
فصل اول:

کلیات

از آنجا که اصول فیزیکی و شیمیایی حاکم بر تشکیل انباشته های معدنی در برخی موارد پیچیده تر از آن است که بتوان با بهره گیری از یک روش اکتشافی به نتیجه مطلوب رسید، لزوم بهره گیری از روشهای مختلف اکتشافی و در نهایت تلفیق صحیح نتایج غیر قابل انکار است. سیستمهای اطلاعات جغرافیایی (GIS)^۱ با به کارگیری روشهای تحلیلی ریاضی این امر را ممکن می سازد. GIS به طور گسترده ای در تلفیق شواهد و تهیه نقشه پتانسیل معدنی در اکتشافات ناحیه ای مورد توجه واقع شده و در این پژوهش در اکتشافات تفصیلی جهت تلفیق نقشه های اکتشافی به منظور بهینه سازی انتخاب نقاط حفاری استفاده گردیده است. به طور کلی در استفاده از GIS جهت تهیه نقشه پتانسیل معدنی دو دسته کلی مدل سازی مطرح است [بونهام- کارتر ۱۳۷۹]: دسته اول که تحت عنوان روشهای متکی بر داده ها^۲ شناخته می شوند، پارامترهای مدل با در نظر گرفتن شواهد موجود و مدل های ذخیره اکتشاف شده در منطقه مورد مطالعه تعیین می گردد که در این دسته می توان به روشهایی چون وزن های نشانگر^۳ [بونهام- کارتر ۱۳۷۹]، رگرسیون لجستیک^۴ [Chung and Agterburg, 1980]، تصمیم گیری درختی^۵ [Reddy and Bonham-carter, 1991] و شبکه های عصبی^۶ [Brown et al., 2000] اشاره نمود. در دسته دوم که به روشهای متکی بر دانش^۷ موسوم هستند، پارامترهای مدل به وسیله کارشناس با توجه به هدف اکتشافی، منطقه مورد مطالعه، میزان سطح نوفه^۸ داده های اکتشافی و عوامل تأثیر گذار دیگر تخمین زده می شود. روشهایی چون منطق بولین^۹، همپوشانی شاخص^{۱۰} [Harris, 1989]، تئوری

^۱ Geographic Information System

^۲ Data driven methods

^۳ Weight of evidence

^۴ Logistic regression

^۵ Decision tree analysis

^۶ Neural networks

^۷ Knowledge driven methods

^۸ Noise

^۹ Boolean logic

^{۱۰} Index overlay

دمپستر - شيفر^۱ [Tangestani and Moore, 2002] و منطق فازی^۲ [An et al., 1991] نیز از این دسته‌اند. منطق فازی روشی است که در این پژوهش مورد توجه قرار گرفته است. در این پژوهش با توجه به محدودیت‌های حاکم بر روش‌های متداول فازی سازی نقشه‌های اکتشافی، روش فازی سازی نوینی با به کارگیری تابع عضویت ذوزنقه‌ای معرفی و اعمال گردیده است. همچنین روش عیار- مساحت جهت بهینه کردن فازی سازی نقشه‌های توزیع عناصر پارائز مورد توجه قرار گرفته است. در نهایت با توجه به ارزش نابرابر نقشه‌های اکتشافی در تفسیر و تصمیم‌گیری‌های اکتشافی، عملگرهای فازی وزنی به عنوان روشی مؤثر و نوین در وزن دهی و تلفیق نقشه‌های اکتشافی با ارزش نابرابر مورد استفاده واقع شده است.

۱-۲- مروری بر کارهای انجام شده قبلی در منطقه

منطقه چیچکلو به دلیل اهمیت معدنی از دیر باز مورد توجه قرار گرفته است. اسناد و مدارک زیادی در خصوص اکتشافات زمین‌شناسی و معدنی به ویژه در کانسارهای روی انگوران، طلای زره شوران و بسیاری از کانسارهای موجود در منطقه صورت گرفته است. جدیدترین مطالعات انجام شده عبارتند از: تهیه نقشه زمین‌شناسی در سال ۱۳۷۸ توسط شرکت انگلو امریکن به مقیاس ۱:۱۰۰۰، مطالعات عملیات اکتشافی پتانسیل سرب و روی چیچکلو توسط اداره کل معادن استان آذربایجان غربی با کارشناسی رامین محمدی نیائی در سال ۱۳۷۹ با مقیاس ۱:۱۰۰۰ که اطلاعات اکتشافی نسبتاً جامعی را فراهم نموده است و سپس در سال ۱۳۸۲ نیز بررسی اکتشافی منطقه مذکور توسط محمد محجل انجام شده است [کوثری ۱۳۸۵].

علاوه بر مطالعات زمین‌شناسی، مطالعات ژئوفیزیکی در سال ۱۳۸۵ توسط شرکت مشاور خدمات زمین فیزیک با استفاده از روش‌های مقاومت ویژه، قطبش القایی و پیمایش مغناطیسی صورت پذیرفته است.

^۱ Dempster - Shafer

^۲ Fuzzy logic

آخرین فعالیت اکتشافی انجام گرفته، طراحی و حفر ۳۰۰ چال تا عمق ۱۰ متر توسط دریل واگن می باشد، که از هر چال از عمق نیم متری انتهایی یک نمونه برای تجزیه اخذ و به آزمایشگاه ارسال شده است.

۳-۱- هدف و ضرورت انجام تحقیق

با توجه به مشکلات اکتشاف ذخایر سرب و روی در مناطق آلوده به کانی سازهایی آهن دار و محدودیتهای حاکم بر هر یک از روشهای اکتشافی در شناسایی زونهای بی هنجاری، به نظر می رسد تلفیق کارشناسانه داده های اکتشافی می تواند نقش بسزایی در کاهش خطای تفسیر و تفکیک بی هنجاریهای احتمالی ایفا کند. در این پژوهش برای نخستین بار در اکتشافات تفصیلی، از تلفیق داده های ژئوفیزیکی، ژئوشیمیایی و زمین شناسی در محیط GIS به منظور بهینه سازی تفکیک زونهای بی هنجاری و انتخاب مختصات نقاط حفاری اکتشافی استفاده شده است. همچنین عملگرهای فازی وزنی و تابع عضویت ذوزنقه ای برای اولین بار در امر اکتشافات مورد توجه قرار گرفته است.

۴-۱- روش انجام تحقیق

در مرحله اول داده های اکتشافی شامل نقشه زمین شناسی، داده های ژئوفیزیکی (قطبش القایی، مقاومت ویژه و مغناطیس) و داده های ژئوشیمیایی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. در مرحله دوم نقشه های اکتشافی متناسب، استخراج و جهت تلفیق در GIS آماده سازی گردیدند. در مرحله سوم با استفاده از توابع عضویت فازی نقشه های استخراجی فازی سازی گردیده و در نهایت در مرحله چهارم با به کارگیری عملگرهای فازی وزنی، نقشه های اکتشافی جهت ارائه نقشه نهایی اکتشافی به منظور انتخاب نقاط حفاری تلفیق گردیدند.

۱-۵- سازماندهی پایان نامه

پایان نامه حاضر مشتمل بر پنج فصل می باشد که فصل جاری به مقدمه، مروری بر کارهای انجام شده قبلی، ضرورت و روش انجام تحقیق اختصاص داده شده است.

در فصل دوم موقعیت جغرافیایی و وضعیت زمین شناسی منطقه چیچکلو مورد مطالعه قرار گرفته است. در فصل سوم داده های ژئوفیزیکی مدل سازی و تفسیر گردیدند. در فصل مزبور پس از مروری بر روشهای ژئوفیزیکی به کار گرفته شده در منطقه مورد مطالعه، به بررسی مزایا و معایب این روشها در اکتشاف کانسارهای فلزی پرداخته شده و در نهایت پس از مدل سازی داده ها، نتایج مدل سازی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. جهت مدل سازی داده های مقاومت ویژه و قطبش القایی از نرم افزار Res2dinv و برای تفسیر کیفی داده های مغناطیسی از نرم افزار Model Vision Pro استفاده گردیده است.

فصل چهارم به پردازش داده های ژئوشیمیایی اختصاص داده شده است. در این فصل پس از مطالعات آماری، نقشه های توزیع عناصر پاراژنز ترسیم و تفسیر گردیده است.

در فصل پنجم نقشه های اکتشافی مورد تلفیق قرار گرفتند. در این فصل با مروری بر منطق فازی و توابع عضویت فازی، عملکرد عملگرهای فازی متداول در تلفیق نقشه های اکتشافی با ارزش برابر مورد بررسی قرار گرفته و سپس عملگرهای فازی وزنی به منظور تلفیق نقشه های اکتشافی با ارزش نابرابر پیشنهاد گردیده است. در ادامه تابع عضویت دوزنقه ای جهت فازی سازی نقشه های اکتشافی و عملگرهای فازی معرفی شده جهت تلفیق نقشه های فازی و ارائه نقشه اکتشافی مورد استفاده واقع شده است.

در نهایت در فصل ششم که فصل آخر این پایان نامه می باشد، نتایج و پیشنهادات لازم ارائه گردیده است.

فصل دوم:

زمین شناسی منطقه چیچکلو

۲-۱- مقدمه:

در مطالعه ذخایر معدنی، مسئله اصلی فهم اساسی فرآیندهای تشکیل ذخیره و مدل‌های احتمالی ساختاری می‌باشد، لذا سعی می‌گردد ذخایر درون شبکه‌های زمین‌ساختی^۱ محلی و جهانی قرار گیرند. اطلاعات مورد نیاز برای رسیدن به این هدف شامل منشأ و ترکیب محلول‌های کانی‌دار، شرایط فیزیکوشیمیایی حمل و ته‌نشست محلول، درجه حرارت، فشار و عمق تشکیل ذخیره، منشأ تشکیل دهنده‌های ذخیره، زمین‌شناسی محل و وضعیت زمین‌شناسی ساختمانی، زمین‌شناسی ناحیه‌ای و جایگاه زمین‌ساختی و منشأ و تکامل ماگماهایی که فرآیندهای گرمایی را ایجاد و یا باعث می‌شوند، می‌باشند [رسا و کاظمی ۱۳۸۴].

کانسارهای فلزات پایه با میزبان سنگ‌های کربناته به عنوان یکی از مهم‌ترین ذخایر و تولیدکنندگان اصلی سرب و روی در بسیاری از نقاط دنیا و همچنین ایران از اهمیت بسزایی برخوردارند. این ذخایر که در پلاتفرم‌های^۲ کربناتی تشکیل گردیده‌اند، تولیدکننده سرب و روی و همچنین فلوتوریت و باریت و گاه‌ها مس می‌باشند. در برخی موارد ته‌نشست سیالات کانی‌دار تقریباً با فعالیت تکتونیکی همراه بوده است و در سایر موارد سیالات کانی‌دار در زمان‌های بعد از تکتونیک به درون کارست‌ها و فضاهای خالی نفوذ نموده‌اند [رسا و کاظمی ۱۳۸۴].

از مهم‌ترین سیماهای ذخایر فلزات پایه با میزبان کربناته می‌توان به موارد زیر اشاره کرد [رسا و کاظمی ۱۳۸۴]:

۱- بیشتر ذخایر دارای میزبان سنگ دولومیتی می‌باشند، آهک یا ماسه سنگ کمتر معمول هستند.

۲- ذخایر دیرزاد^۳ و استراتاباند^۴ هستند.

۳- کانسارها در اعماق کم قرار دارند.

۴- بسیاری از ذخایر در محدوده‌هایی هستند که صدها کیلومتر مربع را پوشش می‌دهند، برخی محدوده‌ها ایالت‌های کانسارسازی تشکیل می‌دهند.

² Tectonic setting

² Platform

³ Epigenetic

⁴ Strata bound

۵- درجه حرارت‌های ته‌نشست کانی پائین می‌باشد.

۶- کانسارها کانی‌شناسی ساده‌ای دارند، کانی‌های عمده اسفالریت، گالن، پیریت، مارکاسیت، کالکوپیریت، دولومیت، کلسیت و کوارتز هستند.

۷- شواهد انحلال سنگ کربناته معمول است و به صورت لغزش، فروریزش، برشی شدن یا گاه مخلوطی از آنها دیده می‌شود.

۸- بافت‌های کانی سولفیدی متغیر می‌باشد. ذخیره می‌تواند از متبلور درشت بلور تا ریز دانه و توده‌ای تا پراکنده تغییر نماید.

سرب و روی در دو نوع مشخص از سنگ‌های رسوبی یافت می‌شوند: ذخایر با میزان سنگ‌های کربناته و ذخایر با میزان سنگ‌های شیلی. بر طبق اظهار نظر (Maynard 1983) ذخایر با میزان سنگ‌های کربناته عموماً سیماهای دیرزاد دارند، در حالی‌که ذخایر با میزان شیلی عمدتاً سیماهای همزاد نشان می‌دهند. به عقیده برخی محققین بین این دو گونه اصلی می‌تواند حالت تدریجی وجود داشته باشد. تلاش زیادی برای طبقه‌بندی کانسارها صورت پذیرفته است، برخی طبقه‌بندی‌ها توصیفی، برخی ژنتیکی و برخی براساس نوع سنگ میزبان می‌باشند. امروزه برخی محققین تلاش می‌کنند طبقه‌بندی را بر اساس خاستگاه تکتونیکی ذخایر انجام دهند. (Sawkins 1990) این نهشته‌ها را به سه گروه اصلی نهشته‌های نوع دره می‌سی‌سی‌پی، نهشته‌های نوع آلپی، نهشته‌های نوع ایرلندی تقسیم کرده است.

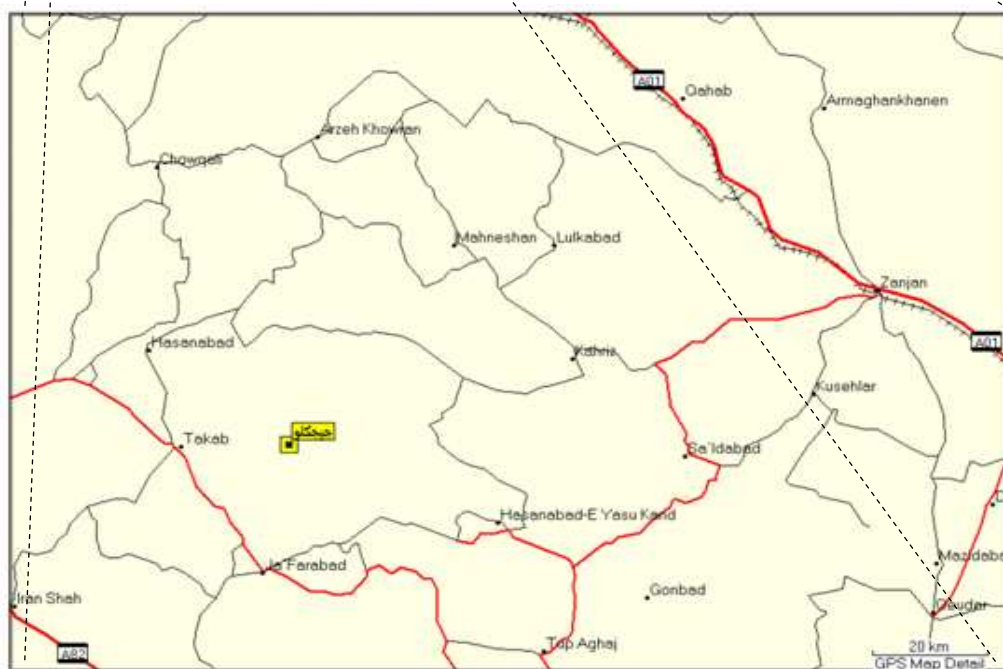
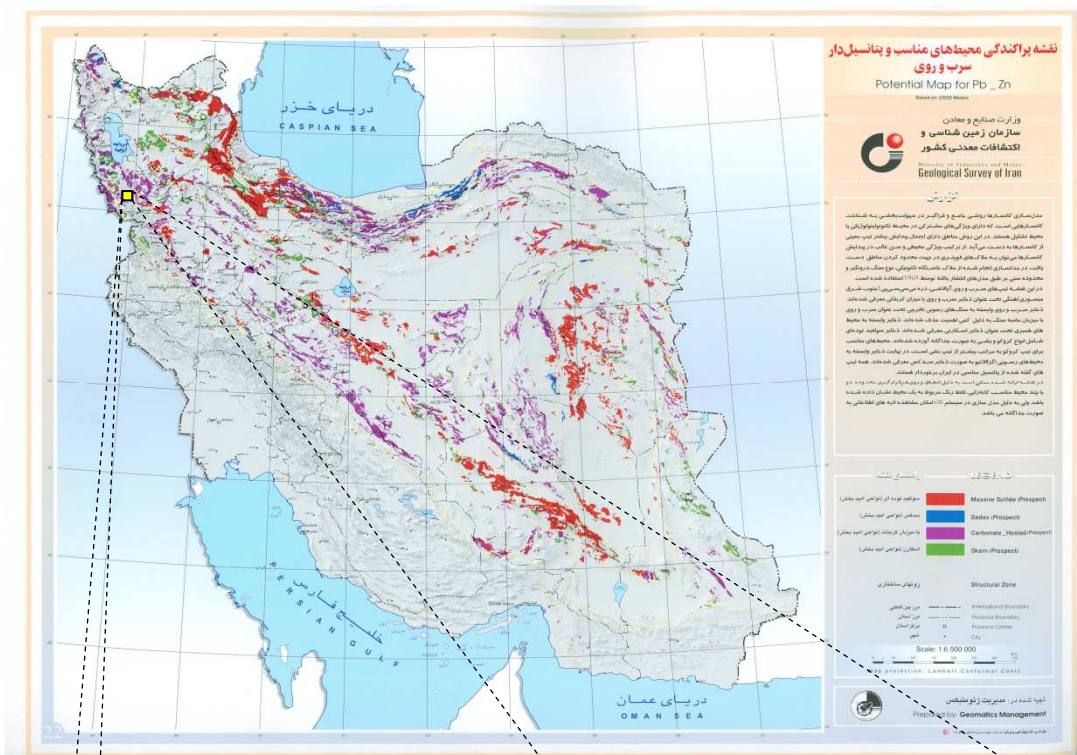
واژه دره می‌سی‌سی‌پی برای کانسارهای دما پایین که حاوی یک یا چند کانی از کانی‌های اسفالریت، گالن، باریت و فلوئوریت هستند و در میزبان کربناته واقع بوده و منشأ دیرزاد دارند، به کار گرفته می‌شود. این ذخایر گسترش مکانی زیادی در سرتاسر دنیا دارند و انواع آن در بیشتر حوضه‌های رسوبی دنیا شناخته شده است. دولومیت‌ها عمده‌ترین میزبان کانی‌سازی محسوب می‌شوند. علاوه بر سنگ‌های دولومیتی، سنگ آهک منیزیم‌دار و سنگ آهک‌ها از میزبان‌های معمول به شمار می‌روند. سنگ‌های کربناتی، میزبان دگرگون شده‌اند و دولومیتی شدن،

چرتی شدن و تبلور مجدد از مهم‌ترین تغییرات این سنگ‌هاست. در برخی موارد کانی‌سازی در واحدهای غیر کربناتی نیز صورت گرفته است. در مورد منشأ دولومیت‌ها فرضیه‌های متفاوتی وجود دارد از جمله این که سنگ آهک می‌تواند قبل از تشکیل ذخیره و نهشت آن دولومیتی شده باشد و یا در طی نهشت کانی در اثر افزایش Mg^{2+} به سنگ به صورت همزمان با نهشت کانی دولومیت تشکیل گردد و یا حتی دولومیتی شدن پس از تشکیل کانسنگ صورت پذیرد. سیلیسی شدن نیز مانند دولومیتی شدن می‌تواند در طی دیاژنز اولیه یا تأخیری صورت گیرد. سیلیسی شدن شکل جایگزینی انتخابی به خود می‌گیرد و فسیل‌ها، نودول‌های چرتی و لایه‌ها را جایگزین می‌نماید. سیلیسی شدن همچنین به صورت سیمانی شدن در برخی سنگ آهک‌ها مشاهده می‌شود. برعکس دولومیتی شدن که باعث افزایش تخلخل می‌گردد، سیلیسی شدن معمولاً کاهش تخلخل را در پی دارد، اما در برخی از مناطق معدنی از جمله کانسارهای مهدی‌آباد و منصور آباد، سیلیسی شدن با افق کانی‌دار و مناطق کانی‌سازی شده همراه می‌باشد. پدیده کارستی شدن نیز به عنوان یکی از مهم‌ترین فرآیندهای آماده‌سازی زمینه برای تمرکز بیشتر ذخایر فلزات پایه با میزبان کربناتی مطرح می‌باشد. محیط کارستی، معبر بسیار مناسب و محلی برای شروع و حرکت سیالات گرمایی فراهم می‌کنند [رسا و کاظمی ۱۳۸۴].

در تمام مناطق معدنی مهم کانی‌سازی نوع دره می‌سی‌سی‌پی در بخش‌های زیادی از سنگ‌های اطراف، برشی شدن گسترده‌ای مشاهده می‌شود و سولفیدها و کانی‌های باطله به صورت سیمانی قطعات را در بر گرفته‌اند. کانی‌سازی در دولومیت‌های با ماتریکس برشی مشخصاً سیمای دیرزاد دارد.

۲-۲- موقعیت جغرافیایی منطقه چیچکلو

منطقه چیچکلو در ۳۰ کیلومتری شرق شهرستان تکاب و ۲۵ کیلومتری معدن انگوران (شکل ۲-۱) و در شمال شرقی ورقه ۱/۱۰۰۰۰۰۰ تکاب قرار می‌گیرد [محمدی نیائی ۱۳۷۹]. منطقه مذکور در محدوده طول جغرافیایی " ۴۷' ۳۸" تا " ۴۸' ۳۹" و عرض جغرافیایی " ۳۶' ۲۴" تا " ۳۶' ۲۵" و از نظر ساختاری در محل برخورد زونهای البرز - آذربایجان و سنندج - سیرجان واقع بوده و ارتفاع متوسط آن ۲۵۰۰ متر از سطح دریاست. دسترسی به این منطقه از جاده ای خاکی که به شهرستان تکاب منتهی می‌گردد، امکان پذیر می‌باشد. این منطقه در حال حاضر خالی از سکنه می‌باشد. نمایی کلی از منطقه در شکل (۲-۲) آمده است.



شکل ۲-۱: منطقه مورد مطالعه که در شکل بالا با مستطیل زرد نشان داده شده است. این مستطیل به طور مجزا در مقیاس بزرگ در پایین نمایش داده شده و همان طور که از روی این شکل دیده می شود منطقه چیچکلو با مربع زرد رنگ در قسمت تقریباً جنوب غربی این شکل مشخص گردیده است.



شکل ۲-۲: نمائی کلی از محدوده کانسار چیچکلو (نگاه به طرف جنوب) [کوثری ۱۳۸۵]

۲-۳- تکتونیک و زمین شناسی ساختمانی منطقه مورد مطالعه

محدوده مورد مطالعه در بخش های جنوب غربی تراست قینرجه - چهار طاق واقع گردیده است و از این رو به شدت متأثر از فعالیت های تکتونیکی این گسل بوده و شدیداً تکتونیزه می باشد، به طوری که بسیاری از گسل های موجود در این محدوده شاخه های فرعی این تراست محسوب می گردند.

واحدهای زمین شناسی رخنمون یافته در منطقه را می توان به سه واحد اصلی تقسیم بندی کرد. این واحدها از قدیم به جدید شامل میکا و تالک شیست با سن پرکامبرین (واحد زیرین) است که در بخش جنوب غربی منطقه رخنمون دارد. بالای این واحد دولومیت های کرم تا سفید رنگ با سن پالئوزوئیک قرار دارد که در برخی نواحی به علت فرسایش به صورت پودری و در نواحی که در معرض گسل قرار گرفته است به صورت برشی مشاهده می شود. در قسمت جنوب غربی منطقه و در مجاورت واحد میکا و تالک شیست دولومیت های سیلیسی شده خاکستری رنگ به صورت لایه های نیم تا یک متری در واحد دولومیتی قابل مشاهده است. در نهایت فوقانی ترین واحد شامل ماسه سنگ ها و شیل های قرمز رنگ به سن انوسن می باشد (شکل ۲-۳). عمده ترین سیستم

شکستگی در این محدوده گسل هایی با روند عمومی شمالی- جنوبی می باشد که واحدهای دولومیتی منطقه را تحت تأثیر قرار داده است [محمدی نیائی ۱۳۷۹].

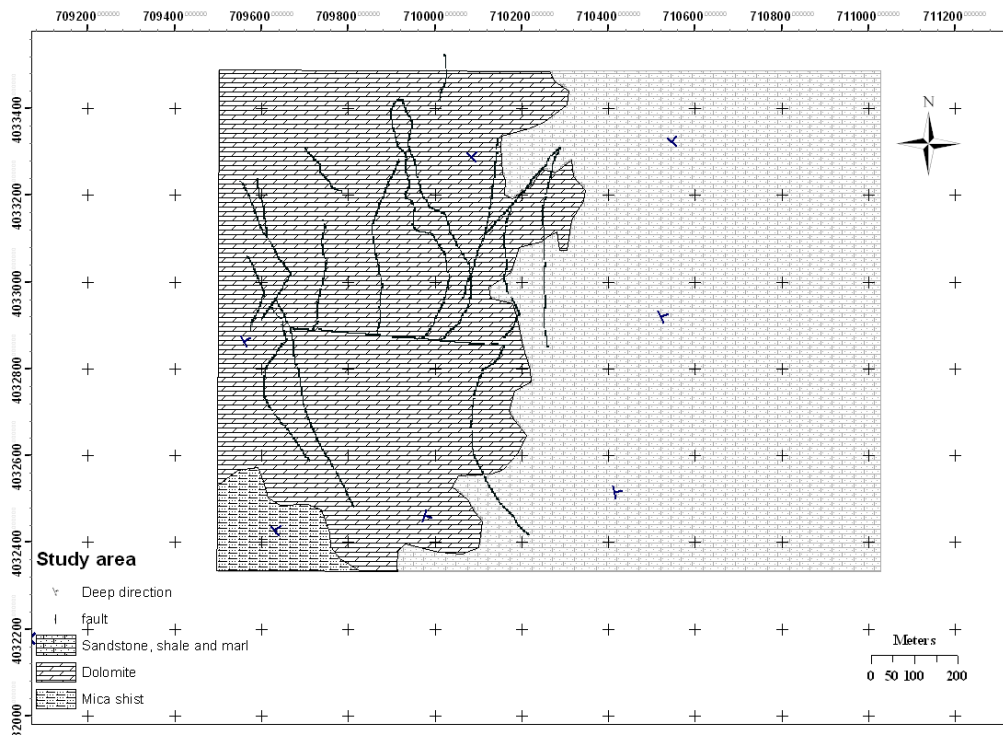
عملکرد گسل ها بطور کلی دو لیتولوژی را در دولومیتها به وجود آورده است که عبارتند از [محمدی نیائی ۱۳۷۹]:

۱- برش های دولومیتی

۲- گوژ های دولومیتی

به لحاظ وجود گوژ های دولومیتی (شکل ۲-۴) و عرض نسبتاً زیاد مناطق برشی نمی توان محل دقیقی را برای این گسلها مشخص نمود. با این وجود با استفاده از مشاهدات صحرائی، برونزد کانی های سرب و روی و باریت، وضعیت دره ها و آبراهه ها، موقعیت تقریبی محور آنها شناسایی و ترسیم گردیده است (شکل ۲-۵).

علاوه بر روند عمومی شمالی - جنوبی که در بالا تشریح گردید یک سیستم فرعی دیگر نیز در بخش های غربی و جنوب غربی منطقه دیده می شود که روند آنها شمال غربی - جنوب شرقی می باشد که تراکم آنها در جهت غرب افزایش می یابد.



شکل ۲-۳: نقشه زمین شناسی منطقه چیچکلو



شکل ۲-۴: گوزه‌های دولومیتی [محمدی نیائی ۱۳۷۹]



شکل ۲-۵: امتداد تقریبی گسل شمالی - جنوبی (نگاه به جنوب شرقی) [محمدی نیائی ۱۳۷۹]

۲-۴- کانی سازی منطقه مورد مطالعه:

کانه‌های سرب و روی در منطقه شامل گالن، اسفالریت، اسمیت زونیت، سروزیت و کالامین به همراه پیریت و

کانی‌های گانگ یا باطله شامل کوارتز، دولومیت و تالک می باشد [محمدی نیائی ۱۳۷۹].

گسترش کانسار به دو شکل در منطقه قابل مشاهده می باشد [محمدی نیائی ۱۳۷۹]:

۱- شکل رگه ای:

در این حالت ماده معدنی شامل یکسری رگه های عدسی شکل با ضخامت بین ۱۰ الی ۵۰ سانتی متر می باشد که

عمدتاً از اسمیت زونیت، گالن، باریت و مجموعه های سیلیسی تشکیل شده است که به صورت دانه تسبیحی در

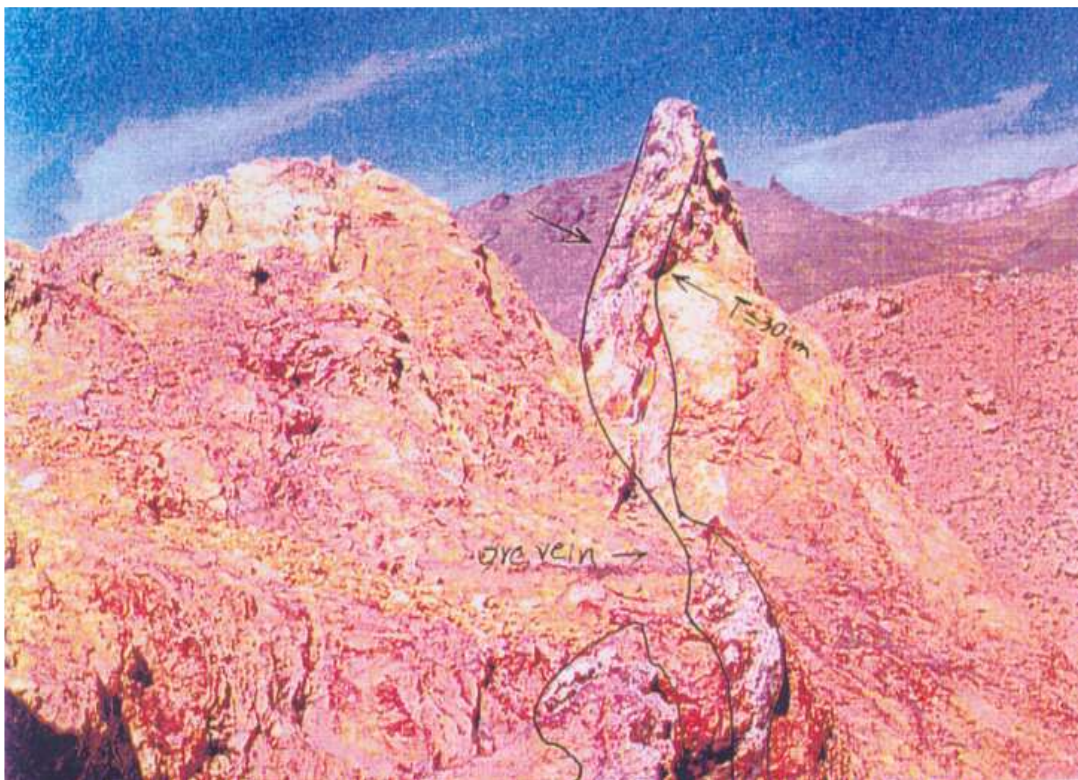
طول مناطق گسله باز و بسته شده اند (شکل ۲-۶). البته در پاره ای موارد ماده معدنی به صورت ماتریکس قطعات

برشی دولومیت را در بر گرفته است و ساخت برشی را به کانسنگ داده است (شکل ۲-۷). شایان ذکر است که در طول یک زون گسله، طول رگه ها و مناطق کانی سازی دامنه بسیار متغیری را نشان می دهد.

۲- شکل رگچه ای و پراکنده:

این حالت تقریباً متداول ترین شکل کانی سازی می باشد که در آن کانسنگ حالت رگچه ای و پراکنده دارد. در این حالت می توان کانی های اسمیت زونیت یا کالامین را به صورت رگچه ای و یا به صورت پراکنده مشاهده نمود. تشکیل کالامین (شکل ۲-۸) می تواند نشانه تحرک و جابجایی مجدد روی از اعماق به بخش های فوقانی باشد. در این حالت کانسنگ اصلی یا مناطق کانی سازی شده تحت تاثیر گسل هایی با شیب تند قرار می گیرد و برشی و خرد می گردند. حال اگر یک محلول گرمابی از این مناطق عبور نماید می تواند روی را در خود حل نموده و به قسمتهای فوقانی حمل نماید و با رسیدن به بخش های فوقانی (واحد های دولومیت ماسه ای - برشی) محتوای روی خود را در واکنش با دولومیت بصورت کربنات روی در شکستگی ها و یا پیرامون قطعات برشی بر جای گذارد. در حالتی که محلول روی دار وارد شبکه متراکم ریز درزه ها شود در این صورت نمی توان ماده معدنی را بصورت واضح در دولومیت ها مشاهده نمود (شکل ۲-۹). در این صورت می بایست از زونهای کانی سازی شده صحبت نمود که پهنای این مناطق گاه تا ۱۵ متر نیز رسیده است که در این صورت عیار ماده پائین بوده ولی تناژ بالائی را داراست. حال اگر همین محلول وارد فضاهای برشی گردد، سیالات با قطعات برشی واکنش داده، مواد معدنی روی را در اطراف قطعات رسوب می دهد. (شکل ۲-۱۰) به طوری که به وضوح می توان حاشیه های واکنشی را در پیرامون این قطعات مشاهده نمود. از این رو می توان کانسار را نوعی کانسار رگه ای -جانشینی به حساب آورد. این مکانیزم را می توان به وجود مناطق کانی سازی و یا توده اصلی در زیر کانسار ارتباط داد. ولی با این وجود می بایست در خصوص این فرضیه کاملاً با احتیاط تصمیم گرفت. زیرا این نوع تحرک مجدد می تواند حتی بر روی مناطقی با کانی سازی پراکنده با عیار پایین نیز صورت پذیرد. از این رو به طور قطع نمی توان وجود کالامین را دلیلی بر وجود کانسنگ یا توده اصلی در اعماق دانست. در عین حال به دلیل آن که معمولاً با افزایش

عمق از تراکم شکستگی ها و نفوذ پذیری سنگها کاسته می گردد از این رو شاید بتوان در اعماق تمرکز بیشتری از مواد معدنی را مشاهده نمود. شایان ذکر است که محتوای کالامین در مواردی که دولومیت دارای آهک می باشد، بیشتر خواهد بود. همانطور که گفته شد در این محدوده ماده معدنی برونزد چندانی ندارد ولی غالباً در پیرامون رگه های پنهان ماده معدنی، قطعات و خرده های کانسنگ کربناته مشاهده شده است که محل تقریبی آنها با نماد بیضی در شکل ۲-۱۱ مشخص شده است.



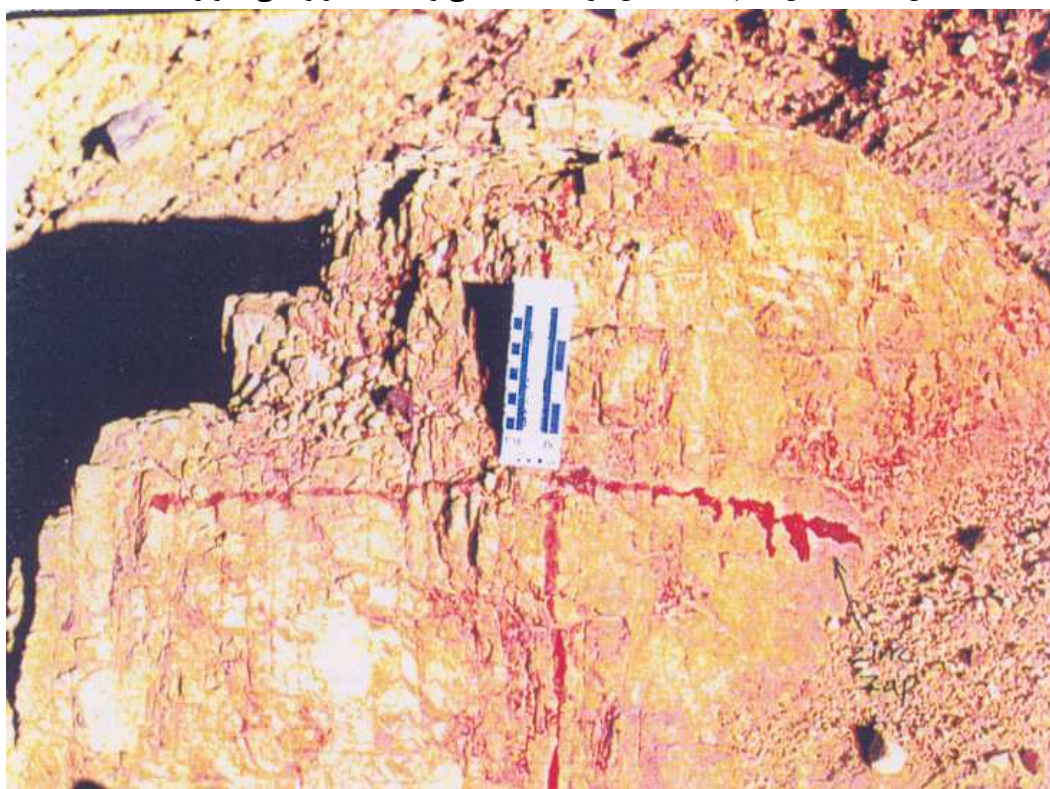
شکل ۲-۶: ماده معدنی رگه ای با حالت دانه تسبیجی [محمدی نیائی ۱۳۷۹]



شکل ۲-۷: شکل ماده معدنی با بافت برشی [محمدی نیائی ۱۳۷۹]



شکل ۲-۸: تشکیل کانیه‌های کالامین در فضا‌های خالی واحدهای دولومیتی [کوشری ۱۳۸۵]



شکل ۲-۹: ماده معدنی به شکل رگچه ای و پراکنده [محمدی نیائی ۱۳۷۹]



شکل ۲-۱۰: ماده معدنی حاصل از واکنش با قطعات برشی [محمدی نیائی ۱۳۷۹]



شکل ۲-۱۱: محدوده پراکندگی مواد معدنی نا برجا [محمدی نیائی ۱۳۷۹]

فصل سوم:

مدل سازی و تفسیر داده های ژئوفیزیکی

۳-۱- مقدمه

امروزه به کارگیری روش های ژئوفیزیکی در اکتشاف مواد معدنی و انتخاب محل های مناسب برای اکتشاف امری متداول به شمار می رود [کریم پور و همکاران ۱۳۸۴]. در کلیه مراحل از اکتشاف مواد معدنی می توان از روش های ژئوفیزیکی استفاده کرد: مرحله اول پی جویی یا گامهای ابتدایی اکتشاف است. در این مرحله می توان از اطلاعات ژئوفیزیکی هوایی که در مقیاس ناحیه ای و کوچک در یک منطقه وسیع برداشت شده است، برای پیدا کردن بی هنجاریها استفاده کرد. گاهی بی هنجاریها نشان دهنده وجود کانی سازی خاصی در منطقه است که می توان بازدیدهای صحرایی بعدی، برداشتهای زمین شناسی و ژئوفیزیکی دقیق تر زمینی را در مقیاس بزرگ برای آن منطقه برنامه ریزی کرد.

مرحله دوم استفاده از روشهای ژئوفیزیکی در مراحل نیمه تفصیلی و تفصیلی اکتشاف است. در این مرحله پس از استفاده از موقعیت زمین ساختی و دگرسانی^۱ و انتخاب محل مناسب در مرحله اول، برای پیدا کردن محل دقیق ذخیره پنهان، شکل، گسترش و عمق آن می توان از روش یا روش های ژئوفیزیکی مناسب استفاده کرد. بر پایه اطلاعات ژئوفیزیکی توأم با اطلاعات زمین شناسی، کانی سازی^۲ و ژئوشیمیایی می توان محل های مناسب برای حفاری را تعیین کرده و سرانجام مقدار ذخیره کانسار را تخمین زد.

از روش های ژئوفیزیکی که برای اکتشاف کانسارهای فلزی به کار می رود می توان به روش های مغناطیس سنجی، روش های الکتریکی، الکترومغناطیسی، ثقل سنجی و لرزه نگاری اشاره نمود. انتخاب روش یا روش هایی برای تعیین محل یک کانسار با طبیعت کانیهای موجود در آن معدن و سنگ های اطراف آن سر و کار دارد. گاهی اوقات ممکن است یک روش نشانه مستقیمی از وجود کانی مورد نظر را در اختیار قرار دهد، مثل روش مغناطیسی سنجی برای یافتن کانیهای مغناطیسی از آهن مثل مگنتیت و گاهی یک روش ممکن است نشانه غیر مستقیمی از مناسب بودن شرایط برای حضور ماده معدنی مورد نظر باشد، مثل روش

^۱ Alteration

^۲ Mineralization

مغناطیسی برای اکتشاف نفت که غالباً به عنوان وسیله شناسایی در تعیین عمق پی سنگ آذرین به کار می رود تا معلوم شود که در کجا رسوبات به اندازه کافی ضخیم هستند که اکتشاف نفت را تضمین کنند [کریم پور و همکاران ۱۳۸۴].

در این پژوهش روشهای قطبش القایی، مقاومت ویژه و مغناطیس سنجی به منظور پتانسیل یابی کانسارهایی سرب و روی در منطقه چیچکلو انجام گرفته است. تفسیر توأمان نتایج روشهای به کار گرفته شده می تواند تخمینی از گسترش کانی سازی فلزی را ارائه نماید. بدین منظور پس از مروری بر روشهای ژئوفیزیکی به کار گرفته شده به بررسی مزایا و معایب این روشها در اکتشاف کانسارهای فلزی پرداخته شده و در نهایت پس از مدل سازی داده ها، نتایج مدل سازی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است.

۳-۲- مغناطیس سنجی

روش های مغناطیس سنجی برای اهداف زیر به کار می رود [کریم پور و همکاران ۱۳۸۴]:

۱- کشف امتدادهای ساختمانی و روندهای گسلی

۲- تعیین و تحلیل منابع بی هنجاری خاص مانند تعیین موقعیت ذخایر پنهان، شکل، گسترش و عمق کانسارهایی که دارای کانیهای فرو مغناطیس است.

بررسی های مغناطیسی زمین توأم با اطلاعات زمین شناسی، کانی سازی و دگرسانی، اطلاعاتی راجع به موقعیت دقیق ذخیره، شکل کانی سازی، گسترش، شیب، امتداد و حتی عمق می تواند در اختیار بگذارد. مقایسه نقشه های معدنی و نقشه های مغناطیسی از یک منطقه این حقیقت را نشان می دهد که اکثر معادن یا همراه بی هنجاریهای مغناطیسی بوده و یا در مجاورت آن قرار دارند و بنابر این داده های مغناطیسی با کیفیت بالا در اکتشاف کانسارها در مقیاسهای مختلف می تواند مؤثر باشد.

منبع بی هنجاریهای مغناطیسی در زمین کانیهای فرومغناطیس هستند. نسبتهای مختلف این کانیها در سنگهای مختلف تولید بی هنجاریهای مغناطیسی نموده که هدف برداشت مغناطیس سنجی است.

۳-۲-۱- مغناطیس سنگها و کانیها

کانیها از نظر داشتن خاصیت مغناطیسی به سه دسته تقسیم می شوند [کریم پور و همکاران ۱۳۸۴]:

۱- کانیهای پارامغناطیس: کانیهایی که دارای اتمهایی با الکترون فرد بوده و وقتی تحت تأثیر یک میدان مغناطیسی قرار می گیرند، جهت مغناطیسی اتمی آنها موازی با جهت میدان اعمال کننده است در این دسته قرار می گیرند. پذیرفتاری مغناطیسی در این کانیها مثبت است. کانیهای پارامغناطیس شامل سیلیکاتهای مهم تشکیل دهنده سنگها مانند الیوین، پیروکسن، آمفیبول و بیوتیت هستند.

۲- کانیهای دیامغناطیس: کانیهای دیامغناطیس آن دسته از کانیها هستند که دارای اتمهایی با الکترون زوج می باشند و وقتی تحت تأثیر یک میدان مغناطیسی قرار می گیرند، جهت میدان مغناطیسی اتمی آنها در جهت مخالف با میدان مغناطیسی اعمال کننده است. پذیرفتاری مغناطیسی در این کانیها منفی است. از کانیهای دیا مغناطیس می توان به کوارتز، کلسیت و نمک اشاره کرد.

۳- کانیها فرومغناطیس: کانیهای فرومغناطیس به سه دسته تقسیم می شوند:

الف: کانیهای فرومغناطیس واقعی که در آن گشتاورهای اتمی، همگی در یک جهت قرار می گیرند. آهن، نیکل و کبالت خالص در این دسته قرار می گیرند.

ب: کانیهای آنتی فرومغناطیس که در آن گشتاورهای اتمی به طور مساوی در جهت مخالف هم قرار می گیرند و در واقع از نظر خاصیت مغناطیسی خنثی می شوند، مثل هماتیت و لیمونیت.

ج: کانیهای فری مغناطیس که در آن گشتاورهای حوزه های مغناطیسی به صورت نامساوی و در جهت مخالف هم قرار می گیرند و در واقع یک جهت دارای خاصیت مغناطیسی قوی تری است. از میان کانیهای

فری مغناطیس می توان به مگنتیت، ایلمنیت یا پیروتیت اشاره کرد. در اکتشاف مواد معدنی به کمک روش مغناطیس سنجی در واقع کانیهای فری مغناطیس کانسار نقش اساسی دارند.

۳-۲-۲- مغناطیس باقیمانده

مغناطیس باقیمانده، خصوصیتی است که حوزه های مغناطیسی کانی مغناطیسی در جهت میدان القایی زمان تشکیل آن کانی در آن محفوظ می شود. به علت معکوس شدن جهت میدان مغناطیسی زمین، حرکات تکتونیکی و غیره، مغناطیس باقیمانده لزوماً در جهت میدان زمان حاضر ممکن است، نباشد. این اثر بغایت پیچیده مرتبط با تاریخچه مغناطیسی سنگها بوده و تحت عنوان مغناطیدگی بازماند نرمال در دیرینه شناسی مغناطیسی مورد مطالعه قرار گرفته است [تلفورد و همکاران ۱۳۶۸]. اطلاعات به دست آمده از این رشته علمی در ارتباط با مغناطیسی باقیمانده در سنگها ارزش قابل ملاحظه ای در تفسیر بی هنجاری های مغناطیسی دارد. خصوصاً بدین علت که جداسازی مغناطیسی القایی در میدان غیر ممکن است.

۳-۲-۳- پذیرفتاری مغناطیسی:

در روش مغناطیسی سنجی یکی از عوامل مهم، اندازه گیری پذیرفتاری مغناطیسی سنگهاست. مغناطیس مشاهده شده در هر سنگ از دو مؤلفه القایی و باقی مانده تشکیل شده است و در واقع پذیرفتاری مغناطیسی با رابطه ساده ای به صورت زیر معرفی می شود [کریم پور و همکاران ۱۳۸۴]:

$$I = K \times H \quad (1-3)$$

که در آن I مغناطیس القایی و H شدت میدان مغناطیسی زمین می باشد. مغناطیس القایی در جهت میدان زمین بوده و متناسب با شدت میدان است. ثابت K پذیرفتاری مغناطیسی نامیده می شود. این عامل بستگی

به ترکیب شیمیایی کانی مغناطیسی موجود، درصد حجمی کانیهای مغناطیسی، شدت میدان القایی، حالت مغناطیسی شدن و اندازه دانه ها دارد.

هر چند تغییرات بزرگی برای مقادیر K، حتی برای یک سنگ به خصوص وجود دارد، همپوشانی وسیعی بین نوعهای مختلف مشاهده می شود. به طور کلی سنگهای رسوبی پایین ترین و سنگهای آذرین بالاترین میانگین خود پذیری را دارا می باشد. مقدار خود پذیری سنگها به مقدار کانیهای فری مغناطیس (عمدتاً مگنتیت، ایلمنیت و پیروتیت) بستگی دارد. مقدار پذیرفتاری مغناطیسی در برخی از سنگها و کانیها در جدول ۱-۳ آمده است.

جدول ۱-۳: پذیرفتاری مغناطیسی برخی از کانیها و سنگهای رسوبی [تلفورد و همکاران ۱۳۶۸]

مقدار متوسط پذیرفتاری مغناطیسی (SI) $\times 10^{-3}$	کانی
۱/۵	پیریت
۰/۴	کالکو پیریت
۰/۷	اسفالریت
۰/۱	گرافیت
۲/۵	لیمونیت
۶/۵	هماتیت
۶۰۰۰	مگنتیت
۰/۱	دولومیت
۰/۳	ماسه سنگ
۰/۶	شیل

۳-۲-۴- تصحیحات میدان مغناطیسی:

برای مشاهده بی‌هنجاریهای مغناطیسی واقعی مربوط به کانیهای فرومغناطیس موجود در یک منطقه تصحیحاتی بر روی اطلاعات برداشت باید صورت گیرد، که این تصحیحات با توجه به تغییرات میدان مغناطیس زمین می‌باشد [دولتی اردجانی ۱۳۸۵]. این تصحیحات شامل موارد زیر است:

۱- تصحیحات دائمی یا قرنی^۱: میدان مغناطیسی زمین بطور دائم و غیر منظم تغییر می‌کند. منشأ این تغییرات را مربوط به درون زمین و به جریان‌های چرخشی درون زمین ارتباط می‌دهند. با استفاده از مدل‌هایی می‌توان تغییرات سالیانه میدان مغناطیسی اصلی زمین را برآورد نمود. یکی از این مدل‌ها، میدان مرجع ژئومغناطیس بین‌المللی^۲ (IGRF) می‌باشد. جهت اعمال تصحیحات مذکور، مقدار IGRF برای زمان برداشت را از کل شدت میدان مشاهده شده کسر می‌نمایند.

۲- تصحیحات روزانه^۳: این تغییرات مربوط به اثرات خورشید یا ماه بر روی یونسفر و تابع عرض جغرافیائی است. تغییرات دارای دوره تناوب ۲۴ ساعته خواهد بود. این تغییرات شدید نبوده و حداکثر تا صدگاما نمی‌رسند. برای انجام این تصحیح از دو دستگاه مغناطیس سنج ثابت^۴ و مغناطیس سنج متحرک^۵ استفاده می‌شود. مغناطیس سنج مبنا را در ایستگاه مبنا مستقر کرده و به طور پیوسته میدان مغناطیسی را قرائت می‌نماید. سپس میدان‌های مغناطیسی اندازه‌گیری شده در ایستگاه‌های صحرائی را بر اساس تغییرات روزانه ثبت شده در ایستگاه مبنا تصحیح می‌نمایند.

۳- تصحیح دریفت: با در نظر گرفتن اختلاف قرائت مغناطیس سنج مبنا و مغناطیس سنج عملیاتی در هر دوره زمانی و رسم تغییرات آنها، مقدار دریفت هر روز جداگانه محاسبه و بر تک تک ایستگاه‌ها اعمال می‌گردد.

¹ Secular Variations

² International Geomagnetic Reference Field

³ Diurnal Variations

⁴ Base Magnetometer

⁵ Field Magnetometer

۴- طوفانهای مغناطیسی^۱: تغییرات شدید و زودگذر میدان مغناطیسی را طوفانهای مغناطیسی می نامند. طوفانهای مغناطیسی بدون هیچ گونه ارتباطی با رعد و برق جوی حاصل می شوند. فوران های خورشیدی داخل لکه های خورشیدی که دارای ذرات باردار می باشند، به طرف زمین به طور ناگهانی ارسال می گردند. این ذرات پس از ۲۰ تا ۳۰ ساعت به زمین می رسند و توسط میدان مغناطیسی زمین محاط می گردند و باعث تغییرات شدید میدان مغناطیسی می شوند. تغییرات طوفان های مغناطیسی از ۵۰ تا ۱۰۰۰ گاما می باشد. این تغییرات نامنظم طوفان های مغناطیسی هر روز باید کنترل شود. به هنگام بروز طوفان های مغناطیسی، نوسانات میدان مغناطیسی آنقدر شدید، سریع، و غیر قابل پیش بینی می باشند که بر خلاف تغییرات روزهای آرام امکان تصحیح برای آنها وجود ندارد. هنگام بروز طوفان های مغناطیسی باید هر گونه برداشت های مغناطیسی را متوقف نمود.

۳-۳- روش های ژئوالکتریکی

ایده اکتشاف مواد معدنی با کمک اندازه گیریهای الکتریکی در حدود سالهای ۱۸۰۰ ارائه شد اما کاربرد عملی و نتیجه بخش این روش حدود یک قرن بعد میسر گردید. روش های الکتریکی که با تزریق جریان به زمین انجام می پذیرد، برای اکتشاف مواد معدنی و همچنین آبهای زیرزمینی کاربرد گسترده ای دارد [تلفورد و همکاران ۱۳۷۵].

جریان الکتریکی که همان حرکت ذرات باردار است، می تواند به سه طریق صورت گیرد [کریم پور و همکاران ۱۳۸۴]:

^۱ Magnetic Storms

۱- هدایت اهمی یا فلزی که از حرکت الکترونها در بین ساختمان های بلورین بعضی مواد مثل فلزات ناشی می شود.

۲- هدایت الکترولیتی که توسط یونهای محلول در آبهای زیرزمینی حاصل می شود.

۳- هدایت دی الکتریکی که با تغییرات میدان الکتریکی متناوب باعث جابجایی یونها به شکل حلقوی در یک ساختمان بلورین می شود.

۳-۳-۱- روش مقاومت سنجی

قانون اهم که مبنای روش مقاومت سنجی است به صورت زیر بیان می گردد:

$$V = IR \quad (۲-۳)$$

که در آن R مقدار مقاومت، I شدت جریان و V اختلاف پتانسیل است. واحد اصلی مقاومت اهم، واحد اصلی جریان آمپر و واحد اصلی اختلاف پتانسیل ولت است، به طوری که :

$$۱ \text{ اهم} \times ۱ \text{ آمپر} = ۱ \text{ ولت}$$

مقدار مقاومت R بر حسب طول L (مسیر طی شده توسط بار) و A (سطح مقطعی که در آن بارها به طور همگن پراکنده شده اند) و ρ که مقاومت ویژه بوده و از خواص فیزیکی مورد استفاده برای ساختن مقاومت است، به صورت زیر تعریف می شود [کریم پور و همکاران ۱۳۸۴]:

$$R = \rho L/A \quad (۳-۳)$$

با تغییر دادن رابطه فوق می توان مقاومت ویژه الکتریکی را به صورت زیر بیان کرد:

$$\rho = RA/L \quad (۴-۳)$$

رابطه (۲-۳) و (۴-۳) در حقیقت مبنای اندازه گیری مقاومت ویژه الکتریکی بوده که با توجه به آرایش الکترونی به کار گرفته شده به صورت زیر بازنویسی می شود :

$$\rho_a = KV_{MN}/I \quad (5-3)$$

که در آن:

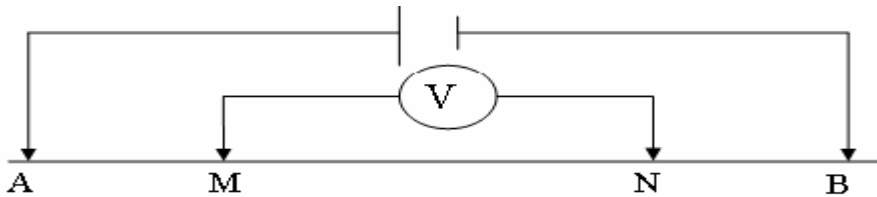
ρ_a = مقاومت ویژه ظاهری،

V_{MN} = اختلاف پتانسیل بین دو الکتروود پتانسیل،

I = شدت جریان و

K = فاکتور هندسی مربوط به آرایش الکتروودی که تابعی از چهار متغیر فاصله یعنی AN ، BM ، AM و BN می باشد (شکل ۱-۳).

برای اندازه گیری مقاومت ویژه الکتریکی از الکتروودهای جریان و مخزن اتصال آنها به پیل و یا دیگر منابع نیروی الکتریکی در زمین برای تولید جریان الکتریکی استفاده می شود و در این مدار یک آمپر متر مقدار جریان را اندازه می گیرد. دو الکتروود پتانسیل را در موقعیت دیگری قرار داده و به یک ولت متر وصل می کنند که مقدار پتانسیل الکتریکی را اندازه می گیرد (شکل ۱-۳).



شکل ۱-۳: نحوه اندازه گیری مقاومت ظاهری، الکتروودهای A و B الکتروودهای جریان و الکتروودهای

M و N الکتروودهای پتانسیل هستند.

آرایشهای الکتروودی جهت اندازه گیری مقاومت ویژه به راههای مختلفی صورت می گیرد که از آرایشهای مرسوم می توان به آرایش ونر^۱، آرایش شلومبرژه^۲ و آرایش دو قطبی - دو قطبی^۳ اشاره کرد. طرز به

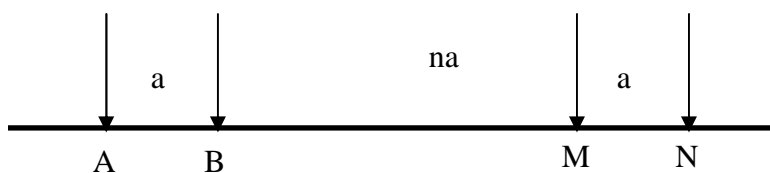
¹ Wenner Array

² Schlumberger Array

³ Dipol - Dipol Array

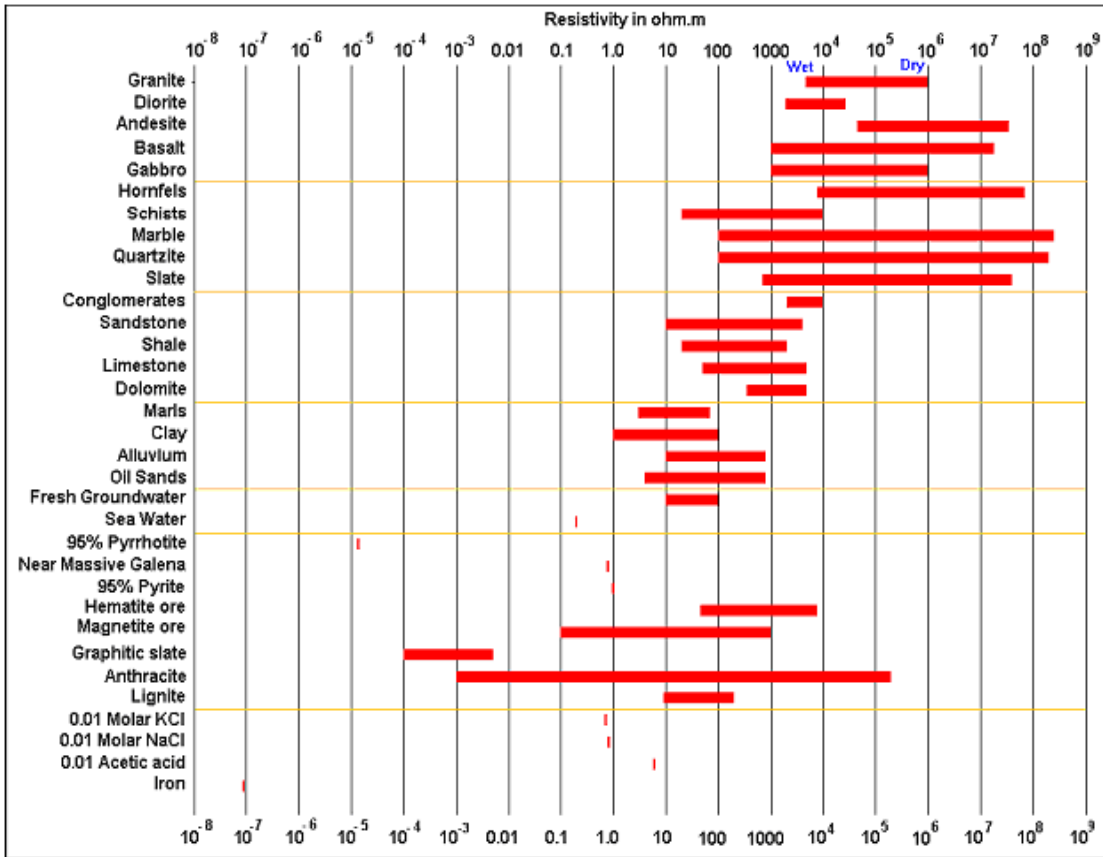
کارگیری آرایش دو قطبی - دو قطبی (شکل ۳-۲) به طور کامل در بخش ۳-۳-۳ ذکر شده است، اما مقدار مقاومت ویژه ظاهری در این آرایش از رابطه زیر محاسبه می شود:

$$P_{dd} = \pi n(n+1)(n+2)a \frac{\Delta V}{r} \quad (۶-۳)$$



شکل ۳-۲: آرایش دو قطبی - دو قطبی

مقاومت ویژه الکتریکی یکی از متغیرترین خواص فیزیکی است و اختلاف قابل توجهی در بین نمونه های مشابه از نظر لیتولوژی و کانی شناسی دیده می شود. موادی را که دارای مقاومت ویژه کمتر از یک اهم متر هستند رساناهای الکتریکی و آنهایی را که مقاومت ویژه آنها بیشتر از 10^7 اهم متر می باشد عایقهای الکتریکی می نامند. موادی را که در بین این حدود هستند، نیمه رساناهای مقاوم می نامند. کانیهای فلزی رساناهای خوبی برای جریان الکتریکی هستند و مقاومت ویژه کمی دارند. اغلب کانیها عایق هستند و یا رسانایی جزئی دارند. از این خاصیت برای اکتشاف مواد معدنی استفاده می شود. در شکل ۳-۳ مقاومت ویژه الکتریکی برخی از سنگها و کانیها ارائه شده است.



شکل ۳-۳: مقاومت ویژه الکتریکی برخی از سنگها و کانیها [Loke 2001]

همان طور که مشخص است فلزات و برخی کانیهای سولفیدی و اکسیدی دارای مقاومت ویژه بسیار پایین نسبت به سنگ های معمولی هستند. این خاصیت کانیهای فلزی و سولفیدی استفاده از روش مقاومت سنجی را برای اکتشاف این ذخایر مناسب می کند. ولی تفسیر اطلاعات حاصل از مقاومت سنجی بسیار پیچیده است و حتماً باید با اطلاعات دیگر ژئوفیزیکی و زمین شناسی برای اکتشاف توام باشد [کلاگری ۱۳۷۱]. از کاربردهای روش مقاومت سنجی می توان به موارد زیر اشاره کرد [کلاگری ۱۳۷۱]:

۱- مطالعه آبهای زیر زمینی جهت تعیین سطح سفره آبهای زیر زمینی، مرز آب شور و شیرین و محل دفن کانالهای رودخانه ای مدفون.

۲- در کارهای مهندسی عمران برای تعیین ضخامت آبرفتها، عمق سطح سفره آبدار، عمق سنگهای بستر و شناسایی لایه های رسی.

۳- در اکتشافات معدنی با توجه مقاومت پایین کانیهای فلزی مورد استفاده قرار می گیرد.

برخی از محدودیتهای این روش عبارتند از [کلاگری ۱۳۷۱]:

۱- با توجه به گستردگی دامنه تغییرات مقاومت ویژه تعبیر و تفسیر ها قدری مبهم هستند، مخصوصاً در مناطق تکتونیزه این ابهام بیشتر است. مقایسه و تطبیق با نقشه زمین شناسی می تواند تا حدودی از این ابهام بکاهد.

۲- عمق نفوذ این روش محدود می باشد (به علت محدودیت در تزریق جریان الکتریکی و گسترش طویل کابلها بر روی زمین).

۳- حضور لایه های سطحی رسانا و اثر توپوگرافی می تواند آشکارسازی تغییرات مقاومت ویژه زیر سطحی را کاهش دهد.

۴- این روش در کانی سازی پراکنده کارایی ندارد.

۳-۳-۲- قطبش القایی^۱

قطبش القایی (IP) عمدتاً در اکتشاف فلزات پایه و تا حد کمتری در کاوش آبهای زیر زمینی کاربرد دارد. هر چند برادران شلومبرژه، پیشاهنگان بزرگ در اکتشاف ژئوفیزیکی، در جریان کار اصلی خود در مورد پتانسیل خودزا (SP)^۲ در حدود ۵۰ سال پیش، پدیده قطبش القایی را شناخته بودند، شهرت این روش به عنوان یک

¹ Induced Polarization

² Self Potential

ابزار ژئوفیزیکی به اواسط دهه پنجاه به دنبال پیشرفت هایی که از سال ۱۹۴۸ تا ۱۹۵۳ انجام شد، ارتباط پیدا می کند.

نمایشی از IP را می توان با استفاده از یک آرایش استاندارد مقاومت ویژه چهار الکترودی جریان مستقیم به دست آورد که در آن جریان دفعتاً قطع می شود. عموماً ولتاژ در دو سر الکترودهای پتانسیل یک باره صفر نمی شود، بلکه پس از یک کاهش بزرگ از حالت پایدار، به آهستگی واپاشی می یابد. زمان این واپاشی در حدود چند ثانیه یا حتی چند دقیقه است. اگر جریان دوباره متصل شود، دامنه پتانسیل، پس از یک افزایش ناگهانی در ابتدای امر، در طول زمانی مشابه افزایش تدریجی یافته و به مقدار اولیه خود می رسد.

در نوعی آشکار ساز IP، ولتاژ واپاشی بر حسب تابعی از زمان به طرق مختلف اندازه گیری می شود. این روش را IP حوزه زمانی نامند. چون زمان افزایش تدریجی نیز محدود است، واضح است که مقاومت ویژه ظاهری (که در واقع مقاومت ظاهری مختلط است) باید با فرکانس تغییر کند، به گونه ای که وقتی فرکانس زیاد شود، مقاومت ویژه ظاهری کم می شود. لذا اندازه گیری ρ_a در دو یا چند فرکانس متناوب، غالباً زیر ۱۰ هرتز، روش دیگری از آشکار سازی را به وجود می آورد. این روش را IP حوزه فرکانسی می نامند [تلفورد و همکاران ۱۳۷۵].

۳-۳-۲-۱- منابع انرژی قطبش القایی

اگر چه انرژی انبار شده از لحاظ نظری می تواند به اشکال گوناگون به صورت مکانیکی، الکتریکی و شیمیایی، وجود داشته باشد، ولی مطالعات آزمایشگاهی قطبش در انواع مختلف سنگها ثابت کرده است که انرژی شیمیایی به مراتب مهمتر از سایرین است.

این انبارش انرژی شیمیایی به علت‌های زیر نتیجه می‌شود: (الف) تغییر تحرک یون‌ها در مایعات موجود در ساختار سنگها، (ب) تغییر در رسانندگی یونی و الکترونی در جاهایی که کانیه‌های فلزی وجود دارند. اثر اول به نام قطبش غشایی یا الکترولیتی نام دارد و اثر IP زمینه یا اثر IP نرمال را به وجود می‌آورد. این اثر ممکن است در سنگهایی که شامل کانیه‌های فلزی نیستند روی دهد. اثر دوم به نام قطبش الکترودی یا ولتاژ اضافی نامیده می‌شود. مقدار این اثر عموماً بزرگتر از زمینه است و با مقدار کانیه‌های فلزی در سنگها ارتباط دارد. این دو اثر توسط IP قابل تمیز از یکدیگر نیستند مگر اینکه از روش قطبش القایی طیفی (SIP)^۱ استفاده گردد [تلفورد و همکاران ۱۳۷۵].

۳-۳-۲-۱-۱- قطبش غشایی

رسانش الکترولیتی عامل غالب در بیشتر سنگها می‌باشد و وقتی فلزی وجود نداشته و فرکانس پایین است، این تنها شکل رسانش است که وجود دارد. لذا ساختار سنگها باید تا حدودی متخلخل باشد تا در جایی که کانی‌های فلزی وجود ندارند، شارش جریان را ممکن سازد. در اکثر کانیه‌های سنگی مقداری بار منفی در سطح مشترک بین رویه سنگ و مایع داخل خلل و فرج وجود دارد. در نتیجه یونهای مثبت به این سطح مشترک جذب شده و یونهای منفی از آن دور می‌شوند. این تراکم یون مثبت ممکن است تا عمق حدود ۶- ۱۰ سانتیمتر در داخل مایع گسترش یابد. اگر این رقم حدود پهنای خلل و فرج باشد، وقتی یک پتانسیل جریان مستقیم به دو سر آن وصل شود یونهای منفی در یک طرف آن انبار شده و از طرف دیگر دور می‌شوند. در نتیجه چنین توزیع قطبیده‌ای، عبور جریان قطع می‌شود. وقتی بعداً کلید جریان قطع شود، یونها به وضعیت اولیه بر می‌گردند، در حالی که این عمل در زمانی معین صورت می‌گیرد.

^۱Spectral Induced Polarization

اثر IP غشایی بیش از همه در کانیه‌های رسی مشخص است، زیرا در این کانیه‌ها خلل و فرج خصوصاً کوچک اند. با وجود این، درجه قطبش با تراکم کانی رسی به طور یکنواخت زیاد نمی شود بلکه پس از رسیدن به یک حداکثر، دوباره کاهش می یابد. این اثر با شوری مایع داخل خلل و فرج نیز افزایش می یابد. چون نمی توان قطبش زمینه را از قطبش الکتروودی مجزا کرد، لذا این قطبش موجب ایجاد نوفه های زمین شناختی می شود که میزان آنها از جایی به جای دیگر تغییر می کند [تلفورد و همکاران ۱۳۷۵].

۳-۳-۲-۱-۲- قطبش الکتروودی

این نوع قطبش موقعی اتفاق می افتد که در داخل سنگ مواد فلزی وجود داشته و قسمتی از عبور جریان الکترونی و قسمت دیگر الکتروولیتی باشد که سبب فعل و انفعال شیمیایی در سطح مشترک بین کانی و مایع می گردد. وقتی جریان عبور کرده تبادل الکترون بین فلز و محلول یونها در سطح مشترک صورت پذیرفته، عمل الکتروولیز انجام می شود. در شیمی فیزیک این اثر به نام ولتاژ اضافی موسوم است. چون سرعت شارش جریان در الکتروولیت خیلی کندتر از داخل فلز است، انبارش یونها توسط ولتاژ خارجی صورت می گیرد. وقتی جریان قطع شود ولتاژ باقی مانده، با پخش یونها به عقب و به طرف حالت تعادل اولیه آنها، واپاشی می یابد [تلفورد و همکاران ۱۳۷۵].

کانی هایی که رسانای الکترونی هستند قطبش الکتروودی از خود نشان می دهند. این گونه کانی ها شامل تقریباً همه سولفیدها (به استثنای اسفالریت)، برخی اکسیدها مثل مگنتیت، ایلمنیت و متأسفانه گرافیت می باشند. البته بزرگی این قطبش الکتروودی به چشمه جریان خارجی و همچنین به شماری از مشخصات محیط ارتباط دارد. این بزرگی با تراکم فلزی تغییر می کند، ولی چون پدیده سطحی است، اثر آن وقتی کانی پراکنده است بیشتر از موقعی است که توده ای باشد. این امر را می توان برترین مزیت IP تلقی کرد، زیرا سایر روش های الکتریکی در این گونه حالت ها به خوبی کار نمی کنند [تلفورد و همکاران ۱۳۷۵].

جدول ۲-۳ فهرستی از انواع کانیهها با یک درصد در تراکم حجمی را با پاسخهای قطبش القایی آنها نشان می دهد طول زمانی موج جریان مربعی سه ثانیه و واپاشی در طول یک ثانیه اندازه گیری شده است.

جدول ۲-۳: بارپذیری در انواع کانیهها [تلفورد و همکاران ۱۳۷۵]

میزان بارپذیری (میلی ثانیه)	کانی
۱۳/۴	پیریت
۱۳/۲	کالکو پیریت
۱۲/۳	مس
۱۱/۲	گرافیت
۹/۴	گالن
۲/۲	مگنتیت
۰/۲	مالاکیت
۰	هماتیت

از چشمه های نوفه در اندازه گیری IP، گذشته از SP که به سادگی جبران می شود، می توان به جریان های تلوریک، جفت شدگی ظرفیتی (خازنی)، جفت شدگی الکترومغناطیسی و اثر کلی IP حاصل از سنگهای بی ثمر اشاره کرد. اثر جفت شدگی ظرفیتی بین الکترودهای جریان و سیم های پتانسیل یا بر عکس اتفاق می افتد، که علت آن جریان های نشتی بین سیم های جریان و پتانسیل می باشد. اثر ظرفیتی معمولاً با اندازه کافی کوچک و قابل اغماض می باشد، مگر آنکه روکش سیم ها فاسد باشد، اما جفت شدگی الکترومغناطیسی اثری بغایت آزار دهنده است و از القای متقابل سیمهای جریان و پتانسیل که هم مستقیماً

و هم از راه زمین مجاور انجام می پذیرد، نتیجه می شود. در مواقعی که از آرایش هایی با سیم طویل یا فرکانس های بالا استفاده شود، اثر الکترو مغناطیسی ممکن است کاملاً بزرگ شود. برای کم کردن جفت شدگی حاصل از سیم های طویل، آرایش دو قطبی - دو قطبی به کار گرفته می شود، در حالی که فرکانس ها معمولاً پایین تر از ۱۰ هرتز نگاه داشته می شوند [تلفورد و همکاران ۱۳۷۵].

۳-۳-۳- روش های اندازه گیری داده های مقاومت ویژه و قطبش القایی

بررسی های مقاومت ویژه الکتریکی به روش های سونداژزنی الکتریکی قائم (VES)^۱ و پروفیل زنی افقی (HP)^۲ انجام می شود که در زیر اشاره مختصری در باب روش های فوق الذکر گردیده است:

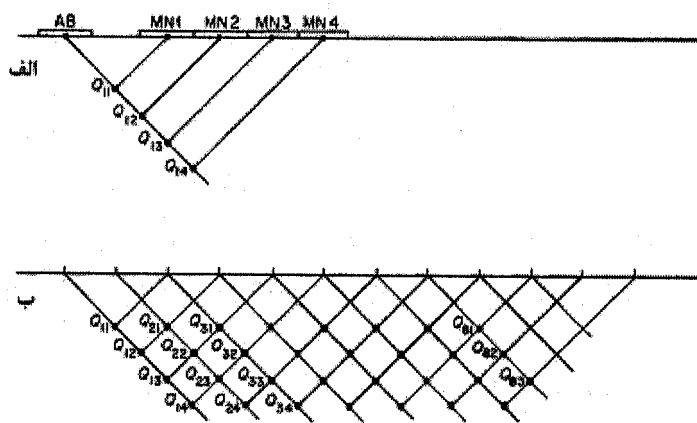
VES فرآیندی است که در آن تغییرات عمقی مقاومت ویژه لایه های زیر سطحی مورد ارزیابی قرار می گیرند اما در HP تغییرات جانبی مقاومت ویژه اندازه گیری می شود. در VES با افزایش فاصله های الکتروود های جریان از الکتروود های پتانسیل عمق تجسس افزایش می یابد. ولی در HP پس از هر قرائت، کل آرایش در راستای پروفیل جابجا می شود تا تغییرات افقی ثبت گردد. معمولاً ترکیبی از VES و HP در منطقه انجام می شود (ایجاد شبه مقطع) تا نتایج آن با هم مورد تجزیه و تحلیل قرار گیرند [کلاگری ۱۳۷۱]. قابل ذکر است که تکنیک های VES و HP که در اندازه گیری های مقاومت ویژه به کار می روند می توانند در متد IP نیز به کار گرفته شوند، اما بیشتر از آرایش های دوقطبی - دوقطبی یا قطبی - دوقطبی استفاده می شود، زیرا با استفاده از این دو آرایش می توان میزان جفت شدگی الکترومغناطیسی بین جریان و پتانسیل را به حداقل کاهش داد [کلاگری ۱۳۷۱].

از آنجا که در این پروژه برداشت های مقاومت ویژه و قطبش القایی به روش دو قطبی - دوقطبی انجام پذیرفته است توضیح مختصری در مورد این روش ذکر می شود:

¹ Vertical Electric Sounding

² Horizontal profiling

به منظور تهیه شبه مقطع مقاومت ویژه و قطبش القایی به روش دو قطبی - دوقطبی ابتدا یک خط پروفیل در جهت عمود در امتداد ساختها، کانسارها، و لایه های زیر سطحی در نظر گرفته و عملیات بر روی پروفیل آغاز می شود. در این آرایش $MN = AB = a$ می باشد که A و B الکترودهای جریان و M و N الکترودهای پتانسیل می باشد.



شکل ۳-۴: تهیه شبه مقطع مقاومت ویژه و قطبش القایی به روش دو قطبی - دوقطبی [کریم پور و همکاران ۱۳۸۴]

شروع کار با $na = a$ ($n = 1$) خواهد بود که r فاصله بین الکترودهای B و الکترودهای M می باشد. عمق نفوذ با زیاد شدن r (افزایش n) افزایش می یابد. در ابتدا الکترودهای A و B را ثابت نگه داشته و الکترودهای M و N در طول پروفیل هر بار به اندازه a جابجا می شود (شکل ۳-۴-الف). در این پژوهش مقدار n تا ۵ افزایش پیدا می کند. سپس الکترودهای A و B را به اندازه a در طول پروفیل جابجا می کنند و عمل فوق را تکرار می کنند تا شبه مقطع شکل ۳-۴-ب حاصل شود.

برخی از مزایای روش دوقطبی - دوقطبی عبارتند از [کلاگری ۱۳۷۱]:

۱- با فواصل کم MN و AB می توان اعماق زیادی را مورد بررسی و تجسس قرار داد.

۲- فواصل کم MN و AB باعث کاهش کار صحرائی و افزایش راندمان کار می شود.

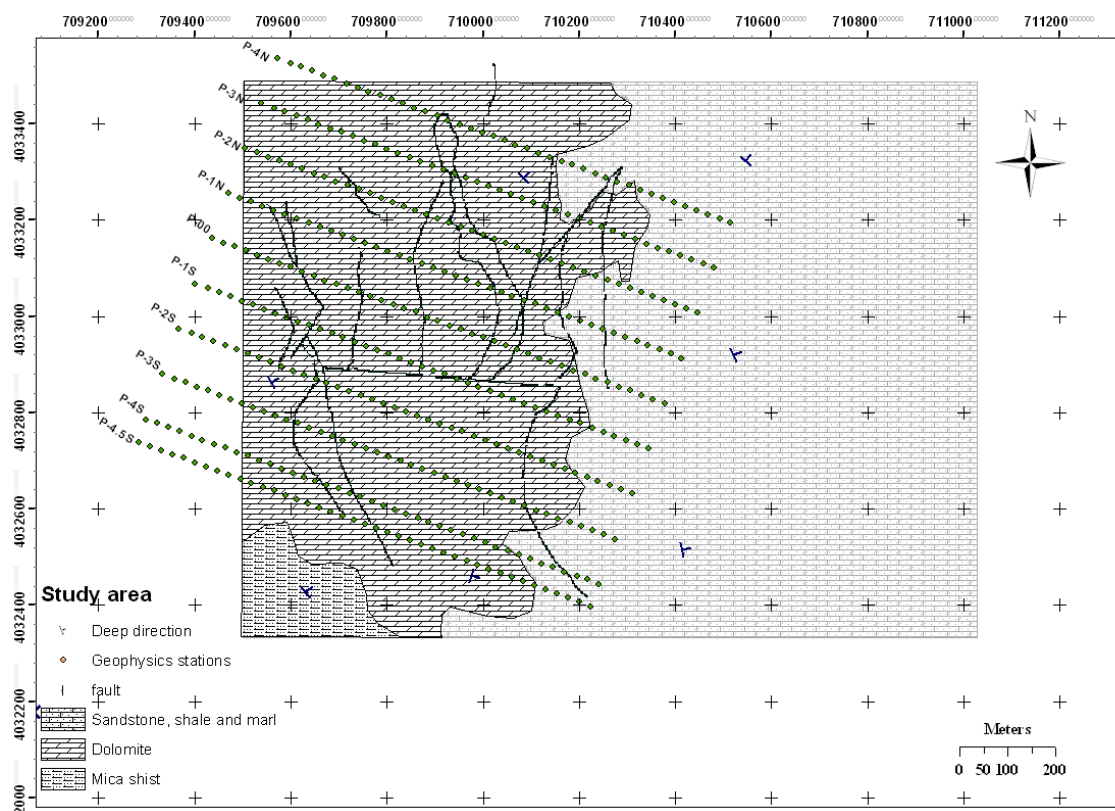
۳- نشت جریان به علت فواصل کم MN و AB ناچیز خواهد بود.

۴- جفت شدگی الکترومغناطیسی نیز به علت فواصل کم MN و AB قابل اغماض خواهد بود.

در مقابل مزایای فوق الذکر این روش معایبی نیز در بر دارد که مهم ترین آن عمق نفوذ کم این روش به جهت کم بودن فاصله الکترودهای جریان بوده که جهت اکتشافات عمیق ژنراتور بزرگی جهت تزریق جریان مورد احتیاج است.

۳-۴- برداشتهای ژئوفیزیکی در منطقه مورد مطالعاتی

به منظور پتانسیل یابی و تخمین گسترش کانی سازی فلزی، برداشتهای مغناطیسی، مقاومت ویژه و قطبش القایی در ۱۰ خط پروفیل با فاصله ۱۰۰ متر از یکدیگر بر روی واحدهای کربناتی انجام پذیرفته است. فاصله ایستگاه های برداشتهای مغناطیسی ۲۵ متر بوده و داده های مقاومت ویژه و قطبش القایی با کمک روش دو قطبی دو قطبی با فواصل جابجایی الکترودهای AB برابر ۲۵ متر و با $n=1$ تا $n=5$ و گامهای دو قطبی ۷۵، ۱۰۰ و ۱۵۰ متر برداشت گردیده است. (پروفیلهای P-4N و P-3N، با گامهای دو قطبی ۱۰۰ متر، پروفیلهای P-00، P-1N و P-2N با گامهای دو قطبی ۱۵۰ متر و پروفیلهای P-1S تا P-4.5S با گامهای دو قطبی ۷۵ متر برداشت گردیده است.) شبکه برداشت داده های ژئوفیزیکی در شکل (۳-۵) آمده است.



شکل ۳-۵: نقشه زمین شناسی و برداشت‌های ژئوفیزیکی در منطقه مورد مطالعه

۳-۴-۱- تفسیر کیفی داده های مغناطیسی

برای پردازش داده های مغناطیسی از نرم افزار Model Vision Pro استفاده گردیده است. این نرم افزار یک ابزار مناسب با قدرت پردازندگی بالا جهت تعبیر و تفسیر داده های میدان پتانسیل می باشد. در این نرم افزار داده های گرانی و مغناطیس را می توان با فیلترهای مختلف تفکیک نموده و نوفه ها را کاهش داد. این فیلترها به سه بخش فیلترهای پیچشی (کانولشن)^۱، فیلترهای تبدیل فوریه و فیلترهای شبکه ای (دو بعدی)س تقسیم می شوند که هر یک از سه بخش فوق دارای مجموعه هایی از فیلترهای مختلف می باشد.

¹ Convolution

این نرم افزار امکان مدل سازی داده های میدان پتانسیل با دو روش پیشرو و معکوس را میسر می سازد [آگاه ۱۳۸۳].

در این پروژه داده ها به صورت فرمت نقطه ای به نرم افزار وارد گردیدند. در مرحله بعد نقشه شدت میدان مغناطیسی کل ترسیم گردید. نقشه های میدان پتانسیل تهیه شده از داده های مغناطیس مجموع اثرات توده هایی با چگالی و پذیرفتاری مغناطیسی متفاوت در اعماق مختلف می باشند. به منظور تفکیک بی هنجاریهای سطحی (دارای فرکانس بالا و طول موج کوتاه) از بی هنجاریهای ناحیه ای (دارای فرکانس پایین و طول موج بلند) روش های تحلیلی مختلفی را می توان به کار برد. در اکتشافات معدنی هدف نمایان سازی بی هنجاریهای سطحی با کمک حذف بی هنجاریهای ناحیه ای می باشد. تفکیک بی هنجاریهای ناحیه ای و باقیمانده در این پروژه با روش های گسترش به سمت بالا و گسترش به سمت پایین انجام پذیرفت.

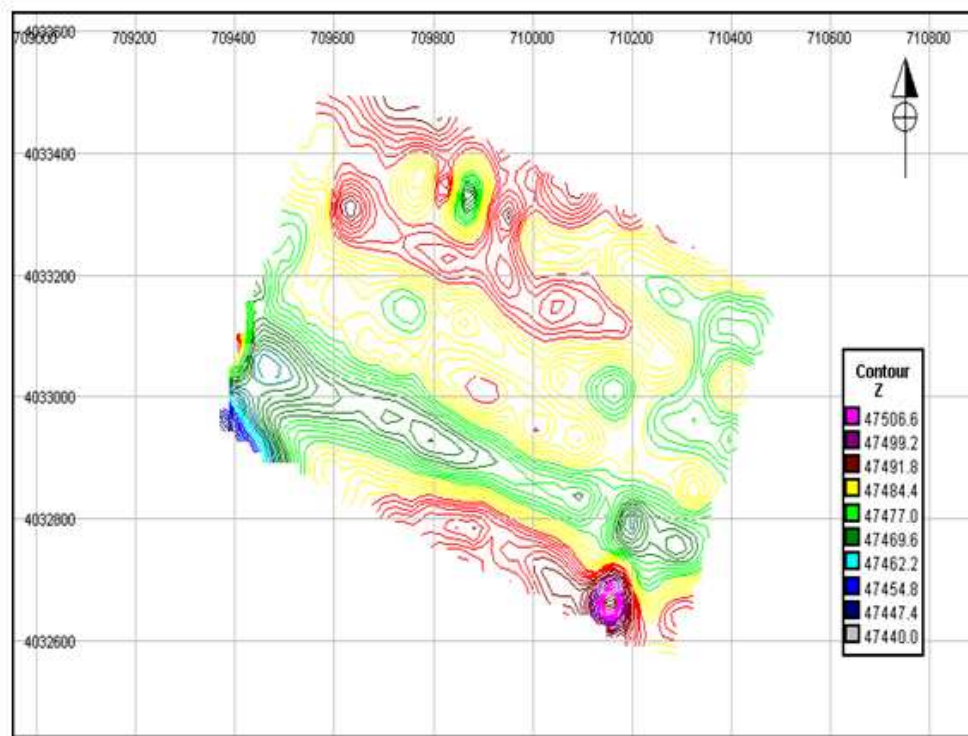
نقشه شدت میدان مغناطیسی منطقه مورد مطالعه در شکل (۳-۶) آمده است. حداکثر تغییرات شدت میدان مغناطیسی در محدوده مورد اکتشاف ناچیز و در حدود ۶۰ گاما می باشد (در حد تغییرات روزانه میدان مغناطیسی). در شکل (۳-۶) دو ناحیه که نسبت به زمینه دارای تغییرات مغناطیسی می باشد قابل تفکیک می باشد. ناحیه اول که در جنوب شرقی نقشه قابل رویت است بیشترین تغییرات میدان مغناطیسی (در حدود ۲۰ گاما) را به خود اختصاص داده است. این ناحیه مهمترین محدوده از نظر تغییرات میدان مغناطیسی در منطقه مورد مطالعه می باشد. ناحیه دوم که در شمال غربی نقشه قابل رویت است نیز تغییرات در حد ۱۰ گاما نسبت به زمینه را نشان می دهد. اما برای تخمین گسترش عمقی بی هنجاریهای مذکور از فیلترهای گسترش رو به پایین^۱ و گسترش رو به بالا^۲ استفاده گردیده است. نتیجه اعمال فیلترهای

¹ Downward

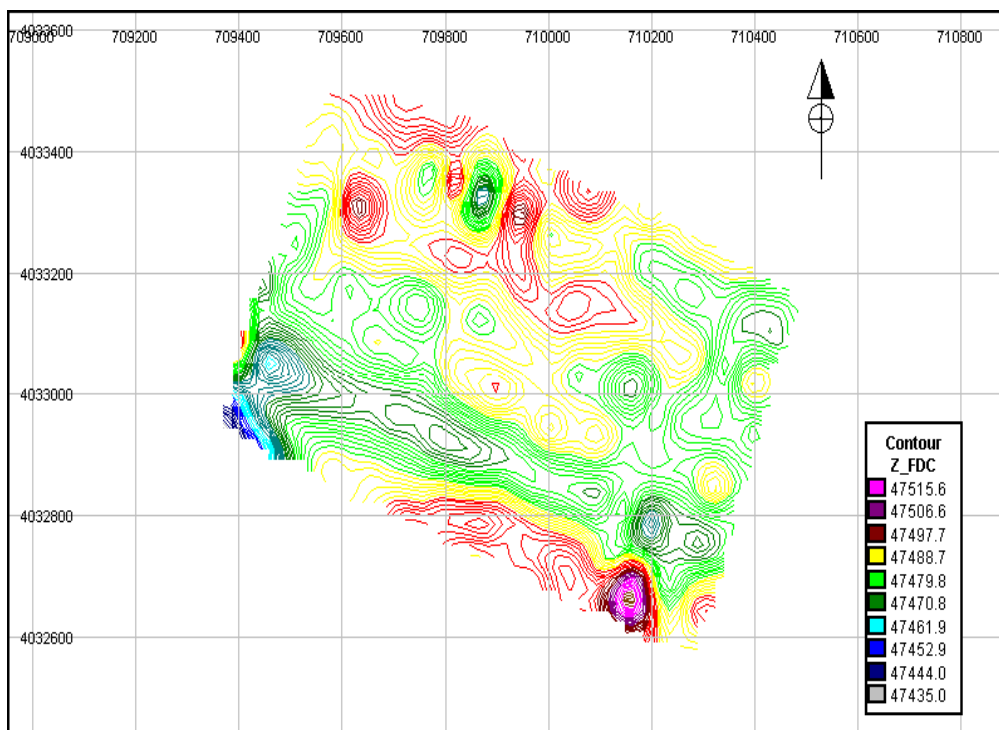
² upward

گسترش رو به پایین ۱۰، ۳۰ و ۵۰ متری و گسترش رو به بالا ۵۰ متری به ترتیب در شکل‌های (۳-۷)، (۳-۳-۸)، (۳-۹) و (۳-۱۰) آمده است.

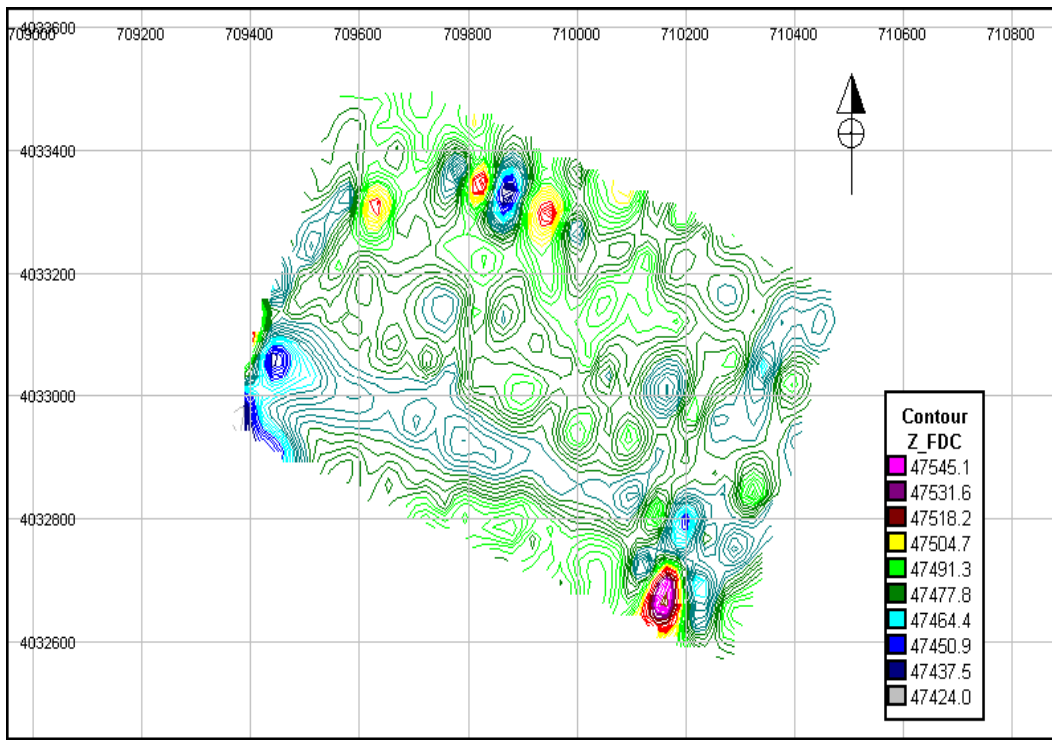
با بررسی نقشه شدت میدان مغناطیسی با اعمال فیلتر گسترش رو به پایین می‌توان شروع گسترش بی‌هنجاریهای مغناطیسی را از عمق کم تخمین زد. از طرف دیگر با بررسی نقشه شدت میدان مغناطیسی با اعمال فیلتر گسترش رو به بالا، گسترش عمقی بیشتری را برای بی‌هنجاری مغناطیسی واقع در جنوب شرقی منطقه می‌توان انتظار داشت. این بی‌هنجاریها احتمالاً در ارتباط با پیریت با مطالعه کانی‌سازی منطقه می‌باشد. با توجه به این که در حفاری به عمل آمده حضور پیریت همراه با کانی‌سازی سرب و روی مشاهده شده است، بی‌هنجاری که در جنوب شرقی نقشه قابل رویت می‌باشد، می‌تواند به عنوان بی‌هنجاری ارزشمندی مورد بررسی قرار گیرد.



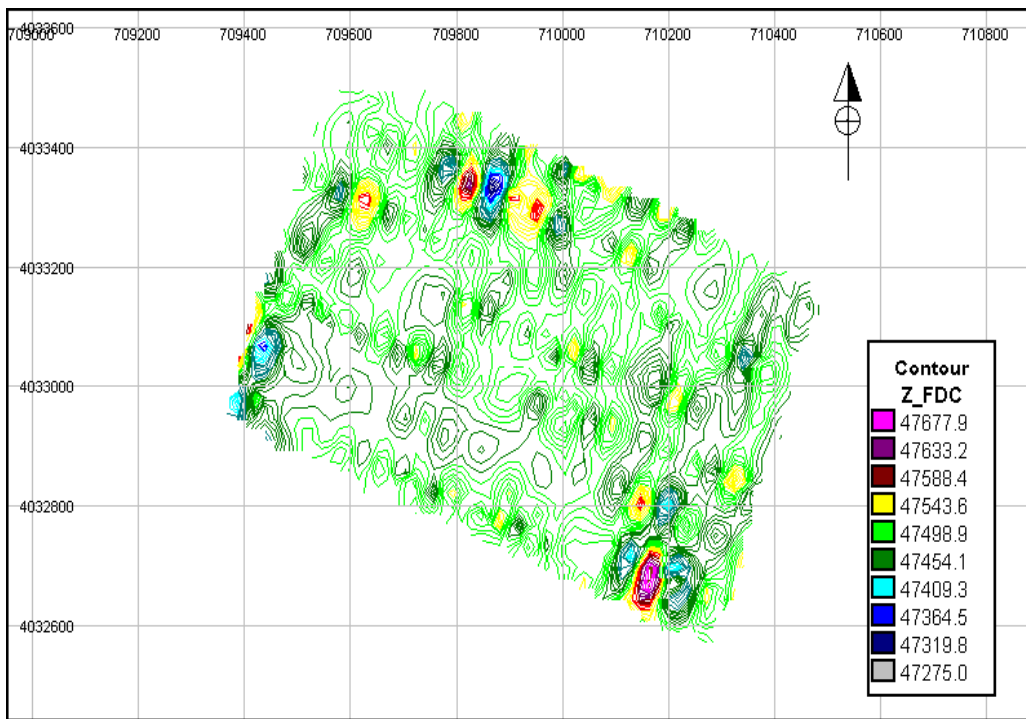
شکل ۳-۶: نقشه شدت میدان مغناطیسی در منطقه مورد مطالعه



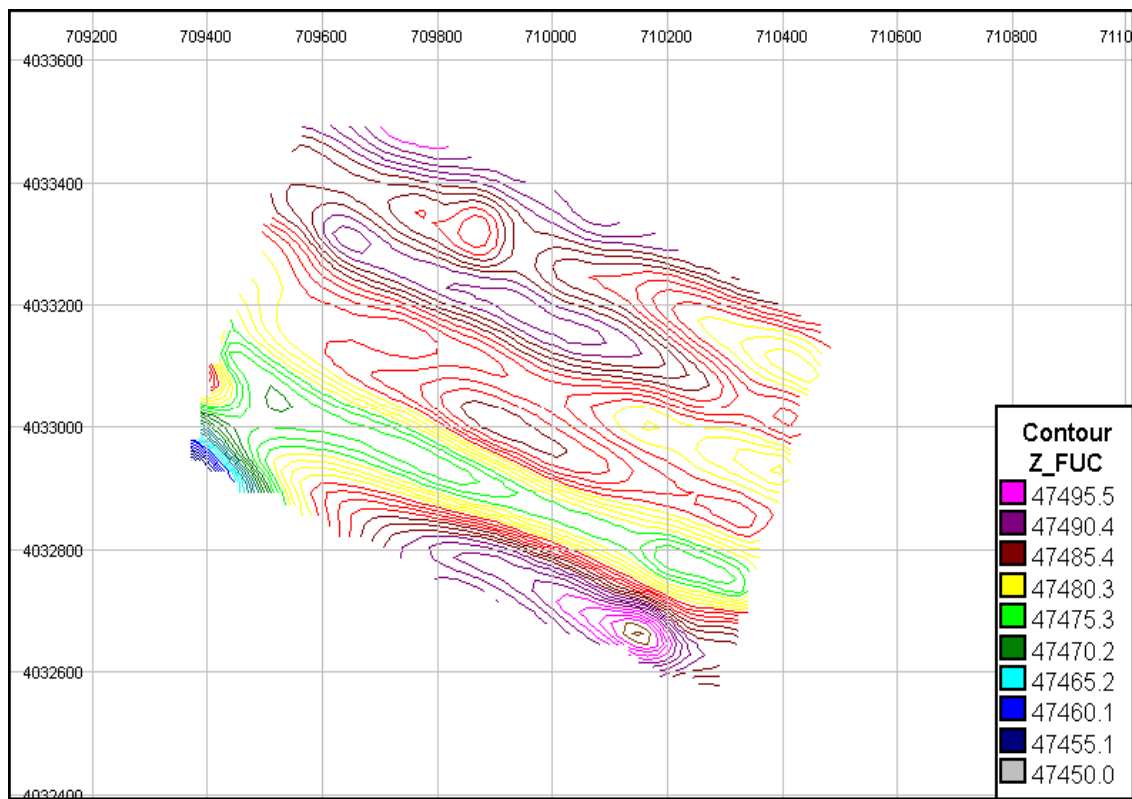
شکل ۳-۷: نقشه شدت میدان مغناطیسی با اعمال فیلتر گسترش رو به پایین (۱۰ متر)



شکل ۳-۸: نقشه شدت میدان مغناطیسی با اعمال فیلتر گسترش رو به پایین (۳۰ متر)



شکل ۳-۹: نقشه شدت میدان مغناطیسی با اعمال فیلتر گسترش رو به پایین (۵۰ متر)



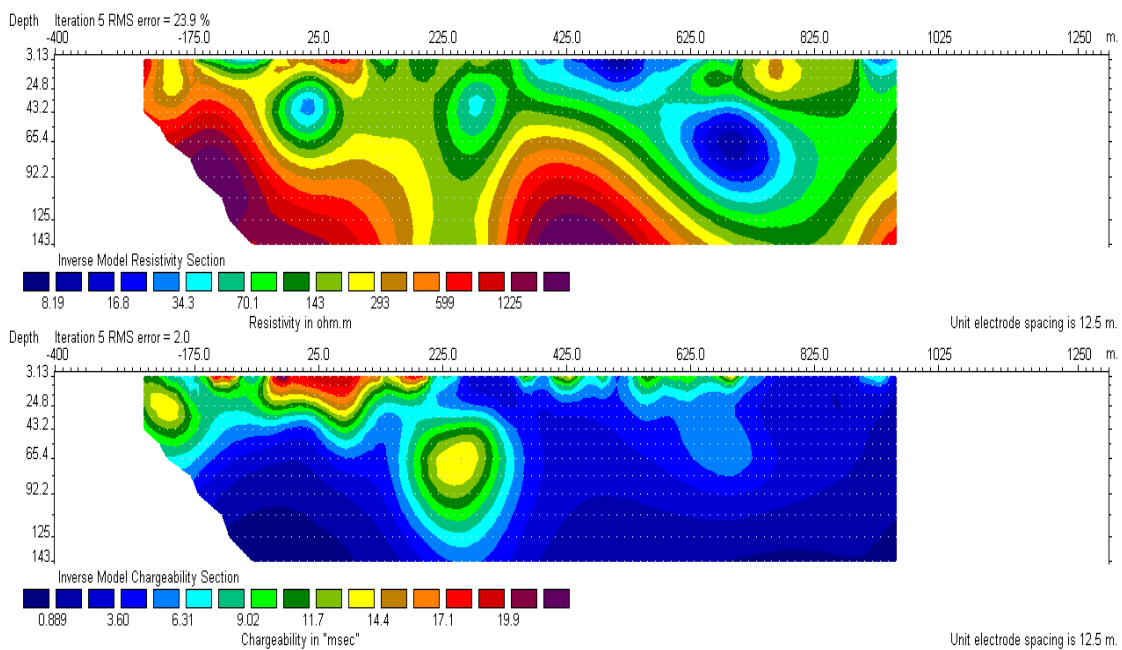
شکل ۳-۱۰: نقشه شدت میدان مغناطیسی با اعمال فیلتر گسترش رو به بالا (۵۰ متر)

۳-۴-۲- مدل سازی داده‌های قطبش القایی و مقاومت ویژه:

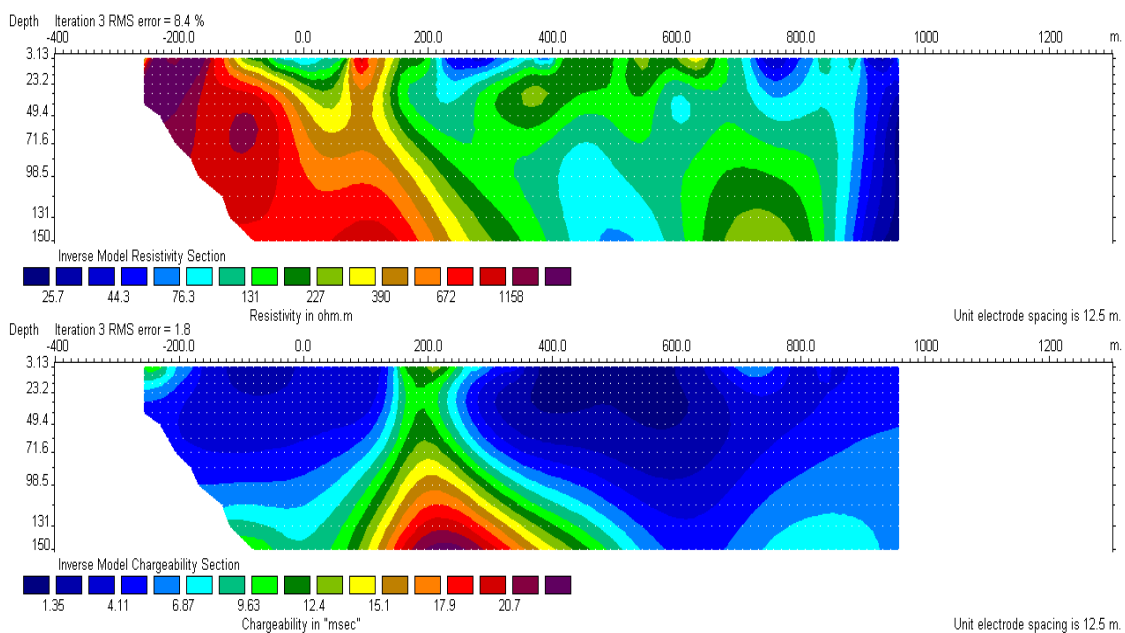
برای مدل سازی داده‌های قطبش القایی و مقاومت ویژه از نرم افزار Res2dinv استفاده شده است که مدل سازی قطبش القایی و مقاومت ویژه را به طور همزمان انجام می‌دهد. داده‌های قطبش القایی و مقاومت ویژه به دست آمده از به کارگیری آرایش های ونر (γ, β, α)، شلومبرژه، قطبی - قطبی، قطبی - دو قطبی و دوقطبی - دوقطبی در این نرم افزار قابل مدل سازی هستند (امکان تعریف آرایش های غیر مرسوم دیگری هم وجود دارد). در این نرم افزار مدل سازی معکوس، با روش اجزاء محدود و تفاضل محدود برای تعداد بسیار بالای داده های صحرائی قابل انجام است. امکان تصحیحات توپوگرافی روی شبکه نیز مقدور می باشد. در روش معکوس سازی داده های ژئوفیزیکی، هدف ارائه مدلی است که بیشترین تطابق را با داده های صحرائی داشته باشد. در حقیقت مدل بدست آمده بیانگر یک پاسخ ریاضی مطابق با ساختار زمین شناسی

می باشد. در فرآیند معکوس سازی در یک فرآیند تکرار پارامترهای مدل آن قدر تغییر می یابد تا بیشترین تطابق بین پاسخ مدل ارائه شده و داده های صحرائی حاصل گردد. مدل به دست آمده بایستی با داده های زمین شناسی تطبیق داده شود تا صحت آن نیز از نظر زمین شناسی مورد تأیید قرار گیرد [Loke 2001]. نتایج مدل سازی داده های قطبش القایی و مقاومت ویژه پروفیلها و تفسیر متناسب با آن ارائه گردیده است. در ادامه مقاطع افقی داده های قطبش القایی و مقاومت ویژه جهت انطباق با نقشه های اکتشافی و در نهایت تلفیق در GIS ارائه گردیده است.

نتایج مدل سازی پروفیل P-4N در شکل (۳-۱۱) آمده است. در بررسی نتایج مقاطع مدل سازی پروفیل مذکور حضور بی هنجاری با بارپذیری حدود ۱۲ میلی ثانیه و مقاومت ویژه کمتر از ۲۰۰ اهم متر در فاصله $X=200$ تا $X=300$ متری و گسترش عمقی ۵۰ تا ۱۰۰ متری قابل رویت است. اگر چه بارپذیری این بی هنجاری نسبت به زمینه که در حد ۳ میلی ثانیه است به راحتی قابل تفکیک و مشهود است اما در صورت ارتباط با کانی سازی فلزی نمی تواند بی هنجاری قابل توجهی باشد. بررسی نتایج مقاطع مدل سازی پروفیل P-3N (شکل ۳-۱۲) در شباهت با پروفیل P-4N بر حضور بی هنجاری با بارپذیری حدود ۱۴ میلی ثانیه در فاصله $X=175$ تا $X=300$ و گسترش عمقی ۵۰ تا بیش از ۱۵۰ متر دلالت دارد.



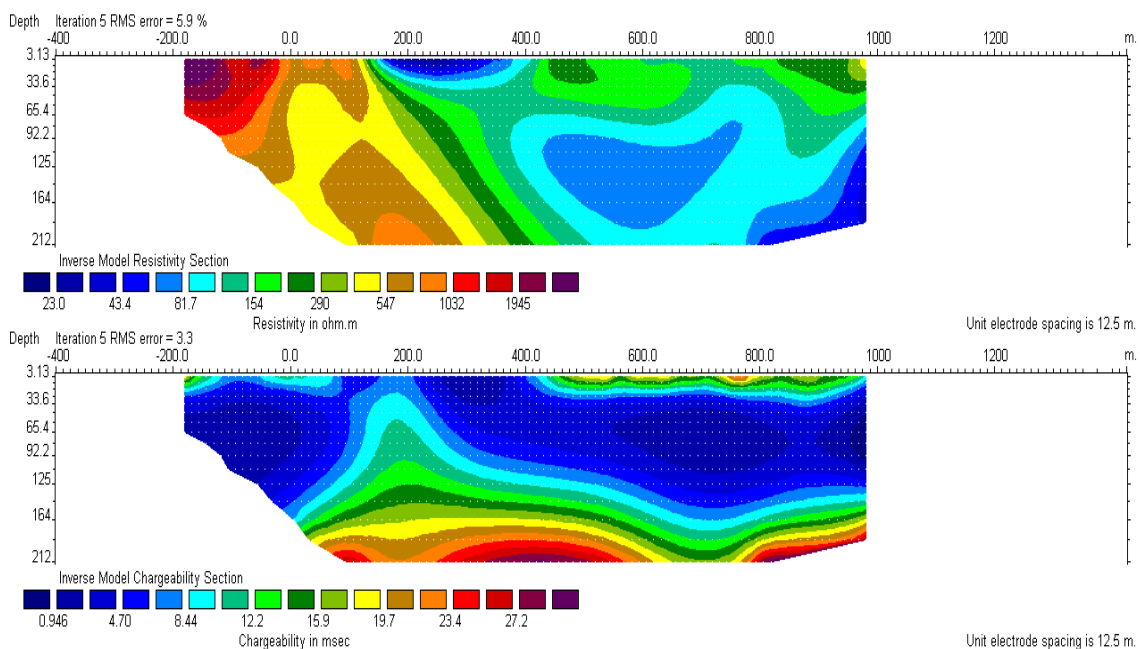
شکل ۳-۱۱: مقاطع مدل سازی قطبش القایی و مقاومت ویژه پروفیل P-4N



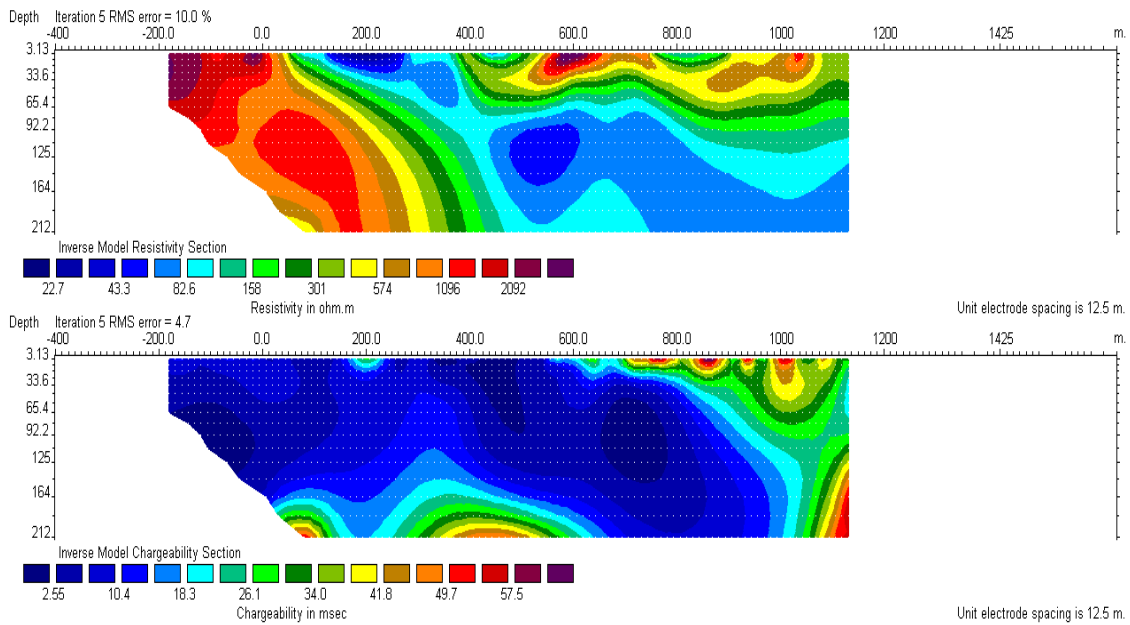
شکل ۳-۱۲: مقاطع مدل سازی قطبش القایی و مقاومت ویژه پروفیل P-3N

نتایج مدل سازی پروفیل‌های P-2N، P-1N و P-00 به ترتیب در شکل‌های ۳-۱۳، ۳-۱۴، ۳-۱۵ آمده است. بررسی نتایج مقاطع مدل سازی پروفیل‌های P-2N، P-1N و P-00 حاکی از تغییرات قطبش القایی در عمق

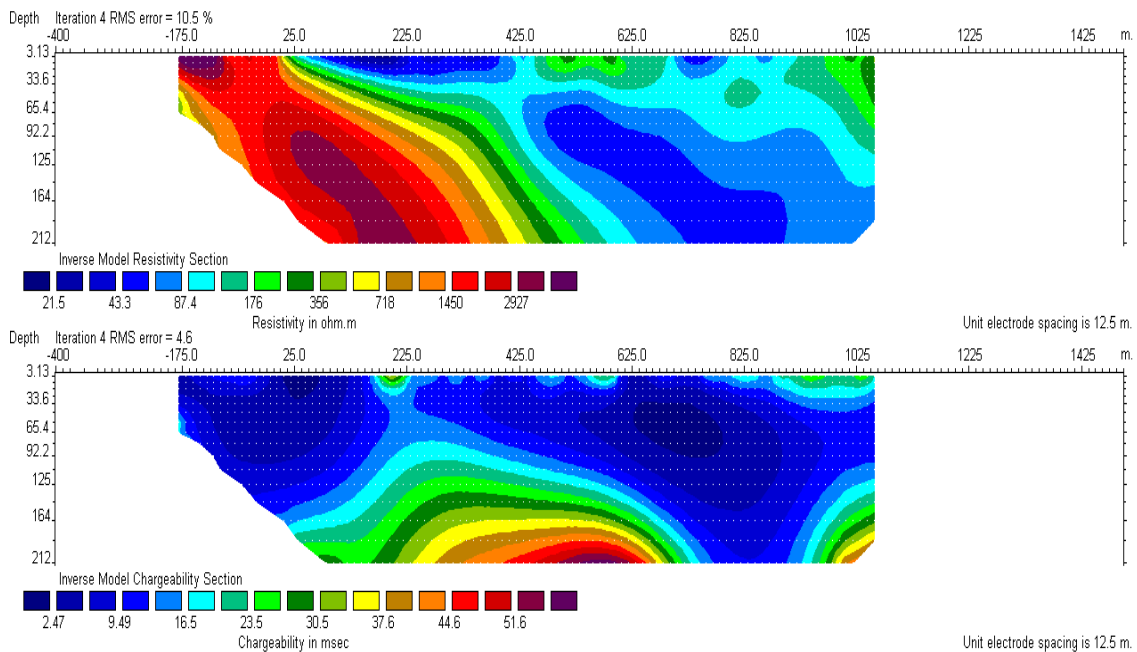
بیش از ۱۵۰ متر می باشد. میزان بار پذیری در پروفیل P-2N به بیش از ۲۰ میلی ثانیه می رسد که این میزان در پروفیل‌های P-00 و P-1N افزایش پیدا می کند. با توجه به حضور بی هنجاریهای مذکور در عمق بیش از ۱۵۰ متری نمی توان تخمین قابل قبولی از گسترش جانبی و عمقی این بی هنجاریها ارائه کرد. در یک نگاه کلی در مورد پروفیل‌های شمالی به نظر می رسد ناحیه با مقاومت ویژه پایین (زیر ۲۰۰ اهم متر) در شرق محدوده پروفیل‌های شمالی احتمالاً در ارتباط با حضور شیل، ماسه سنگ و رس بوده و مقاومت ویژه بالای بیش از چند صد اهم متر در غرب محدوده از دولومیتها متأثر است. گسترش دولومیت به عنوان میزبان اصلی کانی سازی در داخل ماسه سنگها با شیب نسبتاً زیاد از نتایج مدل سازی مقاومت ویژه در این پروفیلها قابل مشاهده است.



شکل ۳-۱۳: مقاطع مدل سازی قطبش القایی و مقاومت ویژه پروفیل P-2N



شکل ۳-۱۴: مقاطع مدل سازی قطبش القایی و مقاومت ویژه پروفیل P-1N



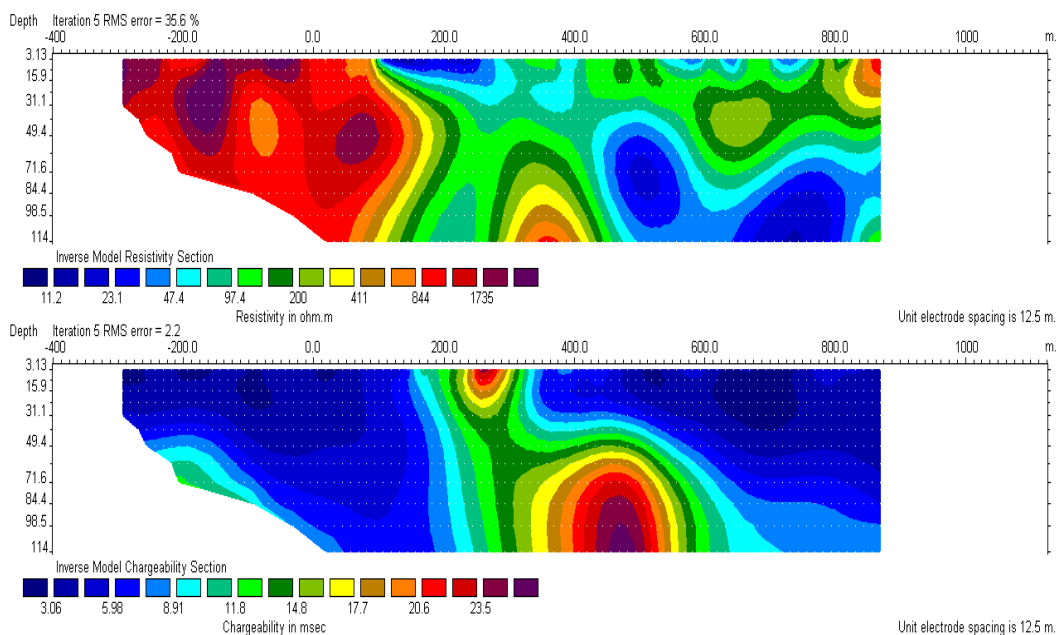
شکل ۳-۱۵: مقاطع مدل سازی قطبش القایی و مقاومت ویژه پروفیل P-00

نتایج مدل سازی پروفیل P-1S، P-2S و P-3S به ترتیب در شکل‌های ۳-۱۶، ۳-۱۷ و ۳-۱۸ آمده است.

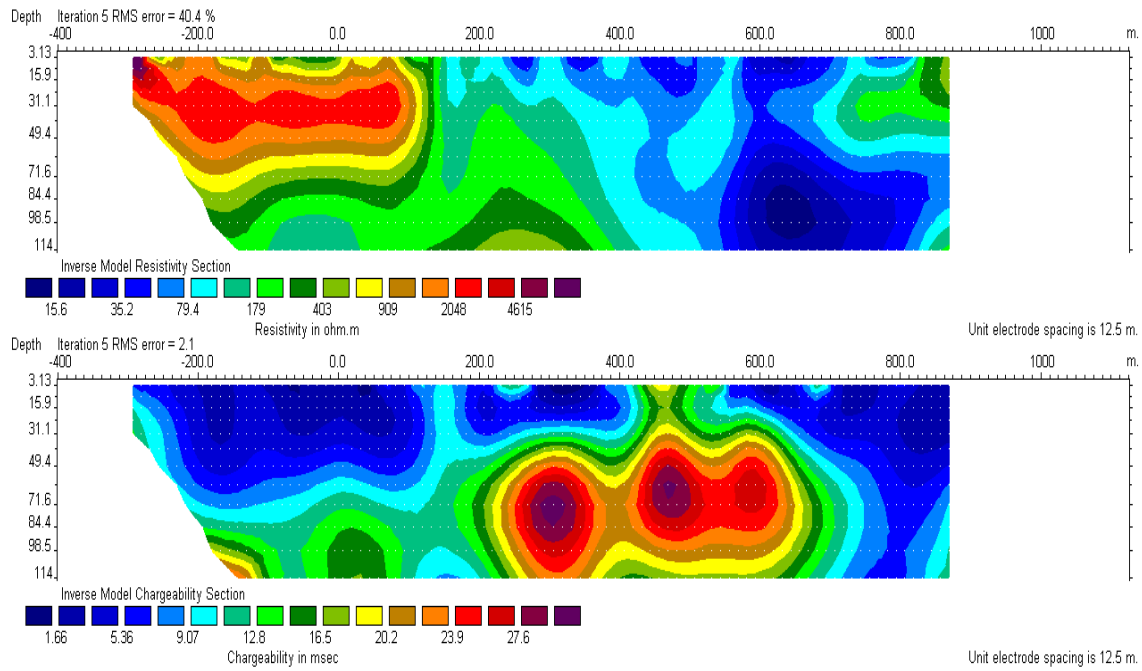
بررسی نتایج مقاطع مدل سازی پروفیل P-1S حاکی از حضور بی هنجاری با بارپذیری بیش از ۲۰ میلی ثانیه و مقاومت ویژه کمتر از ۷۰ اهم متر در فاصله $X=۳۵۰$ تا $X=۵۲۵$ متری و در گستره عمقی ۵۰ تا بیش از ۱۰۰ متری می باشد.

بررسی نتایج مقاطع مدل سازی پروفیل P-2S بیانگر بی هنجاری با بارپذیری تقریبی ۲۵ میلی ثانیه و مقاومت ویژه در حدود ۷۰ اهم متر در فاصله $X=۲۵۰$ تا $X=۶۰۰$ متری می باشد. همچنین بی هنجاری دیگری با بارپذیری حدود ۱۵ میلی ثانیه و مقاومت ویژه حدود ۲۰۰ اهم متر در گسترش از مبدأ تا $X=۵۰$ متری و عمق بیش از ۸۰ متری مشاهده می شود.

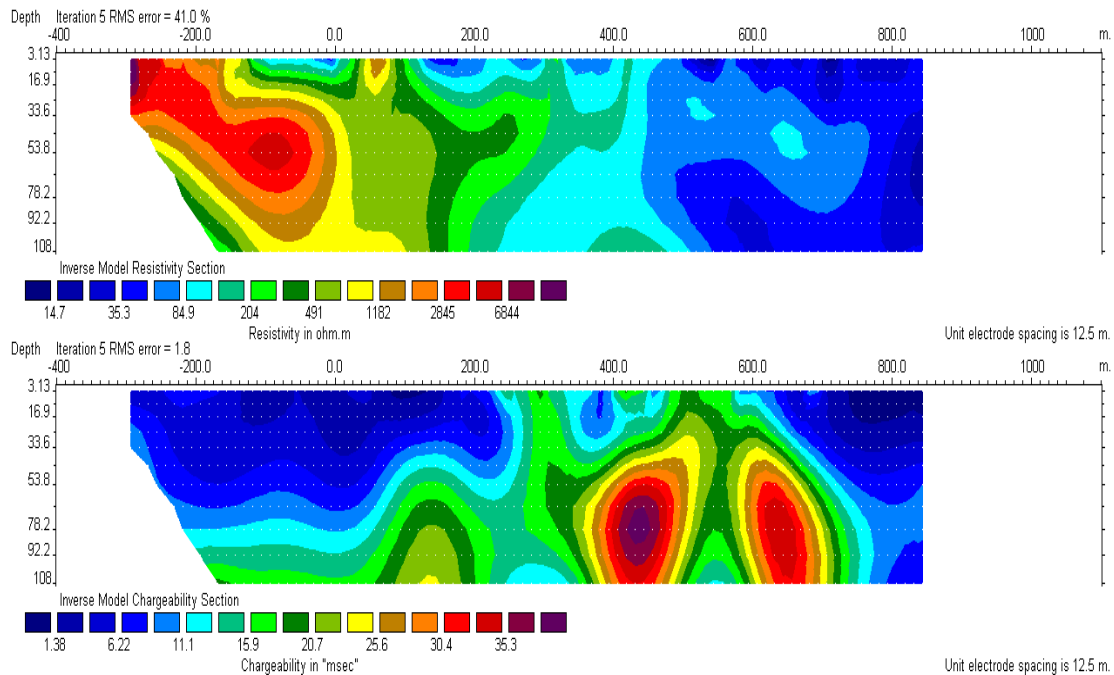
بررسی نتایج مقاطع مدل سازی پروفیل P-3S نیز بر حضور بی هنجاری با بارپذیری بیش از ۲۵ میلی ثانیه و مقاومت ویژه کمتر از ۸۰ اهم متر در فاصله $X=۳۷۵$ تا $X=۶۵۰$ متری و گستره عمقی ۴۰ تا بیش از ۱۰۰ متری دلالت دارد. همچنین حضور بی هنجاری دیگری در $X=۱۰۰$ تا $X=۱۵۰$ و عمق ۸۰ متری با بارپذیری حدود ۲۰ میلی ثانیه قابل مشاهده است.



شکل ۳-۱۶: مقاطع مدل سازی قطبش القایی و مقاومت ویژه پروفیل P-1S



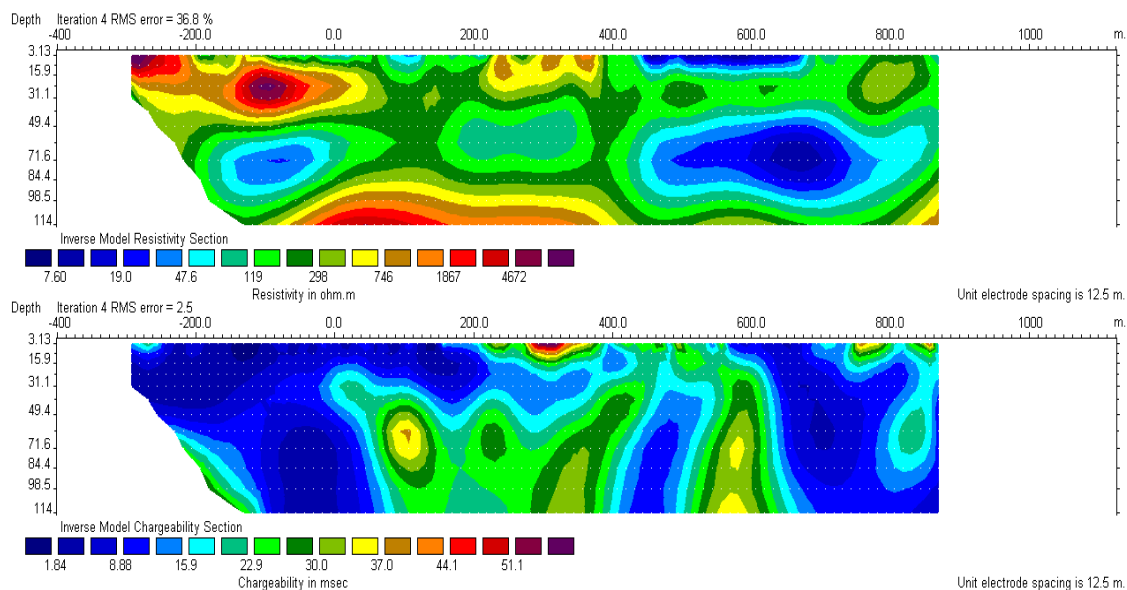
شکل ۳-۱۷: مقاطع مدل سازی قطبش القایی و مقاومت ویژه پروفیل P-2S



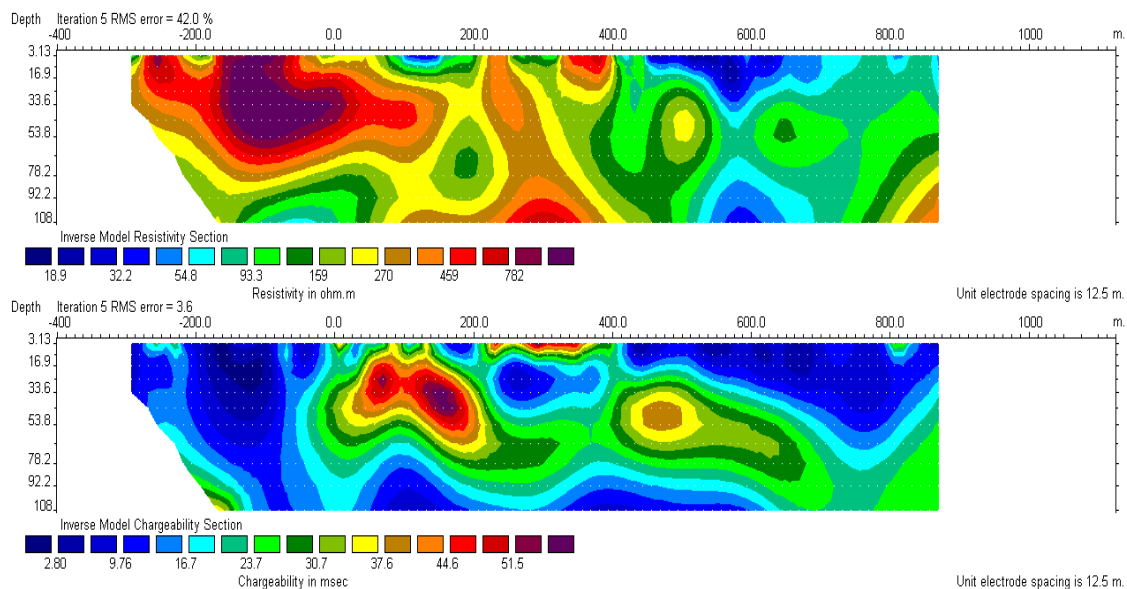
شکل ۳-۱۸: مقاطع مدل سازی قطبش القایی و مقاومت ویژه پروفیل P-3S

در یک نگاه کلی در مورد پروفیل‌های P-1S تا P-3S گسترش اصلی بی‌هنجاری در شرق پروفیل‌های مورد نظر قابل تفکیک است. ویژگی این بی‌هنجاری بارپذیری ۲۰ تا ۳۰ میلی‌ثانیه و مقاومت ویژه کمتر از ۸۰ اهم متر بوده که افزایش بارپذیری از پروفیل P-1S به سمت پروفیل P-3S مشاهده می‌گردد. گسترش اعظم این بی‌هنجاری منطبق بر واحد ماسه سنگی می‌باشد و برآورد مقاومت ویژه این بی‌هنجاری جهت تعیین ماهیت کانی‌سازی با توجه به حضور شیل، ماسه سنگ و رس به عنوان عامل اصلی کاهش مقاومت ویژه در شرق محدوده مشکل خواهد بود.

در نهایت نتایج مدل‌سازی پروفیل‌های P-4S و P-4.5S به ترتیب در شکل‌های ۳-۱۹ و ۳-۲۰ آمده است.



شکل ۳-۱۹: مقاطع مدل‌سازی قطبش القایی و مقاومت ویژه پروفیل P-4S



شکل ۳-۲۰- مقاطع مدل سازی قطبش القایی و مقاومت ویژه پروفیل P-4.5S

بررسی نتایج مقاطع مدل سازی پروفیل P-4S بر حضور بی هنجاری با گسترش $X=50$ تا $X=400$ متری و گستره عمقی ۴۰ تا بیش از ۱۰۰ متر با بارپذیری بیش از ۲۰ میلی ثانیه و مقاومت ویژه زیر ۳۰۰ اهم متر دلالت دارد. گسترش این بی هنجاری منطبق بر واحد دولومیتی که میزبان اصلی کانی سازی ماده معدنی است، می باشد. همچنین حضور بی هنجاری دیگری در $X=525$ تا $X=600$ متری با گسترش عمقی ۳۰ تا بیش از ۱۰۰ متر با بارپذیری بیش از ۳۰ میلی ثانیه و مقاومت ویژه کمتر از ۱۰۰ اهم متر قابل رویت می باشد.

نتایج مدل سازی پروفیل P-4.5S دلالت بر حضور بی هنجاری با بارپذیری بیش از ۳۵ میلی ثانیه و با گسترش از مبدأ تا $X=225$ متری و گستره عمقی ۱۰ تا ۶۰ متری دارد. مقاومت ویژه این بی هنجاری متغیر بوده و در گسترش $X=125$ تا $X=225$ به حدود ۲۰۰ اهم متر کاهش پیدا می کند. گسترش این بی هنجاری منطبق بر واحد دولومیتی که میزبان اصلی کانی سازی ماده معدنی است، می باشد و می تواند به عنوان اولویت نخست حفاری مورد توجه قرار گیرد. حضور بی هنجاری دیگری در طول این پروفیل در گسترش $X=400$ تا $X=600$ و در عمق ۳۰ تا ۷۰ متری با بارپذیری حدودی ۳۰ میلی ثانیه قابل رویت است. مقاومت

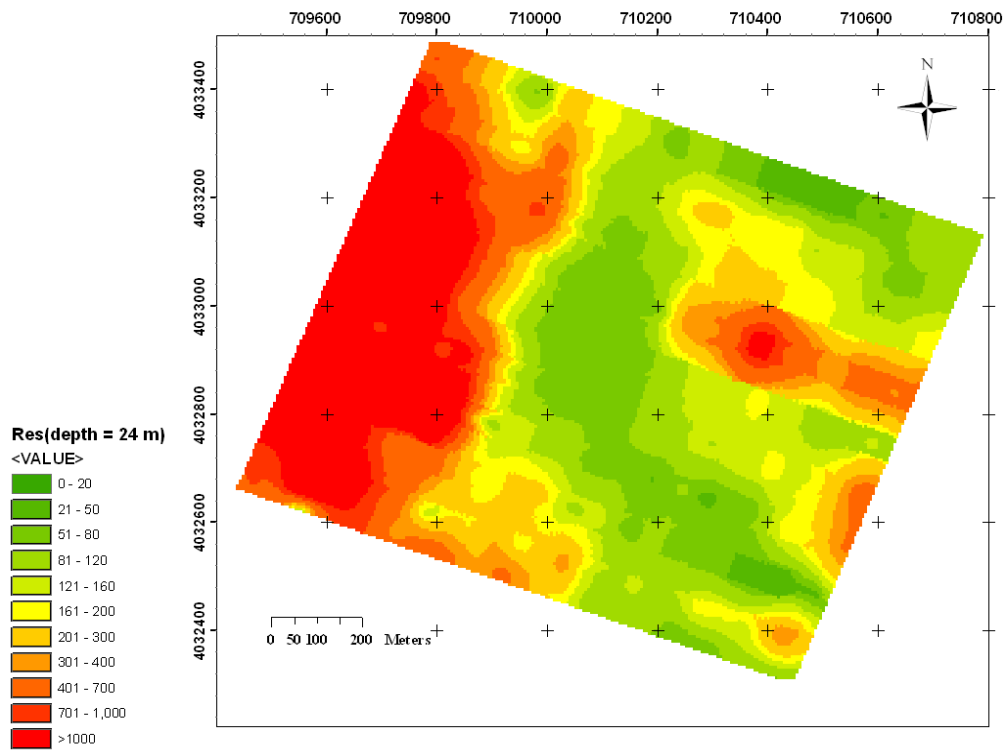
ویژه این بی‌هنجاری با توجه به حضور شیل، ماسه سنگ و رس به عنوان عامل اصلی کاهش مقاومت ویژه در این محل، به طور کلی پایین ولی نسبتاً متغیر است.

۳-۴-۳- ایجاد مقاطع افقی مقاومت ویژه و قطبش القایی

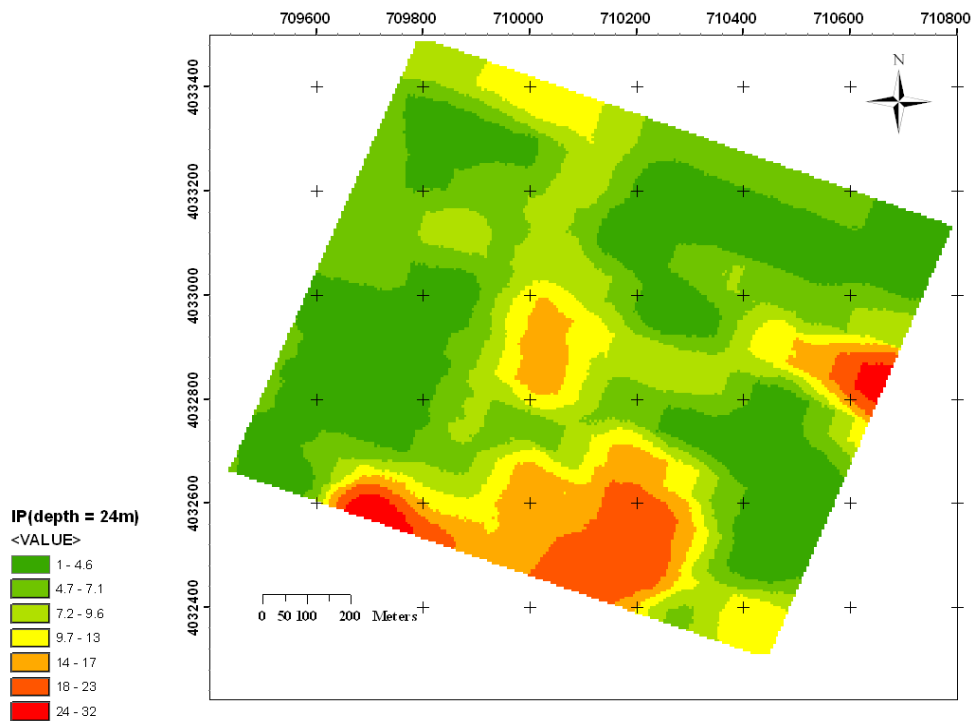
برای ایجاد مقاطع افقی مقاومت ویژه و قطبش القایی، نتایج عددی به دست آمده از مدل سازی هر یک از پروفیل‌ها از نرم افزار Res2dinv مورد استفاده قرار گرفت. بر اساس این نتایج مقادیر مدل سازی شده مقاومت ویژه و قطبش القایی در ده عمق ۹، ۱۶، ۲۴، ۳۲، ۴۱، ۵۲، ۶۳، ۷۵، ۸۵ و ۱۰۵ متری استخراج گردید. سپس با استفاده از نرم افزار Spatial Analyst در محیط نرم افزار Arc GIS مقاطع افقی هر یک از عمق‌های ذکر شده در بالا درون‌یابی و ترسیم شد و ده نقشه مقاومت ویژه و قطبش القایی در ده عمق مذکور تهیه گردید. مقاطع افقی مقاومت ویژه و قطبش القایی در عمق ۲۴، ۵۲، ۷۵ و ۱۰۵ متری به ترتیب در شکل‌های ۳-۲۱، ۳-۲۲، ۳-۲۳ و ۳-۲۴ آمده است.

در یک نگاه کلی در مورد مقاطع افقی مقاومت ویژه و قطبش القایی در اعماق مختلف می‌توان دو ناحیه مجزا و کاملاً متفاوت از نظر مقاومت ویژه (یکی با مقاومت ویژه بیش از ۷۰۰ اهم متر در غرب نقشه و دیگری با مقاومت ویژه کمتر از ۱۵۰ اهم متر در شرق نقشه) را به راحتی تفکیک کرد که ناحیه اول منطبق بر واحد دولومیتی و ناحیه دوم منطبق بر واحد ماسه سنگی و شیل می‌باشد. گسترش دولومیت به عنوان میزبان اصلی کانی سازی در داخل ماسه سنگها با شیب زیاد از مقاطع افقی مقاومت ویژه قابل مشاهده است. نکته قابل توجه کاهش مقاومت ویژه در جنوب غربی این مقاطع که منطبق بر واحد دولومیتی است، بوده که می‌تواند شواهدی بر حضور کانی سازی فلزی باشد. در مقاطع قطبش القایی می‌توان گسترش اصلی بی‌هنجاری در جنوب منطقه منطبق بر پروفیل‌های P-1S، P-2S، P-3S، P-4S و P-4.5S با بارپذیری بیش از ۲۰ میلی ثانیه را مشاهده کرد. میزان بارپذیری در برخی از نواحی به بیش از ۳۰ میلی ثانیه نیز می‌رسد.

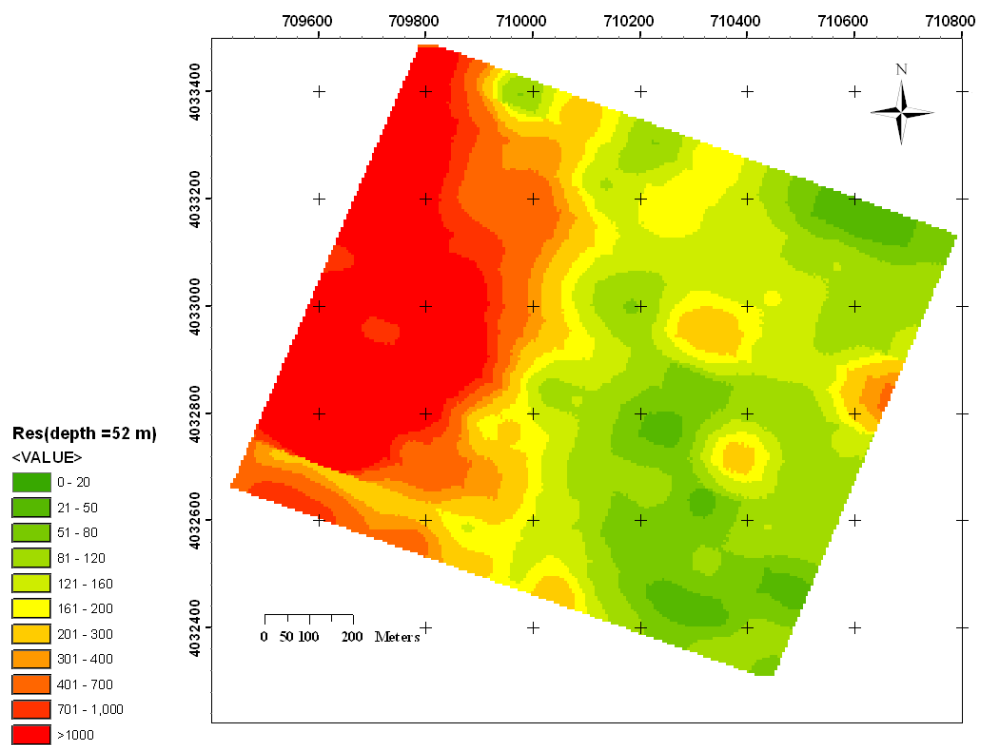
بخش اعظم گسترش شرقی این بی‌هنجاری که در امتداد پروفیل‌های P-1S تا P-4.5S مشاهده می‌شود منطبق بر واحد ماسه سنگی بوده و همپوشانی قابل توجهی با بی‌هنجاری مغناطیسی دارد که می‌تواند تأییدی بر حضور پیریت (با مطالعه کانی‌شناسی منطقه) در این محدوده باشد. از طرف دیگر گسترش غربی این بی‌هنجاری که در امتداد پروفیل‌های P-4S و P-4.5S قابل رویت است منطبق بر واحد دولومیتی که میزبان اصلی کانی‌سازی است بوده و کاهش مقاومت ویژه در این محدوده نیز می‌تواند شاهدی بر حضور کانی‌سازی فلزی قلمداد گردد. مقاطع افقی ترسیم شده مقاومت ویژه و قطبش القایی جهت تلفیق نهایی و ارائه نقشه ژئوفیزیک در فصل پنجم مورد استفاده قرار گرفته است. با توجه به این که نتایج حاصل از برداشتهای مغناطیسی اطلاعات بیشتری نسبت به نقشه‌های قطبش القایی ارائه نمی‌دهد در تلفیق نتایج ژئوفیزیکی دخالت داده نشده است.



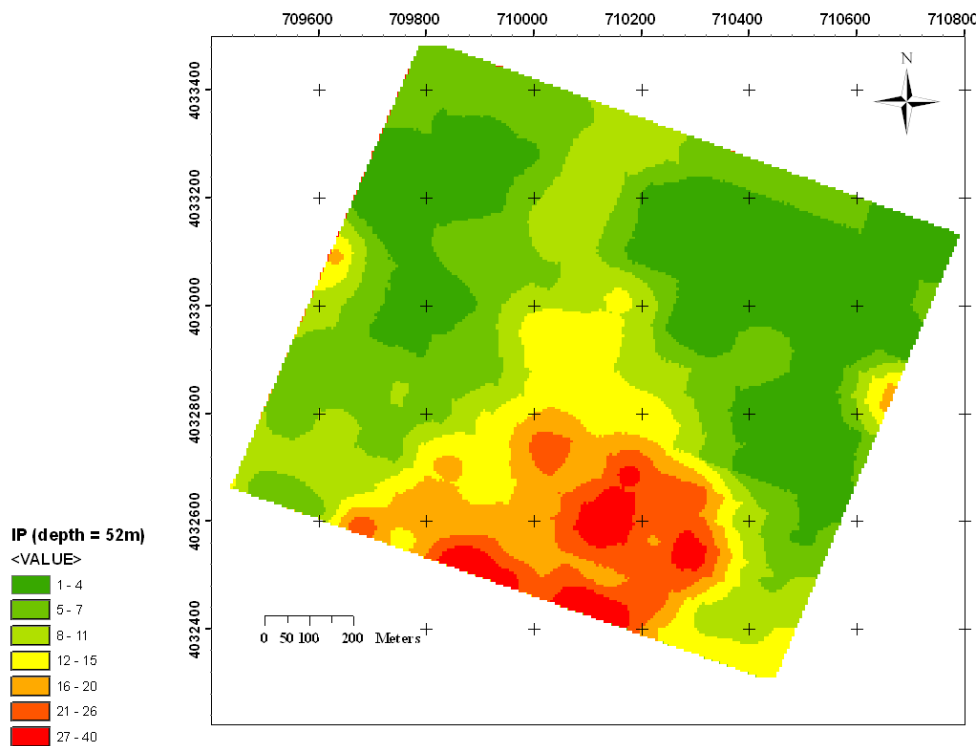
شکل ۳-۲۱ الف: نقشه مقاومت ویژه در عمق ۲۴ متری



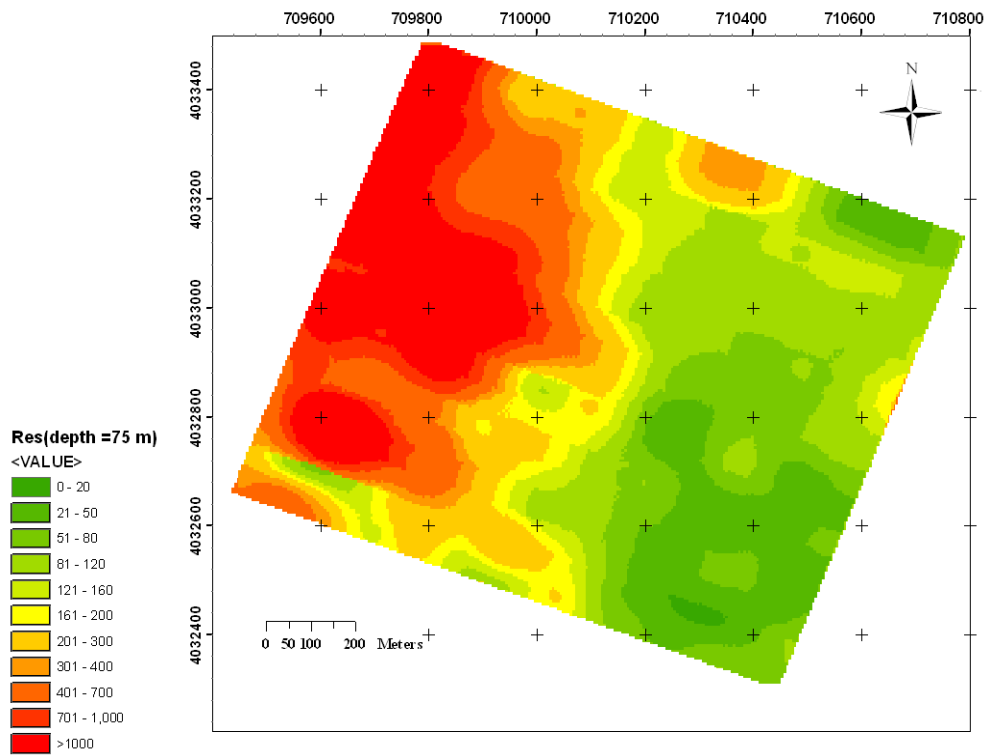
شکل ۳-۲۱ ب: نقشه قطبش القایی در عمق ۲۴ متری



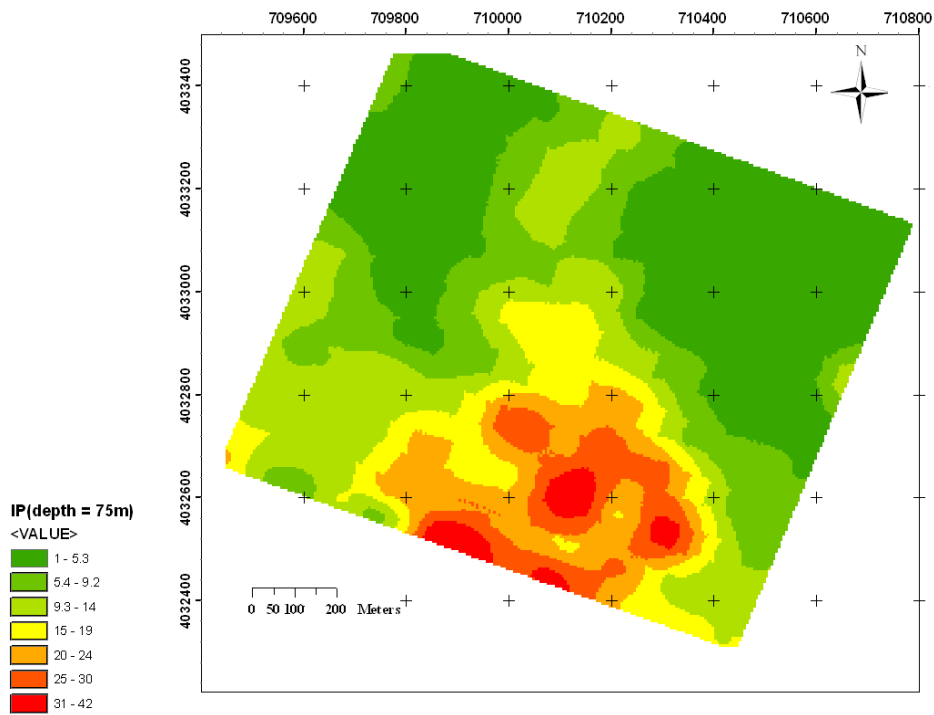
شکل ۳-۲۲-الف: نقشه مقاومت ویژه در عمق ۵۲ متری



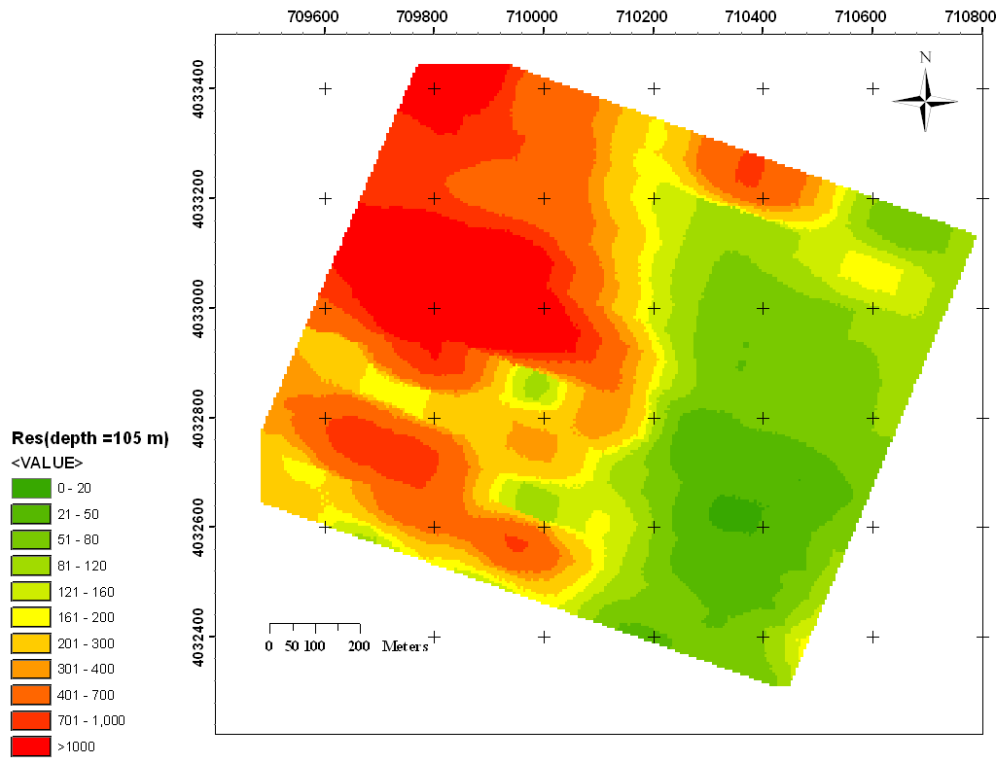
شکل ۳-۲۲-ب: نقشه قطبش القایی در عمق ۵۲ متری



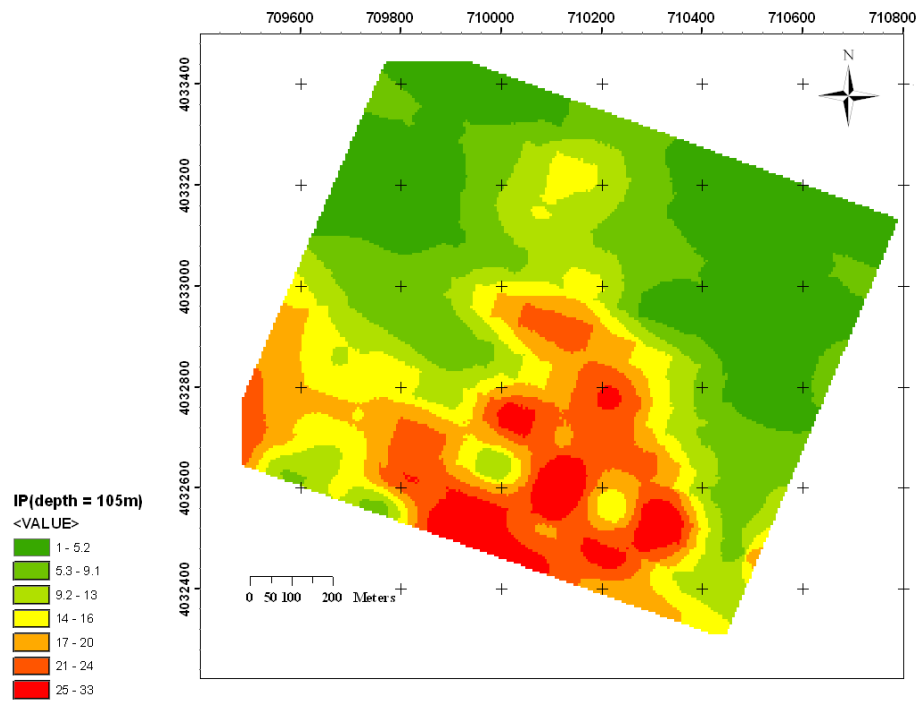
شکل ۳-۲۳-الف: نقشه مقاومت ویژه در عمق ۷۵ متری



شکل ۳-۲۳-ب: نقشه قطبش القایی در عمق ۷۵ متری



شکل ۳-۲۴-الف: نقشه مقاومت ویژه در عمق ۱۰۵ متری



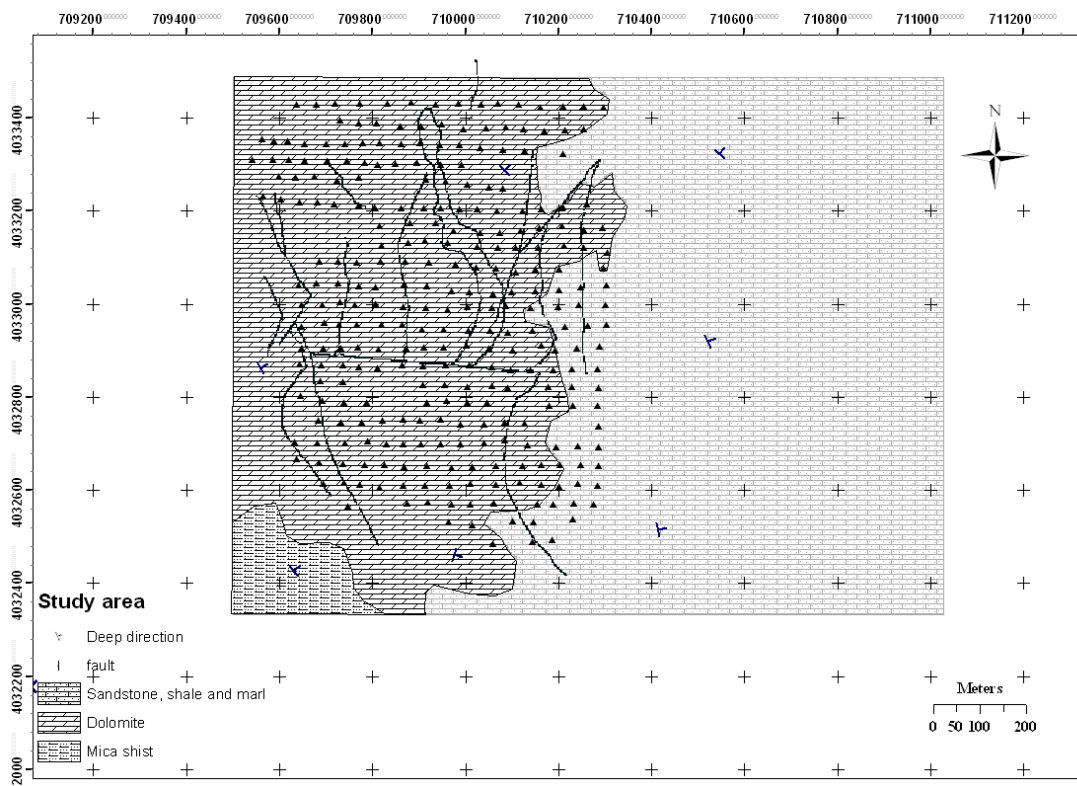
شکل ۳-۲۴-ب: نقشه قطبش القایی در عمق ۱۰۵ متری

فصل چهارم:

پردازش داده های ژئوشیمیایی

۴-۱- مقدمه

با توجه به نتایج حاصل از مطالعات زمین شناسی و اکتشافات ژئوفیزیکی، تعداد ۳۰۰ چال کم عمق در یک شبکه مربعی ۵۰ متر در ۵۰ متر (شکل ۴-۱) جهت مطالعات ژئوشیمیایی طراحی و با استفاده از دستگاه دریل واگن به مرحله اجرا در آمده است. عمق متوسط چالها ۱۰ متر بوده که از هر چال یک نمونه برای تجزیه اخذ و به آزمایشگاه ارسال شده است [کوثری ۱۳۸۵].



شکل ۴-۱: نقشه زمین شناسی و برداشت‌های ژئوشیمیایی در منطقه مورد مطالعه



شکل ۴-۲: چال های حفر شده [کوثری ۱۳۸۵]

۴-۲- آماده سازی و تجزیه نمونه ها

نمونه های اخذ شده پس از بسته بندی و شماره گذاری و سپس انجام عملیات خردایش و کاهش نمونه ها (با استفاده از تقسیم کن) جهت تجزیه به آزمایشگاه Amdel استرالیا ارسال شده اند [کوثری ۱۳۸۵]. کلیه نمونه ها در آزمایشگاه بین المللی Amdel استرالیا با استفاده از دستگاه ICP برای ۴۴ عنصر مورد تجزیه قرار گرفته اند. حد تشخیص Au ۱ ppb ، عناصر pb, Ba, Co, Cu, Zn, Sn, Te هر یک ۰/۲ ppm ، عناصر Tl, Rb, Cd, Bi, Mo, Sb, W, Sr هر یک ۰/۱ ppm ، عناصر Li, As, Nb, Ce ۰/۵ ppm ، Ti, Ca, Al, La, Mg, K, Na ۱۰ ppm و زیرکونیوم ۵ ppm ، گوگرد ۵۰ ppm ، نقره ppm ۰/۰۱ و بالاخره U , Th , Y و ۰/۰۲ ppm Hg ، ۰/۰۵ ppm می باشد [کوثری ۱۳۸۵].

۴-۳- پردازش داده های سنسورد

به طور کلی داده های سنسورد به کلیه داده هایی اطلاق می شود که از حد حساسیت دستگاه آنالیز کننده پایین تر و یا بالاتر بوده و بنابراین با علامت کوچکتر از حداقل یا بزرگتر از حداکثر در مجموعه داده ها به نمایش در آمده اند. به منظور معنادار کردن محیط داده ای معمولاً چنین داده هایی را به روش های گوناگون جایگزین می نمایند. در این پژوهش داده های کوچکتر از حداقل به روش جایگزینی ساده با فرمول $X=3/4X_{min}$ جایگزین شدند [حسنی پاک ۱۳۸۰]. با توجه به اینکه روش آنالیز ICP است، روش مذکور در تجزیه حد غلظتهای بالا محدودیتی نداشته و بنابراین صرفاً مقادیر پایین تر از حد حساسیت جایگزین گردیده اند. بایستی توجه داشت اگر تعداد داده های سنسورد یک جامعه آماری آنقدر زیاد باشد که با جایگزینی یک زمینه کاذب بوجود آید این مجموعه آماری دچار نقصان بوده و نمی توان به آن یک جامعه آماری گفت. با توجه به اینکه عناصر Au, Be, La, Sc, Zr, Hg, B, Bi, Sn, Te, Nb با بیش از ۱۰۰ نمونه سنسورد همراه بوده اند، در تحلیل های بعدی دخالت داده نشده است.

۴-۴- جدایش مقادیر خارج از رده

همیشه تعدادی از داده ها در یک جامعه آماری در رده بالای ناهنجاری و تعدادی در بخش کاملاً عقیم قرار می گیرند. به منظور کاهش تاثیر چنین داده هایی بر کل جامعه معمولاً آنها را قبل از هر چیز در جامعه آماری جایگزین می نماییم. در این پژوهش روش دورفل مورد توجه قرار گرفته است. برای انجام آزمون مقادیر خارج از ردیف، میانگین (\bar{x}) و انحراف معیار داده ها (s) بدون در نظر گرفتن بزرگترین مقدار داده ها محاسبه می شود. سپس بزرگترین مقدار داده ها (x_A) در صورتی که در رابطه زیر صدق کند یک مقدار خارج از ردیف در نظر گرفته می شود [حسنی پاک ۱۳۸۰]:

$$x_A \geq \bar{x} + s.g \quad (1-4)$$

که در آن g حد آستانه ای مقادیر خارج از ردیف است که برای ۳۰۰ نمونه و سطح اعتماد ۹۵٪ مقدار g برابر با ۴ می باشد [حسنی پاک ۱۳۸۰]. لذا با به کارگیری رابطه ۴-۱ مقادیر خارج از رده شناسایی و جایگزین شدند.

۴-۵- توزیع عناصر

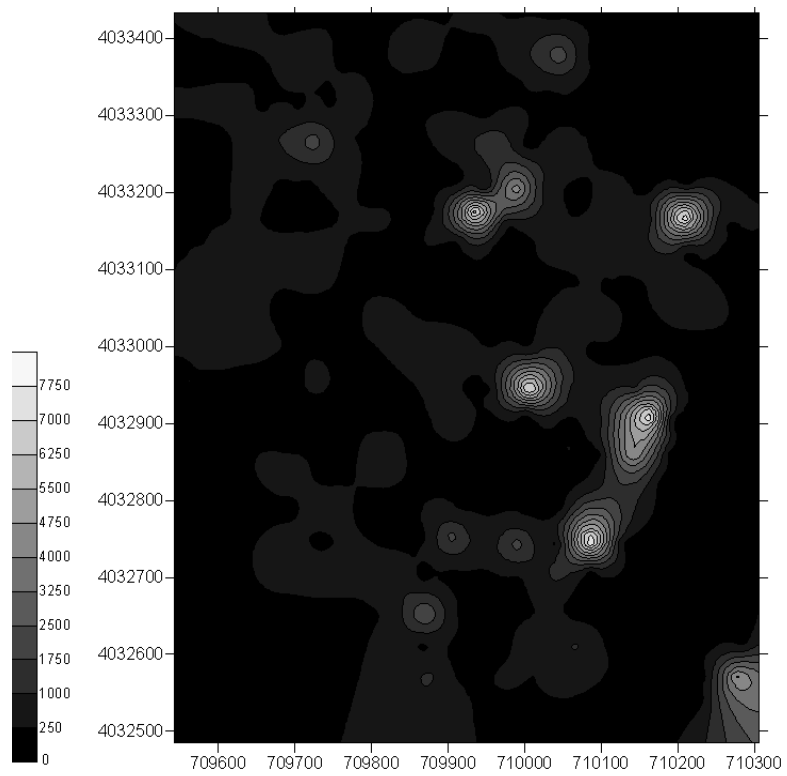
نقشه های توزیع عناصر پاراژنز در واقع نشان دهنده مناطق پتانسیل دار عناصر پاراژنز می باشند. سرب در محدوده کانسار از توزیع و تمرکز بالایی برخوردار است. نقشه توزیع سرب (شکل ۴-۳)، بی هنجاریهای این عنصر در شرق نقشه با امتداد کلی شمالی -

جنوبی و منطبق بر واحد دولومیتی نشان می‌دهد. همچنین بی‌هنجاری‌های عنصر روی به عنوان عنصر اصلی و هم‌خانواده سرب نیز با روند شمالی - جنوبی و گسترش بیشتر (شکل ۴-۴) نسبت به سرب قابل تفکیک بوده و انطباق جغرافیایی محدوده‌های بی‌هنجاری آنها نیز قابل توجه است.

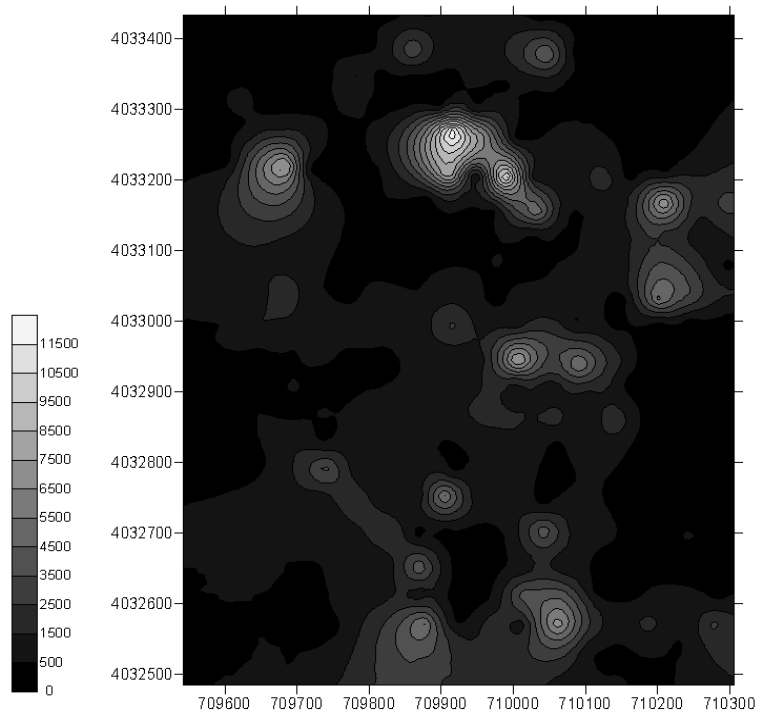
نقشه توزیع نقره در شکل ۴-۵ آورده شده است. اگر چه نقره از عبار بالایی در محدوده اکتشافی برخوردار نیست، ولی انطباق نزدیک و معنی‌داری با عناصر سرب و روی دارد. گسترش بی‌هنجاریهای این عنصر در شرق نقشه با امتداد شمال شرقی - جنوب غربی قابل رویت می‌باشد.

توزیع غلظت مس (شکل ۴-۶) در منطقه تقریباً در حد زمینه سنگهای در برگیرنده می‌باشد. نقشه توزیع کادمیم (شکل ۴-۷) نیز بر گسترش بی‌هنجاریهای این عنصر در شمال منطقه دلالت دارد. در نهایت نقشه‌های توزیع عنصر آنتیموان در شکل ۴-۸ آورده شده است. گسترش بی‌هنجاریهای این عنصر در جنوب منطقه قابل مشاهده است.

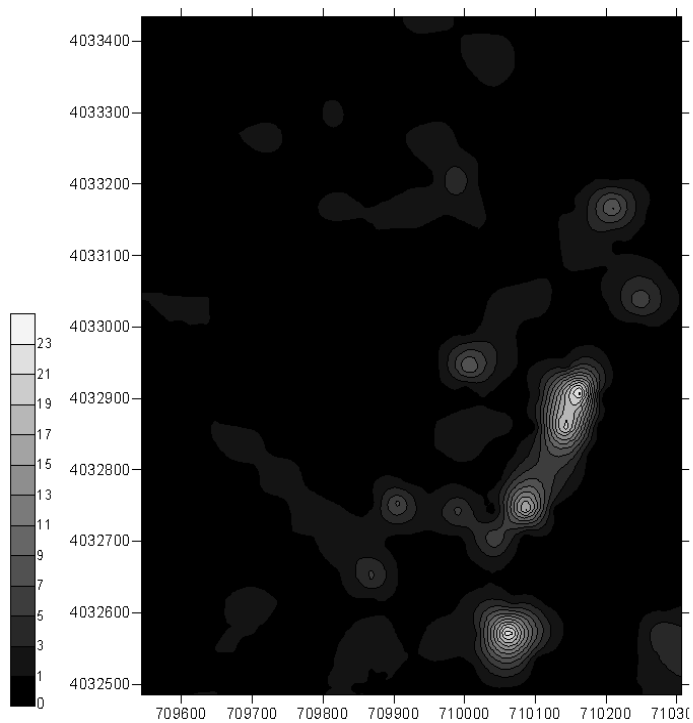
به طور کلی روند انتشار محدوده‌های تمرکز یافته عناصر پاراژنز سرب و روی اغلب بر روند عمومی گسلهای منطقه (شمالی - جنوبی) منطبق بوده و بیشترین تمرکز بی‌هنجاری‌ها در نیمه شرقی منطقه و منطبق بر سنگهای دولومیتی می‌باشد.



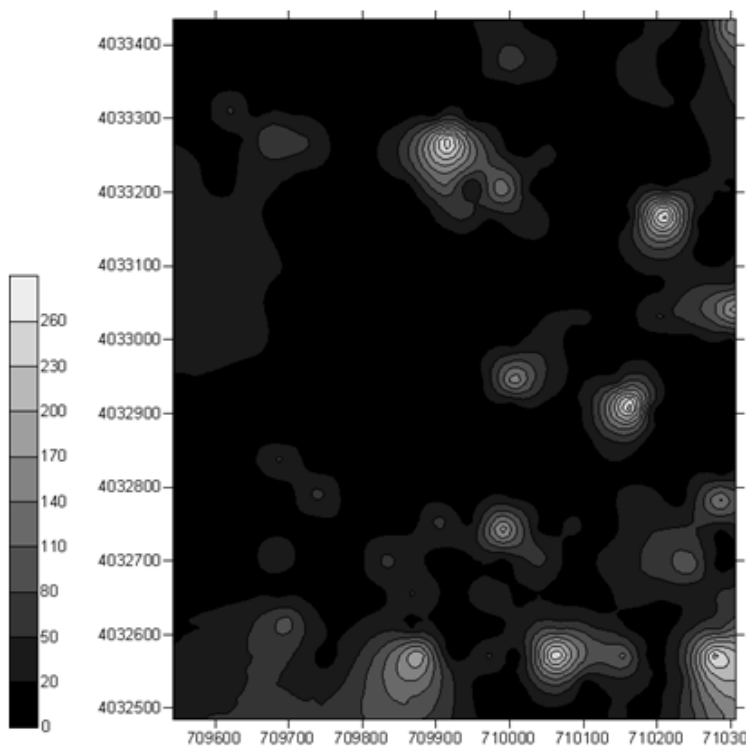
شکل ۳-۴: نقشه توزیع عنصر سرب بر حسب ppm



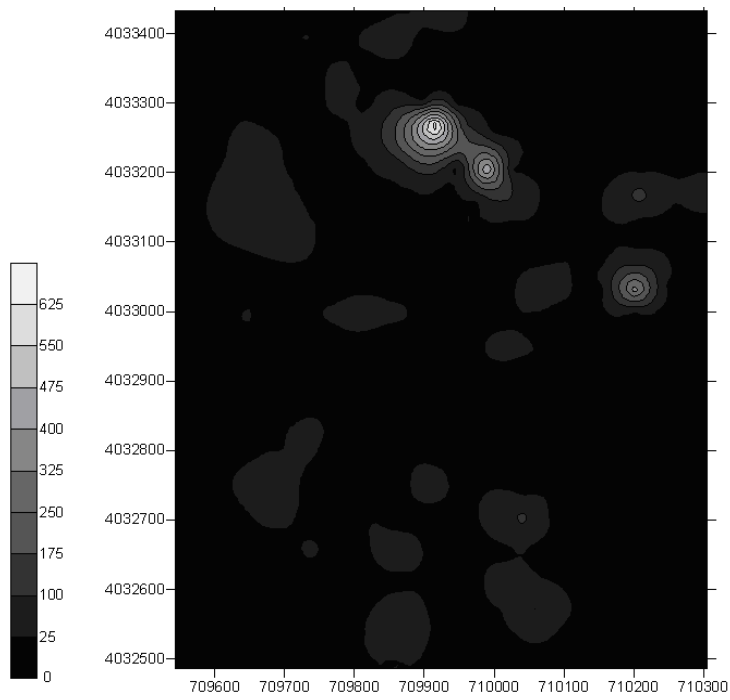
شکل ۴-۴: نقشه توزیع عنصر روی بر حسب ppm



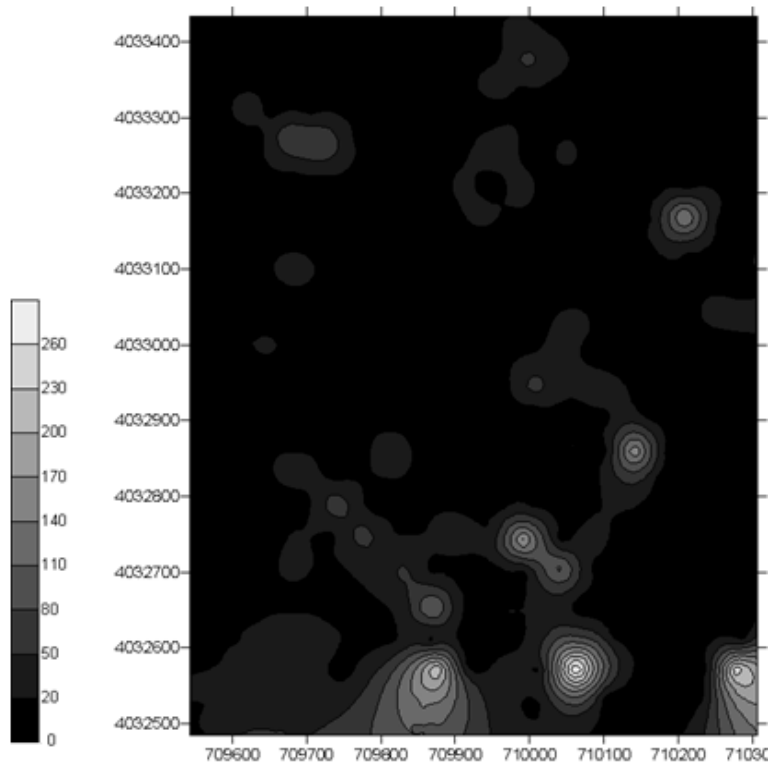
شکل ۴-۵: نقشه توزیع عنصر نقره بر حسب ppm



شکل ۴-۶: نقشه توزیع عنصر مس بر حسب ppm



شکل ۴-۷: نقشه توزیع عنصر کادمیم بر حسب ppm



شکل ۴-۸: نقشه توزیع عنصر آنتیموان بر حسب ppm

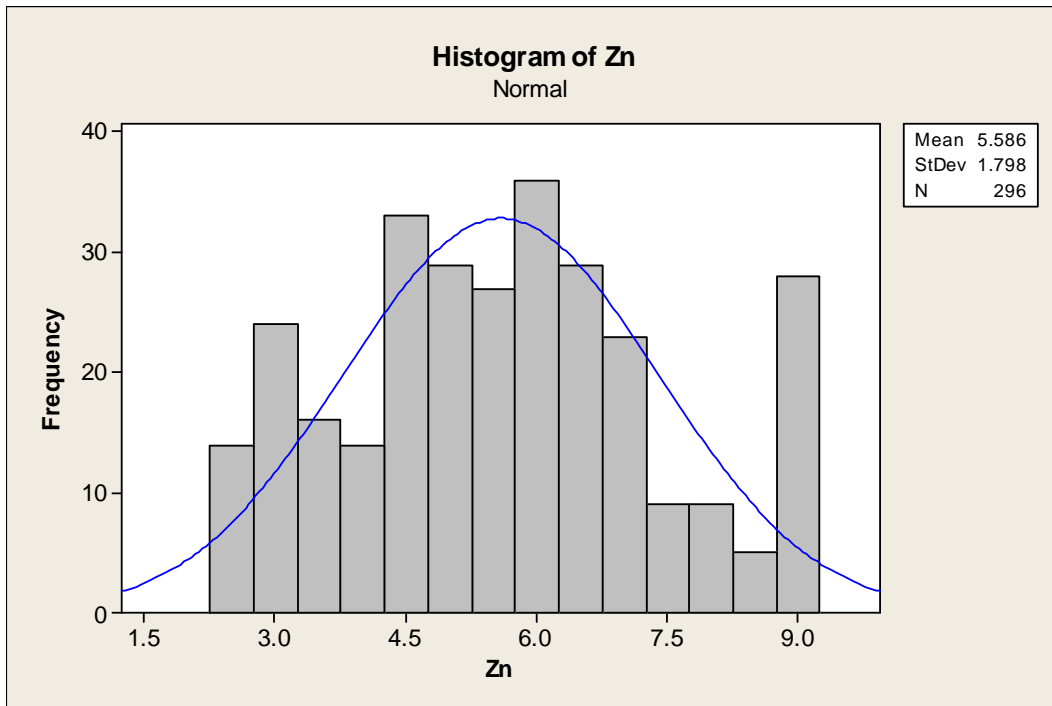
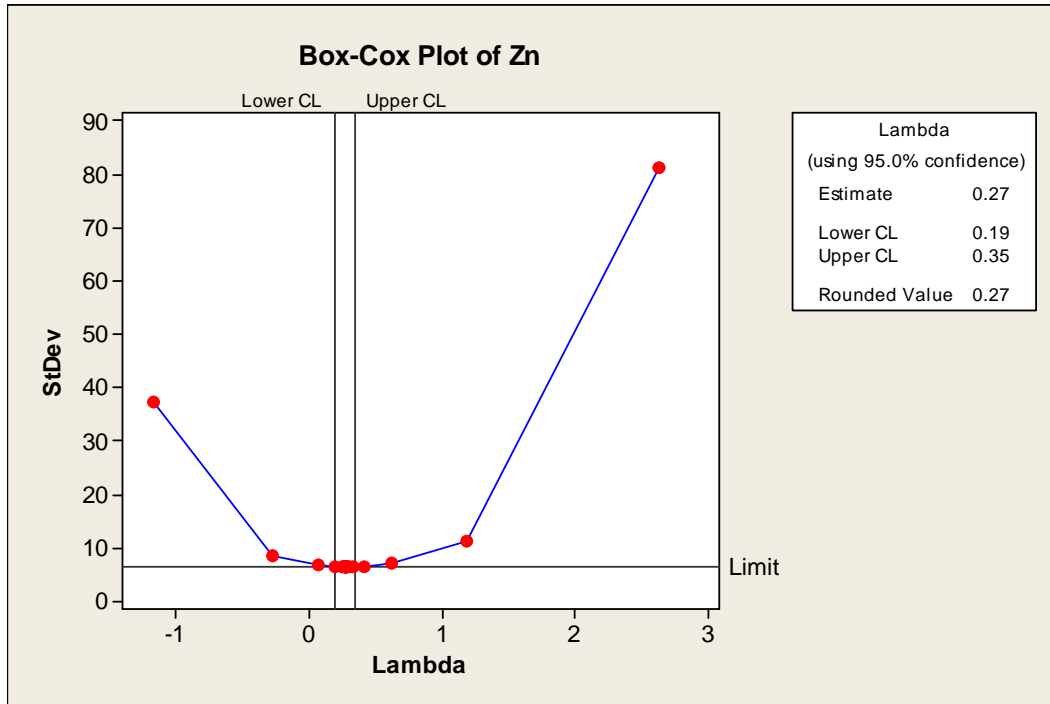
۴-۶- نرمال سازی توزیع عناصر

برای نرمال سازی داده های جوامع لاگ نرمال از چندین روش می توان استفاده نمود. یکی از روشهای مرسوم روش گرفتن لگاریتم از داده های جوامع لاگ نرمال است. روش دیگر روش کاکس و باکس می باشد که در این پروژه مورد توجه قرار گرفته است. این تبدیل یکی از تبدیلات مهمی است که بسیاری از توابع توزیع را می پوشاند. لذا تا حدود زیادی می تواند داده ها را به توزیع نرمال نزدیک کند. شکل کلی این تبدیل به صورت زیر است [حسنی پاک ۱۳۸۰]:

$$z = \begin{cases} \frac{x^\lambda - 1}{\lambda} (\lambda \neq 0), x > 0 \\ \ln(x) (\lambda = 0), x > 0 \end{cases}$$

که در آن X : مقدار داده هایی که باید نرمال شوند. λ : یک مقدار حقیقی Z : مقدار تبدیل یافته است.

در این پژوهش ابتدا بهینه مقدار λ به ازای کمینه مقدار انحراف معیار محاسبه شده است. نمودار تغییرات انحراف معیار بر حسب λ برای عنصر روی به عنوان نمونه در شکل ۴-۹ آمده است. مقدار λ برابر با ۰/۲۷ بهینه مقدار λ در معادله ۴-۲ برای عنصر مذکور می باشد. در ادامه هیستوگرام توزیع عنصر روی با اعمال رابطه ۴-۲ در شکل ۴-۱۰ آمده است. برای بقیه عناصر نیز به طور مشابه ابتدا بهینه مقدار λ محاسبه شده و سپس توزیع آنها نرمال گردیده است.



شکل ۴-۱۰- هیستوگرام توزیع نرمال عنصر zn

۴-۷- مطالعات چند متغیره

۴-۷-۱- مقدمه

با توجه به پیچیدگی های حاکم بر اصول فیزیکی و شیمیایی تشکیل انباشته های معدنی، شناخت ارتباط و بستگی های ژنتیکی متقابل بین عناصر می تواند نقش مهمی در بررسی دقیق تر تغییرات موجود در محیط های ژئوشیمیایی ایفا نماید و از طرف دیگر تجمع ژنتیکی برخی از عناصر ممکن است به عنوان راهنمای مستقیمی در تفسیر نوع نهشته ای که در ناحیه وجود دارد به کار گرفته شود. بدین منظور روش های تحلیل چند متغیره جهت تعیین رفتار شیمیایی عناصر پاراژنز در منطقه چیچلکو مورد توجه قرار گرفته است. روش های چند متغیره به بررسی همزمان چند متغیره و استنباطهای ناشی از آن می پردازد [حسنی پاک ۱۳۸۰]. از روش های رایج در این زمینه می توان به روش تحلیل خوشه ای^۱ و تحلیل فاکتوری^۲ اشاره کرد.

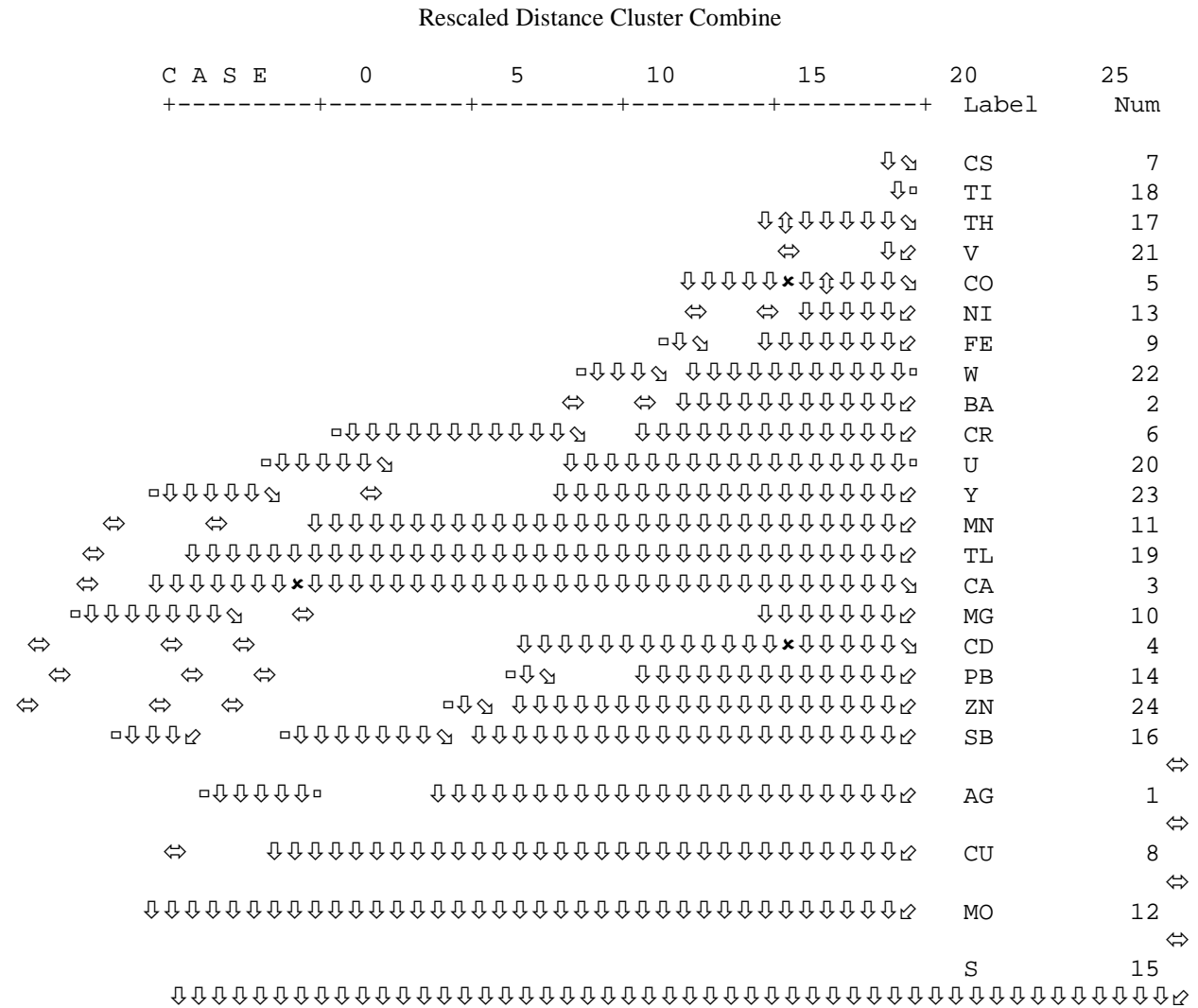
۴-۷-۲- تحلیل خوشه ای

در تحلیل خوشه ای، هدف دست یافتن به ملاکی برای طبقه بندی هرچه مناسب تر متغیرها و یا نمونه ها بر اساس تشابهات درون گروهی و اختلافات برون گروهی است. در این روش سعی بر آن است که متغیرها و نمونه ها به صورت خوشه هایی که حداکثر تشابه را بین خود و بیشترین اختلاف را با خوشه های دیگر دارند تقسیم شود [حسنی پاک ۱۳۸۰]. برای محاسبه میزان تشابه (تشکیل ماتریس شباهت) سه روش اصلی ضرایب فاصله، ضرایب همبستگی و ضرایب اتحاد وجود دارد که ضرایب همبستگی روشی است که در این پژوهش مورد توجه قرار گرفته است. از طرف دیگر برای خوشه بندی داده ها روشهای اتصال نزدیکترین همسایگی استفاده گردیده است. دندوگرام حاصل از تحلیل خوشه ای عناصر در شکل ۴-۱۱ آمده است.

¹ Cluster Analysis

² Factor Analysis

Dendrogram using Single Linkage



شکل ۴-۱۱- دندوگرام حاصل از تحلیل خوشه ای عناصر با روش نزدیکترین همسایگی

در خوشه اول عناصر Cs, Ti, Th, V, Co, Ni, Fe, W, Ba, Cr, U, Y قرار می گیرند که با توجه به عدم وجود کانی سازی این عناصر و عدم همبستگی با عناصر هدف (عناصر مربوط به کانی سازی)، می توان به لیتولوژی ماسه سنگی و بالا بودن میزان زمینه این عناصر در منطقه مربوط دانست. منیزیم و کلسیم در خوشه دوم قرار دارند که با توجه به لیتولوژی منطقه و سنگ درون گیر دولومیتی و کربناته قابل توجه است. در خوشه سوم عناصر کانسار ساز سرب، روی، کادمیم، آنتیموان و نقره قرار دارد که در

فاصله دورتری از عناصر پاراژنز مذکور عناصر تحت کانساری مس و مولیبدن قرار می گیرند. و در نهایت عنصر گوگرد به تنهایی در آخرین خوشه قرار دارد که با توجه به تیپ کانی سازی سولفیدی موجود در منطقه و حضور پیریت قابل توجهی می باشد.

۴-۷-۳- تحلیل عاملی

هدف از تجزیه و تحلیل عاملی تشخیص اصلی ترین متغیرهای کنترل کننده از متغیرهایی با نقش کمتر می باشد که می توان با حداقل تعداد متغیرهای عاملی، حداکثر تغییرپذیری بین داده ها را توجیه کرد و سهم نسبی هر یک از متغیرهای عاملی را در توجیه تغییرپذیری مشخص نمود [حسنی پاک ۱۳۸۵]. نکته قابل توجه آنکه مؤلفه های خام استخراج شده نمی توانند تمام تغییر پذیری واقعی جامعه را نشان دهد، بدین منظور با به کارگیری تابع وریمکس دورانی متعامد بر روی ضرایب عاملها صورت می گیرد. در جدول ۴-۱ مقادیر ویژه هر یک از مؤلفه ها و همچنین در صد تغییر پذیری مؤلفه مورد نظر آمده است. ۶ مؤلفه اول در مجموع ۸۶٪ در صد از تغییر پذیری بین داده ها را توجیح می نماید. جدول ۴-۲ نتیجه به کارگیری این روش با اعمال تابع وریمکس را نشان می دهد. در مشابهت با پاسخ تحلیل خوشه‌ای، عناصر پاراژنز در عامل دوم تمرکز یافته اند. در این فاکتور ضرایب بالای سرب، روی، کادمیم و آنتیموان گویای عناصر کانی سازی می باشد. در مورد مس هر چند که این عنصر از لحاظ مقدار ضریب فاکتوری می تواند در فاکتور دوم قرار بگیرد ولی با توجه به این که توزیع غلظت مس در حد زمینه می باشد و مقدار همبستگی این عنصر با عناصر کانی ساز قوی نیست لذا نمی توان این عنصر را به عنوان عنصر هدف در نظر گرفت.

فاکتور اول را می توان به تجزیه مؤلفه های سینژنتیک نسبت داد. در این فاکتور میزان تعلق منفی مقدار بالا دو عنصر کلسیم و منیزیم به سنگ درونگیر دولومیتی و کربناته مرتبط بوده و عناصر Cs, Ti, Th, V, Co, Ni, Fe, W, Ba, Cr, u, y در مشابهت با آنالیز خوشه ای به لیتولوژی ماسه سنگی و بالا بودن میزان زمینه این عناصر در این منطقه تعلق دارد.

فاکتور سوم شاید به دلیل میزان بالای زمینه عنصر منگنز در میزبان دولومیتی باشد، چونکه هیچ نشانه از کانی سازی این عنصر در منطقه دیده نشده است.

فاکتور چهارم مربوط به عنصر مولیبدن می باشد که تا حدی عنصر مس را به طرف خود کشیده است. فاکتور پنجم نیز مربوط به عنصر گوگرد بوده و وجود این عنصر در این فاکتور با توجه به کانی سازی سولفیدی قابل توجهی است و در نهایت فاکتور ششم با توجه به مقادیر فاکتوری تمرکز عنصر خاصی را نشان نمی دهد. پس از بررسی و مقایسه نتایج آنالیزها عناصر سرب، روی، کادمیم،

آنتیموان و نقره که عناصر مرتبط با کانی سازی سولفیدی سرب و روی بوده به عنوان عناصر هدف در تحلیل نهایی انتخاب گردیده است.

جدول ۴-۱- مولفه های استخراج شده با به کارگیری روش آنالیز فاکتوری

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	12.908	53.782	53.782	12.908	53.782	53.782	11.919	49.664	49.664
2	4.765	19.856	73.637	4.765	19.856	73.637	4.511	18.796	68.460
3	.915	3.812	77.449	.915	3.812	77.449	1.341	5.586	74.046
4	.833	3.470	80.919	.833	3.470	80.919	1.168	4.868	78.913
5	.631	2.628	83.547	.631	2.628	83.547	1.068	4.451	83.364
6	.574	2.391	85.938	.574	2.391	85.938	.618	2.574	85.938
7	.493	2.056	87.994						
8	.397	1.656	89.650						
9	.371	1.544	91.195						
10	.300	1.251	92.445						
11	.283	1.179	93.624						
12	.270	1.124	94.748						
13	.230	.957	95.705						
14	.184	.767	96.472						
15	.164	.683	97.155						
16	.140	.585	97.740						
17	.127	.527	98.267						
18	.109	.455	98.723						
19	.107	.446	99.169						
20	.072	.298	99.467						
21	.051	.213	99.680						
22	.035	.146	99.826						
23	.023	.094	99.920						
24	.019	.080	100.000						

Extraction Method: Principal Component Analysis.

جدول ۴-۲- عاملهای استخراج شده دو مؤلفه اصلی با روش تحلیل عاملی

	Component					
	1	2	3	4	5	6
AG	.078	.808	-.068	.214	.060	-.070
BA	.823	-.049	.259	.074	.178	.053
CA	-.925	.157	.067	-.148	-.002	.045
CD	-.437	.762	-.098	-.208	-.042	.012
CO	.838	.057	.328	.171	.124	-.037
CR	.868	-.015	.001	.205	-.003	-.004
CS	.943	-.086	.168	-.004	.104	.053
CU	.401	.686	.171	.318	.108	-.335
FE	.853	.100	.236	.215	.084	-.099
MG	-.908	.214	-.059	-.071	.004	.014
MN	.473	-.021	.835	.015	-.043	.058
MO	.283	.379	.029	.826	.013	.066
NI	.901	-.016	.227	.155	.116	-.043
PB	-.336	.863	.002	.004	.086	.071
S	.267	.230	-.025	.017	.920	.036
SB	-.017	.858	.119	.182	.178	-.010
TH	.951	-.113	.189	-.002	.078	-.005
TI	.943	-.114	.173	-.031	.119	.045
TL	.465	.416	.280	.282	.181	.539
U	.809	.115	-.047	.052	.099	.070
V	.934	-.070	.166	-.001	.119	.040
W	.857	-.064	-.010	.187	.055	.263
Y	.728	-.315	.282	.154	-.062	-.110
ZN	-.174	.846	-.109	-.001	-.046	.293

فصل پنجم:

تلفیق داده های اکتشافی در محیط GIS

۵-۱- مقدمه

۵-۱-۱- تعریف

سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی یک سیستم رایانه‌ای برای مدیریت داده‌های فضایی است.

واژه جغرافیایی گویای آن است که موقعیت داده‌ها، برحسب مختصات بیان می‌شوند.

واژه اطلاعات نشان دهنده آن است که داده‌ها در GIS برای ارائه دانسته‌های مفید، نه فقط به صورت نقشه‌ها و

تصاویر رنگی، بلکه به صورت گرافیک‌های آماری، جداول و پاسخ‌های نمایشی، به منظور جستجوهای تعاملی

سازماندهی می‌شوند.

واژه سیستم نشان دهنده آن است که GIS از چندین قسمت متصل و وابسته به یکدیگر با کارکردهای گوناگون

ساخته می‌شوند.

بدین‌سان، GIS توانمندی‌های کاری را برای جمع‌آوری، ورود، پردازش، تغییر شکل، به تصویر درآوردن، ترکیب،

جستجو، تجزیه و تحلیل، مدل‌سازی و خروج داده‌ها دارد. GIS شامل یک بسته نرم‌افزاری از برنامه‌های رایانه‌ای

با یک واسطه کاربر است که دستیابی به عملیات ویژه را فراهم می‌آورد. GIS به منظور جمع‌آوری داده‌های

فضایی از منابع گوناگون به صورت یک پایگاه داده‌های یک دست و یکنواخت طراحی می‌شوند که اغلب

ساختارهای داده‌های رقومی متنوعی را به کار می‌گیرند، ضمن آن که پدیده‌های مختلفی از نظر فضایی را به

صورت یک سری نقشه‌های داده‌ای (مثل زمین‌شناسی سنگ بستر، عمق سطح آب زیرزمینی، بی‌هنجاریهای

ژئوفیزیکی و غیره) معرفی می‌کنند که همه آنها در ثبات مکانی قرار دارند.

۵-۱-۲- کاربرد GIS در علوم زمین

در رویارویی با رشد شتاب زده داده‌های فضایی رقومی در علوم زمین وجود GIS بسیار ضروری و مهم است.

داده‌های گردآوری شده از ابزارهای ژئوفیزیکی هوایی، دریایی، زمینی، درون چاهی و غیره حجم عظیمی از

اعدادی را به دست می‌دهند که تا وقتی به درستی سازماندهی و نمایش داده نشوند، مبهم و غیر قابل مفهوم خواهند بود. به همین ترتیب، نقشه‌برداری ژئوشیمیایی سنگ، خاک، آب، نهشته‌ها و گیاهان اغلب با سی عنصر یا بیشتر از هر نمونه تعیین می‌شود و مقادیر زیادی داده‌های فضایی که محتوای اطلاعاتی آن بدون سیستم‌های داده‌های فضایی کارآمد و مؤثر قابل ارزیابی نیست، به دست می‌دهد. اکتشافات معدنی مستلزم در نظر گرفتن همزمان چندین نوع نشان‌گر فضایی برای ذخایر معدنی نظیر زمین‌شناسی، ساختار، ویژگی‌های ژئوشیمیایی و ژئوفیزیکی منطقه و همچنین محل، موقعیت و نوع اکتشافات معدنی در گذشته است. در مسائل زیست محیطی، تعامل (عملکرد متقابل) چندین فرآیند باید در نظر گرفته شود و تجزیه و تحلیل همزمان چندین مجموعه از داده‌ها ضروری است.

هدف نهایی GIS پشتیبانی برای تصمیم‌گیری پایه‌گذاری شده بر اساس داده‌های فضایی، می‌باشد. مدیر اکتشاف می‌تواند به منظور مونتاز کردن داده‌ها به شکل نقشه پتانسیل معدنی برای تصمیم‌گیری اولویت‌های اکتشاف آینده از GIS استفاده کند.

۵-۱-۳- سازماندهی داده‌ها

هر کس که با حجم زیادی از داده‌ها را برای هدفی به خصوص گرد آوری کرده باشد به اهمیت سازماندهی داده‌ها آگاه است. داده‌ها می‌توانند به راه‌های گوناگون مرتب شوند و اگر طرح کلی سازماندهی برای کاربرد عملی مناسب نباشد، اطلاعاتی مفید را نمی‌توان به آسانی به دست آورد. ویژگی اصلی برای سازماندهی داده‌های GIS موقعیت فضایی داده‌ها است. جدولی از داده‌های ژئوشیمیایی می‌تواند برای تجزیه و تحلیل روابط میان عناصر ژئوشیمیایی بر روی نمودارهای پراکنده جالب باشد، اما بدون در دست داشتن موقعیت نمونه‌ها، تفسیر الگوهای فضایی و روابطشان با سایر داده‌های فضایی، نظیر جنس سنگ، نمی‌تواند انجام گیرد.

به تصویر درآوردن داده‌ها، الگوی فضایی را از میان مجموعه‌هایی از بخش‌های داده‌ای سازمان یافته، آشکار می‌کند. با این حال، به تصویر درآوردن برای پاسخ دادن به سؤالاتی درباره موارد خاص در داده‌ها، مانند مقدار قسمت‌های داده‌های ویژه، چندان مفید نیست. جستجوی فضایی فعالیت تکمیلی به تصویر درآوردن داده‌هاست. برای مثال، نمایش ویژه ترکیب نقاط انباشته‌های کنیایی و نقشه ژئوشیمیایی وجود یک رابطه فضایی را در برخی نواحی نمایش پیشنهاد می‌کند. جستجوی فضایی به کاربر اجازه می‌دهد که شرایط هر مورد را، با کشف نام و سایر جزئیات دقیق محل تجمع ماده معدنی، و ویژگی‌های نمونه‌های ژئوشیمیایی در اطراف نمونه مورد نظر را دریابد.

۵-۱-۴- مدل مفهومی

انباشته‌های معدنی می‌توانند به صورت‌های مختلف گروه‌بندی یا طبقه‌بندی شوند که به ویژگی‌های آنها بستگی دارد. هیچ دو ذخیره‌ای از یک نوع به طور کامل یکسان نیستند و بعضی اوقات یک دسته ممکن است محدوده‌ای از نوسان و تغییر را در بر داشته باشد. مدل‌های ذخیره معدنی مدل‌های مفهومی هستند، که به طور معمول با کلمات و نمودارها توصیف می‌شوند. آنها ویژگی‌های معمول و متداول یک گروه از ذخایر معدنی را شرح می‌دهند، با تفسیر فرآیندهای انباشتگی کانی همراهند، و برای فراهم کردن ملاک‌هایی برای اکتشاف معدنی مفیدند. مدل‌های ذخایر معدنی برای تهیه و تدارک چارچوب نظری برای هدایت مطالعات پتانسیل معدنی به کمک GIS دارای اهمیتند. آنها به انتخاب و مدل‌سازی داده‌ها و تصمیم‌گیری در مورد این که کدام عوارض بهسازی شوند و به عنوان شاهد بیرون کشیده شوند و همچنین نحوه وزن‌دار کردن اهمیت نسبی شواهد در برآورد پتانسیل معدنی، کمک می‌کنند.

۵-۱-۵- تلفیق داده ها

توانایی درهم آمیختن مجموعه‌های داده‌های فضایی از منابع بسیار گوناگون و نمایش و انجام ترکیب‌ها، بیشتر به درک و تفسیر پدیده‌های فضایی (که به سادگی هنگامی که داده‌های فضایی مجزا به صورت جداگانه در نظر گرفته می‌شوند آشکار نیستند) رهنمون می‌شود.

فرآیند ترکیب نقشه‌های داده‌های فضایی که تلفیق داده‌ها نامیده می‌شود و می‌تواند یا به کمک به تصویر درآوردن نمایش‌های ترکیبی در انواع متنوع یا با مدل‌های تلفیقی که به گونه‌ای مؤثر یک نقشه جدید از دو یا چند نقشه موجود ایجاد می‌کنند، انجام شود. مدل‌های ادغام، مدل‌های ریاضی نمادین هستند، که با استفاده از عملیات حسابی و منطقی نقشه‌های داده‌ها را با یکدیگر ترکیب می‌کنند.

۵-۱-۶- تهیه نقشه پتانسیل معدنی

اکتشاف معدنی یک فعالیت چند مرحله‌ای است که در مقیاسی بزرگ آغاز می‌شود و به مقیاس کوچک تبدیل می‌شود و با انتخاب محل‌هایی به عنوان هدف برای حفاری به منظور دست یافتن به ذخایر معدنی ادامه می‌پذیرد. در یک مقیاس کوچک، شرکت‌های اکتشافی باید مناطق کلی را که ممکن است دارای پتانسیل دلخواه برای ذخایر معدنی یک نوع معین و انتخاب شده، به طور معمول براساس ویژگی‌های وسیع زمین‌شناسی، باشد به صورت کلی ترسیم کنند. در مقیاس متوسط، بخش‌هایی از این مناطق کلی برای اکتشاف تفصیلی بعدی، بر اساس شواهد حاصل از تهیه نقشه‌های زمین‌شناسی، نقشه‌برداری ژئوشیمیائی و ژئوفیزیکی منطقه‌ای و تعیین موقعیت مکان‌های شناخته شده معدنی، انتخاب می‌شوند. با شناسایی مناطق مطلوب‌تر، اهداف را می‌توان به طور مستقیم انتخاب کرد. در نهایت، این فرآیند به ایجاد نقشه‌ای منجر می‌شود که نشان‌دهنده موقعیت‌ها و الویت‌های محل‌های بالقوه معدنی است. بیشتر طرح‌های GIS برای تهیه نقشه‌های پتانسیل معدنی می‌تواند به

سه مرحله اصلی تقسیم شود. نخستین مرحله کلیه داده‌های مناسب را با همدیگر به پایگاه داده‌های GIS می‌آورد. دومین مرحله مرتبط با پردازش و تحلیل داده‌ها برای بیرون کشیدن الگوهای فضایی متناسب با اهداف طرح است. سومین مرحله ترکیب شواهد به دست آمده به منظور پیش‌بینی پتانسیل معدنی است [بونهام- کارتر ۱۳۷۹]. در این فصل از GIS و مدل منطق فازی در مدلسازی و تلفیق نقشه‌های ژئوفیزیکی، ژئوشیمیایی و زمین‌شناسی به منظور ارائه نقشه اکتشافی نهایی استفاده گردیده است. منطق فازی در مطالعات گسترده‌ای از جمله اکتشاف نهشته‌های آهن [An et al., 1991]، اکتشاف نهشته‌های سرب و روی تیپ می‌سی‌سی‌پی [Eddy et al., 1995] و همچنین اکتشاف نهشته‌های طلای اپی ترمال [Carranza et al., 1999] در تهیه نقشه پتانسیل معدنی مورد استفاده واقع شده است.

۵-۲- هندسه فرکتال

۵-۲-۱- هندسه فرکتال و اکتشافات ژئوشیمیایی

با توجه به این که هندسه اقلیدسی توانایی بیان اکثر پیچیدگی‌های موجود در طبیعت را ندارد، لذا برای بیان این پیچیدگی‌ها از هندسه فرکتال که به هندسه طبیعت یاد می‌شود، استفاده می‌گردد. این علم توسط ماندلبرت [Mandelbrot, 1983] پایه‌گذاری گردید. با توجه به پیچیدگی‌های موجود در نحوه مهاجرت عناصر به علل مختلف زمین‌شناسی و ژئوشیمیایی در مباحث اکتشافی، هندسه فرکتال به طور گسترده‌ای در جداسازی جامعه بی‌هنجاری از زمینه بر اساس اختلاف بعد فرکتال مورد توجه قرار گرفته است. از مزایای این روش در نظر گرفتن موقعیت دقیق فضایی نمونه‌ها در تعیین حد جدایش جوامع می‌باشد که این موضوع در آمار کلاسیک در نظر گرفته نمی‌شود. بر اساس تئوری فرکتال روشهای مختلفی جهت جدایش بی‌هنجاریها از زمینه در مقالات پیشنهاد گردیده است، که از این میان می‌توان به روش عیار - مساحت [Cheng, 1999] و روش عیار- محیط [Cheng, 1995] اشاره کرد.

۵-۲-۲- روش عیار- مساحت

این روش مبتنی بر تحلیل گزاره‌های خاصی می‌باشند که در آنها از تغییرات نسبی - نمایی کمیت‌های مستقل به منظور بررسی متغیرهای وابسته در قالب توابع لگاریتمی استفاده می‌گردد. بنابراین برای کمیت‌های مفروض مساحت و عیار با ضریب نمایی β رابطه پیشنهادی به قرار زیر است:

$$\text{Area} \propto (\text{Concentration})^{\beta}$$

بنابراین معادلات فرکتال، توابع نمایی متعارفی هستند که در آنها تغییر یک کمیت فیزیکی (نظیر سطح محصور منحنی‌های میزان) از ویژگی قابل سنجش دیگری (نظیر تغییر موقعیت مکانی) تبعیت می‌کند. شرط لازم برای تبدیل کمیت نمایی β به ضریب زاویه خط فرکتال، تبدیل مختصاتی تابع به نوع لگاریتمی است:

$$\log(\text{Area}) \propto \beta \log(\text{Concentration})$$

در این روش، روابط نمایی بین مساحت و عیار که بیانگر بعد فرکتالی الگوهای مورد بررسی می‌باشند مورد توجه واقع می‌شود. با رسم متغیر مساحت در مقابل غلظت در یک نمودار تمام لگاریتمی می‌توان بعد هر جامعه را از طریق شیب خط برازش شده به دست آورد. نقاط شکست خطوط نشان دهنده تغییر جامعه می‌باشد که به این صورت می‌توان حد بی‌هنجاری جوامع را تعیین کرد. در این پژوهش به کارگیری روش عیار- مساحت در بهینه کردن فازی سازی نقشه‌های توزیع عناصر پارائنز با استفاده از جداول اطلاعاتی لایه رستری که شامل دو ویژگی value و count می‌باشد، انجام پذیرفته است. در این روش سلول‌هایی که دارای مقدار عیار (value) مشخصی می‌باشند شمارش شده (count) و تعداد سلولها در مساحت هر سلول ضرب گردیده و در ادامه مساحت تجمعی به ازای هر عیار خاص محاسبه می‌گردد. در نهایت از مقادیر مساحت و عیار متناظرش لگاریتم گرفته و نمودار تمام لگاریتمی عیار- مساحت ترسیم می‌شود، وجود شکستگی و تغییر شیب خط برازش شده بر

این نقاط نشان از تغییر جامعه می باشد که این مطلب خود حاکی از تغییر نوع فرآیند تأثیرگذار در محیط می باشد.

۵-۳- منطق فازی

۵-۳-۱- تعریف

منطق فازی اولین بار توسط [Zadeh, 1965] معرفی گردید. منطق فازی بر اساس مجموعه های فازی تعریف می شود که در آن مجموعه ها حد و مرز معینی ندارند، اما در منطق صریح یا منطق صفر و یک بر خلاف منطق فازی، مجموعه ها دارای مرز معین می باشند. یکی از اساسی ترین مفاهیم در منطق فازی تابع عضویت است که برای هر عضو مجموعه یک مقدار عضویت می دهد. مقدار عضویت در مجموعه غیرفازی برابر صفر و یک می باشد اما مقدار عضویت در مجموعه فازی عددی در فاصله [۰ و ۱] است و به صورت زیر تعریف می شود:

$$\mu_A: X \rightarrow [0,1]$$

که مقدار μ_A میزان تعلق عضو x به مجموعه فازی A می باشد. مقدار یک حاکی از تعلق کامل عضو x به مجموعه فازی A و مقدار صفر نیز بیانگر عدم تعلق عضو x به مجموعه فازی A می باشد.

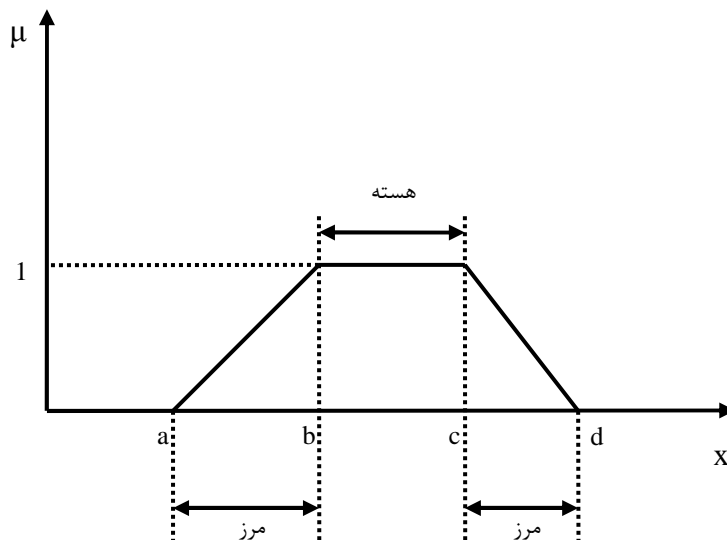
۵-۳-۲- توابع عضویت

توابع عضویت دربرگیرنده تمامی اطلاعات مرتبط با مجموعه فازی می باشند. توابع عضویت توسط نوع تابع و پارامترهای مرتبط با آن تعریف می گردند [Baglio et al., 1994]. از متداول ترین توابع عضویت می توان به توابع عضویت مثلثی، دوزنقه ای و گوسین^۱ اشاره کرد [Piegat, 2001] که به طور گسترده ای در علوم مهندسی جهت طراحی سیستمهای کنترل فازی مورد استفاده قرار گرفته است. با توجه به اینکه تعیین دقیق مرز جدایش

^۱ Gaussian

جامعه بی هنجاری از زمینه در نقشه های اکتشافی امکان پذیر نیست، تعریف فازی مرز جدایش جامعه بی هنجاری و زمینه می تواند خطای این تفکیک سازی را تا حد زیادی کاهش دهد. با بررسی ویژگیهای توابع عضویت ذکر شده به نظر می رسد که تابع عضویت ذوزنقه ای به بهترین وجهی می تواند نظر کارشناس را اعمال نماید. شکل ۱-۵ قسمت های اصلی تابع عضویت ذوزنقه ای که متشکل از هسته^۱ و مرزهای^۲ تابع می باشد را نمایش می دهد. این تابع با استفاده از چهار پارامتر توسط رابطه زیر تعریف می گردد:

$$\mu_A(x; a, b, c, d) = \begin{cases} 0 & x < a \\ (x - a)/(b - a) & a \leq x \leq b \\ 1 & b \leq x \leq c \\ (d - x)/(d - c) & c \leq x \leq d \\ 0 & x > d \end{cases}$$



شکل ۱-۵: اجزا اصلی تابع ذوزنقه ای

^۱ Core

^۲ Boundary

۵-۳-۳- عملگرهای فازی

انتخاب عملگر فازی مناسب در تلفیق امری ضروری محسوب می‌شود. عملگرهای فازی زیادی در مقالات [Zadeh, 1973], [Yager, 1978], [Yager, 1980], [Dubois and Prade, 1985], [Mizomoto, 1989a], [Mizomoto, 1989b], [Zimmermann, 1987] و [Zimmermann, 1991] پیشنهاد گردیده است. هر یک از این عملگرها بسته به نوع مسئله می‌تواند بهترین بازتاب از هدف را ارائه دهد. سه نوع از عملگرهای فازی به طور گسترده‌ای در تلفیق توابع عضویت به کار گرفته می‌شوند [Sousa and Kaymak, 2002]:

۵-۳-۳-۱- عملگرهای فازی ارتباطی^۱

این عملگر در مواقعی که هدف مفسر برقراری تمامی شرایط باشد مورد استفاده قرار می‌گیرد. نتیجه اعمال این عملگر (که با به کارگیری توابع t-norm انجام می‌پذیرد) بر روی توابع عضویت همواره مقداری کوچکتر و یا مساوی از کوچکترین عضو توابع عضویت می‌باشد:

$$T(\mu_1, \dots, \mu_n) \leq \bigwedge_{i=1}^n \mu_i \quad (1-5)$$

که در این رابطه μ_i تابع عضویت فازی برای i امین تابع عضویت، n تعداد توابع عضویتی است که قرار است ترکیب شوند و \bigwedge مینیمم مقدار n توابع عضویت است.

تابع مثلثی t-norm یک عملگر صفر و یک است $[0,1]$ که چهار شرط زیر درمورد آنها نیز صادق است [kaymak, 1998]:

$$T(0,0) = 0, T(a,1) = T(1,a) = a \quad (\text{شرط مرزی}^2) \quad (2-5)$$

$$T(a,b) = T(b,a) \quad (\text{جا به جا پذیری}^1) \quad (3-5)$$

¹ Conjunctive

² Boundary condition

$$a \leq b, c \leq d \rightarrow T(a, c) \leq T(b, d) \quad (\text{افزایشی یکنواخت})^2 \quad (4-5)$$

$$T(a, T(b, c)) = T(T(a, b), c) \quad (\text{اشتراک پذیری})^3 \quad (5-5)$$

از عملگرهای فازی ارتباطی می توان به عملگرهای زیر اشاره کرد:

$$T_1(\mu_1, \dots, \mu_n) = \bigwedge_{i=1}^n \mu_i \quad (6-5)$$

$$T_2(\mu_1, \dots, \mu_n) = \prod_{i=1}^n \mu_i \quad (7-5)$$

عملگر (6-5) تحت عنوان عملگر فازی And که مطابق با And منطق بولین است و عملگر (7-5) که تحت عنوان عملگر ضرب جبری فازی شناخته می شود به طور گسترده ای در تلفیق نقشه های اکتشافی در مواقعی که دو یا چند قسمت از شواهد برای اثبات فرضیه ای بایستی توأمان حضور داشته باشند مورد استفاده قرار گرفته است [بونهام- کارتر ۱۳۷۹]. به غیر از عملگرهایی که به آن اشاره شد عملگرهای t-norm پارامتری دیگری حضور دارند که با تغییر این پارامترها عملگرهای متفاوتی تولید می شوند که می توان از این میان به عملگر کاهش یager اشاره کرد:

$$T_p(\mu_1, \dots, \mu_n) = \max(0, 1 - [\sum_{i=1}^n (1 - \mu_i)^p]^{1/p}), \quad p > 0 \quad (8-5)$$

تغییر پارامتر p در رابطه فوق سازگاری قابل انعطافی بین مقدار صفر و عضو مینیمم تابع عضویت را به همراه خواهد داشت.

۵-۳-۳-۲- عملگرهای فازی انفصالی^۴

¹ Commutatively

² Monotone increasing

³ Associatively

⁴ Disjunctive

عملگرهای فازی انفصالی در مواقعی که حضور هر یک از ملاکها به تنهایی برای مفسر مفید واقع شود مورد استفاده قرار می گیرد. نتیجه اعمال این عملگر (که با به کارگیری توابع t-conorm انجام می پذیرد) بر روی توابع عضویت همواره مقداری بزرگتر (یا مساوی) از بزرگترین عضو توابع عضویت می باشد:

$$S(\mu_1, \dots, \mu_n) \geq \bigvee_{i=1}^n \mu_i \quad (9-5)$$

در این رابطه μ_i تابع عضویت فازی برای i امین تابع عضویت، n تعداد توابع عضویتی است که قرار است ترکیب شوند و \bigvee ماکزیمم مقدار n توابع عضویت است

تابع مثلثی t-conorm نیز یک عملگر صفر و یکی است $[0,1]$ که چهار شرط زیر در مورد آنها برقرار می باشد [kaymak, 1998]:

$$S(1,1) = 1, S(a,0) = S(0,a) = a \quad (\text{شرط مرزی}) \quad (10-5)$$

$$S(a,b) = S(b,a) \quad (\text{جا به جا پذیری}) \quad (11-5)$$

$$a \leq b, c \leq d \rightarrow S(a,c) \leq S(b,d) \quad (\text{افزایشی یکنواخت}) \quad (12-5)$$

$$S(a, S(b,c)) = S(S(a,b), c) \quad (\text{اشتراک پذیری}) \quad (13-5)$$

از عملگرهای فازی انفصالی می توان به عملگرهای زیر اشاره کرد:

$$S_1(\mu_1, \dots, \mu_n) = \bigvee_{i=1}^n \mu_i \quad (14-5)$$

$$S_2(\mu_1, \dots, \mu_n) = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - \mu_i) \quad (15-5)$$

عملگر (14-5) تحت عنوان عملگر فازی Or که مطابق با Or منطق بولین می باشد و عملگر (15-5) که تحت عنوان عملگر جمع جبری فازی شناخته می شود، به طور گسترده ای در تلفیق نقشه های اکتشافی در مواقعی که حضور هر نشانگر مثبت می تواند برای اظهار مطلوبیت کافی باشد مورد استفاده قرار گرفته است [بونهام- کارتر

۱۳۷۹]. به غیر از عملگرهایی که به آنها اشاره شد عملگرهای t-conorm پارامتری دیگری حضور دارند که با تغییر پارامترها عملگرهای متفاوتی تولید می‌شوند که می‌توان از این میان به عملگر افزایشی yager اشاره کرد:

$$S_y(\mu_1, \dots, \mu_n) = \min(1, (\sum_{i=1}^n \mu_i^p)^{\frac{1}{p}}), \quad p > 0 \quad (۱۶-۵)$$

تغییر پارامتر p در رابطه فوق سازگاری قابل انعطافی بین مقدار یک و عضو ماکزیمم تابع عضویت را به همراه خواهد داشت.

۵-۳-۳- عملگرهای فازی جبرانی^۱

عملگرهای فازی ارتباطی (به سبب ماهیت کاهش‌ی) و عملگرهای فازی انفصالی (به سبب ماهیت افزایشی) همواره مناسب برای تلفیق توابع عضویت نیستند. به نظر می‌رسد تلفیقی از این عملگرها می‌تواند در بیشتر موارد نظر مفسر را ارضا نماید [Zimmerman, 1978]. این عملگرها، تحت عنوان عملگرهای فازی جبرانی شناخته می‌شوند. دو شکل کلی این عملگرها که تلفیقی از توابع t-norm و t-conorm می‌باشد به صورت کلی زیر ارائه گردیده است [Zimmerman and zysno 1980]:

$$E(\mu_1, \dots, \mu_n) = (T(\mu_i))^{1-\gamma} (S(\mu_i))^\gamma, \quad \gamma \in [0,1] \quad (۱۷-۵)$$

$$E(\mu_1, \dots, \mu_n) = (1-\gamma) T(\mu_i) + \gamma S(\mu_i), \quad \gamma \in [0,1] \quad (۱۸-۵)$$

که در آن γ مقداری بین صفر و یک است و با توجه به ماهیت تلفیق انتخاب می‌گردد.

از جمله عملگرهای فازی جبرانی می‌توان به عملگر معروف Hurwicz اشاره کرد [kaymak, 1998]:

$$E_H(\mu_1, \dots, \mu_n) = (1 - \gamma) \min(\mu_i) + \gamma \max(\mu_i) \quad (۱۹-۵)$$

بسته به مقدار γ نتیجه اعمال این عملگر بر روی توابع عضویت همواره مقداری بین کوچکترین و بزرگترین مقدار تابع عضویت می‌باشد. وقتی γ برابر با یک باشد ترکیب همان Or فازی و وقتی γ صفر باشد، ترکیب And فازی

^۱ Compensatory

خواهد بود. ضعف این عملگر فارغ از ماهیت مدل سازی، آن است که تنها توابع عضویت ماکزیمم و مینیمم در نتیجه نهایی نقش دارند (به طور کلی این ضعف در عملگرهای فازی And، Or یا بسطهایی از این دو عملگر، وجود دارد).

همچنین تلفیقی از عملگرهای جمع جبری فازی و ضرب جبری فازی به صورت زیر ارائه گردیده است [Zimmerman and zysno, 1980]:

$$E_z(\mu_1, \dots, \mu_n) = (\prod_{i=1}^n (\mu_i))^{1-\gamma} (1 - \prod_{i=1}^n (1 - \mu_i))^\gamma \quad (20-5)$$

بسته به مقدار γ نتیجه اعمال این عملگر همواره مقداری بین مقادیر حاصل از اعمال عملگرهای جمع جبری فازی و ضرب جبری فازی توابع عضویت خواهد بود. عملگر فازی مذکور به طور گسترده ای در تلفیق نقشه های اکتشافی مورد استفاده قرار گرفته است. وقتی γ یک باشد ترکیب همان جمع جبری فازی خواهد بود و وقتی γ صفر باشد ترکیب برابر با حاصل ضرب جبری فازی است. انتخاب صحیح و آگاهانه γ مقدارهایی در خروجی به وجود می آورد که یک سازگاری قابل انعطاف میان گرایشات افزایشی جمع جبری فازی و اثرات کاهشی حاصل ضرب جبری فازی باشد [بونهام- کارتر ۱۳۷۹]. میزان تأثیر هر یک از توابع عضویت در نتیجه نهایی با به کارگیری عملگرهایی که تا اینجا مورد مطالعه قرار گرفتند یکسان در نظر گرفته می شوند، در حالیکه در برخی از مسائل ممکن است برخی از ملاکها تأثیر بیشتری در مدل نهایی داشته باشند. بنابراین می بایست میزان اهمیت هر یک از پارامترها در مدل نهایی مورد ارزیابی و اعمال گردد. میزان اهمیت هر یک از پارامترها با معرفی پارامتری تحت عنوان فاکتور وزنی لحاظ می گردد. فاکتور وزنی یک مقدار عددی بیشتر از صفر است که میزان اهمیت هر یک از معیارها را نسبت به معیارهای دیگر مورد ارزیابی قرار می دهد. مقادیر بزرگتر فاکتور وزنی بر اهمیت بیشتر معیار مورد نظر دلالت دارد. معمولاً مقادیر وزنی بین صفر و یک انتخاب گردیده و به وسیله رابطه زیر نرمالیزه می شود [kaymak, 1998]:

$$\sum_{i=1}^n w_i = 1 \quad (21-5)$$

عملگرهای متفاوتی برای جمع وزنی ملاکها پیشنهاد گردیده است. یکی از عملگرهای وزنی مشهور در جمع وزنی توسط [Yager, 1978] پیشنهاد گردیده است:

$$D_y^w(\mu_1, \dots, \mu_n) = \bigwedge_{i=1}^n \mu_i^{w_i} \quad (22-5)$$

با اعمال این عملگر ابتدا هر یک از اعضای توابع عضویت به توان فاکتور وزنی متناسب با آن رسیده و در نهایت مقدار مینیمم آنها به عنوان نتیجه نهایی لحاظ می‌شود. منطق حاکم بر این عملگر آن است که مقدار عضوی که به توان وزنی کوچکتری رسیده افزایش بیشتری داشته و احتمال آنکه عنوان کوچکترین مقدار عضویت را کسب کند کمتر خواهد بود [kaymak 1998].

عملگر دیگری که توسط [Dubois and Prade 1986] پیشنهاد شده به صورت زیر ارائه می‌گردد:

$$D^w(\mu_1, \dots, \mu_n) = \bigwedge_{i=1}^n [(1 - w_i) \vee \mu_i] \quad (23-5)$$

به جز این عملگرها بسطهای وزنی از توابع t-norm توسط [Kaymak and Sousa 2003] پیشنهاد گردیده است از جمله عملگر وزنی حاصل ضرب فازی:

$$D^w(\mu_1, \dots, \mu_n) = \prod_{i=1}^n \mu_i^{w_i} \quad (24-5)$$

بسطی از تابع Hamacher که به صورت زیر ارائه گردیده است:

$$D^w(\mu_1, \dots, \mu_n) = \begin{cases} \frac{1}{1 + \sum_{i=1}^n w_i \frac{1 - \mu_i}{\mu_i}} & \text{if } \forall i, \mu_i > 0 \\ 0 & \text{if } \exists i, \mu_i = 0 \end{cases} \quad (25-5)$$

و در نهایت بسط وزنی عملگر yager به صورت زیر معرفی می‌گردد:

$$D^w(\mu_1, \dots, \mu_n) = \max(0, 1 - \sqrt[s]{\sum_{i=1}^n w_i (1 - \mu_i)^s}) \quad s > 0 \quad (26-5)$$

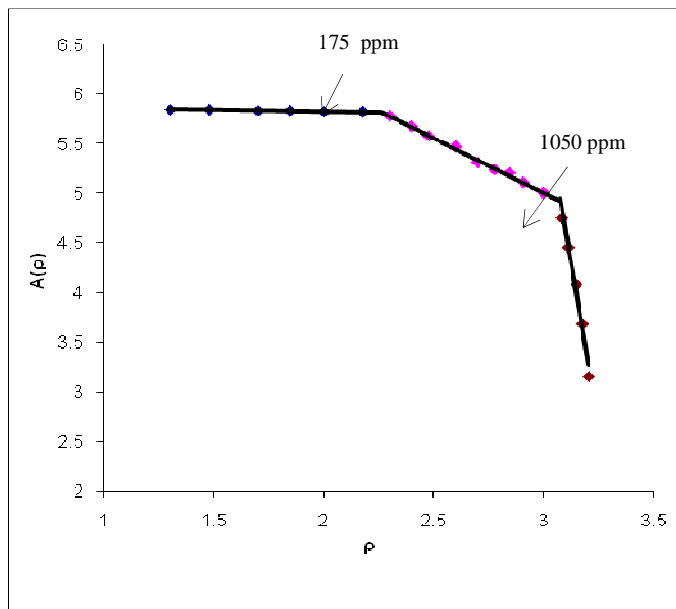
عملگرهای فازی وزنی (24-5)، (25-5) و (26-5) در تلفیق نقشه‌های اکتشافی با ارزش نابرابر در این پژوهش مورد استفاده قرار گرفته است. نتیجه اعمال این عملگرها بر روی توابع عضویت با اعمال شرط (21-5) همواره مقداری بین کوچکترین و بزرگترین توابع عضویت و تأثیر پذیرتر نسبت به پارامترهایی با وزن بیشتر خواهد بود.

تغییرات پارامتر s در رابطه (۵-۲۶) سازگاری قابل انعطافی بین توابع عضویت مینیمم و ماکزیمم را به همراه خواهد داشت (مقادیر بالای s گرایش به توابع عضویت مینیمم و مقادیر پایین s گرایش به توابع عضویت ماکزیمم خواهد داشت).

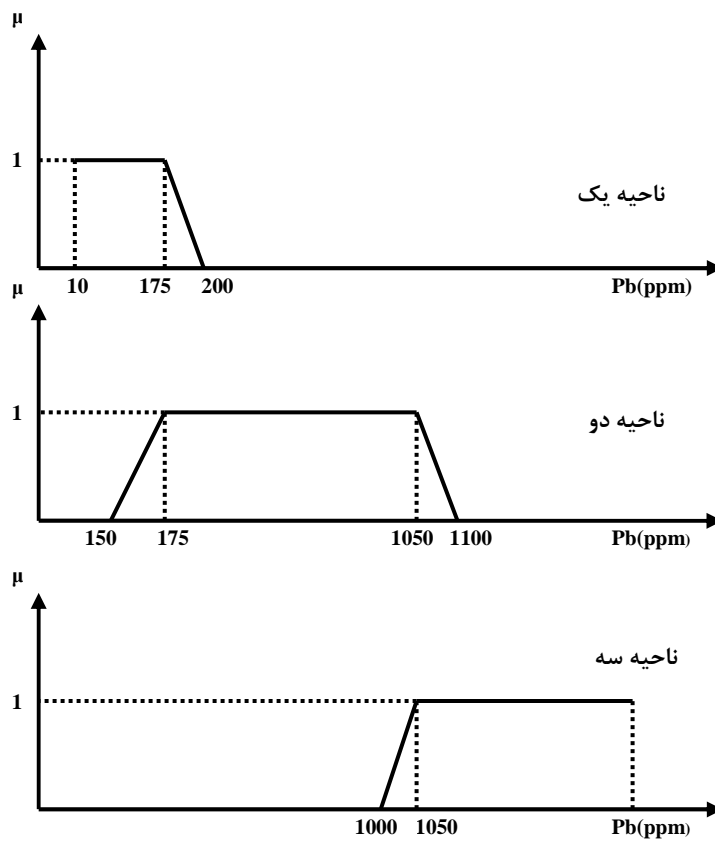
۵-۴- فازی سازی نقشه های اکتشافی

در این مرحله نقشه های ژئوفیزیکی، ژئوشیمیایی و زمین شناسی به منظور ارائه نقشه اکتشافی، فازی سازی گردیدند. جهت فازی سازی نقشه های ژئوشیمیایی از نتایج اعمال روش عیار - مساحت به منظور بهینه کردن فازی سازی نقشه های مذکور استفاده گردیده است. نمودار تمام لگاریتمی مساحت تجمعی - غلظت برای عنصر سرب به عنوان نمونه در شکل ۵-۲ آمده است. با اعمال نتایج روش عیار- مساحت، می توان سه ناحیه را با توجه به تغییرات بعد فرکتال در نقشه های ژئوشیمیایی تفکیک کرد. اگر چه به کارگیری این روش در تفکیک سازی زونهای بی هنجار نتایج قابل قبولی ارائه می دهد اما با توجه به خطای برداشت و آنالیز عناصر و همچنین خطای حاکم بر رگرسیون داده ها به منظور تخمین بعد فرکتال و جداسازی جوامع، تعیین دقیق مرز جدایش بین این سه ناحیه با خطا همراه است. بدین دلیل، این مرزها با به کارگیری توابع عضویت دوزنقه ای به طور فازی تعیین گردیده اند. توابع عضویت دوزنقه ای مربوط به نقشه اکتشافی سرب در شکل ۵-۳ آمده است. قسمت هسته توابع دوزنقه ای مرتبط با سه ناحیه تفکیک گردیده در نقشه اکتشافی سرب، منطبق بر نتایج تفکیک سازی نمودار لگاریتمی عیار- مساحت (شکل ۵-۳) و قسمت مرزی توابع دوزنقه ای مذکور به منظور کاهش خطای جداسازی تعریف شده است. فازی سازی نقشه های قطبش القایی و مقاومت ویژه در اعماق مختلف که در بخش ۳-۴-۳ تهیه گردید نیز با استفاده از توابع دوزنقه ای و با توجه به نتایج مدل سازی پروفیل های ژئوفیزیکی، دامنه تغییرات و هدف اکتشافی (سرب و روی) انجام پذیرفته است. هر یک از نقشه های ژئوفیزیکی نیز به سه ناحیه تفکیک گردیده است. تغییرات قطبش القایی و مقاومت ویژه در سنگ میزبان دولومیت اساس این تفکیک سازی قرار

گرفته است و این نکته که در حفاری های انجام شده حضور پیریت به عنوان کانی باطله با کانی سازی سرب و روی همراه بوده است نیز لحاظ گردیده است. از آنجا که تفکیک این سه ناحیه به طور کیفی و با توجه به مجموع عوامل ذکر شده انجام پذیرفته است، مرزهایی با گسترش بیشتر در جدایش این نواحی اعمال گردیده است. روابط ریاضی مربوط به توابع عضویت ذوزنقه‌ای هر یک از نقشه‌های اکتشافی به منظور فازی سازی نقشه‌های اکتشافی محاسبه و در جدول (۵-۱) ذکر گردیده است. مقدار X در هر یک از این نقشه‌ها، مربوط به تغییرات پارامتر نقشه مورد نظر است. توابع f_1 ، f_2 و f_3 به ترتیب روابط ریاضی توابع عضویت ذوزنقه‌ای مرتبط با نواحی یک، دو و سه در نقشه اکتشافی مورد نظر را نشان می‌دهد.



شکل ۵-۲: نمودار لگاریتمی - لگاریتمی تغییرات مساحت تجمع و غلظت سرب



شکل ۵-۳: تابع عضویت دوزنقه ای نقشه توزیع سرب

جدول ۵-۱- روابط ریاضی توابع عضویت دوزنقه ای نقشه های اکتشافی

	ناحیه یک	ناحیه دو	ناحیه سه
Pb(ppm)	$f_1 = \begin{cases} 1 & x < 175 \\ \frac{1}{35}(200 - x) & 175 \leq x < 200 \\ 0 & x \geq 200 \end{cases}$	$f_2 = \begin{cases} 0 & x < 150 \\ \frac{1}{25}(x - 150) & 150 \leq x < 175 \\ 1 & 175 \leq x < 1050 \\ \frac{1}{95}(1100 - x) & 1050 \leq x < 1100 \\ 0 & x \geq 1100 \end{cases}$	$f_3 = \begin{cases} 0 & x < 1000 \\ \frac{1}{50}(x - 1000) & 1000 \leq x < 1050 \\ 1 & x \geq 1050 \end{cases}$
Zn(ppm)	$f_1 = \begin{cases} 1 & x < 900 \\ \frac{1}{50}(950 - x) & 900 \leq x < 950 \\ 0 & x \geq 950 \end{cases}$	$f_2 = \begin{cases} 0 & x < 850 \\ \frac{1}{50}(x - 850) & 850 \leq x < 900 \\ 1 & 900 \leq x < 2200 \\ \frac{1}{120}(2300 - x) & 2200 \leq x < 2300 \\ 0 & x \geq 2300 \end{cases}$	$f_3 = \begin{cases} 0 & x < 2100 \\ \frac{1}{100}(x - 2100) & 2100 \leq x < 2200 \\ 1 & x \geq 2200 \end{cases}$
Cd(ppm)	$f_1 = \begin{cases} 1 & x < 17 \\ \frac{1}{3}(20 - x) & 17 \leq x < 20 \\ 0 & x \geq 20 \end{cases}$	$f_2 = \begin{cases} 0 & x < 15 \\ \frac{1}{2}(x - 15) & 15 \leq x < 17 \\ 1 & 17 \leq x < 40 \\ \frac{1}{25}(45 - x) & 40 \leq x < 45 \\ 0 & x \geq 45 \end{cases}$	$f_3 = \begin{cases} 0 & x < 35 \\ \frac{1}{5}(x - 35) & 35 \leq x < 40 \\ 1 & x \geq 40 \end{cases}$
Sb(ppm)	$f_1 = \begin{cases} 1 & x < 13 \\ \frac{1}{2}(15 - x) & 13 \leq x < 15 \\ 0 & x \geq 15 \end{cases}$	$f_2 = \begin{cases} 0 & x < 11 \\ \frac{1}{2}(x - 11) & 11 \leq x < 13 \\ 1 & 13 \leq x < 40 \\ \frac{1}{25}(45 - x) & 40 \leq x < 45 \\ 0 & x \geq 45 \end{cases}$	$f_3 = \begin{cases} 0 & x < 35 \\ \frac{1}{5}(x - 35) & 35 \leq x < 40 \\ 1 & x \geq 40 \end{cases}$
Ag(ppb)	$f_1 = \begin{cases} 1 & x < 600 \\ \frac{1}{40}(650 - x) & 600 \leq x < 650 \\ 0 & x \geq 1000 \end{cases}$	$f_2 = \begin{cases} 0 & x < 550 \\ \frac{1}{50}(x - 550) & 550 \leq x < 600 \\ 1 & 600 \leq x < 2600 \\ \frac{1}{400}(2700 - x) & 2600 \leq x < 2700 \\ 0 & x \geq 2700 \end{cases}$	$f_3 = \begin{cases} 0 & x < 2500 \\ \frac{1}{500}(x - 2500) & 2500 \leq x < 2600 \\ 1 & x \geq 2600 \end{cases}$
Cu(ppm)	$f_1 = \begin{cases} 1 & x < 17 \\ \frac{1}{3}(20 - x) & 17 \leq x < 20 \\ 0 & x \geq 20 \end{cases}$	$f_2 = \begin{cases} 0 & x < 15 \\ \frac{1}{2}(x - 15) & 15 \leq x < 17 \\ 1 & 17 \leq x < 50 \\ \frac{1}{35}(55 - x) & 50 \leq x < 55 \\ 0 & x \geq 55 \end{cases}$	$f_3 = \begin{cases} 0 & x < 45 \\ \frac{1}{5}(x - 45) & 45 \leq x < 50 \\ 1 & x \geq 50 \end{cases}$
IP(ms)	$f_1 = \begin{cases} 1 & x < 10 \\ \frac{1}{5}(15 - x) & 10 \leq x < 15 \\ 0 & x \geq 15 \end{cases}$	$f_2 = \begin{cases} 0 & x < 7 \\ \frac{1}{3}(x - 7) & 7 \leq x < 10 \\ 1 & 10 \leq x < 20 \\ \frac{1}{15}(25 - x) & 20 \leq x < 25 \\ 0 & x \geq 25 \end{cases}$	$f_3 = \begin{cases} 0 & x < 15 \\ \frac{1}{5}(x - 15) & 15 \leq x < 20 \\ 1 & x \geq 20 \end{cases}$
Res(Ω)	$f_1 = \begin{cases} 1 & x > 400 \\ \frac{1}{200}(x - 200) & 200 < x \leq 400 \\ 0 & x \leq 300 \end{cases}$	$f_2 = \begin{cases} 0 & x > 500 \\ \frac{1}{300}(500 - x) & 400 < x \leq 500 \\ 1 & 150 < x \leq 400 \\ \frac{1}{200}(x - 100) & 100 < x \leq 150 \\ 0 & x \leq 100 \end{cases}$	$f_3 = \begin{cases} 0 & x > 300 \\ \frac{1}{100}(200 - x) & 150 < x \leq 200 \\ 1 & x \leq 150 \end{cases}$

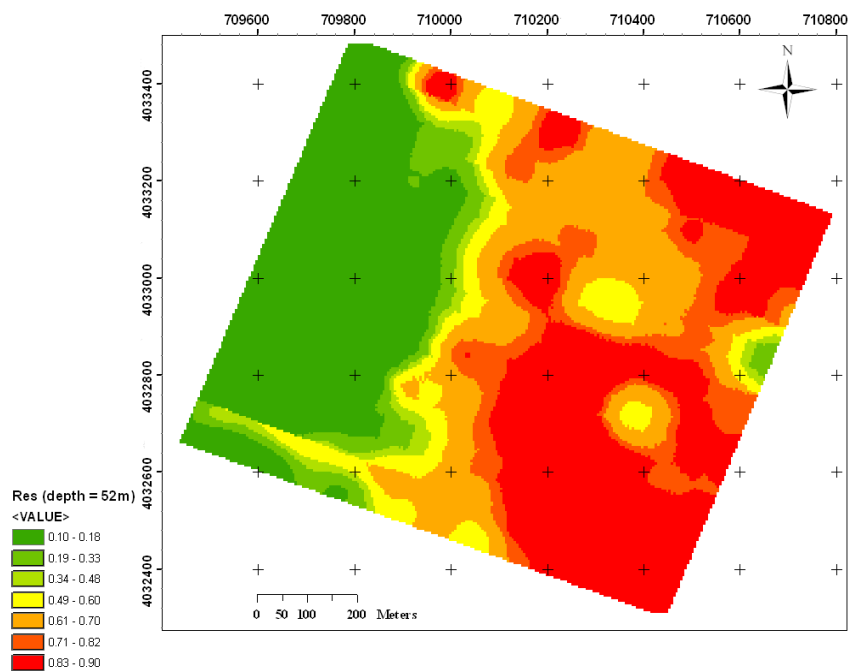
در ادامه برای نواحی یک تا سه به ترتیب ارزش فازی ۰/۱، ۰/۵ و ۰/۹ در نظر گرفته شده است و در نهایت مقدار فازی هر سلول از نقشه های اکتشافی با به کارگیری رابطه زیر محاسبه گردیده است:

$$\mu_A = \frac{0.1f_1 + 0.4f_2 + 0.9f_3}{\sum_{i=1}^3 f_i} \quad (27-5)$$

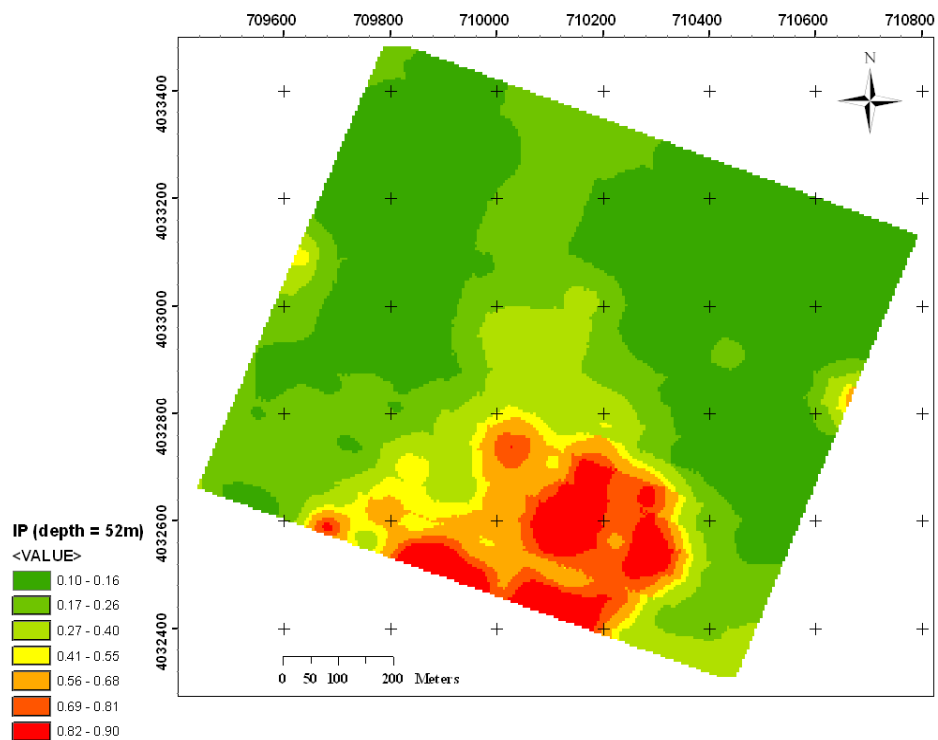
که در این رابطه f_1 ، f_2 و f_3 به ترتیب میزان تعلق هر سلول مشخص به نواحی یک، دو و سه در هر یک از نقشه های اکتشافی می باشد. به عنوان مثال در نقشه اکتشافی سرب، مقدار فازی سلولی با غلظت ۱۰۷۵ ppm برابر خواهد بود با:

$$\mu_{(pb=1075 \text{ ppm})} = \frac{(0.1 \times 0) + (0.4 \times 0.5) + (0.9 \times 1)}{(0 + 0.5 + 1)} \approx 0.73 \quad (28-5)$$

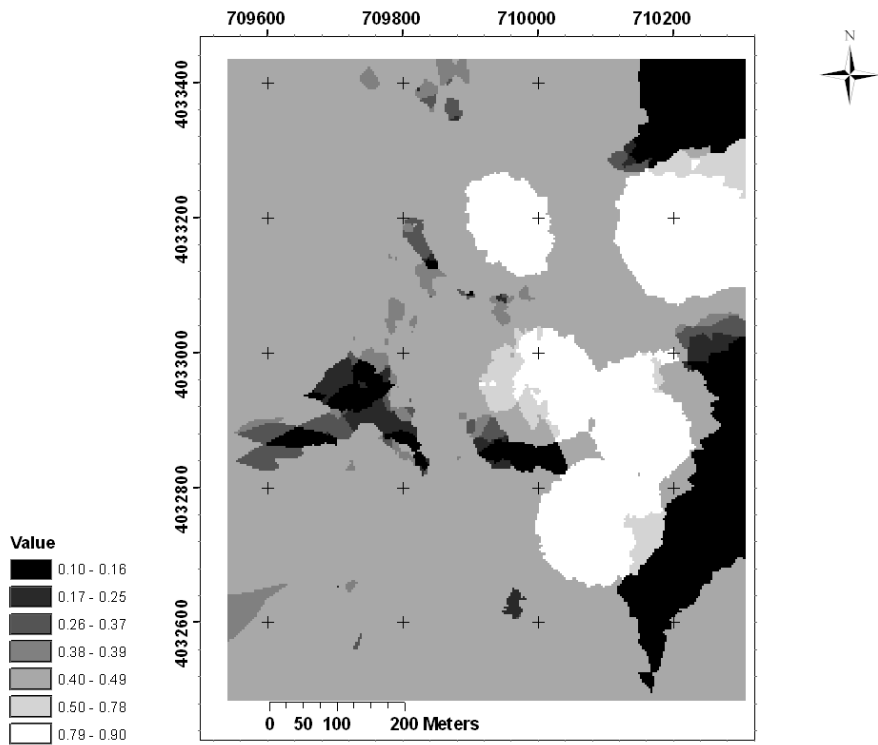
قابل ذکر است که تمامی مراحل فازی سازی و محاسبه مساحت تجمعی مستقیماً در محیط GIS انجام پذیرفته است. در نقشه زمین شناسی نیز، برای واحد دولومیتی که سنگ میزبان اصلی کانی سازی است، ارزش ۰/۸ و برای واحد ماسه سنگی ارزش ۰/۳ در نظر گرفته شده است. از طرف دیگر گسترش دولومیت ها در ماسه سنگ تا عمق ۱۰۵ متری (عمق تجسس ژئوفیزیکی) با توجه به جهت و زاویه شیب تخمین زده شده و فازی سازی گردیده است. نقشه های فازی مربوط به مقاومت ویژه و قطبش القایی در عمق ۵۲ متری در شکل های ۴-۵ و ۵-۵، توزیع عناصر سرب و روی در شکل ۶-۵ و ۷-۵ و نقشه فازی سنگ میزبان در شکل ۸-۵ آورده شده است. مقادیر بالای ارزش فازی در شرق و قسمتهایی از جنوب غربی نقشه فازی مقاومت ویژه در عمق ۵۲ متر و همچنین در جنوب نقشه قطبش القایی در عمق ۵۲ متر مشاهده می گردد. در نقشه فازی توزیع عنصر سرب، مقادیر بالای ارزش فازی در شرق نقشه با امتداد شمالی- جنوبی قابل رویت است. نقشه فازی توزیع عنصر روی نیز مقادیر بالای ارزش فازی را با امتداد کلی شمالی - جنوبی اما با گستردگی بیشتر نشان می دهد. در نهایت مقادیر بالای ارزش فازی در نقشه فازی زمین شناسی در واحد دولومیتی واقع در غرب نقشه قابل تفکیک است.



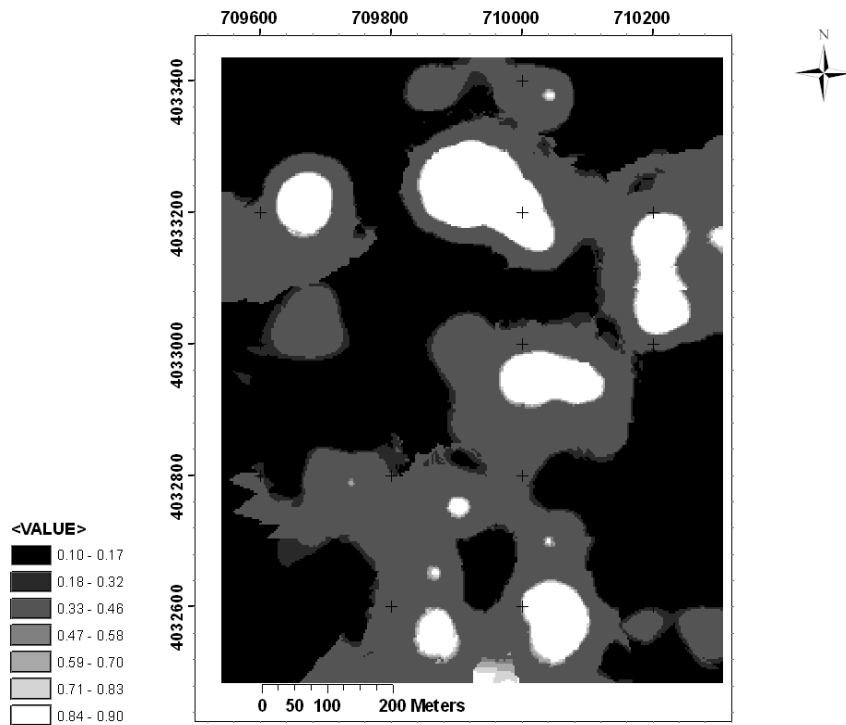
شکل ۴-۵: نقشه فازی مقاومت ویژه (عمق ۵۲ متر)



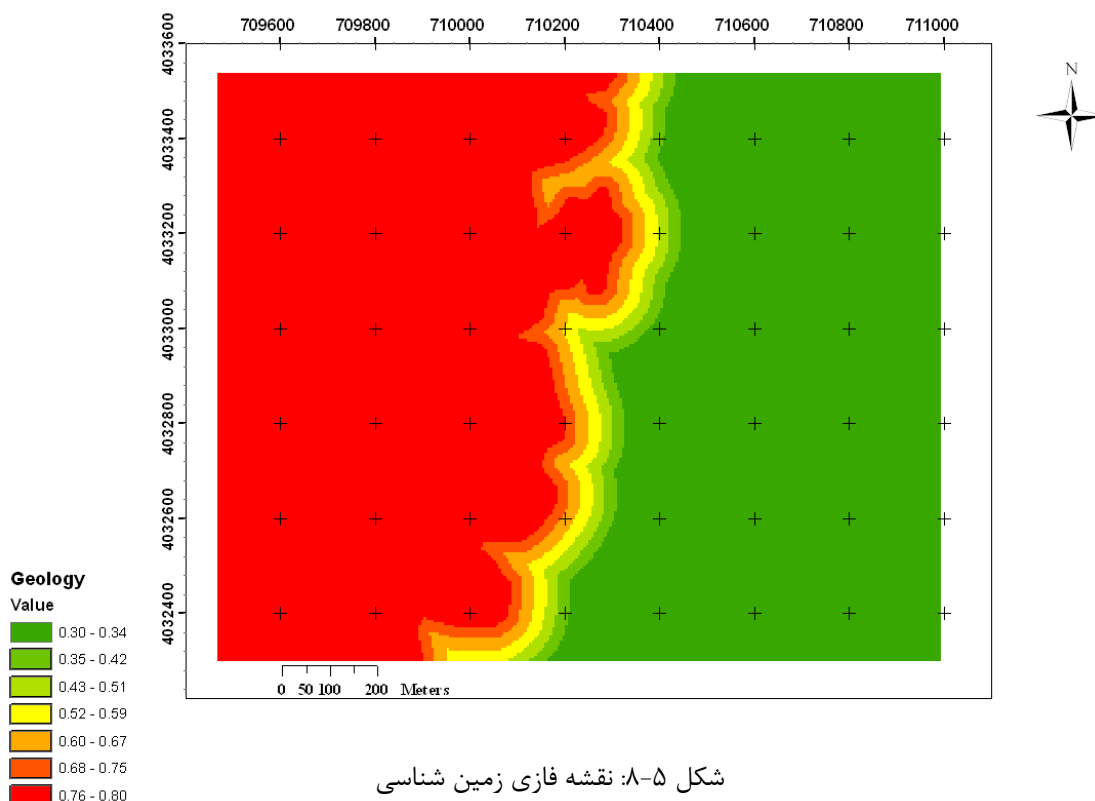
شکل ۵-۵: نقشه فازی قطبش القایی (عمق ۵۲ متر)



شکل ۵-۶: نقشه فازی توزیع عنصر سرب

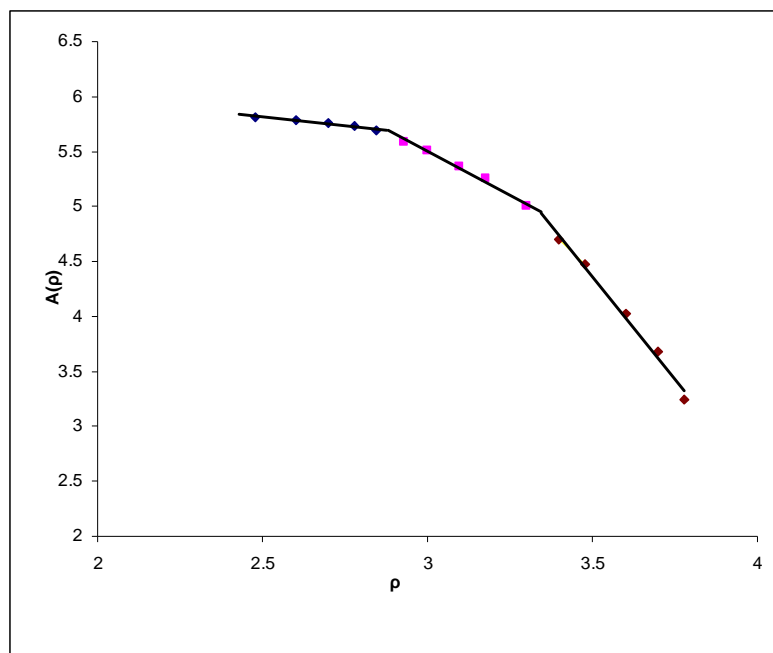


شکل ۵-۷: نقشه فازی توزیع عنصر روی



بررسی عملکرد تابع عضویت دوزنقه ای در فازی سازی نقشه های اکتشافی:

جهت آشکار سازی نحوه عملکرد تابع دوزنقه ای نتایج اعمال این روش بر نقشه عنصر روی مورد بررسی قرار گرفته است. با توجه به تغییرات بعد فرکتال که در نمودار ۵-۲ آمده است نقشه مذکور به سه ناحیه زمينه، جدایش از زمينه و بی هنجاری تفکیک گردیده است. نقشه حاصل از به کارگیری این روش در شکل ۵-۹ آمده است. در روشهای مرسوم فازی سازی که در واقع یک ارزش دهی ساده بوده، برای هر یک از سه نواحی ارزش مشخصی تعیین می گردد که در شکل ۵-۹ برای سه ناحیه مذکور به ترتیب ارزش فازی ۰/۱، ۰/۴ و ۰/۹ لحاظ گردیده است.

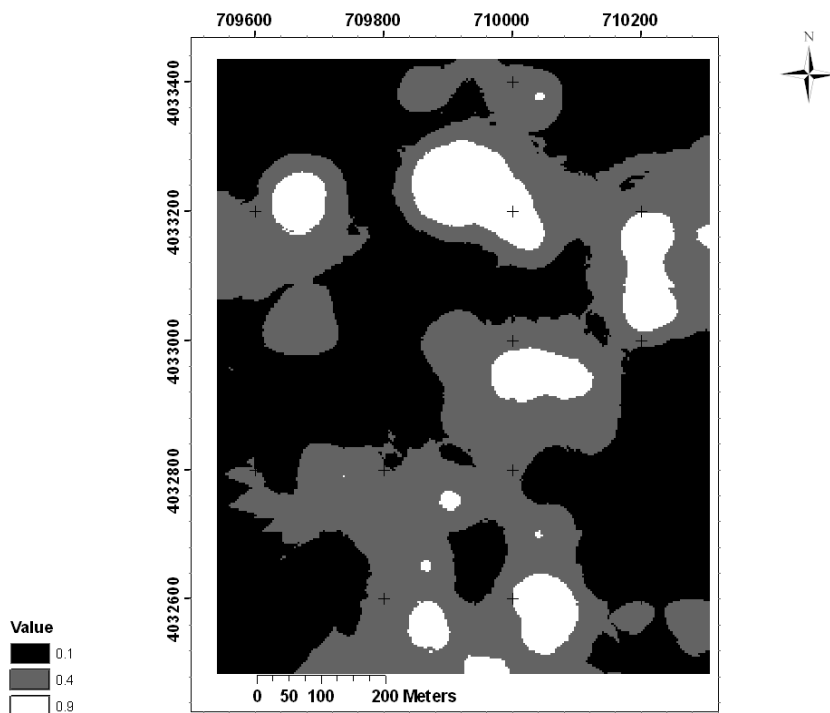


شکل ۵-۹: نمودار لگاریتمی - لگاریتمی تغییرات مساحت تجمعی و غلظت عنصر روی

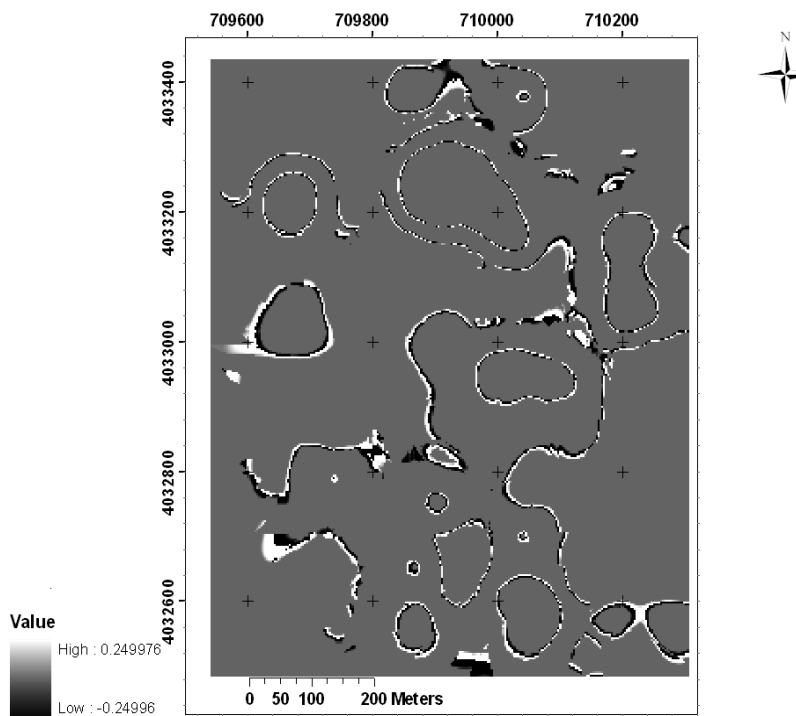
در روش فازی سازی که در این پژوهش برای نخستین بار پیشنهاد گردیده است مرزها نه به طور قطعی بلکه با به کارگیری توابع عضویت دوزنقه ای به طور فازی تعریف می شود. جهت فازی سازی نقشه توزیع عنصر روی از تابع عضویت دوزنقه ای که در جدول ۵-۱ آمده استفاده گردیده است و نتیجه اعمال این روش در شکل ۵-۷ مشاهده گردید. به منظور شفاف سازی تفاوت‌های بین روش مرسوم و روش پیشنهادی تفاضل حسابی دو نقشه فازی مذکور (شکل‌های ۵-۱۰ و ۵-۷) در شکل ۵-۱۱ آمده است. همان طور که در این شکل مشاهده می شود به جز در مرزهای جدایش، اختلاف برابر با صفر است و مقادیر فازی دو نقشه در انطباق با یکدیگر به سر می برند. اما در مرزها اختلاف فازی حداکثر تا ۰/۲۵ مشاهده می شود. با دقت در این نقشه و مقایسه با دو نقشه شکل‌های ۵-۱۰ و ۵-۷ می توان مشاهده کرد که در داخل مرز مقادیر فازی شکل ۳ نسبت به شکل ۲ کاهش پیدا کرده و در خارج از مرز، مقادیر فازی شکل ۳ نسبت به شکل ۲ افزایش نشان می دهد. در واقع در این روش جوامع به طور فازی (و

نه ناگهانی) از یکدیگر جدا می شود. عملکرد فازی سازی نقشه های مذکور را می توان به طور شماتیک به صورت

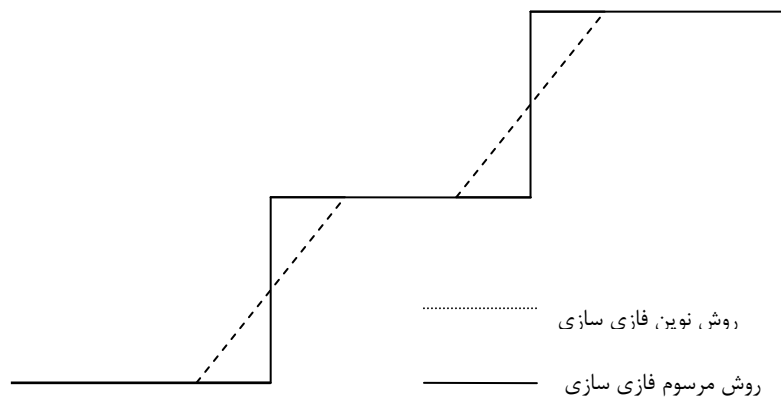
شکل ۵-۱۲ نمایش داد.



شکل ۵-۱۰: نقشه فازی عنصر روی با به کارگیری روش مرسوم



شکل ۵-۱۱- تفاضل حسابی دو نقشه فازی شکل ۵-۷ و شکل ۵-۹

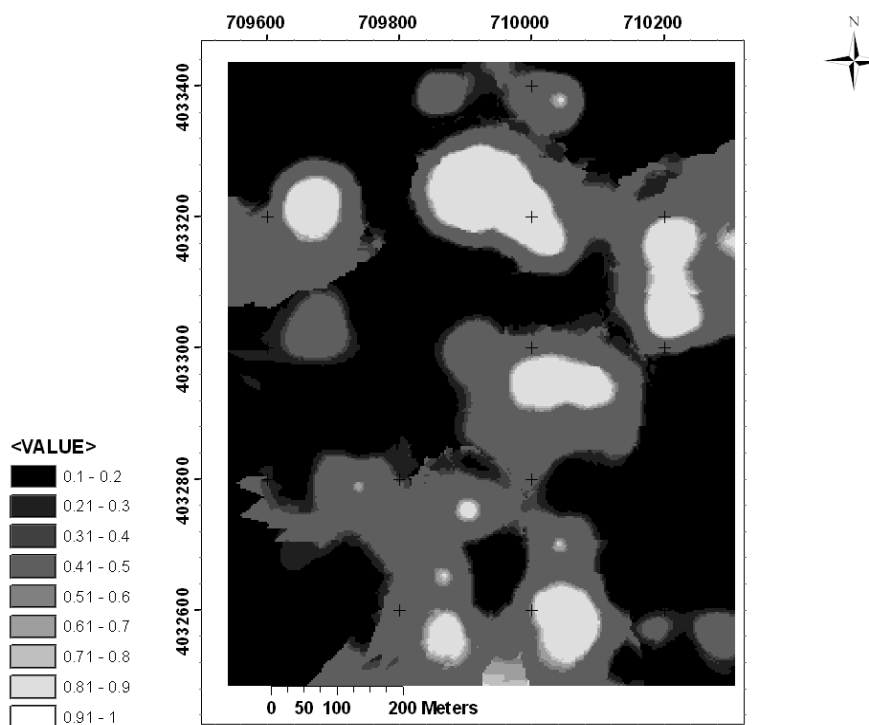


شکل ۵-۱۲- عملکرد دو روش مرسوم و نوین در فازی سازی نقشه های اکتشافی

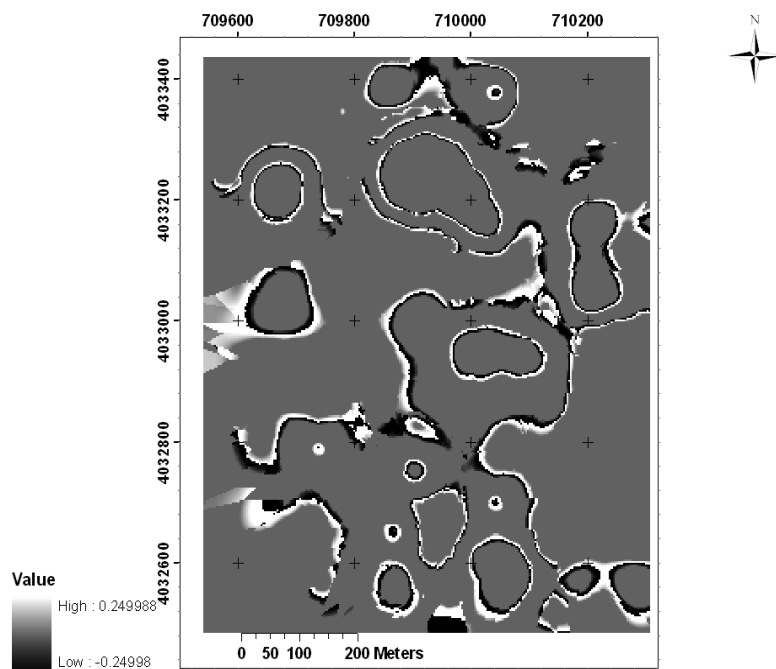
آنچه که مسلم است این مرزها یکتا نبوده و بدین منظور، نقشه های فازی با به کارگیری مرزهای گسترده تر و با استفاده از توابع جدول ۵-۲ در شکل های ۵-۱۳ و ۵-۱۵ و همچنین اختلاف فازی نقشه های مذکور با نقشه شکل ۵-۱۰ در شکل های ۵-۱۴ و ۵-۱۶ آمده است. با مقایسه این شکلها با نقشه شکل ۵-۱۰ اختلاف فازی در نقشه های مذکور در مرزها به طور بارزتری قابل مشاهده است.

جدول ۵-۲: روابط ریاضی توابع عضویت دوزنقه ای نقشه اکتشافی توزیع عنصر روی در دو حالت متفاوت دیگر

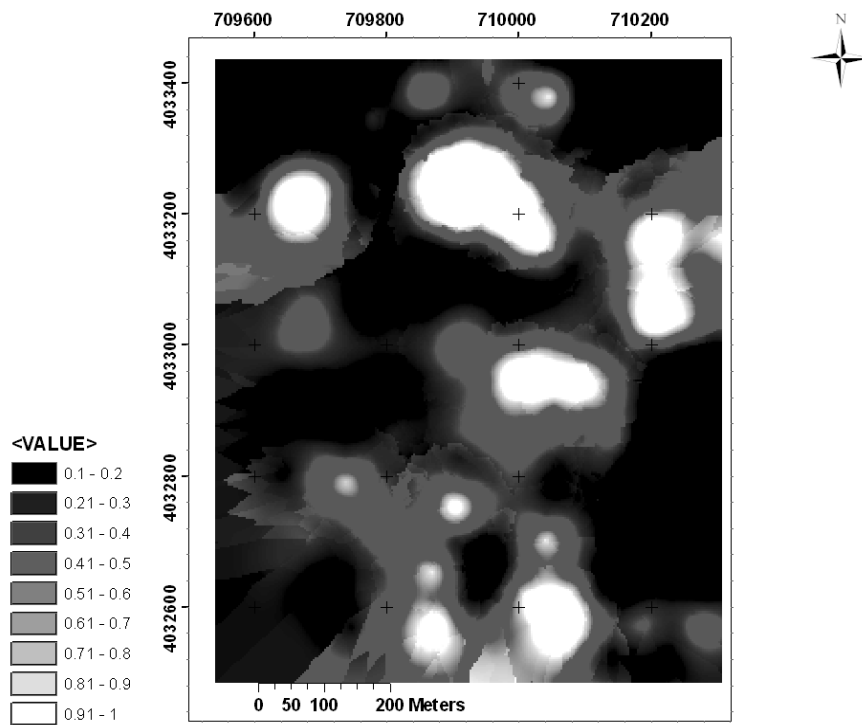
Zn(ppm)	$f_1 = \begin{cases} 1 & x < 900 \\ \frac{1}{1000}(1000 - x) & 900 \leq x < 1000 \\ 0 & x \geq 1000 \end{cases}$	$f_2 = \begin{cases} 0 & x < 800 \\ \frac{1}{200}(x - 800) & 800 \leq x < 900 \\ 1 & 900 \leq x < 2200 \\ \frac{1}{400}(2400 - x) & 2200 \leq x < 2400 \\ 0 & x \geq 2400 \end{cases}$	$f_3 = \begin{cases} 0 & x < 2000 \\ \frac{1}{2000}(x - 2000) & 2000 \leq x < 2200 \\ 1 & x \geq 2200 \end{cases}$
Zn(ppm)	$f_1 = \begin{cases} 1 & x < 900 \\ \frac{1}{2000}(1100 - x) & 900 \leq x < 1100 \\ 0 & x \geq 1100 \end{cases}$	$f_2 = \begin{cases} 0 & x < 700 \\ \frac{1}{200}(x - 700) & 700 \leq x < 900 \\ 1 & 900 \leq x < 2200 \\ \frac{1}{400}(2600 - x) & 2200 \leq x < 2600 \\ 0 & x \geq 2600 \end{cases}$	$f_3 = \begin{cases} 0 & x < 1800 \\ \frac{1}{2000}(x - 1800) & 1800 \leq x < 2200 \\ 1 & x \geq 2200 \end{cases}$



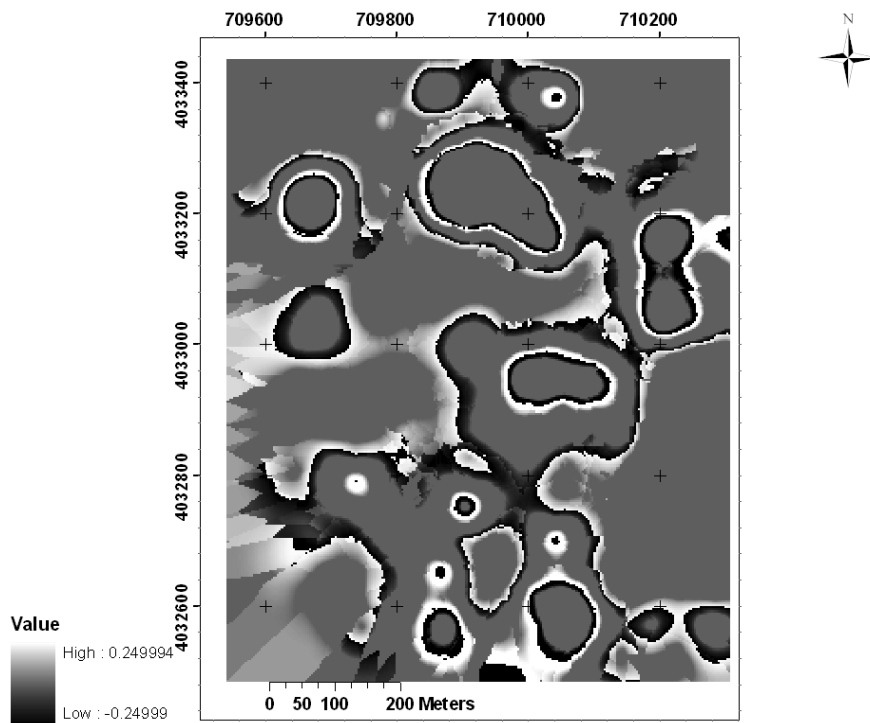
شکل ۵-۱۳- نقشه فازی عنصر روی با به کارگیری توابع جدول ۵-۲



شکل ۵-۱۴- تفاضل حسابی دو نقشه فازی شکل ۵-۷ و شکل ۵-۱۲



شکل ۵-۱۵- نقشه فازی عنصر روی با به کارگیری توابع جدول ۲-۵



شکل ۵-۱۶: نقشه فازی عنصر روی با به کارگیری توابع جدول ۲-۵

با بررسی و مقایسه نتایج عملکرد توابع عضویت دوزنقه ای، تابع عضویت دوزنقه ای که در جدول ۵-۱ آمده است به عنوان تابع عضویت دوزنقه ای نهایی جهت فازی سازی نقشه توزیع عنصر روی و نقشه مرتبط با آن (شکل ۵-۷) به عنوان نقشه نهایی در تحلیلهای بعدی مورد توجه قرار گرفته است. در مورد نقشه های اکتشافی دیگر نیز با بررسی و مقایسه نتایج، توابع عضویت دوزنقه ای مندرج در جدول ۵-۱ به عنوان توابع نهایی مورد استفاده قرار گرفته است.

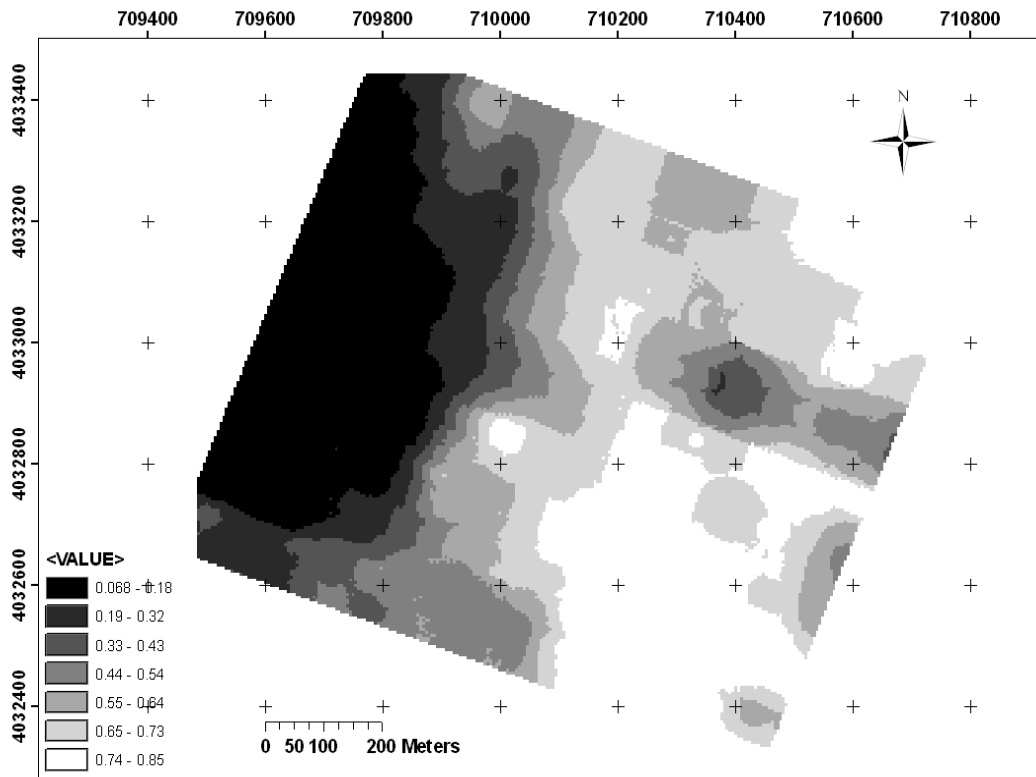
۵-۵- تلفیق نقشه های اکتشافی

۵-۵-۱- تلفیق نقشه های ژئوفیزیکی

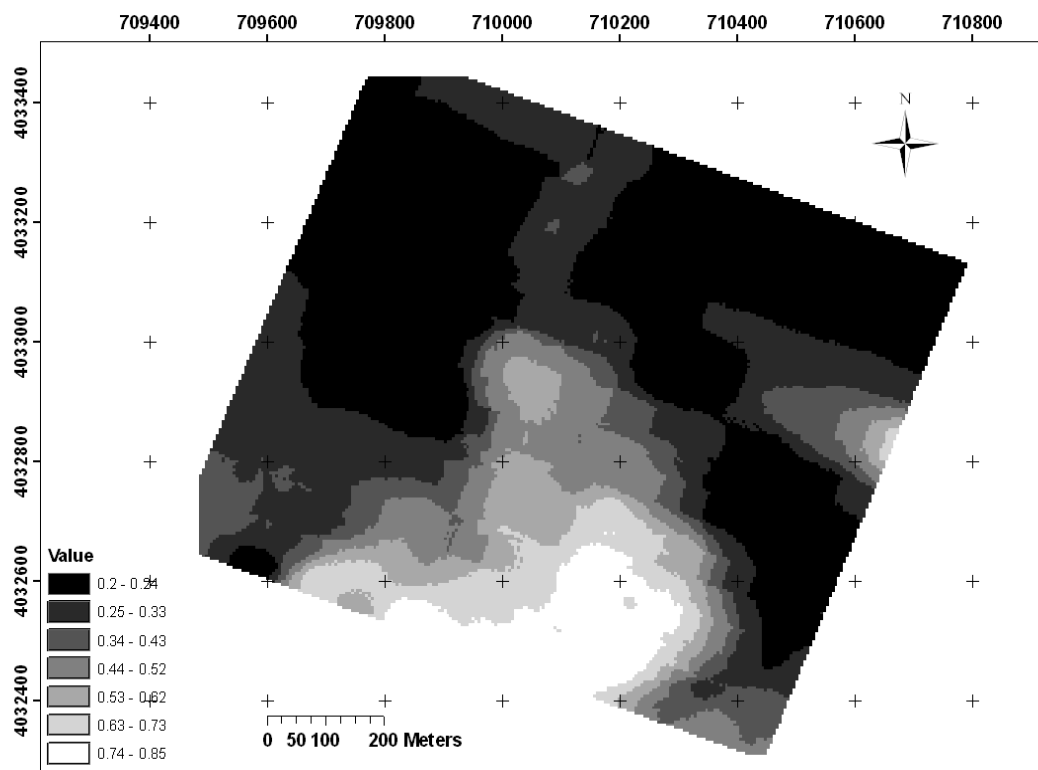
نقشه های مقاومت ویژه و قطبش القایی در ده عمق ذکر شده در فصل سوم مدل سازی و ترسیم و در بخش ۵-۳ فازی سازی گردیدند، اما بایستی در نهایت یک نقشه نهایی برای قطبش القایی و یک نقشه نهایی برای مقاومت ویژه جهت تلفیق نتایج و ارائه نقشه نهایی ژئوفیزیک ارائه کرد. به تعریف دقیق تر هدف در این مرحله ارائه یک روش مناسب به تصویر کشیدن اطلاعات عمقی (سه بعدی) به یک نقشه دو بعدی است که در برگیرنده اطلاعات مربوط به تمام اعماق باشد. بدین منظور با به کارگیری عملگر فازی رابطه (۵-۲۰) با مقادیر بالای γ (که اثر افزایشی دارد) نقشه های فازی مقاومت ویژه و قطبش القایی مربوط به ده عمق مورد تلفیق قرار گرفتند. نتیجه آن خواهد شد که بی هنجاریهایی که گسترش عمقی بیشتری دارند، در چند عمق ظاهر شده و همدیگر را تقویت کرده و در نقشه نهایی ارزش فازی بیشتری نسبت به بی هنجاریهایی که گسترش عمقی کمتری داشته به خود اختصاص خواهند داد. عملگر مذکور با مقادیر متفاوت γ اعمال شده تا بهترین مقدار γ (۰/۹۵) برای تلفیق نقشه های قطبش القایی و ۰/۹ برای تلفیق نقشه های مقاومت ویژه) انتخاب گردیده است. نقشه های فازی مقاومت ویژه و قطبش القایی در شکل های ۵-۱۷ و ۵-۱۸ آمده است. بررسی نقشه نهایی قطبش القایی به گسترش بی هنجاری با ارزش فازی بیش از ۰/۵ در جنوب این نقشه دلالت دارد (با توجه به ماهیت تلفیق،

مقادیر بالای ارزش فازی حاکی از بی هنجاریهای با بارپذیری بالا و گسترش عمقی نسبتاً زیاد می باشد). گسترش اصلی این بی هنجاری منطبق بر پروفیل های P-2S، P-3S، P-4S و P-4.5S می باشد که روند افزایشی مطلوبیت بی هنجاری از غرب به شرق کاملاً مشهود است. در نقشه نهایی مقاومت ویژه نیز می توان مقادیر بالای ارزش فازی را در شرق محدوده مشاهده کرد، که بخش اعظمی آن در سبب حضور واحد ماسه سنگی و شیل و رس می باشد. در ادامه برای تلفیق نقشه های مقاومت ویژه و قطبش القایی و ارائه نقشه ژئوفیزیک عملگرهای فازی وزنی (۵-۲۴)، (۵-۲۵) و عملگر فازی وزنی (۵-۲۶) با مقادیر مختلف s مورد توجه قرار گرفته است. بردار وزن برای نقشه ژئوفیزیکی $W_{\text{geophysics}} = (W_{\text{IP}}, W_{\text{Res}})$ به صورت $W_1 = (0/7, 0/3)$ تعریف گردیده است. (به طور کلی میزان اهمیت نقشه قطبش القایی نسبت به نقشه مقاومت ویژه در اکتشاف کانسارهای سولفیدی بیشتر است زیرا در نواحی با مشخصه بارپذیری و مقاومت ویژه بالا احتمال کانی سازی پراکنده مطرح است، در صورتی که ناحیه ای با بارپذیری و مقاومت ویژه پایین فاقد ارزش چندانی است به خصوص که در منطقه مورد مطالعاتی کاهش مقاومت ویژه در بخش اعظمی از شرق منطقه غیر مرتبط با کانی سازی فلزی و متأثر از حضور واحد ماسه سنگی و شیلها می باشد). نکته ای که ذکر آن ضروری به نظر می رسد این است که مقادیر بردار وزن، مقادیر یکتایی نبوده و در این پژوهش با تخمین کارشناسانه و با اعمال مقادیر متفاوت بردار وزن و بررسی و مقایسه نتایج، مقادیر مذکور در نظر گرفته شده است. با بررسی نتایج اعمال عملگرهای مذکور، به نظر می رسد اعمال عملگرهای فازی وزنی (۵-۲۴)، (۵-۲۵) و عملگر فازی وزنی (۵-۲۶) با مقادیر کوچک s در تلفیق نقشه های قطبش القایی و مقاومت ویژه سبب شدت بخشی کاذب و اعمال عملگر فازی وزنی (۵-۲۶) با مقادیر بالای s باعث کاهش مطلوبیت بی هنجاریهای ژئوفیزیکی می گردد. بنابراین عملگر فازی وزنی (۵-۲۶) با مقادیر حدودی $s=3$ تا $s=10$ می تواند مطلوبیت بی هنجاریهای مورد نظر ژئوفیزیکی را ارائه نماید. پس از بررسی نتایج عملگرها در تلفیق نتایج نقشه قطبش القایی و مقاومت ویژه، عملگر فازی وزنی (۵-۲۶) با $s=5$ برای تلفیق نهایی انتخاب گردیده است. نقشه نهایی ژئوفیزیک در شکل ۵-۱۹ آمده است. با

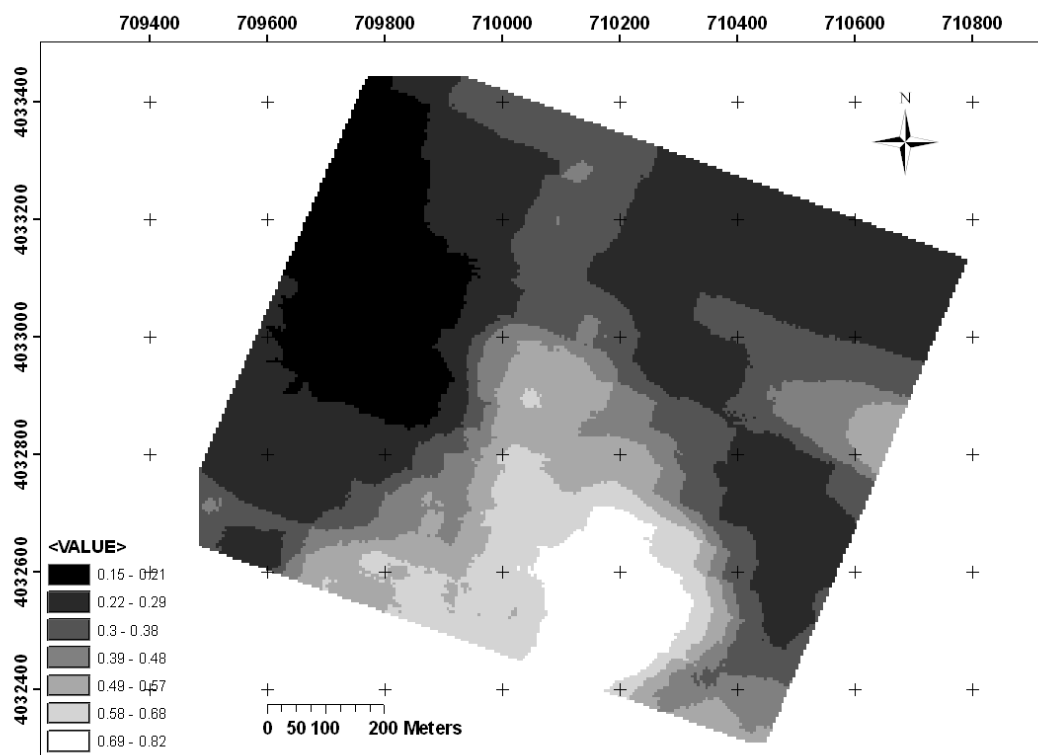
مقایسه نقشه ژئوفیزیک با نقشه قطبش القایی و مقاومت ویژه، تأثیر بیشتر نقشه قطبش القایی در نقشه ژئوفیزیک با توجه به اعمال وزن بیشتر (۰/۷) نسبت به نقشه مقاومت ویژه با وزن کمتر (۰/۳) به سهولت قابل مشاهده است. با بررسی نتایج نقشه ژئوفیزیک نهایی می‌توان گسترش بی‌هنجاری ژئوفیزیکی در جنوب شرقی نقشه با ارزش فازی بیش از ۰/۵ را مشاهده کرد. افزایش ارزش فازی گسترش بی‌هنجاری مورد نظر در روند غربی، شرقی مشهود است، به طوری که ارزش فازی در شرق این بی‌هنجاری به بیش از ۰/۷ می‌رسد. بخش اعظم این بی‌هنجاری منطبق بر واحد دولومیتی می‌باشد.



شکل ۵-۱۷- نقشه نهایی مقاومت ویژه با به کارگیری رابطه (۵-۲۰) با $\gamma = 0.9$

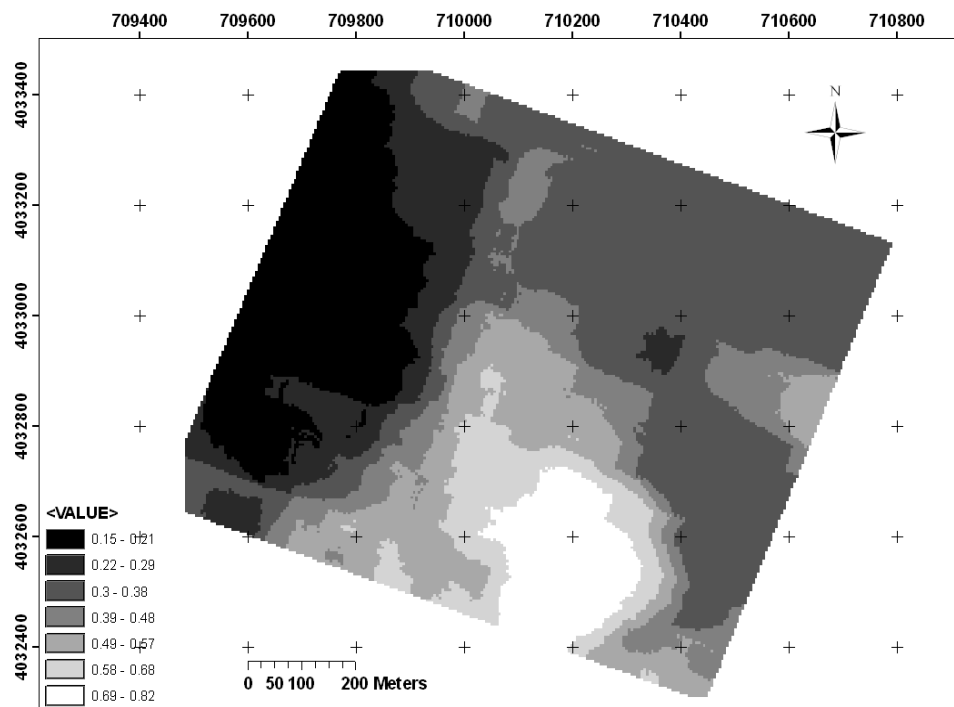


شکل ۵-۱۸- نقشه نهایی قطبش القایی با به کارگیری رابطه (۵-۲۰) با $\gamma=0/95$

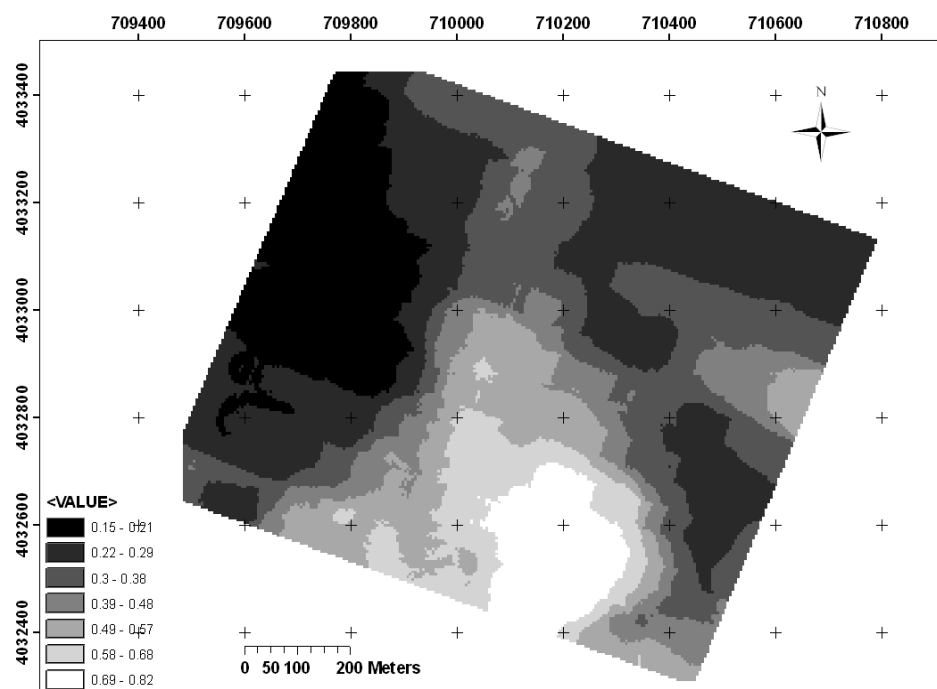


شکل ۵-۱۹- نقشه نهایی ژئوفیزیکی منطقه چیچکلو با بردار وزن W_1

در ادامه با توجه به غیر یکتا بودن مقادیر بردار وزن و همچنین امکان مقایسه کمی نتایج اعمال مقادیر بردار وزنی متفاوت، نقشه ژئوفیزیکی با تلفیق نقشه های مقاومت ویژه و قطبش القایی ابتدا با بردار وزن یکسان $W_2=(0/5, 0/5)$ و سپس با بردار وزن $W_3=(0/6, 0/4)$ با عملگر نهایی انتخاب شده (عملگر فازی وزنی (۵-۲۶) با $s=5$) مورد تلفیق قرار گرفتند. نقشه های ژئوفیزیکی حاصل به ترتیب در شکل های ۵-۲۰ و ۵-۲۱ آمده است. از مقادیر بردار وزنی یکسان به منظور مقایسه و مشاهده نتیجه اعمال مقادیر بردار وزنی انتخاب گردیده است. از مقایسه نقشه ژئوفیزیکی با بردار وزن یکسان (شکل ۵-۲۰) با نقشه نهایی ژئوفیزیکی (شکل ۵-۱۹) می توان نکات مهمی را مورد توجه قرار داد. نخست افزایش میزان ارزش فازی در شمال شرقی نقشه ژئوفیزیکی با بردار وزن یکسان با توجه به وزن بیشتر نقشه مقاومت ویژه $(0/5)$ می باشد (با توجه به نقشه های فازی مقاومت ویژه و قطبش القایی، این ناحیه حاصل تلفیق مقادیر بالای ارزش فازی در نقشه مقاومت ویژه و مقادیر پایین ارزش فازی در نقشه قطبش القایی است). دوم کاهش میزان ارزش فازی در جنوب غربی نقشه ژئوفیزیکی با بردار وزن یکسان با توجه به وزن کمتر نقشه قطبش القایی $(0/5)$ می باشد. (بر خلاف مورد نخست این ناحیه حاصل تلفیق مقادیر متوسط ارزش فازی در نقشه مقاومت ویژه و مقادیر بالای ارزش فازی در نقشه قطبش القایی است). مقادیر ارزش فازی در نقشه ژئوفیزیکی که با بردار وزن W_3 حاصل شده (شکل ۵-۲۱) با توجه به مقادیر بردار وزن، توسط مقادیر فازی بین دو نقشه شکل های ۵-۱۹ و ۵-۲۰ کنترل می شود. در جنوب نقشه های ژئوفیزیکی ترسیم شده که حاصل از تلفیق مقادیر بالای ارزش فازی در نقشه مقاومت ویژه و قطبش القایی است و همچنین در غرب نقشه های مذکور که حاصل از تلفیق مقادیر پایین ارزش فازی در نقشه مقاومت ویژه و قطبش القایی می باشد تفاوت بارزی در مقادیر ارزش فازی نقشه ها مشاهده نمی شود و مدل نسبت به تغییرات نسبی بردار وزن واکنش کمتری نشان می دهد.



شکل ۵-۲۰- نقشه ژئوفیزیکی منطقه چیچکلو با بردار وزن W_2



شکل ۵-۲۱- نقشه ژئوفیزیکی منطقه چیچکلو با بردار وزن W_3

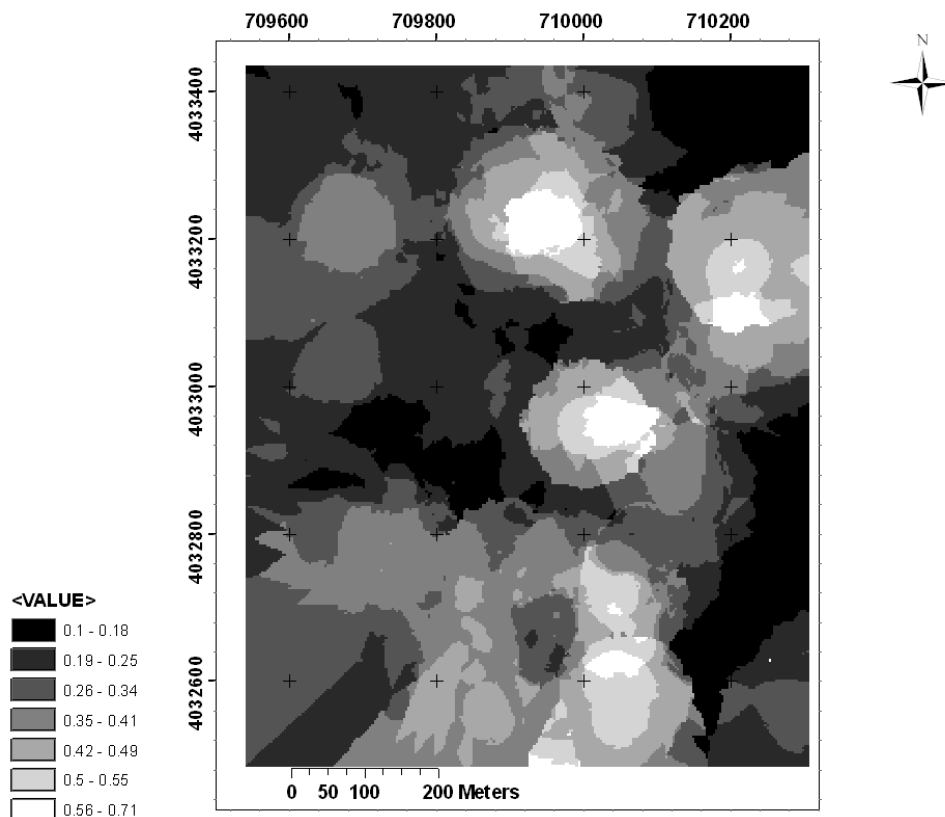
۵-۵-۲- تلفیق نقشه های ژئوشیمیایی:

نقشه های فازی توزیع عناصر پاراژنز نیز جهت ارائه نقشه ژئوشیمیایی با به کارگیری عملگر فازی وزنی روابط (۵-۲۴)، (۵-۲۵) و (۵-۲۶) با مقادیر مختلف s مورد تلفیق قرار گرفتند.

برای انتخاب مقادیر بردار وزن جهت تلفیق نقشه های فازی توزیع عناصر پاراژنز که به صورت

$$W_{\text{geochemistry}} = (W_{\text{Pb}}, W_{\text{Zn}}, W_{\text{Ag}}, W_{\text{Cd}}, W_{\text{Sb}})$$

است. بردار وزن به صورت $(0/175, 0/15, 0/175, 0/25, 0/25)$ تعریف گردیده است. از طرف دیگر پس از بررسی نتایج عملگرهای فازی وزنی، در مشابَهت با دلایلی که در مورد تلفیق نقشه های مقاومت ویژه و قطبش القایی بیان گردید عملگر فازی وزنی رابطه (۵-۲۶) با $s=3$ برای تلفیق نهایی انتخاب گردیده است. نقشه های ژئوشیمیایی حاصل از به کارگیری بردار وزن W_1 در شکل ۵-۲۲، آمده است. نکته ای که بایستی اشاره کرد این است که نقشه های حاصل از به کارگیری بردارهای وزن مذکور به دلیل آنکه موقعیت و امتداد بی هنجاریهای عناصر پاراژنز تطابق نسبی با هم دارند تفاوت زیادی نشان نمی دهد و مدلهای به دست آمده نسبت به تغییرات نسبی بردار وزن تقریباً پایدار است. بررسی این نقشه که حاصل از تلفیق نتایج مربوط به نقشه های اکتشافی عناصر پاراژنز می باشد، بر گسترش جامعه بی هنجاری عناصر پاراژنز با ارزش فازی بیش از ۰/۵ در شرق نقشه مذکور با امتداد شمالی - جنوبی بر واحد دولومیتی دلالت دارد. در برخی نواحی ارزش فازی این گسترش بی هنجاری به ۰/۶۵ نیز می رسد.



شکل ۵-۲۲- نقشه ژئوشیمیایی منطقه چیچکلو با بردار وزن W_1

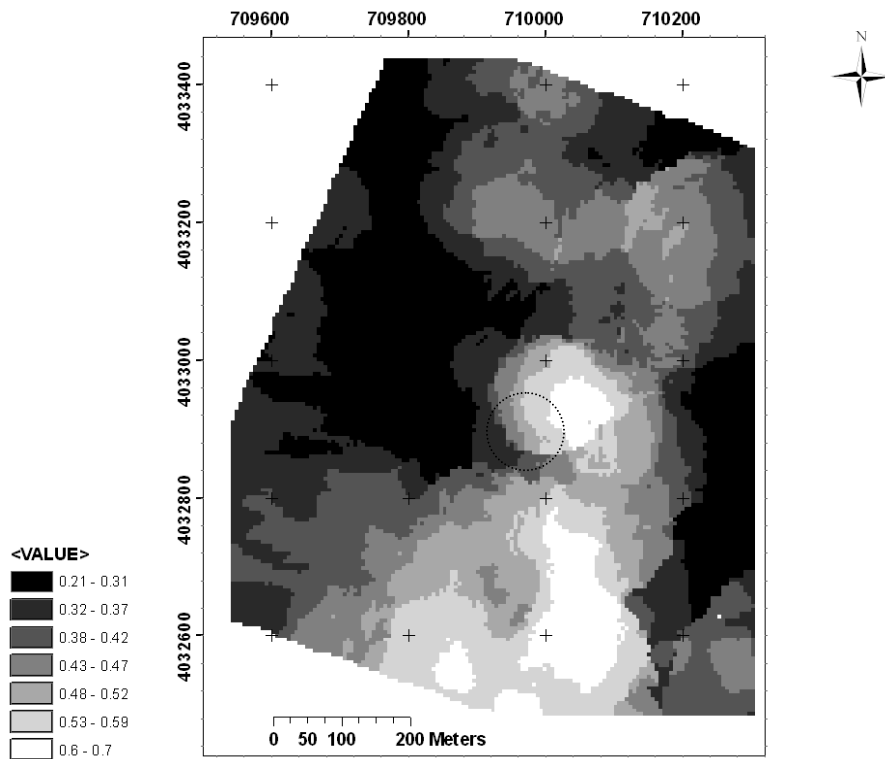
۵-۵-۳- نقشه نهایی اکتشافی:

با بررسی و مقایسه نقشه های گسترش بی هنجاریهای ژئوفیزیکی و ژئوشیمیایی و مطابقت با نقشه زمین شناسی می توان همپوشانی قابل توجهی بین بی هنجاریهای ژئوفیزیکی و ژئوشیمیایی در واحد دولومیتی در جنوب منطقه مشاهده کرد، اما به منظور تفسیر کمی و ارائه نقشه نهایی اکتشافی، نقشه های ژئوفیزیکی، ژئوشیمیایی و زمین شناسی در این مرحله مورد تلفیق قرار گرفته اند. حضور نقشه زمین شناسی (سنگ میزبان) نیز به منظور افزایش مطلوبیت بی هنجاریهای منطبق بر واحد دولومیتی به عنوان میزبان اصلی کانی سازی می باشد (گسترش بی هنجاریهای ژئوفیزیکی در واحد ماسه سنگی نیز مشاهده می شود که احتمالاً در ارتباط با حضور پیریت و غیر

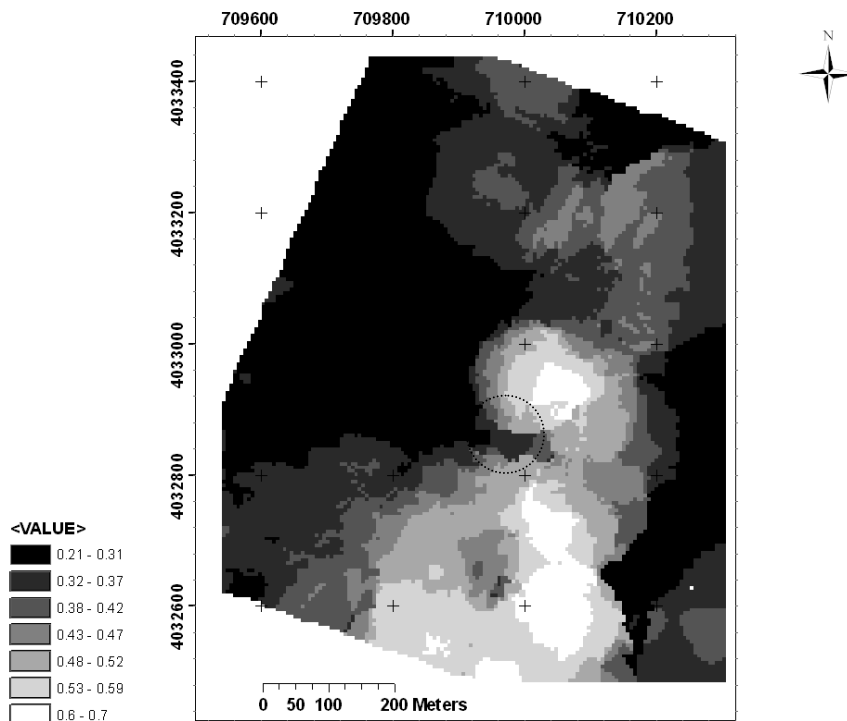
مرتبط با کانی سازی سرب و روی می باشد). بردار وزن جهت تلفیق نقشه های ژئوفیزیکی، ژئوشیمیایی و زمین شناسی $W_{exploration} = (W_{geophysics}, W_{geochemistry}, W_{geology})$ به صورت $W_1 = (0/40, 0/33, 0/27)$ در نظر گرفته شده است. انتخاب بردار وزن بر این اساس است که نتایج تفسیر داده های قطبش القایی و مقاومت ویژه تخمین قابل قبولی از گسترش عمقی بی هنجاریها به دست می دهد که پارامتر بسیار مهمی در اولویت بخشی انتخاب نقاط حفاری است در صورتی که برآورد گسترش عمقی بی هنجاری های ژئوشیمیایی امکان پذیر نیست، از طرف دیگر میزان سطح نوفه در داده های ژئوشیمیایی با توجه به نوع برداشت نمونه ها و شرایط تکتونیزه منطقه در تخمین مقادیر بردار وزن در نظر گرفته شده است. حضور نقشه سنگ میزبان نیز به منظور افزایش مطلوبیت بی هنجاری های منطبق بر واحد دولومیتی می باشد. نقشه های اکتشافی با به کارگیری عملگرهای فازی وزنی توسط روابط (۲۴-۵)، (۲۵-۵) در شکلهای ۵-۲۳ و ۵-۲۴ و توسط عملگر فازی وزنی رابطه (۲۶-۵) با مقادیر $s=1, s=2, s=5$ و $s=10$ به ترتیب در شکلهای ۵-۲۵، ۵-۲۶، ۵-۲۷ و ۵-۲۸ آمده است. نقشه های مذکور در این بخش مورد بررسی و مقایسه قرار گرفته است تا در نهایت مطلوبترین نقشه، به عنوان نقشه نهایی اکتشافی انتخاب گردد. همان طور که در بخش ۵-۴-۱ جهت تلفیق نقشه های قطبش القایی و مقاومت ویژه ذکر گردید اعمال عملگرهای فازی وزنی روابط (۲۴-۵)، (۲۵-۵) و عملگر فازی وزنی (۲۶-۵) با مقادیر کوچک s در تلفیق نقشه های مذکور سبب شدت بخشی کاذب مطلوبیت بی هنجاریهای ژئوفیزیکی می گردد. این مطلب در نقشه های اکتشافی حاصل از به کارگیری عملگرهای فازی وزنی روابط (۲۴-۵)، (۲۵-۵) و عملگر فازی وزنی (۲۶-۵) با $s=1$ و $s=2$ که به ترتیب در شکلهای (۲۳-۵)، (۲۴-۵)، (۲۵-۵) و (۲۶-۵) آمده است نیز قابل مشاهده است. به عنوان مثال متوسط مقدار ارزش فازی ناحیه ای که با دایره ای در قسمت میانی نقشه های مذکور تفکیک گردیده است به ترتیب برابر با $0/65, 0/62, 0/65$ و $0/62$ می باشد، در صورتی که متوسط مقدار ارزش فازی این ناحیه، در نقشه های فازی ژئوفیزیک، ژئوشیمیایی و زمین شناسی به ترتیب برابر

با ۰/۵۲، ۰/۵۸ و ۰/۸ می باشد که این مطلب حاکی از شدت بخشی نامطلوب ارزش فازی بی هنجاری نقشه های اکتشافی می باشد.

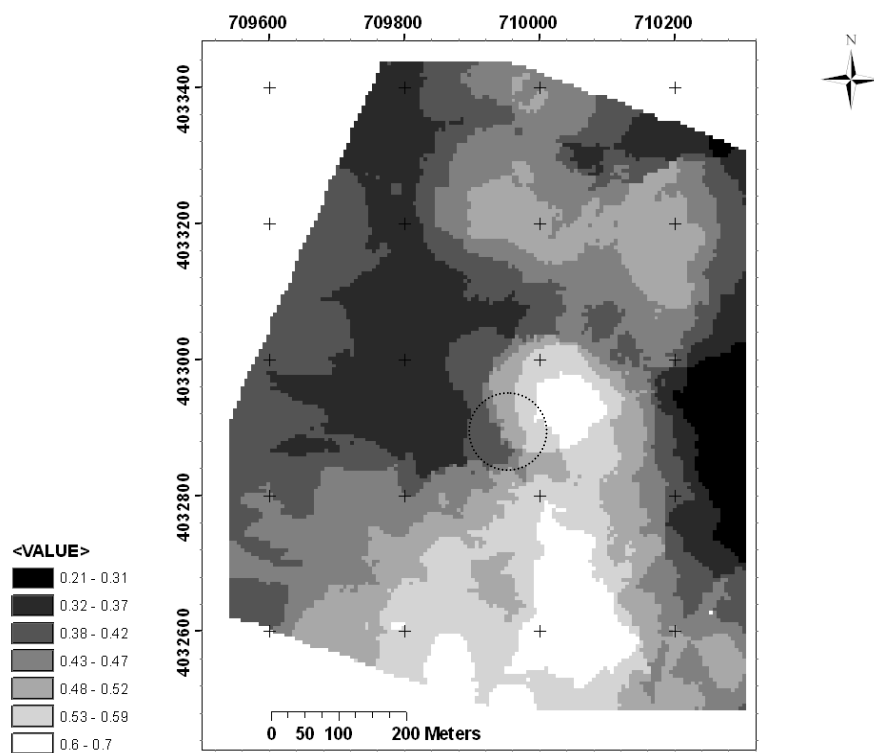
از طرف دیگر متوسط مقدار ارزش فازی ناحیه مذکور در نقشه های اکتشافی شکل (۵-۲۷) و (۵-۲۸) که از اعمال عملگرهای فازی وزنی (۵-۲۶) با $s=5$ و $s=10$ حاصل گردیده به ترتیب برابر با ۰/۵۸ و ۰/۵۶ می باشد که مطلوبیت مورد انتظار را ارائه می دهد. این مطلب در نواحی دیگر نیز با مقایسه نتایج قابل مشاهده می باشد. نقشه اکتشافی که با به کارگیری عملگر فازی وزنی رابطه (۵-۲۶) با مقدار $s=10$ حاصل گردیده است، ارزش فازی بی هنجاریهای اکتشافی را به طور مطلوبی ارائه می نماید و به عنوان نقشه نهایی اکتشافی مورد توجه قرار گرفته است. بررسی نتایج نقشه مذکور، مطلوبیت فازی بیش از ۰/۴ را در شرق نقشه مذکور با امتداد شمالی - جنوبی نمایش می دهد، که در جنوب و جنوب شرقی نقشه مطلوبیت فازی به بیش از ۰/۶ می رسد که حاکی از همپوشانی قابل توجه بی هنجاریهای ژئوفیزیکی و ژئوشیمیایی در این ناحیه است و به نظر مطلوب ترین ناحیه جهت بررسی از طریق حفاریهای اکتشافی است.



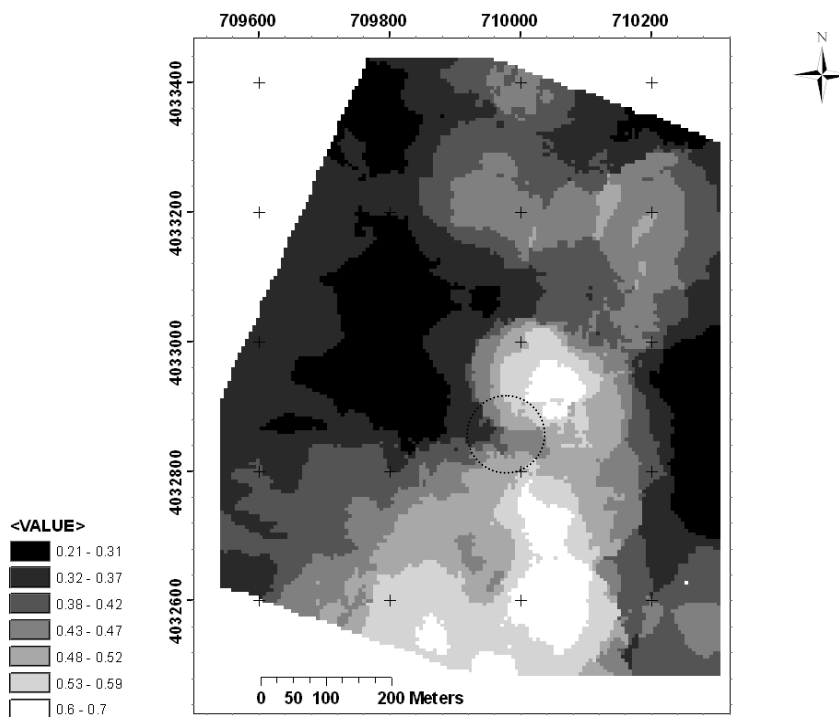
شکل ۵-۲۳- نقشه اکتشافی با به کارگیری رابطه (۵-۲۴)



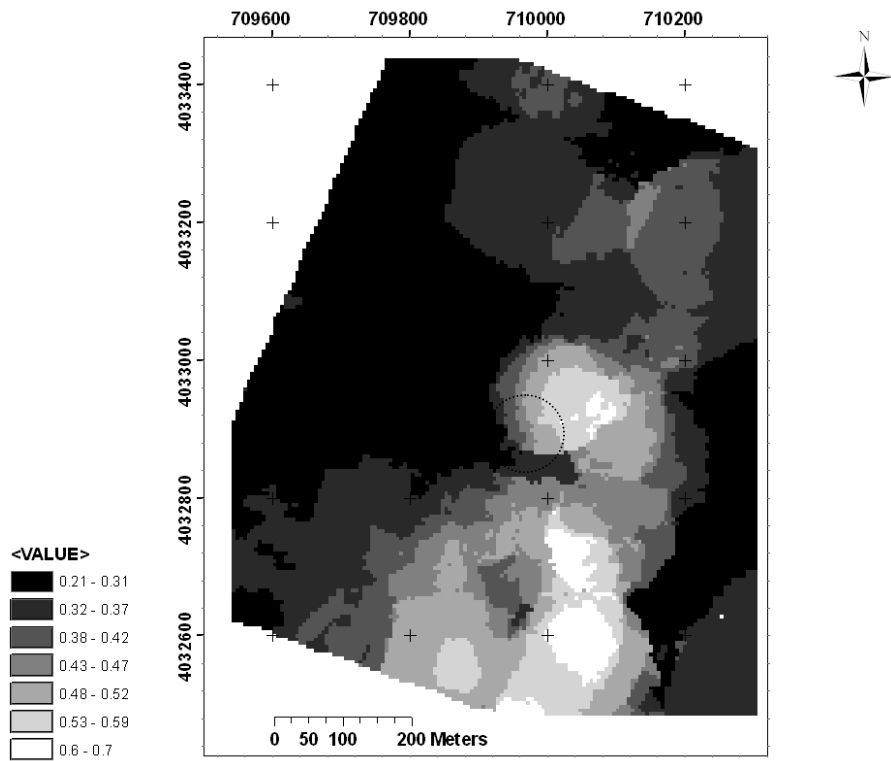
شکل ۵-۲۴- نقشه اکتشافی با به کارگیری رابطه (۵-۲۵)



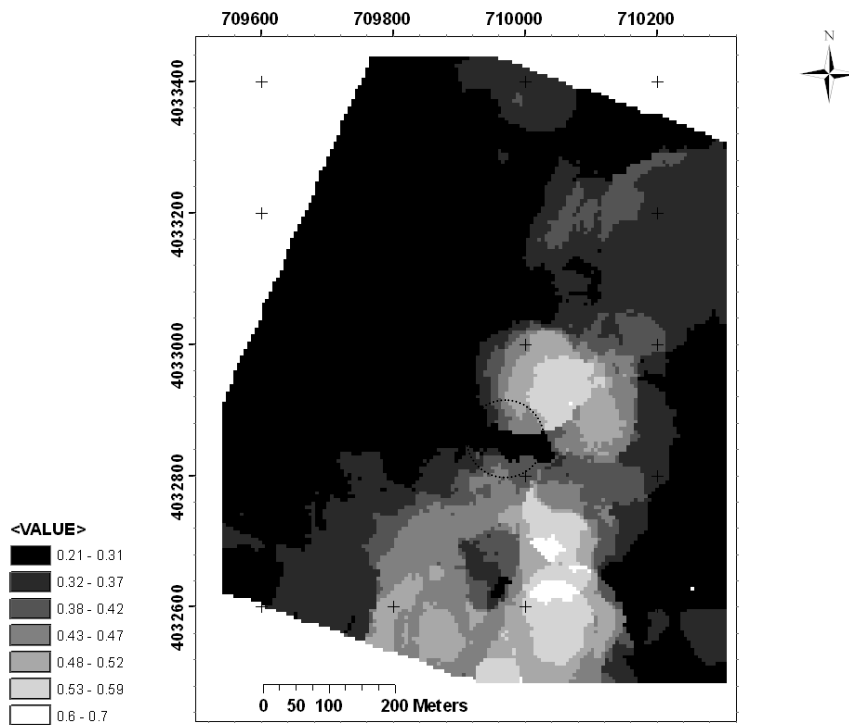
شکل ۵-۲۵- نقشه اکتشافی با به کارگیری رابطه (۵-۲۶) با $S=1$



شکل ۵-۲۶- نقشه اکتشافی با به کارگیری رابطه (۵-۲۶) با $S=2$

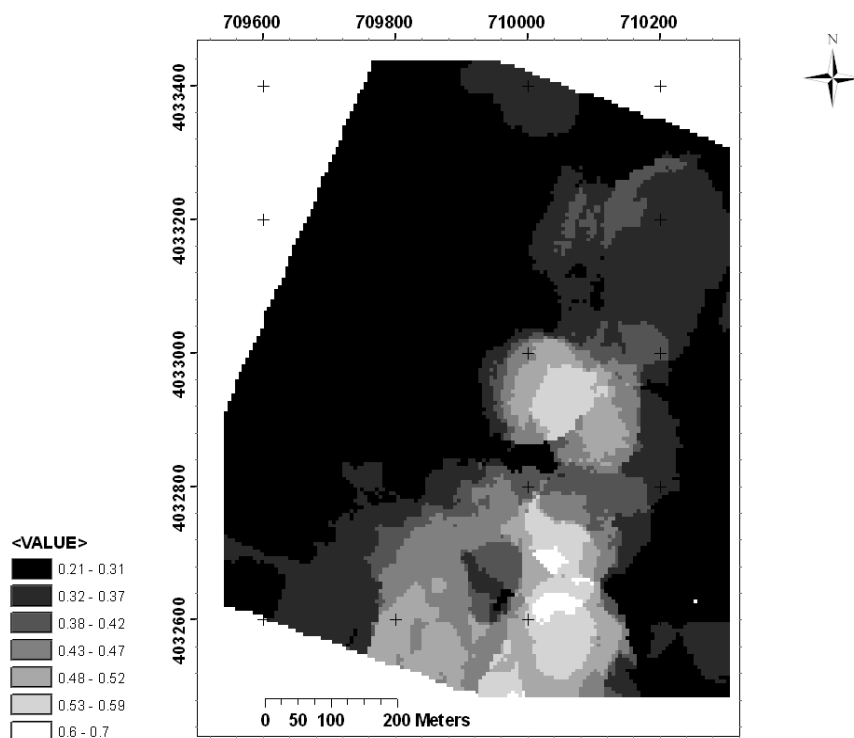


شکل ۵-۲۷- نقشه اکتشافی با به کارگیری رابطه (۵-۲۶) با $S=5$

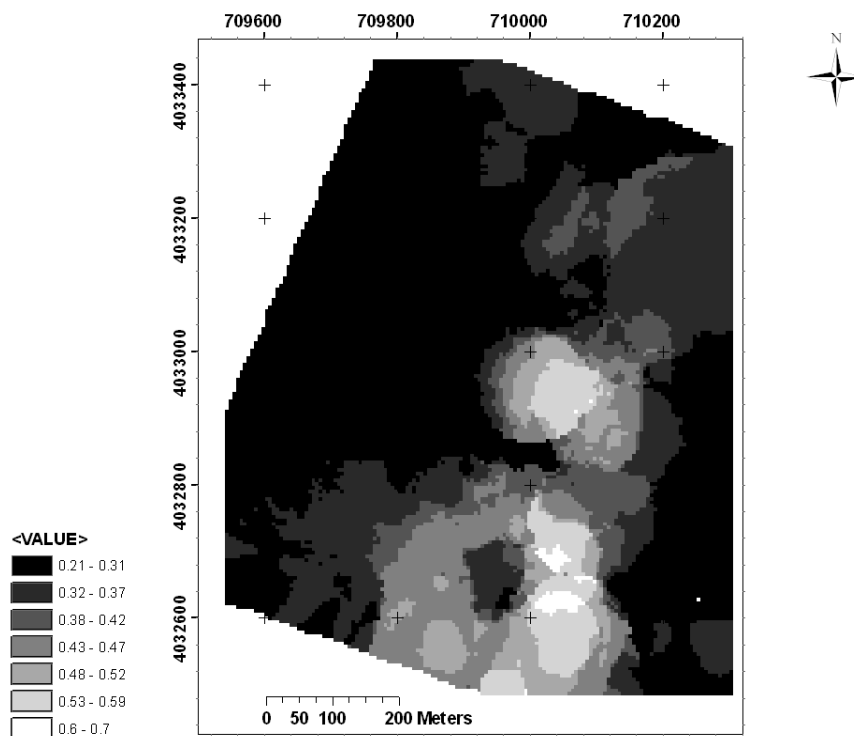


شکل ۵-۲۸- نقشه نهایی اکتشافی با به کارگیری رابطه (۵-۲۶) با $S=10$

در نهایت جهت بررسی و مقایسه تغییرات نقشه نهایی اکتشافی با تغییر مقادیر بردار وزن، نقشه های ژئوفیزیک، ژئوشیمیایی و زمین شناسی با عملگر نهایی انتخاب شده (عملگر ۵-۲۶ با $S=10$) و بردار وزن $(0/30, 0/25)$ ، $W_2 = (0/45)$ و $W_3 = (0/35, 0/4, 0/25)$ مورد تلفیق قرار گرفتند. نقشه های حاصل به ترتیب در شکل های ۵-۲۹ و ۵-۳۰ آمده است. اگرچه از مقایسه نقشه اکتشافی شکل ۵-۲۹ با نقشه اکتشافی شکل ۵-۳۰ می توان تأثیر بیشتر نقشه ژئوفیزیک را در شکل ۵-۲۹ در جنوب غربی نقشه های مذکور مشاهده کرد، اما تغییرات بارزی در نواحی با مقادیر بالای ارزش فازی که حاصل از تلفیق مقادیر بالای ارزش فازی (بی هنجاریهای اکتشافی) در نقشه های اکتشافی است مشاهده نمی شود (مقادیر ارزش فازی در نقشه های اکتشافی مورد تلفیق در این ناحیه به یکدیگر نزدیک هستند) و مدل به دست آمده نسبت به تغییرات نسبی مقادیر بردار وزن در این نواحی که حائز اهمیت هستند، تغییر چندانی نشان نمی دهد.



شکل ۵-۲۹- نقشه اکتشافی با به کارگیری رابطه (۵-۲۶) با $S=10$ و بردار وزن W_2



شکل ۵-۳۰- نقشه اکتشافی با به کارگیری رابطه (۵-۲۶) با $S=10$ و بردار وزن W_3

فصل ششم:

نتیجه گیری و پیشنهادات

۶-۱- نتیجه گیری و پیشنهادات

مطالعه و بررسی نقشه نهایی اکتشافی حاصل از تلفیق نقشه های مقاومت ویژه، قطبش القایی، نقشه های توزیع عناصر سرب، روی، نقره، مس، کادمیم و آنتیموان و همچنین نقشه سنگ میزبان، مقادیر بالای ارزش فازی را در شرق نقشه مذکور با امتداد شمالی - جنوبی نشان می دهد که که حاکی از همپوشانی قابل توجه بی‌هنجاری‌های نقشه های مذکور در این ناحیه است.

به منظور بررسی نتایج پژوهش، حفاریهای اکتشافی با مختصات زیر پیشنهاد گردید:

پیشنهاد اول حفاری نقطه ای با مختصات جغرافیایی $\begin{cases} x = 710050 \\ y = 4092650 \end{cases}$ می باشد. نقطه مذکور منطبق بر ایستگاه ۴۵۰ شرقی پروفیل P-3S ژئوفیزیکی بوده که متوسط میزان بارپذیری و مقاومت ویژه در این ناحیه با بررسی نتایج مدل سازی پروفیل مذکور (شکل ۳-۱۸) به ترتیب برابر با ۳۰ میلی ثانیه و ۱۰۰ اهم متر می باشد. متوسط میزان عیار سرب و روی در این ناحیه را با توجه به نقشه های توزیع این عناصر (شکل‌های ۴-۴ و ۴-۵)، می توان به ترتیب ۸۰۰ ppm و ۳۵۰۰ ppm در نظر گرفت.

پیشنهاد دوم حفاری در مختصات جغرافیایی $\begin{cases} x = 709900 \\ y = 4092550 \end{cases}$ می باشد. نقطه مذکور منطبق بر ایستگاه ۱۷۵ شرقی پروفیل P-4.5S ژئوفیزیکی بوده که متوسط میزان بارپذیری و مقاومت ویژه نیز در این ناحیه با بررسی نتایج مدل سازی پروفیل مذکور (شکل ۳-۲۰) به ترتیب برابر با ۳۵ میلی ثانیه و ۲۰۰ اهم متر می باشد. متوسط میزان عیار سرب در این ناحیه ۵۰۰ ppm و متوسط میزان عیار روی نیز ۲۰۰۰ ppm می باشد.

آخرین پیشنهاد حفاری منطبق بر مختصات جغرافیایی $\begin{cases} x = 710100 \\ y = 4092900 \end{cases}$ می باشد. نقطه مذکور در ایستگاه ۳۰۰ شرقی پروفیل P-00 ژئوفیزیکی قرار گرفته است که متوسط میزان بارپذیری در این ناحیه با بررسی نتایج مدل سازی پروفیل مذکور (شکل ۳-۱۵) برابر با ۲۵ میلی ثانیه می باشد. همچنین متوسط میزان عیار سرب و روی در این ناحیه را می توان به ترتیب ۱۷۰۰ ppm و ۳۵۰۰ ppm در نظر گرفت.

نتایج حفاریهای به عمل آمده در مختصات پیشنهادی حضور ماده معدنی را نشان می دهد که صحت نتایج بدست آمده را مورد تأیید قرار می دهد.

در یک نگاه کلی به پژوهش ارائه شده، می توان نتایج زیر را مورد توجه قرار داد:

۱- GIS می تواند به عنوان ابزاری کارآمد در جمع آماری داده ها، استخراج اطلاعات مورد نظر و انجام محاسبات آماری و تلفیق نقشه های اکتشافی به منظور ارائه نقشه نهایی به کار گرفته شود. در این پژوهش به کارگیری روش عیار - مساحت در بهینه کردن فازی سازی نقشه های اکتشافی با استفاده از جداول اطلاعاتی لایه رستری که شامل دو ویژگی value و count می باشد، انجام پذیرفته است. همچنین اعمال توابع دوزنقه ای فازی با استفاده از روابط ریاضی مرتبط (جدول ۵-۱) و فازی سازی نقشه های اکتشافی و در نهایت تلفیق نقشه ها به کمک عملگرهای فازی وزنی مستقیماً در محیط GIS صورت پذیرفت.

۲- تابع عضویت فازی دوزنقه ای که در این پژوهش به عنوان روش نوینی در فازی سازی نقشه های اکتشافی پیشنهاد و مورد استفاده قرار گرفته است نتایج قابل قبولی ارائه داده و با توجه به قابلیت، انعطاف و تطابقی که با ماهیت اکتشافی دارد می تواند به عنوان روشی مؤثر در بهینه کردن فازی سازی نقشه های اکتشافی و کاهش خطای تفکیک سازی جوامع بی هنجاری و زمینه مورد استفاده واقع شود.

۳- به کارگیری روشهای جداسازی جوامع بی هنجاری از زمینه در نقشه های اکتشافی نقش مؤثری در بهینه کردن فازی سازی نقشه های اکتشافی ایفا می کند. در این پژوهش روش عیار- مساحت به منظور نیل به این هدف مورد توجه قرار گرفته و در واقع مدل ترکیبی فازی و عیار - مساحت برای اولین بار ارائه گردیده است. این مدل در موارد مشابه که الگوی فرکتالی بر داده ها حاکم است جهت تلفیق نقشه های اکتشافی قابل استفاده می باشد.

۴- از ضعفهای حاکم بر مطالعات انجام پذیرفته در تلفیق نقشه های اکتشافی و ارائه نقشه پتانسیل معدنی با روش منطق فازی، به کارگیری عملگرهای فازی با ارزش برابر در تلفیق نقشه های اکتشافی است که معمولاً با

توجه به اینکه میزان اهمیت هر یک از نقشه های اکتشافی در نتیجه نهایی غیر یکسان است نمی تواند مطلوبیت بی هنجاریهای اکتشافی را به خوبی ارائه نماید. در این پژوهش برای اولین بار عملگرهای فازی وزنی که در مطالعات سیستمهای کنترل فازی استفاده می گردد در تلفیق نقشه های اکتشافی مورد توجه قرار گرفته است. استفاده از عملگرهای مذکور و انتخاب کارشناسانه مقادیر بردار وزن می تواند به بهترین وجهی مطلوبیت بی هنجاریهای اکتشافی را ارائه نماید.

۶- در میان عملگرهای جمعی وزنی معرفی شده در این پژوهش، عملگر فازی وزنی پارامتری (۵-۲۶) از جایگاه ویژه ای برخوردار است. عملگر مذکور با تعیین مقادیر بردار وزن و تغییر پارامتر s می تواند با توجه به ماهیت تلفیق، به بهترین وجهی نظر کارشناس را اعمال و بازتاب نماید.

۷- تعیین کارشناسانه مقادیر بردار وزن نقش مهمی در تلفیق و ارائه نقشه اکتشافی نهایی ایفا می کند. هدف اکتشافی، برداشتهای اکتشافی انجام پذیرفته، میزان اعتماد به داده ها و تخمین سطح نوفه پارامترهای مهم در تعیین مقادیر بردار وزن می باشند. تعیین مقادیر بردار وزن در این پژوهش با مشورت و همفکری گروهی از اساتید و کارشناسان خبره در امر اکتشافات انجام گرفته است.

منابع

منابع فارسی:

- ۱- آگاه آ. (۱۳۸۳) پایان نامه ارشد: "مدل سازی و تفسیر داده های گرانی و مغناطیس ناحیه طبس"، دانشکده معدن، نفت و ژئوفیزیک، دانشگاه صنعتی شاهرود.
- ۲- بونهام کارتر گ. (۱۳۷۹) "سیستمهای اطلاعات جغرافیایی برای دانش پژوهان علوم زمین (مدل سازی به کمک GIS)" ترجمه، گروه اطلاعات زمین مرجع، چاپ اول، انتشارات سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران، ۵۶۴ صفحه.
- ۳- تلفورد د الف، جلدارت ل پ، شریف ر الف و کیز د الف. (۱۳۶۸) "ژئوفیزیک کاربردی" جلد اول، ترجمه، حاجب حسینی ح و زمردیان، چاپ اول، انتشارات دانشگاه تهران، تهران، ۶۹۶ صفحه.
- ۴- تلفورد د الف، جلدارت ل پ، شریف ر الف و کیز د الف. (۱۳۷۵) "ژئوفیزیک کاربردی" جلد دوم، ترجمه، حاجب حسینی ح و زمردیان، چاپ دوم، انتشارات دانشگاه تهران، تهران، ۵۷۹ صفحه.
- ۵- حسنی پاک ع و شرف الدین م. (۱۳۸۰) "تحلیل داده های اکتشافی" چاپ اول، انتشارات دانشگاه تهران، تهران، ۹۹۱ صفحه.
- ۶- دولتی اردجانی ف. (۱۳۸۵) "جزوه درسی اکتشاف نفت" دانشکده معدن، نفت و ژئوفیزیک، دانشگاه صنعتی شاهرود.
- ۷- رسا الف و کاظمی الف. (۱۳۸۴) "کانسارهای فلزات پایه با میزبان سنگهای کربناتی" چاپ اول، انتشارات روزبهان، تهران، ۲۶۲ صفحه.
- ۸- ضیایی م و جلالی. (۱۳۸۶) "گزارش تحلیلی و تفسیر داده های ژئوشیمیایی در محدوده جنوب غربی زنجان (چیچکلو)" دانشکده معدن، نفت و ژئوفیزیک، دانشگاه صنعتی شاهرود.
- ۹- کریم پور ح، ملک زاده الف و حیدریان م. (۱۳۸۴) "اکتشاف ذخایر معدنی، مدل‌های زمین‌شناسی، ژئوشیمی، ماهواره‌ای و ژئوفیزیکی" چاپ اول، انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ۶۳۶ صفحه.

۱۰- کلاگری ع. (۱۳۷۱) "اصول اکتشاف ژئوفیزیکی" چاپ اول، انتشارات علی اصغر کلاگری، تهران، ۵۸۸ صفحه.

۱۱- کوثری. (۱۳۸۵) "ارزیابی داده های اکتشافی در کانسار روی و سرب چیچکلو" تهران، ۶۷ صفحه.

۱۲- محمدی نیائی ر. (۱۳۷۹) "گزارش مطالعات عملیات اکتشافی پتانسیل سرب و روی چیچکلو توسط اداره کل معادن استان آذربایجان غربی" ۷۸ صفحه.

References:

1. An, P., Moon, W. M. & Bonham-Carter, G. F. (1992) "On a knowledge-based approach of integrating remote sensing, geophysical and geological information" *Proc. IAGRS'92* (Houston, Texas), p. 34–38.
2. An, P., Moon, W. M. & Rencz, A. N. (1991) "Application of fuzzy theory for integration of geological, geophysical and remotely sensed data" *Can. Exploration Geophysics*, v. 27, no. 1, p. 1–11.
3. Baglio, S., Fortuna, L., Graziani, S. & Muscato, G. (1994) "Membership function shape and the dynamic behaviour of systems" *Adaptive Control Signal Process*, v.8, p. 369–377.
4. Brown, W. M., Gedeon, T. D., Groves, D. I. & Barnes, R. G. (2000) "Artificial neural networks: a new method for mineral prospectivity mapping" *Aust. Earth Sciences*, v. 47, no. 4, p. 757–770.
5. Carranza, E. J. M., Hale, M. & Mangaoang, J. C. (1999) "Application of mineral exploration models and GIS to generate mineral potential maps as input for optimum land-use planning in the Philippines" *Natural Resources Research*, v. 8, no. 2, p. 165–173.
6. Cheng, Q. (1995) "The perimeter-area fractal model and its application in geology" *Math. Geology*, v. 27, p. 69-82.

7. Cheng, Q. (1999) "Spatial and scaling modeling for geochemical anomaly separation" *Geochemical Exploration*, v. 65, p. 175–194.
8. Chung, C. F. & Agterberg, F. P. (1980) "Regression models for estimating mineral resources from geological map data" *Math. Geology*, v. 12, no. 5, p. 473–488.
9. Dubois, D. & Prade, H. (1985) "A review of fuzzy set aggregation connectives" *Information Sciences*, v. 36, p.85-121.
10. Dubois, D. & Prade H. (1986) "Weighted minimum and maximum operations in fuzzy set theory" *Information Sciences*, v.39, p. 205–210.
11. Eddy, B. G., Bonham-Carter, G. F. & Jefferson, C. W. (1995) "Mineral resource assessment of the Parry Islands, high Arctic, Canada: a GIS-based fuzzy logic model, *Proc. Can. Conf. on GIS, CD ROM Session C3, Can. Ins. Geomatics, Ottawa, Canada*, Paper 4.
12. Harris, J. R. (1989) "Data integration for gold exploration in eastern Nova Scotia using a GIS" *Proc. Remote Sensing for Exploration Geology (Calgary, Alberta)*, p. 233–249.
13. Kaymak, U. (1998) "Fuzzy decision making with control applications" PhD Thesis, Delft University of Technology, Delft, The Netherlands.
14. Kaymak, U. & Sousa, J. M. (2003) *Weighted Constraint Aggregation in Fuzzy Optimization*, *Kluwer Academic Publishers*, v.8, p. 61–78.
15. Loke, M. H. (2001) "*Tutorial: 2-D and 3-D electrical imaging surveys*" Course Notes for USGS Workshop 2-D and 3-D Inversion and Modeling of Surface and Borehole Resistivity Data.

16. Mandelbrot, B. B. (1983) *“The Fractal Geometry of Nature”* W.H. Freeman, San Francisco, CA, 468 p.
17. Maynard, J. B. (1983) *“Geochemistry of sedimentary ore deposits”* Springer Verlag, 303 p.
18. Mizumoto, M. (1989a) “Pictorial representations of fuzzy connectives, part 1: case of t-norms, t-conorms and averaging operators” *Fuzzy Sets and Systems*, v. 31, p. 217-242.
19. Mizumoto, M. (1989b) “Pictorial representations of fuzzy connectives, part 2: case of compensatory operators and self-dual operators” *Fuzzy Sets and Systems*, v. 32, p. 45-79.
20. Piegat A. (2001) *“Fuzzy modeling and control”*. Physica-Verlag; 313 p.
21. Reddy, R. K. T. & Bonham-Carter, G. F. (1991) “A decision-tree approach to mineral potential mapping in Snow Lake area, Manitoba”. *Can. Remote Sensing*, v. 17, no. 2, p. 191–200.
22. Sawkins, F. J., (1990) *“Metal Deposits in relation to plate Tectonics”* Springer Verlag. 461 P.
23. Solovov, A.P. (Ed.), (1990) *“Handbook on Geochemical Prospecting for Useful Minerals”* Nedra Publishing house, Moscow. 336 pp.
24. Sousa, J.M. & Kaymak, U. (2002) *“Fuzzy decision making in modeling and control”* World Scientific.
25. Tangestani, M.H. & Moore, F. (2002) “The use of Dempster–Shafer model and GIS in integration of geoscientific data for porphyry copper potential mapping, north of Shahr-e-

Babak, Iran” *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. v. 4, p. 65–74

26. Yager, R. R. (1978) “Fuzzy decision making including unequal objectives” *Fuzzy Sets and Systems*, v.1, p. 87–95.

27. Yager, R. R. (1980) “On a general class of fuzzy connectives” *Fuzzy Sets and Systems*, v.4, p. 235–242.

28. Zadeh, L. A. (1965) “Fuzzy sets” *IEEE Information and Control*, v. 8, no. 3, p. 338–353.

29. Zadeh, L. A. (1973) “Outline of a new approach to the analysis of complex system and decision processes” *IEEE transactions on system, Man and Cybernetics*, SMC3, p. 28-44.

30. Zimmermann, H. J. (1978) “Results of empirical studies in fuzzy set theory, in G. J. Klir(ed.)” *Applied General Systems Research*, p. 303-312.

31. Zimmermann, H. J. & Zysno, p. (1980) “Latent connectives in human decision making, *Fuzzy Sets and Systems*” v. 4, p. 37-51.

32. Zimmermann, H. J. (1987) “*Fuzzy Sets Decision Making and Expert Systems*” Boston, Kluwer Academic Publishers.

33. Zimmermann, H. J. (1991) “*Fuzzy set theory and it’s application*” 2nd edn, Boston, Kluwer Academic Publishers

