

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک
گروه مهندسی اکتشاف معدن

پایان نامه کارشناسی ارشد

بررسی ضریب تجمع و آنالیز فرکتالی مولفه کانی‌سازی جهت شناسایی و تفکیک هاله‌های ژئوشیمیایی

نگارنده: شهاب زنگنه

استاد راهنما

دکتر سید رضا قوامی ریابی

استاد مشاور

دکتر مجید انصاری جعفری

دی ۱۳۹۵

تقدیم به:

محبت‌های وصف‌ناپذیر مادرم

و

دل‌دریایی پدرم

و

مهربانی‌های خواهرم

که لحظه لحظه زندگیم بدون وجود کرمان است...

تقدیر و تشکر

سپاس خدای عزوجل را که همواره بندگان را مورد لطف و عنایتش قرار داده است، خدایی که بار دیگر مرا تحت الطاف بیکرانش قرار داد تا

توانم قدمی دیگر در مسیر اعتلا و پیشرفت تحصیل پیش بردارم. بی شک در ابتدایستی قدردان پدر و مادر مهربانم باشم که یک بار دیگر با فراهم

نمودن اسباب رفاه آسایش، در گذر از این مرحله زندگانی نیز یاریم نمودند و البته امیدوارم به روزی که تنها بتوانم گوشه‌ای بسیار کوچک از

زحمتهای راجحبران نمایم. در ادامه مراتب سپاس و قدردانی خویش را نشانی استاد راهنمای عزیزم آقای دکتر سید رضا قوامی ریایی و استاد مشاور

آقای دکتر مجید انصاری نموده و از خداوند متعال سلامتی، موفقیت و بهروزی را برای ایشان خواستارم.

از جناب آقای دکتر ضیایی و جناب آقای دکتر آقاجانی که زحمات و داورسی این پایان نامه به عهده ایشان بود، کمال قدردانی را دارم.

در خاتمه از دوست عزیزم آقای علیرضا توسلی و مهندس امیر کاشفی، مهندس فرشاد کوبستانی، خانم خالق پناه و خانم صادقی و کلیه دوستان

و عزیزانی که مراد به پایان رسانیدن این پایان نامه یاری نمودند سپاس گذاری می نمایم، مطمئناً موفقیت و سلامتی ایشان آرزوی قلبی

اینجانب خواهد بود.

تعهد نامه

اینجانب شهاب زنگنه دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته مهندسی معدن (اکتشاف) دانشکده معدن، نفت و ژئوفیزیک دانشگاه

صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه بررسی ضریب تجمع و آنالیز فرکتالی مولفه کانی‌سازی جهت شناسایی و تفکیک

هاله‌های ژئوشیمیایی تحت راهنمایی دکتر سید رضا قوامی ریابی متعهد می‌شوم.

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

امضای دانشجو

تاریخ: ۱۳۹۵/۱۰/۵

مالکیت نتایج و حق نشر

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

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

چکیده

در پروژه‌های اکتشافی، شناسایی ناهنجاری‌های ژئوشیمیایی در مناطق مختلف ممکن است تحت تاثیر فرآیندهای زمین‌شناسی پیچیده قرار گرفته و در نتیجه باید از روش‌های مختلف، جهت درک صحیحی از اطلاعات موجود، استفاده شود. در این تحقیق با بیان مفهوم ضریب تجمع به عنوان یک پارامتر برای بررسی میزان غنی‌شدگی و تهی‌شدگی عناصر در واحدها و فرآیندهای زمین‌شناسی، رفتار و ویژگی‌های عناصر در اثر پدیده‌هایی همچون نفوذ سیال هیدروترمال و فرآیندهای سطحی مورد بررسی قرار می‌گیرد. با توجه به معادله ساده و نمودارهای روش ضریب تجمع، توصیفی کلی از وضعیت تحرک تمامی عناصر و همچنین عناصر غالب در منطقه بدست می‌آید. در ادامه با تعریف تکینگی و نحوه ترسیم نقشه‌های تکینگی در قالب مدل‌های فرکتال، نواحی ناهنجر که احتمال کانی‌سازی در آن وجود دارد را از مناطق زمینه تفکیک می‌نماید. این روش‌ها به صورت مطالعه موردی بر روی داده‌های یک منطقه کانی‌سازی مس پورفیری غنی از طلا به مساحت 800×900 متر از کمربند ماگمایی ارومیه- دختر، انجام شده است. در روش ضریب تجمع از داده‌های دوگمانه ۳ و ۴ که در منطقه حفر گردیده استفاده شده و برای روش تکینگی داده‌های مربوط به نمونه‌های سطحی خاک در منطقه مورد نظر به کار گرفته شده است. مهم‌ترین ویژگی روش تکینگی نسبت به روش‌های معمول در تهیه نقشه‌های ژئوشیمیایی، دقت و حساسیت بالا در جدایش نواحی ناهنجر از زمینه می‌باشد. با توجه به مطالعات گذشته در منطقه مورد نظر محدوده‌های ناهنجر برای عناصر مس و طلا مشخص شده است که با نقشه‌های تکینگی حاصل از روش بیان شده در این تحقیق همپوشانی مناسبی دارد. همچنین در نواحی شمالی منطقه، روش تکینگی ناهنجاری‌هایی را نشان داده است که در مطالعات گذشته این نواحی ثبت نشده‌اند.

کلید واژه: ضریب تجمع، غنی‌شدگی و تهی‌شدگی، هیدروترمال، تکینگی، فرکتال، مس پورفیری، ارومیه- دختر

فهرست مطالب

فصل اول

- کلیات ۱
- ۱-۱ مقدمه ۲
- ۲-۱ ضرورت انجام تحقیق ۳
- ۳-۱ روش تحقیق ۴
- ۴-۱ ساختار پایان نامه ۵

فصل دوم

- کانسارهای مس پورفیری و زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه ۷
- ۱-۲ مقدمه ۸
- ۲-۲ انواع کانسارهای مس ۹
- ۳-۲ کانسارهای مس پورفیری ۱۰
- ۱-۳-۲ دگرسانی گرمایی ۱۲
- ۲-۳-۲ کانه‌زایی هیپوژن (*Hypogene mineralization*) ۱۴
- ۳-۳-۲ خصوصیات ژئوشیمیایی نهشته‌های مس پورفیری ۱۴
- ۴-۳-۲ انواع کانسارهای مس پورفیری ۱۵
- ۱-۴-۳-۲ کانسارهای مس پورفیری نوع مونزونیتی ۱۵
- ۲-۴-۳-۲ کانسارهای مس پورفیری نوع دیوریتی ۱۶
- ۵-۳-۲ کانسارهای همراه ۱۷
- ۶-۳-۲ معیارهای اکتشافی ۱۸
- ۱-۶-۳-۲ معیار ژئوفیزیکی ۱۸

۱۹	..... معیار ژئوشیمیایی ۲-۳-۶-۲
۲۰	..... معرفی منطقه مورد مطالعه ۴-۲
۲۰	..... کمر بند ماگمایی ارومیه_ دختر ۱-۴-۲
۲۱	..... زمین شناسی منطقه مورد مطالعه ۲-۴-۲
۲۵	..... پیشینه کارهای انجام شده در منطقه مورد نظر ۳-۴-۲

فصل سوم

۲۷	..... ضریب تجمع و تکینگی
۲۸	..... ۱-۳ مقدمه
۲۸	..... ۲-۳ تجزیه و تحلیل ضریب تجمع
۳۱	..... ۳-۲-۱ پیشینه روش تجزیه و تحلیل ضریب تجمع
۳۲	..... ۳-۳ تکینگی
۳۳	..... ۳-۳-۱ فرکتال
۳۴	..... ۳-۳-۲ تعریف تکینگی
۳۶	..... ۳-۳-۳ ویژگی های شاخص تکینگی
۳۷	..... ۳-۳-۴ نقشه برداری تکینگی
۳۷	..... ۳-۳-۵ روش مبتنی بر پنجره برای نقشه برداری تکینگی
۳۹	..... ۳-۳-۶ پیشینه روش شاخص تکینگی

فصل چهارم

۴۳	..... بررسی ضریب تجمع در منطقه مورد نظر
۴۴	..... ۱-۴ مقدمه
۴۴	..... ۲-۴ تخمین داده های سنسورد
۴۶	..... ۳-۴ حد زمینه
۴۶	..... ۴-۳-۱ روش مقدار میانه

۴۶	.....Z- score روش ۲-۳-۴
۴۷	..... روش نمودار احتمال ۳-۳-۴
۴۸	..... استفاده از مقادیر زمینه جهانی عناصر ۴-۳-۴
۵۰	..... بررسی ضریب تجمع ۵-۴
۵۰	..... واحدهای سنگی (آندزیت و کوارتز دیوریت پورفیری) و خاک ۱-۵-۴
۶۳	..... دگرسانی ۲-۵-۴
۷۱	..... زون‌های اکسیدی، عبوری و هیپوژن ۳-۵-۴
۷۷	..... نتیجه‌گیری روش ضریب تجمع ۶-۴

فصل پنجم

۸۱	..... تکینگی در منطقه مورد نظر ۸۱
۸۲	..... مقدمه ۱-۵
۸۲	..... نقشه‌برداری تکینگی در منطقه مورد مطالعه ۲-۵
۸۸	..... تفسیر و نتیجه‌گیری ۳-۵

فصل ششم

۹۳	..... نتیجه‌گیری و پیشنهادات ۹۳
۹۴	..... نتیجه‌گیری ۱-۶
۹۵	..... پیشنهادات ۲-۶
۹۷	..... پیوست ۹۷
۱۰۱	..... منابع و مأخذ ۱۰۱

فهرست اشکال

- شکل (۱-۲): مقایسه عیار و میزان ذخیره انواع کانسارهای مس. ۹.....
- شکل (۲-۲): ساختار مناطق دگرسانی کانسار مس پورفیری تیپ کوارتز مونزونیت. ۱۳.....
- شکل (۳-۲): وضعیت عمومی کانسارهای مس پورفیری و کانسارهای همراه آنها. ۱۸.....
- شکل (۴-۲): کمان ماگمایی ارومیه - دختر و موقعیت مهمترین ذخایر مس پورفیری ایران بر روی آن. ۲۰.....
- شکل (۵-۲): (A) نقشه ساده شده موقعیت کانسار مورد نظر. (B) نقشه ساده شده زمین‌شناسی ناحیه‌ای کانسار مورد نظر. ۲۲.....
- شکل (۶-۲): (A) واحدهای آتشفشانی در محدوده کانسار مورد نظر، (B) نمایی از سازندهای رسوبی. ۲۳.....
- شکل (۷-۲): (C) دیوریت پورفیری با رگه کوارتزکانهدار. (D) تصویر میکروسکپی دیوریت پورفیری. ۲۴.....
- شکل (۸-۲): (E) سنگ کوارتزدیوریت پورفیری. (F) تصویر میکروسکپی کوارتزدیوریت پورفیری. ۲۴.....
- شکل (۹-۲): (G) سنگ دیواره آندزیت پورفیری. (H) تصویر میکروسکپی آندزیت پورفیری. ۲۴.....
- شکل (۱۰-۲): نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد نظر. ۲۶.....
- شکل (۱-۳): نمودار دو متغیره برای تجزیه و تحلیل ضریب تجمع. ۳۰.....
- شکل (۲-۳): نقشه زمین‌شناسی ساده شده از منطقه تیانشان - چین. ۳۱.....
- شکل (۳-۳): پنجره‌های مربعی و دایره‌ای هم مرکز بر اساس روش مبتنی بر پنجره. ۳۸.....
- شکل (۴-۳): نقشه زمین‌شناسی ساده شده ناحیه Gejiu، یوننان - چین (مقیاس 1:500000). ۴۰.....
- شکل (۵-۳): نقشه توزیع غلظت عنصر بر اساس ۱۰۰۰ نمونه رسوبات آبراهه‌ای. ۴۱.....
- شکل (۶-۳): نقشه توزیع مقادیر تخمینی تکینگی (α) با استفاده از روش مبتنی بر پنجره. ۴۲.....
- شکل (۱-۴): نمودار احتمال عنصر Au. ۴۸.....
- شکل (۲-۴): نمودار احتمال عنصر Cu. ۴۸.....

- شکل (۳-۴): نمودار ضریب تجمع خاک و آندزیت برای گمانه ۳..... ۵۳
- شکل (۴-۴): نمودار ضریب تجمع (حدزمینه جهانی) خاک و آندزیت برای گمانه ۳..... ۵۳
- شکل (۵-۴): نمودار ضریب تجمع خاک و کوارتز دیوریت پورفیری برای گمانه ۳..... ۵۴
- شکل (۶-۴): نمودار ضریب تجمع (حدزمینه جهانی) خاک و کوارتز دیوریت پورفیری برای گمانه ۳..... ۵۴
- شکل (۷-۴): نمودار ضریب تجمع کوارتز دیوریت پورفیری و آندزیت برای گمانه ۳..... ۵۵
- شکل (۸-۴): نمودار ضریب تجمع (حدزمینه جهانی) کوارتز دیوریت پورفیری و آندزیت برای گمانه ۳..... ۵۵
- شکل (۹-۴): نمودار ضریب تجمع خاک و آندزیت برای گمانه ۴..... ۵۸
- شکل (۱۰-۴): نمودار ضریب تجمع (حدزمینه جهانی) خاک و آندزیت برای گمانه ۴..... ۵۸
- شکل (۱۱-۴): نمودار ضریب تجمع خاک و کوارتز دیوریت پورفیری برای گمانه ۴..... ۵۹
- شکل (۱۲-۴): نمودار ضریب تجمع (حدزمینه جهانی) خاک و کوارتز دیوریت پورفیری برای گمانه ۴..... ۵۹
- شکل (۱۳-۴): نمودار ضریب تجمع کوارتز دیوریت پورفیری و آندزیت برای گمانه ۴..... ۶۰
- شکل (۱۴-۴): نمودار ضریب تجمع (حدزمینه جهانی) کوارتز دیوریت پورفیری و آندزیت برای گمانه ۴... ۶۰
- شکل (۱۵-۴): نمودار ضریب تجمع پروپلیتیک / کلریت و پتاسیک / آرژیلیک برای گمانه ۳..... ۶۵
- شکل (۱۶-۴): نمودار ضریب تجمع پروپلیتیک / کلریت و پتاسیک / فیلیک برای گمانه ۳..... ۶۵
- شکل (۱۷-۴): نمودار ضریب تجمع پتاسیک / فیلیک و پتاسیک / آرژیلیک برای گمانه ۳..... ۶۶
- شکل (۱۸-۴): نمودار ضریب تجمع پروپلیتیک / کلریت و پتاسیک / آرژیلیک برای گمانه ۴..... ۶۸
- شکل (۱۹-۴): نمودار ضریب تجمع پروپلیتیک / کلریت و پتاسیک / فیلیک برای گمانه ۴..... ۶۸
- شکل (۲۰-۴): نمودار ضریب تجمع پتاسیک / فیلیک و پتاسیک / آرژیلیک برای گمانه ۴..... ۶۹
- شکل (۲۱-۴): نمودار ضریب تجمع زون‌های اکسید و عبوری برای گمانه ۳..... ۷۳
- شکل (۲۲-۴): نمودار ضریب تجمع زون‌های عبوری و هیپوژن برای گمانه ۳..... ۷۳
- شکل (۲۳-۴): نمودار ضریب تجمع زون‌های اکسید و عبوری برای گمانه ۴..... ۷۵
- شکل (۲۴-۴): نمودار ضریب تجمع زون‌های عبوری و هیپوژن برای گمانه ۴..... ۷۶

- شکل (۴-۲۵): مدل هاله‌های محوری اطراف ذخایر طلای پهنه برشی. ۷۹.....
- شکل (۵-۱): نقشه توزیع غلظت عنصر مس. ۸۲.....
- شکل (۵-۲): نقشه توزیع غلظت عنصر طلا. ۸۳.....
- شکل (۵-۴): نقاط نمونه‌برداری تکینگی با ابعاد شبکه ۶۰×۶۰ متر. ۸۳.....
- شکل (۵-۳): نقاط نمونه‌برداری از خاک با ابعاد شبکه ۵۰×۵۰ متر. ۸۳.....
- شکل (۵-۶): پنجره‌های مربعی با ابعاد ۱۸۰×۱۸۰ متر، روش مبتنی بر پنجره. ۸۴.....
- شکل (۵-۵): پنجره‌های مربعی با ابعاد ۶۰×۶۰ متر، روش مبتنی بر پنجره. ۸۴.....
- شکل (۵-۷): نمودار غلظت-اندازه پنجره در یک نقطه برای عنصر *Cu*. ۸۵.....
- شکل (۵-۸): نمودار غلظت-اندازه پنجره در یک نقطه برای عنصر *Au*. ۸۵.....
- شکل (۵-۹): نقشه توزیع تکینگی مس در منطقه مورد نظر. ۸۷.....
- شکل (۵-۱۰): نقشه توزیع تکینگی طلا در منطقه مورد نظر. ۸۷.....
- شکل (۵-۱۱): نقشه زمین‌شناسی رقومی شده منطقه مورد نظر. ۸۹.....
- شکل (۵-۱۲): نقشه توزیع تکینگی (شاخص تکینگی کمتر از ۲) برای عنصر مس. *A*: همپوشانی تکینگی و محدوده مس (۰.۱-۰.۵٪)، *B*: همپوشانی تکینگی و سنگ آندزیت، *C*: همپوشانی تکینگی و سنگ کوارتز دیوریت پورفیری، *D*: همپوشانی تکینگی و محدوده آنومالی مغناطیسی. ۹۰.....
- شکل (۵-۱۳): نقشه توزیع تکینگی (شاخص تکینگی کمتر از ۲) برای عنصر طلا. *A*: همپوشانی تکینگی و محدوده طلا (۰.۳-۲.۹g/t)، *B*: همپوشانی تکینگی و سنگ آندزیت، *C*: همپوشانی تکینگی و سنگ کوارتز دیوریت پورفیری، *D*: همپوشانی تکینگی و محدوده آنومالی مغناطیسی. ۹۱.....

فهرست جداول

- جدول (۱-۲): مقایسه کانسارهای مس پوفیری نوع مونزونیتی با دیوریتی ۱۷
- جدول (۲-۲): ارزیابی نتایج از گمانه‌های حفاری $DDH03$ و $DDH04$ ۲۵
- جدول (۱-۴): عناصر سنسورد و مقادیر جایگزینی آنها برای دو گمانه ۳ و ۴ ۴۵
- جدول (۲-۴): حد زمینه عناصر بر اساس میانه، نمودار احتمال و $Z\text{-Score}$ ۴۹
- جدول (۳-۴): مقدار C_{ij} عناصر در واحدهای آندزیت، کوارتزیدیوریت پورفیری و خاک برای گمانه‌های ۳ و ۴ ۵۰
- جدول (۴-۴): مقدار ضریب تجمع عناصر در واحدهای آندزیت، کوارتزیدیوریت پورفیری و خاک برای گمانه ۳ ۵۱
- جدول (۵-۴): مقدار ضریب تجمع عناصر در واحدهای آندزیت، کوارتزیدیوریت پورفیری و خاک برای گمانه ۴ ۵۲
- جدول (۶-۴): مقدار C_{ij} و ضریب تجمع در دگرسانی‌های منطقه مورد مطالعه برای گمانه ۳ ۶۳
- جدول (۷-۴): مقدار C_{ij} و ضریب تجمع در دگرسانی‌های منطقه مورد مطالعه برای گمانه ۴ ۶۴
- جدول (۸-۴): مقدار C_{ij} و ضریب تجمع در زون‌های اکسیدی، عبوری و هیپوژن منطقه مورد مطالعه برای گمانه ۳ ۷۱
- جدول (۹-۴): مقدار C_{ij} و ضریب تجمع در زون‌های اکسیدی، عبوری و هیپوژن منطقه مورد مطالعه برای گمانه ۴ ۷۲
- جدول (۱-۵): مقادیر تکینگی (α) هر نقطه در منطقه مورد نظر ۸۶

فصل اول

کلیات

۱-۱ مقدمه

هدف از شناسایی و تفکیک زون‌های کانی‌سازی، بررسی داده‌های ژئوشیمیایی است که به عنوان یکی از روش‌های پایه و ابزاری کارآمد برای مطالعه‌ی ناهنجاری‌ها و تعیین مناطق امید بخش کانی‌سازی به شمار می‌رود. مطالعه‌ی داده‌های ژئوشیمیایی مانند رسوبات آبراهه‌ای بر این فرض استوار است که نمونه‌های برداشت شده از رسوبات موجود در کف آبراهه، تنها معرف ترکیب سنگ‌های بالادست حوضه آبریز می‌باشند. از این رو این نمونه‌ها خاصیت برداری داشته و نمی‌توانند اطلاعاتی را در خصوص وضعیت سنگ‌های پایین دست حوضه آبریز ارائه نمایند. همچنین شناسایی ناهنجاری‌های ژئوشیمیایی در ناحیه‌هایی که دارای روباره هستند، بسیار سخت است، زیرا ممکن است آثار ناهنجاری ژئوشیمیایی اولیه که ناشی از کانی‌سازی مدفون هستند، با لایه‌های رویی (روباره) پنهان شده باشد و یا با ناهنجاری‌های دروغین ناشی از عناصر متحرک هم‌پوشانی داشته باشد. روش‌های مبتنی بر بکارگیری یون‌های فلزی متحرک غیرمحصور می‌تواند راهنمای اکتشافات معدنی در این موارد باشد [۱].

آنالیز ضریب تجمع^۱، یک پارامتر ژئوشیمیایی مفید برای بررسی غنی‌شدگی و یا تهی‌شدگی عناصر است [۲]. همچنین برای مشخص کردن فرآیندهای غیرخطی کانی‌سازی مفهوم جدیدی با عنوان تکینگی^۲، در قالب تئوری مولتی‌فراکتال^۳ بیان شده است، که به صورت یک پدیده خاص (به طور مثال کانی‌سازی هیدروترمال) همراه با آزادسازی مقدار زیادی انرژی و یا تجمع زیاد مواد در یک فاصله زمانی- مکانی کوتاه تعریف می‌شود. در عمل، براساس تئوری تکینگی، یک روش نقشه‌برداری تکینگی^۴ به کمک روش مبتنی بر

¹ *Accumulation coefficient analysis*

² *singularity* (در منابع به معنای تکین آمده است، در اینجا تکینگی ترجمه شده است)

³ *Multifractal*

⁴ *Mapping singularities*

پنجره^۵ برای تخمین شاخص تکینگی^۶ محلی از روی نقشه‌های دو بعدی (برای مثال نقشه‌های ناهنجاری ژئوفیزیکی و یا ژئوشیمیایی، و یا تصاویر چند طیفی به دست آمده از دور سنجی^۷) توسعه داده شده است. این روش می‌تواند برای شناسایی ناهنجاری‌های ژئوشیمیایی در مناطق دارای ناهنجاری‌های ضعیف و یا کانی‌سازی‌های مدفون بسیار موثر باشد [۳].

معمولاً در تحلیل داده‌های اکتشافی از روش‌های آماری و ریاضی (روش‌های غیرساختاری) جهت جداسازی ناهنجاری‌ها از یکدیگر و از زمینه استفاده می‌شود. گرچه این روش‌ها هر یک نقاط قوت و ضعف مربوط به خود را دارند، اما در کل موقعیت فضایی نمونه‌ها و فرم هندسی ناهنجاری را در نظر نمی‌گیرند. در سال‌های اخیر با ورود و گسترش بکارگیری هندسه‌ی فرکتال در علوم مختلف، از این روش در اکتشاف معدن و تعیین شکل و نحوه‌ی گسترش کانسار و همچنین در زمین‌شناسی استفاده شده است. یکی از مزیت‌های عمده‌ی مدل‌های فرکتالی نسبت به روش‌های آماری، آن است که موقعیت فضایی نمونه‌ها نیز در نظر گرفته می‌شود [۴] و [۵].

۱-۲ ضرورت انجام تحقیق

بکارگیری روش محاسبات مبادله جرم بر اساس تئوری ایزوکن یکی از روش‌های پایه‌ای ارزیابی غنی‌شدگی و یا تهی‌شدگی عناصر است [۶]. ضریب تجمع، یک پارامتر ژئوشیمیایی مفید دیگری برای بررسی غنی‌شدگی و یا تهی‌شدگی عناصر است که به آسانی قابل محاسبه و بررسی می‌باشد [۲].

همچنین نتایج حاصل از روش‌های سنتی مبتنی بر آمار کلاسیک تا مدت‌ها به عنوان تنها روش‌های تحلیل داده‌ها مورد استفاده قرار گرفته است که دارای نقایصی از قبیل شرط تبعیت از توزیع نرمال و عدم توجه به

⁵ *Windows-based method*

⁶ *Singularity Index*

⁷ *Remote sensing*

موقعیت فضایی داده‌ها می‌باشد که در مواردی سبب تشخیص ناهنجاری‌هایی بدون وجود کانی‌سازی شده است [۴]. در نتیجه برای کاهش خطا و پیچیدگی‌های احتمالی در بررسی داده‌های اکتشافی استفاده از روش‌های نوین ضرورت دارد. بر این اساس تحلیل فرکتالی نسبت به محاسبات آماری کلاسیک در حذف بی‌هنجاری‌های کاذب و ثبت هاله‌های ژئوشیمیایی واقعی عناصر می‌تواند موفق‌تر باشد. همچنین مهم‌ترین قابلیت فرکتال نیز کاربرد آسان مدل عیار-مساحت، به عنوان ابزاری قدرتمند، در محاسبه‌ی کمی حدود آستانه‌ی^۸ ناهنجاری‌ها است. این حدود آستانه‌ای را می‌توان با سایر داده‌های کمی نظیر داده‌های آنالیز کل سنگ در صورت وجود مقایسه کرد [۷]. در بررسی‌های اکتشافی، با روش ضریب تجمع می‌توان عناصر غالب در منطقه را شناسایی و با استفاده از روش تکینگی، مناطق ناهنجاری مربوط به این عناصر را مشخص نمود.

۱-۳ روش تحقیق

در ابتدا باید بیان شود که در این مطالعه از دو نوع داده‌های ژئوشیمیایی استفاده شده است، داده‌های مربوط به گمانه‌های اکتشافی و داده‌های سطحی مربوط به خاک که بصورت سیستماتیک برداشت شده‌اند. در مرحله‌ی اول عناصر شاخص وابسته به کانی‌سازی با توجه به آنالیز رفتار عناصر بررسی شده است. بر حسب آنالیز آماری، آنالیز رفتار عنصر عموماً به معنای بررسی غنی‌شدگی و یا تهی‌شدگی نسبی و رابطه ژنتیکی احتمالی بین عناصر ژئوشیمیایی به وسیله روش آنالیز ضریب تجمع است. با بررسی داده‌های مربوط به گمانه‌های اکتشافی و بررسی وضعیت زمین شناسی منطقه واحدهای سنگی موجود در منطقه مشخص شده است. مقادیر زمینه عناصر در سنگ‌های گوناگون متفاوت است. معمولاً مقدار میانگین یا میانه‌ی هر یک

^۸ Threshold

از جوامع بعنوان مقدار زمینه استفاده شده و با تقسیم هر یک از داده‌ها بر مقدار زمینه شاخص غنی‌شدگی محاسبه گردیده است. در این روش از داده‌های ژئوشیمیایی برداشت شده از گمانه‌ها استفاده گردیده است. در استفاده از مدل‌سازی تکینگی برای جدایش ناهنجاری‌ها از زمینه، فرض کلی بر این استوار است که توزیع کانی‌سازی و ناهنجاری‌ها دارای بعد فرکتالی متفاوتی نسبت به زمینه باشد. به همین دلیل، چنانچه سیالات گرمایی در فاز اول مقدار غلظت عنصر یا عناصر خاصی را به حد هاله‌های ژئوشیمیایی و در فرآیند اصلی کانی‌سازی آن را به حد اقتصادی برساند، این فرض در بررسی بعد فرکتال الگوی پراکندگی عناصر، خود را با روندهای متفاوت نشان می‌دهد. برای استفاده از روش تکینگی از مدل عیار_مساحت کمک گرفته می‌شود. با محاسبه شاخص تکینگی، مناطق ناهنجرار مشخص شده است.

۱-۴ ساختار پایان‌نامه

پایان‌نامه حاضر مشتمل بر شش فصل می‌باشد که به جز فصل کلیات به صورت زیر ارائه می‌گردد:

در فصل دوم کانسارهای مس پورفیری و زمین‌شناسی منطقه، مورد بررسی قرار می‌گیرد. در فصل سوم کلیاتی در مورد روش‌های ضریب تجمع و تکینگی بیان می‌گردد. در فصل چهارم به بررسی روش ضریب تجمع در منطقه مورد نظر پرداخته می‌شود. در فصل پنجم روش تکینگی در منطقه مورد نظر اجرا شده و مناطق ناهنجرار مشخص شده است و در فصل آخر نتیجه‌گیری و پیشنهادات این تحقیق ارائه خواهد شد.

فصل دوم

کانسارهای مس پورفیری

و

زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه

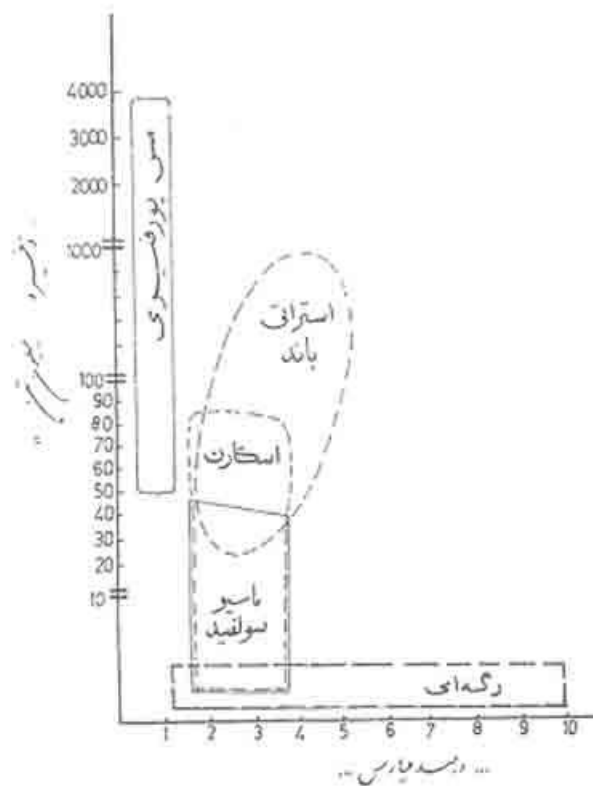
۱-۲ مقدمه

اسناد تاریخی حاکی از قدمت فعالیت‌های معدن‌کاری در ایران، به خصوص مس از دوره قاجاریه است. عمده‌ترین ذخایر مس در کشورهای شیلی، پرو و آمریکا قرار دارد. در کشور ایران بخش عمده‌ای از ذخایر مس در استان‌های آذربایجان شرقی و کرمان قرار گرفته است. آهنگ اکتشاف و تولید ذخایر مس به ویژه در سال‌های ۱۹۵۵ تا ۲۰۰۰، شتاب بیشتری داشته و هم‌زمان با اکتشاف معادن بزرگ در طول سال‌های ۱۹۶۲ تا ۱۹۸۲ و کارایی نبودن سیستم‌های اکتشافی کلاسیک، لزوم استفاده از سیستم‌های اکتشافی پیچیده‌تر مشخص شده است [۸].

کانسارهای مس پورفیری اغلب دارای عیار پایین بوده و از نظر زمانی و مکانی در ارتباط با نفوذی‌های نیمه عمیق پورفیری کالک آلکالن می‌باشند. به دلیل ذخیره زیاد و ناچیز بودن هزینه‌های بهره‌برداری از اهمیت بسیاری زیادی برخوردار هستند. امروزه قسمت اعظم مس دنیا از این کانسارها به دست می‌آید. در حال حاضر ذخایر مس پورفیری حدود ۷۵٪ از مس تولیدی دنیا، نیمی از مولیبدن، ۲۰٪ طلا، حجم زیادی از روبیدیم و مقدار کمی از فلزات نقره، بیسموت، سلنیم، سرب و روی را تولید می‌کند [۹]. سنگ میزبان کانسارهای مس پورفیری شامل: سنگ‌های مونزونیتی، دیوریتی و گرانودیوریتی کالک آلکالن می‌باشد. اصطلاح پورفیری از بافت پورفیری سنگ‌های همراه، بافت استوک‌ورک و پراکنده ذخیره گرفته شده است. در این فصل ویژگی‌های کلی، دگرسانی، وضعیت فرسایش، تأثیر آب‌های سطحی و خصوصیات ژئوشیمیایی این کانسارها مورد بحث قرار خواهد گرفت. در ادامه انواع کانسارهای مس پورفیری بر اساس موقعیت تکتونیکی و سنگ‌های همراه آن و همچنین معیارهای اکتشافی این کانسارها بررسی می‌گردد. در انتهای فصل زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه در این تحقیق و کارهای اکتشافی صورت گرفته در این منطقه به طور مختصر معرفی می‌شود.

۲-۲ انواع کانسارهای مس

خاستگاه زمین‌شناختی، اساس تقسیم‌بندی ژنتیکی کانسارهاست. مهم‌ترین کانسارهای مس از نظر محیط تشکیل، نوع سنگ در برگیرنده، هندسه ماده معدنی و سنگ دربرگیرنده، پاراژنرها، نحوه تشکیل، عیار، به پنج گروه مس پورفیری^۹، اسکارن‌های مس‌دار^{۱۰}، ماسیوسولفیدها^{۱۱}، کانسارهای مس رسوبی استراتی باند^{۱۲} و ذخایر مس رگه‌ای^{۱۳} تقسیم می‌شوند. عیار و میزان ذخیره کانسارهای مهم مس در شکل (۲-۱) آمده است [۱۰].



شکل (۲-۱): مقایسه عیار و میزان ذخیره انواع کانسارهای مس [۱۰].

⁹ Cu- Porphyry

¹⁰ Cu- Skarns

¹¹ Cu- Massive Sulfides

¹² Cu- Strata bond

¹³ Cu- Vein Type

۲-۳ کانسارهای مس پورفیری

از ویژگی‌های مهم کانسارهای مس پورفیری پایین بودن عیار و بالا بودن تناژ این نوع کانسارهاست و به دلیل اهمیت اقتصادی آنها، تحقیق به منظور ارائه روش‌های نوین در اکتشاف این کانسارها دارای اهمیت روزافزون است. اصطلاح پورفیری از بافت پورفیری سنگ‌های همراه، بافت استوک‌ورک و پراکنده ذخیره و ابعاد زیاد ذخیره گرفته شده است. کانسارهای مس پورفیری در کمربندهای تکتونیکی زون فرورانش حاشیه قاره‌ها^{۱۴} و جزایر قوسی^{۱۵} کشف شده‌اند. اکثر ذخایر کشف شده متعلق به دوران دوم و سوم بوده است که در کمربندهای تکتونیکی حاشیه اقیانوس آرام واقع شده‌اند [۱۰]. این کانسارها همراه سنگ‌های مونزونیتی، دیوریتی و گرانودیوریتی کالک آلکالن کشف می‌شوند. ویژگی‌های معمول نهشته‌های پورفیری عبارت‌اند از [۱۱]:

- دمای بالای (به طور معمول بین $300-600^{\circ}C$ و گاهی بالاتر از $600^{\circ}C$) شورآب‌های اشباع از نمک ($>30\text{ eq. wt\%NaCl}$) و چگالی کم بخارات، از استوک ناشی می‌شود.
- دماهای کمتر ($200-350^{\circ}C$) شوری ($<10\text{ eq. wt\%NaCl}$) سیال را در آخرین مراحل کاهش می‌دهد.
- مواد فرار ماگمایی دما بالا ($>300^{\circ}C$) مرتبط با مراحل آخر آلتراسیون سرسیتی زون‌های گسله است.
- مرحله اکسید شدن: ($H_2S \approx SO_4^{2-}$) بالا
- مکانیسم رسوب‌گذاری: تاثیر آب‌های جوی و سیالات آمیخته شده با آن‌ها، واکنش سنگ_ سیالات و احتمالاً موجب ته نشست $Au-Cu$ می‌شود [۱۲].

¹⁴ Continental Margin Seduction Zones

¹⁵ Island Arcs

کانه‌ها در کانسارهای پورفیری به صورت افشان، معمولاً با توده‌های نفوذی متوسط یا اسیدی همراه-
اند. کانه‌های موجود نیز سولفیدهای مس و مولیبدن است، استنانتون (۱۹۷۲) این دسته از کانسارها را
تحت عنوان مجموعه کوارتز مونزونیت-گرانودیوریت حاوی سولفیدهای مس و مولیبدن بررسی کرده است.
بافت پورفیری از مشخصات اولیه آنهاست و صفات دیگر این کانسارها عبارت‌اند از [۱۳]:

الف) عیار کم: عیار غالب کانسارهای پورفیری قابل استخراج بین ۰/۵ تا ۱ درصد است. این عیار ممکن
است در موارد استثنایی به حدود ۲ درصد هم برسد. گاهی مولیبدن با عیار بین چند صدم تا چند دهم
درصد، ذخیره را همراهی می‌کند و ارزش اقتصادی آن را بالا می‌برد. همچنین ممکن است کانی فلزاتی از
قبیل طلا، نقره و یا فلزات پایه به مقدار جزئی در این کانسارها تشخیص داده شوند.

ب) وسعت: معمولاً کانسارهای پورفیری دارای حجمی وسیع و ذخیره‌ای متجاوز از صد میلیون تن و گاهی
بیش از ۵۰۰ میلیون تن هستند.

ج) شکل: معمولاً این کانسارها به شکل بیضوی ناقص هستند توسعه آنها در سطح بیش از عمق است. به
همین جهت این کانسارها را به روش رو باز استخراج می‌کنند و هزینه استخراج آن‌ها نسبتاً ارزان‌تر است.
د) بافت: کانه‌ها معمولاً به صورت افشان و دانه‌ریز و یا به شکل رگه‌های خیلی باریک در داخل سنگ‌ها
پراکنده‌اند.

ه) در مناطق پورفیری، معمولاً توده‌های نفوذی و گاهی توده‌های نفوذی چند مرحله‌ای^{۱۶} را می‌توان مشاهده
کرد.

و) مناطق سطحی توده‌های پورفیری غالباً تحت تأثیر عوامل فرسایش قرار می‌گیرند که به آن ناحیه شسته
شده (و همراه کلاهدک آهنی) و سوپرژن گفته می‌شود. در زیر این قسمت، به علت دوری از سطح در معرض
عوامل فرسایشی قرار نمی‌گیرد که به این بخش ناحیه کانه اولیه یا هیپوژن^{۱۷} می‌گویند.

¹⁶ Multiple Intrusions

¹⁷ Hypogene

ز) عوامل گوناگون طی ادوار مختلف بر این کانسارها اثر می‌گذارند، از جمله آب‌های سطحی است که در آن‌ها نفوذ می‌کند و ضمن عبور به قسمت‌های زیرین، مواد معدنی را از بخش‌های بالایی شسته و با خود به پایین می‌برد. این عمل سبب می‌شود که بخش بالایی به تدریج از مواد معدنی تهی شود و به صورت منطقه‌ای کم عیار درآید و منطقه پایین با اضافه شدن مواد شسته و حمل شده بخش پر عیاری را به وجود آورد. به این پدیده غنی‌سازی سوپرژن گفته می‌شود. گاهی عیار بخش هیپوژن برای استخراج کافی است، ولی معمولاً در این قبیل کانسارها پی‌جویی برای یافتن منطقه سوپرژن انجام می‌گیرد.

۲-۳-۱ دگرسانی گرمابی

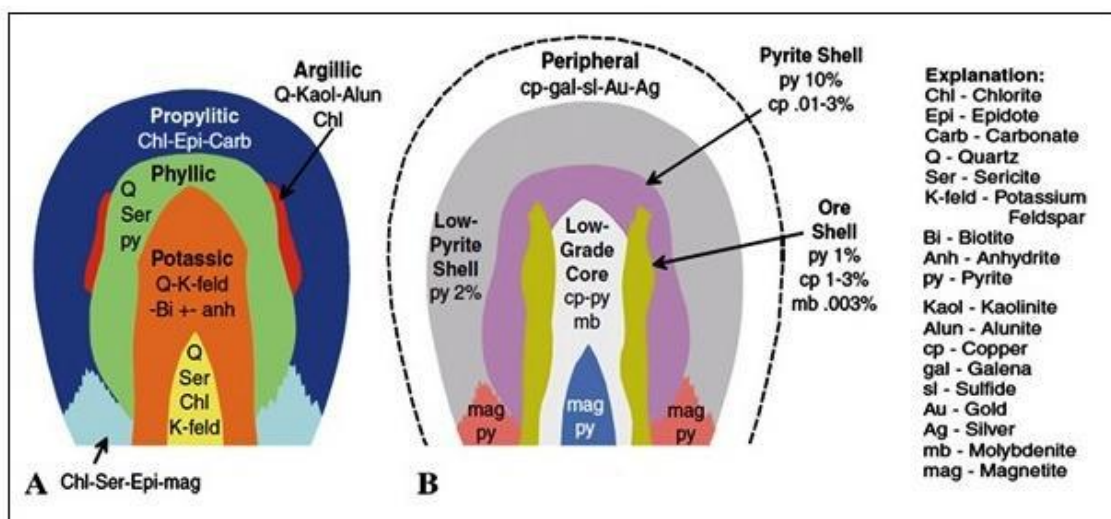
در سال ۱۹۷۰، لاول و گیلبرت، توده معدنی سان مانوئل کلامازو را توصیف و یافته‌های خویش را با ۲۷ کانسار مس پورفیری دیگر مقایسه کردند. با انجام این مطالعه، آنچه که اکنون به عنوان مدل لاول-گیلبرت شناخته می‌شود، ارائه شد (شکل ۲-۲). آن‌ها در این تحقیق ارزشمند و بنیادی نشان دادند که بهترین چهارچوب مرجعی که می‌تواند تمام سیمای‌های دیگر این ذخایر را به هم ارتباط دهد، ماهیت و توزیع مناطق دگرسانی گرمابی سنگ دیواره است. بر اساس ادعای آن‌ها عموماً چهار منطقه دگرسانی وجود دارد. این مناطق بیشتر در اطراف استوک پورفیری به صورت مناطق هم محوری که پوسته‌هایی هم مرکز و اغلب ناکامل را می‌سازند متمرکز می‌شود و غالباً در اکتشاف ذخایر مس پورفیری به عنوان یک راهنما مورد استفاده قرار می‌گیرد. این مناطق در مدل لاول-گیلبرت عبارت است از [۱۴]:

الف) منطقه پتاسیک (*Potassic zone*): این منطقه با تشکیل ارتوکلاز و بیوتیت ثانویه، و مگنتیت شناسایی می‌شود. سربیسیت و کلریت نیز ممکن است به مقدار کمی وجود داشته باشد. این کانی‌های ثانویه، جانشین ارتوکلاز، پلاژیوکلاز و کانی‌های مافیک اولیه توده نفوذی می‌شوند. انیدریت ممکن است در این منطقه غالب باشد.

ب) منطقه فیلیک (*Phyllic zone*): نوعی دگرسانی است که به عنوان سریسیتی شدن شناخته می‌شود. این منطقه از روی وجود مجموعه کوارتز، سریسیت و پیریت مشخص می‌شود و معمولاً دارای مقادیر کمی کلریت، ایلیت و رتیل است. سریسیتی شدن بر فلدسپارها و بیوتیت اولیه تأثیر می‌گذارد و دگرسانی بیوتیت، مقدار ناچیزی رتیل تولید می‌کند. این دگرسانی‌ها واکنش‌هایی سیلیسی‌زا هستند و به همین دلیل مقدار زیادی کوارتز تشکیل می‌شود (سیلیسی شدن). سطح تماس این منطقه با منطقه پتاسیک، سطح تماسی تدریجی است. منطقه فیلیک در صورت وجود، دارای بیش‌ترین توسعه پیریت افشان و رگچه‌ای است.

ج) منطقه آرژیلیک (*Argillic zone*): کانی‌های رسی، ویژگی این منطقه بوده و کائولن با نزدیک‌تر شدن به توده معدنی فراوان شده و با دور شدن از آن مونتورونیت افزایش می‌یابد.

د) منطقه پروپیلیتیک (*Propylitic zone*): این منطقه که خارجی‌ترین منطقه است، همواره وجود دارد. کلریت رایج‌ترین کانی این منطقه به همراه پیریت، کلسیت و اپیدوت نیز است. کانی‌های مافیک اولیه (بیوتیت و هورنبلند) به طور بخشی یا کامل به کلریت و کربنات تبدیل و پلاژیوکلاز ممکن است بدون تغییر باقی بماند. این منطقه در طول صدها متر به سمت سنگ‌های احاطه‌کننده آن، محو می‌شود.



شکل (۲-۲): ساختار مناطق دگرسانی کانسار مس پورفیری تیپ کوارتز مونزونیت [۱۴].

۲-۳-۲ کانه‌زایی هیپوژن (*Hypogene mineralization*)

کانسنگ ممکن است در سه وضعیت (۱) تماماً در میان استوک میزبان (۲) بخشی در استوک و بخشی در سنگ دیواره (۳) فقط در سنگ دیواره متفاوت یافت شود. در مدلی که به وسیله لاول و گیلبرت مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته، معمولی‌ترین شکل توده معدنی، شکل استوانه‌ای با دیواره‌هایی پرشیب است. شکل‌های استوانه‌ای کوتاه تا مخروطی تخت و شکل‌های تخت کم شیب نیز یافت می‌شود. توده‌های معدنی معمولاً به وسیله پوسته‌ای سرشار از پیریت احاطه می‌شود. کانه‌زایی همانند دگرسانی، در مناطقی هم مرکز یافت می‌شود. در این میان منطقه کم عیار در بخش مرکزی قرار می‌گیرد که دارای مقادیر ناچیزی کالکوپیریت و مولیبدنیت است. پیریت معمولاً فقط درصد کمی از سنگ را می‌سازد، اما گاهی به طور اتفاقی به ۱۰ درصد هم می‌رسد. در گذر به سمت بخش‌های بیرونی، نخست افزایشی در مولیبدنیت و سپس کالکوپیریت در پوسته معدنی اصلی به چشم می‌خورد. همچنین شدت کانه‌سازی پیریت به سمت بخش‌های بیرونی افزایش یافته و هاله حاشیه‌ای سرشار از پیریت با ۱۰ تا ۱۵ درصد پیریت و فقط مقادیر ناچیزی کالکوپیریت و مولیبدنیت را می‌سازد [۸]. پوسته‌ها دارای رابطه‌ای مکانی با مناطق دگرسانی سنگ دیواره بوده و بالاترین مقادیر مس اغلب در مرز میان زون‌های پتاسیک و فلیک یا نزدیک آن تشکیل شده است. کانه‌زایی ضعیف غیراقتصادی به سمت بیرون به طرف منطقه پروپلیتیک ادامه می‌یابد. در کل عیار مس ممکن است به ۱٪ یا حتی بیشتر از آن برسد [۱۴].

۲-۳-۳ خصوصیات ژئوشیمیایی نهشته‌های مس پورفیری

خصوصیات ژئوشیمیایی نهشته‌های مس پورفیری از بررسی تعداد زیادی فرآیندهای فیزیکی و شیمیایی به دست آمده است که شامل: تشکیل ماگما، تفکیک، تعیین محل و از دست دادن گاز، واکنش‌های دما بالا بین سیالات فاقد گاز، سنگ‌های دیواره و آب‌های جوی و غیرجوی، واکنش‌های نزدیک سطح بین آب جوی دما پایین با تشکیلات اولیه و کانی‌های دما بالا می‌شود. توصیف خصوصیات ژئوشیمیایی شامل:

شیمی سنگ‌های میزبان، الگوهای منطقه‌بندی عناصر کمیاب، ترکیبات کانی و سیال می‌باشد [۱۴]. خصوصیات فیزیکی و ترکیب سیالات هیدروترمال که نهشته‌های مس پورفیری را تشکیل می‌دهند می‌تواند به طور مستقیم توسط سنگ‌شناسی، میکروترموتری و آنالیز میان بارها^{۱۸} تعیین شود. آنالیز عناصر کمیاب نشان داده است که: (۱) سیال اولیه ماگما حاوی غلظت‌های بالایی از فلزاتی چون *Mn* و *Pb, Zn, Fe, Cu* بوده است. (۲) با این حال، فاز جدایی در طی خارج شدن مواد فرار ماگمایی یا بعد از آن می‌تواند باعث ته‌نشست مس، طلا، آرسنیک و سولفور شود. انتقال فلز توسط مایع آبدار یا شوراب در میزان غلظت مس در نهشته موثر است [۱۴].

۲-۳-۴ انواع کانسارهای مس پورفیری

کانسارهای مس پورفیری را بر اساس موقعیت تکتونیکی و سنگ‌های همراه آن به دو گروه تقسیم

می‌کنند:

(۱) کانسارهای مس پورفیری نوع مونزونیتی.

(۲) کانسارهای مس پورفیری نوع دیوریتی.

۲-۳-۴-۱ کانسارهای مس پورفیری نوع مونزونیتی

کانسارهای مس پورفیری نوع مونزونیتی همراه با سنگ‌های مونزونیتی و گرانودیوریتی پورفیری کالک آکالن واقع در کمربندهای تکتونیکی زون فرورانش حاشیه قاره‌ها کشف شده‌اند. توده‌های نفوذی نیمه عمیق^{۱۹} اکثراً تشکیل استوک و گاهی دایک و به ندرت تشکیل باتولیت می‌دهند، غالباً چند استوک در یکدیگر نفوذ می‌نمایند.

¹⁸ Fluid Inclusion

¹⁹ Sub-Volcanic

ماگمای کالک آلکالن که از ذوب بخشی پوسته اقیانوسی زون فرورانش به وجود می‌آید، ضمن بالا آمدن به دلیل آغشتگی^{۲۰} با سنگ‌های مسیر، تغییراتی در ترکیب شیمیایی آن رخ می‌دهد. به همین دلیل مقدار سیلیس، عناصر آلکالی و مولیبدن کانسارهای مس پورفیری واقع در حاشیه قاره‌ها بیش از جزایر قوسی است و به عکس، مقدار طلای کانسارهای جزایر قوسی بیشتر می‌باشد. ذخایر مس پورفیری با عیار طلای بالا نزدیک به زون فرورانش و در مناطق با ضخامت کم پوسته قاره‌ای تشکیل شده‌اند، درحالی که ذخایر با مولیبدن بالا در بخش‌های با ضخامت پوسته قاره‌ای بیشتر شکل گرفته‌اند. از جمله این ذخایر کانسار مس سرچشمه رفسنجان می‌باشد. این کانسارها به شکل انتشاری، رگچه‌ای بوده و کانی‌های اقتصادی مهم آن: کالکوپیریت، بورنیت و مولیبدنیت با عیار معدن کاری ۰/۳-۰/۲٪ می‌باشد. بر اساس مطالعات ایزوتوپ-های روبیدیم و استرانسیوم، ماگمای اولیه کانسارهای مس پورفیری حاشیه قاره‌ها تحت تأثیر آغشتگی پوسته قاره‌ای قرار گرفته و میزان ایزوتوپ استرانسیوم اولیه آن‌ها از کانسارهای پورفیری زون فرورانش جزایر قوسی بیشتر است [۱۰].

۲-۳-۴-۲ کانسارهای مس پورفیری نوع دیوریتی

کانسارهای مس پورفیری نوع دیوریتی در کمربندهای زون فرورانش جزایر قوسی همراه با سنگ‌های دیوریتی-تونالیتی کالک آلکالن کشف می‌شوند. بیشتر ذخایر کشف شده در حاشیه غربی اقیانوس آرام واقع شده‌اند. وجود اختلاف در ترکیب شیمیایی محلول ماگمایی نوع مونزونیتی و محلول ماگمایی نوع دیوریتی موجب تغییراتی در زون‌های آلتراسیون، عیار و مواد جانبی ذخیره می‌شود. در نوع دیوریتی، مقدار منیزیم، آهن و کلسیم محلول افزایش یافته ولی مقدار سیلیس، پتاسیم و سولفور کاهش می‌یابد. به دلیل پایین بودن مقدار سولفیدها، زون کوارتز-سرسیت-پیریت در نوع دیوریتی نسبتاً محدود است. در سیستم نوع دیوریتی عمدتاً دو زون پتاسیک و پروپیلیتیک یافت می‌شوند و ذخیره در زون پتاسیک و پروپیلیتیک قرار

²⁰ Contamination

دارد. محصول جانبی این کانسارها طلا می‌باشد، در صورتیکه در نوع مونزونیتی مولیبدن است. عیار مس در نوع دیوریتی کمتر است. بالا بودن فشار گاز اکسیژن در محلول ماگمایی موجب می‌شود که طلا در مرکز سیستم متمرکز شود. بالا بودن مقدار مگنتیت و انیدریت، دلیل بر بالا بودن اکسیژن محلول ماگمایی است (جدول ۱-۲) [۱۰].

جدول (۱-۲): مقایسه کانسارهای مس پوفیری نوع مونزونیتی با دیوریتی [۱۰].

خصوصیات	مدل دیوریتی	مدل مونزونیتی
موقعیت تکتونیکی	زون فرورانش جزایر قوسی	زون فرورانش حاشیه قاره‌ها
سنگ‌های همراه	دیوریت، تونالیت پورفیری	مونزونیت، کوارتزیت مونزونیت پورفیری
مناطق دگرسانی	پتاسیک، پروپیلیتیک	پتاسیک، پروپیلیتیک، آرژیلیک، فیلیک
رگه‌های کوارتز	کم	فراوان
رگچه‌های پتاسیم فلدسپات	کم	فراوان
مگنتیت	۳٪	به مقدار کم
سولفید	۲-۶٪	۳-۱۰٪
عیار متوسط مس (درصد)	۰/۵	۰/۵۵
عیار طلا (گرم بر تن)	۰/۴-۰/۱۵	<۰/۱
عیار مولیبدن (درصد)	<۰/۰۰۷	۰/۰۰۲-۰/۰۳

۲-۳-۵ کانسارهای همراه

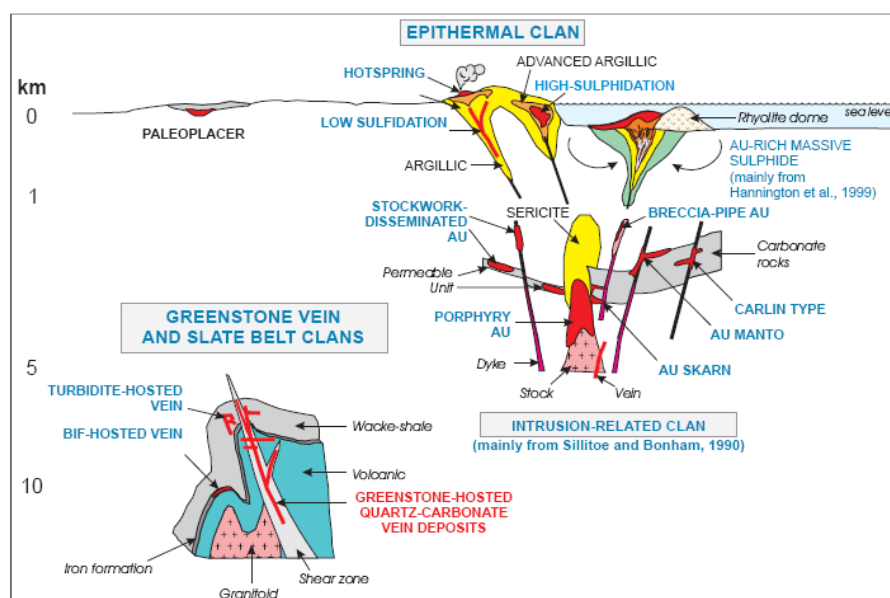
کانسارهای زیادی ممکن است به طور ژنتیکی همراه با کانسارهای مس پورفیری باشند. انواع رایجی

از این کانسارها عبارتند از (به صورت شماتیک در شکل (۲-۳) نشان داده شده است) [۱۱]:

- اسکارنها (شامل اسکارن‌های مس، آهن، طلا و روی)
- پلی‌متالیک جایگزینی (نقره، سرب، روی، مس و طلا)
- رگه‌های پلی‌متالیک (طلا، نقره، مس، روی، سرب، منگنز و آرسنیک)
- رسوبی‌های پراکنده طلا و نقره
- رگه‌های اپی‌ترمال طلا و نقره (سولفید پایین تا متوسط)

• اپی ترمال سولفید بالا (طلا، نقره، مس و آرسنیک)

با این حال حضور هر کدام از این کانسارها اشاره مستقیم به حضور کانسار مس پورفیری ندارد و به طور مشابه عدم وجود هر کدام از آن ها مانعی برای به وجود آمدن یک کانسار مس پورفیری ایجاد نمی کند [۱۳].



شکل (۲-۳): وضعیت عمومی کانسارهای مس پورفیری و کانسارهای همراه آن ها [۱۱].

۲-۳-۶ معیارهای اکتشافی

۲-۳-۶-۱ معیار ژئوفیزیکی

روش های مدرن ژئوفیزیکی به طور گسترده در اکتشاف این کانسارها مورد استفاده قرار می گیرند. روش های مغناطیس هوایی، گرانی و روش های دورسنجی در مقیاس ناحیه ای، روش های مغناطیسی زمینی، ژئوالکتریک و الکترومغناطیس در مقیاس محلی برای مشخص کردن کانی سازی در سه بعد استفاده می شوند. علاوه بر این، سولفیدهای آهن و مس (پیریت، کالکوپیریت، کالکوسیت و بورنیت) به صورت پراکنده در اطراف این زون ها توزیع شده اند. این کانی ها مقاومت ظاهری پایینی دارند که با روش های الکتریکی و الکترومغناطیسی می توان آن ها را شناسایی کرد. طبیعت افشان کانی های سولفیدی در سیستم های پورفیری

کمک زیادی به کشف این کنسارها با روش پلاریزاسیون القایی (اندازه گیری شارژبلیته مواد پوسته‌ای)، می‌کند [۱۴].

۲-۳-۶-۲ معیار ژئوشیمیایی

ژئوشیمی اکتشافی بیشتر برای اکتشاف نهشته‌های کم عیار مناسب می‌باشد و توسعه پیدا کرده است. به ویژه برای اکتشاف نهشته‌هایی که تعیین محل و موقعیت آن‌ها مشکل است (مانند نهشته‌های پنهانی^{۲۱}) و یا نهشته‌هایی که شناخت ماکروسکوپی آن‌ها غیرممکن است (مانند بعضی از نهشته‌های پورفیری) [۱۵] و [۱۶]. علت کارایی ژئوشیمی اکتشافی در موارد فوق این است که روش‌های ژئوشیمیایی روش‌های مستقیمی هستند که در آن‌ها برای کشف و ثبت ناهنجاری‌های حاصل از فراوانی غیرعادی یک عنصر معین، خود آن عنصر و یا عنصری در ارتباط با آن اندازه‌گیری و سنجیده می‌شود [۱۵].

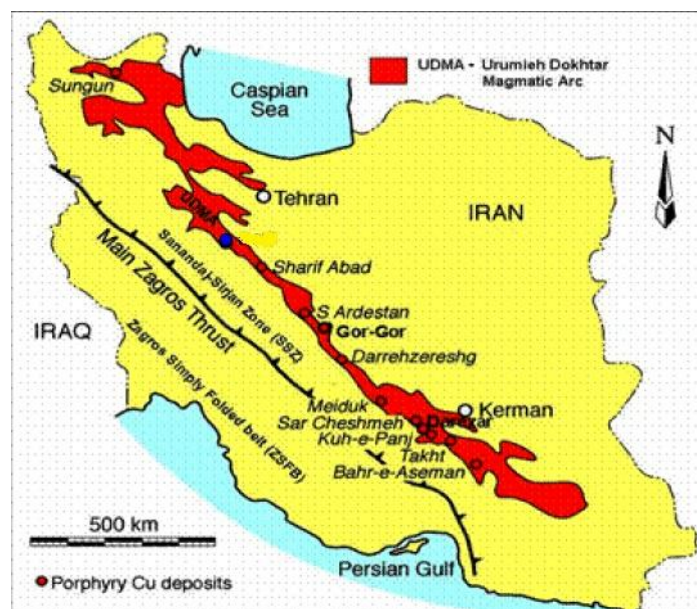
از مهم‌ترین شاخصه کنسارهای مس پورفیری زون‌بندی ژئوشیمیایی این کنسارها می‌باشد. معمولاً ناهنجاری عناصر مس و مولیبدن در بخش مرکزی و روی، نقره، منگنز، سرب، کادمیم و بیسموت در بخش خارجی هاله دگرسان یافت می‌شوند. البته در مناطقی که دگرسانی شدید است، احتمالاً ناهنجاری مولیبدن قابل ثبت نباشد. موقعیت ناهنجاری طلا می‌تواند در محدود کردن سیستم پورفیری به عنوان ردیاب، مناسب باشد که تابع شیب توپوگرافی در محل می‌باشد [۱۴].

²¹ *Bilind (or Hidden) Ore Deposits*

۴-۲ معرفی منطقه مورد مطالعه

۱-۴-۲ کمربند ماگمایی ارومیه- دختر

کانسارهای مس پورفیری را می‌توان محصول سردشدن سیستم‌های گرمایی مرتبط با نفوذی‌های کم عمق پورفیری جای‌گیر شده در کمان‌های ماگمایی مرتبط با زون فرورانش دانست. بخش نئوژن- پلی- استوسن کمربند آتشفشانی ایران مرکزی که از آن با عنوان کمان ماگمایی ارومیه- دختر یاد می‌شود (شکل ۴-۲)، مهم‌ترین ذخایر مس پورفیری ایران را در خود جای داده است [۱۷] و [۱۸].



شکل (۴-۲): کمان ماگمایی ارومیه- دختر و موقعیت مهم‌ترین ذخایر مس پورفیری ایران بر روی آن [۱۹].

طبق تحقیقات انجام شده، سه ایالت مهم مس ایران در ارومیه- دختر قرار گرفته‌اند و بر همین اساس این واحد ساختاری به سه بخش تقسیم می‌شود: (۱) شرق ارومیه- دختر؛ در این ناحیه ذخایر بزرگی چون سرچشمه و میدوک، علاوه بر آنها ذخایر اقتصادی و غیراقتصادی همچون دره‌زرشک- علی‌آباد، آب دره، دره‌زر، سریدون و خارستان وجود دارد. (۲) ناحیه ساوه- اردستان در مرکز ارومیه- دختر؛ کانسار مورد نظر در این مطالعه در این بخش قرار گرفته است. (۳) تکاب- میانه، قره داغ- سبلان در شمال غرب دومین ایالت

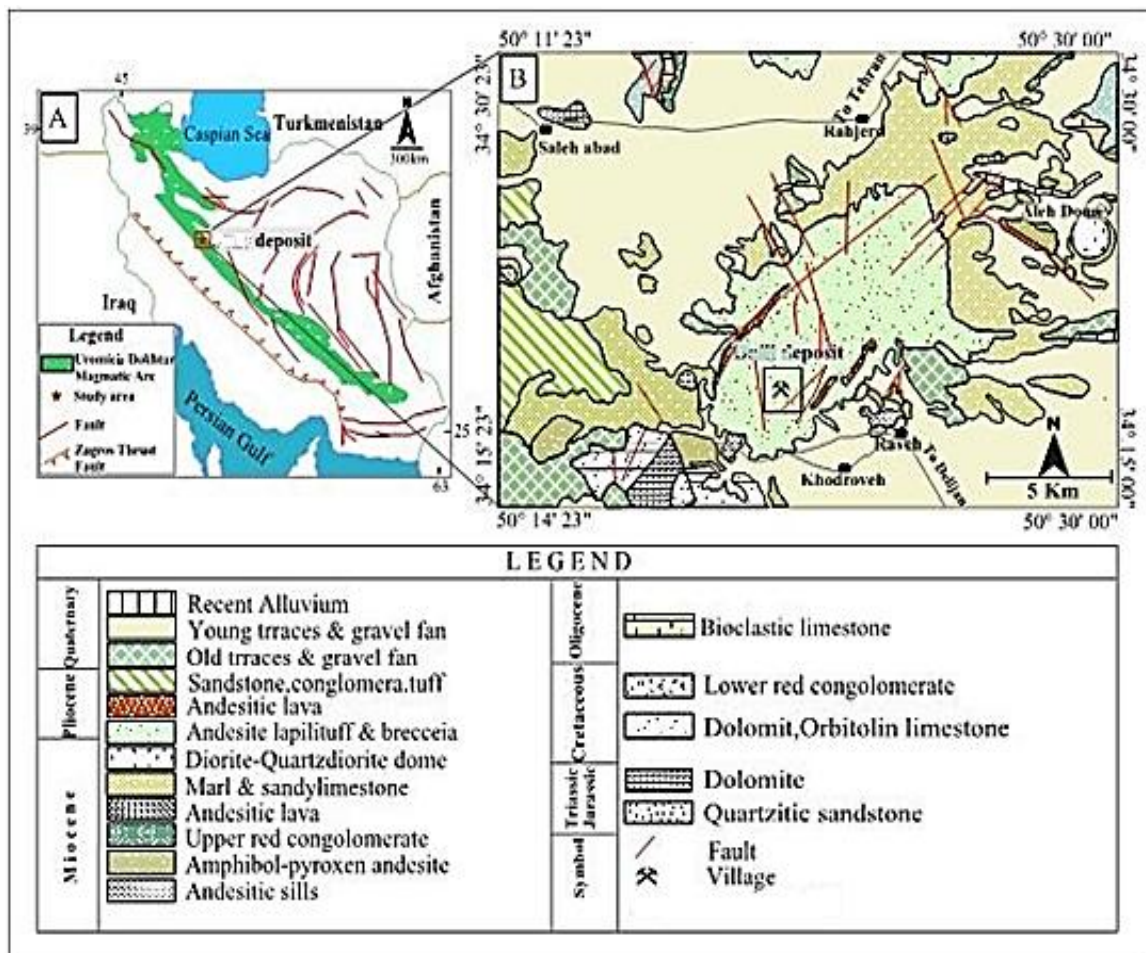
مهم مس ایران به شمار می‌آید [۲۰] و [۲۱]. در کانسار مورد نظر ماگمای مادر، سنگ‌های آتشفشانی و نیمه آتشفشانی نئوژن ناحیه دارای ترکیبات کالک آلکالن با تاثیرپذیری از سیالات و رسوبات پوسته‌ای است [۲۲].

بر اساس مطالعات اکتشافی از منطقه مورد مطالعه، کانی‌سازی از نوع مس پورفیری غنی از طلا ارزیابی گردیده است و تاکنون تنها نهشته *Cu-Au* پورفیری گزارش شده در کمربند ولکانیکی ارومیه-دختر می‌باشد [۱۹]. کانی‌سازی در منطقه مورد نظر مرتبط با سنگ‌های نفوذی دیوریتی، تونالیتی و گرانودیوریتی با روند شمال‌شرقی- جنوب‌غربی می‌باشد که به درون سنگ‌های آتشفشانی و پیروکلاست‌ها با دگرسانی پروپلیتیک عهد پالئوژن نفوذ کرده است. منطقه دارای مساحتی بیش از 400×300 متر بوده و آلتراسیون کلریت- سربیسیت- مگنتیت تا پتاسیک، که توسط آلتراسیون پروپلیتیک (حاوی اپیدوت و کلریت) احاطه شده است در منطقه مشاهده می‌شود. توپوگرافی نرم تا صاف در کف دره به صورت تدریجی به زمین شیبداری در دامنه دره می‌رسد. ارتفاع در کف دره از ۱۹۵۰ تا ۲۲۱۰ متر بالای کف دریا تغییر می‌کند. منطقه عموماً بیابانی تا نیمه کوهستانی به همراه باغات میوه در جنوب منطقه می‌باشد [۱۹].

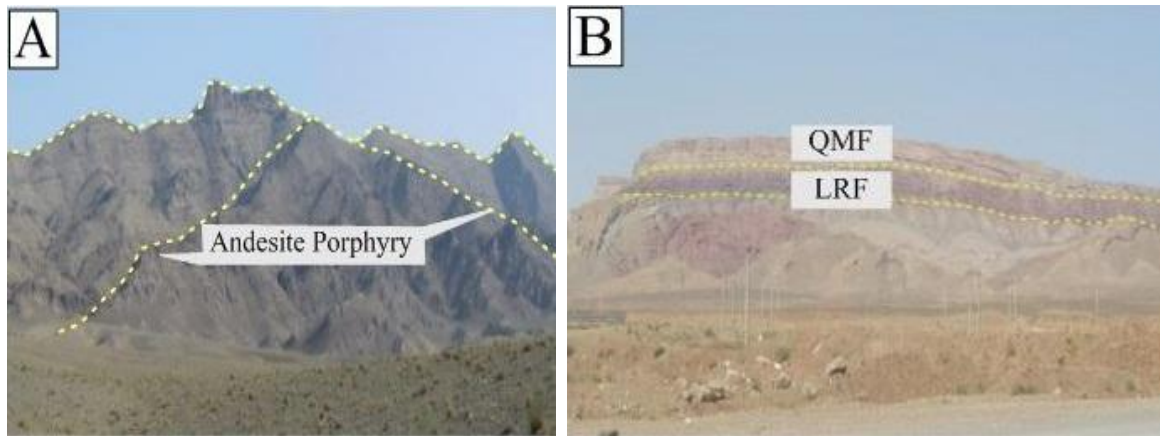
۲-۴-۲ زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه

کانسار مورد نظر بر روی کمان ماگمایی ارومیه- دختر (شکل ۲-۵) واقع شده است. مهم‌ترین واحدهای چینه‌شناسی منطقه عبارتند از: رسوبات آبرفتی کواترنری، واحدهای آتشفشانی و نیمه آتشفشانی نئوژن (شکل ۲-۶-۱) که طی دو مرحله ماگمایی تشکیل شده‌اند. در مرحله اول فوران‌های پس از برخورد در میوسن میانی تا بالایی است که شامل گدازه‌ها و آذرآواری‌ها با ترکیبی از بازالت‌اندزیت تا آندزیت (بازیک- حدواسط) می‌باشند و استراتوولکان‌های سخت حصار، آقا بزرگ و کوه خستک را می‌سازند [۲۳].

فاز دوم با فوران‌های آندزیتی- داسیتی بیانگر اسیدی‌تر شدن فعالیت‌های ماگمایی منطقه است و دارای آثار تخریبی همچون گسترش دهانه آتشفشانی کوه خستک می‌باشد که به صورت گدازه و توده‌های نفوذی در واحدهای رسوبی قدیمی‌تر نفوذ کرده‌اند. رسوبات الیگومیوسن نیز شامل نهشته‌های کنگلومرای و رسوبات آواری - تبخیری سازند قرمز پایینی، رسوبات دریایی سازند قم (شکل ۲-۶-B) و رسوبات تبخیری - قاره‌ای سازند قرمز بالایی‌اند که در اثر پس روی‌ها، ایجاد شرایط کششی و پیش روی و در نهایت پس روی‌های ناشی از تحولات نئوتتیس در بازه زمانی ائوسن تا میوسن نهشته شده‌اند [۲۴] و [۲۵].



شکل (۲-۵): (A) نقشه ساده شده موقعیت کانسار مورد نظر [۲۶]. (B) نقشه ساده شده زمین‌شناسی ناحیه‌ای کانسار مورد نظر [۲۷].

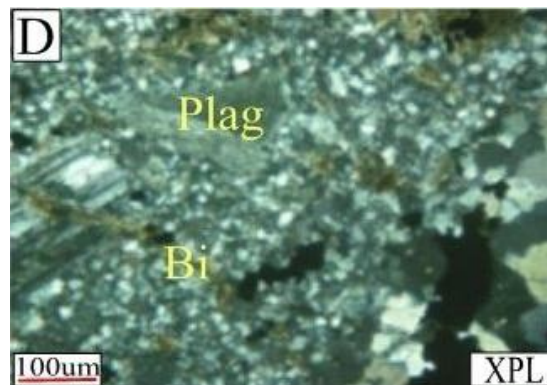


شکل (۲-۶): (A) واحدهای آتشفشانی در محدوده کانسار مورد نظر، (B) نمایی از سازندهای رسوبی (LRF = سازند قرمز پایینی، QMF = سازند قم) [۲۳].

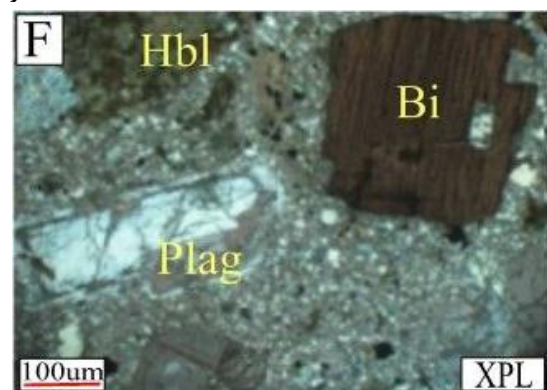
واحدهای آتشفشانی نیز تحت تأثیر محلول‌های گرمابی دچار دگرسانی و فرآیند کانه‌زایی شده‌اند. چینه‌های آتشفشانی میوسن و رخنمون سنگ‌های آتشفشانی و پیروکلاستیک‌ها در راستای شمال شرقی – جنوب غربی بیشتر از سی کیلومتر گسترش یافته‌اند [۱۹].

نتایج بررسی‌های صحرایی و مطالعات سنگ‌نگاری بیانگر تشکیل و زایش کانسار در طی سه مرحله شامل: (۱) فوران توده‌های آتشفشانی در منطقه و نفوذ توده‌های درونی با ترکیب سنگ‌شناسی تقریباً مشابه با واحد ولکانیکی می‌باشد. (۲) عملکرد سیالات گرمابی و رخداد دگرسانی درونزاد. (۳) تأثیر سیالات جوی، باعث رخ داد دگرسانی برونزاد و ایجاد کلاهک آهنی به ضخامت تقریبی ۱ تا ۲ متر در بخش‌هایی از منطقه شده است. سنگ میزبان کانسار ترکیبی در محدوده دیوریت (شکل ۲-۷) تا کوارتز دیوریت پورفیری (شکل ۲-۸) را نشان می‌دهد. واحد آتشفشانی منطقه نیز در گروه آندزیت (شکل ۲-۹) تا آندزیت بازالت پورفیری نقش سنگ دیواره را ایفا می‌کنند. دو استوک پورفیری با ترکیب سنگ‌شناسی کوارتز دیوریت پورفیری به درون سنگ دیواره آندزیتی نفوذ کرده است. دگرسانی آن عمدتاً شامل پتاسیک در بخش مرکزی و پروپیلیتیک در بخش سنگ دیواره آندزیتی می‌باشد و آثار دگرسانی سرسیتی و آرژیلیک (تخریب فلدسپار)

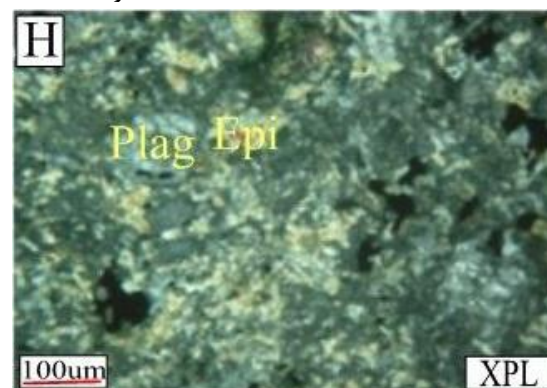
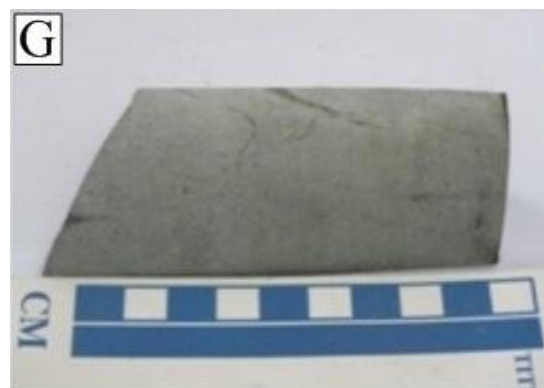
بسیار نادر و جزئی است. این توده در بررسی‌های سطحی به وسیله دگرسانی‌های پتاسیک و کوارتز - سرسیت - پیریت و همراه با رگه‌ها و استوک‌ورک‌های سیلیسی مشخص می‌شود [۲۸].



شکل (۲-۷): (C) دیوریت پورفیری با رگه کوارتز کانه‌دار. (D) تصویر میکروسکوپی دیوریت پورفیری (Plag = پلاژیوکلاز، = بیوتیت) [۲۳].



شکل (۲-۸): (E) سنگ کوارتز دیوریت پورفیری. (F) تصویر میکروسکوپی کوارتز دیوریت پورفیری (Plag = پلاژیوکلاز، = بیوتیت، = هورنبلند) [۲۳].



شکل (۲-۹): (G) سنگ دیواره آندزیت پورفیری. (H) تصویر میکروسکوپی آندزیت پورفیری (Plag = پلاژیوکلاز، = اپیدوت) [۲۳].

مطالعات جامعی در ارتباط با پتروژنز، تحولات ساختاری، ژئوشیمی، ژئوفیزیک، دگرسانی، زمین-شناسی، مدل زایشی کانسار، تهیه نقشه‌های دگرسانی، ارزیابی هاله‌های ژئوشیمیایی و مدلسازی زون‌های کانه‌ساز منطقه صورت گرفته است [۲۹].

۲-۴-۳ پیشینه کارهای انجام شده در منطقه مورد نظر

برداشت ۱۶۵ نمونه از خاک با شبکه‌ای به مساحت ۸۰۰×۹۰۰ متر در منطقه مورد مطالعه انجام شده است. روش مورد استفاده جهت آنالیز و اندازه‌گیری غلظت نمونه‌ها *ICP-MS* بوده است. نتایج بدست آمده از عملیات نمونه‌برداری از سنگ و خاک و پیمایش مغناطیسی منجر به حفر ۲ گمانه در منطقه مورد نظر گردیده است. از گمانه‌های ۳ و ۴، که نتایج و عیارهای *Cu-Au* در جدول ۲-۲ آورده شده، جهت تهیه طرح اکتشافی مرحله دوم حفاری استفاده شده است [۱۹].

جدول (۲-۲): ارزیابی نتایج از گمانه‌های حفاری *DDH03* و *DDH04*، [۱۹].

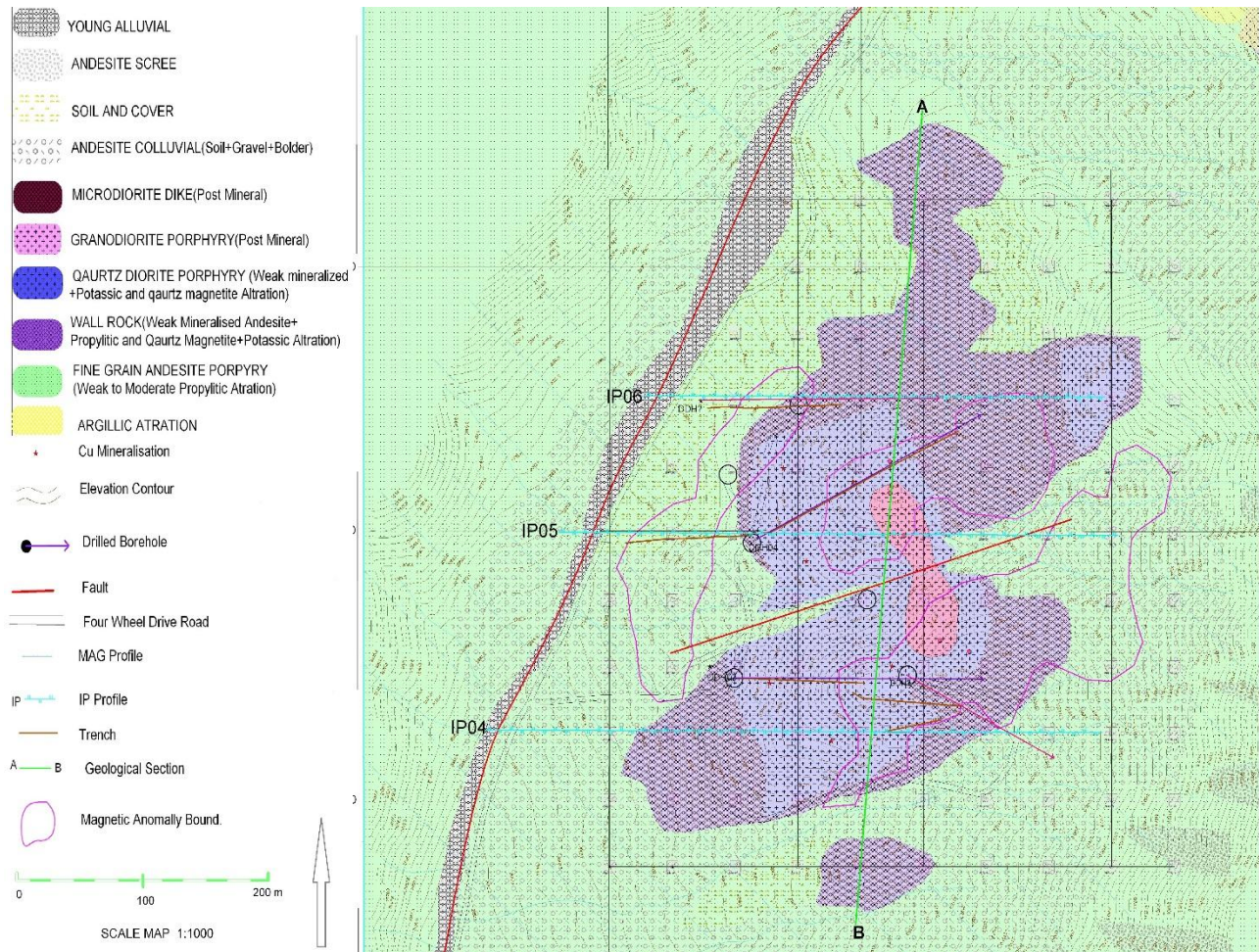
شماره چاه	عمق گمانه (m)	فاصله (m)	Au (g/t)	Cu (%)
<i>DDH03</i>	۳۴۵-۰	۳۴۵	۰/۵۲	۰/۱۲
<i>DDH04</i>	۳۷۳-۰	۳۷۳	۰/۴۳	۰/۱۵

این نتایج گویای پیوستگی جانبی از کانی‌زایی در بین گمانه‌های ۳ و ۴ منطقه بوده و وجود یک سیستم مس پورفیری غنی از طلا را در منطقه محتمل می‌داند به همین دلیل تصمیم به انجام حفاری‌های بیشتر در مرحله دوم گرفته شده است. فعالیت‌های اکتشافی در مرحله دوم حفاری شامل مواد زیر است [۱۹]:

- تعداد ۱۹۳ نمونه برداری از ترانشه‌ها در امتداد آزمون *DDH03* و *DDH04* و آنالیز نمونه‌ها.
- اجرای پیمایش *IP/RS* به صورت پروفیل‌هایی در مقاطع مختلف.
- نقشه‌برداری زمین‌شناسی و توپوگرافی در مقیاس ۱:۵۰۰۰ و مطالعات کانی‌شناسی و سنگ‌شناسی نمونه‌های حاصل از مغزه.

• بررسی متالورژیکی نمونه‌های توده‌ای.

مجموعه عملیات ژئوفیزیکی در منطقه کمک شایانی به طراحی حفاری‌های مرحله دوم خواهد نمود. برای این منظور پیمایش *IP/RS* سطحی در منطقه انجام گردیده است. این بررسی ۶ پروفیل با طول کلی ۲/۶۴ کیلومتر را شامل می‌شود. شکل (۲-۱۰): نقشه زمین‌شناسی با مقیاس ۱:۱۰۰۰ را نشان می‌دهد [۱۹].



شکل (۲-۱۰): نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد نظر [۱۹].

فصل سوم

ضریب تجمع

تکینگی

۳-۱ مقدمه

یکی از مسائل اساسی اکتشاف کانسارهای معدنی در چند دهه گذشته، معرفی تکنیک‌های اکتشافی در مناطق پوشیده از رسوبات به شدت هوازده و فرسایش‌یافته بوده است [۳۰] و [۳۱]. رفتار شیمیایی عناصر بوسیله فرآیندهای فیزیکی، شیمیایی، هوازدهی و فرسایش تحت تاثیر قرار می‌گیرد [۳۲] و [۳]. در یک محیط ژئوشیمیایی مشخص، عناصر غیرمتحرک تمایل دارند که در طی فرآیند هوازدهی در سنگ بستر باقی بمانند و ممکن است نشان‌دهنده ناهنجاری‌های ژئوشیمیایی و یا لیتولوژیکی باشند. عناصر متحرک به آسانی از سنگ بستر جدا و در نواحی دیگر تجمع پیدا می‌کنند و حتی ناهنجاری‌های ژئوشیمیایی ثانویه‌ایی را بدون کانی‌سازی مهم تشکیل می‌دهند. با این وجود ممکن است سیگنال‌های ژئوشیمیایی توسط رسوبات پنهان شده و یا به دلیل عناصر متحرک حمل و نقل یافته، مناطقی به عنوان ناهنجاری‌های ژئوشیمیایی کاذب در نظر گرفته شوند. این نوع ناهنجاری‌ها به سختی توسط روش‌های آماری کلاسیک و سنتی قابل شناسایی و تمییز هستند [۳۳]. بنابراین آنالیز رفتار عنصر و استفاده از روش‌های موثر پردازش داده، برای ارزیابی و توصیف مناطق کانی‌سازی از دیگر مناطق بسیار مهم است.

۳-۲ تجزیه و تحلیل ضریب تجمع

یکی از پارامترهای ژئوشیمیایی مفید برای بررسی غنی‌شدگی و یا تهی‌شدگی عناصر ضریب تجمع (AC^{22}) است. این پارامتر در ابتدا به عنوان نسبت مقدار متوسط یک عنصر مشخص در یک نمونه، به مقدار متوسط آن در لیتوسفر تعریف و بیان شد [۳۴]. در این مطالعه برای تخمین درجه غنی‌شدگی و تهی‌شدگی عناصر در واحدهای مختلف زمین‌شناسی، ضریب تجمع به عنوان نسبت مقدار متوسط یک عنصر معین در

²² Accumulation coefficient

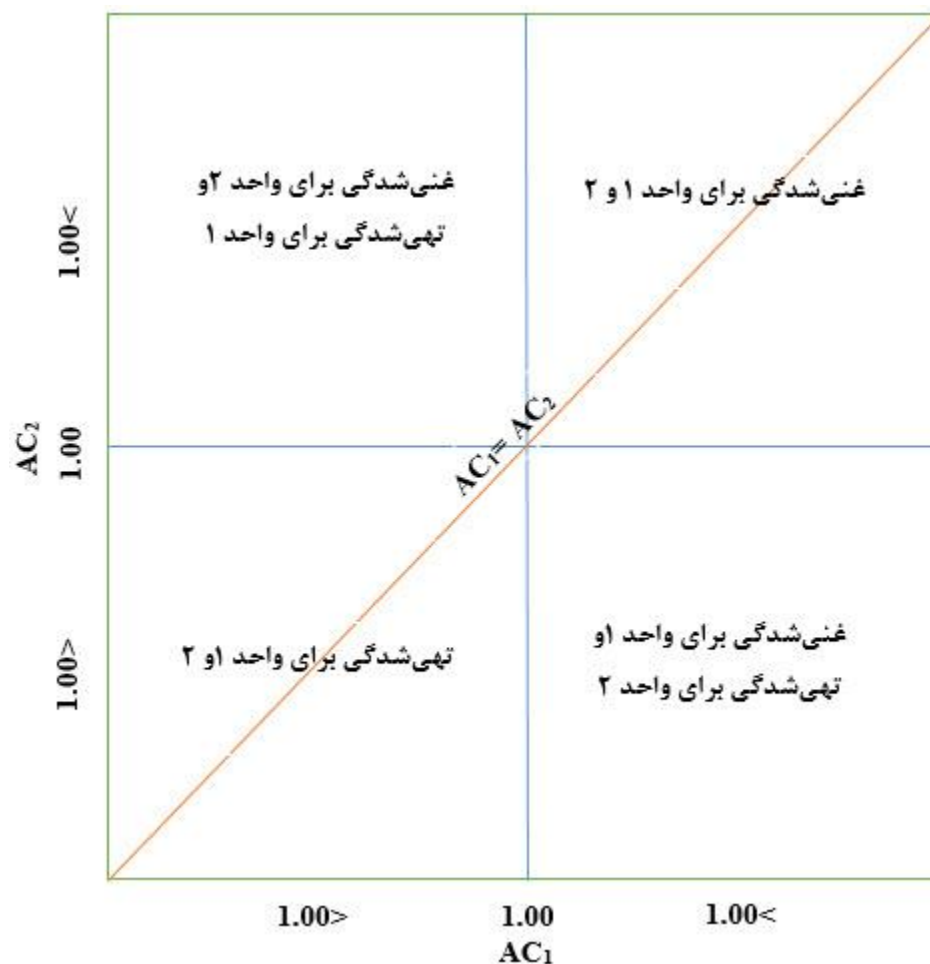
یک واحد زمین‌شناسی، به مقدار متوسط آن در کل منطقه (مجموع مقدار آن در تمام واحدهای زمین‌شناسی) تعریف شده است. با فرض این که m عنصر و n واحد زمین‌شناسی وجود داشته باشد، AC به صورت رابطه (۱-۳) محاسبه می‌شود [۲]:

$$AC_{ij} = \frac{C_{ij}}{C_i}, (i = 1,2,3, \dots, m \text{ و } j = 1,2,3, \dots, n) \quad \text{رابطه (۱-۳)}$$

C_{ij} در رابطه فوق مقدار متوسط غلظت عنصر i ام در واحد زمین‌شناسی j ام و C_i مقدار متوسط غلظت عنصر i ام در کل منطقه است. در این رابطه مقادیر میانه عناصر؛ به دلیل اینکه در آمار مقدار میانه به مقدار میانگین ترجیح داده می‌شود، جایگزین مقادیر متوسط غلظت شده است. (در داده‌های ژئوشیمیایی معمولاً مقادیر بسیار کوچک و یا بسیار بزرگ وجود دارد و میانگین تحت تاثیر کران‌های بالا و پایین قرار می‌گیرد، در نتیجه بهتر است به جای استفاده از مقدار میانگین، از مقدار میانه در محاسبات استفاده شود [۳۵]).

به طور معمول، اگر عنصر i ام به طور نسبی در واحد زمین‌شناسی j ام غنی شده باشد، AC_{ij} بزرگتر از یک، و به همین ترتیب اگر عنصر i ام در واحد زمین‌شناسی j ام به طور نسبی تهی‌شدگی داشته باشد، AC_{ij} کوچکتر از یک، و اگر عنصر i ام در واحد زمین‌شناسی j ام هیچ‌گونه غنی‌شدگی و یا تهی‌شدگی نداشته باشد، برابر یک خواهد شد.

براساس مقادیر ضریب تجمع، یک سری نمودار AC برای جفت واحدهای زمین‌شناسی رسم می‌شود (شکل ۱-۳)، تا به وسیله آن غنی‌شدگی و یا تهی‌شدگی نسبی عناصر در واحدهای زمین‌شناسی مورد نظر بررسی شود (برای مثال AC_1 و AC_2 در شکل ۱-۳). در هر نمودار خطوط AC برابر یک در محورهای عمودی و افقی رسم می‌شود تا نمودار را به چهار قسمت تقسیم کند به طوری که در قسمت سمت چپ بالا $AC_2 > I$ و $AC_1 < I$ ، در قسمت سمت چپ پایین $AC_1 < I$ و $AC_2 < I$ ، در قسمت سمت راست بالا $AC_1 > I$ و $AC_2 > I$ ، در قسمت راست پایین $AC_1 > I$ و $AC_2 < I$ است.



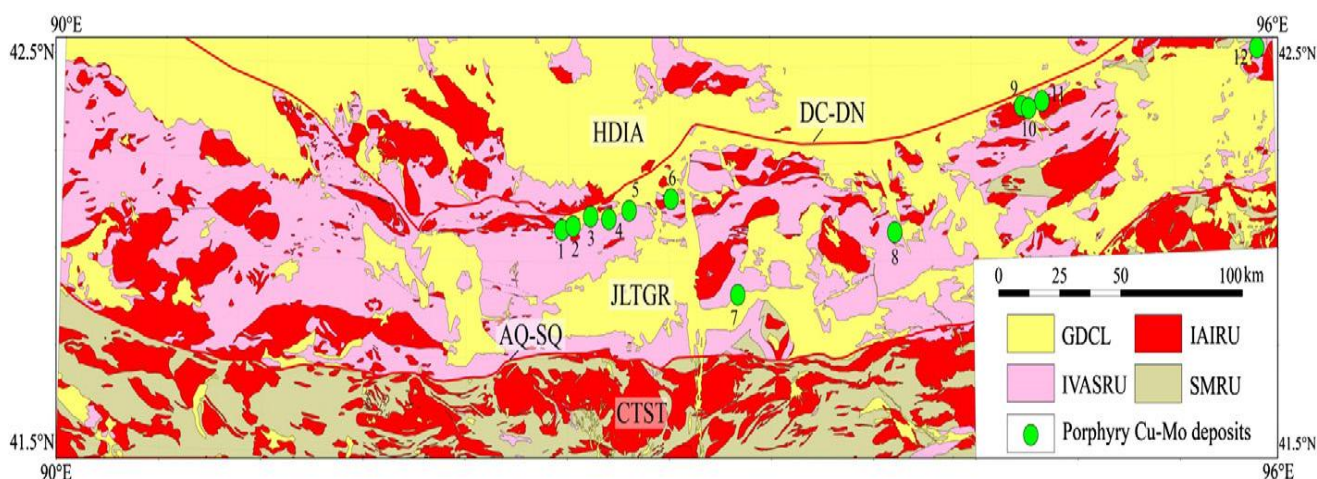
شکل (۳-۱): نمودار دو متغیره برای تجزیه و تحلیل ضریب تجمع (AC_1 و AC_2) به ترتیب مقادیر ضریب تجمع عناصر در واحد زمین شناسی ۱ و ۲ [۲].

عناصری که در واحد زمین شناسی ۱ غنی شدگی، ولی در واحد زمین شناسی ۲ تهی شدگی نشان می دهند در قسمت راست پایین و عناصری که در واحد زمین شناسی ۱ و ۲ غنی شدگی نشان می دهند در قسمت راست بالا قرار گرفته اند. به همین ترتیب عناصری که در واحد زمین شناسی ۱ تهی شدگی و در واحد زمین شناسی ۲ غنی شدگی نشان می دهند در قسمت چپ بالا و عناصری که در واحد زمین شناسی ۱ و ۲ تهی شدگی نشان می دهند در قسمت چپ پایین قرار گرفته اند. در این نمودار خط $AC_1 = AC_2$ یا خط غنی شدگی یکسان، نشان دهنده عناصری است که در واحدهای زمین شناسی ۱ و ۲ مقدار ضریب تجمع یکسانی دارند و عناصری که در واحدهای زمین شناسی ۱ و ۲ مقدار تهی شدگی و یا غنی شدگی یکسانی

نشان می‌دهند در نزدیکی این خط قرار گرفته‌اند. عناصری که به طور نسبی در واحد زمین‌شناسی ۲ غنی‌شدگی بیشتری نسبت به واحد زمین‌شناسی ۱ نشان می‌دهند در قسمت بالای خط غنی‌شدگی یکسان و عناصری که در واحد زمین‌شناسی ۱ غنی‌شدگی بیشتری دارند در پایین این خط قرار گرفته‌اند [۲].

۳-۲-۱ پیشینه روش تجزیه و تحلیل ضریب تجمع

در نهشته‌های مس-مولیبدن پورفیری صحرای گوبی^{۲۳} که یک منطقه جغرافیایی پوشیده شده توسط رسوبات در شرق تیانشان^{۲۴} چین^{۲۵} است، به عنوان یک نمونه برای مشخص کردن ناهنجاری‌های مهم، استفاده شده است. واحدها و تشکیلات ساختاری این منطقه در شکل (۲-۳) شامل موارد زیر می‌باشد:



شکل (۲-۳): نقشه زمین‌شناسی ساده شده از منطقه تیانشان - چین [۲].

^{۲۶}GDCL: لایه‌های پوشاننده صحرای گوبی، ^{۲۷}IVASRU. واحد سنگی رسوبی مرتبط با سنگ‌های آذرین و ولکانیک، ^{۲۸}IAIRU واحد سنگی نفوذی اسیدی تا حدواسط، ^{۲۹}SMRU. واحد سنگی رسوبی- دگرگونی،

^{۲۳} Gobi desert

^{۲۴} Tianshan

^{۲۵} China

^{۲۶} Gobi desert covered layer

^{۲۷} Igneous and volcanics associated sedimentary rock unit

^{۲۸} Intermediate-acid intrusive rock unit

^{۲۹} Sedimentary-metamorphic rock unit

گسل‌های ${}^{30}DC_DN$ و ${}^{31}AQ_SQ$ و زون‌های تکتونیک ${}^{32}HDIA$ ، ${}^{33}JLTGR$ ، ${}^{34}CTST$. نمونه‌برداری در منطقه مورد مطالعه از رسوبات رودخانه‌ایی صورت گرفته و نمونه‌ها با روش‌های $ICP-MS$ ، XRF و $ICP-AES$ برای ۳۹ عنصر فرعی - کمیاب به همراه اکسیدهای عناصر اصلی آنالیز شده است. با استفاده از روش آنالیز ضریب تجمع (AC)، تحرک احتمالی عناصر مورد بررسی قرار گرفته تا مجموعه‌ای از عناصر معرف و مناسب برای کانی‌سازی مس - مولیبدن پورفیری شامل Cu, Mo, Pb, Zn به دست آید. همچنین مشخص شده است که ارتباط ژنتیکی قوی بین ترکیب ژئوشیمیایی سنگ بستر با لایه‌های پوشاننده صحرای گوبی در منطقه شرقی تیانشان وجود دارد [۲].

۳-۳ تکینگی

امروزه اکتشاف ژئوشیمیایی نقش مهمی را در یافتن مناطق امید بخش جهت اکتشاف‌های تفصیلی‌تر ایفا می‌کند. شاید بتوان گفت که مهم‌ترین نتایج حاصل از تحلیل داده‌های ژئوشیمیایی جدایش جوامع گوناگون ناهنجاری (ممکن، احتمالی و قطعی) از یکدیگر و تعیین زمینه برای هر عنصر در منطقه مورد اکتشاف می‌باشد. به عبارتی در صورت عدم تعیین درست ناهنجاری هر عنصر در هر منطقه، میزان ناهنجاری‌ها در آن منطقه دچار نوسان شده و سبب خطاهای اساسی در برآورد محدوده‌های امید بخش برای ادامه عملیات اکتشافی می‌شود [۳۶].

تشکیل کانسار یک روند غیرخطی و پیچیده است و طی دوره‌های مختلف تحت تاثیر فعالیت‌های زمین‌شناسی قرار می‌گیرد، در نتیجه شدت و فرکانس توزیع ناهنجاری‌های مربوط به کانی‌سازی متفاوت خواهد بود [۳۷]. تحلیل‌های آماری بر روی نمونه‌های نابرجا از یک منطقه، به دلیل محدودیت‌های این

³⁰ *Dacaotan-Dananhu fault*

³¹ *Aqikkuduk-Shaquanzi fault*

³² *Ha'erlike-Dananhu island arc*

³³ *Jueluotage rift*

³⁴ *Central Tishan terrane*

روش‌ها از قبیل شرط تبعیت از توزیع نرمال، عدم توجه به توزیع فضایی داده‌ها و نیز عدم توجه به شکل هندسی ناهنجاری‌ها، امکان بروز خطا را ایجاد می‌کند [۳۸]. این مساله سبب شده است که روش‌های دیگری برای تحلیل داده‌های ژئوشیمیایی، به خصوص برای جدایش جوامع ژئوشیمیایی به کار گرفته شوند. یکی از مهم‌ترین این روش‌ها، روش‌های فرکتالی هستند که در ادامه مورد بحث قرار خواهند گرفت.

مدل شاخص تکینگی محلی بر اساس تئوری فرکتال و مولتی‌فرکتال غیرخطی توسط چنگ^{۳۵} در سال ۱۹۹۹ مطرح شد، که روشی مؤثر برای توصیف پدیده‌های خاص در مجموعه داده‌های زمین-شناسی (داده‌های ژئوشیمیایی، ژئوفیزیکی) می‌باشد [۳۹] و [۴۰].

۳-۳-۱ فرکتال

با توجه به این که هندسه اقلیدسی^{۳۶} توانایی بیان اکثر پیچیدگی‌های موجود در طبیعت را ندارد، لذا برای بیان این پیچیدگی‌ها نیاز به هندسه طبیعت می‌باشد. از هندسه فرکتال به نام هندسه طبیعت یاد می‌شود. یکی از امتیازهای بزرگ فرکتال آن است که توصیف‌گر طبیعت به گونه‌ای که وجود دارد است نه گونه‌ای که بشر می‌خواهد. در سال ۱۹۸۳ میلادی ماندلبروت^{۳۷} با انتشار کتاب هندسه فرکتالی طبیعت، این علم را پایه‌گذاری نمود. در هندسه فرکتال هر شکل و پیچیدگی‌های آن در قالب اعداد نشان داده می‌شوند، همان‌طور که در هندسه اقلیدسی مفاهیم زاویه، طول، مساحت و فضاهای یک بعدی تا سه بعدی به کار می‌روند، در هندسه فرکتال بعدها فرکتالی وجود دارند که به طور معمول اعداد صحیح نیستند و بعدها فرکتالی نامیده می‌شوند که برای بیان پیچیدگی یک شکل می‌توان از آن استفاده نمود. بر این اساس در دهه‌های ۸۰ و ۹۰ میلادی روش‌های گوناگونی همچون عیار-مساحت، عیار-فاصله، عیار-محیط

³⁵ Cheng

³⁶ Euclidean geometry

³⁷ Mandelbrot

و طیف- توان ارائه شدند که در میان آن‌ها روش عیار- مساحت در علوم زمین کاربردی بسیار یافته است [۴۱]. روش عیار- مساحت توسط دکتر چنگ (۱۹۹۴) ارائه شد و مبتنی بر میزان مساحتی است که هر عیار خاص در منطقه مورد مطالعه شامل می‌شود. هر چه عیار عنصر افزایش یابد میزان کاهش می‌یابد [۴۲].

به عبارتی تغییر از جامعه‌ای به جامعه‌ای دیگر نشانگر تغییر شرایط زمین‌شناسی، ژئوشیمیایی و کانی‌شناسی می‌باشد. این توانایی منحصر به فرد به خاطر ماهیت فرکتالی توزیع عناصر در طبیعت است. این مساله سبب می‌شود که نیازی به حذف مقادیر خارج از ردیف نباشد زیرا به دلیل ماهیت فرکتالی داده‌ها، به طور خودکار این داده‌ها به کنار گذاشته می‌شوند. نظریه مدل‌سازی چند فرکتالی یا مولتی فرکتالی ناشی از طبیعت توزیع فرکتالی عناصر و نیز نوع ارتباط عیار با مساحت دربرگیرنده آن به صورت یک تابع توانی است [۴۳] و [۴۴].

گسترده‌گی این هندسه و توانایی آن در برخورد با مسایل پیچیده و از طرفی دیگر پیچیدگی‌های موجود در نحوه مهاجرت عناصر به علل مختلف زمین‌شناسی و ژئوشیمیایی در مباحث اکتشافات ژئوشیمیایی منجر به استفاده از این روش توسط متخصصین امور اکتشافات معدنی، مخصوصاً اکتشافات ژئوشیمیایی گردید [۴۵].

۳-۲-۳ تعریف تکینگی

تکینگی به روش‌های مختلفی تعریف می‌گردد، می‌تواند در زمینه ریاضی و با نماد ریاضی بیان شود و یا از نقطه نظر فیزیکی تاکید بر فرآیندهای فیزیکی داشته باشد. از دیدگاه زمین‌شناسی تکینگی، انتشار غیرعادی و یا تجمع مواد در بازه‌های زمانی- مکانی کوتاه تعریف می‌شود. به عنوان مثال در کانی‌سازی

هیدروترمال، تکینگی معمولا در یک بازه زمانی کوتاه از دوره زمین‌شناسی رخ می‌دهد که باعث غنی‌شدگی غیرعادی عناصر در کانسنگ‌های^{۳۸} نسبتا کوچک می‌گردد [۳۳].

این روش در جدایش ناهنجاری‌های ژئوشیمیایی و ژئوفیزیکی، از مقدار زمینه منطقه‌ای یا محلی سودمند است. در حالت کلی اصل مدل تکینگی توسط روابط توانی به صورت زیر تعریف می‌شود [۳۳]:

در محیط یک کانسار مقدار کل فلز موجود در یک سنگ به حجم V ، $\mu(V)$ در نظر گرفته می‌شود. بنابراین غلظت فلز در حجم V با رابطه (۲-۳) بیان می‌گردد:

$$C(V) = \frac{\mu(V)}{V} \quad \text{رابطه (۲-۳)}$$

در شرایطی که اندازه حجم V تغییر کند مطابق با آن مقدار کل فلز موجود ($\mu(V)$) و غلظت فلز ($C(V)$) نیز تغییر می‌کند. برای مثال اگر اندازه حجم کاهش یابد مقدار کل فلز موجود، $\mu(V)$ کاهش می‌یابد. با این حال مقدار غلظت $C(V)$ با توجه به ویژگی‌های کانسار متفاوت خواهد بود.

از دیدگاه فرکتال، مقادیر $\mu(V)$ و $C(V)$ طبق روابط توانی (۳-۳) و (۴-۳) می‌باشد [۳۳]:

$$\mu(V) \propto V^{\frac{\alpha}{3}} \quad \rightarrow \quad \mu(V) = kV^{\frac{\alpha}{3}} \quad \text{رابطه (۳-۳)}$$

$$C(V) \propto V^{\frac{\alpha}{3}-1} \quad \rightarrow \quad C(V) = kV^{\frac{\alpha}{3}-1} \quad \text{رابطه (۴-۳)}$$

V : اندازه حجم مورد نظر، $\mu(V)$: مقدار کل فلز در حجم V ، $C(V)$: متوسط غلظت در حجم V ، k : ثابت عددی و α : شاخص تکینگی

این روابط برای حالت سه بعدی مطرح می‌شود، به طور مشابه در شرایط دو بعدی نیز قابل تعریف می‌باشد:

³⁸ Ore body

$$\mu(A) = kA^{\frac{\alpha}{2}} \quad \text{رابطه (۳-۵)}$$

$$C(A) = kA^{\frac{\alpha}{2}-1} \quad \text{رابطه (۳-۶)}$$

A : اندازه مساحت مورد نظر، $\mu(A)$: مقدار کل فلز در مساحت A ، $C(A)$: متوسط غلظت در مساحت A ، k : ثابت عددی و α : شاخص تکینگی.

۳-۳-۳ ویژگی‌های شاخص تکینگی

یکی از ویژگی‌های منحصر بفرد تابع نمایی، تغییرناپذیری نسبت به مقیاس است، بدین معنی که اگر اندازه حجم V و یا مساحت A تغییر کند تاثیری بر نوع تابع ندارد. از نظر هندسی این ویژگی تضمین می‌کند که الگوهای مشخص شده با تابع توانی در مقیاس‌های مختلف مشابه‌اند، این ویژگی خودتشابهی^{۳۹} نامیده می‌شود [۴۶]. تابع توانی با دو پارامتر k و α توصیف می‌شود. k : مقدار بزرگی تابع را مشخص می‌کند و α شکل تابع و یا رفتار مقادیر تابع با تغییر حجم V و مساحت A را نشان می‌دهد [۳۳].

از دیدگاه مولتی‌فرکتال، اگر α در سرتاسر محدوده کانسار یک مقدار ثابت داشته باشد، الگوهای فضایی غلظت ماده توزیع فرکتالی دارند در حالی که اگر α مقادیر متفاوتی داشته باشد، الگوهای فضایی ممکن است از توزیع مولتی‌فرکتال تبعیت کنند. در شرایطی که غلظت مواد از توزیع مولتی‌فرکتال تبعیت کنند، توان α را شاخص تکینگی می‌نامند [۴۷].

مقدار توان α (شاخص تکینگی) به دو گروه تقسیم می‌شود [۳۳]:

۱- در مکان‌هایی که $C(V)$ و $C(A)$ به ترتیب مستقل از اندازه حجم V و مساحت A هستند شاخص تکینگی به ترتیب برابر است با ۳ و ۲.

³⁹ Self-Similar

۲- در مکان‌هایی که $C(V)$ و $C(A)$ به ترتیب وابسته به اندازه حجم V و مساحت A هستند، در شرایطی که شاخص تکینگی مثبت باشد (به ترتیب شاخص تکینگی بیشتر از ۳ و ۲) متوسط غلظت محاسبه شده، با کاهش اندازه حجم V و مساحت A ، کاهش می‌یابد که نواحی با مقادیر زمینه را نشان می‌دهد. در شاخص تکینگی منفی (به ترتیب شاخص تکینگی کمتر از ۳ و ۲)، متوسط غلظت محاسبه شده، با کاهش اندازه حجم V و مساحت A افزایش می‌یابد، که نشان دهنده مناطق ناهنجاری می‌باشد. در نتیجه، محاسبه مقادیر شاخص تکینگی و تهیه نقشه تکینگی می‌تواند الگوهای فضایی مناسبی جهت اکتشاف نواحی ناشناخته بوجود آورد.

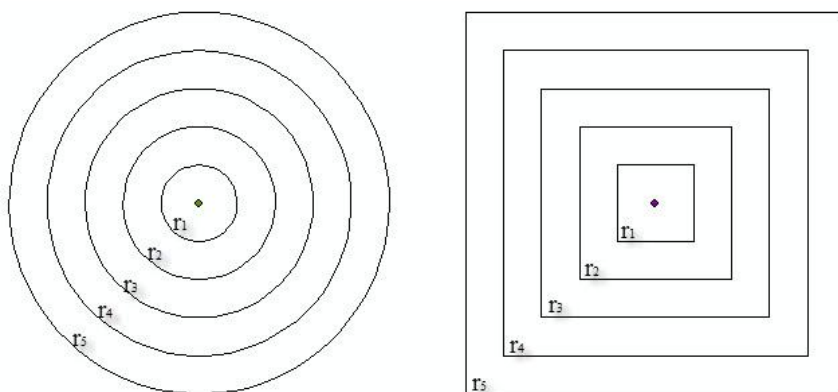
۳-۳-۴ نقشه برداری تکینگی

همانطور که پیش از این بیان شد، تکینگی می‌تواند به عنوان یک شاخص برای توصیف ساختار محلی و توزیع فضایی عناصر در محدوده یک کانسار، با توجه به اطلاعات ژئوشیمیایی حاصل از نمونه برداری سطحی، در نظر گرفته شود [۴۸]. در ادامه برای نقشه برداری تکینگی از روش مبتنی بر پنجره استفاده شده است و محاسبات در شرایط دو بعدی انجام می‌گیرد.

۳-۳-۵ روش مبتنی بر پنجره برای نقشه برداری تکینگی

تخمین تکینگی محلی با استفاده از نقشه‌های ژئوشیمیایی به این صورت بیان می‌شود:

یک منطقه بر روی نقشه انتخاب شده و مجموعه‌ای از پنجره‌های $A(r)$ (مربع، مستطیل و دایره) به یک مرکز واحد با مقادیر r متفاوت ($r_{\min} = r_1 < r_2 < \dots < r_n = r_{\max}$)، تعریف می‌شود [۴۹] (شکل ۳-۳).



شکل (۳-۳) پنجره‌های مربعی و دایره ای هم مرکز بر اساس روش مبتنی بر پنجره

باتوجه به رابطه (۳-۵) برای هر پنجره مربع شکل با اندازه r_i مقدار متوسط غلظت به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$C(A) = kA^{\frac{\alpha}{2}-1}$$

$$A(r_i) = r_i^2$$

$$C(A(r_i)) = kr_i^{\alpha-2}$$

رابطه (۳-۷)

باید توجه شود رابطه (۳-۷) برای پنجره‌های مربع شکل صادق است.

مقادیر متوسط غلظت $C(A(r_i)), (i=1,2,3,\dots,n)$ در یک نمودار لگاریتمی-لگاریتمی یک روند خطی را نشان می‌دهند. با توجه به رابطه (۳-۷) و شیب خط برازش داده شده، از روش حداقل مربعات^{۴۰} بر مقادیر متوسط غلظت نسبت به اندازه پنجره‌های هم مرکز، مقدار شاخص تکینگی (α) محاسبه می‌گردد. با حرکت در سراسر نقشه ژئوشیمیایی مقادیر α در کل منطقه محاسبه می‌شود و نقشه توزیع مقادیر شاخص تکینگی ترسیم می‌گردد [۳۳].

همان‌طورکه پیش از این بیان شد مقادیر $2 < \alpha$ نواحی با مقدار زمینه و $2 > \alpha$ مناطق دارای مقادیر ناهنجار را نمایش می‌دهد. در مثال زیر این مطلب بیان شده است:

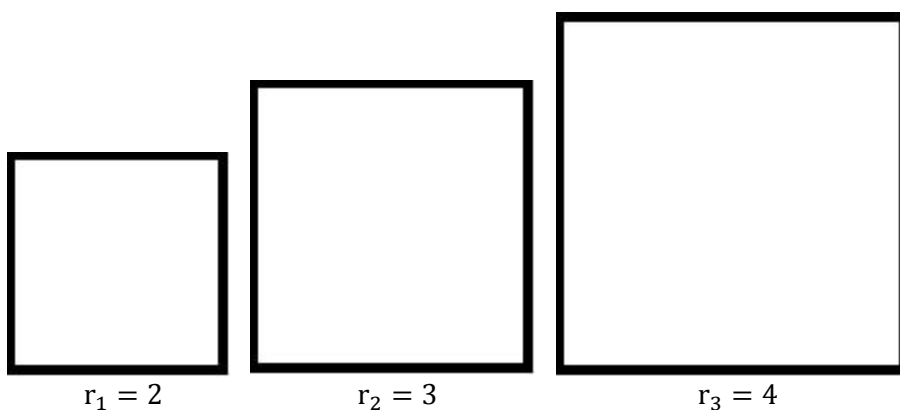
⁴⁰ Least Squares Method

در مناطقی تکینگی (مناطق ناهنجاری) رخ داده است، که با کاهش مساحت غلظت ماده افزایش یابد.

با توجه به رابطه (۲-۳) در حالت دو بعدی و رابطه (۷-۳)، هرگاه مقدار r_i کاهش و متوسط غلظت $C(A(r_i))$

افزایش یابد، ناهنجاری را نشان می‌دهد.

سه پنجره ($r_1 = 2, r_2 = 3, r_3 = 4$) مشاهده می‌شود ($k = 1$):



	$r_1 = 2$	$r_2 = 3$	$r_3 = 4$	
زمینه	$C(A(r_1)) = 2$	$C(A(r_2)) = 3$	$C(A(r_3)) = 4$	۱- برای $2 < \alpha < 3$
ناهنجاری	$C(A(r_1)) = \frac{1}{2}$	$C(A(r_2)) = \frac{1}{3}$	$C(A(r_3)) = \frac{1}{4}$	۲- برای $2 > \alpha > 1$

تجزیه و تحلیل تکینگی نه تنها در توصیف ناهنجاری‌های ژئوشیمیایی و ژئوفیزیکی بلکه به صورت الگوهای

برای توزیع ناهنجاری‌های زمین‌شناسی مانند: گسل‌ها، تنوع سنگ‌شناسی و... کاربرد دارد [۳۳].

۳-۳-۶ پیشینه روش شاخص تکینگی

مطالعه موردی برای کانسار پلی‌متال در منطقه گجیو^{۴۱} واقع در استان یوننان^{۴۲} چین (شکل ۳-۴)،

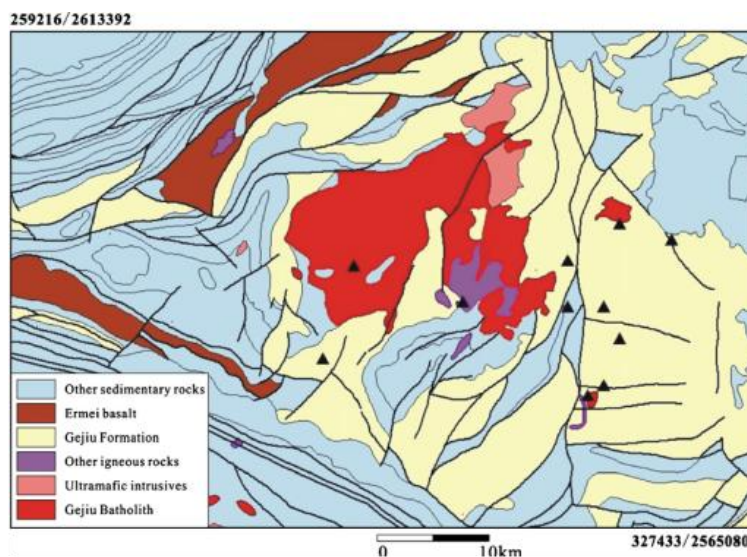
نشان می‌دهد که در نقشه توزیع غلظت عناصر Cd, Zn, Pb, As, Cu, Sn به روش عکس مجذور فاصله^{۴۳}،

⁴¹ Gejiu

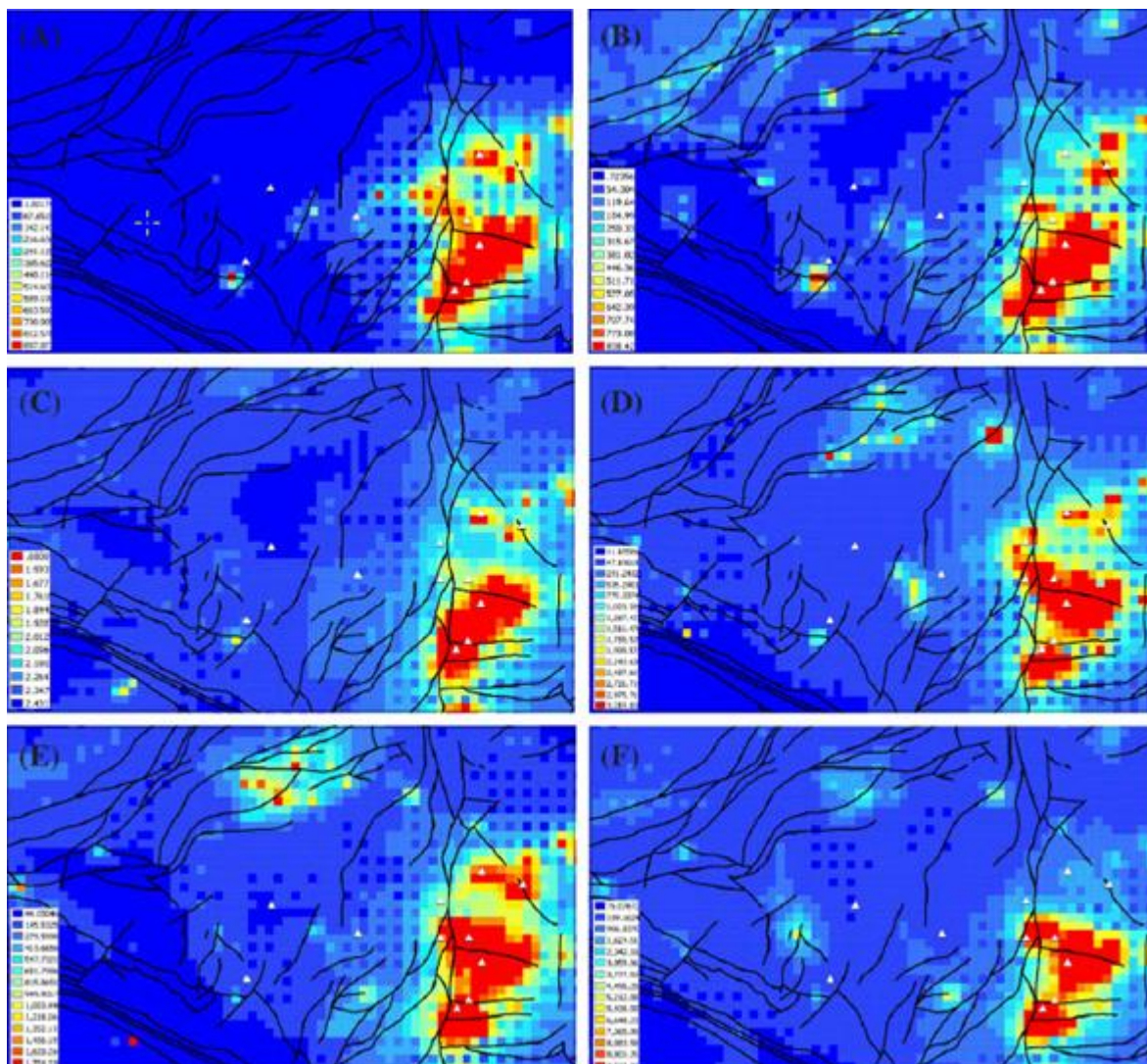
⁴² Yunnan

⁴³ inverse distance weighted moving average method

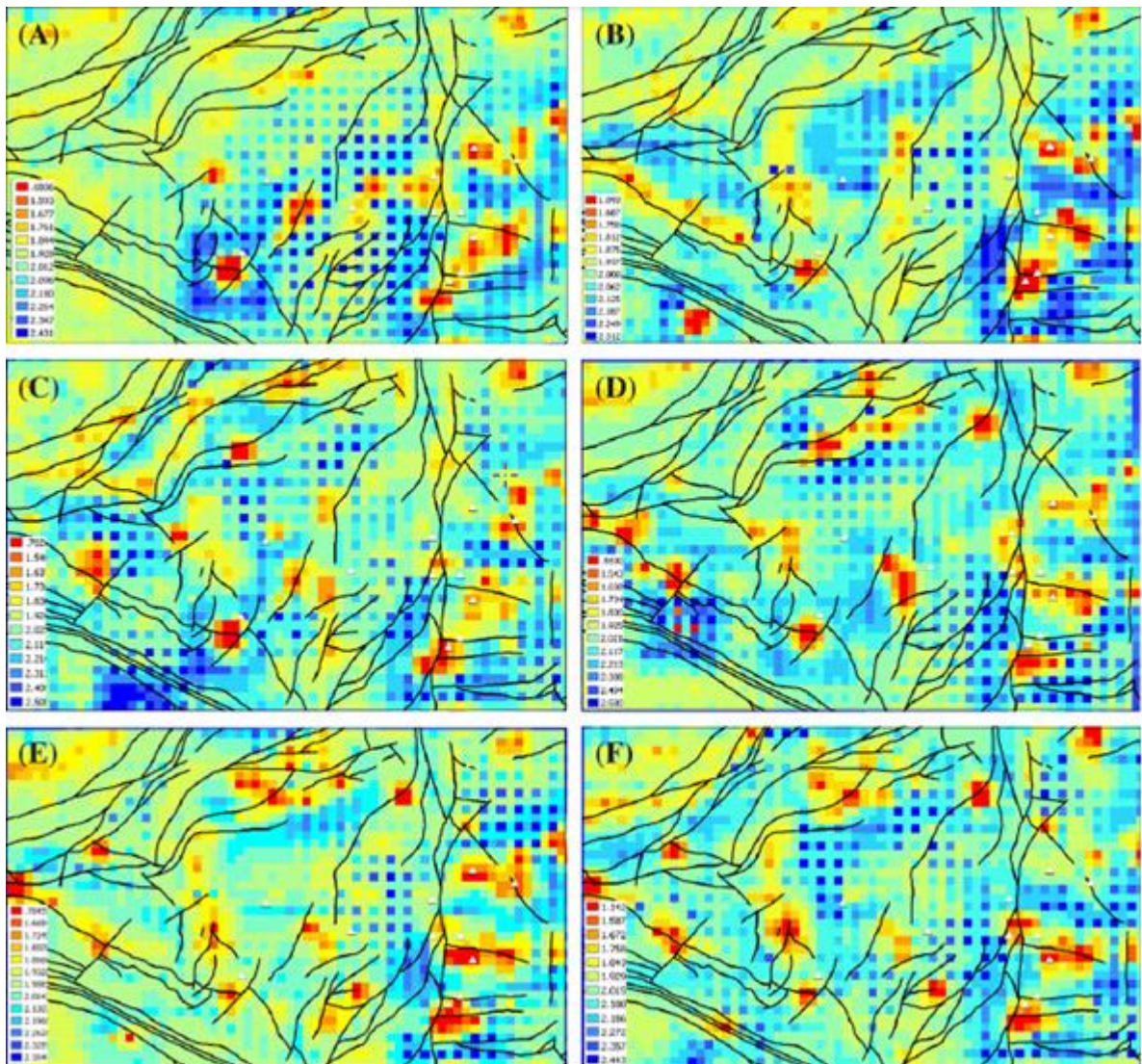
اغلب در شرق منطقه ناهنجاری‌هایی وجود داشته است (شکل ۳-۵). اما نقشه‌برداری تکینگی ترسیم شده برای این عناصر علاوه بر شرق منطقه که دارای ناهنجاری‌هایی مطابق با ذخایر قلع کشف شده می‌باشد، در مناطق غربی نیز ناهنجاری‌هایی را نشان داده است (شکل ۳-۶). در نهایت مشخص شده است که شاخص تکینگی و نقشه‌برداری تکینگی برای توصیف ناهنجاری‌ها و پیش‌بینی مناطق معدنی کشف نشده مفید می‌باشد [۳۳].



شکل (۳-۴): نقشه زمین‌شناسی ساده شده ناحیه *Gejiu*، یونان-چین (مقیاس 1:500000). مثلث‌ها ذخایر معدنی کشف شده قلع و خطوط ضخیم گسل‌ها را نشان می‌دهند [۳۳].



شکل (۳-۵): نقشه توزیع غلظت عنصر بر اساس ۱۰۰۰ نمونه رسوبات آبراهه‌ای با روش عکس مجذور فاصله. *Sn* (A), *Cu* (B), *As* (C), *Pb* (D), *Zn* (E), *Cd* (F). مثلث‌های سفید: ذخایر کشف شده قلع و خطوط ضخیم: گسل‌ها [۳۳].



شکل (۳-۶): نقشه توزیع مقادیر تخمینی تکینگی (α) با استفاده از روش مبتنی بر پنجره . *Sn* (A) ، *Cu* (B) ، *As* (C) ، *Pb* (D) ، *Zn* (E) ، *Cd* (F) . مثلث‌های سفید: ذخایر کشف شده قلع و خطوط ضخیم: گسل‌ها [۳۳].

فصل چهارم

بررسی ضریب تجمع در منطقه مورد نظر

۴-۱ مقدمه

همانطور که در فصل قبل اشاره شد شاخص ضریب تجمع وضعیت غنی‌شدگی و تهی‌شدگی عناصر را در واحدهای زمین‌شناسی بررسی می‌نماید. بر این اساس رفتار عناصر و ویژگی‌های زمین‌شناسی برای محدوده‌های کانی‌سازی بررسی می‌شود.

در این پایان‌نامه با توجه به اطلاعات اکتشافی قابل دسترس از محدوده مورد نظر، ضریب تجمع برای موارد زیر مورد بررسی قرار گرفته شده است:

۱- واحدهای سنگی

۲- دگرسانی

۳- زون‌های اکسیدی^{۴۴}، عبوری^{۴۵} و هیپوژن^{۴۶}

برای بررسی روش ضریب تجمع از داده‌های دو گمانه ۳ و ۴ در منطقه مورد نظر استفاده شده است. گمانه ۳ به طول ۳۴۵/۴ متر و آزیموت ۹۰ و گمانه ۴ به طول ۳۷۳/۱ متر و آزیموت ۶۰ می‌باشد. در مجموع ۷۱۸ نمونه، برای ۴۶ عنصر مورد آنالیز قرار گرفته است. پیش پردازش داده‌های ژئوشیمی شامل تخمین داده‌های سنسورد^{۴۷} است.

۴-۲ تخمین داده‌های سنسورد

داده‌های سنسورد به داده‌هایی گفته می‌شود که به علت بالا بودن حد حساسیت دستگاه‌های اندازه‌گیری، تعدادی داده به صورت مقادیر کوچکتر از حد حساسیت دستگاه یافت می‌شوند. وجود چنین اعدادی در بین یک سری داده می‌تواند بررسی‌های آماری را دچار اختلاف کند، زیرا روش‌های آماری نیاز به مجموعه

⁴⁴ Oxide

⁴⁵ Transition

⁴⁶ Hypogene

⁴⁷ Estimation of Censored Data

کاملی از داده‌های غیر سنسورد دارد. علاوه بر آن، در مواردی که سنجش‌های نسبی صورت می‌گیرد مانند جداسازی زمینه از آنومالی وجود داده‌های سنسورد موجب ارزیابی‌های غیر دقیق می‌شود. اگر داده‌های سنسورد تخمین زده شوند و جایگزین گردند مقدار زمینه و شدت آنومالی‌ها دقیق‌تر محاسبه خواهد شد [۵۰]. روش‌های مختلفی برای تخمین مقادیر سنسورد وجود دارد که هم برای داده‌های سنسورد شده از بالا و هم برای داده‌های سنسورد شده از پایین مورد استفاده قرار می‌گیرند، مانند: روش جایگزینی ساده، روش ترسیمی، روش بیشترین درست‌نمایی کوهن^{۴۸}.

در بررسی داده‌های منطقه مورد نظر، ۱۹ عنصر دارای غلظتی کمتر از حد تشخیص دستگاه می‌باشند. عناصری که تعداد نمونه‌های سنسورد آن‌ها بیش از ۶۰٪ باشد، حذف شده‌اند و برای عناصر کمتر از ۶۰٪، مقادیر سنسورد به روش جایگزینی ساده محاسبه و جایگزین گردید. در این روش مقادیر بزرگتر از حد حساسیت در مرز بالایی را با $\frac{4}{3}$ حد بالایی حساسیت و مقادیر کمتر از حد حساسیت در مرز پایینی را با $\frac{3}{4}$ آن جایگزین می‌شود [۳۵].

جدول (۴-۱): عناصر سنسورد و مقادیر جایگزینی آن‌ها برای دو گمانه ۳ و ۴

<i>Censored DDH03</i>	% نمونه سنسورد	مقدار جایگزینی	<i>Censored DDH04</i>	% نمونه سنسورد	مقدار جایگزینی
<i>Ag</i>	83		<i>Ag</i>	73	
<i>S</i>	11.3	0.0075	<i>S</i>	29	0.0075
<i>As</i>	88.7		<i>As</i>	71.9	
<i>Be</i>	38	0.75	<i>Be</i>	20.4	0.75
<i>Bi</i>	97		<i>Bi</i>	92.8	
<i>Cd</i>	91.9		<i>Cd</i>	99.2	
<i>Ge</i>	70.4		<i>Ge</i>	99.5	
<i>Hg</i>	98.6		<i>Hg</i>	96	
<i>Nb</i>	53.3	0.75	<i>Nb</i>	1.3	3.75
<i>Rb</i>	5.5	37.5	<i>Rb</i>	16.1	37.5
<i>Sb</i>	100		<i>Sb</i>	100	
<i>Se</i>	100		<i>Se</i>	99.5	
<i>Sn</i>	99.1		<i>Sn</i>	94	
<i>Ta</i>	100		<i>Ta</i>	100	
<i>Te</i>	100		<i>Te</i>	99.5	
<i>Tl</i>	100		<i>Tl</i>	99	
<i>U</i>	90.1		<i>U</i>	99.8	
<i>W</i>	98.8		<i>W</i>	99.7	
<i>Th</i>	33.6	3.75	<i>Mo</i>	3.2	0.75

⁴⁸ Cohen

۴-۳ حد زمینه

همان طور که پیش از این اشاره شد، در رابطه (۳-۱)، مقدار متوسط غلظت عنصر i ام در واحد زمین‌شناسی i ام و C_i مقدار متوسط غلظت عنصر i ام در کل منطقه است. در این مطالعه مقدار C_i یا حد زمینه عناصر به چهار روش زیر محاسبه شده است:

۱- روش مقدار میانه

۲- روش z -score

۳- روش نمودار احتمال

۴- استفاده از مقادیر زمینه جهانی عناصر

برای محاسبه C_{ij} برای هر واحد سنگی (شامل کوارتز دیوریت پورفیری، آندزیت و خاک)، دگرسانی و عمقی (شامل زون‌های سوپرژن و هیپوژن) نمونه‌ها تفکیک شده و مقدار میانه محاسبه شده است.

۴-۳-۱ روش مقدار میانه

برای محاسبه مقدار زمینه کل منطقه، ابتدا داده‌های دو گمانه با یکدیگر ادغام و برای هر عنصر مقدار میانه محاسبه شده است (جدول ۴-۲). علت استفاده از میانه (به جای میانگین) به عنوان مقدار زمینه در پروژه‌های اکتشاف ژئوشیمیایی آن است که میانه اولاً بر خلاف میانگین نسبت به تغییرات در دوطرف دامنه (حداقل و حداکثر) حساس نمی‌باشد و مستقل از مقادیر کرانه‌ای عمل می‌کند، ثانیاً مقدار میانه مستقل از تابع توزیع است [۵۱].

۴-۳-۲ روش z -score

از آنجا که احتمال رخداد نمونه‌هایی با غلظت غیر عادی کم می‌باشد، با محاسبه احتمال رخداد نمونه‌ها و جدا کردن نمونه‌هایی با احتمال رخداد کم، نمونه‌های ناهنجار و زمینه از یکدیگر متمایز می‌گردد.

برای محاسبه احتمال رخداد هر نمونه ابتداً بایستی داده‌های نرمال شده با توجه به رابطه (۴-۱) استاندارد شود [۳۵]:

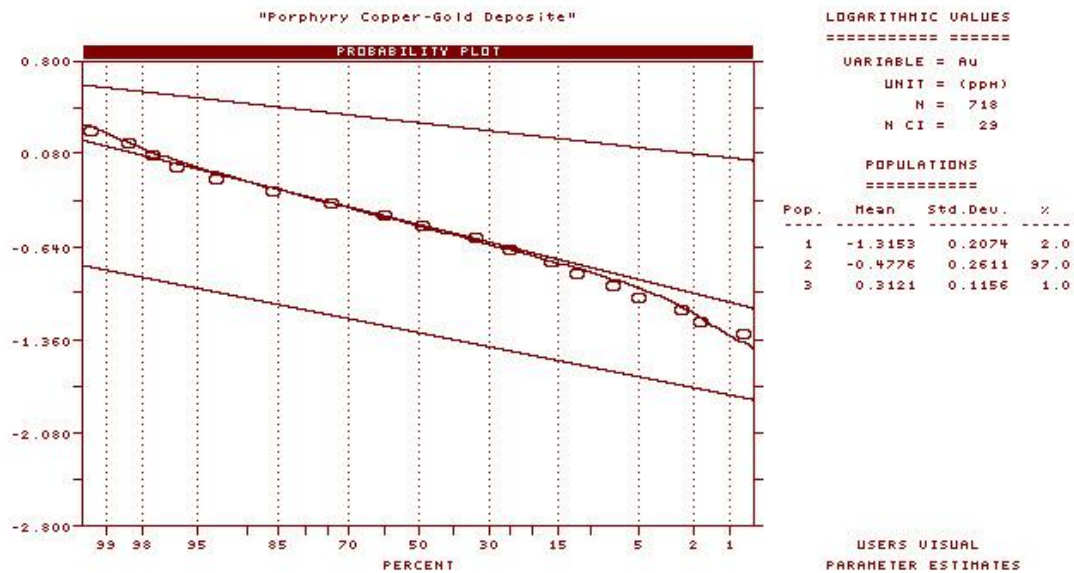
$$z = \frac{a - \bar{x}}{s} \quad \text{رابطه (۴-۱)}$$

که در آن a غلظت عنصر، \bar{x} میانگین داده‌ها، s انحراف معیار داده‌ها برای عنصر مورد نظر و z مقدار استاندارد شده می‌باشد. پس از محاسبه مقدار استاندارد، نمونه‌های معرف زمینه جدا شده و مقدار میانه آن‌ها به عنوان مقدار زمینه کل در نظر گرفته شده است (جدول ۴-۲).

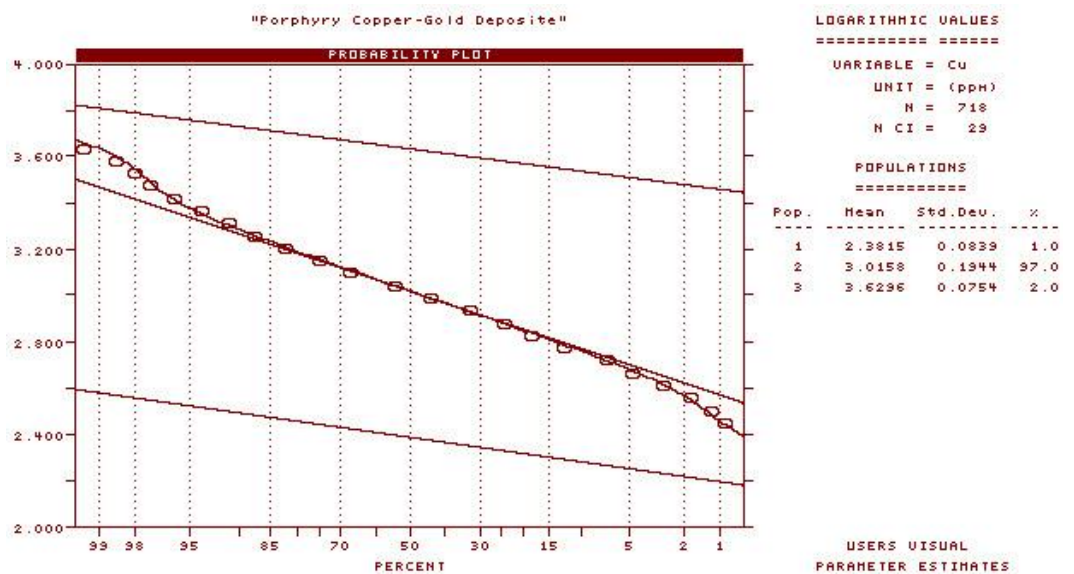
۳-۳-۴ روش نمودار احتمال

نمودار احتمال اولین بار توسط هازن^{۴۹} در سال ۱۹۱۴ مطرح شد. او برای ساده کردن تفسیر داده‌های مربوط به یک ذخیره از نمودار درصد فراوانی نسبی تجمعی استفاده کرد که در آن مقیاس هر دو محور حسابی بود. بعدها مشخص شد که این نمودار می‌تواند کاربردهای مختلفی داشته باشد. یکی از کاربردهای عمده نمودار احتمال در بررسی چگونگی رفتار داده‌های ژئوشیمیایی است [۵۲]. با استفاده از نمودار احتمال می‌توان یک جامعه مرکب از دو یا چند جامعه را به اجزاء آن (ناهنجاری و زمینه) تقسیم کرد [۳۵]. در این مطالعه داده‌های مربوط به دو گمانه با یکدیگر ترکیب شده و برای هر عنصر نمودار احتمال آن با استفاده از نرم افزار *Prob Plot* ترسیم (شکل ۴-۱ و ۴-۲) و مقدار زمینه محاسبه شده است (جدول ۴-۲). نمودار احتمال سایر عناصر در پیوست آورده شده است.

⁴⁹ Hazen



شکل (۴-۱): نمودار احتمال عنصر Au



شکل (۴-۲): نمودار احتمال عنصر Cu

۴-۳-۴ استفاده از مقادیر زمینه جهانی عناصر

این مقادیر زمینه از منابع منتشر شده استخراج گشته است [۵۳] و [۵۴] و در این تحقیق برای

محاسبه ضریب تجمع واحدهای سنگی و خاک مورد استفاده قرار گرفته است (جدول ۴-۲).

جدول (۴-۲): حد زمینه عناصر بر اساس میانه، نمودار احتمال و Z-Score

عنصر	بر اساس زمینه جهانی (C _i)			بر اساس روش‌های محاسباتی (C _i)		
	خاک	آندزیت	کوارتز دیوریت پورفیری	میانه	Z-SCORE	نمودار احتمال
Au- ppm	0.005	0.0006	0.0012	0.34	0.32	0.1
Cu- ppm	100	59.7	26	1063.09	985.75	389
S- %	0.052	0.001	0.04	0.09	0.08	0.02
Al- %	8.13	9.13	8.6	8.24	8.14	6.8
Ba- ppm	1500	1208	450	583.50	494.77	414
Be- ppm	6	3.8	2.5	1.31	1.27	1
Ca- %	3.63	3.5	2.4	2.78	2.57	2
Ce	60	65	80	35.77	34.32	23
Co	40	14.1	7	9.29	8.55	4.7
Cr	500	110	2200	33.19	31.40	33.5
Fe-%	5	4.73	3.3	4.47	4.21	2.5
Ga	15	17	20	18.47	18.32	18
K- %	2.59	2.4	2.52	1.63	1.52	1
La	30	30	40	22.25	20.93	18
Li	100	12	3.5	11.54	10.72	8.1
Mg- %	2.09	0.92	1.1	1.53	1.44	1.1
Mn	850	800	1200	550.41	491.12	794
Mo- ppm	2	2.3	1.2	5.17	4.84	1
Na-%	2.83	3.16	2.78	2.60	2.56	2
Nb	28	15	20	6.88	6.37	5.2
Ni	250	18.5	15	10.70	10.07	9
P-%	0.118	0.21	0.11	0.06	0.06	0.05
Pb	100	35.1	15	34.04	32.95	19
Rb	250	67	160	73.47	70.86	50
Sc	10	2.5	14	8.39	7.89	8.5
Sr	500	657	440	388.51	376.58	300
Th	13	6.41	12	17.42	16.82	11
Ti	5000	6200	3800	2986.78	2791.37	1894
V	250	125	88	90.33	85.33	88
Y	33	29	34	14.75	14.54	16
Zn-ppm	200	84	56	89.21	83.69	53
Zr	300	260	160	5.71	5.38	7.7

در روش‌های میانه و Z-Score، مقدار زمینه محاسبه شده بدون تفکیک جوامع و بر اساس مجموع داده‌های زمینه و حد آستانه می‌باشد. اما در روش نمودار احتمال جوامع از یکدیگر تفکیک می‌شوند، به همین دلیل از مقادیر حد زمینه روش نمودار احتمال و حد زمینه جهانی برای محاسبه ضریب تجمع عناصر استفاده شده است.

۴-۵ بررسی ضریب تجمع

۴-۵-۱ واحدهای سنگی (آندزیت و کوارتزدیوریت پورفیری) و خاک

در هر گمانه نمونه‌های مربوط به واحدهای آندزیت (AND)، کوارتزدیوریت پورفیری (QDP) و خاک (Soil) تفکیک و مقدار میانه (C_{ij}) برای هر عنصر محاسبه گشته است (جدول ۴-۳). با استفاده از رابطه (۳-۱) مقدار ضریب تجمع هر عنصر برای هر واحد محاسبه (جدول ۴-۴ و ۴-۵) و نمودارهای مربوطه ترسیم شده است (شکل‌های ۴-۳ تا ۴-۱۴).

جدول (۴-۳): مقدار C_{ij} (مقادیر میانه) عناصر در واحدهای آندزیت، کوارتزدیوریت پورفیری و خاک برای گمانه‌های ۳ و ۴

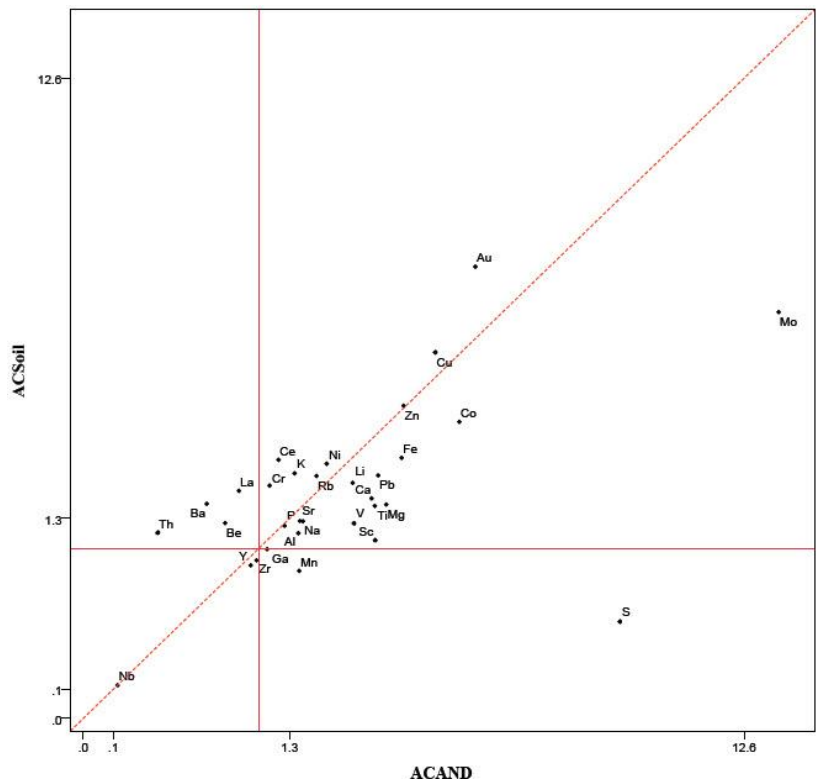
عنصر	DDH03			DDH04		
	$C_{ij-Soil}$	C_{ij-AND}	C_{ij-QDP}	$C_{ij-Soil}$	C_{ij-AND}	C_{ij-QDP}
Au- ppm	0.53	0.37	0.34	0.62	0.33	0.33
Cu- ppm	1339.63	1170.69	1046.88	1108.60	1148.30	937.80
S- %	0.01	0.15	0.08	0.02	0.10	0.06
Al- %	7.66	9.09	8.04	7.97	8.60	8.11
Ba- ppm	578.21	259.88	661.61	566.79	261.37	689.13
Be- ppm	1.22	0.75	1.37	1.35	0.75	1.36
Ca- %	2.90	4.24	2.59	2.84	4.76	2.39
Ce	42.94	26.69	39.85	39.03	21.65	39.49
Co	11.04	16.04	8.84	10.40	14.46	7.34
Cr	53	36.38	27.40	29.72	27.57	35.84
Fe-%	4.73	6.28	4.39	4.96	5.53	3.72
Ga	17.87	19.18	18.31	18.61	18.62	18.21
K- %	1.71	1.30	1.97	1.61	1.24	1.74
La	27.50	15.27	24.37	26.21	15.79	25.61
Li	13.04	15.36	10.62	8.12	15.33	10.19
Mg- %	1.53	2.54	1.26	1.45	2.33	1.42
Mn	653.97	1067.97	491.35	491.66	1048.01	440.35
Mo- ppm	4.24	14.57	6.01	2.06	4.42	3.08
Na-%	2.46	2.76	2.62	2.56	2.73	2.53
Nb	0.75	0.75	5.50	9.20	7.37	7.98
Ni	16.40	14.52	8.65	13.15	11.63	10.39
P-%	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06
Pb	32.13	41.84	35.10	21.79	35.74	27.41
Rb	84.26	75.51	80.57	59.11	69.89	66.12
Sc	9.08	18.40	8.36	8.13	17.10	7.51
Sr	370.64	405.29	373.19	398.70	411.48	375.75
Th	12.64	3.75	18.81	17.73	8.54	19.13
Ti	2607.30	4091.98	2602.63	3127.60	4297.77	2673.94
V	106.79	167.93	81.83	89.82	173.53	81.95
Y	13.85	14.98	14.25	16.42	16.54	14.45
Zn-ppm	136.42	134.66	86.67	177.53	131.08	65.62
Zr	6.96	7.55	6.08	4.49	6.09	4.32

جدول (۴-۴): مقدار ضریب تجمع عناصر در واحدهای آندزیت، کوارتز دیوریت پورفییری و خاک برای گمانه ۳

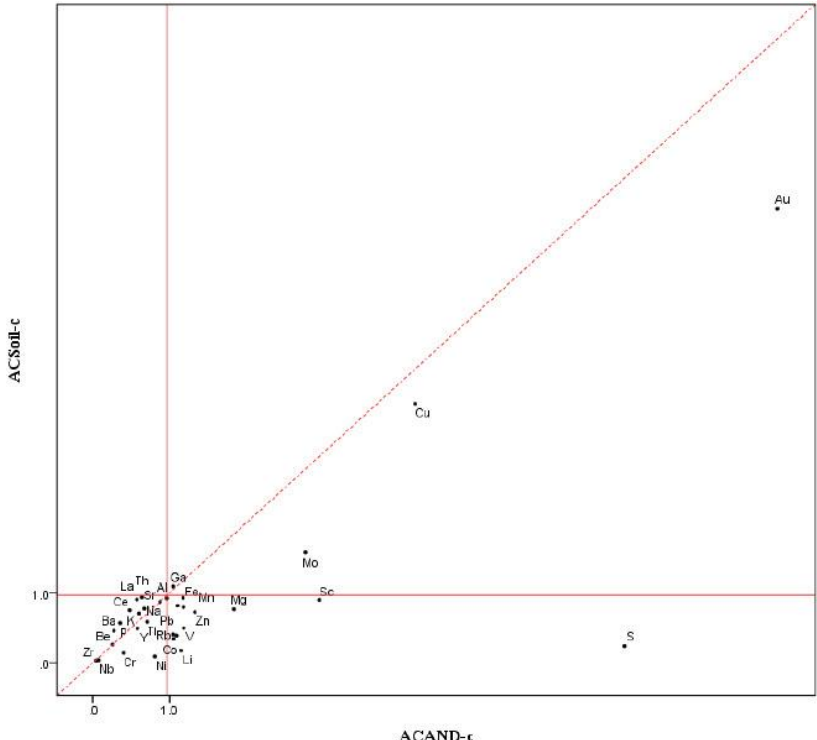
عنصر	حد زمینه با روش نمودار احتمال			حد جهانی در واحدهای سنگی و خاک		
	AC_{Soil}	AC_{AND}	AC_{QDP}	AC_{Soil-C}	AC_{AND-C}	AC_{QDP-C}
Au- ppm	5.30	3.70	85	116	616.67	283.33
Cu- ppm	3.44	3.01	2.69	13.40	19.61	40.26
S- %	0.48	7.31	4.23	0.19	146.21	2.11
Al- %	1.13	1.34	1.18	0.94	1	0.94
Ba- ppm	1.40	0.63	1.60	0.39	0.22	1.47
Be- ppm	1.22	0.75	1.37	0.20	0.20	0.55
Ca- %	1.45	2.12	1.30	0.80	1.21	1.08
Ce	1.87	1.16	1.73	0.72	0.41	0.50
Co	2.35	3.41	1.88	0.28	1.14	1.26
Cr	1.58	1.09	0.82	0.11	0.33	0.01
Fe-%	1.59	2.51	1.76	0.95	1.33	1.33
Ga	0.99	1.07	1.02	1.19	1.13	0.92
K- %	1.71	1.30	1.97	0.66	0.54	0.78
La	1.53	0.85	1.35	0.92	0.51	0.61
Li	1.61	1.90	1.31	0.13	1.28	3.03
Mg- %	1.39	2.31	1.14	0.73	2.76	1.14
Mn	0.82	1.35	0.62	0.77	1.33	0.41
Mo- ppm	4.24	14.57	6.01	2.12	6.33	5.01
Na-%	1.23	1.38	1.31	0.87	0.87	0.94
Nb	0.14	0.14	1.06	0.03	0.05	0.28
Ni	1.82	1.61	0.96	0.07	0.78	0.58
P-%	1.19	1.21	1.22	0.50	0.29	0.56
Pb	1.69	2.20	1.85	0.32	1.19	2.34
Rb	1.69	1.51	1.61	0.34	1.13	0.50
Sc	1.07	2.17	0.98	0.91	7.36	0.60
Sr	1.24	1.35	1.24	0.74	0.62	0.85
Th	1.13	0.34	1.71	0.96	0.59	1.57
Ti	1.38	2.16	1.37	0.52	0.66	0.68
V	1.21	1.91	0.93	0.43	1.34	0.93
Y	0.87	0.94	0.89	0.42	0.52	0.42
Zn-ppm	2.57	2.54	1.64	0.68	1.60	1.55
Zr	0.90	0.98	0.79	0.02	0.03	0.04

جدول (۴-۵): مقدار ضریب تجمع عناصر در واحدهای آندزیت، کوارتز دیوریت پورفیری و خاک برای گمانه ۴

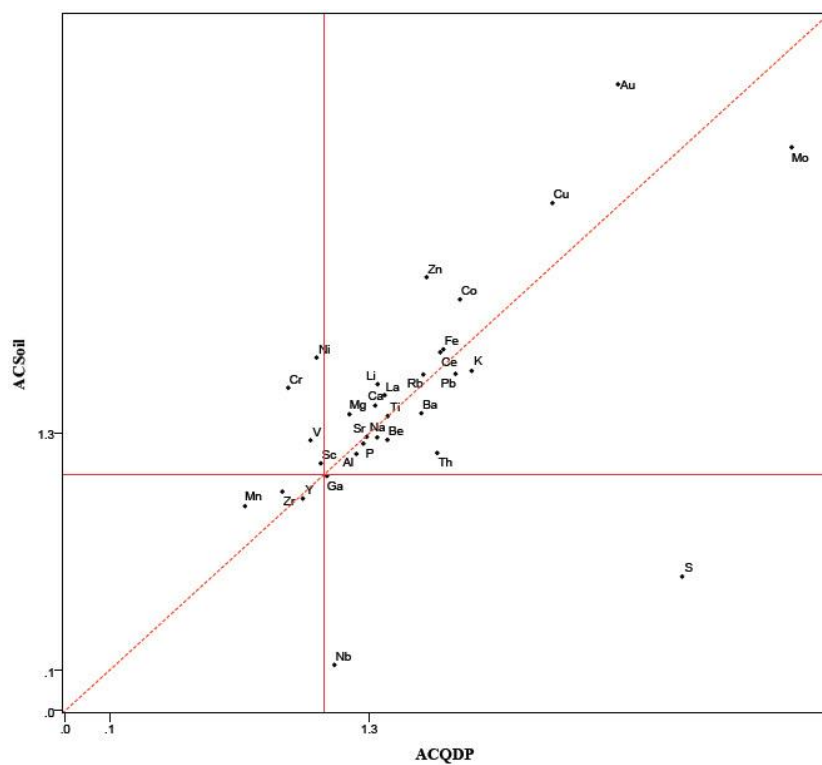
عنصر	حد زمینه با روش نمودار احتمال			حد جهانی در واحدهای سنگی و خاک		
	AC_{Soil}	AC_{AND}	AC_{QDP}	AC_{Soil-C}	AC_{AND-C}	AC_{QDP-C}
Au- ppm	6.20	3.30	3.30	124	550	275
Cu- ppm	2.85	2.95	2.41	11.09	19.23	36.07
S- %	0.96	5.20	2.79	0.37	104.03	1.39
Al- %	1.17	1.27	1.19	0.98	0.94	0.94
Ba- ppm	1.37	0.63	1.66	0.38	0.22	1.53
Be- ppm	1.35	0.75	1.36	0.23	0.20	0.54
Ca- %	1.42	2.38	1.20	0.78	1.36	1
Ce	1.70	0.94	1.72	0.65	0.33	0.49
Co	2.21	3.08	1.56	0.26	1.03	1.05
Cr	0.89	0.82	1.07	0.06	0.25	0.02
Fe- %	1.99	2.21	1.49	0.99	1.17	1.13
Ga	1.03	1.03	1.01	1.24	1.10	0.91
K- %	1.61	1.24	1.74	0.62	0.51	0.69
La	1.46	0.88	1.42	0.87	0.53	0.64
Li	1	1.89	1.26	0.08	1.28	2.91
Mg- %	1.32	2.12	1.29	0.69	2.53	1.29
Mn	0.62	1.32	0.55	0.58	1.31	0.37
Mo- ppm	2.06	4.42	3.08	1.03	1.92	2.57
Na- %	1.28	1.37	1.26	0.90	0.86	0.91
Nb	1.77	1.42	1.54	0.33	0.49	0.40
Ni	1.46	1.29	1.15	0.05	0.63	0.69
P- %	1.27	1.28	1.23	0.54	0.30	0.56
Pb	1.15	1.88	1.44	0.22	1.02	1.83
Rb	1.18	1.40	1.32	0.24	1.04	0.41
Sc	0.96	2.01	0.88	0.81	6.84	0.54
Sr	1.33	1.37	1.25	0.80	0.63	0.85
Th	1.61	0.78	1.74	1.36	1.33	1.59
Ti	1.65	2.27	1.41	0.63	0.69	0.70
V	1.02	1.97	0.93	0.36	1.39	0.93
Y	1.03	1.03	0.90	0.50	0.57	0.42
Zn- ppm	3.35	2.47	1.24	0.89	1.56	1.17
Zr	0.58	0.79	0.56	0.01	0.02	0.03



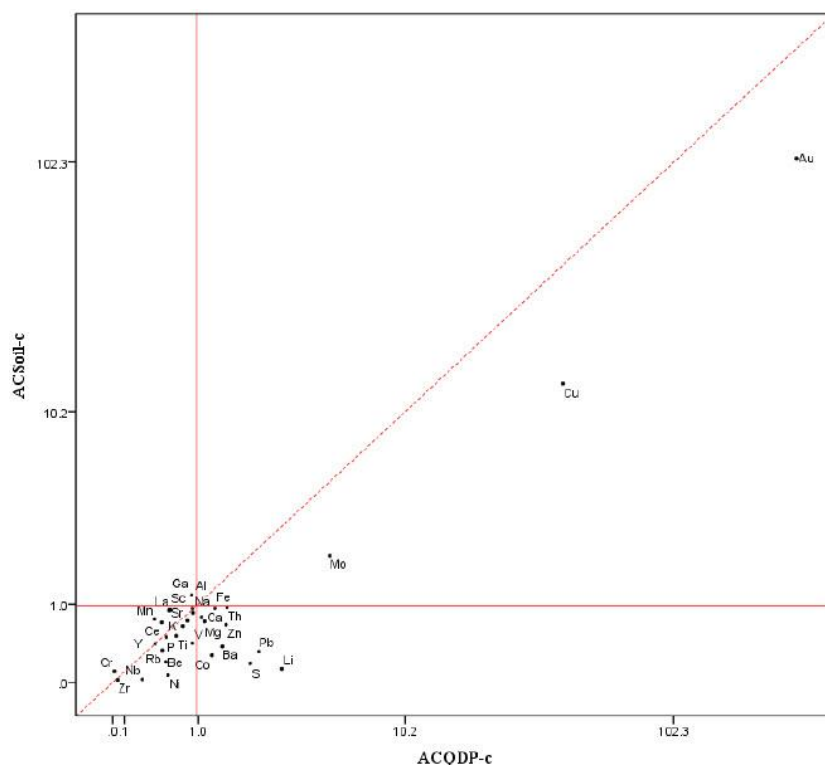
شکل (۳-۴): نمودار ضریب تجمع خاک و آندزیت برای گمانه ۳



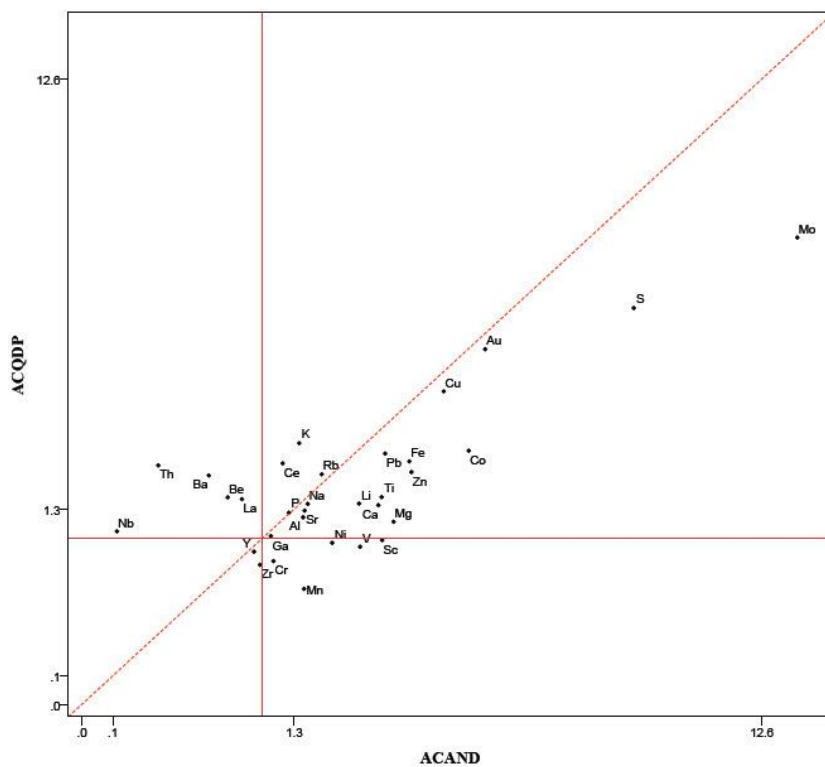
شکل (۴-۴): نمودار ضریب تجمع (حدزمینه جهانی) خاک و آندزیت برای گمانه ۳



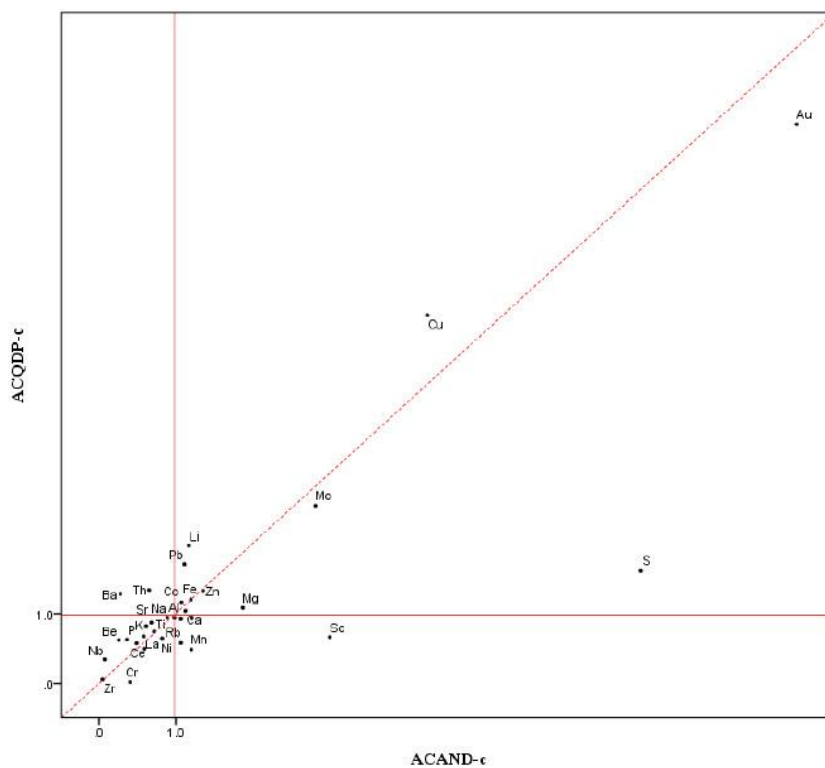
شکل (۴-۵): نمودار ضریب تجمع خاک و کوارتز دیوریت پورفیری برای گمانه ۳



شکل (۴-۶): نمودار ضریب تجمع (حدزمینه جهانی) خاک و کوارتز دیوریت پورفیری برای گمانه ۳



شکل (۴-۷): نمودار ضریب تجمع کوارتز دیوریت پورفیری و آندزیت برای گمانه ۳



شکل (۴-۸): نمودار ضریب تجمع (حدزمینه جهانی) کوارتز دیوریت پورفیری و آندزیت برای گمانه ۳

Au و **Cu**: تقریبا رفتاری مشابه یکدیگر دارند. بر اساس حد زمینه منطقه، در خاک بیشترین غنی‌شدگی را نسبت به دو سنگ **AND** و **QDP** دارند. با توجه به حد زمینه جهانی، غلظت‌ها در سنگ‌ها بیشتر از خاک می‌باشد به طوریکه **Au** در **AND** و **Cu** در **QDP** بیشترین غنی‌شدگی را دارند.

Mo: در هر سه واحد دارای غنی‌شدگی می‌باشد، به ترتیب بیشترین غنی‌شدگی را در سنگ‌های **AND** و **QDP** و خاک دارد.

Co و **Ca**: با توجه به زمینه منطقه بیشترین غنی‌شدگی را به ترتیب در **AND**، خاک و **QDP** دارد. اما در حالت زمینه جهانی در خاک به غنی‌شدگی نرسیده است و غلظت آن در منطقه کم است.

Fe و **Zn**: به ترتیب در **AND**، خاک و **QDP** بیشترین غنی‌شدگی را دارند اما نسبت به زمینه جهانی در خاک به غنی‌شدگی نرسیده‌اند و در دو واحد سنگی غنی‌شدگی یکسانی دارند.

Pb: به ترتیب بیشترین غنی‌شدگی را در سنگ‌های **AND** و **QDP** و خاک دارد، اما نسبت به غلظت طبیعی این عنصر در این واحدها، در خاک غنی نشده است و غنی‌شدگی در **QDP** بیشتر از **AND** است.

Li و **Mg**: با توجه به زمینه منطقه بیشترین غنی‌شدگی را به ترتیب در **AND**، خاک و **QDP** دارند. اما نسبت به غلظت طبیعی این عناصر در این واحدها، در خاک غنی نشده‌اند و غنی‌شدگی **Li** در **QDP** بیشتر از **AND** و غنی‌شدگی **Mg** در **AND** بیشتر از **QDP** است.

Al, P, Na, Sr: در هر سه واحد دارای غنی‌شدگی کم و تقریبا یکسان می‌باشند، اما در حالت زمینه جهانی این عناصر به غنی‌شدگی نرسیده‌اند، **Al** در مرز غنی‌شدگی قرار دارد.

Sc و **Mn**: تنها در **AND** غنی‌شدگی را نشان می‌دهد.

Rb: تقریبا در هر سه واحد به طور جزئی غنی شده است و در حالت طبیعی این عنصر در این واحدها فقط در **AND** غنی می‌باشد.

Ti: در هر سه واحد دارای غنی‌شدگی می‌باشد، اما در حالت زمینه جهانی این عنصر به غنی‌شدگی نرسیده است.

V: در هر سه واحد دارای غنی‌شدگی می‌باشد، در خاک و *QDP* به صورت جزئی، در حالت طبیعی این عنصر در این واحدها فقط در *AND* غنی می‌باشد.

Ga: در تمام واحدهای منطقه در مرز غنی‌شدگی قرار دارد.

Cr و Ni: نسبت به زمینه منطقه در خاک و *AND* غنی شده است اما در حالت زمینه جهانی این عناصر نتوانسته‌اند به غنی‌شدگی برسند.

K: بیشترین غنی‌شدگی را به ترتیب در *QDP*، خاک و *AND* دارد. نسبت به زمینه طبیعی مقدار آن کم است و غنی نمی‌باشد.

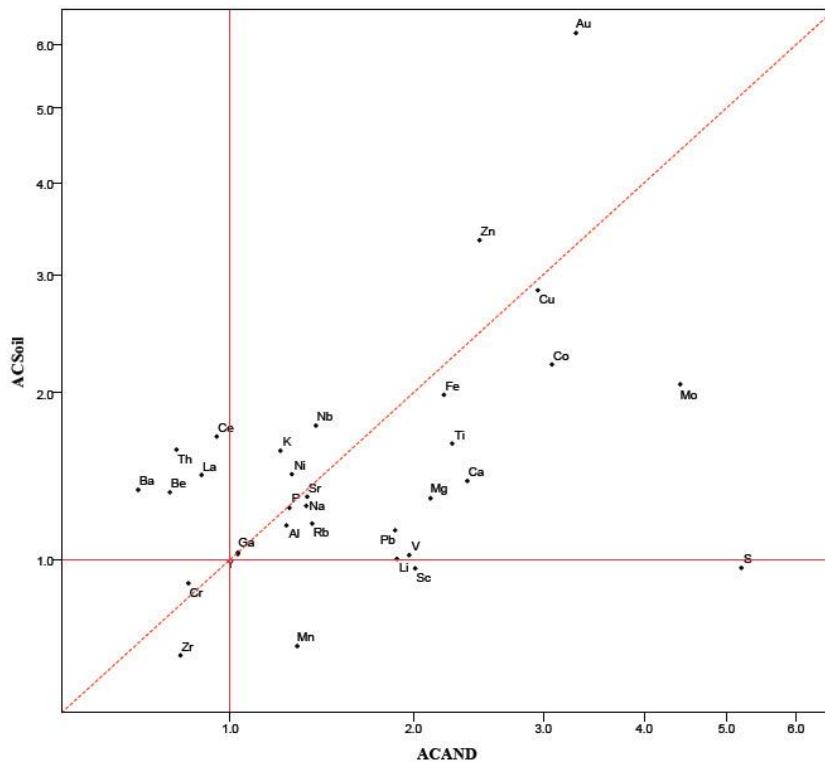
Ce: غنی‌شدگی را به ترتیب در خاک، *QDP* و *AND* دارد. نسبت به زمینه طبیعی مقدار آن کم است و غنی نمی‌باشد.

Th, Be, Ba, La: در *AND* تهی شده‌اند، *La* در خاک و *Th, Be, Ba* در *QDP* غنی‌شدگی بیشتری دارند.

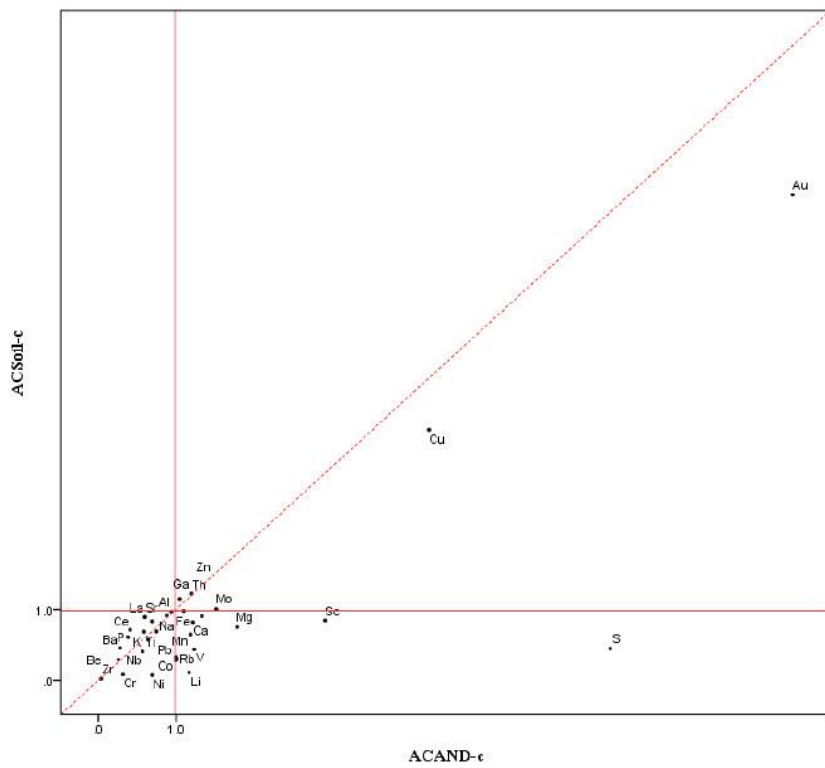
نسبت به زمینه طبیعی مقدار آن‌ها کم است و غنی نمی‌باشد به جز *Th, Be* که در *QDP* غنی شده‌اند.

S: بیشترین غنی‌شدگی را در *AND* و بعد در *QDP* دارد، در خاک شسته و تهی شده است.

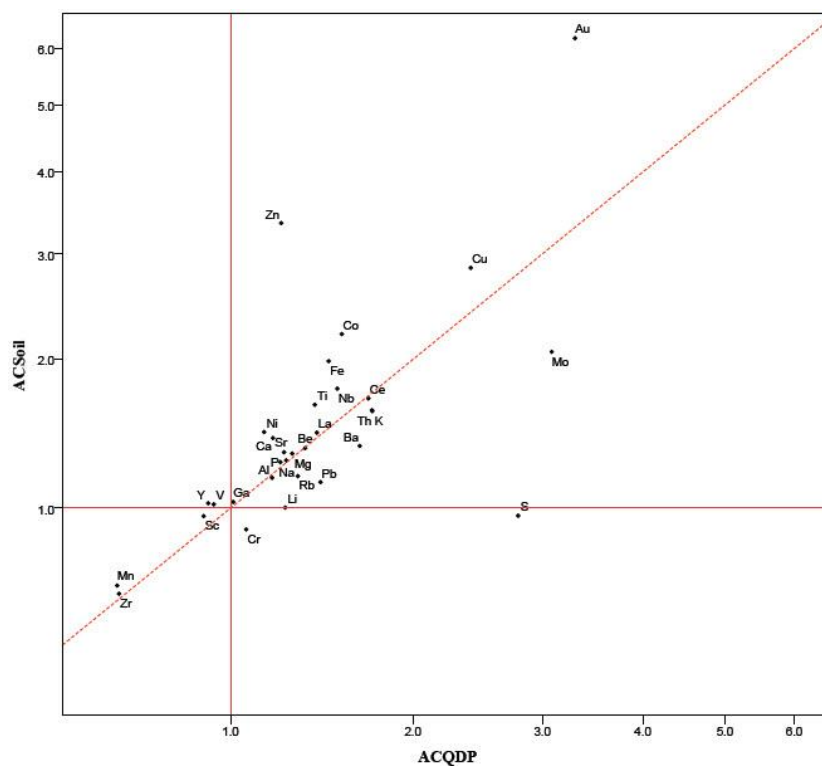
Zr, Y, Nb: در کل منطقه شسته و تهی شده‌اند، *Nb* در *QDP* در مرز غنی‌شدگی قرار گرفته است.



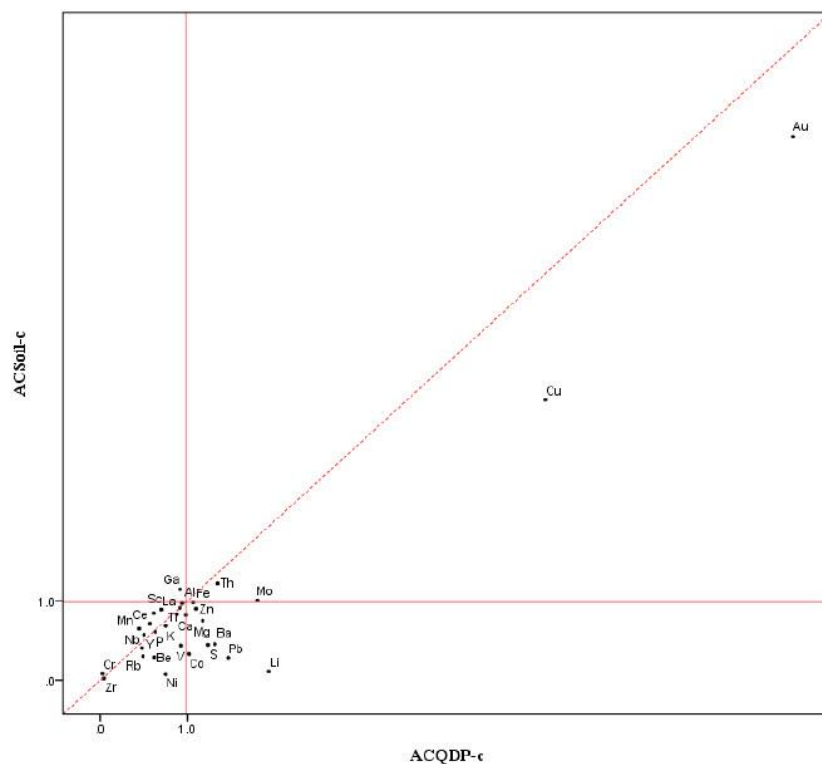
شکل (۴-۹): نمودار ضریب تجمع خاک و آندزیت برای گمانه ۴



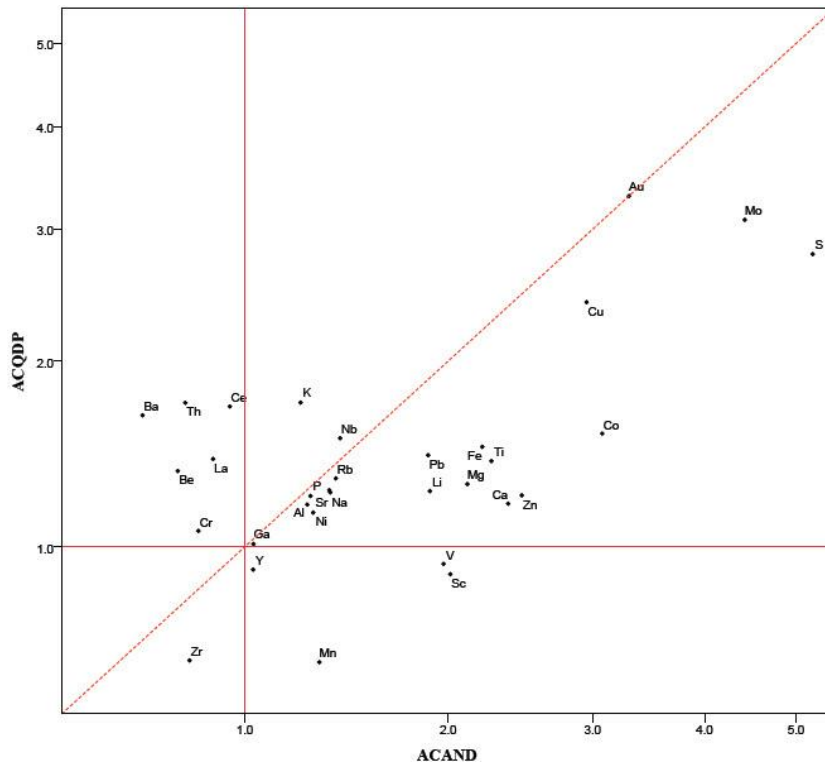
شکل (۴-۱۰): نمودار ضریب تجمع (حدزمینه جهانی) خاک و آندزیت برای گمانه ۴



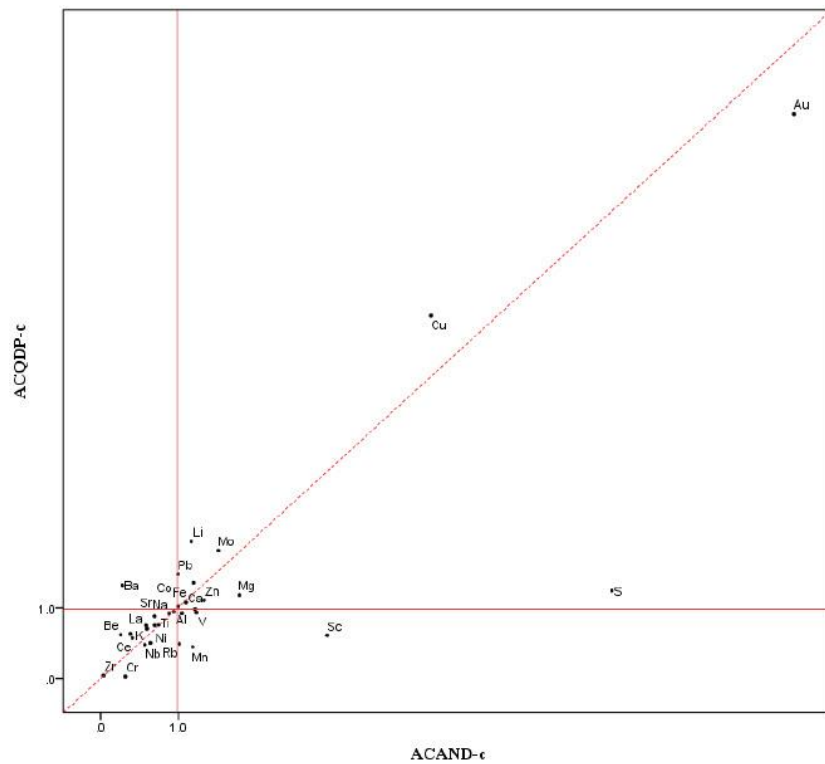
شکل (۴-۱۱): نمودار ضریب تجمع خاک و کوارتزدیوریت پورفیری برای گمانه ۴



شکل (۴-۱۲): نمودار ضریب تجمع (حدزمینه جهانی) خاک و کوارتزدیوریت پورفیری برای گمانه ۴



شکل (۴-۱۳): نمودار ضریب تجمع کوارتز دیوریت پورفیری و آندزیت برای گمانه ۴



شکل (۴-۱۴): نمودار ضریب تجمع (حدزمینه جهانی) کوارتز دیوریت پورفیری و آندزیت برای گمانه ۴

Au: با توجه به زمینه منطقه بیشترین غنی‌شدگی را در خاک، در *AND* و *QDP* غنی‌شدگی بالا و تقریباً یکسانی دارد. با توجه به حد زمینه جهانی غلظت در این واحدها بالا می‌باشد به طوریکه در *AND* بیشترین غنی‌شدگی را نشان می‌دهد.

Cu: با توجه به زمینه منطقه بیشترین غنی‌شدگی را به ترتیب در *AND*، خاک و *QDP* و نسبت به زمینه طبیعی در *QDP* بیشترین غنی‌شدگی را دارد.

Zn: با توجه به زمینه منطقه غنی‌شدگی را به ترتیب در خاک، *AND* و *QDP* دارد. نسبت به زمینه طبیعی در *AND* و *QDP* غنی شده است.

Co: با توجه به زمینه منطقه بیشترین غنی‌شدگی را به ترتیب در *AND*، خاک و *QDP* و نسبت به زمینه طبیعی در مرز *AND* و *QDP* قرار دارد.

Mo: با توجه به زمینه منطقه غنی‌شدگی آن در منطقه بالاست و بیشترین مقدار را در *AND* و *QDP* دارد، نسبت به زمینه طبیعی در *QDP* بیشترین مقدار را نشان می‌دهد.

Fe, Ti: با توجه به زمینه منطقه بیشترین غنی‌شدگی را به ترتیب در *AND* و خاک و نسبت به زمینه طبیعی *Ti* در منطقه تهی شده است و *Fe* در مرز غنی‌شدگی *AND* و *QDP* قرار دارد.

Ca, Mg: برای زمینه منطقه بیشترین غنی‌شدگی را در *AND*، برای خاک و *QDP* غنی‌شدگی تقریباً یکسان دارند. نسبت به زمینه طبیعی در خاک منطقه تهی شده‌اند و در *AND* و *QDP* غنی شده‌اند اما *Ca* در مرز غنی‌شدگی *QDP* قرار دارد.

K: برای زمینه منطقه غنی‌شدگی را به ترتیب در *QDP*، خاک و *AND* دارد. نسبت به زمینه طبیعی مقدار آن کم است و غنی نمی‌باشد.

Nb: نسبت به زمینه منطقه در خاک و *QDP* غنی شده است اما نسبت به زمینه طبیعی مقدار آن در کل منطقه کم است و تهی‌شدگی را نشان می‌دهد.

Ni: برای زمینه منطقه غنی‌شدگی را به ترتیب در خاک، *AND* و *QDP* دارد. نسبت به زمینه طبیعی مقدار آن کم است و غنی نمی‌باشد.

Al, Na, Sr, P: برای زمینه منطقه غنی‌شدگی تقریباً یکسانی دارند، این مقدار برای *AND* بیشتر است. نسبت به زمینه طبیعی مقدار آن‌ها در کل منطقه کم است.

Ga: در تمام واحدهای منطقه در مرز غنی‌شدگی قرار دارد.

Pb و **Rb**: با توجه به زمینه منطقه بیشترین مقدار غنی‌شدگی را در *AND* و *QDP* دارند. نسبت به زمینه جهانی در مرز غنی‌شدگی *AND* قرار دارند و *Rb* برای خاک و *QDP* تهی اما برای *Pb* غنی شده است.

V: برای زمینه منطقه در *AND* غنی اما برای خاک در مرز غنی‌شدگی قرار گرفته است. نسبت به زمینه جهانی در *AND* تقریباً غنی شده و برای دو واحد دیگر تهی‌شدگی را نشان می‌دهد.

Be, Ce, La: با توجه به زمینه منطقه برای *AND* شسته شده‌اند و برای خاک و *QDP* تقریباً غنی‌شدگی یکسان دارند. نسبت به زمینه طبیعی مقدار آن‌ها در کل منطقه کم است.

Ba: با توجه به زمینه منطقه برای *AND* شسته شده و برای خاک و *QDP* تقریباً غنی‌شدگی دارد. نسبت به زمینه طبیعی فقط در *QDP* غنی شده است.

Th: نسبت به زمینه منطقه برای *AND* شسته شده و برای خاک و *QDP* تقریباً غنی‌شدگی دارد. نسبت به زمینه طبیعی در هر سه واحد غنی شده است.

S: بیشترین غنی‌شدگی را در *AND* و بعد در *QDP* دارد، در خاک شسته و تهی شده است.

Li: نسبت به زمینه منطقه به ترتیب بیشترین غنی‌شدگی را در سنگ‌های *AND* و *QDP* و خاک (در مرز) دارد. نسبت به زمینه جهانی در *QDP* و *AND* غنی شده است.

Mn, Sc: نسبت به زمینه منطقه فقط در *AND* غنی‌شدگی نشان می‌دهد و در خاک و *QDP* شسته شده است.

Cr: نسبت به زمینه منطقه فقط در *QDP* غنی شده است. نسبت به زمینه طبیعی مقدار آن در کل منطقه کم است.

Zr: در کل منطقه شسته و تهی شده است.

۴-۵-۲ دگرسانی

در هر گمانه نمونه‌های مربوط به دگرسانی‌های پتاسیک/آرژیلیک (*POT/ARG*)، پتاسیک/فیلیک (*POT/PHY*) و پروپلیتیک/کلریت (*PRP/CHL*) تفکیک و مقدار میانه (C_{ij}) برای هر عنصر محاسبه گشته است. با استفاده از رابطه (۳-۱) مقدار ضریب تجمع هر عنصر برای هر دگرسانی محاسبه (جدول ۴-۶ و ۴-۷) و نمودارهای آن‌ها ترسیم شده است (شکل‌های ۴-۱۵ تا ۴-۲۰).

جدول (۴-۶): مقدار C_{ij} و ضریب تجمع در دگرسانی‌های منطقه مورد مطالعه برای گمانه ۳

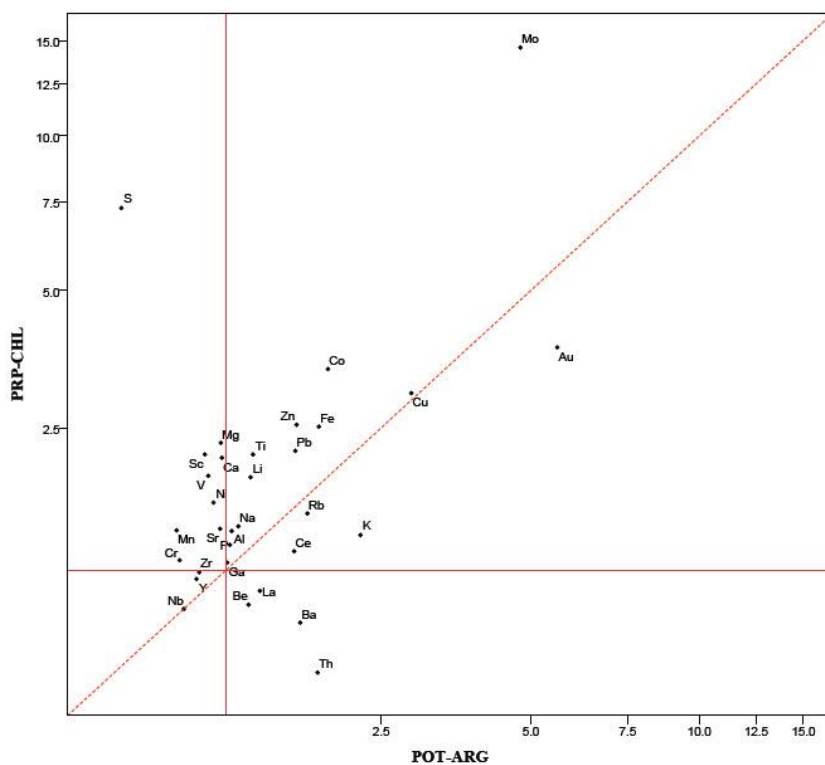
عنصر	C_i	C_{ij} - PRP/CHL	C_{ij} - POT/ARG	C_{ij} - POT/PHY	$AC_{PRP/CHL}$	$AC_{POT/ARG}$	$AC_{POT/PHY}$
Au- ppm	0.1	0.38	0.56	0.33	3.80	5.60	3.30
Cu- ppm	389	1172.10	1129.62	1044.30	3.01	2.90	2.68
S- %	0.02	0.15	0.01	0.09	7.29	0.38	4.33
Al- %	6.8	9.09	7.11	8.08	1.34	1.05	1.19
Ba- ppm	414	261.28	669.67	657.90	0.63	1.62	1.59
Be- ppm	1	0.75	1.17	1.38	0.75	1.17	1.38
Ca- %	2	4.23	1.95	2.60	2.11	0.97	1.30
Ce	23	26.64	35.90	40.09	1.16	1.56	1.74
Co	4.7	16.02	8.89	8.84	3.41	1.89	1.88
Cr	33.5	36.30	23.31	27.80	1.08	0.70	0.38
Fe-%	2.5	6.29	4.50	4.39	2.52	1.80	1.76
Ga	18	19.15	18.23	18.31	1.06	1.01	1.02
K- %	1	1.30	2.25	1.96	1.30	2.25	1.96
La	18	15.25	22.73	24.67	0.85	1.26	1.37
Li	8.1	15.27	9.63	10.66	1.89	1.19	1.32
Mg- %	1.1	2.53	1.06	1.28	2.30	0.97	1.16
Mn	794	1065.73	537.92	488.27	1.34	0.68	0.61
Mo-ppm	1	14.56	4.78	6.06	14.56	4.78	6.06
Na-%	2	2.76	2.19	2.63	1.38	1.10	1.31
Nb	5.2	3.75	3.75	5.51	0.72	0.72	1.06
Ni	9	14.51	8.24	8.69	1.61	0.92	0.97
P-%	0.05	0.06	1.05	0.06	1.21	1.03	1.25
Pb	19	41.79	29.86	35.30	2.20	1.57	1.86
Rb	50	75.13	84.28	80.57	1.50	1.69	1.61
Sc	8.5	18.32	7.28	8.61	2.16	0.86	1.01

ادامه جدول (۴-۶)

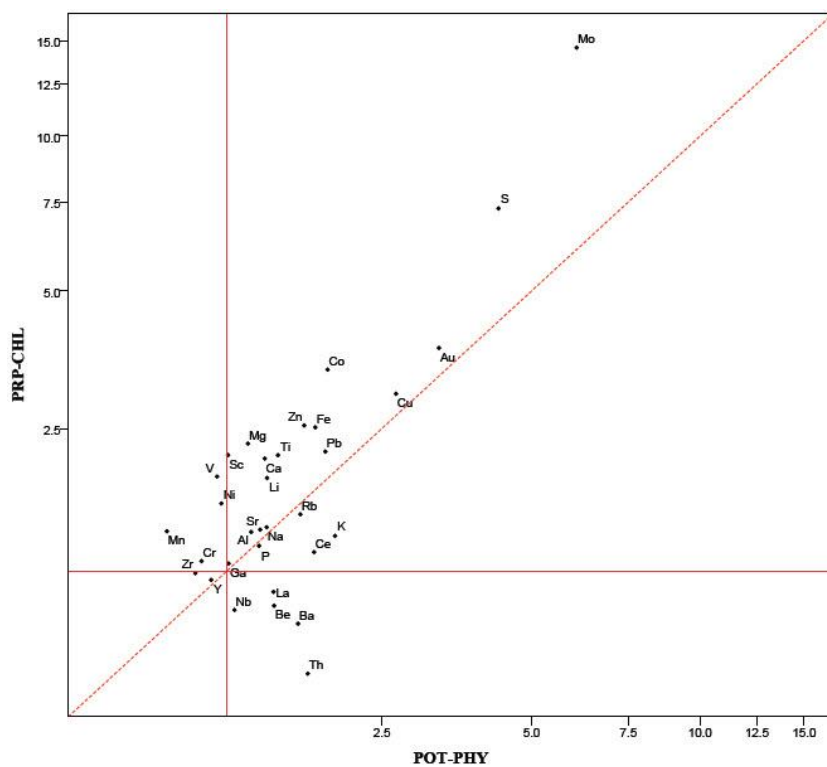
Sr	300	406.96	288.51	377.94	1.36	0.96	1.26
Th	11	3.75	19.65	18.50	0.34	1.79	1.68
Ti	1894	4081.54	2288.98	3669.25	2.15	1.21	1.41
V	88	167.31	77.38	82.28	1.90	0.88	0.93
Y	16	14.97	12.83	14.31	0.94	0.80	0.89
Zn-ppm	53	134.87	83.91	87.31	2.52	1.58	1.65
Zr	7.7	7.60	6.31	6.08	0.99	0.82	0.79

جدول (۴-۷): مقدار C_{ij} و ضریب تجمع در دگرسانی‌های منطقه مورد مطالعه برای گمانه ۴

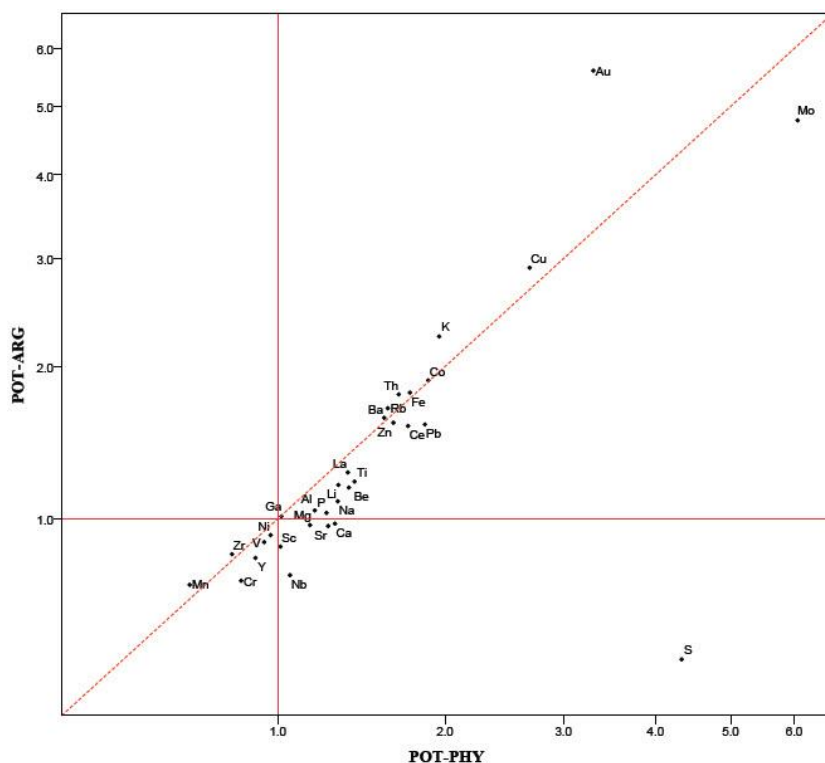
عنصر	C_i	C_{ij} - PRP/CHL	C_{ij} - POT/ARG	C_{ij} - POT/PHY	$AC_{PRP/CHL}$	$AC_{POT/ARG}$	$AC_{POT/PHY}$
Au- ppm	0.1	0.33	0.17	0.34	3.30	1.65	3.40
Cu- ppm	389	1147.25	1092.44	932.82	2.95	2.81	2.40
S- %	0.02	0.10	0.01	0.06	5.22	0.38	3.23
Al- %	6.8	8.66	7.66	8.14	1.27	1.13	1.20
Ba- ppm	414	261.28	313.46	698.53	0.63	0.76	1.69
Be- ppm	1	0.75	1.09	1.36	0.75	1.09	1.36
Ca- %	2	4.76	1.40	2.41	2.38	0.70	1.21
Ce	23	21.63	32.14	39.61	0.94	1.40	1.72
Co	4.7	14.47	4.96	7.45	3.08	1.06	1.58
Cr	33.5	27.72	38.29	35.34	0.83	1.14	1.06
Fe-%	2.5	5.60	2.60	3.74	2.24	1.04	1.50
Ga	18	18.63	16.78	18.23	1.04	0.93	1.01
K- %	1	1.23	1.51	1.74	1.23	1.51	1.74
La	18	15.79	21.74	25.70	0.88	1.21	1.43
Li	8.1	15.30	13.81	10.15	1.89	1.71	1.25
Mg- %	1.1	2.33	2	1.41	2.12	1.82	1.28
Mn	794	1051.01	972.70	426.40	1.32	1.23	0.54
Mo-ppm	1	4.42	4.27	3.08	4.42	4.27	3.08
Na-%	2	2.74	0.86	2.54	1.37	0.43	1.27
Nb	5.2	7.38	7.50	8	1.42	1.44	1.54
Ni	9	11.56	13.14	10.19	1.29	1.46	1.13
P-%	0.05	0.06	0.04	0.06	1.27	0.89	1.25
Pb	19	35.81	78.16	26.71	1.88	4.11	1.41
Rb	50	70.71	114.57	65.88	1.41	2.29	1.32
Sc	8.5	17.19	6.32	7.53	2.02	0.74	0.89
Sr	300	411.76	180.56	379.04	1.37	0.60	1.26
Th	11	8.51	19.38	19.12	0.77	1.76	1.74
Ti	1894	4304.78	2290.34	2683.31	2.27	1.21	1.42
V	88	173.85	69.85	81.65	1.98	0.79	0.93
Y	16	16.59	15.19	14.44	1.04	0.95	0.90
Zn-ppm	53	131.28	126.07	64.47	2.48	2.38	1.22
Zr	7.7	6.06	3.79	4.46	0.79	0.49	0.58



شکل (۴-۱۵): نمودار ضریب تجمع پروپلیتیک / کلریت و پتاسیک / آرژلیک برای گمانه ۳



شکل (۴-۱۶): نمودار ضریب تجمع پروپلیتیک / کلریت و پتاسیک / فیلیک برای گمانه ۳



شکل (۴-۱۷): نمودار ضریب تجمع پتاسیک/فیلیک و پتاسیک/آرژلیک برای گمانه ۳

Au: بیشترین غنی‌شدگی را به ترتیب در دگرسانی‌های POT/ARG ، PRP/CHL و POT/PHY دارد.

Cu: در POT/ARG و PRP/CHL دارای غنی‌شدگی تقریباً یکسان می‌باشد. در POT/PHY غنی‌شدگی کم‌تر است.

Mo: بیشترین غنی‌شدگی را به ترتیب در دگرسانی‌های PRP/CHL (ضریب تجمع بسیار بالا)، POT/PHY و POT/ARG دارد.

Co, Fe, Zn: بیشترین غنی‌شدگی را در دگرسانی PRP/CHL دارند. در POT/ARG و POT/PHY غنی‌شدگی تقریباً یکسان است.

Pb, Al, Na, Ti, Li: بیشترین غنی‌شدگی را به ترتیب در دگرسانی‌های POT/PHY ، PRP/CHL و POT/PHY (Al, Na) غنی‌شدگی تقریباً یکسان) و POT/ARG دارند.

K, Rb: به ترتیب در POT/ARG ، POT/PHY و PRP/CHL بیشترین غنی‌شدگی را دارند.

Ce: به ترتیب در *POT/PHY*، *POT/ARG* و *PRP/CHL* بیشترین غنی‌شدگی را دارد.

Ga: برای تمامی دگرسانی‌ها در مرز غنی‌شدگی یکسان قرار دارد.

Th: به ترتیب در *POT/ARG* و *POT/PHY* بیشترین غنی‌شدگی را دارد. در *PRP/CHL* کاملاً تهی شده است.

Ba, La: در *POT/ARG* و *POT/PHY* دارای غنی‌شدگی یکسان می‌باشد. در *PRP/CHL* کاملاً تهی شده است.

Be، به ترتیب در *POT/PHY*، *POT/ARG* بیشترین غنی‌شدگی را دارد. در *PRP/CHL* کاملاً تهی شده است.

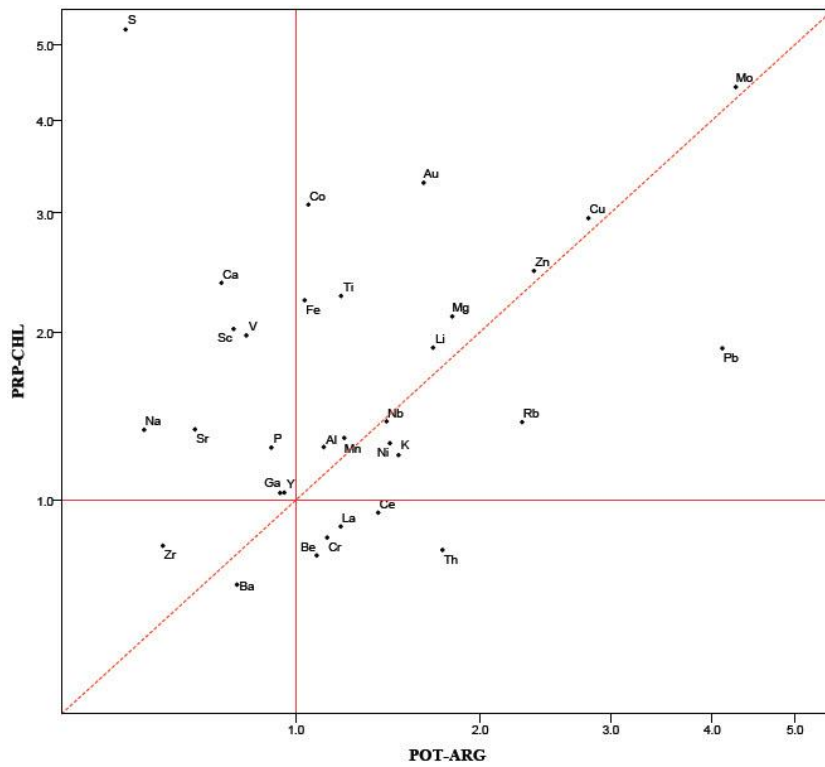
S, Sr, Mg, Ca: بیشترین غنی‌شدگی را به ترتیب در دگرسانی‌های *PRP/CHL* (*S* ضریب تجمع بسیار بالا)، *POT/PHY* (*Sr* تقریباً یکسان) دارند. در *POT/ARG* تهی شده گشته‌اند.

P: برای *POT/PHY* و *PRP/CHL* غنی‌شدگی تقریباً یکسان، و برای *POT/ARG* در مرز غنی‌شدگی یکسان قرار دارد.

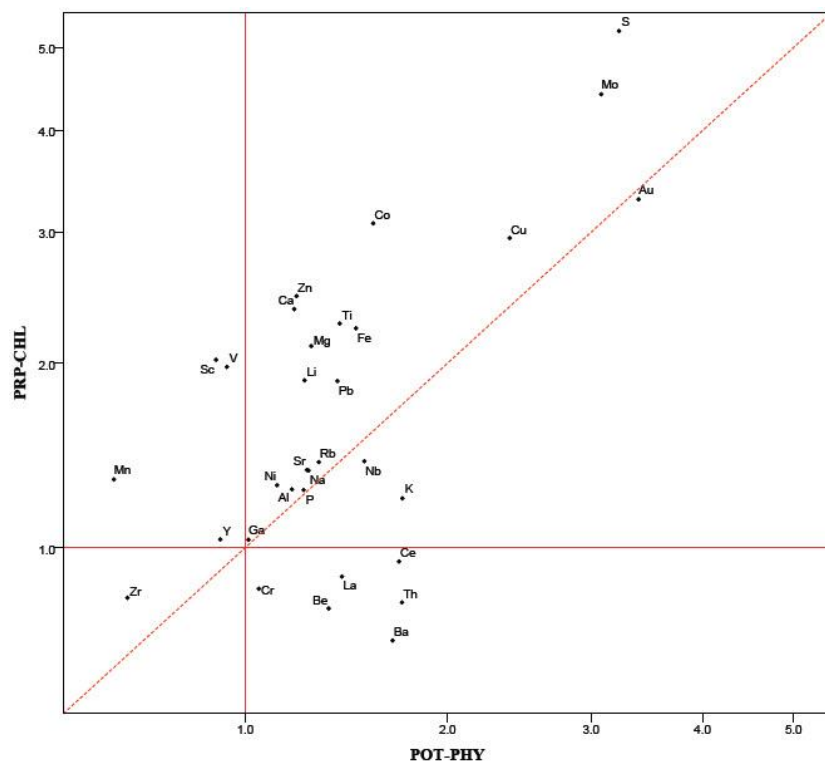
Cr, Mn, V, Ni: در *PRP/CHL* غنی‌شدگی دارند. در *POT/PHY*، *POT/ARG* شسته شده‌اند.

Sc: بیشترین غنی‌شدگی را در *PRP/CHL*، برای *POT/PHY* در مرز غنی‌شدگی قرار دارد. در *POT/ARG* شسته شده است.

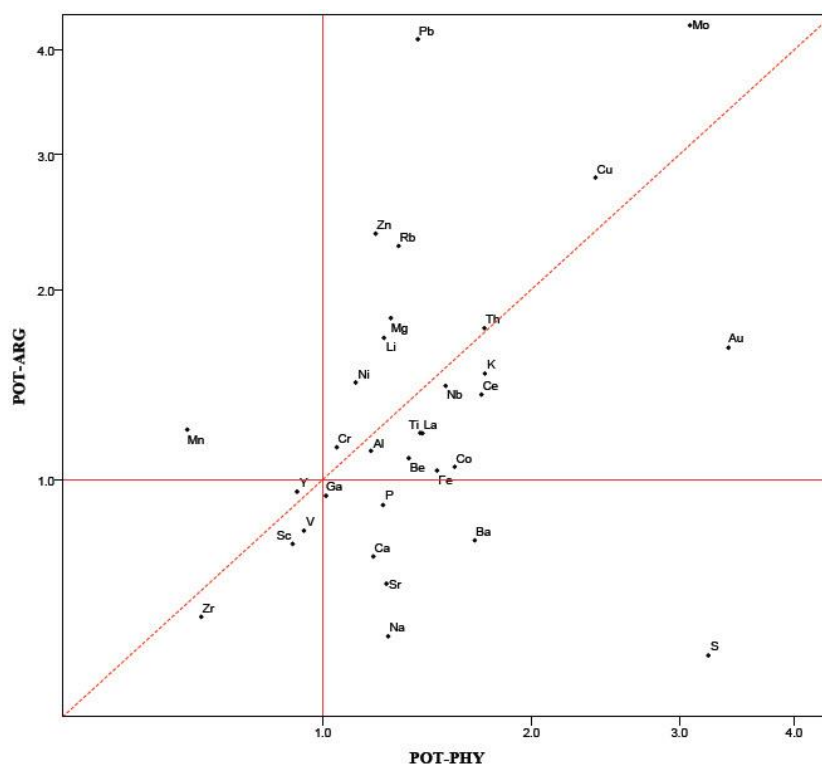
Zr, Nb, Y: در تمام دگرسانی‌ها شسته و تهی شده‌اند.



شکل (۴-۱۸): نمودار ضریب تجمع پروپلیتیک /کلریت و پتاسیک/ آرژیلیک برای گمانه ۴



شکل (۴-۱۹): نمودار ضریب تجمع پروپلیتیک /کلریت و پتاسیک/ فیلیک برای گمانه ۴



شکل (۴-۲۰): نمودار ضریب تجمع پتاسیک/فیلیک و پتاسیک/آرژیلیک برای گمانه ۴

Au: در POT/PHY و PRP/CHL غنی‌شدگی تقریباً یکسان و بالا دارد در POT/ARG هم دارای غنی‌شدگی است اما مقدار آن کمتر می‌باشد.

Cu, Zn, Mg, Li: بیشترین غنی‌شدگی را به ترتیب در دگرسانی‌های POT/ARG ، PRP/CHL و POT/PHY دارند.

Mo: در POT/ARG و PRP/CHL غنی‌شدگی تقریباً یکسان دارد. در POT/PHY هم دارای غنی‌شدگی است، اما مقدار آن کمتر می‌باشد.

Al, Co, Ti, Fe: بیشترین غنی‌شدگی را به ترتیب در دگرسانی‌های PRP/CHL ، POT/PHY و POT/ARG دارند.

Pb, Rb, Ni: بیشترین غنی‌شدگی را به ترتیب در دگرسانی‌های POT/ARG ، PRP/CHL و POT/PHY دارند.

K: به ترتیب در *POT/PHY*، *POT/ARG* و *PRP/CHL* بیشترین غنی‌شدگی را دارد.

Mn: بیشترین غنی‌شدگی را به ترتیب در دگرسانی‌های *POT/ARG*، *PRP/CHL* دارد. در *POT/PHY* شسته شده است.

Nb: در *POT/PHY* دارای بیشترین غنی‌شدگی است. در *POT/ARG* و *PRP/CHL* غنی‌شدگی تقریباً یکسان دارد.

S, Na, Sr, Ca: بیشترین غنی‌شدگی را به ترتیب در دگرسانی‌های *PRP/CHL* (*S* ضریب تجمع بسیار بالا) و *POT/PHY* دارند. در *POT/ARG* تهی شده گشته‌اند.

Sc, V: در *PRP/CHL* غنی‌شدگی دارند. در *POT/PHY*، *POT/ARG* شسته شده‌اند.

Ga: در *PRP/CHL* و *POT/PHY* در مرز غنی‌شدگی قرار دارد. در *POT/ARG* شسته شده است.

P: در *PRP/CHL* و *POT/PHY* غنی‌شدگی یکسان دارد. در *POT/ARG* شسته شده است.

Y: برای *PRP/CHL* در مرز غنی‌شدگی قرار دارد. در *POT/PHY*، *POT/ARG* تهی شده است.

Ce, La, Be: به ترتیب در *POT/PHY*، *POT/ARG* بیشترین غنی‌شدگی را دارند. در *PRP/CHL* کاملاً تهی شده‌اند.

Th: در *POT/PHY*، *POT/ARG* غنی‌شدگی یکسان دارد. در *PRP/CHL* کاملاً تهی شده است.

Cr: به ترتیب در *POT/ARG* و *POT/PHY* بیشترین غنی‌شدگی را دارد. در *PRP/CHL* کاملاً تهی شده است.

Ba: در *POT/PHY* غنی‌شدگی، و در *PRP/CHL*، *POT/ARG* شسته شده است.

Zr: در تمام دگرسانی‌ها شسته و تهی شده است.

۴-۵-۳ زون‌های اکسیدی، عبوری و هیپوژن

در هر گمانه نمونه‌های مربوط به زون‌های اکسیدی، عبوری و هیپوژن تفکیک و مقدار میانه (C_{ij})

برای هر عنصر محاسبه گشته است. با استفاده از رابطه (۳-۱) مقدار ضریب تجمع هر عنصر برای هر زون

محاسبه (جدول ۴-۸ و ۴-۹) و نمودارهای آن‌ها ترسیم شده است (شکل‌های ۴-۲۱ تا ۴-۲۴).

جدول (۴-۸): مقدار C_{ij} و ضریب تجمع در زون‌های اکسیدی، عبوری و هیپوژن منطقه مورد

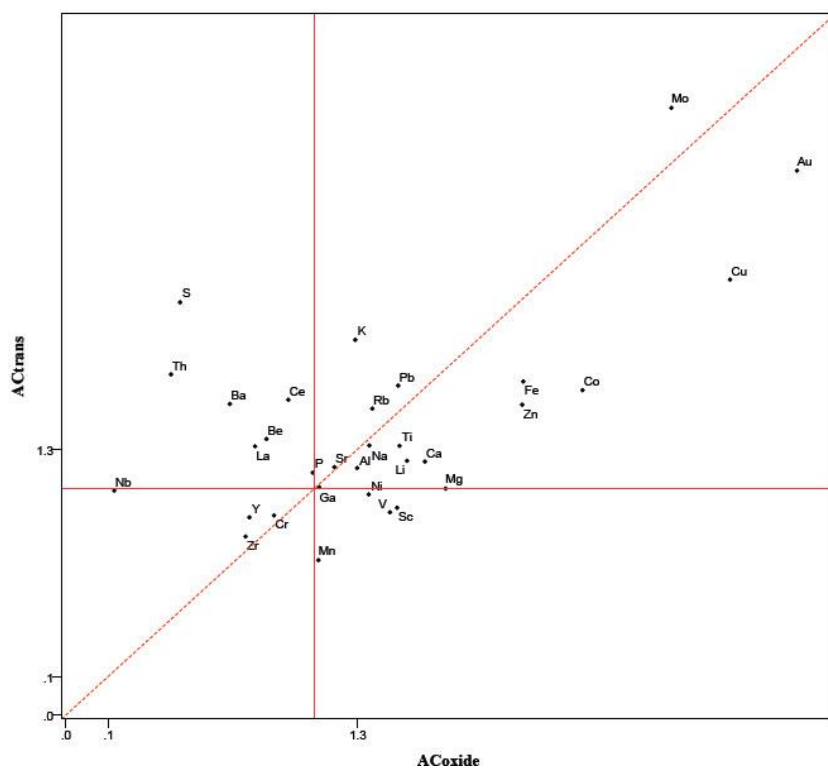
مطالعه برای گمانه ۳

عنصر	C_i	$C_{ij-Oxide}$	$C_{ij-Trans}$	C_{ij-Hyp}	AC_{Oxide}	AC_{Trans}	AC_{Hyp}
Au- ppm	0.1	0.67	0.43	0.28	6.70	4.30	2.80
Cu- ppm	389	2095.01	1087.58	1100.47	5.36	2.80	2.83
S- %	0.02	0.01	0.05	0.20	0.38	2.54	10.04
Al- %	6.8	8.53	7.69	8.86	1.25	1.13	1.30
Ba- ppm	414	240.18	659.47	337.24	0.58	1.59	0.81
Be- ppm	1	0.75	1.33	0.75	0.75	1.33	0.75
Ca- %	2	3.45	2.35	3.83	1.72	1.17	1.92
Ce	23	19.79	37.42	30.65	0.86	1.63	1.33
Co	4.7	15.18	8.01	14.95	3.23	1.71	3.18
Cr	33.5	26.39	28.23	35.31	0.79	0.84	1.05
Fe-%	2.5	6.46	4.45	5.63	2.59	1.78	2.25
Ga	18	18.50	18.17	19	1.03	1.01	1.06
K- %	1	1.24	2.16	1.44	1.24	2.16	1.44
La	18	12.51	23	18.17	0.70	1.28	1.01
Li	8.1	12.89	9.55	15.85	1.59	1.18	1.96
Mg- %	1.1	2.07	1.10	2.31	1.89	1	2.10
Mn	794	812.44	481.72	914.15	1.02	0.61	1.15
Mo- pp	1	4.42	5.42	18.48	4.42	5.42	18.48
Na-%	2	2.67	2.57	2.76	1.33	1.28	1.38
Nb	5.2	0.75	5.14	0.75	0.14	0.99	0.14
Ni	9	11.96	8.69	13.52	1.33	0.97	1.50
P-%	0.05	0.05	0.06	0.07	0.99	1.10	1.35
Pb	19	29.02	33.13	42.04	1.53	1.74	2.21
Rb	50	67.60	77.82	85.33	1.35	1.56	1.71
Sc	8.5	12.93	7.53	16.87	1.52	0.89	1.99
Sr	300	334.70	340.97	425.50	1.12	1.14	1.42
Th	11	3.75	20.23	3.75	0.34	1.84	0.34
Ti	1894	2912.06	2426.52	3797.02	1.54	1.28	2
V	88	129.37	75.75	155.25	1.47	0.86	1.76
Y	16	10.70	13.31	15.42	0.67	0.83	0.96
Zn-ppm	53	136.45	84.11	127.93	2.57	1.59	2.41
Zr	7.7	5.01	5.60	7.80	0.65	0.73	1.01

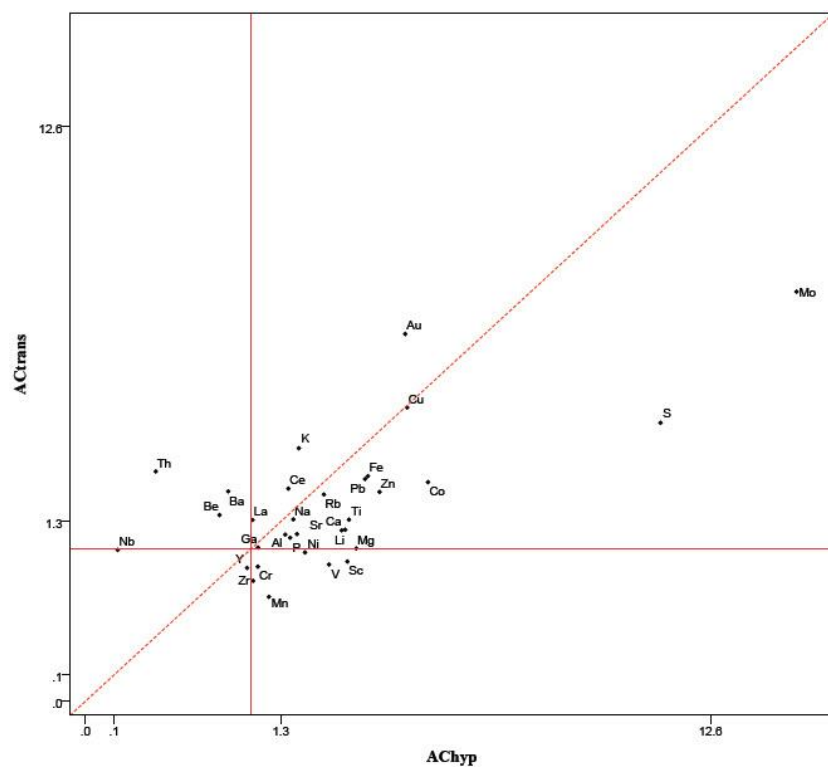
جدول (۴-۹): مقدار C_{ij} و ضریب تجمع در زون‌های اکسیدی، عبوری و هیپوژن منطقه مورد

مطالعه برای گمانه ۴

عنصر	C_i	$C_{ij-Oxide}$	$C_{ij-Trans}$	C_{ij-Hyp}	AC_{Oxide}	AC_{Trans}	AC_{Hyp}
Au- ppm	0.1	0.35	0.34	0.30	3.50	3.35	2.95
Cu- ppm	389	1235.47	920.71	1012.82	3.18	2.37	2.60
S- %	0.02	0.01	0.08	0.10	0.38	3.88	5.07
Al- %	6.8	7.83	8.13	8.65	1.15	1.20	1.27
Ba- ppm	414	528.33	730.54	283.57	1.28	1.76	0.68
Be- ppm	1	1.32	1.36	0.75	1.32	1.36	0.75
Ca- %	2	1.70	2.42	4.71	0.85	1.21	2.36
Ce	23	35.24	39.87	22.24	1.53	1.73	0.97
Co	4.7	7.14	7.22	14.18	1.52	1.54	3.02
Cr	33.5	37.02	34.12	33.30	1.11	1.02	0.99
Fe-%	2.5	3.31	3.71	5.34	1.32	1.48	2.14
Ga	18	17.88	18.20	18.63	0.99	1.01	1.04
K- %	1	1.58	1.77	1.28	1.58	1.77	1.28
La	18	22.21	26.06	16.23	1.23	1.45	0.90
Li	8.1	12.12	9.97	15.35	1.50	1.23	1.90
Mg- %	1.1	1.57	1.39	2.30	1.43	1.26	2.09
Mn	794	528.98	430.29	919.82	0.67	0.54	1.16
Mo-ppm	1	2.43	3.06	4.70	2.43	3.06	4.70
Na-%	2	2.25	2.53	2.79	1.12	1.27	1.39
Nb	5.2	7.58	7.89	7.75	1.46	1.52	1.49
Ni	9	12.60	9.82	12.45	1.40	1.09	1.38
P-%	0.05	0.05	0.06	0.07	1	1.23	1.36
Pb	19	26.71	28.39	32.65	1.41	1.49	1.72
Rb	50	70.44	65.81	69.07	1.41	1.32	1.38
Sc	8.5	7.49	7.47	16.80	0.88	0.88	1.98
Sr	300	303.01	369.85	427.59	1.01	1.23	1.43
Th	11	18.80	19.13	8.77	1.71	1.74	0.80
Ti	1894	2627.36	2664.47	4203.48	1.39	1.41	2.22
V	88	81.94	81.05	165.59	0.93	0.92	1.88
Y	16	13.31	14.43	16.53	0.83	0.90	1.03
Zn-ppm	53	80.37	64.46	119.93	1.52	1.22	2.26
Zr	7.7	3.51	4.55	6.28	0.46	0.59	0.83



شکل (۴-۲۱): نمودار ضریب تجمع زون‌های اکسید و عبوری برای گمانه ۳



شکل (۴-۲۲): نمودار ضریب تجمع زون‌های عبوری و هیپوژن برای گمانه ۳

Au: بیشترین غنی‌شدگی را در زون اکسید دارد، با افزایش عمق میزان غنی‌شدگی در زون‌های عبوری و هیپوژن کاسته می‌شود.

Cu: رفتاری مشابه طلا نشان می‌دهد، بیشترین غنی‌شدگی را در زون اکسید دارد. با افزایش عمق، مس شسته شده است و میزان غنی‌شدگی در زون‌های عبوری و هیپوژن تقریباً یکسان می‌شود.

Mo, P: با افزایش عمق میزان غنی‌شدگی افزایش می‌یابد. بیشترین غنی‌شدگی را به ترتیب در زون‌های هیپوژن، عبوری و اکسید دارند. **Mo** رفتاری برعکس طلا و مس دارد، در زون‌هایی که **Au** و **Cu** غنی‌شدگی بالا دارند **Mo** دارای غنی‌شدگی کم است.

Co, Fe, Zn, Mg: در زون‌های اکسید و هیپوژن غنی‌شدگی بالایی دارند اما در زون عبوری مقداری شسته شده‌اند و از غنی‌شدگی آن‌ها می‌کاهد.

K: بیشترین مقدار ضریب تجمع را در زون عبوری دارد و احتمالاً از زون اکسید شسته شده و یا وارد زون هیپوژن نشده است.

Rb, Pb: با کاهش عمق مرتباً شسته شده بطوریکه بیشترین غنی‌شدگی را در زون هیپوژن دارد.

Mg: در زون‌های اکسید و هیپوژن غنی‌شدگی بالایی دارد اما در زون عبوری در مرز غنی‌شدگی قرار دارد، احتمالاً از اکسید وارد عبوری نشده است و یا اینکه از عبوری کامل شسته شده و وارد هیپوژن می‌شود.

Na, Ga: در کل سکانس هیچ تغییری در رفتار غنی‌شدگی و تهی‌شدگی آن‌ها ایجاد نمی‌شود (**Na** در هر سه زون غنی‌شدگی کم دارد).

Sr: در زون سوپرژن غنی‌شدگی اندک و یکسانی دارد با افزایش عمق در هیپوژن غنی‌شدگی بیشتری نشان می‌دهد.

Al, Ti, Ca, Li: غنی‌شدگی بالا در آن‌ها مشاهده نمی‌شود و بطور جزئی در اکسید و هیپوژن غنی‌شدگی بیشتری نسبت به عبوری دارند.

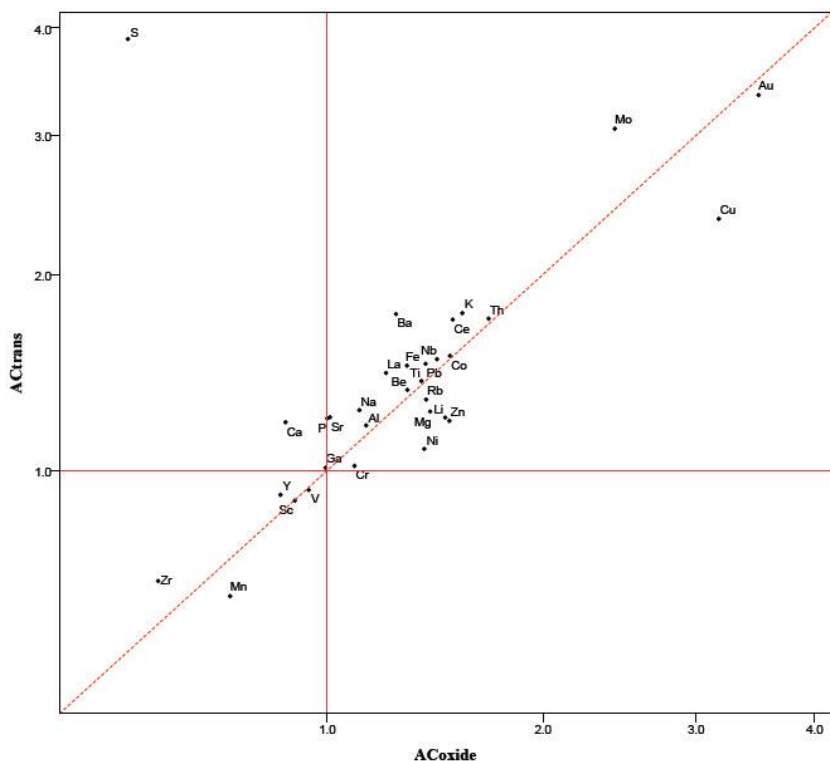
S: بطور کامل در زون اکسید تهی و وارد زون‌های عبوری و هیپوژن شده است، بیشترین غنی‌شدگی را در زون هیپوژن دارد.

Ba, Be, Th: از زون اکسید شسته شده‌اند و وارد هیپوژن هم نشده‌اند و فقط در عبوری بیشترین تمرکز غنی‌شدگی را نشان می‌دهند.

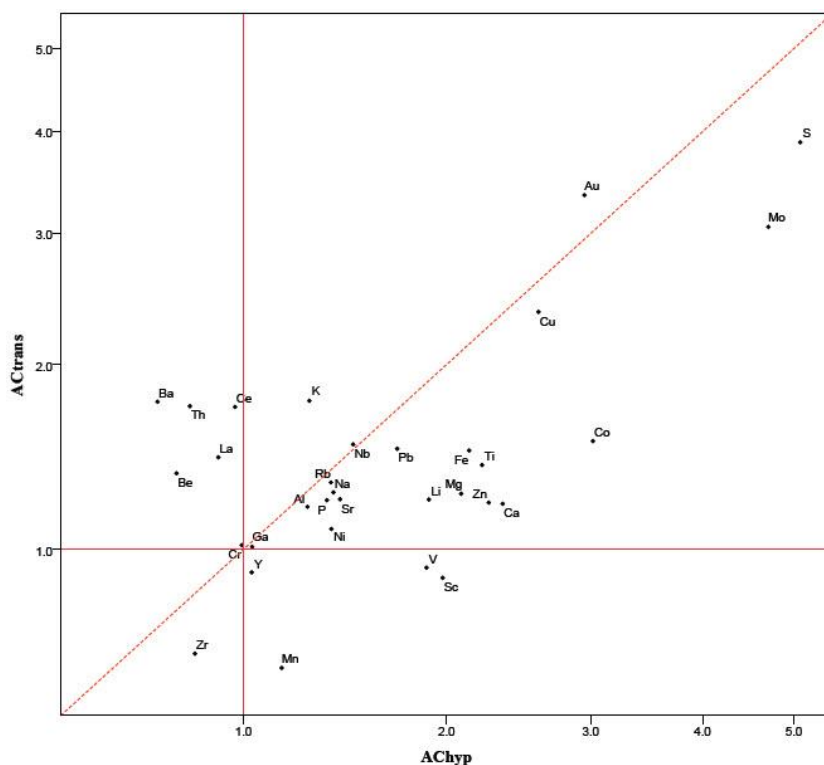
La, Ce: در قسمت فوقانی (زون اکسید) کاملاً شسته و تهی گشته‌اند و وارد عبوری شده‌اند، میزان شسته‌شدگی در عبوری و ورود به هیپوژن زیاد نبوده است و در عبوری غنی‌شدگی بیشتری نسبت به هیپوژن دارند.

Mn, V, Sc, Ni: در زون‌های اکسید و هیپوژن غنی اما در زون عبوری تهی شده‌اند، احتمالاً از اکسید وارد عبوری نشده است و یا اینکه از عبوری کامل شسته شده و وارد هیپوژن می‌شود.

Y, Zr, Cr, Nb: در سوپرژن تهی گشته‌اند اما در هیپوژن به جز *Nb* در مرز غنی‌شدگی قرار دارند.



شکل (۴-۲۳): نمودار ضریب تجمع زون‌های اکسید و عبوری برای گمانه ۴



شکل (۴-۲۴): نمودار ضریب تجمع زون‌های عبوری و هیپوژن برای گمانه ۴

Au: بیشترین مقدار ضریب تجمع را در زون اکسید دارد که به غنی‌شدگی در عبوری نزدیک است. هیپوژن نسبت دو زون دیگر کمترین غنی‌شدگی را دارد.

Cu: همانند طلا بیشترین مقدار ضریب تجمع را در زون اکسید دارد. در زون عبوری میزان شسته‌شدگی بیشتر بوده و غنی‌شدگی هیپوژن نسبت به عبوری بیشتر است.

Mo: با افزایش عمق میزان غنی‌شدگی افزایش می‌یابند. بیشترین غنی‌شدگی را در زون هیپوژن دارد.

Ga, Al, Be, Ti, Pb, Co, Th: در زون‌های اکسید و عبوری شرایط غنی‌شدگی تقریباً یکسان است، به جزء **Al** و **Ga** عناصر دیگر تقریباً دارای غنی‌شدگی بالا می‌باشند. با افزایش عمق شرایط تغییر می‌کند، **Be** و **Th** در هیپوژن کاملاً تهی شده‌اند احتمالاً این عناصر در زون‌های بالا به مقدار کافی شسته و وارد هیپوژن نشده‌اند. اما **Co** و **Ti** و **Pb** وارد هیپوژن گشته و در آن بیشترین غنی‌شدگی را نسبت به زون سوپرژن ایجاد کرده‌اند.

La, Ba, Ce: بیشترین مقدار ضریب تجمع را در زون اکسید دارند. مقداری شسته شده و وارد زون عبوری می‌شوند اما در هیپوژن به غنی‌شدگی نرسیده‌اند.

K: به ترتیب بیشترین غنی‌شدگی را در عبوری، اکسید و هیپوژن دارد.

Na, Fe, Nb: در سوپرژن شسته شده و بیشترین غنی‌شدگی را در هیپوژن ایجاد می‌کنند، مخصوصاً *Fe*، البته *Nb* بیشترین غنی‌شدگی را در عبوری دارد.

Sr, P: به ترتیب بیشترین غنی‌شدگی را در هیپوژن، عبوری و اکسید دارند (برای اکسید در مرز غنی‌شدگی).

Rb, Mg, Ni, Zn, Li: رفتار تقریباً مشابه دارند، بسترین ضریب تجمع *Li* و *Zn* و *Mg* در هیپوژن می‌باشد. *Ni* و *Rb* بیشترین غنی‌شدگی را در اکسید دارند و در زون عبوری به مقدار کمتری انجام شده است.

S, Ca: کاملاً از اکسید شسته و تهی شده‌اند و بیشترین غنی‌شدگی را در هیپوژن دارند.

Cr: در زون سطحی (اکسید) به مقدار کم غنی شده و در عمق تهی شده است.

Zr, Mn, V, Sc, Y: در سوپرژن کاملاً شسته شده‌اند و در هیپوژن غنی‌شدگی دارند (کاملاً در این سکانس تهی شده است).

۴-۶ نتیجه‌گیری روش ضریب تجمع

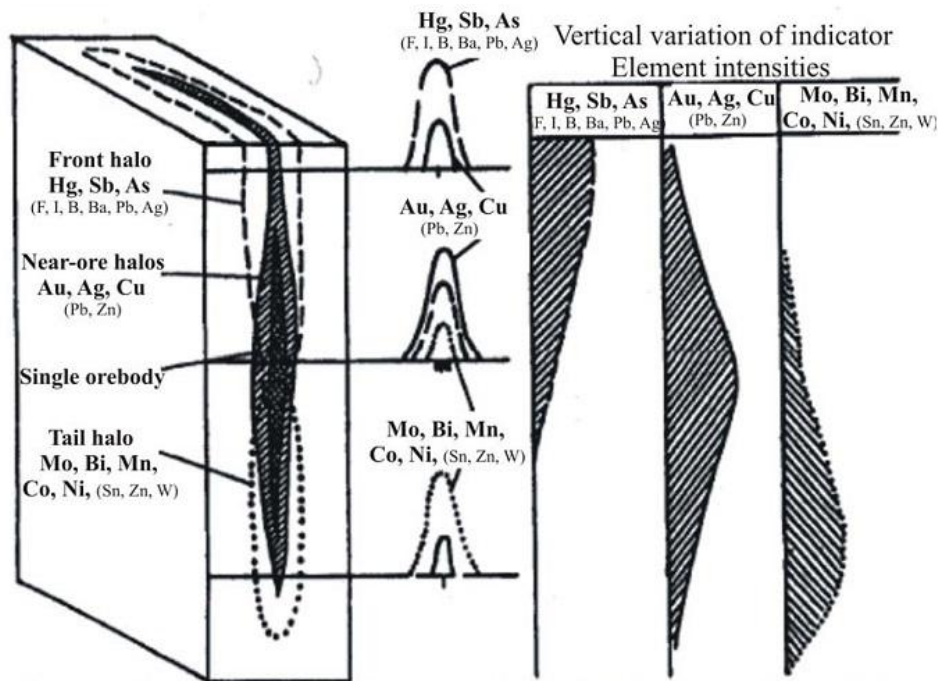
در بررسی نمودارهای ضریب تجمع برای واحدهای سنگی، حد زمینه طبیعی عناصر در سنگ‌ها نتایج مطلوب‌تری را نسبت به زمینه منطقه که از روش نمودار احتمال محاسبه شده است، نشان می‌دهد. این واقعیت سنگ‌های منطقه است که توده نفوذی کوارتزیدیوریت پورفیری در سنگ آندزیت نفوذ کرده است لذا جوان‌تر محسوب می‌شود و سبب غنی‌شدگی و تهی‌شدگی عناصر در واحدهای منطقه و در نهایت کانی‌سازی شده است.

همان‌طور که در فصل دوم بیان شد کانی‌سازی شناخته شده در منطقه مورد مطالعه *Cu-Au* پورفیری است که نتایج ضریب تجمع نشان‌دهنده بیشترین غنی‌شدگی برای دو عنصر مس و طلا مخصوصاً در

واحدهای سنگی منطقه می‌باشد. برای عنصر طلا، مقدار زمینه آن در سنگ‌های بازیک بیشتر از سنگ‌های اسیدی است [۵۵]. در منطقه مورد نظر، هر دو سنگ آندزیت و کوارتز دیوریت پورفیری جزء سنگ‌های حدواسط محسوب می‌شوند، اما آندزیت تا حدودی خاصیت بازیک و کوارتز دیوریت پورفیری دارای خاصیت اسیدی می‌باشند. با توجه به نمودارهای ضریب تجمع برای واحدهای سنگی، مشخص می‌شود که *Au* و *S* در سنگ دیواره آندزیتی و *Cu* و *Mo* در توده نفوذی کوارتز دیوریت پورفیری غنی‌شدگی دارند. احتمالاً کوارتز دیوریت پورفیری سبب نفوذ عنصر مس در سنگ دیواره آندزیتی شده و مقداری از طلای آن را شسته است. همچنین در اثر عوامل هوازدگی و تشکیل خاک از این واحدهای سنگی، غنی‌شدگی این عناصر در خاک منطقه مشاهده می‌شود.

با بررسی نمودارهای ضریب تجمع مربوط به دگرسانی‌ها، غنی‌شدگی عناصر *K* و *Rb* در زون پتاسیک و *Ca*، *Fe* و *Mg* در زون پروپلیتیک مشاهده می‌شود که با توجه به ویژگی این دگرسانی‌ها طبیعی است. همچنین در گمانه ۳ کانی‌سازی *Cu-Au* منطبق بر زون پتاسیک / فلیک است اما در گمانه ۴ عنصر *Cu* در پروپلیتیک هم غنی‌شدگی نشان می‌دهد. در نتیجه *Au* محدود به زون پتاسیک و *Cu* علاوه بر زون پتاسیک مقداری وارد پروپلیتیک شده است. با توجه به مواردی که پیش از این بیان شد می‌توان نتیجه گرفت، *Cu* مربوط به سنگ کوارتز دیوریت پورفیری است و غالباً محدود بر زون پتاسیک، احتمالاً زون پتاسیک بیشتر بر سنگ‌های کوارتز دیوریت پورفیری منطبق است، گزارشات قبلی از این منطقه این موضوع را تایید می‌کند. همچنین قبلاً اشاره شد که *Au* در سنگ آندزیت بیشترین غنی‌شدگی را دارد و محدود به زون پتاسیک است. همان‌طور که پیش ازین گفته شد زون پتاسیک بر سنگ‌های کوارتز دیوریت پورفیری منطبق است در نتیجه احتمالاً طلا در مرز سنگ‌های آندزیت و کوارتز دیوریت پورفیری می‌تواند بیشترین غنی‌شدگی را داشته باشد. با توجه به مطالعات قبلی این امر تایید می‌شود.

عناصر کانی‌ساز *Au* و *Cu* در اثر فعالیت آب‌های سطحی و زیر سطحی پس از شسته شدن در سطح غنی شده‌اند و بیشترین مقدار غنی‌شدگی را در زون اکسید دارند. عنصر طلا در مرز زون‌های عبوری و هیپوژن متوقف شده است و در هیپوژن غنی نشده است اما مس در هر دو زون مشاهده می‌شود. *Mo* نتوانسته به سطح برسد و تا زون عبوری مشاهده می‌شود. از آنجایی که دگرسانی پروپلیتیک، کانی‌سازی را احاطه نموده، غنی‌شدگی عنصر *Mo* در این منطقه دگرسانی می‌تواند بیانگر حاشیه کانسار باشد. در حاشیه غنی‌شدگی *S* با توجه به مهاجرت بالا در زون هیپوژن طبیعی است. با توجه به نمودارهای ضریب تجمع و مدل هاله‌های محوری در کانسار طلا (شکل ۴-۲۵)، عناصر *Co* و *Mo* احتمالاً نقش عناصر تحت کانساری را در منطقه دارند [۵۶].



شکل (۴-۲۵): مدل هاله‌های محوری اطراف ذخایر طلای پهنه برشی [۵۶].

فصل پنجم

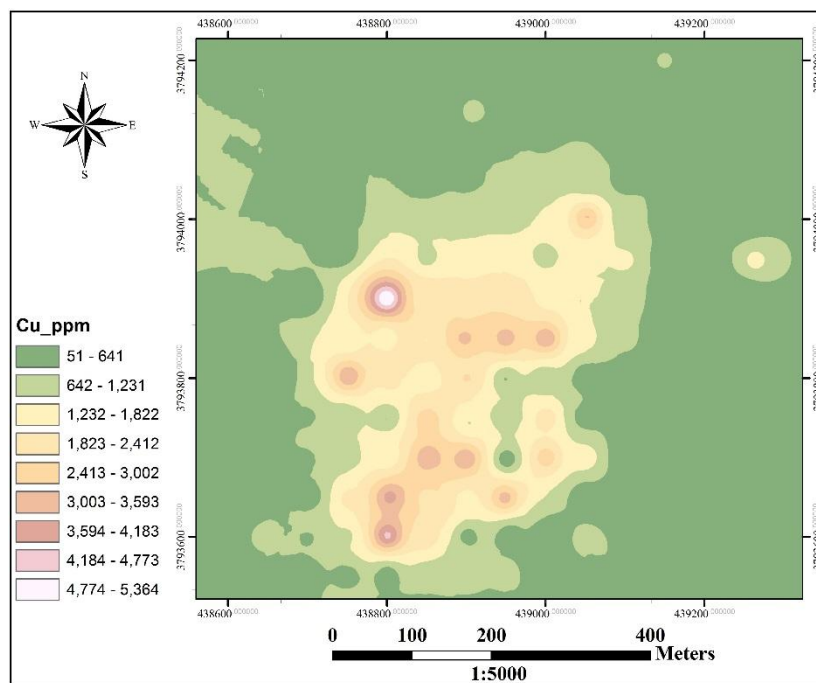
تکینگی در منطقه مورد نظر

۵-۱ مقدمه

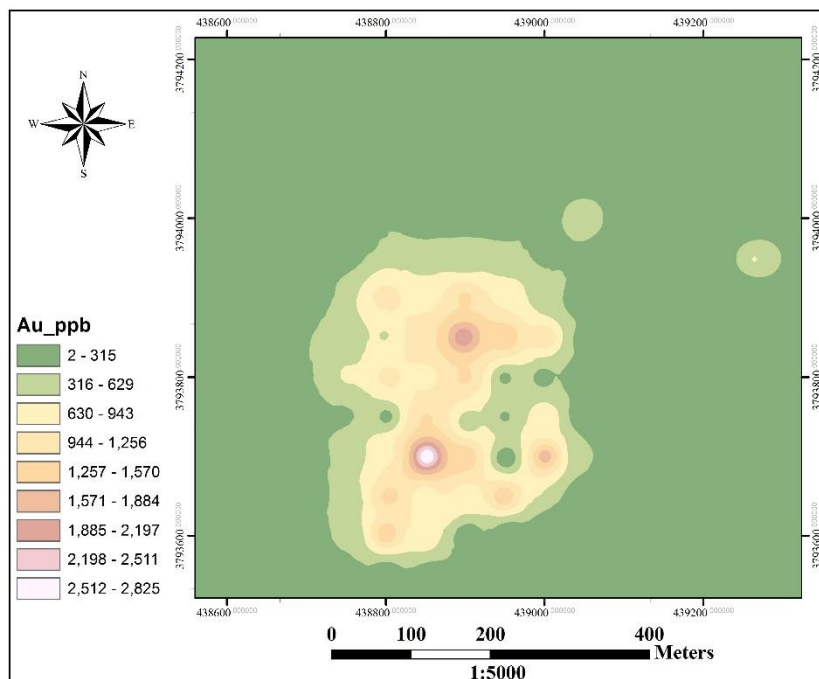
پیش از این اشاره شد که روش تکینگی برای جدایش نواحی ناهنجار از زمینه کاربرد دارد. با محاسبه شاخص تکینگی بوسیله رابطه توانی ۳-۷، جدایش ناهنجاری از زمینه انجام می‌شود. برای بررسی تکینگی در منطقه مورد نظر، از ۱۴۹ نمونه سطحی که تحت یک شبکه مربعی ۵۰×۵۰ متر بصورت پراکنده از خاک برداشت گردیده، استفاده شده است. چون کانی‌سازی مربوط به مس و طلا می‌باشد، شاخص تکینگی برای این دو عنصر محاسبه شده است.

۵-۲ نقشه برداری تکینگی در منطقه مورد مطالعه

همان‌طور که در بخش ۳-۳-۴ بیان شد، هدف از نقشه‌برداری تکینگی با استفاده از روش مبتنی بر پنجره، محاسبه شاخص تکینگی است. می‌توان گفت در این روش، بوسیله پنجره‌های هم‌مرکز در محیط GIS از نقشه‌های توزیع غلظت عناصر، مجدداً نمونه برداری انجام شده است. برای این منظور، ابتدا نقشه‌های توزیع غلظت عناصر مس و طلا ترسیم شده است (شکل‌های ۵-۱ و ۵-۲).



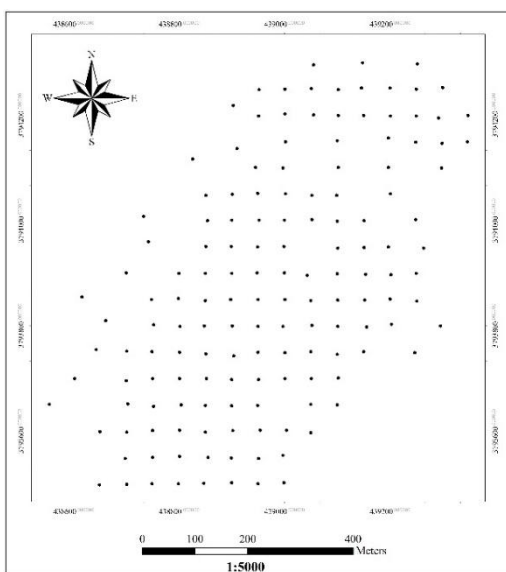
شکل (۵-۱): نقشه توزیع غلظت عنصر مس



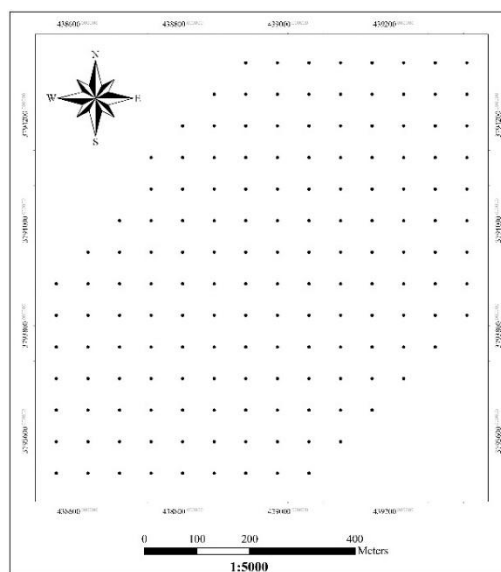
شکل (۵-۲): نقشه توزیع غلظت عنصر طلا

در محدوده مورد نظر شبکه نمونه برداری تکینگی با چگالی دلخواه، در این مطالعه 60×60 متر،

طراحی شده است (شکل های ۳-۵ و ۴-۵).

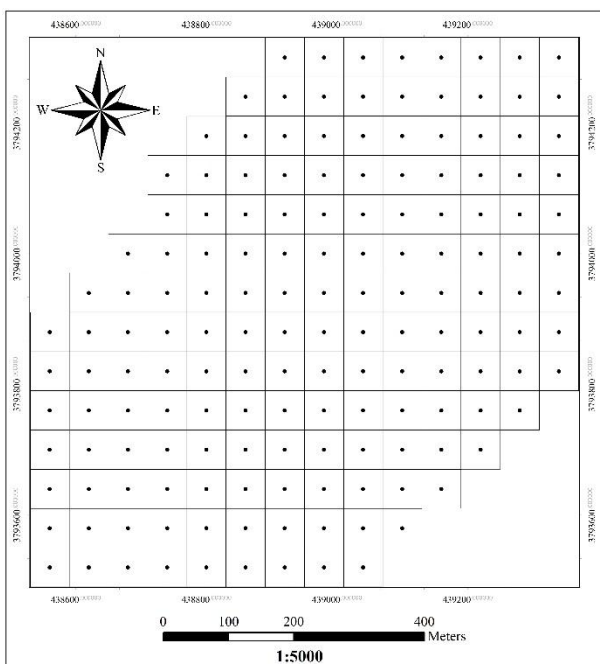


شکل (۵-۳): نقاط نمونه برداری از خاک با ابعاد شبکه 50×50 متر

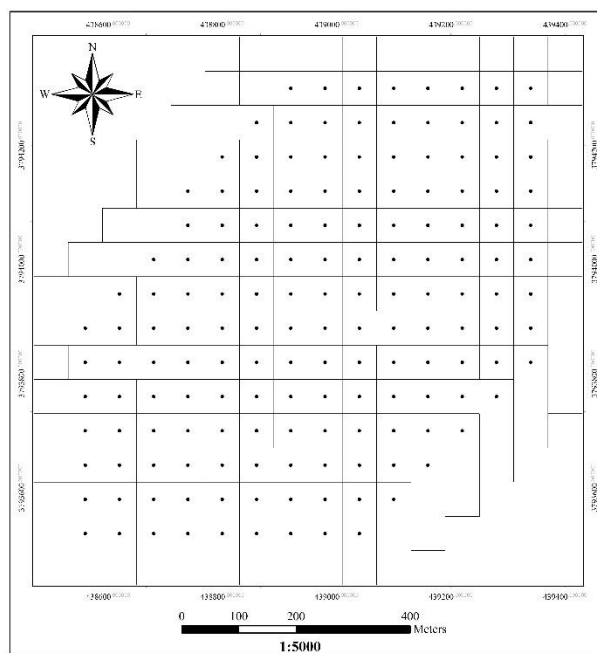


شکل (۵-۴): نقاط نمونه برداری تکینگی با ابعاد شبکه 60×60 متر

در مرحله بعد، محاسبه مقادیر α برای نقاط این شبکه مدنظر می‌باشد. به مرکز هر نقطه محدوده‌هایی (مربع، مستطیل و دایره) با ابعاد مشخص ترسیم می‌شود (شکل ۳-۳)، در این مطالعه از پنج محدوده مربعی شکل با ابعاد، به ترتیب ۶۰×۶۰ متر، ۱۲۰×۱۲۰ متر، ۱۸۰×۱۸۰ متر، ۲۴۰×۲۴۰ متر و ۳۰۰×۳۰۰ متر استفاده شده است (شکل‌های ۵-۵ و ۵-۶).

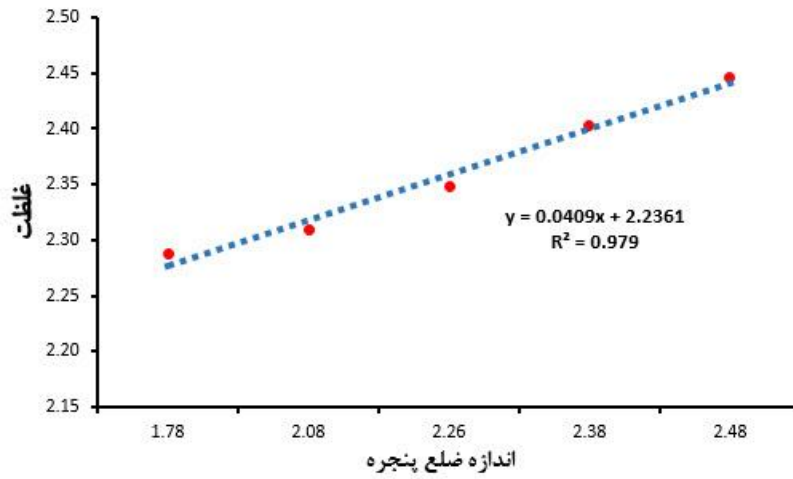


شکل (۵-۵): پنجره‌های مربعی با ابعاد ۶۰×۶۰ متر، روش مبتنی بر پنجره.

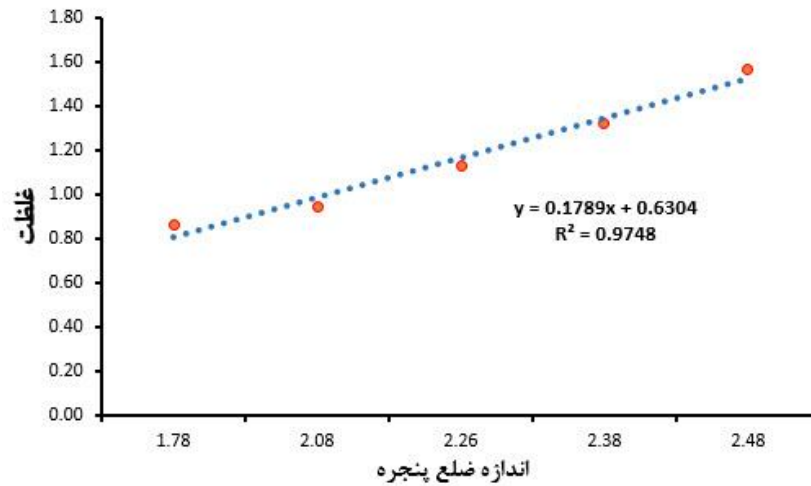


شکل (۵-۶): پنجره‌های مربعی با ابعاد ۱۸۰×۱۸۰ متر، روش مبتنی بر پنجره.

این شبکه‌بندی بر روی نقشه‌های توزیع غلظت عناصر، شکل‌های ۱-۵ و ۲-۵، صورت گرفته است. برای هر مربع مقدار میانگین غلظت عنصر محاسبه، و با استفاده از رابطه (۳-۷)، مقادیر غلظت در یک نمودار لگاریتمی- لگاریتمی ترسیم شده‌اند (شکل‌های ۵-۷ و ۵-۸).



شکل (۷-۵): نمودار غلظت- اندازه پنجره در یک نقطه برای عنصر Cu



شکل (۸-۵): نمودار غلظت- اندازه پنجره در یک نقطه برای عنصر Au

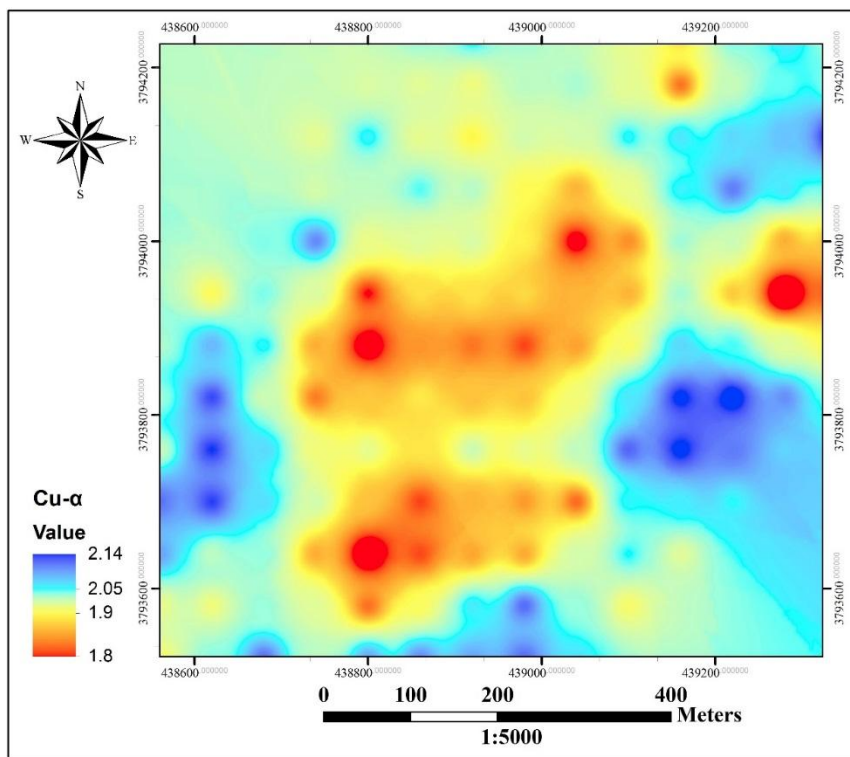
با توجه به رابطه (۱-۵) و شیب خط نمودار در شکل‌های ۷-۵ و ۸-۵، مقادیر α برای تمامی نقاط محاسبه گردیده است (جدول ۱-۵).

$$\text{LogC}(A(r_i)) = \text{Log}k + (\alpha - 2)\text{Log}(r_i) \quad \text{رابطه (۱-۵)}$$

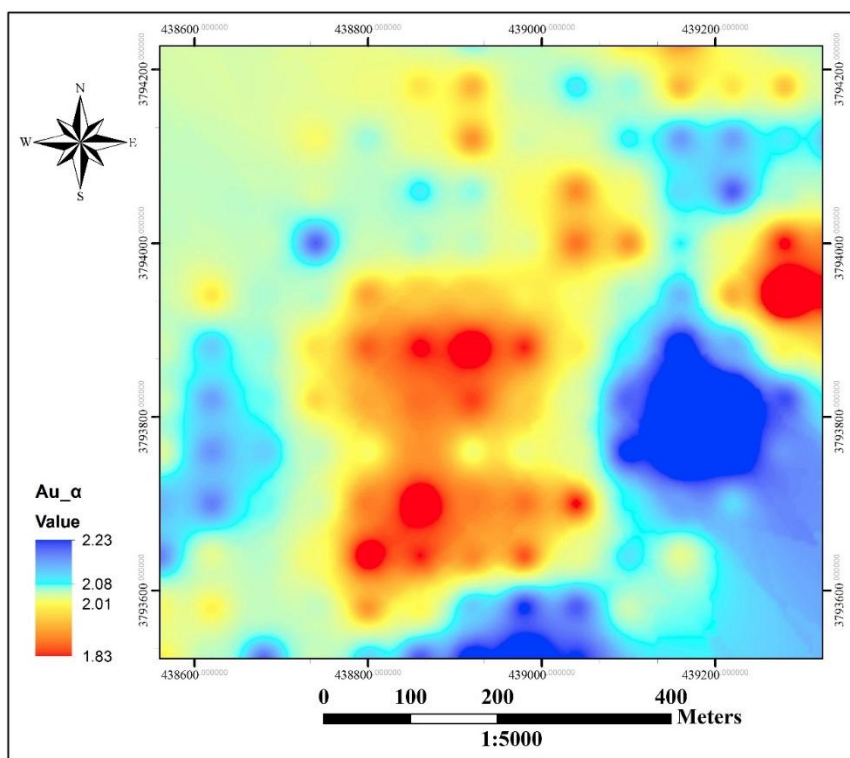
جدول (۵-۱): مقادیر تکینگی (α) هر نقطه در منطقه مورد نظر

Sample	α -Cu	α -Au	Sample	α -Cu	α -Au	Sample	α -Cu	α -Au	Sample	α -Cu	α -Au
1	2.02	2.04	40	2.06	2.06	79	2	2.08	118	2.06	2.08
2	2.06	2.09	41	2.09	2.14	80	1.97	2	119	1.95	1.94
3	2.05	2.01	42	2.06	2.09	81	1.95	1.94	120	1.97	1.96
4	2.03	1.97	43	2.01	2.02	82	1.96	1.91	121	1.98	1.96
5	2.03	1.99	44	1.97	1.97	83	1.97	1.94	122	1.95	1.91
6	2.03	2.02	45	2	2.01	84	1.92	1.95	123	1.98	1.96
7	2.02	2.04	46	2.04	2.07	85	1.97	2	124	1.03	2.04
8	2.03	2.03	47	2.05	2.09	86	2.06	2.07	125	1.06	2.07
9	2.03	2.07	48	2.03	2.05	87	2.08	2.10	126	2.11	2.13
10	2.07	2.06	49	2.02	2.04	88	2.04	2.04	127	2.10	2.11
11	2.05	2.02	50	1.97	1.96	89	2.05	2.08	128	2.02	2.03
12	1.98	1.96	51	1.97	1.94	90	2.09	2.14	129	2.05	2.03
13	2.01	1.99	52	2.03	2.02	91	2.12	2.23	130	2.03	2.03
14	2.03	2.03	53	2.04	2.08	92	2.11	2.22	131	1.97	1.95
15	2.04	2.06	54	1.96	1.97	93	2.06	2.14	132	1.97	1.97
16	2.07	2.09	55	1.93	1.96	94	2.01	2.04	133	1.95	1.94
17	2.04	2.05	56	1.99	2.03	95	1.98	1.99	134	1.91	1.92
18	2.04	2.04	57	2.02	2.05	96	1.98	1.95	135	1.97	2.02
19	2.05	1.99	58	2.02	2.06	97	1.99	1.96	136	2.04	2.06
20	2.03	2	59	2.01	2.05	98	1.98	1.98	137	2.03	2.03
21	1.96	1.98	60	2.09	2.14	99	1.96	2	138	2.08	2.13
22	2.02	2.07	61	2.05	2.05	100	2.03	2.07	139	2	2.05
23	2.04	2.09	62	1.94	1.92	101	2.11	2.12	140	2.04	2.14
24	2.03	2.05	63	1.89	1.83	102	2.04	2.05	141	2.10	2.15
25	2.01	1.98	64	1.98	1.98	103	2.07	2.12	142	2.06	2.10
26	2.02	2	65	2.04	2.11	104	2.09	2.18	143	2	2.01
27	2.02	2.02	66	1.97	2.06	105	2.12	2.23	144	1.96	1.97
28	2.14	2.12	67	1.97	2.02	106	2.10	2.16	145	2.02	2.05
29	2.07	2.09	68	1.99	2.01	107	2.03	2.03	146	2.04	2.05
30	2.07	2.12	69	1.99	1.99	108	2.01	2.03	147	2.01	2.01
31	2.06	2.12	70	1.99	1.99	109	2.03	2.02	148	2.01	2.02
32	2.06	2.08	71	1.94	1.98	110	1.99	1.97	149	2.06	2.15
33	2.02	2.04	72	2.02	2.06	111	1.02	2.02	150	2.10	2.22
34	2.03	2.04	73	2.05	2.06	112	2.01	2.05	151	2.08	2.17
35	2	1.97	74	2	2	113	2.06	2.10	152	2.09	2.14
36	2.01	2.02	75	2	1.99	114	2.11	2.12	153	2.08	2.10
37	2.06	2.06	76	2.02	2.01	115	2.03	2.04	154	2.03	2.05
38	2.02	2.02	77	2.05	2.11	116	2.05	2.09	155	2.10	2.14
39	2.05	2.06	78	2.07	2.17	117	2.06	2.12	156	2.04	2.05

در نهایت با محاسبه مقادیر تکینگی (α) برای دو عنصر مس و طلا نقشه توزیع α برای این دو عنصر ترسیم شده است (شکل‌های ۵-۹ و ۵-۱۰).



شکل (۵-۹): نقشه توزیع تکنیکی مس در منطقه مورد نظر



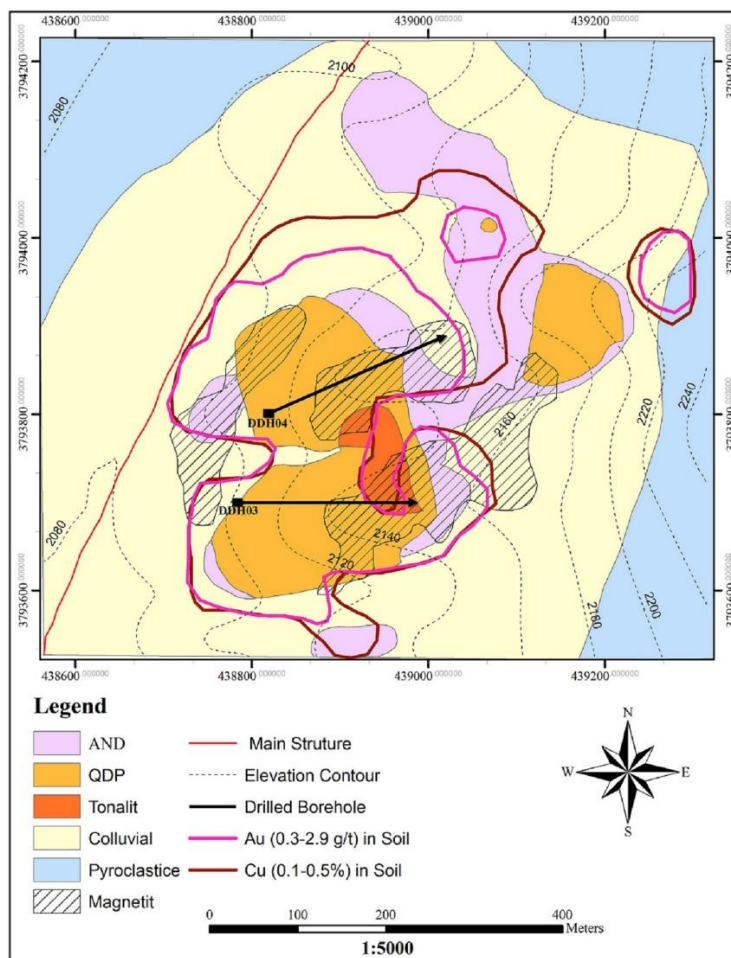
شکل (۵-۱۰): نقشه توزیع تکنیکی طلا در منطقه مورد نظر

۵-۳ تفسیر و نتیجه‌گیری

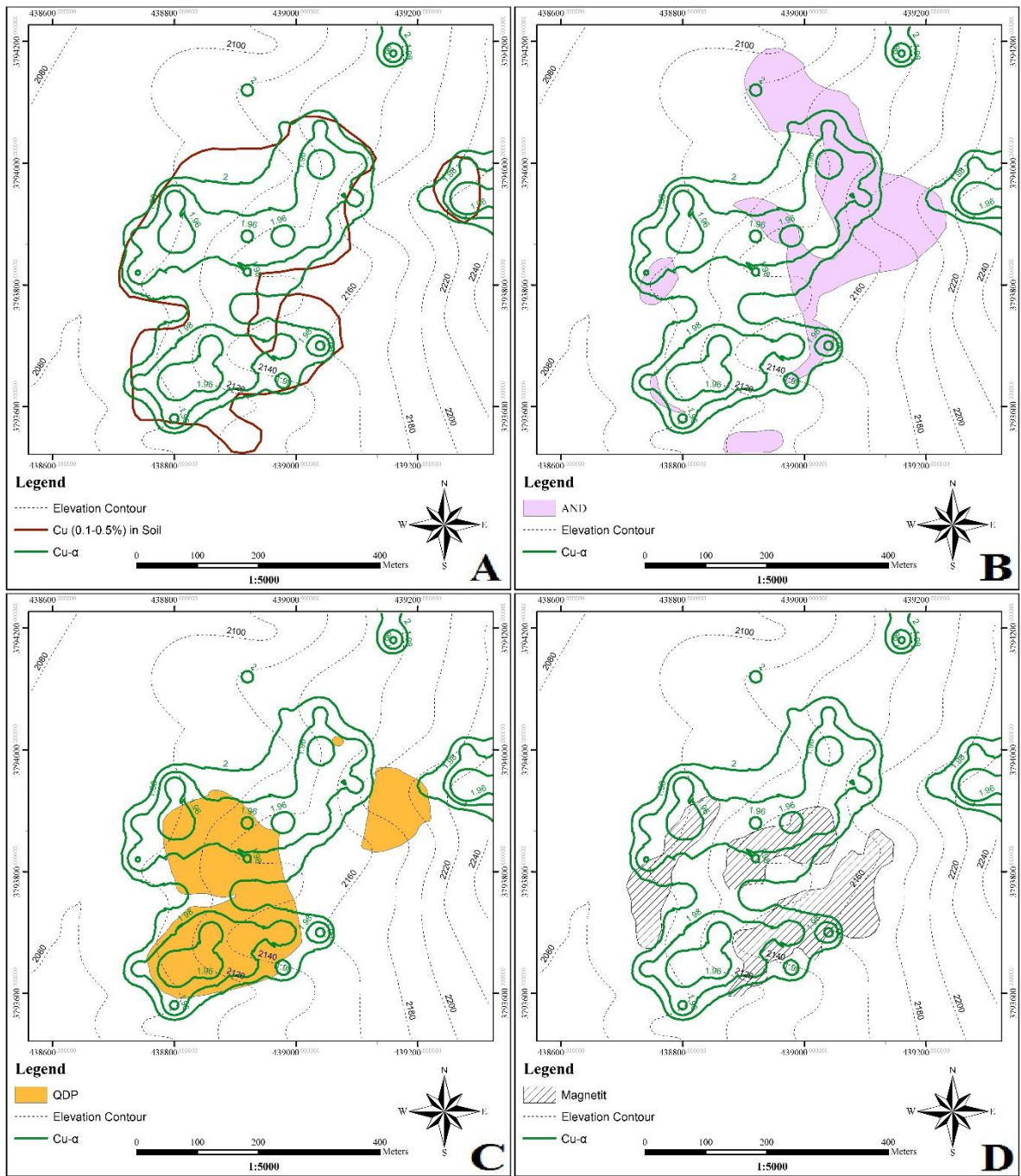
همان‌طور که در فصل سوم بیان شد، در شرایطی که شاخص تکینگی مثبت باشد (شاخص تکینگی بیشتر از ۲) متوسط غلظت محاسبه شده، با کاهش اندازه مساحت A ، کاهش می‌یابد که نواحی با مقادیر زمينه را نشان می‌دهد. در شاخص تکینگی منفی (شاخص تکینگی کمتر از ۲) متوسط غلظت محاسبه شده، با کاهش اندازه مساحت A ، افزایش می‌یابد که نشان دهنده مناطق ناهنجاری می‌باشد. در نقشه‌های توزیع مقادیر تکینگی برای عناصر مس و طلا (شکل‌های ۵-۹ و ۵-۱۰)، نواحی با مقادیر شاخص تکینگی کمتر از ۲ می‌تواند بیانگر ناهنجاری در منطقه مورد نظر باشد. با توجه به نقشه زمین‌شناسی رقومی شده منطقه مورد نظر (شکل ۵-۱۱) (نقشه زمین‌شناسی در پیوست ۵)، مقدار متوسط غلظت Cu و Au در خاک به ترتیب $0.1-0.5\%$ و $0.3-2.9\text{ g/t}$ می‌باشد. در نقشه‌های ۵-۱۴ و ۵-۱۵ هم‌پوشانی مناسبی بین مقادیر تکینگی ($2 > \alpha$) و محدوده‌های غلظت Cu و Au در خاک، مشاهده شده است. همچنین در نواحی شمالی منطقه، روش تکینگی ناهنجاری‌هایی را نشان داده است که در مطالعات گذشته این نواحی ثبت نشده‌اند. احتمالاً این مناطق می‌تواند بیانگر ناهنجاری در محدوده مورد نظر باشند، و یا اینکه به دلیل حساسیت بالای روش تکینگی در جدایش جوامع، احتمالاً جوامع مربوط به زمينه را تفکیک نموده است، در نتیجه این نواحی می‌تواند مورد مطالعه دقیق‌تر قرار گیرد.

در نقشه‌های ۵-۱۴ و ۵-۱۵ C,B هم‌پوشانی مناسبی بین مقادیر تکینگی ($2 > \alpha$) و سنگ‌های آندزیت و کوارتز دیوریت پورفیری مشاهده می‌شود. این موضوع در گزارش‌های گذشته از منطقه و همچنین در فصل چهارم بیان شده است. در ذخایر مس-طلا پورفیری وجود مگنتیت بصورت پراکنده در زون پتاسیک در مواردی که در عمق باشد، ناهنجاری‌های بالای مغناطیسی تولید می‌کند [۱۰]. در نقشه‌های ۵-۱۴ و ۵-۱۵ D بین مقادیر پایین تکینگی و آنومالی‌های مغناطیسی منطقه هم‌پوشانی خوبی نشان

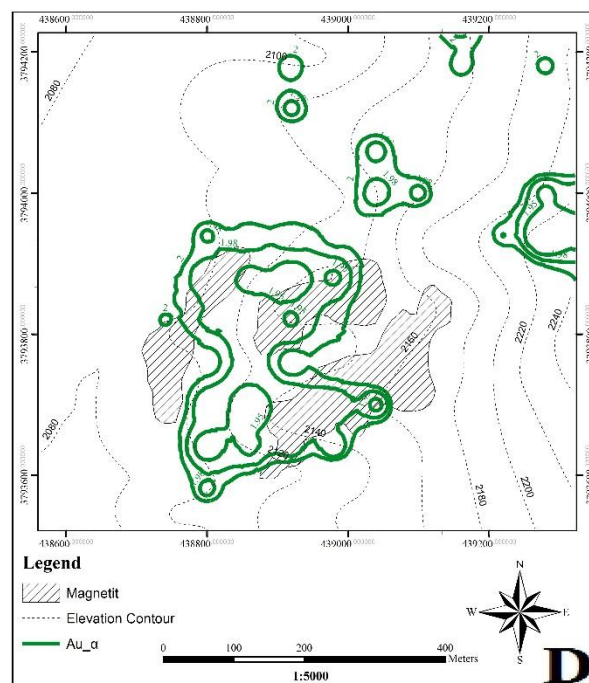
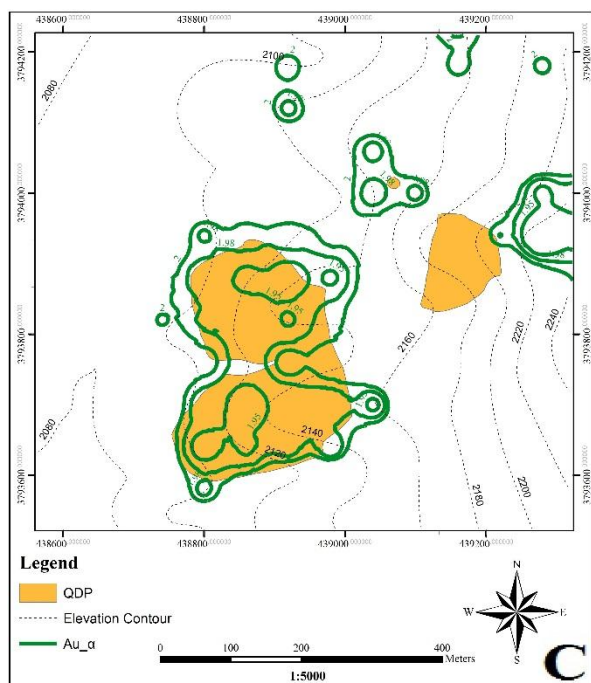
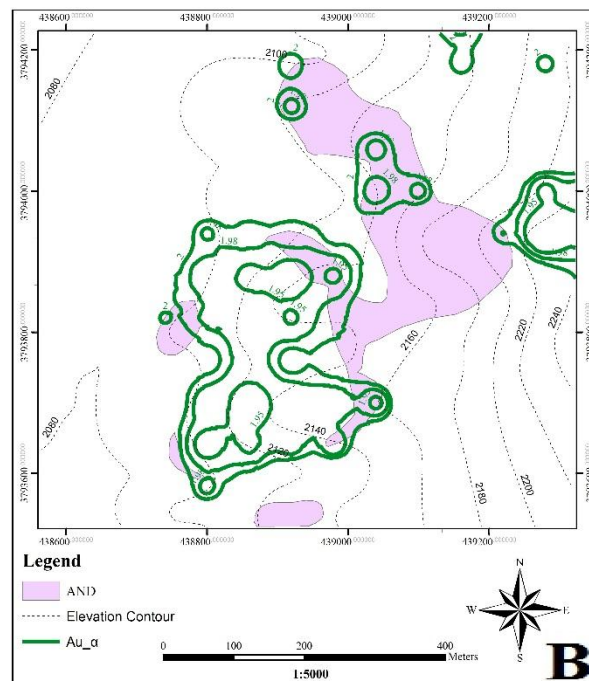
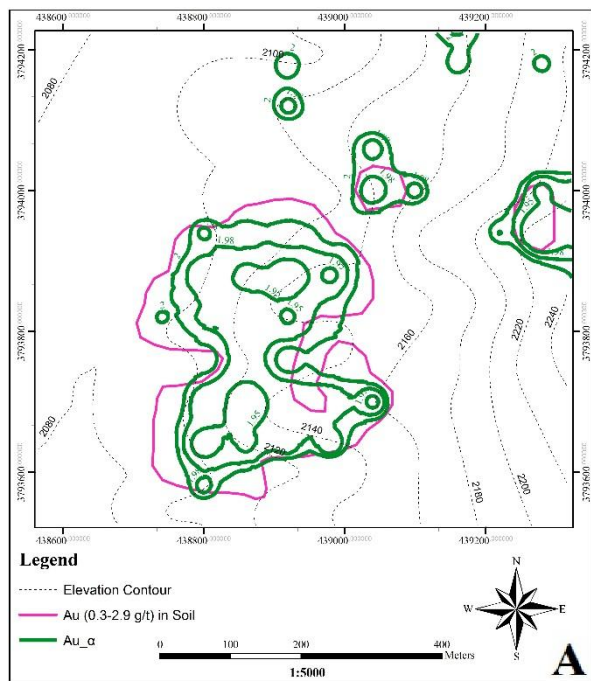
داده شده است. در نهایت می توان بیان نمود نتایج حاصل از روش تکینگی با نتایج مطالعات گذشته و شرایط زمین شناسی منطقه کانی سازی انطباق مناسبی دارد.



شکل (۵-۱۱): نقشه زمین شناسی رقومی شده منطقه مورد نظر بر اساس اطلاعات حاصل از نقشه زمین شناسی [۱۹].



شکل (۵-۱۲): نقشه توزیع تکنیکی (شاخص تکنیکی کمتر از ۲) برای عنصر مس. A: همپوشانی تکنیکی و محدوده مس (0.1-0.5%)، B: همپوشانی تکنیکی و سنگ آندزیت، C: همپوشانی تکنیکی و سنگ کوارتز دیوریت پورفیری، D: همپوشانی تکنیکی و محدوده آنومالی مغناطیسی



شکل (۵-۱۳): نقشه توزیع تکینگی (شاخص تکینگی کمتر از ۲) برای عنصر طلا. A: همپوشانی تکینگی و محدوده طلا (0.3-2.9g/t), B: همپوشانی تکینگی و سنگ آندزیت, C: همپوشانی تکینگی و سنگ کوارتز دیوریت پورفیری, D: همپوشانی تکینگی و محدوده آنومالی مغناطیسی

فصل ششم

نتیجه‌گیری و پیشنهادات

۶-۱ نتیجه‌گیری

شناسایی ناهنجاری‌های ژئوشیمیایی در مناطق مختلف امر پیچیده‌ای است، زیرا ممکن است آثار ناهنجاری‌های ژئوشیمیایی اولیه که ناشی از کانی‌سازی هستند، توسط فرآیندهای زمین‌شناسی دچار تغییراتی گشته و پنهان شده باشد و یا با ناهنجاری‌های کاذب ناشی از عوامل طبیعی هم‌پوشانی داشته باشد. در نتیجه با توجه به محدودیت‌های زمانی و هزینه‌ای در فعالیتهای اکتشافی باید از روش‌های مختلف، جهت درک صحیحی از اطلاعات موجود، استفاده شود.

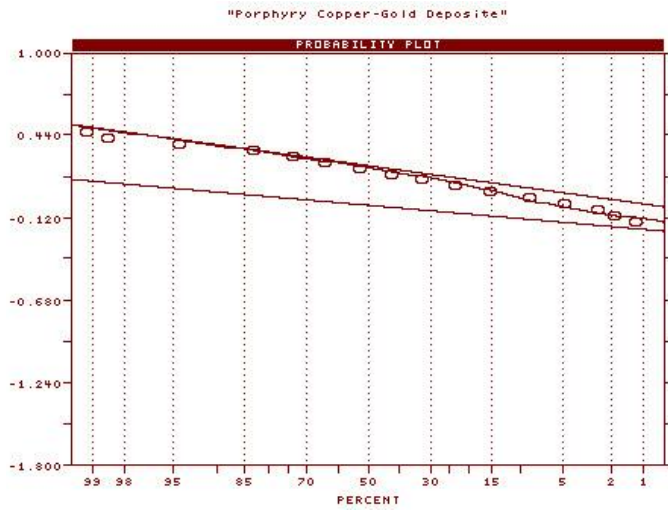
- با توجه به داده‌های موجود در عملیات اکتشافی می‌توان آن‌ها را تفکیک نمود و با استفاده از روش ضریب تجمع به تحلیل و بررسی آن‌ها پرداخت.
- شاخص ضریب تجمع به عنوان یک پارامتر، مهاجرت ژئوشیمیایی عناصر، غنی‌شدگی و تهی‌شدگی و ارتباط آن‌ها را با فرآیندهای زمین‌شناسی، کانی‌سازی و دگرسانی‌ها در یک منطقه توجیه می‌نماید.
- با توجه به روش ضریب تجمع بررسی می‌شود که اطلاعات برداشت شده را با چه نوع داده‌ای می‌توان بهینه نمود (در این مطالعه داده‌های مربوط به غلظت طبیعی عناصر در سنگ برای بهینه‌سازی شناخته شد).
- روش ضریب تجمع زمینه بالای عناصر را با توجه به جنس سنگ توجیه می‌نماد.
- با توجه به نتایج حاصل از روش ضریب تجمع و مدل‌های مربوطه، در مورد احتمال فوق و یا تحت کانساری بودن عناصر می‌توان تحلیل‌های لازم را انجام داد.
- در روش تکینگی که در قالب مدل‌های فرکتال و مولتی‌فرکتال بیان شده است با ارائه نقشه‌های تکینگی، موقعیت فضایی هر نمونه در نظر گرفته می‌شود در نتیجه با دقت بیشتری توانایی تفکیک جوامع ناهنجر از مقادیر زمینه و تشخیص ناهنجاری‌های کاذب و پنهان را دارد.

۶-۲ پیشنهادات

از آنجایی که روش تکینگی می‌تواند در تحلیل اطلاعات اکتشافی ژئوفیزیکی و ژئوشیمیایی کاربرد داشته باشد، برای جدایش ناهنجاری از زمینه پیشنهاد می‌شود در اکتشافات و مطالعات ناحیه‌ای مورد استفاده قرار گیرد زیرا به دلیل حساسیت بالای این روش در تفکیک جوامع، در مطالعات محلی اگر اندازه پنجره‌ها کم در نظر گرفته شود، احتمال آنکه پنجره‌های مورد نظر فقط در محدوده ناهنجاری قرار گیرند زیاد است، به همین دلیل نتایج حاصل از نقشه برداری تکینگی معرف تغییرات غلظت خواهد بود.

همچنین پیشنهاد می‌شود به دلیل سادگی روش ضریب تجمع و دقت بالای روش تکینگی از این روش‌ها همراه با روش‌های موجود، در تحلیل و ارزیابی مناطق هدف، جهت درک دقیق‌تری از وضعیت کانسار استفاده شود.

پیوست



LOGARITHMIC VALUES
=====

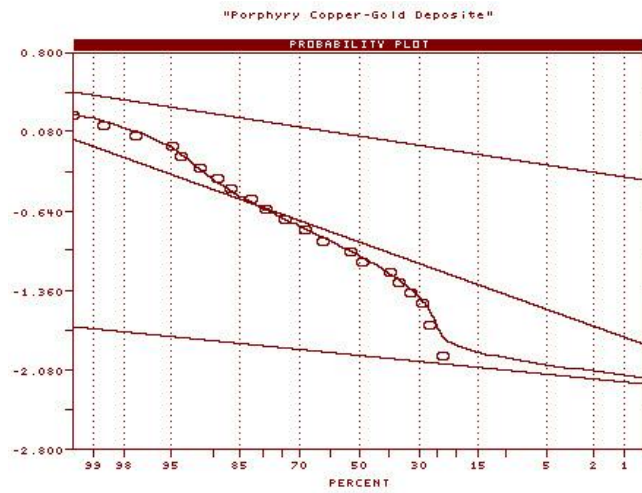
VARIABLE = K
UNIT = (%)
N = 718
N CI = 29

POPULATIONS
=====

Pop.	Mean	Std.Dev.	%
1	-0.0420	0.0705	10.0
2	0.2312	0.1116	90.0

USERS USUAL
PARAMETER ESTIMATES

پیوست ۱: نمودار احتمال عنصر K



LOGARITHMIC VALUES
=====

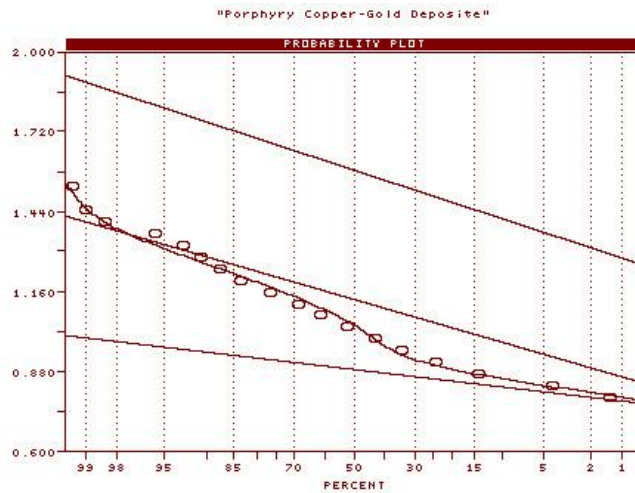
VARIABLE = S
UNIT = (%)
N = 718
N CI = 29

POPULATIONS
=====

Pop.	Mean	Std.Dev.	%
1	-1.9502	0.1023	23.0
2	-0.9291	0.3719	71.0
3	0.0360	0.1588	6.0

USERS USUAL
PARAMETER ESTIMATES

پیوست ۲: نمودار احتمال عنصر S



LOGARITHMIC VALUES
=====

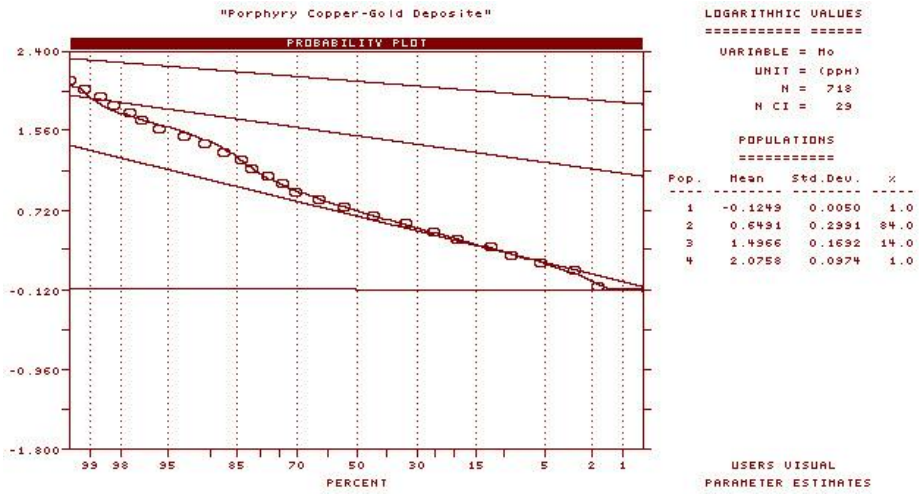
VARIABLE = Ni
UNIT = (ppm)
N = 718
N CI = 29

POPULATIONS
=====

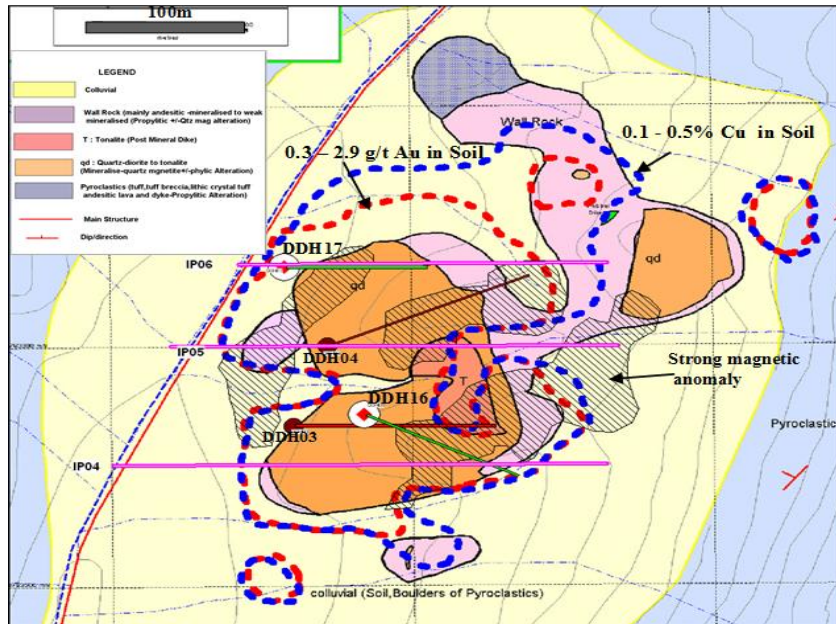
Pop.	Mean	Std.Dev.	%
1	0.8816	0.0483	35.0
2	1.1292	0.1180	64.0
3	1.5827	0.1331	1.0

USERS USUAL
PARAMETER ESTIMATES

پیوست ۳: نمودار احتمال عنصر Ni



پیوست ۴: نمودار احتمال عنصر Mo



پیوست ۵: نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد نظر [۱۹].

منابع و مأخذ

منابع و مأخذ

[1]. Ghavami-riabi R.. (2007), *phd. Thesis*, "Geochemical Exploration of base metal massive sulphide deposits in the eastern part of Namaqua Province and environmental South Africa", Pretoria University.

[2]. Xiao, F., Chen, J., Agterberg, F., Wang, Ch., 2014. Element behavior analysis and its implications for geochemical anomaly identification: A case study for porphyry Cu–Mo deposits in Eastern Tianshan, China. *Journal of Geochemical Exploration*. 145, 1–11.

[3]. Gong, Q.J., Deng, J., Wang, C.M., Wang, Z.L., Zhou, L.Z., 2013. Element behaviors due to rock weathering and its mplication to geochemical anomaly recognition: a case study on Linglong biotite granite in Jiaodong peninsula, China. *J. Geochem. Explor.* 128, 14–24.

[4]. Davis, J.C., 2002, *Statistics and data analysis in Geology (3th ed.)*, John Wiley & Sons Inc., New York, p.p. 342-353.

[۵]. ضیاء ظریفی، ا.، صباغان، م.، درویش زاده، ع.، (۱۳۸۶) "کاربرد تحلیل هندسه فرکتال در جداسازی ناهنجاری های عنصر اورانیوم با استفاده از داده های ژئوفیزیک هوایی در اکتشاف ناحیه ای اورانیوم منطقه اونلیق (آذربایجان شرقی)" نشریه تحقیق در عملیات در کاربردهای آن (ریاضیات کاربردی)، دوره ۴، شماره ۱۲، ص ۵۷-۷۱.

[6]. Ghavami-riabi R. and Theart H.F.J. (2011) "Investigation of blind massive sulphide deposit signatures in the calcrete layers as a geochemical barrier: A case study of Areachap, Kantienpan and Copperton deposits" *Journal of Mining & Enviroment.*, Vol.2, No.2, 2011, 86-101.

[7]. Goncalves, Mario A., Mateus, A., Oliveira, V.; 2001; "Geochemical anomaly separation by multifractal modeling"; *Journal of Geochemical Exploration*, Vol. 72, pp. 91-114.

[۸]. پنجمی م، (۱۳۹۲)، پایان نامه ارشد: "تعیین مدل اکتشافی اندیس مس زنوز و کاربرد آن در شناسایی نقاط امید بخش مشابه در ورقه 1:100000 جلغا در محیط GIS"، دانشکده مهندسی معدن، دانشگاه صنعتی اصفهان.

[۹]. قربانی م، (۱۳۸۶)، "زمین شناسی اقتصادی ذخایر معدنی و طبیعی ایران"، چاپ اول، تهران، آرمین زمین.

[۱۰]. کریم پور م، سعادت س، (۱۳۸۸) "زمین شناسی اقتصادی کاربردی"، چاپ چهارم، انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد، ص ۱۸۰-۱۹۳.

[۱۱]. قوامی ریابی ر، دارابی گلستانی ف، (۱۳۹۳) "تحلیل و مدل سازی اکتشافی داده های ژئوشیمیایی ذخایر معدنی (با نگاهی ویژه به تیپ های مختلف ذخایر مس و طلا)" چاپ اول، انتشارات دانشگاه شاهرود، شاهرود، ص ۲۱.

[12]. Wilson A., Cooke D., Thompson J., (2002) "Alkalic and high-K calc-alkalic porphyry Au- Cu deposits: A summary" CODES Special, Publication 4, p51-55.

[۱۳]. شهاب پور ج، (۱۳۸۰)، "زمین شناسی اقتصادی"، انتشارات دانشگاه شهید باهنر کرمان.

[14]. David, A. J., Robert, A. A., et al, 2010, Porphyry copper deposit model, Scientific Investigations Report 5070-B.

[۱۵]. حسنی پاک ع. ا، (۱۳۸۷)، "اصول اکتشافات ژئوشیمیایی"، چاپ ششم، موسسه انتشارات دانشگاه تهران.

[16]. Yousefi M, Kamkar-Rouhani A, Carranza J., 2012, Geochemical mineralization probability index (GMPI): A new approach to generate enhanced stream sediment geochemical evidential map for increasing probability of success in mineral potential mapping. Journal of geochemical exploration. increasing probability of success in mineral potential mapping. Journal of geochemical exploration. Vol. 115, p. 24-35.

[17]. Darabi, G.F., Ghavami, R.R. and Asadi, H.H., 2013a. Alteration, zoning model, and mineralogical structure considering litho-geochemical investigation in Northern Dalli Cu-Au porphyry. Geosciences, 6(12): 4821-4831.

[18]. Zarasvandi, A., Liaghat, S. and Zentilli, M., 2005. Porphyry Copper Deposits of the Urumieh- Dokhtar Magmatic Arc, Iran, Super Porphyry Copper and Gold deposits. A global perspective PGC publishing Adelaide, 2(4): 441-452.

- [19]. Asadi Haroni H, (2008) *First Stage Drilling Report on Dalli Porphyry Cu-Au Prospect, Central Province of Iran , Technical Report, Isfahan, Report 1, 24 pp.*
- [20]. Darabi, G.F., Ghavami, R.R., Khalo, K.R., Asadi, H.H. and Seyedrahimi, N.M., 2013b. *Interpretation of lithogeochemical and geophysical data to identify the buried mineralized area in Cu-Au porphyry of Dalli- Northern Hill. Arabian Journal of Geosciences, 6(11): 4499-4509.*
- [21]. Saremi, F., 2014. *Hydrothermal alteration mapping using combination of the ASTER data and spectroscopic minerals in the Dalli porphyry Cu-Au deposit, Delijan, Markazi province. M.Sc. Thesis, Shahid Chamran University, Ahvaz, Iran, 142 pp.*
- [22]. Ayati, F., Yavuz, F., Asadi, H.H., Jeremy, P. and Jourdan, R., 2013. *Petrology and geochemistry of calc-alkaline volcanic and subvolcanic rocks, Dalli porphyry copper-gold deposit, Markazi Province, Iran. International Geology Review, 55(2): 158-184.*
- [۲۳] زراسوندی، ع.، اسدی، ف.، پورکاسب، ه.، احمدنژاد، ف.، زمانیان، ح.، (۱۳۹۴) " تکامل سیال گرمایی در کانسار مس -طلای پورفیری دالی با استفاده از مطالعات ریزدماسنجی میان بارهای سیال " مجله زمین‌شناسی اقتصادی، جلد ۷، شماره ۲، ص ۲۷۷-۳۰۶.
- [24]. Shahabpour, J., 2007. *Island-arc affinity of the Central Iranian volcanic belt. Journal of Asian Earth Sciences, 30, 652-665.*
- [25]. Rusk, B.G., Reed, M.H., 2008. *Fluid Inclusion Evidence for Magmatic-Hydrothermal Fluid Evolution in the Porphyry Copper- Molybdenum Deposit at Butte, Montana. Economic Geology, 103(2): 307-334.*
- [26]. Stocklin, J. and Setudinia, A., 1972. *Location map of the Dalli deposit, scale 1:100,000. Geological Survey of Iran.*
- [27]. Emami, M.H., 1991. *Explanatory text of the Qom, Geological Quadrangle Map, scale 1:250,000. Geological Survey of Iran.*
- [28]. Saremi, F., 2014. *Hydrothermal alteration mapping using combination of the ASTER data and spectroscopic minerals in the Dalli porphyry Cu-Au deposit, Delijan, Markazi province. M.Sc. Thesis, Shahid Chamran University, Ahvaz, Iran, 142 pp.*

[29]. Daneshjou, M., 2014. *Investigation of Geology, Geochemistry and genetic model of the Dalli Cu-Au porphyry deposit, Delijan, Markazi province. M.Sc. Thesis, Shahid Chamran University, Ahvaz, Iran, 141 pp.*

[30]. Cohen, D.R., Kelley, D.L., Anand, R., Coker, W.B., 2010. *Major advances in exploration geochemistry, 1998–2007. Geochem. Explor. Environ. Anal. 10, 3–16.*

[31]. Wang, X.Q., 2005. *Conceptual model of deep-penetrating geochemical migration. Geol. Bull. China 24, 892–896.*

[32]. Gong, Q.J., Deng, J., Yang, L.Q., Zhang, J., Wang, Q.F., Zhang, G.X., 2010. *Behavior of major and trace elements during weathering of sericite–quartz schist. J. Asian Earth Sci. 42, 1–13.*

[33]. Cheng, Q.M., 2007. *Mapping singularities with stream sediment geochemical data for prediction of undiscovered mineral deposits in Gejiu, Yunnan Province, China. Ore Geol. Rev. 32, 314–324.*

[34]. Shaw, D.M., 1964. *Interprétation géochimique des éléments en traces dans les roches cristallines. Masson et de, Paris (237 p.).*

[۳۵]. حسنی پاک ع. ا، شرف الدین م، (۱۳۸۰)، "تحلیل داده های اکتشافی"، چاپ سوم، موسسه انتشارات دانشگاه تهران، ص ۳۲، ۳۸۸–۳۹۰، ۴۰۵–۴۲۰، ۴۴۱–۴۶۰.

[36]. Moon, C. J., Whateley, M. K. G. and Evans, A. M., 2006, *Introduction to Mineral Exploration, Blackwell, Oxford, 481pp.*

[37]. Chen, Z., Cheng, Q., Chen, J., Xie, S., 2007. *A novel iterative approach for mapping local singularities from geochemical data. Nonlinear Processes in Geophysics 14, 317-324.*

[38]. Shuguang, Zhou, Kefa, Zhou, Yao, Cui, Jinlin, Wang, Jianli, Ding, 2014. *Exploratory Data Analysis and Singularity Mapping in Geochemical Anomaly Identification in Karamay, Xinjiang, China. Journal of Geochemical Exploration 154, 171-179.*

[39]. Sun, X., Gong, Q., Wang, Q., Yang, L., Wang, C., Wang, Z., 2010. *Application of local singularity model to delineate geochemical anomalies in Xiong'ershan gold and molybdenum ore district, Western Henan province, China. Journal of Geochemical Exploration 107, 21-29.*

- [40]. Cheng, Q., Agterberg, F.P., 2009. Singularity analysis of ore-mineral and toxic trace elements in stream sediments. *Computers and Geosciences* 35, 234-244.
- [41]. Rafiee, A, 2005, *Separating geochemical anomalies in stream sediment media by applying combination of fractal concentration-area model and multivariate analysis (Case study: Jebal-e-Barez 1:100,000 Sheet, Iran)*, 20th World Mining Congress Proceeding, National Geosciences Database of Iran, p.p. 461 -470.
- [442]. Cheng, Q. and Agterberg, F.P., 1996. Multifractal modeling and spatial statistics. *Math. Geol.* 28 (1), pp. 1-16.
- [43]. Agterberg, F.P.; Cheng, Q.; Brown, A. and Good, D., 1996. Multifractal modeling of fractures in the Lac du Bonnet batholith, Manitoba, *Comput. Geosci.* 22 (5), pp. 497-507.
- [44]. Turcotte, D.L., 1997. *Fractals and Chaos in Geology and Geophysics*. Cambridge University Press, Cambridge.
- [45]. Mandelbrot, B.B., 1983, *The Fractal Geometry of Nature (Update and augmented edition)*, Freeman, New York, 468 pp.
- [46]. Mandelbrot, B.B., 1974. Intermittent turbulence in self-similar cascades: divergence of high moments and dimension of the carrier. *Journal of Fluid Mechanics* 62, 331–358.
- [47]. Cheng, Q., 1999b. Multifractality and spatial statistics. *Computers & Geosciences* 25, 949–961.
- [48]. Cheng, Q., 1999a. Multifractal interpolation. In: Lippard, S.J., Naess, A., Sinding-Larsen, R. (Eds.), *Proceedings of the Firth Annual Conference of the International Association for Mathematical Geology, Trondheim, Norway, vol. 1*, pp. 245–250. Printed by TAPIR.
- [49]. Cheng, Q., 2006. GIS-based multifractal anomaly analysis for prediction of mineralization and mineral deposits. In: Harris, J. (Ed.), *GIS applications in Earth Sciences, Geological Association of Canada Special Paper*, pp. 289–300.
- [50]. Sanford, F., Pierson, T. and Crovelli, R.A. (1993), *An Objective Replacment Method for Censored Geochemical Data*, *Mathematical Geology*, 27(1) : 59 – 79.

[۵۱]. حسنی پاک ع.ا، (۱۳۷۷)، "زمین آمار"، مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

- [52]. Sinclair, A.J. (1981), *Application of Probability Graphs in Mineral Exploration*, The Association of Exploratin Geochemists, P. 95.

[53]. Flanagan, F.J. (Editor), 1976. *Descriptions and analyses of eight new U.S.G.S. rock standards. U.S. Geol. Surv. Prof. Paper, 840: 192 pp.*

[۵۴]. بئوس الف. الف، گریگوریان س. و، (۱۳۷۵)، "روش‌های اکتشافات ژئوشیمیایی ذخایر معدنی"،

سازمان زمین‌شناسی کشور، ص ۲۷-۲۸.

[۵۵]. قربانی م، (۱۳۸۱)، "دیبچه‌ای بر زمین‌شناسی اقتصادی ایران"، سازمان زمین‌شناسی کشور.

[56]. Hui L., Zhinong w & Fuguo l., (1994). *Ideal models of superimposed primary halos in hydrothermal gold deposita, journal of Geochemical Exploration 55, pp. 329-336.*

Abstract

In exploratory projects, identifying geochemical anomalies in different regions may be affected by the complex geological processes and thus different methods must be used to interpret the data. In this study, the accumulation coefficient, as a parameter of enrichment or depletion for elements in the geological units and processes, was introduced. The behavior by processes such as hydrothermal fluid penetration and surface processes have been affected. This case study is performed in the magmatic belt of Orumieh_Dokhtar and on data of copper gold porphyry mineralization zone in an area of $800 \times 900 \text{ m}^2$. In the research area, there are two types of data, firstly soil samples and secondly boreholes data. According to the accumulation coefficient diagrams, the elements mobility could be evaluated in the region. For this purpose, the boreholes data was used. Singularity in the form of fractal models, was calculated to separate the anomaly areas that might be considered as Mineralization effects. For the singularity method, soil samples data were used. According to previous studies in the area, anomalous zones of gold and copper elements are specified and they are appropriately overlapped with the singularity map of the procedure expressed in this research. Also singularity method has shown some anomalous areas in the northern region that weren't identified by previous studies.

Keywords: *Accumulation Coefficient, Enrichment and Depletion, Hydrothermal, Singularity, Fractals, Porphyry Copper, Orumieh _ Dokhtar.*



Shahrood University of Technology
Faculty of mining, Petroleum and Geophysics Engineering

MSc Thesis Mining exploration

***Accumulation coefficient and fractal analysis of components
mineralization to identify geochemical halo***

By:

Shahab Zanganeh

Supervisor:

Dr. Seyyed Reza Ghavami Riabi

Advisor:

Dr. Majid Ansari Jafari

December 2016