

صلى الله عليه وسلم



دانشگاه صنعتی شاهرود

دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک

گروه اکتشاف، نفت و ژئوفیزیک

تعیین مدل اکتشافی ذخیره و لایه‌های در برگیرنده آن با استفاده از تلفیق نتایج دورسنجی،

زمین‌شناسی، ژئوفیزیک و حفاری در یکی از ذخایر بوکسیت جاجرم

دانشجو: کیانوش سلیمانی

اساتید راهنما:

دکتر علیرضا عرب امیری

دکتر ابوالقاسم کامکار روحانی

مشاور:

دکتر مهیار یوسفی

پایان نامه ارشد جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

شهریور ۱۳۹۲



تقدیم بہ

# پدر و مادر عزیزم

اگرچہ قابل تقدیم نیست...

هر آنکه خلق را پاس نکرد بی شک رب یگانه را شکر به جای نیاورده است  
خالق یگانه را پاسگذارم که مریاری نمود تا تحقیق حاضر را به سرانجام برسانم. بی شک حیات حق تعالی بود که مهر دوستان را به سوی بنده  
حقیر معطوف داشت. بنابراین به رسم من لم یسکر المخلوق، لم یسکر الخالق؛ بر خود بیایسته دانسته تا از مهربانی های یاری دهندگان در انجام  
این پژوهش، تقدیر و شکر شایسته را صمیمانه ابراز دارم. بنابراین، در ابتدا از اساتید محترم جناب آقایان دکتر عرب امیری و دکتر کامکار  
روحانی که بعنوان اساتید راهنمای این پایان نامه با پیشنهادات سازنده در ارائه هر چه بهترین تحقیق نقش داشته اند، شکر می نمایم. از جناب  
آقای دکتر مہیار یوسفی که در انجام این تحقیق مریاری نمودند کمال شکر را دارم. همچنین از اساتید محترم جناب آقای دکتر آقاجانی و  
سرکار خانم دکتر ابراهیمی که زحمت داوری این پایان نامه را بر عهده گرفته اند کمال شکر و قدردانی را دارم. از دوستان بزرگوارم آقایان  
محمود شمس الدینی، فرج اله مومنی، ابوالفضل اسدیان و سجاد تقی زاده که همواره بنده را مورد لطف خود قرار دادند پاسگذارم. از پرسنل  
محترم معدن بوکیت جابرم. بخصوص آقایان مهندس یوسف خانی و مهندس جعفر زاده کمال شکر و قدردانی بعمل می آید. از زحمات  
بی دریغ دوست عزیز و سرپرست آزمایشگاه ژئوفزیک، آقای مهندس زارعی، قدردانی می نمایم. و در پایان لازم می دانم از همه دوستان  
و عزیزانی که در به اتمام رساندن این تحقیق یاری ام نموده اند مراتب پاسگذاری خود را ابراز نمایم.

## چکیده

تلفیق اطلاعات اکتشافی متنوع (زمین‌شناسی، دورسنجی، ژئوفیزیک، ژئوشیمی، حفاری و غیره) در شناسایی دقیق‌تر ذخایر معدنی مسئله مهمی می‌باشد. هدف از این تحقیق، پردازش و تفسیر داده‌های زمین‌شناسی، سنجش از دور، ژئوفیزیک و حفاری اکتشافی منطقه معدنی بوکسیت جاجرم و سپس تلفیق نتایج این داده‌های اکتشافی در سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) و تهیه نقشه پتانسیل معدنی منطقه می‌باشد.

پردازش و تفسیر داده‌های ماهواره‌ای، ژئوفیزیکی و حفاری در محدوده مورد مطالعه به صورت جداگانه انجام شد که از هر یک، نتایج جداگانه‌ای حاصل شد و هر یک، مناطق خاصی را به عنوان مناطق بی‌هنجار (آنومالی) پیشنهاد نمودند. در مطالعات دورسنجی انجام‌شده، روش نسبت‌گیری بانندی جهت شناسایی دولومیت‌ها و سنگ‌های سیلیسی در منطقه مورد استفاده قرار گرفت، که در نهایت با ارائه چند نسبت بانندی مناسب، این واحدها شناسایی شده و نتایج به دست آمده، انطباق مناسبی با نقشه زمین‌شناسی منطقه و داده‌های به دست آمده از مطالعات صحرایی داشت. داده‌های ژئوفیزیکی منطقه شامل ۸۲ سونداژ ژئوالکتریکی در طول ۳ خط برداشت با فاصله ۲۵ متر از هم و فاصله بین خطوط برداشت ۱۰ متر بود. بعد از انجام مدل‌سازی یک بعدی سونداژها، یک مدل سه بعدی از روی نتایج مدل‌سازی یک بعدی داده‌ها با استفاده از نرم افزار Rock work تهیه شد. نتایج تفسیر داده‌های ژئوالکتریکی خط برداشت اول که در مجاورت گمانه‌های اکتشافی برداشت بودند، انطباق نسبتاً مناسب و قابل قبولی با داده‌های اکتشافی مورد نظر داشتند.

در نهایت لایه‌های اطلاعاتی حاصل از نتایج داده‌های اکتشافی مختلف با یکدیگر با استفاده از روش منطق فازی و عملگر گاما، در GIS تلفیق شده و نقشه پتانسیل کانی‌سازی بوکسیت در منطقه تهیه گردید. نقشه‌های پتانسیل کانی‌سازی مربوطه، مناطقی را که دارای ارزش فازی بالاتری است، به عنوان مناطق مستعد برای حضور کانی‌سازی بوکسیت پیشنهاد داده‌است. مناطق اکتشافی که در

نتیجه این تحقیق پیشنهاد داده شده، انطباق مناسبی با اندیس‌های معدنی شناخته شده و فعالیت‌های اکتشافی تفضیلی منطقه نشان داده است. نقشه پتانسیل کانی‌سازی منطقه معیار مهمی برای ادامه اکتشافات و کاهش هزینه‌های اکتشافی در منطقه می‌باشد. نمونه‌برداری‌های زمینی انجام شده در منطقه نیز نتایج حاصل از تلفیق داده‌های اکتشافی و یا به عبارت دیگر مدل پتانسیل معدنی منطقه را به خوبی تأیید می‌کند. نقشه‌های پتانسیل معدنی حاصل از تلفیق داده‌ها به روش گامای فازی، انطباق نسبتاً خوبی با داده‌های گمانه‌های اکتشافی در منطقه مورد مطالعه نشان داده است.

**کلید واژه:** بوکسیت، سنجش از دور، ژئوفیزیک، مدل‌سازی، منطق فازی، عملگر گاما

## تعهد نامه

اینجانب کیانوش سلیمانی دلفارد دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته ژئوفیزیک دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه تعیین مدل اکتشافی ذخیره و لایه‌های دربرگیرنده آن با استفاده از تلفیق نتایج زمین‌شناسی، دورسنجی، ژئوفیزیک و حفاری در یکی از ذخایر بوکسیت جاجرم تحت راهنمایی دکتر علیرضا عرب امیری و دکتر ابوالقاسم کامکار روحانی متعهد می‌شوم.

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

### تاریخ

### امضای دانشجو

## مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامه های رایانه ای، نرم افزارها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می‌باشد. این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود.

\* متن این صفحه نیز باید در ابتدای نسخه های تکثیر شده پایان نامه وجود داشته باشد.



## لیست مقالات مستخرج:

- سلیمانی، ک؛ مومنی، ف؛ عرب امیری، ع؛ کامکار روحانی، ا؛ یوسفی، م؛ (۱۳۹۱)؛ "مطالعات ژئوالکتریک در یکی از معادن بوکسیت جاجرم". اولین همایش انجمن زمین شناسی فلات ایران - کرمان.
- سلیمانی، ک؛ عرب امیری، ع؛ کامکار روحانی، ا؛ یوسفی، م؛ (۱۳۹۱)؛ "استفاده از سنجش از دور برای مطالعه و پی‌جویی غیر مستقیم بوکسیت‌های کارستی در منطقه جاجرم". اولین همایش انجمن زمین شناسی فلات ایران - کرمان.

## فهرست مطالب

۱	فصل اول: کلیات
۲	۱-۱- مقدمه
۳	۲-۱- تاریخچه عملیات اکتشافی انجام شده
۴	۳-۱- ضرورت و هدف از انجام پایان نامه
۵	۴-۱- روش انجام تحقیق
۵	۴-۱- ساختار پایان نامه
۶	فصل دوم: موقعیت جغرافیایی و زمین شناسی منطقه مورد مطالعه
۷	۱-۲- مقدمه
۷	۲-۲- موقعیت جغرافیایی و آب و هوایی
۸	۳-۲- زمین شناسی ناحیه‌ای
۱۱	۱-۳-۲- سازند پادها
۱۲	۲-۳-۲- سازند خوش ییلاق
۱۲	۳-۲-۲- سازند مبارک
۱۲	۴-۳-۲- سازند الیکا
۱۲	۵-۳-۲- واحد بوکسیتی
۱۳	۶-۳-۲- سازند شمشک
۱۳	۷-۳-۲- رسوبات ژوراسیک میانی و فوقانی
۱۴	۸-۳-۲- رسوبات کرتاسه
۱۴	۹-۳-۲- رسوبات پالئوژن و نئوژن
۱۴	۴-۲- زمین شناسی ساختمانی و تکتونیک منطقه
۱۸	۵-۲- زمین شناسی محدوده معدنی تاگویی
۲۰	۶-۲- اکتشاف کانسارهای کارستی
۲۱	فصل سوم: تفسیر داده‌های ژئوفیزیکی
۲۲	۱-۳- مقدمه
۲۳	۲-۳- تئوری روش مقاومت ویژه
۲۶	۳-۳- تقسیم بندی مواد مختلف از لحاظ مقاومت ویژه
۲۷	۴-۳- روش های برداشت و اندازه گیری داده های مقاومت ویژه

۲۸	۳-۴-۱- روش برداشت سونداژزنی الکتریکی قائم پیوسته
۲۹	۳-۵- انتخاب آرایش الکترودی مناسب
۳۰	۳-۵-۱- آرایش شلومبرژه
۳۲	۳-۶- تأثیر توپوگرافی بر مقادیر مقاومت ویژه ظاهری
۳۳	۳-۷- کاربردها، مزایا و معایب روش مقاومت ویژه
۳۵	۳-۸- پارامترهای ژئوالکتریکی
۳۵	۳-۹- برداشت های ژئوفیزیکی در منطقه مطالعاتی
۳۸	۳-۱۰- تفسیر سونداژ های الکتریکی در منطقه
۴۴	۳-۱۱- مقایسه نتایج ژئوفیزیک و حفاری اکتشافی در منطقه
	۳-۱۲- بررسی صحت و دقت عملیات ژئوفیزیکی انجام گرفته و توان روش برای پیش بینی
۴۷	عمق لایه یا زون کارستی کمرباطین بوکسیت با دقت مورد نیاز
۵۲	<b>فصل چهارم: سنجش از دور</b>
۵۳	۴-۱- مقدمه
۵۳	۴-۲- اصول دورسنجی
۵۵	۴-۲-۱- طیف سنجی بازتابی
۵۵	۴-۳- معرفی سنجنده‌ها و ماهواره‌ها
۵۶	۴-۳-۱- سنجنده ASTER
۵۶	۴-۳-۲- مشخصات و تاریخچه ماهواره لندست
۵۸	۴-۴- پردازش تصاویر ماهواره‌ای
۵۸	۴-۴-۱- ترمیم تصاویر
۵۹	۴-۴-۲- آماده سازی تصاویر $ETM^+$ و ASTER برای منطقه مورد مطالعه
۶۰	۴-۴-۳- استخراج اطلاعات مورد نیاز از تصاویر
۶۰	۴-۴-۳-۱- روش نسبت های بانندی
۶۱	۴-۴-۳-۲- آشکار سازی تصاویر برای تفکیک و استخراج واحدهای سنگی
۶۶	<b>فصل پنجم: مدل سازی پتانسیل معدنی ذخایر بوکسیت در منطقه مورد مطالعه</b>
۶۷	۵-۱- مقدمه
۶۹	۵-۲- مدل سازی و تهیه نقشه پتانسیل معدنی در GIS
۷۴	۵-۳- مدل توصیفی بوکسیت جاجرم
۷۴	۵-۳-۱- محیط زمین شناسی
۷۵	۵-۳-۲- توصیف نهشته

۷۶	۴-۵- تهیه نقشه پتانسیل معدنی در سامانه اطلاعات جغرافیایی
۷۷	۵-۵- تلفیق داده‌های اکتشافی منطقه مورد مطالعه جهت تهیه نقشه پتانسیل معدنی
۷۸	۵-۵-۱- پردازش داده‌ها در منطقه جاجرم
۷۸	۵-۵-۲- منطق فازی جهت تلفیق داده‌های اکتشافی
۷۸	۵-۵-۲-۱- عملگر فازی گاما
	۵-۵-۳- تلفیق اطلاعات اکتشافی ورقه زمین شناسی ۱/۱۰۰,۰۰۰ سنخواست به روش
۷۹	منطق فازی
	۵-۵-۴- تلفیق اطلاعات اکتشافی در منطقه مورد مطالعه در مقیاس ۱/۵۰۰۰ به روش
۸۷	منطق فازی
۹۵	<b>فصل ششم: نتیجه‌گیری و پیشنهادات</b>
۹۶	۶-۱- نتیجه‌گیری
۹۷	۶-۲- پیشنهادات
۹۸	مراجع فارسی
۱۰۰	مراجع انگلیسی

## فهرست اشکال

۸	راه های دسترسی به منطقه معدنی بوکسیت جاجرم	شکل (۱-۲)
۱۰	نقشه شماتیک تقسیمات ساختمانی ایران	شکل (۲-۲)
۱۱	ستون چینه‌شناسی سازندهای بالا و پایین افق بوکسیتی به همراه واحدهای بوکسیتی	شکل (۳-۲)
۱۷	نقشه زمین شناسی محدوده معدنی بوکسیت جاجرم	شکل (۴-۲)
۱۹	نقشه زمین‌شناسی منطقه تاگویی	شکل (۵-۲)
۲۴	توده استوانه‌ای در زیر سطح زمین	شکل (۱-۳)
۲۵	نحوه توزیع خطوط جریان و پتانسیل در یک آرایش چهار الکترودی	شکل (۲-۳)
۳۱	نمایش آرایش شلومبرژه	شکل (۳-۳)
۳۲	تأثیر توپوگرافی بر خطوط جریان و سطوح موقعیت سونداژهای الکتریکی در منطقه مورد مطالعه به همراه نمایش	شکل (۴-۳)
۳۷	توپوگرافی، رخنمون‌های بوکسیتی و گسل‌های منطقه.	شکل (۵-۳)
۴۳	مدل سه بعدی ژئوالکتریکی منطقه حاصل از تفسیر یک بعدی سونداژهای منطقه	شکل (۶-۳)
۴۵	موقعیت داده های ژئوفیزیک و چاه های حفاری در منطقه مورد مطالعه	شکل (۷-۳)
۴۶	نمایش نتایج پروفیل اول ژئوفیزیک	شکل (۸-۳)
۴۶	نمایش نتایج داده‌های حفاری منطقه. لایه A سازند شمشک، لایه B افق بوکسیتی و لایه C دولومیت‌های سازند الیکا	شکل (۹-۳)
۵۸	مقایسه باندهای طیفی بین دو سنجنده استر و لندست نسبت بانندی ۱۴ به ۱۲ روی تصویر استر برای شناسایی سنگهای غنی از	شکل (۱-۴)
۶۲	کوارتز منطقه. مناطق روشن نشان دهنده سنگهای غنی از کوارتز نسبت بانندی (۸+۶) به ۷ روی تصویر استر برای شناسایی دولومیت‌های منطقه.	شکل (۲-۴)
۶۳	مناطق روشن نشان دهنده دولومیت‌های منطقه است.	شکل (۳-۴)
۶۴	نسبت بانندی ۶ به ۷ روی تصویر استر برای شناسایی بهتر دولومیت‌های منطقه. مناطق روشن نشان دهنده دولومیت‌های منطقه است.	شکل (۴-۴)
۶۵	نسبت بانندی ۱ به ۷ روی تصویر لندست برای شناسایی واحدهای سنگی غنی از کوارتز منطقه. مناطق روشن نشان دهنده واحدهای سنگی غنی از کوارتز است.	شکل (۵-۴)

- ۸۲ نقشه شیب منطقه بر حسب درجه شکل (۵-۱)
- ۸۳ نقشه حریم بوکسیت‌های منطقه بر حسب متر شکل (۵-۲)
- ۸۴ نقشه حریم دولومیت‌های منطقه بر حسب کیلومتر شکل (۵-۳)
- ۸۵ نقشه حریم سازند شمشک منطقه بر حسب متر شکل (۵-۴)
- نقشه نهایی پتانسیل معدنی بوکسیت در ورقه زمین‌شناسی ۱/۱۰۰,۰۰۰
- ۸۶ سنخواست با استفاده از روش منطق فازی شکل (۵-۵)
- ۸۹ نقشه حریم لایه سنگی بوکسیتی بر حسب متر شکل (۵-۶)
- ۹۰ نقشه حریم واحد سنگی سازند شمشک بر حسب متر شکل (۵-۷)
- ۹۱ نقشه حریم واحد سنگی دولومیتی بر حسب متر شکل (۵-۸)
- ۹۲ نقشه حریم لایه ژئوفیزیکی بر حسب متر شکل (۵-۹)
- ۹۳ نقشه شیب منطقه بر حسب درجه شکل (۵-۱۰)
- ۹۴ نقشه نهایی پتانسیل معدنی بوکسیت منطقه با استفاده از روش منطق فازی شکل (۵-۱۱)

## فهرست جداول

۲۶	جدول (۱-۳) مقاومت ویژه برخی از سنگ‌ها و کانی‌ها
۳۰	جدول (۲-۳) خصوصیات مختلف چند آرایش الکترونی
۴۰	جدول (۳-۳) نتایج حاصل از مدل‌سازی پروفیل اول
۴۱	جدول (۴-۳) نتایج حاصل از مدل‌سازی پروفیل دوم
۴۲	جدول (۵-۳) نتایج حاصل از مدل‌سازی پروفیل سوم
	عمق کنتاکت بین دولومیت کارستی و بوکسیت در گمانه‌های اکتشافی حفر شده و نقاط مختلف سونداژ ژئوفیزیکی یا ژئوالکتریکی واقع بر خط برداشت اول
۵۱	جدول (۶-۳) در مجاورت گمانه‌های اکتشافی مزبور که به روش‌های مختلف تفسیر شده‌اند
۵۷	جدول (۱-۴) مقایسه بین ویژگی‌های دو سنجنده استر و $ETM^+$
۶۲	جدول (۲-۴) نسبت‌های بانندی مناسب برای واحدهای سنگی مورد مطالعه روی تصاویر استر
۸۱	جدول (۱-۵) میزان بافر و امتیاز فازی در نظر گرفته شده برای پارامتر شیب

فصل اول

کلیات



## ۱-۱- مقدمه

بوکسیت یک سنگ رسوبی است که در نتیجه هوازدگی سنگ‌های مختلف آلومینیوم‌دار، در آب و هوای استوایی و با توجه به مورفولوژی و زهکشی مناسب تشکیل می‌شود. کانسار بوکسیتی جاجرم که بزرگترین کانسار بوکسیت شناخته شده در ایران می‌باشد، در زون ساختاری رشته کوه البرز واقع شده است. در این منطقه، دو افق بوکسیتی به نام‌های A و B تشکیل شده است. سنگ بستر افق A را کربنات‌های سازند مبارک و سنگ پوشش آن را سازند نسن تشکیل می‌دهد. افق بوکسیتی B که کانسار جاجرم را تشکیل می‌دهد؛ بر روی دولومیت‌های سازند الیکا قرار گرفته و توسط سازند شمشک پوشانده شده است. همبندی مشخص بوکسیت با این دو سازند بر یک منبع مستقل تامین کننده بوکسیت دلالت دارد. وجود ریخت‌شناسی ناهماهنگ همراه با ساختارهای زمین‌ساختی، از ویژگی‌های مهم کانسار بوکسیتی جاجرم است.

خصوصیات زمین‌شناسی و اقلیمی و پراکندگی گستره ذخایر معدنی به همراه سایر عناصر و نشانه‌های معدنی، این ناحیه را تبدیل به یک واحد بوکسیت‌زای منحصر به فرد کرده است. این افق بوکسیتی از دیرباز مورد توجه محققین قرار داشته و از جنبه‌های مختلف زمین‌شناسی مورد پژوهش قرار گرفته است. در طول دهه‌های گذشته تا به امروز پروژه‌های اکتشافی مختلفی در این منطقه انجام گرفته و داده‌های اکتشافی ارزشمندی تهیه شده است. با این وجود هنوز هم پتانسیل‌های زیادی از کانی‌زایی در این منطقه وجود دارد؛ که ناشناخته مانده و نیاز به اکتشاف دارد.

امروزه در بسیاری از نقاط جهان به ویژه مناطق خشک از دورسنجی به عنوان ابزاری جهت

شناخت نواحی دگرسان شده مربوط به توده‌های نفوذی کانه‌زا و شناسایی واحدهای سنگی و در نتیجه اکتشاف کانسارها استفاده می‌شود. بنابراین در این مناطق استفاده از دورسنجی در برنامه‌های اکتشافی بسیار مفید است؛ اما این روش به تنهایی کافی نیست. استفاده از سایر داده‌های اکتشافی مثل داده‌های ژئوشیمی، ژئوفیزیک هوایی، زمین‌شناسی و زمین‌ساختی و تلفیق آنها با داده‌های دورسنجی در GIS (سامانه اطلاعات جغرافیایی) می‌تواند در موفقیت‌آمیز بودن عملیات اکتشافی بسیار مؤثر باشد. با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی از طریق ذخیره‌سازی داده‌های اکتشافی در قالب لایه‌های اطلاعاتی مختلف و تلفیق و ترکیب آنها با هم، به تجزیه و تحلیل لایه‌های مختلف پرداخته و در نهایت پیش‌بینی مکان‌های احتمالی وقوع نشانه‌های معدنی، مدل‌سازی و تهیه نقشه‌های پتانسیل معدنی انجام می‌شود.

برای سنجش میزان اعتبار مدل‌سازی فوق لازم است داده‌های کمی مستقیماً از اهداف اکتشافی برداشت شوند؛ که برای این منظور در طی انجام این تحقیق در چندین مرحله بازدیدهای صحرایی و نمونه‌برداری از اکثر مناطق فوق انجام پذیرفت؛ تا بتوان صحت نتایج به دست آمده را بررسی نمود.

#### ۱-۲- تاریخچه عملیات اکتشافی انجام شده در منطقه مورد مطالعه

در ذخایر و معادن بوکسیت ایران، به لحاظ همراهی ماده معدنی بوکسیت با کانه‌های رسی دیگر، معمولاً حفره‌های کارستی که توسط این مواد پر شده‌اند، دارای مقاومت ویژه الکتریکی کمتری نسبت به سنگ درونگیر آنها (آهک‌ها) هستند. به همین دلیل به کمک روش‌های الکتریکی به ویژه ژئوالکتریک می‌توان حفره‌های کارستی شده را در توده‌های آهکی تشخیص داد. البته بسته به نحوه برداشت، اهداف مطالعه، شرایط زمین‌شناسی و توپوگرافی منطقه مورد بررسی، نتایج بررسی‌ها و مطالعات ژئوالکتریک بر روی بوکسیت ممکن است چندان رضایت‌بخش نباشد [کامکار روحانی و عرب امیری، ۱۳۹۰].

تاریخچه پی جویی بوکسیت در جاجرم به پی جویی زغال سنگ توسط زمین شناسان شرکت زغال سنگ البرز شرقی بر می گردد. آن ها در سال ۱۳۴۷ ضمن پی جویی زغال سنگ، وجود بوکسیت را گزارش کردند. کارشناسان سازمان زمین شناسی نیز با مطالعه عکس های هوایی و بازدید از منطقه، وجود زون بوکسیتی را تأیید کردند. در سال ۱۳۴۹ گزارشی از منطقه بوکسیت دار جاجرم تهیه شد که در آن وجود دو افق معدنی را تأیید کرد. مطالعات اکتشافی زون بوکسیتی جاجرم به طول ۱۲ کیلومتر به همراه تهیه نقشه ۱:۲۵۰۰۰۰ منطقه، توسط سازمان زمین شناسی انجام شد [www.gsinet.ir].

در تیرماه ۱۳۶۸ بررسی های ژئوالکتریکی با برداشت ۴۳ سونداژ ژئوالکتریکی بر روی رخنمون های آهکی و ماده معدنی بوکسیت، در محدوده کانسارها و معادن بوکسیت جاجرم، انجام شد و نتایج حاصل به صورت نقشه ها و شبه مقاطع مقاومت ویژه ظاهری الکتریکی ارائه شد. نتایج حاصل از این بررسی ها، هرچند به طور تئوری قادر به تشخیص کنتاکت شیل ها و آهک ها و تشخیص نواحی کارستی از بوکسیت باید باشد؛ اما در عمل حاکی از عدم موفقیت در تحقق انتظارات خواسته شده مسئولین ذیربط شرکت معادن بوکسیت جاجرم بود؛ که از دلایل مهم آن می توان به عدم دقت دستگاه های اندازه گیری و روش های تفسیر مورد استفاده، اشاره نمود [کامکار روحانی و عرب امیری، ۱۳۹۰].

### ۱-۳- ضرورت و هدف از انجام پایان نامه

با توجه به کمبود ذخایر بوکسیت کشور و محدودیت های حاکم بر هر یک از روش های اکتشافی در شناسایی زون های بی هنجاری، به نظر می رسد تلفیق کارشناسی داده های اکتشافی می تواند نقش به سزایی در کاهش خطای تفسیر و تفکیک بی هنجاری های احتمالی ایفا کند. هدف از این پژوهش تلفیق داده های اکتشافی در محیط GIS به منظور بهینه سازی نتایج اکتشافی و تفکیک زون های بی هنجاری و انتخاب مناطق دارای پتانسیل اکتشافی بالا است.

## ۱-۴- روش انجام تحقیق

در مرحله اول داده‌های اکتشافی در دو مقیاس ناحیه‌ای و محلی شامل نقشه زمین‌شناسی، داده‌های ژئوفیزیکی (مقاومت‌ویژه) و داده‌های سنجش از دور مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. در مرحله دوم لایه‌های اطلاعاتی اکتشافی مورد نیاز از داده‌های موجود جهت تلفیق در محیط GIS تهیه گردید. در مرحله سوم با استفاده از توابع عضویت فازی نقشه‌های استخراجی فازی‌سازی گردیده و در نهایت در مرحله چهارم عمل تلفیق لایه‌های مختلف به منظور تعیین مدل اکتشافی در دو مقیاس ۱/۱۰۰,۰۰۰ و ۱/۵,۰۰۰ با استفاده از عملگر فازی وزنی انجام شد.

## ۱-۵- ساختار پایان‌نامه

تحقیق پیش‌رو در شش فصل تنظیم شده است. در فصل اول ضمن ارائه یک مقدمه، به بیان مسأله و روش انجام تحقیق اختصاص داده شده است. در فصل دوم زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه به‌طور مفصل توضیح داده می‌شود. در فصل سوم به تفسیر ژئوفیزیکی داده‌ها و مدل‌سازی یک بعدی داده‌های مقاومت‌ویژه پرداخته می‌شود و نتایج حاصله در یک مدل سه‌بعدی به نمایش گذاشته می‌شود؛ تا درک جامع‌تری از نتایج تفسیر سونداژهای برداشت شده به دست آید. در فصل چهارم پس از معرفی اصول دورسنجی، به بحث راجع به آشکارسازی واحدهای سنگ‌شناسی با استفاده از این روش پرداخته می‌شود. در فصل پنجم به مدل‌سازی پتانسیل معدنی بوکسیت در GIS در دو مقیاس مختلف (ناحیه‌ای و محلی) پرداخته می‌شود؛ نهایتاً فصل ششم، با نتیجه‌گیری و ذکر چند پیشنهاد خاتمه می‌یابد.

فصل دوم

# موقعیت جغرافیایی و زمین شناسی

منطقه مورد مطالعه

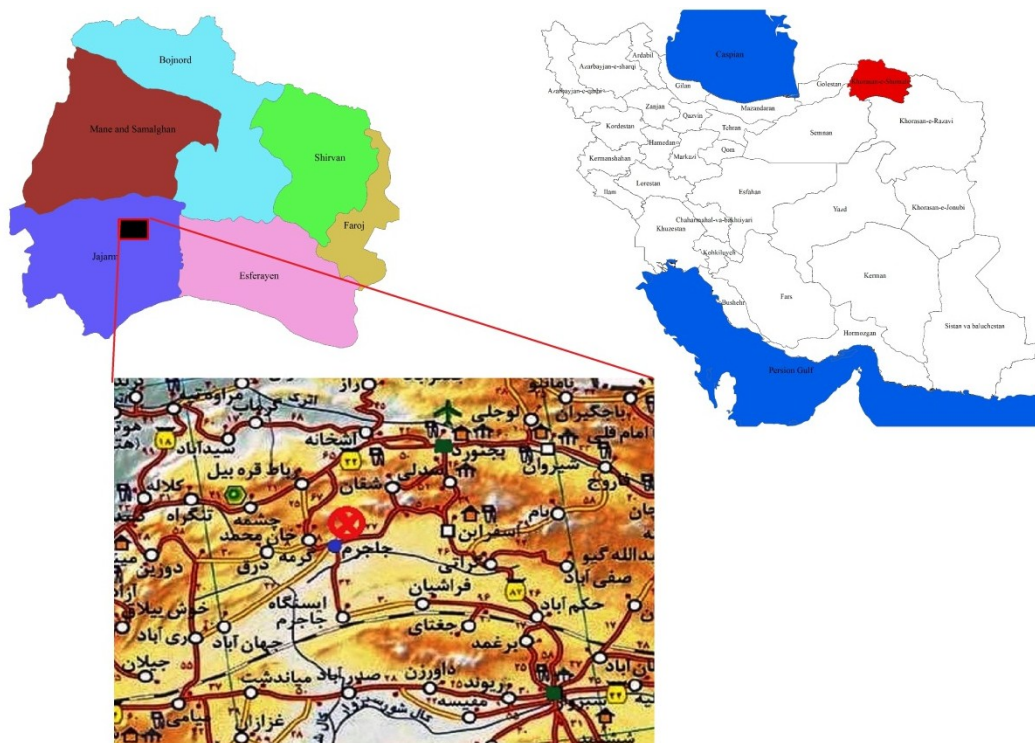
## ۲-۱- مقدمه

ناحیه مورد مطالعه یعنی جاجرم در مرز بین حوضه‌های رسوبی - تکتونیکی البرز شرقی، کپه‌داغ و شرق ایران قرار گرفته است و واحدهای مختلف سنگ‌شناسی آن در زمان‌های مختلف متأثر از شرایط آب و هوایی و رسوبگذاری آنها بوده و مجموعه قابل توجهی از سنگهای رسوبی را در منطقه بر جای گذاشته است. رخنمون‌های سنگی متعلق به پالئوزوئیک و مزوزوئیک در محدوده کوه زو توسعه داشته و در منطقه دشت، رسوبات سنوزوئیک به صورت رسوبات تخریبی و سنگهای آذرین در قسمت جنوبی قابل مشاهده است. بارزترین واحدهای سنگی محدوده مورد مطالعه را سازندهای مبارک، الیکا و شمشک تشکیل می‌دهند و افق‌های بوکسیتی در مرز سازندهای مبارک و الیکا (افق A) و همچنین الیکا و شمشک (افق B) قرار گرفته‌اند.

## ۲-۲- موقعیت جغرافیایی و آب و هوایی

کانسار بوکسیت جاجرم در ۱۹ کیلومتری شمال شرق شهر جاجرم و در کوه زو قرار دارد (شهرستان جاجرم در جنوب غربی استان خراسان شمالی واقع شده است). وسعت منطقه مورد مطالعه ۳۰۰ کیلومتر مربع می‌باشد؛ که بین عرض‌های  $۳۷^{\circ} ۰'$  تا  $۳۷^{\circ} ۶'$  شمالی و طول‌های  $۵۶^{\circ} ۲۵'$  تا  $۵۶^{\circ} ۴۳'$  شرقی قرار گرفته و بخشی از نقشه زمین‌شناسی ورقه‌های ۱:۱۰۰,۰۰۰ سنخواست و رباط قره‌بیل را تشکیل می‌دهد. جاجرم از طریق جاده آسفالت به شهر بجنورد که در فاصله ۱۷۵ کیلومتری شمال شرق آن قرار گرفته، متصل می‌شود. راه آهن تهران - مشهد از ۳۵ کیلومتری جنوب

جاجرم و از دشت جوین می‌گذرد و کارخانه تولید آلومینا از طریق یک خط آهن فرعی به این راه آهن متصل شده است. شهر جاجرم از قسمت جنوبی نیز به وسیله جاده‌ای آسفالت به طول ۱۶۰ کیلومتر که تا حدودی به موازات خط آهن است، به شهرستان سبزوار متصل می‌شود (شکل ۱-۲). ارتفاع متوسط ناحیه از سطح دریا ۱۰۰۰ متر می‌باشد. جاجرم دارای آب و هوای کویری با زمستان‌های سرد و تابستان‌های گرم و خشک می‌باشد. بارش متوسط سالیانه به ندرت از ۲۰۰ میلیمتر تجاوز می‌کند. راه‌های دسترسی به منطقه معدنی جاجرم در شکل ۱-۲ نشان داده شده‌اند.



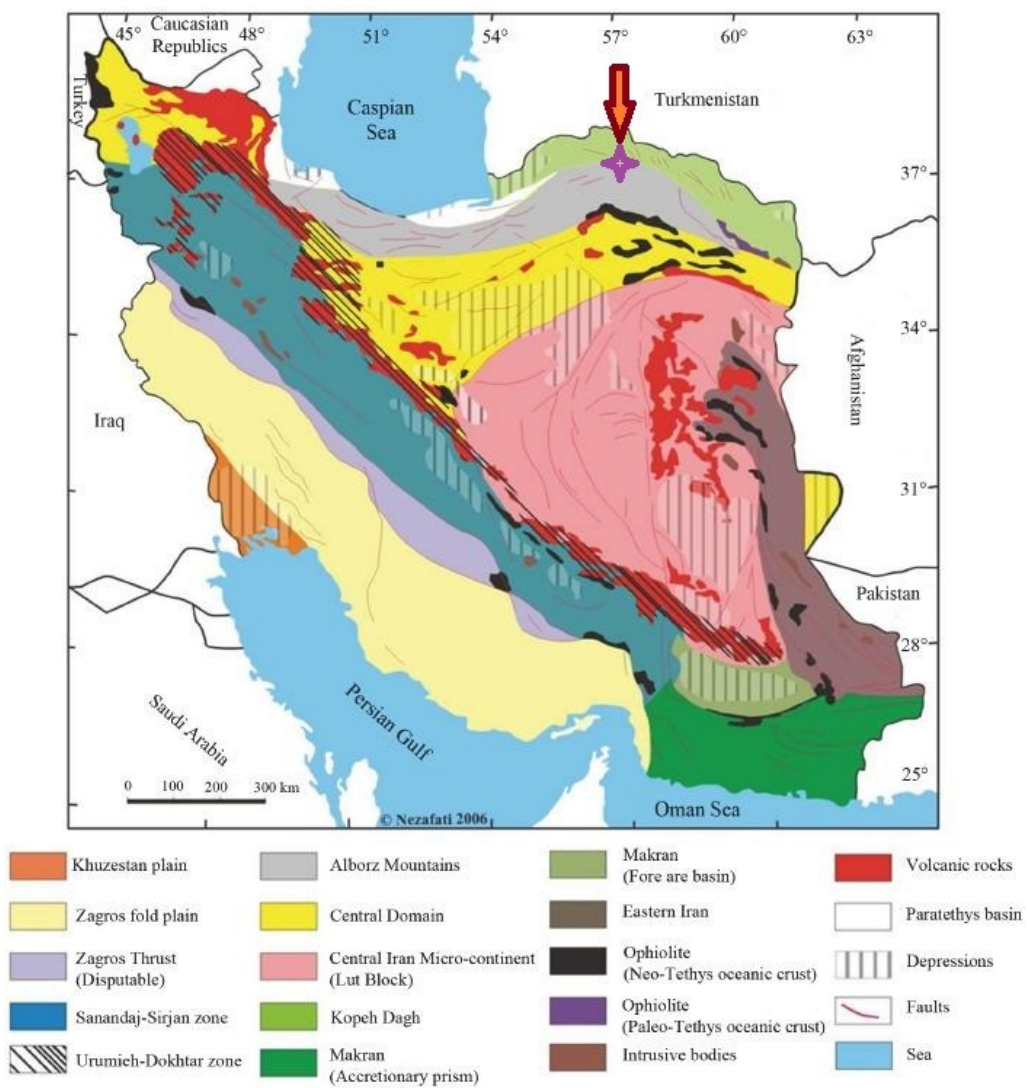
شکل ۱-۲: راه‌های دسترسی به منطقه معدنی بوکسیت جاجرم

## ۳-۲- زمین‌شناسی ناحیه‌ای

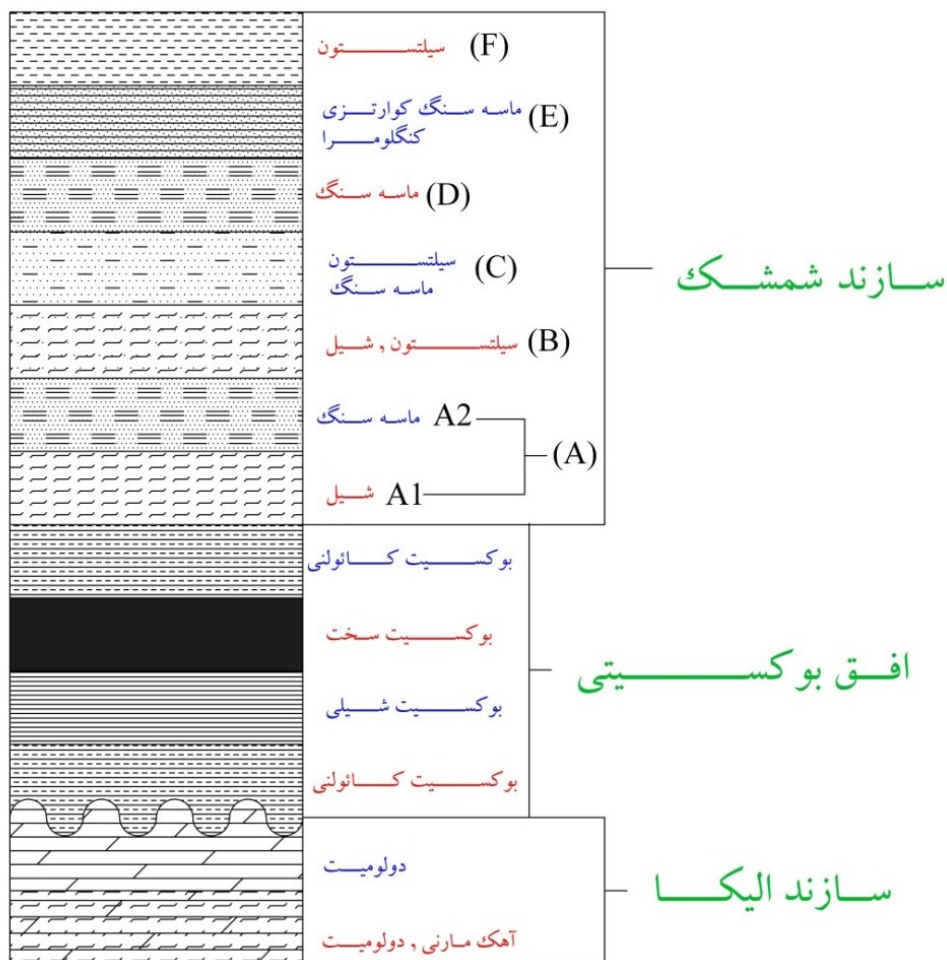
ناحیه مورد مطالعه در مرز بین حوضه‌های رسوبی-تکتونیکی البرز شرقی، کپه داغ و شرق ایران قرار دارد (شکل ۲-۲). در دو دوران پالئوزوئیک و مزوزوئیک مجموعه قابل توجهی از نهشته‌های رسوبی در این منطقه بر جای مانده است. رخنمون‌های این واحدها در محدوده کوه زو برون زد داشته

و نهشته‌های کم‌عمق دریائی، رسوبات تخریبی - تبخیری و حتی نفوذی‌های آذرین در آن نمود پیدا کرده‌اند. تنش‌های وارده بر نهشته‌های فوق در طی چند مرحله موجب بروز ساختارهای تکتونیکی مختلفی گردیده که از بارزترین این ساختارها، تاقدیسی بزرگ با امتداد شرقی- غربی است؛ که بوسیله گسل‌های مختلف تراستی، نرمال و امتداد لغز به قطعات متعددی تبدیل شده است. این تاقدیس به وسیله یک گسل تراستی با امتداد شرقی- غربی بر روی رسوبات آبرفتی دشت جنوبی رانده شده است [ ایرالکو، ۱۳۷۹]. سازندها و واحدهای مختلف منطقه به ترتیب سنی از قدیم به جدید عبارتند از: سازند پادها، سازند خوش‌بیلاق، سازند مبارک، رسوبات پرمین، سازند سرخ‌شیل، سازند الیکا، واحد بوکسیتی، سازند شمشک، رسوبات ژوراسیک میانی و فوقانی، رسوبات کرتاسه، رسوبات پالئوژن و نئوژن [جعفر زاده، ۱۳۸۱].





شکل ۲-۲: نقشه شماتیک تقسیمات ساختمانی ایران (درویش زاده , ۱۳۷۰)



شکل ۲-۳: ستون چینه‌شناسی سازندهای بالا و پایین افق بوکسیتی به همراه واحدهای بوکسیتی [جعفر زاده، ۱۳۸۱ با اندکی تغییر].

در ادامه سازندها و واحدهای مختلف منطقه به طور خلاصه تشریح می‌گردند:

### ۲-۳-۱- سازند پادها

این سازند قدیمی‌ترین واحد چینه‌شناسی (دونین زیرین) در حاشیه جنوبی منطقه معدنی جاجرم می‌باشد؛ که ضخامت آن در حدود ۶۵۰ متر است. سازند پادها از دو واحد تخریبی و تبخیری متشکل از ماسه سنگ و شیل، ژئپس و دولومیت‌های لایه نازک سیاه رنگ تشکیل شده است؛ که بین این دو واحد تبخیری، یک واحد کربناته دولومیتی و آهک فسیل‌دار وجود دارد.

### ۲-۳-۲- سازند خوش ییلاق

سازند خوش ییلاق (دونین فوقانی) از ۸۶ متر سنگ‌های رسوبی از جمله آهک فسیل‌دار، دولومیت، شیل و سیلتستون تشکیل شده؛ که روی آنها را ۱۲ متر سنگ‌های آتشفشانی بازیک پوشانده است.

### ۳-۳-۲- سازند مبارک

سازند مبارک با سن کربونیفر زیرین، شامل آهک‌های فسیل‌دار سیاه رنگ است؛ که در بخش‌های زیرین دارای مارن‌های بین لایه‌ای می‌باشد. ضخامت این سازند حدود ۴۵۰ متر می‌باشد.

### ۴-۳-۲- سازند الیکا

سازند الیکا شامل دو بخش است که بخش زیرین آن از ۹۵ متر آهک، آهک دولومیتی متورق و شیل به رنگ زرد تا صورتی تشکیل شده و بخش فوقانی آن با ضخامت ۲۰۰ متر شامل دولومیت و دولومیت آهکی با لایه‌بندی خوب تا ضخیم لایه به رنگ خاکستری مایل به زرد تشکیل شده است. این دو بخش احتمالاً متعلق به تریاس زیرین و میانی می‌باشند.

### ۵-۳-۲- واحد بوکسیتی

بر اثر رخداد زمین‌ساختی سیمین پیشین در تریاس فوقانی، در سرتاسر ایران یک فاز خشکی زایی به وجود آمده؛ که عدم رسوبگذاری در این زمان و همچنین وجود رسوبات کم عمق و قاره‌ای در ژوراسیک پسین و میانی، مؤید آن است. واحد قرمز رنگ بوکسیتی و بازالت‌های سبز تیره تا سیاه در اکثر نقاط ایران مربوط به این رخداد زمین‌ساختی است.

در منطقه جاجرم علاوه بر واحد بوکسیتی مربوط به این زمان (تریاس فوقانی)، یک واحد بوکسیتی دیگر نیز وجود دارد؛ که مربوط به قبل از تریاس زیرین می‌باشد. این دو واحد را به ترتیب بنام واحدهای A و B نامگذاری کرده‌اند. واحد بوکسیتی B ضخامت و عیار قابل توجهی در مقایسه با

واحد بوکسیتی زیر سازند الیکا (واحد بوکسیتی A) داشته و سطح فرسایش یافته و کارستی شده الیکا را پوشانده است.

واحد بوکسیتی تریاس فوقانی (واحد B) شامل دو بخش نرم یا شیلی (که در واقع لاتریت بوده و به عنوان بوکسیت شیلی نامگذاری شده است) و سخت می‌باشد؛ که عیار  $Al_2O_3$  قسمت سخت بوکسیت بسیار بیشتر از قسمت نرم آن است. این دو بخش به‌وسیله دو واحد کائولن یا بوکسیت کائولنی پایین و بالایی محصور شده‌اند. ضخامت واحد بوکسیتی در طول ۱۲ کیلومتر گسترش خود یکنواخت نبوده و از حداقل کمتر از ۱ متر تا حداکثر بیش از ۴۰ متر متغیر می‌باشد.

### ۲-۳-۶- سازند شمشک

رسوبات آواری سازند شمشک با سنی معادل تریاس فوقانی- ژوراسیک به طور هم‌شیب و عادی بر روی واحد بوکسیتی B قرار گرفته است. به طور کلی این سازند از ماسه‌سنگ، شیل و سیلتستون همراه با لایه‌های نازک و عدسی‌های زغال‌دار تشکیل شده است؛ که فسیل‌های گیاهی متعددی در این رسوبات یافت می‌شوند. لایه آهک با ضخامت کم که انباشته از قطعات دوکفه‌ای و اکینوئید است به عنوان لایه راهنما<sup>۱</sup> در منطقه مورد استفاده قرار می‌گیرد. شکل ۲-۳ ستون چینه‌شناسی منطقه مورد نظر را نشان می‌دهد.

### ۲-۳-۷- رسوبات ژوراسیک میانی و فوقانی

در ژوراسیک میانی شیل‌های دریایی، سنگ آهک دانه‌ریز خاکستری همراه با میان لایه‌های مارن در منطقه تشکیل شده‌اند. در ژوراسیک فوقانی نهشته‌های آهکی و آهک دولومیتی تشکیل شده‌اند که این رسوبات معادل آهک بادامو در کرمان می‌باشند.

1. Key Bed

## ۲-۳-۸- رسوبات کرتاسه

این رسوبات شامل شیل، مارن، گچ و سنگ آهک نازک لایه می‌باشد؛ که توسط آهک تخریبی گلوکونیت‌دار، ماسه‌سنگ و مارن پوشیده شده است.

## ۲-۳-۹- رسوبات پالئوژن و نئوژن

رسوبات پالئوژن در منطقه شامل رسوبات قرمز رنگی است که از تخریب و فرسایش سازندهای قبلی به وجود آمده و در نهایت به رسوبات خشکی تبدیل شده‌اند. رسوبات نئوژن در منطقه از مارن های قرمز رنگ تخریبی همراه با رسوبات شیمیایی تبخیری، نمک و گچ تشکیل شده‌اند [ایتوک، ۱۳۷۴].

## ۲-۴- زمین‌شناسی ساختمانی و تکتونیک منطقه

تاقدیس کوه زو در شمال کویر جاجرم در حاشیه جنوبی زون تکتونیک کپه‌داغ و در انتهای شرقی البرز شرقی قرار گرفته و از شمال به گسل کورخود و از جنوب به گسل جاجرم محدود می‌شود. روند ساخت‌های موجود نشان می‌دهد که نیروهای تکتونیک وارده از نوع فشاری بوده و به طور اعم از شمال و شمال غرب به منطقه وارد شده است. کوه زو یک تاقدیس تک‌چین با روند شرقی- غربی است؛ که یال جنوبی آن با گسل تراستی بزرگی با امتداد شرقی- غربی و شیب به سمت شمال، حذف شده است (شکل ۲-۴). بررسی‌های ساختاری دقیق نشان می‌دهد که علاوه بر گسل تراستی فوق، گسل‌های تراستی دیگری نیز در محور و یال شمالی تاقدیس اتفاق افتاده و باعث رانده شدن مکرر بخش‌هایی از یال شمالی روی بخش‌های پایین‌تر و محور تاقدیس شده است [جعفرزاده، ۱۳۸۱].

مطالعات لرزه‌شناسی دقیق نشان می‌دهد، که در دشت جاجرم، در مجاورت بلافصل و جنوب تاقدیس زو، ضخامت قابل توجهی از رسوبات تخریبی و تخریبی نئوژن رسوب کرده است و سازندهای معادل کوه زو، در اعماق بیش از چند هزار متر، در دشت جنوبی قرار گرفته‌اند. لذا جابجایی گسل

تراستی جنوبی (گسل جاجرم) بیش از ۵ تا ۶ کیلومتر است [جعفر زاده، ۱۳۸۱].

تاقدیس زو در محدوده مورد مطالعه به وسیله تعدادی گسل امتدادی بزرگ و قابل توجه و گسل‌های رورانده اساسی و همچنین تعداد بی‌شماری گسل‌های امتدادی و تراستی کوچک قطعه قطعه شده است. این گسل‌ها را می‌توان در ۶ گروه طبقه‌بندی کرد:

گروه اول: گسل‌های بزرگ امتدادی با روند شمال غرب- جنوب شرق و شمال شرق- جنوب غرب که با زاویه‌ای کمتر از ۳۰ درجه نسبت به شمال قرار گرفته‌اند. این گسل‌ها اغلب راستگرد و چند مورد نیز چپگرد می‌باشند.

گروه دوم: گسل‌های رورانده و تراستی بزرگ که از نوع فشارشی و معکوس بوده و امتداد آنها تقریباً شرقی- غربی است؛ که در طرفین به سمت شمال میل می‌کنند. این گسل‌ها شرایط تکرار طبقات را فراهم کرده‌اند.

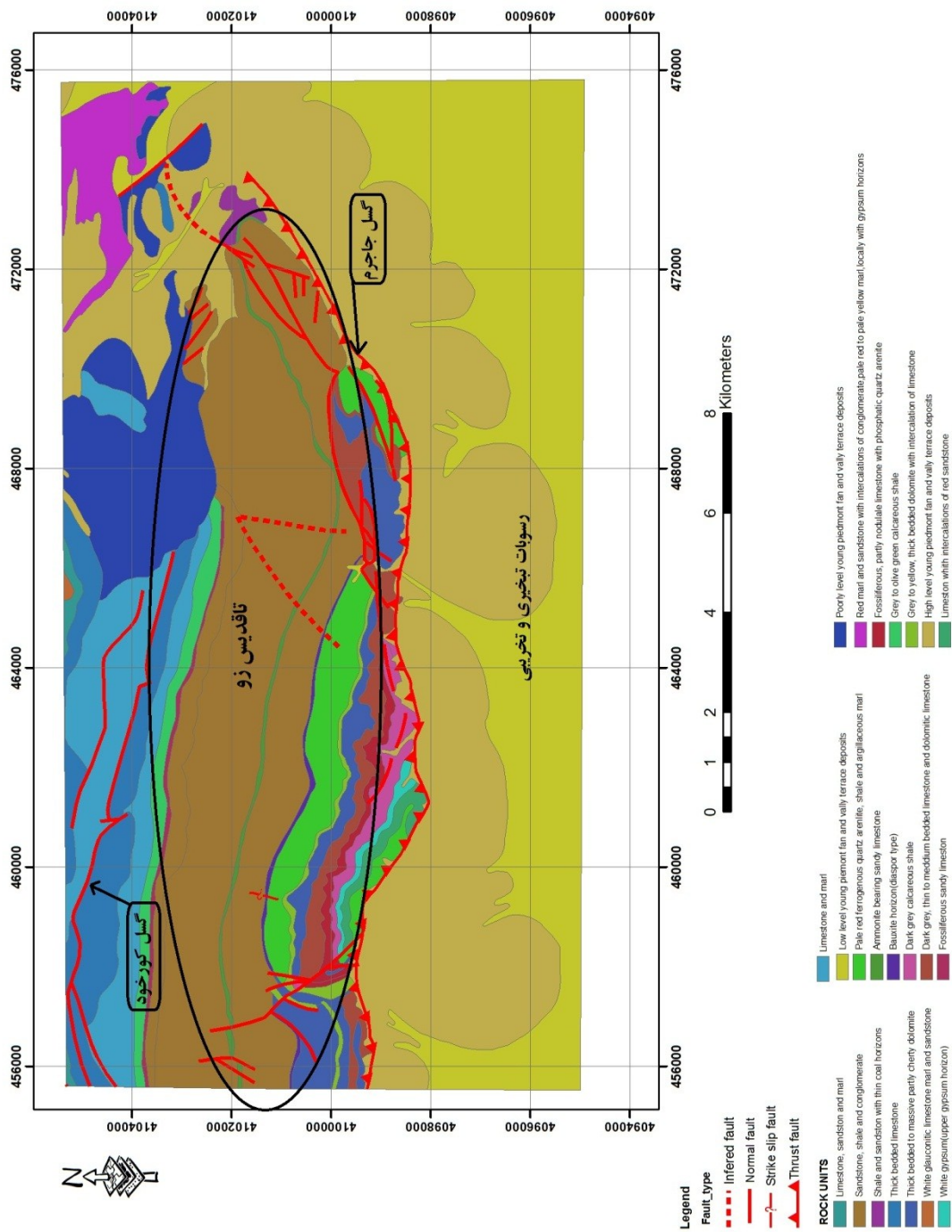
گروه سوم: گسل‌های تراستی کوچک، این گسل‌ها با جابجایی و روراندگی معکوس و با شیب زیاد هستند؛ که جابجایی کمتری دارند. شیب آنها به سمت ناودیس شمالی و همسو با شیب طبقات بوده و امتدادشان تقریباً به موازات لایه‌بندی است (گسل‌های موسوم به تیپ رضانی در جاجرم). این گسل‌ها بر اثر کمبود فضا در یالهای پرشیب تاقدیس به وجود آمده‌اند و ریشه خیلی عمیقی ندارند.

گروه چهارم: گسل‌های تراستی کوچک و معکوس که با شیب زیاد به سمت محور تاقدیس قرار گرفته‌اند. امتداد آنها تقریباً نزدیک به امتداد طبقات بوده و زاویه‌ای تا ۳۰ درجه با امتداد لایه‌بندی می‌سازند. تعدادشان محدود و جابجایی در حد چند متر دارند. این گسل‌ها نیز به علت کمبود فضا در بخش‌های پرشیب تاقدیس ایجاد شده‌اند.

گروه پنجم: گسل‌های کم شیب امتدادی که روندشان مانند گروه اول است.

گروه ششم: گسل‌های کوچک با جابجایی محدود که از نوع تراستی یا امتدادی هستند و به تعداد زیاد در محدوده تاقدیس و یال‌های آن دیده می‌شوند.

گسل‌های نوع اول عمده‌ترین جابجایی قابل رؤیت را در ماده معدنی و سازندهای در برگیرنده آن ایجاد کرده‌اند و دایک‌های دیابازی در راستای این گسل‌ها نفوذ کرده‌اند. بخش‌های واقع در بین این گسل‌ها ظاهراً به صورت هورست و گرابن‌هایی جلوه می‌کنند؛ که با توجه به شیب طبقات و عمل چپگرد و راستگرد گسل‌های مجاور با گسل‌های راستگردی که جابجایی‌های مختلفی نسبت به هم دارند به وجود آمده‌اند [جعفرزاده، ۱۳۸۱].

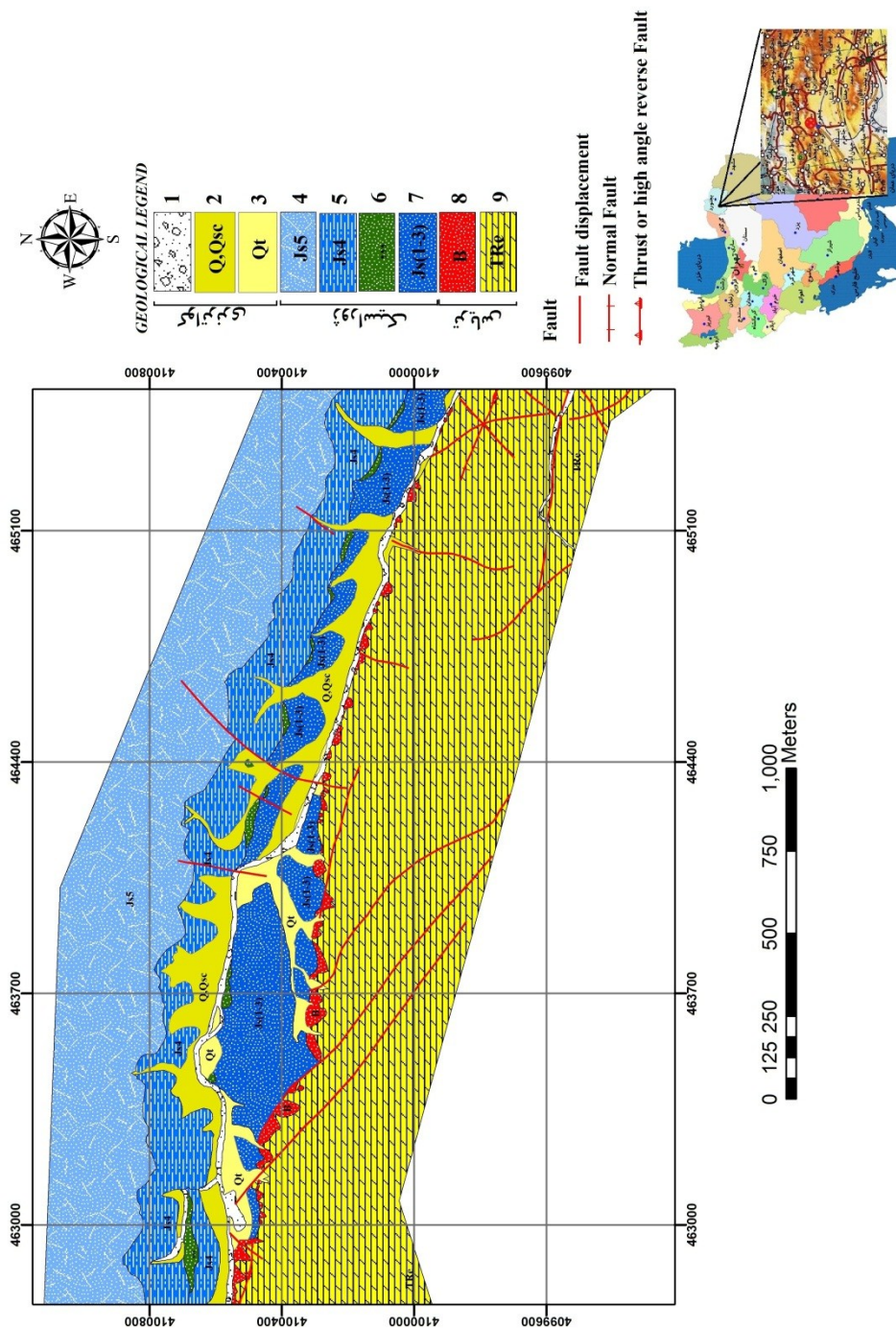


شکل ۲-۴: نقشه زمین شناسی محدوده معدنی بوکسیت جاجرم [برگرفته شده از نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ سنخواست]



## ۲-۵- زمین‌شناسی محدوده معدنی تاگویی

محدوده معدنی تاگویی، در قسمت شرقی منطقه معدنی بوکسیت جاجرم واقع شده و در قسمت جنوب غربی ورقه ۱/۱۰۰,۰۰۰ زمین‌شناسی سنخواست قرار می‌گیرد. مورفولوژی منطقه مورد مطالعه مانند دیگر معادن بوکسیت جاجرم اساساً کوهستانی و نسبتاً مرتفع بوده و به صورت رشته کوهی در شمال کویر جاجرم دیده می‌شود. ویژگی‌های سنگ‌شناسی و چینه‌شناسی سازندهای گسترده در منطقه و تکتونیک حاکم بر ناحیه نقش اساسی را در ژئومورفولوژی منطقه بر عهده داشته و تاقدیس زو با ارتفاع بیش از ۱۸۳۲ متر از سطح دریا مظهر روشن تغییرات مورفولوژی منطقه است [رنجبر، ۱۳۸۵]. سازندها و واحدهای زمین‌شناسی آن شامل دولومیت‌های سازند الیکا، واحد بوکسیتی و رسوبات آواری سازند شمشک می‌باشد. رسوبات آبرفتی و باقیمانده مخروط افکنه‌های قدیمی نیز در منطقه دیده می‌شود. شکل ۲-۵ نقشه زمین‌شناسی منطقه تاگویی را که توسط گروه اکتشاف معدن بوکسیت جاجرم تهیه شده، نشان می‌دهد.



شکل ۲-۵: نقشه زمین‌شناسی منطقه تاگویی (جعفر زاده، ۱۳۸۱)

(۱) رسوبات آبرفتی، (۲) واریزه‌های دوران چهارم، (۳) مخروط افکنه‌های قدیمی، (۴) شیل‌ها و ماسه‌سنگ‌های سفید کوارتزیتی، (۵) مارن‌های خاکستری زیتونی و لایه نازک ماسه‌ای، (۶) و (۷) شیل‌های خاکستری دگرسان شده و لایه‌های ماسه‌سنگ با مقدار کم فسیل، (۸) بوکسیت، (۹) دولومیت توده‌ای به رنگ سفید، خاکستری و زرد نخودی.

## ۲-۶- اکتشاف کانسارهای کارستی

این کانسارها در اثر تمرکز آلومین در مواد هوازده بر جا و یا حمل یافته حاصل می‌شوند. سنگ درونگیر آنها ممکن است مواد هوازده غنی از آلومین به طور بر جا و یا پس از حمل و نقل، یک بستر آهکی باشد. مواد حمل و نقل یافته ممکن است خاکستر آتشفشانی با منشأ دوردست و یا هر نوع رسوب آلومین دار وارد شده به درون حوضه رسوبی باشند. این نوع کانسارها از لحاظ سنی متعلق به دوره پالئوزوئیک تا سنوزوئیک می‌باشند. سرزمین‌هایی با پایداری تکتونیکی، که از یک طرف زمان لازم را برای هوازدگی در اختیار محیط می‌گذارد و از طرف دیگر مواد حاصل از هوازدگی را از فرسایش و پراکندگی محفوظ می‌دارد، خاستگاه مناسبی را تشکیل می‌دهد.

در کانسارهای موجود در نواحی با آب و هوای گرم و مرطوب، گیبسیت کانی عمده را تشکیل می‌دهد. مخلوط گیبسیت و بوهمیت در کانسارهای قدیمی‌تر از سنوزوئیک یافت می‌شوند. بوهمیت در کانسارهای مزوزوئیک و پالئوزوئیک وجود دارد. کانی‌های باطله شامل هماتیت، گوتیت، آناز، کائولن و کوارتز می‌باشند. بوکسیت‌های کارستی، سطوح آهک و دولومیت‌هایی را که به طور فوق‌العاده نامنظمی کارستی شده‌اند، می‌پوشانند. با وجود پیدایش این بوکسیت‌ها روی سنگ‌های کربناته، بیشتر بوکسیت‌های کارستی ممکن است با سنگ‌های تشکیل دهنده فرو دیواره خود ارتباط ژنزی نداشته باشند. بوکسیت‌های نوع مدیترانه‌ای بزرگترین و از نظر اقتصادی مهمترین بوکسیت‌های گروه کارستی اند. ذخایر نوع مدیترانه‌ای، لیتولوژی به نسبت یکنواختی دارند و هسته بوکسیت پر عیار به سمت حاشیه‌های ذخیره، به بوکسیت رسی یا رس بوکسیتی تبدیل می‌شود.

فصل سوم

# تفسیر داده‌های ژئوفیزیکی

### ۳-۱- مقدمه

امروزه به کارگیری روش‌های ژئوفیزیکی در اکتشاف مواد معدنی و انتخاب محل‌های مناسب برای اکتشاف امری متداول به شمار می‌رود [کریم پور و همکاران، ۱۳۸۷]. در کلیه مراحل اکتشاف مواد معدنی می‌توان از روش‌های ژئوفیزیکی استفاده کرد.

از روش‌های ژئوفیزیکی که برای اکتشاف کانسارها به کار می‌رود می‌توان به روش‌های مغناطیس‌سنجی، روش‌های الکتریکی، الکترومغناطیسی، ثقل‌سنجی و لرزه‌نگاری اشاره نمود. انتخاب روش یا روش‌هایی برای تعیین محل یک کانسار با طبیعت کانی‌های موجود در آن معدن و سنگ‌های اطراف آن سروکار دارد. گاهی اوقات ممکن است یک روش نشانه مستقیمی از وجود کانی مورد نظر را در اختیار قرار دهد. مثل روش مغناطیس‌سنجی برای یافتن کانی‌های مغناطیسی آهن مثل مگنتیت و گاهی نیز یک روش ممکن است نشانه غیر مستقیمی از مناسب بودن شرایط برای حضور ماده معدنی مورد نظر باشد. مثل روش مغناطیسی برای اکتشاف نفت که غالباً به عنوان وسیله شناسایی در تعیین عمق پی‌سنگ آذرین به کار می‌رود؛ تا در نتیجه معلوم شود که در کجا رسوبات به اندازه کافی ضخیم هستند تا بدین ترتیب اکتشاف نفت را تضمین کنند [کریم پور و همکاران، ۱۳۸۷].

در این پژوهش از روش مقاومت‌ویژه به منظور شناسایی و پتانسیل‌یابی بوکسیت در معدن بوکسیت جاجرم استفاده شد. بدین منظور پس از بررسی روش ژئوالکتریک برای تعیین امکان‌سنجی

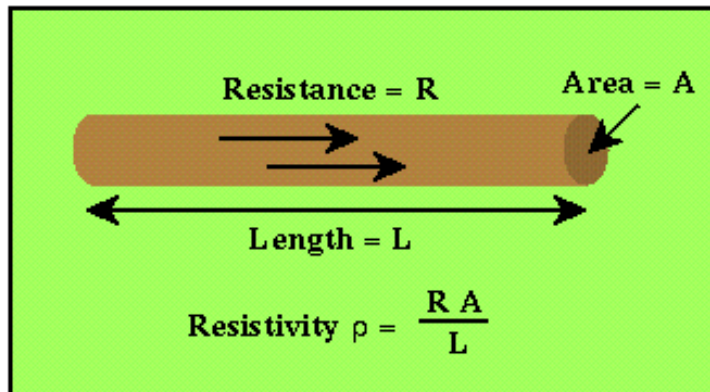
استفاده از برداشت‌های ژئوالکتریک در شناسایی محل قرارگیری ذخایر بوکسیت (به بیان دقیق‌تر، سنگ کف کارستی) در زیرسطح، لازم بود یک مکان مناسب برای انجام این برداشت‌ها در مجموعه معدنی بوکسیت جاجرم انتخاب و عملیات برداشت در آن اجرا شود. این منطقه باید دارای شرایطی باشد که در زیر به برخی از آنها اشاره می‌شود [کامکار روحانی و عرب امیری، ۱۳۹۰]:

- شرایط زمین‌شناسی در آن شناخته شده باشد.
- کمر بالا، کمر پایین و حدود و صغور ماده معدنی و باطله تا حد زیادی معلوم باشد. چرا که این اطلاعات منبع ارزیابی نتایج برداشت‌های ژئوالکتریک در ادامه مطالعات خواهد بود.
- شرایط توپوگرافی، فاصله از منابع نوفه الکتریکی و گستردگی منطقه برای گسترش الکترودهای برداشت به گونه‌ای باشد که به یک برداشت ایده‌آل ژئوالکتریک نزدیک باشد.

### ۲-۳- تئوری روش مقاومت ویژه

مقاومت ویژه الکتریکی، اطلاعاتی از شکل و ویژگی‌های الکتریکی ناهمگنی‌های زیر سطح زمین را نشان می‌دهد. در مورد رسانایی مواد با مقاومت الکتریکی  $R$ ، طول  $L$  و سطح مقطع  $R$  در زیر سطح زمین، همان‌طور که در شکل ۱-۳ دیده می‌شود؛ رابطه (۱-۳) برقرار است:

$$R = \rho \frac{L}{A} \quad (1-3)$$



شکل ۱-۳: توده استوانه‌ای در زیر سطح زمین [www.geotomo.com]

بر اساس قانون اهم، معادله (۱-۳) به شکل زیر در می‌آید:

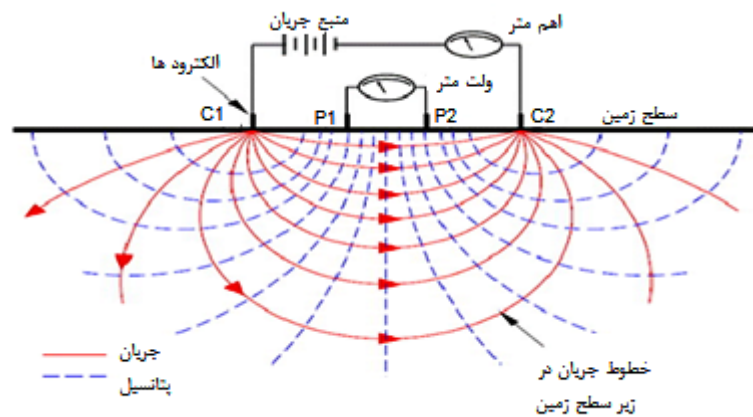
$$\rho = \frac{\Delta V \cdot A}{I \cdot L} \quad (۲-۳)$$

که در این رابطه،  $\rho$  می‌تواند مقاومت ویژه الکتریکی،  $I$  جریان الکتریکی،  $\Delta V$  برابر اختلاف پتانسیل و  $l$  طول استوانه فرضی می‌باشند. رابطه (۲-۳) برای تعیین مقاومت ویژه محیط همگن<sup>۱</sup> و همسانگرد<sup>۲</sup> مناسب است؛ اما برای یک محیط ناهمگن و ناهمسانگرد باید مقاومت ویژه را در هر نقطه تعیین نمود.

[Ozebo et al.,2008]

در شکل ۲-۳ نمونه‌ای از یک آرایش چهار الکترودی نشان داده شده است. در این شکل، الکترودهای C1 و C2 نشان‌دهنده الکترودهای جریان و الکترودهای P1 و P2 الکترودهای پتانسیل می‌باشند. در این آرایش چهار الکترودی، اختلاف پتانسیل الکتریکی ایجاد شده، بین دو الکترود پتانسیل، طبق رابطه (۳-۳) محاسبه می‌شود.

1. homogeneous  
2. isotrop



شکل ۳-۲: نحوه توزیع خطوط جریان و پتانسیل در یک آرایش چهار الکترودی [After Corvallis, 2000].

$$\Delta\Phi = \frac{\rho I}{2\pi r} \left( \frac{1}{r_{C_1P_1}} - \frac{1}{r_{C_2P_1}} - \frac{1}{r_{C_1P_2}} + \frac{1}{r_{C_2P_2}} \right) \quad (3-3)$$

که در آن  $\Delta\Phi$  برابر اختلاف پتانسیل ایجاد شده بین دو الکترو پتانسیل،  $r_{C_1P_1}$  فاصله بین الکترودهای  $C_1$  و  $P_1$ ،  $r_{C_2P_1}$  فاصله بین الکترودهای  $C_2$  و  $P_1$ ،  $r_{C_1P_2}$  برابر فاصله بین الکترودهای  $C_1$  و  $P_2$  و بالاخره  $r_{C_2P_2}$  فاصله بین الکترودهای  $C_2$  و  $P_2$  می باشند.

برداشت‌های صحرائی بر روی زمین‌های غیرهمگن که مقاومت ویژه الکتریکی آن‌ها در سه جهت محورهای مختصات متغیر است، صورت می‌گیرد و هدف از این برداشت‌ها به دست آوردن اندازه مقاومت ویژه الکتریکی زمین می‌باشد. بعد از اندازه‌گیری اختلاف پتانسیل می‌توان اندازه مقاومت ویژه ظاهری زمین را طبق رابطه (۳-۴) محاسبه نمود [Loke, 2004].

$$\rho_a = K \frac{\Delta\Phi}{I} \quad (4-3)$$

$$K = \left( \frac{1}{r_{C_1P_1}} - \frac{1}{r_{C_2P_1}} - \frac{1}{r_{C_1P_2}} + \frac{1}{r_{C_2P_2}} \right)$$



در این رابطه،  $\rho_a$  مقاومت ویژه الکتریکی ظاهری زمین و  $K$  ضریب هندسی<sup>۱</sup> برای آرایش مورد استفاده خوانده می‌شود. ضریب هندسی، بستگی به چگونگی آرایش چهار الکتروود در هر آرایش دارد. دستگاه‌های اندازه‌گیری مقاومت ویژه، معمولاً مقدار مقاومت زمین را اندازه‌گیری می‌کنند. رابطه بین مقاومت اندازه‌گیری شده توسط دستگاه و مقاومت ویژه الکتریکی ظاهری به صورت رابطه (۵-۳) تعریف می‌شود [Loke, 2004; Reynolds, 1997].

$$\rho_a = KR \quad (۵-۳)$$

### ۳-۳- تقسیم‌بندی مواد مختلف از لحاظ مقاومت ویژه

به‌طور کلی مقاومت ویژه سنگ‌ها عمدتاً به‌میزان خردشدگی، درصد تخلخل و درصد شکستگی‌ها در سنگ‌ها بستگی دارد. سنگ‌های رسوبی که معمولاً متخلخل بوده و دارای اشباع‌شدگی آب بالاتری می‌باشند، به‌طور معمول از مقاومت ویژه کمتری برخوردارند. خاک‌های رسی معمولاً مقاومت ویژه پایین‌تری نسبت به خاک‌های ماسه‌ای دارند؛ اما نکته قابل توجه، هم‌پوشانی مقادیر مقاومت ویژه سنگ‌ها و خاک‌ها می‌باشد. این امر به این دلیل است که مقاومت ویژه الکتریکی سنگ و یا نمونه خاک به عوامل دیگری مثل تخلخل، اشباع آب و غلظت نمک‌های غیرمحلول نیز وابسته می‌باشد [کلاگری، ۱۳۷۱]. جدول ۱-۳ گستره مقاومت ویژه چند نوع سنگ را نشان می‌دهد.

جدول ۱-۳: مقاومت ویژه برخی از سنگ‌ها و کانی‌ها [Telford et al., 1990]

نوع آب یا سنگ	مقاومت ویژه الکتریکی بر حسب اهم‌متر
آب دریا	۰/۲
آب سفره‌های آبرفتی	۱۰ - ۳۰
آب چشمه طبیعی	۵۰ - ۱۰۰
شن و ماسه خشک	۱۰۰۰ - ۱۰۰۰۰
شیل	۲۰ - ۲۰۰۰
مارن	۳۰ - ۷۰
رس	۱ - ۱۰۰

<sup>1</sup> Geometrical factor

بوکسیت	۲۰۰-۶۰۰۰
لاتریت	۱۲۰-۱۵۰۰
آهک	۵۰-۱۰۰۰۰۰۰۰
دولومیت	۳۵۰-۵۰۰۰
ماسه سنگ آرژیلیتی	۵۰-۳۰۰
شیست آرژیلیتی یا تخریب شده	۱۰۰-۳۰۰
شیست سالم	۳۰۰-۳۰۰۰

### ۳-۴ - روش های برداشت و اندازه گیری داده های مقاومت ویژه

داده های مقاومت ویژه به صورت یک بُعدی، دو بُعدی و هم چنین سه بُعدی به دست می آیند. به طور کلی برداشت های یک بُعدی مقاومت ویژه، برای بررسی تغییرات جانبی و عمقی به دو روش انجام می شود.

الف) پروفیل زنی

ب) سونداژ زنی

با توجه به نوع ساختار زمین شناسی هدف اکتشافی مورد نظر، می توان یکی از روش های سونداژ زنی و پروفیل زنی را طراحی و برداشت کرد. در برداشت های دو و سه بُعدی، تغییرات مقاومت ویژه، هم زمان در جهات مختلف بررسی می شود. در روش سونداژ زنی تغییرات عمقی و یا قائم مقاومت ویژه مورد بررسی قرار می گیرد؛ اما در روش پروفیل زنی، تغییرات جانبی مقاومت ویژه زیر سطحی در طول یک خط پروفیل بررسی می شود. در روش پروفیل زنی، آرایش مورد استفاده و پارامترهای آن، ثابت باقی می ماند و الکترودها در طول خط پروفیل جابجا می شوند. برای نمایش داده های پروفیل زنی محور افقی فاصله یا موقعیت ایستگاه (نقطه مرکزی آرایش الکترودی یا الکترودها) از نقطه مرجع و محور قائم، مقادیر مقاومت ویژه را نشان می دهد. محور افقی همواره خطی است ولی محور قائم می تواند خطی یا لگاریتمی باشد.

در سونداژهای ژئوالکتریک، تغییرات عمقی مقاومت ویژه و لایه‌بندی‌های موجود با استفاده از آرایش‌هایی که فاصله میان بعضی از الکترودها و یا همه آنها به طور متقارن افزایش می‌یابد، بررسی می‌شوند. مقادیر مقاومت ویژه با توجه به فاصله و بر روی نمودارهای لگاریتمی (هر دو محور لگاریتمی) رسم می‌شوند. اگرچه روش‌هایی برای تفسیر شیب لایه‌ها نیز پیشنهاد شده، اما سونداژ ژئوالکتریکی تنها در مواقعی که فصل مشترک لایه‌ها افقی باشد؛ به خوبی جواب می‌دهد [Milson, 1989].

در روش سونداژزنی موقعیت مرکز آرایش ثابت مانده و در هر مرحله، بسته به نوع آرایش، الکترودها نسبت به محل مرکز آرایش جابجا شده و در فاصله مشخص دورتری قرار می‌گیرند. با انجام این عمل، جریان به اعماق پایین‌تر نفوذ کرده و می‌توان اطلاعاتی از لایه‌های در اعماق پایین‌تر به دست آورد. در روش پروفیل‌زنی فاصله میان الکترودهای جریان و پتانسیل ثابت باقی مانده ولی موقعیت مرکز آرایش با جابجایی کل الکترودها در هر مرحله تغییر می‌کند. به این ترتیب می‌توان تغییرات جانبی لایه‌ها را در یک عمق معین بررسی کرد. از کاربردهای مهم این روش می‌توان به اکتشاف گسل‌ها و دایک‌ها، حفرات، رودخانه‌های مدفون و دیگر ساختارهای قائم یا با شیب زیاد اشاره نمود.

در مواقعی که نیاز به تهیه مقطع یا شبه مقطع از مقاومت ویژه توده‌های زیرسطحی است، داده‌ها به صورت دو بعدی برداشت می‌شوند.

### ۳-۴-۱- روش برداشت سونداژزنی الکتریکی قائم پیوسته

روش سونداژزنی الکتریکی قائم پیوسته<sup>۱</sup> (CVES)، در حقیقت از تعدادی سونداژ الکتریکی تشکیل شده که در یک پروفیل خطی برداشت شده‌اند و در نتیجه می‌توانند به صورت دو بعدی نیز تفسیر شوند [Molano, et al., 1990].

در این روش هدف اولیه بررسی زمین به صورت یک بعدی است و برداشت در آن اغلب با آرایه

---

<sup>1</sup>. Continuous Vertical Electric Sounding

شلومبرژه انجام می‌شود. با برداشت خطی چندین سونداژ امکان تفسیر دو بُعدی میسر خواهد شد. آرایه شلومبرژه در نشان دادن تغییرات هموار مقاومت ویژه، قوی تر از دیگر آرایه‌ها است، از این رو، روش برداشت CVES در زمین‌های با تغییرات عمقی هموار، نتایج قابل قبولی ارائه می‌دهد [Muiuane & Padersen, 1999].

### ۳-۵- انتخاب آرایش الکترودی مناسب

انتخاب آرایش الکترودی مناسب برای اندازه‌گیری‌های مقاومت ویژه الکتریکی، به وضعیت ساختارهای زیر سطح زمین، حساسیت دستگاه اندازه‌گیری مقاومت ویژه و به میزان نوفه زمینه بستگی دارد. چهار مؤلفه اصلی یک آرایش عبارتند از: [Loke, 2004]

(۱) عمق نفوذ

(۲) حساسیت آرایش به تغییرات عمقی و جانبی مقاومت ویژه الکتریکی در داخل زمین

(۳) پوشش افقی داده‌ها

(۴) نسبت سیگنال به نوفه<sup>۱</sup>

برای اندازه‌گیری داده‌های مقاومت ویژه، آرایش‌های الکترودی مختلفی پیشنهاد شده است. از مهمترین آرایش‌هایی که در روش مقاومت ویژه به کار برده می‌شوند، می‌توان به آرایش‌های ونر، شلومبرژه، دوقطبی - دوقطبی، قطبی - دوقطبی و گرادبان اشاره کرد. آرایش ونر در پروفیل‌زنی، آرایش شلومبرژه در سونداژزنی و آرایش دوقطبی - دوقطبی در تهیه شبیه مقاطع و برداشت‌های پلاریزاسیون القایی<sup>۲</sup> محبوبیت زیادی پیدا کرده‌اند. جدول ۳-۲ مقایسه‌ای بین مؤلفه‌های مذکور برای چند آرایش الکترودی را به صورت تعداد \* بیان می‌کند. هرچه تعداد \* برای آرایشی بیشتر باشد، آرایش مذکور از نظر خصوصیت یا ویژگی مورد نظر بهتر خواهد بود.

1. noise

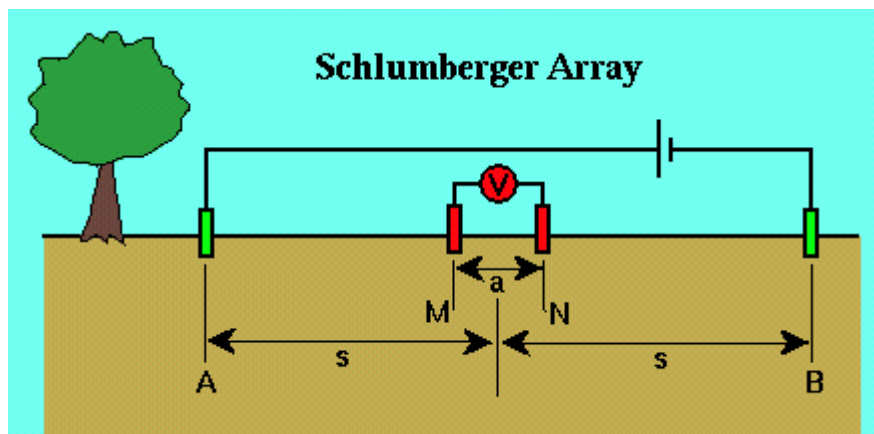
2. Induced Polarization

جدول ۳-۲: خصوصیات مختلف چند آرایش الکترونی [Samouelian et al., 2005].

قطبی - دوقطبی	قطبی - قطبی	دوقطبی - دوقطبی	شلومبرژه	ونر	
**	**	*	**	****	حساسیت آرایش به ساختارهای افقی
*	**	****	**	*	حساسیت آرایش به ساختارهای قائم
***	****	***	**	*	عمق نفوذ
***	****	***	**	*	پوشش افقی داده‌ها
**	****	*	***	****	نسبت سیگنال به نویز

### ۳-۵-۱- آرایش شلومبرژه

از آنجا که در این پژوهش برای اندازه‌گیری داده‌های مقاومت ویژه از آرایه شلومبرژه استفاده شد؛ لذا مختصری در مورد آن بحث می‌شود. این آرایش به طور گسترده در اکتشافات الکتریکی مورد استفاده قرار می‌گیرد، از نوع چهار الکترونی متقارن می‌باشد. هر چهار الکتروند A، B، M و N در طول یک خط راست و در روی زمین قرار می‌گیرند. جریان از طریق دو الکتروند A و B به درون زمین تزریق می‌شود و اختلاف پتانسیل ناشی از آن توسط دو الکتروند M و N اندازه‌گیری می‌شود. داده اندازه‌گیری شده به زیر نقطه مرکز این آرایش نسبت داده می‌شود. شکل ۳-۳ شمایی از این آرایش را نشان می‌دهد.



شکل ۳-۳: نمایش آرایش شلومبرژه [www.geotomo.com]

در شکل ۳-۳ A و B الکترودهای جریان و M و N الکترودهای پتانسیل می‌باشند. در آرایش شلومبرژه  $AB \geq 5MN$  می‌باشد، یعنی حداقل AB باید ۵ برابر MN باشد. ولی اگر طول MN بیش از حد کوچک شود در این صورت اختلاف پتانسیل دو سر آن بسیار کوچک شده و اندازه‌گیری آن مشکل می‌شود و باید طول MN متناسب با AB باشد. برای اندازه‌گیری در این روش، فاصله MN ثابت نگه داشته می‌شود و بعد از هر بار اندازه‌گیری اختلاف پتانسیل، دوباره فاصله الکترودهای جریان یعنی طول AB را افزایش می‌دهند. در ازاء هر چند بار افزایش طول AB یک بار هم طول MN را افزایش می‌دهند. در این آرایش مقدار مقاومت ویژه ظاهری ( $\rho_a$ ) به صورت زیر محاسبه می‌شود [Telford et al., 1990]:

$$\rho_a = \frac{\pi(S^2 - a^2/4)}{a} \frac{\Delta V}{i} \quad (۶-۳)$$

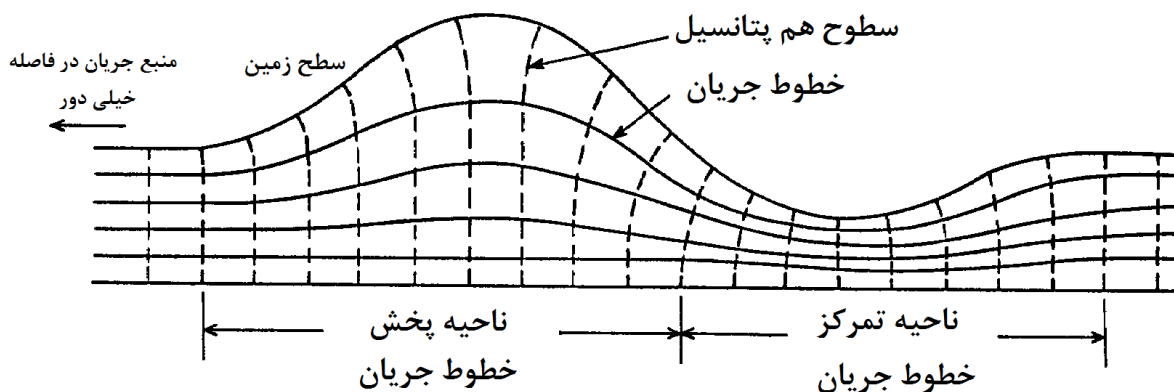
که در آن S فاصله بین وسط الکترودهای پتانسیل و الکترود جریان و a فاصله بین الکترودهای پتانسیل می‌باشد.

از مهمترین مزایای این آرایش، می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

- تاثیر کمتر جریان‌های تلوریک روی مقادیر اندازه‌گیری شده
  - صرفه‌جویی در هزینه و زمان به هنگام انجام عملیات صحرایی سونداژزنی
  - حذف اثر تغییرات جانبی مقاومت‌ویژه و همچنین تفکیک اثر تغییرات سطحی و جانبی مقاومت‌ویژه از تغییرات عمقی [Telford et al., 1990]
- اما از معایب این آرایش می‌توان گفت که از آنجا که در بعضی اندازه‌گیری‌ها طول MN در مقایسه با AB خیلی کوچک می‌شود و مقدار  $\Delta V$  کوچک می‌شود، نیازمند دستگاه‌هایی با حساسیت بالا می‌باشد [Mooney, 1980].

### ۳-۶- تاثیر توپوگرافی بر مقادیر مقاومت‌ویژه ظاهری

توپوگرافی سطح زمین بر روی داده‌های صحرایی تأثیر گذاشته و بسته به شدت توپوگرافی باعث به وجود آمدن آنومالی‌های کاذب می‌گردد. علت این موضوع تمرکز<sup>۱</sup> خطوط جریان و سطوح هم‌پتانسیل در زیر درّه و پخش<sup>۲</sup> آن‌ها در زیر تپه است. شکل ۳-۴ تجمع و تفرق خطوط جریان و سطوح هم‌پتانسیل را نشان می‌دهد.



شکل ۳-۴: تأثیر توپوگرافی بر خطوط جریان و سطوح هم‌پتانسیل [After Fox, et al., 1980].

در زیر درّه‌ها آنومالی منفی نسبت به زمینه در مقادیر مقاومت‌ویژه ظاهری ایجاد می‌شود یا به

<sup>۱</sup>. focusing  
<sup>۲</sup>. dispersion

عبارت دیگر کاهش مقاومت ویژه ظاهری نسبت به زمینه ایجاد می‌شود و وقتی داده‌های مقاومت ویژه ظاهری بر روی تپه برداشت شوند، وجود آنومالی مثبت کاذب (یعنی افزایش کاذب مقاومت ویژه ظاهری نسبت به زمینه) در شبه مقطع حاصله مشهود است [Fox et al., 1980].

### ۳-۷- مزایا و معایب روش مقاومت ویژه

از کاربردهای روش مقاومت ویژه می‌توان به موارد زیر اشاره کرد [Mooney, 1980]:

(۱) در اکتشافات معدنی (سولفیدها، اکسیدها و به‌طور کلی کانی‌هایی که دارای جلای فلزی باشند) و به‌ویژه در شناسایی زون‌های خرد شده گسله که ارتباط نزدیکی با کانی‌سازی فلزی دارند.

(۲) مطالعه آب‌های زیرزمینی جهت تعیین سطح و عمق سفره آب‌های زیرزمینی، مرز آب شور و شیرین و محل کانال‌های رودخانه‌ای مدفون.

(۳) در کارهای مهندسی عمران و راه، برای تعیین ضخامت آبرفت‌ها، عمق سطح سفره آب‌دار، عمق سنگ بستر، اکتشاف گسل‌ها و شناسایی حفره‌های زیر سطحی و لایه‌های رسی.

(۴) در بررسی مسائل زیست‌محیطی جهت شناسایی زون‌های آلوده زیرسطحی، ترسیم آن‌ها و تعیین گسترش این آلودگی‌ها با زمان بسیار سودمند است.

(۵) در اکتشافات باستان‌شناسی که اکثراً برای اکتشاف و ترسیم پی دیواره‌ها به کار می‌رود.

از مزایای روش مقاومت ویژه در مقایسه با سایر روش‌های ژئوفیزیکی (مانند لرزه‌شناسی، گرانی سنجی و ...) و یا روش‌های اکتشافی مستقیم (مانند حفاری و ...) می‌توان به موارد زیر اشاره نمود [Mooney, 1980]:

(۱) انعطاف‌پذیری (استفاده از آن در هر مرحله از اکتشاف مثل شناسایی اولیه، تعیین جزئیات).



۲) روشی نسبتاً سریع و آسان برای برداشت داده‌ها.

۳) در مقایسه با دیگر روش‌های الکتریکی همچون الکترومغناطیس، کمتر به نوفه (نویز) حساس است.

۴) هزینه‌های صحرایی پایین و کم بودن تعداد نیروی انسانی مورد نیاز برای برداشت.

۵) سبک و قابل حمل بودن دستگاه‌ها

۶) تفسیر کیفی داده‌ها به طور مستقیم صورت می‌گیرد همچنین نرم‌افزارهای کامپیوتری متعددی به منظور تفسیر کمی داده‌ها توسعه داده شده است.

برخی از محدودیت‌های این روش عبارتند از [کلاگری، ۱۳۷۱؛ Fox et al, 1980

;mooney,1980];

۱) با توجه به گستردگی دامنه تغییرات مقاومت ویژه تعبیر و تفسیرها قدری مبهم هستند. مخصوصاً در مناطق خرد شده، این ابهام بیشتر است، هرچند مقایسه و تطبیق با نقشه زمین‌شناسی می‌تواند تا حدی این ابهام را کاهش دهد.

۲) عمق نفوذ این روش محدود می‌باشد (به علت محدودیت در تزریق جریان الکتریکی و گسترش کابل‌های طویل بر روی زمین). علاوه بر این روبراه‌های رسانا مثل رس‌ها و مارن‌ها نیز عمق نفوذ را کاهش می‌دهند.

۳) تأسیسات بشری مانند ساختمان‌ها، کابل‌های برق و تلفن، لوله‌های فلزی و امثال آن‌ها، داده‌های اندازه‌گیری شده را به نوفه آلوده می‌سازند.

۴) این روش در اکتشاف مواد معدنی پراکنده، که ذرات کانی‌ها بهم اتصال ندارند، کارایی چندانی

ندارد.

۵) همانند اکثر روش‌های ژئوفیزیکی دیگر، توپوگرافی تأثیر منفی بر روی داده‌های مقاومت‌ویژه دارد. توپوگرافی موجب پراکندگی موضعی و تمرکز توزیع جریان در نزدیک سطح می‌شود؛ که این موضوع سبب تشکیل تمرکزهای کاذب مقاومت‌ویژه به علت وجود عوارض زمینی در داده‌های صحرایی می‌شود.

۶) در برخی موارد، مدل‌های ژئوفیزیکی حاصل، با مدل زمین‌شناسی مربوطه بسیار تفاوت دارد. به عبارت دیگر الزاماً لایه‌های ژئوالکتریکی بر لایه‌های زمین‌شناسی منطبق نیستند.

۷) ابهام در تفسیر داده‌های مقاومت‌ویژه، باعث می‌شود که چندین مدل وجود داشته باشد، بنابراین اطلاعات جنبی مانند اطلاعات زمین‌شناسی برای تفسیر نتایج ضروری است.

### ۳-۸- پارامترهای ژئوالکتریکی

یک مقطع زمین‌شناسی کلاً با یک مقطع ژئوالکتریکی فرق دارد. مرز بین لایه‌های مختلف زمین‌شناسی ممکن است منطبق با مرز لایه‌های ژئوالکتریکی باشد و یا نباشد. برای نمونه موقعی که شوری آب زیرزمینی در یک نوع سنگ و یا رسوب معین (که از نظر لیتولوژیکی همگن می‌باشد)، با عمق تغییر کند، چند لایه ژئوالکتریک ممکن است در داخل آن قابل تشخیص باشند. عکس این حالت موقعی است که چند لایه با لیتولوژی و یا سن متفاوت (یا هر دو حالت)، ممکن است مقاومت ویژه یکسانی داشته باشند و تشکیل یک لایه ژئوالکتریک را بدهند. بنابراین یک لایه ژئوالکتریک توسط دو پارامتر اساسی یکی مقاومت‌ویژه ظاهری ( $\rho_a$ ) و دیگری ضخامت ( $h$ ) قابل توصیف می‌باشد [کلاگری، ۱۳۷۱].

### ۳-۹- برداشت‌های ژئوفیزیکی در منطقه مطالعاتی

پس از انجام مطالعات اولیه و بازدید مقدماتی ناحیه معدنی بوکسیت جاجرم، بلوک ۴ و ۵

تاگویی به عنوان محل طراحی و برداشت پروژه انتخاب گردید. منطقه مورد نظر دارای توپوگرافی شدیدی است که طراحی شبکه برداشت را محدود می‌نماید. از آنجا که هدف، یافتن عمق و ضخامت لایه معدنی می‌باشد و تغییرات قائم مقاومت ویژه، بیشتر از تغییرات افقی، بیان‌گر مشخصات لایه بوکسیتی است؛ بنابراین، آرایش شلومبرژه برای برداشت داده‌های مورد نظر به کار گرفته شد. آرایش شلومبرژه متداول‌ترین آرایش مورد استفاده در عملیات سونداژنی است. از مزایای این آرایش این است که چون الکترودهای پتانسیل حداقل برای چندین طول AB، ثابت مانده و جابه‌جا نمی‌شود؛ صرفه‌جویی قابل توجهی در زمان ایجاد می‌شود.

با توجه به اطلاعات زمین‌شناسی به‌ویژه کربناته بودن بستر ماده معدنی و نیز حفاری‌های اکتشافی قبلی که در این منطقه صورت گرفته، تغییرات شدیدی در عمق و ضخامت لایه بوکسیتی مورد انتظار است و به‌همین دلیل فواصل سونداژها مطابق با فواصل گمانه‌های اکتشافی در نیمرخ اکتشافی در نظر گرفته شده ۲۵ متر منظور شد؛ هم‌چنین شواهد و رخنمون‌های موجود در منطقه، حاکی از شیب‌دار بودن لایه‌های زمین‌شناسی است؛ بنابراین در طراحی اولیه، فواصل دو خط برداشت کمتر از فواصل سونداژها در نظر گرفته شد؛ که با توجه به عرض کم دره فواصل خطوط برداشت به ۱۰ متر منظور شد.

تعداد ۸۲ سونداژ به فاصله ۲۵ متر از هم بر روی سه خط برداشت موازی به فاصله ۱۰ متر در طول دره برداشت شد. با توجه به توپوگرافی شدید منطقه و محدودیت فضای برداشت، ۳۴ سونداژ بر روی خط اول، ۲۹ سونداژ بر روی خط دوم و ۱۹ سونداژ بر روی خط سوم برداشت شدند. البته ابتدای همه این خطوط برداشت، از یک محل و به فاصله ۱۰ متر از هم طراحی شدند. شبکه برداشت سونداژهای ژئوالکتریکی را نشان می‌دهد. رخنمون‌های بوکسیتی در جنوب مراکز سونداژها دیده می‌شوند و خطوط کنوری، نمایش توپوگرافی سطح زمین است. این داده‌ها در آبان و دی‌ماه سال ۱۳۹۰ برداشت شدند [مومنی، ۱۳۹۰].



شکل ۳-۵: موقعیت سونداژهای الکتریکی در منطقه مورد مطالعه به همراه نمایش توپوگرافی، رخنمون‌های بوکسیتی و گسل‌های منطقه.

### ۳-۱۰- تفسیر سونداژهای الکتریکی در منطقه

در این پژوهش به منظور تفسیر کمی از منحنی‌های استاندارد و نرم‌افزارهای IX1D [Interpex, 2008]، VES [Cooper, 2000] و IPI2WIN [Geoscan-M Ltd., 2001] استفاده شد. سونداژهای الکتریکی به دو طریق مورد تفسیر قرار گرفتند. ابتدا منحنی‌های سونداژ الکتریکی با استفاده از منحنی‌های استاندارد یا سرمنحنی‌های دو لایه‌ای و منحنی‌های کمکی تفسیر قرار شدند. سپس نتایج حاصله به عنوان مدل اولیه با استفاده از نرم‌افزارهای کامپیوتری مدل‌سازی شده‌اند. در روش دیگر داده‌های خام صحرایی را می‌توان مستقیماً توسط نرم‌افزار IX1D به کمک دو روش اُکام و ریج وارون‌سازی نمود. که در این جا از نتایج روش اول استفاده شد. نتایج وارون‌سازی سه پروفیل ژئوالکتریکی برداشت شده در منطقه تاگویی ۴ و ۵ به روش منحنی‌های استاندارد در جدول‌های ۳-۳، ۴-۳ و ۵-۳ آورده شده است. در این جدول‌ها لایه‌های A، B، C، D و E لایه‌های زیر سطحی است که در زیر شرح داده شده‌اند.

در نتیجه تفسیر کلی سونداژهای ژئوالکتریکی در منطقه مورد مطالعه چهار لایه ژئوالکتریکی قابل تشخیص است. این لایه‌ها به ترتیب از عمق به سطح عبارتند از:

- ۱) لایه دولومیتی که نقش سنگ بستر را دارد و تا حداکثر عمق نفوذ جریان مستقیم الکتریکی، گسترش قائم دارد. این لایه، نسبت به لایه‌های ژئوالکتریکی دیگر مقاومت‌ویژه بالاتری دارد و گستره مقاومت‌ویژه آن از ۲۰۰ تا ۵۰۰ اهم‌متر و بیشتر، است (لایه E).
- ۲) لایه بعد حاوی انواع واحدهای بوکسیتی، شیل‌های ذغالی، ماسه‌سنگ دانه‌ریز و متخلخل و سیلتستون و ... می‌باشد؛ که به دلیل عدم تباین مقاومت‌ویژه و هم‌پوشانی گستره مقاومت‌ویژه آنها از هم قابل تفکیک نیستند. مقاومت‌ویژه این لایه، در حدود ۵۰ تا ۱۰۰ اهم‌متر و در موارد انگشت‌شماری بیش از این مقدار می‌باشد (لایه D).
- ۳) یک روباره رسانا با مقاومت‌ویژه کمتر از لایه دوم که مقاومت‌ویژه آن در حدود ۳۰ تا زیر ۱۰۰

اهم متر می‌باشد. جنس این لایه، عموماً آبرفت‌های سطحی است. با توجه به میزان بالای نزولات جوئی و زمان برداشت داده (آبان و دی ماه) این لایه، مرطوب بوده و کم بودن مقاومت‌ویژه آن متأثر از این موضوع است (لایه B).

۴) یک لایه نازک سطحی که گستره مقاومت‌ویژه بالایی دارد و مقاومت‌ویژه‌های بسیار بالا (بیش از ۱۰۰۰ اهم‌متر) تا کم (حدود ۴۰ اهم‌متر) در آن دیده می‌شود. مقادیر کم احتمالاً مربوط به رس‌ها و آبرفت‌های دانه‌ریز و مرطوب سطحی و مقادیر بالا در روی سکوی حفاری گمانه‌ها و واریزه‌های ناشی از حفاری ثبت گردیدند (لایه C و A) [مومنی، ۱۳۹۰].

جدول ۳-۳: نتایج حاصل از مدل‌سازی پروفیل اول

کد سونداژ	مرز لایه‌های A و B	مرز لایه‌های B و C	مرز لایه‌های C و D	مرز لایه‌های D و E
S1-1	۰/۹۶	۲/۶۵	.	۲۶/۵۲
S1-2	۰/۹۱	۳/۵۶	.	۱۴/۳
S1-3	۰/۷۶	۲/۰۷	.	۱۷/۶۶
S1-4	۰/۹	۲/۴۶۵	.	۲۲/۶۵
S1-5	۱	۲/۸۶	.	۱۶/۸۸
S1-6	۱/۰۵	۵/۷۶	.	۱۷/۱۸
S1-7	۳/۰۶	۵/۵	.	۲۵/۷۲
S1-8	۱/۸۵	۴/۴۶	.	۲۷/۴۲
S1-9	۱/۰۱	۴/۸	.	۴۵/۱۲
S1-10	۱/۳۲	۴	.	۴۱/۱۸
S1-11	۱/۸۸	۵/۱	.	۵۰/۷۷
S1-12	۱/۲۹	۳/۶۷۵	۵/۶۳۸	۶۰/۲۲
S1-13	۰/۷۵	۲/۲۵	۶/۷۸۱	۶۳/۴۳
S1-14	۰/۷۸	۲/۳۶	۶/۶۴	۴۸
S1-15	۱/۳۷	۳/۶۸	۹/۶۷	۴۴/۸۴
S1-16	۱/۱۱	۴/۷	۱۰/۳۸	۴۷/۳۲
S1-17	۰/۹۳	۲/۴۱	۶/۹۹	۵۲/۶۵
S1-18	۲/۰۵	۵/۳۷	۱۳/۳۵	۴۷/۷۴
S1-19	۰/۷	۶/۸۹	.	۴۹/۶۹
S1-20	۰/۷۹	۹/۸۷	.	۴۷/۵۸
S1-21	۱/۴۲	۱۱/۸۸	.	۳۲/۳۷
S1-22	۲/۰۵	۱۲/۳۵	.	۲۸/۰۵
S1-23	۱/۱۷	۱۱/۲۱	.	۳۰/۴۱
S1-24	۲/۴۷	۹/۰۴	.	۳۱/۱
S1-25	۰/۷۱	۵/۵۲	.	۳۰/۳
S1-26	۰/۹۶	۹/۸۸	.	۳۵/۳۹
S1-27	۲/۲	۸/۹۹	.	۳۵
S1-28	۰/۶۳	۸/۱	.	۳۲/۴۱
S1-29	۰/۹۶	۷/۰۲	.	۳۷/۰۵
S1-30	۱/۵۳	۷/۸۴	.	۴۰/۷۳
S1-31	۱/۲۲	۱۱/۳۳	.	۵۱/۹۵
S1-32	۰/۸۴	۱۲/۳۸	.	۶۲/۷۳
S1-33	۱/۱۳	۱۱/۹۲	.	۶۵/۹۶
S1-34	۲/۴۹	۷/۶۷	.	۵۹/۷۴

جدول ۳-۴: نتایج حاصل از مدل‌سازی پروفیل دوم

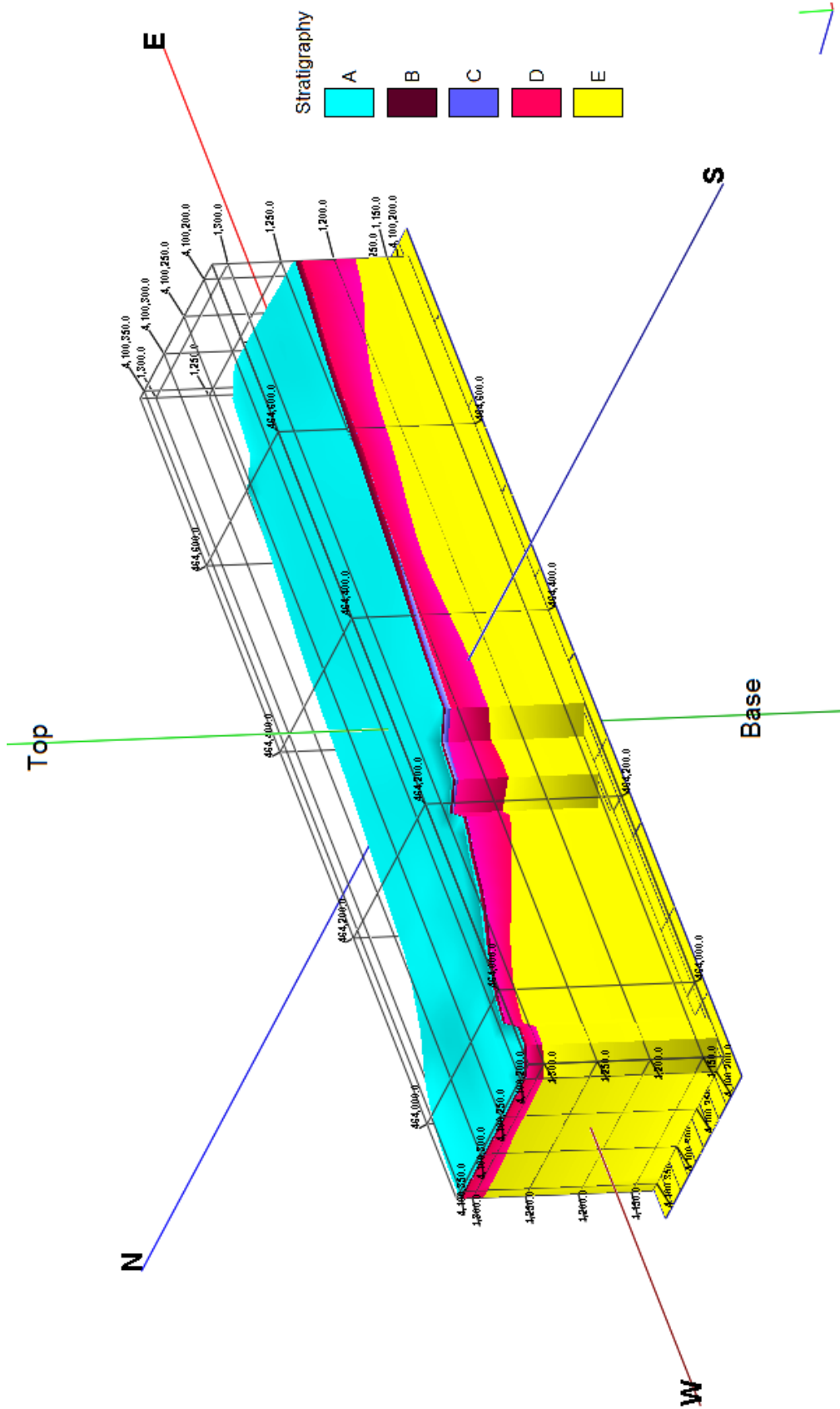
کد سونداژ	مرز لایه‌های A و B	مرز لایه‌های B و C	مرز لایه‌های C و D	مرز لایه‌های D و E
S2-1	۲/۲	۶/۳۹	.	۶۸/۸۷
S2-2	۱/۱۴	۵	.	۵۹/۰۶
S2-3	۰/۸۵	۴/۵	.	۵۹/۱۵
S2-4	۰/۶۵	۲/۱۲	.	۴۷/۳۴
S2-5	۱/۰۵	۴/۶۲	.	۴۰/۱۵
S2-6	۱/۷	۶/۲۷	.	۳۷/۹۵
S2-7	۲/۳۴	۵/۳۴	.	۳۵/۲۶
S2-8	۲/۶۶	۵/۹۶	.	۳۹/۹
S2-9	۲/۳۶	۶/۵۹	.	۴۵/۳۷
S2-10	۱/۰۸	۴/۵۹	.	۳۷/۶۴
S2-11	۱/۱۵	۴/۵	.	۳۷/۲۹
S2-12	۰/۹۷	۳/۴	.	۳۰/۹۸
S2-13	۰/۷۹	۳/۶	.	۲۷/۸۴
S2-14	۱/۱۳	۳/۶	.	۳۱/۷
S2-15	۰/۹۵	۵/۴۷	۵/۴۷	۶۰/۵۴
S2-16	۰/۹۵	۲/۴۱	۱۱/۶۲	۶۰/۳۳
S2-17	۲/۸۸	۴/۷۲	۱۷/۷۸	۵۸/۵۸
S2-18	۱/۸۱	۴/۰۳	۹/۸۹	۵۹/۰۶
S2-19	۰/۹۶	۳/۶۷	۱۲/۷۳	۶۱/۵۶
S2-20	۱/۰۸	۵/۸۷	۱۴/۱۷	۵۹/۰۷
S2-21	۱/۹	۳/۷	۹/۷۹	۶۰/۵۷
S2-22	۱/۲	۳/۸۷	۱۴/۰۶	۵۷/۳۱
S2-23	۱/۲۲	۳/۵۲	۸/۵۷	۶۸/۸
S2-24	۰/۶	۲/۵۷	۲/۵۴	۶۵/۲۲
S2-25	۰/۹۱	۲/۵۵	.	۵۸/۰۶
S2-26	۲/۶۴	۴/۲	.	۵۱/۲۳
S2-27	۰/۵	۵/۹	.	۳۸/۷۹
S2-28	۲/۶۳	۷/۰۸	.	۳۱/۰۶
S2-29	۲/۷۱	۶/۵۲	.	۲۶/۴۹



جدول ۳-۵: نتایج حاصل از مدل‌سازی پروفیل سوم

کد سونداژ	مرز لایه های A و B	مرز لایه های B و C	مرز لایه های C و D	مرز لایه های D و E
S3-1	۰/۸۷	۶/۶	۰	۵۲/۵۸
S3-2	۱/۳	۶/۷	۰	۵۰/۳۷
S3-3	۲	۴/۳۴	۰	۴۰/۵
S3-4	۰/۹۷	۲/۸۴	۰	۳۲/۱۲
S3-5	۰/۹۵	۲/۷۶	۰	۳۴/۷۵
S3-6	۲/۱	۵/۱۶	۰	۳۲/۲۸
S3-7	۲	۶/۳	۰	۳۳/۷۶
S3-8	۱/۳	۱۳/۴۲	۰	۴۳/۵۶
S3-9	۱/۷	۱۱/۵۵	۰	۳۸/۰۵
S3-10	۱/۱	۷/۹۳	۰	۳۱/۹۲
S3-11	۱/۰۷	۵/۱۱	۰	۲۴/۷۷
S3-12	۱/۴۶	۵/۲۶	۰	۲۷/۷۵
S3-13	۰/۸۸	۸/۱	۰	۲۳/۴۱
S3-14	۲/۷۷	۷/۲۹	۱۶/۳۷	۲۷
S3-15	۱/۳۳	۴	۹/۶۵	۳۵
S3-16	۱/۲	۳/۶	۸/۶۶	۴۷/۶۳
S3-17	۰/۹۹	۲/۸	۱۰/۵۵	۴۳/۹۶
S3-18	۲	۳/۵	۹/۴	۴۴/۲۱
S3-19	۰/۹۷	۲/۴	۷/۷	۴۰/۴۵

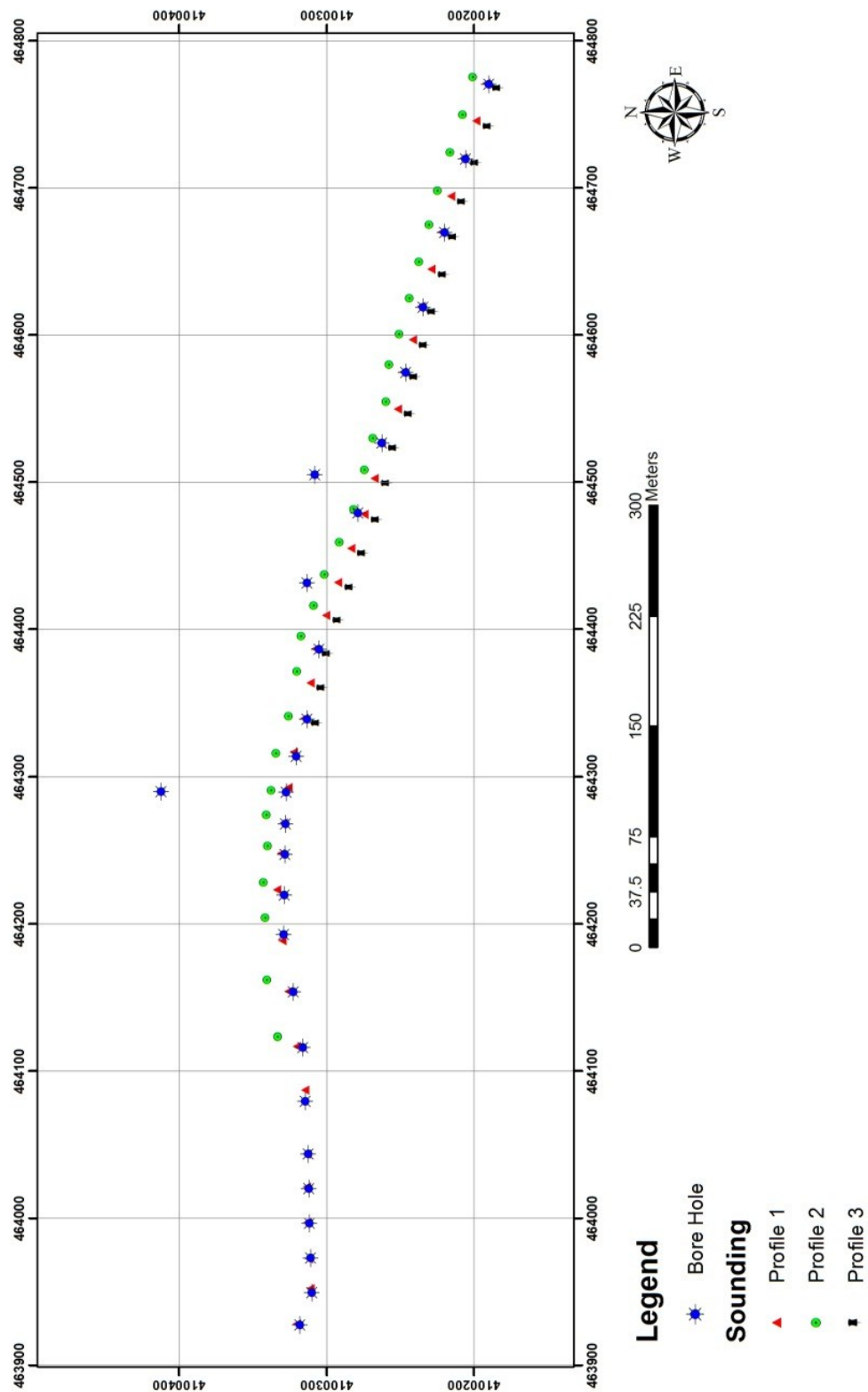
با توجه به مقادیر مقاومت ویژه واقعی و ضخامت لایه‌های تفسیر شده در محدوده مورد مطالعه به صورت اطلاعات ورودی در نرم افزار Rock Work14 برای مدل سه بعدی ژئوالکتریکی استخراج شدند (شکل ۳-۶). همان‌طور که در قسمت قبل گفته شد ۵ لایه ژئوالکتریکی مشخص شد که این لایه‌ها در شکل ۳-۶ نیز نشان داده شده‌اند. لایه E که گستره مقاومت ویژه آن ۲۰۰ تا ۵۰۰ اهم‌متر و بیشتر است؛ لایه D که گستره مقاومت ویژه آن ۵۰ تا ۱۰۰ اهم‌متر است؛ لایه B که گستره مقاومت ویژه آن ۳۰ تا زیر ۱۰۰ اهم‌متر است؛ و لایه‌های C و A که گستره مقاومت ویژه آن از حدود ۴۰ اهم‌متر تا ۱۰۰۰ اهم‌متر می‌باشد مرز بین لایه‌های E و D هدف مورد مطالعه می‌باشد که در تفسیر مقادیر مقاومت ویژه مرز بین لایه بوکسیتی و دولومیتی است که بایستی با داده‌های حفاری منطقه مقایسه گردد.



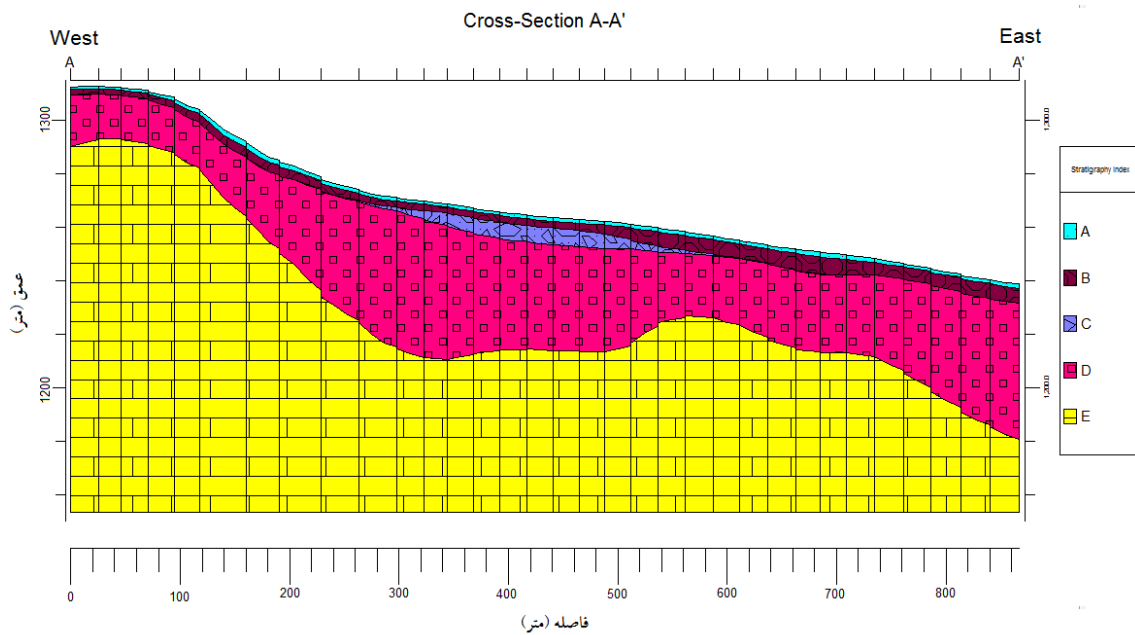
شکل ۳-۶: مدل سه بعدی ژئوالکتریکی منطقه حاصل از تفسیر یک بعدی سونداژهای منطقه

### ۳-۱۱- مقایسه نتایج ژئوفیزیک و حفاری اکتشافی در منطقه

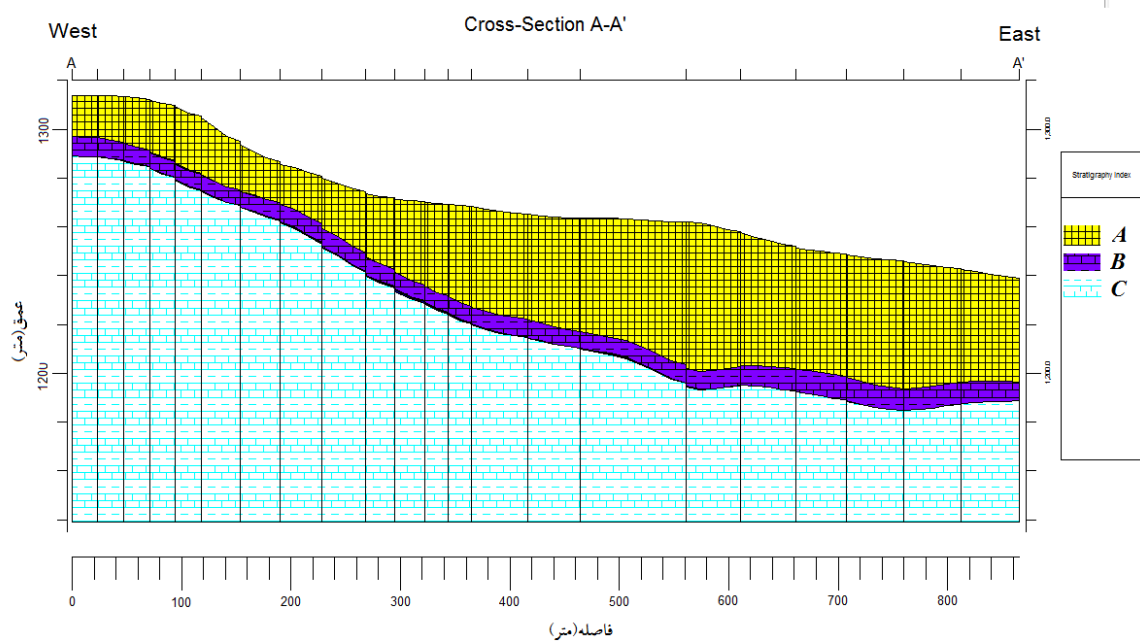
موقعیت داده‌های حفاری به همراه موقعیت سونداژهای منطقه در شکل ۳-۷ نمایش داده شده است؛ همانطور که در شکل ۳-۷ مشاهده می‌شود؛ تنها پروفیل اول داده‌های ژئوفیزیک منطبق بر داده‌های حفاری می‌باشد. لذا برای مقایسه نتایج پروفیل اول ژئوفیزیک و داده‌های حفاری، در نرم افزار Rock Work14 مدل‌سازی شد، که این نتایج در شکل‌های ۳-۸ و ۳-۹ نمایش داده شده‌اند.



شکل ۳-۷: موقعیت داده‌های ژئوفیزیک و چاه‌های حفاری در منطقه مورد مطالعه



شکل ۳-۸: نمایش نتایج پروفیل اول ژئوفیزیک



شکل ۳-۹: نمایش نتایج داده‌های حفاری منطقه. لایه A سازند شمشک، لایه B افق بوکسیتی و لایه C دولومیت‌های سازند الیکا

همان‌طور که از روی شکل‌های ۳-۸ و ۳-۹ مشاهده می‌شود، در اکثر موارد، انطباق کاملی بین ترتیب نتایج حاصل از برداشت سونداژهای ژئوالکتریکی در طول خط برداشت اول و نتایج حاصل از حفر چاه‌های اکتشافی مجاور سونداژهای ژئوالکتریکی مزبور از نظر دقت در تخمین عمق لایه‌ها وجود ندارد. این امر را می‌توان به دلایل زیر نسبت داد:

۱- نوفه یا نویز زمین‌شناسی به دلیل افقی نبودن (یا شیب‌دار بودن) لایه‌های زیر سطح زمین و همچنین توپوگرافی غیر هموار سطح زمین در منطقه برداشت. در این خصوص در بعضی جاها لایه‌بندی نزدیک به حالت قائم بوده و علاوه بر توپوگرافی نسبتاً شدید سطح زمین، عواملی مانند ناهمگنی و پیچیدگی ساختارهای زیرسطحی، تغییرات آرام و تدریجی مرز لایه‌ها، تغییرات سریع عمق سنگ کف و در نهایت تباین اندک مقادیر رسانندگی یا مقاومت ویژه الکتریکی ساختارهای موجود در منطقه مورد مطالعه، این نویز را تشدید کرده و عدم انطباق بیشتر بین نتایج تفسیر حاصل از برداشت سونداژهای ژئوالکتریکی و نتایج حاصل از حفر چاه‌های اکتشافی مجاور سونداژهای ژئوالکتریکی را ایجاد می‌نمایند.

۲- نوفه یا نویز مصنوعی به دلیل عوامل مختلف ناشی از فعالیت‌های انسانی در منطقه مورد مطالعه مانند انجام حفاری‌های اکتشافی و برهم زدن توپوگرافی طبیعی سطح زمین، قرار گرفتن الکترودها به ویژه الکترودهای جریان بر روی واریزه‌های حفاری و سنگ‌ها و خاک‌های نابرجا.

۳- عدم تباین کافی بین رسانندگی یا مقاومت ویژه الکتریکی لایه‌های مجاور هم به ویژه لایه‌های بوکسیت و ماسه سنگ‌ها و شیل‌های بالایی آن در منطقه مورد مطالعه.

۳-۱۲- بررسی صحت و دقت عملیات ژئوفیزیکی انجام گرفته و توان روش برای

پیش‌بینی عمق لایه یا زون کارستی کم‌رپاین بوکسیت با دقت مورد نیاز

به منظور بررسی صحت و دقت نتایج حاصل از برداشت‌های ژئوفیزیکی در محدوده معدنی

تاگویی ۴ و ۵، این نتایج با نتایج حاصل از حفاری‌های اکتشافی در منطقه برداشت مذکور مورد مقایسه قرار گرفتند و بر این اساس، توان روش به کار گرفته شده برای پیش‌بینی عمق لایه یا زون کارستی کمرباطین بوکسیت با دقت مورد نیاز مورد بررسی قرار گرفت.

در این زمینه باید گفت که روش‌های ژئوفیزیکی از جمله روش ژئوالکتریک یا روش مقاومت ویژه جزء روش‌های غیر مستقیم اکتشافی بوده و در مقایسه با روش‌های حفاری از قبیل حفر ترانشه و گمانه که از جمله روش‌های مستقیم اکتشافی محسوب می‌شوند، معمولاً از دقت نتایج پایین‌تری برخوردار می‌باشند. همچنین با وجود این که نتایج روش‌های حفاری از دقت نسبتاً بالایی برخوردار بوده، این روش‌ها در مقایسه با روش‌های ژئوفیزیکی دارای معایبی هستند که از جمله مهم‌ترین آنها می‌توان به بسیار زمان‌بر و پرهزینه بودن آنها اشاره کرد. علاوه بر اینها، معمولاً نتایج حفاری قابل تعمیم و توسعه به کل منطقه مورد مطالعه نبوده و یا حداقل به راحتی نمی‌توان این نتایج را به کل منطقه مورد مطالعه تعمیم داد. در مقابل روش‌های ژئوفیزیکی، اگرچه در مواردی از دقت نتایج نسبتاً پایین‌تری برخوردارند ولی از نظر زمان و هزینه مقرون به صرفه بوده و استفاده از آنها در حال گسترش و رو به فزون است.

از طرف دیگر، برای برداشت و تفسیر صحیح داده‌های ژئوفیزیکی، شرایط لازم باید مهیا باشد و رعایت این شرایط برای رسیدن به نتایج درست و صحیح الزامی است که از جمله آنها می‌توان وجود زمین یا منطقه مناسب (ایده‌آل) برداشت و دید اکتشافی جامع و دانش زمین‌شناسی لازم توسط فرد یا افراد برداشت‌کننده و مفسر یا مفسران مجرب و آگاه و مسلط را نام برد.

در هر حال، یک نتیجه کلی و مهم از این بحث آن است که نتایج روش ژئوفیزیکی معمولاً تقریبی بوده و به ندرت مانند نتایج حفاری، دقیق می‌باشند. در واقع نتایج روش ژئوفیزیکی معمولاً بسته به وجود شرایط ایده‌آل برداشت و تفسیر داده‌ها، دارای مقداری کم و بیش خطا می‌باشند. با توجه به وجود خطا در تخمین اطلاعات حاصل از تفسیر داده‌های ژئوفیزیکی، برای سنجش دقت یا

خطای نتایج تفسیر داده‌های ژئوفیزیکی، این نتایج با نتایج یا اطلاعات حاصل از حفاری مورد مقایسه قرار می‌گیرد که این مهم در اینجا انجام شده است.

در جدول ۳-۶ عمق کنتاکت بین دولومیت کارستی و بوکسیت در گمانه‌های اکتشافی حفر شده و نقاط مختلف سونداژ ژئوفیزیکی یا ژئوالکتریکی واقع بر خط برداشت اول در مجاورت گمانه‌های اکتشافی مزبور که به روش‌های مختلف تفسیر شده‌اند، نشان داده شده است. همان طور که از روی این جدول دیده می‌شود در محل سونداژهای ۱ تا ۸ (و یا سونداژهای ۱ تا ۹)، دقت و انطباق تخمین این عمق به روش ژئوفیزیکی، با توجه به نتایج عمقی حاصل از حفر گمانه‌های اکتشافی مورد نظر تقریباً خوب یا قابل قبول نبوده و همچنین در اکثر سونداژهای ژئوالکتریکی واقع بر خط برداشت اول، مقدار عمق کنتاکت بین دولومیت کارستی و بوکسیت تخمین زده شده به روش ژئوفیزیکی از مقدار عمق به دست آمده از حفر گمانه‌های ذکر شده بیشتر است. بنابراین می‌توان گفت که مقدار تخمین عمق کنتاکت بین دولومیت کارستی و بوکسیت در ۸ یا ۹ سونداژ ژئوالکتریکی ۱ تا ۸ (و یا ۱ تا ۹) از مجموع ۲۱ سونداژ نشان داده شده در جدول ۳-۶ قابل قبول نیست بدین علت که مقدار خطای تخمین عمق کنتاکت بین دولومیت کارستی و بوکسیت در این سونداژها، با توجه به نتایج عمقی حاصل از حفر گمانه‌های اکتشافی مجاور آنها، از ۵۰ یا ۷۰ درصد تجاوز می‌کند. با این حال در اکثر سونداژهای ژئوالکتریکی (یعنی از سونداژ ۹ یا ۱۰ تا سونداژ ۲۱)، مقدار تخمین عمق کنتاکت بین دولومیت کارستی و بوکسیت تا حدی قابل قبول است چرا که مقدار خطای تخمین عمق کنتاکت مورد نظر در سونداژهای مذکور، با توجه به نتایج عمقی حاصل از حفر گمانه‌های اکتشافی مجاور آنها، کمتر از ۵۰ یا ۷۰ درصد است. در محل سونداژهای ۱۰، ۱۱، ۱۲، ۱۵، ۱۶، ۱۸، ۱۹، و ۲۱ (از ۲۱ سونداژ ژئوالکتریکی برداشت شده)، یعنی در ۳۸ درصد سونداژها، پاسخ یا مقدار تخمین عمق کنتاکت بین دولومیت کارستی و بوکسیت بسیار خوب یا قابل قبول بوده است چرا که مقدار خطای تخمین عمق کنتاکت مورد نظر در سونداژهای مذکور، با توجه به نتایج عمقی حاصل از حفر گمانه‌های



اکتشافی مجاور آنها، کمتر از ۵ یا ۱۰ درصد است و این مسئله، نتایج حاصل از تفسیر سونداژهای ژئوفیزیکی یا ژئوالکتریکی را بسیار امیدوار کننده نشان می‌دهد.

قابل قبول نبودن مقدار تخمین عمق کنتاکت بین دولومیت کارستی و بوکسیت در ۸ یا ۹ سونداژ ژئوالکتریکی ۱ تا ۸ ( و یا ۱ تا ۹) را می‌توان به دلایلی که در انتهای بخش قبل گفته شد، نسبت داد که در بین این دلایل، از همه مهمتر، وجود نوفه یا نویز مصنوعی ناشی از عوامل مختلف انسانی در منطقه مورد مطالعه به ویژه قرار گرفتن الکترودها به خصوص الکترودهای جریان بر روی واریزه‌های حفاری و سنگ‌ها و خاک‌های نابرجا و وجود توپوگرافی نسبتاً شدید در سطح زمین می‌باشد.

بنابراین هر چند پیش‌بینی دقت روش ژئوفیزیکی به منظور تخمین اطلاعات مورد نظر معمولاً دقیق نبوده ولی به طور تقریبی نتایج یا اطلاعات حاصل از تفسیر داده‌های ژئوفیزیکی در محدوده یا بازه‌ای از خطا یا همان دقت تخمین، در اکثر موارد، قابل قبول یا صحیح است. در مجموع می‌توان گفت که دقت روش ژئوفیزیکی در تخمین اطلاعات مورد نظر در این طرح پژوهشی که عمق لایه دولومیت کارستی (مرز بین لایه بوکسیت و دولومیت کارستی) است، به طور تقریبی قابل قبول بوده هرچند در موارد کمتری ممکن است حتی دارای خطای بالای ۵۰ یا ۷۰ درصد نیز داشته باشد.

در نتیجه، توان روش به کار گرفته شده برای پیش‌بینی عمق لایه یا زون کارستی کمرباطین بوکسیت با دقت مورد نیاز مورد بررسی قرار گرفت و بر این اساس، نتایج تخمین عمق لایه یا زون کارستی کمرباطین بوکسیت با استفاده از روش ژئوفیزیکی به کار گرفته شده در این طرح پژوهشی، در اکثر موارد، دقت قابل قبولی (خطای کمتر از ۵۰ یا ۷۰ درصد) در بر داشت [کامکار روحانی و عرب امیری، ۱۳۹۲].

جدول ۳-۶: عمق کنتاکت بین دولومیت کارستی و بوکسیت در گمانه‌های اکتشافی حفر شده و نقاط مختلف سونداژ ژئوفیزیکی یا ژئوالکتریکی واقع بر خط برداشت اول در مجاورت گمانه‌های اکتشافی مزبور که به روش‌های مختلف تفسیر شده‌اند [کامکار روحانی و عرب امیری، ۱۳۹۲].

No.	X	Y	Z	کد سونداژ	عمق کنتاکت دولومیت و بوکسیت در گمانه (متر)	عمق نهایی گمانه (متر)	عمق تشخیص کنتاکت دولومیت و بوکسیت در سونداژ (متر)				
							منحنی استاندارد	IXID	VES	IP12WIN	مدل اکام و ریچ
۱	۴۶۳۹۲۸	۴۱۰۰۳۲۰	۱۳۱۳	S1	۲۳.۴	۲۶.۵	۶۰	۵۹.۷۱	۶۰.۶	۶۰	۵۹.۷۴
۲	۴۶۳۹۵۲	۴۱۰۰۳۱۱	۱۳۱۵	S2	۲۴.۹۵	۲۷	۶۶	۶۵.۵۶	۶۷	۶۵.۸	۶۵.۹۶
۳	۴۶۳۹۷۳	۴۱۰۰۳۱۲	۱۳۱۴	S3	۲۵.۷۵	۲۷.۵	۶۶	۶۰.۱۵	۶۱.۹	۶۰.۴	۶۲.۷۳
۴	۴۶۳۹۹۷	۴۱۰۰۳۱۳	۱۳۱۴	S4	۲۵.۸	۲۸.۵	۴۶	۴۳.۷۲	۴۳.۳	۴۵.۶	۵۱.۹۵
۵	۴۶۴۰۲۱	۴۱۰۰۳۱۴	۱۳۱۱	S5	۳۲	۳۶	۴۳	۴۲.۶۹	۴۲	۴۲.۷	۴۰.۷۳
۶	۴۶۴۰۴۴	۴۱۰۰۳۱۳	۱۳۰۷	S6	۳۴.۵	۳۶.۹	۳۸	۳۲.۳۱	۳۲	۳۴.۷	۳۷.۰۵
۷	۴۶۴۰۸۷	۴۱۰۰۳۱۴	۱۲۹۰	S7	۲۲.۷	۲۶	۴۰	۳۱.۲۶	۳۴.۹	۳۱.۲	۳۲.۴۱
۸	۴۶۴۱۱۷	۴۱۰۰۳۲۰	۱۲۸۶	S8	۲۰	۲۲.۵	۳۸	۳۲.۷۱	۳۵.۲	۳۸.۵	۳۵
۹	۴۶۴۱۵۴	۴۱۰۰۳۲۶	۱۲۸۲	S9	۲۷.۵	۳۰.۵	۴۰	۴۴.۸	۴۱	۳۹	۳۵.۳۹
۱۰	۴۶۴۲۲۳	۴۱۰۰۳۳۴	۱۲۷۰	S1۰	۳۷.۵	۳۹.۵	۴۰	۳۴.۷	۳۵	۳۴.۲	۳۰.۳
۱۱	۴۶۴۲۴۸	۴۱۰۰۳۳۱	۱۲۶۹	S11	۳۸.۵	۴۳.۲	۳۸	۴۲.۸۳	۳۹.۵	۳۸	۳۱.۱
۱۲	۴۶۴۲۶۹	۴۱۰۰۳۲۹	۱۲۶۹	S12	۴۲.۹	۴۵.۵	۴۰	۳۷.۴۵	۳۷	۳۵.۶	۳۰.۴۱
۱۳	۴۶۴۳۱۷	۴۱۰۰۳۲۲	۱۲۶۶	S13	۴۹	۵۱.۵	۳۳	۳۰.۸۴	۳۲.۳	۳۲.۱	۲۸.۰۵
۱۴	۴۶۴۳۴۰	۴۱۰۰۳۱۵	۱۲۶۴	S14	۴۸.۴	۵۰.۸	۳۲	۳۰.۲۳	۳۴.۸	۳۲.۱	۳۲.۳۷
۱۵	۴۶۴۳۶۴	۴۱۰۰۳۱۱	۱۲۶۳	S15	۵۱.۷۵	۵۴.۵	۴۶	۴۹.۰۸	۴۶.۵	۴۴.۴	۴۷.۵۸
۱۶	۴۶۴۳۸۷	۴۱۰۰۳۰۸	۱۲۶۲	S16	۵۳.۳	۵۷	۷۰	۴۶.۲	۵۸.۳	۵۴.۱	۴۹.۶۹
۱۷	۴۶۴۴۱۰	۴۱۰۰۳۰۰	۱۲۶۱	S17	۶۰	۶۴	۵۲	۴۸.۰۹	۴۶	۵۲	۴۷.۷۱
۱۸	۴۶۴۴۳۲	۴۱۰۰۲۹۲	۱۲۶۱	S18	۵۳.۹	۵۵.۲	۶۰	۵۸.۴۸	۵۶	۵۴.۱	۵۲.۶۵
۱۹	۴۶۴۴۵۶	۴۱۰۰۲۸۳	۱۲۶۰	S19	۵۶.۴	۵۹	۶۰	۴۸.۸۹	۴۶.۶	۵۰.۵	۴۷.۳۲
۲۰	۴۶۴۴۷۸	۴۱۰۰۲۷۴	۱۲۵۸	S2۰	۵۸.۹۵	۶۳	۵۰	۴۶.۳	۴۵.۵	۴۴	۴۴.۸۴
۲۱	۴۶۴۵۰۳	۴۱۰۰۲۶۷	۱۲۵۷	S21	۵۵.۹	۵۸	۶۲	۵۷.۱۵	۴۳.۵	۵۰.۶	۴۸

## فصل چهارم

### سببش از دور

#### ۴-۱- مقدمه

در این فصل ابتدا اصول و مبانی روش‌های دور سنجی تشریح می‌شود. سپس ضمن تعریف سنجده‌های استر و لندست و مقایسه آنها، روش‌های پردازش تصویر، چگونگی استخراج اطلاعات از آنها و در پایان نتایج این روش‌ها بیان گردیده است.

#### ۴-۲- اصول دورسنجی

سنجش از دور<sup>۱</sup> به عنوان تکنولوژی و عملی تعریف می‌شود، که به وسیله آن، می‌توان بدون تماس مستقیم، در طول موج بین ۰/۳ میکرومتر تا ۱ متر، مشخصه‌های یک شیء یا پدیده را تعیین، اندازه‌گیری یا تجزیه و تحلیل نمود. منبع داده‌های سنجش از دور، معمولاً تابش الکترومغناطیسی است، که از یک شیء، بازتاب یا گسیل می‌شود. وسیله‌ای که تابش الکترومغناطیسی بازتابیده از زمین را آشکار سازی می‌کند، سنجنده<sup>۲</sup> و وسیله ناقلی که سنجنده را حمل می‌کند، سکو نام دارد. معمولاً هواپیماها یا ماهواره‌ها به عنوان سکو مورد استفاده قرار می‌گیرند. در این تحقیق بحث اصلی درباره اطلاعات به دست آمده از ماهواره‌ها می‌باشد. داده‌هایی که توسط سنجنده ثبت می‌شوند، به صورت خام و اولیه هستند. این داده‌ها، معمولاً به وسیله نرم‌افزارهای موجود مورد پردازش، تحلیل و تفسیر قرار می‌گیرند و در بعضی موارد، مثل عکسهای هوایی مستقیماً و به صورت دستی توسط انسان، قابل

---

<sup>1</sup>. Remote Sensing

<sup>2</sup>. Sensor

بررسی هستند و در نهایت در علوم مختلف، مانند زمین‌شناسی، کشاورزی، آب‌شناسی، هواشناسی، محیط زیست و غیره مورد استفاده قرار می‌گیرند.

برای استفاده کنندگان داده‌های سنجش از دور، تنها نمایش نتایج حاصل از پردازش تصاویر کافی و رضایت بخش نیست؛ بنابراین این نتایج باید با سایر اطلاعات موجود منطقه، مثل داده‌های زمین‌شناسی، داده‌های ژئوشیمی، داده‌های ژئوفیزیک و اطلاعات نقشه‌ای مربوطه تلفیق و آنالیز گردند. در رابطه با تلفیق داده‌های سنجش از دور با داده‌های جغرافیایی، لازم است تا یک سیستم اطلاعات جغرافیایی<sup>1</sup> (GIS) ایجاد گردد؛ که قابلیت ذخیره کردن داده‌های تصویری و گرافیکی به صورت رقمی، قابلیت بازیافت داده‌ها و منطبق سازی داده‌ها و ارزیابی آنالیز آنها از طریق ایجاد یک مدل را داشته باشد.

تصاویر ماهواره‌ای حاوی اطلاعات بسیار زیادی در مورد جنس لایه سطحی زمین می‌باشند. بهترین روش برای پیدا کردن دگرسانی‌ها، کمک گرفتن از پردازش داده‌های ماهواره‌ای است. تغییرات شیمیایی و کانی‌شناسی حاصل از دگرسانی سنگ‌ها، میزان انرژی بازتاب شده و یا جذب شده در این سنگ‌ها را تغییر می‌دهد. با توجه به این‌که این انرژی‌ها در مورد پدیده‌های مختلف متفاوت است، با پردازش داده‌های ماهواره‌ای امکان شناسایی و یا بررسی وجود و یا عدم وجود کانی‌های شاخص برخی از دگرسانی‌ها نیز مشخص می‌گردد.

داده‌های سنجش از دور به دلیل یکپارچه و وسیع بودن، تنوع طیفی، تهیه پوشش‌های تکراری و ارزان بودن، در مقایسه با سایر روش‌های گردآوری اطلاعات از قابلیت‌های ویژه‌ای برخوردار است. رقمی بودن داده‌ها موجب شده است که سیستم‌های کامپیوتری بتوانند از این داده‌ها به طور مستقیم استفاده کنند و سیستم‌های داده‌های جغرافیایی و سیستم‌های پردازش داده‌های ماهواره‌ای با استفاده از این قابلیت طراحی و تهیه شده‌اند. دسترسی آسان به داده‌ها، دسترسی سریع به نقاط دور افتاده و

---

<sup>1</sup> Geographic Information Systems

دقت بالای آن‌ها از امتیازات خاص این روش محسوب می‌شود [علوی پناه، ۱۳۸۵].

#### ۴-۲-۱- طیف‌سنجی بازتابی

بخش طیف الکترومغناطیس اطلاعاتی درباره ساختار شیمیایی کانی‌ها را نشان می‌دهد. طیف سنجی در محدوده SWIR<sup>۱</sup> حساسیت ویژه‌ای به حضور مولکول‌های معینی مانند OH, H<sub>2</sub>O, NH<sub>4</sub>, CO<sub>3</sub>, OH<sup>-</sup>, AL-OH, Mg-OH و Fe-OH دارد. این کانی‌ها که در اکتشاف کانسارهای مختلف استفاده می‌شوند به سه گروه اصلی تقسیم می‌شوند: هیدروکسیل (میکها و رس‌ها)، سولفوهایدرات‌ها (ژپس و آلونیت) و کانی‌های آهن‌دار (هماتیت، گوتیت و ژاروسیت). کانی‌هایی که طیف آنها متعلق به محدوده مادون قرمز است؛ بیشتر گروه هیدروکسیل‌ها و سولفات‌ها هستند. اکسید آهن که طیف آن متعلق به محدوده مرئی تا مادون قرمز است، نیز معمولاً در رخنمون‌های سطحی و به عنوان شاخصی مبنی بر حضور کانسارسازی در عمق، در سطح مناطق دگرسان شده حضور دارد [Ruiz-Armenta, et al., 1998].

تشخیص سیمایهای جذبی اکسیدهای آهن و کانی‌های رسی برای کسب موفقیت در اکتشاف مناطق دگرسانی حیاتی است. اکسیدهای آهن و کانی‌های آبدار مانند رس‌ها که دارای باندهای جذب در ناحیه ۲/۰۸-۲/۳۵ میکرومتر هستند، علامت‌های راهنمای زون‌های دگرسانی گرمایی بوده و در نتیجه به موفقیت اکتشاف بسیاری از کانسارها کمک می‌کنند.

#### ۴-۳- معرفی سنجنده‌ها و ماهواره‌ها

داده‌های سنجش از دور مورد استفاده در این تحقیق شامل تصاویر سنجنده‌های استر و ETM<sup>+</sup> می‌باشد که در ادامه هر یک از آنها معرفی می‌شود.

1. Shortwave infrared

#### سنجنده ASTER -۱-۳-۴

سنجنده استر در ۱۸ دسامبر سال ۱۹۹۹ و به منظور مطالعات زمین‌شناسی و منابع طبیعی توسط سازمان ملی هوا فضای آمریکا (NASA) به فضا پرتاب شد. این سنجنده با سرمایه‌گذاری مشترک دولت ژاپن و آمریکا به فضا پرتاب گردید. سنجنده استر روی ماهواره ترا<sup>۱</sup> نصب شده است و در ۱۴ باند تصویر برداری می‌کند. این سنجنده در طول هر ۱۰۰ دقیقه یک بار از استوا می‌گذرد. استر اولین سنجنده‌ای است که دارای باندهای حرارتی با قدرت تفکیک طیفی مناسب می‌باشد. این سنجنده در طول یک روز ۵۰۰ تصویر ۶۰×۶۰ کیلومتر را برداشت می‌کند [Ninomiya, et al., 2005].

سنجنده استر می‌تواند برای مطالعه مسائل موجود در سطح زمین شامل تغییرات پوشش گیاهی به وسیله عوامل طبیعی و یا انسانی، ملاحظه و بررسی مخاطرات طبیعی مانند فوران آتشفشان‌ها و مطالعه تغییرات آب و هوایی، بررسی پیشروی یا پسروی یخچال‌های طبیعی و بررسی ابعاد یخ در سطح دریا و همچنین برای بهبود عملیات اکتشافی به کار گرفته شود [Abrams et al., 1995].

#### مشخصات و تاریخچه ماهواره لندست -۲-۳-۴

به‌طور کلی ماهواره‌های سری لندست، به منظور کسب اطلاعات از منابع زمین طراحی شده‌اند و به دو دسته ماهواره‌های نسل اول شامل ماهواره‌های لندست ۱، ۲ و ۳ و ماهواره‌های نسل دوم شامل ماهواره‌های لندست ۴، ۵، ۶ و ۷ تقسیم می‌گردند [Lillesand, et al., 2004]. سنجنده نقشه‌بردار موضوعی پیشرفته (ETM<sup>+</sup>) برای ماهواره لندست ۷ طراحی شده است. مهمترین تغییر در این سنجنده نسبت به TM اضافه شدن یک باند پانکروماتیک یعنی باند ۸ با قدرت تفکیک ۱۵ در ۱۵ متر می‌باشد. سیستم کالیبره رادیومتری به طور آشکاری پیشرفت کرده و با استفاده از چندین طرح کامل‌تر شده است. در جدول ۴-۱ محدوده‌های طیفی برای دو سنجنده

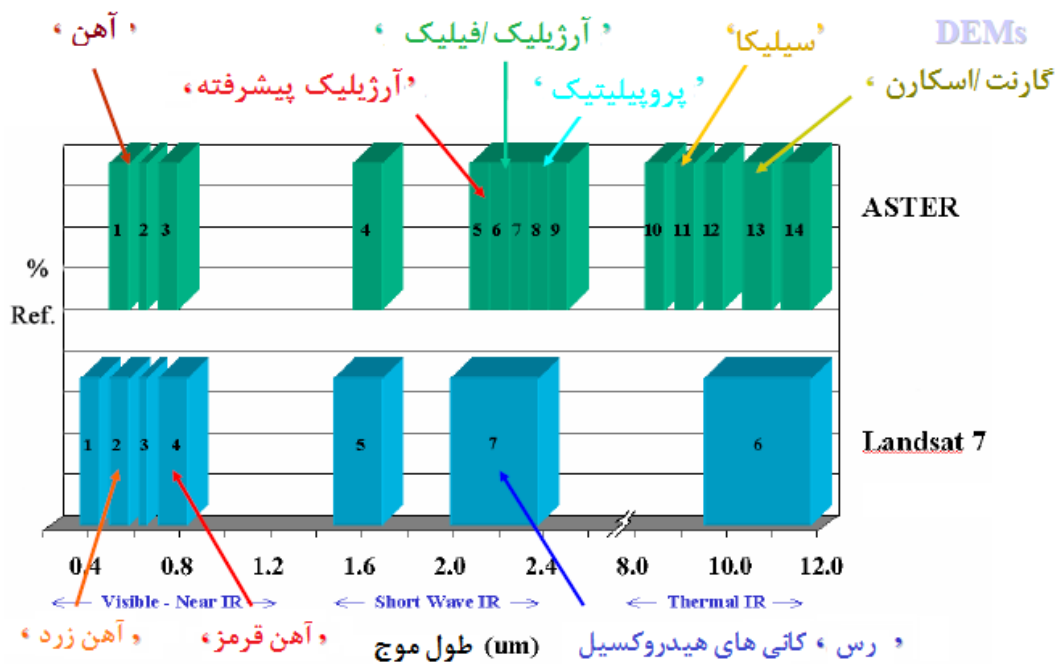
<sup>۱</sup>.Terra

ETM<sup>+</sup> و استر آمده است. همان طور که از جدول ۴-۱ بر می آید سنجنده استر در ۱۴ باند طیفی تصویر برداری می کند. باندهای سنجنده استر در حیطه مرئی دارای قدرت تفکیک بسیار بهتری نسبت به سنجنده ETM<sup>+</sup> می باشند (۱۵ متر در برابر ۲۸/۵ متر) و از سوی دیگر تنوع باندهای طبیعی این سنجنده بیشتر از ETM<sup>+</sup> است (۱۴ باند در مقابل ۸ باند) به همین دلیل این سنجنده نتایج بسیار قابل قبولی را ارائه می دهد که می تواند در بارزسازی مناطق مختلف کلیدی مورد استفاده قرار بگیرد اما از طرفی همان طور که در شکل ۴-۱ نشان داده شده سنجنده ETM<sup>+</sup> نیز در تفکیک بسیاری از کانی ها و دگرسانی ها بهتر از سنجنده استر عمل می کند. بنابراین با تلفیق اطلاعات به دست آمده از این دو سنجنده اطلاعات بهتری حاصل می شود. همچنین در شکل ۴-۱ محدوده طیفی باندهای این دو سنجنده و محدوده طیفی شناسایی برخی دگرسانی ها و کانی ها نشان داده شده است.

جدول ۴-۱: مقایسه بین ویژگی های دو سنجنده استر و ETM<sup>+</sup> (Qiu, Abdelsalam, & Thakkar, 2006).

Region	ASTER			ETM+		
	Band no.	Spectral ( $\mu\text{m}$ )	Spatial (m)	Band no.	Spectral ( $\mu\text{m}$ )	Spatial (m)
VNIR	1	0.52-0.60	15	1	0.45-0.515	30
	2	0.63-0.69		2	0.525-0.605	
	3N	0.78-0.86		3	0.630-0.690	
	3B	0.78-0.86		4	0.750-0.900	
				pan	0.52-0.90	
SWIR	4	1.60-1.70	30	5	1.55-1.75	30
	5	2.145-2.185		7	2.08-2.35	
	6	2.185-2.225				
	7	2.235-2.285				
	8	2.295-2.365				
TIR	9	2.360-2.430	90			ETM+ (60)
	10	8.125-8.475		6	10.40-12.50	
	11	8.475-8.825				
	12	8.925-9.275				
	13	10.25-10.95				
	14	10.95-11.65				





شکل ۴-۱: مقایسه باندهای طیفی بین دو سنجنده استر و لندست [Taranik, 2009]

#### ۴-۴- پردازش تصاویر ماهواره‌ای

به منظور اخذ اطلاعات از تصاویر ماهواره‌ای، لازم است قبل از استفاده از آنها تصحیحات و پردازش‌هایی به منظور تصحیح و بارز نمودن تغییرات صورت گیرد.

به طور کلی می‌توان پردازش تصاویر ماهواره‌ای را به دو مرحله کلی تقسیم کرد:

۱. ترمیم تصاویر<sup>۱</sup>

۲. استخراج اطلاعات<sup>۲</sup>

#### ۴-۴-۱- ترمیم تصاویر

تصاویر ماهواره‌ای خام دارای خطاها، نوفه‌ها و اعوجاجات فراوان هستند که باید قبل از استفاده آنها را تصحیح کرد. این موارد ممکن است در هنگام برداشت تصاویر، ثبت داده‌ها و یا عملیات

<sup>1</sup>. Image Restoration

<sup>2</sup>. Information Extraction

بازنواخت ایجاد شده باشند. هدف از ترمیم تصاویر بازگرداندن تصاویر ماهواره‌ای شامل شش مورد زیر می‌باشند:

(الف) ترمیم خطوط جا افتاده که عموماً در اثر نقص فنی حسگرهای سنجنده ایجاد می‌شوند.  
(ب) تعمیر خطوط هاشور خورده متناوب (راه راه شدگی) که به صورت مثال در بیابان‌ها ایجاد می‌شوند.

(ج) تعمیر جابه‌جایی خطوط<sup>۱</sup>

(د) فیلتر کردن نوفه‌های تصادفی

(ه) تصحیح اثر پراکنش اتمسفر<sup>۲</sup>

(و) تصحیح اعوجاجات هندسی

#### ۴-۴-۲- آماده‌سازی تصاویر ETM<sup>+</sup> و ASTER برای منطقه مورد مطالعه

داده‌های دورسنجی مورد استفاده در این تحقیق، شامل تصاویر ETM<sup>+</sup> و ASTER است که تصویر ETM<sup>+</sup> مورد استفاده با گذر ۱۶۱ و ردیف ۳۴ در سال ۲۰۰۰ اخذ شد. و تصویر ASTER منطقه با شماره Aster1b\_020401\_371 که در سال ۲۰۰۱ به دست آمده است.

قبل از انجام پردازش‌ها، تصحیحات هندسی و رادیومتریک بر روی تصاویر اعمال گردید. این تصحیحات برای رفع نقایص و خطاهای تصاویر خام دریافت شده از سنجنده‌ها با هدف تصحیح یا جبران خطاهای سیستماتیک صورت می‌گیرد. به منظور انجام تصحیح هندسی از تصویر لندست مختصات‌دار مناطق سنخواست و رباط‌قره‌بیل و نرم‌افزار ENVI 4.5 استفاده شد و برای تصاویر استر از نرم‌افزار Geometric correction tools استفاده شد. روش Dark Subtract که برای تصحیح پراکنش اتمسفر به کار می‌رود و روش کالیبراسیون بازتابش متوسط نسبی داخلی (IARR<sup>۳</sup>) برای نرمالیزه کردن تصاویر با استفاده از یک طیف میانگین تصویر به کار گرفته شد که این روش اثرات ویژه‌ای را

<sup>۱</sup>. Line Offset

<sup>۲</sup>. Atmospheric Scattering

<sup>۳</sup>. Internal average relative reflectance

برای تبدیل داده‌های طیفی به داده‌های بازتابی دارد. در مورد تصاویر استر علاوه بر تصحیحات ذکر شده برای تصاویر ETM+، با استفاده از منوی FLAASH در نرم افزار ENVI 4.5 تصحیح رادیومتریک نیز بر روی تصاویر اعمال گردید.

انرژی الکترومغناطیس در راه رسیدن به پدیده‌های سطح زمین از جو عبور کرده و به علت وجود گازهایی مثل دی اکسید کربن، ازن، بخار آب و همچنین ذرات مختلف، تحت تاثیر جو قرار می‌گیرند و این عامل از لحاظ چگونگی و میزان تأثیر در طول موج‌های مختلف متفاوت است [زبیری و مجد، ۱۳۸۵]. تصحیح Cross-Talk نیز با استفاده از نرم افزار Cross-Talk Correction بر روی تصاویر استر انجام شد.

#### ۳-۴-۴ - استخراج اطلاعات مورد نیاز از تصاویر

این قسمت که قسمت نهایی کار می‌باشد، ماده، محل یا پدیده خاص آشکار می‌شود. هدف از انجام این مرحله آن است که خواص طیفی یا دیگر خصوصیات موضوع مورد جستجو را که در مراحل تعمیر و تقویت تصاویر ظاهر نشده‌اند، به نمایش درآورد. روش استفاده شده جهت استخراج داده‌ها روش نسبت بانندی، می‌باشد.

#### ۱-۳-۴-۴ - روش نسبت‌های بانندی<sup>۱</sup>

نتیجه تقسیم مقادیر روشنایی پیکسل‌ها در یک باند طیفی به باند دیگر را تصویر نسبت بانندی می‌گویند. نسبت‌گیری بانندی برای آشکار ساختن تغییراتی که در تصویر باندهای تک قابل دیدن نیستند؛ به کار می‌رود [علوی پناه، ۱۳۸۵]. در تصاویر نسبتی تغییرات ظریف طیفی پدیده‌ها بهتر از تصاویر باندهای تک نمایان می‌گردند. چرا که در تصاویر نسبتی بعضی از عوامل و پارامترهایی که اثرات نامطلوب دارند (مثل اثر توپوگرافی)؛ حذف می‌شوند [کریم پور و همکاران، ۱۳۸۷]. تصاویر نسبتی یا نسبت‌های بانندی، از شیوه‌های مفید در بارزسازی پدیده‌ها در تصاویر چند بانندی محسوب

---

<sup>1</sup>.Band ratio

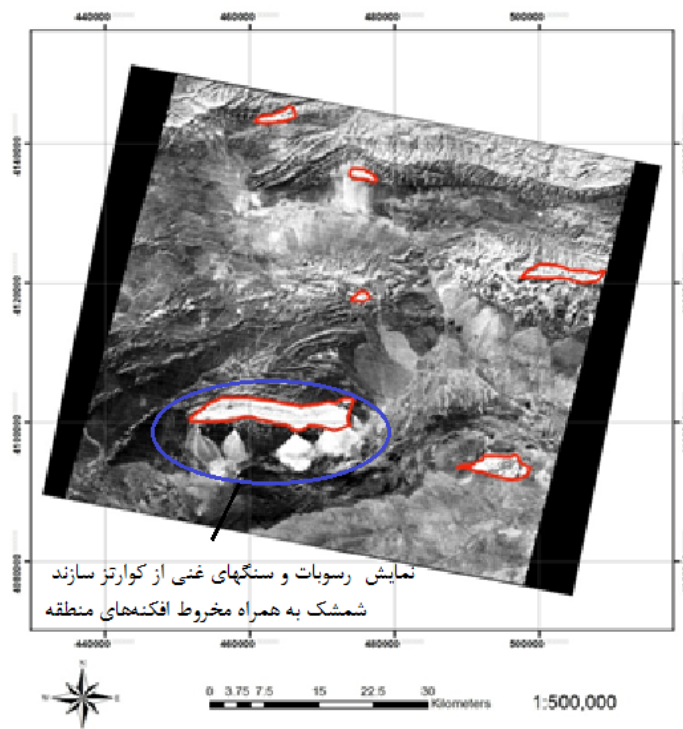
می‌شود. از این روش به منظور کاهش تأثیر روشنایی خورشید، توپوگرافی و بارزسازی اطلاعات طیفی در تصاویر استفاده می‌شود. روش نسبت‌های بانندی، در به نقشه درآوردن گیاهان، رس‌ها، برخی از سنگها و تشخیص زون‌های دگرسانی ناشی از دگرسانی گرمابی، استفاده می‌شود. باندهای طیفی که برای تصاویر نسبتی به کار می‌روند، معمولاً به این صورت انتخاب می‌شوند که یک باند طیفی در محدوده جذب و باند دیگر در محدوده بیشترین بازتابش هدفی خاص انتخاب می‌شود. مهم‌ترین مزیت کاربرد نسبت‌های بانندی، تهیه تصویری است که کاملاً از شرایط روشنایی مستقل است [Gupta, 2003].

#### ۴-۴-۳-۲ - آشکارسازی تصاویر برای تفکیک و استخراج واحدهای سنگی

داده‌های ماهواره‌ای با توجه به ویژگیهای خود همراه با امکان استفاده از روشهای پردازش رقومی تصویر، سبب استخراج اطلاعات مورد نیاز برای شناسایی واحدهای سنگی مختلف در یک محدوده مطالعاتی و به روز کردن نقشه‌های موجود می‌شود. در منطقه مورد مطالعه، برای آشکار سازی واحدهای لیتولوژیکی دولومیت‌های سازند الیکا و رسوبات آواری سیلیس‌دار سازند شمشک بر روی تصاویر استر، از نسبت‌های بانندی جدول ۴-۲ استفاده شده است. نتایج نهایی و نوع سنگ‌های تشخیصی در شکل‌های ۴-۲، ۴-۳ و ۴-۴ آورده شده‌اند. همان‌طور در این شکل‌ها دیده می‌شود، مناطقی که با رنگ روشن مشخص شده، واحد سنگی مورد نظر را نشان می‌دهد. همچنین می‌توان با استفاده از نسبت بانندی ۱ به ۷ در تصویر ETM مناطق با رسوبات آواری سیلیس‌دار را مشخص کرد (شکل ۴-۵).

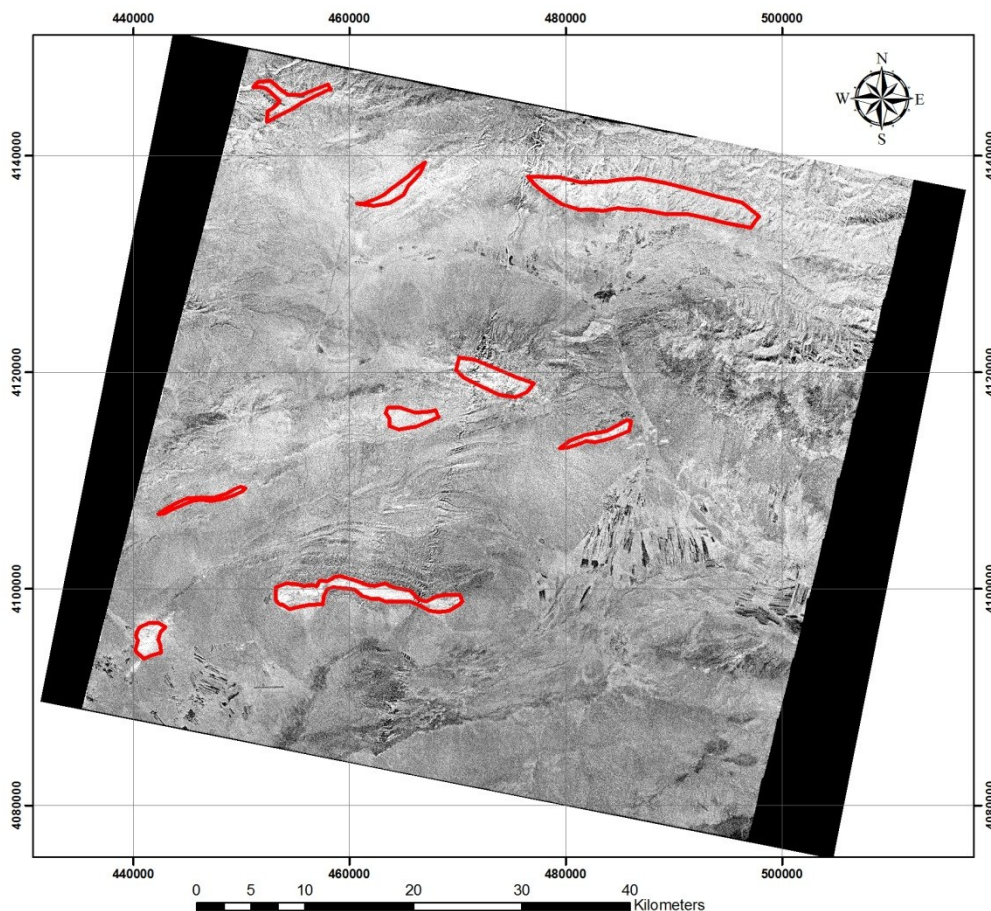
جدول ۲-۴: نسبت‌های باندی مناسب برای واحدهای سنگی مورد مطالعه روی تصاویر استر (Kalinowski & Oliver, 2004)

عارضه	باند یا نسبت باندی	توضیحات
کربناتها / کانی های مافیک		
دولومیت	$(8+6)/7$	ممکن است نسبت ۶/۷ بهتر عمل کند
سیلیکا ها		
سنگهای غنی از کوارتز	۱۴/۱۲	
SiO <sub>2</sub>	۱۳/۱۲	مانند ۱۴/۱۲
ترکبات سیلیسی	۱۱/۱۲	



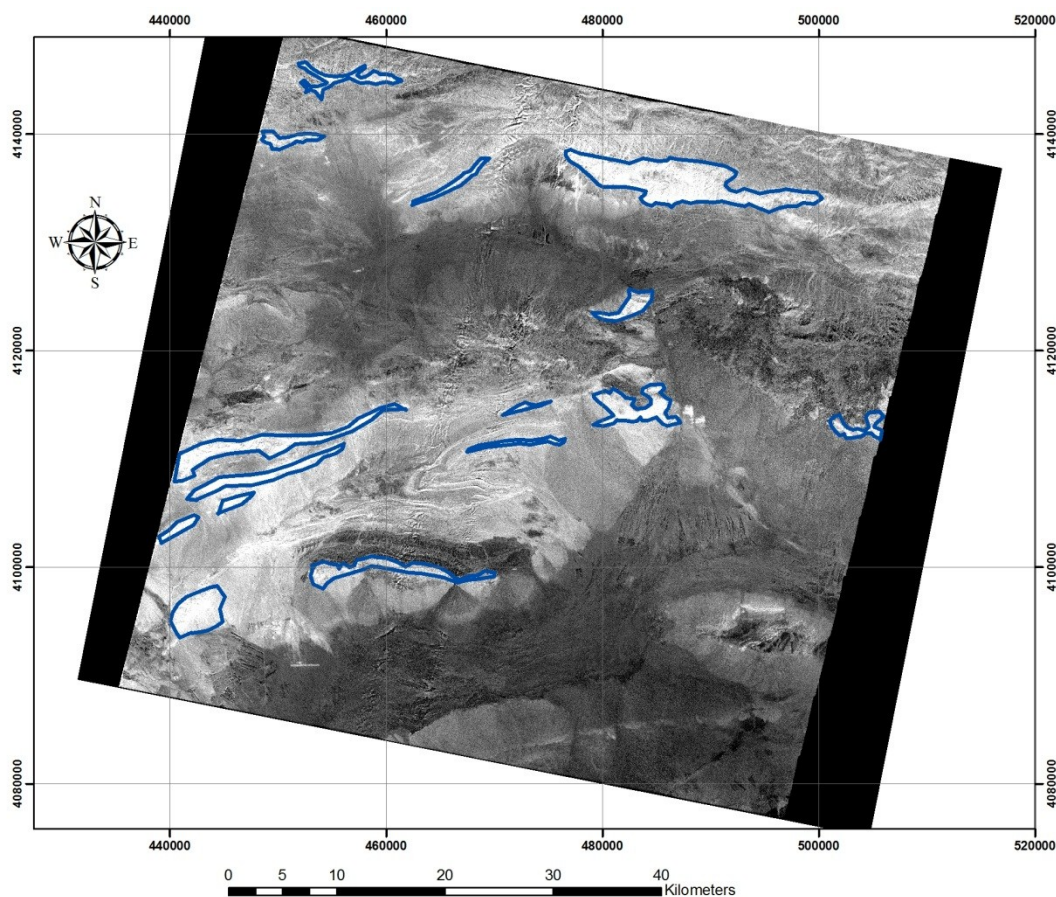
شکل ۲-۴: نسبت باندی ۱۴ به ۱۲ روی تصویر استر برای شناسایی سنگهای غنی از کوارتز منطقه. مناطق روشن نشان دهنده سنگهای غنی از کوارتز

همان‌طور که در شکل ۲-۴ مشاهده می‌شود، نسبت باندی مذکور تقریباً توانسته سنگ‌های غنی از کوارتز منطقه را شناسایی کند و حتی سازند شمشک در منطقه را با تباین خاصی نسبت به اطراف جدا کرده است. اما مخروط افکنه‌های منطقه نیز که جزء واحدهای سیلیسی می‌باشند نیز جدا شده است که باید در شناسایی آنها دقت کرده و آنها را جزء واحدهای سیلیسی به حساب نیاورد.



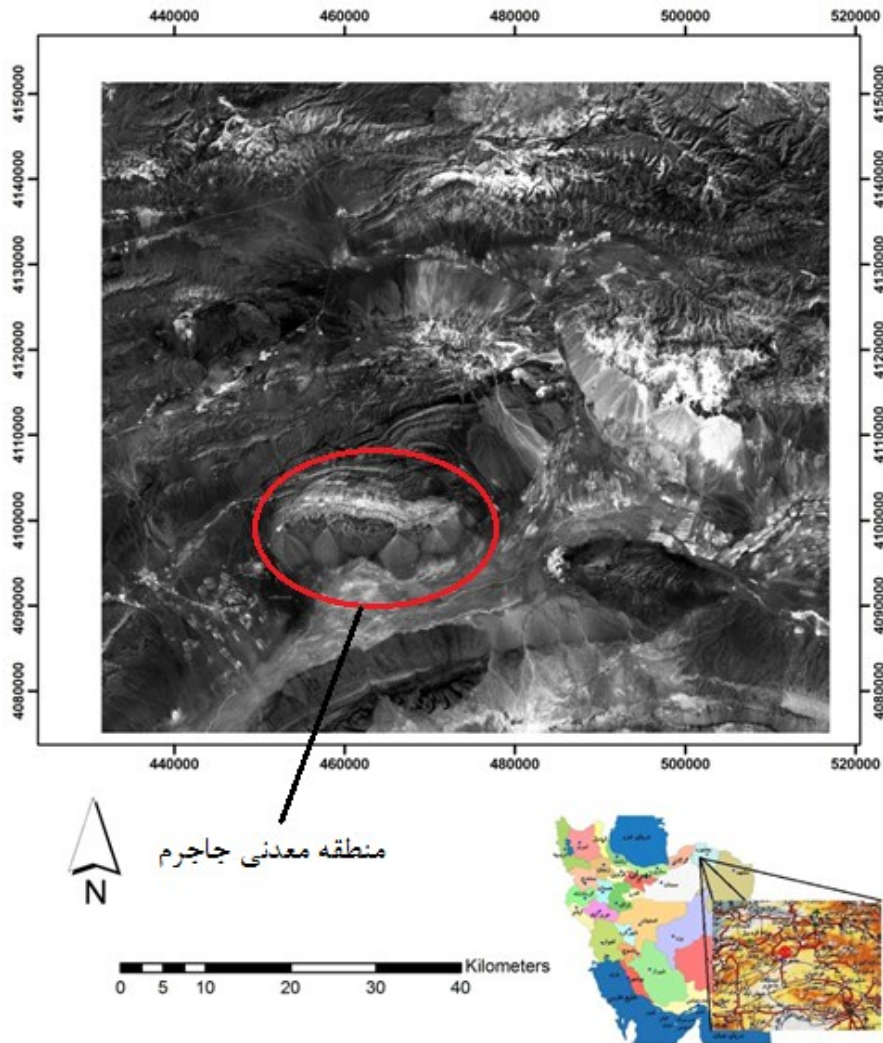
شکل ۳-۴: نسبت بانندی (۸+۶) به ۷ روی تصویر استر برای شناسایی دولومیت‌های منطقه. مناطق روشن نشان دهنده دولومیت‌های منطقه است.

همان‌طور که در شکل ۳-۴ دیده می‌شود نسبت بانندی پیشنهادی برای دولومیت روی این شکل نوفه بالایی دارد. از این‌رو می‌توان از نسبت بانندی ۶ به ۷ استفاده کرد، که در شکل ۴-۴ نشان داده شده است.



شکل ۴-۴: نسبت بانندی ۶ به ۷ روی تصویر استر برای شناسایی بهتر دولومیت‌های منطقه. مناطق روشن نشان دهنده دولومیت‌های منطقه است.

پیش‌تر گفته شد که از نسبت بانندی ۱ به ۷ روی تصویر ETM منطقه نیز می‌توان سنگهای غنی از کوارتز و رسوبات سیلیس‌دار منطقه را شناسایی نمود و همان‌گونه که در شکل ۴-۵ نشان داده شده رسوبات و سنگهای غنی از کوارتز منطقه در این تصویر شناسایی شده است. اما شاید بتوان گفت که برتری نسبی که شکل ۴-۵ نسبت به شکل ۴-۲ دارد، عدم جدا شدن مخروط افکنه‌های منطقه در شکل ۴-۵ باشد.



شکل ۴-۵: نسبت باندی ۱ به ۷ روی تصویر لندست برای شناسایی واحدهای سنگی غنی از کوارتز منطقه. مناطق روشن نشان دهنده واحدهای سنگی غنی از کوارتز است.

در این فصل داده‌های ماهواره‌ای منطقه معدنی جاجرم مورد پردازش قرار گرفت و در نتیجه واحدهای دولومیتی و سنگ‌های غنی از کوارتز مورد شناسایی قرار گرفتند، که بر اساس این نتایج دولومیت‌ها بیشتر در قسمت‌های شمال شرقی - جنوب غربی منطقه گسترش دارند و همین‌طور سنگ‌های غنی از کوارتز (سنگ‌های سیلیسی) به جز قسمت غربی منطقه در تمام منطقه وجود دارند.



# مدل سازی پتانسیل معدنی ذخایر بوکسیت در منطقه مورد

مطالعه

## ۵-۱- مقدمه

از اواخر دهه ۸۰ میلادی از سامانه اطلاعات جغرافیایی<sup>۱</sup> (GIS) به عنوان یکی از ابزارهای مهم تصمیم‌گیری در حوزه‌های مختلف، از جمله اکتشاف کانسارها استفاده شده است. GIS به دانش مدیریت و تجزیه و تحلیل اطلاعات جغرافیایی اطلاق می‌شود. اطلاعات جغرافیایی، داده‌های مکانی (فضایی) هستند که مشخصات یک موقعیت خاص با مختصات منحصر به فرد در روی زمین را نشان می‌دهند. سامانه، نشان‌دهنده بخش‌های مختلف متصل و وابسته به هم با کارکردهای گوناگون می‌باشد. GIS توانایی گردآوری، ورود و ذخیره‌سازی، بازسازی و اصلاح، مدیریت و سازماندهی، نمایش و تجسم، جستجو، تلفیق، تجزیه و تحلیل داده‌های مکانی متنوع و در نهایت مدل‌سازی و پیش‌بینی را دارد. GIS امکان تحلیل و پردازش لایه‌های اطلاعاتی را به صورت مجزا فراهم می‌کند و می‌تواند ارتباط بین انواع این لایه‌ها را برقرار کرده و با ترکیب آنها امکان مدل‌سازی و تحلیل نهایی را فراهم آورد. جمع‌آوری اطلاعات و تشکیل پایگاه اطلاعاتی مهمترین، وقت‌گیرترین و گرانترین بخش هر پروژه GIS می‌باشد؛ چرا که اگر این مرحله از دقت کافی برخوردار نباشد، تمام مراحل بعدی را تحت تأثیر قرار می‌دهد. بر خلاف روشهای سنتی و نقشه‌های قدیمی، در GIS عوارض مکانی به شکل رقومی بوده و به صورت لایه‌های مجزا ذخیره می‌شوند. بنابراین در هر مرحله می‌توان اقدام به بروزرسانی و اصلاح داده‌ها نمود. با توجه به اینکه در GIS از حجم بزرگی از داده‌های جمع‌آوری شده برای هدفی خاص

---

<sup>1</sup> Geographic information system

استفاده می‌شود، سازماندهی و مدیریت این اطلاعات از اهمیت زیادی برخوردار است. در صورتی که طرح کلی سازماندهی برای کاربرد عملی مناسب نباشد، نمی‌توان در نهایت نتایج مفید و ارزشمندی به دست آورد. بنابراین کارایی و نوع ساماندهی داده‌ها تمام فعالیت‌های بعدی را کنترل و مدیریت می‌نماید. GIS از توانمندی‌های گرافیکی رایانه‌ای برای تجسم و نمایش بهره می‌جوید و اطلاعات را به دو صورت مکانی و توصیفی مورد استفاده و نمایش قرار می‌دهد؛ که معمولاً بین آنها ارتباط منطقی و دقیقی وجود دارد. قدرت هر برنامه در GIS در نحوه برقراری ارتباط منطقی بین ساختارهای مختلف و چگونگی بیان همبستگی مکانی و توصیفی می‌باشد. جستجوی مکانی فعالیت تکمیلی نمایش داده‌هاست و ابزارهایی برای دو نوع جستجوی متقابل و تعاملی در خصوص ویژگی‌های موقعیت مورد نظر (مانند کانسارهای خاص) و مکانهایی که این خصوصیات وجود دارند، فراهم می‌کند [Bonham-Carter, 1994].

وقتی داده‌های مکانی به صورت مجزا و جداگانه مورد بررسی قرار می‌گیرند، روابط فضایی بین آنها به آسانی آشکار نمی‌شوند. با ترکیب و تلفیق لایه‌های اطلاعاتی متنوع از منابع مختلف به کمک روابط ریاضی ساده و پیچیده در GIS، مقایسه، درک و تفسیر پدیده‌های مکانی بهتر و دقیق‌تر میسر می‌گردد [Bonham-Carter, 1994]. GIS به کمک اندازه‌گیری و محاسبات آماری بر روی داده‌های مکانی، مدل‌های متنوعی جهت تجزیه و تحلیل پدیده‌های مکانی ارائه می‌نماید. هدف اصلی و نهایی از انجام مطالعات به کمک GIS، پیش‌بینی و تصمیم‌گیری می‌باشد. با توجه به داده‌های مکانی موجود و وجود همبستگی بین متغیرها در این داده‌ها، شرایط موجود مدل‌سازی شده و با استفاده از آن امکان تشخیص بهترین مکان جغرافیایی برای هدفی خاص، پیش‌بینی می‌شود. کاربرد و هدف نهایی GIS در اکتشاف، مدل‌سازی به منظور شناسایی و پیش‌بینی موقعیت‌های مکانی و جغرافیایی خاصی است که در آنها شرایط ویژه‌ای از نظر کانسارسازی صدق می‌کند.

در این مبحث به انواع روش‌های مدل‌سازی و چگونگی آماده‌سازی داده‌های مختلف اکتشافی در

منطقه مطالعاتی جهت ورود به GIS و تشریح یکی از مهمترین روشهای مدل‌سازی برای اکتشاف و تهیه نقشه‌های پتانسیل معدنی بوکسیت و لایه در برگیرنده آن پرداخته می‌شود.

## ۵-۲- مدل‌سازی و تهیه نقشه پتانسیل معدنی در GIS

همانطور که اشاره شد، هدف نهایی در اکثر پروژه‌های GIS ترکیب و تلفیق داده‌های مکانی از منابع گوناگون با هم می‌باشد؛ تا بتوان اثرات متقابل آنها را توصیف و تجزیه و تحلیل کرده و با کمک مدلها پیش‌بینی‌هایی صورت گرفته و برای تصمیم‌گیرندگان تکیه‌گاه مطمئنی فراهم شود. یکی از توانایی‌های مهم و اصلی در GIS ترکیب لایه‌های مختلف مرتبط با علوم زمین به منظور تهیه نقشه های پتانسیل معدنی می‌باشد که در آن مناطق مطلوب برای اکتشاف کانسارها مشخص شده است [Harris, et al., 2001].

نقشه‌برداری ذخایر معدنی مستعد<sup>۱</sup> (MPM) و ارزیابی ذخایر معدنی<sup>۲</sup> (MRA) دو بخش مهم از مراحل مدل‌سازی پیشگو<sup>۳</sup> یا پیش‌بینی کننده برای استخراج اطلاعاتی می‌باشند؛ که جهت برنامه‌ریزی‌های اساسی در اکتشاف کانسارها و توسعه منابع معدنی ضروری می‌باشند. هدف از MPM ارائه مدلی برای پیش‌بینی و یا احتمال وجود کانسارهای مورد پی‌جویی، بدون در نظر گرفتن ذخیره و عیار آنهاست؛ که مترادف واژه‌های پتانسیل معدنی<sup>۴</sup> و مطلوبیت معدنی<sup>۵</sup> می‌باشد [Bonham-carter, 1994؛ Pan, et al., 2000؛ Carranza, 2008؛ Carranza, et al., 2010]. مشخص کردن مناطقی که از نظر زمین‌شناسی احتمال وجود ذخائر معدنی در آنجا وجود دارد و ارزیابی مقدار فلزات در این مناطق خاص زمین‌شناسی که می‌توانند تشکیل ایالات و کمربندهای فلزایی را بدهند و همچنین تخمین مقدار ذخائر ناشناخته در هر کدام از این مناطق کانی‌زایی از اهداف MRA می‌باشد. بنابراین هدف اصلی و مشترک MPM و MRA توصیف و تشریح پتانسیل مناطق مختلف زمین برای اکتشاف

<sup>۱</sup>. Mineral prospectivity mapping

<sup>۲</sup>. Mineral resource assessment

<sup>۳</sup>. Predictive modeling

<sup>۴</sup>. Mineral potential

<sup>۵</sup>. Mineral favorability

انواع کانسارها می‌باشد [Carranza, et al., 2010].

احتمال وجود ذخائر معدنی بستگی به وجود شواهدی دارد که در مورد ویژگی‌های کانسارهای مختلف مطرح می‌شود؛ زیرا تشکیل یک نوع کانسار بستگی به فراهم بودن شرایط مناسب و حضور شواهد مشخصی از جمله بی‌هنجاریهای ژئوشیمیایی، ژئوفیزیکی و شرایط خاص زمین‌شناسی دارد. در مدل‌سازی پتانسیل معدنی مناطق هدف، باید توجه داشت که اگر در یک مکان خاص شواهد و خصوصیات مشابه یک کانسار شناخته شده که مورد پی‌جویی می‌باشد وجود داشت، این محل باید مورد اکتشافات بعدی و دقیق‌تر قرار گیرد. همچنین اگر در یک محل الگوهای پیش‌بینی کننده و شاهد بیش از محلهای دیگر باشد؛ احتمال کانسارسازی در آن محل بیشتر است [Carranza, 2008]. مدل‌های پتانسیل معدنی با ترکیب و تحلیل شواهد به دست آمده از داده‌های اکتشافی مختلف به تعیین رتبه‌بندی نواحی امیدبخش، به منظور اکتشاف ذخائر کشف نشده می‌پردازند. مدل‌سازی پتانسیل معدنی در هر مقیاسی از شناسایی مناطق هدف، از ناحیه‌ای تا محلی، به دنبال تعیین و تعریف یک مدل ذهنی و مفهومی از کانسارهای مورد پی‌جویی، انجام می‌گیرد. تعریف یک مدل مفهومی، برای یک نوع ماده معدنی مورد اکتشاف (مثل بوکسیت)، نیازمند داده‌ها و اطلاعات موجود از انواع مختلف فرایندهای زمین‌شناسی مربوط به ذخائر معدنی هم‌نوع با ذخیره مورد پی‌جویی دارد. بنابراین مطالعه و بررسی مدل‌های این کانسارهای شناسایی شده در منطقه مطالعاتی و شناخت ویژگی‌های زمین‌شناسی آنها بسیار مهم است [Carranza, 2008 ; Berger, et al., 2002]. مشخصات زمین‌شناسی، ژئوفیزیکی، ژئوشیمیایی به همراه ویژگیهای طیفی مناطقی که دارای ذخائر معدنی مشابه با کانسارها و نشانه‌های معدنی مورد پی‌جویی می‌باشند، در تعیین معیارهای اکتشافی اهمیت دارند و در حقیقت اساس تهیه مدل‌های پتانسیل معدنی خواهند بود.

انتخاب داده‌های مکانی مناسب، شناخت الگوها و خصوصیات شاهد، روش تبدیل این الگوهای

شاهد به صورت نقشه‌های خاص، روش‌های وزندهی به کلاس‌های مختلف این نقشه‌ها و تولید نقشه‌های پیشگو، پارامترهای مهم و اصلی در ارائه مدل پیشگو می‌باشند. همان‌طور که در فصل‌های

قبلی دیده شد، استخراج الگوهای شاهد که نشان‌دهنده معیارهای شناسایی مناسب اکتشاف می‌باشند، از طریق تحلیل لایه‌های اکتشافی خاص مثل داده‌های ماهواره‌ای، ژئوفیزیکی و سایر اطلاعات مکانی مربوط به زمین‌شناسی به دست می‌آیند. به نقشه درآوردن و شناسایی الگوهای شاهد فضایی مثل دگرسانی الگوها و ساختارهای زمین‌شناسی، مثل توده‌های نفوذی مؤثر در کانی‌زایی و گسل‌ها که می‌توانند به عنوان معیار و شاهد مطرح باشند، از طریق پردازش تصاویر ماهواره‌ای و همچنین برداشت‌ها و مطالعات زمینی امکان‌پذیر است [Carranza, et al., 2002]. داده‌های مکانی مربوط به زمین‌شناسی و اکتشاف و نقشه‌های نشان‌دهنده شواهد و الگوهای اکتشافی به منظور ارائه یک معیار مناسب در تهیه مدل پتانسیل معدنی نیاز به یک سری تحلیل‌ها، اصلاحات و تبدیلات با استفاده از عملگرهای مختلف با توجه به معیارهای شناسایی شده مناسب برای اکتشاف از طریق مدل مفهومی دارند؛ زیرا همه این داده‌ها برای اکتشاف یک ماده معدنی خاص ارزش یکسانی ندارند. بنابراین ارزش‌گذاری بخش‌های مختلف یک نقشه جهت تفکیک شواهد دارای ارزش متفاوت با طبقه‌بندی مجدد و همچنین تعیین میزان اهمیت هر معیار اکتشافی در هر موقعیت جغرافیایی برای استفاده در مدل‌سازی ضروری است. به عنوان مثال اگر دگرسانی‌های گرمابی به عنوان یک معیار شناسایی مناسب برای اکتشاف کانسارهای مس پورفیری انتخاب شوند؛ باید ضمن انتخاب آن به عنوان یک لایه اطلاعاتی، یک نقشه طبقه‌بندی شده بنام نقشه شاهد دگرسانی تهیه گردد، که در آن بر اساس اهمیت هر منطقه دگرسانی در کانسارسازی، به هر کدام از این مناطق (دگرسانی) وزنی داده شود. سایر لایه‌های اکتشافی هم به همین طریق و با توجه به اهمیت آنها در اکتشاف کانسارهای مس مجدداً طبقه‌بندی و به کلاس‌های مختلف آنها وزن داده می‌شود. در نهایت با تلفیق این نقشه‌های پیشگو، نقشه و مدل پتانسیل معدنی منطقه مورد مطالعه تهیه می‌شود.

روش‌های استخراج الگوهای پیشگو از میان شواهد مختلف و ترکیب و تلفیق کلیه الگوهای پیشگو و همچنین روش‌های مدل‌سازی پتانسیل معدنی بسیار گسترده و متنوع می‌باشند. این روش‌ها به دو

گروه اصلی داده‌محور<sup>۱</sup> و دانش‌محور<sup>۲</sup> تقسیم می‌شوند. تخصیص وزن در این روش‌ها بر اساس همراهی مکانی کانسارهای هم‌نوع با ذخائر مورد پی‌جویی بر اساس معیارهای اکتشافی صورت می‌گیرد [Harris, et al., 2001 & Bonham-carter, 1994]. در روش‌های داده‌محور به یک سری اطلاعات قبلی در مورد کانسارها و نشانه‌های معدنی شناخته شده در منطقه مورد مطالعه نیاز می‌باشد. ارتباط فضایی بین داده‌های ورودی (نقشه‌های شاهد) و موقعیت مکانی محدوده‌های معدنی جهت برآورد اهمیت و وزن هر کدام از نقشه‌های شاهد استفاده می‌شود. به منظور انجام روش‌های داده‌محور، این مناطق شناخته شده که به عنوان مناطق آموزشی استفاده می‌شوند، مجموعه اطلاعات زمین‌شناسی با ارزشی از نظر الگوهای شاهد فضایی مثل بی‌هنجاری‌های ژئوفیزیکی و ژئوشیمیایی، دگرسانی، سنگ میزبان کانی‌زایی و غیره فراهم می‌کنند؛ که همراه با ذخائر معدنی شناخته شده حضور دارند. این اطلاعات شناخته شده یک مدل مفهومی از معیارهای اکتشاف برای شناسایی ذخائر کشف نشده، ارائه می‌دهند. بنابراین اگر در یک منطقه الگوها و شواهد مهم نسبت به سایر نواحی دارای شباهت بیشتر باشد، این منطقه به عنوان ناحیه امیدبخش معدنی معرفی می‌شود. روشهایی مثل رگرسیون منطقی<sup>۳</sup>، وزنهای نشانگر<sup>۴</sup> (WofE) و شبکه‌های عصبی<sup>۵</sup> مثال‌هایی از روش‌های داده‌محور می‌باشند. راینز و میهالاسکی<sup>۶</sup> (۲۰۰۲) برای تشریح و تخمین کانسارهای مرتبط با توده‌های نفوذی روش‌های تحلیل WofE و رگرسیون منطقی وزن‌دار را به کار بردند. راینز و همکاران (۲۰۰۷) از روش تحلیل جهت توصیف و تخمین ذخایر مس پورفیری استفاده کردند. اسکات و دیمیتراکاپولوس<sup>۷</sup> (۲۰۰۱) در یک مطالعه موردی در مورد کانسارهای مس پورفیری به کمک روش تحلیل WofE اطلاعات با ارزشی جهت شناسایی کانسارهای ناشناخته به دست آوردند. تنگستانی و مر (۲۰۰۱) هم از این تحلیل جهت نقشه‌برداری پتانسیل معدنی کانسارهای مس پورفیری در منطقه شهر بابک استفاده کردند.

---

1. Data-driven techniques

2. Knowledge driven techniques

3. Logistic regression

4. Weights of evidence (WofE)

5. Neural networks

6. Raines and Mihalasky

7. Scott and Dimitrakopoulos

روش‌های دانش‌محور یا تجربه‌محور<sup>۱</sup> بر اساس داده‌های زمین‌شناسی ورودی و اهمیت هر لایه (نقشه‌های شاهد) وزن داده می‌شوند و در ارتباط با مدل‌های اکتشافی خاصی استفاده می‌شوند. بنابراین در این روشها از مدل مفهومی کانسارهای مورد پی‌جویی در مناطقی که عملیات اکتشاف در آنجا خوب صورت گرفته، به عنوان ملاکی برای انتخاب معیارهای اکتشافی و الگوهای شاهد، تولید نقشه‌های پیشگو، وزن دادن به نقشه‌ها و الگوهای شاهد و در نهایت ترکیب نقشه‌های شاهد جهت تهیه مدل پتانسیل معدنی و معرفی مناطق امیدبخش برای ماده معدنی مورد نظر در مناطق جدید استفاده می‌شود. تخمین وزن هر نقشه شاهد و تخمین امتیاز و ارزش هر الگو از هر نقشه شاهد، بر اساس قضاوت کارشناسی و تخصصی روی همراهی فضایی بین کانسارهای مورد جستجو و اطلاعات زمین‌شناسی شاخص به عنوان راهنما و نشانه صورت می‌گیرد. تجربه‌ای که در این روش جهت تخصیص وزن به هر کلاس از نقشه‌های شاهد استفاده می‌شود، حاصل کاربرد روش‌های مختلف تحلیل و ارتباط داده‌های مکانی با الگوهای زمین‌شناسی مشخص و پراکندگی کانسارها و نشانه‌های معدنی شناخته شده مشابه ذخائر معدنی مورد کاوش و همچنین مشاهدات صحرایی از این ذخائر شناخته شده و پنهان می‌باشد. روش‌های منطق بولی<sup>۲</sup>، تحلیل سلسله مراتبی<sup>۳</sup> و منطق فازی<sup>۴</sup> از جمله مهمترین روش‌های دانش‌محور معرفی شده‌اند. کارانزا و هیل (۲۰۰۱) از تئوری مجموعه‌های فازی جهت نقشه برداری پتانسیل کانی‌زایی طلا در ناحیه باجیو<sup>۵</sup> در فیلیپین استفاده کردند. پروال و همکاران<sup>۶</sup> (۲۰۰۳) مدل‌سازی فازی را برای تهیه نقشه‌های پتانسیل معدنی پیشگو جهت اکتشاف کانسارهای فلزات پایه به کار گرفتند. تنگستانی و مر (۲۰۰۳) از مدل‌سازی فازی برای تهیه نقشه پتانسیل معدنی کانسارهای پورفیری در منطقه میدوک و رنجبر و هنرمند (۲۰۰۴) از روش طبقه‌بندی فازی جهت تلفیق داده‌های اکتشافی در منطقه سرچشمه استفاده کردند.

---

<sup>1</sup>. Expert driven

<sup>2</sup>. Boolean logic

<sup>3</sup>. Analytical hierarchy process (AHP)

<sup>4</sup>. Fuzzy logic

<sup>5</sup>. Bagio district

<sup>6</sup>. Porwal et al.



در این تحقیق از داده‌های حاصل پردازش تصاویر ماهواره‌ای، داده‌های بی‌هنجاری ژئوفیزیکی و داده‌های زمین‌شناسی استخراج شده از نقشه‌های زمین‌شناسی ۱:۱۰۰,۰۰۰ داده‌های توپوگرافی به منظور تعیین مناطق مستعد و امیدبخش معدنی در مقیاس ناحیه‌ای و منطقه‌ای در منطقه بوکسیت جاجرم استفاده شده است. بدین منظور روش منطق فازی برای تهیه نقشه‌های پتانسیل معدنی به کار گرفته شد. از معادن، کانسارها و نشانه‌های معدنی شناخته شده به عنوان یک راهنمای ارزشمند جهت بررسی صحت و درستی انجام این تحلیل‌ها بهره گرفته شد، و از مطالعات صحرایی گسترده‌ای که در طول مدت مطالعه انجام گرفت و در فصل دوم و سوم و چهارم به آنها اشاره شد به عنوان تجربه و راهنمایی جهت تخصیص وزن به لایه‌های مختلف اکتشافی استفاده گردید. لذا با توجه به اطلاعات متنوع زمینی، در این مطالعه از روش دانش‌محور جهت تخصیص وزن مورد نیاز هر نقشه شاهد و مدل‌سازی پتانسیل معدنی بوکسیت جاجرم استفاده شده است.

### ۵-۳- مدل توصیفی بوکسیت جاجرم

اگر داده‌های معرف عمومی‌ترین ویژگی‌های توصیفی یک تیپ کانسار به طور سیستماتیک و استاندارد مرتب گردد، مدل توصیفی آن به دست می‌آید. بنابراین در مدل توصیفی کانسارها فقط شناخت ویژگی‌های عمومی و کلی کانسار بدون بررسی روابط "علت شناختی" آنها مورد بحث قرار می‌گیرد. مدل توصیفی کانسار بوکسیت را می‌توان به صورت زیر تعریف کرد [حسنی پاک و غیره، ۱۳۷۹]:

تمرکز آلومین در مواد هوازدهی برجا و یا حمل و نقل یافته (مواد حاصل از فرایند هوازدگی و حمل).

### ۵-۳-۱- محیط زمین‌شناسی

- سنگ درونگیر: مواد هوازده غنی از آلومین به طور برجا و یا پس از حمل و نقل در روی یک بستر

آهکی متمرکز می‌شوند. مواد حمل و نقل یافته ممکن است خاکستر آتشفشانی فلسیک با منشا دور دست و یا هر نوع رسوب آلومین دار وارد شده به درون حوضه رسوبی باشند.

- محدوده سنی تشکیل: پالئوزوئیک تا سنوزوئیک
- محیط رسوبگذاری: هوازگی سطحی که به طور عمده در مناطق مرطوب گرمسیری رخ می‌دهد.
- خاستگاه تکتونیکی: مناطقی با پایداری تکتونیکی، که از یک طرف زمان لازم برای هوازگی را در اختیار می‌گذارد و از طرف دیگر مواد حاصل از هوازگی را از فرسایش و پراکندگی محفوظ می‌دارد؛ خاستگاه مناسبی را تشکیل می‌دهد.
- انواع نهشته‌های همراه آن: سنگ آهک، دولومیت و شیل؛ برخی از آنها همراه با زغال سنگ جزئی و برخی از آنها با مقدار آهن کمی همراه است که به دلیل تکامل فرایندهای آلی و حذف آهن در طول فرایند تشکیل است [Patterson, 1982].

#### ۵-۳-۲- توصیف نهشته

- ۱- کانی‌شناسی: اساساً گیبسیت در نهشته‌های کواترنری در مناطق گرمسیری است. مخلوط گیبسیت و بوهمیت در کانسارهای قدیمی‌تر از سنوزوئیک یافت می‌شود. بوهمیت در کانسارهای مزوزوئیک و پالئوزوئیک وجود دارد و کانی‌های باطله شامل هماتیت، گوتیت، آاناتاز، کانی‌های رسی (کائولن) و کوارتز جزئی می‌باشد.
- ۲- آلتراسیون: سازندهای بوکسیت‌دار خودشان یک شکل از دگرسانی رسوبات آلومینیوم‌دار هستند؛ و دگرسانی دما بالا ارتباطی با تشکیل کانسار ندارد.
- ۳- کانی‌های کنترل کننده: این نهشته‌ها متمایل به تمرکز در فرورفتگی‌های کارستی می‌باشند.
- ۴- هوازگی: برای تشکیل این دسته از کانسارها هوازگی شدید سیلیکات‌های آلومینیوم‌دار در آب و هوای گرم و مرطوب ضروری است. شکل‌گیری بوکسیت در هوازگی حاضر در اکثر محیط‌های رسوبی ادامه دارد.

۵- لیتولوژی: سازند الیکا و قاعده سازند شمشک

۶- عوامل کنترل کننده: وجود پستی و بلندی‌های (فروافتادگی‌های) ساختمانی در محیط‌هایی با سنگ‌های کربناتی با اهمیت است. چنین محیط‌هایی موجب پیدایش سطوح کارستی می‌گردند.

۷- راهنمای ژئوشیمیایی: غنی‌شدگی Al و Ga قابل ثبت است. موفقیت در اکتشاف ذخایر بوکسیت لاتریتی به شناخت کامل عوامل کنترل کننده آن بستگی دارد. از آنجا که در فاصله چند میلیمتری، کانسنگ به باطله تبدیل می‌شود امکان بهره‌گیری از هاله کمتر می‌شود. به علاوه کار نمونه‌برداری از آنها نیز دشوار می‌گردد. حفر چند گمانه و یا برداشت چند نمونه کلوخه‌ای از کانسنگ در ترانشه‌ها مشکل شناخت تغییرپذیری آن را حل نمی‌کند، بلکه تنها اطلاعاتی در خصوص ویژگی‌های کانسار بدست می‌دهد. برای شناخت کانسار و ارزیابی عوامل کنترل کننده آن نیاز به برداشت هزاران نمونه است. مناسب‌ترین روش برداشت، نمونه‌برداری به روش کانالی است که عمود بر شیب لایه‌بندی حفر گردد.

در طراحی شبکه نمونه‌برداری انتخاب شبکه‌های منظم مناسب‌تر است فاصله شبکه مربعی برای مرحله مقدماتی حدود ۳۰۰ متر ولی در مرحله ارزیابی ذخیره این فاصله تا ۲۵ متر کاهش می‌یابد (مانند معدن تاگویی در بوکسیت جاجرم). معمولاً نمونه‌ها برای اکسیدهای  $Al_2O_3$ ،  $SiO_2$ ،  $CaO$ ،  $TiO_2$ ،  $Fe_2O_3$  و  $P_2O_5$  و LOI باید آنالیز شود. اندازه‌گیری کل مقدار  $Al_2O_3$ ،  $Al_2O_3$  قابل استحصال و  $Al_2O_3$  تری هیدرات قابل استحصال،  $Al_2O_3$  غیر قابل استحصال و سیلیس قابل انحلال همگی از متغیرهای مهمی هستند که در ارزیابی ذخیره باید مورد ملاحظه قرار گیرند. به موازات آنالیز شیمیایی نمونه‌ها لازم است آنالیز کانی‌شناسی برای تشخیص فازها صورت پذیرد.

۸- کانسارهای وابسته: گاهی با کانسارهای زغال‌سنگ کوچک همراهند.

#### ۵-۴- تهیه نقشه پتانسیل معدنی در سامانه اطلاعات جغرافیایی

تهیه نقشه پتانسیل معدنی فرایندی برای تفکیک مناطق مطلوب و دارای پتانسیل معدنی از

سایر نواحی موجود در یک منطقه می‌باشد. مناطق موجود بر روی نقشه پتانسیل معدنی با توجه به پتانسیل‌های در نظر گرفته شده اعم از معیارهای زمین‌شناسی، ژئوفیزیک، ژئوشیمی و ... از نظر پتانسیل معدنی اولویت‌بندی می‌شوند [Bonham-carter, 1994].

به طور کلی می‌توان گفت که تهیه نقشه پتانسیل معدنی هر ناحیه در GIS شامل سه مرحله می‌باشد. اول ساختن پایگاه داده‌های فضایی، دوم پردازش داده‌ها و سوم تلفیق داده‌ها با هم [Bonham-carter, 1994].

مرحله ساختن پایگاه داده‌ها وقت‌گیرترین مرحله طرح است. در این بخش از کار مرحله‌ای چون پایه‌ریزی گستره‌های فضایی مورد مطالعه، انتخاب یک سیستم تصویر عملی مناسب و مونتاژ کردن داده‌های فضایی متنوع بصورتی که اجزای فضایی آن‌ها به طور صحیحی هم‌پوشانی پیدا کنند، وجود دارد.

دومین مرحله، پردازش لایه‌های ورودی به منظور بیرون کشیدن شواهد مهم برای پیش‌بینی انباشته‌ها می‌باشد. در این مرحله هر یک از داده‌های ورودی بصورت جداگانه پردازش شده و سپس نتایج حاصل از آن‌ها برای انجام مرحله سوم به کار گرفته می‌شود. سومین مرحله شامل تلفیق نقشه‌های مختلف با یکدیگر است؛ که شواهدی را برای یافتن ذخایر فراهم می‌سازد. مرحله آخر از مراحل حساس کار می‌باشد و باید هر یک از لایه‌های ورودی به درستی و بر اساس معیارهای دقیق امتیازدهی شوند.

## ۵-۵- تلفیق داده‌های اکتشافی منطقه مورد مطالعه جهت تهیه نقشه پتانسیل معدنی

پیش‌تر اشاره شد که تهیه نقشه پتانسیل معدنی در GIS شامل سه مرحله به صورت: ایجاد پایگاه داده‌ها، پردازش داده‌ها و تلفیق داده‌ها می‌باشد. در ادامه بحث مرحله تلفیق داده‌ها با استفاده از روش‌های فازی در منطقه جاجرم؛ آمده است.

## ۵-۵-۱- پردازش داده‌ها در منطقه جاجریم

در این مرحله اطلاعات مورد استفاده در تلفیق داده‌های اکتشافی، از پایگاه داده‌های ایجاد شده، استخراج گردید. بعنوان مثال نقشه واحدهای سنگی، شیب و نقشه‌های ژئوفیزیکی در منطقه مورد مطالعه تهیه گردید.

## ۵-۵-۲- منطق فازی جهت تلفیق داده‌های اکتشافی

عضویت در منطق فازی بر روی یک مقیاس گروه‌بندی شده از یک (عضویت کامل) تا صفر (عدم عضویت کامل) بیان می‌شود. کلاس‌های نقشه می‌توانند مقدار عضویت بین صفر و یک به خود بگیرند. اما هیچ مانع و محدودیت عملی در مورد انتخاب مقدارهای عضویت فازی وجود ندارد. عضویت در منطق فازی به صورت‌های مختلفی و بر اساس توابع عضویت مختلف بیان می‌شوند و باید در انتخاب آنها دقت فراوان داشت. عضویت در منطق فازی به تجربه کارشناس و شناخت وی از منطقه مورد مطالعه بستگی دارد و هر فرد بر اساس تجربه خود آن را انتخاب می‌کند. باید دقت داشت که مقدارهای عضویت باید اهمیت نسبی هر منطقه از نقشه را آشکار کنند. با در نظر داشتن دو یا چند نقشه با توابع عضویت فازی برای مجموعه‌های مشابه، عملگرهای متنوعی را می‌توان برای ترکیب کردن مقدارهای عضویت، با یکدیگر به کار گرفت [Novriadi, 2006]. پنج عملگر که برای ترکیب داده‌های اکتشافی سودمند هستند، توسط آن و همکاران (۱۹۹۱) مورد بررسی قرار گرفته‌اند. این عملگرها عبارتند از: عملگر فازی AND، عملگر فازی OR، حاصل ضرب جبری فازی، جمع جبری فازی و عملگر فازی گاما؛ که در ادامه عملگر گامای فازی که در این تحقیق به کار گرفته شده معرفی می‌گردد [An, et al., 1991].

## ۵-۵-۲-۱- عملگر فازی گاما

عملگر فازی گاما برحسب حاصل ضرب جبری فازی و حاصل جمع جبری فازی به صورت رابطه (۱-۵) تعریف می‌شود:

$$\mu_{com} = (1-\gamma)(\text{حاصل ضرب جبری فازی}) * \gamma(\text{حاصل جمع جبری فازی}) \quad (1-5)$$

که در آن  $\gamma$  پارامتر انتخاب شده در محدوده صفر و یک است. وقتی  $\gamma$  یک باشد ترکیب همان جمع جبری فازی خواهد بود و وقتی صفر باشد ترکیب برابر با حاصل ضرب جبری فازی است. انتخاب صحیح و آگاهانه  $\gamma$ ، مقدارهایی در خروجی به وجود می‌آورد که هر یک سازگاری قابل انعطافی میان گرایش‌های افزایشی جمع جبری فازی و اثرات کاهشی حاصل ضرب جبری فازی برقرار می‌کند [Novriadi, 2006].

### ۵-۳-۵- تلفیق اطلاعات اکتشافی ورقه زمین‌شناسی ۱/۱۰۰,۰۰۰ سنخواست به روش

#### منطق فازی

برای تلفیق اطلاعات اکتشافی منطقه مورد مطالعه با استفاده از روش منطق فازی، از عملگر گاما استفاده شد. اصلی‌ترین پارامتری که در این روش تاثیر دارد، مقدار گاما می‌باشد. مقادیر مختلف این پارامتر می‌توانند اثر افزایشی یا کاهشی داشته باشند. مقدار استاندارد گاما مورد استفاده در مطالعات اکتشافی ۰/۹۵ است [Bonham-carter, 1994]. بنابراین در این مطالعه نیز از مقدار  $\gamma=0/95$  استفاده شد.

برای وارد کردن داده‌های ذکر شده با استفاده از فرآیند تلفیق، لازم است که ابتدا هر کدام از داده‌ها دسته‌بندی شده و به هر دسته امتیازی بین صفر تا یک تعلق گیرد. برای تقسیم‌بندی داده‌ها در این مطالعه از روش خطی استفاده شد و سپس بالاترین امتیازات به مطلوب‌ترین گروه داده شد. این روش که بر پایه اطلاعات کارشناسی و تجارب قبلی استوار است، روش دانش کارشناسی خواننده می‌شود [Harris, et al., 2001].

لایه‌های اطلاعاتی که جهت تلفیق مورد استفاده قرار می‌گیرند باید بر اساس شناخت از منطقه و ویژگی‌های مناطق رخداد کانی‌سازی هدف به منظور بارزسازی آنها باشد. در انتخاب لایه‌ها باید

طوری عمل نمود که از ورود اطلاعات و پارامترهای تکراری خودداری گردد. با توجه به بررسی‌هایی که بر روی پارامترهای موثر در شناخت مناطق پتانسیل معدنی در محدوده مورد مطالعه صورت گرفت ۴ لایه اطلاعاتی شامل واحد سنگی بوکسیتی، واحد سنگی دولومیتی، واحد سنگی سنگهای سیلیسی و نقشه شیب منطقه برای تلفیق با استفاده از روش‌های مورد نظر انتخاب گردیدند. برای ایجاد واحدهای سنگی مورد نظر، از نقشه زمین‌شناسی ۱/۱۰۰,۰۰۰ و تصاویر ماهواره‌ای منطقه استفاده شد. بدین صورت که پس از تفسیر و پردازش تصاویر ماهواره‌ای و شناسایی لایه‌های مورد نظر و همین‌طور رقومی‌سازی نقشه زمین‌شناسی منطقه و پرسش‌گیری، از آن برای جدا کردن واحدهای سنگی مورد نظر، این دو لایه با هم تلفیق شده و لایه واحدهای سنگی منطقه تشکیل گردید. سپس برای لایه اکتشافی واحد سنگی دولومیتی ۴ بافر ۱ کیلومتری، برای لایه اکتشافی واحد سنگی بوکسیتی ۸ بافر ۲۵۰ متری و لایه اکتشافی واحد سنگی ماسه سنگی سازند شمشک ۷ بافر ۷۰۰ متری در نظر گرفته شد. برای تهیه لایه اکتشافی نقشه شیب از فایل رستر با اندازه سلول ۳۰ متری که از سازمان نقشه‌برداری کشور تهیه شده بود؛ استفاده گردید و پس از تهیه نقشه شیب از آن، تحت ۷ دسته طبقه بندی گردید. سپس بر اساس اهمیت هر کدام از لایه‌ها به هر کلاس امتیازی داده شد. به این صورت که در قسمت اصلی بوکسیتی (خود لایه) امتیاز ۱ و در بافرها به ترتیب دور شدن امتیازهای ۰/۹ و ۰/۸ و ۰/۷ تا ۰/۱.... داده شد. برای لایه ماسه‌سنگی سازند شمشک هم امتیازی بین ۰/۱ تا ۰/۸ داده شد. اما برای دو لایه دیگر امتیاز دادن به نحوی متفاوت بود به این صورت که برای لایه دولومیتی روی خود واحد دولومیتی به دلیل اینکه بوکسیت روی خود لایه نداریم، امتیاز ۰/۱ و بقیه امتیازها به ترتیب دور شدن از بافر امتیازهای ۰/۵ تا ۰/۲ داده شد. امتیاز دهی برای لایه شیب بدین صورت انجام گرفت که از نقشه ۱/۱۰۰۰ توپوگرافی منطقه که توسط گروه نقشه‌برداری معدن تهیه شده بود استفاده گردید، بدین صورت که پس از انطباق لایه بوکسیتی و نقشه شیب تهیه شده از نقشه توپوگرافی ۱/۱۰۰۰ منطقه، شیب‌های خاصی را که بوکسیت روی آنها قرار دارد و مناسب برای زهکشی است؛ تشخیص داده و بر این اساس نقشه شیب به دست آمده طبقه بندی مجدد گردید و

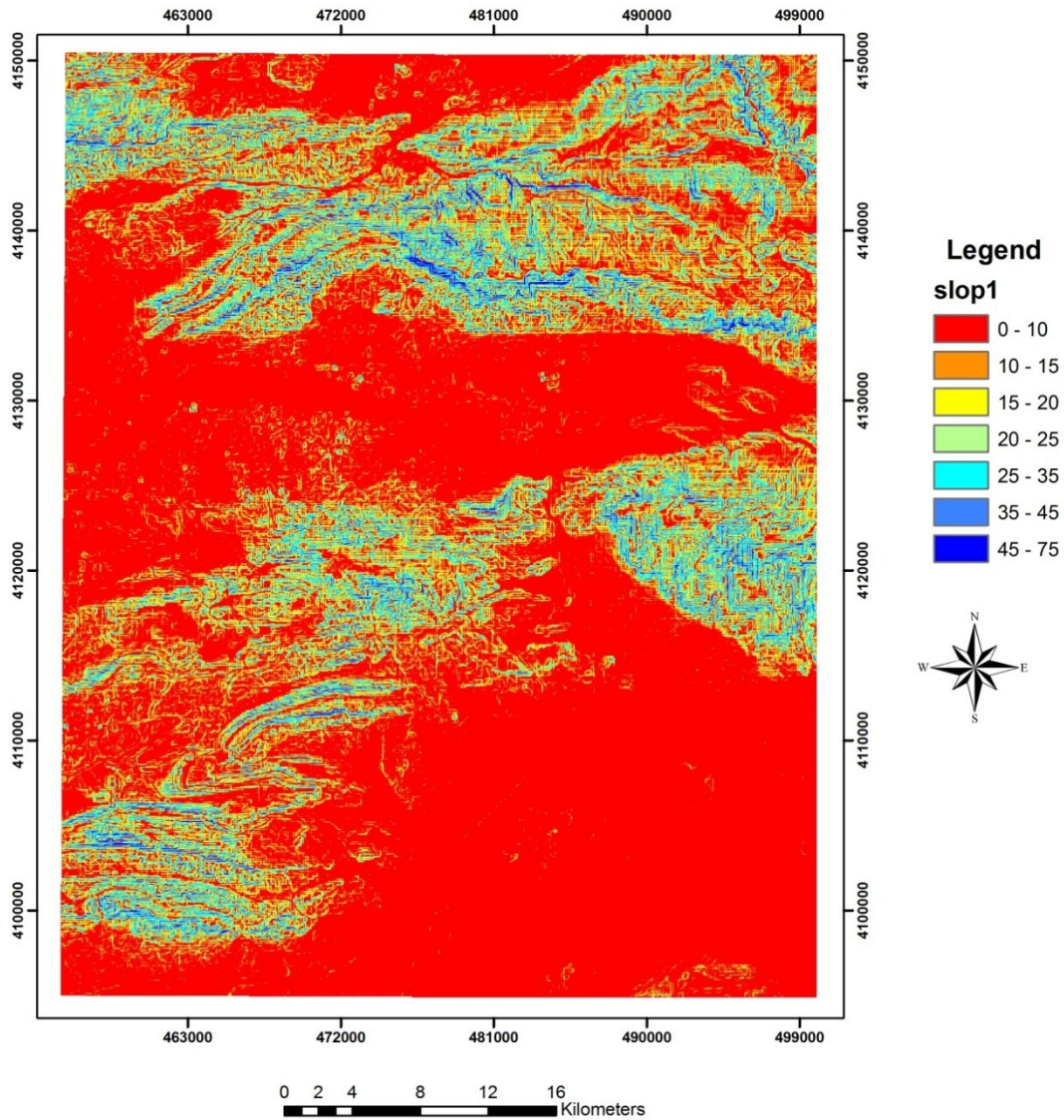
تحت ۷ کلاس وزن دهی شد؛ که در جدول ۵-۱ این امتیازها آمده است. نقشه شیب منطقه در شکل ۵-۱ نشان داده شده است.

جدول ۵-۱: میزان بافر و امتیاز فازی در نظر گرفته شده برای پارامتر شیب

دسته (درجه)	۰-۱۰	۱۰-۱۵	۱۵-۲۰	۲۰-۲۵	۲۵-۳۵	۳۵-۴۵	۴۵-۷۴
امتیاز	۰/۵	۰/۷	۰/۶	۰/۴	۰/۳	۰/۲	۰/۱

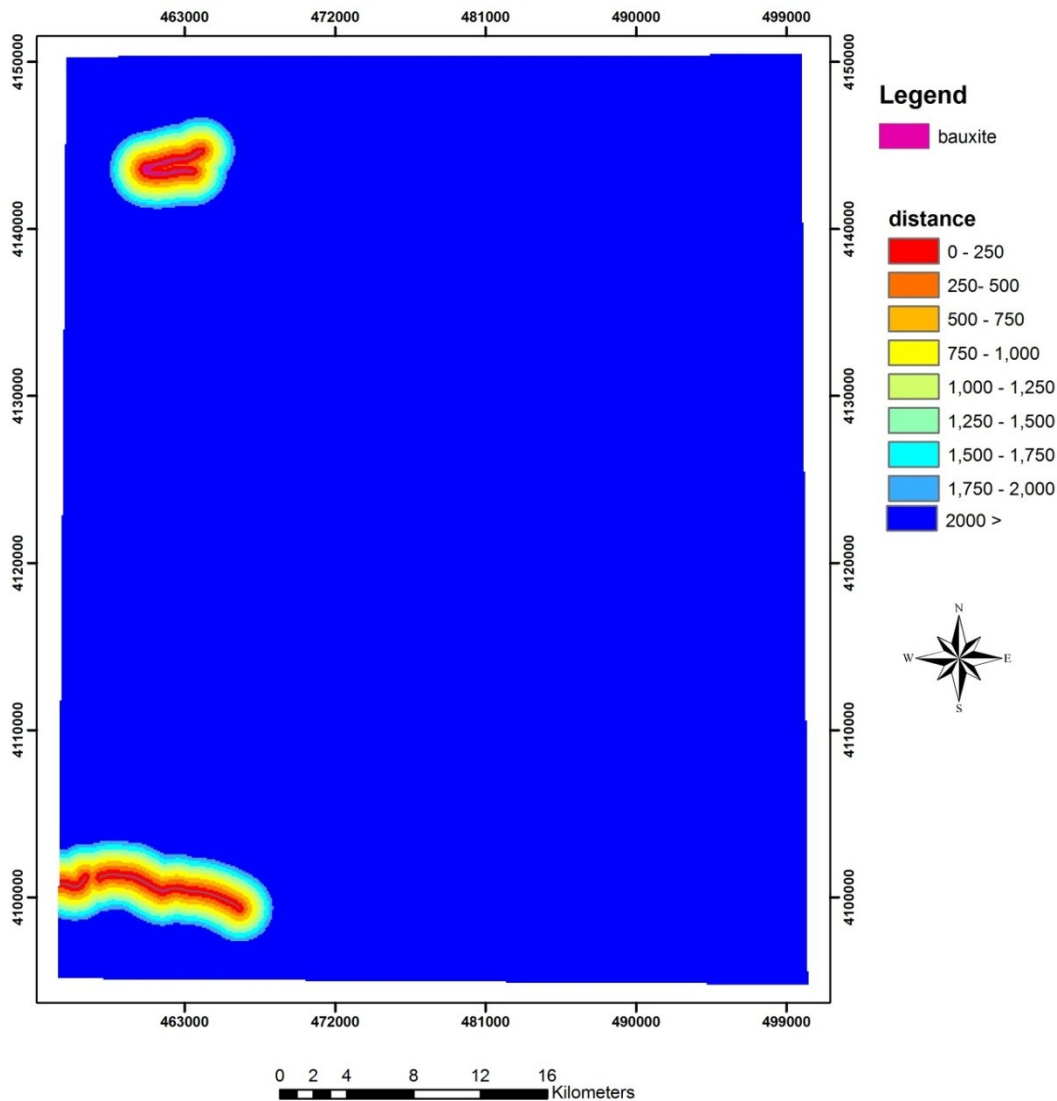
در شکل های ۲-۵، ۳-۵ و ۴-۵ نیز نقشه های حریم بوکسیت، دولومیت ها و ماسه سنگ های سازند شمشک منطقه نشان داده شده است. نقشه حریم برای طبقه بندی میزان فاصله دلخواه از عارضه مورد نظر به کار می رود و می توان پس از تبدیل این نقشه ها به فرمت رستری و اعمال وزن های مربوطه در طبقه بندی جدید لایه های اطلاعاتی نهایی مربوط به آنها را تهیه کرد.





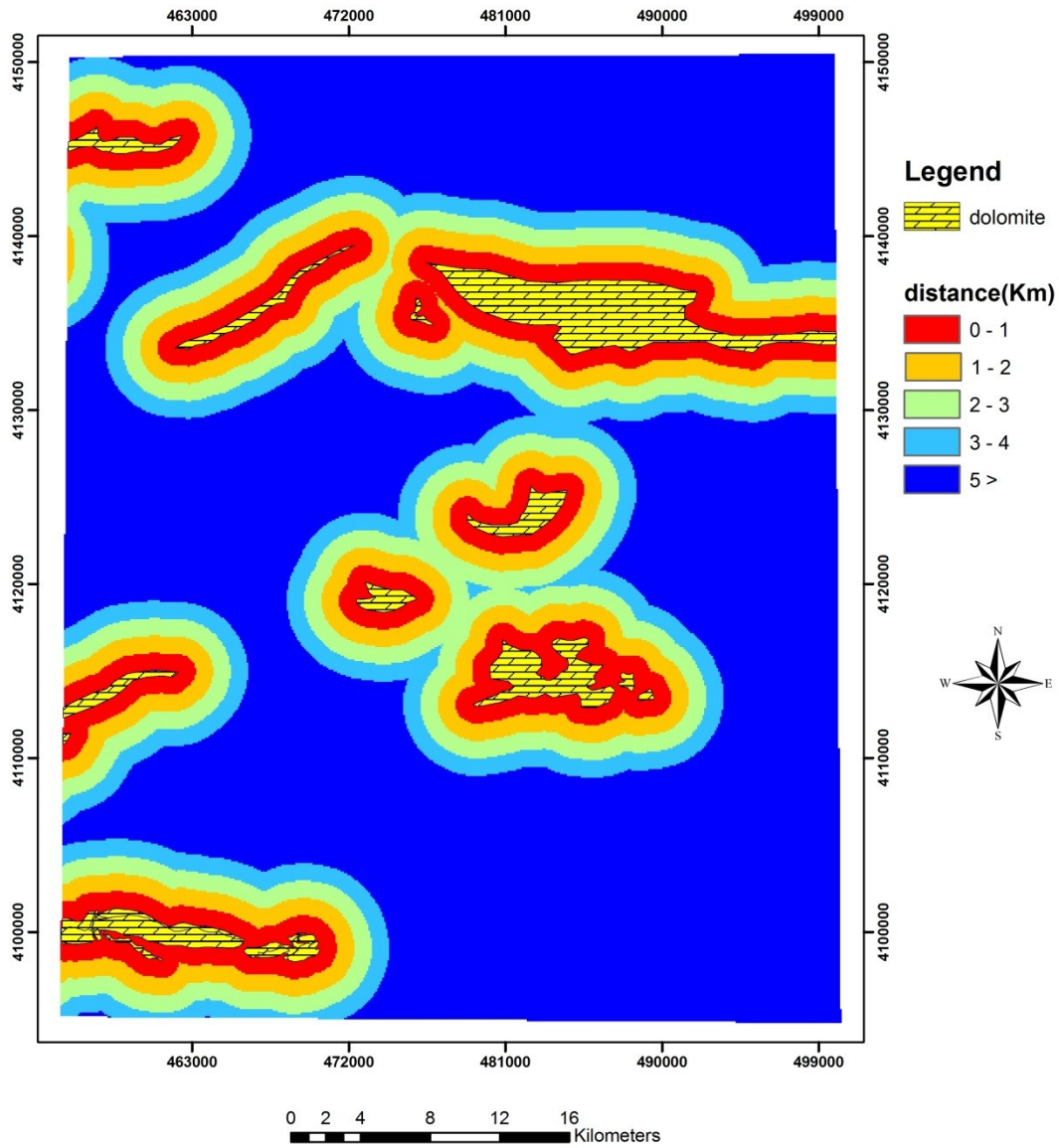
شکل ۵-۱: نقشه شیب منطقه بر حسب درجه

مطابق شکل ۵-۱ پارامتر شیب در ۷ دسته غیر مساوی برای تخصیص وزن مربوطه طبقه‌بندی شده است. با توجه به این نقشه، مناطق نسبتاً هموار در قسمت‌های جنوب شرقی و مرکزی نقشه وجود دارند. اما مناطق مناسب در قسمت‌های جنوب غربی و شمال نقشه وجود دارند.

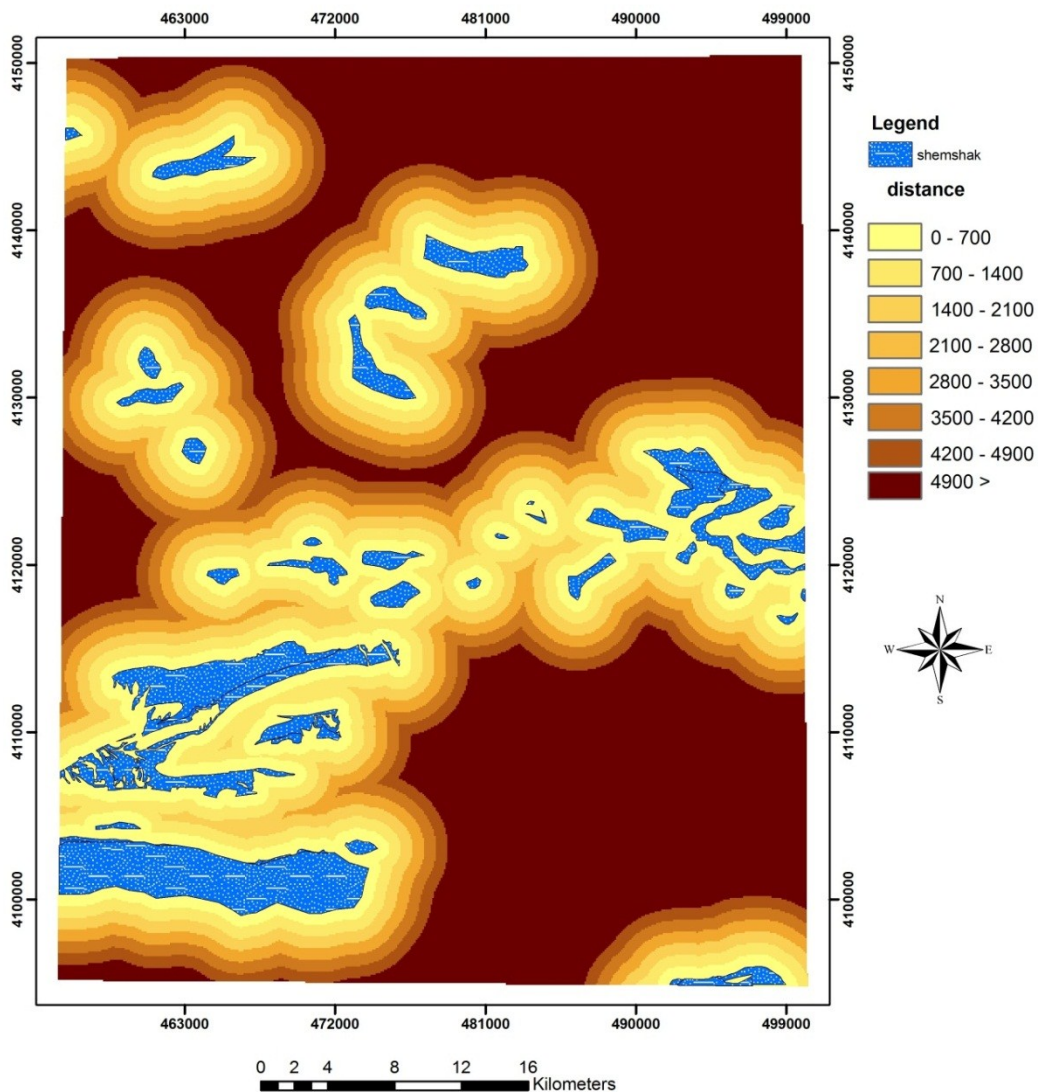


شکل ۵-۲: نقشه حریم بوکسیت‌های منطقه بر حسب متر

نقشه حریم بوکسیت‌های منطقه در شکل ۵-۲ نشان داده شده است. همان‌طور که در نقشه مذکور نشان داده شده، بوکسیت‌های منطقه به غیر از قسمت‌های شمال‌غربی و جنوب‌غربی نقشه رخنمون ندارند. گسترش ماده معدنی در منطقه زیاد نیست، به همین دلیل تا فاصله ۲ کیلومتری از رخنمون بوکسیتی برای آن حریم در نظر گرفته شد؛ سپس حریم در نظر گرفته شده برای رخنمون‌های بوکسیتی به فواصل مساوی طبقه‌بندی گردید.

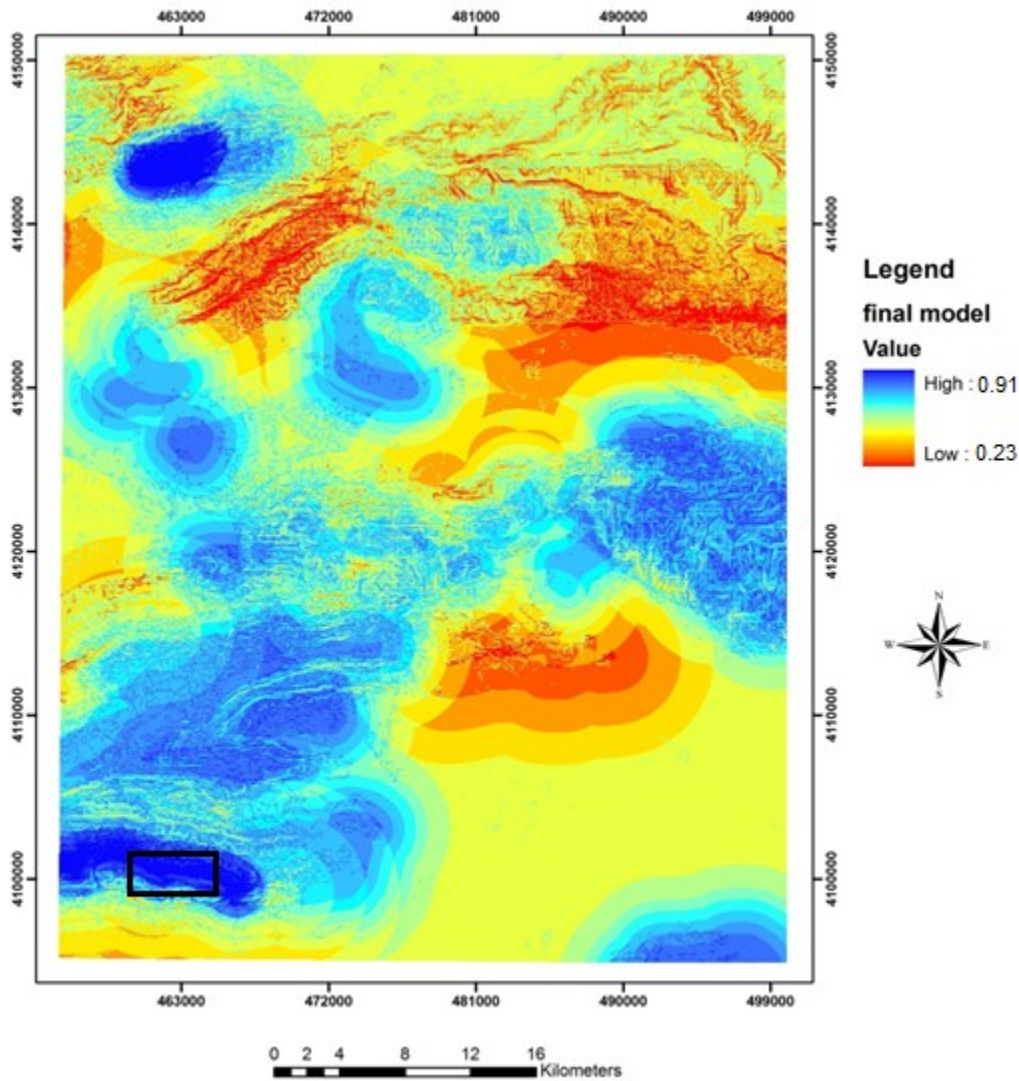


شکل ۵-۳: نقشه حریم دولومیت‌های منطقه بر حسب کیلومتر



شکل ۴-۵: نقشه حریم سازند شمشک منطقه بر حسب متر

در نهایت این چهار لایه با استفاده از نرم افزار Arc Map پس از تبدیل به نقشه های رستری و طبقه بندی مجدد و تخصیص وزن های مربوطه، با استفاده از عملگر فازی گاما و مقدار گامای ۹۵ درصد تلفیق گردیدند. نقشه حاصل از تلفیق داده های اکتشافی منطقه مورد مطالعه به روش فازی در شکل ۵-۵ آورده شده است. در این نقشه مناطقی که دارای ارزش پتانسیل بیشتری برای حضور کانی سازی باشند، با امتیاز فازی بالاتر مشخص شده اند.



شکل ۵-۵: نقشه نهایی پتانسیل معدنی بوکسیت در ورقه زمین‌شناسی ۱/۱۰۰,۰۰۰ سنخواست با استفاده از روش منطق فازی

با توجه به شکل ۵-۵ و نیز بررسی نتایج حاصل از مطالعه لایه‌های اکتشافی به صورت جداگانه، مشخص شد که تلفیق داده‌های اکتشافی در منطقه مورد مطالعه به روش فازی، تطابق کاملی با اندیس‌های بوکسیتی موجود داشته و نیز نتایج حاصل از لایه‌های اکتشافی مجزا را تأیید می‌کند. مناطقی که در شکل ۵-۵ به رنگ آبی نشان داده شده‌اند مناطق مناسبی برای اکتشافات تفضیلی ماده معدنی بوکسیت می‌باشند. معدن بوکسیت جاجرم نیز در کادر سیاه رنگی که در گوشه پایین سمت

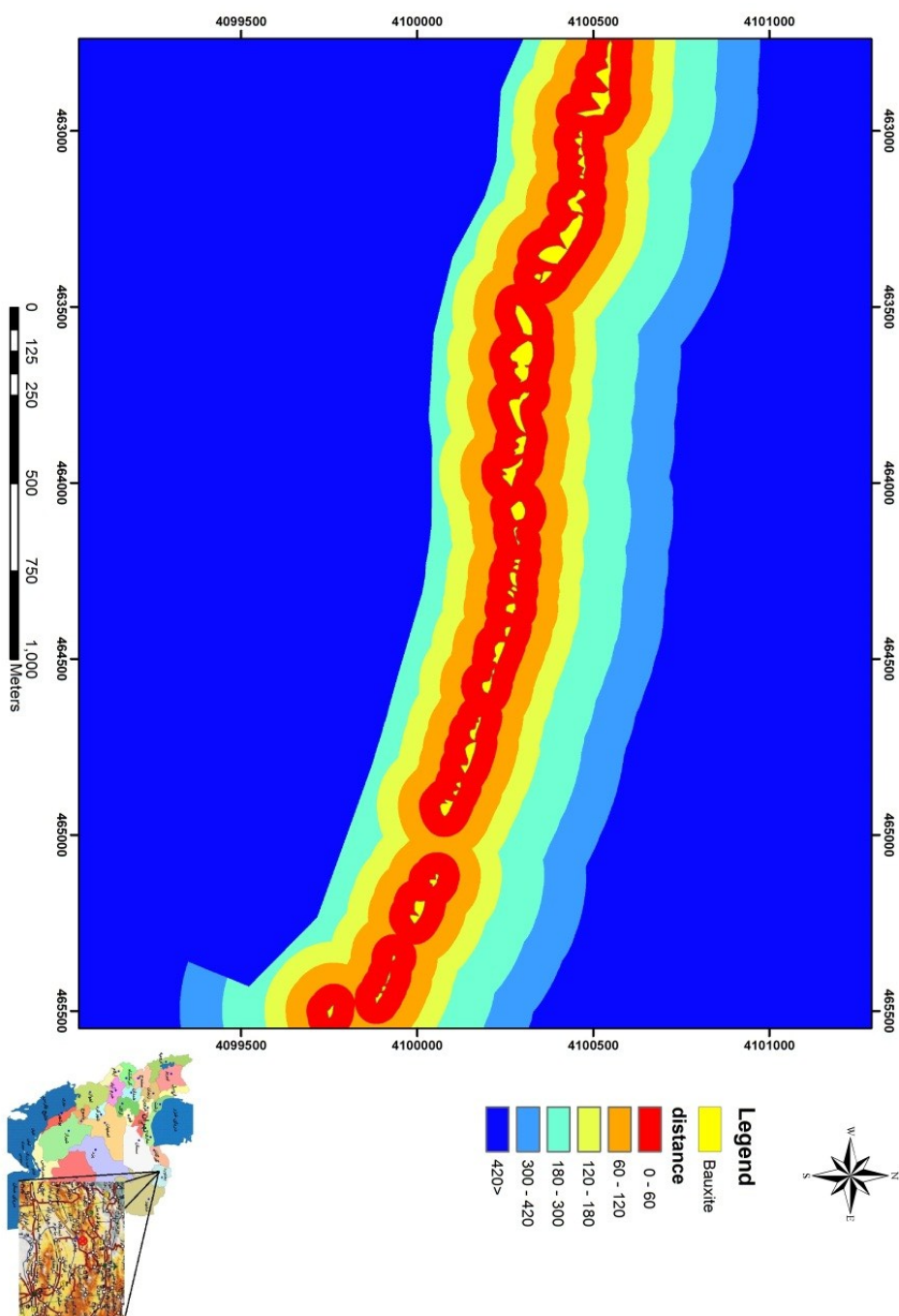
چپ تصویر قرار دارد می‌باشد؛ که پتانسیل یابی در مقیاس بزرگتر در این منطقه که با کادر سیاه رنگ در تصویر مشخص شده انجام شد.

#### ۵-۵-۴ - تلفیق اطلاعات اکتشافی در منطقه مورد مطالعه در مقیاس ۱/۵۰۰۰ به

#### روش منطق فازی

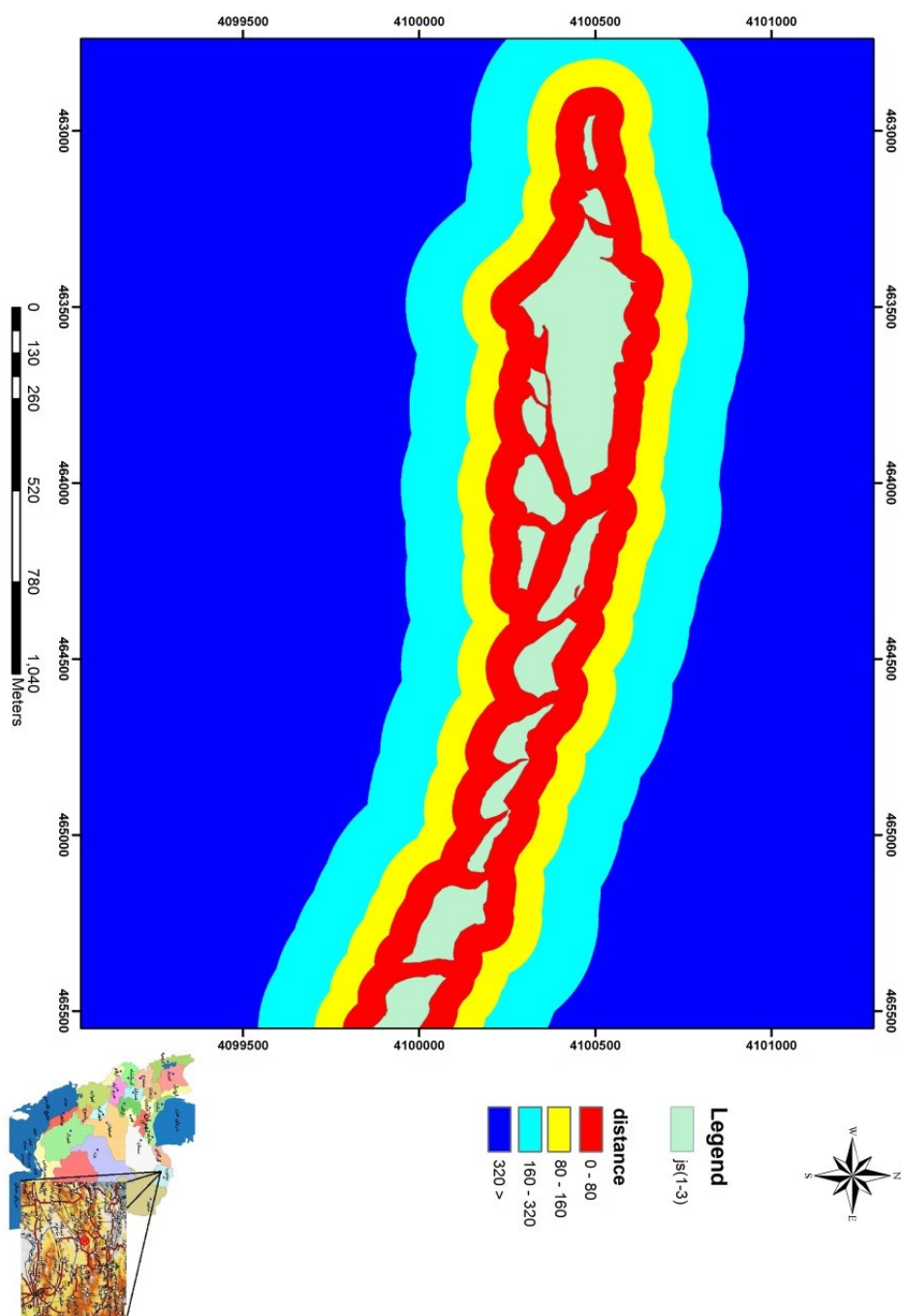
برای تلفیق اطلاعات اکتشافی در این جا نیز از روش منطق فازی، از عملگر گاما استفاده شد. برای تشکیل پایگاه داده واحدهای سنگی از نقشه زمین‌شناسی ۱/۵۰۰۰ منطقه که در شکل ۲-۵ آمده، استفاده شد. پس از رقومی‌سازی نقشه مورد نظر و ایجاد جدول توصیفی با مشخصات سن زمین‌شناسی، مشخص کردن سازند واحدها و توصیف واحد سنگ‌شناسی، واحدهای سنگ‌شناسی مورد نظر جدا گردید. برای واحدهای سنگی سازند شمشک فقط محدوده سنی ژوراسیک پایین که قسمت زیرین سازند شمشک می‌باشد و قسمت فوقانی لایه بوکسیتی می‌باشد؛ در نظر گرفته شد و برای آن ۵ بافر ۸۰ متری در پیش‌بینی شد. برای واحد سنگی دولومیتی ۳ بافر ۲۰۰ متری در نظر گرفته شد؛ که قسمت جنوبی آن با توجه به این که احتمال تشکیل بوکسیت در زیر دولومیت وجود ندارد، حذف شد. برای واحد سنگی بوکسیتی ۸ بافر ۶۰ متری که در این جا هم مانند دولومیت با توجه به این که جهت شیب لایه بوکسیتی به سمت شمال است؛ قسمت‌هایی از بافرهای جنوبی آن حذف شد. برای تهیه نقشه شیب ابتدا نقشه ۱/۲۵۰۰۰ منطقه از سازمان نقشه‌برداری تهیه شد و با توجه به این که دیگر داده‌های ما در منطقه در مقیاس محلی معدن بود، این نقشه نیز با استفاده از نرم‌افزار ArcMap طی فرآیندی به مقیاس محلی برگردانده شد و سپس از آن نقشه شیب تهیه شد و این نقشه در ۷ دسته طبقه‌بندی گردید. اما تهیه نقشه ژئوفیزیک به این صورت انجام گرفت که مقاطع عمقی در عمقهای ۱۲۰۰-۱۲۰۵-۱۲۱۰-۱۲۱۵-۱۲۲۰-۱۲۲۵-۱۲۳۰-۱۲۳۵ متری از مدل تهیه شده در شکل ۳-۶ تهیه گردید و سپس این مقاطع در نرم افزار ArcMap به صورت رقومی در آمد و پس از اصلاح جدول توصیفی آنها برای وزن دهی آنها به لایه D امتیاز ۱، لایه E امتیاز ۰/۲

و لایه B امتیاز ۰/۱ داده شد. سپس همه این نقشه‌ها به فرمت رستر تبدیل گردید و پس از طبقه بندی مجدد با استفاده از عملگر فازی گامای ۹۰ درصد تلفیق گردیدند. پس از تهیه نقشه خروجی مقادیری با ارزش فازی بالاتر از ۰/۶ با استفاده از محاسبات رستری جدا گردید و به عنوان لایه‌ای که از نظر ژئوفیزیکی بوکسیت می‌باشد جدا شد. حال مناطق جدا شده آماده برای تهیه نقشه حریم می‌باشد؛ که برای این نقشه ۳ بافر ۷۰ متری در نظر گرفته شد. سپس بر اساس اهمیت هر کدام از لایه‌ها، به هر کلاس امتیازی داده شد. به این صورت که در قسمت اصلی واحد سنگی بوکسیتی (خود لایه) امتیاز ۱ و در بافرها به ترتیب دور شدن امتیازهای ۰/۹ و ۰/۸ و ۰/۷ و ... داده شد. به لایه ژوراسیک پایین سازند شمشک هم امتیازی بین ۰/۷ تا ۰/۱ داده شد. برای دو لایه دیگر نیز امتیاز دادن مانند قسمت قبل متفاوت بود. به این صورت که برای لایه دولومیتی روی خود واحد دولومیتی امتیاز ۰/۱ و بقیه امتیازها به ترتیب دور شدن از بافر امتیازهای ۰/۵ تا ۰/۲ داده شد. همین طور لایه شیب که نحوه امتیازدهی آن مانند جدول ۵-۱ است. برای لایه ژئوفیزیکی امتیازی بین ۰/۵ تا ۰/۱ در نظر گرفته شد. در شکل‌های ۵-۶، ۵-۷، ۵-۸، ۵-۹ و ۵-۱۰ نقشه‌های حریم لایه‌های بوکسیت، ماسه‌سنگ‌های سازند شمشک، دولومیت‌ها، لایه ژئوفیزیکی و نقشه شیب منطقه نشان داده شده است. همان‌طور که پیش‌تر اشاره شد نقشه‌های حریم برای طبقه‌بندی میزان فاصله دلخواه از عارضه مورد نظر تهیه می‌شود. با استفاده از این نقشه‌ها می‌توان نقشه‌های رستری تهیه کرده و وزن‌های مورد نظر را روی آنها اعمال کرد.

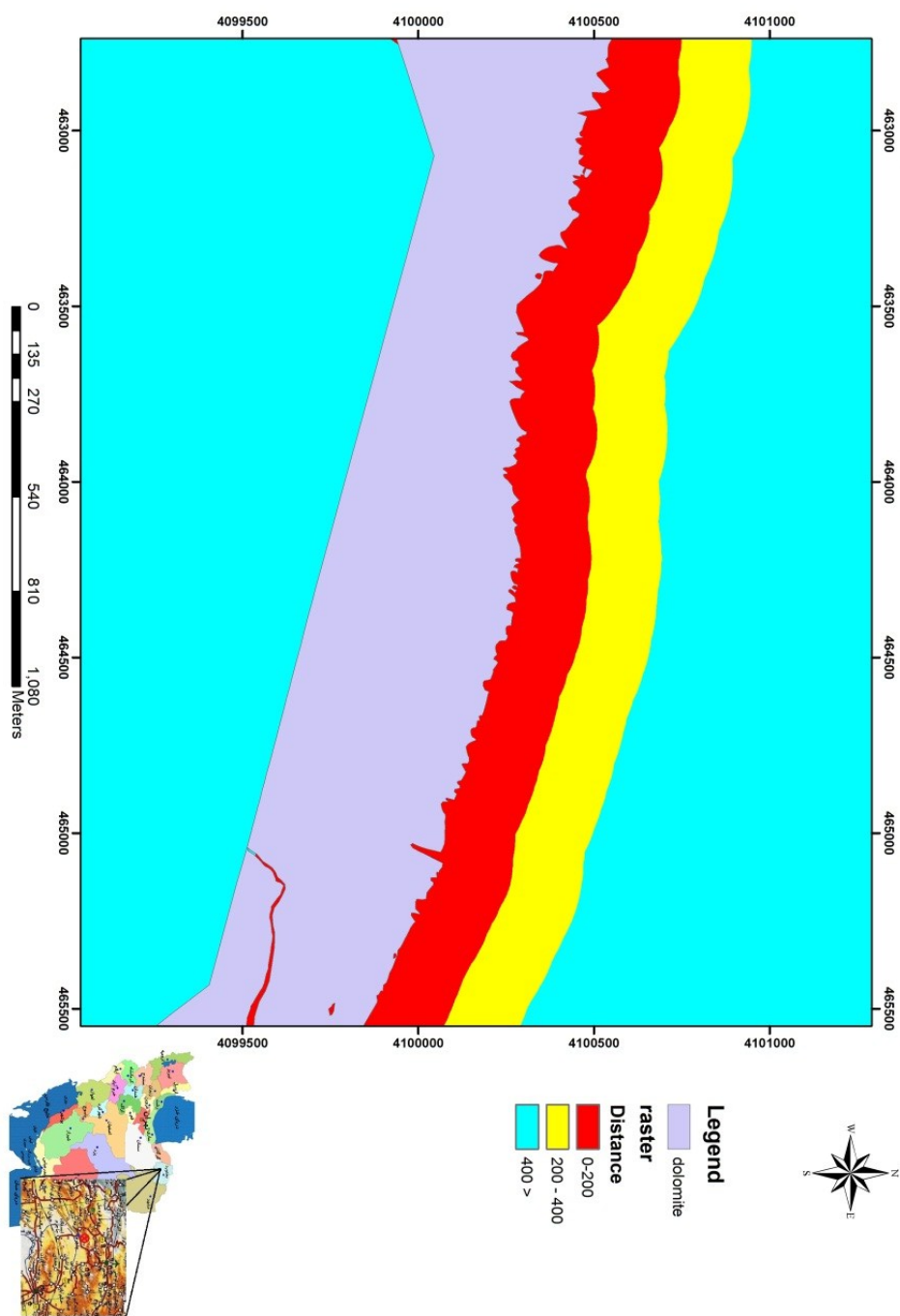


شکل ۵-۶: نقشه حریم لایه سنگی بوکسیتی بر حسب متر

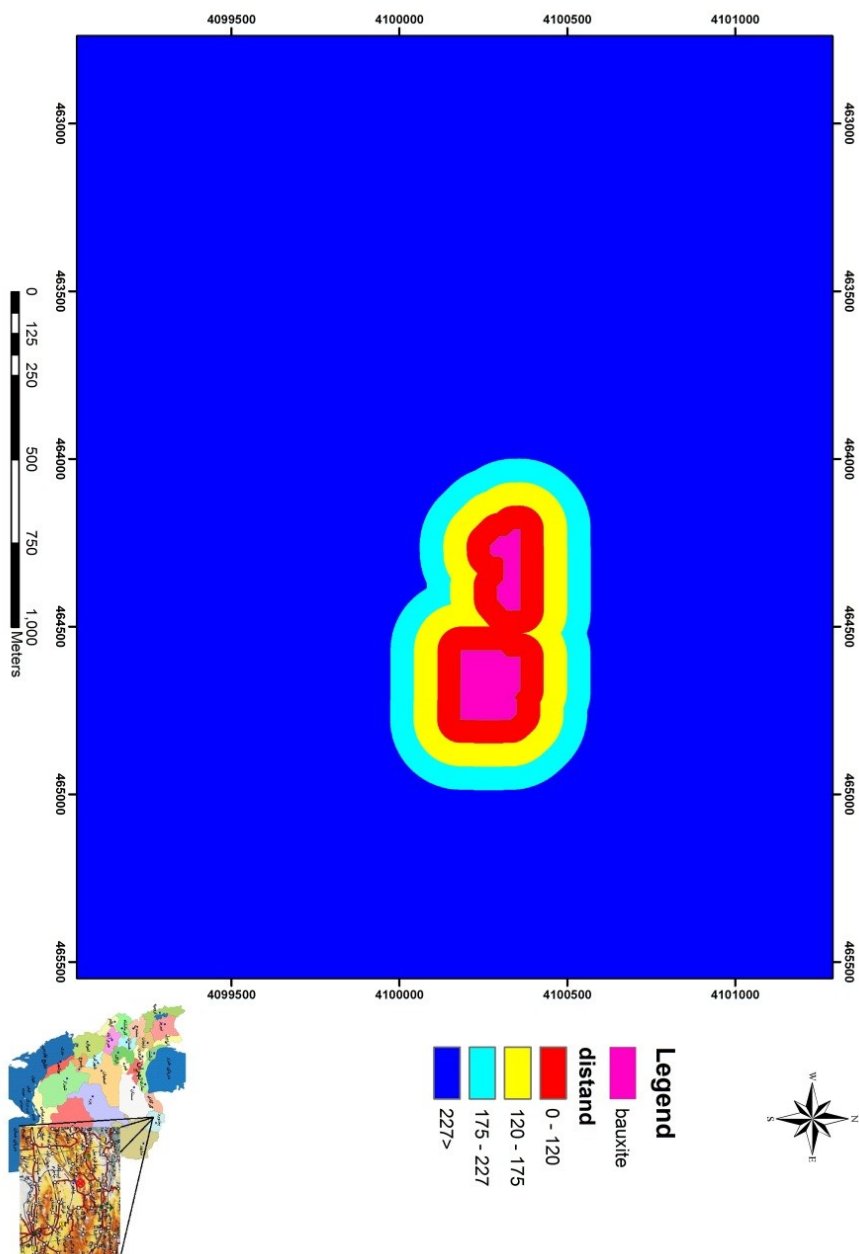




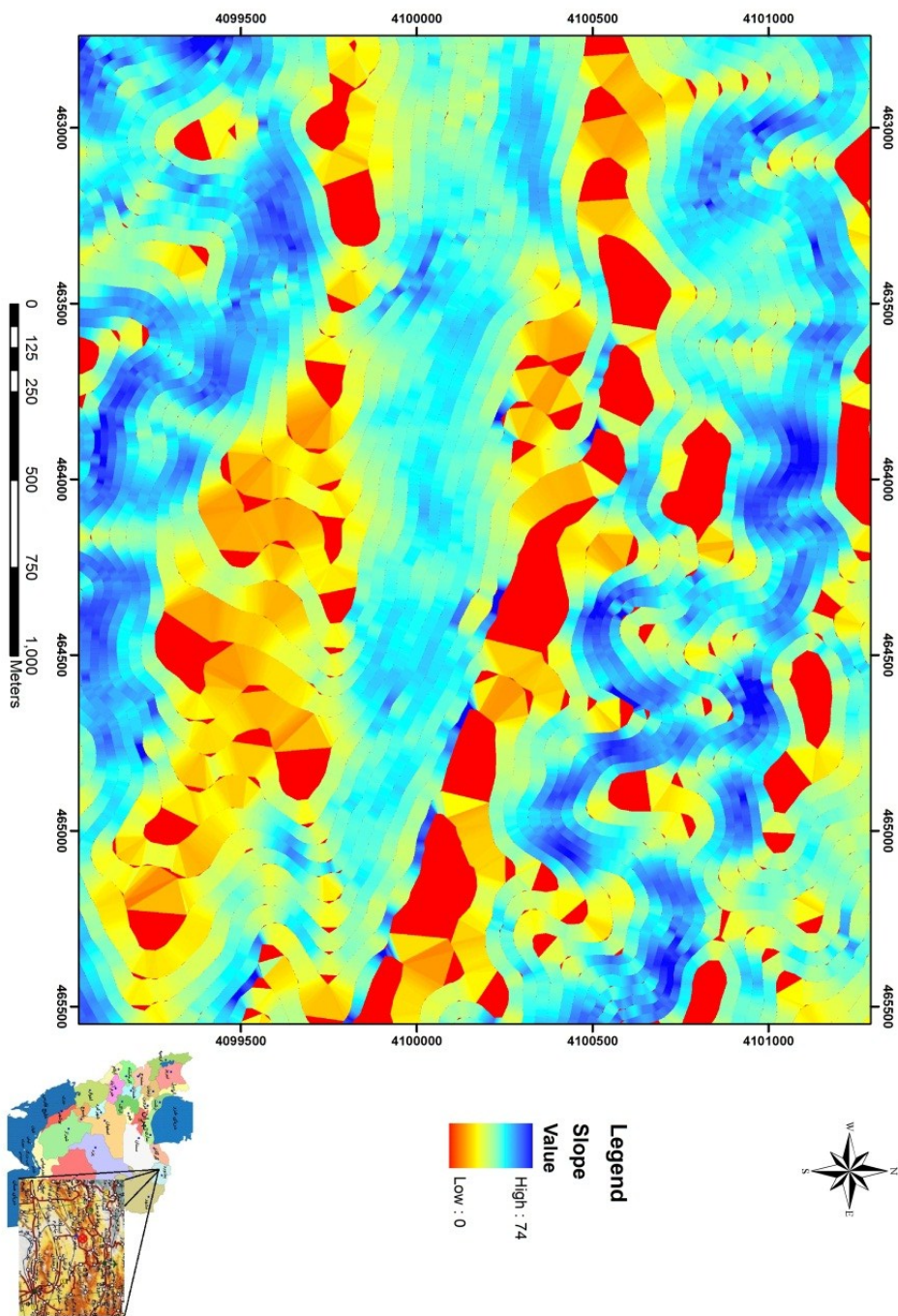
شکل ۵-۷: نقشه حریم واحد سنگی سازند شمشک بر حسب متر



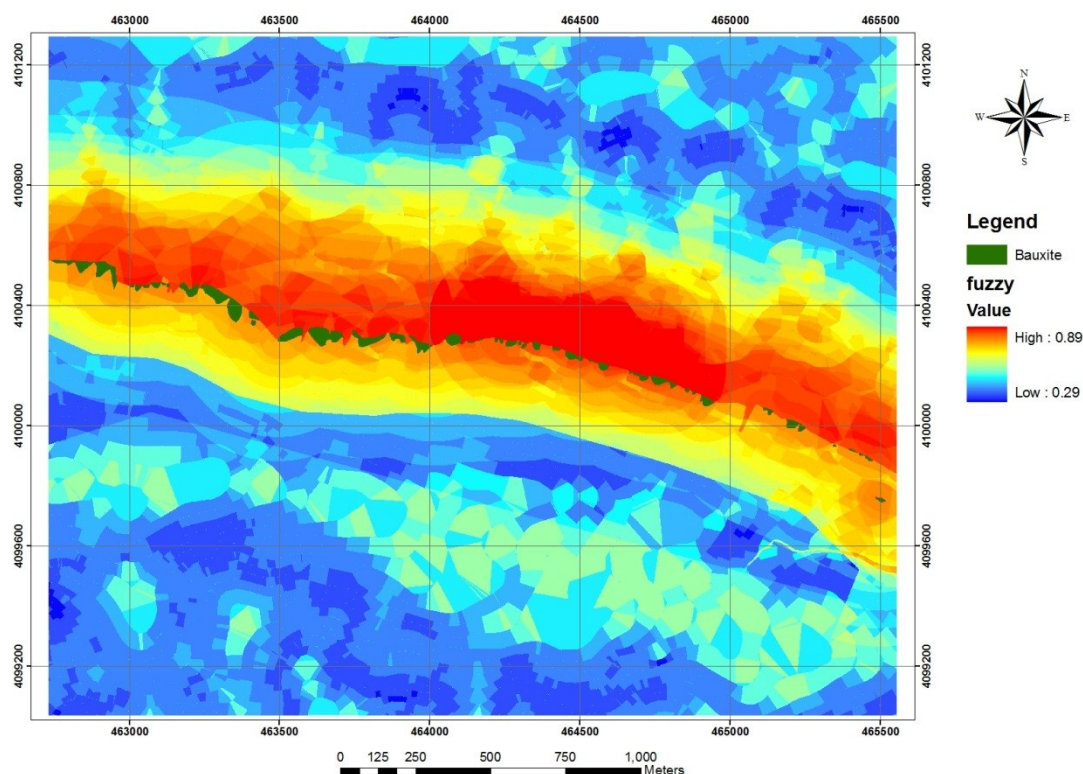
شکل ۵-۸: نقشه حریم واحد سنگی دولومیتی بر حسب متر



شکل ۵-۹: نقشه حریم لایه ژئوفیزیکی بر حسب متر



شکل ۵-۱۰: نقشه شیب منطقه بر حسب درجه



شکل ۵-۱۱: نقشه نهایی پتانسیل معدنی بوکسیت منطقه با استفاده از روش منطق فازی

همان‌طور که در شکل ۵-۱۱ نشان داده شده مناطقی که با رنگ قرمز نشان داده شده‌اند، ارزش فازی بالاتری دارند. احتمال حضور کانی‌سازی بوکسیت در آنها بالاتر است. که این مناطق بیشتر در قسمت مرکزی و با یک روند شرقی - غربی نمایش داده شده‌اند. با توجه به شکل ۵-۱۱ و نیز بررسی نتایج حاصل از مطالعه لایه‌های اکتشافی به صورت جداگانه، مشخص شد که تلفیق داده‌های اکتشافی در منطقه مورد مطالعه به روش فازی، تطابق قابل قبولی با اندیس‌های معدنی بوکسیتی موجود داشته و نیز نتایج حاصل از لایه‌های اکتشافی مجزا را تأیید می‌کند. روش منطق فازی روش مناسبی برای مدل‌سازی پتانسیل معدنی ذخایر بوکسیتی منطقه می‌باشد. به کمک نتایج این روش می‌توان اکتشافات تفضیلی منطقه را با سرعت و دقت بالاتر و هزینه کمتر انجام داد.

## فصل هشتم

# نتیجہ گیری و پیشہ اداوات

## ۶-۱- نتیجه‌گیری

۱) نتایج حاصل از مدل‌سازی یک‌بعدی، حداقل وجود چهار لایه ژئوالکتریکی را در منطقه تاگویی ۴ و ۵ واقع در محدوده معدنی بوکسیت جاجرم، نشان می‌دهند.

۲) نتایج حاصل از مدل‌سازی داده‌های مقاومت‌ویژه انطباق کاملی با داده‌های حفاری در تخمین عمق ندارد؛ که دلیل آن را می‌توان به وجود انواع نوفه در منطقه نسبت داد.

۳) با استفاده از سنجش از دور و روش نسبت‌گیری بانندی می‌توان شواهد غیر مستقیم وجود بوکسیت در منطقه مانند شناسایی دولومیت‌ها و ماسه‌سنگ‌های سازند شمشک را مشخص کرد؛ اما به دلیل آنکه قدرت تفکیک مکانی تصاویر مورد استفاده در این تحقیق پایین است؛ نمی‌توان خود لایه بوکسیتی را به درستی شناسایی کرد.

۴) این تحقیق، کاربرد منطق فازی را بر روی داده‌های سنجش از دور، ژئوفیزیک، و زمین‌شناسی در منطقه جاجرم نشان می‌دهد. مدل پتانسیل کانی‌زایی به دست آمده شامل مناطقی با مطلوبیت بالا است؛ که می‌تواند شامل نهشته‌های جدید باشد. همانطور که در این تحقیق دیدیم مناطق با مطلوبیت بالا ابتدا در مقیاس ناحیه‌ای مشخص شد و در مرحله بعد پتانسیل یابی در منطقه‌ای که در مرحله قبل شامل مطلوبیت بالایی بود انجام شد که در نهایت در این مقیاس نیز با توجه به نتایج به دست آمده و انطباق آنها بر داده‌های زمین‌شناسی و بازدیدهای میدانی نتایج قابل قبولی می‌باشد.

۵) نتایج به دست آمده از تلفیق داده‌های اکتشافی در دو مقیاس مختلف نتایج تقریباً قابل قبولی را در پتانسیل یابی بوکسیت نشان می‌دهد؛ که با نتایج به دست آمده در بازدیدهای میدانی از منطقه مورد مطالعه نیز انطباق مناسبی دارد.

## ۶-۲- پیشنهادات

(۱) برداشت داده‌های ژئوفیزیکی با روش‌های دیگر با توجه به خصوصیات منطقه مانند اتصال به جرم و استفاده از آرایه‌های دیگر در برداشت مانند نیم‌شلمبرژه، قطبی-دوقطبی و ... می‌تواند مفید باشد.

(۲) از آنجایی که مرز تیزی<sup>۱</sup> بین دولومیت و بوکسیت و لایه‌های بالایی وجود ندارد و نیز با توجه به توپوگرافی شدید منطقه، ممکن است روش لرزه‌نگاری انکساری برای اهداف مورد نظر روش ناموفقی باشد؛ با این وجود، برداشت داده‌های لرزه‌نگاری انکساری برای بررسی احتمالی عمق و ضخامت ذخیره معدنی قابل پیشنهاد است.

(۳) برای تأیید و بررسی نتایج و به‌منظور رسیدن به پاسخ منطبق با شرایط موجود زمین‌شناسی اظهار نظر نهایی به شکل تلفیق نتایج حفاری و ژئوفیزیکی است؛ لذا انجام این بررسی را با توجه به وجود داده‌های حفاری در تحقیقات آتی پیشنهاد می‌نماید.

(۴) استفاده از تصاویر ماهواره‌ای با قابلیت قدرت تفکیک متوسط و بالا در مناطق معرفی شده به عنوان پتانسیل متوسط تا بالای معدنی جهت شناسایی و تفکیک دقیق عوارض و ساختارهای زمین-شناسی موثر در کانه‌زایی پیشنهاد می‌شود.

(۵) احتمالاً استفاده از روش‌های طبقه‌بندی در پردازش تصاویر ماهواره‌ای می‌تواند در شناسایی خود لایه‌های بوکسیتی موفق باشد.

(۶) اکتشافات ژئوشیمیایی آبراهه‌ای و خاک بزرگ مقیاس در مناطق مطلوب معدنی شناسایی شده، و محدودتر کردن محدوده اکتشاف برای انجام اکتشافات لیتوژئوشیمیایی جهت شناخت دقیق هاله‌های ژئوشیمیایی در این مناطق پیشنهاد می‌شود.

(۷) پیشنهاد می‌شود تلفیق و مدل‌سازی در GIS با استفاده از سایر روش‌های داده محور و دانش محور و مقایسه آنها با یکدیگر و با داده‌های زمینی جهت معرفی نقاط ضعف و قوت هر کدام از روش‌های مدل‌سازی انجام شود.

<sup>1</sup>. Sharp



## مراجع فارسی

ایرالکوش س، (۱۳۷۹)، "مطالعات فنی و اقتصادی معدن بوکسیت جاجرم"، وزارت صنایع و معادن،

ایتوک ا، (۱۳۷۴)، "آشنایی با طرح ها و پروژه‌های شرکت. وزارت معادن و فلزات"، طرح تجهیز معدن و احداث کارخانه تولید آلومینا از بوکسیت،

جعفر زاده ر، (۱۳۸۱)، : پایان نامه کارشناسی ارشد: "بررسی کانی شناسی، ژئوشیمی و ژنز بوکسیت جاجرم"، گروه زمین شناسی، دانشگاه شیراز،

حجت آ، (۱۳۸۲)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد: "مطالعات ژئوالکتریک جهت بررسی آبهای زیر زمینی و ساختارهای زمین شناسی در محدوده آنومالی شماره ۳ معدن گل گهر"، دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک دانشگاه صنعتی شاهرود،

حسنی پاک ع و شجاعت ب، (۱۳۷۹)، "مدل سازی کانسارهای فلزی- غیر فلزی و کاربردهای اکتشافی آن"، انتشارات دانشگاه تهران،

درویش زاده ع، (۱۳۷۰)، "زمین شناسی ایران" انتشارات امیرکبیر

رنجبر ژ، (۱۳۸۵)، پایان نامه کارشناسی ارشد: "بررسی زمین‌شناسی اقتصادی کانسار بوکسیت تاگوئی جاجرم در استان خراسان شمالی"، دانشگاه آزاد اسلامی (تهران شمال)،

زبیری م و مجد ع، (۱۳۸۵)، "آشنایی با فن سنجش از دور و کاربرد در منابع طبیعی"، انتشارات دانشگاه تهران،

علوی پناه س، (۱۳۸۵)، "کاربرد سنجش از دور در علوم زمین (علوم خاک)"، انتشارات

دانشگاه تهران،

کامکار روحانی ا و عرب امیری ع، (۱۳۹۰)، "سونداژ ژئوفیزیکی، تفسیر نتایج و مدل سازی به منظور تعیین عمق لایه یا زون کارستی کمر پایین بوکسیت"، قرارداد پژوهشی، دانشگاه صنعتی شاهرود،

کامکار روحانی ا و عرب امیری ع، (۱۳۹۲)، "سونداژ ژئوفیزیکی، تفسیر نتایج و مدل سازی به منظور تعیین عمق لایه یا زون کارستی کمر پایین بوکسیت"، قرارداد پژوهشی، دانشگاه صنعتی شاهرود،

کریم پور م، ملک زاده آ و حیدریان م، (۱۳۸۷)، "اکتشاف ذخایر معدنی"، انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد.

"نقشه زمین شناسی ورقه یک صد هزارم سنخواست و رباط قره بیل" (۱۹۹۹)، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی،

کلاگری ع، (۱۳۷۱)، اصول اکتشافات ژئوفیزیکی. انتشارات دانشگاه تبریز،

کیمیا قلم ج، محمدی جوآبادی ع و شاهین ا، (۱۳۶۳)، "گزارش ژئوفیزیکی پیمایش مغناطیسی و سونداژهای الکتریک منطقه کیاسر"، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی،

ایران ایتوک، "گزارش زمین شناسی معدن بوکسیت جاجرم"

مراد زاده ع، عرب امیری ع و چاکری م، (۱۹۹۲)، "نگرشی آگاهانه بر کاربرد مدل سازی هموار و پارامتری داده های مقائم ویژه و قطبش القایی"، بیست و چهارمین گردهمایی علوم زمین، تهران.

ملایی ح و شریفیان عطار ر، (۲۰۱۲)، "ویژگیهای زمین شناسی و اکتشافی بوکسیت جاجرم"

(جنوب باختری خراسان شمالی- شمال باختری خراسان بزرگ"، دانشگاه آزاد اسلامی مشهد، دانشکده علوم، واحد زمین‌شناسی، شماره ۵۷.

مومنی ف، (۱۳۹۱)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد: "مدل‌سازی و تفسیر سونداژهای الکتریکی به منظور تعیین عمق و ضخامت ذخیره و شناسایی دقیق‌تر زون کارستی کمرباطین بوکسیت در یکی از معادن بوکسیت جاجرم"، دانشگاه صنعتی شاهرود.

ناصری ح، علیجانی ف و میرزایی ی، (۱۳۸۷)، "توموگرافی ژئوالکتریک کارست تاقدیس آسماری (جنوب شرق مسجد سلیمان)"، مجله علوم دانشگاه شهید چمران اهواز، ۱۹، ۱۰۰-۱۱۰.

ناصری م، (۱۳۸۲)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، کانی‌شناسی و ژئوشیمی کانسار بوکسیت جاجرم با نگرشی بر کاربردها و محدودیت‌ها در کاربرد صنعتی، دانشگاه فردوسی مشهد گروه زمین‌شناسی.

## مراجع انگلیسی

Abrams M & Hook S. (1995). "Simulated ASTER data for geologic studies" *pp* 692-699.

An P. Moon W. & Rencz A. (1991). "Application of fuzzy set Theory for integration of geological", geophysical and remote sensing data , 93, *pp* 47-65.

Berger B. & Drew L. (2002). "Mineral deposit models" new developments, In: Fabbri, A.G., Gaa, G., McCammon, R.B.(Eds), Deposit and Geoenvironmental models for Resource Exploratin and Environmental Security , NATO Science Series 2, Environmental Security. 80.

Bonham-carter G. (1994). "Geographic Information System for geoscientists: Modelling with GIS". Peramon Press, Oxford.

Carranza E. (2008). "Geochemical anomaly and mineral prospectivity mapping in GIS", Handbook of Exploration and environmental geochemistry, (Vol. 11). Amsterdam, Elsevier.

Carranza E. & Hale M. (2002). " Evidential belief functions for geologically constrained mapping of gold potential ,Baguio district" . 22, pp 117-132.

Carranza E. & Sadeghi M. (2010). " Predictive mapping of prospectivity and quantitative estimation on undiscovered VMS deposit in Skellefte district (Sweden) " pp219-241.

Constable S. Parker L. & Constable G. (1987). "Occam's inversion: A practical algorithm for generating smooth models from electromagnetic sounding data". *J. of GEOPHYSICS*, 52, pp289-300.

Corvallis O. (2000). "DC resistivity method. Northwest Geophysical Associates, Inc".

Dahlin T. & Zhou B. (2004). "A numerical comparison of 2D resistivity imaging with 10 electrode arrays". *Geophysical Prospecting*, 52, pp379-398.

deGroot-Hedlin C. & Constable S. (1990). "Occam's inversion to generate smooth, two-dimensional models from magnetotelluric data". *J. of GEOPHYSICS*, 55

Dey A. & Morrison H. F. (1979). "RESISTIVITY MODELLING FOR ARBITRARILY SHAPED TWO-DIMENSIONAL STRUCTURES". *Geophysical prospecting*, 106-136.

Fox R. Hohmann G. Killpack T. & Rijo, L. (1980). "Topographic effects in resistivity and induced-polarization surveys". *J. of Geophysics*, 45, pp75-93.

Ginzburg A. & Levanon A. (1976). "Determination of a saltwater interface by electric resistivity depth sounding". *Department of Environmental Science*, pp561-568.

Gupta R. (2003). " Remote Sensing Geology" (2nd ed). Berlin: Springer-Verlag.

Harris J. Wilkinson L. Heather K. Fumertun S. Bernier M. Ayer J. et al. (2001). "Application of GIS processing techniques for producing mineral prospectivity maps, a

case study: mesothermal Au in the Swayze Greenstone belt" 10, pp91-124.

Inman J. (1975). " RESISTIVITY INVERSION WITH RIDGE REGRESSION" *J. of. GEOPHYSICS*, 40, pp798-817.

Inman, J., Jisoo Ryu, J., & Ward, S. (1973). " RESISTIVITY INVERSION" *J. of. Geophysics*, Vol 38.

Kalinowski A. & Oliver S. (2004). "ASTER Mineral Index Processing Manual" Geoscience Australia.

Lillesand T. Kiefer R. & Chipman J. (2004). "Remote sensing And Image Interpretation" fifth edition (5nd ed.). Wiley and Sons.

Loke M. (2004). Tutorial: "2D and 3D electrical imaging surveys".

Loke M. H. Dahlin T. (2002). "A comparison of the Gauss–Newton and quasi-Newton methods in resistivity imaging inversion". *J. of. Applied Geophysics*, 49, pp149-162.

Loke M. & Barker R. (1995). "Least-squares deconvolution of apparent resistivity pseudosections". *J. of. GEOPHYSICS*, 60, pp1682-1690.

Loke M. & Barker R. (1996). "Rapid least-square inversion of apparent resistivity pseudosections using a quasi-Newton method". *Geophysical Prospecting*, 44, pp131-152.

Malamphy M. & Vallely J. (1944). "GEOPHYSICAL SURVEY OF THE ARKANSAS BAUXITE REGION". *J. of geophysics*, 9, pp324-366.

Meju M. (1994). "Geophysical Data Analysis: Understanding Inverse Problem Theory and Practice". United Statea of America: Society of Exploration Geophysicsts.

Milson J. (1989). " Field Geophysics". Geological Society of London Handbook.

Molano E. Salamanca M. & Van Overmeeren A. (1990). "Numerica lmodelling of standard and continuous vertical electrical soundings". 38, pp705-718.

Mooney H. (1980). "Handbook of Engineering Geophysics" (Vol. 2). Minnesota, U.S.A: Bison Instruments, Inc.

Muiuane E. & Padersen L. (1999). "Automatic 1D interpretation of DC resistivity sounding data". *J. of Applied Geophysics*, 42, pp35-45.

Ninomiya Y. Fu B. & Cudahy T. (2005). "detecting lithology with Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection radiometer (ASTER) multispectral thermal infrared "radiance-at-sensor" data". *J. of Remote sensing of environment*.

Novriadi T. (2006). " Applying fuzzy logic method in mineral potential mapping for epithermal gold mineralization in the island of Flores, East Nusa Tenggara using geographical information systems (GIS) ". ISME.

OzeboV. Odunaike R. & Balogun A. (2008). " Identification of Depth to Top of Limestone Body Within a Concession at Ibese ". *J. of Earth Sciences*, pp99-107.

Pan G. & Harris D. (2000). " Information Synthesis for Mineral Exploration". New York: Oxford University Press.

Patterson S. (1982). "Descriptive model of karst type bauxite deposits"

Qiu F. Abdelsalam M. & Thakkar P. (2006). "Spectral analysis of ASTER data covering part of the Neoproterozoic Allaqi-Heiani suture Southern Egypt". pp169–180.

Raines G. & Mihalasky M. (2002). "A reconnaissance method for delineation of tracts for regional - scale mineral-resource assessment based on geologic map data". 11, pp241-248.

Raines G., Connors K. & Chorlton L. (2007). "Porphyry copper deposit tract definition - a global analysis comparing geologic map scales". 16, pp191-198.

Ranjbar H. & Honarmand M. (2004) "Integration and analysis of airborne geophysical and ETM+ data for exploration of porphyry type deposits in the Central Iranian Volcanic Belt, using fuzzy classification" 25, pp4729-4741.

Reynolds J. (1997). "An Introduction to applied and environmental geophysics" England: John Wiley.

Ruiz-Armenta J. & Prol-Ledesma R. (1998). "Techniques for enhancing the spectral response of hydrothermal alteration minerals in Thematic Mapper Images Of hydrothermal alteration minerals in Thematic Mapper images of Central Mexico". 19, *pp*1981-2000.

Samouelian A. Cousin I. Tabbagh A. Bruand A. & Richard G. (2005). "Electrical resistivity survey in soil science": a review. *Soil & Tillage Research*, 83, *pp*173-193.

Tangestani M. & Moore F. (2001). "Comparison of three principal component analysis techniques to porphyry copper alteration mapping a case study in Meiduk area, Kerman, Iran". 27, *pp*176-182.

Taranik D. (2009). "Remote Sensing for Mineral Exploration". Dublin: Economic Geology and the Joly Geological Society Trinity College

Telford W. Geldart L. & Sheriff R. (1990). "Applied Geophysics". New York: Cambridge University Press.

[www.geotomo.com](http://www.geotomo.com). (2012).

## **Abstract**

Integration of various exploration data (geology, remote sensing, geophysics, geochemistry, drilling and so on) in accurate recognition of mineral deposits is an important matter. The aim of this research is the processing and interpretation of geological, remote sensing, geophysical and exploration drilling data in Jajarm bauxite mining area, and then, the integration of the results of these exploration data in geographic information system (GIS) for mineral potential mapping of the area.

The processing and interpretation of remote sensing, geophysical and drilling data in the study area were separately carried out, and as such, separate results, in which particular zones suggested as anomalous zones, were obtained from each set of the data. In the carried out remote sensing studies, band ratio method for recognition of dolomite and silica rocks in the area was used. The obtained results from the remote sensing studies had suitable agreement with the geological map and the field studies of the area. The geophysical data in the study area comprised of 82 electrical soundings on 3 lines with 25 m spacing between successive sounding points and 10 m spacing between successive lines. After making one-dimensional modeling of sounding data, a three-dimensional model from one-dimensional modeling results was provided using Rock Work software. The results of interpretation of geo-electrical data along line 1, acquired in the vicinity of exploration boreholes, had suitable and acceptable agreement with the exploration boreholes data .

Finally, information layers, obtained from the processing and interpretation results of exploration data sets, were integrated using fuzzy logic method (gamma operator) in GIS. The obtained mineral potential maps of the area suggested the zones having higher fuzzy values as exploration promising mineralization zones in the study area. These suggested exploration zones indicated suitable agreement with known mineral indices and detailed exploration activities in the area. Mineral potential maps indicate important criteria for continuation of exploration and reduction of exploration time and cost in the study area. The taken ground samplings in the study area well confirm the results obtained from integration of exploration data, or mineral potential model, of the area. The obtained mineral potential maps as a result of the integration of the exploration data using the fuzzy gamma method indicated fairly good agreement with exploration drilling data in the study area.

## **Keywords:**

Bauxite, Remote sensing, Geophysics, Modeling, Fuzzy logic, Gamma operator





*Shahrood University of Technology*

*Faculty of Mining, Petroleum and  
Geophysics*

Determination of exploration model of the deposit and  
surrounding layers using the integration of geological, remote  
sensing, geophysical and drilling results in one of Jajarm bauxite  
deposits

**Kianoush Soleimani**

*Supervisors:*

**A. Arab amiri**  
**A. Kamkar Rouhani**

*Advisor:*

**M.Yousefi**

Date: September 2013