



دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک

گروه اکتشاف معدن

پایان نامه کارشناسی ارشد

بررسی لیتوژئوشیمیایی تفصیلی به منظور ارزیابی سطح

فرسایش در کانی‌سازی طلای کرویان

بهزاد سعیدی

استاد راهنما :

دکتر رضا قوامی ریابی

تیر ۱۳۸۹

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشگاه علمی کاربردی

مدیریت تحصیلات تکمیلی

فرم شماره (۶)

بسمه تعالی

شماره:

تاریخ:

ویرایش:

فرم صورتجلسه دفاع پایان نامه تحصیلی دوره کارشناسی ارشد

با تأییدات خداوند متعال و با استعانت از حضرت ولی عصر (عج) جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد خانم / آقای بهلول محمدی رشته معماری گرایش اساتذگی تحت عنوان بررسی سبک‌های معماری مسکن در منطقه شمال غرب تهران در تاریخ ۱۳۸۹/۴/۱۸ با حضور هیأت محترم داوران در دانشگاه صنعتی شاهرود برگزار گردید به شرح زیر است:

قبول (با درجه بسیار خوب - امتیاز ۱۷/۸) دفاع مجدد مردود

۲- بسیار خوب (۱۶ - ۱۷/۹۹)

۱- عالی (۱۸ - ۲۰)

۴- قابل قبول (۱۲ - ۱۳/۹۹)

۳- خوب (۱۴ - ۱۵/۹۹)

ردیف	عضو هیأت داوران	نام و نام خانوادگی	مرتبه علمی	امضاء
۱-	استاد راهنما	دکتر رضا قوامی ربانی	استاد ریاست	
۲-	استاد مشاور			
۳-	نماینده شورای تحصیلات تکمیلی	دکتر علیرضا عرب‌نژاد	استاد ریاست	
۴-	استاد ممتحن	دکتر فرج‌الله فروزین	استاد ریاست	
۵-	استاد ممتحن	دکتر منصور صندی	استاد ریاست	

تأیید رئیس دانشکده:

این اثر کوچک را تقدیم می‌کنم به

پدر و مادر مهربان و خانواده عزیزم

تشکر و قدردانی

از استاد گرامی و ارجمند، جناب آقای دکتر رضا قوامی‌ریابی که با قبول زحمت فراوان، راهنمایی این پژوهش را بر عهده داشته و با صرف زمان بسیار در ارائه آن، اینجانب را یاری نموده‌اند، تشکر و قدردانی می‌نمایم.

از اساتید بزرگوار دانشکده معدن دانشگاه صنعتی شاهرود که در طی دوران کارشناسی‌ارشد همواره از راهنمایی‌های ایشان استفاده برده‌ام، کمال تشکر را دارم.

از کلیه دوستانم خصوصاً آقایان مهدی سعیدیان و حمید روشنی و تمامی کسانی که نام آن‌ها آورده نشده‌است و مرا در مراحل انجام این پروژه یاری‌رسان بودند، کمال تشکر را دارم و توفیق روزافزون برای آن‌ها آرزومندم.

در پایان از خانواده خوب و مهربانم که در کلیه مراحل تحصیل مشوق و پشتیبان من بوده‌اند، کمال تشکر و قدردانی را دارم. به امید اینکه روزی بتوانم زحماتشان را جبران نمایم.

بهزاد سعیدی

مقالات استخراج شده:

۱- بررسی تغییر جرم و رفتار عناصر در کانسار طلای پهنه‌برشی کرویان

سومین کنفرانس معدن دانشگاه یزد (۱۳۸۸)

۲- فاکتورهای عمده موثر بر کانی‌سازی طلا پهنه‌برشی کرویان بر اساس نتایج لیتوژئوشیمیایی

سطحی

بیست و هشتمین گردهمایی علوم زمین اهواز (۱۳۷۷)

تعهد نامه

اینجانب دانشجوی دوره کارشناسی ارشد / دکتری رشته دانشکده دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه / رساله در راستای در راستای متعهد می شوم .

- تحقیقات در این پایان نامه / رساله 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 / رساله 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 / رساله تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان نامه / رساله رعایت می گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه / رساله ، در مواردی که از موجود زنده (یا یافتن آنها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است .
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه / رساله ، 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: ۲۸/۸/۲۱
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 / رساله بدون ذکر مرجع مجاز نمی باشد.

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

چکیده

بخشی از اهداف ژئوشیمیایی در مقیاس ناحیه‌ای، اکتشاف آنومالی‌های احتمالی موجود در آن ناحیه است. بعد از اکتشاف آنومالی‌ها در یک ناحیه و در مقیاس تفصیلی، اهمیت به بررسی آنومالی‌های کشف شده و دستیابی به زون کانی‌سازی داده می‌شود.

یکی از مفیدترین خصوصیات منطقه‌بندی ژئوشیمیایی، که اغلب براساس پراکندگی عناصر کمیاب انجام می‌گیرد، این است که از منطقه‌بندی مذکور برای توصیف و مشخص کردن مناطق مختلف کانی‌سازی شده استفاده شود. مطالعه این امر می‌تواند به عنوان راهنمای مفیدی در تعیین جهت و مرکز فعالیت‌های کانی‌سازی و معیاری برای ارزیابی کمی تعیین این محدوده‌ها به کار برده شوند. به علاوه، الگوهای منطقه‌بندی حتی پس از کشف توده‌های کانسار ممکن است، باز هم به دلایل خاصی، اهمیت خود را حفظ کند. از جمله می‌توان گفت که آیا براساس رفتار در تغییرات پراکندگی عناصر به سمت کانی‌سازی نزدیک می‌شویم یا از آن دور می‌شویم؟ بر این اساس سطح فرسایش کنونی کانسار مورد بررسی قرار می‌گیرد.

منطقه مورد مطالعه کانی‌سازی طلای کرویان واقع در جنوب غربی شهرستان سقز در استان کردستان است. از نگاه ساختاری این منطقه در حاشیه شمال غربی نوار دگرگونه سنندج- سیرجان واقع شده است. کانه‌زایی طلا در این منطقه تحت کنترل عواملی همچون پهنه‌های برشی خمیری و دگرسانی هیدروترمال قرار گرفته است. در بین روش‌های مختلف بررسی هاله‌های لیتوژئوشیمیایی اولیه از روش‌های تغییرات جرم و سطح از فرسایش استفاده شده است، که با استفاده از این روش‌ها می‌توان نزدیک شدن و دور شدن از کانسار و همچنین موقعیت کانسار نسبت به سطح از فرسایش را بدست آورد.

بررسی تغییرات جرم در پهنه کانه‌دار کانسار طلای کرویان نشان می‌دهد که عناصر K, Na, Sc, Ti, Cr و Al دارای رفتار کم و بیش غیر متحرک هستند. در این میان عناصر Ca, Sr, Mn, Zn, Pb و

Ba و تا حدودی عناصر Ag، As و Hg تحرک بالای در سنگ‌های منطقه از خود نشان می‌دهند، و عناصر La، As و Au در تمامی واحدها غنی‌شدگی دارند. As در واحدهای پهنه‌برشی منطقه بیشترین عکس‌العمل غنی‌شدگی را از خود بروز می‌دهد. عناصر Sr، Ca، Zn و Pb و تا حدودی Mg در کلیه واحدهای سنگی دارای روند کاهشی است.

بر اساس مطالعات صورت گرفته شاخص‌های As.Hg، Co.Ni و نسبت As.Hg/Co.Ni بعنوان معیاری برای شناسایی سطح از فرسایش مورد استفاده قرار گرفته است. در ارزیابی سطح از فرسایش منطقه مورد مطالعه، پنج محدوده آنومالی مشخص گردیده است، بطوری که محدوده‌های ۱ و ۲ احتمالاً از لحاظ کانی‌سازی دارای اهمیت بیشتری نسبت به مناطق دیگر برخوردار است و سطح فرسایش احتمالاً در افق‌های پائین‌تری نسبت به محدوده‌های ۳، ۴ و ۵ قرار گرفته است.

واژه‌های کلیدی: لیتوژئوشیمیایی، منطقه‌بندی ژئوشیمیایی، تغییرات جرم، غنی‌شدگی/شسته-

شدگی، سطح از فرسایش

فهرست مطالب

فصل اول کلیات

۱-۱	مقدمه	۲
۲-۱	موقعیت جغرافیای منطقه و راه‌های دسترسی	۴
۱-۲-۱	شرایط آب و هوایی منطقه	۵
۳-۱	رده بندی ذخایر طلا	۷
۴-۱	کنسارهای طلای پهنه‌های برشی (شیر زون)	۹
۵-۱	تولید و گسترش ذخایر جهانی طلا	۱۴
۶-۱	کنسارها و اندیس‌های طلای موجود در منطقه	۱۵
۷-۱	مطالعات انجام شده قبلی در منطقه	۱۷
۸-۱	تاریخچه اکتشافات طلای کرویان	۱۹
۹-۱	خلاصه و ضرورت انجام پایان‌نامه	۲۱
۱۰-۱	طرح مسئله و هدف از انجام تحقیق	۲۲
۱۱-۱	سازماندهی پایان‌نامه	۲۳

فصل دوم زمین‌شناسی و چینه‌شناسی منطقه مورد مطالعه

۱-۲	مقدمه	۲۵
۲-۲	زمین‌شناسی و چینه‌شناسی	۲۵
۱-۲-۲	زمین‌شناسی ناحیه‌ای	۲۵
۲-۲-۲	سنگ‌شناسی، کانی‌شناسی و دگرسانی طلای کرویان	۲۸
۱-۲-۲-۲	واحدهای منطقه کرویان	۲۸
۳-۲-۲	وضعیت تکتونیکی و زمین‌شناسی ساختمانی	۳۶

- ۳۶-۲-۳-۱ چین خوردگی‌ها ۳۶
- ۳۶-۲-۳-۲ گسل‌ها ۳۶
- ۳۸-۲-۳ نمونه برداری و آنالیز شیمیایی نمونه‌ها در منطقه مورد مطالعه ۳۸

فصل سوم بررسی رفتار عناصر در منطقه (تغییرات جرم عناصر)

- ۴۰-۳-۱ مقدمه ۴۰
- ۴۱-۳-۲ هاله‌های ژئوشیمیایی و تغییر جرم ۴۱
- ۴۳-۳-۳ روش‌های محاسبه تغییر جرم ۴۳
- ۴۴-۳-۴ عناصر یا ترکیبات غیرمتحرک ۴۴
- ۴۷-۳-۵ انواع روش‌های محاسبه تغییر جرم ۴۷
- ۵۲-۳-۶ آنالیز آیزوکن داده‌های محدوده مورد مطالعه ۵۲
- ۵۳-۳-۶-۱ توده‌های نفوذی گرانیتی ۵۳
- ۵۶-۳-۶-۲ متاولکانیک‌ها ۵۶
- ۵۹-۳-۶-۳ پهنه‌برشی ۵۹
- ۶۲-۳-۷ نتیجه‌گیری ۶۲

فصل چهار تعیین موقعیت سطح فرسایش آنومالی نسبت به سطح کانی-

سازی احتمالی

- ۶۵-۴-۱ مقدمه ۶۵
- ۶۶-۴-۲ الگوهای منطقه‌بندی ژئوشیمیایی عناصر ۶۶
- ۶۷-۴-۳ هاله‌های محوری ذخایر طلای پهنه‌برشی ۶۷
- ۷۱-۴-۴ بررسی سطح فرسایش آنومالی نسبت به سطح کانی‌سازی در منطقه مورد مطالعه ۷۱
- ۸۰-۴-۵ نتیجه‌گیری ۸۰

فصل پنجم نتیجه‌گیری و پیشنهادات

- ۸۲-۱-۱ نتیجه‌گیری و پیشنهادات ۸۲
- ۸۵- منابع فارسی ۸۵
- ۸۸- منابع لاتین ۸۸

فهرست اشکال

فصل اول

- شکل ۱-۱: ۱: جغرافیای منطقه مورد مطالعه و راه‌های دسترسی به ۶
- شکل ۱-۲: ۲: انواع ذخایر طلا در تیپ‌ها و کمربندهای مختلف کانی‌سازی..... ۸
- شکل ۱-۳: ۳: تیپ‌های مختلف کانسار طلا و موقعیت آنها نسبت به سطح زمین..... ۹
- شکل ۱-۴: ۴: رنج تغییرات وسیع نوع کانی‌سازی بر حسب عمق طلای پهنه‌های برشی..... ۱۱
- شکل ۱-۵: ۵: توزیع شماتیک کانی‌سازی طلا در زمان‌های زمین‌شناسی..... ۱۵
- شکل ۱-۶: ۶: موقعیت برخی کانسارهای شناخته شده طلا در پهنه سنندج- سیرجان..... ۱۶
- شکل ۱-۷: ۷: نقشه زمین‌شناسی خلاصه شده منطقه به همراه کانسار و اندیس‌های طلا ۱۷
- شکل ۱-۸: ۸: طلای حاصل از استحصال ماده معدنی کانسار کرویان..... ۲۱

فصل دوم

- شکل ۲-۱: ۱: نقشه ۱:۵۰۰۰ منطقه کرویان ۳۵
- شکل ۲-۲: ۲: نقشه ساختارهای منطقه و موقعیت اندیس‌های قبغلوچه، کرویان و قلقله..... ۳۷

فصل سوم

- شکل ۳-۱: ۱: رگرسیون Ti در مقابل Al که با ضریب همبستگی ۰/۸۴ (Al و Ti بر حسب درصد است)..... ۴۶
- شکل ۳-۲: ۲: نمودار آیزوکن جفت نمونه ۸۶۸ و ۷۶۴ در سنگ‌های گرانیتی..... ۵۳
- شکل ۳-۳: ۳: نمودار آیزوکن جفت نمونه ۹۸۶ و ۷۶۴ در سنگ‌های گرانیت..... ۵۴
- شکل ۳-۴: ۴: نمودار هیستوگرام تغییرات جرم برای سنگ‌های گرانیتی (الف) نمونه ۸۶۸ (ب) نمونه ۹۸۶..... ۵۵
- شکل ۳-۵: ۵: نمودار آیزوکن برای نمونه ۹۹۸ (Ca) و ۹۸۰ (Co)..... ۵۶
- شکل ۳-۶: ۶: نمودار آیزوکن برای نمونه ۴۹۴ (Ca) و ۶۹۹ (Co)..... ۵۷
- شکل ۳-۷: ۷: نمودار آیزوکن برای نمونه ۸۶۵ (Ca) و ۹۷۹ (Co)..... ۵۸
- شکل ۳-۸: ۸: نمودار هیستوگرام تغییرات جرم در متاولکانیک‌ها (الف) نمونه ۹۹۸ (ب) نمونه ۸۳۰ (ج) نمونه ۵۹
- شکل ۳-۹: ۹: نمودار آیزوکن نمونه ۷۵۸ (Ca) و ۵۲۳ (Co)..... ۶۰
- شکل ۳-۱۰: ۱۰: نمودار آیزوکن نمونه ۵۷۶ (Ca) و ۵۲۳ (Co)..... ۶۱

شکل ۳-۱۱: نمودار هیستوگرام تغییرات جرم منطقه پهنه برشی الف) نمونه ۷۵۸ ب) نمونه ۵۷۶ ۶۲

فصل چهارم

شکل ۴-۱: مدل هاله‌های محوری اطراف ذخایر طلای پهنه‌برشی با هاله‌های اولیه ۶۹

شکل ۴-۲: نقشه توزیع فضایی پراکندگی طلا و محدوده‌های مشخص شده در منطقه ۷۲

شکل ۴-۳: نقشه توزیع فضایی پراکندگی طلا در منطقه ۷۳

شکل ۴-۴: نقشه توزیع فضایی پراکندگی As در منطقه ۷۴

شکل ۴-۵: نقشه توزیع فضایی پراکندگی Hg در منطقه ۷۴

شکل ۴-۶: نقشه توزیع فضایی پراکندگی Co در منطقه ۷۵

شکل ۴-۷: نقشه توزیع فضایی پراکندگی Ni در منطقه ۷۵

شکل ۴-۸: نقشه توزیع فضایی پراکندگی Cu در منطقه ۷۶

شکل ۴-۹: نقشه توزیع فضایی پراکندگی Pb در منطقه ۷۶

شکل ۴-۱۰: نقشه توزیع فضایی پراکندگی Zn در منطقه ۷۷

فهرست جداول

- جدول ۱-۲: انواع دگرسانی‌های موجود در طلای پهنه‌برشی کرویان ۳۳
- جدول ۱-۳: عناصر غیر متحرک که در فرایندهای آلتراسیون توسط محققین مختلف شناسایی شده است ۴۵
- جدول ۱-۴: غلظت عناصر مختلف در هر یک از محدوده‌های پنج‌گانه ۷۸
- جدول ۲-۴: مقادیر بدست آمده برای ضرایب عناصر مختلف ۷۹

فصل اول

کلیات

۱-۱ مقدمه

هاله‌های ژئوشیمیایی اولیه مناطقی در اطراف نهشته‌های فلزی یا توده‌های کانساری هستند، که در نتیجه ورود یا توزیع دوباره بعضی از عناصر در خلال فرآیندهای تشکیل کانسار در آنها سبب غنی‌شدگی و تهی‌شدگی عناصر می‌گردند. هاله‌های ژئوشیمیایی اولیه و نیز مناطق دگرسانی سنگ-های اطراف نهشته‌های کانساری با پدیده‌های تشکیل کانسار به طور ژنتیکی در ارتباط هستند، به طوری که تشخیص مرزی مشخص بین هاله ژئوشیمیایی و مناطق دگرسانی گاهی امکان‌پذیر نیست [حسنی‌پاک، ۱۳۸۲; Sinclair, 1974; Levinson, 1980].

شکل و وسعت گسترش این هاله‌های دگرسانی و ژئوشیمیایی به عوامل متعددی بستگی دارد، که از آن جمله به شکل و میزان ذخیره کانسار و جنس سنگ درونگیر ماده معدنی و قابلیت تحرک ژئوشیمیایی عناصر به عنوان برخی از عوامل عمده می‌توان اشاره نمود [کریم‌پور و سعادت، ۱۳۸۱]. در بررسی لیتوژئوشیمیایی، نقش معرف‌های ژئوشیمیایی با اهمیت است. عناصر معرف باید طوری انتخاب شوند که بتوانند نشان دهنده تیپیک‌ترین مراحل یا فرآیندهای تشکیل کانسار باشند. چون رفتار فلزات با منشأ سنیژنتیک از طریق فرآیندهای تفریق ماگمایی یا رسوبی کنترل می‌گردد، بررسی این فرآیندها هم مفید است. در نهشته‌های اپی‌ژنتیک (هیدروترمال، آذرین دگرگونی و غیره)

باید روابط سنگ میزبان با فرآیندهای فعال در تشکیل کانسار در قبل و بعد از کانی‌سازی، مورد بررسی قرار گیرد [حسنی پاک، ۱۳۸۲].

مشاهدات نشان داده است که توزیع فضایی هاله‌های عناصر کمیاب (طول، عرضی و ارتفاع) و کانی‌ها در اطراف و یا درون نهشته‌های کانساری می‌تواند از یک الگوی منطقه‌ای متقارن (کم و بیش هم مرکز) یا نامتقارن پیروی کند. تقارنی که در توزیع منطقه‌ای عناصر یا کانی‌ها در سنگ‌های درونگیر کانسار به وجود می‌آید، به وسیله چندین متغیر پیچیده، مانند اختلاف در قابلیت تحرک عناصر که خود می‌تواند تابعی از دما، فشار، اختصاصات فیزیکوشیمیایی سنگ درونگیر و غیره باشد، کنترل می‌شود [حسنی پاک، ۱۳۸۲].

الگوهای منطقه‌ای اساساً از دو نوع کانی‌شناسی و ژئوشیمیایی می‌باشند که ممکن است بر هم منطبق باشند. منطقه‌بندی کانی‌شناسی، که معمولاً از طریق فراوانی نسبی کانی‌های اصلی کانسار معین می‌شود، مدت‌ها است که به عنوان ملاکی برای کشف توده‌های کانساری به کار می‌رود.

در مطالعه منطقه‌بندی ژئوشیمیایی، توزیع منطقه‌ای و تغییرات غلظت عناصری مورد بحث می‌باشد که معمولاً تغییرات‌شان کمتر قابل لمس بوده و فقط از طریق نمونه‌برداری و تجزیه شیمیایی سیستماتیک ممکن است کشف گردند. علل پیدایش الگوهای منطقه‌ای توسط محققین بسیاری مورد مطالعه قرار گرفته است و اغلب آنها عواملی نظیر پایداری نسبی یون‌های کمپلکس، اختلاف در جرم عناصر، پتانسیل الکتروودی و قابلیت تحرک را از عوامل مهم در ایجاد منطقه‌بندی شناخته‌اند [Grigoryan, 1987].

یکی از مفیدترین خصوصیات منطقه‌بندی ژئوشیمیایی، که اغلب بر اساس پراکندگی عناصر کمیاب انجام می‌گیرد، این است که منطقه‌بندی مذکور برای توصیف و مشخص کردن کمی مناطق مختلف کانی‌سازی شده در روی نقشه و همچنین برای نشان دادن نسبت‌های موجود بین عناصر مختلف و ایزوتروپ‌های آنها، بسیار مناسب است. باید خاطر نشان شود که این منطقه‌بندی می‌تواند، از

نظر کاربرد منطقه‌بندی ژئوشیمیایی، با جهت جریان محلول‌های کانسار ساز مطابقت داشته باشند. این امر می‌تواند به عنوان راهنمای مفیدی در تعیین جهت و مرکز فعالیت‌های کانی‌سازی و معیاری برای ارزیابی کمی تعیین این محدوده‌های به کار برده شوند. به علاوه، الگوهای منطقه‌ای حتی پس از کشف توده‌های کانسار ممکن است، باز هم به دلایل خاصی، اهمیت خود را حفظ کنند. برای مثال، چنانچه الگوهای منطقه‌ای اطراف توده کانسار به طور صحیح مشخص و تفسیر شوند، این امکان وجود دارد که بر اساس رفتار در تغییرات پراکندگی عناصر به این سؤالات بتوان پاسخ داد که آیا به سمت محدوده کانی‌سازی نزدیک و یا از آن دور می‌شویم؟ آیا سطح فرسایش کنونی منطقه کانی‌سازی ضعیف واقع در پایین‌ترین سطح معدن و کف توده کانسار یا بالای کانسار است؟ که در این صورت حفاری بیشتری لازم است. [Levinson, 1980].

۲-۱ موقعیت جغرافیای منطقه و راه‌های دسترسی

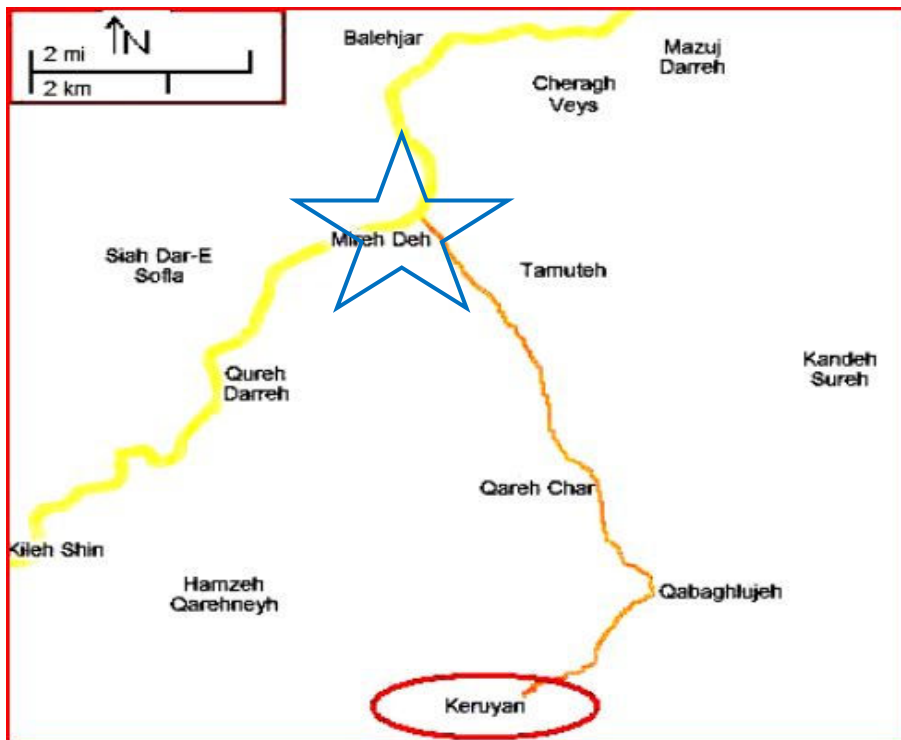
کانسار کرویان در استان کردستان، در ۲۵ کیلومتری جنوب غربی شهرستان سقز بین طول‌های جغرافیایی ۰۲' و ۴۶' تا ۰۹' و ۴۶' شرقی و عرض‌های جغرافیایی ۰۵' و ۳۶' تا ۰۹' و ۳۶' شمالی در محدوده‌ای به وسعت ۱۰ کیلومتر مربع واقع شده است. جاده آسفالتی سقز-بانه مناسب‌ترین مسیر دسترسی به منطقه مورد مطالعه می‌باشد. به طوریکه در این مسیر پس از طی ۱۸ کیلومتر، از سقز به روستای میرده و از آنجا پس از پیمودن ۱۰ کیلومتر جاده روستایی میرده-پیرعمران به روستای کرویان می‌رسیم (شکل ۱-۱).

روستای کرویان در یک ناحیه کوهستانی و در ارتفاع ۲۰۰۰ متری از سطح دریا قرار دارد. این منطقه دارای بافت روستایی بوده و اشتغال مردم منطقه به طور عموم کشاورزی، دامپروری و پرورش زنبور است [حیدری، ۱۳۸۳].

۱-۲-۱ شرایط آب و هوایی منطقه

آب و هوای منطقه به لحاظ مرتفع بودن و ماهیت کوهستانی آن سردسیر می‌باشد، در زمستان -ها ریزش برف سنگین مشاهده می‌شود، فصل بهار کوتاه و بلعکس دارای پاییز و زمستان، طولانی می‌باشد. تابستان‌های آن، دارای آب و هوای معتدل است، به همین دلیل اواسط بهار تا اواسط پاییز بهترین زمان برای فعالیت در منطقه مورد نظر است. بارندگی سال‌های مختلف نوسان شدیدی نشان می‌دهد، ولی بطور متوسط تعداد سال‌های مرطوب بیش از سال‌های خشک و کم باران است و میزان بارندگی سالانه ۵۰۰ میلی‌متر می‌باشد. درجه حرارت در تابستان حداکثر ۳۷ و در زمستان ۲۹- درجه است [حیدری، ۱۳۸۳].

از رودهای مهم منطقه می‌توان به چم سقز، زرینه رود و خورخوره اشاره نمود.



شکل ۱- ۱: جغرافیای منطقه مورد مطالعه و راه‌های دسترسی به آن

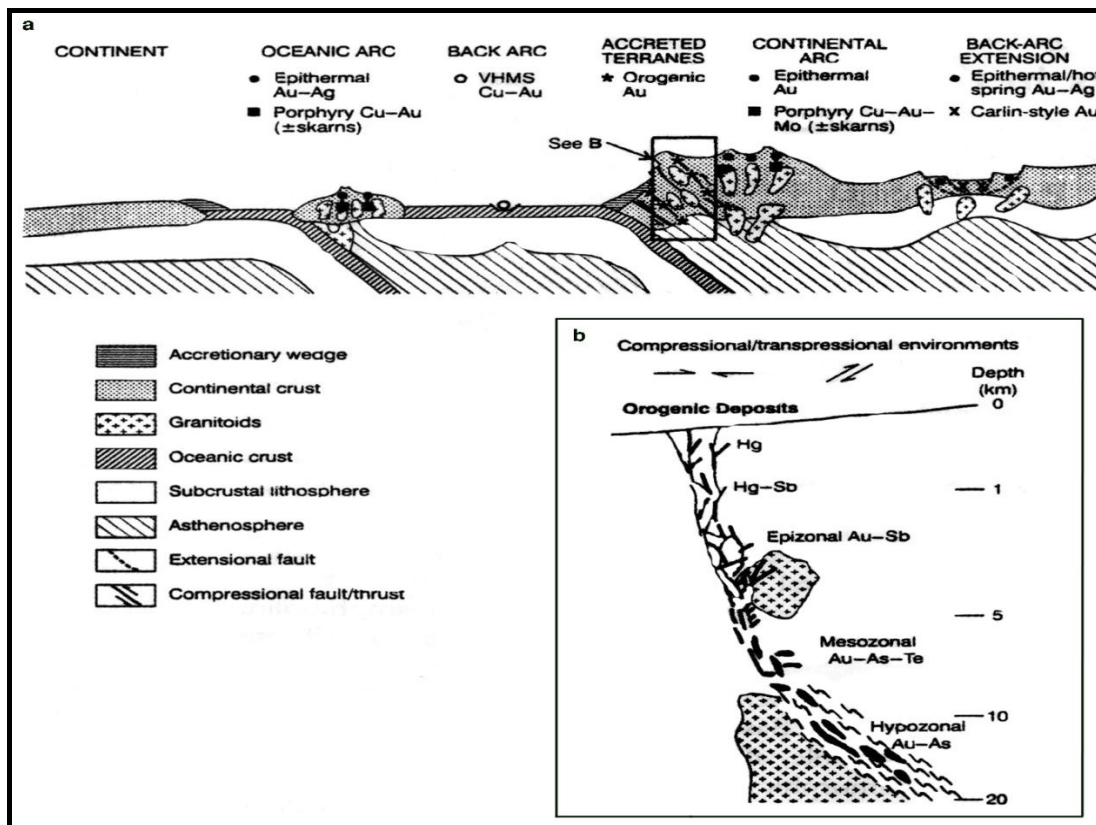
۳-۱ رده بندی ذخایر طلا

به طور کلی معادنی که طلا از آنها به دست می‌آید به دو گروه عمده زیر قابل تقسیم می‌باشند.
الف) معادنی که طلا به عنوان ماده اصلی و عمده^۱ آنها محسوب شده و به منظور بهره برداری طلا مورد استفاده قرار می‌گیرند.

ب) معادنی که طلا در آنها به عنوان محصول جانبی و فرعی^۲ همراه با مواد معدنی همچون مس، سرب، آنتیموان و مورد بهره برداری قرار می‌گیرد. در شکل (۱-۲-۱) انواع ذخایری که طلا بعنوان محصول اصلی و یا جانبی آن محسوب می‌گردد به همراه کمربند تکنونیککی مربوطه بطور شماتیک نمایش داده شده است. ذخایر تیپ پهنه‌های برشی در زون تصادم تشکیل می‌شوند که همراه با فعالیت‌های ماگماتیسم است. در شکل (۱-۲-۲) مقطعی عمقی از کانی‌سازی مرتبط با پهنه‌برشی و عناصر پاراژنز نشان داده شده است [Eilu and Groves. 2001].

¹- Main ore

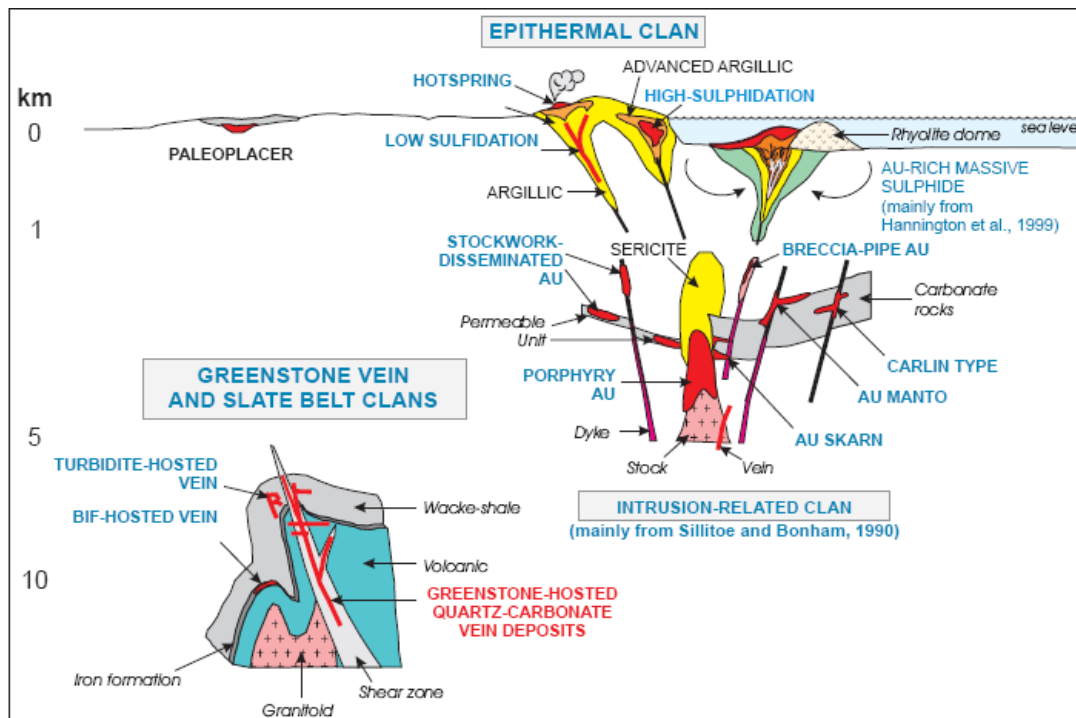
²- By product



شکل ۱- ۲: a- انواع ذخایر طلا در تیپ‌ها و کمربندهای مختلف کانی‌سازی b- مقطعی عمقی از انواع کانی‌سازی همراه پراکندگی عناصر پارژنهای مربوطه [Eilu and Groves, 2001]

ذخایر طلا با توجه به معیارهای گوناگون به انواع مختلفی رده‌بندی شده‌اند. از میان رده‌بندی‌های مختلف، رده‌بندی که توسط کاکس و سینگر^۱ (۱۹۸۶) بر اساس تیپ ارائه شده است از اهمیت بیشتری برخوردار است به طوریکه هر تیپ ذخیره طلا، ویژگی‌های زمین‌شناختی، ساختمانی، شیمیایی، کانی‌شناسی، سنگ‌شناسی و محدوده سنی مخصوص به خود را دارد و هر نوع (یا تیپ) از ذخایر طلا مجموعه‌ای از ویژگی‌های فوق می‌باشد که تحت نام خاصی بیان می‌شود. این نام ممکن است بر اساس مهمترین و بارزترین خواص آن تیپ مثل ذخایر تیپ رگه‌ای مزوترمال و یا اپی‌ترمال طلا و یا بر اساس نام بزرگترین یا مشهورترین ذخیره آن تیپ مثل تیپ کارلین در ایالت نوادای آمریکا انتخاب شده است [Foster, R.P. 1993].

^۱ - Cox and Singer



شکل ۱-۳: تیپ‌های مختلف کانسار طلا و موقعیت آنها نسبت به سطح زمین. [Dube et al., 2007].

۱-۴ کانسارهای طلای پهنه‌های برشی (شیر زون)^۱

پهنه‌های برشی، پهنه‌هایی باریک با تغییر شکل شدید می‌باشند، که عموماً در حین دگرگونی ناحیه‌ای تشکیل می‌شوند. این ذخایر در کمربندهای دگرگونی (شامل دو نوع سنگ ولکانیکی و رسوبی) به سن آرکئن میانی تا ترشیری واقع می‌شود، که زیر مجموعه ذخایر طلای کوهزایی محسوب می‌شوند. جابجایی در آنها عمدتاً موازی و از نظر هندسی در ابعاد بزرگ (اغلب صفحه‌ای) بوده که در مقیاس محلی امتداد آن تغییر می‌کند. و عموماً دارای نسبت طول به عرض بزرگتر از پنج می‌باشند [Bursnal et. al, 1989].

این کانسارها در مناطق تغییر شکل، در پهنه‌ای برشی که باعث ایجاد فابریک‌های خاصی در

سنگ‌ها شده، تشکیل می‌شوند

^۱ - Shear Zone

پهنه‌های برشی بر اساس محیط تشکیل و نوع دگرشکلی حاکم، به پهنه‌ای شکننده^۱ و یا گسلی و زون‌های شکل‌پذیر^۲ (خمیری) تقسیم شده است [Sibson and Scott, 1989].

ساختمان‌های شکل‌پذیر در قلمرو رخساره آمفیبولیت بیشتر دیده می‌شوند (شکل ۱-۴)، در حالیکه ساختمان‌های شکننده در قلمرو رخساره شیست سبز و پایین‌تر از آن متداول‌تر است. کانی‌زایی که به صورت رگه‌های کوارتز در امتداد شاخه‌های فرعی ناشی از شکاف‌های اصلی پوسته زمین با صدها کیلومتر طول و چندین کیلومتر عمق دیده می‌شود، در انواع مختلفی از ساختمان‌های شیر رخ می‌دهند که این ساختمان‌ها عبارتند از برش امتدادلغز، مایل‌لغز، معکوس‌لغز و طبیعی لغز که همگی نقش کنترل‌کننده ذخایر را ایفا می‌کنند. بخصوص زون‌های برشی معکوس پرشیب می‌توانند از ساختمان‌های با اهمیت کنترل‌کننده کانسار باشند [Zoheir, 2006].

مطالعات صورت گرفته در رابطه با این تیپ کانسار، کانی‌زایی را به منشأهای گوناگون نسبت داده‌اند که مهمترین آنها شامل مدل ماگمایی و سیالات مربوط به آنها، مدل مربوط به فرآیندهای دگرگونی و سیالات دگرگونی و مدل نفوذ سیالات جوی به داخل پوسته زمین و سپس گرم شدن آنها تحت گرمای درونی زمین و در نهایت شستشوی واحدهای سنگی در حین بالا آمدن و تمرکز کانه‌زایی در واحدهای سطحی می‌باشد [Read and Cartwright, 2000].

مطالعات جدید صورت گرفته در بین مدل‌های ارائه شده برای تشکیل کانسارهای طلای در ارتباط با پهنه‌های برشی، مدل منشأ دگرگونی را بیشتر مطابق و هماهنگ با اطلاعات ژئوشیمیایی، سیالات درگیر، سنگ میزبان، تکتونیک، دمای تشکیل و خصوصیات زمین‌شناسی این تیپ می‌دانند.

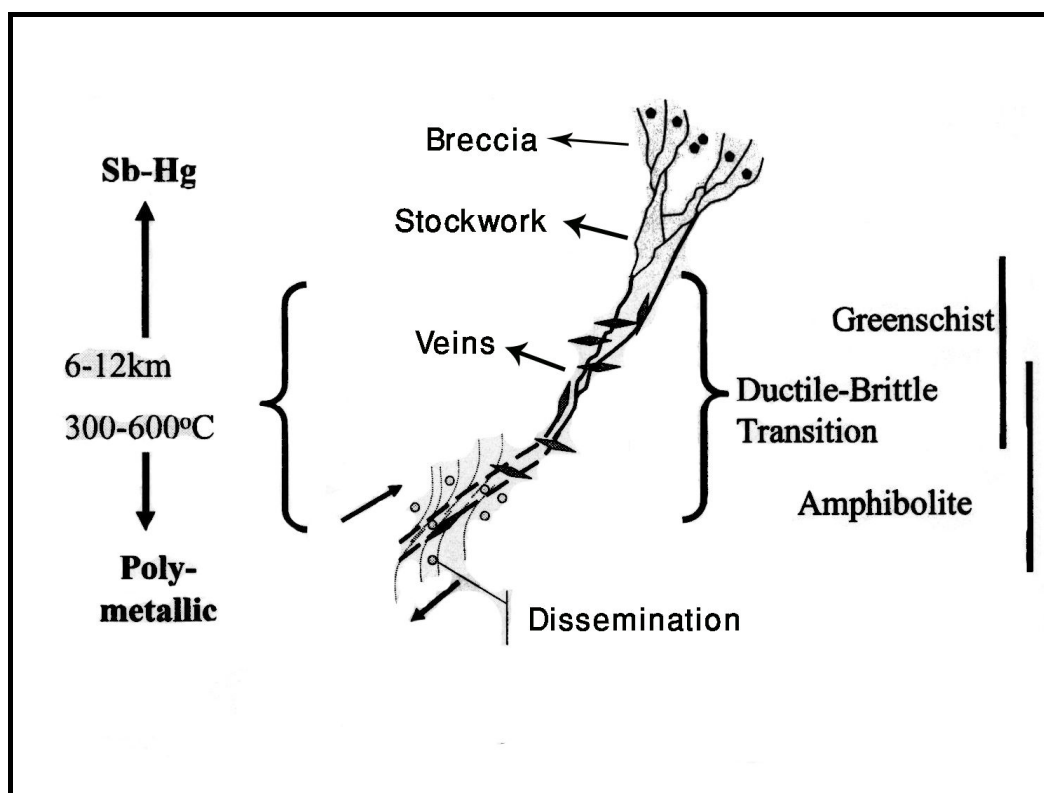
طبق این مدل (مدلی که ژنز را مربوط به فرایندهای دگرگونی و سیالات دگرگونی می‌داند) گرادیان زمین گرمایی زیاد همراه یا بدون پلوتون‌ها باعث دگرگونی ناحیه‌ای شده و سیالات زیادی را از بخش‌های عمیق (دگرگونی با درجات بالا) آزاد می‌شود. این سیالات دگرگونی به اضافه مقدار زیادی

¹ - Brittle

² - Ductile

از سیالات که در داخل حفره‌های سنگ‌ها حضور دارند باعث شسته شدن و انحلال کانه‌های فلزی از واحدهای آتشفشانی-رسوبی و حمل آنها می‌شود. این سیالات حاوی کانه، تحت تاثیر فشار لیتواستاتیکی در داخل پهنه‌های برشی که به عنوان مجرای عبور سیال عمل می‌کنند به سمت بالا مهاجرت کرده و در موقعیت‌های مناسب با تغییر شرایط فیزیکوشیمیایی سیال و دگرسانی سنگ دیواره کانه‌زایی صورت می‌گیرد [Kolb et al, 2004].

ساختار ذخایر طلائی پهنه‌های برشی بر حسب درجه حرارت و عمق کانی‌سازی می‌تواند موجب تغییراتی در نوع کانی‌سازی شود معمولاً در اعماق بالاتر به صورت شکننده و در اعماق پایین‌تر به دلیل تغییر در درجه حرارت و فشار از این حالت تبدیل به حالت شکل‌پذیر می‌شود شکل (۲-۴) رنج وسیعی از تغییرات را بر حسب عمق نشان می‌دهد [Killick, 2003].



شکل ۱-۴: رنج تغییرات وسیع نوع کانی‌سازی بر حسب عمق طلائی پهنه‌های برشی [Killick, 2003].

در این کانسارها، طلا طبیعی کانه اقتصادی است، اما معمولاً با مقادیر متغیر ولی شایان توجهی از نقره آلیاژ شده است. تلوریدهای طلا ممکن است وجود داشته باشند اما توزیع آنها محدود است. پیریت و پیرویت رایج‌ترین کانی‌های سولفیدی هستند. اگر چه کانی‌های سولفیدی دیگر ممکن است بطور محلی اهمیت داشته باشند، و کوارتز و کربنات‌ها کانی‌های باطله اصلی است.

دگرسانی در این نوع کانسارها به شدت توسط عواملی چون ۱- رژیم تکتونیکی و فشار حاصله در جایی که کانسارها تشکیل می‌شوند ۲- نسبت‌های سیال به سنگ و مدت زمان واکنش آنها ۳- ترکیب لیتولوژی‌های میزبان ۴- ترکیب سیال هیدروترمالی شامل PH، Eh، فعالیت CO_2 ، H_2O ، S، K، Na و شوری ۵- حرارت ۶- فشار حاکم بر رخداد دگرسانی هیدروترمالی و کانه‌زائی طلا ۷- شرایط تعادل یا عدم تعادل، کنترل می‌شود [Kerrich, 1990].

بویل^۱ (۱۹۷۹) کانی‌شناسی و ترکیب شیمیای سنگ دیواره همراه با ذخایر طلا را بررسی کرده و اظهار داشته که سرسیتی شدن، کربناتی شدن و پیریتی شدن شایع‌ترین فرایندهای دگرسانی در این نوع کانسارها می‌باشد [مقصودی و همکاران، ۱۳۸۴].

به طور خلاصه ویژگی‌های عمومی این کانسارها عبارتند از [احسنی‌پاک، ۱۳۸۱؛ Dube et al., 2007]:

- ۱- ذخیره در درون یا در مجاورت گسل‌ها یا مناطق برشی با جابجایی کم تشکیل می‌شود.
- ۲- گسل‌ها و مناطق برشی میزبان، خود بخشی از سیستم پهنه‌های برشی بزرگ مقیاس‌تر به شمار می‌آیند.
- ۳- در حین تشکیل ذخیره جریان سیال زیادی از درون گسل‌ها یا مناطق برشی عبور می‌کند.
- ۴- ته نشست طلا معمولاً هم زمان و یا کمی بعد از تغییر شکل‌هایی که در درون ساختار میزبان صورت می‌گیرد رخ می‌دهد.

^۱ Boyle

- ۵- عمق تشکیل این ذخایر عمدتاً ۴ تا ۱۵ کیلومتر (شکل ۱-۳)
- ۶- از ویژگی‌های جریان هیدروترمال در این تیپ از کانسارها می‌توان به عناوین زیر اشاره کرد.
- میزان شوری پایین و درصد وزنی NaCl بیشتر از ۶٪ که در آن $Na > Ca > K > Mg$
 - درصد مولی $CO_2 \pm CH_4$ بین ۳۰-۵۰ درصد
 - فشار سیال در رژیم‌هایی که این ذخایر را تشکیل می‌دهند نزدیک به فشار لیتوستاتیکی است.
 - معمولاً درجه اسیدی (PH) آن بین ۵ تا ۶ می‌باشد
 - در نهشته‌های دمای بالا فعالیت کمپلکس‌های $f(O_2)$ و S بیشتر است.
 - دمای معمولی در بازه بین ۲۰۰ تا ۴۰۰ درجه سانتی‌گراد در تغییر می‌باشد.
 - از پارائزهای فلزی و عناصر همراه که در این تیپ کانسارها وجود دارد به ترتیب اولویت می‌تواند به موارد زیر اشاره کرد.

پارائزهای فلزی:

Au, Ag, As

\pm Sb, w, Bi, B, Te, Se, Mo

Na, Ca, Fe, Mg

عناصر همراه:

K, Si, Rb, Ba, Li, Tl

CO₂, CH₄, H₂S

مقادیر کمی Cu, Pb, Zn

۵-۱ تولید و گسترش ذخایر جهانی طلا

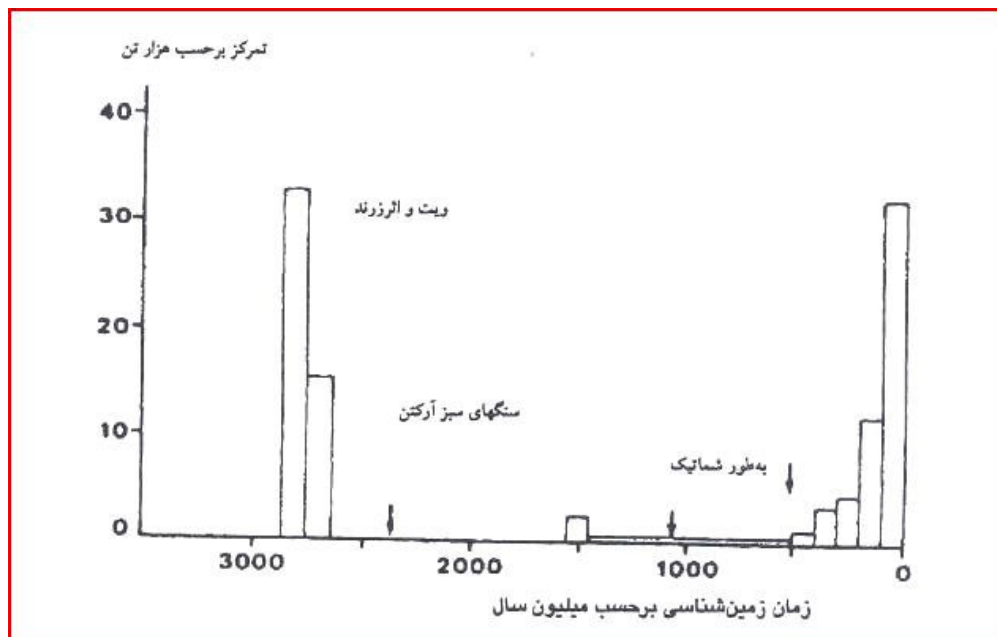
بطور کلی ذخایر طلا در تمامی دوران‌ها زمین‌شناسی تشکیل شده‌اند اما نسبت پراکندگی آنها در زمان‌های مختلف با توجه به تحقیقات به عمل آمده از شدت یکسانی برخوردار نمی‌باشند. در طول عمر زمین دو دوره عمده برای کانی‌سازی طلا وجود داشته است که عبارتند از [Foster, 1993]:

۱- ذخایر کوارتز رگه‌ای مزوترمال آرکئن پسین و کنگلومرای آرکئن پسین تا پروتوزوئیک

آغازین

۲- ذخایر اپی ترمال، مزوترمال مرتبط با پورفیری‌های مزوزوئیک تا کواترنر (شکل ۱-۵).

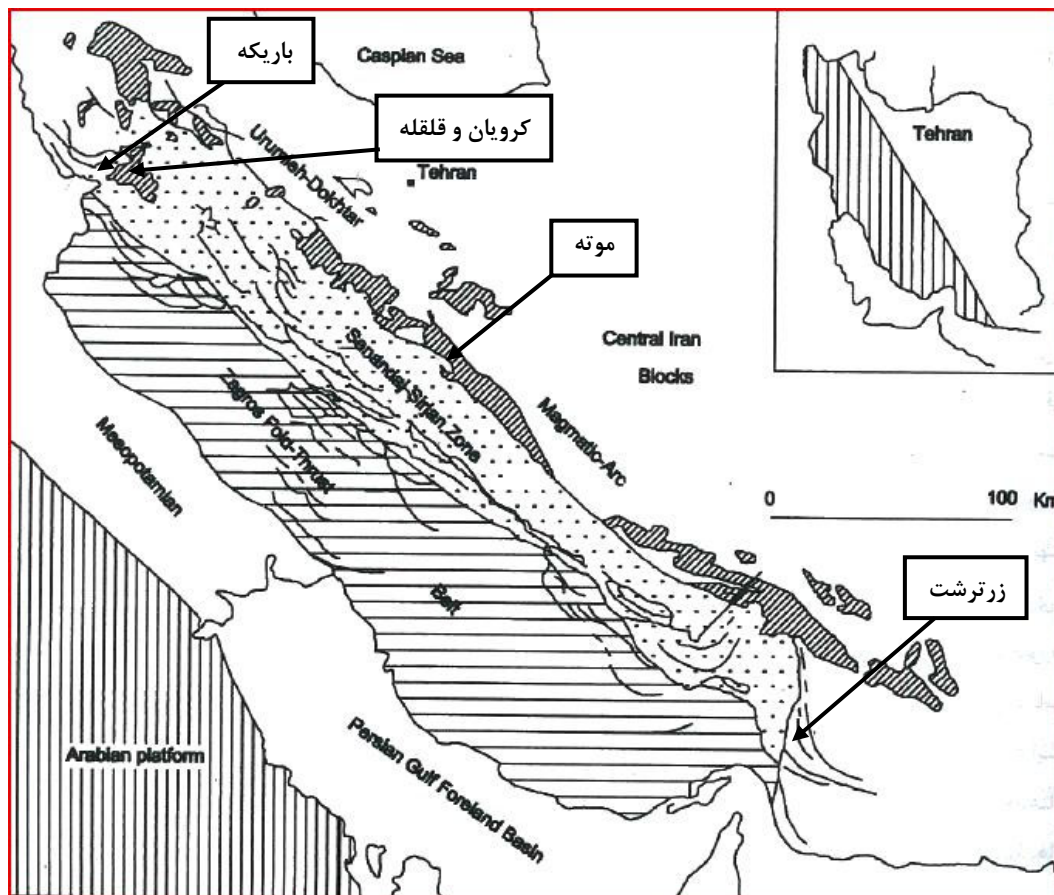
طلا در کمربندهای سنگ سبز آرکئن سهم بالایی در تولید جهانی طلا داشته و منعکس کننده اهمیت آنها است. فقط در ایالت سوپریور سپر کانادا، بیش از ۴۵۰۰ تن طلا از این تیپ تولید شده است و دیگر تولید کننده‌های بزرگ شامل غرب استرالیا (بیش از ۲۳۵۰ تن)، زیمباوه (بیش از ۲۲۰۰ تن)، برزیل (۱۸۹۰ تن) و هند (۸۵۰ تن) می‌باشد. کانسارهایی به سن فانروزوئیک نیز در آمریکای شمالی، آمریکای جنوبی، استرالیا، نیوزیلند، آسیا و اروپا شناخته شده است و سهم زیادی از تولیدات جهانی را به خود اختصاص داده‌اند [Foster, 1993].



شکل ۱-۵: توزیع شماتیک کانی‌سازی طلا در زمان‌های زمین‌شناسی. دو دوره کاملاً مستقل در شکل دیده می‌شود. [Foster, 1993].

۱-۶ کانسارها و اندیس‌های طلای موجود در منطقه

زون دگرسانی سنندج- سیرجان تشکیل شده از یک کمپلکس دگرگونی با شدت‌های مختلف و توده‌های نفوذی متعددی که این دگرگونی‌ها را همراهی می‌کنند. این محدوده به دلیل حضور کانی-سازی طلا و مجاورت آن با چندین محدوده دیگر دارای اهمیت ویژه‌ای است. در شکل (۱-۶) موقعیت چند کانسار طلای شناخته شده بر روی زون سنندج- سیرجان مشخص شده است، که اهمیت این زون را از نظر کانی‌سازی نشان می‌دهد. از جمله این کانسارها می‌توان موته، زرترشت، کرویان، باریکا و قلقله را نام برد.



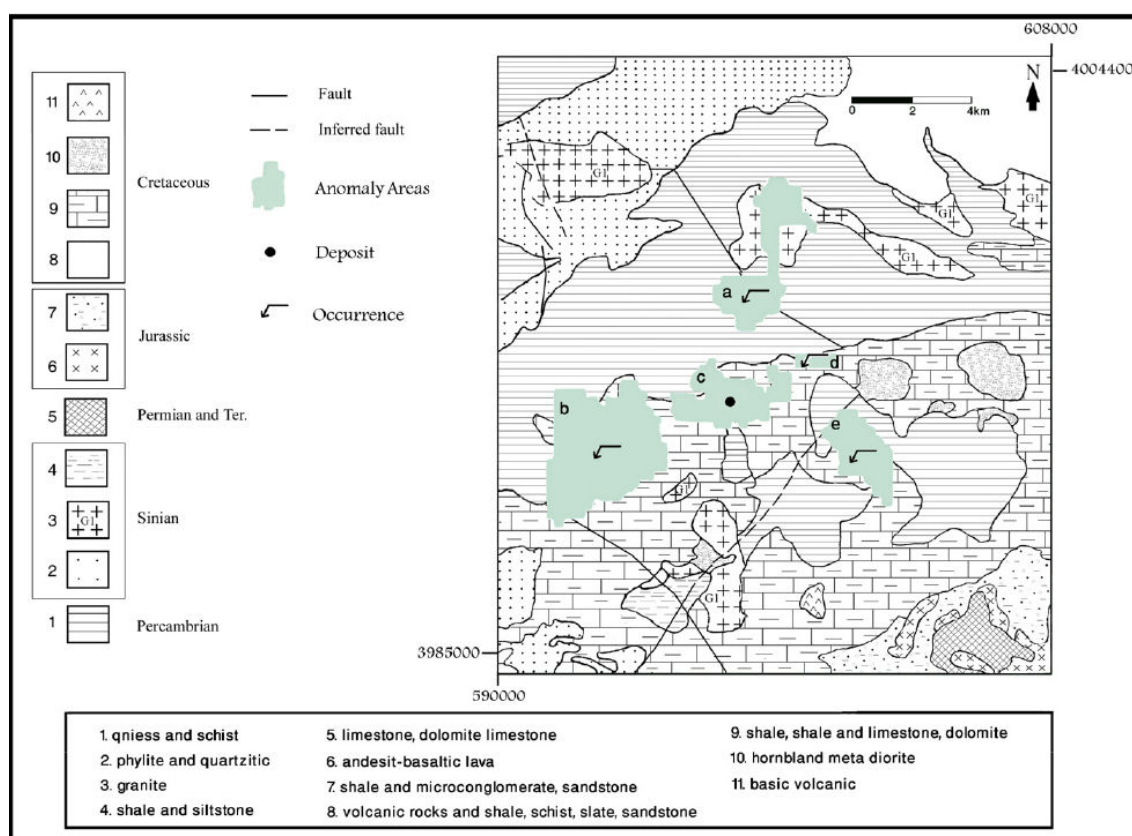
شکل ۱-۶: موقعیت برخی کانسارهای شناخته شده طلا در پهنه ساندج-سیرجان و موقعیت محدوده کرویان بر روی آن.

بررسی‌های ژئوشیمیایی در محدوده ورقه سقز وجود آنومالی‌های شایان توجه طلا را در زون-های برشی-گسلی در درون سنگ‌های دگرگونه پرکامبرین نشان داده است. با توجه به گسترش زیاد سنگ‌های دگرگونه یاد شده در بخش باختری و جنوب باختری ورقه، پی‌جویی طلا در زون‌های میلیونیتی واقع در این سنگ‌های دگرگونه توجیه پذیر است. از جمله کانسارهای موجود در منطقه عبارتند از:

- ۱- کرویان ۲- قلقله ۳- قبغلوچه ۴- حمزه قرنین ۵- کانی پری ۶- قره‌جر

در شکل (۱-۷) نقشه زمین‌شناسی خلاصه شده جنوب غرب سقز و موقعیت اندیس‌های طلا نشان داده شده است. موقعیت اندیس‌های کشف شده در منطقه بر روی نقشه آورده شده است. کانسار کرویان تقریباً در قسمت مرکزی منطقه مورد مطالعه قرار دارد، در شکل با علامت (c) نشان داده شده

است. اندیس‌های حمزه‌قرنین و قلقله با هم ادغام شده و یک اندیس معرفی شده است که با علامت (b) نشان داده شده است. بر روی اندیس (e) که در جنوب کانسار کرویان قرار گرفته، کارهای اکتشافی صورت نگرفته و به صورت قطعی بعنوان یک اندیس معرفی نگردیده است. دو اندیس قبغلوچه و قره‌جر، که به ترتیب با علامت (d) و (a) در شکل می‌باشند، از دیگر اندیس‌های موجود در این منطقه می‌باشند. هاله اندیس قبغلوچه کوچک بوده و هاله اندیس قره‌جر به طرف شمال گسترش پیدا کرده است [سیدرحیمی‌نیارقی، ۱۳۸۷؛ علی‌یاری، ۱۳۸۴].



شکل ۱-۷: نقشه زمین‌شناسی خلاصه شده منطقه به همراه کانسار و اندیس‌های طلا (a) اندیس قره‌جر، (b) اندیس حمزه‌قرنین و قلقله، (c) کانسار کرویان، (d) اندیس قبغلوچه، (e) کانی‌پری [Ghavami-Riabi et al., 2010].

۷-۱ مطالعات انجام شده قبلی در منطقه

علی‌رغم وجود پتانسیل‌های معدنی در استان کردستان به ویژه در منطقه سقز، متأسفانه به دلیل کمبود امکانات، دور بودن از مرکز و همچنین شرایط جنگ تحمیلی، مطالعات و بررسی‌های

علمی دقیقی بطور سیستماتیک به منظور شناسایی فلزات قیمتی تا قبل از سال ۱۳۷۳ در آن صورت نگرفته است و این منطقه تقریباً بکر و دست نخورده باقی مانده است و این خود کار زیادی را می-طلبد.

بخشی از مطالعات انجام شده در منطقه عبارتند:

تهیه نقشه ۱:۲۵۰۰۰۰ مهاباد، گزارش زمین شناسی، ساخت‌های آلتراسیون منطقه [توسط افتخار نژاد، ۱۳۵۲].

اکتشافات ژئوشیمیایی سیستماتیک ۱:۱۰۰۰۰۰ سقز، آلت، تیژتیز [توسط حسنی پاک، ۱۳۷۷، ابوالمعالی و همکاران، ۱۳۷۸].

طرح اکتشاف مواد معدنی با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای ژئوفیزیک هوایی، گزارش عملیات اکتشافی چکشی در ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰، انتشارات سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور [توسط برنا و بدخشان، ۱۳۷۶].

مطالعات دورسنجی مقدماتی در ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ سقز به منظور شناسایی واحدهای سنگی، دگرسانی و پتانسیل‌های معدنی با استفاده از سیستم‌های اطلاعاتی جغرافیایی (GIS) [توسط مهدی-زاده، ۱۳۷۷؛ دانشفر و همکاران، ۱۳۷۷].

پی‌جویی و اکتشافات طلا و آهن در اسکارن شمال صاحب واقع در شمال سقز توسط منوچهر سهیلی و فریبرز بنی‌آدم (۱۳۸۰) که به درخواست سازمان صنایع و معدن استان کردستان صورت گرفته است.

نقشه زمین‌شناسی سقز، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور [حریری، ۱۳۸۲].

کانی‌شناسی، ژئوشیمی و فابریک کانه‌زائی طلا در پهنه‌برشی خمیری منطقه کرویان [توسط

مهران حیدری، ۱۳۸۳]

دگرشکلی و دگرسانی و نقش آن در کانه‌زائی طلا در پهنه‌برشی قلقله [توسط فرهنگ علی- یاری، ۱۳۸۴].

تفکیک آنومالی‌های ژئوشیمیایی با استفاده از روش‌های فرکتال و آمار فضایی U و مقایسه نتایج آن با روش مدل‌سازی نمودارهای احتمال- منطقه سقز که بر طبق نتایجی بدست حاصله از آن روش- های آماره فضایی U و فرکتال قابلیت جدایش و شناسایی محدوده‌های بااهمیت را تا ۷۵ درصد نشان داده. اما روش مدل‌سازی نمودار احتمال این قدرت و قابلیت تفکیک را به حدود ۹۰٪ رسانده است. [توسط میرمهدی سیدرحیمی نیارقی، ۱۳۸۷].

۸-۱ تاریخچه اکتشافات طلای کرویان

رخداد طلای کرویان برای نخستین بار در سال ۱۳۷۶-۱۳۷۵ سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور در پی نتایج حاصل از مطالعات ژئوشیمیایی ۱:۱۰۰۰۰۰ بویژه بر اساس نتایج نمونه‌های کانی سنگین، محدوده‌ای به وسعت ۲۰۰ کیلومتر مربع را به عنوان محدوده‌های آنومالی طلا مشخص و کانسار طلای کرویان را معرفی کرد. در سال‌های ۷۸-۱۳۷۷ با ادامه مطالعات اکتشافی در مقیاس ۱:۲۰۰۰۰ زمین‌شناسی و ژئوشیمیایی و برداشت حدود ۱۱۰۰ نمونه رسوبات آبراهه‌ای و کانی‌سنگین منطقه مورد مطالعه، تحت پوشش اکتشافات تکمیلی قرار گرفت که منجر به معرفی ۳ محدوده آنومالی امید بخش طلا با عیار ۵ تا ۲۰ میلی‌گرم بر تن و آنومالی‌هایی با حداکثر مقدار ۸۰۰ میلی‌گرم بر تن شد. مطالعات لیتوژئوشیمیایی در آنومالی شماره یک به همراه مطالعات زمین‌شناسی- معدنی در مقیاس ۱:۵۰۰۰ طی سال ۱۳۸۰ ضمن برداشت ۱۱۰۰ نمونه با یک شبکه ۱۰۰m × ۱۰۰m در مساحتی به وسعت ۱۰/۵ کیلومتر مربع منجر به شناسایی زون میلونیتی طلادار بین روستاهای قلقله تا شمال‌خاور کرویان شد. از نتایج مطالعات اکتشافی در این منطقه در سال ۱۳۸۱ به تهیه نقشه زمین‌شناسی- معدنی ۱:۱۰۰۰، حفر ترانشه‌های فاز شناسایی و به دنبال آن ترانشه‌های

تکمیلی در مقیاس ۱:۱۰۰۰ (بیش از ۲۵۰۰ متر زون ترانشه)، حفر گمانه (۶۵۰ متر در چهار حلقه) و نمونه برداری (به تعداد بیش از ۲۰۰۰ نمونه)، آزمایشات نیمه صنعتی و فراوری طلا به روش سیانید لیچینگ برای ۱۰ تن ماده معدنی و استحصال اولیه ۲۶ گرم طلا با بازیابی ۷۵٪ می توان اشاره نمود (شکل ۱-۸) [زرین فر و همکاران، ۱۳۸۲] [مقصودی، ۱۳۸۴] [حیدری، ۱۳۸۳].

با استفاده از مشخصات زون کانی سازی در منطقه کرویان و نتایج مطالعات لیتوژئوشیمیایی در منطقه قلقله، با طراحی، اقدام به حفر و نمونه برداری از ۲ ترانشه در فاز شناسایی به حد فاصل ۴۰۰ متر (فاصله دو ترانشه) محدوده برداری با ضخامت حدود ۴۵ متر با عیار متوسط بیش از دو گرم در تن کشف شد. ضخامت هایی از این زون کانی سازی به پهنای ۱۲ متر با متوسط عیار ۳/۵ گرم در تن و گسترش بیش از ۴۰۰ متر افق های روشنی را برای ادامه مطالعات در این منطقه به وجود آورده است. همچنین آنومالی قبغلوچه که در مطالعات ۱:۲۰۰۰۰۰ نتایج خوبی را در بر داشته، در برنامه آتی عملیات اکتشافی قرار گرفته است. گسترش زون کانی سازی در منطقه، بعد از شناسایی اولیه آن در منطقه کرویان و قلقله، باعث شد تا کل منطقه بازنگری شود. بر این اساس زون میلونیتی آلتزه شده دارای گسترش حدود ۱۵ کیلومتر با ضخامت متوسط ۱۲۰ متر از روستای قبغلوچه تا روستای کسنزان ادامه دارد [زرین فر و همکاران، ۱۳۸۲].

ذخیره کانسار تا شهریور ۱۳۸۲ حدود ۱۷ تن گزارش شده است. در این مرحله میانگین ضخامت رگه حدود ۲۰/۷ متر در نظر گرفته شده است که ۸ متر آن دارای عیار متوسط بیش از ۱۰ گرم در تن و ۱۳ متر آن دارای عیار متوسط ۳ گرم در تن می باشد [قربانی، ۱۳۸۷].

در حال حاضر در منطقه مورد مطالعه یک کارگاه استخراج با دیواره ای به ضخامت ۸ متر ایجاد شده که متوسط عیار طلای آن بیش از ۳ گرم در تن است که می تواند خوراک اولیه برای آزمایش های نیمه صنعتی فراهم کند.



شکل ۱-۸: طلای حاصل از استحصال ماده معدنی کانسار کرویان

۹-۱ خلاصه و ضرورت انجام پایان نامه

با توجه به اینکه آنومالی‌های یافت شده از عناصر در یک منطقه نمی‌تواند دال بر وجود ماده معدنی در آن منطقه باشد و همچنین در یک آنومالی کشف شده موقعیت کانی‌سازی اهمیت خاصی دارد، لذا تجزیه و تحلیل توزیع منطقه‌ای و پراکندگی عناصر که راهنمای مفیدی در تعیین جهت و مرکز فعالیت‌های کانی‌سازی و معیاری برای ارزیابی کمی تعیین این محدوده‌ها است، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. از آنجا که در میان مواد معدنی متعدد، طلا از هاله‌های کوچکتری برخوردار می‌باشد و مطالعه آن نیز مشکل‌تر است، با توجه به اینکه اکتشاف طلا جزء پروژه‌های فعال در کشور می‌باشد، لذا در این راستا از اطلاعات موجود در خصوص یکی از ذخایر طلای کشور (تیپ پهنه‌برشی) که مطالعات و حفریات اکتشافی بر روی آن انجام پذیرفته، در این پایان‌نامه کمک گرفته شده و اختصاصات لیتوژئوشیمیایی آن را مورد تحقیق و بررسی قرار داده‌ایم.

۱۰-۱ طرح مسئله و هدف از انجام تحقیق

طلای تیپ پهنه‌های برشی، از جمله تیپ‌های کانی‌زایی است که اخیراً در جهان مطالعات فراوانی را به خود اختصاص داده است. تعداد زیادی از کنسارهای جهان با این تیپ کانی‌زایی همخوانی داشته و سهم قابل توجهی از تولیدات جهانی نیز به آن اختصاص دارد.

در ایران تا قبل از سال ۱۳۷۵ این نوع کانه‌زایی طلا شناسایی نشده و حداقل گزارشی از آن ارائه نگردیده است، اولین مطالعات و یا به عبارتی طرح موضوع در این رابطه پس از انجام اکتشافات ژئوشیمیایی سیستماتیک در ورقه‌های ۱:۱۰۰۰۰۰ سقز در غرب کردستان آغاز گردیده است.

کانی‌سازی طلای کرویان واقع در جنوب غربی شهرستان سقز در استان کردستان ماحصل اجرای مطالعات سیستماتیک لیتوژئوشیمیایی ثانویه است. این محدوده که اولین بار براساس نتایج نمونه‌های کانی سنگین در اکتشافات ژئوشیمیایی ناحیه‌ای مورد توجه قرار گرفت، و با انجام مطالعات اکتشافی در مقیاس ۱:۲۰۰۰۰ زمین‌شناسی و ژئوشیمیایی در سال‌های ۷۸-۱۳۷۷ تحت پوشش اکتشافات تکمیلی قرار گرفت که منجر به معرفی ۳ محدوده آنومالی امید بخش طلا گردید. و در نهایت مطالعات لیتوژئوشیمیایی در آنومالی شماره یک به‌مراه مطالعات زمین‌شناسی معدنی طی سال ۱۳۸۰ منجر به شناسایی زون میلونیتی طلا دار بین روستاهای قلقله تا کرویان شد.

منطقه معدنی کرویان اولین ناحیه‌ای است که از نظر کانه‌زایی طلای نوع پهنه‌برشی معرفی شده است. لذا نتایج بدست از مطالعه آن می‌تواند بعنوان یک الگو در اکتشاف رخداد‌های مشابه در پهنه‌های برشی واقع در زون سنندج- سیرجان و حتی در سایر زون‌های ساختاری مورد استفاده قرار گیرد.

در این پایان‌نامه سعی شده بر اساس داده‌های لیتوژئوشیمیایی موجود در منطقه و با تجزیه و تحلیل تغییرات جرم بر روی نمونه‌ها یکسری معیار و الگوی ژئوشیمیایی پراکندگی عناصر بدست آورده شود. تا بر اساس این آنها معیارها و الگوهایی به منظور بررسی نزدیک شدن و دور شدن به

کانسار پرداخته شود. همچنین بر اساس منطقه‌بندی عناصر در افق‌های مختلف کانی‌سازی سعی شده است تا دیدی از سطح فرسایش کانسار بدست آورده شود..

۱-۱۱ سازماندهی پایان‌نامه

پایان‌نامه مشتمل بر پنج فصل می‌باشد که بجز این فصل که در مورد موقعیت جغرافیایی، آب و هوا و خصوصیات کانسارهای پهنه برشی است، بقیه فصل‌ها به صورت زیر تنظیم شده است:

در فصل دوم به زمین‌شناسی و چینه‌شناسی منطقه مورد بررسی قرار گرفته است. در فصل سوم به اصول و مبانی محاسبه تغییر جرم مورد بررسی قرار گرفته است و محاسبات مربوطه برای محیط‌های سنگی منطقه مورد مطالعه انجام شده است. در فصل چهارم بر اساس توزیع فضایی عناصر به بررسی ارزیابی سطح از فرسایش کانسار پرداخته شده است. در فصل پنجم نتیجه‌گیری و پیشنهادات بدست آمده بر اساس این تحقیق آورده شده است.

فصل دوم

زمین شناسی و چینه شناسی

منطقه مورد مطالعه

۲-۱ مقدمه

از آنجایی که در این منطقه تکتونیک بشدت فعال بوده، روابط اولیه چینه‌شناسی در اثر عملکرد آن بهم خورده است. بطور کلی می‌توان نهشته‌های برون‌زده در آن منطقه را بدو قسمت عمده رسوبی و آذرین تقسیم بندی کرد که همه در حد رخساره شیست سبز دگرگون شده‌اند. در این فصل به بررسی زمین‌شناسی منطقه همچنین فرآیندهای دگرسانی که بر روی سنگ‌ها اتفاق افتاده، پرداخته شده است. نهایتاً روش برداشت نمونه‌های ژئوشیمیایی در منطقه مورد مطالعه، روش آنالیز و عناصر مورد مطالعه در این تحقیق معرفی شده است.

۲-۲ زمین‌شناسی و چینه‌شناسی

۲-۲-۱ زمین‌شناسی ناحیه‌ای

مختصری از زمین‌شناسی و چینه‌شناسی عمومی منطقه سقز:

منطقه سقز در بخش غربی پهنه ماگمایی- دگرگونی سنندج - سیرجان که با روند شمال غربی-جنوب شرقی دارای ۲۰۰۰ کیلومتر درازا و ۱۵۰ تا ۲۰۰ کیلومتر پهنا است قرار گرفته، که محل تلاقی این زون با زون‌های ساختاری خوی-مهاباد و البرز-آذربایجان واقع شده است واقع گردیده است. [باباخانی و همکاران، ۱۳۸۲].

بر اثر عملکرد نیروهای تکتونیکی ساختار کلی آن به صورت دگرشکلی‌های شکل‌پذیر (چین‌ها) و شکننده (درزه‌ها و گسل‌ها) شکل گرفته است. قدیمی‌ترین سنگ‌های منطقه رخساره‌های دگرگونی با سن پرکامبرین می‌باشند، که شامل: فیلیت‌ها و گنیس به‌همراه سنگ‌های ولکانیکی اسیدی می‌باشد. بیشتر این واحدهای سنگی در منتهی الیه جنوبی ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ زمین‌شناسی سقز رخنمون دارند. واحدهای مذکور توسط توده‌های نفوذی گرانیتی قطع گردیده است. سنگ‌های کربناتی، شیل‌ها، آندزیت‌های سبز و توف‌های با سن ژوراسیک و کرتاسه عمدتاً تحت تأثیر توده‌های نفوذی قرار گرفته‌اند. فازهای نهایی فعالیت‌های ماگمایی گرانیتی در بعضی از مناطق کانی‌سازی هیدروترمال درجه حرارت پایین (اپی ترمال) و در برخی مورد تیپ‌های اسکارنی را بوجود آورده است [باباخانی و همکاران، ۱۳۸۲].

از نهشته‌های دوره‌های سیلورین، دونین و کربونیفر اثرات کمتری در این منطقه دیده می‌شود. بخش عمده سنگ‌های دگرگونی منطقه متعلق به کرتاسه‌اند و دگرگونی هم‌ارز آن فاز لارامید بوده که به لحاظ لیتولوژیکی عمدتاً شامل هورن‌فلس‌ها، آندالوزیت شیست و مرمر می‌باشند. در منطقه رخنمون زیادی از سنگ‌های آتشفشانی ائوسن و نهشته‌های آذرآواری وابسته در منطقه موجود نمی‌باشد. این در حالی است که نهشته‌های کربناته الیگوسن - میوسن حضوری چشمگیر دارند [باباخانی و همکاران، ۱۳۸۲، نقشه زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ سقز].

از جمله واحدهای مهم در منطقه (بر اساس نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰) می‌توان به واحدهای زیر اشاره کرد:

۱- مجموعه آتشفشانی-رسوبی کرتاسه:

سنگ درونگیر کانسارهای طلا در منطقه سقز - سردشت سنگ‌های آتشفشانی-رسوبی کرتاسه می‌باشد، که در ادامه به تشریح این واحدهای سنگی در مقیاس محلی پرداخته شده است.

بر خلاف تریاس و ژوراسیک که گسترش محدودی در منطقه سقز دارند، بیشترین رخنمون واحدهای موجود به کرتاسه تعلق دارد. نهشته‌های کرتاسه اغلب شامل رخساره آواری و آتشفشانی از

توالی ضخیم و پیوسته آهک و دولومیت، ولکانیک‌های آندزیتی سبز و توف می‌باشد. در بخش جنوب و جنوب خاور منطقه کانه‌زایی این نهشته‌ها با روند خاوری-باختری و در بخش شمال و شمال باختری دارای روند شمال و شمال باختری-جنوب جنوب خاوری می‌باشند.

ترادف ضخیمی از شیل‌های سیلتی و آهکی خاکستری رنگ، تناوب شیل و آهک، لایه‌های ضخیم آهک و آهک دولومیتی خاکستری رنگ بخش‌های رسوبی این مجموعه را تشکیل می‌دهند. نتیجه دگرگونی این واحدها در بخش جنوب باختری منطقه کانه‌زایی تشکیل افق‌های مرمر بوده است.

۲- توده‌ها و دایک‌های نفوذی منطقه (متعلق به پرکامبرین تا ترشیری):

در محدوده ورقه سقز یک سری توده‌های نفوذی با ترکیب گرانیت، گرانودیوریت، مونزونیت، دیوریت و گابرو رخمون دارند که دارای تغییرات زمانی پرکامبرین تا ترشیری بوده و واحدهای مختلف سنگی پرکامبرین تا کرتاسه را قطع نموده‌اند. بخش‌های گرانیتی این توده‌ها به صورت واحد نشان داده شده است. بخش‌های متوسط-بازیک نیز بصورت توده‌های دیوریتی مشخص شده‌اند. این توده‌های نفوذی به ترتیب از قدیم به جدید به صورت زیر می‌باشد.

توده‌های نفوذی و استوک‌های گرانیتی-گرانیت گنایسی که سنگ‌های دگرگونه پرکامبرین را در مناطق بویکتان، پیرعمران و سیاه‌دره قطع می‌نمایند (احتمالاً معادل گرانیت دوران می‌باشند)، در بخش‌های حاشیه‌ای دارای جهت یافتگی، حالت گنایسی (میلونیتی) بوده که به لحاظ کانی‌شناسی عمدتاً شامل کوارتز و فلدسپات می‌باشند و رگه‌های سیلیسی و دایک‌های دیابازی متعددی آنها را قطع می‌نمایند [باباخانی و همکاران، ۱۳۸۲].

توده بزرگ گرانیتی به صورت نواری با امتداد شمال خاوری-جنوب باختری واقع در جنوب منطقه سقز که سنگ‌های رسوبی و آتشفشانی کرتاسه زیرین را در یال شمالی و سنگ‌های دگرگونه پرکامبرین را در یال جنوبی خود قطع کرده است. این توده نفوذی تحت عنوان توده گرانیتی حسن سالاری نامیده می‌شود [حریری، ۱۳۸۲].

۲-۲-۲- سنگ‌شناسی، کانی‌شناسی و دگرسانی طلای کرویان

تمرکز کانه‌زایی طلا در منطقه کرویان در پهنه‌برشی به طول بیش از ۲/۵ کیلومتر و پهنای ۶۰ متری و با ژئومتری عدسی شکل در راستای پهنه‌برشی واقع شده است. بر اساس اطلاعات حاصل از نقشه ۱:۵۰۰۰ منطقه کرویان (شکل ۲-۱) توالی چینه‌ای منطقه با امتداد شمال‌شرق- جنوب‌غرب شامل مجموعه‌ای از سنگ‌های رسوبی، آذرین، دگرگون و دگرشکل شده می‌باشد [سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی].

۲-۲-۲-۱ واحدهای منطقه کرویان

واحدهای رخنمون یافته در منطقه بر اساس نقشه زمین‌شناسی ۱:۵۰۰۰ شامل:

- ۱- واحدهای رسوبی- دگرگونی: فیلیت‌ها، آهک‌های بلورین (رسوبات پلیتیک و آهک دگرگون شده)، دولومیت‌های آهن‌دار، رسوبات تراورتنی، کوارتزیت
- ۲- واحدهای آتشفشانی- دگرگونی: متاولکانیک‌های فلسیک و متاولکانیک‌های بازیک
- ۳- توده‌های نفوذی گرانیتی که زمان تشکیل آنها را به مزوزوئیک و بخصوص کرتاسه نسبت می‌دهند.

حال در زیر به شرح مختصری از واحدهای ذکر شده در بالا می‌پردازیم. اما نکته‌ای که ذکر آن ضروری است این که توالی لایه‌های که در مجموعه دگرگون و دگرشکل شده در منطقه دیده می‌شود بعلت دگرگونی و دگرشکلی شدید بهم ریخته و یک توالی عادی رسوبی نمی‌باشد. بنابراین آنچه ظاهراً به صورت لایه‌بندی غالب در این سنگ‌ها دیده می‌شود لایه بندی واقعی نمی‌باشد.

۱- واحدهای رسوبی- دگرگونی (از جدید به قدیم):

- فیلیت‌ها با میان لایه‌های آهک دگرگون شده.

این واحد بیشترین رخنمون سنگی را در منطقه به خود اختصاص می‌دهد و روستای کرویان بر روی آنها قرار گرفته است. واحد مذکور شامل تناوب فیلیت و میان لایه‌های آهکی بلورین است.

کانی‌های تشکیل دهنده آن عموماً شامل کوارتز، فلدسپات و میکا می‌باشد و بدلیل حضور میکای فراوان ظاهری متورق و جلای براق به خود گرفته است. به دلیل حضور فراوان کانی‌های غنی از آلومین پروتولیت (سنگ مادر اولیه) این سنگ‌ها را می‌توان به رسوبات پلیتیک نسبت داد که تحت تاثیر دگرگونی در حد رخساره شیست سبز به فیلیت تبدیل شده‌اند.

- متادولومیت‌های آهن‌دار

واحد دولومیت آهن‌دار با طول بیش از ۲/۵ کیلومتر که به صورت لایه‌های بشدت چین خورده بصورت بریده بریده در شمال روستای کرویان گسترش یافته است. این واحد با ضخامت‌های از حدود متر (بخش شرقی) تا چند متر (بخش غربی) به شکل عدسی مانند در داخل متاولکانیک‌های بازیک و فلسیک گسترش یافته است. این واحد با رنگ قهوه‌ای، داشتن برگوارگی و بخش‌های سیاه‌رنگ آهن مشخص می‌گردد.

چین خوردگی واحد دولومیت آهن‌دار باعث شده که ضخامت آن در طول رخنمون تغییر یابد به طوری که در بخش‌های چین خورده ضخامت آن به چند متر می‌رسد ولی در بخش‌های چین نخورده (ضخامت واقعی) کمتر از یک متر می‌باشد.

در متادولومیت‌های آهن‌دار بخش‌های سیلیسی دیده می‌شود که با توجه به روند قرارگیری آنها، می‌توان آنها را به دو گروه تقسیم نمود.

گروه اول: شامل سیلیس‌هایی است که هم‌روند با برگوارگی است که چین دگرگونی حاصل شده و تحت تاثیر دگرشکلی خمیری جهت یافتگی و چین خوردگی حاصل نموده‌اند.

گروه دوم: سیلیس‌های کاملاً بلورین و سفید رنگ با ژئومتری رگه‌ای که برگوارگی را قطع نموده‌اند. بر اساس مشاهدات صحرائی شرایط تشکیل این واحد در ارتباط با شرایط رسوب‌گذاری اولیه است و همراه با ولکانیک‌های بازیک تحت تاثیر رژیم رسوبگذاری در محیط رسوبی ته نشست نموده‌اند و پس از آن تحت تاثیر دگرگونی و دگرشکلی قرار گرفته‌اند.

- کوارتزیت‌ها

این واحد نیز با ضخامت حداکثر ۸ متر و با ژئومتری عدسی شکل و کشیده شامل کانی‌های کوارتز (تقریباً بیش از ۹۵٪ کانی‌های تشکیل دهنده)، کانی‌های میکائی (موسکویت، سرسیت و بندرت کلریت) و به میزان بسیار ناچیز سولفیدها در داخل متاولکانیک‌های بازیک و بخش بالایی آن قرار گرفته و از روند عمومی واحدهای منطقه پیروی می‌کند. تشکیل این واحد را می‌توان به تغییر رژیم رسوب‌گذاری در حوضه رسوب‌گذاری اولیه مربوط دانست. دانه‌های هم اندازه کوارتز در باندهای متفاوت تجمع نموده‌اند این واحد چون تقریباً هموزن می‌باشد دگرشکلی یکنواختی را با تبلور مجدد و جهت یافتگی از خود نشان می‌دهد.

۲- واحدهای آتشفشانی- دگرگون:

- متاولکانیک‌های فلسیک

این واحدها غالباً از بلورهای کوارتز، فلدسپات، پتاسیم، آلبیت، مسکویت و کلریت تشکیل شده است که تحت تاثیر عوامل دگرگونی و دگرشکلی تبلور مجدد و جهت یافتگی حاصل شده‌اند. واحد مذکور در شمال روستای کرویان با امتداد شمال شرق-جنوب غرب (N60-E70) و شیب عمومی ۴۰-۶۰ به سمت شمال غرب همروند با واحدهای سنگی دیگر منطقه از گسترش قابل توجهی برخوردار می‌باشد.

- متاولکانیک‌های بازیک

این واحد شامل پلاژیوکلازهای کلسیک، کانی‌های میکایی، کوارتزها می‌باشد. ترکیب اولیه آن بر اساس نوع کانی‌های موجود حد واسط تا بازیک در نظر می‌گیرند که در درجه رخساره شیبست سبز دگرگون شده ولی به دلیل هم ریختی شدید بروی آن اندکی از بافت‌های سنگ اولیه باقی نمانده است. کانی‌های تیره آن بطور کامل به کلریت تبدیل (دگرسان شده) گردیده است. از مجموع کانی‌های شاخص این واحد می‌توان به کلریت \pm کوارتز + البیت + اپیدوت و بعضاً اسفن اشاره داشت. به لحاظ سنگ‌شناسی در دسته کلریت- شیبست‌ها قرار می‌گیرد. ، فابریک این سنگ‌ها میلونیتی می‌باشد.

این واحد در منطقه مورد مطالعه گسترش قابل توجهی داشته و از روند عمومی واحدهای سنگی منطقه پیروی می‌کند. مورفولوژی خشن و رنگ سبز تیره آن بر روی زمین آنرا از دیگر واحد متمایز می‌کند. در این واحد میان لایه‌های از دولومیت‌های آهن‌دار و ماسه سنگ‌های دگرگونی و دگرشکلی شده نیز دیده می‌شود.

۳- توده‌های نفوذی:

توده‌های نفوذی گرانیتوئیدی، بخش دیگری از سنگ‌ها منطقه کرویان را به خود اختصاص داده است. توده‌های نفوذی منطقه مورد مطالعه را بر اساس نقشه زمین‌شناسی معدنی ۱:۵۰۰۰ منطقه با دو نوع می‌توان تقسیم کرد. که عبارتند.

الف) گرانیت میلونیتی

کانی‌های اصلی تشکیل دهنده این واحد اغلب شامل کوارتز، فلدسپار آلکالن و پلاژیوکلازهای آلبیت تا الیگوکلاز، بیوتیت و بندرت تورمالین می‌باشد که جهت یافتگی کوارتزها و فلدسپات‌ها مشهود است. نفوذ این توده را می‌توان در پهنه‌های برشی خمیری همزمان با فرایند تکتونیک منطقه و بر اساس سن توده‌های مشابه که از مطالعه گرانیت‌های ناحیه حاصل شده است (در جنوب شرق سقر) به کرتاسه فوقانی - پالئوسن نسبت داده‌اند [علی‌یاری، ۱۳۸۴].

این واحد گرانیتی در شمال روستای کرویان با روند گسترش شمال شرق - جنوب غرب و هم با دیگر واحدهای رخنمون یافته در منطقه می‌باشد. فابریک میلونیتی این گرانیت در آثار حرارتی بصورت دگرگونی مجاورتی و تشکیل هاله دگرگونی در اطراف آن دیده نمی‌شود.

ب) گرانیت تورمالین‌دار

کانی‌های اصلی گرانیت تورمالین‌دار شامل فلدسپات‌های آلکالن (اغلب ارتوز)، کوارتز، پلاژیوکلازهای سدیم‌دار بیوتیت و تورمالین می‌باشد. در نمونه دستی رنگ آن صورتی (بدلیل حضور ارتوز) و حاوی کانی‌های تیره از جمله بیوتیت‌های سبز و تورمالین می‌باشد. این گرانیت‌ها در منطقه مورد مطالعه دارای گسترش محدودی می‌باشد دارای بافت دانه درشت می‌باشد.

مشاهدات صحرائی و میکروسکوپی نشان دهنده آن است که به لحاظ فابریک‌های دگرشکلی این گرانیت کاملاً متفاوت از گرانیت میلونیتی بوده و نفوذ آن به مراحل پایانی عملکرد فازهای دگرشکلی و پس از آن مربوط گردیده که همراه با بالا آمدگی در منطقه در سنگ‌های متاولکانیکی نفوذ نموده است.

۴- تراورتن:

تراورتن‌ها جوان‌ترین نهشته‌های رخنمون یافته در منطقه را تشکیل می‌دهند که در ۲ کیلومتری شمال غرب روستای کرویان بر روی واحد متاولکانیک‌های بازیگ بصورت بسیار محدود و کم وسعت نمود یافته است. نتایج آنالیزها و اندازه‌گیری‌های طلای صورت گرفته بر روی نمونه‌های این واحد سنگی جواب‌هایی را در حد زمینه نشان می‌دهد.

بررسی‌های صورت گرفته در منطقه حاکی از آن است که واحدهای سنگی منطقه ابتدا تحت تاثیر دگرگونی ناحیه‌ای پیشرونده در حد رخساره شیبست سبز بالای قرار گرفته‌اند به طوری که کانی‌های بیوتیت و هورنبلند در این شرایط به تعادل رسیده و سپس تحت تاثیر عملکرد پهنه‌های برشی و دگرسانی‌های وابسته به آن، کانی‌های بیوتیت و هورنبلند (کانی‌های آهن‌دار) به کلریت، سرسیت و موسکویت دگرسان شده‌اند و پاراژنز کانی‌های دگرگونی از رخساره شیبست سبز بالای به رخساره شیبست سبز متوسط و پایین تنزل نشان داده و یک نوع دگرگونی قهقرایی در واحدهای سنگی دگرشکل یافته منطقه ایجاد کرده است [حیدری، ۱۳۸۳].

از جمله مهمترین دگرسانی‌های موجود در واحدهای سنگی مختلف می‌توان به دگرسانی‌های سرسیتی، کلریتی، سیلیسی، سولفیدی و کربناتی اشاره نمود. تمام واحدها گسترش یافته در منطقه تقریباً دارای دگرسانی‌های کلریتی و سرسیتی می‌باشند ولی در بخش‌های داخلی زون دگرسانی که در ارتباط با زون‌های کانه‌دار می‌باشند بیشتر دگرسانی‌های سیلیسی، سولفیدی و کربناتی گسترش را دارند. نتایج آنالیز نمونه‌های ترانشه‌های عمود بر روند پهنه دگرسانی حاکی از ارتباط نزدیک عیارهای بالای طلا با واحدهای میلونیتی - اولترامیلونیتی دارد [حیدری، ۱۳۸۳].

در جدول (۱-۲) خلاصه‌ای از انواع دگرسانی‌ها موجود در طلای پهنه‌برشی کرویان ذکر شده است.

جدول ۱-۲: انواع دگرسانی‌های موجود در طلای پهنه‌برشی کرویان [حیدری و همکاران، ۱۳۸۳].

نوع دگرسانی	اثر دگرگونی	اثر دگرسانی	محصولات
کلریتی شدن	حاصل دگرگونی ناحیه‌ای در رخساره شیست سبز بالایی (تمامی واحدهای سنگی)	کانی‌های سیلیکاته مافیک همچون بیوتیت به کلریت و اکسید آهن (حضور کانی‌های آغشته به آهن به صورت کشیده در جهت فیبرهای کانی-های مافیک و بیوتیت) تبدیل می‌شوند.	کلریت، کلسیت و اپیدوت
سرسیتی شدن		پلاژیوکلازها، فلدسپات‌های آلکان، بیوتیت و مسکویت‌های اولیه	آلبیت، پیریت، سرسیت یا ریز مسکویت و کوارتز رنگ روشن تا خاکستری روشن (آلومینیومی) سنگ و جلای براقی در سطح
کربناتی شدن		در ارتباط با کانی‌های مافیک دگرسان شده، به ویژه واحد آتشفشانی دگرگون شده بازی می‌باشد (واحدهای میلونیتی بازی)	انکریت، کلسیت و دولومیت به همراه سیلیس‌های بی‌شکل ریز (در طی آخرین مراحل دگرسانی هیدروترمالی و در بخش داخلی زون دگرسانی)
سیلیسی شدن			محصول اصلی دگرسانی سیلیسی را کوارتز (در بخش داخلی پهنه‌برشی دگرسانی سیلیسی و کوارتز نیز بیشترین است)
پیریتی شدن		با دگرسانی فلدسپات‌ها	پیریت و به ندرت کالکوپیریت، آرسنوپیریت (بیشترین گسترش در زون‌های داخلی پهنه-برشی و بین ۲ تا ۳٪ از حجم سنگ)، پیریت از حاشیه به اکسید آهن تبدیل می‌شود

فابریک میلونیتی مجموع واحدهای سنگی منطقه، تحت تاثیر پهنه‌های برشی خمیری توالی و

نظام اولیه خود را در طی فعالیت‌های شدید تکتونیکی از دست داده و واحدهای لیتولوژی مختلف با ساختارها و فابریک‌های متفاوت از آن حاصل شده‌اند.

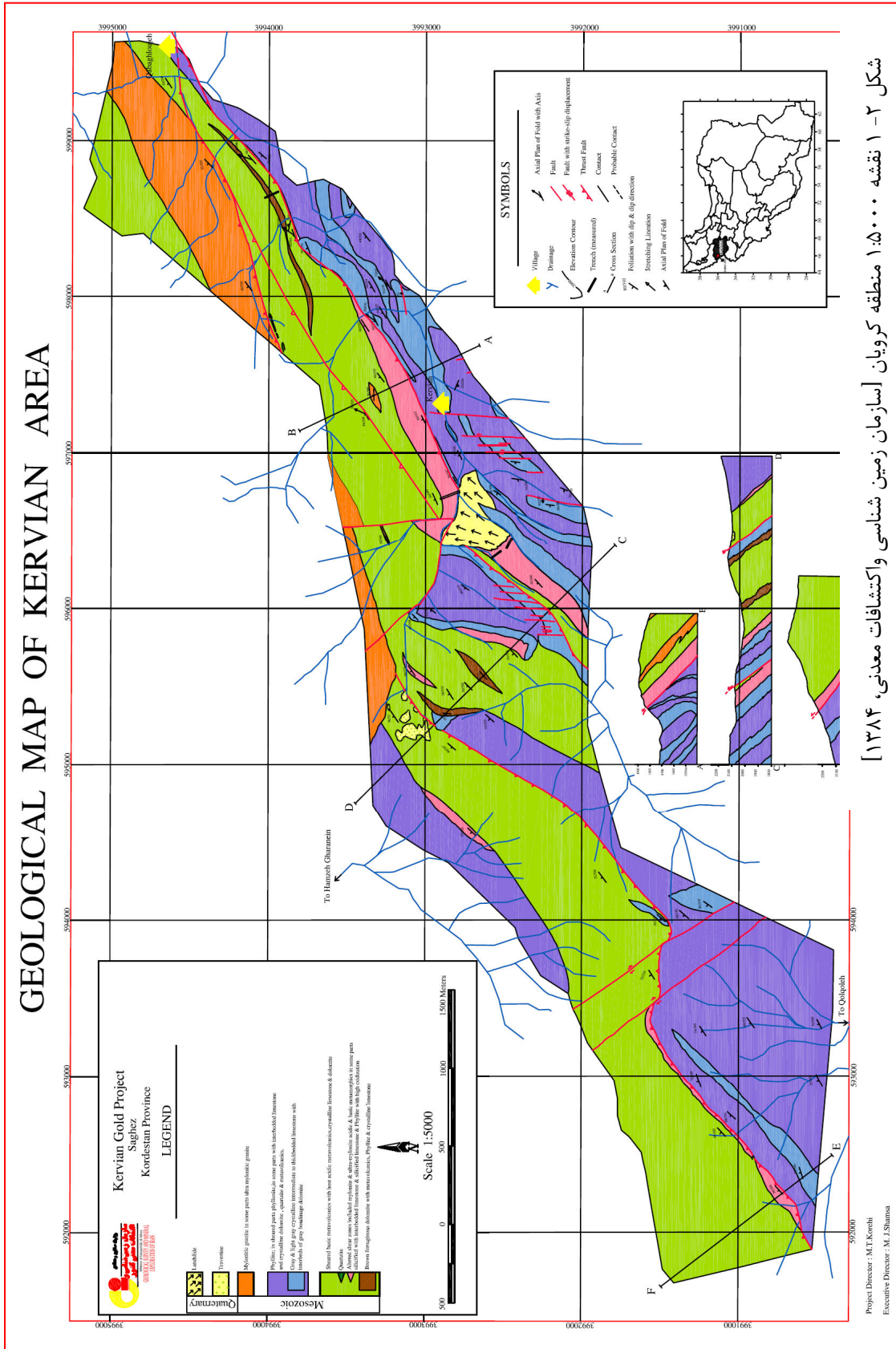
لیتولوژی واحدها بر روی ساختارها و فابریک‌های بوجود آمده در سنگ‌ها موثر می‌باشد لذا

شدت دگرشکلی در تمامی واحدهای سنگی رخنمون یافته در منطقه یکسان نمی‌باشد. شدت

دگرشکلی از واحدهای کمتر دگرشکل شده (پروتومیلونیت) تا واحدهای به شدت دگرشکل یافته

(میلونیت و الترامیلونیت) در تغییر می‌باشد [حیدری، ۱۳۸۳؛ نقشه زمین‌شناسی ۱:۵۰۰۰].

کانی‌شناسی ماده معدنی بسیار ساده و به طور عمده از پیریت و بندرت از کالکوپیریت و پیریت‌های آرسنیک‌دار و طلای آزاد تشکیل شده است، که کانی‌هایی نظیر کوارتز، فلدسپات، انواع میکاها و کربنات‌ها آنها را همراهی می‌کنند. طلا در ابعاد چند میکرون تا ۳۰ میکرون، به صورت آزاد و همراه کوارتز و پیریت به صورت ادخال و یا هم‌رشد با آنها (در ابعاد $<5\text{Mic}$)، در بخش‌های غنی از سولفید که در آن شیب رگه‌های کوارتزی و بخش‌های برشی شده همخوان و با زاویه کمی نسبت به برگوارگی سنگ میزبان قرار دارند، مشاهده می‌شود [مقصودی، ۱۳۸۴].



۲-۲-۳ وضعیت تکتونیکی و زمین‌شناسی ساختمانی

از نظر تکتونیکی محدوده مورد نظر جزء بخش شمال غربی زون سنندج - سیرجان محسوب می‌شود و از مناطق مجاور با داشتن ساختارهای پیچیده مجزا می‌گردد. نتایج حاصل از آنالیز نمونه‌های ترانشه‌های عمود بر روند پهنه دگرسانی حاکی از ارتباط نزدیک بین عیارهای بالا طلا با واحدهای میلونیتی-الترامیلونیتی می‌باشد [حیدری، ۱۳۸۳].

بطور کلی مشاهدات صحرایی، داده‌های ساختاری و تصاویر میکروسکوپی از فابریک سنگ‌های موجود در منطقه می‌توان چنین نتیجه‌گیری کرد که نهشته‌های موجود با منشأ رسوبی و آتشفشانی در یک حوضه یکسان نهشته شده‌اند. دگرگونی در محیطی با شرایط متوسط ولی با استرس بالا صورت پذیرفته است. رابطه دگرگونی و دگرریختی توأم بودن این دو حادثه را روشن می‌سازد. در ادامه به گسل‌ها و چین خوردگی‌های موجود در منطقه اشاره می‌شود:

۲-۲-۳-۱ چین خوردگی

یکی از ویژگی‌های منطقه، ظهور چین‌خوردگی‌های فراوانی است که بیشتر در مقیاس محلی و ریزچین در واحدهای سنگی مختلف می‌باشد و چین‌های بزرگ مقیاس و قابل ارائه در سطح نقشه کمتر بوجود آمده است. این چین‌ها اغلب از نوع ایزوکلینال و موازی می‌باشند. محور این چین‌ها، به طور کلی در دو جهت شمال شرق-جنوب غرب در تمامی منطقه قابل تشخیص است.

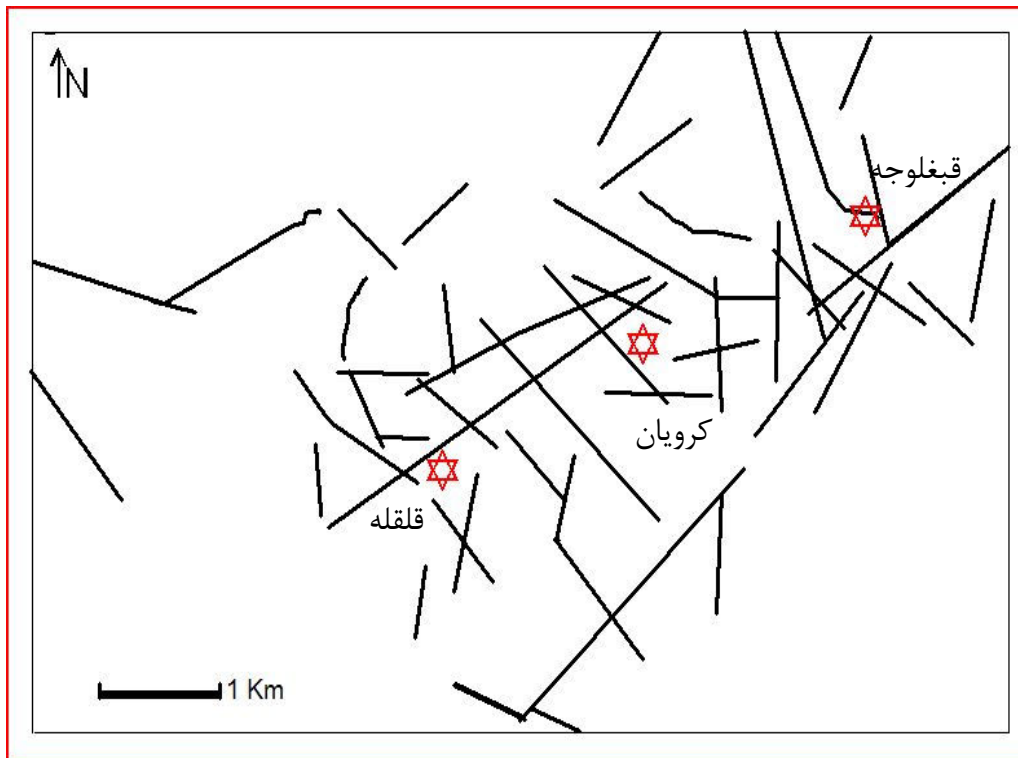
۲-۲-۳-۲ گسل‌ها

محدوده مورد مطالعه منطقه‌ای است، خرد شده و تکتونیزه که بر اثر شدت فشارش، ساختار کلی آن به صورت دگرشکلی‌های شکل‌پذیر (چین) و نیز درزه و گسل‌های فراوان شکل گرفته است به طوری که همبری اغلب کنتاکت‌های واحدهای سنگی در محدوده ورقه سقز غالباً گسله و تکتونیزه می‌باشد و می‌توان آنها را بر اساس روندهایی که به خود گرفته‌اند در مجموعه‌های زیر قرار داد (شکل ۲-۲):

روند شمال غرب-جنوب شرق که به موازات روند اصلی زاگرس می‌باشد. این روند شامل گسل-های تراستی اصلی در منطقه می‌باشد، به طوری که باعث راندگی طبقات قدیمی‌تر بر روی طبقات جوان‌تر شده است و بعضاً به طور محلی روند آنها تغییر می‌کند.

روند شمال شرق-جنوب غرب که شکستگی‌ها و گسل‌های متعددی را در منطقه به خود اختصاص داده است و از عمده‌ترین آنها در منطقه مورد مطالعه تراست‌هایی است که با روند شبیه تراست‌های اصلی (شمال غرب- جنوب شرق) قابل پی‌گیری می‌باشد.

شبکه گسل‌هایی که از روند خاصی پیروی نمی‌کنند و در اطراف ساختمان‌های حلقوی که احتمالاً متأثر از نفوذ توده‌های نفوذی می‌باشد، دیده می‌شوند.



شکل ۲-۲: نقشه ساختارهای منطقه و موقعیت اندیس‌های قباغلوچه، کرویان و قلقله [علی‌یاری و راستا، ۱۳۸۵].

۲-۳ نمونه برداری و آنالیز شیمیایی نمونه‌ها در منطقه مورد مطالعه

روش نمونه برداری در این فاز لبپیری^۱ بوده است، نمونه‌برداری به گونه‌ای انجام شده که دایره‌های به قطر ۵۰ متر حول نقطه نمونه‌برداری در نظر گرفته شد و حداقل ۱۰ و حداکثر ۱۵ قطعه از سنگ بر جا بصورت رخنمون‌های تازه توده سنگ اصلی و در حین نمونه‌برداری مشخصات آلتراسیون، کانی‌سازی، مشخصات فیزیکی، درصد سیلیس و نکات مهم دیگری ثبت شده است. تعداد ۲۱۶ نمونه از محدوده مورد مطالعه برداشت شده است که همگی نمونه‌های لیتوژئوشیمیایی می‌باشند.

کلیه نمونه‌ها بعد از خردایش و آسیاب تا حد ۲۰۰ مش و طی نمودن مراحل محلول سازی با روش جذب اتمی برای طلا و سایر عناصر مورد آنالیز شیمیایی قرار گرفته است. از جمله عناصر تجزیه شده می‌توان به عناصر Au، Ag، Al، As، Ba، Be، Bi، Ca، Cd، Co، Cr، Cu، Fe، Hg، K، La، Mg، Mn، Mo، Na، Ni، P، Pb، S، Sc، Sb، Sr، Ti، U، V، W، Zn اشاره نمود.

^۱ - Chip sampling

فصل سوم

بررسی رفتار عناصر در منطقه

(تغییرات جرم عناصر)

۳-۱ مقدمه

شناسایی اثرات محلول‌های هیدروترمال بر سنگ درونگیر از طریق بررسی کانی‌شناسی مناطق دگرسانی یک تحلیل کیفی از تبادلات یونی و واکنش‌های شیمیایی بین سیالات هیدروترمالی با سنگ میزبان می‌باشند. کمی‌سازی شدت تاثیر سیالات بر روی سنگ‌های مسیر حرکت از طریق محاسبات عددی کمک می‌کند تا بر اساس بررسی روند این تغییرات بتوان به مرکزیت واکنش‌های شیمیایی دسترسی پیدا کرد. تلفیق ارزیابی کیفی و کمی شدت تاثیر محلول‌ها منجر به شناسایی الگوهای اکتشافی ذخایر معدنی و دسترسی به مناطق کانی‌سازی می‌گردد.

یکی از اثرات محلول‌های هیدروترمال بر سنگ‌ها، شستشو یا تمرکز شیمیایی عناصر از سنگ‌هایی که در مسیر حرکت قرار دارند، می‌باشد. روش‌های بررسی و تحلیل تغییرات جرم ایجاد شده بین سنگ درونگیر و سیالات یا مناطق دگرسانی به عنوان یک ابزار سودمند بمنظور محاسبه و تعیین میزان غنی‌شدگی و تهی‌شدگی عناصر در سنگ‌ها بکار برده می‌شود. بر این اساس می‌توان شاخص‌های کانی‌سازی و دگرسانی را در منطقه شناسایی کرد. بدین ترتیب امکان شناسایی الگوهای اکتشافی پراکندگی ژئوشیمیایی عناصر در مناطق مجاور ذخایر معدنی میسر می‌گردد.

در این فصل برای بررسی پراکندگی و تغییرات جرم در محدوده کانی‌سازی طلای پهنه‌برشی کرویان، ابتدا به معرفی و تشریح انواع روش‌های محاسبه تغییر جرم پرداخته شده است، و در نهایت از

بین روش‌های مختلف برای بررسی تغییرات جرم به تحلیل روش آیزوکن پرداخته و این روش را برای محاسبات، مورد استفاده قرار داده‌ایم.

۲-۳ هاله‌های ژئوشیمیایی و تغییر جرم^۱

هاله‌های ژئوشیمیایی اولیه مناطقی هستند در اطراف نهشته‌های فلزی یا توده‌های کانساری، که در نتیجه ورود یا توزیع دوبارهٔ بعضی از عناصر شیمیایی در خلال فرآیندهایی که منجر به تشکیل کانسار گردیده سنگ‌ها از این عنصر غنی‌شدگی و یا تهی‌شدگی نشان می‌دهند. هاله‌های ژئوشیمیایی اولیه و نیز مناطق دگرسانی سنگ‌های اطراف نهشته‌های کانساری با پدیده‌های تشکیل کانسار به طور ژنتیکی در ارتباط هستند، به طوری که تشخیص مرزی مشخص بین هاله ژئوشیمیایی و مناطق دگرسانی همیشه امکان پذیر نیست [Levinson, 1980].

هاله‌های ژئوشیمیایی اولیه که با توده‌های کانساری به طور ژنتیک در ارتباط هستند معمولاً از طریق نوع دگرسانی کانی‌شناسی مخصوص که به وسیله محلول‌های فلزدار ایجاد می‌گردد، مشخص می‌شوند [Levinson, 1980].

در نهشته‌های اپی‌ژنتیک (هیدروترمال و آذرین دگرگونی و غیره) باید روابط سنگ میزبان با فرآیندهای فعال در تشکیل کانسار در قبل و بعد از کانی‌سازی، مورد بررسی قرار گیرد [شبانکاره و طباطبایی، ۱۳۸۶].

واکنش‌های محلول‌های کانسارساز در مسیر حرکت با سنگ‌های دیواره سبب اضافه شدن یا خروج یون‌های شیمیایی از محلول‌ها و سنگ‌های مسیر حرکت می‌شوند. نتیجه این واکنش‌ها بر روی سنگ دیواره آن است که بطور موضعی یا کامل بخشی از کانی‌های سنگ دیواره تجزیه و کانی‌های جدید تشکیل خواهند شد. این رخدادها، باعث ایجاد تغییراتی کانی‌شناسی و ژئوشیمیایی در محیط

¹ - Mass change

اطراف کانسار می‌گردد. این تغییرات یاد شده در مطالعات ژئوشیمیایی با تغییر مقدار پراکندگی عناصر در محیط اطراف کانسار نمایان می‌شود. این تغییرات در کانسارهای مختلف متفاوت بوده، و وابسته به نوع کانی‌سازی مورد نظر است، یا به عبارت دیگر جزء اختصاصات تیپ کانسار محسوب می‌شود. از این اختصاصات می‌توان برای پی‌جویی و اکتشاف مواد معدنی استفاده کرد و آن را به مناطق دیگر تعمیم داد. شرایط تکتونیکی، ترکیب محلول‌های کانی‌ساز (سیالات هیدروترمالی) و ترکیب سنگ‌های موجود از جمله عوامل موثری محسوب می‌گردند که تعیین کننده نوع واکنش‌های شیمیایی و در نتیجه اختصاصات هاله‌های پراکندگی نواحی اطراف مناطق کانی‌سازی در منطقه مورد مطالعه می‌باشد [Grant, 2005؛ Grant, 1986].

کاربرد اختصاصات کانی‌شناسی مناطق آلتراسیونی یک معیار کیفی در شناسایی محدوده‌های احتمالی کانی‌سازی به شمار می‌رود. در این روش ارزیابی مبانی کار بر شناسایی و مطالعه کانی‌های تشکیل شده در منطقه مورد مطالعه، شدت و گسترش محدوده‌های مربوطه مبتنی گردیده است. به طور مثال در کانسارهای مس پرفیری کانی‌سازی بیشتر در زون پتاسیک تا حدودی در زون سرسیت است که با شناسایی کانی‌های مربوط به این زون‌ها می‌توان موقعیت و محدوده کانی‌سازی را به صورت کیفی مشخص کرد [شبانکاره و طباطبایی، ۱۳۸۶].

اما رفتار ژئوشیمیایی عناصر می‌تواند بعنوان معیاری برای ارزیابی کمی تعیین این محدوده‌ها مورد استفاده واقع گردد. از جمله محاسن این روش آن است که بطور کمی می‌توان به ارزیابی شدت و محدوده گسترش عملکرد سیالات کانی‌سازی بر روی سنگ‌ها پرداخت.

مقایسه اختصاصات ژئوشیمیایی سنگ‌های دگرسان شده با غیر دگرسان منطقه به ما کمک می‌کند، تا بتوان اثرات فرآیندهای دگرسانی بر روی پراکندگی عناصر را ارزیابی نمود، و رفتارهای ژئوشیمیایی عناصر مختلف را در این شرایط بررسی نماییم. از این رو رفتار ژئوشیمیایی عناصر می‌تواند بعنوان معیاری برای ارزیابی کمی تعیین این محدوده‌ها مورد استفاده واقع گردد. لازمه این امر

آن است تا عناصری را که کمترین عکس العمل ژئوشیمیایی در برابر این تغییرات در شرایط زمین-شناسی منطقه از خود نشان می‌دهند شناخت [Kwon et al, 2009; Liaghat et al, 2003].

میزان یا شدت تاثیر محلول‌های کانسارساز در شسته شدگی/غنی شدگی عناصر از سنگ میزبان را می‌توان بر اساس محاسبات عددی بصورت کمی ارزیابی نمود. مقایسه اختصاصات ژئوشیمیایی سنگ دگرسان شده با اولیه کمک می‌کند تا رفتار ژئوشیمیایی عناصر مشخص و شدت تغییرات آنها محاسبه گردد [قوامی، ۱۳۸۶].

۳-۳ روش‌های محاسبه تغییر جرم

به منظور ارزیابی غنی‌شدگی و تهی‌شدگی عناصر که تحت تأثیر فرآیندهای آلتراسیونی در حین کانی‌سازی بوجود آمده‌اند، یک سری معادلات براساس نتایج آنالیز شیمیایی وجود دارد. این معادلات و روابط اساسی در کنار روش‌های گرافیکی بایستی برای محاسبه تغییرات جرم مورد استفاده قرار گیرند. از جمله شیوه‌هایی که برای محاسبه تغییرات جرم عناصر در سیستم‌های دگرسان مورد استفاده قرار می‌گیرند می‌توان به روش‌های زیر اشاره نمود:

۱- متد فاکتور حجم^۱

۲- متد آیزوکون^۲

۳- متد مک‌لین^۳ (عنصر غیرمتحرک)

در این روش‌های ذکر شده انتخاب عناصر غیر متحرک نقش مهمی در محاسبات تغییر جرم دارد، لذا لازم است که قبل از محاسبات، عناصر غیرمتحرک (عناصری که بیشترین بی‌حرکی را در طی فرآیندهای آلتراسیون از خود نشان داده) مورد بررسی قرار داده شوند [Derakhshani and Abdolzadeh, 2009].

1 - Volume factor

2 - Isocon

3 - MacLean

با توجه به اهمیت عناصر غیرمتحرک در این روش‌ها ابتدا به توضیح مختصری در مورد این عناصر پرداخته و در نهایت به تشریح روش‌های محاسبه تغییرات جرم که در بالا ذکر شد، می‌پردازیم.

۳-۴ عناصر یا ترکیبات غیرمتحرک

رفتار عناصر مختلف در حین فرآیندهای کانی‌سازی می‌توانند بسیار متفاوت از همدیگر باشند. حداقل سه رفتار متفاوت در این میان می‌توانند از خود نشان دهند. برخی از آنها شدیداً اثرات غنی-شدگی در سنگ درونگیر را از خود نشان می‌دهند. عده دیگری از عناصر توسط محلول‌ها از سنگ میزبان شدیداً شسته می‌شوند. هر دو دسته این عناصر رفتار متحرک در برهم کنش سیالات با سنگ میزبان از خود بروز می‌دهند. در مقابل این رفتار، گروه دیگری از عناصر رفتاری نسبتاً عکس این عناصر دارند و بعنوان عناصر غیر متحرک در نظر گرفته می‌شوند. این عناصر بدلیل عدم تحرک در خلال فرآیند آلتراسیون، جرم و حجم نسبتاً ثابتی را در سنگ دارند [MacLean and Kranidiotis, 1986].

عناصر غیرمتحرک دارای یک سری ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاص هستند که منجر به رفتار متفاوت این عناصر نسبت به دیگر عناصر شده است. از جمله ویژگی‌هایی که این عناصر دارند عبارتند از [Maclean, 1990]:

(۱) دارا بودن بیشترین ثبات ژئوشیمیایی در طی فرآیندهای دگرسانی و میل ترکیبی شیمیایی بسیار پائین.

(۲) برخی از این عناصر دارای غلظت بالا بوده به گونه‌ای که توسط روش‌های تجزیه‌ای معمول قابل اندازه‌گیری می‌باشند.

(۳) انحلال اندک

بر اساس رده‌بندی و رفتارسنجی عناصر در طی دگرسانی و دگرگونی عناصری مانند Hf، Zr، Y، Ti، Ta و Nb بعنوان عناصر غیرمتحرک (چه در شرایطی که سیالات فراوانتر از سنگ‌ها می‌باشند (SWD) و چه در شرایط متداولتر بودن سنگ‌ها (RD)) معرفی گردیده‌اند. در منطقه مورد مطالعه شرایط حاکم توام با دگرگونی در حد رخساره شیبست سبز تا آمفیبولیت بوده است و شرایط زمین-شناسی با رده‌بندی بیان شده تشابه بسیار نزدیکی دارد [Wyman, 1996].

نتایج بررسی‌ها و تحقیقات متعدد انجام شده بر روی ذخایر تیپ پهنه‌های برشی توسط محققین در خصوص تعیین عناصر غیرمتحرک در جدول (۳-۱) آورده شده است. در تمامی موارد مطالعه شده در این جدول Ti به عنوان عنصر غیرمتحرک رفتار کرده و همچنین Al نیز در اکثریت این مناطق رفتاری غیرمتحرک داشته است.

جدول ۳-۱: عناصر غیر متحرک که در فرایندهای آلتراسیون توسط محققین مختلف شناسایی شده است.

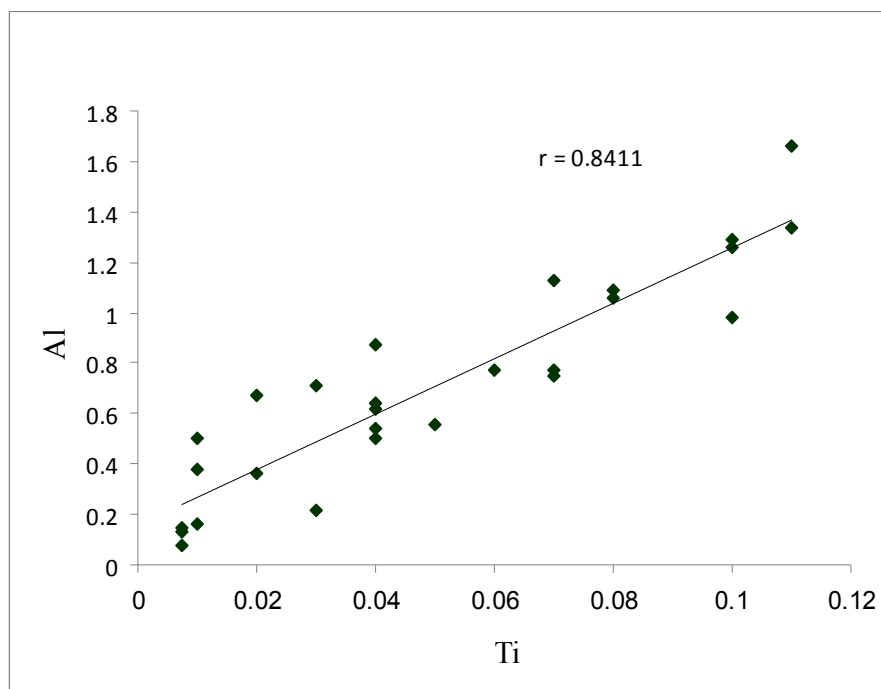
Immobile (less mobile) elements	References
Ti, Fe, Mg, Zr, Y	O'Hara (1990)
Al, Ti, P, Zr, Nb	Selverstone et al. (1991)
Al, Fe, Ti, Y, Zr, Th, Cr, REE	A Tobisch et al. (1991)
TiO ₂ , Al ₂ O ₃ , Fe ₂ O ₃ , MgO	Mohanty and Ramsay (1994)
Y, Zr, TiO ₂ , MnO, MgO, P ₂ O ₅	Goddard and Evans (1995)
TiO ₂ , Al ₂ O ₃	Ingles et al. (1999)
TiO ₂ , Al ₂ O ₃ , P ₂ O ₅ , Ni, Ce	A. Zoheir (2008)
Al, Ti, Mn, Fe, HREE	Sanghoon et al (2009)

عناصر Ti، Al، Ga و HREE معمولاً در طی فرایندهای آلتراسیون غیر متحرک هستند. این عناصر به طور وسیع در محاسبات تغییرات جرم توسط دیگران در مناطق مختلف مورد استفاده قرار گرفته‌اند [Barzegar H, 2007].

در دیاگرام‌های دوگانه عناصر غیرمتحرک در مقابل یکدیگر، روند تغییرات دارای یک روند خطی است که از مبدأ می‌گذرد. ضریب همبستگی (r) می‌تواند برای تخمین بی‌تحرکی نسبی یک عنصر نسبت به دیگر عناصر در رابطه با هر تغییری در جرم یا حجم در یک نمونه مورد استفاده قرار گیرد [MacLean and Kranidiotis, 1987].

در برخی از این روش‌ها رگرسیون عناصر انتخاب شده در مقابل Ti تحلیل می‌گردد و آنهایی که دارای ضریب همبستگی بیش از ۰/۶ باشند به عنوان عناصر غیرمتحرک شناخته می‌شود [Barzegar H, 2007].

نمودار Ti در مقابل عناصر Al، P، Sc و Mn مورد بررسی قرار گرفته است. در بین عناصر بررسی شده، تنها Al دارای مقدار همبستگی خطی بیشتر از ۰/۶ است (شکل ۳-۱). بنابراین عنصر Al به همراه Ti به عنوان عناصر غیرمتحرک در حین فرآیندهای آلتراسیون و شاخصی برای رسم نمودار آیزوکن و محاسبه تغییرات جرم در این تحقیق مورد استفاده قرار گرفته است.



شکل ۳-۱: رگرسیون Ti در مقابل Al که با ضریب همبستگی ۰/۸۴ (Al و Ti بر حسب درصد است)

با توجه به رگرسیون بین Al و Ti، مطالعات قبلی صورت گرفته بر روی ذخایر مشابه، شرایط زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه و تحلیل پراکندگی عناصر Al و Ti دارای تحرک کمی در این منطقه است. لذا از این عناصر به عنوان عناصر غیر متحرک در محاسبات اثرات جرم و تحلیل آیزوکن استفاده شده است. سایر عناصری که می‌توانند هم رفتار با این دو عنصر باشند، بر اساس تحلیل‌های بعدی مشخص خواهند گردید.

اکنون این امکان وجود دارد که به بررسی میزان تغییرات جرم در سنگ پرداخته شود. با توجه به روش‌های مختلفی که بمنظور محاسبه جرم بیان شد، در ادامه به بررسی هر یک از این روش‌ها پرداخته خواهد شد.

۳-۵ انواع روش‌های محاسبه تغییر جرم

- معادله فاکتور حجم یا گریسنز^۱

گریسنز در سال ۱۹۶۷ میلادی سعی نمود تا ارزیابی تغییرات حجمی بوجود آمده در سنگ که به صورت تهی‌شدگی و یا غنی‌شدگی ناشی از فرایندهای دگرسانی می‌باشد را بر اساس جرم بیان نماید. یکی از اثرات متاسوماتیزم را می‌توان به صورت تغییر در دانسیته و جرم نمونه دگرسان شده در مقایسه با نمونه غیره دگرسان شده نمایش داد. مجموعه این فرآیندها اثرات خود را به شکل تغییرات غلظت در مقایسه نمونه‌ها با یکدیگر بروز خواهد داد. معادله کلی برای محاسبه این تغییرات در حین فرآیندهای متاسوماتیزم به صورت زیر تعریف می‌گردد [Maxeiner and watters , 1992]:

$$X = B_b - A_a \quad \text{معادله (۳-۱)}$$

X جرم (برحسب گرم) از ماده که اضافه یا کم شده است.

A و B به ترتیب جرم (بر حسب گرم) سنگ منشأ و دگرسان شده است.

¹ - Gresens

اندیس‌های a و b به ترتیب نشان دهنده سنگ اولیه و دگرسان شده است.

رابطه (۱-۳) تنها وقتی درست است که هیچ حجمی در طی آلتراسیون تغییر نکند. که این

فرض چندان قوی نخواهد بود. بدین ترتیب معادله نهایی گریسنز به صورت زیر شده است.

$$X_n = [F_v * (d_b/d_a) * C_{nb}] - C_{na} \quad \text{معادله (۲-۳)}$$

که در آن:

X_n : معرف غنی‌شدگی یا تهی‌شدگی جزء ترکیبی n ام است.

F_v : فاکتور حجم^۱ (V_b/V_a) .

C_n : غلظت جزء ترکیبی n ام.

اندیس‌های a و b به ترتیب نشان دهنده سنگ منشاء و آلتره شده می‌باشد.

d و V نیز به ترتیب دانسیته و حجم است.

در این معادله دو پارامتر X_n (مقدار غنی‌شدگی یا تهی‌شدگی برای جزء معین) و F_v (فاکتور

حجم) ناشناخته است. برای عناصری که رفتار غیر متحرک از خود نشان می‌دهند مقدار X_n صفر

خواهد بود، و در این شرایط مقدار F_v محاسبه می‌شود. با محاسبه فاکتور حجم اکنون امکان آن وجود

دارد تا مقدار X_n برای سایر ترکیبات دلخواه که رفتاری متحرک دارند نیز محاسبه شود.

فاکتور حجم درجه‌ای از تغییرات حجم را بر طبق معادله زیر می‌هد:

$$F_v * V_a = V_b \quad \text{معادله (۳-۳)}$$

اگر F_v بزرگتر از یک باشد، آلتراسیون با یک افزایش حجم همراه بوده است [Maxeiner and

Watters, 1992].

¹ - volume factor

- آنالیز آیزوکن^۱

در راستای توسعه و اصلاح معادله گریسنز، در سال ۱۹۸۶ میلادی گرانت^۲ روش و تحلیل آیزوکن را معرفی نمود. آنالیز آیزوکن در واقع یک روش ساده از معادله گریسنز برای آلتراسیون متاسوماتیک است. این روش وسیله‌ای مناسب برای محاسبات عددی و کمی تغییرات جرم یا غلظت عناصر جابجا شده است، که با رسم نمودار ترکیبات آلتره در مقابل ترکیبات اولیه ممکن می‌گردد. آیزوکن واقعی براساس روند تغییرات متغیرهایی که دچار کمترین تغییرپذیری غلظتی شده باشند و دارای بی‌حرکی یونی می‌باشند، تعریف می‌گردد. بر این اساس تغییر جرم‌های صورت پذیرفته در حین فرآیند دگرسانی و متاسوماتیزم و پارامترهای مربوطه قابل تشخیص خواهد بود. در این میان شدت عکس‌العمل و رفتارهای عناصر متحرک متفاوت بوده و در برخی موارد عکس یکدیگر می‌باشند [Grant, 2005].

معادله گریسنز (۱۹۶۷) و گرانت (۱۹۸۶) برای ترکیبات مختلف وابسته در آلتراسیون‌ها عبارت است از:

$$C_i^A = M^O/M^A (C_i^O + \Delta C_i) \quad \text{معادله (۳-۴)}$$

در این معادله (۳-۴)، C_i معرف غلظت عنصر مورد نظر، (i) و M جرم نمونه‌ای است که برای سنگ اولیه و آلتره مدنظر قرار می‌گیرد. ΔC_i تغییرات غلظت ایجاد شده ناشی از فرایندهای تاثیر گذار بر روی نمونه می‌باشد.

بر اساس ماهیت عناصر غیرمتحرک می‌توان مقدار ثابت نسبت M^O/M^A را محاسبه نمود. شیب $b = M^O/M^A$ معادله (۳-۴) معیاری برای فرآیند دگرسانی و معرف جرم غنی‌شده و تهی‌شده است. بر اساس ماهیت عناصر غیرمتحرک، معادله حاکم بر تغییرات غلظت به صورت زیر نوشته می‌شود:

¹ - Isocon

² - Grant

$$C_i^A = (M^O/M^A)C_i^O \quad \text{معادله (۳-۵)}$$

برای عناصر غیرمتحرک می‌توان روند تغییرپذیری آیزوکن را بر اساس ماهیت این عناصر تعریف نمود. همچنین بر اساس دیاگرام آیزوکن ماهیت و تحرک پذیری یونی این عناصر را می‌توان تعریف نمود. متغیرهایی که رفتار غیرمتحرک داشته باشند بسیار نزدیک به روند مذکور خواهند بود. عناصری که به تدریج میل به تحرک پذیری داشته باشند، از عناصر بی تحرک و روند مذکور فاصل خواهند گرفت. در این میان ممکن است نحوه فاصله‌گیری عناصر بر اساس اختصاصات ژئوشیمیایی آنها در شرایط متاسوماتیزم یا دگرسانی بوجود آمده در منطقه متفاوت باشد. گروهی از عناصر میل به غنی‌شدگی^۱ بالایی دارند و عده دیگری میل به شسته‌شدگی^۲ از خود نشان خواهند داد. بمنظور ارزیابی غنی‌شدگی و تهی‌شدگی می‌توان از فرمول زیر نیز کمک گرفت:

$$\Delta C_i/C_i^O = (M^A/M^O)(C_i^A/C_i^O) - 1 \quad \text{معادله (۳-۶)}$$

این معادله را به صورت زیر نیز می‌توان نوشت:

$$\Delta C_i/C_i^O = (C_{im}^O/C_{im}^A)(C_i^A/C_i^O) - 1 \quad \text{معادله (۳-۷)}$$

که در این معادله C_{im}^O و C_{im}^A غلظت‌های عناصر غیرمتحرک می‌باشند [Grant, 2005;

Sanghoon et al, 2009; Richard J, 2008].

در ترسیم نمودار آیزوکن ابتدا مشاهده شد، که استفاده دلخواهانه مقیاس در نمودار آیزوکن می‌تواند منجر به خطا شود. گرانت آیزوکن را با مقیاس دلخواهی برای مقدار غلظت عناصر رسم کرد، به طوری که یک توزیع معقول برای نقاط بر روی نمودار بدست بیاید و برای شناسایی عناصر غیر متحرک به وسیله یک خط کش آنها را بررسی کرد. هر چند این روش ساده و سریع است اما مانعی

^۱ - gain

^۲ - loss

که در اینجا وجود داشت مقیاس برای مقادیر عناصر است، که نتایج را تا حدودی بی اعتبار می کند مخصوصاً در مواردی که نقاط داده‌ها نزدیک به مبدأ باشد یا پراکندگی آنها زیاد باشد. برای حل این مشکل پیشنهاد گردید که داده‌ها را بر اساس نسبت غلظت آنها رسم کنند، به طوری که داده‌های دارای مقدار بزرگ به سمت مبدأ مختصات نزدیک می‌شوند و داده‌های که دارای مقدار کوچک هستند از مبدأ دورتر باشند [Baumgarther and Olson, 1996].

امروزه برای رسم این نمودارها از دیاگرام لگاریتمی استفاده می‌کنند. با رسم نمودار در مقیاس لگاریتمی می توان خطاهای مقیاس را از بین برد. که در این صورت معادله را می‌توان به صورت زیر نوشت [Grant, 2005].

$$\log C_i^A = \log M^0/M^A + \log C_i^0 \quad \text{معادله (۳-۸)}$$

- متد مک‌لین^۱ (عنصر غیرمتحرک)

روش دیگری که برای محاسبات تغییر جرم عناصر وجود دارد، روش مک‌لین است. این روش بر

چهار اصل استوار است که این اصول عبارتند از:

(۱) عنصر ناظر بی‌تحرک^۲

(۲) عامل غنی‌شدگی^۳

(۳) ترکیب بازسازی شده^۴

(۴) تغییر جرم عناصر^۵

معادلاتی که برای روش مک‌لین پیشنهاد گردیده‌اند بصورت زیر تعریف می‌گردند:

¹ - Maclean 1990

² - Monitor Immobile Element

³ - Enrichment Factor, E.F

⁴ - Reconstructed Composition, R.C

⁵ - Mass Change, M.C

$$E.F = C_{Im}^O / C_{Im}^A \quad \text{معادله (۹-۳)}$$

$$R.C = C_i^A \times E.F \quad \text{معادله (۱۰-۳)}$$

$$M.C = R.C - C_i^O \quad \text{معادله (۱۱-۳)}$$

در این معادلات E.F، R.C و M.C به ترتیب فاکتور غنی شدگی، ترکیب بازسازی شده و تغییر

جرم است. تعاریف C_{IM}^O ، C_{IM}^A ، C_i^A و C_i^O در قسمت‌های قبل معرفی گردیده اند [MacLean, 1990].

در بین روش‌های مختلف یاد شده در قسمت‌های قبل در ادامه، روش آیزوکن بر روی داده‌های

منطقه مورد مطالعه، اعمال گردیده است و بر اساس نتایج حاصل به محاسبات عددی تغییرات جرم پرداخته شده است.

۳-۶ آنالیز آیزوکن داده‌های محدوده مورد مطالعه

با توجه به اینکه نمونه‌های برداشت شده از منطقه و داده‌های بدست آمده از آنها شامل

واحدهای سنگی توده‌های نفوذی گرانیتی، متاولکانیک‌ها، فیلیت‌ها و بخش تعریف شده بعنوان پهنه-

برشی بر روی نقشه زمین‌شناسی منطقه می‌باشد، لذا لازم است که بررسی‌های بطور مستقل صورت

پذیرد. برای این منظور در خصوص هر یک از واحدهای سنگی بطور جداگانه به ارزیابی تغییرات جرم

پرداخته شده است و بر روی نمودار آیزوکن نمایش داده شده است. نمودار آیزوکن نموداریست که به

بررسی میزان غلظت عناصر در نمونه دگرسان شده (که با علامت Ca^1) در مقابل غلظت عناصر در

نمونه غیر دگرسان (که با علامت Co^2) می‌پردازد.

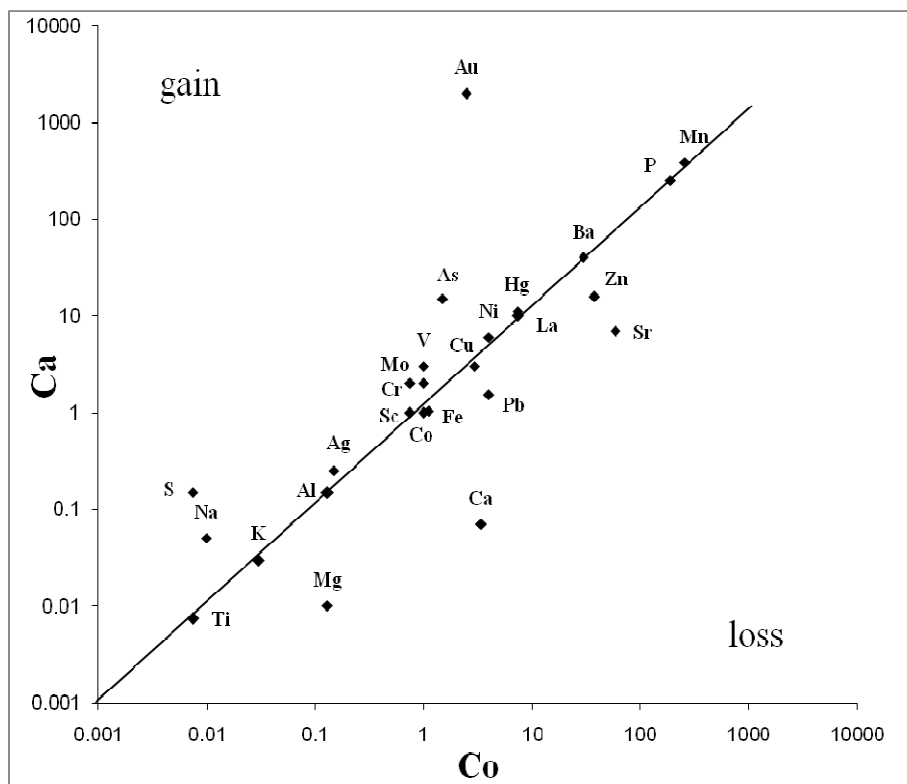
¹ - Concentration in altered sample: Ca

² Concentration in original sample: Co

۳-۶-۱ توده های نفوذی گرانیتی

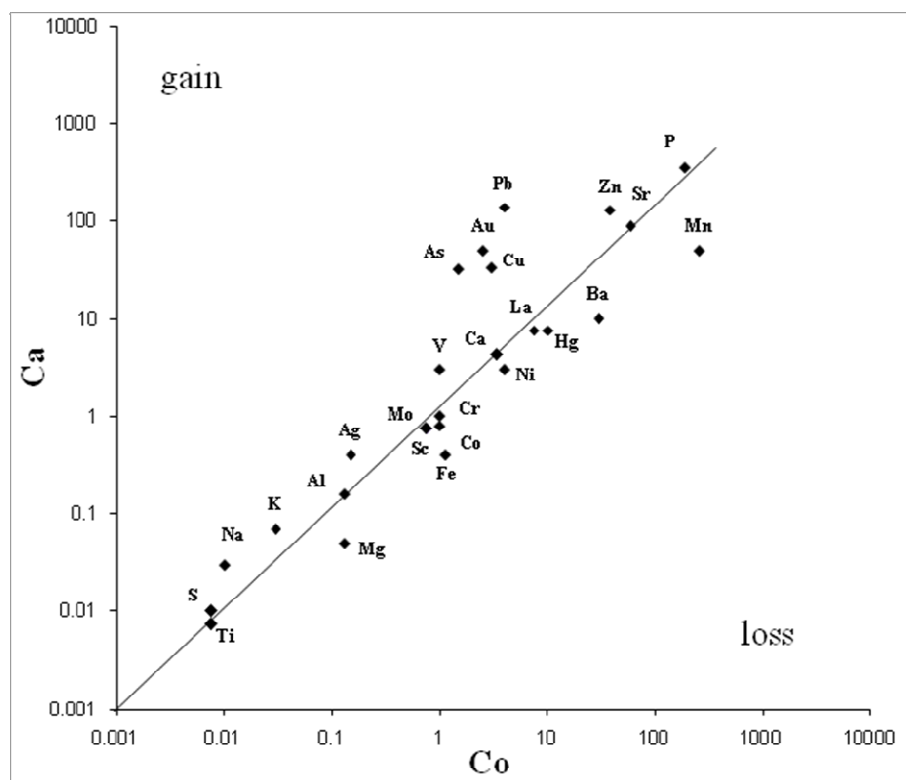
بر اساس ارزیابی صورت گرفته بمنظور انتخاب بهترین معادل نمونه دگرسان شده (Chi-square) و تحلیل دوگانه) در بین نمونه‌های مرتبط با این واحد سنگی، جفت نمونه ۸۶۸ (Ca) و ۷۶۴ (Co) مشخص گردیده‌اند (Ca نمونه دگرسان و Co نمونه غیر دگرسان).

نمودار آیزوکن جفت نمونه ۸۶۸ (با مقدار طلای ۲۰۰۰ ppb) در مقابل ۷۶۴ (با مقدار طلای ۲/۵ ppb) در شکل (۲-۳) ترسیم شده است. در این نمودار بخشی از عناصر مانند Sc, K, Fe, Co و Ba نیز همانند Al و Ti از ویژگی‌های عناصر غیرمتحرک پیروی می‌نمایند. عناصر Au, V, Cr, Na, As, S, Ca, Mg, Pb, Zn و Sr در توده‌ی گرانیتی متحرک به نظر می‌رسند. در این میان عناصر Au, Cr, V, As, Na بیشترین غنی‌شدگی و عناصر S, Mo, Ag, Ni و Mn از نظر غنی‌شدگی در درجه پایین‌تری نسبت به آنها قرار دارند. اما Ca و Mg دارای شسته‌شدگی بالا و عناصر Zn, Pb و Sr نیز تا حدودی از سنگ‌های مورد نظر شسته شده‌اند (شکل ۲-۳).



شکل ۲-۳: نمودار آیزوکن جفت نمونه ۸۶۸ و ۷۶۴ در سنگ‌های گرانیتی

بر اساس ارزیابی‌های صورت گرفته (Chi-square و تحلیل دوگانه) در بین نمونه‌های کمتر متأثر از فرآیندهای کانی‌سازی نمونه ۹۸۶ (۵۰ ppb طلا) با نمونه غیر دگرسان (۷۶۴) انتخاب شده است. تغییرات عناصر حول خط آیزوکن دارای پراکندگی بیشتری نسبت به نمودار قبلی است (شکل ۳-۳). عناصر Pb, Au, As و Cu دارای غنی‌شدگی بالا و عناصر K, Na, Ag, Zn و V در درجه دوم غنی‌شدگی نسبت به گروه اول قرار دارد. عناصر Co, Ba, Ni, Hg, Mn, Fe و Mg تحت شسته‌شدگی قرار گرفته است. در این میان رفتار غیرمتحرک بین عناصر Ti, Mo, Cr, Sc و Al مشاهده می‌گردد.



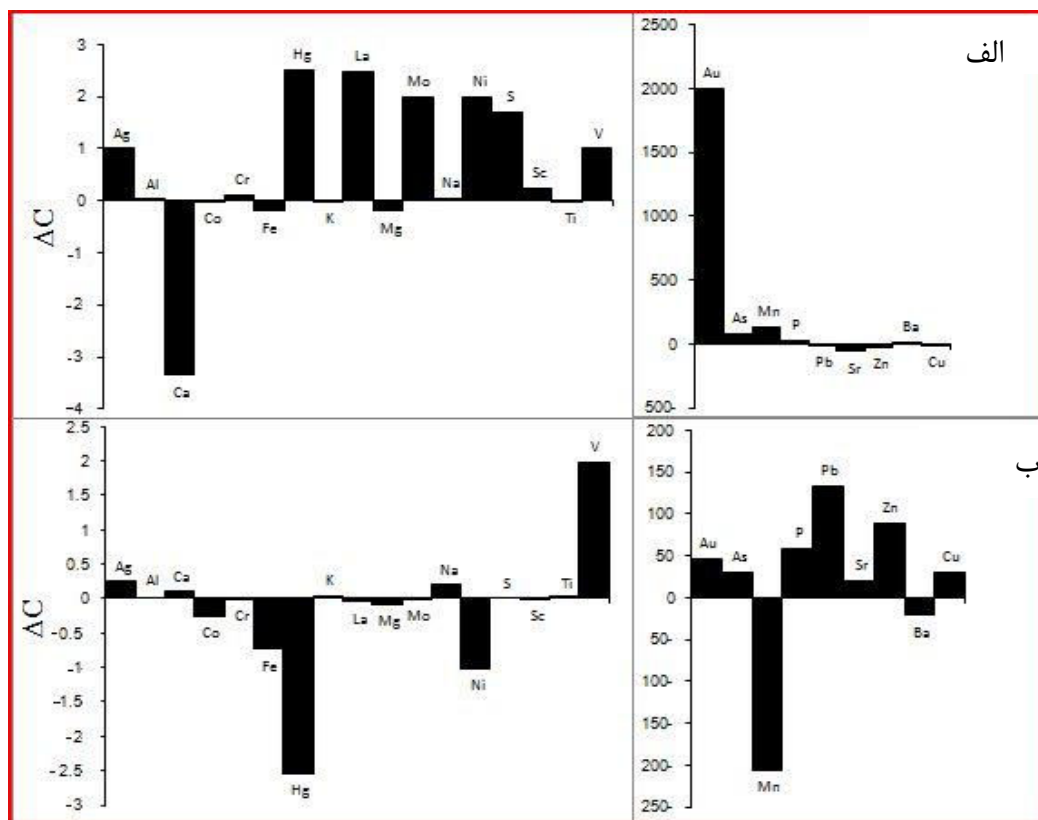
شکل ۳-۳: نمودار آیزوکن جفت نمونه ۹۸۶ و ۷۶۴ در سنگ‌های گرانیت

احتمالاً بیشترین تاثیر فرآیندهای کانی‌سازی بر روی رفتار عناصر K, Na, Pb, Zn, As, Au و

Cu بوده است.

چنانچه عکس العمل ناشی از فرآیندهای دگرسانی و کانی‌سازی حادث شده در منطقه را که بر اساس نمودارهای آیزوکن ترسیم نموده‌ایم را تبدیل به تغییرات جرم نموده و میزان یا شدت تغییرات را محاسبه نمائیم، می‌توان به ارزیابی بهتری از تبدلات یونی صورت گرفته در منطقه پرداخت (نمودارهای الف و ب شکل (۳-۴)). بمنظور تسهیل در ارزیابی، تغییرات جرم بصورت نمودارهای میله‌ای عناصر ترسیم گردیده است. تغییر جرم‌های بوجود آمده را در دو مقیاس متفاوت (کوچکتر از ± 5 و بزرگتر از ± 5) با یکدیگر مقایسه نموده‌ایم. در میان رفتارهای ملاحظه شده، عکس العمل عناصر Mn و Au در برابر غنی‌شدگی تغییرات جرم قابل ملاحظه‌ای نشان داده و در مرحله کم اهمیت‌تر عناصر Hg, Ni, Mo, Sc, La, S و واقع گردیده‌اند. در مقابل، عناصری مانند Cu, Zn, Pb, Sr و Ca تهی‌شدگی جرمی قابل ملاحظه‌ای را نشان داده است.

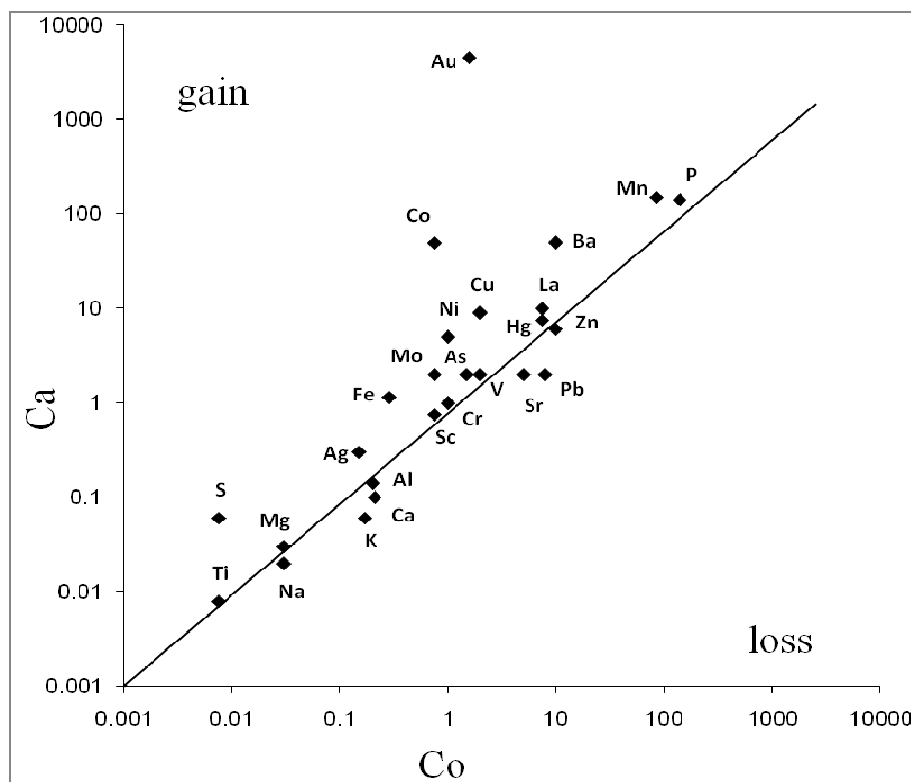
بی‌حرکی عناصر Al, Ti, Cr, K و Sc نیز در این محیط قابل تأیید می‌باشد.



شکل ۳-۴: نمودار هیستوگرام تغییرات جرم برای سنگ‌های گرانیتی الف) نمونه ۸۶۸ ب) نمونه ۹۸۶

۳-۶-۲ متاولکانیک‌ها

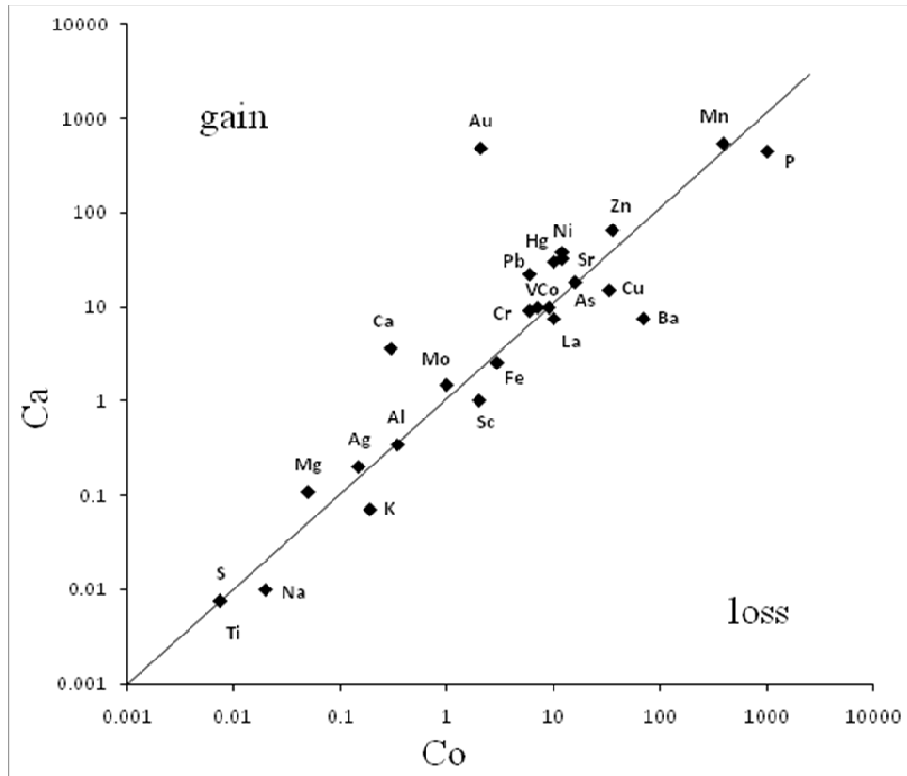
بر اساس ارزیابی صورت گرفته به منظور بر آورد بهترین معادل نمونه دگرسان شده (Chi-square و تحلیل دوگانه) نمودار آیزوکن نمونه ۹۹۸ (دارای ۴۵۰۰ ppb طلا) با نمونه معادل غیر کانی‌سازی شده آن (نمونه ۹۸۰)، (شکل ۳-۵) معرف آن است که عناصر Au، Co، Ba، Cu و Ni دارای غنی‌شدگی بالا هست و عناصر As، Mo، Ag، Fe و S در درجه دوم از غنی‌شدگی قرار دارند. عناصر K، Ca، Sr، Pb و Na تحت شسته‌شدگی قرار گرفته است. و عناصر Cr، Sc، Mg، V و Zn همانند Al و Ti تغییرات زیادی را نشان نمی‌دهند (Ca نمونه دگرسان و Co نمونه غیر دگرسان).



شکل ۳-۵: نمودار آیزوکن برای نمونه ۹۹۸ (Ca) و ۹۸۰ (Co)

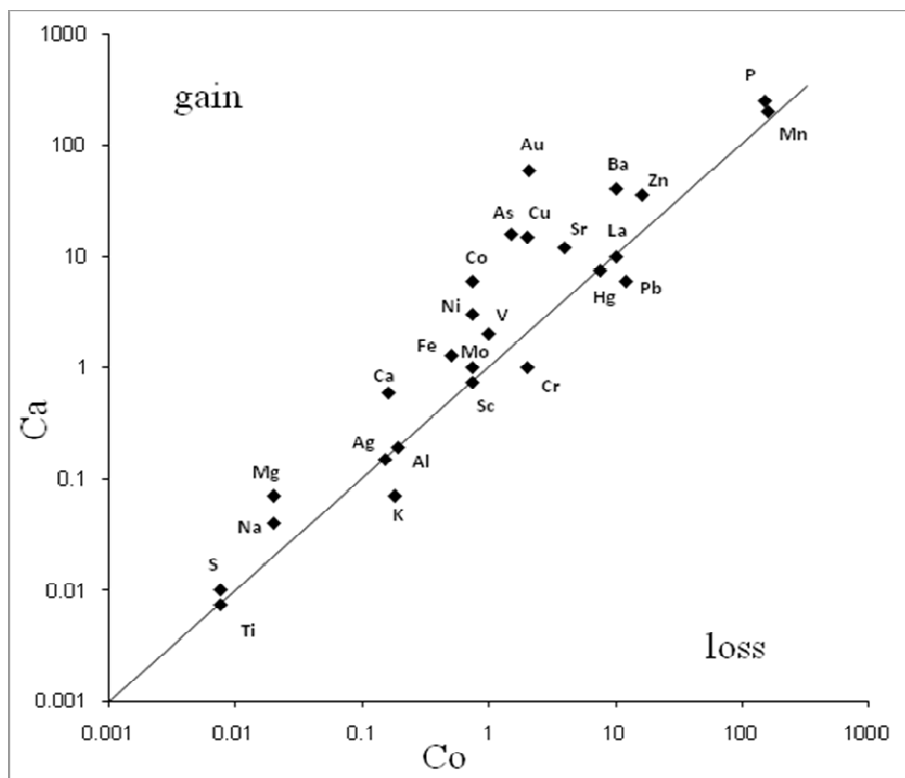
بر اساس ارزیابی صورت گرفته (Chi-square و تحلیل دوگانه) در بین نمونه‌های متأثر از کانی-سازی نمودار آیزوکن نمونه دوم (دارای ۴۹۰ ppb طلا) (شکل ۳-۶) مبادلات عنصری را بدین ترتیب

تفسیر می‌نماید که عناصر Au، Ca، Pb، Hg و Ni و تا حدودی کمی Mg، Cr، Sr و Zn غنی شده و همچنین عناصر Ba، Cu، P، K و Na و تا حدودی Sc شسته شده است.



شکل ۳-۶: نمودار آیزوکن برای نمونه ۴۹۴ (Ca) و ۶۹۹ (Co)

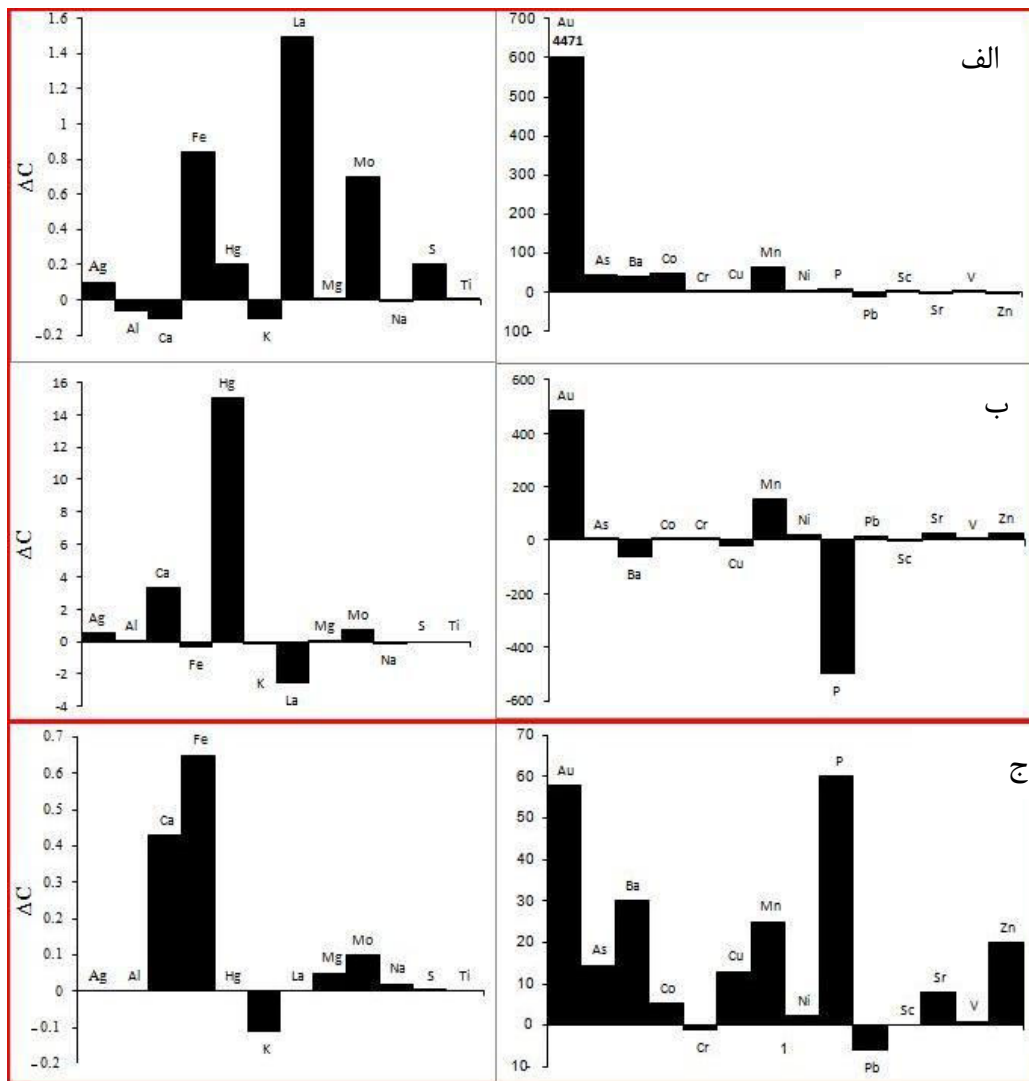
بر اساس ارزیابی صورت گرفته (Chi-square و تحلیل دوگانه) در بین نمونه‌های با حداقل تأثیر پذیری از کانی‌سازی، نمودار آیزوکن نمونه سوم (نمونه ۸۶۵ با ۶۰ ppb طلا) (شکل ۳-۷) مبین آن است که عناصر Au، As، Cu، Co، Ni، Fe، V، Sr، Ba، Ca و Zn غنی شده و عناصر Cr، Pb و K شسته شده است.



شکل ۳-۷: نمودار آیزوکن برای نمونه ۸۶۵ (Ca) و ۹۷۹ (Co)

نتایج محاسبات تغییرات جرم انجام شده بر اساس تحلیل آیزوکن بدست آمده از قسمت قبل را برای نمونه‌های مورد نظر بمنظور تسهیل در مقایسه به صورت نمودارهای میله‌ای ترسیم شده است (شکل ۳-۸). بر اساس این نتایج، در یک روند افزایشی همراه با Au در عناصر La و S را نشان می‌دهند. عناصر Zn و Sr به همراه Ca در مقابل غنی‌شدگی طلا دارای رفتار تهی‌شدگی از خود بروز می‌دهند.

بی‌حرکی عناصر Al، Ti، Na و به طور نسبی Mg در این واحدهای سنگی قابل مشاهده است.

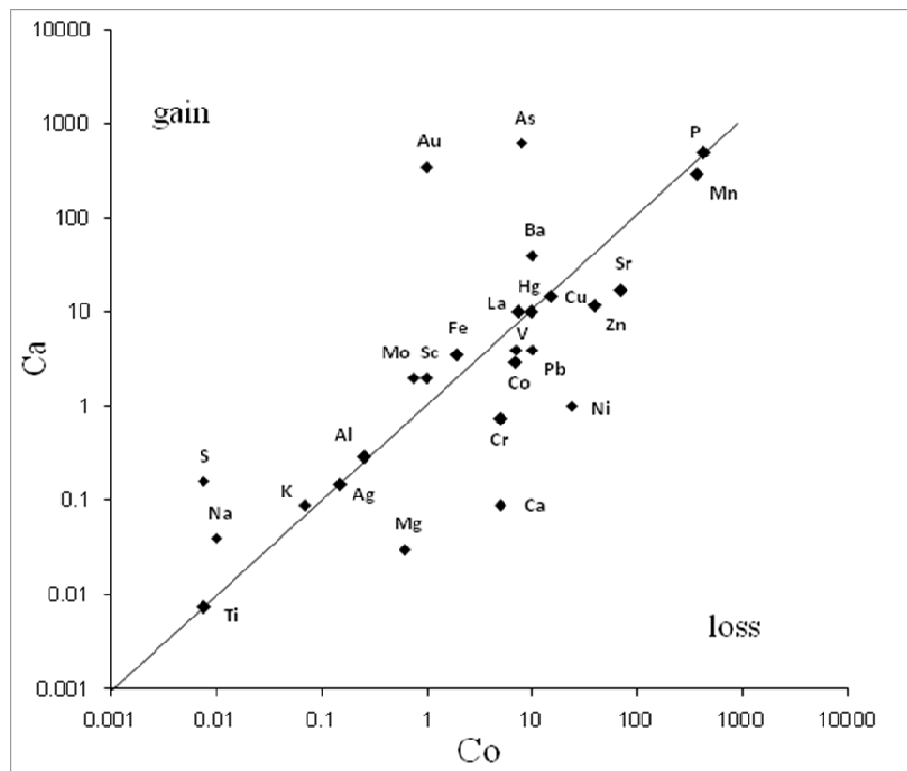


شکل ۳-۸: نمودار هیستوگرام تغییرات جرم در متاولکانیک‌ها (الف) نمونه ۹۹۸ (ب) نمونه ۸۳۰ (ج) نمونه ۴۹۴ (تذکر: تغییر جرم طلا در نمونه ۹۹۸، حدود +۴۴۷۱ بوده که جهت نمایش تغییرات جرم در دیگر متغیرها مقدار آن کاهش داده شده است)

۳-۶-۳ پهنه‌برشی

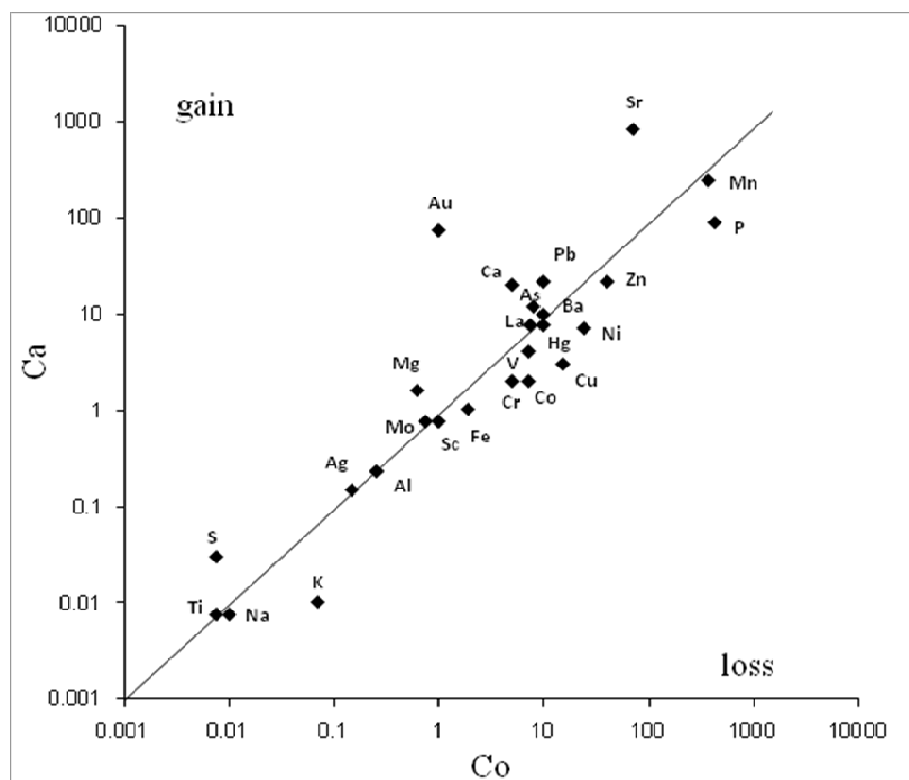
بر اساس محاسبات و ارزیابی صورت گرفته به منظور انتخاب بهترین معادل نمونه دگرسان شده (Chi-square و تحلیل دوگانه) بر روی واحدهای سنگی پهنه‌برشی در منطقه، دو نمونه مشخص گردیده است. بر اساس نتایج نمودار آیزوکن ترسیمی (شکل ۳-۹) نمونه اول (به شماره ۷۵۸ دارای ۳۵۰ ppb طلا)، عناصر Au، As و S دارای غنی‌شدگی بالا و عناصر Ba، Mo، Na، Fe و Sc در درجه دوم غنی‌شدگی قرار دارند. در مقابل این گروه، عناصر Ca، Ni، Cr، Mg و در درجه پایین‌تر عناصر Sr،

Zn, Pb و Co تحت شسته شدگی قرار گرفته است (Ca نمونه دگرسان و Co نمونه غیر دگرسان) (شکل ۳-۹).



شکل ۳-۹: نمودار آیزوکن نمونه ۷۵۸ (Ca) و ۵۲۳ (Co)

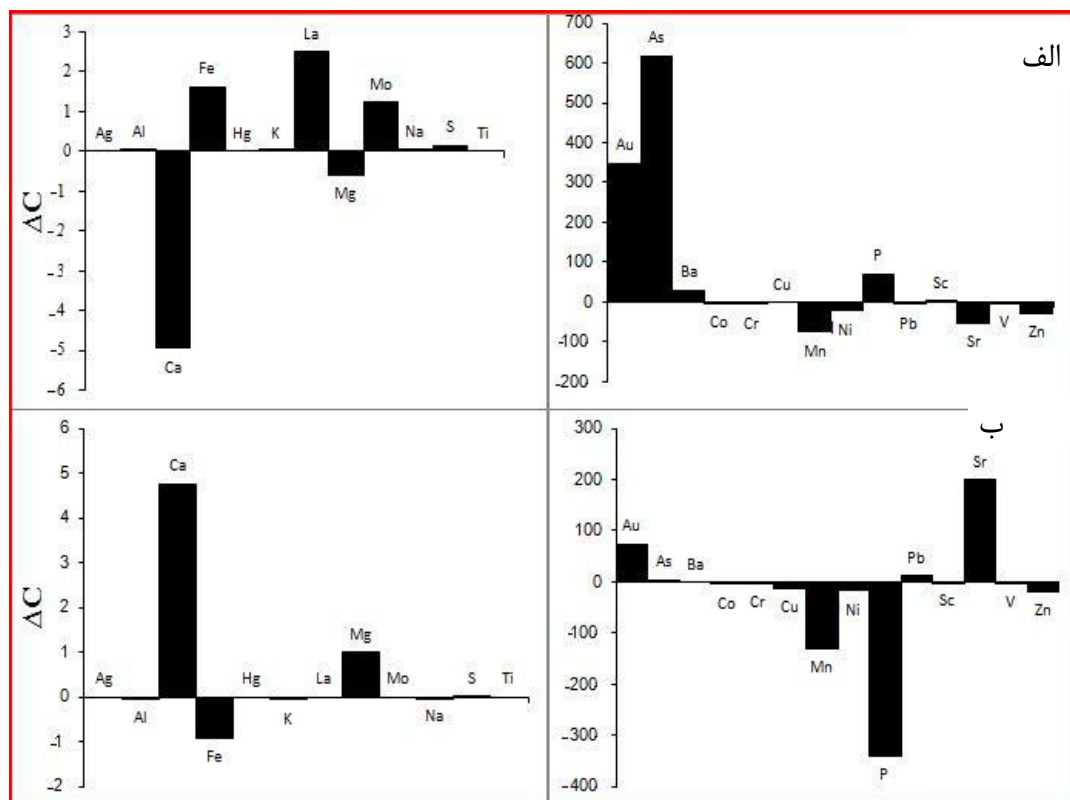
بر اساس نمودار آیزوکن نمونه دوم (نمونه ۵۷۶ دارای ۷۵ ppb طلا) عناصر Au, Sr, Ca, Pb, Mg و تا حدودی S و As غنی شده‌اند. عناصر Co, Cr, Cu, K, Ni و P به‌مراه V, Mn و Zn اثرات شسته شدگی و یا تهی‌شدگی ژئوشیمیایی در این واحدهای سنگی را نشان می‌دهند (شکل ۳-۱۰).



شکل ۳-۱۰: نمودار آیزوکن نمونه ۵۷۶ (Ca) و ۵۲۳ (Co)

بر اساس محاسبات تغییرات جرم و جهت تسهیل در تفسیر، نمودار میله مرتبط به تغییرات بوجود آمده را ترسیم نموده‌ایم (شکل ۳-۱۱). نتایج مذکور گویای آن است که عناصر P ، Au ، As و Ba و تا حدودی Fe ، Mo و La در نمونه با مقدار طلای بالا تحت غنی‌شدگی قرار گرفته است. و همچنین عناصر Sr ، Pb و تا حدودی Ca و Mg در این بخش از منطقه دچار شسته‌شدگی شیمیایی قرار گرفته است. غنی‌شدگی As نسبت به دو محیط سنگی دیگر در این قسمت بارزتر است (شکل ۳-۱۱).

بی‌حرکی عناصر Al ، Ti ، Na ، K ، Hg و Ag در این واحدهای سنگی قابل تأیید است.



شکل ۳-۱۱: نمودار هیستوگرام تغییرات جرم منطقه پهنه برشی الف (نمونه ۷۵۸ ب) نمونه ۵۷۶

۷-۳ نتیجه گیری

بررسی فراوانی و توزیع عناصر در داده‌های لیتوژئوشیمیایی در پهنه‌برشی طلای کرویان نشان می‌دهد که تأثیر محلول‌های کانساز بر روی محیط‌های سنگی متفاوت بوده اما با این وجود عناصر Na, K, Sc, Cr و تا حدود کمی V عموماً دارای رفتار کم تحرکی همانند Ti و Al در این واحدها از خود نشان داده‌اند، و تقریباً می‌توان گفت در تمام بخش‌های پهنه‌برشی حفظ شده‌اند. و در این میان عناصر Pb, Zn, Mn, Ca, Sr و Ba و تا حدودی عناصر Ag, As و Hg تحرک بالای در این واحدها از خود نشان می‌دهند. که این رفتار بسته به محیط سنگی مربوطه آنها تحت غنی‌شدگی یا شسته شدگی قرار گرفته است.

بر اساس نتایج بدست آمده، تغییرات جرم افزایشی مشترک در تمامی واحدهای سنگی مرتبط با عناصر La و Au بوده است. بیشترین تغییرات جرم طلا در ارتباط با متاولکانیک‌های منطقه می‌باشد

و در گرانیتهای به حد متوسط و در پهنه‌برشی از همه کمتر است. As در واحد سنگی پهنه‌برشی بیشترین عکس‌العمل را در مقایسه با دو واحد سنگی دیگر از خود نشان داده است. روند کاهشی مشترک تغییرات جرم همراه با Zn, Ca, Sr و Pb و تا حدودی Mg در کلیه واحدهای سنگی دیده می‌شود.

فصل چهارم

تعیین موقعیت سطح فرسایش

آنومالی نسبت به سطح

کانی سازی احتمالی

۴-۱ مقدمه

یکی از مباحث مهم در اکتشاف و ارزیابی ذخایر پنهانی بحث تحلیل سطح از فرسایش آنومالی - های ژئوشیمیایی است. در موارد زیادی زون‌های آنومالی به حد اقتصادی نرسیده‌اند و یا محتمل می‌باشد که ناشی از ذخیره فرسایش یافته است. به عبارت دیگر آنومالی ژئوشیمیایی ثبت شده ممکن است بر زون کانی‌سازی انطباق داشته و یا سطح از فرسایش کانسار پیشرفت داشته و سطح فعلی آنومالی منطبق بر ریشه کانسار باشد. تشخیص این موضوع مهم کمک زیادی در جلوگیری از هزینه کردن اضافی در امر حفاری و ادامه اکتشافات تفصیلی خواهد نمود و در مقابل تمرکز بر روی آنومالی - های اقتصادی صورت خواهد پذیرفت.

دستیابی به اهداف فوق با استفاده از تحلیل سطح از فرسایش و مقایسه پاراژنهای درجه حرارت پایین (عناصر قاعده ۷ یا فوق کانساری) با پاراژنهای درجه حرارت بالا (عناصر قاعده ۸ یا تحت کانساری) صورت می‌گیرد.

در این فصل برای رسیدن به این هدف ابتدا نقشه توزیع فضایی طلا و برخی عناصر مرتبط رسم شده و مناطقی که دارای کانی‌سازی طلا می‌باشند، مشخص شده است. برای بررسی سطح فرسایش کانسار در این محدوده‌ها به رفتار عناصری که می‌توانند سطح فرسایش را ارزیابی نمایند، پرداخته شده است.

۴-۲ الگوهای منطقه‌بندی ژئوشیمیایی عناصر

مشاهدات نشان داده است که توزیع فضایی (طول، عرضی و ارتفاع) عناصر کمیاب و کانی‌ها در اطراف و یا درون نهشته‌های کانساری می‌تواند از یک الگوی منطقه‌ای متقارن (کم و بیش هم مرکز) یا نامتقارن پیروی کند. تقارنی که در توزیع منطقه‌ای عناصر یا کانی‌ها در سنگ‌های درونگیر کانسار به وجود می‌آید، به وسیله چندین متغیر پیچیده، مانند اختلاف در قابلیت تحرک عناصر که خود می‌تواند تابعی از دما، فشار، اختصاصات فیزیکی و شیمیایی سنگ درونگیر و غیره باشد، کنترل می‌شود [Levinson, 1980].

در مطالعه الگوی منطقه‌بندی ژئوشیمیایی، توزیع منطقه‌ای و تغییرات غلظت عناصر مورد بحث می‌باشد. باید خاطر نشان شود که این الگو می‌تواند با جهت جریان محلول‌های کانی‌ساز مطابقت داده شوند. علت پیدایش الگوی منطقه‌ای در کانسارها می‌تواند به این دلیل باشد که ضمن کاهش دما و فشار بر اثر دور شدن از مرکز، در محلول‌های هیدروترمال اشتقاق عناصر صورت می‌گیرد، برای مثال کانه‌های عناصر Ag، Pb و Cu به ترتیب باید به طرف درون و پایین توده کانسار بیشتر یافت شوند و عموماً هم همین‌طور 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 عناصر، پتانسیل الکتروودی و قابلیت تحریک را از عوامل مهم در ایجاد منطقه‌بندی شناخته‌اند این امر می‌تواند به عنوان راهنمای مفیدی در تعیین جهت و مرکز فعالیت‌های کانی‌سازی به کار برده شود [حسنی-پاک، ۱۳۸۳؛ Beus and Grigorian 1977].

چنانچه الگوهای منطقه‌ای مورد تفسیر قرار گیرد امکان ارزیابی این امر که آیا منطقه کانی‌سازی ضعیف در پایین‌ترین سطح معدن (کف توده کانسار است) واقع شده است یا در بخش‌های عمیق‌تر اثرات کانی‌سازی گسترش دارد و لازم است تا با حفاری بیشتری به آن دسترسی پیدا کرد.

آنچه در مبحث ژئوشیمی اکتشافی بیشتر مورد نظر است الگوهای منطقه‌ای در مقیاس متر تا کیلومتر است که در واقع همان الگوی منطقه‌ای در مقیاس نهشته‌های کانساری است. یکی از مفیدترین خصوصیات منطقه‌بندی ژئوشیمیایی که بر اساس پراکندگی عناصر کمیاب انجام می‌گیرد در این است که منطقه‌بندی مذکور برای توصیف و مشخص کردن کمی مناطق مختلف کانی‌سازی شده در روی نقشه و همچنین برای نشان دادن نسبت‌های موجود بین عناصر مختلف و ایزوتروپ‌های آنها، بسیار مناسب است [شبانکاره و طباطبایی، ۱۳۸۶].

برای مثال کانسارهای رگه‌ای هیدروترمال در منطقه‌بندی عناصر وابسته به خود ترتیب خاصی را نشان می‌دهند. در این منطقه‌بندی کانی‌های سولفوری عناصری نظیر Pb, Zn, Cu, Ni, Fe, Co و Hg به نحوی پراکنده می‌شوند که عناصر واقع در ابتدای این توالی بیشتر در درونی‌ترین و عمیق‌ترین مناطق (در مرکز) و عناصر انتهایی توالی بیشتر در بخش‌های خارجی‌تر (حاشیه‌ای) یافت می‌شوند [et al., 2008].

۳-۴ هاله‌های محوری ذخایر طلای پهنه‌برشی

زون‌بندی هاله‌های اطراف یک منطقه کانی‌سازی در یک سیستم سه بعدی معمولاً در سه جهت محوری (قائم)، طولی (به موازات امتداد توده کانسار) و عرضی (در جهت عمود بر امتداد توده کانسار) تعریف می‌شوند. عملاً مهم‌ترین منطقه‌بندی هاله‌ها در جهت محوری (قائم) در نظر گرفته می‌شود که برای انواع مختلف کانسارهای فلزی توالی استاندارد عناصر به دست آمده و از نظر کاربردی بسیار حائز اهمیت است [Levinson, 1980].

الگوی منطقه‌بندی محوری ژئوشیمیایی عناصر در جستجوی کانی‌سازی پنهانی اساساً با اهمیت است، زیرا در نواحی کانساری به شدت فرسایش یافته، تعداد آنومالی‌هایی که به وسیله هاله‌های واقع در زیر توده کانساری ارائه می‌شوند زیاد است. بدین جهت است که در جستجوی موفقیت‌آمیز کانی-

سازی پنهانی داشتن برداشت صحیحی از موقعیت فضایی آنومالی‌ها شرط اساسی است. اگر سطح فرسایش کنونی در بالای سطح کانی‌سازی پنهانی قرار گرفته باشد، هاله‌های بخش فوقانی فقط معرف آن توده کانساری پنهانی می‌باشند که نسبت به بقیه در مرتفع‌ترین سطح قرار دارد. اگر سطح فرسایش کنونی در زیر سطح پایین کانی‌سازی قرار گرفته باشد، در این صورت تمام توده کانساری باید فرسایش یافته باشند و فقط هاله‌هایی که در زیر آن‌ها تشکیل شده کشف خواهد شد. چنین آنومالی‌هایی عملاً بی‌اهمیت‌اند [Levinson, 1980]

بطور کلی زون‌بندی که در کانسارهای طلا تشکیل می‌شود نشان دهنده یکسری تغییرات است که این تغییرات عبارتند از [Hui et al., 1994]:

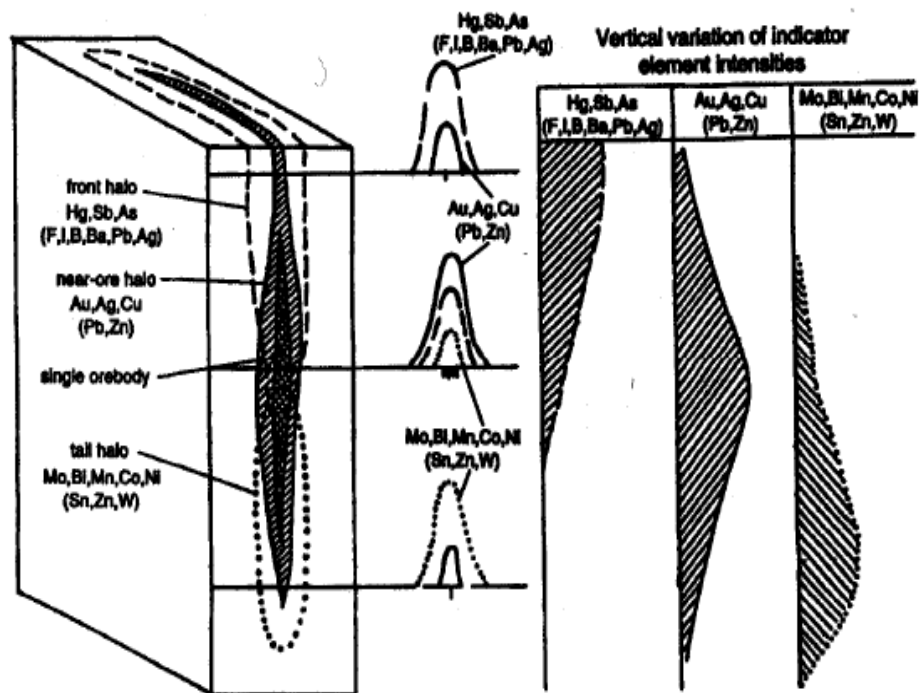
تغییرات مکانی و زمانی در تشکیل طلا و عناصر همراه

تغییرات فیزیکی-شیمیایی سنگ میزبان

تغییر در ترکیب محلول‌های کانی‌ساز حین مهاجرت سیال

مطالعات در مورد ذخایر طلای هیدروترمال نشان می‌دهد که:

۱- زون‌بندی ژئوشیمیایی در کانه‌هایی که حاصل یک مرحله کانی‌سازی می‌باشند قابل تشخیص بوده و شامل هاله‌های مجاور، هاله‌های فوقانی و تحتانی توده بوده که از همپوشانی قائم هاله‌های اولیه (B, F, I, Ba) ; Hg-As-Sb ; Pb-Zn-Cu ; Au-Ag ; Co, Mo, Ni, Zn, W, Sn می‌باشد (از بالا به پایین شکل ۴-۱).



شکل ۴-۱ مدل هاله‌های محوری اطراف ذخایر طلائی پهنه‌برشی با هاله‌های اولیه که طی یک مرحله اصلی کانی‌سازی به وجود آمده است [Hui, 1994].

مقاطع حاصل از سطوح مختلف کانسار که بخش‌های مختلفی از هاله‌هایی که همپوشانی دارند

را نشان می‌دهد، الگوی زیر را دنبال می‌کنند:

در بالاترین بخش از مقطع مجموعه عناصر زیر دیده می‌شود:

الف) Hg, As, Sb, Ba, I, F آنومالی‌های قوی تا تقریباً قوی نشان می‌دهند.

ب) Au, Cu, Ag, Pb, Zn آنومالی‌های ضعیف تا نسبتاً قوی دارند.

در بخش میانی:

الف) Au, Ag, Cu, Pb, Zn (Bi و Mo) آنومالی‌های شدید تا نسبتاً شدیدی دارند.

ب) As و Sb (F, Ba, Hg و I) آنومالی‌های ضعیف نشان می‌دهند.

ج) Mo, Bi, Mn, Co, Ni, W و Sn آنومالی‌های ضعیف دارند.

در پایین‌ترین قسمت مقطع:

الف) Mo، Ni، Bi، Mn و Co (Sn) آنومالی‌های شدید تا نسبتاً شدید نشان می‌دهند.

ب) Au، Ag، Zn و Cu آنومالی‌های ضعیفی دارند.

۲) ذخایر عدسی شکلی که تحت شرایط ساختاری یکسان تشکیل شده و مراحل کانی‌سازی آنها یکی است، هاله‌های فوقانی و تحتانی یکسان دارند. با این تفاوت که هر ذخیره هاله‌های تحتانی و فوقانی مخصوص به خود داشته که از هاله‌های معمول کوچکتر بوده و با کنار هم قرارگیری کانسارها، هاله‌ها ممکن است همپوشانی داشته باشند

۳) ذخایری که حاصل مراحل یا فازهای مختلف کانی‌زایی می‌باشند دارای زون‌های ژئوشیمیایی مشابه بود و هر مرحله یا فاز مختلف کانی‌زایی هاله‌های فوقانی و تحتانی مختص خود دارد.

۴) هنگامی که کانسارهای قبلی با هاله‌های جدید ناشی از فاز بعدی کانی‌زایی برخورد می‌کنند، مهاجرت ژئوشیمیایی جدید هاله در ساختار هاله‌ها ایجاد پیچیدگی می‌نماید، ولی این پیچیدگی‌ها شکل هاله‌ها را تغییر نمی‌دهد بلکه موجب همپوشانی هاله‌های دو مرحله‌ای می‌گردد [Hui et al, 1994].

هاله‌های اولیه اطراف ذخایر طلا بسته به اینکه در چه موقعیتی از زون آلتراسیون قرار می‌گیرند به چندین حالت می‌توانند تشکیل شوند که از جمله می‌توان به موارد زیر اشاره کرد [Hui et al, 1994].

الف) کانسار یا هاله‌های اولیه که در طی یک یا دو مرحله اصلی کانی‌سازی تشکیل شده‌اند و همپوشانی کامل دارند: در این حالت تنها یک کانسار در زون آلتراسیون تشخیص داده می‌شود. اگر این کانسار (هاله) طی دو مرحله تشکیل شده باشد، زون‌های حاصل از آخرین مرحله تا حدودی تحت تأثیر مراحل بعدی قرار می‌گیرند. (شکل ۴-۱)

ب) دو کانسار یا هاله که بصورت بخشی همپوشانی دارند و طی دو مرحله اصلی کانی‌سازی شکل گرفته‌اند: در این حالت ابعاد کانسار توسعه یافته و هاله‌ها در جهت محوری (عمودی) گسترش

می‌یابند. بدلیل همپوشانی دو هاله فوقانی و دو هاله تحتانی از کانسار بالا و پایین طول ترکیبی و شدت هاله‌های فوقانی و تحتانی و همپوشانی آنها افزایش می‌یابد. زونالیت‌ها حاصل از این همپوشانی نرمال است. نتایج حاصل از مدل به شرح زیر می‌باشد:

- اگر حجم طلا کم بوده و عناصر هاله‌های فوقانی نظیر Hg, Sb, F, I, B و As آنومالی قوی داشته باشند، امکان وجود کانی‌سازی پنهان در عمق هست. در صورتیکه عناصر هاله‌های تحتانی نظیر Ni و Co, Mn, Mo, Bi آنومالی قوی داشته باشند نشان می‌دهد که در اعماق کانی‌سازی نداریم.

- زمانی که آنومالی عناصر فوق و تحت کانساری در هاله‌های اولیه یک ذخیره طلا بخوبی قابل تشخیص باشد، می‌توان گفت که کانسار حاصل همپوشانی در دو مرحله فلزایی بوده و گسترش عمقی دارد. اگر شدت هاله‌های فوق کانساری بیشتر از شدت هاله‌های تحت کانساری باشد، نشانه گسترش کانسار بوده و اگر عناصر فوق کانساری شدتی کمتر از عناصر تحت کانساری داشته باشند، نشان دهنده عدم گسترده‌گی کانسار می‌باشد [Hui et al, 1994].

۴-۴ بررسی سطح فرسایش آنومالی نسبت به سطح کانی‌سازی در

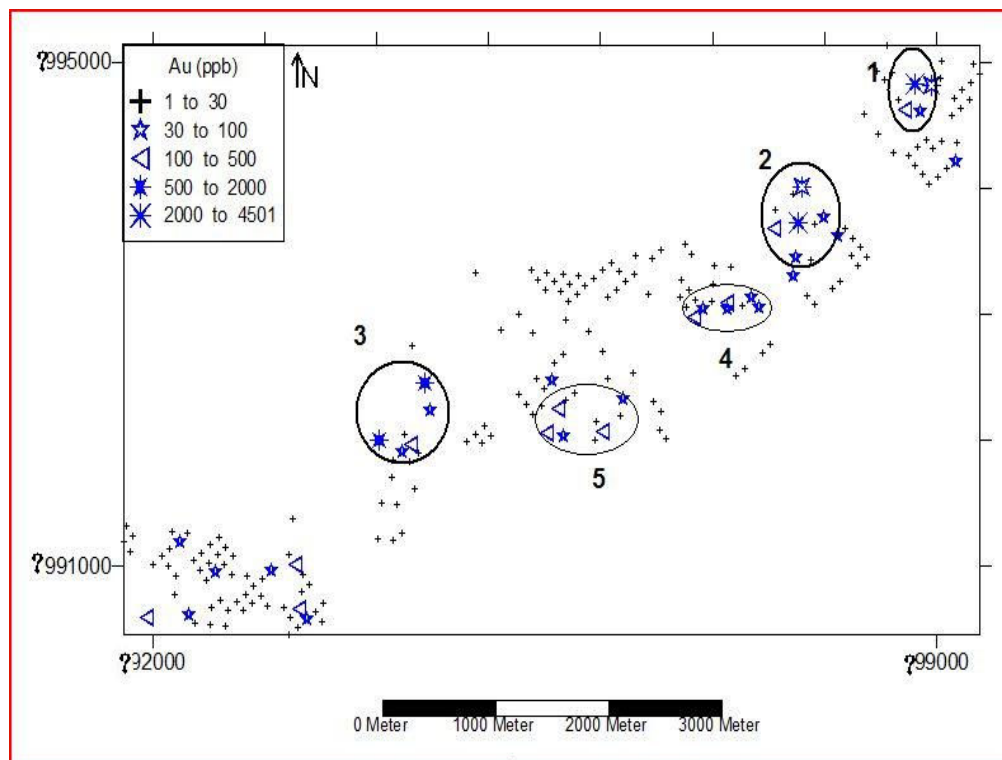
منطقه مورد مطالعه

به منظور ارزیابی سطح فرسایش در منطقه مورد مطالعه ابتدا به بررسی پراکندگی عناصر پرداخته و نقشه توزیع فضایی آنها ترسیم گردیده است. پراکندگی طلا بر اساس موقعیت نمونه‌ها در شکل ۲-۴ و ۳-۴ نشان داده شده است، بر این اساس محدوده‌هایی که دارای مقادیر طلای قابل توجه است، مشخص شده است. همانطور که مشاهده می‌شود در این شکل ۵ محدوده مشخص شده، در سه محدوده ۱، ۲ و ۳ نمونه‌هایی با مقادیر طلای بالا وجود دارد و از اهمیت بیشتری نسبت به محدوده‌های دیگر برخوردار می‌باشند. این سه محدوده به احتمال زیاد در درون بخش کانی‌سازی قرار دارند.

در هر یک از بخش‌های سه‌گانه مذکور جنس واحدهای سنگی به ترتیب شامل:

گرانیت‌ها (محدوده ۱) و متاولکانیک‌ها (محدوده ۲ و ۳) می‌باشد. اما در محدوده‌های ۴ و ۵ که دارای نمونه‌هایی با طلای در حد متوسط است و عیار آنها نسبت به سه زون دیگر کمتر می‌باشد -

تواند مؤید این باشد که احتمالاً کانی‌سازی پنهانی بوده و این محدوده‌ها ناشی از هاله‌هایی باشد که از فرآیندهای کانی‌سازی در عمق ایجاد گردیده است. محدوده ۴ بیشتر در بخش برشی منطقه می‌باشد و همچنین محدوده ۵ شامل واحدهای متاولکانیکی، فیلیتی و بخش برشی است.

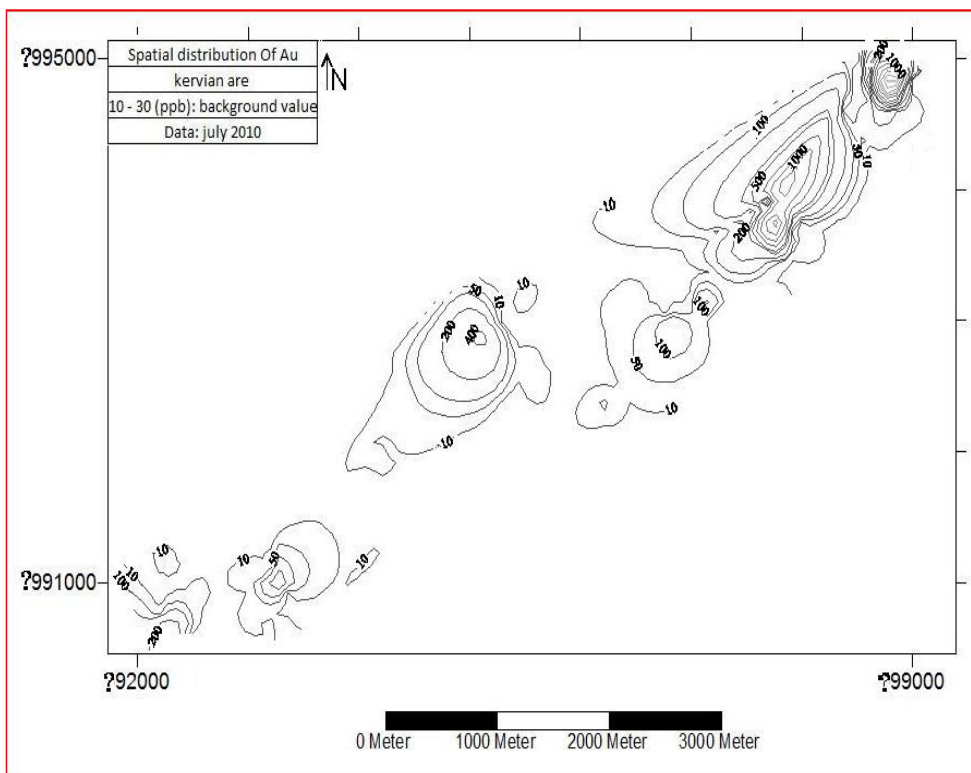


شکل ۴-۲: نقشه توزیع فضایی پراکندگی طلا و محدوده‌های مشخص شده در منطقه

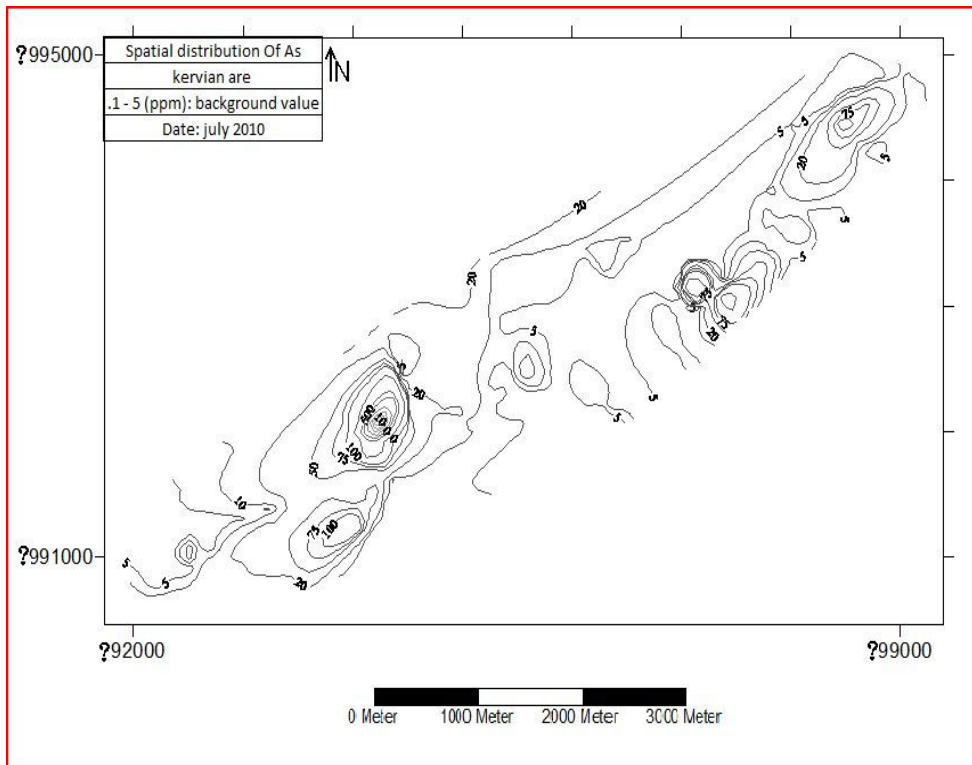
بر اساس نقشه‌های توزیع فضایی As، Hg و مقدار زمینه این دو عنصر در سنگ‌های منطقه (شکل‌های ۴-۴ و ۵-۴) ملاحظه می‌گردد که این دو عنصر در بخش‌هایی از منطقه غنی شده است. این مطلب مؤید نتایج بدست آمده از محاسبات تغییر جرم می‌باشد.

دو عنصر Co و Ni با توجه به نقشه‌های توزیع فضایی مربوطه (شکل‌های ۴-۶ و ۴-۶) و بر اساس مقدار زمینه آنها شدت غلظت بسیار پایین را از خود نشان می‌دهند که در محدوده پایین مقدار زمینه است.

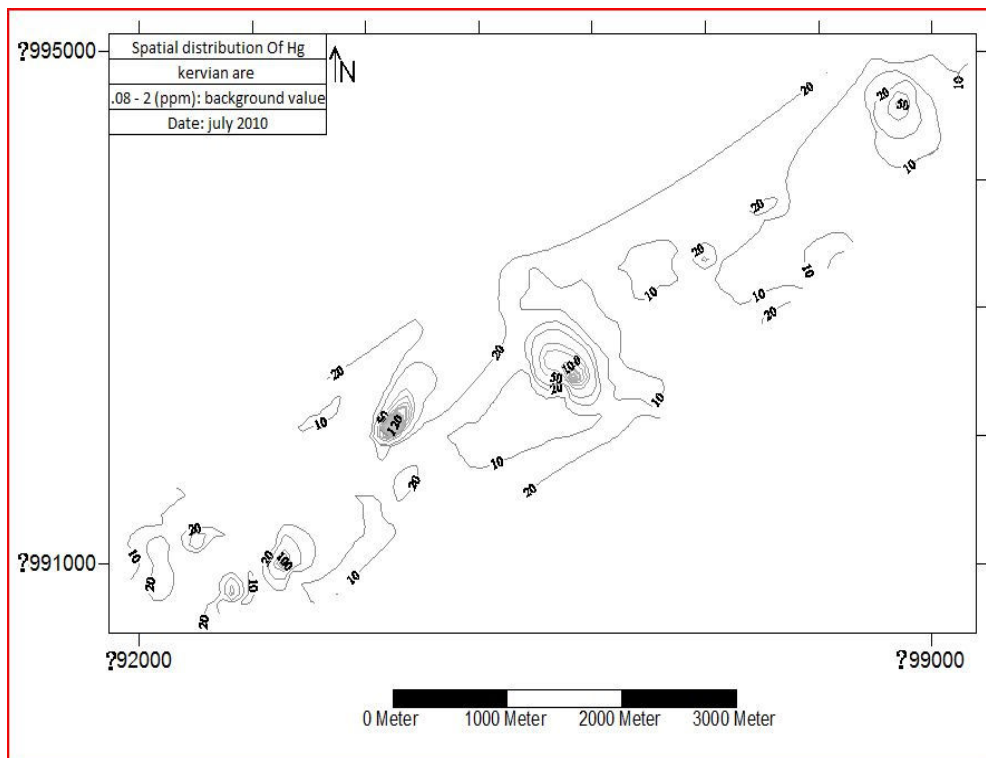
عناصر Cu، Zn و Pb غلظت‌هایی در حد زمینه را دارند که بر اساس نقشه‌های توزیع فضایی این عناصر (شکل‌های ۴-۸ و ۴-۹ و ۴-۱۰) این مطلب تأیید می‌گردد. بر اساس نتایج محاسبات تغییر جرم نیز این عناصر تغییر خاصی را نشان نمی‌دهند.



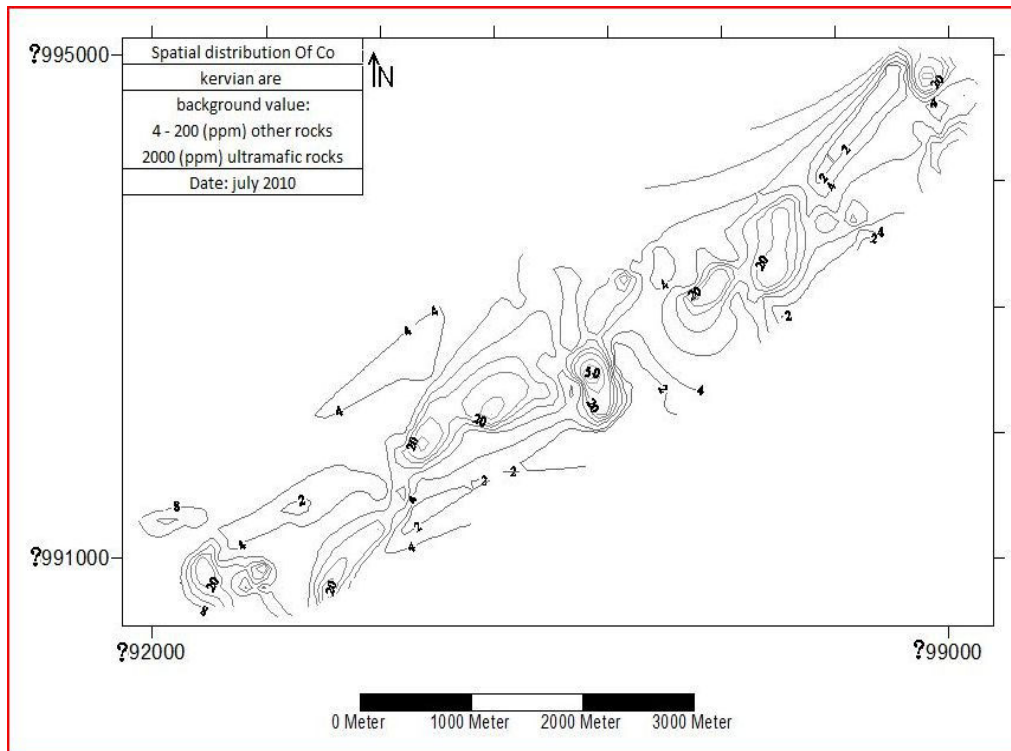
شکل ۴-۳: نقشه توزیع فضایی پراکندگی طلا در منطقه



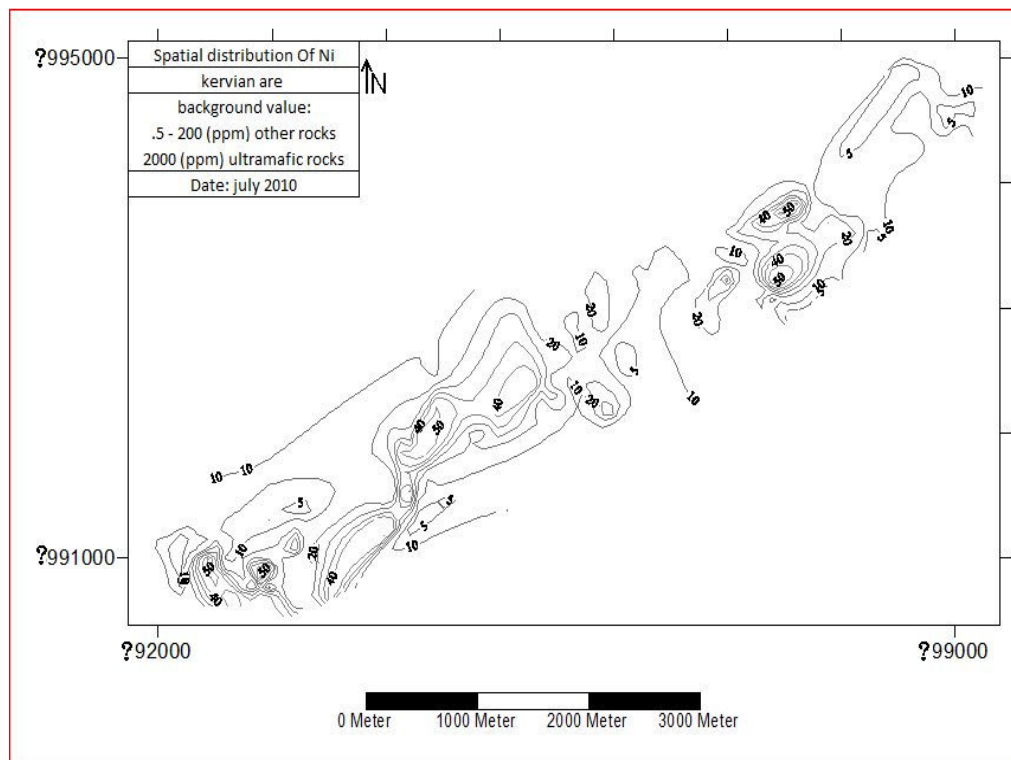
شکل ۴-۴: نقشه توزیع فضایی پراکندگی As در منطقه



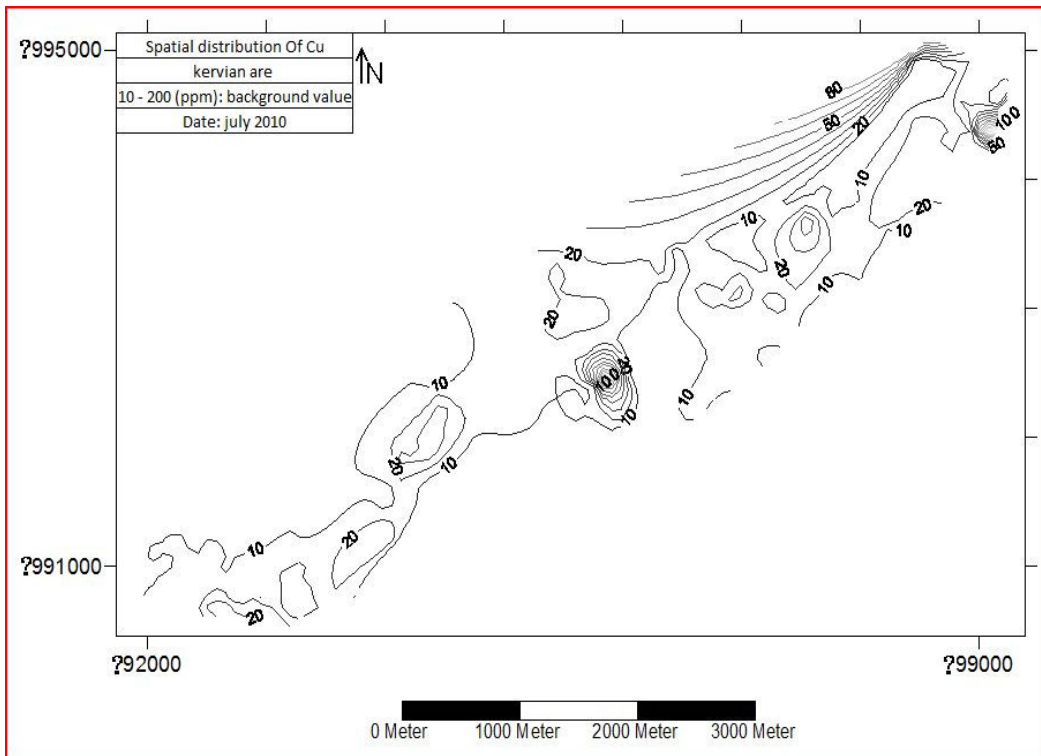
شکل ۴-۵: نقشه توزیع فضایی پراکندگی Hg در منطقه



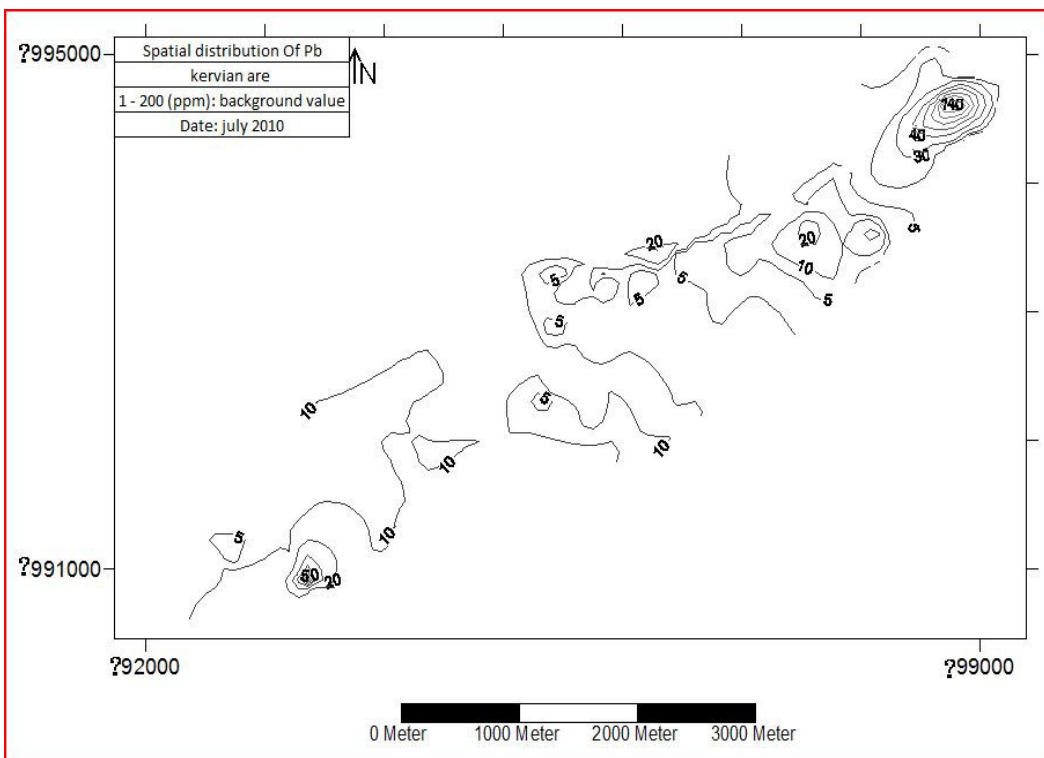
شکل ۴-۶: نقشه توزیع فضایی پراکندگی Co در منطقه



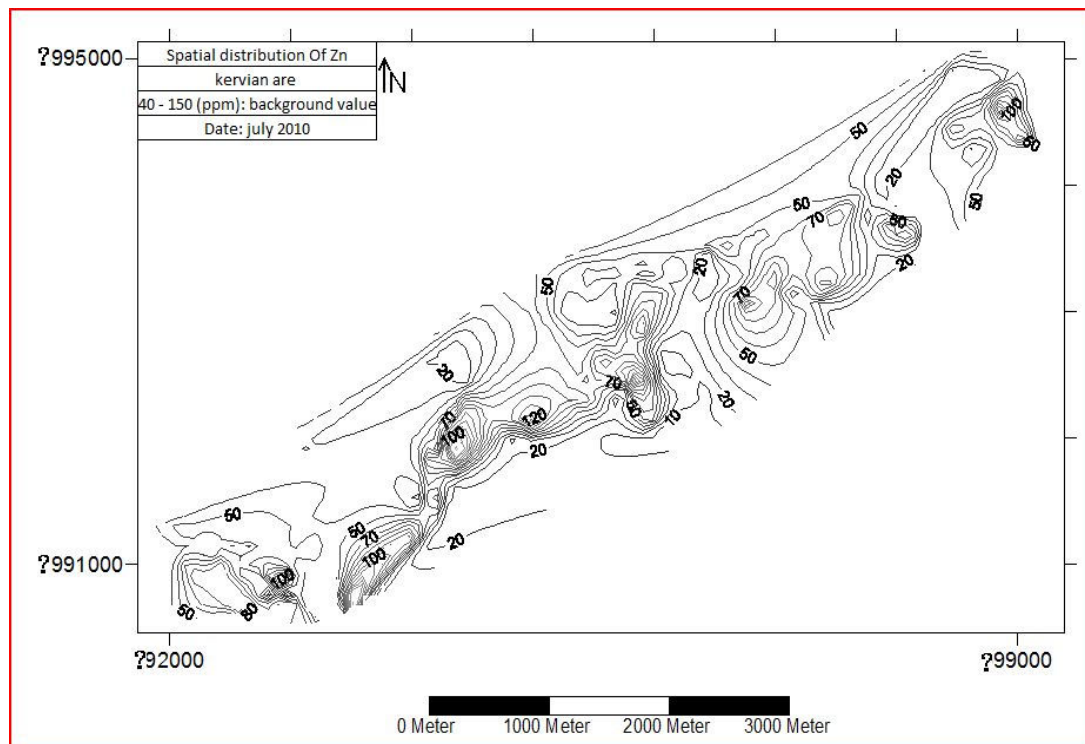
شکل ۴-۷: نقشه توزیع فضایی پراکندگی Ni در منطقه



شکل ۴-۸: نقشه توزیع فضایی پراکندگی Cu در منطقه



شکل ۴-۹: نقشه توزیع فضایی پراکندگی Pb در منطقه



شکل ۴-۱۰: نقشه توزیع فضایی پراکندگی Zn در منطقه

در جدول ۴-۱ و ۴-۲ با توجه به محدوده‌های مشخص شده، نمونه‌ها تفکیک گردیده است و ضرایب عناصر فوق کانساری، تحت کانساری و همچنین بخش‌های میانی کانسار محاسبه گردیده است. با توجه به جدول مقادیر ضریب As.Hg (عناصر فوق کانساری) در محدوده‌های عیار بالای طلا (مناطق دوگانه ۱ و ۲ دارای طلا بالای ۲۰۰۰ ppb) مقدار کمتری نسبت به نمونه‌های دیگر نشان می‌دهد در حالیکه مقدار این ضریب در مناطق دارای عیارهای کمتر (مناطق سه گانه ۳ و ۴ و ۵ با طلای در حدود ۵۰۰ ppb) مقادیری به مراتب بالاتر را نشان می‌دهد. از آنجا که محدوده‌های یاد شده (محدوده ۱ و ۲) با وجود عیارهای بالای طلا در زون کانی‌سازی قرار دارد لذا می‌توان گفت که کاهش ضریب عنصری در این مناطق احتمالاً نشان دهنده این است که سطح فرسایش در این محدوده‌ها پیشرفت زیادتری داشته و در زون کانی‌سازی قرار دارد و در مناطق سه‌گانه ۳، ۴ و ۵ در سطح بالاتر قرار گرفته است و احتمالاً کانی‌سازی پنهان محسوب می‌گردد. همچنین ضریب Cu.Zn که بیشتر نشان دهنده شاخصه‌های خود کانسار و بخش میانی می‌باشد دارای رفتاری مشابه با As.Hg است، به

طوری که این شاخص نیز می تواند معیار خوبی برای شناسایی مناطق کانی سازی باشد. عکس العمل حاصل ضرب Co.Ni که بیشتر نشان دهنده قسمت های تحتانی کانسار است رفتاری تقریباً متضاد با As.Hg و Cu.Zn را از خود نشان می دهد.

جدول ۴-۱: غلظت عناصر مختلف در هر یک از محدوده های پنج گانه

منطقه	Au	Hg	As	Ni	Co	Cu	Pb	Zn
1	4500	7.5	1.50	5.00	49.00	9.00	2.00	6.00
1	500	7.5	12.00	20.00	11.00	32.00	1.54	56.00
1	100	40.0	88.00	15.00	7.00	11.00	166.00	50.00
1	50	7.5	32.00	3.00	0.75	33.00	138.00	128.00
2	2400.00	6.0	4.50	5.00	5.00	5.00	8.00	16.00
2	2000	7.5	1.50	6.00	1.00	3.00	1.54	16.00
2	490	19.0	22.50	23.00	24.00	53.00	30.00	76.00
2	60	14.0	50.00	3.00	6.00	15.00	6.00	36.00
2	60	7.5	84.00	31.00	9.00	14.00	12.00	46.00
3	650	40.0	16.00	7.00	2.00	3.00	8.00	6.00
3	550	10.0	122.00	27.00	7.00	17.00	10.00	38.00
3	360	10.0	132.00	63.00	20.00	34.00	8.00	154.00
3	50	30.0	38.00	55.00	19.00	35.00	18.00	116.00
4	350	10	626	1	3	15	4	12
4	200	20	14	24	16	13	4	86
4	62	10	340	2	3	16	1.54	18
5	489	30.0	18.00	33.00	10.00	15.00	22.00	64.00
5	200	20.0	14.00	24.00	16.00	13.00	4.00	86.00
5	100	40.0	88.00	15.00	7.00	11.00	166.00	50.00
5	23	70.0	22.00	35.00	14.00	24.00	26.00	108.00

جدول ۴-۲: مقادیر بدست آمده برای ضرایب عناصر مختلف

منطقه	Au	As.Hg	Co.Ni	Cu.Pb	Cu.Zn	Pb.Zn	As.Hg/Co.Ni	As.Hg/Cu.Pb	As.Hg/Cu.Zn	As.Hg/Zn.Pb
1	4500	11.25	245	18	54	12	0.05	0.63	0.21	0.94
1	500	190	220	49.28	1792	86.24	0.84	1.83	0.05	1.04
1	100	3520	105	1826	550	8300	33.52	1.93	6.40	0.42
1	50	2400	2.25	4554	4224	17664	1066.67	0.53	0.57	0.14
2	2400	27	25	40	80	128	3.76	2.25	1.13	0.70
2	2000	12.25	6	4.62	48	24.64	1.9	2.44	0.23	0.46
2	490	430	552	1590	4028	2280	0.78	0.27	0.11	0.19
2	60	720	18	90	540	216	40.00	8.00	1.33	3.33
2	60	630	279	168	644	552	2.26	3.75	0.98	1.14
3	650	640	14	24	18	48	45.71	26.67	35.56	13.33
3	550	1220	189	170	646	380	6.46	7.18	1.89	3.21
3	360	1320	1260	272	5236	1232	1.05	4.85	0.25	1.07
3	50	1140	1045	630	4060	2088	1.09	1.81	0.28	0.55
4	350	6260	3	60	180	48	2086.67	104.33	34.78	130.42
4	200	280	384	52	1118	344	0.73	5.38	0.25	0.81
4	62	3400	6	24.64	288	27.72	566.67	137.99	11.81	122.66
5	489	540	330	330	960	1408	1.64	1.64	0.56	0.38
5	200	280	384	52	1118	344	0.73	5.38	0.25	0.81
5	100	3520	105	1826	550	8300	33.52	1.93	6.40	0.42
5	23	1540	490	624	2592	2808	3.14	2.47	0.59	0.55

چنانچه در محدوده‌های دوگانه ۱ و ۲ به ارزیابی عکس‌العمل‌های هاله‌های ضربی پرداخته شود و همچنین رفتار نسبت $As.Hg/Co.Ni$ مدنظر قرار داده شود، قادر خواهیم بود که به ارزیابی کاملتری از سایر مناطق اکتشافی بپردازیم.

روند تغییرات کلیه هاله‌های ضربی در محدوده سه و روند نسبت $As.Hg/Co.Ni$ در این محدوده عدم امید بخشی منطقه را پیشنهاد می‌دهد. این در حالی است که در محدوده ۴ روند هاله‌های ضربی $As.Hg$ ، $Cu.Pb$ ، $Cu.Zn$ و $Pb.Zn$ به‌مراه روند معکوس $Co.Ni$ با تغییرات غلظت طلا می‌توان نشانه امید بخشی محدوده مذکور باشد. محدوده ۵ نیز روایی تقریباً مشابه منطقه ۳ را نشان می‌دهد. لذا بدین منوال محدوده ۴ می‌تواند در یک سطح از فرسایش بالایی متصور شود ولی در خصوص دو محدوده ۳ و ۵ با اطمینان نمی‌توان در این خصوص قضاوت نمود. در خصوص محدوده ۱

بنظر می‌رسد که سطح از فرسایش نسبتاً پایین باشد و در بخشی از این محدوده سطح از فرسایش بالا می‌تواند باشد. در محدوده ۲ احتمالاً سطح از فرسایش نسبتاً بالاتر از منطقه می‌تواند تصور گردد.

۴-۵ نتیجه‌گیری

کانی‌سازی در ذخایر طلای هیدروترمالی که از طریق ساختاری کنترل می‌شوند، حاصل چندین مرحله یا فاز کانی‌سازی می‌باشد و هاله‌های اولیه همراه آنها ویژگی‌هایی از کانی‌سازی چند مرحله‌ای را نشان می‌دهند. از این رو شناسایی و تشخیص سطح از فرسایش ذخایر کار پیچیده‌ای می‌باشد. به همین دلیل در اینجا شاخص‌های تعریف شده به ویژه شاخص $As.Hg/Co.Ni$ می‌تواند معرف آن باشد که احتمالاً فازهای کانی‌سازی متعدد در منطقه عمل کرده است و سطوح فوقانی کانسار در مراحل اولیه کانی‌سازی در برخی قسمت‌های منطقه از بین رفتن باشد. این امر توسط محققینی که در این منطقه کار کرده‌اند، نیز اشاره مورد قرار گرفته و ذکر شده است که کانی‌سازی در منطقه در طی حداقل دو فاز به وجود آمده است [حیدری و همکاران، ۱۳۸۳].

لذا در یک جمع‌بندی نهایی اولویت‌بندی طلا می‌توان گفت، که محدوده‌های ۱ و ۲ در زون کانی‌سازی قرار دارد و سطح فرسایش احتمالاً در افق‌های پایین‌تر نسبت به محدوده‌های ۳، ۴ و ۵ قرار دارد. همچنین نتایج بررسی‌ها گویای آن است که احتمال دستیابی به زون‌های طلا دار در محدوده ۴ در مقایسه با نواحی ۳ و ۵ محتمل‌تر بنظر می‌رسد.

فصل پنجم

نتیجه‌گیری و پیشنهادات

۱-۱ نتیجه‌گیری و پیشنهادات

پیشینه اکتشاف و معرفی کانی‌سازی‌های طلا در منطقه سقز کاملاً جدید (بدون هیچگونه آثار معدنکاری قدیمی و شدادی) بوده و به فعالیت‌های اکتشافی در چند سال اخیر باز می‌گردد. رخدادهای طلا دار منطقه سقز، از نظر مشخصات و کنترل کننده‌های زمین‌شناسی و کانی‌سازی با شاخصه‌های شناخته شده برای کانسارهای طلای کوهزائی تشکیل شده در کمربندهای کوهزائی فانروزوئیک، تطابق نشان می‌دهند (مطالعات انجام شده توسط شمسا ۱۳۸۰، حیدری ۱۳۸۲، محجل ۱۳۸۳ و علی‌یاری ۱۳۸۵ و ... بر این مسئله دلالت دارد).

سنگ میزبان این رخدادهای آتشفشانی - رسوبی دگرگون شده در حد رخساره شیست سبز بوده و موقعیت کانی‌سازی‌ها توسط پهنه‌های برشی شکل‌پذیر تا شکننده کنترل گردیده است. یکی از مفیدترین خصوصیات منطقه‌بندی ژئوشیمیایی، که اغلب براساس پراکندگی عناصر کمیاب انجام می‌گیرد، این است که از منطقه‌بندی مذکور برای توصیف و مشخص کردن مناطق مختلف کانی‌سازی شده استفاده شود. که مطالعه این امر می‌تواند به عنوان راهنمای مفیدی در تعیین جهت و مرکز فعالیت‌های کانی‌سازی و معیاری برای ارزیابی کمی تعیین این محدوده‌ها به کار برده شوند

بررسی تغییرات جرم در پهنه کانه‌دار کانسار طلای کرویان نشان می‌دهد که عناصر Sc, Na, K, Cr و تا حدودی V عموماً دارای رفتار کم تحرکی همانند Ti و Al هستند. و در این میان عناصر Pb, Zn, Mn, Sr, Ca و Ba و تا حدودی عناصر Ag, As و Hg تحرک بالای در این واحدها از خود نشان می‌دهند، و در این میان عناصر La, As و Au در تمامی واحدها غنی‌شدگی دارند. As در واحدهای پهنه‌برشی منطقه بیشترین عکس‌العمل غنی‌شدگی را از خود بروز می‌دهد. عناصر Sr, Ca, Zn و Pb و تا حدودی Mg در کلیه واحدهای سنگی دارای روند کاهشی است.

در ارزیابی سطح از فرسایش در منطقه مورد مطالعه، پنج محدوده مشخص گردیده است و در این محدوده‌ها به بررسی سطح فرسایش پرداخته شده است. مقادیر ضریب As.Hg و ضریب Cu.Zn برای نمونه‌ها نشان دهنده عناصر فوق کانساری و شاخصه‌های خود کانسار یا میانی کانساری است و می‌تواند به عنوان معیار خوبی برای شناسایی مناطق کانی‌سازی مورد استفاده قرار گیرد. عکس‌العمل ضریب Co.Ni بیشتر نشان دهنده قسمت‌های تحتانی کانسار است.

محدوده‌های ۱ و ۲ احتمالاً در زون کانی‌سازی از اهمیت بیشتری نسبت به مناطق دیگر قرار دارد و سطح فرسایش احتمالاً در افق‌های پائین‌تری نسبت به محدوده‌های ۳، ۴ و ۵ قرار گرفته است. در خصوص محدوده ۱ بنظر می‌رسد که سطح از فرسایش نسبتاً پایین باشد و در بخشی از این محدوده سطح از فرسایش بالا می‌تواند باشد. در محدوده ۲ احتمالاً سطح از فرسایش نسبتاً بالاتر می‌تواند تصور گردد. همچنین احتمال دستیابی به زون های طلا‌دار در محدوده ۴ در مقایسه با نواحی ۳ و ۵ محتملتر بنظر می‌رسد.

روند تغییرات کلیه هاله‌های ضربی در محدوده سه و روند نسبت As.Hg/Co.Ni در این محدوده عدم امید بخشی منطقه را پیشنهاد می‌دهد. این در حالی است که در محدوده ۴ روند هاله‌های ضربی و نسبتی با تغییرات غلظت طلا می‌توان نشانه امید بخشی محدوده مذکور باشد.

پیشنهاد می‌گردد با توجه به اینکه نمونه‌های مورد مطالعه نمونه‌های سطحی هستند، لذا برای بررسی دقیق‌تر نتایج سطح فرسایش، از نمونه‌های گمانه نیز استفاده شود.

منابع فارسی

- ابولمعالی ش د، علوی م. و ذعیم فرحزاری ن، (۱۳۷۷)، "گزارش اکتشافات ژئوشیمیایی سیستماتیک در محدوده برگه ۱:۱۰۰۰۰۰ سقز"، انتشارات سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- افتخارنژاد آ، (۱۳۵۹)، "نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ مهاباد"، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- برنا ب. و بدخشان ق، (۱۳۷۶)، "طرح اکتشافات مواد معدنی با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای ژئوفیزیک هوایی، گزارش عملیات اکتشافی چکشی در ورقه یکصدهزارم سقز"، انتشارات سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- حریری ع، (۱۳۸۲)، "نقشه زمین‌شناسی سقز"، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- حسنی پاک ع ا، (۱۳۷۸)، "اکتشافات ژئوشیمیایی سیستماتیک در محدوده برگه ۱:۱۰۰۰۰۰ آلوت در غرب برگه ۱:۱۰۰۰۰۰ سقز"، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- حسنی پاک ع ا، (۱۳۷۸)، "اکتشافات ژئوشیمیایی سیستماتیک در محدوده برگه ۱:۱۰۰۰۰۰ تیزتیز واقع در جنوب غرب سقز، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- حسنی پاک ع ا، (۱۳۸۱)، "اکتشاف ذخایر طلا"، انتشارات دانشگاه تهران چاپ دوم، ۶۹۳ ص.
- حسنی پاک ع ا، (۱۳۸۲)، "ژئوشیمی اکتشافی (محیط سنگی)"، انتشارات دانشگاه تهران، ۳۹۸ ص.
- حسنی پاک ع ا، (۱۳۸۳)، "اصول اکتشاف ژئوشیمیایی"، انتشارات دانشگاه تهران چاپ پنجم، ۶۰۱ ص.
- حسنی پاک ع ا. و شرف‌الدین، م، (۱۳۸۴)، "تحلیل داده‌های اکتشافی"، انتشارات دانشگاه تهران، ۸۵۰ ص.

حیدری س م، (۱۳۸۳)، "کانی‌شناسی، ژئوشیمی و فابریک کانه‌زائی طلا در پهنه‌برشی خمیری منطقه کرویان"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس، ۲۵۰ ص.

حیدری م، راستاد ا، محجل م. و شمسا م، (۱۳۸۳)، "کانه‌زایی طلا در پهنه‌برشی شکل‌پذیر کرویان (جنوب باختر سقز-کردستان)"، علوم زمین (شماره ۵۷) ص ۱۸ تا ۳۷.

دانشفر ب، گیاهچی پ. و زعیم فرحزاری ن، (۱۳۷۷)، "تهیه نقشه‌های مقدماتی پتانسیل مواد معدنی در گستره ورقه سقز با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ با بهره‌گیری از سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی GIS"، انتشارات سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

زرین‌فر ر، شمسا م ج. و غضنفری م، (۱۳۸۲)، "اکتشافات سیستماتیک طلا در منطقه کرویان با نگرشی ویژه بر شاخصه‌های کاربردی"، بیست و ششمین گردهمایی علوم زمین شناسی سازمان زمین‌شناسی کشور.

سیدرحیمی‌نیارق م م، (۱۳۸۷)، "تفکیک آنومالی‌های ژئوشیمیایی با استفاده از روش‌های فرکتال و آمار فضایی U و مقایسه نتایج آن با روش مدل‌سازی نمودارهای احتمال- منطقه سقز"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی شاهرود، ۱۴۸ ص.

شبانکاره م. و طباطبایی ح، (۱۳۸۶)، "روش محور سطح برای تحلیل زونینگ اندیس‌های ژئوشیمیایی"، پنجمین کنفرانس دانشجویی مهندسی معدن ص ۲۶۱ تا ۲۷۱.

علی‌یاری ف و راستاد ا، (۱۳۸۵)، "ژئوشیمی عناصر اصلی، فرعی و کمیاب و کاربرد آنها در اکتشاف طلا در پهنه‌برشی قلقله، جنوب غرب سقز"، دهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران دانشگاه تربیت مدرس، ص ۳۳۱ تا ۳۴۰.

قوامی‌ریابی ر. و تیرت هنی، (۱۳۸۶)، "محاسبات عددی شدت تاثیر محلول‌های هیدروترمال و شناسایی الگوهای اکتشافی ذخایر"، بیست و ششمین گردهمایی علوم زمین شناسی سازمان زمین‌شناسی کشور.

قربانی م، (۱۳۸۷)، "زمین‌شناسی اقتصادی (کانسارها و نشانه‌های معدنی ایران)"، انتشارات آراین زمین، ۶۵۰ ص.

کریم‌پور م ح، و سعادت ص، (۱۳۸۱)، "زمین‌شناسی اقتصادی کاربردی"، انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد، ۵۳۵ ص.

کریم‌پور م ح، ملک‌زاده آ. و حیدریان م ر، (۱۳۸۴)، "اکتشاف ذخایر معدنی"، انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد، ۶۱۲ ص.

مقصودی ع، رحمانی م. و رشیدی ب، (۱۳۸۴)، "کانسارها و نشانه‌های طلا در ایران"، انتشارات مرکز پژوهشی آراین پارس، ۳۵۰ ص،

مهدی‌زاده س، (۱۳۷۷)، "مطالعات دورسنجی مقدماتی در ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ سقز به منظور شناسایی و جداسازی واحدهای سنگی مختلف بویژه واحدهای دگرسانی"، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

منابع لاتین

- Barzegar H., (2007), Master's thesis, "Geology, petrology and geochemical characteristics of alteration zones within the Seridune prospect, Kerman, Iran", genehmigte Dissertation vorgelegt von M.Sc. a.u.s Shiraz, Iran, pp. 202.
- Baumgartner L.P & Olsen S.N., (1995) , "A least-squares approach to mass transport calculations using the isocon method", *Economic Geology* 90, pp. 1261–1270.
- Beus A. A., & Grigorian S. V., (1977), "Geochemical Exploration Methods for Mineral Deposits", *Appl. Publ. Ltd., Wilmette, III (USA)*, pp. 168
- Bursnal J.T., Jay Hodgson C., Kerrich R.W., Marquis p., Murphy J.B., Osmani I., Poulsen H & Robert F., (1989), "mineralization and shear zone", *Geological Association of Canada Short course notes*, ed: Bursnal J.T., V. 6. P. 300.
- Derakhshani R. & Abdolzadeh M., (2009), " Geochemistry, Mineralization and Alteration Zones of Darrehzar Porphyry Coppe Deposit, Kerman, Iran", *Journal of Applied Sciences*, pp. 1628-1646.
- Dube, B., & Gosselin, P. (2007), " Greenstone-hosted quartz-carbonate vein deposits; in Mineral Resources of Canada: A Synthesis of Major Deposit-Types", *District Metallogeny, the Evolution of Geological Provinces, and Exploration Methods; Geological Association of Canada, Mineral Deposits Division, Special Publication No. 5*, p.49-74.
- Eilu P., & Groves D.I., (2001), "Primary alteration and geochemical dispersion haloes of Archaean orogenic gold deposits in the Yilgarn Craton: per-weathering scenario", *Association of Exploration Geochemists and Geochemical Society of London*, pp. 183-200.
- Foster R., (1993), "Gold metallogeny and and exploration", *blackie and son .Ltd.*, p. 432.
- Ghavami-Riabi R., Seyedrahimi-Niaraq M. M., Khalokakaie R. & Hazareh M. R., (2010), " U-spatial statistic data modeled on a probability diagram for investigation of mineralization phases and exploration of shear zone gold deposits", *Journal of Geochemical Exploration* , pp. 27–33.
- Grant J. A., (2005) , " Isocon analysis: A brief review of the method and applications", *Physics and Chemistry of the Earth* 30, pp. 997–1004.

- Grant J.A., (1986), "The isocon diagram—a simple solution to Gresens' equation for metasomatic alteration", *Economic Geology* 18, pp. 1976–1982.
- Hui L., Zhinong W & Fuguo L., (1994), "Ideal models of superimposed primary halos in hydrothermal gold deposits", *Journal of Geochemical Exploration* 55, pp. 329–336.
- Hui L.,(1991), "Geochemical anomaly models of quartz vein and altered gold deposits", Publishing House of science. Beijing. pp. 70.
- Kerrick R., & Wyman D.A.,(1990),"Geodynamic setting of mesothermal gold deposits", An association with accretionary tectonic regimes. *Geology* 18. pp. 882–885.
- Killick A.,(2003), "shear zone –hosted gold deposits"., The Mineral Corporation.
- Kolb J., Rogers A., Meyer F. M & Torsten W., (2004), "Development of fluid conduits in the auriferous shear zones of the Hutti Gold Mine, India: evidence for spatially and temporally heterogeneous fluid flow", *Tectonophysics* 378, pp. 65–84.
- Kwon S., Park Y., Park C. & Kim H. S., (2009), "Mass-balance analysis of bulk-rock chemical changes during mylonitization of a megacryst-bearing granitoid, Cheongsan shear zone, Korea", *Journal of Asian Earth Sciences* 35 , pp. 489–501.
- Levinson A.A, (1980), "Introduction to Exploration geochemistry", Applied publishing Ltd., Wilmette, USA. pp. 924- 939.
- Liaghat s, Hosseini M & Zarasvandi A, (2003), "Determination of the origin and mass change geochemistry during bauxitization process at the Hangam deposit, SW Iran", *Geochemical Journal*, Vol. 37, pp. 627 to 637.
- MacLean W. H. (1990), "Mass change calculations in altered rock series". *Min. Dep.* pp.44–49.
- MacLean, W. H. & Kranidiotis, P. (1987), "Immobile elements as monitors of mass transfer in hydrothermal alteration", Phelps dodge massive sulfide deposit.
- Maxeiner R.O., & Watters B.R., (1992), "Alteration in Hanson Lake Area: A Metasomatic Evaluation", Saskatchewan Geological Survey, Energy mines, Misc, pp. 92-104.
- Read C.M & Cartwright I., (2000),"Meteoric Fluid Infiltration in the Middle crust during shearing"., *Journal of Geochemical.* pp. 333-337.

- Richard J., (2008) ,“Mass transfers and volume changes related to pressure solution–fracturing interactions in carbonate rocks: Example of the Oligocene deformation of the Coniacian chalk from the Omey area (Paris Basin, France)”, *Journal of Structural Geology* 30 , pp. 1300–1313.
- Sibson R.H., & Scott J., (1989), “Stress-fault Controls On the Containment and release of overpressured fluids”, *Ore Geology Reviews.*, pp. 293-306.
- Sinclair A.j.,(1974), “Selection of Threshold Values in geochemical data using probability graphs”, *Journal of Geochemical Exploration*, pp 129-149.
- Yongqing CH., Jingning Hu & Zhen L,. (2008), *Geochemical Characteristics and Zonation of Primary Halos of Pulang Porphyry Copper Deposit, Northwestern Yunnan Province, Southwestern China.*, *Journal of China University of Geosciences*, pp.371–377.
- Zoheir B. A., (2006) “Characteristics and genesis of shear zone-related gold mineralization in Egypt: A case study from the Um El Tuyor mine, south Eastern Desert”, *Ore Geology Reviews*, pp. 1-15.
- Zhang X. H., Qing Liu Q., Ma Y. J & Wang H., (2005) “Geology, fluid inclusions, isotope geochemistry, and geochronology of the Paishanlou shear zone-hosted Gold Deposit, North China Craton”,*Ore Geology Reviews* 26, pp. 325–348.

Abstract

Gold bearing metamorphosed and deformed rocks (of green schist facies) are exposed in NE-SW trending shear zone, about 25 km southwest of Sagez in Kordestan province.

Creation of gold mineralization in this area controlled by factors such as shear zones and hydrothermal alteration is located.

One of the most useful category region geochemical characteristics, often based on the dispersion of trace elements is done, this is the area of the scheme describe and identify several areas by making the mineral be used. Study would be useful as a guide in determining the direction and activity center by building and quantitative evaluation criteria for determining the scope to be applied.

According to studies the indexes of As.Hg, Co.Ni and ratio As.Hg / Co.Ni has been used as a criterion to identify the level of erosion. Evaluation the level of erosion in this study, has been identified five areas anomaly, so that area 1 and 2 probably in terms of minerals are more important than the other regions and surface erosion is located possibly below the horizon area than 3, 4 and 5.



Shahrood University of Technology
Department of Mining, Petroleum and Geophysics

Evaluation of the erosion surface in shear zone gold mineralization based on detail lithochemical data

**A thesis submitted in fulfillment of the requirements Master of science in
Mining Exploration Engineering**

Behzad saeedi

Supervisor:
Dr. Reza Ghavami Riabi

July 2010