۵- جمع آوری، پردازش و مدلسازی داده‌ها

۵-۱- مقدمه

بررسی‌های اکتشافی سیستماتیک ناحیه‌ای با بهره‌گیری از داده‌های مربوط به نقشه‌های زمین‌شناسی، نقشه‌های ژئوشیمیایی، داده‌های ماهواره‌ای وژئوفیزیک هوایی وهمچنین نشانه‌های معدنی شناخته شده وتلفیق ومدلسازی آنها انجام می‌پذیرد. با شناخت مدل‌های زایشی کانی‌زایی در هر محدوده وتبدیل این داده‌ها به اطلاعات مفیدی مانند ساختار، منشأ، سنگ میزبان وفرآیندهای کانی‌سازی و تفسیر آنها می‌توان به استخراج اطلاعات مفید یا همان شناسایی نواحی امیدبخش معدنی پرداخت.

احتمال موفقیت یک پروژه اکتشافی تابع دو احتمال مستقل از یکدیگر است که عبارتند از:

۱. احتمال تشکیل و پیدایش کانساری از تیپ خاص در محیط زمین‌شناختی با ویژگی‌های معین .
۲. احتمال کشف آن کانسار با استفاده از تکنولوژی معین.

این بررسی‌ها با گردآوری داده‌ها در مرحله اول یکپارچه سازی وپردازش آنها درمرحله دوم وسپس تلفیق ومدلسازی آنها درمرحله سوم وکنترل زمینی مدل و بهینه کردن آن در مرحله آخر در قالب تیم‌های کاری مختلف با تخصص‌هایی مانند دورسنجی، ژئوفیزیک، زمین‌شناسی اقتصادی، پترولوژی، تکتونیک وGIS انجام می‌پذیرد.

لازم به ذکر است که امروزه، انگیزه اصلی مدل‌سازی کانسارها (Ore Deposi Modeling) کاربرد اکتشافی آنها در جهت افزایش احتمال اکتشاف و کاهش هزینه‌ها است.

۵-۲- جمع آوری اطلاعات و تهیه بانک اطلاعات رقومی

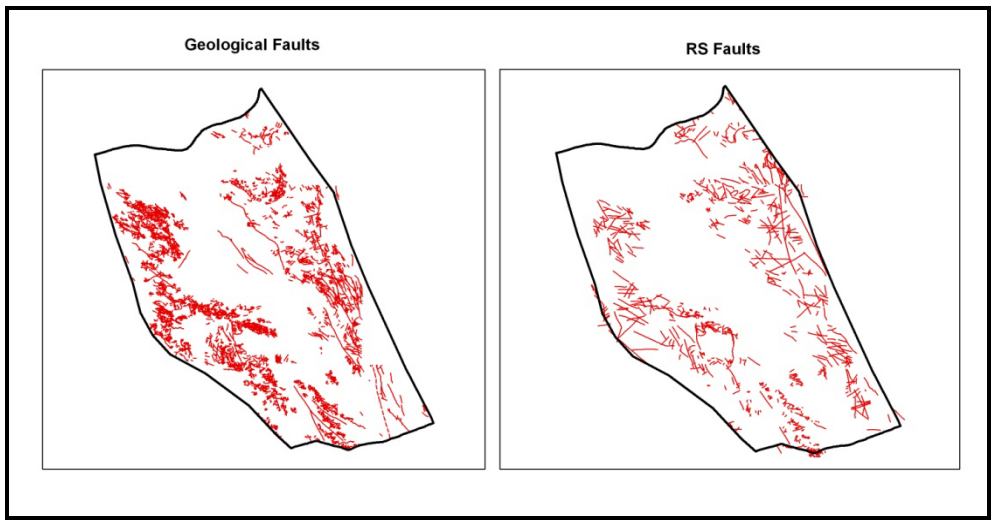
اولین مرحله در انجام مدلسازی، جمع‌آوری و مطالعه منابع و اطلاعات موجود به منظور ایجاد بانک اطلاعاتی رقومی است، که در این خصوص می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

داده های توپوگرافی

یکی از لایه‌های اطلاعاتی که در زون پلتفرم کرتاسه مورد استفاده قرار گرفت، نقشه‌های توپوگرافی منطقه بود که در تعیین موقعیت مناطق امیدبخش از نظر امکانات دسترسی، شهرها، روستاها، آبراهه‌ها، پستی و بلندی‌ها وارتفاعات، بکار گرفته شد. نقشه‌های توپوگرافی که در این زون مورد استفاده قرار گرفتند گستره ۱۵ ورقه زمین شناسی ۱:۱۰۰،۰۰۰ بوده و شامل نقشه‌های توپوگرافی رقومی با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ می‌باشد.

داده های ساختاری

اطلاعات مربوط به ساختارهای موجود در زون مذکور، از دو منبع تصاویر ماهواره‌ای ونقشه‌های زمین‌شناسی جمع‌آوری شد. روند کلی این ساختارها در شکل۵-۱ نمایش داده شده است و از نقشه دانسیته گسله های اصلی زمین شناسی در مدل سازی استفاده شده است.



شکل شماره ۵-۱ ساختارهای اصلی از دو منبع زمین شناسی و دورسنجی

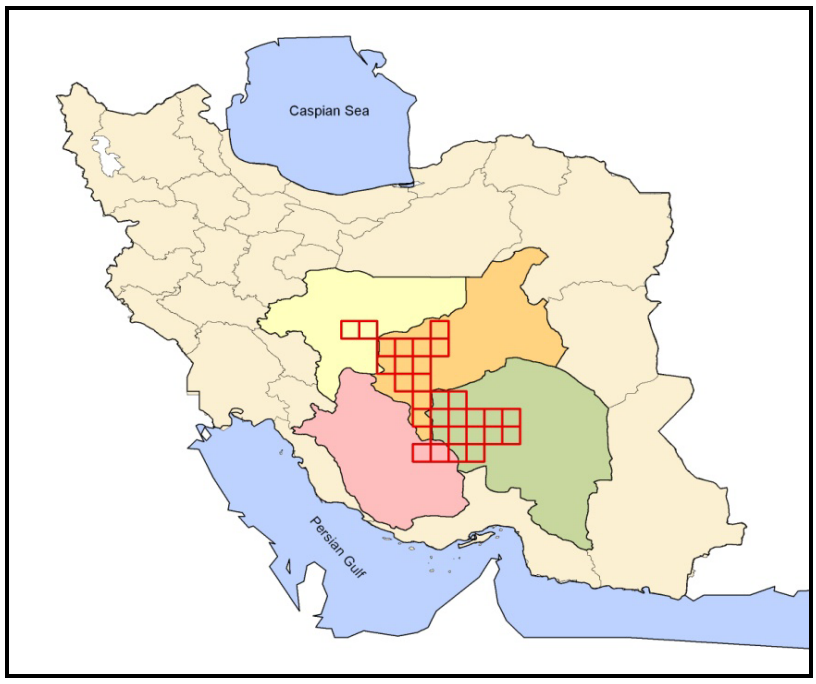
داده های زمین شناسی

نقشه‌های زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ منطقه، شامل ۱۵ برگه نائین، چاه نو، مهدی آباد، زرین، خرانق، اردکان، عقدا، سروبالا، خضرآباد، یزد، فهرج، بافق، شمش، بهادران و نیرمی‌باشد که بعنوان مبنای کار قرار گرفتند. نقشه‌هایی که رقومی نشده بودند به صورت رقومی آماده شدند و چندین فیلد اطلاعاتی، شامل تمامی اطلاعات لازم برای ساخت محیط‌های مناسب کانه‌زائی به اطلاعات قابل دستیابی (GIS Ready) در نقشه زمین شناسی اضافه گردید. ضمنا در این مرحله تصحیحات لازم در مورد جا افتادن برخی واحدها و یا اشتباه بودن برچسب (مشخصه) آنها وغیره تا حد ممکن برطرف گردید. موقعیت قرارگیری نقشه‌های زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ زون در شکل ۲-۱ نمایش داده شده است.

داده های ژئوشیمی

تهیه نقشه‌های ژئوشیمیایی زون یزد- سبزواران، با همکاری سازمان زمین‌شناسی و کارشناسان جمهوری چک، در فاصله زمانی دسامبر ۱۹۹۳ لغایت دسامبر ۱۹۹۶ ، در سه دوره کاری انجام گرفت.

تعداد برگه های ۱:۱۰۰۰۰۰ از ۴۰ برگه به ۳۰ برگه و مدت کار صحرایی از ۲۴ ماه به ۱۸ ماه کاهش یافت. در سه دوره کار صحرایی در مجموع ۱۲۵۸۳ عدد نمونه سیلت و ۱۱۶۳۵ نمونه آبراهه برداشت گردید. وسعت ناحیه نمونه برداری شده، ۸۰۲۵۰ کیلومتر مربع را در برمی‌گیرد. در کل، زون مورد مطالعه به سه بخش تقسیم شد: بخش شمالی، بخش جنوبی و منطقه فرعی (subarea). از میان این ۳۰ برگه، تعداد ۱۲ برگه در استان یزد و تعداد ۸ برگه در زون اکتشافی پلتفرم کرتاسه قرار می‌گیرد.



شکل شماره ۵-۲ نمایش برگه‌های ژئوشیمی کارشده در زون یزد-سبزواران

در میان ۸ برگه زون مذکور، تعداد ۵۷۳ نمونه سیلت و ۵۰۴ نمونه آبرفت در برگه خرانق، ۲۷۸ نمونه سیلت و ۲۷۱ نمونه آبرفت در برگه اردکان، ۳۶۴ نمونه سیلت و ۳۲۱ نمونه آبرفت در برگه زرین، ۴۶۸ نمونه سیلت و ۴۴۹ نمونه آبرفت در برگه سروبالا، ۶۳۷ نمونه سیلت و ۶۱۹ نمونه آبرفت در برگه خضرآباد و ۴۲۰ نمونه سیلت و ۳۷۱ نمونه آبرفت در برگه عقدا برداشت شده است.

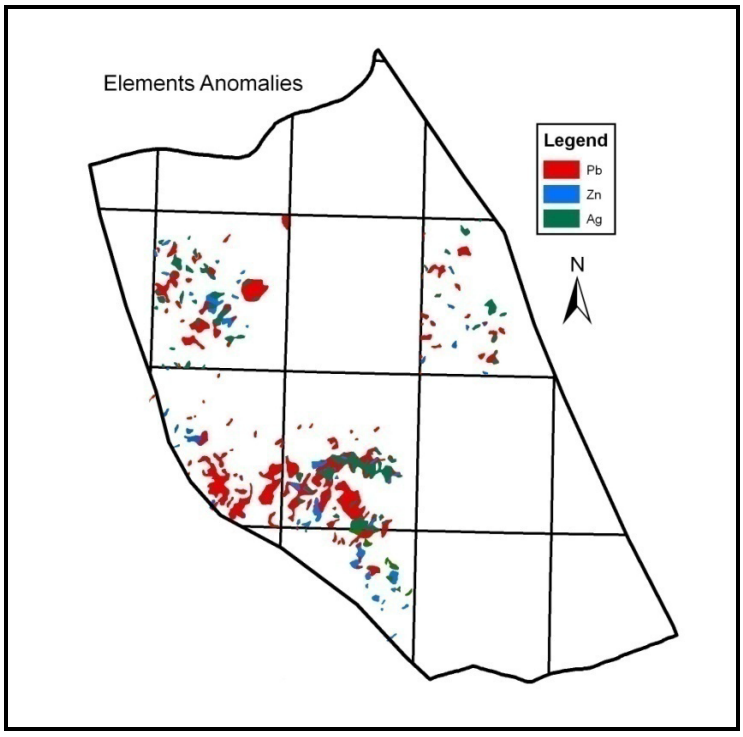
نمونه‌های سیلت در دو آزمایشگاه بررسی گردیدند. بدلیل مشکلات تکنیکی، برروی حدود ۱۰۰۰ نمونه، آنالیز As, Bi, Sb و W انجام نشده است. سپس این نمونه‌ها به کشور چک ارسال شده و آنالیز این عناصر برروی نمونه‌ها انجام شد.

نمونه‌های ارسال شده به سازمان زمین شناسی همگن شده تا به اندازه ۰/۰۶۳ میلی متر برسد. سپس نمونه‌ها به دو بخش تقسیم گردیدند: یک بخش جهت آنالیز عناصر : Ag, B, Ba, Co Cu, Mo, Ni,

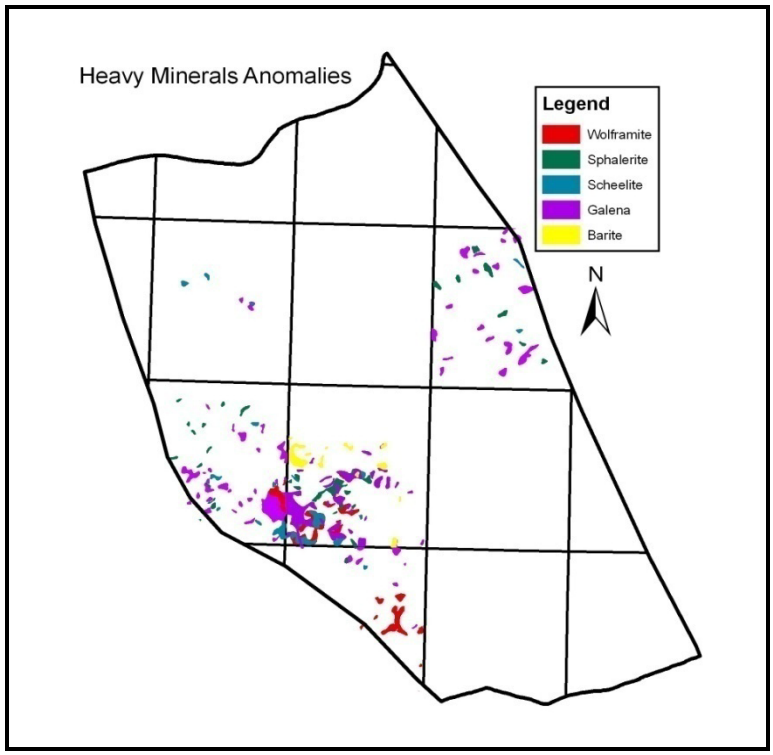
Pb, Sn, Zn بروش طیف سنجی و بخش دوم جهت آنالیز عناصر: As, Bi Sb ,W جدا شدند. تعیین مقادیر طلا با روش کالری متری در آزمایشگاه شرکت توسعه علوم زمین با حد تشخیص 10 ppm انجام گردید. بخش کمی از نمونه‌ها در آزمایشگاه سازمان زمین شناسی بروش جذب اتمی آنالیز شدند.

خروجی بررسی‌های ژئوشیمی انجام شده بطورکلی شامل نقشه‌های آنومالی عناصر و کانی‌های سنگین، نقشه مکانی نشانه‌های کانه‌زایی و آلتراسیون، نقشه مکانی نمونه‌گیری و نقشه محدوده‌های امیدبخش می‌باشد. در این بین، داده های ژئوشیمی استفاده شده جهت مدلسازی شامل محدوده‌های آنومال عناصرPb, Zn و Ag برای ۵ ورقه زون می‌باشد. از محدوده‌های آنومال کانی سنگین نیز جهت مطابقت بعضی از محدوده‌های استفاده شد. کانی‌های سنگین بکار رفته در این بررسی شامل اسفالریت، گالن، شیئلیت، ولفرامیت و باریت می‌باشند. لازم به ذکر است اطلاعات ۳ برگه اردکان، سروبالا و زرین در دسترس نبوده و در پردازش وارد نشدند.

نقشه های شماره ۵-۳ و ۵-۴ پراکندگی محدوده های آنومال عناصر و کانی‌های سنگین مختلف را نمایش میدهد.



شکل شماره ۵-۳ پراکندگی آنومالی ژئوشیمیایی عناصر سرب، روی و نقره



شکل شماره ۵-۴ پراکندگی آنومالی کانی‌های سنگین

داده های دورسنجی

- روش مطالعه

بررسی‌های دور سنجی انجام گرفته در این مطالعات زمین شناسی را می‌توان در مراحل زیر خلاصه کرد:

۱. پیش پردازش تصاویر ماهواره‌ای شامل تصحیحات رادیومتریک، هندسی و بارزسازی‌های اولیه.
۲. آنایز تصاویر مربوط با استفاده از تکنیک های پردازش تصویر.
۳. تفسیر نتایج حاصله و معرفی مناطق امید بخش معدنی.
۴. ارئه گزارش نهایی.

- اهداف تحقق یافته در بررسی های دور سنجی

۱. شناخت و تفکیک ساختارهای تکتونیکی منطقه شامل ساختارهای خطی و حلقوی با استفاده از تصاویر ETM ماهواره لندست

۲. تفکیک واحدهای رسوبی ماسه سنگ قرمز(سازند گردو Garedu) با استفاده از تصاویر ETM ماهواره لندست.

۳. شناخت مناطق آلتره شده وهمچنین مناطق دولومیتی شده) با استفاده از تصاویر Asterماهواره TERRA

- داده های ماهواره ای

محدوده مورد مطالعه شامل ..... برگه ۱:۱۰۰،۰۰۰ می باشد که برای هر کدام از برگه ها بطور جداگانه بر اساس مطالعه موردی از تصاویر ETM و ASTER استفاده شده است.

سنجنده ETM^+ که بر روی ماهواره لندست ۷ نصب گردیده تصاویری با ویژگی‌های زیر دریافت می نماید:

الف- تصاویر مرئی و مادو قرمز انعکاسی(VNIR) در شش باند با قدرت تفکیک زمینی ۳۰متر.

ب- تصاویر مادون قرمز حرارتی (TNIR) در یک باند با قدرت تفکیک زمینی ۶۰متر.

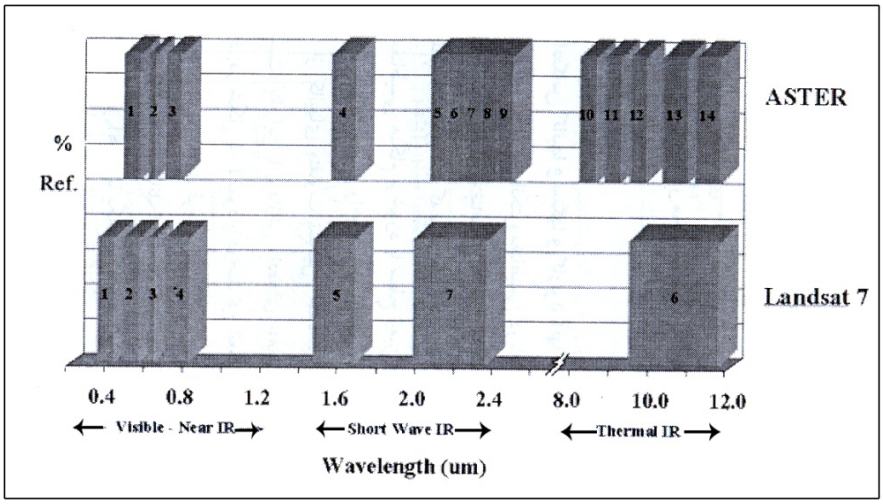
ج- تصویر پانکروماتیک در محدود مرئی با قدرت تفکیک زمینی ۱۵ متر.

ماهواره TERRA مخصوص مطالعات زمین شناسی و و منابع طبیعی است. سنجنده نصب شده بر روی این ماهواره سنجنده ASTER می‌باشد. این سنجنده تصاویری شامل ۱۴ باند طیفی از سطح زمین تهیه می‌کند. باندهای سنجنده ASTER با توجه به طول موج به سه محدوده تقسیم می‌شوند:

الف -محدوده VNIR (محدوده امواج مرئی) که شامل باندهای ۲،۱ و ۳ می‌باشد. قدرت تفکیک این باندها ۱۵ متر می‌باشد. باند ۳ سنجنده ASTER شامل باند ۴ سنجنده ETM^+ است.

ب- محدوده SWIR (محدوده امواج مادون قرمز با طول موج کوتاه) که شامل باندهای ۴،۵،۶،۷،۸ و ۹ است. قدرت تفکیک این باندها ۳۰ متر می باشد. باند ۴ شامل بخشی از باند ۵ لندست است. باندهای ۵،۶،۷،۸ و ۹ در محدوده طول موج ۲/۱ تا ۲/۴ میکرومتر قرار دارند. چنانچه در شکل مشاهده می‌شود سنجنده ETM^+ در این محدوده تنها دارای یک باند است (باند ۷).

ج- محدوده TIR (محدوده امواج حرارتی) شامل باندهای ۱۰،۱۱،۱۲،۱۳ و ۱۴ می‌باشد. قدرت تفکیک این باندها ۹۰ متر است.



شکل شماره ۵-۵- مقایسه باندهای ASTER و +ETM (آبرامز و هوک، ۲۰۰۵)

ماهواره TERRA قابلیت تصویربرداری در شب و روز را دارد. باندهای حرارتی در شب نیز می‌توانند برداشت شوند.

- پیش پردازش تصاویر مورد استفاده

۱- تصحیح هندسی:

برای تصحیح تصاویر مورد اشاره از نقشه‌های توپوگرافی ۱:۲۵۰،۰۰۰ سازمان نقشه برداری کشور استفاده شده و با استفاده از تصحیح سه بعدی (x,y,z) تصاویر تصحیح هندسی شدند.

۲- بارزسازی تصاویر:

الف) بارزسازی رادیومتریک:

این عملیات تحت عنوان Stretch مطرح بوده و بر روی هیستوگرام تصاویر اعمال می‌شود. در این روش به منظور ایجاد کنتراست، دامنه هیستوگرام تصویر با انواع روشهای خطی و غیر خطی بسط داده می‌شود و DN تصاویر توسط روشهایی مانند استرچ خطی، لگاریتمی، نمایی ومتعادل سازی

هیستوگرام به DN جدید تبدیل می‌شود. درمورد استفاده از انواع روشهای مذکور به منظور بارزسازی عوارض مختلف استفاده گردید.

ب) بارزسازی طیفی:

در بارزسازی طیفی از سیستم رنگی مکعبی قرمز- سبز- آبی یا RGB استفاده شد. در این سیستم نمایش سه رنگ قرمز، سبز و آبی در سه محور یک مکعب قرار گرفته و با توجه به محل قرارگیری DN پیکسل در این سیستم سه بعدی، یک رنگ برای DN پیکسل مورد نظر تعریف شده و ترکیب خطی از سه رنگ مذکور را نشان می‌دهد.

ج) بارزسازی مکانی:

- روش Resolution Merge:

در این روش با استفاده از تکنیک‌های مختلف، تصاویر با قدرت تفکیک مکانی مختلف در هم ادغام شده و با هم ترکیب می‌شوند. برای این منظور از روشهای مختلفی استفاده می‌شود که یکی از آنها استفاده از روش تحلیل مولفه‌های اصلی یا PCA می‌باشد.در ابتدا تکنیک PCA توضیح داده می‌شود وسپس استفاده از این تکنیک در ترکیب داده ها تشریح می‌شود.

تحلیل مولفه‌های اصلی از جمله روشهای شناخته شده در آنالیز تصاویرسنجش از دور محسوب می‌شود. اهداف متعددی از به کارگیری این تکنیک مد نظر می‌باشد، مانند کاهش ابعاد داده‌ها در یک فضای جدید، در این روش مولفه‌های جدید جایگزین باندها یا ابعاد قبلی می‌شوند و هر کدام از این مولفه‌ها ترکیبی خطی به شکل معادله زیر از باندهای قبلی می‌باشند. در این فضای جدید همبستگی باندها از بین رفته و باندهای مستقلی ایجاد می‌شوند.

$$PC_k = \sum_{i=1}^{n} W_{i,k} Dni$$

در ترکیب داده ها با قدرت تفکیک مختلف با استفاده از تکنیک PCA روال کار، به این صورت می‌باشد که از تصاویر با قدرت تفکیک مکانی پایین‌تر PCA گرفته می‌شود، سپس حداقل وحداکثر عدد هیستوگرام تصویر با قدرت تفکیک مکانی بالاتر به اعداد متناظر در هیستوگرام PC1 تبدیل شده و بعد از آن باند مذکور جایگزین PC1 می‌شود. در نهایت عملیات عکس PCA انجام شده وبه این شکل اطلاعات مکانی باند با قدرت تفکیک مکانی بالاتر به کمک ضرایب مورد استفاده در PCA به

باندهای چندگانه ترکیب می‌شود. درمورد محدوده مورد مطالعه نیز باند پانکروماتیک سنجنده ETM^+ با قدرت تفکیک زمینی ۱۵ متر از طریق تکنیک مذکور با باندهای محدوده مرئی و مادو قرمز نزدیک با قدرت تفکیک زمینی ۳۰ متر ترکیب شدند.

- روش IHS :

مولفه I درسیستم IHS معرف روشنائی صحنه بوده وتاکید بر اطلاعات مکانی دارد و دو مولفه باقی مانده نمایش دهنده اطلاعات طیفی هستند، بنابراین از مولفه I برای ترکیب تصویر با قدرت تفکیک مکانی بالاتر در باندهای با قدرت تفکیک زمینی پائین‌تر که در مولفه‌های H و S می‌باشند استفاده می‌شود.

- پردازش تصاویر

- محاسبات ریاضی بین باندها:

الف) عملیات حسابی:

از جمله روشهای مرسوم در پردازش تصاویر ماهواره‌ای استفاده از چهار عملگر حسابی جمع، ضرب، تفریق و تقسیم بین باندها به منظور بارزسازی عوارض خاصی در تصاویر مذکور می‌باشد. در بین چهار عمل اصلی، عملگرهای جمع و ضرب نتیجه‌ای مشابه داشته و باعث بارزشدن اطلاعات مشترک بین باندها می‌شوند و به عبارتی هدف اصلی در استفاده از این عملگرها تاکید بر اطلاعات مشترک می‌باشد.

در مقابل عملگرهای تفریق و تقسیم نیز عملکردی مشابه داشته و تاکید اصلی در این عملگرها در اختلاف بین باندهاس(در تقسیم باندها معمولاًباند حداکثر بر باند حداقل تقسیم می‌شود).

$$D = \frac{BandI}{Bandj} \quad (\text{i f} \quad i>j))$$

معمولاً در تقسیم باندها به جای استفاده از تقسیم معمولی از نسبت نرمال شده استفاده می‌شود.

$$D = \frac{bi - bj}{bi - bj} \quad (\text{i f} \quad i>j))$$

نسبت فوق علاوه بر اینکه نتیجه را در رنج خاصی (۱و۱-) نرمال می‌کند، باعث تعدیل توپوگرافی نیز در تصاویر می‌شود. مثلاً کانی‌های رسی دارای بازتاب زیاد در باند ۵ وبازتاب کم در باند ۷ می‌باشد،یا مثلاًدر باند۴ پوشش گیاهی دارای بازتاب زیاد و بازتاب کم در باند ۷ می‌باشد. اکسیدهای آهن نیز در باند ۳ بازتاب زیاد و در باند ۱ بازتاب کمتری دارند.

ازتفریق درجات روشنایی این باندها می‌توان مقادیر بیشتری برای درجات روشنایی کانی‌های رسی پوشش گیاهی واکسیدهای آهن در این تصاویر به دست آورد.

ب) استفاده از تحلیل مولفه های اصلی (PCA):

از تحلیل مولفه‌های اصلی اهداف متعددی مد نظر می‌باشد در انتقال تصاویر ماهواره‌ای به فضای PCA، به ترتیب که از مولفه PC1 به طرف PC های بالاتر می‌رویم از کمیت واریانس یا اطلاعات کاسته می‌شود واز PC های آخر به خاطر کمبود اطلاعات تصویری تقریباً حالت نویزی خواهیم داشت. در PCA با دو مقوله کمیت وکیفیت اطلاعات روبرو هستیم اگر هدف کمیت اطلاعات باشد طبیعتاًPC های اولیه قرار دارند اما زمانی هدف جستجوی نوع خاصی از اطلاعات است و نه کمیت آنها، بنابراین در این شرایط PCA ، اهمیت پیدا می‌کند، به طور مثال برخی پدیده‌های زمین شناسی،مانند نواحی دگرسانی، نواحی آلتراسیون و کانی‌های خاص در PC های آخر بهتر بارز می‌شوند،بنابراین جای کمیت وکیفیت اطلاعات اهمیت پیدا می‌کند. در مولفه‌های اصلی اطلاعات جدیدی به دست می‌آید که مثلاً در مورد تشخیص نواحی آلتراسیون این روش بسیار مؤثر است.

ج) تحلیل PCA براساس الگوریتم کروستا:

جدول زیر بیانگر تبدیل مولفه‌های اصلی بر داده‌های خام باندهای TM ۱،۴،۵،۷ منطقه شازند – الیگودرز می‌باشد. باندهای TM2,TM آگاهانه حذف گردیده‌اند تا از نقشه برداری اکسیدهای آهن صرفنظر گردد. در این محاسبه آماری PC1 نشاندهنده شدت روشنائی albido تصویر، PC2 بیانگر

کنتراست بین SWIR و محدوده مرئی، PC3 مشخصه پوشش گیاهی وPC4 نمایانگر کانی‌های حاوی هیدروکسیل بصورت پیکسل‌های تیره می‌باشد.

برای استخراج هیدروکسیل، بردار ویژه (eigen vector) را برای باندهای TM, TM در هر دو PC4,PC3 بررسی می‌کنیم تا مشخص شود درکدامیک ضریب بالا یا متوسط از هر دو باندها با علامت مخالف وجود دارد. همانطور که در جدول دیده می‌شود در PC4 مقدار کوواریانس بردار ویژه برای TM7 بیشترین (۰،۶۴۹۸) و برای TM5 کمترین (۰،۶۴۹۸-) می‌باشد. این مسئله با تئوری بازتاب شدید در TM و بازتاب کم در TM7 منطبق است و بنابراین پیکسل‌های حاوی کانی‌های هیدروکسیل تیره می‌شوند. پس برای آشکارسازی این موارد، بایستی از آشکارسازی inforequency استفاده کرد تا پیکسل‌های حاوی هیدروکسیل روشن‌تر و دارای Dn بالاتری بشوند.

	B1	B4	B5	B7
pc	0.4081	0.4848	0.5925	0.4972
pc	0.6232	0.4601	0.384-	0.501-
pc	-0.655	0.6840	0.1340	0.289-
pc	-0.123	0.2907	-0.694	0.6460

جدول ۵-۱. مقادیر آنالیز فاکتوری بدست آمده طبق الگوریتم کروستا برای باندهای TM.

- تفسیر داده ها

- ساختارهای تکتونیکی منطقه

به طور کلی تشخیص ساختارهای تکتونیکی در هر منطقه کمک بسیار ارزنده‌ای برای شناسایی و اکتشاف مواد معدنی می‌نماید. شناخت پدیده‌های تکتونیکی مثل گسل‌های عادی،گسل‌های تراستی یا راندگی، گسل‌های امتداد لغز سبب تشخیص ساختارهای کششی و فشاری در منطقه است. اما آنچه بیش از همه حائز اهمیت است، این است که بررسی امتداد و راستای گسل‌ها و محل تلاقی آنها با یکدیگر راهنمای خوبی برای اکتشاف مواد معدنی است. چرا که این جایگاهها، می‌تواند مکان مناسبی برای نفوذ و جایگیری ماگما و احتمالاً کانه زائی در صورت وجود شرایط فیزیکی و شیمیایی متناسب، باشد.

برای تشخیص شکستگی‌ها از تصاویر تک باندی و یا رنگی یا فیلترهای مختلف استفاده گردید. توجه به نشانه‌های زمین ریخت شناسی تغییرات ناگهانی توپوگرافی، جابجایی روخانه‌ها و واحدهای سنگی از عوامل مهم در تشخیص وتعیین شکستگی‌های منطقه می‌باشد از آنجائیکه هدف اصلی این گزارش، تعیین نقاط امیدبخش معدنی و اکتشاف آنها می‌باشد، لذا در تحلیل‌های تکتونیکی گسل‌ها به دو نوع اصلی فرعی تقسیم بندی و مطالعه شده‌اند.

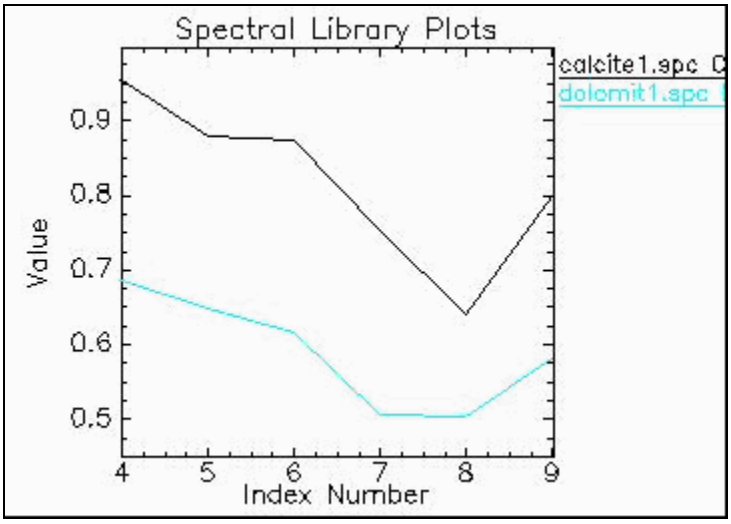
شکل ۵-۶- خطواره ها و ساختارهای حلقوی در تصویر ماهواره ای ETM^+ لندست نائین (۱/۱۰۰۰۰۰)

- تفکیک واحدهای دولومیتی

برای استخراج دولومیت و تفکیک آن از سایر سازندها (به خصوص آهک) از محدوده باندی SWIR داده ASTER استفاده شده است.

با توجه به طیف استاندارد USGS آهک و دولومیت که بر اساس داده ASTER بازنویسی شده بودند، نسبت‌های باندی مناسب برای تفکیک دولومیت از آهک و سایر سازندها استخراج شده است.

به دلیل جذب بالای آهک در باند SWIR5 و شیب بالای جذب از باند SWIR به سمت SWIR5 دو نسبت باندی زیر انتخاب شده است:



شکل شماره ۵-۱۵- مقایسه آزمایشگاهی طیف های آهک و دولومیت.

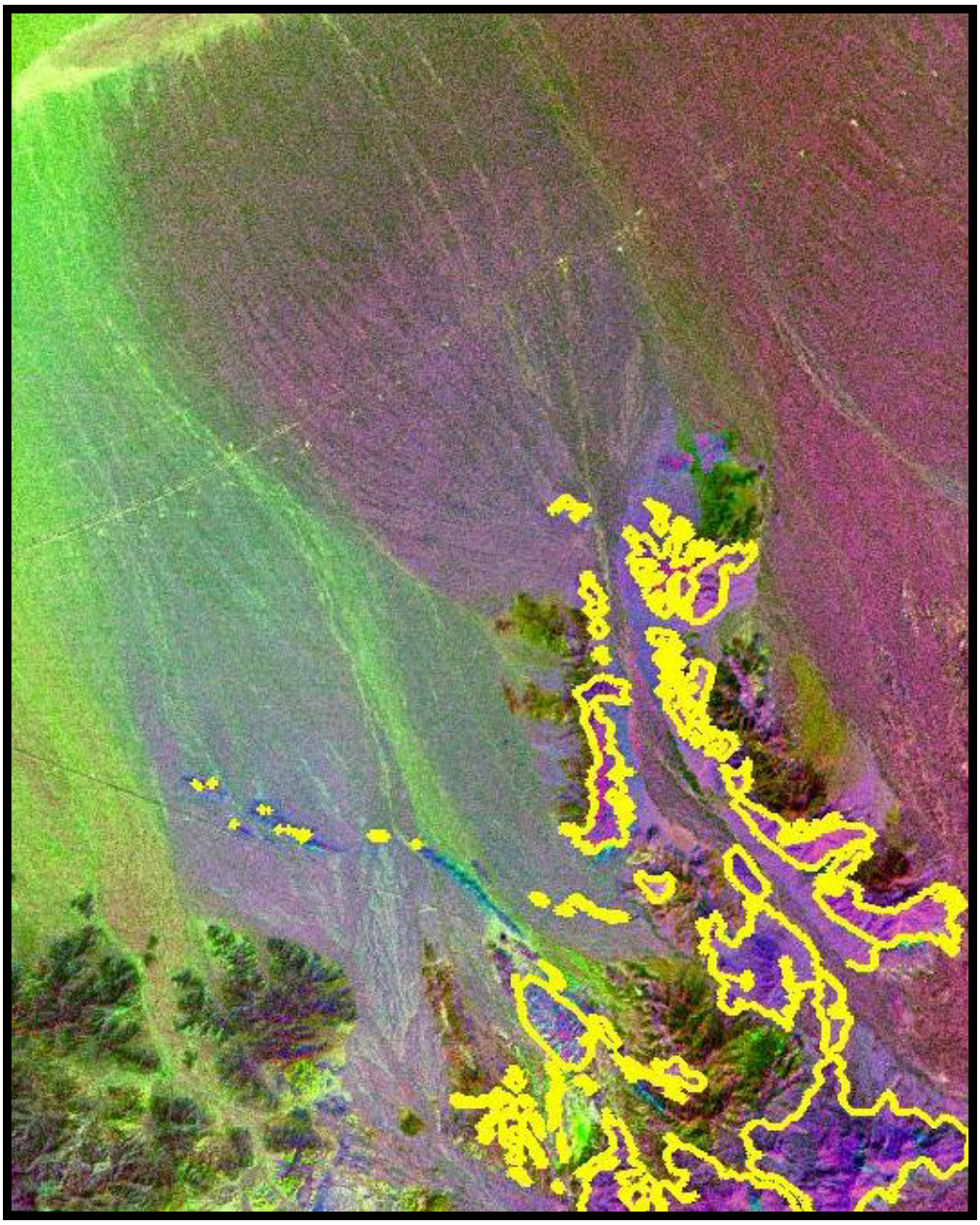
(float(b3)+float(b5))/(float(b4)*2)

و

(float(b5)/float (b4))

این دو نسبت باندی همراه باند SWIR1 (ASTER4) (به علت انعکاس بالا و امکان نمایش بهتر) به صورت RGB در نرم‌افزار ENVI نمایش داده شده است.

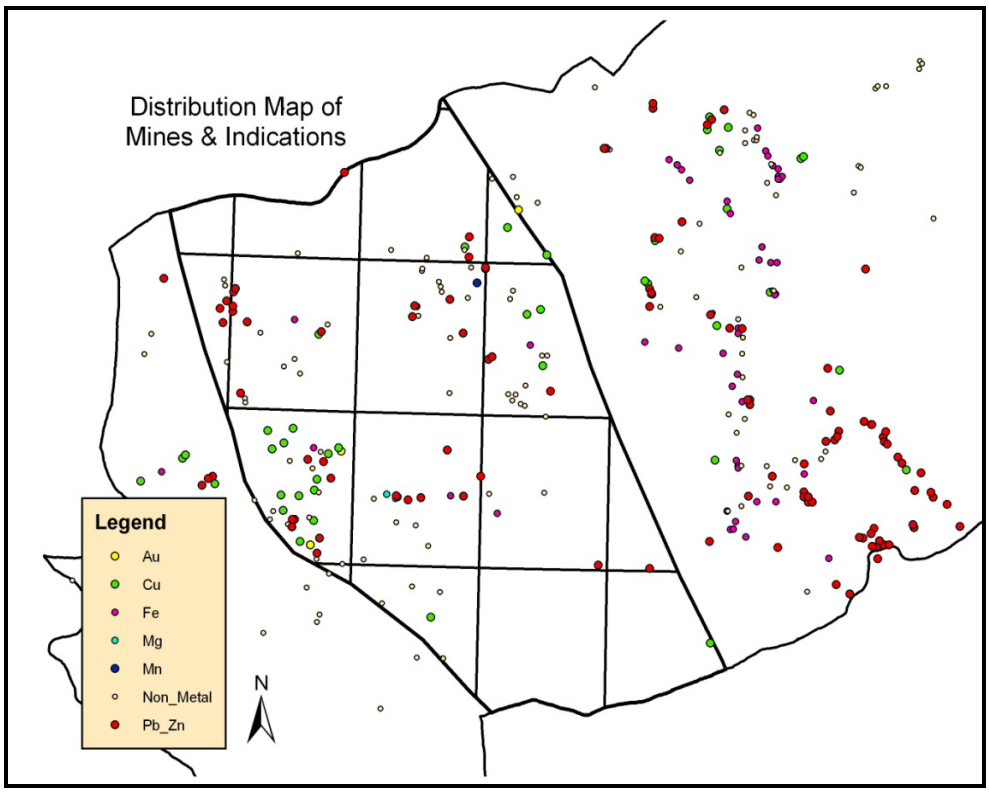
جدایش دولومیت از سازندهای دیگر از تصویر حاصله به وسیله تفسیر بصری انجام شده و در نهایت ارزیابی نتایج در قالب بررسی احتمال وجود کانی هدف (دولومیت) با توجه به نقشه زمین شناسی انجام شده است



شکل شماره ۵-۷- جدایش دولومیت در برگه مهدی آباد در تصویر ماهواره ای ASTER با ترکیب باندی (۲ ۱ ۳)

داده های معدنی

داده‌های معدنی و جایگاه قرارگیری آنها از نظر زمین‌شناسی، به عنوان کلید اکتشافی موثری در مدلسازی اکتشافی به کار می‌رود. به این منظور تمامی اطلاعات معدنی منطقه مطالعاتی از منابع مختلف از جمله نقشه‌های زمین‌شناسی، پایگاه داده‌های علوم زمین و گزارشات مختلف گردآوری شده و در یک فایل وارد گردیده است (شکل ۵-۸).



شکل شماره ۵-۸- گسترش نقاط معدنی زون پلتفرم کرتاسه

این داده‌ها شامل معادن فعال و غیرفعال و همچنین اندیس‌های معدنی می‌باشند که مواد معدنی فلزی و غیرفلزی را شامل می‌شوند. برای لایه داده‌های معدنی، جدول اطلاعاتی تنظیم گردیده که شامل فیلدهای مختلف در مورد هر کدام از مواد معدنی بوده و به نقشه مذکور متصل (لینک) می‌باشد.

۵-۳- پردازش داده‌ها و مدلسازی

GIS(Geographic information system) یا سیستم اطلاعات جغرافیایی عبارتست از: یک سیستم کامپیوتری که داده‌های فضایی را مدیریت می‌کند، به عبارتی یک سیستم GIS قابلیت پذیرش وورود داده‌ها، مدیریت وسازماندهی داده‌ها، تبدیل،نمایش، ترکیب، پرس‌وجو، تحلیل، مدلسازی وخروجی داده ها را دار می‌باشد. هدف نهایی GIS فراهم کردن تمهیدات وتسهیلاتی برای تصمیم سازی (Decision making) بر مبنای داده‌های مکانی می‌باشد واین تصمیم سازی برای پیش بینی یا forecasting می‌باشد.

دریک محیط GIS هدف کشف رابطه میان داده‌های مکانی به منظور تحلیل بهتر پدیده‌ها ودرنهایت تصمیم گیری دقیق‌تر وکارشناسانه می‌باشد، به عبارتی GIS حرکت از یک وضعیت Subjective به یک وضعیت objective می‌باشد.

مدل‌سازی رخدادهای طبیعی و روابط علت و معلولی مرتبط با آنها همواره یکی از مهمترین موضوعات مورد پژوهش بوده است. مدل‌سازی را می‌توان روش ساده‌سازی، کلی‌نگری و سهولت بخشی برای شناخت رخدادهائی دانست که دارای ویژگی‌های مشترک می‌باشند. بدون مدل‌سازی، تخمین قابل قبولی از احتمال پیدایش یک تیپ کانسار خاص در یک محیط معین امکان‌پذیر نمی‌باشد.

میزان جامعیت یک مدل کانساری را می‌توان از درجه تمام شمولی آن ارزیابی کرد. درجه تمام شمولی در واقع قابلیت دربرگیری و پوشش هرچه بیشتر کانسارهای شناخته شده هم تیپ با مدلی با حداکثر ویژگی‌های مشترک می‌باشد که خود می‌تواند موجب تصمیم‌گیری های اکتشافی با دقت بیشتری گردد.

احتمال موفقیت یک پروژه اکتشافی تابع دو احتمال مستقل از یکدیگر است که عبارتند از:

۱. احتمال تشکیل و پیدایش کانساری از تیپ خاص در محیط زمین‌شناختی با ویژگی‌های معین و معلوم.
۲. احتمال کشف آن کانسار با استفاده از تکنولوژی معین.

بزرگی احتمال نوع اول به وسیله پدیده‌ها و فرآیندهای کانی‌سازی فعال در طبیعت کنترل می‌شود و زمین شناسان کنترلی روی آن ندارند. برعکس، کنترل احتمال نوع دوم تمام و کمال در حیطه

توانائی‌های تکنیکی اکتشافگران است. این توانائی‌ها هر روزه با پیشرفت تکنولوژی اکتشاف افزایش یافته و موجبات افزایش احتمال کشف ذخائر معدنی را فراهم می‌سازد. اهمیت مدل‌سازی کانسارها نیز در همین راستاست.

بطور کلی چندین مرحله عملیاتی را می‌توان برای رسیدن به اهداف در یک محیط GIS تعریف نمود که در انجا به طور مختصر به معرفی آنها پرداخته می‌شود.

مرحله اول: سازماندهی (organization) : این مرحله شامل جمع آوری وتشکیل پایگاه داده‌ها، سازماندهی نیروهای انسانی، نظم بخشیدن به داده‌ها، انتخاب مدل داده‌ها وregister کردن داده‌ها می‌باشد.

مرحله دوم: قابل نمایش کردن داده‌ها(visualization) : دراین مرحله عمل تشخیص الگو یا Pattern Recognition صورت می‌گیرد به عبارتی روابط بین داده‌ها بررسی می‌شود. بطور مثال اگر هدف تهیه نقشه پتانسیل معدنی مس یک منطقه باشد، به رابطه میان اندیس‌های معدنی مس با آلتراسیون‌ها یا گسل‌ها پرداخته می‌شود.

مرحله سوم: درخواست اطلاعات برای مکان‌های مختلف (spatial query) : این مرحله، مکمل مرحله قبلی بوده و به بررسی ویژگی‌های مورد نظر برای نواحی مختلف منطقه مورد مطالعه می‌پردازد.

مرحله چهارم: ترکیب داده‌ها (Data integration or Combination) : ترکیب اطلاعات یا از طریق نمایش گرافیکی انجام می‌شود یا با استفاده از مدل‌های ترکیبی، که این مدل‌های ترکیبی می‌توانند مدل‌های منطقی و مدل‌های ریاضی و یا جبرنقشه‌ای (Map Algebra) باشند. در مدل‌های ترکیبی، حاصل کار تولید نقشه جدید است که به آن مدلسازی کارتوگرافیکی (cartographic modeling) یا مدلسازی نقشه (Map Modeling) گفته می‌شود.

از آنجائیکه برای پدیده‌های مورد بررسی متغیرهای مربوطه از اهمیت یکسانی برخوردار نیستند لذا، در فرآیند ترکیب به تناسب درجه اهمیتشان وزن دهی شده وترکیب می‌شوند. تشخیص و تعیین اهمیت و اعتبار هرکدام از متغیرها، ازجمله مباحث بسیار مهم وکلیدی در یک فرایند GIS محسوب می‌شود که اگر چنانچه مراحل قبلی با دقت و بدرستی طی نشده باشند، می‌تواند به نتایج متفاوتی منجر شود.

بطورکلی در وزن دهی به متغیرها (evidence)، دو الگوریتم کلی وجود دارد که عبارتند از:

الف) وزن دهی براساس داده پایه یا Data Driven : در این الگوریتم براساس میزان ارتباط متغیرها یا شواهد با پدیده مورد مطالعه، به این شواهد وزن داده می‌شود. وزن‌دهی مذکور از طریق محاسبات آماری یا ریاضی صورت می‌گیرد، مانند روش‌های آماری بیز و یا روش ریاضی شبکه‌های عصبی مصنوعی. روش‌های وزن‌دهی مختلفی برمبنای الگوریتم Data Driven ایجاد شده‌اندکه از آن جمله‌اند: CA(characteristic Analysis), CFA(Canonical Favorability Analysis) Weight of evidence.

از جمله مزیت‌های این الگورتیم اینست که چون وزن‌ها از درون داده‌ها استخراج می‌شوند، می‌توانند همخوانی بالایی با محیط مورد مطالعه داشته باشند و محدویت این روش اینست که دانش و تجربه شخص کارشناسی درآن دخیل نیست و نیاز به اطلاعات نسبتاً دقیقی می‌باشد تا بتوان وزن‌های مناسبی استخراج نمود.

ب) وزن‌دهی براساس دانش پایه یا Knowledge Driven : در این الگوریتم وزن دهی به شواهد براساس نظرات کارشناسی صورت می‌گیرد واعمال می شود. مزیت این روش، استفاده از تجربه و دانش در وزن‌دهی به شواهد می‌باشد و محدودیت این روش اینست که ممکن است این وزن دهی‌ها با منطق موجود بین شواهد در منطقه مورد مطالعه، سازگاری نداشته باشند.

روش‌های مختلفی نیز برمبنای الگوریتم دانش پایه شکل گرفته‌اند که از آنجمله‌اند: روش منطق فازی یا fuzzy logic Approach و روشIndex overlay.

دراین بررسی به جهت ناکافی بودن تعداد معادن و شاخص‌های معدنی، از مدل وزن‌های نشانگر استفاده نشد. و از طرفی به علت ناکافی بودن لایه‌های اطلاعاتی و بعضا دقیق نبودن آنها، از مدل ریاضی منطق فازی نیز استفاده نشد. چنین به نظر رسید که مدل ریاضی منطق تقاطع شاخصی، بیشترین سازگاری را بااین مدل زایشی نشان می‌دهد.

منطق تقاطع شاخصی:

ساده‌ترین نوع وزن‌دار کردن زمانیست که نقشه‌های ورودی دوتایی باشند و هرنقشه یک عامل وزنی منفرد داشته باشد. زمانی‌که نقشه‌های چند کلاسه استفاده می‌شوند، هر کلاس از هر نقشه یک امتیاز متفاوت به خود می‌گیرد که این کار باعث می‌شود سیستم وزن‌دار کردن قابل انعطاف‌تر شود.

در روش تقاطع شاخصی با نقشه‌های چند کلاسه، هر لایه‌ی اطلاعاتی شامل امتیازبندی جداگانه‌ای است و خود هر لایه نیز بطورجداگانه ارزش خاصی تحت عنوان وزن می‌گیرد. به این‌ترتیب قبل از شروع، برای هر لایه جدول مشخصاتی شامل این امتیازها ساخته می‌شود. بعد از وزن‌دهی از رابطه‌ی اصلی زیر استفاده می‌شود:

$$\sum_{i}^{n} S_{ij} W_i / \sum_{i}^{n} W_i = \overline{S}$$

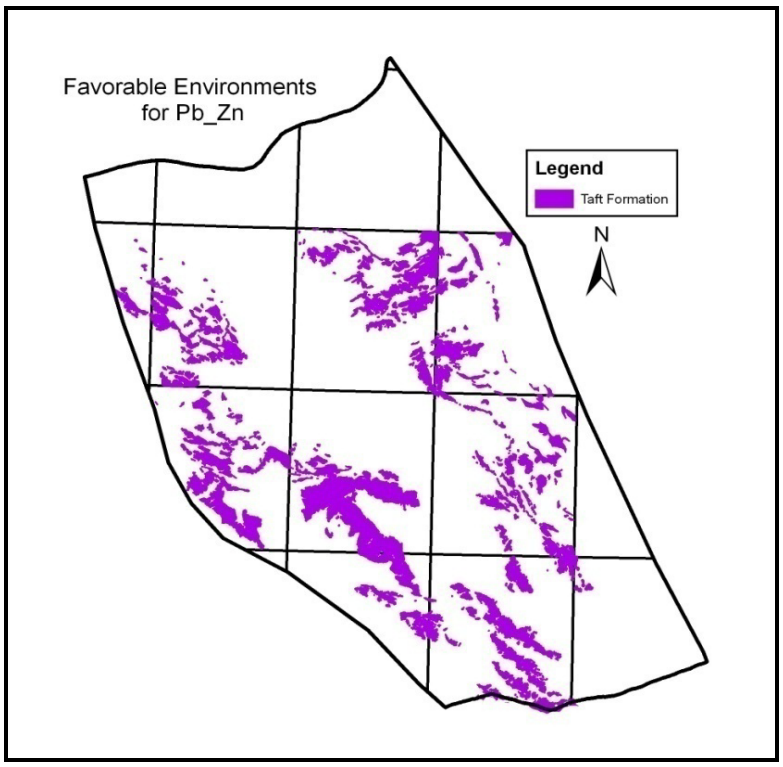
در این رابطه $\overline{S}$ امتیاز نهایی برای موضوع یا عارضه (پلی‌گون، پیکسل)، W_i وزن i امین نقشه‌ی ورودی و S_{ij} امتیاز j امین کلاس از i امین نقشه است.مقدار j به کلاسی که بطور واقعی در موقعیت جاری موجود است بستگی دارد.

هر نقشه باید با فهرستی از امتیازات یعنی یک فهرست برای هر کلاس نقشه ، همراه باشد. امتیازات کلاس می‌تواند با کمک یک ویرایشگر به منظور دستیابی در مراحل مدل‌سازی، به داخل یک جدول خصوصیات وارد شود. سپس این جدول می‌تواند بدون بروز تغییری در مراحل کار اصلاح شود. گاه امتیاز بعضی از کلاس‌ها منفی است. ناحیه‌هایی که چنین کلاسی دارند بطور خودکار در خروجی به کلاس صفر تبدیل می‌شوند و مورد نظر قرار نمی‌گیرند. بنابراین امتیازات نقشه می‌تواند بصورت اعداد صحیح مثبت یا اعداد حقیقی بدون محدودیت در گستره‌ی عددی انتخاب شوند.

پردازش اطلاعات:

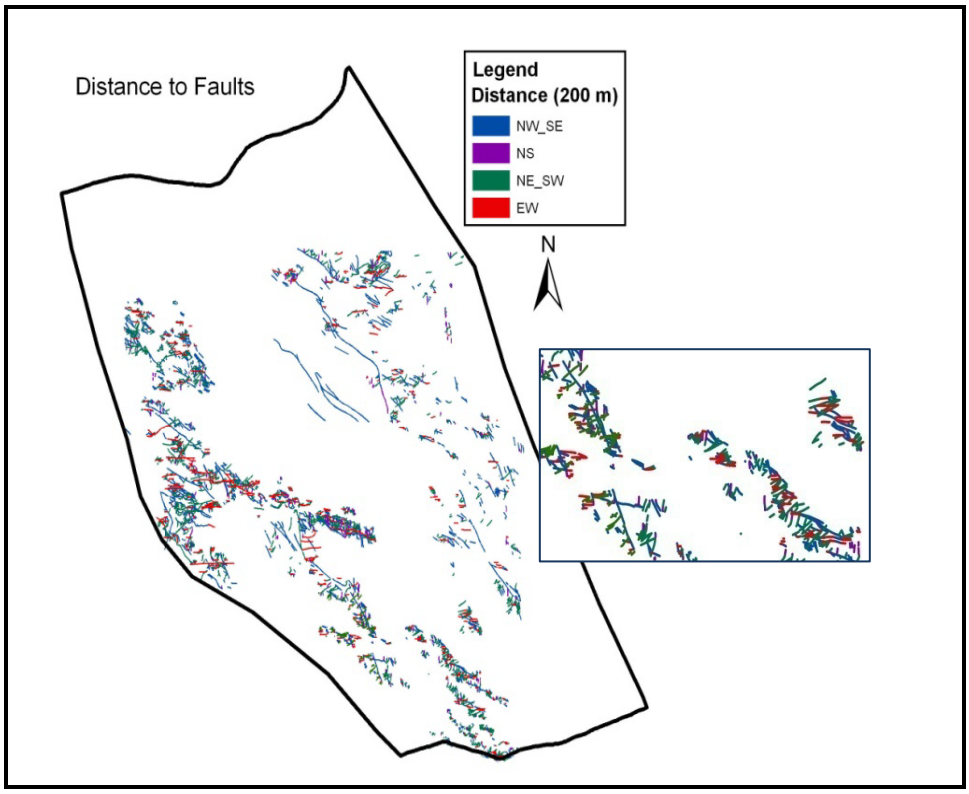
۱. لایه زمین‌شناسی: با توجه به مدل زایشی که در فصل قبل به آن اشاره شد، از میان واحدهای زمین‌شناسی نقشه‌های ۱:۱۰۰۰۰۰ و بعضا ۱:۲۵۰۰۰۰، واحدهای آهکی-دولومیتی کرتاسه که در اغلب نقشه‌ها تحت عنوان سازند تفت معرفی شده‌اند، جدا شده و بصورت یک لایه اطلاعاتی مجزا تا مسافت ۲۵۰ متر بافر و وزن‌دار شدند. ازآنجایی که تمام کانه‌زایی‌ها در مرز بین سازندهای تفت و سنگستان رخ داده است، لذا همبری بین این دو سازند جدا و وزن

بیشتری به آن اختصاص داده شده است (شکل ۵-۹). لازم به ذکر است از آنجا که محیط مناسب این کانی‌زایی و یا به عبارتی واحدهای آهکی کرتاسه در برخی از نقشه‌های زمین‌شناسی حضور ندارد، لذا به‌تبع لایه‌های اطلاعاتی دیگر هم که در ادامه به آنها اشاره خواهد شد، تحت تاثیر قرار خواهند گرفت و محدود به نقشه‌های دارای محیط مناسب خواهند بود.



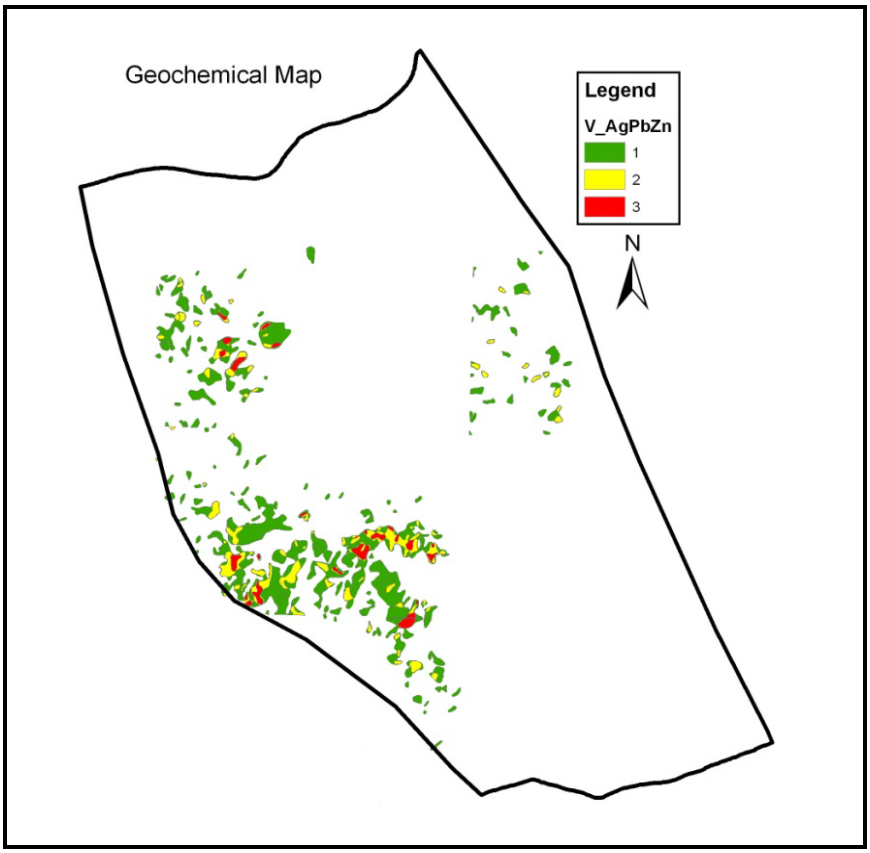
شکل شماره ۵-۹ محیط مناسب برای کانه‌زایی سرب و روی

۲. لایه ساختارها: در تشکیل این نوع از کانسارها، گسل‌ها نقش موثری ایفاء می‌نمایند. همانطور که در قبل اشاره شد، گسل‌ها از دو منبع نقشه‌های زمین‌شناسی و دورسنجی مورد استفاده قرار گرفت. در ابتداد با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، شیفت احتمالی گسل‌های زمین‌شناسی برطرف شد و سپس با گسل‌های جدید شناسایی شده از این تصاویر، بصورت یکپارچه درآمدند. با توجه به اهمیت‌های متفاوت ۴ روند اصلی گسل‌ها، لازم دانسته شد تا آزیموت گسل‌ها استخراج و بر اساس این روندها، چهار فایل مجزا بوجود آید. هر دسته از گسل‌ها تا مسافت ۲۰۰ متر بافر و وزن‌دهی شدند (شکل ۵-۱۰).



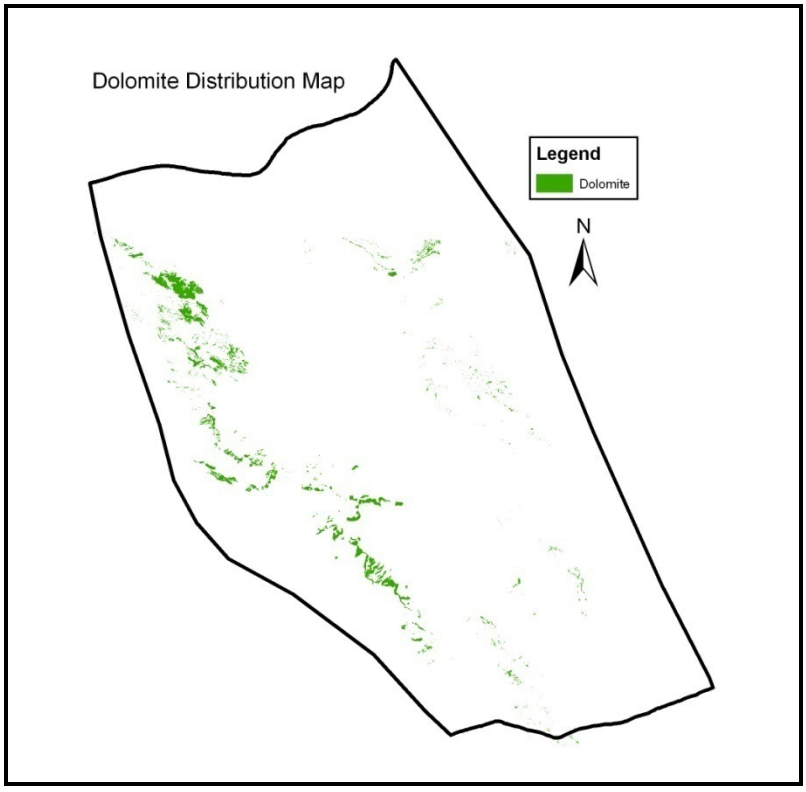
شکل شماره ۵-۱۰ بافر گسل‌های زمین‌شناسی و دورسنجی و دسته‌بندی آن‌ها در ۴ جهت اصلی جغرافیایی

۳. لایه ژئوشیمی: از میان آنومالی‌های ارائه شده ، تنها محدوده‌های آنومال عناصر سرب، روی و نقره از میان نقشه‌های ژئوشیمی، رقومی و وزن‌دهی شدند و بعد از جمع جبری این سه لایه اطلاعاتی با استفاده از منطق بولی (شکل ۵-۱۱)، نتیجه نهایی با ضریب ۱ وارد تلفیق نهایی شد.



شکل شماره ۵-۱۱ تلفیق سه لایه اطلاعاتی محدوده‌های آنومال عناصر سرب، روی و نقره

۴. لایه آلتراسیون: در پی‌جویی کانسارهای ناسولفیدی سرب و روی، و با توجه به امکانات و داده‌های موجود، محدوده‌های آلتراسیون اکسید آهن و دولومیتی می‌توانند در این بررسی نقش موثری ایفاء نمایند. این محدوده‌ها توسط کارشناسان دورسنجی و با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای استخراج شدند. از آنجا که مکان قرارگیری این محدوده‌ها، شیفت قابل ملاحظه‌ای نشان می‌دهند، لذا بر مبنای اهمیت آلتراسیون دولومیتی، علیرغم خطای مکانی، از این لایه اطلاعاتی در تلفیق و مدلسازی استفاده شد (شکل ۵-۱۲).



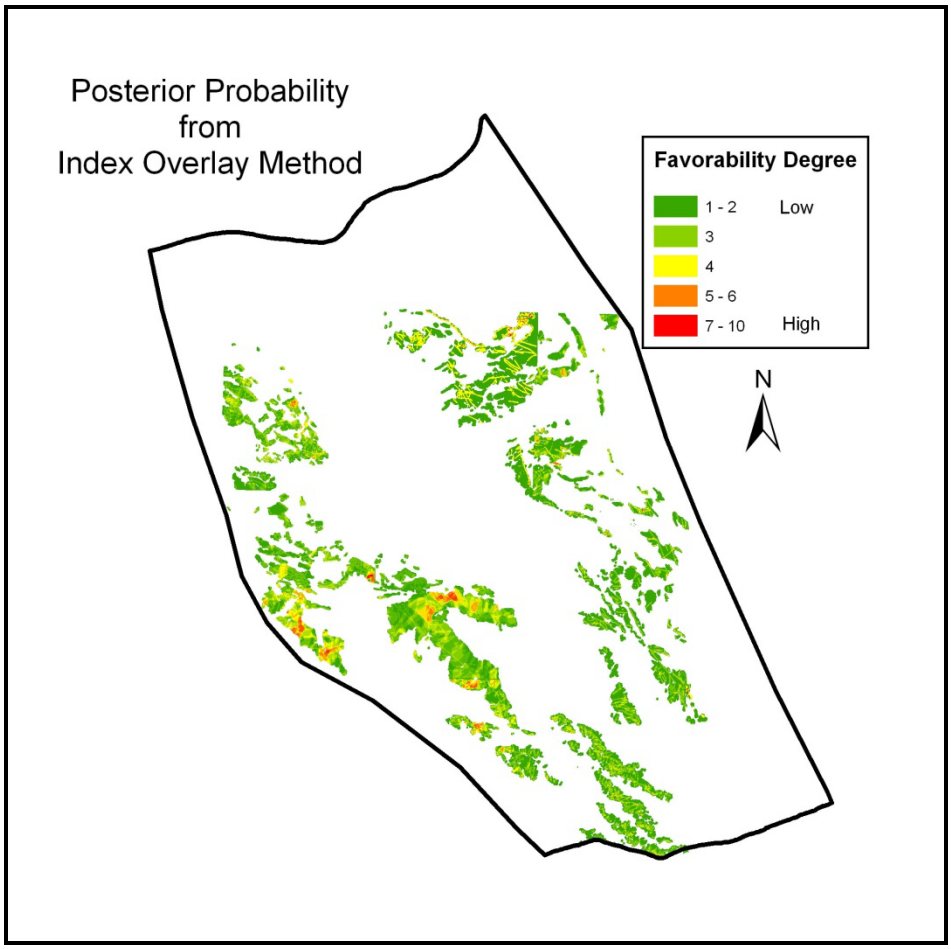
شکل شماره ۵-۱۲ نمایش محدوده‌های آلتراسیون دولومیتی در زون پلتفرم کرتاسه

مدلسازی:

همانطور که در قبل آمد، این زون در ۱۵ برگه ۱:۱۰۰۰۰۰ گسترش دارد. از آنجا که محیط مناسب کانه‌زایی تعیین کننده گستره تشکیل این نوع از کانسارها می‌باشد، لذا مبنای محدوده مورد نظر جهت مدل‌سازی، محیط کانه‌زایی یا به عبارت دیگر واحدهای آهکی-دولومیتی کرتاسه قرار گرفت. از آنجا که این واحدها در برخی از نقشه‌های ۱:۱۰۰۰۰۰ پراکندگی ندارند، لذا محدوده نهایی مدل‌سازی تنها در ۱۰ برگه ۱:۱۰۰۰۰۰ زمین‌شناسی گسترش دارد. از میان این ۱۰ برگه، تنها ۶ برگه دارای ۴ لایه اطلاعاتی فوق هستند و در نتیجه از دقت بالاتری برخوردارند. لازم به ذکر است، این محیط کانه‌زایی جهت محدود نمودن سایر لایه‌های اطلاعاتی نیز بکار گرفته شد.

ذر تلفیق مقدماتی، بدنبال آماده سازی لایه‌های اطلاعاتی اصلی، در این مرحله از کار تمام وزن‌ها و ضرایب در فرمول اصلی قرار گرفته و وزن‌های نهایی بدست آمد. i شامل ۴ لایه‌ی محیط کانه‌زایی، ژئوشیمی، ساختارها و آلتراسیون ، W_i ضریب داده شده به هر لایه و S_j وزن‌های داده شده به هر عارضه در لایه‌ی مربوطه است.

نتیجه‌ی این محاسبات نقشه‌ی پتانسیل منطقه است که در شکل ۵-۱۳ قابل مشاهده است.

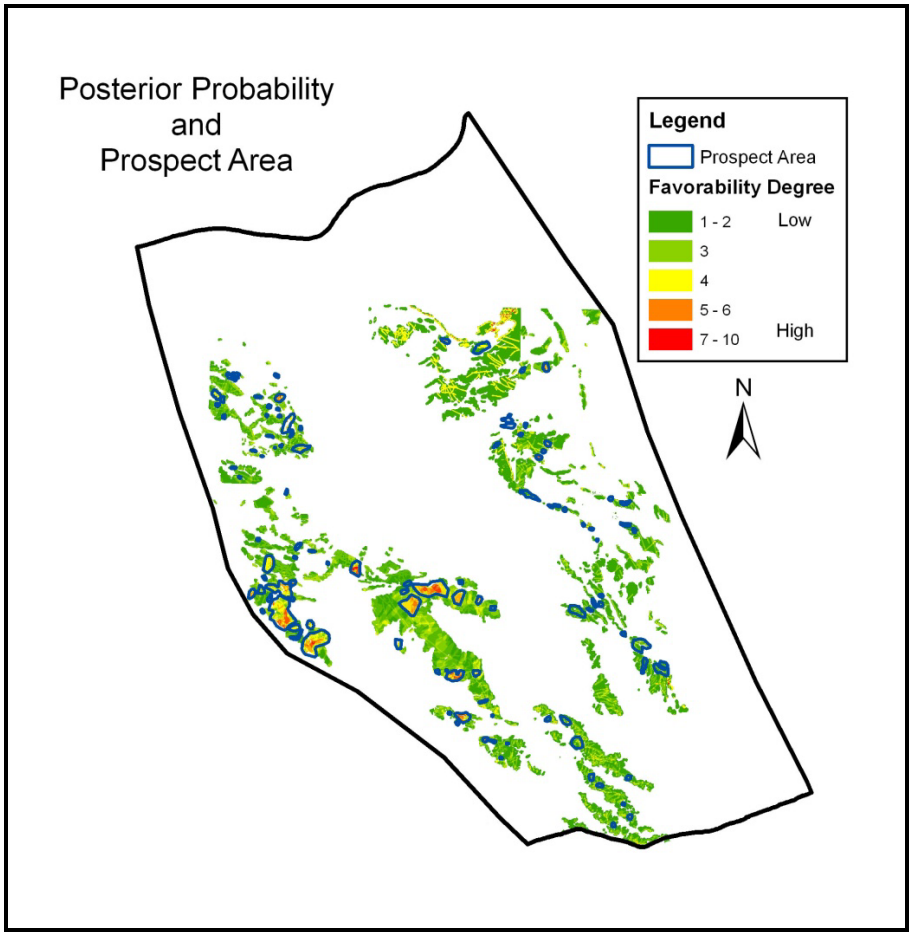


شکل شماره ۵-۱۳ نقشه پتانسیل معدنی سرب و روی ناسولفیدی در زون پلتفرم کرتاسه

به دنبال تهیه نقشه پتانسیل منطقه، محدوده‌های درجه یک به عنوان مناطق امیدبخش مقدماتی از درون نقشه مذکور و به منظور بررسی صحرایی، استخراج شدند که حاصل آن در شکل ۵-۱۴ قابل مشاهده است.

در مرحله مقدماتی، ۹۹ محدود امیدبخش واقع در ۸ برگه ۱:۱۰۰۰۰۰ ارائه شد. که ازمیان این تعداد، ۸ محدوده متعلق به برگه بهادران، ۸ محدوده متعلق به برگه یزد، ۱۲ محدوده متعلق به برگه نیر، ۱۹ محدوده متعلق به برگه خضرآباد، ۶ محدوده متعلق به برگه خرانق، ۱۹ محدوده متعلق به برگه فهرج، ۴ محدوده متعلق به برگه اردکان، و ۲۳ محدوده متعلق به برگه عقدا می‌باشد. لازم به ذکر است، با توجه

به ناکافی بودن اطلاعات جهت مدل‌سازی در ۳ برگه اردکان، بهادران و فهرج، به‌تبع صحت محدوده‌های ارائه شده در این برگه‌ها کمتر از سایر محدوده خواهد بود.



شکل شماره ۵-۱۴ نمایش محدوده‌های امیدبخش