

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک

پایان نامه کارشناسی ارشد اکتشاف مواد معدنی

اکتشاف ذخایر پلی متال در ورقه های زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ معلمان و کلاته رشم

نگارنده:

زهرا محمدی

استاد راهنما:

دکتر منصور ضیایی

استاد مشاور:

مهندس مهدی ضیایی

شهریور ۱۳۹۷

شماره: ۳۰۷۲/۹۷
تاریخ: ۹۷/۷/۱۶

باسمه تعالی



مدیریت تحصیلات تکمیلی

فرم شماره (۳) صورتجلسه نهایی دفاع از پایان نامه دوره کارشناسی ارشد

با نام و یاد خداوند متعال، ارزیابی جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد خانم زهرا محمدی با شماره دانشجویی ۹۴۳۶۶۲۴ رشته مهندسی معدن گرایش اکتشاف تحت عنوان "اکتشاف ذخایر پلی متال در ورقه های زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ معلمان و کلاته رشم" که در تاریخ ۱۳۹۷/۰۶/۱۹ با حضور هیأت داوران در دانشگاه صنعتی شاهرود برگزار گردید به شرح ذیل اعلام می گردد:

قبول (با درجه: عالی) ☒ ☐ مردود			
نوع تحقیق: نظری ☒ عملی ☐			
عضو هیأت داوران	نام و نام خانوادگی	مرتبه علمی	امضاء
۱- استاد راهنمای اول	جناب آقای دکتر منصور ضیایی	دانشیار	
۳- استاد مشاور	جناب آقای مهندس مهدی ضیایی		
۴- نماینده تحصیلات تکمیلی	جناب آقای دکتر احمد واعظیان	استادیار	
۵- استاد ممتحن اول	جناب آقای دکتر رضا خالوکاکی	استاد	
۶- استاد ممتحن دوم	جناب آقای دکتر کامکار روحانی	دانشیار	

نام و نام خانوادگی رئیس دانشکده: جناب آقای دکتر محمد عطایی

تاریخ و امضاء و مهر دانشکده:



تبصره: در صورتی که کسری مردود شود حداکثر یکبار دیگر (در مدت مجاز تحصیل) می تواند از پایان نامه دفاع نماید.

مجدد نباید زودتر از ۴ ماه برگزار شود.

تقدیم به

پدر و مادر مهربانم

که در زندگی همواره یاور و دلسوز و خداکار و پشتیبان محکم و مطمئن برایم بوده اند

تقدیر و تشکر

در ابتدا خداوند بزرگ را شاکرم که در تمامی مراحل زندگی یار و یاور من بوده و الطاف بیکران خویش را از من دریغ ننموده است. اینک که به توفیق

حق، پایان نامه را به پایان رسانده ام و وظیفه خود می دانم که از پدر و مادر مهربان و صبورم تشکر و قدردانی کنم.

از استاد فرهیخته و بزرگوار جناب آقای دکتر منصور ضیایی که زحمات راهشایی این پایان نامه را بر عهده گرفتند؛ صمیمانه سپاسگزارم.

از جناب مهندس ضیایی به عنوان استاد مشاور که در تمامی مراحل تدوین پایان نامه همراهی نمودند، سپاسگزارم و آرزوی شادکامی و موفقیت روزافزون برای ایشان دارم.

بهمین از استاد ارجمند آقایان دکتر کاگانی و دکتر کاکار روحانی به خاطر زحمات داورانی این پایان نامه و ارائه نظرات سازنده و مفید و از جناب آقای دکتر واعظیان که زحمات ناینده تحصیلات تکلیفی را بر عهده داشتند، تشکر می نمایم.

از اعضای خانواده ام که با صبر و بردباری مشوق من در این راه بوده اند و تمامی دوستان عزیزم که مراد راه هر چه بهترین اثریاری نمودند کمال تشکر و قدردانی را دارم.

تعهد نامه

اینجانب **زهرا محمدی** دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته **مهندسی معدن** گرایش **اکتشاف** دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه **اکتشاف ذخایرد جدید پلی متال در ورقه های ۱:۱۰۰۰۰۰ معلمان و کلاته رشم تحت راهنمایی دکتر منصور ضیایی** متعهد می شوم.

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

امضای دانشجو

تاریخ ۱۳۹۷/۶/۱۰

مالکیت نتایج و حق نشر

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

چکیده

با به اهمیت کمربند متالوژنی ترود- چاه شیرین از لحاظ عناصر مس، طلا، سرب و روی، دو نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ معلمان و کلاته‌رشم به منظور تهیه نقشه‌های پتانسیل معدنی ذخایر پلی‌متال انتخاب شدند. بانک اطلاعات داده‌های ژئوشیمیایی، سنجش از دور، زمین‌شناسی و ساختاری از دو نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ معلمان و کلاته‌رشم در محیط GIS طراحی و پیاده‌سازی شد. داده‌های زمین‌شناسی برای تفکیک واحدهای سنگی موجود در منطقه، یکپارچه‌سازی دو نقشه و شناسایی گسل‌ها مورد استفاده قرار گرفت. داده‌های دورسنجی حاصل از تصاویر ماهواره‌ای ASTER و Sentinel-2A برای شناسایی و تفکیک دگرسانی‌های آرژیلیکی، پروپلیتیکی، فیلیکی، کربناته، سیلیسی و اکسیدهای آهن در منطقه معلمان و کلاته‌رشم استفاده شد. از داده‌های ژئوشیمیایی، ۱۳ عنصر Ni، Cr، Co، Cu، W، Bi، Mo، Sb، Zn، Pb، As، Au، Ag برای شناسایی الگوهای ژئوشیمیایی موجود در منطقه انتخاب و با پیش‌پردازش‌های لازم بر روی این عناصر، نقشه‌های ژئوشیمیایی با روش فرکتال عیار- مساحت تحلیل شدند. در پایان داده‌های اکتشافی توسط روش‌های وزن‌های نشانگر و منطق فازی در محیط GIS تلفیق شده و نقشه‌های پتانسیل معدنی حاصل گردید. به منظور اعتبارسنجی نقشه‌های خروجی پتانسیل معدنی از اندیس‌های پلی‌متال موجود در منطقه استفاده شد و بهینه‌ترین زون‌های کانی‌سازی برای اکتشافات تکمیلی ارائه شدند.

کلیدواژه‌ها: ذخایر پلی‌متال، فرکتال عیار- مساحت، مدل پتانسیل معدنی، روش وزن‌های نشانگر،

روش فازی، معلمان، کلاته‌رشم

لیست مقالات مستخرج از پایان نامه

Mohamadi Z, Ziaii M and Ziaii M., (2018) “Application of PCA method for hydrothermal alteration mapping in the Torud (Shahrood) area based on ASTER and Sentinel-2A multispectral data”, The 36th National and the 3rd International Geosciences Congress of Iran, Tehran, Iran.

فهرست مطالب

فصل اول: مقدمه و کلیات تحقیق

- ۱-۱- مقدمه ۲
- ۱-۲- مروری بر مطالعات انجام شده در منطقه ۳
- ۱-۳- هدف و ضرورت تحقیق ۵
- ۱-۴- مراحل انجام تحقیق ۶
- ۱-۵- ساختار پایان نامه ۶

فصل دوم: زمین شناسی منطقه

- ۱-۲- مقدمه ۱۰
- ۲-۲- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه و راه های دسترسی به آن ۱۰
- ۲-۳- شرایط آب و هوایی و پوشش گیاهی در منطقه مورد مطالعه ۱۱
- ۲-۴- ویژگی های زمین شناسی عمومی ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ معلمان ۱۲
- ۲-۴-۱- واحدهای مهم زمین شناسی ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ معلمان ۱۲
- ۲-۵- ویژگی های زمین شناسی عمومی ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ کلاته رشم ۱۷
- ۲-۵-۱- واحدهای مهم زمین شناسی ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ کلاته رشم ۱۷
- ۲-۶- گسل های منطقه معلمان و کلاته رشم ۲۱
- ۲-۷- دایک های ورقه معلمان و کلاته رشم ۲۳
- ۲-۸- کانسارها و اندیس های معدنی منطقه معلمان و کلاته رشم ۲۴
- ۲-۹- تهیه نقشه یکپارچه ۱:۱۰۰۰۰۰ معلمان و کلاته رشم ۲۵

فصل سوم: دورسنجی

- ۳-۱-۱- مقدمه ۳۰
- ۳-۲-۱- تاریخچه سنجش از دور ۳۰
- ۳-۲-۱- معرفی سنجنده استر ۳۱
- ۳-۲-۲- معرفی ماهواره Sentinel-2A ۳۲
- ۳-۴-۱- پیش پردازش تصاویر ماهواره‌ای ۳۵
- ۳-۴-۱- تصحیح رادیومتریک ۳۵
- ۳-۴-۲- تصحیح هندسی ۳۶
- ۳-۵-۱- پردازش تصاویر ماهواره‌ای و انواع روش‌های آن ۳۷
- ۳-۵-۱- ترکیب رنگی ۳۷
- ۳-۵-۲- نسبت باندی ۳۸
- ۳-۵-۳- آنالیز مؤلفه‌های اصلی ۳۸
- ۳-۶-۱- نتایج مطالعات دورسنجی در منطقه مورد مطالعه ۳۹
- ۳-۶-۱- آماده‌سازی تصاویر ۳۹
- ۳-۶-۲- پردازش تصاویر ۴۰
- ۳-۶-۲-۱- جدا کردن مناطق دگرسانی با نسبت باندی در تصاویر ASTER و Sentinel-2A ۴۰
- ۳-۶-۲-۲- جدا کردن مناطق دگرسانی با استفاده از روش ترکیب رنگی ۴۳
- ۳-۶-۲-۳- جدا کردن مناطق دگرسانی با استفاده از آنالیز مؤلفه‌های اصلی ۴۵
- ۳-۶-۲-۴- تحلیل مؤلفه‌های اصلی انتخابی (کروستا) ۴۷

فصل چهارم: ژئوشیمی

۱-۴- مقدمه	۵۲
۲-۴- پیش‌پردازش اولیه داده‌ها	۵۲
۱-۲-۴- داده سنسورد	۵۲
۲-۲-۴- داده خارج از ردیف	۵۳
۳-۲-۴- بررسی نرمال بودن داده‌ها و نرمال‌سازی	۵۳
۳-۴- پردازش داده‌های ژئوشیمیایی	۵۳
۱-۳-۴- پارامترهای آماری تک متغیره	۵۳
۲-۳-۴- پارامترهای آماری دو متغیره	۵۴
۱-۲-۳-۴- ضریب همبستگی	۵۴
۳-۳-۴- پارامترهای آماری چند متغیره	۵۵
۱-۳-۳-۴- روش‌های مبتنی بر مقادیر ویژه	۵۵
۱-۱-۳-۳-۴- تجزیه و تحلیل مؤلفه‌های اصلی	۵۵
۴-۴- جداسازی آنومالی از زمینه	۵۶
۱-۴-۴- محاسبه حد زمینه و آستانه آنومالی با استفاده از روش آماری سالووف	۵۶
۲-۴-۴- جداسازی آنومالی از زمینه با استفاده از هندسه فرکتال	۵۷
۱-۲-۴-۴- روش عیار- مساحت	۵۹
۴-۴- نتایج مطالعات ژئوشیمیایی در منطقه مورد مطالعه	۶۰
۱-۴-۴- داده‌های ژئوشیمیایی مورد استفاده در ورقه‌های ۱:۱۰۰۰۰۰ معلمان و کلاته‌رشم	۶۰

۶۱	۲-۴-۴- پیش پردازش داده‌های ژئوشیمیایی
۶۳	۳-۴-۴- بررسی پارامترهای آماری تک متغیره داده‌ها
۶۵	۱-۴-۴-۴- جداسازی آنومالی از زمینه به روش سالووف
۶۵	۲-۴-۴-۴- جداسازی آنومالی از زمینه به روش هندسه فرکتال (عیار- مساحت)
۶۸	۵-۴-۴- نقشه‌های تک عنصره منطقه معلمان و کلاته‌رشم
۷۳	۶-۴-۴- تحلیل ضریب همبستگی داده‌های مورد مطالعه
۷۵	۷-۴-۴- تحلیل مؤلفه‌های اصلی داده‌های مورد مطالعه
۸۵	فصل پنجم: تلفیق داده‌ها و لایه‌های اطلاعاتی به روش وزن‌های نشانگر و منطق فازی در GIS
۸۶	۱-۵- مقدمه
۸۶	۲-۵- مدل‌سازی (نقشه‌برداری) پتانسیل معدنی (MPM)
۸۸	۱-۲-۵- روش‌های داده محور
۸۹	۱-۱-۲-۵- روش وزن‌های نشانگر
۹۸	۲-۲-۵- روش‌های دانش محور
۹۹	۱-۲-۲-۵- منطق فازی
۱۰۰	۲-۲-۲-۵- روش تحلیل سلسله مراتبی
۱۰۱	۳-۵- تهیه نقشه پتانسیل معدنی ذخایر پلی‌متال به روش وزن‌های نشانگر در منطقه
۱۰۱	۱-۳-۵- تهیه نقشه شاهد زمین‌شناسی
۱۰۳	۲-۳-۵- تهیه نقشه شاهد گسل‌ها
۱۰۵	۳-۳-۵- تهیه نقشه شاهد دگرسانی‌ها

۵-۳-۴- تهیه نقشه شاهد ژئوشیمیایی ۱۰۹

۵-۴- تهیه نقشه پتانسیل معدنی ذخایر پلی متال به روش فازي در منطقه مورد مطالعه ۱۱۵

۵-۵- اعتبارسنجی مدل پتانسیل معدنی ۱۱۸

۵-۶- مقایسه‌ی نقشه پتانسیل مطلوب بدست آمده به روش فازي و روش وزن‌های نشانگر ۱۱۹

فصل ششم: نتیجه‌گیری

۶-۱- نتیجه‌گیری ۱۲۴

۶-۲- پیشنهادها ۱۲۵

منابع و مآخذ

منابع فارسی ۱۲۸

Reference ۱۳۲

فهرست شکل‌ها

- شکل ۱-۲: راه‌های دسترسی به مناطق ۱:۱۰۰۰۰۰ معلمان و کلاته‌رشم ۱۱
- شکل ۲-۲: نقشه گسل‌های موجود در نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ منطقه معلمان و کلاته‌رشم... ۲۳
- شکل ۱-۳: توان تفکیک مکانی و مشخصات طیفی ماهواره‌ها ۳۴
- شکل ۲-۳: (الف) همبستگی کامل بین دو متغیر، (ب) چرخش محور مختصات در PCA ۳۹
- شکل ۳-۳: نسبت باندی ۶/(۷+۴) سنجنده استر در منطقه مورد مطالعه ۴۱
- شکل ۴-۳: نسبت باندی ۸/۹ سنجنده استر در منطقه مورد مطالعه ۴۱
- شکل ۵-۳: نسبت باندی ۱۲/۱۴ سنجنده استر در منطقه مورد مطالعه ۴۲
- شکل ۶-۳: نسبت باندی ۱۴/۱۳ سنجنده استر در منطقه مورد مطالعه ۴۲
- شکل ۷-۳: نسبت باندی ۲/۴ سنجنده Sentinel-2A در منطقه مورد مطالعه ۴۲
- شکل ۸-۳: ترکیب رنگی کاذب (۸-۶-۴) RGB: سنجنده استر در محدوده مورد مطالعه ۴۳
- شکل ۹-۳: ترکیب رنگی کاذب (۱۰-۱۲-۱۴) RGB: سنجنده استر در محدوده مورد مطالعه ۴۴
- شکل ۱۰-۳: ترکیب رنگی کاذب از نسبت‌های باندی (۱۴/۱۳ - ۸/۹ - ۶/(۴+۷)) RGB: سنجنده استر در محدوده مورد مطالعه ۴۴
- شکل ۱۱-۳: ترکیب رنگی (PC5, PC4, PC6) RGB: سنجنده استر در محدوده مورد مطالعه ۴۶
- شکل ۱۲-۳: ترکیب رنگی کاذب (PC4, PC2, -PC2) RGB: سنجنده استر در محدوده مورد مطالعه ۴۷
- شکل ۱۳-۳: ترکیب رنگی (PC2, PC3, PC3) RGB: سنجنده استر در محدوده مورد مطالعه ۴۹
- شکل ۱۴-۳: مؤلفه اصلی دوم نشان‌دهنده اکسید آهن با استفاده از روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی انتخابی سنجنده Sentinel-2A در منطقه مورد مطالعه ۵۰

- شکل ۴-۱: موقعیت نمونه‌های ژئوشیمیایی ورقه‌های ۱:۱۰۰۰۰۰ معلمان و کلاته‌رشم ۶۱
- شکل ۴-۲: هیستوگرام عناصر Zn، Pb، Cu، Au قبل و بعد از نرمال کردن داده‌ها در ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ معلمان ۶۲
- شکل ۴-۳: هیستوگرام عناصر Zn، Pb، Cu، Au قبل و بعد از نرمال کردن داده‌ها در ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ کلاته‌رشم ۶۳
- شکل ۴-۴: نمودارهای عیار-مساحت برای داده‌های لگاریتمی عنصر طلا در الف) ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ معلمان و ب) ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ کلاته‌رشم ۶۶
- شکل ۴-۵: نمودارهای عیار-مساحت برای داده‌های لگاریتمی عنصر مس در الف) ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ معلمان و ب) ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ کلاته‌رشم ۶۶
- شکل ۴-۶: نمودارهای عیار-مساحت برای داده‌های لگاریتمی عنصر سرب در الف) ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ معلمان و ب) ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ کلاته‌رشم ۶۷
- شکل ۴-۷: نمودارهای عیار-مساحت برای داده‌های لگاریتمی عنصر روی در الف) ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ معلمان و ب) ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ کلاته‌رشم ۶۷
- شکل ۴-۸: نقشه کلاسه‌بندی شده برای داده‌های لگاریتمی عنصر طلا براساس روش الف) فرکتال عیار-مساحت، ب) سالووف در ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ معلمان و کلاته‌رشم ۶۹
- شکل ۴-۹: نقشه کلاسه‌بندی شده برای داده‌های لگاریتمی عنصر مس براساس روش الف) فرکتال عیار-مساحت، ب) سالووف در ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ معلمان و کلاته‌رشم ۷۰
- شکل ۴-۱۰: نقشه کلاسه‌بندی شده برای داده‌های لگاریتمی عنصر سرب بر اساس روش الف) فرکتال عیار-مساحت، ب) سالووف در ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ معلمان و کلاته‌رشم ۷۱
- شکل ۴-۱۱: نقشه کلاسه‌بندی شده برای داده‌های لگاریتمی عنصر روی براساس روش الف) فرکتال

- عیار- مساحت، ب) سالووف در ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ معلمان و کلاته‌رشم. ۷۲
- شکل ۴-۱۲: نقشه آنومالی کلاسه‌بندی شده امتیازات حاصل از تحلیل مؤلفه‌های اصلی داده‌های لگاریتمی براساس روش فرکتال عیار- مساحت در ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ معلمان. ۷۷
- شکل ۴-۱۳: نقشه آنومالی کلاسه‌بندی شده امتیازات حاصل از تحلیل مؤلفه‌های اصلی داده‌های لگاریتمی براساس روش فرکتال عیار- مساحت در ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ کلاته‌رشم. ۷۹
- شکل ۴-۱۴: نقشه آنومالی مؤلفه اصلی اول حاصل از تحلیل مؤلفه‌های اصلی داده‌های لگاریتمی با استفاده از روش فرکتال عیار- مساحت در منطقه مورد مطالعه. ۸۱
- شکل ۴-۱۵: نقشه آنومالی مؤلفه اصلی سوم حاصل از تحلیل مؤلفه‌های اصلی داده‌های لگاریتمی با استفاده از روش فرکتال عیار- مساحت در منطقه مورد مطالعه. ۸۲
- شکل ۴-۱۶: نقشه آنومالی مؤلفه اصلی چهارم حاصل از تحلیل مؤلفه‌های اصلی داده‌های لگاریتمی با استفاده از روش فرکتال عیار- مساحت در منطقه مورد مطالعه. ۸۲
- شکل ۵-۱: دیاگرام ون جهت نمایش محاسبات روش وزن‌های نشانگر. ۹۰
- شکل ۵-۲: نقشه واحدهای زمین‌شناسی مساعد. ۱۰۲
- شکل ۵-۳: نقشه شاهد دوتایی واحد زمین‌شناسی Et,v. ۱۰۲
- شکل ۵-۴: نقشه شاهد دوتایی واحد زمین‌شناسی Esp. ۱۰۳
- شکل ۵-۵: نقشه بافر گسل‌ها در فواصل مختلف. ۱۰۴
- شکل ۵-۶: نقشه شاهد دوتایی گسل. ۱۰۴
- شکل ۵-۷: نقشه بافر مناطق دگرسانی الف) فیلیک- آرژیلیک، ب) پروپیلیتیک و ج) اکسیدهای آهن در فواصل مختلف. ۱۰۶
- شکل ۵-۸: نقشه شاهد دوتایی الف) دگرسانی فیلیک- آرژیلیک، ب) دگرسانی پروپیلیتیک و ج)

- اکسیدهای آهن ۱۰۸
- شکل ۵-۹: نقشه شاهد دوتایی ژئوشیمیایی الف) مؤلفه اصلی اول، ب) مؤلفه اصلی سوم و ج) مؤلفه اصلی چهارم در منطقه مورد مطالعه ۱۱۰
- شکل ۵-۱۰: نقشه پتانسیل معدنی ذخایر پلی‌متال براساس روش وزن‌های نشانگر (با در نظر گرفتن استقلال شرطی در سطح اطمینان ۹۸٪) ۱۱۲
- شکل ۵-۱۱: نمودار درصد مساحت تجمعی و مقدار احتمال متأخر ۱۱۳
- شکل ۵-۱۲: نقشه پتانسیل معدنی ذخایر پلی‌متال براساس روش وزن‌های نشانگر (با در نظر گرفتن استقلال شرطی در سطح اطمینان ۹۵٪) ۱۱۴
- شکل ۵-۱۳: نقشه پتانسیل معدنی ذخایر پلی‌متال براساس روش فازی در منطقه مورد مطالعه ۱۱۷
- شکل ۵-۱۴: نقشه نهایی مناطق امید بخش معرفی شده با استفاده از روش وزن‌های نشانگر ۱۲۰
- شکل ۵-۱۵: نقشه پتانسیل معدنی مناطق امید بخش معرفی شده با استفاده از روش فازی ۱۲۱

فهرست جدول‌ها

- جدول ۱-۲: نشانه و کانسارهای پلی‌متال در منطقه مورد مطالعه ۲۵
- جدول ۱-۳: خصوصیات سنجنده استر ۳۲
- جدول ۲-۳: خصوصیات سنجنده Sentinel-2A ۳۴
- جدول ۳-۳: نتایج حاصل از آنالیز مؤلفه‌های اصلی نه باند سنجنده استر در محدوده مورد مطالعه ۴۵
- جدول ۴-۳: نتایج حاصل از آنالیز مؤلفه‌های اصلی باندهای ۱۰-۱۴ سنجنده استر در منطقه مورد مطالعه ۴۶
- جدول ۵-۳: نتیجه حاصل از تحلیل مؤلفه‌های انتخابی برای نقشه‌برداری دگرسانی فیلیک بر روی باندهای ۴، ۶ و ۷ ۴۸
- جدول ۶-۳: نتیجه حاصل از تحلیل مؤلفه‌های انتخابی برای نقشه‌برداری دگرسانی آرژیلیک بر روی باندهای ۴، ۵ و ۷ ۴۸
- جدول ۷-۳: نتیجه حاصل از تحلیل مؤلفه‌های انتخابی برای نقشه‌برداری دگرسانی پروپیلیتیک بر روی باندهای ۶، ۷، ۸ و ۹ ۴۹
- جدول ۸-۳: نتیجه حاصل از تحلیل مؤلفه‌های انتخابی برای نقشه‌برداری اکسید آهن بر روی باندهای ۲، ۳، ۴ و ۸ از سنجنده Sentinel-2A ۴۹
- جدول ۱-۴: خلاصه پارامترهای آماری عناصر برداشت شده در ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ معلمان ۶۴
- جدول ۲-۴: پارامترهای آماری عناصر برداشت شده در ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ کلاته‌رشم ۶۴
- جدول ۳-۴: محاسبه مقادیر زمینه C_B ، انحراف معیار ε و آنومالی‌های ممکن، احتمالی و قطعی C_{A1} ۶۵
- جدول ۴-۴: محاسبه مقادیر زمینه C_B ، انحراف معیار ε و آنومالی‌های ممکن، احتمالی و قطعی C_{A1} ۶۵

- ۶۵ C_{A2} ، C_{A3} به روش سالووف در ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ کلاته‌رشم
- جدول ۴-۵: محاسبه حد آستانه‌ای مقدار زمینه و آنومالی به روش فرکتال عیار- مساحت در ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ معلمان ۶۷
- جدول ۴-۶: محاسبه حد آستانه‌ای مقدار زمینه و آنومالی به روش فرکتال عیار- مساحت در ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ کلاته‌رشم ۶۸
- جدول ۴-۷: ضریب همبستگی بین عناصر در ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ معلمان براساس لگاریتم داده‌های خام به روش پیرسون ۷۴
- جدول ۴-۸: ضریب همبستگی بین عناصر در ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ کلاته‌رشم براساس لگاریتم داده‌های خام به روش پیرسون ۷۴
- جدول ۴-۹: مقادیر ویژه مؤلفه‌های اصلی حاصل از PCA بر روی داده‌های لگاریتمی شده ژئوشیمیایی در ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ معلمان ۷۶
- جدول ۴-۱۰: مقادیر ویژه مؤلفه‌های اصلی حاصل از PCA بر روی داده‌های لگاریتمی شده ژئوشیمیایی در ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ کلاته‌رشم ۷۸
- جدول ۴-۱۱: مقادیر ویژه مؤلفه‌های اصلی حاصل از PCA بر روی تلفیق داده‌های لگاریتمی شده ژئوشیمیایی در ورقه‌های ۱:۱۰۰۰۰۰ معلمان و کلاته‌رشم ۸۰
- جدول ۵-۱: جدول وابستگی برای نشان دادن چهار موقعیت ممکن همپوشانی بین دو الگوی دوتایی پیش‌بینی کننده و ذخایر معدنی ۹۶
- جدول ۵-۲: تجزیه و تحلیل وزن‌های نشانگر برای واحدهای زمین‌شناسی مساعد ۱۰۲
- جدول ۵-۳: تجزیه و تحلیل وزن‌های نشانگر برای فواصل مختلف گسل‌ها ۱۰۴
- جدول ۵-۴: تجزیه و تحلیل وزن‌های نشانگر برای فواصل مختلف دگرسانی فیلک- آرژلیک،

۱۰۷..... پروپیلنیک و اکسید آهن

جدول ۵-۵: تجزیه و تحلیل وزن‌های نشانگر برای کلاس‌های مختلف در مؤلفه‌های اصلی اول، دوم و

۱۰۹..... سوم داده‌های ژئوشیمیایی

جدول ۵-۶: مقادیر مربع کای محاسبه شده برای نقشه‌های پیش‌بینی کننده ۱۱۱

جدول ۵-۷: وزن لایه و زیر لایه‌ها به روش تحلیل سلسله مراتبی ۱۱۶

فصل اول:

مقدمه و کلیات تحقیق

فعالیت‌های اکتشافی برای یافتن ذخایر معدنی به ویژه کانی‌ها و فلزات با ارزش اقتصادی شامل چهار مرحله انتخاب ناحیه، شناسایی هدف، ارزیابی منبع و تعیین ذخیره است. در مرحله انتخاب ناحیه اکتشافی، مناطق امید بخشی که احتمال حضور ذخایر معدنی مورد جستجو وجود دارد، تعریف می‌شود. این انتخاب براساس شناخت از ذخیره و محیط‌هایی در پوسته زمین یا نزدیک به سطح زمین که در آن‌ها فرآیندهای زمین‌شناسی (تکتونیکی و ...) برای کانی‌سازی مناسب هستند، صورت می‌گیرد. در مرحله شناسایی هدف، نواحی که باید برای اکتشاف تفضیلی مورد استفاده قرار گیرند، معرفی می‌شوند. عملیات اکتشافی در این مرحله براساس مدل اکتشافی ذخیره مورد جستجو و مجموعه داده‌هایی از قبیل زمین‌شناسی، ژئوفیزیکی و ژئوشیمیایی انجام می‌گیرد. شناسایی مناطق هدف خود یک فعالیت اکتشافی چند مرحله‌ای از مقیاس ناحیه‌ای تا مقیاس محلی است (Caranza, 2008). این تحقیق بر روی شناسایی مناطق هدف متمرکز شده است. در هر مقیاس از تعیین هدف اکتشاف، انواع مجموعه داده‌های مختلف علوم زمین‌شناسی به منظور استخراج بخش‌هایی از داده‌های فضایی شاهد کانی‌سازی جمع‌آوری و مورد تجزیه و تلفیق قرار می‌گیرند. این داده‌های فضایی شاهد کانی‌سازی عبارتند از آنومالی‌های ژئوشیمیایی، زمین‌شناسی و ژئوفیزیکی مرتبط با ذخایر مورد پی‌جویی و مناطق احتمالی در اثر همپوشانی این آنومالی‌ها تعریف می‌شود. بنابراین تعیین اهداف اکتشافی معادل با نقشه‌برداری پتانسیل معدنی و یا مواد معدنی بالقوه است (Caranza, 2011) که سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) محیطی مناسب برای ورود، تجزیه و تحلیل و مدل‌سازی حجم عظیمی از داده‌ها به منظور تهیه نقشه پتانسیل معدنی فراهم می‌کند.

در این پژوهش کمر بند ترود- چاه شیرین در ورقه‌های ۱:۱۰۰۰۰۰ معلمان و کلاته‌رشم به عنوان هدف اکتشافی انتخاب شده است و با تحلیل و تفسیر داده‌های ژئوشیمیایی آبراهه‌ای، داده‌های زمین‌شناسی، پردازش تصاویر ماهواره‌ای و وجود معادن و اندیس‌های معدنی، پتانسیل‌یابی در منطقه مورد مطالعه صورت گرفته است. نقشه پتانسیل معدنی تهیه شده در محیط GIS می‌تواند به عنوان

راهنما در پروژه‌های معدنی مورد استفاده قرار گیرد.

۱-۲- مروری بر مطالعات انجام شده در منطقه

به طور کلی کمربند ترود به دلیل حضور اندیس‌های کانه‌زایی متعدد نظیر مس، طلا، آهن، سرب و روی و همچنین گسل‌های فعال توجه بسیاری از زمین‌شناسان را به خود جلب کرده است. آثار معدن‌کاری قدیمی به صورت سرباره‌های ذوب و حفر ترانشه‌های اکتشافی به چشم می‌خورد. از این‌رو مطالعات فراوانی در منطقه صورت گرفته است که برخی از آن‌ها در ادامه شرح داده می‌شوند.

Hober & Stoklin (1956) در قالب برنامه‌های شرکت ملی نفت ایران در راستای تهیه نقشه‌های ۱:۱۰۰۰۰۰۰ ایران و نیز نقشه‌های ۱:۵۰۰۰۰۰ با اهداف اکتشاف ذخایر هیدروکربوری و تمرکز بر گنبد‌های نمکی منطقه، نخستین بازدیدهای زمین‌شناسی در منطقه را به عمل آورده‌اند.

سال ۱۹۹۵ میلادی با همکاری گروه اکتشافات ژئوشیمیایی سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور و شرکت چینی جیانگژی (Jiangxi) بررسی‌های سیستماتیک ژئوشیمیایی ۱:۱۰۰۰۰۰ بر نوار سمنا - کاشمر انجام شده است.

عادلی و همکاران (۱۳۶۹) در راستای انجام طرح پی‌جویی بررسی کانی‌سازی سرب و روی در محدوده، زمین‌شناسی و متالوژنی ناحیه ترود- خارتوران در خاور سمنا را مورد مطالعه قرار دادند و در نهایت یک نقشه متالوژنی با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰ برای معادن کل سرب و روی محدوده مورد مطالعه تهیه کردند.

آقاجانی (۱۳۷۵) در پایان‌نامه ارشد خود به مطالعات اکتشافی محدوده طلای کوه‌زر دامغان پرداخته و ارتباط کانه‌زایی را با واحدهای سنگی و دگرسانی منطقه بررسی نموده است.

راستاد و همکاران (۱۳۷۹) خاستگاه و پتانسیل طلا (مس) در محدوده معدنی دارستان- باغو (جنوب دامغان) را مورد مطالعه قرار دادند. به عقیده آن‌ها کانی‌سازی طلا در محدوده دارستان- باغو از نوع

رگه‌ای هیدروترمال است که از نظر خاستگاه، با نفوذی‌های کم عمق اسیدی تا حدواسط ارتباط تنگاتنگی دارد.

شمعانیان (۱۳۸۲) در پایان‌نامه دکتری خود به مطالعه کانی‌سازی فلزات پایه و گران‌بها در مناطق گندی و ابوالحسنی پرداخت. او کانی‌سازی گندی آن را به سه مرحله اصلی قابل تقسیم دانست. مرحله اول، از نظر کانی‌سازی فلزات گران‌بها دارای اهمیت اقتصادی است و شامل کانی‌سازی فلزات پایه همراه با طلای آزاد در برش‌های گرمایی است. مرحله دوم از چهار مرحله فرعی تشکیل شده و به طور عمده شامل کانی‌سازی فلزات پایه است. کانی‌سازی در منطقه ابوالحسنی را شامل سه مرحله اصلی دانست که دو مرحله اول و دوم دارای مجموعه کانی‌های یکسان شامل کوارتز، گالن، اسفالریت، پیریت و کالکوپریت است و از نظر مقدار فلزات پایه دارای اهمیت اقتصادی می‌باشد. براساس مشخصات کانی‌سازی مانند عیار پایین‌تر و شوری بالاتر در منطقه ابوالحسنی، امکان وجود رگه‌های پر عیار فلزات گران‌بها را در عمق بعید دانسته است. برعکس، در منطقه گندی احتمال گسترش رگه‌های پرعیار طلا در عمق را بالا دانسته و پیشنهاد داده است که اکتشاف در این ناحیه باید بر مناطق با حداقل عمق فرسایش، یعنی کمتر از ۲۰۰ تا ۳۰۰ متر تمرکز یابد.

زنده‌دل (۱۳۸۶) در پایان‌نامه کارشناسی ارشد خود از الگوی طبقه‌بندی انتخابی بیزین برای تفکیک آنومالی‌های طلادار در اندیس گندی (مقیاس اکتشافی محلی) و از روش طبقه‌بندی وزن‌های نشانگر در مطالعه زون متالوژنی تروود-چاه شیرین (مقیاس اکتشافی ناحیه‌ای) استفاده کرد.

مهری و همکاران (۱۳۸۷) با توجه به مشاهدات صحرایی و مطالعه بافت مواد معدنی، ژئوشیمی و میان‌بازهای سیال، کانسار سرب و روی خانجار را به عنوان یک ذخیره MVT معرفی کردند.

مهرابی و قاسمی سیانی (۱۳۸۹) با بررسی کانی‌شناسی و زمین‌شناسی اقتصادی کانسار پلی‌متال چشمه حافظ نتیجه گرفتند که کانی‌سازی چشمه حافظ از نوع فلزات پایه اپی‌ترمال با سولفیداسیون متوسط است که رقیق‌شدگی عامل اصلی نهشت کانسنگ چشمه حافظ بوده است.

کی‌نژاد و همکاران (۱۳۸۹)، شکستگی‌های شمال منطقه ترود- معلمان و ارتباط آن را با کانه‌زایی منطقه بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که شکستگی‌های منطقه کنترل‌کننده رگه‌های کانه‌دار منطقه می‌باشند.

پورشعبان و همکاران (۱۳۸۹)، لیتوژئوشیمیایی و کانه‌نگاری کانسار مس کلاته مهران سمنان را بررسی و نتیجه گرفتند کانه‌زایی مس در منطقه به صورت رگه‌ای می‌باشد. همچنین مطالعات کانه‌نگاری نماینگر حضور گسترده کانه‌های مس در منطقه می‌باشد.

طالع ماسوله و همکاران (۱۳۸۹) زمین‌شناسی اقتصادی کانسار مس چاه گله شمال غرب ترود را مطالعه و خاستگاه کانسار را محلول هیدروترمال با درجه حرارت نه چندان زیاد که از سنگ‌های آتشفشانی نوع آندزیتی و تراکی آندزیتی منشأ گرفته‌اند، معرفی کردند.

شیخی (۱۳۹۲) در پایان‌نامه کارشناسی ارشد خود، زمین‌شناسی، دگرسانی و کانه‌زایی طلا در کانسار طلا باغو مورد بررسی قرار داده است. با توجه به همبستگی بالای عناصر طلا و مس در محدوده باغو، احتمالاً کانه‌سازی این دو عنصر با یکدیگر در طی یک فرآیند نهشت از سیالات سیلیسی در شکستگی‌ها رخ داده است، از این نظر پی‌جویی رگه‌های سیلیسی حاوی کانه‌های سولفیدی مس می‌تواند به عنوان یک راهنمای اکتشافی مناسب برای طلا مورد توجه قرار گیرد.

مصدق و همکاران (۱۳۹۳) به مطالعه زمین‌شناسی و کانی‌شناسی منگنز کانسار هلالان پرداختند و به این نتیجه رسیدند که این کانسار از نوع ولکانیکی- رسوبی می‌باشد.

ناهیدی‌فر (۱۳۹۳) در قالب پایان‌نامه ارشد خود کانی‌شناسی، ژئوشیمی و ژنز کانسار مس دیان را مورد مطالعه قرار داد و ژنز کانسار را در زمره‌ی کانسارهای اپی‌ترمال رگه‌ای دانست.

۱-۳- هدف و ضرورت تحقیق

گسترش فلزات پایه در زیر پهنه ترود- چاه شیرین بیان‌گر ارزش و پتانسیل معدنی منطقه است که از

دیرباز با توجه به گسترش فعالیت‌های معدن‌کاری در منطقه مورد توجه بوده است و به عنوان یکی از کمربندهای کانه‌زایی در ایران شناخته می‌شود. بنابراین ضرورت انجام این پژوهش بدلیل گستره مناسب منطقه مورد مطالعه از لحاظ گنجایش و گوناگونی ذخایر معدنی می‌باشد و هدف آن بررسی توان معدنی ناحیه انتخابی است. از این رو با تلفیق داده‌های زمین‌شناسی، ژئوشیمیایی، دورسنجی به تهیه نقشه پتانسیل معدنی ذخایر پلی‌متال در منطقه مورد مطالعه پرداخته می‌شود و مناطق پتانسیل‌دار و مستعد برای کانه‌زایی معرفی می‌شوند. برای مطالعات اکتشافی بیش‌تر و تفصیلی‌تر می‌توان بر روی مناطق پتانسیل‌دار و مستعد ذخایر معدنی متمرکز شد که نتیجه آن کاهش ریسک در اکتشافات ذخایر معدنی و بهینه‌سازی هزینه‌های عملیات اکتشافی خواهد بود.

۱-۴- مراحل انجام تحقیق

این مطالعه در چهار مرحله انجام شده است.

- رقوم‌سازی نقشه‌های زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ معلمان و کلاته‌رشم و سپس یکپارچه‌سازی آن‌ها به منظور تفکیک واحدهای لیتولوژیکی در ارتباط مستقیم یا غیر مستقیم با کانی‌سازی پلی‌متال.
- یکپارچه‌سازی و پردازش تصاویر ماهواره‌ای ASTER و Sentinel-2A به منظور شناسایی مناطق دگرسانی در ورقه‌های ۱:۱۰۰۰۰۰ معلمان و کلاته‌رشم.
- پردازش و تجزیه و تحلیل داده‌های ژئوشیمیایی منطقه در مقیاس ناحیه‌ای.
- وزن‌دهی و تلفیق لایه‌های اطلاعاتی به روش وزن‌های نشانگر و منطق فازی جهت تهیه نقشه پتانسیل معدنی ذخایر پلی‌متال در منطقه.

۱-۵- ساختار پایان‌نامه

علاوه بر این فصل، سایر مطالب پایان‌نامه در ساختاری به شرح زیر سازماندهی شده است:
در فصل دوم به موقعیت جغرافیایی و شرایط زمین‌شناسی منطقه پرداخته خواهد شد. در فصل سوم کلیاتی در مورد دورسنجی و پردازش داده‌های ماهواره‌ای ASTER و Sentinel-2A ارائه

خواهد شد. در فصل چهارم پردازش داده‌های ژئوشیمیایی بیان می‌گردد. در فصل پنجم نتایج تلفیق لایه‌های اکتشافی با استفاده از روش وزن‌های نشانگر و منطق فازی در سیستم اطلاعات جغرافیایی بصورت نقشه پتانسیل معدنی ذخایر پلی‌متال ارائه می‌شود. نهایتاً فصل ششم دربردارنده نتیجه‌گیری و پیشنهادات لازم در مورد کار انجام شده است.

فصل دوم

زمین‌شناسی منطقه

۲-۱- مقدمه

گستره مورد مطالعه در محدوده چهارگوش ۱:۲۵۰۰۰۰۰ ترود در استان سمنان واقع شده است و جزئی از زون ساختاری ایران مرکزی (درویش‌زاده، ۱۳۷۰) می‌باشد. این زون که محل قدیمی‌ترین قاره ایران است، در دوران پالئوزوئیک و اوایل مزوزوئیک خاصیت پلاتفرمی داشته ولی در اواخر دوران مزوزوئیک و سنوزوئیک تبدیل به زون کوهزایی بسیار فعالی گردیده است. این زون در ترشیری شاهد فعالیت ماگمایی بسیار گسترده‌ای بوده است که کمر بند آتشفشانی- نفوذی، ترود- چاه شیرین با روند شمال شرق- جنوب غرب را در حاشیه شمالی کویر مرکزی ایران تشکیل می‌دهد (درویش‌زاده، ۱۳۷۰). گسترش فلزات پایه در منطقه مورد مطالعه بیان‌گر ارزش و پتانسیل‌های معدنی منطقه است که از دیرباز با توجه به گسترش فعالیت‌های معدن‌کاری در منطقه مورد توجه بوده است. همراهی کانی‌های گوهری همچون فیروزه و عقیق با این سیستم‌های کانی‌سازی به ارزش اقتصادی این مجموعه می‌افزاید.

۲-۲- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه و راه‌های دسترسی به آن

منطقه مورد مطالعه در مختصات جغرافیایی $54^{\circ} 00'$ تا $55^{\circ} 00'$ طول شرقی و $35^{\circ} 00'$ تا $30'$ عرض شمالی قرار گرفته است. راه‌های ارتباطی به این ناحیه عبارتند از:

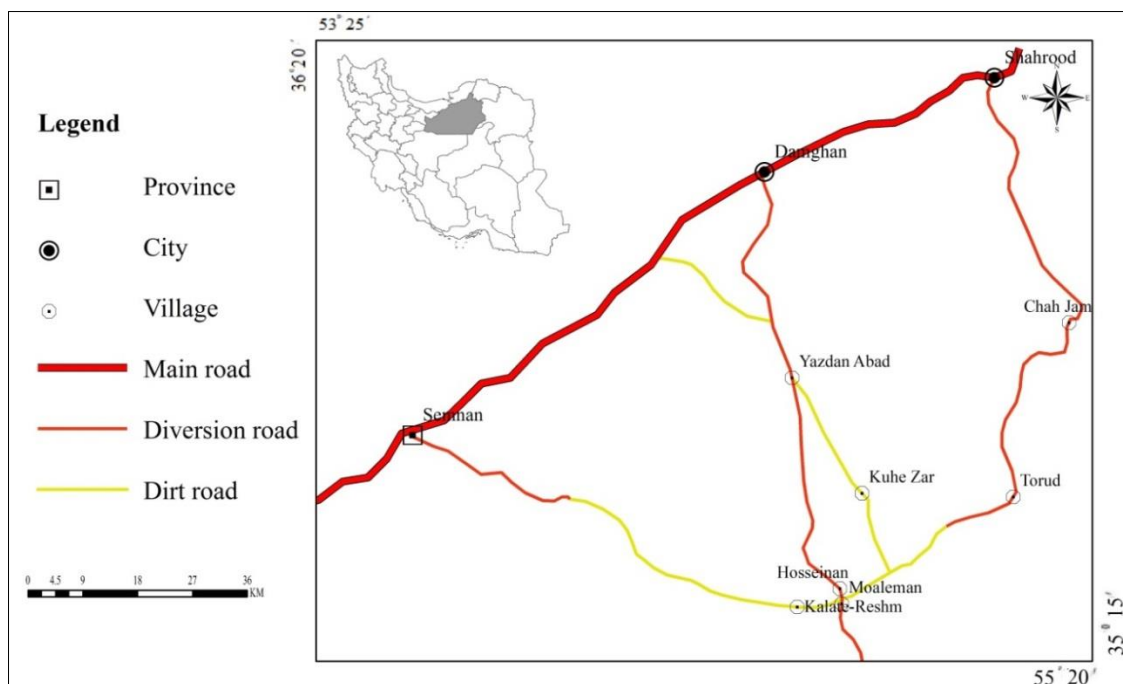
- جاده آسفالت اصلی دامغان به جندق که روستای معلمان در فاصله ۱۱۵ کیلومتری جنوب دامغان واقع گردیده است.

- جاده شوسه معلمان ترود که در میانه منطقه از غرب به شرق احداث شده است.

- راه آسفالت سرد دامغان به کوه زر، شیمی و باغو.

- جاده خاکی درجه سه یا کوهستانی کوه زر به ترود.

دیگر راه‌های ارتباطی منطقه به صورت جاده‌های خاکی کوهستانی و مال‌رو هستند و روستاها و مناطق کوهستانی را به یکدیگر و به جاده‌های آسفالتی مرتبط می‌نمایند (شکل ۱-۲).



شکل ۲-۱: راه‌های دسترسی به مناطق ۱:۱۰۰۰۰۰ معلمان و کلاتهرشم (اقتباس از اطلس راه‌های کشور)

۲-۳- شرایط آب و هوایی و پوشش گیاهی در منطقه مورد مطالعه

آب و هوا منطقه گرم و خشک و از نوع کویری تا نیمه کویری است. جریان‌های هوای گرم و خشک کویری در منطقه سبب افزایش حرارت هوا و تشدید گرد و غبار در سطح زمین می‌شود. بطور کلی این مناطق به علت مجاورت با کویر و کوهستان همواره با تغییرات فشار هوا روبرو بوده و با وزش بادهای غربی و کویری همراه می‌باشند. بادهای غربی معمولاً مرطوب و باران‌زا هستند. بادهای کویری موجب افزایش درجه حرارت منطقه شده و خشکی هوا را تشدید می‌کند. میزان نزولات جوی ناحیه بطور متوسط حدود ۱۴۷ میلی‌متر تعیین شده است. از نظر درجه حرارت و دما، پایین‌ترین دمای ناحیه ۶- درجه سانتی‌گراد و بالاترین دما به بیش از ۴۰ درجه سانتی‌گراد می‌رسد (شمعانیان، ۱۳۷۶). شرایط آب و هوایی خشک و بارش محدود برف سبب شده است که فعالیت معدن‌کاری تقریباً در تمام طول سال امکان‌پذیر باشد. پوشش گیاهی در منطقه از تراکم بسیار کمی برخوردار است و بیش‌تر از نوع کویری است و اغلب شامل بوته‌های کویری، درختچه‌های گز، زیره، اسپند کوهی، خاک شیر، درختچه‌های گز و ... می‌باشد.

۲-۴- ویژگی‌های زمین‌شناسی عمومی ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ معلمان

ناحیه معلمان از نگاه زمین‌شناسی ساختاری در زون ساختاری ایران مرکزی و در بخش شمالی آن واقع شده است. در تقسیم‌بندی نوگل سادات و الماسیان (۱۹۹۳) این ناحیه در نیمه شمالی واحد تکتونو- رسوبی ایران مرکزی و در زیر پهنه بخش مرکزی ماگمایی جای دارد. هوشمندزاده و همکاران (۱۳۵۷) نیمه شمالی ورقه را رشته کوه ترود- چاه شیرین نامیده‌اند که میان دو گسل اصلی ترود و انجیلو قرار گرفته است و در کناره شمالی فروافتادگی کویر بزرگ جای دارد. گستره ورقه را می‌توان در دو زیر پهنه ساختاری زیر تفکیک نمود.

الف) زیر پهنه ترود- چاه شیرین

زیر پهنه ترود- چاه شیرین از سنگ‌های دگرگونی پالئوزوئیک و مزوزوئیک و نیز نهشته‌های آذرین- رسوبی ترشیری آغازین (پالئوژن) که دارای بیش‌ترین فعالیت‌های ماگمایی در منطقه می‌باشد، تشکیل شده است و بیشتر در نیمه شمالی ورقه جای گرفته است. در این زیر پهنه، ساختمان‌های زمین‌شناسی و روند کلی لایه‌ها نزدیک به شرقی- غربی (N70E-90E) است و همسویی نسبی با امتداد پهنه گسل ترود در منطقه دارند.

ب) زیر پهنه حوضه رسوبی کم ژرف نئوژن

این گستره بخشی از حوضه رسوبی جندق را در بر می‌گیرد که در جنوب ورقه واقع شده است. در این حوضه، نهشته‌های دریایی بسیار کم ژرف و تبخیری دوره میوسن- پلیوسن بر جای گذاشته شده است.

۲-۴-۱- واحدهای مهم زمین‌شناسی ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ معلمان

یکی از مهم‌ترین لایه‌های اطلاعاتی در تهیه نقشه پتانسیل معدنی کانسارهای پلی‌متال، انتخاب واحدهای زمین‌شناسی مناسب برای تشکیل این کانسارها است. شرح مختصری از واحدهای سنگی مورد نظر آورده شده است:

پالئوزوئیک

کهن‌ترین نهشته‌های رخنمون یافته در ورقه معلمان را سنگ‌های دگرگونی پدیدآورده است. واحدهای سنگی پالئوزوئیک منطقه در اثر فشارهای تکتونیکی و گسلش به شدت تغییر شکل یافته و یک رویداد دگرگونی ناحیه‌ای با درجه ضعیف را پشت سر نهاده‌اند و در آن‌ها برگوارگی و ریزچین‌های فراوانی پدید آمده است. این سنگ‌ها که بیش‌تر خرد شده و تکتونیزه هستند، زیرا تحت تأثیر توده‌های ماگمائی ائوسن-الیگوسن و سیالات گرمایی آن‌ها قرار گرفته‌اند، لذا نشانه‌هایی از تمرکز کانه‌های فلزی به ویژه اکسیدهای آهن در درزه‌ها و حفرات سنگ‌های کربناته آن‌ها دیده می‌شود. واحدهای سنگی پالئوزوئیک، شامل سنگ‌های آهکی، دولومیت دگرگونه و شیست‌های خاکستری و سبز رنگ می‌باشند، بیش‌تر در غرب ناحیه رخنمون دارند.

واحد PZs

این واحد لیتولوژیکی در دره کم انجیر و کوه انارو رخنمون دارد و شامل اسلیت‌ها و شیست‌های خاکستری و نقره‌ای رنگ است که بندرت سنگ‌های آذرین سبزرنگ و دگرگون شده در بین آن‌ها وجود دارد. رگه‌های کوچک و رگچه‌های کوارتز در بین این سنگ‌ها تشکیل شده است که در نتیجه فرآیندهای دگرگونی ایجاد شده‌اند.

واحد $PZ^{l,d}$

این واحد در بخش غربی ورقه در کوه‌های انارو، دره کم انجیر و شرق دره رشم ایجاد شده است. لیتولوژی این واحد شامل سنگ آهک دگرگونه، آهک دولومیتی شده و دولومیت است. درون این سنگ‌ها رگه‌های اکسید آهن ثانویه به صورت هماتیت، گوتیت و به ندرت سولفورها و اکسیدهای عناصر سرب و روی در درزها و شکاف‌ها ایجاد شده‌اند.

دوران مزوزوئیک

واحد $K_u^{l,sh}$

در نواحی غربی منطقه و در کوه‌های کم انجیر، بابا احمد، خانجار، نهشته‌های دریایی کرتاسه پسین

رخنمون یافته است و شامل تناوب نامنظمی از سنگ آهک خاکستری روشن، شیل سبز رنگ، آهک‌های نازک لایه به رنگ خاکستری متمایل به سبز که میان لایه‌هایی از ماسه سنگ، آهک ماسه‌ای و عدسی‌هایی از ماسه سنگ- کنگلومرا در آن‌ها دیده می‌شود. نکته قابل توجه این است که شمار زیادی آپوفیزهای توده‌های کوارتز دیوریتی، کوارتز مونزودیوریتی و دایک‌های آندزیتی، لاتیت آندزیتی در این سنگ‌ها نفوذ پیدا کرده است و در نتیجه، سیالات گرمایی وابسته به آن‌ها درون سنگ آهک‌ها تزریق شده و هماتیت، گوتیت، لیمونیت و گاه سیدریت و جاروسیت ناچیزی در درزه‌ها و شکستگی‌های ایجاد کرده است.

سنوزوئیک

نهشته‌های دوران سنوزوئیک با فعالیت‌های آتشفشانی ائوسن زیرین آغاز می‌شود و در طی دوره پالئوژن حجم بسیار زیادی از مواد آذرین- رسوبی را پدید آورده است.

واحد E^{ts}

این واحد مجموعه سنگی متنوعی را در بر می‌گیرد که با ضخامت زیاد در منطقه از غرب (رشم و سوسن‌وار) تا شرق (سرتخت و سرخه) در پهنه وسیعی رخنمون‌های آن دیده می‌شود. ترکیب سنگ‌شناسی آن شامل مجموعه‌ای از سنگ‌های توف، توفیت، مارن و مادستون‌های توفی، ماسه سنگ، عدسی‌های بزرگ سنگ‌های آگلومرایی و کنگلومرایی است. دیگر سازندهای مجموعه اخیر را سنگ‌های آتشفشانی کلاستیک و برش‌های آتشفشانی با ترکیب اسیدی تا متوسط می‌سازند.

واحد $E^{v,br}$

این واحد بیشتر از گدازه‌های برشی شده، توف- ماسه سنگ کنگلومرایی ولکانوژنیک، آگلومرا، توف برشی‌های توفی داسیتی- آندزیتی و در مواردی توف- گدازه‌هایی تراکی آندزیتی غنی از اکسید آهن و کربنات ثانویه پدید آمده است.

واحد E^{bn}

افق‌های توف ریولیتی-ریوداسیتی بنتونیت‌داری که به طور همساز در بین توف و مارن‌های توفی

قرمز- صورتی رنگ (واحد E^{ts}) ساخته شده‌اند. در قسمت‌هایی که از ضخامت بیشتری برخوردارند به نام واحد E^{bn} مشخص گردیده است. واحد E^{bn} به دلیل دگرسانی شدید و تهاجم سیالات گرمایی ناشی از تزریق توده‌های کم ژرف به ویژه دایک‌های آندزیتی و لاتیت آندزیتی، آزادسازی کانه‌های فلزی را در پی داشته است و گاه آغشتگی‌های بسیار جزئی عناصر سرب و روی، طلا، باریم و نقره را سبب شده است.

واحد E^{tv}

پس از فعالیت‌های آتشفشانی اسیدی، دومین گام از فعالیت‌های ماگمایی ائوسن- الیگوسن در منطقه با فوران‌های آتشفشانی زیر دریایی با ترکیب بازیک تا متوسط توأم بوده است. مجموعه E^{tv} دربرگیرنده سنگ‌های آندزیت، تراکی آندزیت، تراکی آندزیت بازالت، بازالت‌های آلکالن زیردریایی و آندزیت- داسیت‌های پورفیری است.

واحد $E^{b,a}$

این واحد در کوه کاهوان و در غرب دره جوزیان یافت می‌شود و شامل سنگ‌های بازالتی تا آندزیت بازالتی و سنگ‌های آتشفشانی برشی شده و شیشه‌ای هستند.

واحد $E^{s,p}$

این واحد دربردارنده ترکیب سنگ‌شناسی آندزیت‌های پیروکسن‌دار، آندزیت بازالت و بازالت آلکالن به صورت اسپیلیت و کواتریری، گدازه‌های آندزیتی تیره و داسیت آندزیت‌های به شدت تجزیه شده با میان لایه‌های ماسه سنگ توفی قرمز- قهوه‌ای می‌باشد.

واحد $E^{l,a}$

این واحد از سنگ‌های گدازه‌ای لاتیت- آندزیتی میکروپورفیری تشکیل شده است. این سنگ‌ها رنگ خاکستری تا خاکستری تیره دارند.

واحد E^{tr}

این واحد از گدازه‌های پورفیریتیک با ترکیب میانه تا بازیک تشکیل شده است. بیش‌تر تراکی آندزیت،

تراکی آندزیت-بازالت و آندزیت-داسیت‌های پورفیری هستند.

توده‌های نفوذی نیمه ژرف

اشراقی (۱۳۷۷) در طی بررسی‌های زمین‌شناسی با مقیاس ۱:۲۰۰۰۰ در منطقه معلمان، توده‌های نفوذی نیمه عمیق را به سه گروه اصلی تفکیک نموده است که عبارتند از الف- سنگ‌های کوارتز دیوریتی-کوارتز مونزونیتی، ب) سنگ‌های مونزودیوریتی و ج) سنگ‌های میکروگرانیتی تا گرانیتی می‌باشد. اشراقی سن این توده‌های نفوذی را براساس روابط چینه‌شناسی به الیگوسن آغازین نسبت می‌دهد؛ بنابراین توده‌های نفوذی نیمه ژرف منطقه که نقش مهمی در کانی‌سازی فلزی ایفا کرده‌اند شامل واحدهای gr, da, dp, mz, qd می‌باشد. این واحدها دارای سن ائوسن-الیگوسن هستند. واحد da از گسترش و پراکندگی زیادی در سطح منطقه برخوردار است. شمار زیادی از آپوفیزهای آن در محدوده گندی، شرق معدن پوسیده، ده جعفر تا باغو رخنمون یافته است. ترکیب سنگ‌شناسی این توده‌ها شامل داسیت، داسیت-آندزیت، تراکی آندزیت و کوارتز لاتیت است. واحد dp در شمال شرق در کوه و معدن چاه موسی رخنمون یافته است. واحد mz که شامل سنگ‌های نفوذی مونزودیوریتی و مونزونیتی با بافت نسبتاً درشت می‌باشد، در دره چالو و در همبری سنگ‌های آهکی دگرگونه اسکارنی شده رخنمون دارد. شمار زیادی از برونزدهای نفوذی منطقه را سنگ‌های کوارتز دیوریتی تا کوارتز مونزودیوریتی (qd) به رنگ خاکستری روشن تا سبز خاکستری پدید آورده است. واحد qd تعداد زیادی از برونزدهای نفوذی منطقه که شامل سنگ‌های کوارتز دیوریتی تا کوارتز مونزونیتی به رنگ خاکستری روشن تا خاکستری و سبز خاکستری پدید آورده است. واحد gr در شمال روستای گندی بخش کوچکی از سنگ‌های گرانیتی رخنمون یافته است که با نام واحد gr مشخص شده است. این توده دارای ترکیب میکروگرانیت آکالن است و در نزدیکی آن توده کوارتز-دیوریتی (qd) نیز رخنمون یافته است و بیان‌گر حضور توده‌های گرانیتی همزمان با نفوذ توده‌های کوارتز مونزونیتی-کوارتز دیوریتی است. این توده نیز در محدوده ائوسن پسین تا الیگوسن آغازی در نظر گرفته می‌شود.

۲-۵- ویژگی‌های زمین‌شناسی عمومی ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ کلاته‌رشم

ناحیه کلاته رشم در بخش زون ساختاری ایران مرکزی و در قسمت شمالی این زون واقع شده است. ولی در نگاه دقیق‌تر آن را می‌توان به سه حوضه کوچک‌تر تقسیم نمود که عبارتند از: ۱- نیمه جنوبی ورقه که در محدوده حوضه رسوبی جندق قرار دارد. ۲- نیمه شمالی ورقه را کمر بند ترود- چاه شیرین تشکیل می‌دهد. ۳- بخش کوچکی از گوشه شمال غربی ورقه در محدوده‌ی باریک رشته کوه‌های انجیلو جای دارد.

۲-۵-۱- واحدهای مهم زمین‌شناسی ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ کلاته‌رشم

همان‌طور که در ورقه زمین‌شناسی معلّمان گفته شد برای تهیه نقشه پتانسیل معدنی ذخایر پلی‌متال، انتخاب واحدهای مناسب مهم می‌باشد. توضیح مختصری از واحدهای سنگی مهم در قسمت زیر آورده شده است:

واحدهای اردوئین- سیلورین

واحد PZ^{mt}

این واحد در نواحی چاه شیرین، سپیدلتو و دره رشم رخنمون دارد. از مجموعه شیست، سنگ آهک و دولومیت، ماسه سنگ، توف و سنگ‌های ولکانیک تشکیل شده که همگی دگرگون شده‌اند.

واحد شیستی Sch, Mt

این واحد در شمال ناحیه دره کلوت رخنمون دارد و از گسترش نسبتاً زیادی برخوردار است. این واحد شامل مجموعه‌ای از میکاشیست، کلریت، اپیدوت شیست و کوارتزیت است که در ناحیه شمالی دره کلوت رخنمون دارد و از گسترش نسبتاً زیادی برخوردار است.

واحد آهک دولومیتی ml, md

این واحد لیتولوژی ارتفاعات شرق دره رشم را تشکیل می‌دهد و کوه‌های بابا احمد و انارو را می‌سازد. از چینه‌های ضخیم تا توده‌ای آهک، آهک دولومیتی، دولومیت آهکی و دولومیت تشکیل شده است.

برخی از قسمت‌های این واحد عمدتاً دولومیتی شده است (d1).

واحد دولومیتی d2

این واحد در غرب دره رشم و بر روی شیست‌های این ناحیه، با ضخامتی نزدیک به ۷۰ متر از دولومیت و آهک دولومیتی قهوه‌ای رنگ رخنمون دارد که به کوه تنوره معروف است.

شیست و سنگ‌های ولکانیکی دگرگونه Sch, mv

این واحد در حدفاصل رشته کوه تنوره و قله دختر رخنمون دارد. بخش زیرین این واحد به طور عمده شیست نقره‌ای رنگ و ماسه سنگ دگرگونه و بخش بالایی آن سنگ‌های ولکانیک دگرگونه، ماسه سنگ دگرگونه و شیست است. ترکیب سنگ‌های ولکانیک دگرگونه را می‌توان از آندزیت تا بازالت در نظر گرفت. بخش شیستی آن دارای کانی‌های مانند کوارتز، کلریت، مسکویت، کانی اپاک و کلسیت است. بخش سنگ‌های ولکانیک دگرگونه دارای کوارتز، اپیدوت، اکتینولیت، کلریت، کلسیت و کانی‌های تیره است.

واحد کربناته L.dl

این واحد کوه‌های قله دختر، دوزینا و کچو را تشکیل داده است. این واحد دارای ضخامتی زیاد از طبقات ضخیم ماسیو آهک تا توده‌ای آهک و آهک دولومیتی است. بخش بالایی واحد بزرگ PZmt را پدید آورده است و گاهی به طور جانبی به واحد شیستی PZmt تبدیل می‌شود.

واحد MTV

در برخی نقاط مانند سپیدلتو رخنمون‌های کوچک از سنگ‌های ولکانیک دگرسانی دیده می‌شود. ضخامت این واحد به ۲۰۰ متر می‌رسد. رنگ هوازده این سنگ‌ها سیاه و در سطح شکست سبز تیره است.

واحدهای پرمین

واحد مرمری P^{mb}

این واحد مرمر، ارتفاعات نیزه کوه، پشته قیچی و مرمرهای کوه کچو را می‌سازد. بخش‌های زیرین از

طبقات نازک، متوسط و ضخیم آهکی و در بخش‌های بالایی به طور عمده از طبقات ضخیم تا توده‌ای سنگ آهک دگرگونه سفید رنگ تشکیل شده است.

واحدهای مزوزوئیک

نهشته‌های تخریبی و کربناته تریاس TR

واحد TR^{sch}

این واحد تخریبی متشکل از شیست و ماسه سنگ است. ضخامت این واحد در حدود ۸۰ تا ۱۰۰ متر می‌باشد. بر روی واحد تخریبی یاد شده ضخامتی در حدود ۲۰۰ متر از مجموعه طبقات کربناته و شیستی قرار دارد. بخش کربناته از طبقات متوسط تا ضخیم آهک دولومیتی پدید آمده است.

واحد ژوراسیک زیرین

واحد J^m

این واحد لیتولوژیکی در دره بیل بن رخنمون دارد. از مجموعه طبقات ماسه سنگ دگرگونه به رنگ خاکستری تیره و شیست‌های تیره رنگ و سیاه پدید آمده است. آثار زغالی بسیار اندکی در برخی نقاط این سازنده دیده می‌شود که ارزش اقتصادی ندارند. همچنین سیلیس به صورت کوارتزیت رخنمون قابل توجهی در این واحد دارد.

واحدهای کرتاسه

واحد $KU^{sh,l}$

در سمت شرق ورقه، در دره رباعی سنگ نهشته‌های کرتاسه بالایی برونزد دارند که گستره‌ای اندک از آن در محدوده این ورقه جای گرفته است. این واحد تناوبی از شیل سبز رنگ، آهک نازک تا ضخیم لایه و آهک مارنی خاکستری متمایل به سبز با میان لایه‌های ماسه سنگی، آهک ماسه‌ای و ماسه سنگ آهکی است.

ائوسن – الیگوسن

واحدهای سنگی ولکانیکی، آذرآواری و رسوبی ائوسن الیگوسن در محدوده این ورقه از گسترش و

تنوع زیادی برخوردارند. آن چنان که بخش عمده سطح نیمه شمالی ورقه را به خود اختصاص داده‌اند.

واحد ولکانیکی $E^{v,t}$

در میان واحدهای ولکانیکی و توفی ائوسن، این واحد بیش‌ترین گسترش و ضخامت را دارد و در اغلب نیمه شمالی ورقه رخنمون دارد. به طور کلی از مجموعه گدازه‌های آندزیتی زیردریایی، برش آندزیتی، برش توفی، آندزیت پورفیری و توف آندزیتی پدید آمده است.

واحد داسیتی E^{da}

این واحد در غرب ورقه و در مسیر چاه شیرین رخنمون دارد. ترکیب سنگ‌شناختی آن به طور عمده در حد داسیت به رنگ قهوه‌ای تا سبز است و گاهی با ترکیب آندزیت کوارتزار و آندزیت دیده می‌شود.

واحد آندزیت مگاپورفیری E^{ap}

این واحد در نواحی کلوت گسترش دارد و معدن معروف مس کلوت در این واحد قرار دارد. لیتولوژی آن شامل ضخامت زیادی از گدازه‌های مگاپورفیری آندزیتی است. در این واحد شکستگی‌ها و گسل‌های فراوان به ویژه در جهت شمالی- جنوبی تا اندکی شمال شرق- جنوب غرب دیده می‌شود. در اثر فعالیت دایک‌هایی در امتداد این شکستگی‌ها کانی‌سازی مس دیده می‌شود.

۲-۶- گسل‌های منطقه معلمان و کلاته‌رشم

یکی از عوامل اساسی کنترل‌کننده کانه‌زایی، گسل‌ها می‌باشد که به عنوان یک لایه اطلاعاتی در تلفیق مورد استفاده قرار می‌گیرد. در منطقه مورد مطالعه گسل‌ها بیش‌تر دارای روند شمال شرقی- جنوب غربی بوده و برخی دیگر با روند شمال غربی- جنوب شرقی و شمالی- جنوبی می‌باشند (شکل ۲-۲)

گسل ترود و انجیلو: گسل‌های ترود و انجیلو هر دو دارای امتداد N60- 70E و با شیب ۸۰ درجه به سمت جنوب شرقی با سازوکار غالب امتدادلغز چپ‌بر می‌باشند (هوشمندزاده و همکاران، ۱۳۵۷).

گسل سرکویز: این گسل به موازات گسل ترود و از مناطق جنوبی معلمان تا کوه کاهوان گسترش دارد این گسل به طور عمده در مناطق آبرفتی پوشیده شده است. ساز و کاری مشابه با گسل ترود دارد و احتمالاً در اعماق با زون گسله ترود یکی می‌شود (هوشمندزاده و همکاران، ۱۳۵۷).

گسل باغو: در شمال منطقه با راستای N70-90E و شیب تقریباً قائم قرار گرفته است. طول آن حدوداً ۲۰ کیلومتر در منطقه معلمان قابل ردیابی است. سیستم گسل باغو پس از ائوسن پدید آمده و جایگیری رگه‌های دربردارنده مواد کانه‌دار در این شکستگی‌ها به طور همزمان انجام گرفته است (هوشمندزاده و همکاران، ۱۳۵۷).

گسل رشم- پیرمردان: این گسل نیز راستایی تقریباً موازی با گسل اصلی ترود دارد و از غرب منطقه (مجاور روستای رشم) تا امامزاده پیرمردان و شرق آن گسترش یافته است. سازوکاری معکوس با شیب روړانده به شمال دارد که واحدهای PZ^s ، $PZ^{l,d}$ ، $K^{l,sh}_u$ ، $K^{c,s}_u$ ، my و حتی مجموعه سنگی $E^{l,v}$ و توده‌های نفوذی را روی واحدهای ائوسن بویژه $E^{l,s}$ رانده است (هوشمندزاده و همکاران، ۱۳۵۷).

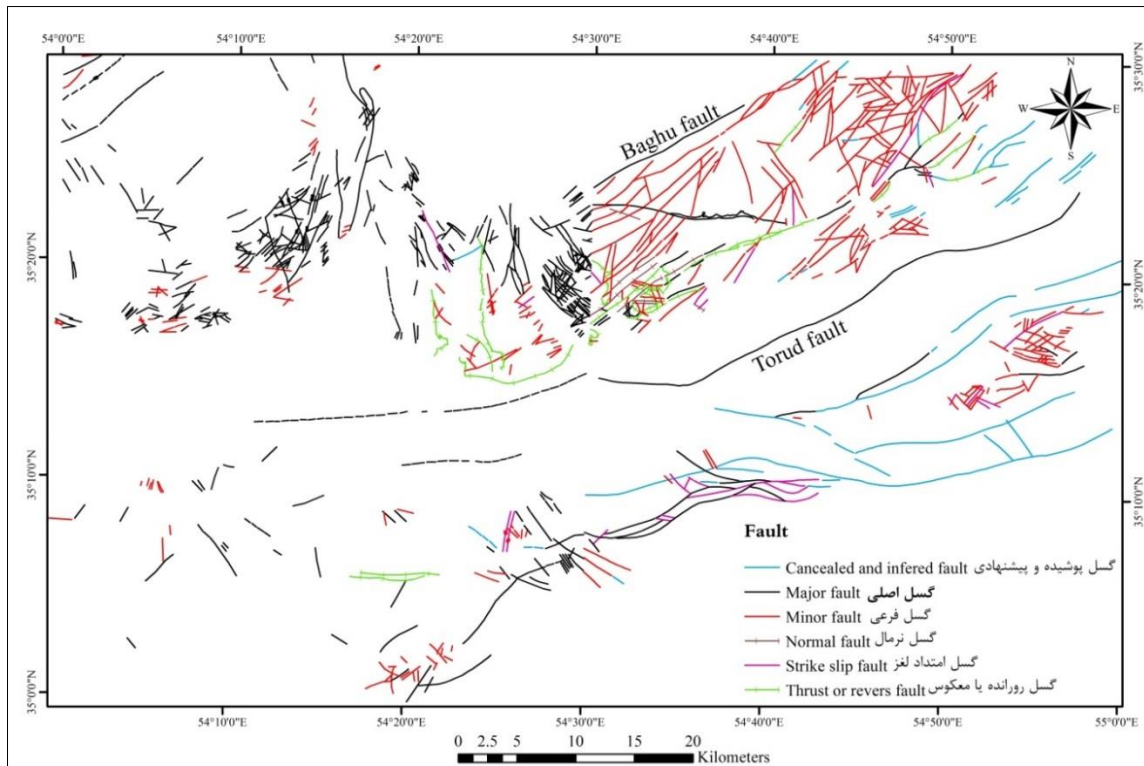
گسل دره حسن امروز: این گسل سازوکاری معکوس داشته و توده‌های نفوذی و آهک کرتاسه و

سنگ‌های میلونیتی شده را در پهنای گسله خود در سطح زمین نمایان کرده است. این گسل در جنوب ده جعفر و امرو شیب ۸۰ درجه به جنوب نشان داده است (هوشمندزاده و همکاران، ۱۳۵۷).

گسل چشمه بیل‌بن: این گسل با طولی حدود ۸ کیلومتر از نوع راندگی است که در نتیجه فعالیت آن رسوبات سیلورین و پرمین بر روی سازند شمشک رانده شده‌اند. جهت این گسل شمالی - جنوبی بوده و شیب آن به سمت شرقی است (نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ کلاته‌رشم).

گسل شمال و شمال غربی آب پشک: این گسل از نوع معکوس بوده و شیب سطح گسل حدود ۶۰ درجه به سوی شمال است، در سطح این گسل رسوبات دگرگونه ناحیه بر روی سنگ‌های ولکانیک ائوسن رانده شده‌اند. در شمال غربی رشم نیز مجموعه کربنات دگرگونه بر روی توف‌های ائوسن رانده شده است (نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ کلاته‌رشم).

گسل سیاه‌پشته: این گسل که در مسیر کلوت به سپیدلتو مشاهده می‌شود، یک شکستگی اصلی قدیمی است که تعیین نوع و چگونگی عملکرد آن به خوبی مشخص نیست (نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ کلاته‌رشم).



شکل ۲-۲: نقشه گسل‌های موجود در نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰ منطقه ماعلمان و کلاته‌رشم

۲-۷- دایک‌های ورقه ماعلمان و کلاته‌رشم

شمار زیادی دایک در گستره ورقه ماعلمان و در بخش زیر پهنه ترود- چاه شیرین رخنمون دارد. این دایک‌ها در سه گروه تقسیم‌بندی می‌شوند. ۱- دایک‌های با ترکیب سنگ‌شناسی میانه تا بازیک که در گستره ورقه به فروانی یافت می‌شوند. تعدادی از این نوع دایک به رنگ تیره در برخی نقاط از جمله در دوشاخ، اطراف سوسن‌وار، کوه شمشیر بران، دره آستانه امرو، ناحیه پوسیده و جنوب کوه‌زرباغو برون‌زاده یافته است. ۲- دایک‌های با ترکیب سنگ‌شناسی اسیدی (داسیتی) که شمار این نوع دایک بسیار کمتر از دایک‌های بازیک تا میانه است. این سنگ‌ها ترکیبات مشابه واحدهای da دارند و در مواردی به صورت دایک‌های داسیت پورفیری تا میکرووگرانیت تورمالین‌دار دیده می‌شوند. دایک‌های اسیدی به شدت دگرسان شده‌اند و کانی‌های ثانویه آن‌ها از مواد آذرین، سریسیت، مسکویت، کربنات، کوارتز و کمی اکسید آهن است. ۳- دایک‌های بازیک میکروآلکالی که تنها در کوه چاه موسی و در واحد dp ظاهر شده که عمدتاً از پلاژیوکلاز و کانی مافیک تشکیل شده است. ترکیب سنگ‌شناسی

میکروآلکالی گابرو، دیاباز- گابرو دارند. رخنمون دایک‌ها به طور مشخص سنگ‌های آتشفشانی- آذرآواری ائوسن و توده‌های نفوذی نیمه ژرف را در قسمت‌های مختلف این ناحیه قطع کرده‌اند؛ بنابراین دارای سن نسبی کمتری نسبت به توده‌های نفوذی می‌باشند. ترکیب و سن این دایک‌ها و همچنین عملکرد آن‌ها متفاوت است، به طوری که می‌توان آن‌ها را به دایک‌های آندزیتی-داسیتی (رباعی، چشمه حافظ، دوشاخ)، میکروگابرویی (چاه موسی و کاهوان)، بازیک و پورفیری-بازیک (باغو) و دلریتی (سوسن‌وار) تقسیم‌بندی نمود (شمعانیان، ۱۳۸۲).

در ورقه کلاته‌رشم نیز دایک‌ها به فراوانی یافت می‌شوند. به طور معمول دارای ترکیبی حدواسط (در حد آندزیت) هستند و از کانی‌های پلاژیوکلاز، کلریت، سربیسیت، کلسیت و کوارتز تشکیل شده‌اند. گاهی کمی بازیک‌تر شده و پیروکسن نیز در آن‌ها ظاهر می‌شود اغلب دارای بافت پورفیری هستند. این دایک‌ها در هر کجا نفوذ کرده باشند به طور معمول سبب کانی‌زایی شده‌اند. تشکیل کانسار مس در نواحی کلوت در اثر نفوذ دایک‌ها صورت گرفته است. در شرق دره رشم در کوه‌های بابااحمد، روباچ و کم‌انجیر سبب کانی‌زایی آهن شده‌اند. در کوه انارو یک دایک بزرگ و قائم با روند تقریبی شرقی- غربی سبب کانی‌زایی روی شده است. این دایک‌ها در جهات مختلف دیده می‌شوند.

۲-۸- کانسارها و اندیس‌های معدنی منطقه معلمان و کلاته‌رشم

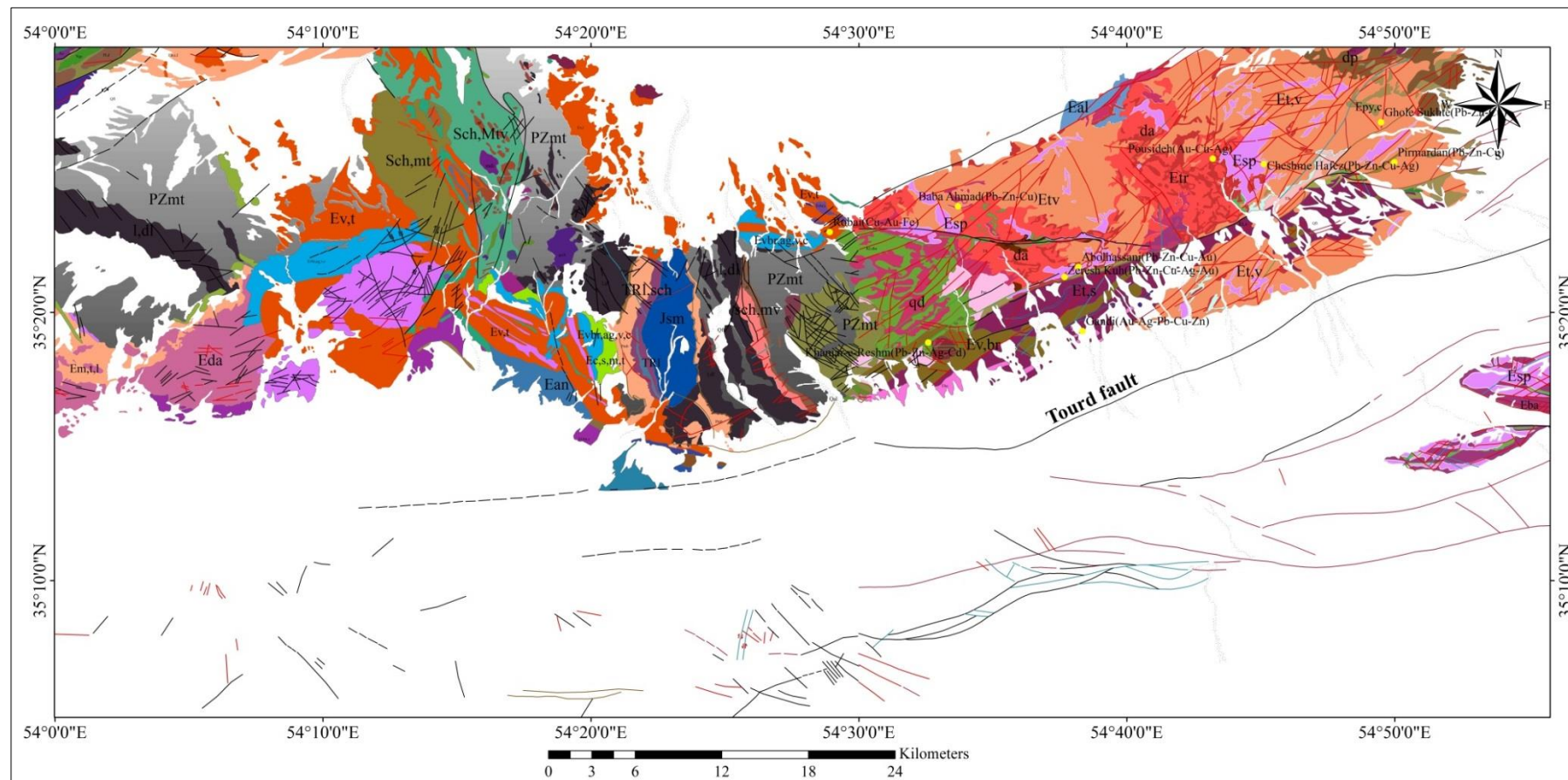
کانی‌سازی موجود در منطقه مورد مطالعه را می‌توان به دو دسته فلزی و غیرفلزی تقسیم‌بندی نمود. با توجه به هدف پایان‌نامه که تهیه نقشه پتانسیل معدنی ذخایر پلی‌متال می‌باشد، در جدول ۱-۲ موقعیت و ویژگی‌های ذخایر پلی‌متال با توجه به مطالعات انجام شده در منطقه خلاصه شده است.

جدول ۲-۱: نشانه و کانسارهای پلی‌متال در منطقه مورد مطالعه (Mehrabi et al., 2015)

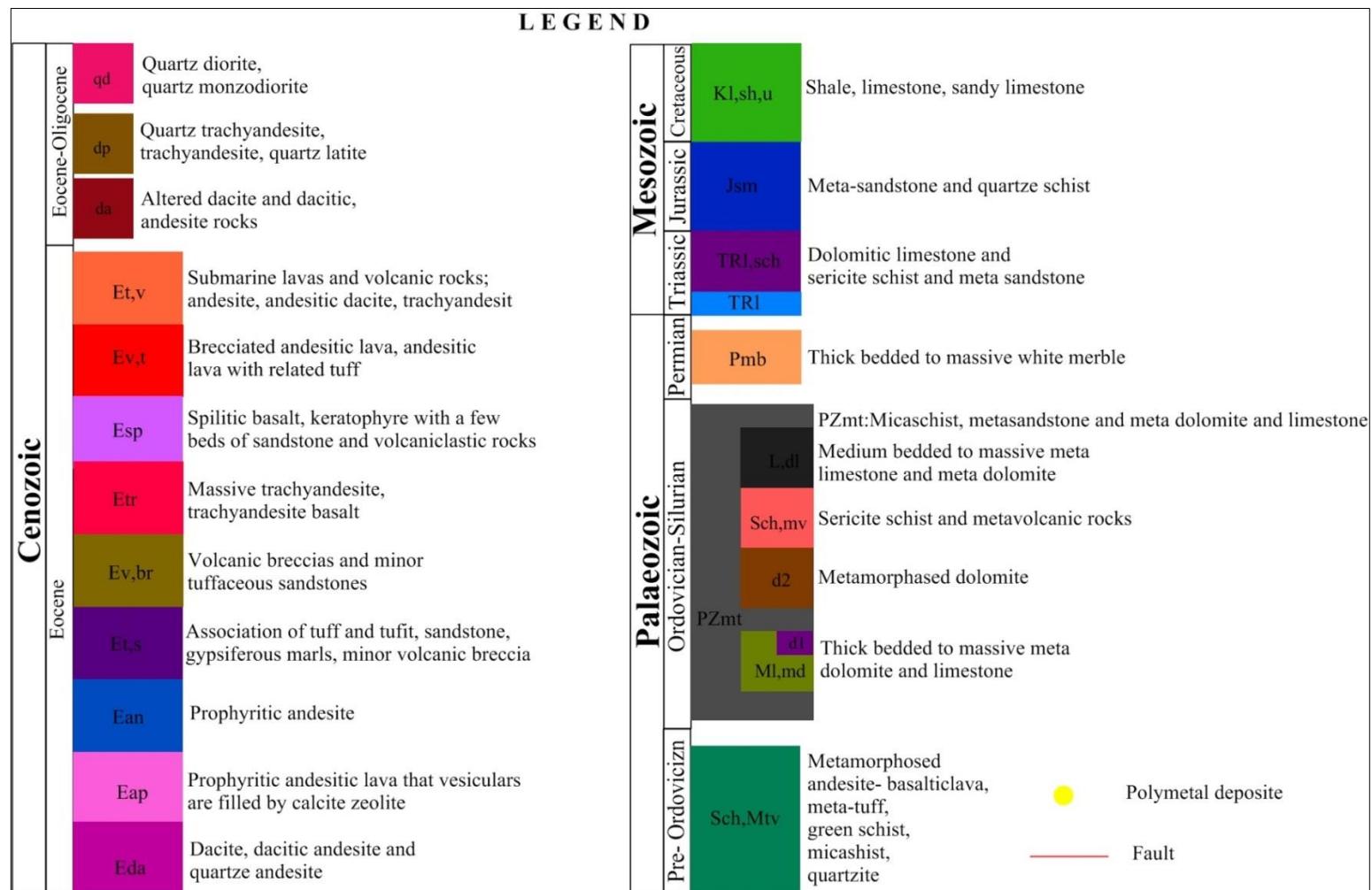
ذخیره معدنی	مختصات جغرافیایی	لیتولوژی / سن سنگ میزبان	تیپ	شکل ماده معدنی
ابوالحسنی (Pb-Zn-Cu-Ag-Au)	۵۴° ۳۸' ۳۰" ۳۵° ۲۱' ۵۰"	آندزیت، توف آلترو / ائوسن، الیگوسن	اپی ترمال از نوع سولفیداسیون حدواسط	رگه-رگچه‌ای
چشمه حافظ (Pb-Zn-Cu-Ag)	۵۴° ۴۴' ۵۹" ۳۵° ۲۴' ۵۷"	برشیا و توف ولکانیکی، آندزیت و داسیت / ائوسن	فلزات پایه اپی ترمال با سولفیداسیون حدواسط	رگه-رگچه‌ای
گندی (Au-Ag-Pb-Cu-Zn)	۵۴° ۳۸' ۴۵" ۳۵° ۱۹' ۱۵"	آندزیت / ائوسن-الیگوسن	اپی ترمال نوع سولفیداسیون حدواسط	رگه‌ای
خانجار رشم (Pb-Zn-Ag)	۵۴° ۳۲' ۲۰" ۳۵° ۱۸' ۴۰"	سنگ آهک / کرتاسه	MVT	رگه-رگچه‌ای، پراکنده و عدسی
قلعه سوخته (Pb-Zn-Cu)	۵۴° ۴۸' ۰" ۳۵° ۲۸' ۰"	آندزیت تا داسیت آندزیت / ائوسن	اپی ترمال نوع سولفیداسیون حدواسط	رگه‌ای
زرشک کوه (Pb-Zn-Cu-Au)	۵۴° ۳۷' ۴۰" ۳۵° ۲۱' ۴۰"	آندزیت / ائوسن - الیگوسن	اپی ترمال از نوع سولفیداسیون حدواسط	رگه-رگچه‌ای
پوسیده (Cu-Au-Ag)	۵۴° ۳۷' ۴۰" ۳۵° ۲۱' ۴۰"	آندزیت داسیت برشی	اپی ترمال از نوع سولفیداسیون پایین	رگه-رگچه‌ای، شکاف پرکن

۲-۹- تهیه نقشه یکپارچه ۱:۱۰۰۰۰۰ معلمان و کلاته رشم

برای افزایش دقت و صحت کار نقشه‌ی یکپارچه‌ی زمین‌شناسی دو ورقه در مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ تهیه شد (شکل ۲-۳). با توجه به نقشه تهیه شده از منطقه مورد مطالعه می‌توان واحدهای زمین‌شناسی مستعد جهت کانه‌زایی ذخایر پلی‌متال را مشخص کرد و در تلفیق لایه‌های اطلاعاتی ارزش بیشتری برای این واحدها در نظر گرفت.



شکل ۲-۳: نقشه زمین‌شناسی کمر بند آشفشانی- رسوبی تروود- چاه شیرین- رشم (تهیه شده از نقشه‌های ۱:۱۰۰۰۰۰ معلمان و ۱:۱۰۰۰۰۰ کلاتهرشم)



ادامه شکل ۲-۲: راهنمای نقشه زمین‌شناسی کمر بند آتشفشانی- رسوبی تروود- چاه شیرین- رشم (تهیه شده از نقشه‌های ۱:۱۰۰۰۰۰ معلمان و ۱:۱۰۰۰۰۰ کلاته رشم)

فصل سوم

دورسنجی

سنجش از دور^۱ به معنای کسب اطلاعات در مورد سطح زمین بدون تماس فیزیکی با آن تعریف می‌شود؛ به عبارت دیگر سنجش از دور ابزار یا تکنیکی مشابه با ریاضیات است که از سنجنده‌های پیشرفته برای اندازه‌گیری میزان انرژی الکترومغناطیس خروجی از یک پدیده از فاصله دور استفاده می‌کند و سپس به استخراج اطلاعات ارزشمندی از این داده‌ها با استفاده از ریاضیات و آمار پرداخته می‌شود. این علم با سایر فناوری‌های جمع‌آوری داده‌های مکانی و ابزارهای علوم نقشه‌برداری از قبیل کارتوگرافی و GIS هماهنگی دارد (Elachi and Van Zyl; 2006 Bhatta, 2013).

سنجش از دور در زمینه‌های مختلف از جمله اکتشاف معادن، شناسایی جنس سنگ‌ها، شناسایی گسل‌ها، تهیه نقشه، ایجاد مدل ارتفاعی رقومی زمین و بسیاری موارد دیگر کاربرد دارد. مهم‌ترین مزیت این فن، دسترسی به اطلاعات محیطی در حداقل زمان ممکن و با دقت مناسب است. با توجه به این که تصاویر سنجش از دور در نواحی مختلف طیف الکترومغناطیسی تصویربرداری شده‌اند، اطلاعات سودمندی از ماهیت پدیده‌های مختلف سطح زمین ارائه می‌دهند. از مزیت‌های دیگر سنجش از دور، تکرار مناسب زمان تصویربرداری است که در مطالعه پدیده‌های ژئودینامیکی از اهمیت بالایی برخوردار است (علی‌محمدی، ۱۳۸۷).

۳-۲- تاریخچه سنجش از دور

سنجش از دور با اختراع عکاسی آغاز شد زیرا این اولین سنسوری بود که توسعه و تکمیل می‌شد (Moore, 1979). در ادامه می‌توان به دوربین‌های نصب شده بر روی بالون‌ها برای تهیه عکس‌های هوایی و کبوترهای جاسوس در قرن هیجدهم و نوزدهم و همچنین سیستم‌های نصب شده بر روی هواپیما برای اهداف نظامی در قرن بیستم اشاره کرد (Reddy, 2010). در گذر زمان، پیشرفت‌های حاصله در صنعت هواپیمایی و طراحی سنجنده‌های جدید، در سنجش از دور افق‌های جدیدی گشوده شد. با این وجود بزرگ‌ترین تحول و جهش در فناوری سنجش از دور، با توسعه فناوری فضایی در

¹ Remote Sensing

اواخر دهه ۵۰ میلادی رخ داد. ماهواره‌ها بستری فراهم کردند تا حسگرها بتوانند از بالاترین ارتفاع ممکن، با تسلط کامل بر سیاره زمین و در موقعیت‌های متوالی، به تهیه و ارسال داده‌ها بپردازند. از آن پس ماهواره‌ها با داشتن مزایایی چون مأموریت بلند مدت و پوشش جهانی به عنوان سکوی متداول حامل سنجنده‌ها مورد استفاده قرار گرفتند. اولین ماهواره در سال ۱۹۷۲ بنام لندست ۱ (TIROS-1) توسط ناسا جهت ارزیابی منابع زمینی به فضا پرتاب شد. تاکنون با شناخته شدن اهمیت و توان اطلاعات تصاویر ماهواره‌ای، صدها ماهواره از سوی کشورهای مختلف از جمله آمریکا، روسیه، فرانسه، چین، ژاپن، هند و ... به منظور تصویربرداری و دریافت اطلاعات گوناگون به فضا پرتاب شده است.

۳-۲-۱- معرفی سنجنده استر^۱

سنجنده استر توسط ماهواره‌ای به نام ترا^۲ حمل می‌شود و در دسامبر ۱۹۹۹ توسط NASA و وزارت صنعت و تجارت اقتصادی ژاپن (MWTI) در مدار زمین قرار گرفت. فاصله آن از زمین ۷۰۵ کیلومتر و گردش آن به صورت قطبی-قطبی است و در ساعت ۱۰:۳۰' به وقت محلی و تقریباً هر ۱۰۰ ثانیه از عرض استوا عبور می‌کند و هر ۱۶ روز یک بار مسیر خود را به طور کامل می‌پیماید. هر تصویر منطقه‌ای به وسعت ۶۰×۶۰ کیلومتر را پوشش می‌دهد. این سنجنده ابزاری در اختیار دارد که با انحراف زاویه‌ای ($\pm 24^\circ$) قابلیت گسترش عرض تصویر تا ۲۳۲ کیلومتر را دارد. سنجنده استر در ۱۴ باند طیفی تصویربرداری می‌کند که دارای ۳ باند مرئی و فروسرخ نزدیک^۳ (مادون قرمز نزدیک) (VNIR) با محدوده طول موج ۰/۲۵ تا ۰/۸۶ میکرومتر، ۶ باند فروسرخ کوتاه^۴ (SWIR) با محدوده طول موج ۱/۶ تا ۲/۴۳ میکرومتر و ۵ باند فروسرخ گرمایی^۵ (مادون قرمز حرارتی) (TIR) با محدوده طول موج ۸/۱۲۵ تا ۱۱/۶۵ میکرومتر با قدرت تفکیک مکانی^۶ به ترتیب ۱۵ متر، ۳۰ متر و ۹۰ متر می‌باشد. مشخصات آن در جدول (۳-۱) ارائه شده است (Mars and Rowan, 2014).

^۱ Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER)

^۲ TERRA

^۳ Visible Near Infrared

^۴ Short Wave Infrared

^۵ Thermal Infrared

^۶ Spatial Resolution

جدول ۳-۱: خصوصیات سنجنده استر (Abrams et al., 2002)

ناحیه طیفی	باند	محدوده طیفی (μm)	دقت مکانی (m)	قدرت تفکیک رادیومتریکی (bit)
VNIR	1 (nadir)	0.52-0.60	15	8
	2 (nadir)	0.63-0.69		
	3 (nadir)	0.78-0.86		
	3 (backward)	0.78-0.86		
SWIR	4	1.600-1.700	30	8
	5	2.145-2.185		
	6	2.185-2.225		
	7	2.235-2.285		
	8	2.295-2.365		
	9	2.360-2.430		
TIR	10	8.125-8.475	90	12
	11	8.475-8.825		
	12	8.925-9.275		
	13	10.25-10.95		
	14	10.95-11.65		

۳-۲-۲- معرفی ماهواره Sentinel-2A

برنامه Copernicus ابتکاری مشترک بین کمیسیون اروپا^۱ (EC) و آژانس فضایی اروپا^۲ (ESA) که هدف این برنامه رصد زمین به صورت مستمر، مستقل و گسترده است. این برنامه شامل پنج مأموریت Sentinel 1-5 می‌باشد. تصاویر Sentinel-2A (MSI) دارای ۱۳ باند طیفی است. این باندها محدوده طیفی مرئی (VIS)، مادون قرمز نزدیک (NIR) تا مادون قرمز طول موج کوتاه (SWIR) را پوشش می‌دهند. قدرت تفکیک مکانی این تصاویر ۱۰ تا ۶۰ متر است و دارای پوشش عرضی ۵۶- و ۵۸ + درجه و عرض ۲۹۰ کیلومتر است. حداقل قدرت تفکیک زمانی Sentinel-2 تا زمانی که Sentinel-2A در مدار است، ۱۰ روز در استوا می‌باشد. زمانی که هر دو طرح برنامه‌ریزی شده عملیاتی شوند تا پنج روز کاهش می‌یابد. ماهواره Sentinel-2A در ۲۳ ژوئن ۲۰۱۵ راه اندازی شد و اولین تصاویر ماهواره‌ای

¹ European commission

² European Space Agency

چند روز بعد به اجرا در آمدند (Van der Werff and Van der Meer, 2015).

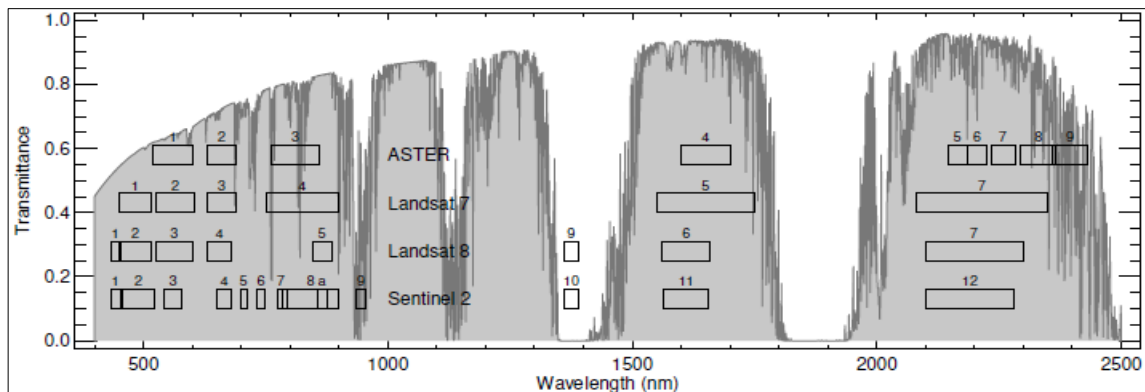
ماهواره Sentinel-2 با تصویربرداری اپتیکی چند طیفی با توان تفکیک مکانی بالا، سطح زمین را رصد و مورد مشاهده قرار می‌دهد. پتانسیل Sentinel-2A MSI طیف وسیعی از برنامه‌ها را شامل می‌شود. بر اساس مجموعه داده‌های شبیه‌سازی شده، در آماده‌سازی این مأموریت، بیشتر مطالعات مرتبط با پوشش گیاهی شامل شاخص سطح برگ^۱، کلروفیل و نیتروژن، پارامترهای بیوفیزیکی، وضعیت گیاهی می‌باشد. در خارج از مطالعات گیاهان در ارزیابی کیفیت آب و نقشه‌برداری از صخره‌های مرجانی کاربرد دارد (Van der Werff and Van der Meer, 2016). در جدول (۲-۳) خصوصیات طیفی سنجنده Sentinel-2A مشاهده می‌شود.

در دهه ۱۹۸۰، ماهواره چند طیفی لندست^۲ با سنجنده (MSS) برای اولین بار برای استخراج اکسید آهن به کار گرفته شد. با ظهور سنجنده (TM)، جزئیات طیفی بیشتری مانند استفاده از نسبت باندهای ۵/۷ برای جدا کردن دگرسانی آرژیلیک از دگرسانی غیر آرژیلیکی و نقشه‌برداری اکسیدهای آهن با استفاده از نسبت باندهای ۳/۱ (TM) پرداخته شد. داده‌های TM به طور گسترده در مطالعات زمین‌شناسی، لیتولوژی، تهیه نقشه ساختارها و نواحی آتشفشانی با پتانسیل معدنی استفاده می‌شود. در سال ۲۰۰۰، سنجنده ASTER در تهیه نقشه کانی‌شناسی از سطح مورد استفاده قرار گرفت. مقالات مفصلی از کاربرد سنجنده استر در زمین‌شناسی برای تهیه نقشه لیتولوژی و دگرسانی‌های هیدروترمال موجود است. استفاده از سنسور Sentinel-2A MSI در سنجش از دور ابتدا توسط Van der Meer و همکاران مورد ارزیابی قرار گرفت که توانایی Sentinel-2A MSI را با سنجنده ASTER ماهواره Terra برای نقشه‌برداری دگرسانی‌های هیدروترمال، مقایسه کردند (شکل ۱-۳). Van der Meer و همکاران نتیجه گرفتند که باندهای Sentinel-2A MSI می‌تواند در نسبت باندهایی که در اصل برای Landsat5 (TM) یا ASTER تعریف شده بود، استفاده شود. Mielke و همکاران چند

^۱ Leaf Area Index (LAI)

^۲ Landsat

سنجنده از جمله Sentinel-2A MSI، برای نقشه‌برداری از ویژگی جذب آهن با روش نسبت باندی ارزیابی کردند. آن‌ها نتیجه گرفتند که سنسورهایی مانند Sentinel-2A MSI برای تشخیص Gossan مناسب هستند. Van der Meer و Van der Werff توانایی Sentinel-2A MSI را در تهیه نقشه کانی‌شناسی اکسید آهن نشان داده‌اند (Van der Werff and Van der Meer, 2016).



شکل ۳-۱: توان تفکیک مکانی و مشخصات طیفی ماهواره‌های Sentinel-2 (MSI)، لندست ۵ (TM)، لندست ۸ (OLI) و استر (Van der Werff and Van der Meer, 2016)

جدول ۳-۲: خصوصیات سنجنده Sentinel-2A (Sentinel-2 User Handbook, 2015)

ناحیه طیفی	باند	محدوده طیف مرکزی (μm)	دقت مکانی (m)
Coastal aerosol	1	0.443	60
Blue	2	0.490	10
Green	3	0.560	10
Red	4	0.665	10
Vegetation Red Edge	5	0.705	20
Vegetation Red Edge	6	0.740	20
Vegetation Red Edge	7	0.783	20
NIR	8	0.842	10
Vegetation Red Edge	8A	0.865	20
Water vapour	9	0.945	60
SWIR-Cirrus	10	1.375	60
SWIR	11	1.610	20
SWIR	12	2.190	20

۳-۴- پیش پردازش تصاویر ماهواره‌ای

قبل از بکارگیری و استخراج هر گونه اطلاعاتی از داده‌های سنجنش از دور بایستی این داده‌ها طی یک فرآیند، برای استفاده آماده‌سازی شوند. پیش‌پردازش تصاویر ماهواره‌ای برای پردازش‌های بعدی و تجزیه و تحلیل تصاویر ضروری است. عملیات پیش‌پردازش شامل دو مرحله تصحیح هندسی و تصحیح رادیومتریکی می‌باشد.

۳-۴-۱- تصحیح رادیومتریکی^۱

ارزش عددی هر پیکسل در داده‌های ماهواره‌ای، میزان بازتابندگی واقعی آن پدیده در سطح زمین نمی‌باشد و از عواملی مانند جذب و پراکنش جوی، زاویه تابش خورشید، حساسیت سنجنده و سایه و ... تأثیر پذیرفته است. در محدوده طول موج مرئی، امواج الکترومغناطیس در هنگام عبور از جو به میزان بیشتر جذب و پراکنده می‌شوند در حالی که در محدوده فروسرخ، امواج بدون پخش از جو زمین گذشته و برگشت داده می‌شوند. بنابراین اطلاعاتی که در باندهای مختلف طیف مرئی و فروسرخ نزدیک ثبت می‌گردند، بازتاب واقعی نبوده و باید تصحیح گردند (تاجیک، ۱۳۸۵). در تصحیح رادیومتریکی هم اثر غبار و هم اثر ارتفاع خورشید که ناشی از تغییر موقعیت فصلی خورشید نسبت به زمین است، تصحیح می‌گردد. در واقع تصحیح رادیومتریکی برای آن است که مقادیر خام DNهای تصویر تبدیل به مقادیر فیزیکی همچون بازتابندگی از سطح زمین گردد. از جمله روش‌های اعمال تصحیح رادیومتریکی، روش میانگین نسبی بازتاب‌ها، روش باقیمانده لگاریتمی، روش FLAASH و ... است.

- روش میانگین نسبی بازتاب‌ها^۲

روش میانگین نسبی بازتاب‌ها (IARR)، به عنوان یک روش نرمال‌سازی شناخته شده است. در این روش میانگین بازتاب طیفی پیکسل‌های تصویر محاسبه می‌شود و این طیف میانگین به عنوان طیف

^۱ Radiometric Correction

^۲ Internal Average Relative Reflectance

مرجع می‌باشد که هر پیکسل تصویر با استفاده از این طیف مرجع، نرمال می‌شود. بنابراین مقادیر طیفی نشان‌دهنده بازتاب نسبت به طیف میانگین می‌باشد. پس از انجام این تصحیح محدوده‌های جذب و بازتاب طیف‌های استخراج شده از تصویر بارزتر می‌شوند. اعمال این روش روی مناطق خشک و بدون پوشش گیاهی مناسب می‌باشد (Kruse, 1988).

-تصحیح جوی باقیمانده لگاریتمی^۱

روش باقیمانده لگاریتمی (LR) برای حذف تابش خورشید، پراکنش جوی، اثرات توپوگرافی و اثرات آلبدو کاربرد دارد. در این روش مانند روش IARR از اطلاعات آماری خود تصاویر برای کالیبراسیون استفاده می‌شود. برای تصحیح این روش از یک مجموعه داده به عنوان طیف ورودی تعریف می‌شود. این ورودی به میانگین هندسی طیف و سپس به میانگین هندسی مکانی تقسیم می‌شود. با استفاده از میانگین هندسی طیفی (میانگین تمام باندها برای یک پیکسل) اثرات توپوگرافی حذف می‌شود و با استفاده از میانگین هندسی مکانی (میانگین تمام پیکسل‌ها برای هر یک از باندها) تأثیرات مربوط به تابش خورشید، عبورپذیری جو و نیز خطای دستگاهی حذف می‌شود (Green and et al, 1985).

۳-۴-۲- تصحیح هندسی^۲

از آنجا که تصاویر سنجش از دور نقشه نیستند، اغلب اطلاعات استخراج شده از تصاویر با داده‌های نقشه در یک سیستم اطلاعاتی یکپارچه می‌شود. تبدیل یک تصویر سنجش از دور به یک نقشه با یک مقیاس و یک سیستم اطلاعات، تصحیح هندسی گفته می‌شود. تصحیح هندسی، خطای موقعیت نسبی پیکسل‌ها را مشخص نموده و آن‌ها را اصلاح می‌نماید.

تصحیح هندسی در یکی از شرایط زیر مورد استفاده قرار می‌گیرد (Anjiredd, 2008):

۱- برای تبدیل یک تصویر به یک نقشه

¹ Log Residuals

² Geometric Correction

۲- برای تعیین نقاط روی نقشه و تصویر

۳- برای پوشش زمانی تصویر از همان منطقه

۴- برای پوشش تصاویر و نقشه‌ها داخل GIS

۵- برای یکپارچه کردن داده‌های سنجش از دور با GIS.

اگر تصحیح هندسی روی تصویر اعمال نشود، نمی‌دانیم تصویر متعلق به کدام نقطه از زمین است. اعوجاج تصادفی بایستی با انتخاب تعداد کافی از نقاط کنترل زمینی (GCP) تصحیح گردد. این نقاط معمولاً از نقشه‌های با دقت مناسب با توان تفکیک مکانی و یا با استفاده از GPS و برداشت زمینی نقاط بدست می‌آیند. در این مورد بایستی به این نکته توجه نمود که نقاط انتخاب شده بایستی بر روی تصویر نیز قابل تشخیص باشند تا برای مرجع نمودن تصویر مورد استفاده قرار گیرند. بدین طریق می‌توان موقعیت تصویر را در یک سیستم مختصات بدست آورد. خطاهای هندسی ناشی از انحنای چرخش زمین، ناهمواری‌های موجود روی سطح زمین، ارتفاع سنجنده، عدم ثبات سکوها و خطای تجهیزات می‌باشد.

۳-۵- پردازش تصاویر ماهواره‌ای و انواع روش‌های آن

پس از انجام مراحل پیش‌پردازش بر روی تصاویر ماهواره‌ای به استخراج اطلاعات پرداخته می‌شود. برای انجام این کار می‌توان از روش‌هایی مانند ترکیب رنگی کاذب، نسبت باندی، آنالیز مؤلفه‌های اصلی و ... استفاده کرد.

۳-۵-۱- ترکیب رنگی^۱

هر شی در طبیعت دارای انعکاس در طول موج‌های مختلف است. چشم انسان قادر به شناسایی رنگ‌هایی می‌باشد که در محدوده طول موج مرئی (قرمز- سبز- آبی) قرار دارد. دستگاه‌های صفحه نمایش، از این ویژگی چشم انسان در نواحی طول موج مرئی پیروی می‌کنند. به همین علت به ترکیب

¹ Color composite

رنگ‌های قرمز، سبز و آبی (RGB) باند ۱،۲،۳ ماهواره لندست، ترکیب رنگ واقعی می‌گویند. سایر ترکیبات دیگر که به صورت قرمز، سبز و آبی به نمایش در می‌آیند ترکیب رنگی کاذب^۱ نامیده می‌شود. ترکیب رنگی در واقع اساس روش‌های دیگر است، زیرا نتایج این روش‌ها را می‌توان با اختصاص دادن باندهای طیفی دلخواه به کانال‌های قرمز، سبز و آبی و ایجاد ترکیب رنگی تفسیر کرد (Yetkine, 2003).

۳-۵-۲- نسبت باندی^۲

یکی از روش‌های رایج در پردازش تصویر، روش نسبت باندی می‌باشد که از تقسیم کردن دو باند بر یکدیگر بدست می‌آید. باندی که دارای انعکاس بیشتر از هدف مورد بررسی است، در صورت کسر و باندی که دارای بیشترین جذب برای همان هدف است در مخرج کسر قرار می‌گیرد. این روش اثرات توپوگرافی و سایه‌ها را از بین می‌برد. از این روش می‌توان برای تهیه نقشه زمین‌شناسی، جدا کردن مرز واحدهای سنگی، شناسایی دگرسانی هیدروترمال، تعیین شاخص پوشش گیاهی و آشکار ساختن تفاوت میان ویژگی‌های بازتاب طیفی سنگ‌ها و خاک اطراف آن‌ها بهره برد. انتخاب باند برای نسبت‌های مختلف براساس ویژگی طیفی سنگ‌ها می‌باشد (Sadeghi et al., 2013).

۳-۵-۳- آنالیز مؤلفه‌های اصلی^۳

تجزیه و تحلیل مؤلفه اصلی به عنوان PCA نامیده می‌شود. هدف روش PCA، کاهش ابعاد مجموعه داده‌ها، ضمن حفظ و نگهداری اطلاعات موجود در آن‌ها است. دو متغیر X و Y مطابق (شکل ۳-۲، الف) در نظر گرفته می‌شود با فرض این که دو متغیر نسبت به هم همبسته باشند، نتیجه آن یک خط راست خواهد بود که AB نامیده می‌شود؛ بنابراین با تجزیه و تحلیل خط AB ، اطلاعات بیشتری انتقال می‌یابد. اگر دو متغیر کاملاً وابسته نباشند و در یک جهت تغییرات بیشتر باشد (شکل ۳-۴،

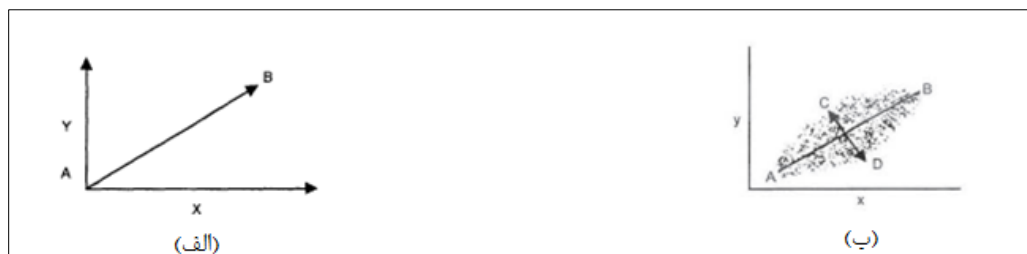
¹ False color composite (RGB)

² Band ratio

³ Principal component analysis (PCA)

ب)، این جهت به عنوان محور اصلی و AB و محوری که تغییرات آن کمتر است، محور CD نامیده می‌شود. اکنون محورهای AB و CD به عنوان محورهای X و Y در نظر گرفته می‌شود. با توجه به تغییرات کم در جهت CD، از آن صرف نظر می‌شود. بنابراین می‌توان هدف آنالیز PC که کاهش ابعاد مجموعه داده‌ها و شناسایی محورهای اصلی تغییرپذیری در داده‌ها می‌باشد را تعریف کرد. از این ویژگی آنالیز PC می‌توان در ارزیابی داده‌های سنجش از دور به منظور دسته بندی پیکسل‌ها با توجه به سیستم محور جدید به جای باندهای طیفی اصلی به کار برد. در صورت استفاده از دو باند، مؤلفه‌های اصلی به صورت گرافیکی محاسبه می‌شوند (شکل ۳-۲).

حال اگر تعداد متغیرها یا باندهای طیفی بیشتر از دو باشد، راه حل هندسی غیر ممکن است و از راه حل‌های جبری استفاده می‌شود. برای محاسبه مؤلفه‌های اصلی به روش جبری، ابتدا ماتریس واریانس- کواریانس و یا ماتریس همبستگی میان باندها را تشکیل و سپس مقادیر ویژه و بردارهای ویژه این ماتریس را محاسبه می‌کنند (Reddy, 2010).



شکل ۳-۲: (الف) همبستگی کامل بین دو متغیر، (ب) چرخش محور مختصات مورد استفاده در PCA

۳-۶- نتایج مطالعات دورسنجی در منطقه مورد مطالعه

۳-۶-۱- آماده سازی تصاویر

پیش از شروع عملیات پردازش تصویر، رفع خطای هندسی و رادیومتریک از تصاویر الزامی می‌باشد. جهت انجام تصحیحات رادیومتریک از روش میانگین نسبی بازتاب‌ها استفاده گردید. داده‌های Sentinel-2A و ASTER منطقه مورد مطالعه از نظر تصحیح هندسی به صورت تصحیح شده در اختیار قرار داشتند و دیگر بر روی تصاویر تصحیح هندسی انجام نشد. سرانجام پردازش تصویر بر روی این منطقه با استفاده از نرم افزار ENVI 4.7 صورت گرفت.

۳-۶-۲- پردازش تصاویر

برای انجام پردازش تصاویر ماهواره‌ای در منطقه مورد مطالعه از روش‌هایی مانند ترکیب رنگی کاذب، نسبت بانندی، آنالیز مؤلفه‌های اصلی، آنالیز مؤلفه‌های انتخابی (کراستا) استفاده شده است.

۳-۶-۲-۱- جدا کردن مناطق دگرسانی با استفاده از نسبت بانندی در تصاویر ASTER و

Sentinel-2A

جهت شناسایی دگرسانی‌های منطقه با استفاده از روش نسبت بانندی، از نمودارهای طیفی کتابخانه‌ای سازمان زمین‌شناسی آمریکا (Library of ENVI software 4.7, USGS) استفاده شد. باندهایی که شامل بیشترین و کمترین میزان بازتاب توسط کانی مورد نظر باشند را بر هم تقسیم کرده و در تصویر حاصل نقاط روشن، نقاط هدف هستند (آلانی، ۱۳۹۱).

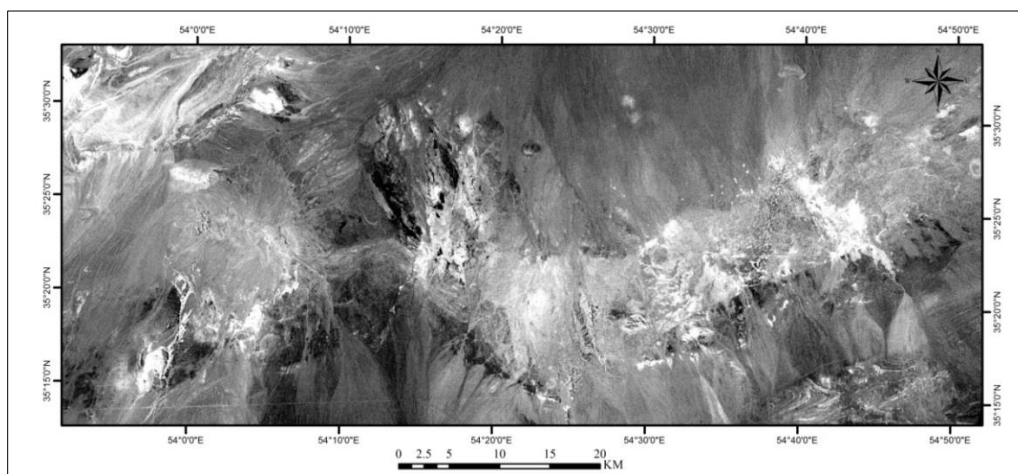
جهت بارزسازی دگرسانی فیلک و آرژیلیک با توجه به طیف انعکاسی استاندارد کانی‌های شاخص این دگرسانی‌ها، دارای تابش در باندهای ۴ و ۷ و در باند ۶ دارای جذب هستند؛ بنابراین نسبت‌های بانندی $4/6$ و $(7+4)/6$ نسبت‌های بانندی مناسب برای آشکارسازی مناطق دارای دگرسانی فیلک-آرژیلیک بوده و مناطق دارای این دگرسانی با پیکسل‌های روشن بارز شدند (شکل ۳-۳).

به همین ترتیب، طبق نمودار طیف انعکاسی استاندارد کانی‌های شاخص دگرسانی پروپیلیتیک، این کانی‌ها دارای تابش در باندهای ۷، ۶، ۹ و در باند ۸ بدلیل وجود پیوند Mg-OH دارای جذب هستند؛ بنابراین برای شناسایی مناطق دارای دگرسانی پروپیلیتیک از نسبت‌های بانندی $9/8$ و $(6+9)/8$ استفاده گردید (شکل ۳-۴). مناطق روشن در قسمت جنوب غربی و غرب این تصویر مربوط به واحدهای آهکی در این منطقه است که به علت شباهت طیفی با کانی‌های زون پروپیلیتیک بارزسازی می‌شوند.

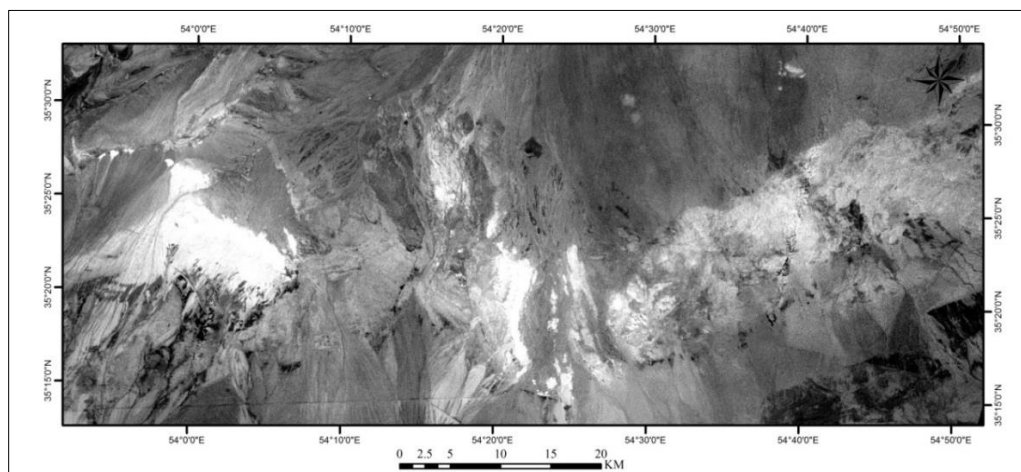
جهت شناسایی دگرسانی سیلیسی و کوارتز و دگرسانی کربناته به ترتیب از نسبت بانندی $14/12$ و شاخص کربناته $CI=13/14$ (Rajendran et al., 2011) بهره گرفته شد. در تصاویر حاصل (شکل ۳-۵)

و ۳-۶، این مناطق با پیکسل‌های روشن نمایان شدند.

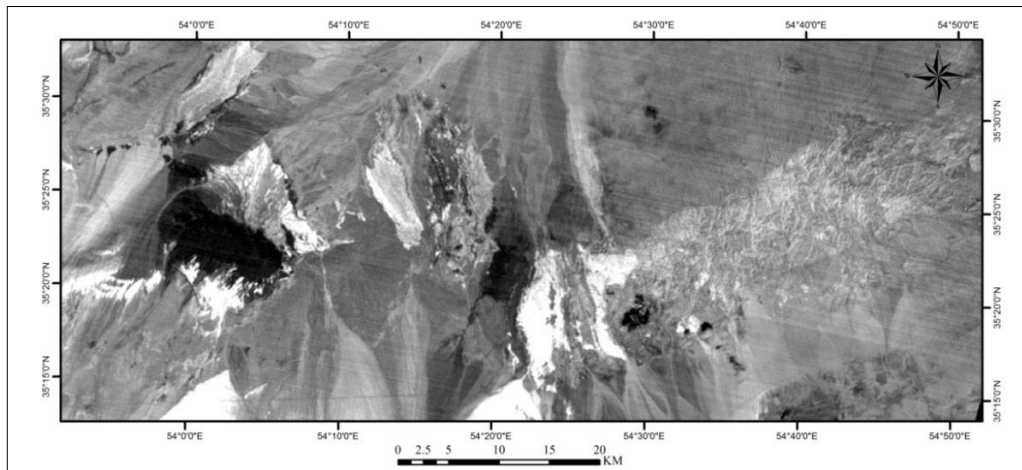
در ادامه جهت شناسایی مناطق دارای اکسید آهن (لیمونیت، گوتیت، هماتیت و ژاروسیت) با استفاده از تصاویر Sentinel-2A، به دلیل جذب در باند ۲ و تابش در باند ۴ از نسبت باندهای ۴/۲ (Van der Werff and Van der Meer, 2016) استفاده گردید. تصویر این نسبت باندهای در شکل (۳-۷) نشان داده شده است.



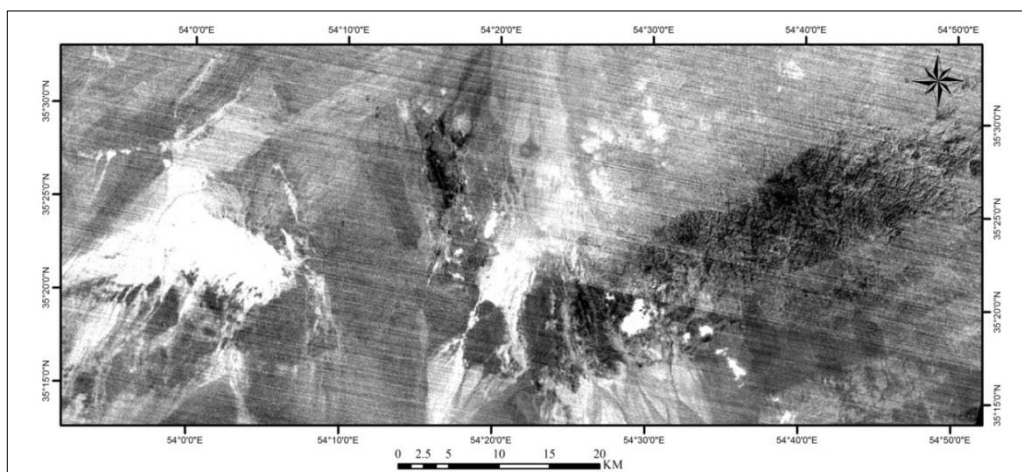
شکل ۳-۳: نسبت باندهای ۴/۲ (۷+۴) سنجنده استر در منطقه مورد مطالعه (دگرسانی فیلیک-آرژلیک با پیکسل‌های روشن مشخص شده است).



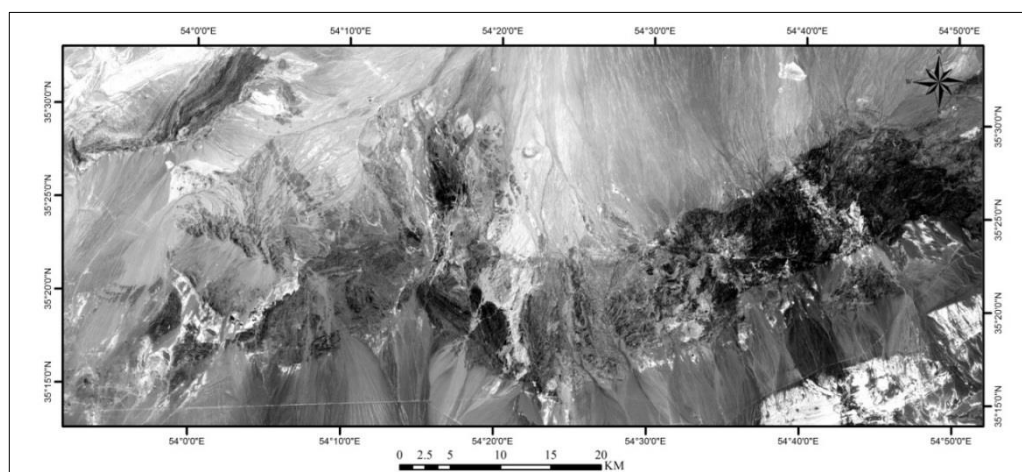
شکل ۳-۴: نسبت باندهای ۹/۸ سنجنده استر در منطقه مورد مطالعه (زون پروپلیتیک با پیکسل‌های روشن مشخص شده است).



شکل ۳-۵: نسبت بانندی ۱۴/۱۲ سنجنده استر در منطقه مورد مطالعه (دگرسانی سیلیسی با پیکسل‌های روشن مشخص شده است).



شکل ۳-۶: نسبت بانندی ۱۳/۱۴ سنجنده استر در منطقه مورد مطالعه (دگرسانی کربنات با پیکسل‌های روشن مشخص شده است).

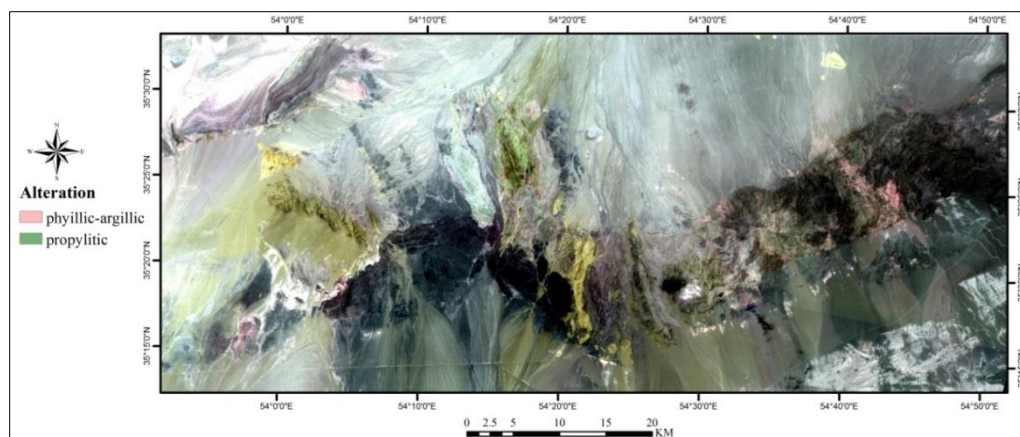


شکل ۳-۷: نسبت بانندی ۴/۲ سنجنده Sentinel-2A در منطقه مورد مطالعه (اکسید آهن با پیکسل‌های روشن مشخص شده است).

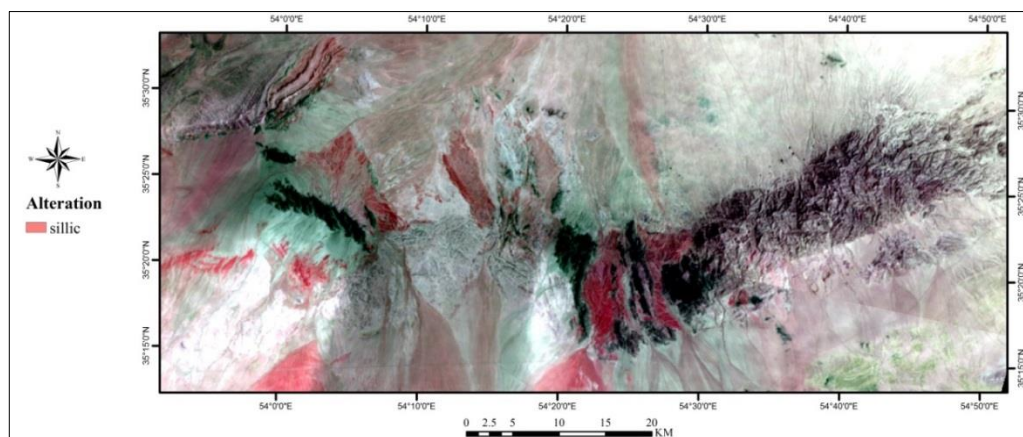
مشخص شده است).

۳-۶-۲- جدا کردن مناطق دگرسانی با استفاده از روش ترکیب رنگی

استفاده از رنگ‌ها، اطلاعات بصری و مفهومی بیشتری از تصویر در اختیار ما قرار می‌دهند. برای تفسیر بصری زون‌های آلتراسیون با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای از ترکیب‌های رنگی کاذب استفاده می‌شود. هدف از انتخاب باندهای مناسب برای ساختن تصاویر رنگی، به حداقل رساندن داده‌های کم ارزش و استفاده حداکثر از اطلاعات مفید می‌باشد. ترکیب رنگی کاذب باندهای ۸-۶-۴ RGB به دلیل جذب کانی‌های شاخص زون فیلیک-آرژیلیک (کائولینیت، ایلیت و مونت مورینیت) در باند ۶ قلمرو مادون قرمز کوتاه (SWIR) و جذب کانی‌های شاخص دگرسانی پروپلیتیک (کلریت و اپیدوت) در باند ۸ قلمرو مادون قرمز کوتاه (SWIR) برای آشکارسازی دگرسانی‌ها در محدوده کانسار مناسب می‌باشد (Azizi et al., 2010؛ آلیانی و همکاران، ۱۳۹۱). در ترکیب رنگی کاذب فوق، دگرسانی آرژیلیک و فیلیک به رنگ صورتی و دگرسانی پروپلیتیک نیز به رنگ سبز (شکل ۳-۸) بارزسازی می‌شود. همچنین از ترکیب رنگی کاذب باندهای ۱۴-۱۲-۱۰ RGB برای شناسایی دگرسانی سیلیسی استفاده گردید، مناطق دارای این دگرسانی به رنگ قرمز قابل مشاهده هستند (شکل ۳-۹).



شکل ۳-۸: ترکیب رنگی کاذب (۸-۶-۴) RGB: سنجنده استر در محدوده مورد مطالعه

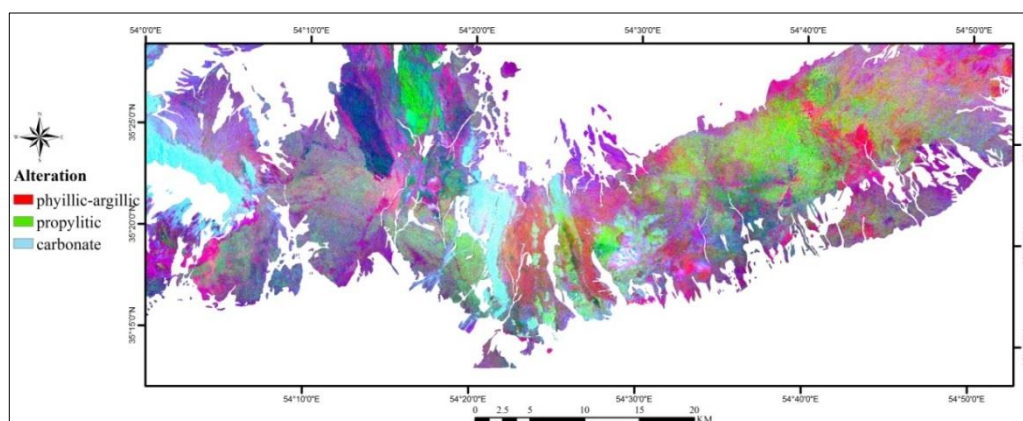


شکل ۳-۹: ترکیب رنگی کاذب (۱۰-۱۲-۱۴) RGB: سنجنده استر در محدوده مورد مطالعه

با توجه به رسوبات در شمال و جنوب محدوده مورد مطالعه، در ادامه برای بارسازی دگرسانی‌ها، قسمت مرکزی منطقه مورد بررسی قرار گرفت و عملیات ماسک بر روی رسوبات صورت گرفت.

برای آشکارسازی دگرسانی‌های پروپلیتیک و کربناته (واحد‌ها سنگی آهکی) بدلیل داشتن کانی‌های شاخص مشترک، از ترکیب رنگی کاذب نسبت‌های باندی $13/14 - 9/8 - (4+7)/6$ RGB: استفاده شد. در

شکل (۳-۱۰) دگرسانی فلیک و آرژیلیک به رنگ صورتی، دگرسانی پروپلیتیک به رنگ سبز و مناطق دارای دگرسانی کربناته به رنگ آبی دیده می‌شوند.



شکل ۳-۱۰: ترکیب رنگی کاذب از نسبت‌های باندی $(4+7)/6 - 9/8 - 13/14$ RGB: سنجنده استر در محدوده مورد مطالعه

۳-۶-۲-۳- جدا کردن مناطق دگرسانی با استفاده از آنالیز مؤلفه‌های اصلی

روش آنالیز مؤلفه‌های اصلی به منظور کاهش ابعاد داده‌های ورودی به کار می‌رود و در این روش امکان از دست رفتن اطلاعات مفید به حداقل می‌رسد. شرط انتخاب PCهای مناسب این است که در ماتریس بردارهای ویژه، باندهای مربوط به جذب و بازتابش کانی‌های هدف، به طور همزمان بالاترین مقدار را داشته و در ضمن نیز این مقادیر غیر هم علامت باشند. روش تجزیه و تحلیل مؤلفه‌های اصلی در سنجنده ASTER، بر روی ۹ باند آن اعمال گردید. جدول (۳-۳) نتایج حاصل از آنالیز مؤلفه‌های اصلی را در محدوده مورد مطالعه نشان می‌دهد که برای بارزسازی دگرسانی فیلیک، آرژیلیک و پروپیلیتیک به ترتیب مؤلفه‌های PC6، PC4 و PC5 مناسب می‌باشند.

از باندهای ۱۰ تا ۱۴ نیز برای آشکارسازی دگرسانی کربناته و دگرسانی سیلیس و کوارتز استفاده شده است. جدول (۳-۴) نتایج حاصل از آنالیز مؤلفه‌های اصلی باندهای ۱۰ تا ۱۴ سنجنده استر در منطقه مورد مطالعه می‌باشد. بر اساس نتایج بدست آمده، معکوس PC4 و معکوس PC2 برای بارزسازی دگرسانی کربناته و دگرسانی سیلیسی مناسب می‌باشند.

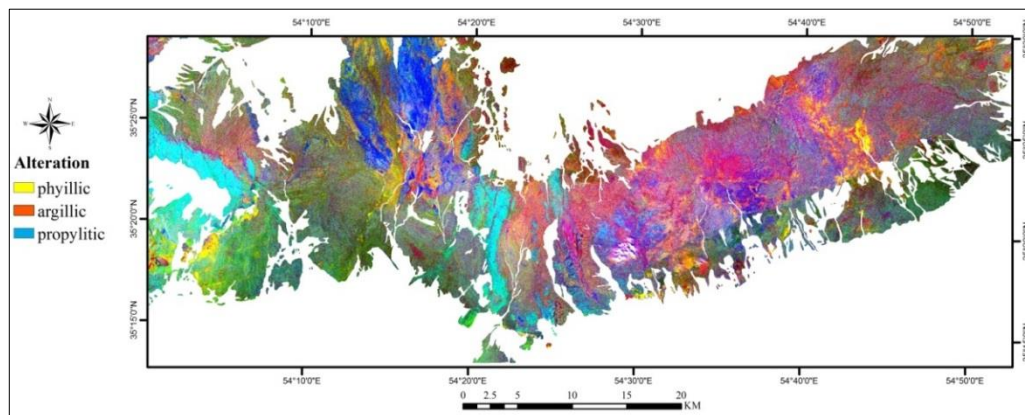
جدول ۳-۳: نتایج حاصل از آنالیز مؤلفه‌های اصلی نه باند سنجنده استر در محدوده مورد مطالعه

	Band1	Band2	Band3	Band4	Band5	Band6	Band7	Band8	Band9
PC1	0.3552	0.3405	0.3439	0.3292	0.3248	0.3238	0.3205	0.3233	0.3372
PC2	0.5329	0.4296	0.4009	-0.269	-0.2982	-0.2793	-0.2553	-0.2204	-0.1320
PC3	-0.0259	0.0600	0.0752	0.6108	0.1882	0.1953	-0.2202	-0.6658	-0.2272
PC4	-0.5976	0.1733	0.5404	0.2775	-0.3423	-0.1965	0.1106	0.2199	-0.1651
PC5	-0.1926	-0.2326	0.3289	-0.152	-0.0620	0.0328	-0.2116	-0.3223	0.7900
PC6	0.3602	-0.3783	-0.117	0.5639	-0.2624	-0.4838	-0.1081	0.2108	0.1901
PC7	0.1556	-0.6227	0.5419	-0.145	0.3262	0.0783	-0.1280	0.1435	-0.3517
PC8	-0.0111	0.0692	-0.076	0.0842	-0.2734	0.5231	-0.6970	0.3844	-0.0071
PC9	-0.2016	0.2754	-0.047	0.0029	0.6316	-0.4748	-0.461	0.1954	0.0776

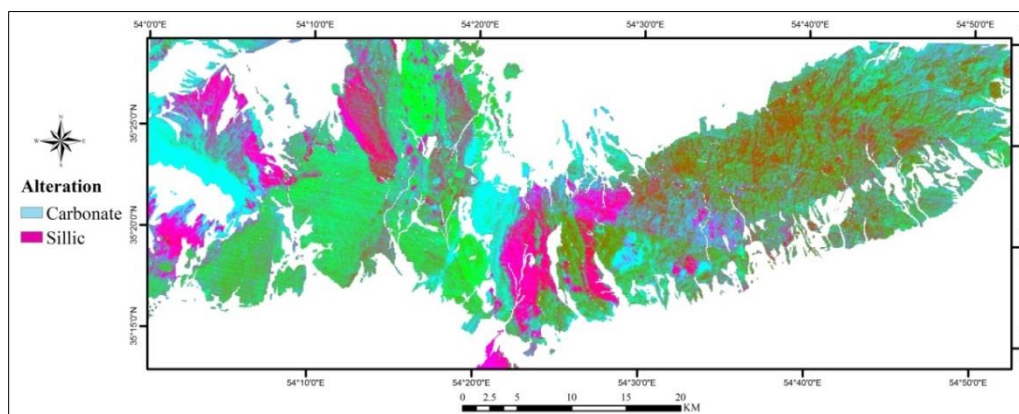
جدول ۳-۴: نتایج حاصل از آنالیز مؤلفه‌های اصلی باندهای ۱۰-۱۴ سنجنده استر در منطقه مورد مطالعه

Eigenvector	Band10	Band11	Band12	Band13	Band14
PC1	0.44728	0.447272	0.447201	0.44718	0.447135
PC2	0.167682	0.316491	0.562589	-0.463648	-0.583302
PC3	0.838954	-0.043863	-0.495085	-0.195208	-0.104965
PC4	0.109944	-0.438044	0.333342	-0.5877759	0.582626
PC5	0.236415	-0.711319	0.356763	0.448881	-0.330695

به منظور بدست آوردن تفکیک مناسبی از مناطق دگرسانی در منطقه مورد مطالعه از ترکیب‌های رنگی RGB: PC6, PC4, PC5 و RGB: -PC2, PC2, -PC4 استفاده شده است. در ترکیب رنگی RGB: PC6, PC4, PC5 شکل (۳-۱۱)، دگرسانی فلیک به رنگ زرد، دگرسانی آرژیلیک به رنگ نارنجی و رنگ آبی نمایانگر دگرسانی پروپلیتیک می‌باشد. در ترکیب رنگی کاذب RGB: PC2, PC2, -PC4 (شکل ۳-۱۲)، دگرسانی کربنانه به رنگ آبی، دگرسانی سیلیسی به رنگ قرمز نمایش داده شده است.



شکل ۳-۱۱: ترکیب رنگی RGB:(PC6, PC4, PC5) سنجنده استر در محدوده مورد مطالعه



شکل ۳-۱۲: ترکیب رنگی کاذب (PC4, PC2, -PC2): RGB سنجنده استر در محدوده مورد مطالعه

۳-۶-۲-۴- تحلیل مؤلفه‌های اصلی انتخابی (کروستا)

در استفاده از باندهای طیفی مختلف، گاهی فقط به اطلاعات خاصی از باندهای طیفی احتیاج است و نیاز به تحلیل تمام باندها نیست، PCA انتخابی به همین منظور استفاده می‌شود، یعنی در حین کاهش ابعاد داده‌های ورودی، امکان از دست رفتن اطلاعات مفید به حداقل می‌رسد و برای نقشه‌برداری تفاوت‌های طیفی گوناگون مورد استفاده قرار می‌گیرد. در واقع، اگر تعداد باندهای ورودی کاهش یابد، احتمال تعیین یک PC مشخص برای رده کانی خاص افزایش پیدا می‌کند. در PCA انتخابی معمولاً از ماتریس همبستگی برای انتخاب باندها استفاده می‌شود (Loughlin, 1991). در این روش باندهایی که کانی‌های هدف در آن محدوده‌ها دارای خصوصیات جذب بالا یا انعکاس بالا هستند، به کار گرفته می‌شود.

در اینجا برای شناسایی زون دگرسانی فیلیک از باندهای ۶،۴ و ۷، برای دگرسانی آرژیلیک از باندهای ۵، ۴ و ۷ (Khaleghi & Ranjbar, 2011) و برای دگرسانی پروپیلیتیک از باندهای ۶، ۷، ۸ و ۹ (رفاهی و همکاران، ۹۳) به عنوان ورودی روش آنالیز مؤلفه اصلی انتخابی استفاده شد. فرآیند آنالیز مؤلفه‌های اصلی بر روی هر گروه به طور جداگانه انجام و نتایج در جدول‌های ۳-۵، ۳-۶ و ۳-۷ ارائه شده است. این نتایج نشان می‌دهند که مؤلفه اصلی سوم و مؤلفه اصلی دوم به ترتیب برای بارزسازی دگرسانی‌های فیلیک، آرژیلیک و پروپیلیتیک مناسب می‌باشند.

برای شناسایی و بارزسازی مناطق دگرسان در روش کروسا نیز همانند روش آنالیز مؤلفه اصلی از یک ترکیب رنگی مناسب در محیط RGB استفاده می‌شود. در ترکیب رنگی RGB: PC3, PC3, PC2 مناطق مشترک دارای دگرسانی آرژیلیک و فیلک به رنگ زرد و مناطق دارای دگرسانی پروپیلیتیک به رنگ آبی مشخص شده است. نتایج نشان‌دهنده گستردگی دگرسانی فیلک نسبت به دگرسانی آرژیلیک در منطقه است (شکل ۳-۱۳).

همچنین برای بارزسازی اکسیدهای آهن با روش آنالیز مؤلفه انتخابی از باندهای ۴، ۳، ۲ و ۸ سنجنده Sentinel-2A استفاده گردید. نتیجه آنالیز مؤلفه‌های اصلی در جدول (۳-۸) ارائه شده است و تصویر حاصل از معکوس PC2 در شکل ۳-۱۴ نشان داده شده است.

جدول ۳-۵: نتیجه حاصل از تحلیل مؤلفه‌های انتخابی برای نقشه‌برداری دگرسانی فیلک بر روی باندهای ۴، ۶ و ۷

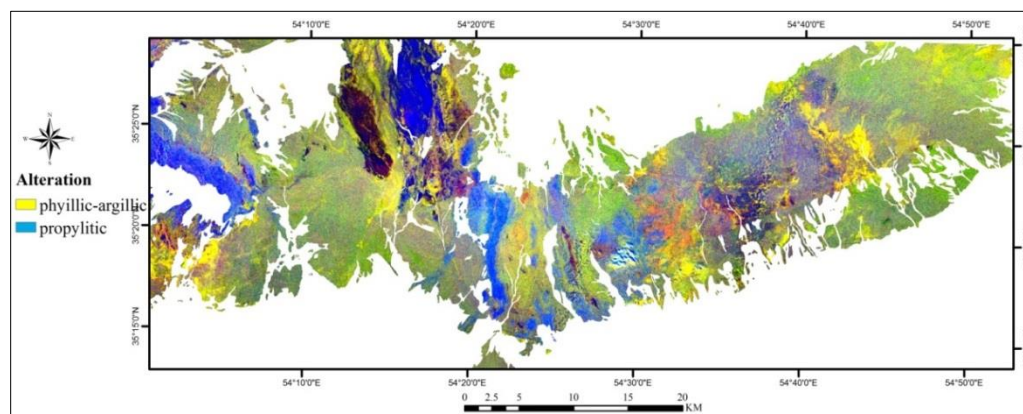
Eigenvector	Band4	Band6	Band7
PC1	-0.576852	-0.577756	-0.577443
PC2	-0.773342	0.158645	0.61382
PC3	0.26303	-0.800643	0.538317

جدول ۳-۶: نتیجه حاصل از تحلیل مؤلفه‌های انتخابی برای نقشه‌برداری دگرسانی آرژیلیک بر روی باندهای ۴، ۵ و ۷

Eigenvector	Band4	Band5	Band7
PC1	-0.577107	-0.577228	-0.57716
PC2	-0.775533	0.165737	0.609138
PC3	0.255862	-0.799587	0.543319

جدول ۷-۳: نتیجه حاصل از تحلیل مؤلفه‌های انتخابی برای نقشه‌برداری دگرسانی پروپیلیتیک بر روی باندهای ۶، ۷، ۸ و ۹

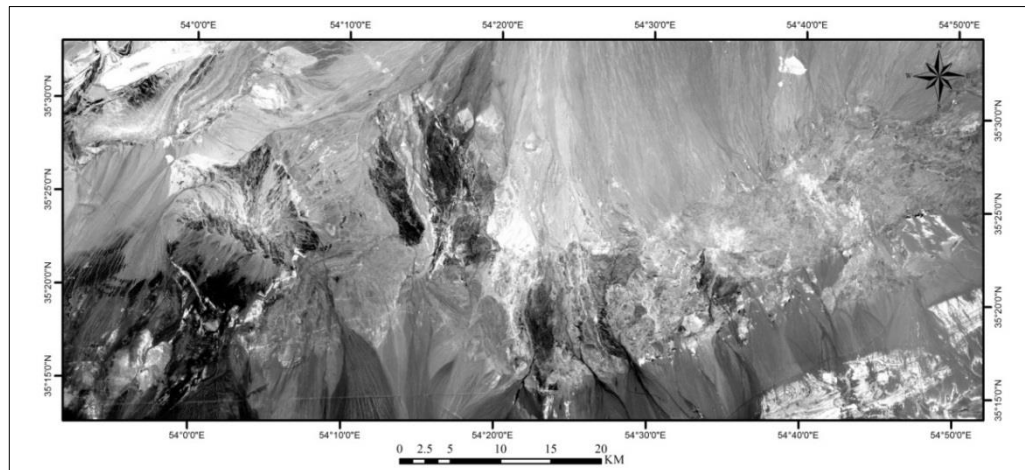
Eigenvector	Band6	Band7	Band8	Band9
PC1	-0.50126	-0.501344	-0.500406	-0.496977
PC2	0.218535	-0.298534	-0.613072	0.698042
PC3	0.746692	0.155139	-0.39371	-0.513202
PC4	0.378725	-0.79716	0.467684	-0.048736



شکل ۳-۱۳: ترکیب رنگی RGB:(PC3, PC3, PC2) سنجنده استر در محدوده مورد مطالعه

جدول ۳-۸: نتیجه حاصل از تحلیل مؤلفه‌های انتخابی برای نقشه‌برداری اکسید آهن بر روی باندهای ۲، ۳، ۴ و ۸ از سنجنده Sentinel-2A

Eigenvalue	Band2	Band3	Band4	Band8
PC1	0.522333	0.502513	0.489976	0.484326
PC2	0.720141	0.146721	-0.335818	-0.589149
PC3	0.395695	-0.560668	-0.428091	0.58806
PC4	-0.228014	0.641564	-0.681093	0.26929



شکل ۳-۱۴: مؤلفه اصلی دوم نشان‌دهنده اکسید آهن با استفاده از روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی انتخابی سنجنده Sentinel-2A در منطقه مورد مطالعه

فصل چہارم

ژئوشیمی

اکتشافات ژئوشیمیایی نقش مهمی در یافتن مناطق امید بخش در مراحل پی‌جویی کانسار ایفا می‌کنند و از مهم‌ترین لایه‌های اطلاعاتی در اکتشاف ذخایر معدنی به شمار می‌روند. هدف از اکتشافات ژئوشیمیایی، شناخت مناطق آنومالی ژئوشیمیایی با استفاده از عناصر ردیاب و معرف، به دست آوردن روابط پارائزری بین عناصر با استفاده از تحلیل همبستگی، تعیین نوع کانی‌سازی احتمالی، معرفی زون‌های کانی‌سازی و مناطق دارای پتانسیل است (ملکی و همکاران، ۱۳۹۱). در اکتشافات ژئوشیمیایی از داده‌های رسوبات آبراهه‌ای، خاک‌ها و آب‌ها جهت پردازش و نقشه‌برداری ژئوشیمیایی در مقیاس ناحیه‌ای استفاده می‌شود. با استفاده از نقشه‌برداری ژئوشیمیایی می‌توان اطلاعات مهمی در زمینه اکتشافات معدنی و مطالعات زیست محیطی بدست آورد (Zumlot et al., 2009).

۴-۲- پیش‌پردازش اولیه داده‌ها

قبل از بکارگیری و استخراج هر گونه اطلاعاتی از داده‌های ژئوشیمی بایستی این داده‌ها طی یک فرآیند برای استفاده آماده‌سازی شوند. پیش‌پردازش داده‌ها شامل همه تبدیلاتی است که بر روی داده‌های خام صورت می‌گیرد و آن‌ها را به صورتی در می‌آورد که برای پردازش‌های بعدی نظیر استفاده در تجزیه و تحلیل تک متغیره و چند متغیره، ساده‌تر و موثرتر می‌سازد.

۴-۲-۱- داده سنسورد^۱

داده‌های سنسورد به داده‌هایی اطلاق می‌شود که به صورت مقادیر کمتر از و یا بیشتر از حد حساسیت دستگاهی (< و >) گزارش شده‌اند. این داده‌ها با توجه به مقادیر بسیار زیاد و یا بسیار کم عناصر و با عنایت به حد تشخیص دستگاه گزارش می‌شوند. جایگزینی و تخمین داده‌های سنسورد با روش‌های مختلفی انجام می‌شود که از جمله این روش‌ها می‌توان به روش‌های جایگزینی ساده، روش ترسیمی و

¹ Censored data

روش بیش‌ترین درست‌نمایی کوهن اشاره کرد (حسنی پاک و شرف‌الدین، ۱۳۸۰).

۴-۲-۲- داده خارج از ردیف^۱

مجموعه داده‌های ژئوشیمیایی ناحیه‌ای عملاً همیشه دارای مقادیر خارج از ردیف هستند. این داده‌ها حاوی اطلاعات مهمی درباره رفتارهای غیر منتظره در منطقه مطالعه می‌باشند. یکی از اهداف اصلی بررسی ژئوشیمیایی منطقه در واقع یافتن آنومالی‌هایی که ممکن است نشان‌دهنده کانی‌سازی (ژئوشیمی اکتشافی) و یا آلودگی (ژئوشیمی زیست محیطی) در منطقه باشند؛ بنابراین این داده‌ها باید تصحیح و تجزیه و تحلیل شوند (Reiman et al., 2008).

۴-۲-۳- بررسی نرمال بودن داده‌ها و نرمال‌سازی

داده‌های ژئوشیمیایی بندرت دارای توزیع نرمال می‌باشند و در بیشتر مواقع توزیع ژئوشیمیایی برای عناصر کمیاب دارای چولگی می‌باشد (Reimann and Filzmoser, 2000). از طرفی اکثر روش‌های آماری فرض بر نرمال بودن داده‌ها را به همراه دارند. در این شرایط می‌توان با استفاده از توابع مختلف، داده‌ها را طوری تبدیل کرد که مقادیر تبدیل آن توزیع نرمال باشد. اگر داده‌ها دارای توزیع نرمال باشند، میانگین جامعه نمونه، تخمین معتبرتری از میانگین جامعه کل به دست می‌دهد (Reimann and Filzmoser, 2000). نرمال‌سازی داده‌ها توسط روش‌های مختلفی صورت می‌گیرد از جمله می‌توان به روش لگاریتمی، لگاریتمی سه پارامتری و روش کاکس-باکس اشاره کرد.

۴-۳- پردازش داده‌های ژئوشیمیایی

۴-۳-۱- پارامترهای آماری تک متغیره

تجزیه و تحلیل تک متغیره ساده‌ترین شکل تجزیه و تحلیل داده‌ها است. هدف اصلی این روش توصیف داده‌ها و پیدا کردن الگوهای موجود در آن است. برخی از روش‌هایی که الگوهای موجود در داده‌های تک متغیره را توصیف می‌کند، پارامترهای مرکزی و پراکندگی است که شامل میانگین،

¹ Outlier

میانه، انحراف معیار، واریانس، چولگی و کشیدگی می‌باشند.

۴-۳-۲- پارامترهای آماری دو متغیره

در آمار دو متغیره به مطالعه تغییرپذیری همزمان دو متغیر در یک جامعه نمونه پرداخته می‌شود. در این‌جا علاوه بر کسب اطلاعاتی در رابطه با توزیع فراوانی متغیرهای مورد بررسی، اطلاعاتی درباره رابطه متغیرهای مورد بررسی نیز بدست خواهیم آورد (حسنی پاک و شرف‌الدین، ۱۳۸۰).

۴-۳-۲-۱- ضریب همبستگی^۱

ضریب همبستگی میزان ارتباط بین دو متغیر را تخمین می‌زند. برای بدست آوردن اعداد استاندارد ضرایب همبستگی، لازم است که وابستگی تغییرات هر متغیر را از بین برد. سه روش عمده برای محاسبه ضریب همبستگی شامل ضریب همبستگی پیرسون، اسپیرمن و کندال است. نتایج این روش‌ها یک عدد بین $+1$ و -1 را شامل می‌شود که نشان دهنده نزدیکی ارتباط بین دو متغیر می‌باشد. ± 1 نشان‌دهنده یک رابطه کامل $1:1$ (مثبت یا منفی) است. در حالی که 0 نشان می‌دهد که هیچ رابطه‌ای سیستماتیک بین دو متغیر وجود ندارد. همبستگی ± 0.5 معمولاً نشان‌دهنده یک رابطه قابل توجه است ولی به تعداد نمونه‌ها بستگی دارد. با افزایش تعداد نمونه‌ها، کاهش مقدار مطلق ضریب همبستگی قابل توجه می‌باشد (Reiman et al., 2008). ضریب همبستگی پیرسون یک روشی سنتی برای محاسبه ضریب همبستگی می‌باشد و رابطه خطی بین دو متغیر را اندازه‌گیری می‌نماید. بنابراین برای استفاده از روش پیرسون، به مطالعه دقیق‌تری از توزیع یکنواختی هر یک از متغیرها قبل از برآورد ضریب همبستگی نیاز است. از آنجایی که داده‌های ژئوشیمیایی معمولاً دارای کشیدگی می‌باشند، متغیرها قبل از محاسبه ضریب همبستگی پیرسون لگاریتمی می‌شوند (Filzmoser et al., 2008).

¹ Correlation coefficient

۴-۳-۳- پارامترهای آماری چند متغیره

روش‌های چند متغیره، امکان آنالیز آماری همزمان چندین متغیر را فراهم می‌کند. در بالا روش‌های تک متغیره و دو متغیره بررسی شد. مسائل مربوط به یک، دو و حتی سه متغیر را می‌توان تصور کرد و یا به طور گرافیکی نمایش داد ولی گاهی در مسائل اکتشافی با یک فضای ۱۰ و یا حتی ۲۰ متغیره روبرو هستیم که بررسی روابط بین آن‌ها را دشوار می‌کند. در این گونه موارد لازم است با استفاده از روش‌های آماری چند متغیره به کاهش تعداد بعدها در فضای مورد بررسی پرداخت، به طوری که نتایج این ابعاد جدید (متغیرهای جدید) با تعدادی به مراتب کمتر از حالت قبل، بتواند بخش اعظم تغییرپذیری داده‌ها را تشریح کنند (حسنی پاک و شرف‌الدین، ۱۳۸۰). روش‌های رایج در آمار چند متغیره شامل: روش‌های مبتنی بر مقادیر ویژه (روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی، تحلیل فاکتوری)، تحلیل تفریقی، تحلیل خوشه‌ای، رگرسیون چندگانه و تحلیل ویژگی است (حسنی پاک و شرف‌الدین، ۱۳۸۰).

۴-۳-۳-۱- روش‌های مبتنی بر مقادیر ویژه^۱

در روش‌های مبتنی بر بردارهای ویژه با استفاده از مقادیر ویژه و بردارهای ویژه، جهت‌هایی با حداکثر تغییرپذیری شناسایی می‌شود. سپس با تعریف متغیرهای جدیدی که ترکیب خطی از متغیرهای اولیه است تعداد ابعاد (متغیرها) کاهش یافته و نقش هر یک از متغیرها در تغییرپذیری مشخص می‌گردد (حسنی پاک و شرف‌الدین، ۱۳۸۰). این روش‌ها عمدتاً شامل تجزیه و تحلیل مؤلفه‌های اصلی و تجزیه و تحلیل فاکتوری^۲ می‌باشند.

۴-۳-۳-۱- تجزیه و تحلیل مؤلفه‌های اصلی

روش تجزیه و تحلیل مؤلفه‌های اصلی به اختصار روش PCA نامیده می‌شود. این روش تکنیکی است برای پیدا کردن ترکیبات خطی از متغیرهای اولیه همبسته که تشکیل یک دستگاه محور مختصات

^۱ Eigen Values

^۲ Factor Analysis

جدید را بدهند. این ترکیبات خطی، مؤلفه‌های اصلی نامیده می‌شوند (حسنی پاک و شرف‌الدین، ۱۳۸۰). هدف اصلی این روش کاهش مجموعه داده‌های اولیه به یک سری مؤلفه‌های غیر همبسته ولی با ابعاد کوچکتر است. تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA) برای درک ساختار داده‌ها با ابعاد بزرگ، ارزشیابی داده‌های ژئوشیمی برای تعیین خاستگاه عناصر، تغییرات ترکیبات سنگ‌های آتشفشانی و تشخیص واکنش‌های شیمیایی در محلول‌های جامعه معدنی و در نهایت برای رده‌بندی متغیرهای زمین‌شیمیایی با ویژگی‌های یکسان استفاده می‌شود. در PCA متغیرهایی که در یک مؤلفه قرار می‌گیرند معمولاً دارای صفات مشترک یا مشابهی هستند (Ueki and Iwamori, 2017).

۴-۴- جداسازی آنومالی از زمینه

یک نکته مهم در ژئوشیمی اکتشافی شناسایی عناصر ردیاب همراه با هر کانی‌سازی و مقدار سطح آستانه در داخل کانی‌سازی است. چندین مطالعه، برای جداسازی آنومالی ژئوشیمیایی از آستانه و سطح زمینه با استفاده از روش آمار کلاسیک و روش آمار فضایی و یا ترکیبی از آن‌ها شامل نمودار احتمال، تجزیه و تحلیل تک متغیره و چند متغیره، روش فرکتالی مساحت-غلظت، روش مجذور عکس فاصله چند فرکتالی، روش غلظت-فاصله، روش میانگین-متحرک و تجزیه و تحلیل فاکتور فضایی انجام شده است. روش‌های فضایی تا حد زیادی از روش‌های غیر فضایی به دلیل در نظر گرفتن اندازه نمونه‌ها، محل نمونه‌ها و همچنین آنیزوتروپی پیشی گرفته‌اند (Hamedani et.al., 2012).

۴-۴-۱- محاسبه حد زمینه و آستانه آنومالی با استفاده از روش آماری سالووف

اغلب روش‌های تشخیص حد آستانه آنومالی بر پایه توزیع نرمال عناصر بیان می‌شود. رابطه مربوط به تابع توزیع نرمال به صورت زیر می‌باشد:

$$y = f(x) = \frac{1}{s\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(x - \bar{x})^2}{2s^2}\right) \quad (1-4)$$

در صورتی که لگاریتم غلظت‌ها از تابع توزیع نرمال پیروی کند توزیع لاگ نرمال خواهد بود. بر این

اساس جهت به دست آوردن مقادیر زمینه ($C\phi$) انحراف معیار (ε) و حد آستانه آنومالی (CA) برای عناصری که توزیع لاگ نرمال دارند به صورت زیر است:

$$C_{\phi} = antiLog \left(\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N Log C_i \right) \quad (2-4)$$

$$\varepsilon = anti \log \left(\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (\log C_i - \log \bar{C}_{\phi})^2}{N-1}} \right) \quad (3-4)$$

$$C_A = \bar{C}_{\phi} \times \varepsilon^t \quad (4-4)$$

انتخاب میزان t در رابطه (۴-۴) در تعیین حد آستانه آنومالی بسیار مهم است. اگر هدف آشکارسازی آنومالی‌های قوی باشد t برابر ۳ در نظر گرفته می‌شود ولی برای آشکارسازی آنومالی‌های ضعیف‌تر از رابطه زیر استفاده می‌شود:

$$C_A = \bar{C}_x \varepsilon^{\frac{3}{\sqrt{m}}} \quad (5-4)$$

در رابطه (۵-۴) m برابر با تعداد نقاطی است که غلظت بیش‌تر از $\bar{C}_x \times \varepsilon$ دارند. در صورتی که $m \geq 9$ باشد، مساوی ۹ در نظر گرفته می‌شود (Solovov and Kuznetov, 1987).

۴-۴-۲- جداسازی آنومالی از زمینه با استفاده از هندسه فرکتال

بعضی از پدیده‌های اطراف ما در چارچوب هندسه اقلیدسی قابل توجه نمی‌باشند. در هندسه‌ی اقلیدسی بعد عدد صحیحی مانند یک، دو و سه می‌باشد. از این رو هندسه اقلیدسی می‌تواند

پدیده‌های یک بعدی، دو بعدی، سه بعدی و یا بیش‌تر را توضیح دهد. نگرش دیگر این است که بعد داده‌ها یا رخدادها را عدد صحیحی در نظر نگیریم بلکه بپذیریم که بعد می‌تواند به طور پیوسته از صفر تا یک، یک تا دو، دو تا سه و یا بیش‌تر تغییر کند. برای مثال، اگر یک خط یک بعدی و صفحه دو بعدی است، یک خط شکسته که صدها بار در یک صفحه شکسته می‌شود و شکلی را به وجود می‌آورد که می‌توان بر حسب شدت این شکست‌ها بعدی بین یک و دو به آن نسبت داد. در این صورت می‌توان آن را شکلی بین خط و صفحه با بعد بین یک و دو معرفی کرد (حسنی پاک و شرف‌الدین، ۱۳۸۴). بنابراین طبق تعریف مادلبرت (۱۹۸۲-۱۹۸۳)، فرکتال دارای ابعاد D_f می‌باشد که از ابعاد توپولوژیکی D (اقلیدسی) آن فراتر می‌رود (Carranza, 2008).

الگوریتم‌های مختلفی برای محاسبه بعد فرکتال الگوهای ژئوشیمیایی وجود دارد. از جمله روش‌های تعیین بعد فرکتال الگوهای ژئوشیمیایی عبارتند از: تحلیل واریوگرام، رابطه طول خط هم عیار بر حسب طول گام اندازه‌گیری آن، رابطه مساحت- محیط و رابطه عیار- مساحت می‌باشد (حسنی پاک و شرف‌الدین، ۱۳۸۴).

در یک سری داده ژئوشیمیایی با دو گروه داده فرکتالی متصل به هم مواجه هستیم که یک گروه معرف زمینه و گروه دیگر معرف آنومالی است. برای جدایش جامعه آنومالی سعی می‌شود غلظت بحرانی که در محدوده آن بعد فرکتالی تغییر می‌کند (از بعد کم‌تر مربوط به جامعه زمینه با سطح ژئوشیمیایی هموار به بعد بیش‌تر مربوط به جامعه آنومالی با سطح ژئوشیمیایی ناهموار) به عنوان حد آستانه‌ای معرفی گردد؛ بنابراین در این روش از توزیع فراوانی عناصر و شکل هندسی آنومالی به طور همزمان برای تشخیص حد آستانه‌ای و جدایش جامعه آنومالی و زمینه استفاده می‌گردد.

با روش‌های گفته شده برای تعیین بعد فرکتالی می‌توان برای هر خط هم عیار پارامترهای مرتبط با بعد آن مانند مساحت- محیط یا طول- گام و غیره را محاسبه کرد. از آن‌جا که مدل‌های فرکتالی نوعی روابط نمایی بین این پارامترها برقرار می‌کند، لذا نمودار آن‌ها در دستگاه مختصات تمام

لگاریتمی به صورت خط راست در می‌آید. در این صورت اگر نمودار عیار-مساحت که از اهمیت خاصی برخوردار است برای داده‌های اکتشافی رسم شود به صورت دو یا چند خط در می‌آید. در مناسب‌ترین حالت ممکن دو خط حاصل می‌گردد. مرز بین دو خط دارای عیاری است که معرف حد آستانه‌ای می‌باشد. در واقع این دو خط نماینده جوامع آنومالی از زمینه است که دو شیب مختلف دارند و نشان‌دهنده آن است که بعد جامعه زمینه و آنومالی متفاوت خواهد بود (حسینی پاک و شرف‌الدین، ۱۳۸۰).

۴-۲-۱- روش عیار-مساحت^۱

روش عیار-مساحت یکی از متداول‌ترین روش‌های فرکتال می‌باشد که ابتدا توسط چنگ و همکاران (۱۹۹۴) پیشنهاد داده شد (). معادله مربوط به این روش به صورت زیر است:

$$A(\rho \leq v) \propto \rho^{-a_1}; A(\rho > v) \propto \rho^{-a_2} \quad (7-4)$$

که در این فرمول، $A(\rho)$ نشان‌دهنده مساحت‌هایی با مقادیر غلظت بزرگ‌تر و کوچک‌تر از مقادیر کنتور (منحنی میزان) غلظت ρ ، V نشان‌دهنده حد آستانه و $-a_1$ ، $-a_2$ نشان‌دهنده ابعاد فرکتالی می‌باشند

(Cheng et al., 1994; Saljoughi et al., 2017). چنگ و همکاران برای محاسبه $A(\rho)$ از دو روش استفاده کرده‌اند. (۱) $A(\rho)$ مساحتی است که به وسیله مقدار غلظت ρ بر روی نقشه کنتور ژئوشیمیایی بسته شده است که نتیجه درون‌یابی داده‌های اصلی با استفاده از روش میانگین متحرک وزن‌دار می‌باشد و (۲) $A(\rho)$ مقداری است که به وسیله شمارش جعبه‌ای مقدار غلظت اولیه عناصر اصلی بدست می‌آید (Daya, 2015; Li et al., 2003).

ویژگی‌های مفید روش عیار-مساحت پیاده‌سازی آسان و توانایی محاسبه آستانه‌های آنومالی به

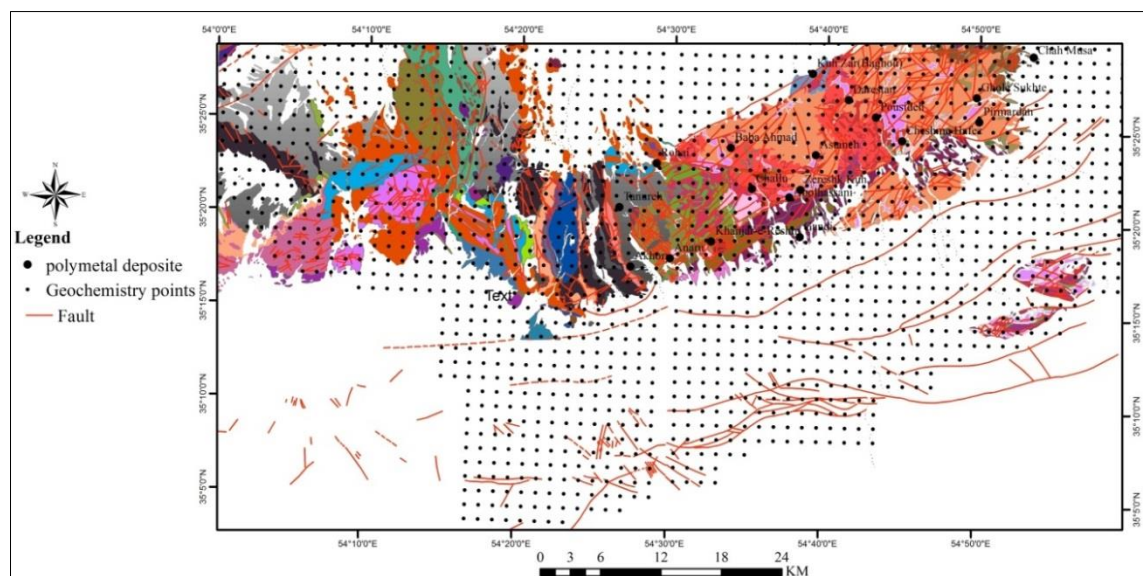
¹ Concentration-area method

صورت کمی است. برای ترسیم نمودار روش عیار- مساحت، محور افقی مربوط به لگاریتم عیار و محور عمود مربوط به لگاریتم مساحت در نظر گرفته می‌شود و مقادیر زمینه و زیر مجموعه‌ای از آنومالی‌ها محاسبه می‌شود.

۴-۴- نتایج مطالعات ژئوشیمیایی در منطقه مورد مطالعه

۴-۴-۱- داده‌های ژئوشیمیایی مورد استفاده در ورقه‌های ۱:۱۰۰۰۰۰ معلمان و کلاته‌رشم

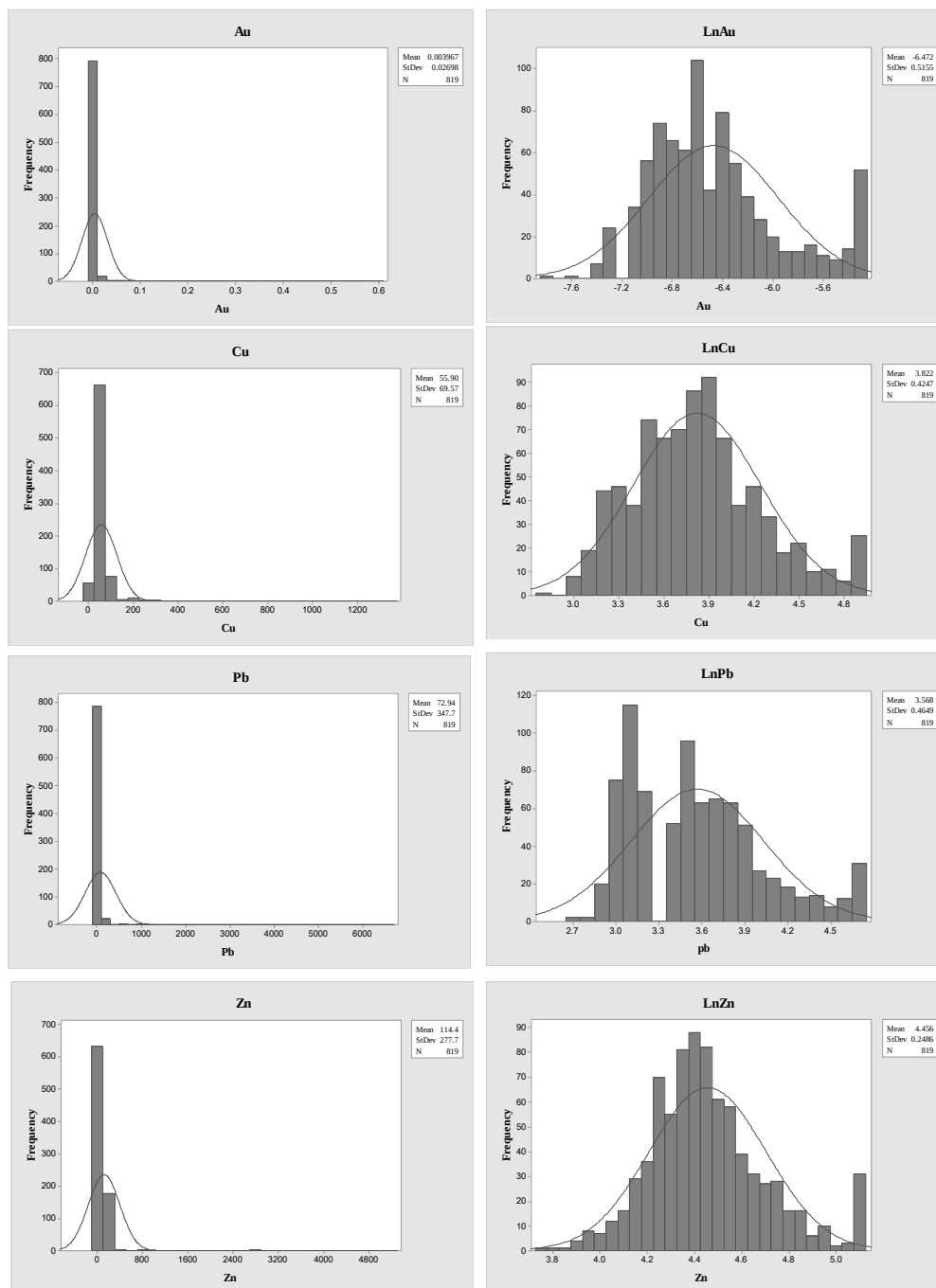
اجرای پروژه اکتشافات ژئوشیمیایی ناحیه‌ای جهت برداشت داده‌های ژئوشیمیایی در محور سمنان- کاشمر- تربت حیدریه در تاریخ ۱۱ مارس ۱۹۹۲ بین شرکت اکتشافات ژئوشیمیایی- ژئوفیزیکی Jiangaxi و طرح افزایش کمی و کیفی توان زمین‌شناسی و معدنی کشور منعقد گردید. برای برداشت این نمونه‌ها یک شبکه نمونه‌برداری منظم به ابعاد تقریبی $1/5 \times 1/5$ کیلومتر در نظر گرفته شده است. تراکم نمونه‌گیری ۳ تا ۴ نمونه ژئوشیمی در هر ۲ کیلومتر مربع می‌باشد. نمونه‌های مربوط به هر دو کیلومتر مربع با یکدیگر مخلوط گردیده، یک نمونه مرکب که نماینده محدوده دو کیلومتر مربع می‌باشد به مرکز سلول نمونه‌برداری نسبت داده شده است. در این نمونه‌برداری سعی بر آن بوده نمونه‌های آبراهه‌ای از سرشاخه‌ها برداشته شود. تجزیه کلیه نمونه‌های مرکب برای ۲۹ عنصر شامل Ag- As- Au- B- Ba- Be- Bi- Co- Cr- Cs- Cu- F- Hg- Li- Na- Nb- Mo- Ni- P- Pb- Rb- Sb- Sn- Sr- Th-U- V- W- Z می‌باشد (کوثری و همکاران، ۱۳۷۵). در این مطالعه ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ معلمان به شماره ورقه ۶۹۶۰ به مساحت ۱۶۵۰ کیلومتر مربع با تعداد ۸۰۶ نمونه کامپوزیت با چگالی نمونه‌برداری $1/64$ (قسمت/ km^2) و ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ کلاته‌رشم به شماره ورقه ۶۸۶۰ با تعداد ۸۱۹ نمونه مرکب مورد بررسی قرار گرفت (شکل ۴-۱).



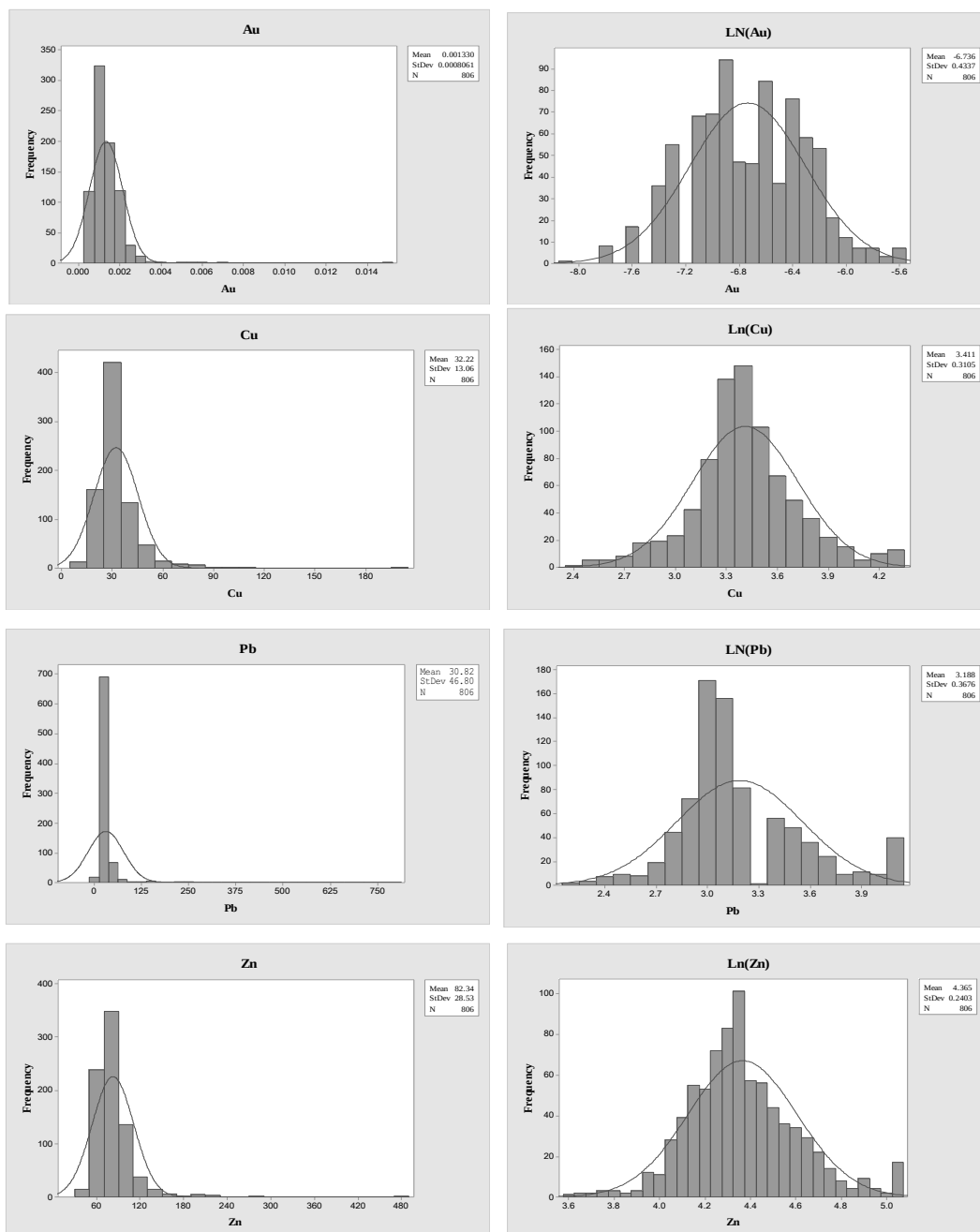
شکل ۴-۱: موقعیت نمونه‌های ژئوشیمیایی ورقه‌های ۱:۱۰۰۰۰۰ معلمان و کلانته‌رشم

۴-۴-۲- پیش‌پردازش داده‌های ژئوشیمیایی

اولین مرحله پیش‌پردازش داده‌ها، جایگزینی مقادیر سنسورد می‌باشد که در محدوده مورد مطالعه نمونه‌ای به عنوان نمونه سنسورد وجود نداشت. در مرحله بعدی نرمال‌سازی داده‌ها قرار دارد که اکثر روش‌های آماری فرض بر نرمال بودن داده‌ها را به همراه دارند. در مسائل اکتشافی به ویژه اکتشافات ژئوشیمیایی با داده‌هایی سروکار داریم که کمتر اتفاق می‌افتد که شرایط نرمال بودن را داشته باشند. همان‌طور که بیان شد روش‌های مختلفی برای نرمال‌سازی داده‌ها وجود دارد. در این پروژه از روش لگاریتمی برای نرمال‌سازی داده‌ها استفاده شده است (شکل ۴-۲ و ۴-۳). داده‌های نرمال شده در پردازش‌های دو متغیره و چند متغیره به کار گرفته شد.



شکل ۴-۲: هیستوگرام عناصر Au، Cu، Pb، Zn قبل و بعد از نرمال کردن داده‌ها در ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ معلمان



شکل ۴-۳: هیستوگرام عناصر Au، Cu، Pb، Zn قبل و بعد از نرمال کردن داده‌ها در ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ کلاته‌رشم

۴-۴-۳- بررسی پارامترهای آماری تک متغیره داده‌ها

قبل از پردازش داده‌ها، به منظور شناخت ماهیت تابع توزیع مربوط به تک تک عناصر پارامترهای آماری نظیر میانگین، میانه، انحراف معیار، واریانس، چولگی، کشیدگی، مقادیر ماکزیمم و مینیمم محاسبه گردید. جداول (۴-۱) و (۴-۲) نشان‌دهنده پارامترهای آماری داده‌های ژئوشیمیایی مربوط به ورقه‌های ۱:۱۰۰۰۰۰ معلمان و کلاته‌رشم می‌باشد.

جدول ۴-۱: خلاصه پارامترهای آماری عناصر برداشت شده در ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ معلمان

Element	Minimum	Maximum	Sum	Mean	Median	Mode	Q1	Q2	Q3	Variance	Std. Deviation	Skewness	Kurtosis
Ag	0.033	14.497	133.561	0.163	.0890	.0800	0.071	0.089	0.117	.487	0.698	14.942	259.013
As	4.800	73.200	10909.300	13.320	12.100	10.700	9.800	12.100	15.200	35.056	5.921	3.256	19.515
Au	0.000	0.604	3.249	0.004	.001400	.0010	0.001	0.001	0.002	.001	0.027	18.477	371.919
Ba	143.480	4341.000	449998.660	549.449	484.730	348.22	427.300	484.730	561.430	107575.956	327.988	6.610	58.638
B	11.051	361.800	42649.517	52.075	45.550	50	32.587	45.550	63.258	863.191	29.380	3.030	19.310
Be	0.870	2.710	1445.680	1.765	1.7400	1.62	1.590	1.740	1.910	.074	0.272	0.329	0.581
Bi	0.080	7.300	230.200	0.281	.200	.1500	0.150	0.200	0.260	.189	0.435	9.616	118.109
Co	6.460	28.520	12549.940	15.323	15.200	14.6	13.240	15.200	17.040	8.561	2.926	0.461	0.663
Cr	28.752	198.123	60168.662	73.466	71.149	61.472	60.861	71.149	81.734	382.388	19.555	1.770	7.114
Cs	2.921	18.029	4758.219	5.810	5.349	4.8210	4.543	5.349	6.568	3.207	1.791	1.626	4.346
Cu	16.740	1353.000	45785.680	55.904	44.340	25.8	33.940	44.340	57.950	4840.669	69.575	11.949	187.838
F	211.000	887.000	395558.000	482.977	474.000	609.000	410.000	474.000	540.000	9651.309	98.241	0.606	0.628
Hg	0.005	1.640	17.851	0.022	.013	.0110	0.011	0.013	0.017	.006	0.080	14.823	254.914
Li	16.290	101.310	26953.550	32.910	32.010	26.99	28.200	32.010	35.920	55.504	7.450	2.240	12.265
Mo	0.330	7.000	1145.140	1.398	1.300	1.100	1.100	1.300	1.700	.294	0.543	2.594	17.447
Nb	4.759	26.449	9137.858	11.157	11.064	9.779	10.076	11.064	12.082	3.477	1.865	1.545	10.099
Ni	13.020	100.890	27503.000	33.581	32.570	26.03	29.190	32.570	36.800	44.169	6.646	1.987	13.548
P	0.036	0.227	78.801	0.096	.0977	0.0913	0.088	0.098	0.107	.000	0.022	0.249	2.067
Pb	14.541	6636.533	59736.738	72.939	33.827	19.687	23.105	33.827	46.373	120910.434	347.722	13.683	214.137
Rb	21.641	120.143	56388.407	68.850	67.536	59.354	58.977	67.536	77.907	242.380	15.569	0.346	0.596
Sb	0.300	24.100	835.480	1.020	.780	1.100	0.620	0.780	0.990	2.061	1.436	10.886	144.951
Sn	0.663	3.124	1047.162	1.279	1.202	1.000	1.049	1.202	1.475	.102	0.319	1.101	2.260
Sr	210.630	18970.000	566997.510	692.305	436.940	261.41	353.510	436.940	645.160	1004298.729	1002.147	9.883	148.372
Th	6.274	26.348	9594.006	11.714	11.739	11.988	10.403	11.739	12.872	3.860	1.965	0.797	4.661
U	1.040	3.260	1590.583	1.942	1.950	1.970	1.779	1.950	2.100	.079	0.281	0.134	1.097
V	47.030	751.280	120902.360	147.622	143.940	151.490	111.350	143.940	171.570	3627.013	60.225	2.740	17.929
W	0.410	3.400	790.600	0.965	.920	1.100	0.780	0.920	1.100	.084	0.290	2.072	10.501
Zn	42.130	5171.000	93726.470	114.440	83.560	68.13	72.900	83.560	97.510	77116.590	277.699	13.130	193.049

جدول ۴-۲: پارامترهای آماری عناصر برداشت شده در ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ کلاته رشم

Element	Minimum	Maximum	Sum	Mean	Median	Mode	Q1	Q2	Q3	Variance	Std. Deviation	Skewness	Kurtosis
Ag	0.028	0.212	70.055	0.087	.074000	.070	0.060	0.074	0.099	0.002	0.042	1.631	2.271
As	4.300	85.400	8206.400	10.182	9.000	8.800	7.800	9.000	10.600	36.733	6.061	6.904	67.427
Au	0.000	0.015	1.072	0.001	.0012	.0010	0.001	0.001	0.002	0.000	0.001	7.250	105.072
Ba	177.590	4161.000	409192.460	507.683	426.955	361.56	380.973	426.955	526.320	111625.558	334.104	6.353	53.397
B	1.310	143.638	34284.893	42.537	37.765	36.000	31.583	37.765	47.087	349.248	18.688	2.066	5.420
Be	0.740	2.470	1320.190	1.638	1.655	1.600	1.490	1.655	1.800	0.063	0.251	-0.250	0.568
Bi	0.080	2.800	164.810	0.204	.170	.1700	0.140	0.170	0.220	0.027	0.164	8.894	108.943
Co	6.010	46.340	12496.100	15.504	14.335	13.690	12.730	14.335	16.843	28.410	5.330	2.518	8.755
Cr	20.122	1216.900	85797.085	106.448	71.1665	51.645	62.803	71.167	85.000	20720.928	143.948	4.950	25.818
Cs	1.808	13.624	4074.324	5.055	4.849	4.307	4.103	4.849	5.791	2.039	1.428	1.200	2.940
Cu	10.710	198.330	25971.230	32.222	29.685	24.7	25.823	29.685	35.590	170.493	13.057	4.204	37.927
F	219.000	887.000	356178.000	441.908	434.500	398.000	388.000	434.500	497.000	7984.421	89.356	0.556	1.179
Hg	0.008	8.800	27.838	0.035	.0170	.0170	0.014	0.017	0.022	0.097	0.312	27.685	777.919
Li	14.750	70.280	27410.690	34.008	32.105	24.840	27.410	32.105	38.760	82.273	9.070	0.944	0.841
Mo	0.640	9.600	1352.350	1.678	1.500	1.4	1.300	1.500	1.800	0.520	0.721	4.233	30.767
Nb	5.342	30.126	10343.856	12.834	12.763	13.713	11.229	12.763	14.142	6.079	2.466	0.887	5.213
Ni	16.530	627.720	43938.080	54.514	36.010	34.110	31.700	36.010	43.145	5466.463	73.936	4.991	26.925
P	0.039	0.206	73.324	0.091	.087	.0846	0.069	0.087	0.106	0.001	0.029	1.066	1.532
Pb	8.861	804.607	24842.220	30.822	22.044	15.383	19.613	22.044	30.685	2190.658	46.804	11.814	173.869
Rb	20.426	108.771	45945.925	57.005	56.747	45.621	49.053	56.747	63.762	148.359	12.180	0.293	0.854
Sb	0.210	13.100	679.560	0.843	.620	.460	0.500	0.620	0.853	0.796	0.892	7.053	70.563
Sn	0.500	2.473	1152.544	1.430	1.400	1.000	1.200	1.400	1.652	0.128	0.358	0.165	0.006
Sr	166.770	11161.000	403256.640	500.318	384.975	311.51	300.498	384.975	495.000	324207.161	569.392	10.578	166.372
Th	5.009	24.273	8477.338	10.518	10.414	9.542	9.411	10.414	11.561	3.400	1.844	0.663	4.064
U	1.019	5.330	1700.589	2.110	2.103	2.27	1.838	2.103	2.330	0.189	0.435	1.104	5.451
V	40.730	308.340	81188.230	100.730	98.060	97.360	82.973	98.060	115.593	715.636	26.751	1.186	5.171
W	0.450	2.700	800.330	0.993	.940	1.1000	0.830	0.940	1.100	0.069	0.263	1.451	3.918
Zn	36.630	471.010	66364.980	82.339	76.665	52.27	67.645	76.665	90.158	813.964	28.530	5.048	50.396

۴-۴-۴- جداسازی جامعه آنومالی از زمینه

۴-۴-۱- جداسازی آنومالی از زمینه به روش سالووف

مقادیر حد زمینه، حد آستانه‌ای و انحراف معیار برای عناصر Au, Pb, Zn, Cu که دارای توزیع لاگ نرمال می‌باشند با استفاده از روابط (۴-۴) و (۶-۴) محاسبه شدند که نتایج آن در جداول (۳-۴) و (۴-۴) آورده شده است.

جدول ۳-۴: محاسبه مقادیر زمینه C_B ، انحراف معیار ε و آنومالی‌های ممکن، احتمالی و قطعی C_{A1} ، C_{A2} ، C_{A3} به روش سالووف در ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ معلمان

Element	E	C_B	C_{A1}	C_{A2}	C_{A3}
Au	2.135	0.0017	0.0035	0.0076	0.016
Cu	1.643	46.61	76.573	125.796	206.66
Pb	1.952	37.196	72.588	141.656	276.444
Zn	1.529	89.139	136.267	208.311	318.445

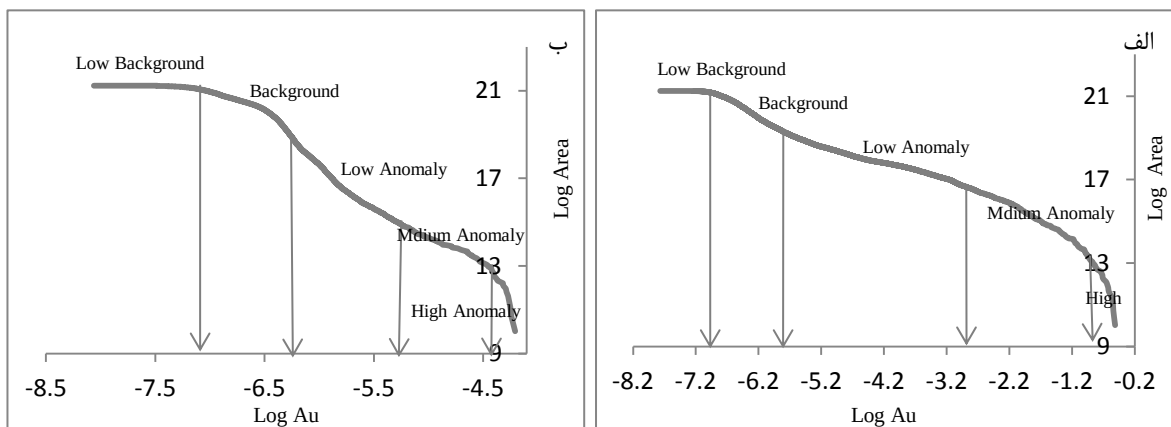
جدول ۴-۴: محاسبه مقادیر زمینه C_B ، انحراف معیار ε و آنومالی‌های ممکن، احتمالی و قطعی C_{A1} ، C_{A2} ، C_{A3} به روش سالووف در ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ کلاته‌رشم

Element	E	C_B	C_{A1}	C_{A2}	C_{A3}
Au	1.567	0.0012	0.0019	0.0029	0.0046
Cu	1.384	30.419	42.109	58.293	80.696
Pb	1.628	25.027	40.734	66.298	107.905
Zn	1.301	79.161	102.953	133.894	174.135

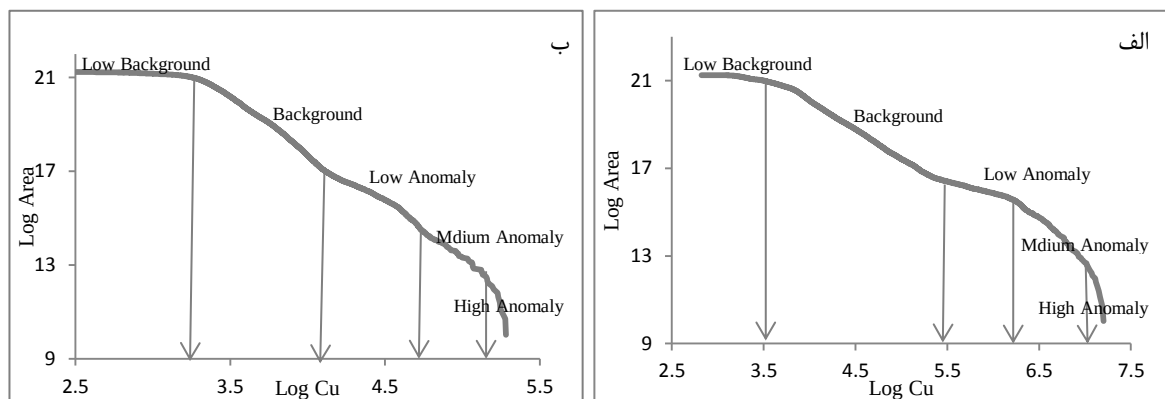
۴-۴-۲- جداسازی آنومالی از زمینه به روش هندسه فرکتال (عیار- مساحت)

برای استفاده از روش هندسه فرکتال ابتدا باید نقشه شبکه‌بندی شده منطقه‌ی اکتشافی رسم شود تا بتوان مقادیر عیار و مساحت مربوط به عنصر مورد نظر را محاسبه کرد. تعیین حد آستانه‌ای با استفاده از این روش در نرم افزار GIS, Excel انجام شد. در پایان نمودارهای لگاریتمی که محور افقی آن

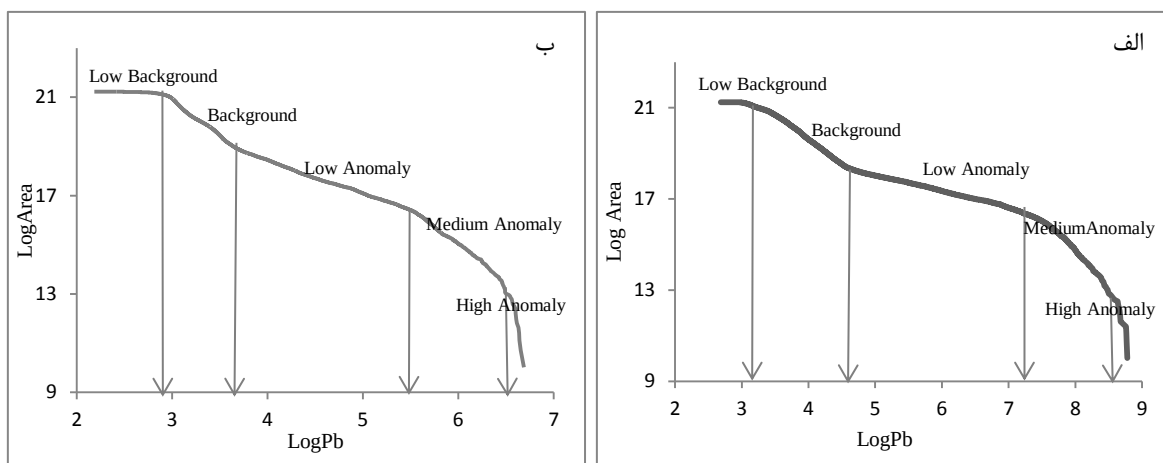
مقادیر عیار و محور عمودی آن مقادیر مساحت تجمعی متناظر با عیار است، ترسیم شدند. تغییر شیب در نمودارهای رسم شده متناظر با مقادیر حد آستانه‌ای و آنومالی و یا زیرمجموعه‌ای از آن‌ها است. در اشکال (۴-۴)، (۵-۴)، (۶-۴)، (۷-۴) نمودارهای لگاریتمی عیار-مساحت برای عنصر طلا، مس، سرب و روی در ورقه‌های ۱:۱۰۰۰۰۰ معلمان و کلاتهرشم نشان داده شده است. مقادیر حد آستانه‌ای با استفاده از نمودارهای عیار-مساحت محاسبه شدند و مقادیر آن‌ها در جداول (۴-۵) و (۴-۶) مشاهده می‌شود.



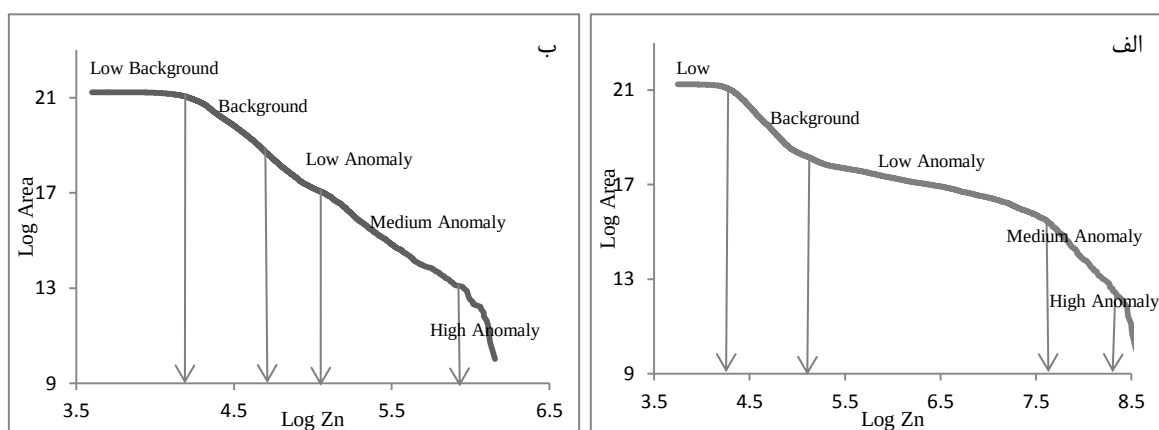
شکل ۴-۴: نمودارهای عیار-مساحت برای داده‌های لگاریتمی عنصر طلا در (الف) ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ معلمان و (ب) ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ کلاتهرشم



شکل ۴-۵: نمودارهای عیار-مساحت برای داده‌های لگاریتمی عنصر مس در (الف) ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ معلمان و (ب) ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ کلاتهرشم



شکل ۴-۶: نمودارهای عیار-مساحت برای داده‌های لگاریتمی عنصر سرب در الف) ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ معلمان و ب) ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ کلاته‌رشم



شکل ۴-۷: نمودارهای عیار-مساحت برای داده‌های لگاریتمی عنصر روی در الف) ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ معلمان و ب) ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ کلاته‌رشم

جدول ۴-۵: محاسبه حد آستانه‌ای مقدار زمینه و آنومالی به روش فرکتال عیار-مساحت در ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ معلمان

Element	Thresholds			
	1	2	3	4
Au	0.0013	0.0025	0.046	0.368
Cu	48.4	81.45	502.703	1211.968
Pb	49.899	70.809	1998.196	6124.179
Zn	76.708	131.63	2079.744	4628.555

جدول ۴-۶: محاسبه حد آستانه‌ای مقدار زمینه و آنومالی به روش فرکتال عیار- مساحت در ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰
کلاته‌رشم

Element	Thresholds			
	1	2	3	4
Au	0.00079	0.0016	0.0029	0.012
Cu	27.66	44.701	91.013	174.164
Pb	18.541	34.57	249.635	706.272
Zn	66.686	103.544	141.175	432.681

۴-۴-۵- نقشه‌های تک عنصره منطقه معلمان و کلاته‌رشم

آخرین محصول هر برداشت معدنی اعم از اکتشافی یا استخراجی نقشه‌ای است که نتایج برداشت‌ها، تحلیل‌ها و تخمین‌ها را نشان می‌دهد. برای نقشه لازم است مقادیر متغیری که ما آن را با سمبل Z نشان می‌دهیم مانند عیار، شاخص غنی‌شدگی، ضخامت، شدت میدان مغناطیسی، مقاومت ویژه و ... در دسترس باشند. این مقادیر شامل مقادیر اندازه‌گیری شده در روی زمین و یا مقادیر حاصل از آنالیز نمونه‌های برداشت شده در ایستگاه‌های نمونه‌برداری که اصطلاحاً نقاط کنترلی نامیده می‌شود و یا مقادیر حاصل از فرآیند تخمین می‌باشد (حسنی پاک و شرف‌الدین، ۱۳۸۰).

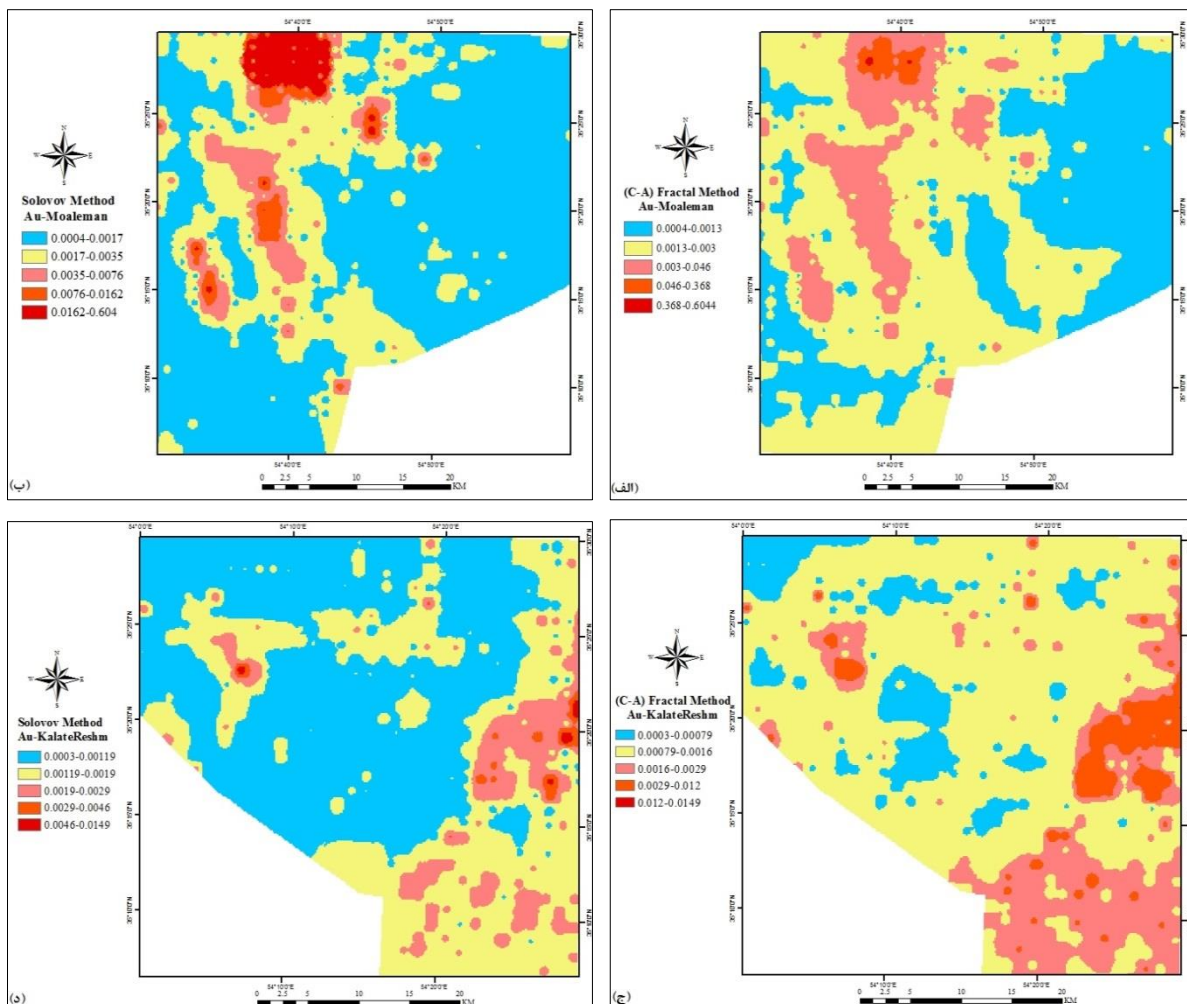
اهداف تهیه نقشه‌های ژئوشیمیایی عبارتند از (Zumlot et al., 2009):

۱. توضیح فرآیندهای تشکیل‌دهنده سیستم‌های زمین
۲. اکتشاف مواد معدنی جدید با استفاده از آنومالی‌های ژئوشیمیایی
۳. تعیین مقادیر زمینه ژئوشیمیایی
۴. شناسایی آلودگی‌های شیمیایی طبیعی یا انسانی.

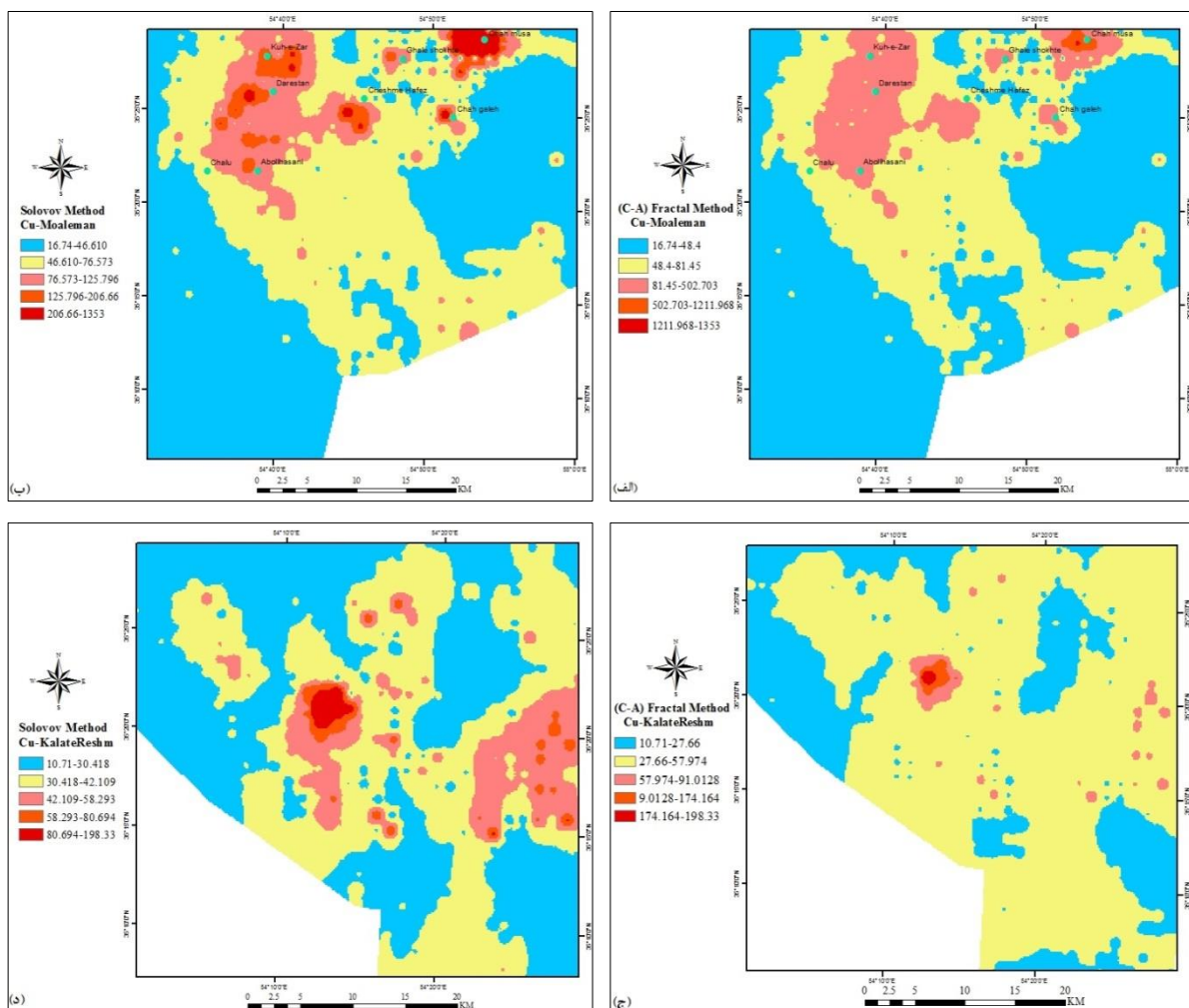
جهت ترسیم نقشه و درون‌یابی نقاط داده‌های ژئوشیمیایی از روش مجذور عکس فاصله^۱ (IDW) استفاده شد. جهت کلاسه‌بندی نقشه‌ها از روش‌های سالووف و عیار- مساحت به کار گرفته شد.

¹ Inverse Distance Weighing

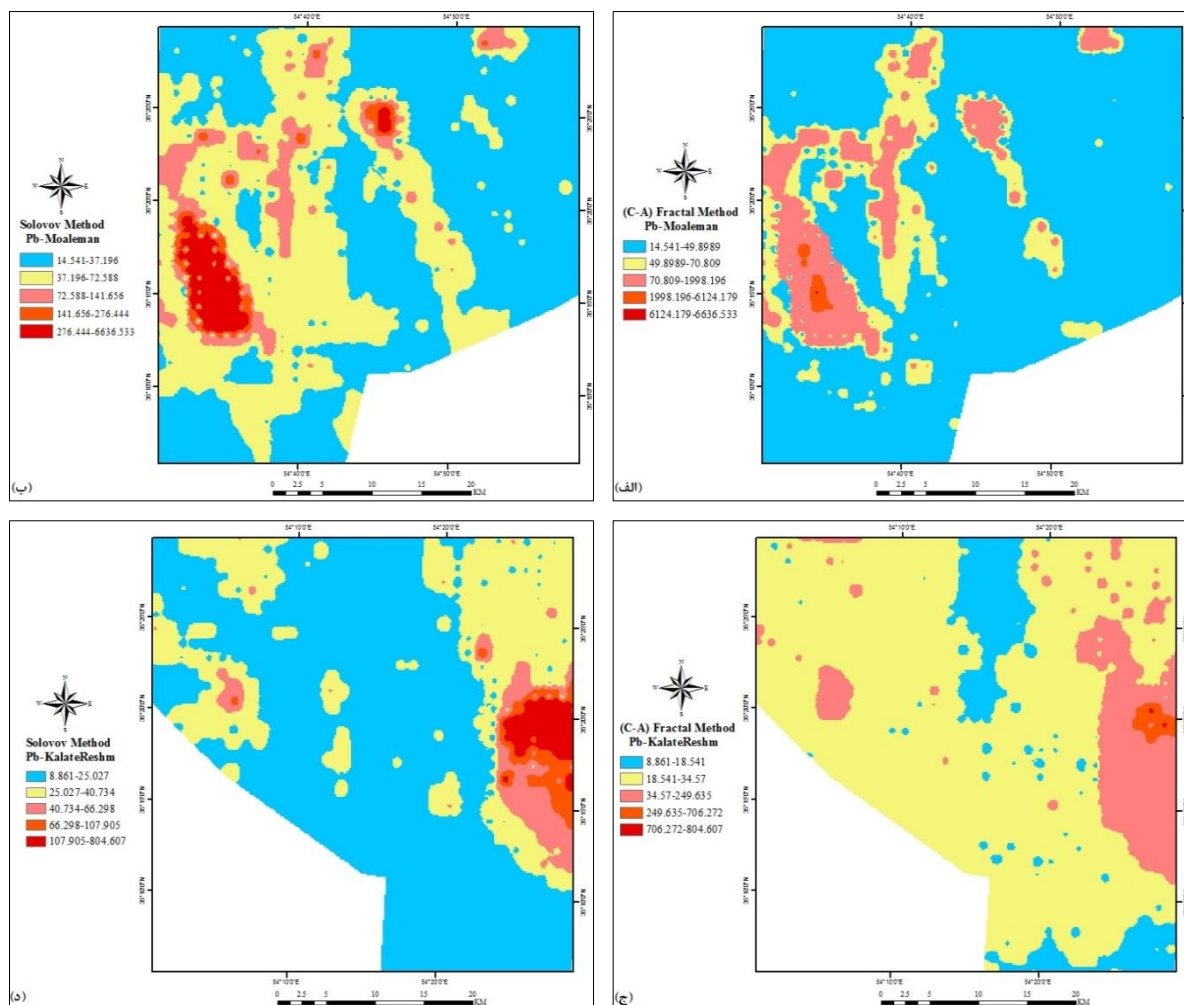
شکل‌های (۴-۸)، (۴-۹)، (۴-۱۰) و (۴-۱۱) نشان‌دهنده نقشه‌های مربوط به پراکندگی عناصر طلا، مس، سرب و روی در ورقه‌های ۱:۱۰۰۰۰۰ معلمان و کلاته‌رشم می‌باشد. نقشه‌های ترسیم شده نشان می‌دهد که هر کدام از عناصر دارای آنومالی‌هایی می‌باشد. بعضی از عناصر در محدوده‌های مشترکی دارای غلظت بالا هستند که همبستگی موجود بین عناصر را نشان می‌دهد. با بررسی نقشه‌های حاصل از روش‌های سالووف و عیار-مساحت می‌توان به این نتیجه رسید که آنومالی‌های بدست آمده از هر دو روش انطباق خوبی با یکدیگر دارند.



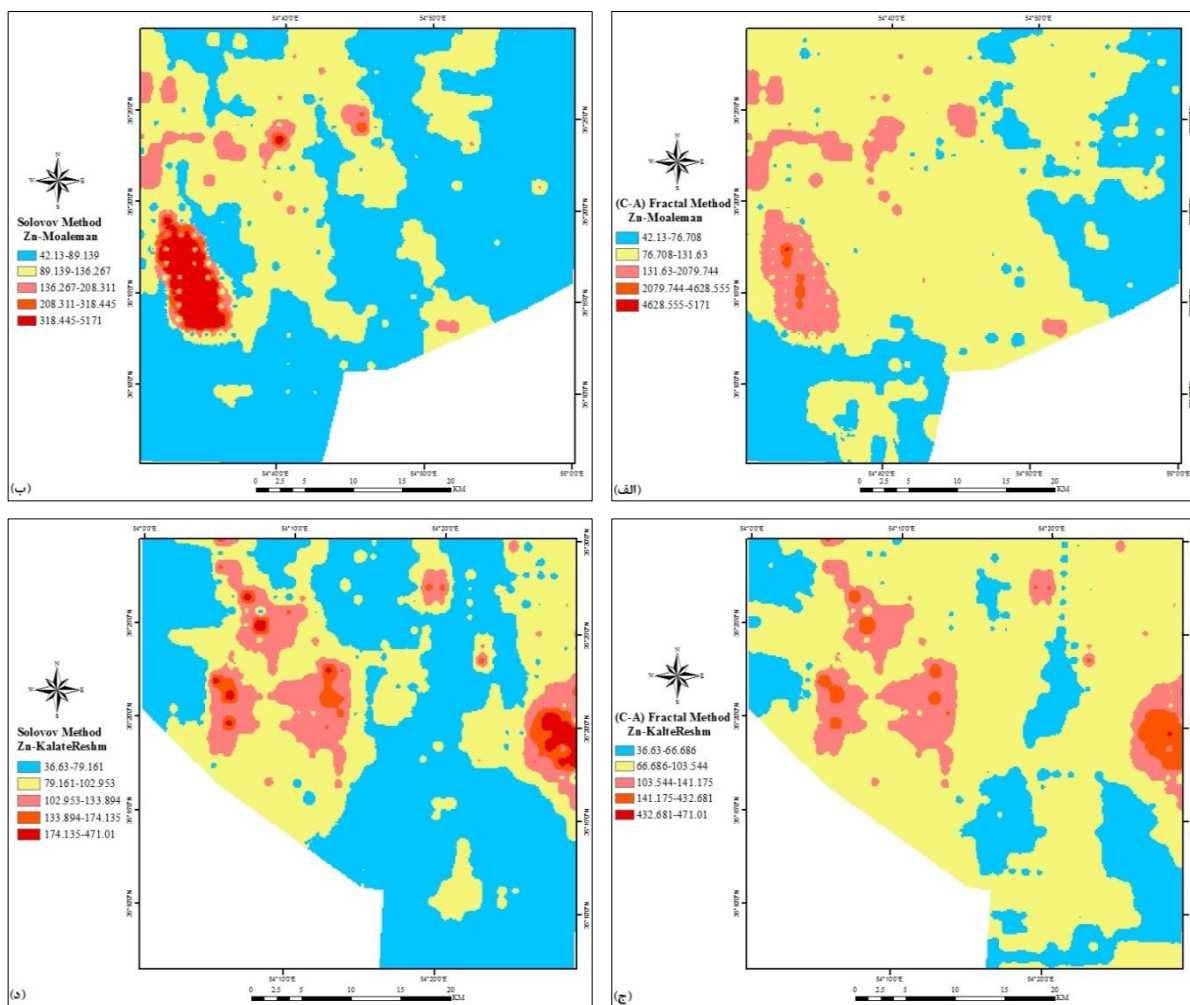
شکل ۴-۸: نقشه کلاسه‌بندی شده برای داده‌های لگاریتمی عنصر طلا براساس روش (الف) فرکتال عیار-مساحت، (ب) سالووف در ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ معلمان و نقشه کلاسه‌بندی برای داده‌های لگاریتمی عنصر طلا براساس روش (ج) فرکتال عیار-مساحت، (د) سالووف در ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ کلاته‌رشم.



شکل ۴-۹: نقشه کلاسه‌بندی شده برای داده‌های لگاریتمی عنصر مس براساس روش الف) فرکتال عیار- مساحت، ب) سالووف در ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ معلمان و نقشه کلاسه‌بندی شده برای داده‌های لگاریتمی عنصر مس براساس روش ج) فرکتال عیار- مساحت، د) سالووف در ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ کلاته‌رشم.



شکل ۴-۱۰: نقشه کلاسه‌بندی شده برای داده‌های لگاریتمی عنصر سرب بر اساس روش (الف) فرکتال عیار-مساحت، (ب) سالووف در ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ معلمان و نقشه کلاسه‌بندی شده برای داده‌های لگاریتمی عنصر سرب بر اساس روش (ج) فرکتال عیار-مساحت، (د) سالووف در ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ کلاته‌رشم.



شکل ۴-۱۱: نقشه کلاسه‌بندی شده برای داده‌های لگاریتمی عنصر روی براساس روش الف) فرکتال عیار-مساحت، ب) سالووف در ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ معلمان و نقشه کلاسه‌بندی شده برای داده‌های لگاریتمی عنصر روی براساس روش ج) فرکتال عیار-مساحت، د) سالووف در ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ کلاته‌رشم.

۴-۴-۶- تحلیل ضریب همبستگی داده‌های مورد مطالعه

تحلیل همبستگی یا ضریب همبستگی دو متغیر برای توصیف ارتباط جفت متغیرها به کار برده می‌شود. ضریب همبستگی بالا (نزدیک 1+ یا 1-) به معنی همبستگی خوب میان دو جفت متغیر و مقادیر نزدیک به صفر بیان گر نبود ارتباط میان دو متغیر می‌باشد (Devi Onim et al., 2012). به طور صریح می‌توان گفت متغیرهایی که $r > 0.7$ نشان می‌دهند، همبستگی قوی، $0.4 < r < 0.7$ همبستگی متوسط و $r > 0.4$ همبستگی ضعیف در نظر گرفته می‌شوند. همان‌طور که گفته شد داده‌های ژئوشیمیایی معمولاً دارای کشیدگی می‌باشند، بنابراین متغیرها قبل از محاسبه ضریب همبستگی پیرسون لگاریتمی می‌شوند. جداول (۷-۴) و (۸-۴) ماتریس همبستگی برای داده‌های با تبدیل لگاریتمی را نشان می‌دهد که به روش پیرسون در ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ معلمان و کلاته‌رشم محاسبه شده است.

همان‌طور که در جدول (۷-۴) در ورقه معلمان مشاهده می‌شود، مس دارای همبستگی مناسبی با کبالت، طلا بوده و سرب و روی نیز همبستگی بالایی با یکدیگر و با عناصر نقره، آنتیموان و جیوه نشان می‌دهند و در نهایت طلا با عناصر مس، کبالت، بیسموت و تنگستن دارای همبستگی مناسب می‌باشد.

در ورقه کلاته‌رشم نیز مطابق جدول (۸-۴) مس دارای همبستگی مناسبی با عناصر مولیبدن و روی بوده و سرب نیز دارای همبستگی با نقره، روی، آرسنیک، مولیبدن، جیوه، بیسموت و آنتیموان می‌باشد. روی با مس و سرب و در نهایت طلا با مولیبدن و تنگستن همبستگی مثبتی نشان می‌دهد.

جدول ۴-۷: ضریب همبستگی بین عناصر در ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰۰ معلمان براساس لگاریتم داده‌های خام به روش پیرسون

	Ag	As	Au	Bi	Co	Cr	Cu	Hg	Mo	Ni	Pb	Sb	W	Zn
Ag	1													
As	0.301	1												
Au	0.35	0.154	1											
Bi	0.199	0.242	0.615	1										
Co	-0.04	0.194	0.415	0.364	1									
Cr	-0.15	-0.006	0.035	0.001	0.506	1								
Cu	0.139	0.083	0.457	0.333	0.633	0.256	1							
Hg	0.669	0.369	0.364	0.199	0.082	-0.13	0.071	1						
Mo	0.338	0.254	0.297	0.453	0.001	-0.12	0.039	0.304	1					
Ni	0.012	0.099	0.123	0.073	0.407	0.604	0.158	-0.014	0.007	1				
Pb	0.753	0.421	0.33	0.333	0.14	-0.05	0.216	0.741	0.458	0.022	1			
Sb	0.5	0.489	0.38	0.319	0.209	-0.049	0.175	0.624	0.302	-0.12	0.645	1		
W	0.011	0.18	0.477	0.64	0.387	0.129	0.322	0.176	0.463	0.094	0.24	0.303	1	
Zn	0.656	0.372	0.37	0.24	0.337	0.111	0.258	0.665	0.257	0.135	0.829	0.605	0.23	1

جدول ۴-۸: ضریب همبستگی بین عناصر در ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰۰ کلاتهرشم براساس لگاریتم داده‌های خام به روش پیرسون

	Ag	As	Au	Bi	Co	Cr	Cu	Hg	Mo	Ni	Pb	Sb	W	Z
Ag	1													
As	0.632	1												
Au	0.338	0.374	1											
Bi	0.362	0.579	0.347	1										
Co	-0.07	0.147	0.062	0.043	1									
Cr	-0.1	0.019	0.001	-0.05	0.805	1								
Cu	0.237	0.395	0.255	0.193	0.526	0.277	1							
Hg	0.516	0.504	0.163	0.216	0.148	0.075	0.262	1						
Mo	0.501	0.587	0.43	0.404	0.133	-0.056	0.45	0.391	1					
Ni	-0.08	0.08	0.038	-0.006	0.838	0.947	0.294	0.134	-0.032	1				
Pb	0.719	0.64	0.167	0.523	-0.14	-0.24	0.19	0.534	0.514	-0.22	1			
Sb	0.648	0.713	0.395	0.513	0.073	0.018	0.346	0.678	0.602	0.066	0.677	1		
W	0.382	0.544	0.435	0.529	0.064	-0.12	0.322	0.349	0.561	-0.1	0.366	0.536	1	
Zn	0.196	0.332	0.115	0.372	0.36	0.049	0.434	0.078	0.341	0.074	0.427	0.209	0.255	1

۴-۷- تحلیل مؤلفه‌های اصلی داده‌های مورد مطالعه

برای درک روابط عناصر مختلف در نمونه‌ها، آنالیز مؤلفه‌های اصلی انجام گرفت. تحلیل مؤلفه‌های اصلی مانند بسیاری از روش‌های آماری، نسبت به داده‌های غیرنرمال حساس است. بنابراین از تبدیل لگاریتمی برای تبدیل داده‌ها به حالت نرمال استفاده شد و در نهایت عناصر Ag, As, Au, Bi, Cu, Mo, Pb, Sb, W, Hg, Zn, Co, Cr, Ni جهت بررسی روند تغییرات عناصر کانی‌سازی در منطقه و شناسایی جوامع ژئوشیمیایی در محدوده مورد مطالعه انتخاب شدند که نتایج آن در جداول (۴-۹)، (۴-۱۰) و (۴-۱۱) آورده شده است. امتیازات مؤلفه‌های حاصل که منعکس‌کننده کانی‌سازی می‌باشند با استفاده از هندسه فرکتال عیار- مساحت برای طبقه‌بندی و نقشه‌برداری آنومالی‌های همبستگی‌های چند عنصره استفاده شد.

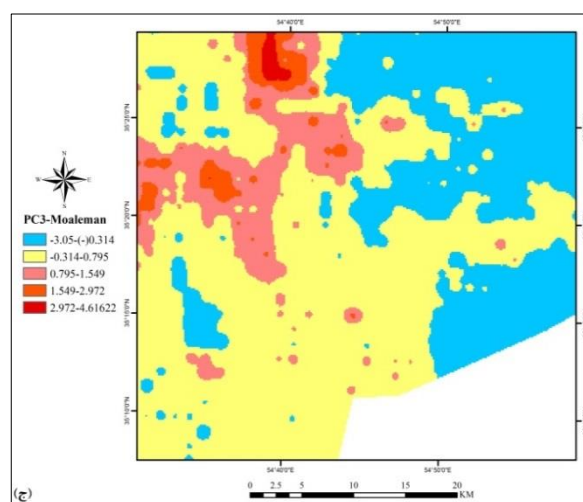
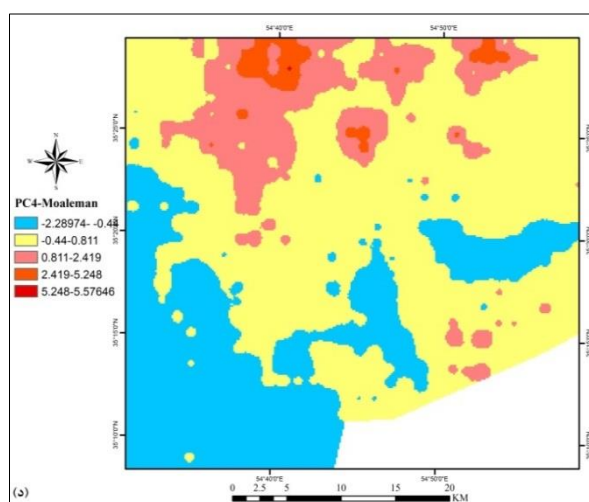
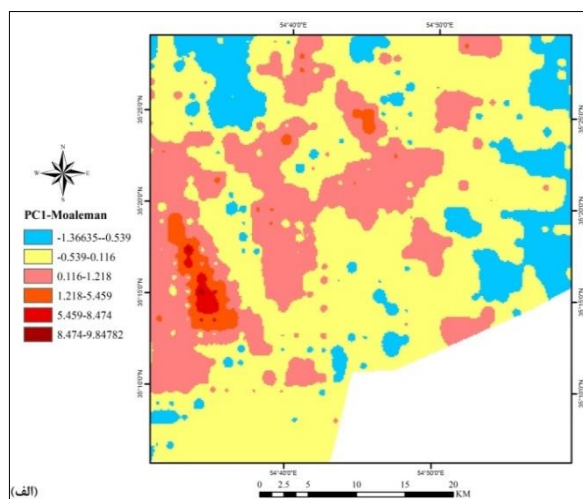
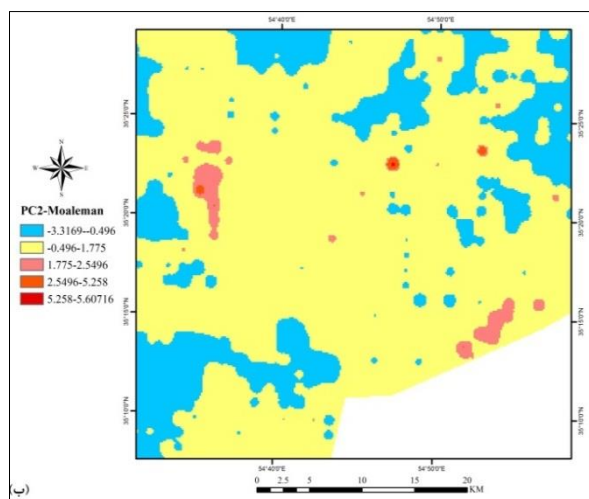
همانگونه که در جدول (۴-۹) مشاهده می‌گردد، مؤلفه اصلی اول (PC1) در ورقه معلمان شامل عناصر Ag, As, Hg, Pb, Sb, Zn می‌باشد که با بارهای فاکتوری قوی در کنار یکدیگر قرار دارند و به عنوان پارائز عمل نموده‌اند. این نشان می‌دهد که کانی‌سازی عناصر فوق‌الذکر اصلی‌ترین پدیده‌های کانی‌سازی و عمده‌ترین آن‌ها در این محدوده است. وجود عنصر Hg با بار فاکتوری قوی در کنار Pb و Zn این‌گونه قابل توجیه است که فازهای کانی‌سازی جداگانه‌ای تشکیل و در کنار یکدیگر قرار گرفته‌اند (فضائی، ۱۳۷۷).

مؤلفه اصلی دوم (PC2) نشان‌دهنده همراهی متغیرهای Mo، Bi و W می‌باشد که به عنوان ردیاب طلا عمل نموده‌اند. مؤلفه اصلی سوم (PC3) متشکل از عناصر Au و Cu می‌باشد که کانی‌سازی طلا و مس بعد از فاکتور اول، اصلی‌ترین کانی‌سازی در منطقه می‌باشد. با توجه به مطالعات انجام شده در ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ معلمان عنصر Au بطور قوی با Cu همراه است و تقریباً تمام رگه‌های سیلیسی مس‌دار منطقه حاوی طلا هستند. مطالعات دقیق‌تر از این همراهی، در کانسار طلای باغو و دارستان انجام گرفته است (فضائی، ۱۳۷۷). در مؤلفه اصلی چهارم (PC4) عناصر کروم و نیکل با یکدیگر

ارتباط مثبت نشان می‌دهند. برای کلاس‌بندی امتیازات مؤلفه‌های اصلی از تحلیل فرکتال عیار-مساحت استفاده شده است. نقشه آنومالی آنالیز مؤلفه‌های اصلی با استفاده از روش عیار-مساحت در شکل (۴-۱۲) مشاهده می‌شود.

جدول ۴-۹: مقادیر ویژه مؤلفه‌های اصلی حاصل از PCA بر روی داده‌های لگاریتمی شده ژئوشیمیایی در ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ معلم

	PC1	PC2	PC3	PC4
Ag	0.843	0.022	0.014	-0.108
As	0.524	0.267	-0.108	0.205
Au	0.331	0.463	0.592	-0.058
Bi	0.141	0.782	0.364	-0.027
Co	0.080	0.160	0.724	0.498
Cr	-0.070	-0.065	0.232	0.846
Cu	0.092	0.090	0.845	0.125
Hg	0.850	0.093	0.038	-0.080
Mo	0.324	0.762	-0.225	-0.025
Ni	0.026	0.059	0.031	0.880
Pb	0.899	0.208	0.108	-0.016
Sb	0.728	0.223	0.227	-0.096
W	0.046	0.801	0.313	0.097
Zn	0.849	0.044	0.234	0.159
% of Variance	28.750	16.175	14.693	13.297

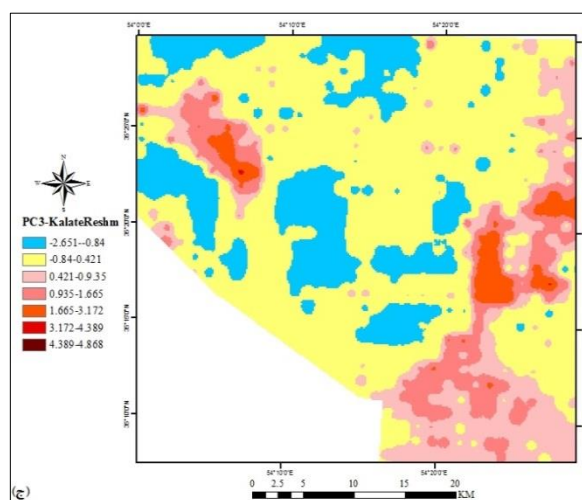
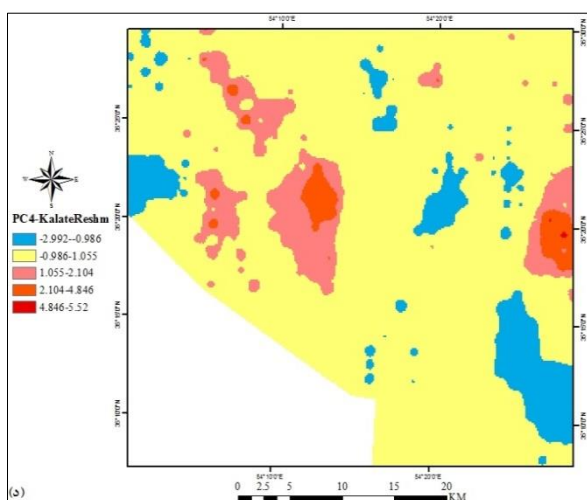
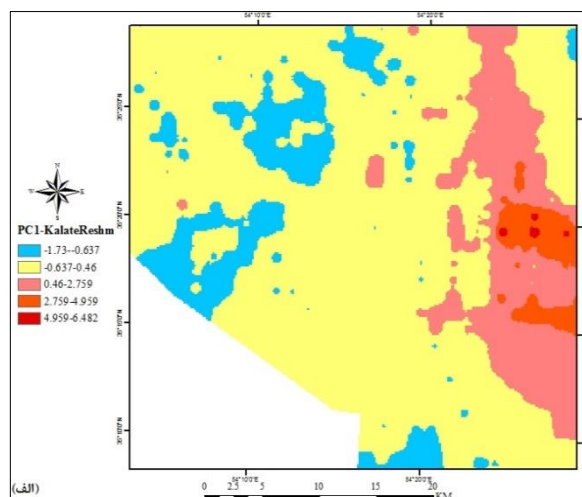
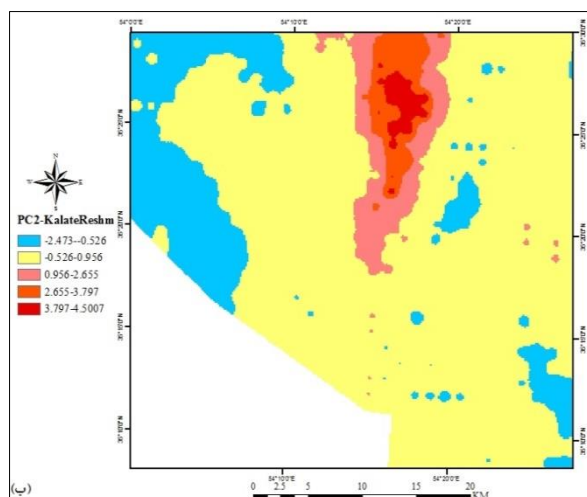


شکل ۴-۱۲: نقشه آنومالی کلاسه‌بندی شده امتیازات الف) مؤلفه اصلی اول، ب) مؤلفه اصلی دوم، ج) مؤلفه اصلی سوم
د) مؤلفه اصلی چهارم حاصل از تحلیل مؤلفه‌های اصلی داده‌های لگاریتمی براساس روش فرکتال عیار- مساحت در
ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ معلمان

همان‌گونه که در جدول (۴-۱۰) مشاهده می‌گردد، مؤلفه اصلی اول (PC1) معرف کانی‌سازی عناصر Ag, As, Sb, Hg, Pb, Zn می‌باشد. با توجه به حضور عناصر سرب و روی و نقره در این مؤلفه می‌توان رخداد کانه‌زایی سرب و روی در منطقه را مرتبط با این مؤلفه در نظر گرفت. در مؤلفه دوم (PC2) عناصر کبالت، کروم و نیکل همبستگی مثبت نشان می‌دهند. مؤلفه سوم (PC3) متشکل از عناصر Au, Mo, W و Bi است. در مؤلفه چهارم عناصر مس و روی با یکدیگر پاراژنز نشان می‌دهند. شکل (۴-۱۳) نقشه آنومالی عناصر همبسته می‌باشد که از تحلیل فرکتال عیار- مساحت برای کلاسه‌بندی مؤلفه‌های اصلی استفاده شده است.

جدول ۴-۱۰: مقادیر ویژه مؤلفه‌های اصلی حاصل از PCA بر روی داده‌های لگاریتمی شده ژئوشیمیایی در ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ کلاته‌رشم

	PC1	PC2	PC3	PC4
Ag	0.794	-0.097	0.228	0.091
As	0.658	0.076	0.422	0.282
Au	0.101	0.053	0.857	-0.081
Bi	0.349	-0.076	0.481	0.400
Co	-0.028	0.909	0.055	0.298
Cr	-0.021	0.951	-0.061	-0.050
Cu	0.169	0.436	0.334	0.496
Hg	0.834	0.179	0.063	-0.090
Mo	0.462	0.011	0.562	0.317
Ni	0.019	0.965	-0.028	-0.038
Pb	0.805	-0.256	0.068	0.398
Sb	0.812	0.070	0.394	0.081
W	0.314	-0.069	0.716	0.216
Zn	0.6	0.099	0.070	0.919
% of Variance	32.734	20.227	14.317	7.380



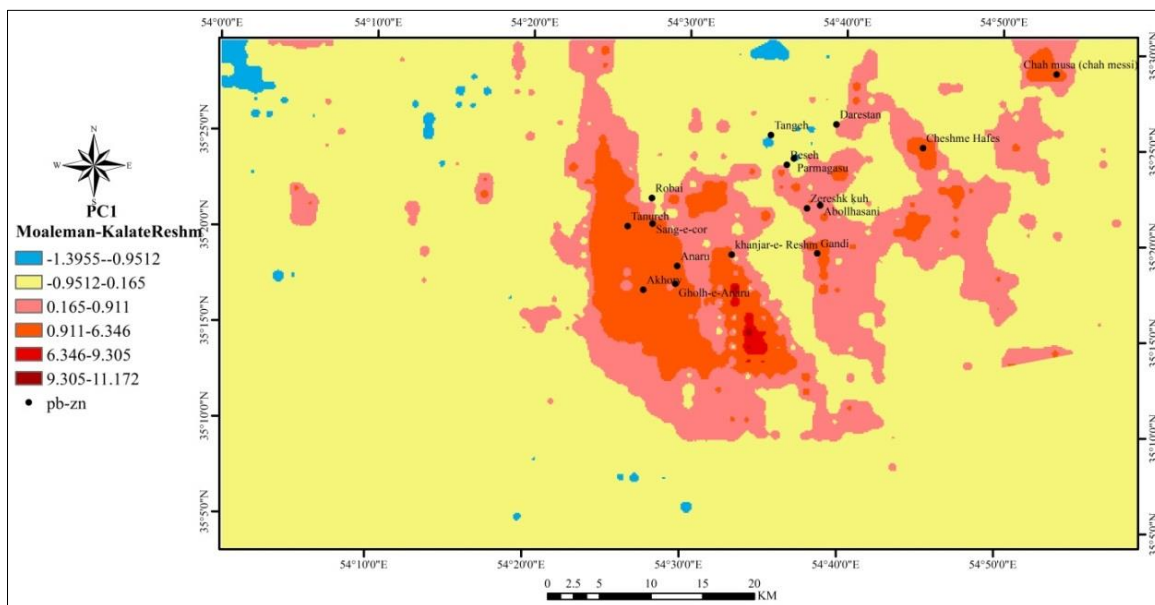
شکل ۴-۱۳: نقشه آنومالی کلاسه‌بندی شده امتیازات الف) مؤلفه اصلی اول، ب) مؤلفه اصلی دوم، ج) مؤلفه اصلی سوم
 د) مؤلفه اصلی چهارم حاصل از تحلیل مؤلفه‌های اصلی داده‌های لگاریتمی براساس روش فرکتال عیار- مساحت در
 ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ کلاته‌رشم

جهت بررسی ارتباط مؤلفه‌های حاصل از کلیه داده‌های ژئوشیمیایی در منطقه مورد مطالعه، داده‌های ژئوشیمیایی معلمان و کلاته‌رشم را با یکدیگر تلفیق نموده. همان‌گونه که در جدول (۴-۱۱) مشاهده می‌گردد، مؤلفه اصلی اول (PC1) شامل عناصر Ag, As, Hg, Pb, Sb, Zn می‌باشد که می‌توان به عنوان مشخصه کانی‌سازی سرب و روی استفاده نمود. در مؤلفه دوم (PC2) عناصر کبالت، کروم و نیکل با یکدیگر ارتباط مثبتی نشان می‌دهند. مؤلفه سوم (PC3) نشان‌دهنده همراهی عناصر بیسموت، مولیبدن و تنگستن می‌باشد که به عنوان ردیاب طلا عمل نموده‌اند. در مؤلفه چهارم (PC4) بالاترین امتیاز مربوط به عناصر مس و طلا می‌باشد و می‌توان از آن به عنوان مؤلفه کانی‌سازی طلا-مس استفاده نمود.

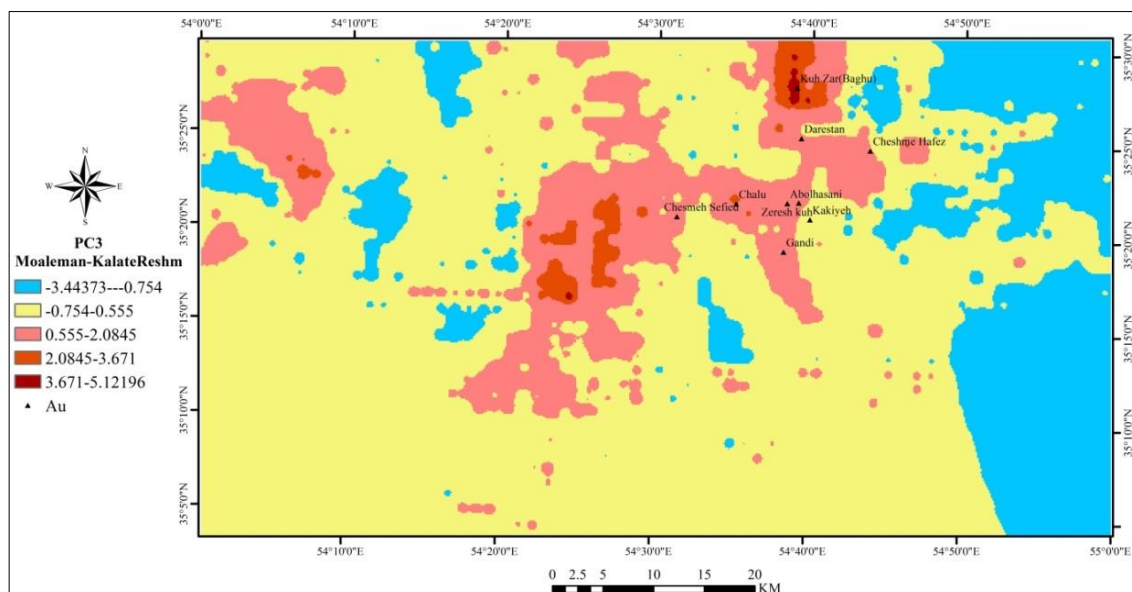
جدول ۴-۱: مقادیر ویژه مؤلفه‌های اصلی حاصل از PCA بر روی تلفیق داده‌های لگاریتمی شده ژئوشیمیایی در ورقه‌های ۱:۱۰۰۰۰۰ معلمان و کلاته‌رشم

	PC1	PC2	PC3	PC4
Ag	0.837	-0.117	0.107	0.049
As	0.600	-0.013	0.209	0.318
Au	0.271	-0.016	0.426	0.587
Bi	0.202	-0.055	0.647	0.488
Co	0.058	0.837	0.062	0.408
Cr	-0.071	0.945	-0.033	0.016
Cu	0.201	0.179	0.034	0.820
Hg	0.721	0.174	0.276	-0.321
Mo	0.328	0.047	0.740	-0.202
Ni	-0.023	0.951	0.027	-0.103
Pb	0.867	-0.171	0.133	0.245
Sb	0.740	0.012	0.345	0.164
W	0.098	0.031	0.846	0.225
Zn	0.703	0.120	-0.013	0.341
% of Variance	26.096	18.750	15.272	13.808

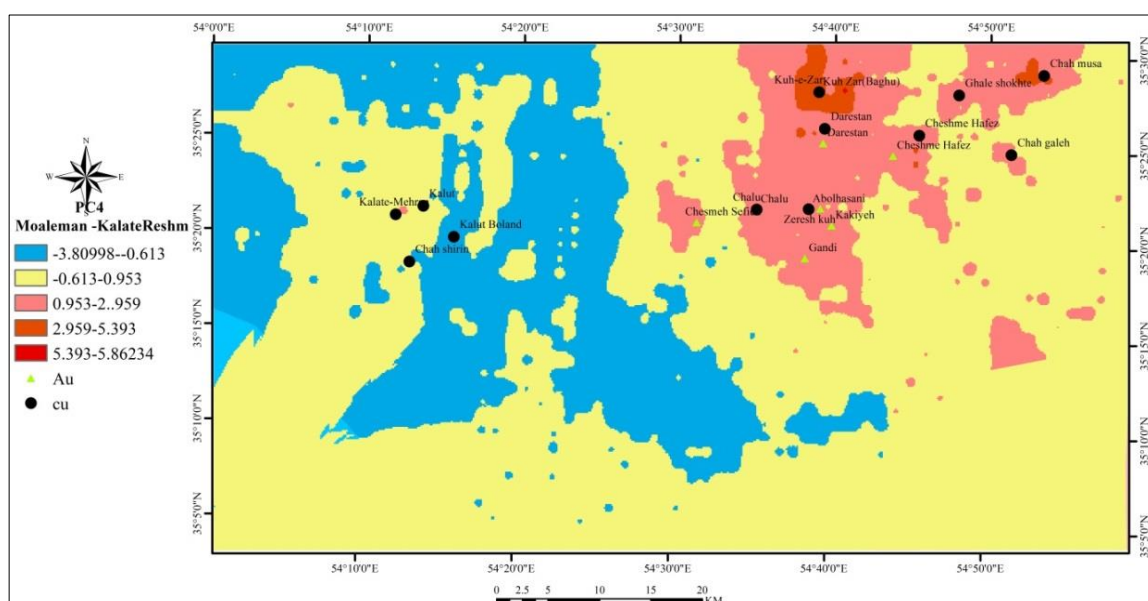
با توجه به هدف مطالعه که کانی‌زایی از نوع ذخایر پلی‌متال می‌باشد و با تحلیل مؤلفه‌های اصلی، ۳ همبستگی عنصری جهت نقشه‌برداری این نوع کانی‌زایی انتخاب گردید که شامل مس-طلا، سرب-روی-نقره-آرسنیک-آنتیموان و تنگستن-مولیبدن-بیسموت- (طلا) می‌باشد. جهت نمایش نقشه آنومالی‌های همبستگی چند عنصره سرب-روی-نقره (PC1)، مولیبدن-تنگستن-بیسموت (PC3) و طلا-مس (PC4) از روش تحلیل فرکتال عیار-مساحت استفاده شده است. در شکل‌های (۴-۱۴)، (۴-۱۵) و (۴-۱۶) نقشه آنومالی‌های کلاسه‌بندی شده امتیازات مؤلفه‌های اصلی PC1، PC3 و PC4 مشاهده می‌شود.



شکل ۴-۱۴: نقشه آنومالی مؤلفه اصلی اول حاصل از تحلیل مؤلفه‌های اصلی داده‌های لگاریتمی با استفاده از روش فرکتال عیار-مساحت در منطقه مورد مطالعه



شکل ۴-۱۵: نقشه آنومالی مؤلفه اصلی سوم حاصل از تحلیل مؤلفه‌های اصلی داده‌های لگاریتمی با استفاده از روش فرکتال عیار- مساحت در منطقه مورد مطالعه



شکل ۴-۱۶: نقشه آنومالی مؤلفه اصلی چهارم حاصل از تحلیل مؤلفه‌های اصلی داده‌های لگاریتمی با استفاده از روش فرکتال عیار- مساحت در منطقه مورد مطالعه

با بررسی نقشه‌های نهایی توزیع ژئوشیمیایی حاصل از تحلیل مؤلفه‌های اصلی با اندیس‌های موجود در منطقه، نقشه‌های ژئوشیمیایی PC1، PC3 و PC4 به ترتیب با ذخایر سرب و روی، طلا و مس منطقه هماهنگ بوده و بیش‌تر این ذخایر در مناطق با پتانسیل بالا بر روی نقشه‌های ژئوشیمیایی قرار گرفته‌اند. همچنین این مؤلفه‌ها (PC1, PC3, PC4) از روند گسل‌های منطقه تبعیت نموده و منطبق

بر آندزیت‌ها، تراکی آندزیت‌ها، داسیت‌ها، بازالت‌ها، ماسه سنگ، کوارتز شیست، سنگ آهک و دولومیت می‌باشد؛ بنابراین نقشه‌های حاصل از مؤلفه‌های اصلی PC1، PC3 و PC4 (شکل‌های ۴-۱۴، ۴-۱۵ و ۴-۱۶) به عنوان لایه‌های اطلاعاتی ژئوشیمیایی جهت مدل‌سازی پتانسیل معدنی انتخاب شدند.

فصل پنجم

تلفیق داده‌ها و لایه‌های اطلاعاتی به روش
وزن‌های نشانگر و منطق فازی در محیط GIS

اکتشاف مواد معدنی یک فرآیند پیچیده می‌باشد که هدف اصلی آن اکتشاف ذخایر معدنی جدید در منطقه مورد جستجو می‌باشد. برای رسیدن به این هدف باید به تعیین نواحی پتانسیل‌دار در منطقه مورد جستجو پرداخته شود. به این ترتیب مجموعه داده‌های مختلف (مانند زمین‌شناسی، ژئوفیزیک، ژئوشیمیایی) جمع‌آوری و برای تجزیه و تحلیل و یکپارچه‌سازی در تهیه نقشه‌های پتانسیل معدنی (MPM) در منطقه مورد استفاده قرار می‌گیرند (Abedi et al., 2013). تهیه نقشه پتانسیل معدنی، یکی از مسائل تصمیم‌گیری چند معیاره^۱ (MCDM) در مقیاس‌های مختلف محسوب می‌شود که یک مدل پیش‌گو^۲ (مدل پیش‌بینی کننده) برای تعیین مناطق با پتانسیل ارائه می‌دهد (Abedi et al., 2016; Mostafavi, 2013). مدل‌سازی معمولاً با استفاده از ابزارهای اطلاعات جغرافیایی (GIS) انجام می‌شود (Porwal & Carranza, 2015)، زیرا در GIS امکاناتی فراهم آمده تا بتوان داده‌های مختلف را جمع‌آوری و با یکدیگر مقایسه و ترکیب نمود (Bonham- Carter, 1994).

۵-۲ مدل‌سازی (نقشه‌برداری) پتانسیل معدنی^۳ (MPM)

مدل‌سازی پتانسیل معدنی در هر مقیاسی (مقیاس ناحیه‌ای گرفته تا مقیاس محلی) مستلزم ایجاد هدف اکتشافی است. تعیین هدف اکتشافی نیز مستلزم تحلیل و تلفیق لایه‌های اطلاعاتی می‌باشد. این کار برای تعیین رتبه‌بندی نواحی پتانسیل‌دار جهت اکتشاف بیش‌تر مواد معدنی کشف نشده از نوع مورد جستجو صورت می‌گیرد. هدف از مدل‌سازی پتانسیل معدنی در مقیاس ناحیه‌ای، تعیین مستعدترین مناطق امیدبخش در نواحی بزرگ است. هدف از پتانسیل معدنی در مقیاس محلی، تعریف مستعدترین زون‌ها یا بخش‌ها در مناطق امید بخش ناحیه‌ای است. این کار به این معنی است که جزئیات و صحت مجموعه داده‌های علوم زمین مورد استفاده در اکتشاف مواد معدنی از مقیاس ناحیه‌ای تا محلی از نظر قدرت تفکیک فضایی و محتوای اطلاعاتی افزایش می‌یابد. مدل‌سازی

¹ Multiple criteria decision making (MCDM)

² Predictive model

³ Mineral potential mapping = Mineral prospectivity mapping (MPM)

پیش‌بینی‌کننده معدنی باید به یک نوع نهشته معدنی خاص تعلق داشته باشد. بنابراین مدل پتانسیل معدنی برای کانسارهای طلا برای هدایت اکتشاف جهت کانسار مس پورفیری کاربرد ندارد و بالعکس (یوسفی و شهرستانی، ۱۳۹۳). مدل‌سازی پتانسیل معدنی در GIS با تعریف یک مدل مفهومی پتانسیل معدنی شروع می‌شود که روابط نظری بین فرآیندهای مختلف زمین‌شناسی و مکان رخداد ذخایر معدنی را توصیف می‌کند (Carranza, 2017). بنابراین مدل مفهومی در انتخاب شواهد کانی‌سازی، آماده‌سازی اطلاعات، تعیین اهمیت نسبی شواهد و انتخاب مدل مناسب به منظور تلفیق شواهد نقش بسزایی دارد.

مدل‌سازی پتانسیل معدنی شامل سه مرحله: ۱) مدل‌سازی مفهومی از ذخایر معدنی مورد جستجو و شناسایی نقشه‌های پیش‌گو ورودی؛ ۲) پردازش مجموعه داده‌های مرتبط با اکتشاف مورد جستجو در سیستم اطلاعات جغرافیایی برای تهیه نقشه‌های شاهد مناسب و ۳) تلفیق نقشه‌های شاهد با استفاده از مدل‌های ریاضی، در داخل یا خارج از سیستم اطلاعات جغرافیایی می‌باشد (Porwal & Carranza, 2015). مدل‌های تلفیق داده در GIS به دو دسته کلی داده محور^۱ و دانش محور^۲ تقسیم می‌شوند (Bonham-Carter, 1994; Carranza, 2008). در مدل‌های داده محور وزن‌ها با استفاده از روش‌های آماری و اندیس‌های معدنی موجود در منطقه محاسبه می‌شوند و در مناطقی که داده‌های آموزشی کافی وجود داشته باشد، کاربرد دارند. در حالی که در مدل‌های دانش محور وزن‌ها با استفاده دانش کارشناسی محاسبه می‌شوند و در مناطق شناخته نشده بیشتر کاربرد دارند. روش دیگر برای تلفیق لایه‌های اطلاعاتی، ترکیبی از روش‌های دانش محور و داده محور می‌باشد که محل رخداد‌های معدنی شناخته شده و همچنین نظرات متخصص در تعیین وزن شواهد در نظر گرفته می‌شود (Yousefi & Nykänen, 2017).

^۱Data-Driven

^۲ Knowledge-driven

۵-۲-۱- روش‌های داده محور

تهیه نقشه پتانسیل مطلوب به روش داده محور در مناطقی مناسب است که نمایان‌گر منظرهای معدنی متوسط تا خوب نمونه‌برداری شده (به اصطلاح «زمین‌های قهوه‌ای»^۱) باشند و هدف آن تعیین اهداف جدیدی برای اکتشافات بیشتر در مکان‌های شناسایی نشده می‌باشد (Carranza, 2008). در این روش ابتدا کلیه‌ی خصوصیات اندیس‌های شناخته شده، از نوع کانی‌سازی مورد جستجو، جمع‌آوری شده و ارتباط این خصوصیات با شواهد و الگوهای فضایی کمی می‌گردد. سپس نقاطی جستجو می‌شود که مشابه این خصوصیات، در آن مناطق حضور دارند. در این حالت می‌توان مناطقی را که دارای خصوصیات مشابه می‌باشند، به عنوان مناطق امیدبخش و مناسب برای پی‌جویی ذخیره مورد جستجو، در نظر گرفت. با توجه به نحوه‌ی تولید الگوهای پیشگو، دو نوع از روش‌های داده محور، شامل مدل‌های دو متغیره و چند متغیره توسعه پیدا کرده‌اند. در روش‌های دو متغیره پس از تحلیل همراهی فضایی بین نقاط معدنی و الگوهای شاهد، ابتدا نقشه‌های شاهد (پیش‌گو) تولید شده و سپس به منظور شناسایی بهترین نواحی امیدبخش با هم تلفیق می‌شوند. انواع روش‌های دو متغیره شامل روش وزن‌های نشانگر^۲ و روش توابع برآورد^۳ می‌باشند. در روش‌های چند متغیره، نقشه‌های شاهد عموماً به طور خودکار تولید شده و پس از کمی نمودن همراهی فضایی بین نقاط معدنی و الگوهای هر یک از نقشه‌های شاهد با هم ترکیب می‌شوند. روش‌های چند متغیره شامل رگرسیون لجستیکی^۴، شبکه‌ی عصبی مصنوعی^۵، تحلیل مطلوبیت^۶، تحلیل ویژگی^۷، تحلیل جداسازی^۸، تحلیل ضریب درست نمایی^۹، طبقه‌بندی شبکه بیزین^{۱۰}، وزن‌های نشانگر مبسوط و روش ماشین برداری پشتیبان^{۱۱}

¹ brownfields

² Weights-of-evidence analysis

³ Evidential belief analysis

⁴ Logistic regression analysis

⁵ Artificial neural networks

⁶ Favourability analysis

⁷ Characteristic analysis

⁸ Discriminant analysis

⁹ Likelihood ratio analysis

¹⁰ Bayesian network classifiers

¹¹ Support Vector Machine (SVM)

می‌باشند (یوسفی و کامکار روحانی، ۱۳۸۹).

۵-۲-۱-۱- روش وزن‌های نشانگر

روش وزن‌های نشانگر دارای مزایای بسیاری در مقایسه با سایر روش‌های آماری است. این روش شکل لگاریتمی خطی^۱ مدل احتمال بیزین می‌باشد که از احتمالات شرطی برای پیش‌بینی نهشته معدنی بر اساس ترکیبی از مجموعه داده‌ها در منطقه مورد مطالعه استفاده می‌کند و باید به این نکته توجه شود که در محدوده مورد مطالعه باید داده‌های کافی برای برآورد اهمیت نسبی شواهد موجود باشد (Pradhan et al., 2010; Zeghouane, 2016). روش وزن‌های نشانگر در دهه ۱۹۸۰ میلادی برای مدل‌سازی پتانسیل معدنی انواع تیپ‌های کانی‌سازی مورد استفاده قرار گرفت (Hartley, 2014). پایه ریاضی وزن‌دهی شواهد به طور کامل توسط (Bonham-Carter, 1994) شرح داده شده است که در ادامه بیان می‌شود.

روش وزن‌های نشانگر بر پایه روش بیزین می‌باشد، در روش بیزین احتمال متقدم (احتمال پیشین)^۲ و احتمال متأخر (احتمال پسین)^۳ از جمله مهم‌ترین مفاهیم هستند. با تعیین محدوده مشخص برای مطالعه که شامل تعداد مشخصی کانسار معدنی است، احتمال متقدم وجود کانساری در واحد سطح به صورت تعداد کل کانسار در کل سطح محاسبه می‌شود. این تخمین اولیه می‌تواند در نهایت در نواحی مختلف با استفاده از سایر شواهد، زیاد یا کم شود. احتمال متقدم می‌تواند در عاملی ضرب شود تا احتمال متأخر حضور کانسار با شواهد اصلی به دست آید (یوسفی، ۱۳۸۷).

با تعیین محدوده مورد مطالعه T ، متشکل از سلول‌های واحد با تعداد کل $N\{T\}$ که شامل تعدادی کانسار $N\{D\}$ بوده (شکل ۵-۱) و با فرض این که هر کانسار یک واحد سطح را اشغال می‌کند، زمانی که هیچ اطلاعات دیگری در دست نیست برابر است با رابطه (۵-۱) که می‌تواند به عنوان احتمال

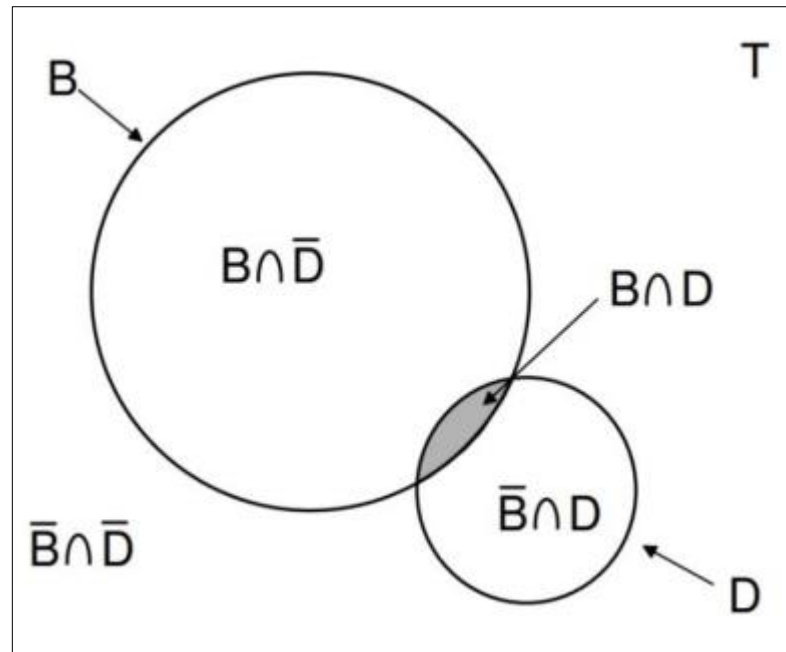
^۱ Log-Linear

^۲ Prior Probability

^۳ Posterior Probability

متقدم یک کانسار به کار رود (یوسفی، ۱۳۸۷).

$$P\{D\} = N\{D\} / N\{T\} \quad (۱-۵)$$



شکل ۱-۵: دیاگرام ون جهت نمایش محاسبات روش وزن‌های نشانگر

احتمال یافتن کانسار جدید (ذخیره معدنی) با فرض حضور الگو شاهدهی مانند B با عنوان احتمال متأخر می‌توان به صورت رابطه (۲-۵) بیان نمود:

$$P\{D | B\} = \frac{P\{D \cap B\}}{P\{B\}} \quad (۲-۵)$$

برابر با نسبت مساحت کل اشغال شده توسط B و D می‌باشد. $P\{D \cap B\} = N\{D \cap B\} / N\{T\}$ که در آن $P\{B\} = N\{B\} / N\{T\}$ به ترتیب احتمال و مساحت در صورت حضور الگوی B هستند؛ که با قرار دادن عبارات مساحت و احتمال در رابطه (۲-۵)، رابطه (۳-۵) به صورت زیر خواهد بود (Bonham-Carter, 1994).

$$P\{D | B\} = \frac{N\{B \cap D\}}{N\{B\}} \quad (۳-۵)$$

با توجه به عبارت $P\{B \cap D\} = P\{D \cap B\}$ رابطه (۲-۵) را می‌توان به صورت رابطه (۴-۵) بیان نمود:

$$P\{D | B\} = \frac{P\{B \cap D\}}{P\{B\}} = \frac{P\{D \cap B\}}{P\{B\}} = P\{D\} \frac{P\{B | D\}}{P\{B\}} \quad (۴-۵)$$

به همین ترتیب، احتمال متأخر ذخیره‌ای با فرض عدم حضور الگوی شاهد B، به صورت رابطه (۵-۵) بیان می‌شود.

$$P\{D | \bar{B}\} = \frac{P\{D \cap \bar{B}\}}{P\{\bar{B}\}} = \frac{P\{\bar{B} \cap D\}}{P\{\bar{B}\}} = P\{D\} \frac{P\{\bar{B} | D\}}{P\{\bar{B}\}} \quad (۵-۵)$$

اگر احتمال مشروط به اتفاق^۱ تبدیل شود، (O) با توجه به رابطه بین احتمال که در بالا گفته شد، به صورت زیر خواهد بود:

$$O = \frac{P}{1-P} \quad (۶-۵)$$

بنابراین برای تبدیل رابطه (۴-۵) در فرمول اتفاق، هر دو طرف رابطه را بر $P\{\bar{D} | B\}$ تقسیم نموده:

$$\frac{P\{D | B\}}{P\{\bar{D} | B\}} = \frac{P\{D\}P\{B | D\}}{P\{\bar{D} | B\}P\{B\}} \quad (۷-۵)$$

از تعریف احتمال مشروط داریم:

$$P\{\bar{D} | B\} = \frac{P\{B | \bar{D}\}P\{\bar{D}\}}{P\{B\}} \quad (۸-۵)$$

با جانشین کردن رابطه (۸-۵) در صورت کسر معادله (۷-۵) داریم:

^۱ Odds

$$\frac{P\{D | B\}}{P\{\overline{D} | B\}} = \frac{P\{D\}}{P\{\overline{D}\}} \times \frac{P\{B\}}{P\{\overline{B}\}} \times \frac{P\{B | D\}}{P\{B | \overline{D}\}} \quad (9-5)$$

اتفاقات (تمایلات) یک ذخیره معدنی $O\{D\}$ برابر است با $P\{D\}/1-P\{D\}$ یا $P\{D\}/P\{\overline{D}\}$ بنابراین با جایگذاری در رابطه (9-5)، در نهایت رابطه (4-5) به عنوان اتفاق متأخر به صورت زیر بیان می‌شود

$$O\{D | B\} = O\{D\} \frac{P\{B | D\}}{P\{B | \overline{D}\}} \quad (10-5)$$

همچنین رابطه (5-5) در فرمول اتفاق به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$O\{D | \overline{B}\} = O\{D\} \frac{P\{\overline{B} | D\}}{P\{\overline{B} | \overline{D}\}} \quad (11-5)$$

که $O\{D | B\}$ و $O\{D | \overline{B}\}$ به ترتیب اتفاقات مشروط (متأخر) کانسار معدنی (D) در حضور و

عدم حضور شاهد (B) هستند. نسبت $\frac{P\{B | D\}}{P\{B | \overline{D}\}}$ به عنوان نسبت کفایت^۱ (LS) و نسبت

$\frac{P\{\overline{B} | D\}}{P\{\overline{B} | \overline{D}\}}$ به عنوان نسبت لزوم^۲ (LN) معروف است. همچنین نسبت کفایت و لزوم به عنوان

نسبت‌های احتمال^۳ در نظر گرفته می‌شوند (Bonham-Carter, 1994).

برای محاسبه وزن‌های شواهد، لگاریتم‌های طبیعی (لاجیت‌ها^۴) به هر دو طرف معادلات (10-5) و

(11-5) اعمال می‌شود و معادلات زیر به دست می‌آید:

$$\text{Logit}\{D | B\} = \text{Logit}\{D\} + \text{Log}_e \frac{P\{B | D\}}{P\{B | \overline{D}\}} \quad (12-5)$$

¹ Sufficiency ratio

² Necessity Ratio

³ Likelihood Ratio

⁴ Logit

$$Logit\{D | \bar{B}\} = Logit\{D\} + Log_e \frac{P\{\bar{B} | D\}}{P\{B | D\}} \quad (13-5)$$

$$W^+ = Log_e \frac{P\{B | D\}}{P\{B | \bar{D}\}} = Log_e^{LS} \quad (14-5)$$

$$W^- = Log_e \frac{P\{\bar{B} | D\}}{P\{\bar{B} | \bar{D}\}} = Log_e^{LN} \quad (15-5)$$

W^+ ، W^- به ترتیب وزن‌های نشانگر مثبت و منفی در حضور و عدم حضور شاهد B می‌باشد. مقدار لگاریتم طبیعی LS، W^- مقدار لگاریتم طبیعی مربوط به LN است. تفاضل بین مقدار وزن‌های شاهد برابر با کنتراست^۱ می‌باشد (رابطه ۵-۱۶). کنتراست یک اندازه کلی از ارتباط فضایی بین ذخایر D و هر نقشه شاهد دوتایی مانند B ارائه می‌دهد. حداکثر کنتراست، بهترین میزان همبستگی فضایی با رخداد ذخایر را نشان می‌دهد (Zeghouane et al., 2016).

$$C = W^+ - W^- \quad (16-5)$$

مقادیر کنتراست بین ۰ تا ۰/۵ چندان پیش‌بینی کننده و معرف نیستند، مقادیر ۰/۵ تا ۱ نسبتاً پیش‌بینی کننده و مقادیر بین ۱ تا ۲ پیش‌بینی کننده خوبی هستند و اگر مقادیر وزن‌های محاسبه شده بیش از ۲ باشد قویاً پیش‌بینی کننده هستند (Bonham-Carter, 1994).

انحراف استاندارد از کنتراست برابر با ریشه مربع مجموع واریانس وزن‌ها می‌باشد که مطابق رابطه (۵-۱۷) بدست می‌آید.

$$Sc = \sqrt{S^2(W^+) + S^2(W^-)} \quad (17-5)$$

واریانس‌های اوزان در رابطه (۵-۱۷) به طور تقریبی از روابط زیر محاسبه می‌شوند:

¹ Contrast

$$S^2(W^+) = \frac{1}{N\{B \cap D\}} + \frac{1}{N\{\overline{B} \cap \overline{D}\}} \quad (18-5)$$

$$S^2(W^-) = \frac{1}{N\{\overline{B} \cap D\}} + \frac{1}{N\{B \cap \overline{D}\}} \quad (19-5)$$

مقدار استیودنت^۱ کنتراست، SigC، مقیاس مفیدی است که میزان اهمیت (قطعیت) کنتراست C را بیان می‌کند. این مقدار از تقسیم کنتراست بر انحراف معیار آن بدست می‌آید و در رابطه (۲۰-۵) مشاهده می‌شود. اگر این نسبت به طور نسبی زیاد باشد نتیجه می‌شود که کنتراست در مقایسه با انحراف استاندارد زیاد است در نتیجه کنتراست به واقعیت نزدیک‌تر است. مقادیر بزرگتر از ۱/۵ تا ۲ برای SigC مقادیر مطلوب است.

$$SigC = C / Sc = C / \sqrt{S^2(W^+) + S^2(W^-)} \quad (20-5)$$

در ادامه فرض کنید که دو عامل پیش‌بینی کننده دوتایی B1 و B2 وجود دارد. می‌توان نشان داد که احتمال متأخر وجود یک پتانسیل معدنی، با توجه به حضور دو عامل پیش‌بینی کننده، به صورت زیر است:

$$\begin{aligned} P\{D | B_1 \cap B_2\} &= \frac{P\{D \cap B_1 \cap B_2\}}{P\{B_1 \cap B_2\}} = \frac{P\{B_1 \cap B_2 | D\}P\{D\}}{P\{B_1 \cap B_2\}} \\ &= \frac{P\{B_1 \cap B_2 | D\}P\{D\}}{P\{B_1 \cap B_2 | D\}P\{D\} + P\{B_1 \cap B_2 | \overline{D}\}P\{\overline{D}\}} \end{aligned} \quad (21-5)$$

اگر دو شاهد اکتشافی B1 و B2 دارای استقلال شرطی در ارتباط با مجموعه کانسارهای معدنی باشند، این نشان می‌دهد که رابطه زیر برقرار است:

$$P\{B_1 \cap B_2 | D\} = P\{B_1 | D\}P\{B_2 | D\} \quad (22-5)$$

با استفاده از رابطه (۲۲-۵)، رابطه (۲۱-۵) به صورت زیر ساده‌تر می‌شود:

¹ Studentized

$$P\{D | B_1 \cap B_2\} = P\{D\} \frac{P\{B_1 | D\}P\{B_2 | D\}}{P\{B_1\}P\{B_2\}} \quad (23-5)$$

به طور مشابه، اگر بیش از دو عامل پیش‌بینی کننده دوتایی استفاده شود، می‌توان آن‌ها را نیز اضافه کرد، به شرطی که دارای استقلال شرطی در رابطه با کانسارهای معدنی باشند.

بنابراین با B_j ($j = 1, 2, \dots, n$) فاکتور پیش‌بینی کننده دوتایی، لگاریتم احتمال وقوع متأخر به صورت زیر بدست می‌آید:

$$\text{Log}_e O\{D | B_1^K \cap B_2^K \cap B_3^K \cap \dots B_n^K\} = \sum_{j=1}^n W_j^k + \text{Log}_e O\{D\} \quad (24-5)$$

مقدار k بسته به حضور و یا عدم حضور عامل پیش‌بینی کننده دوتایی دارای مقداری مثبت یا منفی خواهد بود. این معادله فرمول محاسباتی برای ترکیب مجموعه‌ای از نقشه‌های دوتایی با مدل بیزین است. به طور کلی با n نقشه 2^n مرتبه امکان ترکیب وجود خواهد داشت. همچنین مقادیر احتمال وقوع متأخر می‌توانند بر مبنای رابطه $P = O / (O + 1)$ به احتمال متأخر تبدیل شده که برای نشان دادن محل‌های مساعد رخدادهای معدنی مناسب می‌باشد (Pradhan et al., 2010).

- آزمون‌های استقلال شرطی^۱

مدل‌سازی به روش وزن‌های نشانگر نیاز به ترکیب همه نقشه‌های پیش‌بینی شده باینری دارد. مدل‌سازی بدون بررسی آزمون آماری استقلال شرطی (CI) باعث می‌شود که میزان W^+ بیش‌تر و میزان W^- کمتر از واقعیت تخمین زده در نظر گرفته شود و در نتیجه احتمال متأخر شرطی نیز مورد تأثیر قرار می‌گیرد؛ بنابراین نقشه پتانسیل مطلوب اولیه تولید شده، تخمین بیش‌تری یا کم‌تری نسبت به پیش‌بینی احتمال شرطی متأخر خواهد داشت (Zeghouane et al., 2016). برای اطمینان یافتن استقلال شرطی بین شواهد و متغیرهای هدف، آزمون‌های مختلفی انجام می‌شود. از جمله این

¹ Conditional independence

آزمون‌ها، آزمون دوگانه یا جفت^۱ و آزمون کلی^۲ می‌باشد.

همان‌طور که در رابطه (۲۲-۵) گفته شد، اگر نقشه‌های پیش‌بینی کننده B1 و B2 دارای استقلال شرطی در ارتباط با مجموعه کانسارهای معدنی باشند، با دست کاری جبری معادله زیر برقرار است:

$$N\{B_1 \cap B_2 \cap D\} = \frac{N\{B_1 \cap D\}N\{B_2 \cap D\}}{N\{D\}} \quad (25-5)$$

سمت چپ معادله (۲۵-۵) تعداد ذخایر مشاهده شده در منطقه همپوشانی B1 و B2 است. سمت راست تعداد ذخایر پیش بینی شده یا مورد انتظار در این منطقه همپوشانی است. این رابطه منجر به محاسبه جدول احتمالی برای آزمون دوتایی یا جفت استقلال مشروط می‌شود که در جدول (۵-۱) نشان داده شده است (Pradhan et al., 2010).

جدول ۵-۱: جدول وابستگی برای نشان دادن چهار موقعیت ممکن همپوشانی بین دو الگوی دوتایی پیش‌بینی کننده و ذخایر معدنی (Pradhan et al., 2010)

جمع کل	B_1 حضور ندارد	B_1 حضور دارد	
$N\{B_2 \cap D\}$	$N\{\bar{B}_1 \cap B_2 \cap D\}$	$N\{B_1 \cap B_2 \cap D\}$	B_2 حضور دارد
$N\{\bar{B}_2 \cap D\}$	$N\{\bar{B}_1 \cap \bar{B}_2 \cap D\}$	$N\{B_1 \cap \bar{B}_2 \cap D\}$	B_2 حضور ندارد
$N\{D\}$	$N\{\bar{B}_1 \cap D\}$	$N\{B_1 \cap D\}$	جمع کل

عامل آماری که کل مجموعه فراوانی مشاهده شده را با مجموع فراوانی‌های مورد انتظار مقایسه می‌کند، عامل مربع کای^۳ (χ^2) می‌باشد که در راستای آزمودن فرضیه صفر می‌باشد. این عامل آماری به صورت زیر محاسبه می‌گردد:

¹ Pairwise Test

² Overall Test

³ Chi-square

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^4 \frac{(\text{observed}_i - \text{expected}_i)^2}{\text{expected}_i} \quad (26-5)$$

مقادیر مربع کای را می‌توان با استفاده از روابط (25-5) و (26-5) برای هر جفت نقشه پیش‌بینی کننده محاسبه کرد. عامل کای تا حد زیادی وابسته واحدهای اندازه‌گیری و متناسب با واحد سطح می‌باشد. اما بدلیل این که ذخایر معدنی به عنوان نقاط یا سلول‌های واحد در نظر گرفته می‌شوند، بنابراین واحدهای اندازه‌گیری عامل کای تحت تأثیر واحدهای اندازه‌گیری مساحت قرار نمی‌گیرد و مقادیر عاملی بدست آمده را می‌توان با مقادیر بحرانی (χ^2) با یک درجه آزادی مقایسه کرد. مقدار بحرانی (χ^2) با یک درجه آزادی در سطح اطمینان ۹۵ درصد ۳/۸۴ است. بنابراین اگر مقدار محاسبه شده (χ^2) بیشتر از ۳/۸۴ باشد، نشان می‌دهد که فرضیه استقلال شرطی در آن سطح برقرار نشده است؛ بنابراین، یکی از نقشه‌ها باید رد یا اصلاح شود تا مشکل وابستگی لایه‌های اطلاعاتی کاهش دهد (زننده دل، ۱۳۸۶).

پس از ترکیب نقشه‌های پیش‌بینی کننده که اولین آزمون استقلال شرطی را گذرانده‌اند، آزمون ساده دوم می‌تواند با مقایسه تعداد کانسارهای مشاهده شده با تعداد کانسارهای پیش‌بینی شده در نقشه احتمالی نهایی انجام گردد. تعداد کانسارهای پیش‌بینی شده می‌تواند به صورت زیر محاسبه گردد (زننده دل، ۱۳۸۶):

$$N\{D\} = \sum_{k=1}^m P_k \times N(A)_k \quad (27-5)$$

که $k=1,2,3,\dots,m$ پیکسل‌های نقشه و $N(A)_k$ مساحت هر سلول واحد است. چنانچه تعداد کانسارهای پیش‌بینی شده از تعداد کانسارهای مشاهده شده از حدود ۱۰ تا ۱۵ درصد تجاوز کند، بیان می‌کند که فرض استقلال شرطی به شدت منحرف شده است و در این صورت بررسی آزمون دوگانه و عمل بارزسازی نقشه‌ها ضروری است (زننده دل، ۱۳۸۶).

۵-۲-۲- روش‌های دانش محور

تهیه نقشه پتانسیل معدنی به روش دانش محور در مناطق کمتر شناخته شده (مناطق سبز^۱) که از نظر زمین‌شناسی مناسب بوده و در آن هیچ ذخایر معدنی مطلوبی وجود ندارد و یا تعداد ذخایر معدنی شناخته شده کمی وجود دارد، به کار می‌رود. تجربه‌ی اجرای عملیات اکتشافی و بررسی ارتباط بین ذخایر معدنی شناخته شده و الگوهای زمین‌شناسی در نواحی که در آن‌ها اکتشاف در حد خوب و متوسط صورت گرفته، به عنوان اساس روش دانش محور در تهیه نواحی پتانسیل معدنی می‌باشد. این بدین معنی است که مدل مفهومی ایجاد شده در نواحی متوسط تا خوب اکتشاف شده برای تهیه نقشه پتانسیل معدنی در نواحی کمتر اکتشاف شده و در مناطق امید بخش زمین‌شناسی با زمین‌شناسی مشابه کاربرد دارد (Carranza, 2008). این مدل مفومی در ایجاد نقشه‌های شاهد (برآورد وزن‌های شاهد و امتیازات کلاس شاهد) و تلفیق نقشه‌های شاهد مطابق «پتانسیل‌دار بودن مکان برای ذخایر معدنی مورد نظر» در نظر گرفته می‌شود. بنابراین اصطلاح «دانش محور» اشاره به ارزیابی کیفی یا وزن دادن به شواهد براساس پیشنهاد کارشناسی می‌باشد. ارزیابی وزن برای هر نقشه شاهد و ارزیابی امتیاز برای هر کلاس در یک نقشه شاهد طبق نظر کارشناسی در خصوص ارتباط فضایی بین ذخایر معدنی (کانسارها) مورد نظر و هر مجموعه از ویژگی‌های عوارض زمین‌شناسی انجام می‌شود. براین اساس، نقشه‌برداری پتانسیل معدنی دانش محور به عنوان نقشه‌برداری پتانسیل معدنی کارشناس محور نیز شناخته شده است. دانش «کارشناسی» به کار گرفته شده در تهیه نقشه پتانسیل معدنی به روش دانش محور از طریق عملیات صحرایی در اکتشافات معدنی و یا از طریق تجربیات قابل توجه در کاربرد روش‌های تحلیلی فضایی برای مطالعه توزیع فضایی انواع ذخایر معدنی مورد نظر و همراهی فضایی آن‌ها با ویژگی‌های زمین‌شناسی بدست می‌آید. همچنین می‌توان از دانش دیگر متخصصان که دارای تخصص بالایی در زمینه اکتشافات ذخایر معدنی مورد نظر هستند، بهره‌مند شد

¹ Green fields

(یوسفی و شهرستانی، ۱۳۹۳؛ Carranza, 2008). روش‌های دانش محور شامل روش منطق فازی^۱، همپوشانی شاخص دوتایی^۲، همپوشانی شاخص چند کلاسه^۳، منطق بولین^۴، توابع برآورد^۵ و تحلیل سلسله مراتبی^۶ می‌باشند (Carranza, 2017).

۵-۲-۱- منطق فازی

منطق فازی بر اساس نظریه مجموعه‌های فازی تعریف می‌شود که اولین بار توسط لطفی‌زاده (۱۹۶۵) معرفی شد. منطق فازی از پاسخ باینری (منطق صفر و یک) استفاده نمی‌کند بلکه از مقادیر بازه $[0, 1]$ برای بیان درجه یا میزان ارزش اعضای یک مجموعه استفاده می‌شود. بدین ترتیب، مقدار صفر به معنای عدم عضویت کامل، مقدار یک به معنای عضویت کامل اعضای مجموعه می‌باشد و سایر اعضای مجموعه نیز می‌توانند مقادیری بین صفر تا یک براساس درجه قطعیت عضویتشان به مجموعه داشته باشند (Zhang et al., 2017). بنابراین مقدار عضویت یک مجموعه فازی در یک مقیاس پیوسته از عضویت کامل تا عدم عضویت کامل تعریف می‌شود. مجموعه فازی A در X از مجموعه جفت مرتب‌هایی تشکیل شده است که می‌توان به صورت رابطه زیر بیان کرد:

$$A = \{[x, \mu_A(x)] | x \in X\} \quad (5-28)$$

که X مجموعه‌ای از عناصر، x نمایان‌گر یک عضو مشخص و $\mu_A(x)$ تابع درجه عضویت x در A است که می‌تواند به صورت خطی یا غیر خطی باشد (Nykänen et al., 2016). انتخاب تابع عضویت برای فازی کردن شواهد فضایی پتانسیل معدنی باید بر مبنای درک درست از همراهی فضایی بین عوارض زمین‌شناسی نشان داده شده با شواهد و رخداد انواع کانسارهای مورد جستجو قرار داشته باشد. مرحله بعد از فازی‌سازی شواهد، مرحله تلفیق منطقی شواهد فازی می‌باشد. پنج عملگر فازی برای ترکیب شواهد فازی مورد استفاده قرار می‌گیرد. این عملگرها شامل اشتراک (AND) فازی، اجتماع (OR)

¹ Fuzzy logic

² Binary index overlay

³ Multi-class index overlay

⁴ Boolean logic

⁵ Evidential belief

⁶ Analytical Hierarchy Process (AHP)

فازی، ضرب جبری فازی، جمع جبری فازی و گامای فازی (۷) می‌باشند. این عملگرهای فازی در پتانسیل‌یابی مفید هستند به این دلیل که هر یک یا ترکیبی از آن‌ها می‌توانند روابط بین مجموعه شواهد فضایی را در مدل مفهومی از نوع مورد جستجو نشان دهند. بنابراین عملگرهای انتخاب شده در تلفیق مجموعه‌های شواهد فازی باید با مدل مفهومی تعریف شده پتانسیل معدنی سازگار باشد (Carranza, 2008).

۵-۲-۲-۲- روش تحلیل سلسله مراتبی

تحلیل سلسله مراتبی^۱ (AHP) یکی از مهم‌ترین تکنیک‌های تصمیم‌گیری چند معیاره (MCDM) می‌باشد که توسط Saaty (سال ۱۹۷۷) پیشنهاد و توسعه یافته است (Nannan et al., 2017). بیش‌ترین کاربرد روش تحلیل سلسله مراتبی در GIS برای وزن‌دهی لایه‌های شاهد در تهیه نقشه پتانسیل معدنی می‌باشد. برای بدست آوردن وزن لایه‌های شاهد ماتریس مقایسه زوجی تشکیل می‌شود و لایه‌ها دو به دو با یکدیگر مقایسه می‌شوند و به هر لایه نسبت به سایر لایه‌ها، مقادیر عددی اختصاص داده می‌شود. در نهایت، لایه‌هایی که دارای بیشترین اهمیت باشند، مشخص می‌شوند و ترتیب اولویت لایه‌ها تعیین می‌شود. از مزایای ممتاز این تکنیک در تصمیم‌گیری چند معیاره محاسبه نرخ ناسازگاری می‌باشد. اگر مقدار نرخ ناسازگاری (CR) کمتر از 0.1 باشد ماتریس مقایسه زوجی در نظر گرفته شده دارای سازگاری قابل قبول است (Pazand et al., 2011) و وزن‌های بدست آمده را می‌توان در تهیه نقشه پتانسیل معدنی استفاده کرد، در غیر این صورت باید در قضاوت‌ها تجدید نظر شود. فرآیند تحلیل سلسله مراتبی در مدل‌سازی همپوشانی شاخص دوتایی، مدل‌سازی همپوشانی شاخص چند کلاسه^۲ و مدل‌سازی منطق فازی کاربرد دارد (Carranza, 2008).

¹ Analytical Hierarchy process

² Multi-class index overlay

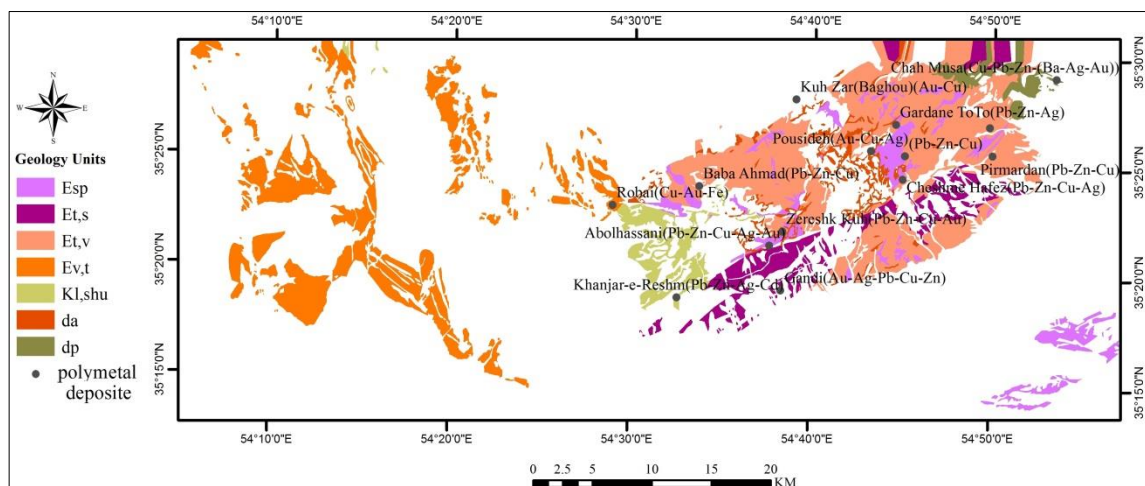
۵-۳- تهیه نقشه پتانسیل معدنی ذخایر پلی‌متال به روش وزن‌های نشانگر (داده محور) در

منطقه مورد مطالعه

لایه‌های اطلاعاتی مؤثر در شکل‌گیری ذخایر پلی‌متال که نشانه‌ای بر وجود این عناصر هستند، با بررسی مدل مفهومی ذخیره معدنی، دانش کارشناسی و داده‌ها تعیین گردید. در ادامه بایستی لایه‌های اطلاعاتی پردازش شده تا نقشه‌های شاهد از این لایه‌های اطلاعاتی بدست آید. با توجه به اندیس‌های معدنی شناخته شده در منطقه مورد مطالعه، وزن‌های نشانگر محاسبه می‌شوند. در تهیه نقشه پتانسیل معدنی به روش وزن‌های نشانگر نقشه‌های شاهد به صورت نقشه‌های دوتایی مورد استفاده قرار می‌گیرند و سپس نقشه‌های دوتایی با وزن‌های تعیین شده تلفیق می‌شوند. در ادامه مراحل انجام کار برای پنج لایه اطلاعاتی توضیح داده می‌شود.

۵-۳-۱- تهیه نقشه شاهد زمین‌شناسی

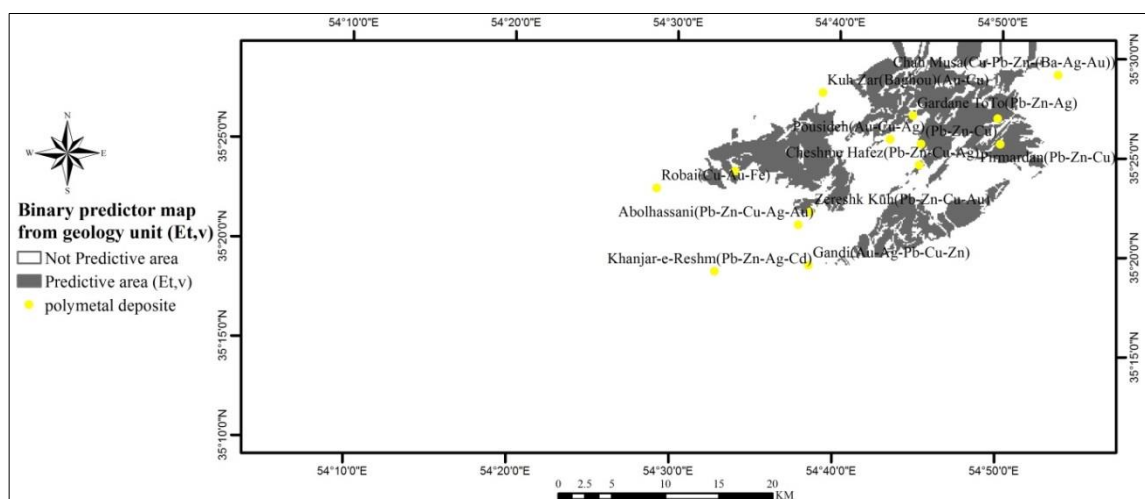
واحدهای زمین‌شناسی مساعد برای کانی‌سازی و همراهی آن‌ها با اندیس‌های موجود در منطقه شامل ۵ واحد $E_{v,t}$ ، d_a ، $E_{t,s}$ ، q_d ، Kl,shu ، $E_{t,v}$ ، E_{sp} ، E_{al} می‌باشد (شکل ۵-۲). برای بدست آوردن ارتباط فضایی بین اندیس‌ها و واحدهای زمین‌شناسی، عملیات وزن‌دهی برای هر یک از واحدها انجام گردید که براساس نتایج بدست آمده در جدول (۵-۲) واحدهای E_{sp} و $E_{t,v}$ بدلیل داشتن مقدار کنتراست، W^+ و $SigC$ بالا به عنوان واحدهای زمین‌شناسی مناسب انتخاب شدند. در شکل (۵-۳) و (۵-۴) نقشه‌های شاهد دوتایی واحدهای زمین‌شناسی E_{sp} و $E_{t,v}$ نمایش داده شده است که در آن به واحدهای E_{sp} و $E_{t,v}$ ارزش یک و بقیه واحدها ارزش صفر تعلق گرفته است.



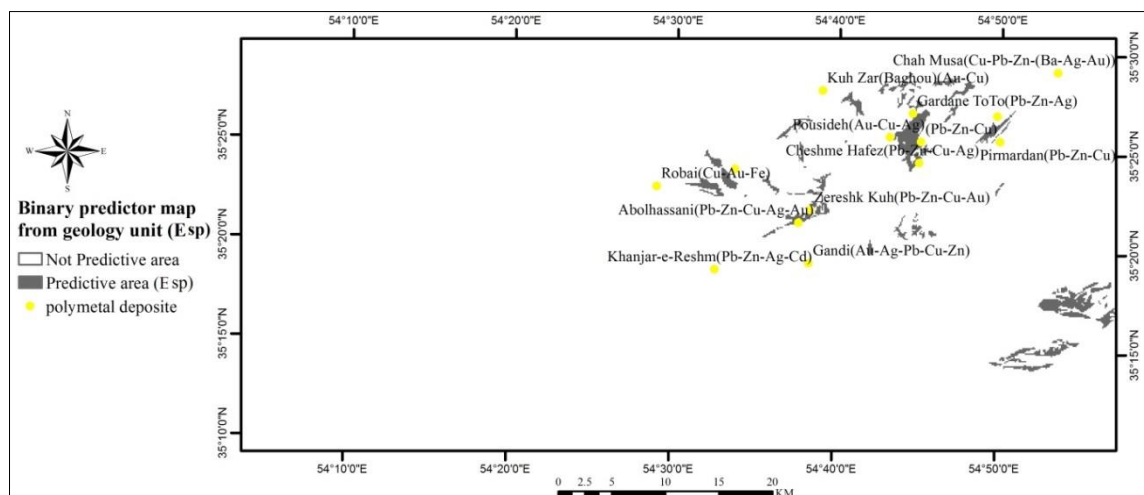
شکل ۵-۲: نقشه واحدهای زمین‌شناسی مساعد

جدول ۵-۲: تجزیه و تحلیل وزن‌های نشانگر برای واحدهای زمین‌شناسی مساعد

Geology	Area(km2)	Point	w+	w-	C	S ² (w+)	S ² (w-)	Sig C
Esp	45.969	3	2.188	-0.293	2.482	0.357	0.125	4.727
Et,v	199.668	4	1.760	-0.321	2.081	0.255	0.143	3.297
Kl,shu	28.034	1	2.353	-0.081	2.434	1.037	0.100	2.283
Et,s	43.485	1	1.901	-0.071	1.972	1.023	0.100	1.860
Da	24.565	1	2.490	-0.083	2.574	1.042	0.100	2.408
Ev.t	136.336	1	0.742	0.008	0.751	1.007	0.100	0.713



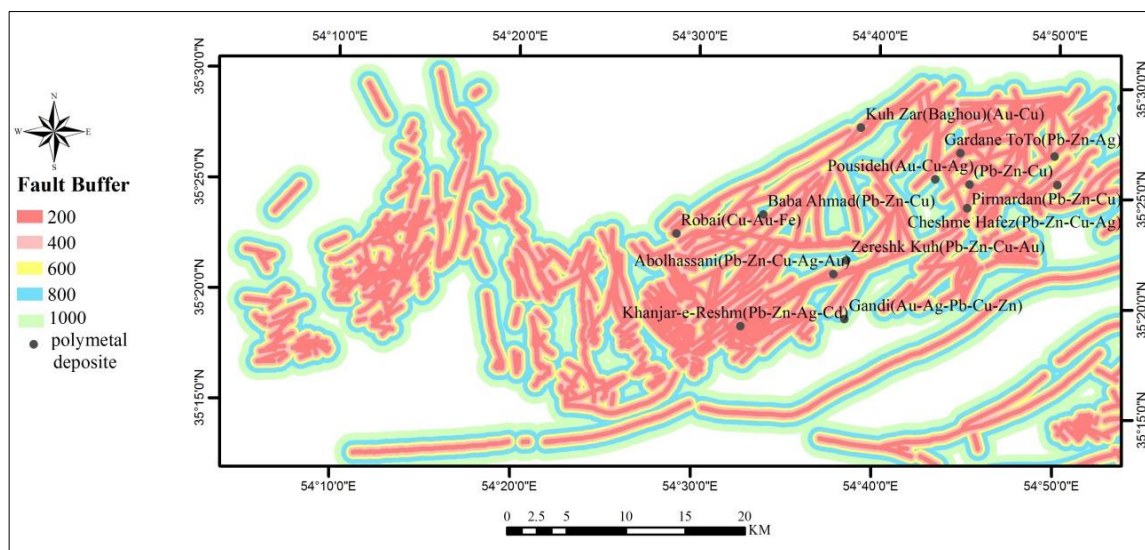
شکل ۵-۳: نقشه شاهد دوتایی واحد زمین‌شناسی Et,v



شکل ۵-۴: نقشه شاهد دوتایی واحد زمین‌شناسی Esp

۵-۳-۲- تهیه نقشه شاهد گسل‌ها

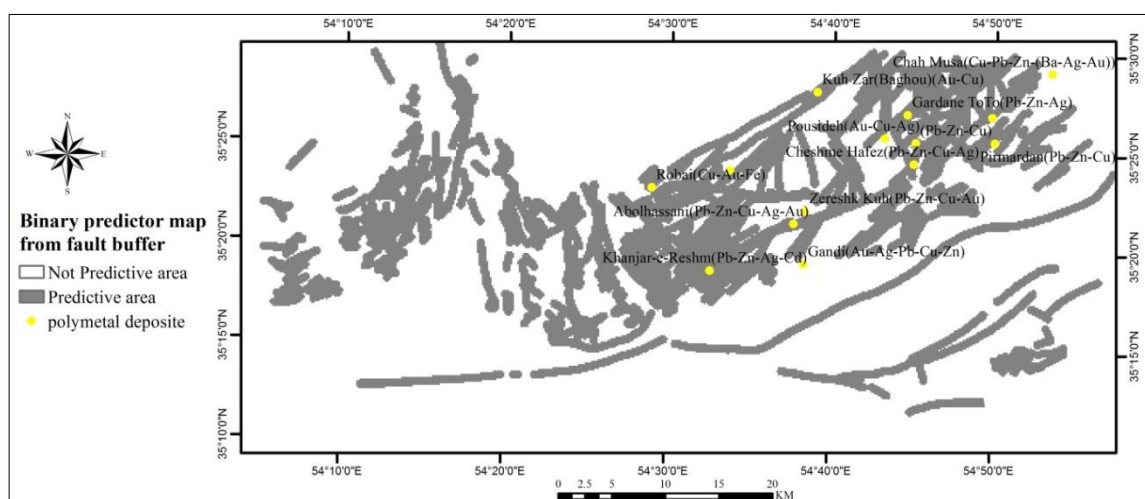
در منطقه مورد مطالعه گسل‌ها ارتباط فضایی با کانی‌سازی ذخایر پلی‌متال دارند؛ بنابراین از لایه شاهد گسل به عنوان یک شاهد فضایی برای ذخایر پلی‌متال استفاده شده است. برای تهیه نقشه شاهد گسل‌ها، بافرهایی با فواصل ۲۰۰ تا ۸۰۰ متری اطراف گسل‌ها در نظر گرفته شد که در شکل (۵-۵) نقشه بافر گسل‌های منطقه نشان داده شده است. در جدول (۵-۳) نتایج حاصل از وزن‌های نشانگر برای فواصل مختلف آورده شده است که نشان می‌دهد مناطق در فاصله ۴۰۰ متری گسل ارتباط معناداری فضایی با ذخیره شناخته شده پلی‌متال دارند. شکل (۵-۶) نقشه شاهد دوتایی گسل را در فاصله ۴۰۰ متری نشان می‌دهد.



شکل ۵-۵: نقشه بافر گسل‌ها در فواصل مختلف

جدول ۵-۳: تجزیه و تحلیل وزن‌های نشانگر برای فواصل مختلف گسل‌ها

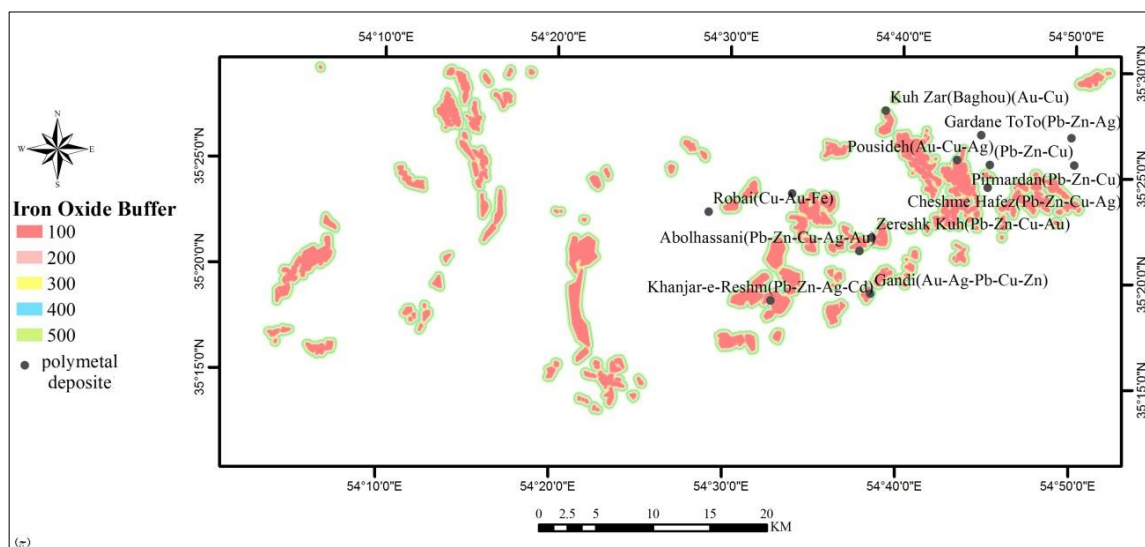
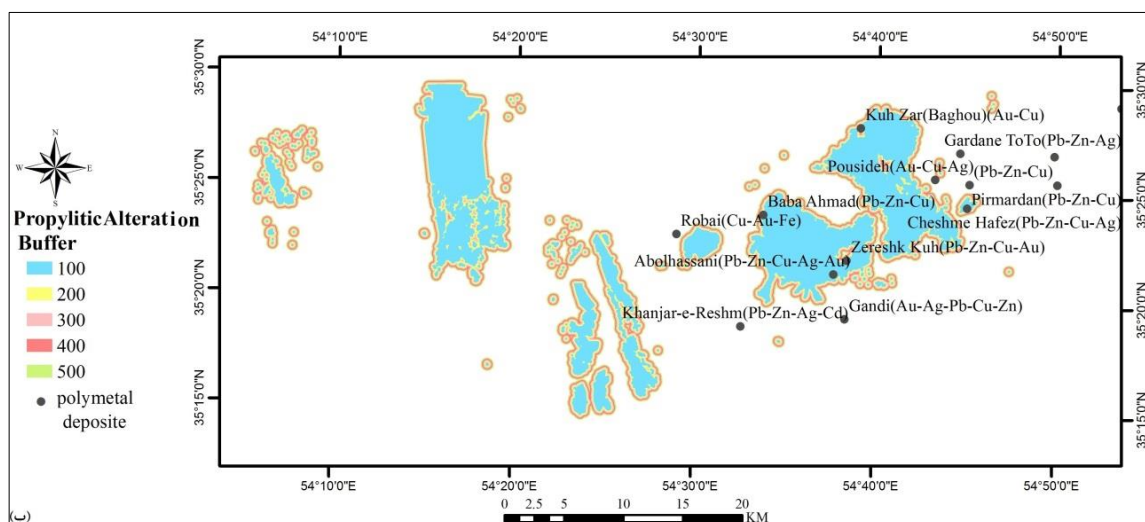
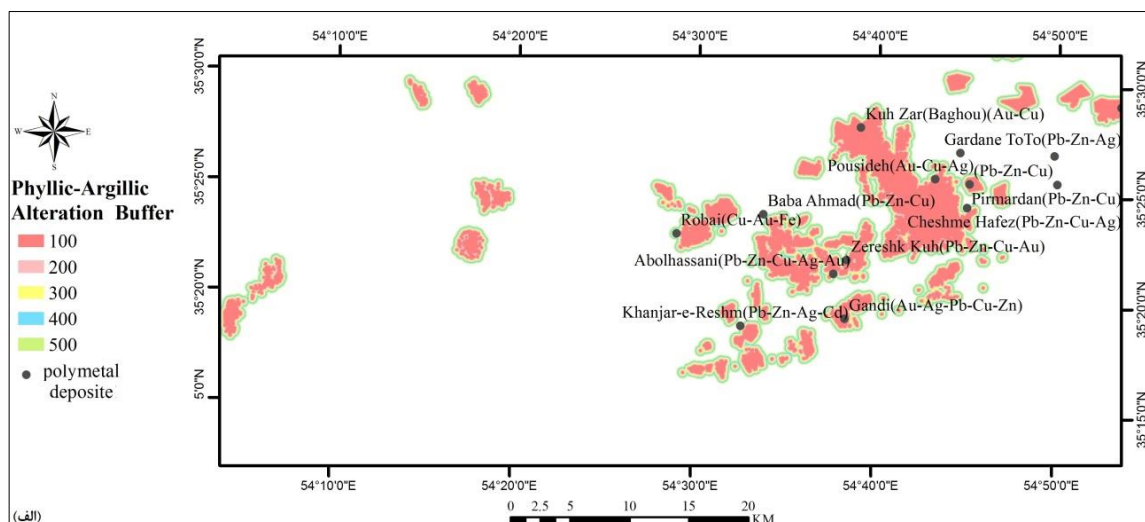
Fault	Area(km ²)	Point	w+	w-	C	S ² (w+)	S ² (w-)	Sig C
200	484.9	6	1.127	-0.425	1.041	0.202	0.125	1.819
400	816.3	8	1.035	-0.574	1.098	0.126	0.201	1.921
600	1100.74	9	0.852	-0.509	0.668	0.112	0.25	1.109
800	1297.23	10	0.793	-0.668	0.362	0.101	0.334	0.549
1000	1462.27	11	0.767	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)



شکل ۵-۶: نقشه شاهد دوتایی گسل

۵-۳-۳- تهیه نقشه شاهد دگرسانی‌ها

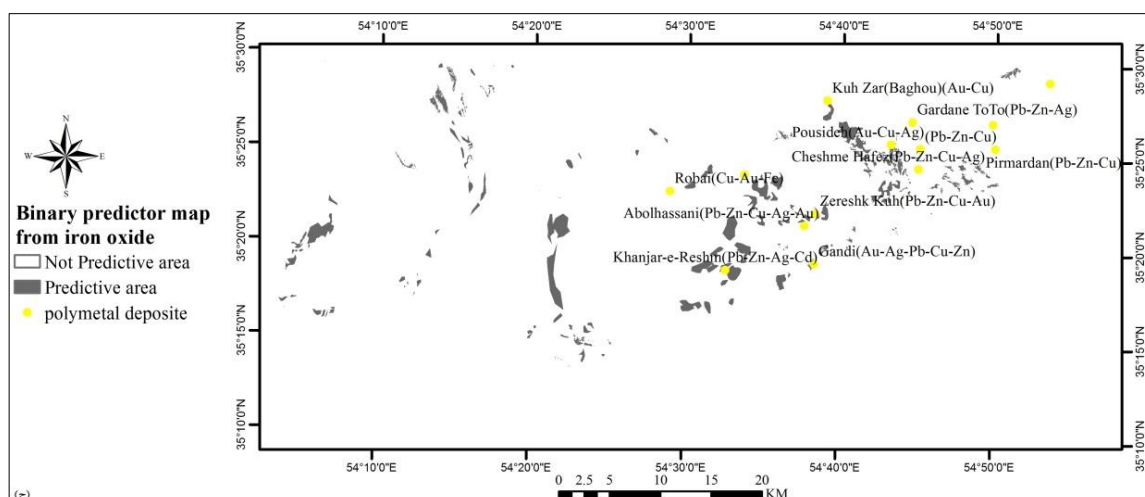
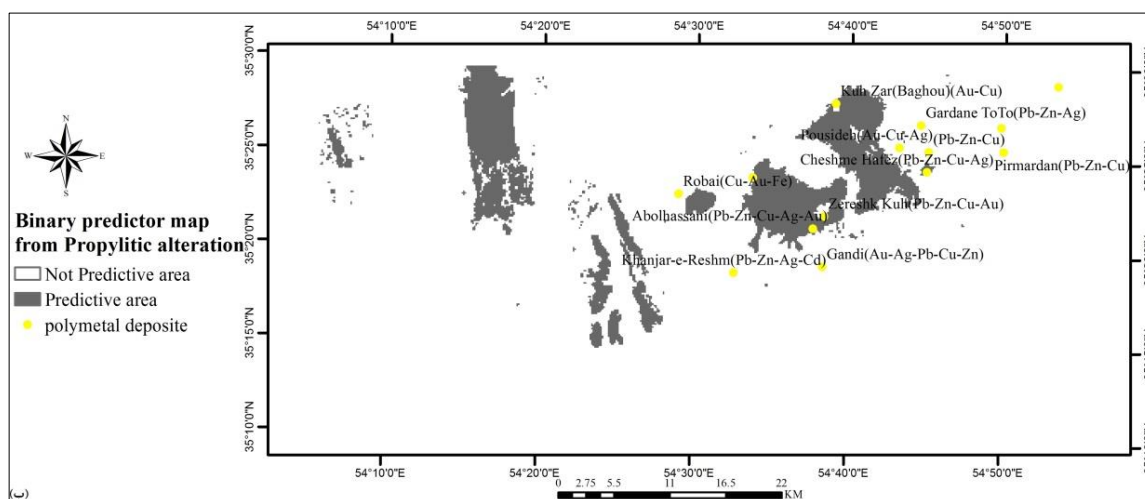
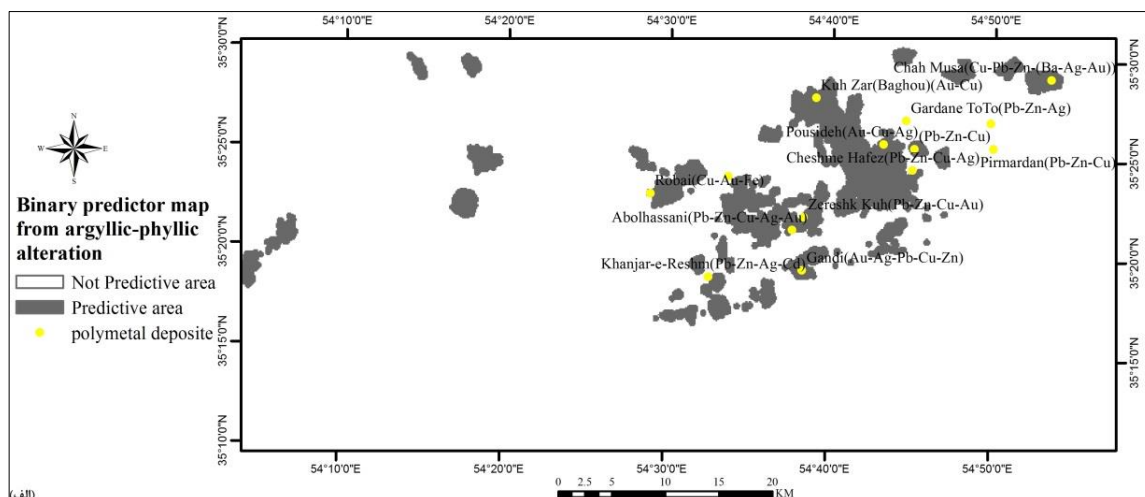
از آنجائی که کانی‌سازی الزاماً درون زون دگرسانی‌ها نمی‌باشد، بلکه دگرسانی می‌تواند تنها نشانه و شاخصی برای کانی‌سازی خاص باشند، و یا ممکن است بخشی از دگرسانی‌ها رخنمون داشته باشند، برای استفاده این لایه معیار اکتشاف شعاع تاثیر (Buffer) تا فاصله ۵۰۰ متری اطراف دگرسانی‌ها ایجاد گردید (شکل ۵-۷ الف، ب و ج). با توجه به اندیس‌های معدنی شناخته شده در منطقه، تجزیه و تحلیل وزن‌های نشانگر در این فواصل صورت گرفت و نتایج در جدول (۵-۴) نشان داده شده است. با توجه به جدول، محدوده ۲۰۰ متری از دگرسانی‌های فیلیک-آرژیلیک، محدوده ۱۰۰ متری از دگرسانی پروپیلیتیک و محدوده ۱۰۰ متری از اکسید آهن دارای حداکثر میزان W^+ ، کنتراست و SigC می‌باشند. بنابراین نقشه‌های حاصل از این فواصل به عنوان نقشه‌های شاهد دگرسانی استفاده می‌شوند که در شکل (۵-۸) نمایش داده شده است.



شکل ۵-۷: نقشه بافر مناطق دگرسانی الف) فلیک- آرژیلیک، ب) پروپیلیتیک و ج) اکسیدهای آهن در فواصل مختلف

جدول ۴-۵: تجزیه و تحلیل وزن‌های نشانگر برای فواصل مختلف دگرسانی فیلیک-آرژیلیک، پروپیلیتیک و اکسید آهن

Buffer Alteration (m)	Area(km2)	Point	w+	w-	C	S ² (w+)	S ² (w-)	Sig C
Argyllic-Phyllic								
100	147.15	4	2.073	-0.358	2.431	0.257	0.143	3.843
200	194.22	6	2.204	-0.662	2.866	0.172	0.200	4.698
300	237.529	6	1.997	-0.630	2.627	0.171	0.200	4.312
400	278.654	6	1.834	-0.599	2.433	0.170	0.200	3.996
500	318.314	7	1.855	-0.791	2.647	0.146	0.250	4.203
Propylitic								
100	228.5	4	1.623	-0.300	1.922	0.254	0.143	3.048
200	278.891	4	1.420	-0.261	1.682	0.253	0.143	2.670
300	323.425	4	1.270	-0.226	1.496	0.253	0.143	2.377
400	365.128	4	1.147	-0.192	1.340	0.253	0.143	2.129
500	404.856	4	1.043	-0.159	1.202	0.252	0.143	1.910
Iron Oxide								
100	114.98	3	2.031	-0.247	2.277	0.342	0.125	3.331
200	169.39	5	2.157	-0.497	2.655	0.206	0.167	3.346
300	223.05	1	0.247	0.054	0.193	1.005	0.100	0.184
400	275.61	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)
500	327.44	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)



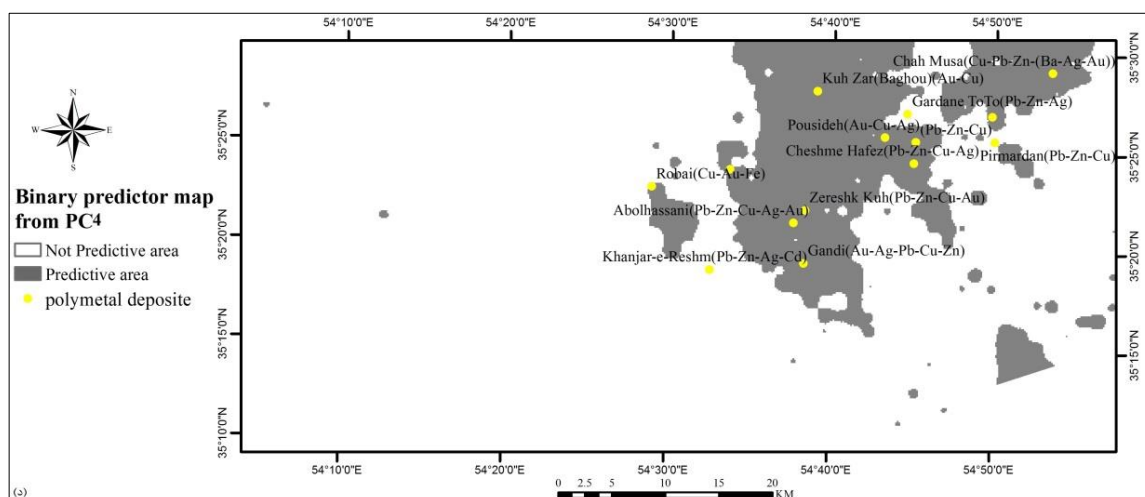
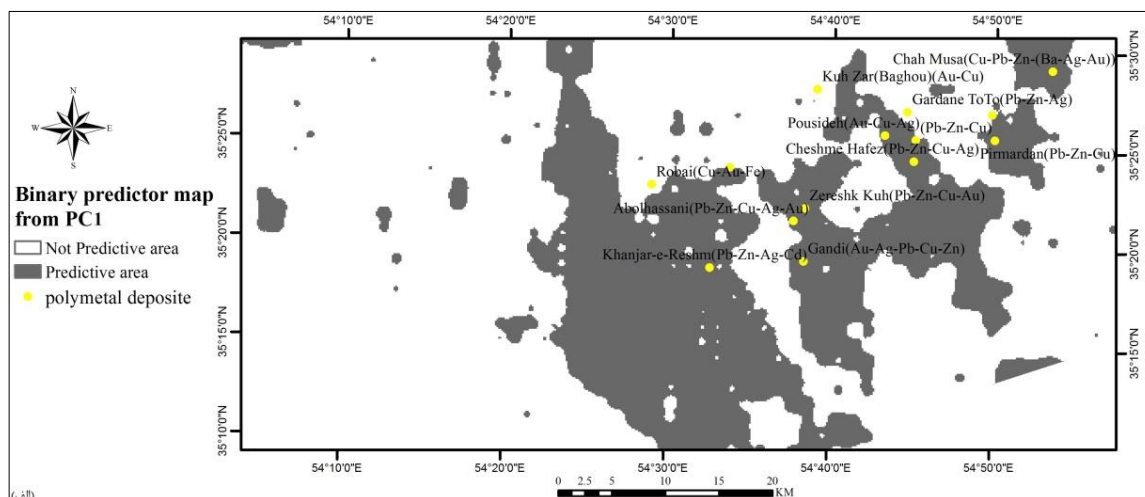
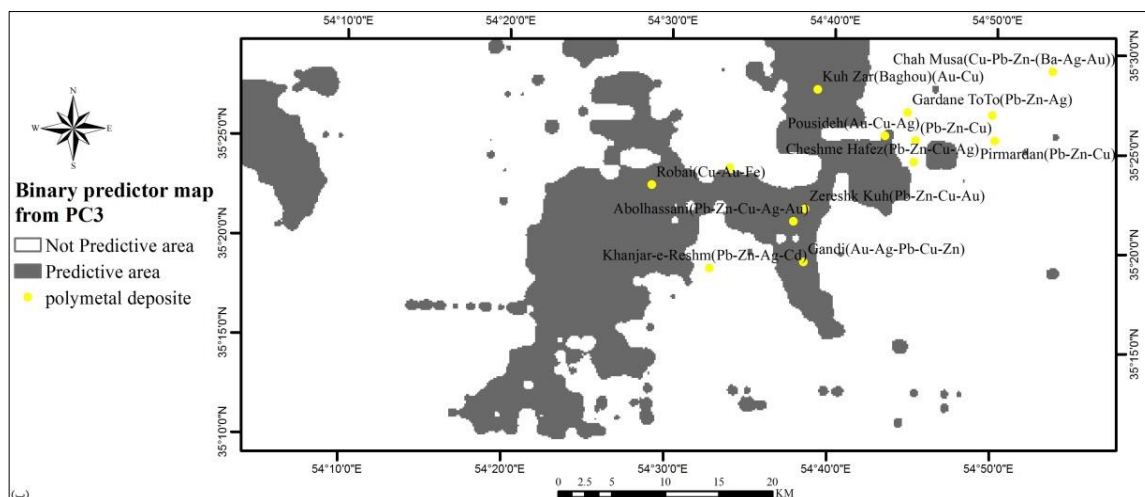
شکل ۵-۸: نقشه شاهد دوتایی الف) دگرسانی فیلیک-آرژیلیک، ب) دگرسانی پروپیلیتیک و ج) اکسیدهای آهن

۵-۳-۴- تهیه نقشه شاهد ژئوشیمیایی

برای تهیه نقشه شاهد ژئوشیمیایی ذخایر پلی‌متال، مؤلفه‌های اصلی اول، سوم و چهارم انتخاب گردید. هر کدام از مؤلفه‌ها دارای کلاس‌بندی مختلفی می‌باشند به منظور مشخص کردن کلاسی که دارای ارتباط فضایی بیش‌تر با اندیس‌های معدنی شناخته شده دارد، تجزیه و تحلیل وزن‌های نشانگر صورت گرفت که محاسبات آن در جدول (۵-۵) مشاهده می‌شود. با توجه به مقادیر کنتراست و استیودنت کنتراست، کلاس ۲ در PC1، کلاس ۱ در PC3 و کلاس ۱ در PC4 بهترین کلاس‌ها برای تعیین نقشه‌های شاهد دوتایی ژئوشیمیایی می‌باشند (شکل ۵-۹).

جدول ۵-۵: تجزیه و تحلیل وزن‌های نشان‌گر برای کلاس‌های مختلف در مؤلفه‌های اصلی اول، دوم و سوم داده‌های ژئوشیمیایی

Geochemistry	Area(km ²)	Point	w+	w-	C	S ² (w+)	S ² (w-)	Sig C
PC1								
(0.911-11.172)	208.664	3	1.423	-0.180	1.603	0.338	0.125	2.354
(0.165-0.911)	808.674	9	1.163	-0.990	2.153	0.112	0.500	2.751
(-0.95-0.165)	2930.674	11	0.069	-	-	0.091	-	-
(-1.4--0.95)	3062.674	11	0.025	-	-	0.091	-	-
PC3								
(0.555-5.122)	507.046	5	1.041	-0.222	1.263	0.202	0.167	2.079
(-0.754-0.555)	2501.246	10	0.132	-	-	0.1004	0.335	-
(-3.44--0.754)	3083.566	11	0.018	-	-	0.077	-	-
PC4								
2.959-5.86	31.625	9	1.849	-1.408	3.256	0.114	0.500	4.156
(0.953-2.959)	411.975	10	0.239	-	-	0.100	1.001	-
(-0.613-0.953)	2248.875	11	0.023	-	-	0.091	-	-



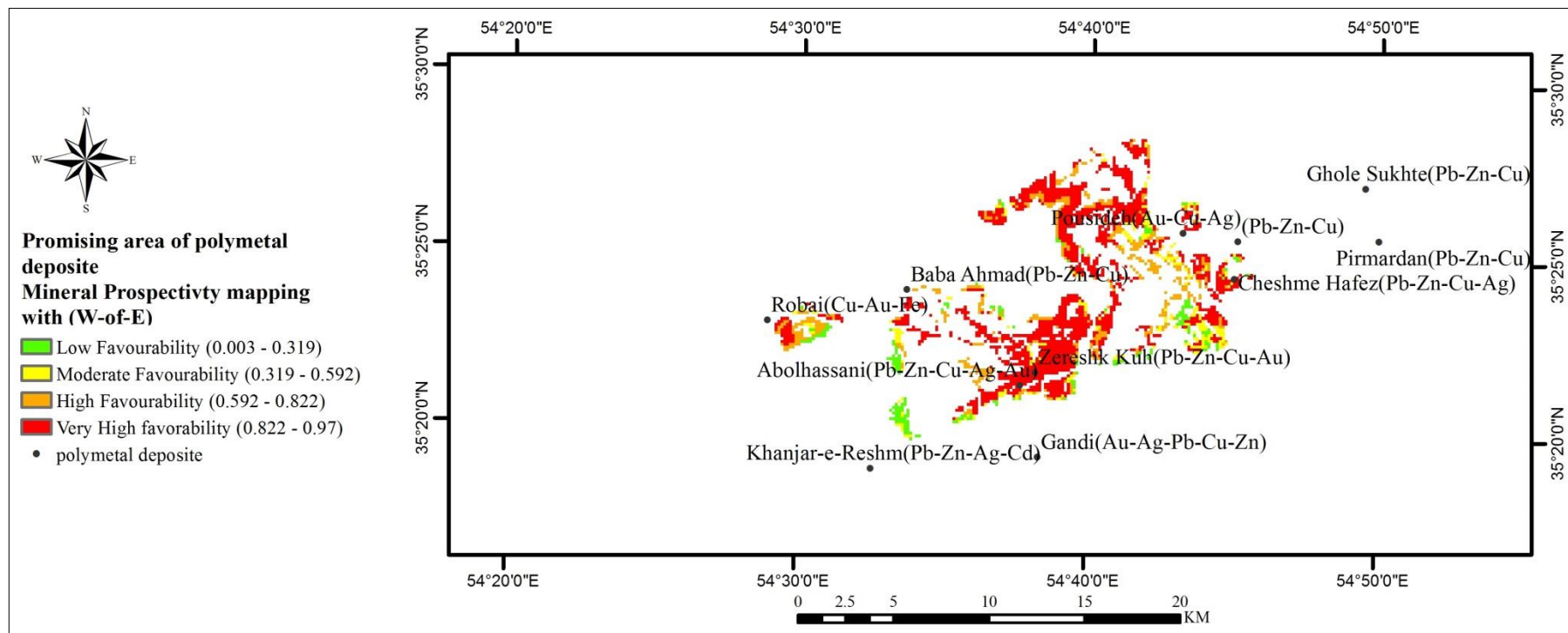
شکل ۵-۹: نقشه شاهد دوتایی ژئوشیمیایی الف) مؤلفه اصلی اول، ب) مؤلفه اصلی سوم و ج) مؤلفه اصلی چهارم در منطقه مورد مطالعه

برای ترکیب نقشه‌های شاهد به منظور تهیه نقشه پتانسیل معدنی به روش وزن‌های نشانگر بایستی فرض استقلال شرطی بین لایه‌های نشانگر برقرار باشد. همان‌طور که بیان شد مقدار بحرانی مربع کای در سطح اطمینان ۹۸٪ برابر ۵/۴ است. اگر مقدار محاسبه شده مربع کای برای جفت نقشه‌ها بیشتر از ۵/۴ باشد نشان می‌دهد که فرضیه استقلال شرطی به طور کامل برقرار نشده است. با توجه به جدول (۵-۶) مقدار کای برای جفت نقشه‌های شاهد کمتر از مقدار ۵/۴ بوده و فرض استقلال شرطی پذیرفته است.

جدول ۵-۶: مقادیر مربع کای محاسبه شده برای نقشه‌های پیش‌بینی کننده

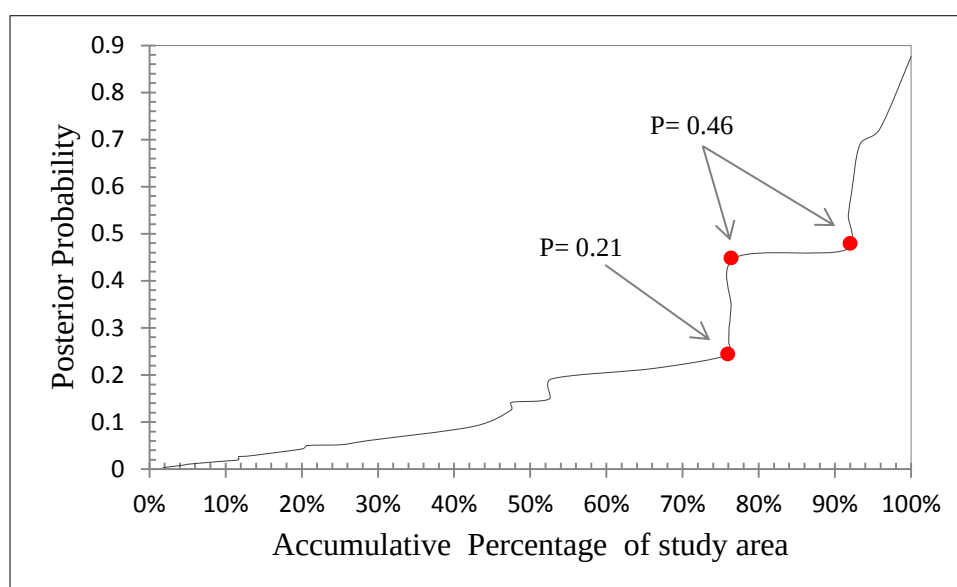
	PC1	PC3	PC4	Et,v	Esp	Phyllic-Argyllic	Propylitic	iron oxide	Buffer Faults
PC1	1	0.414	0.076	0.136	0.006	0.412	0.136	0.834	0.006
PC3		1	0.412	2.753	0.034	4.918	0.160	2.227	0.034
PC4			1	0.136	0.006	0.861	0.136	0.412	0.006
Et,v				1	0.692	4.482	0.208	2.752	0.331
Esp					1	1.38	0.331	0.034	0.234
Phyllic-Argyllic						1	0.160	0.884	0.034
Propylitic							1	0.160	0.331
iron oxide								1	0.034
Buffer faults									1

در ادامه مقادیر احتمال متقدم (Prior probability)، اتفاق متقدم (Prior odds) و لوجیت اتفاق متقدم (Logit(D)) محاسبه شد که به ترتیب برابر 0.0035043، 0.003516624 و -5.6502538 می‌باشد. با استفاده از لوجیت اتفاق متقدم و مقادیر وزن‌های مثبت و منفی لایه‌های شاهد، احتمال متأخر بدست آمد که درجه پتانسیل یا مطلوبیت کانی‌سازی را مشخص می‌کند. سپس احتمال متأخر طبقه‌بندی و نقشه آن تهیه شد که در شکل (۵-۱۰) مشاهده می‌شود.



شکل ۵-۱۰: نقشه پتانسیل معدنی ذخایر پلی‌متال براساس روش وزن‌های نشانگر (با در نظر گرفتن استقلال شرطی در سطح اطمینان ۰.۹۸).

میزان احتمال متأخر بیش از ۹۵ یا ۹۹ درصد نشان می‌دهد که استقلال شرطی نقض شده و یک فرض استقلال شرطی باید رد شود. به منظور حل این مشکل از سطح اطمینان ۹۵ درصد استفاده شد که میزان کای آن برابر با ۳/۴ می‌باشد. با توجه به جدول (۵-۶) نقشه‌های شاهد PC3، Et,v و دگرسانی فیلک-آرژلیک در این سطح اطمینان حذف و نقشه احتمال متأخر مجدداً محاسبه گردید. برای کلاسه‌بندی نقشه احتمال متأخر یک نمودار که محور افقی آن درصد مساحت تجمعی و محور عمودی مقادیر احتمال متأخر متناظر با مساحت تجمعی است، ترسیم شد (شکل ۵-۱۱). نقشه نهایی کلاسه‌بندی شده احتمال متأخر در شکل (۵-۱۲) مشاهده می‌شود که بر اساس این نقشه، منطقه مورد مطالعه به سه بخش مطلوبیت پایین، متوسط و بالا تقسیم می‌شود.



شکل ۵-۱۱: نمودار درصد مساحت تجمعی و مقدار احتمال متأخر

جهت بررسی آزمون استقلال شرطی دوم تعداد اندیس‌های پیش‌بینی شده با استفاده از رابطه (۵-۲۷) محاسبه شد که اختلاف بین تعداد ذخایر مشاهده‌ای و پیش‌بینی شده حدود ۱۵٪ می‌باشد، بنابراین فرض استقلال شرطی مورد قبول است. با توجه به شکل (۵-۱۲) به منظور ادامه اکتشافات در مرحله نیمه تفضیلی، مناطق دارای احتمال بالاتر از ۲۱٪ با مساحت ۴۷/۰۸ کیلومتر مربع حدود ۹۱/۰ درصد از کل منطقه مورد مطالعه را پوشش می‌دهد و به عنوان مناطق پتانسیل بالا معرفی می‌شود.

۵-۴- تهیه نقشه پتانسیل معدنی ذخایر پلی‌متال به روش فازی (دانش محور) در منطقه

مورد مطالعه

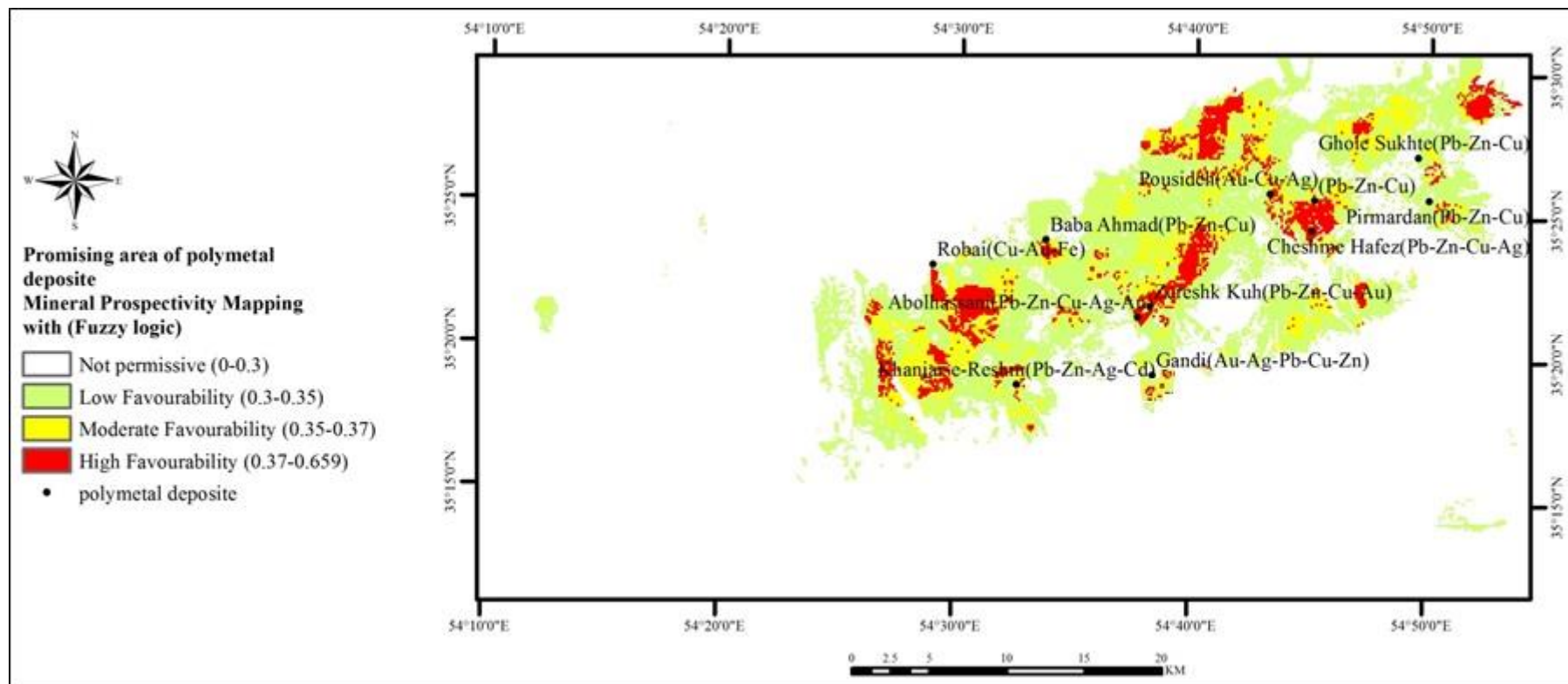
همان‌طور که گفته شد تهیه نقشه پتانسیل معدنی فرآیندی چند مرحله‌ای است که مراحل اصلی تهیه آن شامل تعیین فاکتورهای تشخیص کانی‌سازی، آماده‌سازی اطلاعات، تهیه نقشه‌های شاهد، تلفیق نقشه‌ها و ارزیابی نتایج است. از آن‌جایی که هدف نهایی این پایان‌نامه، پتانسیل‌یابی عناصر پلی‌متال است، هر چه اطلاعات و لایه‌های اکتشافی بیشتری در اختیار باشد، نتایج مطلوب‌تری به دست خواهد آمد؛ بنابراین از لایه‌های اطلاعاتی زمین‌شناسی، لایه گسل‌ها، لایه‌های ژئوشیمیایی و لایه‌های بدست آمده از تحلیل داده‌های دورسنجی استفاده شده است.

تهیه نقشه پتانسیل معدنی به روش فازی نیازمند تعریف توابع عضویت فازی مناسب می‌باشد. با استفاده از توابع عضویت فازی لایه‌های شاهد در بازه $[0,1]$ قرار می‌گیرند. برای فازی‌سازی تمام لایه‌های شاهد در این مطالعه، از تابع عضویت Linear استفاده شد و لایه‌های مورد نظر فازی شدند. در مرحله بعدی برای وزن‌دهی لایه‌ها، روش AHP به کار برده شد. در وزن‌دهی به روش تحلیل سلسله‌مراتبی ابتدا لایه‌های اصلی و زیر لایه‌ها در یک ماتریس قرار گرفته و ماتریس مقایسه زوجی برای هر یک از لایه‌های اصلی و زیر لایه‌ها تشکیل می‌شود و به تعیین اهمیت وزن لایه‌های اصلی و زیر لایه‌ها پرداخته و آهنگ ناسازگاری ماتریس سلسله‌مراتبی محاسبه می‌شود. در جدول (۵-۷) وزن‌های مربوط به هر یک از لایه‌های شاهد و نرخ ناسازگاری آورده شده است. نرخ ناسازگاری نشان می‌دهد که ماتریس مقایسه زوجی برای معیارهای پتانسیل معدنی ذخایر پلی‌متال در منطقه مورد مطالعه در محدوده قابل قبولی قرار دارد. بنابراین وزن‌های بدست آمده در لایه‌های فازی شده ضرب و لایه‌های شاهد وزن‌دار فازی تولید می‌شود. در مرحله آخر لایه‌های شاهد وزن‌دار فازی شده با استفاده از عملگر گاما ($\gamma=0.9$) تلفیق شدند (شکل ۵-۱۳). با توجه به شکل (۵-۱۳) مناطق با احتمال کانه‌زایی به ترتیب اولویت مشخص گردیدند که مناطق به رنگ قرمز در واقع دارای پتانسیل کانه‌سازی

بیش تر نسبت به دیگر مناطق می باشند.

جدول ۵-۷: وزن لایه و زیر لایه ها به روش تحلیل سلسله مراتبی

وزن نهایی زیر معیار	وزن زیر معیار	زیر معیار	وزن معیارها	معیارها
0.255	0.441	مؤلفه اول (PC1)	0.451	ژئوشیمی
0.064	0.111	مؤلفه سوم (PC3)		
0.255	0.444	مؤلفه چهارم (PC4)		
0.08	0.493	فیلک-آرژیلیک	0.107	دگرسانی
0.029	0.139	اکسید آهن		
0.012	0.087	کربناته		
0.012	0.087	سیلیسی		
0.013	0.194	پروپیلیتیک		
0.180	-	-	0.293	زمین شناسی
0.114	-	گسل	0.185	ساختارها
0.02	CR<0.1			



شکل ۵-۱۳: نقشه پتانسیل معدنی ذخایر پلی‌متال براساس روش فازی در منطقه مورد مطالعه

۵-۵- اعتبارسنجی مدل پتانسیل معدنی

اعتبارسنجی مدل‌های پتانسیل معدنی از طریق محل ذخایر معدنی شناخته شده پلی‌متال در منطقه انجام می‌شود. بنابراین اندیس‌ها و معادن فعال بر روی نقشه‌های (۵-۱۲) و (۵-۱۳) نمایش داده شده است که طبق این نقشه‌ها اکثر ذخایر شناخته شده در مناطق با مطلوبیت بالا و برخی دیگر از ذخایر نیز در مناطق با مطلوبیت متوسط قرار گرفته‌اند.

برخی از ذخایر پلی‌متال که در مناطق پتانسیل‌دار قرار گرفته‌اند با توجه به مطالعات زمین‌شناسی انجام شده در منطقه عبارتند از:

- کانسار سرب- روی- مس چشمه حافظ: منطقه معدنی چشمه حافظ از سنگ‌های آتشفشانی- آذر آواری با ترکیب آندزیت- آندزیت بازالت و تراکی آندزیت تشکیل شده است. در این ناحیه کانی‌زایی عمدتاً در ارتباط با گسل‌های اصلی انجیلو و تروود است. دگرسانی‌ها در منطقه چشمه حافظ شامل پروپیلیتیک، کلریتی، سربیسیتی، آرژیلی و سیلسی شدن است (Mehrabi, 2012).

- کانسار سرب- روی- نقره خانجار: عمده‌ترین کانی‌های تشکیل دهنده‌ی این کانسار شامل گالن، اسفالریت، کالکوپریت و پیریت می‌باشد. این کانسار به عنوان تیپ MVT معرفی شده است که سنگ میزبان آن سنگ آهک‌های کرتاسه است (راستاد و همکاران، ۱۳۷۷).

- کانسار پلی‌متال فلزات پایه گندی و ابوالحسنی: کانی‌سازی در مناطق گندی و ابوالحسنی در ارتباط با فعالیت‌های گرمایی و به صورت شکاف پرکن و در میزبانی از سنگ‌های آذرآواری دانه ریز با ترکیب فلسیک و سنگ‌های آتشفشانی فلسیک تا حدواسط به وقوع پیوسته است. در این کانسارها سولفیدهای فلزات پایه (گالن، اسفالریت و کالکوپریت) به همراه پیریت، نقره و طلا در زون‌های برشی حاصل از عملکرد گسل‌ها تشکیل شده‌اند (Shamanian et al, 2004).

۵-۶- مقایسه‌ی نقشه پتانسیل مطلوب بدست آمده به روش فازی و روش وزن‌های نشانگر

۱- با توجه به نقشه پتانسیل معدنی بدست آمده به روش وزن‌های نشانگر مناطق با پتانسیل بالا

دارای مساحت ۴۷/۰۸ کیلومتر مربع بوده که حدود ۱ درصد از کل منطقه مورد مطالعه را

پوشش می‌دهد اما در روش فازی مناطق با پتانسیل بالا دارای مساحت ۵۵ کیلومتر مربع بوده

و ۱/۰۶۲ درصد از کل منطقه را پوشش می‌دهد.

۲- در روش وزن‌های نشانگر ۵ محدوده برای ذخایر پلی‌متال شناسایی شد (شکل ۵-۱۴) که

محل‌های احتمالی وقوع کانی‌سازی را نشان می‌دهند ولی در روش فازی ۶ محدوده شناسایی

شد که در شکل (۵-۱۵) مشاهده می‌شود. زون‌های کانی‌سازی مشخص شده با نقاط شاهد

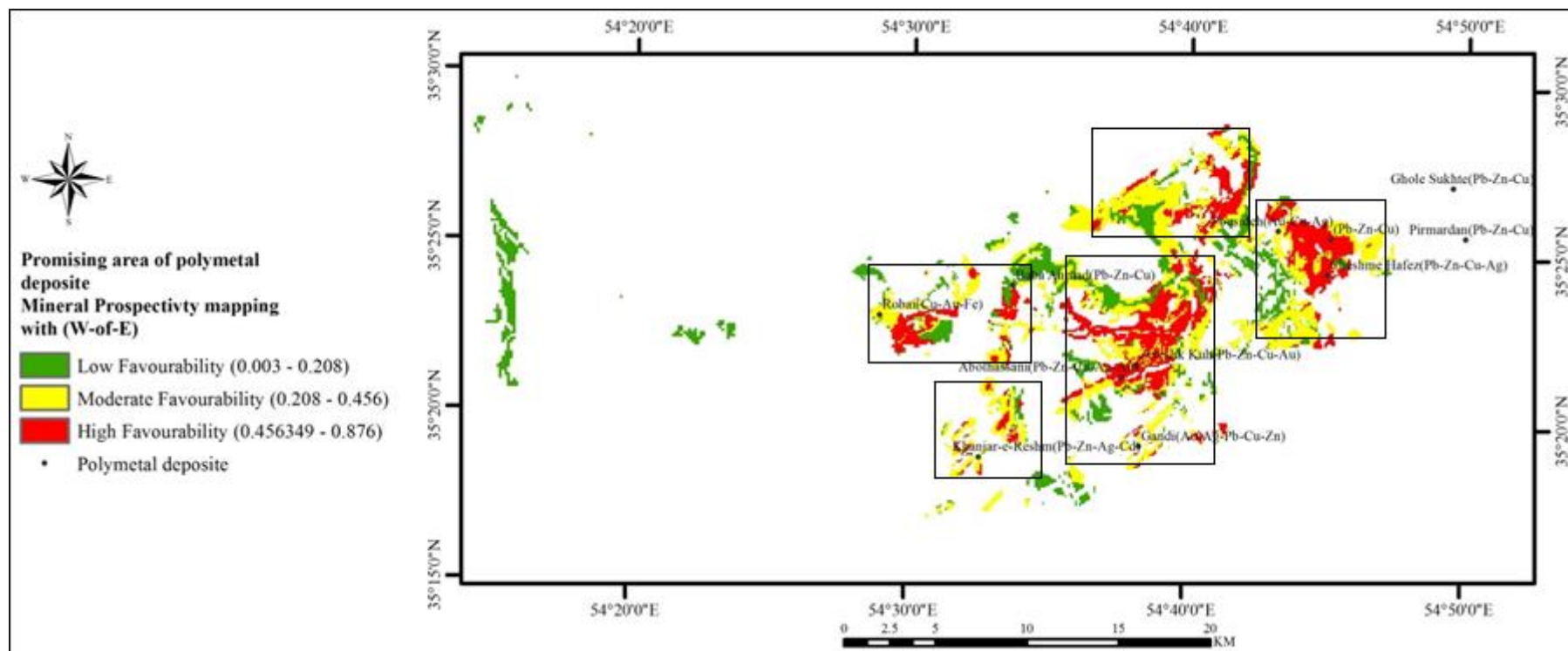
کانی‌سازی چندفلزی منطبق می‌باشند، با این تفاوت که زون شرقی در روش فازی با هیچ

اندیس پلی‌متال شناخته شده منطبق نیست که با بررسی خصوصیات زمین‌شناسی،

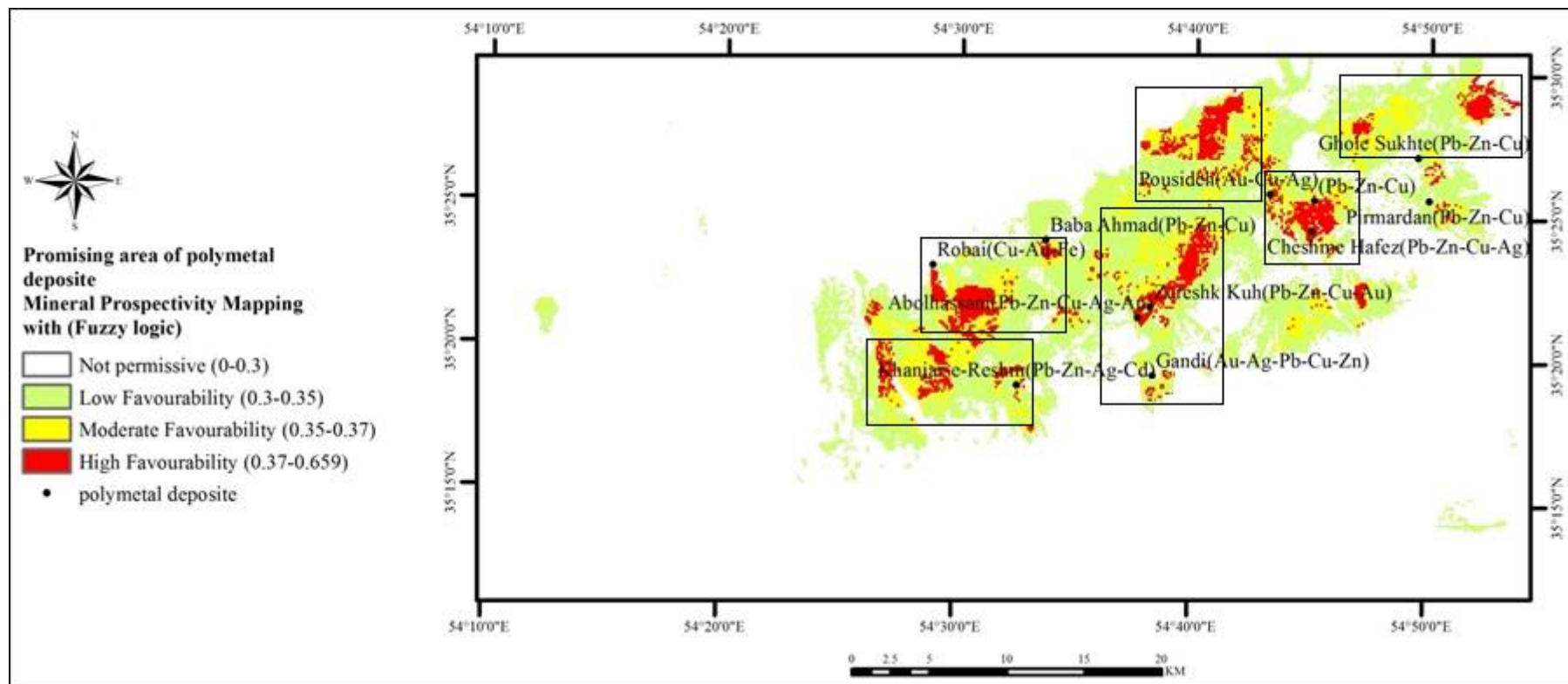
آلتراسیون و دیگر کنترل کننده‌های کانی‌سازی در این زون، پتانسیل مشخص شده می‌تواند

مربوط به مس یا چندفلزی باشد. با مطالعه اندیس‌ها و معادن مربوط به منطقه، معدن مس

چاه موسی در این محدوده قرار دارد.



شکل ۵-۱۴: نقشه نهایی مناطق امید بخش معرفی شده با استفاده از روش وزن‌های نشانگر



شکل ۵-۱۵: نقشه پتانسیل معدنی مناطق امید بخش معرفی شده با استفاده از روش فازی

فصل ششم

نتیجه‌گیری

۶-۱- نتیجه گیری

۱- در این پژوهش روش وزن‌های نشانگر به عنوان یک روش داده محور به منظور نقشه‌برداری پتانسیل معدنی استفاده شد. ابتدا لایه‌های اطلاعاتی که شامل نقشه زمین‌شناسی، بافر گسل، دگرسانی‌ها (فیلیک، آرژیلیک، پروپیلیتیک، سیلیسی، کربناته و اکسید آهن) و نقشه‌های ژئوشیمیایی PC1، PC3 و PC4 می‌باشند را با یکدیگر تلفیق نموده و نقشه پتانسیل معدنی ذخایر پلی‌متال در این منطقه تهیه شد. در ادامه این نقشه پتانسیل معدنی از نظر اهمیت کانی‌سازی طبقه‌بندی گردید و مناطق با پتانسیل بالا مشخص شدند که نتایج حاصل از این روش انطباق خوبی با اندیس‌های معدنی و زمین‌شناسی منطقه دارد.

۲- به طور کلی استفاده از روش‌های داده محور برای تهیه نقشه پتانسیل معدنی در مناطق با تعداد زیادی ذخیره شناخته شده، مناسب هستند. حال اگر تعداد رخداد‌های کانه‌زایی به اندازه کافی موجود نباشد، روش‌های دانش محور استفاده می‌شود. با توجه به تعداد اندک ذخایر شناخته شده در منطقه مورد مطالعه از روش منطق فازی جهت تهیه نقشه پتانسیل معدنی استفاده شد که نقشه حاصل از آن ارتباط مکانی خوبی با رخداد‌های کانه‌زایی پلی‌متال در منطقه نشان می‌دهد.

۳- مقایسه نقشه پتانسیل معدنی به دست آمده از روش منطق فازی و روش وزن‌های نشانگر حاکی از شناسایی مناطق یکسانی توسط هر دو روش به عنوان مناطق پتانسیل‌دار می‌باشد اما در روش فازی در قسمت شرق محدوده یک زون بیشتر بارزسازی شده است که در محدوده معدن مس چاه موسی می‌باشد.

۶-۲- پیشنهادها

۱- پیشنهاد می‌شود بر روی نواحی با احتمال پتانسیل کانی‌سازی متوسط تا بالا معرفی شده در این تحقیق، کنترل‌های زمینی دقیق‌تر و بیش‌تر انجام شود و در صورت تأیید شواهد سطحی کانی‌سازی، اقدام به برنامه‌ریزی عملیات اکتشافی بعدی گردد.

۲- مطالعات ژئوشیمیایی به صورت نمونه‌برداری سنگی با شبکه نمونه‌برداری متراکم‌تر و همچنین نمونه‌برداری از کانی‌های سنگین در مناطق با پتانسیل بالا انجام گیرد.

۳- می‌توان از سایر روش‌های مدل‌سازی پتانسیل معدنی برای منطقه مورد مطالعه استفاده نمود و نتایج حاصل را به منظور دستیابی به بهترین مدل پتانسیل معدنی با یکدیگر مقایسه نمود.

منابع و مأخذ

منابع فارسی

آلیانی ف، دادفر ث. و معانی جو م، (۱۳۹۳) "آشکارسازی زون‌های دگرسانی کانسار حاجی آباد، با استفاده از داده‌های (NVIR+SWIR) سنجنده ASTER" **مجله علوم زمین‌شناسی مهندسی و محیط زیست**، شماره ۹۴، سال ۲۴، ص ۷۳-۸۰.

آقاجانی ح، (۱۳۷۵)، پایان‌نامه ارشد: "مطالعات اکتشافات ژئوشیمیایی کانسار طلای کوه زر دامغان"، دانشکده فنی، دانشگاه تهران.

پورشعبان ا، خاکزاد ا. و ابراهیمی ا، (۱۳۸۹)، "مطالعات کانه‌نگاری و لیتوژئوشیمیایی در کانسار مس رگه‌ای کلاته مهران سمنان" **فصلنامه علمی پژوهشی زمین و منابع واحد لاهیجان**، شماره چهارم، دوره ۳، ص ۲۵-۳۰.

تاجیک م. و کاکائی ر، (۱۳۸۵)، "تفکیک دگرسانی‌ها و شناسایی مناطق امید بخش معدنی با پردازش رقومی داده‌های ماهواره‌ای ETM (برگه ۱:۱۰۰۰۰۰ جبال بارز)"، دهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، دانشگاه تربیت مدرس.

حسنی پاک ع و شرفالدین م، (۱۳۸۰) "تحلیل داده‌های اکتشافی" چاپ اول، انتشارات دانشگاه تهران، تهران.

درویش‌زاده ع، (۱۳۷۰) "زمین‌شناسی ایران" انتشارات امیرکبیر، ص ۹۰۱.

راستاد ا، تاج الدین ح، رشید نژاد عمران، ن. و باباخانی ع، (۱۳۷۹) "خاستگاه و پتانسیل طلا (مس) در محدوده معدنی دارستان- باغو (جنوب دامغان)" **فصلنامه علوم زمین**، شماره ۳۵-۳۶، دوره ۹، ص ۶۰-۷۹.

رفاهی د، خاکزاد ا، نظافتی ن، فیروزی خ. و بیاتانی ع، (۱۳۹۳) "مطالعه‌های پهنه‌های دگرسانی در شمال سراب با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای، ژئوفیزیک هوایی و تجزیه نمونه‌های صحرایی" **مجله علوم زمین**، شماره ۹۳، سال ۲۴، ص ۲۲۱-۲۳۴.

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

شریعتی بیدار م، (۱۳۷۵)، "طرح اکتشاف مس در استان سمنان".

شمعانیان، غ. ح، (۱۳۸۲)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، "مطالعه دگرسانی و کانی‌سازی گرمابی فلزات پایه و گران‌بها در منطقه معلمان، جنوب شرق دامغان، استان سمنان، ایران"، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی.

شمعانیان غ. ح، (۱۳۸۲)، "گزارش نقشه زمین‌شناسی ۱:۵۰۰۰ محدوده اکتشافی ابوالحسنی - چشمه سفید - زرشک کوه «منطقه معلمان - سمنان»"، طرح اکتشاف طلا.

شمعانیان غ. ح، (۱۳۷۵)، "گزارش نقشه زمین‌شناسی ۱:۵۰۰۰ محدوده اکتشافی پوسیده، شمال منطقه معلمان، استان سمنان"، طرح اکتشاف طلا.

فضائی ع، (۱۳۷۷)، "اکتشافات ژئوشیمیایی - کانی سنگین نیمه تفضیلی در منطقه‌ی معلمان (جنوب شرق دامغان)"، طرح اکتشاف طلا، سازمان زمین‌شناسی کشور.

طالع ماسوله س، قربانی م. و حکیمی آسیابر س، (۱۳۸۹) "مطالعه زمین‌شناسی اقتصادی کانسار مس چاه گله شمال غرب ترود سمنان" فصلنامه علمی پژوهشی زمین و منابع واحد لاهیجان، شماره ۱، دوره ۳، ص ۳۹-۵۰.

عادلی ک، پورحسن م. و حاجی محمد ع، (۱۳۶۹)، "گزارش زمین‌شناسی و متالوژنی سرب و روی ناحیه ترود - خارتوران (خاور سمنان)"، سازمان زمین‌شناسی کشور، گزارش شماره ۲۶.

عبادی ل، علوی ا. و شفیعی بافتی ش، (۱۳۹۰) "توسعه ساختارهای کششی در یک رژیم ترافشارشی و ارتباط آن‌ها با تشکیل کانسارهای نوع رگه‌ای و مس پورفیری در شمال خاور شهر بابک" فصلنامه علوم زمین،

شماره ۸۱، دوره ۲۱، ص ۱۰۱-۱۱۴.

عبدالهی حیدرباغی ا، (۱۳۹۵)، پایان نامه ارشد: "زمین شناسی، کانی شناسی، ژئوشیمی و الگوی تشکیل کانسار مس و آهن رباعی، جنوب دامغان"، دانشکده علوم زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود.

علی محمدی م، بهنیا پ، خاکزاد ا. و قربانی م، (۱۳۸۷) "شناسایی کانی های دگرسانی گرمابی (هیدروترمالی) و بخش های سیلیسی همراه با کانی زایی طلا در ناحیه طلادار هیرد (جنوب بیرجند) با استفاده از داده های سنجنده ASTER" فصلنامه علوم زمین، شماره ۷۰، دوره ۱۸، ص ۱۵۴-۱۶۵.

قربانی م، (۱۳۸۶) "زمین شناسی اقتصادی ذخایر معدنی و طبیعی ایران" چاپ دوم، انتشارات آراین زمین، تهران.

کوثری س، شمس م. ج. و برنا ب، (۱۳۷۵)، "گزارش هیئت اعزامی جهت بررسی و کنترل گزارشات پروژه اکتشافات ژئوشیمیایی محور سمنان- کاشمر به کشور چین"، سازمان زمین شناسی کشور.

کهنسال ر، (۱۳۷۶)، پایان نامه ارشد: "بررسی پترولوژی سنگ های پلوتونیک ائوسن پسین- الیگوسن منطقه معلمان دامغان"، دانشکده علوم پایه، دانشگاه آزاد اسلامی.

کی نژاد ا، پور کرمانی م، آراین م، سعیدی ع. و لطفی م، (۱۳۸۹) "بررسی شکستگی های شمال منطقه تروند- معلمان (ایران مرکزی- جنوب خاور دامغان) و ارتباط آن با کانی زایی منطقه" فصلنامه علوم زمین، شماره ۲، دوره ۵، ص ۸۱-۹۷.

مصدق م، فردوست ف. و اسدالله ص، (۱۳۹۳)، "بررسی زمین شناسی و کانی شناسی کانسار منگنز هلالان، جنوب دامغان"، ششمین همایش انجمن زمین شناسی اقتصادی ایران، دانشگاه سیستان و بلوچستان.

ملکی ش، قوامی ر، کتال ر. و آب نیکی م، (۱۳۹۱)، "پیش بینی غنی شدگی مس حاصل از داده های ژئوشیمیایی کانسار دالی با استفاده از ماشین برداری پشتیبان"، چهارمین کنفرانس مهندسی معدن ایران، تهران.

مؤمن‌زاده م، حسن‌زاده ب. و رشیدنژاد عمران ن، (۱۳۶۲)، "گزارش مختصری درباره جمع‌آوری اطلاعات مربوط به ذخائر در استان سمنان".

مهرابی م. و قاسمی سیانی م، (۱۳۸۹) "کانی‌شناسی و زمین‌شناسی اقتصادی کانسار پلی‌متال چشمه حافظ، استان سمنان، ایران" **مجله زمین‌شناسی اقتصادی**، شماره ۱، دوره ۲، ص ۱-۲۰.

مهری ب، راستاد ا. و فیاضی ف، (۱۳۸۹) "رخساره‌های کانه‌دار سرب-نقره (روی) خانجاری، در توالی کربناته کرتاسه بالایی ایران مرکزی، جنوب دامغان" **فصلنامه علوم زمین**، شماره ۷۵، دوره ۱۹، ص ۳-۱۲.

ناهیدی‌فر ا، (۱۳۹۳)، پایان‌نامه ارشد: "کانی‌شناسی، ژئوشیمی و ژنز کانسار مس دیان (جنوب دامغان)"، دانشکده علوم زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود.

هوشمندزاده ع، علوی نایینی م و حقی‌پور ع، (۱۳۵۷) "تحول پدیده‌های زمین‌شناسی ناحیه تروود (از پرکامبرین تا عهدحاضر)" سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

یوسفی م و شهرستانی ش، (۱۳۹۳) "نقشه‌برداری آنومالی ژئوشیمیایی و دورنمای معدنی در GIS" چاپ اول، انتشارات علم و دانش، تهران، ص ۲۱۲.

یوسفی م و کامکار روحانی ا، (۱۳۸۹) "اصول روشهای مدلسازی پتانسیل معدنی" انتشارات جهاد دانشگاهی امیرکبیر.

Reference

- Abedi M, Torabi S. A. and Norouzi G. H. (2013) "Application of fuzzy AHP method to integrate geophysical data in a prospect scale, a case study: Seridune copper deposit" **J. of .Bollettino di Geofisica Teorica e Applicata.**, Volume 54, Issue 2, pp 145-164.
- Adep R. N, shetty A. and Ramesh H. (2017) "EXhype: A tool for mineral classification using hyperspectral data" **J. of .Photogrammetry and Remote Sensing (ISPRS).**, Volume 124, pp 106-118.
- Abrams M, Hook S and Ramachandran B, (2002), "**Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer: Pasadena**", Aster users Handbook, Jet Propulsion Laboratory, p 135.
- Anjiedd M, (2008), "**Remote sensing and Geographical Information System**", Textbook, Third Edition, BS Publications, Hyderabad, India, pp162-163.
- Azizi H, Tarverdi M. A. and Akbarpour A. (2010), "Extraction of hydrothermal alteration from ASTER SWIR data form east Zanzan, northern Iran" **J. of .Advances in Space Research.**, Volume 46, Issue 1, pp 99-109.
- Bhatta B, (2013), "**Research Methods in Remote Sensing**", Springer Briefs in Earth Sciences, Publisher Springer Netherlands, pp125.
- Bonham-Carter G. F. (1994), "**Geographic Information System for Geosciences: Modelling with GIS**", Pergamon, Ontario, pp 416.
- Caranza E. J. M. (2008), "**Geochemical Anomaly and Mineral Prospectivity Mapping in GIS, Handbook of Exploration and Environmental Geochemistry**", volume 11, Elsevier, Amsterdam, pp 365.
- Caranza, E. J. M., (2011) "Geocomputation of mineral exploration targets" **J. of .Computers & Geosciences.**, Volume 37, Issue 12, pp 1907-1916.
- Carranza E. J. M. (2017) "Natural Resources Research Publications on Geochemical Anomaly and Mineral Potential Mapping, and Introduction to the Special Issue of Papers in These Fields" **J. of. Natural Resources Research.**, Volume 26, Issue 4, pp 379–410.
- Changjiang L, Tuhua M. and Junfa S. (2003) "Application of a fractal method relating concentrations and distances for separation of geochemical anomalies from background" **J. of .Geochemical Exploration.**, Volume 77, Issues 2-3, pp 167-175.
- Daya A. A. (2015) "Application of concentration-area method for separating geochemical

anomalies from background: a case study of Shorabhazi region, northwest of Iran” **Arabian J. of .Geosciences.**, Volume 8, Issue 6, pp 3905-3913.

Düzgün H. S. and Demirel N. (2011), **“Remote Sensing of the Mine Environment”**, 1st Edition, Taylor and Francis Group, UK, pp191.

Elachi C. and Van Zyl J. (2006), **“Introduction to the Physics and Techniques of Remote Sensing”**, 2nd Edition, Wiley & Sons, New Jersey, pp 616.

Green, A. A., Craig, M. D., 1985, **“Analysis of aircraft spectrometer data with logarithmic residual: Proceeding”**, AIS workshop, 8-10 April 1985, JPL Publication 85-41 , Jet Propulsion Laboratory Pasadena, California, pp 111-119.

González F. E, Ruiz M. J. and Acosta F. M. (2013), **“REMOTE SENSING TUTORIAL”**, Geoscience & Remote Sensing Society.

Hamedani M. L, Plimer I. R. and Xu C. (2012) **“Orebody modelling for exploration: the Western Mineralisation, Broken Hill, NSW” J. of .Natural Resources Research.**, Volume 21, Issue 3, pp 325–345.

Hartley B., (2014), Thesis Master of Science, **“Evaluation of Weights of Evidence to Predict Gold Occurrences in Northern Minnesota's Archean Greenstone Belts”**, Faculty of the USC Graduate School, University of Southern California.

Khaleghi M. and Ranjbar H. (2011) **“Alteration Mapping for Exploration of Porphyry Copper Mineralization in the Sardueh area, Kerman Province, Iran , Using ASTER SWIR Data” Australian J. of .Basic and Applied Sciences.**, Volume 5, Issue 8, PP 91-69.

Kruse F.A. (1988) **“Use of Airborne Imaging Spectrometer Data Map Minerals Associated With Hydrothermally Altered Rocks in the Northern Grapevine Mountains, Nevada, and California” J. of .Remote Sensing of Environment.**, Volum 24, pp 31-51.

Loughlin w. p. (1991) **“Principal Component Analysis for Alteration Mapping” J. of .Photogrammetric Engineering and Remote Sensing.**, Volume 57, Issue 9, pp 1163-1169.

Mars J. C. and Rowan L. C. (2006) **“Regional mapping of phyllic-and argillic-altered rocks in the Zagros magmatic arc, Iran, using Advanced spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) data and logical operator algorithms” J. of .Geosphere.**, Volume 2, Issue 3, pp 161-186.

Mehrabi B, Ghasemi S. M. and Tale F. E. (2015) **“Structural Control on Epitherml**

Mineralization in the Troud-Chah Shirin Belt Using point pattern fry Analyses, North of Iran” **J. of Geotectonics.**, Volume 29, Issue 4, pp 320-331.

Mehrabi B., Siani M.G., Goldfarb R., Azizi H., Ganerod M., Marsh E.E. (2016) “Mineral assemblages, fluid evolution, and genesis of polymetallic epithermal veins, Glojeh district, NW Iran” **Ore Geology Reviews**, Volume 78, pp.41-57.

Moore G. I. (1979) “what is a picture worth? A history of remote sensing / Quelle est la valeur d'une image? Un tour d'horizon de télédétection” **J. of .Hydrological Sciences Bulletin.**, Volume 24, Issue 4, pp 477-485.

Mostafavi Kashani B, Abedi M. and Norouzi Gh. H. (2016) “Fuzzy logic mineral potential mapping for copper exploration using multi-disciplinary geo-datasets, a case study in seridune deposit, Iran” **J. of .Earth Science Informatics.**, Volume 9, Issue 2, pp 167–181.

Nannan Z, Kefa Z. and Xishihui D. (2017) “Application of fuzzy logic and fuzzy AHP to mineral Prospectivity mapping of porphyry and hydrothermal vein copper deposits in the Dananhu-Tousuquan island arc, Xinjiang, NW China” **J. of .African Earth Sciences**, Volume 128, pp 84-96.

Nykänen V, Niiranen T, Molnár F, Lahti L, Korhonen K, Cook N. and Skyttä P. (2017) “Optimizing a Knowledge-driven Prospectivity Model for Gold Deposits Within Peräpohja Belt, Northern Finland” **J. of .Natural Resources Research.**, Volume 26, Issue 4, pp 571–584.

Pazand K, Hezarkhani A, Ataei M. and Ghanbari Y. (2011) “Combining AHP with GIS for Predictive Cu Porphyry Potential Mapping: A Case Study in Ahar Area (NW, Iran)” **J. of .Natural Resources Research.**, Volume 20, Issue 4, pp 251–262.

Porwal A. and Carranza E. J. M. (2015) “Introduction to the Special Issue: GIS-based mineral potential modelling and geological data analyses for mineral exploration” **J. of .Ore Geology Reviews.**, Volume 71, pp 477-483.

Pradhan B, Oh H. and Buchroithner M. (2010) “Weights-of-evidence model applied to landslide susceptibility mapping in a tropical hilly area” **J. of .Geomatics, Natural Hazards and Risk.**, Volume 1, Issue 3, pp 200-223.

Rajendran S, Hersi O. S, Al-Harthy A, Al-Wardi M, El-Ghali M. A. and Al-Abri A H. (2011) “Capability of advanced spaceborne thermal emission and reflection radiometer (ASTER) on discrimination of carbonates and associated rocks and mineral identification of eastern mountain

region (Saih Hatat window) of Sultanate of Oman” **J. of .Carbonates Evaporites.**, Volum 26, Issue 4, pp 351-364.

Reimann C. and Filzmoser P. (2000) “Normal and lognormal data distribution in geochemistry: death of a myth. Consequences for the statistical treatment of geochemical and environmental data” **J. of .Environmental geology.**, Volume 39, Issue 9, pp 1001-1014.

Reimann C, Filzmoser P, Garrett R. G. and Dutter R. (2008), “**Statistical Data Analysis Explained: Applied Environmental Statistics with R**”, Chichester: Wiley, pp 362.

Sadeghi B, Khalajmasoumi M, Afzal P, Moarefvand P, Yasrebi A. B, Wetherelt A, Foster P. and Ziazarifi A. (2013), “Using ETM⁺ and ASTER sensors to identify iron occurrences in the Esfordi 1:100,000 mapping sheet of Central Iran” **J. of .African Earth Sciences.**, Volume 85, pp 103-114.

Saljoughi B. S, Hezarkhani A. and Farahbakhsh E. (2018) “A comparative study of fractal models and U-statistic method to identify geochemical anomalies; case study of Avanj porphyry system, Central Iran” **J. of .Mining & Environment.**, Volume 9, Issue1, pp 209-227.

Sentinel-2 User Handbook, 2015, <https://scihub.copernicus.eu>.

Solovov A. P. and Kuznetov V. (1987), “**Geochemical prospecting for mineral deposits: Mir**”, Moscow, pp 228.

Ueki K. and Iwamori H. (2017) “Geochemical differentiation processes for arc magma of the sengen volcanic cluster, Northeastern Japan, constrained from principal component analysis” **J. of .LITHOS.**, Volume 290-291, pp 60-75.

Van der Werff H. and Van der Meer F. (2016) “Sentinel-2A MSI and Landsat 8 OLI Provide Data Continuity for Geological Remote Sensing, faculty of Geo-information Science and Earth Observation” **J. of .Remote Sens.**, Volume 8, Issue11, p 1-16.

Van der Werff H. and Van der Meer F. (2015) “Sentinel-2 for Mapping Iron Absorption Feature Parameters” **J. of .Remote Sens.**, Volume 7, Issue 10, pp 12635-12653.

Yetkine E., (2003), Thesis Master of Science, “Alteration Mapping By Remote Sensing: Application To Hasandag - Melendiz volcanic Complex”, The Department Of Geological Engineering, The Middle East technical University, Turkey.

Yosefi M. and Nykänen V. (2017) “Introduction to the special issue: GIS-based mineral

potential targeting” **J. of .African Earth Sciences.**, Volume 128, pp 1-4.

Zeghouane H, Allek K. and Kesraoui M. (2016) “ GIS-based weights of evidence modeling applied to mineral prospectivity mapping of Sn-W and rare metals in Laouni area, Central Hoggar, Algeria” **Arabian J. of .Geosciences.**, Volume 373, Issue 9, pp 1-13.

Zumlot T, Goodell P. and Howari F. (2009) “Geochemical mapping of New Mexico, USA, using stream sediment data” **J. of .Environmental Geology.**, Volume 58, pp 1479- 1497.

Abstract

Regarding the importance of Troudeh-Chahshirin Metallogenic Belt, Geological maps 1:100000 Moaleman and Kalate Reshm were selected to prepare the potential maps of the polymetallic deposits. Geochemical, Geology, structural, remote sensing database from maps of 1: 100,000 Moaleman and Kalate Reshm were designed and implemented in GIS environment. Geological data were used to separate lithological units and identify the fault in the region. The argillic, propylitic, phyllic, carbonate, silic and the iron oxides were identified and separated in the region by processing ASTER and Sentinel-2A data. In the geochemistry section, 13 elements of Au, Ag, As, Pb, Zn, Sb, Mo, Bi, W, Cu, Co, Cr, Ni were selected for recognition of geochemical patterns in the study area. Then, by preprocessing on these elements, geochemistry maps were obtained using C-A method. Finally, exploration data were integrated using fuzzy and weighted of evidence Methods. Then the areas where all of the exploration criteria were approved each other were introduced in form of the map. In order to validate the mineral potential of maps were used of the polymetallic index in the region. Based on the mineral potential maps obtained by these methods, potential areas were identified and introduced for further studies.

Keywords: Polymetallic deposits, C-A fractal, Mineral Potential Modelling, Weights-of-evidence Method, Fuzzy Method, Moaleman, Kalate Reshm



Shahrood University of Technology
Faculty of Mining, Petroleum and Geophysics Engineering
M.s.c Thesis in Mineral Exploration

**Exploration new polymetal deposits in the geological sheets 1:100000 Moaleman
and Kalate Reshm**

By:

Zahra Mohamadi

Supervisor

Dr. Mansur Ziaii

Advisor:

Engineer Mahdi Ziaii

September 2018