



دانشگاه صنعتی شاهرود

دانشکده معدن و ژئوفیزیک

پایان نامه کارشناسی ارشد

گرایش اکتشاف معدن

مدلسازی داده‌های اکتشافی جهت تعیین مناطق امیدبخش معدنی با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی در محدوده جنوب غربی ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰۰ مرزن آباد

گردآورنده :

سید حسین موسوی انیجدان

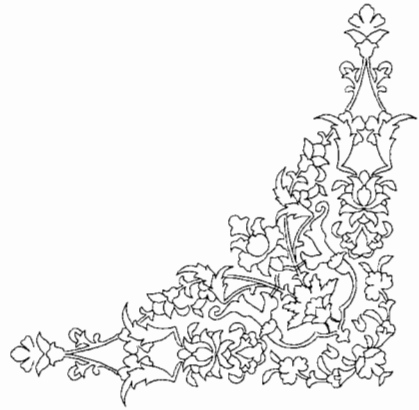
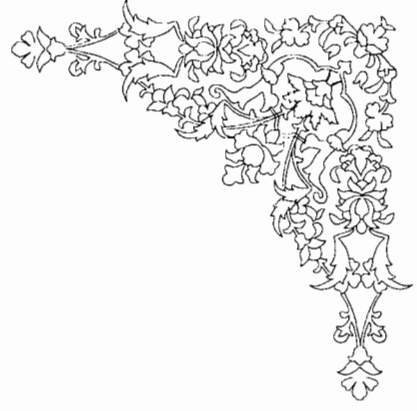
اساتید راهنما :

دکتر رضا کاکایی      دکتر آرزو عابدی

استاد مشاور :

مهندس مژگان زارعی نژاد

تابستان ۱۳۸۶



## چکیده:

امروزه سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) در رشته‌های زیادی کاربرد پیدا کرده است. یکی از قابلیت‌های مهم آن در اکتشاف مواد معدنی، ترکیب و یکی کردن چندین لایه از قبیل لیتولوژی، ساختارها، ژئوفیزیک و خصوصیات ژئوشیمی به منظور مشخص کردن نقشه پتانسیل‌دار معدنی است. در این پایان‌نامه از GIS، جهت معرفی نواحی پتانسیل‌دار معدنی برای کانسارهای تیپ مس-طلای رگه‌ای در محدوده جنوب غربی برکه ۱:۱۰۰۰۰۰ مرزن‌آباد استفاده گردید. پس از بررسی اطلاعات اکتشافی موجود و ارائه مدل‌های اکتشافی صحیح و دقیق برای کانی‌زایی مذکور در منطقه، لایه‌های اکتشافی (زمین‌شناسی، آنالیزهای کانی‌سنگین، تصاویر ماهواره‌ای، ژئوشیمی، ژئوفیزیک هوایی و آلتراسیون) بر اساس پارامترهای موثر در کانی‌زایی مربوطه در GIS رقومی و پردازش شدند. در نهایت از روش‌های همپوشانی شاخص (روش متکی بر دانش) و شواهد وزنی (روش متکی بر داده) برای تلفیق و مدل‌سازی اطلاعات، جهت معرفی نواحی پتانسیل‌دار معدنی برای کانسارهای تیپ مس-طلای رگه‌ای استفاده گردید. در نهایت شش محدوده از روش همپوشانی شاخص (در حدود ۱ درصد از کل منطقه مورد مطالعه و مساحتی بالغ بر ۳۱۰۰۰۰ متر مربع) و چهار محدوده از روش شواهد وزنی (در حدود ۳ درصد از کل منطقه مورد مطالعه و مساحتی بالغ بر ۷۶۰۰۰۰ متر مربع) برای اکتشاف تفضیلی معرفی گردید. نتایج حاصل از دو روش مدل‌سازی بسیار نزدیک به هم بوده، به گونه‌ای که سه محدوده کاملاً باهم همخوانی داشتند، که با توجه به متفاوت بودن اساس دو روش فوق‌الذکر، نشان‌دهنده صحت نسبی مدل‌سازی‌های انجام شده است. نواحی امیدبخش معدنی بدست‌آمده از این مطالعه، در دو منطقه با کارهای اکتشاف تفضیلی در حال انجام توسط سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، همخوانی دارد و می‌تواند دلیلی بر صحت مدل‌سازی‌های انجام شده از این پایان‌نامه باشد. بر اساس نتایج اولیه بدست آمده از اکتشاف تفضیلی در دو منطقه ذکر شده، کانی‌زایی تیپ رگه‌ای (مس و طلای رگه‌ای) مشاهده شده است که صحت مدل‌سازی انجام شده توسط دو روش را کاملاً تأیید می‌کند.

نمات کیدی : سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)، مدل‌سازی GIS، نقشه پتانسیل‌دار معدنی

تقدیم به

پدر و مادر

فداکار و زحمتکش

## تقدیر و تشکر

سپاس و ستایش خدای را که همواره مرا مورد لطف و عنایتش قرار داد و این توان را به من داد تا مراحل مختلف تحصیلی را با موفقیت طی کنم. خداوند متعال را سپاسگزارم که بار دیگر و آن هم در مقطع کارشناسی ارشد مرا یاری کرد تا بتوانم این پایان نامه را جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد تالیف کنم.

از کلیه بزرگوارانی که به گونه‌های مختلف مرا در امر این پایان نامه یاری رسانده‌اند، کمال تشکر و قدردانی را دارم و از خداوند متعال می‌خواهم آنها را همواره در مراحل مختلف یاری و کمک کند. بدین وسیله از زحمات پدر و مادرم که همواره رفاه و آسایش را برای من فراهم کردند، تشکر و قدردانی می‌کنم.

همچنین از زحمات بی‌دریغ تمامی اساتید محترم دانشگاه صنعتی شاهرود، خصوصاً آقای دکتر کاکایی و خانم دکتر عابدی که راهنمایی این تحقیق را بر عهده داشتند، کمال تشکر و قدردانی را دارم. از مدیریت محترم بخش GIS سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، خانم مهندس زارعی نژاد که زحمت مشاوره این پایان نامه را بر عهده داشتند، صمیمانه تشکر می‌کنم و از خداوند متعال توفیقات روزافزون ایشان را در کلیه مراحل زندگی خواستارم. از همکاران ایشان در این بخش، خصوصاً آقایان مهندس صادقی و مهندس قاسمی و مهندس دلاور و خانم‌ها مهندس اسکندری و دکتر گیاه چی و دیگر همکاران در این بخش مراتب سپاس و تشکر را به جا می‌آورم.

همچنین از آقایان دکتر قوامی و دکتر ضیایی که زحمت داوری این پایان نامه را بر عهده داشتند تشکر می‌کنم.

از مسئولین محترم مرکز کامپیوتر دانشگاه صنعتی شاهرود، آقایان مهندس رمضانیان، کلایی، حسن بیگی و عضدی که با تلاش و کوشش خودشان در این مرکز زحمت می‌کشند، تشکر می‌کنم. در پایان از کلیه دوستان و عزیزانی که مرا در انجام این پایان نامه یاری نموده‌اند، صمیمانه سپاسگزارم و برایشان آرزوی موفقیت دارم.

## فهرست مطالب

عنوان	صفحه
چکیده.....	أ
تقدیم .....	ب
تقدیر و تشکر .....	ج
فهرست مطالب .....	د
فهرست اشکال .....	ح
فهرست جداول .....	ط

## فصل اول: کلیات

۱-۱- مقدمه .....	۱
۲-۱- خلاصه‌ای از کارهای انجام شده قبلی در منطقه .....	۲
۳-۱- هدف از انجام پایان‌نامه .....	۲
۴-۱- روش انجام پایان‌نامه .....	۳
۵-۱- ساختار پایان‌نامه .....	۳

## فصل دوم: موقعیت جغرافیایی و زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه

۱-۲- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه .....	۶
۲-۲- زمین‌شناسی عمومی منطقه مورد مطالعه .....	۸
۱-۲-۲- سکانس ماگمایی ولکانیک مافیک .....	۱۱
۲-۲-۲- سکانس ماگمایی ولکانیک و آذرآواری‌های حد واسط تا اسیدی .....	۱۱
۳-۲-۲- سکانس ماگمایی پلوتونیک اسیدی .....	۱۲
۴-۲-۲- سکانس رسوبی - شیمیایی .....	۱۲
۵-۲-۲- سکانس رسوبی آواری .....	۱۳
۶-۲-۲- سکانس دگرگونی (علم کوه) .....	۱۵

## فصل سوم: مقدمه‌ای بر GIS و مدل‌سازی آن برای تهیه نقشه پتانسیل‌دار معدنی

۱-۳- مقدمه .....	۱۸
۲-۳- سیستم اطلاعات جغرافیایی .....	۱۸

۲۰	۳-۳-۳ روش‌های مدل‌سازی GIS برای تهیه نقشه پتانسیل‌دار معدنی.....
۲۶	۳-۳-۱-۱ روش شواهد وزنی.....
۳۰	۳-۳-۲-۲ مدل شاخص همپوشانی.....
۳۱	۳-۴-۳-۴ مروری بر نرم‌افزارهای GIS.....
۳۱	۳-۴-۱-۱ نرم‌افزار ArcView.....
۳۲	۳-۴-۱-۲ بسط Arc-SDM نرم‌افزار ArcView.....
۳۹	۳-۴-۲-۲ نرم‌افزار ArcGIS 9.....

### فصل چهارم: تهیه نقشه پتانسیل‌دار معدنی با استفاده از روش شواهد وزنی

۴۱	۴-۱-۱ مقدمه.....
۴۱	۴-۲-۲-۲ گردآوری داده‌ها.....
۴۲	۴-۳-۳-۳ آماده‌سازی و پردازش داده‌ها.....
۴۳	۴-۳-۱-۱ آماده‌سازی و پردازش داده‌های زمین‌شناسی.....
۴۴	۴-۳-۲-۲ آماده‌سازی و پردازش داده‌های اکتشافات چگشی و داده‌های معدنی.....
۴۵	۴-۳-۳-۳ آماده‌سازی و پردازش داده‌های ژئوفیزیک هوایی.....
۴۷	۴-۳-۴-۴ آماده‌سازی و پردازش داده‌های ژئوشیمی.....
۵۰	۴-۳-۵-۵ آماده‌سازی و پردازش داده‌های دورسنجی برای مناطق آلتراسیونی.....
۵۱	۴-۳-۶-۶ آماده‌سازی و پردازش داده‌های مربوط به گسل‌ها.....
۵۴	۴-۴-۴-۴ تهیه نقشه شاهد و نقشه پتانسیل معدنی با استفاده از روش شواهد وزنی.....
۵۴	۴-۴-۱-۱ تهیه نقشه شاهد زمین‌شناسی.....
۵۸	۴-۴-۲-۲ تهیه نقشه شاهد ژئوفیزیک.....
۵۸	۴-۴-۳-۳ تهیه نقشه شاهد ژئوشیمیایی.....
۵۹	۴-۴-۴-۴ تهیه نقشه شاهد گسل‌ها.....
۵۹	۴-۴-۵-۵ نقشه نشانگر مناطق دگرسان‌شده.....
۵۹	۴-۴-۶-۶ تلفیق نقشه‌های شاهد و تهیه نقشه‌های پتانسیل‌دار معدنی با اولویت بندی.....
۶۰	۴-۴-۷-۷ تهیه نقشه پتانسیل‌کانی‌سازی براساس روش شواهد وزنی.....

### فصل پنجم: تهیه نقشه پتانسیل‌دار معدنی با استفاده از روش شاخص همپوشانی

۶۵	۵-۱-۱ مقدمه.....
----	------------------

- ۶۵-۲-۵- مدل کانسارزایی منطقه مورد مطالعه.....
- ۶۶-۳-۵- آماده سازی و پردازش داده ها.....
- ۶۶-۱-۳-۵- آماده سازی و پردازش داده های زمین شناسی.....
- ۶۹-۲-۳-۵- آماده سازی و پردازش داده های ژئوفیزیک هوایی.....
- ۶۹-۳-۳-۵- آماده سازی و پردازش داده های ژئوشیمی.....
- ۷۰-۴-۳-۵- آماده سازی و پردازش داده های مربوط به تصاویر ماهواره های.....
- ۷۱-۵-۳-۵- آماده سازی و پردازش داده های مربوط به ساختارها.....
- ۷۴-۶-۳-۵- آماده سازی و پردازش لایه کانی سنگین نشانگر کانی زایی.....
- ۷۸-۴-۵- تلفیق نهایی لایه های اطلاعاتی به روش همپوشانی شاخص.....
- ۷۹-۵-۵- ارزش دهی و تلفیق لایه های اطلاعاتی.....

#### فصل ششم: معرفی نواحی امیدبخش معدنی

- ۸۶-۱-۶- مقدمه.....
- ۸۶-۲-۶- معرفی نواحی امیدبخش معدنی.....
- ۸۷-۱-۲-۶- ناحیه امیدبخش اطراف روستای دهدر (نواحی B و E).....
- ۸۷-۲-۲-۶- ناحیه امیدبخش اطراف روستای گراب (نواحی D و H).....
- ۸۸-۳-۲-۶- ناحیه امیدبخش اطراف روستای گرمدر (نواحی C و G).....
- ۸۸-۴-۲-۶- ناحیه امیدبخش اطراف کوه زنجیربند (نواحی I و F).....
- ۸۸-۵-۲-۶- ناحیه امیدبخش اطراف روستای کلها (ناحیه J).....
- ۸۹-۶-۲-۶- ناحیه امیدبخش اطراف روستای ناربان (ناحیه A).....

#### فصل هفتم: نتیجه گیری و پیشنهادات

- ۹۱-۱-۷- نتیجه گیری.....
- ۹۲-۲-۷- پیشنهادات.....
- ۹۵- منابع و مراجع.....



## فهرست اشکال

عنوان	صفحه
<b>فصل دوم</b>	
شکل (۱-۲): موقعیت جغرافیایی و راه‌های ارتباطی منطقه مورد مطالعه (محدوده جنوب غربی مرزن‌آباد)	۷
شکل (۲-۲): نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه	۹
شکل (۳-۲): راهنمای نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه	۱۰
<b>فصل سوم</b>	
شکل (۱-۳): مراحل کلی تهیه نقشه پتانسیل‌دار معدنی	۲۲
شکل (۲-۳): پنجره پارامترهای تجزیه و تحلیل	۳۴
شکل (۳-۳): پنجره پارامترهای تجزیه و تحلیل روش شواهد وزنی	۳۵
شکل (۴-۳): پنجره پارامترهای وزن‌های لایه شاهد	۳۶
شکل (۵-۳): پنجره پارامترهای مربوط به محاسبه وزن لایه شاهد زمین‌شناسی	۳۶
شکل (۶-۳): پنجره تست استقلال شرطی	۳۷
شکل (۷-۳): پنجره پارامترهای مربوط به محاسبه نقشه پتانسیل معدنی	۳۷
<b>فصل چهارم</b>	
شکل (۱-۴): نقشه رقومی شده منطقه مورد مطالعه	۴۴
شکل (۲-۴): محدوده‌های آنومال مغناطیسی ورقه مرزن‌آباد	۴۶
شکل (۳-۴): لایه رستری ژئوفیزیک منطقه مورد مطالعه	۴۷
شکل (۴-۴): محدوده‌های آنومال ژئوشیمیایی عناصر آرسنیک، نقره و سرب	۴۸
شکل (۵-۴): محدوده‌های آنومال ژئوشیمیایی برای عنصر مس	۴۸
شکل (۶-۴): محدوده‌های آنومال ژئوشیمیایی برای عناصر آنتیموان، روی، جیوه و باریم	۴۹
شکل (۷-۴): محدوده‌های آنومال ژئوشیمیایی برای عنصر قلع	۴۹
شکل (۸-۴): محدوده‌های آنومال ژئوشیمیایی	۵۰
شکل (۹-۴): نقشه شاهد آلتراسیون برای آنالیز شواهد وزنی	۵۱
شکل (۱۰-۴): نقشه اصلی گسل‌های منطقه مورد مطالعه	۵۲

- شکل (۴-۱۱): نقشه چگالی گسل‌ها ..... ۵۳
- شکل (۴-۱۲): نقشه شاهد ساختارها برای آنالیز شواهد وزنی ..... ۵۴
- شکل (۴-۱۳): نقشه شاهد زمین‌شناسی برای روش شواهد وزنی ..... ۵۷
- شکل (۴-۱۴): نمودار ستونی ارزش کنتراست برای لایه‌های مختلف زمین‌شناسی ..... ۵۷
- شکل (۴-۱۵): نقشه نهایی پتانسیل‌دار معدنی با استفاده از روش شواهد وزنی ..... ۶۱
- شکل (۴-۱۶): طبقه‌بندی مجدد نقشه پتانسیل و معرفی چهار منطقه امید بخش ..... ۶۲

### فصل پنجم

- شکل (۵-۱): جدول توصیفی مربوط به ارزش واحدهای زمین‌شناسی انتخاب شده برای مدل‌سازی .  
..... ۶۸
- شکل (۵-۲): لایه وزن داده شده زمین‌شناسی جهت مدل‌سازی ..... ۶۸
- شکل (۵-۳): نقشه رستری وزن داده شده لایه ژئوشیمی برای مدل‌سازی ..... ۶۹
- شکل (۵-۴): منطقه آلتراسیونی شماره ۱ (شکل سمت راست) و تصویر ماهواره‌ای قبل از پردازش (شکل سمت چپ) ..... ۷۰
- شکل (۵-۵): منطقه آلتراسیونی شماره ۲ (شکل سمت راست) و تصویر ماهواره‌ای قبل از پردازش (شکل سمت چپ) ..... ۷۰
- شکل (۵-۶): نقشه آلتراسیونی وزن داده شده برای مدل‌سازی ..... ۷۱
- شکل (۵-۷): نقشه ترکیب‌شده گسل‌های زمین‌شناسی، ژئوفیزیک و دورسنجی در راستای شمال غرب - جنوب شرق ..... ۷۳
- شکل (۵-۸): نقشه ترکیب‌شده گسل‌های زمین‌شناسی، ژئوفیزیک و دورسنجی در راستای شمال شرق - جنوب غرب ..... ۷۳
- شکل (۵-۹): نقشه ترکیب‌شده گسل‌های زمین‌شناسی، ژئوفیزیک و دورسنجی در راستای شرق - غرب ..... ۷۴
- شکل (۵-۱۰): نقشه وزن داده شده کانی‌سنگین هماتیت ..... ۷۵
- شکل (۵-۱۱): نقشه وزن داده شده کانی‌سنگین اسفالریت ..... ۷۶
- شکل (۵-۱۲): نقشه وزن داده شده کانی‌سنگین کالکوپیریت ..... ۷۶
- شکل (۵-۱۳): نقشه وزن داده شده کانی‌سنگین شیئلیت ..... ۷۷
- شکل (۵-۱۴): نقشه نهایی وزن داده شده ترکیب لایه‌های کانی‌سنگین ..... ۷۷
- شکل (۵-۱۵): نقشه پتانسیل‌دار معدنی بدست آمده از روش شاخص همپوشانی (مدل ۱) ..... ۸۰

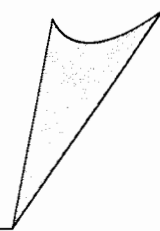
- شکل (۵-۱۶): نقشه پتانسیل‌دار معدنی بدست آمده از روش شاخص همپوشانی (مدل ۲)..... ۸۱
- شکل (۵-۱۷): نقشه پتانسیل‌دار معدنی بدست آمده از روش شاخص همپوشانی (مدل ۳)..... ۸۱
- شکل (۵-۱۸): نقشه پتانسیل‌دار معدنی بدست آمده از روش شاخص همپوشانی (مدل ۴)..... ۸۲
- شکل (۵-۱۹): نقشه پتانسیل‌دار معدنی بدست آمده از روش شاخص همپوشانی (مدل ۵)..... ۸۲
- شکل (۵-۲۰): نقشه پتانسیل‌دار معدنی بدست آمده از روش شاخص همپوشانی (مدل ۶)..... ۸۳
- شکل (۵-۲۱): نقشه نهایی پتانسیل‌دار معدنی بدست آمده از روش شاخص همپوشانی ..... ۸۳

## فهرست جداول

عنوان	صفحه
<b>فصل سوم</b>	
جدول (۱-۳): خلاصه‌ای از روش‌های متداول در تهیه نقشه پتانسیل‌دار معدنی.....	۲۵
جدول (۲-۳): تست استقلال شرطی توسط بسط Arc-SDM.....	۳۸
<b>فصل چهارم</b>	
جدول (۱-۴): اندیس‌های کانی‌زایی و معادن موجود در منطقه مورد مطالعه.....	۴۵
جدول (۲-۴): نتایج شواهد وزنی برای عارضه‌های زمین‌شناسی توسط بسط Arc-SDM.....	۵۶
جدول (۳-۴): جدول وزن‌های مربوط به شاهد ژئوشیمی.....	۵۸
جدول (۴-۴): جدول وزن‌های مربوط به شاهد گسل.....	۵۹
جدول (۵-۴): جدول وزن‌های مربوط به لایه‌های شاهد.....	۶۱
<b>فصل پنجم</b>	
جدول (۱-۵): جدول مربوط به ارزش واحدهای زمین‌شناسی انتخاب شده برای مدل‌سازی.....	۶۷
جدول (۲-۵): وزن‌دهی ساختارها برای مدل‌سازی.....	۷۲
جدول (۳-۵): جدول ارزش‌دهی به لایه‌های کانی‌سنگین.....	۷۵
جدول (۴-۵): جدول وزن داده شده برای لایه‌های مختلف.....	۷۹

فصل اول

کلیات



## ۱-۱- مقدمه

اکتشاف مواد معدنی یک فعالیت چند مرحله‌ای است که در مقیاسی کوچک آغاز می‌شود و به مقیاس بزرگ تبدیل می‌شود و سرانجام به انتخاب محل‌هایی به عنوان هدف برای حفاری و به منظور دست یافتن به ذخایر معدنی پایان می‌پذیرد. در یک مقیاس کوچک، شرکت‌های اکتشافی بایستی مناطق پتانسیل‌دار برای ذخایر معدنی مشخص را بر اساس ویژگی‌های زمین‌شناسی به صورت کلی ترسیم کنند. در مقیاس متوسط، بخش‌هایی از این مناطق کلی برای اکتشاف تفضیلی بعدی، بر اساس شواهد حاصل از تهیه نقشه‌های زمین‌شناسی، نقشه‌برداری ژئوفیزیکی و ژئوشیمیایی منطقه‌ای و تعیین موقعیت مکان‌های شناخته شده معدنی، انتخاب می‌شوند. برای شناخت مناطق پتانسیل‌دار معدنی در مرحله اکتشاف مقدماتی می‌توان از روش‌های مختلف زمین‌شناسی، ژئوفیزیکی، ژئوشیمیایی و ... استفاده نمود. بدین منظور پس از گردآوری داده‌های مختلف می‌توان از تکنولوژی سیستم اطلاعات جغرافیایی<sup>۱</sup> (GIS) برای پردازش، آماده‌سازی و تلفیق آنها برای رسیدن به اولویت‌های اکتشافی بهره برد. امروزه GIS در رشته‌های زیادی کاربرد پیدا کرده است. برخی از کاربردهای آن در علوم زمین عبارتند از: تهیه نقشه حوادث و بلایای طبیعی، انتخاب محل مناسب برای اجرای پروژه‌های مهندسی نظیر دفع مواد زاید و ارزیابی منابع زمین‌شناسی. یکی از کاربردهای متداول GIS در اکتشاف مواد معدنی، تهیه نقشه پتانسیل معدنی می‌باشد. در این پایان‌نامه از سیستم اطلاعات جغرافیایی برای شناخت نواحی امیدبخش محدوده جنوب غربی برگه ۱:۱۰۰۰۰۰ مرزن‌آباد که از نظر اندیس‌های فلزی دارای اهمیت زیادی می‌باشد، استفاده خواهد شد.

---

۱- Geographic Information Systems (GIS)

### ۱-۲- خلاصه‌ای از کارهای انجام شده قبلی در منطقه

یکی از کارهای سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور بررسی پتانسیل‌های موجود برای اکتشاف ذخایر فلزی در محدوده‌های وسیع است. زون چالوس- گرگان یکی از زون‌های بیست‌گانه‌ای است که توسط سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور مورد بررسی و اکتشاف ناحیه‌ای قرار گرفته است. این زون شامل ۱۰ برگه ۱:۱۰۰۰۰۰ به نام‌های ساری، آمل، بهشهر، بلده، دامغان، گرگان، کیاسر، مرزن‌آباد، پل سفید و قائم‌شهر می‌باشد. این طرح کلی برای اکتشاف ذخایر فلزی مختلفی از قبیل طلا، سرب، روی و مس در این زون انجام شده است [گزارش اکتشافی زون چالوس- گرگان، ۱۳۸۰].

در محدوده مورد مطالعه که در بخش جنوب غربی برگه ۱:۱۰۰۰۰۰ مرزن‌آباد واقع شده است، روش‌های اکتشافی مختلفی برای شناسایی منطقه انجام شده است. این مطالعات عبارتند از: تهیه نقشه زمین‌شناسی در مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ که توسط آقای وحدتی دانشمند در سال ۱۳۷۹ انجام گرفته است؛ اکتشافات ژئوشیمیایی سیستماتیک ناحیه‌ای و رسوبات آبراهه‌ای توسط گروه ژئوشیمی، اکتشافات ژئوفیزیک هوایی با استفاده از روش مغناطیس‌سنجی توسط گروه ژئوفیزیک هوایی و مطالعات دورسنجی برای شناسایی ساختارهای خطی و واحدهای آلتراسیونی توسط گروه دورسنجی سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور انجام گردیده است.

همه روش‌های مذکور به صورت جداگانه در منطقه انجام گرفته است و هیچ کاری بر اساس تلفیق داده‌های بدست‌آمده از آنالیزهای ژئوشیمی، ژئوفیزیک هوایی و... در محدوده مورد مطالعه انجام نشده است.

### ۱-۳- هدف از انجام پایان‌نامه

هدف از انجام پایان‌نامه، تهیه نقشه پتانسیل‌دار معدنی در محدوده جنوب غربی برگه ۱:۱۰۰۰۰۰ مرزن‌آباد با استفاده از تلفیق مجموعه اطلاعات حاصل از مطالعات دورسنجی، ژئوفیزیک هوایی، اکتشافات ژئوشیمیایی ناحیه‌ای، نتایج پی‌جویی‌های چکشی و بررسی‌های زمین‌شناسی با استفاده از تکنولوژی GIS

## فصل اول..... کلیات

است. با توجه به حضور اندیس‌های فلزی مس و طلا در منطقه و نیز تنوع واحدهای زمین‌شناسی، کانی‌زایی مس- طلای رگه‌ای در منطقه مورد انتظار است.

### ۴-۱- روش انجام پایان‌نامه

در این پایان‌نامه که از سیستم اطلاعات جغرافیایی برای تهیه نقشه پتانسیل‌دار معدنی استفاده شده است، روش‌های انجام کار در سه مرحله اساسی زیر خلاصه شده است:

- گردآوری داده‌ها و تشکیل بانک اطلاعاتی لایه‌های مختلف در محیط GIS: در این قسمت از داده‌های مختلف از قبیل نقشه زمین‌شناسی، نقشه آنومالی‌های ژئوفیزیک هوایی، نقشه‌های مربوط به آنومالی‌های ژئوشیمی و نتایج مطالعات دورسنجی استفاده شده است.

- تجزیه و تحلیل اطلاعات لایه‌ها

- ترکیب لایه‌های مختلف با هم

پس از جمع‌آوری داده‌ها، رقومی کردن آنها، ورود به کامپیوتر، سازمان‌دهی و تفسیر ساختار و زمین مرجع کردن (سیستم مختصاتی که با آن موقعیت هر نقطه روی زمین را می‌توان مشخص کرد) بر روی داده‌های اولیه انجام گرفته است. در مرحله دوم پس از ورود داده‌های مختلف به سیستم اطلاعات جغرافیایی و آماده کردن لایه‌های اطلاعاتی مختلف، اقدام به تجزیه و تحلیل آنها و نتیجه‌گیری شده است. مرحله سوم شامل استفاده از یک یا چند مدل برای ترکیب لایه‌های اطلاعاتی است.

### ۵-۱- ساختار پایان‌نامه

مباحث آورده‌شده در مابقی این پایان‌نامه به شرح ذیل سازمان‌دهی شده است:

در فصل دوم؛ موقعیت جغرافیایی و زمین‌شناسی عمومی منطقه مورد مطالعه بیان شده است.

فصل سوم؛ روش‌های متداول در تهیه نقشه پتانسیل‌دار معدنی و خلاصه‌ای از نرم‌افزارهای GIS

که در این پایان‌نامه استفاده شده است، بیان شده است.



## فصل اول..... کلیات

در فصل‌های چهارم و پنجم به ترتیب بررسی، آماده‌سازی و پردازش و در نهایت تلفیق داده‌های اکتشافی با استفاده از مدل‌های شواهد وزنی و همپوشانی شاخص انجام شده و در نهایت نقشه پتانسیل‌دار معدنی برای اکتشافات تفضیلی بدست آمده است.

در فصل ششم، مناطق امیدبخش معدنی بدست آمده از دو روش مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است.

در فصل هفتم نتیجه‌گیری و راهکارهای پیشنهادی برای پروژه‌های آینده بیان شده است.

## فصل دوم

موقعیت جغرافیایی و زمین شناسی  
منطقه مورد مطالعه

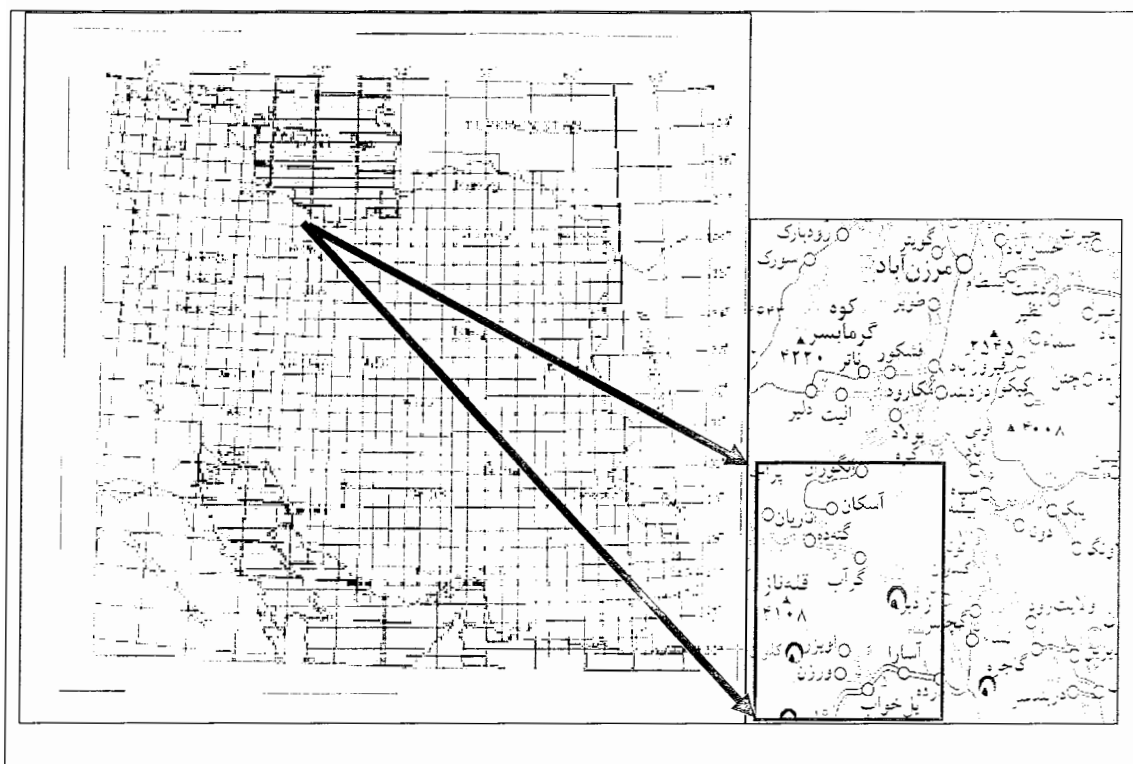
## ۱-۲- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰: مرزن‌آباد در مختصات طول جغرافیایی شرقی  $51^{\circ} 00'$  تا  $51^{\circ} 15'$  و عرض جغرافیایی شمالی  $36^{\circ} 00'$  تا  $36^{\circ} 15'$  در غرب استان مازندران واقع گردیده است و خود شامل چهار قسمت بنام‌های گاجره، آسارا، مرزن‌آباد و رودبارک می‌باشد. محدوده مورد مطالعه در قسمت جنوب غربی ورقه مرزن‌آباد و در قسمت آسارا واقع می‌باشد. شهرستان مرزن‌آباد در حدود ۱۷۵ کیلومتری شمال تا شمال غربی تهران و ۲۵ کیلومتری جنوب چالوس واقع گردیده است. راه‌های آسفالتی در ورقه مرزن‌آباد عبارتند از: جاده کرج-چالوس، راه آسفالتی دوآب کجور به گندله رود و علمده، جاده مرزن‌آباد به کلاردشت و رودبارک، راه آسفالتی پل زنگوله به بلده و هراز، راه آسفالتی گچسر به دیزین و شمشک. شهرستان مرزن‌آباد با حدود بیش از ۷۵۰۰ نفر و کلاردشت با حدود ۶۰۰۰ نفر جمعیت بومی، مهمترین جمعیت اجتماعی منطقه می‌باشند. در شکل (۱-۲) موقعیت جغرافیایی و راه‌های ارتباطی محدوده مورد مطالعه نشان داده شده است.

قله‌های بسیاری با ارتفاع بیش از سه هزار متر تا چهار هزار متر در سطح منطقه قابل مشاهده است. بلندترین قله در این گستره، آزادکوه با ۴۳۵۰ متر ارتفاع و پست‌ترین نقطه با ارتفاع ۳۵۰ متر در جاده چالوس در مرز شمالی نقشه قرار دارد. با توجه به سیمای ریخت‌شناسی و پستی و بلندی منطقه، آب و هواهای متنوعی در این گستره وجود دارد. بیشتر ارتفاعات بالاتر از سه هزار متر در جنوب برگه مرزن‌آباد، دارای شرایط اقلیم سرد کوهستانی می‌باشند و بیشتر سال، سرما و یخبندان در آن حکم‌فرما است و در قله مرتفع آن، یخچال‌های دائمی دیده می‌شود. در ارتفاعات جنوب و شمال دلیر تا ولی‌آباد، کوه دهلا و بلندی‌های شمال نسن، شرایط آب و هوایی اقلیم استپی سرد برقرار است. به تدریج به سوی

فصل دوم ..... موقعیت جغرافیایی و زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه

شمال و همراه با کاهش ارتفاع، نخست نواری باریک از سرزمین‌ها با شرایط آب و هوایی اقلیم مدیترانه‌ای گرم (با میانگین بارندگی در حدود ۳۳۷ میلی‌متر در سال) و پس از آن نوار باریک دیگری با شرایط آب و هوایی اقلیم مدیترانه معتدل (با میانگین بارندگی در حدود ۸۲۱ میلی‌متر در سال) دیده می‌شود. در گوشه شمال شرقی، شرایط اقلیم نیمه مدیترانه‌ای برقرار است (با میانگین بارندگی در حدود ۱۱۵۵ میلی‌متر در سال). رودخانه‌ها و نه‌رهای پرباب با جریان دائمی در طول سال، به فراوانی در منطقه دیده می‌شوند که بر حسب مورد به سوی جنوب (رودخانه کرچ)، غرب (طالقان رود)، شمال‌غرب (رودخانه الیکا)، جنوب‌شرقی (جاجرود)، شرق (نوررود) و دریای خزر در شمال (رودخانه‌های چالوس و سردآب رود) روانند [واحدتی دانشمند، ۱۳۷۹].



شکل (۱-۲): موقعیت جغرافیایی و راه‌های ارتباطی منطقه مورد مطالعه (محدوده جنوب غربی مرزن‌آباد) [موسسه جغرافیایی، کارتوگرافی و گیتاشناسی، ۱۳۸۰]





### ۲-۲-۱- سکانس ماگمایی ولکانیک مافیک

این سکانس شامل واحدهای سنگی زیر می‌باشد:

- واحد  $P^v$ : (روانه‌های بازی و آذرآواری) متعلق به پرمین بوده و در دو قسمت از منطقه رخنمون دارد؛ یکی در جنوب خاور کوه دونا در قسمت گاجره و دیگری بصورت یک نوار باریک در شمال قسمت‌های آسارا و گاجره و جنوب برگه مرزن‌آباد، که توسط گسل‌های متعدد قطع و جابجا گردیده است.
- واحد  $DP_{j,r}$ : از سازندهای جیروود و روته تفکیک نشده تشکیل شده است.

### ۲-۲-۲- سکانس ماگمایی ولکانیک و آذرآواری‌های حد واسط تا اسیدی

این سکانس که عمدتاً در قسمت آسارا و گاجره گسترش دارد، شامل واحدهای سنگی زیر می‌باشد:

- واحد  $E_{k12}^v$  که از جریان‌های گدازه حدواسط (تراکی‌آندزیت، تراکی‌بازالت، بازانیت و آندزیت) تشکیل شده است، عمدتاً در شمال قسمت آسارا و مرکز و جنوب قسمت گاجره گسترده شده است. این واحد در قسمت شمال باختر قسمت آسارا یک تاقدیس را تشکیل داده است که توسط گسل مدفون در کنار رسوبات میوپلیوسن قرار گرفته است. همچنین قسمتی از این واحد در جنوب باختر قسمت رودبارک، به واسطه رورانگی روی شیل‌های ژوراسیک رانده شده است.

- سازند کرج  $E_k$ : پس از لارامیدین یک تکاپوی شدید خروجی آغاز به خودنمایی می‌کند که در میانه‌های ائوسن سبب پیدایش نهشته‌های توفی ضخیم و گسترده (سری سبز) سازند کرج شده است. که به ترتیب از قدیم به جدید به شرح زیر تقسیم شدند:

$E_{k,sh1}$ : عضو شیل تحتانی و از شیل‌های آهکی و سیلیسی، توفیت، آذرآواری‌ها، گدازه داسیتی یا آندزیتی تشکیل شده است.

$E_{k12}$ : این واحد که تقریباً اکثریت سطح قسمت‌های آسارا و گاجره متعلق به این واحد سنگی است، در شمال و شمال باختر برگه‌های آسارا و گاجره واقع می‌باشد و شامل توف‌های ضخیم لایه سبز،

فصل دوم.....موقعیت جغرافیایی و زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه

کمی گدازه، شیل، کنگلومرا و آذرآواری‌ها، آگلومرا، توف آگلومرایی، درون‌لايه‌های آندزیتی مربوط به دوره ائوسن بوده و عنصری از سازند کرج و عضو توف میانی آن به شمار می‌رود.

$E_{ka}$ : عضو شیل آسارا و از شیل، سیلت‌سنگ و ماسه‌سنگ آهکی - توفی تشکیل شده است.

$E_{k13}$ : این واحد در واقع عضو توف بالایی از اعضای سازند کرج و متعلق به دوره ائوسن می‌باشد

که از توف‌های سبز، آذرآواری‌ها، شیل، ماسه‌سنگ، شیل آهکی و گدازه آندزیتی - داسیتی تشکیل شده است. دو تاق‌دیس و دو ناودیس با امتدادهای عمود بر هم در این واحد به چشم می‌خورد. رخنمون جنوبی این واحد، توسط یک رورانگی بر روی شیل‌ها و دولومیت‌های کامبرین رانده شده است.

$E_k^v$ : از تراکی آندزیت، تراکی‌بازالت، بازانیت، آندزیت، آگلومرا، توف‌ها و آذرآواری‌ها تشکیل شده

است.

#### ۲-۲-۳- سکانس ماگمایی پلوتونیک اسیدی

این سکانس در قسمت رودبارک و قسمتی از آن هم در قسمت آسارا گسترش دارد و از واحد

سنگی  $m$  تشکیل شده است.

واحد  $m$  نوار نسبتاً باریکی را در گوشه جنوب باختری قسمت آسارا تشکیل می‌دهد و مشتمل

است بر مونزونیت و مونزوسینیت با سن احتمالی ترشیری. این واحد از نهشته‌های تفکیک نشده میوسن

که شامل مارن سیلت دار، کنگلومرا، گچ و سنگ‌آهک است، تشکیل شده است.

#### ۲-۲-۴- سکانس رسوبی - شیمیایی

این سکانس بیشترین تعداد واحد سنگی را بخود اختصاص داده است، مهمترین واحدها که در

قسمت آسارا رخنمون دارند عبارتند از:

- واحد  $TR_e$  در جنوب غربی آسارا و گاجره رخنمون دارد که بعضاً دچار گسل خوردگی است.

سن آن تریاس و شامل واحدهای سازند الیکا به صورت تفکیک نشده می‌باشد. سازند الیکا از سنگ



## فصل دوم ..... موقعیت جغرافیایی و زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه

آهک‌های مارنی نازک لایه‌ای ورقه‌ای و یک بخش بالایی دولومیتی زردرنگ ضخیم لایه با ضخامت متغیر تا حداکثر ۲۰۰ متر دیده می‌شود.

- واحد  $TR_e^{m.1}$  جزء سازند الیکا بوده و از سنگ‌آهک مارنی ورقه‌ای، شیل ورقه‌ای و ماسه‌سنگ کوارتزیتی تشکیل شده است.

- واحد  $TR_{3J_s}$ : این واحد رخنمون‌های وسیعی در نقشه دارد و معرف سازند شمشک می‌باشد. سازند شمشک از شیل، ماسه‌سنگ، سیلت‌سنگ، رس‌سنگ، شیل‌های گاهی زغال‌دار خاکستری تا سبز-زیتونی، کوارتزیت و کنگلومرا تشکیل شده است که سن آن به ژوراسیک می‌رسد و رخنمون‌های آن بیشتر روند شمال باختری - جنوب خاوری و خاوری - باختری دارد.

- واحد  $K_t$  شامل سنگ‌آهک اوربیتولین‌دار کرتاسه می‌باشد و رخنمون کمی در قسمت‌های آسارا و گاجره دارد که داخل گسل خوردگی می‌باشد و در برکه آسارا توسط گسل طالقان بر روی عضو توف میانی سازند کرج رانده شده است.

### ۲-۲-۵- سکانس رسوبی آواری

این سکانس از رسوبات آواری ساخته شده است که البته گاهی میان لایه‌هایی از رسوبات شیمیایی در آن دیده می‌شود و به ترتیب از قدیم تا جدید شامل سنگ‌های زیر می‌باشد:

- واحد  $DC_z$ ، که معرف عضو A سازند جیروود است و جنس سنگ‌های تشکیل‌دهنده آن ماسه‌سنگ، شیل، سنگ‌آهک و لایه‌های فسفاتی است که سن آن دونین می‌باشد.

- واحد  $P_d$  معرف سازند درود می‌باشد و بیشتر از شیل، ماسه‌سنگ، سنگ‌آهک، سیلت‌سنگ و کوارتزیت تشکیل شده است. سن این واحدها به پرمین برمی‌گردد و دارای روند خاوری - باختری می‌باشد.

- واحد  $Pek$ : کهنترین سنگ‌های منطقه با ضخامت ۱۶۰۰ متر در بالا آمدگی کوه کهار پیدا شده است. مطالعه ماسه‌سنگ‌های سازند کهار نشان می‌دهد که به احتمال رسوبات یک حوضه عمیق هستند. در این سازند، بیشتر شیل‌های سیلت‌دار نازک‌لایه و نیز ماسه‌سنگ‌های ریزدانه مشاهده می‌شود.

## فصل دوم.....موقعیت جغرافیایی و زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه

- واحد  $PC - C_{s.sh}$ : در قسمت‌هایی از جنوب باختری قسمت آسارا رخنمون دارد و معرف عضو شیلی چپقلو می‌باشد و قسمت اعظم آن از شیل و سیلت‌سنگ تیره تشکیل شده است و سن آن پرکامبرین می‌باشد.

- واحد  $PC-C_s$ : سازند سلطانیه از دولومیت‌های ضخیم‌لایه روشن، سفید تا خاکستری - زردرنگ تشکیل شده است که همراه با عضو شیلی چپقلو در بخش زیرین آن (متشکل از سیلت‌های تیره، شیل‌های ماسه‌ای، دولومیت‌های قهوه‌ای و سنگ‌آهک)، بدون اختلاف شیب محسوس، با ناپیوستگی و همبری تند ناهمزمان، بر روی سازند کهار قرار گرفته است.

- واحد  $PeE_f$ : رشته کوه‌های البرز در پایان کرتاسه، تحت تاثیر یک فاز جنبشی بسیار پویا قرار گرفته که فرجام آن پیدایش ساخت‌های اصلی رشته و نیز ظهور کامل رشته پالئوزیک مرکزی آن بوده است. فرسایش پی‌آمد آن سبب تشکیل کنگلومرای ضخیم سازند فاجان شده است.

به سبب تغییرات رخساره‌ای شدید، در سه گروه اصلی با رخساره کنگلومرای  $(PeE_f^c)$  و رخساره نرم فرسایش ماسه‌ای - مارنی - توفی  $(PeE_f^{s,m,t})$  و رخساره آتشفشانی - آذرآواری  $(PeE_f^v)$  گروه بندی شدند.

واحد  $PeE_f^v$  شامل سنگ‌های آتشفشانی، آذرآواری‌ها و توف‌ها می‌باشد.

واحد  $PeE_f^c$  شامل کنگلومرای تیره‌رنگ با دانه‌های چندزادی ضخیم‌لایه تا توده‌ای شکل و ماسه سنگ می‌باشد.

واحد  $PeE_f^{s,m,t}$  شامل ماسه‌سنگ، شیل، مارن، توف، سیلت‌سنگ، کنگلومرا و سنگ‌آهک می‌باشد.

- واحد  $PeE_z$  جزء سازند زیارت بوده و از سنگ‌آهک‌های آلئولینا - نومولیت دار تشکیل شده است.

- واحد OM: نهشته‌های آواری سازند قرمز (اولیگو-میوسن) از سیلت‌سنگ، مارن، ماسه‌سنگ،

کنگلومرا، سنگ‌آهک و گچ تشکیل شده است.

فصل دوم ..... موقعیت جغرافیایی و زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه

- واحد  $PIQ^{c,s}$  شامل رسوبات پرکننده دره‌ها مشتمل بر مارن، ماسه‌سنگ سست و کنگلومرا، گچ (نهشته‌های دریاچه‌ای) و مربوط به دوران چهارم کواترنری می‌باشند که عبارتند از:
- \* واحد Q: شامل نهشته‌های دوران چهارم می‌باشد.
  - \* واحد  $Q^m$ : شامل مورن‌ها<sup>۱</sup> (نهشته‌های یخچالی) می‌باشد که از سیلت‌سنگ، مارن، ماسه‌سنگ، کنگلومرا، سنگ‌آهک و گچ تشکیل شده است.
  - \* واحد  $Q^l$ : شامل زمین‌لغزش<sup>۲</sup> روانه‌های سنگی<sup>۳</sup> می‌باشد.
  - \* واحد  $Q^{rf}$ : شامل سنگ‌ریزش<sup>۴</sup> می‌باشد.
  - \* واحد  $Q^s$ : شامل واریزه سطحی و مخروط‌های واریزه‌ای جوان و قدیمی<sup>۵</sup> و نهشته‌های فروریخته<sup>۶</sup> می‌باشد.

#### ۲-۲-۶- سکانس دگرگونی (علم‌کوه)

- مجموعه‌های دگرگونی منطقه بیشتر مربوط به دگرگونی‌های علم‌کوه است که سنگ‌های موجود در منطقه را با سن‌های مختلف دگرگون ساخته و مجموعه‌های دگرگونی جدید را بوجود آورده است.
- واحد CM عمدتاً شامل سازند مبارک می‌باشد که در اثر دگرگونی، مرم‌های توده‌ای شکل را بوجود آورده است.
- واحد mb همان سازند الیکا بوده که تحت تاثیر فرایندهای دگرگونی به مرم‌های سفید رنگ تبدیل شده است و شامل مرم و سنگ‌آهک مرمی شده می‌باشد.

---

۱- Moraines(glacial deposits)

۲- Landslide

۳- Rock Stream

۴- Rock Fall

۵- Young and old scree slopes

۶- talus deposits

## فصل دوم.....موقعیت جغرافیایی و زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه

- واحد mt (توالی‌های آتش‌فشانی کرتاسه دگرگونه) شیست‌های سبز مشتمل بر توف‌های دگرگون شده است که احتمالاً از دگرگون شدن واحد  $TR_3$  در اثر فرایند دگرگونی علم‌کوه بوجود آمده باشد و شامل گرین‌شیست، هورنفلس، شیست، مرمرها، دیاباز و کنگلومرا و توف و ماسه‌سنگ دگرگونه می‌باشد.

## فصل سوم

مقدمه‌ای بر GIS و مدل‌سازی آن  
برای تهیه نقشه پتانسیل‌دار معدنی

### ۳-۱- مقدمه

سیستم اطلاعات جغرافیایی، یک سیستم رایانه‌ای است که برای جمع‌آوری، ورود، پردازش، تجزیه و تحلیل، مدل‌سازی و نمایش داده‌های فضایی به کار می‌رود. امروزه استفاده از این سیستم در رشته‌های مختلف کاربرد زیادی یافته است. یکی از کاربردهای متداول GIS در اکتشاف مواد معدنی، تهیه نقشه پتانسیل معدنی می‌باشد. با این حال عملیاتی که برای تهیه نقشه پتانسیل دار معدنی انجام می‌شوند از بسیاری از جهات به عملیات به کار گرفته شده برای کاربردهای متنوع GIS شبیه است. روش‌های مختلفی برای مدل‌سازی داده در اکتشاف مواد معدنی استفاده می‌شود که در این فصل پس از ارائه مختصری از این سیستم، دو روش متداول و مرسوم مدل‌سازی که در این پایان‌نامه از آن استفاده شده، توضیح داده می‌شود.

### ۳-۲- سیستم اطلاعات جغرافیایی

یک سیستم اطلاعات جغرافیایی یا ساده‌تر GIS، یک سیستم رایانه‌ای برای مدیریت داده‌های فضایی است. واژه جغرافیایی گویای آن است که موقعیت موضوع‌های داده‌ها، برحسب مختصات جغرافیایی (طول و عرض جغرافیایی) شناخته شده‌اند یا می‌توانند شناخته شوند. واژه اطلاعات نشان‌دهنده آن است که داده‌ها در GIS برای ارائه دانسته‌های مفید، نه فقط به صورت نقشه‌ها و تصاویر رنگی بلکه به صورت گراف‌های آماری، جداول و پاسخ‌های نمایی متنوعی به منظور جستجوهای تعاملی سازماندهی می‌شوند. واژه سیستم نشان‌دهنده این است که GIS از چندین قسمت متصل و وابسته به یکدیگر با کارکردهای گوناگون ساخته می‌شود. بدین‌سان، GIS توانمندی‌های کاری را برای جمع‌آوری، ورود، پردازش، تغییر

فصل سوم ..... مقدمه‌ای بر GIS و مدل‌سازی آن برای تهیه نقشه پتانسیل دار معدنی

شکل، به تصویر در آوردن، ترکیب، جستجو، تجزیه و تحلیل، مدل‌سازی و خروج داده‌ها را دارد [Bonham-Carter, 1994].

امروزه سیستم اطلاعات جغرافیایی در رشته‌های مختلف کاربرد پیدا کرده است. جستجو برای منابع زمین‌شناسی، ارزیابی خطرات، تقابل زیست محیطی و بررسی‌های انتخاب محل از جمله مهمترین کاربردهای این سیستم در علوم زمین می‌باشند.

هدف نهایی GIS پشتیبانی برای تصمیم‌گیری پایه‌گذاری شده بر داده‌های فضایی است. کاربرد GIS این اهداف عمده را از یک یا چند فعالیت زیر با داده‌های فضایی انجام می‌دهد: سازماندهی، به تصویر در آوردن، جستجو، ترکیب، تجزیه و تحلیل و پیش‌بینی [Bonham-Carter, 1994].

GIS از مجموع چهار مولفه<sup>۱</sup> تشکیل شده است که عبارتند از ورودی داده‌ها، مدیریت داده‌ها، تحلیل داده‌ها و خروجی داده‌ها. عملکرد هر یک از مولفه‌های مزبور بر روی سایرین اثر می‌گذارد و کیفیت اطلاعات و دقت نقشه‌ها را تحت تاثیر قرار می‌دهد [جهانی، ع و مسگری، س؛ ۱۳۸۰].

مولفه ورودی: داده‌های ورودی و اولیه را به شکل قابل استفاده در GIS تبدیل می‌کند. مولفه ورودی داده‌ها شامل دستگاه‌هایی می‌شود که با استفاده از آن داده‌های زمین‌مرجع<sup>۲</sup> (که اغلب به شکل نقشه‌های کاغذی، عکس‌های هوایی یا تصاویر ماهواره‌ای هستند)، به همراه داده‌های توصیفی (در قالب جدول‌ها و فایل‌های رقومی) به اطلاعات قابل استفاده در GIS تبدیل می‌شوند.

مولفه مدیریت: شامل توابع مختلف GIS برای نگهداری، بازیابی، بهنگام‌سازی و ... می‌شود. لازمی موقعیت داده‌ها، ایجاد یک پایگاه داده با هدف پیوند موقعیت‌ها و حقایقی است که به طور مجزا از هم مشاهده می‌شود.

مولفه تحلیل: ابزار تحلیل GIS عبارت است از برنامه‌های رایانه‌ای که داده‌های توصیفی موجود در پایگاه داده را استخراج و آنها را به عوارض گرافیکی بر روی نقشه مربوط می‌سازند. این برنامه‌ها همچنین

---

۱- Components

۲- Georeference

## فصل سوم ..... مقدمه‌ای بر GIS و مدل‌سازی آن برای تهیه نقشه پتانسیل دار معدنی

دسترسی به پایگاه داده‌های توصیفی و انجام محاسبات منطقی را به کمک برقراری روابط توپولوژی نقاط، خطوط و سطوح میسر می‌نماید.

مولفه خروجی: تهیه گزارش از نتایج عملیات مکانی، مولفه مهم GIS است که طی آن نتایج عملکرد سایر مولفه به تصمیم‌گیرندگان منتقل می‌شود. خروجی داده‌های GIS روشی برای نمایش داده‌ها یا اطلاعات به شکل‌های مختلف (نقشه، جدول، نمودار و ...) است.

### ۳-۳- روش‌های مدل‌سازی GIS برای تهیه نقشه پتانسیل دار معدنی

طرح‌های GIS برای تهیه نقشه‌های پتانسیل دار معدنی به دو مرحله اصلی تقسیم می‌شوند:

۱- استخراج داده‌ها

۲- طبقه‌بندی

به طور کلی استخراج داده‌ها شامل گردآوری اطلاعات و داده‌های اولیه، ایجاد پایگاه داده از کلیه داده‌های موجود، رقومی کردن و آماده‌سازی برای محیط GIS است. طبقه‌بندی شامل پردازش داده‌ها برای بیرون کشیدن الگوهای فضایی مربوط به اهداف طرح و ترکیب شواهد بدست آمده به منظور پیش‌بینی پتانسیل معدنی می‌باشد.

به طور کلی برای تهیه نقشه پتانسیل دار معدنی با استفاده از GIS؛ اولاً، داده‌ها بایستی جمع‌آوری شده و به فرمت دیجیتالی قابل استفاده در GIS درآیند. ثانیاً، داده‌ها بایستی به طور مناسب کددهی<sup>۳</sup> شوند که شامل انتخاب داده مناسب و پروژکشن نقشه<sup>۴</sup> (مختصات جغرافیایی) برای نمایش داده‌ها می‌شوند [Harris et al, 2001].

فرایند ایجاد پایگاه داده می‌تواند خیلی دشوار باشد، اما یک امر حیاتی و بسیار مهم است به گونه‌ای که مجموعه داده‌های فضایی و آماری برای تجزیه و تحلیل‌های هدف‌دار و برای رسیدن به یک نتیجه قابل اطمینان، بایستی عاری از هرگونه خطا و اشتباهی باشند. زمین‌شناسان گزینه‌های مختلفی

۳- Georeference

۴- Map Projections



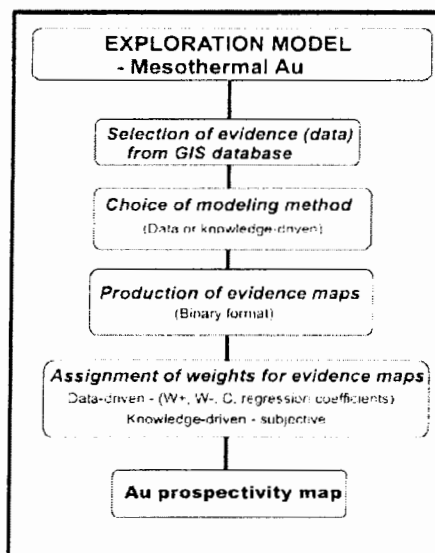
## فصل سوم ..... مقدمه‌ای بر GIS و مدل‌سازی آن برای تهیه نقشه پتانسیل دار معدنی

برای پردازش داده‌های علوم زمین برای ورودی GIS مدل‌سازی می‌کنند. وقتی آماده‌سازی مناسب داده‌ها در محیط GIS صورت گرفت، از بسته‌های نرم‌افزارهای آماری و زمین‌آماری برای انجام و پیش‌بینی داده‌ها به منظور تهیه نقشه پتانسیل دار معدنی استفاده می‌شود. تکنیکهای مدل‌سازی فضایی بسیاری می‌توانند برای تهیه چنین نقشه‌ای، مورد استفاده قرار گیرند.

برای ترکیب شواهد بدست‌آمده به منظور تهیه نقشه امیدبخش معدنی، در مرحله اول بایستی مدل اکتشافی برای کانسارهای احتمالی منطقه مورد مطالعه ایجاد شود، در مرحله دوم لایه‌های شاهد اصلی بر اساس مدل اکتشافی از مجموعه پایگاه داده در محیط GIS بایستی استخراج شود، تلفیق نقشه‌های مختلف با یکدیگر و ترکیب شواهد به وسیله وزن‌دار کردن و ترکیب منابع متعدد به صورتی ساده یا بر اساس یک منطق یا دانش ریاضی انجام می‌پذیرد. تخصیص وزن‌ها به نقشه‌ها و کلاس‌های آنها یا توسط تجزیه و تحلیل اهمیت شواهد و مدارک مربوط به اندیس‌های معدنی معلوم و ارتباط آنها با کلاس‌های نقشه‌های مختلف انجام می‌گیرد یا با استفاده از قضاوت ذهنی کارشناسان زمین‌شناس و معدن انجام می‌گیرد [مسگری‌وش، ۱۳۸۴]. به‌رحال این روش‌ها می‌توانند به دو گروه اصلی متکی بر دانش و متکی بر داده تقسیم شوند [Harris et al, 2001].

سپس یکی از روش‌های مدل‌سازی متکی بر دانش یا متکی بر داده برای مدل‌سازی انتخاب می‌شوند، در مرحله سوم نقشه‌های شاهد که عموماً به فرمت دوتایی هستند را ایجاد کرده و در مرحله چهارم با اختصاص وزن به هرکدام از نقشه شاهد و ترکیب آن با روش مدل‌سازی به کار رفته، نقشه پتانسیل دار معدنی به دست می‌آید. مراحل کلی ترکیب شواهد و تهیه نقشه پتانسیل دار معدنی در شکل (۱-۳) به صورت خلاصه برای مدل اکتشافی طلای مزوترمال، نشان داده شده است.

در روش‌های متکی بر داده نیاز به یک دانش قبلی (که توسط احتمال اولیه یا پیشین بیان می‌شود) است، که این دانش شامل رخنمون‌ها و ذخایر معدنی شناخته شده در منطقه مورد مطالعه (به عبارت دیگر پی‌جویی) است. ارتباط فضایی بین داده‌های ورودی (نقشه‌های شاهد) و موقعیت فضایی رخنمون‌های مواد معدنی برای اثبات درجه صحت هر کدام از نقشه‌های شاهد (وزن‌ها) به کار می‌رود. روش‌های متکی بر داده عبارتند از [Harris et al, 2001]:



شکل (۳-۱): مراحل کلی تهیه نقشه پتانسیل دار معدنی [Harris et al, 2001]

۱- مدل شواهد وزنی<sup>۵</sup> [Wright and Bonham-Carter, 1988; Agterberg and Wright 1988]

[Bonham-Carter, 1996; Agterberg, 1992; Wilkinson, Harris and Kjarsgaard, 1999a]

۲- مدل رگرسیون لجستیکی<sup>۶</sup> [Reddy and Bonham-Carter, 1980; Chung and Agterberg, 1980]

[Carter, 1991]

۳- تجزیه و تحلیل شبکه عصبی<sup>۷</sup> [Singer and Kouda, 1999; Harris and Pan, 1999]

[Brown and others, 2000]

روش شواهد وزنی، یک روش کمی است که شامل فرمول‌های خطی - لگاریتمی قوانین احتمالات

بیز<sup>۸</sup> (Bayes) می‌باشد، با این فرض که الگوهای نقشه ترکیبی مستقل از هم باشند. روش رگرسیونی یک

۵- Weights of evidence (WofE)

۶- Logistic regression

۷- Neural networks

۸- Log-linear formulation of Bayes Rule of Probability

ابراز آنالیز داده‌ای با اهمیت، برای توصیف ارتباط بین متغیرهای پاسخ و یک یا بیش از یک متغیر توصیفی است. با آنالیز مدل رگرسیونی، متغیرهای جواب به صورت دوتایی بوده و نشان‌دهنده درصد یا حضور احتمالی ماده معدنی (که با عدد یک یا صفر نشان داده می‌شود) بوده و متغیرهای توصیفی به صورت نقشه‌های شاهد دوتایی هستند. ضرایب مشخص شده توسط مدل، بیان‌کننده و به عبارتی مشخص‌کننده وزن‌هایی هستند که نشان‌دهنده اهمیت نقشه شاهد در مراحل رگرسیونی هستند. در واقع اساس کار دو روش شواهد وزنی و مدل رگرسیونی یکسان است. در حالی که روش شبکه عصبی در مواقعی به کار می‌رود که نقاط و اندیس‌های معدنی در منطقه خیلی زیاد باشد. بنابراین در این پایان‌نامه به توجه به تعداد کم اندیس‌ها و رخنمون‌های معدنی عملاً این روش جواب خوبی نمی‌دهد.

در روش‌های متکی بر دانش کارشناسی، اهمیت وزن‌ها برای هر لایه از داده‌ها (نقشه شاهد)، به مدل اکتشافی ویژه‌ای که استفاده شده است، ارتباط دارد. این روش بیشتر ذهنی<sup>۹</sup> (شخصی) است اما مزیت آن تلفیق دانش و تخصص یک زمین‌شناس اکتشافی در فرایند مدل‌سازی است. روش‌های متکی بر دانش کارشناسی عبارتند از [Harris et al, 2001]:

۱- روش بولین<sup>۱۰</sup> [Harris, 1989]

۲- شاخص همپوشانی<sup>۱۱</sup> [Rencz and others, 1994]

۳- منطق فازی<sup>۱۲</sup> [An, Moon and Rencz 1991]

۴- شبکه‌های منطقی و نمودارهای درختی تصمیم‌گیری<sup>۱۳</sup> [Duda and others, 1978; An, ]

[Moon and Bonham-Carter, 1992; Reddy and Bonham- Carter, 1991]

۵- نظریه دمپستر- شفر<sup>۱۴</sup> [Moon, 1990]

---

۹- Subjective

۱۰- Boolean logic

۱۱- Index Overlay

۱۲- Fuzzy logic

۱۳- Inference networks and decision trees

۱۴- Demster-Shafer

۶- روش تحلیلی سلسله مراتبی<sup>۱۵</sup> [Harris, Wilkinson and (continuous maps) Broome, ]

[199

ساده ترین روش مدل‌سازی در GIS، روش بولین می‌باشد که در آن مجموعه داده‌های اکتشافی به صورت دوتایی (Binary) درست یا غلط (وجود یک شرط یا عدم وجود) تنظیم می‌گردند. مهمترین مزیت این روش سهولت و سادگی آن است. با این حال در عمل مناسب نیست چون برای هر یک از معیارهای ترکیب شده ارزش یکسانی قائل می‌شود. شواهد و مدارک بایستی بسته به اهمیت نسبی خود وزن دار شوند. این مساله در روش شاخص همپوشانی برطرف شده است به صورتی که هر لایه از اطلاعات بسته به تاثیرش در جواب نهایی وزن دار می‌گردند. در مدل‌سازی کلاسیک GIS، عضویت یک مجموعه به صورت درست (یک) یا غلط (صفر) تعریف می‌شود در حالی که مرز بین آنها نامشخص و گنگ است. بنابراین به یک مدل مفهومی نیاز است که عضویت بر روی یک مقیاس گروه‌بندی شده از ۱ (عضویت کامل) تا صفر (عدم عضویت کامل) بیان شوند [Carranza and Hale, 2001]. روش منطق فازی می‌تواند برای وزن‌دادن و ترکیب شواهد در مواقعی که هدف (برای مثال مشخص کردن مکان مناسب برای ذخایر معدنی) نامشخص است، موثر باشد. برای این منظور منطق فازی از توابع عضویت و عملگرهای ترکیبی مختلف استفاده می‌کند [Franca-Roca et al, 2003]. در واقع اساس ترکیب و وزن‌دهی روش منطق فازی و روش همپوشانی شاخص یکسان است زیرا وزن‌دهی هر دو روش بر اساس مدل اکتشافی است. دیگر روش‌های متکی بر دانش از قبیل شبکه‌های منطقی و نمودارهای درختی تصمیم‌گیری، نظریه دمپستر- شفر و روش تحلیلی سلسله مراتبی کمتر در تهیه نقشه پتانسیل معدنی مورد استفاده قرار می‌گیرند. جدول (۱-۳) خلاصه‌ای از روش‌های مختلف که توسط بونهام - کاتر (Bonham-Carter, 1994) و رایت و بونهام - کارتر (Wright and Bonham-Carter, 1996) ارائه گردیده است، را نشان می‌دهد.

---

۱۵- Analytical hierarchy process (AHP)

فصل سوم ..... مقدمه‌ای بر GIS و مدل‌سازی آن برای تهیه نقشه پتانسیل دار معدنی

جدول (۱-۳): خلاصه‌ای از روش‌های متداول در تهیه نقشه پتانسیل دار معدنی [Harris et al, 2001]

معیارهای داده‌های ورودی برای ترکیب	پارامترهای مدل	روش	
برقراری ارتباط فضایی بین رخنمون‌های شناخته شده و داده‌های ورودی با استفاده از قوانین احتمالات بیز	مناطق آموزش (آگاهی از وجود ذخایر معدنی در منطقه)	شواهد وزنی	روش‌های مبتنی بر داده
		مدل رگرسیونی	
		شبکه عصبی	
ترکیب نقشه‌های دوتایی	تخمین بر اساس نظر کارشناسی	منطق بولین	روش‌های مبتنی بر دانش
ترکیب نقشه‌های دوتایی وزن داده شده		شاخص همپوشانی	
تخمین با استفاده از نظر کارشناسی		شبکه‌های منطقی و نمودارهای درختی	
تخمین با استفاده از نظر کارشناسی		تصمیم‌گیری	
هر نقشه شاهد ورودی یک عضویت فازی در محدوده ۰ تا ۱ را شامل می‌شود و همه نقشه‌های شاهد با استفاده از عملگرهای فازی (مثل and و گامای فازی) با هم ترکیب می‌شوند		نظریه دمپستر - شفر	
ترکیب نقشه‌های مورد دلخواه وزن داده شده (نقشه‌های پیوسته)		منطق فازی	
		روش تحلیلی سلسله مراتبی	

با توجه به مزایا و معایب ذکر شده در موارد بالا و با توجه به متداول بودن دو روش شواهد وزنی و مدل شاخص همپوشانی در تهیه نقشه پتانسیل دار معدنی، تصمیم گردید که از این دو روش در این پایان‌نامه برای تهیه مناطق امیدبخش در محدوده مورد مطالعه استفاده شود. بنابراین در ادامه دو روش مذکور توضیح داده می‌شود.

### ۳-۱-۳- روش شواهد وزنی

در کاربردهای اکتشافی مواد معدنی یک سری از نقشه‌ها یا لایه‌های شاهد که از مجموعه داده‌های ژئوشیمی، ژئوفیزیک و زمین‌شناسی بدست آمده‌اند، برای تهیه نقشه امیدبخش معدنی استفاده می‌شود. وابستگی فضایی هر لایه شاهد نسبت به موقعیت ذخایر یا اندیس‌های شناخته شده، تعیین می‌شود و به عنوان نقاط آموزش استفاده می‌شود [Kemp et al, 1999].

یکی از روش‌هایی که می‌توان در تهیه نقشه پتانسیل دار معدنی از آن استفاده نمود، به کار بردن اندیس‌های شناخته شده در یک منطقه به عنوان نقاط راهنما برای روش شواهد وزنی می‌باشد. در مطالعه حاضر هدف استفاده از اندیس‌های شناخته شده موجود در منطقه، تعیین هر چه بهتر شواهد بر اساس وابستگی فضایی با این اندیس‌ها و در نهایت تلفیق شواهد جدید بر اساس این وابستگی، برای تهیه نقشه پتانسیل دار معدنی می‌باشد. این روش در ادامه توضیح داده می‌شود.

اگر فرض شود که در منطقه‌ای به مساحت ۱۰۰۰۰ کیلومتر مربع، ۲۰۰ ذخیره معدنی شناخته شده وجود دارد و منطقه به سلول‌های واحدی به مساحت یک کیلومتر مربع تقسیم شود و در هر سلول واحد فقط یک ذخیره قرار گیرد، در این صورت اگر یک سلول واحد به طور اتفاقی انتخاب شود، احتمال وجود ذخیره در آن  $200/10000=0.02$  (۲ درصد) می‌باشد. زمانی که اطلاعات دیگری وجود نداشته باشد، نسبت مذکور، احتمال متقدم<sup>۱۶</sup> (پیشین) وجود یک ذخیره ( $P\{D\}$ ) نامیده می‌شود. اکنون اگر یک نقشه شاخص دوتایی نظیر نقشه آنومالی ژئوفیزیکی از همان ناحیه موجود باشد و ۱۸۰ ذخیره از ۲۰۰ ذخیره موجود، در محل این آنومالی قرار داشته باشد. واضح است که احتمال یافتن یک ذخیره با در نظر گرفتن آنومالی ژئوفیزیکی بسیار زیادتر از ۰/۰۲ خواهد شد. بنابراین میزان مطلوبیت برای کشف یک ذخیره معدنی مانند D در حضور شاهدهی مانند B را می‌توان با احتمال شرطی رابطه (۱-۳) بیان نمود:

$$P\{D|B\} = \frac{P\{D \cap B\}}{P\{B\}} \quad (1-3)$$

۱۶ - prior probabilities

فصل سوم ..... مقدمه‌ای بر GIS و مدل‌سازی آن برای تهیه نقشه پتانسیل دار معدنی

که در این رابطه  $P\{D|B\}$  احتمال وجود یک ذخیره معدنی به شرط حضور الگوی دوتایی B است. اما  $P\{D \cap B\}$  برابر با نسبت مساحت کل اشغال شده توسط D و B است یا  $P\{D \cap B\} = N\{D \cap B\} / N\{T\}$  و به همین ترتیب  $P\{B\} = N\{B\} / N\{T\}$  که در آن احتمال  $P\{B\}$  و  $N\{B\}$  مساحت (تعداد سلول واحد الگوی دوتایی B) و  $N\{T\}$  تعداد سلول‌های واحد در کل منطقه می‌باشند. به طور کلی در رابطه‌های فوق  $N\{ \}$  نشان‌دهنده تعداد سلول‌های واحد و  $P\{ \}$  نشان‌دهنده احتمال است. با جانشین کردن این عبارات در رابطه (۱-۳)، رابطه (۲-۳) به صورت زیر به دست خواهد آمد.

$$P\{D|B\} = \frac{N\{D \cap B\}}{N\{B\}} \quad (۲-۳)$$

احتمال شرطی  $P\{D|B\}$ ، برابر نسبتی از الگوی دوتایی B می‌باشد که توسط ذخایر پوشیده شده است. اگر در مثال فعلی ۱۸۰ ذخیره بر روی الگوی B وجود داشته و مساحت B، ۳۶۰۰ کیلومتر مربع باشد احتمال مشروط وجود ذخیره در حضور آنومالی ژئوفیزیکی، برابر  $0/05 = 180/3600$  خواهد شد. یعنی ۲/۵ برابر ۰/۰۲. بنابراین اکتشاف برای ذخایر جدید از همان نوع متمرکزتر و منسجم‌تر شده است زیرا اگر نشانه ژئوفیزیکی به عنوان شاخص مهمی به کار رود، ناحیه جستجو از ۱۰۰۰۰ کیلومتر مربع به ۳۶۰۰ کیلومتر مربع کاهش پیدا می‌کند. به منظور به دست آوردن عبارتی مربوط به احتمال متأخر<sup>۱۷</sup> (پسین) یک ذخیره بر حسب احتمال متقدم، توجه شود که احتمال مشروط نقشه دوتایی B با حضور یک ذخیره به صورت رابطه (۳-۳) تعریف می‌شود:

$$P\{B|D\} = \frac{P\{B \cap D\}}{P\{D\}} \quad (۳-۳)$$

که برای مورد فعلی مقدارش برابر است با  $0/9 = 180/200$  از آنجایی که  $P\{B \cap D\}$  با  $P\{D \cap B\}$  مشابه است. معادله‌های (۱-۳) و (۳-۳) می‌توانند برای حل کردن  $P\{D|B\}$  ترکیب شده و رابطه (۴-۳) را به وجود آورند.

۱۷- posterior probabilities

فصل سوم ..... مقدمه‌ای بر GIS و مدل‌سازی آن برای تهیه نقشه پتانسیل دار معدنی

$$P\{D|B\} = P\{D\} \frac{P\{B|D\}}{P\{B\}} \quad (4-3)$$

این رابطه نشان می‌دهد که احتمال مشروط (متاخر) یک ذخیره معدنی، با حضور الگوی دوتایی برابر است با احتمال متقدم ذخیره  $P\{D\}$  ضرب در عامل  $P\{B|D\} / P\{B\}$ ، صورت کسر این عامل  $0/9$  و مخرج آن  $0/36$  است. بنابراین عامل مذکور برابر است با  $2/5$ . در نتیجه با حضور آنومالی ژئوفیزیکی احتمال متاخر یک ذخیره  $2/5$  برابر بیشتر از احتمال متقدم است. اطلاعات درباره صورت کسر اغلب از مطالعه آماری ذخایر و اطلاعات درباره مخرج کسر از بررسی‌های اکتشافی مربوط به محل وجود ذخایر مورد انتظار که ویژگی‌های آنها مورد نظر می‌باشد، به دست می‌آید. با استفاده از معادله (4-3)  $P\{D|B\} = 0/05$  به دست می‌آید، که همان مقدار به دست آمده توسط رابطه (3-2) است. همچنین می‌توان عبارتی مشابه برای احتمال متاخر ذخیره‌ای که با عدم حضور آنومالی شاخص (یک نقشه شاهد دوتایی) مشخص می‌شود، به صورت رابطه (3-5) به دست آورد.

$$P\{D|\bar{B}\} = P\{D\} \frac{P\{\bar{B}|D\}}{P\{\bar{B}\}} \quad (5-3)$$

و برای مثال با جانشین کردن اعداد خواهیم داشت:  $P\{\bar{B}\} = \frac{10000 - 3600}{10000} = 0.64$

و در نتیجه  $P\{\bar{B}|D\} = \frac{0.1}{0.64} = 0.15625$  و  $P\{D|\bar{B}\} = \frac{20}{200} = 0.1$  بنابراین احتمال متاخر

وجود یک ذخیره در هر واحد مساحت (هرسلول)، در محل‌هایی که آنومالی ژئوفیزیکی وجود ندارد،  $0/15625$  برابر کمتر از احتمال متقدم است. در مثال فعلی  $P\{D|\bar{B}\} = 0/02 \times 0/15625 = 0/003125$ . بنابراین وجود یک نقشه به عنوان شاهد (به عنوان مثال آنومالی ژئوفیزیکی) برای اکتشاف معدن به مقدار زیادی مساحت جستجو را از  $10000$  کیلومتر مربع به  $3600$  کیلومتر مربع کاهش می‌دهد زیرا شانس پیدا کردن ذخیره‌ای که در آن آنومالی ژئوفیزیکی وجود نداشته باشد به مقداری قابل توجه، کمتر (حدود  $50$  برابر) از جایی است که این آنومالی وجود دارد. با توجه به اینکه  $N(T)$  تعداد کل سلول‌های واحد و  $N(D)$  تعداد نقاط مورد نظر در داخل محدوده مورد مطالعه می‌باشد ( $N(D)$  عددی صحیح می‌باشد)، اگر کلاس با ارزش  $1$  نقشه دوتایی با  $B$  و تعداد سلول‌هایی را که اشغال می‌کند با  $N(B)$  و همچنین تعداد



فصل سوم ..... مقدمه‌ای بر GIS و مدل‌سازی آن برای تهیه نقشه پتانسیل دار معدنی

سلول‌هایی را که با کلاس صفر نقشه دوتایی پوشیده می‌شود، با  $N(\bar{B})$  نشان داده شود رابطه (۶-۳) بد دست خواهد آمد.

$$N(B) + N(\bar{B}) = N(T) \quad (۶-۳)$$

که با توجه به آن می‌توان وزن‌هایی را تحت عنوان  $W^+$  و  $W^-$  محاسبه کرد که می‌توانند ملاکی برای همراهی و یا عدم همراهی بین نقاط (اندیس‌های شناخته شده) و بخش‌های مختلف نقشه شاهد دوتایی باشند. این وزن‌ها برای تمام کلاس‌های نقشه شاهد، محاسبه می‌شوند. مقادیر مثبت برای وزن محاسبه شده بیانگر این واقعیت است که نقاط مورد نظر (معدنی) بیشتری، داخل کلاس مورد نظر از کل نقشه قرار دارد و به طور معکوس، مقادیر منفی برای وزن محاسبه شده نمایانگر این است که نقاط کمتری، در آن کلاس خاص از نقشه قرار دارند. مقدار صفر، یا خیلی نزدیک به صفر بیانگر این است که نقاط مورد نظر به صورت تصادفی بین کلاس مورد نظر و بخش‌های دیگر نقشه دوتایی توزیع شده‌اند.  $W^+$  وزنی است که معرف حضور و همراهی مثبت نقاط مورد نظر با هر کلاس خاص و  $W^-$  معرف عدم حضور یا همراهی منفی مکانی نقاط مورد نظر با آن کلاس خاص است. تفاضل این دو وزن (C)، تباین یا کنتراست (Contrast) نامیده می‌شود. کنتراست پارامتری است که معرف وضعیت کلی همراهی یا عدم همراهی نقاط مورد نظر با کلاس‌های خاص از نقشه می‌باشد. به طور کلی وزن‌های  $W^+$  و  $W^-$  محاسبه شده بین صفر تا ۰/۵ معمولاً چندان پیش‌گویی‌کننده نیستند و مقادیر بین ۱ و ۲ پیش‌گویی‌کننده خوبی هستند. اگر مقادیر محاسبه شده این وزن‌ها بیش از ۲ باشد پیش‌گویی‌کننده قوی هستند. به طور کلی وزن‌های مربوط به کلاس‌های یک نقشه دوتایی با نسبت‌های احتمالات شرطی رابطه‌های (۷-۳) و (۸-۳) بیان می‌شوند که در آنها  $\{ \}$  معرف احتمال می‌باشد.

$$W^+ = \ln \frac{P\{B|D\}}{P\{B|\bar{D}\}} = \ln \frac{\{B \cap D\} / D}{\{B \cap \bar{D}\} / \bar{D}} \quad (۷-۳)$$

$$W^- = \ln \frac{P\{\bar{B}|D\}}{P\{\bar{B}|\bar{D}\}} = \ln \frac{\{\bar{B} \cap D\} / D}{\{\bar{B} \cap \bar{D}\} / \bar{D}} \quad (۸-۳)$$

$(B \cap D)$  اشتراک دو مجموعه B و D (معرف مجموعه نقاط مورد نظر) است. بنابراین می‌توان

رابطه (۹-۳) را به صورت زیر نوشت:

فصل سوم ..... مقدمه‌ای بر GIS و مدل‌سازی آن برای تهیه نقشه پتانسیل دار معدنی

$$W^+ = Ln \frac{N(B \cap D) / N(D)}{[N(B) - N(B \cap D)] / [N(T) - N(D)]} \quad (9-3)$$

و به طریقی مشابه می‌توان رابطه  $W^-$  را نیز بازنویسی کرد. در صورتی که مساحت سلول واحد خیلی کاهش یابد، رابطه (9-3) برای  $W^+$  را می‌توان به صورت رابطه ساده شده (10-3) نوشت.

$$W^+ = Ln \frac{N(B \cap D) / N(D)}{N(B) / N(T)} \quad (10-3)$$

پس از انجام محاسبات مربوط به تجزیه و تحلیل شواهد وزنی و انتخاب بالاترین کنتراست‌ها، برای هر نقشه شاهد یک نقشه دوتایی تهیه شده و پس از تلفیق آنها و به دست آوردن مقادیر محاسبه شده  $P(D|B)$ ، برای همه سلول‌ها، می‌توان نقشه‌ای تهیه کرد که نشان دهنده توزیع احتمال تجربی وجود یک اندیس معدنی در واحد مساحت (هر سلول) ناحیه مورد مطالعه باشد. در نهایت پس از مطالعه بر روی نقشه اخیر و انتخاب نقاط دارای بالاترین احتمالات کانی‌سازی، می‌توان بهترین نقاط را برای متمرکز شدن بر روی آنها و انجام عملیات اکتشافی تفضیلی مشخص نمود [یوسفی و کاکایی، 1385].

### 3-3-2- مدل شاخص همپوشانی

در این مدل به هر لایه یا نقشه شاهد براساس مدل اکتشافی وزن‌های متفاوتی اختصاص داده می‌شود. این وزن‌ها می‌توانند به صورت آماری و بر اساس تعداد رخنمون‌های ماده معدنی و ارتباط آنها با عناصر و یا لایه‌های خاص روی یک نقشه انتخاب شوند یا در غیر این صورت وزن‌ها می‌توانند بر اساس درجه اهمیت لایه‌ها در نقشه‌های شاهد ورودی و بر اساس نظر کارشناسی انتخاب شوند. اختصاص وزن‌ها یا نمرات به نقشه‌ها به وسیله فرایندهای آماری، در جاههایی که مدل اکتشافی قطعی و مشخص وجود دارد یا در جاههایی که ارتباط مهم بین عناصر مختلف متغیر است، امکان‌پذیر است. در مقابل اختصاص دادن وزن‌ها در مناطقی که از لحاظ زمین‌شناسی و با یک مدل اکتشافی مشخص اکتشاف شده‌اند، از روش‌های متکی بر دانش بدست می‌آید [Mukhopadhyay et al, 2002]. بعد از تعریف نمره یا امتیاز برای نقشه به وسیله فرایندهای آماری (روش‌های متکی بر داده) یا روش‌های متکی بر دانش، امتیاز متوسط (وزن شاخص همپوشانی) از رابطه (3-11) بدست می‌آید [Bonham-Carter, 1994].

فصل سوم ..... مقدمه‌ای بر GIS و مدل‌سازی آن برای تهیه نقشه پتانسیل دار معدنی

$$\bar{S} = \frac{\sum_{i=1}^n S_{ij} W_i}{\sum_{i=1}^n W_i} \quad (11-3)$$

در رابطه بالا  $\bar{S}$  امتیاز وزن داده شده برای موضوع یا عارضه،  $W_i$  وزن  $i$  امین نقشه ورودی و  $S_{ij}$  امتیاز  $i$  امین کلاس از  $i$  امین نقشه است. مقدار  $Z$  به کلاسی که به طور واقعی در موقعیت جاری موجود است، بستگی دارد.

### ۳-۴- مروری بر نرم‌افزارهای GIS

وجود قابلیت‌های بالا و توانمند در GIS باعث ورود و گسترش آن در شاخه‌های مختلف علوم و زمینه‌های کاربردی شده است. وجود این تنوع و گوناگونی کاربران و نیازهای خاص هر دسته از آنها باعث به وجود آوردن و توسعه نرم‌افزارهای مختلف GIS شده است. برخی از مهمترین این نرم‌افزارها عبارتند از: Arc/Info، ArcView، Idrisi، MapInfo و ArcGIS. در اینجا به بررسی دو نرم‌افزار GIS که بیشتر در شرکت‌ها، سازمان‌ها و موسسات ایرانی مورد استفاده قرار گرفته‌اند و در این پایان‌نامه از آن استفاده شده است، پرداخته می‌شود.

### ۳-۴-۱- نرم‌افزار ArcView

نرم‌افزار ArcView، یک نرم‌افزار توانمند و راحت برای کار با سیستم اطلاعات جغرافیایی است. این نرم‌افزار توسط شرکت ESRI<sup>۱۸</sup> تهیه شده و دارای قدرت بالایی جهت نمایش، تشریح، انجام پرسش و تجزیه و تحلیل بر روی اطلاعات جغرافیایی می‌باشد.

یکی از محاسن بارز این نرم‌افزار توان استفاده از اطلاعات آماده شده از سایر نرم‌افزارها از قبیل نرم‌افزارهای CAD و نرم‌افزارهای GIS به ویژه Arc/Info می‌باشد. در واقع نرم‌افزار ArcView را می‌توان

---

۱۸- Environmental System Research Institute

فصل سوم ..... مقدمه‌ای بر GIS و مدل‌سازی آن برای تهیه نقشه پتانسیل دار معدنی

مکمل ArcInfo نامید، که کارهای تهیه خروجی و نمایش نتایج تحلیل را به صورت موثرتر و راحت‌تری نسبت به Arc/Info انجام می‌دهد. نرم‌افزار ArcView شامل پنج قسمت اصلی می‌باشد که عبارتند از:

Views, Charts, Tables, Layouts و Scripts.

Views: شامل نمایش لایه‌ها و اطلاعات است.

Tables: شامل نمایش و انجام کار بر روی جداول مربوط به لایه‌ها می‌باشد.

Charts: برای رسم نمودار در مراحل مختلف کار با این نرم‌افزار، مورد استفاده قرار می‌گیرد.

Layouts: برای نمایش و تهیه خروجی از این نرم‌افزار مورد استفاده قرار می‌گیرد.

Scripts: محیط برنامه‌نویسی نرم‌افزار است، که با نوشتن برنامه مورد نظر برای انجام کار خاصی،

تابع‌های مکمل به نرم‌افزار اضافه شده و تحت عنوان بسط<sup>۱۹</sup> می‌توان از آنها استفاده کرد. با فعال کردن یا

نصب این بسط‌ها در محیط ArcView می‌توان از توابع موجود در آن استفاده نمود.

یکی از بسط‌های مهم این نرم‌افزار که برای تهیه نقشه‌های پتانسیل دار معدنی و تجزیه و

تحلیل‌های فضایی تهیه شده، بسط Arc-SDM می‌باشد که در زیر توضیح داده شده است.

#### – بسط Arc-SDM<sup>۲۰</sup> نرم‌افزار ArcView

یک بسط در واقع برای نرم‌افزارهای ArcView که با نسخه‌های 3.0 به بالا شروع می‌شوند،

توسط شرکت ESRI، برای اجرای نمونه‌ها و مدل‌هایی که مکمل تابع‌های اساسی ArcView هستند،

استفاده می‌شود. ESRI این قابلیت را به استفاده کنندگان ArcView داده است تا بسط‌های مورد

نظرشان را با زبان برنامه‌نویسی ArcView (Avenue) بنویسند. یک بسط در واقع یک نوع خاصی از پایگاه

داده است که هدف آن ممکن است شامل ساختار نوشتاری برنامه‌نویسی<sup>۲۱</sup>، کنترل ارتباطی جدید یا یک

---

۱۹- Extention

۲۰- Spatial Data Modeller Extension for ArcView and Spatial Analyst

۲۱- Avenue scripts

سند ارتباطی سفارشی (GUI)<sup>۲۲</sup> باشد. هنگامی که بسط Arc-SDM را اجرا می‌کنیم، زبان برنامه‌نویسی که تابع‌های Arc-SDM را اجرا می‌کند، به سیستم برنامه نویسی نرم‌افزار ArcView اضافه می‌شود و منوی Arc-SDM و منوی ابزار (tool) به این نرم‌افزار اضافه می‌شود [kemp et al, 2001].

اگرچه این نرم‌افزار کامپیوتری به طور خاص برای تهیه نقشه پتانسیل دار (امیدبخش) معدنی طراحی شده است ولی برای انواع دیگر از پیش‌بینی‌های فضایی که هدف آن پیش‌بینی احتمال رخنمون نقاط هدف است، به کار می‌رود. با اجرای بسط Arc-SDM، پنجره نشان داده شده در شکل (۲-۳) به نام پارامترهای تجزیه و تحلیل<sup>۲۳</sup> ظاهر خواهد شد که بایستی پارامترهای مورد نیاز را مشخص کرد. پارامترهای مذکور به شرح زیر است:

۱- انتخاب نوع روش؛ در این بسط از روش‌های مختلف مدل‌سازی برای تهیه نقشه پتانسیل معدنی برای مثال، روش شواهد وزنی، شبکه عصبی، مدل رگرسیونی و منطق فازی استفاده شده است. برای این منظور ابتدا بایستی روش مورد مطالعه را انتخاب کرده تا سایر پارامترها به صورت فعال باقی بمانند. در این پایان‌نامه از روش شواهد وزنی با استفاده از نقاط آموزش<sup>۲۴</sup> برای تهیه نقشه پتانسیل معدنی استفاده شده است.

۲- قرار دادن لایه محدوده مورد مطالعه<sup>۲۵</sup>؛ پس از انتخاب نوع روش، بایستی لایه محدوده مورد مطالعه در این قسمت وارد شود.

۳- نقاط آموزش یا راهنما<sup>۲۶</sup>؛ در این قسمت لایه مربوط به نقاط آموزش که شامل نقاط یا اندیس‌های معدنی است، بایستی وارد شود.

---

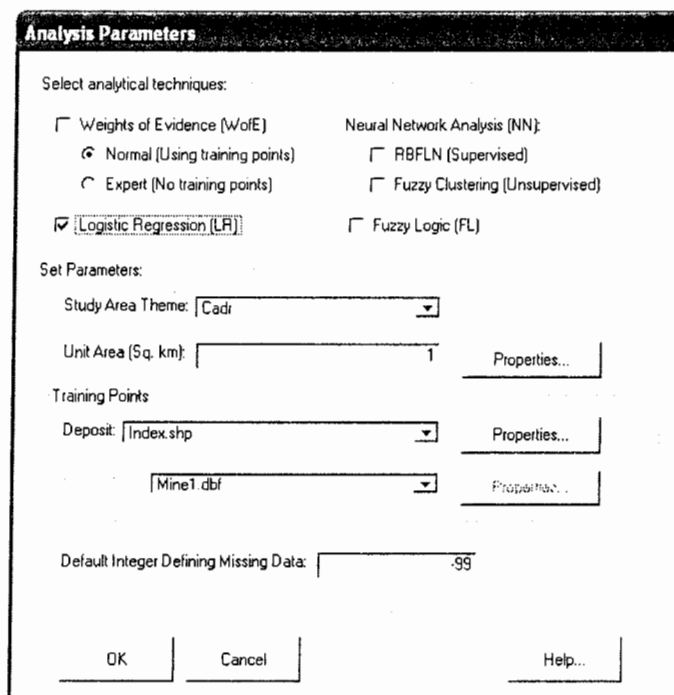
۲۲- Geographic User Interface

۲۳- Analysis Parameters

۲۴- Normal (Using training points)

۲۵- Study Area Theme

۲۶- Training Points



شکل (۳-۲): پنجره پارامترهای تجزیه و تحلیل

پس از قرار دادن پارامترهای ذکر شده در پنجره تجزیه و تحلیل و انتخاب دکمه OK، پنجره‌ای مطابق با شکل (۳-۳) باز می‌شود که پارامترهای تجزیه و تحلیل شواهد وزنی<sup>۲۷</sup> نام دارد. در این قسمت مهمترین پارامترهای مورد نیاز که بایستی وارد شود، عبارتند از:

۱- لایه شبکه‌ای محدوده مورد مطالعه<sup>۲۸</sup>؛ در این قسمت بایستی لایه شبکه‌ای (رستری) محدوده مورد مطالعه وارد شود.

۲- سطح واحد<sup>۲۹</sup>؛ در این قسمت اندازه سلول واحد که محاسبات وزنی بر اساس آن صورت می‌گیرد، بایستی قرار داده شود. مساحت واحد پیشنهاد شده توسط بسط Arc-SDM با استفاده از فرمول زیر محاسبه می‌شود:

۲۷- Weights of Evidence Analysis Parameters

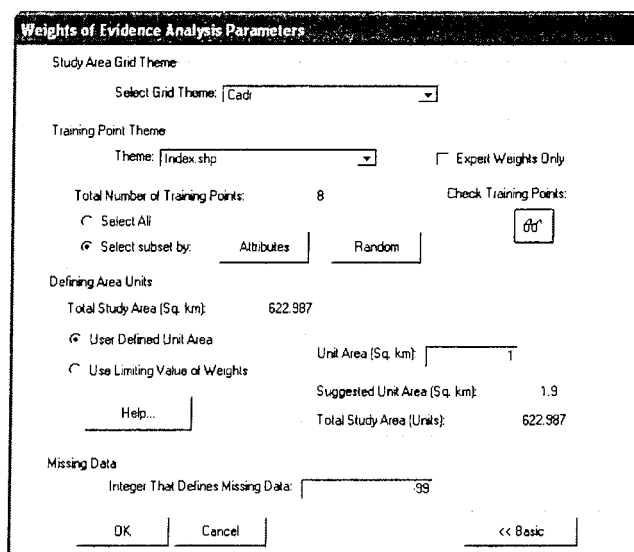
۲۸- Study Area Grid Theme

۲۹- Unit Area

فصل سوم ..... مقدمه‌ای بر GIS و مدل‌سازی آن برای تهیه نقشه پتانسیل دار معدنی

$$\text{Suggested Value} = (\text{total Study Area} / \text{total Training Points}) / 40$$

ارزش پیشنهاد شده به عنوان یک راهنما محسوب می‌شود، به این صورت که مساحت واحد بایستی مشابه یا کوچکتر از مساحت واحد پیشنهاد شده باشد. همانطور که در شکل (۳-۳) نشان داده شده است، ارزش پیشنهاد شده نرم‌افزار برابر با ۱/۹ بدست آمده است، لذا در این پایان‌نامه واحد سطح برابر با ۱ کیلومتر مربع در نظر گرفته شده است.



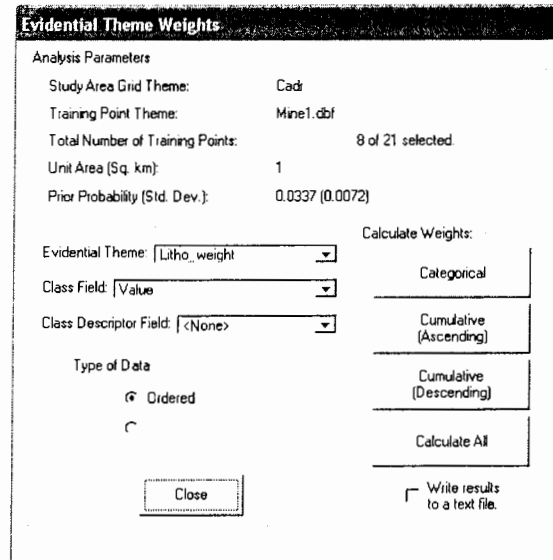
شکل (۳-۳): پنجره پارامترهای تجزیه و تحلیل روش شواهد وزنی

پس از قرار دادن پارامترهای ذکر شده در پنجره تجزیه و تحلیل روش شواهد وزنی و انتخاب دکمه OK، پنجره‌ای مطابق با شکل (۳-۴) باز می‌شود که وزن‌های لایه شاهد<sup>۳۰</sup> نام دارد. در این قسمت هر کدام از لایه‌های شاهد در قسمت «Evidential Theme» وارد شده و با انتخاب گزینه «Categorical» وزن آن محاسبه می‌شود.

---

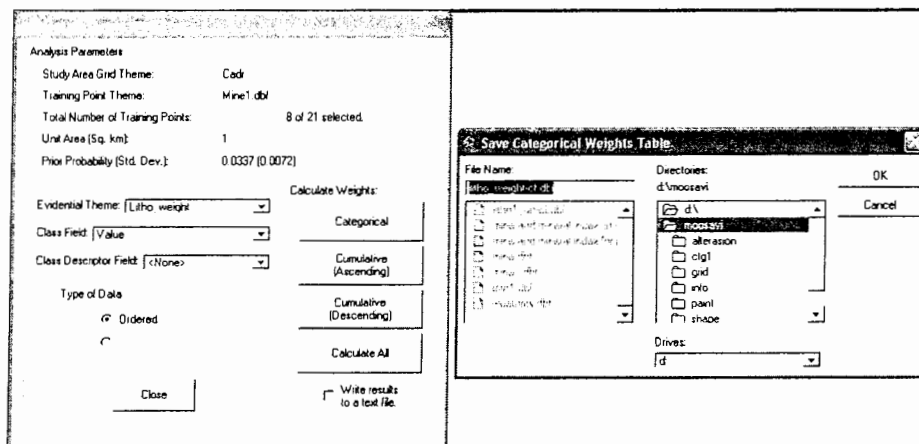
۳۰- Evidential Theme Weights

فصل سوم ..... مقدمه‌ای بر GIS و مدل‌سازی آن برای تهیه نقشه پتانسیل دار معدنی



شکل (۳-۴): پنجره پارامترهای وزن‌های لایه شاهد

برای مثال پس از قرار دادن لایه زمین‌شناسی به عنوان یک شاهد و محاسبه وزن آن توسط گزینه «Categorical»، جدول وزن‌ها به صورت dbf. برای لایه شاهد زمین‌شناسی ذخیره شده است که در شکل (۳-۵) نشان داده شده است.

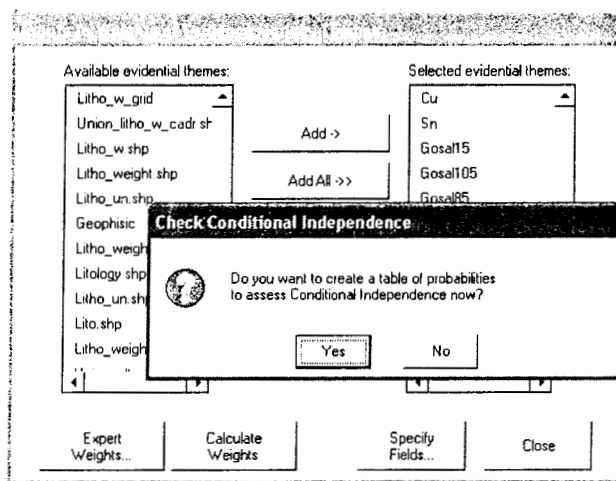


شکل (۳-۵): پنجره پارامترهای مربوط به محاسبه وزن لایه شاهد زمین‌شناسی

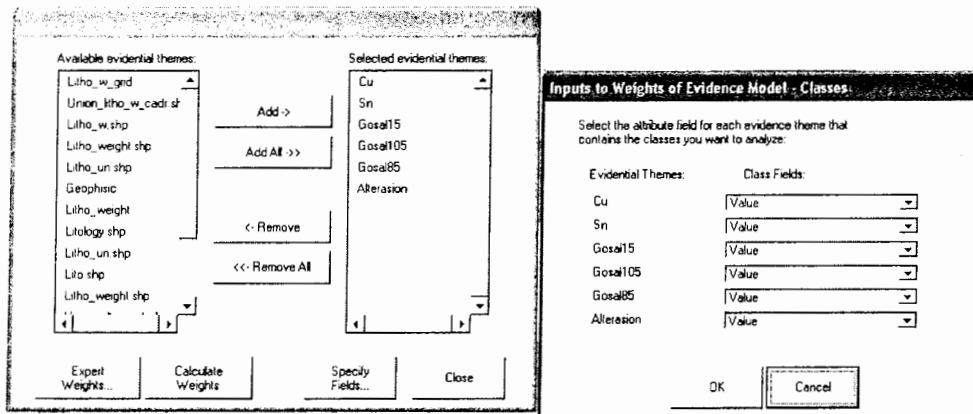


فصل سوم ..... مقدمه‌ای بر GIS و مدل‌سازی آن برای تهیه نقشه پتانسیل دار معدنی

محاسبه وزن‌ها بایستی برای همه لایه‌های شاهد در پنجره پارامترهای شواهد وزنی مطابق با شکل (۵-۳) انجام شود. در نهایت این لایه‌ها به عنوان لایه‌های ورودی در مدل شواهد وزنی قرار گرفته و پس از بررسی استقلال شرطی بین این شواهد مطابق با پنجره شکل (۶-۳)، نقشه نهایی پتانسیل معدنی با دستور «Calculate weights» مطابق با پنجره شکل (۷-۳) محاسبه می‌شود.



شکل (۶-۳): پنجره تست استقلال شرطی



شکل (۷-۳): پنجره پارامترهای مربوط به محاسبه نقشه پتانسیل معدنی

فصل سوم ..... مقدمه‌ای بر GIS و مدل‌سازی آن برای تهیه نقشه پتانسیل دار معدنی

مدل‌سازی با روش شواهد وزنی، یک روش بر پایه GIS برای ارتباط یک نقطه‌ای برای موقعیت رخنمون‌های گسسته با چندین لایه نقشه است. وزن‌ها برای حضور یا عدم حضور یا داده‌های اشتباه به احتمال منطقی پیشین اضافه می‌شوند. تجدید برنامه برای دو یا چند لایه نشانگر فقط در حالتی امکانپذیر است که لایه‌های نقشه به طور تقریبی یک استقلال شرطی با الگوی نقاط داشته باشند [Agterberg and Cheng, 2002].

پس از ترکیب لایه‌های شاهد و محاسبه وزن‌ها، لایه جواب (پاسخ) بدست می‌آید. در این صورت پس از کامل شدن لایه پاسخ، Arc-SDM می‌تواند یک نسبتی را گزارش کند که برای تخمین کلی استقلال شرطی بین مجموعه داده‌ها مورد استفاده قرار گیرد. این نسبت همیشه بین صفر و یک خواهد بود. که ارزش ۱ (در عمل اتفاق نمی‌افتد) دلالت بر استقلال شرطی بین لایه شاهد استفاده شده در مدل دارد. ارزش‌های خیلی کمتر از ۱ دلالت بر یک مشکل در استقلال شرطی دارد. اگر اجرای تست دوگانه استقلال شرطی را انتخاب کنیم، در این صورت نتایج کلی تست به آخرین ردیف از جدول احتمال اضافه می‌شود. جواب تست استقلال شرطی که از خروجی نرم‌افزار Arc-SDM به دست آمده است، در جدول (۲-۳) نشان داده شده و برابر با ۰/۹۶ است که تقریباً نزدیک به ۱ می‌باشد و بنابراین داده‌ها از استقلال شرطی برخوردارند، در روش شواهد وزنی فرض می‌شود که استقلال شرطی بین لایه‌های شاهد به مدل وجود داشته باشد.

جدول (۲-۳): تست استقلال شرطی توسط بسط Arc-SDM

آلتراسیون	لایه ساختار در جهت شرق-غرب	لایه ساختار در جهت شمال-غرب شرق	لایه ساختار در جهت شمال شرق - جنوب غرب	لایه ژئوشیمی قلع	لایه ژئوشیمی مس	ژئوفیزیک	لایه
۰	۰/۳۱۳۸	۰/۴۶۲۹	۰/۳۱۳۸	۰	۰/۳۱۳۸	۰	زمین‌شناسی
۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	ژئوفیزیک
۰	۰/۷۷۴۶	۰/۴۶۲۹	۰/۷۷۴۶	۰	۰	۰	لایه ژئوشیمی مس
۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	لایه ژئوشیمی قلع
۰	۰/۷۷۴۶	۰/۴۶۲۹	۰	۰	۰	۰	لایه ساختار در جهت شمال شرق - جنوب غرب
۰	۰/۴۶۲۹	۰	۰	۰	۰	۰	لایه ساختار در جهت شمال غرب - جنوب شرق
۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	لایه ساختار در جهت شرق-غرب
۰/۹۶	Null hypothesis of CI is not rejected at the(1 - probability) level of significance.						

فصل سوم ..... مقدمه‌ای بر GIS و مدل‌سازی آن برای تهیه نقشه پتانسیل دار معدنی

### ۳-۴-۲- نرم‌افزار Arc GIS 9

این نرم‌افزار شامل یک سری ابزارهای پردازشی جامع است که انواع فرمت های داده‌ای، که شامل پایگاه داده‌ای زمین می‌شود، را تحت پوشش قرار می‌دهد. این نرم‌افزار توسط شرکت ESRI تهیه شده و دارای بخش‌های مختلفی می‌باشد که عبارتند از:

ArcMap: برنامه مرکزی Arc GIS Desktop است که برای پردازش مبتنی بر نقشه از قبیل کارتوگرافی، آنالیز نقشه و انواع ویرایش، دارای قابلیت‌های منحصر به فردی می‌باشد و همواره دو نوع نمایش مختلف از نقشه‌ها را به وجود می‌آورد: نمایش جغرافیایی داده‌ها و نمایش داده‌ها به صورت جانمایی شده. مهمترین کارکرد آن عبارتند از: امکان نمایش و تفسیر نقشه‌ها، ایجاد کیفیت در نقشه‌هایی که امکان کپی برداری از آنها با مشکل مواجه می‌شود و امکان اجرای عملیات تحلیلی فضایی.

ArcCatalog: این برنامه کاربر را در سازماندهی و مدیریت تمام اطلاعات GIS یاری می‌رساند. مهمترین کارکرد آن عبارتند از: جستجو و یافتن اطلاعات جغرافیایی، ضبط و نمایش و مدیریت فرا داده ها، طراحی و ایجاد یک پایگاه داده، نظارت بر یک Arc GIS Server و جستجو و کشف داده‌های GIS در شبکه محلی و سراسری اینترنت.

ArcToolbox: شامل چندین ابزار مورد استفاده برای زمین‌پردازش داده‌ها<sup>۳۱</sup> است. این برنامه از عملیات‌های مختلفی برای استخراج اطلاعات تشکیل شده است و شامل دو نسخه است: نسخه اول نسخه کامل ArcToolbox است که با ArcInfo همراه است و دارای ابزار کامل‌تر و جامع‌تر (در حدود ۱۵۰ ابزار) در راستای زمین‌پردازش داده‌ها، تبدیلات داده‌ها، مدیریت داده‌ها، مدیریت نقشه‌ها، آنالیزهای روی هم اندازی، پروژکشن نقشه‌ها<sup>۳۲</sup> (مختصات دادن نقشه‌ها) و ابزارهای متنوع دیگر برای سایر آنالیزهای GIS می‌باشد. نسخه دوم که با ArcView و ArcEditor همراه شده است شامل بیش از ۴۰ ابزار مختلف می‌باشد که بر اساس کاربرد طبقه‌بندی شده و در راستای تبدیلات داده‌ها، پروژکشن کردن نقشه‌ها و مدیریت داده‌ها به کار می‌رود.

---

۳۱- Geoprocessing

۳۲- Map Projection

## فصل چهارم

تهیه نقشه پتانسیل دار معدنی با  
استفاده از روش شواهد وزنی

#### ۴-۱- مقدمه

یکی از روش‌های ترکیب و مدل‌سازی لایه‌های مختلف برای تهیه نقشه پتانسیل دار معدنی، روش شواهد وزنی است. در این روش محاسبه وزن‌های مربوط به هر لایه شاهد بر اساس داده‌ها یا اندیس‌های معدنی موجود و با استفاده از روابط آماری و احتمالی انجام می‌شود. از این روش در دنیا برای تهیه نقشه پتانسیل معدنی استفاده‌های زیادی شده است، برای مثال از روش شواهد وزنی برای تهیه نقشه پتانسیل دار معدنی ذخایر سرب و روی با سنگ میزبان کربناته در حوضه ایریک (Irece) برزیل استفاده شده است [Franca-Roca et al, 2003]. برای تهیه نقشه پتانسیل دار معدنی ابتدا بایستی داده‌ها را گردآوری کرده و پردازش لازم روی آن انجام گیرد، تا بتوان روش‌های مدل‌سازی داده‌ها (برای مثال روش شواهد وزنی) را برای تهیه نقشه‌های معدنی با استفاده از نرم‌افزارهای GIS انجام داد. به منظور تهیه نقشه پتانسیل معدنی در منطقه مورد مطالعه با مدل‌سازی روش شواهد وزنی، پس از گردآوری و پردازش داده‌های لازم و با استفاده از اندیس‌ها و داده‌های معدنی موجود، از نرم‌افزار ArcView و بسط الحاقی Arc-SDM کمک گرفته شده که در ادامه توضیح داده می‌شود.

#### ۴-۲- گردآوری داده‌ها

از نظر زمانی معمولاً مرحله گردآوری داده بیشترین وقت یک پروژه تهیه نقشه پتانسیل دار را به خود اختصاص می‌دهد. این مساله خصوصاً هنگامی که بخش عمده‌ای از داده‌های ورودی نظیر نقشه زمین‌شناسی، جداول داده‌ها و ... به صورت چاپ نشده و غیر عددی موجود باشند، بیشتر نمایان می‌شود.

فصل چهارم..... تهیه نقشه پتانسیل دار معدنی با استفاده از روش شواهد وزنی

در این پایان نامه از داده‌های مختلفی به شرح ذیل برای تهیه نقشه پتانسیل دار معدنی استفاده شده است که توسط بخش‌های مختلف سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور گردآوری شده است:

- داده‌های زمین‌شناسی مربوط به نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ مرزن‌آباد که به وسیله آقای وحدتی دانشمند در سال ۱۳۷۹ تهیه شده است.

- داده‌های دورسنجی سنجنده لندست TM در ۷ باند به همراه داده‌های پردازش شده مناطق دگرسان شده که توسط گروه دورسنجی سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور تهیه شده است.

- داده‌های اکتشافات چکشی که از بخش اکتشافات معدنی سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور تهیه شده است.

- داده‌های اکتشاف ژئوفیزیک هوایی که از بخش ژئوفیزیک سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور تهیه شده است.

- داده‌های اکتشاف ژئوشیمی که از بخش ژئوشیمی سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور تهیه شده است.

- داده‌های تکتونیکی (نقشه‌های زمین‌شناسی، عکس‌های هوایی و داده‌های ژئوفیزیک سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور)

پس از گردآوری داده‌ها به ترتیب آماده‌سازی و پردازش بر روی داده‌ها صورت گرفت که در زیر نحوه آماده‌سازی و پردازش داده‌های اولیه شرح داده شده است.

#### ۳-۴- آماده‌سازی و پردازش داده‌ها

پس از گردآوری داده مورد نیاز در هر پروژه سیستم اطلاعات جغرافیایی، این اطلاعات بایستی مورد پردازش قرار بگیرند. منظور از پردازش داده‌ها، نگاهی جهت‌دار به هر دسته از داده‌هاست که به موجب آن بتوان نقش سودمند آن گروه اطلاعات را در مسیر دستیابی به هدف نهایی استخراج نمود. بدیهی است که نتیجه این بررسی‌ها قابل نمایش به صورت نقشه‌هایی خواهد بود که به آنها نقشه‌های شاهد اطلاق می‌شود. بنابراین برای هر سری از داده‌ها بر اساس اهداف مورد نظر، می‌توان یک یا چند

#### فصل چهارم ..... تهیه نقشه پتانسیل دار معدنی با استفاده از روش شواهد وزنی

نقشه شاهد تهیه کرد. از آنجا که از تلفیق نقشه‌های مذکور در نهایت نقشه پتانسیل مواد معدنی حاصل می‌شود، لذا هر چه این نقشه‌های شاهد با دقت بیشتر و روش‌های مناسب‌تری تهیه گردند، نقشه نهایی نیز از دقت بالاتری برخوردار خواهد بود.

نقشه‌های شاهد، هم می‌توانند بصورت دوتایی<sup>۱</sup> (دارای دو کلاس) یا به صورت چند کلاسی تهیه شده و مورد استفاده قرار گیرند. نقشه‌های دوتایی به این معنی است که مناطق با ارزش مورد نظر با کلاس مثلاً ۱ و مناطق دیگر با کلاس صفر مشخص می‌گردند. اما در نقشه‌های چند کلاسی عارضه‌ها می‌توانند از گستره ارزش‌دار وسیع‌تری برخوردار باشند. روش شواهد وزنی یک روش مبتنی بر فرمول ریاضی (تئوری احتمال) است که در نقشه‌های دوتایی آن، مناطق با ارزش با عدد ۱ و مناطق بی‌ارزش با ارزش صفر مشخص می‌شوند تا قابل مدل‌سازی توسط نرم‌افزارهای GIS شوند. بنابراین طیف وسیعی از آنومالی‌ها در این دو کلاس قرار داده نمی‌شوند و حذف می‌شوند. برای اینکار بایستی طیف وسیعی از آنومالی‌ها را در بعضی از نقشه‌ها در نظر گرفت یا بایستی همزمان از روش‌های دیگر متکی بر دانش استفاده کرد تا اطلاعات مربوط به نقشه‌ها حذف یا از بین نروند.

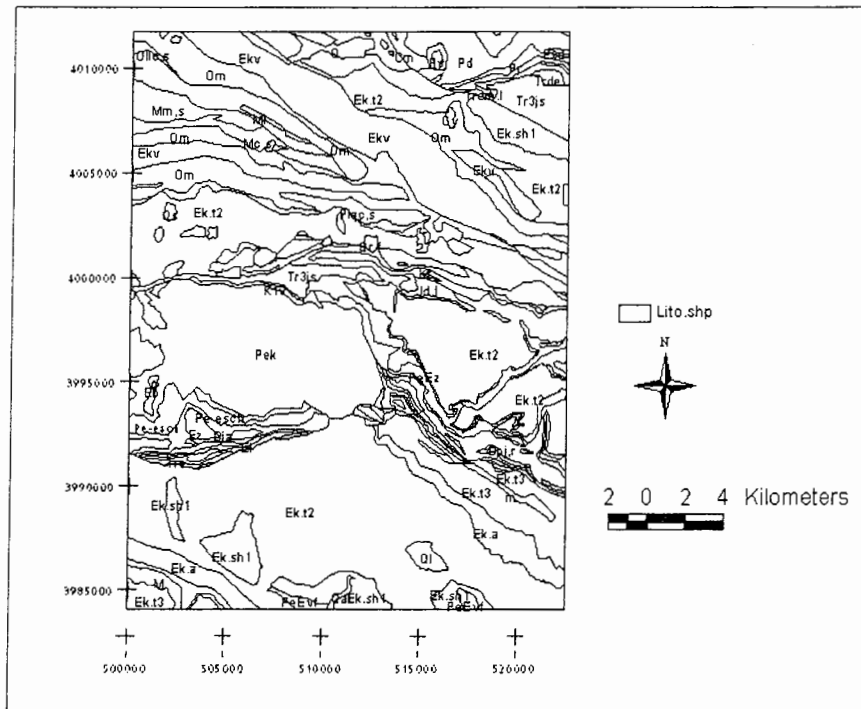
#### ۴-۳-۱- آماده‌سازی و پردازش داده‌های زمین‌شناسی

در این مرحله ابتدا بایستی نقشه زمین‌شناسی منطقه را به صورت رقومی تبدیل کرد و با توجه به اینکه نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ مرزن‌آباد به صورت رقومی در سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور موجود بود، که برای آن اصلاحات لازم انجام گردید. سپس محدوده جنوب غربی مرزن‌آباد با لایه منطقه مورد مطالعه، با دستور clip در نرم‌افزار ArcView جدا و به عنوان لایه زمین‌شناسی انتخاب گردید. در شکل (۴-۱) نقشه رقومی شده لایه زمین‌شناسی نشان داده شده است.

---

۱- Binary

فصل چهارم ..... تهیه نقشه پتانسیل دار معدنی با استفاده از روش شواهد وزنی



شکل (۴-۱): نقشه رقمی شده منطقه مورد مطالعه

#### ۴-۳-۲- آماده سازی و پردازش داده‌های اکتشافات چکشی و داده‌های معدنی

این داده‌ها که با دقت ۱/۱۰۰۰۰۰ برداشت شده‌اند، محل‌های اندیس معدنی شناخته شده در چهارگوش نقشه جنوب غربی مرزن‌آباد (قسمت آسارا) را نشان می‌دهند. این اندیس‌ها به عنوان نقاط شاهد وارد نرم‌افزار Arc-SDM شده و در نهایت آنالیز شواهد وزنی با استفاده از این اندیس‌ها و نقاط معدنی انجام گرفته است. این نقاط که اندیس‌ها و نقاط معدنی موجود در منطقه مورد مطالعه هستند، در جدول (۴-۱) نشان داده شده است. این نقاط به همراه مختصات خود در نرم‌افزار Excel مورد ویرایش قرار گرفت و در نهایت با استفاده از دستور Add Event theme نرم‌افزار Arcview به فایل رقمی قابل استفاده در نرم‌افزار به فرمت dbf. درآمد و به عنوان نقطه راهنما یا آموزشی مورد استفاده قرار گرفت.



## فصل چهارم ..... تهیه نقشه پتانسیل دار معدنی با استفاده از روش شواهد وزنی

جدول (۴-۱): اندیس‌های کانی‌زایی و معادن موجود در منطقه مورد مطالعه

X	Y	Mine Index	سنگ میزبان
500920	3993666	Index (Mo)	سیلت‌سنگ، شیل رنگارنگ میکادار، درون لایه‌های دولومیت چرت دار
510255	3996634	Mine (Talc)	شیل اسلیتی، ماسه‌سنگ، سیلت‌سنگ، دولومیت، کوارتزیت
510745	3997015	Index (Cu-Au)	شیل اسلیتی، ماسه‌سنگ، سیلت‌سنگ، دولومیت، کوارتزیت
511683	4004018	Index (Cu)	سیلت‌سنگ، مارن، ماسه‌سنگ، کنگلومرا، سنگ‌آهک، گچ
512975	4005028	Index (Mn)	سیلت‌سنگ، مارن، ماسه‌سنگ، کنگلومرا، سنگ‌آهک، گچ
515427	4006326	Index (Cu)	تراکی‌اندزیت، تراکی‌بازالت، بازانیت، اندزیت، آگلومرا، توف‌ها، آذرآواری‌ها
516360	4006370	Index (Cu)	سیلت‌سنگ، مارن، ماسه‌سنگ، کنگلومرا، سنگ‌آهک، گچ
505124	4008621	Index (Cu-Au)	تراکی‌اندزیت، تراکی‌بازالت، بازانیت، اندزیت، آگلومرا، توف‌ها، آذرآواری‌ها

### ۴-۳-۳- آماده‌سازی و پردازش داده‌های ژئوفیزیک هوایی

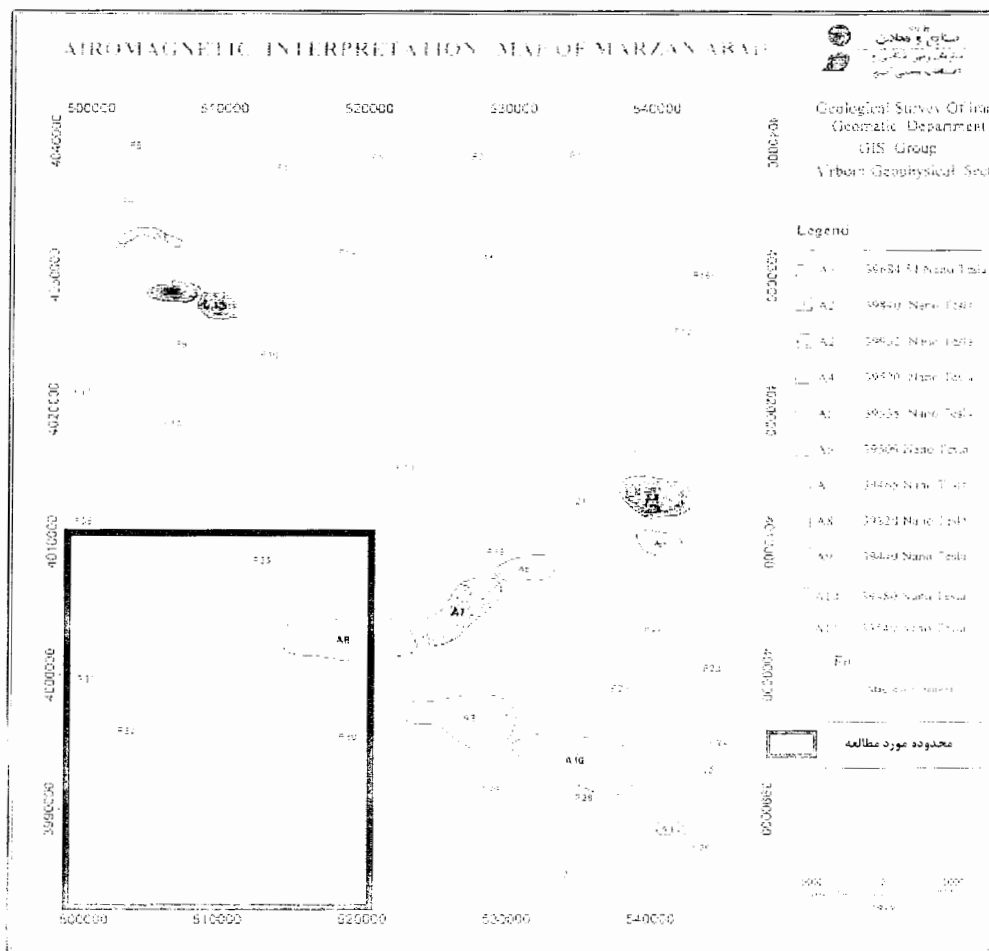
بین سالهای ۱۹۷۴ و ۱۹۷۷ دو پیمایش هوایی مغناطیسی با حساسیت بالا توسط سرویس‌های هوایی Texas houston برای سازمان زمین‌شناسی ایران صورت گرفته است. این دو پیمایش بیشتر قسمت‌های ایران را تحت پوشش قرار داد و هدف این طرح بدست آوردن اطلاعات بیشتری از تکتونیک و زمین‌شناسی ناحیه‌ای ایران و نیز تعیین زونهای مساعد جهت اکتشاف تفضیلی کانیها و هیدروکربن بوده است. پیمایش‌های صورت گرفته در سالهای ۱۹۷۴-۱۹۷۵ و ۱۹۷۶-۱۹۷۷ به ترتیب شامل ۸۹۰۵۸ و ۱۶۲۶۱۲ کیلومتر خط پروازی با فاصله خطوط پروازی ۷/۵ کیلومتر و فاصله خطوط کنترلی (Tie line) ۴۰ کیلومتر بوده است. هواپیمای بکار رفته یک هدایتگر هوایی دو موتور بوده، که یک مگنتومتر بخار سزیم با حساسیت ثابت ۲٪ گاما را حمل کرده است. پرواز در ورقه مرزن‌آباد در جهت شمال خاور- جنوب باختر و ارتفاع بارومتری ۱۳۰۰ پا صورت گرفته است [گزارش ژئوفیزیک سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی، ۱۳۸۰].

داده‌های حاصل از روش مغناطیسی هوایی که توسط گروه ژئوفیزیک سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور انجام شده است، پس از اعمال و انجام فیلترهای متعدد و مقایسه نتایج آن با داده‌های زمین‌شناسی، محدوده‌هایی آنومال برای پی‌جویی مواد معدنی در برکه ۱:۱۰۰۰۰۰ مرزن‌آباد معرفی گردیده است که در شکل (۴-۲) نقشه آنومالی مغناطیس هوایی، نشان داده شده است.

فصل چهارم .....تهیه نقشه پتانسیل دار معدنی با استفاده از روش شواهد وزنی

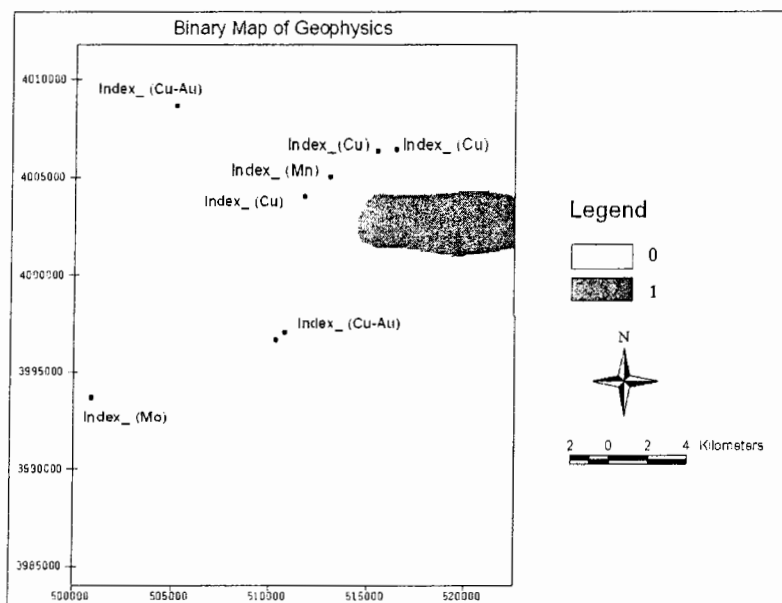
تنها محدوده آنومالی که در جنوب غربی برگه ۱:۱۰۰۰۰۰ مرزن آباد قرار دارد، محدوده A۸ نام دارد که این محدوده با وسعت ۲۵,۸۷ کیلومتر مربع با روند شرقی- غربی در شمال منطقه آزادبر واقع شده است و دارای شدت میدان مغناطیسی متوسط ۳۹۵۲۰ نانو تسلاست و در برخورد با خطواره‌های F۳۳، F۳۴ و F۳۵ واقع شده است [گزارش ژئوفیزیک سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی، ۱۳۸۰].

نقشه آنومالی تهیه شده ژئوفیزیکی با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS صورت رقومی در آمد. پس از رقومی کردن با استفاده از دستور clip از منوی Toolbox نرم‌افزار ArcGIS لایه محدوده مورد مطالعه از این بخش جدا و به عنوان لایه ژئوفیزیک منطقه مورد مطالعه به صورت رستری در آمد که در شکل (۳-۴) نشان داده شده است.



شکل (۳-۴): محدوده‌های آنومال مغناطیسی ورقه مرزن‌آباد

فصل چهارم ..... تهیه نقشه پتانسیل دار معدنی با استفاده از روش شواهد وزنی

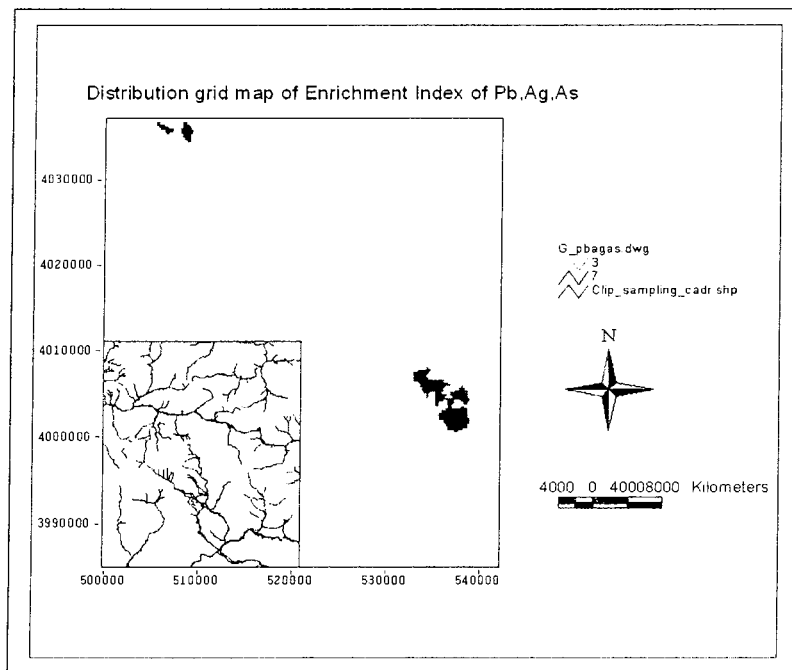


شکل (۴-۳): لایه رستری ژئوفیزیک منطقه مورد مطالعه

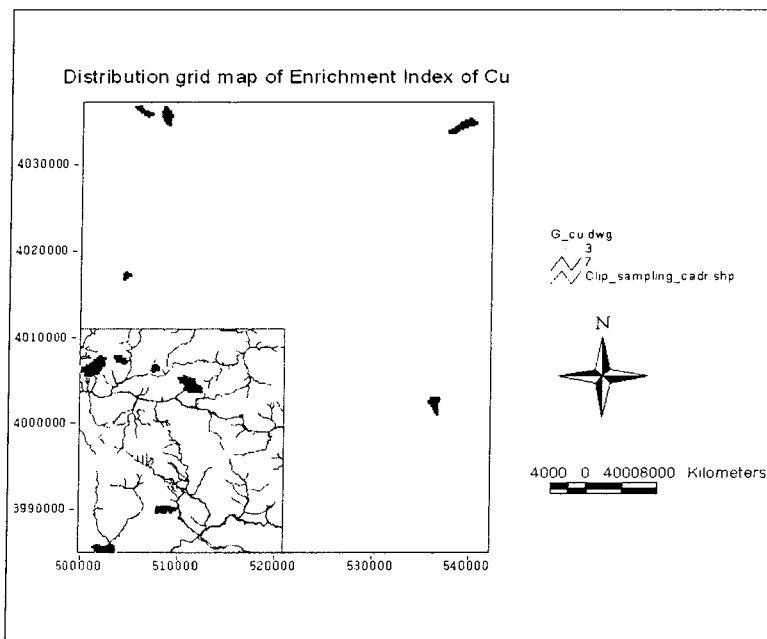
#### ۴-۳-۴- آماده سازی و پردازش داده های ژئوشیمی

پروژه اکتشافات ژئوشیمیایی سیستماتیک از رسوبات آبراهه ای ورقه ۱/۱۰۰۰۰۰ مرزن آباد در سال ۱۳۸۰ صورت پذیرفته است. در این بررسی تعدادی نمونه ژئوشیمی آبراهه ای، ۱۰۶ نمونه کانی سنگین و ۴۸ نمونه زونهای مینرالیزه برداشت شده است. برای مدل سازی کانسارهای تیپ مس - طلای رگه ای و با توجه به اطلاعات ژئوشیمیایی موجود، از اطلاعات ژئوشیمیایی چند عنصر برای مثال طلا، مس، آرسنیک، آنتیموان، جیوه، نقره، سرب و روی، تنگستن و بیسموت استفاده شده است. که در شکلهای (۴-۴) تا (۴-۷) آنومالی های ژئوشیمیایی این عناصر در ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ مرزن آباد نشان داده شده است. با توجه به اینکه آنومالی های ژئوشیمی مس و قلع در محدوده مورد مطالعه قرار دارند، لذا برای مدل سازی به روش شواهد وزنی ابتدا این دو لایه توسط دستور Map calculator در نرم افزار ArcView با روش همپوشانی ساده با هم ترکیب شده و به فرمت رستری در آمدند، که در شکل (۴-۵) نقشه آنومالی مس و در شکل (۴-۷) نقشه آنومالی قلع و در نهایت ترکیب این دو لایه برای مدل سازی با روش شواهد وزنی در شکل (۴-۸) نشان داده شده است.

فصل چهارم ..... تهیه نقشه پتانسیل دار معدنی با استفاده از روش شواهد وزنی

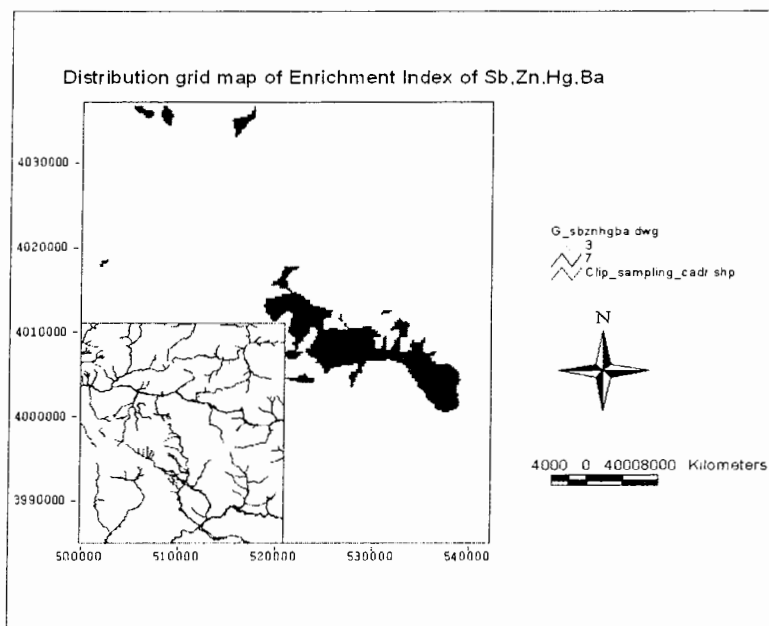


شکل (۴-۴): محدوده‌های آنومال ژئوشیمیایی عناصر آرسنیک، نقره و سرب

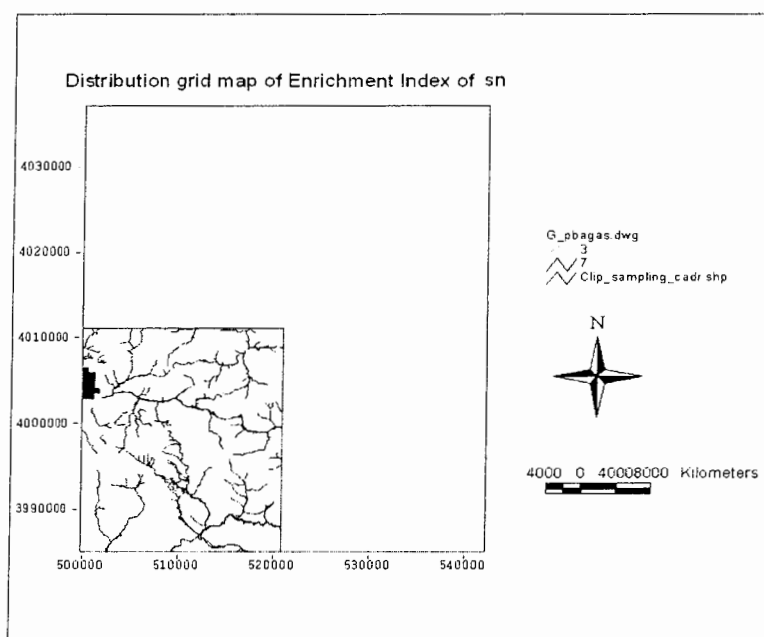


شکل (۴-۵): محدوده‌های آنومال ژئوشیمیایی برای عنصر مس

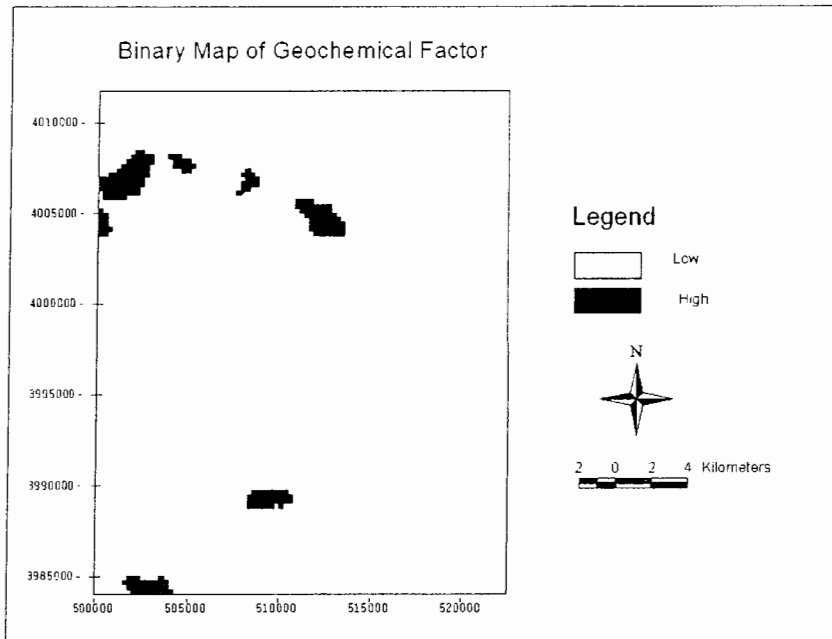
فصل چهارم ..... تهیه نقشه پتانسیل دار معدنی با استفاده از روش شواهد وزنی



شکل (۴-۶): محدوده‌های آنومال ژئوشیمیایی برای عناصر آنتیموان، روی، جیوه و باریم



شکل (۴-۷): محدوده‌های آنومال ژئوشیمیایی برای عنصر قلع



شکل (۴-۸): محدوده‌های آنومال ژئوشیمیایی

#### ۴-۳-۵- آماده‌سازی و پردازش داده‌های دورسنجی برای مناطق آلتراسیونی

اطلاعات مربوط به مناطق دگرسان‌شده از سه گروه مختلف سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور دریافت شده است:

- گروه سنجش از دور که از پردازش تصاویر ماهواره‌ای محدوده‌های مشخصی را به عنوان مناطق دگرسان‌شده، معرفی کردند.

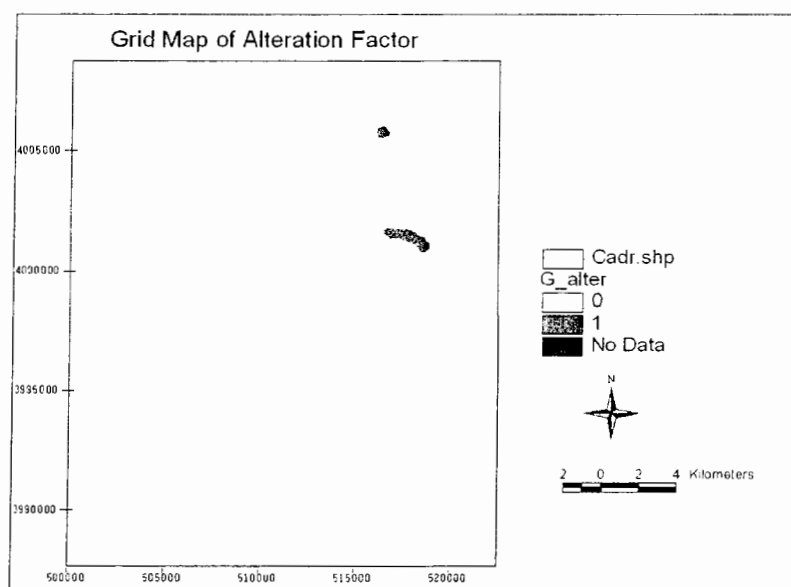
- گروه زمین‌شناسی که هاله‌هایی را در روی نقشه زمین‌شناسی به عنوان مناطق دگرسان‌شده، معرفی نمودند.

- گروه ژئوشیمی نیز یکسری مناطق را به عنوان مناطق دگرسان شده معرفی نمودند.

به دلیل پوشش گیاهی که در منطقه موجود بود، مناطق معرفی شده بسیار کوچک بوده و در نهایت با استفاده از OR منطق فازی هر سه نقشه به یک نقشه تبدیل شده و در نهایت به عنوان نقشه

فصل چهارم..... تهیه نقشه پتانسیل دار معدنی با استفاده از روش شواهد وزنی

نشانگر معرف دگرسانی برای مدل سازی شواهد وزنی به کار گرفته شده است. در شکل (۹-۴) نقشه شاهد لایه آلتراسیون نشان داده شده است.



شکل (۹-۴): نقشه شاهد آلتراسیون برای آنالیز شواهد وزنی

#### ۴-۳-۶- آماده سازی و پردازش داده های مربوط به گسل ها

برای تهیه نقشه هایی که گسل های ناحیه مورد مطالعه را نشان دهد، از منابع زیر استفاده شده است یا به عبارتی از نقشه های زیر برای بدست آوردن فاکتور ساختار استفاده شده است:

- نقشه زمین شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ مرزن آباد

- نقشه آنومالی ژئوفیزیکی مغناطیس هوایی

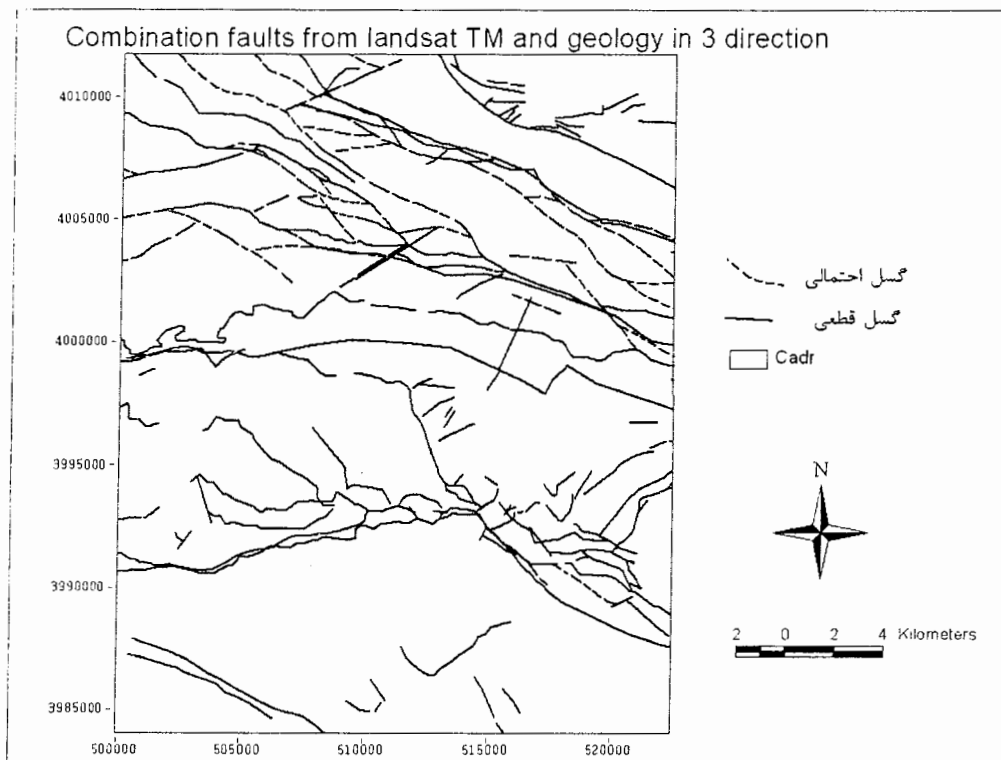
- تصاویر ماهواره ای لندست TM

از آنجائیکه برخی از گسل های ناحیه در نقشه زمین شناسی معدنی ثبت نشده اند و برخی گسل ها پوشیده می باشند، برای تکمیل گسل هایی که از روی نقشه های زمین شناسی ثبت نشده اند، اقدام به استفاده از تصاویر ماهواره ای لندست TM و نقشه ژئوفیزیکی نیز گردید.

گسل های ناحیه که از روی تصاویر ماهواره ای توسط گروه سنجش از دور استخراج شده بود، برای

فصل چهارم ..... تهیه نقشه پتانسیل دار معدنی با استفاده از روش شواهد وزنی

تصحیح و تکمیل به گسل‌های زمین‌شناسی و ژئوفیزیکی اضافه گردید و با حذف گسل‌های تکراری، نهایتاً نقشه گسل‌های اصلی منطقه تهیه گردید، که در شکل (۴-۱۰) نقشه نهایی گسل‌های منطقه نشان داده شده است.



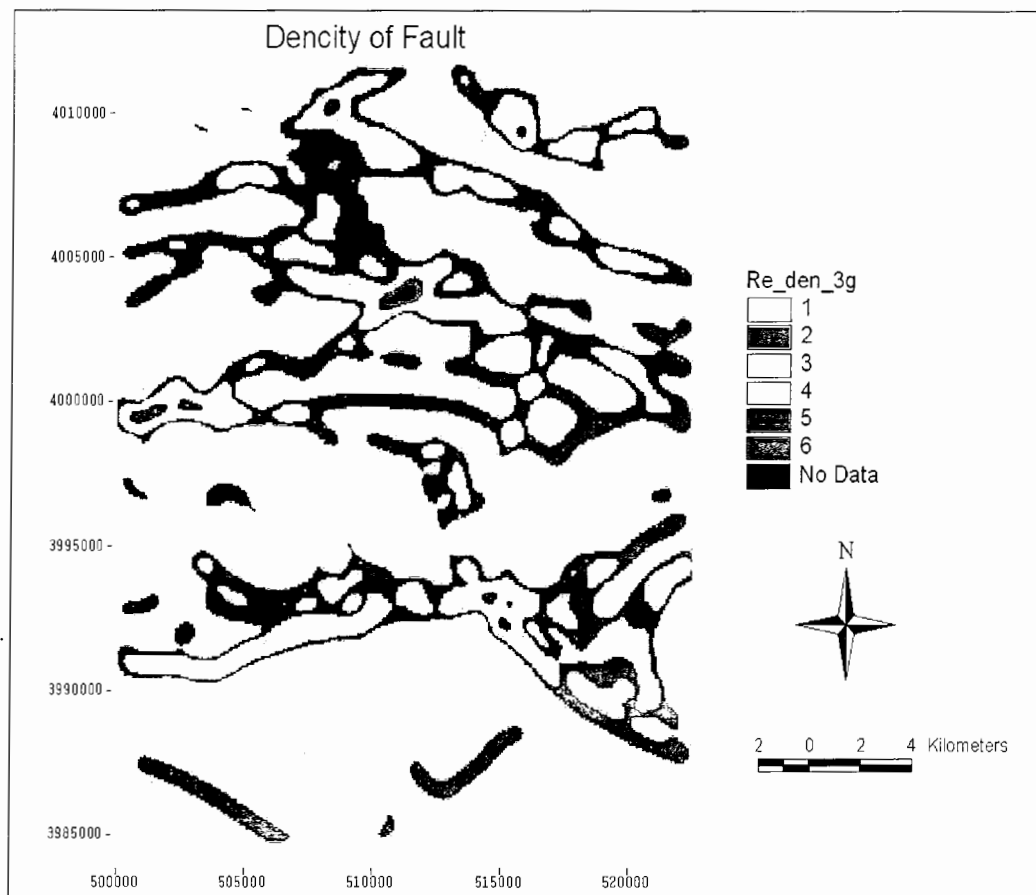
شکل (۴-۱۰): نقشه اصلی گسل‌های منطقه مورد مطالعه

چگالی گسل، در واقع نشان دهنده محل تقاطع بین گسل‌ها و شگستگی‌ها است. در جاهایی که گسل‌های بیشتری در برخورد با هم وجود داشته باشد، چگالی گسل در آنجا بیشتر است. با توجه به نقش موثرتر محل تقاطع گسلی و مناطق برشی در کانسارهای تیپ رگه‌ای، از نقشه چگالی گسل استفاده شد. جهت تهیه لایه چگالی گسل و بر اساس نظر کارشناسی به شعاع ۲۰۰ متر، از دستور Density منوی الحاقی Spatial Analyst نرم‌افزار ArcGIS استفاده گردید سپس نقشه چگالی گسل‌ها تهیه شد. در نهایت این نقشه در ۶ گروه طبقه‌بندی مجدد (Reclassify) شد، به گونه‌ای که حداکثر مقدار دانسیته

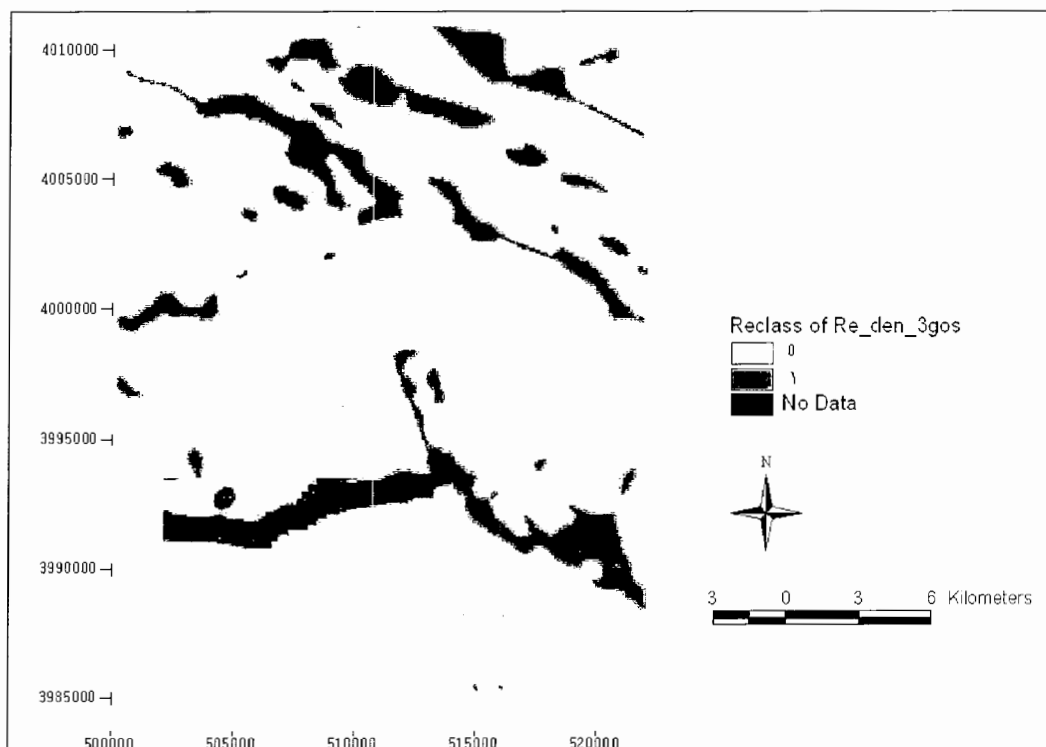


فصل چهارم.....تهیه نقشه پتانسیل دار معدنی با استفاده از روش شواهد وزنی

دارای ارزش ۶ و به حداقل مقدار آن ارزش ۱ اختصاص یافت. بنابراین برای ساخت نقشه‌های دوتایی لایه ساختار، به ارزش‌های بالای ۴ به عنوان مناطق ارزش‌دار (ارزش ۱ برای مدل‌سازی شواهد وزنی) و به ارزش‌های پایین ۴ به عنوان مناطق دارای ارزش کم (ارزش صفر برای مدل‌سازی شواهد وزنی) اختصاص داده شد و در نهایت نقشه دوتایی شاهد برای چگالی گسل‌ها تهیه شد. در شکل‌های (۴-۱۱) و (۴-۱۲) به ترتیب، نقشه چگالی طبقه‌بندی شده گسل و نقشه شاهد دوتایی برای لایه ساختار نشان داده شده است.



شکل (۴-۱۱): نقشه چگالی گسل‌ها



شکل (۴-۱۲): نقشه شاهد ساختارها برای آنالیز شواهد وزنی

#### ۴-۴-۴- تهیه نقشه شاهد و نقشه پتانسیل معدنی با استفاده از روش شواهد وزنی

در این روش، بر پایه داده‌های موجود و پس از رقومی کردن این داده‌ها، نقشه‌های مورد نظر (به صورت دوتایی) تهیه شده و به عنوان لایه ورودی وارد بسط *Arc-SDM* نرم‌افزار *ArcView* استفاده شده است. پس از پردازش این لایه‌ها توسط این بسط و ارتباط آنها با اندیس‌های معدنی موجود، نقشه شاهد آن لایه که بیشترین ارتباط را با این نقاط و اندیس‌های معدنی دارند، تهیه شد. پس از محاسبه وزن‌های هر لایه، ترکیب لایه‌ها با استفاده از روش شواهد وزنی انجام شده است.

#### ۴-۴-۱- تهیه نقشه شاهد زمین‌شناسی

در مورد لایه زمین‌شناسی ابتدا به منظور مشخص شدن اینکه کدام واحدها ارتباط مکانی بیشتری از نظر توزیع کانسارها و اندیس‌های معدنی فلزی شناخته شده دارند، آنالیز شواهد وزنی با استفاده از بسط

فصل چهارم..... تهیه نقشه پتانسیل دار معدنی با استفاده از روش شواهد وزنی

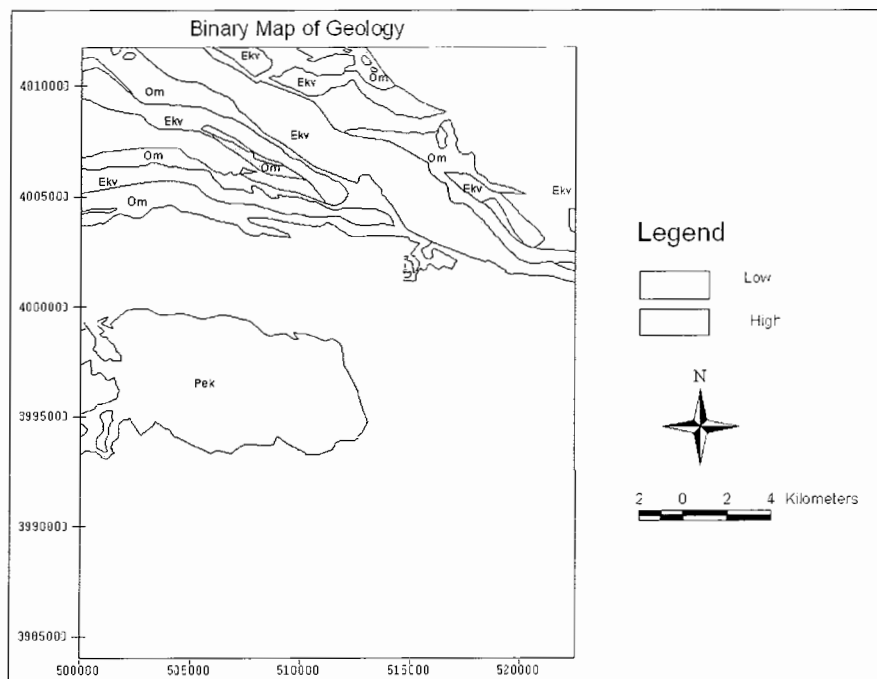
Arc-SDM انجام گرفته است. در جدول (۲-۴) نتایج حاصل از مدل سازی شواهد وزنی، وزن های  $W^+$ ،  $W^-$  و کنتراست (c) برای کلاس های مختلف نشان داده شده است. وزن های محاسبه شده ( $W^+$ ،  $W^-$ ) از این روش ملاکی برای همراهی مکانی بین نقاط یا اندیس های معدنی و واحدهای نقشه می باشد. تفاضل این دو وزن، کنتراست  $c$  نامیده می شود. کنتراست ( $c=W^+-W^-$ ) پارامتری است که معرف وضعیت کلی همراهی نقاط مورد نظر با واحد نقشه یا عدم همراهی ارتباط مورد نظر با واحد خاص از نقشه است چون اثر  $W^+$  و  $W^-$  توأم برای یک واحد خاص از نقشه در نظر گرفته می شود. مقادیر محاسبه شده بین صفر و ۰/۵ معمولاً چندان پیشگویی کننده و معرف نیستند، مقادیر ۰/۵ تا ۱ نسبتاً پیشگویی کننده و مقادیر ۱ و ۲ پیشگویی کننده خوبی هستند اگر مقادیر محاسبه شده این وزن ها بیش از ۲ باشند قویاً پیشگویی کننده هستند.

پس از آنالیز روش شواهد وزنی توسط بسط Arc-SDM، مطابق با جدول شماره (۲-۴) به تمامی واحدهایی که بیشترین ارتباط را با نقاط راهنما نشان می دهند (واحدهایی که کنتراست بالاتری دارند مثل OM، Pek و Ekv) یک ارزش بالای یکسان (در مدل سازی شواهد وزنی ارزش ۱ به آن داده شده است) و به سایر واحدها یک ارزش پایین (ارزش صفر) داده شده است. برای این کار عارضه های زمین شناسی مورد نظر را با دستور Quarry Builder از نرم افزار ArcView انتخاب کرده و سپس عارضه های انتخاب شده به فرمت Shape در پایگاه داده ذخیره گردید. سپس با انتخاب گزینه Geoprocessing Wizard از منوی View نرم افزار ArcView و اجرای دستور Union عارضه زمین شناسی مورد نظر با محدوده مورد مطالعه به صورت یکپارچه درآمد و سپس با دستور Convert to grid از منوی Theme به فرمت رستری تبدیل شد. در نهایت نقشه شاهد رستری شده که به عنوان لایه شاهد زمین شناسی مورد استفاده قرار گرفت، در شکل (۴-۱۳) نشان داده شده است. مطابق با این شکل، واحدهایی مثل OM، Pek و Ekv بیشترین کنتراست یا به عبارتی بیشترین همراهی را با اندیس ها و نقاط معدنی دارند. با توجه به مقدار کنتراست ها، نمودار ستونی ارزش کنتراست ها برای لایه های مختلف زمین شناسی مطابق شکل (۴-۱۴) رسم شده است.

فصل چهارم..... تهیه نقشه پتانسیل دار معدنی با استفاده از روش شواهد وزنی

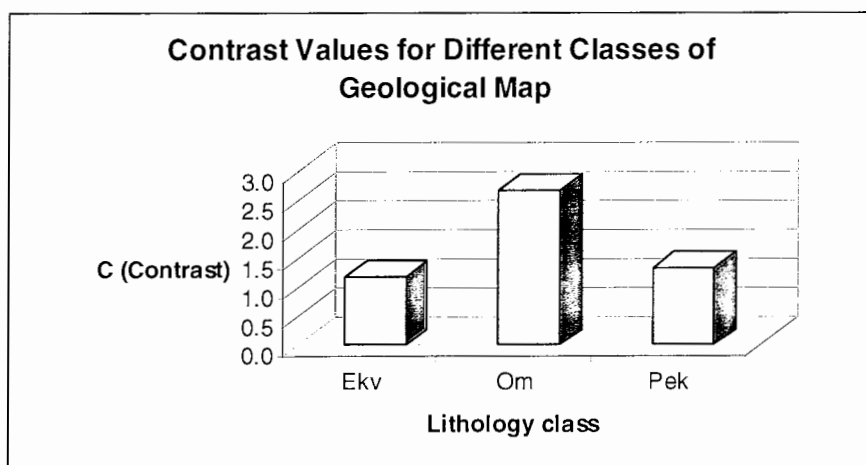
جدول (۴-۲): نتایج شواهد وزنی برای عارضه‌های زمین‌شناسی توسط بسط Arc-SDM

Lithology	Area(Km2)	Point	S(W+)	S(W-)	W+	W-	C	S(c)	Stud(c)
Cm	3.4182	0							
Dja	8.6815	0							
Dpj,r	9.3131	0							
Eb	0.7688	1	0.3801			-0.1339			
Ek.a	16.7029	0							
Ek.shl	22.7729	0							
Ek.t2	207.0431	0							
Ek.t3	26.3246	0							
Ek.v	70.5449	2	0.4105	0.7173	0.8063	-0.1693	0.9756	0.8265	1.1805
El	2.5775	0							
Ez	5.2184	0							
Gy	0.8278	0							
Jd.l	20.2446	0							
Klv	1.1715	0							
Kt	10.6502	0							
m	4.6478	0							
Mc,s	9.5694	0							
MI	0.7436	0							
Mm,s	8.5177	0							
Olle,s	0.6567	0							
Om	49.1084	3	0.4492	0.5958	1.6083	-0.3919	2.0002	0.7462	2.6806
Pd	11.0269	0							
Pe-esch	12.1507	0							
PeEvf	1.7976	0							
PeEz	2.5277	0							
Pek	63.3274	2	0.4105	0.7185	0.9176	-0.1825	1.1000	0.8275	1.3293
Plqe,s	4.9528	0							
Pn	0.2115	0							
Pr	2.7185	0							
Pv	1.8076	0							
Pvd	0.1849	0							
Q	3.1645	0							
Qal	0.4612	0							
Ql	4.4472	0							
Qr.f	0.5902	0							
Qs	0.8134	0							
Tr3js	26.9602	0							
Trde	1.4132	0							
Tre	2.9398	0							
Trem.l	1.0645	0							



شکل (۴-۱۳): نقشه شاهد زمین‌شناسی برای روش شواهد وزنی

همانطور که در شکل (۴-۱۳) نشان داده شده است، نقشه شاهد زمین‌شناسی بدست آمده شامل واحدهای زمین‌شناسی است که در جدول وزن‌ها دارای کنتراست بالاتری هستند.



شکل (۴-۱۴): نمودار ستونی ارزش کنتراست برای لایه‌های مختلف زمین‌شناسی

فصل چهارم ..... تهیه نقشه پتانسیل دار معدنی با استفاده از روش شواهد وزنی

#### ۴-۴-۲- تهیه نقشه شاهد ژئوفیزیک

برای تهیه نقشه شاهد ژئوفیزیک با ارزش دوتایی، به مناطق آنومالی ژئوفیزیکی یک ارزش بالای یکسان (ارزش ۱ به آن داده شده است) و به سایر واحدها یک ارزش پایین (ارزش صفر) داده شده است. برای این منظور توسط دستورهای بسط الحاقی Spatial Analyst نرم‌افزار ArcView عملیات رستری کردن این نقشه نشانگر صورت گرفت. با توجه به عدم حضور اندیس‌های معدنی در این لایه شاهد، از این لایه به عنوان لایه کمکی برای مدل‌سازی روش شواهد وزنی استفاده شده است. در نهایت نقشه شاهد ژئوفیزیکی مطابق شکل (۴-۳) برای مدل‌سازی شواهد وزنی به عنوان یک فاکتور کمکی مورد استفاده قرار گرفت.

#### ۴-۴-۳- تهیه نقشه شاهد ژئوشیمیایی

همانطور که قبلاً بیان شد، لایه ژئوشیمی موجود در منطقه شامل نقشه آنومالی دو عنصر مس و قلع است. پس از ترکیب این دو لایه نقشه نهایی به صورت دوتایی تهیه شد. این نقشه شاهد تهیه شده دارای دو کلاس بوده که به مناطق آنومال ژئوشیمی ارزش ۱ (ارزش بالا) و به بقیه مناطق ارزش صفر (ارزش پایین) اختصاص داده شده است. نقشه نهایی آنومالی ژئوشیمی هم مانند نقشه‌های شاهد دیگر توسط Convert to grid از منوی الحاقی بسط Spatial Analyst نرم‌افزار ArcView به فرمت رستری درآمد که در شکل (۴-۸) نقشه نشانگر ژئوشیمی و جدول (۴-۳)، جدول وزن‌های بدست آمده که از مدل‌سازی بسط Arc-SDM بدست آمده است، نشان داده شده است.

جدول (۴-۳): جدول وزن‌های مربوط به شاهد ژئوشیمی

Class	Area(Km2)	Points Number	W+	S(W+)	W-	S(W-)	Contrast	S(Contrast)	Stud(C)
0	607.9500	7	-0.1104	0.3802	1.7004	1.0350	-1.8109	1.1026	-1.6423
1	15.0375	1	1.7004	1.0350	-0.1104	0.3802	1.8109	1.1026	1.6423

فصل چهارم ..... تهیه نقشه پتانسیل دار معدنی با استفاده از روش شواهد وزنی

#### ۴-۴-۴- تهیه نقشه شاهد گسل‌ها

برای تهیه نقشه نشانگر گسل‌ها از نقشه دوتایی چگالی گسل که قبلاً تهیه شده است، استفاده گردید. برای این منظور توسط دستورهای بسط الحاقی Spatial Analyst نرم‌افزار ArcView عملیات رستری کردن این نقشه شاهد صورت گرفت و در نهایت نقشه شاهد ساختار مطابق شکل (۴-۱۲) برای مدل‌سازی شواهد وزنی به عنوان یک فاکتور مورد استفاده قرار گرفت.

جدول (۴-۴): جدول وزن‌های مربوط به شاهد گسل‌ها

Class	Area(Km2)	Points Number	W+	S(W+)	W-	S(W-)	Contrast	S(Contrast)
0	552.4426	5	-0.3804	0.01402	0.325	1.1240	-0.7054	0.395
1	70.5449	3	0.8063	0.4105	-0.1693	0.7173	0.9756	0.8265

#### ۴-۴-۵- تهیه نقشه شاهد مناطق دگرسان شده

به دلیل کوچک بودن محدوده آلتراسیونی و عدم ارتباط مکانی با اندیس‌های شناخته شده فلزی در منطقه مورد مطالعه، از این لایه به عنوان لایه کمکی برای آنالیز شواهد وزنی به کار برده شده است. در شکل (۴-۹) نقشه شاهد آلتراسیون برای روش شواهد وزنی نشان داده شده است.

#### ۴-۴-۶- تلفیق نقشه‌های شاهد و تهیه نقشه‌های پتانسیل دار معدنی با اولویت بندی

هدف نهایی در اکثر پروژه‌های سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی ترکیب داده‌های مختلف از منابع گوناگون به منظور توصیف و آنالیز پدیده‌ها یا ایجاد نقشه‌هایی جدید است که می‌توانند نهایتاً در تصمیم‌گیری‌ها مورد استفاده قرار گیرند. معمولاً ترکیب نتایج حاصل از همه اطلاعات بدست آمده کارایی بیشتری نسبت به بررسی تک‌تک اطلاعات مختلف مثل ژئوشیمی، ژئوفیزیک و ... دارد.

فصل چهارم ..... تهیه نقشه پتانسیل دار معدنی با استفاده از روش شواهد وزنی

#### ۴-۴-۷- تهیه نقشه پتانسیل کانی سازی بر اساس روش شواهد وزنی

همانطور که قبلاً اشاره شد، در روش شواهد وزنی با محاسبه مساحت های دارای کلاس بالا و کلاس پایین بر حسب سلول واحد و محاسبه تعداد نقاط مورد نظر در داخل محدوده مورد مطالعه، وزن هایی محاسبه می شود که معرف حضور و همراهی این نقاط با کلاس های خاص نقشه هستند و با وزن های  $W^+$ ،  $W^-$  و اختلافات  $(W^+ - W^-)$  مشخص می شوند. پس از مرحله مقدماتی محاسبه وزن ها و اختلافات، نقشه های دوتایی تهیه شده با هم ترکیب شده و نهایتاً یک نقشه معرف احتمال تجربی وقوع کانسار محاسبه و تهیه می شود. اگر احتمال اولیه حضور یک منطقه کانسار در مساحت سلول واحد را عددی ثابت و برابر چگالی توزیع نقاط فرض کنیم، در این صورت احتمال تجربی با توجه به مقدار احتمال اولیه و همچنین بر اساس یک سری قوانین ریاضی برای تمامی سلولها محاسبه می گردد. بدین ترتیب با ترسیم این تصاویر محاسبه شده احتمال تجربی برای تمامی سلولها، نقشه ای تهیه می شود که نحوه توزیع این احتمال تجربی را در ناحیه مورد مطالعه نشان می دهد.

وزن ها و کنتراست های بدست آمده از بسط Arc-SDM در جدول (۴-۵) نشان داده شده است و همانطور که در جدول نشان داده شده است، اختلاف وزن ها برای فاکتورهای زمین شناسی و لایه ژئوشیمی مس به ترتیب دارای مقدار  $۲/۸۵۹۲$  و  $۱/۸۶۷$  است. بنابراین بهترین پیش بینی کننده های مربوط به کانی زایی تیپ مس - طلای رگه ای در این پایان نامه فاکتورهای زمین شناسی و ژئوشیمی هستند، که نشان دهنده اهمیت این برداشت ها همانند روش های پی جویی این ذخایر هستند. ساختارهای شمال غرب - جنوب شرق به عنوان سومین پیش بینی کننده برای ذخایر تیپ مس - طلای رگه ای در جنوب غربی نقشه مرزن آباد هستند و مدل سازی اکتشافی را تقویت می کنند.

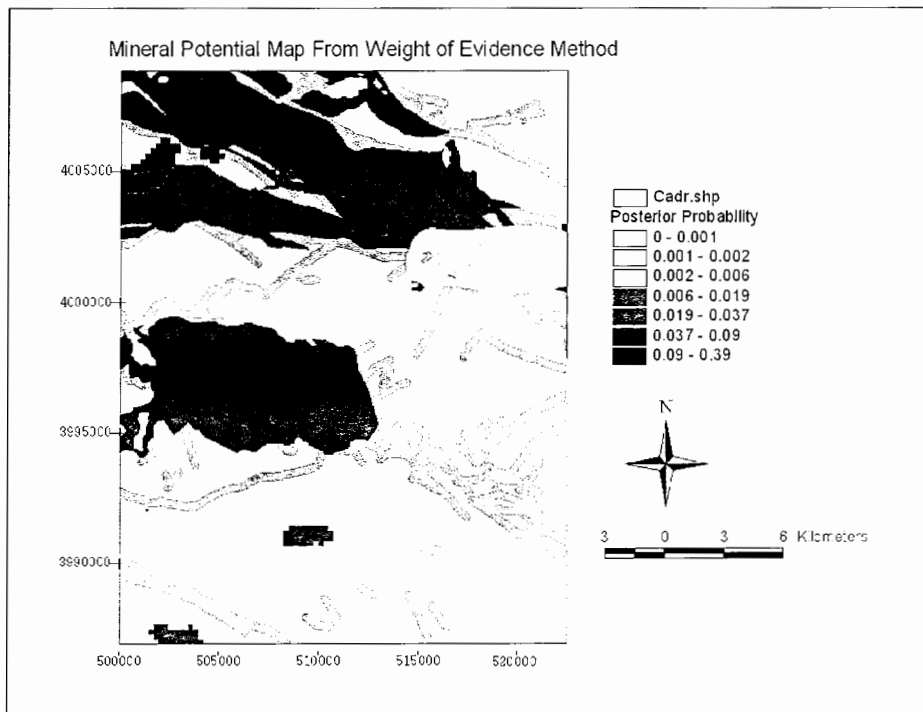
در شکل (۴-۱۵) احتمال تجربی محاسبه شده برای بخش های مختلف و در واقع نقشه نهایی پتانسیل دار معدنی با استفاده از روش شواهد وزنی نشان داده شده است. با طبقه بندی مجدد این نقشه نقشه نهایی پتانسیل معدنی مطابق با شکل (۴-۱۶) بدست آمده است که در آن چهار منطقه امیدبخش برای اکتشاف تفضیلی بیشتر معرفی شده است.



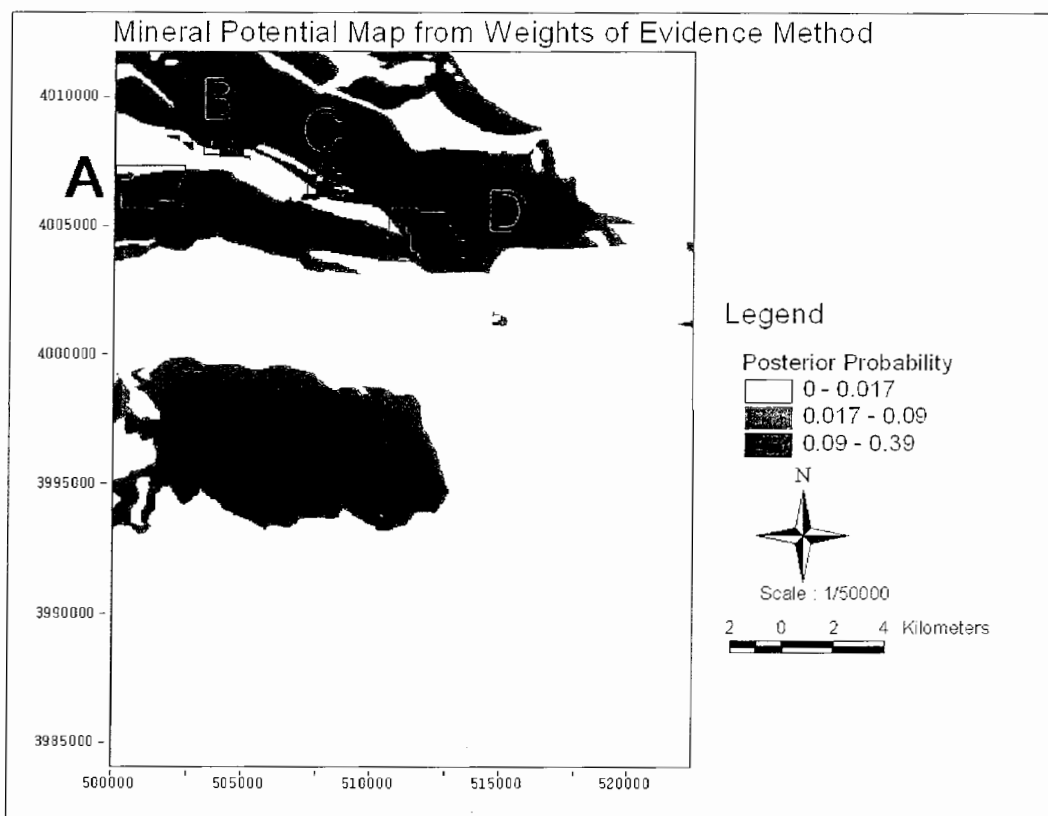
فصل چهارم ..... تهیه نقشه پتانسیل دار معدنی با استفاده از روش شواهد وزنی

جدول (۴-۵): جدول وزن‌های مربوط به لایه‌های شاهد

درجه اطمینان	اختلاف وزن‌ها	$W^+$	$W^-$	موضوع کلاس‌ها	لایه شاهد
۲/۶۶۵۳	۲/۸۵۹۲	۱/۱۱۷۱	-۱/۷۴۲۱	Value	لایه زمین‌شناسی
۱/۶۹۰۴	۱/۸۶۷۰	۱/۷۵۵۳	-۰/۱۱۱۷	Value	لایه ژئوشیمی مس
۰/۰۰۳۸	۰/۰۳۸۱	۰/۰۳۸۱	۰	Value	لایه ژئوشیمی قلع
۰/۳۶۸۸	۰/۳۹۷۸	۰/۳۵۵۹	-۰/۰۴۱۹	Value	ساختارهای شمال شرق - جنوب غرب
۰/۶۶۶۰	۰/۵۴۸۷	۰/۴۳۷۱	-۰/۱۱۱۶	Value	ساختارهای شمال غرب - جنوب شرق
۰/۲۰۱۸	۰/۲۱۷۴	۰/۱۹۲۷	-۰/۰۲۴۷	Value	ساختار شرقی - غربی
۰/۳۴۵۳	۰/۳۴۵۵۷	-۰/۳۴۱۸	۰/۰۳۷۶	Value	لایه ژئوفیزیک
۰/۰۳۶۴	۰/۳۶۷۶	۰/۳۶۷۲	-۰/۰۰۰۴	Value	لایه آلتراسیون



شکل (۴-۱۵): نقشه نهایی پتانسیل دار معدنی با استفاده از روش شواهد وزنی



شکل (۴-۱۶): طبقه‌بندی مجدد نقشه پتانسیل و معرفی چهار منطقه امید بخش

همانطور که در شکل (۴-۱۶) نشان داده شده است، مناطق آنومال دارای احتمال اکتشاف کانساری بالاتری هستند (مناطق *A, B, C* و *D* دارای احتمال اکتشافی پسین با احتمال ۹٪ تا ۳۹٪ درصدی هستند) یا به عبارت دیگر مناطقی هستند که با حضور شواهد مختلفی از قبیل زمین‌شناسی، ژئوشیمی و ژئوفیزیک و ساختارها دارای احتمال اکتشاف کانساری بیشتری نسبت به دیگر مناطق بوده و می‌توانند به عنوان اولویت‌های اول اکتشافی در منطقه مورد توجه قرار گیرند. همانطور که اشاره شد مناطق امیدبخش معرفی شده دارای احتمال اکتشافی یکسانی هستند ولی اگر بخواهیم اولویت اول اکتشافی را در بین این چهار منطقه پیدا کنیم، بایستی ویژگی‌های زمین‌شناسی، ژئوشیمی و ... را در این مناطق با واقعیت تطبیق داده و اولویت‌های اول اکتشافی این مناطق را بدست آوریم. پس از بررسی‌های

فصل چهارم..... تهیه نقشه پتانسیل دار معدنی با استفاده از روش شواهد وزنی

بعمل آمده از این چهار منطقه با داده‌های موجود و مطابقت دادن این مناطق با مدل کانسار اکتشافی مورد نظر، منطقه D به عنوان اولویت اول اکتشافی در منطقه مورد مطالعه معرفی گردید. مساحت کل مناطق امیدبخش معرفی شده در مجموع تقریباً برابر با ۷۶۰ هزار متر مربع بوده و تقریباً ۳ درصد از کل منطقه مورد مطالعه را شامل می‌شود.

## فصل پنجم

تهیه نقشه پتانسیل دار معدنی با  
استفاده از روش شاخص همپوشانی

## ۵-۱- مقدمه

یکی از روش‌های تلفیق داده‌های اکتشافی برای تعیین مناطق پتانسیل دار معدنی، روش‌های متکی بر نظر یا دانش کارشناسی است. یکی از روش‌های متکی بر دانش، روش شاخص همپوشانی است. در این مدل به هر لایه یا نقشه شاهد بر اساس مدل اکتشافی وزن‌های مختلفی اختصاص داده می‌شود و در نهایت با استفاده از این مدل، تلفیق این شواهد صورت می‌گیرد. این روش کاربرد بسیار زیادی در تهیه نقشه‌های پتانسیل دار معدنی در سطح جهان دارد، دلیل آن این است که در این روش به هر نقشه و یا کلاس‌های تشکیل دهنده آن بر اساس مدل اکتشافی، می‌توان وزن‌های متفاوتی داد. برای مثال از این روش برای تهیه نقاط امید بخش معدنی کمربند مس‌دار سینگهام در جارخند (Jharkhand) در کشور هندوستان توسط آقای موخوپادها (Mukhopadhyay) در سال ۲۰۰۲ انجام و در مقایسه با دیگر روش‌های به کار گرفته در این منطقه، از نتیجه بهتری برخوردار بوده است [Mukhopadhyay, 2002]. در این فصل پس از شناخت تیپ کانی‌زایی مربوط به محدوده مورد مطالعه و تشکیل پایگاه داده بر اساس مدل اکتشافی در محیط GIS، از روش شاخص همپوشانی برای تلفیق اطلاعات موجود استفاده شده است.

## ۵-۲- مدل کانسارزایی منطقه مورد مطالعه

با توجه به اندیس‌های طلا- مس در منطقه مورد مطالعه، مدل اکتشافی مورد بررسی بایستی در ارتباط با مس و طلا بوده و پارامترهای مرتبط با انواع کانی‌زایی مس و طلا از نوع رگه‌ای در این محدوده را در نظر گرفته باشد، لذا مدل‌سازی برای کانسارهای تیپ مس - طلای رگه‌ای در توده‌های نفوذی، مورد بررسی قرار گرفته است.

فصل پنجم..... تهیه نقشه پتانسیل دار معدنی با استفاده از روش شاخص همپوشانی

کانسارهای تیپ مس - طلای رگه‌ای، در نفوذی‌های کالکوآلکان تا آلکان (دیوریت تا گرانودیوریت، مونزونیت تا مونزوگرانیت) به صورت توده‌های نفوذی کوچک و یا دسته دایک‌های نفوذی در سنگ‌های رسوبی و دگرگونی تزریق می‌شوند و سنگ درونگیر مناسبی را تشکیل می‌دهند. این واحدها ممکن است به صورت نفوذی‌های ساب ولکانیک با ترکیب آندزیت تا ریولیت نیز ظاهر شوند. شکستگی‌های نزدیک سطح و درون هاله‌های گرمابی وابسته به گنبد‌های نفوذی کوچک، محیط مناسبی برای تشکیل آنهاست. آنومالی‌های عناصر Zn, Cu, Pb, Au, Ag, Mn, Ba, Sb, B, Ge و Bi در پردازش‌های ژئوشیمی می‌توانند به عنوان راهنمای ژئوشیمی در این مدل اکتشافی مورد استفاده قرار گیرند. از نظر کانی‌شناسی به همراه طلای آزاد و الکتروم همراه با پیریت، اسفالریت، کالکوپیریت، گالن، آرسنوپیریت، تتراهدريت، تنانتیت و... دیده می‌شوند [حسنی پاک و شجاعت، ۱۳۷۹]. در این فصل نحوه مدل‌سازی منطقه مورد مطالعه برای تعیین نواحی امیدبخش معدنی با استفاده از روش شاخص همپوشانی ارائه می‌گردد.

### ۵-۳- آماده‌سازی و پردازش داده‌ها

طبق مدل اکتشافی عوامل اصلی کانی‌زایی از قبیل سنگ میزبان، دگرسانی، آنومالی‌های حاصل از ژئوفیزیک هوایی، ساختارها، آنومالی‌های حاصل از اکتشافات ژئوشیمیایی در نظر گرفته شد و در نهایت زیرشاخه‌های مربوطه به هر عامل اصلی نیز تعیین گردید. توصیف اجمالی آماده‌سازی و پردازش لایه‌های اطلاعاتی مختلف به شرح زیر می‌باشد:

### ۵-۳-۱- آماده‌سازی و پردازش داده‌های زمین‌شناسی

پس از رقومی کردن نقشه زمین‌شناسی منطقه ۱:۱۰۰۰۰۰ مرزن‌آباد، محدوده جنوب غربی مرزن‌آباد با لایه منطقه مورد مطالعه، با دستور clip در نرم‌افزار ArcView جدا و به عنوان لایه زمین‌شناسی انتخاب گردید. در نهایت اطلاعات مربوط به داده‌های زمین‌شناسی موثر در کانی‌زایی مورد نظر از نقشه زمین‌شناسی جدا و استخراج گردید. با توجه به نقش اصلی توده‌های نفوذی و ولکانیک

فصل پنجم.....تهیه نقشه پتانسیل دار معدنی با استفاده از روش شاخص همپوشانی

فلسیک (ولکانیک اسیدی تا حد واسط) در تشکیل این نوع کانسارها و نیز با توجه به وجود این توده‌ها در محدوده مورد مطالعه، اولین قدم استخراج این واحدها از نقشه‌های زمین‌شناسی می‌باشد. واحدهای انتخاب شده دارای ترکیباتی شامل تراکی‌آندزیت، آندزیت، تراکی‌بازالت، بازانیت، گدازه‌های آندزیتی یا داسیتی می‌باشند. بر اساس درجه اهمیت این عارضه‌ها و بر طبق نظر کارشناسی و اهمیت آن در کانی‌زایی کانسارهای مس - طلاي رگه‌ای مطابق با جدول (۵-۱)، وزن‌دهی شد و در نهایت بر اساس مدل اکتشافی عارضه‌های مهم زمین‌شناسی از آن استخراج و به عنوان لایه شاهد برای مدل‌سازی با روش شاخص همپوشانی مورد استفاده قرار گرفت.

جدول (۵-۱): جدول مربوط به ارزش واحدهای زمین‌شناسی انتخاب شده برای مدل‌سازی

وزن داده شده	شرح	نام واحد زمین‌شناسی
۵	تراکی‌آندزیت، تراکی‌بازالت، آندزیت، توف‌ها و آذرآواری‌ها	Ekv
۴	توفیت، آذرآواری‌ها و گدازه‌های آندزیتی و داسیتی	Ek.sh1
۳	توف‌های سبز، آذرآواری‌ها، گدازه‌های آندزیتی و داسیتی	Ek.t3
۲	توف‌های سبز، شیل، کنگومرا، آذرآواری‌ها و آگلومرا	Ek.t2

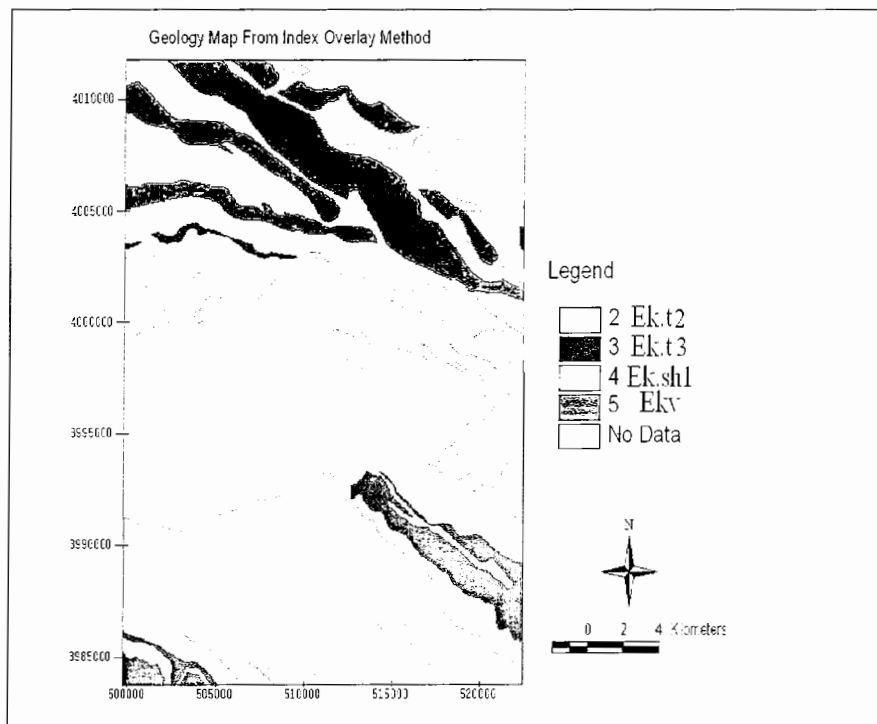
برای استفاده از این لایه استخراج شده برای مدل‌سازی نقشه پتانسیل توسط روش شاخص همپوشانی، این لایه به صورت جدول بالا وزن‌دهی شد. سپس وزن انتخابی در جدول توصیفی لایه زمین‌شناسی وارد شده است، که در شکل (۵-۱) نشان داده است. در نهایت با استفاده از دستورهای بسط الحاقی Spatial Analyst نرم‌افزار ArcView به شکل رستری تبدیل شد. در شکل (۵-۲) نقشه رستری وزن داده شده لایه زمین‌شناسی نشان داده شده است.

فصل پنجم..... تهیه نقشه پتانسیل دار معدنی با استفاده از روش شاخص همپوشانی

FID	Shape	AREA	PERIMETER	M_	M_ID	LITO	Value
0	Polygon	49952170	76517.34	214	0	Ekv	5
1	Polygon	49952170	76517.34	214	0	Ekv	5
2	Polygon	5904610	18151.09	278	0	Ekv	5
3	Polygon	11741200	30524.34	260	0	Ekv	5
5	Polygon	10302280	31801.64	310	0	Ekv	5
6	Polygon	3350031	12120.64	313	0	Ekv	5
8	Polygon	4786446	10906.46	317	0	Ekv	5
4	Polygon	11056730	19907.47	297	0	Ek.sh1	4
11	Polygon	1732001	7165.536	606	0	Ek.sh1	4
12	Polygon	5716476	10679.55	637	0	Ek.sh1	4
14	Polygon	6170441	18406.49	723	0	Ek.sh1	4
16	Polygon	2158993	9951.676	748	0	Ek.sh1	4
7	Polygon	2234564	18022.35	315	0	Ek.t3	3
9	Polygon	195417.2	2363.533	323	0	Ek.t3	3
10	Polygon	27297750	60807.38	510	0	Ek.t3	3
13	Polygon	2105459	13842.6	707	0	Ek.t3	3
15	Polygon	2651954	7371.238	743	0	Ek.t3	3
17	Polygon	630298.3	3694.92	797	0	Ek.t3	3

Record: 0 Show: All Selected Records (0 out of 18 Selected.)

شکل (۵-۱): جدول توصیفی مربوط به ارزش واحدهای زمین‌شناسی انتخاب شده برای مدل‌سازی



شکل (۵-۲): لایه وزن داده شده زمین‌شناسی جهت مدل‌سازی

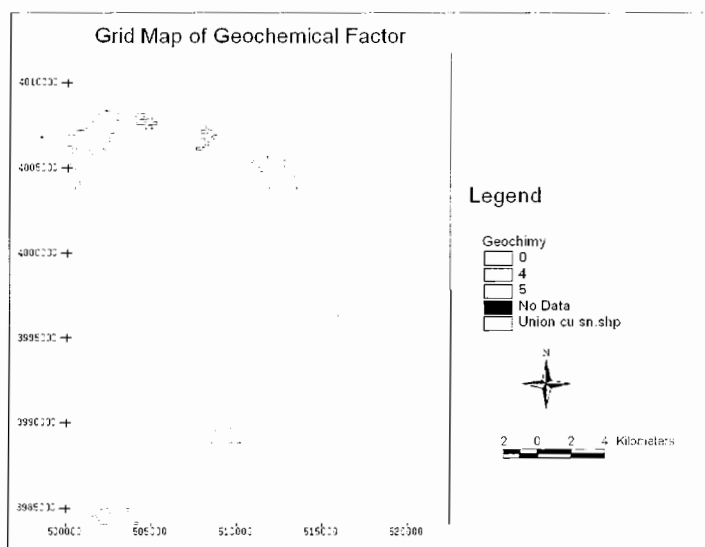


### ۵-۳-۲- آماده‌سازی و پردازش داده‌های ژئوفیزیک هوایی

پس از رقومی‌کردن لایه ژئوفیزیک مغناطیس هوایی منطقه مورد مطالعه، وزن‌دهی برای این لایه انجام شد. با توجه به عدم تاثیر روش مغناطیس هوایی در اکتشاف کانسارهای رگه‌ای و اینکه فواصل خطوط پروازی برای برداشت‌های ژئوفیزیک هوایی با فاصله خطوط پرواز ۷/۵ کیلومتر خیلی زیاد بوده است، بنابراین این لایه نمی‌تواند در این مدل‌سازی از ارزش بالایی برخوردار باشد. بنابراین برای لایه ژئوفیزیک ارزش ۱ اختصاص داده شده است. در شکل (۳-۴) نقشه وزن‌دهی شده و رستری لایه ژئوفیزیک نشان داده شده است.

### ۵-۳-۳- آماده‌سازی و پردازش داده‌های ژئوشیمی

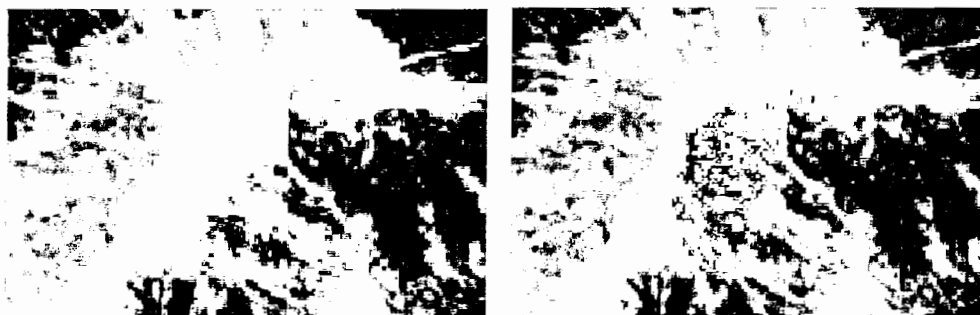
برای وزن‌دهی برای مدل‌سازی کانسارهای تیپ مس - طلای رگه‌ای و با توجه به داده‌های ژئوشیمی موجود در منطقه مورد مطالعه و هدف اکتشافی مورد نظر، ارزش ۵ برای عنصر مس و برای عنصر قلع ارزش ۴ در نظر گرفته شده است. در نهایت برای بدست آوردن یک لایه واحد ژئوشیمیایی، لایه‌های فوق برای مدل‌سازی با یکدیگر ترکیب شده و با ارزش صفر تا ۵ مطابق با شکل (۳-۵) دسته‌بندی شدند.



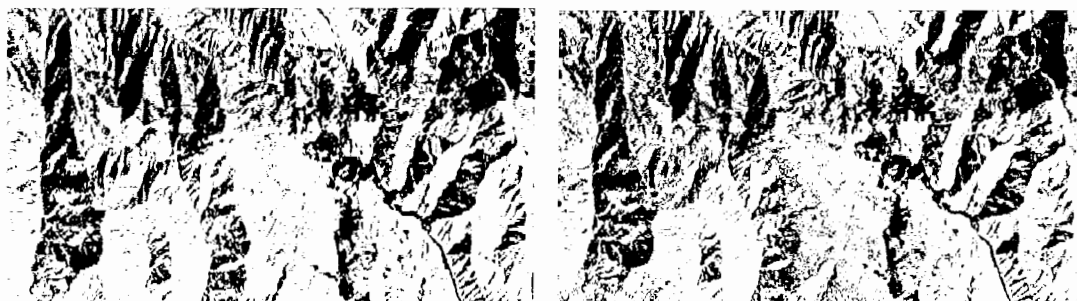
شکل (۳-۵): نقشه رستری وزن‌دهی شده لایه ژئوشیمی برای مدل‌سازی

### ۵-۳-۴- آماده سازی و پردازش داده های مربوط به تصاویر ماهواره ای

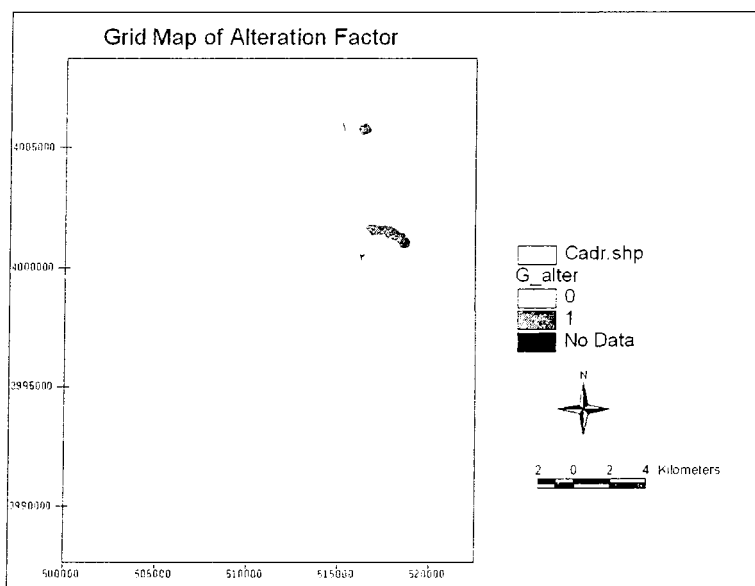
داده های ماهواره ای منطقه مورد مطالعه که توسط گروه دورسنجی سازمان زمین شناسی مورد پردازش قرار گرفت، شامل سنجنده  $ETM^+$  از ماهواره  $LANDSAT 7$  و داده های سنجنده  $SAR$  از ماهواره  $RADARSAT$  می باشد. نتایج پردازش آن در شکل های (۴-۵) و (۵-۵) نشان داده شده است. به دلیل کم اهمیت بودن این لایه در مدل اکتشافی و کم دقت بودن آن به دلیل پوشش گیاهی منطقه به آن ارزش ۱ داده شد که در شکل (۶-۵) نقشه نهایی وزن داده شده برای مدل سازی با روش شاخص همپوشانی نشان داده شده است.



شکل (۴-۵): منطقه آلتراسیونی شماره ۱ (شکل سمت راست) و تصویر ماهواره ای قبل از پردازش (شکل سمت چپ)



شکل (۵-۵): منطقه آلتراسیونی شماره ۲ (شکل سمت راست) و تصویر ماهواره ای قبل از پردازش (شکل سمت چپ)



شکل (۵-۶): نقشه آلتراسیونی وزن داده شده برای مدل سازی

### ۵-۳-۵- آماده سازی و پردازش داده های مربوط به ساختارها

یکی از شاخص های مهم در در تشکیل ذخایر مس - طلای رگه ای وجود گسل ها، نوع و امتداد آنها می باشد. همانطور که قبلاً بیان شد، زون های با شکستگی های متقاطع فراوان، گسل های نرمال اصلی، شکستگی های وابسته به گنبدی شدن، مناطقی با شکستگی های حلقوی و درزه ها خاستگاه مناسبی برای کانسارهای تیپ رگه ای هستند.

برای تشخیص گسل ها از تصاویر ماهواره ای لندست و یا رادار استفاده شده است. بر اساس پوشش گیاهی موجود در منطقه، بیشتر از تصاویر ماهواره ای رادار استفاده شده است، چون این نوع تصاویر مشکلات تصاویر ماهواره ای لندست که همانا پوشش گیاهی است، را ندارند.

پس از آشکار سازی بهینه و بکارگیری فیلترهای مختلف بر روی تصاویر ماهواره ای که توسط گروه دورسنجی سازمان زمین شناسی و اکتشاف معدنی کشور صورت گرفت، روند گسل ها و یا خطواره ها مشخص گردید. گسل هایی که دارای روند شمال شرق - جنوب غرب، شمال غرب - جنوب شرق و

فصل پنجم.....تهیه نقشه پتانسیل دار معدنی با استفاده از روش شاخص همپوشانی

شرقی - غربی هستند از ساز و کار تراستی و فشاری برخوردارند و از لحاظ کانه‌زایی بسیار مهم می‌باشند. در نهایت وزندهی این سه نوع ساختار اصلی منطقه مطابق جدول (۲-۵) صورت گرفت.

جدول (۲-۵): وزندهی ساختارها برای مدل‌سازی

جهت ساختار	ارزش داده شده
NE-SW	۷
W-E	۶
NW-SE	۴

برای بدست آوردن گسل‌ها در جهات مختلف مراحل زیر انجام شد:

- گسل‌های موجود در نقشه زمین‌شناسی در نرم‌افزار ArcGIS رقومی شده و به فرمت shp ذخیره گردید. برای گسل‌های بدست آمده از دورسنجی و ژئوفیزیک همین مراحل انجام و در نهایت این سه گسل با دستور Union در این نرم‌افزار با هم ادغام شدند.

- نقشه نهایی گسل‌ها در نرم‌افزار ArcView وارد شده و سپس توسط دستور Calculate Line trend از منوی الحاقی Toolbox این نرم‌افزار، فیلد توصیفی آریموت گسل در جدول توصیفی آن ایجاد شد و در نهایت با توجه به مقدار آریموت، گسل‌ها به سه روند شمال شرق - جنوب غرب، شرقی - غربی و شمال غربی - جنوب شرقی تقسیم و بسته به نقش آنها در کانی‌زایی وزندهی شدند. در شکل‌های (۲-۵) تا (۲-۹) ترکیب گسل‌های ژئوفیزیک، دورسنجی و زمین‌شناسی در سه راستای مختلف نشان داده شده است.

- این سه گسل با همدیگر به روش همپوشانی ساده ترکیب شده‌اند، که نتیجه آن در شکل

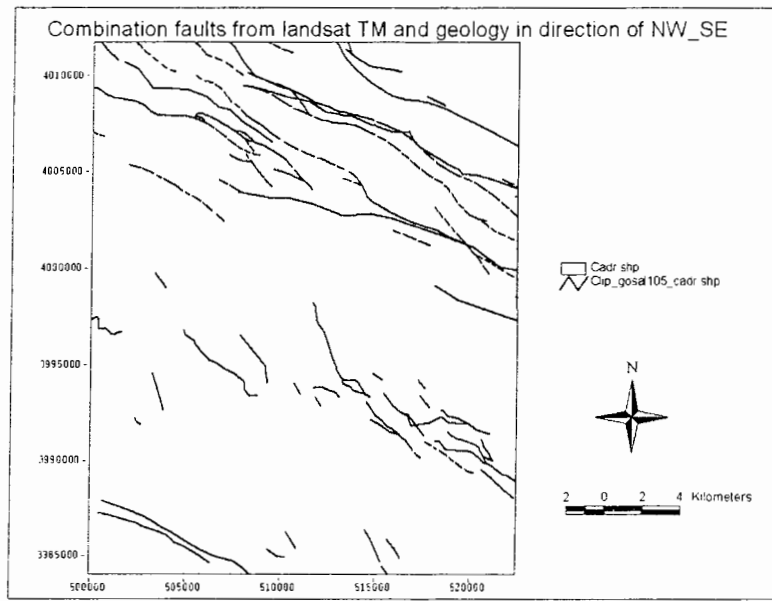
(۲-۱۰) نشان داده شده است.

- با استفاده از دستور Density در بسط الحاقی Spatial Analyst نرم افزار ArcGIS، نقشه

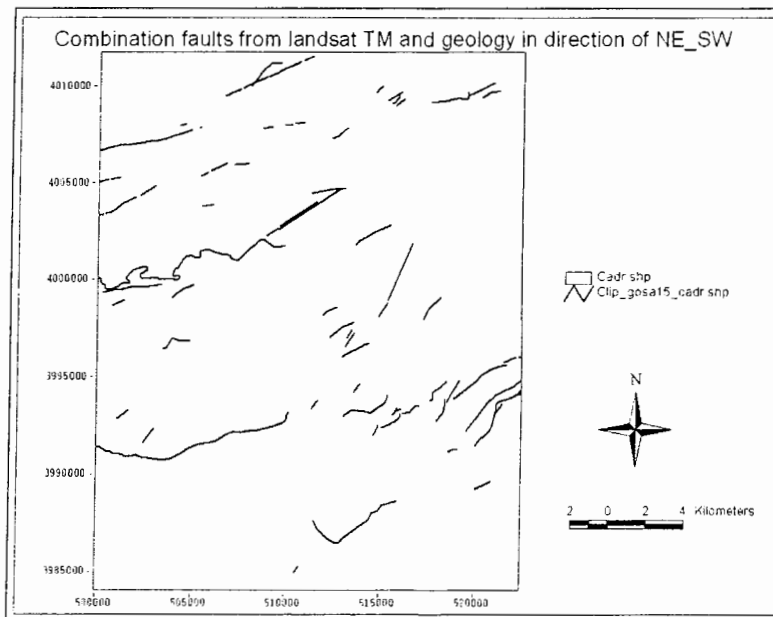
چگالی گسل‌ها تهیه و پس از طبقه‌بندی مجدد برای مدل‌سازی به روش همپوشانی شاخص از این نقشه

فصل پنجم..... تهیه نقشه پتانسیل دار معدنی با استفاده از روش شاخص همپوشانی

استفاده شده است که در شکل (۴-۱۱) نقشه طبقه‌بندی شده و وزن داده شده چگالی گسل نشان داده شده است.

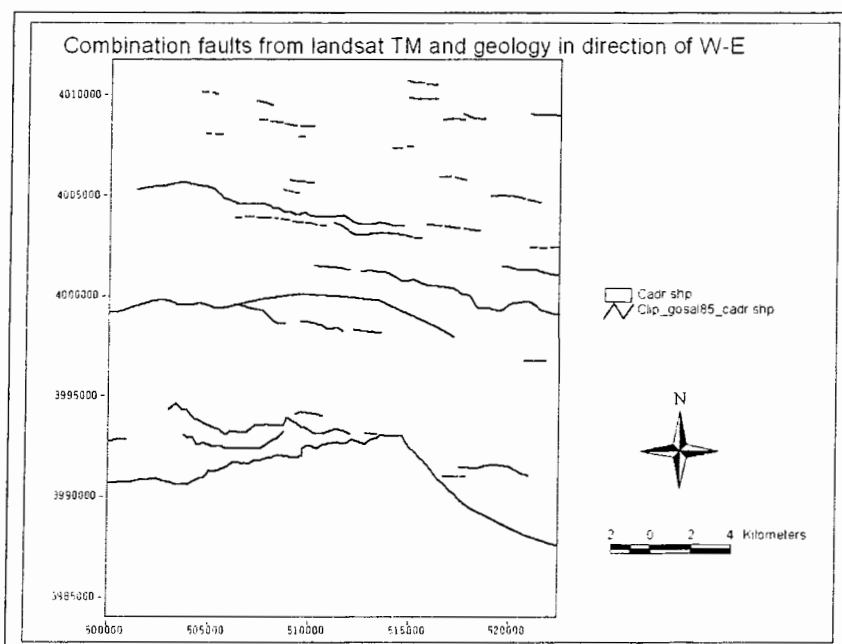


شکل (۵-۷): نقشه ترکیب‌شده گسل‌های زمین‌شناسی، ژئوفیزیک و دورسنجی در راستای شمال غرب - جنوب شرق



شکل (۵-۸): نقشه ترکیب‌شده گسل‌های زمین‌شناسی، ژئوفیزیک و دورسنجی در راستای شمال شرق - جنوب غرب

فصل پنجم.....تهیه نقشه پتانسیل دار معدنی با استفاده از روش شاخص همپوشانی



شکل (۵-۹): نقشه ترکیب شده گسل‌های زمین‌شناسی، ژئوفیزیک و دورسنجی در راستای شرق - غرب

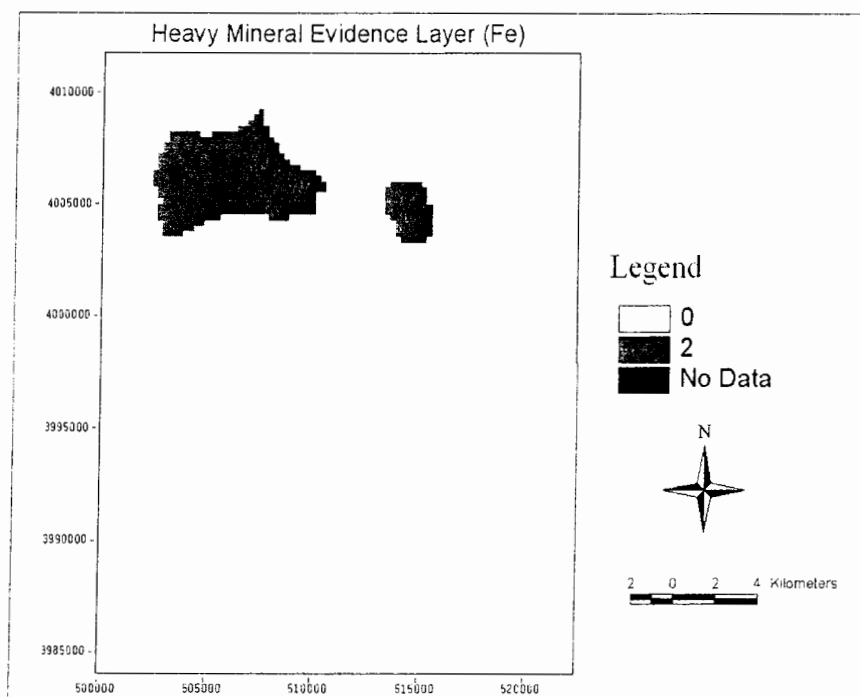
### ۵-۳-۶- آماده‌سازی و پردازش لایه کانی‌سنگین نشانگر کانی‌زایی

ردیابی کانی‌های سنگین نشانگر کانی‌سازی در فرا دست مکان نمونه برداری‌ها و نمونه‌های سنگی مینرالیزه که از محل‌های آلتراسیون، کانی‌زایی و مناطقی که با توجه به شرایط زمین‌شناسی و تکتونیک منطقه، احتمال استعداد کانی‌زایی در این مناطق وجود داشته، برداشت شده است. بر اساس شیب توپوگرافی ذرات کانی‌سنگین ممکن است تا محوطه‌های اطراف ناحیه منشا فاصله بگیرند بر این اساس برای لحاظ کردن هاله‌های کانی‌سنگین، این محدوده‌ها مشخص شدند که در شکل‌های (۵-۱۰) تا (۵-۱۳) مناطق آنومال از لحاظ کانی‌سنگین نشان داده شده است. در نهایت بر اساس مدل اکتشافی و داده‌های موجود، به آنومالی‌های کانی‌سنگین اسفالریت، کالکوپیریت، شیثلیت و هماتیت مطابق جدول (۵-۳) وزن داده شده است.

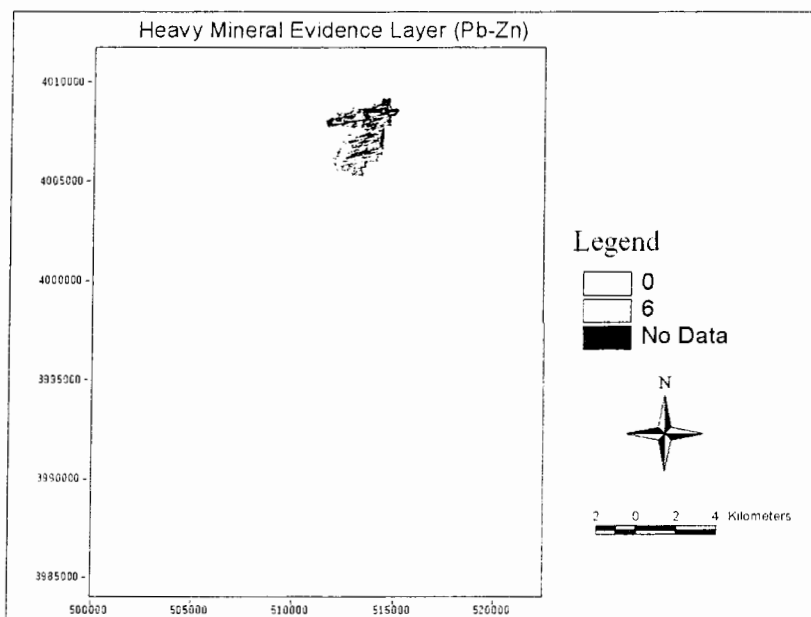
فصل پنجم.....تهیه نقشه پتانسیل دار معدنی با استفاده از روش شاخص همپوشانی

جدول (۳-۵): جدول ارزش دهی به لایه‌های کانی سنگین

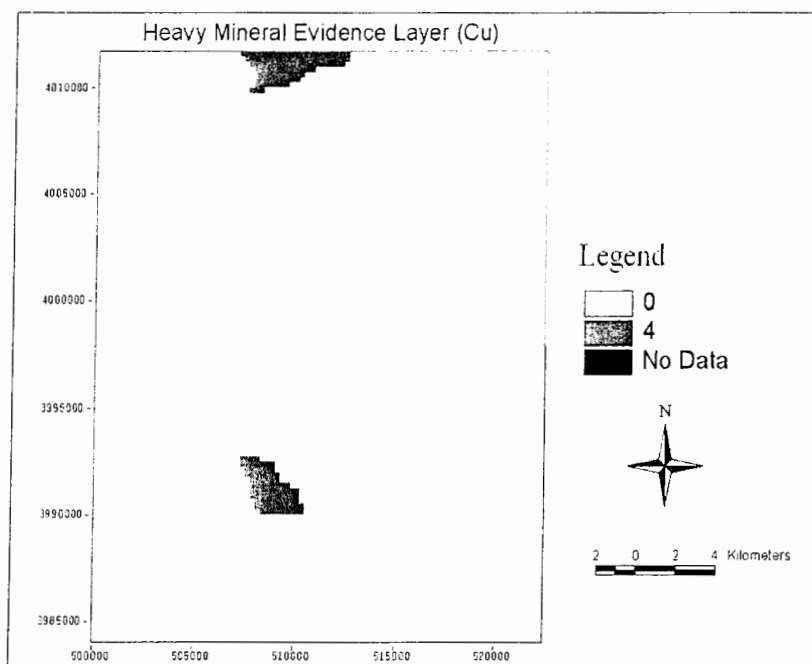
کانی سنگین	ارزش داده شده
اسفالریت	۶
شیلیت	۵
کالکوپیریت	۴
هماتیت	۲



شکل (۵-۱۰): نقشه وزن داده شده کانی سنگین هماتیت

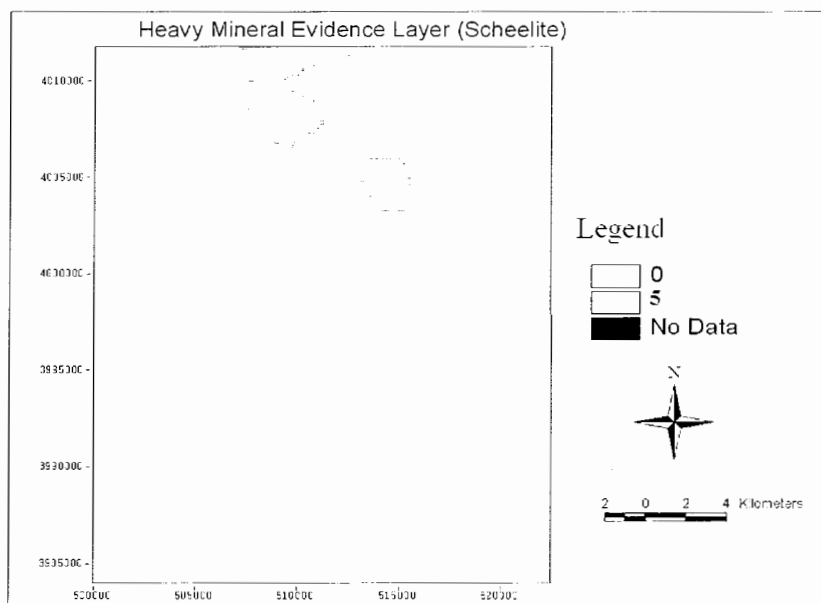


شکل (۵-۱۱): نقشه وزن داده شده کانی سنگین اسفالریت



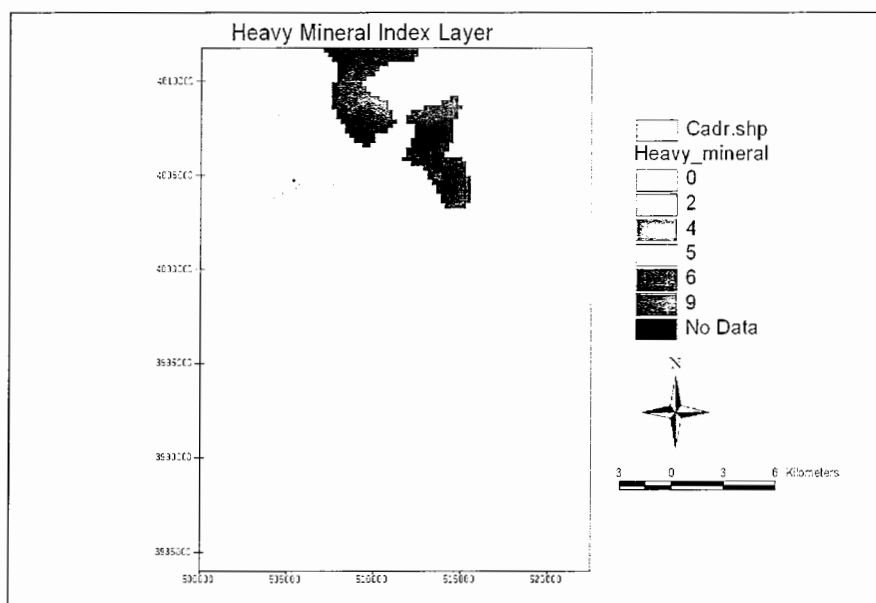
شکل (۵-۱۲): نقشه وزن داده شده کانی سنگین کالکوپریت





شکل (۵-۱۳): نقشه وزن داده شده کانی سنگین شیثلیت

پس از اعمال وزن‌های مختلف و ترکیب نقشه‌ها، نقشه نهایی ترکیب به صورت رستری درآمد و برای مدل‌سازی روش شاخص همپوشانی به کار گرفته شد. نقشه نهایی ترکیب برای مدل‌سازی در شکل (۵-۱۴) نشان داده شده است.



شکل (۵-۱۴): نقشه نهایی وزن داده شده ترکیب لایه‌های کانی سنگین

فصل پنجم.....تهیه نقشه پتانسیل دار معدنی با استفاده از روش شاخص همپوشانی

#### ۴-۵- تلفیق نهایی لایه‌های اطلاعاتی به روش شاخص همپوشانی

همانطور که قبلاً اشاره شده است، اکتشاف سیستماتیک ناحیه‌ای بر اساس تلفیق و مدل‌سازی داده‌های مختلف مانند زمین‌شناسی، ژئوشیمیایی، ماهواره‌ای، ژئوفیزیک هوایی و نشانه‌های معدنی شناخته شده در زون اکتشافی، ما را در دستیابی به نقاط مستعد معدنی راهنمایی می‌کند. آشنایی به متالورژی منطقه و تیپ‌های کانی‌سازی، ما را در ترکیب کردن داده‌ها و پیش‌بینی اولویت‌های مختلف کانی‌سازی کمک می‌کند.

در واقع هدف از تلفیق لایه‌های اطلاعاتی مختلف، دستیابی به نقشه جدیدی است که در آن مناطق مستعد جهت پی‌جویی نهشته‌های مس - طلای رگه‌ای معرفی گردند. لذا جهت تلفیق لایه‌های اطلاعاتی موجود و با توجه به مدل اکتشافی مورد نظر، از روش شاخص همپوشانی برای مدل‌سازی استفاده شده است، که این مدل از دو روش برای مدل‌سازی استفاده می‌کند.

در روش اول که به نام نقشه‌های شاهد دوتایی<sup>۱</sup> معروف است، شواهد مورد نظر یکسری نقشه‌های دوتایی هستند که هر کدام با وزن بخصوص در قالب رابطه (۵-۱) با هم ترکیب می‌شوند.

$$\bar{S} = \frac{\sum_{i=1}^n W_i \text{class}(map_i)}{\sum_{i=1}^n W_i} \quad (1-5)$$

در این فرمول  $W_i$  عبارت است از وزن نقشه  $i$  ام و کلاس‌های نقشه  $i$  یا یک هستند یا صفر و خروجی نقشه عددی بین صفر تا یک است.

در روش دوم که به نام نقشه‌های چند کلاسه<sup>۲</sup> معروف است، هر نقشه دارای کلاس‌های مختلفی است که ارزش‌های گوناگونی دارند و ارزش نهایی لایه‌ها در قالب فرمول (۵-۲) محاسبه می‌شود.

۱- Binary evidence maps

۲- Multi-class maps

فصل پنجم.....تهیه نقشه پتانسیل دار معدنی با استفاده از روش شاخص همپوشانی

$$\bar{S} = \frac{\sum_{i=1}^n S_{ij} W_i}{\sum_{i=1}^n W_i} \quad (2-5)$$

در رابطه فوق  $\bar{S}$  وزن داده شده به نقشه نهایی مورد نظر می‌باشد.  $S_{ij}$  ارزش کلاس  $i$  از نقشه  $j$  می‌باشد. در این پایان‌نامه از روش دوم جهت تلفیق لایه‌ها استفاده گردیده است.

### ۵-۵- ارزش‌دهی و تلفیق لایه‌های اطلاعاتی

با دادن ارزش‌های متفاوت  $W_i$  به هر یک از لایه‌های اکتشافی ذکر شده، چندین مدل مختلف بر اساس مدل اکتشافی و مبتنی بر نظر کارشناسی ساخته شد و در نهایت نقشه پتانسیل معدنی بر اساس تلفیق آنها بدست آمد. وزن‌های  $W_i$  برای لایه‌های مختلف در جدول (۴-۵) نشان داده شده است.

جدول (۴-۵): جدول وزن داده شده برای لایه‌های مختلف

ارزش داده شده	لایه اطلاعاتی
۹	ساختار
۷	ژئوشیمی
۳	لیتولوژی
۲	کانی سنگین
۱	آلتراسیون و ژئوفیزیک

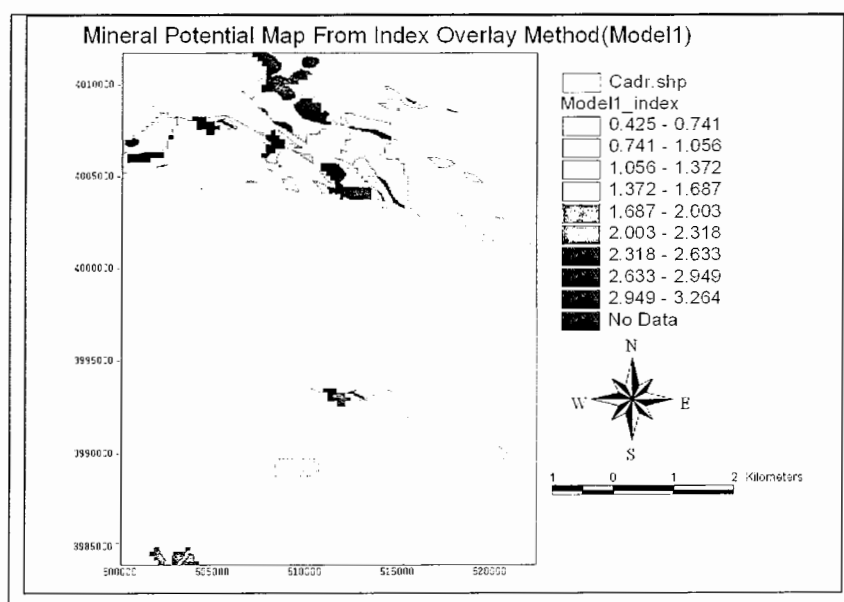
اگر لایه ژئوشیمی را با حرف C، لایه ساختارها (گسل‌ها) را با F، لایه نشانگر لیتولوژی را با H، لایه شاهد کانی سنگین را با M، لایه شاهد آلتراسیون دورسنجی و ژئوفیزیک را با A نشان دهیم، در این صورت مدل‌های ساخته شده برای این روش به صورت زیر است.

$$\text{مدل ۱} \quad (7 * C + 9 * F + 3 * H + 2 * M + 1 * A) / 22$$

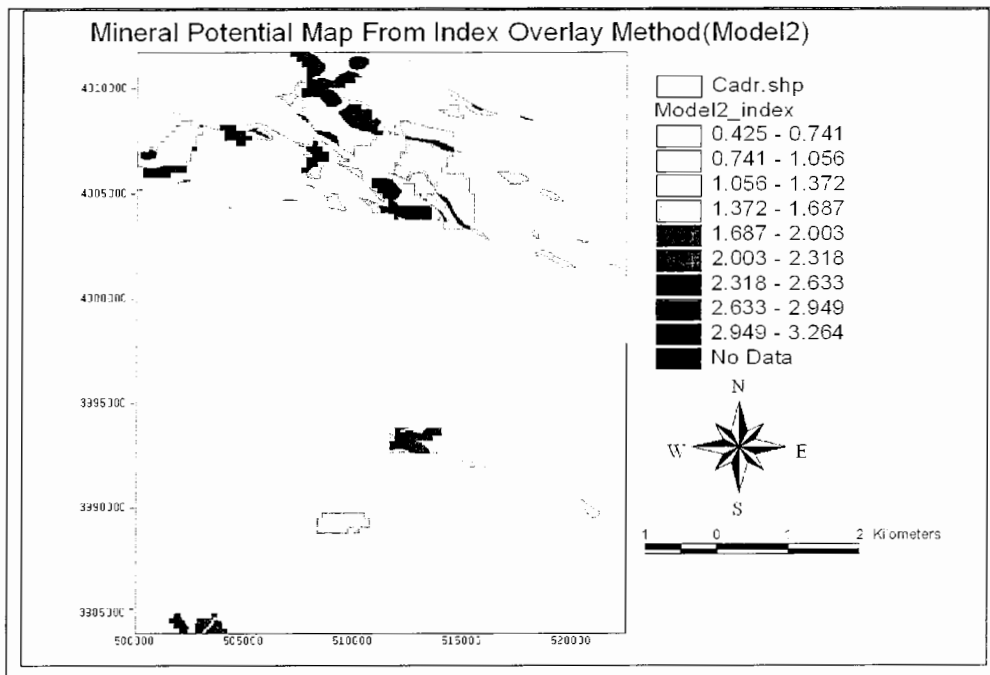
$$\text{مدل ۲} \quad (6.25 * C + 9.25 * F + 2.75 * H + 2.25 * M + 1.25 * A) / 21.75$$

$(7.25 * C + 9.5 * F + 2.5 * H + 2.5 * M + 1.5 * A) / 23.25$	مدل ۳
$(7.5 * C + 8 * F + 2.25 * H + 2.75 * M + 0.25 * A) / 20.75$	مدل ۴
$(6.75 * C + 8.25 * F + 3.5 * H + 1.25 * M + 0.5 * A) / 20.25$	مدل ۵
$(6.5 * C + 8.75 * F + 4 * H + 1.75 * M + 0.75 * A) / 21.75$	مدل ۶

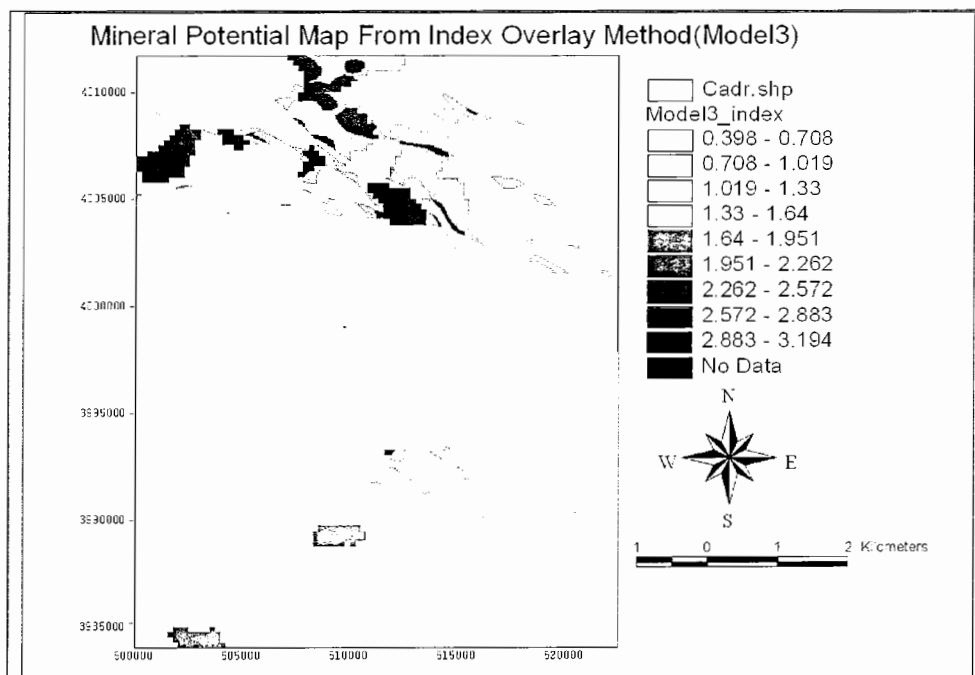
مدل ۱ در واقع ترکیب لایه‌های اطلاعاتی بر اساس جدول (۴-۵) است. برای اینکه نقشه نهایی پتانسیل معدنی از دقت بیشتری برخوردار گردد، وزن‌های لایه‌ها مطابق با مدل‌های ۲ تا ۶ تغییر داده شده است. نقشه‌های بدست آمده از مناطق پتانسیل دار معدنی و بر اساس مدل‌های بالا به ترتیب در شکل‌های (۵-۱۵) تا (۵-۲۰) نشان داده شده است که ارزش وزنی مناطق در سمت راست نقشه و در قسمت راهنما از صفر تا ۱۰ مشخص گردیده است. در نهایت با استفاده از انطباق لایه‌های مختلف بر اساس ارزش‌های یاد شده، منجر به نقشه‌ای گردید که بر اساس میزان انطباق و همراهی داده‌های مختلف، اولویت‌های چندگانه اکتشافی در آن مشخص گردید. در نهایت با تلفیق این نقشه‌ها با روش همپوشانی ساده نقشه (۵-۲۱) بدست آمده است که در آن مناطق مستعد کانی‌زایی مشخص شده‌اند.



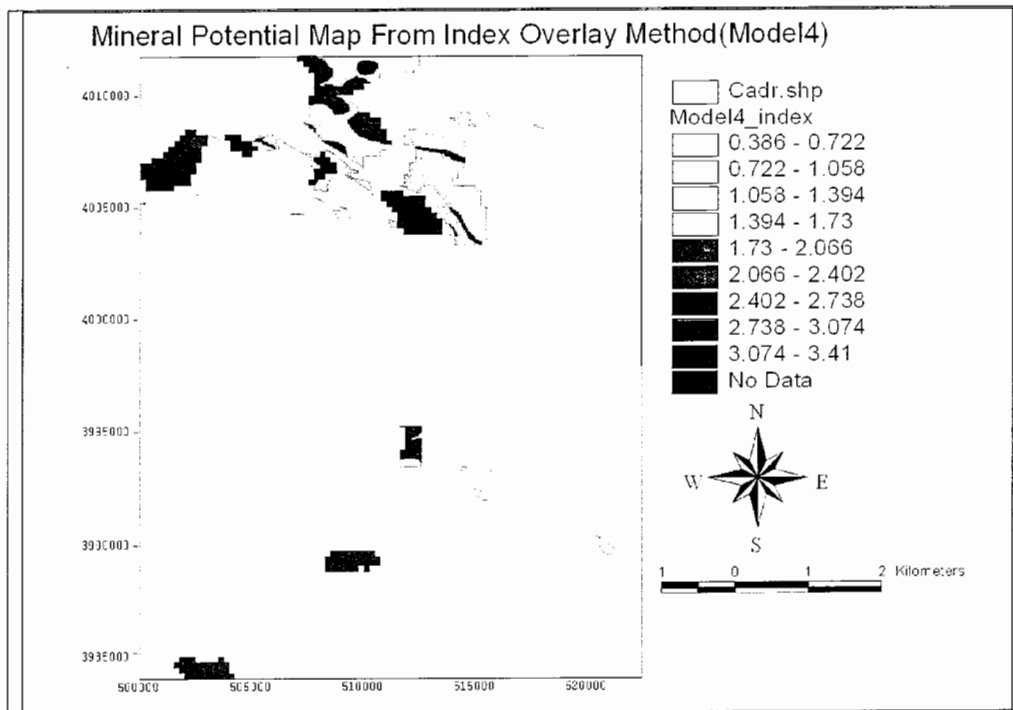
شکل (۵-۱۵): نقشه پتانسیل دار معدنی بدست آمده از روش شاخص همپوشانی (مدل ۱)



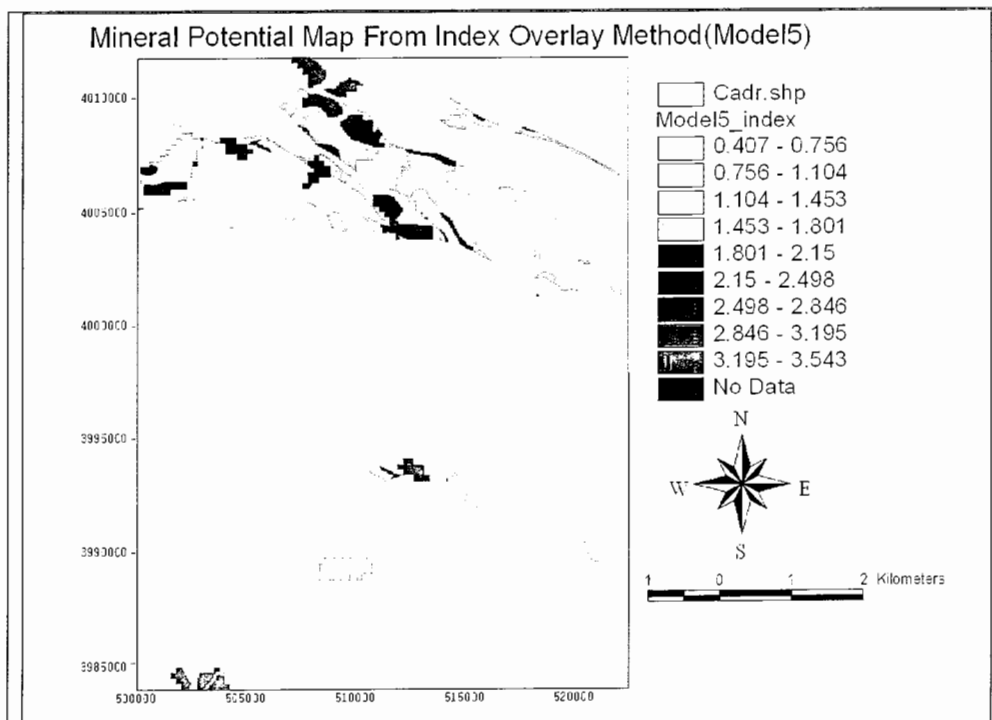
شکل (۵-۱۶): نقشه پتانسیل دار معدنی بدست آمده از روش شاخص همپوشانی (مدل ۲)



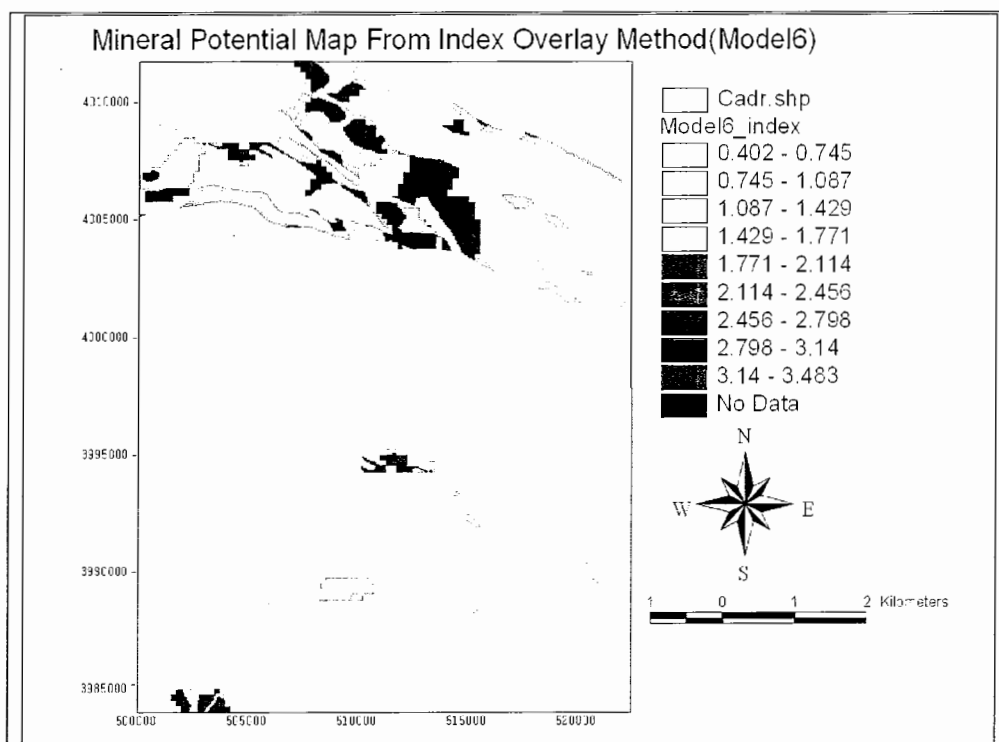
شکل (۵-۱۷): نقشه پتانسیل دار معدنی بدست آمده از روش شاخص همپوشانی (مدل ۳)



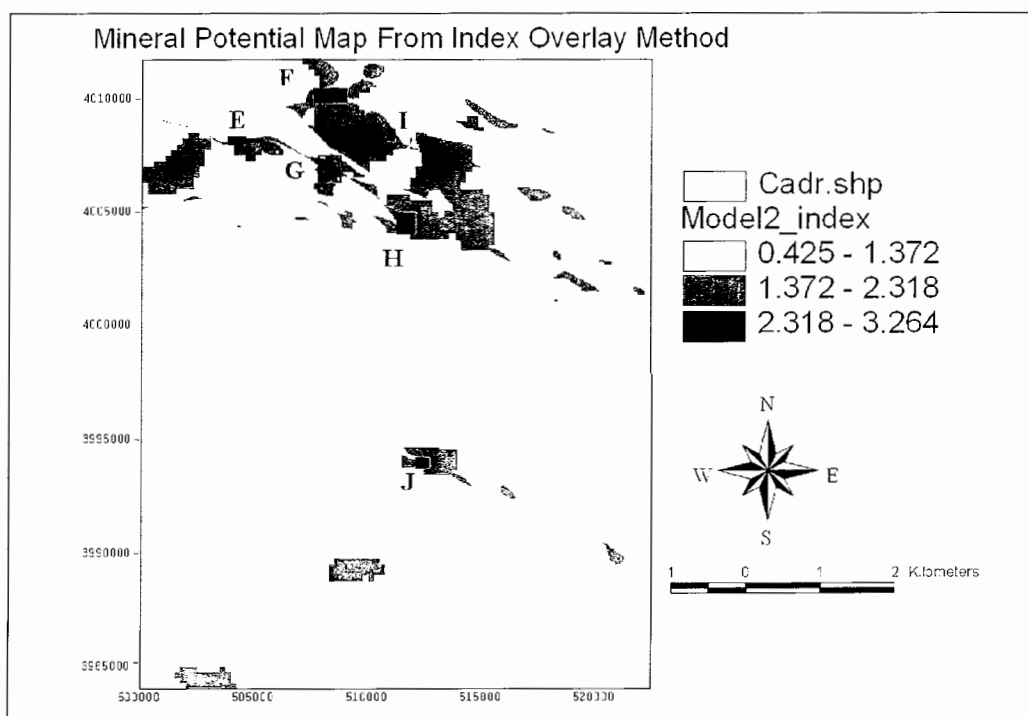
شکل (۵-۱۸): نقشه پتانسیل دار معدنی بدست آمده از روش شاخص همپوشانی (مدل ۴)



شکل (۵-۱۹): نقشه پتانسیل دار معدنی بدست آمده از روش شاخص همپوشانی (مدل ۵)



شکل (۵-۲۰): نقشه پتانسیل دار معدنی بدست آمده از روش شاخص همپوشانی (مدل ۶)



شکل (۵-۲۱): نقشه نهایی پتانسیل معدنی بدست آمده از روش شاخص همپوشانی

## فصل پنجم.....تهیه نقشه پتانسیل دار معدنی با استفاده از روش شاخص همپوشانی

همانطور که در شکل (۵-۲۱) مشاهده می‌شود می‌توان مناطق امیدبخش را که دارای بیشترین ارزش یا وزن می‌باشند، مشخص کرد. این مناطق با حروف E، F، G، H، I و J در روی نقشه مشخص شده است که دارای احتمال کانی‌زایی ۲۳ تا ۳۲ درصد می‌باشد. لازم به توضیح است که نقشه ترکیبی حاصل از روش شاخص همپوشانی دارای امتیازی بین صفر تا ۱۰ می‌باشد. مناطق مذکور دارای درصد احتمال کانی‌زایی تیپ مس - طلای رگه‌ای بیشتری بوده و از اولویت اکتشافی بالاتری برخوردار است و بایستی کارهای اکتشافی بیشتری در آنها صورت گیرد.

مناطق امیدبخش بدست‌آمده از این روش در مجموع حدود ۳۱۰ هزار متر مربع است که ۱ درصد از کل منطقه مورد مطالعه را شامل می‌شود.

پس از بررسی‌های انجام شده در مناطق امیدبخش معرفی شده و انطباق این مناطق با داده‌های موجود و مدل کانسار اکتشافی مورد نظر، به ترتیب مناطق H و G به عنوان اولویت اول اکتشافی برای کارهای اکتشافی تفضیلی در منطقه مورد مطالعه معرفی گردید. مناطق دیگر به عنوان اولویت دوم اکتشافی به ترتیب شامل مناطق E، F، I و J است.



## فصل ششم

معرفی نواحی امیدبخش معدنی

#### ۶-۱- مقدمه

در این فصل نتایج حاصل از مدل‌سازی‌های دو روش متکی بر دانش کارشناسی (مدل شاخص همپوشانی) و روش متکی بر داده (روش شواهد وزنی) برای تهیه نقشه پتانسیل معدنی برای کانی‌زایی مس - طلای رگه‌ای با یکدیگر مورد مقایسه قرار گرفت.

#### ۶-۲- معرفی نواحی امیدبخش معدنی

مطابق با شکل (۴-۱۶) چهار منطقه امید بخش برای روش شواهد وزنی به نام‌های A, B, C و D و برای روش شاخص همپوشانی هم مطابق با شکل (۵-۲۱) مناطق آنومالی به نام‌های E, F, G, H, I و J برای اکتشاف تفصیلی مشخص گردید. همانطور که از دو شکل مشخص است، آنومالی H در روش شاخص همپوشانی، بخشی از آنومالی D در روش شواهد وزنی است. به همین ترتیب بخش آنومالی G از روش شاخص همپوشانی دقیقاً با بخش آنومالی C از روش شواهد وزنی مطابقت دارد. همچنین بخش E معرفی شده از روش شاخص همپوشانی با بخش B روش شواهد وزنی همخوانی کامل دارد.

با ملاحظه نقشه‌های حاصل از دو روش مدل‌سازی شاخص همپوشانی و شواهد وزنی، مشاهده می‌شود که نتایج حاصل از دو روش مدل‌سازی بسیار نزدیک می‌باشند، به نحوی که ۳ محدوده از دو روش کاملاً با هم همخوانی دارد. این مساله با توجه به متفاوت بودن اساس دو روش فوق‌الذکر، نشان‌دهنده صحت نسبی مدل‌سازی‌های انجام شده است.

### ۶-۲-۱- ناحیه امیدبخش اطراف روستای دهدر (نواحی B و E)

این ناحیه هم در روش شواهد وزنی (ناحیه B) و هم در روش شاخص همپوشانی (ناحیه E) بد عنوان نقطه امیدبخش معرفی شده است. در این منطقه کارهای اکتشاف تفضیلی توسط سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور در حال انجام است، که می‌تواند دلیلی بر صحت مدل‌سازی‌های انجام شده از این پایان‌نامه باشد. لیتولوژی این ناحیه به طور عمده عبارت است از سیلت‌سنگ، مارن، ماسه‌سنگ، کنگلومرا، سنگ‌آهک، سنگ‌های آتشفشانی و آذرآواری‌ها اغلب شامل تراکی‌اندزیت، تراکی‌بازالت، آندزیت، توف و پیروکلاستیک‌های ائوسن می‌باشد. بر اساس نتایج اولیه کارهای در حال انجام در این منطقه نتایج زیر حاصل شده است:

- با توجه به نمونه‌های سیلت برداشت شده از این محدوده، عناصر Cr، Co و Cu در این محدوده آنومال بودند.

- نمونه‌های سنگ برداشت شده از این محدوده نیز ناهنجاری‌هایی را برای عناصر مس و طلا (۰/۵ گرم در تن) از خود نشان داده‌اند.

- نمونه‌های برداشت شده کانی‌سنگین این منطقه نیز کانی‌های گالن، مالاکیت و شیلت را نشان داده است.

### ۶-۲-۲- ناحیه امیدبخش اطراف روستای گراب (نواحی D و H)

این ناحیه هم در روش شواهد وزنی (ناحیه D) و هم در روش شاخص همپوشانی (ناحیه H) به عنوان نقطه امیدبخش معرفی شده است. لیتولوژی این ناحیه به طور عمده عبارت است از شیل‌ها و توف‌های متعلق به سازند کرج، کنگلومرا، ماسه‌سنگ، سنگ‌های آهکی، سنگ‌های آواری قرمز و کنگلومرا و ماسه‌سنگ‌های پلیوسن - کواترنری.

### ۶-۲-۳- ناحیه امیدبخش اطراف روستای گرم در (نواحی C و G)

این ناحیه هم در روش شواهد وزنی (ناحیه C) و هم در روش شاخص همپوشانی (ناحیه G) به عنوان نقطه امیدبخش معرفی شده است. لیتولوژی این ناحیه به طور عمده عبارت است از سیلت سنگ، مارن، ماسه سنگ، کنگلومرا، سنگ‌های آهکی متعلق به واحدهای الیگومیوسن، سنگ‌های آواری قرمز رنگ متعلق به سازند قرمز بالایی و کنگلومرا و ماسه سنگ‌های پلیوسن - کواترنری.

### ۶-۲-۴- ناحیه امیدبخش اطراف کوه زنجیربند (نواحی I و F)

این نواحی در روش شاخص همپوشانی (ناحیه I و F) به عنوان نقطه امیدبخش معرفی شده است. لیتولوژی این ناحیه به طور عمده عبارت است از سنگ‌های آتشفشانی و آذرآواری اغلب شامل تراکی آندزیت، تراکی بازالت، بازانیت، آندزیت، آگلومرا، توف و پیروکلاستیک‌های ائوسن.

### ۶-۲-۵- ناحیه امیدبخش اطراف روستای کلها (ناحیه J)

این ناحیه در روش شاخص همپوشانی (ناحیه J) به عنوان نقطه امیدبخش معرفی شده است. در این بخش هم کارهای اکتشاف تفضیلی توسط سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی در حال انجام است. لیتولوژی عمده منطقه شامل سنگ‌های رسوبی و دگرگون شده سازند کهر به سن پالئوزوییک می‌باشد که دارای رگه‌ها و لایه‌های فراوانی از سیلیس (کوارتز) می‌باشد، که قسمت‌هایی از این رگه‌ها و لایه‌ها واجد ذرات و دانه‌های سولفیدی می‌باشد. بر اساس نتایج اولیه کارهای در حال انجام در این منطقه نتایج زیر حاصل شده است:

- مقادیر عناصر طلا در نمونه‌های برداشت شده تا ۴/۹ گرم بر تن بالغ می‌گردد.

- با وجود آنومالی‌های نمونه‌های سیلت (Au, Bi, As, Co) و حضور واحدهای دگرگونی و

همچنین وجود گسل‌های تراستی در این محدوده، اولویت کانی‌زایی طلای در ارتباط با زون‌های دگرگونی مشخص شده است.

- با توجه به وجود رگه‌های کوارتزی حاوی پیریت، کالکوپیریت، مالاکیت و آزوریت به مقدار کم و به صورت پرشدگی درون درزه‌ها و رگچه‌ها و نیز مقادیر امیدبخش برای طلای در رگه‌های کوارتزی که احتمالاً درون ساختار مس می‌باشد.

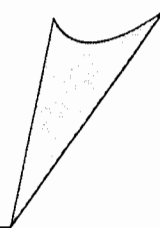
#### ۶-۲-۶- ناحیه امیدبخش اطراف روستای ناریان (ناحیه A)

این نواحی در روش شواهد وزنی (ناحیه A) به عنوان نقطه امیدبخش معرفی شده است. لیتولوژی این ناحیه به طور عمده عبارت است از سنگ‌های آتشفشانی و آذرآواری اغلب شامل تراکی‌اندزیت، تراکی‌بازالت، بازانیت، آندزیت، آگلومرا، توف و پیروکلاستیک‌های ائوسن، سیلت‌سنگ، مارن، ماسه‌سنگ، کنگلومرا، سنگ‌های آهکی متعلق به واحدهای الیگومیوسن، سنگ‌های آواری قرمز رنگ متعلق به سازند قرمز بالایی و کنگلومرا و ماسه‌سنگ‌های پلیوسن - کواترنری.

طبق بررسی‌های به عمل آمده از مناطق امیدبخش معدنی بدست آمده از این پایان‌نامه و با همکاری کارشناسان سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، مشخص شد که در حال حاضر در دو منطقه از مناطق امیدبخش (E و J) کارهای اکتشاف تفصیلی در حال انجام است. نتایج اکتشاف تفصیلی در این مناطق به صورت گزارش تاکنون منتشر نشده است ولی با بررسی نتایج اولیه بدست آمده با همکاری کارشناسان سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، کانی‌زایی تیپ رگه‌ای مشاهده شده است که صحت مدل‌سازی‌های انجام شده توسط این پایان‌نامه را تایید می‌کند.

## فصل هفتم

### نتیجه‌گیری و پیشنهادات



## ۷-۱- نتیجه‌گیری

در محدوده مورد مطالعه ارزیابی استعدادهای کانی‌سازی منطقه و یافتن محدوده‌های مستعد کانی‌سازی بر مبنای استفاده همه جانبه از داده‌های علوم زمین‌شناسی و اطلاعات اکتشافی با بهره‌گیری از فن‌آوری‌های نوین و تلفیق آنها بر پایه مدل اکتشافی و روش متکی بر دانش کارشناسی (مدل شاخص همپوشانی) و روش متکی بر داده (روش شواهد وزنی) در سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) صورت گرفته و نهایتاً نقشه معرفی محدوده‌های مستعد کانی‌سازی با استفاده از دو روش مدل‌سازی ایجاد گردیده است. شواهد وزنی یک روش کمی است که شامل فرمول‌های خطی - لگاریتمی قوانین احتمالات بیز<sup>۱</sup> می‌باشد، با این فرض که الگوهای نقشه ترکیبی مستقل از هم باشند. در کاربردهای اکتشافی مواد معدنی یک سری از نقشه‌ها یا لایه‌های شاهد که از مجموعه داده‌های ژئوشیمی، ژئوفیزیک و زمین‌شناسی بدست آمده‌اند، برای تهیه نقشه امیدبخش معدنی استفاده می‌شود.

در مدل شاخص همپوشانی به هر لایه یا نقشه شاهد براساس مدل اکتشافی وزن‌های متفاوتی اختصاص داده می‌شود. این وزن‌ها می‌توانند به صورت آماری و بر اساس تعداد رخنمون‌های ماده معدنی و ارتباط آنها با عناصر و یا لایه‌های خاص روی یک نقشه انتخاب شوند یا در غیر این صورت وزن‌ها می‌توانند بر اساس درجه اهمیت لایه‌ها در نقشه‌های شاهد ورودی و بر اساس نظر کارشناسی انتخاب شوند.

پس از پردازش لایه‌های اکتشافی موجود در منطقه و مدل‌سازی آنها در محیط GIS با دو روش شواهد وزنی و شاخص همپوشانی، مناطق آنومالی معدنی برای تیپ کانی‌زایی مس - طلائی رگه‌ای،

---

1- Log-linear formulation of Bayes Rule of Probability

## فصل هفتم.....نتیجه‌گیری و پیشنهادات

مشخص گردید. چهار منطقه امیدبخش برای روش شواهد وزنی به نام‌های A, B, C و D و برای روش شاخص همپوشانی هم مناطق آنومالی به نام‌های E, F, G, H, I و J برای کارهای تفضیلی بیشتر مشخص گردید. که از میان این محدوده‌ها سه محدوده امیدبخش از روش شاخص همپوشانی دقیقاً با محدوده‌های پتانسیل‌دار روش شواهد وزنی همخوانی و مطابقت کامل دارد.

با ملاحظه نقشه‌های حاصل از دو روش مدل‌سازی شاخص همپوشانی و شواهد وزنی، مشاهده می‌شود که نتایج حاصل از دو روش مدل‌سازی بسیار نزدیک می‌باشند. این مساله با توجه به متفاوت بودن اساس دو روش فوق‌الذکر، نشان‌دهنده صحت نسبی مدل‌سازی‌های انجام شده است.

نواحی امیدبخش معدنی بدست‌آمده از این مطالعه، در دو منطقه با کارهای اکتشاف تفضیلی در حال انجام توسط سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، همخوانی دارد و می‌تواند دلیلی بر صحت مدل‌سازی‌های انجام شده از این پایان‌نامه باشد. بر اساس نتایج اولیه بدست آمده از اکتشاف تفضیلی در دو منطقه ذکر شده، کانی‌زایی تیپ رگه‌ای (مس و طلای رگه‌ای) مشاهده شده است که صحت مدل‌سازی انجام شده توسط دو روش را کاملاً تایید می‌کند.

### ۲-۷- پیشنهادات

براساس نتایج پژوهش انجام شده در این پایان‌نامه، پیشنهادات زیر به طور خلاصه ارائه می‌گردد:

۱- با توجه به مناطق آنومالی بدست آمده در این مطالعه، پیشنهاد می‌گردد که برای انجام مطالعات اکتشافی مراحل تفضیلی و نیمه‌تفضیلی، برداشت‌های زمین‌شناسی در مقیاس‌های ۱:۱۰۰۰، ۱:۵۰۰ انجام شود.

۲- پیشنهاد می‌گردد مطالعات کامل ژئوشیمیایی از قبیل برداشت نمونه‌های خاک، سیلت و کانی‌سنگین با شبکه نمونه برداری مترکم‌تر در محدوده مورد مطالعه صورت پذیرد.

۳- از روش‌های مختلف ژئوفیزیکی از قبیل روش‌های مغناطیسی زمینی، ژئوالکتریک و مغناطیس‌هواایی با فاصله خطوط پرواز حداکثر ۵۰۰ متر در مناطق امیدبخش معرفی شده، استفاده گردد.



## فصل هفتم.....نتیجه‌گیری و پیشنهادات

۴- پیشنهاد می‌گردد بعد از انجام مطالعات کامل ژئوشیمیایی (برداشت نمونه‌های خاک، سیلت و کانی‌سنگین با شبکه نمونه برداری مترکم‌تر) و ژئوفیزیکی (بکار بردن روش‌های مغناطیسی زمینی، ژئوالکتریک و...)، تلفیق لایه‌ها با انواع روش‌های مدل‌سازی GIS برای تهیه نقشه امیدبخش معدنی صورت گیرد.

# منابع و مراجع

## منابع و مراجع

### الف) منابع و مراجع فارسی

- [۱]- "اطلس راههای ایران"، ۱۳۸۰، موسسه جغرافیایی، کارتوگرافی و گیتاشناسی
- [۲]- جهانی، ع. و مسگری، س. " GIS (جی آی اس) به زبان ساده " سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح، چاپ اول، ۱۳۸۰.
- [۳]- حسنی پاک، ع.ا. و شجاعت، ب.، ۱۳۷۹، "مدل سازی کانسارهای فلزی - غیرفلزی و کاربرد اکتشافی آن"، چاپ اول، انتشارات دانشگاه تهران.
- [۴]- "گزارش اکتشافات ژئوشیمیایی سیستماتیک ناحیه‌ای و رسوبات آبراهه‌ای در محدوده ۱:۱۰۰۰۰۰ مرزن آباد"، ۱۳۸۰، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- [۵]- "گزارش ژئوفیزیک هوایی با استفاده از مغناطیس‌سنجی در برکه ۱:۱۰۰۰۰۰ مرزن آباد"، ۱۳۸۰، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- [۶]- "گزارش اکتشافی زون چالوس - گرگان"، ۱۳۸۱، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- [۷]- مسگری‌وش، ع.، ۱۳۸۴، "تلفیق داده‌های اکتشافی منطقه خان‌کندی - اینچه آذربایجان شرقی با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) جهت شناسایی مناطق امیدبخش معدنی"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد رشته اکتشاف معدن، دانشکده معدن و ژئوفیزیک، دانشگاه صنعتی شاهرود.
- [۸]- وحدتی دانشمند، ف.، ۱۳۷۹، "شرح نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ مرزن آباد"، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- [۹]- یوسفی، م. و خالوکائی، ر.، ۱۳۸۵، "کاربرد کامپیوتر در معدن (اکتشاف، استخراج، زمین‌شناسی و نقشه برداری)"، انتشارات جهاد دانشگاهی صنعتی امیرکبیر، ۲۸۷ صفحه.

### ب) منابع و مراجع لاتین

- [۱]- Agterberg, F.P. and Cheng, Q., 2002, "Conditional Independence Test for Weights-of-Evidence Modeling", Natural Resources Research, Vol. 11, No. 4: 249-255.
- [۲]- Agterberg, F. P., 1992, "Estimating the probability of occurrence of mineral deposits from multiple map patterns", in Merriam, D. F. and Kurzl, H., eds., In the Use of Microcomputers in Geology: Plenum Press, New York, p.p. 73-92.
- [۳]- An, P., Moon, W. M., and Bonham-Carter, G. F., 1992, "On a knowledge-based approach of integrating remote sensing, geophysical and geological information", Proc. IGARSS'92 (Houston, Texas), p.p. 34-38.

- [٤]- An, P., Moon, W. M., and Rencz, A. N., 1991, "**Application of fuzzy theory for integration of geological, geophysical and remotely sensed data**", Can. Jour. Exploration Geophysics, v. 27, No. 1, p.p 1–11.
- [٥]- Bonham-Carter, G. F., 1994, "**Geographic Information System for geoscientists: Modelling with GIS**", Pergamon, Oxford, 398 p.
- [٦]- Bonham-Carter, G. F., Agterberg, F. P., and Wright D. F., 1988, "**Integration of geological Datasets for gold exploration in Nova Scotia: Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**", v. 54, No. 77, p.p. 1585–1592.
- [٧]- Brown, W. M., Gedeon, T. D., Groves, D. I., and Barnes, R. G., 2000, "**Artificial neural networks: a new method for mineral prospectivity mapping**", Aust. Jour. Earth Sciences, v. 47, No. 4, p.p. 757–770.
- [٨]- Chung, C. F., and Agterberg, F. P., 1980, "**Regression models for estimating mineral resources from geological map data**", Math. Geology, v. 12, No. 5, p.p. 473–488.
- [٩]- Carranza ,E.J.M.. and Hale, M., 2000, "**Geologically-constrained probabilistic mapping of gold potential, Baguio district, Phillipines**", Natural Resource Research, V9, No 3:p.p. 237-253.
- [١٠]- Duda, R. O., Hart, P. E., Nilsson, N. J., and Sutherland, G. L., 1978, "**Semantic network representations in rule-based inference systems**", in Waterman, D. A., and Hayes-Roth, F., eds., Pattern-Directed Inference Systems: Academic Press, London and New York, p.p. 203–221.
- [١١]- Edwards, R., and Atkinson, K., 1986, "**Ore Deposit Geology**", Chapman and Hall Pub, 466p.
- [١٢]- Franca-Roca, W., Bonham-Carter, G. F., and Misi, A., 2003, "**GIS modeling for mineral potential mapping of carbonate-hosted Pb-Zn deposits**", Revista Brasileira de Geociencias, Vol. 33, p.191-196.
- [١٣]- Harris, J. R., Wilkinson, L., Heather, K., Fumerton, S., Bernier, M. A., Ayer, J., "**Application of GIS Processing Techniques for Producing Mineral Prospectivity Maps – A Case Study: Mesothermal Au in the Swayze Greenstone Belt, Ontario, Canada** ", 2001, Natural Resources Research, Vol. 10, No.2.
- [١٤]- Harris D. A., and Pan, R., 1999, "**Mineral favourability mapping: acomparison of artificial networks, logistic regression and discriminant analysis**", Natural Resources Research, v. 8, No. 2, p.p. 93–109.
- [١٥]- 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.p. 233–249.
- [١٦]- Harris, J. R., Wilkinson, L., and Broome, J., 1995, "**Mineral exploration using GIS-based favourability analysis, Swayze Greenstone Belt, northern Ontario:**", Proc. Can. Geomatics Conf. (CD-ROM), National Defense.
- [١٧]- Hodgson, C.J., 1990, "**Uses (and abuses) of ore deposit models in mineral exploration: Geoscience Canada**, v.17(2), p.p.79-89

- [١٨]- Kemp, L., Bonham-carter, G. F., and Raines, G. L., 1999, "**Arc-WofE: Arcview extention for weights of evidence mapping**": <http://gis.nrcan.gc.ca/software/arcview/wofe>
- [١٩]- Kemp, L., Bonham-carter, G. F., Raines, G. L., and Looney, C. G., 2001, "**Arc-SDM: Arcview extention for spatial data modeling using weights of evidence, Logistic regression, fuzzy logic and neural network analysis**": <http://ntserv.gis.nrcan.gc.ca/sdm>.
- [٢٠]- Mukhopadhyay, Basab., Hazra, Niladri., Das, Swapan Kumar., and Sengupta, Sujit Ranjan., 2002, "**Mineral potential map by a knowledge driven GIS modeling : an example from Singhbhum copper belt**", Jharkhand, Proceedings of 5th annual international conference Map India 2002, New Delhi :p.p. 405-411.
- [٢١]- Moon, W. M., 1990, "**Integration of geophysical and geological data using evidential belief function**", IEEE Trans., Geoscience and Remote Sensing, v. 28, p.p. 711-720.
- [٢٢]- Reddy, R. K. T., and Bonham-Carter, G. F., 1991, "**A decision-tree approach to mineral potential mapping in Snow Lake area**", Manitoba: Can. Jour. Remote Sensing, v. 17, No. 2, p.p. 191-200.
- [٢٣]- Rencz, A. N., Harris, J. R., Watson G. P., and Murphy, B., 1994, "**Data integration for mineral exploration in the Antigonish Highlands, Nova Scotia**", Can. Jour. Remote Sensing, v. 20, no. 3, p. 258-267.
- [٢٤]- Singer, D. A., and Kouda R., 1999, "**A comparison of the weights-of-evidence method and probabilistic neural networks**", Natural Resources Research, v. 8, no. 4, p.p. 287-298.
- [٢٥]- Wright, D. F., and Bonham-Carter, G. F., 1996, "**VHMS favourability mapping with GIS-based integration models, Chisel Lake-Anderson Lake Area**", in Bonham-Carter, G. F., Galley, A. G., and Hall, G. E. M., eds., EXTECH I: A Multidisciplinary Approach to Massive Sulphide Research in the Rusty Lake-Snow Lake Greenstone Belts, Manitoba: Geol. Survey Canada Bull. 426, p.p. 339-376, 387-401.
- [٢٦]- Wilkinson, L., Harris, J. R., and Kjarsgaard, B., 1999, "**Searching for kimberlite: preliminary exploration model for the Lacde Gras area**", NWT: 13th International Conf. Applied Geologic Remote Sensing (Vancouver, British Columbia, Canada), p.p. 263-270.

**Abstract:**

Today Geographic Information System (GIS) applied in all of the science. One of the major strengths of a GIS is the ability to integrate and combine multiple layers of lithology, structure, geophysical and geochemical characteristic to delineate mineral prospectivity maps.

The aim of this study is to prepare of mineral potential mapping for mineral potential for polymetal ore vein in felsic intrusive body in the south-west of Marzanabad 1:100000 sheet with the use of Geographic Information System. After collecting required exploration data and define correct exploration model for this mineralization in this area, exploration layer (mineral occurrence information as well as geological map, remote sensing alteration, geochemical and air magnetic (airborne) geophysical), base on effective parameter in this mineralization digitized and proceed in GIS environment. Then for integration and exploration modeling used Index Overlay method (knowledge-driven techniques) and Weight of Evidence method (data-driven techniques). Finally, six mineral potential districts for Index Overlay method and four mineral potential districts for Weight of Evidence method were introduced for detail exploration studies. Acquired result of two methods is confirmed together such as three district completely confirmed together although two method is based on different way. For confirmed acquired result of this modeling, was manipulated visiting and checking for introduced district by Geological Survey of Iran and finally this result confirmed completely together such as there was this mineralization in twointroduced area.