

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشگاه صنعتی شاهرود

دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک
پایان نامه کارشناسی ارشد اکتشاف مواد معدنی

اکتشاف کانسار طلا با استفاده از سنجش از دور و ژئوشیمی در منطقه شمال شرق زرشوران

نگارنده: سعید حیدرلکی

اساتید راهنما

دکتر منصور ضیائی

دکتر پیمان افضل

استاد مشاور

مهندس مهدی ضیائی

شهریور ۱۳۹۷

تقدیم بہ مہربان فرشتگانی کہ:

کحطات ناب باور بودن، لذت و غرور دانستن، جسارت خواستن، عظمت رسیدن و

تمام تجربہ ہای یکتا و زیبای زندگی مدیون حضور سبز آنهاست.

تقدیم بہ تمام عزیزانم

مشکر و قدردانی

پاس خدای را که سخوران، دستودن او بماند و شمارندگان، شمرن نعمت های او ندانند و کوشندگان حق او را کزاردن نتوانند.

بدون شک جایگاه و منزلت معلم، اجل از آن است که در مقام قدردانی از زحمات بی شائبه ی او، بازبان قاصر و دست ناتوان، چیزی بنجاریم، اما از آنجایی که تجلیل از معلم، پاس از انسانی است که هدف و غایت آفرینش را تأمین می کند و سلامت امانت باری را که به دستش سپرده اند، تضمین؛ بر حسب وظیفه و از باب "من لم یشکر المنعم من المخلوقین لم یشکر الله عزوجل":

از استادان که تقدیرم؛ جناب آقای دکتر منصور ضیائی و جناب آقای دکتر چیمان افضل که در کمال سع صدر، با حسن خلق و فروتنی، از هیچ کلمی در این عرصه بر من دریغ ننمودند و زحمت راهبانی این پایان نامه را بر عهده گرفتند و جناب مهندس مهدی ضیائی مشاور محترم اینجانب کمال مشکر و قدردانی را دارم.

تهدنامه

اینجانب سعید حیدرلکی دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته ارشد اکتشاف مواد معدنی دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان‌نامه اکتشاف کانسار طلا با استفاده از سنجش از دور و ژئوشیمی در منطقه شمال شرق زرشوران تحت راهنمایی دکتر منصور ضیائی ودکتر پیمان افضل متعهد می‌شوم.

- تحقیقات در این پایان‌نامه 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 پایان‌نامه 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 پایان‌نامه تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان‌نامه رعایت می‌گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان‌نامه ، در مواردی که از موجود زنده (یا بافتهای آنها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است .
- در کلیه مراحل انجام این پایان‌نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری ، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است .

تاریخ

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

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

چکیده

شناسایی و تفکیک آنومالی‌های ژئوشیمیایی از زمینه یک امر بسیار مهم در بررسی‌های اکتشافی ژئوشیمیایی محسوب می‌شود و مستلزم انتخاب آگاهانه روشی مناسب برای جداسازی الگوهای ژئوشیمیایی است. از روش‌های قابل اعتماد در این زمینه، فرکتال عیار-مساحت است. در این پژوهش، از داده‌های رسوب آبراه‌های برداشت شده از محدوده زرشوران استفاده شده است و با بررسی‌های آماری تک متغیره و همچنین روش تحلیل مولفه‌های اصلی (PCA) بر روی عناصر، در نهایت ۸ عنصر مرتبط با کانی‌زایی طلا جهت تولید نقشه ژئوشیمیایی چند عنصری، انتخاب شدند. از روش‌های جدایش آنومالی از زمینه، روش فرکتال عیار-مساحت (C-A) برای تفکیک جوامع ژئوشیمیایی و شناسایی مناطق هدف استفاده شد. استفاده از تصاویر ماهواره‌ای یک گام بسیار مهم در مطالعات اکتشافی ناحیه‌ای کانی‌زایی طلا (اپی ترمال) به شمار می‌رود، زیرا شناسایی آلتراسیون‌های هیدروترمال می‌تواند منجر به شناسایی نواحی امید بخش کانی‌زایی طلا شود. به همین منظور سعی شده است تا با بهره‌گیری از تصاویر سنجنده ماهواره‌های سنجنش از دور قابل دسترس، از جمله سنجنده ETM⁺ و ASTER استفاده شده و با انواع روش‌های پردازش تصویر، آلتراسیون‌های مرتبط با کانی‌زایی طلا شناسایی شوند. در همین راستا از روش‌های ترکیب رنگی کاذب (FCC) و آنالیز طیفی (SA) برای استخراج و تفکیک آلتراسیون اکسید آهن، کانی‌های هیدروکسیل‌دار، واحدهای ساختاری، آلتراسیون‌های هیدروترمال فیلک، آرژیلیک، پروپیلیتیک، سیلیسی استفاده شد. با بررسی آلتراسیون‌های شناسایی شده و نقشه‌های حاصل از آنومالی‌های ژئوشیمیایی، ارتباط مناسبی بین این رخدادها شناسایی شد که در نهایت براساس مطالعات ژئوشیمیایی و مطالعات دورسنجی انجام شده در این محدوده، مناطق پتانسیل مرتبط با کانی‌زایی طلا در محدوده زرشوران معرفی گردید.

واژه‌های کلیدی

داده‌های ژئوشیمیایی رسوب آبراه‌های، فرکتال عیار-مساحت، دورسنجی، نسبت‌های باندی، ترکیب رنگی کاذب، آنالیز طیفی، کانی‌زایی طلا، زرشوران.

فهرست مطالب

ح	فهرست اشکال
ی	فهرست جداول
صفحه	عنوان
۱	فصل اول: مقدمه
۲	۱-۱- کلیات
۴	۲-۱- ضرورت تحقیق
۵	۳-۱- اهداف پژوهش
۵	۴-۱- داده‌ها و نرم‌افزارهای مورد استفاده
۶	۵-۱- ساختار پایان‌نامه
۷	فصل دوم: زمین‌شناسی
۸	۱-۲- مقدمه
۹	۲-۲- موقعیت، راه‌های دسترسی و وضعیت جغرافیایی محدوده مطالعاتی زرشوران
۱۱	۳-۲- چینه‌شناسی زرشوران
۱۴	۱-۳-۲ واحد سنگی ایمان‌خان Sr
۱۵	۲-۳-۲ واحد سنگی جانگوتاران PCzj
۱۷	۳-۳-۲ واحد سنگی سلطانیه Esdsh
۱۸	۴-۳-۲ واحد سنگی زاگون Ezsh
۱۹	۵-۳-۲ واحدهای سنگی لالون و کوارتزیت فوقانی Els (Top Quartzite) و Elq
۲۰	۶-۳-۲ واحد سنگی میلا Eml
۲۰	۷-۳-۲ واحد سنگی کوارتزپورفیری qp
۲۱	۸-۳-۲ واحد سنگی OMqm
۲۲	۹-۳-۲ واحد سنگی OMI
۲۲	۱۰-۳-۲ واحدهای OMva و Mtb
۲۳	۱۱-۳-۲ واحد سنگی Ms
۲۳	۱۲-۳-۲ واحدهای کواترنری Qcal ، Qc ، Qal و Qcal
۲۴	۴-۲- تکتونیک و زمین‌شناسی ساختمانی زرشوران
۲۵	فصل سوم: مطالعات دورسنجی
۲۶	۱-۳- مقدمه
۲۹	۲-۳- پیش‌پردازش تصاویر ماهواره‌ای
۳۰	۳-۳- شناسایی آلتراسیون‌های هیدروترمال
۳۰	۱-۳-۳ روش ترکیب رنگی کاذب
۳۳	۲-۳-۳ روش آنالیز طیفی

۳۷	فصل چهارم: بررسی‌های ژئوشیمیایی
۳۸	۱-۴-مقدمه
۴۰	۲-۴-طراحی شبکه نمونه‌برداری و برداشت نمونه‌های رسوب آبراهه‌ای
۴۲	۳-۴-آماده‌سازی و آنالیز نمونه‌های برداشت شده
۴۳	۴-۴-پردازش داده‌های ژئوشیمیایی
۴۳	۱-۴-۴-جایگزینی داده‌های سنسورد
۴۳	۲-۴-۴-نرمال‌سازی داده‌ها
۴۴	۳-۴-۴-پارامترهای آمار توصیفی
۴۴	۴-۴-۴-هیستوگرام توزیع فراوانی
۵۴	۵-۴-مطالعات آماری چند متغیره
۵۵	۱-۵-۴-ضریب همبستگی
۵۹	۲-۵-۴-رسم دندروگرام عناصر
۶۰	۳-۵-۴-تحلیل مؤلفه‌های اصلی ^۱
۶۴	۶-۴-نمایش کلی توزیع عیار عناصر
۷۰	۷-۴-روش‌های جدایش آنومالی از زمینه
۷۰	۱-۷-۴-روش‌های مبتنی بر هندسه فرکتال
۷۱	۲-۷-۴-اندازه‌گیری بعد فرکتال
۷۲	۳-۷-۴-تخمین حدود آستانه به روش فرکتالی
۷۳	۴-۷-۴-روش فرکتال عیار-مساحت
۷۴	۸-۴-مدل‌سازی با استفاده از روش فرکتال عیار-مساحت
۷۹	۱-۸-۴-مدل‌سازی فرکتال عیار-مساحت مقادیر حاصل از تحلیل مؤلفه‌های اصلی
۸۱	فصل پنجم: تلفیق داده‌ها
۸۲	۱-۵-مقدمه :
۸۲	۲-۵-داده‌ها و وزن دهی
۸۳	۱-۲-۵-وزن دهی داده‌ها به روش منطق فازی
۸۴	۳-۵-تلفیق
۸۹	فصل ششم: نتیجه‌گیری و پیشنهادات
۹۳	مراجع

فهرست اشکال

صفحه

عنوان

- شکل ۱-۲ موقعیت محدوده در شمال غرب ایران..... ۱۰
- شکل ۲-۲ راه‌های دسترسی محدوده مطالعاتی زرشوران..... ۱۰
- شکل ۳-۲ نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۰۰۰۰ محدوده زرشوران..... ۱۴
- شکل ۱-۳ ترکیب رنگی کاذب ۴-۶-۸ (RGB) در سنجه Aster..... ۳۱
- شکل ۲-۳ نقشه تفکیک واحدهای سنگ‌شناسی منطقه مورد مطالعه با استفاده از ترکیب رنگی کاذب باندهای ۳-۳-۱ سنجنده ETM⁺..... ۳۲
- شکل ۳-۳ نقشه شناسایی خطواره ها (گسل) منطقه مورد مطالعه با استفاده از ترکیب رنگی کاذب باندهای ۳-۳-۱ سنجنده ETM⁺..... ۳۳
- شکل ۴-۳ نقشه مواد معدنی استخراج شده از تصویر ASTER با استفاده از روش‌های آنالیز طیفی..... ۳۶
- شکل ۱-۴ موقعیت نمونه‌های رسوب آبراهه‌ای برداشت شده از منطقه مورد مطالعه..... ۴۲
- شکل ۲-۴ هیستوگرام توزیع فراوانی عناصر با مقادیر خام..... ۴۸
- ادامه شکل ۲-۴ هیستوگرام توزیع فراوانی عناصر با مقادیر خام..... ۴۹
- ادامه شکل ۲-۴ هیستوگرام توزیع فراوانی عناصر با مقادیر خام..... ۵۰
- شکل ۳-۴ هیستوگرام توزیع فراوانی مقادیر نرمال شده عناصر توسط تابع لگاریتم..... ۵۰
- شکل ۳-۴ هیستوگرام توزیع فراوانی مقادیر نرمال شده عناصر توسط تابع لگاریتم..... ۵۱
- ادامه شکل ۳-۴ هیستوگرام توزیع فراوانی مقادیر نرمال شده عناصر توسط تابع لگاریتم..... ۵۲
- شکل ۴-۴ دندروگرام داده‌های لگاریتمی به روش Ward..... ۶۱
- شکل ۵-۴ Scree plot حاصل از نتایج آنالیز فاکتوری ۱۴ عنصر انتخابی نرمال شده..... ۶۳
- شکل ۶-۴ نقشه توزیع آنومالی‌های ژئوشیمیایی برای عنصر Ag..... ۶۵
- شکل ۷-۴ نقشه توزیع آنومالی‌های ژئوشیمیایی برای عنصر As..... ۶۶
- شکل ۸-۴ نقشه توزیع آنومالی‌های ژئوشیمیایی برای عنصر Au..... ۶۶
- شکل ۹-۴ نقشه توزیع آنومالی‌های ژئوشیمیایی برای عنصر Cd..... ۶۷
- شکل ۱۰-۴ نقشه توزیع آنومالی‌های ژئوشیمیایی برای عنصر Cu..... ۶۷
- شکل ۱۱-۴ نقشه توزیع آنومالی‌های ژئوشیمیایی برای عنصر Pb..... ۶۸
- شکل ۱۲-۴ نقشه توزیع آنومالی‌های ژئوشیمیایی برای عنصر Sb..... ۶۸
- شکل ۱۳-۴ نقشه توزیع آنومالی‌های ژئوشیمیایی برای عنصر Zn..... ۶۹
- شکل ۱۴-۴ نقشه توزیع آنومالی‌های ژئوشیمیایی برای امتیازات حاصل از مولفه سوم تحلیل مولفه‌های اصلی..... ۶۹
- شکل ۱۵-۴ نمودارهای تمام لگاریتمی عیار -مساحت برای عناصر..... ۷۶
- شکل ۱۶-۴ نقشه‌های توزیع جوامع ژئوشیمیایی با استفاده از روش فرکتال عیار -مساحت برای عناصر..... ۷۷

- شکل ۴-۱۷ نمودار تمام لگاریتمی فرکتال عیار-مساحت برای مقادیر حاصل از PC3..... ۷۹
- شکل ۴-۱۸ نقشه نهایی توزیع جوامع ژئوشیمیایی برای مقادیر حاصل از PC3 با استفاده از روش فرکتال عیار-مساحت..... ۸۰
- شکل ۵-۱: لایه‌های منتج شده در فصول مختلف برای تلفیق..... ۸۵
- شکل ۵-۲: نتیجه تلفیق لایه‌های و تعیین مناطق امیدبخش..... ۸۶
- شکل ۵-۳: اندیس‌ها بر روی نقشه پتانسیل..... ۸۷

فهرست جداول

صفحه	عنوان
۱۱	جدول ۱-۲- مختصات گوشه های محدوده اکتشافی اطراف معدن طلای زرشوران.....
۲۸	جدول ۱-۳- مشخصات سنجنده ETM^+
۲۸	جدول ۲-۳- مشخصات سنجنده ASTER.....
۴۵	جدول ۱-۴- پارامترهای آمار توصیفی حاصل از داده های خام.....
۴۶	جدول ۲-۴- پارامترهای آمار توصیفی حاصل از داده های خام.....
۴۶	جدول ۳-۴- پارامترهای آمار توصیفی حاصل از داده های خام.....
۴۷	جدول ۴-۴- پارامترهای آمار توصیفی حاصل از داده های خام.....
۴۷	جدول ۵-۴- پارامترهای آمار توصیفی حاصل از داده های خام.....
۵۸	جدول ۶-۴- محاسبه ضرایب همبستگی عناصر با استفاده از روش پیرسون برای داده های ژئوشیمیایی نرمال شده.....
۶۴	جدول ۷-۴- نتایج حاصل از تحلیل مؤلفه های اصلی (PCA) برای ۱۴ عنصر انتخاب شده.....
۷۸	جدول ۸-۴- حدود آستانه بدست آمده براساس روش فرکتال عیار-مساحت.....
۸۴	جدول ۱-۵- وزن لایه و زیرلایه ها برای تلفیق.....

١

مقدمه

۱-۱- کلیات

کشور ایران با توجه به موقعیت و ساختار زمین‌شناسی خاصی که دارد، از پتانسیل معدنی خوبی برخوردار است. اکتشاف مواد معدنی به خصوص ذخایری که عیار اقتصادی مقرون به صرفه دارند برای اهداف معدنی دارای سه مرحله می‌باشد: ۱- انتخاب منطقه (براساس اطلاعات پایه زمین‌شناسی و دورسنجی) ۲- مشخص کردن هدف (با استفاده از روش‌های اکتشافی، ژئوشیمیایی، ژئوفیزیکی و حفاری گمانه‌ها) ۳- ارزیابی اقتصادی ذخایر (براساس اطلاعات بدست آمده از حفاری سیستماتیک) (یوسفی و کامکار روحانی، ۱۳۸۹).

ژئوشیمی اکتشافی به‌عنوان یک ابزار اکتشافی است که دارای سه بخش اساسی نمونه برداری، تجزیه نمونه‌ها و پردازش و ارائه تفسیر داده‌های بدست آمده از تجزیه نمونه‌های سنگ، خاک، آب، گیاه و گازخاک است. روش‌های اکتشافات ژئوشیمیایی به طور گسترده به عنوان ابزاری کارآمد در اکتشافات ناحیه‌ای و محلی به‌کار گرفته می‌شوند. این روش‌ها به علت پوشش مناطق وسیع و هزینه پایین از اهمیت زیادی برخوردارند (مدنی، ۱۳۹۰).

برگه تخت سلیمان به شماره برگه ۵۴۶۳ قسمت‌هایی از استان‌های زنجان، آذربایجان غربی و آذربایجان شرقی را در بر می‌گیرد. نقشه تخت سلیمان بخشی از نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ چهارگوش تکاب بین طول شرقی ۴۷°۰۰' تا ۴۷°۳۰' و عرض شمالی ۳۶°۳۰' تا ۳۷°۰۰' واقع گردیده است. این منطقه به دلیل قرار گیری در ایالت متالورژی تکاب و محل برخورد زون‌های ساختمانی البرز- آذربایجان، ایران مرکزی و سنندج- سیرجان دارای تنوع کانی‌زایی بسیاری است. مهم‌ترین کانی‌سازی در این منطقه کانی‌سازی سرب و روی (انگوران، علم‌کندی و آریاچای) و کانی‌سازی طلا (زره‌شوران، آق‌دره و توزلار) می‌باشد. منطقه مطالعاتی این پژوهش در حد فاصل استان‌های زنجان - آذربایجان شرقی در محدوده اطراف معدن طلای زرشوران واقع شده است.

جدایش جوامع ژئوشیمیایی یک امر مهم در پی‌جویی و اکتشاف مواد معدنی است. روش‌های جدایش جوامع ژئوشیمیایی به دو دسته روش‌های غیر ساختاری و روش‌های ساختاری تقسیم می‌شوند. روش‌های غیر ساختاری بر مبنای فراوانی، اقدام به جدایش جوامع می‌کند و توزیع فضایی نمونه‌ها را در عمل جدایش تاثیر نمی‌دهد. عدم استفاده از توزیع فضایی داده‌ها باعث از دست رفتن آنومالی‌های ضعیف و پیوسته می‌شود. روش‌های ساختاری با در نظر گرفتن توزیع فضایی نمونه‌ها و تاثیر نمونه‌ها بر یکدیگر عملکرد بهتری را نسبت به روش‌های غیرساختاری داشته است. در این پژوهش از میان روش‌های ساختاری از روش‌های فرکتال عیار- مساحت استفاده شده است.

روش‌های چند متغیره امکان آنالیز آماری هم‌زمان چندین متغیر را فراهم می‌کنند. با استفاده از روش‌های آماری چند متغیره می‌توان به کاهش تعداد متغیرها در فضای مورد بررسی پرداخت. یکی از روش‌های آماری چند متغیره معمول در مطالعات ژئوشیمیایی و تحلیل داده‌ها، استفاده از تکنیک تحلیل مولفه‌های اصلی می‌باشد. روش تحلیل مولفه‌های اصلی به صورت گسترده در تحلیل چند متغیره داده‌های ژئوشیمیایی استفاده می‌شود. در این روش با پیدا کردن ترکیبات خطی بین متغیرهای اولیه به متغیرهای جدید، با ابعاد کمتری روبه‌رو خواهیم شد این روش به طور کلی برای ساده‌تر کردن ساختار داده‌ها به کار می‌رود و باعث تولید اثرات چند عنصری ژئوشیمیایی می‌شود. عناصر ردیاب و پارائنز برای یک نوع کانی سازی با استفاده از روش تحلیل مولفه‌های اصلی در یک مولفه قرار می‌گیرند که این امر باعث کاهش حجم پردازش داده‌ها و همچنین ارائه اثرات چند عنصری می‌شود.

کانسارهای طلای اپی ترمال معمولاً در سطوح کم عمق‌تر پوسته نسبت به کانسارهای مس-طلای پورفیری تشکیل شده و به دو دسته کلی کانسارهای اپی ترمال با سولفید پایین و بالا تقسیم می‌شوند (Corbett, 2005) و این کانسارها نیز همانند کانسارهای پورفیری با آلتراسیون‌های هیدروترمال گسترده ارتباط دارند که این آلتراسیون‌ها از سمت داخل به خارج شامل پتاسیک، فیلیک، آرژیلیک، آرژیلیک پیشرفته، پروپیلیتیک و سیلیسی می‌باشد (Heidari et al., 2015). کانی‌زایی در ورقه تخت سلیمان بویژه در بخش انگوران-تکاب با فعالیت‌های هیدروترمال کم عمق و فعالیت‌های ولکانیکی گسترده ارتباط

مستقیمی داشته و آلتراسیون‌های هیدروترمال گسترده بویژه در بخش غربی گسل تراستی قینرجه- چارتاق قابل مشاهده است (Daliran et al., 1999; Mehrabi et al., 1999; Asadi et al., 2000;) (Daliran, 2008; Daliran et al., 2013).

سنجش از دور، دانش کسب اطلاعات فیزیکی و شیمیایی از پدیده‌های زمینی و جوی از طریق ویژگی‌های امواج الکترومغناطیسی بازتابی یا منتشر شده از آن‌ها می‌باشد که بدون تماس مستقیم با پدیده‌های مذکور و با استفاده از تصاویر و داده‌هایی که بوسیله ماهواره ثبت می‌شوند، شناسایی پدیده‌های مختلف را ممکن می‌سازد (Kruse, 2002).

۱-۲- ضرورت تحقیق

هدف از اکتشاف تعیین محل ذخایر اقتصادی در یک منطقه معدنی است. عملیات بزرگ اکتشافی اغلب به پروژه‌های جداگانه‌ای تقسیم می‌شوند که هر یک از این پروژه‌ها ممکن است شامل یک یا چند هدف باشد. وظیفه بخش اکتشاف ابداع ایده‌های اکتشاف و به دنبال آن عملیات اکتشافی است، به ترتیبی که مناطق دارای پتانسیل معدنی تعیین شده و در داخل یک پروژه اکتشافی گنجانده شوند. در زمان‌های قدیم اکتشاف یک جستجوی ساده جهت رویت معرف‌های کانی‌زایی در سطح بود. اما امروزه روش‌ها و ابزارهای جدید مانند روش‌های دورسنجی، زمین‌شناسی، ژئوشیمیایی، ژئوفیزیکی و غیره توسعه یافته‌اند. کاربرد این روش‌ها با فعالیت‌ها، مشاهدات، دانش، بینش، فرصت‌ها، تبادل نظر و نهایتاً شانس در ارتباط است. در سال‌های اخیر استفاده از سیستم اطلاعاتی جغرافیایی (GIS) در اکتشاف ذخایر معدنی شرایطی فراهم کرده است تا اطلاعات مکانی مختلف و نقشه‌های زمین‌شناسی، تصاویر ماهواره‌ای، نقشه‌های ژئوفیزیکی و ژئوشیمیایی، ذخیره و مدیریت و در نهایت پردازش شوند. تعیین پتانسیل‌های کانی‌زایی توسط GIS شامل تلفیق و تفسیر مجموعه داده‌های اکتشافی مختلف است تا پتانسیل کانی‌زایی یک منطقه برآورد شود.

۱-۳- اهداف پژوهش

هدف از انجام این پژوهش، به‌کارگیری مطالعات زمین‌شناسی، ژئوشیمیایی و دورسنجی برای ترسیم نقشه پتانسیل کانی‌زایی برای کانسار طلا در محدوده زرشوران می‌باشد. در این مطالعه تلاش شده با استفاده از روش‌های اکتشافی و پتانسیل‌یابی، مناطق امیدبخش و هدف از نظر کانی‌زایی طلا شناسایی شود.

به‌طور کلی اهداف این پژوهش را می‌توان به شرح زیر بیان کرد:

- مطالعه و تعیین پدیده‌های زمین‌شناسی و واحدهای سنگ‌شناسی مرتبط با کانسار طلا در محدوده زرشوران
- شناسایی و جدایش جوامع مختلف ژئوشیمیایی با استفاده از داده‌های رسوب آبراهه‌ای بوسیله تکنیک‌های کارآمد مختلف
- استخراج پدیده‌ها بوسیله داده‌ها و ابزارهای اکتشافی
- تعیین میزان ارتباط مکانی مطالعات ژئوشیمیایی و مطالعات دورسنجی
- تعیین مناطق امیدبخش و هدف

۱-۴- داده‌ها و نرم‌افزارهای مورد استفاده

داده‌های مورد استفاده در این مطالعه عبارتند از:

- نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ تخت سلیمان
- نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۰۰۰۰ محدوده زرشوران
- گزارش‌های اکتشافی مربوط به منطقه که توسط سازمان توسعه و نوسازی معادن و صنایع معدنی ایران تهیه شده است
- مقالات منتشر شده معتبر
- داده‌های ژئوشیمیایی رسوب آبراهه‌ای جمع‌آوری شده از محدوده زرشوران

• تصاویر ASTER و ETM⁺ مربوط به منطقه.

همچنین نرم‌افزارهای مورد استفاده به ترتیب اهمیت عبارتند از: Arc GIS 10.2، SPSS 22، ENVI 5.2، Microsoft Excel 2016.

۱-۵- ساختار پایان نامه

در این پژوهش در فصل دوم، ویژگی‌های زمین‌شناسی و کلیاتی در مورد منطقه مورد مطالعه بیان شده است. در فصل سوم به بررسی نوع توزیع داده‌های ژئوشیمیایی منطقه و همچنین آماده سازی این داده‌های برای پردازش، مطالعات آماری تک متغیره عناصر، مطالعات آماری چند متغیره با استفاده از روش تجزیه و تحلیل خوشه‌ای سلسله مراتبی و تجزیه و تحلیل مولفه‌های اصلی و در ادامه مهم‌ترین روش‌های جدایش آنومالی از زمینه که از جمله مهم‌ترین مراحل شناسایی و اکتشاف کانسارهای فلزی می‌باشند، پرداخته شده است. فصل چهارم، مربوط به مطالعات دورسنجی می‌باشد که آلتراسیون‌های اپی‌ترمال مربوط به کانی‌زایی طلا با استفاده از پردازش تصاویر ASTER و ETM⁺ براساس روش‌های مختلف، شناسایی و مشخص شده‌اند. در فصل پایانی نیز با استفاده از نتایج حاصل از بررسی‌های ژئوشیمیایی و مطالعات دورسنجی، نتایج کلی پژوهش بیان گردیده است.

۲

زمین شناسی

۲-۱- مقدمه

محدوده مورد مطالعه، در شمال غرب ایران قرار دارد (شکل ۲-۱) و بخشی از نواحی مرکزی برگه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰,۰۰۰ تخت سلیمان است، که در غرب گسل قینرجه - چهارطاق واقع شده است. از نقطه نظر تقسیم بندی پهنه‌های زمین ساختی ایران در پهنه البرز - آذربایجان و در محل تلاقی آن با زون‌های سنندج - سیرجان و ایران مرکزی قرار دارد. براساس نظر نبوی (۱۳۵۵) شاید بتوان آن را بخشی از زون ساختاری خوی - مهاباد دانست (ایمیدرو، ۱۳۹۲).

براساس پهنه‌بندی ساختاری که اشتکلین در ۱۹۷۷ از وضعیت ساختمانی شرق چین خوردگی آلپ - هیمالیا در بخش ایران، بلوچستان، پاکستان، افغانستان، پامیر، قره قروم و رشته کوه‌های غرب هیمالیا در آسیای مرکزی ارائه داده و توسط ج. افتخارنژاد در ۱۳۷۲ مورد بازنگری قرار گرفته است، این بخش از کمربند چین خورده آلپ - هیمالیا به چهار پهنه^۱ تقسیم شده است. این تقسیم بندی با در نظر گرفتن سبک ساختاری، سن و شدت دگر شکلی و ماهیت فعالیت‌های ماگمایی بوده و براساس پاره‌ای ویژگی‌های ساختاری، بخش‌های فرعی را نیز در آن تحت عنوان اجزای کوچک‌تر^۲ مشخص کرده است. محدوده مورد مطالعه در واقع بخشی از پهنه مرکزی^۳ شرق کمربند چین خورده آلپ هیمالیا بوده و جزیی از البرز - آذربایجان محسوب می‌شود (ایمیدور، ۱۳۹۲). اطلاعات مربوط به زمین‌شناسی محدوده مطالعاتی زرشوران، از گزارش نهایی تهیه شده توسط ایمیدرو، جمع آوری و در این پژوهش مورد استفاده قرار گرفته شده است.

¹ Domain

² Elements

³ Central Domain

۲-۲- موقعیت، راه های دسترسی و وضعیت جغرافیایی محدوده

مطالعاتی زرشوران

منطقه مطالعاتی این پژوهش در حد فاصل استان های زنجان - آذربایجان شرقی در محدوده اطراف معدن طلای زرشوران واقع شده است. مساحت محدوده مورد مطالعه در حدود ۳۷ کیلومتر مربع می باشد.

راه های ارتباطی و دسترسی به محل کانسار به قرار زیر است (شکل ۲-۲) :

۱- تهران - زنجان - بیجار - تکاب - زرشوران - کانسار زرشوران، جمعاً ۶۳۰ کیلومتر که ۶۱۰

کیلومتر آن آسفالتی و ۲۰ کیلومتر باقی مانده، راه شوسه می باشد.

۲- تهران - زنجان - دندی - تخت سلیمان - روستای زرشوران - کانسار زرشوران، جمعاً ۵۳۰

کیلومتر که ۴۵۰ کیلومتر آن آسفالتی و ۸۰ کیلومتر باقی مانده، راه شوسه است.

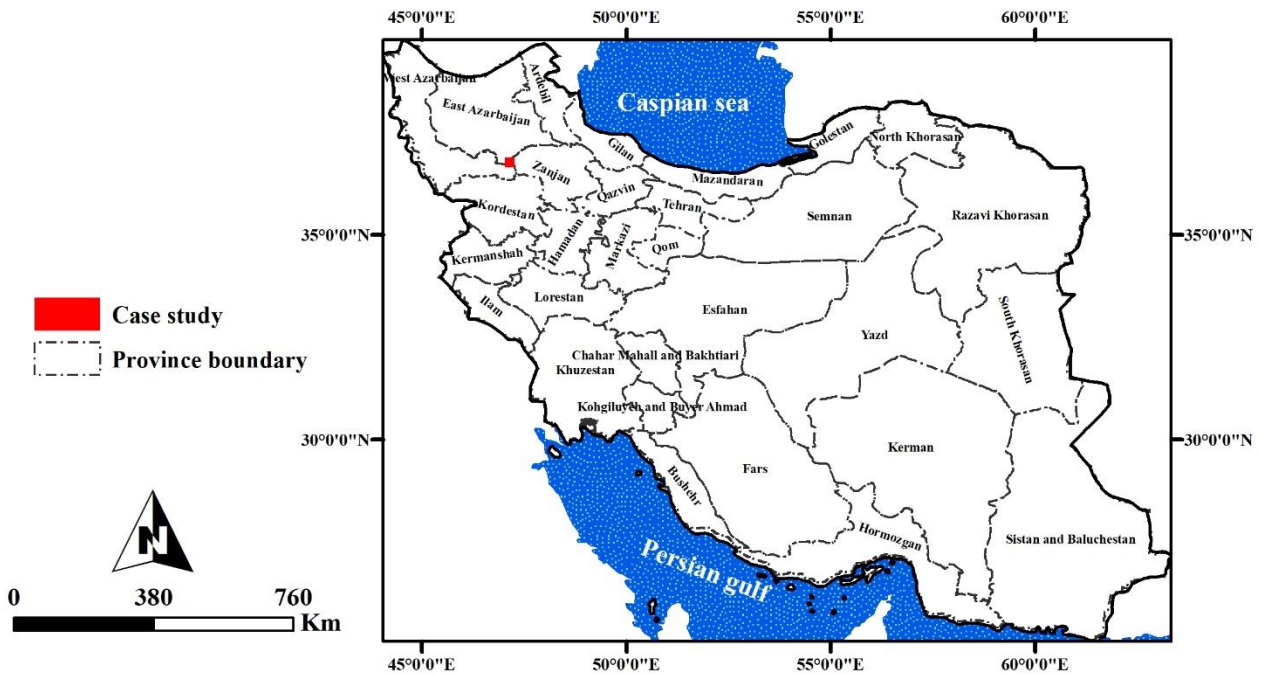
بهترین راه دستیابی به معدن استفاده از مسیر آسفالتی تکاب - شاهین دژ است که در ۵ کیلومتری

تکاب - کنار روستای پهلوان - جاده آسفالتی دیگری از جاده اصلی از سمت راست منشعب شده که به

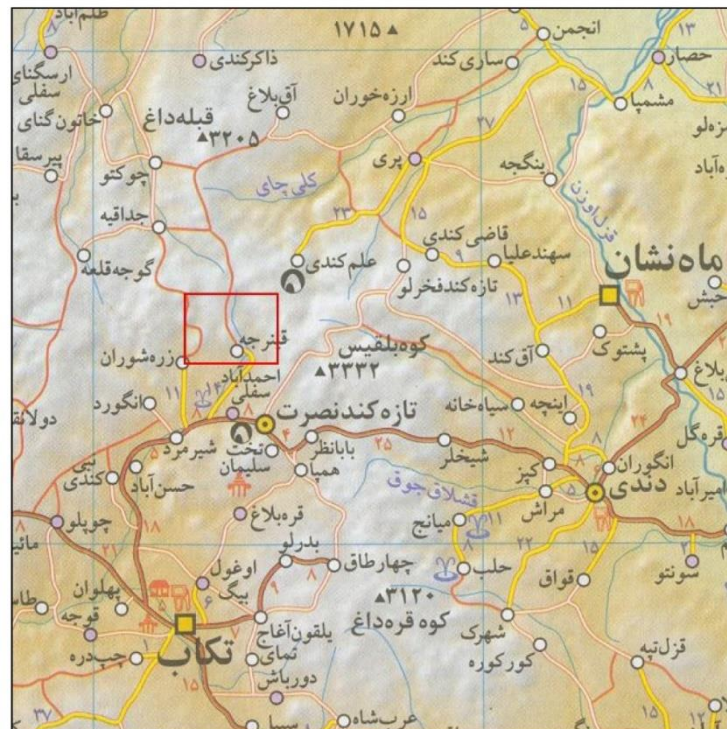
سوی آبادی های شیرمرد در نزدیکی مدخل دره یار عزیز - زرشوران می رود. از آبادی زرشوران جاده ای

به سمت جنوب به طول ۵ کیلومتر وجود دارد که تا محل کانسار ادامه می یابد. مختصات جغرافیایی

گوشه های محدوده بر طبق جدول ۱-۲ می باشد.



شکل ۱-۲ موقعیت محدوده در شمال غرب ایران.



شکل ۲-۲ راه‌های دسترسی محدوده مطالعاتی زرشوران (ایمیدرو، ۱۳۹۲)

جدول ۱-۲- مختصات گوشه های محدوده اکتشافی اطراف معدن طلای زرشوران

مختصات جغرافیایی		رأس
Lat/Lng		
Y (عرض جغرافیایی)	X (طول جغرافیایی)	
۳۶° ۴۰' ۴۹"	۴۷° ۰۸' ۰۰"	A
۳۶° ۴۴' ۰۶"	۴۷° ۰۸' ۰۰"	B
۳۶° ۴۴' ۰۶"	۴۷° ۱۲' ۰۳"	C
۳۶° ۴۰' ۴۹"	۴۷° ۱۲' ۰۳"	D

۳-۲- چینه‌شناسی زرشوران

قدیمی‌ترین واحدهای برونزد یافته در محدوده که تحت عنوان شیست‌های ایمان‌خان نامیده می‌شوند در اصل همان سازند کهر است که دگرگون شده و برونزد آن‌ها را در هستهٔ تاقدیس ایمان‌خان (شرق محدودهٔ فعلی معدن) می‌توان ملاحظه نمود. بر روی این شیست‌ها واحد آهکی لامینه و آهک کارستی چالداغ قرار گرفته‌اند. این طبقات کربناته را می‌توان معادل بخش زیرین سازند سلطانیه دانست که به گونه‌ای هم‌شیب ولی ناپیوسته بر روی دگرگونه‌های زیرین قرار گرفته‌اند. با مقایسه این طبقات با نقشهٔ زمین‌شناسی ۱:۱۰۰,۰۰۰ تخت سلیمان شاید بتوان آن‌ها را معادل آهک‌های دولومیتی و دولومیت ضخیم لایهٔ جانگوتاران در نظر گرفت.

بر روی واحدهای کربناتهٔ چالداغ ردیفی از سنگ‌های شیلی همراه با بین لایه‌های کربناته بطور پیوسته و هم‌شیب قرار گرفته‌اند. این شیل‌ها گاه حاوی مواد آلی هستند که تحت عنوان شیل‌های سیاه کربن‌دار از آنها یاد می‌شود. این واحد شیلی در محدودهٔ مورد مطالعه با عنوان شیل‌های زرشوران نامیده می‌شوند ولی با نگاهی به جایگاه چینه‌شناسی آن‌ها شاید بتوان آن‌ها را معادل شیل‌های چیقلو از سازند سلطانیه

در نظر گرفت، زیرا بر روی آن‌ها بطور پیوسته دولومیت‌های خاکستری رنگ با نوارها و نودول‌های چرت قرار گرفته‌اند که به احتمال قوی معادل بخش‌های فوقانی سازند سلطانیه‌اند.

در نواحی جنوب غرب تاقدیس ایمان‌خان سکناس پرکامبرین-کامبرین محدوده با قرارگیری شیل و ماسه سنگ‌های میکاسه سازند زاگون بر روی دولومیت‌های چرت‌دار فوقانی سازند سلطانیه بطور همساز و پیوسته ادامه می‌یابد. این ترادف با برونزد ماسه سنگ‌های آرکوزی قرمز تا صورتی رنگ سازند لالون ادامه می‌یابد. در بین این ماسه سنگ‌ها طبقات کوارتزیتی به صورت بین لایه‌ای بویژه در بخش‌های بالایی دیده می‌شوند. این ماسه سنگ‌ها در بخش فوقانی به ردیفی از سنگ‌های کوارتزیتی روشن رنگ تبدیل شده‌اند که گاه رخساره کنگلومرای را نیز از خود به نمایش می‌گذارند. این بخش را باید کوارتزیت فوقانی سازند لالون یا تاپ کوارتزیت دانست.

بطور ناپیوسته ولی هم‌شیب بر روی طبقات کوارتزیت فوقانی تناوبی از آهک و آهک مارنی خاکستری رنگ با لایه‌بندی خوب قرار گرفته است که با توجه به قطعات فسیلی که در آن‌ها دیده می‌شود، باید آن‌ها را معادل بخش‌هایی از سازند میلا در نظر گرفت. (احتمالاً عضو پایینی آن) با برونزد طبقات آهکی سازند میلا سکناس زمین‌شناسی پرکامبرین - کامبرین محدوده پایان می‌یابد و اینطور به نظر می‌رسد که پس از کامبرین زیرین این محدوده در اثر عملکرد فازهای کوه‌زایی همانند یک فرازمین یا برجستگی قدیمی عمل نموده و رسوب‌گذاری ردیف‌های سنگی پالئوزوئیک و مزوزوئیک در آن صورت پذیرفته است، زیرا سنگ‌های رسوبی و ولکانیک الیگومیوسن با ناپیوستگی غیر همساز بر روی کربنات‌های سازند میلا قرار گرفته‌اند. هر چند شاید بتوان آثار فازهای کوه‌زایی کیمبرین پیشین و پسین را به صورت دگرگونی مجدد واحدهای قدیمی‌تر و نفوذ توده‌های دیوریت گابرویی، گرانودیوریتی و گرانیتی (کوارتز پورفیرمحدوده) مشاهده نمود.

سکناس الیگومیوسن در محدوده مورد بررسی با رخنمون گسترده گدازه‌های آندزیتی قهوه‌ای تا خاکستری رنگ شروع می‌شود. این درحالی است که اصولاً در منطقه تخت سلیمان این سکناس با کنگلومرای پیشروی دریا در زمان الیگوسن آغاز می‌گردد ولی در نواحی اطراف زرشوران این کنگلومرا

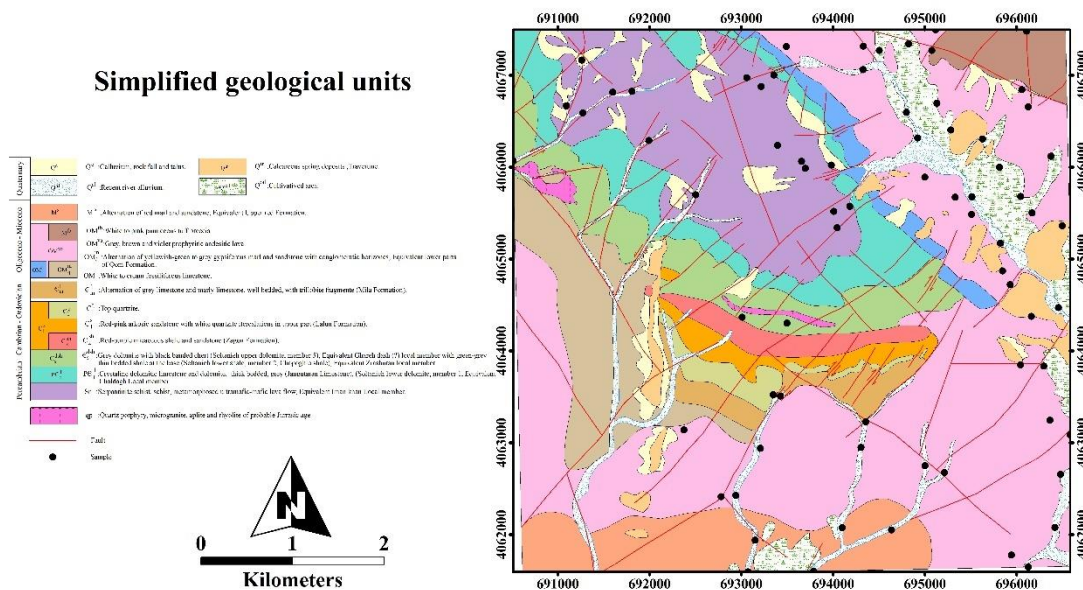
برونزد نداشته و عموماً سنگ‌های آندزیتی پهنه‌های وسیعی را پوشانده‌اند. این گدازه‌های پورفیری دارای ساخت منشوری در بخش‌های زیرین و ساخت برشی در بخش‌های فوقانی می‌باشند. نکتهٔ حائز اهمیت اینکه سکانس مذکور در یال شمال شرقی تاقدیس ایمان‌خان در قاعدهٔ خود ردیفی از سنگ آهک کرم رنگ تا سفید که حاوی فسیل نیز هست را به نمایش می‌گذارد و این در حالی است که در یال جنوب غربی این تاقدیس در قاعده ولکانیک‌های آندزیتی تناوبی از مارن‌های ژپس‌دار، ماسه سنگ با افق‌های کنگلومرایی به رنگ سبز - زرد تا خاکستری برونزد یافته است.

در نواحی شمالی شرقی محدوده نیز برونزد نسبتاً گسترده‌ای از توف برش‌های پومیس‌دار برنگ سفید تا صورتی دیده می‌شود که به نظر می‌رسد بر روی گدازه‌های آندزیتی قرار دارند.

در نهایت، فوقانی‌ترین ردیف سنگی که در محدودهٔ مورد مطالعه رخنمون دارد، تناوب مارن‌ها و ماسه سنگ‌های قرمز رنگ است که شاید بتوان آن‌ها را معادل سازند قرمز فوقانی در منطقهٔ قم دانست. این رخنمون‌ها عموماً در جنوب محدودهٔ مورد مطالعه برونزد دارند و سایت کارخانه نیز بر روی آنها واقع شده است.

مهم‌ترین برونزدهای کواترنری تراورتن‌های چشمه‌ای است که بر روی واحدهای قدیمی‌تر قرار گرفته‌اند و عموماً از خردشدگی زیادی برخوردارند و بسیاری از طبقات پدید آمدهٔ آن‌ها هم‌شیب دامنه ارتفاعات دیده می‌شوند و گاه بخش‌های جدا شده از رخنمون اصلی بصورت رها شده در شیب مورفولوژی ارتفاعات محدوده دیده می‌شوند. تراورتن‌ها بیشتر در شمال شرق محدوده و در اطراف روستای قینرجه دیده می‌شوند. سایر واحدهای کواترنر محدوده را تراس‌های آب‌رفتی، واریزه‌های سنگی دامنه‌ها و نهشته‌های بستر رودخانه‌ها تشکیل می‌دهند.

براساس نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۰۰۰۰ تهیه شده در محدوده پروانه اکتشافی معدن طلای زرشوران، واحدهای سنگی رخنمون یافته از قدیم به جدید به شرح زیر مورد بررسی قرار می‌گیرند (شکل .



شکل ۲-۳ نقشه زمین شناسی ۱:۲۰۰۰۰ محدوده زرشوران (ایمیدرو، ۱۳۹۲)

۲-۳-۱- واحد سنگی ایمان خان Sr

قدیمی ترین واحد سنگی که در محدوده مورد بررسی رخنمون یافته شامل مجموعه‌ای از سرپانتینیت و سرپانتین شیست، متاگابرو و سنگ‌های بازالتی دگرگون شده منسوب به پرکامبرین می‌باشند. این واحد سنگی در بخش بالایی سنگ‌های دگرگونی میکاشیست و کوارتزیت‌های پرکامبرین قرار داشته (معادل سازند کهر دگرگون شده) و خود توسط آهک-دلومیت‌های مرمری و دگرگون شده (واحد سنگی جانگوتاران (PEJl) پوشیده شده است. واحد سنگی Sr در هسته تاقدیس ایمان خان واقع در شمال غرب محدوده مورد بررسی برونزد داشته و بدین سبب تحت عنوان شیست‌های ایمان خان نامیده شده‌اند. این مجموعه اولترامافیکی احتمالاً نشانه‌ای بر بازشدگی پوسته و تشکیل کافت به صورت محلی در زمان پرکامبرین بالایی بوده است. برونزد واحد سنگی Sr با امتداد عمومی شمال غرب-جنوب شرقی در هسته ساختار تاقدیس گونه‌ای با شکل نامتقارن رخنمون داشته که در اثر عملکرد یکسری گسل‌های امتداد لغز جابجایی‌های موضعی در حد ۴۰۰ تا ۵۰۰ متر در امتداد عمومی این واحد سنگی رخ داده است. رنگ رخنمون هوازده واحد سنگی Sr سبز رنگ بوده و سطح تازه شکسته آن نیز به رنگ سبز روشن-

خاکستری می‌باشد. شیب عمومی لایه‌های شیستی در این واحد سنگی به تبعیت از شکل تاقدیس متغیر بوده به طوری که در بخش‌های شمال شرقی تاقدیس ایمان‌خان، واحد Sr دارای شیب عمومی در حدود ۸۰ تا ۷۰ درجه به سمت شمال شرق و در بخش‌های جنوب غربی تاقدیس ایمان‌خان، واحد Sr دارای شیب عمومی در حدود ۴۵ تا ۵۰ درجه به سمت جنوب غرب می‌باشد.

۲-۳-۲- واحد سنگی جانگوتاران PCjl

بر روی میکاشیست و الترامافیک‌های ایمان‌خان (واحد سنگی Sr) یک واحد سنگی نسبتاً ضخیم لایه با ترکیب مرمر و آهک-دلومیت خاکستری روشن تا خاکستری تیره-سیاه‌رنگ با لایه‌بندی متوسط تا ضخیم لایه به ضخامت حدود ۵۰ - ۲۰۰ متر قرار می‌گیرد، که به نام مرمر جانگوتاران نامیده شده است. این واحد سنگی به صورت یک حلقه و با شیب و ضخامت‌های متغیر، واحد سنگی ایمان‌خان را دربر گرفته است. مرز زیرین آن با سنگ‌های دگرگونی، شیست ایمان‌خان اغلب گسلی یا ناپیوسته بوده و مرز بالایی آن با واحد سنگی شیل-شیست-دلومیت چرت‌دار سلطانیه (واحد سنگی Esdsh) به صورت هم‌شیب و پیوسته می‌باشد. واحد سنگی آهک-دلومیتی جانگوتاران به شدت در اثر رخداد پدیده دگرگونی، متبلور و کریستالین بوده و بازمانده‌های فسیلی به‌جز بعضی آثار مشکوک به آلگ در آن مشاهده نشده است. واحد سنگی PCjl در بخش زیرین بصورت آهک تیره رنگ آلگ‌دار و لامینه بوده و در بخش بالایی دارای ترکیب آهک-دلومیت متبلور می‌باشد. لامینه‌های موجود در بخش پائینی به‌صورت تناوبی از باندهای تیره و روشن دیده می‌شوند که نشان از افزایش و کاهش مواد کربنی احتمالاً حاصل از فساد اولین جلبک‌های استروماتولیتی تک سلولی می‌باشند. رخنمون واحد سنگی PCjl در برخی قسمت‌ها، در اثر عملکرد سیستم‌های گسلی حاکم بر منطقه مورد بررسی به شدت خرد و برشی شده و در بخش‌های نیز دستخوش رخداد کانی‌سازی و آلتراسیون قرار گرفته و بصورت باندهای سیاه‌رنگ رخنمون یافته‌اند.

در مطالعات و تحقیقات پیشین، مخلوطی از ماده سیاه‌رنگ، قطعات آهک و شیستی و لنزهای سیلیسی که بلافاصله بر روی واحد آهکی جانگوتاران قرار دارد را تحت عنوان واحد زرشوران معرفی نموده‌اند. بر اساس نتایج حاصل از مطالعات و برداشت‌های صحرائی به نظر می‌رسد این مخلوط سنگی حاصل از فعالیت‌های گسل‌های منطقه و به دنبال آن لغزش ثقلی قسمت‌هایی از بخش زیرین واحد سنگی PCJl و شیست‌های ایمان‌خان (واحد سنگی Sr) و برقراری گردش سیالات هیدروترمال و رخداد کانی‌سازی بوده که فرآیند اخیر بر پیچیدگی‌های آن افزوده است. در واقع هم‌زمان با عملکرد حاصل از تنش‌های تکتونیکی منطقه به دلیل شکننده بودن واحد سنگی PCJl و حضور ماده معدنی در قسمت‌هایی از آن، مخلوط درهم آمیخته (ماده سیاه‌رنگ، قطعات آهک و شیستی و لنزهای سیلیسی) تشکیل گردیده و بنابراین منشاء آن از واحد سنگی PCJl می‌باشد. در واقع واحد سنگی زرشوران شامل شیست-شیل خاکستری تا سبز کم‌رنگ و قهوه‌ای روشن حاوی قطعات آهکی-دلومیتی بوده که به‌صورت هم‌شیب و پیوسته بر روی واحد سنگی PCJl قرار داشته و در مرز زیرین به‌صورت شیست سیاه‌رنگ حاوی کربن فراوان می‌باشد. واحد سنگی زرشوران را می‌توان معادل با شیل‌های چپقلو دانسته و مجموعه واحدهای سنگی آهک-دلومیت جانگوتاران (واحد سنگی PCJl)، شیست-شیل زرشوران و دلومیت‌های چرت‌دار منسوب به سازند سلطانیه بوده و در این میان واحد سنگی آهک-دلومیت جانگوتاران هم‌ارز پاره سازند دلومیت زیرین، شیست-شیل زرشوران هم‌ارز پاره سازند شیل میانی (شیل‌های چپقلو) و دلومیت‌های چرت‌دار هم‌ارز پاره سازند دلومیت بالایی سازند سلطانیه محسوب می‌گردند. همچنین آنچه که تاکنون تحت عنوان سازند قره‌دش مشتمل بر آهک‌های متبلور (Recrystallized) به رنگ‌های صورتی-قهوه‌ای و خاکستری متمایل به سبز و شیل‌های توفی و آهک‌های ماسه‌ای با میان لایه‌های آهک متبلور (Recrystallized) صورتی تا قهوه‌ای معرفی شده و به‌صورت هم‌شیب و پیوسته بر روی واحد سنگی PCJl قرار دارد، در واقع شیست-شیل میانی (شیل‌های چپقلو) و دلومیت‌های چرت‌دار بالایی سازند سلطانیه می‌باشند.

۲-۳-۳- واحد سنگی سلطانیه Esdsh

سازند دلومیت سلطانیه در محدوده مورد بررسی مشتمل بر آهک-دلومیت جانگوتاران هم‌ارز پاره سازند دلومیت زیرین، شیست-شیل زرشوران هم‌ارز پاره سازند شیل میانی (شیل‌های چپقلو) و دلومیت‌های چرت‌دار هم‌ارز پاره سازند دلومیت بالایی بوده و آنچه که در اینجا تحت عنوان واحد سنگی سلطانیه Esdsh معرفی و بررسی می‌گردد، مشتمل بر شیست-شیل و دلومیت‌های چرت‌دار می‌باشند. رخنمون این بخش از سازند سلطانیه در جنوب و جنوب‌غرب تاقدیس ایمان‌خان برونزد داشته و در شمال‌شرق و شرق این تاقدیس آثاری از این واحد سنگی مشاهده نگردیده است. امتداد کلی بخش شیست-شیل و دلومیت‌های چرت‌دار (واحد سنگی سلطانیه Esdsh) به صورت شمال‌غرب-جنوب‌شرقی بوده و شیب عمومی لایه‌ها به سمت جنوب‌غرب می‌باشد. شیست-شیل‌ها معادل واحد زرشوران و هم‌ارز پاره سازند شیل میانی (شیل‌های چپقلو) و شامل شیل‌های توفی و آهک‌های ماسه‌ای با میان لایه‌های آهک ریکریستالیزه صورتی تا قهوه‌ای بوده که در مواردی با آغشتگی به اکسیدهای آهن قهوه‌ای رنگ دیده می‌شود. این واحد بلافاصله بر روی واحد زیرین خود نشسته و شیبی کمتر از لایه‌های زیرین خود دارد. روند آن نیز چون دیگر واحدهای زیرین خود به تبعیت از تاقدیس ایمان‌خان متغیر است. شیب متوسط آن در حدود ۵۰ درجه است. این واحد، تحت تاثیر عوامل ثانویه دیاژنزی سیلیسی‌شدن (Silicification) قرار گرفته و سیلیس جایگزین اصلی در این سنگ شده و بافت اولیه سنگ از بین رفته است. این ویژگی خصوصاً در نزدیکی کنتاکت آن با توده کوارتز پورفیری کاملاً مشخص بوده و حتی در مواردی در نمونه دستی آن، پیریت به صورت پراکنده دیده می‌شود. در مواردی، درصد زیادی از سنگ به وسیله سیلیس جانشین شده و آلتراسیون آرژیلیتی را نیز می‌توان در آن مشاهده نمود. بر روی شیست-شیل‌های زرشوران یک افق دلومیت خاکستری روشن تا تیره و قهوه‌ای روشن با نوارها و گرهک‌های چرت قرار می‌گیرد که حدود ۱۰۰ متر ضخامت داشته و گرهک‌ها و الگ‌های سیاه‌رنگ فسفاتی نیز در آن دیده شده که همانندی آن‌را با دلومیت‌های فوقانی سازند سلطانیه بیشتر می‌نماید.

به علت مقاومت نسبی این واحد سنگی، مرزهای کاملاً مشخص داشته و در قسمت‌هایی، تکه‌هایی از آن به روی واحدهای زیرین خود افتاده است. این واحد با شیب یکسان بر روی مجموعه زرشوران قرار گرفته است. اکثر قسمت‌های این واحد کاملاً سیلیسی شده و هیچ‌گونه واکنشی با اسید کلریدریک نمی‌دهد. قسمت‌های سیلیسی نشده نیز کاملاً برشی شده و خرد شده‌اند. قسمتی از توده کوارتز پورفیری در کنار این واحد رخنمون داشته و می‌توانسته در دگرسانی آن موثر باشد.

۲-۳-۴- واحد سنگی زاگون Ezsh

سکانس پر کامبرین-کامبرین محدوده مورد بررسی با سازند زاگون ادامه می‌یابد. واحد سنگی Ezsh منسوب به سازند زاگون، شامل شیل و ماسه سنگ‌های میکاسه بوده و رخنمون آن به صورت باریکه‌ای با عرضی در حدود ۱۰۰ تا ۱۵۰ متر و طولی در حدود ۲ تا ۳ کیلومتر در جنوب-جنوب غرب تاقدیس ایمان خان برونزد یافته است. رنگ رخنمون هوازده این واحد سنگی قرمز-ارغوانی و سطح تازه شکسته آن به رنگ قرمز می‌باشد. امتداد کلی واحد سنگی زاگون به تبعیت از یال جنوب غربی تاقدیس ایمان خان به صورت شرقی-غربی تا شمال غرب-جنوب شرقی بوده شیب عمومی لایه‌های این واحد سنگی در حدود ۳۵ تا ۴۰ درجه به سمت جنوب-جنوب غرب می‌باشد. واحد سنگی زاگون Ezsh بر روی دولومیت‌های چرت دار فوقانی سازند سلطانیه به‌طور هم‌ساز و پیوسته قرار گرفته و این ترادف با برونزد ماسه سنگ‌های آرکوزی قرمز تا صورتی رنگ سازند لالون (واحد سنگی Els) ادامه می‌یابد. در بین این ماسه سنگ‌ها طبقات کوارتزیتی (واحد سنگی Elq) به صورت بین لایه‌ای بویژه در بخش‌های بالایی دیده می‌شوند. برونزد واحد سنگی زاگون Ezsh به همراه ادامه سکانس پر کامبرین-کامبرین شامل واحدهای سنگی لالون Els، کوارتزیت فوقانی Elq و میلا Eml فقط به صورت محدودی در جنوب غرب تاقدیس ایمان خان رخنمون داشته و در سایر نقاط این تاقدیس مشاهده نگردیده است. به طوری که در یال شمال شرقی تاقدیس بر روی واحد سنگی جانگوتاران (واحد PCzjl) بلافاصله واحدهای آهکی منسوب با الیگومیوسن (واحد سنگی OMI) حضور دارد.

۲-۳-۵- واحدهای سنگی لالون و کوارتزیت فوقانی (Els) و (Top Quartzite) Elq

در محدوده مورد بررسی سکانس پرکامبرین-کامبرین با قرارگیری ماسه سنگ‌های آرکوزی قرمز تا صورتی رنگ سازند لالون بر روی سازند زاگون (واحد سنگی Czsh) ادامه می‌یابد. در بین این ماسه سنگ‌ها طبقات کوارتزیتی به صورت بین لایه‌ای بویژه در بخش‌های بالایی دیده می‌شوند. این ماسه سنگ‌ها در بخش فوقانی به ردیفی از سنگ‌های کوارتزیتی روشن رنگ تبدیل شده‌اند، که گاه رخساره کنگلومرایی را نیز از خود به نمایش می‌گذارند. این بخش را باید کوارتزیت فوقانی سازند لالون یا تاپ کوارتزیت دانست (واحد سنگی Elq). واحد سنگی لالون Els دارای ترکیب ماسه‌سنگ کوارتز-فلدسپاتی به رنگ قرمز تا گلی رنگ بوده و سطح تازه شکسته آن به رنگ سفید-خاکستری می‌باشد. به‌طور ناپیوسته ولی هم‌شیب بر روی طبقات کوارتزیت فوقانی در واحد سنگی Els، تناوبی از آهک و آهک مارنی خاکستری رنگ با لایه‌بندی خوب قرار گرفته است که با توجه به قطعات فسیلی که در آن‌ها دیده می‌شود، باید آن‌ها را معادل بخش‌هایی از سازند میلا (واحد سنگی Eml) در نظر گرفت. رخنمون واحدهای سنگی لالون Els و کوارتزیت فوقانی Elq به همراه سایر واحدهای سنگی منسوب به پرکامبرین-کامبرین به‌صورت باریکه‌هایی به عرض حدود ۲۵۰ تا ۳۰۰ متر و به طول حدود ۲ تا ۳ کیلومتر در جنوب‌غرب تاقدیس ایمان‌خان برونزد یافته‌اند. امتداد کلی این واحد سنگی نیز به تبعیت از یال جنوب‌غربی تاقدیس ایمان‌خان به صورت شرقی-غربی تا شمال‌غرب-جنوب‌شرقی بوده شیب عمومی لایه‌های این واحد سنگی در حدود ۴۰ تا ۴۵ درجه به سمت جنوب-جنوب‌غرب می‌باشد. در اثر عملکرد سیستم‌های گسلی حاکم بر منطقه با سازوکار امتداد لغز جابجایی‌های در حدود ۵۰۰ تا ۱۰۰۰ متر در امتداد رخنمون واحدهای سنگی لالون و کوارتزیت فوقانی رخ داده است. این امر منجر افزایش چشم‌گیر سطح رخنمون واحد سنگی کوارتزیت فوقانی در دو طرف گسل چپ‌گردی واقع در جنوب‌غرب تاقدیس ایمان‌خان گردیده است. بدیهی است علاوه بر جابجایی امتداد لغز، حرکات شیب لغز این گسل‌ها نیز در افزایش وسعت رخنمون واحد سنگی کوارتزیت فوقانی موثر بوده است.

۲-۳-۶- واحد سنگی میلای Eml

این واحد سنگی مشتمل بر تناوبی از آهک و آهک مارنی خاکستری رنگ با لایه‌بندی خوب بوده و با توجه به آثار فسیل‌های آلگ، استروماتولیت که در آنها دیده می‌شود، باید آن‌ها را معادل بخش‌هایی از سازند میلا در نظر گرفت. واحد سنگی میلای Eml به‌طور ناپیوسته ولی هم‌شیب بر روی طبقات کوارتزیت فوقانی قرار گرفته است و توسط واحدهای سنگی جوان‌تر منسوب به الیگومیوسن با دگرشیبی پوشیده شده است. با برونزد طبقات آهکی سازند میلا سکانس زمین‌شناسی پرکامبرین - کامبرین محدوده پایان می‌یابد و اینطور به‌نظر می‌رسد که پس از کامبرین زیرین این محدوده در اثر عملکرد فازهای کوهزایی همانند یک برجستگی قدیمی عمل نموده و رسوب‌گذاری ردیف‌های سنگی پالئوزوئیک و مزوزوئیک در آن صورت پذیرفته است، زیرا سنگ‌های رسوبی و ولکانیک الیگومیوسن با ناپیوستگی غیر هم‌ساز بر روی کربنات‌های سازند میلا قرار گرفته‌اند.

۲-۳-۷- واحد سنگی کوارتزپورفیری qp

این واحد سنگی دارای ترکیب کوارتزپورفیری، میکروگرانیت و ریولیت بوده و توده نفوذی رخنمون یافته در محدوده مورد بررسی می‌باشد. برونزد این توده نفوذی (واحد سنگی qp) در دو منطقه واقع در محدوده و جنوب‌غرب تاقدیس ایمان‌خان رخنمون یافته است. در محدوده زرشوران به‌صورت توده‌ای با ابعاد ۵۰۰ * ۷۰۰ متر بوده و برونزد دیگر این واحد سنگی بصورت باریکه‌ای به عرض حدود ۱۰۰ تا ۱۵۰ متر و طولی در حدود یک کیلومتر می‌باشد. رخنمون واحد سنگی qp عمدتاً در داخل واحد سنگی سلطانیه Estdsh واقع گردیده است. شواهد صحرایی حاکی از نفوذ این توده در میان واحد شیست-شیل زرشوران (شیل‌های چپقلو) و دلومیت‌های چرت‌دار بالایی سازند سلطانیه بوده و در کنتاکت این واحد با واحدهای قطع شده توسط آن آلتراسیون وسیعی که معمولاً از نوع رسی و کائولینیتی است، رخ داده است. در برخی گزارشات قبلی از این واحد تحت عنوان یک کنگلومرای پرسیلیس یاد شده است.

که برداشت ها و مشاهدات دقیق صحرایی، از جمله آلتراسیون شدید اطراف توده، قطع شدگی روند واحدهای دیگر توسط آن و نیز تبعیت شکل برونزد آن از سیستم‌های گسلش محدوده به انضمام مطالعات آزمایشگاهی این نظر را رد نموده و آذرین بودن آن مسلم گردیده است. هاله آلتراسیون اطراف آن چنین نشان می‌دهد که روند توده نیز از روند کلی واحدهای محدوده تبعیت کرده و شیب نفوذ آن نیز در جهت واحدهای زیرین خود است. شاید به‌توان گفت که این واحد نفوذی با ماگمای اولیه‌ای که منبع اصلی کانی‌زایی در محدوده بوده ارتباط ژنزی داشته و در یک اتاقک ماگمایی به دلیل کم بودن چگالی سیلیس، در حالت مذاب یک تفریق ماگمایی صورت گرفته و به دنبال آن توده نفوذی یاد شده از ماگمای اولیه مشتق شده و در واحد سنگی سلطانیه Esdsh نفوذ کرده باشد. به دنبال این تفریق ماگمایی، مذاب اولیه نسبت به عناصر کانی‌ساز غلیظ‌تر شده و با چرخش سالات هیدروترمال و برقراری شرایط مناسب EH و PH مناسب، کانی‌سازی صورت گرفته باشد.

۲-۳-۸- واحد سنگی OMqm

واحدهای سنگی منسوب به الیگومیوسن با ناپیوستگی غیر هم‌ساز (دگرشیبی) بر روی تشکیلات سنگی قدیمی قرار داشته و سکانس الیگومیوسن در محدوده مورد بررسی با رخنمون گسترده‌ی گدازه‌های آندزیتی قهوه‌ای تا خاکستری رنگ شروع می‌شود. این در حالی است که اصولاً در منطقه تخت سلیمان این سکانس با کنگلومرای پیشروی دریا در زمان الیگوسن آغاز می‌گردد. ولی در نواحی اطراف زرشوران این کنگلومرا برونزد نداشته و عموماً سنگ‌های آندزیتی پهنه‌های وسیعی را پوشانده‌اند. سکانس مذکور در یال شمال شرقی تاقدیس ایمان‌خان در قاعده خود ردیفی از سنگ آهک کرم رنگ تا سفید که حاوی فسیل (واحد سنگی OMI) نیز هست را به نمایش می‌گذارد و این در حالی است که در یال جنوب‌غربی این تاقدیس در قاعده ولکانیک‌های آندزیتی تناوبی از مارن‌های ژیبس‌دار، ماسه سنگ با افق‌های کنگلومرایی به رنگ سبز - زرد تا خاکستری (واحد سنگی OMqm) برونزد یافته است.

به طوری که ذکر گردید رخنمون واحد سنگی OMqm در جنوب غرب تاقدیس ایمان خان برونزد داشته و در مرز زیرین بر روی واحدهای سنگی قدیمی نظیر واحد سنگی سلطانیه Esdsh و میلا Eml قرار داشته و خود توسط واحد ولکانیکی الیگومیوسن (واحد سنگی OMva) پوشیده شده است. در بخش زیرین این واحد سنگی افق‌های کنگلومرایی حضور داشته که به سمت بالا به تناوبی از مارن‌های ژپس‌دار، ماسه سنگ به رنگ سبز - زرد تا خاکستری تبدیل می‌گردد.

۲-۳-۹- واحد سنگی OMI

این واحد سنگی منسوب به قاعده سکانس الیگومیوسن بوده و در یال شمال شرقی تاقدیس ایمان خان رخنمون داشته و مشتمل بر ردیفی از سنگ آهک کرم رنگ تا سفید حاوی فسیل می‌باشد. واحد سنگی OMI به دلیل وجود فسیل‌های درشت گیاهی مرجانی و انواع فسیل جانوری شکم‌پایان در آن از اهمیت خاصی در ژئوکرونولوژی و چینه‌شناسی منطقه برخوردار است. در واقع این واحد یک سنگ آهک ریفی است که پیکره اصلی آن را مرجان‌ها، اسفنج‌ها و اسکلت صدفی شکم‌پایان تشکیل داده و معرف یک حوزه دریایی کم عمق می‌باشد. این واحد ریفی به لحاظ ساختمان لایه مانند خود می‌تواند یک بایوستریم تلقی شود. در واقع محیط مناسب برای رشد و نمو مرجان‌ها و جانداران با اسکلت جانوری، در حوزه‌های کم عمق دریایی است که دارای شفافیت کافی جهت عبور نور باشند. همچنین انرژی آب در این گونه محیط‌ها باید زیاد باشد تا بتواند اکسیژن و مواد غذایی لازم جهت رشد آن‌ها را فراهم کرده و مواد دفعی آن‌ها را جابجا کند.

۲-۳-۱۰- واحدهای OMva و Mtb

سکانس الیگومیوسن در محدوده مورد بررسی مشتمل بر مجموعه‌ای از سنگ‌های رسوبی (واحدهای سنگی OMqm و OMI) و ولکانیکی (واحدهای سنگی OMva و Mtb) بوده که در این میان ولکانیک‌های الیگومیوسن از گسترش و فراوانی بیش‌تری برخوردار می‌باشند. برونزد واحد ولکانیکی

OMva با ترکیب گدازه‌های آندزیتی قهوه‌ای تا خاکستری رنگ سطح وسیعی از محدوده مورد بررسی را به خود اختصاص داده، به طوری که رخنمون واحد ولکانیکی OMva بخش عمده‌ای از جنوب، جنوب شرق، جنوب غرب و شمال شرق محدوده مورد بررسی را پوشانده است. این گدازه‌های پورفیری دارای ساخت منشوری در بخش‌های زیرین و ساخت برشی در بخش‌های فوقانی می‌باشند. در نواحی شمالی شرقی محدوده نیز برونزد نسبتاً گسترده‌ای از توف برش‌های پومیس‌دار برنگ سفید تا صورتی (Mtb سنگی) دیده می‌شود که به نظر می‌رسد بر روی گدازه‌های آندزیتی قرار دارند.

۲-۳-۱۱- واحد سنگی Ms

فوقانی‌ترین ردیف سنگی منسوب به سکانس الیگومیوسن که در محدوده مورد مطالعه رخنمون دارد، تناوب مارن‌ها و ماسه-سنگ‌های قرمز رنگ است که شاید بتوان آن‌ها را معادل سازند قرمز فوقانی در منطقه قم دانست. این رخنمون‌ها عموماً در جنوب و جنوب غرب محدوده مورد مطالعه برونزد دارند و سایت کارخانه نیز بر روی آنها واقع شده است. واحد سنگی Ms با دگرشیبی ضعیفی بر روی واحدهای رسوبی-ولکانیکی الیگومیوسن قرار می‌گیرد.

۲-۳-۱۲- واحدهای کواترنری Qal، Qc و Qcal

جوان‌ترین واحدهایی که در محدوده اکتشافی نهشته شده‌اند مربوط به کواترنر می‌باشند. این واحدها در امتداد مصب رودخانه‌های اصلی و آبراهه‌ها و در دامنه ارتفاعات تشکیل شده و مشتمل بر آبرفت‌های نازک لایه و جوان، رسوبات بستر رودخانه‌ها، تراس‌ها، مسیل‌های اصلی، واریزه‌های سنگی دامنه ارتفاعات و زمین‌های مزروعی و کشاورزی می‌باشند. مهم‌ترین برونزدهای کواترنری در محدوده مورد بررسی تراورتن‌های چشمه‌ای بوده که بر روی واحدهای قدیمی‌تر قرار گرفته‌اند. تراورتن‌ها بیشتر در شمال شرق محدوده و در اطراف روستای قینرجه و بطور پراکنده در جنوب شرق محدوده مورد بررسی دیده می‌شوند.

۲-۴- تکتونیک و زمین‌شناسی ساختمانی زرشوران

محدوده مورد مطالعه از لحاظ زمین‌ساختی در پهنه ایران مرکزی و زیر پهنه آذرین تبریز-بزمان قرار دارد. در این منطقه گسل‌های عظیم و ساختاری نظیر خط ساختاری تبریز-زنجان، گسل سلطانیه شمالی، گسل شاوند حضور داشته و این گسل‌ها مهم‌ترین عامل سازنده ساختمان‌های زمین‌شناسی و ریخت‌شناسی ناحیه مورد بررسی می‌باشند. چین‌خوردگی نیز در این محدوده به وقوع پیوسته است. محور چین‌ها خمیده بوده و دو امتداد شرقی-غربی که موازی گسل‌های معکوس بوده و امتداد-N125 130 موازی گسل‌های اساسی در این چین‌خوردگی‌ها قابل شناسایی است.

آثار و عملکرد حاصل از گسل‌ها به‌فراوانی در محدوده مورد بررسی حضور دارد. بطور کلی به تبعیت از ساختارهای گسلی اساسی در برگیرنده محدوده مورد بررسی، دو دسته گسل اصلی در واحدهای سنگی شناسایی شده است. دسته اول گسل‌هایی با روند کلی شمال شرق - جنوب غرب و دسته دوم گسل‌هایی با امتداد شمال غرب، غرب - جنوب شرقی می‌باشند. گسل‌های دسته اول از فراوانی بیش‌تری برخوردار بوده و اغلب دارای سازکار امتداد لغز بوده و عملکرد آن‌ها سبب جابجایی‌های عرضی واحدهای سنگی مختلف شده‌اند. این دسته گسلی از روند پی‌سنگی (N45) تبعیت نموده و فراوانی درزه‌های مرتبط با این روند نقش عمده‌ای در کانی‌سازی محدوده مورد بررسی ایفا کرده است. دسته دوم گسل‌های منطقه با روند عمومی شمال شرق - جنوب غربی، عمدتاً دارای سازوکار رورانده و تراستی بوده و عملکرد آنها سبب رورانده‌گی، حذف‌شدگی واحدهای سنگی مختلف شده‌اند. به نظر می‌رسد که عملکرد این دسته از گسل‌ها سبب حذف واحدهای سنگی در شمال شرق تاقدیس ایمان خان شده‌اند. به‌طوری‌که در این یال شمال شرقی این تاقدیس، به‌طور ناگهانی واحدهای سنگی کربناته پرکامبرین-کامبرین در مجاورت ولکانیک‌های الیگومیوسن قرار گرفته‌اند.

۳

مطالعات دورسنجی

۳-۱- مقدمه

سنجش از دور، دانش کسب اطلاعات فیزیکی و شیمیایی از پدیده‌های زمینی و جوی از طریق ویژگی‌های امواج الکترومغناطیسی بازتابی یا منتشر شده از آن‌ها می‌باشد که بدون تماس مستقیم با پدیده‌های مذکور و با استفاده از تصاویر و داده‌هایی که بوسیله ماهواره ثبت می‌شوند، شناسایی پدیده‌های مختلف را ممکن می‌سازد (Kruse, 2002). استفاده از تکنولوژی دورسنجی در زمینه‌های مختلف مانند اکتشاف معدن بسیار گسترش یافته است و امروزه یکی از مهم‌ترین ابزارها در مطالعه سطح زمین و عوامل تشکیل دهنده آن محسوب می‌شود (Sabins, 1999). سنجش از دور در مقایسه با روش‌های دیگر اکتشافی به علت داشتن هزینه‌های پایین و در عین حال سرعت و بازدهی بالا، می‌تواند در تعیین اهداف اکتشافی اولیه نقش بسیار مهمی داشته باشد. در تهیه تصاویر ماهواره‌ای بنا به شیوه کار و نوع ماده معدنی مورد پی جویی، از ماهواره‌ها و سنجنده‌های مختلفی استفاده می‌شود. زمین شناسان و مهندسين معدن، از داده‌های سنجنده‌های ETM^+ ، TM و ASTER برای اهداف اکتشافی و پتانسیل یابی معدنی بهره برده‌اند (Pour and Hashim, 2012; Pour and Hashim, 2011).

سنجنده نقشه بردار موضوعی TM لندست ۵ در سال ۱۹۸۴ به فضا پرتاب شد. این سنجنده در واقع یک پیشگر اپتیکال - مکانیکال بوده که انرژی دریافتی نواحی مرئی، مادون قرمز انعکاسی و حرارتی طیف الکترومغناطیسی را ثبت می‌کند. داده‌های لندست TM دارای توان تفکیک زمینی ۳۰ متر برای باندهای ۱-۵ و ۷ بوده و باند مادون قرمز حرارتی (باند ۶) دارای توان تفکیک زمینی ۱۲۰ متر می‌باشد (Solomonson, 1984). لندست ۷ در سال ۱۹۹۹ توسط موشک دلتای ۱۱ به فضا پرتاب شد که حاوی سنجنده ETM^+ می‌باشد. در این سنجنده توان تفکیک مکانی باند ترمال به ۶۰ متر بهبود یافته و باند پانکروماتیک (باند ۸) با توان تفکیک زمینی ۱۵ متر اضافه گردید. باندهای ۱ تا ۵ و ۷ سنجنده ETM^+ در محدوده ۰/۴۵-۲/۳۵ میکرومتر با قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر هستند. ابعاد تصاویر این سنجنده ۱۸۵ کیلومتر است. باندهای ۱-۵ و ۷ سنجنده ETM^+ از نظر توان تفکیک زمینی مشابه سنجنده‌های

TM لندست (۴ و ۵) می باشد و تفاوت آن ها در باند حرارتی است (Lillesand et al., 2014). پژوهشگران از روش های مختلف پردازش تصویر به منظور بارزسازی زون های آلتراسیون و تشخیص ساختارها با استفاده از تصاویر سنجنده ETM^+ استفاده کرده اند. سنجنده ASTER که در ماهواره TERRA تعبیه شده است، در سال ۱۹۹۹ به فضا پرتاب شد. این سنجنده اطلاعات طیفی منابع زمینی را در ۱۴ باند مجزا، سه باند در محدوده مرئی و فرو سرخ نزدیک VNIR با تفکیک مکانی ۱۵ متر و قابلیت دید سه بعدی که بوسیله دو مولفه NADIR و BACKWARD فراهم می شود، شش باند در محدوده فروسرخ موج کوتاه SWIR با تفکیک مکانی ۳۰ متر و پنج باند در محدوده فروسرخ گرمایی با تفکیک مکانی ۹۰ متر در اختیار کاربران قرار می دهد. داده های فروسرخ موج کوتاه سنجنده ASTER در محدوده باند ۷ سنجنده ETM^+ ماهواره لندست می باشد (جدول ۱-۳) با این تفاوت که در طیف سنج ASTER، ۶ باند پیوسته توان تفکیک طیفی بزرگ تری را نسبت به لندست ETM^+ در این محدوده طیفی به نمایش می گذارد (جدول ۲-۳) (Abrams et al., 2002; Ninomiya et al., 2005). با توجه به اختلاف زیاد میان منحنی های انعکاسی طیف کانی ها در محدوده مادون قرمز کوتاه و وضوح طیفی بالای سنجنده ASTER، این سنجنده به طور موثری سنگ ها و کانی های گوناگون سطح زمین را متمایز و قابل تشخیص می نماید. بنابراین با توجه به بالاتر بودن وضوح تصاویر در سنجنده ی ASTER نسبت به سنجنده ETM^+ ، شناسایی و تفکیک کانی های موجود در آلتراسیون های هیدروترمال توسط پردازش تصاویر سنجنده ASTER، می تواند نتایج بهتر و قابل اعتمادتری را در بر داشته باشد؛ هر چند شناسایی ساختارهای زمین شناسی از جمله خطواره ها و واحدهای سنگی می تواند توسط تصاویر ETM^+ نیز انجام شود.

جدول ۱-۳ مشخصات سنجنده ETM⁺

شماره باند	محدوده طیفی (میکرومتر)	قدرت تفکیک مکانی (متر)	زمان پوشش کامل زمین/ارتفاع مدار	ابعاد پوشش (کیلومتر)
۱	۰/۴۵-۰/۵۱۵	۳۰	۱۶روز/۷۰۵کیلومتر	۱۸۵*۱۸۵
۲	۰/۵۲۵-۰/۶۰۵	۳۰		
۳	۰/۶۳-۰/۶۹	۳۰		
۴	۰/۷۵-۰/۹۰	۳۰		
۵	۱/۵۵-۱/۷۵	۳۰		
۶	۱۰/۴-۱۲/۵	۶۰		
۷	۲/۰۹-۲/۳۵	۳۰		
پانکروماتیک	۰/۵۲-۰/۹۰	۱۵		

جدول ۲-۳ مشخصات سنجنده ASTER

طیف سنج	باند	محدوده باند (میکرومتر)	توان تفکیک رادیومتری (بیت)	توان تفکیک مکانی (متر)
VNIR	۱	۰/۶-۰/۵۲	۸	۱۵
	۲	۰/۶۹-۰/۶۳		
	N۳	۰/۸۶-۰/۷۸		
	B۳	۰/۸۶-۰/۷۸		
SWIR	۴	۱/۷-۱/۶	۸	۳۰
	۵	۲/۱۸۵-۲/۱۴۵		
	۶	۲/۲۲۵-۲/۱۸۵		
	۷	۲/۲۸۵-۲/۲۳۵		
	۸	۲/۳۶۵-۲/۲۹۵		
	۹	۲/۴۳-۲/۳۶		
TIR	۱۰	۸/۴۷۵-۸/۱۲۵	۱۲	۹۰
	۱۱	۸/۸۲۵-۸/۴۷۵		
	۱۲	۹/۲۷۵-۸/۹۲۵		
	۱۳	۱۰/۹۵-۱۰/۲۵		
	۱۴	۱۱/۶۵-۱۰/۹۵		

۳-۲- پیش‌پردازش تصاویر ماهواره‌ای

پیش از آغاز مرحله اصلی پردازش تصاویر ماهواره‌ای، تصحیحات مورد نیاز در مرحله پیش‌پردازش صورت می‌پذیرد. از روش Log Residual می‌توان برای انجام تصحیحات رادیومتری و اتمسفریک استفاده نمود. در این روش از اطلاعات آماری مربوط به تصاویر ماهواره‌ای برای کالیبراسیون استفاده می‌شود و طبق آن، داده‌های رادیانس نسبت به میانگین هندسی مکانی نرمال می‌شوند و همچنین برای حذف اثر توپوگرافی از لگاریتم میانگین هندسی طیفی (میانگین تمام باندها برای یک پیکسل) استفاده می‌شود و با استفاده از میانگین هندسی مکانی (میانگین تمام پیکسل‌ها برای هر یک از باندها) تاثیرات مربوط به تابش خورشید، عبورپذیری جو و نیز خطای دستگاهی حذف می‌شود (Legg, 1994).

به منظور بارز سازی عوارض طیفی، می‌توان از روش کالیبراسیون بازتابش متوسط نسبی داخلی^۴ برای نرمالیزه کردن تصاویر با استفاده از یک طیف میانگین سین استفاده نمود. در روش IARR یا میانگین نسبی بازتاب‌ها، میانگین بازتاب پیکسل‌های تصویر محاسبه می‌شود و مقادیر شدت تابش هر پیکسل بر میانگین پیکسل‌های تصویر تقسیم می‌گردد. عدد به دست آمده برای هر پیکسل طیف بازتاب نسبی و مقدار نرمالیزه شده آن پیکسل خواهد بود. ناهنجاری‌های بازتابی می‌توانند اثرات مزاحم جوی از قبیل پراکنش، انتقال و اثر هم‌جواری باشند. در این نوع تصحیح، پس از نرمالیزه شدن مقادیر پیکسل‌ها، بسیاری از این ناهنجاری‌ها به مقدار حداقل کاهش می‌یابند. پس از انجام این تصحیح، محدوده‌های جذب و بازتاب طیف‌های استخراج شده از تصویر، بارزتر می‌گردند. در روش IARR نیازی به اطلاعات طیف نگاری صحرائی و مطالعات میدانی نیست و الگوریتم روش مذکور به صورت خطی بر روی همه ناهنجاری‌های بازتابی، تاثیری مشابه اعمال می‌کند (Kruse, 1988). به‌طور کلی روش IARR اثرات ویژه‌ای را برای تبدیل داده‌های طیفی به بازتاب‌های نسبی در مناطقی که اندازه‌گیری‌های زمینی وجود نداشته و اطلاعات از منطقه اندک باشد، استفاده می‌شود. این روش برای مناطق خشک و بدون پوشش

^۴ IARR

گیاهی نتایج بهتری را در بر دارد (Ben-Dor et al., 1995). پس از انجام پیش پردازش تصویر با روش IARR، طیف کانی‌های دارای پستی بلندی، مشابه با طیف‌های استاندارد خواهد شد (Kruse, 1988). در این پژوهش از تصویر سنجنده ETM⁺ لندست و تصویر سنجنده ASTER ماهواره TERRA استفاده شده است. داده‌های سنجنده ASTER در دو سطح مختلف با نام‌های Level_1A (L1A) و Level_1B (L1B) تهیه می‌شوند. داده‌های L1A رسماً داده‌های احیا شده و پردازش نشده نامیده می‌شوند. این نوع داده از بازسازی داده‌های خام Level-0 تهیه می‌شود. لازم به ذکر است که تصویر ASTER مورد استفاده در این پژوهش از نوع داده‌های L1B می‌باشد. قبل از شروع پردازش، پیش پردازش‌های مذکور بر روی تصاویر توسط نرم افزار ENVI v5.0 صورت گرفت.

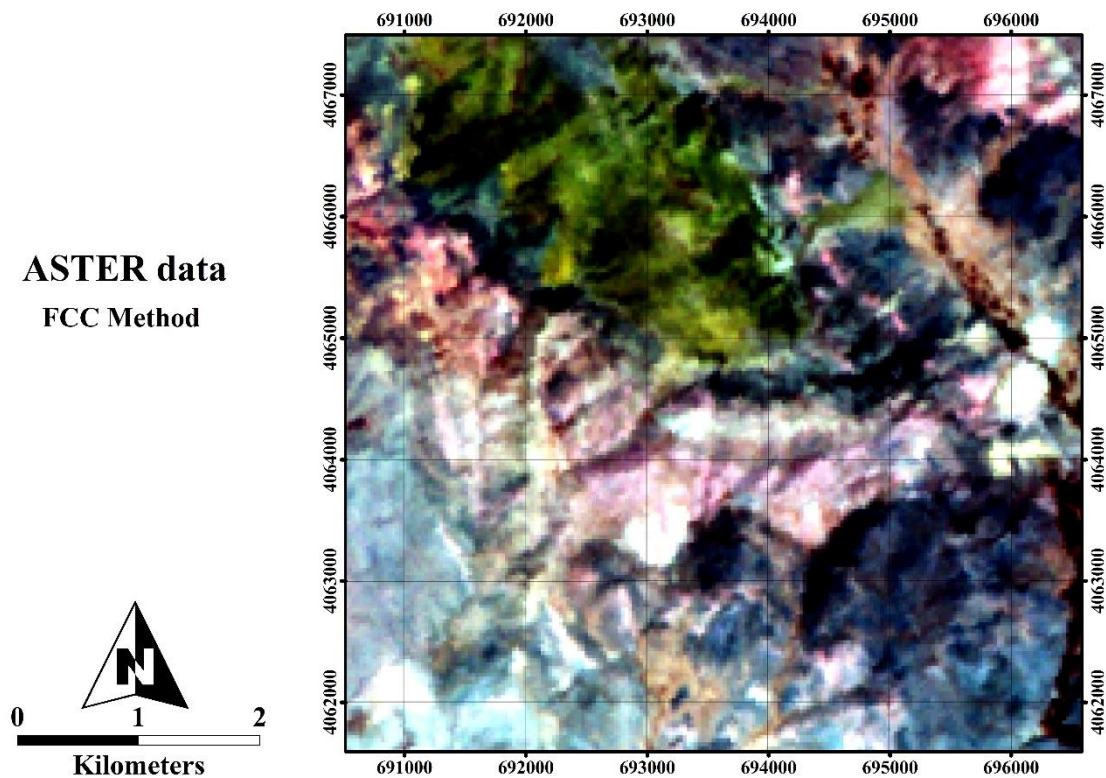
۳-۳- شناسایی آلتراسیون‌های هیدروترمال

۳-۳-۱- روش ترکیب رنگی کاذب^۵

یکی از روش‌های کاربردی برای شناسایی آلتراسیون‌های هیدروترمال در تصاویر استر، استفاده از روش ترکیب رنگی کاذب می‌باشد. کانی‌های دارای پیوند Al-OH مانند کائولینیت، موسکویت و مونت موریلونیت و ایلیت، کانی‌های شاخص (زون‌های آلتراسیون فیلیک و آرژیلیک)، دارای حداکثر انعکاس در باند ۴ ناحیه SWIR می‌باشند. همچنین کانی‌های دارای Mg-OH مانند کلریت و اپیدوت که شاخص زون آلتراسیون پروپیلیتیک هستند، در باند ۶ محدوده طیفی SWIR سنجنده ASTER دارای انعکاس بالا می‌باشند. لذا ترکیب رنگی کاذب 4-6-8 (FCC) ناحیه SWIR زون‌های آلتراسیون فیلیک و آرژیلیک به رنگ قرمز تا صورتی و زون‌های آلتراسیون پروپیلیتیک به رنگ سبز نمایان خواهد شد (Mars, 2010, Alimohammadi et al., 2015). در محدوده مورد مطالعه، آلتراسیون‌های فیلیک و

⁵ FCC

آرژلیک به رنگ قرمز تا صورتی دیده می‌شوند در حالیکه سنگ‌های دگرسانی مربوط به آلتراسیون پروپیلیتیک به رنگ سبز در اطراف آلتراسیون‌های آرژلیک-فیلیک قرار گرفته‌اند (شکل ۳-۱).

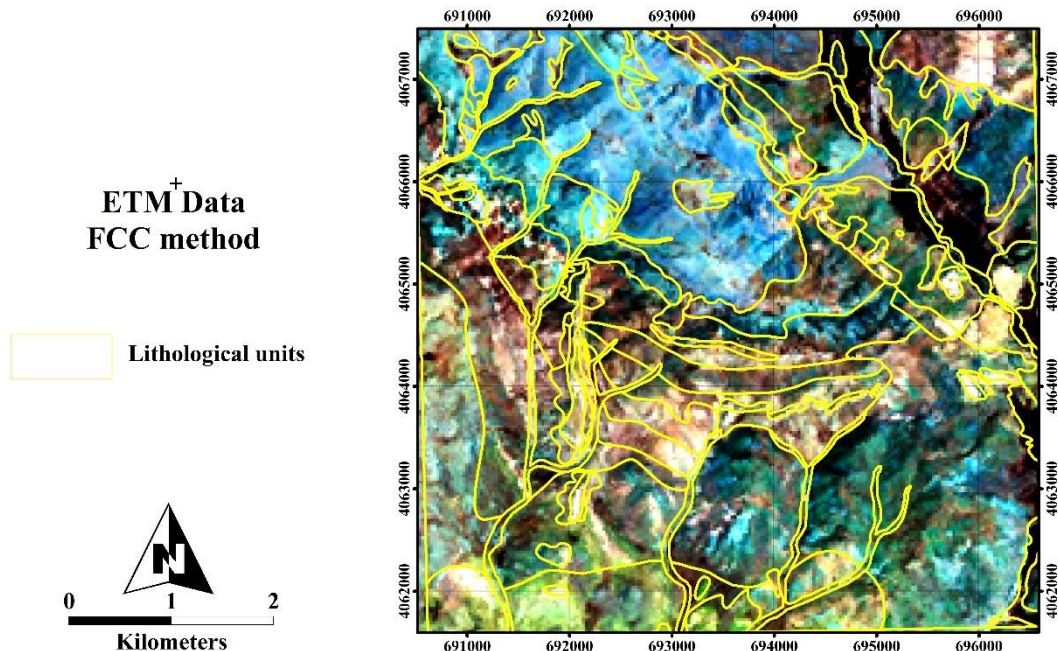


شکل ۳-۱ ترکیب رنگی کاذب ۸-۶-۴ (RGB) در سنجه Aster آلتراسیون فیلیک و آرژلیک به رنگ قرمز تا صورتی و آلتراسیون پروپیلیتیک به رنگ سبز دیده می‌شوند.

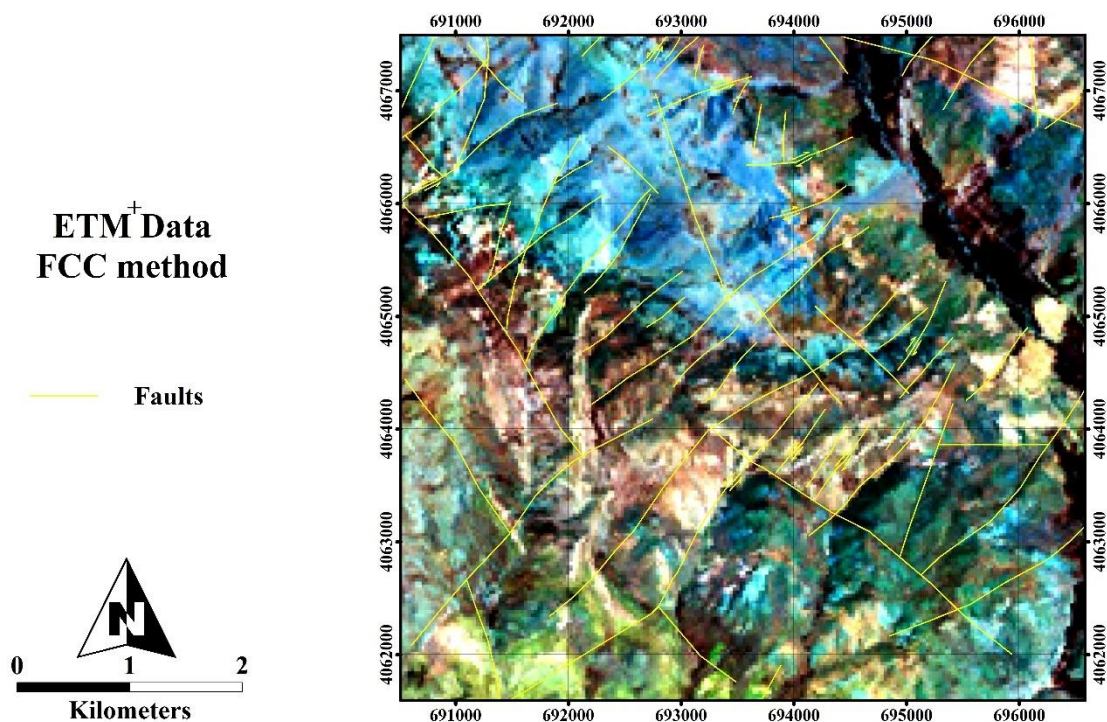
اغلب کانسارها و کانی‌زایی‌ها ارتباط نزدیکی با ساختارهای زمین‌شناسی، واحدهای سنگ‌شناسی، تکتونیک و گسل‌های منطقه دارند. با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای می‌توان واحدهای سنگ‌شناسی و ساختارهای زمین‌شناسی منطقه را شناسایی و تفکیک نمود که این امر می‌تواند به شناسایی کانی‌زایی و در نهایت اکتشاف کانسارهای موجود در آن‌ها کمک شایانی نماید. یکی از بهترین راه‌های شناسایی این ساختارها استفاده از تصاویر حاصل از سنجه ETM⁺ می‌باشد. استفاده از این تصاویر ایده خوبی جهت شناسایی ساختار تکتونیک و ساختارهای زمین‌شناسی و واحدهای سنگی منطقه در اختیار قرار

می‌دهد. برای تشخیص و تفکیک واحدهای سنگی در تصاویر ETM^+ ، ترکیب رنگی باند ۵ در کانال قرمز و باند ۳ در کانال سبز و باند ۱ در کانال آبی، بهترین ترکیب رنگی می‌باشد (Sadeghi et al., 2013).

در این پژوهش از باندهای ۵، ۳ و ۱ سنجنده ETM^+ برای تفکیک واحدهای سنگی و شناسایی خطواره‌هایی نظیر گسل‌های موجود در منطقه استفاده شد. ترکیب رنگی کاذب ۵-۳-۱ برای نمایش تصویر مورد استفاده قرار گرفت. همانطور که در شکل ۲-۳ قابل مشاهده می‌باشد واحدهای سنگی به خوبی تفکیک شده‌اند. در شکل ۳-۳ نیز گسل‌های اصلی موجود در منطقه نیز به خوبی شناسایی شده‌اند. با مطابقت تصویر حاصل از ترکیب رنگی ۵-۳-۱ با نقشه زمین‌شناسی منطقه، صحت نتایج بدست آمده از پردازش تصاویر سنجنده ETM^+ جهت شناسایی و تفکیک واحدهای سنگی و خطواره‌های موجود در منطقه، تایید می‌شود.



شکل ۲-۳ نقشه تفکیک واحدهای سنگ شناسی منطقه مورد مطالعه با استفاده از ترکیب رنگی کاذب باندهای ۵-۳-۱ سنجنده ETM^+



شکل ۳-۳ نقشه شناسایی خطواره‌ها (گسل) منطقه مورد مطالعه با استفاده از ترکیب رنگی کاذب باندهای ۱-۳-۵ سنجنده ETM^+

۳-۳-۲- روش آنالیز طیفی^۶

آنالیز طیفی تصاویر ASTER می‌تواند ابزار بسیار مفیدی در شناسایی انواع مختلف آلتراسیون نظیر آرژیلیک، آرژیلیک پیشرفته، سربیسیتیک، پروپیلیتیک، سیلیسی شدن و اکسیدهای آهن باشد. در عمل، توانایی این ابزار به فاکتورهای زیادی وابسته است که تعدادی از این عوامل عبارتند از:

- وجود پوشش گیاهی: پوشش گیاهی شدیداً بر خصوصیات طیفی مناطق آلتراسیون تاثیر گذار می‌باشد.

^۶ SA

- اثر یا مقدار پوشش سطحی سیستم: سیستم‌های کوچک نظیر رگه‌های مزوترمال و سیستم‌های سولفیدی خفیف غالباً کوچک‌تر از قدرت تفکیک مکانی تصاویر ASTER می‌باشند.

-سنگ میزبان: آنالیز طیفی در سیستم‌های ولکانیکی ابزار بسیار مفیدی بوده به طوری که در این سنگ‌ها مناطق آلتراسیون نسبت به سنگ‌های احاطه کننده مغایرت داشته و قابل تشخیص می‌باشند. در این سیستم‌ها حتی مناطق هدف بسیار جزیی نیز قابل شناسایی هستند.

در آنالیز طیفی داده های ASTER با توجه به قدرت تفکیک طیفی این سنجنده بیشتر از روش‌های طبقه‌بندی^۷ و الگوریتم‌های تفکیک طیفی^۸ استفاده می‌شود. یکی از روش‌های پیشرفته پردازش تصاویر ASTER استفاده از کتابخانه طیفی^۹ کانی‌های مورد نظر می‌باشد. در این روش ابتدا با توجه به تیپ کانی‌زایی، نمودار منحنی طیفی کانی‌های شاخص انتخاب شده و بر اساس آن‌ها شباهت بازتاب طیفی پیکسل‌های تصویر ارزیابی می‌شود. این روش یک روش نیمه نظارت شده می‌باشد.

در پردازش تصاویر ماهواره‌ای با استفاده از آنالیز منحنی بازتاب طیفی کانی‌ها، به دنبال پیدا کردن ارتباط بین کانی و اسپکترومتری می‌باشیم. نمودارهای طیفی برای مجموعه‌ای از کانی‌ها در آزمایشگاه تولید شده و در نرم افزارهای پردازش تصویر مانند ENVI تحت عنوان کتابخانه طیفی قابل دسترس می‌باشند. در کتابخانه طیفی ENVI نمودار طیف کانیها برای ۴۲۰ محدوده طیفی در بازه بین ۰/۴-۲/۵ میکرومتر تهیه شده است، بنابراین برای استفاده از کتابخانه طیفی ENVI جهت انجام آنالیز طیفی بایستی نمودار طیفی مجموعه کانی‌های مورد نظر را به باندهای ASTER، بازنویسی^{۱۰} نمود. لازم به ذکر است که تنها باندهای VNIR و SWIR سنجنده ASTER در محدوده ۰/۵۲-۲/۴۳ میکرومتر قرار

⁷ Mapping Method or Classification Method

⁸ Unmixing

⁹ Spectral Library

¹⁰ Resample

دارند و باندهای TIR خارج از این محدوده می‌باشند. از آنجایی که یکی از اهداف مهم انجام این پژوهش شناسایی و استخراج دگرسانی‌های مرتبط با کانی‌زایی طلائی اپی‌ترمال در منطقه زرشوران می‌باشد، کانی‌های مرتبط با این تیپ کانی‌زایی تعیین و کتابخانه طیفی بازنویسی شده آن‌ها برای باندهای ASTER تهیه شد. سپس آنالیز طیفی آن‌ها بر اساس روش‌های طبقه‌بندی صورت گرفت که در ادامه، روش به کار رفته و نتایج آن آمده است.

- **نقشه برداری زاویه طیفی¹¹**: از روش‌های رده‌بندی سریع است که از راه ارزیابی میزان تشابه طیف‌های تصویر و مرجع عمل نقشه‌برداری را انجام می‌دهد.

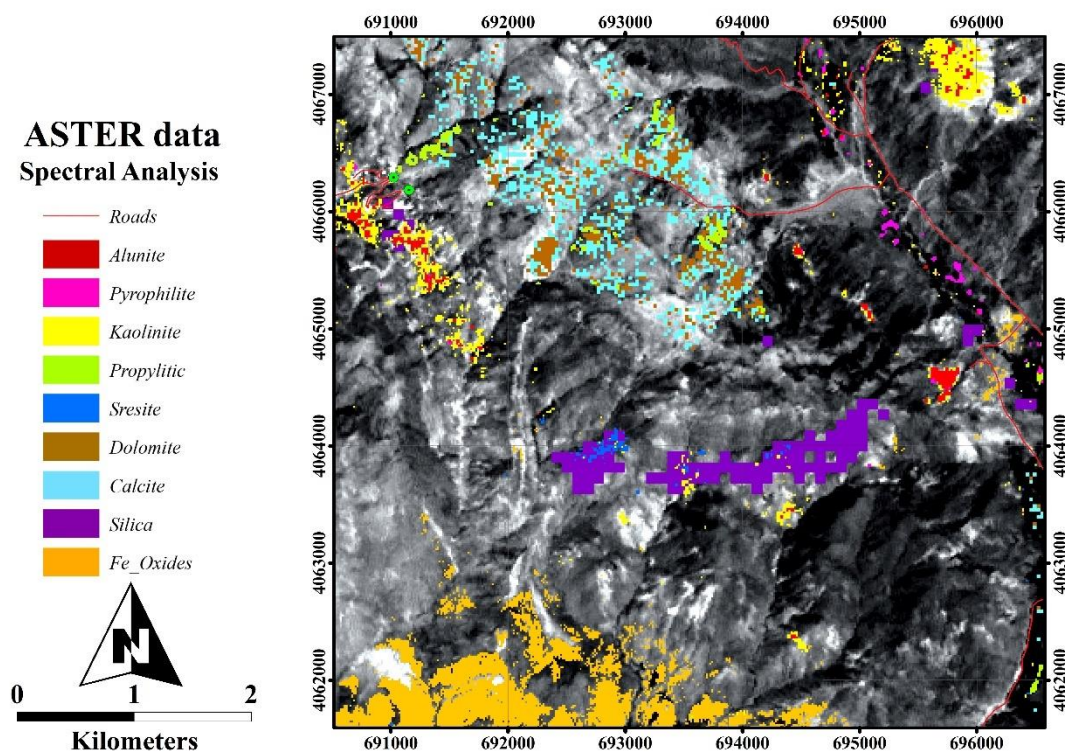
الگوریتم مورد استفاده در SAM شباهت طیفی را از طریق محاسبه زاویه بین دو طیفی که آن‌ها را به عنوان بردارهایی در فضای n بعدی در نظر می‌گیرد، محاسبه می‌کند. خروجی‌های این روش پیکسل‌هایی با زاویه طیفی بین صفر و یک است که هر قدر این زاویه کوچکتر باشد، طیف هدف مورد نظر به طیف مرجع نزدیک‌تر و تشابه آن‌ها نیز بیشتر است. همراه با خروجی‌های SAM تصاویر Rule هم تولید می‌شوند که فاصله زاویه واقعی (بر حسب رادیان) بین هر طیف تصویر و طیف مرجع را نشان می‌دهند. پیکسل‌های تیره در تصاویر Rule کوچک‌ترین زاویه طیفی را نشان می‌دهند و بیشترین شباهت را با طیف مرجع دارند (Kruse et al., 1993). فاکتورهای تابش خورشیدی بدلیل اینکه زاویه بین دو بردار مستقل از طول بردار است بر محاسبات این روش تاثیری ندارد.

فرمول محاسبه زاویه بین دو طیف بصورت زیر تعریف می‌گردد.

$$\alpha = \cos^{-1} \left(\frac{\sum_{i=1}^{nb} t_i r_i}{\left(\sum_{i=1}^{nb} t_i^2 \right)^{1/2} \left(\sum_{i=1}^{nb} r_i^2 \right)^{1/2}} \right)$$

¹¹ SAM

که در آن n_b تعداد باندها، t_i طیف عارضه و r_i طیف مرجع را نشان می دهد. عمده مزیت این روش در میان روش های رده بندی داده های ماهواره ای، آسانی و سرعت در نقشه برداری بر اساس شباهت طیفی بین طیف عارضه و طیف مرجع می باشد. همان طور که در شکل ۳-۴ مشاهده می کنید، کانی های مختلف که بیانگر آلتراسیون های هیدروترمال و آلتراسیون های اکسید آهن و سیلیسی می باشند، به تفکیک شناسایی شده اند.



شکل ۳-۴ نقشه مواد معدنی استخراج شده از تصویر *ASTER* با استفاده از روش های آنالیز طیفی

جهت شناسایی آلتراسیون هیدروترمال موجود در محدوده مورد مطالعه، براساس مطالعات دورسنجی، از تصاویر *ASTER* و ETM^+ منطقه زرشوران استفاده شد و با استفاده از روش های ترکیب رنگی کاذب (FCC) و آنالیز طیفی (SA) آلتراسیون های مختلف شناسایی و مشخص شدند.

۴ بررسی های ژئوشیمیایی

۴-۱- مقدمه

امروزه اکتشافات ژئوشیمیایی به خصوص از نوع رسوبات آبراهه‌ای نقش بسیار مهمی در یافتن مناطق امیدبخش و فراهم کردن شرایط مناسب برای اکتشافات تفصیلی‌تر، ایفا می‌کند. تشخیص و جداسازی آنومالی‌های ژئوشیمیایی از زمینه، یکی از مهم‌ترین و اساسی‌ترین مسائل در اکتشافات ژئوشیمیایی می‌باشد (Cheng et al., 1994). در سال‌های گذشته، متخصصین علوم زمین با بهره‌گیری از روش‌های آمار کلاسیک توانسته‌اند مقادیر آنومالی را تشخیص دهند. طبق نظر دانشمندان، یک آنومالی ژئوشیمیایی به مناطقی اطلاق می‌گردد که در آن‌ها عیار برخی عناصر خاص بالاتر از حدود آستانه به دست آمده از پارامترهای آماری نظیر میانگین، میانه، مد و انحراف معیار می‌باشد. به عنوان مثال نمودار احتمال، از تکنیک‌های ترسیمی می‌باشد که به بررسی رفتار متغیر مورد مطالعه و نحوه پراکندگی آن در جامعه می‌پردازد. یکی از بزرگ‌ترین ضعف‌های روش‌های مبتنی بر آمار کلاسیک این است که این روش‌ها تنها توزیع فراوانی عیار عناصر را در نظر گرفته و از تغییرات فضایی آن‌ها صرف نظر می‌کنند. به خصوص اینکه اطلاعات مورد نظر درباره همبستگی فضایی داده‌ها همیشه در دسترس نیست. همچنین این روش‌ها فقط در مواردی که داده‌های ژئوشیمیایی از توزیع نرمال پیروی کنند، قابل استفاده هستند. درحالی‌که توزیع ژئوشیمیایی داده‌ها همیشه از حالت نرمال پیروی نمی‌کند (Afzal et al., 2010). به علاوه، داده‌های جمع‌آوری شده برای استفاده از روش‌های کلاسیک می‌بایست با حذف داده‌های خارج از ردیف و نرمال‌سازی آن‌ها اصلاح شوند که همین امر یکی از معایب بزرگ روش‌های کلاسیک به شمار می‌رود. همچنین، روش‌های آمار کلاسیک فقط نرمال بودن یا لاگ نرمال بودن داده‌ها را در نظر گرفته و به شکل، گسترش و بزرگی نواحی آنومالی توجه نمی‌کنند.

در سال‌های اخیر، برای حل مشکلات ذکر شده در تشخیص نواحی آنومال با استفاده از روش‌های آمار کلاسیک، روش‌های جدیدتری تحت عنوان روش‌های فرکتال در علم ژئوشیمی مطرح شدند. در سال

۱۹۸۳ پروفیسور ماندلبروت^{۱۲} تئوری فرکتال را به عنوان یک روش غیر اقلیدسی در هندسه مطرح کرد. در طی رخدادهای مربوط به فرآیندهای زمین شناسی ممکن است برخی از عناصر فلزی دچار غنی شدگی شوند که باعث تشکیل کانسارهای فلزی با عیار بالا می شوند و برخی دیگر دچار تهی شدگی می شوند. توزیع عیار عناصر در نمونه های رسوب آبراه های از قاعده خاصی پیروی نمی کند (Cheng et al., 1994)؛ بنابراین، روش های فرکتالی برای تعیین حدود آستانه و تشخیص و تمایز آنومالی های ژئوشیمیایی از مقادیر زمینه می توانند مورد استفاده قرار بگیرند (Agterberg et al., 1993; Daya, 2015). در دهه های گذشته، روش های مبتنی بر هندسه فرکتال در مطالعات زمین شناسی استفاده شده اند. یکی از پرکاربردترین روش های فرکتال، روش عیار-مساحت (C-A) می باشد که برای اولین بار توسط چنگ و همکاران^{۱۳} در سال ۱۹۹۴ پیشنهاد شد که بعدها توسط متخصصین علوم زمین گسترش یافت. این روش به دلیل در نظر گرفتن هم زمان فراوانی و تغییرات فضایی داده های ژئوشیمیایی روش بسیار موفقی در جدایش آنومالی از زمینه به شمار می رود (Parsa et al., 2016). روش دیگر مورد استفاده در مطالعات ژئوشیمیایی برای تعیین آنومالی های ژئوشیمیایی، روش فرکتال عیار-تعداد (N-S) می باشد که توسط ماندلبروت در سال ۱۹۸۳ معرفی گردید. این روش علی رغم اینکه تغییرات فضایی عیار داده های ژئوشیمیایی را در نظر نمی گیرد، روش بسیار موفقی در جداسازی جوامع ژئوشیمیایی بوده و مورد استفاده متخصصین علوم زمین قرار گرفته است. هم چنین برای دستیابی به مقادیر آنومالی مربوط به چندین عنصر مرتبط با کانی زایی و برجسته سازی مقادیر آنومالی، می توان از تحلیل های آماری چند متغیره نظیر تحلیل مؤلفه های اصلی^{۱۴} استفاده کرد. نتایج مربوط به PCA می تواند همراه با روش های جداسازی آنومالی از زمینه مانند روش های فرکتال و آماره فضایی U برای دستیابی به نتایجی مطمئن تر مورد استفاده قرار بگیرد (Yousefi et al., 2012).

¹² Mandelbrot

¹³ Cheng et al

¹⁴ PCA

۴-۲- طراحی شبکه نمونه برداری و برداشت نمونه‌های رسوب آبراهه‌ای

چگالی نمونه برداری از رسوبات آبراهه‌ای، تابع تراکم آبراهه‌ها در حوضه‌های آبریز، سقف بودجه اکتشافی، نوع کانی‌ها و اهداف اکتشافی است. برای اکتشاف در این مقیاس‌ها، برداشت حداقل ۱ نمونه در هر ۲/۵ کیلومتر مربع توصیه می‌شود. در مواردی نیز با نظر کارشناس خبره می‌توان نمونه برداری در هر کیلومتر مربع را افزایش داد. پراکندگی نمونه‌ها باید طوری باشد که تقریباً مناطقی که سنگ‌بستر بیرون‌زدگی دارد، بیشترین پوشش را داشته باشد. نمونه برداری در مناطقی که پدیده‌های زمین‌شناسی مثل گسل‌ها، محور طاق‌دیس‌ها و ناودیس‌ها، زون‌های کانی‌ساز و محدوده گسترش دایک‌ها و رگه‌های سیلیسی، برشی و زون‌های دگرسانی مشاهده می‌شود، محدوده‌هایی که آنومالی‌های ژئوفیزیکی شاخصی دارند و مناطقی که نتایج حاصل از نمونه‌های کانی سنگین و چکشی در مرحله اکتشاف ناحیه‌ای دارای شاخصه‌های مثبت هستند، باید تمرکز بیشتری داشته باشند. در این مقیاس از مطالعات، ماهیت آنومالی‌های ژئوشیمیایی و رابطه‌ی آن‌ها با زون‌های کانی‌ساز احتمالی تا حدودی از قبل مشخص شده و هدف اصلی، محدود کردن مساحت آنومالی‌های مرحله اکتشاف کوچک مقیاس قبلی است (صنایع و معادن، ۱۳۸۹).

نمونه‌ها باید از بستر آبراهه‌ها و با استفاده از بخش عبور کرده از الک بامش تعیین شده در مرحله مطالعات توجیهی برداشت شوند. وزن نمونه‌های برداشت شده باید ۱۰۰ تا ۳۰۰ گرم باشد. محل برداشت نمونه‌ها باید طوری انتخاب شود که نمونه برداشت شده نمایانگر رسوبات تخریبی حوضه آبریز بالادست خود باشد. نمونه‌ها معمولاً از بخش رس و سیلت و از وسط آبراهه‌ها برداشت می‌شوند. در صورتی که عرض آبراهه بیش از ۵ متر باشد، بهتر است که در امتداد عرضی آبراهه از چندین نقطه نمونه برداری شده و پس از اختلاط با یکدیگر یک نمونه معرف تهیه و مشخصات نمونه‌های تلفیقی در کارت نمونه برداری ثبت شود. فاصله نمونه‌ها از یکدیگر بر اساس درجه بندی آبراهه‌ها انتخاب می‌شود، به طوری که آبراهه‌های درجه یک (آبراهه‌های سرشاخه) دارای اهمیت بیشتری هستند. معمولاً محل

برداشت هر نمونه باید در منتهی‌الیه آبراهه و قبل از پیوستن به آبراهه‌های بعدی انتخاب شود. برداشت نمونه‌های کانی سنگین از آبراهه‌های درجه ۴ و ۵ (آبراهه‌های عریض که چندین آبراهه‌ی فرعی به آن می‌پیوندند)، با هدف اکتشاف کانسارهای آبرفتی انجام می‌شود (صنایع و معادن، ۱۳۸۹).

در محدوده مورد مطالعه، طراحی شبکه نمونه‌برداری به گونه‌ای صورت گرفته است که در آن خصوصیات همچون، نتایج حاصل از نمونه‌برداری توجیهی، حداکثر توزیع یکنواخت نمونه‌ها، رعایت چگالی نمونه‌برداری و متناسب بودن توزیع تعداد نمونه‌ها با سطح حوضه آبریز لحاظ گردیده است. در طراحی نقاط و انتخاب محل نمونه‌برداری اولویت با آبراهه‌ی اصلی‌تر در هر محدوده می‌باشد و تنها پس از پوشش شاخه‌های اصلی، سایر شاخه‌ها مورد نمونه‌برداری قرار گرفته‌اند. به جهت حصول نتایج واقعی، علاوه بر معیارهای اصولی گفته شده، موارد زیر نیز مورد توجه قرار گرفته است:

۱) فاصله حداکثر ۱۰۰ متری، به‌عنوان مناسب‌ترین فاصله از مرز واحدهای سنگی، مستعد کانی‌سازی طلا می‌باشد.

۲) جزء ۱۰۰- مش مناسب‌ترین جزء رسوبات آبراهه‌ای می‌باشد.

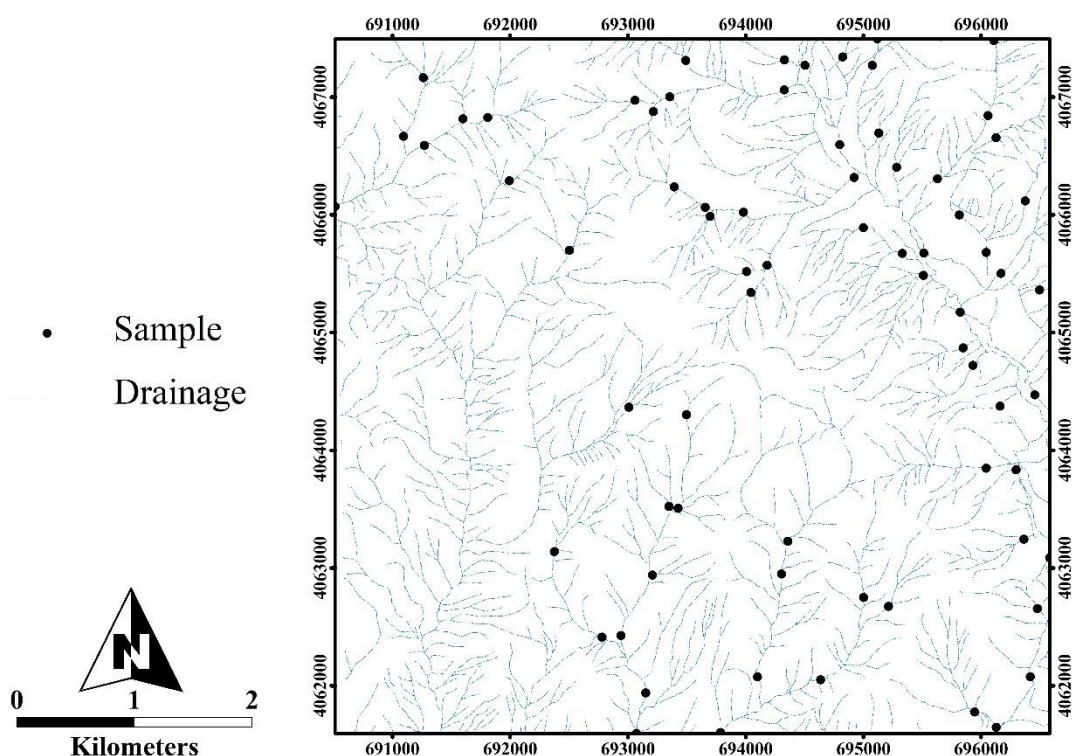
۳) اولویت دادن به رسوبات آبراهه‌ای که سنگ بستر خود را قطع می‌کنند.

۴) در صورت کاهش تعداد حوضه‌های آبریز، مساحت و یا تعداد انشعابات آن‌ها عاملی است تا آبراهه‌هایی که قدرت حفر بستر خود را دارند، کم شوند، رسوبات رودخانه‌هایی که سنگ بستر را قطع نمی‌کنند به عنوان گزینه‌ای اجباری و البته در مقایسه با سایر گزینه‌ها بهترین انتخاب، در اولویت هستند.

۵) در صورت نبود آبراهه‌های نوع اخیر اولویت با آبرفت‌های غیرکشاورزی است.

۶) دسترسی آسان به نقاط مورد نظر از پارامترهای موثر در انتخاب محل نمونه‌برداری خواهد بود که این امر در کاهش مدت زمان نمونه‌برداری موثر می‌باشد.

نقشه موقعیت ۷۲ نمونه رسوب آبراهه‌ای برداشت شده از محدوده مورد مطالعه در شکل ۴-۱ نشان داده شده است.



شکل ۴-۱ موقعیت نمونه‌های رسوب آبراه‌های برداشت شده از منطقه مورد مطالعه

۴-۳- آماده‌سازی و آنالیز نمونه‌های برداشت شده

اولین مرحله آماده‌سازی نمونه‌ها با انتخاب ابعاد بهینه رسوبات به وسیله الک موردنظر در صحرا انجام می‌شود. سپس در آزمایشگاه، نمونه‌ها طی مراحل خردایش تا ابعاد ۲۰۰- مش پودر می‌شوند. ۵۰ گرم از هر نمونه پس از همگن‌سازی برای تجزیه شیمیایی انتخاب و مابقی نمونه، بایگانی می‌شود. در این مرحله باید ۱۰ درصد کل نمونه‌ها و یا حداقل ۳۰ نمونه تکراری برای بررسی دقت نتایج آزمایشگاهی انتخاب شود (صنایع و معادن، ۱۳۸۹). در این پژوهش کلیه عملیات آماده‌سازی و آنالیز نمونه‌های ژئوشیمیایی رسوبات آبراه‌های پس از طی مرحلهٔ نرمایش و رسیدن به اندازهٔ ۲۰۰- مش، در آزمایشگاه زرآزما و با استفاده از دستگاه ICP-OES جهت تعیین مقدار عیار عناصر Ca, Bi, Be, Ba, As, Al, Ag, جهت تعیین مقدار عیار عناصر U, Ti, Th, Sr, Sn, Sc, Sb, S, Pb, P, Ni, Na, Mo, Mn, Mg, Li, La, K, Fe, Cu, Cr, Co, Ce, Cd

۷، W، Y، Yb، Zn و Zr تجزیه شدند، که در مجموع ۳۸ عنصر برای ۷۲ نمونه می‌باشند. طلا نیز با استفاده از روش آماده‌سازی و تجزیه^{۱۵} تعیین عیار گردید.

۴-۴-۴-۴-۴ پردازش داده‌های ژئوشیمیایی

۴-۴-۴-۱-۴-۴ جایگزینی داده‌های سنسورد

گاهی مواقع به علت وجود عیارهای بسیار کم (کمتر از حد پایین تشخیص دستگاه یا روش تجزیه) و یا عیارهای بسیار بالا (بیشتر از حد بالای تشخیص دستگاه یا روش تجزیه) داده‌های دقیقی به دست نیامده و این مقادیر عیاری به صورت صفر یا مقادیر کمتر از حد پایینی دستگاه (>) و یا مقادیر بیشتر از حد بالایی دستگاه (<) گزارش می‌شوند. در محدوده مورد مطالعه برای هیچ‌یک از نمونه‌ها از داده‌های فوق استفاده نشده است، بنابراین در داده‌های ژئوشیمیایی این محدوده جایگزینی داده‌های سنسورد انجام نپذیرفته است.

۴-۴-۲-۴-۴ نرمال‌سازی داده‌ها

اکثر روش‌های آماری فرض نرمال بودن توزیع داده‌ها را به همراه دارند، یعنی برای تحلیل با استفاده از این روش‌ها باید داده‌های مورد استفاده نرمال‌سازی شوند. در واقع سطح زیر منحنی توزیع نرمال، می‌تواند برابر با احتمال وقوع رخدادی با ویژگی تعریف شده باشد. در بررسی طبیعت توزیع داده‌های معدنی اکتشافی، توزیع نرمال از اهمیت خاصی برخوردار است. در مسائل اکتشافی به‌ویژه اکتشافات ژئوشیمیایی با داده‌هایی سروکار داریم که معمولاً نرمال نیستند. برای نرمال‌سازی داده‌های ژئوشیمیایی روش‌های آماری مختلفی وجود دارد. یکی از معتبرترین روش‌ها در این زمینه استفاده از تابع تبدیل

¹⁵ Fire Assay

لگاریتمی است. در بسیاری از موارد، داده‌های اکتشافی دارای توزیع نامتقارن با چولگی مثبت است. این بدان معنی است که نمونه‌هایی با عیار کم، فراوان‌تر و نمونه‌هایی با عیار زیاد، کمیاب‌ترند. در این شرایط اغلب با تبدیل داده‌ها تحت تابع تبدیل لگاریتمی، توزیع داده‌های تبدیل یافته متقارن گشته و به توزیع نرمال نزدیک می‌شود. توزیع این‌گونه داده‌ها را لاگ نرمال می‌نامند. با استفاده از این تابع، اختلاف بین مقادیر بالا و پایین عیار، کاهش یافته و امکان مقایسه بهتر آن‌ها فراهم می‌شود (حسنی‌پاک، ۱۳۸۰). در واقع اگر داده‌های با توزیع لاگ نرمال به حالت نرمال تبدیل شوند، میانگین جامعه نمونه، تخمین معتبرتری از میانگین جامعه‌ی کل به دست می‌دهد.

۴-۴-۳- پارامترهای آمار توصیفی

پارامترهای آمار توصیفی حاصل از پردازش داده‌های خام مربوط به ۳۸ عنصر شامل As, Al, Au, Ag, Ba, Bi, Be, Ca, Cd, Ce, Co, Cr, Cu, Fe, K, La, Li, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, P, Pb, S, Sb, Sc, Sn, Sr, Th, Ti, U, V, W, Y, Yb, Zn, Zr در جدول ۴-۱ نمایش داده شده است که مقادیر طلا برحسب ppb و مقادیر سایر عناصر برحسب ppm می‌باشند. این پارامترها شامل میانگین، میانه، انحراف معیار، پراش، چولگی، کشیدگی، مقادیر ماکزیمم و مینیمم می‌باشند.

۴-۴-۴- هیستوگرام توزیع فراوانی

با رسم منحنی توزیع فراوانی و مقایسه شکل آن با توزیع طبیعی تا حدودی می‌توان به میزان شباهت به توزیع طبیعی پی برد. در مطالعات آماری داده‌های ژئوشیمیایی، علاوه بر محاسبه‌ی پارامترهای آمار توصیفی که در بخش قبل به آن اشاره شد، هیستوگرام‌های توزیع فراوانی عناصر نیز ترسیم می‌شوند. هرچه شکل هیستوگرام‌های فراوانی به شکل زنگوله‌ای نزدیک‌تر باشد، جامعه موردبررسی به حالت نرمال نزدیک‌تر است. در شکل ۴-۲، هیستوگرام‌های فراوانی مربوط به تعدادی از عناصر با مقادیر خام شامل Ag, As, Au, Cd, Co, Cr, Cu, Mo, Ni, Pb, Sb, W و Zn ترسیم شده است که با مشاهده آن‌ها

مشخص می‌شود که توزیع فراوانی داده‌های خام اکثر عناصر مذکور از توزیع نرمال پیروی نمی‌کنند و دارای چولگی می‌باشند و لزوم نرمال‌سازی داده‌های خام با استفاده از تابع لگاریتم مشخص می‌شود. در شکل ۳-۴ هیستوگرام توزیع فراوانی عناصر مذکور پس از نرمال‌سازی بوسیله تابع تبدیل لگاریتمی قابل مشاهده است که مشخص می‌شود شکل هیستوگرام اکثر عناصر تقریباً به حالت نرمال نزدیک شده و مقادیر قابل‌اعتمادتری را تولید نموده است که می‌توان از این مقادیر تبدیل یافته برای تحلیل‌های بعدی استفاده کرد.

جدول ۴-۱ پارامترهای آمار توصیفی حاصل از داده‌های خام

Statistics								
	Au	Ag	Al	As	Ba	Be	Bi	Ca
Mean	14.54	0.22	55779.04	176.51	382.07	1.15	0.43	23278.88
Median	5.00	0.20	66123.00	48.55	357.50	1.30	0.43	17623.00
Std. Deviation	33.49	0.10	25952.58	777.30	330.06	0.53	0.04	19530.25
Variance	1121	0.01	67353656	604190	108939	0.28	0.00	38143080
Skewness	3.98	4.54	-0.83	8.13	3.00	-0.03	-1.98	1.91
Std. Error of Skewness	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28
Kurtosis	15.40	22.15	-0.85	67.69	11.15	0.69	10.46	4.71
Std. Error of Kurtosis	0.56	0.56	0.56	0.56	0.56	0.56	0.56	0.56
Minimum	4.00	0.13	4821.00	1.90	40.00	0.20	0.20	0.44
Maximum	175.00	0.80	87434.00	6584	1882	2.90	0.50	107664.00

جدول ۲-۴ پارامترهای آمار توصیفی حاصل از داده‌های خام

Statistics								
	Cd	Ce	Co	Cr	Cu	Fe	K	La
Mean	52.40	32.99	41.44	680.21	27.18	55217.51	13292.14	25.76
Median	0.28	38.00	18.50	62.00	24.50	52915	13902	19
Std. Deviation	427.42	15.16	41.30	979.06	13.28	16231	8891	71.79
Variance	182686	229.73	1705	958560	176	263458612	79060574	5154
Skewness	8.48	-0.66	1.24	1.25	2.62	-0.07	1.96	8.33
Std. Error of Skewness	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28
Kurtosis	71.93	-0.67	-0.27	0.06	9.45	1.31	9.45	70.27
Std. Error of Kurtosis	0.56	0.56	0.56	0.56	0.56	0.56	0.56	0.56
Minimum	0.23	0.22	4.00	18.00	5.00	11.00	1040.00	3.00
Maximum	3628	60.00	138	3037	86	98953	59533	623

جدول ۳-۴ پارامترهای آمار توصیفی حاصل از داده‌های خام

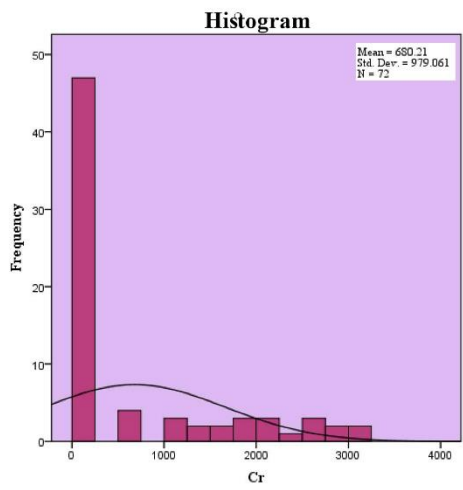
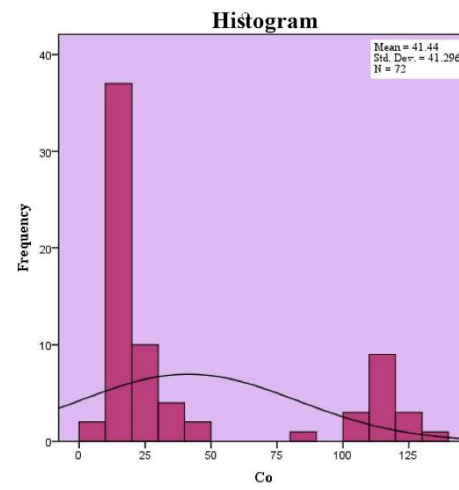
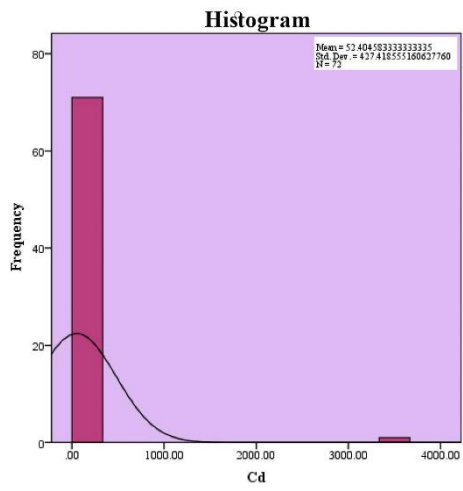
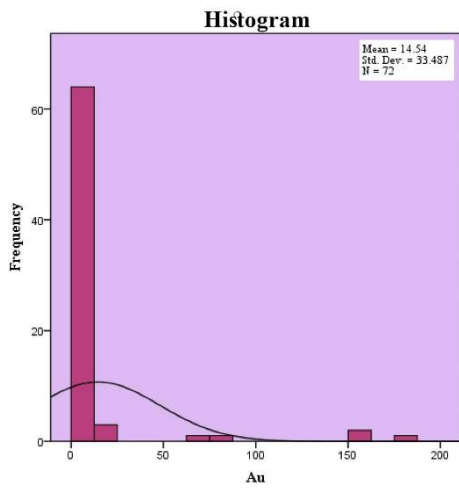
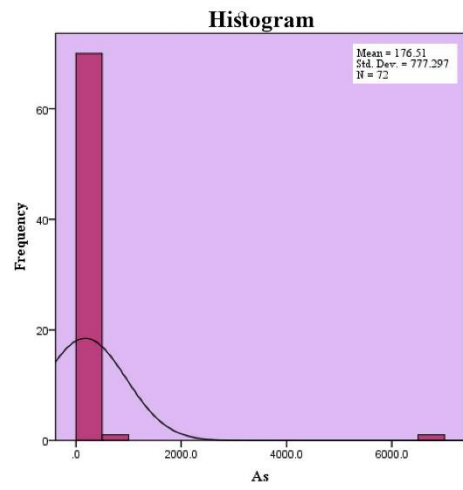
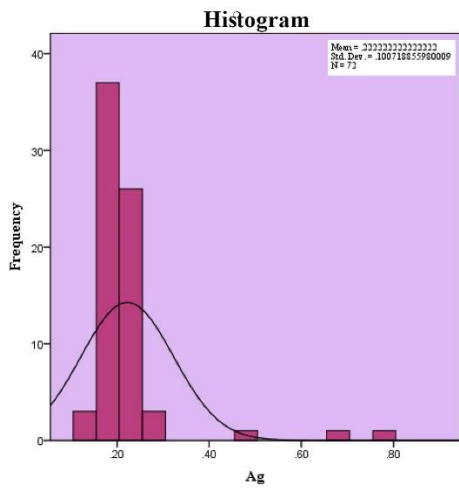
Statistics								
	Li	Mg	Mn	Mo	Na	Ni	P	Pb
Mean	20.57	19299.26	1678.01	1.13	5536.21	546.96	563.00	47.99
Median	21.50	11128.50	1000.00	1.12	5531.00	44.00	578.00	24.00
Std. Deviation	10.04	15714.13	5574.33	0.10	3657.79	839.36	308.95	46.89
Variance	100.90	246933736	31073120	0.01	13379414	704519	95452	2198.97
Skewness	0.01	0.92	8.43	0.38	0.07	1.22	1.98	1.72
Std. Error of Skewness	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28
Kurtosis	-0.32	-0.81	71.37	-0.02	-1.31	-0.41	8.08	2.08
Std. Error of Kurtosis	0.56	0.56	0.56	0.56	0.56	0.56	0.56	0.56
Minimum	2.00	2.00	482.00	0.92	0.98	11.00	109.00	11.00
Maximum	45.00	47738	48222	1.38	12172	2257	2016	192.00

جدول ۴-۴ پارامترهای آمار توصیفی حاصل از داده‌های خام

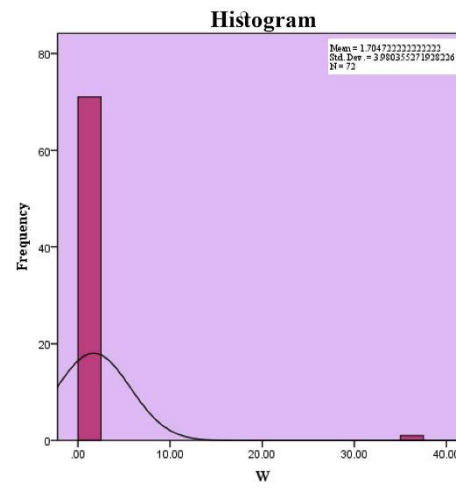
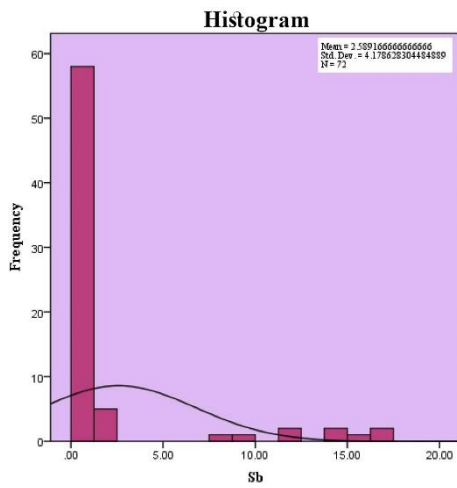
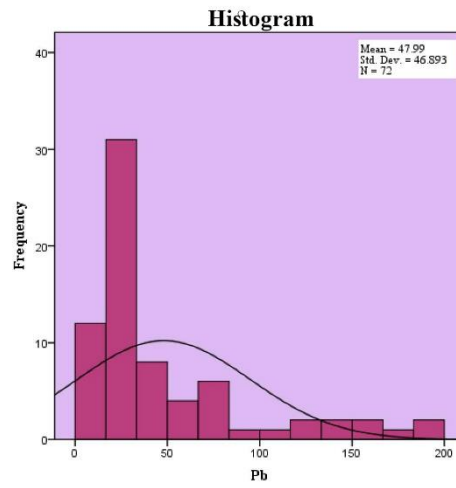
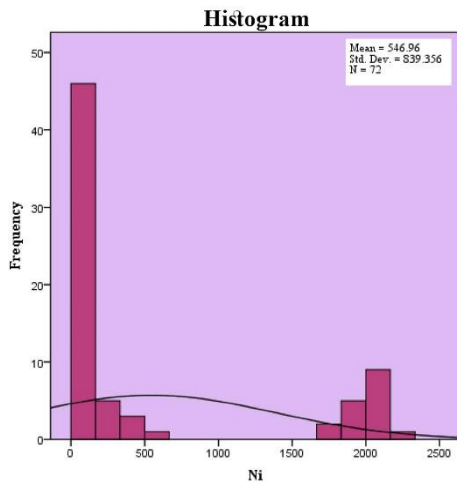
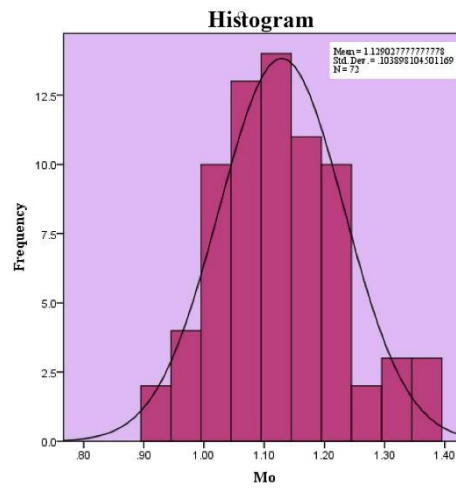
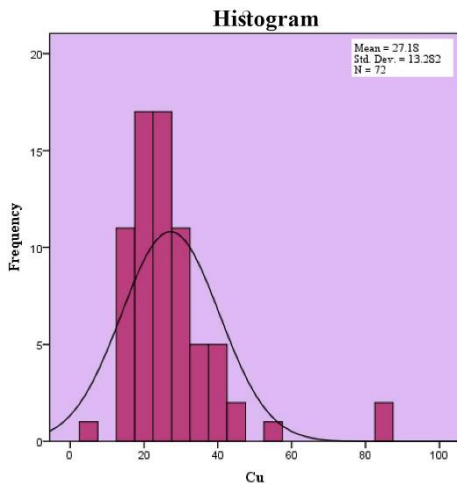
Statistics								
	S	Sb	Sc	Sn	Sr	Th	Ti	U
Mean	734.97	2.59	13.72	3.29	106.96	8.60	4153.51	5.46
Median	447.00	1.06	14.10	3.20	103.50	9.20	4625.00	2.00
Std. Deviation	1693.57	4.18	3.67	0.59	76.07	2.55	2189.78	28.40
Variance	2868192	17.46	13.48	0.35	5787	6.48	4795148	806.36
Skewness	8.06	2.54	-0.47	5.97	2.53	-0.60	-0.46	8.48
Std. Error of Skewness	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28
Kurtosis	67.05	4.99	0.57	44.69	12.88	-0.23	-0.96	71.91
Std. Error of Kurtosis	0.56	0.56	0.56	0.56	0.56	0.56	0.56	0.56
Minimum	7.00	0.82	0.99	2.50	3.00	3.70	3.50	1.00
Maximum	14666	17	20.10	7.70	532	14.70	7764	243

جدول ۵-۴ پارامترهای آمار توصیفی حاصل از داده‌های خام

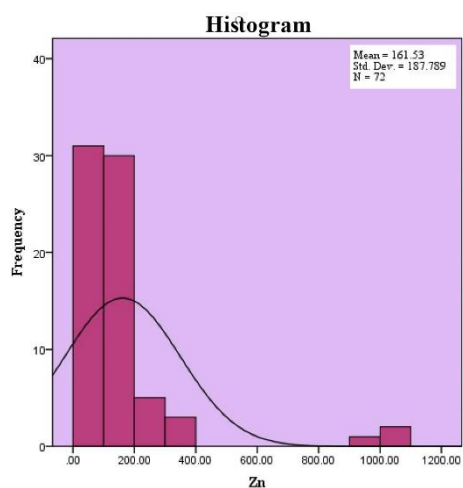
Statistics						
	V	W	Y_A	Yb	Zn	Zr
Mean	143.94	1.70	16.46	2.24	161.53	80.07
Median	145.00	1.23	20.00	2.50	101.50	84.50
Std. Deviation	71.94	3.98	7.77	0.85	187.79	42.77
Variance	5174.99	15.84	60.42	0.72	35264.71	1829.11
Skewness	0.20	8.48	-0.84	-0.69	3.87	0.07
Std. Error of Skewness	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28
Kurtosis	-0.91	71.91	-0.80	-0.91	15.36	-0.94
Std. Error of Kurtosis	0.56	0.56	0.56	0.56	0.56	0.56
Minimum	1.50	1.06	1.20	0.70	0.50	18.00
Maximum	292.00	35.00	27.00	3.50	1039.00	178.00



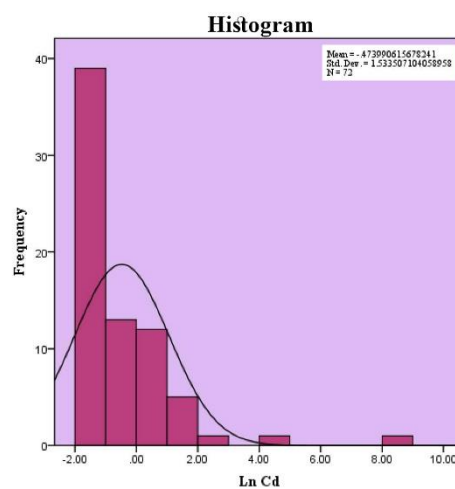
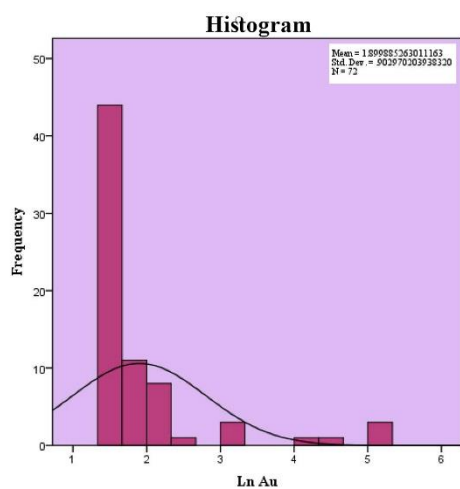
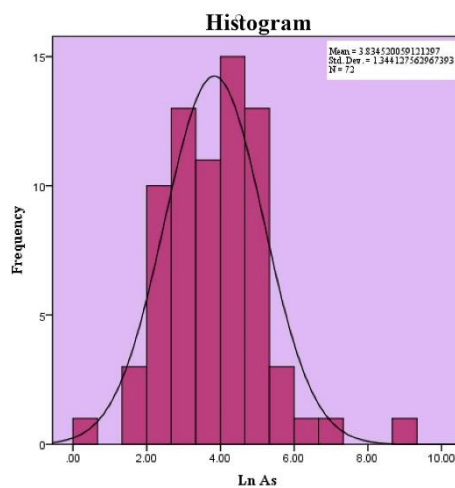
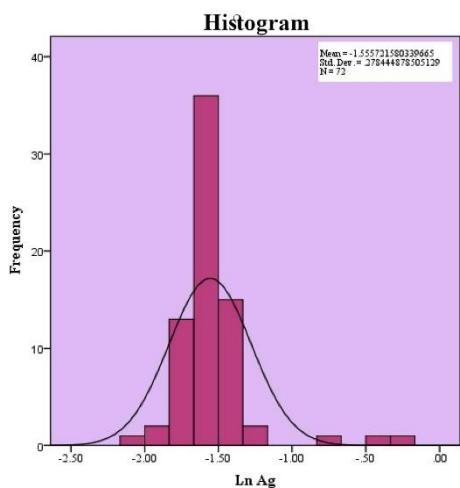
شکل ۲-۴ هیستوگرام توزیع فراوانی عناصر با مقادیر خام



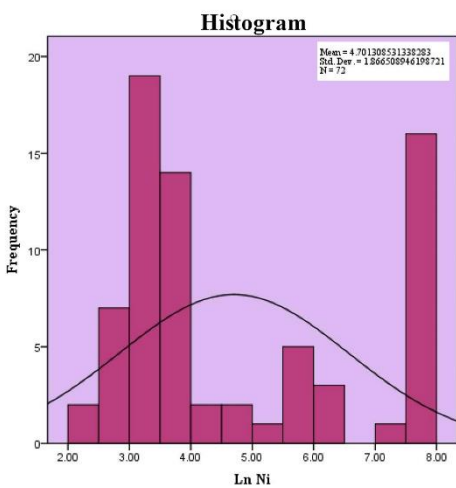
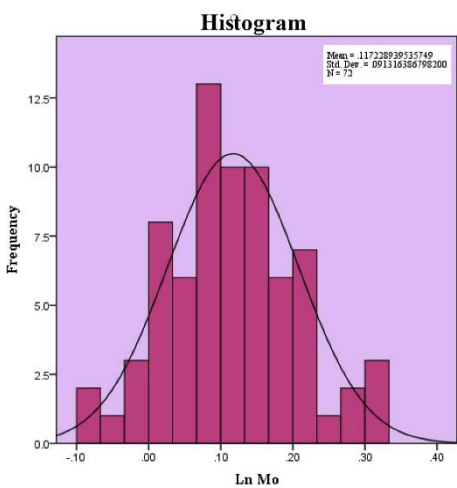
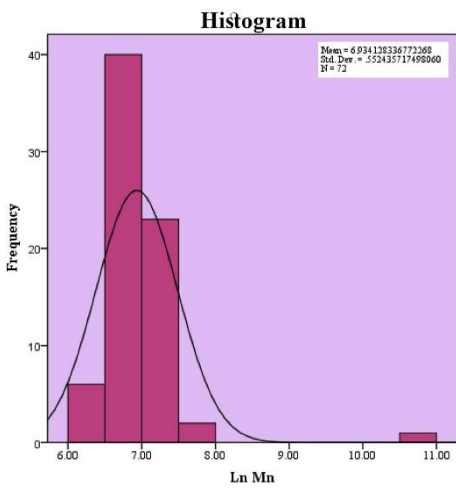
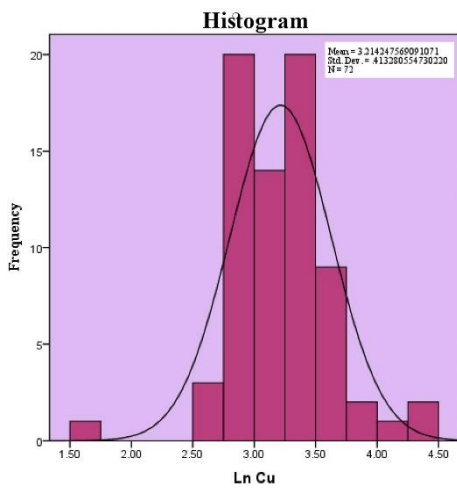
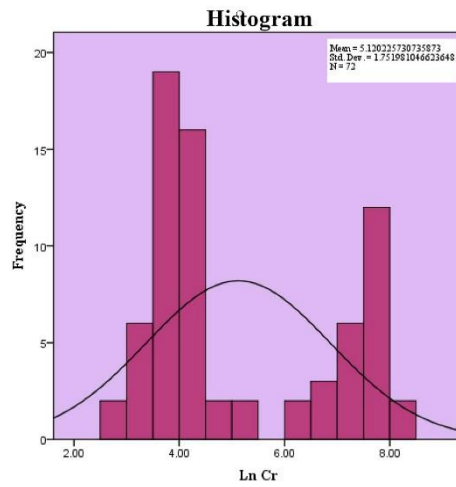
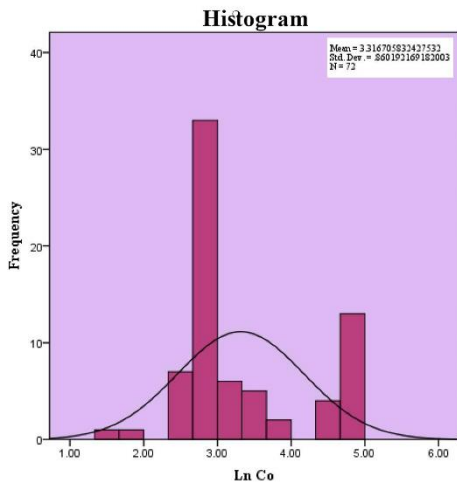
ادامه شکل ۲-۴ هیستوگرام توزیع فراوانی عناصر با مقادیر خام



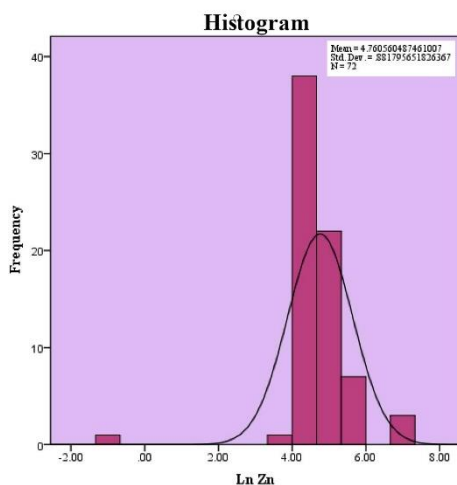
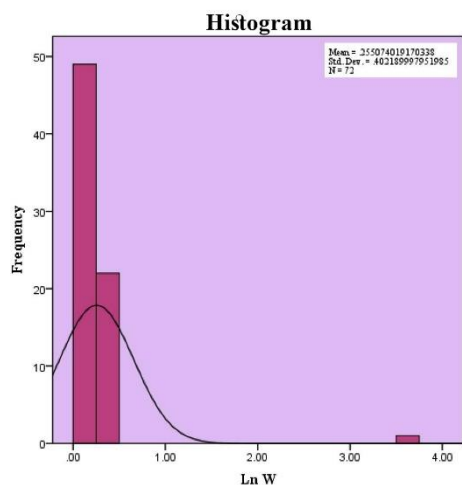
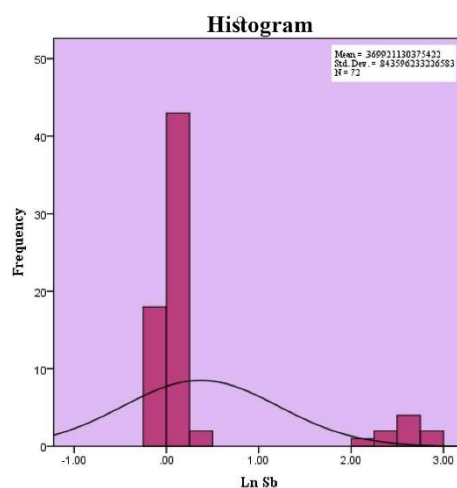
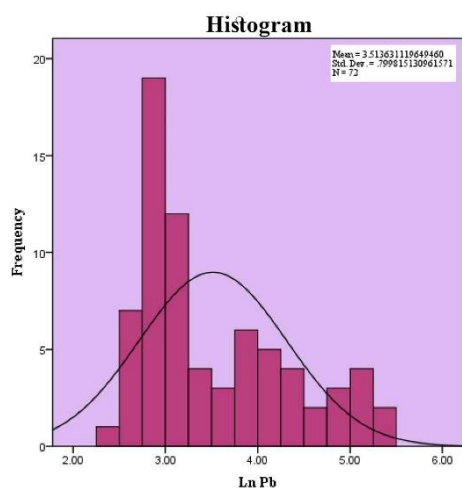
ادامه شکل ۴-۲ هیستوگرام توزیع فراوانی عناصر با مقادیر خام



شکل ۴-۳ هیستوگرام توزیع فراوانی مقادیر نرمال شده عناصر توسط تابع لگاریتم



شکل ۳-۴ هیستوگرام توزیع فراوانی مقادیر نرمال شده عناصر توسط تابع لگاریتم



ادامه شکل ۴-۳ هیستوگرام توزیع فراوانی مقادیر نرمال شده عناصر توسط تابع لگاریتم

با استفاده از پارامترهای تک متغیره حاصله و نمودارهای ارایه شده، به ویژه شکل‌های ۲-۴ و ۳-۴، می‌توان عناصر را به چهار گروه اصلی تقسیم نمود که عبارتند از:

الف) سری اول عناصر شامل Bi، Fe، Mo، Sc، V و W می‌باشد. این عناصر در نمونه‌های برداشت شده، دارای جامعه‌ای تقریباً یکنواخت بوده و فاقد نمونه‌هایی شاخص و ناهنجار می‌باشند. اگر مقایسه‌ای میان عناصر یاد شده با حدود متعارف آن‌ها در سنگ‌های مشابه محصولات هوازدگی (Levinson, 1974) صورت پذیرد، مشخص می‌گردد که این عناصر در نمونه‌های برداشت شده، فاقد غنی‌شدگی هستند. نکته دیگر قابل اشاره در مورد این گروه آن است که Sn نیز می‌تواند جزو این گروه قرار گیرد. این عنصر دارای یک ناهنجاری مثبت ضعیف می‌باشد که به نظر می‌رسد متأثر از تغییرات لیتولوژیکی منطقه باشد.

به هر حال شدت ناچیز ناهنجاری و عدم ارتباط این ناهنجاری با سایر ناهنجاری سایر عناصر اهمیت اکتشافی این عنصر را ناچیز می‌نماید.

ب) گروه دوم شامل عناصر Al, Ca, Ce, Co, Mg, Ni, Th, Ti, Y, Yb و U می‌شود. شکل توزیع در مورد برخی عناصر بسیار مشخص بوده و حضور دو جامعه‌ی کاملاً مشخص را در نمونه‌های برداشتی نشان می‌دهد به وضوح متأثر از زمینه‌ی سنگی منطقه است. بدین ترتیب که غالباً جامعه‌ی کم‌عیارتر با واحدهای رسوبی عموماً جوان‌تر و نمونه‌های پرعیارتر در ارتباط با رخنمون واحدهای دگرگونی با سنگ مادر آذرین مافیک قدیمی‌تر منطقه در ارتباط می‌باشند. تنها تفاوت عناصر Sr, P, Li, La, K, Be و Zr با سری اول همین گروه وجود یک ناهنجاری ضعیف در توزیع آن‌ها می‌باشد. با توجه به خفیف بودن این ناهنجاری به نظر می‌رسد افزایش جزئی عیار عناصر مورد بحث در برخی نمونه‌ها متأثر از فرایندهای تغلیظ ثانویه و یا تغییرات عیاری محلی آن‌ها در سنگ زمینه‌ی منطقه می‌باشد که ارتباطی با سامانه‌های کانی‌سازی ندارد.

پ) گروه سوم شامل عناصری است که ناهنجاری خاصی در توزیع ندارند. Cr و Na عناصر سازنده‌ی این گروه هستند. جوامع مختلف عیاری این عناصر نیز متأثر از شیمی سنگ‌های بالادست است. به نظر می‌رسد این دو عنصر نسبت به عناصر گروه "ب" دارای تغییرات بیشتری در رخنمون‌های سنگ زمینه هستند و این تنوع در محصولات هوازدگی و فرسایشی آن‌ها نیز انعکاس دارد.

ت) گروه چهارم شامل عناصر Ag, As, Au, Ba, Cd, Cu, Mn, Pb, S, Sb و Zn می‌باشد. همه‌ی آن‌ها در یک نکته، ویژگی مشترک دارند و آن وجود یک جامعه‌ی کوچک، اما قوی ناهنجاری مثبت در توزیع این عناصر است. علاوه بر حضور این ناهنجاری‌ها، عیار نسبتاً بالای آن‌ها در مقایسه با آنچه مورد انتظار است و همچنین ویژگی‌های ژئوشیمیایی شناخته شده از کانی‌سازی‌های این منطقه برای عناصر یاد شده می‌توانند اهمیت اکتشافی بالایی داشته و لذا پیش‌بینی می‌شود این عناصر نیز در تحلیل‌های آماری دو متغیره و چند متغیره ارتباط معنی‌داری را با یکدیگر از خود نشان دهند.

۴-۵- مطالعات آماری چند متغیره

در بخش‌های گذشته این فصل اصول آماری مربوط به یک متغیر تصادفی بررسی شد. در این بخش روش مطالعه تغییرپذیری هم‌زمان دو متغیر و روابط بین آن‌ها در یک جامعه ژئوشیمیایی بررسی خواهد شد. آمار چند متغیره، علاوه بر در نظر گرفتن توزیع فراوانی متغیرهای موردبررسی، اطلاعاتی درباره رابطه بین متغیرها را نیز در اختیار ما قرار می‌دهد. به‌عنوان مثال رابطه بین عنصر مس، با عنصر طلا بررسی می‌شود. از مهم‌ترین پارامترهای آماری دو متغیره، محاسبه ضریب همبستگی بین عناصر می‌باشد. علاوه بر آمار دو متغیره، در تحلیل داده‌های اکتشافی می‌توان از روش‌های مختلف آمار چند متغیره نیز بهره جست. روش‌های چند متغیره امکان آنالیز آماری چندین متغیر را فراهم می‌کنند. با این روش‌ها می‌توان مسائل مربوط به سه متغیر و بیشتر را بررسی کرده یا به‌طور گرافیکی نمایش داد، ولی گاهی در مسائل اکتشافی با یک فضای ۱۰ و یا حتی ۲۰ متغیره و بیشتر روبرو هستیم که بررسی روابط بین آن‌ها کار دشواری است. در این‌گونه موارد لازم است با استفاده از روش‌های آماری چند متغیره، به کاهش تعداد بعدها در فضای موردبررسی پرداخت به‌طوری‌که نتایج این ابعاد جدید با تعدادی به‌مراتب کمتر از حالت قبل، بتواند بخش اعظم تغییرپذیری داده‌ها را تشریح کند. در ژئوشیمی اکتشافی می‌توان تغییرپذیری هم‌زمان چندین عنصر را برای کشف دقیق‌تر آنومالی‌های احتمالی آن‌ها موردبررسی قرار داد (حسنی‌پاک، ۱۳۸۰). از جمله مهم‌ترین روش‌های آماری چند متغیره برای بررسی روابط بین عناصر مختلف، شامل رسم دندروگرام برای تشخیص روابط کلی بین عیار عناصر مختلف و سپس استفاده از روش‌های آنالیز فاکتوری همانند روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی^{۱۶} برای کاهش ابعاد در فضای موردبررسی و کشف روابط دقیق‌تر بین عناصری که از لحاظ کانی‌زایی ارتباط ژنتیکی نزدیکی دارند، می‌باشد (قزلباش، ۱۳۹۵).

¹⁶ PCA

ابتدا با استفاده از روش‌های دومتغیره نظیر محاسبه ضریب همبستگی بین دو عنصر، روابط دودویی بین عناصر را بررسی می‌کنیم. در ادامه با استفاده از رسم نمودار گرافیکی دندروگرام میزان نزدیکی مقادیر عیاری عناصر مختلف، هم‌چنین ارتباط کلی عناصر با یکدیگر بررسی شده و در نهایت با استفاده از روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی^۱ روابط دقیق‌تر عناصر با استفاده از مقادیر لودینگ^{۱۷} محاسبه شده، در مؤلفه‌های مختلف بررسی شده و بهترین مؤلفه بر اساس کانی‌زایی طلا انتخاب می‌شود. سپس از مقادیر مربوط به بهترین فاکتور برای تحلیل‌های بعدی نظیر جدایش آنومالی از زمینه با استفاده از روش فرکتال عیار-مساحت استفاده خواهد شد.

۴-۵-۱- ضریب همبستگی

کوواریانس معیاری از درجه ارتباط متقابل دو متغیر است. به این معنی که تغییرات یک متغیر به چه میزان روی متغیر دیگر تأثیرگذار است. این پارامتر آماری هم از نظر زمین‌آماری (کوواریوگرام) و هم از نظر آمار کلاسیک با اهمیت می‌باشد. کوواریانس به صورت امید ریاضی حاصل ضرب اختلاف هر مقدار از میانگین آن تعریف می‌شود (حسنی‌پاک، ۱۳۸۰):

$$Cov_{x,y} = E[(X - \bar{X})(Y - \bar{Y})] \quad (۸)$$

برای تعداد محدودی نمونه، رابطه فوق به صورت یک مجموع در می‌آید:

$$Cov_{x,y} = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y}) \quad (۹)$$

هرچه مقدار کوواریانس بزرگ‌تر (مثبت) باشد، نشان‌دهنده آن است که افزایش یک متغیر با افزایش متغیر دیگر همراه است. بالعکس در صورتی که مقدار کوواریانس خیلی کوچک (منفی) باشد، نشان‌دهنده تغییرات معکوس دو متغیر است؛ یعنی افزایش یکی با کاهش دیگری همراه است. کوواریانس نزدیک صفر نشان‌دهنده ضعیف بودن بستگی آماری بین دو متغیر است (حسنی‌پاک، ۱۳۸۰).

بزرگی کوواریانس وابسته به واحد اندازه‌گیری داده‌هاست. برای داشتن معیاری از همبستگی دو متغیر بدون وابستگی به واحد اندازه‌گیری داده‌ها، پارامتر آماری دیگری به نام ضریب همبستگی تعریف می‌شود. در محاسبه ضریب همبستگی نیز مانند بسیاری از پارامترهای آماری دیگر، فرض نرمال بودن داده‌ها الزامی است. در شرایطی که این فرض برقرار نباشد، می‌توان داده‌ها را طوری تبدیل کرد که توزیع داده‌های تبدیل یافته، نرمال شود.

به‌منظور رفع وابستگی کوواریانس به واحد اندازه‌گیری داده‌ها، معمولاً از مقدار استاندارد شده آن استفاده می‌شود. برای این منظور کافی است مقادیر $(X_i - \bar{X})$ به انحراف معیار متغیر X و مقادیر $(Y_i - \bar{Y})$ بر انحراف معیار متغیر Y تقسیم شوند. به مقدار حاصل، ضریب همبستگی پیرسون گفته می‌شود (حسنی پاک، ۱۳۸۰):

$$r_{xy} = \frac{Cov_{xy}}{\sigma_x \sigma_y} \quad (10)$$

رابطه فوق برای جامعه نمونه را می‌توان به صورت زیر بازنویسی کرد:

$$r_{xy} = \frac{\sum (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{(n-1)S_x S_y} \quad (11)$$

که در این رابطه S_x و S_y به ترتیب مقادیر انحراف معیار متغیر X و Y می‌باشند. مقدار ضریب همبستگی بین -1 و $+1$ قرار می‌گیرد. اگر دو متغیر همبستگی کاملاً خطی همسو (افزایش یکی باعث افزایش دیگری شود) داشته باشند، ضریب همبستگی آن‌ها $+1$ است. اگر دو متغیر دارای همبستگی کاملاً خطی غیرهمسو (افزایش یکی باعث کاهش دیگری شود) باشند، ضریب همبستگی آن‌ها -1 است و بالاخره در صورتی که دو متغیر غیر همبسته (افزایش یکی تأثیری روی دیگری نداشته باشد) باشند، ضریب همبستگی آن‌ها صفر است.

در این بخش مقادیر ضریب همبستگی پیرسون برای داده‌های نرمال شده نسبت به یکدیگر محاسبه شده است. همان‌گونه که ذکر شد، برای استفاده از روش پیرسون، حتماً باید مقادیر عناصر مختلف به حالت نرمال نزدیک شده باشند. به همین دلیل از داده‌هایی که توسط تابع لگاریتم به حالت نرمال تبدیل

شده‌اند، استفاده شده است. در جدول ۴-۲ ضرایب همبستگی این عناصر بر اساس روش پیرسون آورده شده است.

با توجه به آزمون دو متغیره پیرسون، نتایج ذیل قابل ارایه می‌باشند:

الف) ضریب همبستگی پیرسون میان ۰/۲۳۰ و ۰/۲۳۰- و اسپیرمن میان ۰/۲۳۱ و ۰/۲۳۱- و در سطح اعتماد ۹۵ درصد، فاقد اعتبار بوده و بی‌معنی هستند.

ب) Au با عناصر As, Cd, Sb و Zn همبستگی معنی‌دار و متوسط تا بزرگی نشان می‌دهد.

پ) Ag تنها با Zn همبستگی معنی‌دار و متوسط دارد.

ت) As, Cd, Cu, S, Sb و Zn دارای همبستگی مثبت و معنی‌داری با یکدیگر و از این جهت می‌توانند به عنوان ردیاب و یا همراه با کانی‌سازی در نظر گرفته شوند.

ث) میان عناصری هم‌چون Al, Ba, Be, Ca, Ce, Cu, K, La, Li, Mo, Na, P, Pb, Sr, Th, Ti, U, Y, Zr و Yb همبستگی مثبت و معنی‌دار متوسط تا بزرگ وجود دارد. این همبستگی بی‌تردید متاثر از سنگ‌های زمینه‌ی منطقه است.

ج) میان Au, Cr, Co, Fe, Mg, Mn, Ni, Sb و Zn همبستگی معنی‌داری وجود دارد. به نظر این گروه نیز معرف شیمی رخنمون‌های سنگی منطقه هستند که نسبت به گروه عناصر بند "ث" مافیک‌تر محسوب می‌شوند. با توجه به مطالب فوق می‌توان چنین اظهار نمود که در این محدوده، برای یافتن پتانسیل‌های احتمالی از پتانسیل‌های معدنی هدف اکتشافی، نقشه‌ی ناهنجاری‌های عناصر تشکیل دهنده‌ی گروه‌های "ب"، "پ" و "ت" دارای اهمیت ویژه‌ای می‌باشد.

جدول ۴-۶ محاسبه ضرایب همبستگی عناصر با استفاده از روش پیرسون برای داده‌های ژئوشیمیایی نرمال شده

	Au	Ag	Al	As	Ba	Be	Bi	Cd	Ce	Co	Cr	Cu	Fe	K	La	Li	Mg	Mn	Mo	Na	Ni	P	Pb	S	Sb	Sc	Sn	Sr	Th	Ti	U	V	W	Y _A	Yb	Zn	Zr		
Au	1.000																																						
Ag	0.129	1.000																																					
Al	-0.537	-0.047	1.000																																				
As		0.128	-0.296	1.000																																			
Ba		-0.228	0.207	0.087	1.000																																		
Be		-0.176	-0.165	0.124	0.124	1.000																																	
Bi		-0.051	-0.116	0.184	0.154	0.053	1.000																																
Bk		-0.264	0.094	-0.374	0.166	0.061	0.175	-0.048	0.077	1.000																													
Cd		-0.120	-0.004	-0.374	0.166	0.061	0.175	-0.048	0.077	1.000																													
Ce		-0.161	-0.526	0.093	-0.158	-0.585	0.000	-0.627	0.026	-0.995	1.000																												
Cr		0.175	-0.297	0.347	-0.137	-0.469	0.002	-0.515	0.287	-0.890	0.010	0.080	1.000																										
Cu		0.136	0.110	0.061	0.297	0.239	0.147	0.095	0.154	0.367	-0.010	0.080	1.000																										
Fe		0.167	0.110	-0.386	-0.188	-0.467	-0.653	-0.045	-0.607	-0.286	-0.697	-0.191	1.000																										
K		-0.336	-0.091	0.122	0.125	0.125	0.125	0.125	0.125	0.125	0.125	0.125	0.125	1.000																									
La		-0.114	-0.089	0.175	0.175	0.175	0.175	0.175	0.175	0.175	0.175	0.175	0.175	1.000																									
Li		-0.340	0.061	0.119	0.119	0.119	0.119	0.119	0.119	0.119	0.119	0.119	0.119	1.000																									
Mg		0.117	-0.771	0.250	-0.417	-0.516	-0.000	-0.487	0.037	-0.313	-0.231	-0.118	0.099	0.144	0.074	0.264	0.231	0.242	0.264	0.264	0.264	0.264	0.264	0.264	0.264	0.264	0.264	0.264	0.264	0.264	0.264	0.264	0.264	0.264	0.264	0.264	0.264		
Mn		0.240	-0.197	0.225	-0.292	-0.322	-0.140	-0.317	0.154	-0.578	-0.419	0.388	-0.071	-0.352	-0.385	-0.422	-0.493	-0.537	-0.286	0.264	0.264	0.264	0.264	0.264	0.264	0.264	0.264	0.264	0.264	0.264	0.264	0.264	0.264	0.264	0.264	0.264	0.264		
Mo		-0.299	0.180	0.046	-0.197	-0.292	-0.111	-0.317	0.154	-0.578	-0.419	0.388	-0.071	-0.352	-0.385	-0.422	-0.493	-0.537	-0.286	0.264	0.264	0.264	0.264	0.264	0.264	0.264	0.264	0.264	0.264	0.264	0.264	0.264	0.264	0.264	0.264	0.264	0.264		
Na		-0.451	-0.140	-0.366	-0.266	-0.334	-0.107	-0.356	-0.166	-0.516	-0.370	0.048	0.048	-0.385	-0.422	-0.493	-0.537	-0.286	0.264	0.264	0.264	0.264	0.264	0.264	0.264	0.264	0.264	0.264	0.264	0.264	0.264	0.264	0.264	0.264	0.264	0.264	0.264		
Ni		-0.156	-0.118	0.088	-0.04	0.088	0.051	0.171	0.398	-0.722	-0.511	0.305	-0.734	0.185	0.267	0.215	-0.042	-0.217	0.233	0.131	-0.047	0.311	0.365	0.002	1.000	0.002	1.000	0.002	1.000	0.002	1.000	0.002	1.000	0.002	1.000	0.002	1.000		
Pb		0.143	0.170	-0.010	0.211	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010		
S		0.841	0.003	-0.324	-0.482	-0.353	-0.220	-0.331	-0.096	-0.238	0.262	0.162	0.150	0.001	-0.118	0.171	0.231	0.242	0.264	0.264	0.264	0.264	0.264	0.264	0.264	0.264	0.264	0.264	0.264	0.264	0.264	0.264	0.264	0.264	0.264	0.264	0.264		
Sc		-0.070	-0.083	0.142	0.034	0.034	0.034	0.034	0.034	0.034	0.034	0.034	0.034	0.034	0.034	0.034	0.034	0.034	0.034	0.034	0.034	0.034	0.034	0.034	0.034	0.034	0.034	0.034	0.034	0.034	0.034	0.034	0.034	0.034	0.034	0.034	0.034		
Sn		-0.254	-0.010	0.044	0.138	0.138	0.138	0.138	0.138	0.138	0.138	0.138	0.138	0.138	0.138	0.138	0.138	0.138	0.138	0.138	0.138	0.138	0.138	0.138	0.138	0.138	0.138	0.138	0.138	0.138	0.138	0.138	0.138	0.138	0.138	0.138	0.138		
Sr		-0.102	-0.041	0.138	0.138	0.138	0.138	0.138	0.138	0.138	0.138	0.138	0.138	0.138	0.138	0.138	0.138	0.138	0.138	0.138	0.138	0.138	0.138	0.138	0.138	0.138	0.138	0.138	0.138	0.138	0.138	0.138	0.138	0.138	0.138	0.138	0.138		
Th		-0.611	-0.054	-0.314	-0.442	-0.356	-0.190	-0.399	-0.217	-0.452	-0.597	0.132	-0.302	0.367	0.374	0.374	0.374	0.374	0.374	0.374	0.374	0.374	0.374	0.374	0.374	0.374	0.374	0.374	0.374	0.374	0.374	0.374	0.374	0.374	0.374	0.374	0.374		
Ti		-0.207	-0.184	-0.342	-0.423	-0.356	-0.190	-0.399	-0.217	-0.452	-0.597	0.132	-0.302	0.367	0.374	0.374	0.374	0.374	0.374	0.374	0.374	0.374	0.374	0.374	0.374	0.374	0.374	0.374	0.374	0.374	0.374	0.374	0.374	0.374	0.374	0.374	0.374		
U		-0.638	0.051	-0.418	-0.423	-0.356	-0.190	-0.399	-0.217	-0.452	-0.597	0.132	-0.302	0.367	0.374	0.374	0.374	0.374	0.374	0.374	0.374	0.374	0.374	0.374	0.374	0.374	0.374	0.374	0.374	0.374	0.374	0.374	0.374	0.374	0.374	0.374	0.374		
V		0.114	-0.017	0.071	0.112	-0.100	0.040	-0.078	0.206	0.170	0.003	0.033	0.368	0.400	0.156	0.244	0.138	0.165	0.249	-0.074	-0.023	0.128	0.191	-0.080	0.132	0.080	0.178	0.051	0.102	0.096	0.142	0.054	1.000	0.145	1.000	0.145			
Y _A		-0.431	-0.048	-0.108	-0.288	-0.468	-0.184	-0.401	-0.288	-0.468	-0.773	0.089	0.133	-0.397	-0.288	-0.401	-0.288	-0.468	-0.773	-0.151	-0.860	-0.013	0.102	-0.489	-0.130	-0.003	-0.509	-0.158	-0.013	0.102	-0.489	-0.130	-0.003	-0.509	0.196	0.196	0.196		
Yb		-0.599	-0.024	-0.352	-0.481	-0.401	-0.184	-0.451	-0.401	-0.481	-0.773	0.089	0.133	-0.397	-0.288	-0.401	-0.288	-0.468	-0.773	-0.151	-0.860	-0.013	0.102	-0.489	-0.130	-0.003	-0.509	-0.158	-0.013	0.102	-0.489	-0.130	-0.003	-0.509	0.196	0.196	0.196		
Zn		-0.691	0.019	-0.449	-0.581	-0.401	-0.184	-0.451	-0.401	-0.481	-0.773	0.089	0.133	-0.397	-0.288	-0.401	-0.288	-0.468	-0.773	-0.151	-0.860	-0.013	0.102	-0.489	-0.130	-0.003	-0.509	-0.158	-0.013	0.102	-0.489	-0.130	-0.003	-0.509	0.196	0.196	0.196		
Zr		-0.691	0.019	-0.449	-0.581	-0.401	-0.184	-0.451	-0.401	-0.481	-0.773	0.089	0.133	-0.397	-0.288	-0.401	-0.288	-0.468	-0.773	-0.151	-0.860	-0.013	0.102	-0.489	-0.130	-0.003	-0.509	-0.158	-0.013	0.102	-0.489	-0.130	-0.003	-0.509	0.196	0.196	0.196		

۴-۵-۲- رسم دندروگرام عناصر

یکی دیگر از روش‌های آماری چند متغیره معمول در مطالعات ژئوشیمیایی و تحلیل داده‌ها، استفاده از تکنیک آنالیز خوشه‌ای می‌باشد. در این تکنیک می‌توان به راحتی عناصر پارائنز و همچنین محیط مربوط به مجموعه موجود در خوشه را تشخیص داد. معمولاً نتیجه حاصل از محاسبات تحلیل خوشه‌ای را به صورت یک نمودار سلسله مراتبی به نام دندروگرام نمایش می‌دهند. دندروگرام یک ساختار سلسله مراتبی است که نحوه اتصال نمونه‌ها و یا متغیرها را به یکدیگر نمایش می‌دهد. در این نمودار یک مقیاس خطی افقی بالای آن قرار داده می‌شود. محل اتصال هر نمونه یا متغیر به یک خوشه یا یک خوشه به خوشه دیگر روی این مقیاس خطی متناظر با درجه شباهت آن است. در این روش، معیار اتصال یک شیء (هر متغیر) به یک خوشه یا دو خوشه به یکدیگر، با روش‌های محاسبه دیگر از جمله، اتصال نزدیک‌ترین همسایگی، دورترین همسایگی و اتصال میانگین تفاوت دارد. در این روش معیار اتصال یک شیء به یک خوشه یا دو خوشه به یکدیگر، ایجاد کمترین افزایش در مجموع مربعات انحراف از میانگین خوشه مورد نظر است. نتایج حاصل از این روش از نظر ظاهری و حفظ سلسله مراتب ساختمانی مناسب می‌باشند. بدین دلیل روش Ward که در این پژوهش استفاده شده به صورت یک انتخاب مناسب در تحلیل خوشه‌ای شناخته شده است (حسنی‌پاک، ۱۳۸۰).

در شکل ۴-۴، دندوگرام مربوط به آنالیز خوشه‌ای داده‌های نرمال نشان داده شده است.

طبق دندوگرام مربوط به آنالیز داده‌ها، با توجه به این نمودار می‌توان به نتایج زیر دست یافت:

الف) نمودار حاصله دارای دو خوشه اصلی است. هر کدام از این خوشه‌ها به دو زیر خوشه تقسیم می‌شوند.

ب) خوشه‌ی پایینی از نظر اکتشافی اهمیت چندانی ندارد و با توجه به همبستگی عناصر مربوط به این خوشه پیش‌بینی می‌شود که این عناصر به شیمی سنگ‌های زمینه در منطقه مرتبط هستند.

پ) خوشه بالایی خود به دو زیر شاخه یا شعبه تقسیم می‌شود که هر یک از این دو نیز به نوبه‌ی خود دارای تقسیم‌بندی‌های ریزتری هستند. در این میان تایید همبستگی میان عناصر Ag, As, Au, Cd, Cu, Mn, Pb, S, Sb و Zn مهم‌ترین برداشت از این نمودار است.

ت) سه عنصر Bi, Sn و W نیز شعبه‌ای فرعی از شاخه‌ی بالایی را تشکیل می‌دهند. این عناصر فاقد عیار قابل توجه در این منطقه اکتشافی هستند. با این حال همراهی این عناصر با عناصر Ag, As, Au, Cd, Cu, Mn, Pb, S, Sb و Zn می‌تواند از دیدگاه ژنتیکی اهمیت داشته باشد.

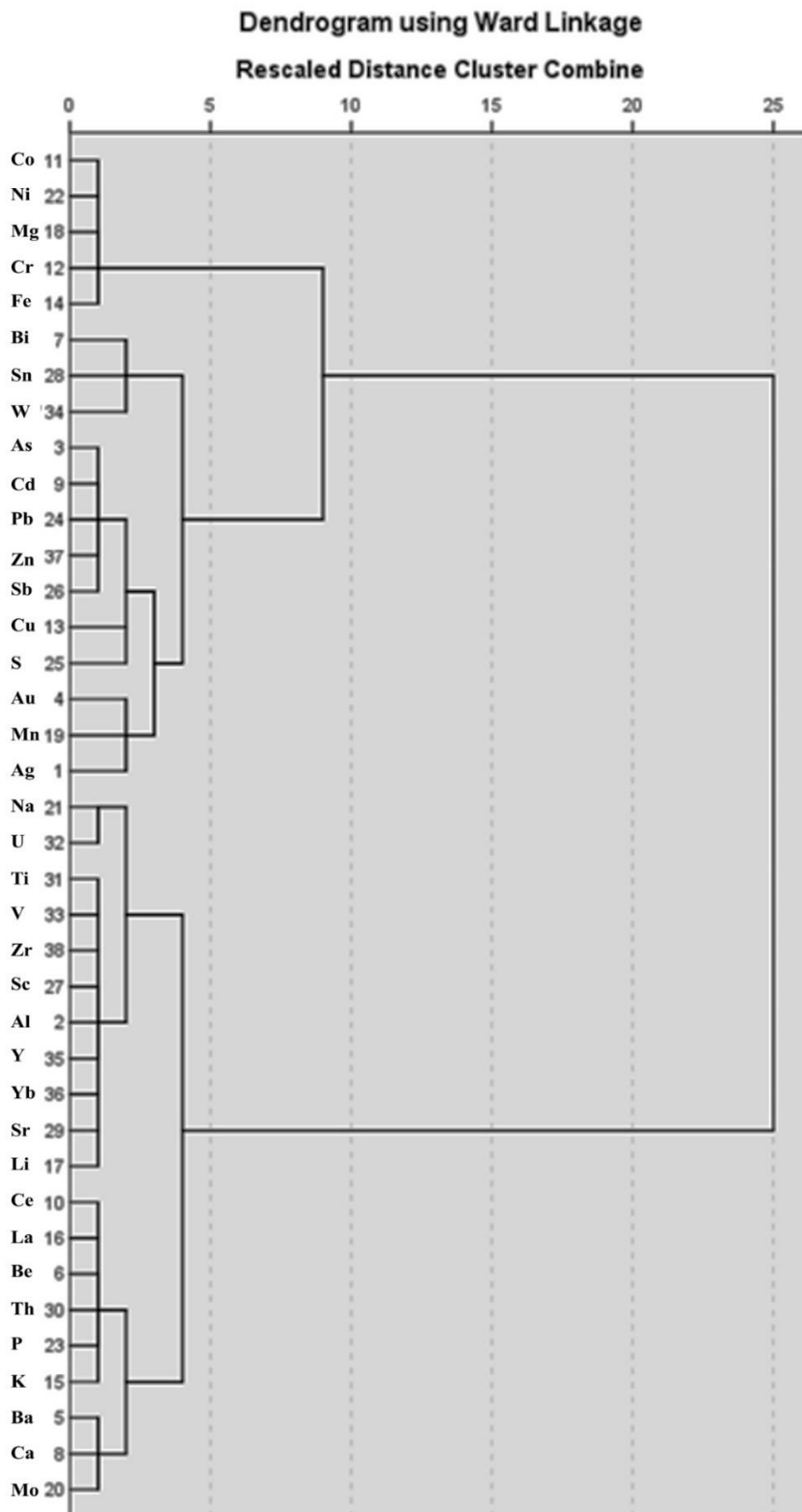
ث) دیگر شعبه‌ی اصلی شاخه بالایی را عناصر Co, Cr, Fe, Mg و Ni می‌سازند. وجود چنین همبستگی در آزمون دو متغیره نیز قابل تشخیص بود. لذا می‌توان در مباحث ژنتیکی از این ارتباط بهره برد. در نهایت با توجه به تحلیل‌های صورت گرفته در مراحل قبل از میان تمامی عناصر، ۱۴ عنصر حائز اهمیت تشخیص داده شد که شامل Au, Ag, As, Cd, Co, Cr, Cu, Mn, Mo, Ni, Pb, Sb, W و Zn می‌باشند و جهت بررسی با روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی^{۱۸} انتخاب شدند.

۴-۵-۳- تحلیل مؤلفه‌های اصلی^۱

روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی^۱، تکنیکی است برای پیدا کردن ترکیبات خطی از متغیرهای اولیه همبسته که تشکیل یک محور مختصات جدید را بدهند. این ترکیبات خطی، مؤلفه‌های اصلی نامیده می‌شوند و دارای خواص زیرند (حسنی‌پاک، ۱۳۸۰):

- بخش اعظمی از تغییرپذیری می‌تواند به‌وسیله تعداد محدودی از متغیرهای جدید توجیه شود؛ یعنی تعداد بعدها از یک مقدار زیاد به یک مقدار کم و قابل مقایسه تبدیل می‌شود.
- متغیرهای جدید که محصول ترکیب خطی متغیرهای اولیه می‌باشند، بین خود همبستگی نشان نمی‌دهند. این امر آزمون روش موردنظر را آسان می‌کند.

¹⁸ PCA



شکل ۴-۴ دندروگرام داده‌های لگاریتمی به روش Ward

به عبارت دیگر، در یک فضای p بعدی با استفاده از ابزار PCA به دنبال دستیابی به دستگاه محورهای مختصاتی هستیم که بتواند با تعداد کمی بعد (متغیر جدید) بخش عمده تغییرپذیری را توجیه کند.

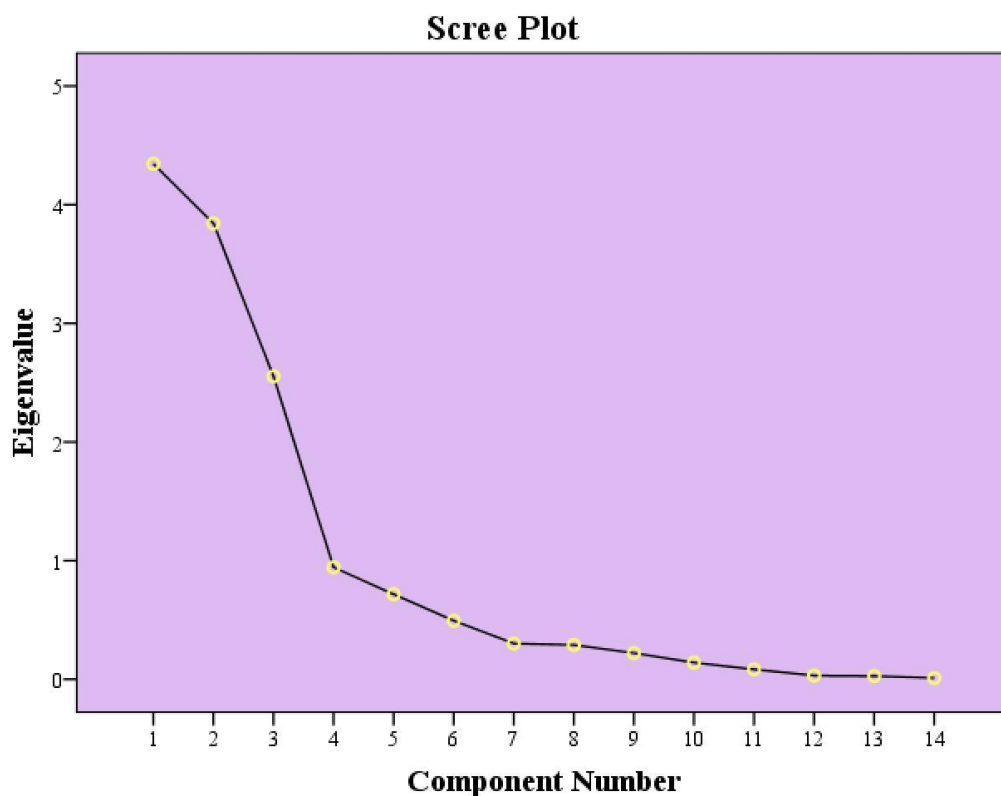
در ژئوشیمی اکتشافی، PCA یک ابزار مفید برای تبدیل مقادیر عیاری چند عنصری به یک مؤلفه تکی می‌باشد (Cheng, 2007) و این ابزار برای کاهش بعد داده‌ها به مقادیر PC نا همبسته بر اساس ماتریس همبستگی متغیرها می‌باشد. روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی معمولی^{۱۹}، ماتریس همبستگی متغیرها را به دو ماتریس شامل لودینگ‌ها و امتیازات با استفاده از بردارهای ویژه و مقادیر ویژه تبدیل می‌کند. اطلاعات مربوط به روابط بین مؤلفه‌های اصلی و متغیرهای اولیه در قالب لودینگ‌ها توضیح داده می‌شوند که در اصل لودینگ‌ها همبستگی بین مؤلفه‌های اصلی و متغیرهای اولیه را بیان می‌کنند. هم‌چنین، اطلاعات مربوط به روابط بین مؤلفه‌های اصلی و نمونه‌ها به وسیله امتیازات بیان می‌شود که این امتیازات اوزان به دست آمده بوسیله بردارهای ویژه به صورت ترکیبات خطی می‌باشند. مؤلفه‌های کارآمد بر اساس مقادیر ویژه بزرگ‌تر از ۱ مشخص می‌شوند (Cheng, 2007; Parsa et al., 2016).

در این پژوهش، روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی بر روی داده‌های نرمال شده ۱۴ عنصر ذکر شده در مراحل قبل توسط تابع تبدیل لگاریتمی، اعمال شده است. همان‌طور که در شکل ۴-۵ مشاهده می‌شود، طبق نمودار Scree Plot، تعداد ۱۴ فاکتور کلی به دست آمده است که از بین آن‌ها فقط ۳ فاکتور اول به دلیل مقادیر ویژه بالای ۱ به عنوان فاکتورهای مؤثر انتخاب شده است.

نتایج PCA در قالب سه مؤلفه اصلی مشخص شده است. طبق جدول ۴-۳، هر سه مؤلفه اصلی دارای مقادیر ویژه بزرگ‌تر از ۱ هستند. مقدار واریانس برای هر مؤلفه، نشانگر میزان تغییرپذیری داده‌ها در آن مؤلفه خاص می‌باشد. طبق مقادیر لودینگ در مؤلفه سوم برای عناصر طلا، نقره، آرسنیک، کادمیوم، مس، سرب، آنتیموان و روی به ترتیب با مقادیر ۰/۵۲، ۰/۵۳، ۰/۸۲، ۰/۴۷، ۰/۵۲، ۰/۷۵، ۰/۶۴ و ۰/۷۷ بیشترین همبستگی را در بین عناصر مؤلفه سوم دارند؛ بنابراین، فاکتور سوم به عنوان مؤثرترین فاکتور

19. Ordinary PCA

انتخاب شده و امتیازات اختصاص داده شده به هر نمونه بوسیله این فاکتور، به‌عنوان مقادیر نهایی و ۸ عنصر شامل طلا، نقره، آرسنیک، کادمیوم، مس، سرب، آنتیموان و روی که بیشترین همبستگی را باهم داشتند، برای بررسی‌های بعدی انتخاب می‌شوند.



شکل ۴-۵ Scree plot حاصل از نتایج آنالیز فاکتوری ۱۴ عنصر انتخابی نرمال شده

جدول ۴-۷ نتایج حاصل از تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA) برای ۱۴ عنصر انتخاب شده

Elements	PC1	PC2	PC3
Au	0.450	0.094	0.524
Ag	0.052	0.016	0.533
As	0.149	-0.091	0.820
Cd	0.000	0.819	0.475
Co	0.960	-0.162	0.049
Cr	0.944	0.098	0.175
Cu	-0.157	0.505	0.521
Mn	0.181	0.923	0.007
Mo	-0.723	0.317	0.367
Ni	0.958	0.175	0.110
Pb	-0.103	0.316	0.754
Sb	-0.037	0.550	0.642
W	-0.104	0.955	-0.212
Zn	0.188	-0.532	0.776
Var.	26.03	25.43	25.25
Cum. Var.	26.03	51.46	76.72

۴-۶- نمایش کلی توزیع عیار عناصر

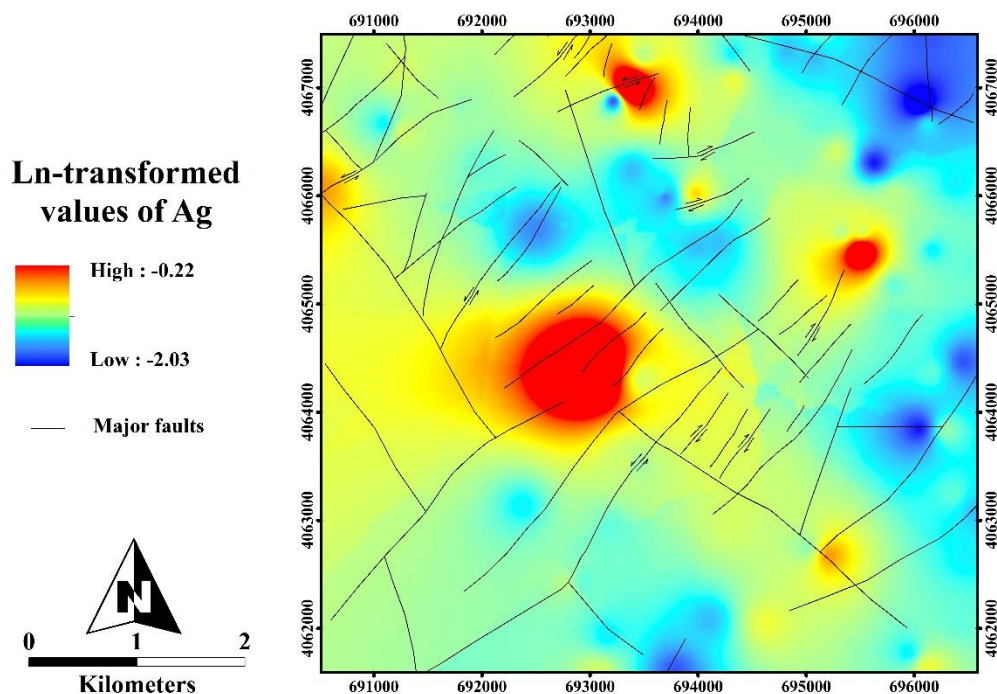
در این مرحله برای نمایش توزیع عیار عناصر مختلف در محدوده مطالعاتی از مقادیر ۸ عنصر انتخابی با اهمیت که در بخش‌های قبلی شناسایی شده‌اند، استفاده شده و با استفاده از روش وزن دهی بر اساس معکوس فاصله^{۲۰} در محیط Arc GIS 10.2 درون‌یابی شدند. برای به نقشه درآوردن اثرات ژئوشیمیایی در محیط نرم‌افزار، ابتدا باید یک اندازه مناسب برای سایز پیکسل‌ها جهت درون‌یابی انتخاب شود (Carranza, 2009a). در این مرحله برای یافتن اندازه مناسب برای سایز پیکسل‌ها جهت درون‌یابی، طبق نظر هنگل ۲۰۰۶ (Hengl, 2006) از فرمول زیر استفاده می‌شود:

$$x = \sqrt{\frac{A}{n}} \times 0.05 \quad (1)$$

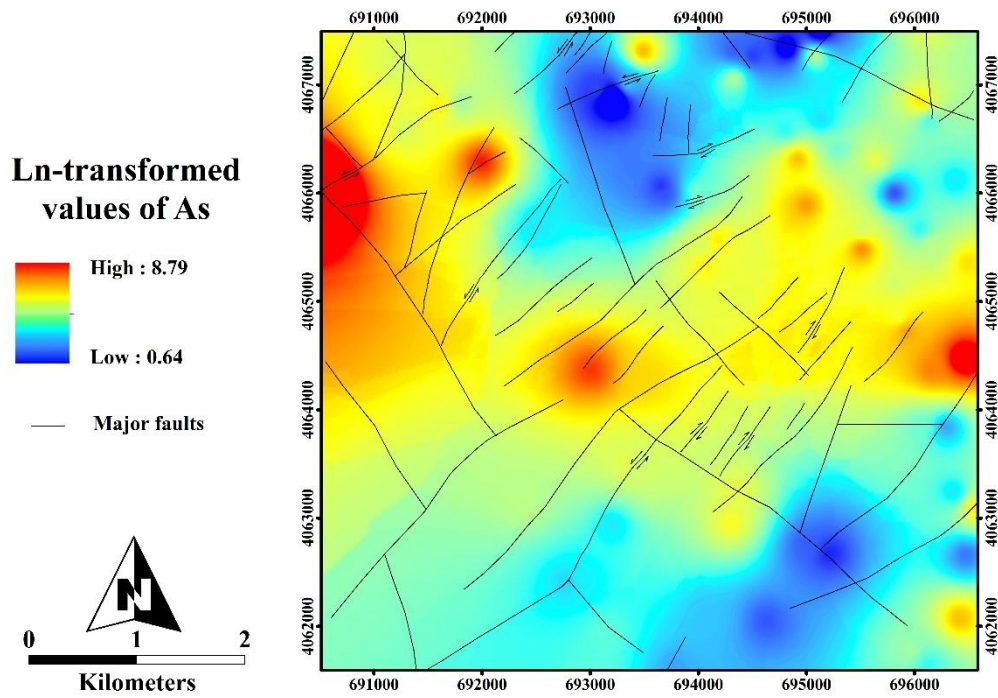
²⁰ IDW

که در این فرمول x همان سایز سلول مناسب، A مساحت محدوده مورد مطالعه بر حسب مترمربع و n تعداد نمونه‌های برداشت شده از محدوده مورد مطالعه می‌باشد. در اینجا $A=6*6$ و $n=72$ می‌باشد که پس از قرار گرفتن در فرمول بالا مقدار $x=0.03m^2$ به دست می‌آید که پس از این کلیه درون‌یابی‌های انجام شده با سایز سلول 0.03 مترمربع خواهد بود.

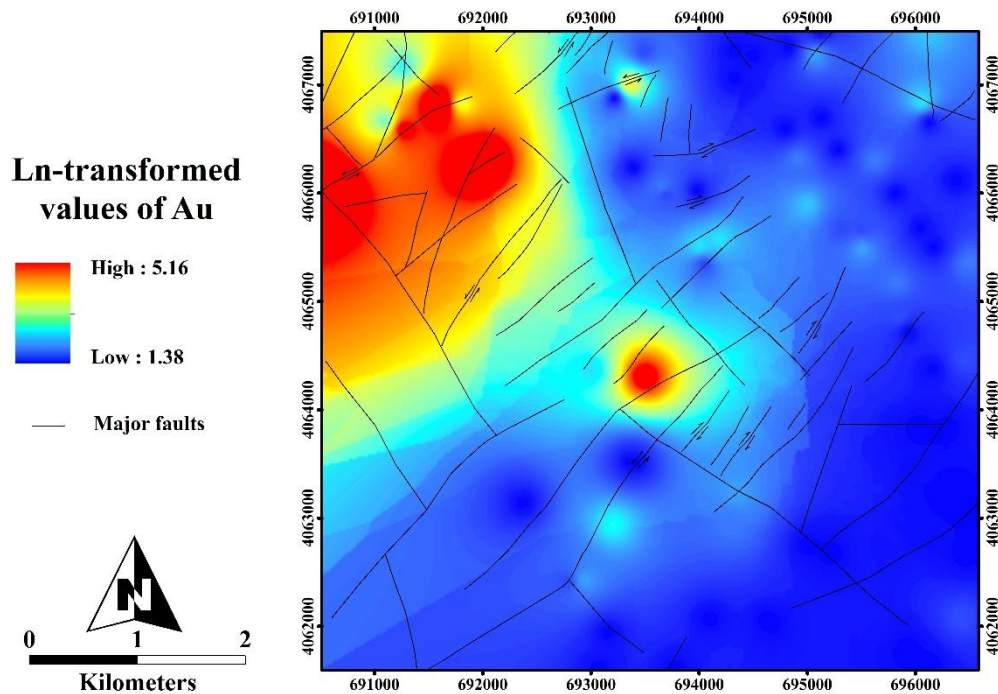
سپس با استفاده از روش وزن دهی بر اساس معکوس فاصله (IDW)، ۸ عنصر شامل Cd, Au, As, Ag ، نقشه‌های توزیع آنومالی‌های ژئوشیمیایی مربوط به این عناصر در اشکال ۴-۶ الی ۴-۱۳ قابل مشاهده هستند. با توجه به بررسی‌های صورت گرفته در بخش قبل، طبق روش تحلیل مولفه‌های اصلی، بر اساس امتیازات اختصاص داده شده به هر یک از نمونه‌ها تحت مؤلفه سوم (PC3)، نقشه نهایی آنومالی ژئوشیمیایی نیز رسم شده است (شکل ۴-۱۴).



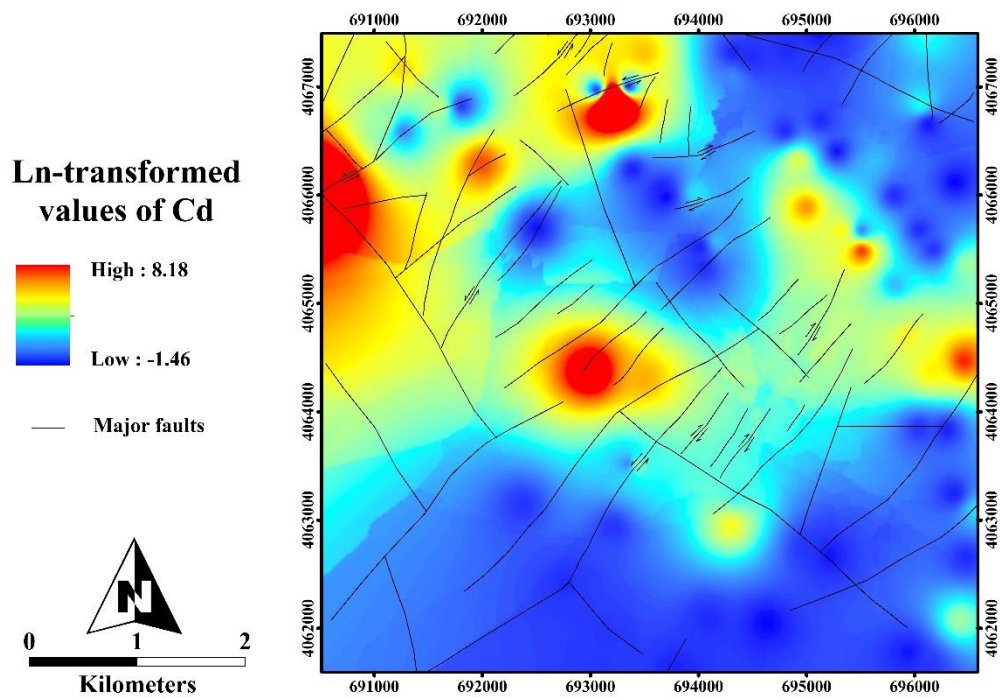
شکل ۴-۶ نقشه توزیع آنومالی‌های ژئوشیمیایی برای عنصر Ag



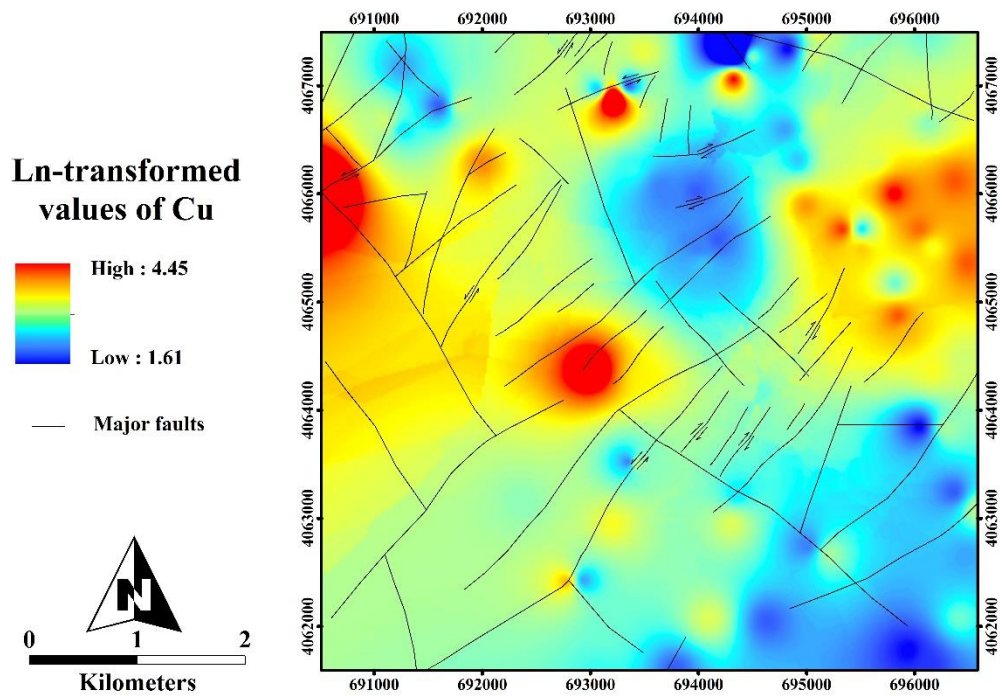
شکل ۴-۷ نقشه توزیع آنومالی‌های ژئوشیمیایی برای عنصر *As*



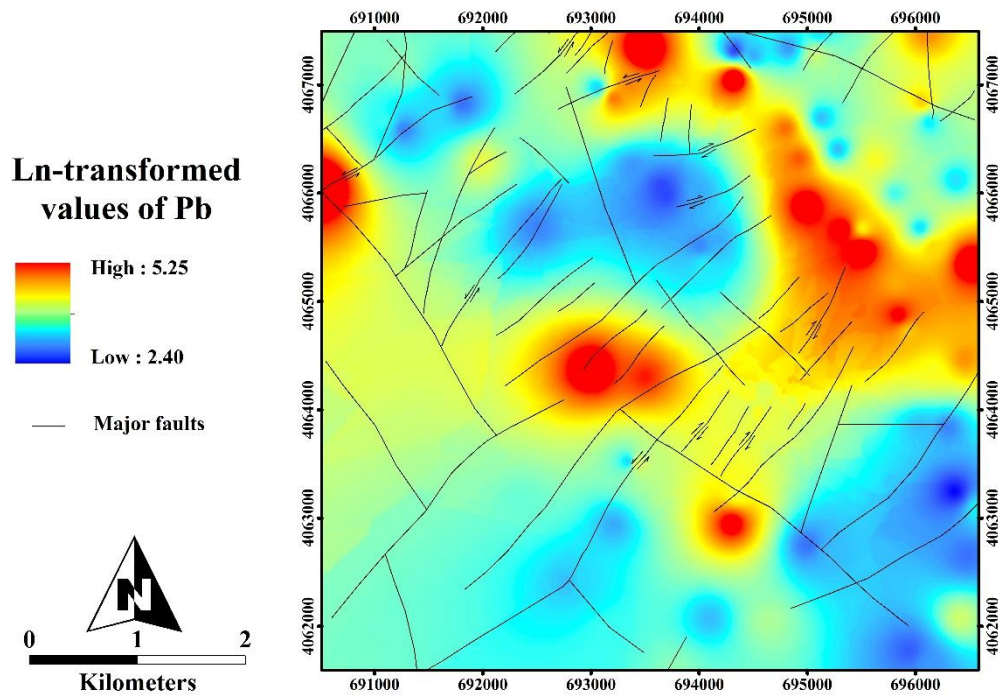
شکل ۴-۸ نقشه توزیع آنومالی‌های ژئوشیمیایی برای عنصر *Au*



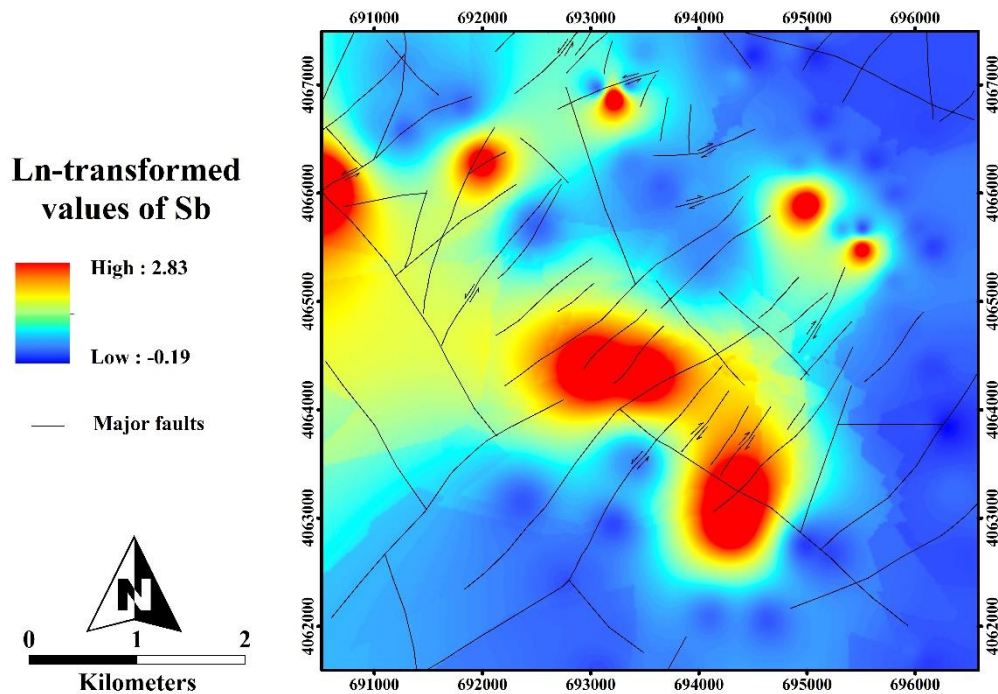
شکل ۹-۴ نقشه توزیع آنومالی‌های ژئوشیمیایی برای عنصر *Cd*.



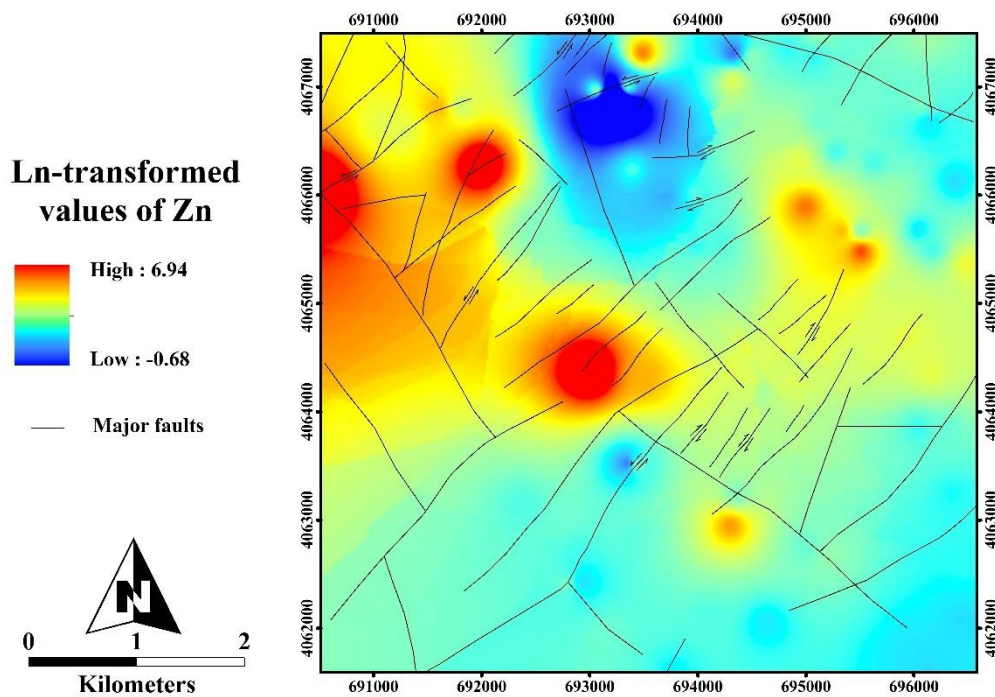
شکل ۱۰-۴ نقشه توزیع آنومالی‌های ژئوشیمیایی برای عنصر *Cu*.



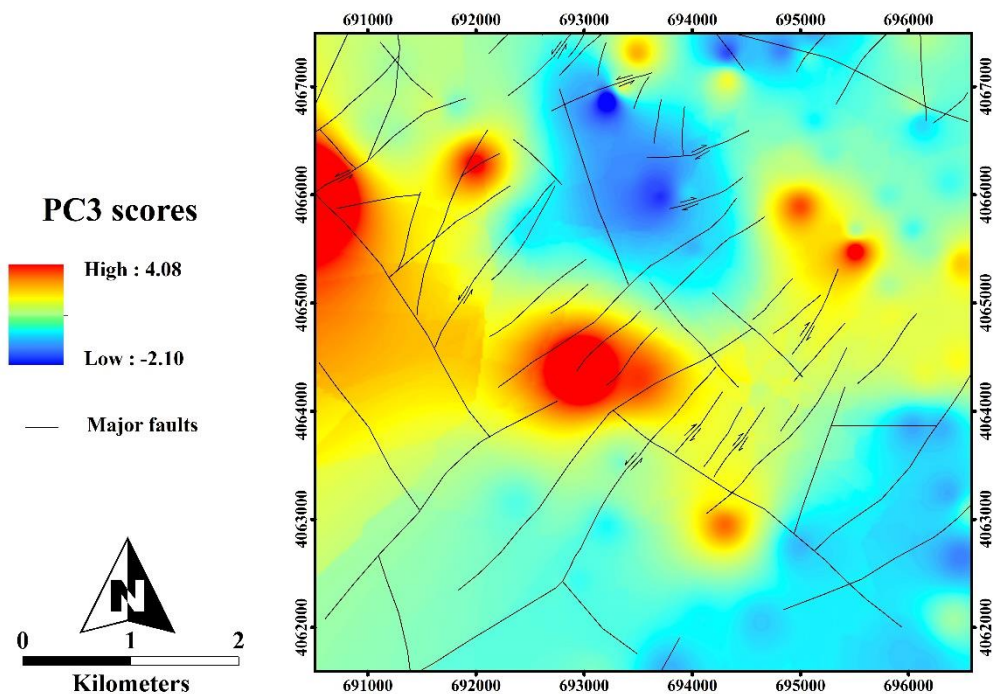
شکل ۴-۱۱ نقشه توزیع آنومالی‌های ژئوشیمیایی برای عنصر *Pb*.



شکل ۴-۱۲ نقشه توزیع آنومالی‌های ژئوشیمیایی برای عنصر *Sb*.



شکل ۴-۱۳ نقشه توزیع آنومالی‌های ژئوشیمیایی برای عنصر Zn



شکل ۴-۱۴ نقشه توزیع آنومالی‌های ژئوشیمیایی برای امتیازات حاصل از مولفه سوم تحلیل مولفه‌های اصلی

۴-۷- روش‌های جدایش آنومالی از زمینه

روش‌های آماری مختلفی برای جداسازی و تشخیص مناطق آنومال از زمینه توسعه یافته است. این روش‌ها از انواع ساده بر اساس پارامترهای آماری توزیع (مثل روش‌های مبتنی بر آمار کلاسیک) تا پیچیده بر اساس ساختار فضایی داده‌ها (روش‌های مبتنی بر هندسه فرکتال و آماره فضایی U) تغییر می‌کنند. در روش‌های ساده، صرفاً پارامترهای آماری نظیر میانگین و انحراف معیار و نحوه توزیع داده‌ها برای جدایش جوامع ژئوشیمیایی از زمینه مورد استفاده قرار می‌گیرد و از تغییرات فضایی داده‌ها صرف‌نظر می‌شود، درحالی‌که در روش‌های پیچیده، موقعیت نقاط نمونه‌برداری و ارتباط فضایی آن‌ها در تخمین مناطق آنومال در نظر گرفته می‌شود (حسنی‌پاک، ۱۳۸۰).

۴-۷-۱- روش‌های مبتنی بر هندسه فرکتال

بعضی پدیده‌های اطراف ما در چارچوب هندسه اقلیدسی قابل توجیه نمی‌باشند. در هندسه اقلیدسی بعد عدد صحیحی مانند یک، دو و سه می‌باشد. از این‌رو هندسه اقلیدسی می‌تواند پدیده‌های یک‌بعدی، دوبعدی، سه‌بعدی و بیشتر را توضیح دهد. نگرش دیگر این است که بعد پدیده‌ها و رخدادها را عدد صحیحی نپنداریم. بلکه بپذیریم که بعد می‌تواند به‌طور پیوسته از صفر تا یک، از یک تا دو، از دو تا سه و یا بیشتر تغییر کند. برای مثال اگر خط یک‌بعدی و صفحه دوبعدی است، یک خط شکسته که صدها بار در یک صفحه شکسته می‌شود، شکلی را به وجود می‌آورد که می‌توان برحسب شدت این شکست‌ها بعدی بین یک و دو به آن نسبت داد. در این صورت می‌توان آن را شکلی بین خط و صفحه معرفی کرد با بعد بین یک و دو (حسنی‌پاک، ۱۳۸۰).

۴-۷-۲- اندازه‌گیری بعد فرکتال

روش‌های مختلفی برای اندازه‌گیری بعد فرکتال وجود دارد که در سه دسته کلی قرار می‌گیرند (حسنی‌پاک، ۱۳۸۰):

روش خود تشابهی:

اشکال فرکتالی در مقیاس‌های مختلف از نظر بزرگ‌نمایی ممکن است مشابه باشند. بدین معنی که اختلاف آن‌ها در بزرگی و کوچکی آن‌هاست ولی هم‌شکل می‌باشند. این خاصیت آن‌ها را خود تشابهی می‌نامند. ممکن است اجزای تشکیل‌دهنده‌ی یک جسم وقتی به دقت بررسی شوند، همانند خود آن باشند. سیستم آبراهه‌ای، سیستم درزه‌ها و سیستم گسل‌ها و بسیاری از سیستم‌های دیگر طبیعت ممکن است دارای چنین خاصیتی باشند. برای تمامی اشکال خود تشابه رابطه‌ی زیر برقرار است:

$$a = S^D \quad (2)$$

که در آن a تعداد اجزا، S ضریب کوچک‌نمایی و D بعد فرکتال است.

استفاده از خط پیمایش (گام):

روش دوم اندازه‌گیری بعد فرکتال، استفاده از خط پیمایش (گام) با طول متغیر است. بین بعد فرکتال و طول گام رابطه‌ی زیر را می‌توان برقرار کرد:

$$L = ax^{1-D} \quad (3)$$

اگر از دو طرف معادله لگاریتم بگیریم خواهیم داشت:

$$\text{Log } L = \text{Log } a + (1-D) \text{Log } x \quad (4)$$

این رابطه دلالت بر آن دارد که لگاریتم طول اندازه‌گیری شده با لگاریتم طول گام به کاررفته برای اندازه‌گیری رابطه خطی دارد. ضریب زاویه این خط $1-D$ است و با استفاده از آن می‌توان بعد فرکتالی شکل موردنظر را به دست آورد.

روش شمارش جعبه‌ای^{۲۱}:

روش سوم محاسبه بعد فرکتال استفاده از روش شمارش جعبه‌ای است. این روش یکی از پرکاربردترین روش‌های عملی است. در این روش شکل موردنظر با شبکه‌ای که ابعاد سلول‌های آن تغییر داده می‌شود پوشانده می‌شود. در هر سلول شمارش انجام می‌شود. این شمارش ممکن است معرف تعداد نقاطی از شکل موردنظر باشد که در هر سلول قرار گرفته و یا ممکن است هر ویژگی دیگری از آن شکل باشد؛ بنابراین به ازای هر مقدار از مساحت سلول شبکه S یک شمارش خواهیم داشت (N) که بستگی به ابعاد سلول‌های شبکه دارد و به صورت $N(s)$ (یعنی تابعی از s) نشان داده می‌شود. با تغییر s مقادیر مختلفی از $N(s)$ به دست می‌آید. اگر مقادیر $N(s)$ را به‌عنوان تابعی از $1/S$ در یک دستگاه مختصات تمام لگاریتمی رسم کنیم، خط مستقیمی را می‌توان به نقاط برازش داد که شیب آن بعد فرکتال شکل موردنظر (D) خواهد بود.

۴-۷-۳- تخمین حدود آستانه به روش فرکتالی

مباحث قبلی مقدمه‌ای راجع به هندسه فرکتال و کلیاتی درباره اساس این روش بود اما هدف اصلی از طرح مباحث قبلی رسیدن به مرحله جداسازی جامعه آنومالی از زمینه است که با تخمین حدود آستانه‌ای صورت می‌گیرد. در یک سری داده ژئوشیمیایی با دو یا چندین گروه داده فرکتالی متصل به هم مواجه هستیم که گروه‌هایی معرف زمینه و گروه‌هایی معرف جوامع آنومال هستند. در اینجا برای جدایش جوامع آنومال سعی می‌شود عیار بحرانی که در محدوده‌ی آن بعد فرکتالی تغییر می‌کند (یعنی از بعد کمتر مربوط به جامعه زمینه یا آنومالی‌های ضعیف‌تر با سطح ژئوشیمیایی هموارتر به ابعاد بیشتر مربوط به جامعه یا جوامع آنومالی با سطح ژئوشیمیایی ناهموارتر) به‌عنوان حدود آستانه‌ای معرفی گردد؛

21. Box counting

بنابراین در این روش از توزیع فراوانی عناصر و شکل هندسی آنومالی به‌طور هم‌زمان برای تشخیص حدود آستانه‌ای و جدایش جامعه یا جوامع آنومالی و زمینه استفاده می‌گردد.

در این روش پس از رسم نقشه شبکه‌بندی داده‌ها، برای هر سلول عیاری خواهیم داشت. هم‌چنین هر سلول مساحت مشخصی دارد. به‌عنوان مثال اگر بخواهیم به روش عیار-مساحت ابعاد فرکتالی (یا حدود آستانه‌ای) را محاسبه کنیم، کافی است که مقادیر عیار به ترتیب صعودی مرتب شود. سپس لازم است برای هر عیار معین مساحت‌ها به‌صورت تجمعی محاسبه شود. پس از انجام این محاسبات می‌توان نمودار لگاریتم عیار-مساحت را رسم کرده و طبق آن، جوامع مختلف ژئوشیمیایی را از هم جدا نمود (حسنی‌پاک، ۱۳۸۰).

۴-۷-۴- روش فرکتال عیار-مساحت

روش فرکتال عیار-مساحت برای اولین بار توسط آقای چنگ و همکاران در سال ۱۹۹۴ پیشنهاد داده شد (Cheng et al., 1994) و بعدها توسط محققین علم ژئوشیمی برای جدا کردن جوامع ژئوشیمیایی مورد استفاده قرار گرفت (Arias et al., 2012; Parsa et al., 2016; Zuo and Wang, 2016) روش فرکتال عیار-مساحت (C-A) پرکاربردترین روش در بین روش‌های فرکتالی می‌باشد. بزرگ‌ترین مزیت این روش این است که علاوه بر در نظر گرفتن فراوانی داده‌ها، میزان مساحت اشغال شده توسط آن‌ها را نیز لحاظ می‌کند؛ یعنی هم‌زمان با فراوانی داده‌ها تغییرات فضایی آن‌ها روی زمین نیز بررسی شده و طبق آن می‌توان با اعتماد بالایی جوامع آنومال را از مقادیر زمینه جدا نمود و به همین دلیل روش بسیار موفقی در جدایش جوامع ژئوشیمیایی به شمار می‌رود (Parsa et al., 2016). معادله مربوط به این روش به‌صورت زیر است (Daya, 2015):

$$A(\rho \leq V) \propto \rho^{-a1}; A(\rho \geq V) \propto \rho^{-a2} \quad (۶)$$

که در این فرمول، $A(\rho \leq V)$ و $A(\rho \geq V)$ نشان‌دهنده مساحت‌های A با مقادیر عیار به ترتیب کوچک‌تر و بزرگ‌تر از مقادیر کنتری ρ ، V نشان‌دهنده مقدار حد آستانه و $a1$ - و $a2$ - نشان‌دهنده ابعاد فرکتالی هستند. چنگ و همکاران دو نوع کاربرد را برای محاسبه $A(\rho)$ استفاده کرده‌اند: ۱. $A(\rho)$ را به‌عنوان مساحتی در نظر گرفته‌اند که با مقدار کنتری ρ روی نقشه کنتری ژئوشیمیایی بسته شده است و از درون‌یابی مقادیر اصلی به‌وسیله روش میانگین متحرک نتیجه می‌شود و ۲. $A(\rho)$ مقداری است که از روش شمارش جعبه‌ای مقادیر اولیه عناصر به دست می‌آید، یعنی مساحت کل پیکسل‌های مربوط به یک عیار مشخص با یکدیگر جمع می‌شوند. در ترسیم نمودار مربوط به روش عیار - مساحت، محور مربوط به لگاریتم عیار در برابر محور مربوط به لگاریتم مساحت قرار می‌گیرد. سپس خطوط مستقیمی بر اساس قانون کمترین فاصله از نقاط، به نمودار برازش می‌شود. پس از برازش خطوط به نمودار، در جاهایی که تغییر شیب رخ داده است و خطوط دچار شکستگی شده‌اند، جوامع مختلف ژئوشیمیایی از هم جدا می‌شوند.

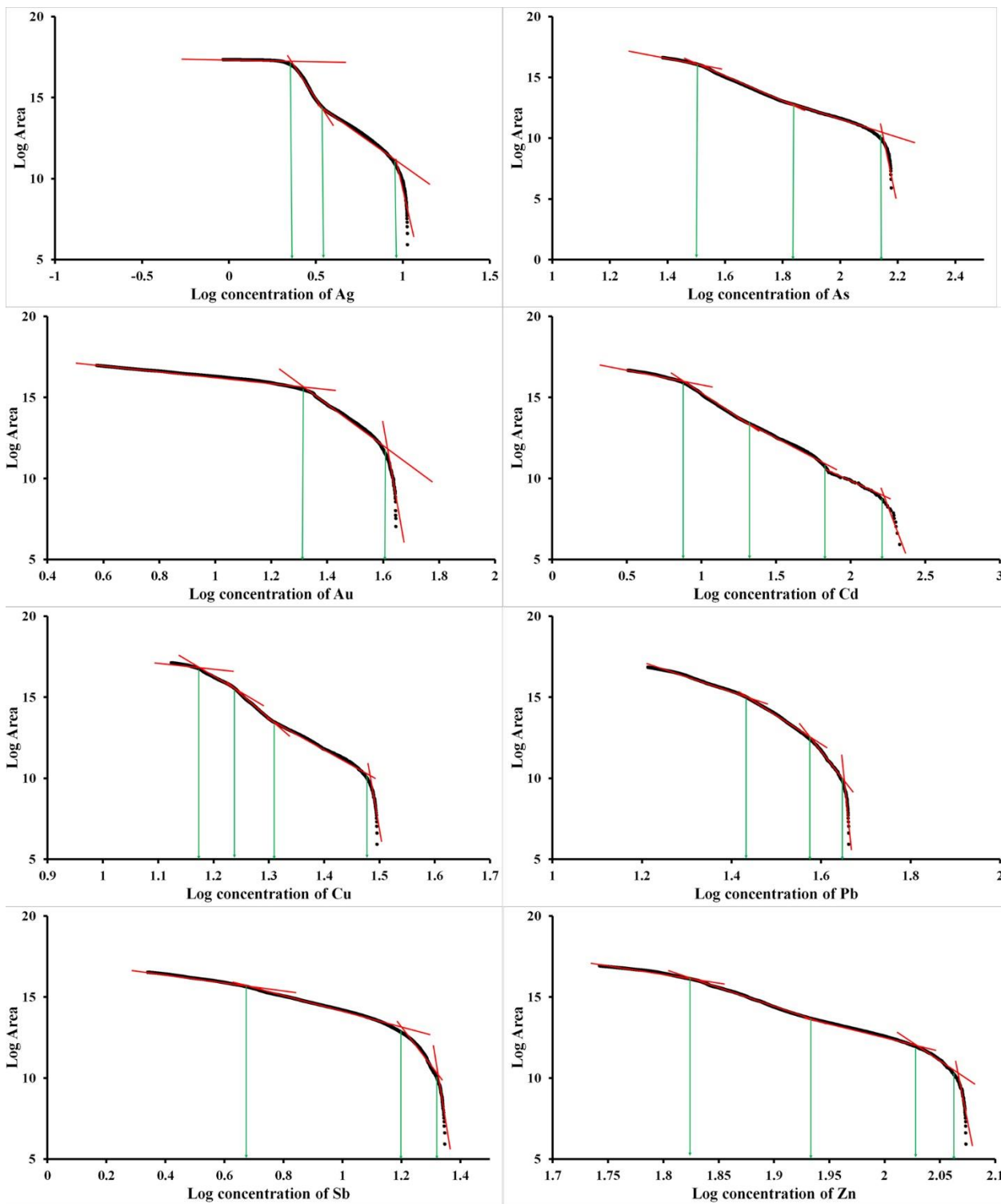
۴-۸- مدل‌سازی با استفاده از روش فرکتال عیار-مساحت

برای مدل‌سازی فرکتال عیار-مساحت روی داده‌های ژئوشیمیایی تک‌عنصری، ابتدا ۸ عنصر مورد بررسی انتخاب شدند.

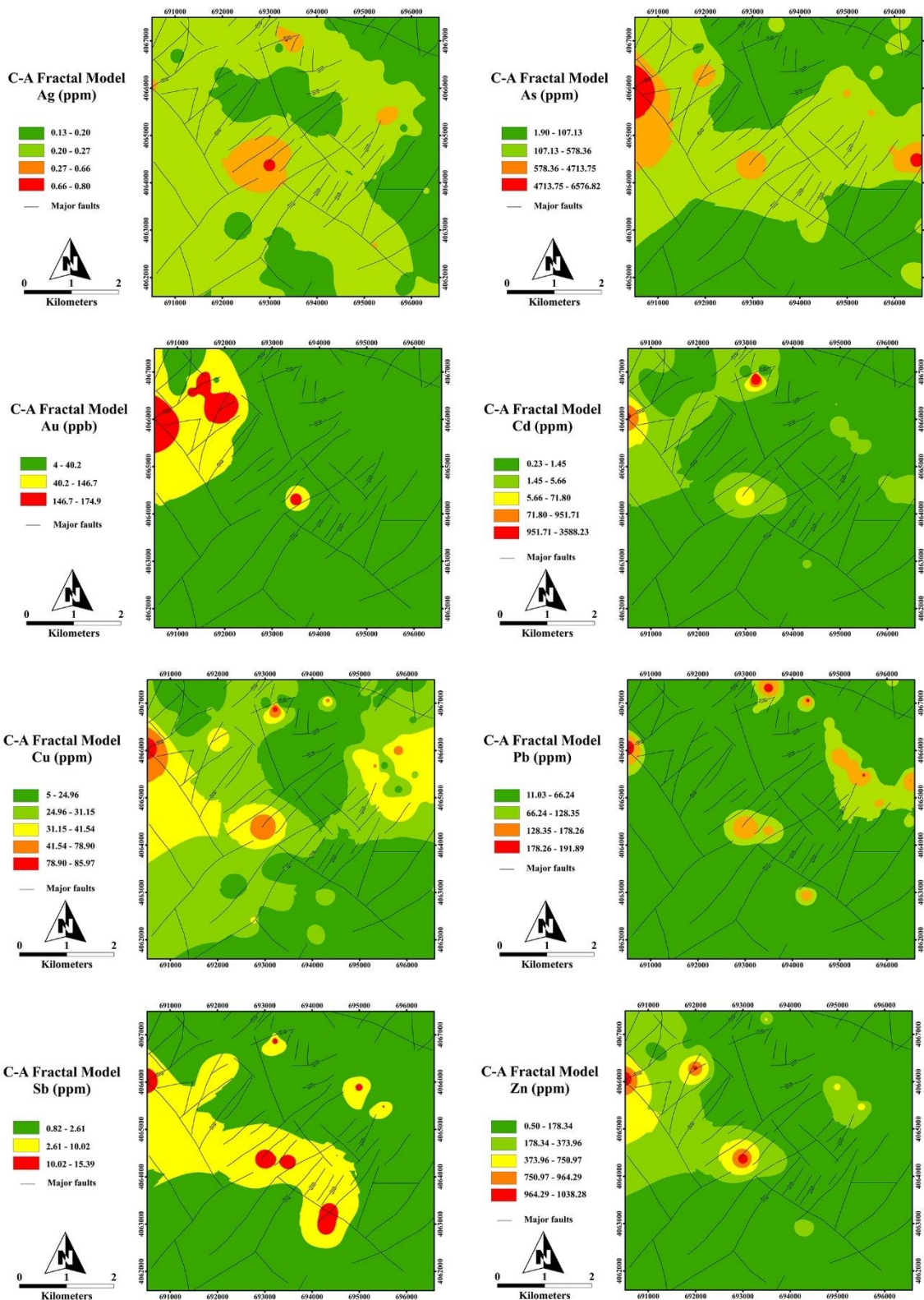
برای مدل‌سازی فرکتال عیار-مساحت توزیع عیار ۸ عنصر مذکور، همان‌گونه که در بخش‌های قبلی عنوان شد، ابتدا داده‌ها با استفاده از تبدیل لگاریتمی، نرمال شده و سپس در نرم‌افزار ArcGIS 10.2 با استفاده از روش IDW درون‌یابی شده و به‌صورت نقشه درآمدند. سپس با استفاده از نقشه‌های اولیه به دست آمده، به ازای عیارهای مشخص، مساحت تجمعی پیکسل‌ها محاسبه شده و نمودارهای عیار در مقابل مساحت به‌صورت تمام لگاریتمی رسم شدند. برای تعیین جوامع مختلف، خطوطی مستقیم بر اساس قانون کمترین مربعات (Agterberg, 1994) روی نقاط نمودار برازش شده و بر اساس آن حدود

آستانه و تعداد جوامع ژئوشیمیایی مختلف تعیین شدند. لازم به ذکر است که همواره تعداد حدود آستانه از تعداد جوامع ژئوشیمیایی یک واحد کمتر است. در شکل ۴-۱۵ نمودارهای فرکتال عیار-مساحت برای ۸ عنصر ، As, Au, Cd, Cu, Pb, Sb و Zn با خطوط حد آستانه نمایش داده شده است.

پس از رسم نمودارهای تمام لگاریتمی عیار-مساحت برای عناصر مورد بررسی و تعیین حدود آستانه و جوامع ژئوشیمیایی مختلف، با استفاده از حدود آستانه به دست آمده از روی نمودار، از مجموعه داده‌های موجود، مقدار عیار معادل هر یک از حدود آستانه را به دست آورده (جدول ۴-۴) و نقشه آنومالی نهایی کلاسه‌بندی شده با استفاده از روش فرکتال عیار-مساحت به دست می‌آید. شکل ۴-۱۶ نقشه‌های آنومالی کلاسه‌بندی شده برای ۸ عنصر مذکور با استفاده از روش فرکتال عیار-مساحت را نمایش می‌دهد. همان‌گونه که از شکل ۴-۱۶ مشخص است، جوامع ژئوشیمیایی برای عناصر مختلف از یکدیگر تفکیک شده و برای مطالعات تفصیلی‌تر روی منطقه و تشخیص آنومالی‌های جدید و یافتن مناطق امیدبخش می‌توان از آنها بهره جست.



شکل ۴-۱۵ نمودارهای تمام لگاریتمی عیار-مساحت برای عناصر



شکل ۴-۱۶ نقشه‌های توزیع جوامع ژئوشیمیایی با استفاده از روش فرکتال عیار-مساحت برای عناصر

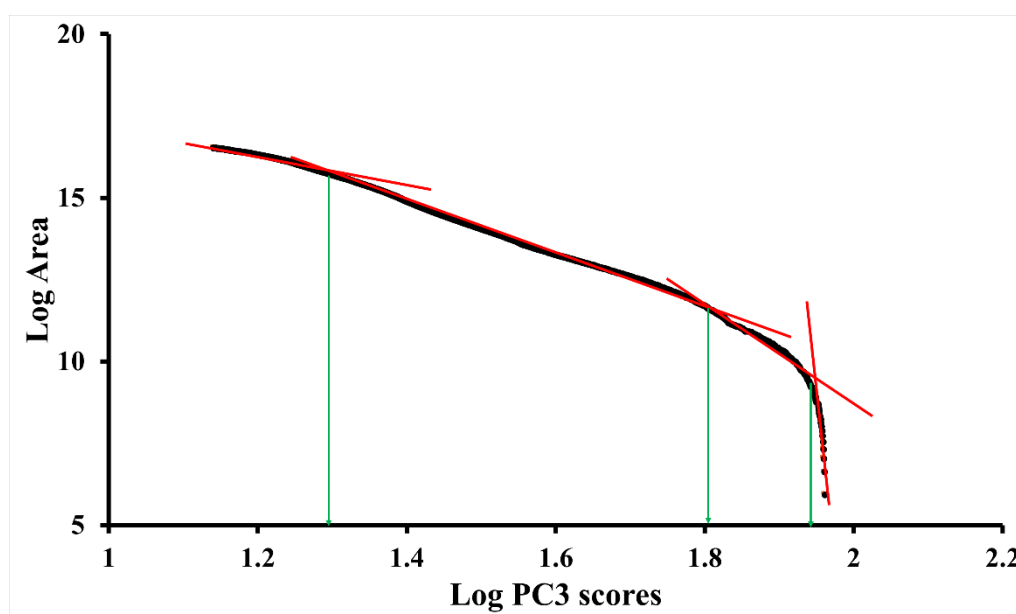
جدول ۴-۸ حدود آستانه بدست آمده براساس روش فرکتال عیار-مساحت

Element	Population	Thresholds (ppm)	
Ag	1	0.13	0.20
	2	0.20	0.27
	3	0.27	0.66
	4	0.66	0.80
As	1	1.90	107.13
	2	107.13	578.36
	3	578.36	4713.75
	4	4713.75	6576.82
Au (ppb)	1	4	40.2
	2	40.2	146.7
	3	146.7	174.9
Cd	1	0.23	1.45
	2	1.45	5.66
	3	5.66	71.80
	4	71.80	951.71
	5	951.71	3588.23
Cu	1	5	24.96
	2	24.96	31.15
	3	31.15	41.54
	4	41.54	78.90
	5	78.90	85.97
Pb	1	11.03	66.24
	2	66.24	128.35
	3	128.35	178.26
	4	178.26	191.89
Sb	1	0.82	2.61
	2	2.61	10.02
	3	10.02	15.39
Zn	1	0.50	178.34
	2	178.34	373.96
	3	373.96	750.97
	4	750.97	946.29
	5	964.29	1038.28

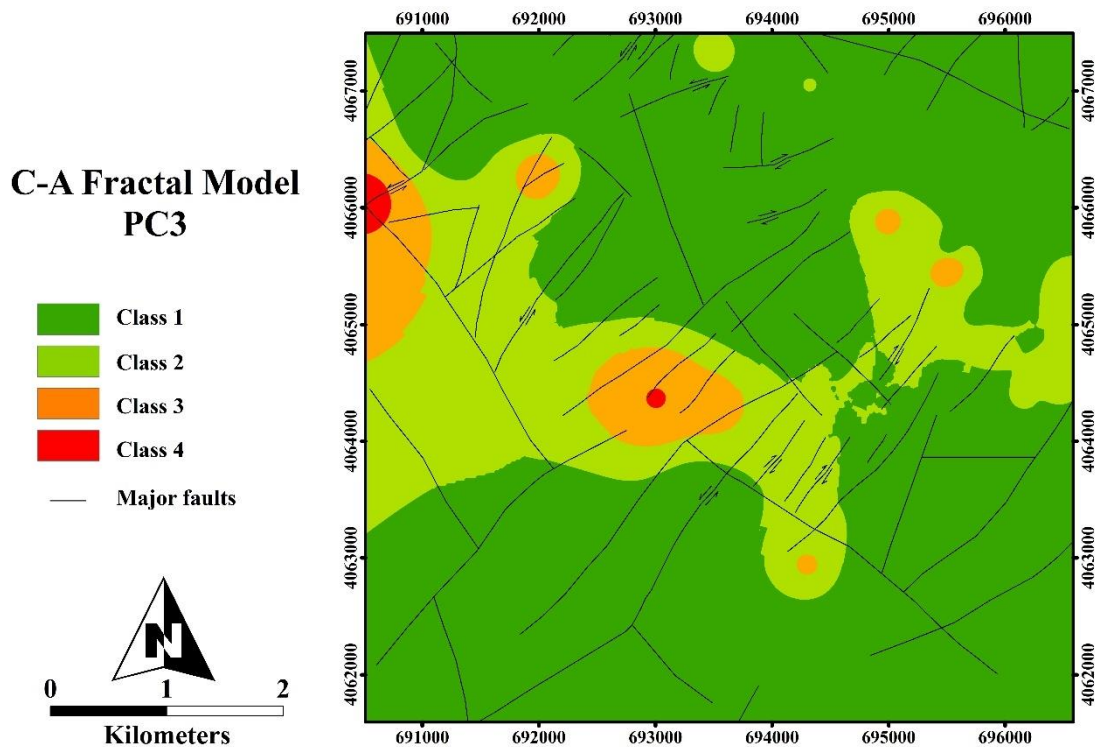
۴-۸-۱- مدل‌سازی فرکتال عیار-مساحت مقادیر حاصل از تحلیل

مولفه‌های اصلی

مقادیر امتیازات PC3، وارد نرم افزار Arc GIS 10.2 شده و بوسیله روش IDW درون‌یابی شدند. سپس نمودار تمام لگاریتمی مقادیر در برابر مساحت اشغال شده توسط آن مقادیر رسم شدند (شکل ۴-۱۷). طبق نمودار تمام لگاریتمی عیار-مساحت، ۴ جامعه ژئوشیمیایی براساس خطوط برازش شده بر روی نمودار براساس روش کمترین مربعات شناسایی و تفکیک شده‌اند که این جوامع به ترتیب شامل زمینه، آنومالی کم، آنومالی متوسط و آنومالی قوی می‌باشند. سپس حدود آستانه تعیین شده، وارد نرم افزار شده و نقشه نهایی مدل‌سازی آنومالی ژئوشیمیایی برای کانی‌زایی طلا در محدوده زرشوران طبق روش فرکتال عیار-مساحت به دست آمدند که مقادیر آنومالی کم، متوسط و قوی برای اکتشافات و بررسی‌های دقیق‌تر در منطقه مورد مطالعه، می‌توانند مورد استفاده قرار گیرند. جامعه با مقدار آنومالی متوسط در شناسایی مناطق امیدبخش می‌تواند راهنمای اکتشافی مناسبی باشد و جوامع با مقادیر آنومالی قوی نیز در بخش‌های تفصیلی‌تر اکتشاف می‌توانند مورد استفاده قرار بگیرند (شکل ۴-۱۸).



شکل ۴-۱۷ نمودار تمام لگاریتمی فرکتال عیار-مساحت برای مقادیر حاصل از PC3



شکل ۴-۱۸ نقشه نهایی توزیع جوامع ژئوشیمیایی برای مقادیر حاصل از PC3 با استفاده از روش فرکتال عیار-مساحت.

بر اساس نمودارهای تمام لگاریتمی روش فرکتال عیار-مساحت، ۴ مرحله غنی شدگی برای عناصر Ag، As و Pb، ۵ مرحله غنی شدگی برای عناصر Cu و Cd، ۳ مرحله غنی شدگی برای عناصر Au و Sb به دست آمد و برای جدایش جوامع آنومالی از زمینه برای مقادیر پیوسته به دست آمده از روش تحلیل مولفه‌های اصلی روش فرکتال عیار-مساحت به کار گرفته شد. براساس نمودارهای تمام لگاریتمی روش فرکتال عیار-مساحت، ۴ جامعه ژئوشیمیایی مختلف شامل زمینه، آنومالی ضعیف، آنومالی متوسط و آنومالی قوی بدست آمدند و این نشان دهنده قدرت تفکیک بالای این روش‌ها جهت شناسایی مناطق دارای پتانسیل طلا برای اکتشافات تفصیلی در این منطقه می‌باشد.

۵. تلفیق داده‌ها

۵-۱- مقدمه

از مهم‌ترین مسایل در مرحله اکتشاف کانسارها می‌توان به مدیریت اکتشاف، افزایش میزان بهره‌وری و کاهش هزینه‌های اکتشافی اشاره کرد. (camara et al, 1996) امروزه ورود کامپیوتر و نرم افزارهای متنوع و کاربردی به دنیای اکتشافات زمین‌شناسی تا حدود زیادی به حل این مسایل کمک کرده و موجب افزایش کاربری و بهینه سازی مراحل اکتشاف و دیگر مسایل مرتبط با کانسارها و معادن شده است. سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی یا GIS یک سامانه برای جمع آوری، ذخیره، تجزیه و تحلیل، به روزرسانی، تولید، تلفیق و نمایش داده‌های جغرافیایی و زمین مرجع می‌باشند. ArcGIS یکی از نرم افزارهای کارا و توانمند GIS می‌باشد که از قابلیت‌های زیادی مانند تولید بانک‌های اطلاعاتی، امکان مدیریت داده‌ها و اطلاعات، تلفیق این اطلاعات و گرفتن خروجی‌های متفاوت به صورت نقشه، نمودار و جداول متنوع برخوردار است. تلفیق لایه‌های اکتشافی مختلف با جنس‌های متفاوت اطلاعاتی در محدوده زرشوران انجام شده است. هدف از تلفیق این لایه‌ها تعیین مناطق امیدبخش و دید گسترشی به کانه فلزی مورد بررسی در محدوده کانسار و معرفی قسمت‌های با آنومالی بالا جهت اکتشافات زیرسطحی است (Roberts et al, 2010).

۵-۲- داده‌ها و وزن دهی

در تلفیق داده‌ها در ابتدا نیازمند تعیین نوع داده است. در تلفیق داده‌ها در تمامی این پژوهش نتایجی برداشت گردیده است. مختصری از این داده‌های منتج شده به شرح ذیل است:

- خطواره‌ها (گسل‌ها و ... مستخرج از سنجش از دور و نقشه‌های زمین‌شناسی)
- نتایج حاصل از روش مولفه‌های اصلی (ژئوشیمیایی)
- دگرسانی‌ها (بررسی‌های سنجش از دور)

- زمین‌شناسی (مستخرج از مطالعات صحرایی و نقشه‌های زمین‌شناسی)

و دسته آخر نیز می‌توان به وجود اندیس‌های شناسایی شده معدنی در منطقه اشاره داشت که برای اعتبارسنجی تلفیق از آن‌ها استفاده خواهد شد.

۵-۲-۱- وزن دهی داده‌ها به روش منطق فازی

منطق فازی بر اساس نظریه مجموعه‌های فازی تعریف می‌شود که اولین بار توسط لطفی‌زاده (۱۹۶۵) معرفی شد. منطق فازی از پاسخ باینری (منطق صفر و یک) استفاده نمی‌کند بلکه از مقادیر بازه صفر تا یک برای بیان درجه یا میزان ارزش اعضای یک مجموعه استفاده می‌شود. بدین ترتیب، مقدار صفر به معنای عدم عضویت کامل، مقدار یک به معنای عضویت کامل اعضای مجموعه می‌باشد و سایر اعضای مجموعه نیز می‌توانند مقادیری بین صفر تا یک براساس درجه قطعیت عضویتشان به مجموعه داشته باشند. (Boroushaki,2011) بنابراین مقدار عضویت یک مجموعه فازی در یک مقیاس پیوسته از عضویت کامل تا عدم عضویت کامل تعریف می‌شود. مجموعه فازی A در X از مجموعه جفت مرتبه‌ای تشکیل شده است که می‌توان به صورت رابطه زیر بیان کرد:

$$A = \{ [x, \mu_A(x)] \mid x \in X \} \quad (۱)$$

(۵)

که X مجموعه‌ای از عناصر، x نمایانگر یک عضو مشخص و $\mu_A(x)$ تابع درجه عضویت x در A است که می‌تواند به صورت خطی یا غیر خطی باشد. انتخاب تابع عضویت برای فازی کردن شواهد فضایی پتانسیل معدنی باید بر مبنای درک درست از همراهی فضایی بین عوارض زمین‌شناسی نشان داده شده با شواهد و رخداد انواع کانسارهای مورد جستجو قرار داشته باشد. (Charbi,2011) مرحله بعد از فازی‌سازی شواهد، مرحله تلفیق منطقی شواهد فازی می‌باشد. پنج عملگر فازی برای ترکیب شواهد فازی مورد استفاده قرار می‌گیرد. این عملگرها شامل اشتراک (and) فازی، اجتماع (or) فازی، ضرب

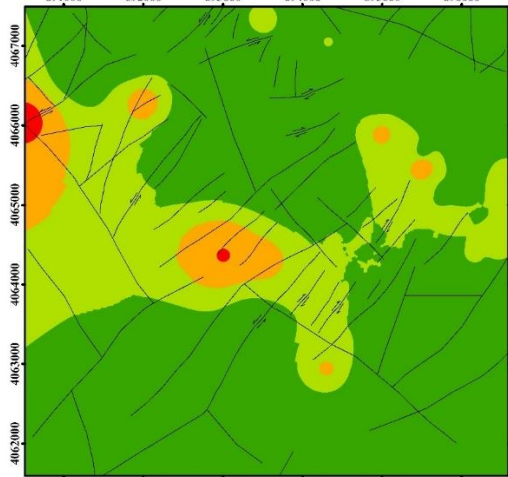
جبری فازی، جمع جبری، فازی و گامای فازی می‌باشند. این عملگرهای فازی در پتانسیل‌یابی مفید هستند به این دلیل که هر یک یا ترکیبی از آنها می‌توانند روابط بین مجموعه شواهد فضایی را در مدل مفهومی از نوع مورد جستجو نشان دهند. بنابراین عملگرهای انتخاب شده در تلفیق مجموعه‌های شواهد فازی باید با مدل مفهومی تعریف شده پتانسیل معدنی سازگار باشد (Chang,2008).

۵-۳- تلفیق

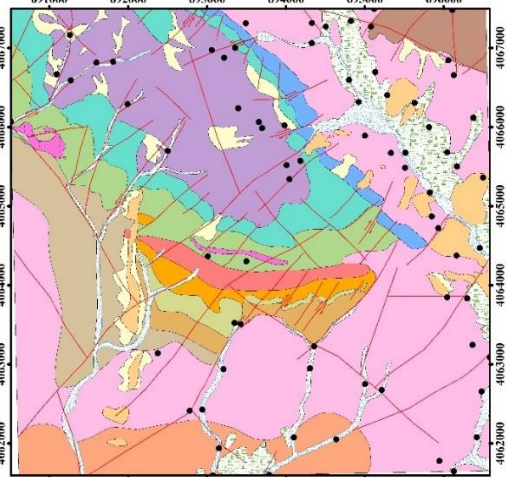
در این بررسی از روش فازی استفاده شده است که مطابق جدول ۵-۱ وزن لایه‌ها و زیر لایه‌ها برای تلفیق ارائه گردیده است. تلفیق داده‌ها (شکل ۵-۱) با وزن به دست آمده و ارائه شده در جدول ۵-۱ منجر به نتیجه شکل ۵-۲ گردید.

جدول ۵-۱ وزن لایه و زیر لایه‌ها برای تلفیق

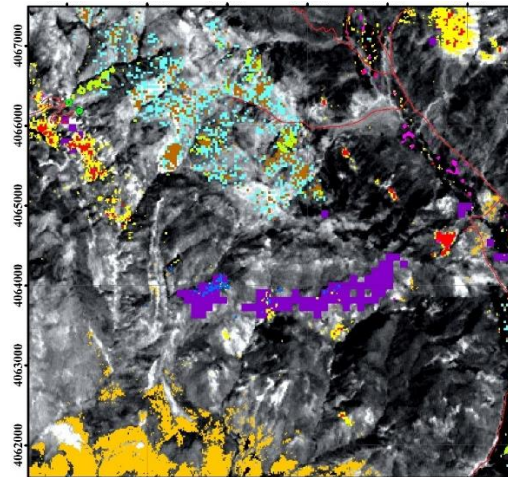
وزن زیر معیار	وزن معیار	معیار	معیارها								
<table border="1"> <tr> <td>۰/۸</td> <td>کلاس ۱</td> </tr> <tr> <td>۰/۷</td> <td>کلاس ۲</td> </tr> <tr> <td>۰/۴</td> <td>کلاس ۳</td> </tr> <tr> <td>۰/۲</td> <td>کلاس ۴</td> </tr> </table>	۰/۸	کلاس ۱	۰/۷	کلاس ۲	۰/۴	کلاس ۳	۰/۲	کلاس ۴	۰/۸	چگالی گسل (کلاسه بندی شده در چهار کلاس)	گسل
۰/۸	کلاس ۱										
۰/۷	کلاس ۲										
۰/۴	کلاس ۳										
۰/۲	کلاس ۴										
<table border="1"> <tr> <td>۰/۹</td> <td>کلاس ۱</td> </tr> <tr> <td>۰/۸</td> <td>کلاس ۲</td> </tr> <tr> <td>۰/۵</td> <td>کلاس ۳</td> </tr> <tr> <td>۰/۱</td> <td>کلاس ۴</td> </tr> </table>	۰/۹	کلاس ۱	۰/۸	کلاس ۲	۰/۵	کلاس ۳	۰/۱	کلاس ۴	۰/۴	PC3	ژئوشیمی
۰/۹	کلاس ۱										
۰/۸	کلاس ۲										
۰/۵	کلاس ۳										
۰/۱	کلاس ۴										
	۰/۷	رسی و اکسید آهن	دگرسانی								
	۰/۳	سیلیسی									
	۰/۸	واحدهای آهکی و دولومیتی	زمین شناسی								



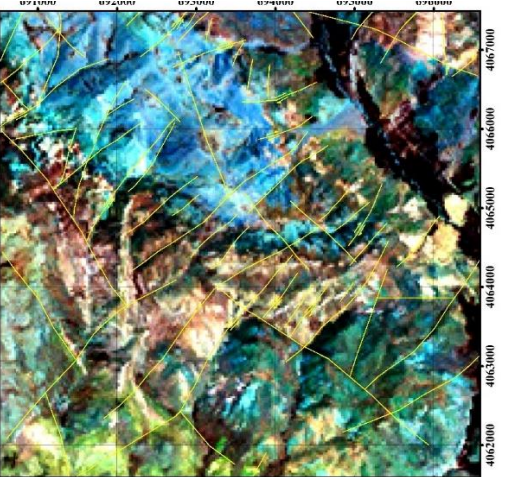
ژئوشیمی PC3



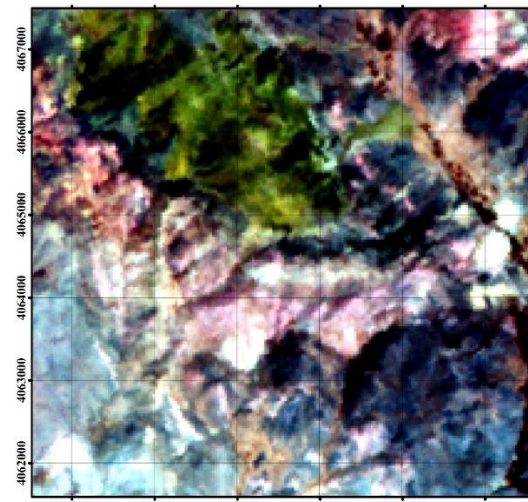
زمین شناسی



مواد معدنی

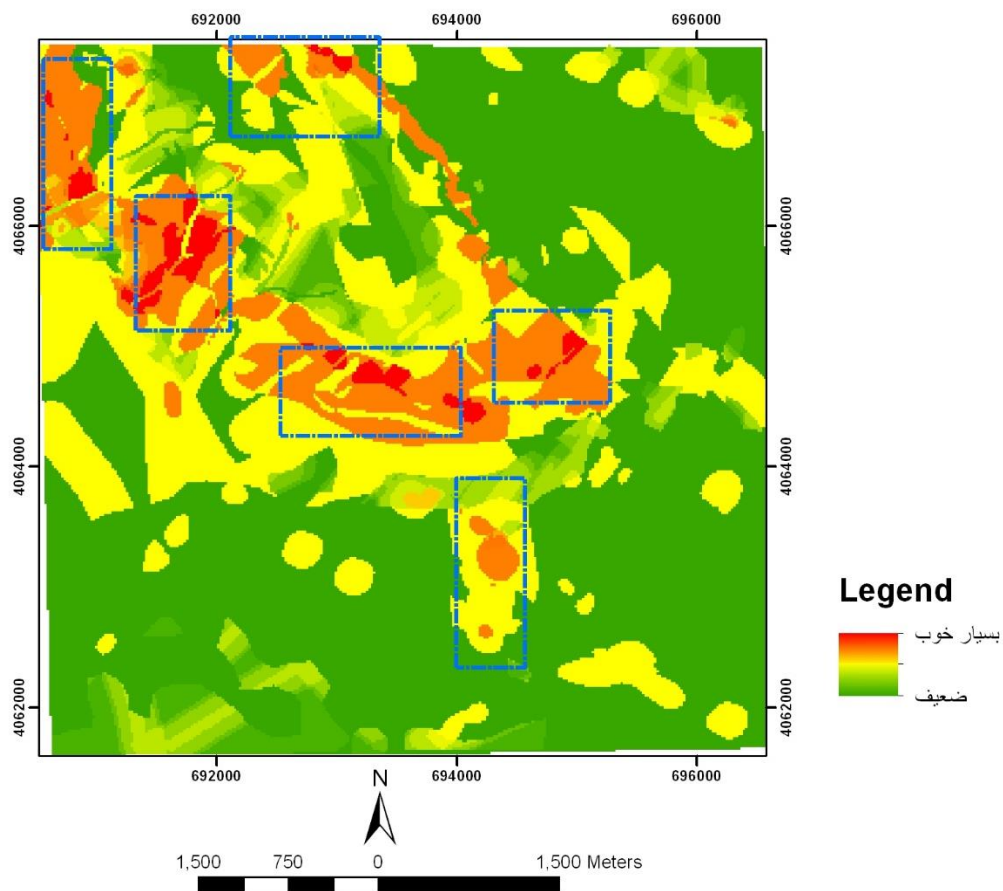


خطواره ها



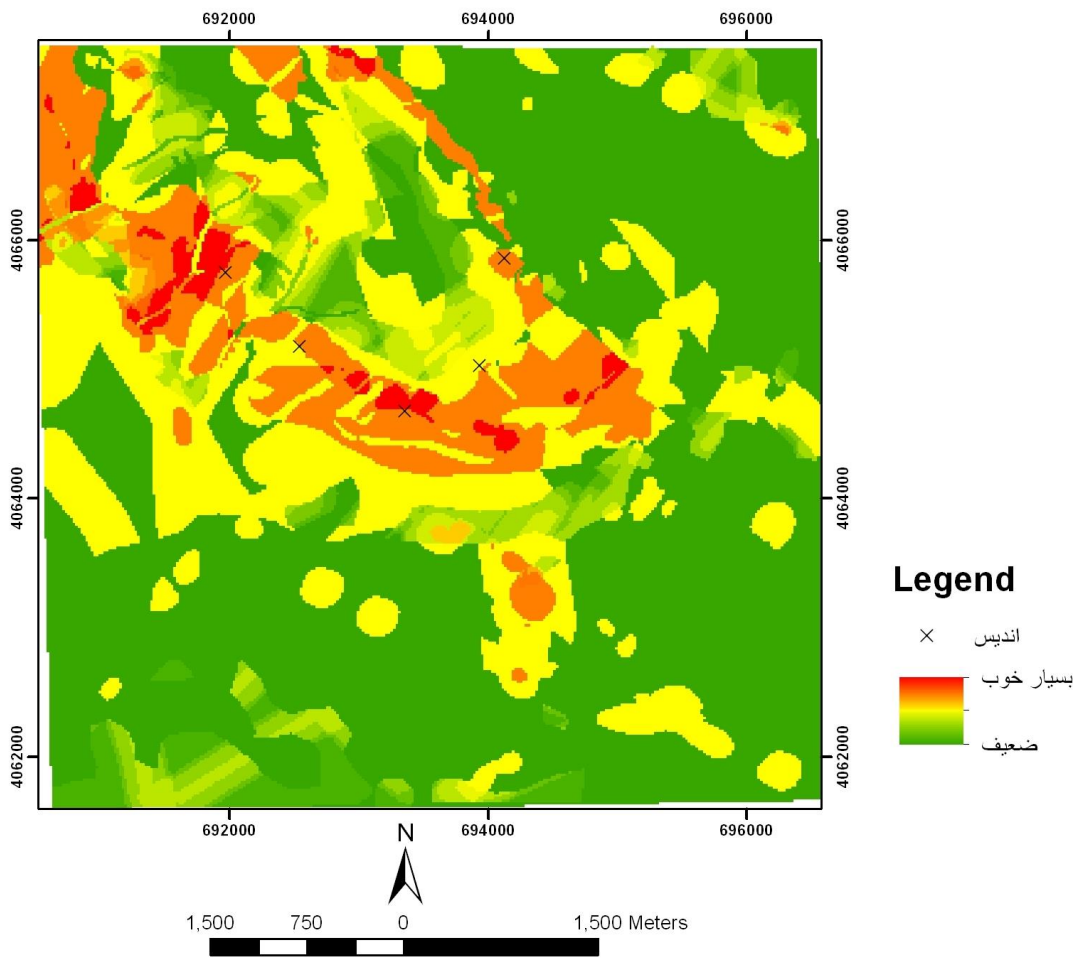
دگرسانی ها

شکل ۵-۱: لایه‌های منتج شده در فصول مختلف برای تلفیق



شکل ۵-۲: نتیجه تلفیق لایه‌های و تعیین مناطق امیدبخش.

برای اعتبار سنجی تلفیق تعدادی از اندیس‌های موجود در منطقه در شکل ۵-۱ وارد گردید. همانطور که در شکل ۵-۳ دیده می‌شود انطباق خوبی بین مناطق امیدبخش و همچنین پتانسیل‌های شناسایی شده وجود داشت که همین امر نشان دهنده کارآمدی روش‌ها و پژوهش‌های این نگارش است.



شکل ۳-۵: اندیس ها بر روی نقشه پتانسیل

۶

نتیجه‌گیری و پیشنهادات

با توجه به بررسی‌های کلی زمین‌شناسی و همچنین بررسی‌های سنجش از دور و ژئوشیمیایی انجام شده در پژوهش حاضر می‌توان نتایج زیر را استنباط کرد:

- در شروع پس از مطالعه زمین‌شناسی منطقه جهت شناسایی آلتراسیون هیدروترمال موجود در محدوده مورد مطالعه، براساس مطالعات دورسنجی، از تصاویر ASTER و ETM^+ منطقه زرشوران استفاده شد و با استفاده از روش‌های ترکیب رنگی کاذب (FCC)، نسبت‌های بانندی (BR) و آنالیز طیفی (SA) آلتراسیون‌های مختلف شناسایی و مشخص شدند.

- برای مطالعه پتانسیل کانی‌زایی طلا در محدوده زرشوران، از روش جداسازی زمینه از آنومالی نظیر روش‌های مبتنی بر هندسه فرکتال شامل عیار-مساحت برای جداسازی مناطق آنومال از زمینه و شناسایی مناطق امیدبخش ژئوشیمیایی استفاده شده است. در این پژوهش، ابتدا همه ۳۸ عنصر بصورت تک متغیره مورد بررسی قرار گرفتند و الگوهای ژئوشیمیایی هر یک تشخیص داده شد و براساس تحلیل دو متغیره عناصر ژئوشیمیایی با استفاده از ضرایب همبستگی و تحلیل مولفه‌های اصلی، مقادیر اصلی مولفه سوم و همچنین ۸ عنصر شامل Ag, As, Au, Cd, Cu, Pb, Sb و Zn که بیشترین ارتباط را با کانی‌زایی طلا محدوده زرشوران از خود نشان می‌دادند، انتخاب و برای تشخیص و جدایش الگوهای ژئوشیمیایی استفاده شد.

- در مرحله بعد، ۸ عنصر از روش مبتنی بر هندسه فرکتال عیار-مساحت، برای جداسازی نواحی آنومال از زمینه استفاده شده است. بر اساس نمودارهای تمام لگاریتمی روش فرکتال عیار-مساحت، ۴ مرحله غنی‌شدگی برای عناصر Ag, As و Pb، ۵ مرحله غنی‌شدگی برای عناصر Cu و Cd، ۳ مرحله غنی‌شدگی برای عناصر Au و Sb به دست آمد. همان‌گونه در نقشه‌های آنومالی ژئوشیمیایی به‌دست آمده از روش‌های فرکتال عیار-مساحت پیداست، عناصر مذکور در بخش‌های مرکزی، شمال شرق و شمال غرب محدوده زرشوران دارای آنومالی‌های با عیار بالا هستند (شکل ۴-۱۶).

- در گام بعدی، با استفاده از روش تحلیل مولفه‌های اصلی معمولی، در قالب یک نقشه ژئوشیمیایی چند عنصری برای تشخیص کانی‌زایی طلا، با یکدیگر تلفیق شده و برای جدایش جوامع آنومالی از زمینه برای مقادیر پیوسته به دست آمده از روش تحلیل مولفه‌های اصلی روش فرکتال عیار - مساحت به کار گرفته شد. براساس نمودارهای تمام لگاریتمی روش فرکتال عیار-مساحت، ۴ جامعه ژئوشیمیایی مختلف شامل زمینه، آنومالی ضعیف، آنومالی متوسط و آنومالی قوی بدست آمدند و این نشان دهنده قدرت تفکیک بالای این روش‌ها جهت شناسایی مناطق دارای پتانسیل طلا برای اکتشافات تفصیلی در این منطقه می‌باشد (شکل ۴-۱۸).

- با توجه به مطالعات ژئوشیمیایی مراحل قبل، ارتباط فضایی مناسبی بین آلتراسیون‌های شناسایی شده و آنومالی‌های ژئوشیمیایی و زمین شناسی وجود داشته و برای تلفیق از وزن‌هایی مطابق جدول ۵-۱ به روش منطق فازی انتخاب شدند.

- در نهایت با بررسی نتایج حاصل از مطالعات ژئوشیمیایی و مطالعات دروسنجی نواحی مستعد پتانسیل معدنی طلا در محدوده مطالعاتی زرشوران طبق شکل شناسایی و مشخص شدند و جهت انجام مطالعات بعدی معرفی گردید (شکل ۵-۲).

- اعتبار سنجی برای مناطق امیدبخش با بررسی اندیس‌های معدنی انجام شده و مطابق شکل ۵-۳ صحت نقشه تلفیقی نهایی تایید گردید.

با توجه به نتایج حاصل از این پژوهش، موارد زیر پیشنهاد می‌گردد:

- مناطق امیدبخش معرفی شده، می‌توانند جهت بررسی‌های بیشتر به عنوان پروژه‌های اکتشافی ژئوفیزیکی انتخاب شوند.

- روش‌های گوناگون جداسازی جوامع مختلف ژئوشیمیایی نظیر روش آماره فضایی U ، روش فرکتال عیار-تعداد، جهت مقایسه نتایج حاصل و بررسی کارآمدی این روش‌ها در برابر روش استفاده شده در این پژوهش، می‌تواند در مطالعات بعدی مورد استفاده و ارزیابی قرار گیرد.
- می‌توان از روش‌های داده‌محور و دانش‌محور جهت تولید نقشه‌های پتانسیل مطلوب در محدوده مطالعاتی زرشوران استفاده نمود و نتایج و مناطق امیدبخش بدست آمده را با نتایج حاصل از این پژوهش مقایسه و کارایی این روش‌ها و همچنین محدوده‌های امیدبخش را بررسی نمود.

مراجع

منابع فارسی

- ایمیدرو؛ ۱۳۹۲. گزارش نهایی پی‌جویی و اکتشاف مقدماتی در اطراف معدن طلای، سازمان توسعه و نوسازی معادن و صنایع معدنی ایران.
- حسینی‌پاک، علی‌اصغر، شرف‌الدین، محمد؛ ۱۳۸۰. تحلیل داده‌های اکتشافی، انتشارات دانشگاه تهران.
- قزلباش، ر؛ ۱۳۹۵. بررسی های ژئوشیمیایی و کانی زایی در برگه ۱:۱۰۰۰۰۰ ورزقان، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی امیرکبیر.
- مدنی، ح؛ ۱۳۹۰. مبانی اکتشاف مواد معدنی، انتشارات جهاد دانشگاهی واحد صنعتی امیرکبیر، جلد اول.
- وزارت صنایع و معادن؛ ۱۳۸۹. دستورالعمل اکتشاف ژئوشیمیایی بزرگ‌مقیاس رسوبات آبراهه‌ای (۱:۲۵۰۰۰)، دفتر نظارت و بهره‌برداری برنامه تهیه ضوابط و معیارهای معدن، انتشارات معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رئیس‌جمهور، نشریه شماره ۵۴۰.
- یوسفی، مهیار، کامکار روحانی، ابوالقاسم؛ ۱۳۸۹. اصول روش‌های مدل‌سازی پتانسیل معدنی (در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی)، انتشارات جهاد دانشگاهی واحد صنعتی امیرکبیر، جلد اول.

- Abrams, M., Hook, S., & Ramachandran, B. (2002). ASTER user handbook, version 2. Jet propulsion laboratory, 4800, 135.
- Afzal, P., Alghalandis, Y. F., Khakzad, A., Moarefvand, P., & Omran, N. R. (2010). Application of power spectrum-area fractal model to separate anomalies from background in Kahang Cu-Mo porphyry deposit, Central Iran. *Archives of Mining sciences*, 55(3), 389-401.
- Agterberg, F. P. (1994). Fractals, multifractals, and change of support. In *Geostatistics for the next century* (pp. 223-234). Springer Netherlands.
- Agterberg, F. P., Bonham-Carter, G. F., Cheng, Q. M., & Wright, D. F. (1993). Weights of evidence modeling and weighted logistic regression for mineral potential mapping. *Computers in geology*, 25, 13-32.
- Alimohammadi, M., Alirezaei, S., & Kontak, D. J. (2015). Application of ASTER data for exploration of porphyry copper deposits: A case study of Daraloo–Sarmeshk area, southern part of the Kerman copper belt, Iran. *Ore Geology Reviews*, 70, 290-304.
- Arias, M., Gumiel, P., & Martín-Izard, A. (2012). Multifractal analysis of geochemical anomalies: a tool for assessing prospectivity at the SE border of the Ossa Morena Zone, Variscan Massif (Spain). *Journal of Geochemical Exploration*, 122, 101-112.
- Asadi, H. H., Voncken, J. H. L., Kühnel, R. A., & Hale, M. (2000). Petrography, mineralogy and geochemistry of the Zarshuran Carlin-like gold deposit, northwest Iran. *Mineralium Deposita*, 35(7), 656-671.
- Ben-Dor, E., Kruse, F. A., Lefkoff, A. B., & Banin, A. (1995). Comparison of three calibration techniques for utilization of GER 63-channel aircraft scanner data of Makhtesh Ramon, Negev, Israel. In *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences and Geomechanics Abstracts* (Vol. 4, No. 32, p. 164A).
- Boroushaki, S., & Malczewski, J. (2008). Implementing an extension of the analytical hierarchy process using ordered weighted averaging operators with fuzzy quantifiers in ArcGIS. *Computers & Geosciences*, 34(4), 399-410.
- Câmara, G., Souza, R. C. M., Freitas, U. M., & Garrido, J. (1996). SPRING: Integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modelling. *Computers & graphics*, 20(3), 395-403.
- Carranza, E. J. M. (2009a). Mapping of anomalies in continuous and discrete fields of stream sediment geochemical landscapes. *Geochemistry: Exploration, Environment, Analysis*, 10(2), 171-187. Carranza, E. J. M.; "Objective selection of suitable unit cell size in data-driven modeling of mineral prospectivity". *Computers & Geosciences*, 35(10), 2032-2046. 2009a.

- Chang, N. B., Parvathinathan, G., & Breeden, J. B. (2008). Combining GIS with fuzzy multicriteria decision-making for landfill siting in a fast-growing urban region. *Journal of environmental management*, 87(1), 139-153.
- Charabi, Y., & Gastli, A. (2011). PV site suitability analysis using GIS-based spatial fuzzy multi-criteria evaluation. *Renewable Energy*, 36(9), 2554-2561.
- Cheng, Q. (2007). Mapping singularities with stream sediment geochemical data for prediction of undiscovered mineral deposits in Gejiu, Yunnan Province, China. *Ore Geology Reviews*, 32(1), 314-324.
- Cheng, Q., Agterberg, F. P., & Ballantyne, S. B. (1994). The separation of geochemical anomalies from background by fractal methods. *Journal of Geochemical Exploration*, 51(2), 109-130.
- Corbett, G. (2005, May). Epithermal Au-Ag deposit types—implications for exploration. In *The Proexplo Conference*, Peru.
- Daliran, F. (2008). The carbonate rock-hosted epithermal gold deposit of Agdarreh, Takab geothermal field, NW Iran—hydrothermal alteration and mineralisation. *Mineralium Deposita*, 43(4), 383-404.
- Daliran, F., Pride, K., Walther, J., Berner, Z. A., & Bakker, R. J. (2013). The Angouran Zn (Pb) deposit, NW Iran: evidence for a two stage, hypogene zinc sulfide–zinc carbonate mineralization. *Ore Geology Reviews*, 53, 373-402.
- Daliran, F., Walther, J., & Stuben, D. (1999). Sediment-hosted disseminated gold mineralization in the North Takab geothermal field, NW Iran. *Mineral Deposits: Processes to Processing*, 837-840.
- Daya, A. A. (2015). Comparative study of C–A, C–P, and N–S fractal methods for separating geochemical anomalies from background: A case study of Kamoshgaran region, northwest of Iran. *Journal of Geochemical Exploration*, 150, 52-63.
- Heidari, S. M., Daliran, F., Paquette, J. L., & Gasquet, D. (2015). Geology, timing, and genesis of the high sulfidation Au (–Cu) deposit of Touzlar, NW Iran. *Ore Geology Reviews*, 65, 460-486.
- Hengl, T. (2006). Finding the right pixel size. *Computers & Geosciences*, 32(9), 1283-1298.
- Kruse, F. A. (1988). Use of airborne imaging spectrometer data to map minerals associated with hydrothermally altered rocks in the northern grapevine mountains, Nevada, and California. *Remote Sensing of Environment*, 24(1), 31-51.
- Kruse, F. A. (2002, March). Comparison of AVIRIS and Hyperion for hyperspectral mineral mapping. In *11th JPL Airborne Geoscience Workshop* (Vol. 4, No. 8).
- Kruse, F. A., Lefkoff, A. B., Boardman, J. W., Heidebrecht, K. B., Shapiro, A. T., Barloon, P. J., & Goetz, A. F. H. (1993). The spectral image processing system

- (SIPS)—interactive visualization and analysis of imaging spectrometer data. *Remote sensing of environment*, 44(2-3), 145-163.
- Legg, C. (1994). *Remote sensing and geographic information systems: geological mapping, mineral exploration and mining*. Wiley.
- Levinson, A. A. (1974). *Introduction to exploration geochemistry*. [Textbook].
- Lillesand, T., Kiefer, R. W., & Chipman, J. (2014). *Remote sensing and image interpretation*. John Wiley & Sons.
- Mars, J. C. (2010). VINR-SWIR and TIR remote sensing of porphyry copper deposits. *Porphyry Copper Deposit Model*. Scientific Investigations Report, 38-50.
- Mehrabi, B., Yardley, B. W. D., & Cann, J. R. (1999). Sediment-hosted disseminated gold mineralisation at Zarshuran, NW Iran. *Mineralium Deposita*, 34(7), 673-696.
- Ninomiya, Y., Fu, B., & Cudahy, T. J. (2005). Detecting lithology with Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) multispectral thermal infrared “radiance-at-sensor” data. *Remote Sensing of Environment*, 99(1), 127-139.
- Parsa, M., Maghsoudi, A., & Ghezelbash, R. (2016). Decomposition of anomaly patterns of multi-element geochemical signatures in Ahar area, NW Iran: a comparison of U-spatial statistics and fractal models. *Arabian Journal of Geosciences*, 9(4), 260.
- Pour, A. B., & Hashim, M. (2011). Identification of hydrothermal alteration minerals for exploring of porphyry copper deposit using ASTER data, SE Iran. *Journal of Asian Earth Sciences*, 42(6), 1309-1323.
- Pour, A. B., & Hashim, M. (2012). Identifying areas of high economic-potential copper mineralization using ASTER data in the Urumieh–Dokhtar Volcanic Belt, Iran. *Advances in Space Research*, 49(4), 753-769.
- Roberts, J. J., Best, B. D., Dunn, D. C., Treml, E. A., & Halpin, P. N. (2010). Marine Geospatial Ecology Tools: An integrated framework for ecological geoprocessing with ArcGIS, Python, R, MATLAB, and C++. *Environmental Modelling & Software*, 25(10), 1197-1207.
- Sabins, F. F. (1999). Remote sensing for mineral exploration. *Ore Geology Reviews*, 14(3), 157-183.
- Sadeghi, B., Khalajmasoumi, M., Afzal, P., Moarefvand, P., Yasrebi, A. B., Wetherelt, A., ... & Ziazarifi, A. (2013). Using ETM+ and ASTER sensors to identify iron occurrences in the Esfordi 1: 100,000 mapping sheet of Central Iran. *Journal of African Earth Sciences*, 85, 103-114.
- Solomonson, V. (1984). Landsat 4 and 5 status and results from thematic mapper data analysis. *Proceedings Machine Processing of Remotely Sensed Data*, W. Lafayette, In Laboratory of the application of remote sensing, 13-18.

- Yousefi, M., Kamkar-Rouhani, A., & Carranza, E. J. M. (2012). Geochemical mineralization probability index (GMPI): a new approach to generate enhanced stream sediment geochemical evidential map for increasing probability of success in mineral potential mapping. *Journal of Geochemical Exploration*, 115, 24-35.
- Zuo, R., & Wang, J. (2016). Fractal/multifractal modeling of geochemical data: a review. *Journal of Geochemical Exploration*, 164, 33-41.

Abstract

Separation of geochemical anomalies from background is a crucial task in geochemical explorations and requires a conscious chosen of an appropriate method for decomposition of geochemical anomaly patterns. The concentration-area (C-A) fractal method is reliable method for identifying the anomaly populations. In this study, by using of the stream sediment geochemical data in Zarshouran province, mono element statistical analysis and Principle component analysis (PCA) was applied on all elements. Finally, 8 elements were selected which are related to Au mineralization in order to derive multi-element geochemical signature. The various methods of anomaly-background separation such as C-A fractal model have been applied for delineating the geochemical patterns and then promising areas. Employing satellite imagery is a so much promising step during the regional exploratory studies of Au mineralization (e. g. epithermal deposits). Because recognition of hydrothermal alterations can lead to identify the promising areas of Au mineralization. In this regard, the current study seeks to acquire alterations associated with Au mineralization by using satellite imagery including ETM+ and ASTER data and developed image processing approaches. Accordingly, diverse methods such as false color composite (FCC) and spectral analysis (SA) are applied to separate the iron-oxide alteration, hydroxyl minerals, well-known alterations such as phyllic, argillic, propylitic, silicification. By investigating the detected alterations and geochemical anomalies maps, there was a good relationship between these occurrences. Finally, based on geochemical studies and remote sensing studies in this province, high mineral potentials related to Au mineralization were introduced in Zarshouran province.

Key Words: Stream sediment geochemical data, Concentration-Area fractal, Remote sensing, BR, FCC, SA, Au-Mineralization, Zarshouran.



Shahrood University of
Technology

Faculty of Mining, Petroleum and Geophysics Engineering
M.Sc. Thesis in Mineral Exploration

Application Of Remote Sensing And Geochemical In Order To Gold Exploration In NE Of Zarshoran

By :**Saeid Heidarlaki**

Supervisors:
Dr. Mansour Ziaei
Dr. Peyman Afzal

Advisor:
Mehdi Ziaei

September 2018