دانـــشگاه یـــزد

دانشکده معدن و متالورژی

گروه مهندسی معدن

پایان نامه

برای دریافت درجه کارشناسی ارشد

اکتشاف معدن

تفسیر داده‌هاي ژئوشیمیایي منطقه جلفا و استفاده از روش فرکتال در جدایش آنومالي از زمینه

استادراهنما: دکتر فرهاد محمدتراب

استادمشاور: دکتر امیرحسین کوهساری

پژوهش و نگارش: اکرم نقیبی

اسفند ۸۹

بسم الله الرحمن الرحيم

بر خود لازم می دانم تا از

زحمات و راهنمایی‌های

ارزشمند و موثر استاد گرامی

جناب آقای

دکتر فرهادمحمدتراب و دکتر امیرحسین کوهساری

که در این زمینه مرا

یاری نمودند، کمال تشکر و

قدردانی را داشته باشم

تقدیم به

پدر و مادر عزیزم

چکیده

در این پروژه، جداسازی آنومالی از زمینه با استفاده از روش فرکتالی عیار- مساحت، در دو محدوده اکتشافی مسجد داغی و خروانق واقع در آذربایجان شرقی مطالعه شده است. اکتشافات ژئوشیمیایی به صورت نمونه‌های خاکی در مسجدداغی و نمونه‌های سنگی در منطقه خروانق به منظور اکتشاف مس و طلا صورت پذیرفته است. شبکه نمونه‌برداری در محدوده مسجدداغی، ۱۰۰m ×۲۰۰m و در مناطق دگرسان ۱۰۰m × ۱۰۰ m بوده و نمونه‌ها برای ۱۳ عنصر مورد آنالیز قرار گرفته‌اند. در منطقه خروانق نمونه‌های سنگی با شبکه ۱۰۰m × ۱۰۰ m برداشت شده‌اند و برای ۱۰ عنصر آنالیز شده‌اند. مقادیر حد آستانه‌ای برای هر عنصر بطور جداگانه در نمونه‌های سنگی و خاکی، با هر دو روش آمار کلاسیک و فرکتالی عیار- مساحت محاسبه و با یکدیگر مقایسه شد. در محدوده مسجدداغی، روش عیار - مساحت برای ۸ عنصر شامل عناصر طلا، مس، نقره، مولیبدن، سرب، روی، قلع و باریم که توزیع غیر نرمال و نسبت تمرکز بالاتری نشان داده‌اند، مورد بررسی قرار گرفت. برای نمونه‌های سنگی همه عناصر بدلیل خاصیت لاگ نرمالشان مورد مطالعه قرار گرفتند. مقایسه این دو روش، دقت بیشتر روش عیار- مساحت را در نمایان ساختن آنومالی عناصر نسبت به آمارکلاسیک بخصوص برای نمونه‌های سنگی نشان داد.

همچنین همبستگی بین عناصر مورد بررسی و با محاسبه فاکتورهای مستقل، نقشه‌های فاکتوری آنها ترسیم گردید. مقایسه نتایج بدست آمده از روش فرکتالی عیار- مساحت در دو محیط مذکور نشان داد که به دلیل اثر سرشکن‌شدگی در محیط خاک، تمایز آنومالی از زمینه مشکل‌تر بوده و این روش در محیط‌های سنگی نتایج واضح و متمایزتری را نشان می‌دهد.

فهرست مطالب

عنوان صفحه

فصل ۱- مقدمه و کلیات ۲

فصل ۲- روش‌های جدایش آنومالی از زمینه ۷

۲- ۱- مقدمه ۷

۲- ۲- روش‌های غیر ساختاری ۸

۲-۲-۱- برآورد حد آستانه‌ای براساس کمیت‌های آماری ۸

۲-۲-۲- جداسازی آنومالی‌ها از جامعه زمینه به روش P.N ۹

۲- ۳- روش‌های ساختاری ۱۰

۲- ۳-۱- روش آماره U ۱۱

۲-۳-۲- جداسازی آنومالی از زمینه با استفاده از هندسه فرکتال ۱۲

۲-۳-۲-۱- الگوهای فرکتالی و اکتشافی ژئوشیمیایی ۱۳

۲-۳-۲-۲- روش‌های تعیین بعد فرکتالی الگوهای ژئوشیمیایی ۱۴

۲-۳-۲-۳- تخمین حد آستانه‌ای به روش فرکتالی ۱۹

فصل ۳- زمین‌شناسی مناطق مورد مطالعه ۲۲

۳-۱- موقعیت جغرافیایی مناطق مورد مطالعه ۲۳

۳-۱-۱- محدوده مسجد داغی ۲۳

۳-۱-۲- محدوده خروانق ۲۳

۳-۲- زمین‌شناسی ناحیه‌ای ۲۴

۳-۲-۱- زون ارومیه- دختر ۲۴

۳-۲-۱-۱- مس سرچشمه ۲۶

عنوان صفحه

۳-۲-۱-۲- معدن سونگون ۲۷

۳-۲-۲- زون ارسباران ۲۹

۳-۲-۳- منطقه جلفا ۳۰

۳-۳- زمین‌شناسی محلی ۳۲

۳-۳-۱- محدوده مسجدداغی ۳۲

۳-۳-۲- محدوده خروانق ۳۳

۳-۴- دگرسانی و کانه‌زایی در مناطق مورد مطالعه ۳۴

۳-۴-۱- محدوده مسجدداغی ۳۴

۳-۴-۲- محدوده خروانق ۴۰

فصل ۴- اطلاعات اکتشافی و تجزیه و تحلیل آماری نتایج ۴۳

۴-۱- نمونه‌برداری و آنالیز نمونه‌ها ۴۴

۴-۲- پردازش داده‌ها به روش آمار کلاسیک ۴۵

۴-۲-۱- پردازش آماری تک متغیره عناصر ۴۷

۴-۲-۱-۱- محدوده مسجدداغی ۴۷

۴-۲-۱-۲- محدوده خروانق ۵۸

۴-۲-۲- پردازش آماری چند متغیره عناصر در مناطق مورد مطالعه ۶۵

۴-۲-۲-۱- محدوده مسجدداغی ۶۷

۴-۲-۲-۲- محدوده خروانق ۷۳

فصل ۵- روش جداسازی آنومالی از زمینه با بهره‌گیری از هندسه فرکتال ۷۸

عنوان صفحه

۵-۱- مقدمه ۷۹
۵-۲- استفاده از روش عیار- مساحت در مناطق مورد مطالعه ۷۹
۵-۲-۱- محدوده مسجدداغی (نمونه‌های خاک) ۷۹
۵-۲-۲- محدوده خروانق (نمونه‌های سنگی) ۹۱
فصل ۶- نتیجه‌گیری و پیشنهادات ۱۰۲
منابع ۱۰۷

فهرست اشکال

عنوان صفحه

شکل ۲- ۱- جوامع تفکیک شده به دو و سه جامعه ۲۱

شکل ۳- ۱- موقعیت جغرافیایی مناطق مورد مطالعه ۲۴

شکل ۳- ۲- کمربند ولکانیکی ارومیه- دختر و ذخایر بزرگ مس پورفیری ۲۸

شکل ۳- ۳- واحد آندزیتی درمحدوده مسجدداغی ۳۵

شکل ۳- ۴- واحد کوارتز مونزونیتی درمحدوده مسجد داغی ۳۵

شکل ۳- ۵- تشکیل مارکاسیت بسیارریزدانه دراطراف کریستال گزنومورف ۳۷

شکل ۳- ۶- تشکیل پیریت ژل‌های (کلوئیدال) دراطراف کریستال‌های پیریت ۳۷

شکل ۳- ۷- پراکندگی ذرات طلای ریزدانه درسطح مقطع ودرکناره‌های پیریت..... ۳۸

شکل ۳- ۸- کانی‌های موجود در کانی‌سازی محدوده مسجدداغی ۴۰

شکل ۳- ۹- جانشینی آمفیبول‌های اولیه توسط بیوتیت در زون پتاسیک ۴۱

شکل ۳- ۱۰- جانشینی پلاژیوکلازها از حاشیه توسط فلدسپارهای قلیایی ریز..... ۴۲

شکل ۳- ۱۱- دگرسانی فیلیک در منطقه خروانق شامل کوارتز، سریسیت و پیریت..... ۴۲

شکل ۴- ۱- شبکه نمونه‌برداری در محدوده مسجدداغی..... ۴۴

شکل ۴- ۲- شبکه نمونه‌برداری در محدوده خروانق..... ۴۵

شکل ۴- ۳- هیستوگرام عناصر بر اساس داده‌های ژئوشیمیایی در محدوده مسجدداغی ۴۸

شکل ۴- ۴- هاله ژئوشیمیایی ۱۳ عنصر در محدوده مسجدداغی به روش آمار کلاسیک ۵۴

شکل ۴- ۵- هیستوگرام عناصر بر اساس داده‌های ژئوشیمیایی در محدوده مسجدداغی ۵۸

شکل ۴- ۶- هاله ژئوشیمیایی برای ۱۰ عنصر در محدوده خروانق ۶۳

عنوان صفحه

شکل ۴- ۷- نمودار اسکری‌گراف برای تعیین تعداد عامل‌ها (نمونه‌های خاک) ۶۸
شکل ۴- ۸- نمودار خوشه‌ای بین عناصر برای نمونه‌های خاک ۷۰
شکل ۴- ۹- هاله ژئوشیمیایی ترکیبی عناصر (نقشه فاکتوری) در محدوده مسجد داغی ۷۲
شکل ۴- ۱۰- نمودار اسکری‌گراف برای تعیین تعداد عامل‌ها (نمونه‌های سنگی).....۷۳
شکل ۴- ۱۱- نمودار خوشه‌ای بین عناصر برای نمونه‌های سنگی ۷۵
شکل ۴- ۱۲- هاله ژئوشیمیایی ترکیبی عناصر (نقشه فاکتوری) در محدوده خروانق ۷۷
شکل ۵- ۱- نمودار Log – Log (روش C-A) برای ۱۰ عنصر در محدوده مسجد داغی ۸۱
شکل ۵- ۲- نمودارهای ژئوشیمیایی ترسیم شده برای ۱۰ عنصر در محدوده مسجد داغی ۸۸
شکل ۵- ۳- نمودار Log – Log (روش C-A) برای ۱۰ عنصر در محدوده خروانق ۹۲
شکل ۵- ۴- نمودارهای ژئوشیمیایی ترسیم شده برای ۱۰ عنصر در محدوده خروانق ۹۸

فهرست جداول

عنوان صفحه

جدول ۲- ۱- خلاصه‌ای از روش‌های فرکتالی و چندفرکتالی در جدایش آنومالی از زمینه ۲۰
جدول ۴- ۱- نتایج آماری داده‌های خام نمونه‌های خاک ۵۳
جدول ۴- ۲- نتایج آماری داده‌های خام نمونه‌های سنگی..... ۶۲
جدول ۴- ۳- درصد واریانس و مقادیر ویژه عامل‌های مختلف (نمونه‌های خاک) ۷۰
جدول ۴- ۴- ماتریس ضرایب همبستگی عناصر در محدوده مسجدداغی ۷۱
جدول ۴- ۵- ماتریس فاکتوری دوران یافته و ماتریس ضرایب فاکتوری بدست آمده برای عناصر مختلف در محدوده مسجدداغی ۷۱
جدول ۴- ۶- درصد واریانس و مقادیر ویژه عامل‌های مختلف (نمونه‌های سنگی)..... ۷۴
جدول ۴- ۷- ماتریس ضرایب همبستگی عناصر در محدوده خروانق ۷۵
جدول ۴- ۸- ماتریس فاکتوری دوران‌یافته و ماتریس ضرایب فاکتوری بدست آمده برای عناصر مختلف در محدوده خروانق ۷۶
جدول ۵-۱- مقادیر مرتبط با مرز تفکیک جوامع ناشی از تغییر در بعد فرکتال بر روی نمودارهای ترسیم شده به روش عیار- مساحت در نمونه‌های خاک..... ۸۶
جدول ۵-۲- مقادیر مرتبط با مرز تفکیک جوامع ناشی از تغییر در بعد فرکتال بر روی نمودارهای ترسیم شده به روش عیار- مساحت در نمونه‌های سنگ ۹۷

فصل ۱

مقدمه و کلیات

آذربایجان براساس آخرین مرزبندی تکتونیکی در زون ساختاری البرزغربی ـ آذربایجان (ارسباران) قرار می‌گیرد. زون البرز - آذربایجان از شمال به بلوک فروافتاده کاسپین و از جنوب به فلات ایران مرکزی محدود می‌شود. روند بخش غربی آن شمال غربی- جنوب شرقی بوده و از روند زاگرس و امتداد ساختمانی قفقاز کوچک و بزرگ تبعیت می‌کند. روند بخش شرقی آن شمال شرقی- جنوب غربی بوده و موازی امتداد گسل درونه است [۳۸].

ماگماتیسم ترشیری در ایران، از جمله منطقه آذربایجان، با کانی‌سازی فلزهای مختلفی از جمله Sb, As, U, Au, Fe, Cu, Mo همراه بوده و تیپ‌های مختلفی از کانی‌سازی این فلزها مانند اسکارن، پورفیری، رگه‌های گرمابی و یا مجموعه‌ای ازآنها همراه با این توده‌ها دیده می‌شود که از آن جمله می‌توان به کانسارهای سونگون، بارملک (Cu-Mo)، اسکارن‌های مس - آهن طلا دار مزرعه و گودال، رگه - های Au-As خوینرود، رگه‌های طلا دار شرف آباد و زیلیک، رگه‌های طلا- مس و اورانیم قره چیلر و نیز استوک‌ورک‌های مس- طلای نبی‌جان و مسجد داغی اشاره کرد [۹و ۱۹].

ایران به لحاظ ذخایر مس از پتانسیل معدنی بسیارخوبی برخوردار است. بزرگ‌ترین کمربند مس شناخته شده ایران همراه بازون ولکانیکی - پلوتونیکی، کمربند ارومیه- دختر است که این کمربند آتشفشانی به صورت رشته‌کوه‌هایی از آذربایجان (سهند و سبلان) تا بزمان- تفتان در بلوچستان امتداد دارد. این کمربند با ۱۷۰۰ کیلومتر طول و ۱۰۰ کیلومتر عرض، به موازات منطقه رورانده زاگرس گسترش دارد. فعالیت آتشفشانی در این کمربند از کرتاسه شروع شده و در دوره ائوسن به نهایت شدت خود می‌رسد. فوران‌های گدازه‌های ائوسن از نوع کالکوآلکالن و زیر دریایی در نواحی جنوب یزد از نوع اسپلیت آندزیت شروع شده و در پی آن، انواع سنگ‌های آتشفشانی نظیر آندزیت، لاتیت، ریولیت و توف با توده‌ها و حجم‌های مختلف و بطور نامنظم تشکیـــــل شده‌اند [۳۸].

کانسار مس پورفیری سرچشمه، بزرگ‌ترین معدن مس ایران و از جمله معادن مهم مس دنیا محسوب می‌شود. در روی کمربند ولکانیکی- پلوتونیکی ارومیه- دختر، علاوه بر سرچشمه، چند منطقه دیگر با کانی‌سازی مس پورفیری شناسایی شده و در درست مطالعه است. مهم‌ترین این مناطق

عبارتند از: میدوک، چهار گنبد، تخت، بهر آلمان، سونگون، بالوچه، آستامال، بارملک و کیقال [۳۸].

تلاقی کمان سری ماگمایی البرز غربی و ارومیه - دختر، حوزه ارسباران می‌باشد که بصورت نواری با امتداد تقریباً شرقی - غربی در حاشیه شمال غرب کشور از جلفا تا اردبیل گسترش یافته و شامل سنگ‌های کربناته آواری- آتشفشانی کرتاسه و ردیف ضخیمی از سنگ‌های آتشفشانی و آذرآواری ائوسن می‌باشد که توسط توده‌های گرانیتوئیدی الیگوسن قطع شده است. فعالیت‌های نهایی نفوذ توده‌های گرانیتوئیدی موجب کانی‌سازی طلای هیدروترمال (اپی ترمال - مزوترمال) بصورت رگه - های سیلیسی آهن و سولفیدار شده است. از بهترین رخنمون‌های رگه‌ای طلادار در این حوزه کانسارهای طلای خروانق، مسجد داغی و صفی خانلو را می توان نام برد [۳۸].

منطقه مسجد داغی در ۳۵ کیلومتری شرق شهرستان جلفا و ۵ کیلومتری غرب شهرستان سیه- رود، در شمال استان آذربایجان شرقی واقع شده است. این منطقه از نظر تقسیم‌بندی زون‌های زمین - شناسی ایران در زون البرز- آذربایجان قرار می‌گیرد. در سال‌های اخیر، بررسی‌های زیادی در زمینه زمین‌شناسی این منطقه برای شناسایی پتانسیل‌های فلزی طلا و مس از سوی سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور صورت گرفته و دو گونه کانی‌زایی مس پور فیری و طلای هیدروترمالی حرارت بالا که با سولفیدی شدن بالا همراه است به عنوان دو رخداد فلززایی در این منطقه معرفی شده است [۱۲].

منطقه خروانق در بخش مرکزی رشته‌کوه‌های ارسباران قرار گرفته است. این رشته‌کوه از نواحی غرب شهرستان هریس، بلندی‌های آی‌تخته (با ارتفاع ۲۸۷۳ m) شروع می‌شود و با روندی شمال غربی-جنوب شرقی تا نواحی رود ارس در حوالی جلفا (کوه کیامکی ۳۳۴۷m) ادامه می‌یابد [۱۴].

جدایش آنومالی از زمینه یکی از مهم‌ترین و کلیدی‌ترین مراحل در اکتشافات ژئوشیمیایی می - باشد. روش‌های مختلفی برای جداسازی و تشخیص مناطق آنومال از زمینه وجود دارد که از روش‌های آماری ساده (براساس پارامترهای آماری تابع توزیع) تا روش‌های پیچیده فرکتالی (براساس ساختار فضایی داده‌ها) تغییر می‌کنند.

روش‌های آماری متعددی برای ترسیم آنومالی ژئوشیمیایی استفاده شده است که شامل: میانگین متحرک، گراف‌های احتمالی تجمعی، کریجینگ و غیره است. روش‌های آماری بر اساس فرض نرمال بودن یا لاگ نرمال بودن توزیع داده‌هاست و تنها در تعیین مقادیر حد آستانه‌ای به کار می‌رود. کمیت‌های آماری مانند میانگین، درصد تجمعی و انحراف استاندارد در تعیین حد آستانه‌ای برای جداسازی آنومالی از زمینه بکار می‌رود [۳۰].

ریمین[1]، روش‌های دیگر آماری را برای تعیین حد آستانه‌ای در جداسازی آنومالی از زمینه یادآوری کرد. این نویسنده پیشنهاد کرد که قانون $mean+2\sigma$ باید متوقف شود، در عوض استفاده از پارامترهای آماری و گرافیکی مانند box-plot، نمودار احتمال تجمعی، نمودار Q-Q، ضریب تغییرات بکار رود [۳۴].

روش‌های آماری که براساس این کمیت‌ها هستند، ممکن است در تعیین آنومالی از زمینه در نواحی با زمینه بالا و آنومالی ضعیف با شکست مواجه شود، زیرا اختلاف بین آنومالی و زمینه آنقدر کم است که به سختی آشکار می‌شود. محدودیت اصلی شیوه‌های آماری فوق در این است که آنها تغییرات توزیع فضایی داده‌های ژئوشیمیایی را محاسبه نمی‌کنند، این محدودیت می‌تواند با بکارگیری روش‌های آماری که تغییرات فضایی را در نظر می‌گیرد، حل شود مانند: تکنیک‌های زمین‌آماری و تکنیک‌های فرکتال [۳۴].

تئوری فرکتال در سال ۱۹۹۴ توسط مندلبرات[2] ریاضیدان لهستانی پایه‌گذاری شد که به آن هندسه بدون اندازه، هندسه فرکتالی می‌گویند و به عنوان شاخه مهمی از علوم غیر خطی در بسیاری از رشته‌های علمی کاربرد دارد [۳۲].

واژه فرکتال به معنای سنگی است که به شکل نامنظم شکسته شده باشد. در این هندسه، اشکالی مورد بررسی قرار می‌گیرند که بسیار نامنظم به نظر می‌رسند. اما اگر با دقت به شکل نگاه

1- Remiann

2 - Mandelbrot

کنیم، متوجه می‌شویم که تکه‌های کوچک آن، کم و بیش شبیه به کل شکل هستند. به عبارتی جزء در این اشکال، نماینده‌ای از کل است. به چنین اشکالی نام «خود متشابه» نیز می‌دهند [۳۲].

این تئوری، روشی موثر را در مدل‌سازی توزیع‌هایی که خودتشابهی و مقیاس ثابت دارند را ارائه می‌دهند و در چند سال اخیر، هندسه فرکتال در عرصه علوم فنی، به خوبی توانسته وارد شود. با گسترش این علم در رشته‌های مهندسی، کاربردهای آن روز به روز بیش‌تر و متنوع‌تر می‌شود. زمین‌شناسان به این نکته توجه کردند که الگوهای پراکندگی ژئوشیمیایی ابعاد فرکتالی دارند، زیرا به نظر می‌رسد که در رنج‌های وسیع و میکروسکوپی مقیاس ثابت و متشابهی دارند [۲۱].

از آنجا که توزیع عناصر شیمیایی در هر بخشی از زمین، نتیجه تکرار فرایندهای ژئوشیمیایی، بخصوص در پوسته زمین است که به مدت‌های طولانی تحت تاثیر این فرایندها قرار می‌گیرد، این مراحل منجر به تهی‌شدگی و یا غنی‌شدگی الگوهای توزیع ژئوشیمیایی می‌شود که اغلب خصوصیات فرکتال یا چند فرکتالی دارند و در بعضی موارد معرف زون کانی‌سازی هستند.

با توجه به اثبات وجود ماهیت فرکتالی در توزیع عناصر، می‌توان در اکتشافات ژئوشیمیایی برای جدایش جوامع آنومالی از زمینه، از این روش به عنوان یکی از قوی‌ترین روش‌های شناخته شده برای تعیین حد آستانه با ضریب اطمینان بالا، استفاده نمود.

یکی از روش‌های نوین فرکتالی در زمینه جداسازی آنومالی از زمینه، روش فرکتالی «عیار-مساحت» می‌باشد که توسط چنگ[1] در سال ۱۹۹۴ ارائه شد [۲۲] و بعدها توسط نویسندگان دیگر نیز تایید و توضیح داده شد [۲۴و ۲۹و ۳۷]. در این روش، روابط نمایی بین مساحت و عیار که بیانگر بعد فرکتالی الگوهای مورد بررسی می‌باشند، مورد توجه واقع می‌شود. در این روش، نمودار عیار- مساحت در دستگاه مختصات تمام لگاریتمی برای داده‌های اکتشافی رسم می‌شود. در ایده‌آل-ترین حالت ممکن، دو خط حاصل می‌گردد که مرز بین دو خط دارای عیاری است که معرف حد آستانه‌ای می‌باشد. شکستگی بین قطعات خطی راست بر روی نمودار و مقادیر متناظر، بعنوان حد جدایش مقادیر ژئوشیمیایی به اجزای مختلف است که معرف فاکتورهای سببی متفاوتی مانند

1-Cheng

اختلاف سنگ‌شناسی و مراحل ژئوشیمیایی می‌باشد [۵].

از مزایای این روش، در نظر گرفتن موقعیت دقیق فضایی نمونه‌ها در تعیین حد جدایش جوامع می‌باشد که این موضوع در آمار کلاسیک به هیچ وجه در نظر گرفته نمی‌شود. به طورکلی توانایی عمده این روش، در آسانی اجرا و قابلیت محاسبه کمی دقیق مقادیر آستانه آنومال است.

در این پروژه، با استفاده از اطلاعات و داده‌های موجود، از دو روش هندسه فرکتال (عیار-مساحت) و آمار کلاسیک، برای جدایش آنومالی از زمینه در دو محدوده اکتشافی مسجدداغی و خروانق استفاده کرده‌ایم. همچنین قابلیت و توانایی روش عیار- مساحت در دو محیط خاکی (مسجدداغی) و سنگی (خروانق) مقایسه شده است.

فصل ۲

معرفی روش‌های جداسازی آنومالی از زمینه

۲ ۱-- مقدمه

روش‌های آماری مختلفی برای جداسازی و تشخیص مناطق آنومال از زمینه توسعه یافته است. این روش‌ها از انواع ساده (براساس پارامترهای آماری توزیع) تا پیچیده (براساس ساختار فضایی داده‌ها) تغییر می‌کنند. بنابراین، روش‌های جداسازی آنومالی از زمینه را می‌توان به دو گروه تقسیم کرد که شامل روش‌های غیرساختاری و روش‌های ساختاری است. در ادامه به شرح هریک از روش‌ها می - پردازیم:

۲ ۲- روش‌های غیر ساختاری

در این روش‌ها فقط مقدار اندازه‌گیری شده برای نمونه مورد توجه قرار می‌گیرد و موقعیت فضایی نقاط نمونه‌برداری در نظر گرفته نمی‌شود. این روش‌ها را می توان به دو گروه زیر طبقه‌بندی کرد:

۱- روش‌هایی که سعی در تخمین حد آستانه‌ای (مرز جدایش آنومالی از زمینه) دارند و در حالتی که تعداد نمونه‌های آنومال کم باشد کاربرد بیش‌تری دارند. این روش‌ها شامل تکنیک‌های استفاده از کمیت‌های آماری، روش حاصل ضرب P.N و روش فواصل ماهالانوبیس است [۶].

۲- روش‌هایی که سعی در تخمین مرز جدایش جامعه داده‌های آنومال از جامعه داده‌های زمینه دارند که شامل روش‌های جداسازی آنومالی از زمینه با استفاده از نمودار احتمال، روش آماره انفصال، استفاده از تحلیل تمایز در جداسازی آنومالی از زمینه و استفاده از تحلیل فاکتوری و تحلیل تطبیقی در جداسازی آنومالی از زمینه می‌باشد که در اینجا به اختصار بشرح برخی از این روش‌ها می‌پردازیم:

۲-۲-۱- برآورد حد آستانه‌ای براساس کمیت‌های آماری

کمیت‌های آماری مانند میانگین، درصد تجمعی و انحراف استاندارد در تعیین حد آستانه‌ای برای

جداسازی آنومالی از زمینه بکار می‌رود. بعنوان مثال آنومالی‌های ژئوشیمیایی بصورت مقادیر بزرگ‌تر از حد آستانه‌ای تعریف می‌شوند، مانند مقادیر بزرگتر از ۷۵ یا ۸۵ درصد تجمعی و mean+σ یا mean+2σ [۶].

از مقادیر زمینه برای تشخیص حد آستانه‌ای استفاده می‌شود. طبق نظر هاکس و وب[1] و لپلتیه[2]، زمینه را می‌توان مقدار میانه داده‌های ژئوشیمیایی در نظر گرفت. از آنجا که مقدار میانه مستقل از مقادیر کرانه‌ای تابع توزیع است لذا بدون توجه به تابع توزیع می‌توان آن را بدست آورد. بنابراین تا آنجا که به تخمین مقدار زمینه مربوط می‌شود میانه نسبت به میانگین که مستقیماً تحت تاثیر مقادیر کرانه‌ای است، مناسب‌تر است [۶].

روش‌های آماری دیگر جداسازی آنومالی از زمینه شامل روش احتمال تجمعی، نمودار باکس پلات، نمودار Q-Q، ضریب تغییرات و ... می‌باشد [۶].

۲-۲-۲ - جداسازی آنومالی‌ها از جامعه زمینه به روش P.N

روش P. N یکی از روش‌های آماری مختلفی است که برای جدایش و تشخیص مناطق آنومالی از زمینه ارائه شده است. در این روش فقط مقدار اندازه‌گیری شده برای نمونه مورد توجه قرار می‌گیرد و موقعیت فضایی نقاط نمونه‌برداری در نظر گرفته نمی‌شود. پایه و اساس این روش، حساب احتمالات است. منطق روش P . N در جدایش مقادیر آنومالی بر دو اصل بنا شده است : یکی افزایش مقدار متغیر و دیگری افزایش فراوانی نسبی آن. بنابراین شدت هر آنومالی تابع دو عامل است:

۱- احتمال پیدایش نمونه‌ای با مقادیر مطلوب مورد نظر(P)، که هر چه این احتمال کوچکتر باشد شدت آنومالی در نمونه معرف آن بیشتر خواهد بود.

۲- تعداد نمونه‌های برداشت شده (N) ، که هر چه کوچک‌تر باشد، شدت آنومالی قوی‌تر است.

بنابراین حاصل‌ضرب دو عامل فوق یعنی P.N می‌تواند به عنوان معیاری برای انتخاب آنومالی‌ها

1-Hawkes and Webb
2 - Lepeltier