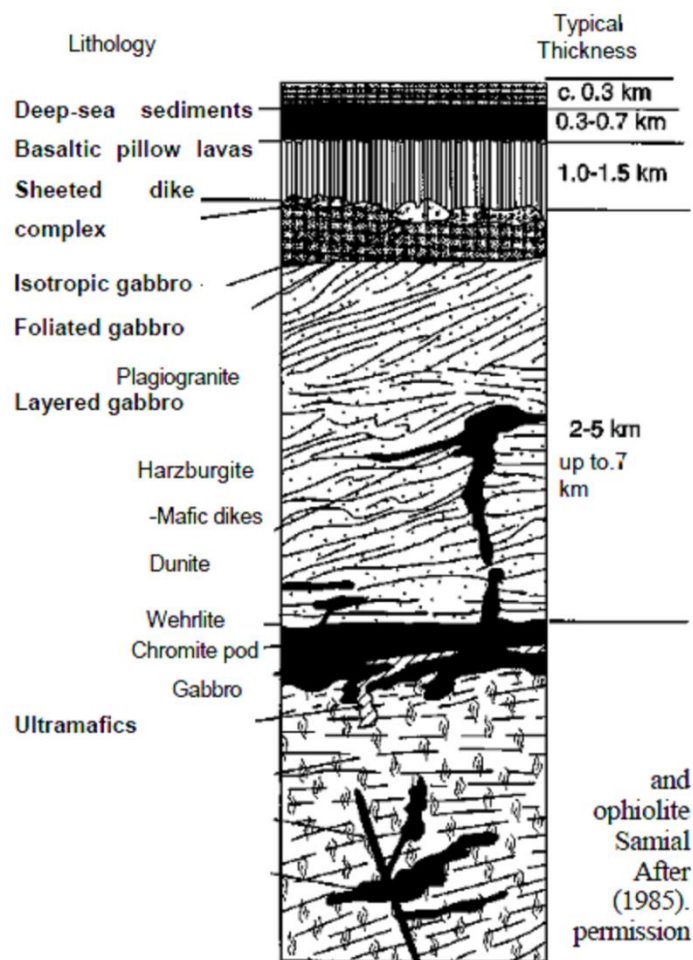
واحدهای سنگی رخنمون در محدوده کانسار از قدیم به جدید در ادامه آمده است. از آنجایی که واحدهای سنگی قدیمی‌تر از کرتاسه در منطقه مورد مطالعه رخنمون ندارند، مباحث زمین‌شناسی خود را با عنوان کلی واحدهای سنگی دوران‌های میانه‌زیستی - نوزیستی (اواخر مزوزوئیک - اوایل سنوزوئیک) شروع می‌کنیم.

در محدوده مورد مطالعه بیشترین رخنمون‌های سنگی مربوط به سنگ‌های مجموعه افیولیتی می‌باشند، لذا ارائه مقدمه مختصری در این خصوص الزامی است. توالی‌های کامل مجموعه‌های افیولیتی معمولاً از دو بخش گوشته‌ای و پوسته‌ای تشکیل شده‌اند. بخش گوشته‌ای از دونیت، کرومیت، پریدوتیت، لرزولیت، هارزبورژیت، ورلیت

و پیروکسنیت تشکیل شده است. در مقابل بخش پوسته‌ای شامل گابروهای لایه‌ای، گابروهای متراکم، گابرودیوریت‌ها، دایک‌های ورقه‌ای، پلاژیوگرانیت‌ها، گدازه‌های بالشی، گدازه‌های متراکم، گدازه‌های برشی شده، لیتیک توف‌ها، کریستال توف‌ها، توفیت‌ها، توف، آهک‌های پلاژیک و رادیولاریت‌ها و ... است (به شکل‌های ۲-۷ و ۲-۸ نگاه کنید). در منطقه مورد مطالعه سنگ‌های اولترامافیک گوشته‌ای رخنمون ندارند، ولی در مقابل بخش-پوسته‌ای از فراوانی قابل توجهی برخوردار هستند و تقریباً در همه‌جا رخنمون دارند.



شکل ۲-۷- مقطع شماتیک توالی سنگی در محل بازشدگی میان اقیانوسی که بعداً در طی مجموعه فرایندهای تکتونیکی به یک مجموعه افیولیتی تحوّل خواهد کرد. به تفاوت مجموعه‌های سنگ‌شناسی در بخش پوسته‌ای و گوشته‌ای توجه نمایید (اقتباس از براون و موست ۱۹۸۱ در (Wilson & Gerard, 2007)).



شکل ۲-۸- توالی شماتیک مجموعه کامل افیولیتی اسماعیل در عمان (اقتباس از بودیه و نیکولاس ۱۹۸۵، در Winter, ۲۰۰۱).

۱-۵-۲- مجموعه افیولیتی اواخر کرتاسه - اوایل پالئوسن

الف- واحد gb-di (گابرو - دیوریت‌ها): این واحد سنگی، گابروها، لوکوگابروها، گابرو دیوریت‌ها و دیوریت‌های وابسته به قسمت‌های میانی یک سکانس (توالی) افیولیتی را شامل می‌شود. در واقع طیف ترکیبی این سنگ‌ها از گابرو تا دیوریت متغیر است. این سنگ‌های دارای رنگ سبز تا سبز روشن می‌باشند. رنگ سبز تا سبز روشن آن‌ها به واسطه وجود اوژیت، احتمالاً پیژونیت و هورنبلندهای سبزی که عمدتاً کلریتی شده‌اند. با افزایش مقدار پلاژیوکلاز، رنگ این سنگ‌ها روشن‌تر می‌شود و تن رنگی خاصی به خود اختصاص می‌دهند. مقاطع میکروسکوپی تهیه‌شده از این

سنگ‌ها، موارد فوق را تأیید می‌کند. مقادیر کمی کانی اوپک احتمالاً مگنتیت و تیتانومگنتیت در این سنگ‌ها یافت می‌شود. این سنگ‌ها بافت دانه‌ای شکل‌دار تا نیمه شکل‌دار نشان می‌دهند. در برخی موارد، شواهد تفریق یافتگی بیشتر به صورت رگه‌ها یا دایک‌های لوکوگابرویی در شمال غرب چشمه بچاقچی به وضوح در مقیاس صحرایی قابل مشاهده است (پشت نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ چهارگنبد و ۱:۲۵۰۰۰۰ سیرجان).

در واقع این توده‌های سنگی، برش‌های (اسلایس‌های) تکتونیکی هستند که مرزها یا همبری آن‌ها با سایر واحدهای سنگی گسلی است. چون در مجموعه‌های افیولیتی سنگ‌هایی که در مجاور هم قرار گرفته‌اند از لحاظ جایگاه تشکیل می‌توانند از چند متر تا چند صد متر و گاهی تا چند هزار متر، اختلاف جایگاه داشته باشند. در منطقه معدنی حد فاصل میلویه تا تنگوئی گابروها در مجاورت سنگ‌های آهکی پلاژیک، بازالت‌های بالشی، توف‌های سیلتستونی و دیابازها قرار گرفته‌اند. ولی چون بخشی از این سنگ‌ها دارای رخنمون‌های کم وسعت و غیرقابل نمایش بر روی نقشه‌های زمین‌شناسی می‌باشند، جمعی از این سنگ‌ها با عنوان کلی آمیزه رنگین در مجاورت گابروها نمایش داده شده‌اند (پشت نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ چهارگنبد و ۱:۲۵۰۰۰۰ سیرجان).

در غرب و جنوب غرب چشمه بچاقچی، گابروها با بازالت‌های بالشی، آگلومرهای بازالتی، برش‌های آتش‌فشانی دارای ترکیب بازالتی، سنگ‌های توفی سیلتستونی و آهک‌های پلاژیک دارای مرز تماس گسلی هستند و به عبارتی با مرز گسله به طور بلافاصل (بدون فاصله) در مجاورت یکدیگر قرار گرفته‌اند. با توجه به شدت و ضعف تنش‌های تکتونیکی تحمیل شده، گابرو- دیوریت‌های نسبتاً سالم تا شدیداً خرد شده و دگرسان شده قابل مشاهده هستند. کلریتی شدن دگرسانی گسترده‌ای است که بر این سنگ‌ها تحمیل شده است. ولی به نظر می‌رسد، ارتباط چندانی با دگرسانی‌های گرمابی صورت گرفته در منطقه ندارد. از سوی دیگر، اپیدوتی شدن تحمیل شده بر این سنگ‌ها که از شدت و ضعف متفاوتی برخوردار است، به احتمال قوی با دگرسانی‌های گرمابی صورت گرفته در منطقه میلویه در ارتباط است و بخشی از دگرسانی‌های گرمابی دمای پایین تحمیل شده بر این سنگ‌ها محسوب می‌شود. اپیدوت‌ها از تجمع موضعی تا افشان و یا رگه‌ای برخوردار هستند. به نظر می‌رسد تشکیل آن‌ها با سیالات دارای

دمای کمتر نسبت به دگرسانی نسبتاً فراگیر کربناتی- سیلیسی- آرژیلیتی و در شرایط احیایی تر تشکیل شده است (پشت نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ چهارگنبد و ۱:۲۵۰۰۰۰ سیرجان).

ترانشه‌هایی که در شمال دپوهای سنگ‌های کانه‌دار معدن میلوپه، به‌طور پراکنده در سنگ‌های گابرویی - دیوریتی حفر شده و همچنین حفاری‌های مغزه‌ای انجام شده (مغزه‌های دارای ترکیب گابرو- دیوریتی) نشان‌دهنده کانه‌زایی مس به‌صورت پراکنده و به شکل مالاکیت و آزوریت در آن‌ها می‌باشد. لیکن حجم سنگ‌های کانه‌دار بسیار کم است و ذخیره قابل توجهی از آن‌ها مشاهده نشده است.

در مجموع، سنگ‌های گابرویی یکی از ویژگی‌های بارز مجموعه افیولیتی مورد مطالعه می‌باشند که دارای مرزهای گسلی با سایر سنگ‌های هم‌جوار خود هستند و به بخش میانی توالی افیولیتی تعلق دارند و نباید آن‌ها را به‌عنوان توده‌های نفوذی قلمداد کرد و یا فعالیت‌های گرمایی را به آن‌ها نسبت داد. چون بر اساس مدارک و شواهد قابل اعتماد صحرایی، سن حادثه وقوع دگرسانی‌های گرمایی و کانه‌زایی‌ها، بسیار جوان‌تر از سن مجموعه سنگی افیولیتی یا سن جایگیری آن‌ها است و تقریباً به اواسط میوسن حدود ۱۶ میلیون سال یا کمتر معطوف می‌شود (پشت نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ چهارگنبد و ۱:۲۵۰۰۰۰ سیرجان).

به علت خردشدگی زیاد و دگرسانی‌های تحمیل شده بر این سنگ‌های گابرو- دیوریتی، نمی‌توان از آن‌ها به‌عنوان سنگ ساختمانی یا سنگ نما استفاده کرد.

ب- واحد db (دیابازها): واحد دیابازی که با نماد db (نماد اختصاری واژه diabse) مشخص شده است در واقع معرف بخشی از توالی سنگی مجموعه‌های افیولیتی است که در حد فاصل جایگاه تشکیلی گابرو دیوریت‌ها و بازالت‌ها واقع شده است و شاید بتوان آن‌ها را جزئی از دایک‌های ورقه‌ای نیز به حساب آورد (پشت نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ چهارگنبد و ۱:۲۵۰۰۰۰ سیرجان).

این سنگ‌ها شبیه توده‌های نفوذی کم عمق رفتار می‌کنند و ویژگی‌های آن به هر دو گروه سنگی ذکر شده شباهت دارد ولی شباهت‌های آن‌ها به گابروها و دیوریت‌ها بیشتر است. چون عموماً دارای ماهیت سنگ‌شناسی نسبتاً یکنواخت و همگن هستند (رخنمون‌های دیابازی جنوب و جنوب‌غرب معدن تنگوئیه به‌وضوح این موضوع را به نمایش گذاشته‌اند)، بسیار ریزدانه هستند (به‌طوری که به توف‌های سیلتستونی بسیار شبیه هستند)، دگرسانی کلریتی گسترده‌ای را متحمل شده‌اند و به علت همگنی ترکیب سنگی، دارای مورفولوژی نسبتاً یک دست و تقریباً هموار می‌باشند (پشت نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ چهارگنبد و ۱:۲۵۰۰۰۰ سیرجان).

سنگ‌های دیابازی مورد مطالعه که عمدتاً در جنوب و جنوب‌غرب معدن تنگوئیه رخنمون دارند در برخی نقاط در مسیر گذر پهنه دگرسانی گرمابی سیلیسی - کربناتی - آرژیلیتی (نوعی لیستونیتی شدن) قرار گرفته و بشدت دگرسان شده‌اند و رنگ آن‌ها از سبز تیره به زرد تا زرد لیمویی تغییر پیدا کرده است و در مواردی نیز هویت ترکیبی آن‌ها کاملاً تغییر پیدا کرده است در مرکز پهنه‌های دگرسانی رگه‌های سیلیسی - کربناتی - آرژیلیتی مشاهده می‌شود (پشت نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ چهارگنبد و ۱:۲۵۰۰۰۰ سیرجان).

لازم به ذکر است که دیابازها از سه طرف (شمال، جنوب و غرب) عمدتاً با سنگ‌های توفی سیلتستونی و آهک‌های پلاژیک با مرزهای گسلی در تماس هستند یا به عبارتی دارای کنتاکت هستند. از سوی شرق، دیابازها، با مرز گسلی در مجاورت سنگ‌های بازالتی، آگلومراهای بازالتی، لیتیک‌توف‌ها و کریستال - لیتیک‌توف‌ها قرار گرفته‌اند. درزه‌های متقاطع و قطعات سنگی با اشکال تقریباً منظم لوزی شکل تا چند وجهی نامنظم و با سطوح شارپ یا بارز، از دیگر ویژگی‌های این واحد سنگی است (پشت نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ چهارگنبد و ۱:۲۵۰۰۰۰ سیرجان).

سنگ‌های دیابازی نسبت به سایر واحدهای سنگی، رخنمون محدودتری را به خود اختصاص داده‌اند. علی‌رغم گسترش کم این واحد، از دیدگاه تعبیر و تفسیر مجموعه افیولیتی مورد مطالعه و تکمیل توالی سازنده پوسته (لیتوسفر) اقیانوسی آن، از جایگاه علمی ویژه و رفیعی برخوردار است. مشاهدات صحرایی معرف آن است که کانه

زایی مالاکیت نیز همراه با دیابازها یا سنگ‌های دیابازی انجام شده است (پشت نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ چهارگنبد و ۱:۲۵۰۰۰۰ سیرجان).

۲-۵-۲- واحد $KP^{v-vs(b)}$ (توالی آتش‌فشانی و آتش‌فشانی رسوبی بستر اقیانوسی)

واحد سنگی $KP^{v-vs(b)}$ در واقع معرف مجموعه آتش‌فشانی رسوبی بستر اقیانوسی بخشی از مجموعه افیولیتی نئوتتیس در حوضه استان کرمان است که عبارت (b) v-vs آن از عبارات volcanic, volcanosedimentary یا volcaniclastic و basalt اقتباس شده است. این عبارت بیشتر گویای ماهیت تشکیل این واحد سنگی است. در ضمن حرف b موجود در پرانتز معرف ترکیب عمدتاً بازالتی این واحد است. این واحد از گسترش نسبتاً زیادی برخوردار است و بخشی از شرق منطقه مطالعاتی را به خود اختصاص داده است. در شمال و شمال‌شرق چشمه بچاقچی این واحد سنگی در واحد سنگی KP^{cm} ادغام شده است. این سنگ‌ها بخش مهم دیگری از توالی پوسته اقیانوسی مجموعه افیولیتی منطقه مورد مطالعه هستند که حاصل خروج، فوران یا جاری شدن گدازه‌های بازالتی در محیط زیرآبی می‌باشند. در همین راستا، با توجه به حجم گدازه‌های خارج شده، فوران یافته یا جاری شده و عکس‌العمل یا واکنش متقابل آن‌ها، نسبت به محیطی که در آن وارد شده‌اند (که معمولاً محیطی سرد است، آب در همه جای آن حضور دارد و فشار ستون آب بالاسر، بر بستر آن تحمیل می‌شود) و همچنین با توجه به دما، حجم گازهای محبوس شده در آن‌ها، ویسکوزیته و تا حدودی ترکیب آن‌ها، گدازه‌های بازالتی منجمد شده و سنگ شده از لحاظ ساخت و بافت رفتار متنوع و متفاوتی را به نمایش گذاشته‌اند. برخی از ساخت و بافت‌های مشاهده شده عبارت‌اند از: پورفیری، میکروولیتی پورفیری، گلومروپورفیری، بادامکی، اسفرولیتی (شعاعی یا کروی) و ساخت‌های بزرگ مقیاس‌تر نظیر بالش‌های بازالتی، ساخت برشی و هیالوبرشی (برشی شیشه‌ای) یا به عبارتی قطعه‌قطعه شدن در هنگام مواجهه با آب پیریتی شدن (به‌صورت مخلوط گدازه‌های بازالتی و آهک‌های پلاژیک یا سنگ‌های توفی سیلتستونی (این امر به‌وضوح در مغزه‌های حفاری شده از چاه شماره ۲ مشاهده شده است). لازم

به ذکر است این سنگ‌های بازالتی معمولاً با میان لایه‌هایی از محصولات تخریبی یا ته‌نشستی زیردریایی به شکل کریستال توف، کریستال - لیتیک توف، لیتیک - کریستال توف و لیتیک توف به رنگ‌های خاکستری مایل به ارغوانی یا بنفش همراه هستند که می‌توان آن‌ها را با عبارت عام‌تر نظیر سیلتستون توفی و ماسه‌سنگ توفی نیز نام‌گذاری کرد. این سنگ‌ها گستره وسیعی را در شرق معدن تنگ‌نویه به خود اختصاص داده‌اند و با رنگ تیره، سیاه خاکستری مایل به بنفش یا ارغوانی از سایر واحدهای سنگی به‌طور بارز تفکیک می‌شوند. لیکن همین واحد سنگی به‌صورت رخنمون‌های با وسعت‌های چند ده متری در شمال، غرب و جنوب معدن میلوبه نیز رخنمون دارند که با توجه به مقیاس نقشه‌های قابل‌عرضه به کار فرما، نمایش آن‌ها بر روی نقشه عملاً امکان‌پذیر نیست و از سوی دیگر کاری بیهوده و وقت‌گیر است. لذا این رخنمون‌ها، همراه با سایر واحدهای سنگی هم‌جوارشان که غالباً دارای مرز گسلی هستند، تحت عنوان یک واحد کلی با نماد یا نشانه آمیزه رنگین در هم ادغام شده‌اند، ولی به علت اهمیت خاص گدازه‌های بالشی با ساختار کاملاً واضح و بارز، محل رخنمون آن‌ها بر روی نقشه با علامت ستاره مشخص شده است. این گدازه‌های بالشی، در دو محل یعنی در غرب و شمال‌غرب چشمه بچاقچی و منتهی‌الیه جنوب‌غربی محدوده مورد مطالعه مشاهده شده‌اند. در برخی نقاط و به‌طور خاص در نقاط نامبرده گدازه‌های بازالتی دارای ساختار بالشی، متحمل اپیدوت‌زایی شده‌اند و مناظر زیبایی را به نمایش گذاشته‌اند، به‌طوری که در برخی نقاط رنگ بالش‌های بازالتی به‌طور کامل یا ناقص از سیاه به سبز مغز پسته‌ای تغییر پیدا کرده است. تغییر رنگ از جزئی یا ناقص تا کامل متغیر است. اگر چه شواهد گسترده‌ای از اسپلیتی‌شدن در بازالت‌ها مشاهده می‌شود ولی اپیدت-زایی مورد نظر، متأثر از گرم شدن بزرگ مقیاس منطقه و وجود سیالات دگرسان کننده در زمان وقوع دگرسانی گرمایی است. لازم به ذکر است، در برخی نقاط، سنگ‌های بازالتی با مقادیری (کم تا زیاد) از آهک‌های پلاژیک صورتی-قهوه‌ای - ارغوانی، توف‌های سیلتستونی ارغوانی، توف‌های ماسه‌سنگی سفید خاکستری و ... همراه هستند و به علت تکتونیزه بودن شدید منطقه، در برخی نقاط، به‌طور نامنظم و همچون آوار ساختمانی در هم تداخل کرده یا درهم تنیده شده‌اند. لازم به ذکر است، در غرب معدن تنگ‌نویه رگه‌هایی با ماهیت کلی کوارتز-کلسیتی (و

احتمالاً زئولیتی)- مالاکیته (و در برخی موارد به علاوه کالکوسیت، بورنیت و مس طبیعی یا عنصری) قطع شده- اند(پشت نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ چهارگنبد و ۱:۲۵۰۰۰۰ سیرجان).

هر چند گسترش سطحی این رگه‌ها، کم است ولی گهگاه از فراوانی قابل توجه برخوردار هستند و می‌توان آن‌ها را به‌عنوان یک راهنمای اکتشافی برای یافتن ذخایر مس یا طلا استفاده کرد. به علت اختلاف رنگ زیاد این رگه‌ها (سفید تا سفید کرم) با سنگ‌های میزبان‌شان سیاه تا خاکستری تیره، پی‌جویی آن‌ها امری ساده است. لازم به ذکر است با نزدیک شدن به پهنه‌های دگرسانی گرمایی سیلیسی - کربناتی - آرژیلیتی با رنگ غالب قهوه‌ای - لیمویی، بر تعداد رگه‌های مورد نظر افزوده می‌گردد، بنابراین، همین رگه‌های سیلیسی (کوارتزی) - کربناتی (کلسیتی) - زئولیتی و مالاکیته (در مواردی همراه با کالکوسیت و مس عنصری)، شواهدی از بخش‌های دمای پایین‌تر سیالات گرمایی محسوب می‌شوند(پشت نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ چهارگنبد و ۱:۲۵۰۰۰۰ سیرجان).

۳-۵-۲- واحد KP^{ts} (سنگ‌های توفی سیلتستونی، توفی شیلی و توفی سیلیسی)

این واحد سنگی، سنگ‌های توفی سیلتستونی و توفی شیلی و توفی سیلیسی را شامل می‌شود و عمدتاً با آهک‌های پلاژیک، آهک‌های میکرایتی و رادیولاریت‌ها همراه است. با این وجود، از سوی دیگر می‌تواند با گدازه‌های بازالتی، بازالت‌های بالشی، آگلومراها، لیتیک‌توف‌ها و کریستال - لیتیک‌توف‌ها همراه باشد. این سنگ‌ها در واقع سنگ‌هایی با ماهیت رسوبی هستند که از تأثیرات فعالیت‌های آتش‌فشانی نیز متأثر شده‌اند، همانند تمرکز قابل توجه سیلیس محلول در آب، اکسیدها و هیدرواکسیدهای آهن و منگنز محلول (موجود) در آب دریا و یا حاصل تجمع و تمرکز خاکسترهای آتش‌فشانی زیردریایی می‌باشند. در محدوده مورد مطالعه، سنگ‌های توفی مورد نظر، دارای رنگ سبز تا خاکستری و گاه متمایل به قهوه‌ای تا ارغوانی می‌باشند، نازک لایه تا متوسط لایه هستند. با این وجود، بسیاری از رخنمون‌های این واحد سنگی، به قدری کم وسعت هستند که قابل نمایش بر روی نقشه‌های زمین‌شناسی نیست و عملاً باید آن را همراه واحدهای دیگر در درون یک واحد سنگی بزرگ‌تر نظیر KP^{cm} ادغام کرد(پشت نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ چهارگنبد و ۱:۲۵۰۰۰۰ سیرجان).

۴-۵-۲- واحد رادیولاریت (r)

رادیولاریت‌ها در واقع سنگ‌هایی هستند که تجمع پوسته رادیولارها تشکیل می‌شوند. از آنجا که پوسته شعاعی آن دارای ماهیت سیلیسی است پس رادیولاریت‌ها دارای ماهیت پر سیلیس می‌باشند و در واقع شبه توف‌های سیلیسی یا چرت‌ها و ژاسپر‌ها ظاهر می‌شوند ولی ویژگی بارز و متمایز کننده آن‌ها از سایر سنگ‌های مشابه وجود بقایای فسیلی رادیولارها است؛ که شبیه پارچه‌های توری شکل ظریف سفید رنگ در مقاطع طولی و در مقاطع عرضی یا استوانه‌ای شبیه چرخ دنده‌هایی با دنده‌های ظریف ظاهر می‌شوند. در صورتی که بیش از ۳۰ درصد سنگ را رادیولارها به خود اختصاص دهند به سنگ رادیولاریت گفته می‌شود، در غیر این صورت می‌توان از عبارت توده‌های سیلیسی رادیولاردار استفاده کرد. مقاطع نازک تهیه شده از این سنگ‌ها، حضور رادیولارها را در این سنگ‌ها به وضوح نشان می‌دهد. ارزش حقیقی سنگ‌های حاوی رادیولارها یا رادیولاریت‌ها، کمک به تعیین شرایط تشکیل حوضه رسوبی و عمق حوضه رسوبی است. به‌طور معمول رادیولاریت‌ها، همراه با آهک‌های پلاژیک، توف-های سیلتستونی و سندستونی (ماسه‌سنگی)، آگلومراها و برش‌های بازالتی زیردریایی، معرف محیط‌های میان-اقیانوسی و عمق زیاد حوضه رسوب‌گذاری می‌باشند. با توجه به سایر مستندات نظیر مجموعه فسیلی آهک‌های پلاژیک (میکروفسیل‌ها) و همراهی با سنگ‌های توفی نامبرده و همچنین گدازه‌های بالشی، عمق زیاد حوضه رسوب‌گذاری تأیید می‌گردد. در منطقه مورد مطالعه رادیولاریت‌ها در غرب و جنوب معدن میلوئیه همراه با سنگ‌های آهکی پلاژیک، توف‌های سیلتستونی و گاه با گدازه‌های بالشی یافت می‌شوند. رنگ آن‌ها صورتی تا ارغوانی تیره هستند. به علت سرشار بودن از سیلیس، در مقابل فرسایش سخت و مقاوم هستند و به‌صورت افق‌های صخره ساز ظاهر شده‌اند. معمولاً بسیار ریزدانه هستند، سطوح شکست آن‌ها تیز یا صدفی است و با ایجاد خراش بر روی قسمت فلزی چکش زمین‌شناسی، سخت بودن آن‌ها تأیید می‌گردد (پشت نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ چهارگنبد و ۱:۲۵۰۰۰۰ سیرجان).

۴-۵-۲- آهک‌های پلاژیک (KP^۱)

سنگ‌های آهکی پلاژیک یکی دیگر از واحدهای سازنده مجموعه افیولیتی میزبان سنگ‌های کانه‌دار مورد مطالعه در محدوده میلوئیه - تنگوئیه می‌باشند. این سنگ‌های آهکی به رنگ کرم مایل به صورتی، صورتی، قهوه‌ای و قهوه‌ای مایل به ارغوانی یا قرمز می‌باشند. آن‌ها دارای لامیناسیون و لایه‌بندی بارزی هستند. بسیار ریزدانه هستند و در واقع میکرایتی می‌باشند و به واسطه داشتن میکروفسیل‌هایی نظیر گلوبوترونکانا، هدبرگلا، کالپیونلا و رادیولارها بهتر است آن‌ها را بایومیکرایت بنامیم (پشت نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ چهارگنبد و ۱:۲۵۰۰۰۰ سیرجان).

این واحد سنگی معمولاً بالاترین بخش مجموعه سنگ‌های پوسته اقیانوسی است و با رادیولاریت‌ها، گدازه‌های بازالتی دارای ساخت بالشی، آگلومراهای بازالتی، کریستال‌توف‌ها و کریستال-لیتیک‌توف‌ها همراه است. آهک‌های پلاژیک در شمال، شمال غربی، جنوب‌شرقی و جنوب، کارگاه‌های استخراجی معدن میلوئیه رخمون دارند. در واقع، به غیر از درون محدوده رخمون گابروها و دیابازها، در سراسر مجموعه سنگی معروف به آمیزه رنگین، رخمون‌های کوچک و بزرگی از این واحد سنگی، مشاهده می‌شود. با این وجود، ابعاد این رخمون‌ها معمولاً چند ده مترمربع تا چند صد مترمربع بیشتر نیست. به ندرت پیوستگی و امتداد این واحد سنگی، از چند صد متر فراتر می‌رود (پشت نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ چهارگنبد و ۱:۲۵۰۰۰۰ سیرجان).

۴-۵-۵- واحد Pa^{c,s} (سازند کرمان) سنوزوئیک - پالئوسن

این واحد سنگی کنگلومراها، ماسه‌سنگ‌های پلی‌ژنیک، سیلتستون‌ها و شیل‌های قرمز- ارغوانی را شامل می‌شود. این واحد سنگی در منطقه مرزی حد فاصل مجموعه افیولیتی (KP^{cm})، سازند قرمز زیرین (متشکل از O^{m,s,c}) و سازند قم (OM^{ml}) به صورت نوار ارغوانی تیره به پهنای از ۱۵ تا حداکثر ۱۵۰ متر و طول چند کیلومتر رخمون دارد. این واحد سنگی در واقع از یک یا چند مخروط افکنه درست شده است که اجزای سازنده آن‌ها تماماً از مجموعه افیولیتی به سن اواخر کرتاسه- اوایل پالئوسن مشتق شده‌اند. البته سن اواخر کرتاسه- اوایل پالئوسن،

معرف دوره‌های سنی پایانی مجموعه اقیانوسی نئوتتیس و زمان جای‌گیری مجموعه افیولیتی مورد نظر می‌باشد (پشت نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ چهارگنبد و ۱:۲۵۰۰۰۰ سیرجان).

مشاهدات صحرایی معرف آن است که رنگ ارغوانی تا قرمز این واحد سنگی که از مقیاس بزرگ در حد تصاویر ماهواره‌ای تا رخنمون‌های صحرایی قابل مشاهده و تعقیب است، متأثر از فراوانی قطعات سنگی است که از آهک-های پلاژیک صورتی، توف‌های سیلتستونی ارغوانی، رادیولاریت‌ها و سنگ‌های توفی کربناته قرمز رنگ سرچشمه گرفته‌اند. از آنجایی که این واحد دارای ماهیت مخروط افکنه‌ای است، در محیط‌های سیلابی و پیرانرژی، لایه‌ها دارای ماهیت عمدتاً قلوه‌سنگی و کنگلومرایی هستند و در مواردی یا مواقعی که جریان‌های آبی دارای انرژی حمل و نقل کمتری بوده‌اند، ماسه‌سنگ‌ها، سیلتستون‌ها و شیل‌های ارغوانی نهشته شده‌اند. نهشته‌های شیلی و سیلتستونی قرمز - ارغوانی فرسایش پذیرتر هستند و سطوح رخنمون آن‌ها را معمولاً خاک‌های قرمز- ارغوانی پوشانده‌اند. این واحد سنگی با مرز ناپیوسته و دگرشیب بر روی مجموعه افیولیتی کرتاسه- پالئوسن قرار گرفته است و از سوی دیگر توسط رسوبات مارنی، ماسه‌سنگی، کنگلومرایی و آهکی فسیل‌دار عمدتاً کرم- سبز و خاکستری رنگ سازندهای قرمز زیرین، با مرزی از نوع ناپیوسته (ناپیوستگی) و دگرشیب پوشیده شده است (پشت نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ چهارگنبد و ۱:۲۵۰۰۰۰ سیرجان).

۶-۲- دگرسانی منطقه مورد مطالعه

پس از بررسی دقیق سنگ‌های آهکی الیگومیوسن متوجه شدیم که رنگ آن‌ها از کرم - خاکستری به قهوه‌ای - ارغوانی در امتداد شکستگی‌ها و زون‌های گسلی ایجاد شده در آن‌ها، تغییر پیدا کرده است. سپس مشاهده کردیم که مارن‌ها، ماسه‌سنگ‌ها و کنگلومراهای معادل سازند قرمز زیرین (واقع در زیر آهک‌های الیگومیوسن) در مقیاسی وسیع‌تر در چند صد مترمربع و در راستایی خاص متحمل دگرسانی گرمایی شده‌اند و رنگ آن‌ها از خاکستری روشن، خاکستری مایل به سبز یا کرم، به زرد آجری، لیمویی و قهوه‌ای رنگ تغییر پیدا کرده است. در واقع رنگ تازه آن‌ها متأثر از وجود کانی‌های آهن‌دار (لیمونیت، گوتیت و احتمالاً هماتیت) و کانی‌های رسی یا سنگ‌های

آغشته به هیدرواکسیدهای آهن است. این شناخت جدید، ما را بر آن داشت تا این تغییر رنگ را در مقیاسی وسیع‌تر مورد شناسایی و بررسی قرار دهیم. تصاویر ماهواره‌ای موجود در دسترس، ما را در شناخت مسیر کلی پهنه (زون) دگرسانی کمک کرد. تصاویر ماهواره‌ای نشان داد که پهنه‌های دگرسانی که دارای رنگ زرد آجری تا لیمویی و قهوه‌ای، از یک راستای کلی شمال‌غربی - جنوب‌شرقی برخوردار است. در پیرامون روستای میلوئیه تغییراتی در راستای این پهنه دگرسانی مشاهده می‌شود و راستای آن تقریباً شرقی- غربی است. در شکل‌های ۲-۱۲ تغییرات راستای این پهنه دگرسانی گرمابی به‌وضوح قابل درک است.



شکل ۲-۹- تصویر ماهواره‌ای (گوگل ارث) نشان‌دهنده گسترش و راستای پهنه دگرسانی گرمابی در منطقه مورد مطالعه. بررسی‌های صحرایی دقیق صحرایی نشان داد که این پهنه دگرسانی به سمت جنوب‌شرق، توالی رسوبی-تخریبی قرمز رنگ سازند کرمان و سنگ‌های مجموعه افیولیتی کرتاسه- پالئوسن را قطع کرده است و در ارتباط با هر نوع از گروه‌های سنگی که پهنه دگرسانی آن‌ها را قطع کرده است، تغییرات مختص به خود را پدید آورده است. به سمت جنوب و جنوب‌شرق، پیرامون روستای میلوئیه (جنوب و غرب این روستا) و چشمه بید سوخته (سمت شمال و شمال‌غرب)، توالی رسوبی قرمز - ارغوانی سازند کرمان، به رنگ زرد- نارنجی زیبایی تغییر رنگ داده

است. این تغییر رنگ حاصل تبدیل اکسیدهای آهن (نظیر هماتیت و مگنتیت موجود در رسوبات و سنگ‌ها) به هیدرواکسیدهای آهن به‌ویژه لیمونیت است. لیکن اکسیدهای منگنز نیز در این تحولات سهیم می‌باشند. با حرکت بیشتر به سوی جنوب شرق، با مجموعه سنگ‌های افیولیتی کرتاسه - پالتوسن مواجه می‌شویم که در راستای NW-SE یا راستای کلی ۱۲۵ به طول حدود ۶۰۰ متر و به پهنای ۵ تا ۵۰ متر گسترش یافته است. لازم به ذکر است به علت تکتونیزه بودن و به تبع آن درهم ریخته بودن مجموعه افیولیتی مورد مطالعه، سنگ‌هایی که در راستای گذر زون دگرسانی واقع شده‌اند از تنوع زیادی برخوردار هستند. از این رو در راستای زون دگرسانی و مجاور آن، سنگ‌های دیابازی، گابرویی، بازالتی، توفی کربناته و آهک‌های پلاژیک تحت تأثیر سیالات گرمایی قرار گرفته‌اند و به تبعیت از دمای سیال و ویژگی‌های سنگ‌هایی که تحت تأثیر قرار گرفته‌اند تغییر و تحولاتی جالب توجهی را به نمایش گذاشته‌اند (مشاهدات صحرائی).

در این پهنه دگرسانی در دو راستای تقریباً شرقی - غربی و شمال غربی - جنوب شرقی (۳۴۰ تا ۳۶۰ درجه) رگه‌های سیلیسی - کربناتی - آرژیلیتی یافت می‌شوند. در واقع این رگه‌ها، پهنه‌های (زون‌های) گسیخته شده یا برشی شده‌ای هستند که فضای بین شکستگی‌ها و قطعات سنگی گسیخته شده توسط سیالات گرمایی غنی از سیلیس محلول، سرشار از CaCO_3 و محتویات سازنده کانی‌های رسی و یا زئولیت تحت تأثیر قرار گرفته‌اند. در ضمن از آنجایی که این سیالات، حاوی مقدار قابل توجهی اکسید یا هیدرواکسید آهن بوده‌اند، رنگ آن‌ها عمدتاً به زرد آجری و لیمویی گرایش دارد و در صورتی که مقدار منگنز موجود در سیالات زیاد باشد ته رنگ‌هایی از قهوه‌ای و قهوه‌ای سوخته مشاهده می‌شود (پشت نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ چهارگنبد و ۱:۲۵۰۰۰۰ سیرجان).

در مواردی که سیالات گرمایی حاوی مس بوده‌اند، محتویات مس خود را به صورت مالاکیت یا سولفیدهای مس (همراه با مقادیری کوارتز، کلسیت و احتمالاً زئولیت، اپیدوت و کلریت) برجای گذاشته‌اند یا به عبارتی متبلور ساخته‌اند. منتهی چون مالاکیت در مقیاس صحرائی بهتر قابل تعقیب است، پی‌جویی مالاکیت به‌عنوان شاهدی

برای اکتشاف مس بسیار سودمند خواهد بود(پشت نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ چهارگنبد و ۱:۲۵۰۰۰۰ سیرجان).

فصل سوم

اکتشافات ژئوشیمیایی

آنومالی‌های مختلف نیازمند ارزیابی در اکتشافات ژئوشیمیایی، عبارت‌اند از آنومالی کانی سازی پنهان (BM)^۵، آنومالی روباز (OM)^۶ و آنومالی زون کانی سازی پراکنده (ZDM)^۷. در کشور ما اکتشاف ذخایر معدنی بیشتر محدود به آنومالی‌های روباز بوده است و آنومالی‌های عمقی به دلیل پنهان بودن مشکلاتی در ارزیابی اکتشافی دارند، لذا این نوع ذخایر کم‌تر مورد توجه قرار گرفته‌اند؛ بنابراین ارزیابی آنومالی‌های ژئوشیمیایی گام مهمی در بهینه‌سازی عملیات اکتشاف محسوب می‌گردد. میدان‌های ژئوشیمیایی در بر گیرنده نهشته‌های کانساری و هاله‌های وابسته به آن‌ها هستند و ابعاد این هاله‌ها همیشه بزرگ‌تر از خود کانسار است، در نتیجه احتمال کشف این میدان‌ها از احتمال کشف کانسار و نهشته‌ها بیشتر است. تجزیه و تحلیل و تشخیص یک میدان ژئوشیمیایی در دو بخش متمرکز می‌شود. بخش مفید به صورت آنومالی ژئوشیمیایی آشکارسازی می‌شود در حالی که بخش دیگر به صورت نويز مرتبط با غلظت عناصر سنگ در بر گیرنده است که به عنوان عاملی مضر و مزاحم است که می‌تواند موجب انحراف و مانع آشکارسازی کانسار یا نهشته‌های اصلی ماده معدنی شود. ماهیت این نويز در میدان‌های ژئوشیمیایی از نوع سین ژنتیک است. جداسازی بخش مطلوب (اپی ژنتیک) از بخش نامطلوب (سین ژنتیک) باید بویسله الگوهای بهینه و مناسب صورت گیرد که موجب افزایش قدرت آشکارسازی آنومالی‌های پنهان و در برخی موارد آشکارسازی آنومالی‌های مربوط به فرایند کانی سازی پراکنده غیراقتصادی با انواع مربوط به آلودگی‌های مختلف شود؛ بنابراین آشکارسازی آنومالی‌ها، تغییرات غلظت عناصر سازنده آنومالی با یک روش بهینه و مناسب تشخیص الگو صورت می‌گیرد. اساس این روش در گذشته ایجاد یک مدل برای آشکارسازی آنومالی‌های مرتبط با کانسارهای مختلف از تیپ مشابه است. (Ziaei *et al.*, 2011)

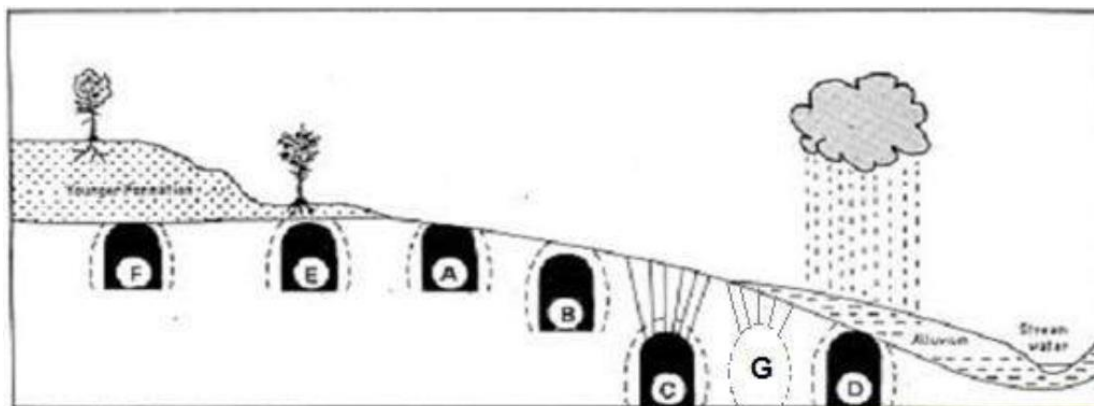
⁵ Blind Mineralization

⁶ Outcropping

⁷ Zone Dispersed Mineralization

۲-۳- اکتشاف ذخایر پنهان

در سال‌های اخیر آنالیز هاله‌های ژئوشیمیایی اولیه به‌عنوان یک ابزار اکتشافی مهم و قابل اطمینان در آشکار کردن ذخایر پنهان و بدون رخنمون شناخته شده است. ذخایر پنهان ممکن است در موقعیت‌های مختلفی از سطح زمین قرار داشته باشند که در هر حالت باید از روش اکتشافی مناسب استفاده کرد. در (شکل ۱-۳) در حالت A که ماده معدنی در سطح رخنمون دارد، با کمک روش‌های سنتی تهیه نقشه‌های زمین‌شناسی و پتانسیل مطلوب قابل تشخیص است. در حالت B ذخیره در عمق کمی از سطح زمین واقع شده است. در این حالت روش‌های سنتی مثل آلتراسیون به‌صورت احتمالی قادر به کشف ذخیره هستند. زمانی که ذخیره در عمقی از زمین قرار گرفته شده باشد و با سنگ دربرگیرنده (C)، رسوبات آبراهه‌ای (D)، پوشش گیاهی (E) و یا رسوبات آبرفتی پوشیده شده باشد (F) پوشیده شده باشد، به‌وسیله روش‌های ژئوشیمیایی قابل تشخیص است (Grigorian, 1992).



شکل ۱-۳- موقعیت‌های گوناگون ذخایر معدنی پنهان (لوینسون، ۱۹۷۵)

اما گاهی ممکن است هاله‌های ژئوشیمیایی در سطح دیده شوند، اما در عمق کانی سازی پنهانی وجود نداشته باشد (G)، در این حالت کانی سازی از نوع پراکنده و غیراقتصادی است. زون‌های کانی سازی پراکنده مناطقی هستند که به دلیل تأثیر سیالات کانه ساز بر سنگ‌های درون‌گیر تشکیل می‌شوند و تمرکز عناصر شاخص در آن‌ها بیش از مقدار زمینه است، اما کانی سازی اقتصادی مهمی را تشکیل نمی‌دهند. کانی‌سازی پراکنده و پنهان بر حسب ساختار و ماهیت هاله‌های تشکیل شده در بالای ماده معدنی قابل شناسایی هستند، اما گاهی هاله‌های

ژئوشیمی در اطراف ذخایر پنهان مشابه منطقه کانی سازی پراکنده است. در موارد بسیاری ممکن است نوع این ذخایر به اشتباه تشخیص داده شود؛ که این اشتباه ممکن است به سه حالت رخ دهد:

۱- هاله‌های ژئوشیمیایی ذخیره پراکنده به‌عنوان بخش تحتانی ذخیره پنهان تشخیص داده شود که در این صورت ذخیره غیراقتصادی ارزیابی می‌شود و مشکلی رخ نخواهد داد.

۲- حالت دوم ممکن است ذخیره پراکنده به‌عنوان افق کانی سازی ذخیره پنهان تخمین زده شود که احتمال رخداد چنین حالتی ضعیف است، چرا که در این صورت باید رخنمون‌هایی از ماده معدنی در سطح مشاهده شود.

۳- بزرگ‌ترین اشتباه زمانی است که هاله‌های ژئوشیمیایی اطراف ذخایر پراکنده به‌عنوان بخش فوقانی ذخیره پنهان ارزیابی شود و کانی سازی پراکنده اقتصادی شناخته شود، (Beus & Grigorian, 1977) بنابراین یکی از وظایف مهم یک ژئوشیمیست تشخیص این نوع کانی سازی از کانی سازی پنهان است. از مشخصات بارز کانی سازی پنهان در مقایسه با کانی سازی پراکنده وجود منطقه بندی قائم در این نوع کانی سازی است. در گذشته چندین مدل برای تشخیص آنومالی‌های معدنی در مقیاس محلی ارائه شده است. مدل‌های اکتشافی ژئوشیمیایی بر پایه هاله‌های ژئوشیمیایی در اطراف ذخایر معدنی است.

۳-۳- هاله‌های ژئوشیمیایی

هاله‌ی اولیه ذخایر معدنی اولین بار توسط سافرونوف در سال ۱۹۳۶ تعریف شد. وی هاله‌های اولیه را منطقه‌ای سنگی در اطراف ذخیره معدنی و عناصر غنی شده‌ای که ذخیره را می‌سازند، معرفی کرد، (Safronov, 1936) هاله‌های ژئوشیمیایی اولیه زون‌هایی هستند که ذخایر فلزی یا توده‌های معدنی را در بر گرفته‌اند و در واکنش بین سنگ میزبان و سیالات معدنی از چند عنصر شیمیایی تهی یا غنی شده‌اند (Sadeghi *et al.*, 2015)

ویژگی‌های ژئوشیمیایی هاله‌های اولیه ذخایر معدنی قابل پیش بینی و قابل توضیح می‌باشند، ابعاد این هاله‌ها وسیع‌تر از ابعاد کانسار است و گاهی وسعت آن‌ها نسبت به ماده معدنی به صد برابر می‌رسد، بنابراین این هاله‌ها در اکتشاف ذخایر معدنی اهمیت کاربردی زیادی دارند و مطالعات زیادی برای پتانسیل‌یابی ذخایر معدنی از طریق هاله‌های اولیه موجود در اطراف ذخایر انجام شده است (Carranza & Sadeghi, 2010) اهمیت کاربردی هاله‌های ژئوشیمیایی در این است که عناصر یا فلزات تشکیل دهنده هاله‌های اولیه در اطراف ذخایر معدنی نقش مسیریاب را برای منطقه معدنی بازی می‌کنند، (Carranza & Sadeghi, 2010) در واقع این نوع هاله‌ها دارای عناصری هستند که برای توده‌های کانساری نقش عناصر شاخص را دارند و بدین جهت به‌عنوان راهنمای اکتشافی توده‌های کانساری به کار می‌روند (Beus & Grigorian, 1977). یکی از جنبه‌های مهم هاله‌های ژئوشیمیایی تشخیص حد آستانه عناصر ردیاب است. عنصر ردیاب به عنصر نسبتاً متحرکی گفته می‌شود که ارتباط ژنتیکی نزدیکی با عنصر با عناصر مورد اکتشاف داشته و به‌آسانی قابل تشخیص باشد. در یک ذخیره پلی متال ممکن است یکی از تشکیل دهنده‌های کانسار به‌عنوان عنصر ردیاب به کار رود. عناصر ردیاب ممکن است در ساختارهای اصلی کانی آشکار شوند (Levinson & De Pablo, 2009; Andersen *et al.*, 1975).

عناصر ردیاب باید دارای ویژگی‌های زیر باشند (Levinson & De Pablo, 1975) و (Peters, 1987):

- تحرک پذیری بالایی داشته باشند و به آسانی در اطراف ماده معدنی پراکنده شوند و نسبت به سایر عناصر، هاله‌های وسیع و گسترده‌تری را نشان بدهند. عناصر ردیاب باید در مقاطع مختلف بررسی شوند زیرا گسترش این عناصر در مکان‌ها و جهت‌های مختلف کانسار ممکن است به مقدار قابل توجهی متفاوت باشد

- تمرکز عناصر ردیاب باید با توجه به آنومالی، حدآستانه و زمینه مشخص شود. این عناصر باید به اندازه

کافی فراوان باشند به‌طوری که هاله از مقدار زمینه اطراف خود قابل تشخیص باشد.

-عناصر ردیاب باید به گونه‌ای انتخاب شوند که آنالیز آن‌ها نیازمند به تکنیک‌های خاص و پرهزینه نباشد و با روش‌های آسان، ارزان و حساس قابل اندازه‌گیری باشد

- توزیع ساختمانی عناصر ردیاب باید مشابه با شکل توزیع هاله‌های ماده معدنی باشد. گاهی بین سازندهای معدنی که از نظر ترکیب و محیط انباشت کانه با یکدیگر متفاوت هستند، انطباق فضایی وجود دارد و ممکن است نوعی از هاله‌های پیچیده به نام هاله‌های چند سازندی را تولید کند (Beus & Grigorian, 1977)

۴-۳- تئوری زونالیته ژئوشیمیایی عناصر

زون بندی هاله ژئوشیمیایی یک طبیعت فضایی و مفهوم جهتی است که می‌تواند با سه پارامتر بعد (فضا)، جهت و غلظت عنصر تعریف شود (Hamedani *et al.*, 2011) در اطراف یک توده کانسار سه نوع منطقه بندی هاله اولیه در جهت طولی، عرضی و محوری وجود دارد، اما در عمل تأکید بر مطالعه منطقه بندی قائم هاله‌های اولیه است. زیرا این نوع منطقه بندی اغلب مرتبط با راستای جریان سیال کانه دار است (Li & Larter, 1995, Hou *et al.* 2000) و می‌تواند به‌عنوان ملاکی برای تعیین موقعیت سطح فرسایش آنومالی‌های ژئوشیمیایی نسبت به توده کانسار به کار رود (Yongqing & Pengda, 1998).

منطقه بندی قائم در هاله‌های اولیه که به‌وسیله کانی‌سازی گرمایی تشکیل شده، نخستین بار توسط روس‌ها در کانسارهای اورانیوم شناخته شد. در کانسارهایی با شیب زیاد منطقه بندی محوری منطبق بر منطقه بندی قائم است و در کانسارهایی با شیب کم این منطقه بندی بر منطقه بندی افقی منطبق است (Beus & Grigorian, 1977) دلیل پیدایش منطقه بندی اولین بار در تئوری امونز مطرح شد. با دور شدن از توده نفوذی دما و فشار به تدریج کاهش می‌یابد و کانی‌های مختلفی از سیال گرمایی تشکیل می‌شوند، تئوری امونز^۸ پاراژنز این کانی‌ها را عامل ایجاد منطقه بندی می‌داند (بئوس و گریگوریان چندین روش تجربی را برای منطقه بندی کمی هاله‌های

⁸ Emmons

ژئوشیمیایی در مقطع محوری (عمودی) معرفی کردند. یکی از روش‌هایی که بیشتر در پژوهش‌های زمین‌شناسی استفاده می‌شود، بررسی میانگین نسبت غلظت عناصر به‌عنوان تابعی از عمق در مقطع عمودی است. روش دیگر محاسبه تولید خطی است که به این روش بیشتر توجه شده است و با کاربرد آن، هاله‌ها به‌طور بارزتری مشخص می‌شوند. استفاده از قدرت تولید خطی به‌جای نسبت مقدار میانگین عناصر اولین بار توسط سوچوانف برای مطالعه منطقه بندی هاله‌ها در مقاطع عرضی پیشنهاد شد. در این روش عرض هاله‌های ژئوشیمیایی در اعماق مختلف در نظر گرفته می‌شود. تولید خطی از حاصل ضرب عرض هاله ژئوشیمیایی در یک ارتفاع مشخص (بر حسب متر) در میانگین غلظت عنصر در همان ارتفاع (بر حسب درصد) به دست می‌آید. تولید خطی محاسبه شده بر حسب متر درصد (m%) است (Beus & Grigorian 1977, Ovchinnikov & Grigoryan, 1978).

در ژئوشیمی اکتشافی قابل اطمینان‌ترین ملاک برای تشخیص هاله‌های اولیه فوق کانساری، سطح فرسایش نهشته و عمق احتمالی آن از طریق منطقه بندی اندیس‌های کانسار است. منطقه بندی عنصری برای محاسبه شاخص زونالیت به کار می‌رود.

شاخص زونالیت^۹ (ZC^۹) از نسبت غلظت عناصر معرف^{۱۰} در قسمت‌های بالایی کانسار به غلظت این عناصر در قسمت‌های پایینی کانسار به دست می‌آید (Xunde & Dingyuan, 1989; Ziiai *et al.*, 2009). مقادیر بالای شاخص زونالیت، وجود ماده معدنی در عمق را نشان می‌دهد و مقدار پایین آن نشان‌دهنده‌ی این است که ماده معدنی فرسایش یافته است (Ziiai *et al* 2011).

۳-۵-مدل‌سازی

برای تشخیص وجود ماده معدنی در سطح یا زیر زمین می‌توان از مدل ذخایر معدنی استفاده کرد، یک مدل خلاصه‌ای از یک واقعیت است که جزئیات مهم در آن در نظر گرفته شده است. مدل‌سازی ریاضی در اهداف

^۹ Zonality Coefficient

^{۱۰} Indicator

اکتشافی باید متعلق به یک تیپ نهشته معدنی باشد به عنوان مثال یک مدل اهداف اکتشافی برای طلای اپی ترمال، برای اکتشاف مس پورفیری کاربرد ندارد و بالعکس مدل های پیش بینی اهداف اکتشافی کانسارها به طور معمول دو بعدی هستند. این مدل ها معمولاً برای زون های کوچک مقیاس مناسب اند اما برای فرآیندهای کانی زایی در مقیاس بزرگ اهداف اکتشافی، مدل های پیش بینی سه بعدی مناسب تر هستند. در سال های اخیر مدل سازی های سه بعدی اهداف اکتشافی کانسارها پیشرفت چشم گیری داشته است (Carranza, 2011)، متأسفانه بسیاری از مدل های استاندارد ارائه شده برای تیپ های مختلف کانی سازی جنبه کیفی و توصیفی دارند که در بسیاری مواقع با وجود بیشتر فاکتورها و پدیده های لازم جهت شناخت یک تیپ کانی سازی ویژه، اثری از کانی سازی اقتصادی دیده نمی شود. به طور مثال در توصیف بسیاری از تیپ های پورفیری ضمن فراهم بودن عوامل و پدیده های زمین شناسی و ژنتیکی مثل نوع واحدهای سنگی، کانی سازی های سطحی، نوع دگرسانی مناسب و تأیید کننده، ساختمان تکتونیکی، آنومالی های ژئوشیمیایی و ژئوفیزیکی، اثری از کانی سازی اقتصادی و عیارهایی در حد (عیار حد^{۱۱}) اقتصادی وجود ندارد. در چنین شرایطی مقایسه فاکتورهای معرف در واقع نوعی مقایسه توصیفی است و مدل های ارائه شده نیز توصیفی می باشند و به مدل های اکتشافی و کاربردی مدل سازی های اکتشافی که بر مبنا روابط ساختمانی کانی ها و یا بهتر است گفته شود بر مبنای پدیده های فیزیکوشیمیایی که خود بر اساس منطق ریاضی بنا گردیده اند، واقعی تر و کاربردی تر هستند تا مدل سازی های توصیفی. لذا با توجه به ثابت بودن روابط عناصر در هر یک از شرایط فیزیکی و شیمیایی کانی تیپ های مختلف کانی سازی، می توان قواعد و قوانین ریاضی را بکار گرفت و در نهایت به الگوهای کاربردی که کمتر تحت تأثیر تعبیر و تفسیرهای توصیفی قرار می گیرند، دست یافت، (Grigorian, 1992) در دهه های اخیر نظریه های ریاضی مختلفی برای اقدام در شرایط عدم اطمینان و قطعیت ابداع شده است. یک نظریه مناسب در بین آنها نظریه امکان است. این نظریه در الگوبندی و توصیف بسیاری از فرایندها و سیستم های متضمن عدم اطمینان کارایی دارد؛ زیرا بسیاری از انواع عدم اطمینان

¹¹ Cut off

که در زمینه‌های مختلف با آن مواجه هستیم اصطلاحاً جنبه امکانی دارند. صورت بندی نظریه امکان بر اساس نظریه فازی است. در نظریه امکان صحبتی از فراوانی و احتمال نیست و تنها بر اساس درجه تطابق، سازگاری و همخوانی اطلاعات موجود با هر پیشامد عددی به‌عنوان امکان رخداد آن پیشامد تعیین می‌کند (طاهری، ۱۳۷۸) انواع مدل‌سازی برای تفکیک آنومالی‌های ژئوشیمیایی نوع اقتصادی از غیراقتصادی شامل مدل‌های جزء به کل^{۱۲}، کل به جزء^{۱۳} و ترکیبی از این دو مدل است. در مدل‌سازی جزء به کل از طریق مطالعه یک گروه از مجموعه داده‌های تجربی و مشاهده‌ای، شواهد با الگوهای خاص به دست آمده به‌صورت مدل ارائه می‌شود (Carranza, 2011).

در ژئوشیمی معادن مدل‌سازی جزء به کل با روش زونالیت‌ژئوشیمیایی در مقیاس محلی و مدل‌های سنتی در مقیاس ناحیه‌ای به کار می‌رود (Grigorian, 1992). در روش کل به جزء از مدل تولید شده بر اساس تعمیم الگوهای مشاهده شده در یک مجموعه از داده‌ها برای پیش بینی استفاده می‌شود. در واقع در این روش، مدل به دست آمده از روش جزء به کل برای پیش بینی به کار می‌رود.

۶-۳- روش زونالیت‌ژئوشیمیایی

برای محاسبه شاخص زونالیت، سالووف (۱۹۸۷) استفاده از تولید سطحی و گریگوریان (Beus & Grigorian, 1997) استفاده از شاخص کانی‌سازی را برای حذف پارامترهای سن ژنتیک هاله‌ها پیشنهاد کردند. تا بخش مطلوب از بخش نامطلوب جدا شده و قدرت آشکارسازی آنومالی‌ها افزایش یابد.

در یک شبکه نمونه‌برداری سیستماتیک تولید خطی در طول یک پروفیل و تولید سطحی از روابط ۱-۳ و ۲-۳ محاسبه می‌شود.

¹² Induction

¹³ Deduction

$$M = \Delta x \left(\sum_{x=1}^n C_x - nC_0 \right) \quad \text{رابطه ۱-۳}$$

$$P = \sum_{i=1}^m M_i \quad \text{رابطه ۲-۳}$$

در این روابط M و P به ترتیب تولید خطی و تولید سطحی و Δx فاصله بین نمونه‌ها در طول پروفیل، C_x غلظت هر نمونه آنومال، n تعداد نمونه‌های آنومال و C_0 غلظت زمینه، L فاصله بین دو پروفایل و m تعداد پروفایل‌ها است. سپس شاخص زونالیته از نسبت تولید سطحی عناصر فوق کانساری به تولید سطحی عناصر تحت کانساری برای هر آنومالی با کمک روابط (۳-۳) و (۴-۳) به دست می‌آید (Solovo, 1987)

$$K_{p1} = \frac{P(\text{pb}) \times P(\text{Zn})}{P(\text{Cu}) \times P(\text{Mo})} \quad \text{رابطه ۳-۳}$$

$$K_{p2} = \frac{P(\text{pb}) \times P(\text{Zn})}{P(\text{Cu}) \times P(\text{Ag})} \quad \text{رابطه ۴-۳}$$

برای به دست آوردن شاخص زونالیته با روش ارائه شده توسط گریگوریان یک ضریب برای هر عنصر در شاخص زونالیته ضرب می‌شود. این ضریب به‌عنوان ضریب کانی سازی شناخته می‌شود. اگر کل نمونه‌های یک زون برابر $\eta_{\alpha}(\alpha)$ و تعداد نمونه‌های آنومال برابر $\eta_{\alpha}(\alpha)_{\text{ore}}$ نظر گرفته شود، نسبت بین این دو مقدار به‌عنوان ضریب کانی سازی شناخته می‌شود که به‌صورت رابطه‌ی (۵-۳) است:

$$\eta(\alpha) = \frac{\eta_{\alpha}(\alpha)_{\text{ore}}}{\eta_{\alpha}(\alpha)} \quad \text{رابطه ۵-۳}$$

این ضریب برابر با مقدار نمونه‌های آنومال مربوط به هر عنصر در هر کدام از زون‌ها نسبت به تعداد نمونه‌های موجود در زون تفکیک شده است. مقدار ضریب کانی سازی برای هر عنصر باید در میانگین غلظت آن عنصر (\overline{CA}) در هر آنومالی ضرب شود و در فرمول شاخص زونالیته قرار گیرد.

$$K_{C_1} = \frac{\eta(\alpha)_{Pb} \times \overline{CA}_{Pb} \times \eta(\alpha)_{Zn} \times \overline{CA}_{Zn}}{\eta(\alpha)_{Cu} \times \overline{CA}_{Cu} \times \eta(\alpha)_{Ag} \times \overline{CA}_{Ag}} \quad \text{رابطه ۶-۳}$$

$$K_{C_2} = \frac{\eta(\alpha)_{Pb} \times \overline{CA}_{Pb} \times \eta(\alpha)_{Zn} \times \overline{CA}_{Zn}}{\eta(\alpha)_{Cu} \times \overline{CA}_{Cu} \times \eta(\alpha)_{Ag} \times \overline{CA}_{Ag}} \quad \text{رابطه ۷-۳}$$

برای محاسبه شاخص زونالیتته بر اساس دو روش ذکر شده نخست باید میزان زمینه و حد آستانه آنومالی عناصر مورد بررسی (Zn, Cu, Mo, Pb) محاسبه شود.

جهت محاسبه مقدار زمینه، حد آستانه آنومالی و انحراف معیار از روابط (۸-۳) و (۹-۳) استفاده شد (Solovo, 1987).

$$\log C_A = \log \overline{C_x} + t s_{\log} \quad \text{رابطه ۸-۳}$$

$$C_A = \overline{C_x} \varepsilon^t \quad \text{رابطه ۹-۳}$$

که در آن C_A غلظت آنومال، $\overline{C_x}$ برابر میانگین هندسی مقادیر غلظت در منطقه خارج آنومالی است. s_{\log} لگاریتم خطا (ε) است که مقدار ε از رابطه (۱۰-۳) به دست می‌آید.

$$\varepsilon = \text{anti log } s_{\log} = \text{anti log} \left(\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (\log C_i - \log \overline{C_x})^2}{N-1}} \right) \quad \text{رابطه ۱۰-۳}$$

اگر هدف آشکارسازی آنومالی‌های قوی باشد t را برابر ۳ در نظر می‌گیریم ولی برای آشکارسازی آنومالی‌های ضعیف‌تر از رابطه (۱۱-۳) استفاده می‌شود (Solovov, 1987). انجام محاسبات کلاسیک جهت تعیین حد شروع آنومالی در محدوده یک کانسار سبب از دست دادن بسیاری از آنومالی‌های ضعیف خواهد شد که می‌توانند در

رابطه با برخی کانسارهای کم فرسایش یافته و یا پنهان باشند که می‌توانند به گونه‌ای منتهی به حذف آنومالی‌های مهم شوند.

$$C_A = \overline{C_x} \varepsilon \sqrt{m} \quad \text{رابطه ۳-۱۱}$$

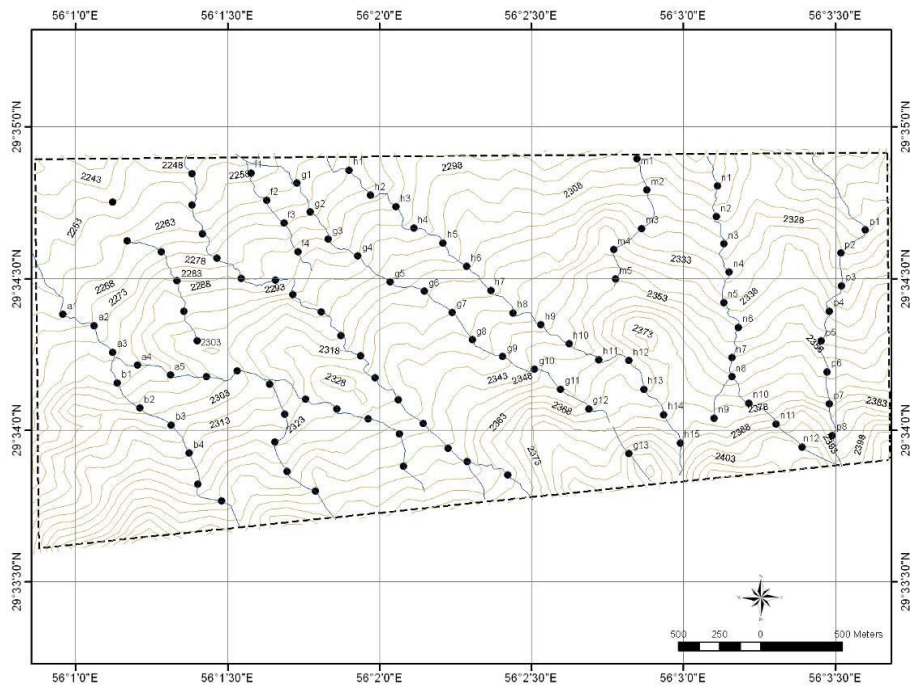
m مقداری بین ۱ تا ۹ است و برابر با تعداد نقاطی است که غلظت بیشتر از $\overline{C_x} \varepsilon$ دارد. در صورتی که این تعداد بیشتر از ۹ باشد مقدار m برابر ۹ در نظر گرفته می‌شود.

۷-۳- روش نمونه‌برداری، آماده‌سازی و تجزیه رسوبات آبراهه‌ای

اکتشافات ژئوشیمیایی ناحیه‌ای در محدوده میلوپه به وسعت تقریبی ۱۱ کیلومتر مربع با نمونه‌برداری از رسوبات آبراهه‌ای طراحی و اجرا گردید. تعداد ۱۰۰ نمونه از رسوبات آبراهه‌ای به روش سیستماتیک (Solovov, 1987) انجام گرفت. آنچه در این روش حائز اهمیت است تخمین ذخیره فلزات اصلی هر یک از آنومالی‌ها و کاهش مساحت محدوده اکتشافی برای اکتشافات نیمه تفضیلی است. نمونه‌ها در آسیاب با خردایش ۲۰۰ مش و استفاده از محلول چهار اسید، پس از آماده‌سازی با روش ICP در آزمایشگاه زر آزما جهت ۳۶ عنصر تجزیه شدند. اکتشافات ژئوشیمیایی در محدوده میلوپه با نمونه‌برداری از رسوبات آبراهه‌ای در مقیاس ناحیه‌ای (فواصل سیستماتیک ۲۰۰ متر) اجرا شد. بر اساس تلفیق لایه‌های زمین‌شناسی، ساختاری، دگرسانی، مغناطیس، توپوگرافی بهینه‌ترین شبکه نمونه‌برداری طراحی و پیاده‌سازی گردید. موقعیت قرارگیری نمونه‌ها در شکل ۳-۲ آمده است. سپس بهینه‌ترین اندازه ذرات یا الک مناسب از مقایسه ۳۳ نمونه تکراری محاسبه و عملیات نمونه‌برداری از رسوبات آبراهه‌ای برداشت گردید. پس از نمونه‌برداری و آماده‌سازی، نمونه‌ها به وسیله روش ICP و استفاده از چهار اسید برای ۳۶ عنصر تجزیه شدند. هدف از انجام مرحله پیش نمونه‌برداری در منطقه میلوپه به شرح زیر است: (۱) تخمین بهترین اندازه رسوبات برای نمونه‌برداری به طوری که مناطق کانی‌سازی به بهترین نحو شناسایی شوند. (۲) اثبات وجود

تفاوت بین اندازه بهینه نمونه‌های ژئوشیمیایی در مناطق کوهستانی با ارتفاع زیاد و مناطق دشت با ارتفاع کم. لذا به منظور انجام عملیات پیش نمونه‌برداری تعداد ۳۳ نمونه برداشت شده و جز ۸۰ مش نمونه‌ها پس از آماده‌سازی جهت آنالیز به شرکت زر آرسنال و برای ۳۶ عنصر آنالیز انجام شد. عناصر مورد تجزیه به شرح ذیل هستند.

As, Ba, Ce, Co, Cr, Cu, La, Mo, Nb, Ni, Pb, Rb, Sb, Se, Sn, Sr, Th, U, V, W, Y, Zn, Zr,
Zr و Zn .V .Sr .Sn .S .Ni .Cu .Cr .Co .La .Y .W .U .Th



شکل ۳-۲- نقشه نقاط نمونه‌برداری آبراه‌های ژئوشیمیایی منطقه میلوبه (نقاط سیاه رنگ محل نمونه‌برداری هستند) و تلفیق آن با نقشه توپوگرافی

۸-۳- روش آشکارسازی هاله‌های لیتو ژئوشیمیایی رسوبات آبراهه‌ای

به منظور آشکارسازی مناطق آنومال ابتدا بوسیله روش متالومتری سالووف میزان حد زمینه و آنومالی محاسبه می‌شود. اغلب روش‌های تشخیص حد آستانه آنومالی بر پایه توزیع نرمال عناصر بیان می‌شود. تابع توزیع نرمال با استفاده از رابطه زیر بیان می‌شود (Slovov, 1987):

$$y = \phi(x) = \frac{1}{s\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x - \bar{x})^2}{2s^2}} \quad \text{رابطه ۱۱-۳}$$

در صورتی که لگاریتم غلظت‌ها از توزیع نرمال پیروی کند توزیع لاگ نرمال خواهد بود. توزیع عناصر شیمیایی در سنگ‌ها اندکی از توزیع نرمال و لاگ نرمال انحراف نشان می‌دهد ولی همراه بودن با سیماهای زمین‌شناسی همگن باعث می‌شود غلظت‌ها از این دو توزیع تبعیت کنند.

با انتخاب مقدار $t > 0$ در رابطه (۱۲-۳) میزان حد آستانه آنومالی به دست می‌آید (Slovov, 1987):

$$x_a = \bar{x} + ts \quad \text{رابطه ۱۲-۳}$$

که x_a غلظت حد آستانه آنومالی، \bar{x} میزان میانگین مقادیر غلظت و s میزان انحراف استاندارد است که با توجه به این که توزیع نرمال یا لاگ نرمال باشد مقادیر x و s برای غلظت‌ها یا لگاریتم غلظت‌ها محاسبه می‌شود.

اگر میزان t در رابطه (۱۲-۳) برابر ۳ فرض شود احتمال خطا در تخمین میزان حد آستانه بسیار کم می‌شود ولی در عین حال باعث می‌شود آنومالی‌های ضعیف در رابطه توده‌های عمیق، حذف شوند لذا انتخاب میزان t در تعیین حد آستانه آنومالی بسیار مهم است.

با وجود توزیع لاگ نرمال رابطه (۱۲-۳) به شکل زیر در می‌آید (Slovov, 1987):

$$x_a = \log C_A = \log \bar{C}_i + t.s_{\log} \quad \text{رابطه ۸-۳}$$

با ساده کردن لگاریتم‌ها از طرفین رابطه (۸-۳) به رابطه زیر می‌رسیم (Slovov, 1987):

$$C_A = \bar{C}_x \varepsilon^t \quad \text{رابطه ۹-۳}$$

که $C_0 = \bar{C}_x$ برابر میانگین هندسی مقادیر غلظت در منطقه خارج آنومالی است. میزان ε از رابطه (۱۰-۳) به دست می‌آید (Slovov, 1987):

$$\varepsilon = \text{antilog}_{s_{\log}} = \text{antilog} \left(\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (\log C_i - \log \bar{C}_x)^2}{N-1}} \right) \quad \text{رابطه ۱۰-۳}$$

با توجه به مطالبی که گفته شد اگر هدف آشکارسازی آنومالی‌های قوی باشد t را برابر ۳ در نظر می‌گیریم ولی برای آشکارسازی آنومالی‌های ضعیف‌تر از رابطه زیر استفاده می‌کنیم (Slovov, 1987):

$$C_A = \bar{C}_x \varepsilon^{\frac{3}{\sqrt{m}}} \quad \text{رابطه ۱۱-۳}$$

که m برابر با تعداد نقاطی است که غلظت بیشتر از $\bar{C}_x \varepsilon$ دارند. در صورتی که $m \geq 9$ باشد مساوی ۹ در نظر گرفته می‌شود. با کسر مقدار زمینه از داده‌های بیشتر از حد آنومالی، تولید سطحی محاسبه می‌گردد. به منظور محاسبه تولید سطحی ابتدا مساحت حوزه آبریز هر نمونه آنومال محاسبه می‌شود (شکل ۳-۲).

$$P'_x = DC'(x)' S_x \quad \text{رابطه ۱۳-۳}$$

با استفاده از مساحت‌های به دست آمده میزان تولید سطحی P'^x هر نمونه برای هر عنصر محاسبه شد. میزان تولید سطحی با استفاده از رابطه (۱۴-۳) محاسبه می‌شود (Slovov, 1987):

$$P = A_x \times (C_x - C_0) \quad \text{رابطه ۱۴-۳}$$

که P تولید سطحی بر حسب مترمربع درصد، A_x مساحت منطقه بالادست نمونه به مترمربع، C_x میزان غلظت فلز در نمونه و C_0 میزان زمینه است.

$$\Delta C'(x) = \frac{\int_{S_R}^{S^*} k' \rho \Delta h \frac{dP(S)}{dS} w_R(S_x, S) dS}{\int_0^{S_x} \rho \Delta h w_{POR}(S_x, s) dS} \quad \text{رابطه ۱۵-۳}$$

$P(S)$ = تولید خطی ثانویه در مساحت S_x بر حسب مترمربع - درصد

K' = ضریب تطابق بین خاک و سنگ

P = دانسیته رسوبات سطحی

Δh = عمق لایه سطحی بر حسب متر

a = ضریب شیب رسوبات آبراهه‌ای

$$S^* = S_x \otimes R_0 \otimes x \otimes R$$

رابطه ۱۶-۳

$$S^* = S_R \otimes x^3 \otimes R$$

$$w_R(S_x, S) = w_{POR}(S_x, S) = \left(\frac{S}{S_x}\right)^{a'-1}$$

رابطه ۱۷-۳

$$w_R(S_x, S) = e^{-a(S_x, S)}$$

رابطه ۱۸-۳ تابع وزنی سنگ

$$w_{POR}(S_x, S) = e^{-b(S_x, S)}$$

رابطه ۱۹-۳ تابع وزنی خاک

$$R_0 \text{ } \text{£} \text{ } x \text{ } \text{£} \text{ } R \text{ } \text{®} \text{ } DC'(x) = \frac{K' P_{0p}}{S_R - S_{R0}} \cdot \frac{b}{a} \cdot \frac{1 - e^{-a(S_x - S_{R0})}}{1 - e^{-bsx}} \quad \text{رابطه ۲۰-۳ معادله}$$

$$x^3 \text{ } R \text{ } \text{®} \text{ } DC'(x) = \frac{K' P_{0p}}{S_R - S_{R0}} \cdot \frac{b}{a} \cdot \frac{(e^{aS_R} - e^{-aS_{R0}})}{1 - e^{-bsx}} e^{-aS_x} \quad \text{تغییرات غلظت در مسیر آبراهه‌ها}$$

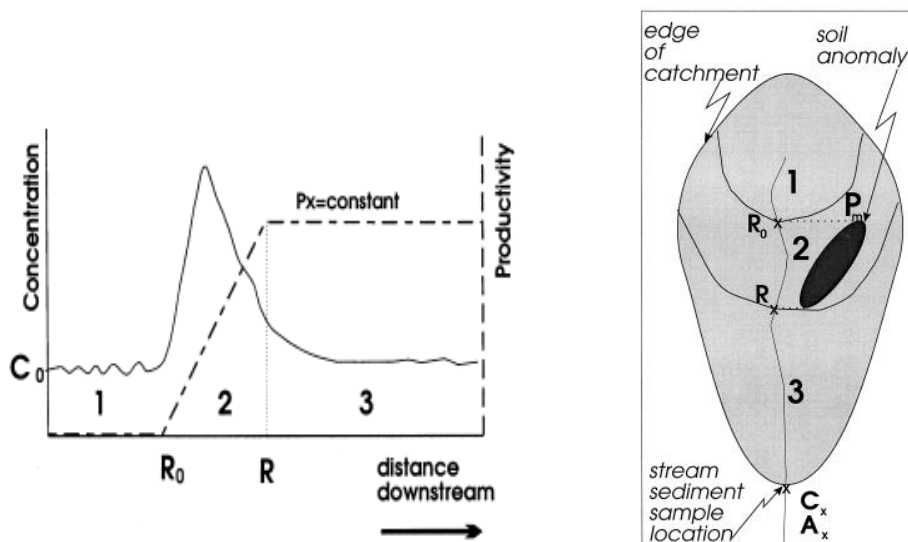
محاسبه ذخیره فلزات در هریک از آبراهه‌ها با روش متالومتری توسط فرمول سالووف محاسبه می‌شود (شکل ۳-۳).
 ۳ و رابطه ۲۱-۳). طبق فرمول تخمین ذخیره فلز (رابطه ۲۱-۳) مس بر حسب تن در هریک از آبراهه‌ها حاصل می‌گردد که P تولید سطحی بر حسب مترمربع - درصد و H عمق گسترش هاله‌ها از تیپ مشابه (مثلاً کانسار مس کاپان در ارمنستان) محاسبه می‌شود.

$$Q = \frac{P \times H}{k \times k' \times 40}$$

رابطه ۲۱-۳ فرمول محاسبه ذخیره فلز بر حسب تن

Erosional surface	Vertical section	$Vz_1 = \frac{Zn * Pb}{Cu * Ag}$	$Vz_2 = \frac{Zn * Pb}{Cu * Mo}$	$Vz_3 = \frac{Zn * Pb * Bi}{Cu * Mo * Ag}$
Supra-ore	I	>100	>5	>1
Upper ore	II	100 - 10	5 - 0.5	1 - 0.1
Ore	III	10 - 1	0.5 - 0.05	0.1 - 0.01
Ore	IV	1 - 0.1	0.05 - 0.005	0.01 - 0.001
Lower ore	V	0.1 - 0.01	0.005 - 0.0005	0.001 - 0.0001
Sub-ore	VI	<0.01	<0.0005	<0.0001
	Contrast Vz(I)/ Vz(VI)	10,000	10,000	10,000

 orebody
  enclosing rocks
  primary halo
  ground surface

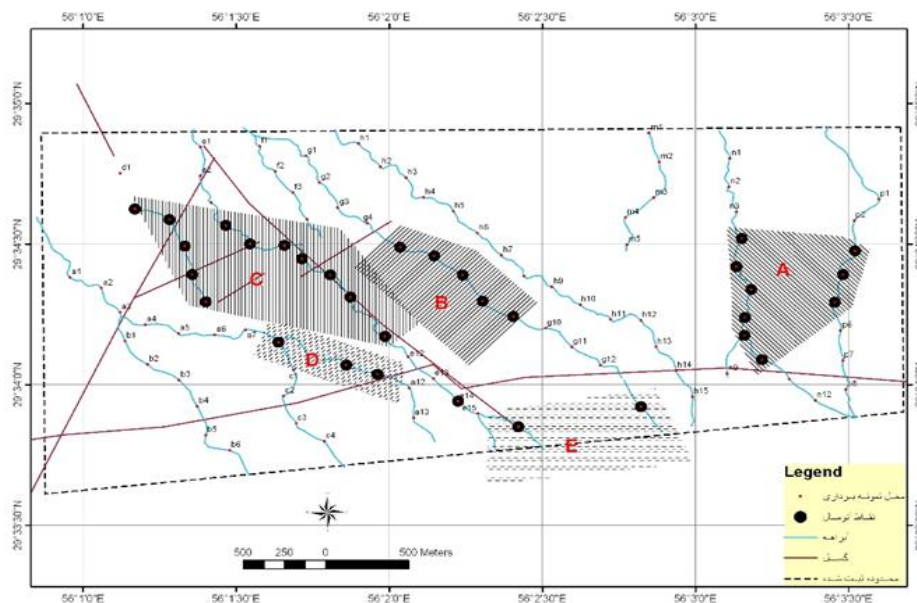


شکل ۳-۳- مدل اکتشافات ژئوشیمیایی رسوبات آبراهه‌ای از سالووف (۱۹۸۷) و نمودار شماتیک غلظت نسبت به تولید سطحی در مسیر آبراهه (در هر دو شکل، R_0 نقطه شروع و R نقطه خاتمه کانی سازی هست) و مدل ضرایب زونالیته ژئوشیمیایی برای نهشته‌های مس پورفیری به صورت تیپیک در قزاقستان، بلغارستان، ارمنستان، ایران (ضیایی و همکاران ۲۰۱۱)

۳-۹- پیش‌پردازش، تحلیل و تفسیر داده‌های ژئوشیمیایی رسوبات آبراهه‌ای محدوده

میلویه

اکتشافات ژئوشیمیایی نیمه تفصیلی در محدوده مورد اکتشاف به وسعت تقریبی ۱۰ کیلومترمربع با نمونه‌برداری از رسوبات آبراهه‌ای در فواصل ۲۰۰ متر طراحی و اجرا گردید. تعداد ۱۰۳ نمونه ژئوشیمیایی از رسوبات آبراهه‌ای برداشت شد.



شکل ۳-۴- نقشه تفکیک نقاط شروع و انتهای نمونه‌های آنومال روی آبراهه‌های هریک از زون‌های تفکیک شده (نقاط قرمز رنگ محل نمونه‌برداری و سیاه رنگ محل آنومالی‌ها)

آبراهه‌های a,b,c,d,e,f,g,h,m,n,p طبق نقشه تلفیقی توپوگرافی و آبراهه‌ها در شکل ۳-۲ با فواصل ۲۰۰ متری نمونه‌برداری شده است.

به منظور بررسی دو زون B و C از این محدوده به صورت سیستماتیک تعداد ۶۲ نمونه برداشت شد و مورد مطالعه آزمایشگاهی و آنالیز لازم قرار گرفت. مطالعات ژئوشیمیایی صورت گرفته در کانسار میلیویه بر اساس آنالیز نمونه‌برداری‌های سطحی به روش ICP-OES استوار می‌باشند.

اهداف مورد نظر در مطالعات ژئوشیمیایی محدوده معدنی عبارتند از :

- بررسی تغییرات ژئوشیمیایی و ناهنجاری‌های عناصر کانه‌ساز در کانسار
- تعیین محل حفاری
- تعیین آنومالی‌های ژئوشیمیایی

- بررسی تغییرات ژئوشیمیایی عناصر و میزان آنها با افزایش عمق در محل‌های دارای آنومالی و تحلیل نحوه کانه‌زایی در عمق کانسار
- تعیین ارتباط ناهنجاری‌های ژئوشیمیایی با زونهای دگرسانی و بخش کانه‌زایی کانسار.

۱-۹-۳- روش نمونه‌برداری

در ژئوشیمی اکتشافی سه بخش اساسی شامل نمونه‌برداری، تجزیه نمونه‌ها و تفسیر نتایج وجود دارد. در صورتی که خطایی در نمونه‌برداری صورت گرفته باشد نه تنها باید بار دیگر آن را تکرار کرد، بلکه باید تجزیه نمونه‌ها و تفسیر داده‌ها را نیز دوباره انجام داد که در مجموع مخارج زیادی را دربرمی‌گیرد. بنابراین نمونه‌برداری صحیح از اهمیت خاصی برخوردار است. در نمونه‌برداری حداقل سه پارامتر را بایستی در نظر داشت که عبارتند از :

۱- تعیین بهترین و مناسبترین محیط نمونه‌برداری برای عناصر مورد جستجو

۲- رعایت نکات فنی نمونه‌برداری به‌منظور برداشت معرف‌ترین آنها

۳- طراحی شبکه نمونه‌برداری بهینه با توجه به نحوه کانه‌زایی در منطقه

نمونه‌ها باید دقیقاً معرف مواد مورد نظر برای آزمایش بوده و تعداد نمونه‌ها باید در حدی باشد که متناسب با کلیه تغییرات ترکیبی منطقه مورد مطالعه باشد. انتخاب نمونه مناسب مستلزم داشتن اطلاعات کافی از ماده مورد بررسی و محیط دربرگیرنده آنها است.

به‌منظور دسترسی به سنگهای منطقه و عبور از نهشته‌های آبرفتی، اقدام به حفاری تعدادی ترانشه در محل‌های کانه‌زایی و یا مرز بین دو لیتولوژی در منطقه گردید. جهت بررسی ژئوشیمی سطحی کانسار، نمونه‌برداری از محل ترانشه‌ها، شامل نمونه‌هایی به‌وزن یک کیلوگرم، انجام گرفته است.

۲-۹-۳- محیط نمونه برداری

مطالعات ژئوشیمیایی سطحی کانسار بر پایه نمونه برداری‌های صورت گرفته از ترانشه‌ها می‌باشد. این ترانشه‌ها در محیط سنگی، عمدتاً بازالیت و آندزیت- بازالیت حفاری گردیده‌اند. ترکیب نمونه‌های برداشت شده از نظر نوع سنگ بسیار شبیه یکدیگر بوده و تفاوت آنها ممکن است در ارتباط با نوع دگرسانی همراه و نزدیکی یا دوری به محل کانه‌زایی صورت گرفته در کانسار بوده باشد.

با توجه به تأثیر هوازدگی و شدت فرسایش در منطقه معدنی، محیط اکسیدانی در سطح کانسار ایجاد گردیده است که موجب اکسید شدن کانی‌های مس سولفیدی در منطقه گردیده و بخش سوپرژن اکسیدی در سطح کانسار گسترش یافته است. لذا بخش قابل ملاحظه‌ای از مس موجود در نمونه‌های برداشت شده شامل کانی‌های اکسیدی و کربنات مس (سوپرژن اکسیدی) می‌باشد که ترانشه‌ها در این محیط حفاری گردیده‌اند.

هر چند نمونه برداری‌های صورت گرفته در ترانشه‌ها شامل نمونه برداری از سنگ‌های رخنمون یافته در آنها می‌باشد و از جهت ژئوشیمیایی دارای آلودگی کمتری نسبت به نمونه‌های خاک و رسوبات می‌باشد، اما محیط نمونه برداری شامل یک محیط سوپرژن است که در چنین شرایطی قابلیت تحرک عناصر در ارتباط مستقیم با قابلیت انحلال آنها می‌باشد. اساساً مهاجرت عناصر در محیط‌های سطحی سوپرژن در فشار ثابت و تغییرات دمایی کم اهمیت رخ می‌دهد. این مهاجرت عمدتاً بوسیله خواص شیمیایی محیط یعنی pH و Eh کنترل می‌گردد. با توجه به نوع کانه‌زایی در منطقه و وجود کانی‌های سولفیدی، تأثیر شرایط Eh اکسیدان موجب اکسید شدن کانی‌های سولفیدی بخصوص پیریت شده و با تولید آب‌های اسیدی ناشی از آن (در حضور آب جوی) شرایط pH پایین و اسیدی ایجاد می‌گردد که خود باعث انحلال کانی‌های مس سولفیدی موجود در منطقه می‌گردد و در صورت برخورد این آب‌ها به سدهای ژئوشیمیایی مناسب، می‌تواند محیط سوپرژن اکسیدی ایجاد گردد.

با توجه به وجود کنده‌کاری‌های قدیمی در منطقه و نمایان بودن کانه‌زایی مس سوپرژن اکسیدان در سطح آن، در بررسی نتایج حاصل از مطالعات ژئوشیمیایی سطحی این مسئله باید مورد توجه قرار گیرد.

۳-۹-۳- شبکه نمونه برداری

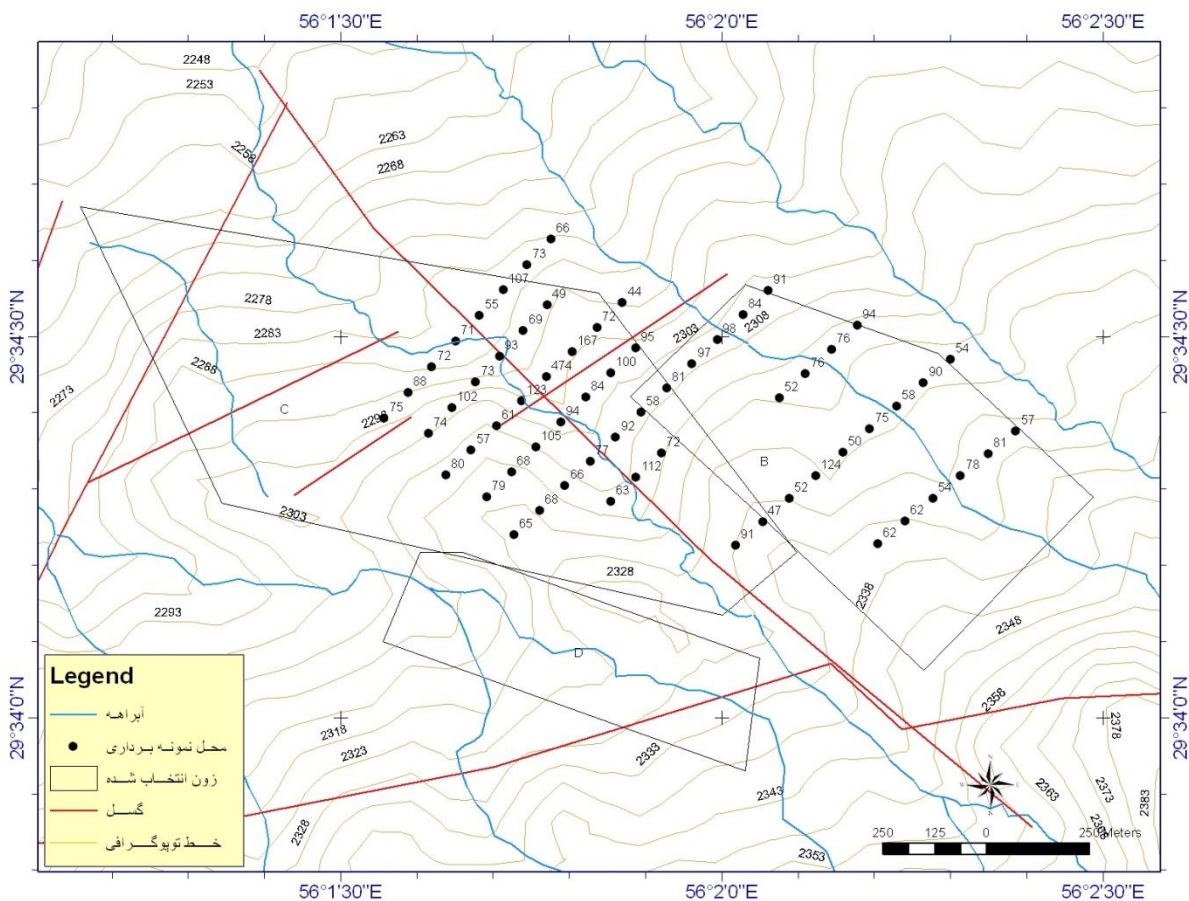
با توجه به انجام نمونه برداری آبراهه‌ای و نتایج آنالیزها شبکه نمونه برداری منظم در ابعاد ۸۰ در ۱۰۰ طراحی شد. از نمونه‌های برداشت شده بخشی به دلیل آبرفتی بودن حذف شد. جمعاً ۶۲ نمونه برداشت شده برای آنالیز فرستاده شد. (شکل ۳-۵ مشاهده شود).

۳-۹-۴- پردازش داده‌های ژئوشیمیایی

در بخش پیشین راجع به نحوه نمونه برداری بحث شد. در این بخش به تجزیه و تحلیل داده‌ها می‌پردازیم :

پردازش داده‌ها، طبقه‌بندی و تبدیل آنها به یک شکل قابل تفسیر است. این کار با تنظیم اطلاعات در بانک اطلاعاتی آغاز و با اعمال محاسبات مختلف ریاضی، آماری یا زمین‌آماری و یا رسم انواع نمودارها، اطلاعات قابل فهمی تولید می‌کند. در این پروژه پس از دریافت نتایج آنالیز به صورت داده‌های خام ابتدا نرمال‌سازی داده‌های خام انجام شد. در این مرحله بانک اطلاعاتی متشکل از مختصات هر نمونه، مقادیر خام داده‌ها، لگاریتم مقادیر داده‌های خام و مقادیر نرمال شده داده‌های خام می‌باشد.

در مرحله نهایی با استفاده از داده‌های نرمال شده ضرایب همبستگی تعیین، آنالیز خوشه‌ای انجام و مورد تحلیل قرار گرفته است.



شکل ۳-۵- محل نمونه برداری سیستماتیک از زون ها

۵-۹-۳- محاسبات آماری داده‌های خام

اولین گام در شناخت خصوصیات داده‌های اکتشافی محاسبه پارامترهای آماری داده‌ها، نظیر میانگین، انحراف معیار، پراش، چولگی و کشیدگی است. این محاسبات در واقع ابتدایی‌ترین بررسی‌های آماری می‌باشد. پس از اطمینان از دقت آزمایشگاه، داده‌ها در چند مرحله برای پردازش و بررسی پارامترهای آماری حاصل از آن تحت مطالعه قرار گرفتند.

داده‌های تک متغیره با نمایش شماری از آرایه‌های تک بعدی در راستای یک خط مقیاس‌بندی شده ارائه می‌شوند. هدف از نمایش داده‌ها، اخذ نتایج بهتر و ارائه یک روش تفسیر مناسب‌تر آمارهای توصیفی است که به‌طور خلاصه در یک محیط نرم‌افزاری محاسبه شده و در یک محیط گرافیکی مطلوب به‌تصویر در می‌آیند.

سه ویژگی موقعیت^{۱۵}، پراکندگی^{۱۶} و شکل^{۱۷} بوسیله هیستوگرام قابل بررسی و تفسیرند. این ویژگی‌ها به یک یا چند مقدار ثابت وابسته‌اند که پارامترهای جامعه و یا پارامترهای توزیع فراوانی نامیده می‌شوند. محاسبه ریاضی این پارامترها وابسته به میانگین و تغییرپذیری داده‌ها است. در این مرحله با توجه به تعیین ماهیت نرمال یا لاگ-نرمال هر عنصر، پارامترهای آماری دقیق‌تری برای عناصر به‌دست می‌آید. هیستوگرام فراوانی، منحنی فراوانی تجمعی و جدول مربوط به پارامترهای آماری هر یک از عناصر مورد مطالعه به‌ترتیب در جدول ۱-۳ آورده شده است. با توجه به این جدول می‌توان به نتایج زیر دست یافت :

- عناصر Ag و Fe, Sb, Mo, Mg دارای ماهیت تقریباً نرمال هستند. عناصر مذکور دارای مقادیر غیرعادی نبوده و ناهنجاری‌های مهمی از آنها در این محدوده دیده نمی‌شود. اغلب این عناصر در ترکیب کانی‌های سنگ‌ساز منطقه مشارکت دارند. تنها ناهنجاری‌هایی از این عناصر مهم تلقی می‌شوند که عناصر پاراژنز آنها دارای مقادیر قابل توجهی باشند.

- شکل توزیع فراوانی برخی از عناصر مؤید وجود جوامع آماری می‌باشد که این مسأله در ساده‌ترین حالت می‌تواند به‌صورت دو جامعه آنومالی و غیرآنومالی تلقی شود. ولی با توجه به ماهیت نمونه‌برداری از سنگ‌های بازالت و آندزیت-بازالت می‌توان عوامل لیتولوژی و زمین‌شناسی را نیز در پیدایش چنین جوامعی مؤثر دانست. به‌عبارت دیگر عوامل مختلفی نظیر نوع سنگ، دگرسانی سنگ میزبان کانه‌زایی،

¹⁵-Location

¹⁶-Dispersion

¹⁷-Shape

وجود ترکیبات هیدروترمالی مرتبط با کانه‌زایی می‌توانند موجب بروز شکل غیرنرمال در توزیع فراوانی مقادیر عنصری شوند.

- عناصری نظیر Cu, Mn و Zn دارای ماهیت غیرنرمال بوده و در آنها مقادیر غیرعادی مشاهده می‌شود. این مقادیر با توجه به خصلت کانه‌زایی موجود در منطقه معدنی می‌توانند به‌عنوان آنومالی‌های منشأ کانه‌زایی تلقی شوند.

با توجه به جدول پارامترهای آماری داده‌های خام (جدول ۱-۳) مقدار چولگی عناصر Cu, Ca, Mn و Ba بالا می‌باشد. در این میان Mo, Sb دارای کمترین مقدار چولگی است.

جدول ۳-۱: پارامترهای آماری داده‌های خام نمونه‌های سطحی

Descriptive Statistics												
	N	Range	Minimum	Maximum	Mean		Std. Deviation	Variance	Skewness		Kurtosis	
	Statistic	Statistic	Statistic	Statistic	Statistic	Std. Error	Statistic	Statistic	Statistic	Std. Error	Statistic	Std. Error
Ag	62	.12	.19	.31	.2371	.00338	.02664	.001	.587	.304	.040	.599
Al	62	53354	33538	86892	73561.42	1214.865	9565.855	91505573.952	-1.621	.304	4.002	.599
As_	62	24.8	6.8	31.6	15.127	.5795	4.5627	20.818	1.376	.304	3.387	.599
Ba	62	670	81	751	236.45	12.006	94.535	8936.776	3.037	.304	14.918	.599
Be	62	.7	.4	1.1	.823	.0217	.1712	.029	-.121	.304	-.090	.599
Ca	62	146851	23740	170591	49074.69	2793.651	21997.228	4.839E8	2.899	.304	14.380	.599
Cd	62	.45	.25	.70	.3129	.01117	.08799	.008	2.304	.304	6.357	.599
Ce	62	26	13	39	28.60	.659	5.187	26.900	-.408	.304	.851	.599
Co	62	32	17	49	26.29	.900	7.088	50.242	.867	.304	.629	.599
Cr	62	971	75	1046	262.37	26.895	211.770	44846.401	1.870	.304	3.264	.599
Cu	62	430	44	474	84.31	6.962	54.821	3005.396	6.108	.304	43.168	.599
Fe	62	15646	36777	52423	43839.00	475.910	3747.321	14042418.230	.093	.304	-.621	.599
K	62	13337	3839	17176	11698.10	365.094	2874.753	8264205.958	-.469	.304	.292	.599
La	62	14	6	20	14.31	.401	3.160	9.987	-.327	.304	.181	.599
Li	62	26	15	41	26.52	.715	5.630	31.696	.389	.304	-.203	.599
Mg	62	10551	12615	23166	16506.85	349.220	2749.759	7561175.765	.697	.304	-.197	.599
Mn	62	2541	689	3230	1038.45	49.162	387.106	149850.842	3.759	.304	17.340	.599
Mo	62	.40	.97	1.37	1.1776	.01079	.08494	.007	-.004	.304	-.187	.599
Na	62	18767	1764	20531	15096.58	435.021	3425.360	11733094.543	-1.258	.304	3.034	.599
Ni	62	285	37	322	96.15	8.950	70.472	4966.323	1.855	.304	2.495	.599
P	62	871	245	1116	590.00	17.214	135.542	18371.607	.934	.304	3.608	.599
Pb	62	20	7	27	15.39	.446	3.513	12.340	.428	.304	1.951	.599
Sb	62	.28	.89	1.17	1.0434	.00820	.06458	.004	.004	.304	-.362	.599
Sc	62	23.8	15.7	39.5	23.231	.7240	5.7010	32.501	.786	.304	.048	.599
Sr	62	450	142	592	255.21	8.525	67.122	4505.382	2.708	.304	11.231	.599
Th	62	3.9	6.8	10.7	8.337	.0942	.7420	.551	.496	.304	1.407	.599
Ti	62	4169	1413	5582	4270.02	95.554	752.391	566092.180	-1.225	.304	2.756	.599
U	62	1.5	4.6	6.1	5.295	.0428	.3370	.114	.187	.304	-.008	.599
V	62	150	85	235	147.48	3.169	24.950	622.516	.658	.304	1.911	.599
Y	62	14	10	24	16.00	.304	2.395	5.738	.266	.304	1.601	.599
Yb	62	1.2	1.7	2.9	2.261	.0305	.2405	.058	.087	.304	1.364	.599
Zn	62	106	40	146	76.18	1.859	14.638	214.279	1.955	.304	9.374	.599
Zr	62	58	17	75	55.39	1.217	9.585	91.880	-1.365	.304	3.593	.599
Valid N (listwise)	62											

۶-۹-۳- نرمال سازی داده‌های خام

لازمه استفاده از برخی روش‌های آماری، مانند محاسبه ضریب همبستگی پیرسون، نرمال بودن تابع توزیع متغیرهای مورد مطالعه است. به همین دلیل بایستی توابع توزیع نرمال شوند. معمولاً روش‌های مختلفی جهت نرمال کردن توابع توزیع وجود دارد. مهم‌ترین این روش‌ها عبارت‌اند از: تبدیل لگاریتمی سه پارامتری، تبدیل کاکس و باکس، استفاده از نمودار احتمال لگاریتمی، استفاده از نمودار فینی و... در این پروژه جهت نرمال سازی داده‌ها از روش تبدیل لگاریتمی سه پارامتری استفاده شده است. در مواردی که با تبدیل لگاریتمی ساده نتوان توزیع داده‌ها را به توزیع نرمال نزدیک کرد با افزودن و یا کاستن عددی آن را می‌توان به توزیع نرمال نزدیک نمود. این روش، که به روش تبدیل لگاریتمی سه پارامتری معروف است، به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$p(x) = L_g(ax \pm b) \quad (\text{رابطه ۳-۲۸})$$

در عمل برای ساده کردن تبدیل، مقدار a را واحد در نظر می‌گیرند، لذا تنها مسئله تعیین مقدار $b \pm$ است. معمولاً مقدار این عدد با آزمون و خطا به دست می‌آید تا جایی که تابع توزیعی با ویژگی نرمال حاصل شود. برای اثبات نرمال شدن داده‌ها از هیستوگرام‌ها و منحنی توزیع تجمعی و پارامترهای آماری مربوط به تک تک عناصر استفاده شده است.

با توجه به پارامترهای آماری جدول ۳-۲ هر متغیر می‌توان نتیجه گرفت که مقادیر چولگی و کشیدگی متغیرها در مقایسه با مقادیر متناظر داده‌های خام تا چه اندازه کاهش یافته و منحنی توزیع تجمعی آن‌ها چطور به یک خط راست، که مبین توزیع نرمال هست، نزدیک شده است.

جدول ۳-۲: پارامترهای آماری داده‌های نرمال شده سطحی

Descriptive Statistics												
	N	Range	Minimum	Maximum	Mean		Std. Deviation	Variance	Skewness		Kurtosis	
	Statistic	Statistic	Statistic	Statistic	Statistic	Std. Error	Statistic	Statistic	Statistic	Std. Error	Statistic	Std. Error
Ag	62	.212608092881	-.721246399047	-.508638306166	-.62770041228302	.006080864697443	.047880776508466	.002	.328	.304	-.334	.599
Al	62	.41344263314	4.52553716039	4.93897979353	4.8622153255075	.00842634595203	.06634911437547	.004	-2.564	.304	10.058	.599
As_	62	.667178169912	.832508912706	1.499687082618	1.16210727157801	.015709310938801	.123695238027420	.015	.154	.304	.863	.599
Ba	62	.967154918126	1.908485018879	2.875639937004	2.34744030475732	.019021015937909	.149771629266798	.022	.007	.304	3.751	.599
Be	62	.439332693830	-.397940008672	.041392685158	-.09494980329415	.012376092066647	.097449446382270	.009	-.879	.304	1.540	.599
Ca	62	.856475400411	4.375480714619	5.231956115029	4.65861807385360	.020659237709821	.162671000398209	.026	.501	.304	1.229	.599
Cd	62	.447158031342	-.602059991328	-.154901959986	-.51755307133215	.012777653553861	.100611344694493	.010	1.635	.304	2.249	.599
Ce	62	.47712125472	1.11394335231	1.59106460703	1.4483576284378	.01108179142625	.08725811294848	.008	-1.343	.304	3.624	.599
Co	62	.459747158650	1.230448921378	1.690196080029	1.40518550537817	.014271667630598	.112375223298605	.013	.301	.304	-.600	.599
Cr	62	1.144470421140	1.875061263392	3.019531684531	2.31358716803608	.036864298410513	.290269775954302	.084	.623	.304	-.437	.599
Cu	62	1.03232566519	1.64345267649	2.67577834167	1.8890771592185	.01941811749052	.15289841001888	.023	2.292	.304	10.576	.599
Fe	62	.153945570837	4.565576299764	4.719521870601	4.64029465600925	.004728075718428	.037228905435826	.001	-.076	.304	-.685	.599
K	62	.650703919311	3.584218112117	4.234922031428	4.05232467365906	.015978336515455	.125813547536303	.016	-1.457	.304	2.945	.599
La	62	.522878745280	.778151250384	1.301029995664	1.14348588612144	.013726484774550	.108082449197308	.012	-1.259	.304	2.736	.599
Li	62	.43669259766	1.17609125906	1.61278385672	1.4138339024569	.01180298720518	.09293681419046	.009	-.145	.304	-.163	.599
Mg	62	.263963797154	4.100887254854	4.364851052008	4.21199059996108	.008902975329468	.070102097846366	.005	.399	.304	-.624	.599
Mn	62	.67098330042	2.83821922191	3.50920252233	2.9981560560937	.01446442294652	.11389298017396	.013	2.373	.304	7.116	.599
Mo	62	.149948832890	-.013228265734	.136720567156	.06987078201676	.004002902010546	.031518881949937	.001	-.204	.304	-.008	.599
Na	62	1.065911522199	3.246498580796	4.312410102995	4.16055834957040	.019315314160175	.152088935786229	.023	-3.941	.304	21.438	.599
Ni	62	.939654147629	1.568201724067	2.507855871696	1.90313590385477	.030892714613425	.243249478115710	.059	1.138	.304	.216	.599
P	62	.658498110237	2.389166084365	3.047664194602	2.75963851170371	.012819974070971	.100944576779455	.010	-.521	.304	2.839	.599
Pb	62	.586265724145	.845098040014	1.431363764159	1.17540759196639	.013285877238522	.104613101989276	.011	-.788	.304	2.237	.599
S	55	.933331515077	1.716003343635	2.649334858712	1.99826118275968	.028000995783247	.207660942564889	.043	.895	.322	.567	.634
Sb	62	.118795855101	-.050609993355	.068185861746	.01762312032816	.003427243247199	.026986140314601	.001	-.150	.304	-.239	.599
Sc	62	.40069744322	1.19589965241	1.59659709563	1.3539191902596	.01299785533851	.10234521528070	.010	.356	.304	-.712	.599
Sr	62	.620033362340	2.152288344383	2.772321706723	2.39529734317250	.012312829400872	.096951315653828	.009	1.006	.304	4.343	.599
Th	62	.19687486498	.83250891271	1.02938377769	.9193451441159	.00486669674062	.03832040845608	.001	.117	.304	.908	.599
Ti	62	.596647670304	3.150142161849	3.746789832153	3.62182351888920	.011987174992297	.094387110276501	.009	-2.527	.304	9.816	.599
U	62	.122572003329	.662757831682	.785329835011	.72301544240118	.003506841262487	.027612895713733	.001	.007	.304	-.063	.599
V	62	.44164893656	1.92941892571	2.37106786227	2.1627164111912	.00928753582612	.07313013022507	.005	-.139	.304	1.382	.599
Y	62	.380211241712	1.000000000000	1.380211241712	1.19922923297415	.008431407920038	.066388972351384	.004	-.463	.304	1.501	.599
Yb	62	.231949076521	.230448921378	.462397997899	.35189796751272	.005957252946589	.046907456608926	.002	-.426	.304	1.482	.599
Zn	62	.562292864456	1.602059991328	2.164352855784	1.87471290881368	.009969422214068	.078499309012919	.006	.106	.304	5.285	.599
Zr	62	.644612342013	1.230448921378	1.875061263392	1.73485404971121	.012072579872390	.095059588974833	.009	-2.864	.304	12.494	.599
Valid N (listwise)	55											

۷-۹-۳- بررسی آماری دومتغیره (تعیین ضرایب همبستگی)

در بررسی‌های تک متغیره روابط بین متغیرها در نظر گرفته نمی‌شود و پردازش داده‌ها تنها روی یک متغیر، بدون در نظر گرفتن ارتباط بین متغیرها، صورت می‌گیرد. در صورتی که در زمین‌شناسی اقتصادی روابط و همبستگی ژنتیکی مستقیم و معکوس بین عناصر و کانسارهای مختلف وجود دارد که از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. چون هر گروه معینی از عناصر نسبت به یک سری از شرایط محیطی کم و بیش به‌طور مشابه حساسیت نشان می‌دهند، شناخت ارتباط و بستگی‌های ژنتیکی متقابل موجود بین عناصر مختلف می‌تواند در شناخت دقیق‌تر تغییرات موجود در محیط‌های ژئوشیمیایی به کار گرفته شود. همچنین تجمع ژنتیکی بعضی از عناصر ممکن است به‌عنوان راهنمای مستقیمی در تفسیر نوع نهشته به کار روند.

در بررسی‌های دومتغیره همبستگی بین متغیرها با عددی به نام ضریب همبستگی نشان داده می‌شود. ضریب همبستگی می‌تواند نشانگر ارتباط همسوی دو متغیر a و b (افزایش یا کاهش همسوی دو متغیر a و b) و یا ارتباط غیرهمسوی آن دو (افزایش متغیر a همراه با کاهش متغیر b یا برعکس) باشد. در حالت اول همبستگی مستقیم و در حالت دوم همبستگی معکوس است. ضریب همبستگی عددی بین -1 و $+1$ است که عدد $+1$ بیانگر همبستگی کامل مستقیم، عدد -1 بیانگر همبستگی کامل معکوس و عدد صفر بیانگر عدم همبستگی هست.

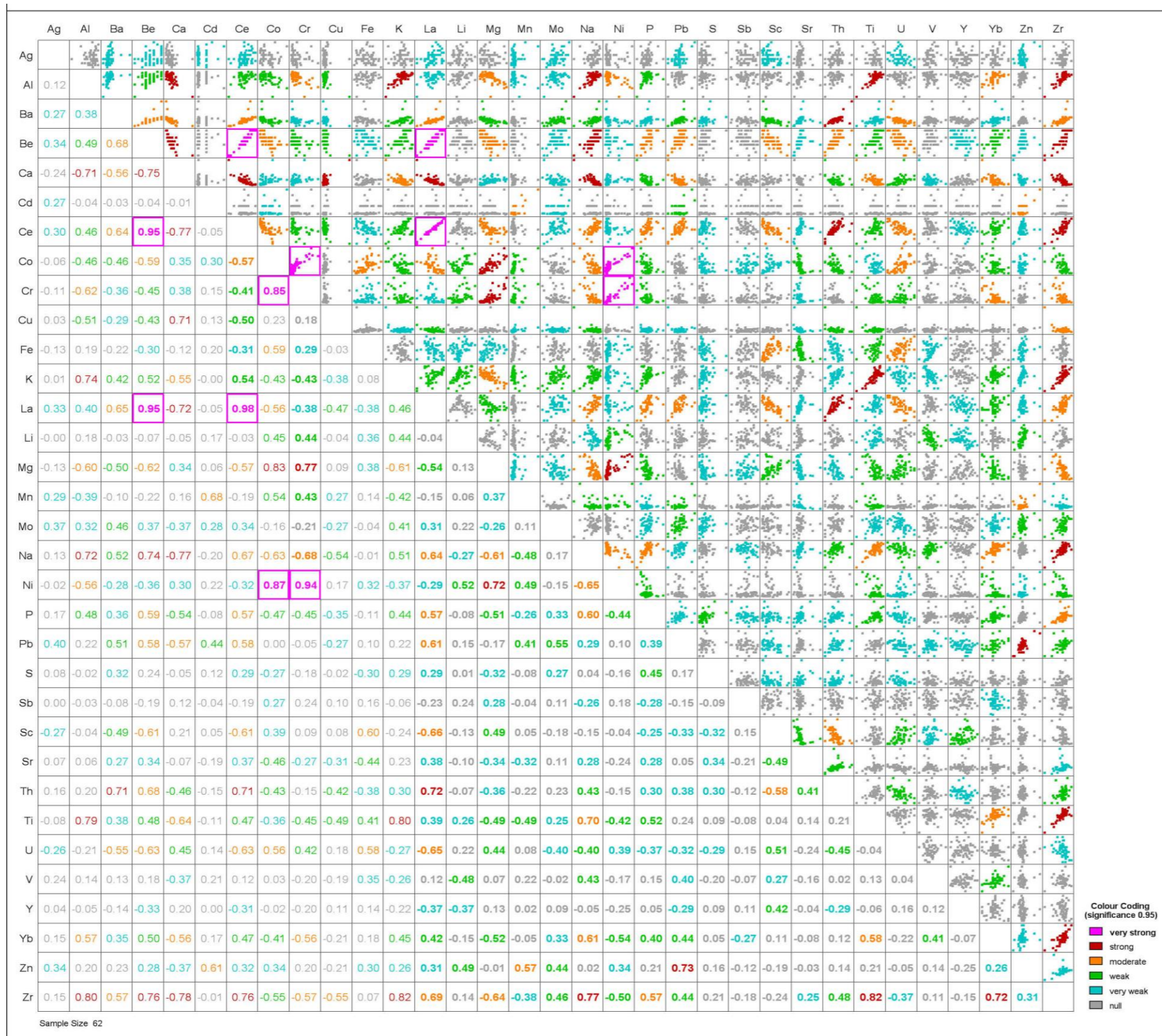
ضرایب همبستگی از درجه اعتبار و سطح معنی‌دار بودن^{۱۸} معینی برخوردار هستند. این اطلاعات همراه با ضرایب همبستگی در جدولی توسط نرم‌افزار محاسبه می‌شود. این درجه اعتبار به تعداد نمونه‌ها بستگی دارد، هرچه تعداد نمونه‌ها بیشتر باشد ضرایب همبستگی از درجه اعتبار بیشتری برخوردار می‌باشند. سطح اعتماد به‌صورت درصدی بیان می‌شوند. روش‌های گوناگونی برای محاسبه ضرایب همبستگی وجود دارد؛ روش محاسبه پیرسون، که به نوع تابع توزیع حساس است و روش‌های رتبه‌ای که چندان حساسیتی به تابع توزیع ندارند.

¹⁸-Significant Level.

در این پروژه، از میان روش‌های گوناگون برای محاسبه ضرایب همبستگی، روش محاسبه ضرایب همبستگی پیرسون انتخاب شده است.

در بررسی‌های اکتشافات ژئوشیمیایی محدوده، ضرایب همبستگی بین عناصر مختلف در قالب یک ماتریس ۳۳*۳۳ (جدول ۳-۳) آورده شده است.

جدول ۳-۳: ضرایب همبستگی پیرسون (نتایج آنالیزهای سطحی)



مقایسه ضرایب همبستگی بین عناصر نتایج زیر را نشان می‌دهد :

- همبستگی نقره با سایر عناصر در حد ضعیف است. بالاترین مقدار همبستگی این عنصر با عناصر سرب (۰/۴) و روی (۰/۳) هست. ضریب همبستگی این عنصر با مس ۰/۰۳ است.

- باریم با تمام عناصر دارای همبستگی متوسط تا خوب است. بالاترین مقدار همبستگی این عنصر با عنصر Th (۰/۷۱) است.

- مس با عناصری مانند Fe, Zn, Ce, Y, Zr, Ba, Th, Be, W, Al, Mo دارای همبستگی منفی و با عناصری نظیر Mn, Co, Ag, Mg, Ca, Cr دارای همبستگی مثبت است

- روی با عناصری مانند Cu و Sb, Ca, Mg, Sc, Y دارای همبستگی منفی و با عناصری نظیر Mn, Co, Ag, Mg, Ba, Cr دارای همبستگی مثبت است

- عناصر کروم، نیکل و کبالت دارای همبستگی بالایی با یکدیگر هستند

مطابق نمودارهای مذکور عناصر Ni-Co دارای همبستگی خطی خوبی هستند، به طوری که همبستگی این عناصر در مقادیر بالا افزایش می‌یابد. گسترش افیولیت‌های منطقه منجر به شکل‌گیری ناهنجاری‌ها و همبستگی‌های معنی‌داری می‌شود.

۸-۹-۳- بررسی‌های آماری چند متغیره (تجزیه و تحلیل خوشه‌ای)

در تحلیل خوشه‌ای هدف دستیابی به ملاکی برای طبقه‌بندی هرچه مناسب‌تر متغیرها و یا نمونه‌ها^{۱۹} بر اساس تشابه هرچه بیشتر درون گروهی و اختلاف هرچه بیشتر میان گروهی است. لذا اگر مقدار عیار مس در یک نمونه

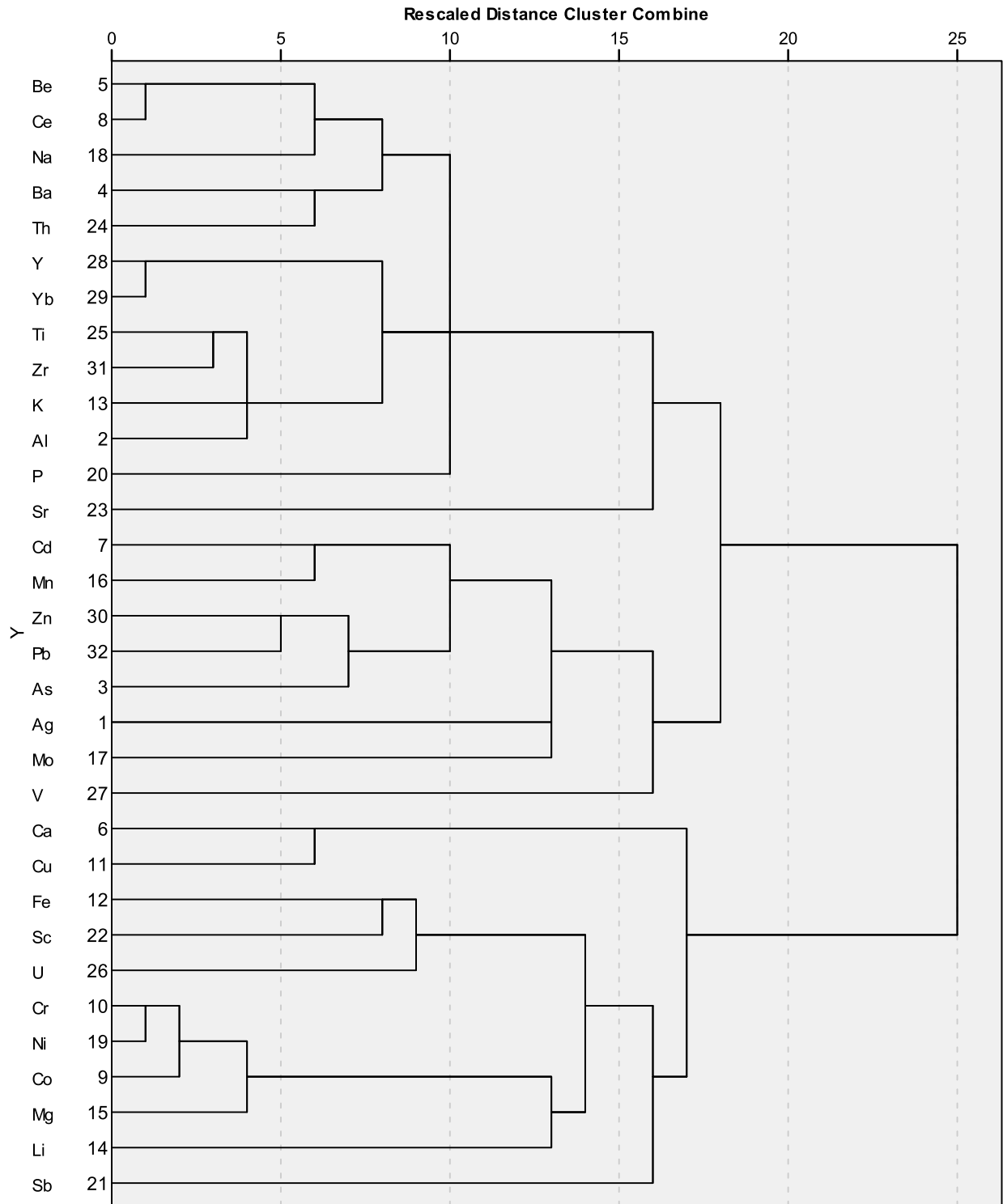
¹⁹-Variables and Cases

X و در نمونه دیگر Y باشد، ما با Y-X سروکار داریم. این ویژگی کمک می‌کند تا بتوان متغیرها و نمونه‌ها را به صورت خوشه‌هایی، که بیشینه تشابه ممکن را درون خود و بیشینه اختلاف را میان خود دارند، رده‌بندی کرد. هنگامی که n نمونه را برای p متغیر مختلف مورد اندازه‌گیری قرار می‌دهیم، می‌توانیم برحسب میزان شباهتی که بین مقادیر این زوج‌ها وجود دارد، نمونه‌ها و یا متغیرها را دسته‌بندی کنیم. این عمل می‌تواند منجر به گروه‌بندی واقعی و یا غیر انتظار شود که هم بررسی روابط جدید را به دنبال دارد و هم موجب کاهش داده‌ها و در نتیجه سهولت بررسی آن‌ها می‌گردد. در روش آنالیز خوشه‌ای دو نوع گروه‌بندی وجود دارد، (حسنی پاک، شرف‌الدین، ۱۳۸۰):

- نوع اول به گروه‌بندی متغیرها می‌پردازد و نوع R نام دارد.
 - نوع دوم به گروه‌بندی نمونه‌ها می‌پردازد و به نوع Q معروف است. از روش Q برای گروه‌بندی برخی جوامع سنگی نیز استفاده می‌شود.
- روش‌های مختلفی برای خوشه‌بندی داده‌ها وجود دارد. یکی از این روش‌ها، روش اتصال^{۲۰} است که در آن به ترتیب اشیاء (نمونه‌ها و متغیرها) با شباهت بیشتر با استفاده از روش بازگشتی به هم متصل می‌شوند.
- تمامی روش‌های خوشه‌بندی مبتنی بر ماتریس شباهت‌ها هست که با یکی از روش‌های مندرج در بند قبل محاسبه می‌شود. در مرحله اول دو نمونه و یا دو متغیری که بیشترین شباهت را دارند به هم وصل می‌شوند. در هر تکرار شبیه‌ترین زوج خوشه‌ها و یا اشیاء به هم وصل می‌شوند. الگوریتم‌های مختلفی برای محاسبه شباهت‌های بین خوشه‌ای و بین خوشه و شیئی وجود دارد. این روش‌ها عبارت‌اند از: روش اتصال نزدیک‌ترین همسایگی، روش دورترین همسایگی، روش وارد و روش اتصال عامل.

²⁰-Linkage.

Dendrogram using Average Linkage (Between Groups)



شکل ۳-۶- دیاگرام خوشه‌ای مربوط به متغیرهای ژئوشیمیایی مختلف (بررسی‌های سطحی)

شکل ۳-۶ دیاگرام خوشه‌ای مربوط به متغیرهای ژئوشیمیایی مختلف را نشان می‌دهد. با توجه به این شکل نتایج زیر استنباط می‌شود.

- گروه متشکل از عناصر Pb, Zn به همراه As است. عناصر این گروه نیز مرتبط با واحدهای مافیک منطقه است. بخشی از عناصر این گروه می‌تواند در ارتباط با کانی‌سازی سولفیدی در منطقه باشد.

- گروه شامل عناصر Cu, Ca است. این گروه می‌تواند در ارتباط با تشکیل رگه‌های کلسیتی مرتبط با دگرسانی گرمابی منطقه باشند.

- نکته قابل تأمل در این گروه‌های عنصری قرار نگرفتن مس و روی در یک گروه هست. هرچند این دو همبستگی مثبتی با یکدیگر دارند اما با توجه به شدت هوازدگی و فرسایش در سطح منطقه، به دلیل مقاومت کمتر روی نسبت به مس، نوعی جدایش در بین این دو مشاهده می‌شود. همچنین این جدایش می‌تواند در ارتباط با فعالیت هیدروترمالی اولیه و تأثیر دما بر روی این دو باشد.

خلاصه نتایج تجزیه و تحلیل داده‌های ژئوشیمیایی رسوبات آبراهه‌ای ابتدا با روش‌های ژئوشیمی معادن برای هر یک از آبراهه‌ها انجام شد که در جداول ۳-۴ و ۳-۵ این محاسبات آورده شده است. بر اساس تفسیر نتایج جدول ۳-۴ از این مناطق سه ناحیه A, B, C آنومالی قطعی و دو ناحیه E, D احتمالی هستند.

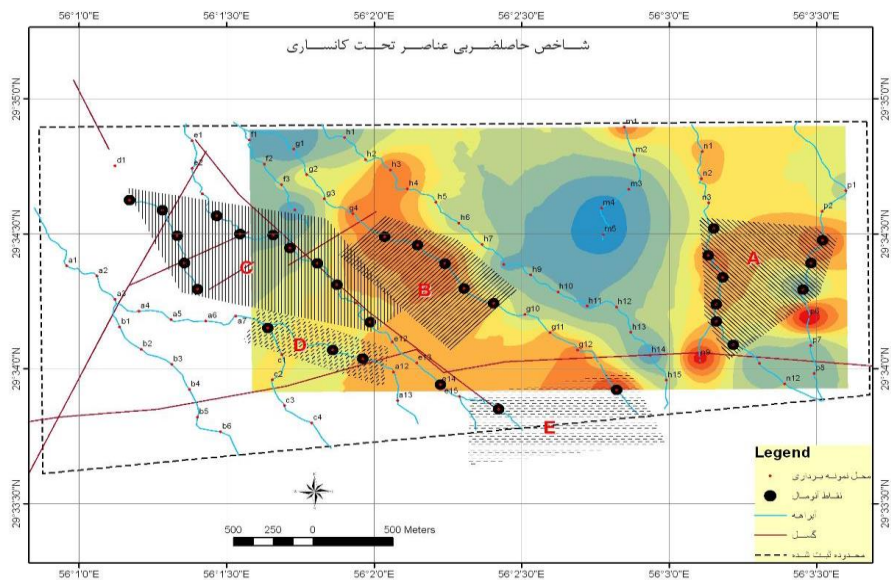
جدول ۳-۴- مشخصات پارامترهای ژئوشیمیایی آنومالی‌های هر یک از آبراهه‌های اصلی ناحیه میلیویه

آبراهه	R0 (شروع آنومالی)	R (انتهای آنومالی)	طول آنومالی (متر)	رده‌بندی آنومالی‌ها (تولید سطحی بر حسب مترمربع - درصد)
P	p5	p3	400	آنومالی قطعی A (1554m ² %)
n	n10	n4	1000	
g	g9	g6	600	آنومالی قطعی B (630 m ² %)
e	e9	e4	1000	آنومالی قطعی C (532 m ² %)
d	d6	d2	800	

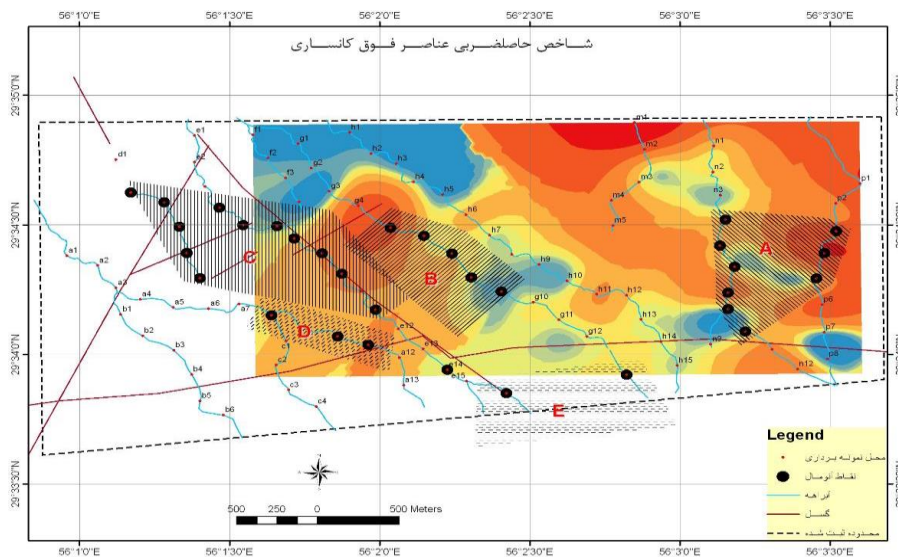
جدول ۳-۵- مشخصات پارامترهای ژئوشیمیایی آنومالی‌های عناصر اصلی مس محدوده میلیویه

آنومالی	حد زمينه	حد دقت	حد آنومالی	توليد سطحی	ميزان ذخيره فلز مس
	C ₀	E	C _A	P _(m2%)	Q _(ton)
A	59	1.13	67	1554	23000
B+C	77	1.33	103	1162	20000

تلفیق نتایج لایه‌های زمین‌شناسی، ساختاری، ژئوشیمیایی و ژئوفیزیکی نشان داد که ۵ آنومالی که با نام‌های A, B, C, که قطعی بوده و دو آنومالی D, E احتمالی تخمین زده شده است. با استفاده از روش زونالیت‌ه ژئوشیمیایی شاخص‌های استاندارد (خاص ذخایر مس هیدروترمال) به صورت نقشه حاصل ضرب عناصر تحت کانساری و فوق کانساری به طور جداگانه محاسبه و با سایر نقشه‌های رده‌بندی آنومالی‌های ژئوشیمیایی مقایسه گردید و مشخص شد که آنومالی ژئوشیمیایی تحت کانساری (شکل ۳-۷) و فوق کانساری (شکل ۳-۸) در راستای ساختار گسل‌های شرقی- غربی ادامه دارد. مقایسه دو روش زونالیت‌ه گریگوریان و متالومتری سالووف در این دو شکل به خوبی ساختار پیچیده آنومالی‌های مس‌دار را نشان می‌دهد بطوریکه آنومالی‌های شرقی (زون A) غیر شیب‌دار بوده و کانی سازی زون C و B بین دو گسل مهم شرقی - غربی در بخش شمال و جنوب این دو زون متمرکز شده است. تخمین ذخیره فلز مس در هر یک از آنومالی‌های قطعی A و B+C طبق جدول ۳-۵ بیش از ۲۰۰۰۰ تن محاسبه شده است. لذا این زون‌ها دارای ذخیره کانسنگ مس‌دار بیش از چندین میلیون تن هستند و اکتشافات گام بعدی در مقیاس محلی لازم و ضروری هست.



شکل ۳-۷- نقشه حاصل ضرب عناصر تحت کانساری ژئوشیمیایی محدوده میلوبه (نقاط سیاه رنگ روی نقشه محل نمونه برداری) محل نمونه‌های آنومال (سیاه) از بین نمونه‌های غیر آنومال (قرمز) قابل مشاهده است.



شکل ۳-۸- نقشه حاصل ضربی عناصر فوق کانساری ژئوشیمیایی منطقه میلوبه (نقاط سیاه رنگ روی نقشه محل نمونه برداری). محل نمونه‌های آنومال (سیاه) از بین نمونه‌های غیر آنومال (قرمز) قابل مشاهده است.

طبق شکل‌های ۳-۷ الی ۳-۸ نقشه عناصر شاخص حاصل ضرب فوق کانساری و تحت کانساری آنومالی‌های ژئوشیمیایی محدوده میلوبه می‌توان موارد مهم ذیل را نتیجه گرفت: (۱) هاله‌های ژئوشیمیایی رسوبات آبراهه‌ای اغلب در امتداد گسل مهم شرقی - غربی توسعه یافته‌اند. به‌ویژه زون‌های B, C, D در بین گسل‌های مهم شرقی

– غربی به فواصل ۵۰۰ متر به دام افتاده‌اند. (۲) با روش متالومتری سالووف نمونه‌های آنومالی از غیر آنومالی تفکیک شده‌اند. گسترش غالب نمونه‌های آنومال با امتداد گسل‌های شرقی- غربی تطابق دارد. (۳) علاوه بر زون‌های کانی‌سازی شده قطعی و احتمالی، بین زون A و B در آبراهه m یک آنومالی جدید بنام اندیس تنگویه وجود دارد که است. (۴) در زون A مشاهدات صحرایی قبلی هیچ اندیس خاصی مشاهده نشده است در حالی که با روش منحصربه‌فرد متالومتری سالووف به‌خوبی این آنومالی را در محدوده میلویه برای اولین بار با کمترین هزینه در مساحت ۴۰۰*۸۰۰ متر از بین ۱۱ کیلومترمربع مشخص و تفکیک کردیم. در گزارش کارشناسان یوگسلاوی سال ۱۹۸۰ و کارهای قدیمی هیچ نشانه و علائمی در این زون از کانی‌سازی وجود نداشته است.

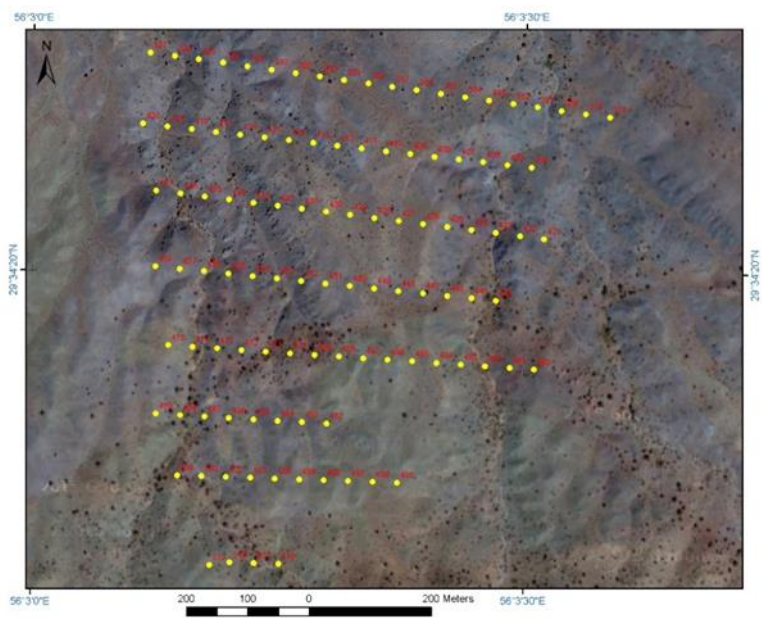
برای تعیین شبکه بهینه نمونه‌برداری در محدوده ۱۱ کیلومتری سه زون شامل آنومالی A، B و C از شرق به غرب در محدوده انتخاب شد (شکل ۳-۹). با شبکه آبراهه‌ای سیستماتیک در منظر ژئوشیمیایی نوع کوهستانی و خشک کویری (تپه ماهوری) میلویه برای هر ۲۰۰ متر از آبراهه‌ها در مساحت ۱۱ کیلومترمربع نمونه‌برداری، تجزیه و تحلیل و پردازش شد. از بین ۱۱ کیلومترمربع فقط مساحت ۲,۸ کیلومترمربع برای اکتشاف مرحله نیمه تفصیلی (مقیاس محلی) مناسب شناخته شد.

۱۰-۳- روش نمونه‌برداری و تجزیه نمونه‌ها

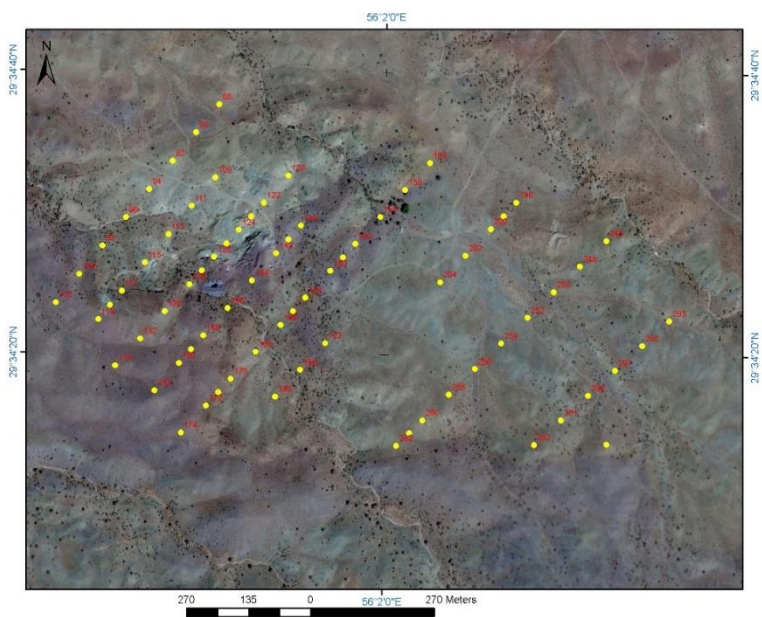
جهت تعیین شبکه بهینه، برداشت سیستماتیک نمونه‌برداری از هاله‌های ثانویه استفاده شد. لذا شبکه سیستماتیک ۱۰۰*۴۰ متری در محدوده سه آنومالی به میزان ۴۰۰ نمونه برداشت شد که محل نمونه‌برداری در شکل ۳-۹ و ۳-۱۰ نمایش داده شده است. این نمونه‌ها بعد از آماده‌سازی برای آنالیز ۳۶ عنصر با روش ICP در آزمایشگاه زر آزما تجزیه شد. این عناصر عبارت‌اند از:

Ag, Al, As, Ba, Be, Ca, Cd, Ce, Co, Cr, Cu, Fe, K, La, Li, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, Pb, S, Sb, Sc, Sn, Sn, Sr, Th, Ti, U, V, W, Y, Yb, Zn, Zr.

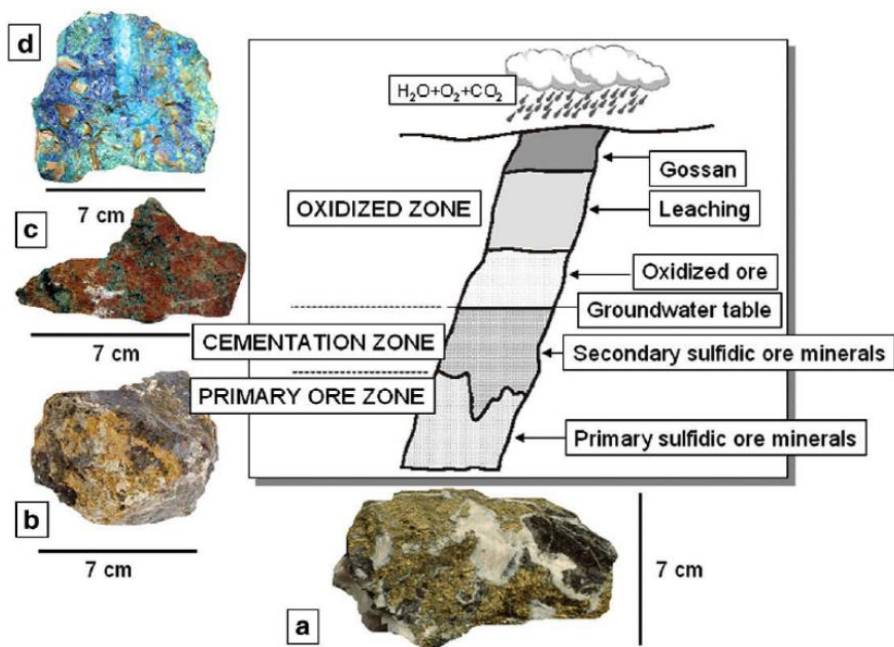
با توجه به روند ساختار غالب کانی‌سازی‌ها شبکه سیستماتیک نمونه‌های ژئوشیمیایی در مقیاس محلی با ابعاد ۱۰۰*۴۰ طبق شکل ۳-۹ و ۳-۱۰ انتخاب شد. محل تلاقی دو سیستم ساختاری متفاوت مرکز تجمع هاله‌های ژئوشیمیایی ثانویه است؛ بنابراین با توجه به این تجربه اکتشافی، طراحی شبکه بهینه سیستماتیک ژئوشیمیایی در مقیاس محلی برای زون‌های A و B+C صورت گرفت که پیاده‌سازی آن نتایج قابل توجه از تأیید شبکه بهینه طراحی شده را نشان داد: (۱) طبق مشاهدات صحرایی در سنگ‌های اطراف نمونه‌های ۴۵۵، ۴۷۲ کانی‌سازی مس طبیعی و کوپریت داریم. که منشأ ثانویه دارند. منشأ ثانویه تشکیل مس طبیعی همراه با کوپریت در زون سوپرژن (سطح زمین) در شکل شماتیک ۳-۱۱ آمده است. به‌خوبی شکل شماتیک تشکیل کانی‌های سولفید مس اولیه را به ثانویه به ترتیب: (a) رگه‌های کانی‌سازی شده کلسیت - کالکوپریت، (b) کانی‌سازی کولیت - کالکوزین، (c) کوپریت همراه با مس طبیعی، (d) مالاکیت - آزوریت، نشان می‌دهد. کانی‌سازی مس طبیعی در محدوده میلوپه بیشتر در بخش شرقی یعنی زون A مشاهده شده است. اگر توپوگرافی ملایم نقشه را با روند گسل‌های آن مقایسه کنیم به‌خوبی مرکز تلاقی دو ساختار اصلی کمر بند متالوژنی آتش‌فشانی - نفوذی ارومیه - دختر با روند غالب شمال غرب - جنوب شرق و روند گسل‌های شمال شرق - جنوب غرب محدوده مورد مطالعه را در مرکز زون A و B+C مشاهده می‌کنیم. ساختار صلیبی دو سری گسل یا شکستگی، موجب تمرکز و تشکیل هاله‌های ژئوشیمیایی ثانویه مس هیدروترمال شده است. در مرکز زون C طبق نقشه شدت مغناطیس و ساختاری.



شکل ۳-۹- شبکه سیستماتیک و منظم نمونه برداری ۱۰۰*۴۰ متری در محدوده آنومالی A



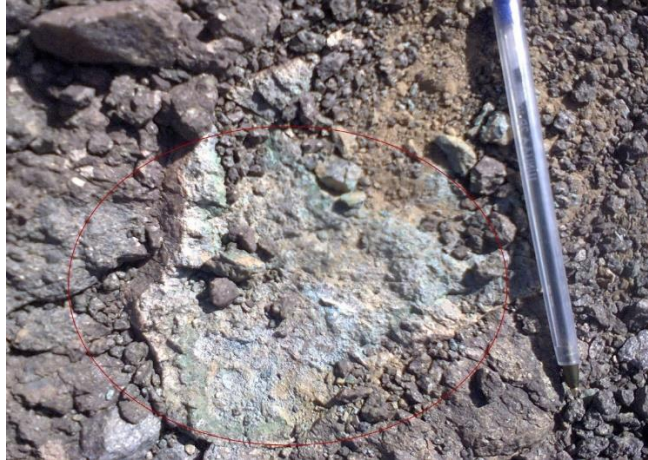
شکل ۳-۱۰- شبکه سیستماتیک و منظم نمونه برداری ۱۰۰*۴۰ متری در محدوده آنومالی B, C



شکل ۳-۱۱- ساختار زون کانی سازی مس سولفید با منشأ سوپرژن: (a) رگه‌های کانی‌سازی شده کلسیت- کالکوپیریت، (b) کانی سازی کولیت - کالکوزین، (c) کوپریت همراه با مس طبیعی، (d) ملاکیت - آزوریت.



شکل ۳-۱۲- تصویر ماکروسکوپی از محل نمونه ۴۵۵ (آنومالی A). در سطح زمین محل کانی سازی مس طبیعی و کوپریت در تصویر با بیضی‌های قرمز مشخص شده است.



شکل ۳-۱۳- تصویر ماکروسکوپی از محل نمونه ۴۷۲ (آنومالی A) محل کانی‌سازی مس طبیعی و کوپریت در تصویر با بیضی‌های قرمز مشخص شده است.

۳-۱۱- تحلیل و پردازش داده‌های ژئوشیمیایی در زون‌های A و B و C

با تحلیل و تفسیر داده‌های ژئوشیمیایی شبکه سیستماتیک ۱۰۰ در ۴۰ متری در هر یک از زون‌های محدوده میلوپه، میدان ژئوشیمیایی عناصر شاخص کانی‌سازی مس هیدروترمال ترسیم شده است. روش ترسیم هاله‌های ژئوشیمیایی تک عنصری و چند عنصری نسبت به وضعیت ساختاری آن‌ها بیشترین اطلاعات لازم و کافی را برای تشخیص آنومالی اقتصادی از غیراقتصادی بما می‌دهند لذا تصمیم‌گیری گام بعدی اکتشافات در مقیاس محلی را به‌خوبی امکان‌پذیر می‌سازد. میدان ژئوشیمیایی عناصر اصلی و شاخص در شبکه سیستماتیک و منظم نمونه‌برداری ۱۰۰*۴۰ متری زون‌های A, B, C از محدوده میلوپه تهیه شده است.

در اکتشافات ژئوشیمیایی تعیین موقعیت سطح فرسایش یک آنومالی ژئوشیمیایی نسبت به سطح کانی‌سازی احتمالی از اهمیت خاصی برخوردار است، زیرا این مسئله در خلال عملیات اکتشافی برای یافتن کانی‌سازی پنهانی و تشخیص امیدبخش‌ترین آنومالی‌های ژئوشیمیایی از میان تعداد زیادی آنومالی بسیار مهم است. به‌طوری‌که شناسایی آنومالی‌های حقیقی، مربوط به کانسارهای پنهان از آنومالی‌های کاذب یکی از قدیمی‌ترین مسائل

ژئوشیمیایی است. از دهه ۱۹۷۰ میلادی روش زونالیت به منظور تعیین آنومالی‌های ژئوشیمیایی مورد استفاده قرار گرفته است.

۱۲-۳- اکتشافات ژئوشیمیایی نیمه تفصیلی در آنومالی‌های B,C

محدوده آنومالی B+C با مساحت ۷۰۰ در ۱۰۰۰ مترمربع در غرب محدوده میلوپه واقع شده است. در این زون از محدوده ۲۰۰ نمونه سیستماتیک با شبکه ۱۰۰ در ۴۰ متری از هاله‌های ثانویه و اولیه برداشت شد. در محدوده این آنومالی هم ابتدا بوسیله روش آماری سالووف میزان حد زمینه و آنومالی محاسبه شد که مقدار زمینه محلی برای عنصر مس ۴۰ گرم بر تن و حد آنومالی ۶۰ گرم بر تن حاصل شد. با کسر مقدار زمینه از داده‌های بیشتر از حد آنومالی، هاله‌های فوق و تحت کانساری به دست آمد. به منظور محاسبه ذخیره فلز در آنومالی ژئوشیمیایی ابتدا مساحت هر نمونه آنومال از شبکه سیستماتیک ۱۰۰ در ۴۰ متر برآورد شده و سپس با استفاده از آن میزان تولید سطحی P هر نمونه برای عنصر مس محاسبه گردید. میزان تولید سطحی با استفاده از رابطه (۳-۱۴) محاسبه می‌شود. یکی از پارامترهای ژئوشیمیایی مهم برای ارزیابی ابعاد کانی‌سازی، میزان فلز وارد شده به هاله ثانویه است. میزان فلز وارد شده به هاله ثانویه از طریق رابطه زیر محاسبه می‌شود:

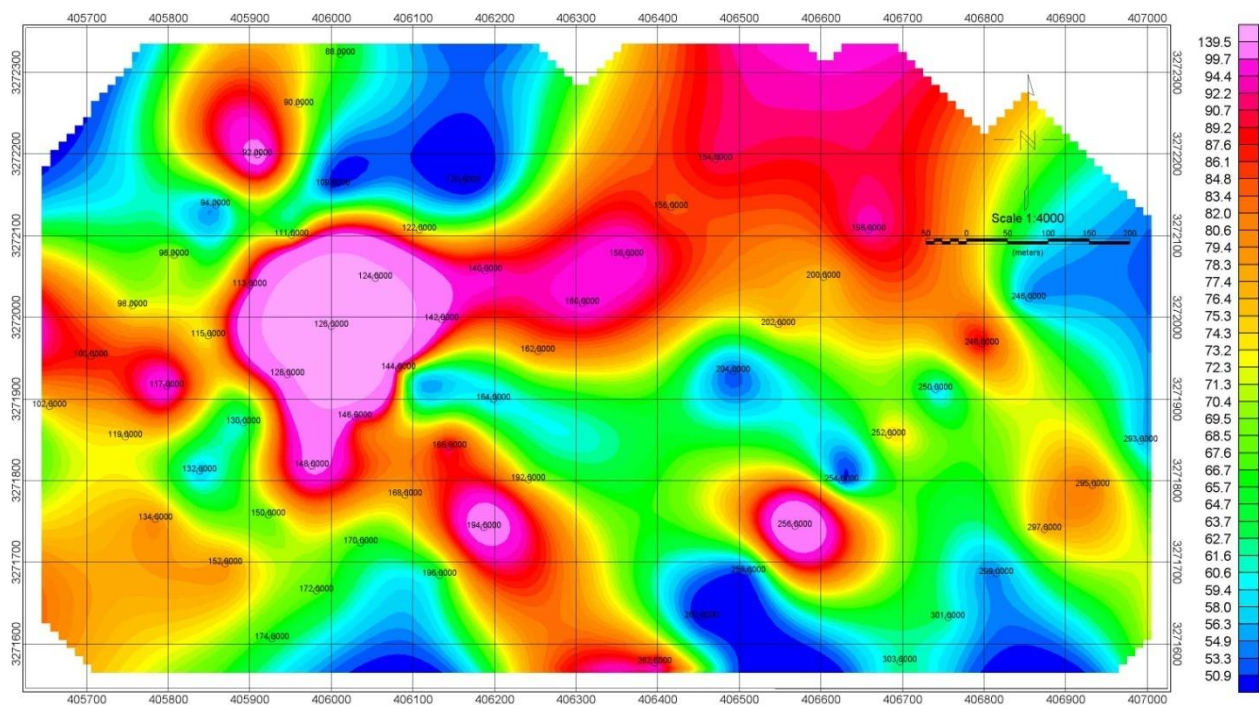
$$Q = \frac{P \times H}{k \times k' \times 40} \quad \text{رابطه ۳-۲۱}$$

که در این رابطه Q میزان فلز وارد شده به هاله ثانویه بر حسب تن، P تولید سطحی بر حسب مترمربع درصد، H عمق منشأ هاله و k و k' ضرایب مربوط به منظر ژئوشیمیایی است. جهت به دست آوردن عمق منشأ هاله‌های عناصر سرب، روی، مس و مولیبدن از الگوی تشابه استفاده شد. بر این اساس عمق منشأ هاله‌های فوق و تحت کانساری با میزان تولید سطحی این عناصر رابطه مستقیم دارد (Solovo, 1987).

$$P = 100 \times 40(4540 - 49 \times 40) \times 10^{-4} = 1032 m^2\% \quad \text{رابطه ۳-۲۲}$$

تولید سطحی محاسبه شده با روش متالومتری سالووف، فقط برای آنومالی C معادل ۱۰۳۲ مترمربع- درصد هست که طبق فرمول ۳-۲۱ میزان ذخیره فلز مس ۱۵۵۰ تن و معادل سه میلیون تن کانسنگ مس دار هست. ارزیابی اولیه ذخیره مس قبل از عملیات حفاری در زون C حائز اهمیت است. در زون B+C مساحت ۷۰۰ در ۱۰۰۰ متر آنومالی‌های عنصر مس را داریم که ذخیره‌ای چندین برابر این مقدار را تا عمق ۶۰۰ متر نشان می‌دهد. مخصوصاً در مرکز زون C (محل تلاقی) گسل‌های متقاطع کلاhek سنگی را داریم. که مهم‌ترین ویژگی حضور کانی‌سازی پنهان مس و طلا دار در عمق هست لذا حفاری اکتشافی را ابتدا در زون C متمرکز کرده‌ایم. در نتایج داده‌های حفاری این ایده بیشتر بررسی شده است.

میدان ژئوشیمیایی و آنومالی‌های مربوط به عناصر شاخص کانی‌سازی عناصر فوق کانساری همانند سرب و روی نسبت به تحت کانساری مس و مولیبدن و نقره در زون B و C در شکل ۳-۱۴ آمده است.



شکل ۳-۱۴- میدان ژئوشیمیایی و آنومالی‌های مربوط به عناصر شاخص مس بر حسب گرم بر تن در زون B و C

ثبت آنومالی‌های بهینه ژئوشیمیایی نیازمند پی‌جویی‌های توجیهی است که یکی از لایه‌های مهم آن انتخاب روش بهینه تحلیل داده‌هاست. شناسایی مناطق کانی‌زایی شده و پنهان با استفاده از روش‌های نو و ارائه الگوی مناسب عناصر شاخص برای بررسی پتانسیل‌های امیدوارکننده با مؤثرترین روش در محدوده میلوپه است. در این راستا، برداشت سیستماتیک برای بررسی و مطالعه رفتار عناصر شاخص (Cu, Mo, Cr, Co, Ni, Pb, Zn, As, ...) تجزیه شدند.

فرایند پردازش داده‌ها با استفاده از روش تحلیل مؤلفه اصلی انجام و بی‌هنجاری‌های موجود در منطقه شناسایی شدند؛ اما الگوی ثبت بی‌هنجاری‌های ژئوشیمیایی توسط PCA نشان می‌دهد که اعمال این روش در شدت بخشی به هاله‌های ژئوشیمیایی ضعیف بی‌هنجاری‌های پنهان، مؤثرتر از دیگر روش‌ها است. تفسیر روابط سیستماتیک بین عناصر و ترکیبات آنالیز شده در یک بررسی ژئوشیمیایی بدون استفاده از تکنیک‌های آماری و خلاصه سازی تقریباً غیرممکن است. آمارهای چند متغیره در خلاصه سازی داده‌ها و کاهش تعداد متغیرهای لازم برای توصیف آن‌ها بسیار مفید است این روش برای روابط بین متغیرهای مختلف است. نتیجه به‌کارگیری این روش معمولاً شاخص‌های کمتر و متغیرهای جدید است که تشریح‌کننده تغییراتی بوده و می‌توانند تا حدی به خصوصیات ژئوشیمی - زمین‌شناسی گره بخورند. واحدهای زمین‌شناسی مینرالیزه معمولاً با شواهد ژئوشیمیایی (چند عنصری) همراه است که در تغییرات مقدار زمینه اثرات تهی شدگی (Ni, Mn, Cr) یا تمرکز (Cu, Pb, Zn, Ag, Mo, Co) را به‌طور مؤثر می‌توان یافت معمولاً انواع معینی از یک کانی‌سازی دارای تجمع معین از عناصر هستند این تجمع می‌تواند در به‌کارگیری ابزارهای اکتشافی مفید باشد با نگاهی به فاکتورهای زمین-شناسی برای انتخاب مجموعه داده‌ها یا نمونه‌ها، روش مؤلفه اصلی قادر است عناصر وابسته به آن محیط را مشخص کند به جز بعضی عناصر که تقریباً در بیشتر نمونه‌ها ارزش واحدی دارند آنالیز مؤلفه اصلی می‌تواند بارهایی را به

عناصر و ترکیبات نسبت دهد. لذا روش PCA²¹ در حذف اثر ترکیب سنگی و ثبت الگوهای بهینه ژئوشیمیایی مد نظر قرار گرفت.

۳-۱۳ - روش تحلیل مؤلفه اصلی PCA

روش ذکر شده تکنیکی است که جهت پیدا کردن ترکیبات خطی از متغیرهای اولیه همبسته که تشکیل یک دستگاه محور جدید را می‌دهند، این محورهای جدید در امتداد بیشترین واریانس داده‌ها رسم می‌گردد. آن مؤلفه‌ای که معمولاً درصد بیشتر تغییرپذیری را شامل می‌شود به‌عنوان مؤلفه اصلی اول (PC1) و مؤلفه بعدی (PC2) که عمود بر آن است نسبت به PC1 درصد تغییرپذیری کمتری را شامل می‌شود. مؤلفه‌های سوم، چهارم و ... مقادیر یکنواخت واریانس کاهش یافته در دستگاه داده‌ها را شامل می‌شوند (Swisher *et al.*, 2004).

با فرض اینکه اولین مؤلفه اصلی به‌صورت ترکیب خطی از متغیرهای اولیه X_1 تا X_p باشد. داریم:

$$y_1 = PC_1 = a_{11}X_1 + a_{12}X_2 + \dots + a_{1n}X_n \quad \text{رابطه ۳-۲۳}$$

و به فرم ماتریسی می‌توان نوشت:

$$y_1 = [a_1]^T [x] \quad \text{رابطه ۳-۲۴}$$

اگر در ترکیب خطی فوق ضرایب a_{ij} (وزن‌ها) بزرگ باشد واریانس را به‌طور قابل ملاحظه‌ای افزایش خواهد داد لذا برای این ضرایب به‌صورت زیر محدودیت در نظر گرفته می‌شود:

$$a_{11}^2 + a_{12}^2 + \dots + a_{ij}^2 = 1 \quad \text{رابطه ۳-۲۵}$$

و واریانس آن به‌صورت زیر قابل محاسبه است:

$$Sy_1^2 = [a_1]^T [s] [a] \quad \text{رابطه ۳-۲۶}$$

²¹ Principal Component Analysis

که در آن [s] ماتریس کواریانس متغیرهای اصلی و α_{ij} ضرایب متغیرهای اولیه است (Swisher *et al.*, 2004).

به طور خلاصه هر مؤلفه اصلی را می توان به صورت یک بردار [y]، کل متغیرهای اولیه را به صورت یک بردار [x] و اوزان مربوط به آن ها را به صورت یک ماتریس [A] نشان داد که در آن [A] ماتریسی است که هر سطر آن بارهای مربوط به هر یک از مؤلفه های اصلی است و رابطه آن ها را به صورت زیر بیان نمود (Swisher *et al.*, 2004):

$$[y]=[A][x] \quad \text{رابطه ۳-۲۷}$$

قابل ذکر است که تعداد مؤلفه های اصلی قابل محاسبه بستگی به تعداد متغیرهای اولیه همبسته و حداکثر درصد واریانس قابل توجیه دارد. معمولاً اولین چند مؤلفه اصلی می توانند قسمت اعظم تغییرپذیری را توجیه کنند لذا در عمل می توان به قیمت از دست دادن توجیه چند درصد از تغییرپذیری تعداد مؤلفه اصلی را نسبت به متغیرهای اولیه تا حد بسیار زیادی کاهش داد. نتایج حاصل از به کارگیری این روش بر روی داده های منطقه در ادامه ارائه شده است (Swisher *et al.*, 2004).

در جدول ۳-۶ مؤلفه های اصلی استخراج شده از داده های اولیه نشان داده شده است. جدول ۳-۷ نشان دهنده مقادیر ویژه و درصد واریانس هر مؤلفه است.

جدول ۶-۳- مؤلفه‌های اصلی استخراج شده از داده‌ها

	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6	PC7	PC8	PC9	PC10
Ag	0.163	0.557	0.201	0.411	0.339	-0.1	0.457	0.321	-0.109	-0.056
Ba	0.644	0.426	0.233	-0.125	0.059	-0.248	-0.327	-0.043	-0.315	-0.242
Co	-0.885	0.281	-0.264	-0.16	0.035	0.022	-0.004	0.092	-0.104	0.005
Cr	-0.871	0.221	0.059	-0.314	-0.074	-0.161	0.038	0.001	-0.15	0.041
Cu	-0.465	-0.2	0.361	0.481	0.195	0.248	-0.419	0.29	-0.071	0.126
Mn	-0.519	0.639	-0.018	0.395	-0.045	0.144	-0.1	-0.192	0.126	-0.226
Mo	0.4	0.574	0.072	-0.187	0.402	0.392	0.085	-0.271	-0.164	0.183
Ni	-0.829	0.374	0.108	-0.293	-0.127	-0.159	0.019	0.065	-0.101	0.078
Pb	0.269	0.876	-0.088	0.028	-0.086	-0.041	-0.178	-0.046	0.075	0.22
Sb	-0.258	-0.059	-0.045	-0.326	0.833	-0.218	-0.133	-0.001	0.242	-0.056
Sc	-0.31	-0.32	-0.769	0.121	0.194	0.282	0.006	-0.047	-0.213	-0.112
Ti	0.652	0.051	-0.412	-0.429	-0.06	0.123	-0.107	0.406	-0.002	0.002
V	0.166	0.288	-0.655	0.477	0.031	-0.428	-0.09	-0.032	-0.009	0.136
Zn	-0.041	0.872	-0.127	-0.139	-0.163	0.245	-0.02	0.159	0.203	-0.128

جدول ۳-۷ - مقادیر ویژه و درصد واریانس هر مؤلفه

Factor	Eigenvalue	cum. %
1	4.004	28.6
2	3.256	51.9
3	1.531	62.8
4	1.369	72.6
5	1.113	80.5
6	0.746	85.8
7	0.58	90
8	0.507	93.6
9	0.354	96.1
10	0.269	98.1
11	0.12	98.9
12	0.091	99.6
13	0.051	99.9
14	0.011	100

پنج مؤلفه اول که بیش از $(Eigvalue \geq 1)$ (جدول ۷-۳) از بین ۱۰ مؤلفه استخراج شده و به‌عنوان مؤلفه‌های اصلی انتخاب شده‌اند که مجموعاً ۸۰ درصد از واریانس کل را تشکیل می‌دهند.

در مرحله بعد از روش Varimax برای چرخش (فضایی) ۵ مؤلفه استفاده شده است نتایج در جدول ۳-۸ نمایش داده شده است.

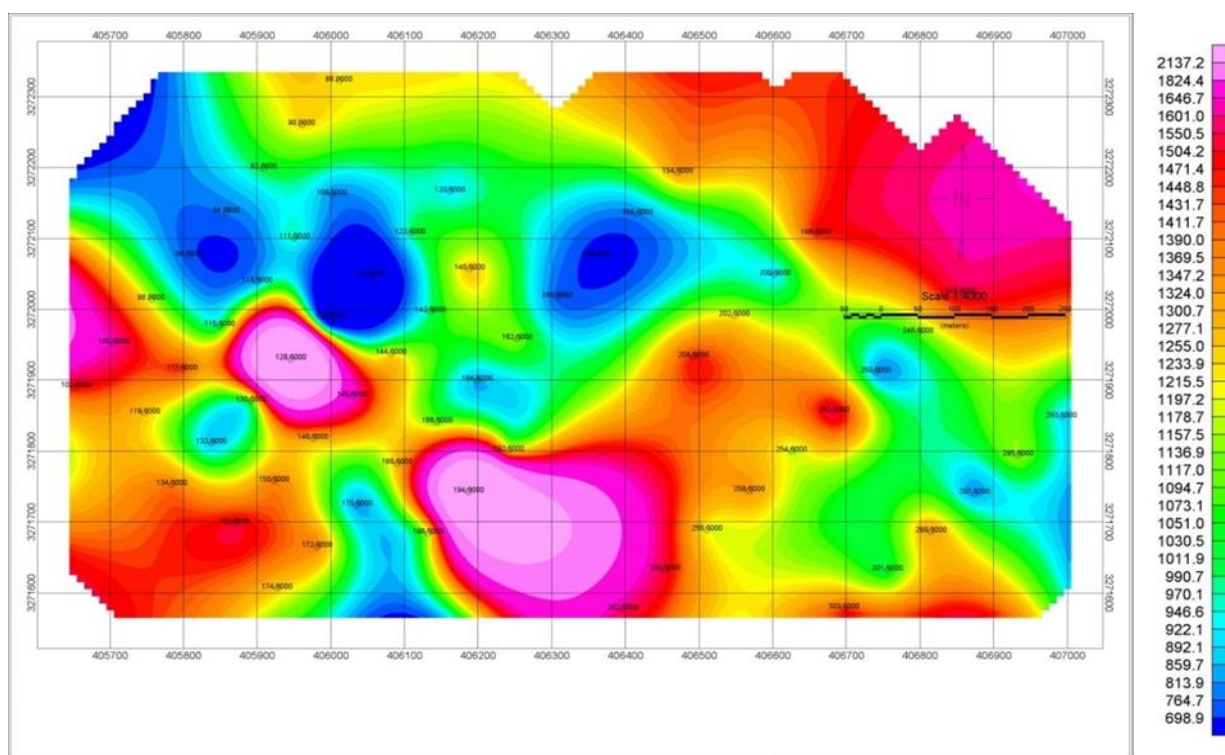
جدول ۳-۸- نتایج حاصل از چرخش مؤلفه‌های انتخابی.

	PC ₁	PC ₂	PC ₃	PC ₄	PC ₅
Ag	0.142	0.713	-0.082	0.345	0.082
Ba	0.363	0.607	0.287	-0.292	-0.033
Co	-0.92	-0.062	-0.254	0.135	0.159
Cr	-0.925	-0.112	0.117	0.15	0.102
Cu	-0.075	-0.162	0.029	0.786	0.076
Mn	-0.552	0.469	-0.281	0.44	-0.195
Mo	0.126	0.71	0.101	-0.241	0.321
Ni	-0.946	0.038	0.151	0.144	0.021
Pb	-0.127	0.85	-0.105	-0.239	-0.219
Sb	-0.161	-0.008	-0.013	0.048	0.919
Sc	-0.136	-0.433	-0.757	-0.064	0.243
Ti	0.325	0.111	-0.089	-0.811	0.031
V	0.131	0.295	-0.797	-0.055	-0.157
Zn	-0.459	0.709	-0.078	-0.258	-0.199

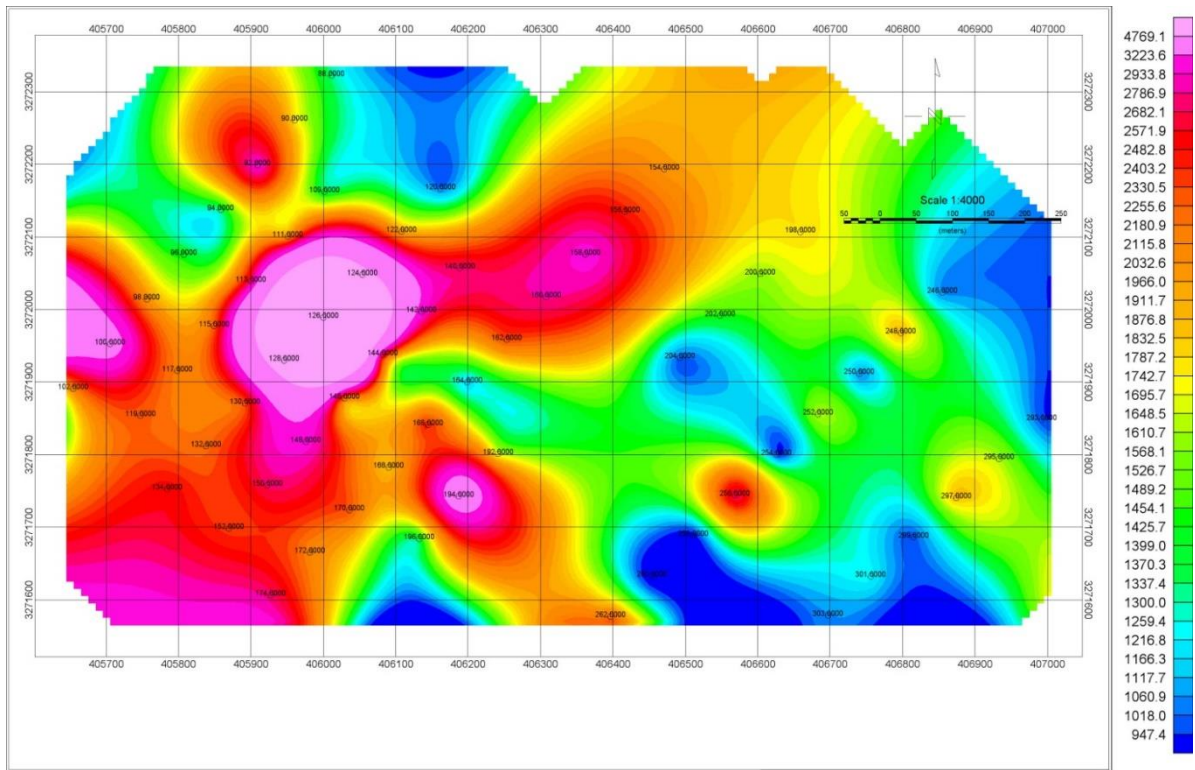
هر مؤلفه استخراجی در واقع همان مجموعه داده‌های اولیه با ابعاد کوچک‌تر است که ضمن دربرداشتن تمامی اطلاعات موجود در داده‌های اولیه، اطلاعات نهفته‌ای که در ساختار اولیه داده‌ها وجود دارد را نیز به نمایش می‌گذارد. متغیرهایی که در یک مؤلفه قرار می‌گیرند معمولاً دارای صفات مشترک یا مشابهی هستند. مثلاً عناصری که دارای رفتار ژئوشیمیایی مشابه یا منشأ ژئوشیمیایی یکسانی هستند، غالباً در یک مؤلفه جای می‌گیرند. به

همین دلیل از روش PCA در تعیین منشأ عناصر فلزی و یا رده‌بندی متغیرهای ژئوشیمیایی با مشخصات یکسان استفاده می‌شود.

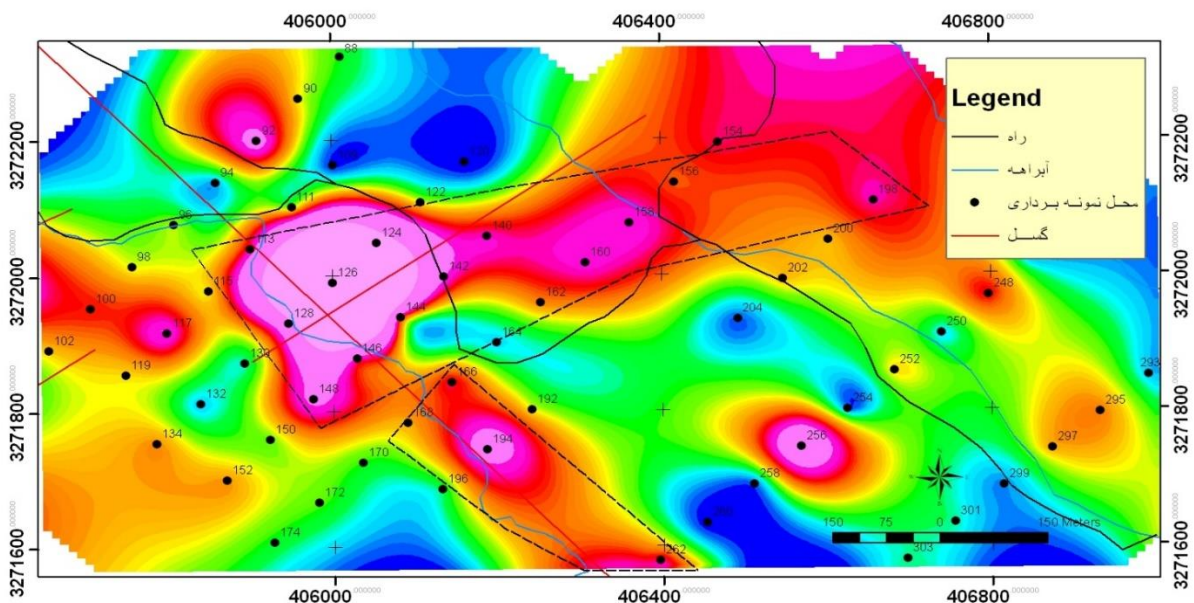
ویژگی‌های زمین‌شناسی منطقه و کانه‌زایی غالب در توالی‌های سنگ شناختی این منطقه را می‌توان چنین استنباط کرد که مؤلفه دوم و چهارم با داشتن متغیرهایی چون Cu, Pb, Zn, Ag, Co ارتباط با فرایند کانی‌سازی این عناصر داشته و در نتیجه این فلزات در اثر هوازدگی سنگ‌های منطقه در رسوبات سطحی غنی شده‌اند. با توجه جدول ۳-۸ ضرایب مؤلفه اول بیشتر مرتبط با عناصر نیکل و کروم است ولی ضرایب PC₂ در منطقه عناصری را که به صورت غنی‌سازی سوپرژن بوده مشخص ساخته است که به صورت نقشه این ضرایب در شکل نمایش داده شده است. مؤلفه چهارم با دارا بودن سهم بالایی از این عناصر در ارتباط با فرایند کانه‌زایی تحت کانساری است.



شکل ۳-۱۵- میدان ژئوشیمیایی و آنومالی‌های مربوط به ضرایب (PCA) مؤلفه دوم زون B و C

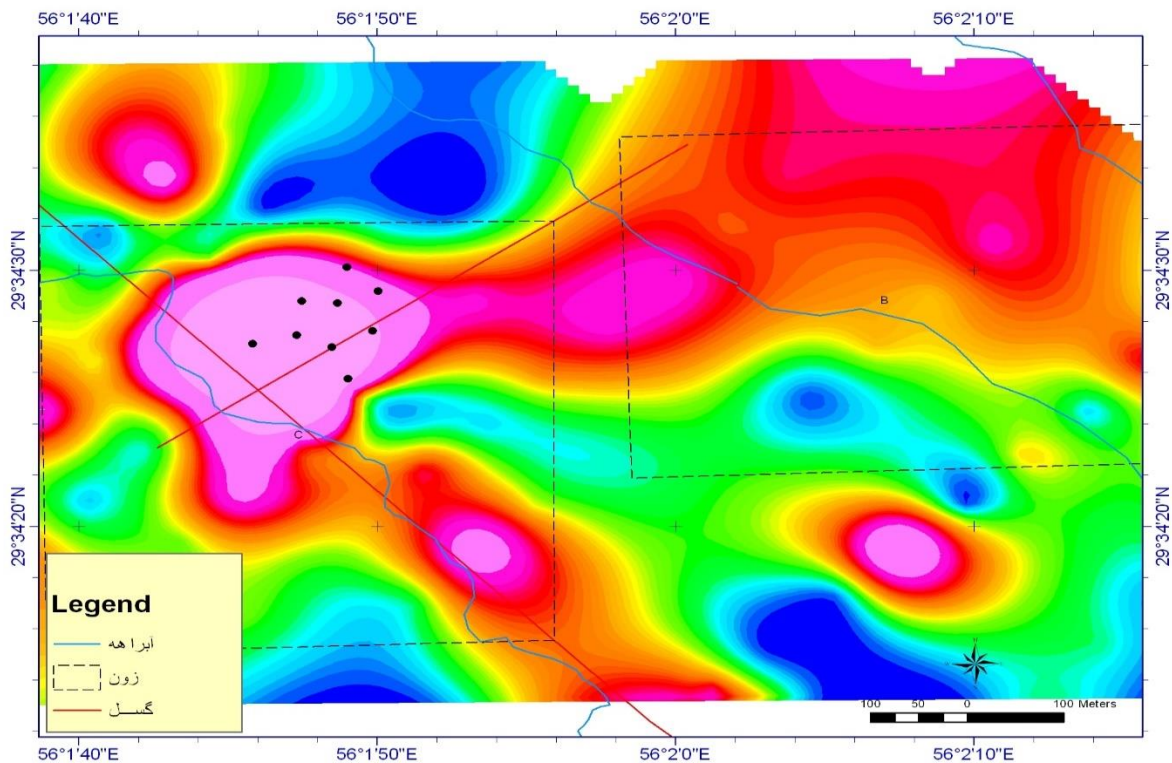


شکل ۳-۱۶- میدان ژئوشیمیایی و آنومالی‌های مربوط به ضرایب (PCA) مؤلفه چهارم زون B و C



شکل ۳-۱۷- میدان ژئوشیمیایی و آنومالی‌های مربوط به مناطق پرتانسیل از نظر کانی‌سازی مس با خط چین مشخص شده است (ترتیب رنگی با شکل ۳-۱۶ یکسان) در زون B و C

به منظور تعیین نقاط حفاری از هر دو نقشه تولید شده از عناصر مؤلفه دوم و چهارم استفاده شد. در شکل ۳-۱۸ مناطق تعیین شده جهت حفاری با نقاط سیاه رنگ نمایش داده شده است. تمامی نقاط تعریف شده در زون C قرار دارند و نقطه حفاری در زون B تعریف نشده است. لذا حفاری فقط محدود شده است به زون C.



شکل ۳-۱۸- میدان ژئوشیمیایی و آنومالی‌های مربوط به مناطق پیریتانسیل از نظر کانی‌سازی مس با خط چین مشخص شده است (ترتیب رنگی با شکل ۳-۱۶ یکسان) شبکه حفاری با نقاط سیاه رنگ نمایش داده شده است.

۱۴-۳- نتیجه گیری

بنابراین طبق نتایج PCA برای پردازش و تحلیل داده‌های ژئوشیمیایی داریم: (۱) با توجه به تحلیل و تفسیر نتایج آنالیز داده‌ها ژئوشیمیایی، محل حفاری‌های اکتشافی و عمق آن‌ها محاسبه شده است. (۲) الگوی پراکندگی سری اول عناصر شاخص در محدوده میلوپه نشان‌دهنده غنی‌شدگی بالا نسبت به مس است، اما عنصر روی غنی‌شدگی

نشان نمی‌دهد. (۳) غنی‌شدگی مس در این منطقه نسبت به عناصر دیگر بیشتر بوده و تنها عنصری است که کانی‌سازی سولفیدی و اکسیدی آن به‌وضوح در منطقه دیده می‌شود. (۴) نبود آنومالی روی در منطقه نشان‌دهنده قرارگیری سطح فرسایش در بخش پایین کانه‌زایی در منطقه است.

فصل چهارم

تلفیق اطلاعات و تهیه نقشه‌ی پتانسیل مطلوب

امروزه به کارگیری ابزار GIS در امر اکتشاف ذخایر معدنی یکی از روش‌های مهم و در عین حال اجتناب ناپذیر محسوب می‌شود، به طوری که نرم‌افزارها و امکانات اختصاصی بسیاری برای آن طراحی شده است. در این حوزه مطالعات، ضمن بررسی کلیدی داده‌های ورودی سیستم، به صورت هم زمان، امکان استفاده بهینه از این داده‌ها را در دسترس داشته و در نتیجه با انتخاب الگوی اکتشافی، مورد قبول‌ترین و منطقی‌ترین پاسخ را برای معرفی نواحی اکتشافی مورد نظر برای یک عنصر به خصوص با گروهی از عناصر به دست می‌آورد (Bonham carter, 1994). روش‌های تهیه نقشه پتانسیل معدنی به دو دسته کلی مدل‌های داده محور و دانش محور^{۲۲} تقسیم می‌شوند. روش‌های داده محور^{۲۳} در مناطق خوب شناخته شده یا مناطقی که از لحاظ آماری تعداد اندیس‌های شناخته شده کافی است، کارایی بالایی دارند (Carranza et al., 2008). روش‌های محور یا متکی بر دانش در محیط‌هایی که کمتر شناخته شده‌اند و یا تعداد کمی از نوشته‌های متنوع مورد نظر در آن محدوده وجود دارد، کارآمد هستند. تخمین وزن‌ها برای نقشه‌های شاهد و تخمین کلاس‌ها در هر نقشه شاهد بر اساس قضاوت کارشناسی و با توجه به ویژگی‌های زمین‌شناسی نشانه‌ها است؛ بنابراین در روش‌های دانش محور پارامترهای تابع برای ترکیب داده‌ها بر اساس دانش تجربی تخمین زده می‌شوند. روش‌های دانش محور در تمام موارد تصمیم‌گیری قابل اجرا هستند و نیاز به وجود شواهدی از جواب ندارند. (Carranza et al, 2008) در این پژوهش نیز با استفاده از روش دانش محور، منطق فازی لایه‌های اکتشافی ژئوشیمیایی، مغناطیس‌هوایی، زمین‌شناسی و دورسنجی از منطقه‌ی میلیویه با مختصات طول جغرافیایی ۲۹°۴۵' تا ۲۹°۴۵' و ۵۶° ۲۹' تا ۵۶° ۲۹' شرقی و عرض‌های جغرافیایی ۲۵° ۲۹' تا ۲۵° ۴۵' شمالی در قسمت جنوبی ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ چهارگنبد و ۱:۲۵۰۰۰۰ ورقه سیرجان تلفیق شده‌اند و در نتیجه نقشه پتانسیل مطلوب منطقه به دست آمده است.

²² Knowledge Driven

²³ Data Driven

۴-۲- مدل سازی (نقشه برداری) پتانسیل معدنی (MPM^{۲۴})

مدل سازی پتانسیل معدنی در هر مقیاسی (مقیاس ناحیه‌ای تا مقیاس محلی) مستلزم ایجاد هدف اکتشافی است. تعیین هدف اکتشافی نیز مستلزم تحلیل و تلفیق لایه‌های اطلاعاتی است. این کار برای تعیین رتبه بندی نواحی پتانسیل دار جهت اکتشاف بیشتر مواد معدنی کشف نشده از نوع مورد جستجو صورت می‌گیرد. هدف از مدل سازی پتانسیل معدنی در مقیاس ناحیه‌ای، تعیین مستعدترین مناطق امیدبخش در نواحی بزرگ است. هدف از پتانسیل معدنی در مقیاس محلی تعریف مستعدترین زون‌ها با بخش‌ها در مناطق امید بخش ناحیه‌ای است. این کار به این معنی است که جزئیات و صحت مجموعه داده‌های علوم زمین مورد استفاده در اکتشاف مواد معدنی از ناحیه‌ای تا محلی از نظر قدرت تفکیک فضایی و محتوای اطلاعات افزایش یابد. مدل سازی پیش بینی کننده معدنی باید به یک نوع نهشته معدنی خاص تعلق داشته باشد؛ بنابراین مدل پتانسیل معدنی برای کانسارهای طلا برای هدایت اکتشاف جهت کانسار مس پورفیری کاربرد ندارد و بالعکس (Carranza et al, 2018). مدل سازی پتانسیل معدنی در GIS با تعریف یک مدل مفهومی پتانسیل معدنی شروع می‌شود که روابط نظری بین فرآیندهای مختلف زمین‌شناسی و مکان رخداد ذخایر معدنی را توصیف می‌کند (Camizuli & Carranza, 2018) بنابراین مدل مفهومی در انتخاب شواهد کانی سازی، آماده سازی اطلاعات، تعیین اهمیت نسبی شواهد و انتخاب مدل مناسب به منظور تلفیق شواهد نقش بسزایی دارد.

مدل سازی پتانسیل معدنی شامل سه مرحله: (۱) مدل سازی مفهومی از ذخایر معدنی مورد جستجو و شناسایی نقشه‌های پیش گو ورودی؛ (۲) پردازش مجموعه داده‌های مرتبط با اکتشاف مورد جستجو در سیستم اطلاعات جغرافیایی برای تهیه نقشه‌های شاهد مناسب و (۳) تلفیق نقشه‌های شاهد با استفاده از مدل‌های ریاضی، در داخل یا خارج از سیستم اطلاعات جغرافیایی است (Yousefi et al., 2012). مدل‌های تلفیق داده در GIS به دو دسته کلی داده محور و دانش محور تقسیم می‌شوند (Bonham-Carter, 1994; Carranza et al, 2018) در مدل‌های

داده محور وزن‌ها با استفاده از روش‌های آماری و اندیس‌های معدنی موجود در منطقه محاسبه می‌شوند و در مناطقی که داده‌های آموزشی کافی وجود داشته باشد، کاربرد دارند. در حالی که در مدل‌های دانش محور وزن‌ها با استفاده از دانش کارشناسی محاسبه می‌شوند و در مناطق شناخته نشده بیشتر کاربرد دارند. روش دیگر برای تلفیق لایه‌های اطلاعاتی، ترکیبی از روش‌های دانش محور و داده محور است که محل رخدادهای معدنی شناخته شده و همچنین نظرات متخصص در تعیین وزن شواهد در نظر گرفته می‌شود (Yousefi & Nykaen, 2017).

۴-۳- روش‌های داده محور

تهیه نقشه پتانسیل مطلوب به روش داده محور در مناطقی مناسب است که نمایانگر منظرهای معدنی متوسط تا خوب نمونه‌برداری شده (به اصطلاح «زمین‌های قهوه‌ای»^{۲۵}) باشند و هدف آن تعیین اهداف جدیدی برای اکتشافات بیشتر در مکان‌های شناسایی نشده است (Carranza *et al*, 2008). در این روش ابتدا کلیه خصوصیات اندیس‌های شناخته شده، از نوع کانی سانی مورد جستجو، جمع‌آوری شده و ارتباط این خصوصیات با شواهد و الگوهای فضایی کمی می‌گردد. سپس نقاطی جستجو می‌شود که مشابه این خصوصیات، در آن مناطق حضور دارند. در این حالت می‌توان مناطقی را که دارای خصوصیات مشابه می‌باشند، به‌عنوان مناطق امیدبخش و مناسب برای پی‌جویی ذخیره مورد جستجو، در نظر گرفت. با توجه به نحوه تولید الگوهای پیشگو، دو نوع از روش‌های داده محور شامل مدل‌های دو متغیره و چند متغیره توسعه پیدا کرده‌اند. در روش‌های دو متغیره پس از تحلیل همراهی فضایی بین نقاط معدنی و الگوهای شاهد، ابتدا نقشه‌های شاهد (پیش‌گو^{۲۶}) تولید شده و سپس به‌منظور شناسایی بهترین نواحی امیدبخش با هم تلفیق می‌شوند. انواع روش‌های دو متغیره شامل روش‌های نشانگر^{۲۷} و روش توابع برآورد^{۲۸} می‌باشند. در روش‌های چند متغیره، نقشه‌های شاهد عموماً به‌طور خودکار تولید شده و پس از کمی نمودن همراهی فضایی بین نقاط معدنی و یک از نقشه‌های شاهد با هم ترکیب می‌شوند. روش‌های

²⁵ Brownfields

²⁶ Predictive Model

²⁷ Weights of evidence analysis

²⁸ Evidential belief analysis

چند متغیره شامل رگرسیون لجستیکی^{۲۹}، شبکه‌ی عصبی مصنوعی^{۳۰}، تحلیل مطلوبیت^{۳۱}، تحلیل ویژگی^{۳۲}، تحلیل جداسازی^{۳۳}، تحلیل نمایی^{۳۴}، طبقه‌بندی شبکه بیزین^{۳۵}، وزن‌های نشانگر مبسوط و روش ماشین روش ماشین برداری پشتیبان^{۳۶} می‌باشند (یوسفی و کامکار روحانی، ۱۳۸۹).

۴-۴- روش‌های دانش محور

تهیه نقشه پتانسیل معدنی به روش دانش محور در مناطق کمتر شناخته شده (مناطق سبز) که از نظر زمین‌شناسی مناسب بوده و در آن هیچ ذخایر معدنی مطلوبی وجود ندارد و یا تعداد ذخایر معدنی شناخته شده کمی وجود دارد، به کار می‌رود. تجربه‌ی اجرای عملیات اکتشافی و بررسی ارتباط بین ذخایر معدنی شناخته شده و الگوهای زمین‌شناسی در نواحی که در آن‌ها اکتشاف در حد خوب و متوسط صورت گرفته، به‌عنوان اساس روش دانش‌محور در تهیه نواحی پتانسیل معدنی است. این بدین معنی است که مدل مفهومی ایجاد شده در نواحی متوسط تا خوب اکتشاف شده برای تهیه نقشه پتانسیل معدنی در نواحی کمتر اکتشاف شده و در مناطق امیدبخش زمین‌شناسی با زمین‌شناسی مشابه کاربرد دارد (Carranza, 2008).

این مدل مفهومی در ایجاد نقشه‌های شاهد (برآورد وزن‌های شاهد و امتیازات کلاس شاهد) و تلفیق نقشه‌های شاهد مطابق «پتانسیل دار بودن مکان برای ذخایر معدنی مورد نظر» در نظر گرفته می‌شود؛ بنابراین اصطلاح «دانش محور» اشاره به ارزیابی کیفی یا وزن دادن به شواهد بر اساس پیشنهاد کارشناسی است. ارزیابی وزن برای هر نقشه شاهد و ارزیابی امتیاز برای هر کلاس در یک نقشه شاهد طبق نظر کارشناسی در خصوص ارتباط فضایی بین ذخایر معدنی (کانسارها) مورد نظر و هر مجموعه از ویژگی‌های عوارض زمین‌شناسی انجام می‌شود. براین

²⁹ Logistic regression analysis

³⁰ Artificial neural networks

³¹ Favourability analysis

³² Characteristic analysis

³³ Discriminant analysis

³⁴ Likelihood ratio analysis

³⁵ Bayesian network classifiers

³⁶ Support vector machine

اساس، نقشه‌برداری پتانسیل معدنی دانش‌محور به‌عنوان نقشه‌برداری پتانسیل معدنی کارشناس محور نیز شناخته شده است. دانش «کارشناسی» به کار گرفته شده در تهیه نقشه پتانسیل معدنی به روش دانش‌محور از طریق عملیات صحرایی در اکتشافات معدنی و یا از طریق تجربیات قابل توجه در کاربرد روش‌های تحلیلی فضایی برای مطالعه توزیع فضایی انواع ذخایر معدنی مورد نظر از همراهی فضایی آن‌ها با ویژگی‌های زمین‌شناسی به دست می‌آید. همچنین می‌توان از دانش متخصصان که دارای تخصص بالایی در زمینه اکتشافات ذخایر معدنی مورد نظر هستند، بهره‌مند شد (یوسفی و شهرستانی، ۱۳۹۳؛ Carranza et al, 2008). روش‌های دانش‌محور شامل روش منطق فازی^{۳۷}، همپوشانی شاخص دوتایی^{۳۸}، همپوشانی شاخص چند کلاسه^{۳۹}، منطق بولین^{۴۰}، توابع برآورد^{۴۱} و تحلیل سلسله مراتبی^{۴۲} می‌باشند (Carranza, 2018).

۴-۵- تئوری فازی

مغز انسان پدیده‌های جهان واقعی را با کلمات و عباراتی زبانی نظیر خوب، بد، دوره نزدیک، کوتاه، متوسط، بلند، قوی، ضعیف که مرزهای روشن و دقیقی نداشته، تعریف می‌کند. منطق فازی تکنیکی است که با استفاده از مقادیر زبانی و دانش فرد خبره، سیستمی را که نیازمند ریاضیات پیچیده و پیشرفته است مدل‌سازی می‌کند. زیربنای مجموعه‌ها و منطق فازی توسط پرفسور لطفی زاده در سال ۱۹۶۵ در قالب مقاله‌ای با عنوان مجموعه‌های فازی مطرح شد (LotfiZadeh, 1965). منطق فازی از پاسخ باینری (منطق صفر و یک) استفاده نمی‌کند بلکه از مقادیر بازه (۰ تا ۱) برای بیان درجه یا میزان ارزش اعضای یک مجموعه استفاده می‌شود. بدین ترتیب، مقدار صفر به معنای عدم عضویت کامل و مقدار یک به معنای عضویت کامل اعضای مجموعه است. سایر اعضای مجموعه نیز می‌توانند مقادیری بین صفر تا یک بر اساس درجه قطعیت عضویتشان به مجموعه داشته باشند (Zhang et al.,)

³⁷ Fuzzy Logic

³⁸ Binary index overlay

³⁹ Multi class index overlay

⁴⁰ Boolean logic

⁴¹ Evidential belief

⁴² Analytical hierarchy process (AHP)

(2017). بنابراین مقدار عضویت یک مجموعه فازی در یک مقیاس پیوسته از عضویت کامل تا عدم عضویت کامل تعریف می‌شود. مجموعه فازی A در X از مجموعه جفت‌های مرتب تشکیل شده است که می‌توان به صورت رابطه زیر بیان کرد:

$$A = \{[x, \mu_A(x)] | x \in X\} \quad \text{رابطه ۱-۴}$$

که X مجموعه‌ای از عناصر x ، نمایان‌گر یک عضو مشخص و $\mu_A(x)$ تابع درجه عضویت x در A است که می‌تواند به صورت خطی یا غیرخطی باشد (Nykänen et al., 2017). انتخاب تابع عضویت تأیید شواهد فضایی پتانسیل معدنی باید بر مبنای درک درست از همراهی فضایی بین عوارض زمین‌شناسی نشان داده شده با شواهد و رخداد انواع کانسارهای مورد جستجو قرار داشته باشد. مرحله بعد از فازی‌سازی شواهد، مرحله تلفیق منطقی شواهد فازی است. پنج عملگر فازی برای ترکیب واحد فازی مورد استفاده قرار می‌گیرد. این عملگرها شامل اشتراک (AND) فازی، اجتماع (OR) فازی، ضرب جبری فازی، جمع جبری فازی و گامای فازی (γ) می‌باشند. این عملگرهای فازی در پتانسیل‌یابی مفید هستند به این دلیل که هر یک یا ترکیبی از آنها می‌توانند روابط بین مجموعه شواهد فضایی را در مدل مفهومی از نوع مورد جستجو نشان دهند. بنابراین عملگرهای انتخاب شده در تلفیق مجموعه‌های شواهد فازی باید با مدل مفهومی تعریف شده پتانسیل معدنی سازگار باشد (Rodrigo & Carranza, 2005).

۱-۵-۴- عملگرهای فازی

عملگر AND فازی معادل عملگر AND بولین در تئوری مجموعه‌های کلاسیک است و به صورت زیر تعریف می‌شود.

$$W_{\text{Combination}} = \min(\mu_A(x), \mu_B(x), \mu_C(x), \dots) \quad \text{رابطه ۲-۴}$$

... , (x), c (x), Mg (x) با درجات عضویت فازی برای نقشه A, B, C, در یک موقعیت مشخص هستند. این عملگر برای زمانی که دو یا بیشتر فاکتور با هم برای یک فرض اتفاق بیفتد، مناسب است. عملگر OR فازی معادل عملگر OR بولین در تئوری مجموعه‌های کلاسیک به صورت زیر است:

$$W_{\text{Combination}} = \max(\mu_A(x), \mu_B(x), \mu_C(x), \dots) \quad \text{رابطه ۳-۴}$$

عملگر ضرب زمانی که وجود معدن در منطقه‌ای بسیار نادر بوده و وجود کوچک‌ترین نشانه بااهمیت است، مورد استفاده قرار می‌گیرد. این عملگر به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$W_{\text{Combination}} = \prod_{i=1}^n \mu_i(x) \quad \text{رابطه ۴-۴}$$

W, درجه عضویت فازی برای تأمین یک نقشه از n نقشه است. نتیجه این عملگر همواره کوچک‌تر و یا مساوی کوچک‌ترین درجه عضویت فازی مورد استفاده است. از این رو عملگر کاهشی نامیده می‌شود. جمع جبری فازی به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$W_{\text{Combination}} = 1 - \left(\prod_{i=1}^n (1 - \mu_i(x)) \right) \quad \text{رابطه ۵-۴}$$

نتیجه این عملگر همواره بزرگ‌تر یا مساوی بزرگ‌ترین درجه عضویت فازی مورد استفاده است. از این رو عملگر افزایشی نامیده می‌شود، عملگر گامای فازی به صورت زیر از ترکیب جمع و ضرب جبری فازی به دست می‌آید.

$$\mu_{\text{Combination}} = \left(1 - \left(\prod_{i=1}^n (1 - \mu_i(x))\right)\right)^\gamma \left(\prod_{i=1}^n \mu_i(x)\right)^{1-\gamma} \quad \text{رابطه ۴-۶}$$

μ پارامتری است که در بازه (۰،۱) انتخاب می‌شود. عملگر اجتماع به صورت های گوناگونی همانند مثال های زیر در نظریه مجموعه های فازی نشان داده می‌شود

$$\mu_{A \cup B}(x) = \max \{ \mu_A(x), \mu_B(x) \} \quad \text{رابطه ۴-۷}$$

$$\mu_{A \cup B}(x) = \mu_A(x) + \mu_B(x) - \mu_A(x)\mu_B(x) \quad \text{رابطه ۴-۸}$$

$$\mu_{A \cup B}(x) = \min \{ \mu_A(x), \mu_B(x) \} \quad \text{رابطه ۴-۹}$$

معمول ترین تعریف عملگر اشتراک نیز در نظریه مجموعه های فازی به صورت زیر است

$$\mu_{A \cap B}(x) = \min \{ \mu_A(x), \mu_B(x) \} \quad \text{رابطه ۴-۱۰}$$

$$\mu_{A \cap B}(x) = \mu_A(x)\mu_B(x) \quad \text{رابطه ۴-۱۱}$$

$$\mu_{A \cap B}(x) = \max \{ 0, \mu_A(x) + \mu_B(x) - 1 \} \quad \text{رابطه ۴-۱۲}$$

و برای مکمل مجموعه ی فازی A به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\mu_{A^c} = 1 - \mu_A(x) \quad \text{رابطه ۴-۱۳}$$

۲-۵-۴- استنتاج گر فازی

منطق فازی، استدلال با استفاده از مجموعه‌های فازی است. با منطق فازی که به‌جای صفر و یک در بازه بسته صفر و یک عمل می‌کند، می‌توان عدم قطعیت را به‌خوبی نشان داد. لطفی زاده منطق فازی را بر اساس اصل ناسازگاری به شرح زیر بنیان‌گذاری کرد:

هنگامی که پیچیدگی یک سامانه از حد تعیین شده‌ای فراتر می‌رود تعریف صریح، دقیق و با معنای عملکرد آن سامانه غیرممکن می‌شود در واقع این منطق راه ساده‌ای را برای رسیدن به یک نتیجه قطعی و معین بر پایه اطلاعات ورودی ناقص، خطادار، مبهم و دو پهلو فراهم می‌کند.

می‌توان هر سیستمی که بوسیله منطق فازی طراحی شده است را بوسیله سایر تکنیک‌ها نیز پیاده‌سازی کرد، اما احتمالاً پیاده‌سازی آن دشوار و پیچیده گردد. هر سیستم منطقی قابل تبدیل به منطق فازی است و دانش در این منطق به‌عنوان مجموعه‌ای از محدودیت‌های فازی روی متغیرها عمل می‌کند و استنتاج فرآیند انتشار این محدودیت در نظر گرفته می‌شود (عطایی، ۱۳۸۹)

چنانچه پیچیدگی و عدم قطعیت مسئله کم باشد، با استفاده از معادلات ریاضی می‌توان سیستم را مدل‌سازی کرد. اگر پیچیدگی کمی بیشتر شود ولی در عوض داده‌های کافی وجود داشته باشد. با روش‌هایی مانند شبکه عصبی مصنوعی و الگوریتم ژنتیک، می‌توان مسئله را حل کرد؛ اما اگر هم پیچیدگی مسئله زیاد بوده و هم داده‌های موجود کافی و دقیق نباشد، منطق فازی ساده‌ترین و بهترین روش برای مدل‌سازی است. سیستم‌های استنتاج گر فازی، سیستم‌هایی هستند که بر اساس منطق فازی پیاده‌سازی می‌گردند. در ادامه این سیستم و بخش‌های آن ارائه می‌گردد.

سیستم‌های استنتاج گر فازی در سال‌های اخیر مورد توجه بسیاری از پژوهشگران در رشته‌های مختلف علمی و صنعتی قرار گرفته‌اند و کاربردهای مفید خود را در زمینه‌های پردازش اطلاعات سیستم‌های خبره و سیستم‌های

کنترل به خوبی نشان داده‌اند. تکنیک‌های ریاضی استنتاج فازی ابزارهایی کارآمد در برخورد با مسائل و سیستم‌هایی می‌باشند که یا بسیار پیچیده‌اند، یا دارای مدل ریاضی دقیق نمی‌باشند و یا از عدم قطعیت بالایی برخوردارند و در عوض با روش‌های برخورد انسانی، استدلال تقریبی و زبان طبیعی قابل بیان و فرمول بندی هستند.

استنتاج فازی، فرآیند نگاشت مجموعه ورودی داده شده به یک مجموعه خروجی با استفاده از منطق فازی است، می‌توان گفت سیستم استنتاج‌گر فازی ابزاری قدرتمند به منظور شبیه‌سازی رفتار غیرخطی با استفاده از منطق فازی و قوانین زبان شناختی فازی است. توابع عضویت، عملگرهای منطق فازی و قوانین اگر - آنگاه در این فرآیند استفاده می‌شوند. بر خلاف روش‌های کیفی دیگر مانند تصمیم‌گیری چند معیاره، یک سیستم استنتاج فازی مدلی انعطاف‌پذیر و غیرخطی از قوانین غیرقطعی است (Guo et al., 2003). چنین سیستمی شامل قوانین فازی، پایگاه داده‌ای که توابع عضویت مورد استفاده در قوانین فازی را تعریف می‌کند و مکانیزم استدلالی که بر اساس قوانین و حقایق داده شده استنتاج انجام دهد و خروجی منطقی ارائه کند، می‌باشد. سیستم استنتاج فازی با موفقیت در زمینه‌هایی مانند کنترل خودکار، طبقه‌بندی داده، بازشناسی الگو، تجزیه و تحلیل تصمیم‌گیری، سیستم‌های خبره و کامپیوتر بینایی به کار گرفته شده است. به دلیل طبیعت چند رشته‌ای بودن، این سیستم با نام‌های گوناگونی از قبیل سیستم قانون مبنای فازی، سیستم خبره فازی، مدل‌سازی فازی، کنترل‌کننده‌های منطق فازی و یا به طور خلاصه سیستم فازی نیز به کار می‌رود (Carranza, 2018). نظام استنتاج فازی را می‌توان بر اساس دانش فرد خبره و یا داده‌های مشاهده شده ساخت به کارگیری این سیستم در هر فرایند، همانند شکل (۴-۱)، شامل سه مرحله فازی سازی، موتور استنتاج فازی و قطعی سازی خروجی‌هاست (Huang & Chiu, 2003). همان طور که در ادامه توضیح داده خواهد شد، با تبدیل متغیرهای حقیقی به متغیرهای زبانی، مرحله فازی سازی داده‌ها انجام می‌گیرد. مرحله دوم در سیستم‌های استنتاج‌گر فازی، تلفیق داده‌های فازی با به کارگیری موتور استنتاج فازی است. تلفیق داده‌ها با ایجاد پایگاه داده‌ای از قوانین به فرم "اگر آنگاه" فازی و به کارگیری مدل تصمیم‌گیری انجام می‌پذیرد. مدل‌های تصمیم‌گیری ممدانی و سوگنو متداول‌ترین مدل در این مرحله‌اند.

متغیرهای زبان شناختی ورودی و خروجی، توابع عضویت، پارامترهای توابع عضویت، قوانین فازی، عملگرهای استلزام و جمع‌بندی و قطعی سازی بایستی با توجه به ویژگی‌های زمین‌شناسی و جغرافیایی اندیس معدنی مورد نظر تعیین شوند (Robinson, 2011).



شکل ۴-۱ سیستم استنتاج فازی (Stefanakis et al., 1999)

۴-۶- روش تحلیل سلسله مراتبی

تحلیل سلسله مراتبی (AHP)^{۴۳} یکی از مهم‌ترین تکنیک‌های تصمیم‌گیری چند معیاره است که توسط (Saaty, 1977) پیشنهاد و توسعه یافته است. بیش‌ترین کاربرد روش تحلیل سلسله مراتبی در GIS برای وزن دهی لایه‌های شاهد در تهیه نقشه پتانسیل معدنی است. برای به دست آوردن وزن لایه‌های شاهد ماتریس مقایسه زوجی تشکیل می‌شود و لایه‌ها دو به دو با یکدیگر مقایسه می‌شوند و به هر لایه نسبت به سایر لایه‌ها، مقادیر عددی اختصاص داده می‌شود. در نهایت، لایه‌هایی که دارای بیشترین اهمیت باشند، مشخص و ترتیب اولویت لایه‌ها تعیین می‌شود. از مزایای ممتاز این تکنیک در تصمیم‌گیری چند معیاره محاسبه نرخ ناسازگاری است. اگر مقدار نرخ ناسازگاری (CR) کمتر از ۰/۱ باشد ماتریس مقایسه زوجی در نظر گرفته شده دارای سازگاری قابل قبول است و وزن‌های به دست آمده را می‌توان در تهیه نقشه پتانسیل معدنی استفاده کرد، در غیر این صورت باید در قضاوت‌ها

⁴³ Analytical hierarchy process (AHP)

تجدید نظر شود. فرآیند تحلیل سلسله مراتبی در مدل‌سازی هم‌پوشانی شاخص دوتایی، مدل ساده هم‌پوشانی شاخص چند کلاسه و مدل‌سازی منطق فازی کاربرد دارد (Carranza, 2008).

۷-۴- روش شاخص هم‌پوشانی

کلاس‌های مختلف نقشه در این روش موجود است که هر کدام نمره‌های مختلفی دارند. بدین گونه که نمره‌ها در وزن مربوطه ضرب شده و میانگین وزن داده شده برای هر موضوع (چند ضلعی یا پیکسل) به وسیله این رابطه حاصل می‌شوند. بعد از این با نقشه‌های در حال ترکیب جمع شده و از طریق جمع اوزان به دست می‌آیند:

$$S = \left(\sum_{i=1}^n s_{ij} W_i \right) / \sum_{i=1}^n W_i \quad \text{رابطه ۴-۱۴}$$

در این معادله S امتیاز وزن داده برای هر عارضه، W_i برای آامین نقشه ورودی، s_{ij} امتیاز آامین کلاس از آامین نقشه و Z مربوط به کلاسی است که در نقشه‌های موردنظر امتیازدار و وزن دار می‌شوند (Malczewski, 2006).

۴-۸- تهیه نقشه پتانسیل مطلوب محدوده مورد مطالعه

لایه‌های اطلاعاتی زمین‌شناسی، دورسنجی، ژئوشیمی (رسوبات آبراهه‌ای)، ژئوفیزیک (مغناطیس هوایی) و ساختاری در محدوده مورد بررسی با مقیاس ۱:۲۰۰۰۰، پس از جمع‌آوری و ایجاد لایه بافر، کلاسه‌بندی و به صورت لایه‌های رستری در یک فایل ذخیره شدند. لایه‌ها و کلاس‌های ایجاد شده در جدول (۴-۱) آورده شده است. این لایه‌ها بر اساس کارهای قبلی انجام شده در منطقه سیرجان و محدوده معدنی میلویه آماده‌سازی شده‌اند که شامل لایه زمین‌شناسی (لایه ساختاری و واحدهای زمین‌شناسی)، لایه ژئوشیمی، لایه دورسنجی و ژئوفیزیک است. هر یک از این لایه‌ها بر اساس میزان اهمیت و ارتباط موثر در مبحث اکتشافی مس کلاسه‌بندی و ارزش‌گذاری شده‌اند. لازم به ذکر است در وزن دهی این لایه‌ها بررسی‌های میدانی و ارزیابی نقاط مشخص و دارای رخنمون و مناطق اکتشافی تاثیر گذار بوده است. این لایه‌ها در شکل‌های ۴-۲ تا ۴-۶ آورده شده است، در روش فازی، به صورت

درختی عمل می‌شود؛ یعنی نقشه‌ها به صورت دو یا چندتایی در مراحل مختلف تلفیق می‌گردند تا نقشه نهایی به دست آید. برای رسیدن به این منظور، ابتدا لایه‌های مختلف کنترل کننده کانی سازی شامل انواع لایه‌های مرتبط مثل ساختارهای کنترل کننده کانی سازی و ژئوشیمی و زمین‌شناسی تعیین می‌گردند. با توجه به اهمیت داده‌ها در هر مرحله از عملگرهای فازی جمع و گاما استفاده می‌شود. برای اجرای روش فازی بایستی ابتدا درجه اهمیت فاکتورهای کنترل کننده کانی سازی تعیین گردد. در این مرحله انواع لایه‌های اطلاعاتی با توجه به مطالعات و بررسی‌های انجام شده در منطقه وزن دهی می‌گردند که نتایج آن در جدول ذیل قابل مشاهده است.

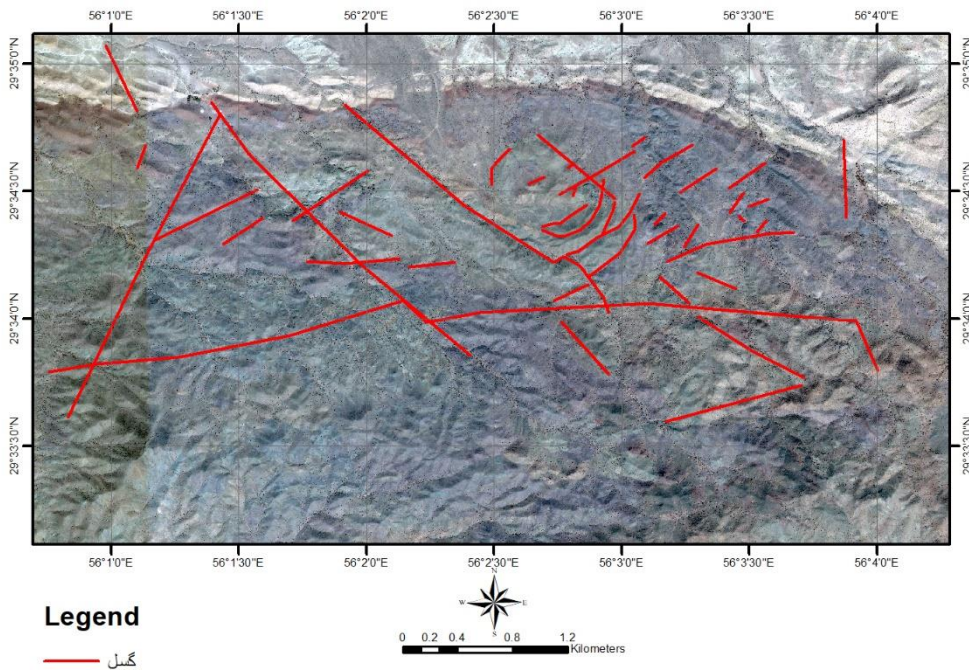
جدول ۴ - ۱ تقسیم بندی اطلاعاتی و کلاسه‌بندی لایه‌های تولید شده

Class	درصد غلظت	Raster
۱	۱۰-۱	لایه ژئوشیمی
۲	۱۰-۲۰	
۳	۲۰-۳۰	
۴	۳۰-۴۰	
۵	۴۰-۵۰	
۶	۵۰-۶۰	
۷	۶۰-۸۰	
۸	۸۰-۱۰۰	
Class	بافر فاصله از گسل (متر)	Raster
۱	۱۰۰	گسل‌ها
۲	۲۰۰	
۳	۳۰۰	
۴	۴۰۰	
۵	۵۰۰	

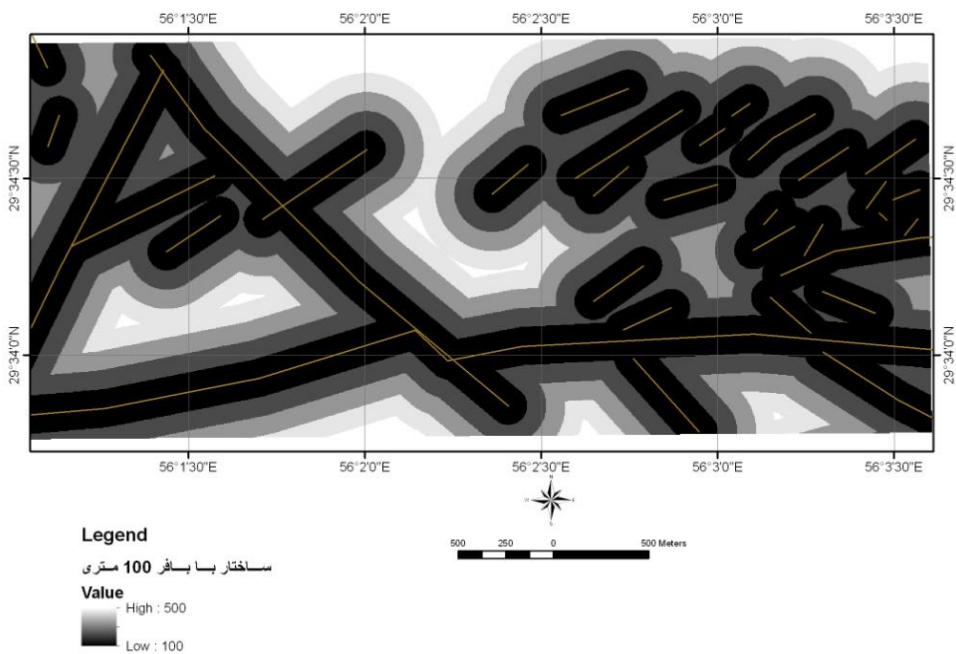
Class	واحد زمین‌شناسی	واحدهای سنگ شناسی
۱	Other value	
۲	ولکانیک بازیک	
۳	ولکانیک اسیدی تا حد واسط	ژئوفیزیک
۱	بر اساس افزایش شدت	
۲	مغناطیس	
۳		
۴		
۵		لایه دگرسانی
۱	مناطق آلتراسیون	
۲	مناطق غیر آلتره	

۱-۸-۴- نقشه بافر گسل‌ها در فواصل مختلف

در محدوده‌ی مورد مطالعه گسل‌ها ارتباط فضایی با کانی‌سازی مس دارند، بنابراین، این لایه نقش مؤثری در تهیه نقشه پتانسیل مطلوب ایفا می‌کند. در شکل (۳-۴) نقشه بافر گل‌های منطقه آمده است که حاصل مشاهدات صحرائی و همچنین دورسنجی منطقه (شکل ۲-۴) است. در جدول (۱-۴) کلاسه‌بندی این لایه که از ۱۰۰ تا ۵۰۰ متر فاصله با گسل صورت گرفته و در جدول (۲-۴) وزن فازی داده شده با نظر کارشناسی آورده شده است که نشان می‌دهد هرچه فاصله با گل کمتر باشد وزن داده شده به یک نزدیک‌تر است.



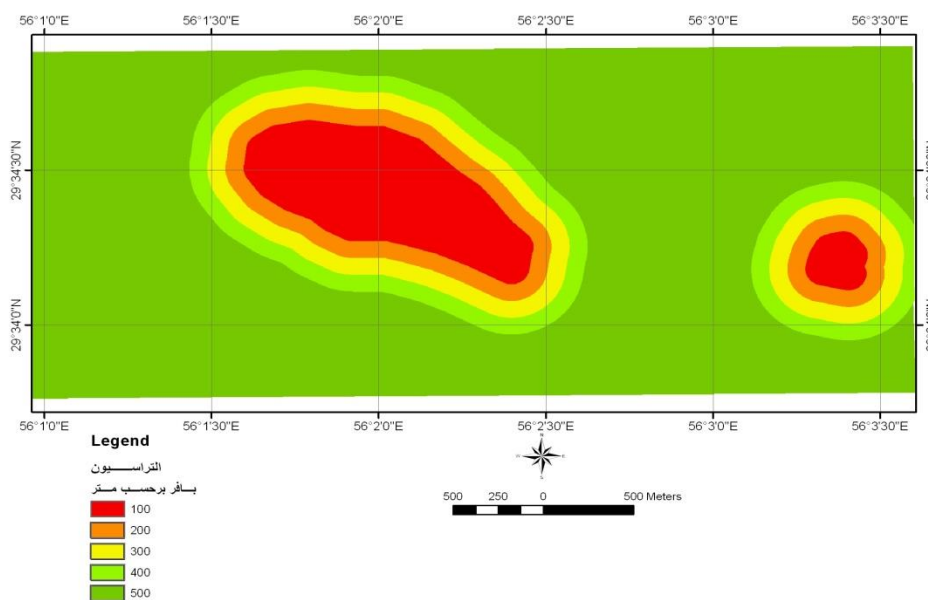
شکل ۴-۲ گسل‌های منطقه بر روی تصویر ماهواره‌ای گوگل ارث



شکل ۴-۳ لایه بافر گسل‌های منطقه مورد مطالعه

۲-۸-۴- لایه‌ی دگرسانی منطقه

از آنجایی که کانی‌سازی الزاماً درون زون دگرسانی‌ها نیست، بلکه دگرسانی می‌تواند تنها نشانه و شاخصی برای کانی‌سازی خاص باشد و یا ممکن است بخشی از دگرسانی رخمون داشته باشد، برای استفاده‌ی این لایه معیار اکتشاف شعاع تاثیر (Buffer) تا فاصله ۵۰۰ متری اطراف دگرسانی‌ها ایجاد گردید (شکل ۴-۴)، در جدول (۴-۴) کلاسه‌بندی این لایه که به دو کلاس منطقه آلتزه و غیر آلتزه تقسیم و در جدول (۴-۲) وزن فازی داده شده با نظر کارشناسی آورده شده است. لازم به ذکر است که نحوه تشخیص دگرسانی‌ها در فصل دوم پایان‌نامه در بخش ۲-۶ بر اساس مشاهدات زمین‌شناسی و بررسی تصاویر ماهواره‌ای آمده است.

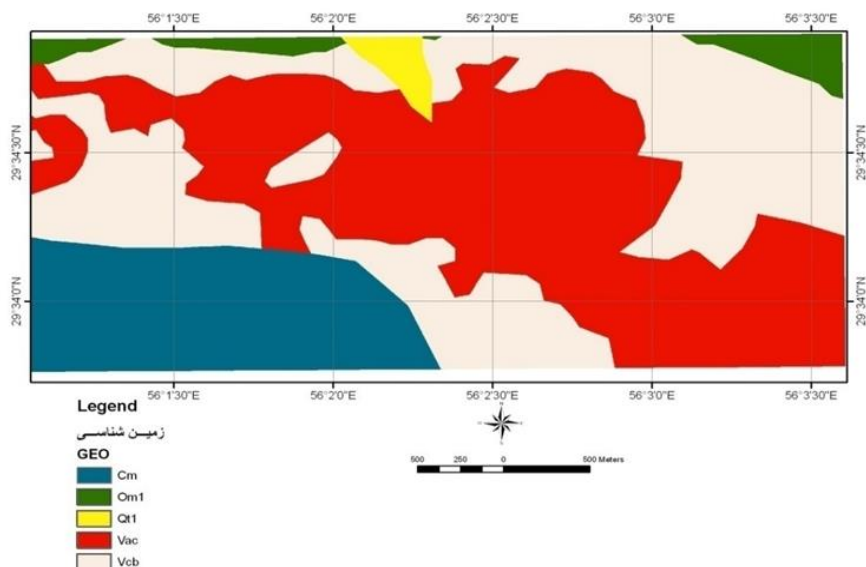


شکل ۴-۴- لایه سنجش از دور منطقه مورد مطالعه

۳-۸-۴- لایه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه

با توجه به ویژگی‌های زمین‌شناسی خاص این منطقه نقشه زمین‌شناسی منطقه بر اساس پیمایش صحرائی تهیه گردید، مناطق انتخاب شده جهت کلاسه‌بندی با توجه به جدول (۴-۱) مناطق ولکانیک بازیک و ولکانیک اسیدی

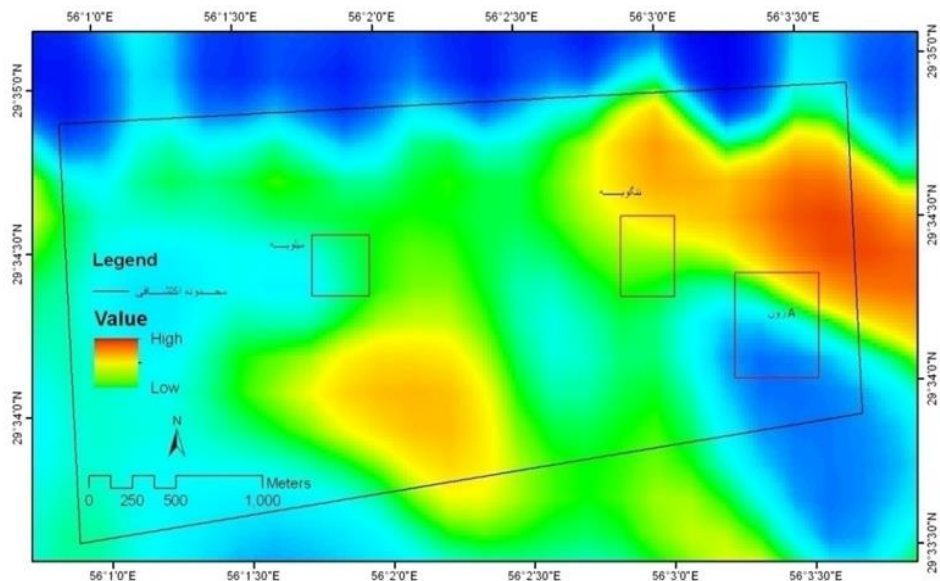
تا حد واسط از اهمیت بیشتری برخوردار هستند که وزن بالایی طبق جدول (۴-۲) به آن‌ها تعلق گرفت و مناطق کم اهمیت‌تر مجموعاً در یک کلاس قرار گرفتند و وزن پایینی به آن‌ها داده شد.



شکل ۴-۵ مناطق انتخاب شده از نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه

۴-۸-۴- لایه ژئوفیزیک منطقه مورد مطالعه

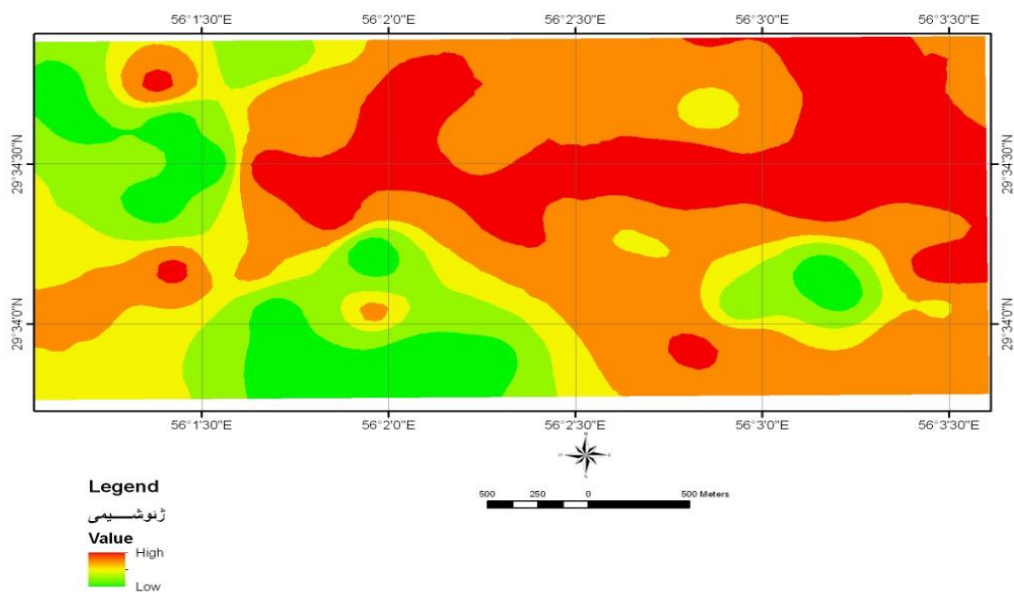
با توجه نقشه مغناطیس‌هوایی از منطقه شکل (۴-۶) (مغناطیس‌هوایی از سوی سازمان زمین‌شناسی کشوری و با بالگرد برداشت شده است، استفاده شد. فاصله خطوط پرواز بستگی به نوع هدف و مرحله اکتشاف دارد که در این منطقه ۲۵۰ متر است) و تصحیحات مورد نظر بر روی آن انجام گرفته است. مناطقی که شدت مغناطیس بالاتری دارند دارای وزن بیشتر می‌باشند، کلاسه‌بندی و وزن دهی در جداول (۴-۱) و (۴-۲) آمده است.



شکل ۴-۶ مناطق انتخاب شده از نقشه ژئوفیزیک (مغناطیس هوایی ۱:۵۰۰۰۰) محدوده میلویه

۵-۸-۴- لایه ژئوشیمیایی منطقه مورد مطالعه

با استفاده از برداشت داده‌های رسوبات آبراهه‌ای آنومالی‌ها تفکیک گردید، سپس شبکه سیستماتیک نمونه‌برداری تعیین شد، بعد از تجزیه نمونه‌ها و محاسبه سطح فرسایش با استفاده از مدل زونالیته ذخایر روباز، پنهان و پراکنده تشخیص داده شد و طبق نظر کارشناسی با توجه به جداول (۴-۱) و (۴-۲) کلاسه‌بندی از آنومالی بالا تا پایین انجام گرفت و وزن دهی شد و لایه برای استفاده در تلفیق آماده گردید (۴-۷).



شکل ۴-۷ لایه ژئوشیمی منطقه مورد مطالعه

جدول ۴-۲ انواع لایه‌های اطلاعاتی و وزن‌های فازی تعیین شده برای مناطق کانی‌سازی

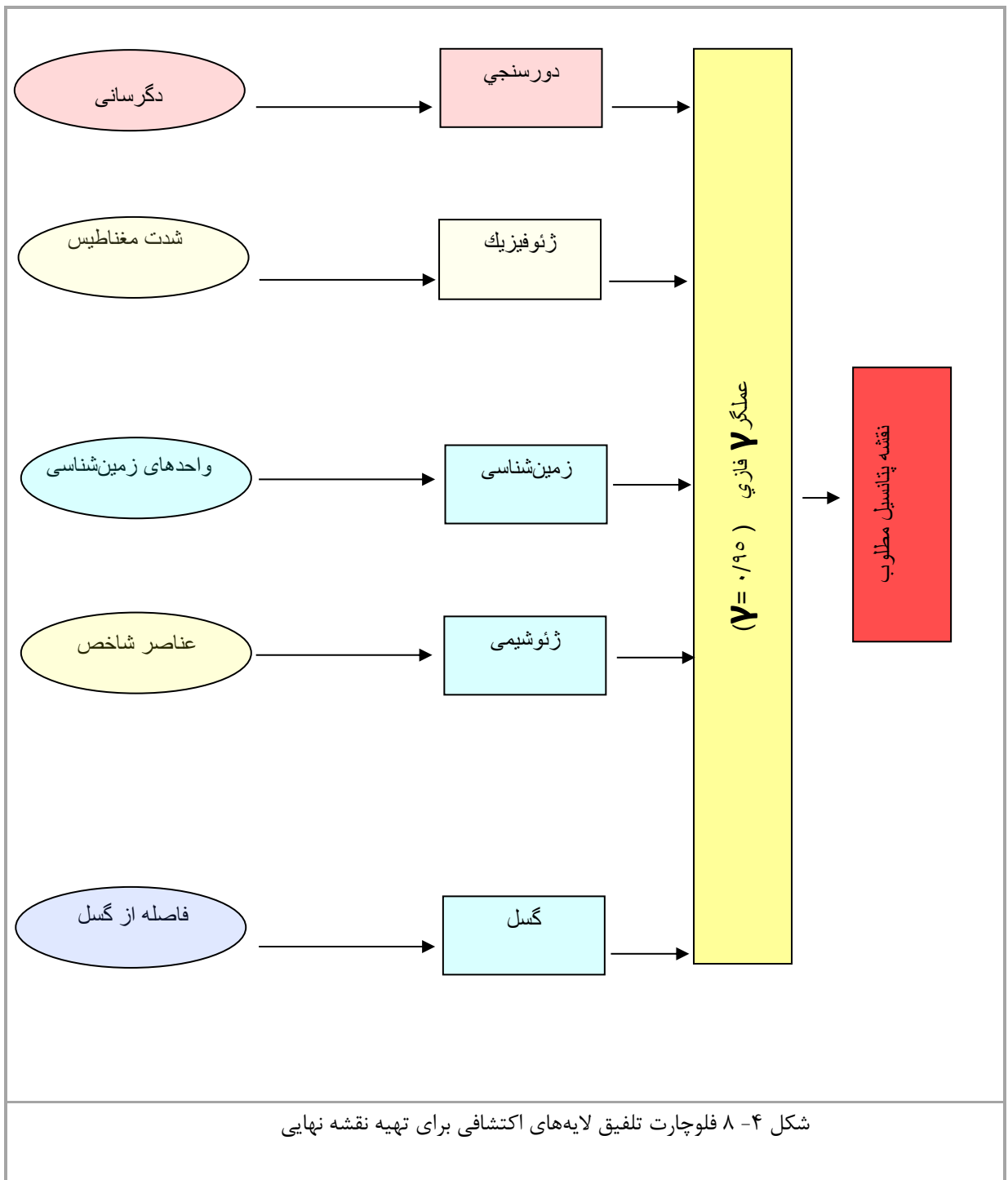
وزن	کلاس	ستون	رستر
۰/۱	۱	Other value	زمین‌شناسی
۰/۸	۲	ولکانیک بازیک	
۰/۸	۳	ولکانیک اسیدی تا حد واسط	
۰/۹	۱	۱۰۰	فاصله از گسل‌ها
۰/۸	۲	۲۰۰	
۰/۷	۳	۳۰۰	
۰/۶	۴	۴۰۰	
۰/۶	۵	۵۰۰	
۰/۱	۱	۱-۱۰	
۰/۱	۲	۱۰-۲۰	
۰/۱	۳	۲۰-۳۰	

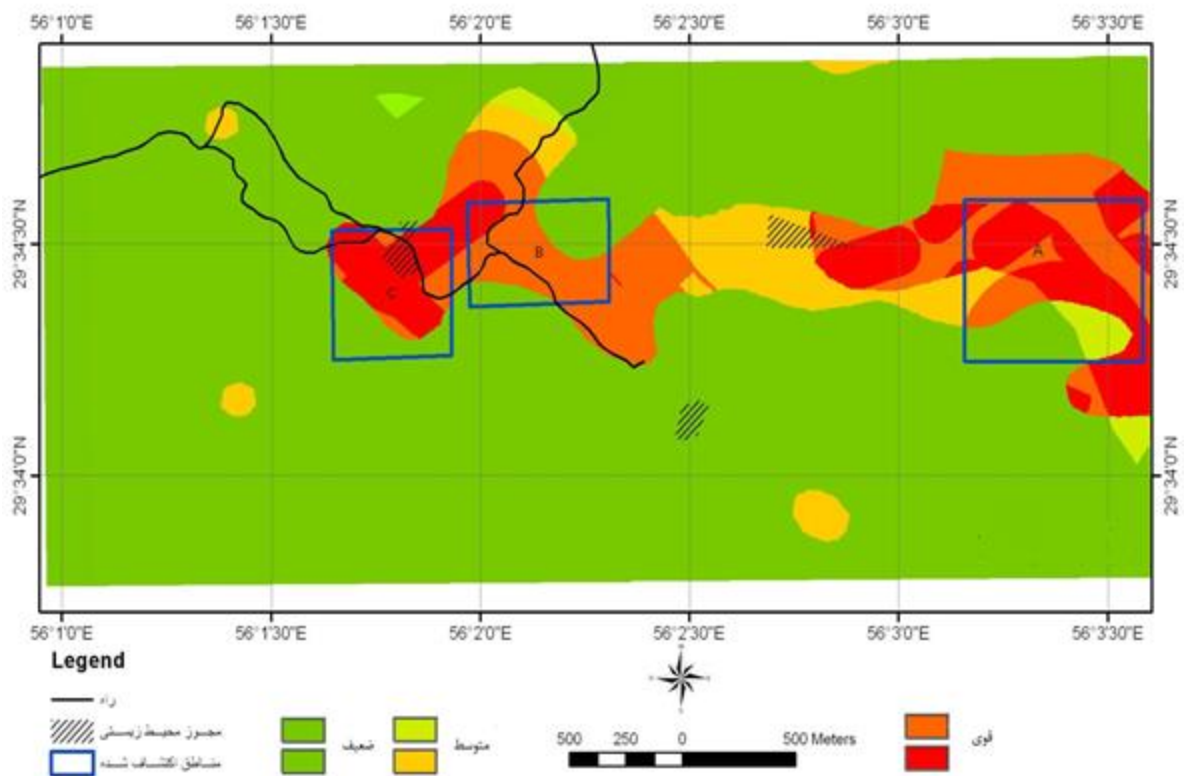
لایه ژئوشیمی	۳۰-۴۰	۴	۰/۱
حاصل ضربی	۴۰-۵۰	۵	۰/۱
	۵۰-۶۰	۶	۰/۱
	۶۰-۸۰	۷	۰/۴
	۸۰-۱۰۰	۸	۰/۹
لایه سنجش از دور	مناطق آلتراسیون	۱	۰/۷
	مناطق غیر آلتیره	۲	۰/۱
لایه ژئوفیزیک	به ترتیب مناطق پر شدت تا کم شدت	۱	۰/۷
		۲	۰/۶
		۳	۰/۳
		۴	۰/۱
		۵	۰/۱

۶-۸-۴- نقشه پتانسیل مطلوب به دست آمده از روش فازی

پس از امتیازدهی به نقشه‌های تلفیقی، لایه‌های مذکور بوسیله عملگر گامای فازی با در نظر گرفتن $\gamma = 0.95$ تلفیق شدند (شکل ۴-۸). کلیه مراحل انجام کار اعم از تولید نقشه‌ها، امتیاز دهی به آن‌ها و در نهایت تلفیق لایه‌ها به کمک نرم‌افزار انجام پذیرفت. در شکل (۴-۹) نقشه پتانسیل مطلوب حاصل از تلفیق آورده شده است.

نقشه نهایی به دست آمده از روش فازی در شکل ۴-۹ نمایش داده شده است.





شکل ۴-۹ نقشه پتانسیل مطلوب به دست آمده با روش فازی از نقشه‌های ژئوشیمی، زمین‌شناسی، ژئوفیزیک، ساختار و سنجش از دور

با توجه به نقشه تولید شده اکتشافات مراحل بعد با دقت و تمرکز بهتر مورد بررسی قرار می‌گیرند؛ لذا سه زون A, B, C که بر روی نقشه پتانسیل مطلوب با رنگ آبی نمایش داده شده‌اند برای اکتشافات مرحله بعد پیشنهاد می‌شوند. علاوه بر زون B+C در غرب محدوده، زون A در شرق محدوده میلوپه به‌عنوان زون بکر و ناشناخته برای اولین بار جهت اکتشافات تفضیلی پیشنهاد شد. در نهایت با تلفیق داده‌ها بوسیله مدل منطق فازی، نقشه پتانسیل مطلوب ذخایر مس میلوپه به دست آمد. به‌رحال با تلفیق لایه‌های دورسنجی، زمین‌شناسی، ژئوشیمی، ساختاری، ژئوفیزیک (مغناطیس) در مساحت هزار هکتار از محدوده میلوپه مشخص شد که فقط ۱۵ درصد آن امیدبخش است که این مناطق پر پتانسیل سه زون A, B, C انتخاب و برای اکتشافات تفضیلی مورد بررسی قرار گرفتند. تحلیل و تفسیر داده‌های ژئوشیمیایی رسوبات آبراهه‌ای (روش‌های ژئوشیمی معادن) همین نتایج را تأیید کرد.

فصل پنجم

نتیجه‌گیری و پیشنهاد

۱-۵- نتیجه گیری

مطالعات ژئوشیمیایی منطقه به طور کلی نتایج زیر را در بر داشت:

- با توجه به تحلیل و تفسیر نتایج آنالیز داده‌های ژئوشیمیایی، محل حفاری‌های اکتشافی و عمق آن‌ها محاسبه شده است.
- الگوی پراکندگی سری اول عناصر شاخص در محدوده میلوپه نشان‌دهنده غنی‌شدگی بالا نسبت به مس است، اما عنصر روی غنی‌شدگی نشان نمی‌دهد.
- غنی‌شدگی مس در این منطقه نسبت به عناصر دیگر بیشتر بوده و تنها عنصری است که کانی‌سازی سولفیدی و اکسیدی آن به وضوح در منطقه دیده می‌شود.
- نبود آنومالی روی در منطقه نشان‌دهنده قرارگیری سطح فرسایش در بخش پایین کانه‌زایی در منطقه است.

همچنین با استفاده از روش دانش‌محور فازی لایه‌های ژئوشیمیایی، دگرسانی، زمین‌شناسی، ساختاری و ژئوفیزیک منطقه با هم تلفیق شدند با تلفیق این لایه‌ها در مساحت هزار هکتار از محدوده میلوپه مشخص شد که فقط ۱۵ درصد آن امیدبخش است که این مناطق پر پتانسیل سه زون A, B, C انتخاب و برای اکتشافات تفضیلی مورد بررسی قرار گرفتند.

مقایسه هزینه‌ها و زمان اجرای عملیات اکتشافی کانسار مس تخت گنبد و کانسار مس میلوپه در شمال شرق سیرجان نشان می‌دهد که برای کاهش ریسک سرمایه‌گذاری نیاز به استفاده از روش‌های مدرن ژئوشیمی معادن داریم. شاخه ژئوشیمی معادن بر اساس چهار پایه اصلی ژئوالیته ژئوشیمیایی، منظر ژئوشیمیایی، نوع تیپ کانی‌شناسی- ژئوشیمیایی و بانک اطلاعات معادن مشابه استوار است. اکتشاف ذخایر مس با روش‌های معمول از جمله روش آلتراسیون یا ژئوفیزیک به تنهایی پاسخگو نبوده و با توجه به هزینه زیاد حفاری اکتشافی و سرعت کم آن‌ها نیاز به این تکنولوژی مدرن داریم. توسعه شاخه ژئوشیمی معادن با ابزار GIS و گسترش روش‌های تجزیه

مواد معدنی امکان پذیر شده است. نتیجه کاربرد این شاخه در توسعه معادن کشور نشان می دهد که به کارگیری این تکنیک ها در تأمین مواد اولیه صنایع استراتژیک کشور قابل توجه است.

۲-۵- پیشنهاد

پیشنهاد می گردد به هدف آشکار سازی ارزش افزوده واقعی محدوده مس میلوپه، همزمان با حفظ استراتژی کمینه سازی هزینه ها و زمان اکتشاف، مراحل ذیل اجرا گردد: (۱) انجام عملیات اکتشاف حفاری جهت تعیین ذخیره زونهای A,B,C (۲) تخمین و برآورد ذخیره و عمق کانی سازی در محیط نرم افزار data mine به هدف آشکار سازی کانسار مس.

لازم به ذکر است عملیات حفاری برای زون B,C در منطقه انجام شده است و نتایج قابل قبولی به دست آمده ولی برای زون A به دلیل مشکلات محیط زیستی عملیات حفاری صورت نگرفته است.

منابع

طاهری م. (۱۳۷۸). آشنایی با نظریه مجموعه های فازی. مشهد: انتشارات جهاد دانشگاهی.

شرف الدین م، حسنی پاک ع.ا. (۱۳۹۱). تحلیل داده های اکتشافی. تهران: انتشارات دانشگاه تهران.

عطایی م. (۱۳۹۵). تصمیم گیری چند معیاره فازی. شاهرود: انتشارات دانشگاه صنعتی شاهرود.

امانوئل جان ام کارانزا. (۲۰۱۵). نقشه برداری آنومالی ژئوشیمیایی و دور معدنی در GIS. ترجمه: محمد یوسفی و شاهد شهرستانی (۱۳۹۳). تهران: انتشارات علم و دانش.

Andersen, T., Graham, S., & Sylvester, A. G. (2009). The geochemistry, Lu–Hf isotope systematics, and petrogenesis of Late Mesoproterozoic A-type granites in southwestern Fennoscandia. *The Canadian Mineralogist*, 47(6), 1399–1422.

Beus, A. A., & Grigorian, S. V. (1977). *Geochemical exploration methods for mineral deposits*.

Bonham-Carter, G. F. (1994). Geographic information systems for geoscientists-modeling with GIS. *Computer Methods in the Geoscientists*, 13, 398.

Bonham- Carter, G. F., Agterberg, F. P., & Wright, D. F. (1989). Integration of geological datasets for gold exploration in Nova Scotia. *Digital Geologic and Geographic Information Systems*, 10, 15–23.

Camizuli, E., & Carranza, E. J. (2018). Exploratory Data Analysis (EDA). *The Encyclopedia of Archaeological Sciences*, 1–7.

Carranza, E. J. (2011). Analysis and mapping of stream sediment geochemical anomalies: should we logratio-transform the data: keynote. *The 25th International Applied Geochemistry Symposium, 22-26 August 2011, Rovaniemi, Finland: Programme and Abstracts./P. Sarala, VJ Ojala and ML Porsanger.-Vuorimiesyhdistys; Finnish Association of Mining and*

Metallurgical Engineers, 2011 (Serie B 92-1) .

- Carranza, E J M. (2018). *Spatial Analysis of Prospectivity for Surficial Uranium Deposits: A Case Study in British Columbia, Canada.*
- 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. (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, Emmanuel John 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.
- Grigorian, S. V. (1992). Mining geochemistry. *Nedra, Moscow.*
- Guo, J., Chiu, F.-C., & Huang, C.-C. (2003). Design of a sliding mode fuzzy controller for the guidance and control of an autonomous underwater vehicle. *Ocean Engineering*, 30(16), 2137–2155.
- Hamedani, H. A., Allam, N. K., Garmestani, H., & El-Sayed, M. A. (2011). Electrochemical fabrication of strontium-doped TiO₂ nanotube array electrodes and investigation of their photoelectrochemical properties. *The Journal of Physical Chemistry C*, 115(27), 13480–13486.
- Hou, D., Li, M., & Huang, Q. (2000). Marine transgressional events in the gigantic freshwater lake Songliao: paleontological and geochemical evidence. *Organic Geochemistry*, 31(7–8), 763–768.
- Levinson, A. A., & De Pablo, L. (1975). A rapid x-ray fluorescence procedure

- applicable to exploration geochemistry. *Journal of Geochemical Exploration*, 4(4), 399–408.
- Li, M., & Larter, S. R. (1995). Reply to comments by Sinninghe Damsté and De Leeuw (1995) on Li et al.(1995), *Organic Geochemistry* 23, 159–167. *Organic Geochemistry*, 23(11–12), 1089–1093.
- Malczewski, J. (2006). GIS- based multicriteria decision analysis: a survey of the literature. *International Journal of Geographical Information Science*, 20(7), 703–726.
- Nykänen, V., Niiranen, T., Molnár, F., Lahti, I., Korhonen, K., Cook, N., & Skyttä, P. (2017). Optimizing a knowledge-driven prospectivity model for gold deposits within Peräpohja Belt, Northern Finland. *Natural Resources Research*, 26(4), 571–584.
- Ovchinnikov, L. N., & Grigoryan, S. V. (1978). Geochemical prospecting for ore deposits. *International Geology Review*, 20(12), 1413–1425.
- Peters, W. C. (1987). *Exploration and mining geology*.
- Robinson, J. (2011). Extended TOPSIS with correlation coefficient of triangular intuitionistic fuzzy sets for multiple attribute group decision making. *International Journal of Decision Support System Technology (IJDSST)*, 3(3), 15–41.
- Saaty, T. L. (1977). A scaling method for priorities in hierarchical structures. *Journal of Mathematical Psychology*, 15(3), 234–281.
- Sadeghi, B., Madani, N., & Carranza, E. J. M. (2015). Combination of geostatistical simulation and fractal modeling for mineral resource classification. *Journal of Geochemical Exploration*, 149, 59–73.

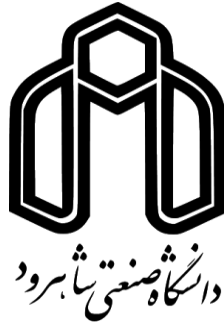
- Safronov, N. I. (1936). Dispersion haloes of ore deposits and their use in exploration. *Problemy Sovetskoy Geologii*, 4, 41–53.
- Solovov, A. P., & Kuznetov, V. V. (1987). *Geochemical prospecting for mineral deposits*. Mir Publ.
- Stefanakis, E., Vazirgiannis, M., & Sellis, T. (1999). Incorporating fuzzy set methodologies in a DBMS repository for the application domain of GIS. *International Journal of Geographical Information Science*, 13(7), 657–675.
- Swisher, L. L., Beckstead, J. W., & Bebeau, M. J. (2004). Factor analysis as a tool for survey analysis using a professional role orientation inventory as an example. *Physical Therapy*, 84(9), 784–799.
- Wilson, E., & Gerard, D. (2007). *Carbon capture and sequestration: integrating technology, monitoring, regulation*.
- Winter, T. C. (2001). The concept of hydrologic landscapes 1. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 37(2), 335–349.
- Xunde, H., & Dingyuan, Z. (1989). Geochemical zoning pattern of the Yinyan tin deposit. *Journal of Geochemical Exploration*, 33(1–3), 109–119.
- Yongqing, C., & Pengda, Z. (1998). Zonation in primary halos and geochemical prospecting pattern for the Guilaizhuang gold deposit, eastern China. *Nonrenewable Resources*, 7(1), 37–44.
- Yousefi, M., Kamkar-Rouhani, A., & Carranza, E. J. M. (2012). Geochemical mineralization probability index (GMPI): a new approach to generate enhanced stream sediment geochemical evidential map for increasing probability of success in mineral potential mapping. *Journal of Geochemical Exploration*, 115, 24–35.

- Zadeh, L. A. (1965). Fuzzy sets. *Information and Control*, 8(3), 338–353.
- Zhang, J., Zhang, Q., Spearing, A. J. S. S., Miao, X., Guo, S., & Sun, Q. (2017). Green coal mining technique integrating mining-dressing-gas draining-backfilling-mining. *International Journal of Mining Science and Technology*, 27(1), 17–27.
- Ziaii, M., Abedi, A., & Ziaei, M. (2009). Geochemical and mineralogical pattern recognition and modeling with a Bayesian approach to hydrothermal gold deposits. *Applied Geochemistry*, 24(6), 1142–1146.
- Ziaii, M., Ardejani, F. D., Ziaei, M., & Soleymani, A. A. (2012). Neuro-fuzzy modeling based genetic algorithms for identification of geochemical anomalies in mining geochemistry. *Applied Geochemistry*, 27(3), 663–676.
- Ziaii, M., Carranza, E. J. M., & Ziaei, M. (2011). Application of geochemical zonality coefficients in mineral prospectivity mapping. *Computers & Geosciences*, 37(12), 1935–1945.

Abstract

Various anomalies need to be evaluated in geochemical exploration, such as Blind Mineralization anomaly, Outcropping anomaly and Zone Dispersed Mineralization. In our country, exploration of mineral reserves is more limited to Outcropping anomalies. These types of reserves have received less attention; Therefore, the evaluation of geochemical anomalies is an important step in optimizing exploration operations. Many geothermal reserves are recognizable through geochemical studies due to the formation of geochemical halos around them. One of the available methods for distinguishing Blind Mineralization economic anomalies from non-economic ones is the method of geochemical zonality. In this study, in order to reduce the area covered by exploratory operations using the waterway sedimentation method, a systematic sampling network was formed. Then, using the geochemical zoning of standard indices (especially hydrothermal copper reserves based on similar gold deposits in the Kafan mine in Armenia), the multiplication map of the elements lower and upper elements was calculated separately and with other optimized geochemical maps. The results were compared and it was found that the geochemical anomaly lower and upper continues along the structure of the east-west faults. Finally, the results of combining geochemical layers, aerial magnetism, geology and telemetry by fuzzy method in the region were discussed and the desired potential map of the region was prepared for copper exploration.

Keywords: Geochemical Zonalite, Anomaly, Upper and lower Element, Integration, Copper



Shahroud University of Technology

Faculty of Mining, Petroleum and Geophysics Engineering

M.Sc. Thesis in Mineral Exploration

**Application of Mineral Geochemistry in Preparing a Potential Map for Copper
Exploration in Milueieh-Tanguieh Northeast of Sirjan**

By:

Mohammad Djawadi

Supervisor:

Dr. Mansur Ziiai

Advisor:

Mehdi Ziiai

February 2020