

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک

گروه اکتشاف معدن

پایان نامه کارشناسی ارشد

اکتشافات ژئوشیمیایی محدوده مس دیان (جنوب دامغان)

فرزاد خدری

اساتید راهنما:

دکتر منصور ضیایی

دکتر فردین موسیوند

مرداد ۱۳۹۴

شماره: ۶۱۵۲۸/۴۴۹-۲
تاریخ: ۱۲/۵/۹۴
ویرایش:

باسمه تعالی



فرم صورت جلسه دفاع از پایان نامه تحصیلی دوره کارشناسی ارشد

با تأییدات خداوند متعال و با استعانت از حضرت ولی عصر (عج) نتیجه ارزیابی جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد آقای فرزاد خدردی به شماره دانشجویی ۹۱۰۲۶۲۴ رشته مهندسی معدن گرایش اکتشاف تحت عنوان: اکتشافات ژئوشیمیایی محدوده مس دیان (جنوب دامغان) که در تاریخ ۹۴/۰۵/۶ با حضور هیأت محترم داوران در دانشگاه صنعتی شاهرود برگزار گردید به شرح ذیل اعلام می گردد:

<input type="checkbox"/> مردود	<input type="checkbox"/> دفاع مجدد	<input checked="" type="checkbox"/> قبول (با درجه: <u>بسیار خوب</u> امتیاز: <u>۱۸</u>)
--------------------------------	------------------------------------	---

۲- بسیار خوب (۱۸ - ۱۸/۹۹)

۱- عالی (۲۰ - ۱۹)

۴- قابل قبول (۱۴ - ۱۵/۹۹)

۳- خوب (۱۶ - ۱۷/۹۹)

۵- نمره کمتر از ۱۴ غیر قابل قبول

امضاء	مرتبه علمی	نام و نام خانوادگی	عضو هیأت داوران
	دانشیار	منصور ضیائی	۱- استاد راهنما
	استادیار	فرزاد خدردی	۲- استاد راهنما
	استادیار	امین روشندل کاهو	۳- نماینده شورای تحصیلات تکمیلی
	دانشیار	فرج الله فردوست	۴- استاد ممتحن
		احمد واعظیان	۵- استاد ممتحن

رئیس دانشکده:

تقدیم به

پدر و مادر عزیزم به خاطر زحمات بی دریغشان که وجودم برایشان همه رنج بود و

وجودشان برایم همه مهر

به خواهر و برادرانم که خلوص محبت پیام همیشگی نگاهشان است

تشکر و قدردانی

با تشکر و سپاس به درگاه پروردگار که بزرگ‌ترین یاریگر بندگان در آغاز و

پایان هر کاری است

و با تقدیر و تشکر از استاد فرهیخته و بزرگوار جناب آقای دکتر منصور ضیایی

که به حق مرا در طول دوره تحصیل و طی مراحل مختلف این پژوهش، صبورانه و

مشفقانه راهنمایی کردند

با تشکر از جناب آقای دکتر فریدین موسیوند که همواره پیگیر کارهایم بودند و

به حق برایم زحمت کشیدند

با تشکر از تمامی دوستان مخصوصاً خانم دکتر صفری و مهندس محمد فیلبندی

کشکولی که در زمینه‌های مختلف و در جهت تکمیل این پایان‌نامه مرا راهنمایی و

یاری نمودند

تعهد نامه

اینجانب (نام و نام خانوادگی) دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته (رشته) دانشکده (نام دانشکده) دانشگاه صنعتی شاهرود
دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه (عنوان پایان نامه) است.
مجموعه مقالات (مجموعه پایان نامه) تحت راهنمایی (نام استاد راهنما) متعهد می شوم.

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

تاریخ ۱۳۹۴/۵/۱۴

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامه های رایانه ای، نرم افزار ها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد. این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود.
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی باشد.

* متن این صفحه نیز باید در ابتدای نسخه های تکثیر شده پایان نامه وجود داشته باشد.

چکیده:

محدوده‌ی معدنی مس دیان، با مساحت تقریبی ۴۰ کیلومتر مربع، در فاصله‌ی ۱۰۰ کیلومتری جنوب دامغان قرار گرفته است. این منطقه در محدوده پهنه ایران مرکزی و در کمان آتش فشانی- رسوبی ترو- چاه شیرین قرار دارد. بررسی نقشه‌های زمین‌شناسی و مطالعات صحرایی انجام گرفته بر روی محدوده نشان داد که واحدهای اصلی سنگی تشکیل دهنده منطقه گدازه‌های آندزیتی، سنگ‌های ولکانیکی بالایی و زیرین و لایه‌های توف برشی سبز و قرمز هستند. این محدوده دارای ۳ سینه کار اصلی ۱، ۲ و سینه کار دیان است که دگرسانی‌های مشاهده شده در آنها شامل دگرسانی آرژلیکی در قسمت‌های سطحی، دگرسانی پروپیلیتیک در اطراف و دگرسانی‌های سیلیسی - سولفیدی - کربناتی در قسمت‌های مرکزی و همراه با کانی‌سازی مس است. کانی‌های اصلی موجود در سنگ‌های منطقه شامل مالاکیت، کوولیت، کریزوکولا و کالکوسیت به همراه هماتیت، کلسیت، سیلیس و منگنز هستند که در نمونه‌های دستی، بررسی مقاطع نازک و آنالیز پراش پرتو X مشاهده گردیدند.

اکتشافات ژئوشیمیایی منطقه شامل آنالیز تک متغیره، دومتغیره و چند متغیره است که منجر به شناسایی ۴ پهنه آنومال در منطقه شد و مناسب‌ترین ترکیب خطی عناصر که در محدوده به صورت عناصر سنگ‌ساز و کانه‌دار عمل کرده‌اند، با استفاده از روش‌های آنالیز چند متغیره تحلیل مؤلفه اصلی (PCA) و آنالیز خوشه‌ای مشخص گردیدند.

بخش اصلی پایان‌نامه به کارگیری روش زونالیت‌ها در جهت شناسایی نهشته‌های پنهان است. در ابتدا بر اساس داده‌های عمقی مربوط به گمانه BH4 در سینه کار دیان، توالی منطقه بندی قائم با روش- های ضریب اختلاف و شاخص نرمالایز تعیین گردید که بر این اساس عناصر Pb, Ba, As, Zn به عنوان عناصر فوق کانساری و عناصر Be, Ni, Co, Cu, Mo به عنوان عناصری تحت کانساری معرفی گردیدند. سپس با استفاده از روش سولووف، مقادیر حد زمینه و حد آستانه محاسبه شد و بر این اساس تعداد

نمونه‌ها و محدوده‌های آنومال تعیین شدند. سپس با استفاده از اعمال شاخص‌های ضربی، مناطق مستعد کانی‌سازی مشخص گردید. عرض هاله‌ی ژئوشیمیایی ثانویه بر روی پروفیل سوم که دارای نمونه آنومال آشکار بود محاسبه گردید. در نهایت با استفاده از داده‌های عمقی گمانه BH4، شاخص-های زونالیته عناصر فوق و تحت کانساری محاسبه شده و نمودار تغییرات عمقی عناصر ترسیم گردید که نشان‌دهنده وجود کانی‌سازی عمقی در این گمانه است.

واژه‌های کلیدی: دگرسانی، آنالیز چند متغیره، شاخص زونالیته، سولووف، عناصر فوق کانساری،

عناصر تحت کانساری، عرض هاله ثانویه

فهرست مطالب

عنوان.....	صفحه
فصل اول: کلیات	۱
۱-۱ مقدمه	۲
۲-۱ موقعیت جغرافیایی و راه‌های دسترسی به محدوده مس دیان	۳
۳-۱ شرایط آب و هوایی و پوشش گیاهی منطقه مورد مطالعه	۴
۱-۳-۱ شرایط آب و هوایی	۴
۲-۳-۱ پوشش گیاهی محدوده مورد مطالعه	۵
۴-۱ ضرورت و هدف از انجام پایان‌نامه	۶
۵-۱ روش تحقیق	۷
۶-۱ ساختار پایان‌نامه	۷
۷-۱ مروری بر مطالعات انجام‌شده	۸
۸-۱ کلیاتی در مورد مس	۱۰
۱-۸-۱ ویژگی‌های کلی مس	۱۱
۲-۸-۱ کانی‌های مس	۱۱
۱-۲-۸-۱ کانی‌های اکسیدی مس	۱۲
۲-۲-۸-۱ کانی‌های سولفیدی مس	۱۲
۳-۲-۸-۱ مس طبیعی	۱۳

- ۱۴-۸-۳ انواع ذخایر مس ۱۴
- ۱۴-۸-۳-۱ مس پورفیری ۱۴
- ۱۵-۸-۳-۲ مس رسوبی استراتی باند ۱۵
- ۱۵-۸-۳-۳ مس ماسیوسولفید ولکانوژنیک ۱۵
- ۱۵-۸-۳-۴ مس گابروئیدی ۱۵
- ۱۵-۸-۳-۵ مس گرمابی ۱۵
- ۱۶-۸-۳-۶ مس هیدروترمال رگه‌ای ۱۶
- ۱۶-۸-۳-۷ کانسارهای اسکارن مس دار ۱۶
- ۱۶-۸-۴ منابع مس در جهان ۱۶
- ۱۷-۸-۵ منابع مس در ایران ۱۷

فصل دوم: زمین‌شناسی، سنگ‌شناسی، کانه‌زایی و دگرسانی در محدوده‌ی

- ۱۹-۸-۵-۱ مس دیان ۱۹
- ۲۰-۸-۵-۲ زمین‌شناسی محدوده ۲۰
- ۲۰-۸-۵-۲-۱ زمین‌شناسی ناحیه‌ای ۲۰
- ۲۱-۸-۵-۲-۱-۱ چینه‌شناسی و تفکیک واحدهای سنگی ۲۱
- ۲۴-۸-۵-۲-۱-۲ زمین‌شناسی ساختمانی و تکتونیک منطقه ۲۴
- ۲۵-۸-۵-۲-۱-۲ زمین‌شناسی منطقه‌ای ۲۵
- ۲۷-۸-۵-۲-۱-۲ نقشه زمین‌شناسی و توپوگرافی در مقیاس ۱:۲۰۰۰۰۰ محدوده‌ی مس دیان.. ۲۷

- ۲۷ ۲-۲-۱-۲ تهیهی نقشه‌ی ۱:۱۰۰۰ محل نمونه‌برداری
- ۲۸ ۲-۲ سنگ‌شناسی محدوده کانسار دیان
- ۲۹ ۱-۲-۲ طبقه‌بندی سنگ‌های منطقه
- ۲۹ ۱-۱-۲-۲ آندزیت
- ۳۰ ۲-۱-۲-۲ بازالت
- ۳۰ ۳-۱-۲-۲ تراکی‌بازالت
- ۳۰ ۴-۱-۲-۲ تراکیت
- ۳۱ ۲-۲-۲ ساخت و بافت سنگ‌های منطقه
- ۳۲ ۳-۲-۲ مطالعه عملیات اکتشافی سینه‌کارها
- ۳۲ ۱-۳-۲-۲ سینه کار اکتشافی شماره ۱
- ۳۴ ۲-۳-۲-۲ سینه کار اکتشافی شماره ۲
- ۳۶ ۳-۳-۲-۲ سینه کار اکتشافی شماره ۳
- ۳۷ ۴-۲-۲ مطالعه مغزه‌های حفاری
- ۴۰ ۵-۲-۲ مطالعات میکروسکوپی
- ۴۰ ۱-۵-۲-۲ سولفیدها
- ۴۰ ۲-۵-۲-۲ کربنات‌ها
- ۴۲ ۶-۲-۲ دگرسانی
- ۴۲ ۱-۶-۲-۲ دگرسانی آرژبلیک

۴۳	دگرسانی پروپلیتیک ۲-۶-۲-۲
۴۳	دگرسانی سیلیسی ۳-۶-۲-۲
۴۴	پهنه‌بندی دگرسانی ۷-۲-۲
۴۷	فصل سوم: اکتشافات ژئوشیمیایی محدوده‌ی مس دیان
۴۸	۱-۳ مقدمه
۴۹	۲-۳ اکتشافات ژئوشیمیایی اولیه
۴۹	۱-۲-۳ نمونه‌برداری
۵۰	۲-۲-۳ محیط نمونه‌برداری
۵۱	۳-۲-۳ شبکه نمونه‌برداری
۵۲	۴-۲-۳ آماده‌سازی و تجزیه نمونه‌ها
۵۲	۳-۳ پردازش اولیه داده‌های ژئوشیمیایی
۵۲	۱-۳-۳ بررسی‌های آماری تک متغیره
۵۳	۲-۳-۳ پارامترهای آماری داده‌های خام
۵۴	۳-۳-۳ آزمون مقادیر خارج از ردیف
۵۶	۴-۳-۳ بررسی توزیع داده‌ها
۵۸	۵-۳-۳ تفسیر بررسی‌های آماری تک متغیره
۵۸	۴-۳-۳ نرمال‌سازی داده‌ها
۶۰	۵-۳-۳ بررسی‌های آماری دومتغیره

۶۱	۱-۵-۳ ضریب همبستگی عناصر
۶۳	۲-۵-۳ ترسیم نقشه‌های توزیع عیار برای چند عنصر دارای همبستگی
۶۵	۶-۳ بررسی‌های آماری چند متغیره
۶۵	۱-۶-۳ تجزیه و تحلیل خوشه‌ای
۶۷	۲-۶-۳ تحلیل مؤلفه اصلی (PCA)
۶۸	۱-۲-۶-۳ تعریف مؤلفه‌ها
۶۹	۲-۲-۶-۳ محاسبه اوزان
۶۹	۳-۲-۶-۳ مقادیر ویژه و بردارهای ویژه
۷۰	۴-۲-۶-۳ استخراج مؤلفه‌های اصلی
۷۴	۵-۲-۶-۳ ماتریس مؤلفه‌ها
۷۵	۶-۲-۶-۳ دوران فاکتورها
۷۸	۷-۲-۶-۳ محاسبه امتیازات فاکتوری
۸۲	۸-۲-۶-۳ تهیه‌ی نقشه امتیازدهی مؤلفه‌ها
۸۴	۳-۶-۳ جمع‌بندی
۸۷	فصل چهارم: کاربرد روش زونالیته در شناسایی آنومالی‌ها
۸۸	۱-۴ مقدمه
۸۹	۲-۴ اکتشافات ژئوشیمیایی با استفاده از روش زونالیته
۹۲	۳-۴ الگوهای توزیع منطقه‌ای عناصر محدوده مورد مطالعه

- ۹۳ منطقه بندی قائم عناصر در هاله‌ی ثانویه‌ی کانسار دیان ۱-۳-۴
- ۹۷ نحوه توزیع فلزات اطراف توده‌های کانساری ۲-۳-۴
- ۹۹ روش مطالعه توزیع منطقه‌ای عناصر در هاله‌های اولیه ۳-۳-۴
- ۱۰۰ برآورد مقدار زمینه و حد آستانه‌ای به روش آماری سالووف ۴-۳-۴
- ۱۰۶ آشکارسازی مناطق آنومال در مقیاس ناحیه‌ای ۵-۳-۴
- ۱۰۷ محاسبه شاخص زونالیته بر اساس نمونه‌های آنومال ۱-۵-۳-۴
- ۱۱۱ محاسبه عرض هاله ثانویه در طول پروفیل‌های نمونه‌برداری ۶-۳-۴
- ۱۱۷ محاسبه شاخص زونالیته داده‌های عمقی گمانه‌ی BH4 ۷-۳-۴
- ۱۱۸ تغییرات عمقی عناصر ۱-۷-۳-۴
- ۱۲۱ فصل پنجم: نتیجه‌گیری و پیشنهادات**
- ۱۲۲ ۱-۵ نتیجه‌گیری ۱-۵
- ۱۲۳ ۲-۵ پیشنهادات ۲-۵

فهرست اشکال.....صفحه

- شکل ۱-۱: موقعیت جغرافیایی و راه‌های دسترسی به منطقه مورد مطالعه (علامت ستاره نشان‌دهنده محل محدوده‌ی اکتشافی) ۳
- شکل ۱-۲: تصویر ماهواره‌ای از محدوده‌ی مس دیان ۴
- شکل ۱-۳: تصویری از پوشش گیاهی محدوده‌ی مورد مطالعه (دید به شمال) ۶
- شکل ۱-۴: ساختار پهنه کانی‌سازی مس سولفید با منشأ سوپرژن: (a) رگه‌های کانی‌سازی شده کلسیت-کالکوپیریت، (b) کانی‌سازی کولیت-کالکوزین، (c) مالاکیت-کوپریت، (d) مالاکیت-آزوریت. (هارالد، ۲۰۱۰) ۱۳
- شکل ۱-۵: نحوه‌ی تشکیل کانی‌های مس در اثر شویندگی و فرسایش سطحی (لویسنسون، ۱۹۸۰) ۱۴
- شکل ۱-۲: موقعیت منطقه بر روی نقشه‌ی پهنه‌های ساختاری ایران، منطقه‌ی دیان (علامت ستاره) (برگرفته از پایگاه داده‌های علوم زمین) ۱۹
- شکل ۲-۲: نقشه‌ی زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ منطقه‌ی دیان و تفکیک واحدهای سنگی، محدوده‌ی اکتشافی که به صورت چندضلعی با خطوط سیاه‌رنگ مشخص شده است (سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور) ۲۴
- شکل ۲-۳: موقعیت کانسار دیان (ستاره) در بین گسل‌های تروود و انجیلو در نقشه پهنه ساختاری ایران (شمعانیان، ۲۰۰۴) ۲۶
- شکل ۲-۴: نقشه تلفیقی زمین‌شناسی، ساختاری و توپوگرافی ۱:۲۰۰۰۰ محدوده مس دیان ۲۷
- شکل ۲-۵: نقشه‌ی زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰ محدوده با درج شبکه‌ی نمونه‌برداری ژئوشیمیایی (نقاط

- ۱، ۲ و ۳ محل سینه‌کارها را نشان می‌دهد)..... ۲۷
- شکل ۲-۶: نمونه‌ای از سنگ آندزیت حاوی کانی‌های اکسید و کربنات مس (مالاکیت و آزوریت). ۲۸
- شکل ۲-۷: نمونه‌ای از کانسنگ مس به همراه سیلیس و کلسیت ۳۱
- شکل ۲-۸: نحوه‌ی لایه‌بندی سنگی و دگرسانی‌ها در سینه کار اکتشافی ۱ (دید به شرق) ۳۳
- شکل ۲-۹: ترتیب لایه‌بندی در سینه کار ۱ (دیپان) ۳۴
- شکل ۲-۱۰: مقطع عمقی سینه کار اکتشافی ۱ (سینه کار دیپان) ۳۴
- شکل ۲-۱۱: سینه کار اکتشافی شماره ۲، ۱) کانی سازی به صورت پرکننده فضای خالی (دید به جنوب). ۲) کانی‌سازی رگه‌ای مس (دید به طرف شمال) ۳۵
- شکل ۲-۱۲: پرشدگی تشکیلات ولکانیک متخلخل با مالاکیت در سینه کار شماره ۳ ۳۶
- شکل ۲-۱۳: نحوه‌ی کانه‌زایی و دگرسانی شکل‌گرفته در سینه کار اکتشافی شماره ۳ ۳۷
- شکل ۲-۱۴: مغزه‌های حفاری مربوط به گمانه BH3 در سینه کار دیپان ۳۸
- شکل ۲-۱۵: مغزه‌های حفاری عمق ۱ تا ۱۴ متری گمانه‌ی BH4 سینه کار دیپان (۱) ۳۹
- شکل ۲-۱۶: مغزه‌های حفاری عمق ۱۵ تا ۳۱ متری BH4 سینه کار دیپان ۳۹
- شکل ۲-۱۷: ۱) کانی‌های کالکوسیت (cc) و کوولیت (cv) به صورت هم‌رشدی، ۲) کانی پیریت (py) به صورت دانه‌های ریز پراکنده که توسط کالکوسیت احاطه شده است ۴۰
- شکل ۲-۱۸: مالاکیت (Mal) در زمینه‌ای از کلسیت (Cal) به همراه فلدسپات (fel) ۴۱
- شکل ۲-۱۹: تصویر پراش پرتو x و شناسایی کانی‌های مس به همراه فلدسپار و همتایت ۴۱
- شکل ۲-۲۰: دگرسانی آرژیلیکی و پروپیلیتیک در افق کانه دار سینه کار ۱ ۴۳
- شکل ۲-۲۱: نمونه‌ای از دگرسانی‌های شکل‌گرفته در سینه کار دیپان ۴۴

- شکل ۲-۲۲: تصویر شماتیک از پهنه‌بندی دگرسانی شکل‌گرفته در محدوده کانسار مس دیان..... ۴۵
- شکل ۳-۱: نقشه شبکه نمونه‌برداری ژئوشیمی منطقه مورد مطالعه..... ۵۱
- شکل ۳-۲: حد آستانه‌ای مقادیر خارج از ردیف (g) به‌عنوان تابعی از تعداد نمونه (n) و سطح اعتماد (لوینسون، ۱۹۸۰)..... ۵۵
- شکل ۳-۳: نمودار هیستوگرام و باکس پلات داده‌های خام عنصر نقره..... ۵۷
- شکل ۳-۴: نمودار هیستوگرام، باکس پلات و چارک-چارک داده‌های خام عنصر مس..... ۵۷
- شکل ۳-۵: هیستوگرام تبدیل کاکس- باکس عنصر آنتیموان..... ۵۹
- شکل ۳-۶: هیستوگرام تبدیل لگاریتم سه پارامتری عنصر مس..... ۶۰
- شکل ۳-۷: نحوه توزیع پراکندگی عناصر کبالت، کروم، مس، سرب و روی نسبت به هم..... ۶۳
- شکل ۳-۸: نقشه‌ی توزیع عیار برخی از عناصر در محدوده‌ی نمونه‌برداری شده..... ۶۴
- شکل ۳-۹: نمودار دندوگرام مربوط به خوشه‌بندی عناصر..... ۶۷
- شکل ۳-۱۰: نمودار اسکری‌پلوت داده‌های استخراج‌شده..... ۷۳
- شکل ۳-۱۱: تصویر سه‌بعدی از فضای دوران یافته متغیرها..... ۷۷
- شکل ۳-۱۲: نمودار امتیازات فاکتور ۱ در محل برداشت نمونه‌ها..... ۷۹
- شکل ۳-۱۳: نمودار امتیازات فاکتوری مؤلفه‌ی دوم در محل‌های نمونه‌برداری شده..... ۷۹
- شکل ۳-۱۴: امتیازات فاکتور ۳ برای محل نمونه‌های برداشت‌شده..... ۸۰
- شکل ۳-۱۵: نمودار امتیازات فاکتوری مؤلفه‌ی ۴ محل‌های نمونه‌برداری..... ۸۰
- شکل ۳-۱۶: نمودار امتیازات فاکتوری مؤلفه‌ی ۵ در نقاط نمونه‌برداری شده..... ۸۰
- شکل ۳-۱۷: نمودار امتیازات فاکتوری مؤلفه‌ی ۶ در محل نقاط نمونه‌برداری شده..... ۸۱

- شکل ۳-۱۸: نمودار امتیازات فاکتوری مؤلفه‌ی ۷ در محل نقاط نمونه‌برداری شده ۸۱
- شکل ۳-۱۹: نمودار امتیازات فاکتوری مؤلفه‌ی ۸ در نقاط نمونه‌برداری شده ۸۱
- شکل ۳-۲۰: نمودار امتیازات فاکتوری مؤلفه‌ی ۹ برای نقاط نمونه‌برداری ۸۲
- شکل ۳-۲۱: نقشه‌ی امتیازدهی فاکتورها جهت تعیین نواحی آنومال ۸۳
- شکل ۳-۲۲: محدوده‌های حاوی کانیزاسی مس به ترتیب اولویت اکتشافی ۸۵
- شکل ۴-۱: مدل استاندارد زونالیت‌ه معادن مس و مولیبدن پورفیری (ضیایی، ۲۰۰۷) ۹۰
- شکل ۴-۲: مدل ضرایب زونالیت‌ه ژئوشیمیایی برای نهشته‌های مس پورفیری به‌صورت تیپیک در قزاقستان، بلغارستان، ارمنستان و ایران (ضیایی، ۱۹۹۶) ۹۲
- شکل ۴-۳: مقطع عرضی نمایش دهنده تغییرات شاخص ضریب نسبت به عمق در کانسار هارپنبرگ (گریگوریان، ۱۹۷۵) ۹۸
- شکل ۴-۴: تغییرات مقدار فلز در هاله‌های اولیه و ثانویه در ارتباط با تراز سطح فرسایش پهنه‌های کانه دار (لوینسون، ۱۹۸۰) ۹۹
- شکل ۴-۵: تابع چگالی داده‌های ژئوشیمیایی جامعه آنومالی A با میانگین μ_A و زمینه B با میانگین μ_B (چنگ، ۱۹۹۹) ۱۰۱
- شکل ۴-۶: زون بندی منطقه و موقعیت نقاط آنومال برای عناصر شاخص ۱۰۴
- شکل ۴-۷: نمودار عرض هاله در طول یک پروفیل در هاله‌های پراکندگی برجا ۱۱۳
- شکل ۴-۸: نمودار غلظت عنصر مس و مقادیر ضریب پراکندگی در طول پروفیل ۳ ۱۱۶
- شکل ۴-۹: نمودار تغییرات عمقی غلظت عناصر شاخص ۱۱۸
- شکل ۴-۱۰: تغییرات عمقی شاخص‌های زونالیت‌ه‌ی $\frac{Pb.Zn}{Cu.Mo}$ و $\frac{Pb.Zn}{Cu.Ag}$ ۱۲۰

شکل ۴-۱۱: نمودار لگاریتمی تغییرات عمقی شاخس‌های زونالیت‌ه ۱۲۰

فهرست جداول.....	صفحه.....
جدول ۱-۲: تجزیه نمونه‌هایی از رگه‌های مس در سینه کار اکتشافی ۱.....	۳۲.....
جدول ۱-۳: پارامترهای آماری داده‌های خام عناصر شاخص.....	۵۴.....
جدول ۲-۳: مقادیر خارج از ردیف عناصر و مقدار تصحیح شده.....	۵۶.....
جدول ۳-۳: همبستگی عناصر بر اساس ماتریس همبستگی پیرسیون.....	۶۱.....
جدول ۴-۳: فاکتورهای استخراج شده و درصد واریانس توجیه شده توسط هر کدام از آن‌ها.....	۷۲.....
جدول ۵-۳: مقادیر Commuality عناصر.....	۷۴.....
جدول ۶-۳: ماتریس دوران نیافته مؤلفه‌های انتخابی.....	۷۵.....
جدول ۷-۳: ماتریس دوران یافته مؤلفه‌های انتخابی.....	۷۶.....
جدول ۸-۳: ماتریس ضرایب فاکتوری محاسبه شده.....	۷۷.....
جدول ۹-۳: ماتریس کوواریانس بین مؤلفه‌ها.....	۷۷.....
جدول ۱-۴: مقادیر غلظت عناصر شاخص در سه افق تفکیک شده برای داده‌های عمقی گمانه	
اکتشافی ۴.....	۹۵.....
جدول ۲-۴: محاسبه شاخص منطقه بندی بر اساس قدرت تولید خطی نرمالایز.....	۹۶.....
جدول ۳-۴: محاسبه مقادیر زمینه C_p ، انحراف معیار ε و حد آستانه‌های C_A برای عناصر شاخص	
مورد استفاده در روش زونالیته (غلظت‌ها بر حسب ppm).....	۱۰۳.....
جدول ۴-۴: مقادیر میانگین نمونه‌های آنومال برای عناصر فوق کانساری (غلظت‌ها بر حسب ppm)	
.....	۱۰۵.....
جدول ۵-۴: مقادیر میانگین نمونه‌های آنومال نواحی پنجگانه برای عناصر تحت کانساری (مقادیر	

- ۱۰۵..... (بر حسب ppm)
- جدول ۴-۶: محاسبه ضرایب زونالیتة برای نواحی پنج‌گانه (مقادیر بر حسب ppm)..... ۱۰۵
- جدول ۴-۷: محاسبه ضرایب شاخص زونالیتة با اعمال ضریب کانی‌سازی ۱۰۶
- جدول ۴-۸: مشخصات آماری داده‌ها در محدوده پهنه‌های آنومال ۱، ۲ و ۳ (مقادیر بر حسب ppm)..... ۱۰۸
- جدول ۴-۹: میزان حد زمينه و آنومالی عناصر فوق و تحت کانساری در پهنه‌های آنومال ۱، ۲ و ۳ ۱۰۸
- جدول ۴-۱۰: مقادیر تولید سطحی عناصر سرب، روی، مس و مولیبدن (بر حسب مترمربع درصد) و شاخص زونالیتة (K_p) در پهنه‌های آنومال ۱، ۲ و ۳ ۱۰۹
- جدول ۴-۱۱: محاسبه پارامترهای ژئوشیمیایی پهنه‌های آنومال بر اساس نسبت تشابه با مدل استاندارد..... ۱۱۱
- جدول ۴-۱۲: غلظت عنصر مس در نمونه‌های گرفته‌شده از پروفیل ۳..... ۱۱۵
- جدول ۴-۱۳: تعیین عرض هاله ثانویه بر اساس روابط تجربی ۱۱۶
- جدول ۴-۱۴: نتایج آنالیز داده‌های عمقی گمانه اکتشافی شماره ۴، غلظت بر حسب (ppm) و عمق بر حسب (متر) ۱۱۷
- جدول ۴-۱۵: مقادیر عمقی ضرایب شاخص زونالیتة بر روی گمانه‌ی اکتشافی..... ۱۱۹

فصل اول:

کلیات

ژئوشیمی، به معنای وسیع آن، علم شیمی کره‌ی زمین است و همانند سایر علوم حاوی زیرشاخه‌هایی همچون ژئوشیمی نظری، ژئوشیمی کاربردی، ژئوشیمی اکتشافی، ژئوشیمی ایزوتوپ‌های پایدار، ژئوشیمی آلی و غیره است. ژئوشیمی نظری، مبنا و مادر ژئوشیمی کاربردی است و ژئوشیمی اکتشافی بخشی از ژئوشیمی کاربردی به حساب می‌آید. نظام توزیع عناصر شیمیایی در سنگ‌های پوسته زمین و عوامل مهم مؤثر در مهاجرت و تمرکز عناصر در طی فرایندهای طبیعی، مبنای تئوریک تکنیک‌هایی را تشکیل می‌دهد که در اکتشافات ژئوشیمیایی بکار رفته است. هم‌اکنون این روش‌ها، وسیله‌ای بسیار سودمند و مؤثر هستند که عملاً در همه مراحل جستجو برای اکتشاف ذخایر معدنی بکار گرفته می‌شوند. با وجود این روش‌ها، نه تنها می‌توان در برون زدها به دنبال ذخایر معدنی گشت، بلکه می‌توان به اکتشاف مستقیم کانسارهایی دست یافت که هنوز نمایان نگشته و یا به وسیله انواع گوناگون مواد پوشیده شده‌اند (حسنی پاک، ۱۳۸۱). به کارگیری علم ژئوشیمی اکتشافی در یافتن نهشته‌های جدید فلزی، غیرفلزی، ذخایر نفت خام و گاز طبیعی است. در تمام این موارد هدف مشترک یافتن تمرکزهایی از یک یا چند عنصر یا ترکیبات آن‌ها با غلظتی بالاتر از حد زمینه^۱ است، به طوری که بتوان آن را تمرکز غیرعادی عناصر یا آنومالی تلقی کرد. در این صورت می‌توان امیدوار بود که این آنومالی با کانی‌سازی در ارتباط باشد. کاربرد روش‌های ژئوشیمیایی در اکتشافات زمین‌شناختی در مقیاس بزرگ، به پیشرفت علمی و تکنولوژیکی زمین‌شناسی می‌انجامد تا از این طریق اکتشاف زمین‌شناختی را سرعت بخشیده و هزینه‌های آن را کاهش داد. حداکثر کارایی روش‌های ژئوشیمیایی زمانی حاصل می‌شود که ترتیب انجام مراحل اکتشافی رعایت گردد. اولین مرحله در اکتشافات ژئوشیمیایی، توجه به مطالعات زمین‌شناسی و شناخت ویژگی‌های ساختاری، ماگماتیسم، کانی‌شناسی، لیتولوژی، محیط تکتونیکی، دگرسانی و ارتباط آن با کانی‌سازی و دیگر عوامل زمین-

^۱. Background value

شناختی محدوده‌ی مورد اکتشاف است (گریگوریان، ۱۹۷۵). هم‌زمان با این بررسی‌ها، بدست آوردن اطلاعات ژئوشیمیایی به منظور حل بسیاری از مسائل مرتبط با عوامل زمین‌شناختی ذکر شده اعمال می‌گردد.

۲-۱ موقعیت جغرافیایی و راه‌های دسترسی به محدوده مس دیان

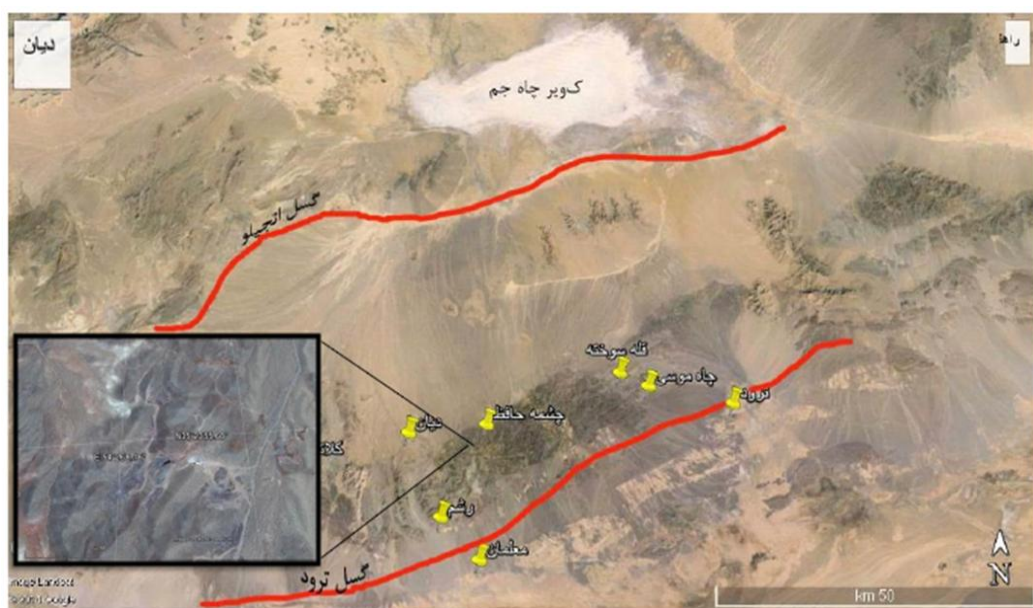
محدوده‌ی مس دیان با مساحت تقریبی ۴۰ کیلومترمربع، در بخش شمالی پهنه ایران مرکزی (شکل ۱-۱) و در فاصله ۱۰۰ کیلومتری جنوب غرب شهرستان دامغان به طول جغرافیایی ۵۴ درجه و ۲۶ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۲۵ دقیقه شمالی، واقع شده است. روستاهای نزدیک به محدوده اکتشافی، کوه‌زر، شیمی، رشم و معلمان می‌باشند که همگی در حدفاصل ۲۰ کیلومتری محدوده قرار دارند. کلیه روستاهای ذکر شده دارای شبکه برق سراسری، آب آشامیدنی بهداشتی، راه ارتباطی مناسب و دفتر مخابراتی روستایی می‌باشند. اصلی‌ترین راه دسترسی به محدوده جاده معلمان دامغان می‌باشد که این کانسار در حد فاصل ۲ کیلومتری آن قرار گرفته است.



شکل ۱-۱: موقعیت جغرافیایی و راه‌های دسترسی به منطقه مورد مطالعه (علامت ستاره نشان‌دهنده‌ی محل

محدوده‌ی اکتشافی)

از دیگر راه‌های ارتباطی به محدوده که اخیراً توسط سازمان صنعت، معدن و تجارت استان سمنان احداث شده است، جاده منشعب شده از ۲۵ کیلومتری محور معلمان به دامغان است که جهت دسترسی معادن به شهرستان سمنان احداث شده است و به جاده نظامی پایگاه هوایی منتهی می‌شود. از زیرساخت‌های مهم موجود در منطقه می‌توان به جاده اصلی دامغان- معلمان اشاره کرد. منطقه دارای توپوگرافی نسبتاً هموار و مناطق مجاور آن از توپوگرافی نسبتاً ناهمواری برخوردار است شکل (۱-۲). به‌طور کلی این منطقه به دلیل موقعیت خاص جغرافیایی و اقلیمی و محدودیت‌های زیاد از جهت فقدان آب کافی و واقع شدن منطقه در حاشیه کویر و عدم بارش برف و باران به میزان کافی، از موقعیت چندان مطلوبی از نظر کشاورزی برخوردار نیست.



شکل ۱-۲: تصویر ماهواره‌ای از محدوده‌ی مس دیان

۳-۱ شرایط آب‌وهوایی و پوشش گیاهی منطقه مورد مطالعه

۳-۱-۱ شرایط آب و هوایی

به‌طور کلی استان سمنان دارای دو نوع آب‌وهوای نیمه‌صحرائی و آب‌وهوای صحرائی گرم و خشک

است. محدوده مورد مطالعه در بخش آبوهوای خشک و صحرایی ملایم، واقع شده است. فصل بارش عمدتاً در اواخر پاییز، زمستان و اوایل بهار است. تابستان‌ها، هوا گرم و خشک و زمستان‌ها نسبتاً سرد است. همچنین، میزان بارندگی در منطقه مورد مطالعه کم است. دمای هوا در تابستان، گاهی تا ۴۰ درجه سلسیوس بالای صفر است و در زمستان به منفی ۲۰ درجه کاهش می‌یابد. اختلاف دمای شب و روز نیز در این مناطق قابل توجه است. این تفاوت دما، عامل مهمی در هوازدگی فیزیکی سنگ‌های منطقه است. افزایش ارتفاع به سمت شمال و نفوذ ابرهای شمالی دریای خزر در بعضی از نقاط کوهستانی و تأثیرپذیری از آبوهوای مدیترانه‌ای، فاکتورهای مثبتی هستند که این مناطق را از نظر شرایط اقلیمی در وضعیت بهتری نسبت به سمنان قرار می‌دهند. رژیم حرارتی ناحیه سمنان در تیرماه به حداکثر خود می‌رسد و در بهمن‌ماه حداقل متوسط دمای ماهانه قرائت می‌شود.

۱-۳-۲ پوشش گیاهی محدوده مورد مطالعه

پوشش گیاهی در منطقه به گونه‌ای است که قسمت‌های مرتفع، حاوی گیاهان باریشه کوتاه است و در قسمت‌های پست گیاهانی که ریشه عمیق دارند فراوان‌ترند. درختچه‌هایی نظیر بادام‌کوهی، بنه و اسپند در این منطقه به چشم می‌خورد. گیاهان همراه این گونه‌ها معمولاً خیلی محدود بوده و بیشتر شامل خارپشته، کاروان‌کش، اسپند، تاغ و اشنان می‌باشند. در این منطقه به لحاظ آب‌وهوا تغییرات چندانی در پوشش گیاهی مشاهده نمی‌شود (کشاورز، ۱۳۹۱).



شکل ۳-۱: تصویری از پوشش گیاهی محدوده‌ی مورد مطالعه (دید به شمال)

۴-۱ ضرورت و هدف از انجام پایان‌نامه

شکی نیست که در آینده نهشته‌های کانساری با عیار کم، اقتصادی می‌گردند که تعیین مکان واقعی این نهشته‌های کم‌عیار فوق‌العاده مشکل است. به‌ویژه اگر این نهشته‌ها با خاک، ذرات آواری یخچالی، مواد آبرفتی و غیره پوشیده شده باشند و درست در چنین مواردی است که استفاده از ژئوشیمی اکتشافی مفید خواهد بود. در واقع اکتشافات ژئوشیمیایی بیشتر برای کشف نهشته‌های کم‌عیار مناسب است. به‌ویژه برای اکتشاف نهشته‌هایی همچون کانسارهای پنهان که تعیین محل و موقعیت آن‌ها مشکل است و یا نهشته‌هایی که شناخت ماکروسکوپی آن‌ها غیرممکن است (همچون برخی نهشته‌های مس پورفیری). در پی جویی ذخایر معدنی مس از روش‌ها و تئوری‌های زمین‌شناسی و ژئوشیمیایی متعددی استفاده می‌شود. با توجه به اهمیت ذخایر مس و نیاز روزافزون به این ماده

معدنی، روش‌های ژئوشیمیایی یکی از راه‌کارهای مناسب جهت اکتشاف این کانسارها می‌باشند. هدف اصلی در این پایان‌نامه، استفاده از روش زونالیت^۱ ژئوشیمیایی در جهت شناسایی مناطق مستعد کانی‌سازی، شناسایی هاله‌های عمقی، بررسی وجود توده معدنی در عمق و مقایسه آن با برخی از روش‌های دیگر همچون آنالیز چند متغیره^۲ ژئوشیمیایی است.

۵-۱ روش تحقیق

در این تحقیق نخست با توجه به نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ منطقه، زمین‌شناسی ناحیه‌ای و منطقه‌ای و تفکیک واحدهای سنگی محدوده موردنظر مطالعه می‌گردد. در مرحله دوم، سنگ‌شناسی و کانه‌زایی منطقه بر اساس نقشه‌های زمین‌شناسی و مطالعات صحرایی بررسی می‌شود. در این مرحله سینه‌کارهای اکتشافی تشریح و پهنه‌بندی دگرسانی‌ها مشخص می‌گردد. در مرحله سوم اکتشافات ژئوشیمیایی محدوده مورد مطالعه با توجه به روش‌های آماری چند متغیره و روش سنتی زونالیت ژئوشیمیایی و سایر روش‌های کمکی مناطق آنومال و محدوده‌های امیدبخش اکتشافی تعیین می‌گردند. در نهایت با بهره‌گیری از ضرایب شاخص زونالیت برای عناصر شاخص در منطقه، امکان وجود کانی‌سازی پنهان در عمق بررسی می‌گردد.

۶-۱ ساختار پایان‌نامه

فصل دوم این پایان‌نامه به بررسی زمین‌شناسی ناحیه‌ای و منطقه‌ای محدوده موردنظر می‌پردازد. در این فصل، ساختارهای زمین‌شناسی و واحدهای سنگی تفکیک و بررسی می‌گردد. سپس سنگ‌شناسی و کانه‌زایی بررسی می‌گردد. انواع سنگ‌ها و کانی‌های سازنده قسمت‌های مختلف محدوده، با توجه به

^۱.Zonality

^۲.Multivariate Analysis

مطالعات صحرایی و نمونه‌های دستی برای بخش سنگ‌شناسی و مطالعه مقاطع نازک برای بخش کانه زایی مورد بررسی قرار می‌گیرد. در فصل سوم، اکتشافات ژئوشیمیایی منطقه با روش‌های آماری یک، دو و چندمتغیره بررسی می‌گردد. این مرحله بر اساس نمونه‌برداری‌های لیتوژئوشیمیایی و آنالیز چند عنصری نمونه‌ها و سپس بررسی‌های آماری عناصر تجزیه‌شده صورت می‌پذیرد. در این فصل در آمار یک متغیره مقادیر تابع توزیع عناصر محاسبه‌شده و عناصر از نظر نرمال و لاگ‌نرمال بودن و روش‌های نرمال‌سازی بررسی می‌گردند. در آمار دومتغیره، همبستگی عناصر به روش پیرسیون بررسی شده و نقشه توزیع عیار برخی از عناصر شاخص و دارای همبستگی بالا ترسیم می‌گردد. بررسی‌های آماری چند متغیره با روش‌های تحلیل مؤلفه اصلی و ترسیم نقشه‌های امتیازات هر کدام از فاکتورهای محاسبه‌شده، آنالیز خوشه‌ای و مقایسه آن با روش تحلیل مؤلفه اصلی انجام می‌گیرد. در فصل چهارم روش سنتی زونالینه ژئوشیمیایی در تعیین مناطق مستعد کانه زایی بررسی شده، کانی‌سازی پنهان مورد بررسی قرار می‌گیرد و این روش با روش‌های قبلی ذکر شده مقایسه می‌گردد. در فصل پنجم، نتیجه بررسی‌های انجام‌گرفته بیان می‌گردد و پیشنهادهای لازم در جهت اکتشاف مناطق آنومال ارائه می‌گردد.

۷-۱ مروری بر مطالعات انجام‌شده

ژئوشیمی اکتشافی آن‌چنان که امروزه آن را می‌شناسیم، طی سال‌های ۱۹۳۰ از اتحاد جماهیر شوروی پای گرفته است. در اواخر دهه‌ی ۱۹۴۰ و اوایل دهه‌ی ۱۹۵۰ تلاش‌های مقدماتی در استفاده از ژئوشیمی اکتشافی، در کشورهای غربی بر اساس تکنیک‌هایی بود که برای اولین بار در شوروی گسترش یافت. اولین برنامه اکتشافی در مقیاس بزرگ در سال ۱۹۳۲ به وسیله‌ی زمین‌شناسان اتحاد جماهیر شوروی انجام گرفت. آن‌ها روش تجزیه اسپکتروگراف تابشی و روش نمونه‌برداری ژئوشیمیایی را برای بررسی خاک‌ها عرضه و توسعه بخشیدند. در اواخر دهه ۱۹۳۰ تحقیقاتی در مورد کاربرد

گیاهان برای مقاصد اکتشافی در اتحاد جماهیر شوروی، سوئد و فنلاند شروع شد. در همان زمان در نروژ کارهای کلاسیک گلدشمیت^۱ در مورد توزیع عناصر توجه زیادی را به خود جلب نمود. در خلال این کارها، ضمن تعیین فراوانی عناصر در بسیاری از سنگ‌های مختلف، قوانین حاکم بر توزیع و پراکندگی آن‌ها نیز اراده شد و بلافاصله این قوانین در کارهای اکتشافی مورد استفاده قرار گرفت (گریگوریان^۲، ۱۹۷۵). در سال ۱۹۷۵ مطالعات بیوشیمیایی وارن و همکارانش^۳ در کانادا موجب کشف آنومالی‌هایی از عناصر مس و روی در روی یک نهشته کانسار فلزی که از قبل شناخته شده بود گردید و به دنبال آن مطالعاتی در مورد خاک‌ها، آب‌ها و رسوبات رودخانه‌ای نیز برای به دست آوردن ارتباط بین آنومالی احتمالی و نهشته‌های کانساری انجام گرفت (وارن، ۱۹۷۵). در کشور ما، ژئوشیمی اکتشافی از اواسط دهه ۱۳۴۰ به‌عنوان روشی برای کشف توده‌های کانساری فلزی و غیرفلزی پیدایش و توسعه یافت. مطالعات صورت گرفته بر روی منطقه مورد مطالعه و مناطق اطراف آن در بردارنده مطالعات زمین‌شناسی، ژئوفیزیکی و ژئوشیمیایی به‌قرار زیر است.

- تهیه نقشه زمین‌شناسی چهارگوش تروود-چاه‌شیرین با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰ (هوشمندزاده و همکاران). در این مطالعات سنگ‌های آذرین منطقه از نوع حد واسط و آندزیتی معرفی گردید (هوشمندزاده، ۱۳۵۷).
- مطالعه زمین‌شناسی منطقه در جهت پی‌جویی طلا (دیچل^۴، ۱۹۴۰). این محقق با مطالعاتی که بر روی منطقه باغو انجام داد، منشأ آن را رگه‌های سیلیسی منطقه و مرتبط با گرانیتهای شرق روستای باغو دانست.
- اشتوکلین^۵ (۱۹۵۶) و هوبر (۱۹۵۷)، مشخصات زمین‌شناسی و توالی لیتولوژیکی و سنی واحدهای مختلف تروود-معلمان را معرفی کردند که توسط علوی (۱۹۷۰) مورد تجدیدنظر

^۱.Goldschmidt

^۲.Grigorian

^۳.Warren et al

^۴.Dichel

^۵.shtoklin

واقع شد (علوی، ۱۳۶۹).

- پور حسینی (۱۳۶۲)، ولی زاده و جعفریان (۱۳۶۸)، سنگ‌شناسی منطقه را مورد مطالعه قرار داده و حجم اصلی سنگ‌های آتش‌فشانی منطقه را آندزیت با ماهیت کالک‌آلکالن و جایگاه تکتونیکی آن‌ها را کمان آتش‌فشانی قاره‌ای دانسته‌اند.
- کهنسال (۱۳۷۷)، در رساله کارشناسی ارشد خود، پترولوژی سنگ‌های آتش‌فشانی منطقه را به صورت گدازه‌هایی با ترکیب آندزیت، بازالت، داسیت-آندزیت و تراکی آندزیت به همراه سنگ‌های آذرآواری معرفی کرد.
- قربانی (۱۳۸۴)، در رساله دکتری خود، بر اساس شواهد ژئوشیمیایی و بررسی تغییرات الگوی فراوانی عناصر ناسازگار، منشأ سنگ‌های منطقه را گوشته‌ای ناشی از کشش لیتوسفری در جایگاه غیر کوه‌زایی دانست.
- امام جمعه (۱۳۸۵)، در رساله‌ی دکتری، محیط تکتونیکی کانسار مس چاه‌موسی را، کمربند آتش‌فشانی زون فرورانش قاره‌ای و معادل با گرانیت‌های تیپ I دانست.
- محسن خادمی (۱۳۸۷)، شاخص‌های ریخت زمین‌ساختی پیرامون گسل ترود را مورد ارزیابی قرار دادند که مطالعات، پیشرفت دگرریختی را به سمت باختر نشان می‌دهد.
- ناهیدی‌فر (۱۳۹۳)، در قالب پایان‌نامه ارشد خود، کانی‌شناسی، ژئوشیمی و ژنز کانسار مس دیان را مورد مطالعه قرار دادند و ژنز کانسار را در زمره‌ی کانسارهای اپی‌ترمال رگه‌ای دانست.

۸-۱ کلیاتی در مورد مس

شواهد باستان‌شناسی نشان می‌دهد که مس یکی از نخستین فلزاتی است که توسط انسان مورد استفاده قرار می‌گرفته است. قدمت مصنوعات مسی کشف‌شده به سال ۸۷۰۰ قبل از میلاد

برمی‌گردد. در دوران ماقبل تاریخ، بشر متوجه شد که چگونه مس را استخراج کند. در هزاره سوم و چهارم قبل از میلاد نیز کارگران از منطقه هولوا^۱ در اسپانیا مس استخراج می‌کردند. یونانیان در دوران ارسطو با چگونگی ساخت آلیاژ برنج به‌عنوان یکی از آلیاژهای ارزشمند مس آشنا شدند. این فلز را یونانیان با توجه به اینکه مقدار زیادی از آن در قبرس استخراج می‌شد به‌عنوان کالکوس^۲ می‌شناختند. بعدها این کلمه به فرم ساده‌تر (Cuprum) درآمد و در نهایت انگلیسی شده و به لغت (Copper) تبدیل شد (بانک اطلاعات مواد معدنی ایران).

۱-۸-۱ ویژگی‌های کلی مس

عنصر مس با نشان اختصاری (Cu)، بیست و چهارمین عنصر فراوان با درصد فراوانی ۰.۰۱٪ در پوسته زمین است. این عنصر دارای عدد اتمی ۲۹، جرم اتمی ۶۳/۵۴۶، وزن مخصوص $\frac{gr}{cm^3}$ ۹۶، نقطه ذوب $1084^{\circ}C$ و نقطه جوش $2567^{\circ}C$ است. این عنصر به علت ویژگی‌هایی چون هدایت الکتریکی و حرارتی بالا، شکل‌پذیری، چکش‌خوار بودن، مقاومت در برابر خوردگی، رسانایی و قابلیت انعطاف پس از آهن و آلومینیم سومین فلز پرمصرف در صنعت امروزی است. مس به‌عنوان یک ماده غذایی نیز نقش حیاتی در حفظ سلامت افراد دارد. تولید و استفاده از مس در توسعه جامعه ضروری بوده و تضمین توسعه پایدار جامعه است (زیسکی^۳، ۱۹۷۲).

۱-۸-۲ کانی‌های مس

تاکنون بیش از ۲۰۰ نوع کانی مس در طبیعت یافت شده است. از مهم‌ترین این کانی‌ها که دارای

^۱.Huelva

^۲.Chalkos

^۳.wodzicki

اهمیت تجاری و صنعتی می‌باشند می‌توان به کالکوپیریت^۱ ($CuFeS_2$)، بورنیت^۲ ($CuFeS_4$)، کالکوزین^۳ (Cu_2S)، کوولیت^۴ (CuS)، ملاکیت^۵ ($CuCO_3(OH)_2$)، آتاکامیت^۶ ($Cu_2Cl(OH)_3$) و آزوریت^۷ ($Cu_3(CO_3)_2(OH)_2$)، اشاره کرد. مس به سه صورت مس خالص، مس اکسیدی و مس سولفیدی در طبیعت یافت می‌شود. مس یک عنصر کالکوفیل تیپیک است و از این رو، بیشتر تشکیل کانی‌های سولفیدی همچون، کالکوپیریت، بورنیت و کالکوسیت را می‌دهد (های^۸، ۱۹۶۷).

۱-۲-۸-۱ کانی‌های اکسیدی مس

این کانی‌ها بیشتر در قشری از زمین که نزدیک به سطح است یافت می‌شوند و در اثر تغییرات جوی و واکنش‌های آرام شیمیایی که در رگه‌های سولفیدی کانه‌دار مس صورت می‌گیرد، به وجود می‌آیند. از طرف دیگر، آب‌های طبیعی که حاوی CO_2 می‌باشند، بر روی کانی‌های سولفیدی اثر کرده و به تدریج آن‌ها را به کربنات، اکسید، سولفات و گاهی اوقات آن‌ها را به سیلیکات مس تبدیل می‌کنند (شکل ۱-۱). از مهم‌ترین کانی‌های پهنه‌ی اکسیدان می‌توان آزوریت، ملاکیت، کریزوکولا و تنوریت را نام برد (های، ۱۹۶۷).

۲-۲-۸-۱ کانی‌های سولفیدی مس

قسمت اعظم سنگ‌های معدنی مس را این نوع کانی‌ها تشکیل می‌دهند. عوامل درونی، فشار و دما، سبب اصلی پیدایش این نوع کانی‌ها است. از جمله این کانی‌ها، کالکوپیریت، بورنیت، کوولیت، تترائدریت و انارژیت می‌باشند (کاکس^۹، ۱۹۸۹).

^۱.Chalcopyrite

^۲.Bornite

^۳.Chalcocite

^۴.Covellite

^۵.Malachite

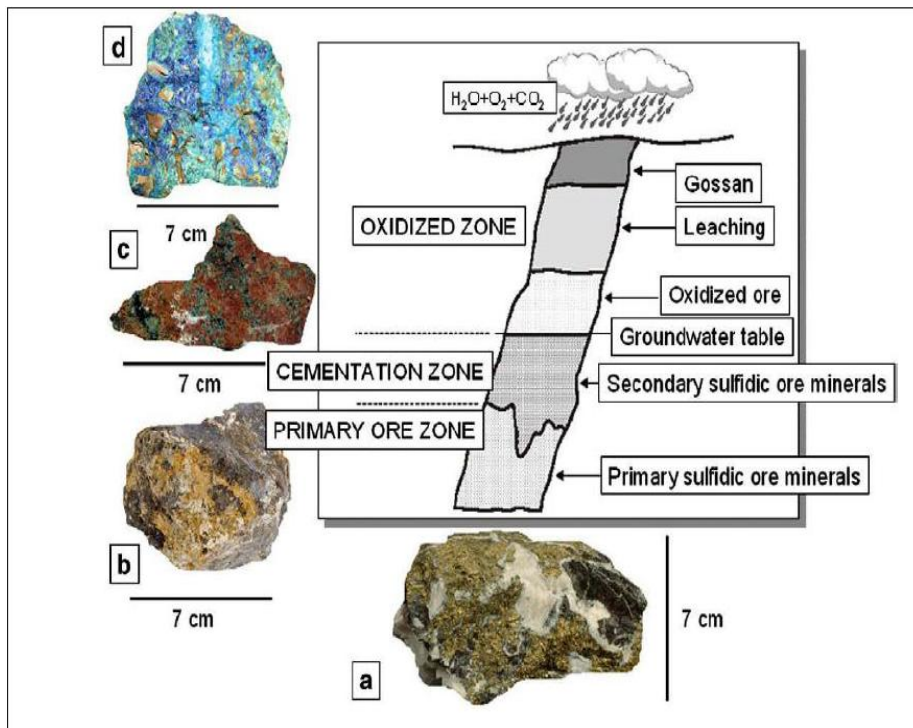
^۶.Atacamite

^۷.Azurite

^۸.Hay

^۹.Cox

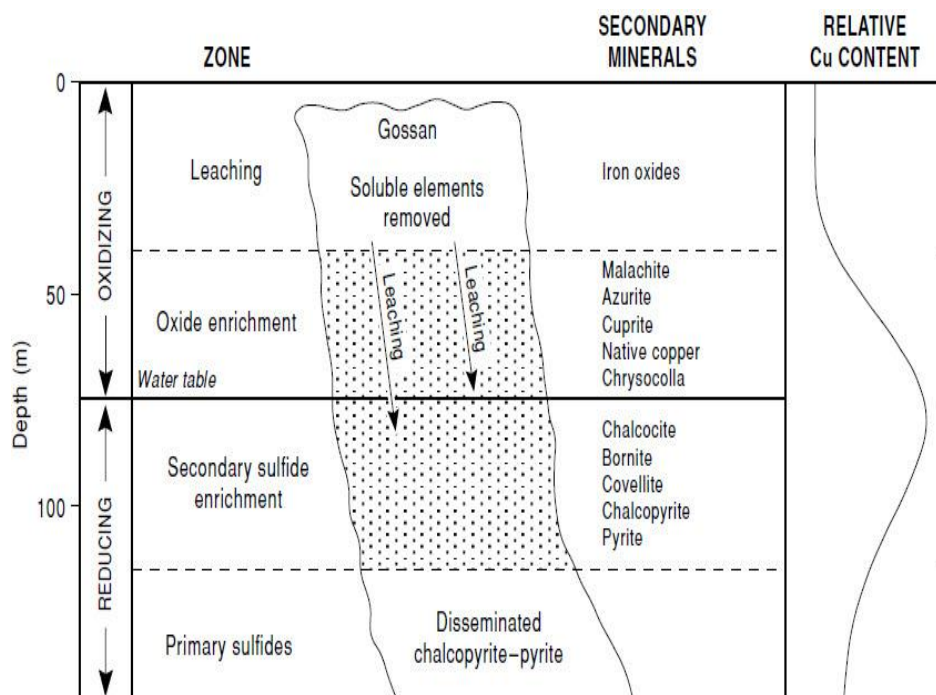
مس طبیعی در حالت آزاد به صورت توده‌های بزرگ و یا به شکل ذرات پراکنده در قشر زمین به وجود می‌آید. این نوع مس در طبیعت فراوان نیست و در بعضی از مناطق دنیا مانند نواحی دریاچه‌ی سوپریور، در ایالات متحده آمریکا، در کشورهای بولیوی، چین و شیلی مشاهده شده است.



شکل ۱-۴: ساختار پهنه کانی‌سازی مس سولفید با منشأ سوپرژن: (a) رگه‌های کانی‌سازی شده کلسیت-کالکوپیریت، (b) کانی‌سازی کولیت-کالکوزین، (c) مالاکیت-کوپریت، (d) مالاکیت-آزوریت. (هارالد^۱، ۲۰۱۰)

کانی‌های مس همچنین به صورت کانی‌های موجود در پهنه هیپوژن (کالکوپیریت، بورتونیت، بورتونیت، انارژیت)، پهنه سوپرژن (کالکوسیت، کولیت و بورتونیت) و کانی‌های پهنه اکسیدی (مالاکیت، آزوریت، کوپریت، تنوریت، مس طبیعی) تقسیم‌بندی می‌شوند (شکل ۱-۶). قابل ذکر است که برخی از کانی‌ها مثل کالکوسیت و بورتونیت، می‌توانند متعلق به پهنه‌های هیپوژن و سوپرژن باشند.

^۱.Harald



شکل ۱-۵: نحوه‌ی تشکیل کانی‌های مس در اثر شویندگی و فرسایش سطحی (لوینسون^۱، ۱۹۸۰)

۳-۸-۱ انواع ذخایر مس

به‌طور کلی ذخایر مس در شش دسته گروه‌بندی می‌شوند که شامل ذخایر مس پورفیری، ذخایر رسوبی استراتی‌باند، ذخایر ماسیوسولفید و لکانوژنیک، ذخایر گابروئیدی، مس طبیعی، هیدروترمال رگه‌ای و جایگزینی می‌باشند (بوون^۲، ۱۹۶۹). از میان این شش گروه، سه گروه پورفیری، استراتی‌باند و ماسیوسولفید، حدود ۸۰٪ مس تولیدی جهان را در برمی‌گیرند.

۱-۳-۸-۱ مس پورفیری

این ذخایر، کانسارهای به شکل استوک‌ورک تا افشان و در ارتباط با استوک‌ها و دایک‌ها و دارای ترکیب دیوریتی تا گرانودیوریت با عمق تشکیل ۱/۵ تا ۴ کیلومتر با بافت غالب پورفیری و عیار پایین

^۱. Lovinson

^۲. Bowen

مس هستند که حاوی مقادیر کم اما قابل بازیافت عناصر مولیبدن، طلا و نقره نیز باشند. این ذخایر معمولاً، کانسارهای مس-مولیبدن یا مس-طلا هستند. بیشتر این کانسارها دارای ۰/۴ تا ۱٪ مس و تناژی تا یک میلیارد تن می‌باشند (بوون، ۱۹۶۹).

۲-۳-۸-۱ مس رسوبی استراتی باند

محیط تشکیل این ذخایر، بستر ماسه‌سنگ‌ها و یا شیل‌های اشباع‌شده از سولفید است. عیار این نهشته‌ها ۰/۷ تا ۱۰٪ مس و تناژ یک میلیارد تن هستند. این ذخایر حاوی مقادیر قابل بازیافت کبالت و نقره می‌باشند و تولیدکننده‌های اصلی سرب و روی و گاه فلوریت و باریت هستند (بوون، ۱۹۶۹).

۳-۳-۸-۱ مس ماسیوسولفید ولکانوژنیک

این نهشته‌ها بیشتر در محیط‌های دریایی یا دلتایی غیر آتشفشانی یافت می‌شوند. این ذخایر، از نظر زمانی و مکانی پراکندگی گسترده از پروتروزوئیک تا ترشیری دارند و تناژ آن‌ها از چند صد میلیون تن تا مقادیر نیمه اقتصادی متغیر است. به‌طور کلی از نظر شکل، عدسی مانند تا چینه‌سان بوده و درازای این ذخایر چند برابر (حدود ۱۰ برابر) پهناي آن‌ها است. عیار در این ذخایر از ۱ تا ۵٪ مس، متغیر است (بوون، ۱۹۶۹).

۴-۳-۸-۱ مس گابروئیدی

در این ذخایر، سولفید به‌صورت توده و به شکل لایه و یا عدسی در درون سنگ‌های گابروئیدی قرار دارد. این ذخایر حاوی Ni و Co و دارای عیار ۰/۲ تا ۵٪ مس هستند (های^۱، ۱۹۶۶)

۵-۳-۸-۱ مس گرمابی

این کانسارها دارای دو منشأ پلوتونیک و آتشفشانی هستند. مس گرمابی به‌طور عمده مربوط به مراحل نهایی کوه‌زایی و یا فعالیت دوباره پلاتفرم‌های قدیمی است (های، ۱۹۶۶).

^۱.Hey

۱-۸-۳-۶ مس هیدروترمال رگه‌ای

این نوع ذخیره در درون شکستگی‌های با میزان کوارتز بالا و شامل کالکوپیریت و دیگر سولفیدهای مس و سولفوسالات‌هاست. این نهشته‌ها می‌توانند جایگزین لایه‌هایی از سنگ‌های رسوبی شوند. مس در این شکستگی‌ها معمولاً همراه عناصری چون (Au, Ag, Pb, Zn) است. علاوه بر موارد ذکر شده، مس به صورت کانسار، در محیط‌های کربناته، اسکارن و گرمابی نیز تشکیل کانسار می‌دهد (های، ۱۹۶۶).

۱-۸-۳-۷ کانسارهای اسکارن مس‌دار

عبور توده نفوذی ماگمایی به درون مجموعه‌ای از سنگ‌های رسوبی کربناته همچون، آهک و دولومیت، این کانسارها را تشکیل می‌دهد. این کانسارها تشکیل کانی‌های کالک‌سیلیکات و کانی‌های سولفیدی و اکسیدی را می‌دهند. در کانسارهای اسکارن، کانه‌های مس و آهن و کانه‌های کالک-سیلیکات در کنار هم و به صورت مخلوط می‌باشند.

۱-۸-۴ منابع مس در جهان

به‌طور کلی، ذخایر مس در سطح زمین در حدود ۱/۶ میلیارد تن و منابع موجود در ندول‌های کف دریا در حدود ۰/۷ میلیارد تن برآورد شده است. بر طبق گزارش هیئت‌مدیره شرکت ملی مس و سازمان‌های زیربط بین‌المللی و همچنین کوپر اینوستینگ نیوز (اخبار مرتبط مس)، بیش از نیمی از ذخایر مس دنیا در منطقه آمریکای جنوبی قرار دارد. با توجه به آمارهای منتشره، کشور شیلی ۳۶٪ از بازار تولید جهانی مس را در اختیار دارد که سالانه بیش از ۵ میلیون تن مس در جهان تولید می‌کند. کشورهای چین با تولید ۱/۵ میلیون تن، پرو ۱/۲ میلیون تن، آمریکا ۱/۱ و استرالیا با تولیدی معادل ۹۷۰ هزار تن، بیشترین تولیدکنندگان مس در جهان به شمار می‌روند (گزارش صنعت مس، ۱۳۹۱).

۵-۸-۱ منابع مس در ایران

از دیدگاه تکتونیکی، کشور ایران در سیستم کوهزایی (آلپ- هیمالیا) قرار گرفته است و از نظر کانی سازی بر روی کمربند جهانی مس واقع شده است. بخش‌هایی از ایران که بر روی این کمربند قرار گرفته است از جنوب شرق ایران آغاز و تا شمال غرب ادامه می‌یابد. مطالعات باستانی انجام شده در مورد تل ابلیس در کرمان نشان می‌دهد که نمونه‌هایی از سنگ مس در آن یافت می‌شود که در حدود ۶۰۰۰ سال قدمت دارد. کهن‌ترین منطقه‌ای که تاکنون آثار ذوب مس در آنجا به دست آمده در سیلک کاشان است (نیکزاد، ۱۳۶۶). ایران از لحاظ مس از پتانسیل معدنی خوبی برخوردار است. بزرگ‌ترین کمربند مس شناخته شده ایران همراه با پهنه ولکانیکی-پلوتونیکی کمربند ارومیه-دختر است. امروزه با توجه به آمار سازمان صنایع و معادن کشور، تاکنون بیش از سه میلیارد تن ذخیره قطعی مس در ایران شناسایی شده است که معدن مس سرچشمه با ۴۲۷ میلیون تن ذخیره قطعی و بالغ بر یک میلیارد تن ذخیره احتمالی با عیار مس ۱/۱۳ درصد را دارا است. این کانسار توسط واترمن (۱۹۷۵)، اطمینان (۱۹۸۱) و شهاب‌پور (۱۹۸۲) مورد مطالعه قرار گرفته است. از دیگر ذخایر معدنی مس در ایران می‌توان مس سونگون، خاتون‌آباد، میدوک، قلعه‌زری و چهل کوره و چاه‌موسی را نام برد. میزان ذخایر مس دنیا در حدود ۴۷۰ میلیون تن مس محتوا برآورد گردیده که ایران با داشتن ۱۴ میلیون تن مس محتوا، بیش از ۳ درصد از ذخایر مس جهان را به خود اختصاص داده است (گزارش شرکت صنعت مس، ۱۳۹۱).

فصل دوم

زمین‌شناسی، سنگ‌شناسی، کانه‌زایی و دگرسانی

در محدوده‌ی مس دیان

۲-۱-۱-۱-۱ چینه‌شناسی و تفکیک واحدهای سنگی

گسل‌ها محل‌های مناسبی برای عبور محلول کانه‌دار به سطح زمین هستند. ترکیب محلول‌های طبیعی که در شکاف‌ها و خلل و فرج بین‌دانه‌ای سنگ‌ها در سطوح مختلف پوسته زمین حرکت می‌کنند کاملاً پیچیده است. این پیچیدگی به‌ویژه شامل حال محلول‌های هیدروترمال و فوق‌بحرانی می‌شود. این محلول‌ها بسته به شرایط متفاوت دما و فشار، مهاجرت می‌کنند و انواع مختلف کانی‌سازی‌های رگه‌ای سرب، روی، طلا، نقره و ... در شکاف‌ها و گسل‌ها نهشته‌سازی می‌شوند. این محدوده عمدتاً از گدازه‌هایی با ترکیب آندزیت، بازالت و توف‌های پالئوسن-ائوسن تشکیل شده که توسط تراسه‌های آبرفتی کواترنر و آبرفت‌های عهد حاضر (در حواشی محدوده) پوشیده می‌شوند. اغلب کانی‌سازی‌ها در منطقه معلمان در راستای شمال شرق- جنوبی و تا حدی در راستاهای شمالی- جنوبی و شمال غرب- جنوبی صورت گرفته است. تأثیر عملکرد گسل‌ها در کانی‌سازی‌های صورت گرفته به‌وضوح مشخص است. کانی‌زایی در اندیس‌های نزدیک به هم نیز ممکن است از راستایی خاص و متفاوت، با اندیس مجاور تبعیت کند که این امر به ولکانیک منطقه و نفوذ سیال هیدروترمال به‌طور متناوب و در زمان‌های مختلف مربوط می‌گردد. این سیالات کانه‌ساز علاوه بر تزریق در زمان‌های مختلف، دارای خواص متفاوتی نیز هستند (شمعانیان، ۲۰۰۴). در این ناحیه واحدهای سنگ چینه‌ای زیادی شکل گرفته‌اند که از مهم‌ترین آن‌ها می‌توان به موارد زیر اشاره کرد (شکل ۲-۲).

۱. **واحد Qal:** جدیدترین رسوبات ناحیه هستند که نهشته‌های آبرفتی بستر دره‌ها را می‌سازند و

از مجموعه شن و ماسه و قلوه‌سنگ بدون سیمان تشکیل یافته‌اند (شکل ۲-۲).

۲. **واحد آندزیت مگاپورفیری (Eap):** واحد یادشده در نواحی کلوت گسترش دارد و معدن

شناخته‌شده مس کلوت در این واحد قرار دارد (شکل ۲-۲). لیتولوژی آن شامل ضخامت زیادی

از گدازه‌های مگاپورفیری آندزیتی است. بافت این سنگ‌ها پورفیریتیک و دربردارنده بلورهای

درشت پلاژیوکلاز در حد الیگوکلاز تا آندزین است که در اغلب موارد کربناتی زه شده‌اند. زمینه سنگ از شیشه است که خود از میکروولیت‌های ریز پلاژیوکلاز تشکیل شده است. در برخی نقاط ترکیب سنگ به‌سوی آندزیت_بازالت گرایش پیدا می‌کند. در این واحد، گسل‌ها و شکستگی‌های فراوان، به‌ویژه در جهت شمالی_جنوبی و تا اندکی شمال شرقی_جنوب غربی دیده می‌شود. در اثر فعالیت دایک‌هایی در امتداد این شکستگی‌ها کانی‌سازی مس دیده می‌شود.

۳. **واحد ولکانیکی (Evt):** در میان واحدهای ولکانیکی و توفی ائوسن، این واحد بیشترین گسترش و ضخامت (۱۵۰۰ متر) را دارد و به‌تقریب در اغلب نقاط نیمه شمالی ورقه رخنمون دارد. این واحد از مجموعه گدازه‌های آندزیتی زیردریایی، برش آندزیتی، برش توفی، آندزیت پورفیری و توف آندزیتی پدید آمده است. بلورهای پلاژیوکلاز موجود در آندزیت به‌طور عمده در حد الیگوکلاز تا آندزین هستند که در برخی قسمت‌ها به کلسیت، سربیسیت و کلریت تبدیل شده‌اند. بافت این سنگ‌ها پورفیری و گاهی زمینه میکروکریستالین دارد. ترکیب سنگ‌های ولکانیکی در این واحد از آندزیت تا آندزیت بازالتی تغییر می‌نماید.

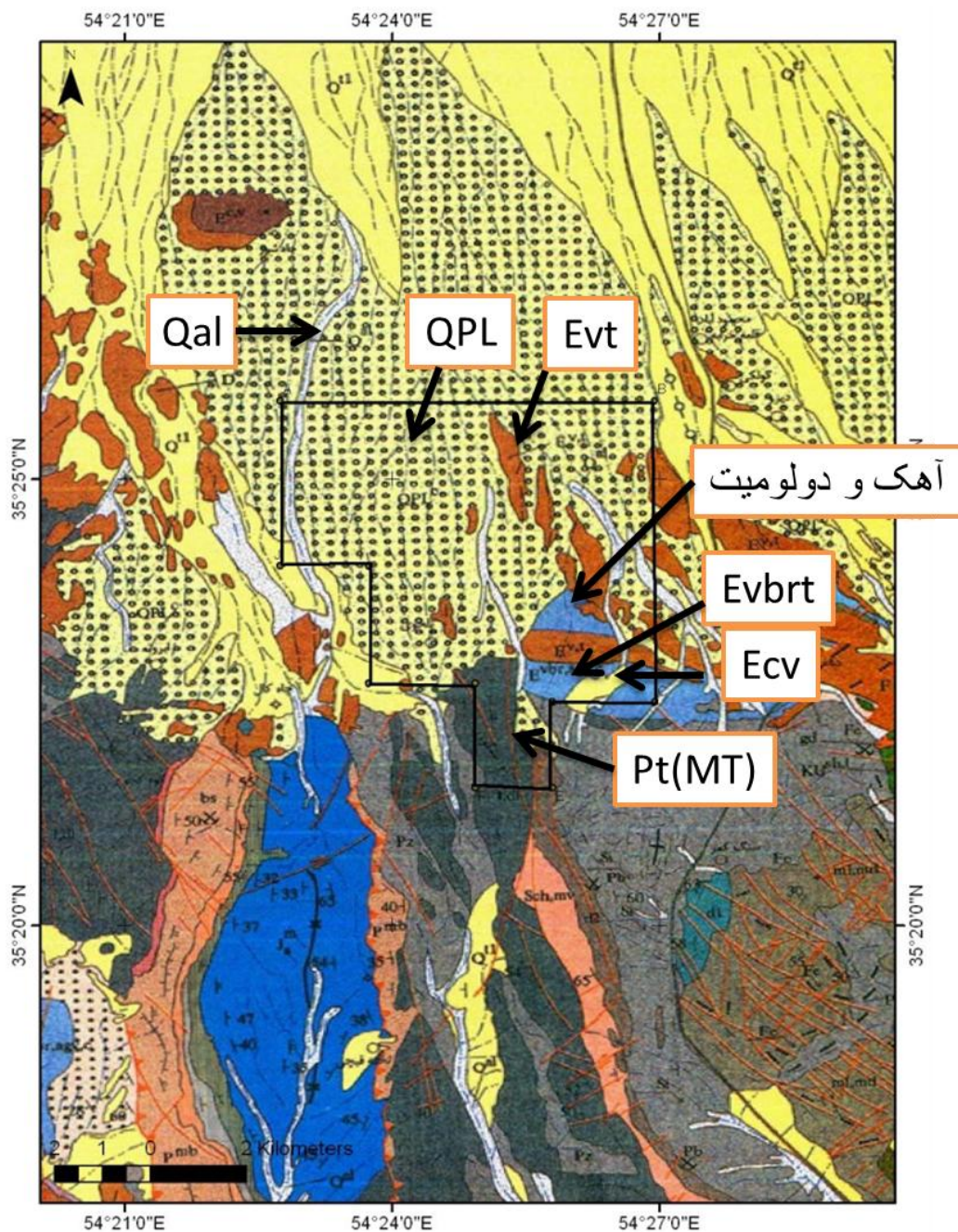
۴. **واحد (Evbtr):** این واحد در شمال شرق ورقه در ناحیه رباعی و دیان گسترش محدود و ضخامتی در حد ۱۵۰ متر دارد و در دو بال ساختمان ناودیس مانند نمایان شده است. این واحد فرعی به‌طور کلی از کنگلومرای قرمزرنج، توف برشی، برش ولکانیکی قرمزرنج و ماسه‌سنگ قرمز پدیدار شده است. از این واحد، در دامنه جنوبی ساختمان یادشده به‌عنوان سنگ مالون استفاده می‌شود. در قسمت فوقانی یال شمالی آن، یک افق توف آلتیره شده مشاهده می‌شود. توف مذکور می‌تواند به‌عنوان کانی‌های رسی (بنتونیت) مورد استفاده قرار گیرد. این واحد متعلق به دوران میوسن است

۵. **واحد کنگلومرای _ ولکانیکی (Ecv):** این واحد در ابتدای دره کلوت برون‌زد یافته است و از طبقات ضخیم کنگلومرای پدیدار شده است. ضخامت این واحد به ۱۵۰ متر می‌رسد. فعالیت‌های ولکانیکی به‌طور جانبی و به سمت شرق افزایش بیشتری دارد. آن‌چنان که یک واحد

ضحیم از سنگ‌های ولکانیکی (Ean)، واحد Evt را می‌پوشاند و از مجموعه گدازه‌های آندزیتی میکروپورفیری به رنگ قهوه‌ای تیره تا قرمز تیره و برش ولکانیک قرمز رنگ پدیدار شده است. بیشترین گسترش این واحد در دوره‌ی پلیوسن گزارش شده است (سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور).

۶. **واحد (PZ^{MT}):** این واحد در سراسر نیمه شمالی ورقه کلاته‌رشم و کانسار دیان، از بیشترین گسترش و ضخامت برخوردار است که بیشترین رخنمون آن در نواحی چاه شیرین، سپیدلتو و دره‌رشم مشاهده می‌شود. ضخامت بخش‌های کربناته این واحد به بیش از ۲۰۰۰ متر می‌رسد. این واحد مجموعه‌ای از شیست، سنگ‌آهک و دولومیت، ماسه‌سنگ، توف و سنگ‌های ولکانیک است که بخش شیستی آن، که ز حجم و اهمیت بیشتری برخوردار است، از شیست میکادار به رنگ نقره‌ای تا خاکستری تشکیل شده است. زمان تشکیل این لایه‌ها اردووئیسین-سیلورین است (جعفریان، ۱۳۸۰).

۷. **واحد آهک دولومیتی:** این واحد ارتفاعات شرق دره رشم را تشکیل می‌دهند و کوه‌های بابااحمد و انارو را می‌سازند. از سنگ‌های آهک توده‌ای، آهک دولومیتی، دولومیت آهکی و دولومیت دگرگونه ضخیم لایه تشکیل شده است و نزدیک به ۱۵۰ متر ضخامت دارد (جعفریان، ۱۳۸۰). سن تشکیل این واحد به اردووئیسین برمی‌گردد.



شکل ۲-۲: نقشه‌ی زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ منطقه‌ی دیان و تفکیک واحدهای سنگی، محدوده‌ی اکتشافی که به‌صورت چندضلعی با خطوط سیاه‌رنگ مشخص شده است (سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور)

۲-۱-۱-۲ زمین‌شناسی ساختمانی و تکتونیک منطقه

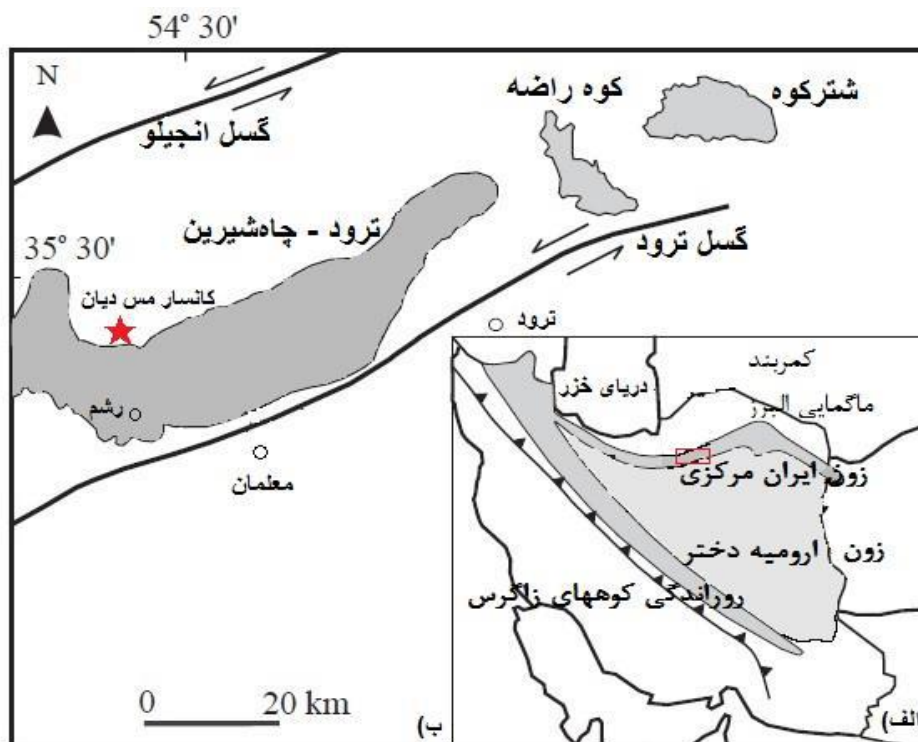
تکوین ژئودینامیک منطقه ترود، متناسب با رویدادهای مختلف زمین‌ساختی ایران زمین دستخوش

تغییر و تحولات فراوانی شده است. با این حال در تمام مراحل تکوینی و در همه فازهای دگر ریختی، یک سیمای ساختاری مهم و اصلی، یعنی گسل امتدادلغز ترود با روند شمال-شرقی جنوب-غربی عامل اساسی تعیین ویژگی‌های ساختاری آن بوده است. گسل مزبور در تعیین خطوط و حدود دو یا احتمالاً سه قلمرو مستقل ساختاری دیگر نیز بیشترین تأثیرات را داشته است. این ساختارها و ساختارهای مشابهی که از قبل وجود داشته است، مکان‌های مناسبی برای عبور سیالات ماگمایی شده است و در نقاط متعددی کانسارهای ارزشمندی تشکیل شده‌اند (خادمی، ۱۳۸۶). این شیوه‌های متغیر و متنوع دگرشکلی و سیمای فراوان ساختاری محصول دگرشکلی درون‌قاره‌ای است که مشابه آن در نقاط مختلف جهان، شناسایی شده و تشریح گردیده است. واتنش ناشی از همگرایی صفحه‌های عربستان و اوراسیا در درون خردقاره ایران منجر به چرخش بلوک لوت و پیدایش گسل‌های بزرگ امتدادلغز منطقه‌ای شده است و بدین ترتیب دگرشکلی این همگرایی با سازوکار دندان‌های کردن به درون قاره منتقل شده است. تغییرات آهنگ و جهت این همگرایی و تغییرات مقدار چرخش درون‌قاره‌ای که در زمان‌های مختلف روی داده است تأثیر مستقیم بر میدان تنش محلی و رژیم زمین-ساختی منطقه داشته و آن را به صورت‌های متفاوتی که گفته شد درآورده است (خادمی، ۱۳۸۶). بر اساس مطالعات صورت گرفته توسط هوشمندزاده و همکاران (۱۳۵۷)، کهنسال (۱۳۷۷)، خادمی (۱۳۸۶) مشخص گردید که سنگ‌های نفوذی و نیمه نفوذی موردنظر در پهنه‌های کششی مرتبط با عملکرد گسل‌های بزرگ منطقه جایگزین شده‌اند.

۲-۱-۲ زمین‌شناسی منطقه‌ای

مس در محدوده دیان به صورت مس خالص، سولفیدی و اکسیدی موجود است که بیشتر به حالت کانی‌های اکسیدی یافت می‌شود. از نشانه‌های مس می‌توان به معدن فعال مس کلوت، چاه موسی، زرشک کوه و جنوب علیخان اشاره کرد. در این منطقه اثرات حرکات کوه‌زایی پرشماری مانند

کالدونین، هرسینین و آلپین در آن مشهود است. عمده‌ترین گسل‌های موجود در این کمربند آتشفشانی، گسل ترود در جنوب و گسل انجیلو در شمال است (شکل ۲-۳)؛ که روند این گسل‌ها، $N 60-70E$ است و شیبی نزدیک به 80° درجه به سمت جنوب دارند (قربانی، ۱۳۸۳). از آنجاکه این گسل‌ها در زمان‌های طولانی و بارها فعال بوده‌اند تعیین دقیق نوع حرکت آن‌ها ممکن نیست. هرچند روند این گسل‌ها روند کالدونی است، باین‌وجود این گسل‌ها، دست‌کم از کامبرین به بعد بر ناحیه مذکور تأثیر گذاشته‌اند (هوشمندزاده و همکاران، ۱۳۵۷). بین دو گسل انجیلو و ترود، در اثر حرکات افقی و چپ‌گرد آن‌ها، چین‌های شمال‌غربی-جنوب‌شرقی ایجاد شده که با تداوم حرکات، حالت مارپیچی به خود گرفته‌اند و به همین دلیل در شمال گسل انجیلو، چین‌ها به سمت شمال شرق تمایل دارند (هوشمندزاده و همکاران، ۱۳۵۷).

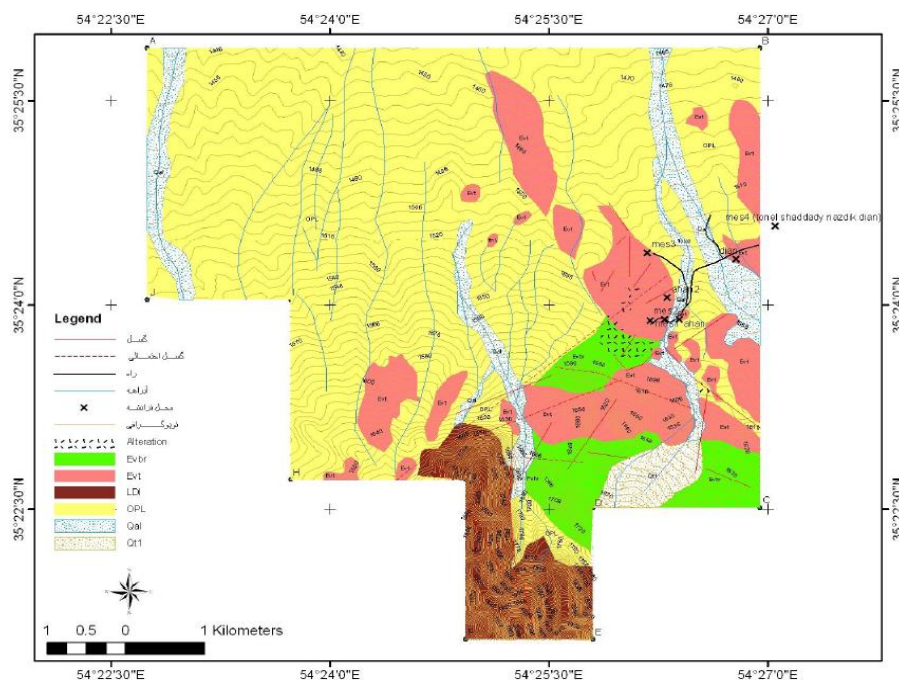


شکل ۲-۳: موقعیت کنسار دیان (ستاره) در بین گسل‌های ترود و انجیلو در نقشه پهنه ساختاری ایران (شمعانیان،

۲۰۰۴)

۱-۲-۱-۲ نقشه زمین‌شناسی و توپوگرافی در مقیاس ۱:۲۰۰۰۰ محدوده مس دیان

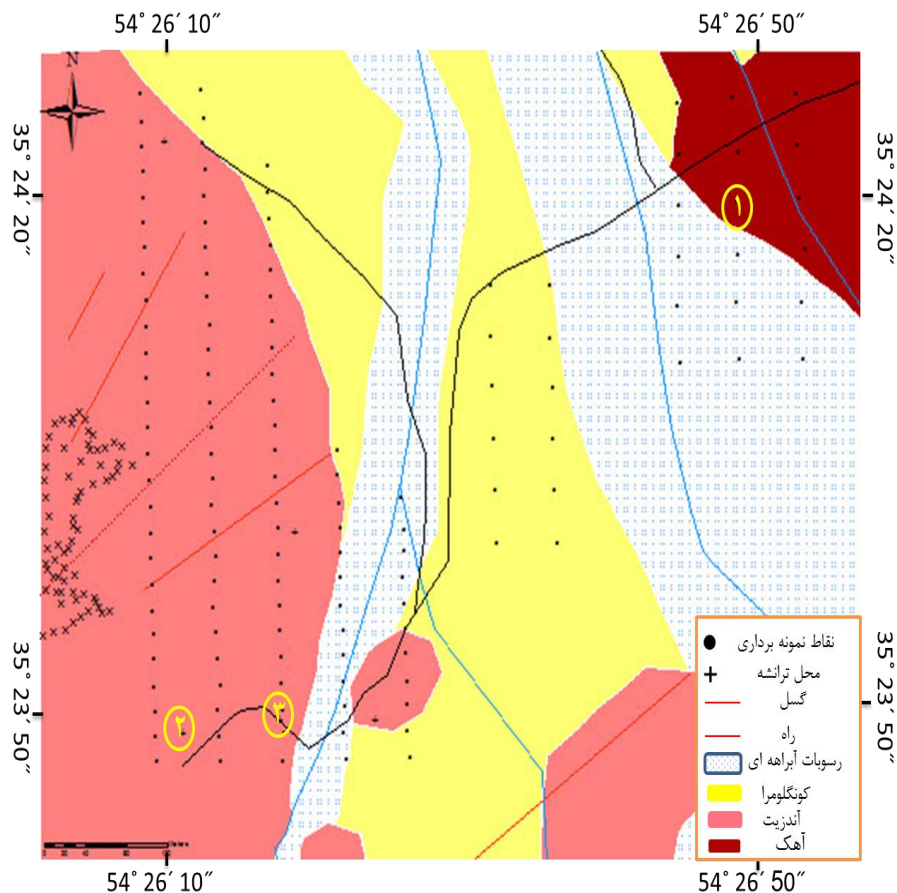
نقشه تلفیقی زمین‌شناسی، ساختاری و توپوگرافی جهت طراحی و پیاده‌سازی شبکه سیستماتیک نمونه‌برداری ژئوشیمیایی مورد نیاز است. به همین منظور نقشه تلفیقی زمین‌شناسی و توپوگرافی محدوده مورد مطالعه تهیه گردید (شکل ۲-۴). واحدهای سنگی تشکیل‌دهنده منطقه عبارت‌اند از: کنگلومرا، سنگ‌های آهکی، گدازه‌های آندزیتی، سنگ‌های ولکانیک اولیه و ثانویه، لایه‌های توفی سبز و قرمزنگ به همراه رسوبات آبرفتی عهد حاضر.



شکل ۲-۴: نقشه تلفیقی زمین‌شناسی، ساختاری و توپوگرافی ۱:۲۰۰۰۰ محدوده مس دیان

۲-۲-۱-۲ تهیه نقشه‌ی ۱:۱۰۰۰ محل نمونه‌برداری

شبکه‌ی منظم و سیستماتیک نمونه‌برداری با پروفیل‌هایی به فواصل ۱۰۰ متر از یکدیگر و فواصل هر دو نمونه روی یک پروفیل به مقدار ۵۰ متر از رسوبات سطحی زمین برداشت شد. نقشه‌ی ۱:۱۰۰۰ این محدوده با استفاده از بازدید صحرایی و زمین‌شناسی منطقه ترسیم گردید (شکل ۲-۵). همان‌گونه که از نقشه پیداست، کانی‌سازی مس و هماتیت پنهان بوده و مهم‌ترین اهداف این مطالعات، اکتشاف مناطق آنومال کانی‌سازی و تفکیک آن از نوع کاذب است. واحدهای سنگی شکل-گرفته در محدوده‌ی نمونه‌برداری شده شامل، گدازه‌های آندزیتی، کنگلومرا و مارن، سنگ‌های آهکی و رسوبات آبرفتی هستند.



شکل ۲-۵: نقشه‌ی زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰ محدوده با درج شبکه‌ی نمونه‌برداری ژئوشیمیایی (نقاط ۱، ۲ و ۳ محل سینه‌کارها را نشان می‌دهد)

۲-۲ سنگ‌شناسی محدوده کانسار دیان

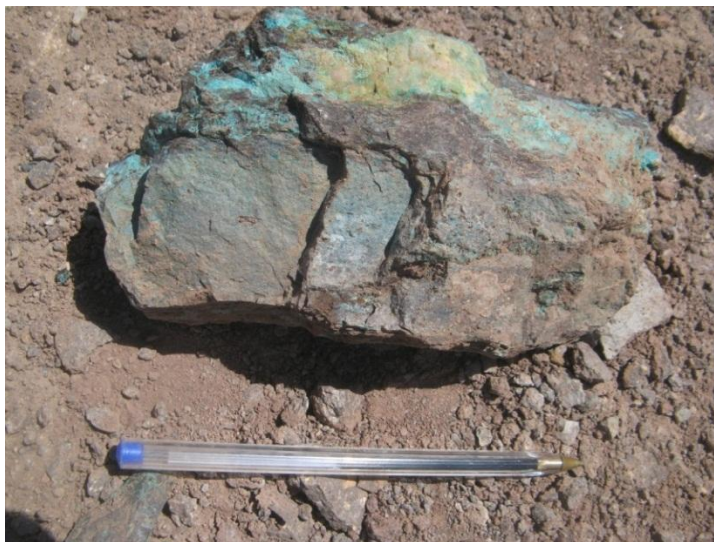
بر اساس مطالعات انجام گرفته، سنگ‌های منطقه شامل آندزیت، تراکی-آندزیت، تراکی-بازالت، تراکیت، توف و آگلومرا می‌باشند. حضور بافت پورفیری در آن‌ها نشان‌دهنده تبلور در دو مرحله است (معین وزیری، ۱۳۸۰). بلورهای درشت پلاژیوکلاز، پیروکسن و آمفیبول در اعماق بیشتر و بلورهای سوزنی و دانه‌ریز در شرایط سطحی‌تر تبلور شده و زمینه سنگ را تشکیل داده‌اند. بر اساس مطالعات پتروگرافی، سنگ‌های مذکور متحمل فرایندهای دگرسانی شده‌اند و کانی‌های ثانویه نظیر کربنات، سریسیت، کانی‌های رسی، زئولیت، اپیدوت و کلریت در آن‌ها به وجود آورده است. تشکیل پارائزهای یادشده در مرحله بسیار ضعیف (رخساره زئولیت) تا ضعیف (رخساره شیست سبز) در فشار کمتر از ۳

کیلو بار و تحت تأثیر سیالات عبور کننده از شکستگی‌ها و درزه‌های حاصل از گسل‌های فرعی و در نتیجه ناپایدار شدن کانی‌های اولیوین، پیروکسن و پلاژیوکلاز صورت گرفته است (کریم پور، ۱۳۸۱).

۱-۲-۲ طبقه‌بندی سنگ‌های منطقه

۱-۱-۲-۲ آندزیت

آندزیت یک سنگ آذرین بیرونی است که عموماً از پلاژیوکلاز تشکیل شده و به صورت گدازه آتش‌فشانی، سیل و دایک دیده می‌شود. آندزیت منطقه دیان، در نمونه دستی به رنگ خاکستری روشن و دارای بافت میکرولیتی پورفیری می‌باشند که کانی‌های فرومنیزین و پلاژیوکلاز آن به صورت درشت‌بلور در متن سنگ قرار گرفته‌اند (شکل ۲-۶). در مشاهده مقاطع، پلاژیوکلازها دارای ساخت منطقه‌ای و بافت غربالی می‌باشند. همچنین در حاشیه برخی از پلاژیوکلازها، هاله قهوه‌ای‌رنگی ناشی از آغشتگی آن‌ها به اکسید و هیدروکسیدهای آهن که غالباً هماتیت می‌باشند مشاهده می‌گردد (ناهدی‌فر، ۱۳۹۳).



شکل ۲-۶: نمونه‌ای از سنگ آندزیت حاوی کانی‌های اکسید و کربنات مس (مالاکیت و آزوریت)

۲-۲-۱-۲ بازالت

سنگ آذرین خروجی با بافت غالب آفانیتیک و گاهی پورفیری که پلاژیوکلاز، پیروکسن، اولیوین، آپاتیت و اکسیدهای Ti-Fe کانی‌های اصلی تشکیل دهنده آن می‌باشند. این سنگ‌ها، اغلب به‌آسانی دگرسان می‌شوند که عامل اصلی ناپایداری در این سنگ‌ها، وجود مقادیر زیاد کانی‌های آهن به شکل آهن دو ظرفیتی (Fe^{+2}) و سه ظرفیتی (Fe^{+3}) است که با تغییر رنگ عمومی این سنگ‌ها همراه است (فریدون سرابی، ۱۳۸۵). با توجه به اینکه سرعت امواج لرزه‌ای P در سنگ مادر بازالت‌ها، ۴ تا ۸ کیلومتر در ثانیه است، می‌توان انتظار داشت که سنگ منشأ بازالت‌ها، پریدوتیت، پیروکسنیت و یا اکلوژیت باشد. به‌خصوص، اینکه تکه‌هایی از این سنگ‌ها به‌صورت گزنولیت، در گدازه‌های بازالتی و پایپ‌های کیمبرلیتی دیده می‌شود (معین وزیری، ۱۳۷۱). بازالت موجود در منطقه مورد مطالعه، قهوه‌ای روشن تا خاکستری با بافت پورفیری است که در مطالعات میکروسکوپی، حاوی فنوکریست‌هایی از کانی‌های شکل دار تا نیمه شکل دار اولیوین و پیروکسن‌های شکل دار، در خمیره‌ای از کانی‌های ریز اولیوین و پلاژیوکلاز، به‌صورت میکرولیتی قرار گرفته‌اند (ناهدی‌فر، ۱۳۹۳).

۲-۲-۱-۳ تراکی بازالت

این سنگ‌ها حاوی اولیوین و پیروکسن هستند که این کانی‌ها، به‌صورت فنوکریست در خمیره میکرولیتی جریان‌ی مشاهده می‌شوند که خمیره از بلورهای ریز پلاژیوکلاز و پیروکسن تشکیل شده است (سرابی، ۱۳۸۵).

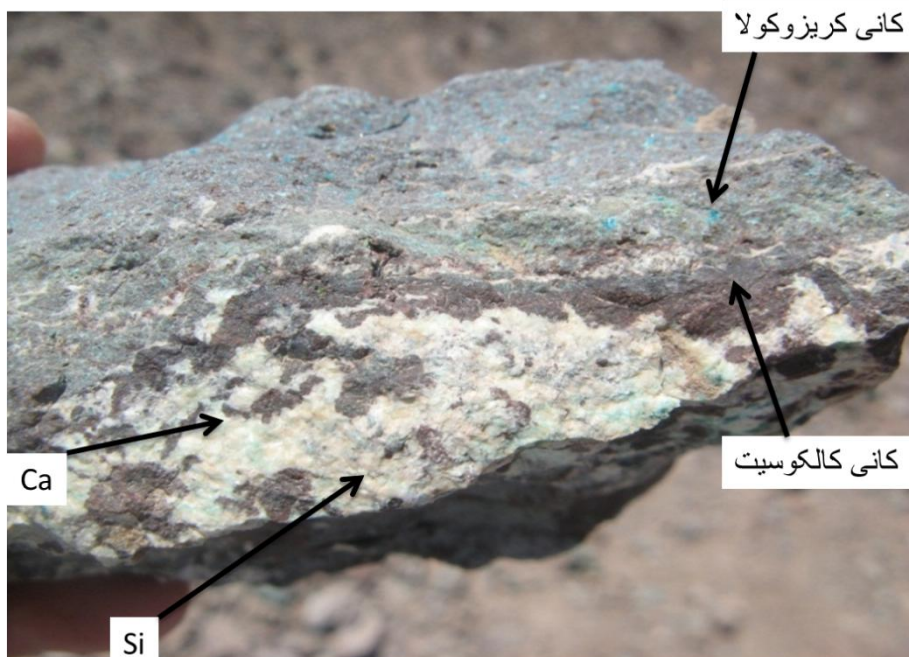
۲-۲-۱-۴ تراکیت

تراکیت، سنگ آذرین بیرونی است که کانی اصلی آن، فلدسپات سدیم‌دار و پتاسیم دار و ارتوز و نفلین جزء کانی‌های فرعی آن می‌باشند. انواع مختلف تراکیت‌ها شامل، اولیوین، پیروکسن، هورنبلند، بیوتیت و آلکالی تراکیت می‌باشند (خان نصر اصفهانی، ۱۳۸۴). تراکیت‌های منطقه دیان در نمونه

دستی به رنگ خاکستری تا قهوه‌ای و دارای بافت پورفیری هستند که در مقاطع نازک، به شکل فنوکریست‌هایی از فلدسپات‌ها و پیروکسن دگرسان شده مشاهده می‌شوند (ناهیدی‌فر، ۱۳۹۳). توف برش و آگلومرا از دیگر سنگ‌های موجود در محدوده مورد مطالعه می‌باشند.

۲-۲-۲ ساخت و بافت سنگ‌های منطقه

ساخت غالب سنگ‌های محدوده کانسار دیان به صورت متراکم، برشی، حفره‌دار و به شکل توده‌ای است (ناهیدی‌فر، ۱۳۹۳). در برخی از سنگ‌های منطقه که حفره‌دار هستند، این حفره‌ها توسط کانی‌های ثانویه کلسیت و کوارتز پر شده‌اند (شکل ۲-۷). با توجه به اینکه غالب سنگ‌های منطقه را آندزیت و بازالت تشکیل می‌دهند، مهم‌ترین بافت مشاهده شده در این سنگ‌ها، بافت پورفیری است که به صورت بلورهای درشت، نیمه شکل دار و پراکنده در زمینه‌ای بسیار دانه‌ریز شکل گرفته است. از دیگر بافت‌های مشاهده شده در سنگ‌های منطقه می‌توان به بافت میکرولیتی پورفیری جریانی، بافت شکل دار، بافت جان‌شینی و بافت بادامکی اشاره کرد (ناهیدی‌فر، ۱۳۹۳).



شکل ۲-۷: نمونه‌ای از کانسنگ مس به همراه سیلیس و کلسیت

۳-۲-۲ مطالعه عملیات اکتشافی سینه کارها

جهت دسترسی به محدوده‌های عملیاتی محدوده اکتشافی، حدود ۱۰ کیلومتر راه‌سازی صورت گرفته است. ۳ سینه کار اکتشافی اصلی در محدوده احداث گردیده است که در مرکز و شرق محدوده متمرکز می‌باشند.

۱-۳-۲-۲ سینه کار اکتشافی شماره ۱

این سینه کار در شرق محدوده قرار گرفته و دارای مختصات جغرافیایی $N35^{\circ}24' 47''$ و $E54^{\circ}26' 20''$ است (شکل ۲-۸). ابعاد این سینه کار دارای طول ۳۰ متر، عرض ۲۰ متر و ارتفاع ۳ متر می‌باشد. بر طبق مشاهدات صحرایی صورت گرفته و مشاهده نمونه‌های دستی، نمونه‌های به دست آمده از این سینه کار اکثراً دارای کانی‌های هیدروکسید مس دار می‌باشند. بر اساس تجزیه نمونه‌های این سینه کار، تغییرات عیار مس در رگه‌ها از ۰/۵ تا ۱۰ درصد متغیر است (جدول ۲-۱).

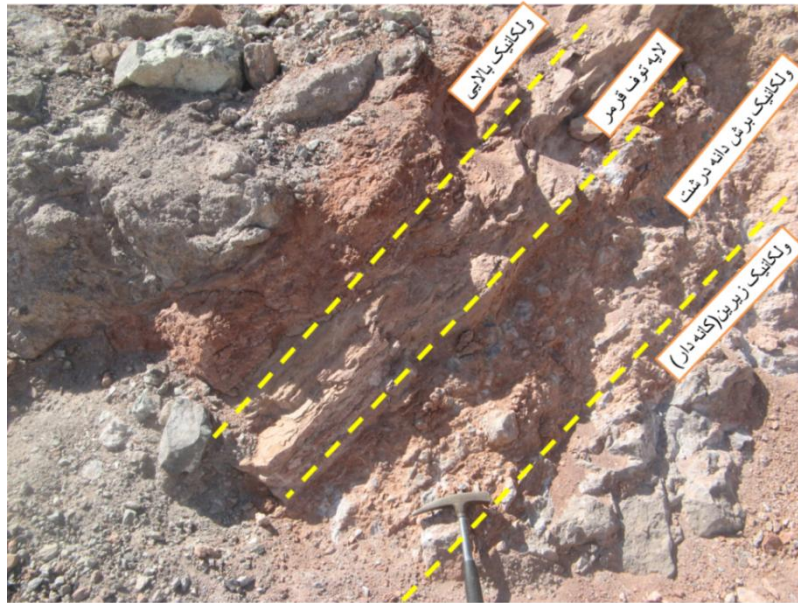
جدول ۲-۱: تجزیه نمونه‌هایی از رگه‌های مس در سینه کار اکتشافی ۱

نمونه	Cu(total) %	Cu(oxide) %
BH1	6.4	6.3
BH2	7.7	7.5
C12	4.2	4.1
C31	5.7	5.6
C34	10.6	10.4
C35	9	8.9
C32	7	6.9
C33	5.5	4.6

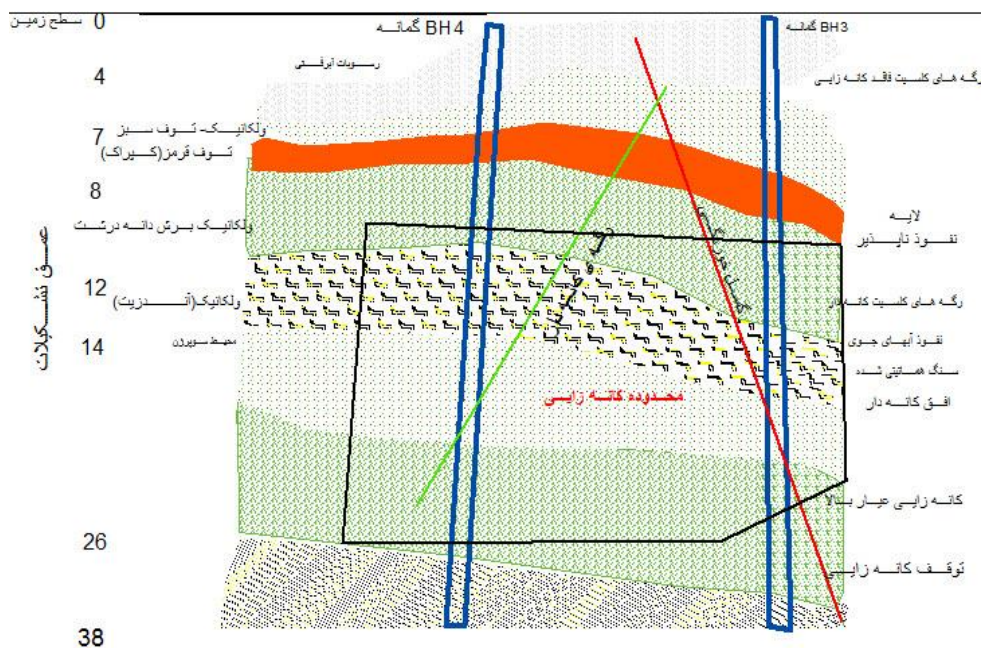


شکل ۸-۲: نحوه‌ی لایه‌بندی سنگی و دگرسانی‌ها در سینه کار اکتشافی ۱ (دید به شرق)

همان‌طور که از جدول (۱-۲) مشخص است، تغییرات بین هیدروکسید مس و میزان مس کل نمونه‌ها بسیار ناچیز و در حد کمتر از ۰/۵ درصد است. بنابراین فرم جایگیری مس به‌صورت کانی‌های هیدروکسید مس است و میزان سولفید مس در برون‌زدهای این سینه کار ناچیز است. به هدف شناسایی کانی‌های هیدروکسید مس موجود در این سینه کار، تعدادی نمونه به روش XRD در آزمایشگاه دانشگاه دامغان تجزیه شده‌اند که نشان‌دهنده سه کانی اصلی مالاکیت، بروچانتیت و دیورلیت می‌باشند. توالی لایه‌بندی شکل‌گرفته در سینه کار از سطح به‌صورت رسوبات آبرفتی، ولکانیک بالایی، توف سبز، توف قرمز، ولکانیک برش دانه‌درشت و ولکانیک زیرین است (شکل ۲-۹). مقطع زمین‌شناسی عمقی این سینه کار بر اساس مطالعات سنگی و لاگینگ مغزه‌های حفاری ترسیم گردید که نشان می‌دهد کانه‌زایی در عمق ۱۲ تا ۲۶ متری مابین دو گمانه و در محدوده‌ی سنگی ولکانیک زیرین و در پهنه‌های دگرسانی پروپیلیتیک و آرژیلیکی تشکیل شده است (شکل ۲-۱۰).



شکل ۲-۹: ترتیب لایه بندی در سینه کار ۱ (دیان)

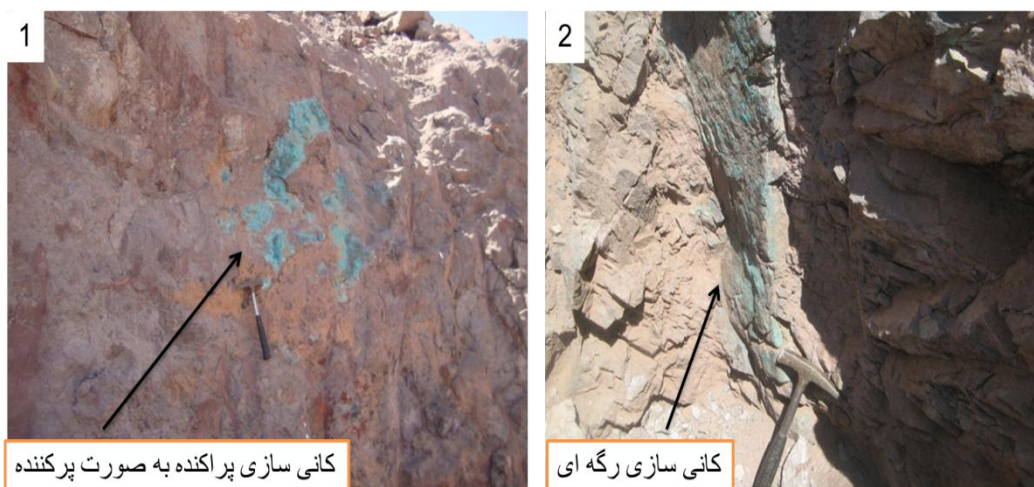


شکل ۲-۱۰: مقطع عمقی سینه کار اکتشافی (سینه کار دیان)

۲-۲-۲-۲ سینه کار اکتشافی شماره ۲

این سینه کار نیز در شرق محدوده قرار گرفته است. مختصات جغرافیایی این سینه کار عبارت است از: $N35^{\circ}24'03''$ و $E54^{\circ}26'19''$. این سینه کار اکتشافی به دو صورت تحت تأثیر کانی سازی قرار گرفته است. کانی سازی در درون سنگ های ولکانیکی سخت نشده که اکسیدهای مس به صورت

پرکننده فضای خالی و به صورت توده‌ای تشکیل شده‌اند. کانی‌های مالاکیت و اکید منگنز در متن سنگ دیده می‌شوند. حضور سیال به صورت کانی کریزوکولا در حفرات سنگ دیده می‌شود. این پهنه همچنین حاوی کانی‌های پیروکسن و اولیوین است (شکل ۲-۱۱). سنگ میزبان آن، سنگ آندزیتی متخلخل بوده که مربوط به محیط سوپرژن است. مس در این قسمت به صورت کم‌عیار در متن سنگ متمرکز شده است. این سینه کار همچنین حاوی مقادیری از کانی کالکوسیت به صورت پرکننده فضای خالی است. نوع دیگری از کانی‌سازی به صورت رگه‌ای در سنگ‌های ولکانیکی سخت شده در سینه کار مشاهده می‌گردد. سنگ‌های ولکانیکی حاوی رگه‌های کربناتی-سیلیسی که سیال تشکیل‌دهنده این پهنه مشابه سینه کار ۱ است. این سینه کار حاوی هاله‌ی منگنز و رگه‌های مس هماتیته شده است. تجزیه نمونه‌های XRD حضور کانی دگرسانی سیلیس را نشان می‌دهد (ناهدی‌فر، ۱۳۹۳). سنگ میزبان آن آندزیت دانه‌ریز است که رگه‌های کانه‌زایی مس به صورت تقریباً قائم و با روند شرقی-غربی در سینه کار مشاهده می‌گردد. گسل حاوی پهنه شکستگی در سمت چپ تصویر مشاهده می‌گردد. به این صورت می‌توان نتیجه گرفت که کانه‌زایی درجایی که سنگ سخت نشده و به صورت حفره‌دار بوده، به صورت شکافه‌پرکن عمل کرده و در قسمت سخت شده به صورت رگه‌ای در درون شکستگی‌ها جای گرفته است (شکل ۲-۱۱).



شکل ۲-۱۱: سینه کار اکتشافی شماره ۲، ۱) کانی سازی به صورت پرکننده فضای خالی (دید به جنوب). ۲) کانی-

سازی رگه‌ای مس (دید به طرف شمال)

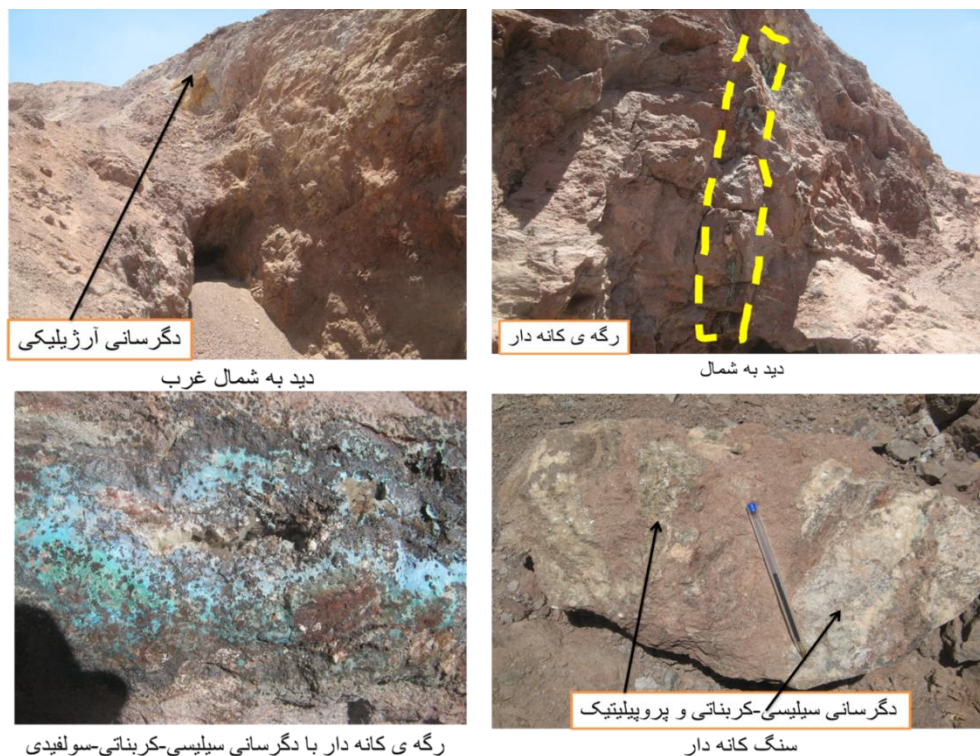
این سینه کار در قسمت شرق محدوده اکتشافی قرار دارد. مختصات این سینه کار برحسب درجه دقیقه ثانیه عبارت است از: $N 35^{\circ} 23' 53''$, $E 54^{\circ} 26' 12''$. این سینه کار حاوی اکسیدهای فراوان آهن (هماتیت) همراه بارگه‌های سبز مالاکیت (به فرم متخلخل در سنگ‌های ولکانیک) است (شکل ۲-۱۲). نمونه‌های به‌دست‌آمده از این سینه کار دارای عیار مس متغیر بین ۱ تا ۴ درصد است. نتایج تجزیه چند نمونه از سینه کار نشان‌دهنده‌ی حضور ۴ کانی اصلی آنورتیت، هماتیت، مونت-موریونیت و مالاکیت در سینه کار اکتشافی است (ضیایی، ۱۳۹۳).



شکل ۲-۱۲: پرشدگی تشکیلات ولکانیک متخلخل با مالاکیت در سینه کار شماره ۳

لایه‌بندی شکل گرفته از سطح زمین تا عمق سینه کار به‌صورت ولکانیک به طول 2m، توف به طول 1m و رگه‌های سیلیسی-کربناتی سولفید دار به طول تقریبی 2m. رگه‌ی کانی‌سازی شده در درون رگه‌های سیلیسی سولفید دار شکل گرفته است. دگرسانی در سطح سینه کار به‌صورت آرژیلیکی و تشکیل کائولینیت در قسمت بالای رگه‌ی کانی‌سازی شده سولفید دار مشاهده می‌گردد (شکل ۲-۱۳). سنگ درونگیر آن، سنگ ولکانیکی است که حاصل دگرسانی پروپلیتیک آرژیلیکی شده با رگه-

های کربناتی و وجود مقادیر زیاد کانی کلسیت به صورت دانه درشت در سطح سنگ است. لایه توفی قرمز رنگ به صورت قطع کننده دیده می شود که به صورت کپراک عمل کرده است.

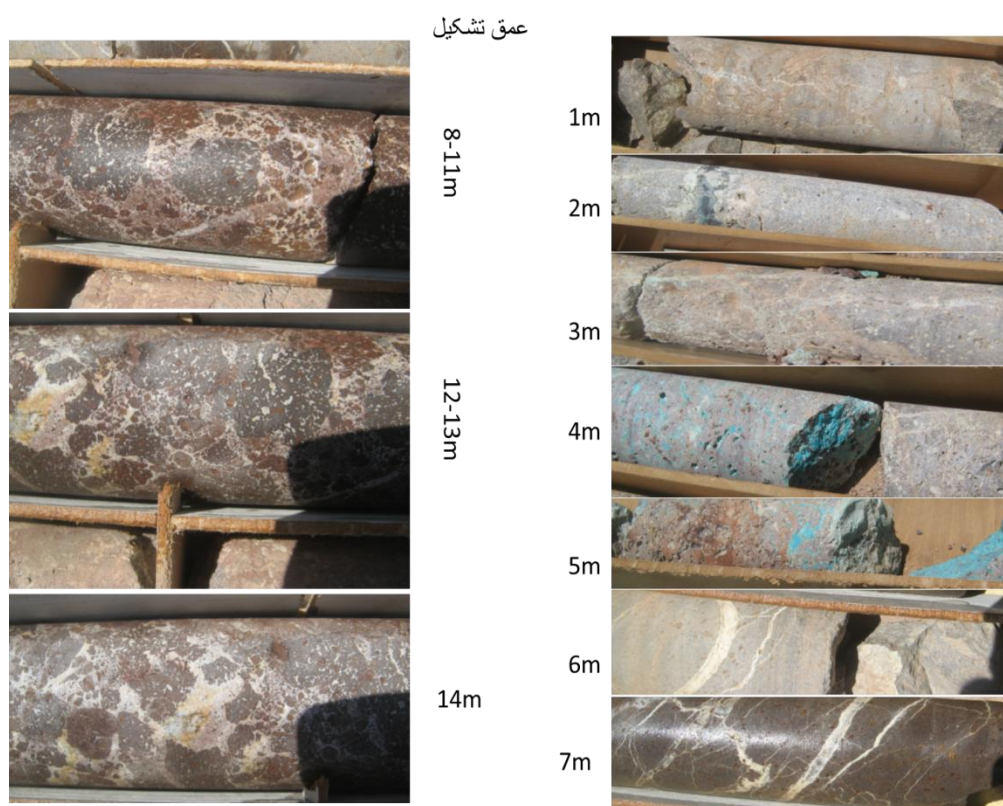


شکل ۲-۱۳: نحوه ی کانه زایی و دگرسانی شکل گرفته در سینه کار اکتشافی شماره ۳

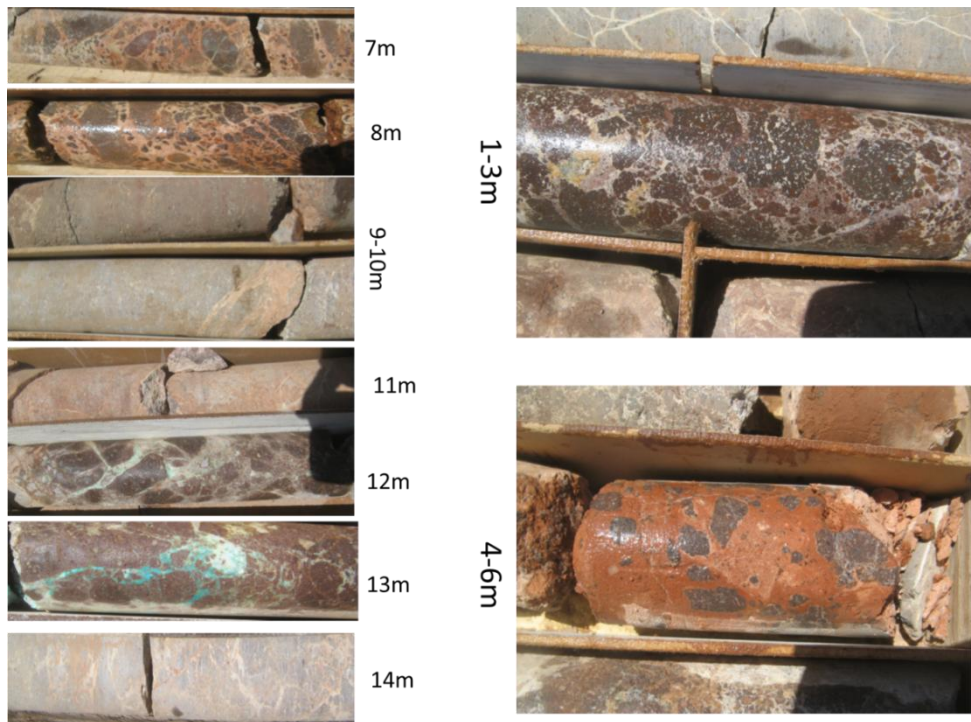
۴-۲-۲ مطالعه مغزه های حفاری

در سینه کارهای اکتشافی منطقه تعداد ۸ حفاری صورت گرفته است که ۴ نقطه حفاری در سینه کار ۱، ۲ گمانه در سینه کار ۲ و ۲ گمانه در سینه کار اکتشافی سوم حفر گردیده است. گمانه های BH1 و BH2 تا عمق ۲۰ متری و در ضلع شمال شرقی سینه کار ۱ حفر شده اند که کانی سازی زیادی در آنها مشاهده نگردیده است. گمانه ی BH3 در ضلع داخلی سینه کار ۱ و متمایل به قسمت شمال به عمق ۲۷ متر حفر شده که در عمق ۸ تا ۲۰ متری، کانی سازی مس به صورت غالباً اکسیدی در نمونه ها مشاهده می گردد (شکل ۲-۱۴). کانی سازی سولفیدی نیز به مقدار کم در مغزه ها قابل مشاهده است که محیط دربرگیرنده کانی سازی هماتیتی شده است. گمانه ی BH4 نیز در داخل سینه کار و به سمت شمال با زاویه ی ۳۰ درجه و به عمق ۳۸ متر حفر شده است. این گمانه از عمق ۱۲ تا ۲۶ متری

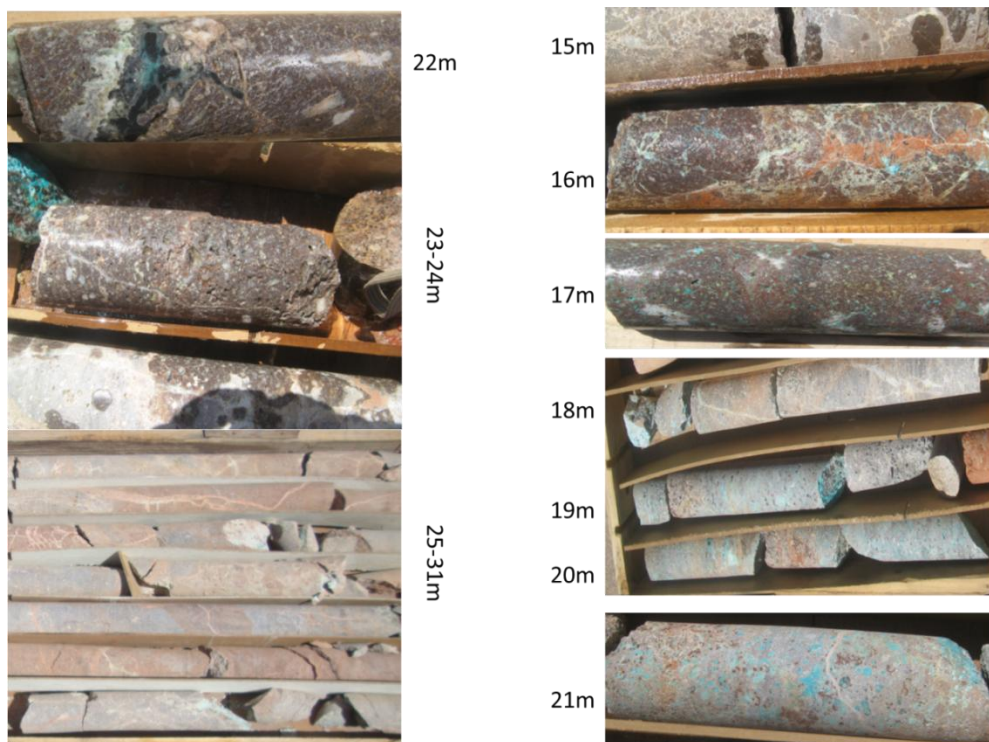
دارای کانی‌سازی با عیار بالای مس به‌صورت اکسید و سولفید است که در این عمق عیار به‌صورت یکنواخت در حال افزایش است (شکل‌های ۲-۱۵ و ۲-۱۶). گمانه‌ی پنجم به متر ۲۰ در سینه کار دوم با زاویه‌ی ۱۰ درجه حفر شده که از عمق ۲ تا ۵ متری اکسید مس مشاهده می‌گردد. گمانه‌ی ششم در ضلع شمالی رگه‌ی معدنی و به‌صورت قائم حفر شده که دارای کانی‌سازی با عیار کم مس است. در سینه کار سوم نیز دو حفاری انجام شده که غالب کانی‌سازی مشاهده شده در آن‌ها از عمق ۵ تا ۱۵ متری و به‌صورت اکسید پراکنده است.



شکل ۲-۱۴: مغزه‌های حفاری مربوط به گمانه BH3 در سینه کار دیان



شکل ۲-۱۵: مغزه‌های حفاری عمق ۱ تا ۱۴ متری گمانه‌ی BH4 سینه کار دیان (۱)



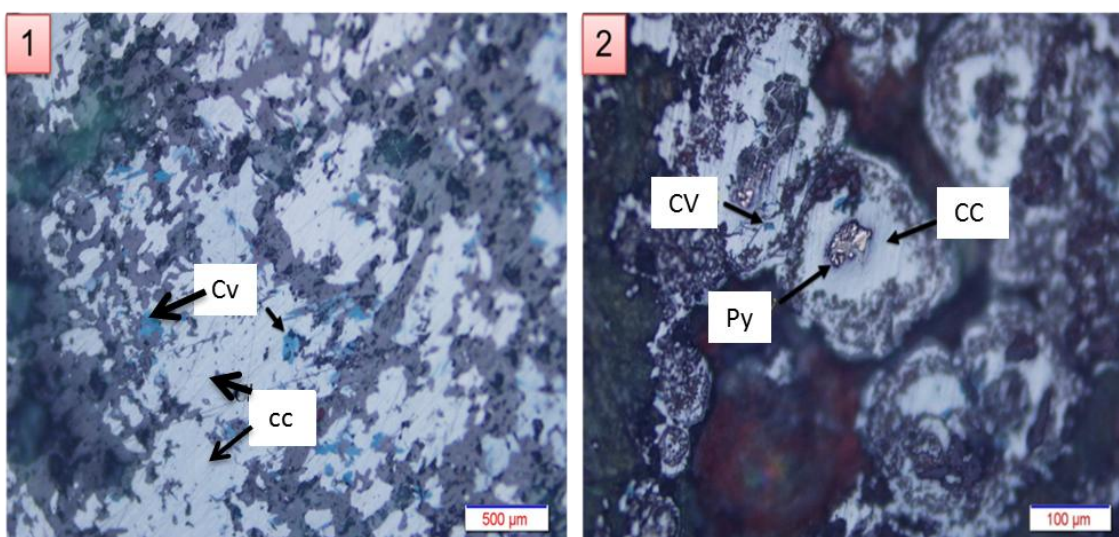
شکل ۲-۱۶: مغزه‌های حفاری عمق ۱۵ تا ۳۱ متری BH4 سینه کار دیان

۵-۲-۲ مطالعات میکروسکوپی

با توجه به مطالعات صحرایی صورت گرفته و بررسی نمونه‌های دستی از سنگ‌های موجود در قسمت‌های مختلف کانسار دیان و انجام مطالعات میکروسکوپی و تهیه مقاطع نازک از نمونه‌ها، کانی‌های مشاهده شده در نمونه‌ها به‌قرار زیر است.

۱-۵-۲-۲ سولفیدها

کانی‌های سولفیدی موجود در نمونه‌ها شامل، پیریت، کالکوسیت و کوولیت می‌باشند (شکل ۲-۱۷). در مقاطع صیقلی، کانی‌های کالکوسیت و کوولیت بصورت هم رشدی باهم دیده می‌شوند (ناهدی‌فر، ۱۳۹۳). همچنین، در برخی مقاطع کانی پیریت به‌صورت دانه‌های ریز پراکنده، توسط کالکوسیت‌ها در بر گرفته شده است.

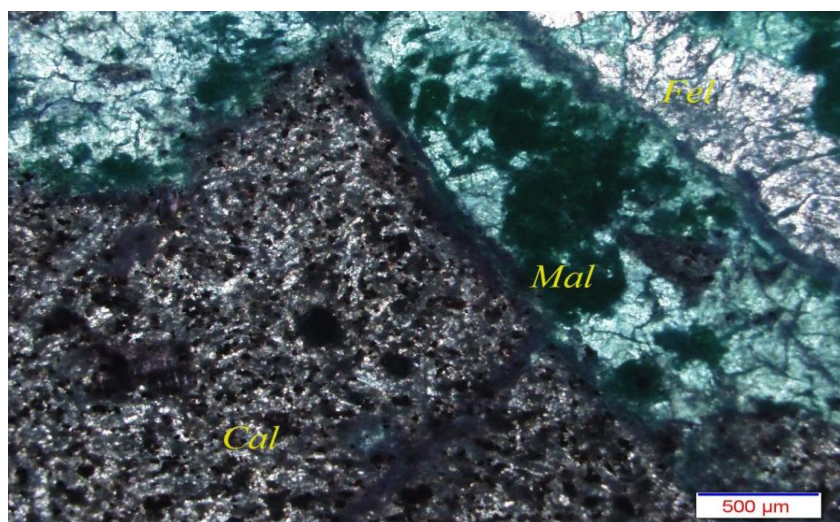


شکل ۲-۱۷: ۱) کانی‌های کالکوسیت (cc) و کوولیت (cv) به‌صورت هم رشدی، ۲) کانی پیریت (py) به‌صورت دانه‌های ریز پراکنده که توسط کالکوسیت احاطه شده است

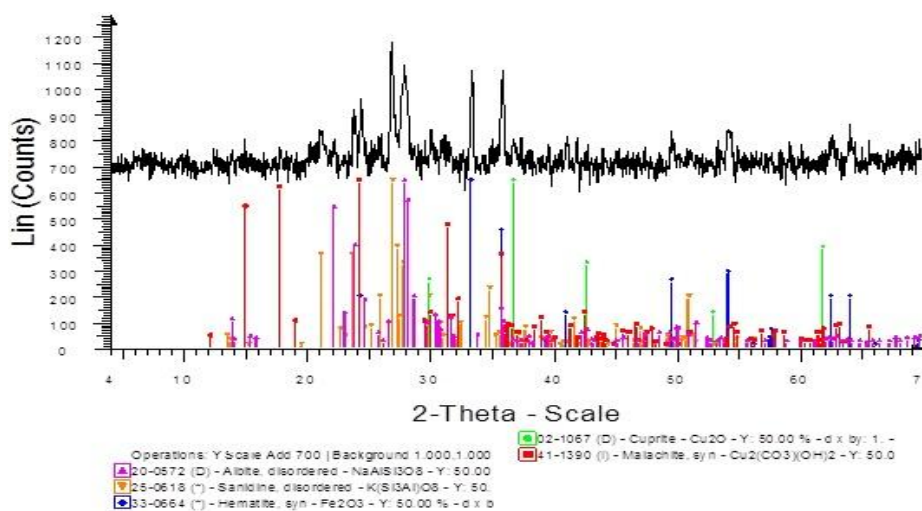
۲-۵-۲-۲ کربنات‌ها

کانی‌های کربناته شامل مالاکیت و آزوریت بوده‌اند که مالاکیت به‌صورت شکافه‌پرکن و آزوریت‌ها

به صورت دانه‌های پراکنده در مقاطع نازک مشاهده می‌شوند. کانی مالاکیت در برخی مقاطع در زمینه‌ای از کانی کلسیت به همراه فلدسپار مشاهده می‌گردد. در این مقاطع، مالاکیت حجم گسترده‌ای از سنگ را در بردارد (شکل ۲-۱۸). همچنین در مشاهده نمونه‌های دستی، کانی کریزوکولا که نمایانگر منطقه اکسیدان و بالا بودن غلظت Si در آب است، مشاهده گردیده است. آنالیز پراش پرتو X انجام گرفته نشان‌دهنده‌ی حضور کانی‌های اکسید و سولفید مس به همراه کانی‌های فلدسپار و اکسید آهن است (شکل ۲-۱۹).



شکل ۲-۱۸: مالاکیت (Mal)، در زمینه‌ای از کلسیت (Cal) به همراه فلدسپات (fel)



شکل ۲-۱۹: تصویر پراش پرتو X و شناسایی کانی‌های مس به همراه فلدسپار و هماتیت

۶-۲-۲ دگرسانی

غالب دگرسانی‌های مشاهده شده در منطقه شامل دگرسانی آرژیلیکی، پروپلیتیک و سیلیسی می‌باشند. دگرسانی آرژیلیک بیشتر در قسمت‌های سطحی منطقه دیده شد. دگرسانی پروپلیتیک در اطراف محدوده‌ی کانه‌زایی مس مشاهده گردید. دگرسانی سیلیسی-سولفیدی-کربناتی در محدوده‌ی کانه‌زایی مس و در قسمت‌های عمقی تشکیل گردیده است. در برخی مناطق نیز دگرسانی پروپلیتیک به همراه سیلیسی در کف سینه‌کار گسترش قابل ملاحظه‌ای داشت.

۱-۶-۲-۲ دگرسانی آرژیلیک

این دگرسانی در محدوده سینه کار ۱، بیش‌ترین گسترش را شامل می‌شود. کانی‌های مهم پهنه آرژیلیک متوسط عبارت‌اند از: دیکیت، کائولینیت، مونت‌موریونیت و مقدار کمی سریسیت (کریم‌پور، ۱۳۸۱). در دگرسانی آرژیلیکی، کانی‌های سیلیکاتی آلومینیوم‌دار در محیط اسیدی هیدرولیز و کانی‌های رسی را تشکیل می‌دهند. این دگرسانی در دو سینه کارها ۱ و ۲، در قسمت‌های سطحی با گسترش نسبتاً زیادی قابل مشاهده است. در این ناحیه، کانی‌های فلدسپار تخریب‌شده و سیلیس در داخل سنگ برجای مانده و سپس آرژیلیک ثانویه تشکیل شده است (شکل ۲-۲۰). این آلتراسیون هم‌چنین در قسمت‌های کانه دار و در بخش‌های سطحی تر سینه کار به همراه آلتراسیون پروپلیتیک و سیلیسی دیده می‌شود. تشکیل این نوع آلتراسیون مرتبط با قطعات قرمز رنگ توف است که بعداً به صورت آرژیلیکی در سطح رخنمون پیدا کرده است. دگرسانی آرژیلیک در کانسار دیان به صورت سطحی و ناشی از هوازدگی است.



شکل ۲-۲۰: دگرسانی آرژیلیکی و پروپیلیتیک در افق کانه دار سینه کار ۱

۲-۶-۲-۲ دگرسانی پروپیلیتیک

این دگرسانی در سنگ‌های آندزیت و تراکی-آندزیت، در اطراف رگه‌های موجود در سینه کار ۱ و ۲ مشاهده می‌شود. این دگرسانی تحت تأثیر محلول‌های غنی از کلسیم، منیزیم، آهن و آلومینیم رخ می‌دهد (بارنز^۱، ۱۹۹۷). این دگرسانی در افق‌های کانه دار به همراه دگرسانی سیلیسی در سینه کارهای ۱ و ۲ مشاهده می‌گردد. نکته‌ای مهم این است که آرژیلیک ثانویه بر محدوده‌ی پروپیلیتیک اثر گذاشته که می‌توان گفت این پدیده مرتبط با آب‌های فرورو و جوی است.

۳-۶-۲-۲ دگرسانی سیلیسی

دگرسانی سیلیسی حاصل افزایش نسبت کوارتز در سنگ دگرسان شده است. سیلیسی شدن به دو صورت اضافه شدن سیلیس به سنگ توسط محلول‌های ماگمایی و یا گرمایی و افزایش میزان سیلیس به دلیل کاهش و خروج سایر مواد موجود در سنگ شکل می‌گیرد (کریم‌پور، ۱۳۸۹). دگرسانی سیلیسی در سینه کارهای ۱ و ۳ به همراه دگرسانی پروپیلیتیک در اطراف رگه‌های معدنی مس قابل مشاهده است. دگرسانی‌های شکل گرفته در سینه کار دیان مطابق شکل (۲-۲۱) می‌باشند که در قسمت بالایی پهنه دار قرار می‌گیرند و غالباً در سنگ‌های ولکانیک برش دانه‌درشت گسترده‌ی

^۱.Barenz

دارند. کانی‌های شکل گرفته به‌وسیله‌ی این دگرسانی‌ها شامل کانی‌های اپیدوت، کلریت و کلسیت هستند که در سطح سینه‌کار مشاهده می‌شوند.

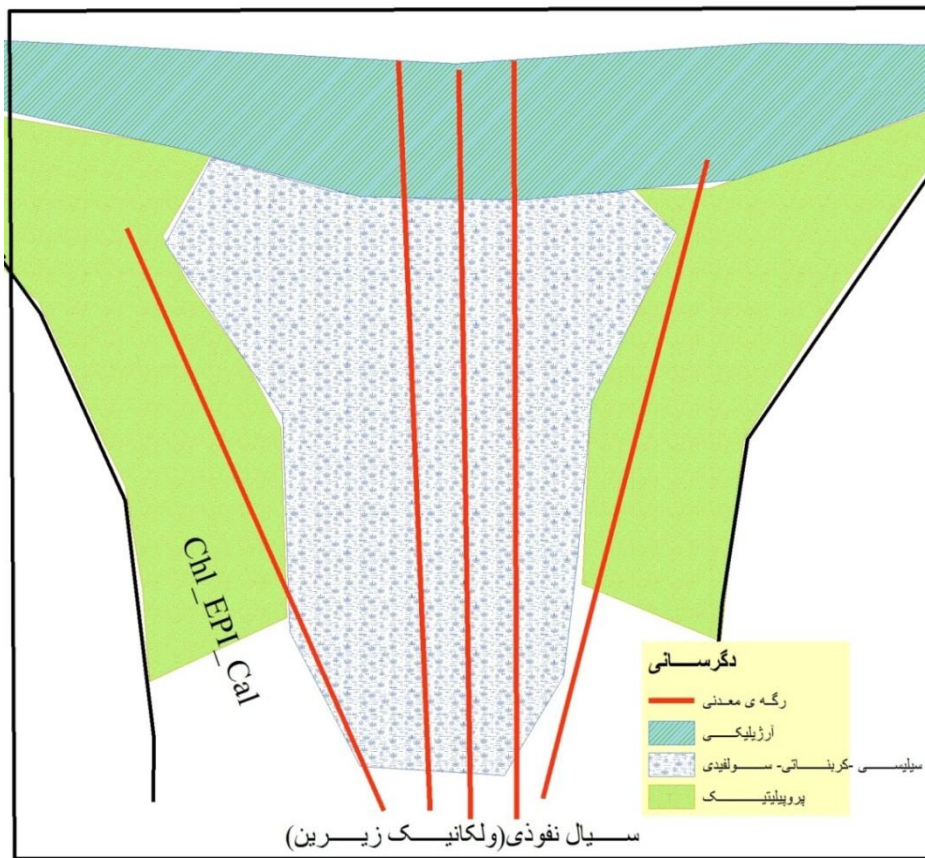


شکل ۲-۲۱: نمونه‌ای از دگرسانی‌های شکل گرفته در سینه کار دیان

۷-۲-۲ پهنه‌بندی دگرسانی

گسترش انواع دگرسانی در کانسار مس دیان دارای نظم خاصی است به‌طوری‌که در عملیات صحرائی مشاهده‌شده، دگرسانی سیلیسی در مرکز و در نزدیکی رگه‌ی کانه‌دار و یا در مرکز پهنه‌ی کانه‌دار گسترش دارد و دگرسانی پروپیلیتیک نیز در اطراف دگرسانی سیلیسی گسترش زیادی دارد (۲-۲۲). البته دگرسانی آرژیلیک بیشتر در قسمت‌های سطحی‌تر گسترش دارد (شکل ۲-۲۲). دلیل این پهنه‌بندی تغییرات در ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی سیال کانه‌دار از عمق و مرکز رگه به سمت اطراف می‌باشد. دگرسانی‌های سیلیسی و پروپیلیتیک به دلیل گسترش عمقی از نوع اولیه بوده و مربوط به سیال داغ گرمابی اولیه می‌باشند درحالی‌که گسترش سطحی دگرسانی آرژیلیک مربوط به

نفوذ آب‌های سرد جوی است.



شکل ۲-۲۲: تصویر شماتیک از پهنه‌بندی دگرسانی شکل گرفته در محدوده کانسار مس دیان

فصل سوم

اکتشافات ژئوشیمیایی محدوده مس دیان

۳-۱ مقدمه

باگذشت زمان نیاز به اکتشاف توده‌های کانساری عمیق و پنهان، هرروز بیش‌تر احساس می‌شود. به‌این‌ترتیب، احتیاج مبرم به تکنیک‌های اکتشافی پیشرفته‌ای که بتوان از طریق به‌کارگیری آن‌ها به کشف توده‌های کانساری عمیق پرداخت، هرروز بیشتر می‌شود. بیشتر موفقیت‌هایی که در این زمینه به‌دست‌آمده است، در ارتباط با کشف هاله‌های ژئوشیمیایی عناصری است که می‌توانند در محیط‌های ژئوشیمیایی برای فواصل قابل‌ملاحظه‌ای (صدها متر تا چند کیلومتر) مهاجرت کنند. با توجه به این‌که عناصر و ترکیبات می‌توانند فواصل نسبتاً زیادی را از نهشته‌های پنهانی عمیق طی کرده و به سطح زمین نزدیک‌تر شوند، تکنیک آنالیز و اندازه‌گیری آن‌ها حائز اهمیت فراوان است (گریگوریان، ۱۹۸۷). عمده زمینه‌های تحقیقاتی در ژئوشیمی اکتشافی شامل بررسی هاله‌های لیتوژئوشیمیایی (اولیه و ثانویه)، هاله‌های هیدروژئوشیمیایی، اتموژئوشیمیایی، بیوژئوشیمیایی و ژئوبوتانی است که با توجه به اینکه محدوده مس دیان جزء منطق خشک حساب می‌شود و مراحل شناسایی و اکتشافات مقدماتی در مناطق خشک به دلیل شرایط ویژه و محدود بودن روش‌های قابل‌استفاده در این محیط‌ها نسبت به محیط‌های مرطوب، دچار مشکلاتی ازجمله، کمبود پوشش گیاهی جهت استفاده از روش بیوشیمیایی و کمبود منابع آبی جهت استفاده از روش هیدروژئوشیمیایی و یا در نمونه‌برداری از رسوبات آبراهه‌ای به دلیل تأثیرات سیلاب با اندازه‌های مختلف ذرات و در نتیجه مواجه‌شدن با توزیع غیریکنواخت عناصر، مطالعات صورت گرفته در این پژوهش، مطالعات لیتوژئوشیمیایی در محدوده است. بررسی سنگ‌ها در مرحله‌ی اکتشافات کوچک‌مقیاس، به‌منظور شناخت ایالات متالوژنی و سنگ‌های میزبانی انجام می‌پذیرد که در ارتباط نزدیک با نوع خاصی از کانی است. روش‌های مطالعاتی در بررسی هاله‌های لیتوژئوشیمیایی شامل نمونه‌برداری، آماده‌سازی، تجزیه شیمیایی داده‌ها و تفسیر اطلاعات حاصله است.

۲-۳ اکتشافات ژئوشیمیایی اولیه

در محدوده مس دیان، با توجه به پردازش مقدماتی داده‌ها، نمونه‌برداری و با توجه به ویژگی‌های زمین‌شناسی منطقه، مشاهدات صحرایی و نتایج اولیه بررسی‌های ژئوشیمیایی، تعداد ۸۶ نمونه به صورت سیستماتیک در شبکه ۵۰×۱۰۰ متر در مناطق کانه‌زایی کانسار و در گستره مورد مطالعه، برداشت گردید و مورد مطالعات آزمایشگاهی و آنالیز لازم قرار گرفتند. اهداف مورد نظر در مطالعات ژئوشیمیایی محدوده معدنی به صورت موارد ذکر شده در زیر می‌باشند.

- بررسی تغییرات ژئوشیمیایی و ناهنجاری‌های عناصر کانه ساز در کانسار
- تعیین آنومالی‌های ژئوشیمیایی
- تعیین رفتار ژئوشیمیایی عناصر نسبت به یکدیگر
- تعیین عناصر همراه کانه‌زایی مس
- تعیین همبستگی ژنتیکی مستقیم و معکوس بین عناصر موجود در کانسار
- تعیین ارتباط ناهنجاری‌های ژئوشیمیایی با پهنه‌های دگرسانی و بخش کانه‌زایی کانسار

۱-۲-۳ نمونه‌برداری

قبل از انجام نمونه‌برداری در هر منطقه‌ای، باید اهدافی به شرح زیر مورد توجه قرار گیرد (گریگوریان، ۱۹۸۵).

- تخمین بهترین اندازه رسوبات برای نمونه‌برداری از خاک، به طوری که مناطق کانی‌سازی به بهترین نحو شناسایی شوند
- تعیین میزان محدوده پراکندگی رسوبات از یک کانی‌سازی شناخته شده به منظور به دست آوردن فاصله بهینه نمونه‌برداری
- اثبات و جود تفاوت بین اندازه بهینه نمونه‌های ژئوشیمیایی در مناطق کوهستانی با ارتفاع زیاد و مناطق دشت با ارتفاع کم

• حضور ماسه‌بادی‌ها به‌عنوان مزاحم در نمونه‌ها

با انتخاب بهینه ذرات، می‌توان این آلودگی‌ها را به حداقل کاهش داد که خود باعث شدت بخشی آنومالی‌های ژئوشیمیایی می‌شود. عملیات نمونه‌برداری به‌صورت برداشت نمونه از مقاطع عرضی یا پروفیل‌هایی که معمولاً عمود بر روند سنگ درون‌گیر می‌باشند، انجام می‌گیرد. مهم‌ترین بخش نمونه-برداری، طراحی شبکه نمونه‌برداری است که در آن، هر ناهنجاری ژئوشیمیایی، می‌بایست حداقل به‌وسیله دو پروفیل قطع گردد. پروفیل‌ها ممکن است درازای مختلفی داشته باشند اما لزوماً باید تا گستره‌ی سنگ‌های دگرسان شده امتداد یابند. از دیگر پارامترهای مؤثر در نمونه‌برداری، تعیین بهترین و مناسب‌ترین محیط نمونه‌برداری برای جستجو و رعایت نکات فنی نمونه‌برداری به‌منظور برداشت معرف‌ترین آن‌ها می‌باشند. نمونه‌ها باید دقیقاً معرف مواد موردنظر برای آزمایش بوده و تعداد نمونه‌ها باید در حدی باشد که متناسب با کلیه تغییرات ترکیبی منطقه مورد مطالعه باشد (گریگوریان، ۱۹۷۵).

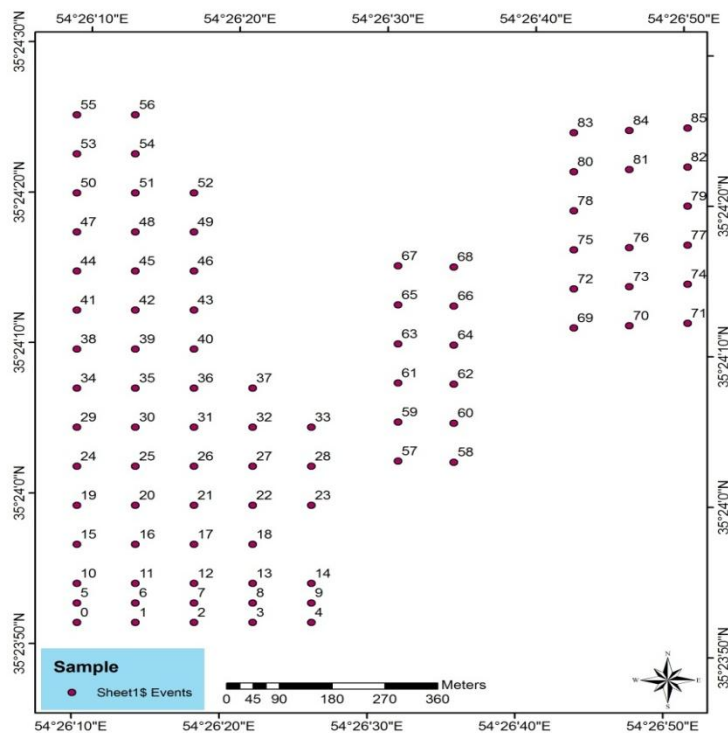
۳-۲-۲ محیط نمونه‌برداری

مطالعات ژئوشیمیایی سطحی کانسار، بر پایه نمونه‌برداری‌های صورت گرفته از ترانشه‌ها و رسوبات سطحی است. با توجه به تأثیر هوازدگی و شدت فرسایش در منطقه معدنی دیان، 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 زیادی از مس موجود در نمونه‌های برداشت‌شده شامل کانی‌های اکسیدی و کربنات مس است که ترانشه‌ها در این محل حفر گردیده‌اند. نمونه‌برداری‌های صورت گرفته در ترانشه‌ها، شامل نمونه‌برداری از سنگ‌های رخنمون یافته در آن‌ها است و از جهت ژئوشیمیایی دارای آلودگی کمتری نسبت به نمونه‌های خاک و رسوبات است. محیط نمونه‌برداری شامل یک محیط سوپرژن است که در چنین شرایطی قابلیت تحرک عناصر در ارتباط مستقیم باقابلیت انحلال آن‌ها است (گریگوریان، ۱۹۷۵). با توجه به نوع کانه‌زایی در منطقه

و وجود کانی‌های سولفیدی، تأثیر شرایط اکسیدان، موجب اکسید شدن کانی‌های سولفیدی بخصوص پیریت شده و با تولید آب‌های اسیدی ناشی از آن (در حضور آب) شرایط PH پایین و اسیدی ایجاد می‌گردد که خود باعث انحلال کانی‌های مس سولفیدی موجود در منطقه گردیده که می‌تواند محیط سوپرژن اکسیدی تشکیل دهد.

۳-۲-۳ شبکه نمونه‌برداری

برای تعیین شبکه بهینه نمونه‌برداری در محدوده ۴۰ کیلومتری، از تفسیر نتایج لایه تلفیقی زمین-شناسی، سنجش‌ازدور و نتایج داده‌های ژئوشیمیایی رسوبات آبراهه‌ای در محیط GIS استفاده شد. شبکه سیستماتیک نمونه‌برداری عمود بر روند کانی‌سازی انتخاب شد. این شبکه منظم و سیستماتیک، با پروفیل‌هایی به فواصل ۱۰۰ متر از یکدیگر و فواصل نمونه‌ها روی هر یک از پروفیل‌ها به اندازه ۵۰ متر از رسوبات سطحی زمین برداشت شد. محل برداشت نمونه‌های مذکور بر روی نقشه زمین‌شناسی و ساختاری منطقه در شکل زیر نشان داده شده است (شکل ۳-۱).



شکل ۳-۱: نقشه شبکه نمونه‌برداری ژئوشیمی منطقه مورد مطالعه

۴-۲-۳ آماده‌سازی و تجزیه نمونه‌ها

پس از اینکه مرحله نمونه‌برداری به اتمام رسید، نمونه‌های برداشت‌شده از اندازه ۴۰ مش به ۲۰۰ مش خردایش شده و برای تجزیه ۳۶ عنصری به آزمایشگاه زر آزما ارسال گردید.

۳-۳ پردازش اولیه داده‌های ژئوشیمیایی

نمونه‌ها جهت آنالیز ۳۶ عنصری به آزمایشگاه زر آزما ارسال و پس از دریافت نتایج، پردازش مقدماتی داده‌ها انجام گرفت. از اولین مراحل پردازش داده‌ها، جایگزینی مقادیر سنسورد^۱ است. داده‌های سنسورد به داده‌هایی اطلاق می‌شود که در بین آن‌ها به علت بالا بودن حد حساسیت دستگاه‌های اندازه‌گیری تعدادی داده به صورت مقادیر کوچک‌تر از حد حساسیت دستگاه یافت می‌شود. وجود چنین اعدادی در بین داده‌ها بررسی‌ها آماری را دچار اختلال می‌کند (حسنی پاک، ۱۳۸۰). در صورتی که داده‌های سنسورد تخمین زده شوند و جایگزین گردند مقدار زمینه و شدت آنومالی‌ها دقیق‌تر محاسبه خواهد شد. این تخمین با استفاده از روش‌های جایگزینی ساده، روش ترسیمی و روش بیشترین درست‌نمایی کوهن انجام می‌گیرد. در ای قسمت از روش جایگزینی ساده به منظور شناسایی مقادیر سنسورد استفاده شده است. مقادیر سنسورد مشاهده‌شده در داده‌ها تنها مربوط به عنصر Li بود که به دلیل مقادیر بالای داده سنسورد از محاسبات حذف گردید

۱-۳-۳ بررسی‌های آماری تک متغیره

اولین گام در شناخت خصوصیات داده‌های اکتشافی محاسبه پارامترهای آماری داده‌ها نظیر، میانگین، انحراف معیار، واریانس، چولگی^۲ و کشیدگی^۳ است. بررسی ویژگی‌های توزیع عناصر با بهره-

^۱.Sensord

^۲.Skewness

^۳.Kurtosis

گیری از پارامترهای ساده آماری تک متغیره^۱ و ترسیم هیستوگرام^۲ فراوانی عناصر با رسم منحنی نرمال صورت می‌گیرد. هیستوگرام ترسیم‌شده سه ویژگی موقعیت، پراکندگی و شکل داده را توصیف می‌کند. در این مرحله با توجه به تعیین ماهیت نرمال یا لاگ-نرمال هر عنصر، پارامترهای آماری دقیق‌تری برای عناصر به دست می‌آید.

۲-۳-۳ پارامترهای آماری داده‌های خام

قبل از پردازش داده‌ها، به‌منظور شناخت ماهیت تابع توزیع مربوط به تک‌تک عناصر پارامترهای آماری داده‌های خام محاسبه می‌گردد. به این منظور، پارامترهای آماری نظیر، میانگین، میانه، انحراف معیار، واریانس، چولگی، کشیدگی و مقادیر مینیمم و ماکزیمم داده‌ها محاسبه گردیده است (جدول ۳-۱). با توجه به مقادیر به‌دست‌آمده مشخص است که بسیاری از عناصر دارای چولگی مثبت بوده و توزیعی به‌صورت لاگ نرمال دارند. مقادیر چولگی و کشیدگی به‌دست‌آمده برای عناصر نقره، آلومینیوم، کادمیوم، سدیم و اورانیوم نشان‌دهنده‌ی آن است که مقادیر نرمال و یا نزدیک به نرمال هستند.

^۱.Univariate

^۲.Histogram

جدول ۳-۱: پارامترهای آماری داده‌های خام عناصر

	N	Range	Minimum	Maximum	Sum		Mean		Std. Deviation	Variance	Skewness		Kurtosis	
		Statistic	Statistic	Statistic	Statistic	Statistic	Std. Error	Statistic	Statistic	Statistic	Std. Error	Statistic	Std. Error	
Ag	86	0.14	0.20	0.34	22.69	0.263	0.0031	0.028	0.001	0.243	0.260	-.26	0.514	
Al	86	21528	48333	69861	486766	56600.7	479.9	4451	19813952	0.531	0.260	.31	0.514	
As	86	58.6	5.0	63.6	944.4	10.981	0.762	7.073	50.02	5.17	0.260	36.14	0.514	
Ba	86	912	255	1167	42165	490.29	22.04	204.4	41807.71	1.53	0.260	1.72	0.514	
Be	86	2.5	1.0	3.5	111.7	1.299	0.036	0.33	.113	4.56	0.260	25.67	0.514	
Ca	86	65858	49167	115025	633635	73678.5	1317.5	12218.74	14929781	.862	0.260	1.32	0.514	
Cd	86	0.05	0.21	0.26	20.17	.2345	0.001	0.011	0.000	-.014	0.260	-.094	0.514	
Ce	86	25	43	68	4291	49.90	0.48	4.46	19.9	1.096	0.260	2.07	0.514	
Co	86	31	12	43	1597	18.57	0.64	5.94	35.2	2.112	0.260	5.19	0.514	
Cr	86	333	72	405	11817	137.41	7.074	65.6	4303	2.15	0.260	5.06	0.514	
Cu	86	2214	27	2241	7155	83.20	27.054	250.8	62944	7.8	0.260	66.59	0.514	
Fe	86	31499	27459	58958	307036	35701.8	652.65	6052	36632277	1.5	0.260	2.97	0.514	
K	86	11757	6620	18377	128544	14946.9	183.1	1698	2883261	-1.4	0.260	6.13	0.514	
Li	86	45	23	68	2708	31.49	0.872	8.09	65.45	2.48	0.260	6.83	0.514	
Mg	86	10114	8589	18703	103752	12064.2	178.59	1656.18	2742930	1.27	0.260	3.65	0.514	
Mn	86	1031	725	1756	82494	959.23	20.93	194.14	37692	1.78	0.260	3.83	0.514	
Mo	86	0.44	1.17	1.61	113.70	1.3221	0.009	0.089	0.008	0.96	0.260	0.99	0.514	
Na	86	8425	9614	18039	115792	13464.2	188.5	1748.6	3057833	.265	0.260	-.113	0.514	
Ni	86	158	44	202	5909	68.71	3.27	30.3	923.9	2.59	0.260	7.29	0.514	
Pb	86	112	19	131	2639	30.69	1.36	12.6	159.7	6.06	0.260	47.2	0.514	
Sb	86	10.9	0.9	11.8	98.2	1.142	0.12	1.164	1.35	9.23	0.260	85.46	0.514	
Ti	86	4871	3414	8285	407042	4733.05	102.8	953.65	909465.5	1.31	0.260	2.22	0.514	
U	86	1.2	3.9	5.1	380.6	4.426	.028	0.266	0.071	.22	0.260	-.31	0.514	
Zn	86	152	70	222	8182	95.14	2.48	23.08	532.94	2.61	0.260	10.33	0.514	

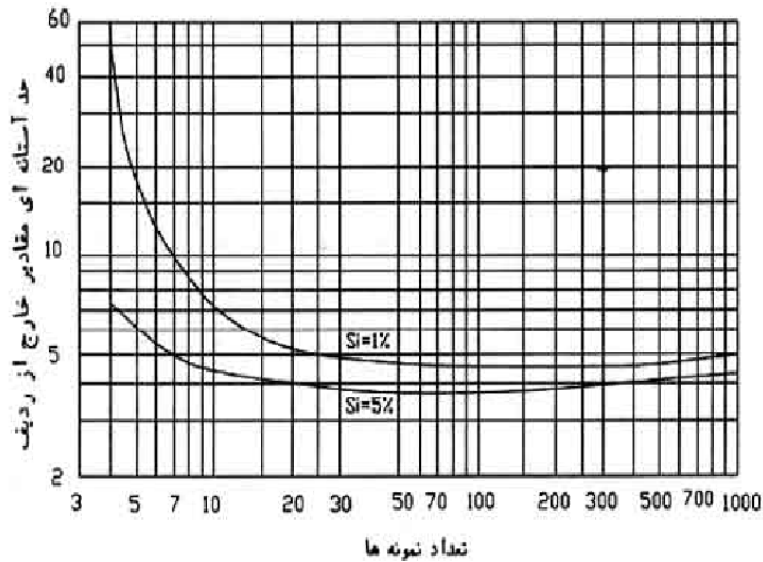
۳-۳-۳ آزمون مقادیر خارج از ردیف

اغلب مشاهده می‌شود که درصد کمی از داده‌های مربوط به قسمت کرانه‌ای توزیع از روند خطی داده‌ها فاصله می‌گیرند. در این حالت می‌توان قسمت منحرف‌شده توزیع را طوری تصحیح کرد که از همان روند خطی کل داده‌ها تبعیت کند. تصحیح نامبرده با استفاده از روش‌هایی مثل نمودار احتمال، کاهش بزرگ‌ترین مقدار به یکی قبل از آن و روش‌های آماری، انجام می‌گیرد. دورفل، نموداری برای تعیین حد آستانه‌ای مقادیر خارج از ردیف برای دو سطح معنی‌دار بودن ۵٪ و ۱٪ تهیه کرده است (شکل ۳-۲). برای انجام آزمون مقادیر خارج از ردیف، میانگین (\bar{X}) و انحراف معیار (S) بدون در نظر گرفتن مقدار داده‌ها محاسبه می‌شود. سپس بزرگ‌ترین مقدار داده‌ها (X_A) ، در صورتی که در

رابطه زیر صدق کند یک مقدار خارج از ردیف در نظر گرفته می‌شود.

$$X_A \geq \bar{X} + S.g \quad (1-3)$$

که در آن g حد آستانه‌ای مقادیر خارج از ردیف است که از نمودار دورفل محاسبه می‌گردد.



شکل ۲-۳: حد آستانه‌ای مقادیر خارج از ردیف (g) به‌عنوان تابعی از تعداد نمونه (n) و سطح اعتماد (لوینسون،

۱۹۸۰)

با روش ذکرشده، مقادیر خارج از ردیف محاسبه و تعیین شده است. در این قسمت بر اساس تعداد نمونه‌ها (۸۶ نمونه) مقدار g برابر ۳/۹ محاسبه شد و بر اساس رابطه‌ی (۱-۳) مقادیر خارج از ردیف بدست آمد. این مقادیر با بزرگ‌ترین مقدار داده در بین نمونه‌های هر عنصر که مقدار خارج از ردیف نبوده، جایگزین گردید. داده‌های خارج از ردیف شده در جدول (۲-۳) مشاهده می‌شود.

جدول ۳-۲: مقادیر خارج از ردیف عناصر و مقدار تصحیح شده

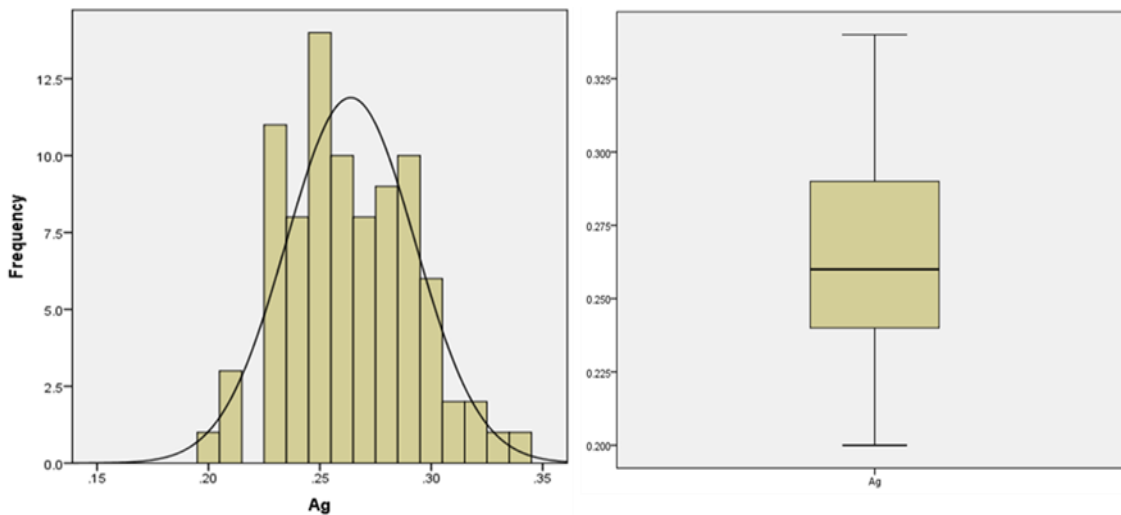
عنصر	مقادیر خارج از ردیف	مقادیر تصحیح شده
Sr	۹۱۸	۷۱۸
Sb	۱۱/۸	۱/۲۳
Pb	۱۳۱	۵۱
P	۱۹۵۲	۱۴۹۳
S	۴۴۸۹-۵۰۲۹-۱۱۳۳۳-۱۳۵۰۲	۶۵۷
Ni	۲۰۲	۱۷۶
Cu	۲۲۴۱	۷۴۱
As	۶۳۶	۲۲۰۸
V	۲۵۹	۱۷۷
Fe	۵۷۳۰۴-۵۸۹۵۸	۴۸۲۹۶

۴-۳-۳ بررسی توزیع داده‌ها

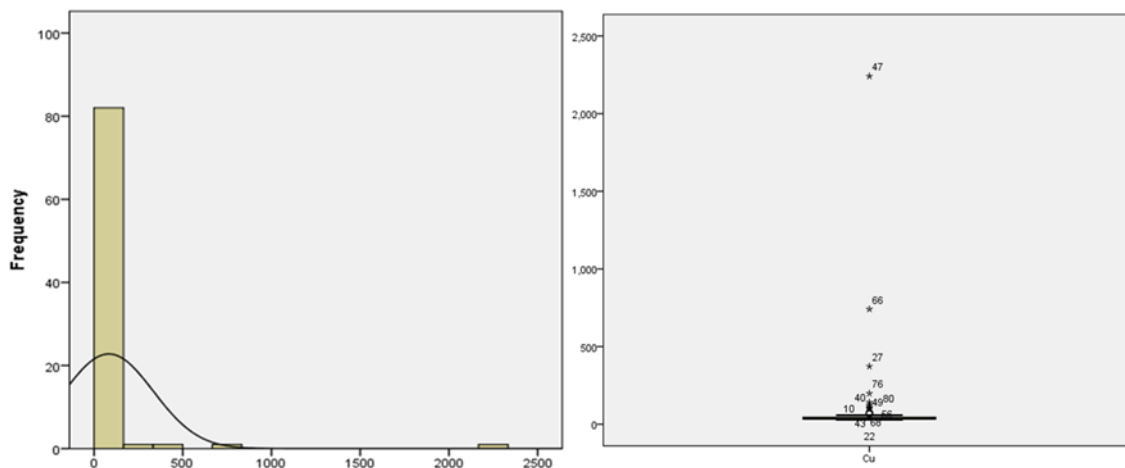
پس از محاسبه پارامترهای آماری داده‌ها، در جهت شناسایی ترتیب قرارگیری داده‌ها در کنار هم و بررسی توابع توزیع، هیستوگرام و نمودار جعبه‌ای داده‌ها ترسیم شد. بر طبق نتایج به دست آمده از این نمودارها و بررسی آزمون‌های آماری مختلف از جمله، آزمون کلوموگروف-اسمیرنوف^۱ و آزمون کای دو^۲، نشان داد که برخی از عناصر مثل Ag دارای تابع توزیع نرمال و برخی از عناصر مثل Cu دارای تابع توزیع غیر نرمال هستند (شکل‌های ۳-۳ و ۴-۳). بعضی از عناصر نیز نزدیک به توزیع نرمال با مقدار کمی چولگی و یا کشیدگی در نمودار هیستوگرام خود بودند. بر این اساس عناصر نرمال جدا گشته و عناصر غیر نرمال در جهت نرمال‌سازی مورد بررسی قرار گرفتند؛ که در ادامه ذکر می‌گردد. در شکل-های زیر نمودارهای هیستوگرام و جعبه‌ای و همچنین انحراف از خط نرمال برای عناصر مس و نقره نشان داده شده است.

^۱. Kolmogorov-Smirnov Test

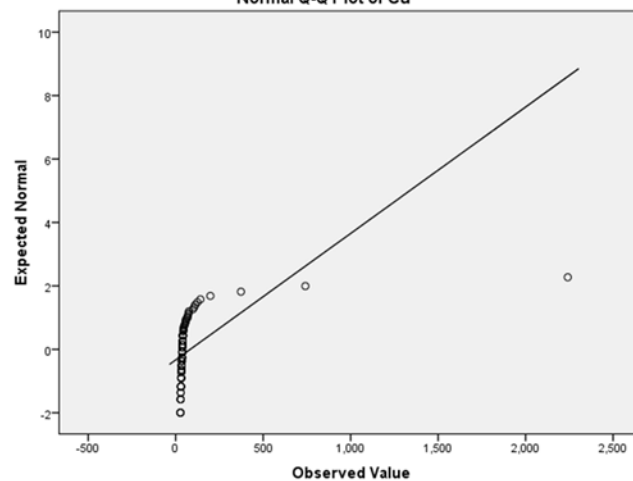
^۲. χ^2 Test



شکل ۳-۳: نمودار هیستوگرام و باکس پلات داده‌های خام عنصر نقره



Normal Q-Q Plot of Cu



شکل ۴-۳: نمودار هیستوگرام، باکس پلات و چارک-چارک داده‌های خام عنصر مس

۵-۳-۳ تفسیر بررسی‌های آماری تک متغیره

با توجه به مقادیر پارامترهای آماری داده‌های خام، نمودار هیستوگرام و جعبه‌ای داده‌ها و بررسی آزمون‌های آماری مربوط به نرمال بودن داده‌ها نتایج به دست آمده به شرح زیر بیان می‌گردد.

- عناصر Ag, Al, Ba, Ca, Mo, Mg, Mn دارای ماهیت تقریباً نرمال بوده و ناهنجاری‌های مهمی از آن‌ها در این محدوده دیده نمی‌شود. اغلب این عناصر در ترکیب کانی‌های سنگ‌ساز منطقه مشارکت دارند
- عناصر Cu, Co, Cr, Ni, Pb, Fe, Zn, Sb, As, Be دارای ماهیت غیر نرمال بوده و در آن‌ها مقادیر غیرعادی مشاهده می‌گردد. این مقادیر با توجه به خصلت کانه‌زایی موجود در منطقه معدنی دیان می‌توانند به عنوان آنومالی‌های منشأ کانه‌زایی تلقی شوند.
- دیگر عناصر نیز دارای ماهیت لاگ نرمال می‌باشند که در هر کدام مقادیر چولگی، کشیدگی و یا فراوانی بالای مربوط به یکی از داده‌های کلاسه‌بندی شده باعث انحراف از نرمال عنصر گردیده است

۴-۳ نرمال سازی داده‌ها

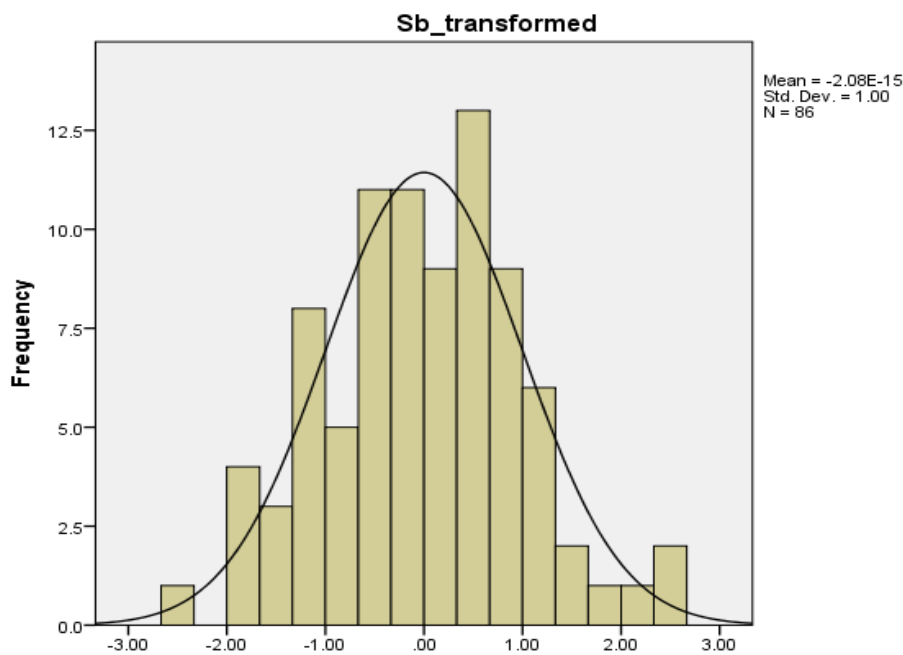
لازمه استفاده از برخی روش‌های آماری مانند ضریب همبستگی پیرسون، نرمال بودن تابع توزیع متغیرهای مورد مطالعه است. به دلیل ماهیت لاگ نرمال غالب عناصر در داده‌ها، اقدام به نرمال سازی داده‌های منطقه گردید. مهم‌ترین روش‌های نرمال کردن توابع توزیع عبارت‌اند از: تبدیل لگاریتمی سه پارامتری، تبدیل کاکس و باکس، استفاده از نمودار احتمال لگاریتمی و استفاده از نمودار فینی می-باشند که در این پژوهش جهت نرمال سازی داده‌ها از روش تبدیل لگاریتمی سه پارامتری و تبدیل کاکس و باکس استفاده شده است. با اعمال تبدیل کاکس و باکس، برخی از عناصر مثل آنتیموان (شکل ۳-۵) نرمال گشته و برای آن دسته از عناصری که به این روش نرمال نشدند از روش تبدیل لگاریتمی سه پارامتری استفاده شده است (شکل ۳-۶). روش تبدیل لگاریتمی سه پارامتری به صورت

زیر است.

$$P(x) = Lg(ax \pm b) \quad (2-3)$$

اعمال این تبدیل به این صورت است که اگر داده‌ها دارای چولگی مثبت باشند مقدار $b = +1$ و اگر داده‌ها دارای چولگی منفی باشند مقدار $b = -1$ لحاظ می‌شود. در این رابطه معمولاً مقدار a برابر یک در نظر گرفته می‌شود. در روش کاکس و باکس، ابتدا تبدیلاتی برای پیدا کردن یک مقدار (λ) انجام می‌شود. سپس به صورت کلی به ازای هر مشاهده‌ی X_t از تبدیل زیر استفاده می‌شود.

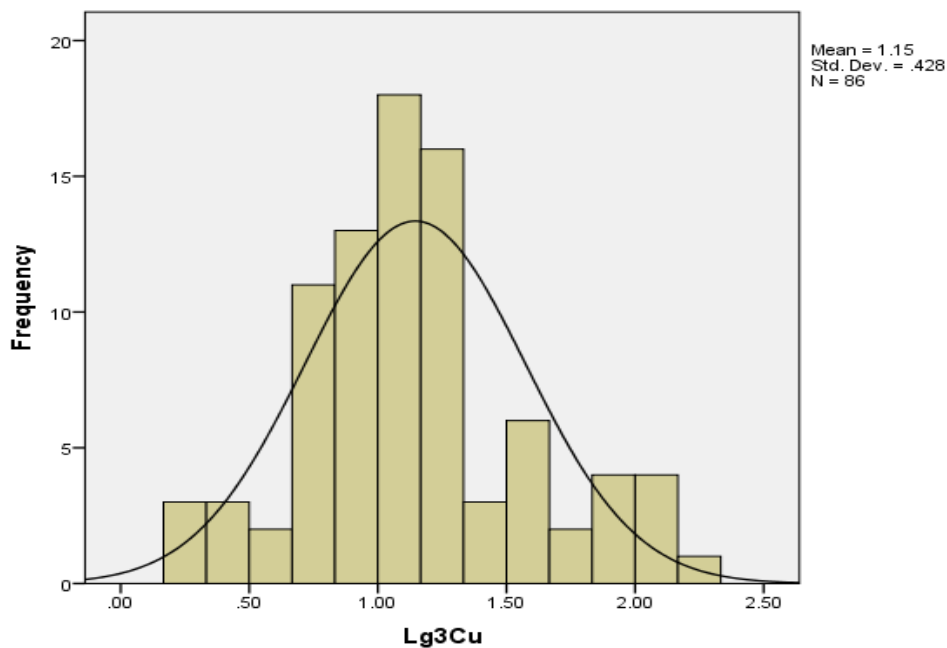
$$T(X_t) = \frac{X_t^\lambda - 1}{\lambda} \quad (3-3)$$



شکل ۳-۵: هیستوگرام تبدیل کاکس- باکس عنصر آنتیموان

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 هر متغیر می‌توان نتیجه گرفت که مقدار چولگی و کشیدگی متغیرها در مقایسه با مقادیر متناظر داده‌های خام تا چه اندازه کاهش یافته و منحنی توزیع تجمعی آن‌ها به صورت یک خط راست که مبین توزیع نرمال است نزدیک شده است. با اعمال تبدیل کاکس و باکس عناصری نظیر Sb, As, Zn, Li, Co, S, Th, Ba, نرمال گشته و بقیه عناصر

نظیر Cu به روش تبدیل لگاریتمی سه پارامتری نرمال شدند (شکل ۳-۶). بر اساس نتایج به دست آمده از نرمال سازی داده ها و انجام دوباره آزمون های نرمال بودن عناصر، مشاهده گردید که عملیات نرمال سازی تا حدود زیادی موفق عمل کرده و تقریباً همه عناصر به یکی از روش های نامبرده، تبدیل به تابع نرمال شده اند و برای دیگر بررسی های آماری مناسب می باشند.



شکل ۳-۶: هیستوگرام تبدیل لگاریتم سه پارامتری عنصر مس

۳-۵ بررسی های آماری دومتغیره

رفتار برخی از عناصر تحت شرایط حاکم بر محیط، نسبت به یکدیگر وابستگی و ارتباط متقابل نشان می دهند. شناخت ارتباط و وابستگی های ژنتیکی که میان دو یا چند عنصر وجود دارد، می تواند در تفسیر دقیق تر شرایط موجود در محیط های ژئوشیمیایی بکار گرفته شود. از ابزارهای مفید در بررسی تغییرات همزمان چند عنصر، رسم نمودارهای پراکندگی و محاسبه ضرایب همبستگی است (گریگوریان، ۱۹۷۵). در این بخش به منظور بررسی همبستگی عناصر با یکدیگر از ضریب همبستگی پیرسون و اسپیرمن استفاده شده است.

۳-۵-۱ ضریب همبستگی عناصر

ضریب همبستگی پیرسیون برای داده‌های با توزیع نرمال به کار می‌رود و مقادیر این ضریب بین ۱) و -۱) قرار می‌گیرد. مقدار ۱ برای ضریب همبستگی کاملاً خطی همسو و مقدار -۱ برای همبستگی کاملاً خطی غیرهمسو بیان می‌شود. مقدار ضریب همبستگی پیرسیون^۱ از رابطه زیر به دست می‌آید.

$$r_{xy} = \frac{Cov(x, y)}{\sigma_x \sigma_y} \quad (۴-۳)$$

مقادیر σ_x, σ_y ، انحراف معیار متغیرهای X و Y هستند.

بر اساس رابطه‌ی ذکر شده، این ضریب همبستگی برای برخی از عناصر محاسبه شده است (جدول

۳-۳).

جدول ۳-۳: همبستگی عناصر بر اساس ماتریس همبستگی پیرسیون

Zn	V	U	Pb	Ni	Mo	Mn	Cu	Cr	Co	Ce	Be	Ba	As	Ag	element
.286	.408	.435	.047	.084	.130	.296	.185	.054	.063	.148	.378	.240	.408	1	Ag
.143	.526	.557	.011	.042	.092	.397	.143	.146	.134	.179	.555	-.008	1	.408	As
.161	.018	-.008	-.018	.072	.245	-.175	.018	.154	.140	.065	.271	1	-.008	.240	Ba
.137	.365	.325	.044	.059	.131	.094	.114	-.054	-.045	.023	1	.271	.555	.378	Be
.021	.114	.253	-.020	-.053	.325	.283	.574	.068	.048	1	.023	.065	.179	.148	Ce
.254	-.017	.007	.165	.257	-.022	.002	-.096	.99	1	.048	-.045	.140	.134	.063	Co
.242	-.005	.015	.155	.250	-.020	-.012	-.092	1	.990	.068	-.054	.154	.146	.054	Cr
.189	.118	.141	.125	-.150	.190	.221	1	-.092	-.096	.574	.114	.018	.143	.185	Cu
.023	.553	.575	-.001	.086	.100	1	.221	-.012	.002	.283	.094	-.175	.397	.296	Mn
-.143	.185	.000	.056	-.197	1	.100	.190	-.020	-.022	.325	.131	.245	.092	.130	Mo
.360	.053	-.008	.068	1	-.197	.086	-.150	.250	.257	-.053	.059	.072	.042	.084	Ni
.454	-.010	.031	1	.068	.056	-.001	.125	.155	.165	-.020	.044	-.018	.011	.047	Pb
.131	.695	1	.031	-.008	.000	.575	.141	.015	.007	.253	.325	-.008	.557	.435	U
.192	1	.695	-.010	.053	.185	.553	.118	-.005	-.017	.114	.365	.018	.526	.408	V
1	.192	.131	.454	.360	-.143	.023	.189	.242	.254	.021	.137	.161	.143	.286	Zn

^۱.Pearson

اگر توزیع داده‌ها نرمال نباشد، برای محاسبه ضریب همبستگی می‌توان از روش‌های نا پارامتری استفاده کرد. این روش‌ها نسبت به توزیع داده‌ها حساس نمی‌باشند. یکی از روش‌های نا پارامتری محاسبه ضریب همبستگی، ضریب همبستگی رتبه‌ای اسپیرمن^۱ است که مقدار آن از رابطه زیر قابل محاسبه است (گریگوریان، ۱۹۷۵).

$$r_s = 1 - \frac{6 \sum (\Delta^2)}{n(n^2 - 1)} \quad (5-3)$$

که در آن $\sum (\Delta^2)$: جمع مربعات تفاضل شماره دو رتبه در دو سری داده به هم وابسته و n ، تعداد مشاهدات وابسته به یکدیگر است. با توجه به اینکه عناصر تبدیل به تابع توزیع نرمال شدند، در این مطالعات از روش همبستگی پیرسیون استفاده شده است.

مقایسه ضرایب همبستگی بین عناصر نتایج زیر را در برداشت.

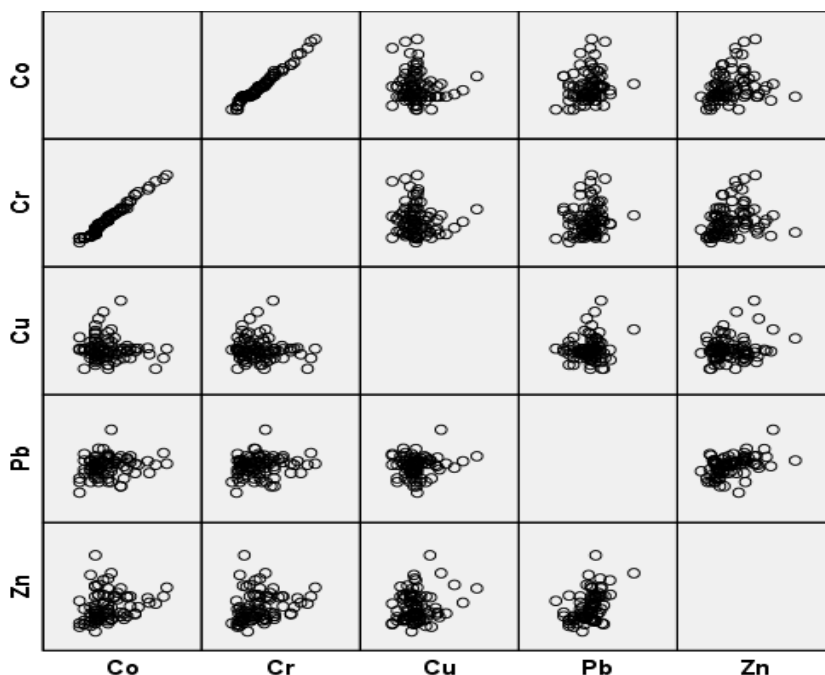
- بالاترین ضریب همبستگی عنصر نقره با عنصر اورانیوم (۰/۴۳۵) است. ضریب همبستگی این عنصر با مس (۰/۱۸۵) است
- مس با عناصر Co, Cr, Ni دارای همبستگی منفی و با عناصری نظیر Ag, Be, U, Zn دارای همبستگی مثبت است. این عنصر با Ce بالاترین همبستگی (۰/۵۷۱) را دارد.
- بیشترین مقدار ضریب همبستگی بین دو عنصر Cr و Co (۰/۹۹) است که نشان از همبستگی بسیار قوی این دو عنصر باهم دارد
- عنصر Pb با عنصر Zn بیشترین مقدار همبستگی (۰/۴۵۴) را نشان می‌دهد.

ضریب همبستگی خطی^۲ معیاری از درجه تمایل دو متغیر به داشتن رابطه خطی است و شاید همبستگی کلی دو متغیر را نشان ندهد. یکی از ابزارهای مفید در بررسی تغییرات همزمان دو متغیر،

^۱.Spearman

^۲.Linear Correlation Coefficient

رسم نمودار پراکندگی^۱ است که در آن مقادیر مربوط به دو متغیر در دستگاه مختصات دومتغیره رسم می‌شوند (حسنی‌پاک، ۱۳۸۰). نمودار پراکندگی برخی از عناصر شاخص در شکل دیده می‌شود (شکل ۷-۳). این نمودار نشان می‌دهد که عناصری مثل کروم و کبالت دارای همبستگی خطی کامل با شیب مثبت هستند. جمع‌شدگی نقاط نشان از همبستگی مثبت این عناصر با همدیگر است.



شکل ۷-۳: نحوه توزیع پراکندگی عناصر کبالت، کروم، مس، سرب و روی نسبت به هم

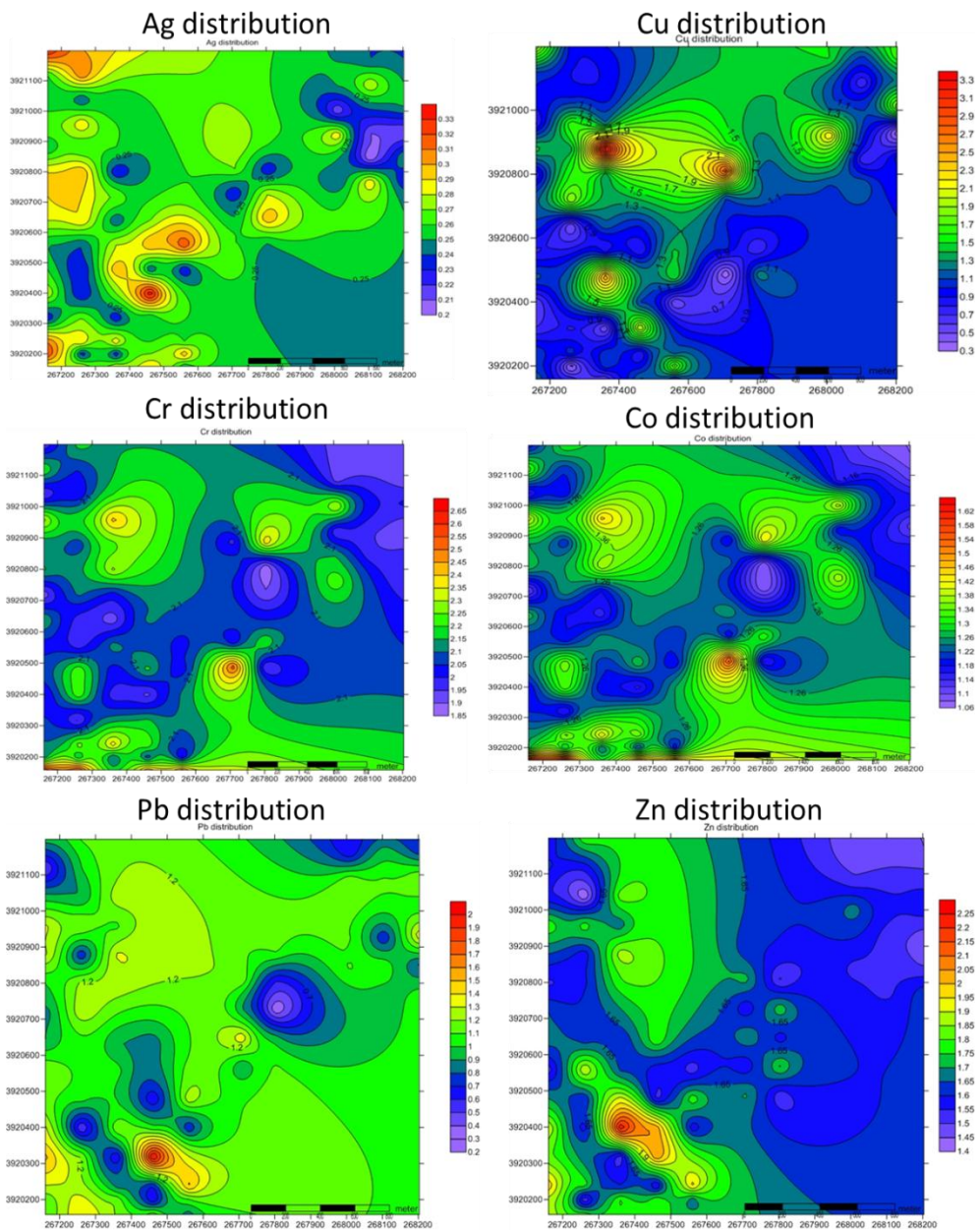
با توجه به مقادیر ضریب همبستگی به‌دست‌آمده برای عناصر به دو روش پیرسون و اسپیرمن، مقادیر ضریب همبستگی تفاوت معنی‌داری نسبت به دو روش مورداستفاده نشان نمی‌دهد. البته روش پیرسون به‌مراتب همبستگی قوی‌تری از عناصر را نسبت به روش اسپیرمن نشان می‌دهد. این مشخصه موفقیت‌آمیز بودن عملیات نرمال‌سازی بر روی داده‌ها را نشان می‌دهد.

۲-۵-۳ ترسیم نقشه‌های توزیع عیار برای چند عنصر دارای همبستگی

نقشه توزیع عناصر در منطقه بر اساس مقادیر عیار عنصر در هر نمونه ترسیم گردید. با توجه به همبستگی قابل توجه برخی از عناصر، انتظار می‌رود که در نقشه‌های توزیع عیار آن‌ها نقاط مشترک با

^۱.Dispersion

عیار بالا مشاهده گردد. این نقشه‌ها برای عناصر Cr، Co، Pb، Zn، Ce، Cu و Ag ترسیم شده که در شکل‌های زیر مشاهده می‌گردند (شکل ۳-۸). نقشه‌های ترسیم شده نشان می‌دهد که هر کدام از عناصر در مناطقی دارای ناهنجاری هستند. به طور مثال آنومالی نشان داده شده از عناصر سرب و روی نشان می‌دهد که این عناصر در محدوده‌های مشترکی دارای غلظت بالا هستند که همبستگی موجود بین این دو عنصر را نشان می‌دهد.



شکل ۳-۸: نقشه‌ی توزیع عیار برخی از عناصر در محدوده‌ی نمونه‌برداری شده

۳-۶ بررسی‌های آماری چند متغیره

یکی از روش‌هایی که کاربرد فراوانی در مطالعات اکتشافی و بررسی الگوی ژئوشیمیایی عناصر دارد، روش آماری چند متغیره است. این روش به بررسی تغییرات همزمان چند متغیر و استنباط آماری ناشی از آن می‌پردازد و به دلیل دارا بودن خطای کمتر و اعتبار بیشتر نسبت به روش‌های آماری تک متغیره و دومتغیره کاربرد فراوانی در مطالعات ژئوشیمیایی دارد (هوارس و سیندینگ لارسون^۱، ۱۹۸۳). استفاده از روش‌های چند متغیره، امکان آنالیز آماری همزمان چندین متغیر را فراهم می‌سازد. در مسائل اکتشافی گاهی ممکن است با یک فضای چند متغیره روبه‌رو باشیم؛ که بررسی روابط بین آن‌ها را دشوار می‌کند. در این‌گونه موارد لازم است با استفاده از روش‌های آماری چند متغیره^۲ به کاهش تعداد بعدها در فضای مورد بررسی پرداخت (گریگوریان، ۱۹۸۵). در بررسی آمار چند متغیره به ابزاری نیاز داریم که بتواند فضاهای چندبعدی را به نحوی نمایش دهد. این ابزار به صورتی است که هنگامی که با تعداد زیاد میانگین در متغیرهای مورد بررسی سروکار داریم، برای نمایش آن‌ها می‌توان از یک بردار استفاده کرد و یا وقتی همبستگی بین متغیرها بررسی می‌شود با یک ماتریس $m \times m$ که حاوی ضریب همبستگی دوبه‌دوی متغیرهاست روبه‌رو می‌شویم (حسنی پاک، ۱۳۸۰). روش‌های رایج در آمار چند متغیره شامل: روش تحلیل مؤلفه اصلی^۳ (PCA)، تحلیل فاکتوری^۴، تحلیل تفریقی، تحلیل خوشه‌ای، رگرسیون چندگانه و تحلیل ویژگی است. در این قسمت، روش‌های تحلیل مؤلفه اصلی و تحلیل خوشه‌ای مورد بررسی قرار می‌گیرد.

۳-۶-۱ تجزیه و تحلیل خوشه‌ای

در تجزیه و تحلیل خوشه‌ای، هدف دسترسی به ملاکی برای طبقه‌بندی هر چه مناسب‌تر متغیرها و یا

^۱.Howarth & Sindhng-Larson

^۲.Multivariate

^۳.Principal Component Analysis

^۴.Factor Analysis

نمونه‌ها بر اساس تشابه هر چه بیشتر درون گروهی و اختلاف هر چه بیشتر میان گروهی است. لذا اگر مقدار عیار مس در یک نمونه X و در نمونه دیگر Y باشد، پارامتر قابل توجه $Y-X$ است. 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، متغیرها را دسته‌بندی کنیم. این عمل می‌تواند منجر به گروه‌بندی واقعی 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، ۱۳۸۰).

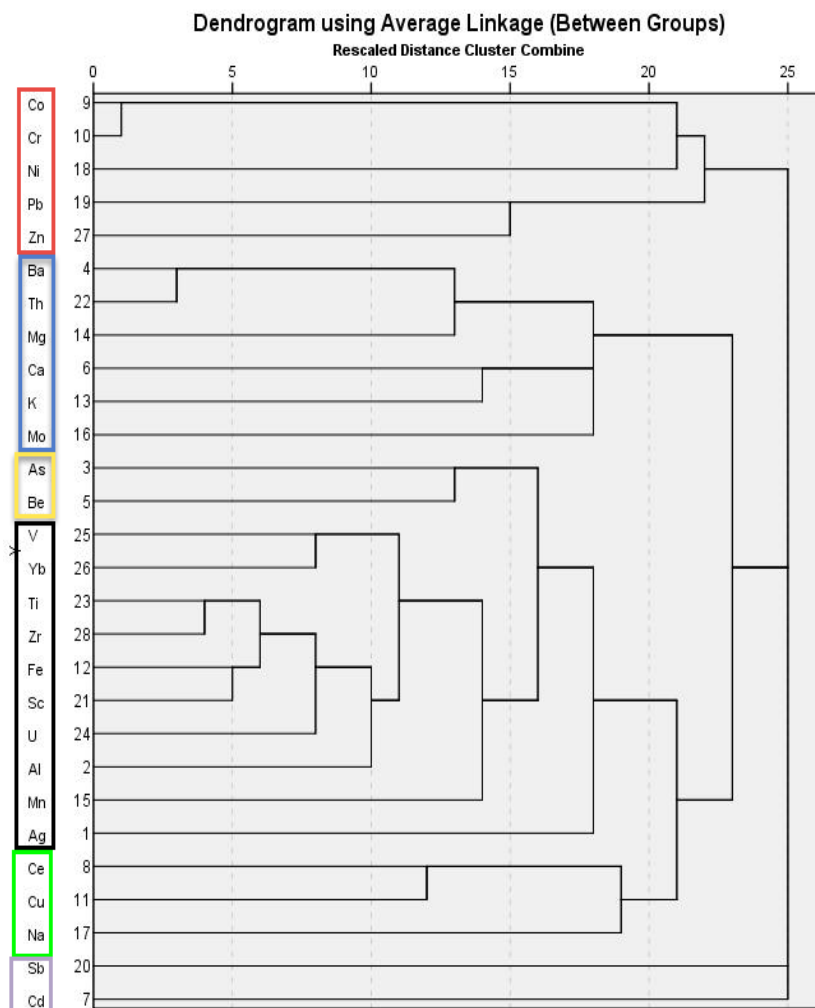
۱. نوع R که به گروه‌بندی متغیرها می‌پردازد

۲. نوع Q که به گروه‌بندی نمونه‌ها می‌پردازد. از این گروه برای بررسی برخی جوامع سنگی

نیز استفاده می‌شود

روش‌های مختلفی برای گروه‌بندی داده‌ها وجود دارد. یکی از این روش‌ها، روش اتصال 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 است که با یکی از روش‌های ذکرشده محاسبه می‌گردد (کارانزا، ۲۰۰۹). در مرحله اول دو نمونه یا متغیر که بیشترین شباهت را دارند به هم وصل می‌شوند و در هر تکرار، شبیه‌ترین زوج خوشه‌ها به هم وصل می‌گردند. روش‌های مختلفی برای محاسبه شباهت‌های بین خوشه‌ای وجود دارد که از مهم‌ترین آن‌ها روش اتصال نزدیک‌ترین همسایگی، روش اتصال دورترین همسایگی، روش اتصال میانگین و روش وارد می‌باشند. نتیجه حاصل از محاسبات تحلیل خوشه‌ای به صورت یک نمودار سلسله مراتبی به نام دندوگرام نمایش داده می‌شود. در این نمودار یک مقیاس خطی افقی در بالای آن قرار داده می‌شود. محل اتصال هر نمونه یا متغیر به یک خوشه یا یک خوشه دیگر روی این مقیاس خطی متناظر با درجه شباهت آن است. دندروگرام مربوط به متغیرهای ژئوشیمیایی مختلف در

منطقه ترسیم شده است (شکل ۳-۹). نکته قابل تأمل در این گروه‌های عنصری، قرار نگرفتن مس و روی در یک گروه است. این دو عنصر هرچند همبستگی مثبتی باهم 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 هیدرترمالی اولیه و تأثیر دما بر روی این دو عنصر باشد.



شکل ۳-۹: نمودار دندوگرام مربوط به خوشه‌بندی عناصر

۲-۶-۳ تحلیل مؤلفه اصلی (PCA)

ثبت بی‌هنجاری‌های بهینه ژئوشیمیایی نیازمند پی‌جویی‌های توجیهی است که یکی از لایه‌های مهم آن انتخاب روش بهینه تحلیل داده‌ها است. روش‌های آماری چند متغیره در خلاصه‌سازی داده‌ها

و کاهش تعداد متغیرهای لازم برای توصیف آن‌ها بسیار مفید است. نتیجه به‌کارگیری این روش معمولاً شاخص‌های کمتر و متغیرهای جدید است که تشریح‌کننده تغییراتی بوده و می‌توانند به خصوصیات ژئوشیمی-زمین‌شناسی گره بخورند. با نگاهی به فاکتورهای زمین‌شناسی برای انتخاب مجموعه داده‌ها، روش آنالیز مؤلفه اصلی قادر است عناصر وابسته به محیط را مشخص کند. این آنالیز، مبتنی بر بردارهای ویژه و مقادیر ویژه است. در این روش، با استفاده از بردارهای ویژه و مقادیر ویژه، جهت‌هایی با حداکثر تغییرپذیری شناسایی می‌شود. سپس با تعریف متغیرهای جدیدی که ترکیب خطی از متغیرهای اولیه است، تعداد ابعاد کاهش یافته و نقش هر یک از متغیرها در تغییرپذیری مشخص می‌شود (دیو و فلور^۱، ۲۰۰۸). در واقع، آنالیز PCA، بارهایی را به عناصر و ترکیبات نسبت داده و منجر به حذف اثر ترکیب سنگی و ثبت الگوهای بهینه ژئوشیمیایی می‌شود. این روش تکنیکی است جهت پیدا کردن ترکیبات خطی از متغیرهای اولیه همبسته که یک دستگاه محور جدید در امتداد بیشترین واریانس داده‌ها را تشکیل داده‌اند. مؤلفه‌ای که درصد بیشتر تغییرپذیری را شامل می‌شود، به‌عنوان مؤلفه اصلی اول (PC1) و مؤلفه بعدی (PC2) عمود بر مؤلفه اول بوده و درصد تغییرپذیری کمتری را شامل می‌شود. مؤلفه‌های سوم، چهارم و ...، مقادیر یکنواخت واریانس کاهش یافته در دستگاه داده‌ها را شامل می‌شوند (کارانزا^۲، ۲۰۰۹).

۱-۲-۶-۳ تعریف مؤلفه‌ها

در تعریف مؤلفه‌ها، با فرض اینکه اولین مؤلفه اصلی به‌صورت ترکیب خطی از متغیرهای اولیه X_1 تا X_p باشد، رابطه زیر برقرار می‌شود (حسنی پاک، ۱۳۸۰).

$$y_1 = PC_1 = a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1n}x_n \quad (۶-۳)$$

که به‌صورت فرم ماتریسی می‌توان نوشت:

$$y_1 = [a_1]^T [x] \quad (۷-۳)$$

^۱.Du & Flower

^۲.Carranza

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

$$a_{11}^2 + a_{12}^2 + \dots + a_{ij}^2 = 1 \quad (۸-۳)$$

و واریانس آن به‌صورت رابطه زیر قابل‌محاسبه است.

$$s_{y_1}^2 = [a_1]^T [s][a] \quad (۹-۳)$$

که در آن $[S]$ ماتریس کوواریانس متغیرهای اصلی و a ضرایب متغیرهای اولیه است.

۳-۶-۲ محاسبه اوزان

اوزان همان ضرایب متغیرهای اولیه است که در محاسبه هر یک از مؤلفه‌های اصلی وارد معادله آن‌ها می‌شود. این اوزان از طریق ماتریس کوواریانس و یا ماتریس همبستگی محاسبه می‌گردند. اوزانی که از ماتریس کوواریانس و ماتریس همبستگی به دست می‌آیند متفاوت هستند و نمی‌توان رابطه‌ای بین آن‌ها تعریف کرد. در کل، هر مؤلفه اصلی را می‌توان به‌صورت بردار $[y]$ ، کل متغیرهای اولیه را به‌صورت بردار $[x]$ و اوزان مربوط به آن‌ها را به‌صورت ماتریس $[A]$ که هر سطر آن بارهای مربوط به هر یک از مؤلفه‌های اصلی است را نشان داد و رابطه آن‌ها را به‌صورت زیر بیان نمود.

$$[y] = [A][x] \quad (۱۰-۳)$$

قابل‌ذکر است که تعداد مؤلفه‌های اصلی قابل‌محاسبه بستگی به تعداد متغیرهای اولیه همبسته و حداکثر درصد واریانس قابل‌توجیه دارد. معمولاً اولین چند مؤلفه اصلی می‌توانند قسمت قابل‌توجهی از تغییرپذیری را توجیه کنند (کارانزا، ۲۰۰۹).

۳-۶-۳ مقادیر ویژه و بردارهای ویژه

اگر فرض کنیم ماتریس $[A]$ یک ماتریس مربع $n \times n$ باشد. دستگاه معادلات خطی به‌صورت رابطه

زیر شکل می‌گیرد:

$$[A][X] = \lambda[X] \quad (11-3)$$

که در آن λ را مقدار ویژه ماتریس $[A]$ می‌نامند که یک مقدار حقیقی است. برای پیدا کردن مقدار λ دستگاه معادلات فوق را به شکل زیر می‌نویسیم (کارانزا، ۲۰۰۹):

$$([A] - \lambda[I])[X] = [0] \quad (12-3)$$

با توجه به آنکه سمت چپ معادله، حاصل ضرب دو کمیت است لذا باید یکی از آن‌ها یا هر دو برابر صفر باشند. برای اینکه دستگاه معادلات فوق جواب غیر صفر داشته باشد باید دترمینان ماتریس $[A] - \lambda[I]$ برابر صفر باشد. از محاسبه دترمینان ماتریس فوق معادله‌ای از درجه n حاصل می‌شود که ریشه‌های معادله موردنظر همان مقادیر ویژه موردنظر هستند؛ بنابراین، بر اساس هر مقدار ویژه، یک بردار ویژه به دست می‌آید. نتایج حاصل از به‌کارگیری این روش بر روی داده‌های منطقه در ادامه ذکر شده است.

۳-۶-۲-۴ استخراج مؤلفه‌های اصلی

پس از محاسبه ماتریس همبستگی که در بخش آنالیز دومتغیره ذکر گردید، اوزان محاسبه‌شده و مؤلفه‌ها استخراج گردیدند (جدول ۳-۴) و باید با استفاده از معیارهای مقدار واریانس تجمعی، مقادیر ویژه بزرگ‌تر از یک و اسکری پلوت^۱ انتخاب گردند. نظر قطعی در مورد انتخاب تعداد مؤلفه‌ها وجود ندارد و باید مناسب‌ترین تعداد مؤلفه که بتواند تغییرات را در حد مطلوب توجیه کند، انتخاب گردد (وودوریس و همکاران، ۱۹۹۷). با توجه به جدول (۳-۴)، در ستون Component عناصر قرار گرفته‌اند. ستون Total حاوی مقادیر ویژه، ستون variance میزان درصد تغییراتی که توسط هر یک از مؤلفه‌ها قابل توجیه است و در ستون Cumulative میزان درصد تجمعی تغییرات آورده شده است.

(۱) معیار مقادیر ویژه

طبق این معیار فقط فاکتورهایی که مقدار ویژه آن‌ها بزرگ‌تر از یک است مهم تلقی می‌گردند. این

^۱.Scree Plot

معیار در صورتی که تعداد متغیرها بیش از ۲۰ مورد باشد بسیار مناسب است؛ اما در حالتی که تعداد متغیرها کمتر از ۲۰ باشد، بسیار محتاطانه عمل می‌کند (هنر پژوه، ۱۳۷۹). با توجه به اینکه تعداد متغیرها در این پژوهش ۲۸ مورد است استفاده از این روش بنا به گفته‌های قبلی مناسب است. بنابراین تعداد ۹ مؤلفه که مقدار ویژه‌ی بزرگ‌تر از یک دارند انتخاب می‌گردند

۲) معیار درصد واریانس

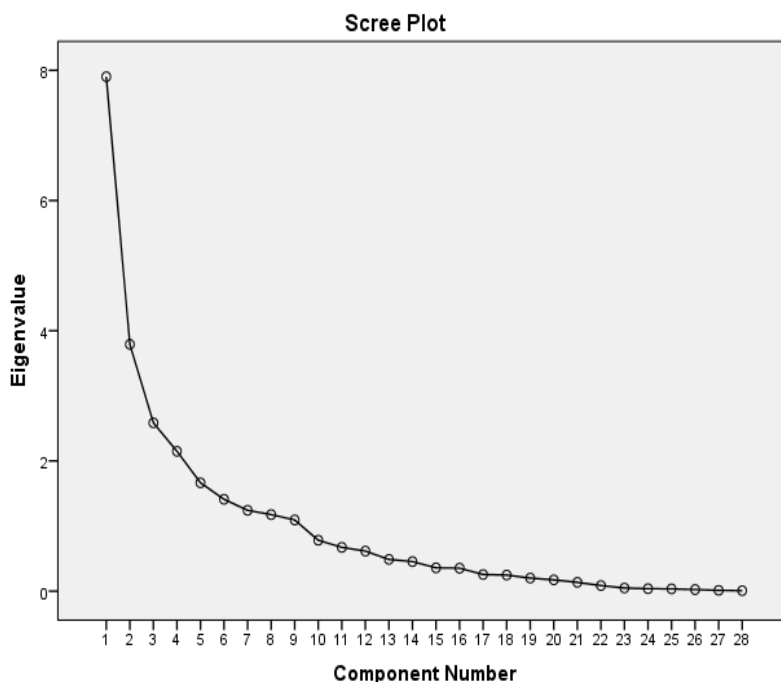
در این روش درصد تجمعی واریانس که توسط فاکتورهای استخراج شده توجیه می‌شوند معیار تلقی می‌شود. برای داده‌هایی که دقت زیادی دارند، آنالیز تا زمانی که ۹۵٪ واریانس توجیه نشده باشد، متوقف نمی‌شود، اما برای داده‌های با دقت کم، توجیه ۶۰٪ واریانس قابل قبول است (هنر پژوه، ۱۳۷۹). با توجه به ستون variance در جدول (۳-۴)، مؤلفه‌های ۱ تا ۹ درصد قابل توجهی از تغییرات را توجیه می‌کنند (۰.۸۲/۱۸۷) و از مؤلفه ۱۰ به بعد درصد تغییرات اندک است که بیانگر اهمیت کمتر این فاکتورها است. با توجه به توجیه ۰.۸۲/۱۸۷٪ تغییرات توسط ۹ مؤلفه اول، به نظر می‌رسد این سطح تغییرات برای استخراج فاکتورها کفایت کند جدول (۳-۴). همچنین با توجه به معیار مقادیر ویژه که انتخاب ۹ مؤلفه اول بود می‌توان به انتخاب مؤلفه‌ها توسط این روش اطمینان حاصل کرد.

جدول ۳-۴: فاکتورهای استخراج شده و درصد واریانس توجیه شده توسط هر کدام از آنها

Component	Initial Eigenvalues			Extraction Sums of Squared Loadings		
	Total	% of Variance	Cumulative %	Total	% of Variance	Cumulative %
1	7.902	28.220	28.220	7.902	28.220	28.220
2	3.791	13.539	41.759	3.791	13.539	41.759
3	2.585	9.231	50.990	2.585	9.231	50.990
4	2.149	7.673	58.663	2.149	7.673	58.663
5	1.665	5.945	64.608	1.665	5.945	64.608
6	1.411	5.039	69.647	1.411	5.039	69.647
7	1.241	4.433	74.080	1.241	4.433	74.080
8	1.176	4.201	78.280	1.176	4.201	78.280
9	1.094	3.906	82.187	1.094	3.906	82.187
10	.782	2.792	84.978			
11	.672	2.401	87.380			
12	.615	2.196	89.576			
13	.488	1.742	91.318			
14	.454	1.620	92.938			
15	.358	1.279	94.218			
16	.353	1.260	95.478			
17	.256	.915	96.393			
18	.247	.882	97.274			
19	.200	.716	97.990			
20	.174	.623	98.613			
21	.136	.484	99.098			
22	.087	.310	99.407			
23	.048	.173	99.580			
24	.038	.135	99.715			
25	.035	.126	99.841			
26	.025	.089	99.930			
27	.012	.044	99.974			
28	.007	.026	100.000			

۳) معیار Scree plot

فاکتورها و مقادیر ویژه متناظر با آنها بر روی نموداری با مختصات نقاط (F_i, E_i) نشان داده می-شوند و این نقاط توسط یک منحنی به هم وصل می گردند. نقطه ای را که در آن نمودار صاف و افقی می شود و یا تغییر شیب می دهد، نقطه کفایت تعداد مؤلفه هاست. در نمودار اسکری پلوت ترسیم شده در شکل (۳-۱۰) مشاهده می شود که منحنی ترسیم شده در نقطه ۹ تغییر جهت می دهد و بنابراین این روش نیز انتخاب ۹ فاکتور را تأیید می کند.



شکل ۳-۱۰: نمودار اسکری پلوت داده‌های استخراج‌شده

برای اینکه بتوان به درستی فاکتورها را استخراج کرد، به ندرت از یک معیار استفاده می‌گردد، بلکه از معیار اول به عنوان راهنما استفاده می‌گردد. اگر فاکتورها کم انتخاب شوند در این صورت ساختار درست نمایش داده نمی‌شود و ممکن است ابعاد مهم حذف گردند و در حالتی که تعداد فاکتورها زیاد انتخاب شوند، هنگامی که نتایج دوران داده می‌شود، تعبیر فاکتورها مشکل می‌شود (هنر پژوه، ۱۳۷۹). با توجه به نتایج به دست آمده از سه معیار ارائه شده، انتخاب ۹ مؤلفه اصلی به وسیله هر ۳ معیار نشان از تأیید انتخاب مؤلفه‌ها توسط روش‌های ذکر شده است. جدول (۳-۵) سهم هر یک از عناصر در مؤلفه‌های انتخابی را نشان می‌دهد. این جدول با عنوان Communalities است. ستون اول عناصر مربوطه و در ستون سوم مقادیر استخراج شده درج شده‌اند. جدول Communalities سهم هر یک از متغیرها را در مؤلفه‌های انتخاب شده نشان می‌دهد (ساکر و زینکлер، ۱۹۷۴). بر اساس مقادیر به دست آمده در این جدول، مقدار استخراج شده برای عنصر مس برابر 0.803 است که نشان می‌دهد 80.3% تغییرات این عنصر توسط مؤلفه‌های انتخاب شده توجیه شده است.

جدول ۳-۵: مقادیر Commuality عناصر

	Initial	Extraction
Ag	1.000	.527
Al	1.000	.890
As	1.000	.741
Ba	1.000	.901
Be	1.000	.816
Ca	1.000	.754
Cd	1.000	.784
Ce	1.000	.811
Co	1.000	.976
Cr	1.000	.980
Cu	1.000	.803
Fe	1.000	.920
K	1.000	.869
Mg	1.000	.687
Mn	1.000	.810
Mo	1.000	.792
Na	1.000	.849
Ni	1.000	.697
Pb	1.000	.857
Sb	1.000	.695
Sc	1.000	.884
Th	1.000	.916
Ti	1.000	.925
U	1.000	.771
V	1.000	.861
Yb	1.000	.811
Zn	1.000	.756
Zr	1.000	.929

۳-۶-۲-۵ ماتریس مؤلفه‌ها

مقادیر این ماتریس در حقیقت بار مؤلفه‌ها بر روی متغیرها است. در جدول (۳-۶) ماتریس فاکتورهای دوران نیافته مشاهده می‌شود که شامل عناصر و فاکتورهای انتخاب شده است. این جدول مقدار تغییرپذیری هر کدام از عناصر به ازای هر یک از مؤلفه‌های انتخابی را نشان می‌دهد. به‌عنوان مثال فاکتور ۱، ۹۳/۱٪ تغییرپذیری عنصر آهن را نشان می‌دهد که مشخص می‌کند این فاکتور نقش بسیار بالایی در توجیه تغییرپذیری این عنصر دارد. این ماتریس بهترین ترکیب خطی از فاکتورها را برای متغیرها نشان نمی‌دهد.

جدول ۳-۶: ماتریس دوران نیافته مؤلفه‌های انتخابی

	Component								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Fe	.931		-.105	.153					
Zr	.908	-.210		-.135				-.196	
Ti	.901		-.118	-.240			-.143		
Sc	.889	-.196	.132	.140					
U	.811			.128			-.195		-.195
V	.793	.220	-.131	.120	-.160	-.153	-.145	.286	
Al	.754	.275		-.283	-.312		.124	-.205	
As	.700			.352		-.150	.211	-.103	-.144
Mn	.666	-.200	-.121		.314		-.219	.400	
Yb	.657	.292	-.106	-.145	-.303			.357	.199
Ag	.466	.280		.331	.243	.182	-.167		
Ba	-.167	.752		.265	.211		-.367	-.213	
Mg	.171	-.750	.136	-.138		.179		.142	
Th	-.366	.745		.166	.252	.103	-.343		
K	-.341	.696	.101	-.174	-.347			.194	.264
Mo		.548	-.437		.236		.213	.425	-.130
Co		.272	.738	-.284	.336	-.319	.161	.106	-.145
Cr		.279	.729	-.306	.333	-.332	.152		-.143
Ni	.138	.104	.573		-.165		-.304		.457
Ca	.341	-.429	.461	.263	.220		-.218	-.269	
Be	.436	.377		.574	-.157		.281	-.225	
Sb		.287	.186	.560	-.212		.452		
Na	.403	.400	-.115	-.543	-.270	-.212		-.308	
Ce	.404	.261	-.333	-.494	.394	.147		-.208	
Pb			.334	-.100	-.126	.617	.204	.272	-.457
Zn	.264	.259	.514			.574			
Cu	.314	.150	-.309	-.250	.358	.500	.306	-.193	.122
Cd	.171				.486		.320	.110	.622

۳-۶-۲-۶ دوران فاکتورها

چرخش عامل‌ها فرایندی برای تعدیل محور عاملی به منظور دستیابی به عامل‌های معنی‌دار ساده انجام می‌گیرد. ساده‌ترین حالت دوران، یک دوران متعامد است که محورهای جدید باهم زاویه ۹۰ درجه می‌سازند. در حالتی که دوران باعث شود تغییر زاویه کمتر از ۹۰ درجه باشد، دوران صورت گرفته را مورب گویند. دوران واریمکس یک دوران متعامد است که روی بارهای فاکتوری صورت می‌گیرد. این دوران تغییرات مربعات عناصر ستون بارهای فاکتوری را ماکزیمم می‌کند. مقادیر بار فاکتوری دوران واریمکس نسبت به روش‌های دیگر دربردارنده نتایج بهتری است (کومرو، ۲۰۰۳). این روش مقادیری نسبتاً بزرگ عددی یا صفر به ستون‌های ماتریس ضرایب عامل‌ها اختصاص می‌دهد. در نتیجه فاکتورهایی که ایجاد می‌شوند، یا به متغیرها وابسته‌اند و یا مستقل از آن‌ها هستند. در جدول (۳-۷) ماتریس دوران واریمکس داده‌ها نشان داده شده است. با توجه به این جدول می‌توان بهترین ترکیب خطی از متغیرها را برای هر فاکتور انتخاب کرد. چنانچه ملاحظه می‌شود بارهای فاکتوری

از نظر قدر مطلق به صفر و یک نزدیک تر شده‌اند و این نشان می‌دهد که دوران واریمکس در مورد داده‌ها موفق عمل کرده است. پس از دوران فاکتورها، به منظور محاسبه امتیازات فاکتوری همه مشاهدات، ضرایب فاکتوری محاسبه گردیده است. نتایج ضرایب فاکتوری در جدول (۳-۸) آورده شده است. برای محاسبه ضرایب فاکتوری می‌توان از روش رگرسیون استفاده شده است. برای اینکه بدانیم فاکتورها مستقل از یکدیگر بوده‌اند، کوواریانس بین فاکتوری داده‌ها محاسبه شده که بر طبق جدول (۳-۹)، کوواریانس تمام متغیرها باهم صفر است و این نشان می‌دهد که فاکتورها مستقل از یکدیگر می‌باشند. فضای سه‌بعدی دوران یافته متغیرها در شکل (۳-۱۱) نشان داده شده است.

جدول ۳-۷: ماتریس دوران یافته مؤلفه‌های انتخابی

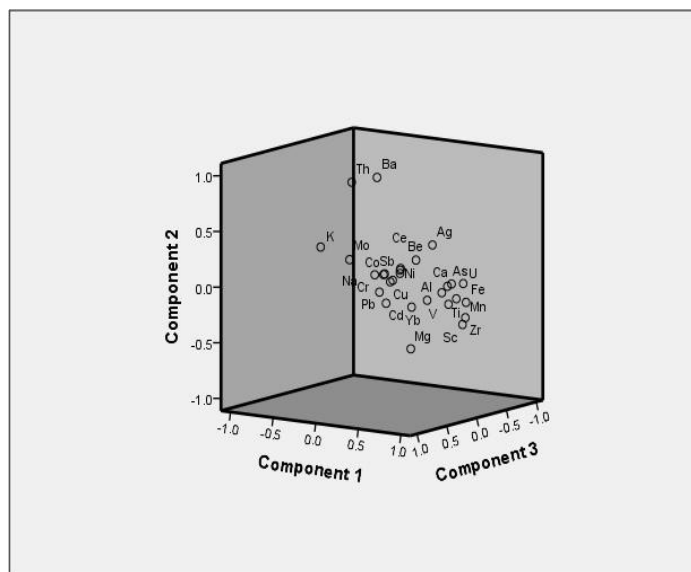
	Component								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Fe	.933	-.102				.118			
V	.869		.238		.119	.103		.125	
U	.847		-.152		.116			-.116	
Ti	.827				.414	-.105	.210		
Sc	.801	-.333	-.207			.232		.116	
Mn	.785	-.123			-.325	-.238	.124		
Zr	.755	-.293	-.321		.304		.268		
Yb	.655		.437		.243			.340	
As	.654		-.164	.183		.472		-.151	
Ag	.523	.369			-.173	.170	.167		.119
Ba		.934				.112			
Th	-.211	.903	.205						
Mg	.106	-.640	-.332		-.226	-.278			.111
Ca	.284	-.101	-.760	.138	-.207			.143	
Mo	.125	.316	.722		-.147		.214	-.286	
K	-.321	.362	.570		.241		-.122	.471	
Cr				.975				.111	
Co				.974				.114	
Na	.247		.172	.133	.842		.146		
Al	.548	-.108			.639	.201	.213	.248	.117
Sb						.813	-.106		
Be	.377	.228		-.101		.773			
Cu	.127			-.120			.851		.177
Ce	.278	.146			.325	-.262	.715	-.108	
Cd		-.173		.171	-.396	.190	.533	.212	-.433
Ni			-.182	.179			-.118	.779	
Pb				.122					.908
Zn	.135	.116	-.120	.141		.104	.189	.557	.576

جدول ۳-۸: ماتریس ضرایب فاکتوری محاسبه شده

	Component								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Ag	-.110	.195	-.075	-.032	-.159	-.004	.049	.027	.067
Al	-.013	-.067	-.014	-.013	.288	.103	.061	.095	.018
As	.073	.008	-.064	.106	-.007	.229	-.009	-.179	-.011
Ba	.036	.405	-.170	-.030	.005	-.050	-.011	.019	-.008
Be	-.005	.041	-.061	-.071	.049	.405	.029	-.056	.005
Ca	.025	.102	-.380	.026	-.061	-.007	.007	.063	-.033
Cd	-.043	-.143	.115	.099	-.282	.157	.383	.252	-.359
Ce	-.025	.074	-.037	.027	.113	-.134	.367	-.059	-.043
Co	-.001	-.026	.026	.481	-.015	-.011	-.027	-.071	.002
Cr	-.004	-.020	.015	.480	.006	-.016	-.024	-.073	-.010
Cu	-.097	-.017	-.032	-.076	.001	.061	.516	-.017	.126
Fe	.161	.016	.014	-.030	-.042	-.008	-.055	-.038	.014
K	-.042	.010	.251	-.030	.064	-.016	-.055	.316	-.022
Mg	.008	-.188	-.039	-.034	-.115	-.112	.032	.096	.084
Mn	.213	.024	.118	.035	-.293	-.218	-.031	.009	.000
Mo	.086	.010	.387	.087	-.192	-.003	.061	-.183	.072
Na	-.036	.003	-.012	.043	.435	-.022	.004	-.057	-.075
Ni	.005	.037	-.072	-.026	-.041	-.064	-.035	.523	-.110
Pb	-.004	-.068	.092	.028	-.071	.002	.008	-.116	.663
Sb	-.066	-.089	.049	.015	-.020	.473	-.001	.003	-.013
Sc	.094	-.099	-.016	.003	-.027	.097	-.015	.037	.035
Th	.030	.362	-.049	-.037	-.065	-.109	.023	.046	-.011
Ti	.111	.034	-.037	.004	.148	-.112	-.001	-.021	-.048
U	.168	.108	-.067	.007	.005	-.075	-.109	-.128	.014
V	.194	.013	.186	-.026	-.058	-.044	-.171	.066	-.041
Yb	.121	-.101	.302	-.050	-.014	-.037	-.073	.230	-.017
Zn	-.029	-.036	-.058	-.046	-.046	.007	.132	.299	.329
Zr	.052	-.038	-.143	-.030	.126	-.007	.086	.028	-.028

جدول ۳-۹: ماتریس کوواریانس بین مؤلفه‌ها

Component	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	1.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000
2	.000	1.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000
3	.000	.000	1.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000
4	.000	.000	.000	1.000	.000	.000	.000	.000	.000
5	.000	.000	.000	.000	1.000	.000	.000	.000	.000
6	.000	.000	.000	.000	.000	1.000	.000	.000	.000
7	.000	.000	.000	.000	.000	.000	1.000	.000	.000
8	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	1.000	.000
9	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	1.000



شکل ۳-۱۱: تصویر سه‌بعدی از فضای دوران یافته متغیرها

درنهایت با در نظر گرفتن ماتریس بارهای فاکتوری دوران یافته، بهترین ترکیب خطی از عناصر برای هر یک از فاکتورها انتخاب گردید که در زیر ارائه گردیده است.

- فاکتور اول

این مؤلفه با توجیه $28/22\%$ از تغییرات (جدول ۳-۴) و با در نظر گرفتن حداقل سطح بار فاکتوری $0/65$ ، شامل بهترین ترکیب خطی از عناصر (Fe-V-U-Ti-Sc-Mn-Zr-Yb-As) است.

- فاکتور دوم

این مؤلفه $13/539\%$ از تغییرپذیری را توجیه می‌کند (جدول ۳-۴). حداقل سطح بار فاکتوری این مؤلفه نیز $0/65$ است که با توجه به این مقدار، عناصر (Mg-Th-Ba) به‌عنوان ترکیب خطی این مؤلفه معرفی شده‌اند.

- فاکتور سوم

$9/23\%$ تغییرات با توجه به این مؤلفه توجیه‌پذیرند (جدول ۳-۴). عناصری که بهترین ترکیب خطی مؤلفه را می‌سازند شامل عناصر (K-Mo-Ca) می‌باشند.

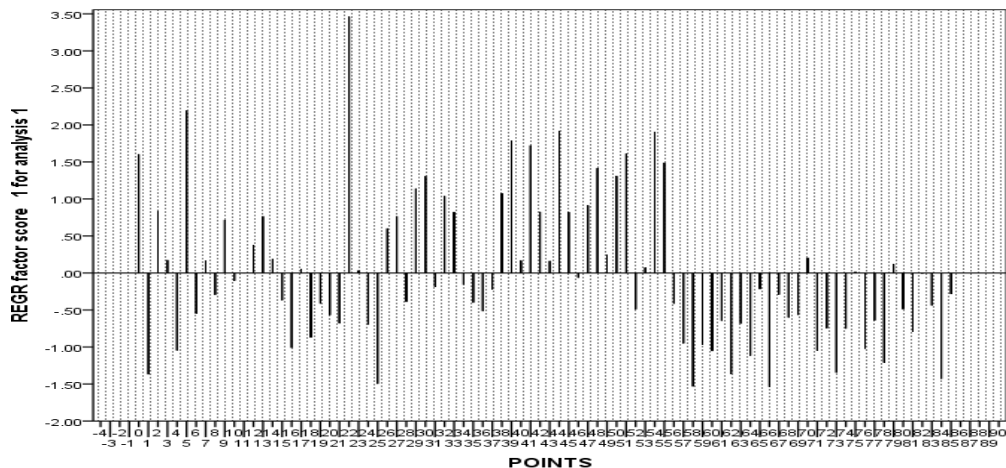
ترکیب خطی عناصر برای فاکتورهای ۴ تا ۹ به‌صورت، فاکتور ۴ (Co-Cr)، فاکتور ۵ (Al-Na)، فاکتور ۶ (Be-Sb)، فاکتور ۷ (Cd-Ce-Cu)، فاکتور ۸ (Zn-Ni) و فاکتور ۹ (Zn-Pb) می‌باشند.

۳-۶-۲-۷ محاسبه امتیازات فاکتوری

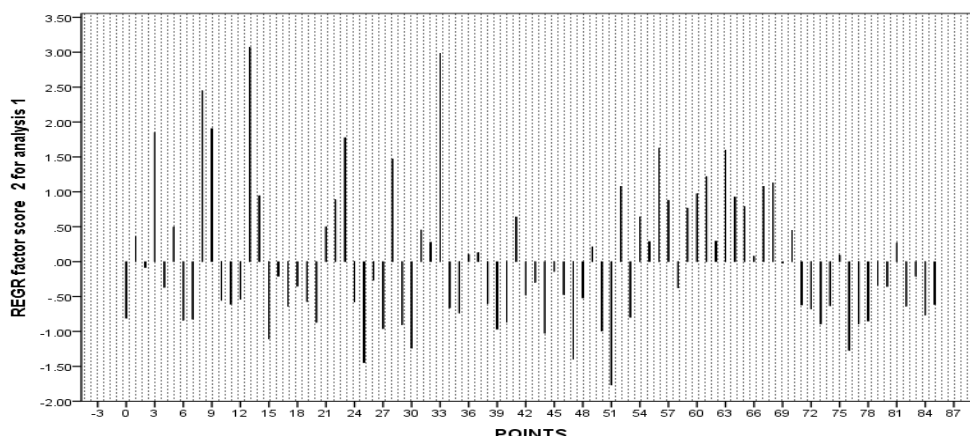
برای محاسبات امتیازات فاکتوری، مقدار عددی هر یک از مؤلفه‌ها در هر یک از نقاط برداشت نمونه به روش رگرسیون^۱ محاسبه گردید. در شکل‌های (۳-۱۲ تا ۳-۲۰)، نمودار امتیازات فاکتوری مؤلفه‌های استخراجی ۱ تا ۹، در محل‌های نمونه‌برداری شده ترسیم شده است. بر طبق این نمودارها، نقاطی که دارای بیشترین امتیازدهی مؤلفه‌های انتخابی می‌باشند تعیین می‌شوند. با توجه به بهترین ترکیب

^۱.Regresion

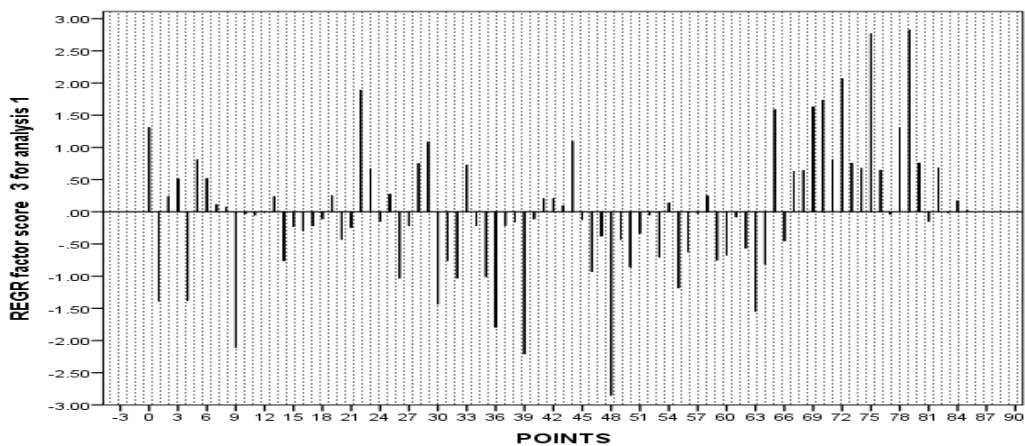
خطی ذکرشده از عناصر برای هر مؤلفه و بهترین نقاط امتیازدهی شده توسط این مؤلفه‌ها، ارتباط بین عناصر و نقاط نمونه‌برداری قابل تفسیر و به‌عنوان راهنمای اکتشافی معرفی می‌گردند. در واقع ترکیب خطی عناصر ذکرشده در محل هر نمونه، جزء نواحی امیدبخش برای عناصر مربوطه معرفی می‌گردد.



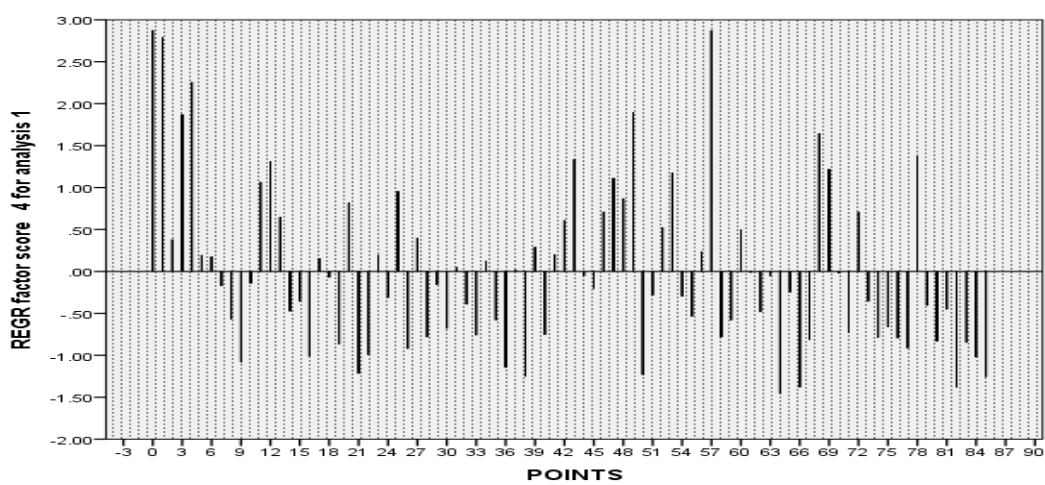
شکل ۳-۱۲: نمودار امتیازات فاکتور ۱ در محل برداشت نمونه‌ها



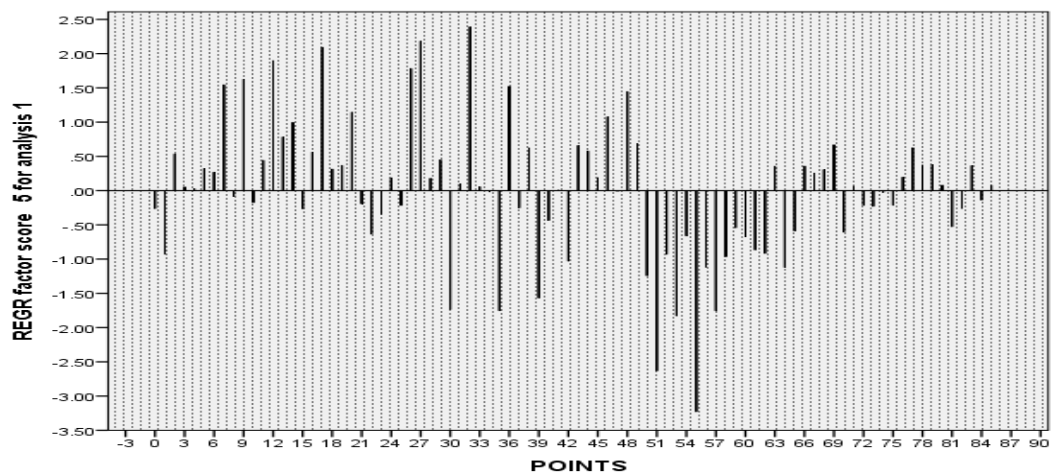
شکل ۳-۱۳: نمودار امتیازات فاکتوری مؤلفه‌ی دوم در محل‌های نمونه‌برداری شده



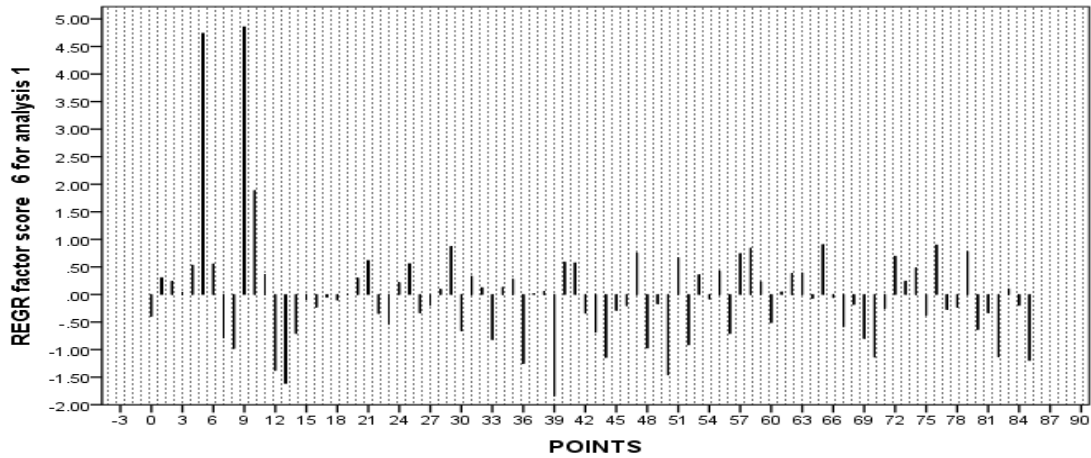
شکل ۳-۱۴: امتیازات فاکتور ۳ برای محل نمونه‌های برداشت‌شده



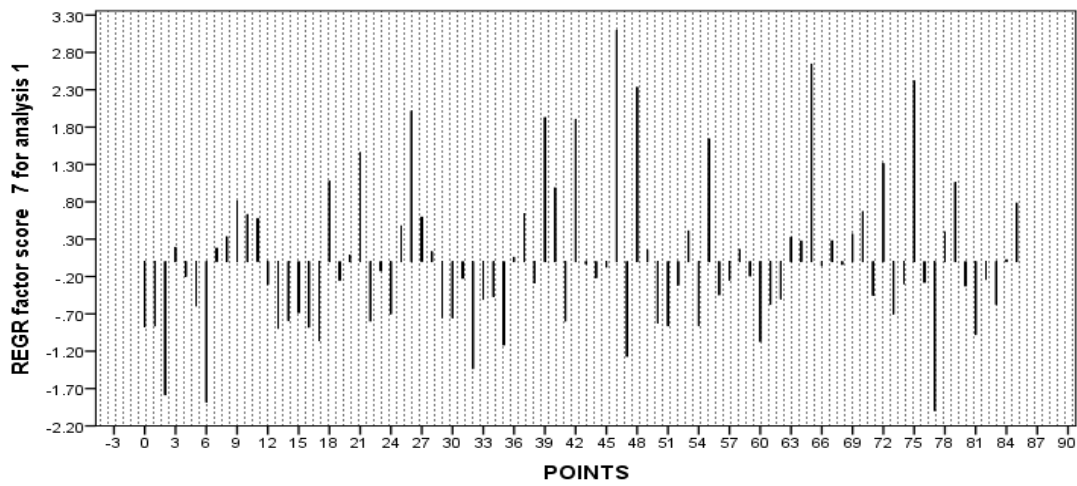
شکل ۳-۱۵: نمودار امتیازات فاکتوری مؤلفه‌ی ۴ محل‌های نمونه‌برداری



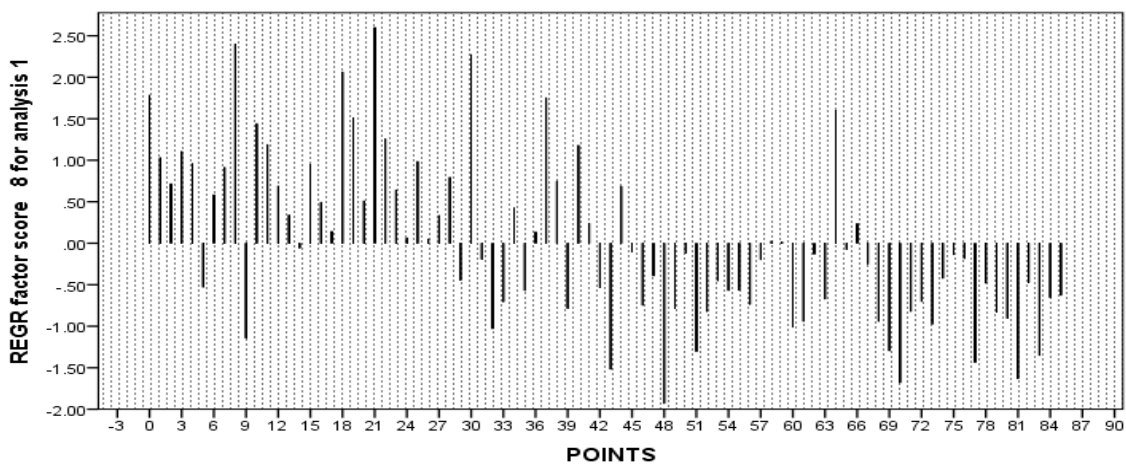
شکل ۳-۱۶: نمودار امتیازات فاکتوری مؤلفه‌ی ۵ در نقاط نمونه‌برداری شده



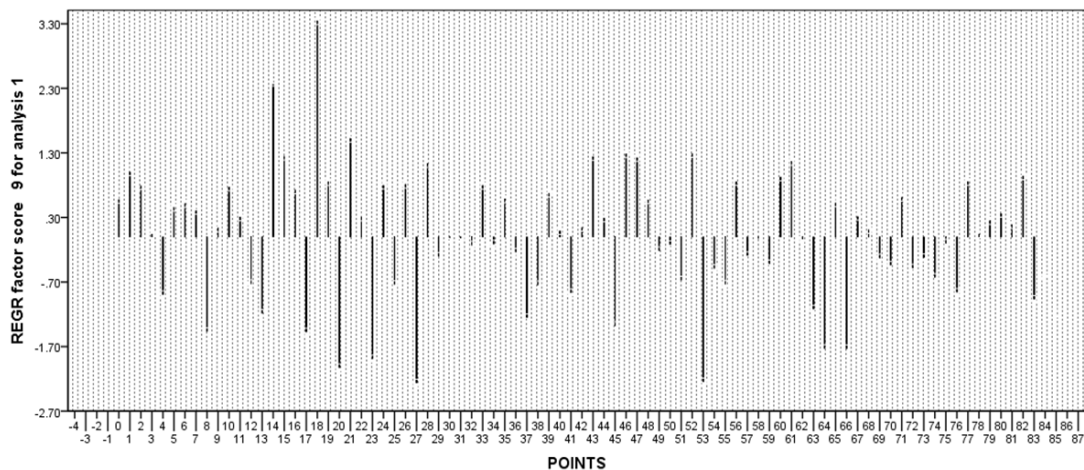
شکل ۳-۱۷: نمودار امتیازات فاکتوری مؤلفه‌ی ۶ در محل نقاط نمونه‌برداری شده



شکل ۳-۱۸: نمودار امتیازات فاکتوری مؤلفه‌ی ۷ در محل نقاط نمونه‌برداری شده



شکل ۳-۱۹: نمودار امتیازات فاکتوری مؤلفه‌ی ۸ در محل نقاط نمونه‌برداری شده

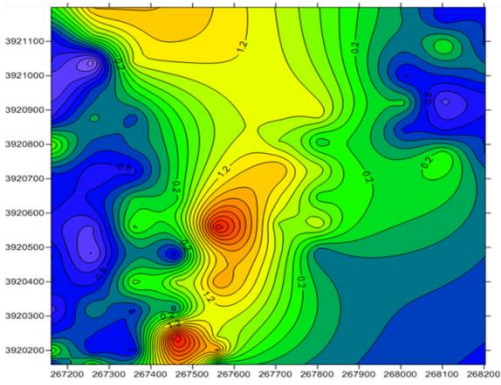


شکل ۳-۲۰: نمودار امتیازات فاکتوری مؤلفه‌ی ۹ برای نقاط نمونه‌برداری

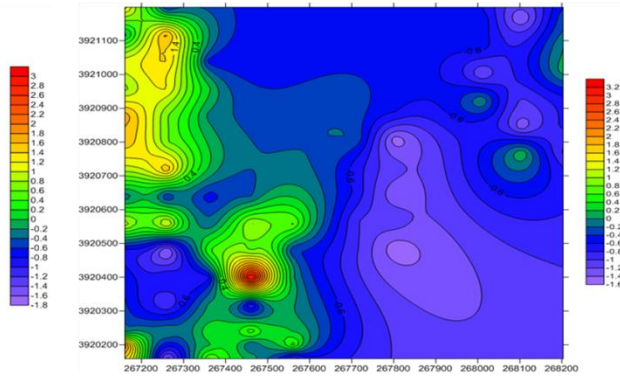
۳-۶-۲-۸ تهیه نقشه امتیازدهی مؤلفه‌ها

این نقشه‌ها بر اساس امتیازدهی فاکتورهای استخراج شده بر اساس تحلیل مؤلفه‌های اساسی ترسیم شده است. بر طبق نقشه امتیازات فاکتوری، مشاهده می‌شود که بعضی از فاکتورها مناطق آنومالی مطلوبی را نشان داده‌اند. فاکتورهایی که بهترین عملکرد را داشته‌اند شامل فاکتورهای ۲، ۳، ۵، ۷ و ۸ می‌باشند و فاکتورهای ۴ و ۶ عملکرد مؤثری در جهت شناسایی مناطق آنومال نداشته‌اند. با توجه به اطلاعات زمین‌شناسی منطقه و بررسی‌های صحرایی صورت گرفته از منطقه، به نظر می‌رسد که فاکتور ۷ به‌عنوان بهترین عملکرد در جهت شناسایی آنومالی‌های مس در منطقه است. این فاکتور بیش از ۰/۸ تغییرپذیری عنصر مس را شامل می‌شود (جدول ۳-۷). مقدار بالای تغییرپذیری توجیه شده برای عنصر مس توسط این فاکتور می‌تواند ناشی از کانی‌سازی صورت گرفته در منطقه باشد و این فاکتور به‌عنوان فاکتور کانه‌ساز در منطقه عمل کرده باشد. فاکتورهای ۳ و ۴ اشاره به تمرکز عناصر در سنگ‌های رسوبی رسی و کربناته دارند که در سطح متحمل دگرسانی شده‌اند. تغییرپذیری بالا در برخی عناصر سنگ‌ساز منطقه می‌تواند نشان‌دهنده‌ی فعالیت‌های بعد ماگمایی در منطقه باشد. نقشه‌های مربوط به امتیازات فاکتوری عناصر در شکل (۳-۲۱) ترسیم شده است.

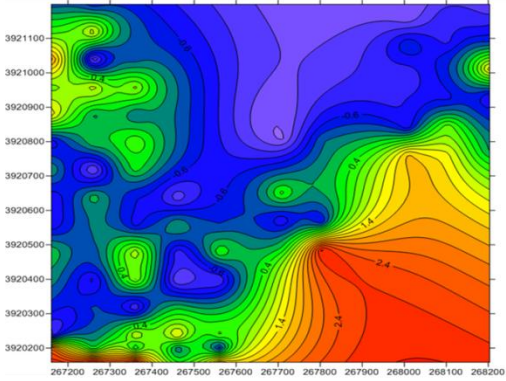
فاکتور 2



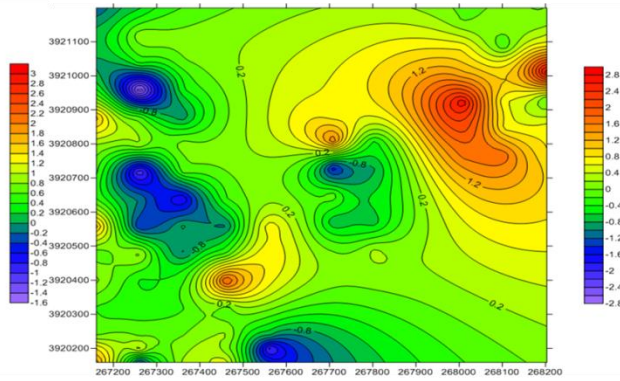
فاکتور 1



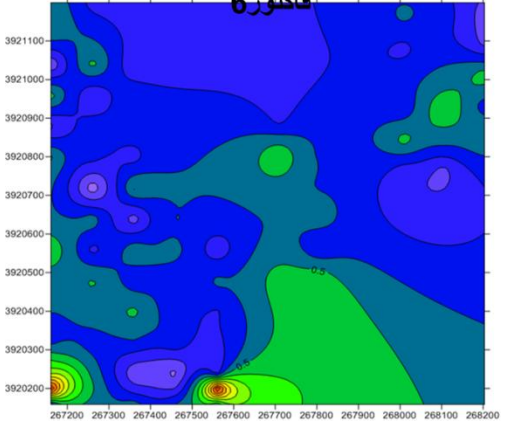
فاکتور 4



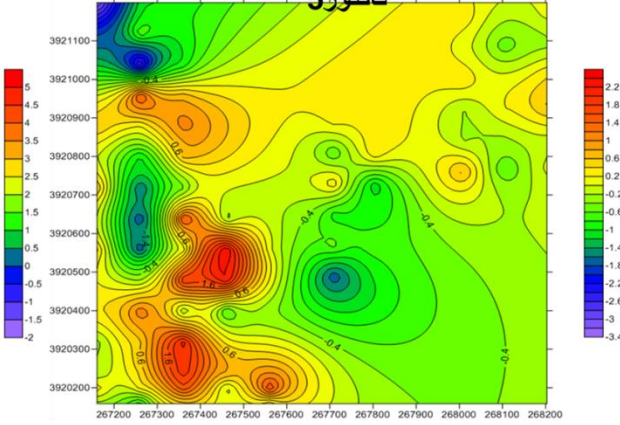
فاکتور 3



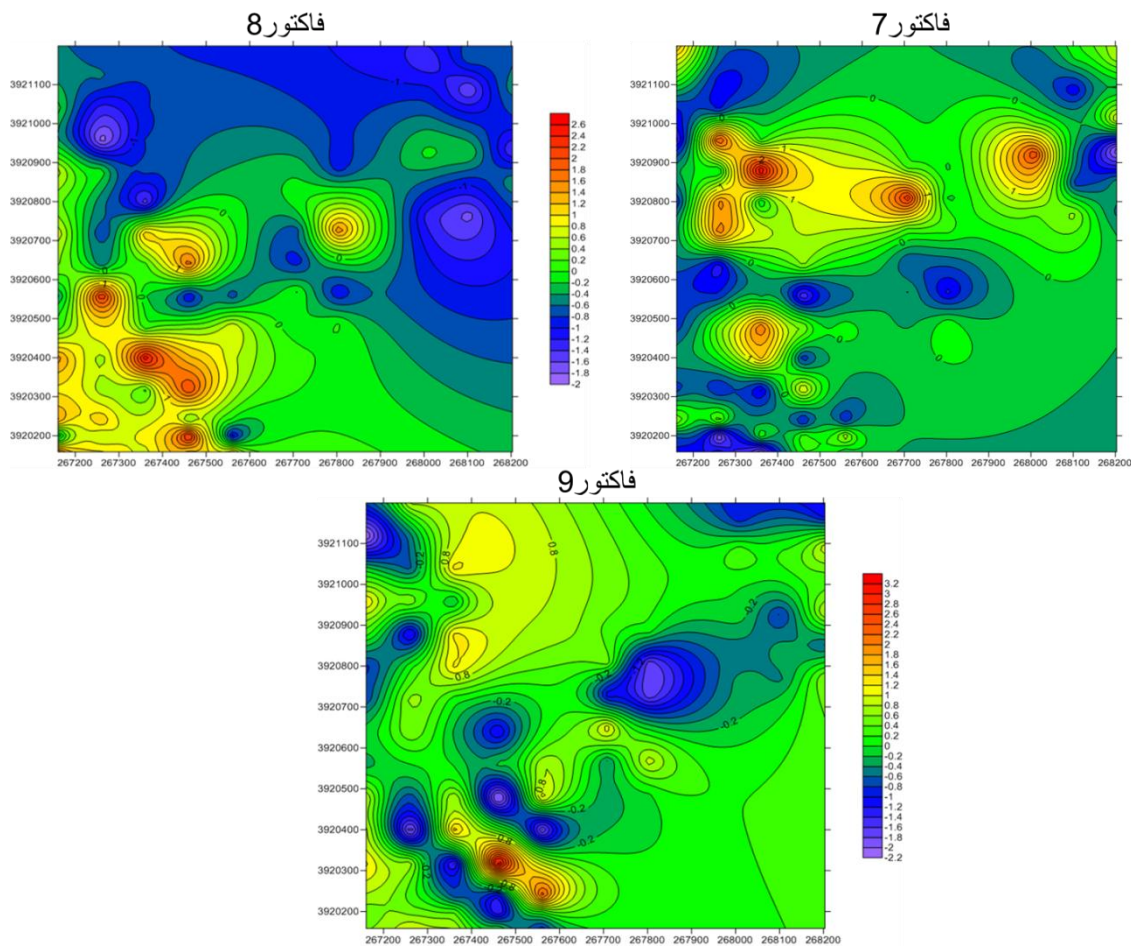
فاکتور 6



فاکتور 5



شکل ۳-۲۱: نقشه‌ی امتیازدهی فاکتورها جهت تعیین نواحی آنومال

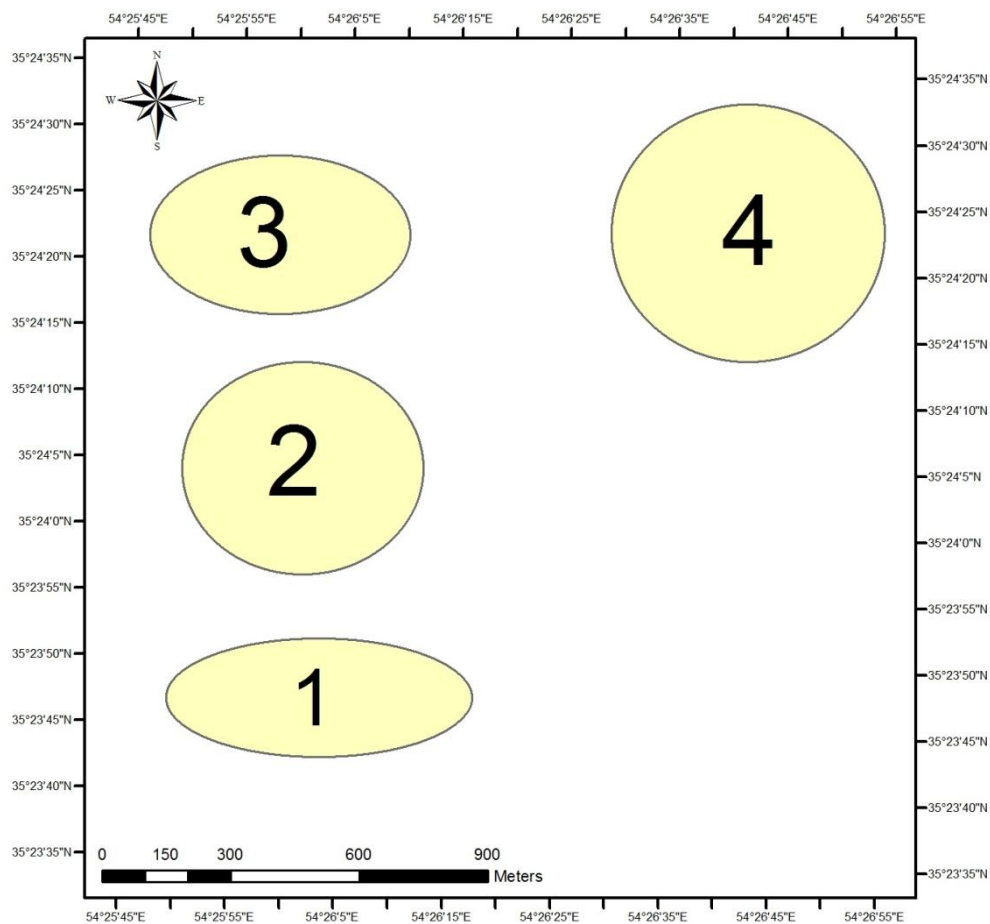


ادامه‌ی شکل ۳-۲۳

۳-۶-۳ جمع‌بندی

با توجه به بررسی نقشه‌های تک عنصری و چند عنصری و نتایج حاصل از آنالیزهای مؤلفه‌ی اصلی و محاسبه امتیازات هر مؤلفه و تحلیل خوشه‌ای، ۴ محدوده امیدبخش مس دار در منطقه جهت انجام اکتشافات تفصیلی‌تر مشخص شده است که این محدوده‌ها به ترتیب اولویت اکتشافی تعیین گردیده است (شکل ۳-۲۲). موقعیت این نقاط همراه با آنومالی بالای عنصر مس به همراه تمرکز عناصر سرب و روی در منطقه است و آنومالی به‌دست‌آمده برای این عناصر در نقاط نمونه‌برداری (۰ - ۲ - ۶ - ۲۲ - ۲۶ - ۴۶ و ۴۸) بر هم منطبق است (شکل‌های ۳-۱۲ تا ۳-۲۰).

محدوده های آنومال



شکل ۳-۲: محدوده های حاوی کانی سازی مس به ترتیب اولویت اکتشافی

فصل چهارم

کاربرد روش زونالیته ژئوشیمیایی در

شناسایی آنومالی‌های پنهان

تجربه نشان داده است که اگر ترکیبی از مقادیر یک گروه از عناصر معرف به جای مقدار یک عنصر خاص بکار گرفته شوند، هاله‌های ژئوشیمیایی در اطراف توده‌های کانساری بهتر مشخص می‌گردند. این ترکیب مقادیر به روش‌های ترکیب جمعی و ترکیب ضربی صورت می‌پذیرد. در مقایسه با هاله‌های یک عنصری، هاله‌های مرکب جمعی^۱، به مراتب بزرگ‌تر و چشم‌گیرترند. اگر بجای جمع مقادیر، آن‌ها را در یکدیگر ضرب کنیم، هاله‌های مرکب ضربی^۲ حاصل می‌شوند که نتایج مشابهی را ارائه می‌دهند. روش ضربی از نظر صرف وقت به روش جمعی ترجیح داده می‌شود، زیرا ضرورت تعیین مقدار زمینه برای هر عنصر معرف و سپس نرمالیزه کردن مقدار غلظت این عناصر در نمونه‌های انتخابی را از بین می‌برد (گریگوریان، ۱۹۷۵). منطقه بندی^۳ هاله‌های ژئوشیمیایی اولیه از اهمیت علمی زیادی برخوردار است که در مطالعه‌ی آنها تأکید ویژه‌ای بر منطقه بندی قائم^۴ هاله‌های اولیه شده است، زیرا این منطقه بندی می‌تواند به عنوان معیاری در تعیین سطح فرسایش^۵ ناهنجاری‌های ژئوشیمیایی نمایان شده، بکار رود (گریگوریان، ۱۹۷۵). تهی شدگی^۶، غنی شدگی^۷ و تمرکز عناصر در هاله‌های ژئوشیمیایی ذخایر معدنی، اساس روشی است که در آن با توسعه و کاربرد نسبت‌های این عناصر می‌توان به ذخیره معدنی نزدیک شد. زونالیتته قائم عناصر، اطلاعات بالارزشی در خصوص هاله‌های ذخایر زیرسطحی و عمیق ارائه می‌دهد. هاله‌های مرکب ضربی گروه‌های عناصر مستقر در بالا و پایین توده‌های کانساری که بر پایه‌ی منطقه بندی انتخاب شده‌اند، تباین منطقه بندی هاله را افزایش می‌دهد. همچنین با محاسبه نسبت‌های حاصل ضرب مقادیر میانگین برای دو گروه از عناصر شاخص فوق، می‌توان افزایش قابل توجهی در تباین منطقه بندی به دست آورد. روش

^۱. Additive Composite Halos

^۲. Multiplicative Composite Halos

^۳. Zonality

^۴. Vertical Zonality

^۵. Erosion Surface

^۶. Depletion

^۷. Enrichment

زونالیتة اولین بار توسط سولووف (۱۹۷۱) پیشنهاد داده شد. گریگوریان (۱۹۸۵)، یک مدل زونالیتة برای شناسایی کانی‌سازی پنهان و اقتصادی از کانی‌سازی پراکنده ارائه کرد. ضیائی و همکاران (۲۰۱۱)، روش ضرایب زونالیتة مربوط به هاله‌های ذخایر پنهان را به‌طور موفقیت‌آمیزی در تعیین نقشه پتانسیل معدنی در مقیاس ناحیه‌ای مورد استفاده قرار دادند. استفاده از روش زونالیتة برای تعیین عمق سطح از فرسایش با استفاده از هاله‌های ژئوشیمیایی ثانویه نیز توسط گریگوریان و همکاران (۱۹۸۵) پیشنهاد شده است.

۴-۲ اکتشافات ژئوشیمیایی با استفاده از روش زونالیتة

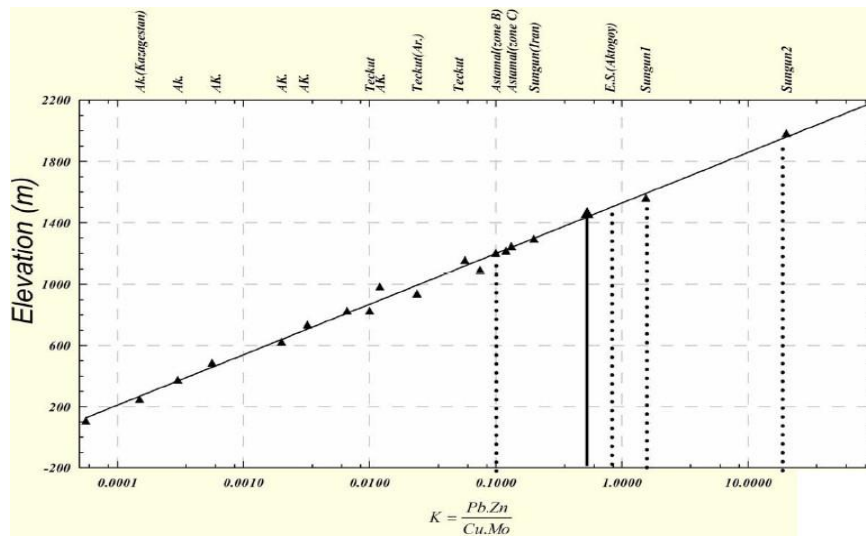
روش سنتی زونالیتة نقش مهمی را در شناسایی آنومالی‌های چند متغیره در ژئوشیمی معدنی ایفا می‌کند. این روش بر روی داده‌های ژئوشیمیایی محیط ثانویه و اولیه کانسار مس پورفیری در شمال غرب ایران انجام گرفته است (Grigorian, 1994; Ziiai et al, 1996, 2006). گریگوریان در سال ۱۹۹۶ یک رابطه خطی بین مقدار شاخص زونالیتة و عمق کانی‌سازی برای ذخایر پورفیری ارائه کرد. این مدل بر روی ذخایر مس پورفیری آکتوگای^۱ قزاقستان، آسارال^۲ بلغارستان و تخوت^۳ ارمنستان انجام گرفته است (شکل ۴-۱). در این مدل اطلاعات معدن سونگون نیز اضافه شده است. همان‌گونه که در شکل مشخص است، علی‌رغم وجود تفاوت‌های قابل توجه در وضعیت زمین‌شناسی این کانسارها، میزان شاخص زونالیتة این ذخایر بر روی یک خط راست برآزش شده‌اند (ضیائی و همکاران، ۲۰۰۶). در این مدل، شاخص زونالیتة معدن آکتوگای قزاقستان به‌عنوان سطح فرسایش استاندارد ذخایر پنهان در نظر گرفته شده است. با توجه به این مدل زونالیتة ارائه شده، می‌توان عناصر فوق کانساری، تحت کانساری و هاله را مشخص کرد. چنین هاله‌هایی از ذخایر معدنی می‌توانند به‌وسیله مقادیر شاخص زونالیتة ژئوشیمیایی عمودی که به‌صورت یک خط مستقیم ارائه شده

^۱.Aktogay

^۲.Aseral

^۳.Tkhut

است، مشخص شود (ضیائی و همکاران، ۲۰۰۶).



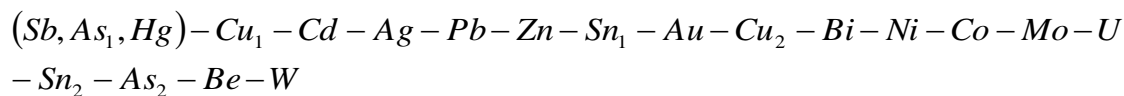
شکل ۴-۱: مدل استاندارد زونالیته معادن مس و مولیبدن پورفیری (ضیائی، ۲۰۰۷)

شناسایی زونالیته هاله‌های ژئوشیمیایی همراه با ذخایر پنهان به چهار روش صورت می‌گیرد

۱. آنالیز عناصر همراه با هاله‌های فوق و تحت کانساری ذخایر معدنی
۲. تحلیل مؤلفه مؤثر در آنومالی‌های دروغین
۳. بررسی مقدار میانگین عناصر موجود در آنومالی‌های مهم ژئوشیمیایی جهت حذف زمینه و مؤلفه سن ژنتیک
۴. استفاده از هاله‌های افزایشنده جمعی و ضربی

اهمیت شاخص زونالیته در شناسایی سطح فرسایش کانی‌سازی‌های پنهان و اقتصادی است که نشان‌دهنده افق آنومالی‌های ژئوشیمیایی است. در پژوهش حاضر روش هاله‌های ضربی با استفاده از اصل همراهی هاله‌های فوق کانساری و تحت کانساری جهت شناسایی آنومالی‌های ژئوشیمیایی استفاده گردیده است. استفاده از معیار همراهی در روش زونالیته ژئوشیمیایی به ما کمک می‌کند تا پهنه‌های کانی‌سازی را تفکیک کنیم. بر اساس روش زونالیته، همراهی عناصر در قسمت‌های تحتانی یک کانسار با عناصر فوقانی آن متفاوت است. وجود چنین تفاوتی در عناصر ذکر شده می‌تواند برای شناسایی رابطه بین کانی‌سازی و آنومالی مورد استفاده قرار گیرد. با توجه به رابطه موجود بین


عناصر فوق و تحت کانساری، برای کانسارهای مختلف، شاخص‌های زونالیت‌ها متفاوتی به دست می‌آید (ضیائی و همکاران، ۲۰۰۹). سری منطقه بندی استاندارد عناصر شاخص به صورت زیر است.



توزیع فلزات در مناطق مختلف منطبق باقابلیت تحرک آن‌ها در خلال کانی‌سازی اولیه است. بسیاری از فلزات نسبت به مرکز کانی‌سازی به‌طور قائم و نیز به‌طور جانبی منطقه بندی نشان می‌دهند (حسینی پاک، ۱۳۸۱). شکل تغییرات عمقی سه نوع از شاخص‌های زونالیت‌ها را نشان می‌دهد که در ارتباط با نهشته‌های مس پورفیری در مناطقی با ویژگی‌های ژئوشیمیایی تقریباً مشابهی محاسبه شده است (ضیائی، ۱۹۹۶). مقادیر هر یک از شاخص‌های زونالیت‌ها، باوجود تفاوت قابل توجه در ساختار زمین‌شناسی هر یک از این کانسارها، کاهش مقدار به‌صورت یک روند ثابت و یکنواختی را در بر دارد. این مطلب نشان‌دهنده آن است که یک روند یکنواخت در مقادیر شاخص زونالیت‌ها در هاله‌های اولیه نهشته‌های مس پورفیری از سطح به عمق وجود دارد (گریگوریان، ۱۹۹۲؛ ضیائی، ۲۰۰۹). از این‌رو، تغییرات عمقی مربوط به ضرایب شاخص‌های زونالیت‌ها، می‌تواند موجب شناسایی سطوح مختلف کانی‌سازی همانند هاله‌های اولیه تحت کانساری، فوق کانساری، کانسار و قسمت‌های زیر و روی کانسار شود و باعث تمایز این سطوح از همدیگر باشد (سولووف، ۱۹۹۰؛ گریگوریان، ۱۹۹۲). از شکل (۲-۴) می‌توان این‌گونه نتیجه گرفت که مقادیر مشابه ضرایب شاخص زونالیت‌ها بیانگر عمق یکسان کانی‌سازی و هاله‌های اولیه نسبت به سطح کانسار می‌باشند. این مطلب به این معنی است که هاله‌های اولیه نهشته‌های معدنی در اعماق مختلف بر اساس مقادیر خاصی از ضرایب شاخص زونالیت‌ها شناسایی می‌گردند. با توجه به وجود سطح از فرسایش، مقادیر بالای شاخص زونالیت‌ها دلالت بر وجود احتمالی کانی‌سازی پنهان و اقتصادی دارد. درحالی‌که مقادیر کم این شاخص بیانگر وجود نهشته‌های فرسایش یافته است. در ایران، در منطقه اهر دو آنومالی مربوط به کانی‌سازی پنهان سونگون و کانی-

سازی فرسایش یافته آستمال به فاصله ۲ کیلومتر، با استفاده از روش زونالیته شناسایی شد (ضیایی، ۱۹۹۶).

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
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



شکل ۴-۲: مدل ضرایب زونالیته ژئوشیمیایی برای نهشته‌های مس پورفیری به صورت تیپیک در قزاقستان،

بلغارستان، ارمنستان و ایران (ضیایی، ۱۹۹۶)

۴-۳ الگوهای توزیع منطقه‌ای عناصر محدوده مورد مطالعه

مشاهدات نشان داده است که توزیع فضایی (طولی، عرضی و قائم) عناصر کمیاب و کانی‌ها در اطراف و یا درون نهشته‌های کانساری می‌تواند از یک الگوی منطقه‌ای متقارن یا نامتقارن پیروی کند. تقارنی که در توزیع منطقه‌ای عناصر یا کانی‌ها در سنگ‌های درون‌گیر کانسار به وجود می‌آید به وسیله‌ی چندین متغیر پیچیده، مانند اختلاف در قابلیت تحرک عناصر که خود تابعی از دما، فشار، اختصاصات فیزیکوشیمیایی و غیره است، کنترل می‌شود. لذا توقع نداریم که در خلال بررسی‌ها همیشه با الگوی متقارنی روبرو شویم. در مطالعه منطقه بندی ژئوشیمیایی، توزیع منطقه‌ای و تغییرات غلظت عناصری مورد بحث است که معمولاً تغییراتشان کمتر قابل لمس بوده و فقط از طریق نمونه-برداری و تجزیه‌ی شیمیایی سیستماتیک ممکن است کشف گردند. الگوهای منطقه‌ای اساساً از دو نوع کانی‌شناسی و ژئوشیمیایی می‌باشند. تا آنجا که به کاربرد عملی این دو نوع منطقه بندی در اکتشافات ژئوشیمیایی مربوط می‌شود، منطقه بندی ژئوشیمیایی و کانی‌شناسی از اهمیت یکسانی برخوردارند و تنها اختلاف آن‌ها در روش جمع‌آوری داده‌های مربوطه است. از نظر کاربرد منطقه بندی ژئوشیمیایی باید خاطر نشان شود که این منطقه بندی‌ها می‌توانند با جهت جریان محلول‌های کانی‌ساز مطابقت

داده شوند. این امر می‌تواند به‌عنوان راهنمای مفیدی در تعیین جهت و مرکز فعالیت‌های کانی‌سازی به‌کاربرده شود. یکی از مفیدترین خصوصیات منطقه بندی ژئوشیمیایی که اغلب بر اساس پراکندگی عناصر کمیاب انجام می‌گیرد، این است که منطقه بندی مذکور برای توصیف کمی مناطق مختلف کانی‌سازی شده و برای نشان دادن نسبت‌های موجود بین عناصر مختلف، بسیار مناسب است. علل پیدایش الگوهای منطقه‌ای توسط محققین بسیاری مورد مطالعه قرار گرفته است و اغلب آن‌ها عواملی نظیر پایداری نسبی یون‌های کمپلکس، اختلاف در جرم مخصوص عناصر، پتانسیل الکتروودی و قابلیت تحرک را از عوامل مهم در ایجاد منطقه بندی شناخته‌اند (حسینی پاک، ۱۳۸۱).

۱-۳-۴ منطقه بندی قائم عناصر در هاله‌ی ثانویه‌ی کانسار دیان

مطالعه‌ی منطقه بندی هاله‌های اولیه از اهمیت عملی ویژه‌ای برخوردار است. گرچه ممکن است در اطراف یک توده کانسار در سه جهت طولی، عرضی و قائم منطقه بندی‌های خاصی مشاهده شود ولی در عمل تأکید به مطالعه‌ی منطقه بندی قائم هاله‌های اولیه است. زیرا این نوع منطقه بندی می‌تواند به‌عنوان ملاکی برای تعیین موقعیت سطح فرسایش آنومالی‌های ژئوشیمیایی نسبت به توده‌ی کانسار به کار رود. منطقه بندی در هاله‌های اولیه‌ای که از طریق کانی‌سازی هیدروترمال تشکیل می‌شوند، اولین بار در نهشته‌های اورانیوم تشخیص داده شد. نتیجه این تحقیق، کاهش یکنواخت نسبت‌هایی از عناصر اطراف توده کانسار با افزایش عمق بود (گریگوریان، ۱۹۷۵). سوچوانف^۱ پیشنهاد کرده است که برای مطالعه منطقه بندی هاله‌ها در مقاطع عرضی، باید قدرت تولید خطی^۲ هاله را به‌جای نسبت مقدار میانگین عناصر موجود در آن‌ها به کار برد. قدرت تولید خطی یک هاله نسبت به عنصر معینی برابر است با حاصل ضرب مقدار میانگین آن عنصر (برحسب %) در عرض هاله (برحسب متر). با کاربرد قدرت تولید خطی، هاله‌ها می‌توانند به‌طور بارزتری مشخص شوند. هاله‌های اولیه چند جزئی هستند، بدین معنی که در آن‌ها چندین عنصر معرف ممکن است وجود داشته باشد و لذا مقایسه منطقه بندی

^۱. Sochevanov

^۲. Linear productivity

هاله‌های عناصر مختلف به‌منظور انتخاب مفیدترین عنصر یا عناصر معرف همیشه الزامی است. در این ارتباط تعریف ضریب اختلاف ضروری است. ضریب اختلاف برای یک عنصر معین عبارت است از نسبت پارامتر معینی (قدرت تولید خطی) از آن عنصر در دو منطقه از یک هاله. معمولاً مقدار پارامتر مربوط به بخش فوقانی تر در صورت کسر و مقدار همان پارامتر مربوط به بخش تحتانی تر در مخرج کسر قرار می‌گیرد. با استفاده از این روش قدرت تولید خطی مربوط به عناصر شاخص محدوده مس دیان برای داده‌های عمقی گمانه ۴ محدوده اکتشافی محاسبه شد و توالی منطقه بندی به روش ضریب اختلاف به دست آمد. داده‌های عمقی گمانه اکتشافی شماره ۴ تا عمق ۳۸ متری آنالیز شده. برای محاسبه ضریب اختلاف، این گمانه به سه افق ۱ (از سطح تا عمق ۱۲ متر)، ۲ (عمق ۱۲ تا ۲۶ متر) و ۳ (عمق ۲۶ تا ۳۸ متر) تقسیم شد و غلظت عناصر شاخص مربوط به هر افق جداگانه نوشته شد (جدول ۴-۱). برای محاسبه قدرت تولید خطی به جهت اینکه باید عرض هاله توسط حداقل دو نمونه قطع شده باشد و حداقل پهنای یک هاله ضمن اکتشافات ژئوشیمیایی برابر فاصله‌ی دو نمونه متوالی است، عرض هاله برابر ۱۰ متر در نظر گرفته شد. ضریب اختلاف از نسبت غلظت هر کدام از عناصر شاخص در افق اول به غلظت همان عنصر در افق سوم تعیین گردید. با مرتب کردن این عناصر بر حسب کاهش ضریب اختلافشان، توالی عناصر بر طبق منطقه بندی هاله‌هایشان حاصل گردید. مقادیر ضریب اختلاف برای عناصر شاخص به‌صورت کاهشی و توالی مذکور به‌قرار زیر است:

Pb(1.35), Ba(1.19), As(1.15), Sb(1.044), Ag(1.01), Zn(0.717), Co(0.75), Cu(0.711), Be(0.542), Cr(0.43), Ni(0.33), Mo(0.1)

بنابراین عناصر *Pb, Ba, As, Sb, Ag* و *Zn* به‌عنوان عناصر فوق کانساری و عناصر *Co, Cu, Be*,

Cr, Ni و *Mo* به‌عنوان شاخص عناصر تحت کانساری معرفی می‌گردند.

جدول ۴-۱: مقادیر غلظت عناصر شاخص در سه افق تفکیک شده برای داده‌های عمقی گمانه اکتشافی ۴

عناصر شاخص	افق اول	افق دوم	افق سوم
Ag	0.002788	0.003137	0.002748
As	0.390746	0.214715	0.34123
Ba	3.445093	3.147904	2.887477
Be	0.017352	0.012755	0.011986
Ce	0.484517	0.469301	0.40567
Co	0.213123	0.212436	0.283572
Cr	1.008432	0.938858	2.362857
Cu	1.317785	21.99105	1.85314
Mo	0.0009116	0.000958	0.00907
Ni	0.44136	0.809323	1.321977
Pb	0.129504	0.069007	0.096931
Sb	0.010604	0.010086	0.010153
Zn	0.675315	0.968982	0.094231

مقدار بدست آمده برای عنصر مس در افق دوم (۲۱/۹۹) قابل توجه است که نشان از تمرکز بالای این عنصر در افق مربوطه دارد. اهمیت عملی چنین توالی از عناصر این است که به کمک آن‌ها شناخت معتبرترین نسبت معرف برای برآورد موقعیت نسبی سطح فرسایش آنومالی امکان‌پذیر می‌شود. مناسب‌ترین این نسبت‌ها نسبتی است که بر اساس فراوانی دو عنصر واقع در دو قطب این سری حاصل می‌شود. به این صورت شاخص $\frac{Pb}{Mo}$ به عنوان بهترین نسبت عنصری برای گمانه فوق شناسایی و معرفی شده است. البته تنها در شرایطی که تغییرات قدرت تولید خطی یک هاله در جهت قائم، یکنواخت باشد ضریب اختلاف حاصل می‌تواند در به دست آوردن نتایج روشن و بدون اشتباه مفید واقع شود، ولی غالباً با چنین شرایطی مواجه نمی‌شویم و بنابراین، بهتر است شاخص منطقه بندی عناصر معرف را به جای آن به کار ببریم. شاخص منطقه بندی یک عنصر معین در یک نوع خاصی از کانی‌سازی عبارت است از نسبت قدرت تولید خطی هاله‌ی آن عنصر به حاصل جمع قدرت تولید خطی هاله‌های عناصر معرف موجود در آن نوع کانی‌سازی در آن افق خاص (گریگوریان، ۱۹۷۵). برای

محاسبه شاخص منطقه بندی باید قدرت تولید خطی هاله‌ها را نرمالایز کرد. برای نرمالایز کردن باید حداکثر مقدار قدرت تولید خطی هر عنصر معرف در هاله‌های موجود در افق‌های مختلف یک مقطع عرضی به صورت تعداد رقم‌های مشابه از نظر دهدهی نوشته شود تا غلظت عناصر هم رقم شود و سپس بقیه مقادیر متعلق به هر عنصر معرف باید در نسبتی که برای هم رقم کردن فوق لازم است ضرب شوند. قدرت تولید خطی نرمالایز شده عناصر شاخص برای گمانه اکتشافی ۴ محاسبه شده است (جدول ۴-۲). بر اساس قدرت تولید خطی نرمالایز شده شاخص منطقه بندی عناصر محاسبه شده است. بر اساس نتایج به دست آمده واضح است که شاخص منطقه بندی به طور کمی بیانگر انباشتگی نسبی آرسنیک، باریم و روی در افق اول، مس در افق دوم و بریلیوم و مولیبدن در افق سوم و پایین‌ترین افق هاله‌ها است (جدول ۴-۲). بر اساس نتایج حاصل از محاسبات شاخص منطقه بندی، سری توالی عناصر به قرار زیر است.

Zn - (As-Ba) – Pb – Cu – Be - Mo

جدول ۴-۲: محاسبه شاخص منطقه بندی بر اساس قدرت تولید خطی نرمالایز

عناصر شاخص	ضریب نرمالایز	افق اول	افق دوم	افق سوم
Ag	1000	0.0088	0.006	0.0079
As	10	0.124	0.04	0.098
Ba	1	0.109	0.06	0.002
Be	100	0.055	0.024	0.34
Ce	10	0.153	0.9	0.116
Co	10	0.067	0.04	0.081
Cr	1	0.031	0.017	0.068
Cu	1	0.041	0.42	0.053
Mo	1000	0.028	0.018	0.26
Ni	1	0.014	0.015	0.038
Pb	10	0.041	0.014	0.029
Sb	100	0.035	0.021	0.033
Zn	10	0.215	0.184	0.027
جمع		31.6	52.6	34.9

روش شاخص منطقه بندی به مراتب دقیق تر از روش توالی منطقه بندی بر اساس ضریب اختلاف

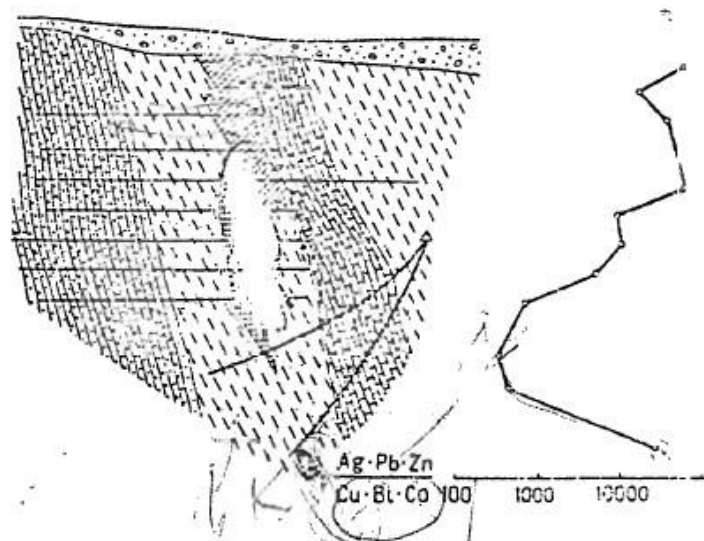
نسبت‌های قدرت تولید خطی یک جفت از عناصر است. زیرا جمع نمودن مقدار قدرت تولید خطی هاله‌ها در روش شاخص منطقه بندی که معمولاً برای گروه کثیری از عناصر انجام می‌گیرد، اثر خطاهای تصادفی در تعیین داده‌های ابتدایی را کاهش می‌دهد. بر اساس نتایج توالی منطقه بندی مهم‌ترین عناصر معرف فوق و تحت کانساری برای تعیین سطح فرسایش آنومالی ژئوشیمیایی مشخص گردیدند. منطقه بندی در ساختمان هاله‌های مرکب کلی ممکن است از طریق رسم هاله-های مرکب جزئی آشکار شود. هاله‌های مرکب جزئی برای گروهی از عناصر که در جهت قائم توزیع مشابهی دارند تهیه می‌شوند. هاله‌های مرکب جزئی (از نوع ضربی) که بر اساس گروه‌بندی عناصر در بالا و پایین توده‌ی کانسار رسم می‌شوند اختلاف منطقه بندی هاله‌ها را افزایش می‌دهند. بعلاوه این هاله‌های مرکب در تخمین سطح فرسایش آنومالی‌های ژئوشیمیایی به علت بزرگی ابعادشان، نتایج معتبرتری را به دست می‌دهند. هم‌چنین از طریق محاسبه‌ی نسبت حاصل ضرب مقدار میانگین عناصر معرف موجود در یک گروه به گروه دیگر می‌توان به افزایش قابل ملاحظه‌ای در مقدار اختلاف منطقه بندی دست‌یافت. این روش اولین بار توسط سولووف پیشنهاد شد. اهمیت کاربرد اکتشافی ضرایب شاخص زونالیته در شناسایی عمق سطح از فرسایش ماده معدنی و کشف آنومالی‌های ژئوشیمیایی پنهان است (گریگوریان، ۱۹۹۲؛ ضیایی، ۲۰۰۹).

۲-۳-۴ نحوه توزیع فلزات اطراف توده‌های کانساری

به‌منظور بررسی نحوه توزیع عناصر در اطراف توده‌ی معدنی، کانسارهای زیادی مورد مطالعه قرار گرفته‌اند که از جمله‌ی این کانسارها، کانسار هارپنبرگ^۱ است. این کانسار در سوئد واقع شده و از نوع اسکارن منیزیم دار است. باوجود تفاوت‌های مشخصی که در محیط‌های کانی‌سازی وجود دارد، همانندی نزدیکی با کانسار قبلی از نظر ویژگی هاله‌های ژئوشیمیایی دارد. هاله‌های عناصر سرب، روی و نقره در عمق تشدید می‌یابند که بر این اساس می‌توان چنین نتیجه گرفت که توده‌های معدنی

^۱.Harpenberg

پنهان در عمق وجود دارد. این نتیجه‌گیری به‌وسیله‌ی رسم نسبت قدرت تولید خطی هاله‌های ضربی به‌عنوان تابعی از عمق به‌طور کامل تأیید می‌شود. کاهش یکنواخت و ثابت نسبت شاخص تا ترازى که توده‌های کانساری شناخته‌شده نازک می‌شوند، ادامه می‌یابد. پس از آن این نسبت به‌تندی افزایش پیدا می‌کند (شکل ۳-۴). از این مطلب چنین نتیجه‌گیری شد که توده‌های کانساری پنهان در عمق قرار دارند. حفاری عمیق در یکی از محدوده‌های آنومال، توده کانساری نهفته وسیعی را در عمق ۵۰۰ متری نمایان ساخت (گریگوریان، ۱۹۷۵).



شکل ۳-۴: مقطع عرضی نمایش‌دهنده تغییرات شاخص ضربی نسبت به عمق در کانسار هارپنبرگ (گریگوریان، ۱۹۷۵).

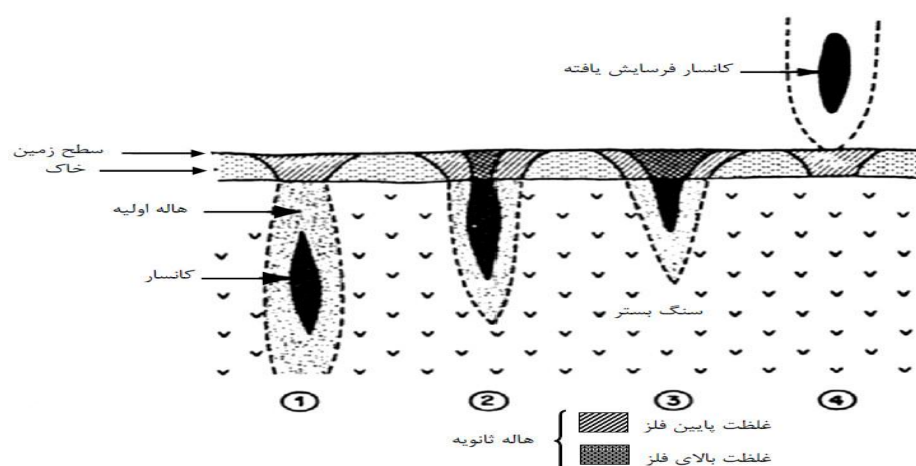
کانسارهای بسیار دیگری نیز مورد مطالعه قرار گرفته‌اند که علی‌رغم تفاوت در محیط تکتونیکی و شرایط زمین‌شناسی منطقه، عناصر شاخص منطقه بندی قائم مشخصی را تشکیل داده‌اند. چگونگی روابط حاکم میان عناصر شاخص در یک جمعیت ژئوشیمیایی که مورد نمونه‌برداری قرار گرفته به‌وسیله روش‌های گوناگونی تعیین می‌گردد. چنین روش‌هایی شامل ارزیابی معمولی و تعیین درجه همبستگی میان عناصر است. سولووف و گارانین^۱ در سال ۱۹۶۸ پیشنهاد کردند که نسبت حاصل-ضرب‌هایی از گروه‌هایی از عناصر با یکدیگر مقایسه شود. همان‌طور که برای کانسار هارپنبرگ در

^۱.Garanin

سوئد بیان شد، بررسی نسبت‌های ضربی شاخص‌های ژئوشیمیایی در اکتشاف کانسارهای مورد مطالعه بسیار سودمند بوده است.

۳-۳-۴ روش مطالعه توزیع منطقه‌ای عناصر در هاله‌های اولیه

منطقه بندی قائم می‌تواند به عنوان ملاکی برای تعیین موقعیت سطح فرسایش آنومالی‌های ژئوشیمیایی نسبت به توده کانسار بکار رود. سطح فرسایش کانسار روی اندازه و گسترش آنومالی در هاله‌های اولیه و ثانویه تأثیر دارد. آنومالی‌های حاصل از کانسارهای مختلف با توجه به سطح فرسایش کانی سازی در شکل (۴-۴) نشان داده شده است. این شکل ۴ نوع فرسایش را در یک توده معدنی نشان می‌دهد. (۱) کانسار پنهان (BM)، (۲) کانسار کمی فرسایش یافته رخنمون دار، (۳) کانسار نیمه فرسایش یافته، (۴) کانسار کاملاً فرسایش یافته. آنومالی‌های خاک نوع ۲ و ۳ (رخنمون دار) قوی‌تر از نوع اول است و ممکن است به غلط این گونه فرض شود که آن دو از نوع اول امیدبخش‌ترند، بدون اینکه سطح فرسایش در نظر گرفته شود. نوع چهارم به لحاظ شدت آنومالی مشابه نوع اول به نظر می‌رسد و اگر به درستی تفسیر نگردد، ممکن است این آنومالی کاذب منجر به اکتشاف بی‌نتیجه گردد (لویسنون، ۱۹۸۰).



شکل ۴-۴: تغییرات مقدار فلز در هاله‌های اولیه و ثانویه در ارتباط با تراز سطح فرسایش پهنه‌های کانه دار

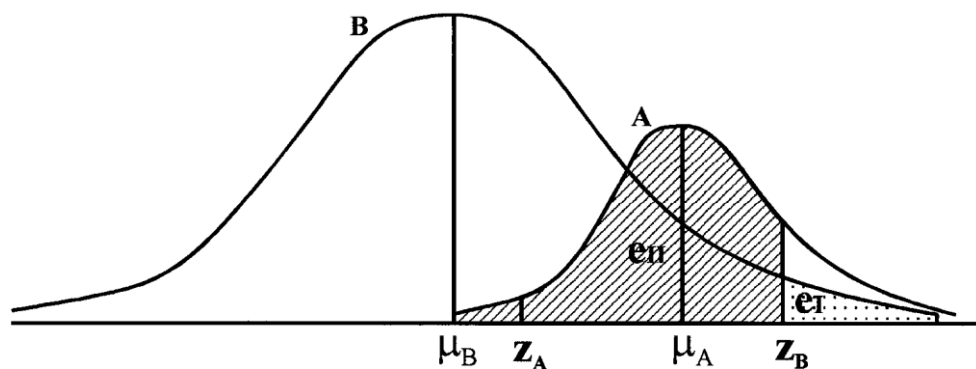
(لویسنون، ۱۹۸۰)

هاله‌های اولیه چند جزئی هستند. بدین معنی که در آن‌ها چندین عنصر معرف ممکن است وجود داشته باشد و لذا مقایسه منطقه بندی هاله‌های عناصر مختلف به منظور انتخاب مؤثرترین عناصر شاخص الزامی است. این مقایسه توسط یک سری از عناصر که معرف زونالیته باشند انجام می‌گیرد. به صورتی که ضریب اختلاف عناصر در مناطق مختلف منطقه بندی شده با یکدیگر مقایسه می‌گردد. پارامتر مربوط به بخش فوقانی در صورت کسر و مقدار همان پارامتر، مربوط به بخش تحتانی‌تر در مخرج کسر قرار می‌گیرد (گریگوریان، ۱۹۷۵).

۴-۳-۴ برآورد مقدار زمینه و حد آستانه‌ای به روش آماری سالووف

جوامعی که در ژئوشیمی اکثریت داده‌ها را تشکیل می‌دهند شامل مقدار زمینه، آنومالی و جامعه حد آستانه هستند که جامعه سوم، حد واسط دو جامعه دیگر است. آنومالی A و زمینه B ، جوامع مجزا هستند که از نظر ویژگی‌های مکانی و خواص عنصری با همدیگر متفاوت‌اند. اگر Z_A حد پایین آنومالی و Z_B را حد بالای زمینه در نظر بگیریم، در صورتی که $Z_A < Z_B$ باشد، جوامع هم‌پوشانی خواهند داشت و مقادیر مابین آن‌ها را نمی‌توان به یکی از دو جامعه نسبت داد. در این صورت دو نوع خطای نوع ۱ (e_1) و خطای نوع ۲ (e_2)، امکان وقوع دارد. خطای نوع ۱ خطای عدم پذیرش است که نمونه‌ای متعلق به جامعه زمینه جزء زمینه طبقه‌بندی نگردد. خطای نوع ۲ خطای پذیرش است که یک نمونه متعلق به آنومالی، جزء زمینه طبقه‌بندی شود. با در نظر گرفتن Z_B به عنوان حد آستانه، مقادیر خطای ۱ و ۲ به صورت مناطق سایه‌دار در شکل (۴-۵) نشان داده شده است. این دو خطا به صورت معکوس یکدیگر عمل می‌کنند یعنی کاهش یکی از آن‌ها باعث افزایش دیگری خواهد شد. در بسیاری از مواقع کاهش خطای کلی بهتر است هرچند در مواقعی می‌توان یکی از دو خطا را کاهش داد (چنگ^۱، ۱۹۹۹).

^۱.Cheng



شکل ۴-۵: تابع چگالی داده‌های ژئوشیمیایی جامعه آنومالی A با میانگین μ_A و زمینه B با میانگین μ_B (چنگ،

۱۹۹۹).

در اکتشافات ژئوشیمیایی به روش زونالیت، نخست مقدار زمینه و حد آستانه آنومالی برای عناصر شاخص محاسبه می‌گردد. بر این اساس آن دسته از عناصری که در روابط مربوط به ضرایب زونالیت شرکت دارند در زمره عناصر مورد نیاز می‌باشند. تخمین مقدار زمینه و حد آستانه‌ای برای عنصری انجام گرفت که از لحاظ ژنتیکی با کانسار تحت پی‌جویی در ارتباط باشند تا به‌وسیله این عناصر به محل احتمالی مناطق پتانسیل دار رهنمون شد. عناصر مذکور همان عناصر شاخص کانساری می‌باشند که جهت دستیابی به نتایج مطلوب باید به‌درستی شناخته شوند. گرچه عناصر ردیاب و معرف ممکن است فراوانی ناچیزی داشته باشند ولی می‌توانند به‌عنوان معرف‌های حساسی برای تعیین حدود شرایط فیزیکی و شیمیایی که تحت آن شرایط، کانی‌سازی اتفاق افتاده است بکار روند. جهت پردازش داده‌های ژئوشیمیایی در گام نخست باید مؤلفه سن‌ژنتیک مربوط به هر عنصر که خود را در قالب مقدار زمینه مربوط به آن عنصر نشان می‌دهد را جدا نماییم. بر اساس مطالعات و بررسی‌های صورت گرفته مشخص شده است که توزیع آماری نرمال در مدل‌سازی بسیاری از پدیده‌های علمی نقش داشته است. همچنین ثابت شده است که توزیع نرمال خود را تحت شرایطی نشان می‌دهد که تغییرات یک متغیر مشاهده‌ای همچون X تأثیرپذیر از تعدادی عامل و فاکتورهای مختلف قابل‌اندازه‌گیری و مستقل از هم است. رابطه مربوط به تابع توزیع نرمال به‌قرار زیر است (سولووف، ۱۹۸۷).

$$y = Q(x) = \frac{1}{S\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\bar{x})^2}{2S^2}} \quad (1-4)$$

در این رابطه \bar{x} میانگین حسابی داده‌ها، s انحراف معیار و s^2 واریانس داده‌ها است. جهت محاسبه مقدار زمینه (C_p)، حد آستانه‌ی آنومالی C_A و انحراف معیار ε برای ذخایری که از توزیع لاگ‌نرمال بهره می‌برند از روابط زیر استفاده می‌گردد (سولووف، ۱۹۸۷).

$$C_p = \text{antLog}\left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \log c_i\right) \quad (2-4)$$

$$C_A = C_p \times \varepsilon^{\frac{3}{\sqrt{m}}} \quad m=1,2,3,\dots,9 \quad (3-4)$$

$$\varepsilon = \text{antLogstd}(d_1 : d_n) \quad (4-4)$$

در روابط فوق داریم:

ε : انحراف معیار داده‌ها d_i : مقدار مربوط به آنالیز داده‌ی i ام

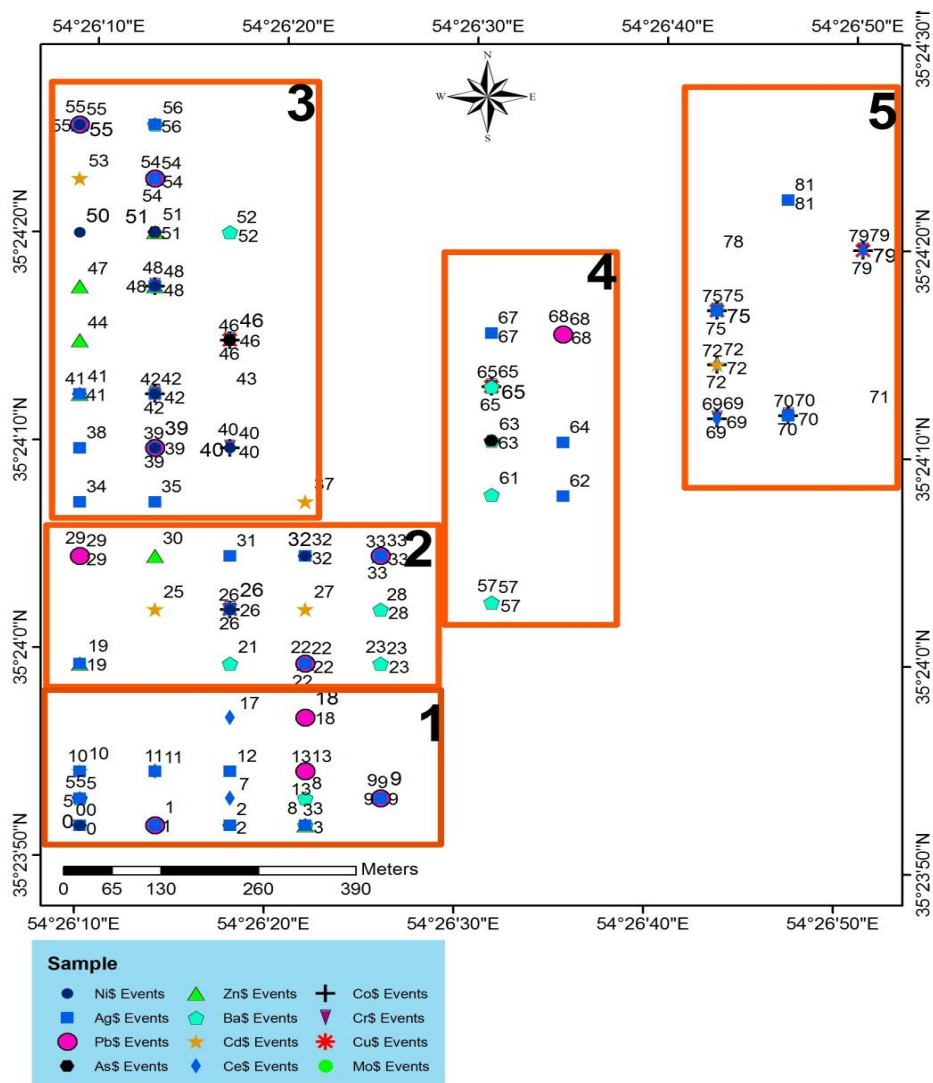
$std(d_1 : d_n)$: انحراف معیار داده‌ها m : تعداد نمونه‌ها با غلظتی بیشتر از $C_x \times \varepsilon$

در رابطه‌ی (۳-۴)، اگر مقدار $\frac{3}{\sqrt{m}}$ را برابر t بگیریم، در صورتی که این مقدار برابر ۳ فرض شود، احتمال خطا در تخمین میزان حد آستانه بسیار کاهش می‌یابد ولی در عین حال باعث می‌شود که آنومالی‌های ضعیف در رابطه‌ی توده‌های عمیق کنار گذاشته شوند. لذا انتخاب میزان t در تعیین حد آستانه آنومالی بسیار حائز اهمیت است. بنابراین اگر هدف آشکارسازی آنومالی‌های قوی باشد مقدار t را برابر ۳ در نظر می‌گیریم ولی برای آشکارسازی آنومالی‌های ضعیف‌تر از رابطه (۳-۴) استفاده می‌گردد. با استفاده از روابط ذکرشده در بالا، مقادیر حد زمینه، حد آستانه‌ای و انحراف معیار برای عناصر داده‌شده است محاسبه گردید (جدول ۳-۴).

جدول ۴-۳: محاسبه مقادیر زمینه C_p ، انحراف معیار ε و حد آستانه‌ای C_A برای عناصر شاخص مورد استفاده در روش زونالیته (غلظت‌ها بر حسب ppm)

Slog	ε	C_A	C_p	max	Min	element
0.028	1.068	0.279	0.261	0.34	0.2	Ag
0.177	1.505	14.6	9.69	63.6	5	As
0.155	1.427	645.9	452.5	1167	255	Ba
0.115	1.305	23	17.67	43	12	Co
0.03	1.068	0.125	0.117	0.21	0.07	Mo
0.301	1.99	88	44.02	2241	27	Cu
0.145	1.39	88.7	63.48	202	44	Ni
0.114	1.3	37.5	28.87	131	19	Pb
0.064	1.159	1.8	1.015	11.8	0.87	Sb
0.088	1.225	112.8	92.6	222	70	Zn
0.165	1.463	182	124	405	72	Cr
0.038	1.09	54	49.5	68	43	Ce
0.011	1.026	0.24	0.234	0.26	0.21	Cd
0.235	1.72	3.23	1.25	3.5	1	Be

در ادامه بر اساس مقادیر حد آستانه‌ای محاسبه‌شده، نمونه‌های موجود در محدوده آنومال مشخص شده و جدا شدند. با نمایش این نقاط در محیط نرم‌افزار ArcGis9.3 و بر اساس مشخصات زمین‌شناسی منطقه، معیار همراهی عناصر فوق کانساری و تحت کانساری و آنومالی‌های مشاهده‌شده با روش‌های چند متغیره، شبکه پروفیل‌های نمونه‌برداری به پنج محدوده تقسیم گردید و برای انجام بررسی‌های بیشتر توسط ضرایب زونالیته معرفی شد (شکل ۴-۶).



شکل ۴-۶: زون بندی منطقه و موقعیت نقاط آنومال برای عناصر شاخص

پس از آن، میانگین هندسی داده‌های آنومال مربوط به هر عنصر در محدوده‌های پنج‌گانه محاسبه شد. در انتها شاخص‌های ضربی مربوط به هر کدام از زون‌های تقسیم‌بندی شده بر اساس نسبت حاصل ضرب عناصر فوق کانساری و تحت کانساری به دست آمده و بر این اساس برای هر منطقه و هر شاخص ضربی یک مقدار محاسبه شد (جدول ۴-۴، ۴-۵ و ۴-۶).

جدول ۴-۴: مقادیر میانگین نمونه‌های آنومال برای عناصر فوق کانساری (غلظت‌ها بر حسب ppm)

As	Ba	Pb	Zn	Ag	عنصر زون
۳۱/۱۷۵	۹۶۱/۲	۳۹	۱۱۳	۰/۲۹۳	۱
۱۶/۹	۸۴۹/۴	۴۶/۳	۱۵۲	۰/۳۰۳	۲
۱۷/۷۷	۷۶۰/۵	۷۰/۶	۱۳۵/۳	۰/۲۹۷	۳
۱۵/۴	۷۸۳/۲۵	۴۱	۹۲/۶	۰/۲۸۶	۴
۹/۶۹	۴۵۲/۵	۲۸/۸۷	۹۲/۶	۰/۲۸۶	۵

جدول ۴-۵: مقادیر میانگین نمونه‌های آنومال نواحی پنج‌گانه برای عناصر تحت کانساری (مقادیر بر حسب ppm)

Ni	Co	Mo	Cu	عنصر زون
۹۶	۲۵	۱/۴	۱۱۹/۵	۱
۹۰/۵	۳۲	۱/۴۳	۳۷۳	۲
۱۵۳/۸۵	۳۷/۴	۱/۴۱	۱۱۷/۵	۳
۶۳/۴۸	۲۴	۱/۴	۷۴۱	۴
۶۳/۴۸	۲۸	۱/۴۷	۱۵۲	۵

جدول ۴-۶: محاسبه ضرایب زونالیته برای نواحی پنج‌گانه (مقادیر بر حسب ppm)

$\frac{Pb.Zn}{Cu.Ag}$	$\frac{Pb.Zn.Ag}{Co.Mo^2}$	$\frac{Pb.Zn.Ag}{Co.Mo.Ni}$	$\frac{Pb.Zn}{Cu.Mo}$	شاخص زونالیته زون
۱۲۶/۳۵	۲۶/۳۵	۰/۳۸	۲۶/۳۹	۱
۶۳/۳۷	۳۲/۳۸	۰/۵۱	۱۳/۲۴	۲
۲۷۳/۷	۳۸/۱۵۷	۰/۳۴	۵۷/۶۵	۳
۱۷/۹	۱۰/۸۵	۰/۲۳	۱۰/۲۷	۴
۶۰/۷	۲۰	۰/۳۳	۱۸/۹۳	۵

در مرحله نهایی، یک ضریب K در شاخص زونالیته ضرب می‌شود. این ضریب به‌عنوان ضریب کانی-سازی شناخته شده است. اگر کل نمونه‌های یک پهنه را برابر $\eta_a(\alpha)$ و تعداد نمونه‌های آنومال را برابر $\eta_a(\alpha)_{ore}$ در نظر بگیریم. نسبت بین این دو مقدار به‌عنوان ضریب کانی‌سازی شناخته می‌شود که به‌صورت رابطه‌ی زیر است (سولووف، ۱۹۹۰):

$$\eta(\alpha)_{ore} = \frac{\eta_a(\alpha)_{ore}}{\eta_a(\alpha)} \quad (5-4)$$

که 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 این ضریب در مقدار به‌دست آمده برای شاخص‌های زونالیته ضرب گردید و به‌این ترتیب مقدار نهایی هر شاخص برای هر زون محاسبه گردید (جدول ۴-۷). جهت محاسبه شاخص زونالیته، اگر میانگین نقاط آنومال عنصری در منطقه صفر بوده باشد مقدار زمینه عنصر مورد نظر جایگزین گردیده است

جدول ۴-۷: محاسبه ضرایب شاخص زونالیته با اعمال ضریب کانی‌سازی

$\frac{Pb.Zn}{Cu.Ag}$	$\frac{Ag.Pb.Zn}{Co.Mo^2}$	$\frac{Ag.Pb.Zn}{Co.Mo.Ni}$	$\frac{Pb.Zn}{Cu.Mo}$	شاخص زونالیته زون
۳۵۸۴	۱۶۲۴	۱/۳۵۶	۳۵۹/۶۵	۱
۱۰۲۷۹/۵۵	۴۰۰۶/۲۶	۲	۴۵۳/۳	۲
۱۶۴۳۳/۷	۱۴۷۴/۲	۰/۴۳	۱۵۰۰	۳
۱۷/۹	۱۰/۸۵	۰/۲۳	۱۰/۲۷	۴
۶۰/۷	۲۰	۰/۳۳	۱۸/۹۳	۵

۵-۳-۴ آشکارسازی مناطق آنومال در مقیاس ناحیه‌ای

مقادیر بالای شاخص زونالیته نشان‌دهنده حضور یک کانی‌سازی پنهان و مقادیر پایین آن نشانه

حضور یک کانی‌سازی فرسایش یافته است. اگر در محلی هاله‌های فوق کانساری وجود داشته باشند ولی هاله تحت کانساری نباشد، شاهد آنومالی کاذب خواهیم بود و ماده معدنی وجود نخواهد داشت. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده از جدول (۴-۶)، هر کدام از ضرایب مناطقی را به‌عنوان مناطق آنومال معرفی می‌کنند. همان‌طور که از جدول پیداست تمامی شاخص‌ها بر روی مناطق ۱، ۲ و ۳ تأکید دارند و مقادیر محاسبه‌شده شاخص برای این محدوده‌ها بسیار بیشتر از مناطق ۴ و ۵ است که نشان از حضور مقادیر بالای آنومال در این نواحی دارد. در میان شاخص‌ها نیز، شاخص‌های $\frac{Pb * Zn}{Cu * Mo}$ و $\frac{Pb.Zn}{Cu.Ag}$ بهترین شاخص‌ها است که مناطق آنومال را به‌خوبی تفکیک کرده‌اند. شرایط متالوژنی و تیپ کانی-شناسی ژئوشیمیایی ذخایر مس، مؤید نتایج به‌دست‌آمده در به‌کارگیری این شاخص‌ها است.

۱-۵-۳-۴ محاسبه شاخص زونالیتنه بر اساس نمونه‌های آنومال

محدوده زون‌های آنومال ۱، ۲ و ۳ حاصل از به‌کارگیری روش زونالیتنه در مرحله قبل به ترتیب دارای مساحت ۱۲۲/۲۲۶، ۱۳۰/۳۵۴ و ۲۲۴/۱۱۲ کیلومتر مربع می‌باشند که در شرق محدوده دیان و در بخش غربی منطقه نمونه‌برداری شده قرار گرفته‌اند. تعداد کل نمونه‌های برداشت‌شده از این محدوده‌ها ۵۷ نمونه است. با توجه به اینکه در مرحله قبل شاخص $\frac{Pb * Zn}{Cu * Mo}$ به‌عنوان شاخص برتر معرفی گردید، تعداد نمونه‌های آنومال مربوط به عناصر این شاخص محاسبه گردید. تعداد نمونه‌های آنومال برای عنصر مس (۶ نمونه)، مولیبدن (۱۵ نمونه)، سرب (۱۰ نمونه) و روی (۱۲ نمونه) است. با در دست داشتن مشخصات آماری داده‌ها در این محدوده‌های آنومال (جدول ۴-۸) و تعیین میزان حد زمینه و آنومال (جدول ۴-۹)، میزان تولید سطحی هر نمونه قابل محاسبه است.

جدول ۴-۸: مشخصات آماری داده‌ها در محدوده پهنه‌های آنومال ۱، ۲ و ۳ (مقادیر برحسب ppm)

عنصر	سرب	روی	مس	مولیبدن
مقدار حداکثر	۱۳۱	۲۲۲	۲۲۴۱	۱/۶۱
مقدار حداقل	۳۸	۱۱۳	۹۸	۱/۳۵
میانگین	۴۱	۱۳۶	۲۳۸	۱/۴۲
انحراف معیار	۲۶	۲۸	۶۶۰	۰/۰۷

جدول ۴-۹: میزان حد زمينه و آنومالی عناصر فوق و تحت کانساری در پهنه‌های آنومال ۱، ۲ و ۳

عنصر	سرب	روی	مس	مولیبدن
ε	۱/۳	۱/۲۲	۱/۹۹	۱/۰۶
حد زمينه	۲۸/۸	۹۲/۶	۴۴	۰/۱۱۷
حد آنومالی	۳۷/۵	۱۱۲	۸۸	۰/۱۲۵

به منظور محاسبه شاخص زونالیتته، ابتدا مساحت مربوط به هر نمونه آنومال به دست آمد که با استفاده از آن میزان تولید سطحی^۱ (P) هر نمونه برای هر عنصر محاسبه شد. میزان تولید سطحی با استفاده از رابطه زیر قابل محاسبه است (سولووف، ۱۹۸۵):

$$P = A_X \times (C_X - C_0) \quad (۴-۶)$$

که در این رابطه P تولید سطحی برحسب مترمربع درصد، A_X مساحت منطقه بالادست نمونه برحسب مترمربع، C_X میزان غلظت فلز در نمونه و C_0 مقدار زمينه عنصر است. شاخص زونالیتته برای هر آنومالی با توجه به رابطه (۴-۷) قابل محاسبه است.

^۱.Surface Productivity

$$K_p = \frac{\sum P(Pb) \times \sum P(Zn)}{\sum P(Cu) \times \sum P(Mo)} \quad (7-4)$$

با توجه به اینکه تیپ کانسار مس دیان به طور مشخص تعیین نگردیده است، در این قسمت از مدل استاندارد کانسارهای مس پورفیری استفاده شده است. بر اساس این مدل استاندارد، میزان شاخص زونالیته در صورتی که بیشتر از ۱ باشد نشانه گر ذخایر پنهان است. با محاسبه شاخص زونالیته بر طبق رابطه (۷-۴)، مقادیر این شاخص برای زون‌های ۱، ۲ و ۳ به دست آمد (جدول ۴-۱۰). نتایج به دست آمده بیانگر این است که مقدار شاخص زونالیته به دست آمده برای هر سه زون مقداری بالاتر از ۱ است و نشان از وجود کانی‌سازی احتمالی پنهان در منطقه دارد. با توجه به مقادیر بدست آمده شدت این کانی‌سازی در زون‌های ۲ و ۳ بیشتر به نظر می‌رسد. به دلیل اینکه زون‌های ۴ و ۵ دارای نقاط آنومال برای عناصر شاخص زونالیته نبوده، مقدار این شاخص برای این مناطق قابل محاسبه نیست.

جدول ۴-۱۰: مقادیر تولید سطحی عناصر سرب، روی، مس و مولیبدن (برحسب مترمربع درصد) و شاخص زونالیته (K_p) در پهنه‌های آنومال ۱، ۲ و ۳

K_p	$P(Mo)$	$P(Cu)$	$P(Zn)$	$P(Pb)$	مساحت	آنومالی
۱/۱۸	۲/۴۴	۷۵/۵	۱۰/۲	۲۱/۳	۱۲۲/۲۲۶	زون ۱
۳/۹۳	۳/۹۳	۱۶۴/۵	۹۲/۵	۲۷/۵	۱۳۰/۳۵۴	زون ۲
۲/۲۹	۳۲/۵۲۵	۱۳۰۲/۵	۱۵۱/۵	۶۴	۲۲۴/۱۱۲	زون ۳

از پارامترهای مهم ژئوشیمیایی برای ارزیابی و تعیین ابعاد کانی‌سازی، میزان فلز وارد شده به هاله ثانویه است. میزان فلز وارد شده به هاله ثانویه از طریق رابطه زیر قابل محاسبه است (سولووف، ۱۹۸۷).

$$Q = \frac{P \times H}{k \times k' \times 40} \quad (8-4)$$

که در این رابطه Q میزان فلز وارد شده به هاله ثانویه برحسب تن، P تولید سطحی برحسب مترمربع درصد، H عمق منشأ هاله برحسب متر و k و k' ضرایب مربوط به منظر ژئوشیمیایی می-

باشند. جهت به دست آمده آوردن عمق منشأ هاله‌های عناصر سرب، روی، مس و مولیبدن از الگوی تشابه استفاده گردید. بر این اساس عمق منشأ هاله‌های فوق و تحت کانساری با میزان تولید سطحی این عناصر رابطه مستقیم دارد (سولووف، ۱۹۸۷). این الگو بر اساس تشابه بین آنومالی حاصل از کانی‌سازی مدل استاندارد ذخایر مس بررسی شد. مدل استاندارد ذخایر مس بیانگر وجود یک میلیون تن فلز وارد شده به هاله ثانویه با میزان تولید سطحی ۱۶۰۰ مترمربع درصد و به عمق ۲۵۰ متر در نظر گرفته می‌شود. بر اساس الگوی تشابه، جذر نسبت تولید سطحی در آنومالی مربوط به کانی‌سازی مدل استاندارد به تولید سطحی آنومالی محدوده مورد نظر، برابر است با نسبت عمق منشأ هاله‌ها در مدل استاندارد نسبت به عمق منشأ هاله‌ها در منطقه مورد نظر (سولووف، ۱۹۸۷). دلیل جذر گرفتن از نسبت تولید سطحی این است که بعد پارامترها یکسان شود و کمیت دوبعدی تبدیل به یک‌بعدی گردد. به این طریق با داشتن میزان تولید سطحی در محدوده، عمق منشأ هاله به صورت تقریبی در محدوده مورد مطالعه به دست می‌آید. ضرایب k و k' اعدادی نزدیک به ۱ هستند و به دلیل اینکه در محدوده مورد مطالعه اطلاعات کافی در مورد مقدار این ضرایب موجود نبوده، لذا مقادیر این ضرایب، ۱ در نظر گرفته شده است. بر اساس مقادیر قدرت تولید سطحی ذخایر استاندارد و استفاده از نسبت تشابه، عمق کانی‌سازی و میزان فلز تولید شده برای هر کدام از عناصر در هر یک از زون‌های آنومال محاسبه گردید (جدول ۴-۱۱). همان‌طور که از جدول مشخص است، نتایج به دست آمده از روش زونالیت‌ها وجود یک کانسار پنهان در منطقه را تأیید می‌کند. در مقایسه نتایج به دست آمده برای زون‌های آنومال با مدل استاندارد ذخایر مس، نتایج مربوط به زون‌ها برای عنصر مس، هماهنگی مناسبی بین پارامترهای ژئوشیمیایی آنومالی زون ۳ و مدل استاندارد دیده می‌شود که نشان‌دهنده وجود کانی‌سازی پنهان در منطقه مورد نظر را بیان می‌کند.

جدول ۴-۱۱: محاسبه پارامترهای ژئوشیمیایی پهنه‌های آنومال بر اساس نسبت تشابه با مدل استاندارد

عنصر	پارامترهای ژئوشیمیایی	زون ۱	زون ۲	زون ۳
	تولید سطحی (متر مربع درصد)	۷۵/۵	۱۶۴/۵	۱۳۰۲/۵
مس	عمق (متر)	۵۴	۸۳	۲۲۷
	میزان فلز در هاله ثانویه (تن)	۱۰۲	۳۴۱/۳۴	۷۳۹۱/۷
	تولید سطحی (متر مربع درصد)	۲/۴۳	۳/۹۳	۳/۲۵
مولیبدن	عمق (متر)	۱۰	۱۲/۵	۱۱
	میزان فلز در هاله ثانویه (تن)	۴/۲	۶/۸	۹/۵
	تولید سطحی (متر مربع درصد)	۲۱/۳	۲۷/۵	۶۴
سرب	عمق (متر)	۲۹	۳۳	۵۰
	میزان فلز در هاله ثانویه (تن)	۱۵/۴۴	۲۲/۷	۸۰
	تولید سطحی (متر مربع درصد)	۱۰/۲	۹۲/۵	۱۵۱/۵
روی	عمق (متر)	۲۰	۶۰	۷۸
	میزان فلز در هاله ثانویه (تن)	۵	۱۳۸	۲۹۵/۵

۴-۳-۶ محاسبه عرض هاله ثانویه در طول پروفیل‌های نمونه برداری

هاله‌های پراکندگی ثانویه برحسب حالت فیزیکی خود به هاله‌های مکانیکی و شیمیایی طبقه‌بندی می‌گردند. اصول مبنی بر این هاله‌ها بر اساس مهاجرت عناصر شکل گرفته است (گریگوریان، ۱۹۷۵). بر پایه‌ی تجارب به دست آمده از اکتشافات ژئوشیمیایی، سولووف توانست کل هاله‌های پراکندگی ثانویه را به نمونه‌وارترین گروه‌هایی که در عمل احتمال برخورد با آن‌ها وجود دارد طبقه‌بندی نماید. از

مهم‌ترین این هاله‌ها، هاله‌های جامانده می‌باشند که در پهنه‌هایی که فرسایش آن‌ها فعالانه صورت می‌گیرد، تشکیل می‌گردند. هاله‌های پراکندگی جامانده شامل فروپاشی آواری کانسارها و هاله‌های ژئوشیمیایی نخستین آن‌ها است. در شرایط آب‌وهوایی خشک ویژه‌ی مناطق کویری که آب و هوازدگی فیزیکی به‌طور قابل‌توجهی بر هوازدگی شیمیایی چیره است، جزء سازنده مکانیکی هاله‌ی جامانده ممکن است به‌طور محسوسی بیشتر باشد. سولووف یک مدل نظری برای هاله‌های نمایان جامانده مطرح نمود. این مدل امکان تشریح کمی فرایندها را که میان این هاله‌ها رخ می‌دهد، فراهم می‌کند. در مورد یک هاله‌ی دومین ایده آل که روی یک توده‌ی معدنی فرسایش یافته قرار گرفته، اگر فرض شود که ذخیره‌ی فلزی اصلی در خود توده‌ی معدنی متمرکز شده، نمودار تغییرات عیار عناصر کانه‌ای (C_X) در امتداد پروفیل عمود بر جهت توده‌ی معدنی خواهد بود که از رابطه‌ی زیر پیروی می‌کند (گریگوریان، ۱۹۷۵):

$$C_X = \frac{M}{\sigma\sqrt{2\pi}} \times e^{-\frac{X^2}{2\sigma^2}} + C\phi \quad (9-4)$$

که در آن C_X تمرکز فلز در نقطه‌ای از هاله به فاصله‌ی X از رگه‌ی کانه است. پارامتر M ، مقدار کمی فلز (تولید خطی) در هاله است. σ ، عبارت است از ضریب پراکندگی که پیچیدگی‌های محیط را به حساب می‌آورد. $C\phi$ ، مقدار زمینه‌ی عنصر است. ارتباط پارامترهای M و C_{max} در هاله‌ی ثانویه به‌صورت رابطه‌ی زیر است (سولووف، ۱۹۸۵):

$$M = C_{MAX} \times \sigma\sqrt{2\pi} \quad (10-4)$$

که در آن، C_{MAX} مقدار حداکثر یک عنصر در نقطه‌ی مرکزی هاله است (سولووف، ۱۹۵۹).

همچنین مقدار یک فلز در یک هاله، با توجه به روابط زیر تعیین می‌گردد (سولووف، ۱۹۶۰):

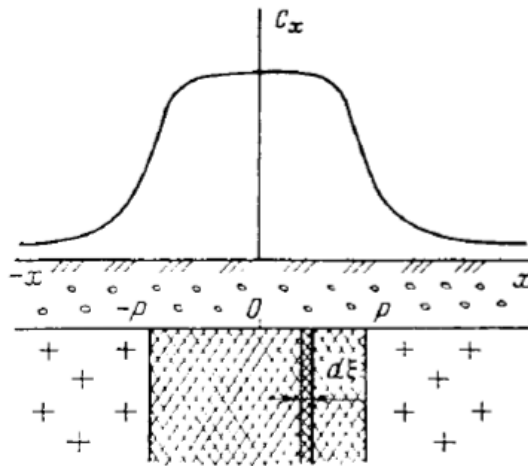
$$M = \Delta X \left(\sum_{x=1}^n (C_X - nC\phi) \right) \quad (11-4)$$

$$P = \Delta X 2l \left(\sum_{x=1}^n C_X - nC\phi \right) \quad (12-4)$$

ΔX فاصله میان نقاط نمونه برداری در امتداد پروفیل است. (l) فاصله میان پروفیل‌ها و n تعداد نقاط بکار رفته در پروفیل است. مفهوم فیزیکی پارامترهای M برگرفته از این واقعیت است که میزان تولید خطی ماده معدنی (فلز) در هاله‌ی توزیع شده در طول پروفیل معادل با مقدار M_p در مقطع مشابه ماده معدنی برای کانسار قبل از هوازدگی است. در حالت ایده آل، برای هاله‌های برج، رابطه‌ی زیر به دست می‌آید:

$$M = M_p = C_p \times 2P \quad (13-4)$$

در این رابطه، $2P$ (متر) برابر عرض هاله و C_p (٪) مقدار غلظت فلز است که در شکل زیر نشان داده شده است (شکل ۷-۴).



شکل ۷-۴: نمودار عرض هاله در طول یک پروفیل در هاله‌های پراکندگی برج، (گریگوریان، ۱۹۷۵)

با توجه به روابط (۱۰-۴) و (۱۳-۴) می‌توان نتیجه گرفت که رابطه زیر میان تولید خطی و C_{max} برقرار است (سولووف، ۱۹۶۰):

$$C_p \times 2P = C_{MAX} \times \sigma \sqrt{2\pi} \quad (14-4)$$

تحرك يونى عناصر ايجاد يك تعادل غلظت در اطراف نهشته‌هاى كانسارى برجاي مانده مى‌كند. بنابراین در يك توده معدنى، بيشترين حجم فلز در هاله‌هاى پراكندگى ثانويهى برجا نمى‌تواند بر حجم توده‌ى اصلى غلبه كند. در اين صورت $C_p \geq C_{MAX}$ خواهد بود و رابطه زير حاصل مى‌شود:

$$2P \leq \sigma \sqrt{2\pi} \cong 2.5\sigma \quad (15-4)$$

بنابراين رابطه كلى مقدار ماكزيمم غلظت عنصر در طول پروفيل نسبت به عرض هاله به شكل زير بيان مى‌گردد:

$$C_{MAX} = \frac{K.C_p.2P}{2.5\sigma} \quad (16-4)$$

در اين رابطه مقدار K برابر ضريب آب‌وهوا در منطقه مى‌باشد.

بر اساس روابط تجربى به‌دست آمده، سولووف مقادير σ را در طول يك پروفيل به ازاي مقدار ماكزيمم غلظت عنصر به صورت زير بيان مى‌كند (سولووف، ۱۹۶۰):

$$0.607 C_{MAX} = 2\sigma \quad (17-4)$$

$$0.325 C_{MAX} = 3\sigma \quad (18-4)$$

$$0.135 C_{MAX} = 4\sigma \quad (19-4)$$

بنابراين ضريب پراكندگى مجموع برابر با مقدار بيان شده در رابطه‌ى زير است:

$$\sigma = \frac{\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3}{3} \quad (20-4)$$

با توجه به روابط ذكرشده مى‌توان عرض هاله را در طول پروفيل‌ها محاسبه كرد. پروفيل زده شده بايد به گونه‌اى باشد كه مقدار ماكزيمم غلظت عنصر محاسبه شده در طول و مركز پروفيل مربوطه قرار گرفته باشد كه شبیه به نمودار حالت ایده‌ال برای يك پروفيل در طول رگه‌ى معدنى باشد. در منطقه مورد مطالعه تعداد ۱۰ پروفيل به منظور جمع‌آورى نمونه‌ها حاصل شده كه مناطق آنومال مس طبق روش آناليز چند متغيره و روش زوناليتيه برای پهنه‌هاى ۱، ۲ و ۳ تعيين گرديد. اين مناطق

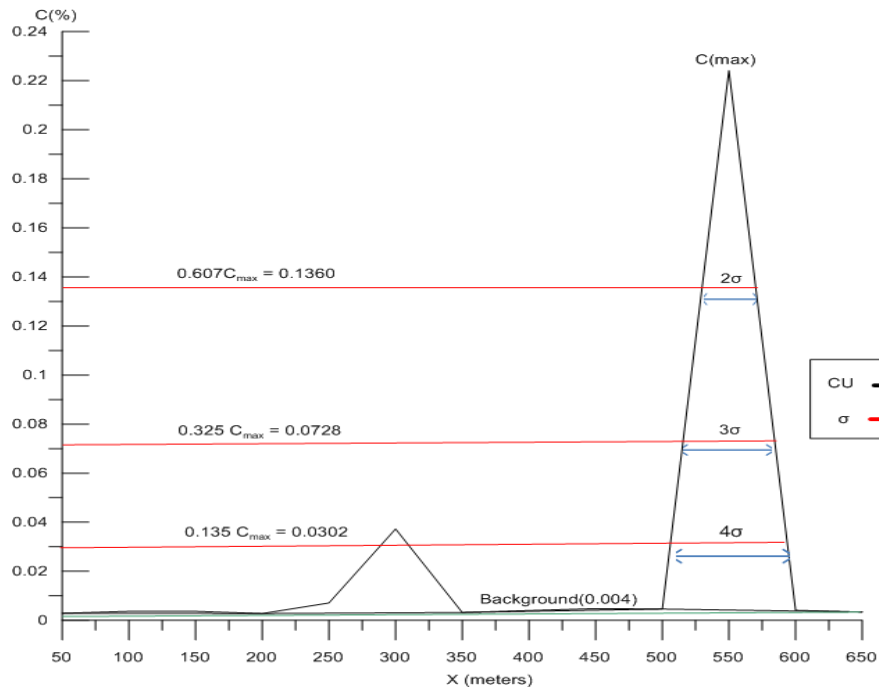
آنومال در قسمت غربی محدوده نمونه‌برداری قرار دارند که از طرف غرب به شرق، محل نمونه‌برداری شده حاوی پروفیل‌های ۱، ۲ و ۳ است. به این جهت این پروفیل‌ها برای شناسایی عرض هاله مس انتخاب شد. نمودار غلظت عنصر مس در پروفیل‌های ۱ و ۲ به دلیل اینکه دارای مقدار غلظت آنومال به‌صورت آنومالی آشکار نبوده و مشابه حالت ایده آل نیست لذا پروفیل سوم برای شناسایی عرض هاله‌ی مس انتخاب گردید. مقادیر غلظت عنصر مس در نمونه‌های گرفته‌شده بر روی پروفیل سوم به‌صورت جدول زیر است (جدول ۴-۱۲).

جدول ۴-۱۲: غلظت عنصر مس در نمونه‌های گرفته‌شده از پروفیل ۳

فاصله(متر)	Cu(ppm)	Y-UTM	X-UTM	نقاط
1	29	3920159	267360.5	2
2	37	3920199	267360.5	7
3	37	3920239	267360.5	12
4	28	3920319	267360.5	17
5	71	3920399	267360.5	21
6	373	3920479	267360.5	26
7	32	3920559	267360.5	31
8	40	3920639	267360.5	36
9	48	3920719	267360.5	40
10	46	3920799	267360.5	43
11	2241	3920879	267360.5	46
12	41	3920959	267360.5	49
13	34	3921039	267360.5	52

نمودار غلظت عنصر مس بر روی پروفیل مربوطه در شکل (۴-۸) ترسیم‌شده است. این نمودار نشان می‌دهد که پروفیل زده‌شده دارای یک آنومالی آشکار و یک آنومال ضعیف است. بر طبق این نمودار می‌توان عرض هاله را بر روی نمونه‌ی آنومال آشکار محاسبه کرد. به این طریق مقادیر تجربی σ به ازای C_{max} محاسبه شد که در شکل مشخص شده است. بر اساس روابط تجربی به‌دست‌آمده در محاسبه σ به ازای مقدار ماکزیمم غلظت، مقادیر 2σ ، 3σ و 4σ به دست آمد. خطوط موازی با مقادیر به‌دست‌آمده برای ضریب پراکندگی نمودار آنومالی پروفیل را در سه محدوده قطع می‌کند. طول پاره‌خط‌های به وجود آمده در ناحیه آنومال، بیانگر مقدار فاصله بر اساس ضریب پراکندگی به ازای ماکزیمم نمونه‌ی آنومال در راستای محور X ها است (سولووف، ۱۹۵۹). با توجه به اینکه فواصل

نمونه‌ها بر روی پروفیل برابر ۵۰ متر است، مقادیر 2σ ، 3σ و 4σ محاسبه و ضریب پراکندگی مجموع تعیین گردید (جدول ۴-۱۳). با استفاده از رابطه‌های ۴-۱۵ و ۴-۱۶، عرض نهایی هاله‌ی ثانویه به‌صورت زیر تعیین می‌گردد.



شکل ۴-۸: نمودار غلظت عنصر مس و مقادیر ضریب پراکندگی در طول پروفیل ۳

جدول ۴-۱۳: تعیین عرض هاله ثانویه بر اساس روابط تجربی

$2\sigma = 1360.287$	$D_1 = 45 \text{ m}$	$\sigma_1 = 22.5$	$\sigma_{tot} = 22.21$
$3\sigma = 728.325$	$D_2 = 65 \text{ m}$	$\sigma_2 = 21.63$	
$4\sigma = 302.535$	$D_3 = 90 \text{ m}$	$\sigma_3 = 22.5$	

$$2P = 2.5 \times \sigma \quad \gg \quad 2P = 55.525 \text{ m} \quad \gg \quad P = 27.76 \text{ m}$$

بنابراین نصف عرض هاله‌ی ثانویه عنصر مس بر روی پروفیل سوم برابر ۲۷/۷۶ متر در امتداد عمود بر رگه‌ی معدنی به‌دست آمده است. عرض هاله‌ی به‌دست آمده در محل ترانشه‌زنی و مقدار فاصله‌ی زدن ترانشه تا مرکز آنومالی کاربرد دارد و به‌عنوان راهنمای اکتشافی مورد استفاده قرار می‌گیرد. مقدار قدرت تولید خطی بر روی پروفیل مربوطه نیز از رابطه‌ی زیر قابل محاسبه است:

$$M = (C_{MAX} - C_{\phi}) \times 2.5 \times \sigma = 124376 \text{ (m\%)} \quad (21-4)$$

۷-۳-۴ محاسبه شاخص زونالیته داده‌های عمقی گمانه‌ی ۴

بر اساس منطقه بندی شکل گرفته در بخش قبل و عناصر فوق و تحت کانساری منطقه، ضرایب شاخص زونالیته برای هر عمقی و بر روی شاخص‌های مختلفی محاسبه شد. مهم‌ترین شاخص‌ها با

توجه به زمین‌شناسی محدوده، توالی منطقه بندی و کانی‌شناسی گمانه عبارت‌اند از: $\frac{Pb.Zn}{Cu.Mo}$ ،

$\frac{Ba^2}{Co.Cu}$ ، $\frac{Ag.Pb.Zn}{Cu.Bi.Co}$ ، $\frac{Pb.Zn.Ag}{Co.Mo^2}$ ، $\frac{Pb.Zn.Ag}{Co.Mo.Ni}$ ، $\frac{Pb.Zn}{Cu.Ag}$

عنصری قرار نداشته، مقدار کلارک^۱ این عنصر در سنگ‌های گرانودیوریتی در محاسبات قرار داده شده است. عناصر فوق کانساری و تحت کانساری بر اساس شاخص‌های منطقه بندی به دست آمده در

مراحل قبلی تعیین گردیده است. حال با استفاده از آنالیز داده‌های حفاری گمانه‌ی ۴ (جدول ۴-۱۴)

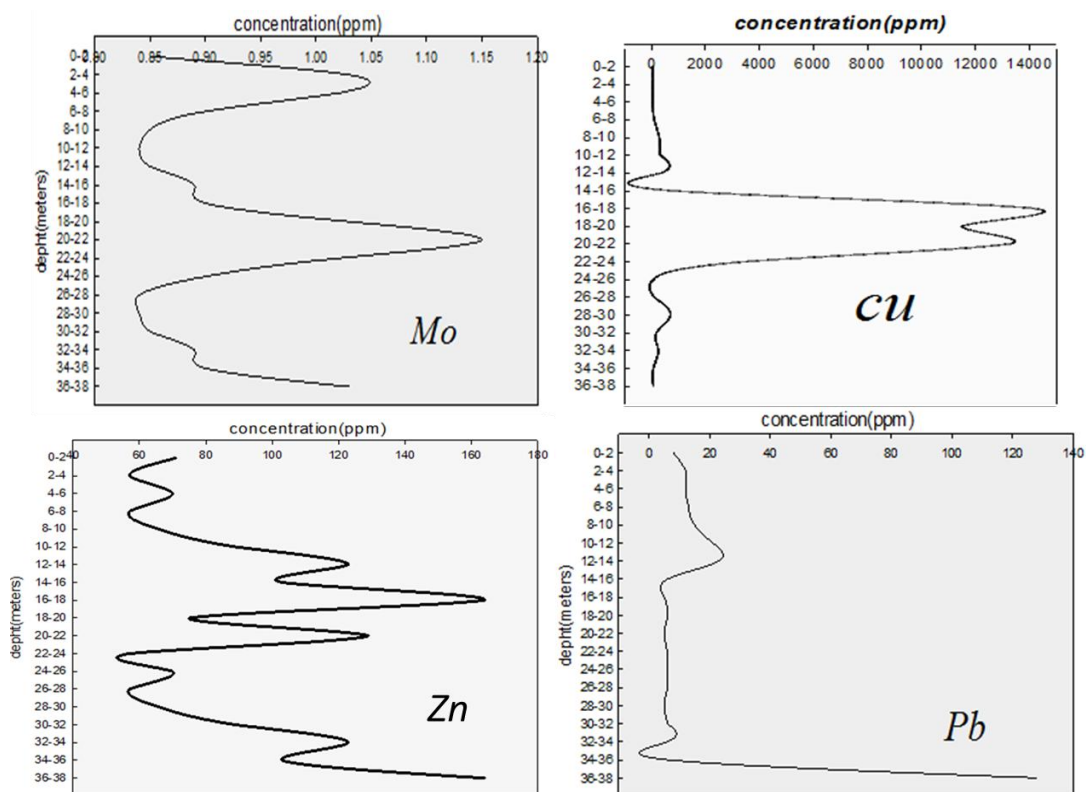
به بررسی تغییرات عمقی عناصر شاخص و شاخص‌های زونالیته می‌پردازیم.

جدول ۴-۱۴: نتایج آنالیز داده‌های عمقی گمانه اکتشافی شماره ۴، غلظت برحسب (ppm) و عمق برحسب (متر)

عنصر عمق	Ag	As	Ba	Be	Ce	Co	Cr	Cu	Mo	Ni	Pb	Sb	Zn
0-2	0.25	79.2	186	1.4	40	29	243	75	0.85	137	8	1.02	71
2-4	0.26	55	254	1.3	43	32	283	75	1.03	122	12	1.13	57
4-6	0.28	67	239	1.5	43	33	240	72	1.02	42	12	0.99	70
6-8	0.32	29	473	2	52	15	72	122	0.9	39	13	1.09	57
8-10	0.26	25.8	560	2	58	17	59	309	0.85	15	15	1.03	66
10-12	0.31	16.3	559	2.5	58	12	15	343	0.84	18	21	1.11	89
12-14	0.29	17.6	552	2.5	58	13	12	422	0.85	36	23	0.9	123
14-16	0.26	20.4	535	2.6	58	21	40	646	0.89	98	6	1.08	103
16-18	0.4	16.3	230	0.8	50	20	198	14147	0.9	76	5	1.03	164
18-20	0.38	13.5	302	0.8	46	23	175	11516	1.03	92	6	1.03	75
20-22	0.29	23.3	276	1.1	45	23	207	13324	1.15	84	5	0.91	129
22-24	0.3	44.3	142	0.8	36	26	116	3562	1.02	98	6	1.01	57
24-26	0.3	25.8	381	1.5	40	26	161	118	0.9	112	6	1.12	70
26-28	0.29	26	361	1.2	44	24	230	112	0.84	112	6	1.04	57
28-30	0.28	7.6	263	1.2	38	26	206	725	0.84	95	5	1.07	66
30-32	0.26	19.8	203	1.1	36	28	293	207	0.85	148	6	0.98	89
32-34	0.26	49.8	245	1.3	41	30	218	276	0.89	155	6	0.9	123
34-36	0.28	83.7	361	1.2	42	31	265	97	0.9	154	6	1.2	103

^۱.clark

نمودار تغییرات عمقی عناصر مس، مولیبدن، سرب و روی بر اساس مقدار غلظت آن‌ها از سطح زمین تا عمق ۳۸ متری گمانه حفر شده حاصل از آنالیز داده‌های مغزه گیری شده ترسیم گردید (شکل‌های (۵-۱۲ تا ۵-۱۵)). بر اساس این نمودارها، غلظت عنصر مس تا عمق ۱۴ متری یک مقدار تقریباً ثابت و یکنواختی را داشته و از عمق ۱۴ تا ۲۶ متری مقدار این غلظت افزایش قابل ملاحظه‌ای را در برداشته است. از عمق ۲۶ متر به پایین مقدار غلظت به شدت کاهش می‌یابد و دوباره به مقدار ثابتی می‌رسد. مقدار غلظت عنصر مولیبدن نیز از عمق ۱۶ تا ۲۶ متری بالا رفته و سپس کاهش می‌یابد و از عمق ۳۶ متری مجدداً رو به افزایش است. تغییرات غلظت سرب از ۱۶ تا ۳۶ متری مقدار کم و ثابتی است که پس از آن رو به افزایش است. عنصر روی تا عمق ۳۶ متری روند کاهشی و افزایشی پی‌درپی را نشان می‌دهد و از عمق ۳۶ متری به صورت یکنواختی شروع به افزایش می‌کند (شکل ۴-۹).

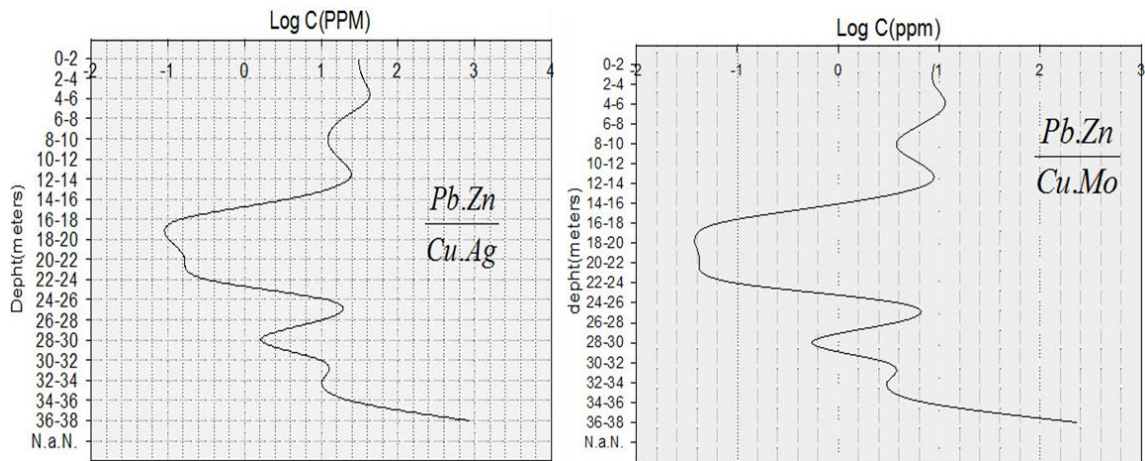


شکل ۴-۹: نمودار تغییرات عمقی غلظت عناصر شاخص

نتایج مقادیر شاخص زونالیته برای عناصر شاخص‌های ذکر شده در قسمت قبل، محاسبه شده و به صورت جدول زیر ارائه شده است (جدول ۴-۱۵). همان‌طور که از جدول بالا مشخص است مقادیر شاخص زونالیته در عمق ۳۶ تا ۳۸ متری افزایش ناگهانی و قابل توجهی را نشان می‌دهند و مقادیر به شدت افزایش یافته‌اند. این افزایش در شاخص‌های $\frac{Pb.Zn}{Cu.Mo}$ ، $\frac{Pb.Zn.Ag}{Co.Mo^2}$ و $\frac{Pb.Zn}{Cu.Ag}$ بسیار چشم‌گیرتر است. نمودار تغییرات این شاخص‌ها ترسیم شده است (شکل ۴-۱۰ و ۴-۱۱).

جدول ۴-۱۵: مقادیر عمقی ضرایب شاخص زونالیته بر روی گمانه‌ی اکتشافی

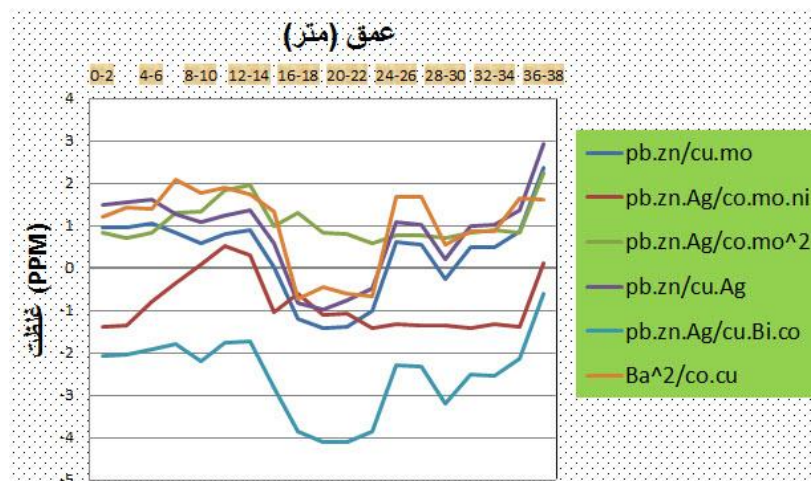
عمق	$\frac{Pb.Zn}{Cu.Mo}$	$\frac{pb.zn.Ag}{co.mo.Ni}$	$\frac{pb.zn.Ag}{co.Mo^2}$	$\frac{pb.zn}{cu.Ag}$	$\frac{Ag.Pb.zn}{cu.Bi.Co}$	$\frac{Ba^2}{Co.Cu}$
0-2	8.910	0.042	6.777	30.293	0.008	15.906
2-4	8.854	0.044	5.238	35.077	0.009	26.882
4-6	11.438	0.166	6.851	41.667	0.012	24.041
6-8	6.749	0.450	19.516	18.981	0.016	122.256
8-10	3.769	1.188	20.957	12.323	0.006	59.699
10-12	6.487	3.193	68.428	17.577	0.018	75.919
12-14	7.887	2.062	87.347	23.117	0.019	55.542
14-16	1.075	0.088	9.660	3.679	0.001	21.099
16-18	0.064	0.240	20.247	0.145	0.000	0.187
18-20	0.038	0.078	7.008	0.103	0.000	0.344
20-22	0.042	0.084	6.149	0.167	0.000	0.249
22-24	0.094	0.039	3.793	0.320	0.000	0.218
24-26	3.955	0.048	5.983	11.864	0.005	47.315
26-28	3.635	0.044	5.857	10.530	0.005	48.483
28-30	0.542	0.045	5.037	1.626	0.001	3.669
30-32	3.035	0.039	6.863	9.922	0.003	7.110
32-34	3.004	0.046	8.075	10.284	0.003	7.249
34-36	7.079	0.040	6.891	22.754	0.007	43.339
36-38	226.451	1.256	173.136	833.016	0.255	40.139



شکل ۴-۱۰: تغییرات عمقی شاخص‌های زونالیت‌های $\frac{Pb.Zn}{Cu.Mo}$ و $\frac{Pb.Zn}{Cu.Ag}$

بر مبنای الگوی توزیع عناصر شاخص در مقطع قائم، می‌توان دو گروه از عناصر را شناسایی کرد (۱) عناصری که هاله‌هایشان گرایش مشخصی به نازک شدن در عمق نشان می‌دهند (سرب، روی، کبالت)

(۲) عناصری که هاله‌های آن‌ها با عمق گسترش یافته و قوی‌تر می‌شود (مس و مولیبدن)



شکل ۴-۱۱: نمودار لگاریتمی تغییرات عمقی شاخص‌های زونالیت‌ها

مدل به‌دست‌آمده از شاخص زونالیت‌ها نشان‌دهنده وجود کانی‌سازی پنهان در عمق دارد. هرچند داشتن مقادیر داده‌های عمقی بیشتر وجود این کانی‌سازی را بهتر تأیید می‌کند، با این وجود، این تغییر ناگهانی و شدید در مقادیر شاخص زونالیت‌ها بیانگر وجود توده‌ی معدنی در عمق بیشتر است.

فصل پنجم

نتیجه‌گیری و پیشنهادات

۴-۴ نتیجه گیری

(۱) مطالعات صحرایی و بررسی‌های ماکروسکوپی و میکروسکوپی منطقه نشانگر حضور سنگ‌های آندزیت و بازالت با بافت غالب پورفیری و حاوی کانه‌های فرومنیزین دگرسان‌شده و پلاژیوکلازهای دارای ساخت منطقه‌ای می‌باشند. غالب کانی‌سازی منطقه به‌صورت کانی‌های هیدروکسید مس (مالاکیت و آزوریت به‌صورت شکافه‌پرکن) همراه با اکسیدهای آهن (هماتیت) و سولفید مس (کالکوسیت و کولیت) است.

(۲) مطالعات آماری تک متغیره و چند متغیره در منطقه نشان داد که عناصر مس، سرب و روی در برخی از قسمت‌های شرقی منطقه به‌صورت عناصر آنومال متمرکز هستند و مقایسه بین مقادیر زمینه و مقادیر آنومال عنصر مس، نشان از کانی‌سازی عنصر مس در قسمت شرقی منطقه دارد. همچنین بر اساس تحلیل مؤلفه اصلی و امتیازات فاکتوری و نقشه امتیازات فاکتوری، مؤلفه اول که بیشترین تغییرات را برای عناصری مثل آهن، منگنز، تیتانیوم و اورانیوم داشت، به‌عنوان مؤلفه سنگ‌ساز و مؤلفه ۷ با بیشترین تغییرپذیری برای عنصر مس و مؤلفه ۸ با بیشترین تغییرپذیری در عناصر نیکل و سرب به‌عنوان مؤلفه‌های کانه‌ساز در منطقه عمل کرده‌اند. در منطقه‌ی مورد مطالعه بهترین فاکتورها در ارتباط با نوع سنگ مادر و نوع محیط ثانویه است. عناصری که بیشترین تمرکز را در مؤلفه‌های انتخابی داشتند شامل $Pb, Zn, Cd, As, Sb, Cu, F, Sr, Ba$ می‌باشند که عناصر تمرکز یافته نشان‌دهنده‌ی فرایندهای بعد ماگمایی در منطقه هستند. تغییرپذیری فاکتور سوم (Ca, Mg) و فاکتور چهارم (Cr, Co) نشان از عناصر تمرکز یافته در سنگ‌های رسوبی (تمرکز در کانی‌های رسی و سنگ‌های کربناته) هستند که مؤید دگرسانی‌های شکل‌گرفته در مناطق مختلف کانسار دیان می‌باشند.

(۳) در به‌کارگیری روش زونالیت، استفاده از نسبت‌های عنصری معرف و شاخص از بخش وابسته به آنومالی‌های ژئوشیمیایی مؤید آن بود که عناصر مس و مولیبدن به‌عنوان عناصر تحت کانساری

و عناصر سرب و روی به عنوان عناصر فوق کانساری به صورت شاخص‌های برتر عمل کرده و مشخص‌کننده تشکیل پهنه‌های سوپرژن و هیپوژن بر اساس الگوی مهاجرت شیمیایی عناصر که اساس روش زونالیته است، بوده‌اند. همچنین استفاده از روش زونالیته در داده‌های عمقی نشان‌دهنده احتمال وجود ذخیره معدنی در عمق خیلی بیشتر از کانسار را دارد و تأییدکننده وجود کانی‌سازی پنهان در محدوده موردنظر است.

(۴) هاله‌ها بیانگر مناطق اطراف توده‌های کانساری در محدوده اکتشافی هستند و لذا محاسبه عرض هاله‌های پراکندگی، یک راهنمای اکتشافی قوی در انتخاب محل حفاری و تعیین حداکثر مقدار فاصله حفر ترانشه از رگه‌ی معدنی می‌باشد. به این جهت حداکثر فاصله‌ای که در طول یک رگه‌ی معدنی برای انتخاب ترانشه تعیین می‌گردد، نباید بیشتر از عرض هاله باشد. عرض هاله‌ی ثانویه تشکیل شده در پروفیل سوم برابر ۵۶ متر محاسبه گردید.

۴-۵ پیشنهادات

- (۱) استفاده از روش‌های ژئوفیزیکی از قبیل پلاریزاسیون القایی و ژئوالکتریک پیشنهاد می‌گردد. اعمال این روش‌ها برای تفکیک پهنه‌های کانی‌سازی مناسب است
- (۲) استفاده از روش‌های تلفیق گر همچون همپوشانی شاخصی و روش‌های شبکه‌ی عصبی جهت مقایسه با نتایج روش‌های استفاده‌شده توصیه می‌گردد
- (۳) انجام روش زونالیته بر روی داده‌های مغزه حاصل از دیگر گمانه‌های اکتشافی در جهت تأیید نتایج حاصل‌شده از گمانه شماره ۴ بسیار سودمند است. جهت شناسایی وجود توده معدنی در عمق، وجود داده‌های حاصل از مغزه‌گیری در همه گمانه‌های حفرشده و آن‌هم به صورت عمقی‌تر ضروری است که در صورت وجود این داده‌های عمقی به کارگیری روش زونالیته بسیار سودمند می‌گردد.

منابع:

- امام‌جمعه، ا.، (۱۳۸۵)، زمین‌شناسی، کانی‌شناسی، ژئوشیمی و ژنز کانسار مس چاه موسی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد زمین‌شناسی اقتصادی. دانشگاه تربیت مدرس.
- بئوس، آ.، گریگوریان، س.، (۱۳۷۵)، روش‌های اکتشافات ژئوشیمیایی ذخایر معدنی، ترجمه سیمین پرند، انتشارات سازمان زمین‌شناسی کشور.
- بونهام کارتر، گریم، ف.، (۱۳۷۹)، سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی برای دانش‌پژوهان علوم زمین، مدل‌سازی به کمک GIS. ترجمه سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، گروه اطلاعات زمین مرجع، انتشارات سازمان زمین‌شناسی کشور.
- جعفریان، ع.، (۱۳۶۸)، بررسی پترولوژی قوس ولکانو-پلوتونیک رشته‌کوه زر-ترود و انجمن‌های کانه‌زایی وابسته واقع در چهارگوش نقشه ترود (استان سمنان). مجموعه مقالات دومین همایش زمین‌شناسی ایران، ۱۱۵-۱۱۸.
- حسنی پاک، ع. ا.، (۱۳۸۳)، "اصول اکتشافات ژئوشیمیایی". انتشارات دانشگاه تهران. چاپ پنجم، ۶۰۱ ص.
- حسنی پاک، ع. ا.، شرف‌الدین، (۱۳۸۰)، "تحلیل داده‌های اکتشافی". انتشارات دانشگاه تهران، ۸۵۰ ص.
- خادمی، م.، شهریار، س.، (۱۳۸۶)، کانسارهای منطقه ترود و ارتباط تشکیل آن‌ها با سیستم‌های شکستگی منطقه. اولین کنگره زمین‌شناسی کاربردی ایران، دانشگاه فردوسی مشهد.
- خان نصر اصفهانی، ع.، (۱۳۸۴)، پتروگرافی سنگ‌های آذرین، انتشارات دانشگاه آزاد اسلامی واحد خوراسگان.
- رشید نژاد، ن.، (۱۳۷۱)، بررسی تحولات سنگ‌شناسی و ماگمایی و ارتباط آن با کانی‌سازی طلا در منطقه باغو (جنوب شرق دامغان). رساله کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت‌معلم تهران.
- سرابی، فریدون، (۱۳۸۵)، "سنگ‌شناسی رسوبی". انتشارات دانشگاه تهران، ۵۱۰ ص

- شهاب پور، ج، (۱۳۸۲)، "زمین‌شناسی اقتصادی". انتشارات دانشگاه شهید باهنر کرمان.
- شمعیان، غ، (۱۳۸۱)، بررسی ژنز کانسارهای طلای گندی و ابوالحسنی در جنوب دامغان، رساله‌ی دکتری، دانشکده‌ی علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی.
- قربانی، م. (۱۳۸۱)، دیباچه‌ای بر زمین‌شناسی اقتصادی ایران، سازمان زمین‌شناسی کشور.
- ضیائی، م، (۱۳۸۱)، اکتشافات نیمه تفصیلی ژئوشیمیایی برای اندیس‌های مس پورفیری در جنوب ده سلم، شرکت ملی صنایع مس ایران، ص ۲۱۰.
- علوی، م، صالحی راد، ر، (۱۳۶۹)، نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ طرود، سازمان زمین‌شناسی کشور.
- فضائی، ع، (۱۳۷۷)، اکتشافات ژئوشیمیایی و کانی سنگین نیمه‌تفصیلی در منطقه معلمان (جنوب شرق دامغان)، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- فرد، م، (۱۳۸۰)، نگرشی بر کانه‌زایی و پتانسیل طلا در مجموعه‌ی آتشفشانی نفوذی ترود-چاه‌شیرین (جنوب دامغان)، پنجمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، دانشگاه تهران.
- کریم‌پور، م ح، سعادت، س، (۱۳۸۱)، زمین‌شناسی اقتصادی کاربردی، چاپ دانشگاه فردوسی مشهد.
- کریم‌پور، م، ملک‌زاده، آ، حیدریان، م، (۱۳۸۴)، اکتشاف ذخایر معدنی، مدل‌های زمین‌شناسی، ژئوشیمی، ماهواره‌ای و ژئوفیزیکی. چاپ اول، انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد.
- کی نژاد، آ، پور کرمانی، م، آرین، م، سعیدی، ع، لطفی، م، (۱۳۶۸)، بررسی شکستگی‌های شمال منطقه طرود-معلمان (ایران مرکزی- جنوب خاور دامغان) و ارتباط آن با کانه‌زایی، فصلنامه علوم زمین، ص ۳ تا ۱۶.
- معین وزیری، ح، احمدی، ع، (۱۳۷۱)، پتروگرافی و پترولوژی سنگ‌های آذرین، دانشگاه تربیت‌معلم تهران.
- نوائی تورانی، آ، عادل‌نیا، م، (۱۳۸۳)، مقدمه‌ای بر GIS و آموزش نرم‌افزار Arc View، چاپ

سوم، مؤسسه‌ی فرهنگی هنری دیباگران تهران.

- نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ منطقه معلمان، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- اشراقی، ص.ع، گزارش نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ منطقه معلمان (منتشر نشده است).
- کهنسال، ر.، (۱۳۷۷)، بررسی توده‌های نفوذی نیمه عمیق در محدوده ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ معلمان (دامغان)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده علوم دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران شمال.
- ناهیدی فر، ا.، (۱۳۹۳)، کانی‌شناسی، ژئوشیمی و ژنز کانسار مس دیان (جنوب دامغان)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی شاهرود.
- هنر پژوه، ج.، (۱۳۸۱)، اکتشافات ژئوشیمیایی ناحیه‌ای در محدوده‌ی برگه‌ی توپوگرافی شهرک ربط، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران.
- هوشمندزاده، ع.، علوی نائینی، م. (۱۳۵۷)، تحول پدیده‌های زمین‌شناسی ناحیه طرود (از پرکامبرین تا عهد حاضر). گزارش سازمان زمین‌شناسی کشور. ۱۳۸ ص.

References

- Anderson, T., 2003, An Introduction to multivariate statistical analysis, 3rd ed., Wiley, New York, 721 p.
- Barnes, H. R., 1967. Geochemistry of hydrothermal ore deposits, Johan Wiley and Sons, Interscience, 972.
- Barnes, T., 1999. Practical post – processing of indicator distribution, AAMP, Colorado School of Mines, Colorado.
- Bonham-Carter, G F., Geographic information systems for geoscientists. Modelling with GIS. Computer Methods in the Geosciences, Vol. 13. Pergamon, New York. P. 398.
- Beus, A. A., And Grigorian, S. V., 1977. Geochemical exploration methods for mineral deposits. Trans. By R. T. Schneider, Ed. By A. A. Levinson, Illinois: Applied publishing.
- Cameron, E. M., and Hobbs, O., 1971. Computerized methods for interpreting reconnaissance geochemical surveys, geochemical exploration (Boyle, tech. ed.), Special, Vd. 11, Canadian institute of Mining and Metallurgy, P. 509.
- Carranza, E. J. M., 2009. Geochemical anomaly and mineral prospectivity mapping in GIS. Elsevier, P. 1.
- Cheng, Q., 1999, Spatial and scaling modeling for geochemical anomaly separation, Journal of geochemical exploration, vol.65, P. 175-194
- Cheng, Q., Agterberg, F. P., Bonham-Carter, 1996. A spatial analysis method for geochemical anomaly separation. Journal of geochemical exploration 56(3): 183-195. Levinson, A. A., 1974. Introduction to exploration geochemistry, Applied publishing Ltd., Calgary.
- Clarke, P. J., 1956. Grouping in spatial distributions, Science 123: 273 – 374.
- Clark, I., 1999. A Case study in the application of geostatistic to lognormal and quasi- Lognormal problems, AAMP, Clorado School of mines, Clorado.
- De Geoffroy, J., and Wignall. T. K., 1972. A Statistical study of porphyry Copper – Molybdenum deposits in the Cordilleran Belt – Application to the rating of porphyry prospects, Economic Geology, Vol. 67, P. 656 – 668.
- Du, Q. & Flower, E. J., 2008. Low-Complexity principal component analysis for Hyperspectral image compression. International Journal of High performance

Computing Applications, PP. 438-448.

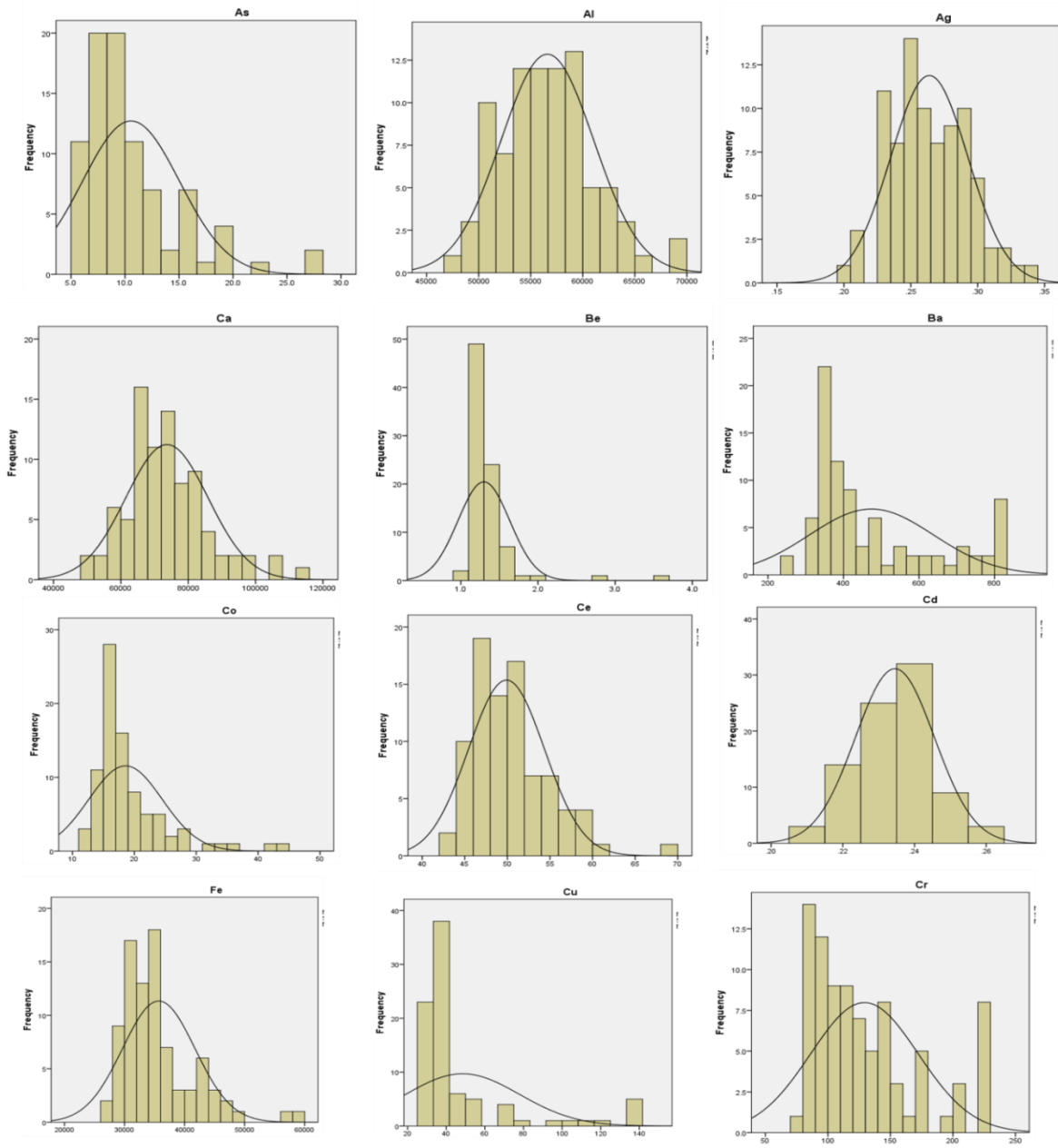
- Evans, A. M., 2000. Ore geology and industrial minerals (An Introduction), Black Well.
- Evans, A. M., Charles, J. M., 2006. Introduction to mineral exploration
- Garrels, R. M., and Christ, J. C., 1965. Solutions, Minerals and equilibria. San Francisco: Freeman, Copper.
- Goldschmidt, V. M., 1937. The Principles of distribution of chemical elements in mineral and rocks, 665-673. P. J. Chem. Soc.
- Govett, G. J. S., 1983. Rock geochemistry in mineral exploration. Handbook of exploration geochemistry, Vol. 30 Elsevier, Amsterdam.
- Govett, G. J. S., 2000. Geochemical Remote Sensing of the sub-surface. Handbook of exploration geochemistry. Elsevier, Amsterdam.
- Grigorian, S. V., 1985. Secondary litochemical haloes in prospecting for hidden mineralization. Nedra publishing House, Moscow. 176 PP, IN Russian.
- Grigorian, S. V., 1992. Mining geochemistry. Nedra publishing House, Moscow. 310 PP, in Russian.
- Grigorian, S. V., Matveev, A. A., 2006. Mineralogical and geochemical characteristics and predicted reserves of Gold-Base metal ore mineralization in southern Armenia and northwestern Iran.
- Grigorian, S. V., 1987. Primary geochemical Aureoles in exploration and prospecting of ore deposits (Nedra, Moscow in Russian).
- Guilbert, J. M., Park, J. R., 1997. The Geology of ore deposits, Freeman and company, New York.
- Gutenberg, J., 2010. The chessboard classification scheme of mineral deposits: Mineralogy and geology from aluminum to zirconium, University Mainz, D-55099 Mainz, Becherweg 21, Germany.
- Hay, R. F., 1966. Copper deposit at Knuckle point, Rangiawhia Peninsula, Northland. Industrial minerals and rocks. Department of scientific and industrial Research information series 63: 33-34.
- Howarth, R. J., & Sinding-Larson, R., 1983. Statistic and data analysis in geochemical prospecting. Handbook of exploration Geochemistry, Vol. 2, Elsevier, Amsterdam, PP: 207-289.

- Khadem, N., Nedimovic, R., 1971. Copper mineral occurrences report on exploration Bagh Khoshk, Report Yu 26, Iran, 16 P.
- Levinson, A. A., 1974. Introduction of exploration geochemistry, 608 P. Calgary: Applied Publishing Company.
- Levinson, A. A., 1980, Introduction to exploration geochemistry. Chicago: University of Chicago.
- Montoya, J. W., Hemly, J. J., 1975. Activity relations and stabilities in alkali feldspar and Mica alteration reactions: *Econ. Geo.*, V. 70., PP. 577-594
- Sinclair, A. J., 1983. Univariate analysis. In: R. J. Howarth (Ed). *Statistics and data analysis in geochemical prospecting, Handbook of Exploration Geochemistry*, Vol. 2, Elsevier, Amsterdam, PP. 59-81.
- Sinclair, A. J., 1974. Selection of threshold values in geochemical data using probability graphs. *Journal of Geochemical Exploration* 3(2): 129-149.
- Solovov, A. P., 1987. *Geochemical prospecting for mineral deposits*. Moscow: Mir.
- Solovov, A. P., 1985. *Geochemical methods of exploration of mineral resources. Manual for institutes of higher education (Nedra Moscow in Russian)*
- Solovov, A. P., 1990. *Handbook on geochemical prospecting for useful minerals*. Moscow: Nedra publishing house.
- Solovov, A. P., 1960. Parameters of primary halos for endogenic deposits. *Geology of ore deposits* (No. 3, 1960), P. 72-83.
- Stocklin, j., 1968. *Structural history and tectonics of Iran*, AAPG.
- Warren, H. V., and Delavault, R. E., 1960. Aqua regia extractable copper and zinc in plutonic rocks in relation to ore deposits, *inst. Mining metal* (V. 69, 1960), P. 495-504.
- Wodzicki, A., 1972. Mineralogy, Geochemistry and origin of hydrothermal alteration and sulphide mineralization in the disseminated molybdenite and skarn-type copper sulphide deposit at Copperstain Creek, Takaka, New Zealand. *New Zealand Journal of geology and geophysics* 15: 599 – 631.
- Ziaii, M, Carranza, E.G.M., Ziaei, M., (2011). Application of geochemical Zonality coefficients in mineral prospectivity mapping. *J. Computers & Geosciences*, 37, pp. 1935-1945. (C&G published a special issue edited by John

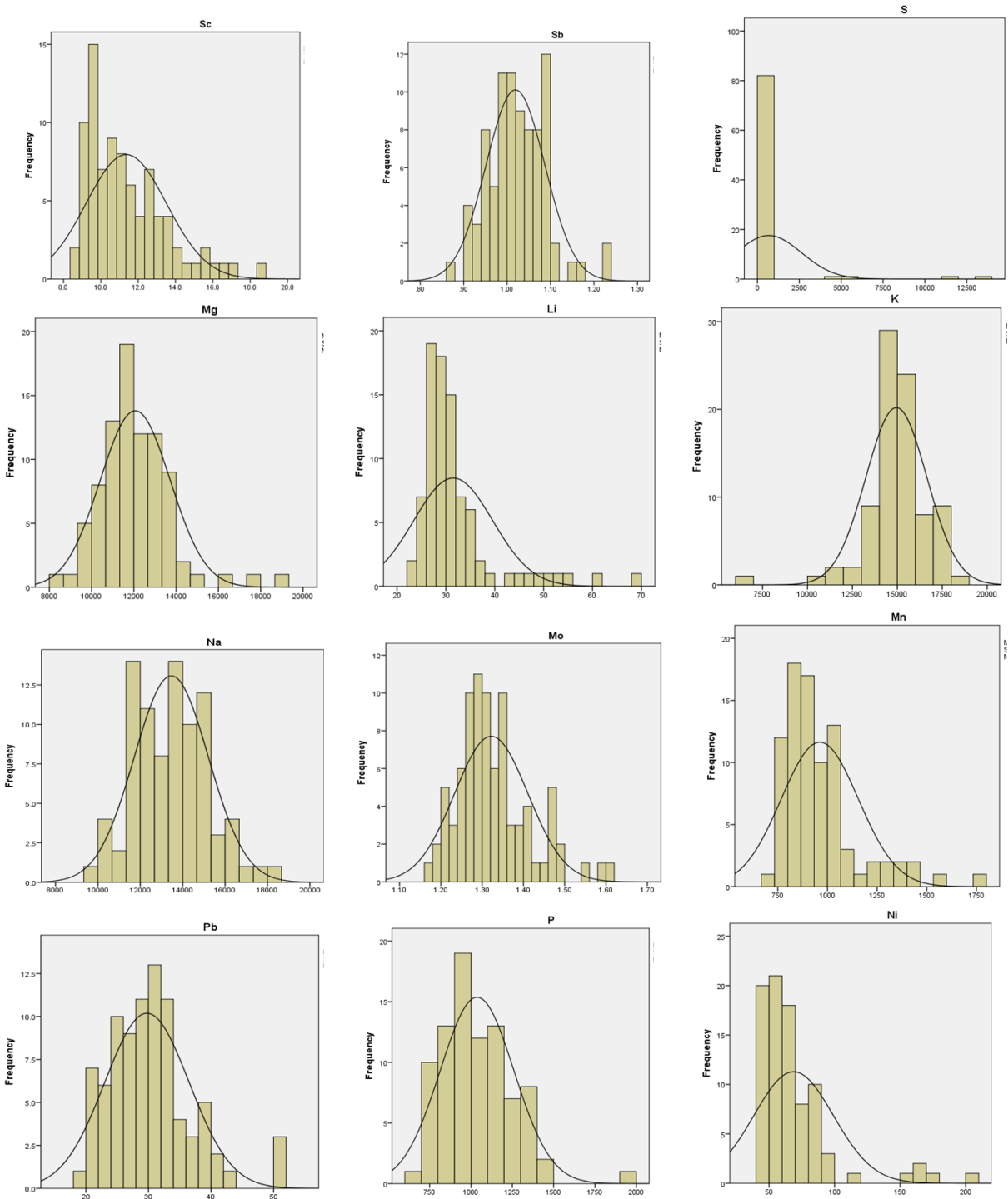
Carranza).

- Ziiai, M., Abedi, A., Ziaei, M., 2009. Geochemical and mineralogical pattern recognition and modeling with a Bayesian approach to hydrothermal gold deposits. *J. Applied Geochemistry*, 24, 1142-1146.
- Ziiai, M., Pouyan, A. A., Ziaei, M., 2009. Neuro-fuzzy modelling in mining geochemistry: Identification of geochemical anomalies. *J. Geochemical Exploration*. 100, 25-36 (Hottest Articles), Academic Year 2009-2010.
- Ziiai, M, Doulati, F., Ziaei, M., Soleymani, Ali A., 2012. Neuro-fuzzy modeling based genetic algorithms for identification of geochemical anomalies in mining geochemistry. *J. Applied Geochemistry*, 27, 663-676.

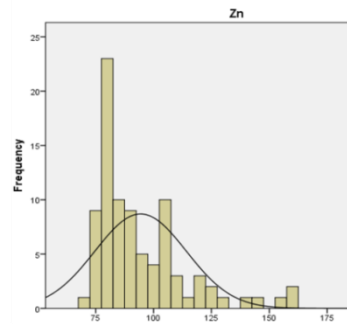
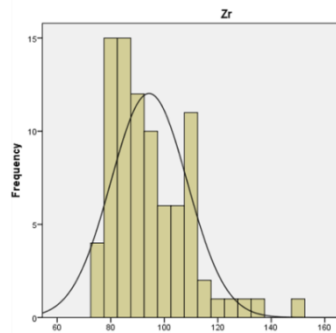
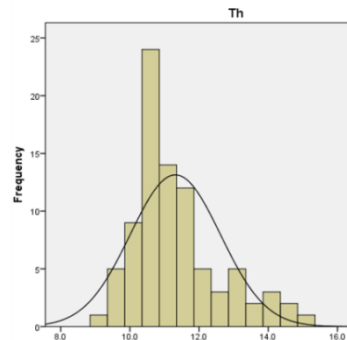
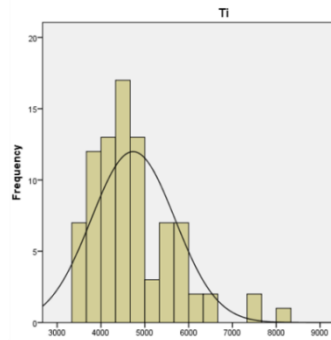
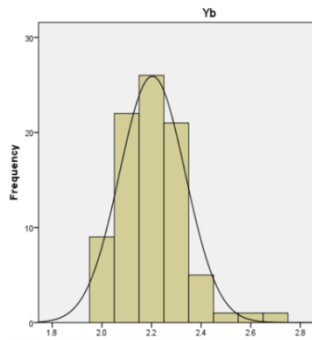
پیوست ۱: هیستوگرام داده‌های خام اولیه



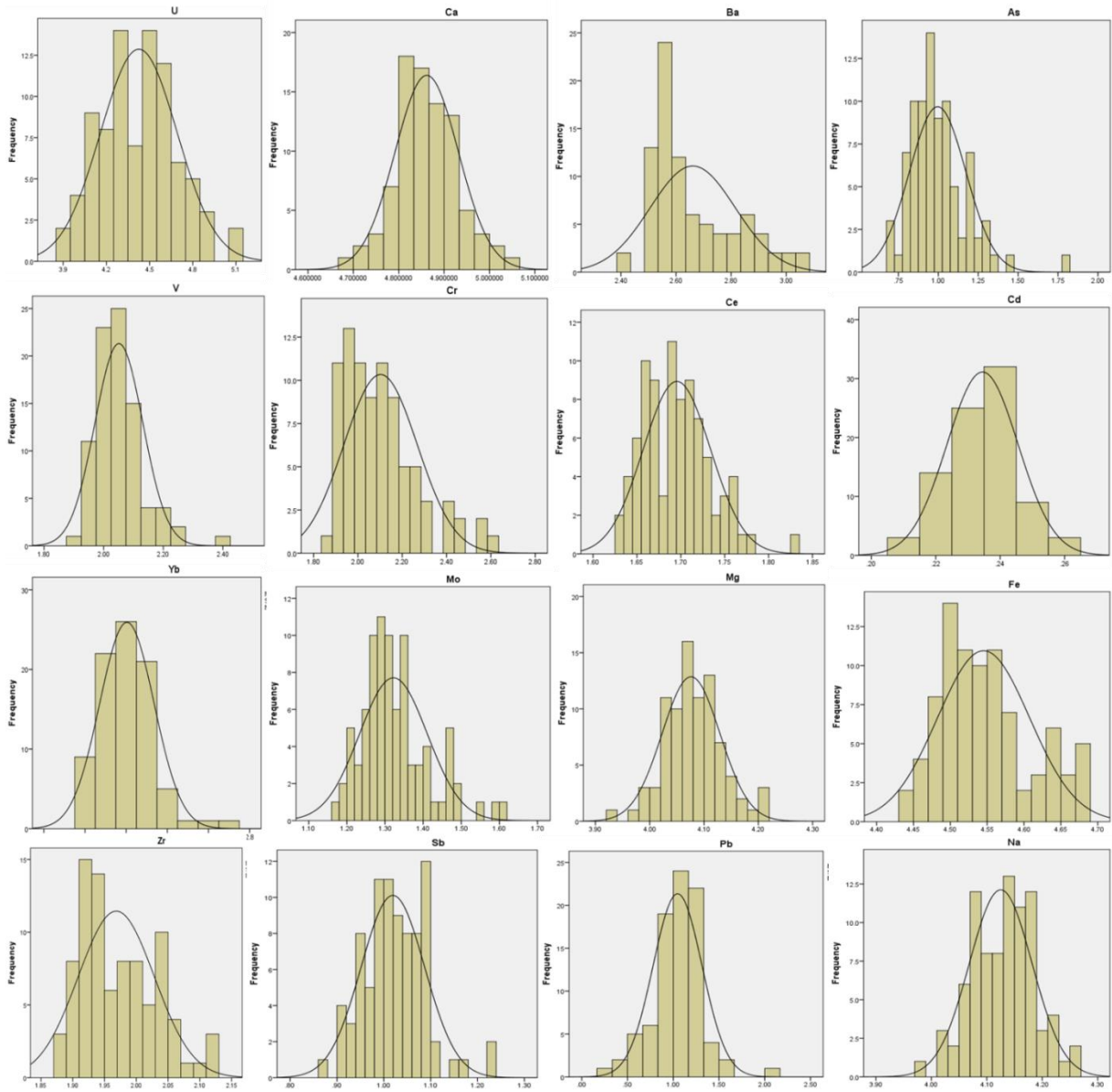
ادامه‌ی پیوست ۱



ادامه پیوست ۱



پیوست ۲: هیستوگرام داده‌های نرمال شده



بیوست ۳: جدول مقادیر ضریب همبستگی به روش اسپیرمن

	Aq	Al	As	Ba	Be	Ca	Cd	Ce	Co	Cr	Cu	Fe	K	Mg	Mn	Mo	Na	Ni	Pb	Sb	Th	Ti	U	V	Zn
Aq	1.00	.26	.29	.24	.33	.13	.14	.10	.10	.09	.12	.43	-.07	-.11	.29	.06	.07	.11	.04	.05	.12	.35	.40	.32	.31
Al	.26	1.00	.41	-.02	.44	.10	.03	.45	.20	.22	.23	.65	.18	.07	.30	-.1	.62	.31	.15	.0	-.3	.73	.47	.60	.34
As	.29	.41	1.00	-.07	.41	.43	.14	.18	.22	.23	.15	.56	-.27	.01	.44	.01	.18	.04	-.01	.10	-.3	.50	.48	.51	.07
Ba	.24	-.02	-.07	1.00	.23	-.12	-.09	.12	.14	.15	.06	-.12	.34	-.54	-.1	.29	.09	.10	-.02	.14	.79	-.1	.0	.03	.18
Be	.33	.44	.41	.23	1.00	.00	.11	.27	.01	.02	.07	.54	.28	-.18	.36	.21	.08	.19	-.04	.27	.12	.34	.33	.52	.11
Ca	.13	.10	.43	-.12	.00	1.00	.10	-.2	.13	.14	-.09	.26	-.42	.26	.13	-.4	-.17	.23	.07	.02	-.4	.22	.26	.12	.21
Cd	.14	.03	.14	-.09	.11	.10	1.00	.14	.09	.09	.23	.10	-.07	.01	.14	.03	-.07	.03	-.16	.05	-.1	.11	.11	.10	.05
Ce	.10	.45	.18	.12	.27	-.17	.14	1.00	.14	.15	.59	.37	.11	-.08	.38	.26	.46	.03	-.08	-.2	.17	.50	.21	.29	.00
Co	.10	.20	.22	.14	.01	.13	.09	.14	1.00	.99	-.08	.06	.13	-.06	.07	.0	.24	.15	.17	.08	.00	.18	.09	.10	.36
Cr	.09	.22	.23	.15	.02	.14	.09	.15	.99	1.00	-.08	.07	.14	-.05	.07	.0	.23	.18	.17	.10	.00	.19	.09	.10	.36
Cu	.12	.23	.15	.06	.07	-.09	.23	.59	-.08	-.08	1.00	.26	-.03	-.02	.28	.15	.26	-.10	.05	-.1	.03	.30	.07	.20	.08
Fe	.43	.65	.56	-.12	.54	.26	.10	.37	.06	.07	.26	1.00	-.28	.18	.75	.00	.39	.14	.04	.0	-.4	.89	.79	.84	.17
K	-.07	.18	-.27	.34	.28	-.42	-.07	.11	.13	.14	-.03	-.28	1.00	-.35	-.2	.22	.07	.31	.07	.13	.43	-.2	-.4	-.1	.13
Mg	-.11	.07	.01	-.54	-.2	.26	.01	-.1	-.06	-.05	-.02	.18	-.35	1.00	.07	-.5	-.30	.04	.05	-.1	-.6	.12	.09	.00	.02
Mn	.29	.30	.44	-.11	.36	.13	.14	.38	.07	.07	.28	.75	-.22	.07	1.00	.17	.23	-.01	.02	-.1	-.2	.65	.60	.62	.05
Mo	.06	-.11	.01	.29	.21	-.44	.03	.26	-.01	-.01	.15	.00	.22	-.51	.17	1	.07	-.16	.06	.0	.48	-.1	.0	.11	-.17
Na	.07	.62	.18	.09	.08	-.17	-.07	.46	.24	.23	.26	.39	.07	-.30	.23	.07	1.00	.06	-.04	-.1	-.1	.61	.36	.44	.13
Ni	.11	.31	.04	.10	.19	.23	.03	.03	.15	.18	-.10	.14	.31	.04	.0	-.2	.06	1.00	-.02	.13	.0	.17	.03	.07	.29
Pb	.04	.15	-.01	-.02	.0	.07	-.16	-.1	.17	.17	.05	.04	.07	.05	.02	.06	-.04	-.02	1.00	.02	.0	.0	.0	.0	.43
Sb	.05	-.04	.10	.14	.27	.02	.05	-.2	.08	.10	-.12	-.03	.13	-.06	-.1	.0	-.12	.13	.02	1.00	.16	-.1	.0	.02	.02
Th	.12	-.26	-.28	.79	.12	-.40	-.06	.17	.00	.00	.03	-.36	.43	-.56	-.2	.48	-.06	-.03	-.03	.16	1.00	-.3	-.3	-.2	.05
Ti	.35	.73	.50	-.08	.34	.22	.11	.50	.18	.19	.30	.89	-.25	.12	.65	-.1	.61	.17	-.01	-.1	-.3	1	.75	.83	.19
U	.40	.47	.48	-.05	.33	.26	.11	.21	.09	.09	.07	.79	-.36	.09	.60	.0	.36	.03	-.01	.0	-.3	.75	1.0	.71	.11
V	.32	.60	.51	.03	.52	.12	.10	.29	.10	.10	.20	.84	-.09	.00	.62	.11	.44	.07	-.02	.02	-.2	.83	.71	1.0	.15
Zn	.31	.34	.07	.18	.11	.21	.05	.00	.36	.36	.08	.17	.13	.02	.05	-.2	.13	.29	.43	.02	.05	.19	.11	.15	1.0

Abstract

Copper mining confine of Dian, with an almost area of about 40 km², is located in 100 km from Damghan toward the south. This zone is at central Iran zone right sided by volcanic arc of Torud- Chah Shirin. By investigating geological schemes and also with outdoor studies of area, it's shown that, the former rock units of the locale are Andesite lavas, upper and underneath volcanic rocks, and green or red sectorial echo layers. This region includes 3 main faces of 1 and 2, and Dian face, in which, observed alterations are embracing Argillic alterations in surface parts, Propylitic alterations around and Silica-Sulfide-Carbonate at central sections and also copper Mineralization. Available main minerals in the rocks of the region contains Malachite, Covellite, Chrysocolla and Chalcocite with a bit of Hematite, Calcite, Silica and manganese which were perceived in checking fine and X-ray segments diffraction. Geochemical explorations of the region consist Univariate, Bivariate and multivariate, which then led to detect anomaly zone, And therefore the most proper linear form of the elements that were functioning as stoning and mineralizing elements, was characterized by using cluster analysis and principal component multivariate analysis. Main part of this paper discusses applying Zonality method in order to determine hidden deposits. At first, based on the depth data of this BH4 borehole in Dian face, sequence of orthogonal zoning by using coefficient of contrast methods and normalize index was stated, that Pb,Ba,As,Zn were introduced as super-deposit elements and Be,Ni,Co,CU,Mo as sub-deposit. After that, by using Solovov method, threshold and background values were evaluated. Therefore number of instances and anomaly bound was determined. By applying coefficient indices, active regions of mineralization were specified. The width of second geochemical halo on the third profile which had an obvious anomaly was evaluated. Finally using depth data of this BH4 borehole, Zonality indices of above sub-deposit elements was calculated and graph of depth changes of elements was figured, which tells us that there is an evidence of deep mineralizing in this borehole.

Keywords: alteration, multivariate analysis, Zonality index, Solovov methods super-deposit elements, sub-deposit elements, secondary halo depth, BH4 Borehole



University of shahrood
Faculty of Mining, Petroleum and Geophysics Engineering
(Mining Exploration Dept.)

Geochemical exploration of copper deposits in dian region of Damghan

Farzad khedri

Supervisors:

Dr.Mansor Ziiai
Dr.Fardin Mosivand

Agu. 2015

