





دانشگاه صنعتی شاهرود

دانشگاه صنعتی شاهرود
دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک

پایان نامه کارشناسی ارشد
گرایش مهندسی معدن - اکتشاف

بررسی های ژئوشیمیایی برای تفکیک آنومالی های ژئوشیمیایی و
مدل سازی پتانسیل معدنی (MPM) در برگه ۱:۱۰۰۰۰۰ فیض آباد

نگارش

مهرداد دویرن

اساتید راهنما

دکتر سید رضا قوامی ریابی

دکتر عباس مقصودی

دی ۱۳۹۶

شماره: ۹۹۴۲۰۶۸
تاریخ: ۹۶/۱۰/۲۴

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 آقای مهرداد دوبرن با شماره دانشجویی ۹۴۰۷۴۳۴ رشته مهندسی معدن گرایش اکتشاف تحت بررسی‌های ژئوشیمیایی برای تفکیک آنومالی‌های ژئوشیمیایی و مدل‌سازی پتانسیل معدنی (MPM) در برگه ۱:۱۰۰۰۰۰ فیض‌آباد که در تاریخ ۱۳۹۶/۱۰/۱۶ با حضور هیأت محترم داوران در دانشگاه صنعتی شاهرود برگزار گردید به شرح ذیل اعلام می‌گردد:

قبول (با درجه: ☒ خیلی خوب) ☐ مردود			
نوع تحقیق: ☐ نظری ☒ عملی			
عضو هیأت داوران	نام و نام خانوادگی	مرتبه علمی	امضاء
۱- استاد راهنمای اول	دکتر سیدرضا قوامی ریایی	دانشیار	
۲- استاد راهنمای دوم	دکتر عباس مقصودی	استادیار	—
۳- استاد مشاور	—	—	—
۴- نماینده تحصیلات تکمیلی	دکتر امین روشن دل کاهو	دانشیار	
۵- استاد ممتحن اول	دکتر حمید آقاجانی	دانشیار	—
۶- استاد ممتحن دوم	دکتر احمدرضا مختاری	دانشیار	—

نام و نام خانوادگی رئیس دانشکده:

تاریخ و امضاء و مهر دانشکده:

۹۶/۱۰/۲۴

تبصره: در صورتی که کسی مردود شود حداکثر یکبار دیگر در حدث مجاز تحصیل می‌تواند از پایان نامه خود دفاع نماید (دفاع

مجدد نباید زودتر از ۴ ماه برگزار شود).



تقدیم به:

پدر و مادرم...

خدای رابی ساکرم که از روی کرم، پدر و مادری فداکار نصیم ساخته تا دسیه درخت پربار وجودشان
بیایم و از ریشه آنها شاخ و برگ گیرم و از سایه وجودشان در راه کسب علم و دانش تلاش نمایم.
والدینی که بودنشان تاج افتخاری است بر سرم و نامشان دلیلی است بر بودنم، چرا که این دو وجود، پس از
پروردگار، مایه هستی ام بوده اند و دستم را گرفتند و راه رفتن را در این وادی زندگی پر از فراز و نشیب آموختند.
آموزگارانی که برایم زندگی، بودن و انسان بودن را معنا کردند...

تقدیر و تشکر:

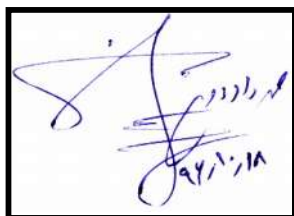
از اساتید گرامی، جناب آقای دکتر سید رضا قوامی ریایی و آقای دکتر عباس مقصودی، بسیار سپاسگزارم چرا
که بدون راهنمایی‌های ایشان تأمین این پایان نامه بسیار مشکل می‌نمود.
از جناب آقای مهندس رضا قزلباش به دلیل یاری‌های و راهنمایی‌های بی‌چشم داشت، که بسیاری از سختی‌ها را
برایم آسان‌تر نمودند.

شب‌های بجز را گذرانیدیم و زنده ایم ما را به سخت جانی خود این گمان نبود

تعهد نامه

اینجانب **مهرداد دوبرن** دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته **مهندسی معدن - اکتشاف دانشکده معدن، نفت و ژئوفیزیک** دانشگاه صنعتی **شاهرود** نویسنده پایان نامه **بررسی های ژئوشیمیایی برای تفکیک آنومالی های ژئوشیمیایی و مدل سازی پتانسیل معدنی (MPM) در برگه ۱:۱۰۰۰۰۰ فیض آباد** تحت راهنمایی جناب آقای **دکتر سیدرضا قوامی ریابی و آقای دکتر عباس مقصودی** متعهد می شوم:

- تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است.
- در استفاده از نتایج پژوهشهای محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است.
- مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است.
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه شاهرود می باشد و مقالات مستخرج با نام « دانشگاه 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 بافتهای آنها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری ، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است .



تاریخ

امضای دانشجو

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 صنعتی شاهرود می باشد. این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود.
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی باشد.

چکیده

شناسایی و تفکیک آنومالی‌های ژئوشیمیایی از زمینه یک امر بسیار مهم در بررسی‌های اکتشافی ژئوشیمیایی محسوب می‌شود و مستلزم انتخاب آگاهانه یک روش مناسب برای جداسازی الگوهای ژئوشیمیایی می‌باشد. از روش‌های قابل اعتماد در این زمینه، روش نمودار احتمال، فرکتال عیار - مساحت و روش آماره فضایی U می‌باشد. در این پژوهش، از داده‌های رسوب آبراهه‌ای برگه فیض آباد استفاده شده و بررسی‌های آماری و ژئوشیمیایی بر روی ۲۸ عنصر صورت گرفته است. براساس ارزیابی‌های انجام شده، در نهایت ۱۰ عنصر Zn ، Sb ، Pb ، Ni ، Hg ، Cu ، Cr ، Au ، As ، Ag ، Au برای شناسایی الگوهای ژئوشیمیایی موجود در منطقه انتخاب شده‌اند. براساس روش تحلیل مولفه‌های اصلی (PCA) بر روی عناصر مرتبط با کانی‌زایی‌های منطقه، به منظور تولید نقشه ژئوشیمیایی چند عنصری کمک گرفته شده است. روش‌های جدایش آنومالی از زمینه نظیر روش نمودار احتمال، روش فرکتال عیار-مساحت (C-A) و روش آماره فضایی U برای تفکیک جوامع ژئوشیمیایی و شناسایی مناطق هدف استفاده شده که با مقایسه آنومالی‌های حاصل با رخدادهای کانی‌زایی مس و طلا-مس در محدوده مورد مطالعه، روش آماره فضایی U نشان دهنده یک ارتباط فضایی مثبتی بوده است. برای مدل‌سازی پتانسیل معدنی، ۷ لایه اطلاعاتی به عنوان معیارهای اصلی انتخاب شدند که شامل لایه‌های ژئوشیمیایی، زمین‌شناسی -ساختاری و آلتراسیونی بوده است. لایه ژئوشیمیایی به دست آمده مربوط به امتیازات حاصل از مولفه دوم روش تحلیل مولفه‌های اصلی (PCA) مورد استفاده قرار گرفته است. لایه زمین‌شناسی -ساختاری شامل فاصله از واحدهای زمین‌شناسی مرتبط، توده‌های نفوذی و چگالی گسل است. فاصله از آلتراسیون‌های هیدروترمال موجود شامل آرژلیک، فلیک، پروپلیتیک و اکسید آهن نیز مد نظر قرار گرفته است. در این پژوهش در ابتدا از تابع تبدیل $MSLarge$ برای انتقال داده‌ها به دامنه (۰-۱) استفاده شده و سپس لایه‌های اطلاعاتی فازی سازی شده با استفاده از روش AHP به عنوان یک روش دانش‌محور مدل نهایی کانی‌زایی حاصل گردید. نقشه نهایی حاصل از روش AHP، انطباق بسیار مناسبی (۸۴ درصد) با رخدادهای کانی‌زایی مس و طلا -مس در محدوده مطالعاتی نشان می‌دهد. در نهایت با توجه به قرارگیری رخدادهای کانی‌زایی مس و طلا -مس بر روی آنومالی‌های شناسایی شده، مناطق پتانسیل جدید معرفی شده است.

واژه‌های کلیدی

رسوب آبراهه‌ای، مدل‌سازی نمودار احتمال، فرکتال عیار-مساحت، آماره فضایی U، مدل‌سازی پتانسیل معدنی، AHP، فیض‌آباد.

مقالات مستخرج از پایان نامه:

- M.Daviran, R.Ghavami, A.Maghsoudi, R.Ghezelbash, (2017) "Application of Concentration-Area (C-A) fractal model for identifying geochemical patterns within the Feizabad sheet", 35th National Geosciences Conference, Geological Survey of Iran, Tehran, Iran.
- M.Daviran, R.Ghavami, A.Maghsoudi, R.Ghezelbash, (2017) "Investigation and modeling the behavior of Cu towards Au by K-means clustering algorithm in Feizabad sheet", 10th National Geology Conference of Payame Noor University, Payame Noor University of Tabriz, Tabriz, Iran.
- M.Daviran, R.Ghavami, A.Maghsoudi, R.Ghezelbash, (2017) "Applying number-size (N-S) fractal model to demonstrate geochemical populations in Feizabad sheet", 10th National Geology Conference of Payame Noor University, Payame Noor University of Tabriz, Tabriz, Iran.
- M.Daviran, R.Ghavami, A.Maghsoudi, R.Ghezelbash, (2017) "Identification of Hydrothermal alteration zones using ASTER data in northern parts of Doruneh fault within the Feizabad sheet", 10th National Geology Conference of Payame Noor University, Payame Noor University of Tabriz, Tabriz, Iran.

فصل اول: کلیات.....	۱.....
۱-۱- مقدمه.....	۲.....
۱-۲- اهداف پژوهش.....	۳.....
۱-۳- داده‌ها و نرم‌افزارهای مورد استفاده.....	۴.....
۱-۴- ساختار پایان‌نامه.....	۴.....
فصل دوم: زمین‌شناسی منطقه.....	۵.....
۲-۱- مقدمه.....	۶.....
۲-۲- چینه‌شناسی فیض‌آباد.....	۹.....
۲-۲-۱- واحدهای کامبرین میانی.....	۹.....
۲-۲-۲- واحدهای کامبرین میانی-فوقانی.....	۱۱.....
۲-۲-۳- واحدهای اردوئین.....	۱۱.....
۲-۲-۴- واحدهای اردوئین-سیلورین.....	۱۲.....
۲-۲-۵- واحدهای دونین.....	۱۲.....
۲-۲-۶- واحدهای ژوراسیک.....	۱۳.....
۲-۲-۷- واحدهای کرتاسه.....	۱۳.....
۲-۲-۸- سنگ‌های افیولیتی.....	۱۳.....
۲-۲-۹- واحدهای ترشیر.....	۱۳.....
۲-۲-۱۰- واحدهای الیگوسن.....	۱۵.....
۲-۲-۱۱- واحدهای نتوژن.....	۱۵.....
۲-۲-۱۲- ماگماتیسیم ترشیر.....	۱۵.....
۲-۲-۱۳- واحدهای کواترنر.....	۱۶.....
۲-۳- تکتونیک و تاریخچه زمین‌شناسی فیض‌آباد.....	۱۶.....
۲-۴- کانی‌زایی‌های فلزی منطقه.....	۱۸.....
۲-۵- برخی از کانسارهای مهم منطقه.....	۱۸.....
۲-۵-۱- طلای پلاسری زرمهر.....	۱۸.....
۲-۵-۲- طلای تنورچه.....	۲۰.....
۲-۶- نمونه‌برداری در منطقه مورد مطالعه.....	۲۰.....
۲-۷- آماده‌سازی و آنالیز نمونه‌های برداشت شده.....	۲۱.....
فصل سوم: روش‌شناسی.....	۲۳.....
۳-۱- مقدمه.....	۲۴.....
۳-۲- روش‌های جدایش آنومالی از زمینه.....	۲۵.....
۳-۲-۱- روش نمودار احتمال.....	۲۶.....
۳-۲-۲- روش‌های مبتنی بر هندسه فرکتال.....	۲۶.....

۲۸	۳-۲-۳- روش فرکتال عیار-مساحت.....
۲۹	۳-۲-۴- روش آماره فضایی U.....
۳۰	۳-۳- روش‌های مدل‌سازی پتانسیل معدنی.....
۳۲	۳-۴- تلفیق لایه‌های اطلاعاتی.....
۳۴	۳-۵- روش‌های دانش‌محور برای پتانسیل‌یابی معدنی.....
۳۴	۳-۵-۱- اصول روش‌های دانش‌محور.....
۳۵	۳-۵-۱-۱- استفاده از تکنیک‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره در روش‌های دانش‌محور.....
۳۶	۳-۵-۱-۲- فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP).....
۳۷	۳-۵-۱-۳- مدل‌سازی با استفاده از روش فازی پیوسته.....
۳۹	فصل چهارم: بررسی‌های ژئوشیمیایی و پتانسیل‌یابی معدنی.....
۴۰	۴-۱- مقدمه.....
۴۰	۴-۲- آماده‌سازی داده‌های ژئوشیمیایی.....
۴۱	۴-۳- مطالعات آماری تک متغیره.....
۴۷	۴-۴- مطالعات آماری چند متغیره.....
۴۸	۴-۴-۱- ضریب همبستگی.....
۴۹	۴-۴-۵- تحلیل خوشه‌ای داده‌ها.....
۵۲	۴-۴-۳- تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA).....
۵۵	۴-۵- مدل‌سازی بر اساس نتایج نمودار احتمال.....
۶۲	۴-۶- تعیین حد آنومال به روش فرکتال عیار-مساحت.....
۶۶	۴-۷- مدل‌سازی به روش آماره فضایی U.....
۷۱	۴-۸- مدل‌سازی فرکتال عیار-مساحت مؤلفه‌های اصلی کانی‌ساز.....
۷۲	۴-۹- مدل‌سازی آماره فضایی U مؤلفه‌های اصلی کانی‌ساز.....
۷۵	۴-۹- مدل‌سازی پتانسیل معدنی.....
۷۸	۴-۱۰-۲- فازی‌سازی لایه‌های پیوسته.....
۸۲	۴-۱۰-۳- مدل‌سازی پتانسیل معدنی با استفاده از روش AHP.....
۸۵	نتیجه‌گیری.....
۸۹	مراجع.....

شکل ۱-۲ محل قرار گیری ۶ برگه ۱:۱۰۰۰۰۰ درون برگه ۱:۲۵۰۰۰۰ تربت حیدریه.....	۶
شکل ۲-۲ موقعیت برگه ۱:۱۰۰۰۰۰ فیض آباد در شمال شرق ایران.....	۷
شکل ۳-۲ راه‌های دسترسی محدوده مطالعاتی فیض آباد.....	۸
شکل ۴-۲ نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ فیض آباد.....	۱۰
شکل ۵-۲ نقشه ساده شده زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ فیض آباد.....	۱۱
شکل ۶-۲ موقعیت محدوده زرمهر در زون سبزوار.....	۱۹
شکل ۷-۲ موقعیت نمونه‌های برداشت شده از منطقه مورد مطالعه.....	۲۲
شکل ۸-۲ موقعیت نمونه‌های برداشت شده از منطقه مورد مطالعه بر روی نقشه زمین‌شناسی.....	۲۲
جدول ۱-۴ پارامترهای مرکزیت، پراکندگی و زمینه داده‌های خام.....	۴۱
شکل ۱-۴ نمودار احتمال داده‌های Ag.....	۴۲
شکل ۲-۴ نمودار احتمال داده‌های As.....	۴۳
شکل ۳-۴ نمودار احتمال داده‌های Au.....	۴۳
شکل ۴-۴ نمودار احتمال داده‌های Sb.....	۴۴
شکل ۵-۴ نمودار احتمال داده‌های Cr.....	۴۴
شکل ۶-۴ نمودار احتمال داده‌های Cu.....	۴۵
شکل ۷-۴ نمودار احتمال داده‌های Hg.....	۴۵
شکل ۸-۴ نمودار احتمال داده‌های Ni.....	۴۶
شکل ۹-۴ نمودار احتمال داده‌های Pb.....	۴۶
شکل ۱۰-۴ نمودار احتمال داده‌های Zn.....	۴۷
شکل ۱۱-۴ دندروگرام داده‌ها به روش Average Linkage.....	۵۱
شکل ۱۲-۴ Scree plot حاصل از نتایج آنالیز فاکتوری ۲۸ عنصر.....	۵۳
شکل ۱۳-۴ نتایج مدل‌گذاری نمودار احتمال برای عنصر Ag.....	۵۷
شکل ۱۴-۴ نتایج مدل‌گذاری نمودار احتمال برای عنصر As.....	۵۷
شکل ۱۵-۴ نتایج مدل‌گذاری نمودار احتمال برای عنصر Au.....	۵۸
شکل ۱۶-۴ نتایج مدل‌گذاری نمودار احتمال برای عنصر Sb.....	۵۸
شکل ۱۷-۴ نتایج مدل‌گذاری نمودار احتمال برای عنصر Cr.....	۵۹
شکل ۱۸-۴ نتایج مدل‌گذاری نمودار احتمال برای عنصر Cu.....	۵۹
شکل ۱۹-۴ نتایج مدل‌گذاری نمودار احتمال برای عنصر Hg.....	۶۰
شکل ۲۰-۴ نتایج مدل‌گذاری نمودار احتمال برای عنصر Ni.....	۶۰
شکل ۲۱-۴ نتایج مدل‌گذاری نمودار احتمال برای عنصر Pb.....	۶۱

- شکل ۴-۲۲ نتایج مدل گذاری نمودار احتمال برای عنصر Zn..... ۶۱
- شکل ۴-۲۳ نمودارهای عیار -مساحت عناصر..... ۶۳
- شکل ۴-۲۴ نقشه های توزیع جوامع ژئوشیمیایی با استفاده از حدود آستانه نهایی بدست آمده از روش نمودار احتمال و فرکتال عیار -مساحت..... ۶۷
- شکل ۴-۲۵ هیستوگرام مقادیر U محاسبه شده روی داده های ژئوشیمیایی عناصر..... ۶۸
- شکل ۴-۲۶ نقشه های توزیع جوامع ژئوشیمیایی با استفاده از روش آماره فضایی U برای عناصر..... ۶۹
- ادامه شکل ۴-۲۶ نقشه های توزیع جوامع ژئوشیمیایی با استفاده از روش آماره فضایی U برای عناصر..... ۷۰
- شکل ۴-۲۷ نمودار تمام لگاریتمی فرکتال عیار -مساحت برای مقادیر حاصل از PC2..... ۷۱
- شکل ۴-۲۸ نمودار تمام لگاریتمی فرکتال عیار -مساحت برای مقادیر حاصل از PC4..... ۷۱
- شکل ۴-۲۹ هیستوگرام مقادیر U محاسبه شده روی مقادیر حاصل از PC2..... ۷۲
- شکل ۴-۳۰ هیستوگرام مقادیر U محاسبه شده روی مقادیر حاصل از PC4..... ۷۳
- شکل ۴-۳۱ نقشه نهایی توزیع ژئوشیمیایی برای مقادیر PC2 با استفاده از روش آماره فضایی U..... ۷۴
- شکل ۴-۳۲ نقشه نهایی توزیع ژئوشیمیایی برای مقادیر PC4 با استفاده از روش آماره فضایی U..... ۷۵
- شکل ۴-۳۳ نقشه بررسی ارتباط بین لایه های اطلاعاتی ژئوشیمیایی، زمین شناسی و گسل های محدوده فیض آباد..... ۷۷
- شکل ۴-۳۴ نقشه آلتراسیون های هیدروترمال فلیک، آرژلیک، پروپلیتیک و اکسید آهن حاصل از تصاویر ماهواره ای..... ۷۷
- شکل ۴-۳۵ نقشه پیوسته مقادیر تبدیل یافته فاصله از واحدهای زمین شناسی با استفاده از تابع MSLarge..... ۷۸
- شکل ۴-۳۶ نقشه پیوسته اثرات ژئوشیمیایی تبدیل یافته مقادیر PC2 با استفاده از تابع MSLarge..... ۷۹
- شکل ۴-۳۷ نقشه مقادیر تبدیل یافته چگالی گسل با استفاده از تابع MSLarge..... ۷۹
- شکل ۴-۳۸ نقشه پیوسته مقادیر تبدیل یافته فاصله از آلتراسیون فلیک با استفاده از تابع MSLarge..... ۸۰
- شکل ۴-۳۹ نقشه پیوسته مقادیر تبدیل یافته فاصله از آلتراسیون آرژلیک با استفاده از تابع MSLarge..... ۸۰
- شکل ۴-۴۰ نقشه پیوسته مقادیر تبدیل یافته فاصله از آلتراسیون اکسید آهن با استفاده از تابع MSLarge..... ۸۱
- شکل ۴-۴۱ نقشه پیوسته مقادیر تبدیل یافته فاصله از آلتراسیون پروپلیتیک با استفاده از تابع MSLarge..... ۸۱
- شکل ۴-۴۲ نقشه پتانسیل نهایی مناطق امیدبخش با استفاده از روش AHP..... ۸۴

شکل ۴-۴۳ نقشه پتانسیل نهایی مناطق امیدبخش معرفی شده با استفاده از روش AHP ۸۸

جدول ۱-۳ مراحل مختلف مقایسه زوجی و مقادیر کمی شده هریک	۳۶
ادامه جدول ۱-۴ پارامترهای مرکزیت، پراکندگی و زمینه داده‌های خام	۴۲
جدول ۲-۴ محاسبه ضرایب همبستگی عناصر با استفاده از روش پیرسون	۵۰
جدول ۳-۴ مقادیر ویژه و واریانس برای هریک از ۶ مولفه اصلی	۵۴
جدول ۴-۴ نتایج حاصل از آنالیز فاکتوری ۲۸ عنصر	۵۵
جدول ۵-۴ حدود آستانه‌ای حاصل از مدل‌سازی نمودار احتمال	۵۶
جدول ۶-۴ حدود آستانه‌ای بدست آمده از روش فرکتال عیار -مساحت	۶۴
ادامه جدول ۶-۴ حدود آستانه‌ای بدست آمده از روش فرکتال عیار -مساحت	۶۵
جدول ۷-۴ حدود آستانه نهایی براساس مجموع دو روش نمودار احتمال و فرکتال عیار -مساحت ...	۶۵
ادامه جدول ۷-۴ حدود آستانه نهایی براساس مجموع دو روش نمودار احتمال و فرکتال عیار -مساحت	۶۶
جدول ۸-۴ حدود آستانه بدست آمده از روش آماره فضایی U	۶۹
جدول ۹-۴ وزن‌های اختصاص یافته زوجی و وزن‌های نهایی برای ۷ لایه اطلاعاتی شاهد بر اساس روش AHP	۸۲

۱

کلیات

۱-۱- مقدمه

کشور ایران با توجه به موقعیت و ساختار زمین‌شناسی خاص، از پتانسیل معدنی متنوعی برخوردار است. اکتشاف و ارزیابی فنی و اقتصادی ذخایر معدنی در مراحل سه‌گانه:

۱- انتخاب منطقه با استفاده از اطلاعات زمین‌شناسی و دورسنجی

۲- مشخص کردن هدف براساس روش‌های ژئوشیمیایی، ژئوفیزیکی و حفاری

۳- ارزیابی فنی و اقتصادی ذخایر به استناد اطلاعات حاصل از حفاری سیستماتیک صورت می‌پذیرد. ژئوشیمی به‌عنوان یک ابزار اکتشافی است که از سه بخش اساسی نمونه‌برداری، تجزیه نمونه‌ها و پردازش و تفسیر داده‌ی نمونه‌ها (سنگ، خاک، آب، گیاه و گازخاک) تشکیل شده است. این روش‌ها به طور گسترده در اکتشافات ناحیه‌ای و محلی به‌کار گرفته می‌شوند و به علت پوشش مناطق وسیع و هزینه پایین از اهمیت زیادی برخوردار می‌باشند (مدنی، ۱۳۹۰).

امروزه اکتشافات ژئوشیمیایی رسوبات آبراهه‌ای به منظور ارزیابی مناطق امیدبخش جهت اکتشافات تفصیلی مورد استفاده قرار می‌گیرند. تشخیص و جداسازی آنومالی‌های ژئوشیمیایی از زمینه، یکی از مهم‌ترین و اساسی‌ترین مسائل در اکتشافات ژئوشیمیایی می‌باشد (قوامی ریایی و دارابی گلستانی، ۱۳۹۳).

روش‌های آماری مختلفی برای جداسازی و تشخیص مناطق آنومال از زمینه توسعه یافته است. این روش‌ها از انواع غیرساختاری (براساس پارامترهای آماری توزیع) تا ساختاری (براساس ساختار فضایی داده‌ها) طبقه‌بندی می‌شوند. گروه دوم شامل روش‌هایی است که موقعیت و ارتباط فضایی نقاط نمونه‌برداری در تخمین مناطق آنومال در نظر گرفته می‌شوند. در روش‌های ساده، صرفاً پارامترهای آماری نظیر میانگین و انحراف معیار برای جدایش جوامع ژئوشیمیایی از زمینه مورد استفاده قرار می‌گیرد و از تغییرات فضایی داده‌ها صرف نظر می‌شود. در روش‌های پیچیده، موقعیت نقاط نمونه برداری و ارتباط فضایی آن‌ها در تخمین مناطق آنومال در نظر گرفته می‌شود (Carranza, 2008)؛ روش‌های مدل‌سازی نمودار احتمال (گروه اول)، روند سطحی (گروه دوم)، آماره فضایی U (گروه دوم) و روش‌های مبتنی بر هندسه فرکتال (گروه دوم) از جمله روش‌های تفکیک می‌باشند که به کمک این روش‌ها می‌توان آنومالی‌های ژئوشیمیایی را تشخیص داد و مقادیر آن را از مقادیر زمینه جداسازی نمود (حسنی‌پاک و شرف‌الدین، ۱۳۹۰).

فصل اول: کلیات

GIS به عنوان ابزاری، تلفیق لایه‌های اطلاعاتی با مختصات مکانی معین و ارتباط بین پدیده‌های موجود است. یکی از کاربردهای GIS که نقش بسیار مهم و کاربردی در مدیریت و توسعه تحقیقات اکتشافی دارد، یافتن مکان‌هایی با شرایط ویژه است که نیاز به ایجاد پایگاه داده به منظور به اشتراک گذاشتن لایه‌های اطلاعات و یافتن مدلی مناسب جهت تلفیق لایه‌های مختلف اطلاعاتی دارد (Bonham-Carter, 1994; Harris, 2000).

با ترکیب و تلفیق لایه‌های اطلاعاتی با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره همچون AHP، TOPSIS و روش‌های منطبق بر منطق فازی، در محیط GIS به جداسازی آنومالی‌های ژئوشیمیایی پرداخته و نقشه‌های پتانسیل معدنی که مناطق امیدبخش در آن‌ها شناسایی شده می‌توان دست یافت (Carranza, 2008).

۱-۲- اهداف پژوهش

هدف از انجام این تحقیق، به کارگیری مطالعات زمین‌شناسی، ژئوشیمیایی و دورسنجی جهت شناسایی نقشه پتانسیل کانی‌زایی کانسارهای مس و طلا- مس درون برگه فیض‌آباد می‌باشد. در این مطالعه تلاش شده تا با استفاده از روش‌های اکتشافی و پتانسیل‌یابی، مناطق امیدبخش و هدف از نظر کانی‌زایی شناسایی و در مراحل اکتشافات تفصیلی مورد استفاده قرار گیرد.

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

- مطالعه و تعیین پدیده‌های زمین‌شناسی و واحدهای سنگ‌شناسی مرتبط با کانی‌سازی در برگه فیض‌آباد،
- شناسایی و جدایش جوامع مختلف ژئوشیمیایی با استفاده از داده‌های رسوب آبراهه‌ای بوسیله تکنیک‌های مختلف،
- تلفیق لایه‌های اطلاعاتی و مدل‌سازی پتانسیل معدنی،
- استخراج پدیده‌ها توسط داده‌ها و ابزارهای اکتشافی و ارزیابی میزان ارتباط مکانی آن‌ها با رخدادهای معدنی شناخته شده،
- تعیین مناطق امیدبخش و هدف برای استفاده در مراحل اکتشافی تفصیلی.

۱-۳- داده‌ها و نرم‌افزارهای مورد استفاده

داده‌های مورد استفاده در این مطالعه عبارت از:

- نقشه زمین‌شناسی منطقه فیض‌آباد،
- موقعیت معادن، کانسارها و نشانه‌های کانی‌زایی ثبت شده مهم استخراج شده از نقشه‌ها و سایر منابع،
- تهیه تصویر DEM منطقه که با استفاده از نقشه توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰۰ تربت حیدریه،
- داده‌های ژئوشیمیایی رسوب آبراهه‌ای جمع‌آوری شده از منطقه فیض‌آباد،
- تصاویر ASTER مربوط به منطقه،
- گزارش‌ها و مقالات موجود از منطقه.

در راستای ارزیابی داده‌ها از نرم‌افزارهای Arc GIS 10.2، MATLAB 2015b، Probplot، GEOEAS، SPSS 22، ENVI 5.2، Adobe Photoshop CC2015 کمک گرفته شده است.

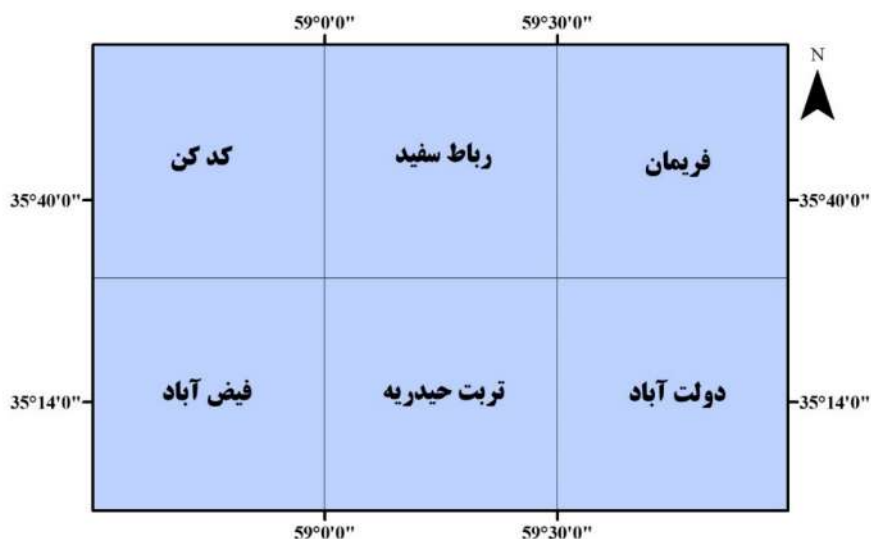
۱-۴- ساختار پایان‌نامه

این پایان‌نامه شامل چهار فصل می‌باشد که در فصل جاری کلیاتی درباره مسئله و اهداف پژوهش توضیح داده شده است. در فصل دوم منطقه مورد مطالعه به لحاظ زمین‌شناسی ناحیه‌ای و منطقه‌ای و ارتباط واحدهای سنگی با معادن، کانسارها و رخدادهای معدنی موجود در منطقه مورد مطالعه و داده‌های ژئوشیمیایی مورد استفاده به تفصیل شرح داده شده است. در فصل سوم مهم‌ترین روش‌های جدایش آنومالی از زمینه که از جمله مهم‌ترین مراحل شناسایی و اکتشاف کانسارهای فلزی بوده، شرح و روش‌های مختلف پتانسیل‌یابی معدنی بیان شده است. در فصل چهارم مدل‌سازی‌های مختلف ژئوشیمیایی بر روی داده‌های رسوب آبراهه‌ای انجام شده تا مناطق با پتانسیل مشخص و با استفاده از تلفیق لایه‌های اطلاعاتی مختلف که از مجموعه داده‌های موجود در منطقه مورد مطالعه به دست آمده‌اند، مدل‌سازی پتانسیل معدنی با استفاده از روش‌های روز مانند Fuzzy، AHP، انجام گرفته است.

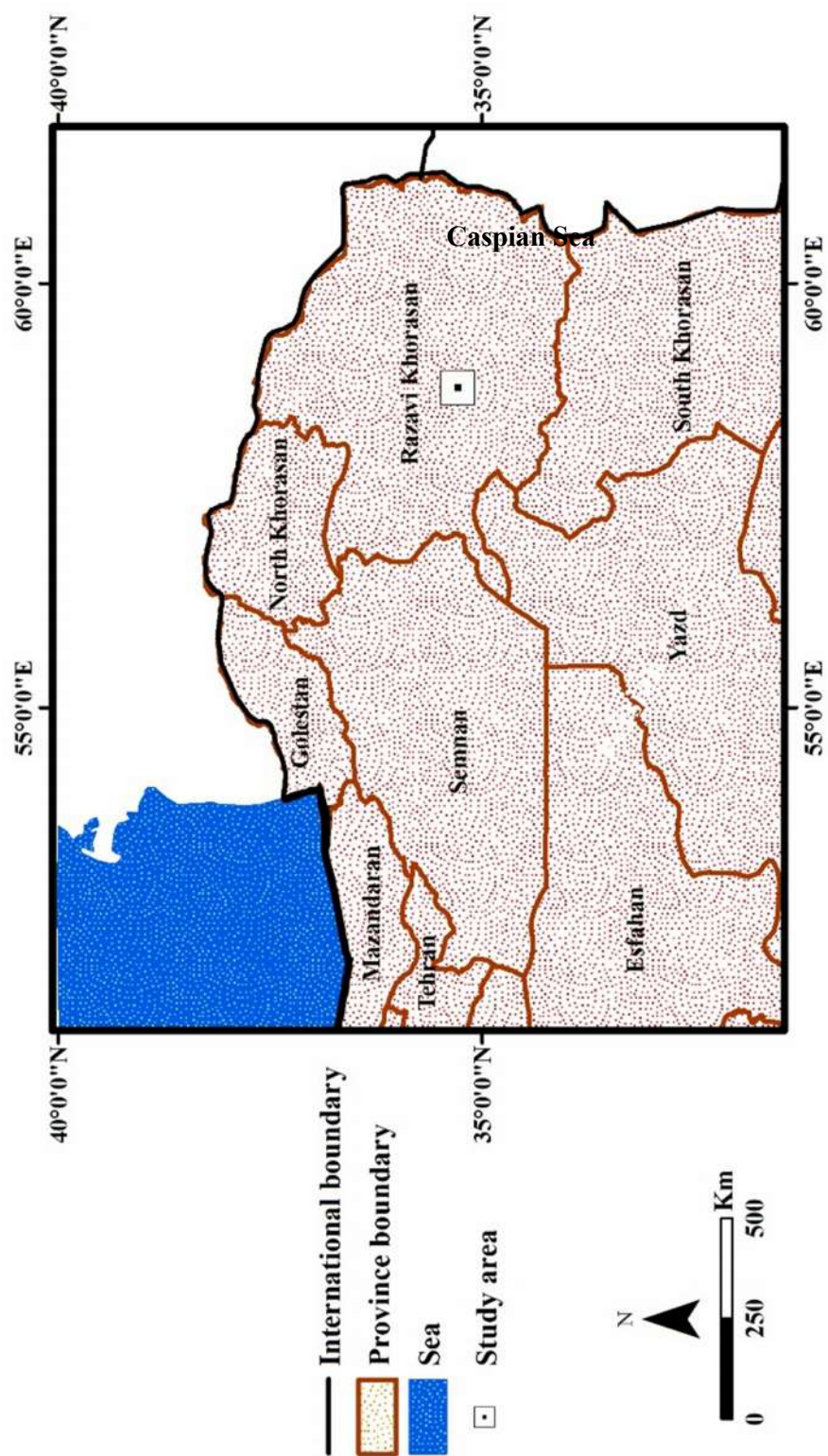
۲ زمین شناسی منطقه

۲-۱- مقدمه

منطقه فیض‌آباد در استان خراسان رضوی و ۱۸۵ کیلومتری جنوب شهرستان مشهد بین $30^{\circ}59'$ طول شرقی و 35° تا $30^{\circ}35'$ عرض شمالی واقع شده است (اشکال ۲-۱ و ۲-۲). محدوده مورد مطالعه در شمال شرق کشور، در مرکز-غرب استان خراسان رضوی واقع شده است. این ناحیه بخشی از ورقه ۱:۲۵۰۰۰۰ تربت حیدریه را تشکیل می‌دهد (شکل ۲-۱). مهم‌ترین راه‌های ارتباطی این ناحیه در شکل ۲-۳ قابل مشاهده می‌باشد. مهم‌ترین راه‌های ارتباطی این ناحیه جاده آسفalte کاشمر به تربت حیدریه، تربت حیدریه به بیرجند و ایور به تربت حیدریه می‌باشد (شکل ۲-۳). ارتفاعات منطقه فیض‌آباد از کوه‌های شصت دره، کرکز، سرسفیدال در شمال و کوه فغان در جنوب ناحیه تشکیل شده که دارای روند شرقی غربی هستند. یکی از گسل‌های عمده منطقه گسل درونه بوده که گسلی شرقی - غربی و چپ گرد گسلی فعال است (Hu et al., 1995).



شکل ۲-۱ محل قرارگیری ۶ برگه ۱:۱۰۰۰۰۰ درون برگه ۱:۲۵۰۰۰۰ تربت حیدریه



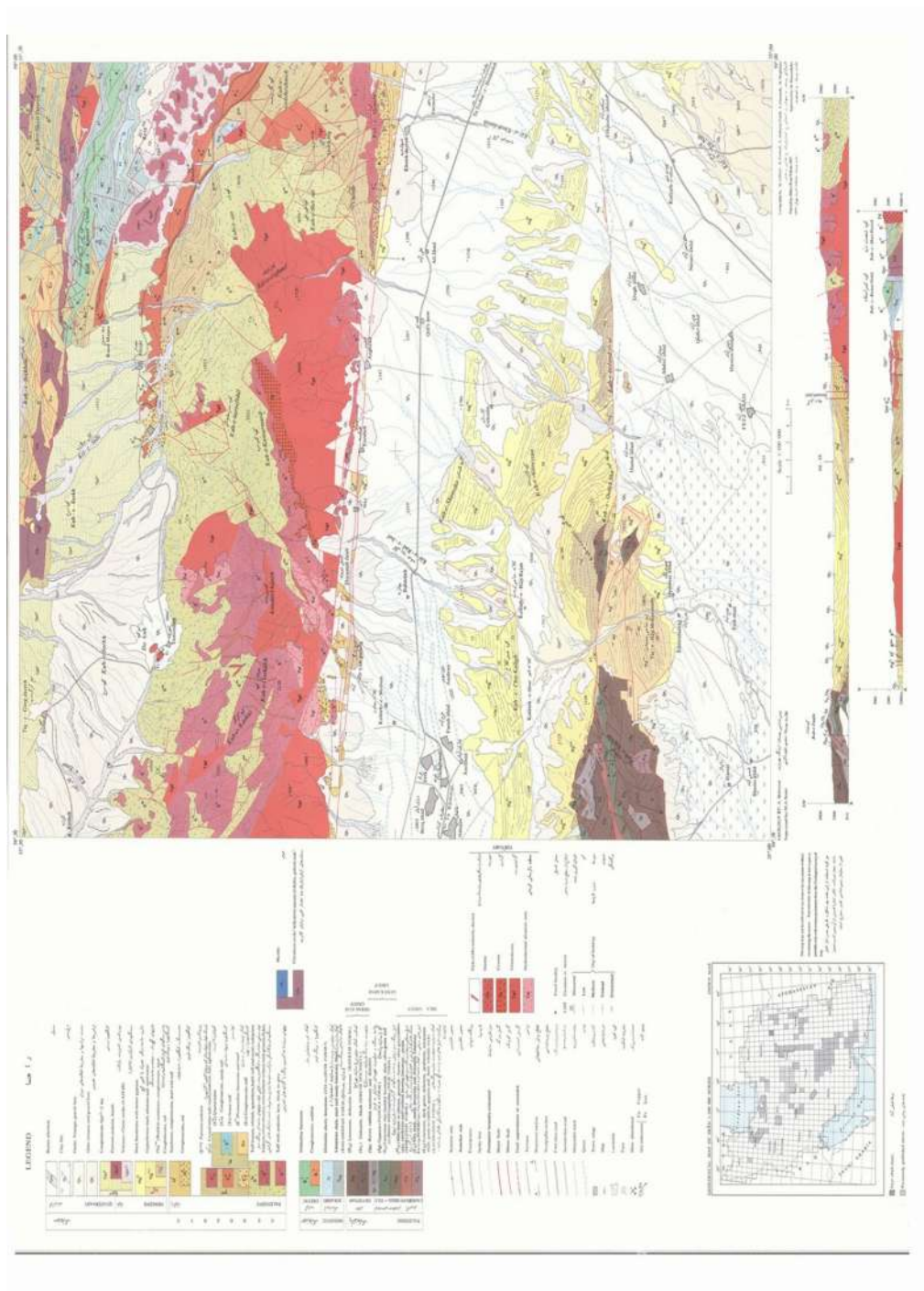
شکل ۲-۲ موقعیت برگه ۱:۱۰۰۰۰۰ فیض‌آباد در شمال شرق ایران

۲-۲- چینه‌شناسی فیض آباد

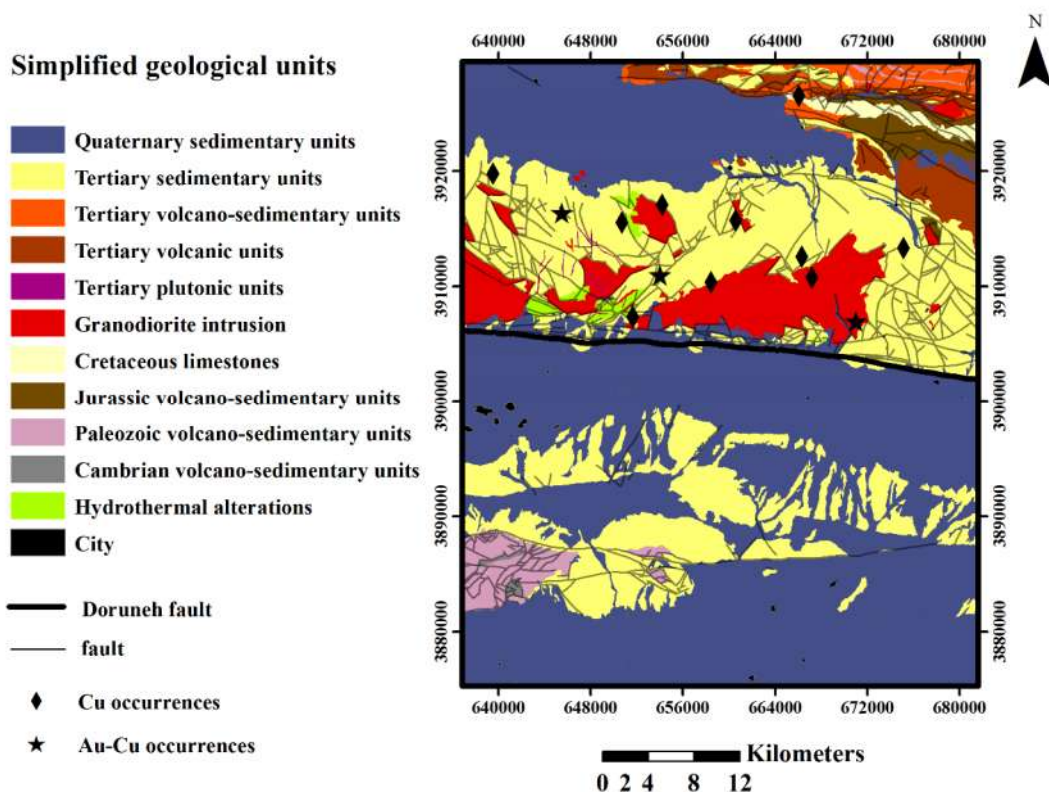
کهنسال‌ترین سنگ‌های ناحیه فیض آباد در کوه فغان واقع در جنوب غرب ناحیه برونزد دارند. این تشکیلات بیشتر شامل آهک دولومیت، شیل، کوارتزیت و ماسه سنگ بوده و مطالعات فسیل‌شناسی سن از اواسط کامبرین تا سیلورین را نشان داده است (شکل ۲-۴). در قسمت‌های شمالی و جنوبی کوه فغان تناوبی از ماسه سنگ‌های قرمز، دولومیت و آهک‌های حاوی فسیل به سن دونین پیشین تا میانی بوده که بر روی نهشته‌های کامبرین-سیلورین قرار می‌گیرند. در کوه‌های شصت دره واقع در شمال شرقی ناحیه، رخنمون‌ها بیشتر از ماسه سنگ، آهک و شیل‌های سیاه رنگ ژوراسیک تشکیل شده که با ناپیوستگی توسط سنگ‌های کرتاسه پائین و رسوبات دوره ترشیر پوشیده می‌شوند. گسل درونه با امتداد شرقی-غربی ناحیه فیض آباد را به دو بخش شمالی و جنوبی تقسیم می‌کند. در بخش شمالی این گسل سنگ‌های آتشفشانی پالئوژن همراه با اذخالی‌هایی از آهک نومولیت‌دار گسترش دارند. نهشته‌های الیگوسن و میوسن را که شامل رسوبات تخریبی است در بخش جنوبی گسل درونه می‌توان مشاهده نمود (بهروزی، ۱۳۶۶). در ادامه واحدهای سنگی از قدیم به جدید مورد بررسی قرار گرفته است (شکل ۲-۴ و ۵-۲).

۲-۲-۱- واحدهای کامبرین میانی

در جنوب کوه فغان سنگ‌های به‌شدت خرد سفید رنگی رخنمون دارند که با همبری گسله در زیر آهک‌های اواسط دونین قرار می‌گیرند. این سنگ‌ها از آهک‌های سیاه خاکستری همراه با نودول‌های چرت سیاه، گاهی برشی، آهک‌های آبی متمایل به سبز لایه نازک، شیل‌های سبز و قرمز میکادار، دولومیت و بالأخره مقادیر زیادی از رسوبات تبخیری و سنگ‌های ولکانیکی بازیک (Ek) تشکیل شده است. حد زیرین و بالایی این سازند به واسطه گسل در مجاورت آهک‌های دونین قرار گرفته است. در ناحیه مرکزی کوه فغان، زیر نهشته‌های کامبرین میانی-فوقافی ماسه سنگ‌های کوارتزیتی قرمز رنگ وجود دارد که بر روی دولومیت و آهک‌های سیاه، شیل‌های سبز و قرمز و رسوبات تبخیری قرار می‌گیرند. ضخامت کلی این واحد حدود ۳۵ متر است. با توجه به رخساره سنگی و موقعیت چینه‌شناسی این نهشته‌ها را می‌توان با سازند کال شانه (از گروه میلا) که متعلق به کامبرین میانی است مقایسه نمود (بهروزی، ۱۳۶۶).



شکل ۲-۴ نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ فیض‌آباد (بهریزی، ۱۳۶۶)



شکل ۲-۵ نقشه ساده شده زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ فیض‌آباد (اصلاح شده از بهروزی، ۱۳۶۶)

۲-۲-۲ واحدهای کامبرین میانی-فوقانی

رسوبات کامبرین میانی-فوقانی در ناحیه کوه فغان شامل ۱۲۱ متر آهک‌های نازک لایه، آهک ماسه‌ای، سیلت، شیل‌های سیلتي به‌رنگ سبز زیتونی، دولومیت و آهک دولومی‌هایی با باندهای چرتی زرد متمایل به قهوه‌ای (Ed) می‌شود که ضخامت این لایه‌ها از ۵۰ تا ۴۰ سانتی متر متغیر است. لایه‌های آهکی همراه این رسوبات، حاوی قدیمی‌ترین فسیل‌های شناخته شده در ناحیه مورد بررسی است؛ این رسوبات سنی معادل کامبرین میانی-فوقانی را دارد که با توجه به فسیل‌های یافت شده و موقعیت چینه‌شناسی، این نهشته را می‌توان با سازند درینچال برابر دانست (بهروزی، ۱۳۶۶).

۲-۲-۳ واحدهای اردوئین

رسوبات مربوط به اردوئین از سیلت، شیل‌های قهوه‌ای رنگ با لایه‌هایی از آهک ماسه‌ای حاوی براکیوپوذهای سیلیسی شده و شیل‌های سبز زیتونی حاوی فسیل تریلوبیت، آهک‌های ماسه‌ای چرت‌دار

و آهک ماسه‌ای نوتیلوئیددار و همچنین کوارتزیت‌های سیاه رنگ که به‌صورت بین لایه‌ای (Osh) قرار گرفته تشکیل شده است. ضخامت کلی این سازند ۹۰ متر اندازه‌گیری شده که بطور تدریجی بر روی رسوبات کامبرین فوقانی قرار گرفته است (بهروزی، ۱۳۶۶).

۲-۲-۴- واحدهای اردوئیسین - سیلورین

نهشته‌های اردوئیسین - سیلورین شامل ماسه سنگ‌های کوارتزیتی دانه‌ریز میکادار، شیل‌های سیلتی آغاز و یک سری شیل‌های صفحه‌ای سبز، ماسه‌سنگ‌های آهن‌دار و شیل‌های سیلتی با تناوبی از آهک‌های ماسه‌ای و ماسه‌سنگ‌های لایه نازک با آثار ریپل مارک و فسیل گراپتولیت، تریلوبیت، براکیوپود و مرجان (Sn) ادامه پیدا می‌کند.

با توجه به سن این رسوبات، آن‌ها را با سازند نیور مقایسه می‌توان نمود. ضخامت این نهشته‌ها ۳۹۱ متر و با حدی تدریجی روی نهشته‌های اردوئیسین قرار گرفته است. قسمت فوقانی این واحد سنگی با واسطه گسلی در مجاورت آهک‌های دونین قرار دارد (بهروزی، ۱۳۶۶).

۲-۲-۵- واحدهای دونین

رسوبات دونین در ناحیه فیض‌آباد از سه رخساره سنگی مختلف تشکیل شده است:

(۱) قسمت پایین از ماسه‌سنگ‌های کوارتزیتی قرمز و خاکستری رنگ با آثار ریپل مارک و چینه‌بندی مورب و دولومیت (Sp) تشکیل شده است. در قسمت فوقانی این ماسه سنگ‌ها افقی از گچ (Sg) دیده می‌شود. ضخامت کلی این رسوبات حدود ۲۸۰ متر است. چگونگی ارتباط آن با سازندهای زیرین به علت تکتونیک شدید، مشخص نیست و قسمت بالایی آن توسط دولومیت‌های خاکستری تیره پوشیده است. این سازند فاقد هر گونه فسیل است و تنها با توجه به موقعیت چینه‌ای و رخساره سنگی می‌توان با سازند پادها مقایسه نمود.

(۲) قسمت فوقانی سازند پادها به‌طور ناگهانی توسط دولومیت‌های خاکستری تیره تا سیاه کم و بیش متبلور (Dsh) پوشیده می‌شود که با توجه به موقعیت چینه‌شناسی و تشابه سنگ‌شناسی قابل مقایسه با سازند سیب‌زار است.

(۳) آهک‌های فسیل‌دار دونین فوقانی از آهک و گاهی دولومیت (Db) تشکیل شده و سنی معادل اواسط دونین تا دونین بالایی را برای این نهشته‌ها می‌توان در نظر گرفت این واحد سنگی با سازند بهرام قابل مقایسه است (بهروزی، ۱۳۶۶).

۲-۲-۶- واحدهای ژوراسیک

رسوبات ژوراسیک (Jbg) شامل ۴۰۰ متر آهک، شیل، مارن‌های سیاه رنگ و آهک ماسه‌ای به‌رنگ قهوه‌ای و خاکستری و گاهی ائولیتی حاوی میکروفسیل‌هایی بوده که به ژوراسیک بالائی نسبت داده می‌شود. در شمال آبادی رزگ روی واحد فوق شامل آهک کرمی رنگی با باندهای چرت سفید (Je) بوده و فاقد فسیل است. قسمت فوقانی رسوبات ژوراسیک به‌طور دگرشیب، آهک و کنگلومرای کرتاسه پوشیده می‌شود (بهروزی، ۱۳۶۶).

۲-۲-۷- واحدهای کرتاسه

واحد کنگلومرای قرمز (kcl) کرتاسه دارای ضخامت حدود ۵۰ متر بوده که در بعضی نقاط کاملاً حذف و آهک ماسه‌ای قرمز رنگی جایگزین آن می‌گردد. قطعات کنگلومرا بیشتر از ماسه سنگ‌های قدیمی و آهک‌های پالئوزوئیک خوب گرد شده تشکیل می‌شود. آهک‌های اوربیتولین‌دار کرتاسه پائین (kll) روی کنگلومرا قرار گرفته و سنی معادل آپسین -آلبین دارند (بهروزی، ۱۳۶۶).

۲-۲-۸- سنگ‌های افیولیتی

مجموعه سنگ‌های افیولیتی در شمال ناحیه در طول گسلی با امتداد شرقی -غربی رخنمون داشته و در بخش شرقی ناحیه با افیولیت‌های ناحیه چهارگوش تربت حیدریه در ارتباط هستند. عمده‌ترین سنگ‌هایی که رخنمون دارند عبارتند از: هارزبورژیت، دیاباز، سرپانتینیت همراه با آهک‌های پلاژیک و رادیولاریت (Ub) با آهک‌های کریستالیزه (m) می‌باشند (بهروزی، ۱۳۶۶).

۲-۲-۹- واحدهای ترشیر

بخش وسیعی از منطقه را رسوبات آذرآواری مخصوصاً ولکانیکی ترشیر تشکیل می‌دهند، لذا سعی شده تا با توجه به رخساره سنگی، آن‌ها را به چندین واحد تقسیم نمود. ترشیر در ناحیه فیض‌آباد با فعالیت‌های آتشفشانی آغاز می‌گردد و متناوباً گدازه آندزیتی و توف روی هم انباشته می‌شود. این فعالیت‌ها احتمالاً مربوط به جنبش‌های لارامی می‌باشند. در برگه مجاور چخماق، ترشیر با آندزیت پورفیری و کنگلومرای ضخیمی که به‌طور دگرشیب بر روی آهک‌های کرتاسه بالایی قرار گرفته، شروع می‌شود. در ناحیه مورد مطالعه فعالیت ولکانیکی باتوف‌های خاکستری تیره و گاه ایگنمبریتی شروع می‌گردد که توسط گدازه‌های سیاه رنگ با ترکیب آندزیتی همراه می‌گردند (Etv). روی این واحد

فصل دوم: زمین‌شناسی منطقه

ضخامت زیادی توف‌های برشی سفید رنگ، برش‌های ولکانیکی، توف‌های ماسه‌ای خاکستری رنگ وایگنمبریت و توف لاپلی (Ebt) قرار می‌گیرد. هم‌زمان با فعالیت توفی، گدازه‌هایی با ترکیب آندزیتی (Ev) وجود دارد که خود توسط همان واحد (Ebt) پوشیده می‌شود. این گدازه‌ها دارای بافت پورفیری و حاوی بلورهای پلاژیوکلاز با ترکیب متوسط که گاهی به کلریت، سرسیت و اپیدوت تجزیه گردیده، هستند. بلور پیروکسن در اکثر موارد در این سنگ‌ها شدیداً اپیدوتی و کلریتی شده است. زمینه این سنگ‌ها از بلورهای کوچک فلدسپات که سرسیتی گردیده، تشکیل شده است. مطالعه قسمت‌های زیرین این مجموعه ولکانیکی به علت وجود گسل‌های فراوان امکان‌پذیر نیست. اندکی به طرف شرق ناحیه، در برگه تربت حیدریه، مجموعه فوق با کمی اختلاف در رخساره سنگی توسط کنگلومرانی به طور دگرشیبی زاویه‌دار روی رسوبات کرتاسه قرار گرفته است. در جنوب آبادی حصار کنگلومرا (Ecm) به طور هم‌شیب روی مجموعه فوق قرار گرفته است. کنگلومرا به طرف شرق در امتداد جانبی به ماسه‌سنگ، برش‌های ولکانیکی، توف‌های ماسه‌ای همراه با گدازه‌های تراکی آندزیتی و آندزیتی (Etm) تبدیل می‌گردد. لایه‌های آهکی که به ندرت در داخل این سنگ‌ها دیده می‌شود محتوی میکروفسیل‌هایست که سنی معادل ائوسن پائین تا میانی را دارند. در شمال شرقی کوه شیرعلی روی واحد توفی (Etm) سنگ‌های تراکی آندزیتی (Eam) با بافت پورفیری و فنوکریست‌های پلاژیوکلاز با ترکیب متوسط و آمفیبول که عموماً به کلریت و بیوتیت تجزیه شده‌اند قرار گرفته است. زمینه این سنگ‌ها از پلاژیوکلاز و کمی کوارتز و فلدسپات‌های آلکالن و کانی‌های ثانویه مانند کلریت و اکسیدهای فلزی تشکیل یافته است. آخرین محصول فعالیت‌های آتشفشانی مربوط به این زمان پیروکسن آندزیت -آلکانی بازالت، تراکی آندزیت‌های (Evm) شمال آبادی خوش‌دره در شرق ناحیه می‌باشد. بافت این سنگ‌ها پورفیری و حاوی بلورهای پلاژیوکلاز با ترکیب بازی، که به اپیدوت تجزیه شده است. کانی‌های پیروکسن و الیوین در این سنگ مشاهده می‌شود. زمینه این سنگ میکرولیتی متشکل از پلاژیوکلاز و فلدسپات‌های آلکالن است. رخساره ائوسن در شمال شرق در کوه‌های شصت دره با آنچه که ذکر گردید تا اندازه‌ای متفاوت و با کنگلومرای خاکستری روشن (Ect)، عناصر آهکی عموماً آهک کرتاسه و گاهی آندزیتی شروع می‌گردد. این کنگلومرا توسط ضخامت زیادی از توف‌های سبز (Et) با ادخال‌اتی از لایه‌های آهکی و مارنی (En) پوشیده می‌شود. لایه‌های آهکی موجود در داخل توف‌های سبز دارای فسیل‌هایی متعلق به ائوسن میانی می‌باشند (بهروزی، ۱۳۶۶).

۲-۲-۱۰- واحدهای الیگوسن

در مرکز ناحیه مورد مطالعه در امتداد گسل درونه، سنگ‌های رسوبی مختلفی شامل رسوبات تبخیری، سنگ‌های کربناته و تخریبی دیده می‌شود که در اکثر موارد به‌طور دگرشیبی رسوبات قدیمی‌تر را می‌پوشاند و اغلب با واسطه گسل در مجاورت واحدهای ولکانیکی ائوسن قرار می‌گیرد. در این رسوبات فسیل مشخص یافت نشده ولی به‌علت تشابه لیتولوژیکی با آن‌چه که در نواحی مجاور (رشتخوار، خواف و چخماق) مشاهده می‌گردد و با توجه به وجود چند نمونه اسپروپولن متعلق به الیگوسن در نواحی رشتخوار می‌توان سن الیگوسن را برای این رسوبات در نظر گرفت. واحد رسوبی الیگوسن به‌طور جانبی و عمودی تغییر رخساره داده و به کنگلومرا، ماسه‌سنگ و گاهی نیز به سیلت و مارن تبدیل می‌شود. قسمت زیرین رسوبات در شمال آبادی زرمهر کنگلومرای به رنگ تیره (Oc) است که عناصر این کنگلومرا بیشتر از ولکانیک‌های ائوسن تشکیل شده است. قسمت بالا کنگلومرا دانه ریزتر شده و به ماسه‌سنگ‌های سبز روشن با آثار چین‌بندی متقاطع و ریپل مارک، مارن، شیل و سیلت (Os) تبدیل می‌گردد (بهروزی، ۱۳۶۶).

۲-۲-۱۱- واحدهای نئوژن

نهشته‌های متعلق به نئوژن بیشتر در جنوب ناحیه گسترش داشته و با یک کنگلومرای قهوه‌ای رنگ Ngc شروع می‌گردد. عناصر آن از آهک‌های سیاه دونین، دولومیت و آهک‌های سفید به سن کرتاسه و به‌ندرت سنگ‌های ولکانیکی تشکیل شده است. ابعاد قطعات کنگلومرا از یک سانتی‌متر تا یک متر متغیر و از گردش‌دگی خوبی برخوردار هستند. این کنگلومرا دارای سیمانی آهکی است. در جنوب کوه گمبی واحد تخریبی دیگری دیده می‌شود که از تناوب لایه‌های مارن، سیلت و کنگلومرا Ngcm تشکیل شده است. روی واحد رسوبی مذکور ضخامت زیادی از ماسه‌سنگ‌های قرمز، سیلیت، مارن‌های گچ‌دار با ادخال‌هایی از کنگلومرا (Ngmst) قرار می‌گیرد که به‌طرف بالا مقدار گچ و مارن آن کم شده و به سیلت و ماسه‌سنگ‌های قرمز و کمی مارن Ngst تبدیل می‌گردد (بهروزی، ۱۳۶۶).

۲-۲-۱۲- ماگماتیسیم ترشیر

ماگماتیسیم بعد از ائوسن اکثراً با نفوذ گرانودیوریت و دیوریت در داخل سنگ‌های ولکانیکی و آذرآورای پالئوژن در شمال و مرکز ناحیه فیض‌آباد مشخص می‌شود بزرگ‌ترین توده نفوذی در مرکزی‌ترین قسمت ناحیه در شمال گسل درونه رخنمون دارد. علاوه بر این، توده‌های کوچک‌تری نیز در شصت

دره (Td) کوه کرکز، و شمال آبادی تنورچه (Tgd) رسوبات پالئوژن را قطع نموده‌اند. در کوه کمر مرد و سرسفیدال، حاشیه شمالی توده گرانودیوریتی دارای ترکیب گرانییتی (Tg) است. این سنگ‌ها به‌طور کلی درشت بلور با بافت پورفیری و دانه‌ای و از بلورهای پلاژ یوکلاز فلدسپات‌های پتاسیک، آمفیبول و کوارتز تشکیل شده‌اند (به‌روزی، ۱۳۶۶).

۲-۲-۱۳- واحدهای کواترنر

فعالیت آتشفشانی اواخر نئوژن و اوائل دوره کواترنر در فیض‌آباد گدازه‌های بازالتی پیروکسن و الیوین‌دار با ضخامتی از لاهار (Qplvc) شروع و ناحیه نسبتاً وسیعی را پوشش می‌دهند. در ادامه این فعالیت‌ها مقادیر قابل ملاحظه‌ای گدازه‌های بازالتی سیاه رنگ (QPv) روی آن‌ها جریان پیدا می‌کند. این سنگ‌ها دارای ساخت ستونی هستند. ترکیب آن‌ها از کانی‌های پلاژیوکلاز با ترکیب بازی، پیروکسن و الیوین با زمینه‌ای شیشه‌ای تشکیل شده‌اند. نهشته‌های رسوبی دوره کواترنر در شمال آبادی حصار و نامق از یک کنگلومرای نسبتاً متراکم با عناصر آتشفشانی و آهک کرتاسه و ژوراسیک (Qplc) تشکیل شده است. در این کنگلومرا گاهی اذخالی‌هایی از ماسه‌سنگ و به‌ندرت مارن دیده می‌شود. در ناحیه جنوب شرق فیض‌آباد این نهشته‌ها از مارن (Qplcl) تشکیل شده که با شیبی ملایم واحدهای رسوبی نئوژن را می‌پوشانند. از رسوبات دیگر دوره کواترنر، تراست‌های قدیمی (Qt1) دشت‌های آبرفتی (Qt2) و نهشته‌های (Qc) و رسوبات سیلابی (Qal) بوده که گسترش فراوان دارند (به‌روزی، ۱۳۶۶).

۲-۳- تکتونیک و تاریخچه زمین‌شناسی فیض‌آباد

ویژگی‌های زمین‌شناسی ناحیه فیض‌آباد نشان می‌دهد که حرکت گسل‌ها در به‌وجود آمدن حوضه‌های رسوبی و تغییرات رخساره سنگ‌ها نقش مهمی را ایفا نموده‌اند و ناحیه را به چهار بخش مختلف با رخساره‌های سنگی مختلف و با ویژگی‌های خاص تقسیم کرده‌است. گسل‌های موجود در ناحیه فیض‌آباد اکثراً جهت شرقی-غربی دارند. گسل شمال کوه‌های کمر استاد که در حقیقت گسل تکنار است جدا کننده زون افیولیتی از سنگ‌های غیرافیولیتی است. این گسل به‌طرف غرب توسط نهشته‌های جوان پوشیده شده و به‌طرف شرق به زون افیولیتی تربت حیدریه متصل می‌گردد. گسل درونه که گسلی است شرقی و غربی و چپ گرد از مرکز ناحیه عبور می‌کند. حرکت این گسل را می‌توان با مطالعه تغییر مسیر رودخانه‌ها در شرق آبادی نای و غرب اوچ پلنگ مشخص نمود. گسل درونه گسلی است فعال که

فصل دوم: زمین‌شناسی منطقه

اثر فعالیت‌های جدید آن را می‌توان در نهشته‌های جوان (Qt1) مشاهده نمود. در ناحیه فیض‌آباد سیستم گسل درونه از مجموعه گسل‌های کم و بیش موازی تشکیل شده است. بخش شمالی این گسل بالا آمده و عموماً از سنگ‌های ولکانیکی و آذرآواری ترشیر تشکیل شده که روی نهشته‌های ژوراسیک و کرتاسه قرار گرفته‌اند. در بخش جنوبی گسل درونه حوضه رسوبی الیگوسن و میوسن گسترش داشته که بیشتر بین دو گسل درونه و گسل کوه فغان و گمبی در جنوب محصور شده‌اند. در آن زمان فرورفتگی کم عمقی در بین دو گسل وجود داشته و پیوسته توسط این دو گسل در کنترل بوده است و مواد تخریبی حاصل از فرسایش سنگ‌های قدیم‌تر به وسیله سیلاب‌ها حمل و در این حوضه رسوب نموده‌اند. این نهشته‌ها دارای چین خوردگی ملایمی بوده و محور چین‌ها در جهت جنوب‌شرقی-شمال غربی به وجود آمده‌اند. گسل بزرگ دیگری که به احتمال حاشیه جنوبی حوضه رسوب‌گذاری نئوژن را در کنترل داشته از شمال کوه فغان با امتداد شرقی-غربی عبور کرده و رسوبات پالئوزوئیک را پیش از تشکیل سنگ‌های نئوژن به صورت هورست بالا آورده بوده است. علاوه بر گسل‌های مذکور شکستگی‌های دیگری نیز هم جهت با گسل‌های اصلی و تعداد زیادی گسل عمود بر این گسل‌ها که به احتمال زیاد در اثر فعالیت‌های گسل‌های اصلی ایجاد شده‌اند سازندهای مختلف موجود در ناحیه را گسلیده‌اند. در تمامی طول پالئوزوئیک هیچ‌گونه دگرشیبی زاویه‌ای که هم‌زمان با چین‌خوردگی باشد مشاهده نمی‌گردد و رسوبات مربوط به سازندهای مختلف با هم‌شیبی بر روی هم‌دیگر قرار گرفته‌اند. رسوبات ژوراسیک بالایی در شمال شرق ناحیه از نهشته‌های کربناته و شیلی تشکیل شده در فاز کوهزایی کمترین پسین چین‌خورده و قبل از رسوب‌گذاری کرتاسه پائین تحت تأثیر فرسایش قرار گرفته است. این فاز کوهزایی با یک دگرشیبی مشخص بین نهشته‌های ژوراسیک بالایی و کرتاسه پائین مشخص می‌گردد. به‌طوری‌که کرتاسه پائین با یک کنگلومرای قرمز رنگی روی رسوبات ژوراسیک بالا قرار گرفته است. با تغییر رژیم رسوب‌گذاری دریای کرتاسه آهک اوریتولین‌دار کرتاسه پائین که نمایان‌گر عمق کم دریا در این زمانه است روی کنگلومرای فوق رسوب می‌نماید. در شمال ناحیه سنگ‌های افیولیتی همراه با رادیولاریت و آهک احتمالاً نشان‌گر یک بازشدگی در این زمان و گسل‌های شمالی کوه‌های کمر استاد خط جدایش دو بلوک موجود در دو طرف این گسل است، سنگ‌های افیولیتی شمال غرب فیض‌آباد پی‌سنگ، سنگ‌های ائوسن وسط را نیز تشکیل داده‌اند و در اکثر نقاط پیشروی دریای ائوسن را می‌توان بر روی این سنگ‌ها مشاهده نمود. رسوبات مزوزوئیک در فاز لارامی چین‌خورده و شکسته می‌شوند و تحت تأثیر هوازدگی قرار می‌گیرد آثار و شواهد فاز کوهزایی لارامی در قاعده سنگ‌های پالئوژن به علت تکتونیک شدید قابل مشاهده نیست ولی آنچه مسلم است در شمال گسل دورونه همانند سایر نقاط ایران یک ناپیوستگی وجود داشته که پی آمد آن فعالیت‌های بسیار شدید آتشفشانی است.

فصل دوم: زمین‌شناسی منطقه

در کوه‌های شصت دره سنگ‌های آذرآواری ائوسن با کنگلومرایی به‌طور دگرشیب روی سنگ‌های افیولیتی قرار می‌گیرد. به‌نظر می‌رسد که رخداد زمین‌ساختی که موجب این ناپیوستگی گردیده ادامه فاز لارامی می‌باشد. به‌دنبال فعالیت شدید ولکانیکی نفوذ توده‌های عظیم گرانودیوریتی و دیوریت در سنگ‌های ائوسن بیان‌گر حرکات تکتونیکی در زمان ائوسن پسین یا الیگوسن پیشین است. بعد از این حرکات در جنوب ناحیه حوزه کم عمقی به‌وجود آمده که نهشته‌های تخریبی الیگوسن و میوسن در آن رسوب‌گذاری نموده است. این رسوبات در فاز چین‌خوردگی آلپی میانی چین خورده‌اند (بهروزی، ۱۳۶۶).

۲-۴- کانی‌زایی‌های فلزی منطقه

عموماً در ناحیه فیض‌آباد در مجاورت توده‌های نفوذی کانی‌سازی‌هایی از مس، طلا، آهن و همچنین زون‌های دگرسان در اثر نفوذ گرانودیوریت و گرانیات ترشیر صورت پذیرفته که همگی به ماگماتیسم ائوسن پسین-الیگوسن ارتباط دارند و نتیجه نفوذ محلول گرمابی مراکز ولکانیکی است. نتیجه نفوذ این محلول‌ها دگرسانی سنگ‌های درون‌گیر است. بزرگ‌ترین زون دگرسان شده بر اثر این محلول‌ها را می‌توان در شمال غرب آبادی نای مشاهده نمود که در آن کانی‌های جدیدی از نوع ایلیت بوجود آمده و گاهی نیز نفوذ این محلول‌ها باعث سیلیسی شدن این سنگ‌ها گردیده است. در تشکیل این زون‌ها، گسل‌ها و درزها که جریان‌های مواد سیال را هدایت نموده اند نقش عمده‌ای را داشته‌اند. از نظر ذخایر غیرفلزی در جنوب‌غرب ناحیه، افق‌هایی از گچ که به‌طرف چهارگوش کاشمر ضخامت زیادی پیدا می‌کند در داخل مارن و ماسه سنگ‌های نئوژن مشاهده می‌شود (بهروزی، ۱۳۶۶).

۲-۵- برخی از کانسارهای مهم منطقه

۲-۵-۱- طلای پلاسری زرمهر

منطقه زرمهر بخشی از برگه ۱:۱۰۰۰۰۰ زمین‌شناسی فیض‌آباد می‌باشد که بین طول‌های جغرافیایی (۳۵°، ۱۳'، ۵۹" و ۳۵°، ۱۴'، ۵۶") و عرض‌های جغرافیایی (۵۲°، ۳۸'، ۳۴" و ۵۹°، ۵۷'، ۴۹") واقع شده است. این چهارگوش دارای مساحتی حدود ۵۷ کیلومتر مربع است. شهر فیض‌آباد در جنوب این منطقه واقع است که بخشی از شهرستان تربت حیدریه می‌باشد. این محدوده در ۲۵ کیلومتری جنوب

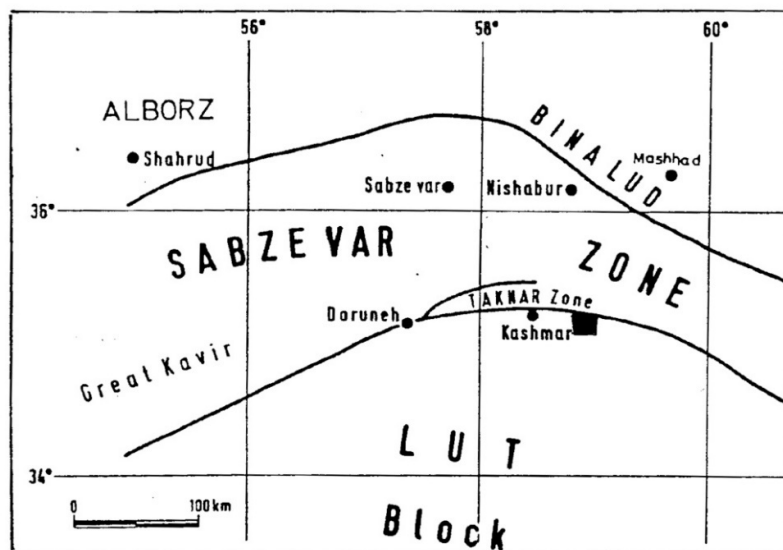
فصل دوم: زمین‌شناسی منطقه

غرب تربت حیدریه و در ۵۰ کیلومتری شرق شهرستان کاشمر قرار دارد که جاده آسفالتی تربت حیدریه - کاشمر تقریباً از وسط منطقه مطالعاتی عبور می‌کند. راه‌های فرعی زیادی از جاده اصلی منشعب می‌گردند و دسترسی به هر نقطه از منطقه را امکان پذیر می‌سازند.

منطقه زرمهر، از رسوبات رودخانه‌ای و مخروط افکنه‌های جوان تشکیل شده است که این رسوبات در جنوب گسل درونه واقع شده‌اند و منشاء آن‌ها ارتفاعات شمالی می‌باشد. ارتفاعات شمالی از نظر زمین‌شناسی ناحیه‌ای در زون سبزوار قرار می‌گیرد. این زون را پیگلر (۱۹۷۱) معرفی و زون بین البرز و ایران مرکزی را زون سبزوار نامیده است. این زون بیانگر یک حاشیه قاره‌ای فعال در ترشیری می‌باشد. در این زون مجموعه سنگ‌های ماگمایی ترشیری به‌علاوه مجموعه سنگ‌های افیولیتی نشان دهنده یک کمان ماگمایی است. این زون از لحاظ کانی‌سازی طلا دارای اهمیت زیادی است، بنابراین مطالعات رسوبات حاصل از فرسایش سنگ‌های این زون برای اکتشاف طلای پلاسی در ضروری به‌نظر می‌رسد.

شکل ۲-۶ موقعیت زرمهر را در این زون نمایش می‌دهد (برنا، ۱۳۸۴).

پلاسر آبرفتی (رودخانه‌ای) طلادار منطقه زرمهر خصوصیات یک پادگانه آبرفتی تقریباً مسطح را دارا است که رسوبات جوان طلادار خود را از کوه زر تربت حیدریه (به فاصله ۱۵ کیلومتری از بالادست خود) به این دشت منتقل می‌کند. ارتفاعات بخش شمالی گسل درونه عموماً از سنگ‌های ولکانیکی و آذرآواری ترشیر تشکیل شده که قطعات نابرجای نهشته آبرفت پلاسی زرمهر را تشکیل می‌دهد. با توجه به وجود قطعات سیلیسی شده آهن‌دار که مشابه کوه زر تربت حیدریه می‌باشد، به نظر می‌رسد منشاء کانی‌سازی از نوع طلای اسپکیولاریتی - سیلیسی باشد (برنا، ۱۳۸۴).



شکل ۲-۶ موقعیت محدوده زرمهر در زون سبزوار (برنا، ۱۳۸۴)

اکتشافات ژئوشیمیایی ناحیه‌ای برگه ۱:۱۰۰۰۰۰ فیض‌آباد توسط سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور با همکاری شرکت جیانگ سی چین در سال ۱۳۷۴ انجام گرفته است (برنا، ۱۳۸۴).

۲-۵-۲- طلای تنورچه

منطقه تنورچه در استان خراسان رضوی و در فاصله ۲۲۰ کیلومتری جنوب شهر مشهد، در ۲۰ کیلومتری شمال شرق شهرستان کاشمر واقع گردیده است. این محدوده در برگه توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰۰ تربت حیدریه، حد فاصل مختصات جغرافیایی "۲۵، ۳۲، ۵۸" تا "۰۰، ۳۹، ۵۸" طول شرقی و "۱۰، ۱۷، ۳۵" تا "۳۰، ۲۱، ۳۵" عرض شمالی قرار گرفته است. دسترسی به منطقه از دو طریق امکان‌پذیر است. مسیر اول از طریق جاده آسفalte مشهد - تربت حیدریه - کاشمر به طول ۲۲۰ کیلومتر و در ادامه راه فرعی آسفalte روستای قوچ پلنگ به طول ۱۰ کیلومتر است که از ۱۲ کیلومتر مانده به کاشمر به سمت شمال جدا می‌شود. از آن جا نیز جهت دسترسی به بخش‌های جنوبی محدوده در مسیرهای خاکی دهنه کال آسیاب و خرمگاه (بطول حدکثر ۵ کیلومتر) می‌توان طی مسیر نمود. دومین مسیر از طریق جاده آسفalte کاشمر - کوه سرخ - روستای تنورچه است که معمولاً جهت دسترسی به بخش‌های شمالی نقشه یا محدوده می‌بایست مورد استفاده قرار گیرد.

از نظر تکتونیک کلی، این منطقه در کمان ماگمایی حاشیه خرد قاره ایران مرکزی و در زون سبزوار واقع شده است. به‌طوری‌که همگرایی دو میکروپلیت لوت و سبزوار در محل خط درز گسل کویر بزرگ (گسل درونه) و کمر بند کالرد ملانژ ایران مرکزی که امتداد شاخه دیگر گسل بزرگ کویر (گسل ریوش - تکنونار)، در اواخر دوره کرتاسه و اوایل پالئوسن تحت تاثیر رخداد کوه‌زایی لارامید به وجود آمده است. همچنین به نظر می‌رسد فرورانش با شیب راندگی زیاد از جنوب به سوی شمال رخ داده باشد (با توجه به فاصله کم کمان ماگمایی با محل خط درز و گسترش عرضی نسبتاً محدود آن) (Hu et al., 1995).

۲-۶- نمونه‌برداری در منطقه مورد مطالعه

چگالی نمونه‌برداری در مطالعه رسوبات آبراهه‌ای، تابع تراکم آبراهه‌ها حوضه‌های آبریز است و تابعی از سقف بودجه اکتشافی نیز می‌باشد. برای اکتشاف در مقیاس ناحیه‌ای برداشت حداقل ۱ نمونه ژئوشیمی

فصل دوم: زمین‌شناسی منطقه

در هر ۱/۵-۱ کیلومتر مربع توصیه می‌شود. پراکندگی نمونه‌ها باید طوری باشد که تقریباً مناطقی که سنگ‌بستر بیرون‌زدگی دارد، بیشترین پوشش را داشته باشد. نمونه‌برداری در مناطقی که با پدیده‌های زمین‌شناسی مثل گسل‌ها، محور طاق‌دیس‌ها و ناودیس‌ها، زون‌های کانی‌ساز و محدوده گسترش دایک‌ها و مناطق آنومالی‌های ژئوفیزیکی نواحی حاوی کانی سنگین و چکشی با شاخصه‌های مثبت، باید تمرکز بیشتری داشته باشند. در اکتشافات ناحیه‌ای، ماهیت آنومالی‌های ژئوشیمیایی و رابطه‌ی آن‌ها با مناطق کانی‌ساز احتمالی هدف اصلی، محدود کردن مساحت آنومالی‌های مرحله قبلی اکتشاف است (صنایع و معادن، ۱۳۸۹).

نمونه‌برداری از خاک‌ها و بستر آبراهه‌ها، (بخش ۸۰- مش) برداشت شوند. وزن نمونه‌های برداشت شده بین ۱۰۰ تا ۳۰۰ گرم در نمونه‌های ژئوشیمی بوده است.

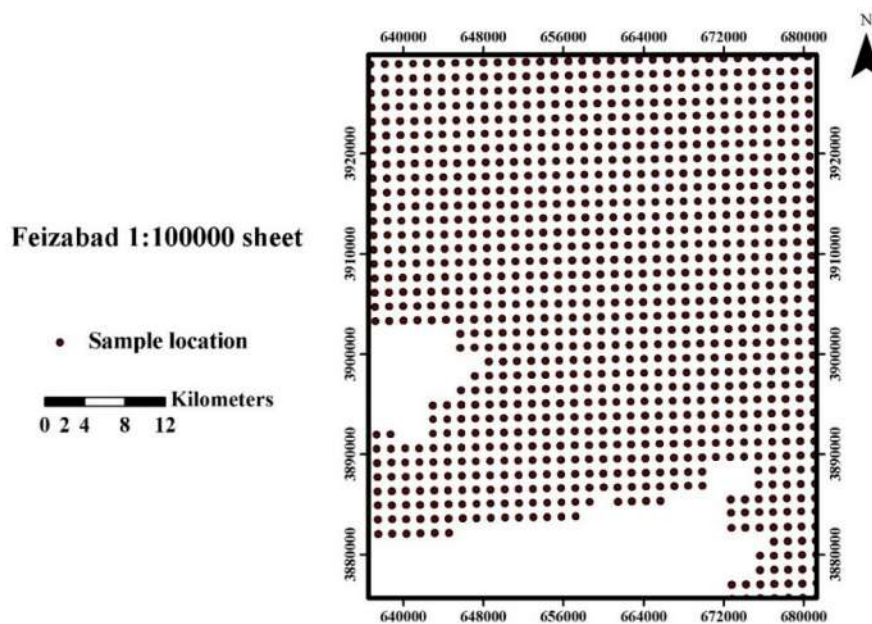
منطقه مورد مطالعه مساحتی در حدود ۲۵۰۰ کیلومترمربع را پوشش داده و در برگه ۱:۱۰۰۰۰۰ فیض‌آباد جای گرفته است. در این تحقیق، ۱۰۳۳ عدد نمونه خاک برجا به صورت سیستماتیک از کل برگه فیض‌آباد توسط شرکت چینی جیانگ چنگ و با همکاری سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور برداشت شده است. طبق گزارش شرکت چینی جیانگ چنگ، تعداد کل نمونه‌های برداشت شده در این منطقه ۳۴۷۰ نمونه بوده که در نهایت ۱۰۳۳ نمونه بصورت شبکه منظم به عنوان نمونه‌برداری نهایی ثبت و گزارش شده است. نقشه موقعیت نمونه‌های برداشت شده از محدوده مورد مطالعه در شکل ۷-۲ و ۸-۲ نشان داده شده است.

۷-۲- آماده‌سازی و آنالیز نمونه‌های برداشت شده

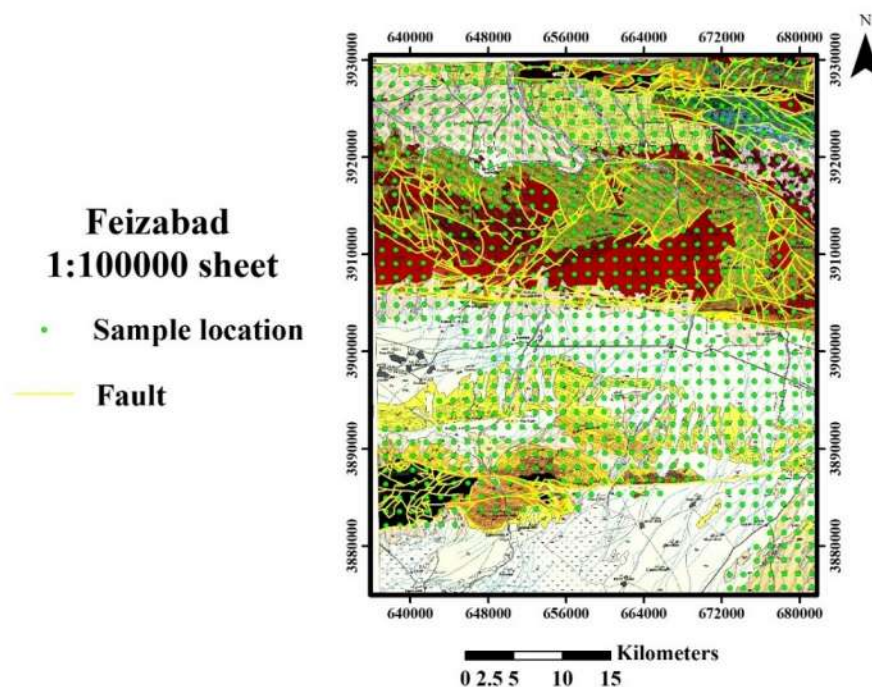
اولین مرحله آماده‌سازی نمونه‌ها با انتخاب ابعاد بهینه به وسیله الک موردنظر در صحرا انجام شده است. در آزمایشگاه، نمونه‌ها طی مراحل خردایش و نرمایش تا ابعاد ۲۰۰- مش پودر شده‌اند. ۵۰ گرم از هر نمونه پس از همگن‌سازی برای تجزیه شیمیایی انتخاب و مابقی نمونه، بایگانی شده‌اند. در این مرحله ۱۰ درصد کل نمونه‌ها (حداقل ۳۰ نمونه تکراری) برای بررسی دقت نتایج آزمایشگاهی انتخاب شده است. هر یک از نمونه‌ها برای ۲۸ عنصر در آزمایشگاه شرکت چینی جیانگ چنگ انجام شده است (Hu et al., 1995). در این نمونه‌ها، پس از آماده‌سازی مقدماتی و کدگذاری، جهت انجام آنالیز ICP-OES (روش اسپکترومتري نشری القای پلاسمای دوگانه) برای ۲۸ عنصر و آماده‌سازی طلا به روش Fire-Assay به آزمایشگاه شرکت چینی جیانگ چنگ فرستاده شد (Hu et al., 1995). عناصر

فصل دوم: زمین‌شناسی منطقه

مورد آنالیز در هر یک از نمونه‌ها عبارتند از: Sn, Co, Sb, As, Cu, Bi, Ni, Cr, Ag, Pb, Zn, F و U, Th, Nb, Cs, P, Rb, Au, Li, Mo, Be, B, W, Hg, Sr, V, Ba



شکل ۲-۷ موقعیت نمونه‌های برداشت شده از منطقه مورد مطالعه



شکل ۲-۸ موقعیت نمونه‌های برداشت شده از منطقه مورد مطالعه بر روی نقشه زمین‌شناسی

۳

روش شناسی

۳-۱- مقدمه

امروزه اکتشافات ژئوشیمیایی به‌خصوص از نوع رسوبات آبراهه‌ای نقش بسیار مهمی در یافتن مناطق امیدبخش و فراهم کردن شرایط مناسب برای اکتشافات تفصیلی، ایفا می‌کند. تشخیص و جداسازی آنومالی‌های ژئوشیمیایی از زمینه، یکی از مهم‌ترین و اساسی‌ترین مسائل در اکتشافات ژئوشیمیایی می‌باشد (Cheng et al., 1994). در سال‌های گذشته، متخصصین با بهره‌گیری از روش‌های آمار کلاسیک توانسته‌اند مقادیر آنومالی را تشخیص دهند. طبق نظر دانشمندان، یک آنومالی ژئوشیمیایی به مناطقی اطلاق می‌گردد که در آن‌ها عیار برخی عناصر خاص بالاتر از حدود آستانه به دست آمده، می‌باشد.

یکی از بزرگ‌ترین ضعف‌های روش‌های مبتنی بر آمار کلاسیک این است که این روش‌ها تنها توزیع فراوانی عیار عناصر را در نظر گرفته و از تغییرات فضایی آن‌ها صرف‌نظر می‌کنند. به‌خصوص اینکه اطلاعات موردنظر درباره همبستگی فضایی داده‌ها همیشه در دسترس نیست. همچنین این روش‌ها فقط در مواردی که داده‌های ژئوشیمیایی از توزیع نرمال باشد، قابل استفاده هستند. درحالی‌که توزیع ژئوشیمیایی داده‌ها همیشه از حالت نرمال پیروی نمی‌کند (Ghavami-Riabi et al., 2010; Levinson, 1974). به‌علاوه، داده‌های جمع‌آوری شده برای استفاده از روش‌های کلاسیک می‌بایست با حذف داده‌های خارج از ردیف و نرمال‌سازی آن‌ها اصلاح شوند که همین امر یکی از معایب بزرگ روش‌های کلاسیک به شمار می‌رود. همچنین، روش‌های آمار کلاسیک فقط نرمال بودن یا لاگ نرمال بودن داده‌ها را در نظر گرفته و به شکل، گسترش و بزرگی نواحی آنومالی توجه نمی‌کنند.

در سال‌های اخیر، برای حل مشکلات ذکر شده در تشخیص نواحی آنومال با استفاده از روش‌های آمار کلاسیک، روش‌های جدیدتری تحت عنوان روش‌های فرکتال در علم ژئوشیمی مطرح شدند. در سال ۱۹۸۳ ماندلبروت تئوری فرکتال را به‌عنوان یک روش غیر اقلیدسی در هندسه مطرح کرد. در طی رخدادهای مربوط به فرآیندهای زمین‌شناسی ممکن است برخی از عناصر فلزی دچار غنی‌شدگی شوند که باعث تشکیل کانسارهای فلزی با عیار بالا می‌شوند و برخی دیگر دچار تهی‌شدگی می‌شوند. (Cheng et al., 1994)؛ بنابراین، روش‌های فرکتالی برای تعیین حدود آستانه و تشخیص و تمایز آنومالی‌های ژئوشیمیایی از مقادیر زمینه می‌توانند مورد استفاده قرار بگیرند (قوامی ریابی و دارابی گلستانی، ۱۳۹۳؛ Daya, 2015; Agterberg et al., 1993). در دهه‌های گذشته، روش‌های مبتنی بر هندسه فرکتال در مطالعات زمین‌شناختی استفاده شده‌اند. یکی از روش‌های متداول فرکتال، روش

عیار-مساحت (C-A) می‌باشد که برای اولین بار توسط چنگ و همکاران در سال ۱۹۹۴ پیشنهاد شد که بعدها توسعه یافت. این روش به دلیل در نظر گرفتن هم‌زمان فراوانی و تغییرات فضایی داده‌های ژئوشیمیایی روش بسیار موفقی در جدایش آنومالی از زمینه به شمار می‌رود (Parsa et al., 2016). روش دیگر مورد استفاده در مطالعات ژئوشیمیایی برای تعیین آنومال‌های ژئوشیمیایی، روش فرکتال عیار-تعداد (N-S) می‌باشد که توسط ماندلبروت در سال ۱۹۸۳ معرفی گردید. این روش علی‌رغم اینکه تغییرات فضایی عیار داده‌های ژئوشیمیایی را در نظر نمی‌گیرد، روش بسیار موفقی در جداسازی جوامع ژئوشیمیایی بوده است. روش آماره فضایی U که در سال ۱۹۹۶ توسط چنگ و همکاران در سال ۱۹۹۶ برای بررسی‌های ژئوشیمیایی رسوبات آبراهه‌ای پیشنهاد شده است، یک روش میانگین متحرک است که همانند روش فرکتالی عیار-مساحت هم توزیع فراوانی داده‌ها و هم تغییرات فضایی آن‌ها را در نظر می‌گیرد و به‌طور مؤثر برای جداسازی جوامع آنومال از زمینه استفاده می‌گردد (Ghavami-Riabi et al., 2010; Parsa et al., 2016). هم‌چنین برای دستیابی به مقادیر آنومالی مربوط به چندین عنصر مرتبط با کانی‌زایی و برجسته‌سازی مقادیر آنومالی، می‌توان از تحلیل‌های آماری چند متغیره نظیر تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA) استفاده کرد. نتایج مربوط به PCA می‌تواند همراه با روش‌های جداسازی آنومالی از زمینه مانند روش‌های فرکتال و آماره فضایی U برای دستیابی به نتایجی مطمئن‌تر مورد استفاده قرار بگیرد (Ghavami-Riabi et al., 2010).

۳-۲- روش‌های جدایش آنومالی از زمینه

روش‌های آماری مختلفی برای جداسازی و تشخیص مناطق آنومال از زمینه توسعه یافته است. این روش‌ها شامل انواع روش‌های بر اساس پارامترهای آماری توزیع (مثل روش‌های مبتنی بر آمار کلاسیک)، بر اساس ساختار فضایی داده‌ها (روش‌های مبتنی بر هندسه فرکتال و آماره فضایی U) هستند. در روش‌های گروه اول، صرفاً پارامترهای آماری داده‌ها برای جدایش جوامع ژئوشیمیایی از زمینه مورد استفاده قرار می‌گیرد و از تغییرات فضایی داده‌ها صرف‌نظر می‌شود. این درحالی است که در روش‌های گروه دوم، موقعیت نقاط نمونه‌برداری و ارتباط فضایی آن‌ها در تخمین مناطق آنومال در نظر گرفته می‌شود (حسنی پاک و شرف‌الدین، ۱۳۸۰).

۳-۲-۱- روش نمودار احتمال

نمودار احتمال از تکنیک‌های ترسیمی می‌باشد که به بررسی رفتار متغیر مورد مطالعه و نحوه پراکندگی آن در جامعه می‌پردازد. این نمودار که بصورت نرمال یا لگاریتمی قابل ترسیم هستند، به بررسی توزیع عیارهای عنصر مورد نظر در جامعه و معرفی زیر جوامع موجود در بین داده‌های ژئوشیمیایی می‌پردازد (حسنی‌پاک و شرف‌الدین، ۱۳۸۰؛ Hazen, 1967).

توزیع نرمال داده‌ها نشان‌دهنده روند خطی در نمودارهای مربوطه می‌باشد و انحراف از آن به معنی عدم تبعیت از توزیع نرمال خواهد بود. انحراف جزئی از روند خطی می‌تواند به خطای تصادفی در نمونه‌برداری، آماده‌سازی، آنالیز و غیره مرتبط باشد (حسنی‌پاک و شرف‌الدین، ۱۳۸۰؛ Levinson, 1974). دامنه کاربرد نمودارهای احتمال در اکتشافات معدنی متنوع بوده که از جمله می‌توان به کاربرد آن در پروژه‌های ژئوشیمی، ژئوفیزیک، تخمین ذخیره و تخمین میزان گاز یک مخزن گازی اشاره نمود. غالباً جوامع آماری در پروژه‌های اکتشافی غیر نرمال بوده و از چولگی مثبت برخوردار می‌باشند، در این حالت زیر جامعه آنومال در کرانه سمت راست توزیع واقع شده و گاهی با جامعه زمینه در غلظت‌های پایین در هم آمیخته می‌شوند. انتظار می‌رود که مقادیر آنومالی (در مقیاس ناحیه‌ای) و یا پیکره‌های کانسنگ پرعیار (در مقیاس محلی) را در کرانه بالای داده‌های ژئوشیمیایی قرار گرفته باشد (Sinclair, 1976; Wellmer, 2012).

۳-۲-۲- روش‌های مبتنی بر هندسه فرکتال

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

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

۱- روش خود تشابهی:

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

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

که در آن a تعداد اجزاء، S ضریب کوچک نمایی و D بعد فرکتال است.

۲- استفاده از خط پیمایش (گام):

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

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

اگر از دو طرف معادله لگاریتم بگیریم خواهیم داشت:

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

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

۳- روش شمارش جعبه‌ای^۱:

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

1. Box counting

هدف اصلی از کاربرد روش فرکتال رسیدن به مرحله جداسازی جامعه آنومالی از زمینه است که با تخمین حدود آستانه‌ای صورت می‌گیرد. در یک سری داده ژئوشیمیایی با دو یا چندین گروه داده فرکتالی متصل به هم مواجه هستیم که گروه‌هایی معرف زمینه و گروه‌هایی معرف جوامع آنومال هستند. در اینجا برای جدایش جوامع آنومال سعی می‌شود عیار بحرانی که در محدوده‌ی آن بعد فرکتالی تغییر می‌کند (یعنی از بعد کمتر مربوط به جامعه زمینه یا آنومالی‌های ضعیف‌تر با سطح ژئوشیمیایی هموارتر به ابعاد بیشتر مربوط به جامعه یا جوامع آنومالی با سطح ژئوشیمیایی ناهموارتر) به عنوان حدود آستانه‌ای معرفی گردد. بنابراین در این روش از توزیع فراوانی عناصر و شکل هندسی آنومالی به‌طور هم‌زمان برای تشخیص حدود آستانه‌ای و جدایش جامعه یا جوامع آنومالی و زمینه استفاده می‌گردد.

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

۳-۲-۳ روش فرکتال عیار-مساحت

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

$$A(\rho \leq V) \propto \rho^{-a1}; A(\rho \geq V) \propto \rho^{-a2} \quad (6)$$

که در این فرمول، $A(\rho \leq V)$ و $A(\rho \geq V)$ نشان‌دهنده مساحت‌های A با مقادیر عیار به ترتیب کوچک‌تر و بزرگ‌تر از مقادیر منحنی تراز غلظت ρ ، V نشان‌دهنده مقدار حد آستانه و a_1 و a_2 - نشان‌دهنده ابعاد فرکتالی هستند. چنگ و همکاران دو نوع کاربرد را برای محاسبه $A(\rho)$ استفاده کرده‌اند: ۱. $A(\rho)$ را به‌عنوان مساحتی در نظر گرفته‌اند که با مقدار غلظت منحنی تراز ρ روی نقشه منحنی تراز ژئوشیمیایی بسته شده است و از درون‌یابی مقادیر اصلی به‌وسیله روش میانگین متحرک نتیجه می‌شود و ۲. $A(\rho)$ مقداری است که از روش شمارش جعبه‌ای مقادیر اولیه عناصر به دست می‌آید، یعنی مساحت کل پیکسل‌های مربوط به یک عیار مشخص با یکدیگر جمع می‌شوند.

در ترسیم نمودار مربوط به روش عیار - مساحت، محور مربوط به لگاریتم عیار در برابر محور مربوط به لگاریتم مساحت قرار می‌گیرد. با برازش خطوط بر روی نمودار تغییرات بر مبنای قانون حداقل مربع انحرافات در جاهایی که تغییر شیب رخ داده است و خطوط دچار شکستگی شده‌اند، جوامع مختلف ژئوشیمیایی از هم جدا می‌شوند.

۳-۲-۴- روش آماره فضایی U

روش آماره فضایی U به‌عنوان روش قوی در جدایش جامعه آنومالی از زمینه مطرح است. این روش نوعی روش میانگین متحرک است، با این روش ویژگی که در هر نقطه خاص، ابعاد پنجره‌ای که در داخل آن میانگین‌گیری صورت می‌گیرد، تغییر داده می‌شود؛ بنابراین برای هر نقطه خاص تعدادی از مقادیر برای آماره U آن نقطه، از روی اطراف آن محاسبه می‌شود. بدین ترتیب ارتباط فضایی نقاط در این روش کاملاً در نظر گرفته می‌شود. معمولاً با افزایش تعداد نمونه نتایج بهتری حاصل می‌شود. آماره U یک میانگین وزن‌دار است، یعنی در هر نقطه از نقاط اندازه‌گیری و یا نمونه‌برداری، مقدار U به‌صورت میانگین وزن‌داری از نقاط اطرافش محاسبه می‌شود (حسنی‌پاک و شرف‌الدین، ۱۳۸۰؛ Ghavami-Riabi et al., 2010).

در این روش، یک پنجره در اطراف هر ایستگاه (هر نمونه) با اندازه‌ها و شکل‌های مختلف تعیین می‌شود. شکل هر پنجره بر اساس تغییرات همسانگردی یا ناهمسانگردی متغیرهای ژئوشیمیایی در جهات مختلف، تعیین می‌شود؛ بنابراین آماره U یک میانگین وزن‌دار است، یعنی در هر ایستگاه مقدار U به‌صورت میانگین وزن‌داری از نقاط اطرافش محاسبه می‌شود. مقدار U برای هر ایستگاه طبق معادله زیر می‌تواند محاسبه شود (Ghavami-Riabi et al., 2010):

$$U_i(r) = \frac{\sum_{j=1}^{n_1} w_j(r)x_j - \mu}{\sigma} + \frac{\sum_{k=1}^{n_2} w_k(r)x_k - \mu}{\sigma} = \frac{\bar{x}_i(r) - \mu}{\sigma} \quad (7)$$

که در آن μ میانگین و σ انحراف معیار کل داده، x_j و x_k به ترتیب مقادیر اندازه‌گیری شده در j امین و k امین ایستگاه درون دایره، $w_j(r)$ و $w_k(r)$ نیز به ترتیب وزن‌های j امین و k امین ایستگاه، $\bar{x}_i(r)$ میانگین وزن‌دار i امین ایستگاه بر اساس ایستگاه‌های اطراف می‌باشد. $U_i(r)$ تابعی از r است که بر اساس آن مقادیر مختلف U بر اساس مقادیر مختلف r می‌توانند تعیین شوند (Ghavami-Riabi et al., 2010).

۳-۳- روش‌های مدل‌سازی پتانسیل معدنی

در اکتشافات اولیه و مقدماتی، شناسایی مناطقی که باید در مراحل بعدی مورد توجه قرار گیرند با استفاده از مدل‌سازی پتانسیل معدنی صورت می‌گیرد. مدل‌سازی پتانسیل معدنی درواقع یافتن مکان‌ها یا مناطقی است که یک سری معیارها و ملاک‌ها برای حضور ذخیره در آن‌ها صدق می‌کند. فعالیت‌های اکتشافی ذخایر معدنی، به‌خصوص برای یافتن تمرکز با ارزش اقتصادی از کانی‌ها و فلزات، دارای ۴ مرحله شامل انتخاب منطقه، شناسایی هدف، ارزیابی منبع و تعیین ذخیره می‌باشد (یوسفی و کامکار روحانی، ۱۳۸۹؛ Carranza, 2008).

انتخاب منطقه اکتشافی، درواقع انتخاب منطقه امیدبخش و نواحی که احتمال حضور ذخایر معدنی مورد پی‌جویی وجود دارند، می‌باشد. این انتخاب بر اساس شناخت از ذخیره و محیط آن در نزدیک سطح زمین و در مکان‌هایی که فرآیندهای زمین‌شناسی و ساختاری برای کانی‌سازی مناسب هستند، صورت می‌گیرد. شناسایی هدف، مرحله‌ای است که در آن مناطقی معرفی می‌شوند که باید برای مطالعات اکتشافی بیشتر و تفصیلی‌تر با استفاده از روش‌های اکتشافی موجود، مورد جستجو قرار گیرند. این مناطق درواقع قسمتی یا سطحی کوچک‌تر از منطقه انتخاب شده اولیه می‌باشند. عملیات اکتشافی در این مناطق به‌منظور کشف کانی‌سازی‌های جدید، بر اساس مدل‌های اکتشافی ذخایر مورد جستجو و داده‌های مناسب از قبیل زمین‌شناسی، ژئوشیمی، ژئوفیزیک و غیره صورت می‌گیرد. مرحله ارزیابی منبع شامل تخمین عیار، تناژ و میزان کانه‌ها (و یا کانی‌ها) و فلزات خاص در ذخیره کشف شده است که تا حدود زیادی بر اساس اطلاعات حفاری سیستماتیک صورت می‌گیرد. تعیین ذخیره درواقع کانی‌سازی کشف شده را به بخش‌های مختلف ذخیره معدنی (قطعی، احتمالی و ممکن) و یا منابع معدنی (اندازه‌گیری شده، نشان‌دار و استنباطی) بر اساس روش‌ها و تحلیل‌های امکان‌پذیری و بررسی‌های فنی و اقتصادی تقسیم‌بندی می‌کند (یوسفی و کامکار روحانی، ۱۳۸۹؛ Carranza, 2008).

مجموعه حاضر، روی بخش دوم یعنی شناسایی مناطق هدف تأکید و تمرکز دارد. شناسایی مناطق هدف خود یک فعالیت اکتشافی چندمرحله‌ای است که از مقیاس ناحیه‌ای (کوچک‌مقیاس) شروع شده و تا مقیاس محلی (بزرگ‌مقیاس) ادامه می‌یابد. در هر یک از مقیاس‌های فوق شناسایی و تولید مناطقی که باید به عنوان هدف مورد توجه قرار گیرند، شامل جمع‌آوری، تجزیه و تحلیل و تلفیق انواع داده‌های مرتبط و مناسب می‌باشد که به منظور استخراج و استنتاج قسمت‌هایی از داده‌های فضایی الگو و شاهد کانی‌سازی، یعنی آنومالی‌های زمین‌شناسی، آنومالی‌های ژئوشیمیایی و یا ژئوفیزیکی همراه با ذخایر مورد پی‌جویی، صورت می‌گیرد. از آنجایی که تمام آنومالی‌های به دست آمده حاصل از هر یک روش‌های اکتشافی، همراه با معرف کانی‌سازی نیستند، بنابراین سعی می‌شود تا از تلفیق نتایج روش‌های مختلف برای تأیید مناطق هدف استفاده شود؛ بنابراین مناطق هدف که باید برای پی‌جویی‌های بعدی مورد توجه قرار گیرند، به وسیله انطباق چنین آنومالی‌هایی تعیین می‌شوند. مجموعه فرآیندهای شامل تجزیه و تحلیل داده‌های اکتشافی مختلف، استخراج الگوهای شاهد پیش‌گوی کانی‌سازی و در نهایت ترکیب و تلفیق شواهد فضایی، به منظور شناسایی مناطق هدف و امیدبخش در اکتشاف کانی‌سازی‌های ناشناخته، مدل‌سازی پتانسیل معدنی نامیده می‌شود. خروجی مدل پتانسیل معدنی، نقشه‌ای خواهد بود که در آن محل، حضور احتمالی ذخایر شناخته نشده مورد پیش‌بینی قرار گرفته است (یوسفی و کامکار روحانی، ۱۳۸۹).

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

برای مدل‌سازی و هم‌چنین سنجش اعتبار مدل باید تعدادی داده کمی که مستقیماً با متغیرهای هدف ارتباط دارند، در دسترس باشد. مدل پیش‌بینی، الگوی موقتی، سریع و اولیه از یک سیستم مورد جستجو است (Carranza, 2009a). در واقع تلفیق دانش به‌کاربرده شده و مجموعه داده‌های مورد استفاده، به صورت مدل تجلی می‌یابد و باید بر اساس داده‌ها، تجربیات جدید و یا اطلاعات مربوط به مدل به‌روز

شود؛ بنابراین هر ارائه و نمایشی به صورت نقشه که سیستم‌های پیچیده دنیای واقعی را به صورت غیرمستقیم قابل مشاهده نماید، یک مدل پیش‌گو است. واژه‌های پیش‌گو و نمایش (ارائه‌دهنده) معادل نقشه‌برداری (به نقشه درآوردن) هستند که تجسمی از نتایج تحلیل و تفسیر انواع داده‌های مربوط به مجموعه اطلاعاتی فضایی علوم زمین را به منظور رسیدن به فرضیه‌ها و پیش‌بینی‌هایی در مورد مناطق هدف و مورد پی‌جویی در اختیار می‌گذارند. بنابراین یک مدل پیش‌گو در واقع نقشه‌ای است که محل‌های حضور احتمالی کانی‌سازی را پیش‌بینی می‌کند. لذا حضور یا عدم حضور یک کانی‌سازی در یک محل، به‌طور غیرمستقیم از طریق یافتن ارتباط بین این کانی‌سازی با الگوهای شاهد و خصوصیات قابل اندازه‌گیری متغیرهای پیش‌گوی اکتشافی (زمین‌شناسی، ژئوشیمی، ژئوفیزیک و غیره) قابل ارزیابی است.

مدل‌های پتانسیل معدنی در هر مقیاسی، از ناحیه‌ای تا محلی، برای شناسایی مناطق هدف تهیه می‌شوند. این مدل‌ها با تحلیل، ترکیب و تلفیق شواهد به دست آمده از منابع مختلفی از داده‌های فضایی، به تعیین و رتبه‌بندی نواحی امیدبخش، به منظور اکتشاف ذخایر کشف نشده، می‌پردازند. هدف از مدل‌سازی پتانسیل معدنی در مقیاس ناحیه‌ای، شناسایی و تولید امیدبخش‌ترین مناطق هدف، از میان ناحیه‌ای وسیع می‌باشد تا بر روی این بخش انتخاب شده (به عنوان هدف)، در مقیاس محلی دوباره مدل‌سازی پتانسیل معدنی با هدف شناسایی و معرفی امیدبخش‌ترین مکان‌ها (با مساحت کوچک‌تر از مرحله قبل) صورت گیرد؛ بنابراین با پیشرفت عملیات اکتشافی از مقیاس ناحیه‌ای به مقیاس محلی، مجموعه داده‌های مورد استفاده در مدل‌سازی افزایش یافته و ضمن تفصیلی‌تر شدن، دقت نیز بالا می‌رود و تفکیک فضایی مکان‌ها و ساختارها نیز بهتر صورت می‌گیرد (Carranza, 2008).

۳-۴- تلفیق لایه‌های اطلاعاتی

برای مدل‌سازی پتانسیل معدنی (MPM) برای نوع خاصی از کانسارهای معدنی در یک محدوده مشخص، مجموعه داده‌های موجود بر اساس یک مدل مفهومی از پتانسیل‌یابی کانسار موردنظر، مورد استفاده قرار می‌گیرد. سپس از مجموعه داده‌های اکتشافی موجود، نقشه‌های شاهد مربوطه تولید شده و وزن‌دهی می‌شوند و سپس برای یافتن مناطق امیدبخش و هدف، با یکدیگر تلفیق می‌شوند (Yousefi and Carranza, 2017). بر همین اساس چهار روش کلی برای مدل‌سازی پتانسیل معدنی پیشنهاد شده (Bonham-Carter, 1994; Carranza, 2008; Porwal and Kreuzer, 2010).

۱. اولین روش، وزن‌دهی به لایه‌های اطلاعاتی بر اساس نظر کارشناسان علوم زمین می‌باشد. این روش‌ها تحت عنوان روش‌های دانش‌محور می‌باشند. روش‌های دانش‌محور ترکیبی از دانش و تجربه اکتشافی متخصصین می‌باشد که در آن‌ها وزن هر یک از لایه‌های اطلاعاتی به‌صورت ذهنی^۱ داده می‌شود؛ یعنی اختصاص وزن به هر یک از لایه‌های اطلاعاتی شاهد بر اساس نظر کارشناس متخصص می‌باشد (Moon, 1990; Carranza and Hale, 2001; Porwal et al., 2004). نمونه‌ای از متدهای مورد استفاده در این زمینه، شامل منطق بولی، شاخص همپوشانی (Harris et al., 2003)، فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) (Hosseinali and Alesheikh, 2008) و منطق فازی (An et al., 1994) می‌باشد. ۲. وزن‌دهی به لایه‌ها و کلاس‌های هر لایه با استفاده از محل قرارگیری اندیس‌ها و رخدادهای معدنی به‌عنوان نقاط آموزشی تحت عنوان روش‌های داده‌محور؛ یعنی در این روش‌ها وزن دهی به لایه‌ها به‌صورت مشاهده‌ای^۲ می‌باشد. موفقیت این روش‌ها بستگی به تعداد رخدادهای معدنی موجود دارد و هرچه تعداد آن‌ها بیشتر باشد، احتمال موفقیت این روش‌ها نیز افزایش می‌یابد. نمونه‌ای از روش‌های مورد استفاده در این زمینه شامل رگرسیون لجستیکی (Carranza and Hale, 2001)، شبکه‌های عصبی مصنوعی (Harris, 1990; Abedi and Norouzi, 2012)، کلاسیفایر بیزین (Porwal et al., 2006) می‌باشند.

۳. استفاده ترکیبی از دو روش مذکور فوق برای مدل‌سازی پتانسیل معدنی (Carranza, 2008).
۴. وزن‌دهی به شواهد مکانی پیوسته بدون استفاده از نظرات متخصصین و بدون استفاده از مکان رخدادهای معدنی شناخته شده در منطقه مورد مطالعه (Yousefi and Nykänen, 2016).
در این پژوهش از روش اول، وزن‌دهی به لایه‌های اطلاعاتی بر اساس نظر کارشناسان علوم زمین، نظیر روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) جهت مدل‌سازی پتانسیل معدنی استفاده شده است.

1. Subjectively

2. Objectively

۳-۵- روش‌های دانش‌محور برای پتانسیل‌یابی معدنی

۳-۵-۱- اصول روش‌های دانش‌محور

روش‌های دانش‌محور مدل‌سازی پتانسیل معدنی در شروع عملیات اکتشاف در مناطقی که از لحاظ زمین‌شناسی مناسب بوده ولی در آن کار اکتشافی کم صورت گرفته، مناسب هستند. این روش‌ها عموماً در مناطقی که در آنجا هیچ ذخیره شناخته‌شده‌ای وجود ندارد، یا تعداد ذخایر شناخته شده اندک است (نواحی سبز) به کار می‌روند. تجربه اجرای عملیات اکتشاف و بررسی ارتباط و وابستگی 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 دانش‌محور در تهیه مدل پتانسیل معدنی می‌باشد (Carranza, 2009a). بنابراین در این روش از مدل مفهومی ذخایر مورد پی‌جویی در مناطقی که عملیات اکتشافی در آنجا خوب صورت گرفته، برای تهیه مدل پتانسیل معدنی در نواحی جدید استفاده می‌شود. در واقع مدل مفهومی به عنوان ملاکی برای انتخاب و شناسایی معیارهای اکتشافی و الگوهای شاهد، تولید نقشه‌های پیش‌گو، تخصیص وزن به نقشه‌ها و الگوهای شاهد و در نهایت تلفیق نقشه‌های شاهد به منظور معرفی مناطق امیدبخش برای ذخیره مورد جستجو استفاده می‌شود؛ بنابراین واژه دانش‌محور اشاره به ارزیابی کیفی یا وزن دادن به شواهد بر اساس مقایسه و قضاوت کارشناسی می‌باشد. تخمین وزن هر نقشه شاهد و همچنین تخمین امتیاز و ارزش هر الگو (کلاس) از هر نقشه شاهد بر اساس قضاوت کارشناسی و تخصیصی روی همراهی فضایی بین ذخایر مورد جستجو و هر مجموعه از منظرهای زمین‌شناسی شاخص (نشانه و راهنما) صورت می‌گیرد. از این‌رو روش دانش‌محور به نام روش تجربه‌محور مدل‌سازی پتانسیل معدنی نیز شناخته شده است. تجربه‌ای که در روش دانش‌محور تهیه مدل پتانسیل معدنی استفاده می‌شود، از طریق عملیات و مشاهدات صحرایی اکتشاف مواد معدنی و همچنین از طریق تجربه‌های کاربرد روش‌های مختلف تحلیل و وابستگی فضایی بین منظرها و الگوهای زمین‌شناسی مشخص، با پراکندگی ذخایر شناخته شده مشابه مواد معدنی مورد جستجو، به دست می‌آید. همچنین ممکن است برای یک کارشناس که تجربه زیادی در اکتشاف ذخایر معدنی از نوع مورد جستجو دارد، دانش از تجربه استنتاج شود. روش دانش‌محور مدل‌سازی پتانسیل معدنی ممکن است نقشه‌های شاهد دوتایی یا چند کلاسه را بر اساس میزان اطلاعات و تجربه به دست آمده از نواحی خوب اکتشاف شده قبلی و یا با توجه به میزان دقت داده‌های اکتشافی در دسترس در مناطق مناسب (به لحاظ زمین‌شناسی) برای اکتشاف، بکار گیرد. اگر میزان یک یا هر دو عامل فوق یعنی اطلاعات حاصل از عملیات صحرایی

و همچنین تجربه حاصل از مطالعه اندیس‌های شناخته شده مشابه ذخایر مورد جستجو بالا باشد، استفاده از نقشه‌های شاهد چند کلاسه برای مدل‌سازی پتانسیل معدنی مناسب می‌باشد در غیر این صورت باید از نقشه‌های شاهد دوتایی استفاده گردد (Carranza, 2009a).

۳-۵-۱-۱- استفاده از تکنیک‌های تصمیم‌گیری چند معیاره در روش‌های

دانش‌محور

تصمیم‌گیری چند معیاره (MCDM)، اتخاذ تصمیم در حضور معیارهای چندگانه و بعضاً متضاد می‌باشد. مسائل مربوط به تصمیم‌گیری‌های چند معیاره در زندگی روزمره نیز جریان دارد. هرچند مسائل تصمیم‌گیری چند معیاره همیشه وجود داشته است، اما تصمیم‌گیری قانونمند برای حل مسائل چند معیاره قدمتی در حدود ۳۰ سال دارد که این‌گونه تصمیم‌گیری‌های قانونمند، با پیشرفت تکنولوژی کامپیوتر، پیشرفت دوچندانی داشته است. به عبارت دیگر، پیشرفت در تکنولوژی کامپیوتر در سال‌های اخیر، انجام تحلیل‌های سیستماتیک مسائل پیچیده MCDM را تسهیل می‌نماید. با استفاده گسترده از تکنولوژی کامپیوتر، حجم بسیار زیادی از اطلاعات تولید می‌شود که این اطلاعات به‌عنوان معیارهای چندگانه در مسائل MCDM می‌تواند استفاده شود (Xu and Yang, 2001).

روش‌های کارآمد بسیاری برای حل مسائل تصمیم‌گیری چند معیاره وجود دارد که از جمله مهم‌ترین این تکنیک‌ها، شامل فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP)، روش TOPSIS و روش VIKOR روش SAW و غیره می‌باشد که هریک از روش‌های مذکور، چندین معیار مختلف را به‌عنوان ورودی دریافت کرده و بر اساس همین معیارها، جایگزین‌های مختلف رده‌بندی شده و وزن‌دهی می‌شوند.

هدف اصلی از مدل‌سازی پتانسیل معدنی (MPM)، مشخص نمودن زون‌های دارای پتانسیل کانی‌زایی در یک محدوده مشخص برای بررسی‌های اکتشافی تفصیلی می‌باشد. مدل‌سازی پتانسیل معدنی (MPM)، یکی از مسائل تصمیم‌گیری چند معیاره (MCDM) محسوب می‌شود که معیارهای اکتشافی چندگانه را با یکدیگر تلفیق می‌کند و در نهایت یک نقشه پیش‌گو از منطقه را تولید می‌کند که طبق آن، زون‌های مستعد کانی‌زایی مشخص می‌شوند (Abedi and Norouzi, 2016) روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره در پتانسیل‌یابی معدنی بیشتر در حالت دانش‌محور استفاده شده‌اند.

۳-۵-۱-۲- فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP)

در مدل‌سازی پتانسیل معدنی، مشکل اصلی تصمیم‌گیری در حالتی است که باید میزان اهمیت یک نقشه شاهد نسبت به دیگر نقشه‌های شاهد تعیین شود. این مشکل می‌تواند تا حدودی از طریق مقایسه دو به دو (زوجی) نقشه‌های شاهد بر اساس فرآیند تصمیم‌گیری تحلیل سلسله مراتبی (AHP) مرتفع شود. این روش برای تحلیل تصمیم‌گیری چند معیاره توسعه داده شد (Saaty, 1994). هدف این روش، رتبه‌بندی معیارها بر اساس مقایسه دوه‌دو وابستگی‌های مهم با توجه به هدف تصمیم‌گیری می‌باشد (جدول ۱-۳).

جدول ۱-۳ مراحل مختلف مقایسه زوجی و مقادیر کمی شده هریک (Saaty, 1994)

Intensity of importance	Definition
1	Equal importance or preference
2	Equal to moderate importance or preference
3	Moderate importance or preference
4	Moderate to strong importance or preference
5	Strong importance or preference
6	Strong to very strong importance or preference
7	Very strong importance or preference
8	Very to extremely strong importance or preference
9	Extreme importance or preference

روش تحلیل سلسله مراتبی چند معیاره در محیط GIS بیشتر در کاربری زمین توسعه پیدا کرده است. کاربرد روش تحلیل سلسله مراتبی در مدل‌سازی پتانسیل معدنی و درواقع تخصیص وزن به شواهد توسط توسعه پیدا کرده است (De Araújo and Macedo, 2002; Pazand et al., 2011; Moreira et al., 2003; Hosseinali and Alesheikh, 2008). کاربرد این روش برای تخصیص وزن هم در روش مدل‌سازی هم‌پوشانی شاخص دوتایی و هم در مدل‌سازی هم‌پوشانی شاخص چند کلاسه و همچنین روش منطق فازی مفید می‌باشد. در تخصیص وزن در روش AHP، معیارها به‌منظور بررسی میزان اهمیت هرکدام از آن‌ها دو به دو مورد مقایسه قرار می‌گیرند. وزن‌های تخصیص یافته به کلیه معیارها بر اساس مقایسه تمام جفت معیارهای ممکن به‌صورت یک ماتریس مقایسه زوجی تبدیل می‌شود. وقتی یک ماتریس مقایسه زوجی برای تمام حالت‌های دوتایی ممکن به دست آمد، در

این حالت پس از به دست آوردن مجموع هر ستون باید ماتریس بردارهای ویژه محاسبه شود (Boroushaki and Malczewski, 2008). تخمین خوب از ماتریس مقایسه زوجی می‌تواند از طریق نرمالیزه کردن امتیازهای زوجی در پایین هر ستون و سپس با محاسبه وزن معیارها به صورت میانگین امتیازهای زوجی نرمالیزه شده در هر سطر، به دست آید. ابتدا هر مقدار در ماتریس بر مجموع مقادیر ستونی که در آن قرار دارد، تقسیم شده است. سپس برای هر سطر میانگین مقادیر محاسبه گردیده و در ستون W_f قرار گرفته است. در نهایت هر مقدار از ستون W_f ، بر حداقل مقدار این ستون تقسیم شده است تا مقادیر W_i به دست آید. مجموع مقادیر وزن‌های ستون W_i تقریباً برابر ۱ است که نشان‌دهنده این است که تقریباً تغییرات ۱۰۰ درصد از مقادیر پوشش داده شده است.

۳-۱-۵-۳- مدل‌سازی با استفاده از روش فازی پیوسته

لایه‌های اطلاعاتی پیوسته شاهد، می‌توانند بدون در نظر گرفتن رخداد‌های معدنی در منطقه و بدون گسسته‌سازی و کلاسه‌بندی مقادیر آن‌ها، با استفاده از یک تابع تبدیل مناسب نظیر تابع $MSLarge$ ، تولید شوند؛ بنابراین، با استفاده از تابع تبدیل $MSLarge$ می‌توان از معایب روش‌های داده‌محور و دانش‌محور برای پتانسیل‌یابی معدنی جلوگیری کرد. این معایب شامل احتمال به وجود آمدن بایاس اکتشافی و خطای تصادفی برای روش‌های داده‌محور در تعیین مناطق هدف می‌باشد که معمولاً این‌گونه خطاها در نزدیکی و اطراف اندیس‌های موجود اتفاق می‌افتد و همچنین معایب روش‌های دانش‌محور در هنگام پتانسیل‌یابی معدنی شامل خطای سیستماتیک هنگام جداسازی و کلاسه‌بندی جوامع مختلف و وزن‌دهی به هر یک از آن‌ها بر اساس نظرات کارشناسان، می‌باشد که با استفاده از لایه‌های اطلاعاتی شاهد پیوسته در مدل‌سازی پتانسیل معدنی، می‌توان از این‌گونه خطاها جلوگیری نمود (Yousefi and Carranza, 2015).

در مدل‌سازی پتانسیل معدنی با استفاده از روش فازی، نقشه‌های شاهد فازی سازی شده برای تولید مقادیر نهایی فازی و یافتن مناطق امیدبخش جهت استفاده در اکتشافات دقیق‌تر، با یکدیگر ترکیب می‌شوند (Bonham-Carter, 1994).

در این فصل به بیان تئوری روش‌های جدایش آنومالی از زمینه و همچنین انواع روش‌های مدل‌سازی پتانسیل معدنی پرداخته شد. در ادامه با استفاده از روش‌های جدایش آنومالی از زمینه، نظیر روش نمودار احتمال، فرکتال عیار - مساحت و آماره فضایی U به بررسی‌های ژئوشیمیایی پرداخته شده است

و در نهایت با استفاده از روش فازی‌سازی لایه‌های اطلاعاتی و روش تصمیم‌گیری چند معیاره AHP به مدل‌سازی پتانسیل معدنی پرداخته شده است.

۴

بررسی‌های ژئوشیمیایی و
پتانسیل یابی معدنی

۴-۱- مقدمه

در این فصل به پیاده‌سازی روش‌های مختلف جدایش جوامع زمینه از آنومالی ژئوشیمیایی و مدل‌سازی پتانسیل معدنی پرداخته بر روی داده‌های سیستماتیک ناحیه فیض‌آباد پرداخته و در نهایت مناطق امید بخش معدنی این محدوده شناسایی شده است.

۴-۲- آماده‌سازی داده‌های ژئوشیمیایی

گاهی مواقع به علت وجود عیارهای بسیار کم یا سنسورد (کمتر از حد پایین تشخیص دستگاه) و یا عیارهای بسیار بالا یا خارج از رده (بیشتر از حد بالای تشخیص دستگاه) داده‌های دقیقی به دست نیامده و این مقادیر عیاری به صورت صفر (0)، مقادیر کمتر از حد پایینی دستگاه ($<$) و یا مقادیر بیشتر از حد بالایی دستگاه ($>$) گزارش می‌شوند. در محدوده مورد مطالعه هیچ‌یک از نمونه‌ها، داده‌ای از این دو نوع نداشته است و لذا داده‌های ژئوشیمیایی نیازمند جایگزینی نداشته است.

اکثر روش‌های آماری فرض نرمال بودن توزیع داده‌ها را به همراه دارند، یعنی برای تحلیل با استفاده از این روش‌ها باید داده‌های مورد استفاده نرمال‌سازی شوند. در واقع سطح زیر منحنی توزیع نرمال، می‌تواند برابر با احتمال وقوع رخدادی با ویژگی تعریف شده باشد. در بررسی طبیعت توزیع داده‌های معدنی اکتشافی، توزیع نرمال از اهمیت خاصی برخوردار است. در محدوده‌های اکتشافی به‌ویژه در اکتشافات ژئوشیمیایی با داده‌هایی سروکار داریم که معمولاً نرمال نیستند. برای نرمال‌سازی داده‌های ژئوشیمیایی روش‌های آماری مختلفی وجود دارد. یکی از معتبرترین روش‌ها در این زمینه استفاده از تابع تبدیل لگاریتمی است. در بسیاری از موارد، داده‌های اکتشافی دارای توزیع نامتقارن با چولگی مثبت است. این بدان معنی است که نمونه‌هایی با عیار کم فراوان‌تر و نمونه‌هایی با عیار زیاد درصد کم‌تری از داده‌ها هستند. در این شرایط اغلب با تبدیل لگاریتمی، توزیع داده‌ها متقارن گشته و به توزیع نرمال نزدیک می‌شود. توزیع این‌گونه داده‌ها را لاگ نرمال می‌نامند. با استفاده از این تابع، اختلاف بین مقادیر بالا و پایین عیار، کاهش یافته و امکان مقایسه بهتر آن‌ها فراهم می‌شود (حسنی‌پاک و شرف‌الدین، ۱۳۸۰).

۴-۳- مطالعات آماری تک متغیره

پارامترهای مرکزیت و پراکندگی حاصل از پردازش داده‌های خام ۲۸ عنصر مطابق جدول ۴-۱ و اشکال ۴-۱ الی ۴-۱۰ می‌باشد. با بررسی نمودار احتمال عناصر، مشخص شد که عناصر از توزیع لاگ نرمال پیروی می‌کنند. مقادیر زمینه عناصر در خاک (Levinson, 1974) (ستون آخر جدول ۴-۱)، نیز ارائه شده است. ضمن مقایسه زمینه عناصر در خاک با مقادیر ماکزیمم و مینییمم نمونه‌ها، میانگین و پارامترهای مرکزیت، عناصر سرب، روی، نقره، کروم، نیکل، مس، آرسنیک، جیوه، طلا، نیوبیم و فلوئور انحراف از مقادیر زمینه خود داشته و نیاز به بررسی بیش‌تر دارند.

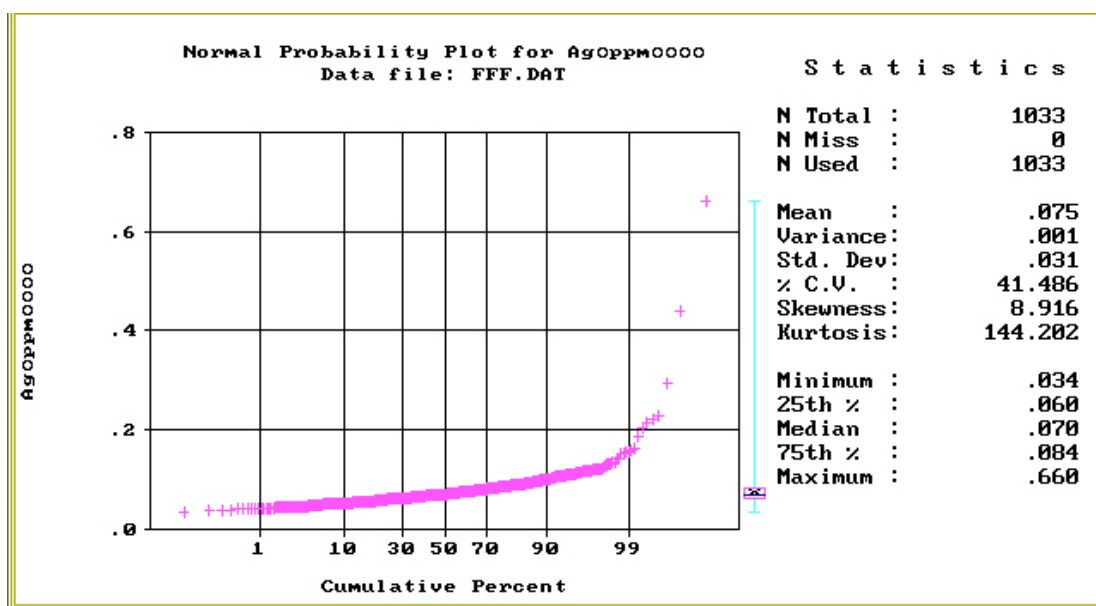
جدول ۴-۱ پارامترهای مرکزیت، پراکندگی و زمینه داده‌های خام

Element	Mean	Median	Std. Deviation	Variance	Skewness	Kurtosis	Minimum	Maximum	Background Range in Soil
Zn(ppm)	81.29	70.91	33.33	1110.67	1.98	5.44	39.36	311.99	10--300
Pb(ppm)	26.56	21.3	19.35	374.25	3.89	28.09	3.6	256.6	2--200
Ag(ppm)	0.07	0.07	0.03	0.00	8.93	141.89	0.034	0.66	0.10
Cr(ppm)	427.29	189.2	518.73	269079.28	3.06	14.25	58.4	5448.2	5--1000
Ni(ppm)	104.42	65.22	95.38	9097.41	3.18	15.55	19.78	932.83	5--500
Bi(ppm)	0.26	0.19	0.30	0.09	7.55	83.36	0.08	5	little
Cu(ppm)	33.96	31.54	14.15	200.20	2.72	13.17	10.54	153.94	2--100
As(ppm)	9.24	8.4	3.85	14.86	3.67	26.58	2.5	52.6	1--50
Sb(ppm)	0.65	0.59	0.37	0.14	2.46	12.84	0.14	4.2	5.00
Co(ppm)	18.35	16.99	6.17	38.05	1.52	4.16	7.12	59.01	1--40
Sn(ppm)	1.73	1.7	0.44	0.20	0.95	2.93	0.886	4.233	10.00
Ba(ppm)	385.24	390.92	119.98	14394.29	0.93	3.86	89.36	1237	100--3000
V(ppm)	122.46	111.46	63.35	4012.72	7.33	82.80	47.57	1078	20--500
Sr(ppm)	339.09	275.21	299.72	89832.87	6.29	54.22	85.99	4145	50--1000
Hg(ppm)	0.013	0.013	0.01	0.00	6.85	103.08	0.003	0.138	0.03
W(ppm)	1.1	1	0.57	0.32	3.37	33.81	0.21	8.8	little
B(ppm)	44.48	39.142	20.58	423.59	1.66	3.25	10.979	142.206	2--100
Be(ppm)	1.69	1.7	0.28	0.08	0.91	6.08	0.83	3.9	6.00
Mo(ppm)	0.95	0.81	0.54	0.29	1.51	3.37	0.2	3.8	2.00
Li(ppm)	31.08	29.42	9.60	92.22	1.98	6.62	11.88	89.4	5--200
Au(ppb)	1.72	1.07	3.04	9.23	8.54	97.36	0.2	48.78	little
Rb(ppm)	65.53	68.6	20.59	423.84	-0.09	0.20	8	154.3	20--500

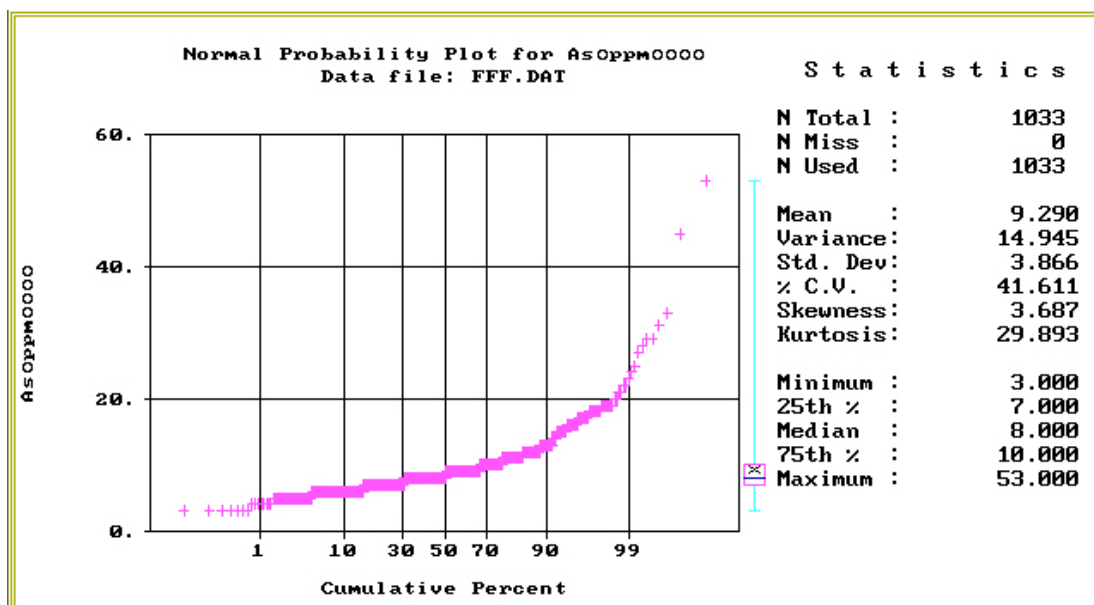
فصل چهارم: بررسی‌های ژئوشیمیایی و پتانسیل‌یابی معدنی

ادامه جدول ۴-۱ پارامترهای مرکزیت، پراکندگی و زمینه داده‌های خام

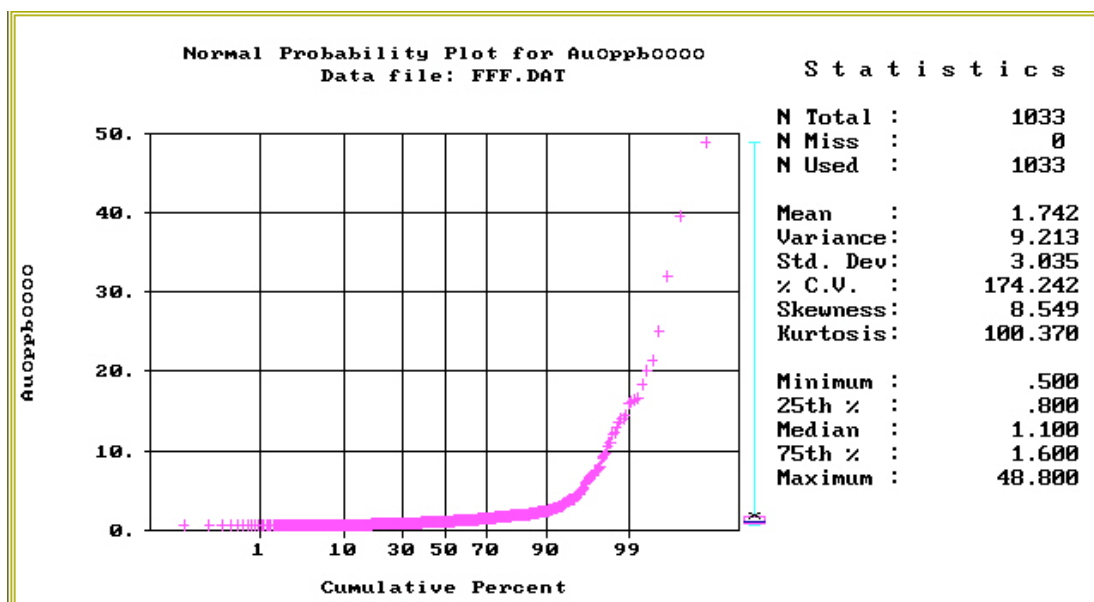
Element	Mean	Median	Std. Deviation	Variance	Skewness	Kurtosis	Minimum	Maximum	Background Range in Soil
Cs(ppm)	6.03	5.611	2.06	4.26	1.76	5.02	2.82	17.477	6.00
Nb(ppm)	11.36	11.3	2.79	7.77	0.00	-0.24	1.4	19	little
Th(ppm)	8.79	9.4	2.57	6.58	-0.61	-0.28	2.1	16.3	13.00
U(ppm)	1.71	1.741	0.40	0.16	-0.07	0.02	0.598	3.041	1.00
F(ppm)	431.74	424	125.78	15820.43	0.44	-0.30	180	860	Little
P(ppm)	0.06	0.0601	0.02	0.00	0.56	-0.01	0.0184	0.1409	Little



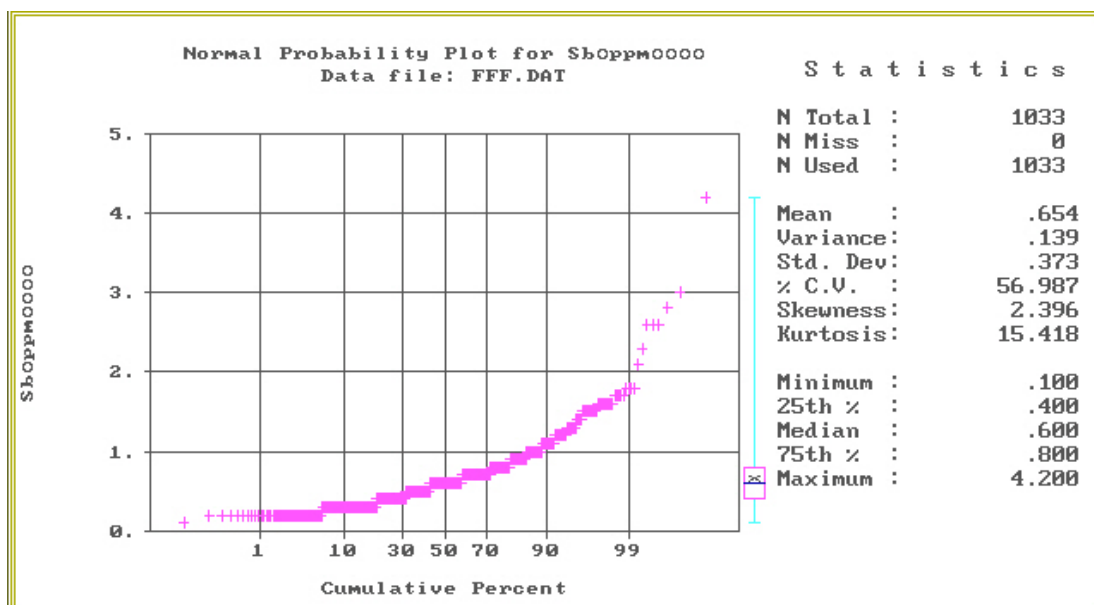
شکل ۴-۱ نمودار احتمال داده‌های Ag



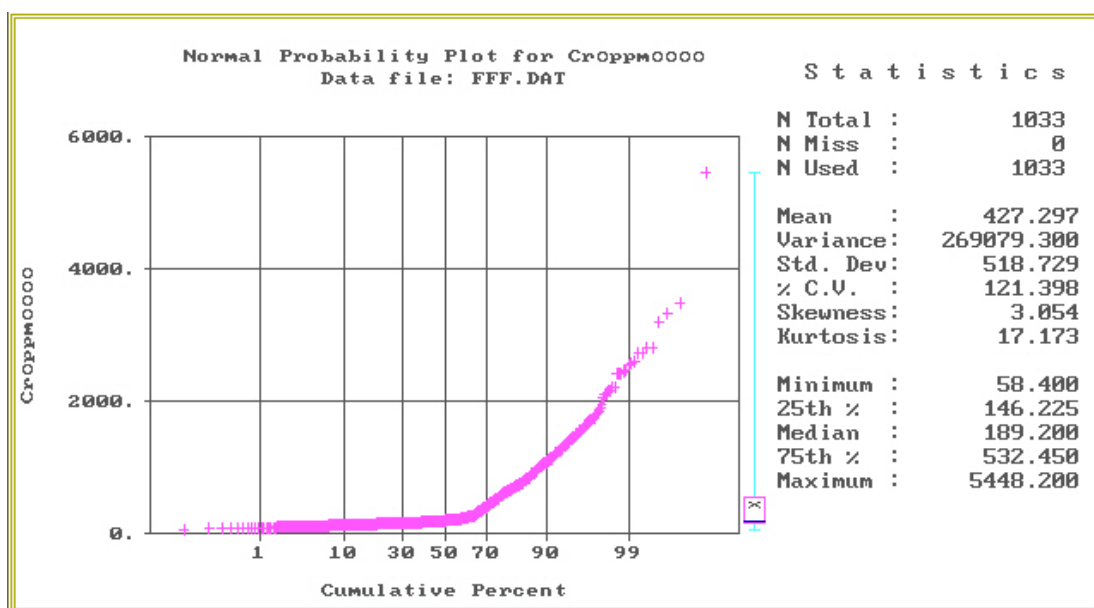
شکل ۴-۲ نمودار احتمال داده‌های As



شکل ۴-۳ نمودار احتمال داده‌های Au

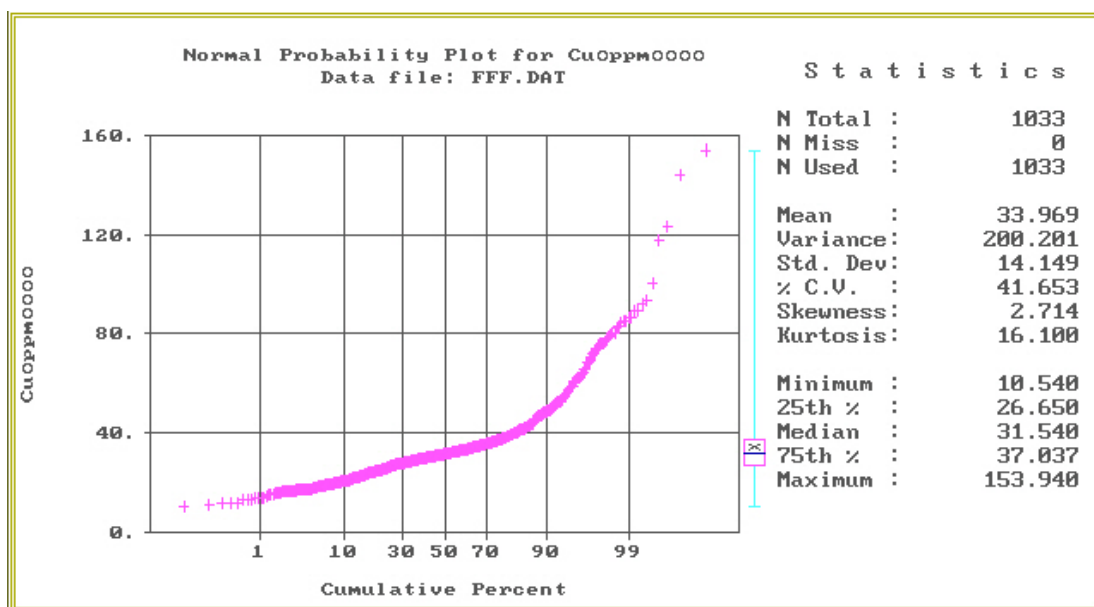


شکل ۴-۴ نمودار احتمال داده‌های Sb

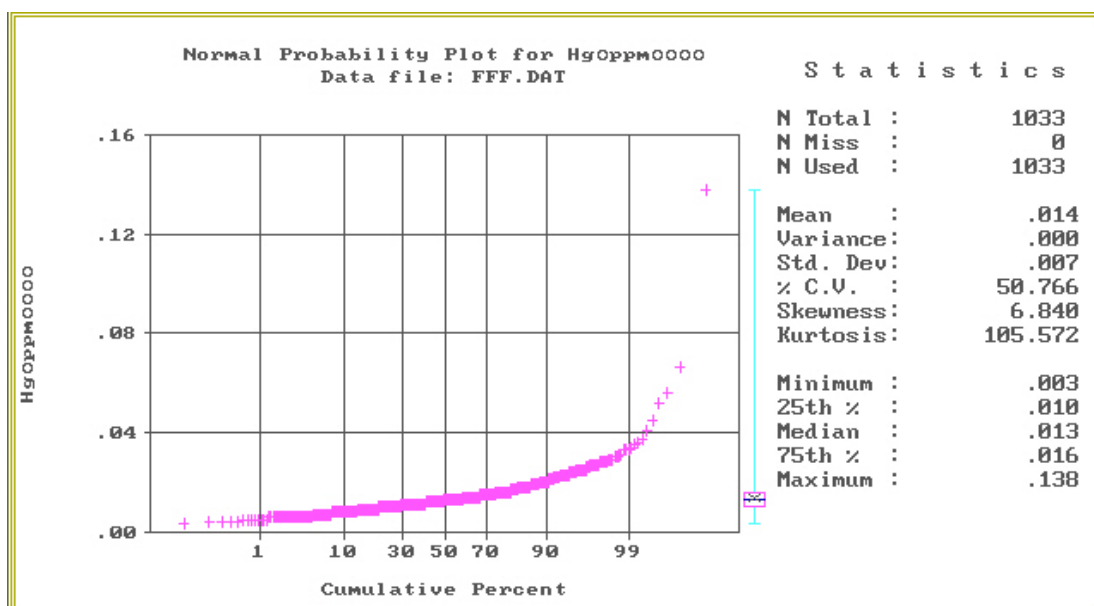


شکل ۴-۵ نمودار احتمال داده‌های Cr

فصل چهارم: بررسی‌های ژئوشیمیایی و پتانسیل‌یابی معدنی

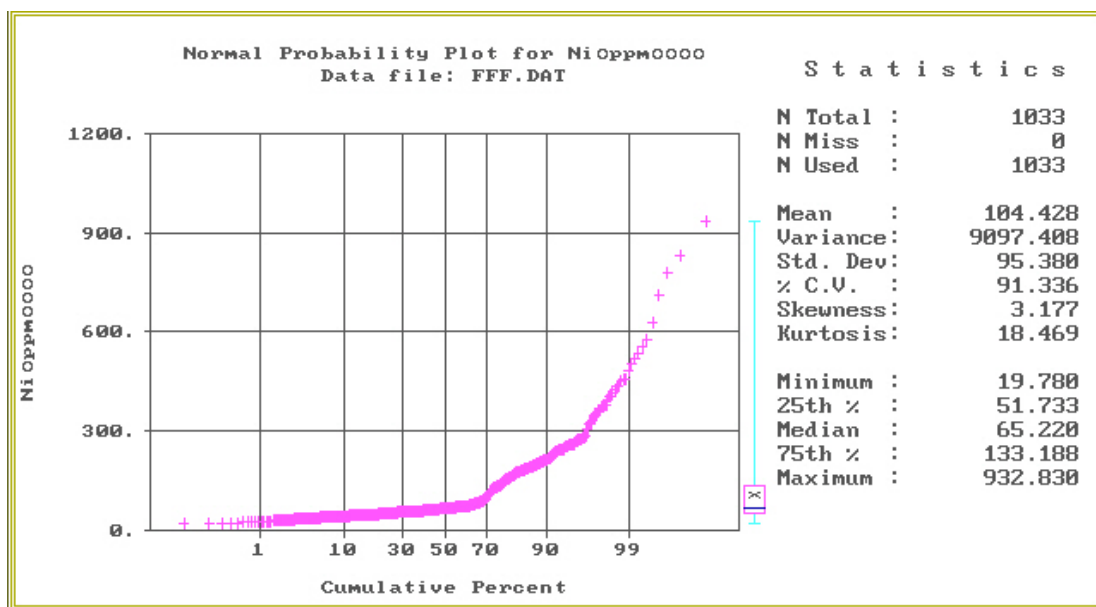


شکل ۴-۶ نمودار احتمال داده‌های Cu

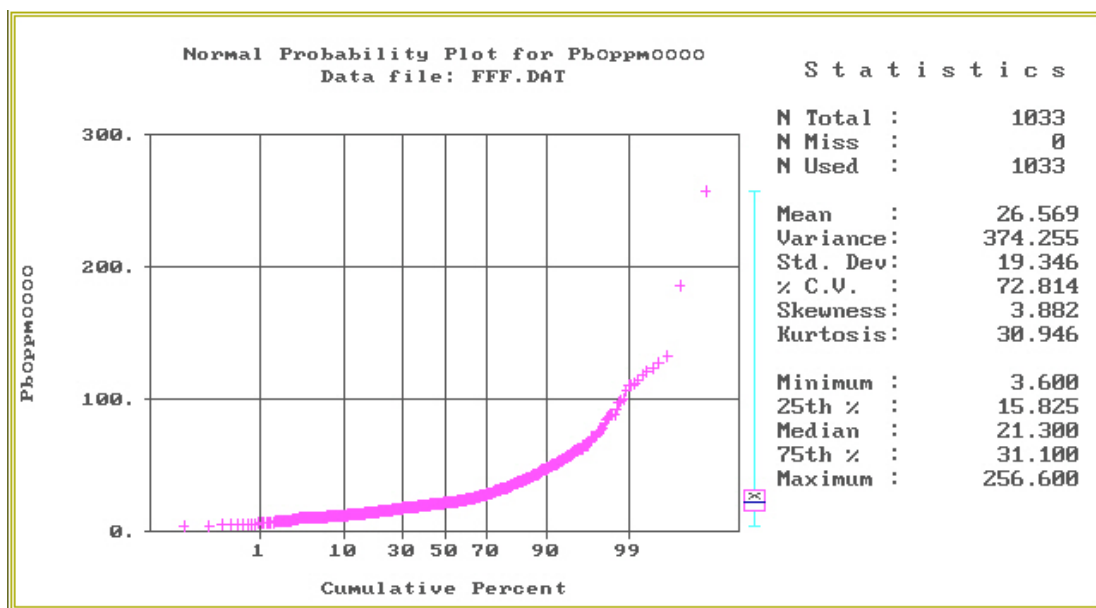


شکل ۴-۷ نمودار احتمال داده‌های Hg

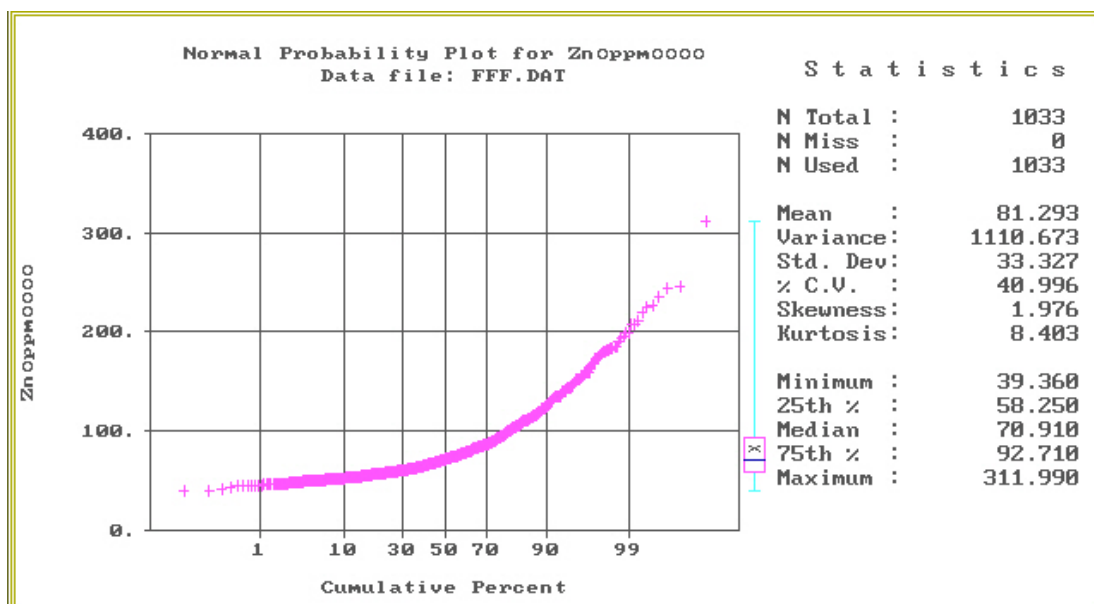
فصل چهارم: بررسی‌های ژئوشیمیایی و پتانسیل‌یابی معدنی



شکل ۴-۸ نمودار احتمال داده‌های Ni



شکل ۴-۹ نمودار احتمال داده‌های Pb



شکل ۴-۱۰ نمودار احتمال داده‌های Zn

۴-۴- مطالعات آماری چند متغیره

در این بخش روش مطالعه تغییرپذیری هم‌زمان دو متغیر و روابط بین آن‌ها در یک جامعه ژئوشیمیایی بررسی خواهد شد. آمار چند متغیره، علاوه بر در نظر گرفتن توزیع فراوانی متغیرهای موردبررسی، اطلاعاتی درباره رابطه بین متغیرها را نیز در اختیار ما قرار می‌دهد.

علاوه بر آمار دومتغیره، در تحلیل داده‌های اکتشافی می‌توان از روش‌های مختلف آمار چند متغیره نیز بهره جست. روش‌های چند متغیره امکان آنالیز آماری چندین متغیر با یکدیگر را فراهم می‌کنند. با این روش‌ها می‌توان مسائل مربوط به سه متغیر و بیشتر را بررسی یا به‌طور گرافیکی نمایش داد. ولی گاهی در مسائل اکتشافی با یک فضای ۱۰ و یا حتی ۲۰ متغیره و بیشتر روبرو هستیم که بررسی روابط بین آن‌ها کار دشواری است. در این‌گونه موارد لازم است با استفاده از روش‌های آماری چند متغیره، به کاهش تعداد بعدها در فضای موردبررسی پرداخت به‌طوری‌که نتایج این ابعاد جدید با تعدادی به‌مراتب کمتر از حالت قبل، بتواند بخش اعظم تغییرپذیری داده‌ها را تشریح کنند.

ازجمله مهم‌ترین روش‌های آماری چند متغیره برای بررسی روابط بین عناصر مختلف، شامل تحلیل خوشه‌ای و رسم دندروگرام عناصر مختلف آنالیز فاکتوری همانند روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA)

برای کاهش ابعاد در فضای مورد بررسی و کشف روابط دقیق‌تر بین عناصری که از لحاظ کانی‌زایی ارتباط ژنتیکی نزدیکی دارند (قزلباش، ۱۳۹۵؛ Levinson, 1974).

۴-۴-۱- ضریب همبستگی

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

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

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

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

هرچه مقدار کوواریانس بزرگ‌تر (مثبت) باشد، نشان‌دهنده آن است که افزایش یک متغیر با افزایش متغیر دیگر همراه است. بالعکس در صورتی که مقدار کوواریانس خیلی کوچک (منفی) باشد، نشان‌دهنده تغییرات معکوس دو متغیر است؛ یعنی افزایش یکی با کاهش دیگری همراه است. کوواریانس نزدیک صفر نشان‌دهنده ضعیف بودن بستگی آماری بین دو متغیر است (حسنی‌پاک و شرف‌الدین، ۱۳۸۰). بزرگی کوواریانس وابسته به واحد اندازه‌گیری داده‌هاست. برای داشتن معیاری از همبستگی دو متغیر بدون وابستگی به واحد اندازه‌گیری داده‌ها، پارامتر آماری دیگری به نام ضریب همبستگی تعریف می‌شود. به‌منظور رفع وابستگی کوواریانس به واحد اندازه‌گیری داده‌ها، معمولاً از مقدار استاندارد شده آن استفاده می‌شود. برای این منظور کافی است مقادیر $(X_i - \bar{X})$ به انحراف معیار متغیر X و مقادیر $(Y_i - \bar{Y})$ بر انحراف معیار متغیر Y تقسیم شوند. به مقدار حاصل، ضریب همبستگی پیرسون گفته می‌شود (حسنی‌پاک و شرف‌الدین، ۱۳۸۰):

$$r_{xy} = \frac{Cov_{xy}}{\sigma_x \sigma_y}$$

رابطه فوق برای جامعه نمونه را می‌توان به‌صورت زیر بازنویسی کرد:

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

فصل چهارم: بررسی‌های ژئوشیمیایی و پتانسیل‌یابی معدنی

که در این رابطه S_x و S_y به ترتیب مقادیر انحراف معیار متغیر X و Y می‌باشند. مقدار ضریب همبستگی بین ۱- و ۱+ قرار می‌گیرد. اگر دو متغیر همبستگی کاملاً خطی همسو (افزایش یکی باعث افزایش دیگری شود) داشته باشند، ضریب همبستگی آن‌ها ۱+ است. اگر دو متغیر دارای همبستگی کاملاً خطی غیرهمسو (افزایش یکی باعث کاهش دیگری شود) باشند، ضریب همبستگی آن‌ها ۱- است و بالاخره در صورتی که دو متغیر غیر همبسته (افزایش یکی تأثیری روی دیگری نداشته باشد) باشند، ضریب همبستگی آن‌ها صفر است.

در این بخش مقادیر ضریب همبستگی پیرسون برای داده‌های خام نسبت به یکدیگر محاسبه شده است. (جدول ۴-۲) سرب و روی ($r_{Pb-Zn}=0.812$)، نیکل و کروم ($r_{Ni-Cr}=0.656$)، آرسنیک و سرب ($r_{As-Sb}=0.57$) ارتباط معنی داری نشان می‌دهند. نقره با ضریب همبستگی 0.37 بیشترین ارتباط را با سرب دارد. مس با ضریب همبستگی 0.198 با طلا در ارتباط و جیوه و آنتیموان با ($r_{Hg-Sb}=0.179$) با یکدیگر در ارتباط هستند.

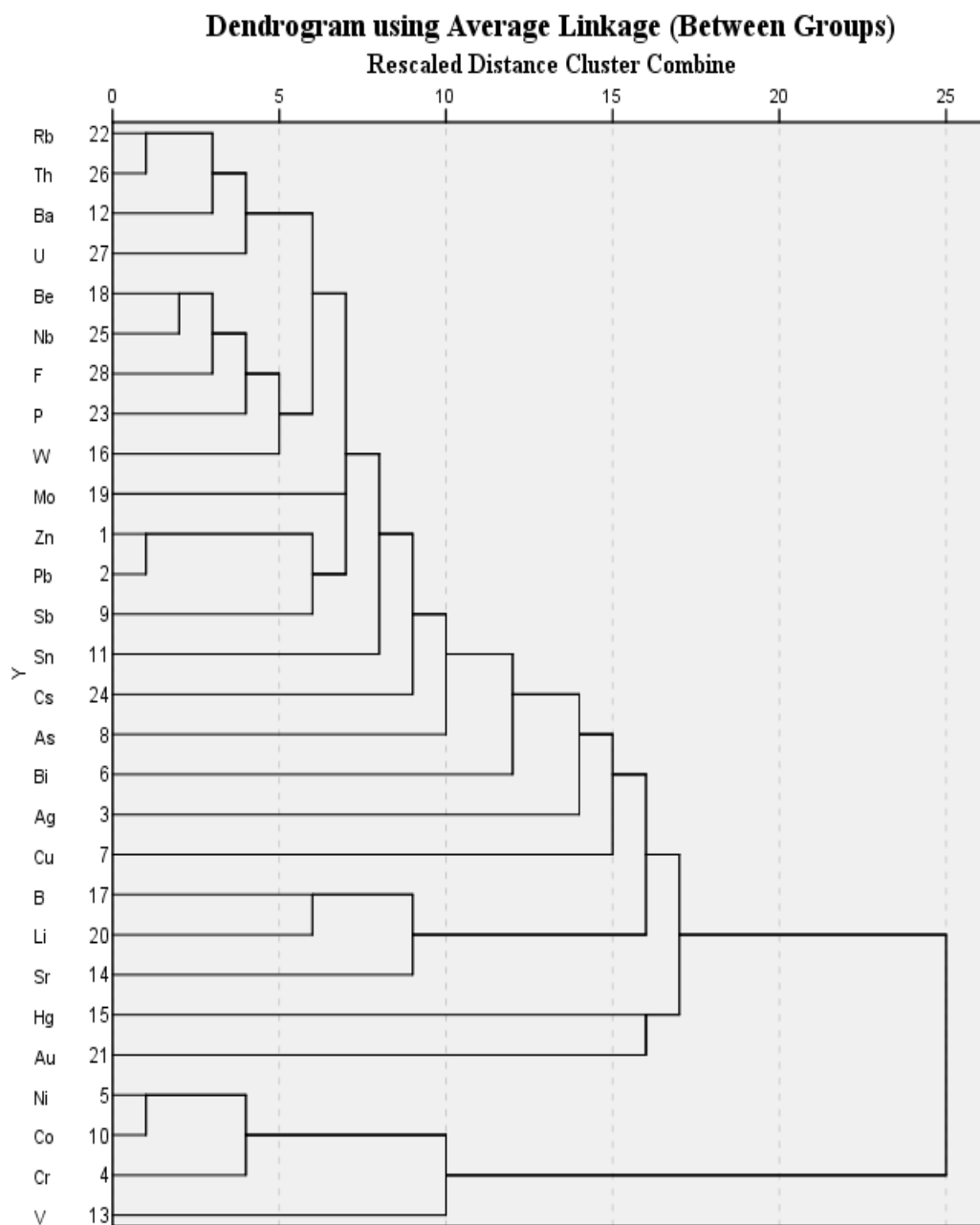
۴-۴-۵- تحلیل خوشه‌ای داده‌ها

یکی دیگر از روش‌های آماری چند متغیره معمول در مطالعات ژئوشیمیایی و تحلیل داده‌ها، استفاده از تکنیک آنالیز خوشه‌ای می‌باشد. در این تکنیک می‌توان به راحتی عناصر پاراژنز و همچنین محیط مربوط به مجموعه موجود در خوشه را تشخیص داد. معمولاً نتیجه حاصل از محاسبات تحلیل خوشه‌ای را به صورت یک نمودار سلسله مراتبی به نام دندروگرام نمایش می‌دهند. دندوگرام یک ساختار سلسله مراتبی است که نحوه ارتباط نمونه‌ها و یا متغیرها را به یکدیگر نمایش می‌دهد. در این نمودار یک مقیاس خطی افقی بالای آن قرار دارد که معرف میزان ارتباط خوشه به خوشه یا عناصر با یکدیگر متناظر با درجه شباهت آن است. در این روش، معیار اتصال یک شیء (هر متغیر) به یک خوشه یا دو خوشه به یکدیگر، با روش‌های محاسبه دیگر از جمله، اتصال نزدیک‌ترین همسایگی، دورترین همسایگی و اتصال میانگین تفاوت دارد. در این روش معیار ارتباط یک شیء به یک خوشه یا دو خوشه با یکدیگر، ایجاد کمترین افزایش در مجموع مربعات انحراف از میانگین خوشه موردنظر است. نتایج حاصل از این روش از نظر ظاهری و حفظ سلسله مراتب

فصل چهارم: بررسی‌های ژئوشیمیایی و پتانسیل یابی معدنی

		Pearson Correlations																											
Zn		Zn	Pb	Ag	Cr	Ni	Bi	Cu	As	Sb	Co	Sn	Ba	V	Sr	Hg	W	B	Be	Mo	Li	Au	Rb	P	Cs	Nb	Th	U	F
	Zn	1																											
	Pb	.812**	1																										
	Ag	.307**	.374**	1																									
	Cr	-.275**	-.303**	-.088**	1																								
	Ni	-.357**	-.379**	-.115**	.656**	1																							
	Bi	.301**	.326**	.205**	-.214**	-.236**	1																						
	Cu	.395**	.229**	.163**	.014	.065**	.226**	1																					
	As	.417**	.570**	.223**	-.237**	-.374**	.207**	.108**	1																				
	Sb	.590**	.612**	.401**	-.372**	-.468**	.331**	.268**	.519**	1																			
	Co	-.097**	-.253**	-.083**	-.083**	.701**	.800**	-.153**	.318**	-.230**	-.316**	1																	
	Sn	.382**	.385**	.297**	-.250**	-.398**	.333**	.157**	.448**	.444**	-.215**	.356**	1																
	Ba	.524**	.545**	.179**	-.558**	-.632**	.289**	.025**	.294**	.512**	-.565**	.356**	.356**	1															
	V	.133**	-.065**	-.0038	.506**	.141**	-.072**	.241**	0.000	-.0048	.622**	.120**	-.255**	.1															
	Sr	-.077**	0.032	-.0002	-.152**	-.193**	-.093**	-.278**	.128**	-.0033	-.273**	-.0021	0.036	-.179**	1														
	Hg	.153**	.148**	.186**	-.095**	.063**	.0054	.202**	.069**	.179**	.066**	.111**	-.0012	-.0052	-.065**	1													
	W	.492**	.496**	.241**	-.436**	.479**	.519**	.312**	.309**	.585**	-.352**	.465**	-.132**	-.176**	.094**	.1													
	B	.080**	.184**	.135**	-.314**	-.256**	.275**	-.174**	.286**	.142**	-.335**	.342**	.192**	-.326**	.366**	.090**	.150**	1											
	Be	.624**	.488**	.179**	-.341**	-.561**	.350**	.285**	.406**	.538**	-.167**	.598**	.302**	-.145**	.076**	.586**	.192**	.1											
	Mo	.467**	.516**	.274**	-.426**	-.494**	.371**	.245**	.451**	.511**	-.380**	.450**	.489**	-.184**	.329**	.078**	.585**	.322**	.461**	1									
	Li	.244**	.264**	.127**	-.441**	-.433**	0.015	-.158**	.321**	.243**	-.412**	.313**	.312**	-.249**	.506**	.125**	.138**	.569**	.306**	.371**	1								
	Al	.166**	.225**	.194**	-.0048	-.0045	.135**	.198**	.170**	.207**	-.0009	.110**	.187**	-.0007	-.083**	.126**	.207**	.0003	.131**	.133**	-.0041	1							
	Rb	.622**	.588**	.252**	-.670**	-.741**	.379**	.078**	.456**	.665**	-.637**	.529**	.780**	-.262**	.022	.084**	.662**	.339**	.690**	.564**	.495**	.141**	1						
	P	.637**	.468**	.192**	-.431**	-.441**	.357**	.547**	.317**	.536**	-.139**	.399**	.439**	.077**	-.242**	.186**	.621**	.0044	.684**	.485**	.099**	.153**	.565**	1					
	Cs	.415**	.311**	.218**	-.486**	-.410**	.199**	.132**	.357**	.484**	-.150**	.368**	.346**	.131**	-.038**	.171**	.352**	.246**	.591**	.314**	.528**	.0059	.576**	.456**	1				
	Nb	.601**	.537**	.174**	-.486**	-.572**	.403**	.249**	.315**	.549**	-.398**	.578**	.646**	-.074**	.321**	.112**	.699**	.214**	.751**	.502**	.225**	.137**	.774**	.693**	.400**	1			
	Th	.379**	.402**	.154**	-.642**	-.814**	.320**	-.078**	.403**	.505**	.709**	.540**	.667**	-.210**	.274**	-.0023	.538**	.420**	.603**	.608**	.573**	.0056	.818**	.393**	.475**	.653**	1		
	U	.474**	.434**	.173**	-.485**	-.649**	.283**	.0051	.432**	.494**	-.482**	.557**	.574**	-.0060	.079**	.068**	.491**	.386**	.680**	.497**	.497**	.084**	.717**	.495**	.476**	.667**	.727**	1	
	F	.631**	.550**	.234**	-.533**	-.485**	.333**	.261**	.313**	.519**	-.350**	.483**	.593**	-.220**	.0016	.190**	.616**	.391**	.656**	.645**	.436**	.108**	.723**	.665**	.482**	.732**	.588**	.632**	1
** Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).																													

جدول ۴-۲ محاسبه ضرایب همبستگی عناصر با استفاده از روش پیرسون



شکل ۴-۱۱ دندروگرام داده‌ها به روش Average Linkage

ساختمانی مناسب می‌باشند. بدین دلیل روش Average Linkage که در این پروژه استفاده شده به‌صورت یک انتخاب مناسب در تحلیل خوشه‌ای شناخته شده است (حسنی‌پاک و شرف‌الدین، ۱۳۸۰). در آنالیز خوشه‌ای که بر اساس داده‌ها ترسیم شده است (شکل ۴-۱۱)، عناصر سرب و روی در کنار یکدیگر و با عنصر آنتیموان در یک خوشه قرار گرفته و همچنین نقره و مس نیز در کنار یکدیگر قرار گرفته‌اند. با قرارگیری نیکل و کروم در یک خوشه و طلا در خوشه دیگر، پیش‌بینی می‌شود، نحوه توزیع طلا با نیکل و کروم در محدوده مورد مطالعه متفاوت باشد.

۴-۴-۳- تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA)

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

- بخش اعظمی از تغییرپذیری می‌تواند به‌وسیله تعداد محدودی از متغیرهای جدید توجیه شود؛
- متغیرهای جدید که محصول ترکیب خطی متغیرهای اولیه می‌باشند، بین خودهمبستگی نشان نمی‌دهند. این امر آزمون روش موردنظر را آسان می‌کند.

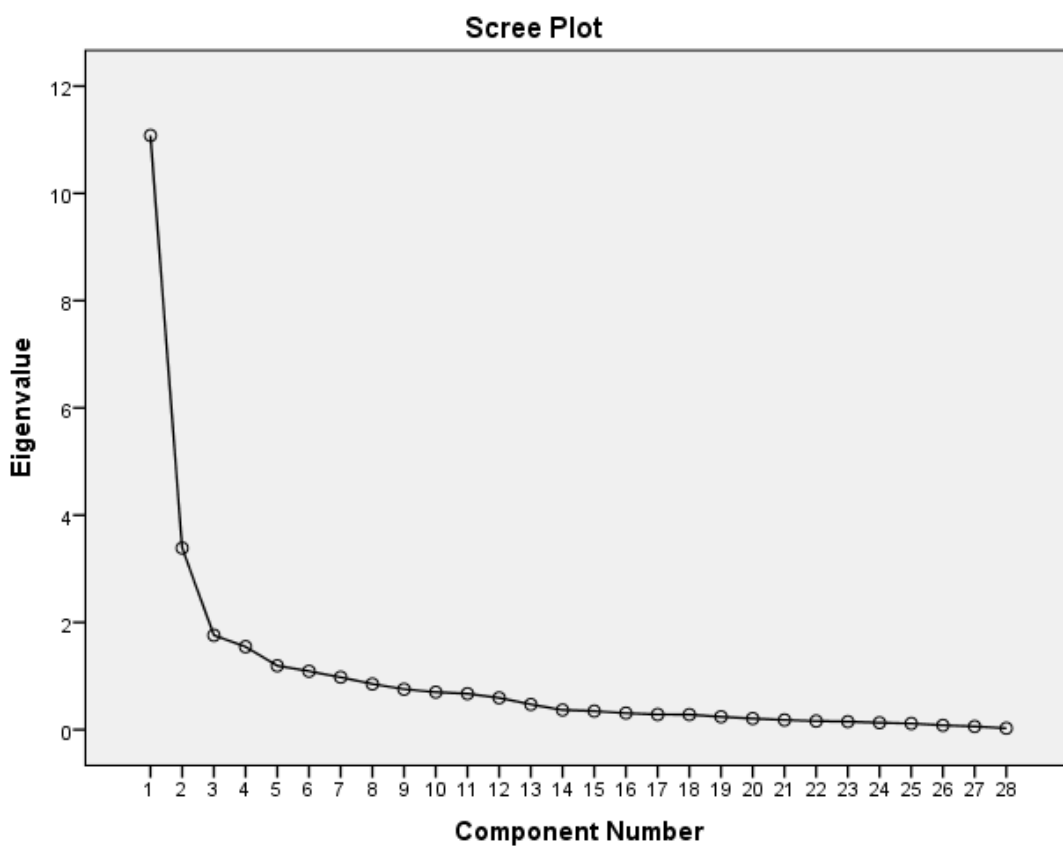
به‌عبارت دیگر، در یک فضای p بعدی با استفاده از روش PCA به دنبال دستیابی به دستگاه محورهای مختصاتی هستیم که بتواند با تعداد کمی بعد (متغیر جدید) بخش عمده تغییرپذیری را توجیه کند.

در ژئوشیمی اکتشافی، PCA یک ابزار مفید برای تبدیل مقادیر عیاری چند عنصری به یک مؤلفه تکی می‌باشد (Cheng, 2007) و این ابزار برای کاهش بعد داده‌ها به مقادیر PC نا همبسته بر اساس ماتریس همبستگی متغیرها می‌باشد. روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی معمولی^۱، ماتریس همبستگی متغیرها را به دو ماتریس شامل لودینگ‌ها و امتیازات با استفاده از بردارهای ویژه و مقادیر ویژه تبدیل می‌کند. اطلاعات مربوط به روابط بین مؤلفه‌های اصلی و متغیرهای اولیه در قالب لودینگ‌ها توضیح داده می‌شوند که در اصل لودینگ‌ها همبستگی بین مؤلفه‌های اصلی و متغیرهای اولیه را بیان می‌کنند. همچنین، اطلاعات مربوط به روابط بین مؤلفه‌های اصلی و نمونه‌ها به وسیله امتیازات بیان می‌شود که

^۱. Ordinary PCA

این امتیازات اوزان به دست آمده توسط بردارهای ویژه به صورت ترکیبات خطی می‌باشند (Cheng, 2007; Parsa et al., 2016).

در این پژوهش، روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA) بر روی داده‌های ۲۸ عنصر اعمال شده است. تعداد ۲۸ فاکتور کلی که ۱۰۰ درصد تغییرات را توجیه می‌نماید، با ۶ فاکتور اول قادر به توجیه تقریباً ۷۲ درصد از تغییرات است (شکل ۴-۱۲ و جدول ۴-۳). مقدار واریانس برای هر مؤلفه، نشانگر میزان تغییرپذیری داده‌ها در آن مؤلفه خاص می‌باشد.



شکل ۴-۱۲ Scree plot حاصل از نتایج آنالیز فاکتوری ۲۸ عنصر

جدول ۴-۳ مقادیر ویژه و واریانس برای هریک از ۶ مؤلفه اصلی

Component	Rotation Sums of Squared Loadings		
	Total	% of Variance	Cumulative %
1	8.614	30.766	30.766
2	2.964	10.585	41.351
3	2.685	9.588	50.939
4	2.594	9.263	60.201
5	1.678	5.994	66.195
6	1.519	5.424	71.619

طبق ضرایب مؤلفه دوم عناصر سرب، روی، نقره، مس، آرسنیک، آنتیموان و طلا به ترتیب با مقادیر ۰/۵۶۳، ۰/۷۳۳، ۰/۶۰۲، ۰/۵۱، ۰/۵۵۳، ۰/۵۷۴ و ۰/۵۲ بیشترین وابستگی را به مؤلفه دوم از خود نشان می دهند که ۱۰/۵ درصد تغییرپذیری عیار در منطقه را توجیه می کند. در مؤلفه چهارم عناصر، کروم، نیکل، کبالت و وانادیوم به ترتیب با ضرایب ۰/۶۰۶، ۰/۵۰۲، ۰/۷۲۸ و ۰/۹۰۴ به یکدیگر ارتباط داده و ۹ درصد تغییرات عیار را نشان می دهند (جدول ۴-۴). بنابراین، فاکتور دوم و چهارم به عنوان مؤثرترین فاکتور انتخاب شده و امتیازات اختصاص داده شده به هر نمونه توسط این فاکتور، به عنوان مقادیر نهایی برای بررسی های بعدی انتخاب می شوند.

در نهایت با جمع بندی نتایج حاصل از مراحل قبل، عناصر نقره، آرسنیک، طلا، آنتیموان، کروم، نیکل، مس، جیوه، سرب و روی جهت بررسی های بیشتر و شناسایی جوامع آنومال ژئوشیمیایی در محدود مطالعاتی فیض آباد انتخاب شدند. برای این منظور از روش های مدل سازی نمودار احتمال، فرکتال و آماره فضایی U استفاده شده است.

فصل چهارم: بررسی‌های ژئوشیمیایی و پتانسیل‌یابی معدنی

جدول ۴-۴ نتایج حاصل از آنالیز فاکتوری ۲۸ عنصر

	Component					
	1	2	3	4	5	6
Zn	.609	.563	-.073	.149	-.053	.193
Pb	.464	.733	.059	-.031	.006	.054
Ag	.036	.602	.109	-.011	.194	.153
Cr	-.598	-.017	-.143	.606	-.002	-.118
Ni	-.771	-.083	-.197	.502	.007	.269
Bi	.240	.231	-.118	-.073	.741	-.001
Cu	.164	.510	-.409	.277	.144	.451
As	.361	.553	.336	.138	.075	-.105
Sb	.565	.574	.021	-.039	.056	.088
Co	-.469	-.035	-.263	.728	-.023	.277
Sn	.536	.198	.204	.217	.482	-.020
Ba	.692	.296	-.020	-.364	.010	-.139
V	.063	-.032	-.151	.904	-.093	-.103
Sr	-.100	.093	.785	-.148	-.103	-.125
Hg	.013	.132	.064	-.064	-.007	.784
W	.616	.318	-.231	-.189	.402	.058
B	.166	-.018	.648	-.195	.503	.137
Be	.851	.141	-.018	.296	.190	.055
Mo	.477	.438	.246	-.163	.309	.051
Li	.423	-.001	.762	-.131	-.039	.195
Au	-.016	.520	-.142	-.073	.067	.039
Rb	.842	.263	.124	-.287	.116	.007
P	.706	.236	-.292	.058	.141	.326
Cs	.652	.051	.299	.211	-.057	.290
Nb	.817	.161	-.209	-.111	.297	.081
Th	.771	.091	.344	-.269	.186	-.184
U	.775	.093	.249	-.041	.192	-.025
F	.711	.212	.084	-.173	.241	.331

۴-۵- مدل‌سازی بر اساس نتایج نمودار احتمال

نمودار احتمال ۱۰ عنصر با اهمیت به منظور آشکارسازی جوامع آنومال، براساس تکنیک‌های حداقل سازی انحرافات به مدل‌سازی داده‌ها پرداخته شده است (اشکال ۴-۱۳ تا ۴-۲۲). در روند مدل‌سازی

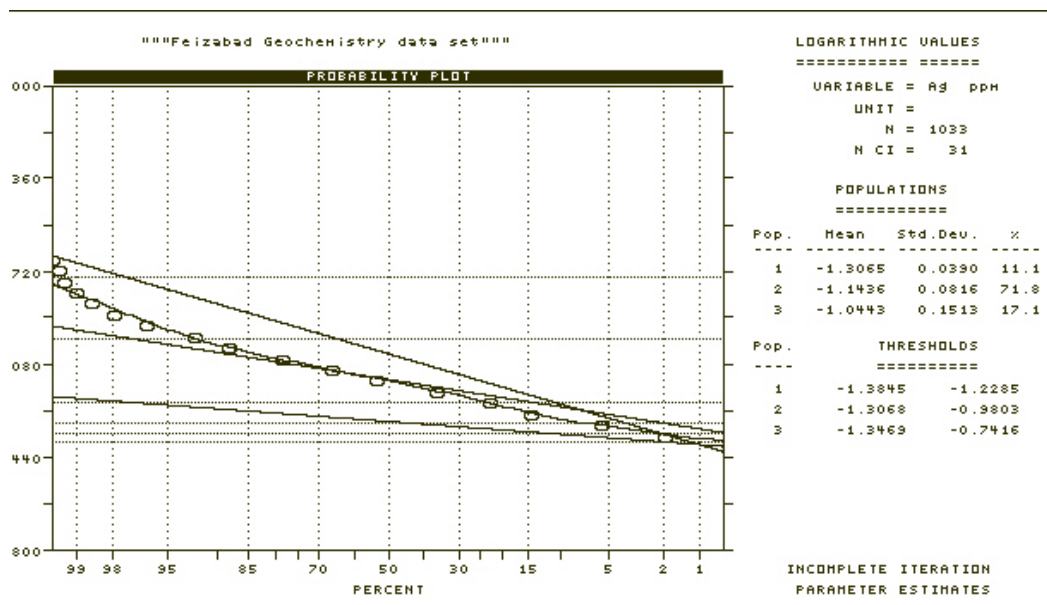
فصل چهارم: بررسی های ژئوشیمیایی و پتانسیل بابی معدنی

لازم است تا تعداد زیرجوامع به گونه ای که براساس اطلاعات زمین شناسی، ژئوشیمیایی و معدنی قابل توجیه باشد، تعیین شوند تا مدل مربوطه بیشترین انطباق ممکن را با داده ها ایجاد نماید (Ghavami- Riabi et al., 2010). مقادیر حدود آستانه برای جوامع مختلف حاصل از نمودار احتمال ۱۰ عنصر مورد بررسی در جدول ۴-۵ آمده است.

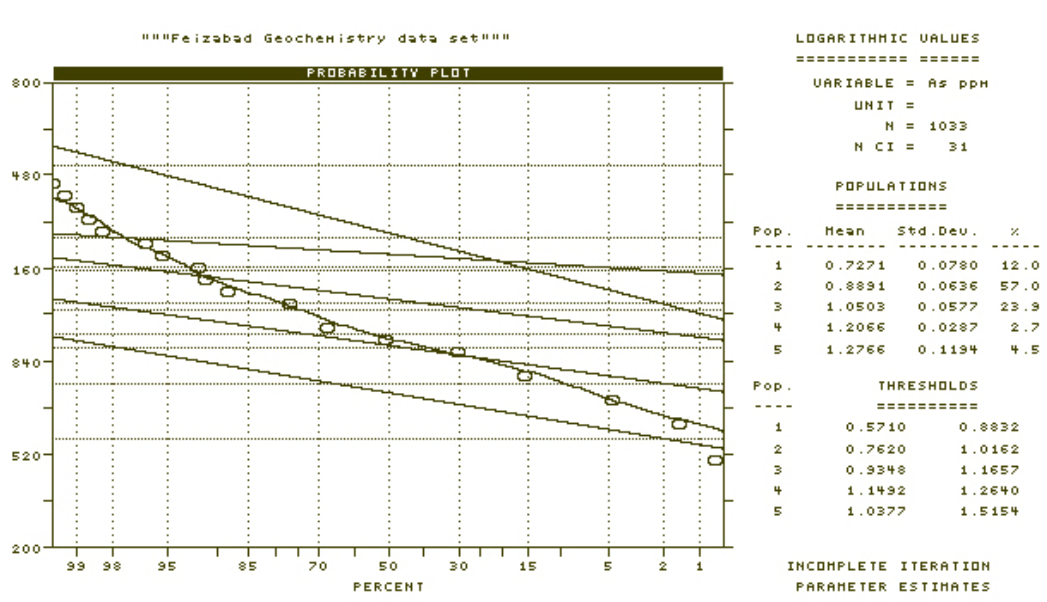
جدول ۴-۵ حدود آستانه ای حاصل از مدل سازی نمودار احتمال

Element	Population	Thresholds (ppm)	
Ag	1	0.03	0.10
	2	0.10	0.65
As	1	2.50	15.00
	2	15.00	20.00
	3	20.00	52.19
Au (ppb)	1	0.20	5.00
	2	5.00	48.60
Cr	1	59.06	800.00
	2	800.00	1200.00
	3	1200.00	5406.80
Cu	1	10.54	46.44
	2	46.44	100.00
	3	100.00	153.57
Hg	1	0.00	0.02
	2	0.02	0.20
Ni	1	19.79	150.00
	2	150.00	250.00
	3	250.00	931.00
Pb	1	3.65	60.00
	2	60.00	100.00
	3	100.00	254.42
Sb	1	0.14	0.50
	2	0.50	1.50
	3	1.50	4.18
Zn	1	39.42	120.00
	2	120.00	150.00
	3	150.00	311.56

فصل چهارم: بررسی‌های ژئوشیمیایی و پتانسیل‌یابی معدنی

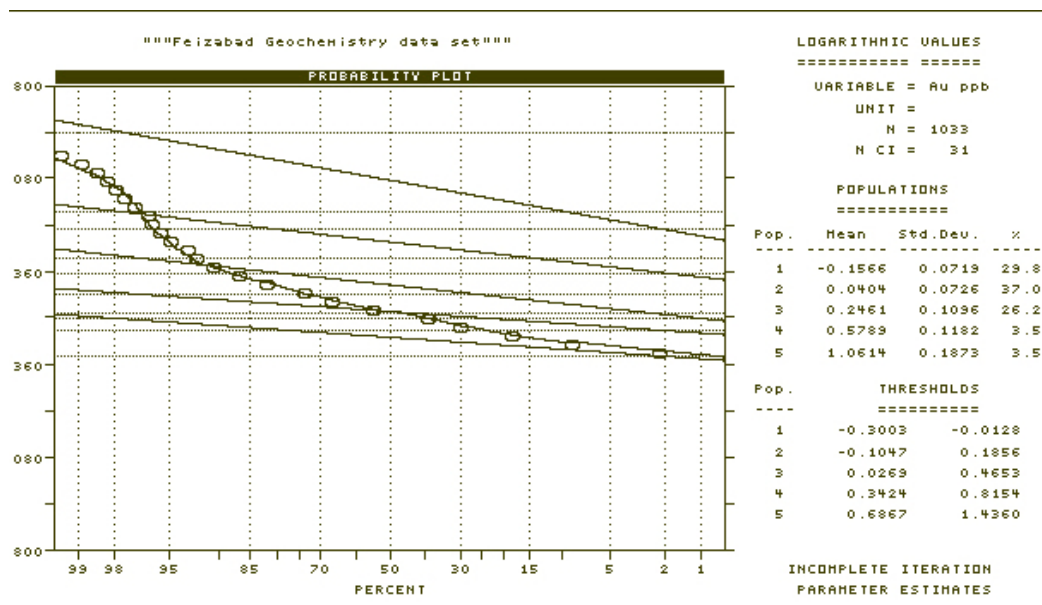


شکل ۴-۱۳ نتایج مدل‌گذاری نمودار احتمال برای عنصر Ag

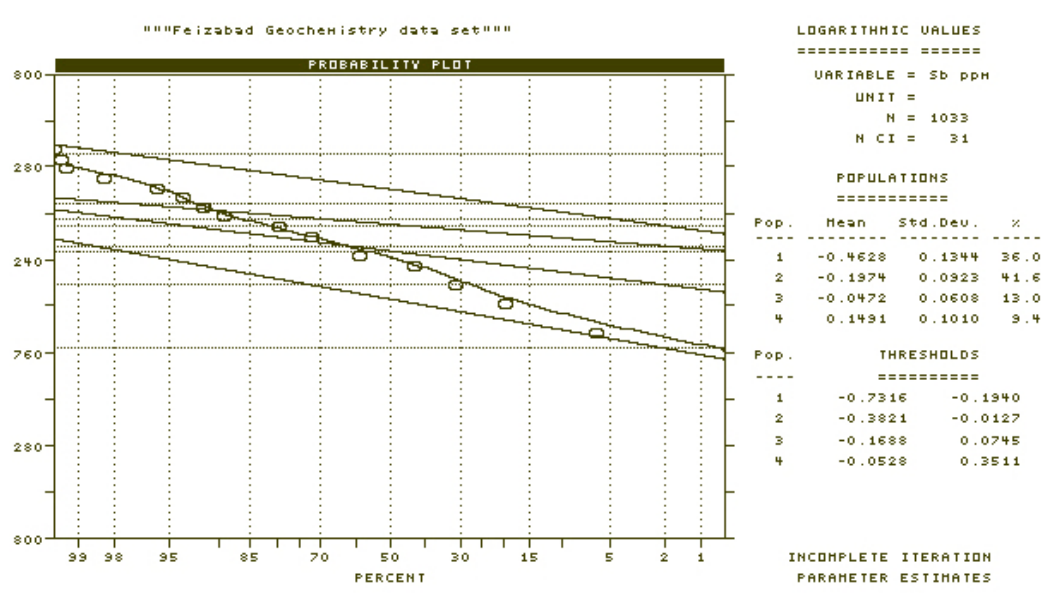


شکل ۴-۱۴ نتایج مدل‌گذاری نمودار احتمال برای عنصر As

فصل چهارم: بررسی های ژئوشیمیایی و پتانسیل بایی معدنی

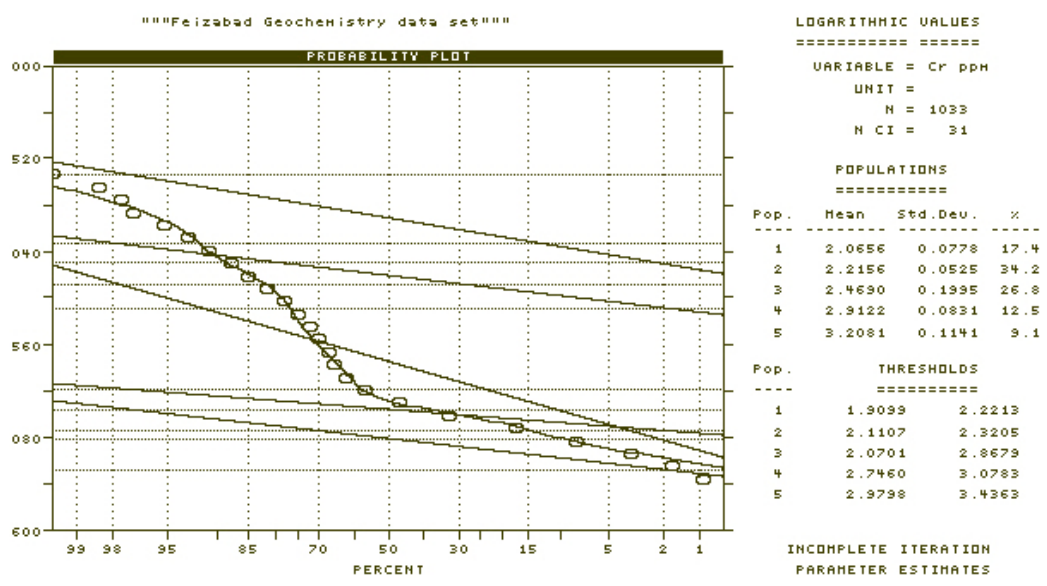


شکل ۴-۱۵ نتایج مدل گذاری نمودار احتمال برای عنصر Au

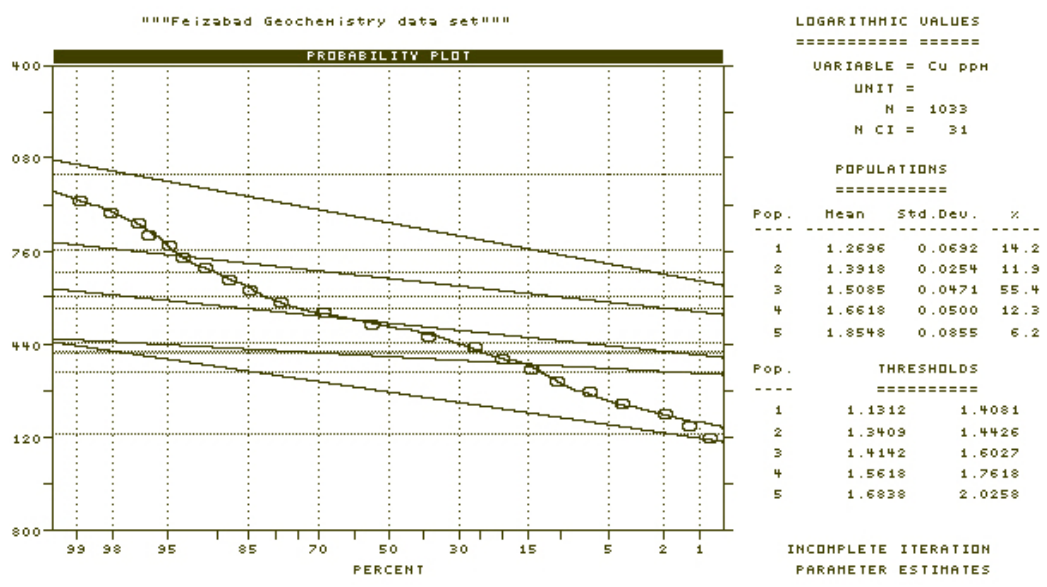


شکل ۴-۱۶ نتایج مدل گذاری نمودار احتمال برای عنصر Sb

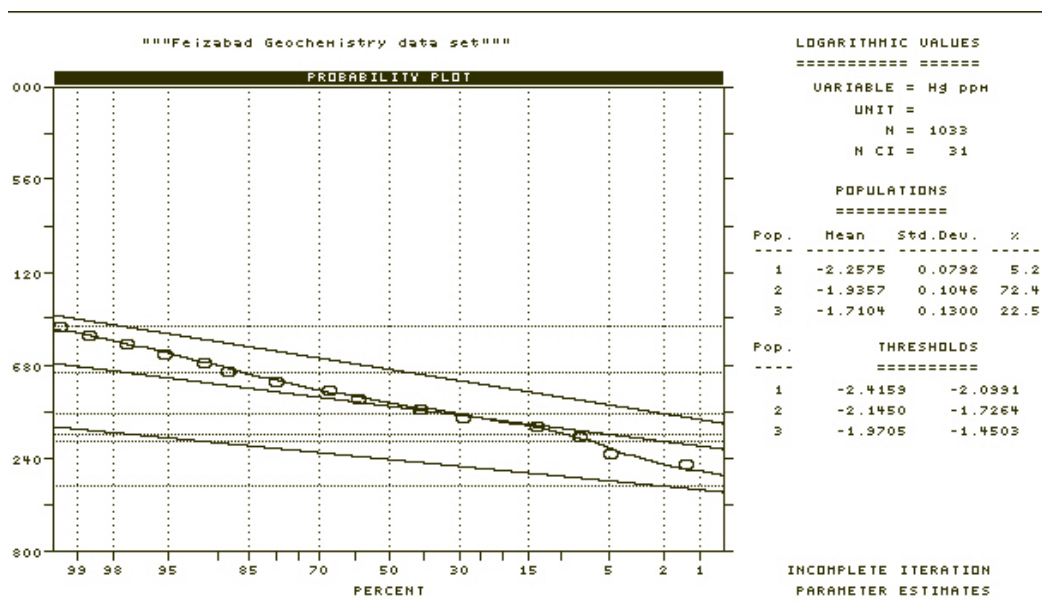
فصل چهارم: بررسی‌های ژئوشیمیایی و پتانسیل‌یابی معدنی



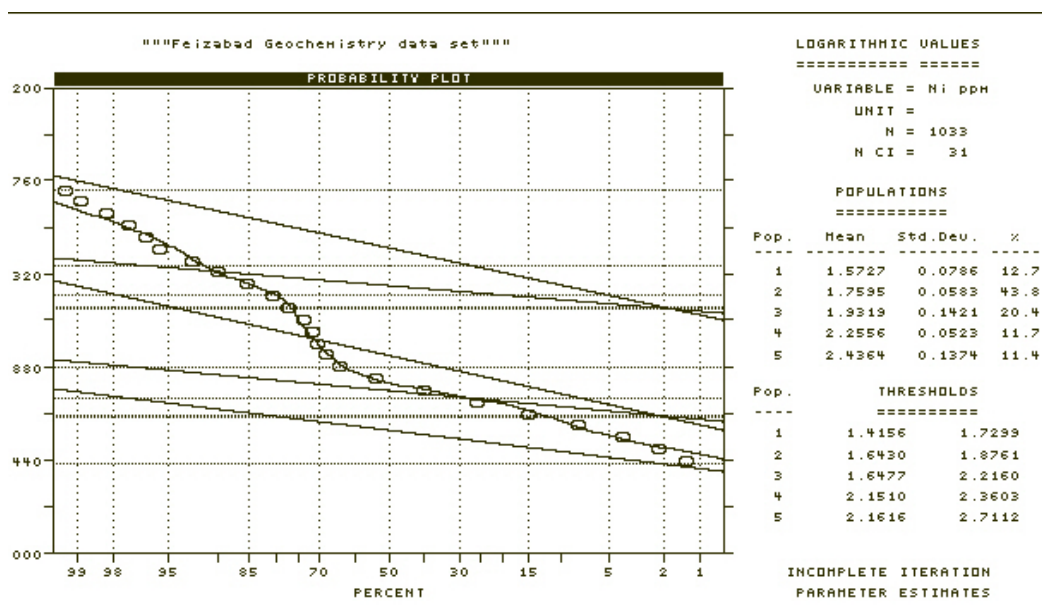
شکل ۴-۱۷ نتایج مدل‌گذاری نمودار احتمال برای عنصر Cr



شکل ۴-۱۸ نتایج مدل‌گذاری نمودار احتمال برای عنصر Cu

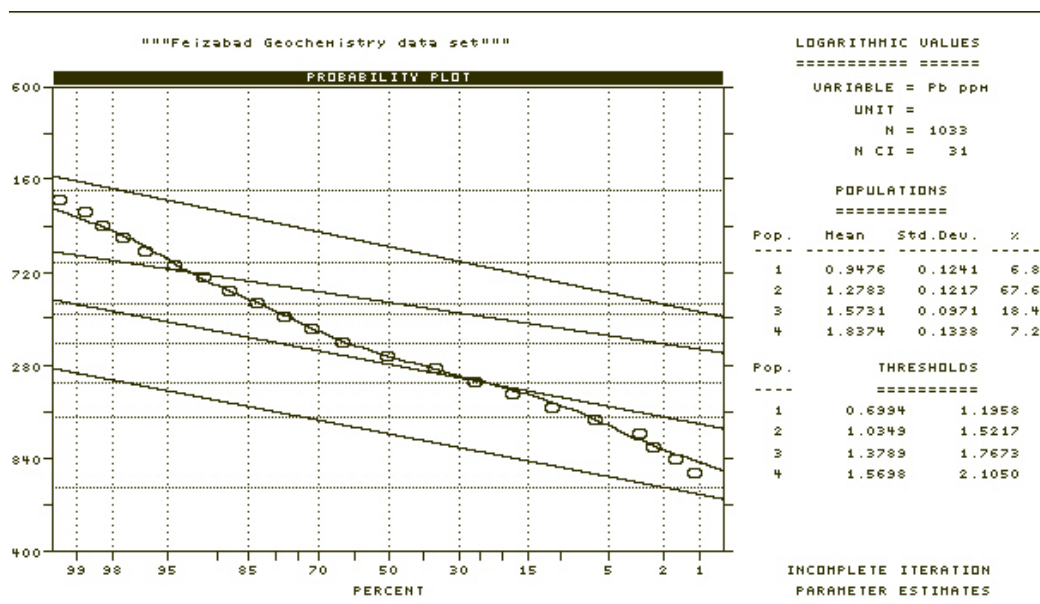


شکل ۴-۱۹ نتایج مدل‌گذاری نمودار احتمال برای عنصر Hg

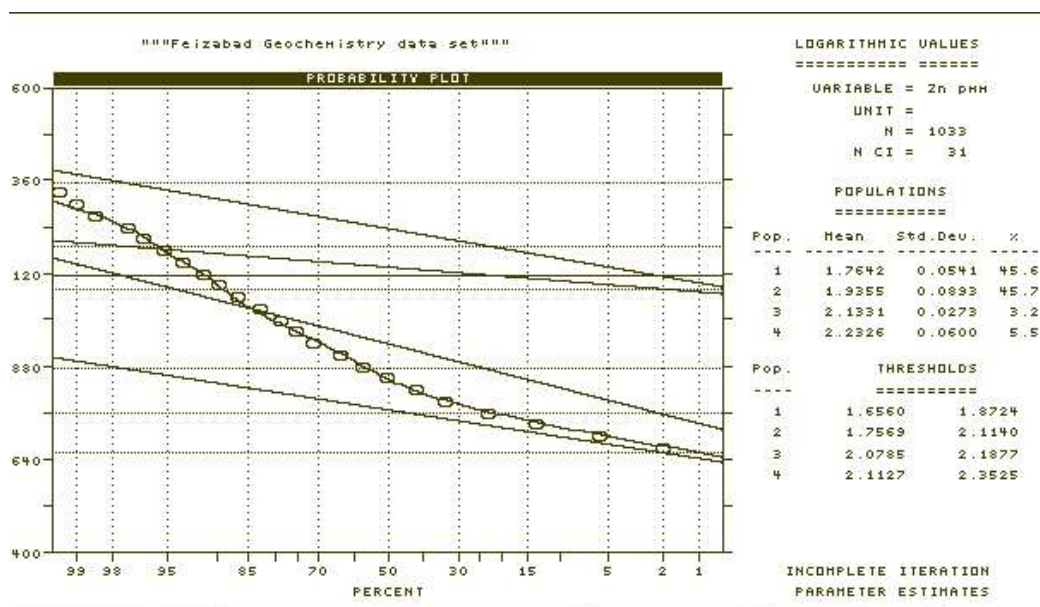


شکل ۴-۲۰ نتایج مدل‌گذاری نمودار احتمال برای عنصر Ni

فصل چهارم: بررسی‌های ژئوشیمیایی و پتانسیل‌یابی معدنی



شکل ۴-۲۱ نتایج مدل‌گذاری نمودار احتمال برای عنصر Pb



شکل ۴-۲۲ نتایج مدل‌گذاری نمودار احتمال برای عنصر Zn

۴-۶- تعیین حد آنومال به روش فرکتال عیار-مساحت

به منظور مدل سازی فرکتال عیار-مساحت توزیع عیار ۱۰ عنصر مذکور، ابتدا داده ها با استفاده از تبدیل لگاریتمی، نرمال شده و سپس در نرم افزار ArcGIS 10.2 با استفاده از روش Inverse Distance Weighting درون یابی شده و نقشه مربوطه تهیه شد. برای به نقشه درآوردن اثرات ژئوشیمیایی در محیط نرم افزار، ابتدا باید یک اندازه مناسب برای سائز پیکسل ها جهت درون یابی انتخاب شود (Carranza, 2009a). در این مرحله برای یافتن اندازه مناسب برای سائز پیکسل ها جهت درون یابی، طبق نظر هنگل ۲۰۰۶ (Hengl, 2006) از فرمول زیر استفاده می شود:

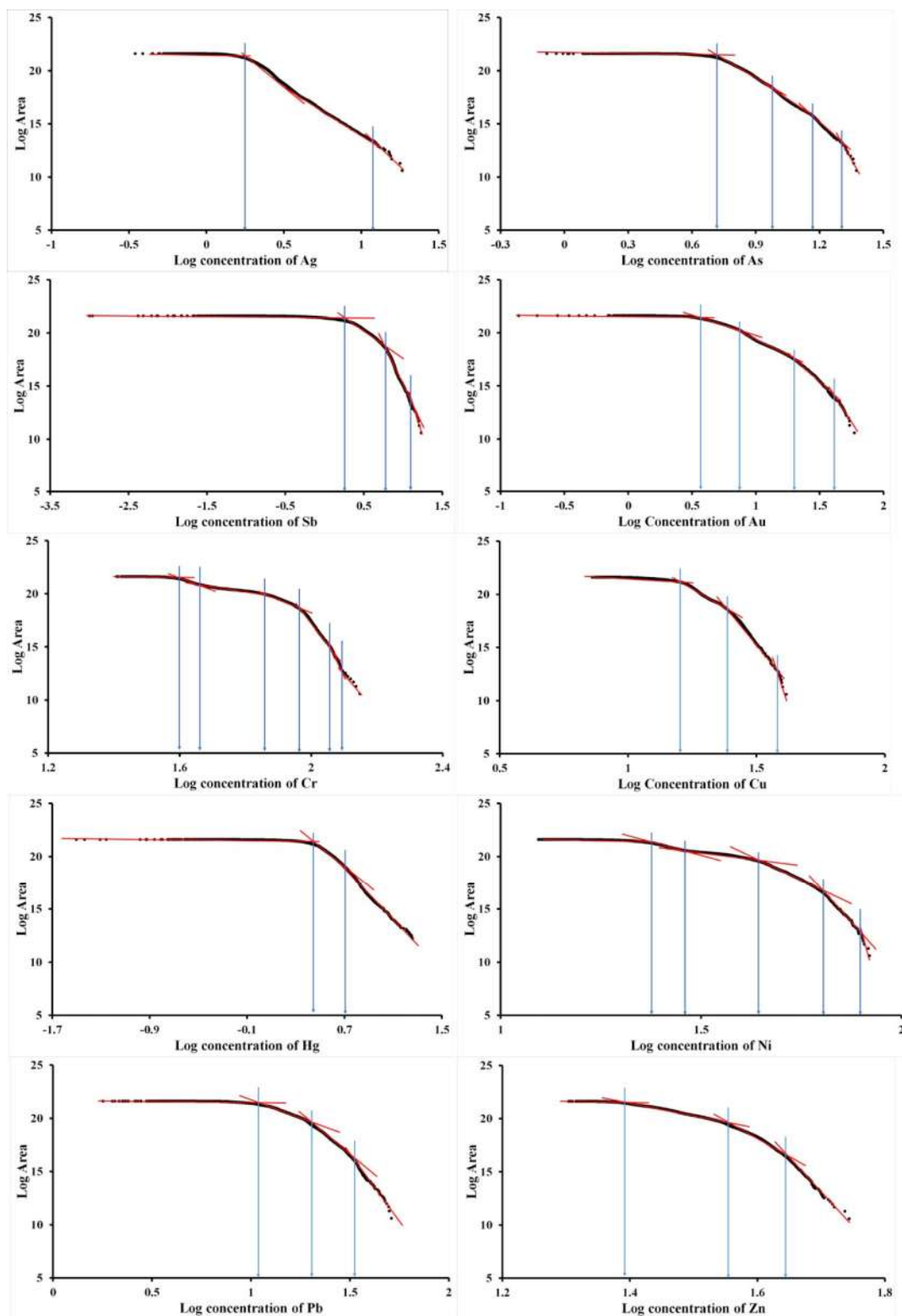
$$x = \sqrt{\frac{A}{n}} \times 0.05$$

که در این فرمول x همان سائز سلول مناسب، A مساحت محدوده مورد مطالعه بر حسب مترمربع و n تعداد نمونه های برداشت شده از محدوده مورد مطالعه می باشد. در اینجا $A=45*54$ و $n=1033$ می باشد که پس از قرار گرفتن در فرمول بالا مقدار $x=76$ m به دست می آید که پس از این کلیه درون یابی های انجام شده با سائز سلول ۷۶ متر خواهد بود.

سپس با استفاده از نقشه های اولیه به دست آمده، به ازای عیارهای مشخص، مساحت تجمعی پیکسل ها محاسبه شده و نمودارهای عیار در مقابل مساحت به صورت تمام لگاریتمی رسم شدند. برای تعیین جوامع مختلف، بعد از مشخص شدن روندهای خطی مختلف براساس قانون کمترین مربعات روی نمودار به بررسی حدود آستانه و تعداد جوامع ژئوشیمیایی مختلف پرداخته شد. لازم به ذکر است که همواره تعداد حدود آستانه از تعداد جوامع ژئوشیمیایی یک واحد کمتر است. در تمام نمودارها، رگرسیون خطوط برازش شده، مقادیر R^2 بین ۰/۹۹ - ۰/۸۵ بدست آمد، که تاییدی بر درستی خطوط برازش شده است. نمودارهای فرکتال عیار-مساحت برای ۱۰ عنصر Ag, As, Au, Sb, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb و Zn با حد آستانه ترسیم شده است (شکل ۴-۲۳).

پس از رسم نمودارهای تمام لگاریتمی عیار-مساحت برای هر عنصر، به تعیین حدود آستانه جوامع ژئوشیمیایی مختلف، پرداخته شده است (جدول ۴-۶).

فصل چهارم: بررسی‌های ژئوشیمیایی و پتانسیل‌یابی معدنی



شکل ۴-۲۳ نمودارهای عیار-مساحت عناصر

فصل چهارم: بررسی های ژئوشیمیایی و پتانسیل یابی معدنی

جدول ۴-۶ حدود آستانه ای بدست آمده از روش فرکتال عیار - مساحت

Element	Population	Thresholds (ppm)	
		ppm	ppm
Ag	1	0.03	0.07
	2	0.07	0.36
	3	0.36	0.63
As	1	2.51	7.61
	2	7.61	13.87
	3	13.87	25.28
	4	25.28	40.04
	5	40.04	51.42
Au (ppb)	1	0.21	0.78
	2	0.78	1.43
	3	1.43	5.31
	4	5.31	21.12
	5	21.12	47.94
Cr	1	59.74	132.95
	2	132.95	188.67
	3	188.67	658.52
	4	658.52	1236.45
	5	1236.45	2368.47
	6	2368.47	3640.95
Cu	1	10.59	27.11
	2	27.11	53.52
	3	53.52	131.63
	4	131.63	153.24
Hg	1	0.00	0.01
	2	0.01	0.02
	3	0.02	0.13
Ni	1	19.69	50.91
	2	50.91	70.81
	3	70.81	169.02
	4	169.02	437.03
	5	437.03	765.09

فصل چهارم: بررسی‌های ژئوشیمیایی و پتانسیل‌یابی معدنی

ادامه جدول ۴-۶ حدود آستانه‌ای بدست آمده از روش فرکتال عیار -مساحت

Element	Population	Thresholds (ppm)	
Ni	6	765.09	915.99
Pb	1	3.60	16.61
	2	16.61	37.71
	3	37.71	95.58
	4	95.58	252.14
Sb	1	0.14	0.47
	2	0.47	1.08
	3	1.08	3.06
	4	3.06	4.14
Zn	1	39.65	53.52
	2	53.52	115.58
	3	115.58	181.27
	4	181.27	304.90

با توجه به مجموع حدود آستانه‌ای بدست آمده برای عناصر با اهمیت براساس روش مدل‌سازی نمودار احتمال و روش فرکتال عیار -مساحت، حدود آستانه نهایی مطابق جدول ۴-۷ خواهد بود.

جدول ۴-۷ حدود آستانه نهایی براساس مجموع دو روش نمودار احتمال و فرکتال عیار -مساحت

Element	Population	Thresholds (ppm)	
Ag	1	0.03	0.10
	2	0.10	0.35
	3	0.35	0.65
As	1	2.52	12.26
	2	12.26	20.63
	3	20.63	40
	4	40	52.19
Au (ppb)	1	0.20	5.00
	2	5.00	20
	3	20	48.60

ادامه جدول ۴-۷ حدود آستانه نهایی براساس مجموع دو روش نمودار احتمال و فرکتال عیار -مساحت

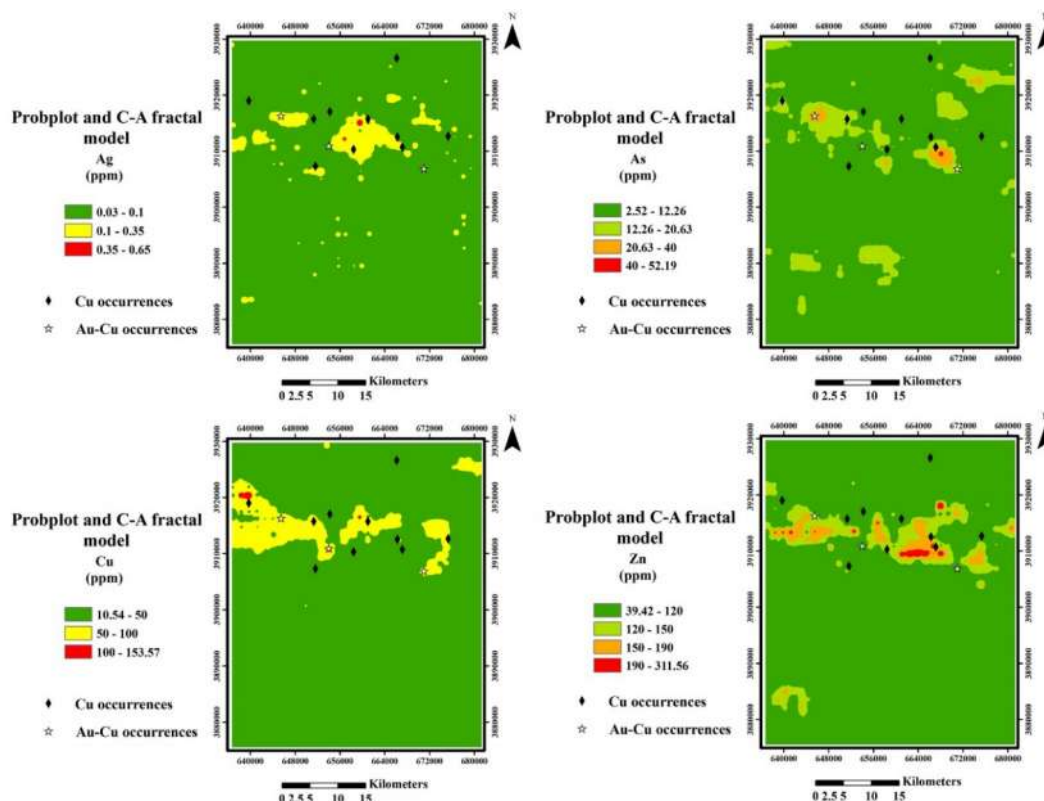
Element	Population	Thresholds(ppm)	
Cr	1	59.06	700
	2	700	1200.00
	3	1200.00	3000
	4	3000	5406.84
Cu	1	10.54	50
	2	50	100.00
	3	100.00	153.57
Hg	1	0.00	0.02
	2	0.02	0.20
Ni	1	19.79	170
	2	170	500
	3	500	931.00
Pb	1	3.65	100
	2	100	254.42
Sb	1	0.14	0.50
	2	0.50	2
	3	2	4.18
Zn	1	39.42	120
	2	120	150
	3	150	190
	4	190	311.56

۷-۴- مدل سازی به روش آماره فضایی U

برای مدل سازی روش آماره فضایی U، روی داده های ژئوشیمیایی تک عنصری، ابتدا ۱۰ عنصر Au, Ag, As, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Sb و Zn انتخاب شدند. کد مختص روش آماره فضایی U در نرم افزار MATLAB برنامه نویسی شده (طالش حسینی، ۱۳۹۵) و بر اساس آن مقادیر U برای هر یک از عناصر مذکور به طور مجزا، در هر ایستگاه (موقعیت نمونه های ژئوشیمیایی) محاسبه شد. بر اساس مقادیر ماکزیمم مطلق U، یک شعاع ۱۴۰۰ متری برای محاسبه مقادیر U در تمام ایستگاه ها استفاده شد.

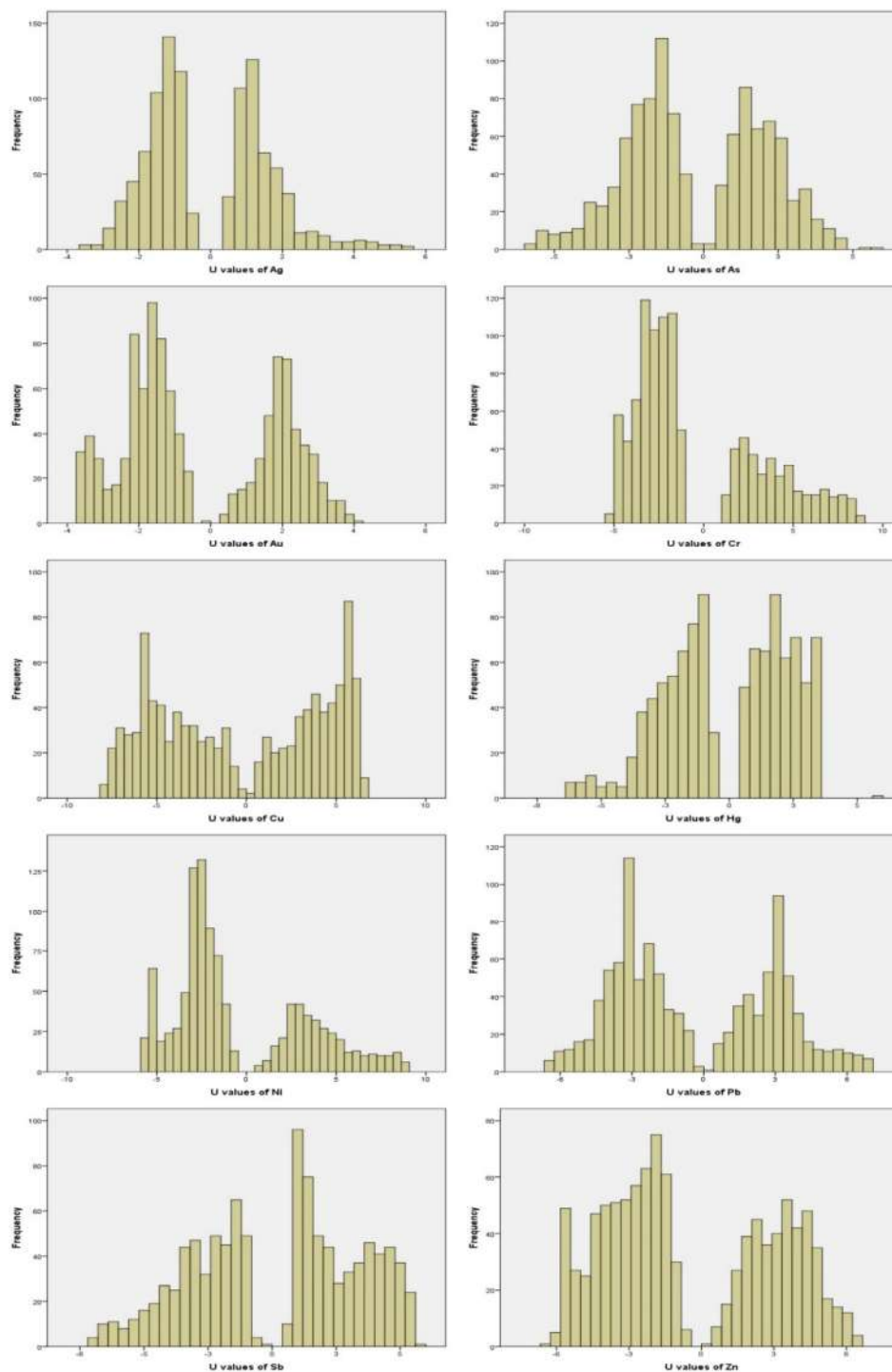
فصل چهارم: بررسی‌های ژئوشیمیایی و پتانسیل‌یابی معدنی

هیستوگرام مقادیر محاسبه شده U ، در شکل ۴-۲۵ نمایش داده شده است، این هیستوگرام‌ها جدایش مناسب داده‌های زمینه از آنومالی را با هیستوگرام‌های تفکیک یافته در مرز $U=0$ به خوبی نشان می‌دهند. مقادیر حدود آستانه در جدول ۴-۸ آورده شده است. برای مقایسه نتایج حاصل از دو روش نمودار احتمال و فرکتال عیار-مساحت با روش آماره فضایی U ، نقشه‌های حاصل از حدود آستانه نهایی بدست آمده از روش اول برای عناصر نقره، آرسنیک، مس و روی در شکل ۴-۲۴ آورده شده است. نقشه جوامع مختلف ژئوشیمیایی حاصل از روش آماره U در شکل ۴-۲۶ برای ۱۰ عنصر مذکور قابل مشاهده است. با بررسی اشکال ۴-۲۴ و ۴-۲۶، روش آماره فضایی U ، جوامع مختلف ژئوشیمیایی مربوط به عناصر انتخابی را به خوبی تفکیک نموده و هاله‌های ژئوشیمیایی بدست آمده در این روش نسبت به نتایج نهایی حاصل از دو روش نمودار احتمال و فرکتال عیار-مساحت، گسترش بیشتری داشته است، لذا روش آماره فضایی U برای بررسی الگوهای ژئوشیمیایی مربوط به عناصر انتخابی در این محدوده، به عنوان روش بسیار مناسب شناخته شده و قابل استناد است.



شکل ۴-۲۴ نقشه‌های توزیع جوامع ژئوشیمیایی با استفاده از حدود آستانه نهایی بدست آمده از روش نمودار احتمال و فرکتال عیار-مساحت

فصل چهارم: بررسی های ژئوشیمیایی و پتانسیل بایو معدنی

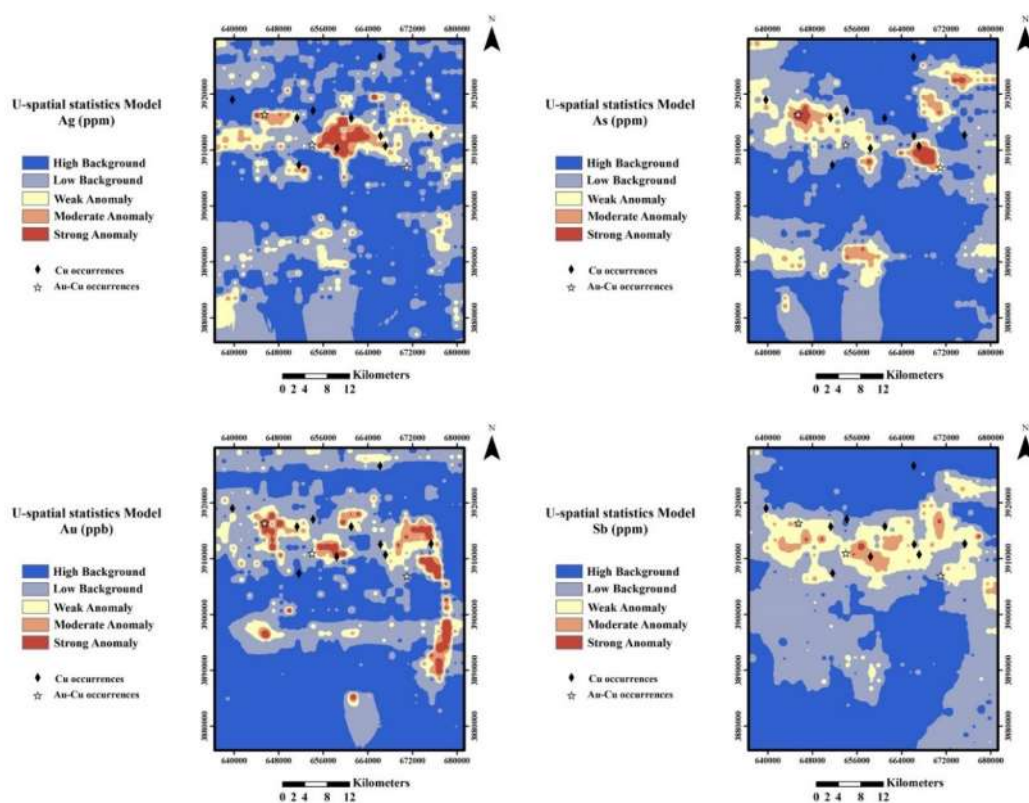


شکل ۴-۲۵ هیستوگرام مقادیر U محاسبه شده روی داده های ژئوشیمیایی عناصر

فصل چهارم: بررسی‌های ژئوشیمیایی و پتانسیل‌یابی معدنی

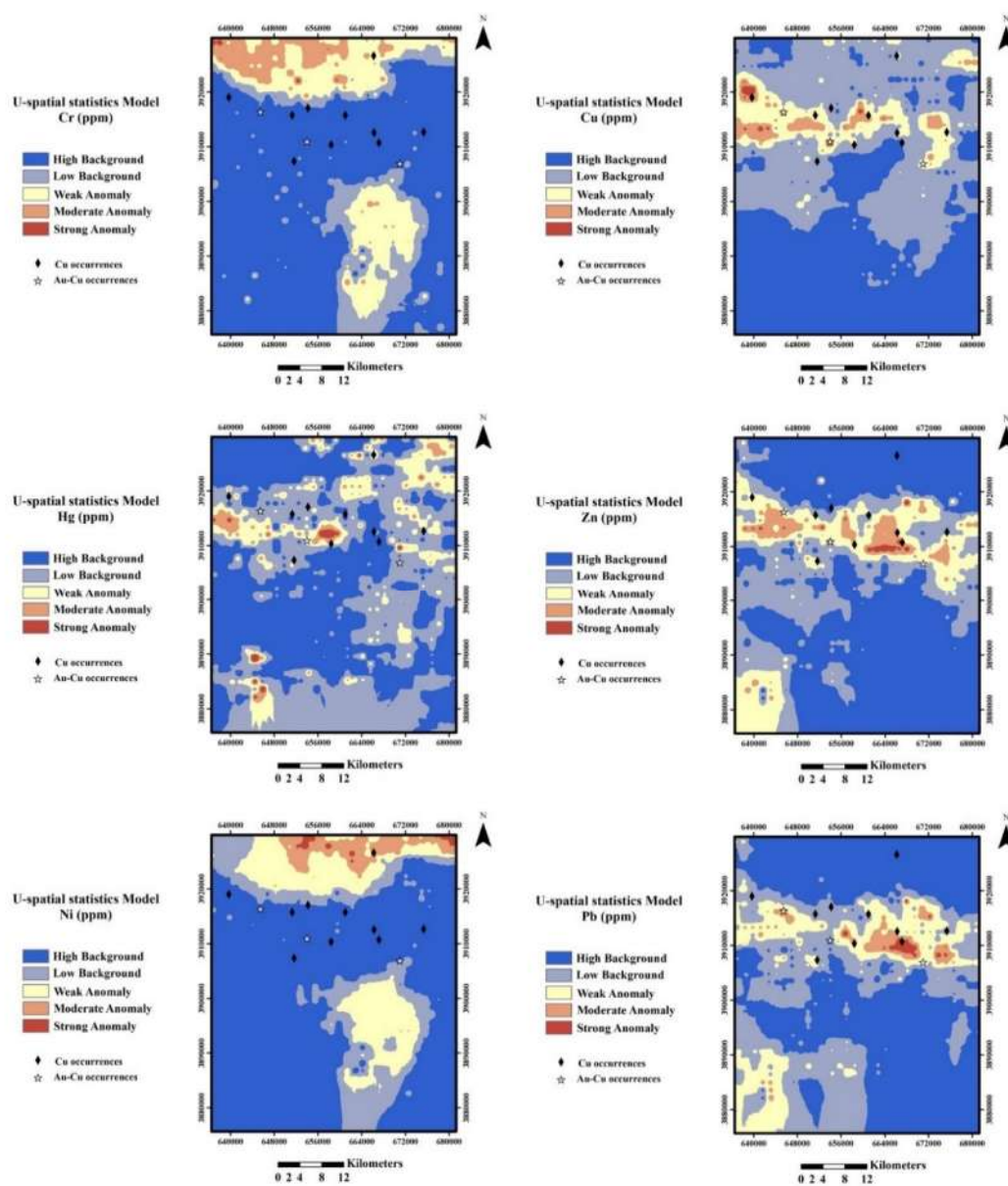
جدول ۴-۸ حدود آستانه بدست آمده از روش آماره فضایی U

Element	U+SD	U+2SD	U+3SD
Ag	0.659	1.335	2.011
As	0.795	1.549	2.339
Au	0.664	1.406	2.148
Cr	0.837	1.729	2.621
Cu	0.793	1.764	2.735
Hg	0.751	1.498	2.245
Ni	0.826	1.75	2.674
Pb	0.864	1.716	2.568
Sb	0.8	1.652	2.504
Zn	0.832	1.697	2.562



شکل ۴-۲۶ نقشه‌های توزیع جوامع ژئوشیمیایی با استفاده از روش آماره فضایی U برای عناصر

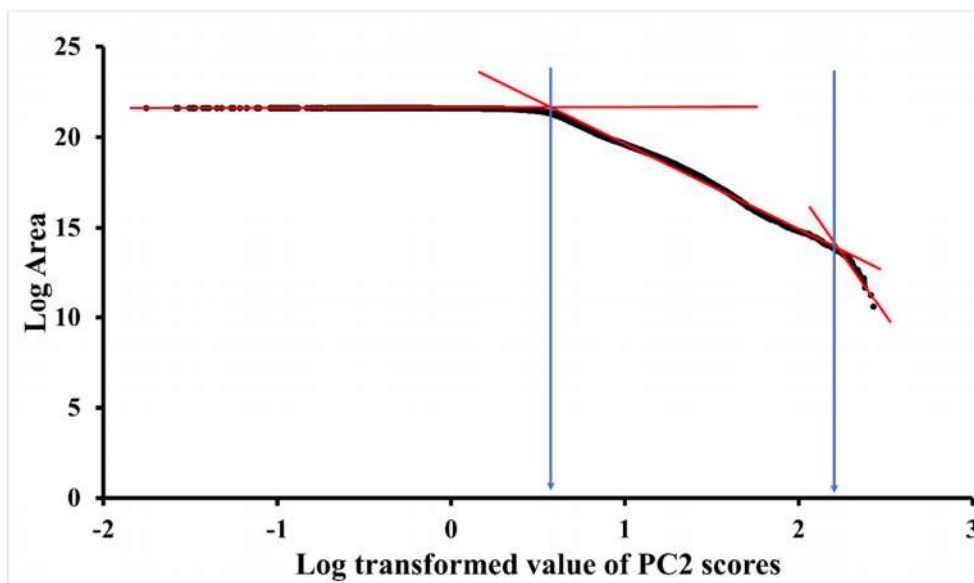
فصل چهارم: بررسی های ژئوشیمیایی و پتانسیل بای معدنی



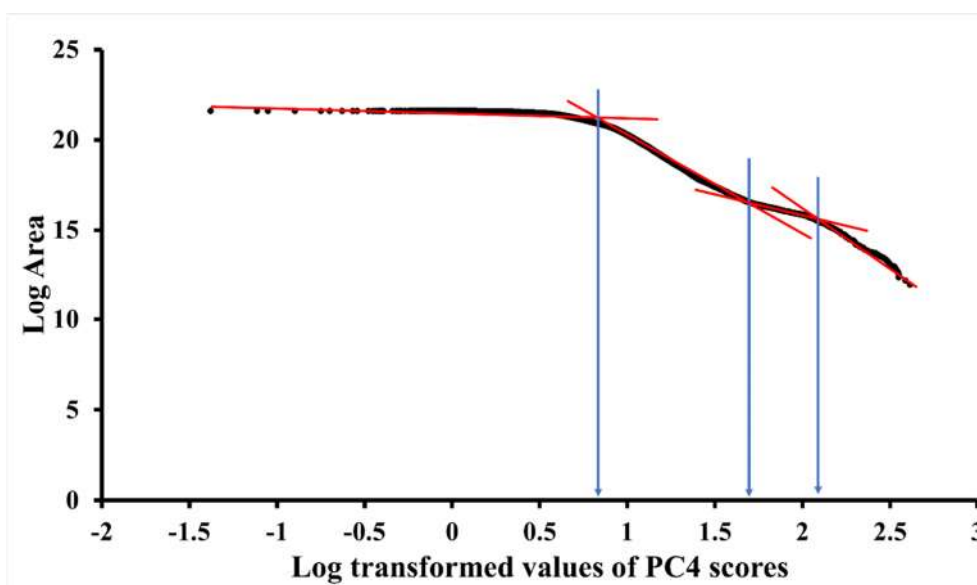
ادامه شکل ۴-۲۶ نقشه های توزیع جوامع ژئوشیمیایی با استفاده از روش آماره فضایی U برای عناصر

۴-۸- مدل‌سازی فرکتال عیار-مساحت مولفه‌های اصلی کانی‌ساز

مقادیر PC2 و PC4 (مولفه‌های کانی‌ساز)، بر روی نمودار تمام لگاریتمی عیار-مساحت به روش فرکتال مدل‌سازی شده است. مقادیر امتیازات PC2، 3 جامعه ژئوشیمیایی براساس خطوط برازش شده بر روی نمودار (شکل ۴-۲۷) و برای PC4، ۴ جامعه ژئوشیمیایی تفکیک نموده است (شکل ۴-۲۸).



شکل ۴-۲۷ نمودار تمام لگاریتمی فرکتال عیار-مساحت برای مقادیر حاصل از PC2

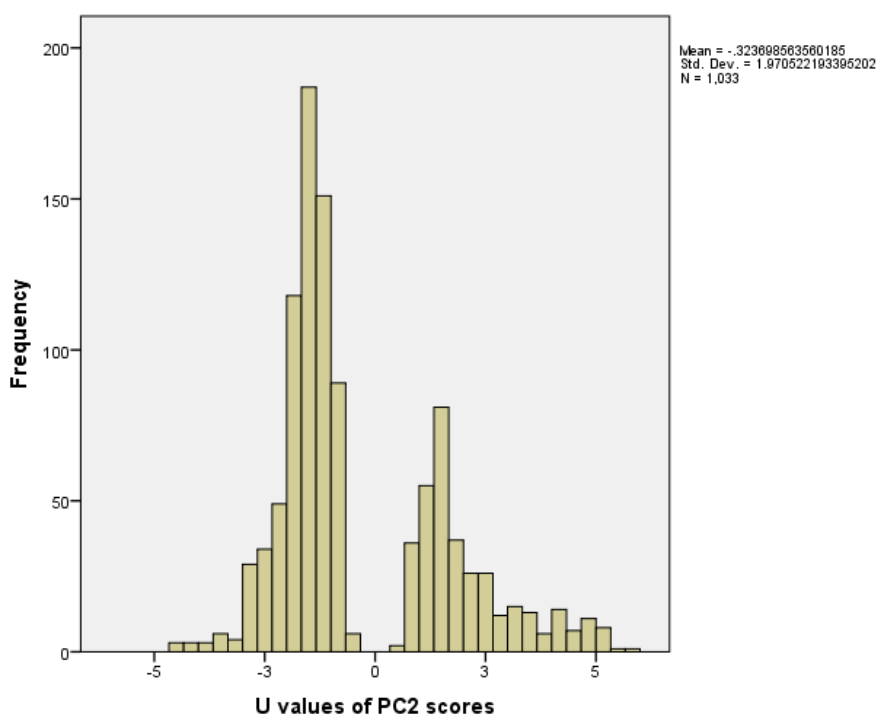


شکل ۴-۲۸ نمودار تمام لگاریتمی فرکتال عیار-مساحت برای مقادیر حاصل از PC4

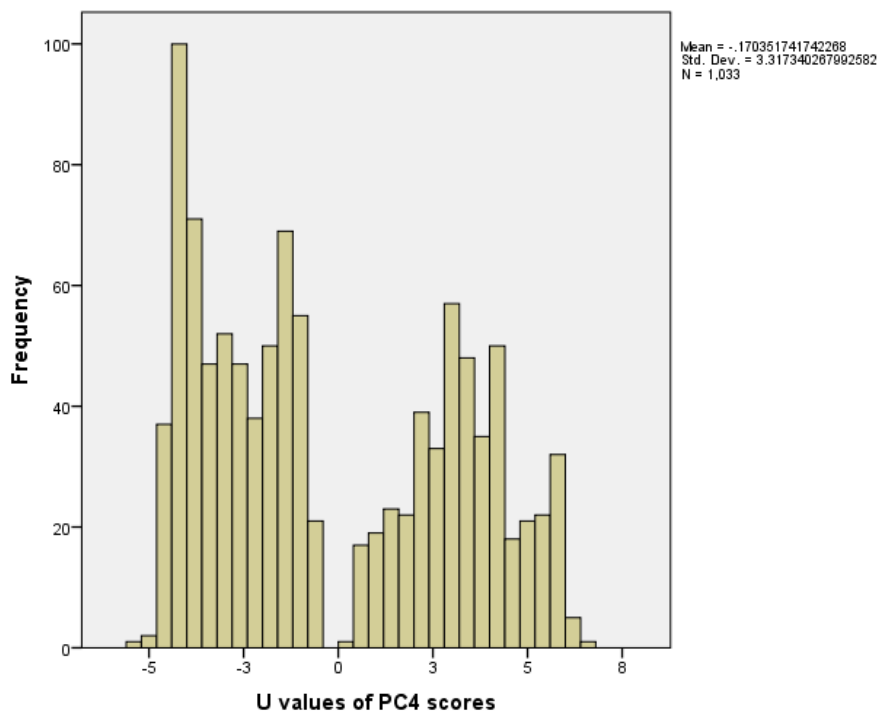
۴-۹- مدل‌سازی آماره فضایی U مولفه‌های اصلی کانی‌ساز

مقادیر ژئوشیمیایی به دست آمده از مؤلفه دوم (PC2) و مؤلفه چهارم (PC4) برای تحلیل توسط روش آماره فضایی U در این بخش استفاده شده و بر اساس این روش، جوامع مختلف ژئوشیمیایی از هم تفکیک خواهند شد.

هیستوگرام مقادیر محاسبه شده U و حدود آستانه بر اساس مقادیر U، U+SD، U+2SD و U+3SD به محاسبه گردید. با توجه به این حدود آستانه، چهار جامعه مقادیر کمتر از صفر، مقادیر کمتر از ۳، مقادیر کمتر از ۴ و در نهایت مقادیر بیشتر از ۴ برای مؤلفه دوم و چهار جامعه مقادیر کمتر از صفر، مقادیر کمتر از ۳، مقادیر کمتر از ۴/۵ و مقادیر بیشتر از ۴/۵ برای مؤلفه چهارم مشخص شدند (شکل ۴-۲۹ و ۴-۳۰).



شکل ۴-۲۹ هیستوگرام مقادیر U محاسبه شده روی مقادیر حاصل از PC2.



شکل ۴-۳۰ هیستوگرام مقادیر U محاسبه شده روی مقادیر حاصل از PC4.

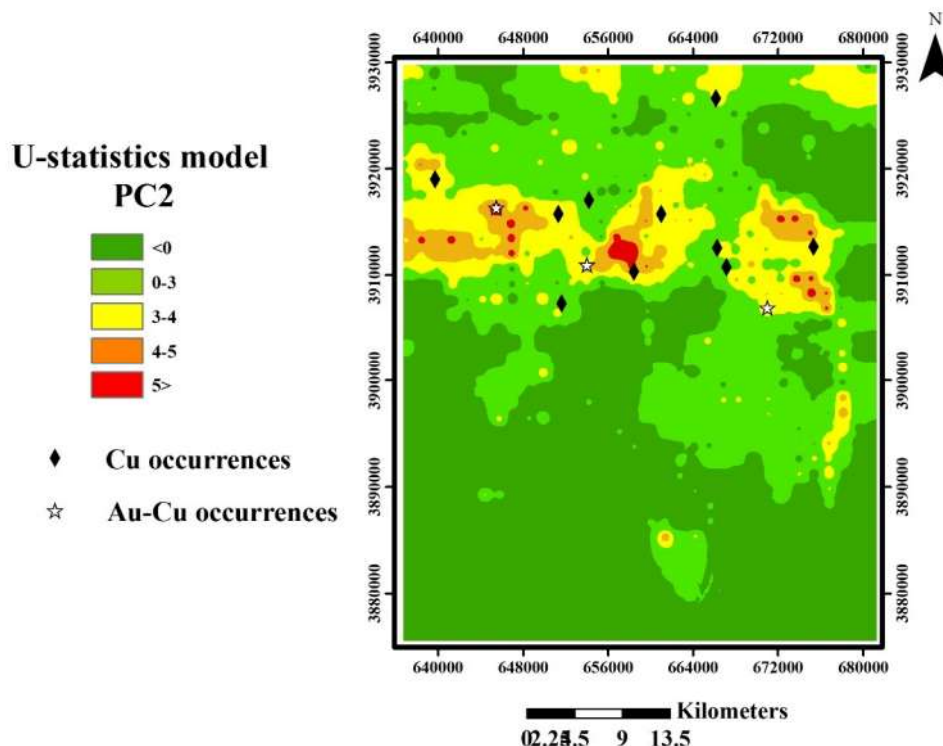
نقشه‌های نهایی حاصل از روش آماره فضایی U بر روی امتیازات حاصل از مولفه اصلی دوم و چهارم به ترتیب در شکل ۴-۳۱ و ۴-۳۲ قابل مشاهده می‌باشند. با توجه به این اشکال، عناصر نقره، آرسنیک، مس، طلا، روی، آنتیموان و سرب در این محدود و همچنین مولفه اصلی دوم (PC2)، ارتباط و همبستگی فضایی مناسبی در این برگه از خود نشان می‌دهند.

با توجه به نقشه‌های نهایی توزیع ژئوشیمیایی حاصل از ۱۰ عنصر انتخابی، نظیر عناصر مس، سرب و روی با استفاده از روش آماره فضایی U (شکل ۴-۲۶) و نقشه نهایی توزیع ژئوشیمیایی برای مقادیر PC2 با استفاده از همین روش (۴-۳۱)، توزیع فضایی بسیار مناسبی قابل مشاهده است. همچنین با بررسی نقشه زمین‌شناسی منطقه، نقشه نهایی توزیع مقادیر PC2 با واحدهای زمین‌شناسی پالئوآسن (Ebt) و (Ev)، توده‌های نفوذی الیگو-میوسن (Tgd)، از لحاظ ژنتیکی قرابت بالایی داشته و تحت کنترل گسل‌های موجود در این محدوده بوده است. نقشه نهایی توزیع ژئوشیمیایی برای مقادیر PC4

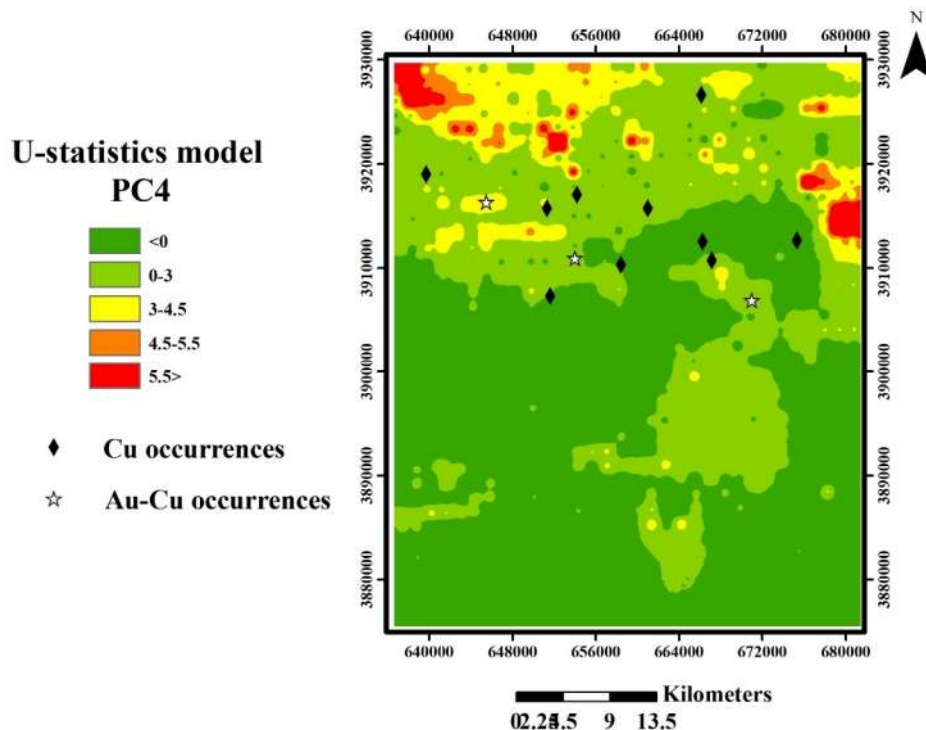
فصل چهارم: بررسی های ژئوشیمیایی و پتانسیل بابی معدنی

که با استفاده از روش آماره فضایی U بدست آمده (۳۲-۴)، با نقشه های توزیع عناصر نیکل و کروم همخوانی بسیار داشته است. باتوجه به نتایج بدست آمده از روش های مختلف تفکیک جوامع ژئوشیمیایی و تعیین حدود آستانه برای ۱۰ عنصر مورد بررسی، روش آماره فضایی U در برگه فیض آباد نتایج مناسب و قابل قبولی نسبت به روش فرکتال عیار-مساحت و مدل سازی نمودار احتمال حاصل کرد.

براساس نتایج کلی حاصل و همچنین با توجه به نقشه زمین شناسی منطقه و نحوه توزیع فضایی عناصر مورد بررسی، مقادیر حاصل از PC4، جهت استفاده در مدل سازی پتانسیل معدنی، انتخاب نشد و مقادیر PC2، به عنوان یک لایه اطلاعاتی ژئوشیمیایی جهت مدل سازی پتانسیل معدنی انتخاب شد.



شکل ۴-۳۱ نقشه نهایی توزیع ژئوشیمیایی برای مقادیر PC2 با استفاده از روش آماره فضایی U



شکل ۴-۳۲ نقشه نهایی توزیع ژئوشیمیایی برای مقادیر PC4 با استفاده از روش آماره فضایی U

۴-۹- مدل‌سازی پتانسیل معدنی

در این پژوهش، پس از بررسی‌های متعدد، لایه‌های اطلاعاتی زمین‌شناسی منطقه و گسل‌ها و شکستگی‌های موجود، لایه‌های ژئوشیمیایی مولفه دوم (PC2) و اطلاعات آلتراسیون‌های هیدروترمال در منطقه شناسایی و تشکیل شده و سپس لایه‌های اطلاعاتی مختلف توسط روش‌های گوناگون نظیر روش‌های دانش‌محور با یکدیگر تلفیق شده و مدل نهایی پتانسیل معدنی در قالب نقشه‌های امیدبخش از منطقه جهت بررسی‌های تفصیلی به دست آمده است.

مجموعه داده‌های در دسترس از منطقه مورد مطالعه شامل ۷ لایه اطلاعاتی است. یک لایه خروجی PC2 تحلیل مؤلفه‌های اصلی، ۲ لایه اطلاعاتی دیگر زمین‌شناسی و گسل‌های موجود منطقه، ۴ لایه آلتراسیون‌های هیدروترمال (آرژیلیک، فلیک، پروپیلیتیک و اکسید آهن) از تصاویر ماهواره‌ای و ترکیب باندهای مختلف حاصل شده است.

فصل چهارم: بررسی های ژئوشیمیایی و پتانسیل بابی معدنی

عناصر اصلی مرتبط با کانی‌زایی در محدوده فیض‌آباد شامل نقره، آرسنیک، مس، طلا، سرب، روی و آنتیموان در PC2 خلاصه شده که با یکدیگر بیشترین همبستگی را نشان می‌دهند. بنابراین لایه ژئوشیمیایی پیوسته مربوط به PC2 به‌عنوان مؤثرترین لایه ژئوشیمیایی برای مدل‌سازی با استفاده از روش‌های مختلف انتخاب شده است.

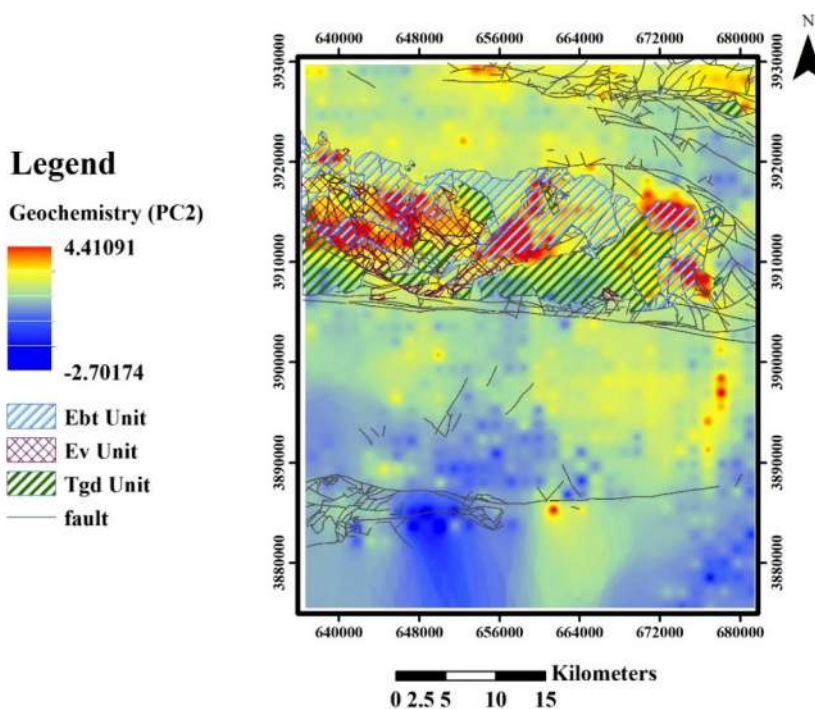
در محدوده فیض‌آباد، واحدهای پالئوئاسن (Ebt) و (Ev)، توده‌های نفوذی الیگو-میوسن (Tgd)، از لحاظ ژنتیکی با نحوه توزیع عناصر انتخابی در بخش قبلی قرابت زیادی دارند. بر همین اساس این واحدهای زمین‌شناسی به‌عنوان اطلاعات مؤثر و کارآمد برای استفاده در مدل‌سازی‌های نهایی می‌توانند، استفاده شوند. لذا واحدهای زمین‌شناسی موجود در منطقه به‌ویژه واحدهای سنگی مذکور به فرمت وکتور دیجیتال شدند و به‌صورت شیپ فایل درآمده، در مدل‌سازی پتانسیل معدنی تولید شد.

با توجه به نقشه‌های آنومالی در منطقه مورد مطالعه گسترش آنومالی‌ها و کانی‌زایی توسط گسل‌ها و شکستگی‌ها کنترل می‌شوند و تعدادی از گسل‌ها و شکستگی‌ها در کانی‌زایی نقش داشته و راهنماهای اکتشافی مناسبی هستند. این امر موید آن است که سیالات ماگمایی-هیدروترمال که نقش اساسی در کانی‌زایی دارند، توسط شکستگی‌ها بالا آمده و عناصر فلزی را بر جای گذاشته‌اند (شکل ۴-۳۳). به همین دلیل اطلاعات مربوط به گسل‌های منطقه به‌عنوان یک لایه شاهد مؤثر در مدل‌سازی پتانسیل معدنی، به نقشه پیوسته چگالی گسل به‌عنوان یکی دیگر از معیارهای اکتشافی برای مدل‌سازی پتانسیل معدنی تولید شد.

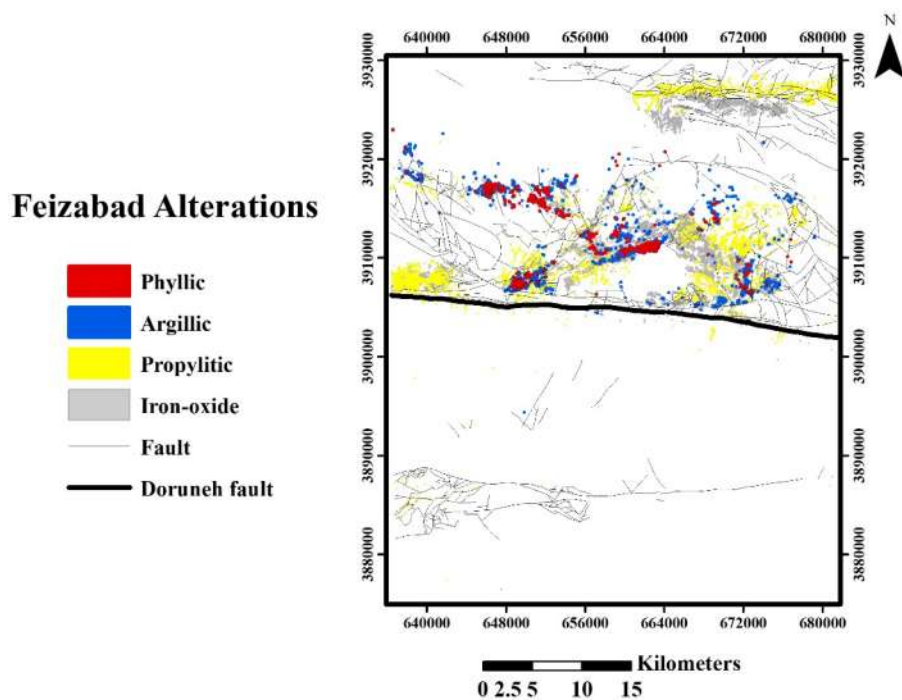
آلتراسیون‌های هیدروترمال نظیر آرژیلیک، فلیک، پروپلیتیک و اکسید آهن در بسیاری از کانسارهای گرمابی حضور دارند و این آلتراسیون‌ها را بر روی سطح زمین ظاهر می‌کنند. روش آشکارسازی این آلتراسیون‌ها، استفاده از تصاویر ماهواره‌ای مختلف از جمله تصاویر سنجنده ASTER و ETM+ می‌باشد. در این تصاویر با استفاده از باندهای مختلف و ترکیب آن‌ها با یکدیگر می‌توان کانی‌های مختلف با ویژگی‌های مشخص را آشکار نمود.

در این پژوهش، تصاویر ماهواره ASTER با به‌کارگیری روش ترکیب رنگی کاذب (FCC)، روش نسبت باندی (BR)، روش باند جذبی نسبی (RBD) و روش تبدیل کسر کمترین نویز (MNF)، برای استخراج آلتراسیون‌های هیدروترمال فلیک، آرژیلیک و پروپلیتیک و آلتراسیون‌های اکسید آهن، به کار گرفته شده است. در نهایت آلتراسیون‌های تشخیص داده شده در نرم‌افزار ENVI، به‌صورت شیپ فایل ذخیره شده و نقشه‌های نهایی پیوسته فاصله از آلتراسیون‌های آرژیلیک، فلیک، پروپلیتیک و اکسید آهن در محیط نرم‌افزار Arc GIS 10.2 تولید شدند (شکل ۴-۳۴).

فصل چهارم: بررسی های ژئوشیمیایی و پتانسیل یابی معدنی



شکل ۴-۳ نقشه بررسی ارتباط بین لایه های اطلاعاتی ژئوشیمیایی، زمین شناسی و گسل های محدوده فیض آباد



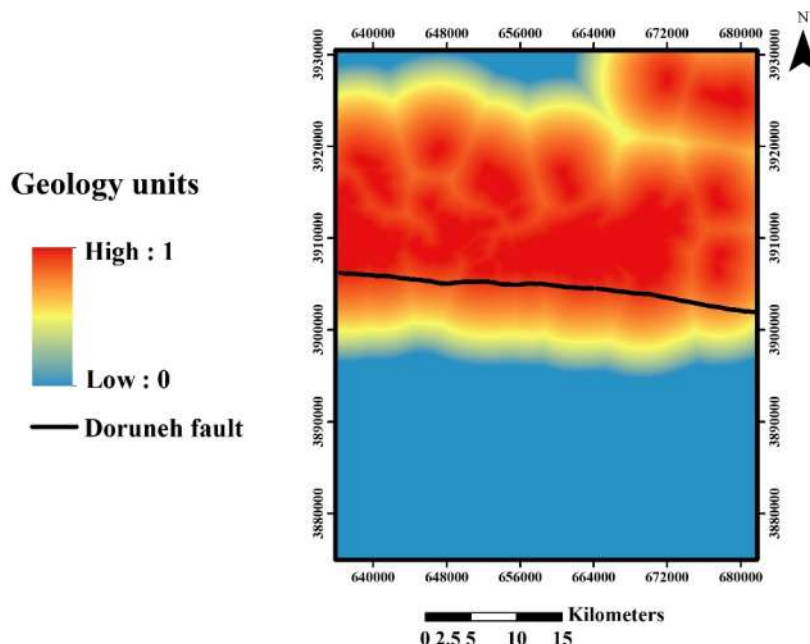
شکل ۴-۳ نقشه آلتراسیون های هیدروترمال فلیک، آرژیلیک، پروپیلیتیک و اکسید آهن حاصل از تصاویر

ماهواره ای

۴-۱۰-۲- فازي سازي لايه‌هاي پيوسته

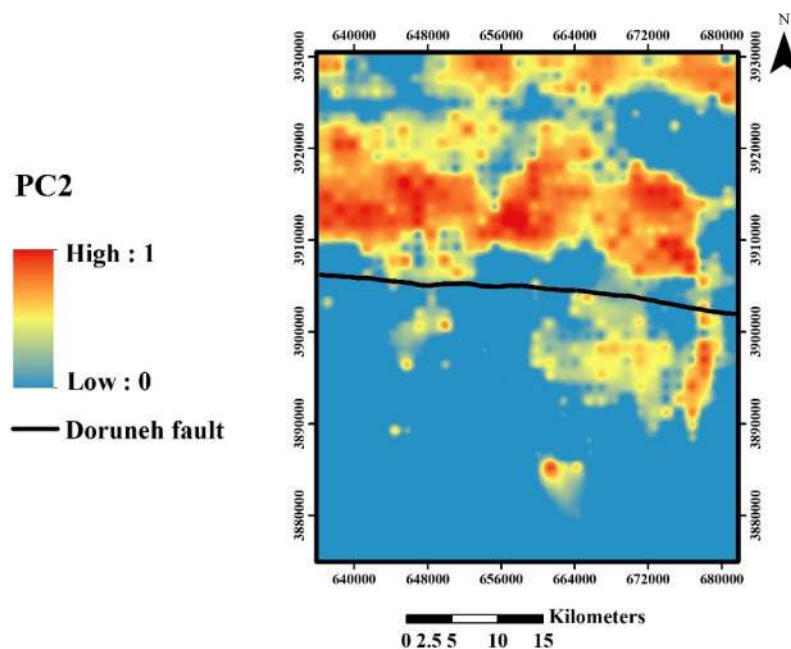
يکي از مراحل مهم همسان‌سازي مقادير لايه‌هاي اطلاعاتي شاهد، استفاده از روش‌هاي مبتني بر منطق فازي مي‌باشد که طی آن مقادير تمامي لايه‌هاي اطلاعاتي در دامنه ۰ تا ۱ قرار مي‌گيرند. در اين پژوهش، براي فازي سازي تمامي لايه‌هاي اطلاعاتي شاهد، از تابع عضويت فازي MSLarge استفاده شده است. طبق اين تابع، مقادير عضويت فازي بر اساس ميانگين و انحراف معيار داده‌هاي اوليه محاسبه مي‌گردند که در آن مقادير اوليه بيشتر، از امتيازات فازي بالاتري نيز برخوردار خواهند شد (Yousefi and Carranza, 2015).

با به کارگيري روش MSLarge در مرحله فازي‌سازي لايه‌ها، مقادير مربوط به تمامي لايه‌هاي اطلاعاتي شاهد در دامنه (۰-۱) قرار داده شده که طبق آن، يک لايه زمين شناختي مربوط به واحدهاي زمين‌شناسي مرتبط و توده‌هاي نفوذی اليگو-ميوسن (شکل ۴-۳۵) لايه ژئوشيميائي چند عنصري مربوط به مقادير حاصل از PC2 (شکل ۴-۳۶)، ۱ لايه چگالي گسل (شکل ۴-۳۷) و ۴ لايه آلتراسيوني مربوط به آلتراسيون‌هاي هيدروترمال فيليک (شکل ۴-۳۸)، آرژيليك (شکل ۴-۳۹)، اکسيد آهن (شکل ۴-۴۰) و پروپليتیک (شکل ۴-۴۱) فازي سازي شده و مقادير تمامي لايه‌ها همسان شدند.

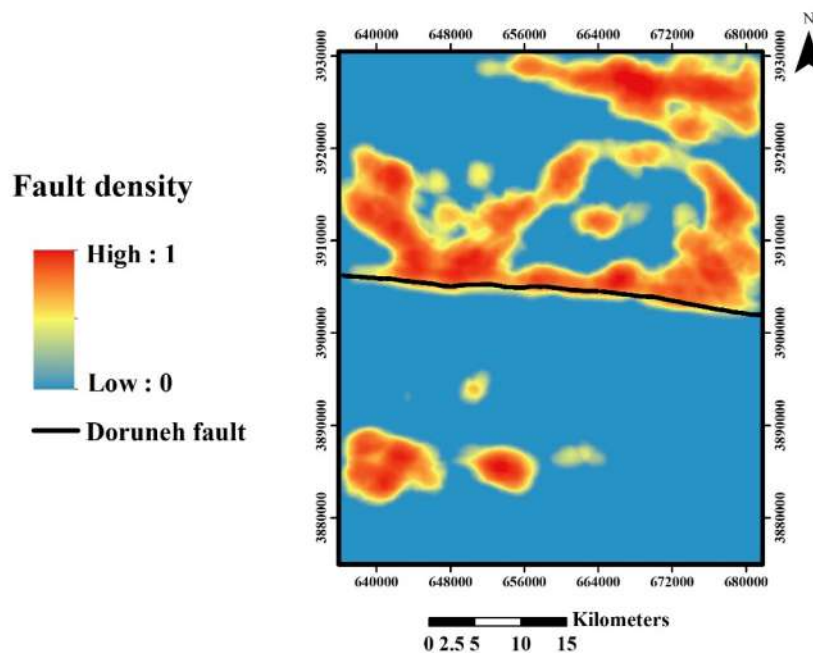


شکل ۴-۳۵ نقشه پيوسته مقادير تبديل يافته فاصله از واحدهاي زمين‌شناسي با استفاده از تابع MSLarge

فصل چهارم: بررسی های ژئوشیمیایی و پتانسیل یابی معدنی

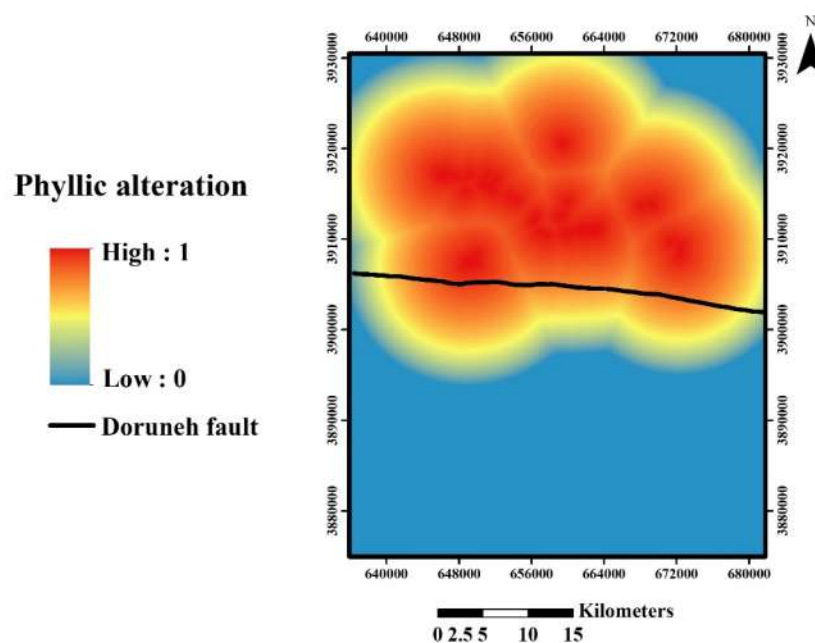


شکل ۴-۳۶ نقشه پیوسته اثرات ژئوشیمیایی تبدیل یافته مقادیر PC2 با استفاده از تابع MSLarge

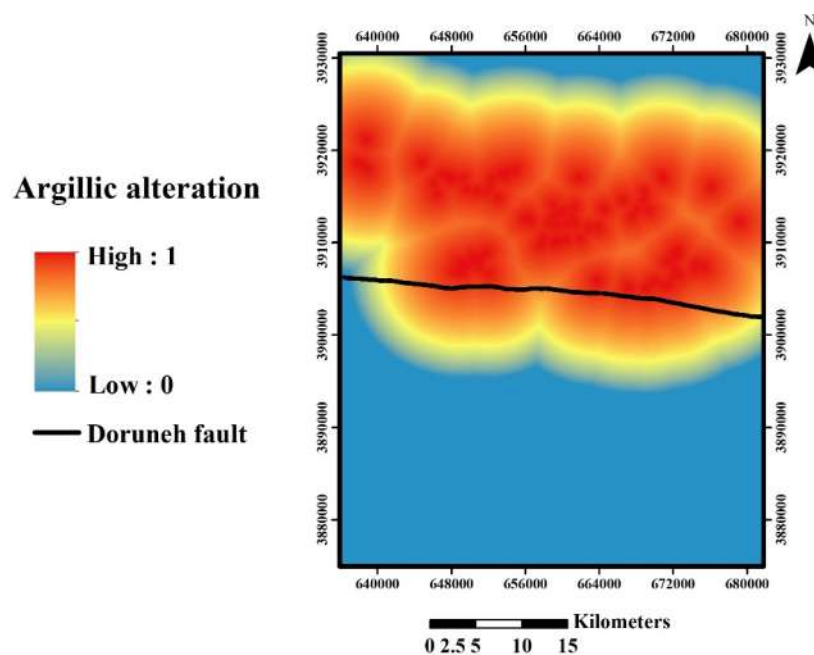


شکل ۴-۳۷ نقشه مقادیر تبدیل یافته چگالی گسل با استفاده از تابع MSLarge

فصل چهارم: بررسی های ژئوشیمیایی و پتانسیل بابی معدنی

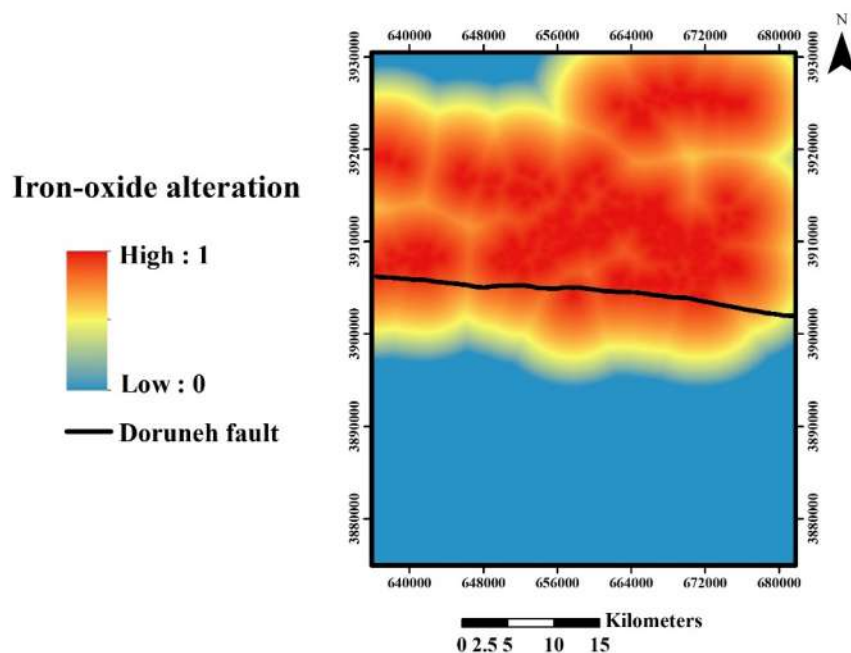


شکل ۴-۳۸ نقشه پیوسته مقادیر تبدیل یافته فاصله از آلتراسیون فیلیک با استفاده از تابع MSLarge

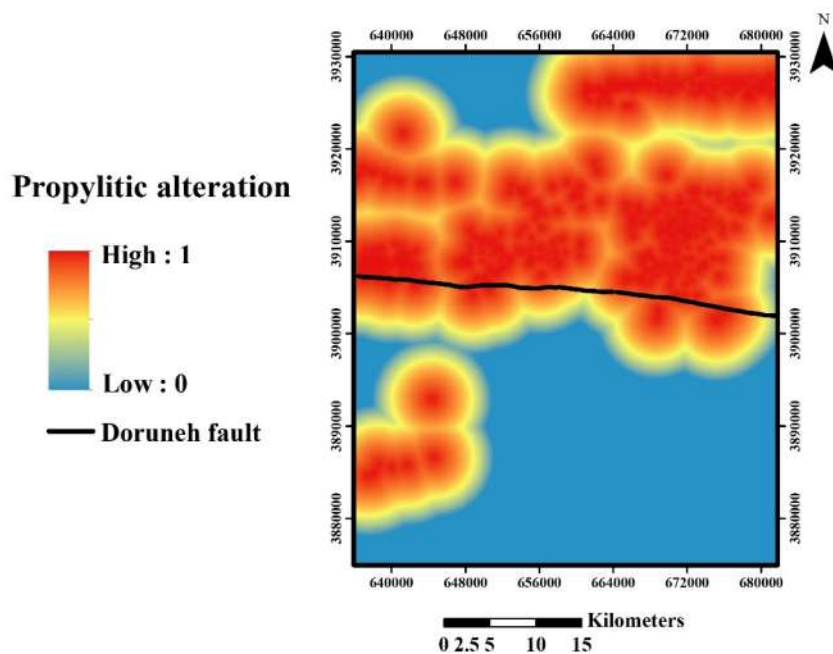


شکل ۴-۳۹ نقشه پیوسته مقادیر تبدیل یافته فاصله از آلتراسیون آرژیلیک با استفاده از تابع MSLarge

فصل چهارم: بررسی‌های ژئوشیمیایی و پتانسیل‌یابی معدنی



شکل ۴-۴ نقشه پیوسته مقادیر تبدیل یافته فاصله از آلتراسیون اکسید آهن با استفاده از تابع MSLarge



شکل ۴-۴۱ نقشه پیوسته مقادیر تبدیل یافته فاصله از آلتراسیون پروپلیتیک با استفاده از تابع MSLarge

۴-۱۰-۳- مدل‌سازی پتانسیل معدنی با استفاده از روش AHP

همان‌گونه که در مراحل قبل ذکر گردید، برای مدل‌سازی پتانسیل معدنی و شناسایی و جداسازی مناطق امیدبخش در برگه فیض‌آباد، ابتدا لایه‌های اطلاعاتی شاهد (زمین‌شناسی، ژئوشیمیایی PC2، چگالی گسل و نقشه‌های آلتراسیونی) به‌صورت پیوسته تهیه شدند. سپس برای تبدیل مقادیر منفی به یک دامنه مثبت (۱-۰) از تبدیل MSLarge استفاده شد. برای مدل‌سازی با استفاده از روش فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP)، در گام نخست باید ماتریس تصمیم‌گیری به‌صورت زوجی برای هر یک از لایه‌ها به‌صورت مجزا و برای مجموعه لایه‌های شاهد تشکیل شود. در مرحله بعدی همه لایه‌های اطلاعاتی با استفاده از روش AHP به‌صورت مقایسه زوجی وزن‌دهی می‌شوند و برای هر یک از لایه‌ها نیز به‌عنوان معیارهای اصلی یک وزن مناسب اختصاص داده می‌شود. سپس هر یک از لایه‌های وزن‌دار به نرم‌افزار Arc GIS 10.2 منتقل شده و باهم تلفیق می‌شوند.

در جدول ۴-۹ مقادیر وزن‌های اختصاص داده شده به تک‌تک لایه‌های شاهد بر اساس نظرات متخصصین بر مبنای تقسیم‌بندی ساتی ۱۹۹۴ (Saaty, 1994) آورده شده است.

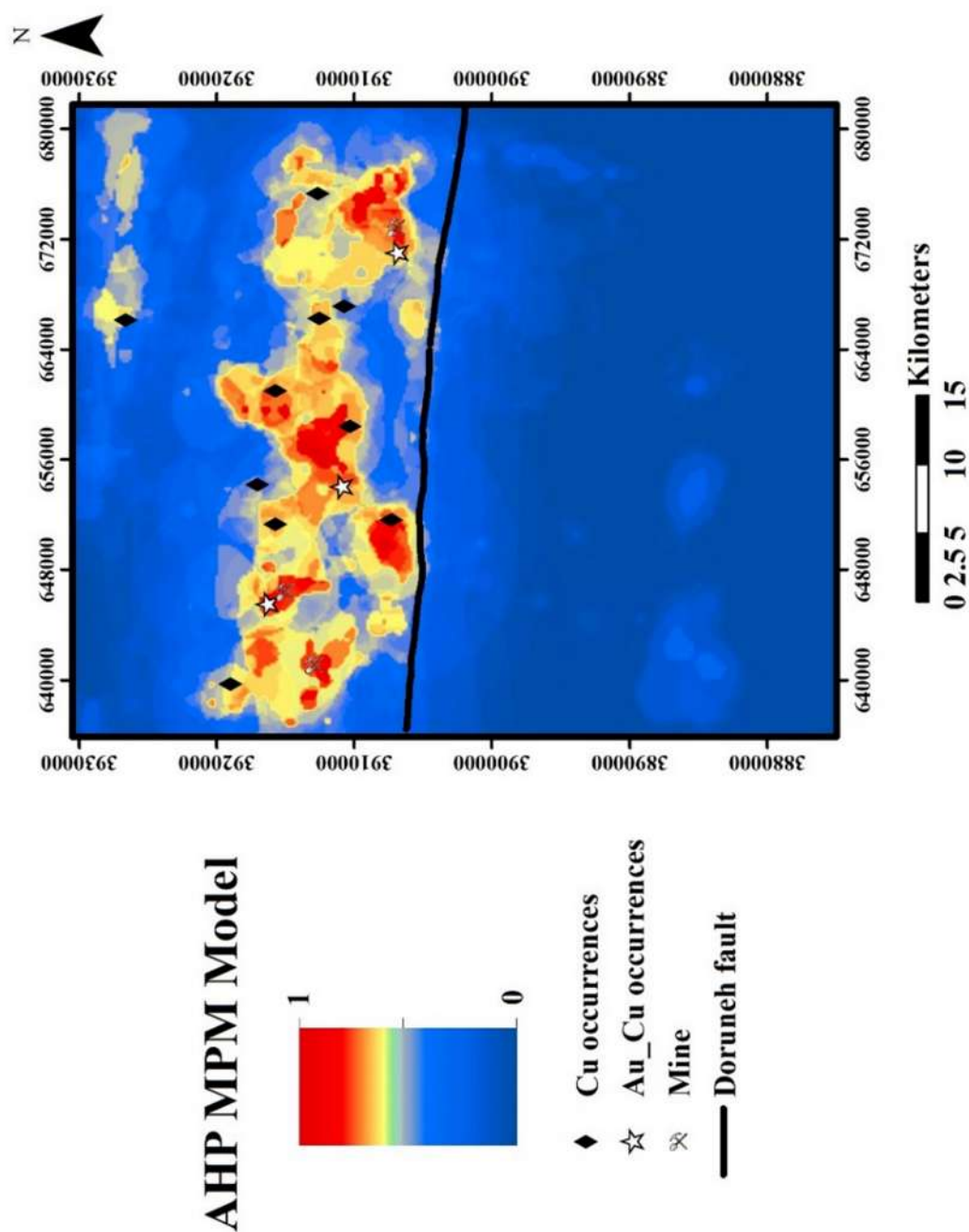
جدول ۴-۹ وزن‌های اختصاص‌یافته زوجی و وزن‌های نهایی برای ۷ لایه اطلاعاتی شاهد بر اساس روش AHP

Criteria	Geology	PC2	Fault density	Phyllic	Argillic	Iron-oxide	Propylitic	Weights
Geology	1	2	3	3	3	4	5	0.33
PC2	0.5	1	2	2	2	3	4	0.22
Fault density	0.33	0.5	1	1	1	2	3	0.13
Phyllic	0.33	0.5	1	1	1	2	3	0.12
Argillic	0.33	0.5	1	1	1	2	3	0.1
Iron-oxide	0.25	0.33	0.5	0.5	0.5	1	2	0.06
Propylitic	0.2	0.25	0.33	0.33	0.33	0.5	1	0.04

طبق جدول ۴-۹ مشخص است که واحدهای زمین‌شناسی به‌عنوان مهم‌ترین معیار طبق روش AHP با تخصیص وزن ۰/۳۳ انتخاب شده است. پس از واحدهای زمین‌شناسی، آنومالی‌های ژئوشیمیایی با تخصیص وزن ۰/۲۲، چگالی گسل با تخصیص وزن ۰/۱۳ به عنوان معیار مهم بعدی و آلتراسیون‌های فیلیک، آرژیلیک، اکسید آهن و پروپیلیتیک به ترتیب با تخصیص وزن ۰/۱۲، ۰/۱، ۰/۰۶، ۰/۰۴ به‌عنوان معیارهای مهم بعدی شناخته شده‌اند.

فصل چهارم: بررسی‌های ژئوشیمیایی و پتانسیل‌یابی معدنی

پس از اختصاص اوزان مناسب به هریک از جوامع مربوط به لایه‌های اطلاعاتی مختلف و تک‌تک لایه‌ها، مدل نهایی پتانسیل معدنی بر اساس روش AHP مطابق شکل ۴-۲۹ به دست آمد. طبق نقشه نهایی، مکان‌های مناسب کانی‌زایی مس و طلا- مس شناسایی شده است (شکل ۴-۲۹). به منظور اعتبار سنجی اندیس‌ها و معادن فعال بر روی این نقشه نمایش داده شده است. که طبق این نقشه مشاهده می‌شود که اکثر ذخایر شناخته شده شامل معدن طلای زرمهر، معدن طلای تنورچه، معدن طلای قلعه جوق در مناطق آنومالی با مقادیر بالا و برخی از ذخایر شناخته شده نیز در مناطق آنومالی با مقادیر متوسط قرار گرفته‌اند، که مدل پتانسیل نهایی توانسته ۸۴ درصد با رخدادهای کانی‌زایی مس و طلا- مس موجود در محدوده تطابق داشته باشد. که نتیجه می‌شود این روش می‌تواند یک روش موفق برای شناسایی مناطق دارای پتانسیل به‌ویژه مس و طلا- مس باشد که در مراحل تفصیلی بررسی و اکتشاف می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد.



شکل ۴-۴ نقشه پتانسیل نهایی مناطق امیدبخش با استفاده از روش AHP

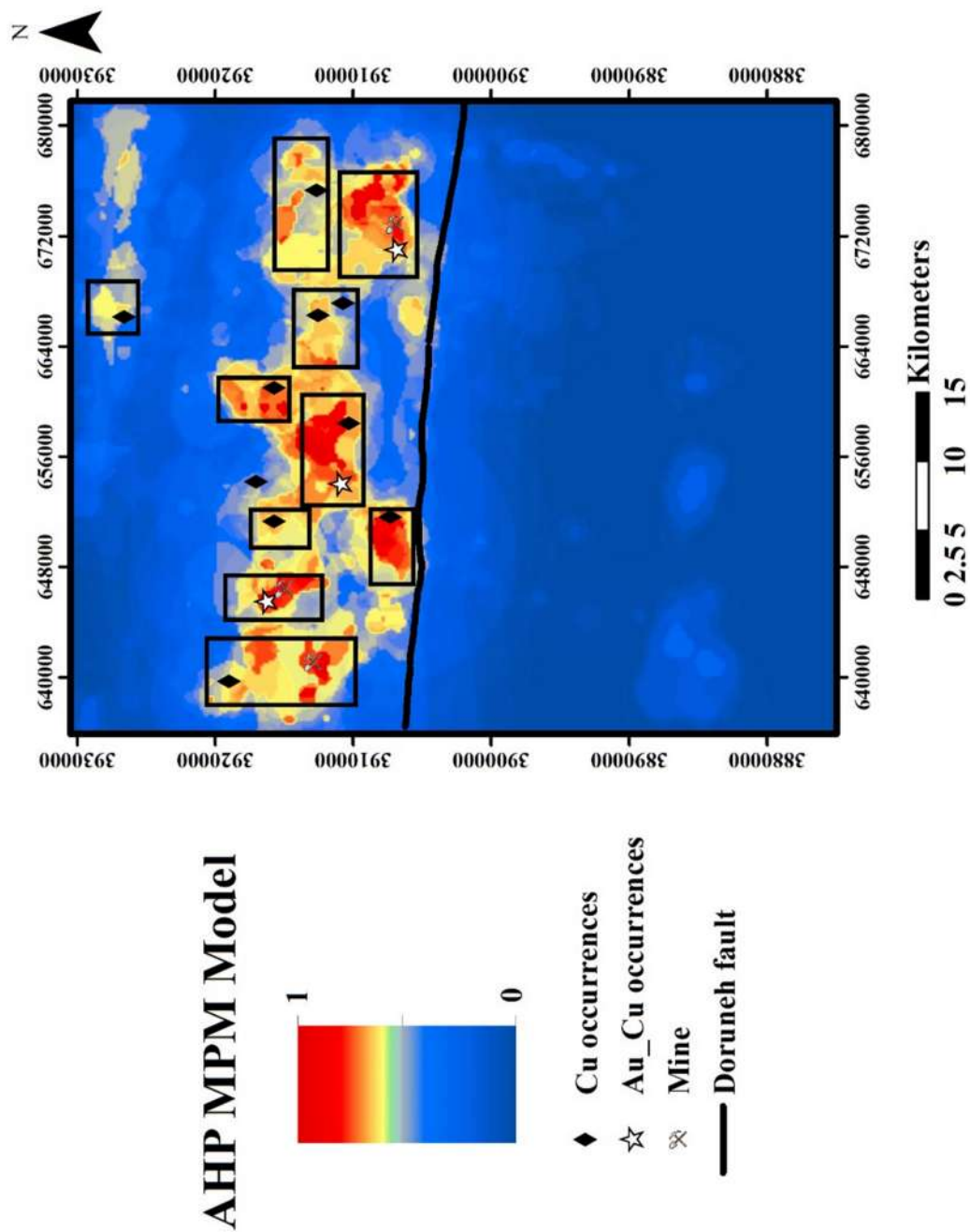
نتیجه گیری

در بررسی‌های ژئوشیمیایی:

- برای مطالعه پتانسیل کانی‌زایی در برگه فیض‌آباد، از روش‌های مختلف استفاده شده است. ابتدا ۲۸ عنصر بصورت تک متغیره مورد بررسی و الگوهای ژئوشیمیایی هر یک تشخیص داده شده و سپس بر اساس تحلیل دو متغیره عناصر ژئوشیمیایی با استفاده از ضرایب همبستگی و تحلیل مولفه‌های اصلی، ۱۰ عنصر اصلی انتخاب شد و مقادیر اصلی مولفه دوم و چهارم برای تشخیص و جدایش الگوهای ژئوشیمیایی استفاده شد.
- در مرحله اول از روش نمودار احتمال بر اساس مقادیر درصد فراوانی تجمعی هر یک از ۱۰ عنصر، برای جدایش جوامع مختلف ژئوشیمیایی استفاده شد. این روش، تنها توزیع فراوانی عیار عناصر را در نظر گرفته و از تغییرات فضایی آن‌ها چشم‌پوشی می‌کند، و همین یکی از بزرگترین ضعف‌های روش‌های مبتنی بر آمار کلاسیک محسوب می‌شود که لزوم استفاده از روش‌های بهتر و جدیدتر که در آن‌ها تغییرات فضایی داده‌ها نیز در نظر گرفته می‌شود را اثبات می‌کند.
- در مرحله بعد، از روش‌های مبتنی بر هندسه فرکتال روش عیار-مساحت و همچنین روش آماره فضایی U ، برای جداسازی نواحی آنومال از زمینه استفاده شده است. با بررسی نقشه‌های آنومالی ژئوشیمیایی به‌دست آمده از روش‌های نمودار احتمال، فرکتال عیار-مساحت و روش آماره فضای U مشخص شد که روش آماره فضایی U ، در این محدوده به خوبی توانسته جوامع مختلف ژئوشیمیایی را تفکیک و هاله‌ها را گسترش دهد. در بررسی‌های ژئوشیمیایی مشخص شد که آنومالی‌های با عیار بالا با واحدهای زمین‌شناسی پالئوئوسن و توده‌های نفوذی الیگو-میوسن به عنوان یک فاکتور اکتشافی برای مطالعه سیستم‌های کانی‌زایی موجود در منطقه، ارتباط ژنتیکی مناسبی را نشان می‌دهند و در نتیجه ۱۰ عنصر نقره، آرسنیک، طلا، مس، جیوه، سرب، آنتیموان و روی در این نواحی پر عیار می‌باشند.

مدل‌سازی پتانسیل معدنی به روش AHP:

- مطالعه حاضر درباره استفاده موفق از روش AHP به‌عنوان یک روش دانش‌محور، لایه‌های اطلاعاتی شاهد از مجموعه داده‌های اکتشافی موجود از منطقه را با یکدیگر تلفیق نموده و نقشه پتانسیل معدنی را برای شناسایی مناطق امیدبخش تولید می‌نمایند. لایه‌های اطلاعاتی شاهد شامل نقشه زمین‌شناسی، ژئوشیمیایی PC2، چگالی گسل و آلتراسیون‌ها (آرژیلیک، فلیک، پروپلیتیک و اکسید آهن) می‌باشند.
- نتایج حاصل از روش AHP در شناسایی و اولویت‌بندی مناطق دارای پتانسیل معدنی در منطقه مورد مطالعه، مورد استفاده قرار گرفته است و نواحی پرتانسیت تشخیص داده شده و نتایج حاصل با رخدادهای کانی‌زایی مس و طلا -مس ثبت شده در منطقه ارتباط مکانی خوبی (۸۴ درصد) را نشان می‌دهند و این مسئله نشان می‌دهد که روش AHP به‌عنوان یک روش موفق در مدل‌سازی پتانسیل معدنی به‌کار گرفته شده است و برای مطالعات تفصیلی در این منطقه می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. مطابق شکل ۴-۴۳، اندیس‌ها و رخدادهای معدنی مربوط به کانی‌زایی مس و طلا، ارتباط بسیار قوی با کانی‌زایی‌های به دست آمده از این روش را نشان می‌دهند و اکثر اندیس‌ها بر روی مناطق امیدبخش مدل‌سازی شده قرار گرفته و این دلیل بر، نتیجه معتبر و صحیح مدل‌سازی نهایی می‌باشد. بر همین اساس و با استفاده از مناطق مستعد پتانسیل معدنی ثبت شده در گزارش سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور سعی شده است تا مناطق ثبت شده قبلی در گزارش تأیید شده و همچنین مناطق جدید مستعد کانی‌زایی مس و طلا معرفی شوند. طبق بررسی‌ها مناطق کوه زرمهر، تنورچه و قلعه جوق به عنوان معادن طلا در این محدوده ثبت شده‌اند که طبق شکل ۴-۴۳، ۱۰ محدوده مستعد معدنی شناسایی و معرفی شده است.



شکل ۴-۴ نقشه پتانسیل نهایی مناطق امیدبخش معرفی شده با استفاده از روش AHP

مراجع

- برنا، ب؛ ۱۳۸۴. گزارش پی جویی طلای پلاسری در منطقه زرمهر تربت حیدریه، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- بهروزی، ا؛ ۱۳۶۶. نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ فیض آباد، انتشارات سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- حسینی‌پاک، ع.، شرف‌الدین، م؛ ۱۳۸۰. تحلیل داده‌های اکتشافی، انتشارات دانشگاه تهران.
- طالش حسینی، س؛ ۱۳۹۵، کاربرد آماره فضایی U براساس مدل‌سازی ناهمسانگردی در تفکیک داده‌های ژئوشیمیایی زمینه از آنومالی و مقایسه آن با نتایج روش مدل‌سازی نمودار احتمال در منطقه باغ‌غلوم کرمان، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی شاهرود.
- قزلباش، ر؛ ۱۳۹۵. بررسی های ژئوشیمیایی و کانی زایی در برگه ۱:۱۰۰۰۰۰ ورزقان، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی امیرکبیر.
- قوامی ریابی، ر، دارابی گلستان، ف؛ ۱۳۹۳. تحلیل و مدل‌سازی اکتشافی داده های ژئوشیمیایی ذخایر معدنی، انتشارات دانشگاه صنعتی شاهرود.
- مدنی، ح؛ مبانی اکتشاف مواد معدنی، انتشارات جهاد دانشگاهی واحد صنعتی امیرکبیر، جلد اول، ۱۳۹۰.
- صنایع و معادن؛ ۱۳۸۹. دستورالعمل اکتشاف ژئوشیمیایی بزرگ‌مقیاس رسوبات آبراهه‌ای (۱:۲۵۰۰۰)، دفتر نظارت و بهره‌برداری برنامه تهیه ضوابط و معیارهای معدن، انتشارات معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رئیس‌جمهور، نشریه شماره ۵۴۰.
- یوسفی، م.، کامکار روحانی، ا؛ ۱۳۸۹. اصول روش‌های مدل‌سازی پتانسیل معدنی (در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی)، انتشارات جهاد دانشگاهی واحد صنعتی امیرکبیر، جلد اول.

- Abedi, M., & Norouzi, G. H. (2012). Integration of various geophysical data with geological and geochemical data to determine additional drilling for copper exploration. *Journal of Applied Geophysics*, 83, 35-45.
- Abedi, M., & Norouzi, G. H. (2016). A general framework of TOPSIS method for integration of airborne geophysics, satellite imagery, geochemical and geological data. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 46, 31-44.
- Agterberg, F. P., Bonham-Carter, G. F., Cheng, Q. M., & Wright, D. F. (1993). Weights of evidence modeling and weighted logistic regression for mineral potential mapping. *Computers in geology*, 25, 13-32.
- An, P., Moon, W. M., & Bonham-Carter, G. F. (1994). Uncertainty management in integration of exploration data using the belief function. *Natural Resources Research*, 3(1), 60-71.
- Arias, M., Gumiel, P., & Martín-Izard, A. (2012). Multifractal analysis of geochemical anomalies: a tool for assessing prospectivity at the SE border of the Ossa Morena Zone, Variscan Massif (Spain). *Journal of Geochemical Exploration*, 122, 101-112.
- Bonham-Carter, G. F. (1994). Geographic information systems for geoscientists-modeling with GIS. *Computer methods in the geosciences*, 13, 398.
- Borouhaki, S., & Malczewski, J. (2008). Implementing an extension of the analytical hierarchy process using ordered weighted averaging operators with fuzzy quantifiers in ArcGIS. *Computers & Geosciences*, 34(4), 399-410.
- Carranza, E. J. M. (2008). *Geochemical anomaly and mineral prospectivity mapping in GIS* (Vol. 11). Elsevier.
- Carranza, E. J. M. (2009a). Mapping of anomalies in continuous and discrete fields of stream sediment geochemical landscapes. *Geochemistry: Exploration, Environment, Analysis*, 10(2), 171-187.
- Carranza, E. J. M.; "Objective selection of suitable unit cell size in data-driven modeling of mineral prospectivity". *Computers & Geosciences*, 35(10), 2032-2046. 2009b.
- Carranza, E. J. M., & Hale, M. (2001). Geologically constrained fuzzy mapping of gold mineralization potential, Baguio district, Philippines. *Natural Resources Research*, 10(2), 125-136.
- Chen, S. J., & Hwang, C. L. (1992). Fuzzy multiple attribute decision making methods. In *Fuzzy multiple attribute decision making* (pp. 289-486). Springer Berlin Heidelberg.
- Cheng, Q. (2007). Mapping singularities with stream sediment geochemical data for prediction of undiscovered mineral deposits in Gejiu, Yunnan Province, China. *Ore Geology Reviews*, 32(1), 314-324.

- Cheng, Q., Agterberg, F. P., & Ballantyne, S. B. (1994). The separation of geochemical anomalies from background by fractal methods. *Journal of Geochemical Exploration*, 51(2), 109-130.
- Daya, A. A. (2015). Comparative study of C-A, C-P, and N-S fractal methods for separating geochemical anomalies from background: A case study of Kamoshgaran region, northwest of Iran. *Journal of Geochemical Exploration*, 150, 52-63.
- de Araújo, C. C., & Macedo, A. B. (2002). Multicriteria geologic data analysis for mineral favorability mapping: application to a metal sulphide mineralized area, Ribeira Valley Metallogenic Province, Brazil. *Natural Resources Research*, 11(1), 29-43.
- Ghavami-Riabi, R., Seyedrahimi-Niaraq, M. M., Khalokakaie, R., & Hazareh, M. R. (2010). U-spatial statistic data modeled on a probability diagram for investigation of mineralization phases and exploration of shear zone gold deposits. *Journal of Geochemical Exploration*, 104(1), 27-33.
- Harris, D. P. (2000). *Information synthesis for mineral exploration*. Oxford University Press, USA.
- Harris, D., Zurcher, L., Stanley, M., Marlow, J., & Pan, G. (2003). A comparative analysis of favorability mappings by weights of evidence, probabilistic neural networks, discriminant analysis, and logistic regression. *Natural Resources Research*, 12(4), 241-255.
- Harris, J. (1990). Data integration for gold exploration in eastern Nova Scotia using a GIS. In *Thematic Conference on Remote Sensing for Exploration Geology-Methods, Integration, Solutions*, 7 th, Calgary, Canada (pp. 233-249).
- Hazen, S. W. (1967). *Some Statistical Techniques for Analyzing Mine and Mineral-deposit Sample and Assay Data*. US Department of the Interior, Bureau of Mines.
- Hengl, T. (2006). Finding the right pixel size. *Computers & Geosciences*, 32(9), 1283-1298.
- Hosseinali, F., & Alesheikh, A. A. (2008). Weighting spatial information in GIS for copper mining exploration. *American Journal of Applied Sciences*, 5(9), 1187-1198.
- Hu, D., Liu, D., Xue, Sh. (1995). *Explanatory Text of Geochemical Map of Feizabad (7760)*. Geological Survey of Iran, Tehran.
- Hwang, C. L., & Masud, A. S. M. (2012). *Multiple objective decision making—methods and applications: a state-of-the-art survey* (Vol. 164). Springer Science & Business Media.
- Levinson, A. A. (1974). *Introduction to exploration geochemistry*. [Textbook].

- Moon, W. M. (1990). Integration of geophysical and geological data using evidential belief function. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 28(4), 711-720.
- Moreira, F. R., Almeida-Filho, R., & Câmara, G. (2003). Spatial analysis techniques applied to mineral prospecting: an evaluation in the Poços de Caldas Plateau. *Brazilian Journal of Geology*, 33(2), 183-190.
- Parsa, M., Maghsoudi, A., & Ghezelbash, R. (2016). Decomposition of anomaly patterns of multi-element geochemical signatures in Ahar area, NW Iran: a comparison of U-spatial statistics and fractal models. *Arabian Journal of Geosciences*, 9(4), 260.
- Pazand, K., Hezarkhani, A., & Ataei, M. (2012). Using TOPSIS approaches for predictive porphyry Cu potential mapping: A case study in Ahar-Arasbaran area (NW, Iran). *Computers & Geosciences*, 49, 62-71.
- Pazand, K., Hezarkhani, A., Ataei, M., & Ghanbari, Y. (2011). Combining AHP with GIS for predictive Cu porphyry potential mapping: a case study in Ahar Area (NW, Iran). *Natural resources research*, 20(4), 251-262.
- Porwal, A. K., & Kreuzer, O. P. (2010). Introduction to the special issue: mineral prospectivity analysis and quantitative resource estimation.
- Porwal, A., Carranza, E. J. M., & Hale, M. (2004). A hybrid neuro-fuzzy model for mineral potential mapping. *Mathematical geology*, 36(7), 803-826.
- Porwal, A., Carranza, E. J. M., & Hale, M. (2006). A hybrid fuzzy weights-of-evidence model for mineral potential mapping. *Natural Resources Research*, 15(1), 1-14.
- Rowan, L. C., Schmidt, R. G., & Mars, J. C. (2006). Distribution of hydrothermally altered rocks in the Reko Diq, Pakistan mineralized area based on spectral analysis of ASTER data. *Remote Sensing of Environment*, 104(1), 74-87.
- Saaty, T. L. (1994). *Fundamentals of decision making and priority theory with the analytic hierarchy process*, Vol. VI. Universitas Pittsburgh. USA.
- Samimi Namin, F., Shahriar, K., Ataee-Pour, M., & Dehghani, H. (2008). A new model for mining method selection of mineral deposit based on fuzzy decision making. *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*, 108(7), 385-395.
- Sinclair, A. J. (1976). Applications of probability graphs in mineral exploration (No. 4). Association of Exploration Geochemists.
- Wellmer, F. W. (2012). *Statistical evaluations in exploration for mineral deposits*. Springer Science & Business Media.
- Xu, L., & Yang, J. B. (2001). *Introduction to multi-criteria decision making and the evidential reasoning approach*. Manchester School of Management.
- Yousefi, M., & Carranza, E. J. M. (2015). Fuzzification of continuous-value spatial evidence for mineral prospectivity mapping. *Computers & Geosciences*, 74, 97-109.

مراجع

- Yousefi, M., & Carranza, E. J. M. (2017). Union score and fuzzy logic mineral prospectivity mapping using discretized and continuous spatial evidence values. *Journal of African Earth Sciences*, 128, 47-60.
- Yousefi, M., & Nykänen, V. (2016). Data-driven logistic-based weighting of geochemical and geological evidence layers in mineral prospectivity mapping. *Journal of Geochemical Exploration*, 164, 94-106.
- Zuo, R., & Wang, J. (2016). Fractal/multifractal modeling of geochemical data: a review. *Journal of Geochemical Exploration*, 164, 33-41.

Abstract

Separation of geochemical anomalies from background is a crucial task in geochemical explorations and requires a conscious chosen of an appropriate method for decomposition of geochemical anomaly patterns. The probability plot, concentration-area (C-A) fractal method and U-spatial statistics model are reliable methods for identifying the anomaly populations. In this study, by using of the stream sediment geochemical data of Feizabad, 28 elements were selected for statistical and geochemical investigations. Based on this studies, finally, 10 elements including Au, Ag, As, Au, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Sb and Zn were selected for recognition of geochemical patterns in the study area. Principle component analysis (PCA) was applied onto the selected elements which are related to mineralization in order to derive multi-element geochemical signature. The various methods of anomaly-background separation such as probability plot, C-A fractal model and U-spatial statistics method have been applied for delineating the geochemical patterns and then promising areas. The obtained anomalous populations of U spatial statistics model in comparison with rest of models demonstrate more positive spatial association with the locations of Cu and Au-Cu occurrences within the study area. For mineral potential modeling (MPM), 7 evidential layers as main criteria including geochemical, geological-structural and remote sensing layers were selected. The scores of second component (PC2) were selected for generating the geochemical layer. The geological-structural layers consisting of proximity to mineralization-related units and intrusive contacts and fault density. Proximity to hydrothermal alterations of Phyllic, argillic, propylitic and iron-oxide are other applicable layers. In this study, MSLarge function was firstly used to transfer the stretched-values of evidential layers into (0-1) domain and then AHP as a knowledge-driven method were employed to generate final MPM model. The quantitative evaluation of AHP results displays a good agreement (84 percent) by Cu and Au-Cu occurrences within the study area and the new prospective areas have been introduced.

Key Words: Stream sediment, Probability plot modeling, Concentration-Area fractal, U-spatial statistics, Mineral potential modeling, AHP, Feizabad.



دانشگاه صنعتی شاهرود

Shahrood University of Technology
Faculty of Mining, petroleum and geophysics engineering
MSc Thesis

**The Geochemical study for geochemical anomaly
separation and mineral potential modelling (MPM) in
1:100000 Feizabad sheet**

By
Mehrdad Daviran

Supervisor
Dr. Reza Ghavami Riabi
Dr. Abbas Maghsoudi

January 2018