





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

اکتشاف ذخایر فلزی در ناحیه سنخواست در مقیاس محلی با استفاده از روش های ژئوشیمیایی و سنجش از دور

نگارنده: عبیدالله محمدی

استاد راهنما

دکتر منصور ضیایی

اساتید مشاور

دکتر سعید یوسفی

مهندس مهدی ضیایی

شهریور ۹۷

تقدیم بہ

سایہ پر مہر پدرم و دعای خیر مادرم کہ آرام بخش محظات نکرانی و سخت

زندگی و مایہ دگر می و قوت قلب من بوده است.

بہ خواہر و برادرانم کہ خلوص محبت پیام ہمیشگی مکارہشان است.

شکر و قدردانی

بر خود لازم می‌دانم از راهنمایی‌های استاذ کرامت‌دین جناب آقای دکتر منصور ضیایی، آقای دکتر سعید یوسفی و

آقای مهندس مهدی ضیایی که در تمامی مراحل انجام این پایان‌نامه مرایای نموده‌اند صمیمانه سپاسگزاری نمایم.

از استاذ عزیز جناب آقای دکتر حمید آقا جانی و آقای دکتر احمد واعظیان که داور این پایان‌نامه را بر عهده

گرفتند کمال شکر و قدردانی را دارم.

در نهایت از استاذ محترم دانشکده‌ی معدن، نفت و ژئوفیزیک دانشگاه صنعتی شاهرود و همه‌ی دوستان عزیز که

به هر نحوی در انجام این پایان‌نامه یاری نموده‌اند، نهایت شکر را دارم.

تعهد نامه

اینجانب **عبداللہ محمدی** دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته مهندسی معدن گرایش **اکتشاف** از دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک دانشگاه شاهرود نویسنده پایان نامه کارشناسی ارشد تحت عنوان: **اکتشاف ذخایر فلزی در ناحیه سنخواست در مقیاس محلی با استفاده از روش‌های ژئوشیمیایی و سنجش از دور تحت راهنمایی آقای دکتر منصور ضیایی** متعهد می‌شوم:

تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است.

در استفاده از نتایج پژوهش‌های محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است.

مطالب مندرج در پایان نامه تا کنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است.

کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می‌باشد و مقالات مستخرج با نام «دانشگاه صنعتی شاهرود» و یا «Shahrood University of Technology» به چاپ خواهد رسید.

حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تاثیرگذار بوده‌اند، در مقالات مستخرج از این پایان نامه رعایت می‌گردد.

در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که از موجود زنده (یا بافت‌های آنها) استفاده شده است، ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.

در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است، اصل رازداری، ضوابط و اصول اخلاقی انسانی رعایت شده است.

تاریخ

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامه‌های رایانه‌ای، نرم افزارها و تجهیزات ساخته شده) مربوط به دانشگاه شاهرود می‌باشد. این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود.
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی‌باشد.

چکیده

پردازش و تلفیق داده‌های اکتشافی، اهمیت بسیاری در تعیین مناطق امیدبخش کانی‌سازی و انتخاب نقاط حفاری دارد. برای این هدف سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)، به عنوان ابزاری برای تجزیه و تحلیل کمی و کیفی داده‌ها، ذخیره‌سازی و تلفیق داده‌های اکتشافی می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. هدف از این تحقیق تعیین مناطق امید بخش کانی‌سازی مس و آهن با تلفیق اطلاعات اکتشافی در منطقه مورد مطالعه در ورقه‌ی ۱:۱۰۰۰۰۰ سنخواست است. واحدهای سنگی این محدوده شامل سنگ آهک، شیل، سیلت‌استون، ماسه‌سنگ، بازالت و آندزیت بازالت است. در این تحقیق پس از بررسی و پردازش داده‌های سنجش از دور، زمین‌شناسی، ساختاری و ژئوشیمی منطقه مورد مطالعه، نقشه‌های اکتشافی مناسب به منظور اکتشاف ذخایر مس و آهن در این منطقه انتخاب و استخراج گردیدند.

پردازش تصاویر ماهواره‌ای در محیط نرم‌افزار ENVI 5.3 و با استفاده از روش‌های نسبت بانندی و آنالیز مؤلفه‌های اصلی انجام شد. نتایج حاصل از پردازش تصاویر ماهواره‌ای با این روش‌ها منجر به آشکارسازی دگرسانی‌های پروپلیتیک، آرژلیک و اکسید آهن در منطقه مورد مطالعه شد.

به منظور تفکیک و نمایان ساختن آنومالی‌های ژئوشیمیایی از روش تحلیل فاکتوری که براساس PCA استوار است، استفاده شد. برای تفسیر داده‌های ژئوشیمی، نرم‌افزار SPSS 16 مورد استفاده قرار گرفت.

با توجه به عدم وجود شواهد و اندیس اکتشافی در محدوده مورد مطالعه از روش همپوشانی شاخص که جزء روش‌های دانش محور است استفاده شد. به همین منظور جهت تلفیق لایه‌های اکتشافی، نقشه‌های مذکور با نظر کارشناس و براساس ارتباط با کانی‌زایی مس و آهن امتیازدهی شدند و در نهایت این لایه‌ها در محیط GIS با استفاده از روش همپوشانی شاخص تلفیق شدند. نتایج حاصل از تلفیق لایه‌های اطلاعاتی منجر به تهیه نقشه پتانسیل مطلوب و تعیین نقاط حفاری شد. این نقاط در میان

سنگ‌های آذرین بازالت و آندزیت بازالت قرار دارد و آلتراسیون پروپلیتیک دربرگیرنده این نقاط است.

همچنین با توجه به نتایج آنالیز نمونه‌ها، عناصر آهن و مس در اطراف این نقاط غلظت بالایی دارند.

کلیدواژه: سنجش از دور؛ آنومالی‌های ژئوشیمیایی؛ سیستم اطلاعات جغرافیایی؛ همپوشانی شاخص؛

ذخایر مس و آهن؛ سنخواست.

لیست مقالات مستخرج از پایان نامه

محمدی، ع. ضیایی، م. یوسفی، س. ضیایی، م.، (۱۳۹۷)، " پردازش تصاویر ماهواره‌ای ASTER برای آشکارسازی زون‌های دگرسانی مس و آهن در محدوده مطالعاتی ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ سنخواست"، دهمین همایش ملی انجمن زمین‌شناسی اقتصادی ایران، شهریور ۹۷.

فهرست مطالب

فصل اول: کلیات.....	۱
۱-۱- مقدمه.....	۲
۱-۲- مروری بر کارهای انجام شده.....	۴
۱-۳- تعریف موضوع تحقیق.....	۵
۱-۴- ضرورت انجام تحقیق.....	۵
۱-۵- روش انجام تحقیق.....	۶
۱-۶- ساختار پایان نامه.....	۸
فصل دوم: موقعیت جغرافیایی و زمین‌شناسی منطقه.....	۹
۲-۱- موقعیت جغرافیایی.....	۱۰
۲-۲- راه‌های دسترسی.....	۱۱
۲-۳- ویژگی‌های طبیعی و جغرافیای انسانی منطقه.....	۱۱
۲-۴- ریخت‌شناسی.....	۱۲
۲-۵- زمین‌شناسی منطقه.....	۱۳
۲-۶- زمین‌شناسی ساختمانی.....	۱۶
۲-۶-۱- زون زمین‌شناسی- ساختاری میانی یا رشته‌کوه سالوک (بینالود).....	۱۶
فصل سوم: مطالعات دورسنجی.....	۱۹
۳-۱- مقدمه.....	۲۰
۳-۲- کانی‌های شاخص مناطق دگرسانی.....	۲۱
۳-۲-۱- دگرسانی پتاسیک.....	۲۱
۳-۲-۲- دگرسانی سرسیتیک.....	۲۱
۳-۲-۳- دگرسانی آرژیلیک پیشرفته.....	۲۲
۳-۲-۴- دگرسانی پروپلیتیک.....	۲۲
۳-۳- خصوصیات داده‌های دورسنجی.....	۲۲
۳-۴- عملکردهای اصلی در سنجش از دور.....	۲۳

۲۴.....	۵-۳- Terra ماهواره
۲۴.....	۶-۳- سنجنده‌ی ASTER
۲۶.....	۷-۳- پیش‌پردازش (تصحیحات) تصاویر سنجش از دور
۲۶.....	۳-۷-۱- تصحیح هندسی
۲۷.....	۳-۷-۲- تصحیح رادیومتری
۲۸.....	۳-۸- طیف‌های جذب و انعکاس کانی‌ها و سنگ‌ها و کاربرد آن‌ها در اکتشاف کانسارها
۲۹.....	۳-۹- پردازش تصاویر ماهواره‌ای
۲۹.....	۳-۹-۱- ترکیب رنگی کاذب (FCC)
۳۰.....	۳-۹-۲- نسبت‌گیری باندی (B.R)
۳۱.....	۳-۹-۳- آنالیز مؤلفه‌های اصلی (PCA)
۳۳.....	۴-۹-۴- روش کروستا
۳۳.....	۳-۱۰-۱- آشکارسازی دگرسانی‌های منطقه مورد مطالعه
۳۴.....	۳-۱۰-۱- نسبت‌گیری باندی (B.R)
۳۸.....	۳-۱۰-۲- آنالیز مولفه‌های اصلی (PCA)
۴۱.....	۳-۱۱- نتیجه‌گیری
۴۳.....	فصل چهارم: اکتشافات ژئوشیمیایی
۴۴.....	۴-۱- مقدمه
۴۵.....	۴-۲- اکتشافات ژئوشیمیایی ناحیه‌ای
۴۶.....	۴-۳- اکتشافات ژئوشیمیایی در مقیاس محلی
۴۹.....	۴-۴- طراحی شبکه بهینه نمونه‌برداری از رسوبات آبراهه‌ای
۵۰.....	۴-۵- نمونه‌برداری، آماده‌سازی و تجزیه نمونه‌ها
۵۲.....	۴-۶- پردازش مقدماتی داده‌های ژئوشیمیایی
۵۲.....	۴-۶-۱- محاسبه‌ی خطای آنالیز
۵۳.....	۴-۶-۲- تصحیح مقادیر سنسورد
۵۵.....	۴-۶-۳- پارامترهای آماری داده‌های خام

۴-۶-۴	جایگزینی مقادیر خارج از ردیف.....	۵۶
۴-۶-۵	نرمال سازی داده‌ها.....	۵۸
۴-۷-۷	پردازش داده‌ها.....	۶۲
۴-۷-۱	تحلیل فاکتوری.....	۶۳
۴-۷-۱-۱	شاخص KMO.....	۶۴
۴-۷-۱-۲	آزمون کرویت بارتلت.....	۶۵
۴-۷-۱-۳	استخراج مؤلفه‌ها.....	۶۶
۴-۷-۱-۴	دوران فاکتورها.....	۶۷
۴-۸	نتایج پردازش داده‌های ژئوشیمیایی منطقه مورد مطالعه.....	۶۸
۴-۹	تهیه نقشه‌ی امتیازدهی فاکتورها.....	۷۵
۴-۱۰	محاسبه حد زمینه و آستانه آنومالی با استفاده از روش آماری سالووف.....	۷۷
۴-۱۱	نتیجه‌گیری.....	۷۹
فصل پنجم: تعیین مناطق حفاری در منطقه مورد مطالعه با تلفیق لایه‌های اطلاعاتی.....		
۵-۱	مقدمه.....	۸۲
۵-۲	روش‌های تلفیق داده‌ها.....	۸۳
۵-۲-۱	اصول روش‌های داده محور.....	۸۳
۵-۲-۲	اصول روش‌های دانش محور.....	۸۴
۵-۲-۲-۱	مدلسازی با روش همپوشانی شاخص دوتایی.....	۸۵
۵-۲-۲-۲	مدلسازی به روش همپوشانی شاخص چندکلاسه.....	۸۵
۵-۳	تلفیق داده‌های محدوده مورد مطالعه.....	۸۶
۵-۴	نتیجه‌گیری.....	۸۹
فصل ششم: نتیجه‌گیری و پیشنهادات.....		
۶-۱	نتیجه‌گیری.....	۹۲
۶-۲	پیشنهادهای.....	۹۳

فهرست اشکال

فصل دوم

- شکل (۱-۲): موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه..... ۱۰
- شکل (۲-۲): راه‌های دسترسی به منطقه مورد مطالعه..... ۱۱
- شکل (۳-۲): نقشه توپوگرافی منطقه مورد مطالعه..... ۱۳
- شکل (۳-۲): نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه..... ۱۴
- شکل (۴-۲): نمایی از توالی آتشفشانی - رسوبی پالئوزوئیک در منطقه مورد مطالعه..... ۱۶
- شکل (۴-۲): نقشه رقومی گسل‌های منطقه..... ۱۸

فصل سوم

- شکل (۱-۳): شمای کلی از نحوه دریافت داده‌ها از طریق سنجنده‌های ماهواره‌ای..... ۲۳
- شکل (۲-۳): رفتار طیفی برخی از کانی‌های مهم در اکتشاف کانسارها..... ۲۸
- شکل (۳-۳): تصویر حاصل از نسبت باندی $\frac{7+9}{8}$ ۳۴
- شکل (۴-۳): تصویر حاصل از نسبت باندی $\frac{2}{1}$ ۳۵
- شکل (۵-۳): تصویر حاصل از نسبت باندی $\frac{4}{6}$ ۳۶
- شکل (۶-۳): نقشه حاصل از نسبت باندی با استفاده از ترکیب رنگی کاذب $(\frac{2}{1}, \frac{4}{6}, \frac{7+9}{8})$ ۳۷
- شکل (۷-۳): تصویر PC4..... ۳۹
- شکل (۸-۳): تصویر PC6..... ۴۰
- شکل (۹-۳): نقشه حاصل از PCA با استفاده از ترکیب رنگی $(PC6, PC4, PC3)$ - RGB..... ۴۱
- شکل (۱۰-۳): نقشه رقومی دگرسانی‌های منطقه..... ۴۲

فصل چهارم

- شکل (۴-۱): موقعیت نمونه‌های برداشت شده در اکتشافات ناحیه‌ای از منطقه مورد مطالعه..... ۴۵
- شکل (۴-۲): شواهد کانه‌زایی آهن در منطقه مورد مطالعه..... ۴۷
- شکل (۴-۳): شواهد کانه‌زایی مس در منطقه مورد مطالعه..... ۴۸
- شکل (۴-۴): شبکه نمونه‌برداری طراحی شده..... ۵۰
- شکل (۴-۵): نمونه‌های برداشت شده از منطقه مورد مطالعه..... ۵۱
- شکل (۴-۶): موقعیت نمونه‌های برداشت شده در مقیاس محلی و ناحیه‌ای..... ۵۲
- شکل (۴-۷): نمودار دورفل..... ۵۷
- شکل (۴-۸): نمودار هیستوگرام توزیع نرمال..... ۵۹
- شکل (۴-۹): انواع حالات چولگی..... ۵۹
- شکل (۴-۱۰): نمودارهای هیستوگرام و QQPlot عنصر As..... ۶۰
- شکل (۴-۱۱): نمودارهای هیستوگرام و QQPlot عنصر Sr..... ۶۰
- شکل (۴-۱۲): نمودار هیستوگرام عنصر Sr..... ۶۱
- شکل (۴-۱۳): نمودار هیستوگرام عنصر Th..... ۶۱
- شکل (۴-۱۴): نمودار خزش برای تعیین تعداد عامل‌ها..... ۷۱
- شکل (۴-۱۵): نقشه امتیازدهی فاکتور ۱..... ۷۶
- شکل (۴-۱۶): نقشه امتیازدهی فاکتور ۲..... ۷۶
- شکل (۴-۱۷): نقشه امتیازدهی فاکتور ۳..... ۷۶
- شکل (۴-۱۸): نقشه امتیازدهی فاکتور ۴..... ۷۶
- شکل (۴-۱۹): نقشه امتیازدهی فاکتور ۵..... ۷۷
- شکل (۴-۲۰): نقشه امتیازدهی فاکتور ۶..... ۷۷
- شکل (۴-۲۱): نقشه ناهنجاری‌های آهن در محدوده مورد مطالعه..... ۷۹

شکل (۴-۲۲): نقشه ناهنجاری‌های مس در محدوده مورد مطالعه..... ۷۹

شکل (۴-۲۳): نقشه ناهنجاری‌های آهن و مس در محدوده مورد مطالعه..... ۸۰

فصل پنجم

شکل (۵-۱): نقشه‌ی پتانسیل مطلوب حاصل از تلفیق لایه‌های اطلاعاتی ۸۸

شکل (۵-۲): نقشه مناطق بهینه حفاری..... ۸۹

فهرست جداول

فصل سوم

جدول (۳-۱): باندهای طیفی سنجنده ASTER..... ۲۵

جدول (۳-۲): ماتریس مقادیر ویژه برای تحلیل مؤلفه‌های اصلی..... ۳۸

فصل چهارم

جدول (۴-۱): پارامترهای آماری داده‌های خام..... ۵۵

جدول (۴-۲): مقادیر خارج از ردیف عناصر و مقادیر جایگزین شده..... ۵۸

جدول (۴-۳): قضاوت در مورد ضریب KMO..... ۶۵

جدول (۴-۴): آماره‌ی KMO و نتایج آزمون کرویت بارلت..... ۶۸

جدول (۴-۵): میزان اشتراک اولیه و بعد از استخراج عامل‌ها ۶۹

جدول (۴-۶): درصد واریانس و مقادیر ویژه عامل‌های مختلف..... ۷۰

جدول (۴-۷): ماتریس عاملی دوران نیافته..... ۷۲

جدول (۴-۸): ماتریس عاملی دوران یافته..... ۷۳

جدول (۴-۹): ماتریس کواریانس بین مؤلفه‌ها..... ۷۴

جدول (۴-۱۰): ماتریس ضرایب فاکتوری ۷۵

جدول (۴-۱۱): مقادیر حد زمینه، حد آستانه‌ای عناصر آهن و مس در منطقه مورد مطالعه..... ۷۸

فصل پنجم

جدول (۵-۲): وزن‌دهی لایه‌های اطلاعاتی..... ۸۷

جدول (۵-۳): موقعیت مناطق بهینه حفاری..... ۸۸

فصل اول

کلیات

مدل‌سازی تعیین مناطق حفاری یکی از نیازهای اساسی مطالعات تفصیلی مواد معدنی است که منجر به کاهش هزینه‌های فرآیند حفاری و تسهیل در مدل‌سازی هندسه و موقعیت توده‌های معدنی می‌شود. تعیین مناطق بهینه حفاری مستلزم تلفیق فاکتورهای مؤثر بر کانی‌سازی و استخراج الگوهای صحیح نحوه شکل‌گیری ذخایر معدنی از میان اطلاعات زمین‌شناسی، ژئوفیزیک و ژئوشیمی است [مهرمنش و همکاران، ۱۳۹۲].

تلفیق اطلاعات اکتشافی، روش‌هایی هستند که نسبت به روش‌های حفاری بسیار ارزان‌تر و کم‌هزینه‌تر می‌باشند، بنابراین انجام این روش‌ها قبل از حفاری، در بسیاری موارد باعث کاهش ریسک‌های سرمایه‌گذاری و هزینه عملیات اکتشافی می‌شود [Yousefi, 2010].

روش‌های ژئوشیمی اکتشافی نیز یکی از روش‌های مفید در اکتشاف کانسارها است. هدف از ژئوشیمی اکتشافی، شناسایی نهشته‌های جدید فلزی و غیرفلزی و ذخایر نفت و گاز طبیعی است. در تمامی موارد فوق، اصول عملیات اکتشافی بر مبنای یافتن تمرکزهایی از یک یا چند عنصر یا کانی‌های معدنی با غلظتی بالاتر از مقدار زمینه است، بنحوی که بتوان آن را ناهنجاری نامید. از نقطه نظر علمی، تعیین مکان واقعی نهشته‌های کم‌عیار، فوق‌العاده مشکل است به‌ویژه اگر توسط قشر سطحی پوشیده شده باشد، که در چنین مواردی استفاده از ژئوشیمی اکتشافی مفید واقع می‌شود. روش‌های ژئوشیمی، روش‌های غیرمستقیمی هستند که در آن‌ها برای کشف ناهنجاری‌های حاصل از فراوانی یک عنصر معین، خود آن عنصر و یا عنصری که به‌صورت ردیاب در ارتباط با آن است اندازه‌گیری و بررسی می‌شود. این روش‌ها شامل رسم نقشه آنومالی ژئوشیمیایی و تعیین مناطق پتانسیل‌دار و همچنین شامل عملیات کنترل آنومالی‌ها می‌باشد که در نهایت پس از کنترل آنومالی‌ها مناطق امیدبخش جهت ادامه مراحل اکتشافی معرفی می‌شوند [Yousefi, 2010]. با توجه به مطالعات گسترده‌ای که جهت مدل‌سازی اکتشافی کانسارهای مس صورت پذیرفته، استفاده از مدل‌های ژئوشیمیایی، راه مؤثری در کاهش

هزینه‌های اکتشافی همراه با ایجاد اطمینان بیش‌تر به نتایج اکتشافی است [سیدمجرد و همکاران، ۱۳۹۵].

سنجش از دور^۱، علم و تکنولوژی اندازه‌گیری ویژگی‌های یک شیء بدون تماس مستقیم فیزیکی با آن است. امروزه استفاده از تکنولوژی تصاویر ماهواره‌ای به طور گسترده‌ای در بسیاری از شاخه‌های علوم گسترش یافته است. بیش‌ترین استفاده سنجش از دور در تعیین کانی‌های معدنی است. از آنجایی که هر یک از کانی‌ها دارای منحنی‌های طیفی مخصوص به خود می‌باشند، می‌توان از این موضوع به عنوان وجه تمایزی برای تشخیص کانی‌ها از یک‌دیگر استفاده نمود و در نتیجه به یک نقشه آلتراسیون دست یافت [مهرمنش و همکاران، ۱۳۹۲].

پس از تفکیک کانی‌های معدنی از یک‌دیگر توسط سنجش از دور می‌توان با تلفیق نتایج دیگر لایه‌های اطلاعاتی در محیط GIS به نقشه‌های پتانسیل دیگری مانند نقشه نقاط بهینه حفاری دست یافت. اکتشافات معدنی مستلزم در نظر گرفتن هم‌زمان چندین نوع شاهد مکانی نظیر شواهد زمین‌شناسی، ساختاری، ویژگی‌های ژئوشیمیایی و ژئوفیزیکی منطقه نسبت به موقعیت نشانه‌های معدنی اکتشاف شده است.

GIS سیستمی رایانه‌ای برای مدیریت داده‌های مکانی است. این سیستم توانمندی‌های کاربردی برای جمع‌آوری، ورود، پردازش، تغییر شکل و به تصویر درآوردن، ترکیب، جستجو، تجزیه و تحلیل، مدل‌سازی و خروج داده‌ها را داراست.

GIS پردازش، تجزیه و تحلیل لایه‌های مجزایی از داده‌های مکانی را امکان‌پذیر کرده و ابزارهایی برای بررسی و مدل‌سازی روابط متقابل میان لایه‌ها را فراهم آورده است [Bonham-Carter, 1994].

1- Remote Sensing

هدف نهایی استفاده از GIS در اکتشافات ذخایر معدنی، پیش‌گویی موقعیت‌های نزدیک نهشته‌های معدنی جدید است که مطابق با یک مدل اکتشافی طراحی شده برای منطقه تحت مطالعه خواهد بود [زنده‌دل، ۱۳۸۶].

منطقه مورد مطالعه در استان خراسان شمالی و در ورقه‌ی ۱:۱۰۰۰۰۰ سنخواست واقع شده است و از لحاظ زمین‌شناسی جزء زون بینالود محسوب می‌شود. در این تحقیق نقاط حفاری با استفاده از داده‌های سنجش از دور و لیتوژئوشیمیایی در این منطقه برنامه‌ریزی خواهد شد و وضعیت کانی‌سازی اقتصادی آن ارزیابی می‌گردد.

۱-۲- مروری بر کارهای انجام شده

اکتشافات ژئوشیمیایی ناحیه‌ای منطقه سنخواست در قالب اکتشافات رسوبات رودخانه‌ای و کانی سنگین در محدوده برگه ۱:۱۰۰۰۰۰ در سال ۱۳۸۳ توسط سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور انجام شده است بر طبق این گزارش برای تعداد ۶۹۴ نمونه رسوبات رودخانه‌ای، آنالیز ۵۰ عنصری انجام شد و تعداد ۵۰ نمونه کانی‌های سنگین مورد مطالعه قرار گرفت. بر اساس گزارش ذکر شده حدود ۲۲ عنصر با اهمیت‌تر مشخص و به صورت نقشه‌های ژئوشیمیایی در گزارش ارائه شد.

خورشیدی و همکاران در تحقیقی تحت عنوان اکتشافات ژئوشیمیایی _ رسوبات رودخانه در منطقه کوه سالوک (سنخواست) ناهنجاری‌هایی از سرب و روی (پلی متال) را مشخص کردند. این ناهنجاری‌ها در شرق و مرکز منطقه، در میان بازالت و آندزیت بازالت مشخص شد که منشا ماسیوسولفید هم برای آن‌ها محتمل است [خورشیدی و همکاران، ۱۳۸۹].

بازدید صحرایی نشان می‌دهد که کانی‌سازی مهم منطقه در کوه سالوک شامل هماتیت، مگنتیت، کالکوپیریت و مالاکیت می‌باشد اما کانی‌سازی یا اندیس سرب و روی در محدوده مورد مطالعه دیده نشده است. این در حالی است که حضور آنومالی‌های سرب و روی در داده‌های یکصد هزار ژئوشیمیایی مشاهده شده است. به عبارتی مس و آهن مهم‌ترین فلزات کوه سالوک می‌باشد که ۴۰ کیلومتر مربع را

از ورقه یکصد هزار پوشش می‌دهد. این محدوده، محدوده مورد مطالعه این تحقیق است که آنومالی سرب و روی در این محدوده واقع نمی‌شود. بنابراین حضور آنومالی سرب و روی با غلظت‌های کم در کوه سالوک محتمل هست اما قطعی نیست، در حالی که حضور فلزات آهن و مس قطعی است.

دودانگه و همکاران در تحقیقی تحت عنوان کانی‌سازی و اکتشاف مگنتومتری در منطقه کوه سالوک سنخواست، خراسان شمالی توانستند ناهنجاری‌هایی از مگنتیت را مشخص کنند که گسترش شمال غربی_ جنوب شرقی دارد [دودانگه و همکاران، ۱۳۸۹].

۱-۳- تعریف موضوع تحقیق

حفر چاه‌های اکتشافی فرآیندی پرهزینه بوده که اغلب بصورت تجربی یا براساس تحلیل‌های ساده مکانی انجام می‌پذیرد. از طرف دیگر وجود اطلاعات جامع زمینی، حجم عظیمی از داده‌ها را به وجود می‌آورند که بدون در اختیار داشتن ابزارهای مناسب پردازش و مدیریت داده‌ها نمی‌توان به نتایج مناسبی برای تعیین مکان‌های بهینه حفاری دست یافت [مهرمنش و همکاران، ۱۳۹۲].

تعیین نقاط حفاری با استفاده از تلفیق داده‌های مکانی علاوه بر کاهش هزینه‌ها، موجب سرعت بخشیدن به فرآیند اکتشاف و ایجاد اطمینان بیش‌تر به نتایج اکتشافی می‌شود.

سؤالاتی که در این تحقیق انتظار می‌رود به آن‌ها پاسخ داده شود عبارتند از:

۱. آیا در محدوده مورد مطالعه در مقیاس محلی کانی‌سازی اقتصادی مس و آهن وجود دارد؟
۲. آیا با استفاده از روش‌های لیتوژئوشیمیایی می‌توان نقاط حفاری کانی‌سازی‌ها را مشخص کرد؟
۳. آیا کانی‌سازی پنهان در منطقه وجود دارد؟

۱-۴- ضرورت انجام تحقیق

مواد معدنی زیربنای اقتصاد و صنعت هر جامعه را تشکیل می‌دهد. بشر از همان آغاز آفرینش خود و در طول تاریخ، بر حسب نیازمندی‌ها و شناخت از مواد معدنی استفاده کرده است. اکنون نیز انسان،

از تمام مواد معدنی به حالت و شیوه‌های گوناگون بهره‌برداری می‌نماید، به بیانی دیگر همین مواد معدنی هستند که پایه و اساس تمدن را تشکیل می‌دهند. با توجه به نقش مواد معدنی در تامین نیازهای اولیه صنایع مختلف، تقاضا برای مواد خام معدنی با وضعیت موجود جامعه جهانی و روند آن در آینده به طور نمایی رو به افزایش است. روشن است که به دست آوردن این مواد خام هر روز مشکل‌تر و گران‌تر می‌شود. معادن قابل رویت در سطح و نزدیک سطح زمین از مدت‌ها قبل شناخته و کشف شده‌اند. در حال و آینده، اکتشاف باید در مناطقی با اعماق بیش‌تر انجام شود. این مهم در بسیاری موارد نیازمند به کارگیری روش‌های غیرمستقیم در اکتشاف مواد معدنی و انتخاب محل‌های مناسب برای اکتشاف، امری متداول به‌شمار می‌رود. از طرفی دیگر با توجه به اینکه تلفیق اطلاعات و داده‌های اکتشافی کمک بسیار بزرگی در مشخص شدن دقیق‌تر نقاط حفاری می‌کند، به این منظور، با تلفیق لایه‌های اکتشافی مختلف از جمله واحدهای زمین‌شناسی، گسل‌ها، آنومالی‌های ژئوشیمیایی و دگرسانی‌ها می‌توان با ریسک کم‌تر و دقت بیش‌تر نقاط حفاری را مشخص کرد.

۱-۵- روش انجام تحقیق

در این تحقیق مراحل ذیل جهت تهیه نقشه پتانسیل معدنی (نقشه نقاط حفاری) در ناحیه سنخواست صورت پذیرفت:

۱- جمع‌آوری اطلاعات شامل کتب، مقالات، نقشه‌ها و تصاویر ماهواره‌ای مربوط به منطقه مورد

مطالعه

۲- مطالعات کتابخانه‌ای در ارتباط با منطقه مورد مطالعه و موضوعات مشابه در ایران و سایر نقاط

جهان

۳- رقومی‌سازی نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ و ۱:۲۰۰۰۰ سنخواست

۴- تفسیر تصاویر ماهواره‌ای استر در بردارنده توزیع مکانی با روش‌های از جمله نسبت باندی^۲ و

PCA^۳ و تصاویر گوگل ارث به منظور استخراج خطوط و مناطق دگرسانی

۵- یک پارچه‌سازی هر کدام از لایه‌های اطلاعاتی رقومی شده به‌هدف طراحی شبکه نمونه برداری

بهینه

۶- نمونه برداری رسوبات آبراهه‌ای

۷- تجزیه ۳۶ عنصری و تحلیل و پردازش داده‌های ژئوشیمیایی در مقیاس محلی

۸- وزن‌دهی به هر یک از لایه‌های رقومی شده (لایه‌های وزن‌دار)

۹- تلفیق لایه‌های اطلاعاتی و ارائه مدل نهایی از ساختار آنومالی‌ها

۱۰- صحت سنجی مدل اکتشافی نهایی بر اساس بررسی شواهد صحرایی در راستای انتخاب و

اولویت‌بندی زون‌های اکتشافی

با جمع‌آوری اطلاعات موردنیاز شامل اطلاعات زمین‌شناسی از منطقه مورد مطالعه، تهیه داده‌های سنجش از دور و داده‌های لیتوژئوشیمیایی بانک اطلاعات تهیه خواهد شد و در مرحله بعد آماده‌سازی داده‌ها نظیر تصحیح داده‌های سنجش از دور و داده‌های لیتوژئوشیمیایی صورت می‌گیرد، سپس به تفسیر و پردازش داده‌ها پرداخته می‌شود. پردازش داده‌های سنجش از دور ناحیه سنخواست (استر) با استفاده از روش‌های نسبت باندی و آنالیز مؤلفه‌های اصلی برای تفکیک زون‌های پتانسیل دار انجام خواهد شد. سپس با بررسی اکتشافات ژئوشیمیایی ناحیه‌ای، نمونه‌برداری از منطقه مورد مطالعه انجام شده و تجزیه نمونه‌ها به روش چندعنصری و پردازش داده‌های حاصل از آنالیز با روش چند متغیره تحلیل فاکتوری به هدف تعیین مناطق آنومالی آهن و مس صورت خواهد گرفت. در نهایت با تهیه لایه‌های اطلاعاتی در محیط GIS و نیز تهیه نقشه نهایی از تلفیق لایه‌های اطلاعاتی به‌دست آمده و بررسی آن‌ها، مناطق حفاری مشخص می‌گردد.

2- Band Ratio

3- Principal Components Analysis

۱-۶- ساختار پایان نامه

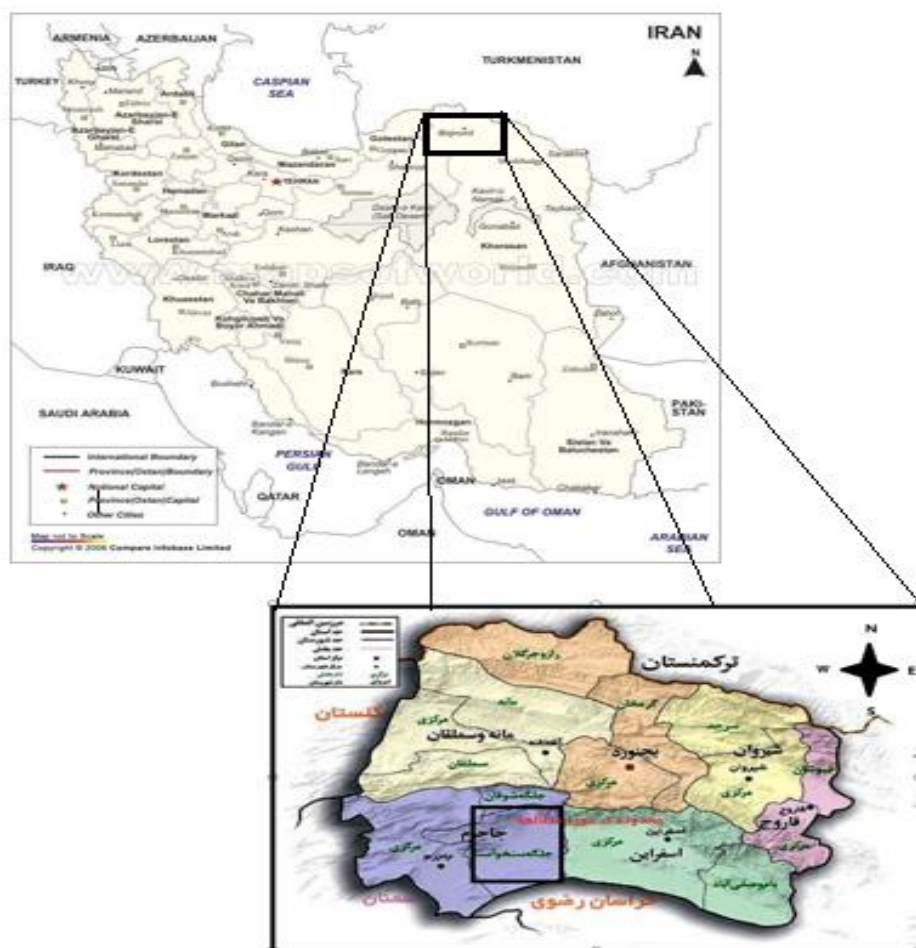
این پایان نامه شامل شش فصل می باشد که در فصل اول کلیاتی در رابطه با روش های مورد استفاده بیان شده است. در فصل دوم موقعیت جغرافیایی منطقه، راه های دسترسی به منطقه، ویژگی های طبیعی و جغرافیای انسانی منطقه و وضعیت زمین شناسی آورده شده است. در فصل سوم اصول سنجش از دور و پردازش تصاویر ماهواره ای منطقه تشریح شده است. در فصل چهارم پردازش داده های ژئوشیمی مورد بحث قرار گرفته است. در فصل پنجم با تلفیق لایه های اطلاعاتی در محیط GIS و تهیه نقشه نهایی، مناطق حفاری مشخص شده است و فصل ششم حاوی نتیجه گیری و راهکارهای پیشنهادی برای پروژه های آینده است.

فصل دوم

موقعیت جغرافیایی و زمین‌شناسی منطقه

۲-۱- موقعیت جغرافیایی

منطقه مورد مطالعه در شمال شرق ایران، در استان خراسان شمالی، در شمال شرق جاجرم و در مختصات عرض جغرافیایی ۴۱۱۳۳۶۴ تا ۴۱۲۰۷۵۷ شمالی و طول جغرافیایی ۴۹۲۵۹۹ تا ۵۰۰۰۰۰ شرقی در سیستم مختصات UTM (زون ۴۰S) و عرض جغرافیایی ۳۷ درجه و ۱۰ دقیقه تا ۳۷ درجه و ۱۴ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۶ درجه و ۵۵ دقیقه تا ۵۷ درجه شرقی در سیستم مختصات کروی واقع شده است. این منطقه از شمال به بخش شوقان شهرستان جاجرم، غرب به بخش مرکزی شهرستان جاجرم، شرق به بخش مرکزی شهرستان اسفراین و از جنوب به بخش جغتای شهرستان سبزوار متصل می‌شود. شکل (۲-۱) موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.



شکل (۲-۱): موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

۲-۲- راه‌های دسترسی

راه‌های دسترسی به منطقه از طریق جاده آسفالت‌شده شوقان- سنخواست، اسفراین- سنخواست و جاجرم- سنخواست است. از طریق این جاده‌ها به راحتی می‌توان به پای منطقه کوه سالوک در روستای قلی دسترسی پیدا نمود. شکل (۲-۲) راه‌های دسترسی به منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.



شکل (۲-۲): راه‌های دسترسی به منطقه مورد مطالعه

۲-۳- ویژگی‌های طبیعی و جغرافیای انسانی منطقه

بخش شمالی محدوده مورد مطالعه به علت کوهستانی بودن، دارای آب و هوای سرد و مرطوب و بخش جنوبی که شامل دشت سنخواست و ارتفاعات موجود در حاشیه شمالی آن است، آب و هوای نسبتاً گرم و خشک دارد. مقدار بارندگی در بخش شمالی به علت ارتفاع نسبتاً زیاد و نیز نفوذ بخار آب دریای خزر به مراتب بیش‌تر از بخش جنوبی است. به همین علت قسمت‌هایی از ارتفاعات این بخش پوشیده از جنگل است در حالی که بخش جنوبی تقریباً هیچ پوشش گیاهی ندارد. این منطقه زمستان‌های نسبتاً خشک و سرد و تابستان‌های گرم همراه با گرد و غبار دارد.

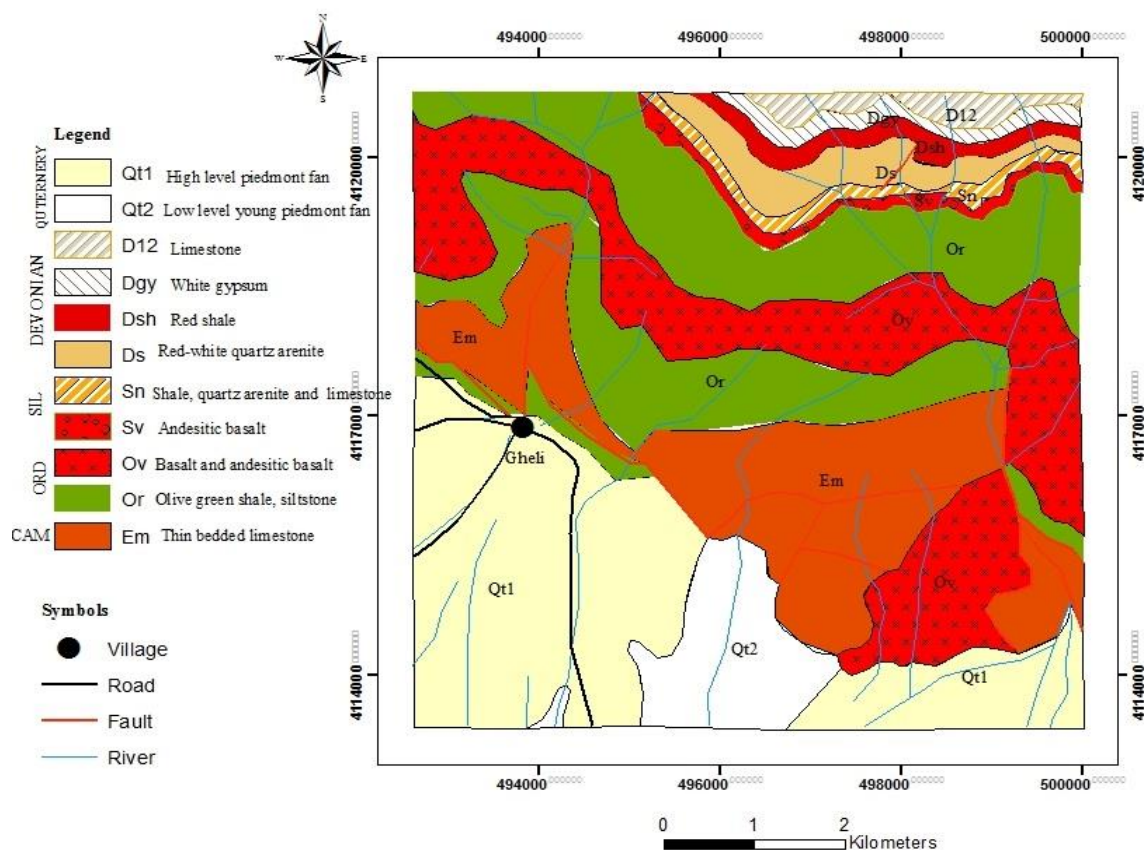
تنها جریان آبی قابل ملاحظه در سطح منطقه، رودخانه سنخواست است که شمال تا جنوب جریان دارد. البته در قسمت بالای رودخانه، جریان آب از مظهر قناتی مشهور به قنات نیلوفر بلخی منشأ می‌گیرد. آب زراعی سنخواست از طرق همین رودخانه تامین می‌گردد.

از نظر ساختار زمین‌شناسی، خاک منطقه در دامنه‌ها تلفیقی از سازند البرز و خوش‌یلاق است. از کانی‌های بارزش در منطقه می‌توان کانی بوکسیت یا سنگ آلمینا را نام برد که از منطقه جاجرم شروع شده و ادامه آن در بخش سنخواست در کوه‌های جربت، شمال شرق و شمال سنخواست به چشم می‌خورد [فلاح، ۱۳۹۲].

۲-۴- ریخت‌شناسی

از دیدگاه ریخت‌شناسی ۴ ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ سنخواست از بخش‌های کوهستانی و مرتفع و پست و هموار تشکیل شده است. بخش‌های کوهستانی با امتداد تقریباً شرقی- غربی در شمال و میانه‌ی ورقه جای گرفته و به وسیله‌ی دشت‌های پوشیده از آبرفت‌های کواترنری از یکدیگر جدا می‌شوند.

بخش کوهستانی میانی که وسعتش به ۲۵ کیلومتر هم می‌رسد شامل کوه‌های سالوک، بهار (گزن) و اوزون می‌باشد که بلندترین نقطه‌ی آن‌ها کوه سالوک است. کوه سالوک بیش از ۲۵۰۰ متر از سطح دریا ارتفاع دارد و مورد مطالعه‌ی این تحقیق است. در این منطقه، توپوگرافی رابطه مستقیم با زمین- ساخت دارد بدین معنی که تاقدیس‌ها ارتفاعات و ناودیس‌ها معمولاً دره‌ها و نواحی کم ارتفاع را می- سازند [سهیلی و سهندی، ۱۳۷۶]. شکل (۲-۳) نقشه توپوگرافی منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.



شکل (۲-۳): نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه

واحدهای زمین‌شناسی که در منطقه مورد مطالعه رخنمون دارند به شرح زیر است:

۱- پادگانه‌ها، دشت‌های آبرفتی و مخروط افکنه‌های قدیمی (Qt1) و جوان (Qt2) که در جنوب محدوده مورد مطالعه قرار می‌گیرد. سن این واحد را به کوتاه‌تر نسبت می‌دهند.

۲- ردیفی از سنگ‌های تخریبی و تبخیری که بر روی نهشته‌های سیلورین وجود آمده است، در شمال منطقه رخنمون دارند. واحد تخریبی از ماسه‌سنگ‌های کوارتزی سفیدرنگ (Ds) و از شیل و سیلت-سنگ‌های ارغوانی

(Dsh) و واحد تبخیری از سنگ گچ (Dgy) درست شده است. بر روی این واحد تبخیری، بخش کربناتی قرار دارد که از سنگ دولومیت و آهک (D12) تشکیل شده است.

۳- نهشته‌های سیلورین از شیل، آهک ماسه‌ای و ماسه‌سنگ‌های کوارتزی قرمز رنگ (Sn) درست شده است که شیل‌ها در میانه ضخامتی از گدازه بازیک (Sv) قرار گرفته است. این نهشته‌ها در شمال منطقه رخنمون دارند.

۴- رسوبات اردوئیسین که در مرکز محدوده مورد مطالعه و در امتداد گسل‌های بزرگ دیده می‌شوند. بیش‌ترین حجم رسوبات این واحد را سنگ‌های تخریبی دانه‌ریز از نوع شیل‌های میکادار و ماسه‌سنگ‌های دانه‌ریز (Or) تشکیل می‌دهد. بخش میانی این رسوبات از سنگ‌های ولکانیکی بازیک (Ov)، ماسه-سنگ‌های دانه درشت تا کنگلومراهای دانه‌ریز، شیل‌های ماسه‌ای و شیل‌های سیلتی تشکیل شده و در سطح هوازده رنگ قرمز تیره تا قهوه‌ای سوخته دارند که همین رنگ از وجوه تمایز این نهشته‌ها می‌باشد. ولکانیک‌ها بیش‌تر زیردریایی بوده و ترکیب بازالت تا آندزیتی بازالت دارند. ساخت بالشی در آن‌ها قابل تشخیص است. از حجم و ضخامت این سنگ‌ها از شرق به غرب کاسته می‌شود.

۵- نهشته‌های به سن کامبرین که از شیل و سیلت سنگ خاکستری مایل به سبز درست شده است و دارای میان لایه‌های نازک و جزئی از ماسه‌سنگ و سنگ آهک بیومیکرایت می‌باشد، در مرکز محدوده مورد مطالعه رخنمون یافته‌اند [سهیلی و سهندی، ۱۳۷۶].

در شکل (۴-۲) نمایی از توالی آتشفشانی - رسوبی پالئوزوئیک که عمدتاً از تناوب سنگهای آتشفشانی آندزیتی - بازالتی با سنگهای تخریبی قرمز ماسه سنگی، شیلی و آهک تشکیل شده است.



شکل (۴-۲): نمایی از توالی آتشفشانی - رسوبی پالئوزوئیک در منطقه مورد مطالعه

۶-۲- زمین‌شناسی ساختمانی

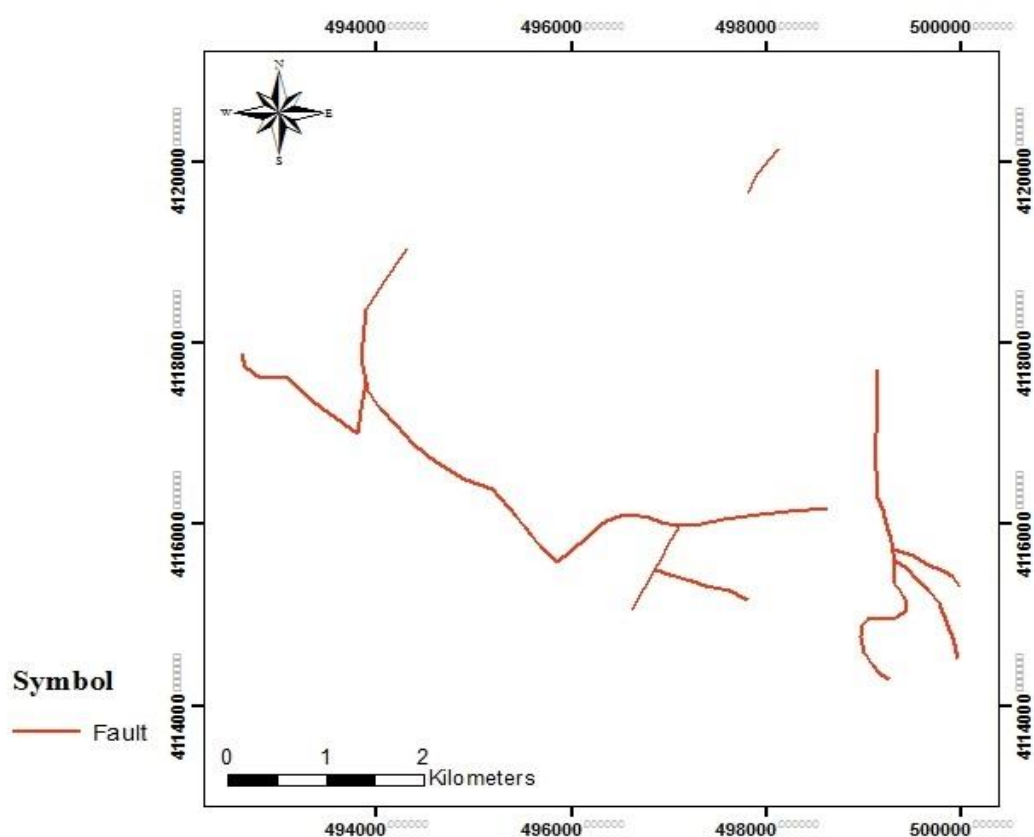
منطقه مورد مطالعه به لحاظ موقعیت زمین‌شناسی - ساختاری در زون بینالود از البرز شرقی قرار گرفته است که در ذیل نسبت به شرح این زون می‌پردازیم:

۶-۲-۱- زون زمین‌شناسی - ساختاری میانی یا رشته‌کوه سالوک (بینالود)

این زون در جنوب دشت شوقان با امتداد غرب، جنوب غرب - شرق، شمال شرق قرار گرفته است. در این زون چون رخساره‌های سنگی مربوط به سازندهای پالئوزوئیک شباهت کامل با رخساره‌های سنگی همزمان خود در ایران مرکزی و یا البرز ندارد، به همین دلیل نمی‌توان آن را دقیقاً به زون زمین‌شناسی - زمین‌ساختی ایران مرکزی یا البرز نسبت داد. وجود رخساره‌های ماسه‌سنگ لالون، سنگ آهک و دولومیت کامبرین و نیز رخساره‌های شیلی و کربناته دونین و کربونیفر این زون شباهت به رخساره‌های

هم‌ارز در زون زمین‌شناسی- زمین‌ساختی البرز داشته ولی نهشته‌های اردوئیسین- سیلورین و دونین زیرین آن شباهت به رخساره‌های همزمان در زون زمین‌شناسی- زمین‌ساختی ایران مرکزی دارد. بنابراین می‌توان گفت که حوضه رسوبی این زون در اردوئیسین و سیلورین و دونین متأثر از حوضه رسوبگذاری ایران مرکزی و در پاره‌ای از مواقع بویژه در دونین و کربونیفر شرایط رسوبگذاری حوضه رسوبی البرز بر آن حاکم بوده است [سهیلی و سهندی، ۱۳۷۶].

این زون از شمال به جنوب از یک سری تاقدیس و ناودیس درست شده که محور آن‌ها شرق، شمال‌شرق- غرب، جنوب‌غرب است. چین‌ها دارای شیب محوری و در بعضی از چین‌ها یال‌های جنوبی برگشته و شیب به سمت شمال دارند. در قسمت شمالی این زون رسوبات پالئوزوئیک و تریاس زیرین- میانی بر اثر عملکرد گسل‌های تراستی به روی سنگ‌های ژوراسیک و کرتاسه رانده شده‌اند. این گسل‌ها که در حقیقت مجموعه‌ای از گسل‌های معکوس و با شیب کم به سمت شمال می‌باشند، تقریباً موازی با سطح محوری چین‌ها بوده و روند شرق، شمال‌شرق- غرب، جنوب غرب دارند. علاوه بر این گسل‌های دیگری از نوع دسته اول وجود دارد که جهت شیب آن‌ها به سمت جنوب است. به طور کلی عملکرد این دو دسته گسل سبب گردیده که رخساره‌های پالئوزوئیک و تریاس زیرین- میانی حالت بالاآمده‌ای را نشان دهند [سهیلی و سهندی، ۱۳۷۶]. نقشه رقومی گسل‌های منطقه در شکل (۲-۵) نشان داده شده است.



شکل (۲-۵): نقشه رقومی گسل‌های منطقه (نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ سنخواست، ۱۳۷۶)

فصل سوم

مطالعات دورسنجی

سنجش از دوره علم کسب اطلاعات، پردازش و تفسیر تصاویر و داده‌های به‌دست آمده از فضاپیماها و ماهواره‌هاست که بر هم کنش بین ماده و انرژی الکترومغناطیس را ثبت می‌کند [Sabins, 1999]. از خصوصیات بارز تصاویر ماهواره‌ای دید بسیار وسیع است که به کاربر اجازه می‌دهد تا ارتباط بین عوارض را تعیین کند. استفاده از داده‌های سنجش از دور برای شناسایی مناطق دگرسانی و نقشه برداری از این مناطق با روش‌های مختلف مورد توجه افراد بسیاری بوده است [Tangestani et al., 2008; Rown et al., 2006]. رنجبر و شهریاری، ۱۳۸۵]. دورسنجی یا سنجش از دور، دانشی است که با اندازه‌گیری اشعه الکترومغناطیس حاصل از انعکاس نور خورشید از یک شیء و با مشاهده آن از فاصله دور و بدون تماس فیزیکی با آن، می‌تواند اطلاعات ارزنده‌ای را ارائه نماید. با استفاده از این اطلاعات و با تجزیه و تحلیل آن‌ها، داده‌های مفیدی را استخراج کرد. به‌طور کلی سنجش از دور را می‌توان فناوری کسب اطلاعات و تصویربرداری از زمین با استفاده از تجهیزات هوانوردی مثل هواپیما، بالن یا تجهیزات فضایی مثل ماهواره دانست. تولید اطلاعات از داده‌های سنجش از دور به‌ویژه داده‌های ماهواره‌ای نسبت به گذشته نه چندان دور افزایش فزاینده‌ای پیدا نموده است و با توجه به اهمیت و نقش این‌گونه داده‌ها، قطعاً تولید آن‌ها هم‌چنان افزایش می‌یابد. عمل بازیابی، شناسایی و تشخیص عوارض و اشیاء واقع در فواصل دور که با استفاده از تصاویر و ابزار شناسایی انجام می‌گیرد علم دورسنجی نامیده می‌شود [مر و تنگستانی، ۱۳۸۲].

استفاده از داده‌های ماهواره‌ای به‌دلیل میدان دید فرا منطقه‌ای، دسترسی آسان، چند باندی بودن، توانایی بارزسازی و فراهم نمودن تصاویر رنگی جهت مشخص کردن واحدها و پدیده‌های مختلف، سبب صرفه‌جویی در زمان، هزینه و نیروی انسانی در اکتشاف منابع معدنی شده است [آقاجانی، ۱۳۸۳].

یکی از کاربردهای علم سنجش از دور و تصاویر ماهواره‌ای استخراج اطلاعات مورد نیاز برای کشف معادن بر روی زمین می‌باشد، به گونه‌ای که می‌توان با استفاده از تصاویر سنجنده‌های مختلف و به-کارگیری الگوریتم‌های خاص و پردازش تصاویر اطلاعات مورد نیاز را برای شناسایی معادن مختلف بر روی کره‌ی زمین به دست آورد. استفاده بهینه از داده‌های ماهواره‌ای جهت اکتشاف مواد معدنی به-خصوص در اکتشاف کانسارها، شناخت و نقشه‌برداری محدوده‌های دگرسانی مرتبط کمک شایانی به اکتشاف ذخایر مس و آهن می‌کند [عسگری و همکاران، ۱۳۹۳].

در این فصل ابتدا درباره مبانی سنجش از دور، انواع مناطق دگرسانی مس و آهن و کانی‌های شاخص هر منطقه بحث می‌شود و در ادامه به بررسی نتایج روش‌های مختلف پردازش برای آشکارسازی مناطق دگرسانی مس و آهن در محدوده مورد مطالعه با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای ASTER پرداخته خواهد شد.

۳-۲- کانی‌های شاخص مناطق دگرسانی

به کلیه تغییرات شیمیایی و کانی‌شناسی که تحت تاثیر آب‌های ماگمایی و یا گرمایی در سنگ‌ها ایجاد می‌شود دگرسانی گویند. دگرسانی ساده‌ترین، ارزان‌ترین و مناسب‌ترین وسیله در اکتشاف مواد معدنی است.

۳-۲-۱- دگرسانی پتاسیک

کانی‌های مهم زون پتاسیک عبارتند از: فلدسپات پتاسیم ثانویه، بیوتیت ثانویه، کوارتز و به مقدار جزئی کلریت، اپیدوت، سرسیت، اکتینولیت و انیدریت [کریم‌پور و سعادت، ۱۳۸۴].

۳-۲-۲- دگرسانی سرسیتیک

این زون به نوع فلیک و در بعضی از ذخایر به دگرسانی کوارتز، سرسیت و پیریت نیز معروف است. کانی‌های مهم این زون عبارتند از: سرسیت، کوارتز، پیریت، دیکیست، مقدار جزئی کائولین و آندالوزیت،

که مقدار سرسیت از همه بیش تر است. کانی‌های فرعی شامل کلسیت، آپاتیت و انیدریت است [کریم‌پور و سعادت، ۱۳۸۴].

۳-۲-۳- دگرسانی آرژیلیک پیشرفته

کانی‌های شاخص این دگرسانی عبارتند از: کائولینیت، دیکیت، دیاسپور، پیروفیلیت و گاهی سرسیت، کوارتز، آلونیت، پیریت، تورمالین و توپاز [کریم‌پور و سعادت، ۱۳۸۴].

۳-۲-۴- دگرسانی پروپلیتیک

دگرسانی پروپلیتیک به مجموعه‌ای از دگرسانی کلریتی، اپیدوتی، زئوزیتی و آلبیتی اطلاق می‌گردد. کانی‌های مهم دگرسانی پروپلیتیک عبارتند از: اپیدوت، زئوزیت، کلینو زئوزیت، کلریت، کلسیت، آلبیت و پیریت. در این دگرسانی اکسیدهای آهن، سرسیت و کائولین به مقدار جزئی یافت می‌شوند. در صورت بالا رفتن درصد فراوانی اپیدوت، زئوزیت، کلریت و یا آلبیت به جای واژه پروپلیتیک، از نام کانی مربوطه استفاده خواهد شد. زون دگرسانی پروپلیتیک در بیش‌تر ذخایر ماگمایی و گرمابی یافت می‌شود و گسترش این دگرسانی معمولاً در اطراف ذخایر بسیار زیاد است [کریم‌پور و سعادت، ۱۳۸۴].

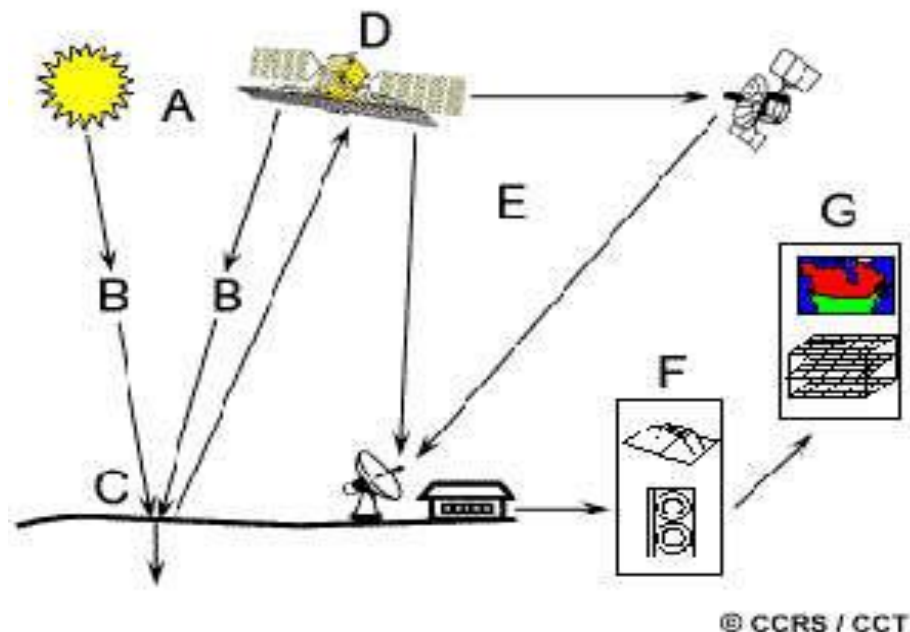
۳-۳- خصوصیات داده‌های دورسنجی

در دورسنجی انرژی ساطع شده از سطح زمین با استفاده از سنجنده‌های نصب شده بر روی هواپیما یا فضاپیما اندازه‌گیری می‌شود. این اندازه‌گیری به صورت یک عکس از منظره طبیعی که در زیر سنجنده قرار دارد ترسیم و مورد استفاده قرار می‌گیرد. در بیش‌تر موارد انرژی ثبتي مورد نظر می‌تواند انعکاس نور خورشید از سطح زمین باشد. تصویری که ایجاد می‌شود شبیه به همان منظره‌ای است که ما از سطح زمین با چشم خود می‌بینیم، اگرچه امواج مورد استفاده در دورسنجی اغلب خارج از حوزه‌ی دید انسان می‌باشد. در مواقعی هم انرژی می‌تواند از خود زمین ساطع شود. در نهایت انرژی ساطع شده از سطح زمین می‌تواند یک انرژی مصنوعی تولیدشده به وسیله‌ی لیزر یا رادار باشد. هر یک از این منابع

انرژی در جزئیات با هم یکسان هستند به طوری که برای پراکنده کردن یا انتشار انرژی، مجموعه‌ای از ابزار و وسایل درگیر می‌باشند و این انرژی در هر مورد توسط سنجنده باید اندازه‌گیری شود و در نهایت از پردازش این انرژی یک عکس برای استفاده‌ی کاربران تولید می‌شود. یکی از مشخصات اصلی و سودمند، عکس‌های به‌دست آمده از این سنجنده‌ها این است که به‌صورت دیجیتال می‌باشند. به‌صورت مکانی داده‌ها از عناصر عکسی مجزا تشکیل شده‌اند که به هر یک از عناصر مجزا پیکسل می‌گویند. این یکی از بزرگ‌ترین مزایای این داده‌ها به شمار می‌آید، چرا که پردازش آن‌ها می‌تواند به‌وسیله‌ی کامپیوتر صورت گیرد. یکی دیگر از مهم‌ترین مشخصات داده‌های سیستم دورسنجی طول موج استفاده شده در عکس پردازش شده می‌باشد. به طور کلی طول موج در نواحی مرئی و مادون قرمز تا دور قرار می‌گیرد [امیری رودبار، ۱۳۹۲].

۳-۴- عملکردهای اصلی در سنجش از دور

شکل (۳-۱) به طور شماتیک فرآیند کلی و عناصر مؤثر در سنجش از دور را نشان می‌دهد که شامل دو فرایند کلی اخذ داده و تجزیه و تحلیل داده‌ها می‌باشد [Quattara et al., 2004].



شکل (۳-۱): شمای کلی از نحوه دریافت داده‌ها از طریق سنجنده‌های ماهواره‌ای

قسمت‌های مختلف نشان داده شده در شکل (۳-۱) عبارتند از:

A: منبع انرژی که معمولاً به دو صورت فعال (نور خورشید) و غیرفعال (مانند امواج رادار ارسالی توسط سنجنده‌ها به زمین) می‌باشد.

B: انتشار انرژی از میان جو و برخورد آن به سطح زمین و انعکاس آن

C: فعل و انفعالات انرژی بر اثر برخورد با عوارض سطحی زمین

D: سنجنده‌های هوایی و یا فضایی

E: انتقال اطلاعات کسب شده به ایستگاه‌های زمینی

F: دریافت اطلاعات اولیه و تولید داده به صورت رقومی و یا تصویری

G: فرآیند تجزیه و تحلیل داده، شامل بررسی و تعبیر و تفسیر داده‌ها با به‌کارگیری وسایل مختلف دیداری و کامپیوتری به منظور آنالیز داده‌های حاصل از سنجنده

۳-۵- ماهواره Terra

ماهواره Terra حاصل پروژه مشترک کشورهای آمریکا، کانادا و ژاپن بوده که در سال ۱۹۹۹ به فضا پرتاب شد و از سال ۲۰۰۰ شروع به جمع‌آوری داده نمود. این ماهواره دارای ۵ سنجنده برای نظارت بر وضعیت محیط زیست زمین و تغییرات اقلیمی می‌باشد.

۳-۶- سنجنده‌ی ASTER

استر یک دوربین دیجیتالی بزرگ است که در سال ۱۹۹۹ با همکاری ناسا و ژاپن، در مدار زمین قرار گرفت و توسط ماهواره‌ای به نام Terra حمل می‌شود. این دوربین توانایی گرفتن ۶۰۰ تصویر با

قدرت تفکیک بالا در یک روز را دارد. هر عکس منطقه‌ای به وسعت 60×60 کیلومتر را پوشش می‌دهد، که اندازه هر پیکسل آن برای باندهای ۱-۳، ۱۵ متر است. تفاوت عمده این دوربین با دوربین‌های عکاسی این است که برای هر محدوده طول موج (باند) یک تصویر مجزا ایجاد می‌شود. استر ۱۴ باند دارد که دامنه‌ی طول موجی ۰,۵۲ تا ۱۱,۶۵ میکرون را در سه محدوده‌ی طیفی VNIR، SWIR و TIR پوشش می‌دهد. مشخصات باندهای طیفی سنجنده ASTER در جدول (۱-۳) آورده شده است.

جدول (۱-۳): باندهای طیفی سنجنده ASTER [Kalinowski and Oliver, 2004]

قدرت تفکیک مکانی (متر)	دامنه طیفی (میکرومتر)	باند	محدوده طیفی
۱۵	۰,۵۲-۰,۶۰	۱	VNIR
	۰,۶۳-۰,۶۹	۲	
	۰,۷۸-۰,۸۶	۳	
۳۰	۱,۶۰-۱,۷۰	۴	SWIR
	۲,۱۴۵-۲,۱۸۵	۵	
	۲,۱۸۵-۲,۲۳۵	۶	
	۲,۲۳۵-۲,۲۸۵	۷	
	۲,۲۹۵-۲,۳۶۵	۸	
	۲,۳۶۵-۲,۴۳۰	۹	
۹۰	۸,۱۲۵-۸,۴۷۵	۱۰	TIR
	۸,۴۷۵-۸,۸۲۵	۱۱	
	۸,۹۲۵-۹,۲۷۵	۱۲	
	۱۰,۲۵-۱۰,۹۵	۱۳	
	۱۰,۹۵-۱۱,۶۵	۱۴	

الف- محدوده‌ی طیفی مرئی و مادون قرمز نزدیک (VNIR)

در این محدوده که شامل دامنه‌ی طول موجی ۰,۵۲ تا ۰,۸۶ میکرون می‌شود، سه باند وجود دارد و قدرت تفکیک فضایی در باندها در این محدوده ۱۵ متر است.

ب- محدوده‌ی طیفی مادون قرمز طول موج کوتاه (SWIR)

در این محدوده، برداشت در دامنه‌ی طول موجی ۱,۶ تا ۲,۴۳ میکرون و در شش باند صورت می‌گیرد. قدرت تفکیک فضایی باندهای این محدوده ۳۰ متر است.

ج- محدوده طیفی مادون قرمز حرارتی (TIR)

در محدوده طیفی مادون قرمز حرارتی برداشت در دامنه‌ی طول موجی ۸,۱۲۵ تا ۱۱,۶۵ میکرون در پنج باند انجام می‌شود. قدرت تفکیک فضایی باندها، ۹۰ متر است.

۷-۳- پیش‌پردازش (تصحیحات) تصاویر سنجش از دور

۷-۳-۱- تصحیح هندسی

از آن جایی که تصاویر سنجش از دور نقشه نیستند و دارای مقیاس و سیستم تصویر نمی‌باشند، لذا زمانی که نیاز است در قالب نقشه یا در GIS به کار گرفته شوند، بایستی آن‌ها را به شیوه‌ی مناسبی دارای مقیاس و سیستم تصویر نمود که به نحوه‌ی تغییر و تبدیل تصاویر تصحیحات هندسی^۷ گفته می‌شود. به روشی مشابه تصحیحات هندسی که عمل آن تطبیق و یکسان سازی سیستم مختصات تصویر با سیستم مختصات نقشه یا تصویر دیگری است، تطبیق سازی گفته می‌شود. خطای هندسی منابع متعددی دارد که می‌توان از چرخش زمین به عنوان یکی از مهم‌ترین منابع خطا نام برد، زیرا چرخش زمین باعث اریب شدن تصاویر می‌شود و همچنین سرعت این چرخش نسبت به عرض جغرافیایی متفاوت است. داده‌های ماهواره‌ای در مرحله تصحیح هندسی با توجه به نقشه توپوگرافی و

^۷- Geometric Correction

داده‌های زمینی GPS و سایر مقیاس‌ها تصحیح شده و در قالب شبکه مختصات UTM قرار می‌گیرند. این تصحیحات بر اساس انتخاب تعدادی نقطه کنترل زمینی بر روی نقشه توپوگرافی و مشابه‌یابی آن بر روی داده‌های ماهواره‌ای مورد نظر انجام می‌شود، این عملیات عموماً در محیط نرم‌افزاری ArcGIS و سایر نرم‌افزارهای کاربردی دورسنجی نظیر ENVI, Geomatica و ... انجام‌پذیر می‌باشد. در این مرحله با استفاده از روش‌های آماری، خطاهای موجود بین مختصات تصویر و مختصات زمینی پدیده‌ها به حداقل می‌رسد. داده‌های موجود دیگر نیز بر اساس داده‌های ماهواره‌ای تصحیح شده، با روش مشابه‌یابی تصویر به تصویر تصحیح می‌گردند و بر اساس محدوده‌های مورد نیاز بریده شده و قطعه‌بندی می‌شوند [پشنگ، ۱۳۹۱].

۳-۷-۲- تصحیح رادیومتری

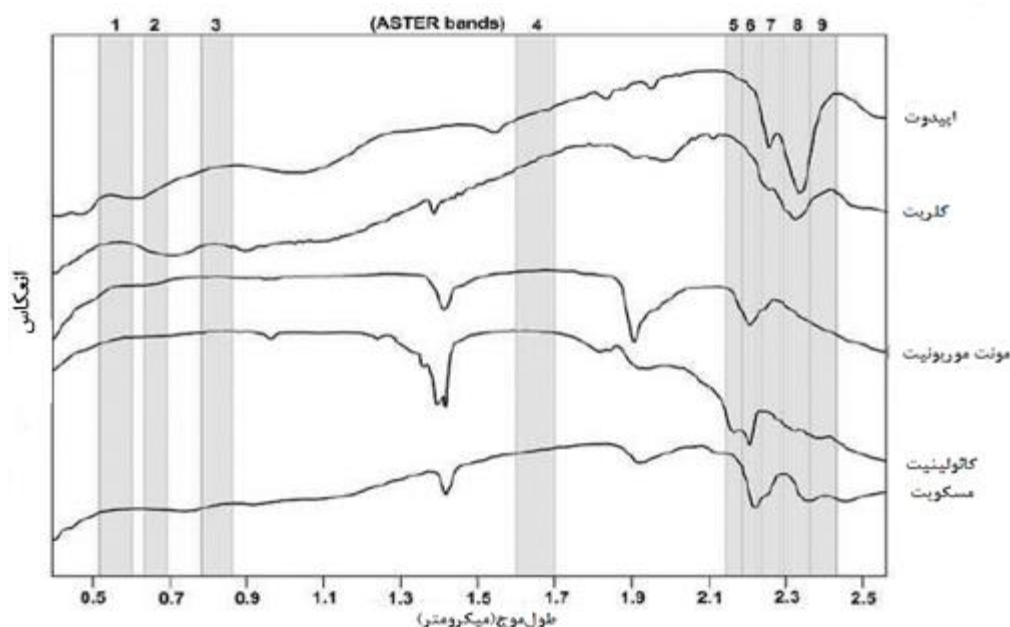
قبل از انجام آشکارسازی و پردازش داده‌های ماهواره‌ای می‌بایست تصحیحات رادیومتری^۸ برای حذف طول‌موج‌های طیفی در رابطه با گرد و غبار، دود و عوارض مصنوعی دیگر قابل مشاهده در تصاویر انجام گیرد. تصحیح رادیومتری شامل تصحیح خطای اتمسفری و خطای سنجنده است. خطای اتمسفری، آن دسته از خطاها است که در اثر جذب و پراکنش ذرات اتمسفر پیش می‌آید و باعث محو جزئیات تصویر شده و بدین ترتیب از قدرت تفکیک مکانی سنجنده نیز می‌کاهد. بیش‌ترین اثر اتمسفری مربوط به پراکنش است که وابستگی زیادی به طول موج دارد، بنابراین اثر اتمسفر در باندهای مختلف یک سنجنده با هم یکسان نیست. هرچه طول موج بیش‌تر شود اثر پراکنش اتمسفری کم‌تر خواهد شد. خطای سنجنده آن دسته از خطاها هستند که به علت طراحی و یا عملکرد سنجنده ایجاد می‌شوند. این نوع خطاها متنوع بوده و از سنجنده‌ای دیگر و بر اساس نوع سیستم بکار برده شده متفاوت هستند. البته دسته دیگری از خطاها وجود دارند که شاید به نوعی در زمره‌ی این دو دسته از خطا قرار نگیرند،

^۸- Radiometric Correction

نظیر اثر زاویه‌ی تابش خورشید و یا اثر توپوگرافی که تصحیح آن‌ها جزء تصحیحات رادیومتری محسوب می‌شود، ولی ممکن است خطاهای آن‌ها جزء دو دسته اصلی ذکر شده محسوب نشوند [محمدی، ۱۳۸۸].

۳-۸- طیف‌های جذب و انعکاس کانی‌ها و سنگ‌ها و کاربرد آن‌ها در اکتشاف کانسارها

امواج الکترومغناطیس^۹ هنگام برخورد با سطح زمین بر اساس نوع سنگ، خاک و یا پوشش گیاهی، طول‌موج‌های خاصی را جذب می‌کنند و طول‌موج‌های دیگری را منعکس می‌کنند. از آن‌جایی که سنگ‌ها از کانی‌های متفاوت تشکیل شده‌اند و خاصیت جذب و انعکاس کانی‌ها با یک‌دیگر متفاوت است، بنابراین با پردازش و تفسیر داده‌های ماهواره‌ای می‌توان سنگ‌ها و برخی از کانی‌های آن‌ها را تشخیص داد [کریم‌پور و همکاران، ۱۳۸۴]. همچنین می‌توان به مشخص نمودن ساختارهای خطی و حلقوی واحد لیتولوژیکی و تفکیک مناطق دگرسان مختلف که از کنترل‌کننده‌های کانی‌سازی در بسیاری از مواد معدنی می‌باشند، اقدام نمود [Sabins, 1999]. در شکل (۲-۳) رفتار طیفی برخی از کانی‌های مهم در اکتشاف کانسارها نشان داده شده است.



شکل (۲-۳): رفتار طیفی برخی از کانی‌های مهم در اکتشاف کانسارها [Sabins, 1999]

^۹- Electromagnetic

رفتار طیفی کانی‌ها (شکل (۳-۲))، نشان می‌دهد که خاصیت جذب و انعکاس کانی‌ها با یکدیگر متفاوت است و می‌توان از این خاصیت جهت شناسایی و تفکیک کانی‌ها استفاده نمود. به عنوان نمونه کانی اپیدوت در باندهای ۷ و ۹ انعکاس بالا و در باند ۸ جذب بالایی را نشان می‌دهد که می‌توان با استفاده از روش‌های پردازش تصاویر ماهواره‌ای و درنظر گرفتن خاصیت جذب در باند ۸ و انعکاس در باندهای ۷ و ۹، این کانی را شناسایی و آشکار کرد.

۳-۹- پردازش تصاویر ماهواره‌ای

در اصل، پردازش داده‌های ماهواره‌ای به مفهوم بکارگیری دقیق روش‌های آماری، گرافیکی و الگوریتم‌های ریاضی در روند تفسیر رقومی به کمک نرم‌افزارهای کامپیوتری تعبیر می‌گردد (پنجمی و همکاران، ۱۳۹۲). روش‌های مختلفی برای پردازش تصاویر وجود دارد که از میان این روش‌ها، روش‌های ترکیب رنگی کاذب، آنالیز مؤلفه‌های اصلی، نسبت‌گیری باندی و روش کروستا برای شناسایی مناطق دگرسانی و کانی‌های مرتبط با آن‌ها می‌تواند مفید واقع گردد که در ذیل به شرح هر یک از این روش‌ها می‌پردازیم:

۳-۹-۱- ترکیب رنگی کاذب (FCC)

یکی از روش‌های مؤثر در تفکیک و جداسازی واحدهای مختلف زمین‌شناسی، ترکیب رنگی کاذب^{۱۰} است. در این روش با قرار دادن باندهای مناسب تصویر در فیلترهای قرمز، سبز و آبی، عوارض مورد نظر مفسر به رنگ‌های دلخواه در تصویر حاصل پدید می‌آیند، تا به راحتی و یا تفسیر چشمی، عوارض مطلوب از تصویر حاصله استخراج شود [آلیانی و همکاران، ۱۳۹۱].

در ذیل چندین ترکیب رنگی کاذب که جهت آشکارسازی دگرسانی‌های مس و آهن استفاده شده است ذکر می‌گردد:

¹⁰ False Color Composite

فراهانی و همکاران در سال ۱۳۸۷ در منطقه چهار گنبد استان کرمان با ترکیب رنگی کاذب RGB-۴۵۷ سنجنده استر مناطق دگرسانی را آشکار کردند.

تاجیک و کاکائی در سال ۱۳۸۵ در ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰۰ جبال بارز از ترکیب رنگی کاذب باندهای ۱۲۳ RGB- برای آشکارسازی اکسیدهای آهن (هماتیت، گوتیت و لیمونیت)، با توجه به ویژگی جذب طیفی در محدوده امواج مادون قرمز نزدیک و طیف مرئی (VNIR) استفاده کردند و نشان دادند که در این ترکیب رنگی مناطق دارای اکسید آهن بین تن‌های سفید تا زرد تغییر خواهند کرد.

آلیانی و همکاران در سال ۱۳۹۱ منطقه حاجی‌آباد (شمال خاور سنقر) از ترکیب رنگی RGB-۴۶۱ برای بارزسازی اکسیدهای آهن استفاده کردند. استفاده از ترکیب رنگی فوق منجر به بارزسازی مناطق دارای اکسید آهن به رنگ سبز، دگرسانی پروپلیتیک به رنگ آبی و آرژیلیک به رنگ صورتی و زرد مایل به صورتی شد.

توماس و روبنشتاین در سال ۲۰۰۷ ثابت کردند که ترکیب رنگی کاذب باندهای RGB-۴۶۸ به دلیل جذب کانی‌های شاخص زون فلیک- آرژیلیک (کائولینیت، ایلیت و مونت‌موریونیت) در باند ۶ دامنه مادون قرمز کوتاه (SWIR) و جذب کانی‌های شاخص دگرسانی پروپلیتیک (کلریت و اپیدوت) در باند ۸ دامنه مادون قرمز کوتاه (SWIR) برای آشکارسازی دگرسانی‌ها مناسب می‌باشد. آلیانی و همکاران در سال ۱۳۹۱ با استفاده از ترکیب رنگی کاذب فوق دگرسانی آرژیلیک را به رنگ صورتی تا قرمز و پروپلیتیک را به رنگ سبز در منطقه حاجی‌آباد (شمال خاور سنقر) آشکار کردند.

۳-۹-۲- نسبت‌گیری باندی (B.R)

یکی از روش‌های رایج در پردازش تصاویر ماهواره‌ای که کاربرد وسیعی در زمین‌شناسی دارد، روش نسبت‌های باندی ۱۱ است [Rowan et al., 1977]. این روش شامل تقسیم کردن دو باند بر همدیگر

است که در تشخیص مناطق دگرسان شده نقش بسزایی دارد. باندی که میزان بازتابش از هدف موردنظر در آن بیش‌تر باشد در صورت کسر و باندی که میزان جذب برای همان هدف در آن بالاتر باشد در مخرج کسرقرار می‌گیرد. با به‌کارگیری این روش می‌توان اثر توپوگرافی و سایه در تصویر را به حداقل رساند شکل (۲-۳) و اختلاف بین درجات روشنایی تصویر را بارزسازی نمود [Rouskav et al., 2005].

چند شاخص مورد استفاده در مطالعات زمین‌شناسی و آشکارسازی دگرسانی‌ها در ذیل آورده شده است:

آلیانی و همکاران در سال ۱۳۹۱ منطقه حاجی‌آباد (شمال خاور سنقر) از نسبت‌های باندی $\frac{7}{8}$ و $\frac{7+9}{8}$ برای آشکارسازی مناطق دارای دگرسانی پروپلیتیک استفاده کردند.

پراست در سال ۲۰۰۱ در منطقه‌ای در سوئیس جهت شناسایی مناطق دارای اکسید آهن (گوتیت، لیمونیت و هماتیت) به سبب جذب در طول موج باند ۱ و تابش در ناحیه باند ۲، از نسبت باندی $\frac{2}{1}$ برای بارزسازی اکسیدهای آهن بهره گرفته است.

نینومیا در سال ۲۰۰۳ برای شناسایی مناطق دارای دگرسانی از نسبت‌های باندی $\frac{4}{6}$ ، $OHI = \frac{7}{6} \times \frac{4}{6}$ ، $KLI = \frac{4}{5} \times \frac{8}{6}$ ، $ALI = \frac{7}{5} \times \frac{7}{8}$ بهره گرفته است.

هیسن و همکاران در سال ۲۰۰۵ در منطقه‌ی Curnamona استرالیا از نسبت باندی $\frac{6+9}{8}$ برای بارزسازی شاخص دگرسانی پروپلیتی استفاده شد.

۳-۹-۳- آنالیز مؤلفه‌های اصلی (PCA)

یکی از روش‌هایی که در افزایش وضوح تصاویر و نیز تعدیل سایه‌ها کاربرد زیادی دارد، استفاده از آنالیز مؤلفه‌های اصلی ۱۲ تصویر است. هدف از این روش تعیین ضرایب شاخص موقعیت محورهای است

که دلالت بر وجود حداکثر تغییرپذیری دارند و فاقد همبستگی هستند. با استفاده از آنالیز مؤلفه‌های اصلی چرخش در جهت محور مختصات به وجود می‌آید و محورهای جدید در جهتی که بیشترین واریانس ارزش‌های طیفی را دارند، ایجاد می‌شود [خالوکاکائی و همکاران، ۱۳۸۳].

مهم‌ترین فایده PCA، جمع‌آوری و متراکم ساختن اطلاعات پدیده‌های موجود در باندهای مختلف در تعدادی باند یا مؤلفه کمتر است. به عبارت دیگر، PCA برای حذف اطلاعات زائد در داده‌های ماهواره‌ای کاربرد فراوانی دارد. این توانایی کاهش ابعاد، یعنی کم کردن داده‌ها و باندهایی که برای تولید نتایج قابل استفاده تجزیه می‌شوند، از نظر صرف وقت و هزینه حائز اهمیت است، به‌ویژه اگر قابلیت استخراج اطلاعات از مؤلفه‌های جدید، بالاتر از قابلیت استخراج اطلاعات از داده‌های اولیه و خام باشد [علوی‌پناه، ۱۳۸۳]. در روش PCA اطلاعات چند تصویر در یک تصویر متراکم شده و اختلاف درجات روشنایی به حداکثر می‌رسد. تعداد PCA ساخته شده بستگی به تعداد باندهای انتخاب شده دارد و ما می‌توانیم پس از اعمال روش PCA، چند تصویر جداگانه تولید کنیم.

در انتخاب باندها برای اعمال تکنیک PCA باید باندهایی را انتخاب کرد که با هم همبستگی کمتری داشته باشند. زیرا هرچه میزان همبستگی باندها کمتر باشد، ترکیب آن‌ها حاوی اطلاعات بیشتری خواهد بود.

وجود همبستگی بین باندها نشان‌دهنده وجود داده‌های مشترک یا به عبارت دیگر تکرار داده‌ها است. بنابراین در جایی که تلفیق داده‌ها جهت به دست آوردن حداکثر اطلاعات ممکن مد نظر باشد، مطالعه و بررسی دقیق ماتریس همبستگی لازم به نظر می‌رسد. عموماً روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی برای ۹ باند استر به کار می‌رود [Richard and Jia, 2006].

شاخص‌های مهم دیگر مقدار ویژه، واریانس ماتریس همبستگی و بردار ویژه است. مقدار ویژه نمایشگر طول محور هر مؤلفه بوده و مقدار اطلاعات هر مؤلفه را نشان می‌دهد.

۴-۹-۴- روش کروستا

روش کروستا^{۱۳} یک روش سریع، نیرومند، قابل اطمینان، بدون نیاز به تصحیحات اتمسفریک و دانش تفصیلی در مورد خصوصیات طیفی اهداف خاص است که می‌تواند برای نگاشت کانی‌های آلتراسیون در تصاویر سنجنده‌ها به کار برده شود. در این روش، باندهایی که حاوی اطلاعات مورد نظر می‌باشند، انتخاب گردیده، سپس آنالیز مؤلفه اصلی بر روی آن صورت می‌پذیرد. بر اساس مقادیر و علامت بردارهای ویژه می‌توان دریافت که کدام مؤلفه اصلی حاوی اطلاعات مرتبط با اثرات طیفی اهداف خاص است. تصاویر مؤلفه‌های اصلی مناسب می‌توانند اهداف موردنظر را به صورت پیکسل‌های روشن یا تیره مشخص کنند [Amera,2007; Ranjbar et al., 2004].

خالقی و رنجبر در سال ۲۰۱۱ در منطقه ساردوئیه استان کرمان از روش کروستا برای آشکارسازی زون دگرسانی آرژلیک از باندهای ۴، ۵ و ۷، فیلک از باندهای ۴، ۶ و ۷ برای دگرسانی پروپلیتیک از باندهای ۷، ۸ و ۹ به‌عنوان ورودی روش آنالیز مؤلفه‌های اصلی استفاده کردند [Khaleghi & Ranjbar, 2011].

پنجمی و همکاران در سال ۱۳۹۲ در ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ جلفا از روش کروستا دگرسانی‌های آرژلیک، فیلک و پروپلیتیک را به ترتیب با استفاده از مؤلفه‌های حاصل از باندهای (۱،۴،۶،۸)، (۱،۵،۶،۷) و (۱،۳،۸،۹) بارز کردند.

۳-۱۰- آشکارسازی دگرسانی‌های منطقه مورد مطالعه

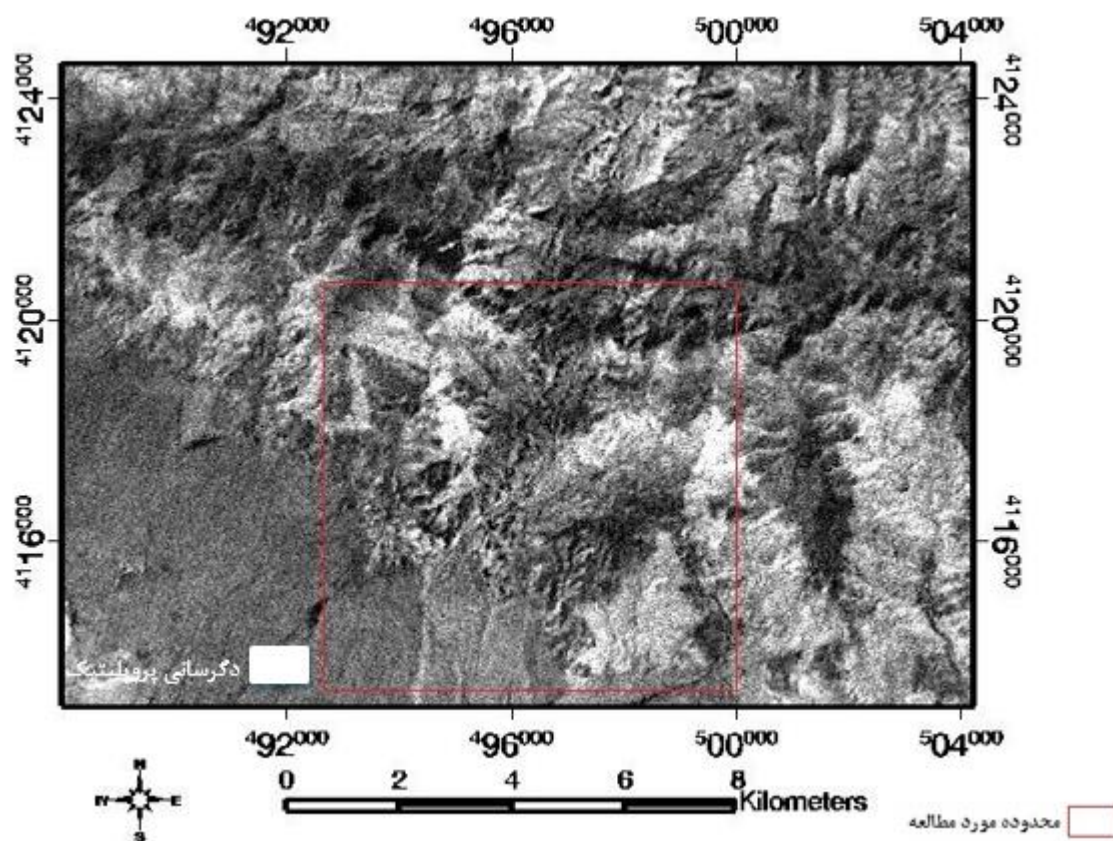
استفاده از داده‌های سنجش از دور برای شناسایی مناطق دگرسانی و نقشه برداری از این مناطق با روش‌های مختلف مورد توجه افراد بسیاری بوده است (Tangestani et al., 2008; Rown et al., 2006). رنجبر و شهریاری، (۱۳۸۵). به منظور آشکارسازی مناطق دگرسانی منطقه، از روش‌های نسبت‌گیری

^{۱۳} Crosta Method

باندی و آنالیز مؤلفه‌های اصلی استفاده گردید. تمامی مراحل پردازش تصاویر در نسخه ۵,۳ نرم‌افزار Envi انجام شد.

۳-۱۰-۱- نسبت گیری باندی (B.R)

جهت بارزسازی دگرسانی پروپلیتیک منطقه به دلیل جذب کانی‌های شاخص این دگرسانی در باند ۸ و تابش در باندهای ۷ و ۹ از نسبت باندی $\frac{7+9}{8}$ استفاده شد. مناطق دارای این دگرسانی با پیکسل‌های روشن در شکل (۳-۳) نشان داده شده است.

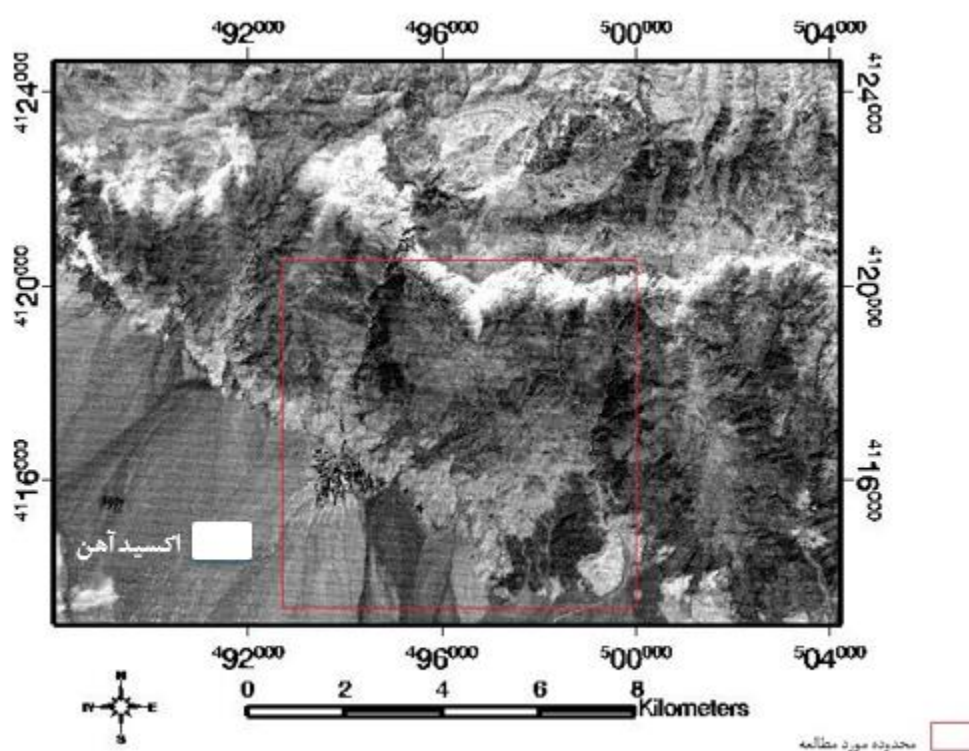


شکل (۳-۳): تصویر حاصل از نسبت باندی $\frac{7+9}{8}$ (مناطق حاوی دگرسانی پروپلیتیک با پیکسل‌های روشن آشکار شده است)

با دقت در شکل (۳-۳) مشاهده می‌شود که این نسبت توانسته به خوبی مناطق حاوی دگرسانی پروپلیتیک را شناسایی کند. با مقایسه نتایج حاصل از این نسبت با نقشه زمین‌شناسی منطقه می‌توان

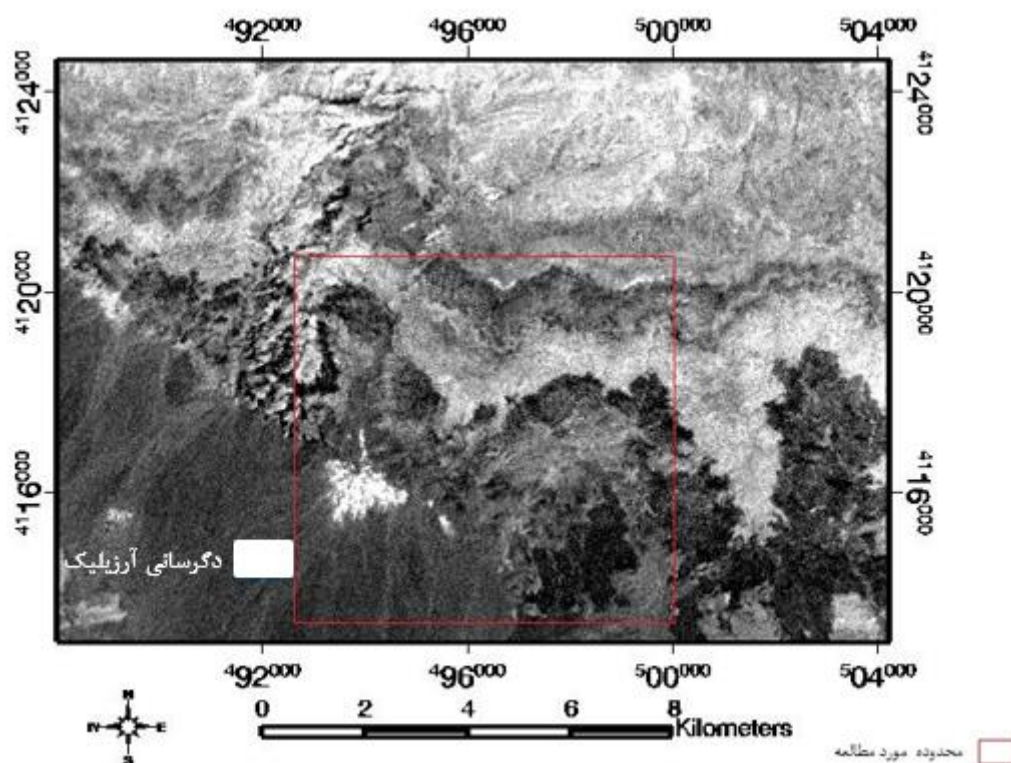
گفت که دگرسانی پروپلیتیک در میان سنگ‌های ولکانیکی بازالت و آندزیت بازالت منطقه رخنمون دارند.

جهت شناسایی مناطق دارای اکسید آهن از نسبت باندی $\frac{2}{1}$ (به دلیل جذب کانی‌های اکسید آهن در ناحیه باند ۱ و بازتابش در ناحیه باند ۲) استفاده شد. مناطق دارای اکسید آهن در شکل (۳-۴) با پیکسل‌های روشن نمایان شده است.



شکل (۳-۴): تصویر حاصل از نسبت باندی $\frac{2}{1}$ (مناطق حاوی اکسید آهن با پیکسل‌های روشن آشکار شده است) با توجه به شکل (۳-۴) می‌توان گفت که نسبت باندی $\frac{2}{1}$ به خوبی مناطق حاوی کانی‌های شاخص اکسید آهن را مشخص کرده است که در شمال منطقه مورد مطالعه بارز شده‌اند. با مقایسه نتایج حاصل از این نسبت با نقشه زمین‌شناسی منطقه می‌توان گفت که اکسیدهای آهن در میان نهشته‌های دونین که شامل شیل و ماسه‌سنگ است رخنمون دارند.

از نسبت بانندی $\frac{4}{6}$ به دلیل بازتابندگی بالای کانی‌های شاخص آرژیلیک (آلونیت، کائولینیت و مسکویت) در باند ۴ و جذب در باند ۶ برای تشخیص مناطق دارای دگرسانی آرژیلیک استفاده شد. مناطق دارای دگرسانی آرژیلیک با پیکسل‌های روشن در شکل (۳-۵) نشان داده شده است.

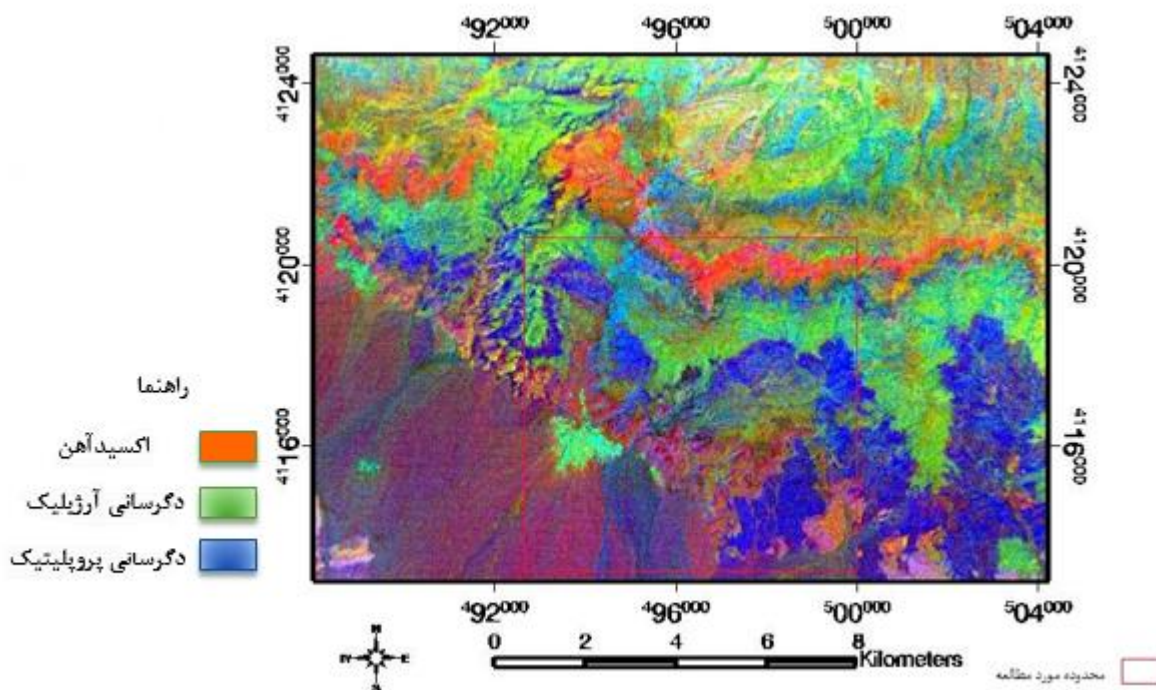


شکل (۳-۵): تصویر حاصل از نسبت بانندی $\frac{4}{6}$ (مناطق حاوی دگرسانی آرژیلیک با پیکسل‌های روشن آشکار شده است)

با دقت در شکل (۳-۶) مشاهده می‌شود که این نسبت نتوانسته به وضوح مناطق دارای دگرسانی آرژیلیک را مشخص کند. این نسبت پوشش‌های گیاهی منطقه را همراه با دگرسانی‌های آرژیلیک نشان می‌دهد که بایستی با توجه به روش‌های دیگر پردازش و همچنین بررسی‌های صحرایی این دو عارضه را از هم تفکیک کرد.

همچنین نتایج حاصل از نسبت بانندی با استفاده از تصویر رنگی کاذب $(\frac{2}{1}, \frac{4}{6}, \frac{7+9}{8})$ RGB- برای آشکارسازی دگرسانی‌های منطقه تفسیر شد (شکل (۳-۶)). در این تصویر مناطق حاوی کانی‌های

شاخص دگرسانی آرژلیک به رنگ سبز و در اطراف آن‌ها کانی‌های زون پروپلیتیک با رنگ آبی دیده می‌شوند. همچنین اکسیدهای آهن نیز با رنگ نارنجی متمایل به قرمز بارز شده‌اند.



شکل (۳-۶): نقشه دگرسانی حاصل از نسبت بانندی با استفاده از ترکیب رنگی کاذب

$$RGB - \left(\frac{2}{1}, \frac{4}{6}, \frac{7+9}{8} \right)$$

نقشه حاصل از نسبت بانندی با استفاده از ترکیب رنگی کاذب $RGB - \left(\frac{2}{1}, \frac{4}{6}, \frac{7+9}{8} \right)$ (شکل (۳-۶))،

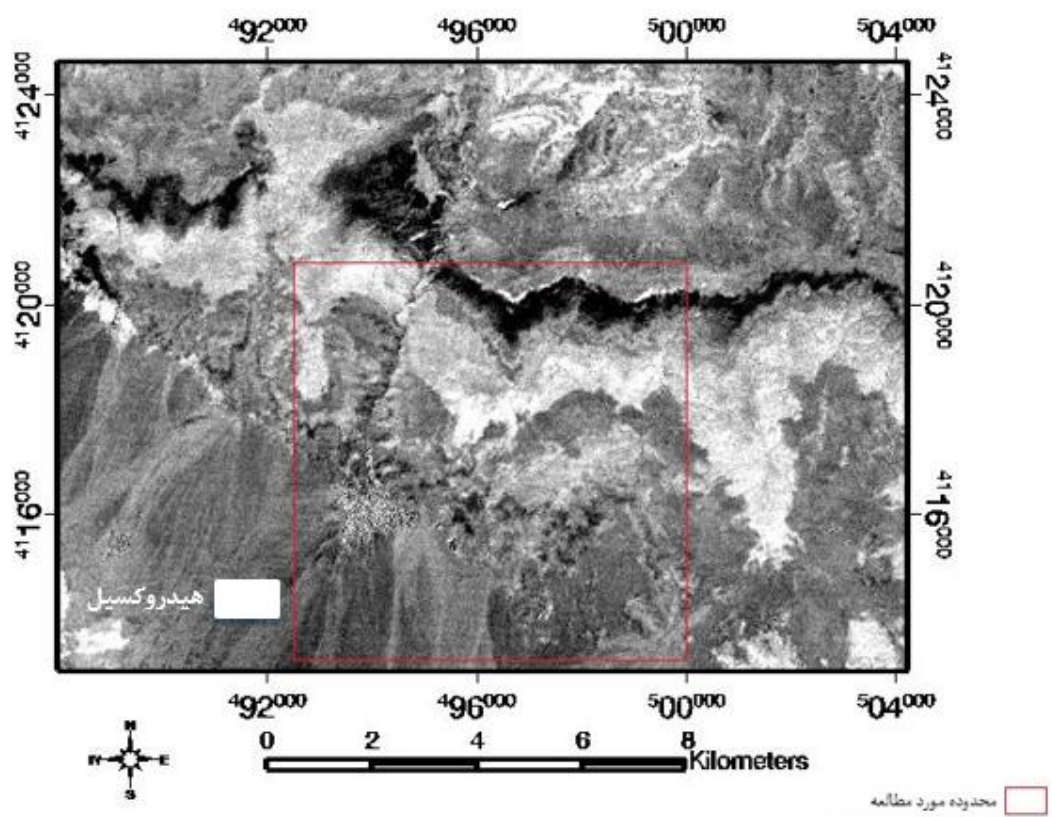
به خوبی دگرسانی‌های منطقه را به صورت تفکیک شده نشان داده است. با مقایسه نتایج حاصل از این ترکیب رنگی (شکل (۳-۶)) با نقشه زمین‌شناسی منطقه، می‌توان گفت که اغلب دگرسانی‌های منطقه از نوع پروپلیتیک است و در سنگ‌های آذرین بازالت و آندزیت بازالت رخمون دارد. همچنین مناطق دگرسانی آرژلیک نیز در میان رسوبات اردوئین و اکسیدهای آهن در میان نهشته‌های دونین دیده می‌شوند.

۳-۱۰-۲- آنالیز مؤلفه‌های اصلی (PCA)

به منظور به دست آوردن مؤلفه‌های مناسب جهت آشکارسازی دگرسانی‌های منطقه، از بردارهای ویژه ماتریس همبستگی که در جدول (۳-۲) آمده است استفاده شد. بهترین مؤلفه اصلی برای آشکارسازی دگرسانی حاوی کانی‌های هیدروکسیل (دگرسانی آرژیلیک و فیلیک) با توجه به خصوصیات طیفی انعکاسی این کانی‌ها، مؤلفه‌ای است که در باند ۴ و ۹ دارای بردار ویژه بالا با علامت‌های مخالف (انعکاس بالا در باند ۴ و جذب بالا در باند ۹) باشد. با توجه به مقادیر ویژه جدول (۳-۲) مناسب‌ترین مؤلفه برای بارزسازی این دگرسانی PC4 است. شکل (۳-۷) هیدروکسیل‌ها را با پیکسل‌های روشن نشان می‌دهد.

جدول (۳-۲): ماتریس مقادیر ویژه برای تحلیل مؤلفه‌های اصلی

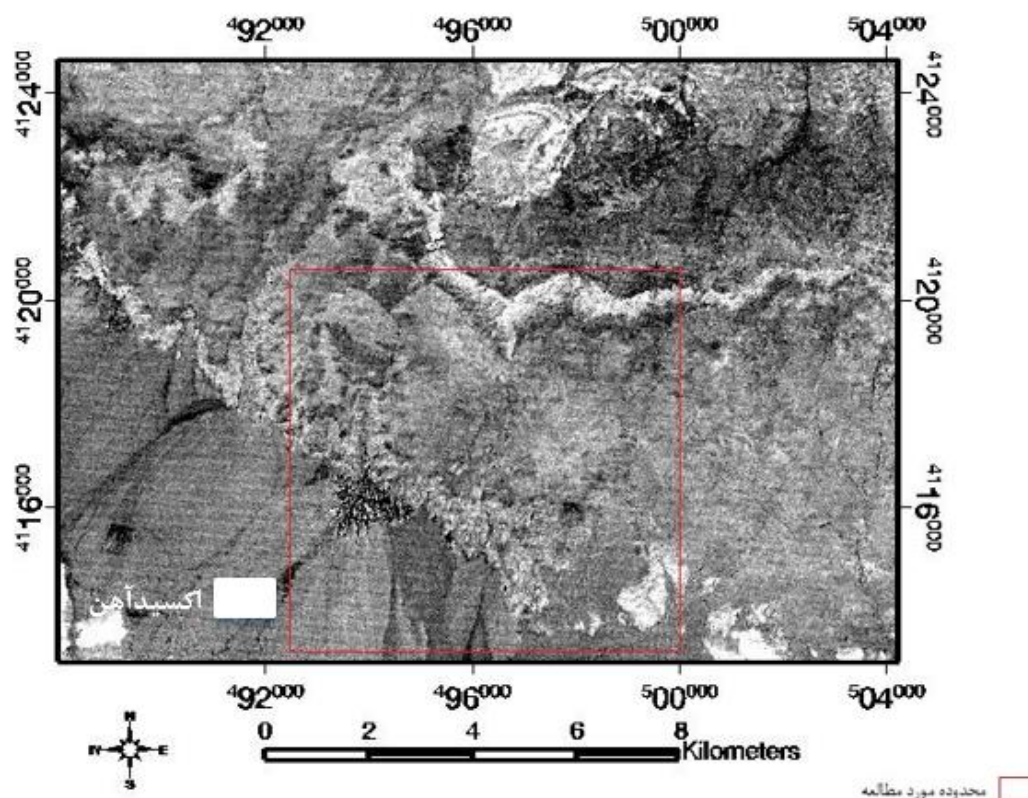
Eigenvector	Band 1	Band 2	Band 3	Band 4	Band 5	Band 6	Band 7	Band 8	Band 9
PC1	0.256558	0.348753	0.36406	0.427021	0.309946	0.341368	0.328466	0.298288	0.296983
PC2	0.602531	0.612656	0.065907	-0.38488	-0.11578	-0.15597	-0.20153	-0.14519	-0.09852
PC3	0.180422	0.05996	-0.87364	-0.11154	0.248995	0.21173	0.135394	0.150751	0.200677
PC4	0.333285	-0.05984	-0.22127	0.734424	0.01998	-0.11101	-0.16303	-0.31925	-0.39469
PC5	0.202679	-0.34913	0.188789	-0.20944	0.505573	0.398643	-0.33834	-0.4542	0.149137
PC6	-0.60081	0.601107	-0.1089	0.117375	0.073886	0.280454	-0.23352	-0.33577	-0.0261
PC7	0.035349	-0.0117	-0.05367	0.226388	-0.24561	-0.31967	-0.25191	-0.19758	0.824304
PC8	0.106803	-0.08859	-0.01701	0.078858	-0.47925	0.544968	-0.53188	0.404999	-0.02553
PC9	-0.11314	0.068146	0.015218	0.0509	0.526372	-0.4065	-0.53966	0.49316	-0.05469



شکل (۷-۳): تصویر PC4، هیدروکسیل‌ها با پیکسل‌های روشن بارز شده است.

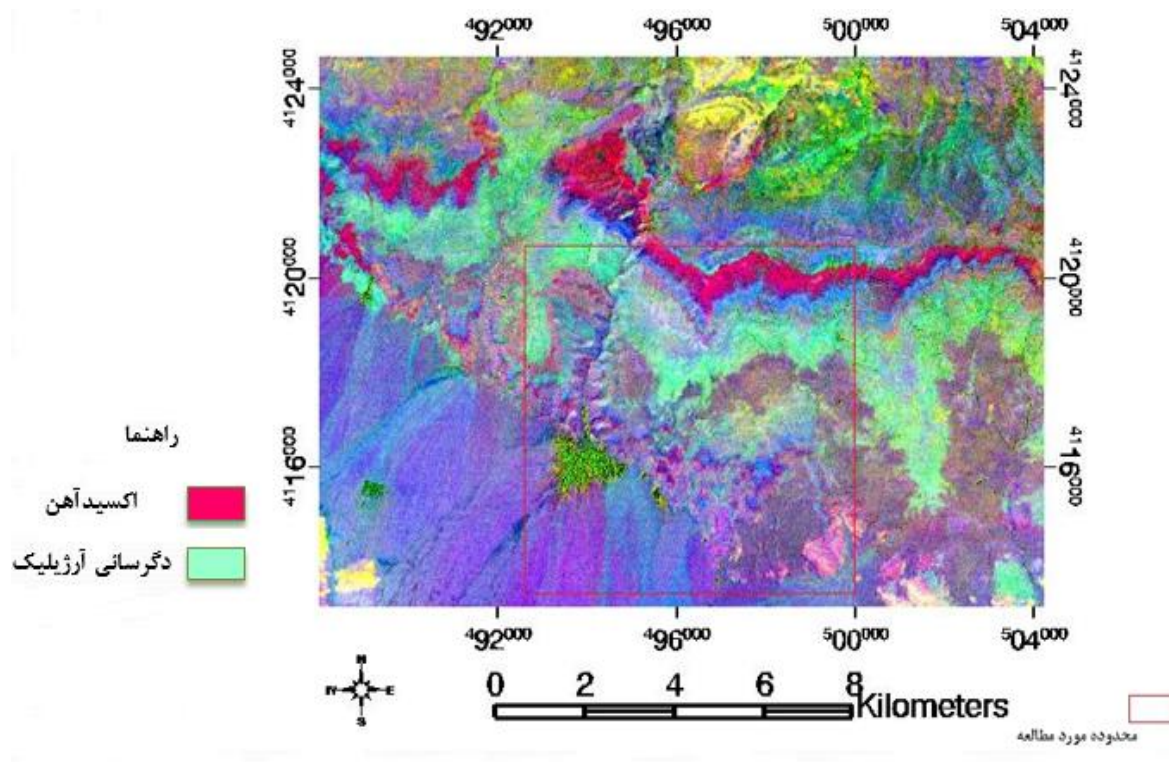
با دقت در شکل (۷-۳) می‌توان گفت که مؤلفه PC4 توانسته است هیدروکسیل‌ها (آرژلیک و فیلک) را به خوبی در منطقه آشکار کند. مقایسه نتایج حاصل از این مؤلفه با نقشه زمین‌شناسی منطقه نشان می‌دهد که این دگرسانی‌ها در رسوبات اردوئین رخمون دارند.

همچنین با توجه به مقادیر ویژه جدول (۲-۳)، بهترین مؤلفه برای آشکارسازی اکسیدهای آهن (به دلیل جذب کانی‌های اکسید آهن در ناحیه باند ۱ و تابش در ناحیه باند ۲)، PC6 است که در شکل (۸-۳) با پیکسل‌های روشن نشان داده شده است. این مؤلفه به خوبی توانسته است مناطق حاوی کانی‌های اکسیدهای آهن منطقه را بارز کند. با توجه به شکل (۸-۳) بیش‌تر اکسیدهای آهن در شمال منطقه و در بین نهشته‌های دونین که شامل شیل و ماسه‌سنگ است، رخمون دارند.



شکل (۳-۸): تصویر PC6، اکسیدهای آهن با پیکسل‌های روشن بارز شده‌اند.

همچنین نتایج حاصل از آنالیز مؤلفه‌های اصلی با استفاده از تصویر رنگی کاذب (PC6, RGB- (PC3, PC4 برای آشکارسازی دگرسانی‌های منطقه تفسیر شد (شکل (۳-۹)). در این تصویر مناطق حاوی کانی‌های شاخص هیدروکسیل به رنگ سبز روشن و اکسیدهای آهن نیز با رنگ صورتی متمایل به قرمز آشکار شده‌اند. نقشه دگرسانی حاصل از PCA با استفاده از ترکیب رنگی (PC6, PC4, RGB- (PC3 توانسته مناطق دارای دگرسانی را به صورت تفکیک شده نشان دهد.



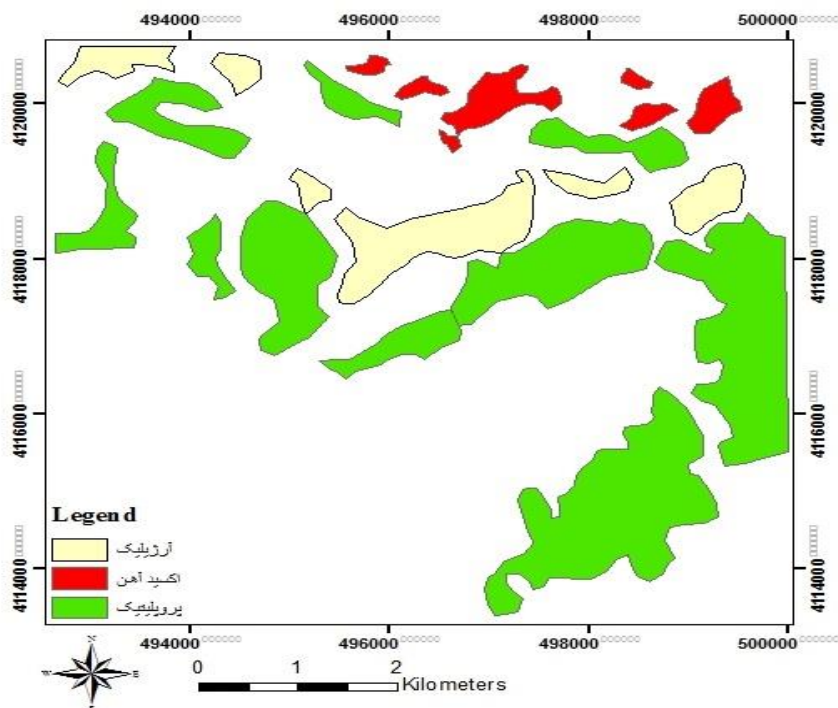
شکل (۳-۹): نقشه دگرسانی حاصل از PCA با استفاده از ترکیب رنگی (PC6, PC4, PC3) RGB-

نتایج به دست آمده از تکنیک‌های اعمال شده برای پردازش تصاویر ماهواره‌ای، نشان‌دهنده وجود الگویی از زون‌های دگرسانی در محدوده مورد مطالعه است. بهترین مؤلفه اصلی برای آشکارسازی هیدروکسیل‌ها PC4 و برای اکسیدهای آهن PC6 است. با مقایسه روش‌های اعمال شده جهت پردازش، روش نسبت باندی نتایج بهتری را نشان می‌دهد زیرا این روش علاوه بر دگرسانی آرژلیک و اکسید آهن، دگرسانی پروپلیتیک که محل مستعدی برای اکتشاف ذخایر فلزی است را نیز به خوبی بارز کرد. دگرسانی‌های آشکار شده با روش نسبت باندی با توجه به نقشه زمین‌شناسی و مشاهدات صحرایی نتایج مطلوبی را نشان داده است.

۳-۱۱- نتیجه‌گیری

پردازش تصاویر ماهواره‌ای سنجنده استر، با استفاده از روش‌های نسبت‌گیری باندی (B.R) و آنالیز مؤلفه‌های اصلی (PCA) منجر به بارزسازی دگرسانی‌های پروپلیتیک، آرژلیک، فلیک و اکسیدهای آهن در محدوده مطالعاتی شد. پردازش تصاویر ماهواره‌ای با روش‌های فوق در منطقه نشان داد که دگرسانی

غالب منطقه پروپلیتیک است و در سنگ‌های ولکانیکی بازالت و آندزیت بازالت رخمون دارد. همچنین اکسیدهای آهن در شمال منطقه و در میان نهشته‌های دونین و دگرسانی آرژلیک در میان رسوبات اردوئین دیده می‌شود. تفسیر مربوط به تصاویر حاصل از پردازش با توجه به نقشه زمین‌شناسی و بازدیدهای صحرایی، نتایج مطلوبی را ارائه داده است. نقشه رقومی شده دگرسانی‌های منطقه در شکل (۳-۱۰) نشان داده شده است.



شکل (۳-۱۰): نقشه رقومی دگرسانی‌های منطقه

فصل چہارم

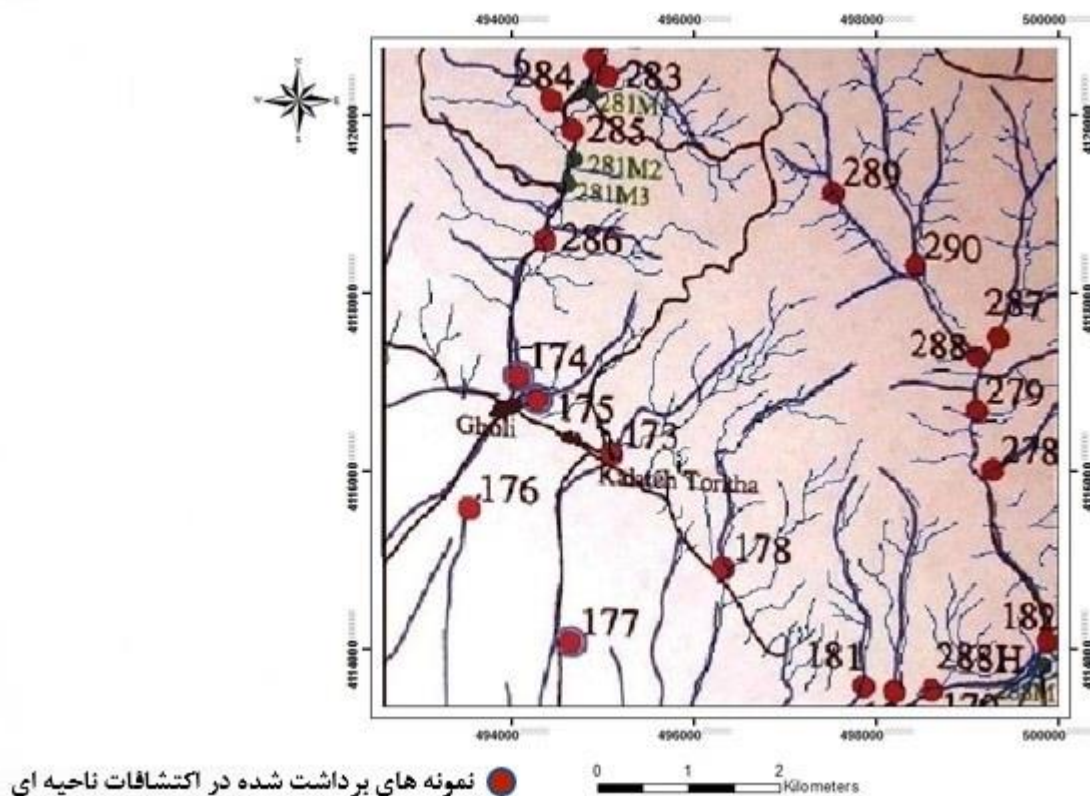
اکتشافات ژئوشیمیایی

روش اکتشافات رسوبات آبراهه‌ای متداول‌ترین شیوه اکتشافات ژئوشیمیایی است. رسوبات آبراهه‌ای منتج از خاک و واریزه‌های سنگی فرسایش یافته و دیگر مواد موجود در حوضه آبریز بالادست منطقه نمونه‌برداری هستند [Darnely, 1990]. در اثر هوازدگی، اکسیداسیون و سایر واکنش‌های شیمیایی بسیاری از کانی‌ها به ویژه انواع سولفوری، ناپایدار شده و تجزیه می‌شوند که با روش بررسی رسوبات آبراهه‌ای می‌توان آن‌ها را شناسایی کرد [حسنی‌پاک، ۱۳۸۳]. پراکندگی فلزات در رسوبات آبراهه‌ای اغلب به‌گونه‌ای است که در جهت حضور رخداد کانی‌ساز و یا هر پدیده‌ای که عامل ناهنجاری باشد، مقدار فلز با شیب نسبتاً ملایمی افزایش می‌یابد تا در محلی به حداکثر برسد. معمولاً این محل منطبق با موقعیتی است که آب‌های زیرزمینی غنی از فلز وارد حوضه آبریز شده و یا ذرات تخریبی کانه‌ها از رخنمون‌های سطحی وارد آبراهه می‌شوند. پس از عبور از این حد حداکثر غلظت فلز، در نتیجه شدت آنومالی با شیب تندی کاهش می‌یابد. با توجه به این حد حداکثر تعیین شده، می‌توان به تعیین محل دقیق‌تر آنومالی و نوع آن اقدام نمود. در مرحله کنترل ناهنجاری، هدف بررسی در جهت یافتن کانی-سازی‌های احتمالی، مسیر تراوش آب‌های زیرزمینی و یا امکان آلودگی و پدیده‌های مشابه است. به طور خلاصه پوشش وسیع یک نمونه، آسانی نمونه‌برداری و آماده‌سازی نمونه‌ها و وجود هاله‌های پراکندگی وسیع از امتیازات مثبت این روش می‌باشند [چاروسه، ۱۳۸۸].

در این فصل پس از بررسی اکتشافات ژئوشیمیایی ناحیه‌ای سنخواست و مشخص شدن ناهنجاری-های عناصر در کل ناحیه، به سراغ ناهنجاری‌های آهن و مس در منطقه مورد مطالعه رفته و آن‌ها را به صورت دقیق‌تر بررسی خواهیم کرد. برای این منظور یک شبکه نمونه‌برداری در منطقه مورد مطالعه طراحی و اجرا می‌گردد. پردازش داده‌ها با استفاده از روش تحلیل فاکتوری انجام خواهد شد و در نهایت نقشه آنومالی‌های آهن و مس در منطقه مورد مطالعه با استفاده از نتایج تحلیل فاکتوری رسم خواهد شد.

۲-۴- اکتشافات ژئوشیمیایی ناحیه‌ای

اکتشافات ژئوشیمیایی ناحیه‌ای منطقه سنخواست در قالب اکتشافات رسوبات رودخانه‌ای و کانی سنگین در محدوده برگه ۱:۱۰۰۰۰۰ در سال ۱۳۸۳ توسط سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور انجام شده است بر طبق این گزارش برای تعداد ۶۹۴ نمونه رسوبات رودخانه‌ای، آنالیز ۵۰ عنصری انجام شد و تعداد ۵۰ نمونه کانی‌های سنگین مورد مطالعه قرار گرفت. بر اساس گزارش ذکر شده حدود ۲۲ عنصر با اهمیت‌تر مشخص و به صورت نقشه‌های ژئوشیمیایی در گزارش ارائه شد. در شکل (۴-۱) موقعیت نمونه‌های برداشت شده توسط سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور در اکتشافات ناحیه‌ای سال ۱۳۸۳ از منطقه مورد مطالعه که در ورقه‌ی ۱:۱۰۰۰۰۰ سنخواست قرار دارد، نشان داده شده است.



شکل (۴-۱): موقعیت نمونه‌های برداشت شده در اکتشافات ناحیه‌ای از منطقه مورد مطالعه (سازمان

زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۱۳۸۳)

جهت بررسی پراکندگی عناصر مختلف در منطقه، نحوه توزیع ناهنجاری‌های عناصر آنالیز شده و همچنین شناسایی عناصری که دارای همپوشانی در ناهنجاری‌های درجه یک خود می‌باشند، اقدام به گروه‌بندی عناصر بر اساس نحوه پراکندگی و همپوشانی ناهنجاری‌های‌شان شد. بر این اساس عناصر آهن، مس، تیتانیوم، کبالت، سرب و روی در منطقه مورد بررسی، دارای پتانسیل بودند.

۴-۳- اکتشافات ژئوشیمیایی در مقیاس محلی

برای اکتشافات ژئوشیمیایی در یک منطقه لازم است که ژئوشیمی ناحیه‌ای مورد توجه قرار گیرد و پس از مشخص شدن ناهنجاری‌های ژئوشیمیایی عناصر در کل ناحیه، به سراغ ناهنجاری‌ها رفته و آن‌ها را به صورت دقیق‌تر بررسی کرد.

بررسی‌های صحرایی در منطقه انجام شد و با توجه به توپوگرافی و وضعیت زمین‌شناسی منطقه و همچنین بررسی‌های قبلی، به نظر می‌رسد کانی‌سازی فلزی مشاهده شده در منطقه مذکور بیشتر آهن باشد به همراه کانی‌هایی چون روی، سرب، مس و نقره. در قسمت‌های پایین و میانی توده بازالتی رگه-رگچه‌هایی حاوی مس، باریت، کلسیت و کوارتز حاوی کانه‌زایی کالکوپیریت، مالاکیت، پیریت، اسپکیولاریت در مناطقی از جمله دره گشاد با امتداد شرقی- غربی مشاهده شد. با نزدیک شدن به سطح زمین (زون اکسیدان)، هماتیت و مگنتیت در زمینه سنگ درصد بیشتری را به خود اختصاص داده است. شواهدی از کانه‌زایی آهن و مس در منطقه مورد مطالعه در شکل‌های (۴-۲) و (۴-۳) نشان داده شده است.



شکل (۴-۲): شواهد کانه زایی آهن در منطقه : الف) عدسی آهکی موجود در سنگهای آتشفشانی که

میزبان کانه زایی آهن می باشد، ب) رگه های هماتیتی موجود در سنگ کربناتی، ج) سنگهای آتشفشانی

میزبان کانه زایی آهن، د) رگه اولیژیستی موجود در سنگ آتشفشانی

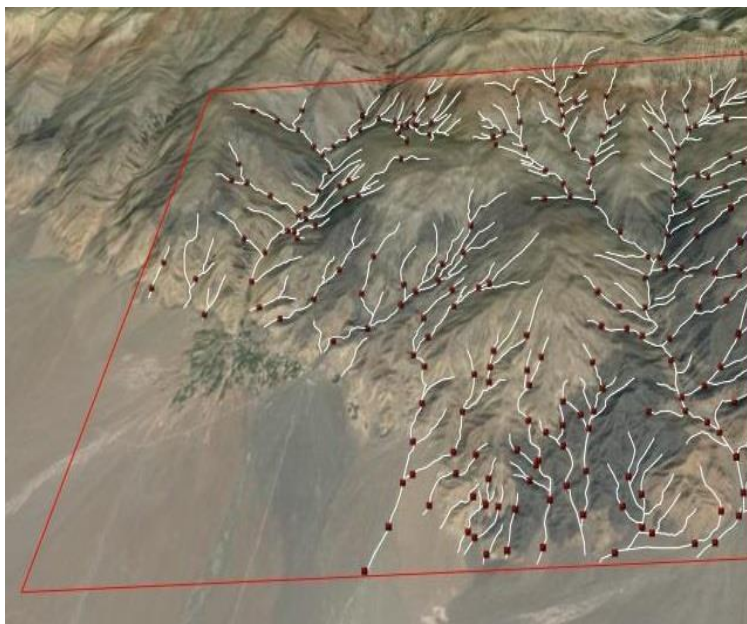


شکل (۳-۴): شواهد کانه زایی مس در منطقه: الف، ب) لایه آهکی میزبان در داخل سنگهای آتشفشانی، ج) تماس سنگهای آتشفشانی با سنگ آهکی میزبان، د) وجود کالکوپیریت در داخل سنگها، ه) رخداد پیریت و کلسیت بصورت شکافه پرکن در سنگهای آتشفشانی، و) رخداد پیریت دانه ریز در شیل‌های سیاه به منظور بررسی و تعیین محل‌های کانی‌سازی با توجه به کوهستانی بودن و گستردگی منطقه مورد اکتشاف و همچنین توپوگرافی شدید و دره‌های گسترده از روش ژئوشیمی آبراهه‌ای استفاده شد.

۴-۴- طراحی شبکه بهینه نمونه برداری از رسوبات آبراهه‌ای

یکی از مراحل مهم و اساسی هر فاز اکتشافی طراحی نقاط نمونه برداری است که بایستی با دقت کافی و با توجه به اهداف اکتشافی صورت پذیرد. در این طراحی موارد مختلفی مد نظر قرار می‌گیرد که برخی از این موارد عبارتند از:

- ۱- چگونگی و وسعت گسترش زون‌های آنومالی عناصر مورد بررسی با استفاده از نتایج کارهای قبلی و کارهای مشابه در نواحی دیگر
 - ۲- مشاهده آثار کانی‌سازی سطحی
 - ۳- نواحی اطراف گسل‌ها
 - ۴- محدوده گسترش زون‌های دگرسانی سطحی
 - ۵- حضور واحدهای موجود در منطقه و توجه بیشتر به واحدهای پتانسیل‌دار
 - ۶- نواحی دارای توده‌های آذرین به‌ویژه انواع نفوذی و نیمه‌آتشفشانی
 - ۷- پراکندگی واحدهای میزبان مناسب مانند دولومیت‌ها و یا واحدهای ولکانیکی میزبان توده‌های نفوذی [چاروسه، ۱۳۸۸].
- در منطقه مورد مطالعه بر اساس لایه‌های زمین‌شناسی، ساختاری، توپوگرافی و دگرسانی، شبکه نمونه برداری با فواصل ۲۵۰ تا ۵۰۰ متر طراحی و پیاده‌سازی گردید (شکل (۴-۴)).



شکل (۴-۴): شبکه نمونه برداری طراحی شده

۴-۵- نمونه برداری، آماده سازی و تجزیه نمونه ها

قبل از انجام نمونه برداری در هر منطقه ای، باید اهدافی به شرح زیر مورد توجه قرار گیرد [Grigorian, 1985].

۱- تخمین بهترین اندازه رسوبات برای نمونه برداری از خاک، به طوری که مناطق کانی سازی به بهترین نحو شناسایی شوند.

۲- تعیین میزان محدوده پراکندگی رسوبات از یک کانی سازی شناخته شده به منظور به دست آوردن فاصله بهینه نمونه برداری

۳- اثبات وجود تفاوت بین اندازه بهینه نمونه های ژئوشیمیایی در مناطق کوهستانی با ارتفاع زیاد و مناطق دشت با ارتفاع کم

۴- حضور ماسه بادی ها به عنوان مزاحم در نمونه ها

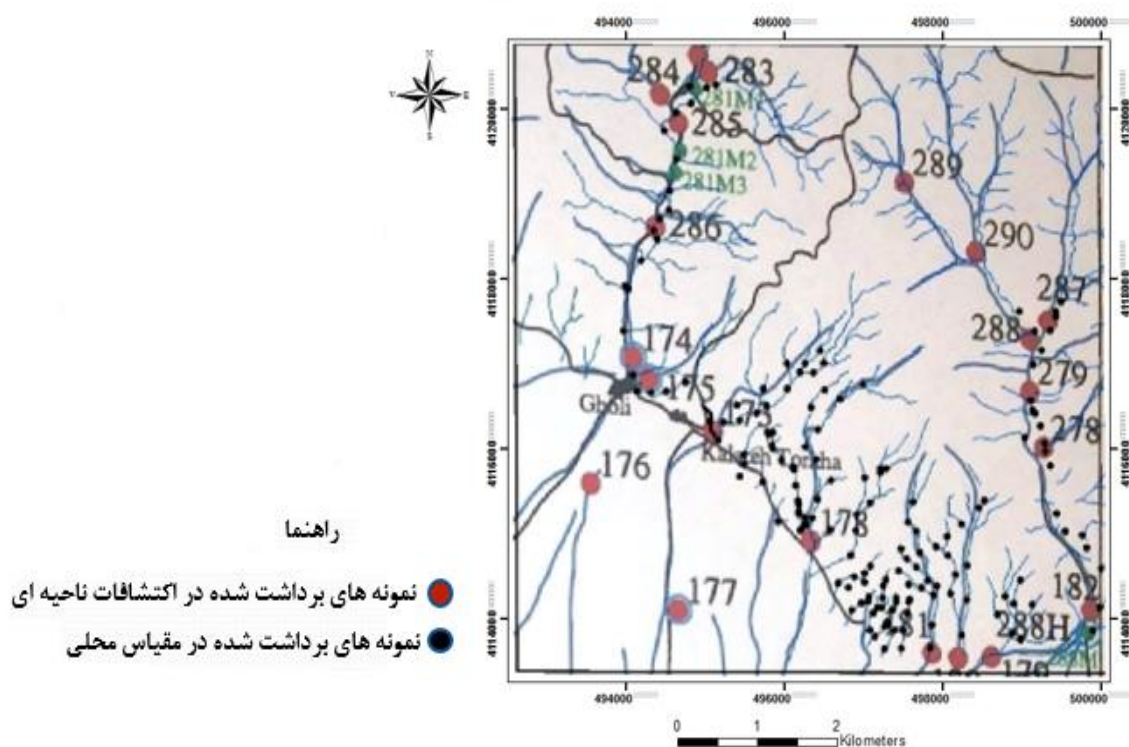
با انتخاب بهینه ذرات، می توان این آلودگی ها را به حداقل کاهش داد که خود باعث شدت بخشی آنومالی های ژئوشیمیایی می شود.

با در نظر گرفتن شرایط زمین‌شناسی و توپوگرافی منطقه مورد مطالعه، تعداد ۱۶۷ نمونه رسوبات آبراهه‌ای با الک ۴۰ مش برداشت شد (شکل ۴-۵). این نمونه‌ها به‌ویژه از نقاطی برداشت شده که آبراهه‌ها توده‌های بازالت و آندزیت بازالت را قطع کرده باشند. خطای سیستماتیک و تصادفی عملیات نمونه‌برداری توسط نمونه‌های تکراری برداشت شده از دو تیم متفاوت در یک حوضه آبریز محاسبه و نتایج مطلوب حاصل شد. نمونه‌های برداشت شده از اندازه ۴۰ مش به ۲۰۰ مش خردایش شد و برای تجزیه ۳۶ عنصری به آزمایشگاه زراآرما ارسال گردید.



شکل (۴-۵): نمونه‌های برداشت شده از منطقه مورد مطالعه

به منظور مقایسه کار انجام شده و نمونه‌برداری‌های قبلی، موقعیت نمونه‌های برداشت شده در مقیاس محلی (نقاط سیاه‌رنگ) و اکتشافات ناحیه‌ای (نقاط قرمز رنگ) در شکل (۴-۶) نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود برداشت‌ها در رودخانه اصلی و فرعی در فواصل ۲۵۰ تا ۵۰۰ متری انجام شده است.



شکل (۴-۶): موقعیت نمونه‌های برداشت شده در مقیاس محلی و ناحیه‌ای

۴-۶- پردازش مقدماتی داده‌های ژئوشیمیایی

پس از دریافت نتایج آنالیز نمونه‌ها، لازم است پردازش مقدماتی روی داده‌ها صورت گیرد. این مرحله فاز مستقلی را در بین مراحل گوناگون عملیات اکتشافی تشکیل می‌دهد و چنانچه پردازش مقدماتی داده‌ها به طریق مناسبی صورت گیرد موجب تسهیل در فاز تحلیل داده‌ها خواهد شد. لذا این فاز یکی از مهم‌ترین مراحل در کاربرد موفقیت آمیز ژئوشیمی اکتشافی می‌باشد. پردازش مقدماتی داده‌های ژئوشیمیایی شامل مراحل است که در ذیل به شرح این مراحل می‌پردازیم:

۴-۶-۱- محاسبه‌ی خطای آنالیز

برای محاسبه‌ی خطای آنالیز معمولاً در مرحله‌ی آماده‌سازی نمونه‌ها باید نمونه‌های تکراری تهیه گردد و سپس به همراه بقیه نمونه‌ها برای آنالیز به آزمایشگاه ارسال گردد. از روی آنالیز به‌دست آمده

برای نمونه‌های تکراری می‌توان با استفاده از رابطه زیر مقدار خطای آنالیز را به دست آورد. قابل ذکر است که مقدار خطای آنالیز برای هر عنصر به صورت جداگانه باید با رابطه (۴-۱) محاسبه گردد.

$$e_i = \frac{2}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|x_i - y_i|}{x_i + y_i} \quad (4-1)$$

که در این رابطه، e : مقدار خطای آنالیز، n : تعداد نمونه‌های تکراری و x, y : مقادیر اندازه‌گیری شده در نمونه‌های تکراری است. حال چنانچه میزان خطای محاسبه‌شده کمتر از میزان خطای مجاز باشد در این صورت می‌توان گفت که نتایج آنالیز قابل قبول است. لازم به ذکر است که میزان خطای مجاز بین ۱۰ تا ۱۵ درصد می‌باشد.

پس از برداشت نمونه‌ها از منطقه مورد مطالعه، برای کنترل دقت آنالیزها و پی‌بردن به کیفیت تکرارپذیری آن‌ها، نمونه‌های تکراری برای آنالیز فرستاده شد. میزان خطای آنالیز محاسبه‌شده برای عناصر در منطقه مورد مطالعه، کمتر از میزان خطای مجاز بود به عبارتی نتایج آنالیز قابل قبول است.

۴-۶-۲- تصحیح مقادیر سنسورد

در صورتی که از نتایج آنالیز مقادیری کوچک‌تر از حد حساسیت ($<$) و یا بزرگ‌تر از حد حساسیت ($>$) دستگاه گزارش شود، چنین مقادیری را مقادیر سنسورد می‌گویند. یعنی مقادیری که به دلیل حد حساسیت دستگاه، دستگاه قادر به خواندن مقادیر غلظت واقعی در نمونه نبوده است لذا به منظور انجام تحلیل آماری بر روی داده‌ها، این مقادیر را باید تصحیح کنیم. اگر مقادیر سنسورد تخمین زده شوند و جایگزین گردند مقدار زمینه و شدت آنومالی‌ها دقیق‌تر محاسبه خواهد شد.

روش‌های مختلفی برای تخمین مقادیر سنسورد وجود دارد که عبارتند:

۱- روش بیشترین احتمال‌پذیری کوهن^{۱۴}

14- Cohen Maximum Likelihood

این روش زمانی استفاده می‌شود که تعداد داده‌های سنسورد بیش از ۱۰ درصد کل داده‌ها باشد. ایده اصلی این روش آن است که مقادیر سنسورد به وسیله‌ی میانگین مقادیری که به دلیل محدودیت دستگاه‌های اندازه‌گیری به صورت خارج از محدوده آشکارسازی گزارش شده‌اند، جایگزین گردد. در این روش بر اساس داده‌های عددی و معلوم، میانگین جامعه کل، اعم از مقادیر داخل و خارج از حدود آشکارسازی، تخمین زده می‌شود و سپس از روی آن میانگین جامعه‌ی مقادیر خارج از حدود آشکارسازی محاسبه می‌شود. در نهایت مقادیر سنسورد با میانگین به‌دست آمده برای آن‌ها جایگزین می‌شود. در این روش فرض می‌شود که داده‌ها توزیع نرمال دارند. اگر این فرض برقرار نباشد، باید با استفاده از یکی از روش‌های تبدیل، توزیع داده‌ها را نرمال کرد. میانگین جامعه‌ی کل داده‌ها به صورت رابطه (۲-۴) تخمین زده می‌شود [حسنی‌پاک و شرف‌الدین، ۱۳۹۰].

$$\bar{x}_t = \bar{x}_u - \lambda(\bar{x}_u - \bar{x}_0) \quad (2-4)$$

که در این رابطه $\bar{x}_t$: میانگین جامعه کل داده‌ها، $\bar{x}_u$: میانگین جامعه داده‌های داخل حدود آشکارسازی، $\bar{x}_0$: حد حساسیت دستگاه اندازه‌گیری یا مرز پایینی حد حساسیت و λ : یک تابع کمکی است که بر اساس حداکثر درست‌نمایی کوهن تعیین می‌شود.

۲- روش نصف مقدار سنسورد برای داده‌های کوچک‌تر از حد حساسیت (<) و ۱,۵ برابر برای داده‌های بزرگ‌تر از حد حساسیت دستگاه (>)

۳- روش جایگزینی ساده

در این روش مقادیر کم‌تر از حد حساسیت (<) را در عدد $\frac{3}{4}$ حد سنسورد و مقادیر بیش‌تر از حد حساسیت (>) را

در عدد $\frac{4}{3}$ ضرب نموده و جایگزین می‌کنیم. موقعی می‌توان از این روش استفاده کرد که تعداد داده‌های سنسورد

در مقابل کل داده‌ها کم‌تر از ۱۰ درصد باشد [حسنی‌پاک و شرف‌الدین، ۱۳۹۰].

با توجه به نتایج آنالیز نمونه‌های ارسال شده از منطقه مورد مطالعه، عناصر Al، Mg و U دارای مقادیر سنسورد بودند. با توجه به اینکه تعداد داده‌های سنسورد عنصر Al کمتر از ۱۰ درصد کل داده‌ها بود با روش جایگزینی ساده، تصحیح مقادیر سنسورد انجام شد. همچنین به دلیل اینکه بیش از ۹۰ درصد نمونه‌های آنالیز شده برای عنصر Mg و ۱۰۰ درصد برای عنصر U، مقادیر سنسورد بودند از مسیر پردازش حذف گردیدند.

۴-۶-۳- پارامترهای آماری داده‌های خام

به منظور شناخت ماهیت تابع توزیع مربوط به تک تک عناصر پارامترهای آماری داده‌های خام نظیر میانگین، میانه، انحراف معیار، واریانس، چولگی، کشیدگی و مقادیر مینیمم و ماکزیمم داده‌ها محاسبه شد (جدول (۴-۱)).

جدول (۴-۱): پارامترهای آماری داده‌های خام

	Mean	Median	Std. Deviation	Variance	Skewness	Kurtosis	Minimum	Maximum
Ag	0.34	0.34	0.042	0.002	0.112	0.12	0.23	0.46
Al	76900	76800	12260	150200000	0.904	4.403	47023	133333.3
As	9.37	9.2	2.947	8.685	0.201	-0.201	2.6	18.1
Cd	0.26	0.25	0.024	0.001	0.605	0.394	0.2	0.33
Ce	72.07	72	10.391	107.97	-0.096	-0.184	45	99
Co	29.45	28	11.28	127.243	0.358	-0.967	10	56
Cr	175.4	169	88.759	7878	0.567	-0.333	48	441
Cu	31.17	29	22.165	491.284	9.217	103.313	12	283
Fe	54300	51400	17580	309200000	0.336	-0.921	23318	99136
K	22900	22500	4088	16710000	0.318	-0.304	13651	34017
Li	51.94	51	10.122	102.45	1.09	2.844	32	100
Mn	717.82	687.5	219.13	48020	0.708	0.713	298	1617
Mo	1.04	1	0.207	0.043	1.621	3.73	0.71	1.94
Ni	94.2	90.5	46.601	2172	0.385	-0.702	24	226
Pb	29.48	28	12.137	147.318	0.598	0.094	6	74
S	666.75	222.5	1800	3240000	5.92	38.223	93	13943
Sb	1.15	1.13	0.103	0.011	0.326	-0.061	0.93	1.43
Sr	277.3	192	312.731	97800	5.716	38.527	121	2718
Th	20.38	18.6	13.118	172.074	10.511	123.913	12.9	176.2
Ti	7503.8	6991	2618	6853000	0.38	-0.714	2831	14161
V	114.75	110.5	27.455	753.759	0.408	0.151	54	217
Zn	120.26	116.5	53.6	2873	0.812	0.409	28	294
Zr	110.64	114	23.565	555.299	-0.064	-0.377	57	166

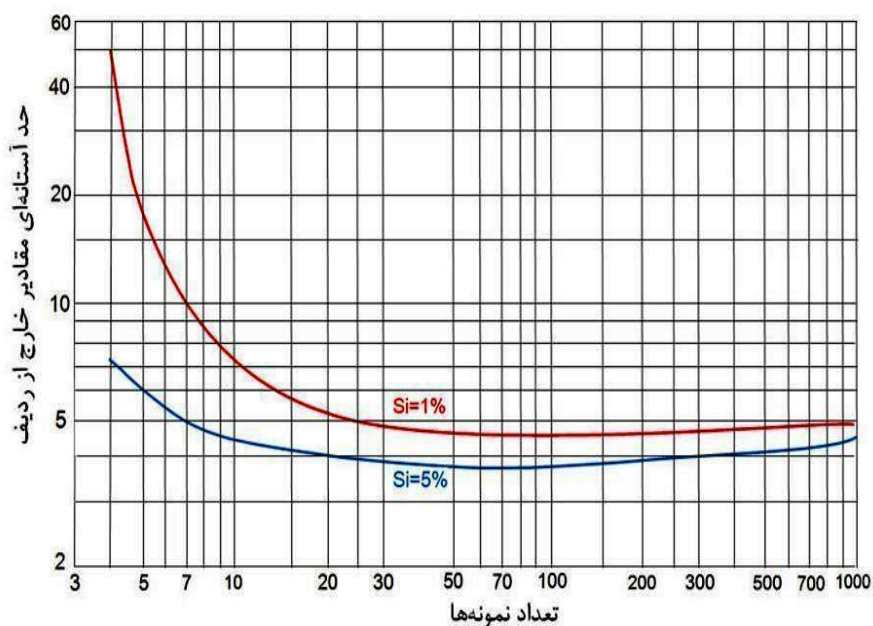
۴-۶-۴- جایگزینی مقادیر خارج از ردیف

منظور از مقادیر خارج از ردیف مقادیری هستند که به طور غیرعادی یا ناهنجار تغییر می‌کند. در مباحث آماری به مقادیری که به طور معناداری نسبت به سایر مقادیر اختلاف دارند مقادیر خارج از ردیف می‌گویند. این مقادیر گاهی به دلیل وجود خطاهای تجربی مانند خطای آنالیز در داده‌ها وارد می‌شوند و گاهی هم به دلیل ناهمگنی‌های موجود در جامعه داده‌های اکتشافی بروز می‌کند.

مقادیر خارج از ردیف موجود در تابع توزیع عناصر یا باید حذف گردند و یا تصحیح شوند. با توجه به اینکه حذف این مقادیر جایز نبوده و مخصوصاً در مورد مقادیر با عیار بالا، باعث از بین رفتن مناطق آنومال می‌گردد، لازم است این مقادیر با یک مقدار مناسب جایگزین شوند. از جمله روش‌های شناخته شده به منظور تصحیح مقادیر خارج از ردیف، می‌توان به روش‌هایی مانند استفاده از نمودار احتمال، نمودار دورفل، نمودار باکس پلات (Boxplot) و روش فانوپ اشاره کرد [اصلائی، ۱۳۹۴].

در این مطالعه، به منظور جایگزینی مقادیر خارج از ردیف، از نمودار دورفل و باکس پلات (Boxplot) استفاده شده است. نمودار دورفل به منظور تعیین حد آستانه‌ای مقادیر خارج از ردیف در دو سطح اعتماد ۹۵ و ۹۹ درصد، در شکل (۷-۴) نشان داده شده است که در کارهای اکتشافی معمولاً از سطح اعتماد ۹۵ درصد استفاده می‌شود.

برای استفاده از نمودار دورفل ابتدا محل تقاطع تعداد نمونه‌ها با سطح اعتماد موردنظر را پیدا می‌کنیم سپس نقطه تقاطع را به محور عمودی وصل می‌کنیم و حدآستانه را قرائت می‌کنیم.



شکل (۷-۴): نمودار دورفل به منظور شناسایی مقادیر خارج از ردیف (لوینسون، ۱۹۸۰)

برای شناسایی مقادیر خارج از ردیف، میانگین ($\bar{X}$) و انحراف معیار (S) بدون در نظر گرفتن مقدار داده‌ها محاسبه می‌شود. سپس بزرگ‌ترین مقدار داده‌ها (X_A)، در صورتی که در رابطه زیر صدق کند یک مقدار خارج از ردیف در نظر گرفته می‌شود.

$$X_A \geq \bar{X} + S \cdot g \quad (۳-۴)$$

در رابطه فوق g حد آستانه‌ای مقادیر خارج از ردیف است و از نمودار دورفل محاسبه می‌شود.

در این تحقیق، بر اساس تعداد نمونه‌ها (۱۶۷ نمونه) و سطح اعتماد ۹۵ درصد، مقدار g برابر ۳٫۹ محاسبه شد و با استفاده از رابطه‌ی (۳-۴) مقادیر خارج از ردیف بدست آمد. این مقادیر با بزرگ‌ترین مقدار داده در بین نمونه‌های هر عنصر که مقدار خارج از ردیف نبوده، جایگزین گردید. مقادیر خارج از ردیف عناصر و مقادیر جایگزین‌شده در جدول (۲-۴) مشاهده می‌شود.

جدول (۴-۲): مقادیر خارج از ردیف عناصر و مقادیر جایگزین شده

مقادیر تصحیح شده	مقادیر خارج از ردیف	عنصر
99747	133333.3	Al
78	283	Cu
77	100	Li
1205	1617	Mn
1.75	1.94	Mo
6295	13943, 13935, 8611	S
1271	2516, 2718	Sr
50.4	176.2	Th

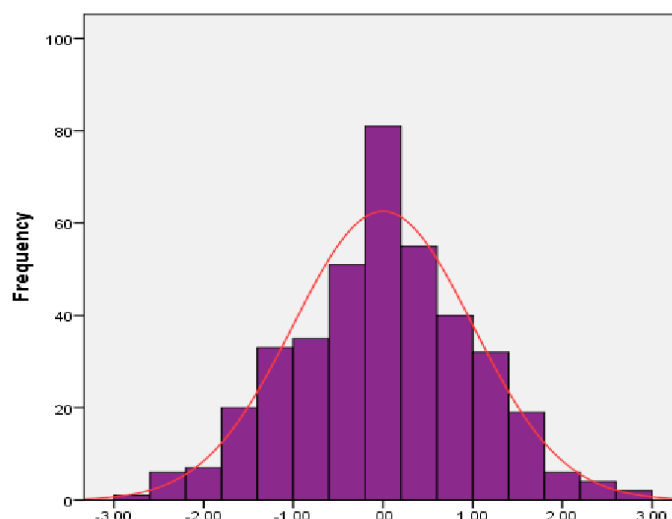
۴-۶-۵- نرمال سازی داده‌ها

از آن‌جا که تمامی روش‌های آماری فرض نرمال بودن توزیع داده‌ها را به همراه دارد لذا باید بررسی نمود که توزیع داده‌ها نرمال است یا خیر. که برای این منظور می‌توان از روش‌های عددی (مقادیر چولگی^{۱۵} و کشیدگی^{۱۶}) و همچنین روش‌های گرافیکی یعنی نمودارهای هیستوگرام فراوانی و QQPlot استفاده کرد.

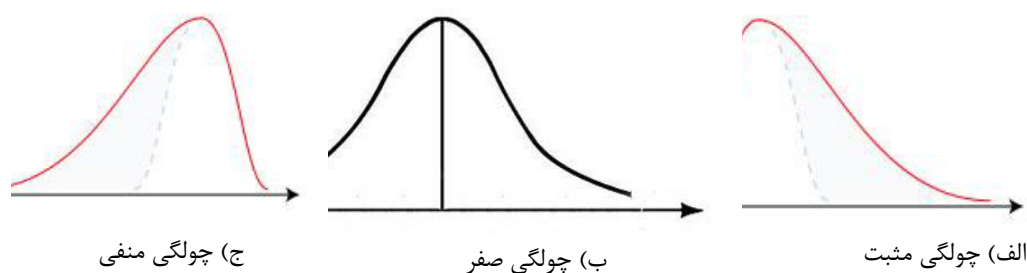
نمودار هیستوگرام فراوانی در صورتی که توزیع داده‌ها نرمال باشد به صورت شکل (۴-۸) است. چولگی معیاری از تقارن یا عدم تقارن تابع توزیع است. این معیار برای یک توزیع متقارن (نرمال) برابر صفر و برای یک توزیع نامتقارن (غیرنرمال)، مثبت یا منفی است. انواع حالات چولگی در شکل (۴-۹) نشان داده شده است. همچنین کشیدگی نشان‌دهنده‌ی ارتفاع یک توزیع یا به عبارتی دیگر کشیدگی معیاری از بلندی منحنی در نقطه ماکزیمم است. مقدار این معیار برای توزیع نرمال برابر ۳ است.

15- Skewness

16- Kurtosis

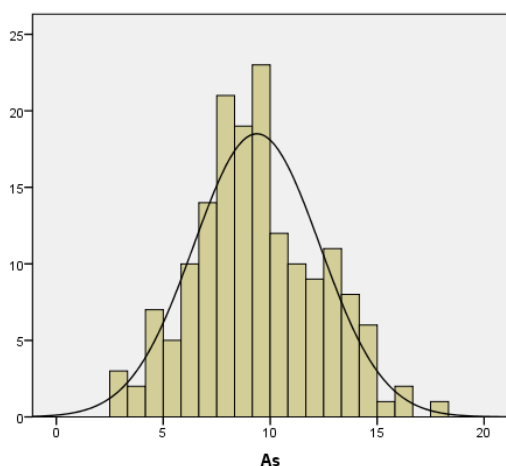


شکل (۴-۸): نمودار هیستوگرام توزیع نرمال

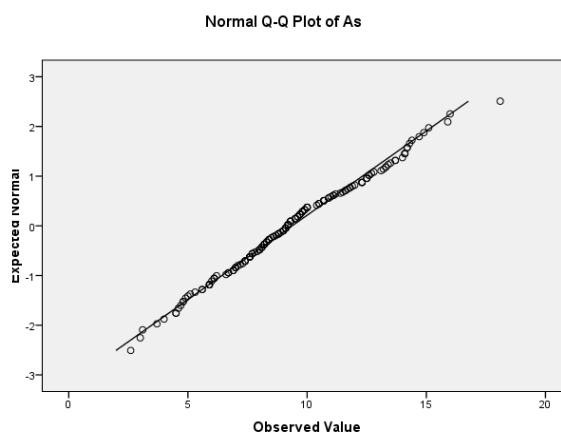


شکل (۴-۹): انواع حالات چولگی

در این تحقیق پس از محاسبه پارامترهای آماری داده‌ها، در جهت شناسایی ترتیب قرارگیری داده‌ها در کنار هم و بررسی توابع توزیع، نمودارهای هیستوگرام و QQPlot داده‌ها رسم شد. تابع زنگی شکل در نمودار هیستوگرام و تمرکز داده‌ها روی خط راست در نمودار QQPlot نشان‌دهنده‌ی توزیع نرمال است. نتایج به دست آمده از این نمودارها و بررسی مقادیر چولگی و کشیدگی داده‌ها برای عناصر مختلف نشان داد که عناصر Cu, Cr, S, Sr, Th دارای توزیع غیرنرمال هستند و سایر عناصر توزیع نرمال یا نزدیک به نرمال دارند. نمودارهای هیستوگرام و QQPlot برای دو عنصر As دارای توزیع نرمال و Sr دارای توزیع غیرنرمال در شکل‌های (۴-۱۰) و (۴-۱۱) نشان داده شده است.

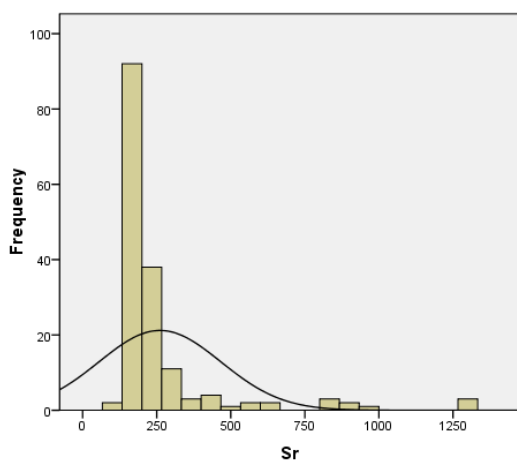


الف) نمودار هیستوگرام عنصر As

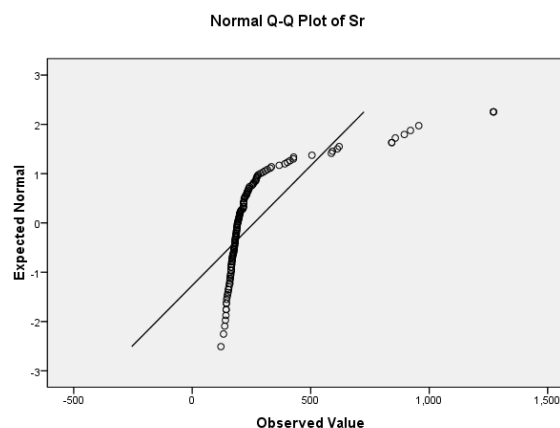


ب) نمودار QQPlot

شکل (۴-۱۰): نمودارهای هیستوگرام و QQPlot عنصر As



الف) نمودار هیستوگرام عنصر Sr



ب) نمودار QQPlot

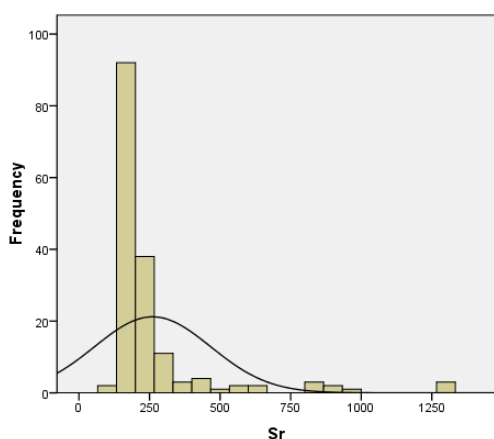
شکل (۴-۱۱): نمودارهای هیستوگرام و QQPlot عنصر Sr

عناصری که دارای توزیع غیرنرمال هستند بایستی جهت نرمال سازی مورد بررسی قرار گیرند. روش های مختلفی جهت نرمال سازی داده های ژئوشیمیایی وجود دارد که می توان به تبدیل لگاریتمی، تبدیل لگاریتمی سه پارامتری و تبدیل کاکس- باکس اشاره کرد. در این تحقیق جهت نرمال سازی داده ها از روش تبدیل لگاریتمی سه پارامتری استفاده شده است. این روش به صورت زیر تعریف می شود:

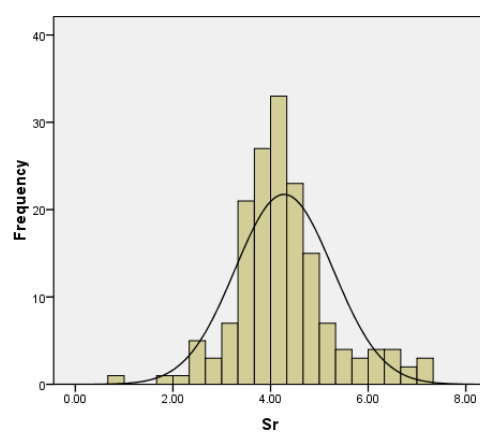
$$P(x) = \ln(ax \pm b) \quad (4-4)$$

که در رابطه فوق مقدار a یک در نظر گرفته می‌شود و تنها برای b با توجه به چولگی، یک مقدار مثبت یا منفی تعیین می‌شود.

با استفاده از روش تبدیل لگاریتمی سه پارامتری، عناصری که دارای توزیع غیر نرمال بودند نرمال شدند. برای نمونه نمودارهیستوگرام عناصر Sr و Th قبل و بعد از نرمال‌سازی در شکل‌های (۴-۱۲) و (۴-۱۳) نشان داده شده است.

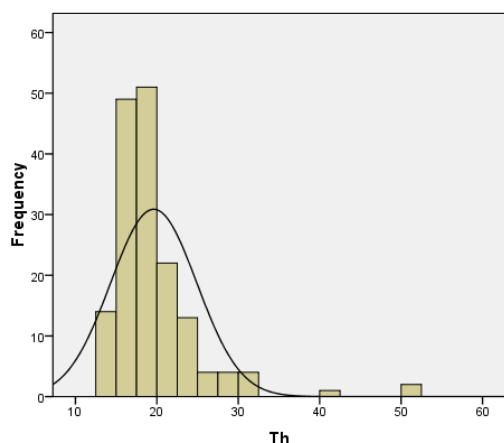


الف) قبل از نرمال‌سازی

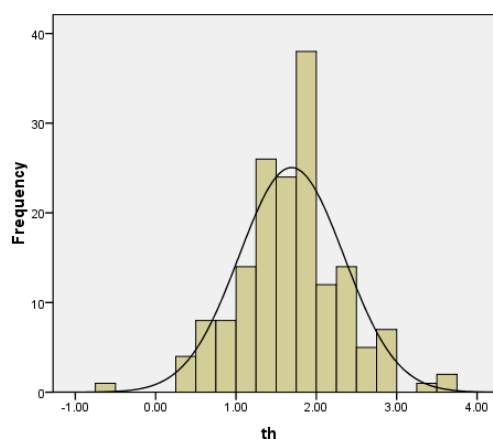


ب) بعد از نرمال‌سازی

شکل (۴-۱۲): نمودارهیستوگرام عنصر Sr



الف) قبل از نرمال سازی



ب) بعد از نرمال سازی

شکل (۴-۱۳): نمودار هیستوگرام عنصر Th

با توجه به اینکه همه‌ی داده‌های ژئوشیمیایی نرمال شدند می‌توان عملیات پردازش را روی داده‌ها انجام داد.

۴-۷- پردازش داده‌ها

روش‌های مختلفی از قبیل بررسی آماری چند متغیره و روش هوشمند جهت پردازش داده‌های ژئوشیمیایی وجود دارد. تجربه نشان داده است که اگر ترکیبی از مقادیر یک گروه از عناصر معرف، به جای یک عنصر خاص بکار گرفته شود، هاله‌های ژئوشیمیایی در اطراف توده‌های کانساری بهتر مشخص می‌شوند و اثرات خطاهای تصادفی در آن‌ها به حداقل می‌رسد. به طور کلی دو مزیت عمده در بررسی‌های آماری چند متغیره وجود دارد. اول آنکه هاله‌های مرکبی که از روش‌های آماری چند متغیره به دست می‌آید، نسبت به سیمای زمین‌شناسی و ماهیت ژنتیکی نهشته‌های کانساری رابطه نزدیک‌تری را نشان می‌دهد و در نتیجه ارتباط بین عناصر بهتر مشخص می‌شود. دوم آنکه به وسیله هاله‌های مرکب می‌توان خطاهای تصادفی، تعداد داده‌ها و نقشه‌ها را به حداقل رسانده و به نتایج کارآمدتری دست یافت [عباس-زاده، ۱۳۹۲].

روش‌های متداول در آمار چند متغیره شامل روش تحلیل مؤلفه اصلی (PCA)، تحلیل فاکتوری (FA)، تحلیل خوشه‌ای، رگرسیون چندگانه، تحلیل ویژگی و تحلیل تفریقی است. روش تحلیل فاکتوری و تحلیل تفریقی بر اساس تحلیل مؤلفه اصلی صورت می‌گیرد [حسنی‌پاک و شرف‌الدین، ۱۳۹۰]. در این تحقیق از روش تحلیل فاکتوری استفاده شده است.

۴-۷-۱- تحلیل فاکتوری

تجزیه و تحلیل فاکتوری^{۱۷} یکی از روش‌های تحلیل چندمتغیره در آمار است که با تحلیل ماتریس واریانس کواریانس سعی در کاهش ابعاد انبوهی از متغیرهای دیگر در مسئله و متعاقباً توضیح و تفسیر بهتری از تغییرپذیری دارد [آیزدپناه و همکاران، ۱۳۹۲]. این روش بر اساس روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA) استوار است و برای تعیین تاثیرگذارترین متغیرها در زمانی که تعداد متغیرهای مورد بررسی زیاد و ارتباط بین آن‌ها ناشناخته باشد، استفاده می‌شود. در این روش متغیرها در عامل‌هایی قرار می‌گیرند به طوری که از عامل اول به عامل‌های بعدی درصد واریانس کاهش می‌یابد، از این رو متغیرهایی که در عامل‌های اولی قرار می‌گیرند تاثیرگذارترین هستند.

تجزیه و تحلیل فاکتوری در چهار مرحله صورت می‌گیرد:

۱- محاسبات ضرایب همبستگی

۲- استخراج عامل‌ها که شامل تعیین تعداد و روش محاسبه عامل‌ها است.

۳- دوران و اعمال تبدیلاتی خاص بر روی عامل‌ها برای آنکه ارتباط میان داده‌ها بهتر تفسیر شود.

۴- محاسبه امتیاز هر عامل برای تک تک نمونه‌ها

۴-۷-۱-۱- شاخص KMO^{۱۸}

آماره یا شاخصی است که پژوهشگر از طریق آن‌ها قادر به تعیین و تشخیص مناسب بودن داده‌ها برای تحلیل فاکتوری است که مقدار آن همواره بین صفر و یک در نوسان است و از رابطه‌ی زیر به دست می‌آید:

$$KMO = \frac{\sum \sum r_{ij}^2}{\sum \sum r_{ij}^2 + \sum \sum a_{ij}^2} \quad (۴-۵)$$

که در این رابطه، r_{ij} : ضریب همبستگی ساده‌ی بین متغیرهای i و j و a_{ij} : ضریب همبستگی جزئی بین متغیرهای i و j است. اگر مجموع ضرایب همبستگی جزئی بین همه زوج متغیرها در مقایسه با مجموع مجذورات ضرایب همبستگی کوچک باشد، اندازه‌ی KMO نزدیک به یک خواهد بود. مقادیر کوچک KMO بیانگر آن است که همبستگی بین زوج متغیرها نمی‌تواند توسط متغیرهای دیگر تبیین شود، بنابراین کاربرد تحلیل فاکتوری متغیرها ممکن است قابل توجیه نباشد.

در صورتی که مقدار KMO کم‌تر از ۰/۵ باشد، داده‌ها برای تحلیل فاکتوری مناسب نخواهند بود و اگر مقدار آن بین ۰/۵ تا ۰/۶۹ باشد می‌توان با احتیاط بیش‌تر به تحلیل فاکتوری پرداخت. اما در صورتی که مقدار آن بزرگ‌تر از ۰/۷ باشد، همبستگی‌های موجود در بین داده‌ها برای تحلیل فاکتوری مناسب خواهد بود [زارع چاهوکی، ۱۳۸۹]. جدول (۴-۳) نحوه قضاوت در مورد ضریب KMO را نشان می‌دهد.

جدول (۴-۳): قضاوت در مورد ضریب KMO

مقدار KMO	تناسب داده‌ها برای تحلیل فاکتوری
بزرگتر یا مساوی ۰,۹	عالی
۰,۸-۰,۸۹	خیلی خوب
۰,۷-۰,۷۹	خوب
۰,۶-۰,۶۹	متوسط
۰,۵-۰,۵۹	ضعیف
کمتر از ۰,۵	غیرقابل پذیرش

۴-۷-۱-۲- آزمون کرویت بارتلت

برای اطمینان از مناسب بودن داده‌ها برای تحلیل عاملی علاوه بر اینکه ماتریس همبستگی‌هایی که پایه تحلیل قرار می‌گیرند در جامعه برابر صفر نیست، باید از آزمون کرویت بارتلت بر اساس فرمول زیر استفاده کرد:

$$x^2 = - \left(n - 1 - \frac{2p + 5}{6} \right) \ln |R| \quad (۴-۶)$$

که در این رابطه، n : معرف تعداد آزمودنی‌ها، p : تعداد متغیرها و $|R|$: قدرمطلق دترمینان ماتریس همبستگی است. این آماره که دارای توزیع مربع کای است، مقدار اطلاعات موجود در $|R|$ را با بررسی رابطه بین تعداد مشاهده‌ها و تعداد متغیرها ارزشیابی می‌کند و احتمال خطا را برای رد کردن فرضیه صفر عدم وجود تفاوت از ماتریس همانی می‌آزماید. ماتریس همانی ماتریسی است که همه عناصر قطری آن یک و همه عناصر غیرقطری آن صفر باشد. آزمون بارتلت این فرضیه را که ماتریس همبستگی‌های مشاهده شده متعلق به جامعه‌ای با متغیرهای ناهمبسته است می‌آزماید. برای آنکه یک مدل عاملی مفید و دارای معنا باشد، لازم است متغیرها همبسته باشند، در غیر این صورت دلیلی برای تبیین مدل

عاملی وجود ندارد. اگر فرضیه «متغیرها با هم رابطه ندارند» رد نشود، کاربرد تحلیل فاکتوری زیر سؤال خواهد رفت، بنابراین باید در آن تجدید نظر کرد. مربع کای معنی دار بیانگر حداقل شرایط لازم برای اجرای تحلیل فاکتوری است [زارع چاهوکی، ۱۳۸۹].

۴-۷-۱-۳- استخراج مؤلفه‌ها

از آنجا هدف تحلیل فاکتوری خلاصه کردن متغیرها در تعدادی فاکتور است، پس برای انجام تحلیل فاکتوری باید روش استخراج فاکتورها و معیار تعیین آن‌ها مشخص شود. برای استخراج فاکتورها روش‌های مختلفی وجود دارد که بر حسب مقدار و نوع واریانسی که توسط متغیرهای هر فاکتور در مدل توجیه می‌شود، متفاوتند. اساسی‌ترین این روش‌ها تجزیه مؤلفه‌های اصلی است. استخراج فاکتورها با توجه به معیارهایی انجام می‌شود که در ذیل به شرح این معیارها می‌پردازیم:

معیار مقادیر ویژه: هر عامل شامل یک یا چند متغیر است. مجذورات بارهای یک عامل، نشان‌دهنده درصدی از واریانس ماتریس همبستگی است که به وسیله‌ی آن عامل تبیین می‌شود، این مقدار را مقدار ویژه نامند. برای محاسبه‌ی آن کافی است که ضریب همبستگی متغیرها را با یک عامل به توان دو برسانیم و با هم جمع کنیم تا مقدار ویژه آن عامل به دست آید. هرچه مقدار ویژه یک عامل بیش‌تر باشد، آن عامل واریانس بیش‌تری را تبیین می‌کند. بر این اساس تعداد عامل‌ها با توجه به مقدار ویژه‌ی هر عامل مشخص می‌شود و عامل‌هایی که مقدار ویژه‌ی آن‌ها بیش‌تر از یک باشد به عنوان عامل‌های معنادار در نظر گرفته می‌شود [زارع چاهوکی، ۱۳۸۹].

استفاده از این معیار زمانی که تعداد متغیرها بین ۲۰ تا ۵۰ باشد، قابل اعتماد به نظر می‌رسد اما اگر تعداد متغیرها کم‌تر از ۲۰ باشد استفاده از این معیار باید با محافظه کاری انجام شود. همچنین اگر تعداد متغیرها بیش از ۵۰ باشد، استفاده از این معیار موجب استخراج تعداد زیادی عامل می‌شود [هنرپژوه، ۱۳۸۱].

معیار درصد واریانس تجمعی: در این حالت درصد واریانس تبیین شده مبنای تصمیم‌گیری قرار می‌گیرد و عامل‌هایی استخراج می‌شوند که درصد واریانس بالایی را داشته باشند. چنانچه مقدار واریانس کم‌تر از ۵۰ درصد باشد، باید متغیرهایی را که میزان اشتراک آن‌ها کم است حذف کرد.

معیار نمودار خزش^{۱۹}: این معیار تغییرات مقادیر ویژه را در ارتباط با عامل‌ها بر روی نمودار نشان می‌دهد. بر اساس این نمودار، نقطه‌ای را که تغییرات مقاومت ویژه بعد از آن کم می‌شود به عنوان نقطه کفایت تعداد مؤلفه‌ها در نظر می‌گیرند.

۴-۷-۱-۴- دوران فاکتورها

پس از انتخاب مؤلفه‌ها باید در نظر داشت که مؤلفه‌های خام (غیرچرخشی) نمی‌توانند همه‌ی تغییرپذیری واقعی جامعه را نشان دهند، چون در بسیاری از موارد، شماری از متغیرها به یک عامل ویژه یا حتی به شماری از عامل‌ها بستگی دارند و در نتیجه تعبیر عوامل را با مشکل روبرو خواهد کرد. از این روش‌هایی به وجود آمده است که بدون تغییر میزان اشتراک، سبب تعبیر ساده عوامل می‌شوند، این روش‌ها همان دوران عاملی‌ها هستند. بنابراین مؤلفه‌های خام باید در تابع چرخش داده شوند تا بهترین واریانس جامعه عمومی به دست آید. در بررسی‌های ژئوشیمیایی بیشتر از تابع چرخش وریمکس^{۲۰} استفاده می‌شود. با انتخاب تابع وریمکس، دورانی متعامد بر روی ضرایب عامل صورت می‌گیرد. با این دوران تغییرات مربعات عناصر ستونی، برآورد ضرایب عامل‌ها را بیشینه می‌کند. این روش مقادیری به نسبت بزرگ (از دید قدرمطلق) یا صفر به ستون‌های ماتریس ضرایب عامل‌ها اختصاص می‌دهد، در نتیجه عواملی ایجاد می‌شود که یا به شدت به متغیرها وابسته‌اند یا مستقل از آن‌ها هستند. این امر

19- Scree Plot

20- Rotation Varimax

سبب ساده‌تر شدن تعبیر عامل‌ها خواهد شد. مؤلفه‌های چرخش‌یافته جدید که بدین ترتیب به دست می‌آید، مؤلفه‌های اصلی برای محاسبه امتیازات ۲۱ هستند [عبدی و همکاران، ۱۳۹۳].

۴-۸- نتایج پردازش داده‌های ژئوشیمیایی منطقه مورد مطالعه

پردازش داده‌های ژئوشیمیایی منطقه مورد مطالعه با استفاده از روش تحلیل فاکتوری که بر اساس روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA) استوار است، انجام شد. لازم به ذکر است که در این تحقیق پردازش داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS 16 انجام شد.

جدول (۴-۴) مقدار شاخص KMO و مقدار آزمون بارتلت (که تقریبی از آماره کای دو است)، را نشان می‌دهد.

جدول (۴-۴): آماره‌ی KMO و نتایج آزمون کرویت بارتلت

Kaiser-Meyer-Olkin Measure of Sampling Adequacy.		.878
Bartlett's Test of Sphericity	تقریب آماره کای دو	7.892E3
	درجه آزادی	496
	سطح معنی‌داری	.000

با توجه به جدول فوق چون مقدار آماره KMO برابر ۰.۸۷۸ است پس داده‌ها برای انجام تحلیل فاکتوری مناسب هستند. همچنین نتایج آزمون کرویت بارتلت نیز در سطح معنی‌داری صفر برابر ۷۸۹۲ است، یعنی بین متغیرها همبستگی معنی‌دار وجود دارد.

درصد مشارکت ۲۲ برای هر عنصر که به ترتیب اشتراک اولیه ۲۳ و اشتراک استخراجی ۲۴ را نشان می‌دهد در جدول (۴-۵) آمده است. اشتراک یک متغیر برابر مربع همبستگی چندگانه (R^2) برای متغیرهای مربوطه با استفاده از فاکتورها است. اشتراک اولیه گویای تمامی اشتراک‌های قبل از استخراج

21- Scores

22- Communalities

23- Initial

24- Extraction

است، بنابراین تمامی آن‌ها برابر با یک هستند. همانگونه که در جدول (۴-۵) مشاهده می‌شود بیش‌تر میزان اشتراک‌ها بالاتر از ۰,۵ (۵۰ درصد) است و بیانگر توانایی عامل‌های تعیین شده در تبیین واریانس متغیرهای مورد مطالعه است.

جدول (۴-۵): میزان اشتراک اولیه و بعد از استخراج عامل‌ها برای متغیرهای وارد شده در تحلیل

عاملی

	Initial	Extraction		Initial	Extraction
Ag	1	0.329	Pb	1	0.738
Al	1	0.882	Sb	1	0.423
As	1	0.824	Ti	1	0.913
Cd	1	0.868	V	1	0.913
Ce	1	0.915	K	1	0.862
Co	1	0.965	Zn	1	0.849
Fe	1	0.949	Zr	1	0.757
Li	1	0.578	Cu	1	0.802
Mn	1	0.891	Cr	1	0.924
Mo	1	0.808	S	1	0.842
Ni	1	0.905	Th	1	0.831
Sr	1	0.798			

با توجه به جدول (۴-۵) بیشترین درصد مشارکت با ضرایب بالای ۰,۹ به عناصر Ce, Co, Fe, Ni, V, Ti, Cr تعلق می‌گیرد. پس از این عناصر، رده‌ی دوم عناصر دارای درصد مشارکت بالا (ضریب بالای ۰,۸)، As, Cd, Mo, Zn, Cu, S, Th هستند. در رده بعدی ضریب مشارکت بالای ۰,۷ عناصر Pb, Zr, Sr قرار دارند و کمترین مشارکت مربوط به نقره با ضریب بالای ۰,۳ است. هرچه درصد مشارکت یک عنصر بالا باشد نشان از مشارکت بالای این عناصر در تحلیل واریانس عمومی داده‌ها دارد.

مقادیر ویژه و واریانس متناظر با عامل‌ها در جدول (۴-۶) آمده است. در ستون مقادیر ویژه‌ی اولیه ۲۵ برای هر یک از عامل‌ها در قالب مجموع واریانس تبیین شده برآورد می‌شود. واریانس تبیین شده برحسب درصدی از کل واریانس و درصد تجمعی است. مقدار ویژه‌ی هر عامل، نسبتی از واریانس کل متغیرهاست

که توسط آن عامل تبیین می‌شود. مقدار ویژه از طریق مجموع مجذورات بارهای عاملی مربوط به تمام متغیرها در آن عامل قابل محاسبه است، از این رو مقادیر ویژه، اهمیت اکتشافی عامل‌ها را در ارتباط با متغیرها نشان می‌دهد. پایین‌بودن این مقدار برای یک عامل به این معنی است که آن عامل نقش اندکی در تبیین واریانس متغیرها داشته است. در ستون Extraction Sums of Squared Loadings واریانس تبیین شده‌ی عامل‌هایی ارائه شده است که مقادیر ویژه‌ی آن‌ها بزرگ‌تر از عدد یک باشد. ستون Rotation Sums of Squared Loadings مجموعه‌ی مقادیر عامل‌های استخراج‌شده بعد از چرخش را نشان می‌دهد.

جدول (۴-۶): درصد واریانس و مقادیر ویژه عامل‌های مختلف

Component	Initial Eigenvalues			Extraction Sums of Squared Loadings			Rotation Sums of Squared Loadings		
	Total	% of Variance	Cumulative %	Total	% of Variance	Cumulative %	Total	% of Variance	Cumulative %
1	10.419	45.299	45.299	10.419	45.299	45.299	9.166	39.851	39.851
2	2.836	12.332	57.631	2.836	12.332	57.631	2.532	11.008	50.86
3	1.901	8.263	65.894	1.901	8.263	65.894	2.283	9.926	60.786
4	1.494	6.494	72.388	1.494	6.494	72.388	2.027	8.815	69.601
5	1.274	5.539	77.927	1.274	5.539	77.927	1.652	7.184	76.784
6	1.018	4.215	82.142	1.018	4.215	82.142	1.232	5.358	82.142
7	0.733	3.185	85.327						
8	0.646	2.809	88.135						
9	0.492	2.137	90.273						
10	0.418	1.819	92.092						
11	0.385	1.676	93.768						
12	0.295	1.283	95.051						
13	0.233	1.015	96.065						
14	0.204	0.885	96.95						
15	0.184	0.801	97.751						
16	0.156	0.68	98.431						
17	0.128	0.554	98.985						
18	0.091	0.398	99.383						
19	0.043	0.187	99.57						
20	0.037	0.161	99.731						
21	0.03	0.129	99.86						
22	0.024	0.104	99.964						
23	0.008	0.036	100						

با توجه به جدول (۴-۶)، مقادیر ویژه و واریانس پس از مؤلفه ششم به شدت کاهش پیدا می‌کند.

بنابراین شش مؤلفه اول برای تجزیه و تحلیل فاکتوری انتخاب می‌شود.

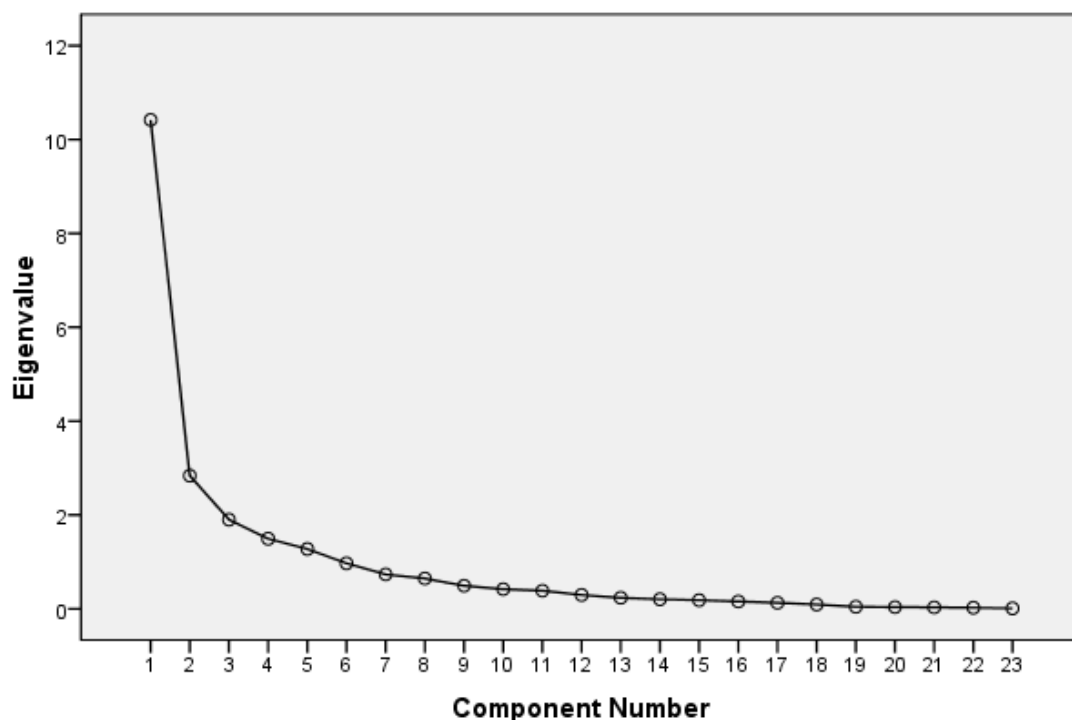
نمودار خزش که تغییرات مقادیر ویژه را در ارتباط با فاکتورها نشان می‌دهد در شکل (۴-۱۴) آمده

است. این نمودار برای تعیین تعداد بهینه مؤلفه‌ها به کار می‌رود. با توجه به این نمودار مشاهده می‌شود

که از عامل ششم به بعد تغییرات مقدار ویژه کم می‌شود، پس می‌توان شش عامل که مقدار ویژه بالای

۱ دارند را به عنوان عوامل مهم که بیشترین نقش را در تبیین واریانس داده‌ها دارند، استخراج کرد.

Scree Plot



شکل (۴-۱۴): نمودار خزش برای تعیین تعداد عامل‌ها

سهیم متغیرها در عامل‌ها به صورت ماتریسی، قبل از چرخش در جدول (۴-۷) نشان داده شده است.

اگر بارهای عاملی جلوی هر متغیر را به توان دو رسانده و با هم جمع کنیم، ارقام جدول (۴-۵) ستون

Extraction به دست می‌آید. این ضرایب از یک سو نشان‌دهنده توانایی عامل‌های تعیین‌شده در تبیین

واریانس متغیرهای مورد مطالعه و از سویی می‌تواند برای بررسی تناسب متغیرها برای تحلیل فاکتوری استفاده شود.

جدول (۴-۷): ماتریس عاملی دوران نیافته

	Component					
	1	2	3	4	5	6
Ag	0.39	-0.202	0.338	-0.042	0.08	-0.115
Al	0.741	0.395	-0.297	0.221	-0.02	0.197
As	0.362	0.461	-0.189	0.192	0.325	-0.549
Cd	-0.006	-0.048	-0.005	0.017	0.87	0.329
Ce	0.39	0.829	0.016	-0.136	0.103	0.215
Co	0.937	-0.186	-0.042	0.033	-0.223	0.012
Fe	0.929	-0.145	0.023	-0.004	-0.24	0.084
K	-0.378	0.566	-0.342	0.456	-0.182	0.201
Li	0.109	0.649	0.25	-0.103	-0.155	-0.219
Mn	0.823	-0.324	0.295	-0.114	0.076	0.043
Mo	-0.341	-0.131	0.029	0.757	0.191	-0.252
Ni	0.906	-0.195	0.025	-0.009	-0.189	0.098
Pb	0.761	-0.256	-0.171	0.18	0.111	0.138
Sb	0.64	-0.095	-0.036	-0.014	0.051	0
Ti	0.903	-0.021	0.245	0.039	0.074	-0.172
V	0.897	0.089	0.059	0.212	0.095	-0.207
Zn	0.831	-0.374	-0.105	0.018	0.052	-0.073
Zr	0.753	0.067	0.298	-0.237	0.138	-0.146
Cu	0.76	-0.173	-0.106	0.368	-0.029	0.216
Cr	0.938	-0.108	0.04	-0.032	-0.131	0.114
S	-0.632	0.153	0.454	0.4	-0.23	0.027
Sr	-0.246	-0.401	0.632	0.321	-0.006	0.272
Th	0.094	0.558	0.705	0.025	0.034	0.109

جدول (۴-۸) سهم متغیرها در عامل‌های مختلف را بعد از چرخش نشان می‌دهد. هر متغیر در عاملی

قرار می‌گیرد که با آن عامل همبستگی بالای معنی‌داری داشته باشد. با استفاده از جدول عاملی

مقادیر چرخش یافته، مقادیر ضریب چرخش یافته بالای ۰.۶ پایه انتخاب هر متغیر در هر فاکتور است.

جدول (۴-۸): ماتریس عاملی دوران یافته

	Component					
	1	2	3	4	5	6
Ag	.446	-.226	.255	-.070	.066	.068
Al	.569	.732	-.039	.115	.089	-.014
As	.174	.340	.078	.171	.800	.049
Cd	-.015	.060	-.020	.036	.017	.929
Ce	.085	.825	.369	-.244	.155	.087
Co	.949	.151	-.043	-.055	-.007	-.194
Fe	.930	.182	.027	-.102	-.074	-.185
K	-.518	.593	-.081	.443	-.081	-.180
Li	-.099	.362	.496	-.165	.299	-.273
Mn	.887	-.129	.189	-.184	-.035	.128
Mo	-.228	-.241	.013	.813	.166	.090
Ni	.923	.137	.007	-.100	-.085	-.127
Pb	.800	.145	-.190	.124	-.023	.160
Sb	.627	.118	-.023	-.067	.088	.051
Ti	.869	.085	.291	-.048	.252	.014
V	.827	.244	.182	.126	.347	-.002
Zn	.894	-.045	-.180	-.027	.106	.050
Zr	.680	.073	.343	-.314	.258	.084
Cu	.795	.239	-.086	.291	-.133	.047
Cr	.922	.212	.057	-.131	-.050	-.076
S	-.577	-.175	.452	.417	-.242	-.204
Sr	-.032	-.492	.407	.329	-.508	.152
Th	-.048	.244	.873	-.062	-.025	.043

با توجه به جدول (۴-۸) عناصری که با هر فاکتور همبستگی بالایی دارند استخراج شد که به شرح زیر می باشد:

فاکتور اول: این فاکتور شامل Co, Fe, Mn, Ni, Pb, Sb, Ti, V, Zn, Zr, Cu, Cr با امتیاز مثبت است.

فاکتور دوم: این فاکتور شامل Al, Ce با امتیاز مثبت است.

فاکتور سوم: عنصر Th با امتیاز مثبت در این فاکتور قرار می گیرند.

عنصر Mo در فاکتور چهارم، As در فاکتور پنجم و Cd در فاکتور ششم با امتیاز مثبت قرار می گیرد.

برای اینکه بدانیم فاکتورها مستقل از یکدیگر بوده‌اند، کوواریانس بین فاکتوری داده‌ها محاسبه شد که در جدول (۹-۴) آورده شده است. طبق این جدول کواریانس تمام متغیرها با هم صفر است و این نشان می‌دهد که فاکتورها مستقل از یکدیگر می‌باشند.

جدول (۹-۴): ماتریس کواریانس بین مؤلفه‌ها

Component	1	2	3	4	5	6
1	1	0	0	0	0	0
2	0	1	0	0	0	0
3	0	0	1	0	0	0
4	0	0	0	1	0	0
5	0	0	0	0	1	0
6	0	0	0	0	0	1

پس از دوران فاکتورها، به منظور محاسبه امتیازات فاکتوری همه مشاهدات، ضرایب فاکتوری محاسبه گردیده است. نتایج ضرایب فاکتوری در جدول (۱۰-۴) آورده شده است.

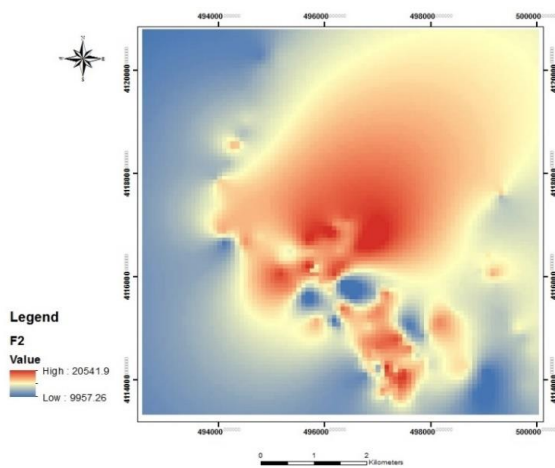
جدول (۴-۱۰): ماتریس ضرایب فاکتوری

	Component					
	1	2	3	4	5	6
Ag	0.043	-0.122	0.109	-0.021	0.078	0.028
Al	0.024	0.207	-0.064	0.109	-0.109	0.031
As	-0.02	-0.069	-0.001	0.141	0.551	0.027
Cd	-0.014	0.085	-0.004	0.017	-0.033	0.684
Ce	-0.04	0.211	0.072	-0.102	-0.081	0.119
Co	0.079	0.003	-0.028	0.009	-0.067	-0.142
Fe	0.077	0.024	-0.004	-0.018	-0.129	-0.13
K	-0.046	0.24	-0.063	0.245	-0.155	-0.082
Li	-0.036	0	0.148	-0.067	0.157	-0.18
Mn	0.077	-0.078	0.078	-0.071	-0.045	0.077
Mo	0.014	-0.082	0.038	0.456	0.215	0.042
Ni	0.078	0.017	-0.008	-0.019	-0.13	-0.091
Pb	0.07	0.051	-0.075	0.101	-0.079	0.117
Sb	0.045	0	-0.018	-0.009	0.017	0.035
Ti	0.064	-0.081	0.099	0.023	0.141	-0.001
V	0.057	-0.037	0.049	0.126	0.191	-0.006
Zn	0.076	-0.057	-0.064	0.018	0.061	0.018
Zr	0.036	-0.085	0.113	-0.136	0.144	0.052
Cu	0.078	0.096	-0.039	0.198	-0.178	0.045
Cr	0.072	0.034	0.005	-0.033	-0.122	-0.049
S	-0.017	-0.018	0.191	0.215	-0.116	-0.145
Sr	0.046	-0.059	0.201	0.167	-0.29	0.097
Th	-0.015	0.029	0.306	-0.013	-0.088	0.057

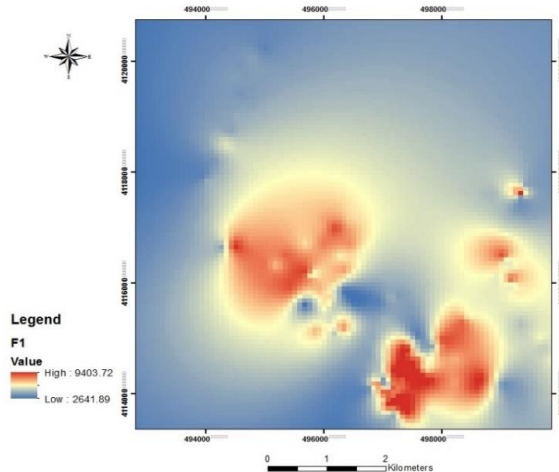
۴-۹- تهیه نقشه‌ی امتیازدهی فاکتورها

جهت تعیین مناطق آنومال نقشه‌ی امتیازدهی فاکتورهای استخراج شده براساس تحلیل مؤلفه‌های اصلی ترسیم شد که این نقشه‌ها در شکل‌های (۴-۱۵ تا ۴-۲۰) نشان داده شده است. با توجه به اطلاعات زمین‌شناسی و بررسی‌های صحرایی صورت گرفته از منطقه مورد مطالعه، فاکتور ۱ به عنوان بهترین عملکرد در شناسایی آنومالی‌های آهن و مس در منطقه است. این فاکتور ۰,۹۳ و ۰,۷۹۵ تغییرپذیری را به ترتیب برای عنصر آهن و مس شامل می‌شود (جدول (۴-۸)). مقدار بالای تغییرپذیری برای عنصر آهن در فاکتور ۱ ناشی از کانی‌سازی صورت گرفته در منطقه است و این فاکتور می‌تواند به

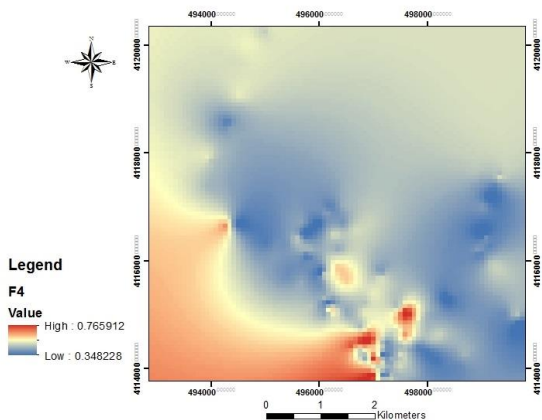
عنوان فاکتور کانه‌ساز در منطقه عمل کرده باشد. ناهنجاری‌های نشان داده شده در فاکتور ۱ بیشتر در مناطقی رخ داده است که دارای توده‌های آذرین از نوع بازالت و آندزیت بازالت است (شکل ۴-۱۵)).



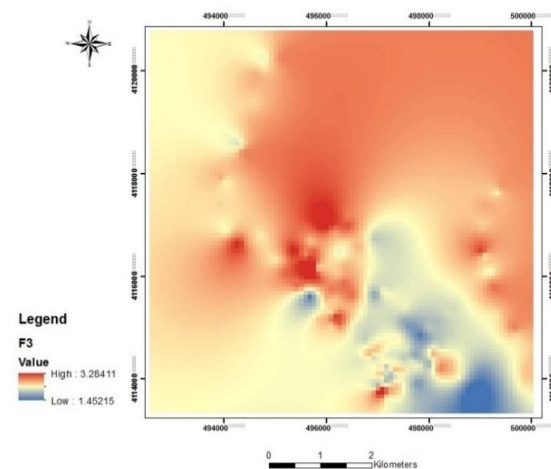
شکل ۴-۱۶: نقشه امتیازدهی فاکتور ۲



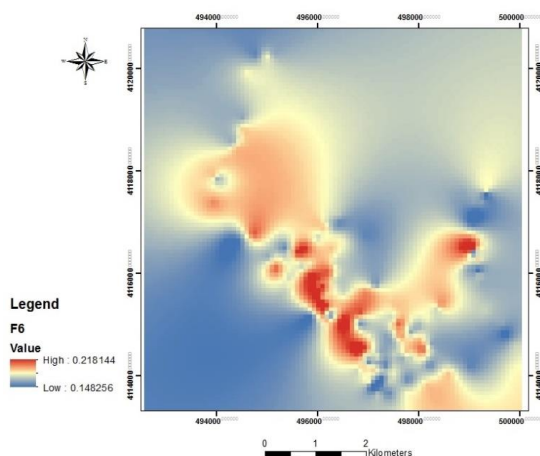
شکل ۴-۱۵: نقشه امتیازدهی فاکتور ۱



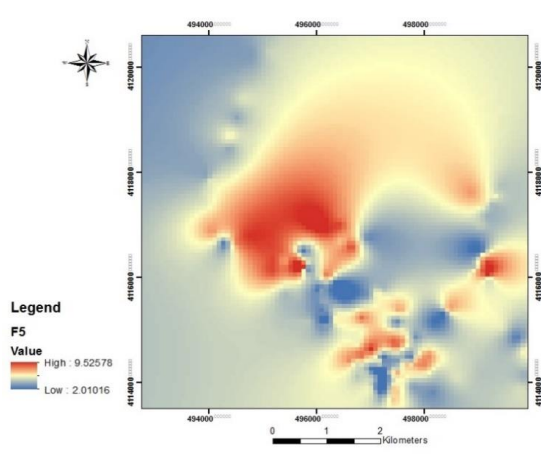
شکل ۴-۱۸: نقشه امتیازدهی فاکتور ۴



شکل ۴-۱۷: نقشه امتیازدهی فاکتور ۳



شکل (۴-۲۰): نقشه امتیازدهی فاکتور ۶



شکل (۴-۱۹): نقشه امتیازدهی فاکتور ۵

۴-۱۰- محاسبه حد زمینه و آستانه آنومالی با استفاده از روش آماری سالووف

اغلب روش‌های تشخیص حد آستانه از آنومالی بر پایه توزیع نرمال عناصر بیان می‌شود. تابع توزیع نرمال با استفاده از رابطه زیر بیان می‌شود:

$$Y = f(x) = \frac{1}{s\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(x-\bar{x})^2}{2s^2}\right) \quad (۴-۶)$$

در این رابطه $\bar{x}$ میانگین مقادیر غلظت و S انحراف معیار استاندارد و S^2 واریانس داده‌ها است. جهت محاسبه مقدار زمینه (C_p)، حد آستانه‌ی آنومالی (C_A) و انحراف معیار ε برای ذخایری که از توزیع لاگ نرمال بهره می‌برند از روابط زیر استفاده می‌گردد (سالووف، ۱۹۸۷).

$$C_p = \text{antLog}(1/n \sum_{i=1}^n \log C_i) \quad (۷-۴)$$

$$C_A = \bar{C}_x \times \varepsilon^{3/\sqrt{m}} \quad m=1,2,3,\dots,9 \quad (۸-۴)$$

در رابطه (۸-۴)، m برابر با تعداد نقاطی است که غلظت بیشتر از $\bar{C}_x \times \varepsilon$ دارند.

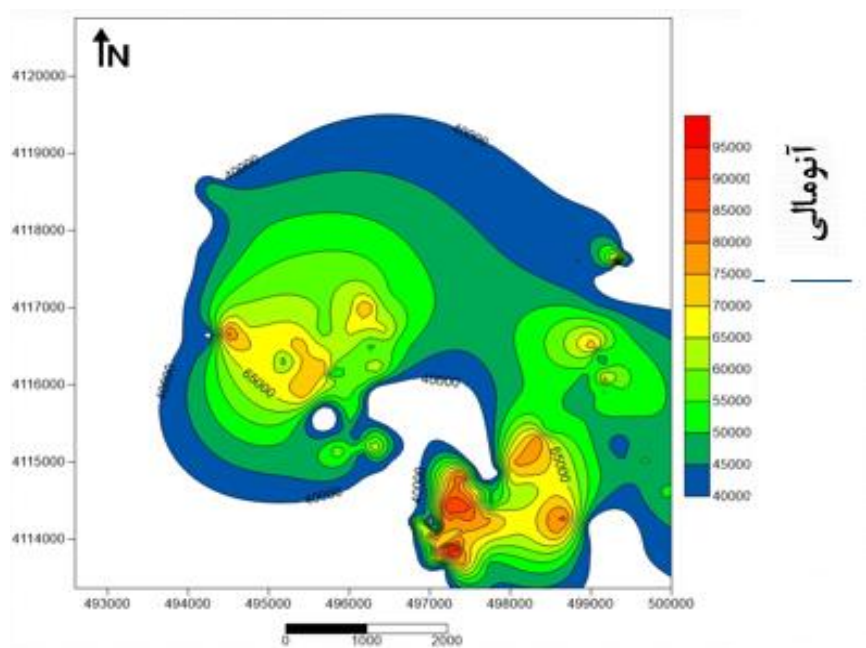
$$\varepsilon = \text{anti log} \left(\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (\log C_i - \log \bar{C}_x)^2}{N-1}} \right) \quad (۹-۴)$$

با استفاده از روابط فوق، مقادیر حد زمینه، حد آستانه‌ای و انحراف معیار برای عناصر آهن و مس محاسبه شد که در جدول (۱۱-۴) نشان داده شده است.

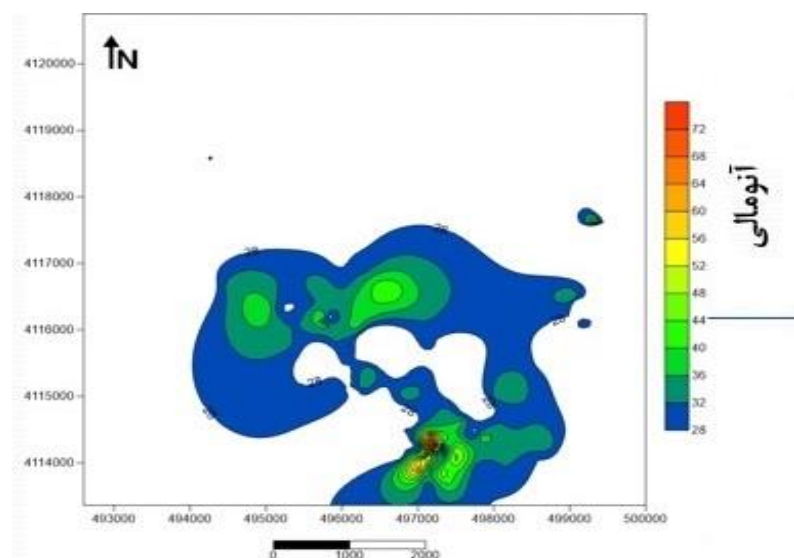
جدول (۱۱-۴): مقادیر حد زمینه، حد آستانه‌ای برای عناصر آهن و مس در منطقه مورد مطالعه

	Fe	Cu
ε	1.396368	1.412538
C_p	40388.71	28.8368
C_A	74713.55	44.30824

با توجه به جدول فوق، نقشه ناهنجاری‌های آهن و مس در منطقه مورد مطالعه رسم شد (شکل‌های (۲۱-۲۲) و (۴-۲۲)).



شکل (۴-۲۱): نقشه ناهنجاری های آهن

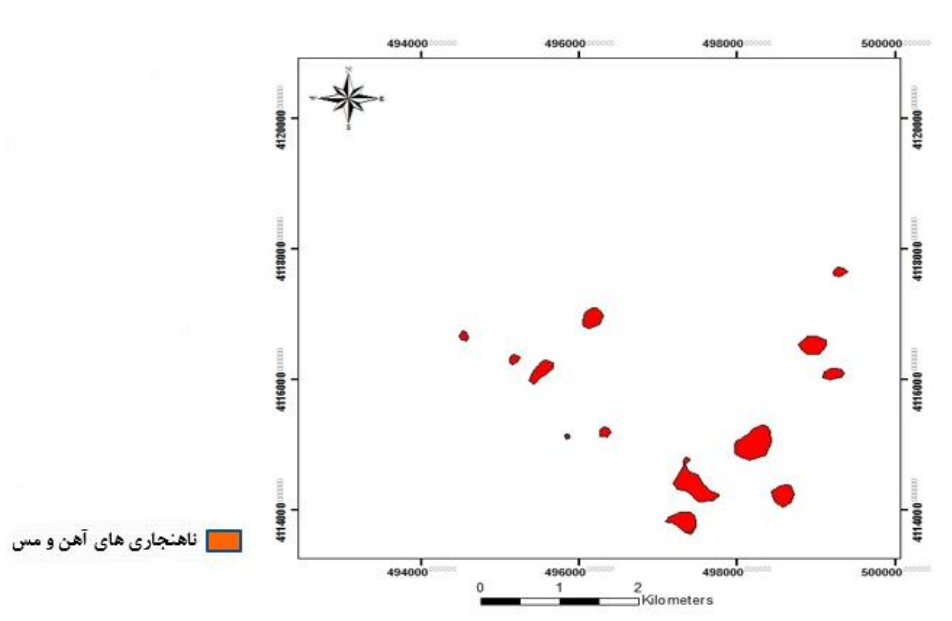


شکل (۴-۲۲): نقشه ناهنجاری های مس

۴-۱۱- نتیجه گیری

اکتشافات ژئوشیمیایی در محدوده مورد مطالعه در مقیاس محلی با نمونه برداری از رسوبات رودخانه ای با فواصل ۲۵۰ تا ۵۰۰ متری انجام شد. داده های ژئوشیمیایی حاصل از آنالیز نمونه ها، با استفاده از روش چند متغیره آنالیز فاکتوری که بر اساس

روش PCA استوار است، پردازش شد. نتایج حاصل از پردازش داده‌ها، منجر به استخراج شش فاکتور شد. با رسم نقشه امتیازات فاکتوری و با توجه به نقشه زمین-شناسی و بررسی‌های صحرایی صورت گرفته از منطقه، فاکتور ۱ به عنوان بهترین فاکتور جهت شناسایی آنومالی‌های آهن و مس انتخاب شد. ناهنجاری‌های نشان داده شده در این فاکتور، بیشتر در سنگ‌های آذرین بازالت و آندزیت بازالت رخ داده‌اند. همچنین با روش آماری سالووف نیز نقشه آنومالی های ژئوشیمیایی منطقه رسم شد. این دو روش (روش آماری چند متغیره آنالیز فاکتوری و روش آماری سالووف) نتایج یکسانی را ارائه دادند. نقشه‌ی مربوط به ناهنجاری‌های عنصر آهن و مس در منطقه مورد مطالعه، در شکل (۴-۲۳) نشان داده شده است.



شکل (۴-۲۳): نقشه ناهنجاری‌های آهن و مس در محدوده مورد مطالعه

فصل پنجم

تعیین مناطق حفاری در منطقه مورد مطالعه با تلفیق
لایه‌های اطلاعاتی

فرآیند ترکیب نقشه‌های داده‌های فضایی تلفیق داده‌ها نامیده می‌شود که می‌تواند با به تصویر درآوردن نمایش‌های ترکیبی در انواع متنوع یا با مدل‌های تلفیقی که به گونه‌ای مؤثر یک نقشه جدید از دو یا چند نقشه موجود ایجاد می‌کنند، انجام شود. مدل‌های ادغام، مدل‌های ریاضی نمادین هستند که با استفاده از عملیات حسابی و منطقی نقشه‌های داده‌ها را با یکدیگر ترکیب می‌کنند [فرزامیان، ۱۳۸۷].

در مدل‌سازی پتانسیل معدنی در شرایطی که در منطقه مورد مطالعه اندیس‌های شناخته شده کم بوده و یا هیچ اندیس شناخته شده‌ای وجود نداشته باشد، از روش‌های دانش‌محور استفاده می‌شود. منطق بولین، همپوشانی شاخص، منطق فازی، ارزیابی چند معیاره و تاپسیس از جمله روش‌های دانش-محور هستند.

در صورتی که در منطقه به اندازه‌ی کافی اندیس‌های شناخته شده وجود داشته باشد، از مدل‌سازی داده‌محور در تعیین مناطق هدف برای اکتشافات بعدی استفاده می‌شود. شبکه عصبی، رگرسیون لجستیک، وزن‌های نشانگر، آنالیز نسبت احتمال، آنالیز جداکننده و فاکتورهای اطمینان از جمله روش-های داده‌محور هستند. [یوسفی و کامکار روحانی، ۱۳۸۹].

در این فصل ابتدا درباره مبانی و اصول روش‌های تلفیق داده‌ها بحث می‌شود سپس به تلفیق لایه‌های اطلاعاتی منطقه مورد مطالعه پرداخته می‌شود. نقشه مناطق دگرسانی، نقشه واحدهای زمین-شناسی، ساختاری و نقشه آنومالی‌های ژئوشیمیایی منطقه مورد مطالعه، لایه‌های اطلاعاتی هستند که در این تحقیق با هدف تهیه نقشه‌های پتانسیل یابی کانی‌سازی آهن و مس و در نهایت تعیین مناطق بهینه حفاری مورد استفاده قرار می‌گیرند.

۵-۲- روش‌های تلفیق داده‌ها

ترکیب و تلفیق داده‌ها در محیط GIS، به معنی هماهنگ نمودن داده‌های متفاوت از منابع مختلف است. اغلب داده‌هایی که در GIS مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرند، از منابع مختلف تهیه و در قالب‌های متفاوت ذخیره می‌شوند. در GIS امکاناتی فراهم آمده تا بتوان داده‌های متفاوت را با یکدیگر مقایسه و ترکیب نمود. به علاوه هنگامی که مجموعه‌ای از داده‌های مکانی از منابع گوناگون با هم آمیخته می‌شوند، درک و تفسیر پدیده‌های مکانی نیز میسر می‌گردد. در صورتی که اگر این داده‌ها به صورت مجزا و جداگانه در نظر گرفته شوند، روابط فضایی بین آن‌ها به آسانی آشکار نمی‌شوند. یکی از ویژگی‌های قدرتمند GIS، توانایی ترکیب و تلفیق چندین نقشه به کمک عبارات جبری ساده یا پیچیده می‌باشد [Bonham-Carter, 1994].

۵-۲-۱- اصول روش‌های داده محور

روش‌های داده محور مدل‌سازی پتانسیل معدنی برای مناطقی که در آن‌ها عملیات اکتشافی و مطالعات قبلی در حد متوسط تا خوب انجام گرفته، مناسب است. در این مناطق، هدف تعیین حدود نواحی با وسعت کم‌تر است که باید برای اکتشافات بیشتر به منظور شناسایی محل کانی‌سازی‌های کشف نشده، بر اساس فرض‌های زیر مورد توجه قرار گیرند [Carranza, 2008]:

- ۱- در یک منطقه مورد مطالعه، محل‌های وقوع ذخایر شناخته‌شده، مجموعه نمونه‌هایی با شباهت بالا به محل‌های حضور کانی‌سازی‌های ناشناخته هستند.
- ۲- این نمونه‌ها مجموعه اطلاعات زمین‌شناسی با ارزشی از منظرهای مختلف و الگوهای شاهد فضایی مانند آنومالی‌های ژئوشیمیایی، گسل‌ها، آنومالی‌های ژئوفیزیکی، سنگ میزبان کانی‌سازی و غیره را فراهم می‌کنند که همراه با ذخایر شناخته‌شده و در محل آن‌ها حضور دارند.
- ۳- این مجموعه از اطلاعات زمین‌شناسی، می‌توانند یک مدل مفهومی از معیارهای پی‌جویی را برای شناسایی محل ذخایر کشف نشده ارائه نمایند.

مدل مفهومی به دست آمده، میزان و وابستگی وقوع ذخایر معدنی را به عنوان تابعی از حضور مهمترین معیارها و شواهد فضایی منحصر به فرد بیان می‌کند. بنابراین با توجه به توضیحات فوق، اگر در یک ناحیه الگوها و شواهد مهم با تعداد بیشتر نسبت به سایر نواحی حضور داشته باشند، این ناحیه احتمال امیدبخشی بیشتری نسبت به سایر نقاط دارد [یوسفی و کامکار روحانی، ۱۳۸۹].

۵-۲-۲- اصول روش‌های دانش محور

روش‌های دانش محور مدل‌سازی پتانسیل معدنی در شروع عملیات اکتشاف در مناطقی که از لحاظ زمین‌شناسی مناسب است، ولی در آن کار اکتشافی کم صورت گرفته، مناسب هستند. این روش‌ها عموماً در مناطقی که در آن جا هیچ ذخیره شناخته شده‌ای وجود ندارد یا تعداد ذخایر شناخته شده کم است، به کار می‌روند. تجربه عملیات اکتشاف و بررسی ارتباط و وابستگی بین ذخایر معدنی شناخته شده و الگوهای زمین‌شناسی در مناطقی که در آن‌ها اکتشاف در حد خوب و متوسط صورت گرفته، به عنوان روش دانش محور در تهیه مدل پتانسیل معدنی می‌باشد [Carranza, 2008]. بنابراین در این روش از مدل مفهومی ذخایر مورد پی‌جویی در مناطقی که عملیات اکتشاف در آن جا خوب صورت گرفته، برای تهیه مدل پتانسیل معدنی در مناطق جدید استفاده می‌شود. در واقع مدل مفهومی به عنوان ملاکی برای انتخاب و شناسایی معیارهای اکتشافی و الگوهای شاهد، تهیه نقشه‌های پیش‌گو، تخصیص وزن به نقشه‌ها و الگوهای شاهد و در نهایت تلفیق نقشه‌های شاهد به منظور معرفی مناطق امیدبخش برای ذخیره مورد جستجو استفاده می‌شود. بنابراین واژه دانش محور اشاره به ارزیابی کیفی یا وزن دادن به شواهد بر اساس مقایسه و قضاوت کارشناسی می‌باشد. تخمین وزن هر نقشه شاهد و همچنین تخمین امتیاز و ارزش هر الگو (کلاس) از هر نقشه شاهد بر اساس قضاوت کارشناسی و تخصیصی روی همراهی فضایی بین ذخایر مورد جستجو و هر مجموعه از منظرهای زمین‌شناسی شاخص (نشانه و راهنما) صورت می‌گیرد. از این رو روش دانش محور به نام تجربه محور شناخته شده است. روش دانش محور مدل‌سازی پتانسیل معدنی ممکن است نقشه‌های شاهد دوتایی یا چند کلاسه را بر اساس میزان

اطلاعات و تجربه به دست آمده از نواحی خوب اکتشاف شده قبلی و یا با توجه به میزان دقت داده‌های اکتشافی در دسترس در مناطق مناسب (به لحاظ زمین‌شناسی) برای اکتشاف، به کار گیرد [Carranza, 2008].

۵-۲-۲-۱- مدل‌سازی با روش هم‌پوشانی شاخص دوتایی

روش هم‌پوشانی شاخص دوتایی همان‌طور که از اسم آن برمی‌آید، یک روش مدل‌سازی دانش‌محور با استفاده از نقشه‌های شاهد دوتایی است. در مدل‌سازی هم‌پوشانی شاخص دوتایی خصوصیات یا کلاس‌هایی از داده‌های فضایی که یک معیار مناسب و امیدبخش برای شناسایی کانی‌سازی هستند، به‌صورت کلاس با ارزش ۱ ذخیره می‌شوند؛ درحالی‌که دیگر قسمت‌های نقشه دارای ارزش صفر هستند. هر نقطه شاهد دوتایی B_i می‌تواند یک وزن عددی (W_i) را به خود اختصاص دهد، یا در آن ضرب شود (i می‌تواند از ۱ تا n تغییر کند). این وزن بر اساس قضاوت و نظر کارشناسی و همچنین تجربه‌ای که مورد اهمیت هر مجموعه از داده‌های فضایی و الگوی زمین‌شناسی مرتبط با کانی‌سازی وجود دارد، تخصیص می‌یابد. حال نقشه‌های شاهد دوتایی وزن‌دار با استفاده از رابطه‌ی (۵-۱) ترکیب می‌شوند. در این معادله امتیاز S برای هر محل (یا در واقع هر سلول واحد از منطقه مورد مطالعه) محاسبه می‌شود [Bonham-Carter, 1994].

$$S = \frac{\sum_{i=1}^n w_i B_i}{\sum_{i=1}^n w_i} \quad (5-1)$$

در نقشه خروجی، هر محل یا سلول دارای یک مقدار S بین صفر یعنی کاملاً بدون ارزش اکتشافی و ۱ یعنی کاملاً امیدبخش و دارای ارزش اکتشافی حداکثر است [Carranza, 2008].

۵-۲-۲-۲- مدل‌سازی به روش هم‌پوشانی شاخص چندکلاسه

این روش در واقع نوع بسط داده شده روش مدل‌سازی هم‌پوشانی شاخص دوتایی است. هر یک از j زمین‌الگوها (کلاس‌ها) از نقشه شاهد i ام دارای یک وزن S_{ij} به منظور نمایش میزان وابستگی به ذخایر

معدنی می‌باشد. امتیاز اختصاص یافته به الگوها می‌تواند یک عدد صحیح یا حقیقی مثبت باشد. هیچ محدودیتی برای دامنه امتیاز تخصیص وزن به الگوها وجود ندارد؛ به جز این که دامنه امتیاز اختصاص یافته به الگوها در همه نقشه‌های شاهد باید سازگار و هماهنگی داشته باشند یعنی دارای مقادیر حداقل و حداکثر یکسان باشند [Carranza, 2008].

اهمیت نسبی یک نقشه شاهد در مقایسه با دیگر نقشه‌های شاهد به وسیله تخصیص وزن‌های W_i کنترل می‌شود. این امتیاز معمولاً صحیح و مثبت است. نقشه‌های شاهد وزن‌دار با استفاده از رابطه (۲-۵) با هم ترکیب می‌شوند که در واقع میانگین وزن‌ها را برای هر محل محاسبه می‌کند [Bonham, 1994].

$$\bar{S} = \frac{\sum_{i=1}^n S_{ij} W_i}{\sum_{i=1}^n W_i} \quad (2-5)$$

مزیت روش هم‌پوشانی شاخص چندکلاسه در مقایسه با مدل‌سازی روش هم‌پوشانی شاخص دوتایی این است که عدم قطعیت را نیز در نظر گرفته و در پیش‌بینی دخالت می‌دهد. بنابراین به کارگیری هم‌زمان هر دو روش هم‌پوشانی شاخص دوتایی و چندکلاسه به جای به کارگیری یکی از آن‌ها بهتر است. ضعف این روش‌ها در تلفیق خطی شواهد است که باعث می‌شود نقش فرآیندهای مؤثر در کانی‌سازی به طور مستقیم لحاظ نشود [یوسفی و کامکار روحانی، ۱۳۸۹].

۵-۳- تلفیق داده‌های محدوده مورد مطالعه

در این تحقیق جهت تلفیق لایه‌های اطلاعاتی به علت عدم وجود شواهد و اندیس اکتشافی از روش هم‌پوشانی شاخص چندکلاسه استفاده شده است. در این روش علاوه بر کلاس‌های هر لایه، خود لایه نیز بر اساس ارتباط با کانی‌زایی وزن‌دهی می‌شوند. با توجه به اهمیت لایه‌ها در ارتباط با کانی‌زایی به ترتیب لایه‌های ژئوشیمیایی، زمین‌شناسی، گسل‌ها و دورسنجی بر اساس جدول (۲-۵) وزن‌دهی شدند.

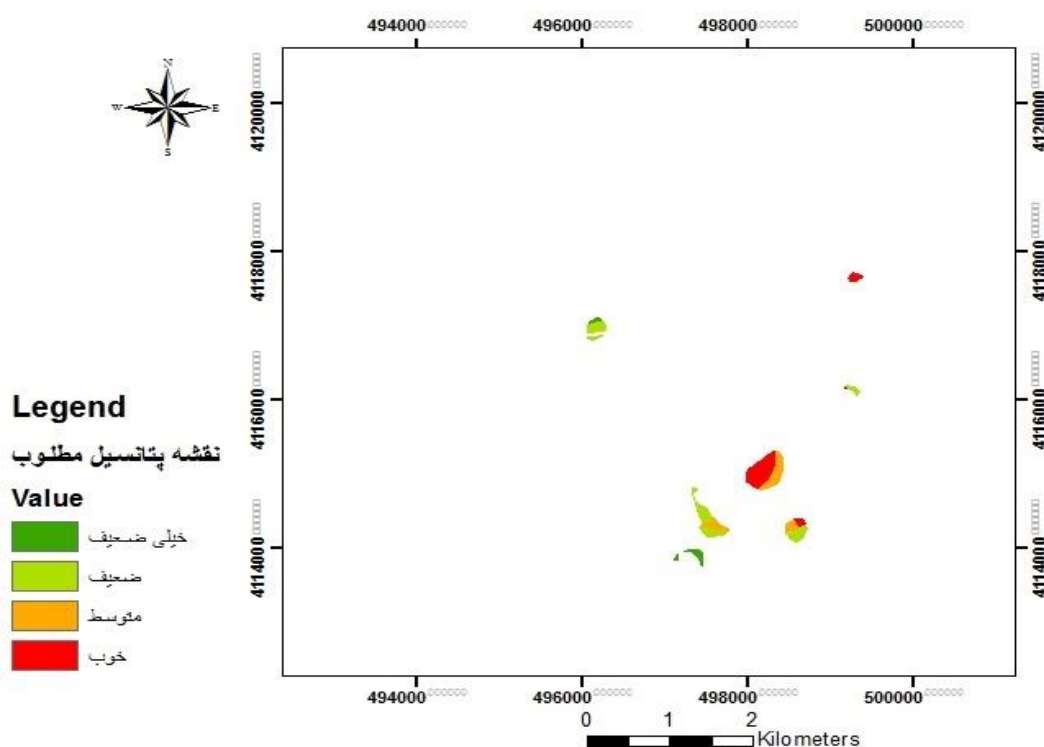
جدول (۵-۲): وزن دهی لایه های اطلاعاتی

وزن زیر کلاس		وزن معیار	لایه اطلاعاتی
-		۷	ژئوشیمیایی
۸	O _v	۶	زمین شناسی
۶	S _v		
۴	E _m		
۸	بافر ۵۰۰ متر	۵	ساختاری (گسل)
۴	بافر ۱۰۰۰ متر		
۱	بافر ۱۵۰۰ متر		
۸	پروپلیتیک	۴	دورسنجی
۵	اکسید آهن		
۳	آرژلیک		

پس از وزن دهی به لایه های موجود با استفاده از رابطه (۵-۲) این لایه ها تلفیق شدند. شکل (۵-۱)

نقشه ی پتانسیل مطلوب را که از تلفیق لایه ها به روش همپوشانی شاخص چند کلاسه به دست آمده

را نشان می دهد.



شکل (۵-۱): نقشه‌ی پتانسیل مطلوب حاصل از تلفیق لایه‌های اطلاعاتی به روش همپوشانی شاخص چندکلاسه

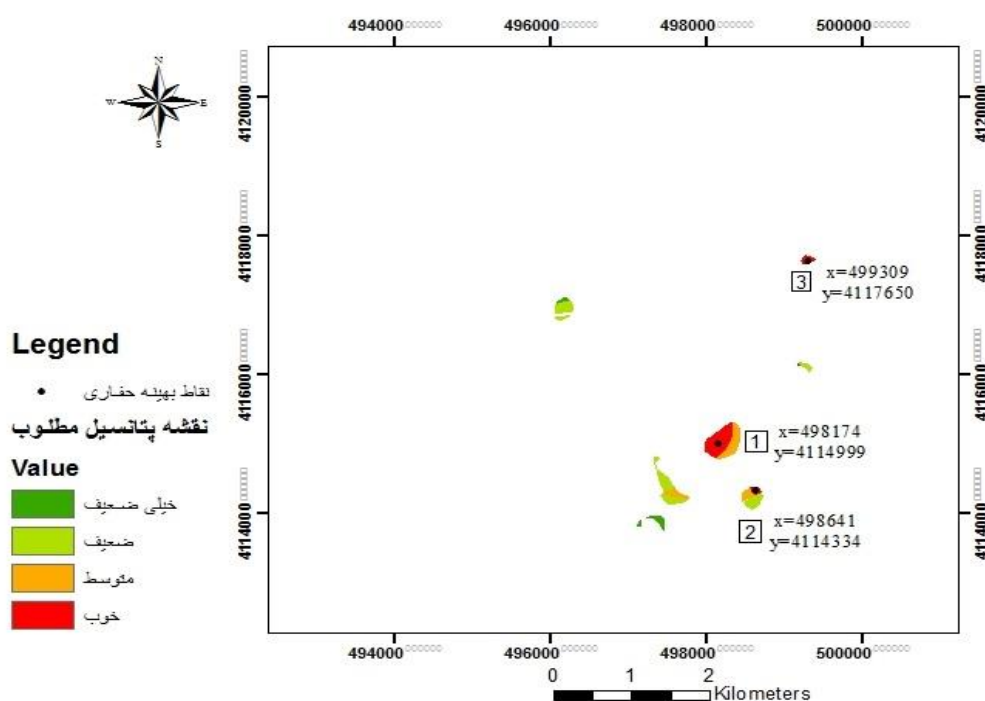
با توجه به نتایج حاصل از تلفیق لایه‌های اطلاعاتی به روش همپوشانی شاخص چندکلاسه (۵-۱)، نقاط بهینه حفاری طبق جدول (۵-۳) مشخص شد. این نقاط در میان سنگ‌های آذرین بازالت و آندزیت بازالت قرار دارند و آلتراسیون پروپلیتیک دربرگیرنده این نقاط است. همچنین با توجه به نتایج آنالیز نمونه‌ها، عناصر آهن و مس در اطراف این نقاط غلظت بالایی دارند.

جدول (۵-۳): موقعیت مناطق بهینه حفاری

نقاط بهینه حفاری	X	Y
۱	۴۹۸۱۷۴	۴۱۱۴۹۹۹
۲	۴۹۸۶۴۱	۴۱۱۴۳۳۴
۳	۴۹۹۳۰۹	۴۱۱۷۶۵۰

۵-۴- نتیجه گیری

جهت تلفیق لایه‌های اطلاعاتی روش‌های دانش‌محور و داده‌محور وجود دارد که با توجه به وجود یا عدم وجود شواهد و اندیس اکتشافی از این روش‌ها استفاده می‌شود. با توجه به عدم وجود شواهد و اندیس اکتشافی در محدوده مورد مطالعه از روش همپوشانی شاخص که جزء روش‌های دانش‌محور است استفاده شد. نقشه مناطق دگرسانی، نقشه واحدهای زمین‌شناسی، ساختاری و نقشه آنومالی‌های ژئوشیمیایی منطقه مورد مطالعه، لایه‌های اطلاعاتی هستند که جهت تلفیق و تعیین مناطق بهینه حفاری مورد استفاده قرار گرفتند. لایه‌های اطلاعاتی براساس ارتباط با کانی‌زایی مس و آهن وزن‌دهی شدند که نتایج حاصل از تلفیق این لایه‌ها منجر به تهیه نقشه پتانسیل مطلوب و تعیین نقاط بهینه حفاری شد که در شکل (۵-۲) نشان داده شده است. این نقاط در میان سنگ‌های آذرین بازالت و آندزیت بازالت قرار دارد و آلتراسیون پروپلیتیک دربرگیرنده این نقاط است. همچنین با توجه به نتایج آنالیز نمونه‌ها، عناصر آهن و مس در اطراف این نقاط غلظت بالایی دارند.



شکل (۵-۲): نقشه مناطق بهینه حفاری

فصل ششم

نتیجه‌گیری و پیشنهادات

۱-۶- نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از این تحقیق را می‌توان به صورت زیر خلاصه نمود:

- با استفاده از ترکیب رنگی کاذب تصاویر نسبت بانندی $(\frac{2}{1}, \frac{4}{6}, \frac{7+9}{8})$ RGB- و آنالیز مؤلفه‌های اصلی RGB-(PC6, PC4, PC3) دگرسانی‌های منطقه آشکارسازی شد. با مقایسه نتایج روش‌ها، روش نسبت بانندی نتایج بهتری را نشان می‌دهد. دگرسانی‌های آشکارشده با روش نسبت بانندی با توجه به نقشه زمین‌شناسی و مشاهدات صحرایی نتایج مطلوبی را نشان داده است.
- داده‌های ژئوشیمیایی منطقه مورد مطالعه با استفاده از روش چند متغیره آنالیز فاکتوری که بر اساس روش PCA استوار است، پردازش شد. نتایج حاصل از پردازش داده‌ها، منجر به استخراج شش فاکتور شد. با رسم نقشه امتیازات فاکتوری و با توجه به نقشه زمین‌شناسی و بررسی‌های صحرایی صورت گرفته از منطقه، فاکتور ۱ به عنوان بهترین فاکتور جهت شناسایی آنومالی‌های آهن و مس انتخاب شد. ناهنجاری‌های نشان داده شده در این فاکتور، بیشتر در سنگ‌های آذرین بازالت و آندزیت بازالت رخ داده‌اند.
- همچنین با روش آماری سالووف نیز نقشه آنومالی‌های ژئوشیمیایی منطقه رسم شد. این دو روش (روش آماری چند متغیره آنالیز فاکتوری و روش آماری سالووف) نتایج یکسانی را ارائه دادند.
- جهت تلفیق لایه‌های اطلاعاتی به علت عدم وجود شواهد و اندیس اکتشافی در منطقه مورد مطالعه از روش همپوشانی شاخص که جزء روش‌های دانش محور است استفاده شد. نقشه مناطق دگرسانی، نقشه زمین‌شناسی، ساختاری و نقشه آنومالی‌های ژئوشیمیایی منطقه مورد مطالعه، لایه‌های اطلاعاتی هستند که جهت تلفیق و تعیین مناطق بهینه حفاری مورد استفاده قرار گرفتند. لایه‌های اطلاعاتی براساس ارتباط با کانی‌زایی مس و آهن وزن‌دهی شدند که نتایج

حاصل از تلفیق این لایه‌ها منجر به تهیه نقشه پتانسیل مطلوب و تعیین نقاط بهینه حفاری شد.

۶-۲- پیشنهادات

براساس مطالعات انجام شده در این پایان‌نامه، پیشنهادات زیر به طور خلاصه ارائه می‌گردد:

- پیشنهاد می‌گردد از روش‌های ژئوفیزیکی نیز جهت بالابردن سطح عملیات اکتشافی در منطقه مورد مطالعه استفاده شود.
- پیشنهاد می‌گردد جهت تلفیق لایه‌های اکتشافی از روش منطق فازی و روش‌های دیگری همچون روش شبکه عصبی و عصبی-فازی هم استفاده گردد.
- در مناطق بهینه حفاری گمانه‌هایی جهت بررسی عمقی ماده معدنی حفر گردد.

منابع فارسی

- آقاجانی، ح.، (۱۳۸۳)، " بررسی دور سنجی در محدوده کوه خونی تا کوه کال کافی"، اولین کنفرانس مهندسی معدن ایران، ص ۱۰.
- آلیانی، ف. دادفر، ث، معانی جو، م.، (۱۳۹۳)، "آشکارسازی زون‌های دگرسانی کانسار آهن حاجی‌آباد، با استفاده از داده‌های (VNIR+SWIR) سنجنده ASTER". زمین‌شناسی مهندسی و محیط زیست، سال بیست و چهارم، شماره ۹۴، ص ۷۳-۸۰.
- آیزدپناه، آ؛ اعتمادی، ش؛ لادریان، ع.ا؛ جلالی، م.، (۱۳۹۲)، " تحلیل فاکتوری داده‌های ژئوشیمیایی آبراهه‌ای جهت اکتشاف نواحی امیدبخش در منطقه سخته حصار-استان مرکزی"، هفدهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، ص ۲۶۲-۲۷۵.
- اصلانی، ا. کوهساری، ا.ح.، (۱۳۹۴)، " بررسی وضعیت غنی‌شدگی عنصر نیوبیوم در ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ جام با استفاده از تحلیل آماره U"، همایش ملی زمین‌شناسی و اکتشاف منابع، شیراز.
- امیری رودبار، ا.، (۱۳۹۲)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، "تهیه نقشه‌ی پتانسیل مطلوب ذخایر کرومیت، در ورقه‌ی ۱:۱۰۰۰۰۰ زمین‌شناسی میناب در سامانه اطلاعات جغرافیایی"، دانشکده معدن، نفت و ژئوفیزیک، دانشگاه صنعتی شاهرود، ص ۸۴-۱۱۰.
- بونهام- کارتر، گ.، (۱۳۷۹)، "سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی برای دانش‌پژوهان علوم زمین"، ترجمه گروه اطلاعات زمین مرجع، چاپ اول، انتشارات سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران، ص ۵۶۴.
- پشنگ، ع.، (۱۳۹۲)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، "تهیه نقشه پتانسیل مطلوب ذخایر کرومیت در شمال تربت حیدریه"، دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک، دانشگاه صنعتی شاهرود.
- پنجمی، م. طباطبایی، س.ح. اسدی هارونی، ه.، (۱۳۹۲)، "شناسایی و تفکیک زون‌های آلتراسیون هیدروترمال ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ جلفا با استفاده از داده‌های ASTER". هفدهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، ص ۸۰-۸۹.

تاجیک، م. کاکائی، ر.، (۱۳۸۵)، " کاربرد تصاویر سنجنده ASTER در تفکیک زون‌های دگرسانی مس پورفیری (برگه ۱:۱۰۰۰۰۰ جبال بارز)، " بیست و پنجمین گردهمایی علوم زمین.

چاروسه، ه.، (۱۳۸۸)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، " اکتشافات ژئوشیمیایی رسوبات آبراهه‌ای در منطقه کوه پی اوشک، جنوب شرق طبس"، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران.

حسنی‌پاک، ع.ا.، (۱۳۸۳)، " اصول اکتشافات ژئوشیمیایی"، انتشارات دانشگاه تهران، ص ۶۰۱.

حسنی‌پاک، ع.ا. شرف‌الدین، م.، (۱۳۹۰)، " تحلیل ذاده‌های اکتشافی"، انشارات دانشگاه تهران، ص ۹۸۷.

خالو کاکایی، ر. صفایی، ه. حاج حیدری، ع.، (۱۳۸۳)، " شناسایی منطقه دگرسانی جنوب کاشان (ناحیه ابیان) در ارتباط با کانی سازی طلا با استفاده از داده‌های رقومی ماهواره‌ای"، هشتمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، ص ۳۲-۳۸.

دودانگه، ر. حیدریان شهری، م. ر. خورشیدی، م. کریم‌پور، م.ح.، (۱۳۸۹)، " برداشت‌های مغناطیس زمینی برای اکتشاف آهن در کوه سالوک، اسفراین، خراسان شمالی"، هجدهمین همایش بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران، ص ۳۶۴-۳۶۹.

رنجبر، ح. شهریاری، ه.، (۱۳۸۵)، " مقایسه داده‌های سنجنده ETM و سنجنده ASTER جهت نقشه‌برداری مناطق دگرسان‌شده در بخش مرکزی کمر بند دهج- ساردوییه استان کرمان"، مجله بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران، ص ۳۶۷-۳۶۲.

زارع چاهوکی، م.ع.، (۱۳۸۹)، " روش‌های تحلیل چند متغیره در نرم‌افزار SPSS، انتشارات دانشگاه تهران.

زنده دل، ا.، (۱۳۸۶)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، " تلفیق داده‌های اکتشافی با استفاده از GIS به منظور ارزیابی آنومالی‌های طلا دار اندیس گندی در ناحیه معلمان، استان سمنان"، دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک، دانشگاه صنعتی شاهرود.

سهیلی، م. سهندی، م.ر.، (۱۳۷۶)، " نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ سنخواست"، سازمان زمین-
شناسی کشور.

سیدمجرد، س.م. میرمحمدی، م.ص. عابدی، م.، (۱۳۹۵)، " مقایسه بی‌هنجاری‌های لیتوژئوشیمیایی با
اطلاعات زمین‌شناسی و آلتراسیون در کانسار کهنک"، اولین کنفرانس ملی پژوهش‌های نوین در علوم
فنی و مهندسی، اردبیل.

عباس‌زاده، س.؛ رحیمی‌پور، غ.ر؛ نجم‌الدینی، م.، (۱۳۹۲)، " شناسایی مناطق کانی‌زایی مس پورفیری با
استفاده از تلفیق روش‌های تک‌متغیره و چندمتغیره بر روی داده‌های ژئوشیمی آبراهه‌ای در منطقه
قلعه عسکر-استان کرمان"، نشریه علمی-پژوهشی روش‌های تحلیلی و عددی در مهندسی معدن،
شماره ۶، ص ۶۹-۸۲.

عبدی، م. کریم‌پور، م.ح. زرین‌کوب، م.ح.، (۱۳۹۳)، " تفسیر نتایج تحلیل فاکتوری داده‌های ژئوشیمیایی
رسوبات رودخانه‌ای با کمک داده‌های زمین‌شناسی، دگرسانی و کانه‌زایی در منطقه کوه شاه، بیرجند،
خراسان جنوبی"، کنفرانس علوم زمین، سال بیست و سوم، شماره ۹۲، ص ۲۳-۳۸.
عسگری، ج. علیمحمدی، ا. نصیری، ی.، (۱۳۹۳)، " کاربرد سنجش از دور (RS) در اکتشاف کانسارها"،
نخستین همایش ملی کاربرد مدل‌های پیشرفته تحلیل فضایی در آمایش سرزمین، دانشگاه آزاد
اسلامی - واحد یزد.

علوی‌پناه، س.ک.، (۱۳۸۲)، " کاربرد سنجش از دور در علوم زمین"، چاپ اول، انتشارات دانشگاه
تهران.

فاطمی، س.ب. رضایی، ی.، (۱۳۸۵)، مبانی سنجش از دور"، چاپ اول، انتشارات آزاده، تهران، ص
۲۳۴.

کریم‌پور، م.ح. سعادت، س.، (۱۳۸۴)، " زمین‌شناسی اقتصادی کاربردی"، چاپ دوم، انتشارات دانشگاه
فردوسی، مشهد، ص ۵۲۲.

فراهانی، م. هزارخانی، ا. ا. احدی، م.، (۱۳۸۷)، " تلفیق و آنالیز داده‌های سنجنده استر، ژئوفیزیک هوایی و زمین‌شناسی برای اکتشاف کانی‌زایی مس در منطقه چهارگنبد، مطالعه GIS"، همایش مهندسی معدن، سال نوزدهم، ص ۲۷-۳۴، دانشگاه امیرکبیر، تهران.

فرزادیان، م.، (۱۳۸۷)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، " تفسیر داده‌های مقاومت‌ویزه، قطبش القایی، مغناطیس سنجی و تلفیق آن با نتایج داده‌های ژئوشیمیایی اکتشافی برای اکتشاف ذخایر سرب و روی محدوده شمالی چیچکلو (شرق تکاب) در محیط GIS"، دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک، دانشگاه صنعتی شاهرود.

قائدرحمتی، ر. فتحیان‌پور، ن.، (۱۳۸۳)، " آشکارسازی دولومیت‌های ماسه‌ای آهن‌دار مرتبط با کانی-سازی سرب و روی به روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی داده‌های ماهواره‌ای TM"، اولین کنفرانس مهندسی معدن ایران، ص ۶۹، تهران.

کریم‌پور، م.ح. ملک‌زاده، آ. حیدریان، م.ح.، (۱۳۸۴)، " اکتشاف ذخایر معدنی، مدل‌های زمین‌شناسی، ژئوشیمی، ماهواره‌ای و ژئوفیزیکی"، انتشارات دانشگاه فردوسی، مشهد.

محمدی چمپیری، س.، (۱۳۸۸)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، " بررسی کنترل‌کننده‌های ساختاری و آلتراسیون‌های در رابطه با کانی‌سازی محدوده‌ی اکتشافی مس و طلای دالی با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای در محیط GIS"، دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک، دانشگاه صنعتی شاهرود، ص ۹۷-۱۰۵.

مر، ف. تنگستانی، ه.، (۱۳۸۲)، " سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی"، مرکز نشر دانشگاهی تهران، چاپ اول.

مهرمنش، ا. صاحبی، م.ر. ولدان‌زوج، م.ح. سلطانی، م.، (۱۳۹۲)، " مدل‌سازی تعیین نقاط بهینه حفاری با بهره‌گیری از تصاویر ماهواره‌ای Hyperion و شبکه‌های عصبی"، نشریه علمی پژوهشی مهندسی فناوری اطلاعات مکانی، سال یکم، شماره اول.

هنرپژوه، ج.، (۱۳۸۱)، پایان نامه کارشناسی ارشد، "اکتشافات ژئوشیمیایی ناحیه‌ای در محدوده‌ی برگه‌ی توپوگرافی شهرک ربط"، دانشگاه تهران.

یوسفی، م. کامکار روحانی، ا.، (۱۳۸۹)، "اصول روش‌های مدل‌سازی پتانسیل معدنی"، جلد اول، چاپ اول، انتشارات جهاد دانشگاهی واحد صنعتی امیرکبیر تهران.

References

- Amera, S.A., (2007), "Spectral remote sensing of hydrothermal alteration associated with volcanogenic massive sulphide deposits, Gorob Hope area, Namibia", International institute for geo information science and earth observation, Delft, The Netherlands.
- Bonham-Carter, G. F., (1994), "Geographic information systems for geoscientists Modeling with Gis", Computer methods in the Geosciences, Vol 13.
- Carranza, E.J.M., (۲۰۰۸), "Geochemical Anomaly and Mineral Prospectivity Mapping in Gis", Handbook of Exploration and Environmental Geochemistry, Vol 11, Elsevier, Amsterdam.
- Darnely, A.G., (1990), "International geochemical mapping", Journal of geochemical exploration, Vol 39, PP 1-14.
- Grigorian, S.V., (1985), "Secondary litochemical haloes in prospecting for hidden mineralization", Nedra publishing House, Moscow, PP 176.
- Hewson, R. D., Cudahy, T. J., Mizuhiko, S., Ueda, K. & Mauger, A. J., (2005), "Seamless geological map generation using ASTER in the Broken Hill-Curnamona province of Australia", Remote Sensing of Environment, 99: 159-172.
- Khaleghi, M. & Ranjbar, H., (2011), "Alteration Mapping for Exploration of Porphyry Copper Mineralization in the Sardueh area, Kerman Province, Iran. Using ASTER SWIR Data", Australian Journal of Basic and Applied Sciences, 5(8): 61-69.
- Ninomiya, Y., (2003), "Astabilized vegetation index and several mineralogic indices detined for ASTER VNIR and SWIR data", Proceeding of IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, IGARSS03, 3: 1552-1554.
- Prost, G. L., (2001), "Remote sensing for geologist, A guide to image interpretation", Second edition, Gordon and Breach, Switzerland.
- Quattara, T., Couture, R., Bobrowsky, P.T., Moore, A., (2004), "Remote sensing and geosciences", geology survey of Canada, Ottawa, pp102.

- Ranjbar, H., Honarmand, M. & Moezifar, Z., (2004), "Application of the Crosta technique for porphyry copper alteration mapping, using ETM+ data in the southern part of the Iranian volcanic sedimentary belt", *Journal of Asian Earth Sciences*, 24: 237–243.
- Richards, J.A. Xiuping Jia., (2006), "Remote sensing Digital image Analysis", 4th edition Springer- Verlag Berlin Heidelberg 2006 Printed in Germ.
- Rowan, L.C., Schmidt, R.G., & Mars, J.C., (2006), " Distribution of hydrothermally altered rocks in the Reko Diq, Pakistan mineralized area based on spectral analysis of ASTER data", *Journal of Remote Sensing of Environment*, volume 104, pp.74-87.
- Rouskov, K., Popov, K., Stoykov, S., & Yamaguchi, Y., (2005), "Some application of the remote sensing in geology by using of aster image", In Scientific Conference .SPACE, ECOLOGY, SAFETY, PP 375-447.
- Sabins, F. F., (1999), " Remote sensing for mineral exploration", *Ore Geology Reviews* 14, PP 157-183.
- Tangestani, M.H., Mazhari, N., Ager, B., & Moore, F., (2008), " Evaluating advance spaceborne thermal emission and reflection radiometer (ASTER) data for alteration zone enhancement in a semi-arid area, northern Shahr-e-Babak, SE Iran", *Int. J. Rem. Sens.*, 29(10): 2833-2850.
- Tommaso, D. I. & Rubinstein, N., (2007), " Hydrothermal alteration mapping using ASTER data in the Infiernillo porphyry deposit, Argentina", *Ore Geology Reviews*, 32: 275-290.
- Yousefi, M., (2010), "Geochemical, Geophysical exploration, Geology& Remote sensing & radioecology of NARIGAN area-Anomally2" , Islamic Azad University Tehran South Branch, Tehran.

Abstract

The processing and integration of exploratory data is important in determining the promising areas of mineralization and is effective in selecting drilling points. For this purpose, the Geographic Information System (GIS), as a tool for quantitative and qualitative analysis of data, storage and integration of exploratory data, can be used. The purpose of this research is to determine the promising areas of copper and iron mineralization by combining exploratory information in the studied area in the map of 1: 100,000 scale. The rock units of this range include limestone, shale, siltstone, sandstone, basalt and basalt andesite. In this research, after exploration and processing of remote sensing data, geology, structural and geochemistry of the study area, suitable exploratory maps were selected for exploration of copper and iron deposits in this area. The processing of satellite images in the ENVI 5.3 software environment was carried out using bonding methods and principal components analysis. The results of satellite images processing with these methods led to the discovery of propylitic, ironical, and iron oxide alterations in the study area.

In order to distinguish and reveal geochemical anomalies, factor analysis method based on PCA was used. To interpret the geochemical data, SPSS16 software was used.

Due to the lack of evidence and exploratory index in the study area, the index overlap method, which is one of the knowledge-based methods, was used. In order to combine the exploratory layers, these maps were evaluated by expert opinion and based on the association with copper and iron mineralization and finally, these layers were combined using the overlapping index method. The results of the integration of the information layers led to the creation of a desirable potential map and the location of the drilling points. These points are located in the basalt igneous rocks and basalt andesite and the propylitic alteration includes these points. Also, according to the results of the analysis of samples, the iron and copper elements around these points are very high concentrations.

Keywords: Remote sensing; Geochemical anomalies; GIS; Index overlap; Iron and Copper deposits; Sankhast.



Shahrood University of Technology

Faculty of mining, Petroleum and Geophysics Engineering

M.Sc.Thesis in Mineral Exploration

Exploration of metal reserves in the Sankhast area on a local scale using geochemical and remote sensing methods

By: Obeidollah Mohammadi

Supervisors:

Dr.Mansour Ziaii

Advisors:

Dr.Saeed Yousefi

Mehdi Ziaei

September 2018