

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشکده معدن، نفت و ژئوفیزیک

رشته معدن گرایش اکتشاف

پایان نامه کارشناسی ارشد

اکتشاف ذخایر آهن با استفاده از روش‌های ژئوشیمیایی در مقیاس محلی در

منطقه چاهداشی (نهبندان)

نگارنده: رضا کشاورز گل‌بر

استاد راهنما:

دکتر منصور ضیایی

مشاور:

مهدی ضیایی

شهریور ۱۳۹۵

شماره: ۹۹۸/۱۷۹۰
تاریخ: ۱۲/۱۱/۹۰
ویرایش:

باسمه تعالی



مدیریت تحصیلات تکمیلی

فرم شماره ۷: صورتجلسه نهایی دفاع از پایان نامه دوره کارشناسی ارشد

با تأییدات خداوند متعال و با استعانت از حضرت ولی عصر (عج) ارزیابی جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد آقای رضا کشاورز گل بر به شماره دانشجویی ۹۲۱۱۷۸۴، رشته معدن گرایش اکتشاف تحت عنوان اکتشاف ذخایر آهن با استفاده از روش‌های ژئوشیمیایی در مقیاس محلی در منطقه چاهداشی (تهپندان) که در تاریخ ۹۵/۶/۱۷ با حضور هیأت محترم داوران در دانشگاه صنعتی شاهرود برگزار گردید به شرح ذیل اعلام می‌گردد:

قبول (با درجه: خوب امتیاز ۱۷/۹۰) دفاع مجدد مردود

نوع تحقیق: نظری عملی

۱- عالی (۲۰-۱۹)

۲- بسیار خوب (۱۸/۹۹-۱۸)

۳- خوب (۱۶-۱۷/۹۹)

۴- قابل قبول (۱۴-۱۵/۹۹)

۵- نمره کمتر از ۱۴ غیر قابل قبول

| امضاء | مرتبه علمی | نام و نام خانوادگی | عضو هیأت داوران |
|-------|------------|--------------------|---------------------------------|
| | دانشیار | دکتر منصور ضیایی | ۱- استادارهنمای اول |
| - | | | ۲- استادارهنمای دوم |
| | - | مهندس مهدی ضیایی | ۳- استاد مشاور |
| | استادیار | دکتر سوسن ابراهیمی | ۴- نماینده شورای تحصیلات تکمیلی |
| | استادیار | دکتر حمید آقاجانی | ۵- استاد ممتحن اول |
| | استادیار | دکتر احمد واعظیان | ۶- استاد ممتحن دوم |

نام و نام خانوادگی رئیس دانشکده: دکتر علی محمد عرب امیری
تاریخ و امضاء و مهر دانشکده:

تقدیم اثر

به سه وجود مقدس:

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

مویشان سپید شد تا ما رو سفید شویم...

و عاشقانه سوختند تا گرما بخش وجود ما و رو همگرم راهمان باشند...

پدرانمان

مادرانمان

استادانمان

که از نگاهشان صلابت و از رفتارشان محبت

و از صبرشان ایستادگی را آموختیم.

شکر و قدردانی

اکنون که این رساله را با عنایت مهربان یکتا به اتمام رسیده است بر خود لازم می دانم از تمامی کسانی که مراد در این راه یاری نموده اند

شکر و قدردانی نمایم هر چند که این سپاس کوچکترین هدیه ای خواهد بود در مقابل زحمات بسیار آنان.

ابتدا از زحمات، عنایات و لطف بی دریغ آقای دکتر منصور ضیایی نهایت شکر را دارم که با صبوری و درایتش مرا راهنمایی نموده اند تا

رساله ای بی نقص، عیب و ایراد تهیه نمایم.

از آقای مهندس مهدی ضیایی قدردانی می نمایم که زحمت مشاوره این جانب را بر عهده داشته اند. همچنین از آقای دکتر کومرث

سیف پناهی که همیشه و در هر زمینه ای مرا راهنمایی کرده اند قدردانی می نمایم. از آقای مهندس امیرکاشانی که در جای جای این پایان

نامه از یاریشان استفاده نمودم کمال شکر را دارم. در پایان از همه کسانی که در تهیه این رساله به بنده یاری رسانند قدردانی میکنم.

تعهد نامه

اینجانب رضا کشاورز گل‌بر دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته مهندسی اکتشاف معدن دانشکده معدن، نفت و ژئوفیزیک دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه با عنوان " اکتشاف ذخایر آهن با استفاده از روش‌های ژئوشیمیایی در مقیاس محلی در منطقه چاهدashi (نهبندان)" تحت راهنمایی استاد گرامی جناب آقای دکتر منصور ضیایی متعهد می‌شوم.

- تحقیقات این پایان‌نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است.
- در استفاده از نتایج پژوهش‌های محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است.
- مطالب مندرج در پایان‌نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارایه نشده است.
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می‌باشد و مقالات مستخرج با نام "دانشگاه صنعتی شاهرود" و یا "Shahrood, University of Technology" به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان‌نامه تأثیرگذار بوده‌اند در مقالات مستخرج از پایان‌نامه رعایت می‌گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان‌نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته و یا استفاده شده است اصل رازداری، ضوابط و اصول اخلاقی انسانی رعایت شده است.

۹۵/۰۶/۱۶

رضا کشاورز گل‌بر

مالکیت نتایج و حق نشر

کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامه‌های رایانه‌ای، نرم‌افزار و تجهیزات ساخته شده) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می‌باشد. این مطلب باید به نحوه مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود.

استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان‌نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی‌باشد.

چکیده:

محدوده چاهدashi در غرب نهبندان در خراسان جنوبي قرار دارد. کمر بند متالوژني تشکيلات متامورف ده سلیم منشأ کانی سازی ذخایر آهن دار (هماتیت و مگنتیت) در محدوده مورد مطالعه می باشد. این تشکيلات از مجاورت توده نفوذی گرانیت شاهکوه تا حاشیه لوت مرکزی گسترش یافته اند.

در این پژوهش در ابتدا برای شناسایی کانه زایی منطقه، تعدادی مقطع نازک و صیقلی بررسی شد. در این بررسی ها مشخص شد کانی سازی منطقه از نوع هماتیت و به ندرت مگنتیت همراه با کوارتز و کربنات می باشد. داده های ژئوشیمیایی منطقه با استفاده از روش های آماری تک و چند متغیره مورد بررسی قرار گرفت. در آمار چند متغیره نشان داده شد آهن با عناصر کبالت، وانادیم و تیتانیم ... همبستگی بالایی دارد. این عناصر هاله های فوق و تحت کانساری را در اسکارن آهن تشکیل می دهند. سپس با استفاده از روش آماری سالووف و هندسه فرکتال حدود زمينه و آنومالی برای عناصر مختلف مخصوصاً آهن بدست آمد. از مقایسه این حدود مشخص شد که این دو روش با تقریب خوبی همدیگر را تأیید می کنند. با استفاده از روش هاله های مرکب و زونالیتة ژئوشیمیایی یک آنومالی در شمال شرق محدوده مشخص شد و پیشنهاد چهار نقطه حفاری برای این آنومالی داده شد. همچنین یک محدوده برای اکتشاف بیشتر در جنوب محدوده مورد مطالعه پیشنهاد شد. با بررسی های انجام شده مشخص شد که آنومالی های پیشنهادی در ارتباط با گسل های با امتداد شمال غرب-جنوب شرق در ارتباط هستند و گسل مهم کانی سازی نیز همین گسل ها می باشند.

کلمات کلیدی: روش های آماری تک و چند متغیره، روش سالووف، زونالیتة، هندسه فرکتال،

چاهدashi، نهبندان

فهرست

- فصل اول کلیات ۱
- ۱-۱- مقدمه ۲
- ۲-۱- موقعیت جغرافیایی و راه‌های دسترسی به منطقه مورد مطالعه ۳
- ۳-۱- وضعیت آب و هوایی منطقه ۵
- ۴-۱- ضرورت و هدف انجام تحقیق ۶
- ۵-۱- روش تحقیق پایان نامه ۷
- ۶-۱- ساختار پایان نامه ۸
- ۷-۱- مروری بر تحقیقات گذشته ۸
- ۸-۱- کلیاتی در مورد آهن ۱۰
- فصل دوم زمین‌شناسی ورقه چهارفرسخ و کانی‌شناسی آهن ۱۳
- ۱-۲- زمین‌شناسی ورقه چهارفرسخ ۱۴
- ۱-۱-۲- مروری بر چینه نگاری منطقه ۱۴
- ۲-۱-۲- فعالیت‌های آذرین ۱۵
- ۳-۱-۲- تکتونیک ورقه چهارفرسخ ۱۶
- ۲-۲- نقشه زمین‌شناسی چهارفرسخ و ستون چینه‌شناسی آن ۱۹
- ۱-۲-۲- کواترنری ۲۰
- ۲-۲-۲- نئوژن ۲۰

- ۲۰..... ائوسن ۳-۲-۲
- ۲۱..... کرتاسه ۴-۲-۲
- ۲۱..... ژوراسیک ۵-۲-۲
- ۲۲..... بعد از ژوراسیک ۶-۲-۲
- ۲۲..... انواع کانسارهای آهن ۳-۲-۲
- ۲۲..... کانسارهای آهن ماگمایی ۱-۳-۲
- ۲۴..... کانسارهای اسکارنی آهن ۲-۳-۲
- ۲۵..... کانسارهای آهن آتشفشانی ۳-۳-۲
- ۲۶..... کانسارهای گرمابی آهن ۴-۳-۲
- ۲۶..... کانسارهای رسوبی آهن ۵-۳-۲
- ۲۷..... کانسارهای آهن آلئیتی یا سنگ آهن‌ها ۱-۵-۳-۲
- ۲۷..... کانسارهای آهن لایه‌ای ۲-۵-۳-۲
- ۲۹..... کانی‌های آهن ۴-۲-۲
- ۳۱..... مگنتیت ۱-۴-۲
- ۳۲..... هماتیت ۲-۴-۲
- ۳۲..... هیدروکسید آهن ۳-۴-۲
- ۳۲..... ایلمنیت ۴-۴-۲
- ۳۳..... سیدریت ۵-۴-۲
- ۳۳..... مطالعات کانی‌شناسی محدوده و بررسی مقاطع صیقلی ۵-۲-۲

| | |
|---|----|
| فصل سوم روش‌های آماری تک و چند متغیره و سالووف برای تعیین آنومالی | ۳۹ |
| ۱-۳- مقدمه | ۴۰ |
| ۲-۳- مفهوم کیفی زمینه، آنومالی، هاله اولیه | ۴۰ |
| ۳-۳- پردازش اولیه داده‌های ژئوشیمیایی | ۴۱ |
| ۱-۳-۳- تخمین و جایگزینی داده‌های سنسورد | ۴۱ |
| ۱-۱-۳-۳- روش‌های جایگزینی ساده | ۴۲ |
| ۲-۳-۳- تصحیح مقادیر خارج از ردیف | ۴۳ |
| ۱-۲-۳-۳- روش فانوپ | ۴۳ |
| ۲-۲-۳-۳- روش دورفل | ۴۴ |
| ۳-۳-۳- نرمال‌سازی داده‌ها | ۴۶ |
| ۴-۳- بررسی‌های آماری تک متغیره | ۴۷ |
| ۱-۴-۳- پارامترهای آماری داده‌های خام | ۴۸ |
| ۵-۳- بررسی آماری چند متغیره | ۵۱ |
| ۱-۵-۳- تحلیل رگرسیون چندگانه | ۵۱ |
| ۲-۵-۳- تجزیه تحلیل خوشه‌ای | ۵۴ |
| ۱-۲-۵-۳- روش اتصال نزدیکترین همسایگی | ۵۴ |
| ۲-۲-۵-۳- روش اتصال وارد | ۵۴ |
| ۳-۵-۳- تجزیه و تحلیل فاکتوری | ۵۶ |
| ۱-۳-۵-۳- شاخص KMO | ۵۷ |

- ۶۳-۳-۶- برآورد مقدار زمینه و حد آستانه‌ای به روش آماری سالووف ۶۲
- ۶۷-۳-۷- کاربرد هاله‌های ضربی و تعیین فاکتور زونالیته ۶۷
- ۷۱- فصل چهارم هندسه فرکتال ۷۱
- ۷۲-۴-۱- مقدمه ۷۲
- ۷۳-۴-۲- روش‌های ساختاری ۷۳
- ۷۳-۴-۳- هندسه فرکتال و روش عیار- مساحت ۷۳
- ۷۹- فصل پنجم نتیجه‌گیری و پیشنهادات ۷۹
- ۸۰-۵-۱- نتیجه‌گیری ۸۰
- ۸۲-۵-۲- پیشنهادات ۸۲
- ۸۴- منابع ۸۴

فهرست شکل‌ها

- شکل ۱-۱: راه‌های دسترسی به محدوده مورد مطالعه ۴
- شکل ۲-۱: محدوده مورد مطالعه در نقشه توپوگرافی دهسلم ۵
- شکل ۱-۲: نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ چهارفرسخ [۹] ۱۹
- شکل ۲-۲: هماتیت به رنگ سفید به صورت بافت داربستی ۳۴
- شکل ۳-۲: همراهی کانیهای کوارتز خاکستری و دولومیت در نمونه‌های کانسنگ چاهدashi (مقاطع نازک) ۳۵
- شکل ۴-۲: وجود هماتیت و گوتیت به عنوان کانی مفید و سیلیس به عنوان کانی مضر ۳۶
- شکل ۵-۲: وجود هماتیت و گوتیت بدون حضور سیلیس ۳۷
- شکل ۱-۳: محاسبه Sw در روش فانوپ [۲۳] ۴۴
- شکل ۲-۳: حد آستانه‌ای مقادیر خارج از ردیف (g) به عنوان تابعی از تعداد نمونه (n) و سطح اعتماد [۲۳] ۴۵
- شکل ۳-۳: هیستوگرام عناصر آهن و وانادیم قبل (الف و ب) و بعد (ج و د) از نرمال کردن داده-ها ۴۷
- شکل ۴-۳: دندوگرام حاصل از روش اتصال مرکز ۵۵
- شکل ۵-۳: تابع چگالی داده‌های ژئوشیمیایی جامعه آنومالی A با میانگین $A\mu$ و جامعه زمینه B با میانگین $B\mu$ [۲۵] ۶۲
- شکل ۶-۳: نقاط نمونه‌برداری در محدوده چاهدashi ۶۵
- شکل ۷-۳: نقشه‌های حد زمینه و آنومالی برای عناصر شاخص و آهن با استفاده از آمار سالووف

در منطقه چاهداشی ۶۶

شکل ۳-۸: تغییرات میدان ژئوشیمیایی برای عناصر V, Zr (فوق کانساری) و Mn, Co (تحت

کانساری) در محدوده چاهداشی با استفاده از روش زونالیتة ۶۹

شکل ۳-۹: تغییرات میدان ژئوشیمیایی حاصل ضرب عناصر شاخص فوق کانساری (الف) و تحت

کانساری (ب) با استفاده از روش زونالیتة ۷۰

شکل ۴-۱: نمودارهای لگاریتمی مساحت‌های هر نمونه بر حسب عیار متناظر آن برای تخمین

حد زمینه و حد آنومالی عناصر به روش فرکتال ۷۶

شکل ۴-۲: نقشه حدود زمینه و آنومالی برای عناصر مختلف با استفاده از روش فرکتال ۷۸

شکل ۵-۱: نقشه مناطق آنومال برای عنصر آهن در محدوده چاهداشی ۸۱

شکل ۵-۲: نقاط پیشنهادی برای حفاری در محدوده چاهداشی ۸۲

فهرست جداول

- جدول ۱-۱: مختصات محدوده مورد مطالعه براساس UTM-WGS84 ۴
- جدول ۱-۲: خصوصیات آهن ماگمایی [۱۰] ۲۳
- جدول ۲-۲: مهم‌ترین خصوصیات اسکارن‌های آهن ۲۵
- جدول ۳-۲: مهم‌ترین خصوصیات کانسارهای آهن رسوبی و مقایسه انواع آن‌ها [۱۷] ۲۹
- جدول ۴-۲: مهم‌ترین کانی‌های تجاری آهن [۱۶، ۱۷] ۳۱
- جدول ۱-۳: تعداد و مقادیر جایگزین داده‌های سنسورد ۴۲
- جدول ۲-۳: مقادیر خارج از ردیف برخی از مهم‌ترین عناصر و مقادیر جایگزین ۴۵
- جدول ۳-۳: پارامترهای آماری داده‌های خام ۴۹
- جدول ۴-۳: ادامه جدول (۱-۳) ۵۰
- جدول ۵-۳: ضریب همبستگی پیرسون عناصر مختلف ۵۳
- جدول ۶-۳: قضاوت در مورد ضریب KMO [۲۴] ۵۹
- جدول ۷-۳: مولفه‌های آنالیز مولفه‌های اصلی داده‌های ژئوشیمیایی در منطقه چاهدashi ۶۰
- جدول ۸-۳: ضرایب هر عنصر در مولفه‌های نه‌گانه ۶۱
- جدول ۹-۳: محاسبه مقادیر زمینه C_p ، انحراف معیار ϵ و حد آستانه‌ای CA برای عناصر شاخص ۶۴
- جدول ۱-۴: حد آستانه‌ای عناصر براساس مدل فرکتالی عیار-مساحت ۷۷
- جدول ۱-۵: نقاط حفاری پیشنهادی ۸۳

فصل اول

کلیات

۱-۱- مقدمه

بشر از آغاز پیدایش، پیوسته برای ادامه حیات به زمین و مواد تشکیل دهنده آن متکی بوده است. بنابراین کانی‌های موجود در پوسته زمین به نسبت اهمیت همیشه مورد توجه انسان بوده و تلاش برای یافتن کانسارهای جدید و با گسترش و استفاده هر چه بیشتر از کانسارهای موجود همچنان ادامه دارد. در این میان اکتشاف انواع کانسارهای فلزی از جایگاه اصلی برخوردار می‌باشد. روش شناسایی و اکتشافی ژئوشیمیایی روشی است که نسبت به روش‌های حفاری بسیار ارزان‌تر و کم هزینه‌تر می‌باشد، لذا انجام این روش قبل از حفاری در بسیاری از موارد باعث کاهش ریسک‌های سرمایه‌گذاری و هزینه عملیات اکتشافی می‌شود.

امروزه اکتشاف ژئوشیمیایی نقش مهمی را در یافتن مناطق امید بخش جهت اکتشاف‌های تفصیلی‌تر ایفا می‌کند. شاید بتوان گفت مهم‌ترین نتایج حاصل از تحلیل داده‌های ژئوشیمیایی جدایش جوامع گوناگون آنومالی (ممکن، احتمالی و قطعی) از یکدیگر و نیز تعیین زمینه برای هر عنصر در منطقه مورد اکتشاف می‌باشد. به عبارتی در صورت عدم تعیین درست زمینه هر عنصر، در هر منطقه میزان آنومالی‌ها در آن منطقه دچار نوسان شده و سبب خطاهای اساسی در برآورد محدوده‌های امیدبخش برای ادامه عملیات اکتشافی می‌شود [۱].

نتایج حاصل از روش‌های سنتی مبتنی بر آمار کلاسیک تا مدتی مدید به عنوان تنها روش‌های تحلیل داده‌ها مورد استفاده قرار می‌گرفتند که دارای نقایصی از قبیل شرط تبعیت از توزیع نرمال، حذف تعدادی از داده‌ها به عنوان خارج از ردیف، عدم توجه به توزیع فضایی داده‌ها و نیز عدم توجه به شکل هندسی آنومالی‌ها می‌باشد [۲]. این مساله سبب شده که روش‌های دیگری برای تحلیل داده‌های ژئوشیمیایی و به خصوص جوامع ژئوشیمیایی به کار گرفته شوند.

در این پژوهش علاوه بر روش‌های آماری تک و چند متغیره، از روش آماری سالووف، زونالیته و از روش هندسه فرکتال نیز برای تعیین حدود مناطق آنومال استفاده می‌شود.

۱-۲- موقعیت جغرافیایی و راه‌های دسترسی به منطقه مورد مطالعه

شهرستان نهبندان یکی از شهرستان‌های استان خراسان جنوبی، واقع در شرق ایران است و در موقعیت جغرافیایی ۵۸ درجه و ۳۲ دقیقه طول شرقی و عرض جغرافیایی ۳۰ درجه و ۲۸ دقیقه عرض جنوبی نصف‌النهار گرینویچ قرار گرفته است. فاصله این شهرستان تا مرکز استان ۱۸۰ کیلومتر و تا نقطه مرزی ۸۵ کیلومتر می‌باشد.

شهرستان نهبندان به اقتضای موقعیت طبیعی آن و مجاورت با کویر، در دشتی نسبتاً وسیع واقع شده است. از نظر ناهمواری این شهرستان در شمال، مشتمل بر ارتفاعاتی است که قله آن به ۲۵۰۰ متر می‌رسد. کوه سرخ، کوه بیدمشک، کوه بوبک از جمله این ارتفاعات است. در بخش غربی شهرستان نیز شاهکوه که بلندترین نقطه آن ۳۷۳۲ متر ارتفاع دارد واقع گردیده است. بقیه سطح شهرستان مشتمل بر دشت‌های هموار نظیر سرچاهشو، سهل آباد، چاهداسی، دهسلم و نهبندان می‌باشد که ارتفاع این دشت‌ها حدود ۱۰۰۰ متر از سطح دریاست. بطور کلی جهت شیب در شهرستان نهبندان از جنوب و جنوب‌غربی بوده به طوری که در قسمت شرقی و جنوب‌شرقی به دشت سیستان و در جنوب و جنوب‌غربی به بیابان لوت منتهی می‌گردد. در جهت جنوب‌غربی - جنوب‌شرقی ارتفاعات شرق دشت سهل آباد (کوه آتشکده با ۲۱۵۹ متر) واقع شده که در نهایت به کوه بهاران می‌پیوندد. یک رشته ارتفاعات در جهت شمال‌غرب - جنوب‌شرق (کوه سناجان با ۲۰۱۲ متر) است که در غرب دشت سهل آباد واقع گردیده و به ارتفاعات کوه هوری می‌پیوندد. شهرستان نهبندان از شمال به کوه‌های کم ارتفاع بهاران محدود می‌شود این کوه‌ها در شمال دشت سهل آباد و چاه‌دراز واقع گردیده و مشجرت‌ترین کوه‌های شهرستان هستند.

منطقه مورد مطالعه در شمال روستای چاه‌وک و در نزدیکی روستای چهار فرسخ با مختصات عرض جغرافیایی ۳۵' ۳۱° و ۴۲' ۳۱° شمالی و طول جغرافیایی ۳۷' ۵۹° و ۴۷' ۵۹° خاوری و به مساحت ۴۰ کیلومتر مربع جا گرفته است. رئوس محدوده مورد مطالعه براساس UTM-WGS84 در

زون ۴۰ در جدول (۱-۱) ارائه می‌گردد.

جدول ۱-۱: مختصات محدوده مورد مطالعه براساس UTM-WGS84

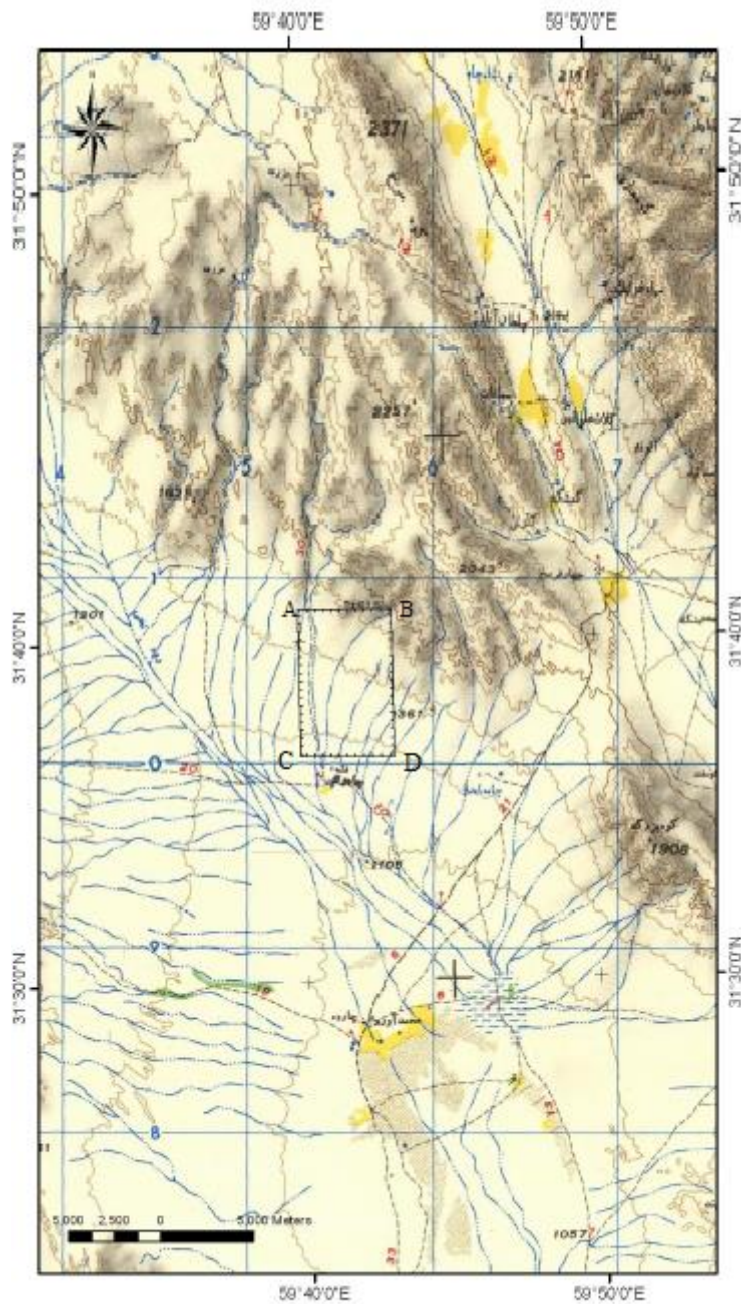
| رئوس محدوده | A | B | C | D |
|----------------|---------|---------|---------|---------|
| شمالی | ۳۵۰۶۴۰۱ | ۳۵۰۶۴۰۱ | ۳۵۰۲۸۵۲ | ۳۵۰۲۸۵۲ |
| شرقی | ۷۵۵۹۵۶ | ۷۵۸۰۸۸ | ۷۵۵۹۵۶ | ۷۵۸۰۸۸ |

برای دسترسی به محدوده مورد نظر با طی ۲۵ کیلومتر به سمت شمال غرب نهبندان به روستای

چهارفرسخ می‌رسیم (شکل ۱-۱).



شکل ۱-۱: راه‌های دسترسی به محدوده مورد مطالعه



شکل ۱-۲: محدوده مورد مطالعه در نقشه توپوگرافی دهسلم

۳-۱- وضعیت آب و هوایی منطقه

آب و هوای این منطقه عموماً نیمه بیابانی اما در مناطق شمالی این منطقه آب و هوا معتدل است زیرا ارتفاع در این مناطق افزایش می‌یابد. نسبت بارش شرایط حداقلی برای زندگی را فراهم می‌کند. افراد ساکن این منطقه بیشتر شغل‌هایی مانند کشاورزی و گله‌داری را در شرایط اولیه دارا می‌باشند.

اختلاف دمای روزانه و سالانه در این منطقه بسیار بالاست و بادهای شدیدی در طول ۶ ماه از سال وزیده می‌شود و به همین دلیل آسیاب‌های بادی بیشتر در این مناطق دیده می‌شوند.

۱-۴- ضرورت و هدف انجام تحقیق

توجه به ذخایر معدنی هر منطقه، به عنوان یکی از مهم‌ترین منابع طبیعی، جهت هر گونه برنامه-ریزی اقتصادی-اجتماعی اجتناب ناپذیر است. بدون شک در هر منطقه‌ای که فعالیت‌های معدنی رشد و توسعه یافته، گسترش بخش‌های مختلف تولید، حمل و نقل، تجارت و در مجموع رشد و رونق اقتصادی منطقه را به همراه داشته است. استان خراسان جنوبی با برخورداری از ویژگی‌های قابل توجه زمین-شناسی و ساختاری و جایگاه تکتونیکی مناسب، در پهنه وسیعی از استان قابلیت‌های ارزشمندی به لحاظ ذخایر معدنی فلزی و غیر فلزی را دارا می‌باشد.

اگر چه امروزه با پیشرفت صنایع معدن‌کاری در کشور محدودیت‌های تهویه، آبکشی و استخراجی وجود ندارد اما بهینه سازی عملیات اکتشاف، استخراج و بهره‌برداری تا فرآوری در اولویت سرمایه‌گذاری قرار دارد. لذا مدیر باید فرآیند مدیریت را تحت محدودیت‌های زمان، هزینه و همچنین حدود وظایف مدیریتی خود، با بهترین کیفیت به انجام برساند. به عبارتی انتخاب مناسب روش‌های اکتشافی یکی از مسائل ارزیابی ریسک و عدم قطعیت بوده که بر عهده مدیریت پروژه است. با توجه به ضرورت‌های موجود و کاهش ریسک در اکتشاف ذخایر هیدروترمال و نیز کوچک کردن مناطق مستعد کانی‌سازی از روش‌های ژئوشیمیایی استفاده می‌شود. ژئوشیمی علمی است که با شیمی زمین و اجزا تشکیل دهنده آن سرو کار دارد. این علم به توزیع و مهاجرت عناصر شیمیایی در درون زمین و در ابعاد زمان و مکان می‌پردازد. روش‌های ژئوشیمی را در مراحل مختلف کارهای پی‌جویی و اکتشاف منابع معدنی می‌توان بکار بست. اساس این روش‌ها، پی‌جویی و ردیابی مناطقی است که در آن غلظت یک یا چند عنصر دارای ناهنجاری است.

ضرورت انجام این پژوهش در محدوده مورد نظر:

- عدم وجود یک مدل جامع برای اکتشاف ذخایر آهن‌دار
- کافی نبودن نقشه‌های ژئوفیزیک هوایی و نقشه‌های زمین‌شناسی با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰

- قطعی نبودن وضعیت اکتشافی از معادن استخراج شده و یا در حال استخراج
- پنهان شدن بسیاری از رگه‌های فلزی در عمق، در اثر باطله برداری بدون امکان -
سنجی در آینده

هدف اصلی در این پایان نامه، تعیین حدود آستانه و آنومالی با استفاده از روش‌های مختلف ژئوشیمی شامل بررسی‌های آماری تک متغیره، چند متغیره^۱، روش آماری سالووف^۲، زونالیتته^۳ و فرکتال^۴ می‌باشد.

۱-۵- روش تحقیق پایان نامه

در این تحقیق نخست با توجه به نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ منطقه، زمین‌شناسی ناحیه‌ای و منطقه‌ای و تفکیک واحدهای سنگی محدوده مورد نظر مطالعه می‌گردد. در مرحله دوم، سنگ‌شناسی و کانه‌زایی منطقه بر اساس نقشه‌های زمین‌شناسی بررسی می‌شود. همچنین در این فصل تعدادی مقطع نازک و صیقلی بررسی می‌گردد. در مرحله سوم، اکتشافات ژئوشیمیایی محدوده مورد مطالعه با توجه به روش‌های آماری تک و چند متغیره، روش آماری سالووف و زونالیتته مورد بررسی قرار می‌گیرد. در مرحله چهارم با استفاده از هندسه فرکتال مناطق آنومال و محدوده‌های امید بخش اکتشافی تعیین می‌گردند.

۱- Multivariate Analysis

۲- Solovov

۳- Zonality

۴- Fractal

۱-۶- ساختار پایان نامه

فصل دوم این پایان نامه به بررسی زمین‌شناسی ناحیه‌ای و منطقه‌ای محدوده مورد نظر می‌پردازد. در این فصل، ساختارهای زمین‌شناسی و واحدهای سنگی تفکیک و بررسی می‌گردد. سپس سنگ‌شناسی و کانه‌زایی بررسی می‌گردد. در فصل سوم، اکتشافات ژئوشیمیایی منطقه با روش‌های آماری تک و چند متغیره بررسی می‌گردد. این مرحله براساس نمونه‌برداری‌های لیتوژئوشیمیایی و آنالیز چند عنصری نمونه‌ها و سپس بررسی‌های آماری عناصر تجزیه شده صورت می‌پذیرد. در این فصل در آمار یک متغیره مقادیر تابع توزیع عناصر محاسبه شده و عناصر از نظر نرمال و غیر نرمال بودن و روش‌های نرمال‌سازی بررسی می‌گردند. بررسی آماری چند متغیره با استفاده از ضریب همبستگی پیرسون، آنالیز فاکتوری و خوشه‌ای بین عناصر بررسی می‌شود. با استفاده از روش آماری سالووف و زونالیتة حد زمینه و آنومالی برای منطقه بدست می‌آید و مناطق آنومال مشخص می‌گردد. در فصل چهارم با استفاده از هندسه فرکتال حدود زمینه و آنومالی تعیین می‌گردد در فصل پنجم نتیجه‌گیری و پیشنهادهای لازم در جهت اکتشاف مناطق آنومال ارائه می‌گردد.

۱-۷- مروری بر تحقیقات گذشته

سابقه مطالعات زمین‌شناسی و اکتشافات در ورقه چهارفرسخ بسیار محدود می‌باشد. از پروژه‌های انجام شده در این منطقه، اکتشافات ژئوشیمیایی سیستماتیک در ورقه چهارفرسخ توسط سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور در سال ۱۳۷۹ و اکتشافات ژئوشیمیایی شرکت آراگون برای اکتشاف طلا در سال ۱۳۸۹ می‌باشد (سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی). همچنین نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ ورقه چهارفرسخ در سال ۱۹۷۵ توسط همزه‌پور تهیه شد [۳].

ژئوشیمی اکتشافی آن‌چنان که امروزه آن را می‌شناسیم، در سال ۱۹۳۰ از اتحاد جماهیر شوروی پای گرفته است. در اواخر دهه‌ی ۱۹۴۰ و اوایل دهه‌ی ۱۹۵۰ تلاش‌های مقدماتی در استفاده از ژئوشیمی اکتشافی، در کشورهای غربی براساس تکنیک‌هایی بود که برای اولین بار در شوروی گسترش یافت.

اولین برنامه اکتشافی در مقیاس بزرگ در سال ۱۹۳۲ به وسیله‌ی زمین‌شناسان اتحاد جماهیر شوروی انجام گرفت. آن‌ها روش تجزیه اسپکتروگراف تابشی و روش نمونه‌برداری ژئوشیمیایی را برای بررسی خاک‌ها عرضه و توسعه بخشیدند. در اواخر دهه ۱۹۳۰ تحقیقاتی در مورد کاربرد گیاهان برای مقاصد اکتشافی در اتحاد جماهیر شوروی، سوئد و فنلاند شروع شد. در همان زمان در نروژ کارهای کلاسیک گلداشمیت^۱ در مورد توزیع عناصر توجه زیادی را به خود جلب نمود. در خلال این کارها ضمن تعیین فراوانی عناصر در بسیاری از سنگ‌ها، قوانین حاکم بر توزیع و پراکندگی آن‌ها نیز ارائه شد و بلافاصله این قوانین در کارهای اکتشافی مورد استفاده قرار گرفت [۴]. در سال ۱۹۷۵ مطالعات بیوشیمیایی وارن و همکارانش در کانادا موجب کشف آنومالی‌هایی از عناصر مس و روی در روی یک نهشته کانسار فلزی که از قبل شناخته شده بود، گردید و به دنبال آن مطالعاتی در مورد خاک‌ها، آب‌ها و رسوبات رودخانه‌ای نیز برای به دست آوردن ارتباط بین آنومالی احتمالی و نهشته‌های کانساری انجام گرفت [۵]. در کشور ما ژئوشیمی اکتشافی از اواسط دهه ۱۳۴۰ به عنوان روشی برای کشف توده‌های کانساری فلزی و غیرفلزی پیدایش و توسعه یافت.

بررسی ژئوشیمیایی توسط نیکول و همکاران در منطقه‌ای به وسعت ۷۵ کیلومتر مربع در یک نوار شیستی کانی‌سازی شده واقع در سیرالئون انجام گرفت. در این منطقه جنس سنگ‌ها متفاوت است و شیست‌های اولترا بازیک و رسوبات دگرگون شده به وسیله گنایس‌های گرانیتهی احاطه شده‌اند. این محققین در مطالعاتشان ۱۳ متغیر را مورد بررسی قرار دادند. در مطالعات انجام شده هر دو نوع تجزیه و تحلیل R و Q روی داده‌ها انجام شد. از تجزیه و تحلیل نوع Q مشخص گردید که برای توجیه ۱۰۰٪ تغییرات توزیع عناصر به ۱۳ فاکتور نیاز است. این در حالی است که تنها سه فاکتور از این ۱۳ فاکتور می‌تواند ۸۹/۳٪ از این تغییرات را توجیه نماید، که این خود معرف کم اهمیت بودن ده فاکتور دیگر می‌باشد. در تجزیه و تحلیل نوع R که روی همین داده‌ها انجام شد معلوم گردید که ۶۷/۵٪ از تغییرات

۱- Goldschmit

توزیع عناصر فرعی به وسیله‌ی مدل سه فاکتوری قابل توجیه است [۶].

عباس‌زاده و همکاران در منطقه قلعه عسکر در استان کرمان، با استفاده از روش‌های آنالیز تک و چند متغیره (فاکتوری، همبستگی و خوشه‌ای) مناطق کانی‌سازی مس پورفیری را مشخص کردند. در این تحقیق آن‌ها با استفاده از آنالیز ضرایب همبستگی نشان دادند که عنصر سرب با عنصر روی و عنصر کروم با عنصر نیکل دارای همبستگی بالایی هستند. همچنین با استفاده از آنالیز خوشه‌ای داده‌ها به ۶ خوشه مجزا و با استفاده از آنالیز فاکتوری به ۶ فاکتور تقسیم شدند. در این تحقیق خوشه‌های ۴ و ۵ و فاکتور ۶ به عنوان مرکز کانی‌سازی شناسایی شدند [۷].

حسینی و همکاران در منطقه سلفچگان برای تعیین حد آستانه آنومالی با استفاده از روش فرکتال عیار-مساحت نشان دادند که در پردازش داده‌های ژئوشیمیایی با استفاده از روش‌های ساختاری جهت تعیین حد آستانه‌ای، ارتباط فضایی نمونه‌ها حفظ می‌شود و هر داده (نمونه) متأثر از داده‌های اطراف خود نیز می‌باشد. کاربرد هندسه فرکتال و استفاده از مدل عیار-مساحت در این پژوهش نشان داد که حد آستانه‌ای بدست آمده برای عناصر Au, Cu, As, Pb, Zn و Ba مقادیری را نشان می‌دهد که بین دو مقدار حد آستانه‌ای ممکن و احتمالی حاصل از روش $\bar{X} + tS$ است. در نتیجه محدوده‌های آنومال بدست آمده دارای گسترش نرمال‌تری است و مانع از دست دادن برخی آنومالی‌های کوچک‌تر می‌شود [۸].

۱-۸- کلیاتی در مورد آهن

دانسته‌ها و آموخته‌های باستان‌شناسی و تاریخی اذعان می‌دارد که شناخت و کاربرد آهن تاریخی ۶ هزار ساله دارد. آشنایی آدمی با آهن با دستیابی تصادفی او به شخانه‌های آهنین آغاز شد. چگالی کم، سختی، استواری و پایداریش، بر ویژگی‌های دو فلز طبیعی بکار گرفته شده در آن زمان (طلا و مس) برتری داشت و بدین ترتیب این فلز ارزشی والاتر از دو فلز مذکور پیدا نمود. آثار اولیه آهن را از سرزمین مصر و سومر می‌دانند.

از کاوش‌های گورستان سیلک، مربوط به هزاره اول قبل از میلاد، آشکار شد که اسلحه برای سربازان و فرمانروایان از آهن و برای افراد معمولی از مفرغ بوده است. به طور کلی آهن در دوره هخامنشیان از کانسارهای آهن پیرامون تبریز برداشت می‌شده و شاید همان‌گونه که جغرافی‌نویسان پس از اسلام نوشته‌اند، پس از این دوره نیز از این کانسارها بهره‌برداری می‌شده است.

نام آهن از واژه انگلوساکسون (Iron & Iren) به معنی فلز مقدس گرفته شده و نماد Fe از واژه لاتین Ferrum به معنای آهن اقتباس شده است. آهن به عنوان چهارمین عنصر فراوان در پوسته زمین و دهمین عنصر فراوان در جهان می‌باشد. یک اتم آهن معمولی ۵۶ برابر جرم یک هیدروژن معمولی است. آهن فلزی است اصلی، به رنگ سیاه یا خاکستری با نماد Fe، عدد اتمی ۲۶، وزن اتمی ۵۵/۸۴، وزن مخصوص ۷/۳-۷/۸ گرم بر سانتیمتر مکعب، سختی ۴ در مقیاس موس، جلائی فلزی با سایه خاکستری (بانک اطلاعات مواد معدنی ایران).

فصل دوم

زمین شناسی ورقه چهار فرسخ و کافی-

شناسی آهن

۲-۱- زمین‌شناسی ورقه چهارفرسخ

ورقه زمین‌شناسی چهارفرسخ با مقیاس یک‌صد هزار در استان خراسان جنوبی و در جنوب شهر بیرجند قرار دارد. این منطقه را تقریباً دو رشته کوه موازی با راستای شمال‌غرب-جنوب‌شرق تشکیل می‌دهند که از نظر زمین‌شناسی بسیار با هم متفاوتند. زمین‌های واقع در شرق و شمال از لحاظ ساختاری به ساختارهای شرق ایران وابسته‌اند. این کوه‌ها بلندترین قسمت منطقه را تشکیل می‌دهند (کوه هوری ۲۷۲۳ متر). بخش کم ارتفاع این ورقه در نزدیکی نهبندان و در بخش جنوب شرقی این ورقه قرار دارد. رشته کوه‌های شمال غربی و مرکزی منطقه، از لحاظ ساختار به بلوک لوت تعلق دارند. این دو رشته کوه در قسمت جنوب شرقی به صورت خیلی کمی از هم جدا می‌شوند و بین آن‌ها دشتی وجود دارد که شیب آن به سمت جنوب شرقی می‌باشد. بیشتر روستاها و مناطق کشاورزی به صورت پراکنده در این دشت قرار دارند و دشت دیگری که در قسمت جنوب شرقی قرار دارد به سمت غرب کوه سرخ و کوه بزرگ شیب پیدا می‌کند. کم ارتفاع‌ترین نقطه این منطقه در این قسمت واقع شده است (۱/۱۳ متر) و قسمتی از دشت نمکی سهل آباد در قسمت شمال شرقی این نقشه واقع شده است [۳].

۲-۱-۱- مروری بر چینه نگاری منطقه

قدیمی‌ترین سنگ‌های شناخته شده در محدوده چهارفرسخ احتمالاً به سن تریاس تا ژوراسیک زیرین (سازند شمشک) مربوط می‌باشند. این سنگ‌ها از شیل سیلتی، شیل آرژیلیتی و شیل ماسه‌ای به رنگ سبز زیتونی با میان لایه‌هایی از طبقات ماسه سنگ (Jss) تشکیل شده‌اند. طبقات کنگلومرای، طبقات سنگ آهک (Jmb) که شدیداً متبلور مرمری شده‌اند و طبقات دیابازی به صورت پراکنده درون شیل‌ها دیده می‌شوند.

رسوبات کرتاسه فوقانی در کوه شیشه به صورت ناپیوستگی زاویه‌دار مشخص روی سنگ‌های ژوراسیک زیرین قرار گرفته‌اند که این رسوبات شامل طبقات کنگلومرای قرمز قاعده‌ای (K2c)، ماسه سنگ و واحدی از مارن سبز روشن با میان لایه‌هایی از سنگ آهک مارنی (K2m) می‌باشند. ریف‌های

کرتاسه‌ای و رسوبات عمق پایین در این برکه بیشتر دگرگون نشده و در قسمت شمال غربی محدود شده‌اند.

رسوبات کرتاسه در شمال و شمال شرق که برونزدهای شناخته شده آن‌ها اندک و بسیار کوچک می‌باشند، رخساره‌های پلاژیک دارند و از سنگ آهک به عنوان جزئی از رخساره افیولیتی شمال غرب کلاته شور و غرب چاه کریم‌داد در کوه بیدمشک تشکیل شده‌اند. سنگ‌های افیولیتی ملانژ رنگی بیشتر از سرپانتین و پریدوتیت تشکیل شده‌اند و مقدار کمی آمفیبولیت، گابرو، دیاباز، دیوریت و گرانیت هستند. این ملانژها به صورت گسترده‌ای در قسمت غربی افکنه کوه هوری و کوه بیدمشک دیده می‌شوند. مرز افیولیت‌ها و سازندهای مجاورشان عمدتاً گسل هستند. در این مناطق شواهد متامورفیسم به راحتی قابل مشاهده است و گنایس، آمفیبولیت، میکاشیست و سرپانتینیت ورقه‌ای شده به صورت پراکنده دیده می‌شوند. سنگ‌های افیولیتی اغلب در همسایگی بلوک لوت و رشته کوه‌های ایران شرقی قرار دارند. سنگ‌های ائوسن در شرق و شمال شرق محدوده مورد مطالعه با دو رخساره متفاوت گسترش زیادی دارند. ماسه سنگ سبز و شیل‌های زیتونی تیره حاوی طبقاتی از سنگ آهک‌های شیلی و ماسه‌ای و کمی گدازه‌های آندزیتی و آذرآواری‌های داسیتی به همراه شیل‌های آرژیلیتی و ماسه‌ای دگرگونه با میان لایه‌هایی از ماسه سنگ و عدسی‌های سنگ آهک، توالی ائوسن میانی را تشکیل می‌دهند.

رسوبات چین نخورده کواترنری، به شکل بادبزن‌هایی از جنس گراول وسیعی هستند و پادگانه‌های قدیمی‌تر در پای ارتفاعات از آن‌ها قابل تشخیص است. نمک و گل نمکی در منتهی الیه شمال شرق محدوده برکه یافت می‌شوند و قسمتی از فرو رفتگی پهنه نمکی سهل آباد را تشکیل می‌دهند. همچنین تپه‌های ماسه‌ای کوچک را می‌توان در دو سوی جاده مشهد- زاهدان مشاهده نمود [۳].

۲-۱-۲- فعالیت‌های آذرین

قدیمی‌ترین فعالیت ماگمایی شناخته شده در محدوده ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ چهارفرسخ به زمان پس از ژوراسیک که توده‌های بزرگ گرانیت و گرانودیوریت به درون شیل‌های فیلیتی ژوراسیک زیرین تزریق

شدند، برمی‌گردد. دگرگونی همبری در اطراف توده نفوذی موجب تشکیل حاشیه بازیکی از آندلوزیت-شیت، میکاشیست و گنایس شده است و هورنفلس نیز در بعضی قسمت‌ها پیدا می‌شود. انکلوزیون‌های کوچک و بزرگ شیل فیلیتی به فراوانی درون گرانودیوریت دیده می‌شوند. علاوه بر توده‌های نفوذی مذکور، چند توده گابرو، دیاباز، دیوریت و گرانیت نیز همراه با اولترامافیک‌ها برونزد دارند.

در توالی ژوراسیک، لایه‌های کوچک دیاباز در میان شیل‌های فیلیتی قرار گرفته‌اند. فعالیت بسیار شدید آتشفشانی ترشیری، طی زمان نئوژن در بخش شرقی این محدوده غلبه دارد. آندزیت توفی و آذرآواری‌ها در میان شیل‌ها و ماسه سنگ‌های ائوسن میانی قرار دارند. توده‌های آندزیت و آندزیت داسیتی، در بخش شمال‌غربی این برکه (غرب و شمال‌غرب چاه کریم‌داد)، شیل‌های دگرگونی و آمیزه سنگ‌های اولترابازیک ژوراسیک را به طور نامنظم قطع می‌کنند. آندزیت‌های پورفیری در غرب زالو، سنگ‌های ائوسن میانی را قطع کرده‌اند و از آنجا که این آندزیت‌ها در سازندهای جوان‌تر دیده نشده‌اند، می‌توان سن احتمالی آن‌ها را پس از ائوسن میانی تا پیش از نئوژن دانست. قسمت‌هایی از سازندهای نئوژن شامل آندزیت، آگلومرا، پیروکسن آندزیت، آندزیت توفی، اسپیلیت و بازالت که عموماً چینه بندی دارند توسط دایک‌های لامپروفیر بریده شده‌اند و در شمال و شمال‌شرق هوری رخنمون دارند. سنگ‌های اسیدی نیمه آتشفشانی (آندزیت داسیتی) که سن نئوژن-کواترنری را به آن‌ها نسبت می‌دهند، در شمال روستای روغان و شرق گوشینگ واحدهای Ngm و Ngv را قطع کرده‌اند. روانه‌های اولیوین، پیروکسن، بازالت و زیکولار در کوه بوبک تشکیل یک ناودیس کوچک را داده‌اند. این روانه‌ها به صورت یک ناپیوستگی غیر همجنس روی سنگ‌های فیلیتی ژوراسیک قرار دارند و با نئوژن-کواترنری در ناحیه لوت معادل می‌باشند.

۲-۱-۳- تکتونیک ورقه چهارفرسخ

محدوده برکه چهارفرسخ در محل اتصال کمربند فیلیش شرق ایران و بلوک لوت قرار گرفته است

این محل اتصال^۱، منطقه باریکی از خرد شدگی، گسل خوردگی، راندگی و دگرگونی شدید است که به نظر می‌رسد طی زمان پس از ائوسن با هم مخلوط شده‌اند. نوعی از دگرگونی پویا در این محل اتفاق افتاده است به طوری که شیل‌ها و ماسه سنگ‌های ژوراسیک به میکاشیست و کوارتزیت، بیوتیت گرانیت‌های پس از ژوراسیک به ارتوگنایس غنی از بیوتیت و دیاباز این آمیزه به آمفیبولیت تبدیل شده‌اند.

امتداد ارتفاعات، دشت‌ها، گسل‌های اصلی و رودخانه‌های مهم منطقه نشان می‌دهند که روند کلی ساختمان‌ها در محدوده برگه چهارفرسخ، شمال غرب- جنوب شرق است.

سنگ‌های پیش از ماستریشین^۲ در محدوده این برگه وجود ندارند، طبقات ماستریشتین در قسمت لوت این محدوده به صورت ناپیوستگی روی ژوراسیک زیرین قرار دارند اما در شرق این منطقه با سنگ‌های گسلی مجاور همبری گسلی دارند.

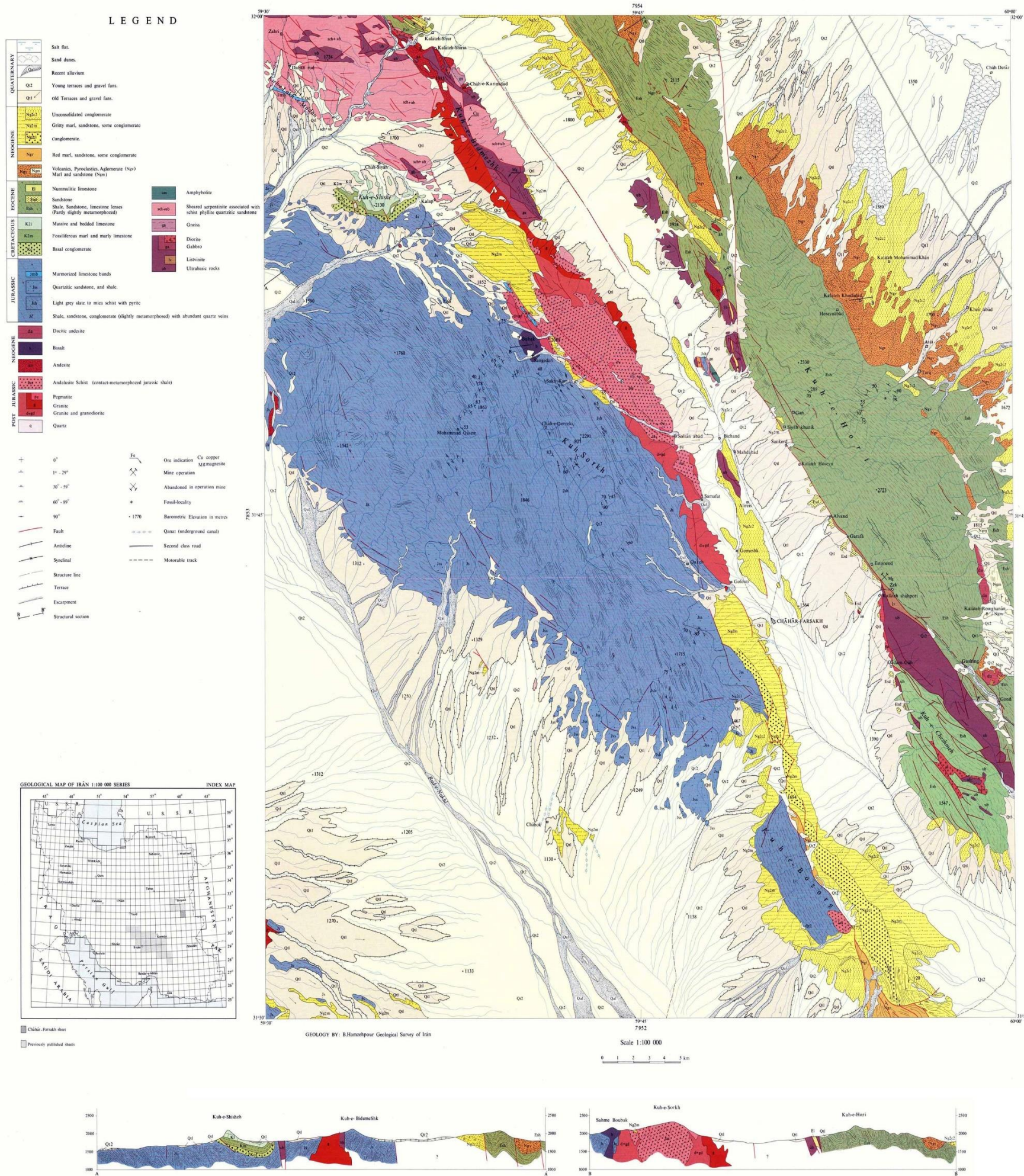
فیلش ائوسن میانی با سازندهای قدیمی‌تر، همبری تکتونیکی دارد و شدیداً چین خورده و کمی دگرگون شده است. چون نهشته‌های تعیین سن نشده ائوسن فوقانی در منطقه وجود دارند و توالی نئوژن دگرگون نشده‌اند و به صورت ناپیوستگی روی رسوبات ائوسن پسین تا الیگوسن اتفاق افتاده‌اند. رسوبات و سنگ‌های آتشفشانی پس از ائوسن میانی در شرق محدوده مورد مطالعه فرو نشست- های تکتونیکی مناطق نهشته‌های ائوسن میانی را پر کرده‌اند. آن‌ها ناپیوستگی‌های مشخصی روی سنگ‌های قدیمی‌تر دارند، کمی چین خورده‌اند و در بعضی جاها توسط گسل‌های جوان قطع شده‌اند. نفوذی‌های آندزیت داسیتی سیستم درزه مشخصی دارند و به نظر می‌رسد که دگرگونی ضعیفی را تحمل کرده‌اند که نشان می‌دهد حرکات تکتونیکی نسبتاً قوی طی زمان نئوژن-کواترنری تداوم داشته‌اند.

1-Suture zone

2- Maastrichtian

گسل بزرگ اسماعیل آباد که از برگه سهل آباد به طرف جنوب کشیده می شود و مرز غربی نمکزار سهل آباد را تشکیل می دهد، روشن ترین شاخص این فعالیت تکتونیکی در کواترنر است. این گسل در برگه چهارفرسخ بادبزن های گراولی کواترنر را جابجا کرده و ۴ کیلومتری شمال شرق روستای بیچند تدریجاً به طرف جنوب شرق می پیچد و به گسل اصلی شمال غربی-جنوب شرقی متصل می گردد [۳].


۲-۲- نقشه زمین‌شناسی چهارفرسخ و ستون چینه‌شناسی آن

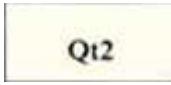


شکل ۱-۲: نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ چهارفرسخ [۹]

۱-۲-۲- کوآترنری

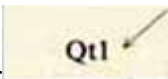
تپه‌های شن و ماسه : 

نمک تخت : 

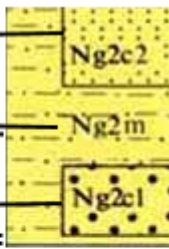
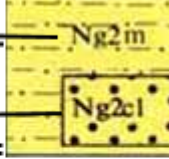
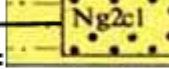
تراس‌های جوان مخروطه : 

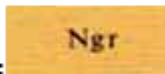


آبرفت‌های جدید : 

افکنه‌های قلوه‌سنگی

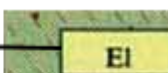


تراس‌های قدیمی و مخروطه افکنه‌های قلوه‌سنگی : 

۲-۲-۲- نئوژن

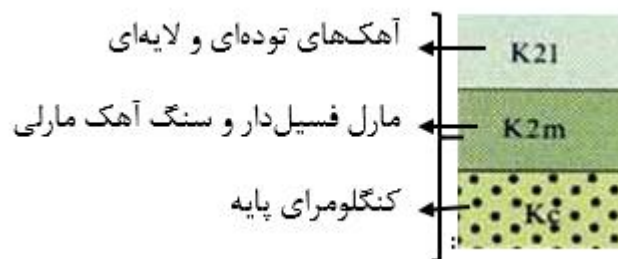
کنگلومرای غیر تحکیم یافته : 
 مارل خاکستری، ماسه سنگ و کنگلومرا : 
 کنگلومرا : 

مارل قرمز، ماسه سنگ و کنگلومرا : 
 آتشفشانی، آذرآواری، جوش آتشفشانی (Ngv) : 
 مارل و ماسه سنگ (Ngm) : 

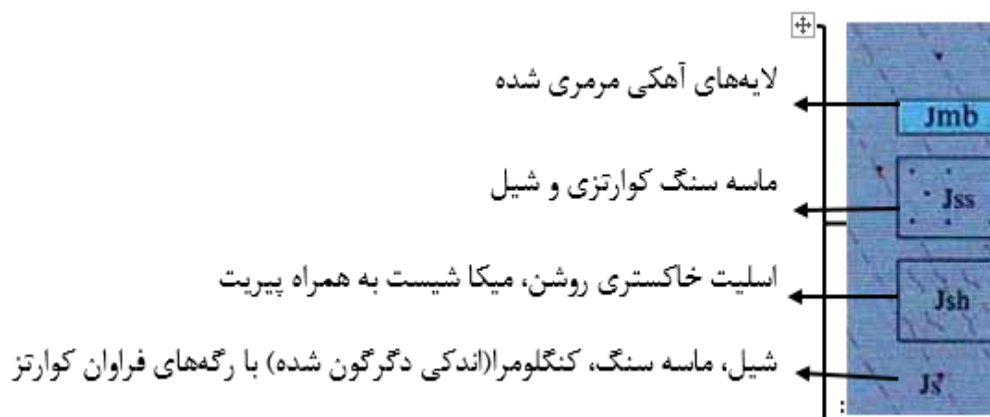
۳-۲-۲- ائوسن

نومولیت آهکی : 
 ماسه سنگ : 
 شیل، ماسه سنگ، عدسی‌های سنگ آهک (کمی دگرگون شده) : 

۲-۲-۴- کرتاسه

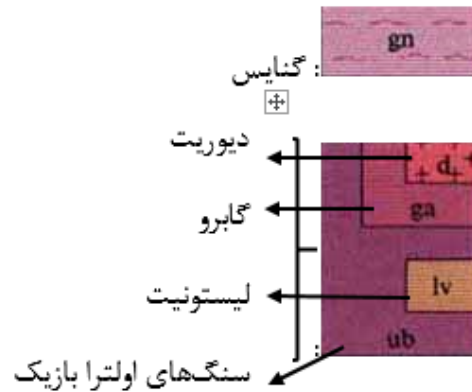


۲-۲-۵- ژوراسیک

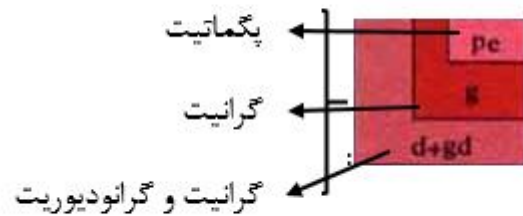


۲-۲-۶- بعد از ژوراسیک

sch+ub : سریانتیت برشی همراه با
 am : آمفیبولیت
 q : کوارتز
 شیست، فیلیت و ماسه سنگ کوارتزی



Jas : شیست آندلوزیتی



۲-۳- انواع کانسارهای آهن

کانسارهای آهن مهمی توسط فرآیندهای رسوبی، گرمایی و آذرین تشکیل شده‌اند. تاکنون کانسارهای آهن را به شکل‌های مختلف، براساس خاستگاه، نحوه تشکیل، ترکیب شیمیایی و کانی‌شناسی طبقه‌بندی نموده‌اند.

۲-۳-۱- کانسارهای آهن ماگمایی

کانسارهای آهن ماگمایی حدود ۲ تا ۳ درصد یا کمی بیشتر از کانسارهای آهن مصرفی دنیا را

تشکیل می‌دهند. این کانسارها معمولاً در اثر تفکیک یک سیال غنی از آهن و حاوی ۴ تا ۵ درصد فسفر تشکیل می‌شوند که مذاب غنی از آهن به صورت توده‌های نفوذی انبانی مگنتیتی به درون سنگ‌های میزبان تزریق می‌شوند. این کانسارها همراه سنگ‌های مافیک و اولترامافیک لایه‌ای (از نوع آنورتوزیت-گابرو) و کربناتیت‌ها (همراه سنگ‌های اولترامافیک دونیت، پریدوتیت، پیروکسنیت و گاه سینیت‌ها) هستند [۱۰].

سایر خصوصیات این نوع کانسارهای آهن با هم در جدول (۱-۲) مقایسه شده‌اند [۱۰].

جدول ۱-۲: خصوصیات آهن ماگمایی [۱۰]

| نحوه تشکیل | محیط تکتونیکی | کانه‌سازی | نوع سنگ همراه |
|---|---|---|---|
| تبلور جزء به جزء، ته نشینی ثقلی بلورها، عدم امتزاج مایعات اکسیدی | نقاط داغ داخل قاره‌ها همراه کمپلکس‌های لایه‌ای نظیر بوشولد | مگنتیت حاوی وانادیم و ایلمنیت | توده‌های نفوذی مافیک و اولترامافیک در پیوند با سنگ‌های درونی آنورتوزیت- گابرو |
| تبلور جزء به جزء، ته نشینی ثقلی بلورها، عدم امتزاج مایعات اکسیدی | نقاط داغ قاره- ها، ریفت داخل قاره‌ها | مگنتیت حاوی تیتانیوم و آپاتیت در همراهی با سینیت، همراه عناصر نادر خاکی (REE) | کربنات‌های در پیوند با سنگ‌های دونیت، پریدوتیت و گاه سینیت |

۲-۳-۲- کانسارهای اسکارنی آهن

اسکارن از واکنش بین محلول‌های ماگمایی یا گرمابی در درجه حرارت بالا با سنگ‌های کربناته و در نتیجه جانشینی Fe، Si و Mg در سنگ‌های آهکی خالص و دولومیت و تشکیل سیلیکات‌های Fe، Ca و Mg از طریق متاسوماتیزم حاصل می‌شود. آهن در کانسارها ریشه ماگمایی داشته و درون بخش آهکی عمدتاً به صورت اکسیدی بر جای گذاشته می‌شود [۱۱].

اسکارن‌های آهن بزرگ‌ترین ذخایر اسکارنی حساب می‌شوند و کانی مگنتیت عمده‌ترین محصول قابل استخراج همراه با مقادیر فرعی از عناصر Ni، Co، Cu و Au می‌باشد [۱۲].

به طور کلی برای انواع کانسارهای اسکارن طبقه‌بندی گوناگونی ارائه شده است. این طبقه‌بندی‌ها شامل (الف) براساس کانی‌های کالک سیلیکاته که شامل دو گروه کلسیمی (در سنگ‌های آهکی و حاوی کالک سیلیکات‌های Fe و Cu دار) و منیزیمی (در دولومیت‌ها و حاوی کالک سیلیکات‌های منیزیم‌دار) می‌شوند [۱۳].

(ب) براساس نوع سنگ جانشین شونده شامل اندواسکارن (داخل توده نفوذی) و اگزواسکارن (ما بین اندواسکارن و آهک ری کریستالیزه و به عنوان زون اصلی اسکارن) می‌باشند [۱۴].

(ج) بر اساس فلزات غالب اقتصادی شامل هفت گروه اسکارن‌های Sn, Mo, W, Pb-Zn, Au, Cu, Fe می‌باشند.

اسکارن‌های آهن در زون فرورانش جزایر قوسی از نوع کلسیک و در زون فرورانش حاشیه قاره‌ها از نوع منیزیمی هستند که مهم‌ترین خصوصیات آنها در جدول (۱-۳) آمده است.

از کانسارهای معروف اسکارن آهن می‌توان به Iron Springer و سنگان (ایران) اشاره کرد.

جدول ۲-۲: مهم‌ترین خصوصیات اسکارن‌های آهن

| نوع اسکارن آهن | نوع سنگ همراه | کانه‌سازی | نحوه تشکیل ومحل قرارگیری ذخیره |
|----------------|---|---|---|
| کلسیمی | سنگ‌های گابرویی - دیوریتی | کانه اصلی مگنتیت+ کالکوپیریت+ پیریت+آرسنوپیریت+ اسفالریت+گالن+هماتیت+طلا | متاسوماتیزم که قسمت اعظم ذخیره در زون گارت- پیروکسن و بخشی از آن در اندواسکارن |
| منیزیمی | سنگ‌های گرانودیوریتی - کوارتز مونزونیتی | کانه اصلی مگنتیت+ کالکوپیریت+ بورنیت+پیریت+ پیروتیت+اسفالریت+مولیبدنیت | متاسوماتیزم که به علت فقر آهن در سنگ‌های کوارتز مونزونیتی حاشیه قاره فقط در سنگ‌های دولومیتی و فاقد اندواسکارن |

۲-۳-۳- کانسارهای آهن آتشفشانی

کانسارهای آهن آتشفشانی نیز همانند کانسارهای آهن ماگمایی، معمولاً از جدایش یک ماگمای

حاوی آهن که حاوی ۴ یا ۵ درصد فسفر است حاصل می‌شود اما تفاوت آن با نوع ماگمایی در تشکیل یک مذب غیر قابل امتزاج اکسیدی و فلسیک می‌باشد. از نظر ژئوشیمیایی، تفریقی که سبب تولید سنگ‌های کالک‌آلکالن می‌شود بر غنی‌شدگی آهن در همان مذب تأثیر گذاشته و معمولاً با افزایش تفریق نسبت Mg/Fe کاهش و مقدار آهن کل افزایش می‌یابد. این کانسارها از نقطه نظر تکتونیکی همراه با فعالیت‌های آتشفشانی، هم در نواحی قاره‌ای و هم در جزایر قوسی دیده می‌شوند. در این نوع کانسارها مذب غنی از آهن به سطح رسیده و به صورت روانه‌ها و توف‌های استراتی‌فورم و عموماً استراتی‌بند از آهن همراه با سنگ‌های آتشفشانی لایه‌ای به ویژه از نوع آندزیت و لاتیت نهشته می‌شوند [۱۰]. از کانسارهای معروف آن می‌توان به ال‌کو (شیلی) و میشدوان (ایران) اشاره کرد. که در آن‌ها جریانی از گدازه‌های مگنتیتی (عمدتاً حاوی مگنتیت و به طور فرعی هماتیت و آپاتیت هستند) همراه سنگ‌های آندزیت-ریوداسیت دیده می‌شوند [۱۵].

۲-۳-۴- کانسارهای گرمابی آهن

کانسارهای گرمابی آهن در مقایسه با دیگر منابع آهن، از اهمیت کمتری برخوردارند. این کانسارها از طریق دگرسانی گرمابی و به شکل رگه‌ای و استوک‌ورک حاصل می‌شوند. محلول‌های گرمابی غنی از آهن در شرایط مناسب Eh و pH و با کاهش دما و فشار، در اثر واکنش با سنگ‌دیواره، باعث تشکیل این نوع ذخایر می‌شوند. کانه اصلی فلزی از نوع هماتیت و سیدریت است که هماتیت در کانسارهای گرمابی حرارت بالا و سیدریت در کانسارهای گرمابی حرارت پایین تشکیل می‌شود. در نوع حرارت بالا و رگه‌ای، ممکن است طلا نیز به صورت ذرات ریز و پراکنده در هماتیت دیده شود. کانسارهای سیدریت گرمابی مهم‌تر از نوع هماتیتی بوده و تقریباً تمامی آنها دارای مقدار قابل توجهی منگنز هستند [۱۰].

۲-۳-۵- کانسارهای رسوبی آهن

ذخایر رسوبی- شیمیایی آهن بزرگ‌ترین و مهم‌ترین ذخایر آهن را تشکیل می‌دهند (جدول ۲-۴). آهن موجود در این کانسارها از دو منبع تأمین می‌شود:

(۱) هوازدگی کانی‌های مافیک موجود در قاره‌ها

(۲) فعالیت آتشفشانی

انتقال آهن از منابع آتشفشانی به صورت کلرور انجام می‌شود. در مورد انتقال مقادیر زیاد آهن توسط رودخانه‌ها از قاره‌ها، مشکل اصلی، شرایط اکسیدان آب‌های سطحی است چون Fe^{2+} فقط در شرایط شدید اسیدی به حالت محلول در می‌آید. امروزه در اثر فرسایش، آهن به صورت هیدروکسید فریک کلوئیدی، یون‌هایی که با ذرات آواری پیوند شیمیایی دارند به داخل اقیانوس حمل می‌شود [۱۶].

انواع کانسارهای رسوبی آهن عبارتند از:

(۱) کانسارهای آهن مردابی

(۲) کانسارهای آهن اولیتی^۱ یا سنگ آهن‌ها^۲

(۳) تشکیلات آهن لایه‌ای^۳ (BIF)

۲-۳-۵-۱- کانسارهای آهن اولیتی یا سنگ آهن‌ها

این کانسارها بسیار متنوع و در آن‌ها دانه‌های آلئیت از جنس هماتیت، لیمونیت، سیدریت یا شاموزیت همراه یا بدون کلسیت یا کلسدونی در زمینه‌ای از رس یا سنگ آهک پراکنده‌اند. این کانسارها را می‌توان به دو گروه کلینتون و مینت تقسیم‌بندی کرد که مهم‌ترین خصوصیات آن‌ها در مقایسه با آهن لایه‌ای در جدول (۲-۳) آورده شده است [۱۷].

۲-۳-۵-۲- کانسارهای آهن لایه‌ای

این کانسارها، رسوبات شیمیایی، نازک لایه و ورقه‌ای، حاوی ۳۰ تا ۳۵٪ یا بیشتر آهن با منشا

1- Oolitic Iron

2- Iron Stones

3-Banded Iron Formation

رسوبی هستند که در آن‌ها ۴ رخساره قابل شناسایی است که عبارتند از:

(۱) رخساره اکسیدی

(۲) رخساره کربناتی

(۳) رخساره سیلیکاتی

(۴) رخساره سولفیدی

تفاوت کانی شناسی این ۴ رخساره ناشی از تفاوت Eh محیط تشکیل آن‌هاست. این کانسارها به دو گروه آلوگوما^۱ و سوپریور^۲ رده‌بندی می‌شوند که مهم‌ترین خصوصیات آن‌ها در جدول (۲-۳) آورده شده‌است. از نمونه‌های معروف کانسارهای رسوبی آهن می‌توان کانسار لیک سوپریور (آمریکا) را نام برد.

۱- Alogoma

۲- Superior

جدول ۲-۳: مهم‌ترین خصوصیات کانسارهای آهن رسوبی و مقایسه انواع آن‌ها [۱۷]

| کانسارهای آهن الییتی | | کانسارهای آهن نواری | | |
|---|--|---|--|---------------|
| نوع مینت | نوع کلینتون | نوع سوپریور | | نوع آگوما |
| مزوزوئیک در اروپا | کامبرین تا دونین | ۱/۸ تا ۲/۵ میلیارد سال پیش | آرکئن، محدود به فانروزوئیک | سن |
| رسوبات کلاستیک کم عمق و با اکسیژن زیاد | رسوبات کلاستیک کم عمق و با اکسیژن زیاد | دولومیت، کوارتزیت و شیل‌های سیاه، کنگلومرا و چرت | مجموعه سنگ‌های آتشفشانی اسید حدواسط، گری‌وک، شیل، اسلیت | نوع سنگ همراه |
| رسوبی- شیمیایی | رسوبی- شیمیایی | رسوبی شیمیایی با بیوشیمیایی (+مواد آتشفشانی) | آتشفشانی- متصاعدی- رسوبی | نحوه تشکیل |
| سیدریت- شاموزیت و یا سایر کلریت- های آهن | هماتیت، شاموزیت و سیدریت | رخساره‌های اکسیدی- کربناتی و سیلیکاتی که هماتیت کانه اصلی است | رخساره‌های اکسیدی- کربناتی- سولفیدی و سیلیکاتی که هماتیت کانه اصلی است | کانه- شناسی |
| دریاهای درون قاره‌ای، فلات قاره و دریاچه‌ها | فلات قاره | حوضه‌های فلات قاره- ای و پلاتفرمی | کمربندهای آتشفشانی مناطق قوسی، گرابن‌ها | محیط تکتونیکی |

۲-۴- کانی‌های آهن

آهن در طبیعت به اشکال مختلف وجود داشته و ترکیبات آن فراوان و گسترده‌اند. این فلز در

شبکه کانی‌های مختلف اکسیدی، سولفیدی، سیلیکاتی و کربناتی تمرکز پیدا می‌کند. بیش از ۳۰۰ نوع کانی آهن‌دار در طبیعت شناخته شده‌است. قسمت عمده کانسارهای آهن از اکسیدها، سیلیکات‌ها و کربنات‌ها تشکیل شده‌اند که در این میان مگنتیت، هماتیت، گوتیت، لیمونیت، شاموزیت و سیدریت ارزش اقتصادی بیشتری دارند. کانی‌های سیلیکاته آهن متعدد و فراوانند.

قابل ذکر است سولفیدهای آهن مثل پیریت، مارکاسیت و پیروتیت دارای مقادیر قابل توجهی آهن می‌باشند (۴۶-۷۳٪)، اما به خاطر هزینه زیاد جداسازی گوگرد از آهن و مشکلات زیاد دیگری همچون آلوده‌سازی محیط زیست، استخراج ذخایر آنها از لحاظ اقتصادی مقرون به صرفه نیست [۱۶]. تشکیل انواع کانی‌های آهن وابسته به شرایط مختلف Eh و Ph و فوگاسیته اکسیژن می‌باشد. در جدول (۲-۴) تعدادی از مهم‌ترین کانی‌های آهن معرفی شده‌اند.

جدول ۲-۴: مهم‌ترین کانی‌های تجاری آهن [۱۶،۱۷]

| گروه کانی | نام کانی | فرمول | درصد آهن |
|------------|------------------------------|----------------------------|---------------|
| اکسیدها | مگنتیت | Fe_3O_4 | ۷۵/۳۵ |
| | هماتیت (مارتیت) | Fe_2O_3 | ۷۰ |
| | گوتیت و هیدروگوتیت (لیمونیت) | $FeOOH$ - $FeOOH.nH_2O$ | ۴۸ تا ۶۸/۲ |
| | ایلمنیت | $FeTiO_3$ | ۳۸/۸ |
| کربنات‌ها | سیدریت | $FeCO_3$ | ۴۸ تا |
| | سیدروپلزیت | $(Mg,Fe)CO_3$ | ۶۸/۲ ۴۵/۱ |
| سیلیکات‌ها | شاموزیت و تورینگیت | $Fe_7AlSi_4O_{10}(OH)_2$ | ۳۸ تا ۲۷ |

اکسیدهای آهن مهم‌ترین منابع آهن را تشکیل می‌دهند و کربنات‌ها و سولفیدها و سیلیکات‌ها از اهمیت کمتری برخوردارند [۱۸].

۲-۴-۱- مگنتیت

مگنتیت با فرمول شیمیایی Fe_3O_4 با عیار آهن ۷۲/۳۶٪ و اکسیژن ۲۷/۶۴٪، دارای رنگ خاکستری تیره تا سیاه و وزن مخصوص ۵/۱۶ تا ۵/۱۸. به شدت مغناطیسی است و می‌تواند به عنوان یک آهنربای طبیعی عمل کند در این صورت به آن سنگ آهن‌ربا می‌گویند [۱۹]. شاخصه مغناطیسی

مگنتیت برای اکتشاف آن به وسیله مغناطیس و نیز جدایش آن از باطله بسیار مهم است. مگنتیت در سنگ‌های آذرین، دگرگونی و رسوبی رخداد دارد [۱۸].

۲-۴-۲- هماتیت

هماتیت با فرمول شیمیایی Fe_2O_3 با عیار آهن ۶۹/۹۴٪ و اکسیژن ۳۰/۰۶٪، دارای رنگ قهوه‌ای مایل به سرخ تا سیاه می‌باشد. دارای جلای فلزی در بلورها و کدر در نوع خاکی می‌باشد. نوع سرخ خاکی را اخری و نوع ورقه‌ای و فلزی را اسپکیولاریت می‌نامند. وزن مخصوص هماتیت ۵/۲۶ می‌باشد. هماتیت گسترش زیادی در سنگ‌های همه‌ی زمان‌های زمین‌شناسی داشته و فراوان‌ترین و مهم‌ترین کانسنگ آهن را تشکیل می‌دهد. رخداد هماتیت با کانسارهای رگه‌ای، آذرین، دگرگونی، رسوبی و یک محصول هوازدگی مگنتیت می‌باشد [۱۸].

۲-۴-۳- هیدروکسید آهن

لیمونیت نامیست که به اکسید آهن آب‌دار داده می‌شود که مخلوطی از کانی‌های گوتیت و لپیدوکروسیت می‌باشد. فرمول شیمیایی گوتیت $HFeO_2$ و برای لپیدوکروسیت $FeO(OH)$ است. گوتیت شامل ۶۲/۸۵٪ آهن، ۲۷/۰۱٪ اکسیژن و ۱۰/۱۴٪ و وزن مخصوص آن ۳/۶ تا ۴ است. دارای رنگ قهوه‌ای مایل به زرد تا قهوه‌ای تیره. گوتیت یکی از رایج‌ترین کانی‌هاست و بیشتر در شرایط اکسیده به عنوان یک محصول هوازدگی کانی‌های آهن‌دار ایجاد می‌شود [۱۸].

۲-۴-۴- ایلمنیت

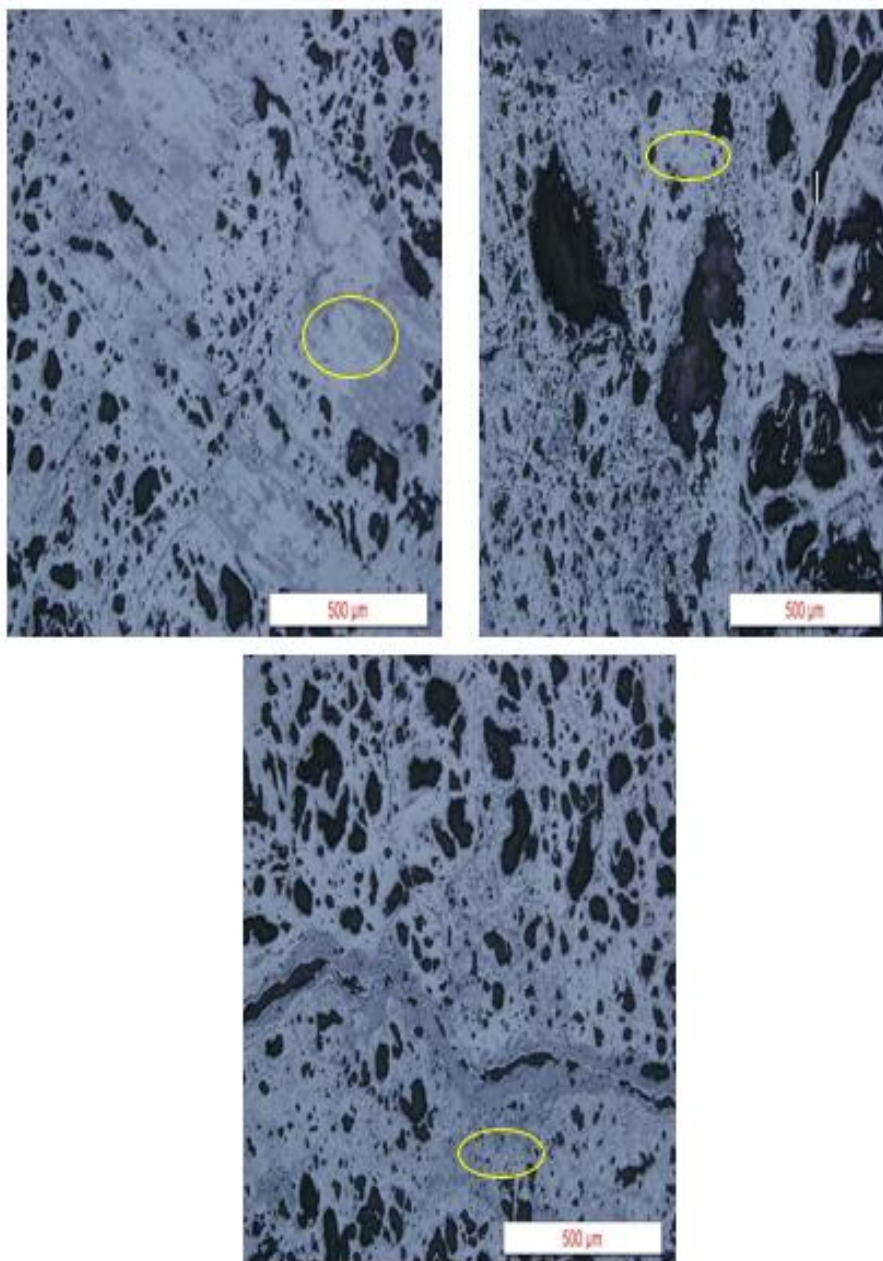
فرمول شیمیایی ایلمنیت $FeTiO_3$ ، عیار آهن آن ۳۶/۸٪، تیتانیوم ۳۱/۵۷٪ و مقدار اکسیژن آن ۳۱/۶۳٪ می‌باشد. در مقادیر کم با مگنتیت همراه است. ایلمنیت به طور کلی یک کانسنگ تیتانیوم به شمار می‌رود ولی ممکن است آهن به عنوان یک محصول جانبی حاصل از بازیافت از آن استخراج شود [۱۹].

۲-۴-۵- سیدریت

سیدریت دارای ترکیب شیمیایی FeCO_3 دارای ۴۸/۲۰٪ آهن، ۳۷/۹۹٪ CO_2 و ۱۳/۸۱٪ اکسیژن و وزن مخصوص ۳/۸۳ تا ۳/۸۸ می‌باشد. دارای رنگ قهوه‌ای روشن تا تیره. سیدریت معمولاً حاوی مقادیر متغیری از کلسیم، منیزیم و منگنز می‌باشد [۱۸]. سیدریت در موارد زیادی به صورت سنگ آهن رسی مخلوط با ناخالصی مواد رسی، به صورت سنگال با لایه‌های هم مرکز دیده می‌شود [۱۸].

۲-۵- مطالعات کانی‌شناسی محدوده و بررسی مقاطع صیقلی

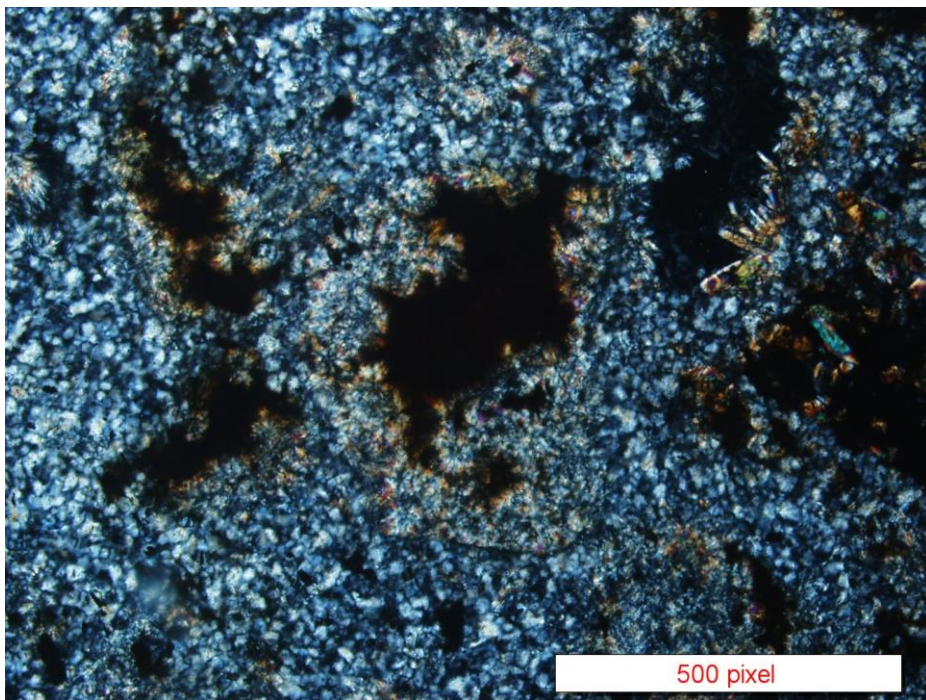
در این محدوده، فاز اصلی کانی‌سازی شامل هماتیت می‌باشد در حالیکه فاز فرعی شامل کانی‌های کلسیت، کوارتز، دولومیت و اندریت است. در محدوده مورد نظر سه نوع فاز کانی‌سازی آهن مشاهده گردید که عبارتند از: کانی‌سازی سخت هماتیت و مگنتیت؛ کانی‌سازی زون هوازده گوتیت، لیمونیت و اخی و بالاخره آهن پلاسر در مجاورت زون هماتیتی و داخل آبراهه‌ها. فراوان‌ترین کانی‌های مربوط به این فاز شامل هماتیت است که ظاهراً بخش اعظم کانی‌سازی محدوده مربوط به این فاز می‌باشد. در مقاطع صیقلی مشاهده شده، بلورهای سوزنی هماتیت در اندازه‌های ریز و درشت به صورت پراکنده، دارای بافت اسکلتی، بافت استوک ورک و نیز به صورت جدائی در فاز جامد همراه با مگنتیت دیده می‌شوند. مگنتیت در برخی نمونه‌ها به صورت بلورهای مستقل مشاهده گردید ولی در اکثر نمونه‌ها از حاشیه توسط هماتیت جانشین شده است. پدیده مارتیتی شدن یا تبدیل مگنتیت به هماتیت در خیلی از مقاطع قابل تشخیص بود. کانی‌های هیدروکسیدی آهن از جمله گوتیت و لیمونیت همراه با هماتیت و مگنتیت از دیگر کانی‌های فراوان موجود در این فاز از کانی‌سازی آهن می‌باشند.



شکل ۲-۲: هماتیت به رنگ سفید به صورت بافت داربستی

بخش‌های مشخص شده در شکل (۲-۲)، کانی هماتیت با رنگ سفید و بافت داربستی می‌باشند. بخش -

های سیاه رنگ، کانی‌های غیر فلزی هستند.



الف

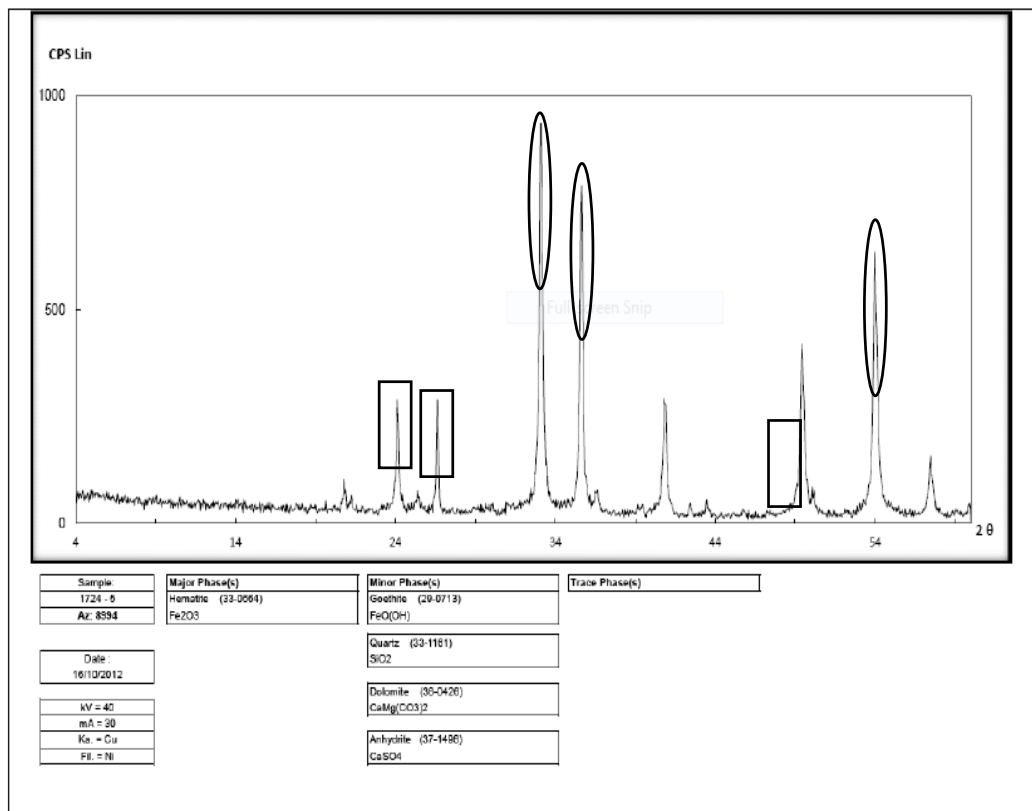


ب

شکل ۲-۳: همراهی کانی‌های کوارتز خاکستری و دولومیت در نمونه‌های کانسنگ چاهداشی (مقاطع نازک)

بخش‌های نشان داده شده در مقطع (ب) شکل (۲-۳) کانی کوارتز می‌باشند. بخش‌های سیاه رنگ کانی‌های فلزی و سایر بخش‌ها کانی دولومیت می‌باشند.

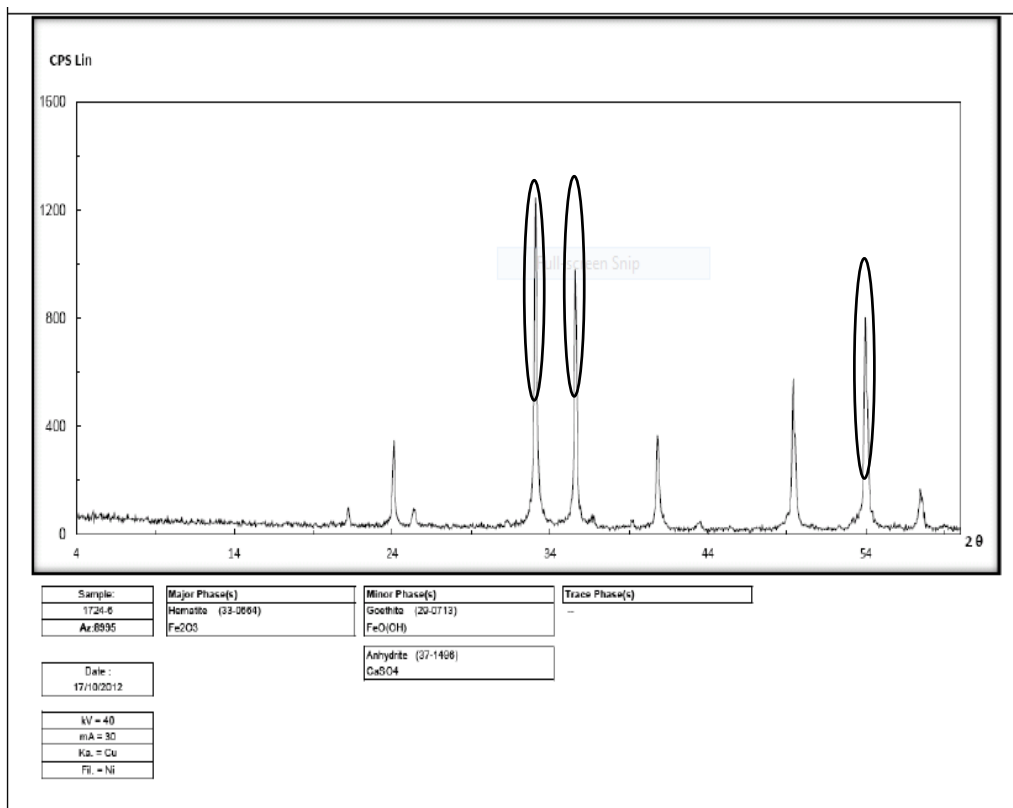
جهت تایید مطالعات میکروسکوپی و همچنین به منظور شناسایی کانی‌های احتمالی که توسط میکروسکوپ قابل تشخیص نبودند، نمونه‌ها توسط دستگاه پراش اشعه ایکس (XRD) آنالیز گردیدند. مطالعه دقیق تر فاز سخت کانی‌سازی توسط اشعه ایکس حاکی از وجود هماتیت و گوتیت می‌باشد، که در شکل نتایج و نمودارهای مربوطه آورده شده است. تفسیر نتایج کانی‌شناسی توسط XRD برای بررسی حضور کانی‌های اصلی و مفید (هماتیت) نسبت به حضور کانی‌های غیر مفید و مضر (سیلیس) از اهمیت خاصی برخوردار است.



وجود هماتیت و گوتیت به عنوان کانی مفید و سیلیس به عنوان کانی مضر: شکل ۲-۴

در شکل‌های (۲-۴) و (۲-۵) پیک‌هایی که با بیضی مشخص شده مربوط به کانی هماتیت و پیک‌هایی که با مستطیل مشخص شده مربوط به کوارتز می‌باشد. در زاویه نزدیک به ۵۱ درجه که در شکل (۲-۴) با مستطیل مشخص شده کل پیک مربوط به کوارتز نبوده و قسمتی از آن، که مشخص شده مربوط به کوارتز است و قسمت اصلی پیک مربوط به کانی دیگری می‌باشد که احتمالاً مربوط به

گوتیت می باشد.



شکل ۲-۵: وجود هماتیت و گوتیت بدون حضور سیلیس

فصل سوم

روش های آماری تک و چند متغیره

و سالووف برای تعیین آنومالی

۳-۱- مقدمه

بدون شک یکی از اساسی‌ترین روش‌های اکتشافات در زمینه مواد معدنی و مسائل زیست محیطی، اکتشاف ژئوشیمیایی است که پس از نمونه برداری از محیط‌های مختلف و آنالیز نمونه‌ها، داده‌های حاصله با روش‌های گوناگون پردازش می‌شوند.

هر ساله میلیون‌ها نمونه‌ی ژئوشیمی از محیط‌های متفاوت (رسوبات آبراهه‌ای، خاک، آب، سنگ، بخارات و گازها، گیاهان) برداشت و به منظور دستیابی به هدف‌های گوناگون آنالیز می‌شوند. به جرات می‌توان اظهار داشت که در سراسر دنیا، هیچ پروژه‌ی اکتشافی وجود ندارد که در آن، مبحث اکتشافات ژئوشیمیایی جایگاه ویژه‌ی خود را نداشته باشد.

یکی از اهداف اصلی در اکتشافات ژئوشیمیایی پیدا کردن روشی برای تشخیص آنومالی‌های پنهان (آنومالی واقعی) از آنومالی کاذب و غیر اقتصادی است. انتخاب تکنیک اکتشافی مناسب برای تشخیص این دو کانی‌سازی عملاً پیچیده بوده و از گذشته یکی از مهم‌ترین چالش‌های اکتشافی محسوب می‌شود [۲۰ و ۲۱]. ژئوشیمی معادن می‌تواند به عنوان ابزاری کارآمد در تشخیص ذخایر پنهان استفاده شود و بسیاری از ذخایر از جمله ذخایر هیدروترمال و اسکارن به دلیل آلتراسیون و هاله‌های ژئوشیمیایی که در اطراف آن‌ها تشکیل می‌شود از طریق مطالعات ژئوشیمیایی قابل تشخیص هستند [۲۱].

ژئوشیمی معادن شاخه جدیدی از ژئوشیمی کاربردی محسوب می‌گردد که فرآیندهای ژئوشیمیایی را از لحظه تشکیل ماده معدنی یا جدیدترین فرآیندهای ثانویه را مطالعه می‌کند.

۳-۲- مفهوم کیفی زمینه، آنومالی، هاله اولیه

درک صحیح مفاهیم حد زمینه، هاله و آنومالی در کشف کانسارهای جدید بسیار حائز اهمیت است. تمرکز عناصر و غلظت عناصر در اطراف ماده معدنی بالاتر از غلظت این عناصر نسبت به مقداری است که اصطلاحاً زمینه گفته می‌شود. در نتیجه شناسایی صحیح مقادیر زمینه محلی عناصر، شناسایی

کانی‌سازی‌های پنهان را ممکن می‌سازد. باید توجه داشت که دانستن مقدار زمینه نه فقط از نظر کمی، بلکه از نظر کیفی نیز مهم است. برای پاسخ به این پرسش که آیا عنصر مورد نظر در محیط سنگ بستر خود آنومالی نشان می‌دهد یا خیر، لازم است تغییرات مقدار زمینه را که حد آستانه‌ای گویند تعیین گردد. تشخیص یک مقدار قابل اعتماد برای حد آستانه‌ای در نتیجه یک بررسی اکتشافی مقدماتی در منطقه‌ای که نقشه زمین‌شناسی آن در مقیاس مورد نیاز تهیه شده امکان پذیر است. از این رو، تفسیر درست داده‌های ژئوشیمیایی بسیار مهم است. توجه به تحلیل آماری داده‌ها و مقایسه بین حد آستانه‌ای محلی و حد اکثر داده‌ها می‌تواند شدت آنومالی‌ها را در منطقه مشخص کند [۲۲].

در اطراف ماده معدنی همواره یک کاهش تدریجی از غلظت عناصر نمایان است که تا حد زمینه محلی ادامه دارد. به این بخش که اطراف توده کانساری را می‌پوشاند هاله ژئوشیمیایی می‌گویند. هاله ژئوشیمیایی می‌تواند همزمان با فرآیندهای مربوط به کانی‌سازی ماده معدنی شکل گیرد و یا تحت تاثیر آب‌های گرمابی و یا رسوبات رودخانه‌ای هاله‌های ثانویه را تشکیل دهد [۲۲].

۳-۳- پردازش اولیه داده‌های ژئوشیمیایی

قبل از هرگونه عملیات پردازش، بایستی پیش پردازش‌هایی که شامل تخمین و جایگزینی داده‌های سنسورد، خنثی‌سازی مقدار زمینه، تصحیح مقادیر خارج از ردیف و نرمال‌سازی می‌باشد، بر روی داده‌های ژئوشیمیایی اعمال گردد [۲۳].

۳-۳-۱- تخمین و جایگزینی داده‌های سنسورد^۱

از اولین مراحل پردازش داده‌های ژئوشیمیایی، جایگزینی مقادیر سنسورد می‌باشد. داده‌های سنسورد به داده‌هایی اطلاق می‌شود که در بین آن‌ها به دلیل بالا بودن حد حساسیت دستگاه‌های اندازه‌گیری، تعدادی داده به صورت مقادیر کوچک‌تر از حد حساسیت دستگاه یافت می‌شود. وجود چنین

۱- Censored

اعدادی در بین یک سری داده می‌تواند بررسی‌های آماری را دچار اختلاف کند زیرا:

- روش‌های آماری نیاز به مجموعه کاملی از داده‌های غیر سنسورد دارد
- در مواردی که سنجش‌های نسبی صورت می‌گیرد مانند جداسازی زمینه از آنومالی وجود داده‌های سنسورد موجب ارزیابی‌های غیر دقیق می‌شود.

اگر داده‌های سنسورد تخمین زده شوند و جایگزین گردند مقدار زمینه و شدت آنومالی‌ها دقیق‌تر محاسبه خواهد شد. این تخمین با استفاده از روش‌های جایگزینی ساده، روش ترسیمی و روش بیشترین درست‌نمایی کوهن^۱ انجام می‌گیرد [۲۳].

۳-۱-۳-۱- روش جایگزینی ساده

در این روش مقادیر بزرگ‌تر از حد حساسیت در مرز بالایی را با $\frac{4}{3}$ حد بالایی حساسیت و مقادیر کمتر از حد حساسیت در مرز پایینی را با $\frac{3}{4}$ آن جایگزین می‌کنیم. اگر تعداد داده‌های سنسورد در مقابل کل داده‌ها ناچیز باشد (کمتر از ۱۰ درصد) معمولاً می‌توان از این روش استفاده کرد [۲۳]. عناصر دارای مقادیر سنسورد و مقادیر جایگزین آن‌ها در جدول (۳-۱) آورده شده است.

جدول ۳-۱: تعداد و مقادیر جایگزین داده‌های سنسورد

| عناصر | مقدار سنسورد | مقدار جایگزین | تعداد داده‌ها |
|-------|--------------|---------------|---------------|
| Ag | <۱ | ۰/۷۵ | ۴ |
| Be | <۱ | ۰/۷۵ | ۶ |
| Cd | <۱ | ۰/۷۵ | ۳ |
| Mo | <۱ | ۰/۷۵ | ۱ |
| Sb | <۱ | ۰/۷۵ | ۴ |
| U | <۱ | ۰/۷۵ | ۸ |
| W | <۱ | ۰/۷۵ | ۳ |
| Bi | <۱ | ۰/۷۵ | ۸۷ |

۱- Cohen

در این قسمت به دلیل این که تعداد داده‌های سنسورد برای عناصر کمتر از ۱۰ درصد تعداد نمونه‌ها می‌باشد از روش جایگزینی ساده برای شناسایی داده‌های سنسورد استفاده شده و عنصر بیسموت به دلیل تعداد زیاد داده‌های سنسورد کلاً حذف گردیده است.

۳-۳-۲- تصحیح مقادیر خارج از ردیف^۱

اکثر جوامع آماری که در پروژه‌های ژئوشیمیایی اکتشافی دیده می‌شود، نرمال نبوده و دارای چولگی^۲ مثبت می‌باشد. این گونه جوامع دارای مقادیر پر عیاری در کرانه سمت راست توزیع هستند که به جامعه زمینه یا جامعه‌ای با عیار میانگین اضافه شده‌اند. این مقادیر غیر عادی بالا در واقع آنومالی‌ها (در مقیاس ناحیه‌ای) و یا پیکره کانسنگ پرعیار (در مقیاس محلی) را شامل می‌شوند. مقادیر خارج از ردیف باید تصحیح یا حذف گردند. اکثر روش‌های به کار گرفته شده بدین منظور، به عنوان روش‌های تجربی مورد استفاده قرار می‌گیرند. از جمله این روش‌ها می‌توان به روش‌های تصحیح مقادیر خارج از ردیف با استفاده از نمودار احتمال، روش دورفل^۳، روش فانوپ^۴ اشاره کرد.

۳-۳-۱- روش فانوپ

در این روش، آماره‌ای به نام Judd به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$Judd = \frac{X_i - m}{Sw(X_i)} \quad (1-3)$$

که در آن X_i مقدار هر یک از داده‌ها، m مقدار میانه‌ی داده‌ها و Sw فاصله‌ی نقطه فراوانی ترسیمی نظیر X_i از میانگین می‌باشد که از شکل (۱-۳) می‌توان مقدار آن را به دست آورد. مقدار Sw

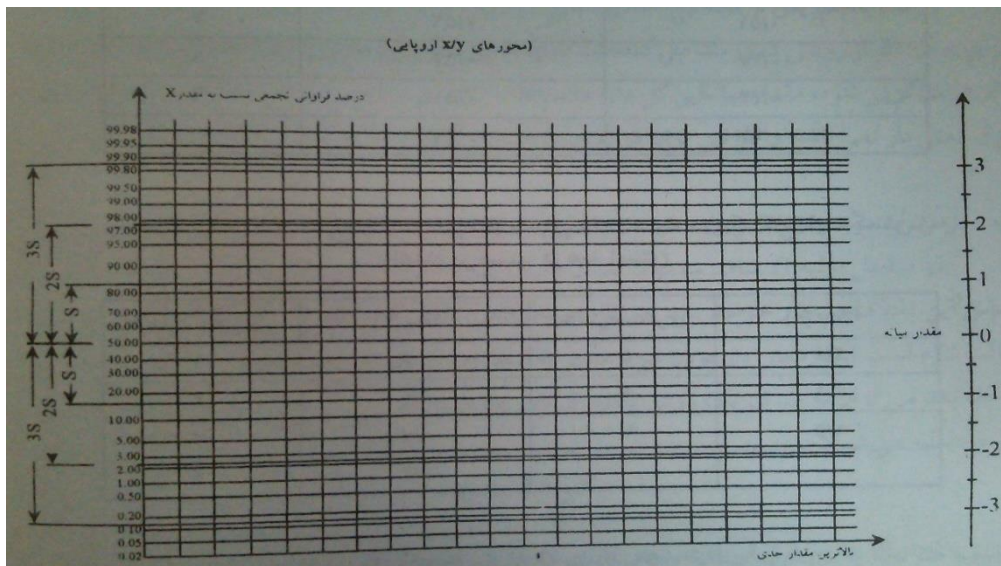
۱- Outlier

۲- Skewness

۳- Doerffel

۴- Funop

برای نقطه میانگین، صفر است [۲۳].



شکل ۳-۱: محاسبه Sw در روش فانوپ [۲۳]

پس از محاسبه‌ی Judd برای تک تک داده‌ها، میانبه‌ی مقادیر Judd انتخاب می‌شود. مقادیر بزرگ‌تر از دو برابر میانبه Judd به عنوان مقادیر خارج از ردیف معرفی می‌شوند. که باید توسط بزرگ‌ترین مقداری که خارج از ردیف نیست جایگزین شود.

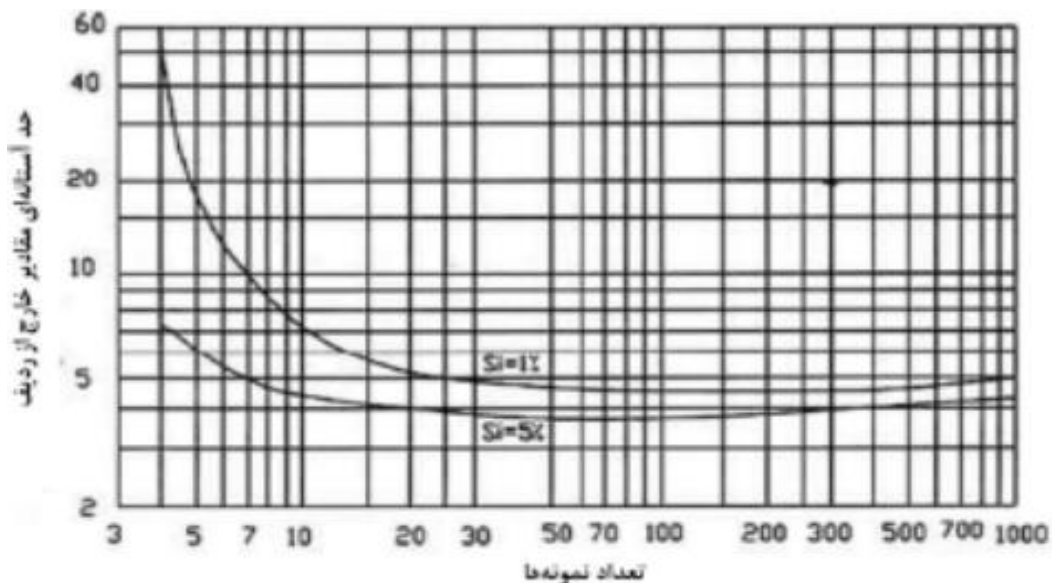
۳-۳-۲-۲-۲-۲- روش دورفل

این آزمون برای تشخیص مقادیر خارج از ردیف برای داده‌های مقادیر با گسترش زیاد مورد استفاده قرار می‌گیرد. دورفل، نموداری برای تعیین حد آستانه‌ای مقادیر خارج از ردیف برای دو سطح معنی‌دار بودن ۵٪ و ۱٪ تهیه کرده است. برای انجام آزمون مقادیر خارج از ردیف، میانگین (\bar{x}) و انحراف معیار^۱ (s) بدون در نظر گرفتن بزرگترین مقدار داده‌ها محاسبه می‌شود. سپس بزرگ‌ترین مقدار داده-ها (x_a)، در صورتی که در رابطه (۲-۳) صدق کند یک مقدار خارج از ردیف در نظر گرفته می‌شود.

$$x_a \geq \bar{x} + s.g \quad (2-3)$$

۱- Standard Deviation

که در آن g حد آستانه‌ای مقادیر خارج از ردیف است که از نمودار دورفل محاسبه می‌گردد.



شکل ۲-۳: حد آستانه‌ای مقادیر خارج از ردیف (g) به عنوان تابعی از تعداد نمونه (n) و سطح اعتماد [۲۳]

روش به کار گرفته شده در این تحقیق روش دورفل می‌باشد. با روش ذکر شده مقادیر خارج از ردیف محاسبه و تعیین شده است. در این قسمت براساس تعداد نمونه‌ها (۱۱۵ نمونه)، مقدار g براساس شکل (۲-۳)، $3/8$ محاسبه شد و براساس رابطه ۲-۳ مقادیر خارج از ردیف بدست آمد. این مقادیر با بزرگ‌ترین مقدار داده در بین نمونه‌های هر عنصر که مقدار خارج از ردیف نبوده، جایگزین شد. مقادیر خارج از ردیف برخی از مهم‌ترین عناصر در جدول (۲-۳) مشاهده می‌شود.

جدول ۲-۳: مقادیر خارج از ردیف برخی از مهم‌ترین عناصر و مقادیر جایگزین

| | <i>Cu</i> | <i>Co</i> | <i>Cr</i> | <i>Fe</i> | <i>Mn</i> | <i>Ni</i> | <i>Pb</i> | <i>S</i> | <i>V</i> | <i>Zn</i> |
|----------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------|----------|-----------|
| | 54 | 45 | 190 | 36447 | 978 | 88 | 96 | 1069 | 138 | 317 |
| | 76 | | 228 | | 1021 | | | 1069 | 148 | |
| | 80 | | 190 | | 1106 | | | 1085 | | |
| | 98 | | | | | | | 2416 | | |
| | 103 | | | | | | | 2514 | | |
| | 107 | | | | | | | 3567 | | |
| | 260 | | | | | | | 3667 | | |
| مقادیر جایگزین | 45 | 22 | 186 | 31823 | 936 | 82 | 26 | 971 | 124 | 90 |

۳-۳-۳- نرمال سازی داده‌ها

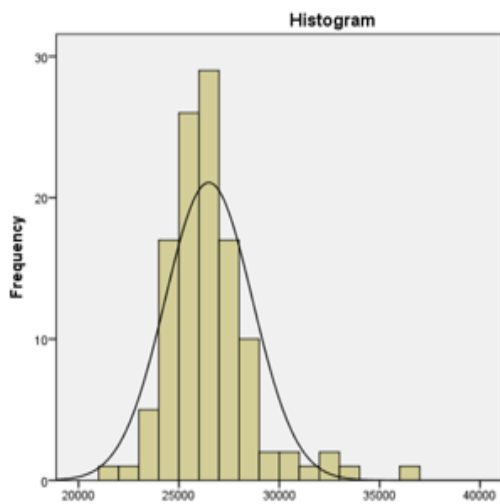
لازمه استفاده از برخی روش‌های آماری مانند ضریب همبستگی پیرسیون، نرمال بودن تابع توزیع متغیرهای مورد مطالعه است. به دلیل ماهیت لاگ نرمال غالب عناصر در داده‌ها، اقدام به نرمال سازی داده‌های منطقه گردید. مهم‌ترین روش‌های نرمال کردن توابع توزیع، عبارت اند از: تبدیل لگاریتمی سه پارامتری، تبدیل کاکس و باکس^۱، استفاده از نمودار احتمال لگاریتمی و استفاده از نمودار فینی^۲ می‌باشند. با توجه به داده‌های موجود و نیز مقاصد مورد نظر در این تحقیق از تبدیل لگاریتمی به دلیل ساده بودن تبدیل معکوس آن، جهت نرمال سازی داده‌ها، استفاده شده است.

برای اثبات نرمال شدن داده‌ها از هیستوگرام‌ها و پارامترهای آماری مربوط به تک تک عناصر استفاده شده است. با توجه به پارامترهای آماری هر متغیر می‌توان نتیجه گرفت که مقدار چولگی و کشیدگی^۳ متغیرها در مقایسه با مقادیر متناظر داده‌های خام تا چه اندازه کاهش یافته است. براساس نتایج به دست آمده از نرمال سازی داده‌ها و انجام دوباره آزمون‌های نرمال بودن عناصر، مشاهده گردید که عملیات نرمال سازی تا حدود زیادی موفق عمل کرده و تقریباً همه عناصر تبدیل به تابع نرمال شده‌اند و برای دیگر بررسی‌های آماری مناسب می‌باشند (شکل ۳-۳).

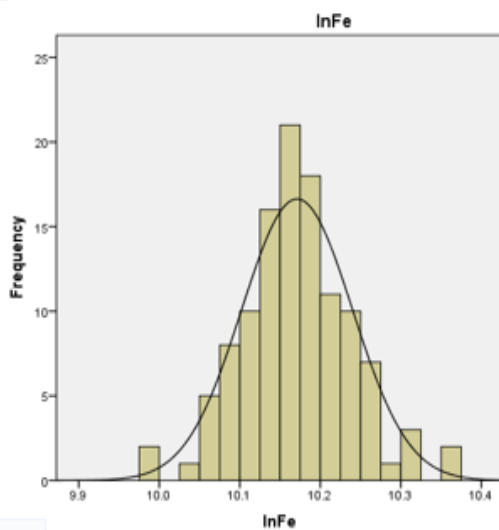
۱- Cox & Box

۲- Finney's Diagram

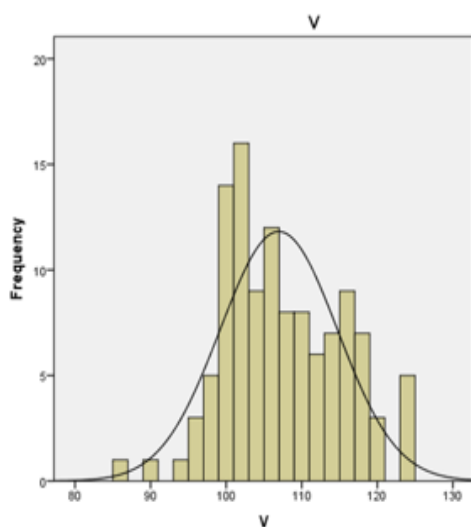
۳- Kurtosis



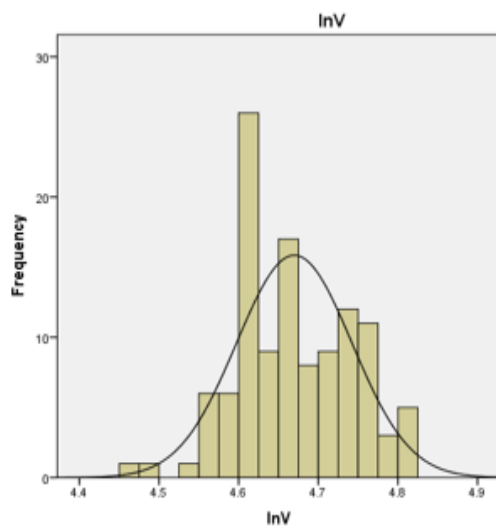
الف



ج



ب



د

شکل ۳-۳: هیستوگرام عناصر آهن و وانادیم قبل (الف و ب) و بعد (ج و د) از نرمال کردن داده‌ها

۳-۴- بررسی‌های آماری تک متغیره

اولین گام در شناخت خصوصیات داده‌های اکتشافی محاسبه پارامترهای آماری داده‌ها نظیر، میانگین، انحراف معیار، واریانس^۱، چولگی و کشیدگی است. بررسی ویژگی‌های توزیع عناصر با بهره‌گیری از پارامترهای ساده آماری تک متغیره و ترسیم هیستوگرام^۲ فراوانی عناصر با رسم منحنی نرمال صورت

۱- Variance

۲- Histogram

می‌گیرد. هیستوگرام ترسیم شده سه ویژگی موقعیت، پراکندگی و شکل داده را توصیف می‌کند. در این مرحله با توجه به تعیین ماهیت نرمال یا غیرنرمال هر عنصر، پارامترهای آماری دقیق‌تری برای عناصر به دست می‌آید.

۳-۴-۱- پارامترهای آماری داده‌های خام

قبل از پردازش داده‌ها، به منظور شناخت ماهیت تابع توزیع مربوط به تک تک عناصر، پارامترهای آماری داده‌های خام محاسبه می‌گردد. به این منظور، پارامترهای آماری نظیر، میانگین، میانه، انحراف معیار، واریانس، چولگی، کشیدگی و مقادیر مینیمم و ماکزیمم داده‌ها محاسبه گردیده است (جدول ۳-۳). با توجه به مقادیر به دست آمده مشخص است که بسیاری از عناصر دارای چولگی مثبت بوده و توزیعی به صورت غیر نرمال دارند.

جدول ۳-۳: پارامترهای آماری داده‌های خام

| | Ag | Al | As | Ba | Be | Ca | Cd | Ce | Co | Cr | Cu |
|--------------|--------------------|--------------------|--------|------------------|--------------------|--------------------|------------------|-------------------|--------|----------|--------|
| میانگین | 2462 | 62028.43 | 12.617 | 342.24 | 1.385 | 48864.59 | 3081 | 51.77 | 16.57 | 120.84 | 31.60 |
| میانه | 2400 | 61573.00 | 12.400 | 342.00 | 1.400 | 49506.00 | 2400 | 51.00 | 16.00 | 115.00 | 30.00 |
| مد | .24 | 61869 | 12.0 | 338 ^a | 1.4 | 31873 ^a | .24 | 51 | 16 | 110 | 30 |
| انحراف معیار | .01985 | 3477.137 | 3.2572 | 14.031 | .1134 | 4639.927 | .11990 | 2.954 | 1.332 | 22.522 | 6.927 |
| واریانس | .000 | 12090481.265 | 10.610 | 196.870 | .013 | 21528923.419 | .014 | 8.725 | 1.773 | 507.256 | 47.979 |
| چولگی | .320 | .694 | .590 | .491 | .664 | -2.851 | 1.889 | .612 | 2.803 | 4.126 | 2.123 |
| کشییدگی | .739 | .447 | .337 | 1.444 | .692 | 1.622 | 4.479 | .595 | 3.487 | 1.684 | 4.438 |
| مینیمم | .19 | 54855 | 6.5 | 302 | 1.2 | 31873 | .22 | 45 | 14 | 73 | 23 |
| ماکزیمم | .30 | 72532 | 21.6 | 385 | 1.7 | 58146 | .90 | 60 | 20 | 190 | 54 |
| Fe | K | La | Li | Mg | Mn | Mo | Na | Ni | P | Pb | |
| میانگین | 26199.81 | 15102.62 | 25.68 | 33.22 | 14399.94 | 780.19 | .9668 | 14970.65 | 70.89 | 600.55 | 17.59 |
| میانه | 26072.00 | 14903.00 | 25.00 | 33.00 | 14460.00 | 770.00 | .9700 | 14946.00 | 70.00 | 598.00 | 17.00 |
| مد | 30202 ^a | 14719 ^a | 25 | 33 | 13321 ^a | 763 ^a | .96 ^a | 9177 ^a | 69 | 638 | 18 |
| انحراف معیار | 1819.164 | 1368.639 | 1.542 | 3.590 | 821.051 | 57.254 | .04941 | 1294.068 | 4.148 | 50.409 | 3.063 |
| واریانس | 3309356.560 | 1873172.765 | 2.378 | 12.891 | 674124.900 | 3278.068 | .002 | 1674611.843 | 17.206 | 2541.057 | 9.384 |
| چولگی | 3.423 | .547 | .658 | .233 | -.074 | 4.023 | 1.637 | -.635 | 4.013 | .098 | 3.377 |
| کشییدگی | 5.937 | .459 | .519 | -.373 | -.496 | 3.885 | 4.270 | 3.219 | .800 | .119 | 1.710 |
| مینیمم | 21486 | 12025 | 23 | 26 | 12405 | 684 | .86 | 9177 | 61 | 457 | 9 |
| ماکزیمم | 31823 | 19076 | 30 | 43 | 16343 | 936 | 1.14 | 18954 | 82 | 728 | 26 |

جدول ۴-۳: ادامه جدول (۱-۳)

| | Sb | Sc | Sn | Sr | Th | Ti | U | V | W | Y_1 | Yb | Zn | Zr |
|---------|------------------|--------|-------|----------|--------|-------------------|-------|--------|--------|-------|-------|--------|--------|
| میلنگین | .9695 | 11.730 | 2.580 | 279.70 | 11.445 | 3930.46 | 3.797 | 106.96 | 1.2041 | 16.97 | 2.172 | 70.01 | 88.38 |
| میانه | .9700 | 11.700 | 2.500 | 275.00 | 11.400 | 3906.00 | 3.800 | 106.00 | 1.2000 | 17.00 | 2.200 | 69.00 | 88.00 |
| مد | .96 ^a | 11.7 | 2.5 | 363 | 11.3 | 3625 ^a | 3.7 | 100 | 1.18 | 17 | 2.1 | 69 | 86 |
| الحراف | .05542 | .8144 | .2225 | 33.947 | .4940 | 239.957 | .2000 | 7.763 | .06767 | .922 | .1089 | 6.027 | 7.159 |
| معیار | .003 | .663 | .050 | 1152.386 | .244 | 57579.180 | .040 | 60.270 | .005 | .850 | .012 | 36.324 | 51.256 |
| واریانس | -0.22 | .551 | .611 | .998 | .701 | 4.444 | .605 | 2.248 | .444 | 1.077 | .701 | 3.790 | 1.724 |
| چولگی | .207 | .036 | .285 | .789 | .962 | 2.412 | 1.159 | -1.373 | -.034 | 1.812 | .799 | 1.206 | 3.543 |
| کشیدگی | .83 | 10.0 | 2.1 | 218 | 10.3 | 3403 | 3.3 | 86 | 1.07 | 15 | 1.9 | 57 | 74 |
| میانهم | 1.13 | 13.9 | 3.2 | 363 | 13.0 | 4669 | 4.5 | 124 | 1.39 | 20 | 2.5 | 90 | 111 |

۳-۵- بررسی آماری چند متغیره

غالب تکنیک‌های چند متغیره در اصل، بسط و توسعه آنالیزهای تک متغیره می‌باشند و البته بعضی از روش‌های چند متغیره تنها برای پاسخگویی به مقاصد چند متغیره طراحی شده‌اند که از جمله این روش‌ها می‌توان به آنالیز فاکتوری اشاره کرد. تجربه نشان داده است که چنانچه ترکیبی از متغیرها به جای یک متغیر به کار گرفته شوند و از نتایج ترکیبی آن‌ها استفاده شود، امکان تشخیص هاله‌های مرکب ژئوشیمیایی در اطراف توده‌های کانساری به مراتب افزایش می‌یابد و از طرفی اثرات خطاهای تصادفی در بکارگیری ترکیبی متغیرها نسبتاً کاهش می‌یابد. از دیگر مزایای استفاده از روش‌های چند متغیره، کاهش تعداد متغیرها در مباحث داده‌پردازی و در نتیجه کاستن از تعداد نقشه می‌باشد. با استفاده از این روش‌ها امکان مقایسه متغیرها و کسب نتایج راحت‌تر خواهد بود. البته استفاده بهینه از روش‌های چند متغیره در حالتی صادق خواهد بود که در پردازش داده‌ها با تعداد زیادی متغیر روبرو باشیم و تا حدودی امکان اخذ نتیجه از متغیرها به گونه منفرد غیر ممکن و یا توأم با خطای زیاد باشد. روش‌های رایج در آمار چند متغیره شامل: روش تحلیل مؤلفه اصلی^۱، تحلیل فاکتوری^۲، تحلیل تفریقی^۳، تحلیل خوشه‌ای^۴، رگرسیون چندگانه^۵ و تحلیل ویژگی^۶ است [۲۳]. همه تحلیل‌های آماری چند متغیره، به وسیله نرم افزار SPSS انجام شده است.

۳-۵-۱- تحلیل رگرسیون چندگانه

در این نوع تجزیه و تحلیل آماری، هدف انتخاب مدل ریاضی است که بتواند بیشترین انطباق را

۱- Principal Components Analysis

۲- Factor Analysis

۳- Discriminant Analysis

۴- Cluster Analysis

۵- Multivariate Regression

۶- Characteristic Analysis

با مقدار مشاهدات داشته باشد. در عمل تعدادی از متغیرهای مستقل (بعضی از مقادیر ژئوشیمیایی) به یک متغیر وابسته به دلخواه که آن هم می‌تواند یک مقدار ژئوشیمیایی دیگری باشد ربط داده می‌شود. سپس براساس مدلی که بهترین تطبیق را با مقادیر مشاهده شده داشته باشد، می‌توان مشخص کرد که کدام یک از متغیرهای مستقل بهتر می‌تواند تغییرات بعضی از متغیرهای دیگر را توجیه نماید.

این روش تجزیه و تحلیل آماری می‌تواند برای شناخت روابط بین تغییرات بعضی از عناصر در یک ناحیه مورد استفاده قرار گیرد که خود موجب می‌شود تا معیار مدلی برای تشخیص عناصر ردیاب در یک ناحیه خاص و یا برای نوع خاصی از کانی‌سازی مشخص شود. نتایج حاصل از این تجزیه و تحلیل آماری هم چنین می‌تواند در تشخیص آنومالی واقعی (مفید) از انواع دروغی و بی‌اهمیت مورد استفاده قرار گیرد.

در محاسبه ضریب همبستگی نیز مانند بسیاری از پارامترهای آماری دیگر، فرض نرمال بودن داده‌ها الزامی است. مقدار ضریب همبستگی بین -1 و $+1$ قرار می‌گیرد. اگر دو متغیر همبستگی کاملاً خطی همسو (افزایش یکی باعث افزایش دیگری شود) داشته باشند، ضریب همبستگی آن‌ها $+1$ است. اگر دو متغیر دارای همبستگی کاملاً خطی غیر همسو (افزایش یکی باعث کاهش دیگری شود) باشند، ضریب همبستگی آن‌ها -1 و بالاخره در صورتی که دو متغیر غیر همبسته (افزایش یکی تاثیری روی دیگری نداشته باشد) ضریب همبستگی آن‌ها صفر است [۲۳]. در این تحقیق از ضریب همبستگی پیرسون^۱ استفاده شده است که نتایج آن در جدول (۳-۵) آورده شده است. با توجه به جدول (۳-۵) آهن با عناصر کبالت، منگنز، وانادیم، تیتانیم، روی، اسکاندیم و زیرکن همبستگی دارد که نشان می‌دهد می‌توان از این عناصر در محدوده مورد نظر برای اکتشاف آهن استفاده نمود.

1- Pearson's Correlation coefficient

جدول ۳-۵: ضریب همبستگی پیرسون عناصر مختلف

| | Al | Co | Cr | Cu | Fe | Li | Mg | Mn | Mo | Ni | P | Pb | S | Ti | V | Zn | Zr |
|----|----|-------------------|--------------------|-------------------|-------------------|--------------------|--------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|--------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| Al | 1 | .341 ⁻ | -.206 ⁻ | .208 ⁻ | .365 ⁻ | .833 ⁻ | .587 ⁻ | .408 ⁻ | .158 | .404 ⁻ | .399 ⁻ | .096 | .429 ⁻ | .067 | .232 ⁻ | .548 ⁻ | .705 ⁻ |
| Co | | 1 | .262 ⁻ | .611 ⁻ | .746 ⁻ | .382 ⁻ | .173 | .703 ⁻ | .202 | .408 ⁻ | .262 ⁻ | .276 ⁻ | .076 | .583 ⁻ | .590 ⁻ | .511 ⁻ | .494 ⁻ |
| Cr | | | 1 | -.026 | .325 ⁻ | -.276 ⁻ | -.343 ⁻ | .282 ⁻ | .157 | .215 ⁻ | -.097 | .335 ⁻ | -.309 ⁻ | .578 ⁻ | .600 ⁻ | .213 ⁻ | -.101 |
| Cu | | | | 1 | .532 ⁻ | .351 ⁻ | .283 ⁻ | .417 ⁻ | .127 | .295 ⁻ | .337 ⁻ | .289 ⁻ | .229 ⁻ | .270 ⁻ | .245 ⁻ | .359 ⁻ | .417 ⁻ |
| Fe | | | | | 1 | .414 ⁻ | .261 ⁻ | .783 ⁻ | .142 | .388 ⁻ | .251 ⁻ | .359 ⁻ | .090 | .793 ⁻ | .810 ⁻ | .662 ⁻ | .611 ⁻ |
| Li | | | | | | 1 | .664 ⁻ | .313 ⁻ | .182 | .459 ⁻ | .483 ⁻ | .062 | .563 ⁻ | .025 | .183 ⁻ | .500 ⁻ | .742 ⁻ |
| Mg | | | | | | | 1 | .084 | .074 | .521 ⁻ | .576 ⁻ | -.038 | .308 ⁻ | -.036 | .061 | .487 ⁻ | .576 ⁻ |
| Mn | | | | | | | | 1 | .278 ⁻ | .217 | .155 | .445 ⁻ | .058 | .685 ⁻ | .675 ⁻ | .634 ⁻ | .464 ⁻ |
| Mo | | | | | | | | | 1 | .165 | .250 ⁻ | .193 ⁻ | .164 | .135 | .149 | .206 ⁻ | .206 ⁻ |
| Ni | | | | | | | | | | 1 | .360 ⁻ | .176 | -.036 | .158 | .309 ⁻ | .448 ⁻ | .359 ⁻ |
| P | | | | | | | | | | | 1 | .116 | .227 | .168 | .124 | .389 ⁻ | .531 ⁻ |
| Pb | | | | | | | | | | | | 1 | -.092 | .320 ⁻ | .361 ⁻ | .503 ⁻ | .010 |
| S | | | | | | | | | | | | | 1 | -.136 | .005 | .172 | .448 ⁻ |
| Ti | | | | | | | | | | | | | | 1 | .878 ⁻ | .431 ⁻ | .433 ⁻ |
| V | | | | | | | | | | | | | | | 1 | .572 ⁻ | .424 ⁻ |
| Zn | | | | | | | | | | | | | | | | 1 | .451 ⁻ |
| Zr | | | | | | | | | | | | | | | | | 1 |

۳-۵-۲- تجزیه تحلیل خوشه‌ای

در تجزیه و تحلیل خوشه‌ای، هدف دست یافتن به ملاکی برای طبقه‌بندی هر چه مناسب‌تر متغیرها و یا نمونه‌ها بر اساس تشابه هر چه بیشتر درون‌گروهی و اختلاف هر چه بیشتر بین گروهی است [۲۳]. فاصله و ضرایب همبستگی را می‌توان به‌عنوان ملاک شباهت که مبنای تجزیه و تحلیل خوشه‌ای قرار می‌گیرد، مورد استفاده قرار داد. از جمله الگوریتم‌های خوشه‌بندی نیز می‌توان به روش‌های نزدیک‌ترین همسایگی^۱، اتصال میانگین و روش وارد^۲ اشاره کرد.

۳-۵-۲-۱- روش اتصال نزدیک‌ترین همسایگی

در این روش فاصله بین دو خوشه و یا یک شی و یک خوشه، حداقل فاصله ممکن است به طوری که همه اشیا درون خوشه‌ها دارای فاصله‌ای بیشتر از آن می‌باشند. عیب این روش این است که اشیا می‌توانند به راحتی به انتهای خوشه‌های بزرگ و نامنظم متصل شوند در حالی که اشیا یی که در دو انتهای مخالف چنین خوشه‌هایی هستند به طور اساسی با همدیگر تفاوت خواهند داشت.

۳-۵-۲-۲- روش اتصال وارد

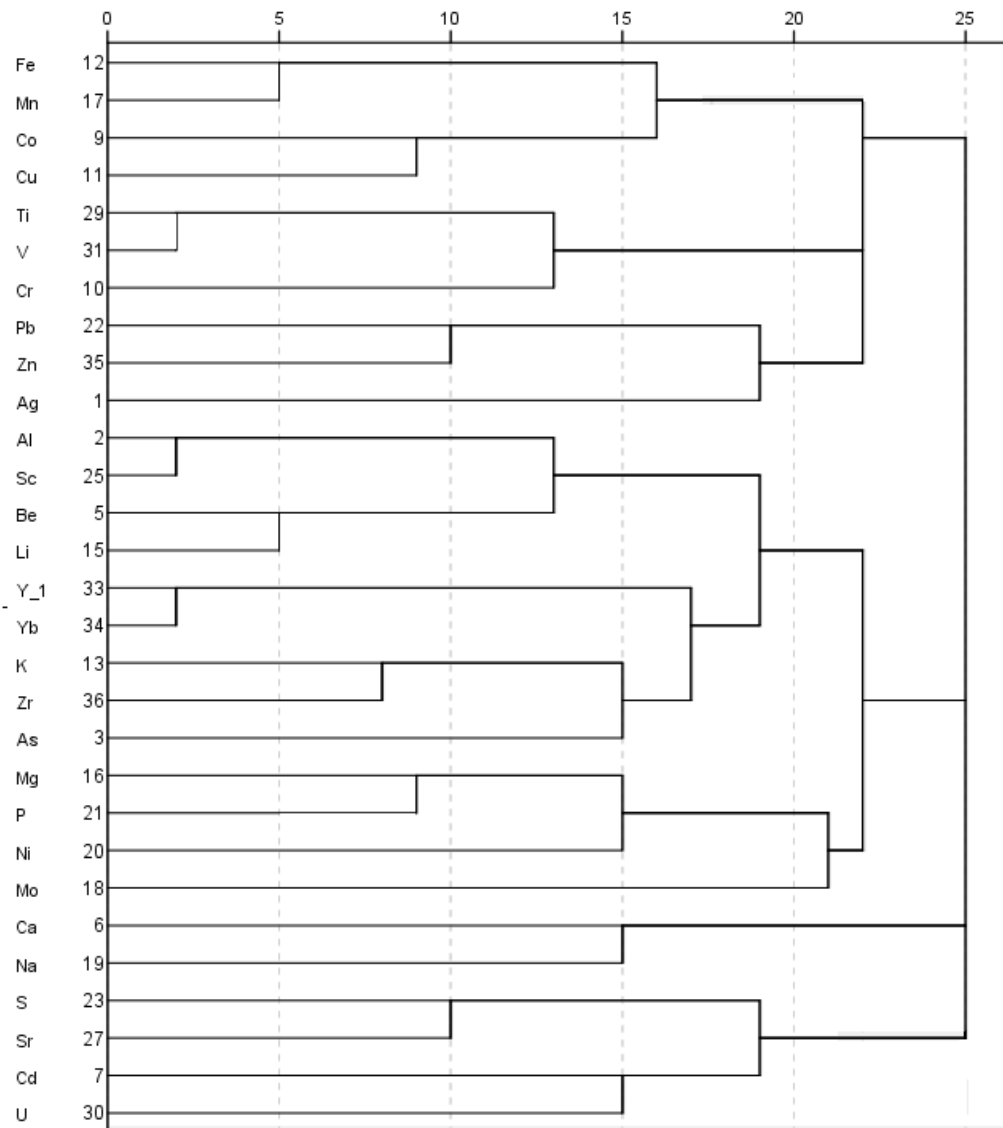
در این روش معیار اتصال یک شی به یک خوشه یا دو خوشه به یکدیگر، ایجاد کمترین افزایش در مجموع مربعات انحراف از میانگین خوشه مورد نظر است. نتایج حاصل از این روش از نظر ظاهری و حفظ سلسله مراتب ساختمانی مناسب می‌باشند. بدین دلیل این روش به صورت یک انتخاب مناسب در تحلیل خوشه‌ای شناخته شده است.

معمولاً نتایج حاصل از محاسبات تحلیل خوشه‌ای را به‌صورت یک نمودار سلسله مراتبی به نام دندوگرام نمایش می‌دهند. در این نمودار یک مقیاس خطی افقی در بالای آن قرار دارد. محل اتصال هر نمونه یا متغیر به یک خوشه یا یک خوشه به خوشه دیگر روی این مقیاس خطی متناظر با درجه شباهت

۱- Nearest Neighbor Linkage

۲- Ward Method

آن است. با توجه به نتایج اجرای چندین مرتبه استفاده از روش‌های مختلف آنالیز خوشه‌ای، بهترین دندوگرام حاصل شده، دندوگرام حاصل از روش اتصال مرکز^۱ تشخیص داده شد. با توجه به دندوگرام حاصل، متغیرها به ۴ دسته کلی تقسیم می‌شوند. دسته اول عناصر Fe, Mn, Co, Cu, Ti, V, Cr, Pb, Zn و Ag، دسته دوم عناصر Al, Sc, Be, Li, Yb, K, Zr, As, Mg, P, Ni و Na، دسته چهارم عناصر S و Sr, Cd, U می‌باشند.



شکل ۳-۴: دندوگرام حاصل از روش اتصال مرکز

۱- Centroid Linkag

۳-۵-۳- تجزیه و تحلیل فاکتوری

در این روش، هر متغیر به صورت یک بردار در دستگاه مختصات قائم نشان داده می‌شود، به طوری که طول بردار معرف بزرگی مقدار متغیر است. میزان انطباق و بستگی بین یک متغیر دیگر به صورت کسینوس زاویه بین آن‌ها تعریف می‌شود. هدف از چنین نمایشی عبارت است از بیان روابط بین یک گروه از متغیرها به وسیله‌ی مینیمم تعداد متغیرهای اصلی کنترل کننده‌ی تغییرات که اصطلاحاً فاکتور نامیده می‌شود.

اگر در یک سری نمونه ژئوشیمیایی بررسی چندین متغیر مانند X_1, X_2, \dots, X_i مورد نظر باشد در چنین حالتی ممکن است بتوان متغیرهای دیگری نظیر Z_1, Z_2, \dots, Z_h (به طوری که $h < i$ باشد) را طوری انتخاب نمود که هر یک از متغیرهای نوع X تابع خطی از متغیرهای نوع Z تلقی شود. در این صورت می‌توان نوشت:

$$x_i = a_{i_1}z_1 + a_{i_2}z_2 + \dots + a_{i_h}z_h + s_i \quad (3-3)$$

تجزیه و تحلیل فاکتوری نام تکنیک‌هایی است که برای برآورد مقدار پارامترهای نوع a در چنین مدل‌هایی به کار گرفته می‌شود.

در معادله (۳-۳) متغیرهای نوع Z را اصطلاحاً فاکتور عام و نوع S را فاکتور خاص می‌نامند. اگر وجود یکی از فاکتورهای عام در کلیه مدل‌هایی که برای توجیه تغییرات متغیرهای نوع X در یک منطقه بیان می‌گردد، ضروری باشد آن را اصطلاحاً فاکتور کلی و چنانچه وجودش فقط برای توجیه تغییرات بعضی از متغیرهای نوع X لازم باشد آن را اصطلاحاً فاکتور جزئی یا فاکتور گروه گویند. در چنین مدل‌هایی پارامترهای نوع a را اصطلاحاً بار فاکتور گویند.

در بررسی‌های ژئوشیمیایی اکتشافی متغیرهای نوع X غالباً معرف غلظت عناصر شیمیایی خاصی

در نمونه و متغیرهای نوع Z بیشتر معرف عوامل فیزیکوشیمیایی نظیر Eh, pH, مقدار مواد آلی، دما، فشار، ترکیب شیمیایی سنگ مادر، آب و هوا و توپوگرافی در محل برداشت نمونه می‌باشند.

تکنیک تجزیه و تحلیل برداری- فاکتوری یکی از تکنیک‌های است که هدف از به کارگیری آن عبارت است از:

➤ تشخیص متغیرهای کنترل کننده‌ی اصلی از متغیرهای فرعی و یا به عبارت دیگر با یافتن مینیمم تعداد، بتوانند ماکزیمم درصد تغییرات مشاهده شده در داده‌های ژئوشیمیایی را تشریح نمایند.

➤ تعیین سهم نسبی هریک از این متغیرها در به وجود آمدن تغییرات توزیع عناصر.

ممکن است دو نوع تجزیه و تحلیل تحت عنوان R و Q روی فاکتورها انجام شود. هدف از تجزیه و تحلیل نوع R مقایسه‌ی روابط و تعیین و همبستگی بین پارامترهای متغیر (در این مورد یعنی غلظت عناصر) در نمونه‌های مورد نظر است. از اینرو، می‌تواند در تشخیص عناصر اصلی موجود در یک مجموعه-ی ژئوشیمیایی به کار برده شود. هدف از تجزیه و تحلیل نوع Q، تعیین و ارزیابی همبستگی‌های موجود بین نمونه‌های مختلف بر حسب تغییرات متغیرهایی نظیر مختصات جغرافیایی و ترکیب شیمیایی سنگ-ها است [۲۲].

۳-۵-۱- شاخص KMO^۱

در تحلیل عاملی اکتشافی که یک روش آماری رها از مدل است، هیچ فرضیه‌ای از پیش وجود ندارد و پژوهشگر بایستی معرف‌هایی (براساس نظریه‌ها یا نظر متخصصان و ...) را انتخاب نماید و سپس با استفاده از تحلیل عاملی اکتشافی به بررسی ساختار عاملی زیربنایی معرف‌ها پردازد. ساختار عاملی زیربنایی معرف‌ها نیز، بر اساس ماتریس واریانس-کوواریانس داده‌ها بدست می‌آید. از این رو انتخاب

۱- Kaiser- Meyer- Oklin

معرف‌های مناسب برای تحلیل بسیار مهم است. برای نمونه معرف‌ها نباید به گونه‌ای انتخاب گردند که میزان زیادی از همبستگی دو به دو آن‌ها به دلیل همبستگی جزئی آن‌ها با متغیرهای دیگر باشد؛ که اگر اینچنین باشد معرف‌های مناسبی انتخاب نگردیده است. به دلیل این که سهم زیادی از واریانس مشترک بین معرف‌ها بوسیله معرف‌های دیگر تبیین می‌گردد. در این گونه موارد گفته می‌شود که نمونه-گیری مناسبی از معرف‌ها (متغیرهای آشکار) به عمل نیامده است. شاخص KMO معیاری برای کفایت نمونه‌گیری است. به عبارت دیگر، با بهره‌گیری از شاخص KMO، به این مسئله پرداخته می‌شود که آیا نمونه‌گیری مناسبی از متغیرها (براساس همبستگی دو به دو معرف‌ها و همبستگی جزئی آن‌ها) به عمل آمده است یا خیر؟ رابطه ۳-۴ بیانگر معادله KMO می‌باشد.

$$KMO = \frac{\sum_{i \neq j}^n \sum_{i \neq j}^n r_{ij}^2}{\sum_{i \neq j}^n \sum_{i \neq j}^n r_{ij}^2 + \sum_{i \neq j}^n \sum_{i \neq j}^n a_{ij}^2} \quad (4-3)$$

با توجه به معادله ۳-۴ در صورت کسر مجموع همبستگی‌های غیرقطری معرف‌ها (متغیرهای آشکار) و در مخرج کسر مجموع همبستگی‌های غیرقطری معرف‌ها به علاوه مجموع همبستگی‌های جزئی غیرقطری معرف‌ها جای دارند. از این رو هر چه همبستگی‌های جزئی کوچک‌تر باشند، شاخص KMO بزرگ‌تر خواهد بود و برعکس. هر چه اندازه شاخص KMO به ۱ نزدیک‌تر باشد، «کفایت نمونه‌گیری» بهتری در انتخاب معرف‌ها (متغیرهای آشکار) وجود داشته است. نقطه برش اندازه شاخص KMO برای کفایت نمونه‌گیری ۰/۶ بیان شده است یعنی اگر شاخص KMO بالاتر از ۰/۶ باشد، ملاک کفایت نمونه‌گیری برآورد شده است و اگر پایین‌تر از ۰/۶ باشد به این معنی است که ملاک کفایت نمونه‌گیری برآورد نشده است [۲۴].

برای مشخص نمودن صحت و تایید آنالیز فاکتوری، ضریب KMO محاسبه گردیده است. مقادیر بزرگ KMO دلالت بر تایید آنالیز فاکتوری و مقادیر کوچک آن دلالت بر عدم تایید آنالیز فاکتوری دارد. بر طبق جدول (۳-۶) مقادیر حدود ۰/۹ این کمیت، آنالیز فاکتوری را بسیار مناسب، حدود ۰/۸ آنالیز

فاکتوری را مناسب، حدود ۰/۷ آنالیز فاکتوری را در حد مناسب، مقادیر حدود ۰/۶ آنالیز فاکتوری را حد متوسط و مقادیر حدود ۰/۵ و پایین تر از آن آنالیز فاکتوری را نامناسب جلوه می دهد.

جدول ۳-۶: قضاوت در مورد ضریب KMO [۲۴]

| مقدار KMO | تناسب داده‌ها برای تحلیل عاملی |
|---------------------|--------------------------------|
| بزرگتر یا مساوی ۰/۹ | عالی |
| ۰/۸-۰/۸۹ | خیلی خوب |
| ۰/۷-۰/۷۹ | خوب |
| ۰/۶-۰/۶۹ | متوسط |
| ۰/۵-۰/۵۹ | ضعیف |
| کمتر از ۰/۵ | غیر قابل پذیرش |

در این مرحله، با تغییر فاکتور و بررسی سهم واریانس هر فاکتور نسبت به کل تغییرات ثبت شده (واریانس تجمعی) و عناصر موثر در هر فاکتور، تعداد ۹ فاکتور با مقدار ۰/۸۳ برای ضریب KMO به دست آمد. در جدول (۳-۷) نتیجه آنالیز مولفه‌های اصلی مربوط به عناصر اندازه‌گیری شده در محدوده چهارفرسخ آورده شده است. در این جدول مولفه اول ۲۰/۰۱۴، مولفه دوم ۱۷/۴۳۶، مولفه سوم ۷/۴۶۶، مولفه چهارم ۶/۹۱۳ و سایر مولفه‌ها حدود ۵ درصد از کل تغییرپذیری از داده‌های اصلی را توجیه می نمایند. با توجه به جدول مولفه‌های اصلی این نتیجه بدست می آید که می توان از این ۹ مولفه برای بررسی تغییر پذیری متغیرها در محدوده مورد مطالعه استفاده کرد. در جدول (۳-۸) عنصر آهن با عناصر سزیم، منگنز، توریوم و وانادیم در فاکتور دوم قرار گرفته‌اند که نشان دهنده کانی‌سازی در محدوده مورد مطالعه می باشد. به دلیل وجود آنومالی‌های توریوم در منطقه شاهکوه، این عنصر به همراه آهن در فاکتور دوم جز کانی‌سازی منطقه قرار گرفته است. عناصر منگنز و وانادیم نیز به عنوان عناصر تحت و فوق کانساری برای کانسارهای آهن اسکارنی شناخته شده‌اند.

جدول ۳-۷: مولفه‌های آنالیز مولفه‌های اصلی داده‌های ژئوشیمیایی در منطقه چاهداسی

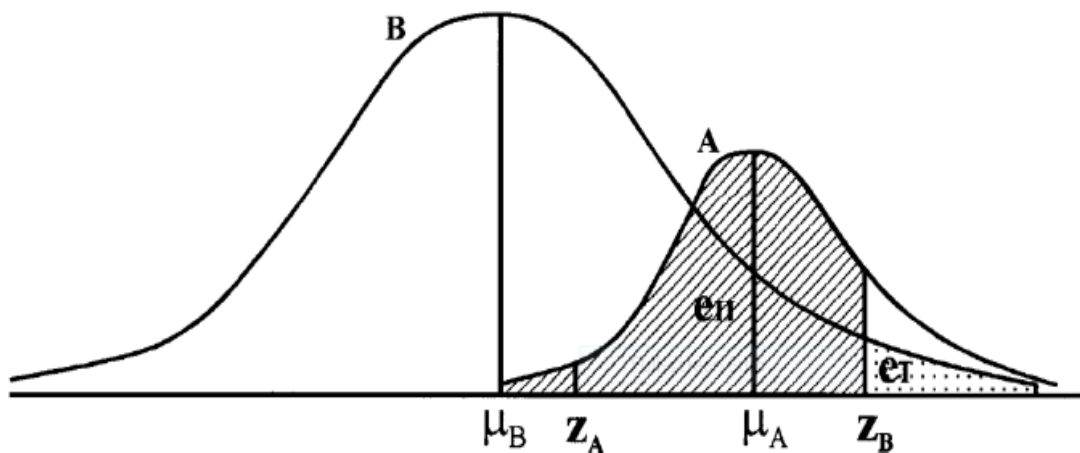
| Component | Initial Eigenvalues | | | Extraction Sums of Squared Loadings | | | Rotation Sums of Squared Loadings | | |
|-----------|---------------------|---------------|--------------|-------------------------------------|---------------|--------------|-----------------------------------|---------------|--------------|
| | Total | % of Variance | Cumulative % | Total | % of Variance | Cumulative % | Total | % of Variance | Cumulative % |
| 1 | 11.647 | 32.352 | 32.352 | 11.647 | 32.352 | 32.352 | 7.205 | 20.014 | 20.01 |
| 2 | 4.581 | 12.725 | 45.077 | 4.581 | 12.725 | 45.077 | 6.277 | 17.436 | 37.45 |
| 3 | 2.126 | 5.906 | 50.984 | 2.126 | 5.906 | 50.984 | 2.688 | 7.466 | 44.92 |
| 4 | 1.973 | 5.480 | 56.464 | 1.973 | 5.480 | 56.464 | 2.489 | 6.913 | 51.83 |
| 5 | 1.825 | 5.071 | 61.535 | 1.825 | 5.071 | 61.535 | 2.257 | 6.270 | 58.1 |
| 6 | 1.568 | 4.355 | 65.890 | 1.568 | 4.355 | 65.890 | 1.832 | 5.089 | 63.19 |
| 7 | 1.415 | 3.930 | 69.821 | 1.415 | 3.930 | 69.821 | 1.667 | 4.631 | 67.82 |
| 8 | 1.232 | 3.422 | 73.243 | 1.232 | 3.422 | 73.243 | 1.570 | 4.361 | 72.18 |
| 9 | 1.069 | 2.968 | 76.211 | 1.069 | 2.968 | 76.211 | 1.451 | 4.031 | 76.21 |
| 10 | .929 | 2.579 | 78.790 | | | | | | |
| 11 | .889 | 2.471 | 81.261 | | | | | | |
| 12 | .742 | 2.061 | 83.322 | | | | | | |
| 13 | .697 | 1.937 | 85.259 | | | | | | |
| 14 | .638 | 1.773 | 87.032 | | | | | | |
| 15 | .553 | 1.536 | 88.568 | | | | | | |
| 16 | .528 | 1.466 | 90.033 | | | | | | |
| 17 | .483 | 1.341 | 91.374 | | | | | | |
| 18 | .434 | 1.206 | 92.580 | | | | | | |
| 19 | .368 | 1.022 | 93.602 | | | | | | |
| 20 | .301 | .836 | 94.438 | | | | | | |
| 21 | .279 | .775 | 95.214 | | | | | | |
| 22 | .275 | .764 | 95.977 | | | | | | |
| 23 | .220 | .610 | 96.587 | | | | | | |
| 24 | .202 | .560 | 97.147 | | | | | | |
| 25 | .183 | .507 | 97.654 | | | | | | |
| 26 | .164 | .455 | 98.109 | | | | | | |
| 27 | .141 | .390 | 98.500 | | | | | | |
| 28 | .130 | .362 | 98.861 | | | | | | |
| 29 | .098 | .272 | 99.133 | | | | | | |
| 30 | .075 | .208 | 99.342 | | | | | | |
| 31 | .071 | .197 | 99.539 | | | | | | |
| 32 | .049 | .135 | 99.674 | | | | | | |
| 33 | .040 | .110 | 99.784 | | | | | | |
| 34 | .036 | .100 | 99.883 | | | | | | |
| 35 | .023 | .063 | 99.947 | | | | | | |
| 36 | .019 | .053 | 100.000 | | | | | | |

جدول ۳-۸: ضرایب هر عنصر در مولفه‌های نه‌گانه

| | Component | | | | | | | | |
|----------------|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| Ag | .050 | .095 | -.020 | .149 | .003 | -.034 | .823 | -.119 | .002 |
| Al | .824 | .242 | .053 | .144 | -.107 | .351 | .047 | .076 | .027 |
| As | .336 | .281 | .454 | .269 | .048 | .088 | -.159 | .109 | .185 |
| Ba | .160 | .035 | -.178 | .066 | .126 | .790 | -.090 | .010 | .036 |
| Be | .711 | .177 | .314 | -.001 | -.219 | .372 | .122 | .043 | .018 |
| Ca | -.233 | -.151 | -.475 | .427 | -.020 | -.556 | -.218 | .061 | .131 |
| Cd | .170 | .024 | -.142 | .434 | -.048 | -.058 | .090 | .473 | .166 |
| Ce | .159 | .909 | .170 | -.031 | -.017 | -.033 | -.017 | .071 | .011 |
| Co | .252 | .506 | .605 | -.048 | .289 | -.079 | -.040 | .090 | -.021 |
| Cr | -.258 | .214 | -.026 | -.226 | .707 | .045 | .287 | .143 | -.167 |
| Cu | .235 | .239 | .648 | .146 | .071 | -.297 | -.027 | .168 | .054 |
| Fe | .306 | .626 | .504 | -.083 | .322 | .050 | .202 | -.004 | -.093 |
| K | .777 | .097 | .153 | .177 | -.127 | .231 | .044 | .173 | .121 |
| La | .028 | .921 | .104 | -.052 | .016 | .041 | .006 | .074 | -.026 |
| Li | .827 | .116 | .286 | .243 | -.113 | .090 | .070 | -.001 | -.070 |
| Mg | .859 | .002 | .004 | .020 | -.025 | -.164 | -.045 | -.079 | .071 |
| Mn | .170 | .666 | .426 | -.099 | .140 | .209 | .221 | .250 | .009 |
| Mo | .126 | .114 | .080 | .006 | .016 | -.015 | -.086 | .770 | -.117 |
| Na | -.265 | -.132 | -.604 | -.164 | .205 | -.004 | -.138 | .379 | .135 |
| Ni | .645 | -.105 | .190 | -.178 | .542 | -.086 | -.004 | .005 | -.029 |
| P | .641 | .145 | -.017 | -.074 | .012 | -.463 | -.076 | .265 | -.101 |
| Pb | -.007 | .157 | .269 | -.134 | .239 | .027 | .509 | .428 | .296 |
| S | .349 | .029 | .126 | .708 | -.208 | .042 | .026 | .148 | -.106 |
| Sb | -.260 | .135 | .007 | .295 | .604 | .157 | -.234 | -.107 | .173 |
| Sc | .838 | .379 | .201 | .024 | .092 | .158 | .137 | .088 | .030 |
| Sn | .012 | .157 | .098 | .053 | -.108 | .090 | -.031 | -.107 | -.721 |
| Sr | -.086 | -.188 | .132 | .818 | -.027 | -.004 | -.023 | -.107 | .097 |
| Th | .205 | .788 | -.021 | .166 | .009 | .105 | .071 | -.079 | .019 |
| Ti | -.029 | .758 | .170 | -.226 | .414 | -.044 | .179 | .038 | -.170 |
| U | .200 | .042 | -.042 | .565 | .131 | .039 | .333 | .003 | -.326 |
| V | .123 | .588 | .224 | -.154 | .543 | .149 | .224 | .066 | -.146 |
| W | .125 | .095 | .100 | .056 | -.226 | .154 | .025 | -.185 | .599 |
| Y ₁ | .582 | .666 | -.038 | -.091 | -.089 | -.185 | -.054 | .042 | .051 |
| Yb | .636 | .678 | .113 | .055 | -.007 | -.017 | -.025 | .049 | .074 |
| Zn | .541 | .380 | .206 | -.084 | .260 | .098 | .361 | .196 | .189 |
| Zr | .691 | .523 | .159 | .164 | -.052 | -.072 | -.004 | -.025 | -.206 |

۳-۶- برآورد مقدار زمینه و حد آستانه‌ای به روش آماری سالووف

جوامعی که در ژئوشیمی اکثریت داده‌ها را تشکیل می‌دهند شامل مقدار زمینه، آنومالی و جامعه حد آستانه هستند که جامعه سوم، حد واسط دو جامعه دیگر است. آنومالی A و زمینه B، جوامع مجزا هستند که از نظر ویژگی‌های مکانی و خواص عنصری با همدیگر متفاوتند. اگر Z_A حد پایین آنومالی و Z_B را حد بالای زمینه در نظر بگیریم، در صورتی که $Z_A < Z_B$ باشد، جوامع هم‌پوشانی خواهند داشت و مقادیر ما بین آن‌ها را نمی‌توان به یکی از دو جامعه نسبت داد در این صورت دو نوع خطای نوع ۱ (e_I) و خطای نوع ۲ (e_{II})، امکان وقوع دارد. خطای نوع ۱ خطای عدم پذیرش است که نمونه‌ای متعلق به جامعه زمینه جز زمینه طبقه‌بندی نگردد. خطای نوع ۲ خطای پذیرش است که یک نمونه متعلق به آنومالی، جز زمینه طبقه‌بندی شود. با در نظر گرفتن Z_B به عنوان حد آستانه، مقادیر خطای ۱ و ۲ به صورت مناطق سایه‌دار در شکل (۳-۵) نشان داده شده‌است. این دو خطا به صورت معکوس یکدیگر عمل می‌کنند یعنی کاهش یکی از آن‌ها باعث افزایش دیگری خواهد شد. در بسیاری از مواقع کاهش خطای کلی بهتر است هرچند در مواقعی می‌توان یکی از دو خطا را کاهش داد [۲۵].



شکل ۳-۵: تابع چگالی داده‌های ژئوشیمیایی جامعه آنومالی A با میانگین μ_A و جامعه زمینه B با میانگین μ_B [۲۵]

اغلب روش‌های تشخیص حد آستانه از آنومالی بر پایه توزیع نرمال عناصر بیان می‌شود. تابع توزیع نرمال با استفاده از رابطه (۳-۵) بیان می‌شود:

$$y = f(x) = \frac{1}{s\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(x - \bar{x})^2}{2s^2}\right) \quad (5-3)$$

در این رابطه \bar{x} میانگین حسابی داده‌ها، s انحراف معیار و s^2 واریانس داده‌ها است. جهت محاسب مقدار زمینه (C_p) ، حد آستانه‌ی آنومالی C_A و انحراف معیار ε برای ذخایری که از توزیع لاگ نرمال بهره می‌برند از روابط زیر استفاده می‌گردد.

$$C_p = \text{antLog}\left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \log c_i\right) \quad (6-3)$$

$$C_A = C_p \times \frac{3}{\varepsilon\sqrt{m}} \quad m = 1, 2, 3, \dots, 9 \quad (7-3)$$

$$\varepsilon = \text{antLog std}(d_1: d_2) \quad (8-3)$$

در روابط فوق داریم:

ε : انحراف معیار داده‌ها d_i : مقدار مربوط به آنالیز داده‌ی i ام

$std(d_1: d_2)$: انحراف معیار داده‌ها m : تعداد نمونه‌ها با غلظتی بیشتر از

$$C_x \times \varepsilon$$

در رابطه (7-3)، اگر مقدار $\frac{3}{\sqrt{m}}$ را برابر t بگیریم، در صورتی که این مقدار برابر 3 فرض شود، احتمال خطا در تخمین میزان حد آستانه بسیار کاهش می‌یابد ولی در عین حال باعث می‌شود که آنومالی‌های ضعیف در رابطه‌ی توده‌های عمیق کنار گذاشته شوند. لذا انتخاب میزان t در تعیین حد آستانه آنومالی بسیار حائز اهمیت است، بنابراین اگر هدف، آشکارسازی آنومالی‌های قوی باشد مقدار t را برابر 3 در نظر می‌گیریم ولی برای آشکارسازی آنومالی‌های ضعیف‌تر از رابطه (7-3) استفاده می‌گردد [26]. با استفاده از روابط ذکر شده در بالا مقادیر حد زمینه، حد آستانه‌ای و انحراف معیار برای

عناصر شاخص Mn, V, Zr, Ti, Cr, Pb, Zn, Mo, Co, Ni, Cu, Ba, Sc, Sr و Ag به صورتی که در

جدول (۹-۳) نشان داده شده است، محاسبه می‌گردد.

جدول ۹-۳: محاسبه مقادیر زمینه Cp، انحراف معیار ε و حد آستانه‌ای CA برای عناصر شاخص

| | | | | | | | | |
|----|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| A | Fe | Mn | V | Zr | Ti | Cr | Pb | Zn |
| ε | 1.08 | 1.08 | 1.08 | 1.08 | 1.06 | 1.19 | 1.19 | 1.09 |
| Cp | 26168.78 | 780.21 | 106.94 | 88.10 | 3923.29 | 118.94 | 17.33 | 69.76 |
| CA | 28160.80 | 844.96 | 115.82 | 95.38 | 4168.12 | 141.89 | 20.68 | 75.89 |
| a | Mo | Co | Ni | Cu | Ba | Sc | Sr | Ag |
| ε | 1.05 | 1.08 | 1.06 | 1.21 | 1.04 | 1.07 | 1.12 | 1.08 |
| Cp | 0.97 | 16.52 | 70.77 | 31.00 | 341.96 | 11.70 | 277.78 | 0.25 |
| CA | 1.03 | 17.87 | 74.93 | 37.39 | 356.17 | 12.53 | 312.08 | 0.27 |

در جدول (۹-۳) حدود زمینه و آنومالی برای بارزسازی آنومالی‌های سطحی با استفاده از روش

آماري سالووف محاسبه شده است. حد زمینه برای عنصر آهن که مورد توجه است ۲۶۱۶۸ppm و حد

آنومالی ۲۸۱۶۰ppm می‌باشد. با توجه به جدول (۹-۳) نقشه حدود زمینه و آنومالی برای عناصر آهن،

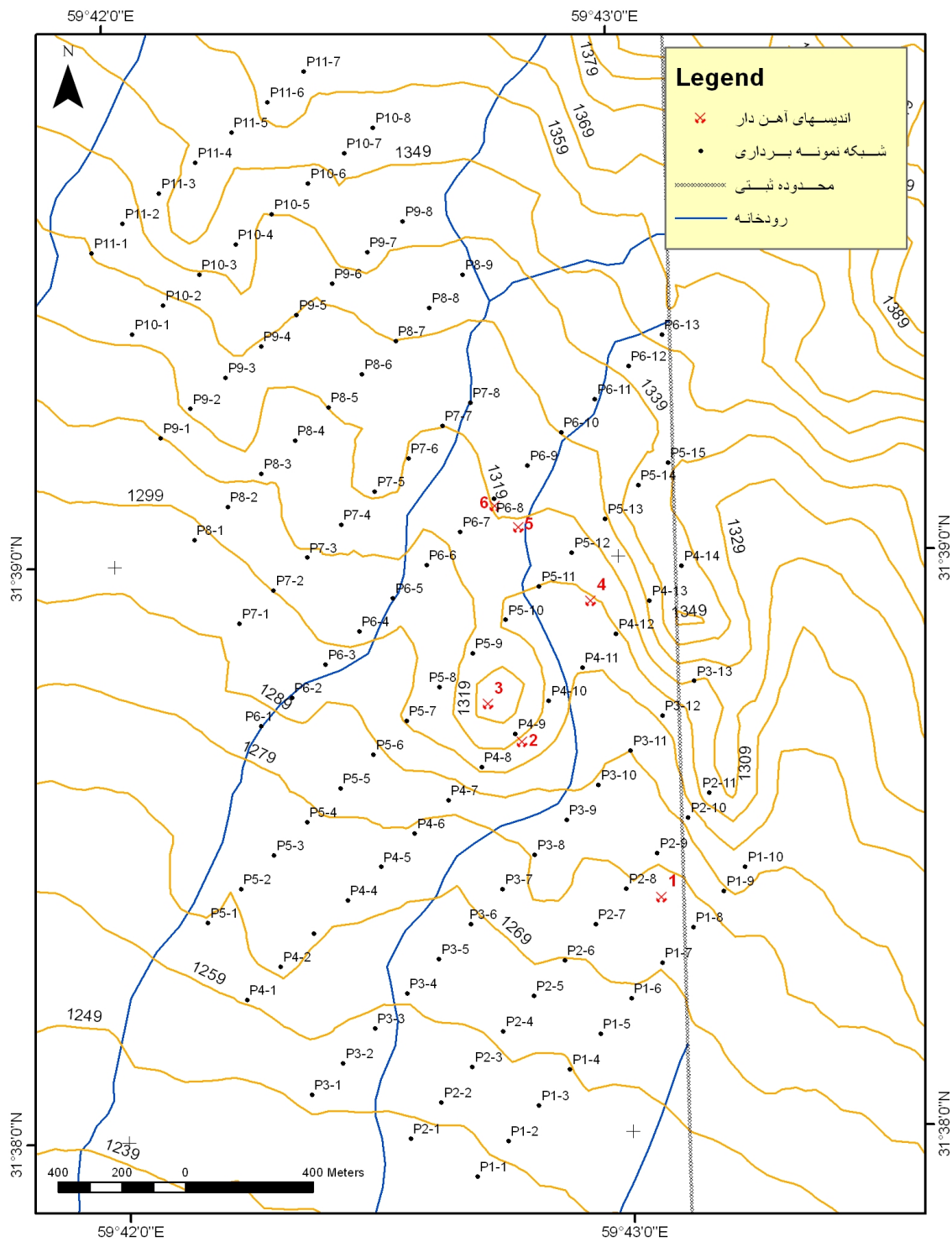
زیرکونیم، وانادیم و منگنز در شکل (۷-۳) رسم شده است. با توجه با این شکل آنومالی‌های سطحی

بدست آمده برای آهن منطبق بر برونزد رگه آهن هماتیتی می‌باشد که دارای راستای شمال غرب- جنوب

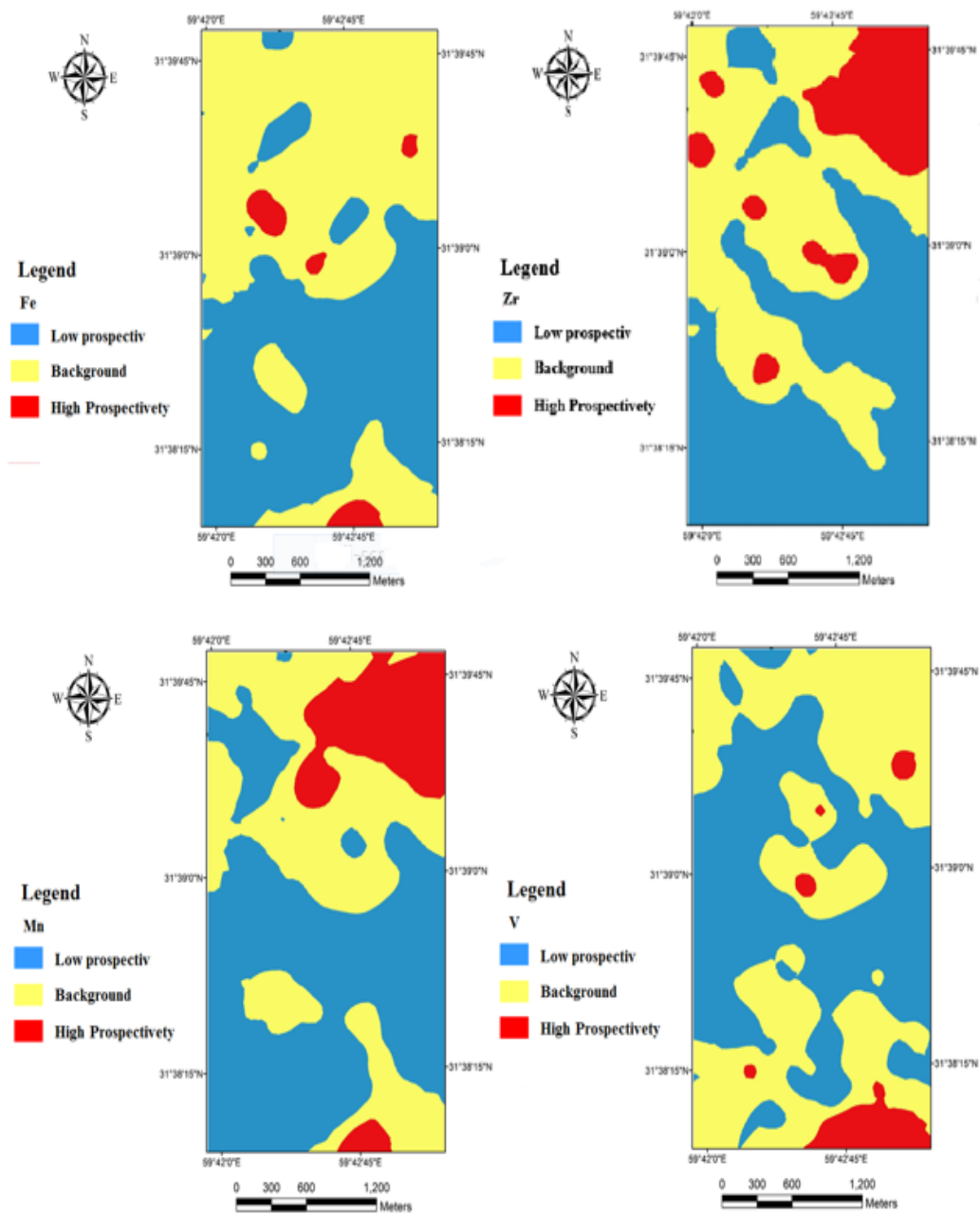
شرق می‌باشد. قابل توجه است که در نمونه برداری سعی شده از رگه آهن دار نمونه‌ای برداشت نشود و

بیشتر از هاله‌ها نمونه برداری شده است. در شکل (۶-۳) پروفیل‌های نمونه برداری در جهت عمود بر

ساختار زمین‌شناسی محدوده و بر روی نقشه توپوگرافی محدوده نشان داده شده است.



شکل ۳-۶: نقاط نمونه برداری در محدوده چاهداشی



شکل ۳-۷: نقشه‌های حد زمینه و آنومالی برای عناصر شاخص و آهن با استفاده از آمار سالووف در منطقه چاهداشی

۳-۷- کاربرد هاله‌های ضربی و تعیین فاکتور زونالیته

یکی از شاخصه‌های اصلی در پی جویی‌های اکتشافی، شناسایی ایالت‌های ژئوشیمیایی است. شناسایی ایالت‌های ژئوشیمیایی، معرف ویژگی‌های ژئوشیمیایی محیط می‌باشد. مفهوم ایالت‌های ژئوشیمیایی اولین بار توسط فرسمن^۱ ۱۹۳۳ پیشنهاد شد. او این اصطلاح را برای بیان توصیف نواحی با دو خصلت زیر به کار برد:

- از نظر ژئوشیمیایی همگن باشند
- پراکندگی بعضی از عناصر شیمیایی در آنها طوری باشد که موجب مشخص شدن آنها شود.

هاوکس و وب^۲ نیز ایالت‌های ژئوشیمیایی را اختلاف در میانگین ترکیبات ژئوشیمیایی منطقه نسبت به میانگین ترکیبات ژئوشیمیایی پوسته زمین تعریف کرده‌اند. در حقیقت ویژگی اصلی ایالت‌های ژئوشیمیایی آن است که ویژگی‌های ژئوشیمیایی آن در سنگ‌های معرف فعالیت‌های کانی‌سازی قابل تشخیص باشند. این محیط عموماً از برخی از عناصر خاص غنی یا فقیرند.

چنان‌که پیش از این گفته شد، هاله ژئوشیمیایی مناطقی در اطراف نهشته‌های کانساری یا توده‌های کانساری است که در نتیجه ورود یا توزیع دوباره بعضی از عناصر شیمیایی در خلال فرآیندهای تشکیل کانسار، نسبت به این عناصر تهی شدگی یا غنی شدگی نشان می‌دهند. در محیط اطراف توده معدنی میزان غلظت عنصر کانی‌سازی تا حد زمینه به تدریج کاهش نشان می‌دهد. به این محیط اصطلاحاً هاله ژئوشیمیایی گفته می‌شود. که شناسایی درست حد زمینه می‌تواند اثر مربوط به این هاله را شدت بخشد [۴ و ۲۲].

برای شدت بخشیدن به هاله ژئوشیمیایی می‌توان از روش‌های مختلفی استفاده کرد. براساس

۱- Fersman

۲- Hawkes & Webb

بررسی‌های انجام گرفته توسط بئوس و گریگوریان چهار روش ارائه شده است که عبارتند از:

(۱) تجزیه کمی نمونه‌های ژئوشیمیایی

(۲) تجزیه شیمیایی جزئی نمونه‌های ژئوشیمیایی

(۳) تجزیه نمونه‌های ژئوشیمیایی عناصر سنگین

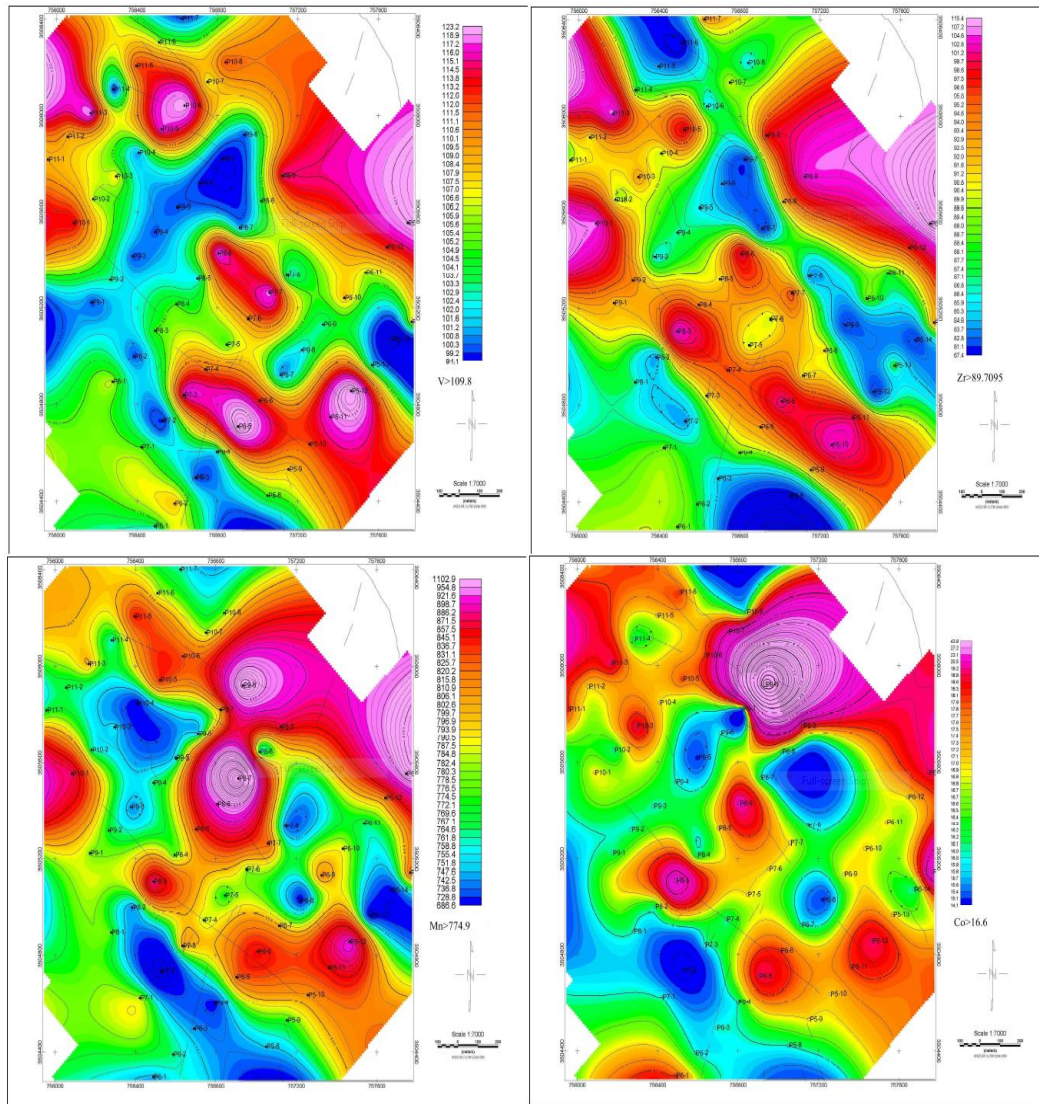
(۴) هاله‌های مرکب

در این مطالعه برای شدت بخشیدن به هاله‌های ژئوشیمیایی از روش چهارم یعنی روش هاله‌های مرکب استفاده شده است. اساس این روش بر پایه بررسی ژئوشیمیایی چند عنصری می‌باشد. بدین صورت که بجای بررسی یک عنصر از ترکیب چند عنصر برای این منظور استفاده می‌شود. هاله‌های مرکب می‌تواند نماینده مقادیر جمعی یا مقادیر ضربی چند عنصر خاص باشد.

هاله جمعی از جمع ساده عناصر، که در مقابل میانگین مقدار زمینه استاندارد شده است، بدست می‌آید. در این جا بررسی‌ها بجای تک عنصر، روی داده‌های استاندارد شده صورت می‌گیرد. بررسی‌ها نشان دادند که هاله‌های ضربی به مراتب توصیف بهتری از کانی‌سازی در محدوده را دارا می‌باشد. در این حالت اثر خطاهای تصادفی به شدت کاهش می‌یابد.

در مقابل هاله‌های جمعی، می‌توان با ضرب مقادیر غلظت عناصر در یکدیگر از هاله‌های ضربی برای بازسازی هاله ژئوشیمیایی استفاده کرد. استفاده از هاله ضربی با توجه به آن که دیگر نیازی به استانداردسازی و تشخیص مقادیر زمینه هر عنصر نمی‌باشد، ساده‌تر است و زمان محاسبات آن نیز کمتر است. مهم‌ترین مساله در روش‌های هاله ضربی و هاله جمعی انتخاب عناصر مناسب جهت ایجاد مقادیر ضربی و جمعی مرکب می‌باشد. در تعریف هاله ضربی، از عناصر معرف کانی‌سازی که دارای همبستگی مثبت یا منفی با کانسار مورد نظر می‌باشد، استفاده شده است [۲۲].

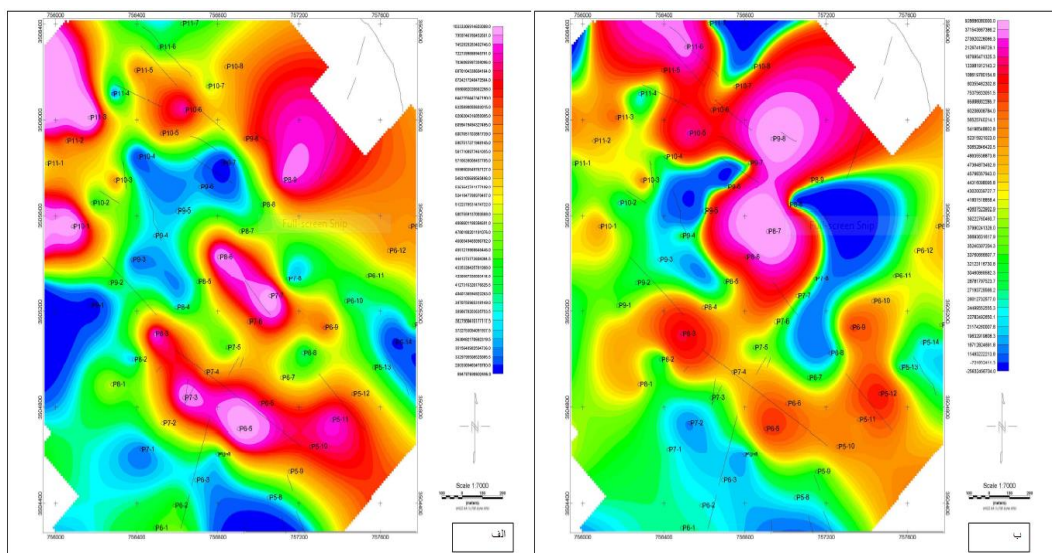
در این مطالعه با توجه به نتایج بدست آمده از اکتشاف معدن آهن اسکارنی کورسک^۱ در بلغراد توسط گریگوریان در سال ۱۹۸۷، هاله‌های عناصر V, Zr, Sc, Sr, Ba, B, Cr, Ti به عنوان هاله‌های ژئوشیمیایی فوق کانساری و هاله‌های عناصر Ag, Mo, Pb, Cu, Zn, Ni, Co به عنوان هاله‌های ژئوشیمیایی تحت کانساری در نظر گرفته شد.



شکل ۳-۸: تغییرات میدان ژئوشیمیایی برای عناصر V, Zr (فوق کانساری) و Mn, Co (تحت کانساری) در محدوده چاداشی با استفاده از روش زونالیته

تغییرات میدان ژئوشیمیایی برای عناصر فوق و تحت کانساری ترسیم شد که نقشه ژئوشیمیایی

عناصر وانادیم و زیرکونیم برای فوق کانساری و منگنز و کبالت برای تحت کانساری در شکل ۳-۸ آورده شده است. در مرحله بعد تغییرات میدان ژئوشیمیایی برای حاصل ضرب عناصر فوق و تحت کانساری بدست آمد که در شکل ۳-۹ نشان داده شده است. همان طور که در شکل دیده می شود میدان ژئوشیمیایی عناصر تحت کانساری در شمال شرق محدوده دارای شدت بیشتری می باشد و میدان های ژئوشیمیایی عناصر فوق کانساری دارای امتداد شمال غرب- جنوب شرق می باشند با توجه به میدان های ژئوشیمیایی عناصر فوق و تحت کانساری می توان به این نتیجه رسید که رگه ماده معدنی دارای شیبی به سمت شمال شرق می باشد و برای دستیابی به کف کانسار نقاطی بر روی میدان ژئوشیمیایی عناصر تحت کانساری به عنوان نقطه حفاری پیشنهاد می شود.



شکل ۳-۹: تغییرات میدان ژئوشیمیایی حاصل ضرب عناصر شاخص فوق کانساری (الف) و تحت کانساری (ب) با استفاده از روش زونالیته

فصل چہارم

ہندسہ فرکٹال

شاید در نگاه اول جهان پیرامون ما مجموعه‌ای از فرآیندهای پیچیده و بی‌قاعده‌ای به نظر آید که توصیف آن‌ها براساس ساختارها و مدل‌های ریاضی امکان‌پذیر نباشد. اما امروزه با توسعه علوم، ثابت شده است که پیچیدگی‌های جهان پیرامون خود را می‌توانیم در غالب روش‌های نوین علم ریاضی بیان کنیم. هندسه فرکتال از جمله روش‌های نوین ریاضی است که توسط ماندلبروت^۱ در سال ۱۹۸۳ تعریف شده است و می‌تواند پیچیدگی‌های نظام طبیعی را بیان کند. هندسه فرکتالی روش جدیدی است که نسبت به هندسه اقلیدسی تفاوت‌های زیادی دارد. هندسه اقلیدسی بیشتر برای توصیف مصنوعات بشر به کار گرفته می‌شود. در حالی که برای شبیه‌سازی مدل‌های طبیعی می‌توان از هندسه فرکتال استفاده کرد [۲۷]. در گذشته برای توصیف اشکال و ساختارهای منظم در طبیعت از هندسه اقلیدسی و روابط بین این ساختارها به عنوان ابزار قدرتمند ریاضی استفاده شده است. اما برای توصیف ساختارهای پیچیده‌تر مانند توزیع الگوهای ژئوشیمیایی هندسه اقلیدسی نمی‌تواند مدلی را ارائه دهد. برای بیان این پیچیدگی‌ها الگوهای فرکتالی می‌تواند مناسب باشد. در هندسه اقلیدسی اشکال براساس مقیاس تغییر می‌کنند ولی هندسه فرکتال، براساس ویژگی تکرارپذیری، مدلی از سیمای طبیعت پیرامون ما ارائه می‌دهد. اشکالی که در هندسه اقلیدسی مورد مطالعه قرار می‌گیرند وضعیت ثابتی دارند همانند نقاط، خطوط، صفحات و حجم‌ها. لذا از این رو هندسه اقلیدسی در بیان ساختارهای پیچیده و بی‌قاعده ناتوان است. ولی در هندسه فرکتال، اشکال عموماً تکراری هستند و از یک الگوی اولیه کلی پیروی می‌کنند. از این رو هندسه فرکتال مشتق‌پذیر نیست. هندسه فرکتال برای توصیف پدیده‌هایی به کار می‌رود که خاصیت اصلی فرکتال‌ها را دارا باشد، که همان خاصیت تکرارپذیری می‌باشد. ویژگی‌های اصلی پدیده‌های فرکتالی خود تشابهی است. بدان معنا که هر جز معرف بخش بزرگتری می‌باشد. کانی‌سازی‌ها در طبیعت حاصل فرآیندهای تکراری هستند، لذا می‌توان فرآیندهای طبیعی را پدیده‌های فرکتالی در نظر

۱- Mandelbrot

گرفت که از هندسه فرکتالی پیروی می‌کنند. بر این اساس روش‌های گوناگون فرکتالی همچون عیار-مساحت، عیار-فاصله، عیار-محیط و طیف توان ارائه شدند که یکی از مهم‌ترین این روش‌ها روش عیار-مساحت می‌باشد.

۲-۴- 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 نمونه آنومال در روی نقشه و تاثیرگذاری یا تاثیرپذیری 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 غیرساختاری 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. بر عکس وجود یک نمونه‌ی آنومال در بین جامعه‌ای از نمونه‌های زمینه از اهمیت آن می‌کاهد [۲۳].

۳-۴- هندسه فرکتال و روش عیار-مساحت

فیثاغورث^۱ ریاضیدان یونانی در ۲۵۰۰ سال پیش نظریه‌ای داد مبنی بر این که عملکرد طبیعت بر پایه دانش ریاضی می‌باشد. تا قرن بیستم این نظریه مورد قبول بیشتر دانشمندان نبود ولی با پیشرفت سریع دانش در این قرن صحت این نظریه بیش از پیش مشخص شده است. امروزه ریاضی به عنوان ابزاری قوی در اختیار طبیعی‌دانان به خصوص زمین‌شناسان برای توصیف فرآیندهای مربوط به طبیعت قرار گرفته است. با توجه به این که هندسه اقلیدسی توانایی بیان بیشتر پیچیدگی‌های موجود در طبیعت را ندارد، دانشمندان به دنبال هندسه‌ای بودند که بتواند توصیف‌گر کلیه فرآیندهای موجود در طبیعت باشد. پروفیسور ماندلبروت در سال ۱۹۸۳ برای نخستین بار هندسه فرکتال را به عنوان ابزاری مناسب

۱- Pythagoras

برای این کار معرفی کرد. به گفته ایشان هندسه فرکتال توصیف‌گر طبیعت است آن‌گونه که طبیعت اعمال می‌کند نه آن‌گونه که بشر می‌خواهد و این امتیاز بسیار بزرگی محسوب می‌شود.

در هندسه فرکتال هر شکل و پیچیدگی‌های آن در قالب اعداد نشان داده می‌شوند. همان‌طور، که در هندسه اقلیدسی مفاهیم زاویه، طول، مساحت و فضاهای یک بعدی تا سه بعدی به کار می‌روند، در هندسه فرکتال بعدها فرکتالی وجود دارند که به طور معمول اعداد صحیح نیستند و بعدها فرکتالی نامیده می‌شوند که برای بیان پیچیدگی‌های یک شکل می‌توان از آن استفاده نمود. بر این اساس در دهه‌های ۸۰ و ۹۰ روش‌های گوناگون آنالیز فرکتالی همچون عیار-مساحت، عیار-فاصله و طیف توان ارائه شدند که در میان آن‌ها روش عیار-مساحت در علوم زمین، کاربردی بسیار یافته است [۲۸]. روش عیار-مساحت که توسط دکتر چنگ^۱ در سال ۱۹۹۴ ارائه شده است مبتنی بر میزان مساحتی است که هر عیار خاص در منطقه مورد مطالعه اشغال نموده است. هر چه عیار عنصر افزایش یابد میزان مساحت اشغالی توسط آن کاهش می‌یابد. امروزه یکی از مرسوم‌ترین روش‌ها برای نمایش توزیع عیار یک عنصر در یک منطقه ترسیم نقشه کنوری (منحنی میزان) هم عیار عنصر مربوطه در منطقه مورد مطالعه است. اگر مقدار هر کنور عیار p در نظر گرفته شود. می‌توان یک معادله توانی برای تمرکز مواد با خواص فرکتالی ارائه نمود [۲۹].

$$A_{(>p)} \propto p^{-D} \quad (1-4)$$

مقدار D در حقیقت نمایان‌گر بعد فرکتالی مربوط به دامنه‌های متفاوت p را نشان می‌دهد. با ترسیم تغییرات مساحت در برابر عیار در نموداری لگاریتمی می‌توان بعد هر جامعه را از طریق شیب خط برازش شده به آن حساب نمود. نقاط شکست (تغییر شیب خط برازش شده) در این نمودار بیان‌گر تغییر جامعه‌ای به جامعه دیگر است، به گونه‌ای که علاوه بر جدا کردن زمینه می‌توان آنومالی‌های

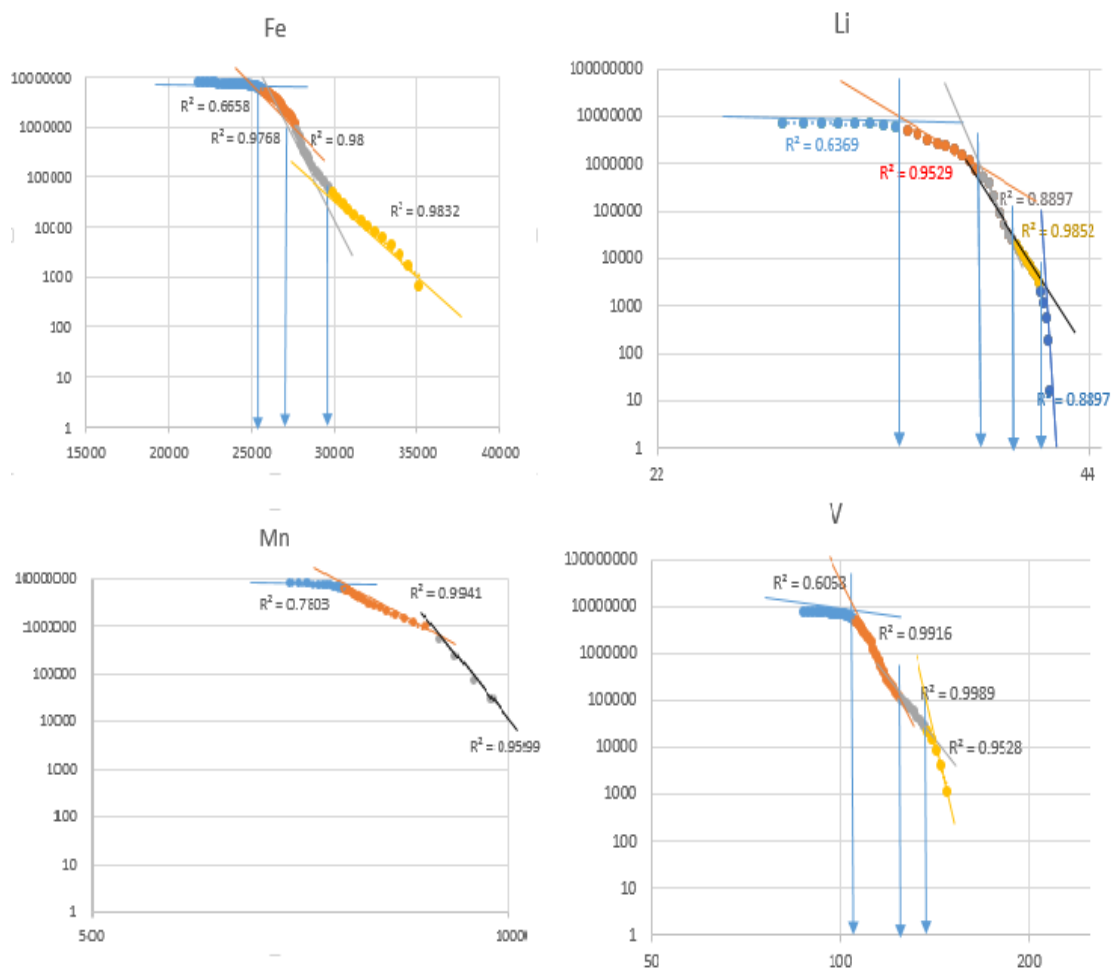
۱- Cheng

ممکن، احتمالی وقطعی یک عنصر و حتی در برخی موارد کانی‌سازی اصلی و فرعی مربوط به آن عنصر را از یکدیگر جدا نمود [۲۹].

به عبارتی تغییر از جامعه‌ای به جامعه دیگر نشان‌گر تغییر شرایط زمین‌شناسی، ژئوشیمیایی و کانی‌شناسی می‌باشد. این توانایی منحصر به فرد به خاطر ماهیت فرکتالی توزیع عناصر در طبیعت است. این مساله سبب می‌شود که نیازی به حذف مقادیر خارج از ردیف نباشد زیرا به دلیل ماهیت فرکتالی داده‌ها به طور خودکار این داده‌ها کنار گذاشته می‌شوند [۳۱ و ۳۲ و ۳۳]. نظریه مدل‌سازی چند فرکتالی یا مولتی فرکتالی ناشی از طبیعت توزیع فرکتالی عناصر و نیز نوع ارتباط عیار با مساحت در برگیرنده آن به صورت یک تابع توانی است یعنی این‌که در نمودار لگاریتمی عیار- مساحت حالتی پلکانی دیده می‌شود [۳۰ و ۳۲]. این حالت پلکانی که تعداد تکرار نمودار در اندازه‌های مختلف را نشان می‌دهد می‌تواند نمایان‌گر تعداد مرحله‌های غنی‌شدگی عناصر و به تبع آن تعداد مراحل کانی‌زایی و نیز پراکندگی‌های ثانویه را در منطقه مورد مطالعه نشان دهند [۳۱ و ۳۲ و ۳۳]. با استفاده از این امر می‌توان بیش از پیش به وضعیت کانه‌زایی در منطقه پی‌برد. بی تردید با مدل‌سازی مولتی فرکتالی و نیز تلفیق نتایج آن با داده‌های زمین‌شناسی می‌توان به تفسیری ایده‌آل از کانه‌زایی منطقه مورد نظر دست یافت.

نخستین کاری که در این مرحله صورت پذیرفت، شبکه‌بندی محدوده مورد مطالعه بود. سپس با روش مجذور عکس فاصله (IDW) دو بعدی میزان عیار برای هر یک از عناصر آهن، منگنز، زیرکونیم و وانادیم در هر سلول با استفاده از نرم افزار GIS مورد تخمین قرار گرفت. بر این اساس، منحنی‌های لگاریتمی عیار- مساحت برای این عناصر، در محدوده مورد مطالعه ترسیم شده و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند (شکل ۴-۱) و (جدول ۴-۱). برای عنصر آهن نمودار فرکتال رسم شد و با توجه به شکل (۴-۱) مشخص گردید که برای آهن چهار زیر جامعه مشخص شد که می‌تواند بیانگر وجود جامعه زمینه، آنومالی احتمالی، ممکن و قطعی باشد. برای عناصر لیتیم، وانادیم و منگنز نیز نمودار فرکتال ترسیم و زیر جامعه‌های هر کدام روی شکل و در جدول (۴-۱) مشخص گردید. در هر قسمت از نمودار که

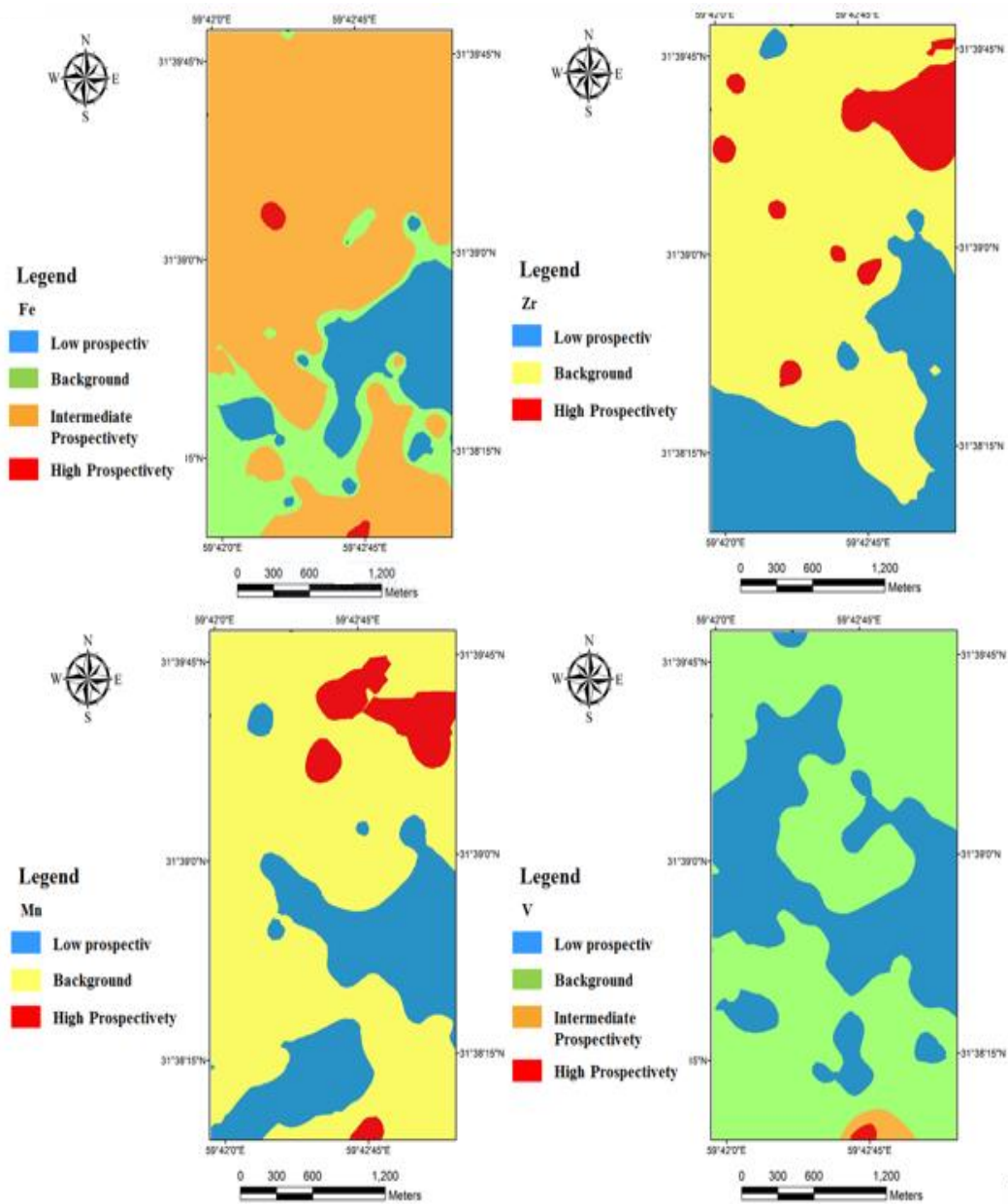
شکستگی وجود داشته باشد بیانگر تغییر جامعه می‌باشد. بر این اساس منگنز دارای سه زیر جامعه، لیتیم دارای پنج زیر جامعه و وانادیم دارای چهار زیر جامعه می‌باشد. حدود زمینه و آنومالی برطبق شکل (۱-۴) و با توجه به نقاط شکست منحنی‌ها در جدول (۱-۴) بدست آمده است. همچنین با توجه به جدول (۱-۴) نقشه حدود زمینه و آنومالی برای عناصر آهن، منگنز، وانادیم و لیتیم در شکل (۱-۴) رسم شد و با توجه به اینکه هدف اکتشاف آهن است مشخص گردید که امتداد آنومالی در جهت شمال غرب-جنوب شرق می‌باشد با گسترش به سمت شمال شرق، که با شرایط زمین شناسی محدوده و نیز رخنمون‌های مشاهده شده در محدوده همخوانی دارد.



شکل ۱-۴: نمودارهای لگاریتمی مساحت‌های هر نمونه بر حسب عیار متناظر آن برای تخمین حد زمینه و حد آنومالی عناصر به روش فرکتال

جدول ۱-۴: حد آستانه‌های عناصر براساس مدل فرکتالی عیار-مساحت

| عنصر | زمینه | آنومالی ضعیف | آنومالی متوسط | آنومالی قوی |
|------|--------------------|--|---|--------------------|
| Fe | $Fe \leq 25764/22$ | $25764/22 \leq Fe \leq 27569/0.8$ $27569/0.8$ | $27569/0.8 \leq Fe \leq 29657/68$ $29657/68$ | $Fe \geq 29657/86$ |
| Mn | $Mn \leq 760/143$ | $760/143 \leq Mn \leq 871/8$ $871/8$ | $871/8 \leq Mn \leq -$ | - |
| Li | $Li \leq 32/32$ | $32/32 \leq Li \leq 36/78$ | $36/78 \leq Li \leq 40/68$ | $Li \geq 40/68$ |
| V | $V \leq 105/44$ | $105/44 \leq V \leq 123/97$ $123/97$ | $123/97 \leq V \leq 136/3$ | $V \geq 136/3$ |



شکل ۴-۲: نقشه حدود زمینه و آنومالی برای عناصر مختلف با استفاده از روش فرکتال

فصل پنجم

نیجہ گیری و پیشہ نادات

۵-۱- نتیجه گیری

با استفاده از آمار چند متغیره ضریب همبستگی مشخص شد عنصر آهن با عناصر کبالت، منگنز، وانادیم، تیتانیم، روی، زیرکن و اسکاندیم همبستگی بالایی دارد.

آنالیز کلاستر داده‌ها را به چهار گروه کلی تقسیم کرد که این گروه‌ها عبارتند از: دسته اول عناصر Al, Sc, Be, Li, Yb, K, Zr, As, دسته دوم عناصر Fe, Mn, Co, Cu, Ti, V, Cr, Pb, Zn و Ag، دسته سوم Ca و Na و دسته چهارم عناصر S و Sr, Cd, U می‌باشند.

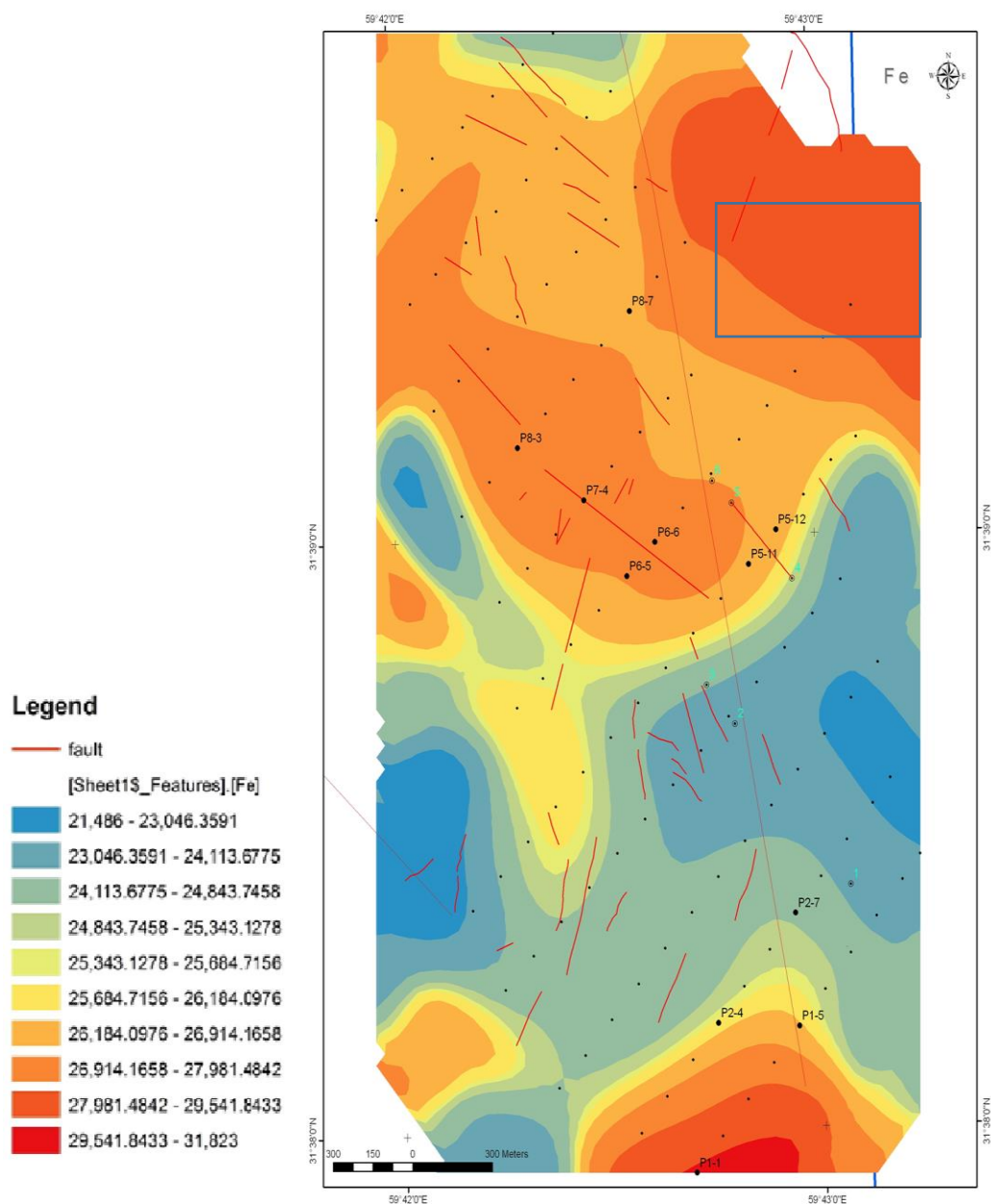
با استفاده از روش آماری سالووف حد زمینه و حد آنومالی برای عناصر شاخص مورد نیاز برای شاخص زونالیت‌ها حساب شد که در جدول (۳-۹) آمده است.

با استفاده از هندسه فرکتال حدود زمینه و آنومالی برای عناصر آهن، لیتیم، وانادیم و منگنز تعیین شد که در جدول (۴-۱) آمده است.

با مقایسه حدود زمینه و آنومالی بدست آمده از روش سالووف با روش فرکتال برای عنصر آهن این نتیجه بدست آمد که این دو روش برای این عنصر تقریباً اختلافی ندارند.

با استفاده از نتایج به دست آمده از روش زونالیت‌ها ژئوشیمیایی، مناطق آنومال برای عنصر آهن شناسایی شد که در شکل ۵-۱ مشاهده می‌شود. همچنین با انطباق مناطق آنومال با گسل‌های منطقه مشخص شد که کانی‌سازی با گسل‌های با امتداد شمال غرب-جنوب شرق در ارتباط هستند ولی گسل‌های مهم کانی‌سازی همین گسل‌ها می‌باشند. قابل ذکر است که روش‌های آمار سالووف و فرکتال روش‌هایی هستند که آنومالی سطحی را مشخص می‌کنند ولی زونالیت‌ها بهره‌گیری از هاله‌های عناصر فوق و تحت کانساری آنومالی‌های عمقی را مورد اکتشاف قرار می‌دهد. به همین دلیل آمار سالووف و هندسه فرکتال امتداد شمال غرب-جنوب شرق را به عنوان آنومالی معرفی می‌کنند ولی زونالیت‌ها قسمت شمال شرقی محدوده را به عنوان آنومالی معرفی کرده است که هر سه این روش‌ها با توجه به کاربرد

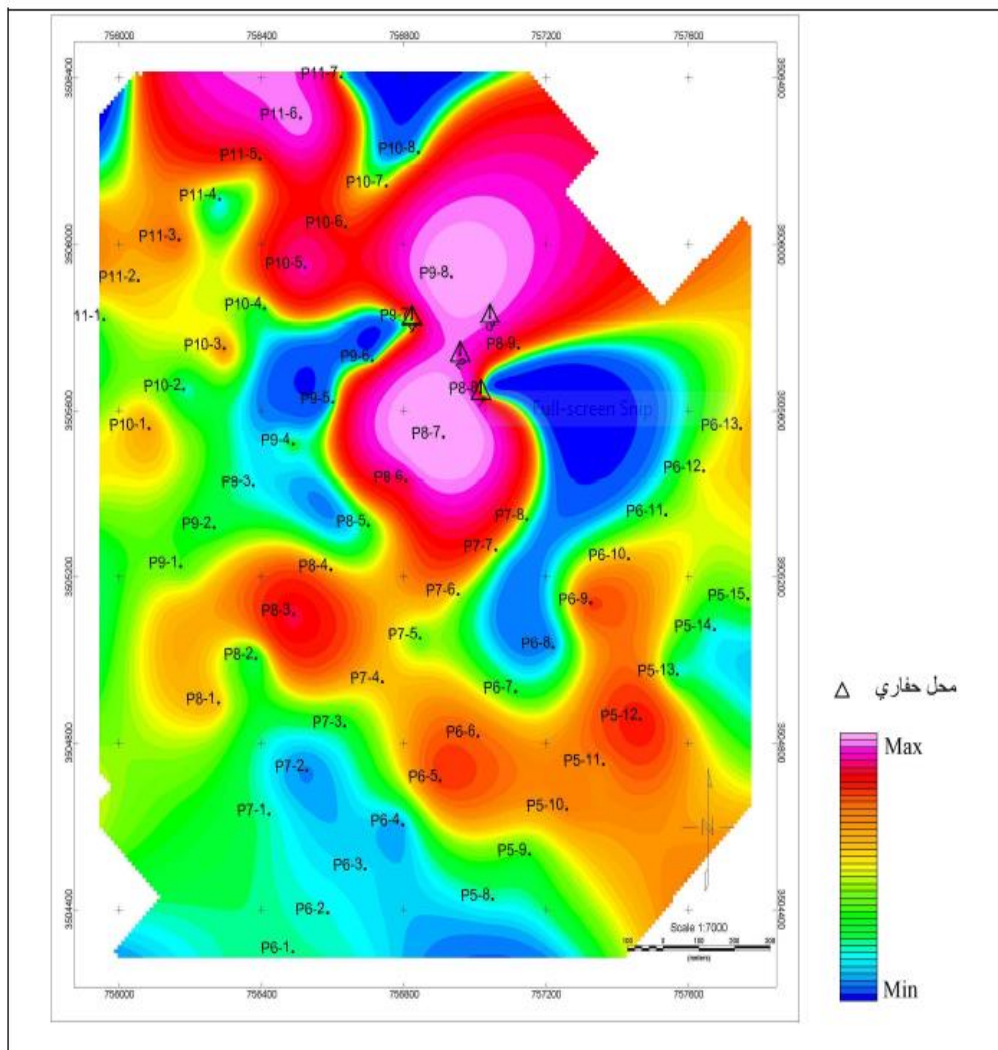
خود مناطق آنومال را درست نشان داده‌اند چون در راستای شمال غرب- جنوب شرق برونزدهایی از ماده معدنی قابل رویت است البته نمونه برداری با فاصله از رگه ماده معدنی برداشت شده است همچنین با حفاری‌های انجام شده در قسمت شمال شرق محدوده مشخص گردید در عمق کانی‌سازی وجود دارد.



شکل ۵-۱: نقشه مناطق آنومال برای عنصر آهن در محدوده چاهدشی با استفاده از روش سالووف

۲-۵- پیشنهادات

۱) با استفاده از زونالیته چهار نقطه برای حفاری پیشنهاد می‌شود که این چهار نقطه روی شکل ۲-۵ مشخص شده است.



شکل ۲-۵: نقاط پیشنهادی برای حفاری در محدوده چاهدashi با استفاده از روش زونالیته

مختصات نقاط حفاری پیشنهادی به شرح زیر می باشد:

جدول ۱-۵: نقاط حفاری پیشنهادی

| BH | X | Y |
|----|--------|---------|
| ۱ | ۷۵۷۰۱۶ | ۳۵۰۵۶۴۴ |
| ۲ | ۷۵۶۹۵۷ | ۳۵۰۵۷۳۵ |
| ۳ | ۷۵۷۰۴۱ | ۳۵۰۵۸۲۵ |
| ۴ | ۷۵۶۸۲۲ | ۳۵۰۵۸۳۱ |

۲) با توجه به نقشه ژئوشیمیایی رسم شده با روش فرکتال می توان در جنوب محدوده نیز

کارهای اکتشافی جدیدی طراحی نمود.

منابع

[۱] Moon C. J., Whateley M. K. G. and Evans A. M. (2006), "**Introduction to mineral Exploration**", 2, Blackwell, Oxford, pp 155-162.

[۲] Davis J. C. (2002) "**Statistics and data analysis in Geology**", 3, John Wiley & Sons Inc, New York, pp 342-353.

[۳] همزه پور، ب. (۱۹۷۵)، گزارش نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ چهار فرسخ، سازمان زمین شناسی کشور.

[۴] بئوس آ. آ، گریگوریان س. و، (۱۳۷۵) "روش های اکتشافات ژئوشیمیایی ذخایر معدنی"، سیمین پرند، سازمان زمین شناسی کشور، تهران، ص ۲۵۹.

[۵] Warren H. V. and Delavault R. E. (1960) "**Aqua regia extractable copper and zinc in plutonic rocks in relation to ore deposits**", 69, inst. Mining metal, P. 495-504.

[۶] Nichol I., Garrett R.G. and Webb J.S. (1969) "**The role of some statistical and mathematical methods in the interpretation of regional geochemical data**", 64, econ. Geol, pp 204-220.

[۷] عباسزاده س.، رحیمی پور غ.، نجم الدینی م، (۱۳۹۳) "شناسایی مناطق کانی زایی مس پورفیری با استفاده از تلفیق روش های تک متغیره و چند متغیره بر روی داده های ژئوشیمیایی آبراهه ای در منطقه قلعه عسکر، استان کرمان"، نشریه علمی-پژوهشی روش های تحلیلی و عددی در مهندسی معدن، شماره ۶، ص ۶۹-۸۲.

[۸] حسنی ح.، شایسته فر م.ر.، شفیعی بافتی ش. (۱۳۹۲)، "اعتبار سنجی کاربرد هندسه فرکتال

در تعیین حد آستانه آنومالی ژئوشیمیایی در منطقه سلفچگان"، سی و دومین گردهمایی و نخستین کنگره بین المللی تخصصی علوم زمین"، ص ۶، تهران.

[۹] همزه پور، ب. (۱۹۷۵)، "نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰۰ چهارفرسخ"، سازمان زمین شناسی کشور

[۱۰] Guilbert, J. M. and Park, C. F. (1997) "**The geology of ore deposits: Freeman Company**", Freeman and Company, New York, pp.985.

[۱۱] Einaudi, M.T. (1981). Skarn associated with porphyry plutons, pp 139-183, In : "**Advances in geology of the porphyry copper deposits of southwestern North America**", Tucson, University of Arizona.

[۱۲] Meinert L. D. (1992), "Skarns and skarn deposits" **Geological Association of Canada.**, 4, 19, pp 145-162.

[۱۳] Einaudi M.T., Meinert L.D. and Newberry R.J. (1981), "Skarn deposits" **Economic Geology.**, 75th anniversary ,pp 317-391.

[۱۴] Einaudi, T.M. and Burt M.D. (1982), "A Special issue Devoted to skarn deposits, Introduction Terminology, Classification and Comp of Skarn Deposits" **Economic Geology.**, 77, 4, pp 745-754.

[15] Forster H. and Knittel U. (1979), "Petrographic observations on a magnetite deposit at mishdovan, Central iran" **Economic Geology**, 74, pp 1485-1510.

[۱۶] Kesler S.E. (1994), "**Mineral resources, economics and the environment**", New York, Macmillan, pp.396.

[۱۷] Maynard J.B. (1983), "**Geochemistry of sedimentary ore deposits**", University of Cincinnati, Ohio, pp.306.

[۱۸] Poveromo J.J. (1999). Iron Ores, pp 547-642, In: " **The Making, Shaping and Treating of Steel**", 11, Wakelin, D, The AISE Steel Foundation, Pittsburgh.

[۱۹] کلاین ک، هارلبوت اس.ک، (۱۳۸۹) "راهنمای کانی شناسی" جلد دوم، مر م. و مدبری س، چاپ سوم، انتشارات مرکز جهاد دانشگاهی، تهران، ص ۴۰۴-۴۲۷.

[۲۰] Carranza E. J. (2011). "From predictive mapping of mineral prospectivity to quantitative estimation of number of undiscovered prospects". *Resource Geology*, 61, 1, pp30-51.

[۲۱] Ziaii M., Ardejani F. D., Ziaei M. and Soleymani A. A. (2012). "Neuro-fuzzy modeling based genetic algorithms for identification of geochemical anomalies in mining geochemistry", *Applied Geochemistry*, 27, 3, pp 663-676.

[۲۲] حسنی پاک ع.ا، (۱۳۸۷) "اصول اکتشافات ژئوشیمیایی"، چاپ ششم، انتشارات دانشگاه تهران، تهران، ۶۱۵ص.

[۲۳] حسنی پاک ع.ا و شرف الدین م، (۱۳۹۰) "تحلیل داده‌های اکتشافی"، چاپ سوم، انتشارات دانشگاه تهران، تهران، ۹۸۷ص.

[۲۴] Mandelbrot B.B. (1983). "The Fractal Geometry of Nature" **W. H. Freeman**, San Fransisco, pp 468.

[۲۵] Cerny B. A. and Kaiser H. F. (1977). "A study of a measure of sampling adequacy for factor-analytic correlation matrices" **Multivariate Behavioral Research**, 12, 1, pp 43-47.

[۲۶] Cheng Q, (1999), "Spatial and scaling modeling for geochemical anomaly separation", **Journal of geochemical exploration**, 65, pp 175-194.

[۲۷] Solovov A.P. (1987), "Geochemical prospecting for mineral deposits", Mir, Moscow, pp.282.

[۲۸] Rafiee A. (2005) "Separating geochemical anomalies in stream sediment media by

applying

combination of fractal concentration-area model and multivariate analysis (Case study: Jebal-e-barez 1:100,000 Sheet, Iran)” **National Geosciences Database of Iran**, 20, pp 461-470.

[۲۹] Cheng Q., Agterberg F. P. and Ballantyne S. B. (1994) “The separation of geochemical anomalies from background by fractal methods” **Journal of Geochemical Exploration**, 51, pp 109–130.

[۳۰] Li C., Ma T. and Shi J. (2003) “Application of a fractal method relating concentrations and distances for separation of geochemical anomalies from background” **Journal of Geochemical Exploration**, 77, pp 167–175.

[۳۱] Agterberg F.P., Cheng Q., Brown A. and Good D. (1996) “Multifractal modeling of fractures in the Lac du Bonnet batholith, Manitoba” **Comput. Geosci.**, 22, 5, pp 497-507.

[۳۲] Turcotte D.L. (1997) “**Fractals and Chaos in Geology and Geophysics**” Cambridge University Press, Cambridge, pp 416.

[۳۳] Goncalves M.A. (2001) “Characterization of geochemical distributions using multifractal models” **Math. Geol.**, 33, 1, pp 41-61.

Abstract

Chahdashi area is located in west of Nehbandan in southern Khorasan. Metallogenic belt of metamorphic formations in Dehsalm is the origin of iron mineralization in the field area. The mentioned formation spread from neighborhood of Shahkooh granite intrusion to the margin of central Loot area.

In this research, firstly, several amount of thin and smooth sections have been prepared and examined in order to recognize the mineralization of the area. Assessment shows that the major mineralization of the area consist of hematite and trivial amount of magnetite associated with carbonates and quartz.

Geochemical information of of the area have been assessed by single variable and multivariate statistical methods. Multivariate analysis shows that there is a high correlation between iron and the elements of cobalt, vanadium, titanium and etc.

These elements generated front haloes and tail haloes in the iron scarn. Then, the area and the anomaly of different elements especially iron predicted by Solovov statistical method and fractal geometry method as well.

Comparison between results shows that both methods verify each other in predicting the area.

Finally, an anomaly have been determined in northern east of the area by compound haloes method and geochemical zonality. Moreover, four points suggested for future drilling in the area of anomaly. Also, an extra area suggested for further exploration in south part of the studied area.

Investigations indicates that suggested anomalies are in direct relation with NE-SW faults in the area and it seems the mentioned faults have the main rule in mineralization of the area.

Key words:

Single variable and multivariate statistical methods, Solovov method, zonality method, fractal geometry, Chahdashi, Nehbandan



Shahrood University of Technology

Faculty of mining, Petroleum and Geophysics Engineering

MSc Thesis in Mining exploration department

**Exploration of iron reserves by using local scale geochemical
methods in the Chahdashi area(Nehbandan)**

By: Reza Keshavarz Golbar

Supervisor:

Dr Mansur Ziiai

Advisor:

Mehdi ziiai

September 2016