

بنام خداوند جان و



دانشگاه صنعتی شاهرود

دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک

رساله دکتری

رفتارسنجی، پتانسیل یابی اکتشافی و مدل سازی ژئوشیمیایی در محدوده

زمین شناسی کیوی، اردبیل

نگارنده : عادل شیرازی

اساتید راهنما

دکتر منصور ضیائی

دکتر اردشیر هزارخانی

بهمن ماه ۹۹

شماره: ۹۹۹۹, ۴۲.۸۵
تاریخ: ۹۹/۱۲/۲۴
ویرایش:

باسمه تعالی



مدیریت تحصیلات تکمیلی

فرم شماره ۱۱: صورت جلسه نهایی دفاع از رساله دکتری (Ph.D)

بدینوسیله گواهی می شود آقای عادل شیرازی دانشجوی دکتری رشته مهندسی معدن - اکتشاف مواد معدنی به شماره دانشجویی ۹۶۰۱۰۹۵ ورودی مهر ماه سال ۱۳۹۶ در تاریخ ۱۳۹۹/۱۱/۸ از رساله نظری / عملی خود با عنوان: رفتار سنجی، پتانسیل یابی اکتشافی و مدل سازی ژئوشیمیایی در محدوده زمین شناسی کیوی، اردبیل دفاع و با اخذ نمره ۱۹- به درجه دکتری نائل گردید.

جدول تعیین درجه نمره رساله برای ورودیهای ۹۴ و ماقبل

الف) درجه عالی: نمره ۲۰-۱۹	ب) درجه خیلی خوب: نمره ۱۸/۹۹-۱۷
ج) درجه خوب: نمره ۱۶/۹۹-۱۵	د) مردود: کمتر از ۱۵

جدول تعیین درجه نمره رساله برای ورودیهای ۹۵ و مابعد

الف) درجه عالی: نمره ۲۰-۱۹	ب) درجه خیلی خوب: نمره ۱۸/۹۹-۱۸
ج) درجه خوب: نمره ۱۷/۹۹-۱۶	د) مردود: کمتر از ۱۶

ردیف	هیئت داوران	نام و نام خانوادگی	مرتبه علمی	امضاء
	دکتر منصور ضیائی	استاد راهنما ۱	دانشیار	
	دکتر اردشیر هزار خانی	استاد راهنما ۲	استاد	
	دکتر امید اصغری	استاد مدعو خارجی	دانشیار	
	دکتر رضا خالو کاکائی	استاد مدعو داخلی	استاد	
	دکتر احمد واعظیان	استاد مدعو داخلی	استادیار	
	دکتر امین روشندل کاهو	سرپرست (نماینده) تحصیلات تکمیلی دانشکده	دانشیار	

مدیر محترم تحصیلات تکمیلی دانشگاه:

ضمن تأیید مراتب فوق مقرر فرمائید اقدامات لازم در خصوص انجام مراحل دانش آموختگی آقای عادل شیرازی بعمل آید.

نام و نام خانوادگی رئیس دانشکده: دکتر محمد عطائی
تاریخ و امضاء و مهر دانشکده:



سپاسگزاری

از نام‌آشنایان این شهر بزرگ من‌های ناچیز ما شدیم،

که راه خود را بپویم شیوا تر از آنچه در آرزو داشتیم.

و از دریای آنچه داشتند از سخاوتمندی، ما را نیز سیراب کردند که بدانیم، بزرگی در خلوص است.

با سپاس از سه وجود مقدس:

آنان که ناتوان شدند تا ما به توانایی برسیم...

آنان که موهایشان سپید شد تا ما رو سفید شویم...

و آنان که عاشقانه سوختند تا گرمابخش وجود ما و روشن‌گر راهمان باشند...

به مصداق «من لم یشکر المخلوق لم یشکر الخالق» بسی شایسته است از اساتید فرهیخته و فرزانه ام

دکتر منصور ضیایی و پروفسور اردشیر هزارخانی که با کرامتی چون خورشید، سرزمین دل

را روشنی بخشیدند و گلشن‌سرای علم و دانش را با راهنمایی‌های کارساز و سازنده بارور ساختند

کمال تقدیر و تشکر را نمایم. همچنین در مقابل **دکتر تیموفی تیمکین** از دانشگاه تامسک روسیه

برای حمایت‌ها بی دریغ خود در زمینه‌های علمی، چاپ مقاله و استفاده از گزنت‌ایشان جهت

پیشبرد این پژوهش سر تعظیم فرود آورم.

عادل شیرازی / دی ۱۳۹۹

تهدنامه

اینجانب عادل شیرازی دانشجوی دوره دکتری رشته مهندسی معدن - اکتشاف مواد معدنی دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه رفتارسنجی، پتانسیل یابی اکتشافی و مدل سازی ژئوشیمیایی در محدوده زمین شناسی کیوی، اردبیل تحت راهنمایی دکتر منصور ضیائی و دکتر اردشیر هزارخانی 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 صنعتی شاهرود می باشد و مقالات مستخرج با نام « دانشگاه صنعتی شاهرود » و یا « Shahrood University of Technology » به چاپ خواهد رسید .
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که از موجود زنده (یا 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

منطقه کیوی در استان اردبیل (شمال غربی ایران) واقع شده که یکی از مناطق بالقوه برای کشف عناصر فلزی است. مطالعات زمین‌شناسی، ژئوشیمیایی، آماری و زمین آماری، سنجش از دور، ژئوفیزیک هوابرد و زمین ساختاری ابزارهای مفیدی برای اکتشاف مواد معدنی در این منطقه است. هدف اصلی این مطالعه پردازش داده‌ها (نمونه‌های رسوب آبراهه‌ای، تصاویر ماهواره‌ای، برداشت‌های ژئوفیزیک هوابرد مغناطیس، گسل‌های منطقه و زمین‌شناسی) به منظور شناسایی ناهنجاری‌های کانی‌زایی فلزی است. در ابتدا، داده‌های ژئوشیمیایی رسوبات رودخانه‌ای خام با استفاده از روش دورفل اصلاح شد. سپس، پردازش آماری تک متغیره انجام و منتج به انتخاب تیتانیوم و روی به عنوان عناصری که بهترین کنتراست را دارند شد. رابطه بین عناصر با استفاده از تحلیل همبستگی و خوشه بندی سلسله مراتبی بررسی شد. با توجه به نتایج، مشخص شد که تیتانیوم و روی نقش بسزایی در کانی‌زایی منطقه دارند. آنالیز مؤلفه‌های اصلی به منظور انتخاب مؤلفه شاخص کانی‌زایی مربوط به این عناصر انجام شد. مؤلفه انتخاب شده بر روی نقشه زمین‌شناسی منطقه ترسیم و همچنین حدود آستانه ژئوشیمیایی نمونه‌های ناهنجر با استفاده از نمودار احتمال و فرکتال غلظت-مساحت تعیین گردید. عناصر مربوط به تیتانیوم و روی با استفاده از حد آستانه و تجزیه و تحلیل تمایز خطی (LDA) شناسایی شدند. واحدهای سنگ‌شناسی و الگوهای تغییرات بوسیله سنجش از دور (روش‌های: BR، DSPCA و MNF) تشخیص داده شد. با استفاده از برداشت‌های هوایی مغناطیس، داده‌های ژئوفیزیک هوابرد مدل سازی و منطقه منتخب دارای پتانسیل فلز زایی شناسایی گردید. با نگاهی به نقشه گسل‌های منطقه و وجود گسل کیوی در منطقه شناسایی شده می‌احتمال کنترل کانی زایی بوسیله گسل‌ها نیز بررسی گردید. نتایج حاصل از بررسی‌های آماری بر روی داده‌های ژئوشیمیایی، سنجش از دور، ژئوفیزیک هوابرد، زمین‌شناسی و ساختاری، ناهنجاری تیتانیوم و روی را در قسمت شرقی منطقه مورد مطالعه شناسایی کرد. بر اساس این مطالعه، Ti و Zn به عنوان عناصر رهگیر خوبی برای تحقیقات

بیشتر در منطقه کیوی شناخته شده‌اند. طبق این دلیل مهم، رفتار دو عنصر تیتانیوم و روی به همراه موقعیت جغرافیایی آن‌ها مورد مطالعه رفتارسنجی کا-میانگین قرار گرفت و با استفاده از آن‌ها به عنوان کلید اکتشافی دیگری، مقدار تیتانیوم در منطقه با شبکه عصبی مصنوعی و رگرسیون پیش‌بینی گردید که البته شبکه عصبی مصنوعی پاسخ‌هایی با صحت بیشتر و رگرسیون مراکز کا-میانگین پاسخ‌هایی با دقت شناسایی موقعیت آنومالی بهتر را ارائه نمود.

کلمات کلیدی : ژئوشیمی، ژئوفیزیک، روش‌های آماری، زمین‌شناسی، مطالعات هوشمند
اکتشاف معدن، کیوی، اردبیل

لیست مقالات مستخرج از پایان نامه

ردیف	عنوان مقاله	نام مجله / کنفرانس	نوع مجله
۱	Geostatistical and Remote Sensing Studies to Identify High Metallogenic Potential Regions in the Kivi Area of Iran	Minerals	ISI (JCR) IF : 2.5 Q2
۲	Geochemical Behavior Investigation Based on K-Means and Artificial Neural Network Prediction for Titanium and Zinc, In Kivi Region, Iran	Bulletin of the Tomsk Polytechnic University Geo Assets Engineering	ISI (ESCI) Scopus = Q3
۳	بررسی رفتار ژئوشیمیایی عنصر مس به روش کا- میانگین و پیش‌بینی آن توسط شبکه عصبی مصنوعی در منطقه کیوی، استان اردبیل	نشریه مهندسی معدن	علمی-پژوهشی
۴	بررسی رفتار ژئوشیمیایی بر اساس پیش‌بینی شبکه عصبی مصنوعی و کا-میانگین برای دو عنصر تیتانیوم و روی در محدوده کیوی، استان اردبیل	دومین کنفرانس ملی مدل‌سازی در مهندسی معدن و علوم وابسته	ISC دانشگاهی سخنرانی
۵	داده کاوی در آنالیز رسوبات آبراهه‌ای نقشه یک صد هزارم کیوی به منظور شناسایی مناطق پر پتانسیل، استان اردبیل	بیست و سومین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران	ISC دانشگاهی سخنرانی
۶	تحلیل آماری به روش آنالیز مؤلفه‌های اصلی و نمودار درختی در داده‌های رسوبات آبراهه‌ای نقشه یک صد هزارم کیوی، استان اردبیل	دومین کنفرانس ملی مدل‌سازی در مهندسی معدن و علوم وابسته	ISC دانشگاهی پوستر

* ده کتاب نیز از این رساله مستخرج شده است (در ۱۰ زبان زنده دنیا)

** بروز رسانی خروجی رساله تا بهمن ماه ۱۳۹۹

فهرست مطالب

فصل اول : مقدمه	۱
۱-۱ مقدمه	۲
۲-۱ اهداف رساله	۴
۳-۱ نوآوری های رساله	۵
۴-۱ ساختار رساله	۵
فصل دوم : معرفی منطقه مورد مطالعه	۷
۱-۲ مقدمه	۸
۱-۱-۲ موقعیت و کلیات	۸
۲-۱-۲ زمین شناسی	۱۰
۱-۲-۱-۲ زمین شناسی عمومی منطقه	۱۰
۲-۲-۱-۲ زمین شناسی اقتصادی منطقه	۱۱
۲-۲ عناصر احتمالی منطقه	۱۳
۳-۲ نتیجه گیری	۱۴
فصل سوم : مروری بر روش ها و اطلاعات پیشین	۱۵
۱-۳ مقدمه	۱۶
۱-۱-۳ پیش پردازش و حذف داده های نا کار آمد	۱۶
۲-۳ آمار و روش های نوین و هوشمند	۱۷
۱-۲-۳ جداسازی آنومالی از زمینه	۱۸
۱-۱-۲-۳ روش های غیر ساختاری	۱۹
۲-۱-۲-۳ روش های ساختاری	۲۲
۲-۲-۳ خوشه بندی سلسله مراتبی	۲۵
۳-۲-۳ کا- میانگین	۲۶
۴-۲-۳ روش فرکتال	۳۰
۵-۲-۳ آنالیز تمایز	۳۱
۶-۲-۳ آنالیز مؤلفه های اصلی	۳۲

۳۲	۷-۲-۳ شبکه عصبی مصنوعی
۳۵	۳-۳ سنجش از دور
۳۷	۱-۳-۳ سامانه‌ی ماهواره‌های سنجش از دور
۳۸	۲-۳-۳ انواع ماهواره‌های سنجش از دور
۴۱	۳-۳-۳ مزایای استفاده از داده‌های ماهواره‌ای
۴۳	۴-۳-۳ کاربرد روش‌های طبقه‌بندی نظارت نشده در اکتشاف
۴۶	۵-۳-۳ روش‌های مورد استفاده در سنجش از دور
۴۸	۴-۳ ژئوفیزیک هوابرد
۴۸	۱-۴-۳ مگنتومتري
۴۹	۲-۴-۳ برداشت‌های مغناطیسی
۵۱	۳-۴-۳ هم‌ارزسازی داده‌های مغناطیسی
۵۲	۴-۴-۳ تصحیح در برداشت‌های ژئومغناطیسی
۵۳	۵-۴-۳ روش پژوهش ژئوفیزیک هوابرد
۵۴	۵-۳ مروری بر اطلاعات در دسترس
۵۵	۶-۳ نتیجه‌گیری
۵۷	فصل چهارم: بحث و پژوهش
۵۸	۱-۴ مقدمه
۵۸	۲-۴ روش‌های آماری
۵۹	۱-۲-۴ بررسی‌های اولیه تک متغیره و اولویت بندی
۶۰	۲-۲-۴ بررسی ضرایب همبستگی و خوشه بندی درختی
۶۲	۳-۲-۴ آنالیز مؤلفه‌های اصلی
۶۳	۴-۲-۴ بررسی حدود ژئوشیمیایی
۶۶	۵-۲-۴ آنالیز تمایز
۶۶	۱-۵-۲-۴ تیتانیوم
۶۸	۲-۵-۲-۴ روی
۷۱	۶-۲-۴ مدل‌سازی نقشه‌های آنومال ژئوشیمیایی
۷۳	۳-۴ روش‌های سنجش از دور

۷۳	نسبت باندی..... ۱-۳-۴
۷۴	آنالیز مؤلفه‌های اصلی..... ۲-۳-۴
۷۵	آنالیز چگالی دگرگونی رانده شده..... ۳-۳-۴
۷۷	کمینه اختلال شکستگی (MNF)..... ۴-۳-۴
۷۸	بررسی زمین ساختاری..... ۴-۴
۷۹	ژئوفیزیک هوابرد..... ۵-۴
۸۳	رفتارسنجی و پیش‌بینی..... ۶-۴
۸۳	رفتار سنجی تیتانیوم و روی..... ۱-۶-۴
۸۶	بررسی رفتار ساختاری تیتانیوم، روی و مختصات..... ۲-۶-۴
۸۷	پیش‌بینی عیار تیتانیوم..... ۳-۶-۴
۸۸	تخمین با شبکه عصبی مصنوعی رگرسیون عمومی..... ۴-۶-۴
۹۰	تخمین با کمک مراکز منتخب کا-میانگین..... ۵-۶-۴
۹۳	نتیجه‌گیری..... ۵-۴
۹۵	فصل پنجم : نتیجه‌گیری و پیشنهادات..... ۹۵
۹۶	نتیجه‌گیری..... ۹۶
۹۸	پیشنهادهات..... ۹۸
۹۹	مراجع..... ۹۹

فهرست اشکال

- شکل ۱-۱ : پهنه طارم-هشتچین به همراه جا نمایی نقشه یک صد هزارم کیوی ۴
- شکل ۲-۱ : روند نمای رساله ۶
- شکل ۱-۲ : موقعیت نمونه‌ها و آبراهه‌ها در نقشه زمین‌شناسی ساده شده یک صد هزارم کیوی ۹
- شکل ۲-۲ : نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ کیوی، اردبیل ۱۲
- شکل ۳-۲ : معادن فلزی بر روی کمربند فلززایی طارم-هشتچین ۱۳
- شکل ۱-۳ : حد آستانه‌ای مقادیر خارج از ردیفه عنوان تابعی از تعداد نمونه و سطح اعتماد ۱۶
- شکل ۲-۳ : نمایش ساختار یک نرون مصنوعی ۳۴
- شکل ۳-۳ : فرآیند تهیه تصویر از یک منطقه با استفاده از سنجش از راه دور ۳۵
- شکل ۴-۳ : ستجنده‌های فعال (B) و غیر فعال (A) ۳۷
- شکل ۵-۳ : منحنی طیفی آزمایشگاهی برخی کانی‌ها ۴۵
- شکل ۶-۳ : راست : سه باند اصلی و ترکیب آن برای دریافت تصویر. چپ : نمایی کلی از MNF ۴۷
- شکل ۱-۴ : نمودار شاخه‌ای عناصر موجود در منطقه کیوی ۶۱
- شکل ۲-۴ : نمودار سنگ ریزه‌ای برای تشخیص مؤلفه‌های بهینه در روش PCA ۶۲
- شکل ۳-۴ : جداسازی جوامع در عنصر تیتانیوم با استفاده از نمودار احتمال ۶۴
- شکل ۴-۴ : جداسازی جوامع در عنصر روی با استفاده از نمودار احتمال ۶۴
- شکل ۵-۴ : جداسازی فرکتالی جوامع در عنصر تیتانیوم ۶۵
- شکل ۶-۴ : جداسازی فرکتالی جوامع در عنصر روی ۶۵
- شکل ۷-۴ : تفکیک جوامع با کلاسه‌های تیتانیوم در روش LDA ۶۶
- شکل ۸-۴ : ترسیم امتیاز عناصر با تمرکز بر تیتانیوم ۶۷
- شکل ۹-۴ : تفکیک تمایزی بر اساس ۳ جامعه بر اساس جوامع عنصر روی ۶۹
- شکل ۱۰-۴ : تفکیک جوامع با کلاسه‌های روی به روش LDA ۶۹
- شکل ۱۱-۴ : ترسیم امتیازات عنصر روی در آنالیز تمایز با روش LDA ۷۰
- شکل ۱۲-۴ : نمونه‌های آنومال مشاهده شده تیتانیوم (راست) و روی (چپ) ۷۲
- شکل ۱۳-۴ : نقاط زرد (روی) و قرمز (تیتانیوم) آنومال به صورت توام ۷۲
- شکل ۱۴-۴ : ترسیم مؤلفه دوم روش PCA بر روی نقشه زمین‌شناسی منطقه ۷۳
- شکل ۱۵-۴ : RGB= ۷,۵,۳ به‌مشتق شده از داده‌های OLI ۷۴

- شکل ۴-۱۶: $RGB = ۴/۲, ۶/۴, ۶/۷$ ۷۴
- شکل ۴-۱۷: $RGB = PC1, PC2, PC3$ ، کلاس‌های مختلف سنگ‌ها را نشان می‌دهد ۷۵
- شکل ۴-۱۸: نقشه چگالی دگرگونی رانده شده از DSPCA برای شناسایی مواد معدنی رسی ۷۶
- شکل ۴-۱۹: $RGB = MNF1, MNF2, MNF3$ مشتق شده از OLI ۷۷
- شکل ۴-۲۰: نقشه تکتونیک به همراه لیتولوژی منطقه کیوی ۷۸
- شکل ۴-۲۱: نقشه تغییرات شدت میدان مغناطیسی باقیمانده در محدوده مورد مطالعه ۷۹
- شکل ۴-۲۲: خطواره‌های زمین‌شناسی تعیین شده به کمک اطلاعات مغناطیس سنجی هوابرد ۸۰
- شکل ۴-۲۳: موقعیت آنومالی‌های ژئوشیمی بر روی نقشه شدت میدان مغناطیسی باقیمانده ۸۲
- شکل ۴-۲۴: نیمرخ خوشه‌ها و مطلوبیت با ۴ تا ۷ کلاس مربوط به دو عنصر تیتانیوم و روی ۸۴
- شکل ۴-۲۵: مقدار ملاک اعتبارسنجی $S(I)$ براساس تعداد خوشه‌ها، تیتانیوم-روی ۸۴
- شکل ۴-۲۶: بهترین خط برازش شده به مراکز دسته‌ها برای تیتانیوم و روی ۸۵
- شکل ۴-۲۷: نیمرخ خوشه‌ها و مطلوبیت با کلاس‌های ۳ تا ۶ تیتانیوم و روی (همراه مختصات) ۸۶
- شکل ۴-۲۸: تغییر مقدار $S(I)$ براساس خوشه‌ها (برای عناصر تیتانیوم و روی و مختصات) ۸۷
- شکل ۴-۲۹: خط تخمین تیتانیوم همراه مقادیر واقعی در داده‌های آموزشی ۸۸
- شکل ۴-۳۰: خط تخمین تیتانیوم همراه مقادیر واقعی داده‌های آزمایشی ۸۹
- شکل ۴-۳۱: رگرسیون داده‌های تخمینی در مقابل واقعی (آموزشی) ۸۹
- شکل ۴-۳۲: رگرسیون داده‌های تخمینی در مقابل واقعی (آزمایشی) ۹۰
- شکل ۴-۳۳: مقدار تخمینی TI در مقابل مقدار واقعی ۹۱
- شکل ۴-۳۴: نمایش شماتیک عیار واقعی TI روی نقشه از بالاترین (قرمز) تا پایین‌ترین (آبی) ۹۲
- شکل ۴-۳۵: نمایش شماتیک عیار تیتانیوم پیش‌بینی شده ۹۲
- شکل ۴-۳۶: نمایش واریوگرام برای ترسیم داده‌های واقعی تیتانیوم در منطقه کیوی ۹۳

فهرست جداول

جدول ۱-۳ . داده‌های در دسترس.....	۵۴
جدول ۱-۴ : پارامترهای آماری داده‌های آنالیز آبراهه‌ای موجود در منطقه کیوی	۵۹
جدول ۲-۴ : ضرایب همبستگی عناصر مورد بررسی در منطقه.....	۶۱
جدول ۳-۴ : مقادیر هر مؤلفه برای هر عنصر و انتخاب مؤلفه کانی ساز.....	۶۳
جدول ۴-۴ : حدود مقادیر آنومال برای عناصر تیتانیوم و روی.....	۶۵
جدول ۵-۴ : اعتبار آنالیز تمایز در کلاسه‌بندی تیتانیوم	۶۷
جدول ۶-۴ : امتیاز هر عنصر در آنالیز تمایز با استفاده از کلاسه‌های تیتانیوم.....	۶۸
جدول ۷-۴ : اعتبار آنالیز تمایز در کلاسه‌بندی روی	۷۰
جدول ۸-۴ : امتیاز هر عنصر در آنالیز تمایز با استفاده از کلاسه‌های روی.....	۷۱
جدول ۹-۴ : ماتریس وکتور ویژه PCA برای منطقه کیوی.....	۷۶
جدول ۱۰-۴ : مقادیر $P(K)$ برای تعداد خوشه‌های مختلف.....	۸۵
جدول ۱۱-۴ : مشخصات مراکز خوشه‌ها.....	۸۷
جدول ۱۲-۴ : شرح ضرایب رگرسیون.....	۸۹

فصل اول

مقدمه

۱-۱ مقدمه

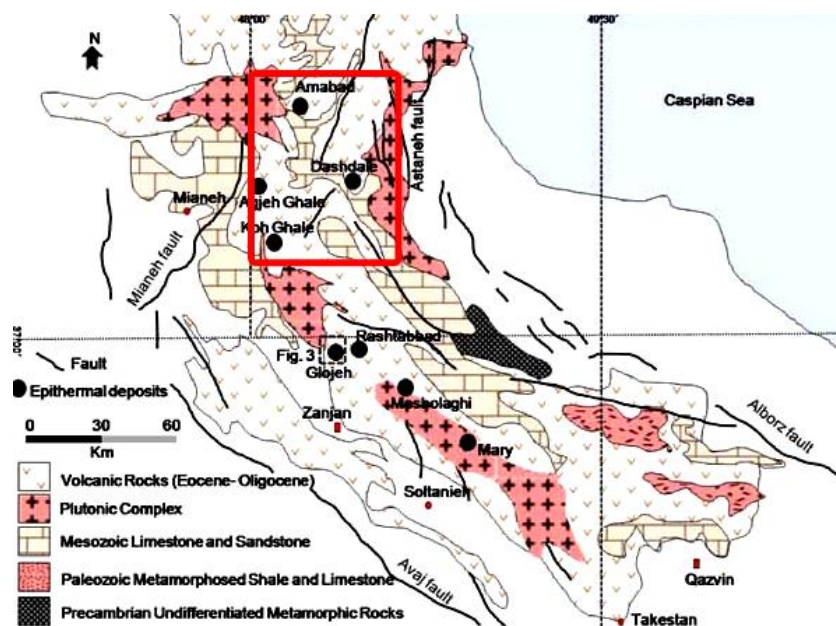
پیشرفت علمی بشر در تمامی زمینه‌های علمی از جمله علوم زمین در قرن بیستم بسیار چشمگیر بوده است؛ به‌طوری که اکنون انبوهی از داده‌ها و یافته‌های علمی را در دسترس داریم و انفجار اطلاعات چنان بوده است که عصر حاضر را عصر اطلاعات نامیده‌اند [۱]. یکی از نکات کلیدی و مهم در یک پروژه اکتشافی، نحوه ارزیابی نتایج حاصل از هر مرحله اکتشافی برای بدست آوردن یک استنباط علمی و اقتصادی به منظور ادامه پروژه و انجام مرحله بعدی اکتشاف است. این مشکل هنگامی که تعداد عملیات‌های اکتشافی افزایش یابد و کیفیت هر عملیات نیز متفاوت باشد، خود را بیشتر نشان می‌دهد. به طور مثال تصمیم‌گیری برای انتقال فاز یک پروژه از مرحله شناسایی به پی‌جویی بسیار ساده‌تر از تصمیم‌گیری برای انتقال فاز همان پروژه از اکتشاف مقدماتی به اکتشاف تفصیلی است. رسیدن به درک و برداشت درستی از اطلاعات که از سیستم‌ها و سنسورهای مختلف و در شرایط محیطی گوناگون به دست می‌آید، به سیستمی هوشمند نیاز دارد و در بسیاری موارد به دلیل سرعت پایین پردازش در ذهن بشر و حجم بالای داده‌ها، این کار را نمی‌توان بر عهده انسان قرار داد [۲-۴]. برای ایجاد هوشمندی در ماشین‌هایی که بتوانند با این حجم روز افزون داده‌ها کار کرده و تفسیرهای درستی را ارائه کنند به توانایی در جنبه‌های مختلفی مانند یادگیری و تفسیر اطلاعات نیاز است که جزء ویژگی‌های منحصر به فرد هوشمندترین موجود منظومه خورشیدی یعنی انسان به شمار می‌رود [۵].

اطمینان اندک ما نسبت به درستی داده‌های اندازه‌گیری شده و همراهی همیشگی عدم قطعیت با اطلاعات، به علت پیچیدگی محیط‌ها (مانند زمین) و نبود عدم دسترسی مستقیم به بسیاری از پدیده‌های فیزیکی در سامانه‌ها، تا اندازه‌ای است که حتی نیاز به نوعی هوشمندی چند جانبه را مطرح می‌سازد. از جمله علومی که در مسیر مدل‌سازی ماشین‌های هوشمند تلاش می‌کنند، هوش مصنوعی، هوش محاسباتی و محاسبات نرم هستند [۶-۸]. از سوی دیگر، پیشرفت‌ها در بسیاری از علوم مرتبط

با هوش مصنوعی، ناشی از نوعی سعی در تطابق با هوشمندی انسان بدست آمده است. برای مثال، در راستای مدل‌سازی نرون عصبی در انسان، شبکه‌های عصبی مصنوعی معرفی شد که سعی در الگوبرداری از قدرت یادگیری و حافظه انسان دارند. سامانه‌های فازی- به عنوان شاخه دیگری از هوش محاسباتی- بر پایه شیوه تصمیم‌گیری افراد خبره براساس اندازه‌گیری تقریبی بنا شده‌اند [۲]. محاسبات نرم را می‌توان حاصل تلاش‌های جدید علمی بدانیم که سعی در مطالعه، مدل‌سازی و تحلیل پدیده‌های پیچیده‌ای مانند پدیده‌های مرتبط با زمین دارد؛ پدیده‌هایی که با استفاده از روش‌های مرسوم نمی‌توان پاسخ کم‌هزینه، تحلیلی و کاملی برای آن بدست آورد. هر چند ایده اولیه محاسبات نرم دامنه محدودی داشته اما در حال حاضر علوم مختلفی مانند منطق فازی، شبکه‌های عصبی، محاسبات تکاملی، آموزش ماشین، استدلال احتمالاتی و حتی نظریه آشوب و بخش‌هایی از نظریه آموزش جزء محاسبات نرم به شمار می‌روند [۴، ۹، ۱۰]. تخمین‌گرهای شبکه عصبی، رابطه‌ای را که به طور ذاتی در بین داده‌ها وجود دارد از روی نمونه‌هایی که در دسترس الگوریتم قرار داده می‌شود، یاد می‌گیرند. جذابیت این تخمین‌گرها در توانایی کاری آن‌ها به صورت یک جعبه سیاه است. با دادن داده‌های کافی به این الگوریتم‌ها و سپس آموزش این داده‌ها، آن‌ها می‌توانند رابطه‌ای را که بین متغیرهای ورودی (به عنوان مثال مختصات نمونه‌ها و عناصر تاثیر گذار) و متغیرهای خروجی (به عنوان مثال عیار در نقاط اندازه‌گیری شده) وجود دارد را یاد بگیرند شبکه‌های عصبی علاوه بر تخمین متغیر، در زمینه‌های معدنی بسیاری همچون کارخانه‌های فراوری، طبقه‌بندی زمین‌شناسی [۱۱، ۱۲]، شناسایی مدل شکست در بارز کردن معادن زیرزمینی [۶، ۷] و غیره مورد استفاده قرار گرفته است. صرف نظر از کاربرد شبکه‌های عصبی در تخمین ذخایر معدنی، در زمینه‌های مرتبطی همچون شناسایی آبخوان و مدل‌سازی جریان آب زیرزمینی [۱۳]، به نقشه در آوردن پوشش گیاهی [۱۴]- [۱۷]، فرسایش زمین [۱۸، ۱۹] و طبقه‌بندی داده‌های دورسنجی [۱۲، ۱۳]، تخمین ابعاد شبکه انفجار [۲۰] و تخمین میزان لرزش زمین [۲۱] نیز کارایی شبکه عصبی اثبات شده است.

منطقه مورد مطالعه در این پژوهش منطقه کیوی در استان اردبیل و در ۸۰ کیلومتری جنوب شهر اردبیل واقع شده است. از دیدگاه ساختاری این محدوده در پهنه طارم-هشتچین قرار دارد.

پهنه طارم-هشتچین، یکی از مهمترین و مستعد ترین مناطق برای اکتشاف فلزات است. بسیاری از معادن فلزی و غیر فلزی در این پهنه واقع شده‌اند. می‌توان در شکل ۱-۱ تعدادی از معادن فلزی را در منطقه مشاهده نمود [۲۲]. چهار گوش نقشه یک صد هزارم کیوی نیز در این پهنه با چهار ضلعی قرمز نشان داده شده است.



شکل ۱-۱: پهنه طارم-هشتچین به همراه جابجایی نقشه یک صد هزارم کیوی [۲۳].

۱-۲ اهداف رساله

در این رساله با توجه به عدم مطالعات پیشین در منطقه و به اصلاح بکر بودن آن برای فعالیت‌های پتانسیل یابی با استفاده از روش‌های کلاسیک، هوشمند، دوربرد و زمین‌شناسی، سه مرحله هدفمند عمده دنبال شده است:

(۱) شناسایی عناصر مهم در منطقه و بررسی آن‌ها در برگه ۱:۱۰۰۰۰۰ کیوی با استفاده از روش‌های نوین تحلیلی عددی که هر کدام از این نتایج، ابزار قدرتمندی را در اختیار ما قرار

می‌دهد.

۲) تفکیک واحدهای سنگ‌شناسی و دگرسانی‌ها با استفاده از روش‌های مختلف سنجش از دور و همچنین بررسی ژئوفیزیک هوابرد (مغناطیس) جهت شناسایی مناطق با پتانسیل فلزی سپس تلفیق آن با مراحل دیگر.

۳) رفتار سنجی عناصر منتخب نسبت به یکدیگر با روش کا-میانگین و پیش‌بینی آن‌ها در منطقه با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی سپس بررسی دقت پیش‌بینی و اعتبار سنجی آن.

۱-۳ نوآوری‌های رساله

در این رساله چهار نوآوری عمده نسبت به کارهای پیشین در راستای اهداف رساله ارائه شده است. این نوآوری‌ها عبارتند از:

۱) اولین پژوهش‌های اکتشافی کتابخانه‌ای در منطقه بکر کیوی

۲) بکارگیری روش‌های آماری قدرتمند هوشمند جهت شناسایی، رفتارسنجی، مدل‌سازی

داده‌های رسوبات آبراهه‌ای منطقه به صورت توامان

۳) استفاده از روش‌های دوربرد با استفاده از داده‌های سنجش از راه دور و ژئوفیزیک هوابرد

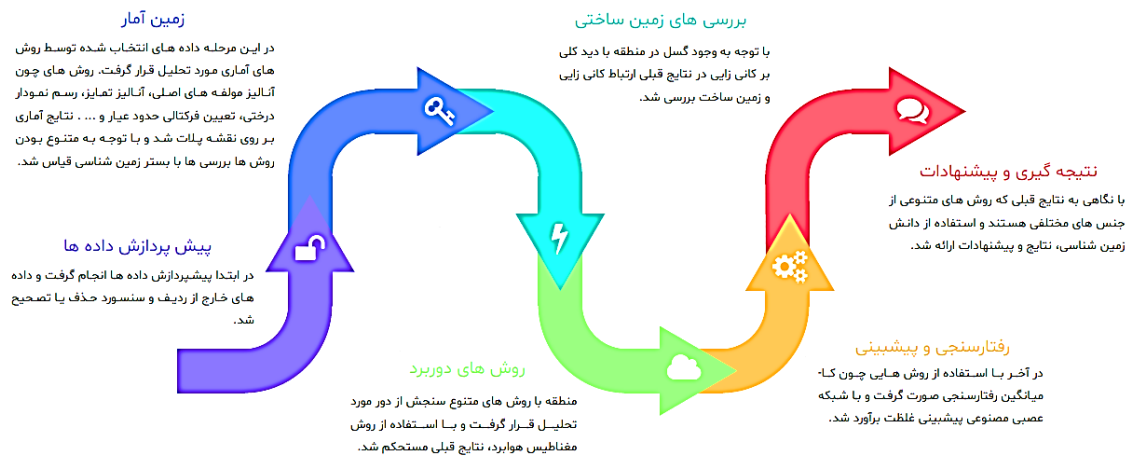
۴) تلفیق نتایج با جنس مختلف به صورت چند بعدی

۱-۴ ساختار رساله

فصل حاضر مقدمه‌ای کلی بر اهمیت موضوع، اهداف و نوآوری‌های رساله را در برداشت. در فصل دوم منطقه مورد مطالعه معرفی گردیده است. در فصل سوم تاریخچه مطالعات صورت گرفته و همچنین روش شناسی و بررسی روش‌های مورد استفاده و مبانی آن‌ها شرح داده شده است که در این رساله ذکر شده است. در فصل چهارم، کارایی روش‌های مشروح بر روی داده‌های در دسترس را نشان داده و

تمامی روش‌های ارائه شده اعمال گردید و در نهایت فصل پنجم رساله به نتیجه‌گیری و پیشنهادات

اختصاص یافته است. شکل ۲-۱ روند نمای این رساله را نشان می‌دهد.



شکل ۲-۱ : روند نمای رساله

فصل دوم

معرفی منطقه مورد مطالعه

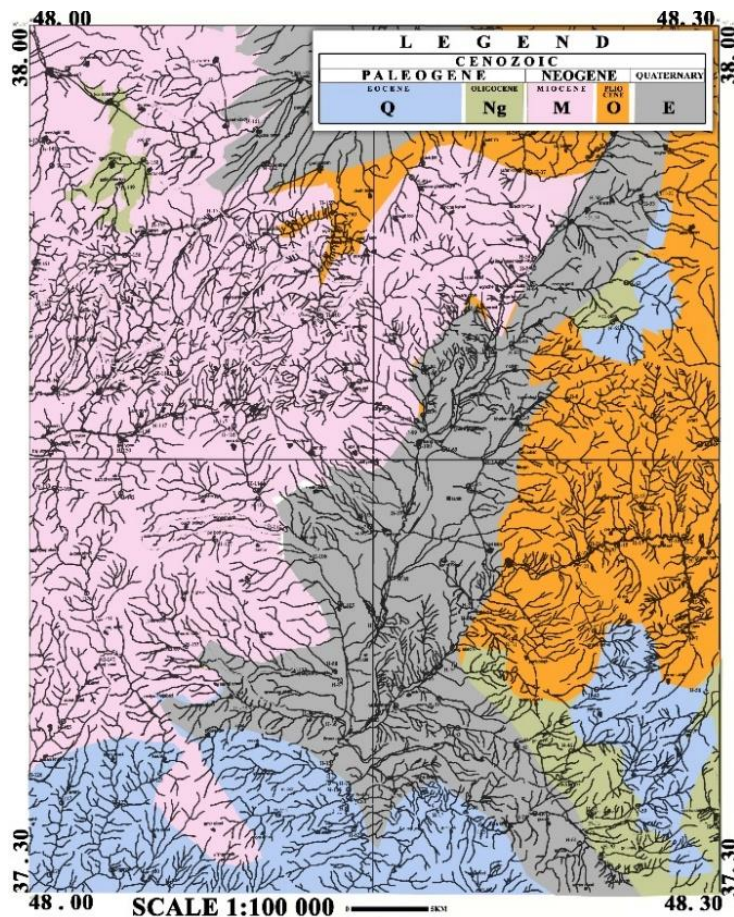
۲-۱ مقدمه

۲-۱-۱ موقعیت و کلیات

منطقه مورد مطالعه این پژوهش، موسوم به کیوی که مشخصات آن مطابق شکل ۲-۲، برگه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰,۰۰۰ کیوی در استان اردبیل است بین شهرهای اردبیل، خلخال و میانه و در قطعه شمال باختری چهارگوش زمین شناسی بندر انزلی قرار دارد و در مختصات جغرافیایی ۳۰°۴۸' الی ۴۸° طول شرقی و ۳۰°۳۷' عرض شمالی واقع است [۲۴].

قسمت بیشتر آب‌های منطقه بوسیله سه رودخانه کیوی‌چای، سنگورچای و هرسین‌چای که از شمال به جنوب جریان دارند زهکشی شده و در آخر بوسیله رودخانه قزل‌اوزن به دریاچه خزر ریخته می‌شود. قسمت شمال باختری این منطقه بوسیله رودخانه‌های بالخلوچای و گروچای زهکشی شده و پس از عبور از دشت اردبیل در نهایت به رودخانه آستارا ریخته و به دریاچه خزر تخلیه می‌شود [۲۵]. به دلیل اینکه بیشتر منطقه از سنگ‌های آتشفشانی ائوسن و جوان تشکیل شده، لذا منطقه دارای مورفولوژی خشن بوده، تنها در بخش‌های شمال باختری و در حاشیه جاده اردبیل- کیوی به علت رخنمون‌هایی از رسوبات مارنی سست نئوژن، زمین‌های مسطح و تپه ماهورمانندی ایجاد شده است. بطور کلی دو رشته کوه عمده در این ورقه دیده می‌شود. کوه‌های بخش خاوری منطقه که بیشترین بلندای آن‌ها به بیش از ۲۶۰۰ متر می‌رسد و مجموعه کوه‌های بخش باختری که بیشترین بلندای آن حدود ۲۵۰۰ متر است [۲۲، ۲۳]. ارتفاعات بخش خاوری بیشتر از سنگ‌های آتشفشانی ائوسن و ارتفاعات بخش باختری بیشتر از سنگ‌های آتشفشانی جوان تشکیل شده‌اند، احتمالاً عملکرد گسله شمال خاوری - جنوب باختری فیروزآباد- مجدر در بالا آوردن این مجموعه موثر بوده است. بزرگترین گودی منطقه که رودخانه سنگورچای در آن جاری است نیز در حاشیه این گسله بوجود آمده و به نظر می‌رسد در شکل‌گیری این دره که در بستر رسوبات مارنی نئوژن ایجاد شده نیز، گسله فوق موثر بوده است [۲۴، ۲۶].

مسئله شایان توجه در این ناحیه وجود زمین لغزش‌های بزرگ و کوچک فراوان در همه جای منطقه است. این زمین لغزش‌ها اغلب در داخل رسوبات ماسه سنگی و کنگلومرای پالئوژن و یا بر روی بخش‌های هوازده سنگ‌های آتشفشانی ائوسن و در محل همبری این دو واحد صورت گرفته است و در بسیاری موارد باعث خسارات جانی و مالی برای ساکنین ناحیه شده، بطوریکه برخی از جاده‌های منطقه مثل جاده سنگ آباد به میانه مرتباً بوسیله این زمین لغزش‌ها مسدود می‌گردد. برخی از روستاهای منطقه مثل قزل‌دره قدیم در مسیر حرکت این زمین لغزش‌ها از بین رفته اند [۲۴]. شکل ۱-۲ نقشه ساده شده زمین‌شناسی، همراه با موقعیت آبراهه‌ها و نمونه‌های واقع در آن را به نمایش گذاشته است [۲۶].



شکل ۱-۲: موقعیت نمونه‌ها و آبراهه‌ها در نقشه زمین‌شناسی ساده شده یک صد هزارم کیوی، اردبیل [۲۶]

۲-۱-۲ زمین‌شناسی

منطقه کیوی شامل سه واحد رسوبی، آذرین و دگرگونی می‌باشد. قدیمی ترین واحد رسوبی موجود سنگ‌های قبل از کرتاسه و جدیدترین آن مربوط به کواترنر و عهد حاضر است [۲۴].

۲-۱-۲-۱ زمین‌شناسی عمومی منطقه

در مسیر جاده سنگ آباد به میانه رخنمون‌هایی از سنگ‌های دگرگونی با ترکیب فلدسپات، کلدیریت، میکاشیست، فیلیت دیده می‌شود. رخنمون‌های آهک‌های کرتاسه فقط در نواحی جنوب خاوری منطقه مورد مطالعه دیده می‌شود، که گسترش آن‌ها به سوی خاور بیشتر است. این واحد به صورت آهک سیلیسی توده ای تا ضخیم لایه است و گاهی میان لایه‌های آهک شیلی، شیل‌های آهکی و شیل‌های پیریت دار داخل آن دیده می‌شود. رنگ آن خاکستری و گاهی گلی پرنگ است. در منطقه به صورت واحدهای رسوبی و آذرین می‌باشد که قسمت اعظم منطقه را پوشانده است [۲۵].

پس از ولکانیسم گسترده ائوسن و احتمالاً با یک وقفه زمانی که می‌تواند معادل فاز پیرنئن باشد، فعالیت الیگوسن با پدیده‌های آتشفشانی بصورت خروج گدازه‌های ریولیتی و آندزیتی شروع شده و با رسوبگذاری کنگلومرا، ماسه سنگ و مارن ادامه می‌یابد.

سنگ‌های آذرین رخنمون شده در این منطقه شامل سنگ‌هایی با ترکیب داسیتی، حد واسط و بازیک است. سنگ‌های اسیدی و میانه فقط در جنوب باختری منطقه دیده می‌شود. در حالیکه سنگ‌های گابرویی در بخش‌های خاوری و شمال این منطقه رخنمون دارد. با توجه به‌اینکه تمام توده‌های نفوذی منطقه، سنگ‌های آتشفشانی ائوسن را قطع کرده اند، احتمالاً خروج آن‌ها می‌تواند در ارتباط با فاز کوهزایی پیرنئن (ائوسن - اولیگوسن) باشد [۲۷].

سنگ‌های گرانیتی در جنوب باختری روستای کمببان و در حاشیه رودخانه قزل اوزن دیده می‌شود. رنگ اصلی سنگ گلی روشن و دارای فلدسپات و کوارتز، در متن می‌باشد. بافت سنگ میکروگرانولار و گرافیک بوده، کانی‌های تشکیل دهنده آن، فلدسپات آلکالن، پلاژیوکلاز، کوارتز و

مسکویت است. این توده نفوذی کوچک در داخل سنگ‌های آتشفشانی ائوسن تزریق شده و اثرات دگرسانی را روی این سنگ‌ها به جا گذاشته است. بنابراین می‌توان گفت که این سنگ‌ها جوانتر از سنگ‌های ائوسن می‌باشد.

در کنار رخنمون گرانیات دو بیرون‌زدگی کوچک نیز از یک توده نفوذی با ترکیب کوارتز مونزونیت دیده می‌شود. بافت سنگ گرانولار است، کانی‌های آن پلاژیوکلاز، فلدسپات آلکالن، کوارتز، آمفیبول، کلریت، اپیدوت و سریسیت می‌باشد [۲۴].

در جنوب روستای انگش در داخل آندزیت‌های پورفیری و مگاپورفیری ائوسن، دایک‌های متعدد و ضخیمی دیده می‌شود که دارای راستای شمال خاوری - جنوب باختری هستند.

این دایک‌ها اغلب در ستیغ کوه‌ها مشاهده می‌شوند. بافت این سنگ‌ها میکروگرانولار بوده و دارای کانی‌های پلاژیوکلاز درحد لابرادوریت، کلینوپیروکسن از نوع اوژیت، الیوین تجزیه شده و کانی‌های کدر می‌باشد. حداکثر پهنای این دایک‌ها ۳۰ متر بوده و طول آن‌ها گاهی به بیش از ۲۰۰۰ متر می‌رسد.

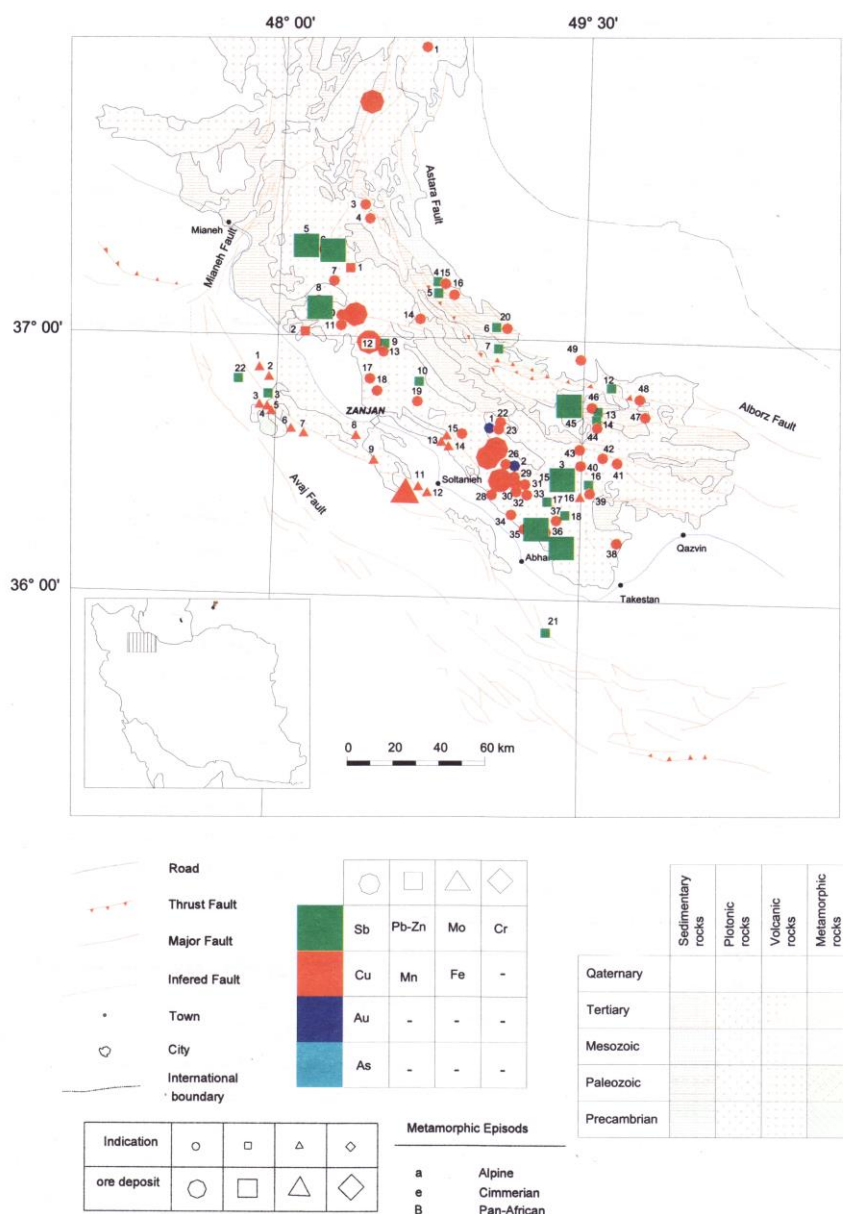
رخنمون‌هایی از سنگ‌های گابرویی و الیوین گابرو در باختر روستای انگش و جنوب روستای سیاه پوش دیده می‌شود. این گابروها نیز سنگ‌های آتشفشانی ائوسن را قطع کرده اند. بافت این سنگ‌ها میکروگرانولار است. کانی‌های تشکیل دهنده سنگ شامل پلاژیوکلاز، اوژیت، الیوین تجزیه شده به کلریت، سرپانتین و ایدنگسیت، آپاتیت و کانی‌های فلزی است. این سنگ‌ها نیز جوانتر از سنگ‌های آتشفشانی ائوسن هستند [۲۵].

۲-۲-۱-۲ زمین‌شناسی اقتصادی منطقه

اندیس‌های فراوانی از کانی‌های فلزی و غیرفلزی در منطقه به چشم می‌خورد. برخی از مواد معدنی مثل مس، زغال سنگ، تراورتن، سنگ ساختمانی و آهک، شن و ماسه یا قبلاً استخراج شده‌اند و یا در حال حاضر نیز مورد بهره برداری قرار دارند.

۲-۲ عناصر احتمالی منطقه

با توجه به حضور منطقه کیوی در زون البرز-آذربایجان، و همچنین حضور معادن فعال فلزی در این زون می‌توان احتمال وجود پتانسیل‌های معدنی از نوع فلزی را در منطقه تصریح کرد. همچنین این احتمالات می‌بایست با داده‌های زمین‌شناسی مطابقت کند. به طور دقیق تر با توجه به واقع شدن این منطقه در کمربند فلزایی طارم-هشتجین می‌توان با دید بر نقشه ذیل (۲-۳) اندیس و معادن اصلی واقع شده در این کمربند را دید [۲۳].



شکل ۲-۳: معادن فلزی بر روی کمربند فلزایی طارم-هشتجین [۲۳]

با توجه به نقشه فوق می‌توان دید که کانسارهای فلزی عمده منطقه به صورت مستند بر مس، سرب و روی، منگنز و طلا اشراف دارند. با توجه به گزارشات ژئوشیمیایی و صحرایی محققان نیز اندیس‌های تیتانیوم نیز در منطقه وجود داشته است.

در نقشه شکل (۱-۱) نیز همین‌ایالت را همراه کانسارهای اپی ترمال و نمایش واحدهای سنگی می‌بینید که نشان می‌دهد عمده منطقه در پلوتونیک کامپکس‌ها هست.

۳-۲ نتیجه‌گیری

این فصل با ارائه نقشه‌های یک صد هزارم کیوی به صورت ساده شده، لیتولوژی و زمانی، عناصر محتمل در منطقه را بررسی کرد. زمین‌شناسی این منطقه به طور خلاصه بیان شد که این منطقه شامل سه واحد رسوبی، آذرین و دگرگونی می‌باشد. قدیمی ترین واحد رسوبی موجود سنگ‌های قبل از کرتاسه و جدیدترین آن مربوط به کواترنر و عهد حاضر است. رخنمون‌هایی از سنگ‌های دگرگونی با ترکیب فلدسپات، میکاشیست، فیلیت دیده می‌شود. سنگ‌های آذرین رخنمون شده در این منطقه شامل سنگ‌هایی با ترکیب داسیتی، حد واسط و بازیک است. با توجه به اینکه تمام توده‌های نفوذی منطقه، سنگ‌های آتشفشانی ائوسن را قطع کرده اند، احتمالاً خروج آن‌ها می‌تواند در ارتباط با فاز کوهزایی پیرنئن (ائوسن-اولیگوسن) باشد. این منطقه بر روی زون طارم-هشتچین واقع شده است.

فصل سوم

مروری بر روش ها و اطلاعات پیشین

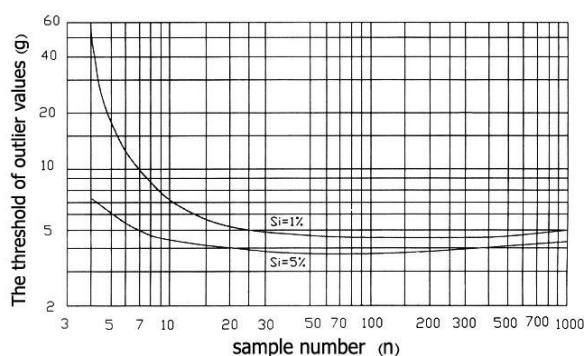
۱-۳ مقدمه

نقشه‌های مناطق امیدبخش مواد معدنی در اکتشاف منابع معدنی بسیار مهم است که شامل یکپارچه‌سازی اطلاعات متنوع علوم زمین، شامل اطلاعات زمین‌شناسی، داده‌های ژئوشیمیایی (مانند داده‌های رسوبات آبراهه‌ای)، داده‌های ژئوفیزیکی (مانند داده‌های مغناطیسی) و داده‌های سنجش از راه دور (مانند داده‌های ماهواره‌ای چند طیفی) می‌باشد [۲۸]. این نوع از داده‌ها می‌تواند به کمک تکنیک‌های کامپیوتری مشاهده، پردازش و تجزیه و تحلیل شوند. در اکتشافات مقدماتی و اولیه، شناسایی مناطقی که باید در مراحل بعدی مورد توجه قرار گیرند با استفاده از مدل‌سازی پتانسیل معدنی صورت می‌گیرد. مدل‌سازی پتانسیل معدنی در واقع یافتن مکان‌ها یا مناطقی است که یک سری معیارها و ملاک‌ها برای حضور ذخیره در آن‌ها صدق می‌کند. بنابراین نیازمند تشخیص الگو می‌باشد. تشخیص الگو شامل تکنیک‌هایی است که هدف آن طبقه‌بندی اشیاء داخل تعدادی از کلاس‌ها است [۲۹]. در شناسایی آنومالی، مشکل پیدا کردن الگوهای مجموعه داده‌هاست [۳۰].

در سال ۱۳۸۰ نقشه زمین‌شناسی و ژئوشیمیایی این منطقه تهیه شده است اما هیچ‌گونه فرآیند پردازشی اکتشافی مرتبط با این پژوهش صورت نگرفته و بدون پیشینه خاصی است. [۱۳۷]

۱-۱-۳ پیش پردازش و حذف داده‌های نا کار آمد

دورفل نموداری برای تعیین حد آستانه‌ای مقادیر خارج از ردیف تهیه کرده، که این نمودار برای دو سطح معنی‌دار بودن پنج درصد و یک درصد تهیه شده است (تصویر ۱-۳) [۱۹].



شکل ۱-۳: حد آستانه‌ای مقادیر خارج از ردیف (g) به عنوان تابعی از تعداد نمونه (n) و سطح اعتماد [۲۱]

برای انجام آزمون دورفل^۱ مقادیر خارج از ردیف، میانگین ($\bar{x}$) و انحراف معیار داده‌ها (s)، بدون در نظر گرفتن بزرگترین مقدار داده‌ها محاسبه می‌شود. سپس بزرگترین مقدار داده‌ها (x_A) در صورتی

که در رابطه زیر صدق کند یک مقدار خارج از ردیف در نظر گرفته می‌شود: $x_A \geq \bar{x} + s \cdot g$

که در آن g حد آستانه‌ای مقادیر خارج از ردیف است که از نمودار تصویر ۳-۱ به دست می‌آید. با توجه به تعداد نمونه‌های آنالیز شده از آنومالی شیطور و با مراجعه به نمودار دورفل، مقدار g در سطح اعتماد ۹۵ درصد، برابر ۴/۴ به دست آمد. حال با استفاده از این مقدار، حد آستانه‌ای مقادیر خارج از ردیف را برای هر یک از عناصر به کمک رابطه فوق محاسبه و تمامی عیارهای بیش از این مقدار را اصلاح می‌کنیم. با توجه به داده‌های عیار آهن، مقادیر بالای ۴۲/۱۰ را به عنوان مقادیر بزرگتر در نظر گرفته و مقادیر میانگین و انحراف معیار داده‌ها بدون در نظر گرفتن این مقادیر حساب کرده که به ترتیب برابر ۲۴/۷۸ و ۹/۹۱ به دست آمد. بنابراین با توجه به مقدار g و با استفاده از رابطه فوق خواهیم داشت:

$$\text{حد خارج از ردیف} \geq ۶۸/۳۸۴ = ۴/۴ * ۲۴/۹ + ۷۸/۹۱$$

همانطور که مشاهده می‌شود، بزرگترین مقدار یعنی ۶۵/۵۰ از این حد کمتر است و بنابراین به عنوان مقدار خارج از ردیف محسوب نمی‌شود. پس مقداری به عنوان خارج از ردیف از بین داده‌ها حذف نمی‌شود.

۲-۳ آمار و روش‌های نوین و هوشمند

بسیاری از علوم در محدوده‌های مورد بررسی خود با عدم قطعیت مواجه هستند. لذا آمار و ساختن یک مدل برگرفته از جامعه‌ی کل در اکثر علوم نقش موثری را ایفا می‌کند [۳۱]. به‌طور کلی برای شناخت هر جامعه‌ای نیاز به داشتن داده‌هایی از آن جامعه است. اگر جامعه‌ی مورد بررسی را کل

^۱ Dorfelf

فرض کنیم، نمونه‌های برداشته شده از آن جامعه جزء تلقی می‌شود و در نتیجه می‌توان بر پایه قوانین آماری، پارامترهای آن را روی مقدار اندازه‌گیری شده‌ی در اجزاء برداشت شده از کل جامعه را تخمین زد. در اکثر تکنیک‌های اکتشافی اساس تجزیه و تحلیل خود را بر احتمال پذیر بودن نتایج و تصمیم‌گیری‌های حاصل از آن قرار می‌دهند و از تحلیل قطعیت پذیر اجتناب می‌کنند. آنالیز زمین آماری به مفهوم بررسی پدیده‌های متغیر در زمان و مکان است و به‌طور کلی از طریق آنالیز می‌توان به راحتی یک نقشه یا سطح پیوسته‌ای از نقاط نمونه برداری شده را ایجاد نمود. نقاط نمونه برداری شده می‌توانند مقادیر ارتفاع، عمق یا سطوح آلودگی باشند. همچنین آنالیزهای زمین آماری می‌توانند برای مدل‌سازی‌های مکانی در کاربردهای مختلف سیستم‌های اطلاعات مکانی نیز بکار برده شوند. یکی از مزایای این ابزارها و روش‌ها برازش سطح مدل به نقاط نمونه برداری شده‌است. آنالیزهای زمین آماری به دنبال راهی برای توصیف پیوستگی مکانی و همچنین جمع‌آوری ابزارهای آماری و قطعی و مدل نمودن این تغییرات مکانی است [۸، ۳۴-۳۲].

۳-۲-۱ جداسازی آنومالی از زمینه

نتیجه اکتشافات ژئوشیمیایی در یک منطقه، تهیه نقشه‌های ناهنجاری آن محدوده است که نقش ویژه و ارزنده‌ای در تعیین مناطق امید بخش و تعیین موقعیت برای حفاری‌های اضافی ایفا می‌نماید. تصمیم‌گیری در مورد محل دقیق حفر گمانه‌های اضافی، براساس اطلاعات پیشین بدست آمده از گمانه‌های قبلی، یک مسأله مهمی در اکتشاف دقیق منابع معدنی است. در تعیین محل مناطق امید بخش، توجه به پارامترهایی چون طراحی مناسب و منطقی، نمونه برداری دقیق، آماده سازی و آنالیز مفید با حد خطای مجاز و سرانجام داده‌پردازی مناسب اطلاعات، اهمیت ویژه‌ای دارد. بنابراین هدف مشخص کردن مناطق امیدبخش و آنومالی با مرزهای قابل تصور است. در برنامه‌های اکتشاف منابع معدنی، داده‌های ژئوشیمیایی از طریق اندازه‌گیری‌های یک یا چند خواص شیمی نمونه‌های جمع‌آوری شده از مواد مختلف زمین (به عنوان مثال: رسوب، آب، خاک، سنگ، گیاهان و ...) حاصل

می‌شود. مفاهیم و شیوه‌های نمونه‌برداری از مواد مختلف زمین برای اکتشاف منابع معدنی در این منابع [۳۳]، [۳۵] و [۳۶] به خوبی توضیح داده شده است. در بیشتر موارد، خواص تعیین شده برای هر عنصر، غلظت آن است. که با توجه به آن می‌توان مناطق غنی از مواد معدنی را پیدا نمود و همچنین غلظت عناصر مختلف می‌تواند راهنمای حضور کانسارهای مواد معدنی باشد [۳۷].

روش‌های آماری مختلفی برای جداسازی و تشخیص مناطق آنومال از زمینه توسعه یافته است. این روش‌ها از انواع ساده (براساس پارامترهای آماری توزیع) تا پیچیده (براساس ساختار فضایی داده‌ها) تغییر می‌کنند. [۳۸] گروه دوم شامل روش‌هایی است که موقعیت نمونه‌برداری و ارتباط فضایی آن‌ها را در تخمین مناطق آنومال در نظر می‌گیرد. بنابراین روش‌های جداسازی آنومالی از زمینه را می‌توان به دو گروه تقسیم کرد [۳۹] که شامل روش‌های غیر ساختاری و روش‌های ساختاری است. در حالت کلی ویژگی‌هایی که می‌تواند به طور بالقوه برای تمایز بین جوامع مجزا داده‌های ژئوشیمیایی استفاده شوند شامل فراوانی داده ژئوشیمیایی، تغییر پذیری فضایی مقادیر ژئوشیمیایی، مشخصات هندسی آنومالی‌ها و خواص مقیاسی یک آنومالی ژئوشیمیایی می‌باشند. هیچ شکی وجود ندارد که موثرترین روش برای شناسایی آنومالی‌های ژئوشیمیایی یا کمی سازی مشخصات الگوهای ژئوشیمیایی اتخاذ یک تکنیک جامع است که ویژگی‌های ذکر شده در بالا را ترکیب و ادغام نماید. در طول چند دهه گذشته، تلاش‌های زیادی برای توسعه چنین مدل‌هایی ایجاد شده است [۴۰].

۳-۲-۱- روش‌های غیر ساختاری

در این روش‌ها فقط مقدار اندازه‌گیری شده برای هر نمونه مورد توجه قرار می‌گیرد و موقعیت فضایی نقاط نمونه‌برداری در نظر گرفته نمی‌شود. پایه و اساس این روش‌ها، حساب احتمالات است. این روش‌ها را می‌توان به دو گروه طبقه‌بندی کرد که شامل: ۱- روش‌هایی که سعی در تخمین حد آستانه‌ای (مرز جدایش آنومالی از زمینه) دارند. این روش‌ها در حالتی که تعداد نمونه‌های آنومال کم می‌باشند و قسمت اعظم داده‌ها را جامعه زمینه تشکیل می‌دهد کاربرد بیشتری دارند ۲- روش‌هایی که سعی در

تخمین مرز جدایش جامعه داده‌های آنومال از جامعه داده‌های زمینه دارند. در این روش‌ها ابتدا مرز جدایش جامعه آنومال و جامعه زمینه تخمین زده شده و سپس براساس آن حد آستانه‌ای مقادیر آنومال مشخص می‌گردد [۹، ۱۰، ۴۱]. روش‌های رایج مختلفی برای تعیین حد آستانه‌های ژئوشیمیایی استفاده می‌شود که به دو دسته‌ی کلی طبقه بندی می‌شود.

(۱) تجزیه و تحلیل توزیع‌های فراوانی غلظت‌های تک عنصری [۴۲]. (۲) تجزیه و تحلیل چند عنصری [۴۳]. در نوع دوم مفهوم حد آستانه به کار گرفته شده، تعمیم همان مفهوم در روش تک عنصری است. تحلیل مجموعه داده‌های چند عنصری با استفاده از روش‌های آماری چند متغیره صورت می‌گیرد. روش‌های سنتی مورد استفاده در تهیه آنومالی‌های ژئوشیمیایی تک عنصری به شرح زیر است [۴۴]:

(۱) مقایسه طبیعت داده‌ها

(۲) مقایسه داده‌ها با نتایج حاصل از بررسی جهت‌گیری ژئوشیمیایی

(۳) شناسایی از طریق نمودارهای توزیع داده‌ها

(۴) محاسبه آستانه به عنوان مجموع میانگین و ضریبی از انحراف استاندارد داده‌ها

(۵) تصویر توزیع فراوانی تجمعی از داده‌ها و سپس تقسیم داده‌ها به جوامع آنومالی و زمینه

(۶) ایجاد نمودارهای احتمال نرمال و سپس تقسیم بندی داده‌ها به جوامع آنومالی و زمینه

(۷) شناخت دسته‌های نمونه‌های آنومالی، زمانی که داده‌ها بر روی نقشه قرار گرفته باشند.

روش‌های سنتی مورد استفاده در تعیین آنومالی‌های ژئوشیمیایی چند عنصری شامل [۴۵]:

(۱) انباشته شدن نقشه‌های آنومالی تک عنصری در همان مقیاس بر روی یکدیگر و سپس

مناطق با تقاطع‌های متعدد از آنومالی‌های تک عنصری مشخص شده است.

(۲) مشخص کردن ضریب همبستگی بین عناصر، معمولاً با استفاده از ضریب همبستگی

پیرسون استفاده می‌شود.

(۳) شناخت و تعیین کمیت وابستگی چند عنصری براساس همبستگی آنها.

روش‌های خاص برای تهیه نقشه‌های ژئوشیمیایی چند عنصری، نیاز به پردازش کامپیوتری دارد زیرا چنین تکنیک‌هایی اگر به صورت دستی انجام شود مشکل و وقت گیر است. لازم به یادآوری است که جامعه آنومال، دامنه‌ای از مقادیر را در بر می‌گیرد که همه‌ی آن‌ها از ارزش یکسان برخوردار نمی‌باشند. این روش برای مواردی که تعداد نمونه‌های آنومال زیاد باشند قابل استفاده است.

در دهه گذشته، آثار زیادی با هدف شناسایی آنومالی‌های ژئوشیمیایی با استفاده از روش‌های مختلف، کار شده است که در میان آن روش‌های آماری ساده تا پیچیده به طور معمول به کار گرفته شده است [۴۶]. روش‌های مبتدی براساس نظر متخصص است که شامل دانش تجربی و بدون در نظر گرفتن خصوصیات آماری داده‌هاست [۴۷].

روش‌های متنوع سنتی که فقط توزیع خاصی از داده‌ها را در نظر می‌گیرند به این طریق که ابتدا توزیع عناصر در جامعه بررسی می‌شود، در صورتی که توزیع داده‌ها نرمال باشد با استفاده از مقدار میانگین ($\bar{x}$) و انحراف معیار (s) داده‌ها، حد آستانه تعیین می‌گردد [۴۸]. این روش نسبت به روش‌های مبتنی بر تجربه بسیار کارتر می‌باشد ولی برای به کار بردن در دسته داده‌هایی قابل قبول هستند که یک توزیع نرمال را نشان دهند و شامل متغیرهای مستقل باشند. از آن جایی که غلظت عنصر در پوسته معمولاً وابسته به فرایندهای ژئودینامیکی مختلف است و معمولاً یک توزیع نرمال را دنبال نمی‌نمایند، استفاده از روش‌های سنتی برای یافتن مقادیر آستانه می‌تواند منجر به شناسایی نادرست آنومالی‌های ژئوشیمیایی گردد. در واقع، روش‌های آماری سنتی مانند محاسبه میانگین $\pm$ ضریبی از انحراف معیار، هیستوگرام‌ها، نمودارهای چندک - چندک، گراف‌های احتمال [۴۹]، آنالیز تک متغیره و چند متغیره [۵۰] در جداسازی جوامع زمینه و آنومال درون محیط‌های زمین‌شناسی ساده قدرتمند هستند. این روش‌ها به عنوان ابزارهای آماری مکانی در نظر گرفته نمی‌شود به دلیل اینکه آن‌ها اطلاعات مکانی از داده‌های ژئوشیمیایی ارائه نمی‌دهند و همچنین روش‌های سنتی تشخیص آنومالی قادر نیستند از اطلاعات پیشین به طور مؤثر استفاده کنند (برای مثال عمق کانی‌زایی از داده‌های حفاری). محدودیت اصلی روش‌های کلاسیک این است که اطلاعات مکانی، هندسه (به عنوان مثال، شکل و فرم)، بزرگی و

وسعت مناطق آنومالی را در نظر نمی‌گیرد [۵۱] و در شناسایی آنومالی‌ها داخل منطقه با مقادیر زیاد زمینه یا در شناسایی آنومالی‌های ضعیف در منطقه‌ی با ذخایر معدنی مشخص، شکست می‌خورد [۹، ۵۲، ۵۳].

۲-۱-۲-۳ روش‌های ساختاری

روش‌های ساختاری به روش‌هایی اطلاق می‌شود که ارتباط فضایی نمونه‌ها و یا به عبارت دیگر موقعیت آن‌ها نسبت به هم را در نظر می‌گیرد. در روش‌هایی که تاکنون بررسی شد، موقعیت یک نمونه‌ی آنومال در روی نقشه و تاثیر گذاری یا تاثیر پذیری آن به نقاط اطراف و یا از نقاط اطراف مورد توجه قرار نمی‌گرفت. بنابراین داده‌ها بدون در نظر گرفتن مختصاتشان تحلیل می‌شوند، اختلاف روش‌های ساختاری و غیر ساختاری در این است که در روش‌های ساختاری مختصات نقاط که تعیین کننده موقعیت آن‌ها نسبت به هم است در تعیین آنومالی‌ها تاثیر گذارند و وجود چند نمونه‌ی آنومال در کنار یکدیگر می‌تواند موجب تقویت آن‌ها شود. برعکس وجود یک نمونه‌ی آنومال در بین جامعه‌ای از نمونه‌های زمینه از اهمیت آن می‌کاهد. این همان اثری است که در تفسیر آنومالی‌ها باید مورد توجه قرار گیرد [۵۴].

روش‌های آمار فضایی مانند روش میانگین متحرک، کریجینگ و تحلیل‌های فاکتوری، [۵۵] می‌تواند علاوه بر در نظر گرفتن توزیع فراوانی داده‌ها و ضرایب همبستگی بین آن‌ها، همبستگی فضایی و تغییر پذیری میان نمونه‌های همسایه را نیز در نظر می‌گیرد. روش‌های فضایی معمولاً نتایج بهتری را در زمینه تشخیص الگوهای ژئوشیمیایی فراهم می‌کند. ولی در شرایطی که آنومالی‌های ضعیفی درون پراکندگی‌های قوی زمینه پنهان شده‌اند، محدود می‌شوند [۵۴]. علاوه بر این روش‌های آمار فضایی مشخصات هندسی را در نظر نمی‌گیرند. به همین دلیل دانشمندان برای غلبه بر این مشکلات به هندسه فرکتال روی آوردند. در روش‌های فرکتال و مولتی‌فرکتال علاوه بر توزیع فراوانی و همبستگی فضایی و تنوع مقادیر غلظت، ویژگی‌های هندسی و آنومالی‌ها مستقل از مقیاس در نظر گرفته می‌شود [۵۶].

روش‌های مدل‌سازی ساختاری - هندسی : در روش‌های ساختاری - هندسی، هدف مدل‌سازی میزان پراکندگی یک متغیر (به طور مثال عناصر شیمیایی یا مناطق یا میزان کانی‌زایی) در موقعیت‌های مختلف کانساری (در دو یا سه بعد) است. بنابراین در این روش‌ها نقش هندسه متغیر از کمیت آن پررنگ‌تر و با اهمیت‌تر خواهد بود.

الگوهای ژئوشیمیایی بر طبق چهار جنبه‌ی زیر طبقه‌بندی می‌گردند: توزیع فراوانی داده‌ها، همبستگی فضایی، خواص هندسی (شکل و جهت‌گیری) آنومالی‌ها و الگوهای مستقل از مقیاس. در نظر گرفتن آنومالی‌ها مستقل از مقیاس به منظور کاهش اثرات حجم نمونه‌گیری‌ها و روش‌های محاسباتی بر روی توزیع مکانی آنومالی‌های ژئوشیمیایی است. بسیاری از روش‌های جدید مدل‌سازی آنومالی‌های ژئوشیمیایی مهم، نه تنها توزیع فراوانی داده‌های ژئوشیمیایی بلکه انواع دیگر اطلاعات علم زمین را در نظر می‌گیرد [۵۷].

روش‌های مبتنی بر هندسه فرکتال با توجه به خصوصیات چون استفاده از تمام داده‌ها، در نظر گرفتن شکل هندسی در برگیرنده عیارهای گوناگون و توجه به نوع توزیع داده‌ها از بهترین روش‌ها در جدایش آنومالی ژئوشیمیایی از زمینه می‌باشد. در این روش هیچ تعدیلی بر روی داده‌ها صورت نمی‌گیرد و تحلیل عمدتاً روی داده‌های واقعی صورت می‌گیرد و تفکیک جوامع با توجه به بعد فرکتالی صورت می‌گیرد. در طول چند دهه گذشته انواع مدل‌های فرکتال / چند فرکتال برای جداسازی آنومالی از زمینه استفاده گردیده است [۴۸، ۵۸].

نظریه فرکتال یکی از روش‌های ریاضی غیر خطی است که داده‌های آن دارای توزیع توان‌دار می‌باشند و اولین بار توسط مندلبروت (۱۹۸۳) [۵۹] مطرح شد و به طور وسیعی در بسیاری از زمینه‌های علمی از جمله علوم زمین استفاده شده است و به طور موفقیت آمیزی برای مطالعه توزیع کانی‌زایی به کار گرفته شده است [۶۰-۶۳].

کاربرد مدل‌های فرکتال در علوم زمین، بخصوص در پردازش داده‌های ژئوشیمیایی توسعه یافته است. مدل تعداد - اندازه (N-S) [۶۴]، برای مشخص سازی ارتباط بین اندازه اشیاء و تعداد اشیاء با اندازه

بزرگتر یا برابر با اندازه داده شده پیشنهاد گردید. این روش می‌تواند برای توصیف توزیع جوامع ژئوشیمیایی بدون پیش پردازش داده‌ها استفاده گردد. سپس براساس این مدل و به منظور تعریف توزیع فضایی کانسارهای بزرگ و بسیار بزرگ مدل چند فرکتال به نام اندازه - عیار [۶۵] تعریف گردید. از این مدل فرکتال برای تعریف مشخصات غنی شدگی عنصری و فرایندهای متاسوماتیسم در طی شکل‌گیری کلوخه‌های معدنی هیدروترمال در رگه‌های سولفید توده‌ای در استرالیا استفاده شده است. چنگ (۱۹۹۴) مدل فرکتال غلظت - مساحت (C-A) [۶۶] را پیشنهاد داد که نخستین پیشرفت مهم در مدل‌سازی فرکتال / چندفرکتال داده‌های ژئوشیمیایی محسوب می‌شود. لی (۲۰۰۳) مدل فاصله - غلظت (C-D) را پیشنهاد نمود [۶۷] که برای مشخص‌سازی آنومالی‌های ژئوشیمیایی از زمینه استفاده گردید. مدل حجم - غلظت توسط افضل و همکاران [۶۸] پیشنهاد شد. الگوهای ژئوشیمیایی در حوزه فضایی می‌تواند به صورت سیگنال‌های برهم نهی شده از فرکانس‌های مختلف در نظر گرفته شوند. براساس این استدلال، مدل فرکتال طیف توان - مساحت (S-A) [۵۲] توسط چنگ و همکاران برای جداسازی آنومالی‌های ژئوشیمیایی از زمینه با استفاده از آنالیز طیفی در حوزه فرکانس همراه با مدل C-A پیشنهاد دادند که می‌تواند یک ابزار مناسبی را برای تعیین یک آستانه بهینه بین الگوهای مختلف بر پایه خاصیت مقیاسی نشان دهند. در این روش با انتقال داده‌ها از حوزه عیار - مکان به حوزه فرکانس - زمان با استفاده از تبدیلات دو بعدی فوریه، جوامع فرکانسی مربوط به داده‌های ژئوشیمیایی (سیگنال ژئوشیمیایی) از یکدیگر جدا می‌شوند. برای این کار، نخست طیف توان مربوط به هر سیگنال ژئوشیمیایی بدست آمده و سپس با تحلیل فرکتالی رفتار آن، فیلترهای دیجیتالی طراحی می‌گردد. در نهایت با استفاده از این فیلترها، جوامع آنومالی از مقادیر زمینه جدا می‌گردد [۶۹]. شاخص سینگولاریتی محلی معرفی شده توسط چنگ موثر برای شناخت آنومالی‌های ژئوشیمیایی محلی اثبات شده است. این شاخص سینگولاریتی به طور گسترده برای تفکیک و تمایز بین اهداف کانی‌سازی شده به وجود آمده توسط غنی‌شدگی عناصر ژئوشیمیایی و نواحی که تهی‌شدگی عناصر ژئوشیمیایی اتفاق افتاده است، استفاده شده است [۷۰].

۳-۲-۲ خوشه بندی سلسله مراتبی

در داده کاوی و آمار، خوشه بندی سلسله مراتبی^۱ (همچنین به نام تحلیل خوشه سلسله مراتبی) یک روش خوشه بندی می باشد که هدف آن ساخت یک سلسله مراتب از خوشه ها می باشد. روش های خوشه بندی سلسله مراتبی به دو دسته تقسیم می شوند. [۷۱]

- **تجمعی**: رویکرد این دسته «پایین به بالا» می باشد: با شروع از پایین، در هر مرحله دو خوشه با یکدیگر تجمیع شده و یک خوشه جدید تشکیل می دهند. خوشه های جدید در سطح های بالاتر قرار گرفته و این روند تکرار می شود.

- **تجزیه ای**: رویکرد این دسته «بالا به پایین» می باشد: با شروع از بالا، در هر مرحله یک خوشه به خوشه های کوچکتری تجزیه می شود که در سطح پایین تر قرار می گیرند.

هر سطح از سلسله مراتب یک دسته بندی از داده ها را نمایش می دهد که می توان به آن به شکل یک درخت نگاه کرد. هر کدام از برگ های درخت نشان دهنده یک مشاهده اولیه می باشند و ریشه درخت مجموعه ای تمام مشاهدات است. نتایج یک خوشه بندی سلسله مراتبی عموماً به شکل یک دندروگرام نمایش داده می شوند. [۷۲]

برای این که بفهمیم کدام خوشه ها با هم تجمیع یا از یکدیگر تقسیم بشوند باید معیاری از تفاوت بین خوشه ها تعریف شود. در اکثر روش ها، این معیار به کمک تعریف یک متریک و یک معیار پیوند حاصل می شود. متریک فاصله ی بین دو تک مشاهده را تعیین کرده و معیار پیوند فاصله ی بین دو مجموعه مشاهده را بوسیله تابعی از فاصله دو به دو بین مشاهدات هر مجموعه تعریف می کند. [۷۳]

انتخاب یک متریک مناسب شکل خوشه ها را تحت تأثیر قرار می دهد، زیرا به ازای یک متریک چند مشاهده می توانند به یکدیگر نزدیک باشند ولی به ازای متریک دیگری فاصله ی آن ها از هم افزایش یابد. به عنوان مثال در یک فضای دو بعدی فاصله ی بین نقاط (۰ و ۰) و (۰ و ۱) بنابر روش های معمول

^۱ Hierarchical Clustering

یک می‌باشد، اما فاصله‌ی بین دو نقطه (۰ و ۰) و (۱ و ۱) با در نظر گرفتن فاصله منهتن ۲ می‌باشد، با در نظر گرفتن فاصله اقلیدسی رادیکال ۲ می‌باشد، و با در نظر گرفتن فاصله بیشینه ۱ می‌باشد. [۷۴]

در زمین آمار می‌توان با استفاده از این تحلیل، روابط بین عناصر و همچنین تشخیص عناصر تشکیل دهنده کانی‌زایی در منطقه و همچنین سنگ‌شناسی و عناصر درگیر در آن را شناسایی کرد و با توجه به نمودار درختی خروجی از این تحلیل به صورت بصری آن را لمس نمود و تحلیلی قابل درک ارائه کرد. [۷۱]

بعضی از متریک‌های رایج برای استفاده در خوشه‌بندی سلسله‌مراتبی: اقلیدسی، مجذور فاصله اقلیدسی، فاصله منهتن، فاصله بیشینه، فاصله ماهانولویس است و برای متون و سایر داده‌های غیر عددی، متریک‌هایی مانند فاصله همینگ یا فاصله لون‌اشتاین استفاده می‌شوند [۷۲، ۷۳].

۳-۲-۳- میانگین

این روش از روش‌های خوشه‌بندی است که بر کمینه کردن مجموع فواصل اقلیدسی هر یک از نمونه‌ها از مرکز دسته‌هایی که به آن تخصیص می‌یابد، استوار می‌باشد [۷۵].

الگوریتم کا-میانگین^۱ با مقداری مشخص برای K (تعداد دسته‌ها) شروع کرده و سعی در تخمین موارد زیر دارد [۷۶-۷۸]:

به دست آوردن نقاطی به عنوان مراکز خوشه‌ها که این نقاط در واقع همان میانگین نقاط متعلق به هر خوشه هستند.

نسبت دادن هر نمونه داده به یک خوشه که آن داده کمترین فاصله تا مرکز آن خوشه را دارا باشد [۷۹].

در نوع ساده‌ای از این روش ابتدا به تعداد خوشه‌های مورد نیاز، نقاطی به صورت تصادفی انتخاب می‌شود. سپس داده‌ها، با توجه به میزان نزدیکی (شباهت) به یکی از این خوشه‌ها نسبت داده می‌شوند

^۱ K-Means

و بدین ترتیب خوشه‌های جدیدی حاصل می‌شود. با تکرار همین مراحل می‌توان در هر تکرار با میانگین گیری از داده‌ها مراکز جدیدی برای آن‌ها محاسبه کرد و مجدداً داده‌ها را به خوشه‌های جدید نسبت داد [۸۰]. مراحل مهمی که در این الگوریتم طی می‌شود به طور خلاصه به شرح ذیل است [۸۱، ۸۲]:

۱- ابتدا k عضو (که k تعداد خوشه‌هاست)، به صورت تصادفی از میان n عضو به عنوان تعداد خوشه‌ها انتخاب می‌شود.

۲- محاسبه بردار Z_j بر اساس رابطه (۱-۳) که نشان دهنده مرکز یا نماینده هر دسته C_j می‌باشد.

$$z_j = \frac{\sum_{x \in C_j} x}{\#C_j} \text{ for } j = 1. \dots . k \quad 1-3$$

۳- در این رابطه، x نشان دهنده بردار یک نمونه‌ای است که در C_j عضو می‌باشد و $\#C_j$ نشان دهنده تعداد نمونه‌هایی می‌باشد که در کلاس C_j عضو می‌باشند. لازم به ذکر است که رابطه (۱-۳) برای محاسبه مرکز هر دسته در خلال حل استفاده می‌گردد و در شروع الگوریتم معمولاً به صورت تصادفی، k نمونه انتخاب می‌گردند و به عنوان مرکز هر دسته در نظر گرفته می‌شوند [۸۳].

۴- محاسبه تابع هدف ناشی از دسته‌بندی $\{C_1, C_2, \dots, C_k\}$ بر اساس رابطه (۲-۳) که به محاسبه مجموع فواصل نمونه‌ها از مرکز دسته‌ها می‌پردازد.

$$f(C_1, C_2, \dots, C_k) = \sum_{j=1}^k \sum_{x \in C_j} |x - z_j|^2 \quad 2-3$$

۵- کمینه نمودن تابع هدف رابطه (۲-۳) و یافتن دسته‌بندی مناسب روی مجموعه M با تعداد دسته K [۸۴].

در مطالعات مختلفی نظیر رابطه ی دیوریت دگرسان شده با کانی مگنتیت در کمر بند آهنی شیلی، رابطه بین مس و مولیبدن کانسار مس پورفیری و رابطه بین عناصر گروه پلاتین کانسار مس پورفیری رفتار عناصر به روش های گوناگونی نسبت به یکدیگر سنجیده شده است. در مطالعه پیش رو با به کارگیری روش کا-میانگین برای خوشه بندی داده های رسوبات آبراه های منطقه کیوی، با مقدار عیار عناصر تیتانیوم و روی (با در نظر گرفتن مختصات نقاط نمونه برداری)، مقدار بهینه k در هر مورد محاسبه شده است [۸۵].

در این پژوهش به منظور مشخص نمودن مقدار مناسب k برای تعیین تعداد خوشه ها، از دو معیار مناسب استفاده شده است. اولین معیار به کار گرفته شده معیار $S(i)$ است، که بر اساس آن، تعداد خوشه ها از ۳ الی ۱۰ تغییر داده می شوند و سپس به کمک معیار مذکور، نتایج حاصل شده مورد تحلیل قرار می گیرند تا k بهینه انتخاب شود [۷۵].

معیار مناسب جهت تعیین k بهینه مطابق با رابطه ۳-۳ تعیین شده است که بر اساس آن، دسته بندی های انجام شده مورد سنجش قرار می گیرد.

$$S(i) = \frac{\text{Min} (Aveg_Between(i.k)) - Aveg_Within(i)}{\text{Max} [Aveg_Within(i). \text{Min}(Aveg_Between(i.k))]} \quad 3-3$$

در رابطه فوق $S(i)$ بیان کننده میزان مطلوبیت نمونه i ام در کلاس مورد نظر خودش، پارامتر $Aveg_within(i)$ نشان دهنده میانگین فاصله نمونه i ام از سایر نمونه های دیگر در آن کلاسی است که خود نمونه i ام وجود دارد و پارامتر $Aveg_Between(i.k)$ بیان کننده میانگین فاصله نمونه i ام از سایر نمونه هایی می باشد که در دسته دیگری مانند k قرار دارد [۸۰].

با محاسبه میزان مطلوبیت تحت عنوان میانگین مطلوبیت به تحلیل نتایج پرداخته می شود. مقدار مطلوبیت بین ۱- تا ۱+ تغییر می کند، که هرچه این مقدار به ۱+ نزدیکتر باشد نمونه مورد نظر در دسته

بندی مناسب تر و هرچه به ۱- نزدیکتر باشد دارای دسته بندی نامناسبی است و عدد صفر به این معنی است که حضور نمونه مورد نظر در دسته فعلی و یا دسته دیگری دارای اهمیت چندانی نیست. بنابراین برای هر نمونه مقدار رابطه (۳-۶) محاسبه میگردد و سپس با محاسبه میانگین اعداد حاصل شده تحت عنوان میانگین مطلوبیت دسته بندی انجام شده، به تحلیل نتایج پرداخته می شود.

دومین معیار استفاده شده، تابع کیفیت است. بر اساس دانسته ها، بهترین خوشه بندی به صورتی است که مجموع تشابه بین مرکز خوشه و همه اعضای خوشه را حداکثر و مجموع تشابه بین مراکز خوشه ها را حداقل بشود. برای انتخاب بهترین خوشه، ابتدا یک محدوده پیشنهادی برای تعداد خوشه ها مشخص می شود. سپس $p(k)$ برای هریک از مقادیر k محاسبه می شود. مقداری از k که در آن $p(k)$ حداکثر شود، به عنوان تعداد بهینه خوشه ها انتخاب می شود. به این ترتیب می توان تعداد خوشه ای را انتخاب نمود که به ازای آن فاصله بین مراکز خوشه ها و شباهت مراکز خوشه با اعضای درون هر خوشه حداکثر است. کیفیت نتایج خوشه بندی با k خوشه به صورت زیر تعریف می شود [۷۵]:

$$O = \{c^n | n = 1, \dots, k\} \quad ۴-۳$$

$$O^n = \{c_i | i = 1, \dots, \|T^c - O\|\} \quad ۵-۳$$

$$\rho(k) = \frac{1}{k} \sum_{n=1}^k \left(m_i n \left\{ \frac{\eta_n + \eta_m}{\delta_{nm}} \right\} \right) \quad ۶-۳$$

$$\eta_n = \frac{1}{\|\sigma^n\|} \sum_{c_i \in O^n} Sim(c_j, c^n) \quad ۷-۳$$

$$\eta_m = \frac{1}{\|\sigma^m\|} \sum_{c_i \in O^m} Sim(c_j, c^m) \quad ۸-۳$$

$$\delta_{nm} = Sim(C^n, C^m) \quad ۹-۳$$

در این معادلات O مجموعه مراکز خوشه ها، C^n مراکز خوشه ها، O^n مجموعه عناصری که به عنوان مراکز خوشه انتخاب نشده اند، T^c مجموعه کلیه عناصری که خوشه بندی روی آن ها صورت گرفته

است، η_n میانگین شباهت بین مرکز خوشه C^n و همه عناصر خوشه O^n است، η_m میانگین شباهت بین مرکز خوشه C^m و همه عناصر خوشه O^m است و در نهایت δ_{nm} به عنوان شباهت C^n و O^n تعریف می‌شود [۸۶].

۳-۲-۴ روش فرکتال

پدیده‌های نامنظم با اشکال نامنظم و بی‌قاعده از اصول هندسه اقلیدس پیروی نمی‌کنند. هندسه‌ای که برای توصیف این پدیده‌ها به کار می‌رود، هندسه‌ی فرکتال^۱ نامیده می‌شود. هندسه‌ی فرکتال تا به حال در علوم مختلفی از جمله: هواشناسی، پزشکی و علوم زمین مورد استفاده قرار گرفته است. روش‌های فرکتال به دلایل شکل هندسی آنومالی‌ها و همچنین توزیع فضایی داده‌ها و استفاده از تمامی داده‌ها در روند محاسبات دارای کاربرد فراوانی در مطالعات سطحی زمین‌شناسی و ژئوشیمیایی است. محققان زیادی تاکنون بر روی استفاده از روش‌های فرکتالی در علوم زمین مطالعه نموده‌اند. چنگ و همکاران روش‌های گوناگون استفاده از این هندسه برای جدایش جوامع ژئوشیمیایی را ارائه نموده‌اند [۳۷-۳۵، ۸۷]. تغییر از جامعه‌ای به جامعه‌ای دیگر نشان دهنده شرایط زمین‌شناسی، ژئوشیمیایی و کانی‌شناسی است. این توانایی منحصر به فرد به خاطر ماهیت فرکتالی توزیع عناصر در طبیعت است. این مسأله سبب می‌شود که نیازی به حذف مقادیر خارج از ردیف نباشد زیرا به دلیل ماهیت فرکتالی داده‌ها به طور خودکار این داده‌ها خنثی می‌شوند.

روش‌های فرکتالی مختلفی برای تعیین مقدار حد آستانه‌ی داده‌های ژئوشیمیایی وجود دارد: که از آن جمله می‌توان روش عیار-مساحت، عیار-محیط، عیار-تعداد و طیف توان-مساحت را نام برد [۶۵]. یک معادله توانی به صورت زیر برای تمرکز مواد یا خواص فرکتال ارائه شده است.

$$A(\geq \nu) \propto \nu^{-\alpha} \quad (۱۰-۳)$$

^۱ Fractal

$A(\geq \nu)$ مساحت تجمعی محصور شده بوسیله خطوط هم‌عیاری است که عیار متناظر آن‌ها بزرگتر یا مساوی ν است. مقدار α نیز در حقیقت نمایانگر بعد فرکتال مربوط به دامنه‌های متفاوت می‌باشد [۸۹، ۸۸، ۶۶].

۳-۲-۵ آنالیز تمایز

آنالیز تمایز^۱ روشی آماری است که از جمله در یادگیری ماشین و بازشناخت الگو برای پیدا کردن خصوصیتی که به بهترین صورت دو یا چند کلاس از اشیا را از هم جدا می‌کند، استفاده می‌شوند [۹۰].

این روش بسیار به تحلیل واریانس و تحلیل رگرسیونی نزدیک است؛ در این روش آماری متغیر وابسته به صورت یک ترکیب خطی از متغیرهای دیگر مدل‌سازی می‌شود. این آنالیز برای متغیرهای وابسته اسمی یا رتبه‌ای به کار می‌رود. از این رو آنالیز تمایز خطی به رگرسیون لجستیک شباهت بیشتری دارد [۹۱-۹۳].

همچنین با تحلیل مؤلفه‌های اصلی و تحلیل عاملی هم شباهت دارد؛ هر دوی این روش‌های آماری برای ترکیب خطی متغیرها به شکلی که داده را به بهترین نحو توضیح بدهد به کار می‌روند یک کاربرد عمده هر دوی این روش‌ها، کاستن تعداد بعدهای داده است. با این حال این روش‌ها تفاوت عمده‌ای با هم دارند: در آنالیز تمایز، تفاوت کلاس‌ها مدل‌سازی می‌شود در حالی که در تحلیل مؤلفه‌های اصلی تفاوت کلاس‌ها نادیده گرفته می‌شود [۹۳-۹۵].

این روش ارتباط نزدیکی با تحلیل واریانس و تحلیل رگرسیون دارد که سعی دارند یک متغیر مستقل را به عنوان ترکیبی از ویژگی‌های دیگر بیان کنند. این متغیر مستقل در آنالیز تمایز به شکل برچسب یک کلاس است. همچنین ارتباط تنگاتنگی با تحلیل مؤلفه‌های اصلی دارد. چرا که هر دو متد به

^۱ Discriminant analysis

دنبال ترکیبی از متغیرهایی هستند که به بهترین نحو داده‌ها را توصیف می‌کنند. همچنین آنالیز تمایز سعی در مدل‌سازی تفاوت بین کلاس‌های مختلف داده‌ها دارد و از آن زمانی استفاده می‌شود که اندازه‌های مشاهدات، مقادیر پیوسته باشند [۹۶-۹۸].

در این پژوهش این روش با در نظر گرفتن گروه بندی حد آستانه، طیف عناصری که با یکدیگر جامعه‌ای را می‌سازند را شناسایی و به ما کمک می‌کند که ارتباط بین عناصر و رفتار آن‌ها را درک کنیم.

۳-۲-۶ آنالیز مؤلفه‌های اصلی

تحلیل مؤلفه‌های اصلی تبدیلی در فضای برداری است، که بیشتر برای کاهش ابعاد مجموعه داده‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. تحلیل مؤلفه‌های اصلی در سال ۱۹۰۱ توسط کارل پیرسون ارائه شد. این تحلیل شامل تجزیه مقدارهای ویژه ماتریس کواریانس می‌باشد [۹۹، ۱۰۰].

تحلیل مؤلفه‌های اصلی^۱ در تعریف ریاضی یک تبدیل خطی متعامد است که داده را به دستگاه مختصات جدید می‌برد به طوری که بزرگترین واریانس داده بر روی اولین محور مختصات، دومین بزرگترین واریانس بر روی دومین محور مختصات قرار می‌گیرد و همین‌طور برای بقیه [۱۰۱-۱۰۳]. تحلیل مؤلفه‌های اصلی می‌تواند برای کاهش ابعاد داده مورد استفاده قرار بگیرد، به این ترتیب مؤلفه‌هایی از مجموعه داده را که بیشترین تأثیر در واریانس را دارند حفظ می‌کند [۱۰۴].

۳-۲-۷ شبکه عصبی مصنوعی

شبکه‌های عصبی مصنوعی^۲ با الهام از عملکرد مغز انسان و واحدهای پردازشگر (نرون‌ها) آن بوجود آمده‌اند. این مدل بر این فرض استوار است که همانند مغز انسان امکان یادگیری بوسیله واحدهای

^۱ Principal Component Analysis - PCA

^۲ Artificial Neural Networks (ANNs)

عصبی میسر است. حل مسئله بوسیله شبکه عصبی شامل سه مرحله است: (۱) آموزش^۱، (۲) تعمیم^۲ و (۳) اجرا^۳. در مرحله آموزش، شبکه الگوهای موجود در ورودی‌هایی که در سری آموزشی قرار دارند را یاد می‌گیرد. هر شبکه عصبی برای یادگیری، از یک قانون خاص استفاده می‌کند. تعمیم به معنای قدرت شبکه عصبی در ایجاد پاسخ‌های قابل قبول برای ورودی‌هایی است که عضو مجموعه سری‌های آموزشی نبوده‌اند. در مرحله اجرا نیز، شبکه عصبی برای انجام عملکردی که به آن منظور طراحی شده، استفاده می‌شود [۱۰۵، ۱۰۶].

بنابراین همانند آنچه در مغز انسان اتفاق می‌افتد، پردازش اطلاعات در شبکه‌های عصبی نیز در مسیرهای موازی و به کمک شبکه‌ای از نرون‌ها صورت می‌پذیرد. در نتیجه، شبکه‌های عصبی این قابلیت را دارند که فراتر از برنامه‌نویسی الگوریتمی عمل کرده و به نحو مطلوبی برای مسائلی با ماهیت غیرخطی مؤثر واقع شوند [۱۰۷، ۶].

شبکه‌های عصبی از لایه‌های به هم پیوسته‌ای تشکیل شده‌اند که پردازش اطلاعات در این لایه‌ها صورت می‌گیرد و هر لایه می‌تواند متشکل از یک یا چند نرون باشد. این لایه‌ها عبارتند از لایه ورودی که شامل ورودی‌های شبکه عصبی است، یک یا چند لایه پنهان که شامل تعدادی نرون است و لایه خروجی که شامل خروجی‌های شبکه است [۱۰۸، ۷]. در شکل ۲-۳ شمای یک نرون مصنوعی و ساختار کلی یک شبکه عصبی با یک لایه پنهان نشان داده شده است.

بر اساس آنچه در شکل ۲-۳ نشان داده شده است نرون کوچکترین واحد پردازشگر اطلاعات و سلول اساسی شبکه است که می‌تواند هر تعداد از ورودی‌ها را دریافت کرده و سیگنال خروجی را تولید کند. بدنه این سلول عصبی از دو بخش تابع جمع‌بندی^۴ و تابع انتقال^۵ تشکیل شده است [۱۰۹، ۸۰].

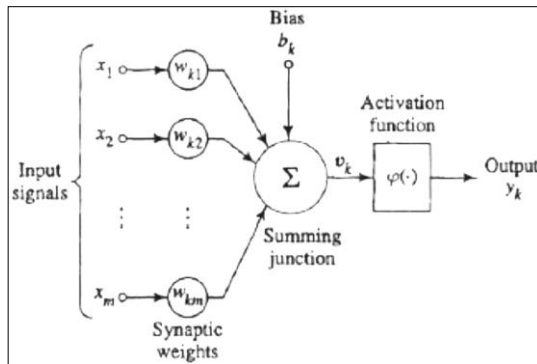
^۱. Training

^۲. Generalization

^۳. Operation

^۴ Summation Function

^۵ Transfer function



شکل ۳-۲ نمایش ساختار یک نرون مصنوعی [۸۹].

وظیفه تابع جمع‌بندی این است که تمام ورودی‌ها را با هم ترکیب کرده و یک عدد تولید کند. در واقع هر ورودی دارای وزن مختص به خود است و ورودی‌ها در اوزان مربوط به خود ضرب و سپس با هم جمع می‌شوند. مجموع حاصل را مجموع وزن‌دار^۱ می‌گویند و بصورت زیر محاسبه می‌شود:

$$n = \sum_{i=0}^r p_i w_i + b \quad (۱۱-۳)$$

در این رابطه، p ورودی سیستم، w وزن هر ورودی، n خروجی سیستم و r تعداد ورودی‌ها است. b نیز جمله بایاس^۲ نامیده می‌شود که می‌توان آن را مانند یک وزن اختصاص داده شده به ورودی ثابت یک در نظر گرفت. نقش بایاس افزایش یا کاهش مجموع وزن‌دار است و به عنوان یک جبران‌کننده عمل می‌کند و به شبکه کمک می‌کند تا الگوهای موجود را بهتر بشناسد [۸، ۱۱۰].

بخش دوم سلول عصبی تابع انتقال نام دارد که مقدار تابع جمع‌بندی را به خروجی سلول انتقال می‌دهد. به این تابع تابع تحریک^۳ نیز گفته می‌شود. هر تابع تحریک یک حد آستانه معین دارد، تا زمانی که مقدار ورودی یک تابع به حد آستانه آن نرسد، مقدار خروجی نظیر بسیار کوچک یا صفر خواهد بود. وقتی ورودی ترکیب شده به حد آستانه برسد، خروجی تابع مقدار بزرگی خواهد داشت که به اصطلاح نرون تحریک شده است [۱۰، ۱۱۱]. ایده اصلی که شبکه‌های عصبی بر آن استوارند این است که برخی پارامترها می‌توانند تنظیم شوند تا شبکه رفتار مطلوب و مورد نظر را به دست دهد.

^۱ Weighted Sum

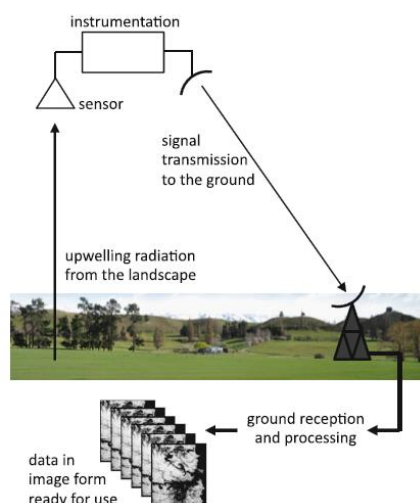
^۲ Bias

^۳ Activation Function

تابع تحریک بوسیله طراح شبکه انتخاب می‌شود و پارامترهای w و b بر اساس انتخاب تابع تحریک و نوع الگوریتم یادگیری شبکه تنظیم می‌شوند. یادگیری به این معنی است که w و b طوری تنظیم می‌شوند که رابطه خروجی و ورودی شبکه با هدف خاصی مطابقت نماید [۱۱۲].

۳-۳ سنجش از دور

سنجش از دور علم جمع‌آوری، پردازش و تفسیر تصاویر و داده‌های بدست آمده از ماهواره یا پرنده‌های هوابرد می‌باشد. این ابزارهای سنجش از دور، کنش بین مواد و انرژی الکترومغناطیس را اندازه‌گیری می‌کنند [۱۴، ۳۹]. در دورسنجی انرژی ساطع شده از سطح زمین با استفاده از یک سنسور سوار شده بر روی یک سکوی فضابرد یا هوابرد، اندازه‌گیری شده و این اندازه‌گیری‌ها برای ساختن یک تصویر از منطقه زیر سکو استفاده می‌شود (شکل ۳-۳). این انرژی می‌تواند پرتوهای نور خورشید، تشعشعات زمین به دلیل گرمای محدود زمین و یا ساطع شده از ستجنده‌های راداری و لیزری باشد [۱۰۹، ۱۱۳]. چهار عضو اصلی سیستم‌های دورسنجی شامل مسیر اتمسفر، سطح زمین (صحنه مورد بررسی)، سنجنده و آنالیز تصویر می‌باشند [۳۳]. بیشتر فعالیت‌های انجام شده در حوضه علوم زمین بر روی آنالیز تصویر متمرکز شده تا با استفاده از الگوریتم‌های مشخصی، اطلاعات مناسبی را استخراج و برای اهداف مورد استفاده به کار گیرند.



شکل ۳-۳ فرآیند تهیه تصویر از یک منطقه با استفاده از سنجش از راه دور [۹۳].

بسیاری از متخصصان زمین‌شناسی، خاک‌شناسی و جغرافیا، گیاه‌شناسی و جنگل‌داری، فن تفسیر عکس‌های هوایی را از سال ۱۹۳۴ پس از انتشار مجله‌ی مهندسی فتوگرامتری در آمریکا شروع کردند و در دهه پنجاه، عکس‌برداری مادون قرمز برای مطالعات پوشش گیاهی رونق گرفت. با در مدار قرار گرفتن ماهواره مطالعاتی بدون سرنشین تیروس^۱ در آوریل ۱۹۶۰ دورسنجی فضایی وارد مرحله تازه‌ای شد. از این سال به بعد پیشرفت‌های چشمگیری در زمینه در مدار قرار دادن ماهواره‌های مختلف حاصل شد. بین سال‌های ۱۹۷۰ تا ۱۹۷۶، شش ماهواره به فضا پرتاب شد [۳۸]. در سال ۱۹۷۲ اولین سری از ماهواره‌های لندست و ستجنده‌های RBV، MSS و TM در چهار و هفت باند توسط ایالات متحده آمریکا در مدار زمین قرار گرفته و تصاویر زیادی از سطح کره زمین در اختیار محققین در سراسر جهان قرار داده است. از این مرحله که تصویربرداری از حالت آنالوگ خارج و بصورت عددی درآمد، دریچه‌ای جدید برای پردازش تصاویر و آنالیز و تفسیر آن را بروی محققین گشوده است [۹۳]. در این بین کشوری مانند شوروی سابق که در بهره‌برداری از ماهواره‌های تصویربرداری به صورت آنالوگ سابقه دیرینه‌ای داشته است با پرتاب سری ماهواره‌های کاسموس در پی تصویربرداری بصورت رقومی باعث شد که صحنه رقابت برای سایر ملل فراهم گردد.

فرانسه در سال ۱۹۸۶ اولین سری ماهواره‌های اسپات را با قدرت تفکیک ۱۰ و ۲۰ متر (درسه باند) و هندوستان سری ماهواره‌های ایرس را در سال ۱۹۸۸، ژاپن سری ماهواره‌های موس را در سال ۱۹۹۰، آژانس فضایی اروپا سری ماهواره‌های ارث را در سال ۱۹۹۱ در مدار زمین قرار دادند. سایر کشورهای جهان برای استفاده از این فن آوری و به کارگیری هر چه بهتر آن در موضوعات مختلف اعم از امنیتی و علمی در صدد بر آمدن به آن دست یابند و به موفقیت‌های مهمی نیز دست یافته‌اند که از این میان می‌توان کره شمالی با پرتاب ماهواره کام ست در سال ۱۹۹۸، مشارکت برزیل و چین جهت پرتاب ماهواره سبرس در سال ۱۹۹۶ نام برد [۱۱۴]. حاصل پرتاب این ماهواره‌ها، تهیه میلیون‌ها تصویر از زمین بوده است که در اختیار هزاران محقق و مؤسسه تحقیقاتی قرار گرفته و با پردازش و تعبیر و

^۱ TIROS

تفسیر آن‌ها، اهمیت و کاربردهای علوم و تکنولوژی فضایی آشکار شده است. این علوم قادر به پیش بینی بروز حوادث غیرمترقبه و هشدارهای لازم، آشکارسازی فعالیت‌های مخاطره‌آمیز زیست محیطی و کاهش اثرات ناشی از آن‌ها، پیش بینی فصلی و سالانه آب و هوا و بررسی اثر آن‌ها بر کشاورزی، خشک‌سالی و پیشروی کویر، برنامه ریزی و مدیریت منابع طبیعی نظیر معادن، جنگل، مراتع، تهیه انواع نقشه‌های موضوعی و کارتوگرافی می‌باشند.

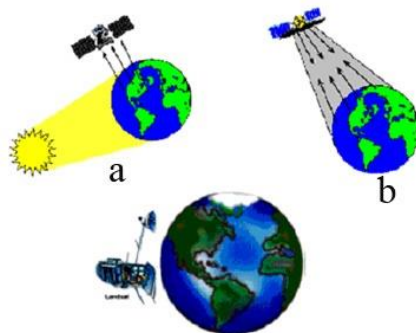
۳-۱-۳ سامانه‌ی ماهواره‌های سنجش از دور

اجرای سنجش از دور نیازمند عملکرد عضوهای مهمی چون ستجنده‌ها و ماهواره‌ها است که در این بخش به شرح آن‌ها می‌پردازیم.

ستجنده‌ها: اندازه‌گیری و ثبت خصوصیات فیزیکی و شیمیایی جو و سطح زمین از فاصله دور به وسیله ابزارهای ویژه‌ای به نام ستجنده انجام می‌گیرد که بر روی سکوه‌ای مختلف مانند ماهواره‌ها و هواپیماها نصب می‌شوند. همانطور که در شکل ۳-۴ نمایش داده شده است می‌توان ستجنده‌ها را به دو دسته تقسیم کرد [۱۱۵]:

الف- ستجنده‌های فعال: این ستجنده‌ها هم دارای فرستنده امواج و هم دارای گیرنده امواج می‌باشند مانند شکل ۳-۴ (b).

ب) ستجنده‌های غیر فعال: این ستجنده‌ها تنها دارای گیرنده می‌باشند و فرستنده ندارند و این ستجنده‌ها از منبع طبیعی به نام خورشید استفاده کرده مانند شکل ۳-۴ (a).



شکل ۳-۴ ستجنده‌های فعال (b) و غیر فعال (a) [۱۰۹].

۳-۲-۳ انواع ماهواره‌های سنجش از دور

• ماهواره لندست

ماهواره لندست یکی از ماهواره‌هایی است که جهت مطالعه منابع زمینی در چند سال اخیر بیش از سایر ماهواره‌ها مورد استفاده قرار گرفته است. استفاده جهانی اطلاعات سنجش از دور ابتدا بوسیله ماهواره لندست در سال ۱۹۷۲ آغاز شد. این تحقیقات که با استفاده از قسمت‌های مختلف طیف الکترومغناطیس صورت گرفته باعث افزایش کارایی زمین‌شناسان در زمینه پژوهش‌های معدنی گردیده است. لندست‌های ۱ و ۲ و ۳ به ترتیب در تاریخ‌های ۱۳۵۱/۵/۱، ۵۴/۴/۳۱ و ۵۶/۱۲/۱۴ به فضا پرتاب شدند. طراحی آن‌ها به گونه‌ای بوده است که هر روز کره زمین را در یک مدار قطبی با ارتفاع حدود ۹۰۰ کیلومتری دور زده و در نتیجه قسمت اعظم کره زمین را با ۲۵۱ گردش ماهواره مورد تصویر برداری قرار دهند. با از کار افتادن لندست‌های ۱، ۲ و ۳ لندست‌های ۴ و ۵ در تاریخ‌های ۶۱/۴/۲۵ و ۶۲/۱۲/۱۰، به فضا پرتاب و در ارتفاع ۷۰۰ کیلومتری از سطح زمین قرار گرفتند و در نتیجه کره زمین را با ۲۳۳ گردش پوشش می‌دادند. ماهواره لندست ۴ در سال ۱۹۹۳ از کار افتاد. اخیراً نیز لندست‌های ۶ و ۷ به فضا پرتاب شده‌اند. ماهواره لندست ۷ آخرین ماهواره از سری ماهواره‌های لندست است که تاکنون به فضا پرتاب شده است. لندست ۷ در سال ۱۹۹۹ به فضا پرتاب شد. این ماهواره دارای جرم تقریبی ۲۲۰۰ کیلوگرم است و در مداری خورشید آهنگ با ارتفاع ۷۰۵ کیلومتر و زاویه میل ۹۸/۲ درجه به دور زمین می‌گردد. ماهواره لندست ۷، با دوره چرخش ۱۶ روزه (۲۳۳ مدار بر دور)، در ۱۰ صبح از استوا می‌گذرد. یکی از ستجنده‌های تعبیه شده در ماهواره لندست از نوع اسکن کننده نوری - مکانیکی می‌باشد که به ^۱TM معروف است. این سنجنده دارای قابلیت تفکیک ۳۰ متر بر روی زمین بوده و در هفت باند طول موجی (شش باند بازتابی و یک باند حرارتی) تصویربرداری می‌کند. اخیراً به جای سنجنده تی ام، سنجنده نوع ETM+ با هفت باند بازتابی و یک

^۱ Thematic Mapper

باند حرارتی مورد استفاده قرار می‌گیرد. باند هشتم لندست نوع ETM+ دارای قابلیت تفکیک زمینی ۱۵ متر می‌باشد [۱۱۶، ۱۵].

• **ماهواره استر** : ماهواره استر که به آن پرتوسنج حرارتی تابشی و بازتابشی فضا برد پیشرفته می‌گویند^۱ (ASTER). ماهواره استر یک دوربین دیجیتالی بزرگ است که در سال ۱۹۹۹ با همکاری ناسا و ژاپن، در مدار زمین قرار گرفت و بوسیله ماهواره‌ای به نام ترا^۲ که به اندازه یک اتوبوس کوچک است حمل می‌شود. فاصله آن از زمین ۷۰۵ کیلومتر، گردش آن به صورت قطبی- قطبی است و از ساعت ۱۰:۳۰ به وقت محلی و تقریباً هر ۱۰۰ دقیقه از عرض استوا عبور می‌کند. این دوربین توانایی گرفتن ۶۰۰ عکس با قدرت تفکیک بالا در یک روز را دارد. هر عکس، منطقه‌ای به وسعت ۶۰×۶۰ کیلومترمربع را پوشش می‌دهد که اندازه هر پیکسل آن برای باندهای ۱-۳، ۱۵ متر است. تفاوت عمده این دوربین با دوربین‌های عکاسی این است که اولاً، برای هر رنگ (یا دقیق‌تر، هر محدوده طول موج یا باند) یک تصویر مجزا ایجاد می‌شود، چرا که دارای ۱۴ باند بوده و ۱۴ تصویر مختلف می‌تواند ایجاد کند. استر ۱۴ باند دارد که دامنه طول موجی ۰/۵۲ تا ۱۱/۶۵ میکرون را در سه محدوده طیفی VNIR، TIR، SWIR پوشش می‌دهد؛ هر کدام از آن‌ها برای یک بخش متفاوت طیفی در نظر گرفته شده‌اند [۱۶].

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

در این محدوده که شامل دامنه‌ی طول موجی ۰/۵۲ تا ۰/۸۶ میکرون می‌شود، سه باند وجود دارد. قدرت تفکیک فضایی در باندها در این محدوده ۱۵ متر و پوشش نهایی در جهت عمود به وسیله‌ی نقطه (قابلیت نقطه‌ای) ۲۳۲ کیلومتر معادل $\pm 24^\circ$ درجه و عرض پیمایش ۶۰ کیلومتر است.

^۱ Advanced Space borne Thermal Emission and Reflection Radiometer

^۲ Terra

ب) محدوده طیفی مادون قرمز طول موج کوتاه (SWIR) :

در این محدوده، برداشت در دامنه طول موجی ۱/۶ تا ۲/۴۳ میکرون و در شش باند صورت می‌گیرد. قدرت تفکیک فضایی باندهای این محدوده ۳۰ متر و پوشش نهایی در جهت عمود بوسیله‌ی نقطه (قابلیت نقطه‌ای)، 8 ± 55 درجه است.

ج) محدوده طیفی مادون قرمز حرارتی (TIR) :

در محدوده طیفی مادون قرمز حرارتی برداشت در دامنه‌ی طول موجی ۸/۱۲۵ تا ۱۱/۶۵ میکرون در پنج باند انجام می‌شود. قدرت تفکیک فضایی باندها، ۹۰ متر و پوشش نهایی در جهت عمود بوسیله‌ی نقطه (قابلیت نقطه‌ای)، 8 ± 55 درجه است. یکی از ویژگی‌های بارز تصاویر استر قدرت تفکیک بالای آن در مقایسه با لندست است که از آن در مدیریت گردش‌گاه‌ها و پارک‌های جنگلی برای تعیین تغییر وضعیت آن‌ها استفاده می‌شود. در تصاویر استر پوشش گیاهی زنده به رنگ قرمز که قرمز روشن یا تیره نشانگر میزان سلامت گیاهان است، پدیده‌های ساخته دست انسان مثل ساختمان‌ها متمایل به آبی روشن یا خاکستری، خاک به رنگ‌های متنوع که روشنی آن بستگی به مواد تشکیل دهنده آن دارد و آب به رنگ بسیار تیره دیده می‌شود [۱۷].

• **آنالیز داده‌های استر :** با توجه به تنوع نوارهای استر در ناحیه فروسرخ موج کوتاه، آگاهی از

بازتاب و جذب کانی‌های رسی در گستره‌این نوارها به منظور دست‌یابی به نسبت‌های نواری شاخص الزامی است. شدت بازتاب کانی‌های رسی در گستره نوار ۴ به حدی است که این نوار در نسبت‌گیری نواری با نوارهای یاد شده دیگر، مناطق دگرسان را به خوبی مشخص می‌کند. بازتاب شدید رس‌ها در نوار ۴ قابل ملاحظه است ولی تنها ضعف‌این نوار در آشکارسازی مناطق دگرسان است. که پوشش گیاهی نیز همراه با کانی‌های رسی در محل‌این نوار دارای بازتاب چشم‌گیری است، به طوری که امکان اشتباه گرفتن این دو پدیده وجود دارد و بنابراین استفاده از تصاویر رنگی برای تشخیص مناطق دارای پوشش گیاهی الزامی است. چشم‌پوشی

ازاین ضعف، نوار چهارم قابلیت بسیار خوبی برای آشکارسازی دگرسانی‌ها را دارد. بازتاب نسبتاً شدید رس‌ها در محل نوار هفتم نیزاین نوار را به عنوان نوار بازتابی مناسب برای استفاده در نسبت‌های نواری معرفی می‌کند افزون براین که در محل نوار ۷ دیگر نشانی از اثر تداخلی پوشش گیاهی وجود ندارد. نوار ۸ نیز ویژگی‌های بسیار نزدیکی با نوار ۷ دارد ولی کیفیت تصاویر پردازش شده حاصل از نسبت‌گیری نواری، نوار ۷ بهتر است [۱۴].

۳-۳-۳ مزایای استفاده از داده‌های ماهواره‌ای

روش‌های سنجش از دور در مقایسه با روش‌های دیگر تولید اطلاعات مانند نقشه‌برداری زمینی، عکس‌برداری هوایی و آمارگیری‌های محلی از مزایای بسیار برخوردار هستند [۳۹]. سنجش از دور علاوه بر اینکه مشکل دسترسی به محل و حضور فیزیکی در آن را که لازمه روش‌های زمینی و سنتی است را به حداقل رسانده است، با ایجاد پوشش خوبی از منطقه مورد مطالعه امکان دید کلی از آن را فراهم می‌سازد.

از جمله نکات مثبت استفاده از داده‌های ماهواره‌ای جهت تحلیل و تفسیر و استفاده آن در امر اکتشاف عبارتند از:

- میدان دید گسترده و فرا منطقه‌ای
- پوشش تکراری تصاویر از نواحی معین با فاصله زمانی مشخص
- چند باندی بودن داده‌های ماهواره
- توانایی بارز سازی و فراهم نمودن تصاویر رنگی جهت انجام مهمترین کارهای صحرایی از قبیل تعیین موقعیت زون‌های آلتراسیون و تعیین موقعیت قرار گیری و مسیر یابی
- توانایی تلفیق سنجش از دور (RS) و سیستم اطلاعات جغرافیایی (G.I.S.)
- تهیه نقشه‌های موضوعی مورد نیاز کاربران خاص و تسهیل تهیه نقشه‌ها و به روز نمودن آن‌ها
- امکان نقشه‌برداری زمین ساختاری و سنگ‌شناسی

از این رو می‌توان گفت که داده‌های ماهواره‌ای به علت در دسترس بودن آن‌ها و دقت و سرعت بالا در امر تجزیه و تحلیل داده‌ها و کاهش هزینه‌های ناشی از آن به طور چشمگیری در امر اکتشاف معادن و ساختارهای زیر سطحی مؤثر بوده است.

در فعالیت‌های زمین‌شناسی، از مزایای مطالعه تصاویر ماهواره‌ای یک منطقه قبل از اجرای کار صحرایی در آن منطقه می‌توان به موارد ذیل اشاره کرد:

مناطق که مطالعه جزئیات روی زمین یا کنترل صحرایی دارای اهمیت بیشتری خواهد بود را می‌توان مورد توجه قرار داد.

مطالعه تصاویر ماهواره‌ای سبب آشنایی افراد با جغرافیای ناحیه شده و می‌تواند در انتخاب محل و مسیر کمک شایانی نماید.

استفاده از تصاویر ماهواره‌ای بعلاوه دید بسیار وسیع (نسبت به عکس‌های هوایی) این اجازه را به مفسر می‌دهد که همبستگی بین عوارض مختلف زمین شناسی ناحیه را تعیین کند.

مطالعه و پردازش داده‌های ماهواره‌ای در تشخیص عوارض نظیر نوع سنگ، کنتاکت‌ها، ساختارهای خطی و حلقوی، توده‌های نفوذی، آلتراسیون‌ها و غیره امکانات زیادی را در اختیار زمین شناس قرار می‌دهد. تشخیص این عوارض می‌تواند به طور مستقیم یا غیر مستقیم در اکتشاف منطقه‌ای ذخایر معدنی مثمر ثمر باشند [۱۱۵].

انواع روش‌های طبقه‌بندی

تصاویر حاصل از فناوری سنجش از دور تامین کننده داده‌های کارآمدی است که برای استخراج اطلاعات مورد نظر از آن‌ها نیاز به پردازش‌هایی بر روی تصویر است. طبقه‌بندی تصویر، یکی از مؤلفه‌های اصلی فرآیند استخراج اطلاعات موضوعی است که از طریق بررسی رابطه بین اثر طیفی و کلاس‌ها یا طبقات مختلف حاصل می‌شود. در حقیقت فرآیند طبقه‌بندی تصویر، تبدیل داده‌ها به اطلاعات قابل درک است. در گذشته، تکنیک‌های طبقه‌بندی تصاویر بر مبنای تفسیر بصری کاربر بود [۱۴]. که اغلب باعث به وجود آمدن خطاهای سیستماتیک می‌گردید که این امر ناشی از تجربه و

توانایی مفسر در تفسیر تصاویر بود. طبقه‌بندی رقومی تصاویر کمک می‌کند تا فرآیند طبقه‌بندی تصویر به واقعیت نزدیک‌تر باشد [۱۱۷، ۱۱۸].

طبقه‌بندی رقومی تصاویر با استفاده از هر دو روش طبقه‌بندی نظارت شده و نظارت نشده صورت می‌گیرد که هر دو روش از مکانیسم تصمیم‌گیری کمی و اتوماتیک بهره می‌گیرند. اساس طبقه‌بندی رقومی تصاویر سنجش از دور بر این مبنا است که اثر طیفی مربوط به هر عارضه پوشش دهنده تصویر، منحصر به فرد است [۱۱۹]. در طبقه‌بندی نظارت نشده، بطور اتوماتیک و بر اساس اختلاف اثر طیفی و محاسبات آماری، هر پیکسل به کلاس خاصی تعلق می‌گیرد. ضعف این روش در این است که در صورتی که عارضه مورد نظر دارای اختلاف اثر طیفی کمی نسبت به سایر عوارض باشد، تفکیک آن با این روش بطور اتوماتیک بسیار دشوار می‌گردد [۱۶]. برای غلبه بر این مشکل، روش‌های طبقه‌بندی نظارت شده ارائه گردیدند که در آن‌ها از نمونه‌های تعلیمی به عنوان کلیدی که اثر طیفی مربوط به یک عارضه خاص و مورد نظر کاربر را نشان می‌دهد، برای طبقه‌بندی استفاده می‌شود. اما به هر حال خطاهایی در طبقه‌بندی وجود دارند که می‌تواند به علت ضعف تجربه و دانش کاربر باشد. متداول‌ترین روش‌های طبقه‌بندی تصویر را می‌توان روش آماری حداکثر احتمال و کمترین فاصله، نام برد. ضعف این روش‌ها در این است که در صورتی که عارضه مورد نظر دارای اختلاف اثر طیفی کمی نسبت به سایر عوارض باشد، تفکیک آن به طور اتوماتیک بسیار دشوار می‌گردد. این مشکلات منجر به ایجاد روش‌های جدیدتر و استفاده بیشتر از آن‌ها شده است. امروزه روش‌های جدید طبقه‌بندی از جمله روش‌های شبکه عصبی و یادگیری ماشین مانند الگوریتم ماشین بردار پشتیبان، جنگل تصادفی و درخت تصمیم به سرعت توسعه یافته است. هر الگوریتم طبقه‌بندی یک روش پیاده سازی مخصوص به خود را دارد [۱۱۷، ۱۱۹، ۱۲۰].

۳-۳-۴ کاربرد روش‌های طبقه‌بندی نظارت نشده در اکتشاف

در نقشه برداری مواد معدنی، تهیه نقشه‌های زمین‌شناسی بر پایه مشاهدات صحرایی یا داده‌های به دست آمده از مطالعات میدانی و آزمایشگاه می‌باشد و سپس زمین‌شناسان با درون‌یابی و تفسیر

داده‌های مذکور به اهداف مورد نظر خواهند رسید. اگرچه دورسنجی نمی‌تواند جانشینی در این سطح کارشناسی باشد اما به دلیل کسب اطلاعات بسیار زیاد از مناطق وسیع و دوردست و با هزینه بسیار کمتر نسبت به روش‌های سنتی برای مراحل بعدی اکتشافات می‌تواند مورد استفاده گردد [۱۲۱].

[۱۲۲].

تصاویر سنجش از دور دو کاربرد عمده در اکتشاف مواد معدنی دارند [۱۱۵].

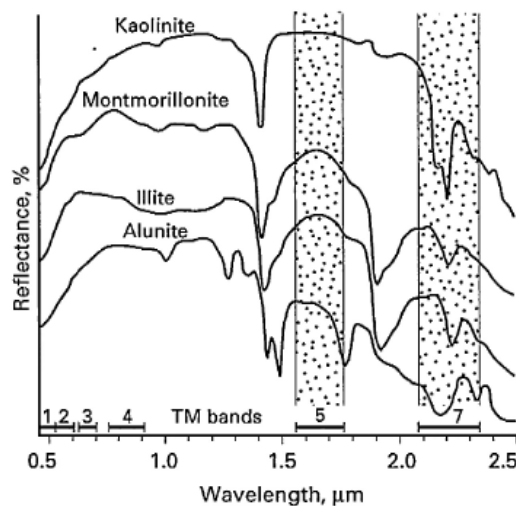
۱- تهیه نقشه زمین‌شناسی و شناسایی گسل‌ها و شکستگی‌هایی که نهشته‌های معدنی را در بر دارند.

۲- شناسایی سنگ‌های دگرسان شده بر اساس ویژگی‌های طیفی آنها.

داده‌های حاصل از سنجش از دور با توجه به فراهم کردن پوشش وسیع از منطقه و ارائه پارامترهای کمی، می‌توانند منبعی مناسب برای به روز کردن نقشه‌های سنگ‌شناسی باشند. از طرفی به علت تاثیرات متفاوت حاصل از ویژگی‌های عوارض سطحی بر پاسخ طیفی رسیده به سنجنده، انتخاب مکان مناسب برای بررسی‌های زمین‌شناسی از طریق در نظر گرفتن برخی عوامل نظیر شرایط جوی، پوشش گیاهی، توپوگرافی و لیتولوژی سنگ بستر، میزان تمرکز کانی‌ها نسبت به اطراف و نهایتاً ویژگی‌های کانی‌های اجتماع یافته در محل می‌تواند در بسیاری از الگوریتم‌های کامپیوتری موثر باشد [۱۵].

از کانی‌های موجود در دگرسانی‌های محیط کانسارهای مس پورفیری ناشی از فعالیت‌های گرمایی می‌توان به بیوتیت، سریسیت، کائولینیت، مونتموریلینت، اپیدوت، کلسیت و کلریت اشاره کرد. اغلب این کانی‌ها را می‌توان با استفاده از روش‌های سنجش از دور نقشه برداری نمود. از آنجاییکه به سختی امکان پذیر است تا فقط با استفاده از شواهد سطحی به اکتشاف یک ماده معدنی پرداخت، محدودیت اصلی دورسنجی در اکتشاف مواد معدنی عمق نفوذ امواج می‌باشد بطوریکه داده‌های دورسنجی در محدوده مادون قرمز نزدیک در حد چند میکرومتر، در محدوده مادون قرمز حرارتی تا چند سانتیمتر و در محدوده مایکروموج تا چند متر (در مناطق خیلی خشک) عمق نفوذ دارند. بنابراین در بیشتر موارد اکتشاف مواد معدنی با استفاده از دورسنجی بر مبنای شواهد غیرمستقیم مانند وضعیت

زمین‌شناسی سطحی، زون‌های دگرسانی، سنگ‌های همراه، خطواره‌ها و وضعیت ساختاری، محصولات اکسیداسیون، مورفولوژی و آنومالی‌های گیاهی می‌باشد [۱۰۹]. شناخت منحنی طیفی مواد سطح زمین مهم‌ترین اصل در شناسایی با استفاده از علم سنجش از دور می‌باشد. این منحنی‌های طیفی می‌تواند در آزمایشگاه یا بازدید منطقه و انجام طیف‌نگاری میدانی تولید شود و یا از خود تصویر منطقه استخراج گردد. برای اکتشاف مواد معدنی لازم است تا محدوده‌های بازتاب و جذب کانی‌ها و سنگ‌های تشکیل دهنده سطح بررسی گردد. در شکل ۳-۵ منحنی طیفی آزمایشگاهی برخی کانی‌های رسی نشان داده شده است [۱۵].



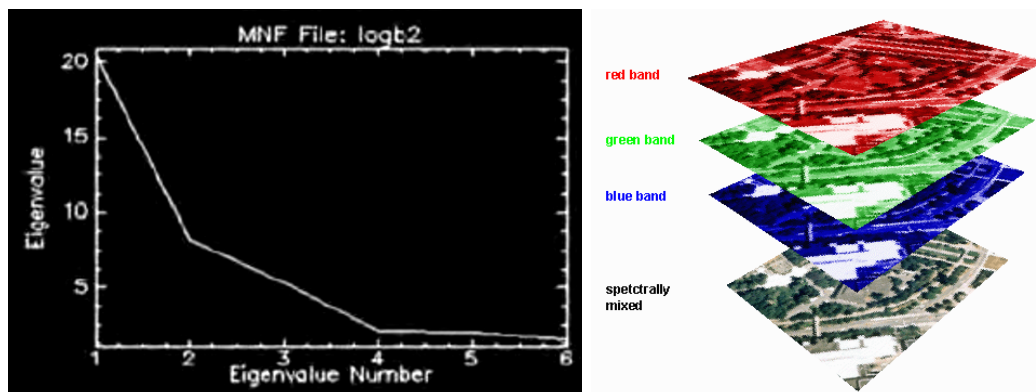
شکل ۳-۵ منحنی طیفی آزمایشگاهی برخی کانی‌های رسی و آلونیت همراه با نمایش طول موج باندهای TM [۱۵]

در مقایسه با آنالیزهایی که برای بارزسازی پوشش گیاهی به کار می‌رود و عمدتاً نیازمند باندهای طیفی در محدوده مرئی و مادون قرمز نزدیک می‌باشد، کاربردهای زمین‌شناسی و اکتشافی سنجش از دور باندهایی با پهنای باریک در محدوده مادون قرمز کوتاه موج و برخی باندهای محدوده حرارتی را می‌طلبد. برخی از کانی‌های رسی و اکسیدهای آهن در محدوده مادون قرمز کوتاه موج دارای خواص جذب و بازتاب مناسبی می‌باشند که آشکارسازی آن‌ها را امکان پذیر می‌سازد و برخی کانی‌ها مانند کوارتز در محدوده حرارتی قابل شناسایی می‌باشند. کانی‌های اصلی تشکیل دهنده سنگ‌ها مانند کوارتز و فلدسپار، اگرچه در محدوده مادون قرمز نزدیک و کوتاه موج خواص جذبی قابل ملاحظه‌ای ندارند اما

در محدوده حرارتی دارای خواص مولکولی جذبی می‌باشند که شناسایی آن‌ها را در این محدوده طیفی امکان‌پذیر می‌سازد. سنجش از دور امروزه در مطالعات زمین شناسی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است به طوری که این فناوری می‌تواند اطلاعات ارزشمندی در خصوص مطالعات ساختارهای زمین‌شناسی از جمله استخراج خطواره‌ها؛ شناسایی زون‌های آلتراسیون، پدیده‌های ژئومورفولوژی و ... در اختیار ما قرار دهد. همچنین ابزارهای دورسنجی می‌تواند اطلاعات دقیقی از کانی‌ها و ژئوشیمی انواع سنگ‌های تشکیل دهنده سطح زمین فراهم کند و چندین دهه است که برای نقشه‌برداری سنگ‌ها، کانی‌ها و تشخیص هوازدگی‌ها به کار می‌رود [۱۵، ۳۳، ۱۱۴-۱۱۶، ۱۲۰].

۳-۳-۵ روش‌های مورد استفاده در سنجش از دور

نسبت باندی : هر بخش باریک و پیوسته از طیف الکترو مغناطیس را یک باند می‌گویند . سنجنده‌های تصویر برداری ماهواره‌ای بر اساس ماموریتی که دارند دارای تعدادی باند هستند که به ازای هر باند یک آرایه پیکسلی برای ذخیره سازی اطلاعات موجود است . داده‌های مربوط به هر باند در یک آرایه پیکسلی در سنجنده ثبت می‌شود . برای مثال در سنجنده TM ماهواره لندست از طول موج ۰/۵۲ میکرون تا ۰/۶ میکرون (طیف سبز امواج مرئی) به باند سبز معروف است. سنجنده TM دارای ۴ باند تصویر برداری و ۴ آرایه پیکسلی است که هر باند در یک آرایه ذخیره سازی می‌گردد . با توجه به نوع سنجنده‌ها و تعداد باندهای تصویر برداری در آن‌ها تصاویر برداشت شده در سنجش از دور تحت عنوان پانکروماتیک، چندطیفی و ابرطیفی شناخته می‌شوند. به اعمال روش‌های ریاضی به ترکیب باندها، نسبت باندی می‌گویند [۱۴].



شکل ۳-۶ راست : سه باند اصلی و ترکیب آن برای دریافت تصویر [۱۴]. چپ : نمایی کلی از تکنیک MNF بر روی تصاویر ماهواره‌ای [۳۳].

PCA : تجزیه مؤلفه‌های اصلی (PCA) یک روش ریاضی برای کاهش ابعاد مجموعه داده‌هاست. چون تصاویر رقومی سنجش از دور عددی هستند، ابعاد آن‌ها با استفاده از این روش قابل کاهش است. در تصاویر سنجش از دور چند باندی، باندها متغیرهای اصلی بوده و ممکن است تا حد زیادی با هم همبستگی داشته باشند. بنابراین داده‌های این باندها می‌توانند با هم ترکیب شده و با استفاده از PCA تصاویر جدید و با همبستگی کمتری را بوجود آورند [۱۱۳].

MNF : با فشردن اطلاعات تصاویر ماهواره ای و حذف اطلاعات اضافی به بارزسازی مناطق مورد نظر کمک شایانی می‌کند. در واقع این شبیه به روش آنالیز مؤلفه اصلی است که برای فشردن اطلاعات اصلی تصاویر ماهواره ای به چند باند طیفی محدود و مرتب کردن این باندها از بیشترین به کمترین اهمیت دارد. بعد از به کارگیری تکنیک شش باندا ایجاد شده که درست مانند روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی می‌توان از نقطه شکستگی نمودار جهت پیدا کردن مؤلفه‌های موثر استفاده نمود [۳۳].

۳-۴ ژئوفیزیک هوابرد

روش مغناطیسی قدیمی ترین روش ژئوفیزیکی است که هم برای تعیین محل کانه‌های پنهان و حجم برای تعیین ساختارهای مربوط به رسوبات نفت و گاز بکار می‌رود. این روش از جمله روش‌هایی است که منشاء آن طبیعی بوده و ناشی از تأثیرات میدان مغناطیسی زمین بر روی سنگ‌ها می‌باشد. میدان مغناطیسی زمین هم ارز یک مغناطیس ماندگار است که در راستایی عموماً شمالی - جنوبی در نزدیکی محور چرخشی زمین قرار دارد. ۹۹٪ میدان مغناطیسی زمین منشاء داخلی دارد که میدان اصلی محسوب گردیده و نسبتاً به آرامی تغییر می‌کند، و یک درصد باقیمانده منشاء خارجی دارد و نسبتاً سریع تغییر می‌کند [۱۲۳].

تغییرات میدان اصلی معمولاً خیلی کوچکتر از میدان اصلی بوده و در اثر بی‌هنجاری‌های مغناطیسی محلی که نتیجه تغییرات در محتوای کانی مغناطیسی سنگ‌ها است در نزدیکی سطح پوسته زمین بوجود می‌آید [۱۲۴].

بررسی این تغییرات هدف‌های ژئوفیزیک اکتشافی را تشکیل می‌دهد زیرا بی‌هنجاری‌های محلی میدان مغناطیسی را می‌توان در ارتباط با ساختار محلی زمین تفسیر کرد. البته یکی از منابع اطلاعاتی بسیار مهم در این زمینه سنگ‌هایی هستند که احتمال دارد در زمان شکل‌گیری خود بطور دائمی مغناطیده شده باشند. با استفاده از اندازه‌گیری مغناطیدگی سنگ‌ها، تاریخ گذشته میدان مغناطیسی را می‌توان استنتاج کرد [۱۲۳].

۳-۴-۱ مگنتومتری

در روش مغناطیسی بی‌هنجاری‌های بدست آمده از برداشت‌های صحرایی بر حسب تغییرات خود پذیری مغناطیس^۱ و یا مغناطیس شدن دائم تعبیر و تفسیر می‌شود. هر دو خواص فوق در دمای زیر

^۱ Susceptibility

نقطه کوری در سنگ‌ها وجود دارد بنابراین بی‌هنجاری‌های مغناطیسی فقط تا اعماق ۳۰ تا ۴۰ کیلومتری محدود می‌شوند [۱۲۵].

روش مگنتومتري اکتشافی یکی از زیرمجموعه‌های روش‌های ژئوفیزیک اکتشافی می‌باشد که بر مبنای میدان‌های فیزیکی طبیعی کره زمین استوار است. کره زمین یک ابرمغناطیس است که در پیرامون خود یک میدان مغناطیسی قوی ایجاد نموده است. میدان مغناطیسی زمین مانند تمام میدان‌های مغناطیسی دیگر یک کمیت برداری است و برای مطالعه این میدان می‌توان یک یا چند ویژگی آن را اندازه‌گیری و مورد ارزیابی قرار داد. برای اکتشاف توده‌های فرومغناطیس معمولاً شدت کل میدان مغناطیسی اندازه‌گیری می‌شود. سنگ‌های دارای کانی‌های با خودپذیری مغناطیسی متفاوت، در حضور میدان مغناطیسی زمین، مغناطیس‌القاء شده از خود بروز می‌دهند و از روی همین خاصیت می‌توان توده‌های مغناطیسی زیر سطحی را به واسطه تغییرات ایجاد شده در میدان مغناطیس زمین اکتشاف نمود. روش مگنتومتري در مقایسه با سایر روش‌های اکتشافی با صرف هزینه کمتر، یکی از روش‌های متداول در اکتشاف مواد معدنی به حساب می‌آید [۱۲۶].

الف) دو قطبی‌های مغناطیسی

ب) میدان مغناطیسی کره زمین

ج) دیرینه مغناطیسی

د) میدان‌های فرعی مغناطیس زمین

ه) میدان مرجع ژئومغناطیسی فرامحلی IGRF

۳-۴-۲ برداشت‌های مغناطیسی

همان‌گونه که اشاره شد، میدان مغناطیسی زمین از جمله میدان‌های فیزیکی طبیعی زمین است که یک کمیت برداری بوده و دارای چندین ویژگی است از جمله بزرگی، راستا، زاویه میل، زاویه انحراف و... در مطالعات علمی میدان مغناطیسی زمین، هر یک از این ویژگی‌ها دارای اهمیت خاص خود

هستند و در برخی از موارد مطالعات علمی، چند یا حتی همه آنها مورد بررسی قرار می‌گیرند [۱۲۳].

نکته مهم این است که در مطالعات اکتشافی توده‌های فرومغناطیسی بزرگ که می‌توانند تبدیل به معادن اقتصادی شوند، به علت تغییرات چشم‌گیر شدت میدان کلی مغناطیسی، اندازه‌گیری همین میدان کل کفایت می‌کند. از این رو در اکتشاف توده‌های بزرگ آهن (فرومغناطیس) معمولاً از مغناطیس‌سنج‌های پروتون استفاده می‌شود. بکارگیری این مغناطیس‌سنج‌ها ساده و تکرارپذیری آنها بسیار مناسب است.

برداشت‌های صحرایی با هدف اکتشاف توده‌های فرومغناطیس معمولاً به صورت یک شبکه است که شامل شماری پروفیل می‌شود. گرچه محل و راستای پروفیل‌ها می‌توانند به فراخور شرایط زمین‌شناسی تغییر کنند ولی، در صورتیکه پیچیدگی زمین‌شناسی زیاد نباشد، استفاده از شبکه‌های منظم ترجیح داده می‌شود. زیرا، میزان اشتباه در روی زمین در مکان‌یابی شبکه منظم به مراتب کمتر از شبکه‌های نامنظم است و همین نظم می‌تواند سبب افزایش راندمان برداشت شود [۱۲۵].

از سوی دیگر در مراحل نیمه تفصیلی و به ویژه مرحله تفصیلی اکتشاف که فاصله نقاط برداشت و پروفیل‌ها کاهش می‌یابد، با داده‌های حاصل از شبکه‌های فشرده می‌توان در هر راستایی تغییرات میدان را مطالعه نمود.

در هنگام برداشت‌های صحرایی باید به چند نکته توجه نمود [۱۲۵]:

- مکان‌یابی نقاط برداشت باید به درستی انجام شود. امروزه با وجود GPS‌های معمولی هم می‌توان این کار را به سادگی انجام داد. استفاده از شبکه‌های منظم احتمال اشتباه را کاهش می‌دهد.

- کاربرها نباید ابزار فرومغناطیس همراه داشته باشند.

- چنانچه در نزدیکی مسیری که برداشت‌ها در آن انجام می‌شود، وسایل نقلیه در تردد باشند، نباید هنگام نزدیک شدن این وسایل برداشتی انجام شود.

- چنانچه در دو نقطه برداشت مجاور هم میزان تغییرات به حد چشم‌گیری بیشتر از روند معمول در محدوده باشد، لازم است که برداشت‌ها حداقل سه بار انجام شوند و در صورت لزوم، نقطه برداشت قبلی نیز دوباره تکرار شود. باید توجه نمود که ممکن است برخی از این تغییرات شدید مربوط به توفانهای کوتاه مدت بوده و باید بعنوان نوفه تلقی شوند.
- هرگونه پدیده مشاهده‌ای در خور توجه، عارضه طبیعی و یا مصنوعی در نزدیکی نقطه اندازه‌گیری می‌بایستی یادداشت و گزارش شود. از جمله مهمترین آنها می‌توان به گسل‌ها، همبری‌ها، دایک‌ها و بطور کلی ساختارها و پدیده‌های زمین‌شناسی و همچنین راه‌ها، ساختمان‌ها و اشاره نمود.
- در نزدیکی خطوط فشار قوی برق، اندازه‌گیری نباید انجام شود، چون هم امکان گزند به دستگاه وجود دارد و هم داده‌های ثبت شده با نوفه‌های چشم‌گیر همراهند.

۳-۴-۳ هم‌ارزسازی داده‌های مغناطیسی

برای اینکه بتوان داده‌های حاصل از هرگونه برداشت را با یکدیگر مقایسه نمود، لازم است که داده‌ها به‌گونه‌ای هم‌ارزسازی شوند و اثر نوفه‌هایی که می‌توانند تاثیر در خور توجه در تفسیرها داشته باشند، از روی داده‌های اندازه‌گیری شده حذف شود. باید توجه نمود که تعریف نوفه بستگی به هدف مطالعات دارد. به‌عنوان مثال، پتانسیل خودزای الکتریکی زمین، در مطالعات SP، اساس برداشت‌هاست ولی همین SP در مطالعات مقاومت ویژه و شارژ ابیلیته از نوفه‌های آزار دهنده و مشکل آفرین محسوب می‌شود.

در مطالعات ژئومغناطیسی نیز عواملی روی اندازه‌گیری‌ها تاثیر نامطلوب می‌گذارند که ربطی به بی‌هنجاری مورد نظر ندارند و نوفه محسوب می‌شوند. برخی از این نوفه‌ها بصورت محلی و مصنوعی هستند، مانند وجود اشیاء فرو مغناطیس در نزدیکی نقطه برداشت و ... که این‌گونه نوفه‌ها را باید به‌صورت موردی ارزیابی نمود. ولی برخی نوفه‌ها خاستگاه طبیعی دارند و می‌توان آنها را با استفاده از

روش‌های علمی و عملی از روی داده‌ها حذف نمود. به‌عنوان مثال می‌توان به تغییرات عرض جغرافیایی در بررسی‌های ناحیه‌ای (گستره‌هایی که گستردگی آن‌ها در جهت شمال زیاد و در حد چند ده کیلومتر است) و ... اشاره نمود. حذف اثرهای نامطلوب برخی از عوامل در اکثر مطالعات مگنتومتری عمومیت دارد، به‌گونه‌ای که حذف‌این عوامل به عنوان تصحیح‌های روش ژئومغناطیسی مطرح شده‌اند [۱۲۵].

۳-۴-۴ تصحیح در برداشت‌های ژئومغناطیسی

همان‌گونه که اشاره شد، نوفه‌ها ناشی از عوامل ناخواسته‌ای هستند که روی داده‌ها تاثیر گذاشته و سبب تغییراتی در داده‌ها می‌شوند که ربطی به توده مورد هدف ندارند. در مطالعاتی که تاثیر این عوامل در حدی باشد که در تفسیرها مشکلی ایجاد نماید و یا اثرگذار باشد، لازم است تصحیح‌های لازم در مورد آن‌ها به‌عمل‌آید [۱۲۷].

مهم‌ترین این تصحیح‌ها به‌شرح زیرند [۱۲۸]:

- تصحیح عرض جغرافیایی
- تصحیح طول جغرافیایی
- تصحیح ارتفاع
- تصحیح روزانه
- تصحیح ایستگاه‌های مبنا

۳-۴-۵ روش پژوهش ژئوفیزیک هوابرد

ماتریس تانسور گرادیان میدان پتانسیل را به صورت زیر تعریف کرده‌اند:

$$PGT = \begin{bmatrix} \frac{\partial^2 F}{\partial x^2} & \frac{\partial^2 F}{\partial x \partial y} & \frac{\partial^2 F}{\partial x \partial z} \\ \frac{\partial^2 F}{\partial y \partial x} & \frac{\partial^2 F}{\partial y^2} & \frac{\partial^2 F}{\partial y \partial z} \\ \frac{\partial^2 F}{\partial z \partial x} & \frac{\partial^2 F}{\partial z \partial y} & \frac{\partial^2 F}{\partial z^2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} F_{xx} & F_{xy} & F_{xz} \\ F_{yx} & F_{yy} & F_{yz} \\ F_{zx} & F_{zy} & F_{zz} \end{bmatrix} \quad (۱۲-۳)$$

که یک ماتریس متقارن بوده و اثر ماتریس آن صفر می‌باشد بنابراین حاوی پنج مؤلفه مستقل F_{yz} ، F_{xx} ، F_{xy} ، F_{xz} ، F_{yy} است. هرچند در اندازه گیری داده‌های گرادیان میدان پتانسیل شش مؤلفه F_{zz} ، F_{xx} ، F_{xy} ، F_{xz} ، F_{yy} ، F_{yz} معلوم می‌شود. در سال‌های اخیر روش تتا جهت دار افقی (ED) را به صورت زیر معرفی کرده‌اند؛

$$ED = \text{Theta}X + \text{Theta}Y \quad (۱۳-۳)$$

که بیشترین مقدار آن مرز توده‌ها را نشان می‌دهد که در آن $\text{Theta}X$ و $\text{Theta}Y$ به صورت زیر بیان می‌شوند:

$$\begin{cases} \text{Theta}X = - \frac{\sqrt{F_{yx}^2 + F_{yy}^2}}{\sqrt{F_{xx}^2 + F_{xy}^2 + F_{xz}^2}} \\ \text{Theta}Y = - \frac{\sqrt{F_{xx}^2 + F_{yx}^2}}{\sqrt{F_{yx}^2 + F_{yy}^2 + F_{yz}^2}} \end{cases} \quad (۱۴-۳)$$

مدول تانسور گرادیان میدان پتانسیل را به صورت رابطه آتی تعریف کردند :

$$M = \sqrt{(F_{xx})^2 + (F_{xy})^2 + (F_{xz})^2 + (F_{yx})^2 + (F_{yy})^2 + (F_{yz})^2 + (F_{zx})^2 + (F_{zy})^2 + (F_{zz})^2} \quad (۱۵-۳)$$

دراین پژوهش مدول افقی تانسور گرادیان به صورت زیر در نظر گرفته می‌شود؛ که در حقیقت مؤلفه‌های افقی تانسور گرادیان میدان پتانسیل است.

$$HM = \sqrt{(F_{xx})^2 + (F_{xy})^2 + (F_{yx})^2 + (F_{yy})^2} \quad (۱۶-۳)$$

بر پایه دو معادله ۱۴-۳ و ۱۵-۳ یک روش جدید برای تشخیص لبه توده‌ها و ساختارها به صورت زیر معرفی می‌شود:

$$NHM = \frac{HM}{M} \quad (۱۷-۳)$$

در رابطه ۱۷-۳ مدول افقی نرمال شده بوده؛ که بدون بعد بوده و کمترین مقدار آن مرز توده‌های مولد بیهنجاری را نشان می‌دهد [۱۲۹].

۳-۵ مروری بر اطلاعات در دسترس

از داده‌های در دسترس برای مطالعه منطقه کیوی، می‌توان به جدول ذیل اشاره داشت.

جدول ۳-۱. داده‌های در دسترس [۱۳۷]

نوع داده	توضیحات
نقشه زمین‌شناسی	با مقیاس یک صد هزارم
نقشه ژئوشیمیایی	با مقیاس یک صد هزارم
نقشه گسل‌های منطقه	با مقیاس یک دویست و پنجاه هزارم
نمونه رسوبات آبراهه‌ای	۷۱۴ نمونه آنالیز شده به روش ICP-MS
تصاویر ماهواره‌ای	ماهواره استر و ETM
داده‌های مغناطیس هوابرد	برای تمام منطقه به منظور بررسی ژئوفیزیکی
اندیس‌های فلزی	برای منطقه مورد مطالعه

روش آنالیزهای دستگاهی و صحرایی مورد استفاده روش‌های معمول بوده است. [۱۳۱-۱۳۵]

۳-۶ نتیجه‌گیری

در این فصل با اشاره به عدم فعالیت پیشین جهت اکتشاف مناطق مستعد به شیوه‌این پژوهش در منطقه، روش‌های مورد مطالعات رساله را به صورت مبسوط بیان داشته است. روش‌هایی چون خوشه‌بندی‌ها، فرکتال، کا-میانگین، آنالیز مؤلفه‌های اصلی، آنالیز تمایز، شبکه عصبی مصنوعی، روش‌های تحلیل تانسور گرادیان و روش‌های متنوع دورسنجی ماهواره‌ای. در انتها نیز داده‌های در دسترس که می‌توان از آن‌ها به منظور پیشبرد پژوهش استفاده نمود به صورت تیتروار ارائه شده است که شامل نقشه زمین‌شناسی، داده‌های ژئوشیمی و ژئوفیزیک و تصاویر ماهواره‌ای مختلف و اندیس‌های فلزی است.

فصل چهارم

بحث و پژوهش

۴-۱ مقدمه

اولین نمونه‌های اکتشافی برداشت شده از یک کانسار، نمونه‌های ژئوشیمیایی رسوبات آبراهه‌ای است. این نمونه‌ها بعلت برداشت از سطح زمین از مزیت سهولت دسترسی و ارزانی برخوردارند. پس از تجزیه و تحلیل این نمونه‌ها، تعیین محدوده پیشنهادی کانسار بوسیله نتایج این مطالعات ژئوشیمیایی همراه با مطالعات دورسنجی، ژئوفیزیک و زمین‌شناسی صورت می‌گیرد. در تلفیق این ابزارهای اکتشافی به شکل مستقیم می‌توان به ارزیابی کاملی دست یافت. پتانسل‌های اکتشافی که با ابزارها انتخاب می‌شوند، لزوماً به ماده معدنی نخواهند رسید. لذا کوشش‌های زیادی در گذشته و حال صورت گرفته است تا به کمک روش‌های تحلیلی و ابزارهای اکتشافی ارزان‌تر بتوان ضمن از بین بردن این عیوب، ریسک عملیات اکتشافی را کاهش داد. بنابراین اصل اول هر اکتشاف موفق، کاهش ریسک برای انتخاب محلی برای اکتشاف با کمترین هزینه ممکن است.

۴-۲ روش‌های آماری

یک روش‌های آماری در مهندسی معدن که در برخی منابع به آن زمین آمار هم گفته می‌شود در واقع همان روش‌های آماری محسوب شده که با بررسی نتیجه آنالیز آزمایشگاهی نمونه‌های معدنی به عنوان داده‌های ورودی، پارامترهای آماری را بررسی کرده و دید بهتر اکتشافی را با مقایسه این داده‌ها با شاخص‌های دیگر مثل وجود نرمال عناصر در هر منطقه به پژوهشگر می‌دهد. این نتایج به خودی خود می‌توانند کلید اکتشافی موثری در کشف مناطق پر پتانسیل معدنی باشند لیکن معمولاً با تلفیق نتایج این روش‌ها با روش‌هایی با جنس دیگر مثل سنجش از دور، می‌توان خروجی را تایید و احتمال حضور ماده معدنی در منطقه شاخص را بیشتر کرد.

۴-۲-۱ بررسی‌های اولیه تک متغیره و اولویت بندی

پس از آنالیز داده‌ها به صورت تک متغیره که در جدول ۴-۱ آورده شده است و با توجه به رسم

هیستوگرام و نمودار احتمال داده‌های عناصر با اولویت ۱ و ۲ توسط نرم افزار ژئوئیز^۱ که در ادامه آورده

می‌شود عناصر مهم در این بررسی انتخاب گردید.

جدول ۴-۱: پارامترهای آماری داده‌های رسوبات آبراهه‌ای منطقه کیوی

اولویت	حد زمنه	ضریب تغییرات	انحراف استاندارد	تیزی	چولگی	وردایی	بیشینه	کمینه	مد	میانه	میانگین	عناصر (ppm)
۷	۱ تا ۵۰	۱۰۲	۱۵	۲۶	۴	۲۵۰	۱۷۵۰۰	۰/۵	۴۹۰	۱۰/۹	۱۵	As
	۱۰۰ تا ۳۰۰۰	۳۱	۲۰۶	-۰/۰۰۵	۰/۱۹۵	۴۲۵۱۹	۱۴۸۰	۱۶۹	۶۲۸	۶۶۱	۶۵۷	Ba
	۶	۵۵	۱	۲۱	۳	۱/۵	۱۴	۱	۲۰۰	۱/۹	۲	Be
	۱ تا ۴۰	۴۰	۷	۲	۱	۵۳	۶۲	۳/۵	۱۷	۱۶	۱۸	Co
۲	۵ تا ۱۰۰۰	۱۱۶	۸۴	۴۱	۵	۷۱۵۵	۱۱۰۰	۱۱	۴۰	۴۸	۷۳	Cr
۵	۲ تا ۱۰۰	۵۲	۴۱	۳۲۳	۱	۱۷۵۶	۲۲۲	۱۳	۱۱۲	۷۰	۸۰	Cu
۳	۸۵۰	۲۳	۲۳۰	۱۳	۲	۵۲۹۹۷	۳۱۶۰	۴۴۹	۱۰۰۰	۹۵۶	۹۸۹	Mn
۶	۲	۸۳	۱	۲۰۲	۱۰	۳۰۴۷۷	۳۸	۰/۱	۱/۵	۱۹۰	۲	Mo
	۵ تا ۵۰۰	۷۹	۲۷	۱۱	۳	۷۵۱	۲۱۰	۹	۲۱	۲۷۰۰	۳۵	Ni
	۲ تا ۲۰۰	۲۸	۴	۱۴	۲	۲۰/۵	۵۶	۵/۹	۱۵	۱۵۴۰	۱۶	Pb
	۵	۱۱۳	۲	۱۹	۳	۵۶۸۴	۲۵	۰/۲	۰/۸	۱۳۰	۲	Sb
	-	۳۸	۰	۳۰۰	۰/۵	۰/۰۶۸	۱	۰/۲	۰/۷	۰۷۰	۱	Se
	۱۰	۴۱	۰	۱۲	۳	۰/۵	۸	۰/۸	۱/۴	۱۵۰	۲	Sn
۴	۵۰ تا ۱۰۰۰	۳۳	۱۶۷	۰/۰۶	۰/۱۶	۲۸۰۶۷	۱۰۳۰	۷۰	۴۶۴	۴۹۰	۵۰۱	Sr
۱	۵۰۰۰	۳۰	۱۷۱۴	۱۶	۲/۵	۲۹۳۸۲۴۹	۲۱۷۰۰	۱۹۴۰	۵۵۸۰	۵۴۴۰	۵۶۸۳	Ti
	-	۴۸	۱	۶	۲/۲	۱	۹۶۰	۰/۸	۲/۱	۲/۲	۳	W
	۱۰ تا ۳۰۰	۳۳	۲۸	۷۸	۷	۷۸۴	۴۶۸	۴۷	۷۱	۷۷/۴	۸۳	Zn

^۱ Geo Eas

نکته اول : با توجه به پارامترهای حاصل یعنی میانگین، مد، میانه و کمینه و بیشینه از عناصر قابل بررسی و مقایسه آن‌ها با حد زمینه در رسوبات آبراهه‌ای، عناصری به عنوان اولویت اکتشافی انتخاب شد که در ستون آخر جدول فوق می‌توان اولویت آن را مشاهده نمود. این اولویت‌ها بیشترین فاصله مثبت پارامترهای مذکور با حد زمینه رسوبات آبراهه‌های را نشان می‌دهند.

و **نکته دوم** اینکه اگر کانی سازی یا آلودگی در منطقه وجود داشته باشد احتمالاً میانگین روی میانه قرار نمی‌گیرد و میانه به چپ یا راست میانگین منحرف می‌شود و تقارن در هیستوگرام وجود ندارد و در نمودار احتمال نیز داده‌ها روی یک خط مستقیم قرار می‌گیرند. در نتیجه عناصر با اهمیت با توجه به بالا بودن نسبت به زمینه و چولگی و کشیدگی و همچنین عدم تقارن در هیستوگرام و خطی نبودن در نمودار احتمال از دیگر عناصر جدا می‌شوند. با توجه به جدول فوق که نشان دهنده بررسی تک متغیره عناصر می‌باشد و حد زمینه هر عنصر؛ تعداد ۷ عنصر که دارای اهمیت می‌باشند انتخاب گردید (زرد قرمز). قرمز آنومال و رنگ زرد عناصر مشکوک به آنومال بودن را نشان می‌دهد.

۴-۲-۲ بررسی ضرایب همبستگی و خوشه بندی درختی

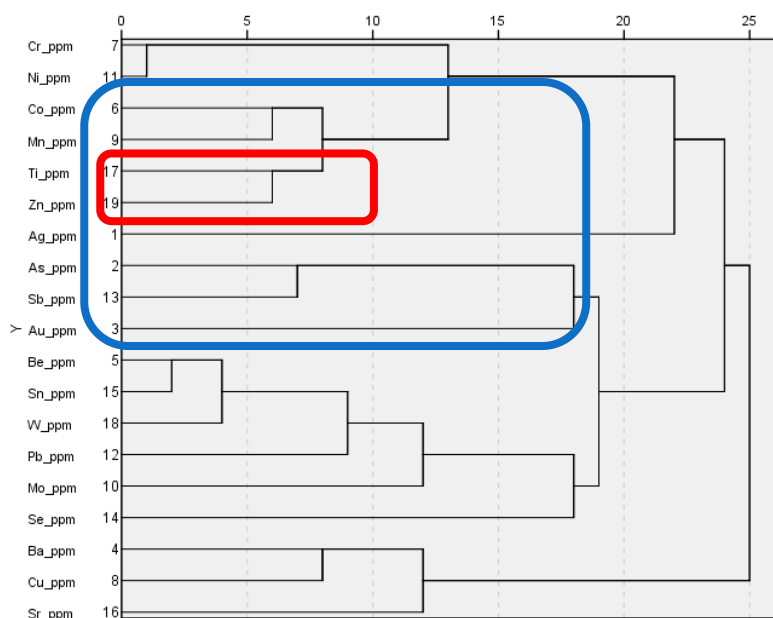
در مطالعات تک متغیره و بررسی‌های آماری مربوط به آن‌ها، عدم وابستگی متغیرها ملاک اصلی است؛ اما عملاً چنین چیزی را نمی‌توان در طبیعت مشاهده نمود؛ چرا که عوامل مختلفی از قبیل عوامل ژنتیکی و غیره می‌توانند در ارتباط و وابستگی متغیرها به یکدیگر موثر باشند. بنابراین مقدار این وابستگی را می‌توان به صورت یک عدد بیان کرد. ضریب همبستگی [۲۲] و ارتباط ژئوشیمیایی بین عناصر عبارت است از سنجشی از شدت وابستگی دو متغیر اندازه‌گیری شده در مجموعه‌ای از داده‌های منفرد، وضعیت توزیع و پراکندگی عناصر مختلف در واحدهای سنگی یک کانسار و بررسی ارتباط و وابستگی این عناصر با یکدیگر، از مهم‌ترین موارد در بررسی‌های ژئوشیمیایی است. زیرا با استفاده از آن می‌توان تا حدودی به محیط و فرآیندهای مؤثر در تشکیل کانسار پی برد. در این بخش از پژوهش، به منظور تعیین ارتباط بین عناصر در سنگ‌های کانه‌زا، ضرایب همبستگی در ماتریس

همبستگی این عناصر محاسبه گردید (جدول ۴-۲) همبستگی‌های بالا که بوسیله رنگ نارنجی نشان داده شده مبین همبستگی شدید عنصر تیتانیوم و روی که عناصر کانی‌ساز منطقه است را نشان و سایر همبستگی‌ها مربوط به لیتولوژی منطقه، عناصر وهاله‌ها است.

جدول ۴-۲: ضرایب همبستگی عناصر مورد بررسی

	Ag	As	Au	Ba	Be	Co	Cr	Cu	Mn	Mo	Ni	Pb	Sb	Se	Sn	Sr	Ti	W	Zn
Ag	1.000																		
As	0.128**	1.000																	
Au	.020	0.090*	1.000																
Ba	0.085*	0.277**	-0.091*	1.000															
Be	0.128**	0.182**	0.100**	0.210**	1.000														
Co	-0.190**	-0.128**	-0.035	-0.271**	-0.646**	1.000													
Cr	-0.089*	-0.064	-0.073	-0.327**	-0.563**	0.678**	1.000												
Cu	0.171**	.048	.019	0.516**	-.004	.063	-0.150**	1.000											
Mn	-0.112**	-.061	.015	-.092*	-0.097**	0.526**	0.387**	-.045	1.000										
Mo	0.295**	0.241**	.021	0.081*	0.523**	-0.381**	-0.194**	.001	-.046	1.000									
Ni	-0.083*	-0.138**	-.013	-0.442**	-0.463**	0.581**	0.822**	-0.261**	0.319**	-0.248**	1.000								
Pb	0.248**	0.307**	0.080*	0.345**	0.689**	-0.518**	-0.359**	.011	-0.082*	0.506**	-0.308**	1.000							
Sb	0.217**	0.655**	.070	.015	.058	-0.159**	.068	-0.232**	-0.110**	0.283**	.018	0.180**	1.000						
Se	0.294**	-0.077*	.028	-0.256**	.033	.007	0.097**	-0.161**	0.100**	0.213**	0.133**	.034	.048	1.000					
Sn	0.256**	0.226**	.068	.003	0.640**	-0.375**	-0.169**	-0.188**	.010	0.555**	-0.181**	0.632**	0.190**	0.190**	1.000				
Sr	-0.146**	-0.242**	-0.088*	0.403**	-0.236**	0.253**	.055	0.429**	0.102**	-0.184**	.039	-0.192**	-0.370**	-0.106**	-0.336**	1.000			
Ti	-.072	.007	-.072	-.033	-0.259**	0.567**	0.528**	-.013	0.524**	-.028	0.307**	-0.153**	.051	-.045	.039	0.154**	1.000		
W	0.183**	0.409**	0.109**	0.189**	0.697**	-0.569**	-0.382**	-0.105**	-0.176**	0.526**	-0.350**	0.631**	0.361**	0.078*	0.638**	-0.263**	-0.229**	1.000	
Zn	.065	-0.076*	.042	-0.252**	-.050	0.420**	0.411**	-.053	0.534**	.058	0.318**	.064	-.033	0.186**	0.207**	-.033	0.618**	-0.161**	1.000

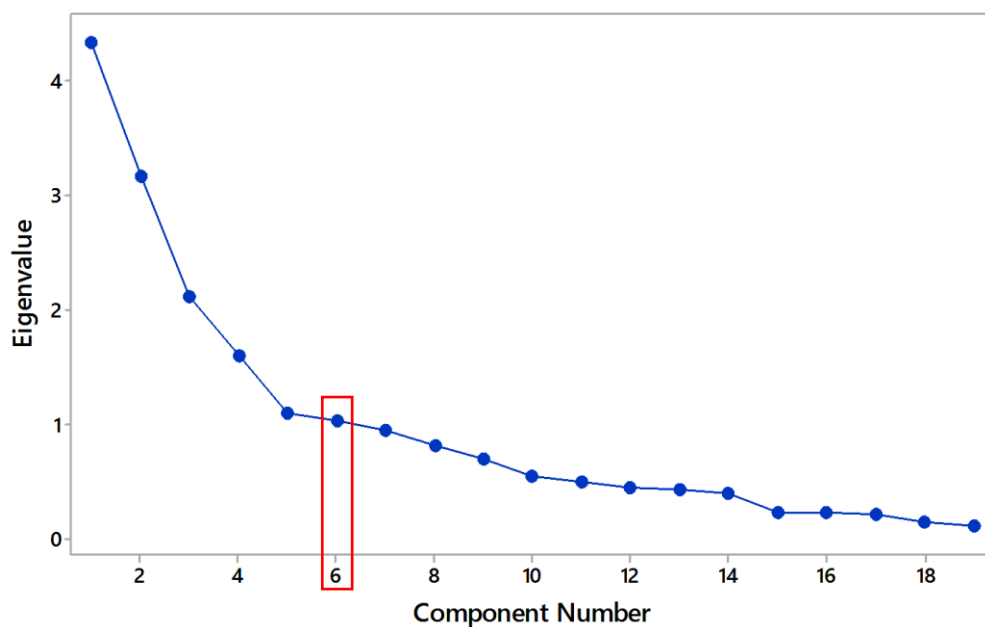
برای اطمینان از نتایج حاصل شده از ارتباط مطلوب دو عنصر تیتانیوم و روی با نمودار شاخه‌ای که با روش فواصل اقلیدسی مورد بررسی قرار گرفته است دو عنصر مذکور در یک دسته قرار گرفته و می‌توان گفت احتمال کانی‌زا بودن این دو عنصر بیشتر از حد معمول در منطقه است. شکل ۴-۱ این نمودار شاخه‌ای را نشان می‌دهد. هرچند شاخه بزرگتر وجود چند عنصر دیگر را نیز نشان می‌دهد.



شکل ۴-۱: نمودار شاخه‌ای عناصر موجود در منطقه کیوی

۳-۲-۴ آنالیز مؤلفه‌های اصلی

این روش که برای کاهش ابعاد و جداسازی مؤلفه‌های هم جهت در نظر گرفته می‌شود انجام گرفت و با توجه به شکل ۲-۴ می‌توان دید که تعداد ۶ مؤلفه می‌تواند تغییرات مناسبی را نشان دهد (معیار انتخاب، مقادیر ویژه بالای یک است). و جدول ۳-۴ مقادیر هر مؤلفه را برای هر عنصر به صورت چرخش یافته واریمکس نشان می‌دهد. مقادیر با رنگ قرمز عناصر بارز شده در آن مؤلفه است که کاملاً واضح است که مؤلفه یک لیتولوژی منطقه و مؤلفه ۲ کانی سازی را شرح می‌دهد. علت این انتخاب، حضور تیتانیوم و روی در مؤلفه ۲ و معمولاً تراکم عناصر فراوان منطقه در مؤلفه ۱ است.



شکل ۲-۴: نمودار سنگ ریزه‌ای برای تشخیص مؤلفه‌های بهینه در روش PCA

البته به صورت پیش‌فرض نیز میدانیم که معمولاً سنگ‌شناسی منطقه در مؤلفه اول و کانه زایی در مؤلفه دوم در این روش پدیدار می‌شود. در این پژوهش نیز علاوه بر دانسته‌های پیشین و با توجه به اولویت‌های منتخب مراحل قبل، مؤلفه دوم که در بر دارنده تیتانیوم و روی است منتخب کانی زایی شد.

جدول ۴-۳: مقادیر هر مؤلفه برای هر عنصر و انتخاب مؤلفه کانی ساز در روش PCA

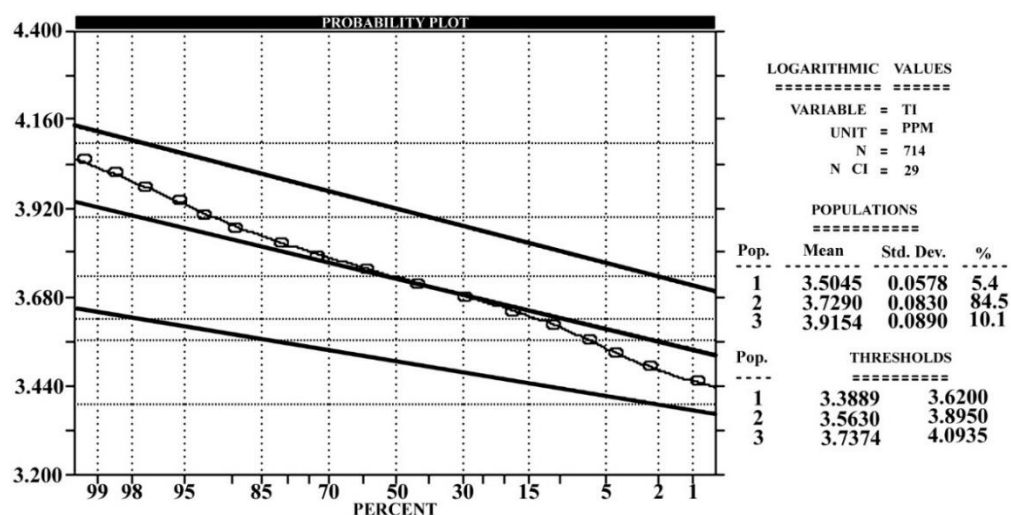
	مؤلفه‌ها					
	۱	۲	۳	۴	۵	۶
Ag	۰/۰۱۱	-۰/۰۶۱	۰/۱۳۴	۰/۱۷۴	۰/۰۹۷	۰/۸۲۷
As	۰/۰۸۴	-۰/۰۰۶	۰/۰۸۴	-۰/۰۱۴	۰/۸۲۵	-۰/۰۲۹
Au	-۰/۱۳۲	۰/۱۱۹	-۰/۲۹۴	-۰/۳۹۵	۰/۳۵۳	۰/۲۱۱
Ba	-۰/۰۰۷	-۰/۰۸۱	۰/۸۳۸	-۰/۱۸۲	۰/۱۴۴	-۰/۱۵۶
Be	۰/۸۰۳	-۰/۱۱	-۰/۳۰۱	-۰/۱۷۸	-۰/۱۴۷	۰/۰۱۱
Co	-۰/۴۸۵	۰/۳۳۸	-۰/۱۱۸	۰/۴۲۶	-۰/۱۰۱	-۰/۰۰۷
Cr	-۰/۱۷۷	۰/۳۰۶	-۰/۱۷	۰/۷۸۴	۰/۰۳۱	۰/۰۶۴
Cu	-۰/۱۴	-۰/۰۳۸	۰/۷۵	-۰/۱۱۳	-۰/۰۶۳	۰/۱۱۲
Mn	-۰/۰۱۳	۰/۸۵۱	-۰/۰۲۶	۰/۰۷۷	-۰/۰۹۴	-۰/۰۱۲
Mo	۰/۶۶۲	۰/۰۰۴	۰/۰۹۷	۰/۱۵۱	۰/۰۸۵	۰/۰۹۵
Ni	-۰/۱۸۲	۰/۱۷۸	-۰/۲۴۲	۰/۸۲۷	-۰/۰۴۳	۰/۰۸۸
Pb	۰/۶۸۸	۰/۱۶۱	۰/۲۴۴	-۰/۱۶۹	۰/۳۷۴	۰/۰۰۵
Sb	۰/۱۴۷	-۰/۰۰۳	-۰/۰۹۱	-۰/۰۱۷	۰/۸۴۲	-۰/۰۱
Se	۰/۱۷	۰/۰۹۵	-۰/۳۰۲	-۰/۱۲۸	-۰/۱۵۳	۰/۵۹۸
Sn	۰/۸۱۲	۰/۱۳۸	-۰/۲۶۱	-۰/۱۶۱	-۰/۰۴۷	۰/۰۵۴
Sr	-۰/۴۱۴	۰/۲۲۸	۰/۵۵۷	-۰/۰۵	-۰/۲۷۷	-۰/۰۹۵
Ti	-۰/۰۴۵	۰/۸۰۵	۰/۰۷۸	۰/۲۰۶	۰/۰۱۷	-۰/۰۲۳
W	۰/۷۶۶	-۰/۰۸۲	-۰/۲	-۰/۲۰۳	۰/۲۲۴	-۰/۰۰۴
Zn	۰/۲۲۱	۰/۸۲۶	-۰/۰۶۷	-۰/۰۰۳	۰/۱۵۲	۰/۰۷۱
نتیجه	لیتولوژی	کانی ساز				

۴-۲-۴ بررسی حدود ژئوشیمیایی

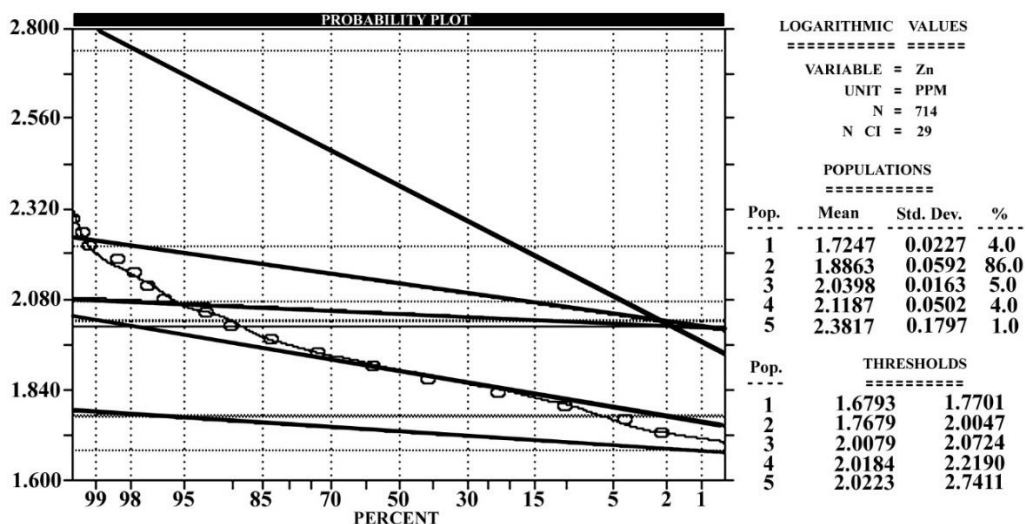
حساسیت جدایش جوامع مختلف ژئوشیمیایی برای مطالعات این پژوهش امری بسیار مهم است. از این رو این مطالعات به دو روش جدایش جوامع با نمودار احتمال و همچنین فرکتال غلظت-مساحت انجام گرفته است. با این وجود، هر دو روش نتایج بسیار نزدیک به یکدیگری را نشان می‌دهند. با توجه به قدرت مناسب نرم افزار پروپلات^۱ برای تشخیص و تفکیک جوامع و همچنین بهینه کردن حدود جوامع از این نرم افزار جهت انتخاب جوامع برای هر عنصر و تعیین حدود استانه استفاده شد. (اشکال

^۱ ProbPlot

۳-۴ و ۴-۴) که بعد از لگاریتمی کردن داده‌ها بوسیله نرم افزار، شکستگی‌های نمودار را به عنوان مرز جوامع فرض کرد و همچنین نمودار جدایش فرکتالی نیز در اشکال ۵-۴ و ۶-۴ قابل مشاهده است. با تخمین حدودی این جوامع با میانگین کلی و گرد کردن به جدول ۴-۴ منتج شد. شیوه محاسبه جوامع از نمودار احتمال، مماس سازی خط به عمده تغییرات هر جامعه که خطی شده می‌باشد که در اشکال میتوان خطوط را مشاهده نمود همچنین جوامع فرکتال نیز با در نظر گرفتن مساحت اشغالی غلظت خاص بر مبنای لگاریتم که با نرم افزار سرفر^۱ محاسبه شده است.

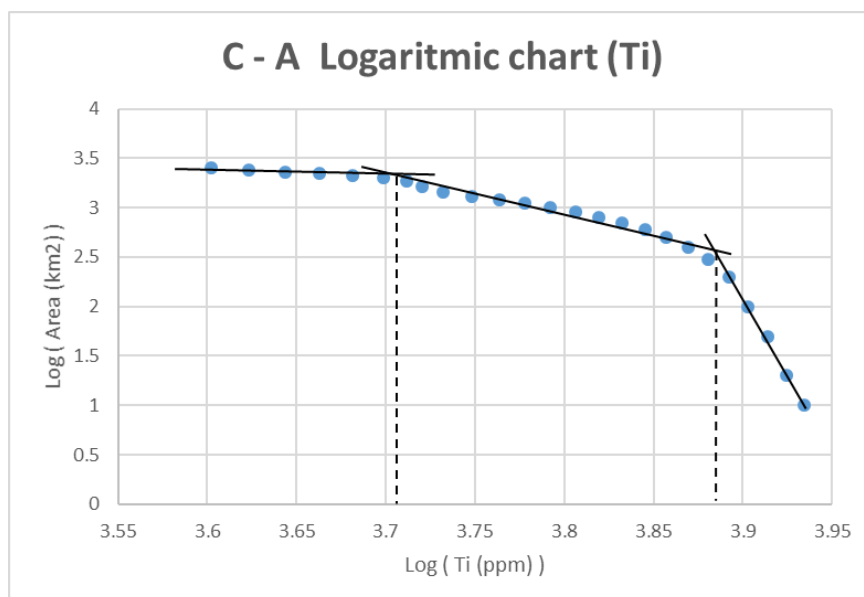


شکل ۳-۴: جداسازی جوامع در عنصر تیتانیوم با استفاده از نمودار احتمال

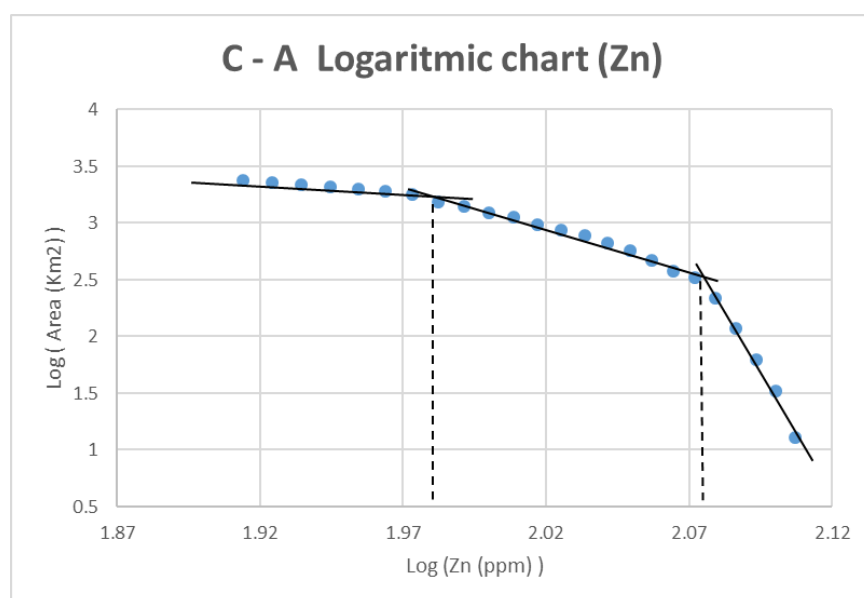


شکل ۴-۴: جداسازی جوامع در عنصر روی با استفاده از نمودار احتمال

¹ Surfer



شکل ۴-۵: جداسازی فرکتالی جوامع در عنصر تیتانیوم.



شکل ۴-۶: جداسازی فرکتالی جوامع در عنصر روی.

جدول ۴-۴: حدود مقادیر آنومال برای عناصر تیتانیوم و روی

عنصر	جامعه ۲	جامعه ۱	پس زمینه
Ti	بالاتر از ۷۸۰۰	۷۸۰۰	۵۰۰۰
Zn	بالاتر از ۱۲۰	۱۲۰	۱۰۰

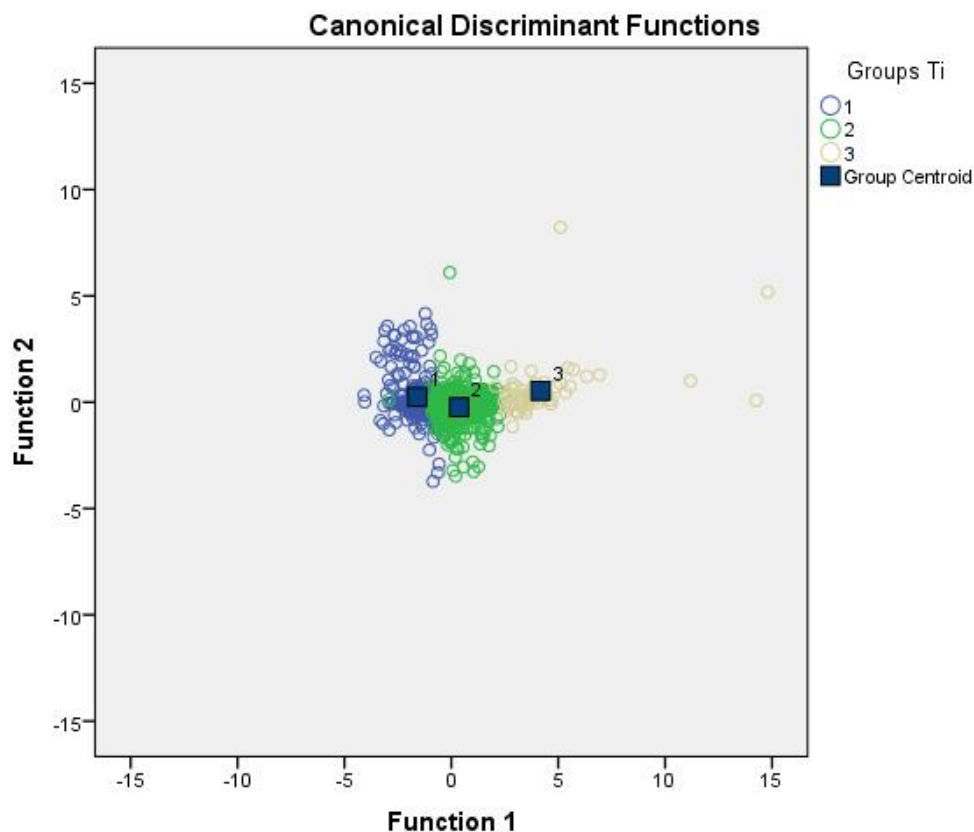
این جوامع که برای هر عنصر سه جامعه را نشان می‌دهد را میتوان به نام‌های حد زمینه، آنومالی و آنومالی قوی نیز خواند.

۴-۲-۵ آنالیز تمایز

این روش تجزیه و تحلیل آماری، وسیله‌ای است برای سنجش میزان بستگی و ارتباط یک نمونه با یکی از جوامع مشخص و معلوم. در این روش لازم است جوامع مورد نظر از قبل معلوم باشند و یا حداقل تعریف شده باشند. در این مورد مثال‌های زیادی وجود دارد مانند تشخیص گوسن‌های بارور و عقیم. در این پژوهش از سه جامعه منتخب برای تشخیص تابع تمایز استفاده شد.

۴-۲-۵-۱ تیتانیوم

با توجه به آستانه‌های موجود برای تیتانیوم که ۳ گروه بوده است تفکیک جوامع در شکل ۴-۷، تفکیک تمایزی در شکل ۴-۸ و میزان اعتبار آن در جدول ۴-۵ و امتیاز در جدول ۴-۶ آمده است.

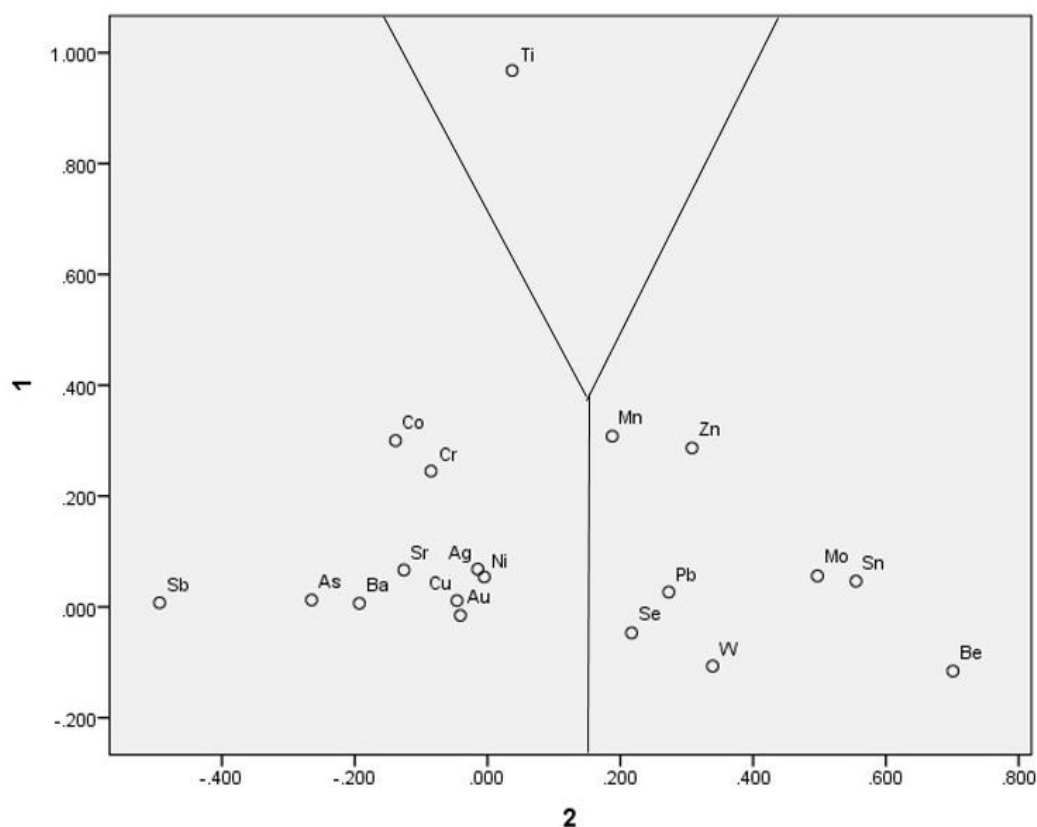


شکل ۴-۷: تفکیک جوامع با کلاسه‌های تیتانیوم در روش LDA

جدول ۴-۵: اعتبار آنالیز تمایز در کلاسه‌بندی با جوامع تیتانیوم

جوامع تیتانیوم		داده‌های پیش‌بینی شده در جوامع			مجموع
		۱	۲	۳	
تعداد	۱	۲۳۷	۱۴	۰	۲۵۱
	۲	۳۳	۳۶۹	۱	۴۰۳
	۳	۰	۱	۵۹	۶۰
٪	۱	۹۴/۴	۵۶	۰	۱۰۰
	۲	۸/۲	۹۱/۶	۰/۲	۱۰۰
	۳	۰	۱/۷	۹۸/۳	۱۰۰

نحوه نگاه به جدول فوق بسیار ساده است یعنی ۳ گروه منتخب را میتوان با تعداد دسته بندی صحیح یا در سکشن پایین آن درصد دسته بندی صحیح مشاهده نمود. و در مجموع نیز میتوان درک کرد که همه داده‌ها چه صحیح چه غلط به طور کامل دسته بندی شده‌اند پس خللی در دسته بندی وجود ندارد.



شکل ۴-۸: ترسیم امتیاز عناصر با تمرکز بر تیتانیوم

در جدول ۴-۶ نیز میتوان عدد مکانی به دست آمده برای هر عنصر را با توجه به جوامع بر روی دو

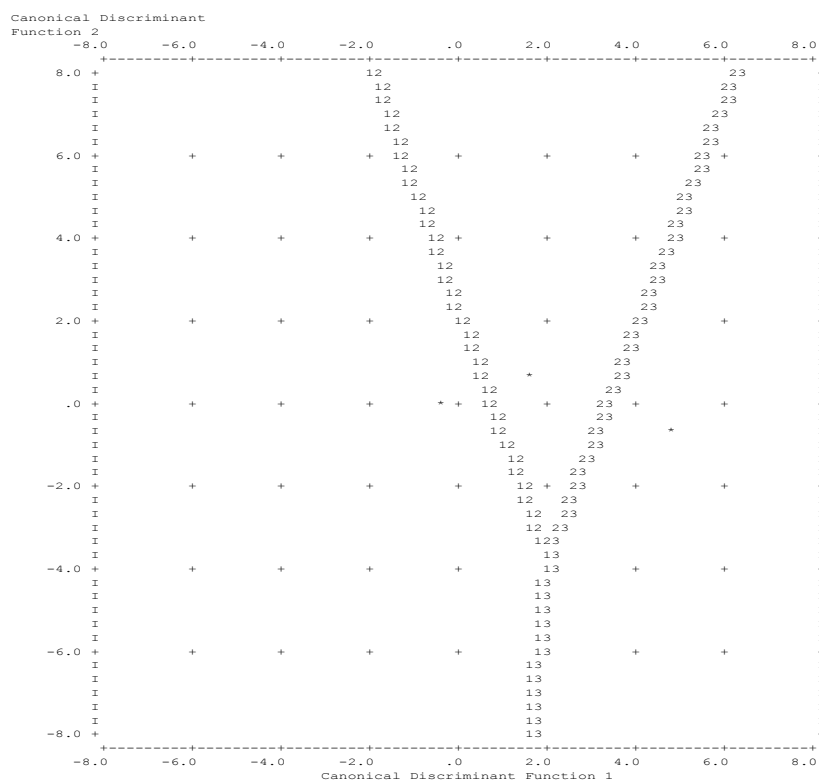
محور دید که با ترسیم این امتیازات میتوان به صورت دقیق به شکلی مشابه ۴-۸ رسید. این جدول یکی از اطلاعات حساس خروجی این روش بوده و کاربرد مختلفی چون پیش‌بینی و بهینه‌سازی را نیز دارا است.

جدول ۴-۶: امتیاز هر عنصر در آنالیز تمایز با استفاده از کلاسه‌های تیتانیوم

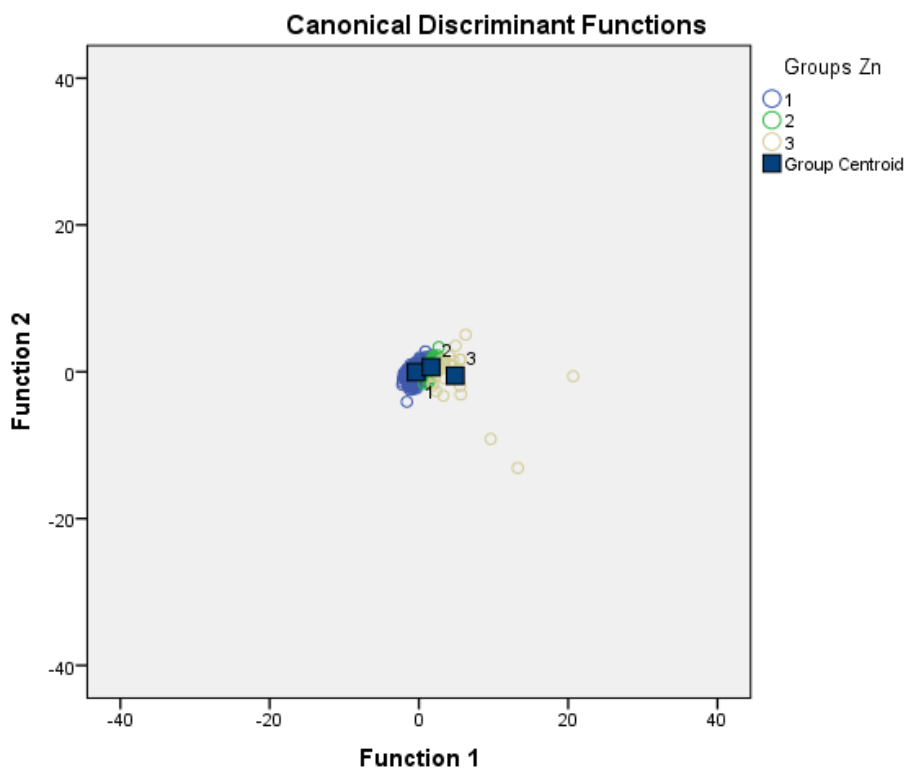
	محور اول	محور دوم
Ti	۰/۹۶۸	۰/۰۳۷
Mn	۰/۳۰۸	۰/۱۸۸
Co	۰/۳	-۰/۱۳۹
Cr	۰/۲۴۵	-۰/۰۸۵
Ag	۰/۰۶۸	-۰/۰۱۵
Ni	۰/۰۵۴	-۰/۰۰۵
Be	-۰/۱۱۶	۰/۷۰۱
Sn	۰/۰۴۶	۰/۵۵۵
Mo	۰/۰۵۶	۰/۴۹۷
Sb	۰/۰۰۷	-۰/۴۹۴
W	-۰/۱۰۷	۰/۳۳۹
Zn	۰/۲۸۷	۰/۳۰۸
Pb	۰/۰۲۷	۰/۲۷۳
As	۰/۰۱۳	-۰/۲۶۵
Se	-۰/۰۴۷	۰/۲۱۷
Ba	۰/۰۰۶	-۰/۱۹۳
Sr	۰/۰۶۷	-۰/۱۲۶
Cu	۰/۰۱۱	-۰/۰۴۶
Au	-۰/۰۱۵	-۰/۰۴۱

۴-۲-۵-۲ روی

با توجه به آستانه‌های موجود برای روی که ۳ گروه بوده است تفکیک تمایزی در شکل ۴-۹ آمده که تفکیک جوامع در شکل ۴-۱۰ و جدایش تمایزی با ذکر عناصر در شکل ۴-۱۱ و میزان اعتبار آن در جدول ۴-۷ و امتیاز آن در جدول ۴-۸ آمده است.



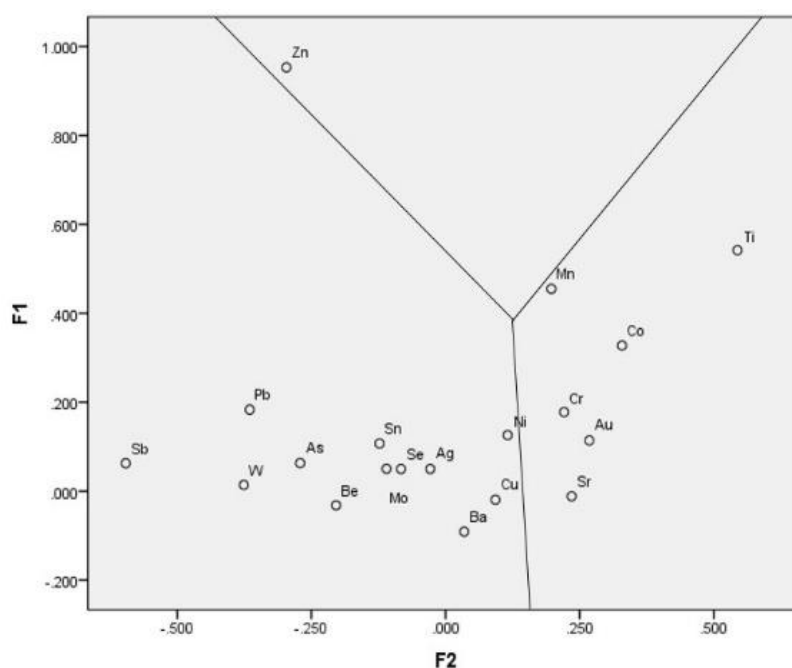
شکل ۴-۹: تفکیک تمایزی بر اساس ۳ جامعه بر اساس جوامع عنصر روی



شکل ۴-۱۰: تفکیک جوامع با کلاسه‌های روی به روش LDA

جدول ۴-۷: اعتبار آنالیز تمایز در کلاسه‌بندی بر اساس جوامع روی

جوامع روی			داده‌های پیش‌بینی شده در جوامع			مجموع
			۱	۲	۳	
اعتبار سنجی	تعداد	۱	۵۷۴	۵۳	۰	۶۲۷
		۲	۳	۵۷	۰	۶۰
		۳	۰	۱۱	۱۶	۲۷
	٪	۱	۹۱/۵	۸.۵	۰	۱۰۰
		۲	۵	۹۵	۰	۱۰۰
		۳	۰	۴۰/۷	۵۹/۳	۱۰۰



شکل ۴-۱۱: ترسیم امتیازات عنصر روی در آنالیز تمایز با روش LDA

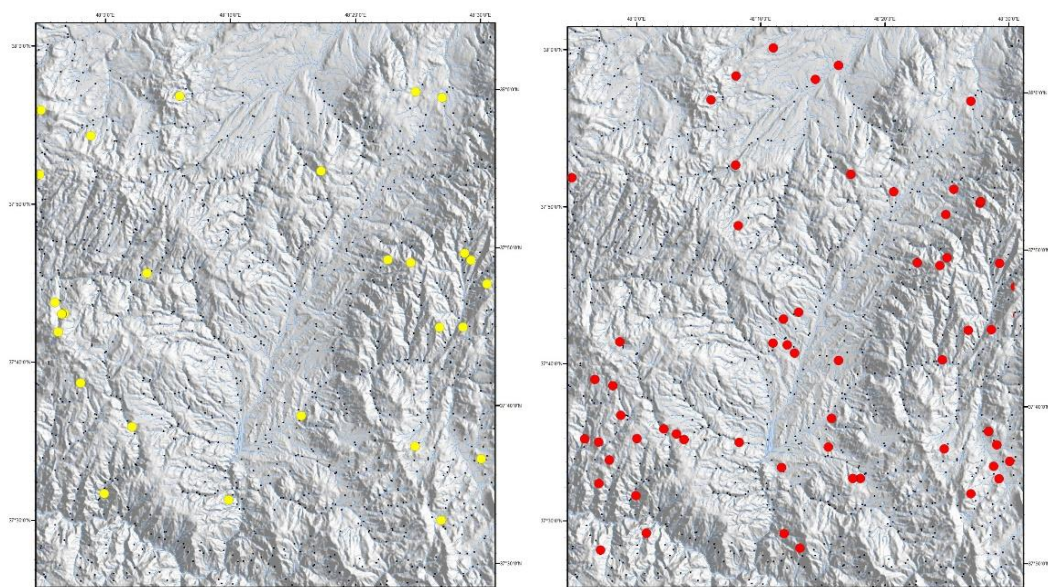
جدول ۴-۷ نشان می‌دهد که جدایش با اعتبار خوبی صورت گرفته برای مثال در گروه یک حدود ۹۲٪ در دسته خود و تنها ۸/۵ درصد در دسته دو به اشتباه قرار گرفته است و دسته ۳ هیچ داده‌ای به اشتباه در آن دسته بندی نشده است. در مورد گروه دوم می‌توان دید که با ۹۵٪ صحت دسته بندی و تنها ۵ درصد خطا و حداکثر خطا برای گروه سوم است که با حدود ۵۹٪ صحت دسته بندی انجام شده که بیشترین خطا مربوط به اختلاط اعداد گروه ۲ و ۳ در آنالیز تمایز است. این دسته بندی را از نظر صحت کلی با توجه به صحت بالا در گروه‌های ۱ و ۲ می‌توان مناسب دانست و از آن جهت تحلیل گروه بندی استفاده نمود.

جدول ۴-۸: امتیاز هر عنصر در آنالیز تمایز با استفاده از کلاسه‌های روی

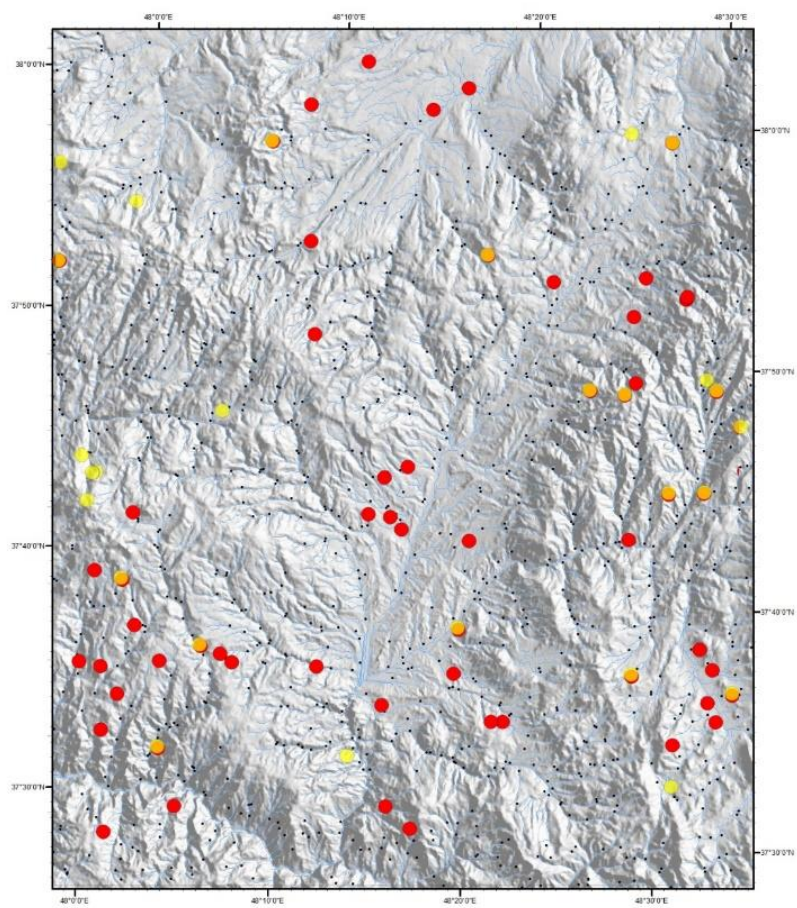
	محور اول	محور دوم
Zn	۰/۹۵۳	-۰/۲۹۷
Mn	۰/۴۵۵	۰/۱۹۷
Ni	۰/۱۲۶	۰/۱۱۶
Ba	-۰/۰۹۱	۰/۰۳۵
Ag	۰/۰۵	-۰/۰۲۹
Sb	۰/۰۶۳	-۰/۵۹۶
Ti	۰/۵۴۲	۰/۵۴۴
W	۰/۰۱۴	-۰/۳۷۶
Pb	۰/۱۸۳	-۰/۳۶۵
Co	۰/۳۲۷	۰/۳۲۹
As	۰/۰۶۳	-۰/۲۷۱
Au	۰/۱۱۴	۰/۲۶۸
Sr	-۰/۰۱۱	۰/۲۳۵
Cr	۰/۱۷۸	۰/۲۲۱
Be	-۰/۰۳۲	-۰/۲۰۴
Sn	۰/۱۰۷	-۰/۱۲۳
Mo	۰/۰۵	-۰/۱۱
Cu	-۰/۰۱۹	۰/۰۹۳
Se	۰/۰۵	-۰/۰۸۳

۴-۲-۶ مدل‌سازی نقشه‌های آنومال ژئوشیمیایی

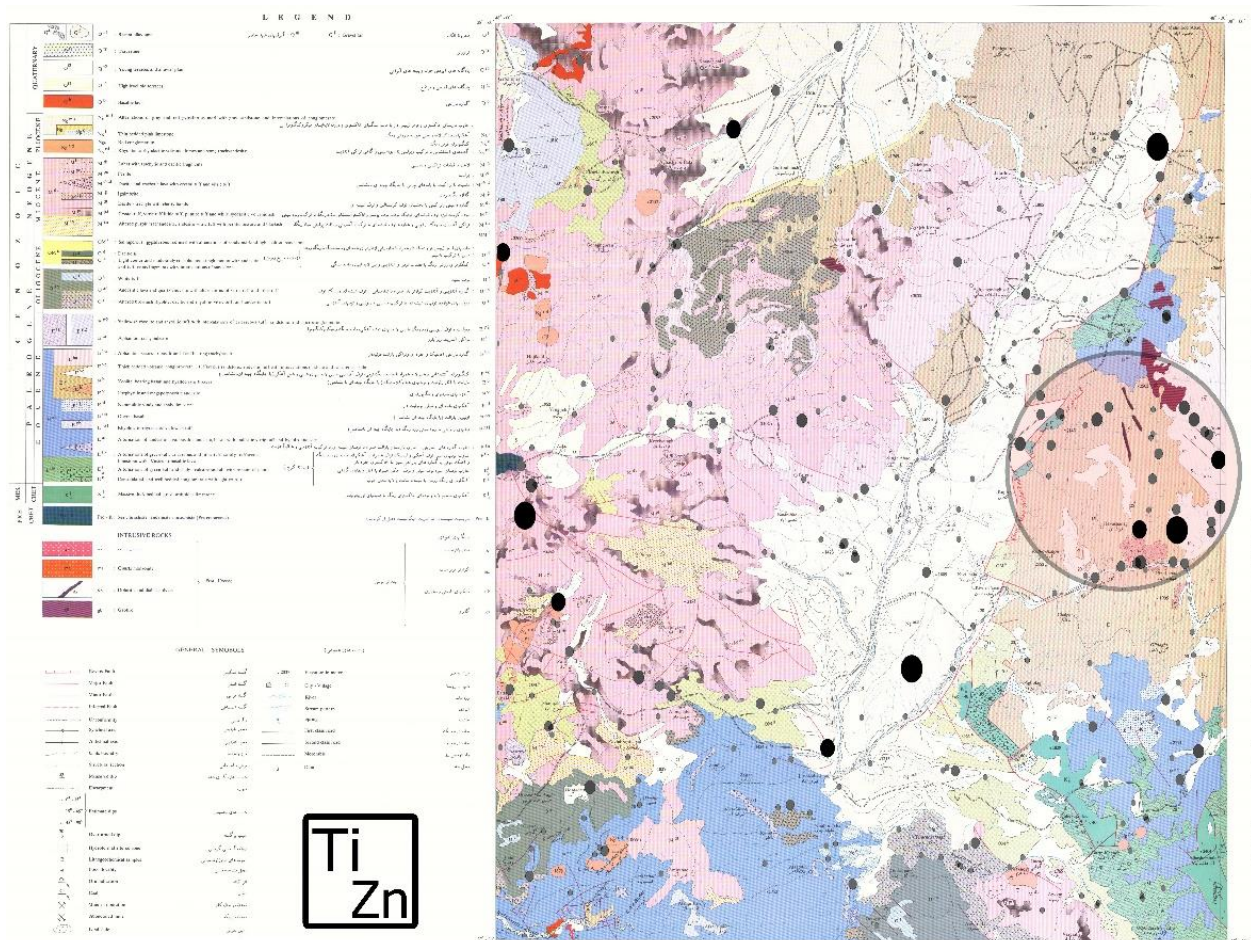
با توجه به نتایج حاصل می‌توان نقشه نمونه‌های آنومال در اشکال ۴-۱۲ و ۴-۱۳ نمایش داده شود. با توجه به بررسی و شناسایی عناصر تیتانیوم و روی در یک گروه، می‌توان مؤلفه اصلی جدا شده که شامل این دو عنصر را بر روی نقشه زمین‌شناسی ترسیم نمود و پس از آن همپوشانی تیتانیوم و روی را از روی نقشه تشخیص داده و محل پر پتانسیل را شناسایی کرد. طبق نقشه شکل ۴-۱۴ می‌توان گفت که منطقه دارای اهمیت، در شرق نقشه یک صد هزارم زمین‌شناسی کیوی است. زیرا حضور توامان نمونه‌های جوامع ۲ در هر دو عنصر در شرق تجمع نموده است.



شکل ۴-۱۲: نمونه‌های آنومال مشاهده شده تیتانیوم (راست) و روی (چپ)



شکل ۴-۱۳: نقاط زرد (روی) و قرمز (تیتانیوم) آنومال به صورت توام



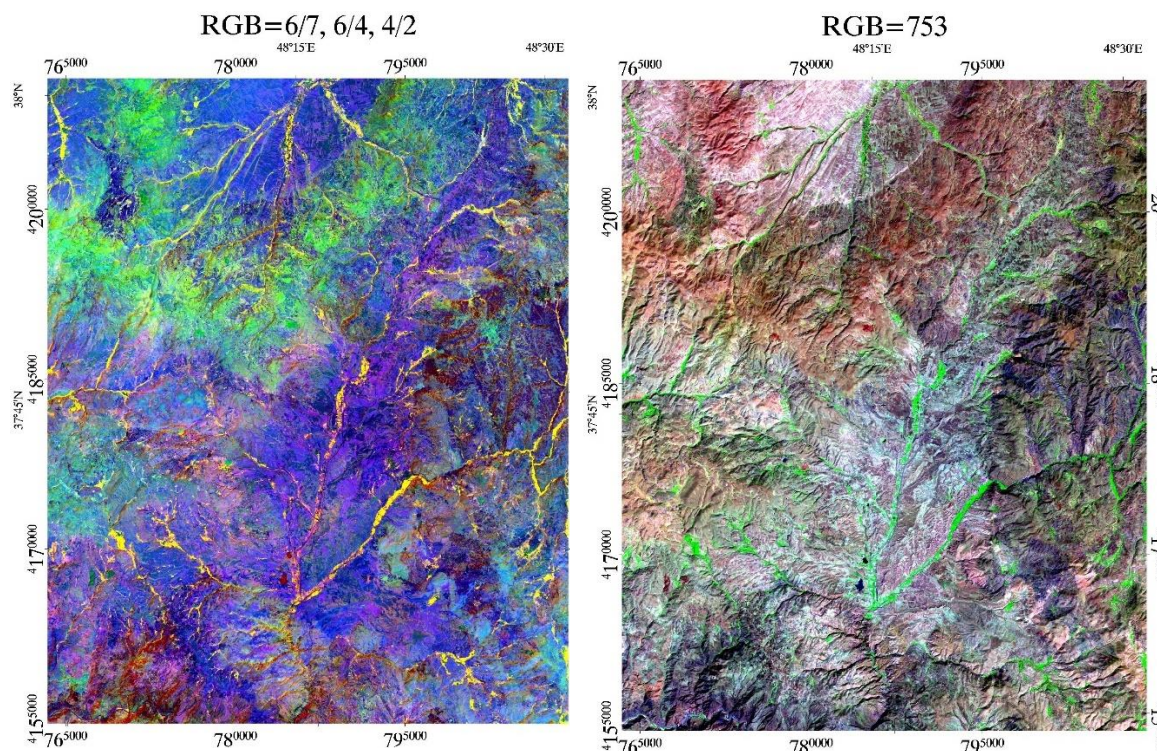
شکل ۴-۱۴: ترسیم مؤلفه دوم روش PCA بر روی نقشه زمین‌شناسی منطقه

۳-۴ روش‌های سنجش از دور

۴-۳-۱ نسبت بانندی

داده‌های OLI^۱ لندست ۸ حاوی باندهای مطلوبی برای نقشه برداری مناطق معدنی در مقایسه با سایر حسگرهای چند طیفی هستند. در این پژوهش، برای نقشه برداری سنگ‌شناسی، نسبت بانندی ۶/۷، ۴/۴، ۶/۲ به ترتیب به رنگ‌های قرمز، سبز و آبی (RGB) به عنوان نسبت ترکیبی رنگ کاذب اختصاص داده شدند (شکل ۴-۱۶). علاوه بر این $RGB = ۷, ۵, ۳$ در شکل ۴-۱۵ نشان داده شده است. این دو تصویر با توجه به نقشه زمین‌شناسی کیوی، واحدهای اساسی سنگ‌شناسی منطقه را به خوبی جدا کرده است. این جدایش دقیقاً همان تغییر تناژ ناگهانی رنگ‌ها در تصاویر است.

^۱ Operational Land Imager

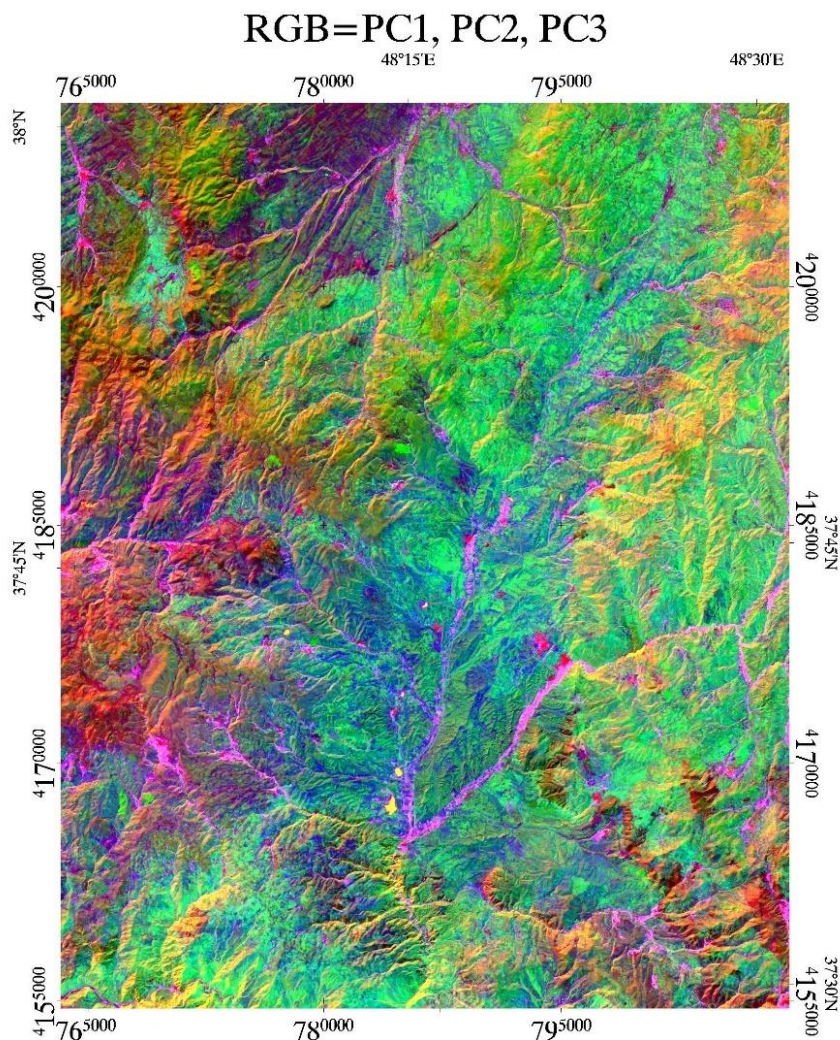


شکل ۴-۱۵ - RGB= ۷,۵,۳ بامشتق شده از شکل ۴-۱۶ - RGB = ۴/۲, ۶/۴, ۶/۷ سنگ‌های داده‌های OLI سنگ‌های آلتزه را به عنوان رنگ سفید روشن مشخص می‌کند

شکل ۴-۱۶ - RGB = ۴/۲, ۶/۴, ۶/۷ سنگ‌های آلتزه را به صورت آبی در تصویر روشن می‌کند، خطوط رنگ زرد به عنوان پوشش گیاهی در نظر گرفته می‌شود.

۴-۳-۲ آنالیز مؤلفه‌های اصلی

در شکل ۴-۱۷، سه مؤلفه اول در قالب رنگ کاذب RGB نشان داده شده است. این تصویر تقریباً شامل تمام اطلاعات طیفی جمع شده در ۹ باند OLI است. این انباشت اطلاعات طیفی کمک می‌کند تا مناطق شاخص را در رنگ‌های مختلف دید. برای مثال در منطقه منتخب پژوهش در شرق نقشه می‌توان یک پارچگی جنس سنگ‌ها که عمدتاً آتشفشانی است را به رنگ سبز مایل به زرد مشاهده نمود و یا قسمت شمال غربی که دارای ویژگی‌های سنگشناسی خاص خود است را به رنگ بنفش و قرمز تشخیص داد.



شکل ۴-۱۷. RGB= PC1 PC2, PC3، کلاس‌های مختلف سنگ‌ها را نشان می‌دهد

۴-۳-۳ آنالیز چگالی دگرگونی رانده شده

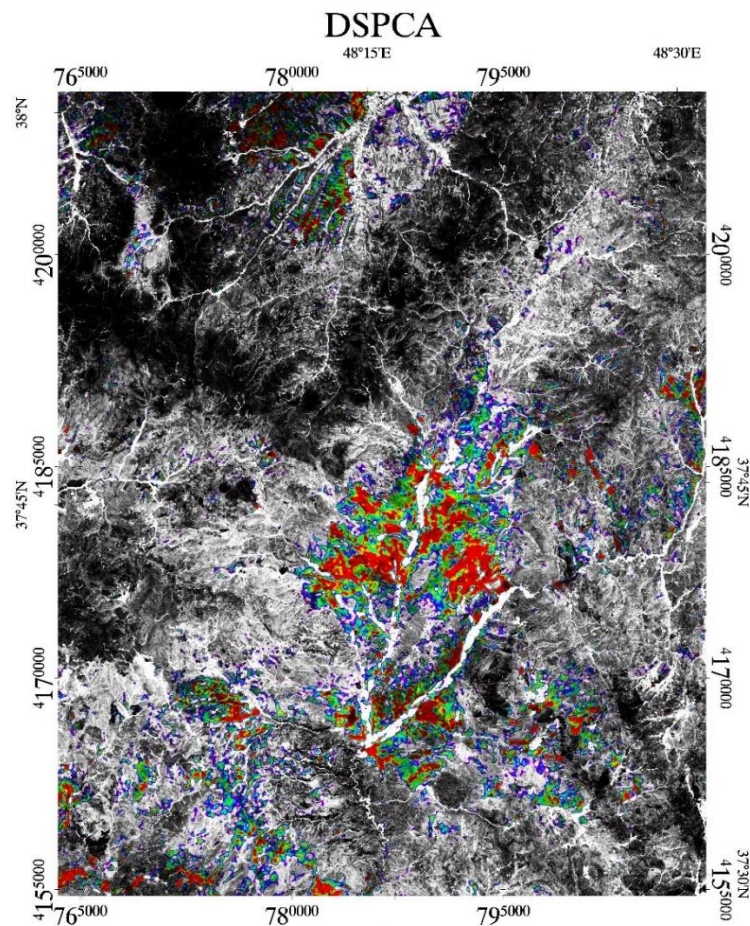
به منظور نقشه برداری از آلومینیوم (AL) - هیدروکسی (OH) به شدت آلتره از DSPCA استفاده شد. برای این منظور باندهای ۲، ۵، ۶ و ۷ انتخاب شدند. نتایج آماری در جدول ۴-۹ نشان داده شده است.

با در نظر گرفتن بارهای PC برای باند هفتم (۰/۶۸+) و باند ششم (۰/۶۶-) مواد معدنی آلتره حاوی OH در PC 4 با توجه به بیشترین اختلاف انتخاب شد. (جدول ۴-۹). شکل ۴-۱۸ نواحی آلتره PC 4 با رنگ قرمز را نشان می‌دهد.

جدول ۴-۹ ماتریس وکتور ویژه PCA برای منطقه کیوی

	باند دوم	باند پنجم	باند ششم	باند هفتم
مؤلفه اول	+۰ / ۱۴	+۰ / ۳۹	+۰ / ۷۱	+۰ / ۵۴
مؤلفه دوم	+۰ / ۲۸	+۰ / ۷۸	-۰ / ۳۲	-۰ / ۳۶
مؤلفه سوم	+۰ / ۷۹	-۰ / ۱۹	-۰ / ۳۷	+۰ / ۲۹
مؤلفه چهارم	-۰ / ۳۷	+۰ / ۲۴	-۰ / ۶۶	+۰ / ۶۸

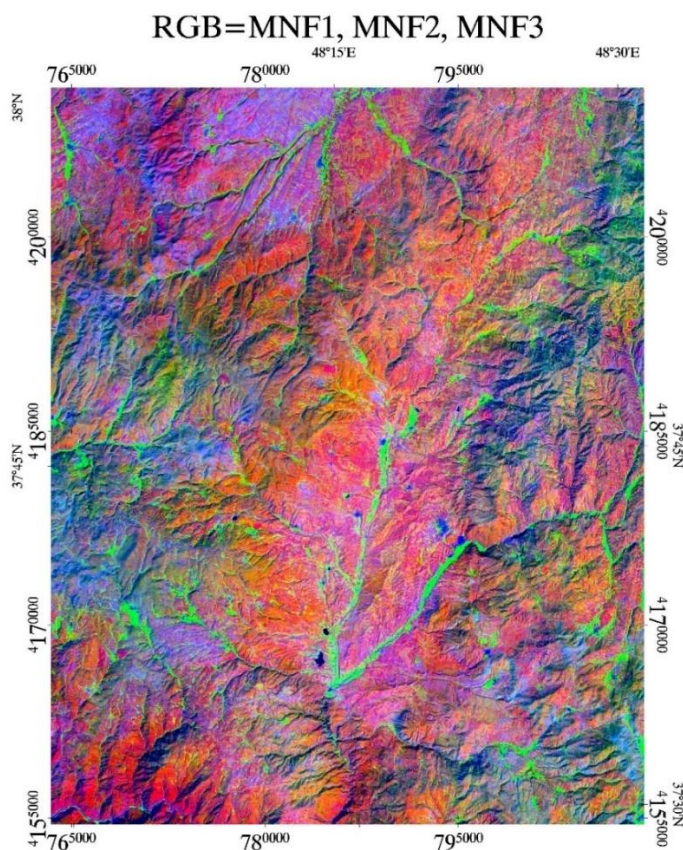
همانطور که در جدول مذکور مشخص است، بیشترین جذب و انعکاس مربوط به مؤلفه چهارم است که در باند شش و هفت پدید آمده که نشان دهنده این است که مؤلفه چهارم مؤلفه‌ای منتخب برای روش DSPCA است.



شکل ۴-۱۸. نقشه چگالی دگرگونی رانده شده از DSPCA برای شناسایی مواد معدنی رسی در منطقه مورد مطالعه. رنگ قرمز مبین پوشش مواد معدنی رسی است).

۴-۳-۴ کمینه اختلال شکستگی (MNF)

برای استخراج اطلاعات خالص زمین‌شناسی، داده‌های OLI به فضای MNF تبدیل شده‌اند. مشابه باندهای PCA باندهای پایینی MNF حاوی اطلاعات طیفی زیادی است، از این رو به دلیل ویژگیهای طیفی منحصر به فرد موجود در این باند، برای نقشه برداری مواد معدنی مشخص مناسب هستند. شکل ۴-۱۹ سه جز MNF جدید را نشان می‌دهد که از تغییر شکل به عنوان کامپوزیت‌های رنگی RGB بدست آمده‌اند. این تصویر حاوی مفیدترین اطلاعات طیفی سنگ‌های آتیره و واحدهای سنگ‌شناسی است. این روش از متدهای موجود در نرم افزار ان‌وی^۱ است که مناطق هم‌رنگ یا دارای شباهت به یک دیگر دارای ویژگی‌های یکسان انتخاب می‌شوند. در قسمت منتخب این پژوهش، یکسان بودن بافت و لیتولوژی با توجه به رنگ خاص مشهود است.

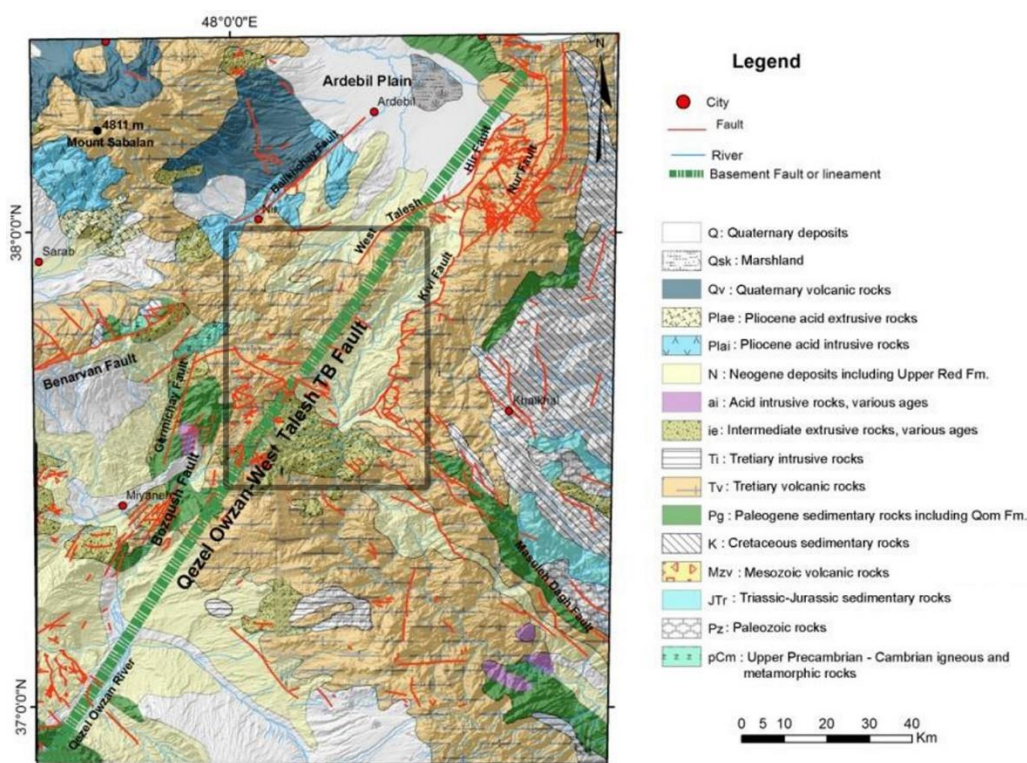


شکل ۴-۱۹. RGB = MNF3, MNF2, MNF1 مشتق شده از OLI که ویژگی‌های زمین‌شناسی را افزایش می‌دهد

^۱ EnVi

۴-۴ بررسی زمین ساختاری

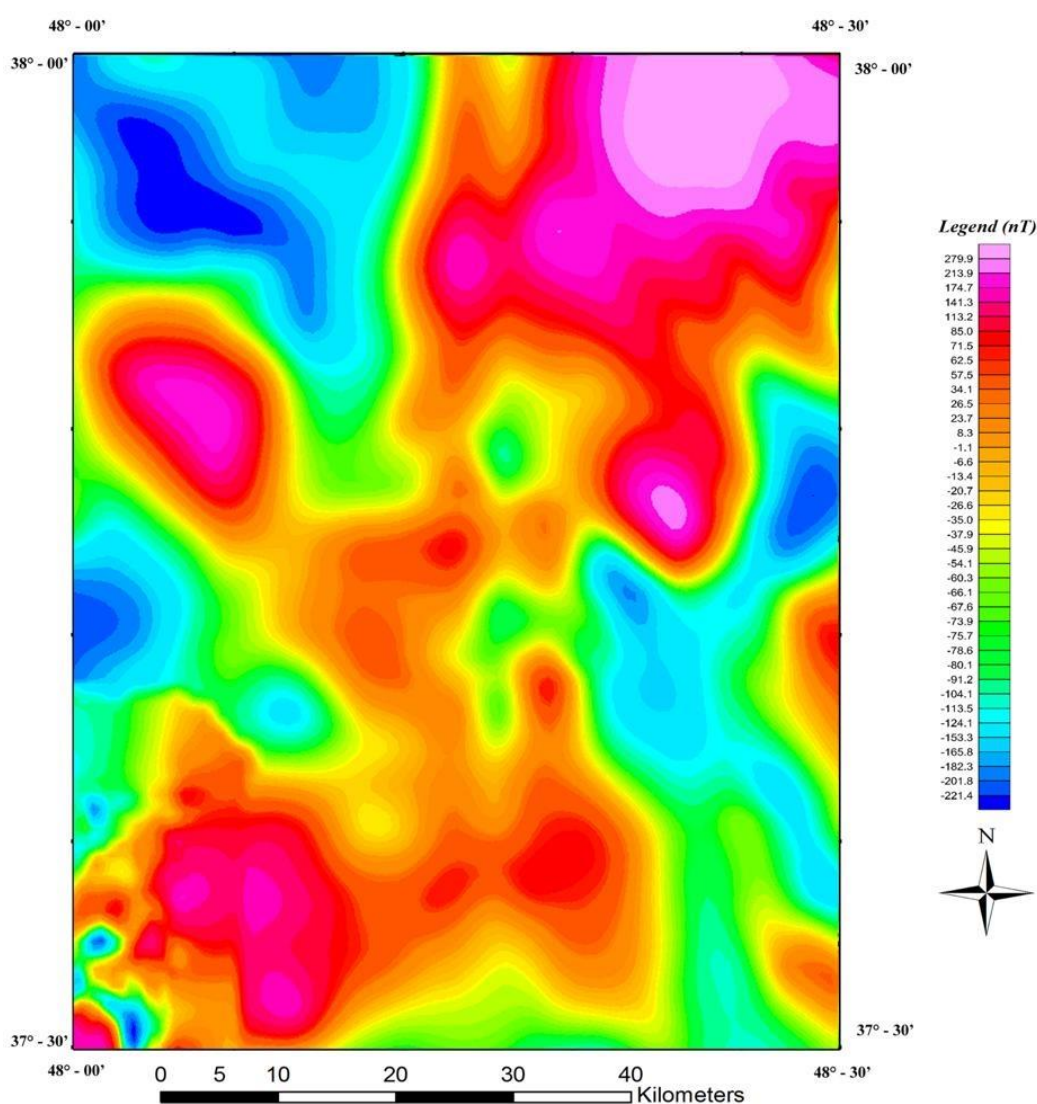
منطقه مورد بررسی یعنی نقشه یک صد هزارم کیوی دارای گسل‌های شاخصی است. این گسل‌ها که عمدتاً گسل‌هایی با طول زیاد هستند که حتی در خارج از این نقشه کشیده شده‌اند. برای این منظور نقشه‌ای از گسل قزل اوزن - غرب تالش که تمام منطقه را پوشش می‌دهد برای بررسی در نظر گرفته شد. این بررسی مطابق شکل ۴-۲۰ نشان می‌دهد که این گسل از جنوب غربی تا شمال شرقی کشیده شده است اما گسل درگیر در ناحیه‌ای که دارای پتانسیل کانی زایی شناخته شده است گسل کیوی بوده که می‌توان دید منطقه پر پتانسل، گسله بوده و گسل‌ها که بر روی بازالت‌ها و سنگ‌های آتشفشانی منطقه هستند می‌تواند یکی از کلیدهای کنترل کننده کانی زایی باشد. همچنین به خودی خود می‌توان نتیجه غیر مستقیمی از خروج گدازه‌ها بر اثر فعالیت این گسل‌ها برداشت کرد. شایان ذکر است که نقشه یک صد هزارم کیوی با کادر مشکی در شکل مذکور آورده شده است.



شکل ۴-۲۰ - نقشه تکتونیکی به همراه لیتولوژی منطقه کیوی (کادر مشکی رنگ) با دخل و تصرف [۱۳۶]

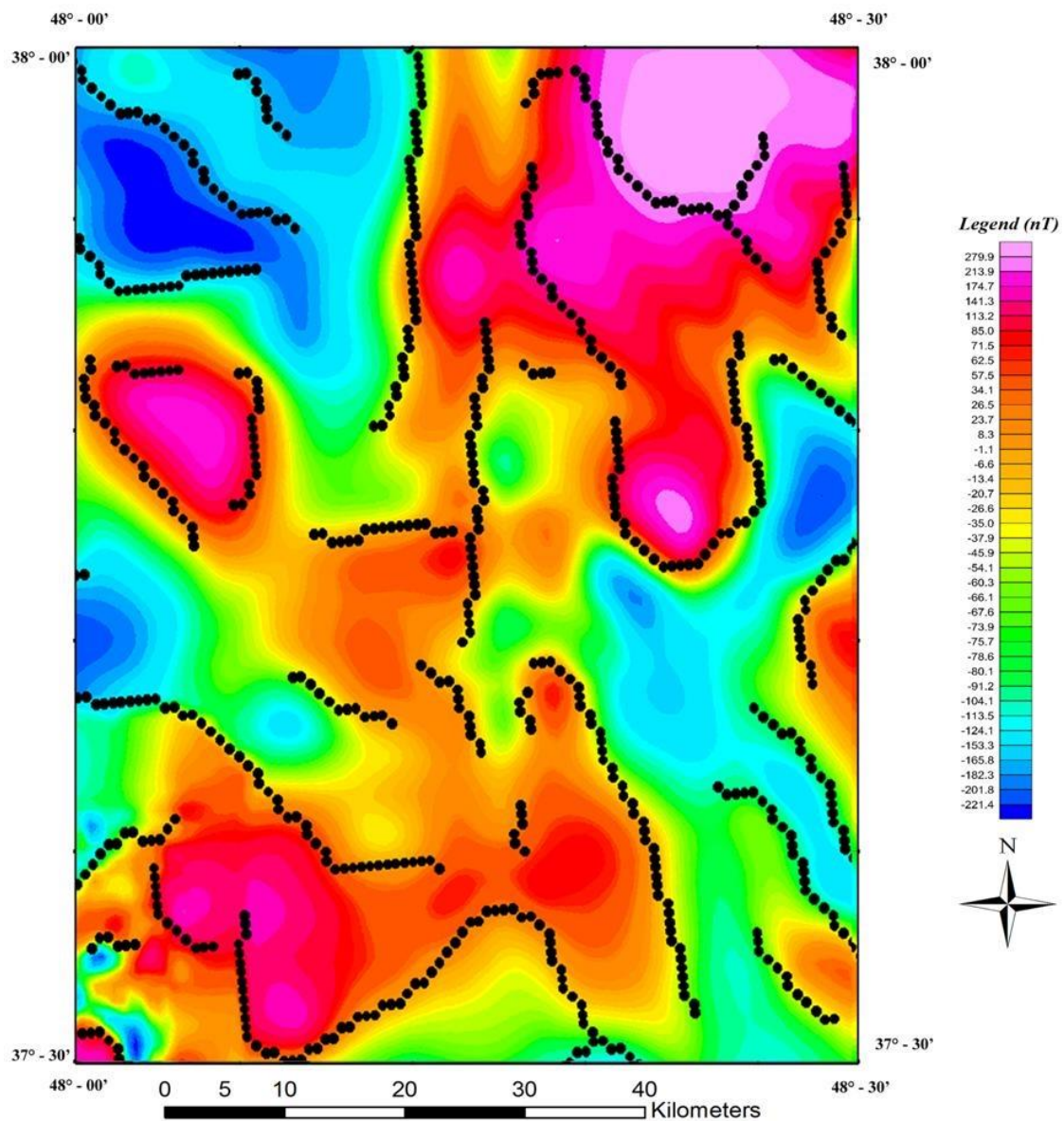
۵-۴ ژئوفیزیک هوابرد

در محدوده مورد مطالعه شدت میدان مغناطیسی زمین به صورت هوابرد توسط سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات کشور از فاصله ۷ کیلومتری زمین اندازه‌گیری شده است که در شکل ۴-۲۱ نقشه تغییرات شدت میدان مغناطیسی باقیمانده زمین در محدوده مورد مطالعه مشاهده می‌شود. شایان ذکر است علت عدم استفاده از برگردان به قطب نیز ناتوانی در انتخاب زوایای انحراف است.



شکل ۴-۲۱. نقشه تغییرات شدت میدان مغناطیسی باقیمانده در محدوده مورد مطالعه.

همانطور که در قسمت‌های قبل اشاره شد، به کمک اطلاعات مغناطیسی زمین و با استفاده از روش تانسور گرادیان امکان شناسایی خطواره‌های زمین‌شناسی و گسل‌ها فراهم می‌گردد این روش که به CET در نرم افزار ژئوسافت معروف است ویژگی‌های گسلی را براحتی جدا می‌کند. در شکل ۴-۲۲ خطواره‌های زمین‌شناسی به دست آمده از اطلاعات مغناطیس سنجی نمایش داده شده است.

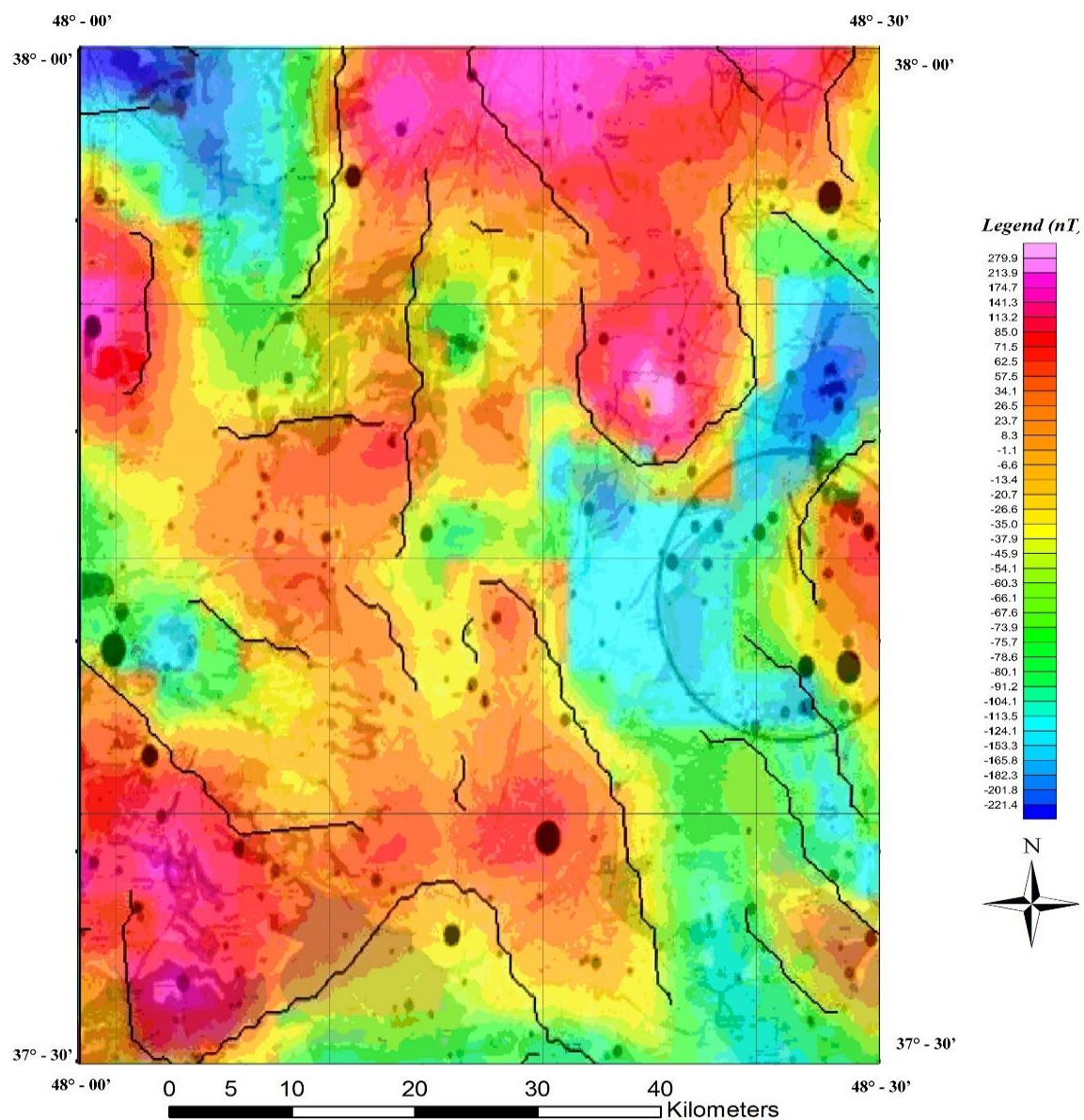


شکل ۴-۲۲. خطواره‌های زمین‌شناسی تعیین شده به کمک اطلاعات مغناطیس سنجی هواپرد منطقه.

همانطور که در شکل ۴-۲۲ مشاهده می‌شود، خطواره‌های به دست آمده از دو روند تبعیت می‌کنند، یک روند شمال غرب جنوب شرق و دیگری روند تقریباً شمالی جنوبی مشاهده می‌شود که با توجه به نقشه زمین‌شناسی منطبق بر روند گسل‌های اصلی تعیین شده در محدوده است.

در شکل ۴-۲۳ موقعیت آنومالی‌های ژئوشیمی تعیین شده در مراحل قبل بر روی نقشه شدت میدان مغناطیسی باقیمانده نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود، آنومالی‌های ظاهر شده عمدتاً در راستای خطواره‌های زمین‌شناسی می‌باشند که احتمالاً مرتبط با گسل‌ها می‌باشد و به عبارتی می‌توان گفت کانی‌سازی در راستای گسل‌های منطقه صورت گرفته است. همچنین با توجه به بازالتی بودن سازندهای قسمتی که آنومالی‌های ژئوشیمی ظاهر شده‌اند، می‌توان گفت قطب مثبت مغناطیسی ظاهر شده مرتبط با سازندهای بازالتی بوده و کانی‌سازی روی و تیتان در قطب منفی آنومالی مغناطیسی تشکیل شده است. لذا با توجه به این موضوع می‌توان قطب منفی آنومالی مغناطیسی و حضور خطواره‌های زمین‌شناسی (عمدتاً گسل‌ها) را به عنوان کلیدی در اکتشاف عناصر روی و تیتان در منطقه در نظر گرفت.

همانطور که مشاهده می‌شود آنومالی‌های ژئوشیمیایی تعیین شده در قسمت‌های غربی منطقه، عمدتاً بر روی قطب مثبت میدان مغناطیسی زمین قرار دارند که می‌تواند مرتبط با کانی‌سازی‌های فلزی مانند مس و یا اکسید آهن باشد. نکته‌ای که در قسمت‌های غربی نیز به وضوح به چشم می‌خورد حضور آنومالی‌های ژئوشیمیایی در راستای خطواره‌های تعیین شده در نقشه شدت میدان مغناطیسی باقیمانده است.



شکل ۴-۲۳. موقعیت آنومالی‌های ژئوشیمی بر روی نقشه شدت میدان مغناطیسی باقیمانده.

۴-۶ رفتارسنجی و پیش‌بینی

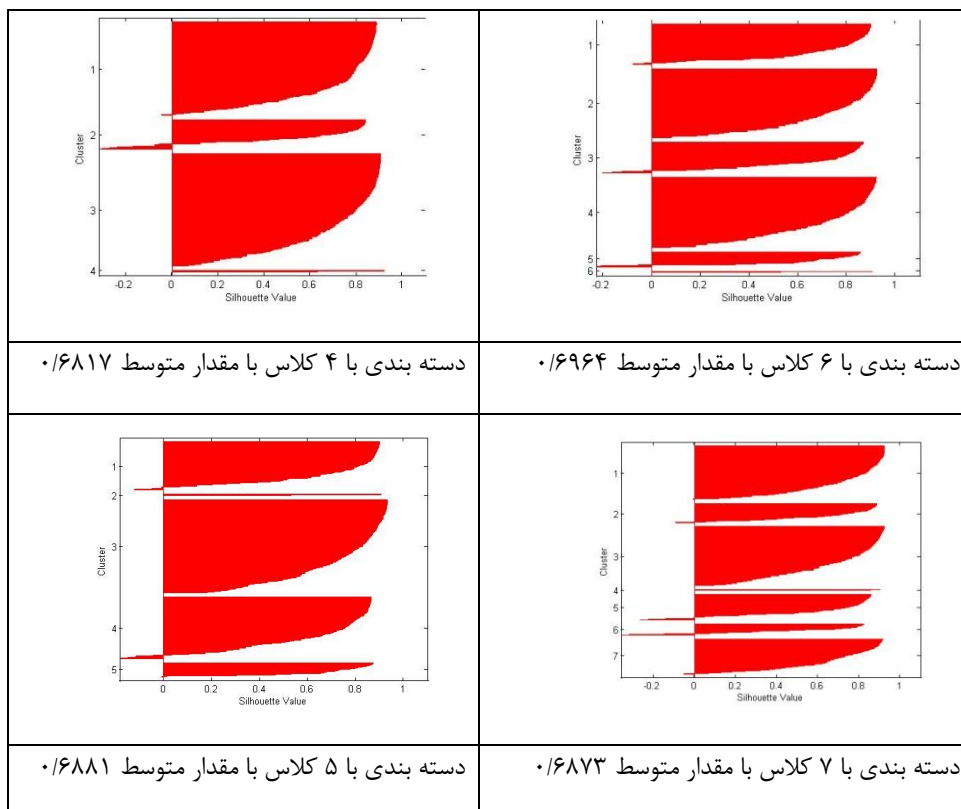
۴-۶-۱ رفتار سنجی تیتانیوم و روی

به منظور بررسی رفتار عناصر مربوطه نسبت به یکدیگر در ابتدا نیمرخ خوشه‌ها و میزان مطلوبیت هر نمونه برای دسته‌بندی‌های $k=3$ و $k=20$ برای عناصر تیتانیوم و روی نسبت به هم انجام و نتایج میزان مطلوبیت دسته‌ها با هم مقایسه شده است و بهترین دسته بر اساس میزان مطلوبیت دسته‌ها مشخص شده و سپس مراکز خوشه‌های هر دسته با توجه به آن مشخص می‌شود.

همانطور که در شکل ۴-۲۴ مشاهده می‌شود، مطابق با نمودارهای منتخب نیمرخ کلاس و با توجه به مقادیر مطلوبیت بهترین کلاس، کلاس ۶ به عنوان بهترین دسته انتخاب می‌شود، زیرا هر چقدر میزان مطلوبیت به مقدار ۱ نزدیک باشد، نمونه‌ها به درستی در کلاس قرار گرفته اند. با توجه به نمودار، مقادیر منفی تقریباً کمی در این دسته‌بندی نیز دیده می‌شود.

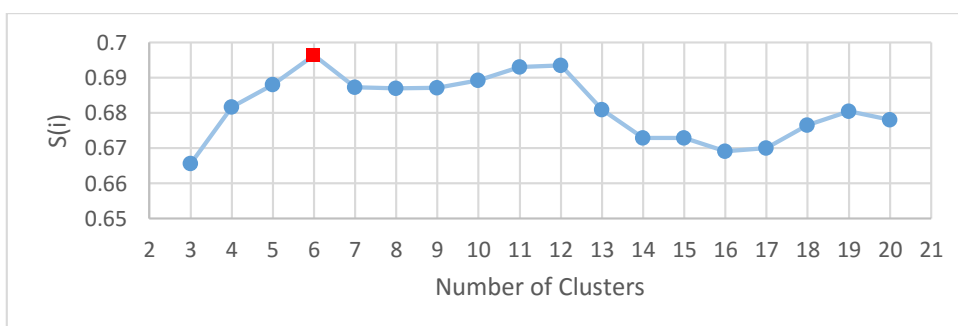
مقدار متوسط مطلوبیت در این دسته‌بندی برابر با ۰/۶۹۶۴ است که نسبت به مقدار متوسط مطلوبیت در دسته‌های دیگر این مقدار بیش تر بوده است. برای اطمینان بیشتر و با توجه به نوسانات موجود در مقادیر مطلوبیت، مقدار k تا عدد ۲۰ افزایش داده شده است، اما مقدار مطلوبیت از مقدار مطلوبیت بهترین دسته بندی هر گروه فراتر نرفته و به ازای به بعد، روند کاهشی است.

همچنین می‌توان برای انتخاب تعداد خوشه بهینه، نمودار تغییر ملاک اعتبارسنجی $S(i)$ را بر اساس تغییر تعداد خوشه‌ها به صورت شکل ۴-۲۵ نشان داد که مقایسه آن راحت تر و ساده تر است. به عبارتی هر خوشه که بیشترین مقدار $S(i)$ را داشته باشد، به عنوان تعداد خوشه بهینه انتخاب می‌شود.



شکل ۴-۲۴: نیمرخ خوشه‌ها و مقادیر مطلوبیت با ۴ تا ۷ کلاس مربوط به دو عنصر تیتانیوم و روی

شکل ۴-۲۵ مقدار $S(i)$ برای دو عنصر تیتانیوم و روی نشان داده شده که بیشترین مقدار مطلوبیت مربوط به ۶ کلاس است. همچنین با توجه به تابع کیفیت و با استفاده از مقدار $p(k)$ تعداد خوشه مناسب تعیین می‌شود. برای تعیین تعداد خوشه‌ها، مقدار $p(k)$ با استفاده از رابطه تابع کیفیت برای مقادیر مختلف k محاسبه شده است. مقدار حداکثر $p(k)$ نشان‌دهنده تعداد مناسب خوشه‌ها است.



شکل ۴-۲۵: مقدار ملاک اعتبارسنجی $S(i)$ براساس تعداد خوشه‌ها، تیتانیوم-روی

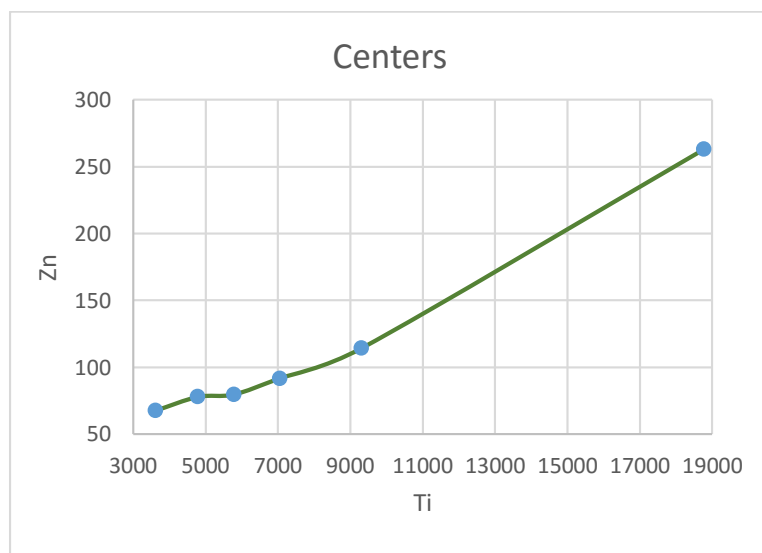
جدول ۴-۱۰ مقادیر $p(k)$ به دست آمده متناظر با تعداد خوشه‌ها را نشان می‌دهد. در رفتارسنجی دو عنصر تیتانیوم و مس، $۰/۶۸۴۵$ بیشترین مقدار است، بنابراین مناسبترین تعداد خوشه برابر با شش

است همانطور که مشهود است، تعداد خوشه مناسب به دست آمده از تابع کیفیت با نتایج معیار $S(i)$ مطابقت دارد.

جدول ۴-۱۰: مقادیر $p(k)$ برای تعداد خوشه‌های مختلف

عناصر	تعداد خوشه	$p(k)$	عناصر	تعداد خوشه	$p(k)$
تیتانیوم، روی و موقعیت جغرافیایی	۳	۰/۶۰۵۳	دو عنصر تیتانیوم و روی	۳	۰/۴۳۳۷
	۴	۰/۷۴۲۳		۴	۰/۵۲۹۸
	۵	۰/۶۷۰۹		۵	۰/۵۸۹۸
	۶	۰/۶۶۲۵		۶	۰/۶۸۴۵
	۷	۰/۶۵۸۴		۷	۰/۵۱۴۶
	۸	۰/۶۳۱۴		۸	۰/۵۶۷۴
	۹	۰/۶۱۲۵		۹	۰/۵۳۹
	۱۰	۰/۶۰۳۳		۱۰	۰/۵۲۵۲

مراکز دسته‌های تعیین شده به ازای بهترین دسته‌بندی که برای دو عنصر تیتانیوم و روی در شکل ۴-۲۶ و به ازای ۶ کلاس به صورت نمودار نشان داده می‌شود. بر اساس این دسته‌بندی که در شکل ۴-۲۶ مشخص است، به ازای افزایش عیار عنصر تیتانیوم، عیار عنصر روی افزایش می‌یابد. خط برازشی به صورت $Y = ۰/۰۱۳۲X + ۶/۷۱۷$ و ضریب همبستگی آن نیز برابر با $R^2 = ۰/۹۷۷۴$ به دست آمده است.

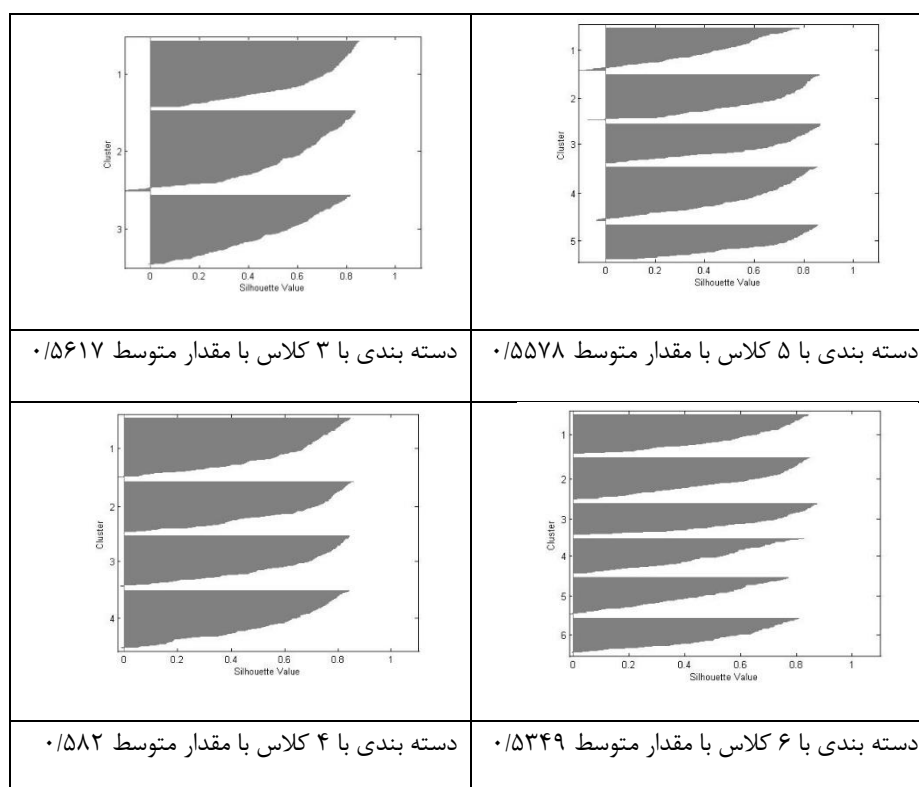


شکل ۴-۲۶: بهترین خط برازش شده به مراکز دسته‌ها برای تیتانیوم و روی

۴-۶-۲ بررسی رفتار ساختاری تیتانیوم، روی و مختصات

نیمرخ خوشه‌ها و میزان مطلوبیت دسته بندی‌های صورت گرفته با توجه به مقدار $K=3$ الی $K=6$ در مورد عناصر تیتانیوم و روی (با در نظر گرفتن طول و عرض نقاط) در شکل ۴-۲۷ آورده شده است.

بر اساس نتایج حاصل شده به ازای مقادیر متفاوت برای K از ۳ تا ۶، همانطور که مشاهده شد، دسته‌بندی روی نمونه‌های تعریف شده با مشخصه‌های عیار تیتانیوم و روی و همچنین طول و عرض نمونه‌های برداشت شده، به ازای ۴ کلاس دارای بهترین دسته‌بندی است. همچنین با توجه به شکل ۴-۲۸، بیشترین مقدار $S(i)$ متعلق به ۴ کلاس است. برای اطمینان بیشتر و با توجه به نوسانات موجود در مقادیر مطلوبیت، مقدار K تا عدد ۱۰ افزایش داده شده است، اما مقدار مطلوبیت از کلاس فوق فراتر نرفت و به ازای بالاتر از ۱۰ کلاس نیز روند کاهشی داشت.



شکل ۴-۲۷: نیمرخ خوشه‌ها و مقادیر مطلوبیت با کلاس‌های ۳ تا ۶ مربوط به تیتانیوم و روی (همراه مختصات)



شکل ۴-۲۸: تغییر مقدار مطلوبیت $S(i)$ براساس تعداد خوشه‌ها (برای عناصر تیتانیوم و روی و مختصات)

مشخصات مراکز خوشه‌ها با چهار کلاس در جدول ۴-۱۱ آورده شده‌اند. که در ادامه از آن برای پیش‌بینی استفاده خواهد شد.

جدول ۴-۱۱: مشخصات مراکز خوشه‌ها برای عناصر تیتانیوم و روی و مختصات جغرافیایی

کلاس	روی	تیتانیوم	عرض	طول
اول	۰/۰۹۵۱۱	۰/۸۷۴۲۹۶	۰/۱۰۵۰۴۶	۱
دوم	۰	۱	۰	۰/۰۸۷۷۳۴
سوم	۱	۰/۷۰۹۸۶۷	۱	۰/۸۹۹۷۶۹
چهارم	۰/۳۳۸۲۶۳	۰	۰/۸۲۴۳۴۹	۰

۴-۶-۳ پیش‌بینی عیار تیتانیوم

در این قسمت با استفاده از رشته کدهای شبکه عصبی مصنوعی رگرسیون عمومی در نرم‌افزار متلب^۱ به تعیین توانایی تخمین تیتانیوم بوسیله روی با توجه به طول و عرض نمونه‌های برداشت شده با استفاده از ۷۰٪ نمونه‌ها که به صورت تصادفی انتخاب گردیده و همچنین تعیین اعتبار تخمین با

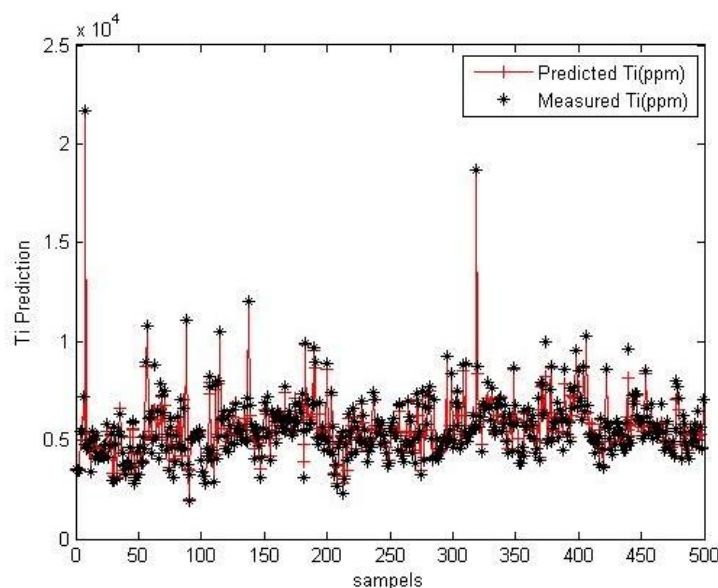
^۱ Matlab

۳۰٪ نمونه باقی مانده پرداخته شده است. شایان ذکر است برای تخمین هر چه بهتر، مقادیر در بازه صفر تا یک مطابق فرمول ۱-۴ [۵۳] استاندارد سازی گردیده است. مقادیر عنصر تیتانیوم به عنوان متغیر خروجی و مقادیر روی همراه طول و عرض نقاط به عنوان متغیرهای ورودی جهت تعیین الگوریتم تخمین به نرم افزار معرفی می گردند.

$$X_{norm} = \frac{X - X_{min}}{X_{max} - X_{min}} \quad (1-4)$$

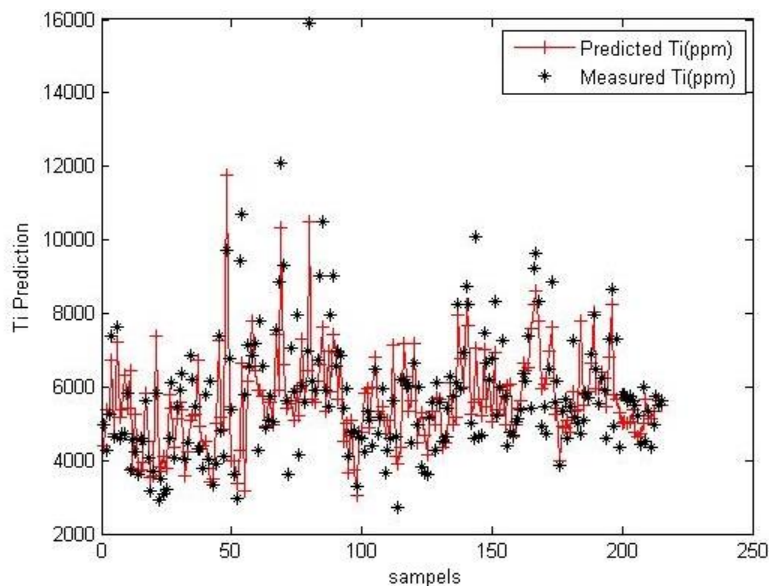
۴-۶-۴ تخمین با شبکه عصبی مصنوعی رگرسیون عمومی^۱

با توجه به نیاز تعیین شعاع بهینه [۴۷] جهات تخمین هر چه بهتر در این روش، مقادیر مختلفی از ۰ تا ۱ به صورت تجربی انتخاب شد. مقدار بهینه ۰/۰۱۵ برای شعاع تاثیر انتخاب گردید. شایان ذکر است که شبکه عصبی مصنوعی رگرسیون عمومی فاقد تعداد نرون بوده بلکه با توالی تکرار آموزش میبیند. در شکل ۴-۲۹ می توان میزان خط پیوسته تخمینی و عیارهای نقطه ای واقعی را در داده های آموزشی و شکل ۴-۳۰ نشان دهنده همین امر بر داده های آزمایشی است.



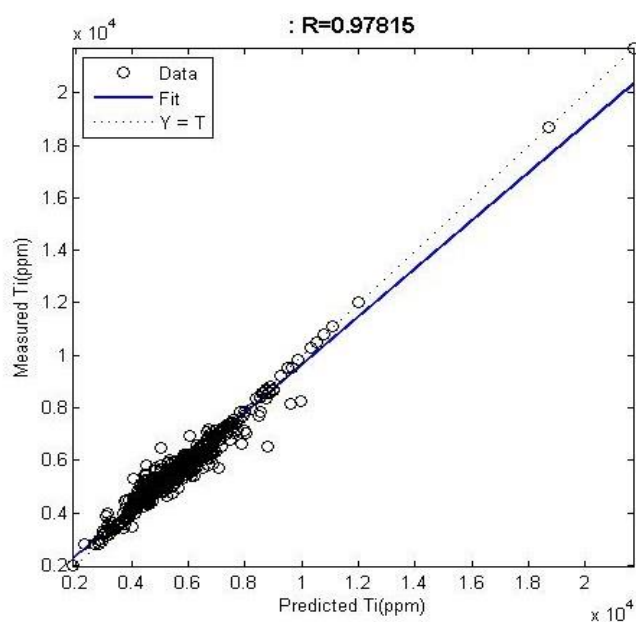
شکل ۴-۲۹: خط تخمین تیتانیوم همراه مقادیر واقعی در داده های آموزشی

^۱ GRNN

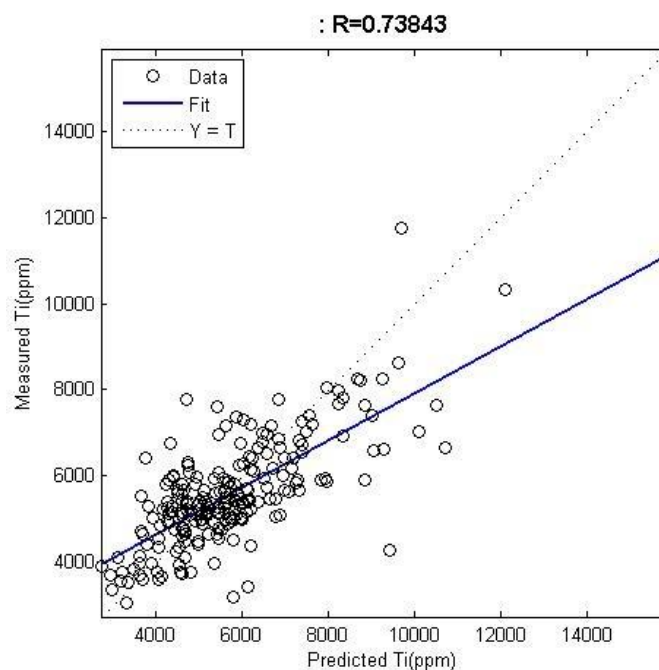


شکل ۴-۳: خط تخمین تیتانیوم همراه مقادیر واقعی داده‌های آزمایشی

نظر به دید بهتر در مورد صحت تخمین از قراردادن مقادیر تخمینی در مقابل مقادیر واقعی در هر مختصات در دو دسته داده آموزشی و آزمایشی به صورت رگرسیونی به ترتیب در اشکال ۴-۳۱ و ۴-۳۲ آورده شده است. صحت (R) این برآوردها در داده‌های آموزشی برابر ۰/۹۷ و برای داده‌های آزمایشی ۰/۷۳ تعیین شد. که واضح است صحت ۰/۷۳ بسیار مطلوب بوده و خطایی بسیار کم از دید روش‌های پیش‌بینی در مهندسی معدن را برای این پژوهش به ارمغان می‌آورد.



شکل ۴-۳۱: رگرسیون داده‌های تخمینی در مقابل واقعی (آموزشی)



شکل ۴-۳: رگرسیون داده‌های تخمینی در مقابل واقعی (آزمایشی)

۴-۶-۵ تخمین با کمک مراکز منتخب کا-میانگین

فرمول خط رگرسیون چندگانه با توجه به ضرایب جدول ۴-۱۲ تعیین می‌شود (معادله ۴-۲).

$$y = a_1x_1 + a_2x_2 + a_3x_3 + b \quad (۴-۲)$$

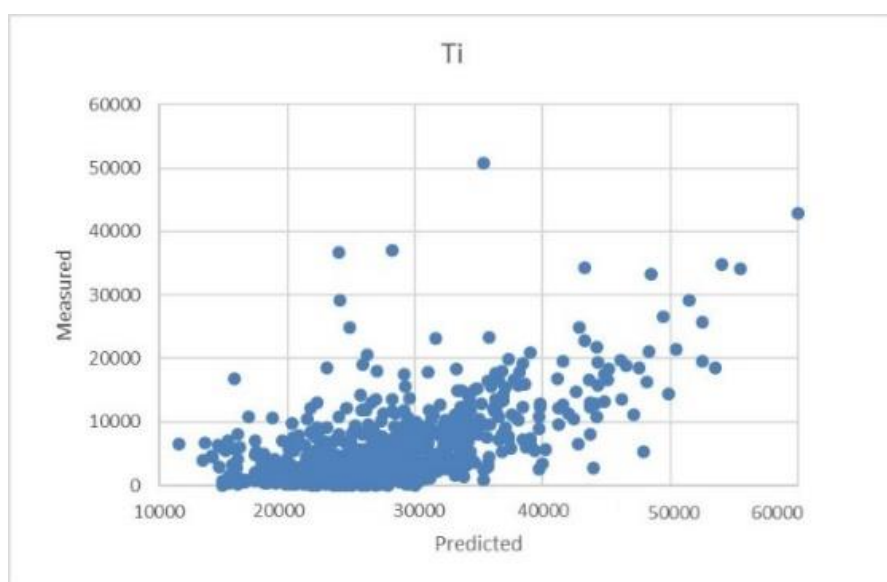
جدول ۴-۱۲ ضرایب رگرسیون

a_1	a_2	a_3	b
-۰/۰۰۸۹	-۰/۰۸۱۱	۳۹۹/۲۲	۳۱۸۹۹۴

$$Ti = -۰/۰۰۸۹ X - ۰/۰۸۱۱ Y + ۳۹۹.۲۲ Zn + ۳۱۸۹۹۴ \quad (۴-۳)$$

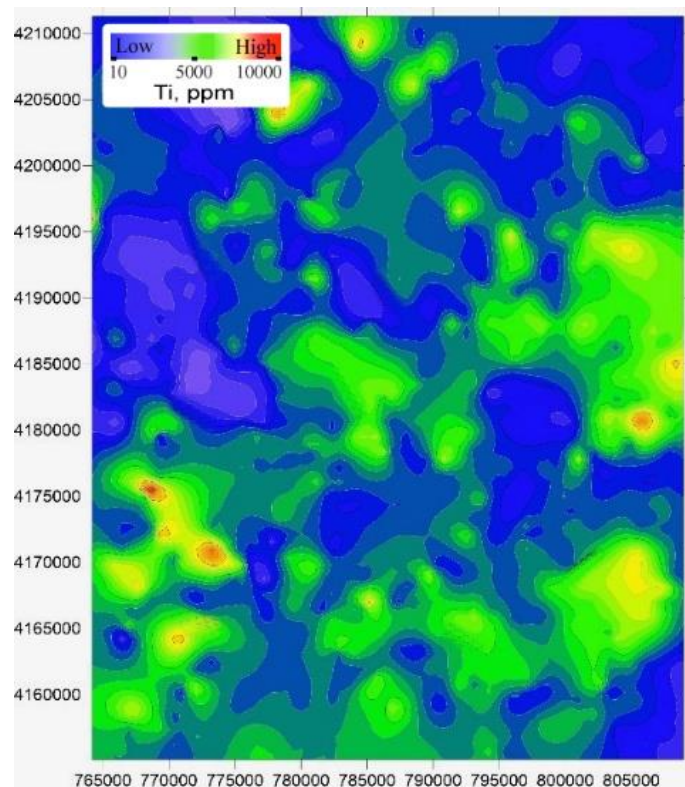
مقدار R به دست آمده نشان دهنده یک معادله سهمی است که مدل رگرسیون توانسته تغییرات موجود را از نظر y (تیتانیوم) توجیه کند. با توجه به متغیرها، تغییرات بیشتر مربوط به عنصر روی سپس عرض و بعد طول است (Zn، طول و عرض نقاط نمونه برداری). برای اعتبار سنجی تخمین تیتانیوم بر اساس معادله به دست آمده (معادله ۴-۳)، تعدادی از داده‌های واقعی باید با مقادیر بدست

آمده از معادله مقایسه شود تا دقت برآوردگر اندازه گیری شود. بنابراین، ۳۰٪ از نمونه‌ها به طور تصادفی قبل از رگرسیون چند متغیره بر اساس مقادیر عناصر روی، طول و عرض نقاط نمونه برداری و جایگزینی آن در معادله ۳-۴ و سپس، طبق این نمونه‌ها، مقدار عنصر تیتانیوم تخمین زده می‌شود و با مقدار واقعی آن مقایسه می‌شود. نتایج در شکل ۳۳-۴ به عنوان نمودار پراکندگی نشان داده شده است. شکل ۳۳-۴ همبستگی بین نمرات واقعی و برآورد شده را با ضریب همبستگی ۵۱٪ نشان می‌دهد که نشان دهنده دقت نسبی روش مورد استفاده است.

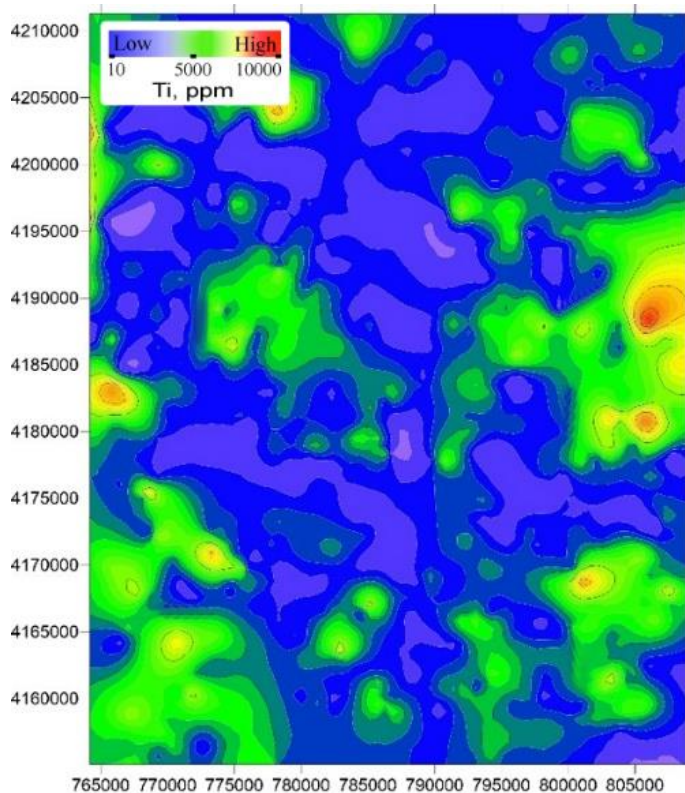


شکل ۳۳-۴: مقدار تخمینی Ti در مقابل مقدار واقعی

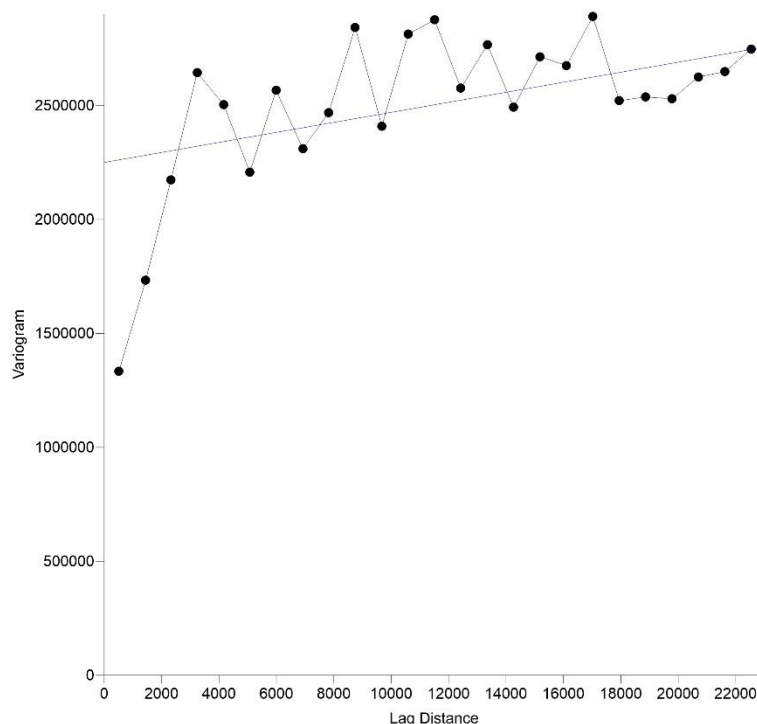
با در نظر گرفتن مقدار واقعی تیتانیوم با تخمین نقشه به روش کریجینگ، نقشه منطقه (شکل ۳۴-۴) برای مقایسه با نقشه حاصل با عیار بدست آمده از معادله ۳-۴ ترسیم شده است (شکل ۳۵-۴). در شکل ۳۶-۴ نیز واریوگرام حاصل از این کریجینگ قرار داده شده که به صورت خطی روند آن برطرف شده و همچنین به صورت شعاعی RBF محاسبه و نوع واریوگرام برازشی نیز خطی در نظر گرفته شده است [۵۵].



شکل ۴-۳۴: نمایش شماتیک عیار واقعی Ti روی نقشه از بالاترین (قرمز) تا پایین ترین (آبی)



شکل ۴-۳۵: نمایش شماتیک عیار تیتانیوم پیش بینی شده روی نقشه از بالاترین (قرمز) تا پایین ترین (آبی)



شکل ۴-۳۶: نمایش واریوگرام برای ترسیم داده‌های واقعی تیتانیوم در منطقه کیوی

نتیجه‌ای که می‌توان از این تحلیل گرفت، این است که با وجود عملکرد بهتر شبکه عصبی مصنوعی رگرسیون عمومی، روش رگرسیون بر روی داده‌های مراکز دسته روش کا-میانگین می‌تواند ما را بهتر به محل آنومالی نزدیک کند زیرا در بارز سازی اغراق کرده و آنومالی‌های ضعیف را نیز حذف می‌نماید.

۴-۵ نتیجه‌گیری

با توجه به هسته اصلی این پژوهش که بررسی و بحث است این فصل از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. این فصل به طور کامل شیوه اعمال سازی روش‌ها و اعلام حصول آن‌ها مورد بررسی قرار گرفت و در نهایت با تلفیق لایه‌های اطلاعاتی مشخص شد که منطقه شرقی کیوی مستعد فلز زایی است و همچنین این منطقه بر روی بازالت‌ها واقع شده و می‌تواند شامل عناصر تیتانیوم و روی باشد. از نظر ساختاری در روی گسل کیوی بوده و با توجه به مطالعات سنجش از دور دارای پتانسیل مطلوب فلزی

است. داده‌ها رفتاری مستقیم با هم داشته و از نظر پیش‌بینی غلظت تیتانیوم در منطقه روش شبکه عصبی مصنوعی رگرسیون عمومی با دقت ۰/۷۳ بسیار مطلوب است اما برای موقعیت یابی آنومالی، روش رگرسیون بر مراکز دسته‌های روش کا-میانگین به علت نرم سازی آنومالی‌های ضعیف و تشدید آنومالی‌های قوی توصیه می‌گردد.

فصل پنجم

نتیجه گیری و پیشنهادات

نتیجه‌گیری

- بر اساس نتایج این مطالعه، مشخص شد که منطقه کیوی منطقه‌ای با پتانسیل بالا برای اکتشافات فلزی است.

- Zn و Ti براساس مطالعات تک متغیره و مقایسه با حدود آستانه پس زمینه رسوب رودخانه‌ای به عنوان عناصر ناهنجاری شناسایی شدند. با توجه به اطلاعات زمین‌شناسی، عناصر فلزی دیگری نیز مانند مس در بازالت‌های منطقه وجود دارد، با این حال، مقدار آن‌ها در نمونه‌های رسوبات آبراهه‌ای به حد آستانه ناهنجار نمی‌رسد.

- رابطه بین دو عنصر شناسایی شده با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی و تحلیل همبستگی بررسی شد و مشخص شد که بین این دو عنصر همبستگی مثبت و شدیدی وجود دارد. همچنین خوشه بندی سلسله مراتبی تأیید کرد که عناصر تیتانیوم و روی در منطقه، عناصر اصلی کانی زایی هستند و در یک گروه واقع هستند.

- جوامع مختلف عناصر تیتانیوم و روی با استفاده از فرکتال عیار-مساحت و نمودار احتمال از هم جدا شدند و بر اساس این نتایج، تجزیه و تحلیل تمایز خطی انجام شد. به عنوان نتیجه نهایی روش، گروه بندی تیتانیوم و روی با عناصر مرتبط با آن‌ها به طور جداگانه ارائه شد. این نتیجه با اعتبار متقابل بیش از ۹۰٪ تخمین زده شد.

- مطابق الگوهای پیشتر مطالعه شده، روش تجزیه و تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA) نشان داد که مؤلفه اول نمایانگر سنگ‌شناسی منطقه و همچنین مؤلفه دوم نمایانگر کانی زایی منطقه است.

- با توجه به نقشه زمین‌شناسی و مطالعات سنجش از دور، روند ناهنجاری‌های شناسایی شده بر روی سنگ‌های آتشفشانی و پلوتونیک کالک آلکالاین متعلق به دوران ائوسن شامل بازالت، آندزیت و

واحدهای سنگی بستر نازک کنگلومرا آتشفشانی بوده و همچنین در نهشته‌های آبرفتی می‌تواند ناشی از فرسایش و هوازدگی در طول زمان باشد.

• بررسی گسل‌های منطقه نشان می‌دهد که گسل کیوی می‌تواند منشاین کانی زایی‌های تیتانیوم روی باشد.

• بررسی‌های ژئوفیزیک هوابرد نشان می‌دهد که منطقه مورد بررسی ما می‌تواند پتانسیل مطلوبی در مورد فلز زایی و با توجه به مدل به دست آمده برای روی و تیتانیوم باشد.

• مواد معدنی اقتصادی حاوی فلز تیتانیوم می‌بایست دارای ایلمنیت و روتیل باشند و احتمالاً این مواد معدنی در منطقه به صورت سنگی وجود دارند. در غیراین صورت، ناهنجاری‌های تیتانیوم را می‌توان از پیروکسن‌ها و بیوتیت‌ها نامید که فاقد ارزش اقتصادی هستند.

• در رفتار سنجی تیتانیوم و روی با در نظر گرفتن طول و عرض جغرافیایی نمونه‌ها به منظور برآورد دقیق‌تر از پیدایش و وسعت‌هاله‌های ژئوشیمیایی در محدوده مورد مطالعه ارتباط و رفتاراین دو عنصر به صورت ساختاری و غیر ساختاری مطالعه شد که به رفتار خطی تیتانیوم و روی منتج شد.

• با ارزیابی شبکه عصبی مصنوعی عمومی عیار عنصر تیتانیوم بر حسب روی، طول و عرض نقاط نمونه‌برداری انجام گرفت و صحت تخمین در داده‌های آزمایشی در شبکه عصبی مصنوعی رگرسیون عمومی برابر با 0.73 گزارش شد و همچنین پیش‌بینی با استفاده از رگرسیون بر روی مراکز انتخاب شده به وسیله روش کا-میانگین نیز صورت گرفت و با توجه به صحت 0.51 آن، می‌توان شبکه عصبی مصنوعی را برای پیش‌بینی با بیشترین صحت و با در نظر گرفتن اغراق بیش از حد بر آنومالی‌های مشترک تیتانیوم و روی و هموار سازی آنومالی‌های قابل چشم پوشی روش دوم، آنرا دقیق‌تر دانست.

• کلید اکتشافی احتمالی تیتانیوم و روی در منطقه : بازالتی، گسله، فاقد آلتراسیون، تجمع‌این عناصر در رسوبات آبراهه‌ای بیش از حد زمینه، قطب منفی دوقطبی‌های ژئوفیزیک هوابرد، رفتار مثبت قوی دو عنصر با یکدیگر و زمان ائوسن و الیگوسن .

پیشنهادهات

- پیشنهاد می‌شود برای شناسایی انواع مواد معدنی حاوی تیتانیوم، مطالعات کانی سنگین در مناطقی که به عنوان ناهنجاری شناخته شده، انجام شود.
- نمونه برداری با شبکه منظم جهت کشف روند دقیق و منشا کانی زایی در منطقه معرفی شده انجام شود.
- از تصاویر ماهواره‌ای با دقت بیشتر جهت مطالعات گسترده در نقشه ۱:۲۵۰۰۰۰ انجام شود و همچنین مطالعه دقیقتری بر روی گسل‌های منطقه و ارتباط آن‌ها و اثبات این ارتباط با کانی زایی انجام شود.
- پیشنهاد می‌شود که با توجه به نتایج بررسی‌های این پژوهش روش‌های ژئوفیزیکی بیشتری جهت انتخاب بهترین روش اکتشاف این فلزات در منطقه استفاده شود.
- توصیه می‌گردد متخصصان فراوری، روشی جهت استحصال تیتانیوم از پیروکسن ابداع کرده و از پتانسیل‌های احتمالی بسیار زیاد در ایران جهت استخراج این فلز ارزشمند استفاده نمایند.

- [1]. Govett, G., *Handbook of exploration geochemistry*. Rock geochemistry in mineral exploration, 1983.
- [2]. Ziaii, M., Carranza, E.J.M., Ziaei, M., *Application of geochemical zonality coefficients in mineral prospectivity mapping*. Computers & Geosciences, 2011. **37**: p. 1935–1945.
- [3]. Ramazi, H. and K. Mostafaie, *Application of integrated geoelectrical methods in Marand (Iran) manganese deposit exploration*. Arabian Journal of Geosciences, 2013. **6**(8): p. 2961-2970.
- [4]. Shirazi, A., Shirazi, A. Hezarkhani, A., *Geostatistics Studies and Geochemical Modeling Based on Core Data, Sheytoor Iron Deposit, Iran*. Journal of Geological Resource and Engineering, 2018. **6**: p. 124-133.
- [5]. Zuo, R. and E.J.M. Carranza, *Support vector machine: a tool for mapping mineral prospectivity*. Computers & Geosciences, 2011. **37**(12): p. 1967-1975.
- [6]. Dimitrakopoulos, R., *Artificially intelligent geostatistics: a framework accommodating qualitative knowledge-information*. Mathematical geology, 1993. **25**(3): p. 261-279.
- [7]. NADIRI, A.A. and A.F. Sadeghi, *Comparison of Artificial Intelligence and Geostatistics Methods Abilities for Spatial Prediction of Arsenic Anomaly in Chahardoli plain*. 2017.
- [8]. Hohn, M.E. and M.V. Fontana, *Geostatistics and artificial intelligence applied to stratigraphic correlation*. Am. Assoc. Pet. Geol., Bull.:(United States), 1986. **70**(CONF-860624-).
- [9]. Journel, A.G., *Geostatistics: roadblocks and challenges*, in *Geostatistics Troia'92*. 1993, Springer. p. 213-224.
- [10]. Akin, S., S. Yilmaz, and C. Demircioglu. *Optimum rock bit program selection by integrated geostatistics and artificial intelligence*. in *63rd EAGE Conference & Exhibition*. 2001. European Association of Geoscientists & Engineers.
- [11]. Moreira, F.R., R. Almeida-Filho, and G. Câmara, *Spatial analysis techniques applied to mineral prospecting: an evaluation in the Poços de Caldas Plateau*. Brazilian Journal of Geology, 2003. **33**(2): p. 183-190.
- [12]. Grichog, D.V., M.V. Barsiyof, and G.L. Melinkof, *Thermodynamical model of hydrothermal systems in ocean crust, determination of solution evolution*. Geology of deposits, 1985. **4**: p. 3-23.
- [13]. Kerainof, S.R. and V.M. Shotes, *The base of geochemistry in groundwaters*. 1980, Moscow: Moscow. 286.
- [14]. Safari, M., A. Maghsoudi, and A.B. Pour, *Application of Landsat-8 and ASTER satellite remote sensing data for porphyry copper exploration: a case study from Shahr-e-Babak, Kerman, south of Iran*. Geocarto International, 2018. **33**(11): p. 1186-1201.
- [15]. Shirazi, A., Shirazi, A. Hezarkhani, A., *Remote sensing studies for mapping of iron oxide regions, South of Kerman, Iran*. International Journal of Science and Engineering Applications, 2018. **7**(4): p. 45-51.

- [16]. Safari, M., Maghsoudi, A., *TARGETING HYDROTHERMAL ALTERATIONS UTILIZING LANDSAT-8 AND ASTER DATA IN SHAHR-E-BABAK, IRAN*. International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Information Sciences, 2017. **42**.
- [17]. Li, N., M. Frei, and W. Altermann, *Textural and knowledge-based lithological classification of remote sensing data in Southwestern Prieska sub-basin, Transvaal Supergroup, South Africa*. Journal of African Earth Sciences, 2011. **60**(4): p. 237-246.
- [18]. Fatima, K., U.K. Khattak, and A.B. Kausar, *Selection of Appropriate Classification Technique for Lithological Mapping of Gali Jagir Area, Pakistan*. International Journal of Environmental, Ecological, Geological and Mining Engineering, 2013. **7**(12).
- [19]. Grunsky, E. and P. de Caritat, *State-of-the-art analysis of geochemical data for mineral exploration*. Geochemistry: Exploration, Environment, Analysis, 2020. **20**(2): p. 217-232.
- [20]. Raeisi, A.R., A. Mohajervatan, and Z. Mehraein Nazdik, *Mass Casualty Response to Mine Explosion: A Case Report in Iran*. Health in Emergencies and Disasters Quarterly, 2019. **4**(3): p. 173-178.
- [21]. Razavian Amrei, S.A., M. Mahmoodi, and G.R. Ghodrati Amiri, *Probabilistic Seismic Hazard Assessment of Tehran Based on Arias Intensity*. International Journal of Engineering, 2010. **23**(1): p. 1-20.
- [22]. Nokhbatolfoghahaei, A., Nezafati, N., Ghorbani, M., *Evidence for origin and alteration in the dolomites of salt diapirs, Larestan, Southern Iran*. Carbonates and Evaporites, 2019: p. 1-15.
- [23]. Ghorbani, M., *Economic geology of Iran*. Vol. 581. 2013: Mineral deposits and natural resources: Springer.
- [24]. (GSI), G.S.a.M.E.o.I., *Geochemical Studies Tracking Report on 1:100,000 sheet, Kivi*. 1386: Code: 5665.
- [25]. (GSI), G.S.a.M.E.o.I., *Kivi 1:100000 geology map*. 1386: Code: 5665.
- [26]. (GSI), G.S.a.M.E.o.I., *Kivi Waterway map(1:100,000)*. 1386: Code: 5665.
- [27]. (GSI), G.S.a.M.E.o.I., *Kivi Geochemistry 1:100000 Map*. 1386: Code 6356
- [28]. Peters, W.C., *Exploration and mining geology*. 1987.
- [29]. Evans, A.M., *Ore geology and industrial minerals: an introduction*. 2009: John Wiley & Sons.
- [30]. Schlager, W., *The future of applied sedimentary geology*. Journal of Sedimentary Research, 2000. **70**(1): p. 2-9.
- [31]. Pawlowsky-Glahn, V. and R.A. Olea, *Geostatistical analysis of compositional data*. 2004: Oxford University Press.
- [32]. Ahmadi, S.H. and A. Sedghamiz, *Geostatistical analysis of spatial and temporal variations of groundwater level*. Environmental monitoring and assessment, 2007. **129**(1-3): p. 277-294.
- [33]. Matheron, G. (1963). Principles of geostatistics. Economic geology, 58(8), 1246-1266.
- [34]. Alahgholi, S., A. Shirazy, and A. Shirazi, *Geostatistical Studies and Anomalous Elements Detection, Bardaskan Area, Iran*. Open Journal of Geology, 2018. **8**(7): p. 697-710.

- [35]. Cheng, Q., F. Agterberg, and S. Ballantyne, *The separation of geochemical anomalies from background by fractal methods*. Journal of Geochemical Exploration, 1994. **51**(2): p. 109-130.
- [36]. Cheng, Q., F. Agterberg, and G. Bonham-Carter, *A spatial analysis method for geochemical anomaly separation*. Journal of Geochemical Exploration, 1996. **56**(3): p. 183-195.
- [37]. Cheng, Q., Y. Xu, and E. Grunsky, *Integrated spatial and spectrum method for geochemical anomaly separation*. Natural Resources Research, 2000. **9**(1): p. 43-52.
- [38]. Zhu, L. and G. Wen, *Hyperspectral anomaly detection via background estimation and adaptive weighted sparse representation*. Remote Sensing, 2018. **10**(2): p. 272.
- [39]. Xu, Y., Zu. x., *Anomaly detection in hyperspectral images based on low-rank and sparse representation*. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2015. **54**(4): p. 1990-2000.
- [40]. Daya, A.A., *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, 2015. **150**: p. 52-63.
- [41]. Martínez-Cob, A., *Multivariate geostatistical analysis of evapotranspiration and precipitation in mountainous terrain*. Journal of Hydrology, 1996. **174**(1-2): p. 19-35.
- [42]. Nayanaka, V., W. Vitharana, and R. Mapa, *Geostatistical analysis of soil properties to support spatial sampling in a paddy growing alfisol*. 2010.
- [43]. Franklin, R. B., Blum, L. K., McComb, A. C., & Mills, A. L., *A geostatistical analysis of small-scale spatial variability in bacterial abundance and community structure in salt marsh creek bank sediments*. FEMS Microbiology Ecology, 2002. **42**(1): p. 71-80.
- [44]. Chipeta, M. G., Giorgi, E., Mategula, D., Macharia, P. M., Ligomba, C., Munyenembe, A., ... & Kayange, M., *Geostatistical analysis of Malawi's changing malaria transmission from 2010 to 2017*. Wellcome open research, 2019. **4**.
- [45]. Vessia, G., Di Curzio, D., Chiaudani, A., & Rusi, S., *Regional rainfall threshold maps drawn through multivariate geostatistical techniques for shallow landslide hazard zonation*. Science of the total environment, 2020. **705**: p. 135815.
- [46]. Sun, B., S. Zhou, and Q. Zhao, *Evaluation of spatial and temporal changes of soil quality based on geostatistical analysis in the hill region of subtropical China*. Geoderma, 2003. **115**(1-2): p. 85-99.
- [47]. Johnston, K., Ver Hoef, J.M., Krivoruchko, K. and. Lucas, N., *Using ArcGIS geostatistical analyst*. Vol. 380. 2001: Esri Redlands.
- [48]. Goovaerts, P., *Geostatistics in soil science: state-of-the-art and perspectives*. Geoderma, 1999. **89**(1-2): p. 1-45.
- [49]. Von Mises, R., *Probability, statistics, and truth*. 1981: Courier Corporation.
- [50]. Journel, A.G. and C.J. Huijbregts, *Mining geostatistics*. Vol. 600. 1978: Academic press London.

- [51]. Matheron, G., *Principles of geostatistics*. Economic geology, 1963. **58**(8): p. 1246-1266.
- [52]. Agterberg, F., *Multifractals and geostatistics*. Journal of Geochemical Exploration, 2012. **122**: p. 113-122.
- [53]. Chiles, J.-P. and P. Delfiner, *Geostatistics: modeling spatial uncertainty*. Vol. 497. 2009: John Wiley & Sons.
- [54]. Kelkar, M., G. Perez, and A. Chopra, *Applied geostatistics for reservoir characterization*. 2002: Society of Petroleum Engineers Richardson, TX.
- [55]. Hengl, T., B. Minasny, and M. Gould, *A geostatistical analysis of geostatistics*. Scientometrics, 2009. **80**(2): p. 491-514.
- [56]. Armstrong, M., *Basic linear geostatistics*. 1998: Springer Science & Business Media.
- [57]. Hansen, T. M., Journal, A. G., Tarantola, A., & Mosegaard, K., *Linear inverse Gaussian theory and geostatistics*. Geophysics, 2006. **71**(6): p. R101-R111.
- [58]. Goovaerts, P., *Geostatistics for natural resources evaluation*. 1997: Oxford University Press on Demand.
- [59]. Mandelbrot, B.B., *The fractal geometry of nature/Revised and enlarged edition*. whf, 1983.
- [60]. Cartier, C., *Book review: Planetary Geoscience*. European Journal of Mineralogy, 2020. **32**(5): p. 501-503.
- [61]. Fowler, A., *Mathematical geoscience*. Vol. 36. 2011: Springer Science & Business Media.
- [62]. Houlding, S., *3D geoscience modeling: computer techniques for geological characterization*. 2012: Springer Science & Business Media.
- [63]. Pye, K. and D.J. Croft. *Forensic geoscience: principles, techniques and applications*. 2004. Geological Society of London.
- [64]. Mohammadi, A., Khakzad, A., Omran, N. R., Mahvi, M. R., Moarefvand, P., & Afzal, P., *Application of number–size (NS) fractal model for separation of mineralized zones in Dareh-Ashki gold deposit, Muteh Complex, Central Iran*. Arabian Journal of Geosciences, 2013. **6**(11): p. 4387-4398.
- [65]. Lewis, M. and D.C. Rees, *Fractal surfaces of proteins*. Science, 1985. **230**(4730): p. 1163-1165.
- [66]. Nazarpour, A., *Application of CA fractal model and exploratory data analysis (EDA) to delineate geochemical anomalies in the: Takab 1: 25,000 geochemical sheet, NW Iran*. Iranian Journal of Earth Sciences, 2018. **10**(2): p. 173-180.
- [67]. Zuo, R. and J. Wang, *Fractal/multifractal modeling of geochemical data: A review*. Journal of Geochemical Exploration, 2016. **164**: p. 33-41.
- [68]. Afzal, P., Alghalandis, Y. F., Khakzad, A., Moarefvand, P., & Omran, N. R., *Delineation of mineralization zones in porphyry Cu deposits by fractal concentration–volume modeling*. Journal of Geochemical Exploration, 2011. **108**(3): p. 220-232.
- [69]. Zuo, R., *Decomposing of mixed pattern of arsenic using fractal model in Gangdese belt, Tibet, China*. Applied geochemistry, 2011. **26**: p. S271-S273.
- [70]. Shen, W., *Fractal invariable distribution and its application in large-sized and super large-sized mineral deposits*. Geoscience Frontiers, 2011. **2**(1): p. 87-91.

- [71]. Nouri, R., Afzal, P., Arian, M., Jafari, M., & Feizi, F., *Reconnaissance of copper and gold mineralization using Analytical Hierarchy Process (AHP) in the Rudbar 1: 100,000 map sheet, Northwest Iran*. Journal of Mining and Metallurgy A: Mining, 2013. **49**(1): p. 9-19.
- [72]. Fong, P.S.-W. and S.K.-Y. Choi, *Final contractor selection using the analytical hierarchy process*. Construction management and economics, 2000. **18**(5): p. 547-557.
- [73]. Saaty, T.L., *Fundamentals of decision making and priority theory with the analytic hierarchy process*. Vol. 6. 2000: RWS publications.
- [74]. Safari, M., Ataei, M., Khalokakaie, R., & KARAMOZIAN, M., *Mineral processing plant location using the analytic hierarchy process—a case study: the Sangam iron ore mine (phase 1)*. Mining Science and Technology (China), 2010. **20**(5): p. 691-695.
- [75]. Shirazy, A., *Behavior of Gold, Arsenic, and Antimony Elements: K-Means Method, Matlab, and SPSS-Software*. 2020: GRIN Verlag.
- [76]. Jain, A.K., *Data clustering: 50 years beyond K-means*. Pattern recognition letters, 2010. **31**(8): p. 651-666.
- [77]. Alsabti, K., S. Ranka, and V. Singh, *An efficient k-means clustering algorithm*. 1997.
- [78]. Krishna, K. and M.N. Murty, *Genetic K-means algorithm*. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part B (Cybernetics), 1999. **29**(3): p. 433-439.
- [79]. Shirazy, A., Shirazi, A., Ferdossi, M. H., & Ziaii, M., *Geochemical and Geostatistical Studies for Estimating Gold Grade in Tarq Prospect Area by K-Means Clustering Method*. Open Journal of Geology, 2019. **9**(6): p. 306-326.
- [80]. Shirazy, A., M. Ziaii, and A. Hezarkhani, *Geochemical Behavior Investigation Based on K-means and Artificial Neural Network Prediction for Copper, in Kivi region, Ardabil province, IRAN*. Iranian Journal of Mining Engineering, 2020. **14**(45): p. 96-112.
- [81]. Kulis, B. and M.I. Jordan, *Revisiting k-means: New algorithms via Bayesian nonparametrics*. arXiv preprint arXiv:1111.0352, 2011.
- [82]. Yiakopoulos, C., K.C. Gryllias, and I.A. Antoniadis, *Rolling element bearing fault detection in industrial environments based on a K-means clustering approach*. Expert Systems with Applications, 2011. **38**(3): p. 2888-2911.
- [83]. Chakraborty, S. and N. Nagwani. *Analysis and study of incremental k-means clustering algorithm*. in *International Conference on High Performance Architecture and Grid Computing*. 2011. Springer.
- [84]. Kwedlo, W., *A clustering method combining differential evolution with the K-means algorithm*. Pattern Recognition Letters, 2011. **32**(12): p. 1613-1621.
- [85]. Mignotte, M., *A de-texturing and spatially constrained K-means approach for image segmentation*. Pattern Recognition Letters, 2011. **32**(2): p. 359-367.
- [86]. Khakmardan, S., Shirazi, A., Shirazy, A., & Hosseingholi, H., *Copper Oxide Ore Leaching Ability and Cementation Behavior, Mesgaran Deposit in IRAN*. Open Journal of Geology, 2018. **8**(09): p. 841.
- [87]. Cheng, Q. and F. Agterberg, *Fuzzy weights of evidence method and its application in mineral potential mapping*. Natural resources research, 1999. **8**(1): p. 27-35.

- [88]. Rantitsch, G., *The fractal properties of geochemical landscapes as an indicator of weathering and transport processes within the Eastern Alps*. Journal of Geochemical Exploration, 2001. **73**(1): p. 27-42.
- [89]. Saadati, H., Afzal, P., Torshizian, H., & Solgi, A., *Geochemical exploration for Li using Geochemical Mapping Prospectivity Index (GMPI), fractal and Stage Factor Analysis (SFA) in NE Iran*. Geochemistry: Exploration, Environment, Analysis, 2020.
- [90]. Kim, K. S., Choi, H. H., Moon, C. S., & Mun, C. W., *Comparison of k-nearest neighbor, quadratic discriminant and linear discriminant analysis in classification of electromyogram signals based on the wrist-motion directions*. Current applied physics, 2011. **11**(3): p. 740-745.
- [91]. Cai, T. and W. Liu, *A direct estimation approach to sparse linear discriminant analysis*. Journal of the American statistical association, 2011. **106**(496): p. 1566-1577.
- [92]. Harandi, M. T., Sanderson, C., Shirazi, S., & Lovell, B. C., *Graph embedding discriminant analysis on Grassmannian manifolds for improved image set matching*. in CVPR 2011. 2011. IEEE.
- [93]. Villa, A., Benediktsson, J. A., Chanussot, J., & Jutten, C., *Hyperspectral image classification with independent component discriminant analysis*. IEEE transactions on Geoscience and remote sensing, 2011. **49**(12): p. 4865-4876.
- [94]. Kim, T. K., Stenger, B., Kittler, J., & Cipolla, R., *Incremental linear discriminant analysis using sufficient spanning sets and its applications*. International Journal of Computer Vision, 2011. **91**(2): p. 216-232.
- [95]. Witten, D.M. and R. Tibshirani, *Penalized classification using Fisher's linear discriminant*. Journal of the Royal Statistical Society: Series B (Statistical Methodology), 2011. **73**(5): p. 753-772.
- [96]. Clemmensen, L., Hastie, T., Witten, D., & Ersbøll, B., *Sparse discriminant analysis*. Technometrics, 2011. **53**(4): p. 406-413.
- [97]. Shao, J., Wang, Y., Deng, X., & Wang, S., *Sparse linear discriminant analysis by thresholding for high dimensional data*. The Annals of statistics, 2011. **39**(2): p. 1241-1265.
- [98]. Cai, D., X. He, and J. Han, *Speed up kernel discriminant analysis*. The VLDB Journal, 2011. **20**(1): p. 21-33.
- [99]. Ding, X., L. He, and L. Carin, *Bayesian robust principal component analysis*. IEEE Transactions on Image Processing, 2011. **20**(12): p. 3419-3430.
- [100]. Greven, S., *Longitudinal functional principal component analysis*, in *Recent Advances in Functional Data Analysis and Related Topics*. 2011, Springer. p. 149-154.
- [101]. De Leeuw, J., *Nonlinear principal component analysis and related techniques*. 2011.
- [102]. Vargas, J., J.A. Quiroga, and T. Belenguer, *Phase-shifting interferometry based on principal component analysis*. Optics letters, 2011. **36**(8): p. 1326-1328.
- [103]. Candès, E. J., Li, X., Ma, Y., & Wright, J., *Robust principal component analysis?* Journal of the ACM (JACM), 2011. **58**(3): p. 1-37.

- [104]. Barshan, E., Ghodsi, A., Azimifar, Z., & Jahromi, M. Z., *Supervised principal component analysis: Visualization, classification and regression on subspaces and submanifolds*. Pattern Recognition, 2011. **44**(7): p. 1357-1371.
- [105]. Hanrahan, G., *Artificial neural networks in biological and environmental analysis*. 2011: CRC Press.
- [106]. Al-Shayea, Q.K., *Artificial neural networks in medical diagnosis*. International Journal of Computer Science Issues, 2011. **8**(2): p. 150-154.
- [107]. Suzuki, K., *Artificial neural networks: methodological advances and biomedical applications*. 2011: BoD—Books on Demand.
- [108]. Kirthika, A. and A. Mookambiga. *Automated road network extraction using artificial neural network*. in *2011 International Conference on Recent Trends in Information Technology (ICRTIT)*. 2011. IEEE.
- [109]. Dobрева, I.D. and A.G. Klein, *Fractional snow cover mapping through artificial neural network analysis of MODIS surface reflectance*. Remote Sensing of Environment, 2011. **115**(12): p. 3355-3366.
- [110]. Anastassiou, G.A., *Intelligent systems: approximation by artificial neural networks*. 2011: Springer.
- [111]. Monjezi, M., Bahrami, A., Varjani, A. Y., & Sayadi, A. R., *Prediction and controlling of flyrock in blasting operation using artificial neural network*. Arabian Journal of Geosciences, 2011. **4**(3-4): p. 421-425.
- [112]. Krenker, A., J. Bester, and A. Kos, *Introduction to the artificial neural networks*, in *Artificial neural networks-methodological advances and biomedical applications*. 2011, IntechOpen.
- [113]. Shirazy, A., Shirazi, A., Hezarkhani, A., *Exploratory Remote Sensing Studies to Determine the Mineralization Zones around the Zarshuran Gold Mine*.
- [114]. Akiwumi, F.A. and D.R. Butler, *Mining and environmental change in Sierra Leone, West Africa: a remote sensing and hydrogeomorphological study*. Environmental Monitoring and Assessment, 2008. **142**(1-3): p. 309-318.
- [115]. Gupta, R.P., *Remote sensing geology*. 2017: Springer.
- [116]. Shirazi, A., Shirazy, A. and J. Karami, *Remote Sensing to Identify Copper Alterations and Promising Regions, Sarbishe, South Khorasan, Iran*. International Journal of Geology and Earth Sciences, 2018. **4**(2): p. 36-52.
- [117]. Mishra, R.K., P. Bahuguna, and V. Singh, *Detection of coal mine fire in Jharia Coal Field using Landsat-7 ETM+ data*. International journal of coal geology, 2011. **86**(1): p. 73-78.
- [118]. Stanchev, H., Palazov, A. T. A. N. A. S., Stancheva, M., & Apostolov, A. N. A. T. O. L. Y., *Determination of the Black Sea area and coastline length using GIS methods and Landsat 7 satellite images*. Geo-Eco-Marina. Bucharest, 2011. **17**: p. 27-31.
- [119]. Zhai, L., Xie, W., Sang, H., Sun, J., Yang, G., & Jia, Y. *Land cover mapping with Landsat data: The Tasmania case study*. in *2011 International Symposium on Image and Data Fusion*. 2011. IEEE.
- [120]. Veraverbeke, S., Lhermitte, S., Verstraeten, W. W., & Goossens, R., *Evaluation of pre/post-fire differenced spectral indices for assessing burn severity in a Mediterranean environment with Landsat Thematic Mapper*. International Journal of Remote Sensing, 2011. **32**(12): p. 3521-3537.

- [121]. Mansaray, L. R., Huang, W., Zhang, D., Huang, J., & Li, J., *Mapping rice fields in urban Shanghai, southeast China, using Sentinel-1A and Landsat 8 datasets*. Remote Sensing, 2017. **9**(3): p. 257.
- [122]. Teluguntla, P., Oliphant, A., ... & Gorelick, N., *Nominal 30-m cropland extent map of continental Africa by integrating pixel-based and object-based algorithms using Sentinel-2 and Landsat-8 data on Google Earth Engine*. Remote Sensing, 2017. **9**(10): p. 1065.
- [123]. Palacky, G. and G. West, *Airborne electromagnetic methods*, in *Electromagnetic Methods in Applied Geophysics: Volume 2, Application, Parts A and B*. 1991, Society of Exploration Geophysicists. p. 811-880.
- [124]. Sloggett, G. J., ... & Turner, R., *Field trials using HTS SQUID magnetometers for ground-based and airborne geophysical applications*. IEEE transactions on applied superconductivity, 1999. **9**(2): p. 3786-3792.
- [125]. Hood, P. and S. Ward, *Airborne geophysical methods*, in *advances in geophysics*. 1969, Elsevier. p. 1-112.
- [126]. An, P., *Application of fuzzy set theory to integrated mineral exploration*. Can. J. Explor. Geophys., 1991. **27**: p. 1-11.
- [127]. Witten, A., *Handbook of geophysics and archaeology*. 2017: Routledge.
- [128]. Kaufman, A.A. and G. Itskovich, *Basic Principles of Induction Logging: Electromagnetic Methods in Borehole Geophysics*. 2017: Elsevier.
- [129]. Zareie, V., M.R. HAMIDZADEH, and H. Kheyrollahi, *A new method of edge detection of magnetized structures using the modulus of full tensor potential field gradient*.
- [130]. Greene, M.T., *Geology in the nineteenth century: Changing views of a changing world*. 2017: Cornell University Press.
- [131]. Craddock, P.R., M.M. Herron, and S.L. Herron, *Comparison of quantitative mineral analysis by X-ray diffraction and Fourier transform infrared spectroscopy*. Journal of Sedimentary Research, 2017. **87**(6): p. 630-652.
- [132]. Bortolotti, M., L. Lutterotti, and G. Pepponi, *Combining XRD and XRF analysis in one Rietveld-like fitting*. Powder Diffraction, 2017. **32**: p. S225.
- [133]. Gregory, B. R., Reinhardt, E. G., Macumber, A. L., Nasser, N. A., Patterson, R. T., Kovacs, S. E., & Galloway, J. M., *Sequential sample reservoirs for Itrax-XRF analysis of discrete samples*. Journal of Paleolimnology, 2017. **57**(3): p. 287-293.
- [134]. Walkner, C., Gratzner, R., Meisel, T., & Bokhari, S. N. H., *Multi-element analysis of crude oils using ICP-QQQ-MS*. Organic Geochemistry, 2017. **103**: p. 22-30.
- [135]. S. J., Grotzinger, J. P., ... & Thompson, L. M., *Mineralogy of an ancient lacustrine mudstone succession from the Murray formation, Gale crater, Mars*. Earth and Planetary Science Letters, 2017. **471**: p. 172-185.
- [136] M. Ehteshami-moinabadi, "Possible Basement Transverse Faults In The Western Alborz Northern Iran" , Journal of Sciences Islamic Republic of Iran, Vol.27, pp.329-342, 2016
- [137] Geological Survey of Iran, Exploration Department

Abstract

The Kivi is located in Ardabil (northwestern province of Iran) which is one of the potential areas for metallic elements exploration. Geological, geochemical and geostatistical studies, remote sensing, airborne geophysics and geostructure are useful tools for trying to explore minerals and especially in this region. The main purpose of this thesis is to process data (stream sediment samples, satellite images, magnetic airborne geophysical surveys, regional faults and geological studies) to identify metallic mineralization anomalies. Initially, the geochemical data of the stream sediments were modified using the Dorffel method. Then, univariate statistical processing was performed and resulted in the selection of titanium and zinc as the elements with the best contrast. The relationship between the elements was investigated using correlation analysis and hierarchical clustering. According to the results, it was found that titanium and zinc play an important role in mineralization of the region. Principal component analysis (PCA) was performed to select the mineralization index component related to these elements. The selected component was determined on the geological map of the drawing area as well as the geochemical threshold of the anomalous samples using probability and fractal concentration-area (C-V) diagrams. Titanium and zinc were analysed by and linear discriminant analysis (LDA) using the thresholds. Lithological units and patterns of change were detected by remote sensing (methods: BR, DSPCA and MNF). Using magnetic aerial surveys, geophysical modeling data and selected high probability geochemical area in these studies were also potentially explored. By looking at the map of faults in the region and the existence of kivi faults in the identified area, the possibility of controlling this mineralization by faults can be added to the

exploration keys. The results of geostatistical studies on geochemical data, remote sensing, airborne geophysics, geology and structure, identified Ti and Zn anomalies in the eastern part of the study area. According to this study, Ti and Zn have been identified as good interceptors for further research in the Kivi region. According to this important reason, the behavior of two elements along with their geographical location were studied by k-means clustering method and using them as another exploratory key, the amount of titanium in the region with artificial neural network and regression was predicted. The artificial nerve provided more accurate answers.

Keywords: Geochemistry, Geophysics, Statistics, Geology, Intelligent Mining Exploration Studies, Kivi, Ardabil



Shahrood University

FACULTY OF MINING, PETROLEUM AND GEOPHYSICS ENGINEERING

PhD thesis in Mining Engineering

**Behavioral study, potential mapping and geochemical
modeling in the Kivi area, Ardabil**

By : Adel Shirazy

Supervisors:

Dr. Mansour Ziaii

Dr. Ardeshir Hezarkhani

Jan 2021